

目 录

緒 論

第一章 无綫电設備的使用条件及对它的要求

§ 1—1 無綫电設備的使用条件及其对設備工作的影响	(5)
§ 1—2 对無綫电設備的一般要求	(13)
§ 1—3 無綫电工業的现代發展趨勢	(15)

第二章 表面复盖

§ 2—1 概述	(17)
§ 2—2 用燒滲法金屬化	(19)
§ 2—3 电鍍及化学复盖	(30)
§ 2—4 油漆	(45)

第三章 浸漬、灌注、蘸漬和密封

§ 3—1 引言	(49)
§ 3—2 浸漬、灌注和蘸漬用的材料	(51)
§ 3—3 浸漬、灌注和蘸漬的工艺	(52)
§ 3—4 浸漬、灌注和蘸漬的質量檢驗	(61)
§ 3—5 密封的外壳和絕緣子	(62)
§ 3—6 無綫电零件和部件的密封方法	(67)
§ 3—7 無綫电器材总体的密封	(69)
§ 3—8 密封品質的試驗	(74)
§ 3—9 各种防潮方法的应用范围	(75)

第四章 塑料零件

§ 4—1 概述	(77)
§ 4—2 制造塑料零件所应用的材料	(77)
§ 4—3 制造塑料制品的工艺	(84)
§ 4—4 塑料零件的設計	(91)

第五章 陶瓷零件

§ 5—1 概述	(103)
----------------	-------

§ 5—2 制造陶瓷零件所应用的材料	(103)
§ 5—3 制造陶瓷制品的工艺	(108)
§ 5—4 陶瓷零件的设计	(145)
§ 5—5 陶瓷装置零件的绝缘计算	(155)

第六章 磁性零件

§ 6—1 应用于磁路中的磁介质	(161)
§ 6—2 用磁介质制造铁芯	(162)
§ 6—3 铁氧体磁路的制造	(167)
§ 6—4 铁氧体零件的机械加工方法	(172)
§ 6—5 铁氧体磁路的質量檢驗	(173)
§ 6—6 铁氧体磁物的应用范围	(173)

第七章 电感线圈

§ 7—1 电感线圈的基本参量	(177)
§ 7—2 电感线圈的结构	(178)
§ 7—3 电感线圈的制造工艺	(191)
§ 7—4 电感线圈绕组的类型及线圈几何尺寸的计算	(197)
§ 7—5 無屏蔽無芯子电感线圈的计算	(203)
§ 7—6 线圈导线的高频电阻及导线直径的选择	(209)
§ 7—7 电感线圈的固有电容	(216)
§ 7—8 电感线圈的品质因数及线圈尺寸的选择	(219)
§ 7—9 互感及耦合系数的计算	(220)
§ 7—10 屏蔽电感线圈的计算	(226)
§ 7—11 具有芯子线圈的计算	(229)
§ 7—12 可变电感线圈——变感器	(241)
§ 7—13 米波发射机的迴路线圈	(251)
§ 7—14 高频扼流圈	(266)
§ 7—15 电感线圈的稳定性	(269)
§ 7—16 电感线圈的自动温度补偿及高温稳定性线圈的结构	(274)
§ 7—17 电感线圈的测试	(276)

第八章 变压器及低频扼流圈

§ 8—1 磁路的结构及其主要尺寸	(279)
§ 8—2 磁路的制造工艺	(284)
§ 8—3 线包的結構	(303)
§ 8—4 线包的制造工艺	(322)
§ 8—5 变压器及低频扼流圈的总体結構	(328)

§ 8—6 变压器和低頻扼流圈的繞組电感及磁路參量.....	(344)
§ 8—7 低頻扼流圈的設計.....	(353)
§ 8—8 电源变压器的設計.....	(357)
§ 8—9 低頻变压器的設計.....	(364)
§ 8—10 寬波段变压器.....	(374)
§ 8—11 脉冲变压器及其設計.....	(375)
§ 8—12 变压器和低頻扼流圈的測試.....	(401)

第九章 电阻器

§ 9—1 电阻器的基本參量.....	(424)
§ 9—2 綫繞电阻器.....	(433)
§ 9—3 非綫繞电阻器.....	(459)
§ 9—4 电阻器的選用.....	(490)

第十章 固定电容器

§10—1 固定电容器的应用及类别.....	(491)
§10—2 电容器的基本參量.....	(491)
§10—3 气体介質固定电容器.....	(498)
§10—4 液体介質固定电容器.....	(502)
§10—5 固体無机介質电容器.....	(502)
§10—6 固体有机介質电容器.....	(516)
§10—7 电解电容器及其計算.....	(523)

第十一章 可变电容器

§11—1 可变电容器的分类及其主要參量.....	(531)
§11—2 可变电容器的結構零件的設計和制造工艺.....	(534)
§11—3 电容器組件的裝配.....	(544)
§11—4 可变电容器的計算.....	(548)
§11—5 空气可变电容器的溫度穩定性.....	(556)
§11—6 固体和液体介質的可变电容器.....	(555)
§11—7 微調电容器.....	(566)
§11—8 可变电容器的測試.....	(568)

緒 論

無線電技術是近代科學技術的重大成就之一，它在人類生活中起着愈來愈大的作用，目前已很難說，那一個科學技術領域中沒有採用無線電設備或電子設備的。例如：在原子物理學，半導體物理學，地球物理學，星際旅行，天文學，以及現代醫學等領域中，都廣泛地採用了無線電電子設備。

由於無線電技術的飛躍發展，除了有悠久歷史的無線電通訊及廣播以外，新的科學技術部門，如電視，無線電定位，無線電導航，無線電天文學，自動控制學，電子計算機，以及遙控機械學等都相繼出現了。

尖端科學的發展與無線電技術的發展是密切相關的。因此，一個國家的科學技術水平，在頗大程度上決定於無線電電子設備在各科學領域中廣泛應用的程度，共產主義社會的重要特徵之一是擁有最高度的科學技術水平，為此，在我們社會主義國家中，對無線電工業的發展給予極大的重視。蘇聯和東歐社會主義國家已掌握了最先進的無線電電子技術，最近蘇聯星際旅行方面的巨大成就就是最有力的證明。在我們，解放前的無線電工業几乎是空白點，然而，在解放後不久時間內，由於黨的重視和正確領導，已有驚人的發展，這是大家所共知的事實，目前，在這方面提出了振奮人心的指標，在最近幾年內，我們將以飛躍的速度趕上並超過世界的先進水平，幾年之後，我們的無線電工業將是一個完整的強大的體系。

無線電技術迅速發展的原因，是由於現代的無線電電子設備可以完成非常複雜功能；例如：雷達站或導航系統完成人類感覺器官的功能，而計算設備，自動系統完成人的大腦中有关形式邏輯的機能。這樣複雜的功能使得無線電設備大大地複雜化，它必須由大量零件組成，例如：近代轟炸機的無線電設備包括100個以上電子管，高射炮控制系統具有500個電子管及兩萬多個零件，即使是最普通的廣播收音機也包括几百個零件。因而要製造出完整的無線電設備或系統，包括了很大的工作量。

首先，必須製造出多種多樣的材料，特別是性能要求十分高的特殊材料（例如：耐高溫低溫及適應特殊環境的介質材料等）。其次，必須進行零件、元件及部件的結構設計及製造，再進行電路設計及計算，以及進行整個設備的結構設計，裝配、調整、調諧及試驗等。如此大量的工作，僅靠一個部門來完成是困難的，同時也是不合理的。為此，除了把完整的無線電體系作了橫的分工（例如，分為雷達、導航、電視、通訊、測量等）之外，還須進行縱的分工（例如，分為電子管製造，元件零件的製造及整機的製造等）。

無線電設備的設計及製造專業就是在这种分工的基礎上建立起來的，對這一類專業的高等技術幹部來說，除了應當了解電路的设计及計算以外，還應當能合理地選擇材料及標準元件，設計及製造非標準元件，設計整個設備的結構和製造工藝，以及能夠進行

整机的調試工作。此外，还应当能用社会主义經濟观点来分析技术問題和具有組織生产的能力。

按照教学大綱規定，这門課程的任务包括選擇标准件，設計及制造非标准元件，整机結構的設計与制造，以及它們的調整、調試等。毫無疑問，这是一个十分艰巨的任务，也是一个極其重要的任务。

但是，直到目前为止，仍有一些人对这門課程沒有給予应有的重視，他們沒有完全摆脱旧社会傳統的迷信理論的圈子。在旧社会里，我国几乎没有自己的無綫电工業，人們获得了一点知識，而找不到服务的对象，沒有条件与生产实际結合。另一方面，资产階級及其学者，总是提倡把知識壟断起来，把“理論”知識看成是爭夺名位的資本，極力把理論神秘化，企圖在人們中間造成这样的印象，掌握了理論的人是高級的，而生产实践是低級的卑賤的，这是典型的资产階級学术观点，是極端錯誤的。因此，在我們學習这門課程的时候，要特別提出与这种观点作斗争。然而，这不等于貶低理論的作用和重要性，而是要理論結合实际，为生产服务；把理論計算，結構設計和工艺制造紧密地結合起来。

事实上，目前阶段，結構設計和制造工艺对無綫电工業的發展起着極為重要的作用，对不少的設備和元件來說，原理方面的問題早已解决，但由于結構和工艺所碰到的困难而沒有最終地把設備制造出来。

資本主义国家里，綫路理論和計算公式是公开的，但結構和工艺問題却为資本家所专利而不予公开。

目前，对無綫設備最重要的要求是設備工作的可靠性，在技术方面，提高設備工作可靠性的方法，几乎絕大部分都屬於結構和工艺方面的具体措施。

在無綫电設備的制造过程中，电路計算，結構設計，制造工艺等，很难截然分开。比方說，計算超高频振蕩器时，如果沒有考虑到各元件的結構及制造的可能性，那么，这个設計的价值是極其微小的。不少元件，例如小型和超小型元件，超高频元件等，計算只能决定一个粗糙的数量級，不能达到必需的准确度，为了制造出合格的元件，还必须具有实际經驗，以及对各种結構和工艺进行实际試驗。因为，在这种情况下，結構及工艺所引起的寄生因素起着重要的作用，然而在計算时很难进行准确的估計，即使在一般元件、部件以及設備的制造过程中，結構和工艺同样影响其性能和参量，只是程度上的差别而已。关于这一点，在今后的學習和工作中，我們將有更深入的体会。

另外，大家知道，一个合理的产品設計，不仅在于它具有良好的电性能，而且还要具有經濟性，正如总路綫所指出的一样，不仅要好，而且要省。一个只懂得理論，而沒有实际經驗，不掌握有关結構和工艺方面知識的技术干部，我們很难相信他会設計制造出一个合理的产品。

基于上述理由，对一个技术干部來說，必須具备理論計算，結構設計和制造工艺等全面知識，重視理論而不重視結構工艺的观点，是毫無根据的。

大家知道，結構設計和制造工艺是相当复杂的問題，因此要很好的解决这个問題，不但应具有广泛的基础理論知識(如物理、化学等)，而且应具有足够丰富的实际經驗。由于時間和条件的限制，本課程只能着重地提供掌握解决这些問題所必需的，但也是極

其重要的基本知識，按教學大綱規定，本課程的內容和具體要求如下：

1. **標準零件**，如塑料零件，陶瓷零件，固定電容器及電阻器等，這一類零件已標準化，由專業性工廠生產，一般不需進行設計，只需在產品規格中選用，因此，只重點討論它們的用途、分類、基本參量；各類型零件及元件的特性及使用場合；簡要工藝特征等，以便掌握選用標準零件及元件的原則。並不要求深入掌握其製造工藝和結構設計。

2. **非標準元件**，其中包括：可變電容器，電感線圈，變壓器及低頻扼流圈，脈沖延遲線，米波及分米波迴路元件，壓電元件，超高頻系統元件，以及某些接觸元件等。這一類元件，由於使用場合以及使用上對它所提出的要求是多样化的，絕大部分未能標準化，因而不可能在專業性工廠中進行大量生產，設計設備時，必須按不同的使用場合和電路上的具體要求進行設計和製造。因此，這是本課程的重點內容，這裡除討論上述非標準件的內容以外，將較深入地討論其結構設計原則，計算方法，製造工藝，以及測試檢驗方法等。

3. **無線電設備製造中的常用工藝及特殊工藝**，其中包括表面塗復、浸漬、灌注，印制電路工藝等，這也是相當重要的一部分，但由於內容十分廣泛（其中還應用到深入的化工方面的知識），因此，只能重點地掌握其用途、作用、分類，各種工藝方法的特點（優缺點）和使用場合的比較，典型工藝的詳細過程及其檢驗方法等。

4. **無線電設備的結構、安裝、調整、調諧**，這一部分應密切結合專業課程進行具體的深入討論。這也是本課程的重要部分。

此外，如無線電設備的使用條件及對它的要求以及環境試驗等，是為以上各部分服務的內容，不了解這一部分，就不可能正確地設計和製造出好的元件和設備，也不可能正確地鑒定元件及設備的質量。

總的來說，本課程所包括的內容十分廣泛，因此，學習時，要求同學們掌握重點，明確各章的不同目的要求，做到有的放矢。

本課程內容中的絕大部分，都從解決具體的，實際的技術問題出發，因此，我們必須特別強調理論聯繫實際的學習方法，把課堂的學習與實驗，生產勞動和科研等方面密切地聯繫起來，也就是應用所學到的知識來解決和分析實踐過程中所碰到的具體問題，並把實踐中積累的零星知識加以綜合和系統化。

第一章

無線电設備的使用条件及对它的要求

§1-1 無線电設備的使用条件及其对設備工作的影响

現代無線电設備的用途極為广泛，其使用的環境和条件也極為多样，其中包括在大陸及島嶼上的任何角落、在海洋、在水下、在高空（甚至是大气層以外的宇宙空間），或者在汽車、船艦、飞机、火箭等上面使用，經受着十分复杂的環境和条件的影响，这就可能引起設備及元件零件性能的显著变坏甚至完全失效，因此，使用条件便成为設計設備元件的零件結構的主要依据，因为設計的原則一方面要滿足使用要求，另一方面也要尽量照顧結構的工艺性及經濟性。

影响設備工作的因素包括气候因素和机械因素两类。現分別討論如下：

1. 气候因素及其对無線电設備工作的影响

气候因素包括：温度、湿度、气压、空气中化学成分、灰塵、霉菌和昆虫等。

無線电設備的装配、調諧、校正和技术檢驗是在正常环境的条件下进行的，也就是温度为 $15-25^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $50-70\%$ ，大气压力为 $720-780$ 毫米水銀柱以及潔淨空气（塵埃很少，無有害气体等）情况下进行的。但無線电設備常常在非正常环境情况下使用，此时，可能使設備工作受到影响，茲分別討論如下：

1. 温度

地球上不同地区的温度是不同的，温度最低的地方可达 -70°C 左右，最高的地方可达 $+60^{\circ}\text{C}$ ，在我国地面領域內温度的变化大致为 -40°C 到 $+42^{\circ}\text{C}$ 。

在同一地点昼夜气温的变化也会影响設備使用，不同地区一昼夜間温度的变化范围大致为：

赤道.....	15°C
極区.....	20°C
溫带.....	25°C
沙漠.....	40°C

大气中的温度也随海拔高度而变化，其粗略的关系見圖1-101

在太陽長時間直接照射的情况下，設備上的温度比周圍气温高 $30-35^{\circ}\text{C}$ 。

高空中的大气極為稀薄，空气对流散热效率極低，裝有無線电設備的客体將以积累形式接受日光照射的热能，而当客体以高速度在高空运动中，客体表面与空气將摩擦生热。在这种情况下可使客体上無線电設備的某部分变热（甚至达数百度），这种温度的升高虽与大气温度無關（只决定于客体的特性和运动速度），但也严重地影响設備的工

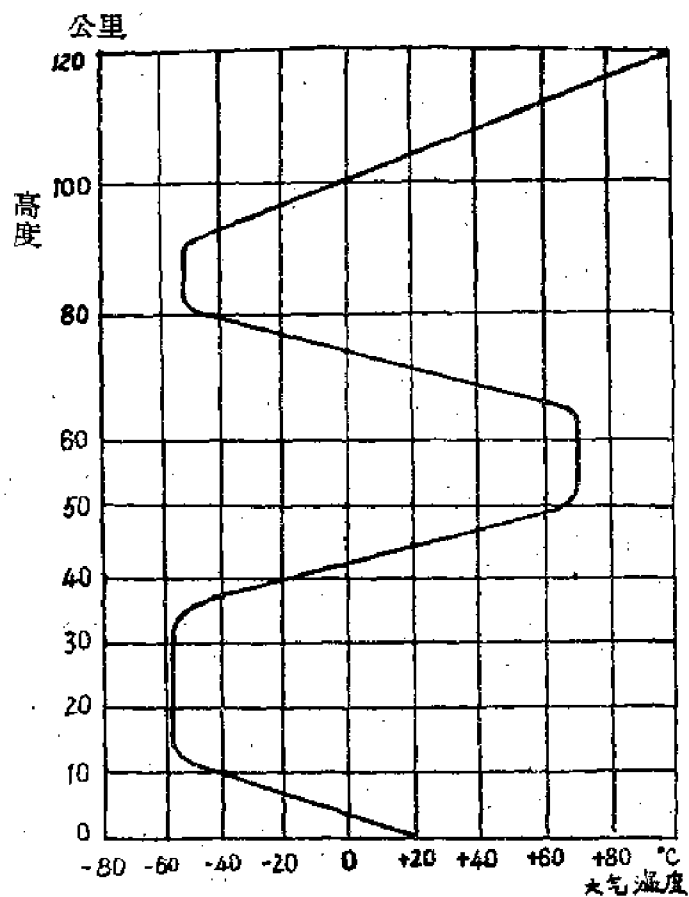


图1—101 大气温度与海拔高度关系曲线

作。例如，炮弹弹壁温度与其飞行速度的关系（如图1—102所示，它说明物体以高速度飞行时，其表面温度因摩擦而升高的严重性。

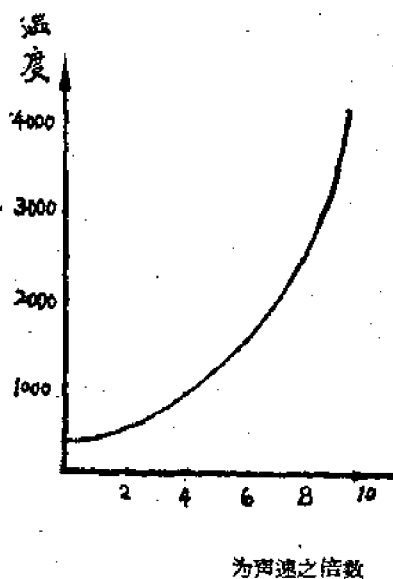


图1—102 弹壁温度与其飞行速度的关系曲线

此外，無綫电設備工作时温度的升高，也可能来自它本身的某些元件，如电子管，电阻，变压器，电容器等所損耗的有功功率，在功率大，尺寸小，以及密封設備中尤为显著。

温度的变化对無綫电設備工作的影响首先是热膨胀所引起的。当由热膨胀系数不同的材料所制成的零件装配在一起时，温度的变化，可能發生以下現象。

- 1) 配合間隙和调整間隙的变化。当間隙减小时，使活动机构中的相对运动产生困难，甚至完全不能运动。或者，当間隙增大时产生不允許的松动。
- 2) 减弱另件和部件的紧固。
- 3) 造成很大的应力，以致使另件变形。
- 4) 固定在不同基体上的另件产生不允許的位移，因而使元件的参量改变；例如可变电容器片間距离的改变引起电容量的改变。
- 5) 由于部件或連接导綫間距离变化和导体本身变形而引起高频电路中耦合电容或耦合电感的改变。
- 6) 在抗拉力極限較低和导热性較低的材料制成的大型另件中，当經受温度剧烈变化（热冲击）时，由于局部膨胀而在表面或内部产生裂口，在数次“热冲击”后将完全损坏。

其次，温度的变化也会引起材料各种物理性能的变化。

例如金屬的导电率，絕緣材料的体电阻率，表面电阻率，介电常数，介質損耗，抗电强度等的变化。温度的增高，会加速某些絕緣材料的老化，因而引起材料某些参量永久性的变化。而所有这些材料参量的变化都将引起元件参量的改变。在复杂的使用条件下，工作温度可能高于某些材料的熔化或軟化温度。

如上所述，热膨胀，材料物理性能的变化等，都引起設備另件及元件参量的改变，而另件及元件的参量改变直接影响設備的正常工作，为此，在考虑温度的影响时，常以另件元件参量与温度的关系为依据。

元件及另件参量与温度变化的关系可能是綫性的及非綫性的；循环性的及非循环性的。

在綫性及循环性变化的範圍內，其关系可用温度系数表示，其定义如下式：

$$\alpha_x = \frac{\Delta x}{x \cdot \Delta t} \quad \left[\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right] \quad (1-101, a)$$

式中： α_x ——参量 x 的温度系数，

Δt ——在測量参量 x 的改变时，相应的温度变动。

x ——在起始温度时的参量值。

Δx ——参量 x 的变动。

当温度升高使参量值增大时， α_x 是正的，而温度升高使参量值减小时， α_x 是負的。

当参量与温度的关系为循环性，但为非綫性时（可以为任意函数）， α_x 值完全依赖于函数性質，随温度的不同而具有不同的数值，一定温度下的 α_x 为

$$\alpha_x = \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \quad \left[\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right] \quad (1-101, b)$$

在这种情况下，为了粗略地估计温度的影响，可用在工作温度范围内的平均 α_x 值表示。

当参量与温度的关系为非循环性时，可用温度不稳定系数表示，其定义为：

$$\beta_x = \frac{x_1 - x_2}{x_1} \quad (1-102)$$

式中： β_x ——参量 x 的温度不稳定系数；

x_1 ——参量 x 的起始值；

x_2 ——经过温度变化后回到起始温度时的参量值。

通常在提出 β_x 值时，应说明在那一个温度变化范围内测得的。

为减少温度影响，一般可采用以下措施：

1) 选择线胀温度系数小老化性小的材料（如陶瓷、殷钢等），以及尽可能选择相同的材料，或线胀温度系数很相近的材料来制造元件。也可采用消除应力的热处理（对金属另件）或人工老化（对于介质材料另件）的方法。

2) 采用温度补偿。

3) 采用各种非热措施。

4) 设计设备结构时，正确地配置元件及另件，重要元件和易受温度影响的元件应远离严重发热的元件，必要时采用绝热装置。

5) 对于温度特别敏感以及稳定性要求很高的元件或部件可采用恒温装置。

2. 湿度

湿度的来源，通常是空气中的水蒸汽，它是在大气中的微小水粒（直径约为0.001—0.1微米）。在不同温度下，1立方厘米空气的饱和含水量为：

-20°C时	0.001克
0°C时	0.005克
+20°C时	0.017克
+40°C时	0.051克
+60°C时	0.130克

超过了以上含量时，为过饱和，此时，水气就凝结为直径不大于0.01毫米的小水滴，形成雾或云，或者在物体的表面结成水珠，显然温度的下降是使空气中水汽凝结的原因之一。相反，如果物体的温度增高，则物体本身的水份蒸发，而不易受空气中水气的作用。

在大气中，较短时期内相对湿度保持一定的数值，不同地区的相对湿度是不同的，例如：赤道地区平均为95%，温带地区平均为65—75%，沙漠地区平均为不高于5%，靠近海洋、湖泊和河流的地方，或水面上，经常达到饱和状态。无线电设备可能处于这种条件之下，有时也处于过饱和的大气（云或雾）之中，此外，还可能受到雨雪飞沫形式的水点的作用，甚至直接放到水中去。

水本身是一种导电率相当高的偶极电介质，不能认为是好的绝缘体，同时，水也是一种化学性能活跃的物质，因此，任何的天然水或空气中的潮气都是含有多种物质的各种盐、酸、碱、盐基、胶质和其他化合物的水溶液。水能使这些杂质的分子呈离子状

态，因此，其导电率更高。水的介电性能按杂质含量不同而有很大的差别。可能具有如下数值。

介电常数	79—81
体积电阻率	$10^4—10^7$ 欧·厘米
$\text{tg}\delta$ ，当频率为50赫时	∞
$\text{tg}\delta$ ，当频率为 10^7 赫时	0.2—0.5
$\text{tg}\delta$ ，当频率为 10^9 赫时	0.01—0.03

经过特殊的测量发现，处于相对湿度为65—80%的空气中所有物体都复盖着水的微粒或薄膜（0.001—0.01微米），饱和湿度的大气中，水膜厚度可达几十微米。如果是多孔性物质，水就从外表面逐渐渗入材料内部。水渗入材料的速度与湿度及温度成正比。在温度变化的过程中，水在材料的细孔中沿热传导的方向移动。

湿度对无线电设备的影响是由上述现象的作用所引起的，表现为以下几方面：

- 1) 吸潮材料（如纸、厚纸板，含有劣质填料的塑料等）的膨胀，因而引起不可逆的变形；
- 2) 引起金属的腐蚀；
- 3) 降低了介质材料的绝缘性能，如减小了表面电阻、体积电阻，增加了损耗，降低了抗电强度等；
- 4) 改变了元件的参量，主要是与绝缘材料的 ϵ 值，介质损耗，体电阻率以及与尺寸改变有关的参量。

减小潮气对无线电设备工作影响，可用以下方法：

- 1) 选择不吸潮的介质材料（如陶瓷、硅有机塑料）和耐腐蚀的材料（如不锈钢、青铜）来制作元件、元件。当采用不同金属元件组成元件部件时，注意使接触的材料间不要组成电化偶；
- 2) 采用不吸潮材料涂复，浸渍和灌封，以及采用耐腐蚀的表面涂复；
- 3) 对设备、元件或部件进行完全的或不完全的密封，并在密封空间兼放吸潮剂（如硅胶）。

3. 压力

大气压力随高度的增高而降低，气压与海拔高度的关系如表1—1所示。

表 1—1 气压与海拔高度的关系

高 度 (公里)	空气压力(毫巴)※	高 度 (公里)	空气压力(毫巴)※
0	1000	80	0.03
10	269	100	0.004
20	55	200	9×10^{-7}
30	12	300	3×10^{-10}
50	1.3		

※ 1 毫巴约等于0.75毫米水银柱

在特殊情況中，無線電設備需要在水或其他液體中使用，根據浸入的深度不同，設備受到不同的外部壓力，在水中每10米深度增加1個大氣壓的壓力，即1公斤/平方厘米。

壓力對設備的影響表現為：

1) 空氣密度的變化引起介電性能的變化。

(i) 空氣介電系數 ϵ 的改變，因而引起與空氣 ϵ 有關的元件參量的變化，如空氣電容器電容量的改變等。

(ii) 空氣抗電強度的變化。表1—2列出間隙击穿電壓與壓力關係的某些數據：

表1—2 間隙击穿電壓與氣壓的關係

壓 力 毫米水銀柱	間 隙 击 穿 電 壓 (千 伏)			
	10 毫 米	5 毫 米	1 毫 米	0.5 毫 米
750	22	16	5	2
600	18.7	13.5	4.2	1.7
450	15	11.8	3.4	1.35
300	11.2	8.8	2.6	1
150	8	6.2	1.8	0.7
100	5.2	4	1.4	0.45
50	3.1	2.4	0.8	0.25

在高空中工作的無線電設備的非密封組件中，處於高壓的元件間的間隙必須比正常大氣壓下的允許間隙增大許多倍，其倍數稱“間隙加大系數”，間隙增大系數與海拔高度的關係曲線如圖1—103所示。

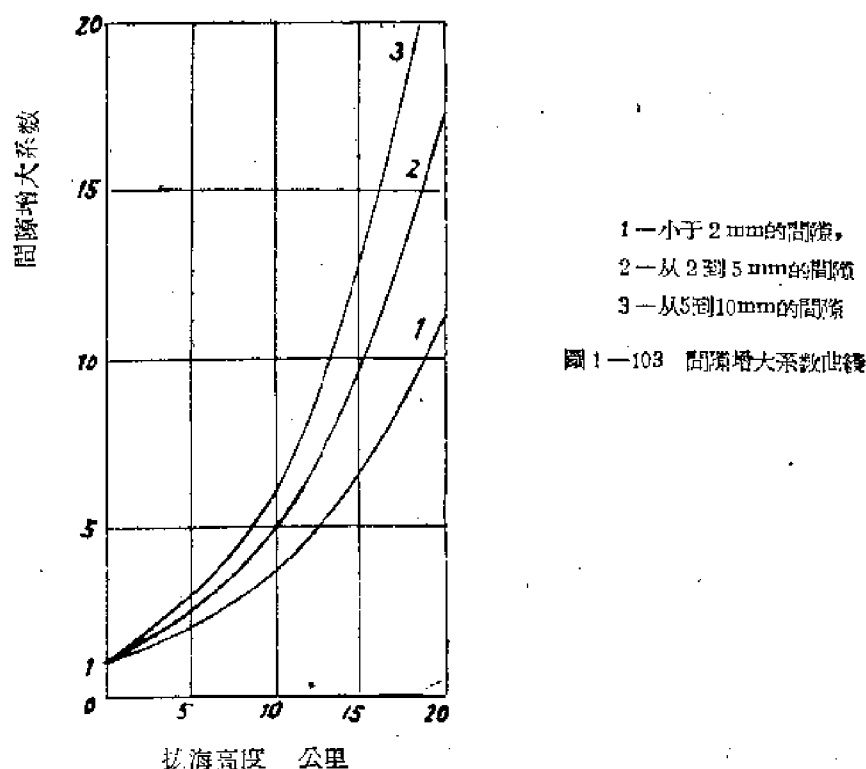


圖1—103 間隙增大系數曲線

間隙的增大將使設備的尺寸和重量增加。

2) 引起密封機殼的變形。密封機殼內部通常打入1.5—2大氣壓的氣體，在高空時受強大的內部壓力，在很深的水里可能受外部壓力。

3) 依靠對流的散熱能力下降，例如在10公里高空中，依靠對流的散熱能力將比地面降低一倍。在高度為30公里的散熱幾乎全部依靠熱輻射。

克服這種影響，通常採用以下方法：

- (i) 設備的完全密封。
- (ii) 對元件或部件採用環氧樹脂灌封。
- (iii) 採用具有加固筋的壳体。
- (iv) 強迫的內部和外部風冷，加裝散熱片。

4. 空氣中的化學成份和灰塵

在工業區的空氣含有較大成份的鹽、酸、鹼、汽油等的物質所散發的氣體，當設備的表面凝聚有潮氣時，這些物質溶解於水膜中會加速腐蝕，海面上和海岸地區空氣中的鹽份更為嚴重。

空氣中的灰塵含量可達 $20-60\text{mm}^3/\text{m}^3$ 。灰塵沉積於可動的機構中，會增加它們的磨損，沉積於元件表面上的灰塵可促使潮氣凝結在表面上，因而降低了其絕緣性能。

減小空氣中的化學成份和灰塵對設備影響的方法是適當地選擇材料來塗復設備，或把它密封起來。

5. 微機體和昆蟲

熱帶和亞熱帶氣候條件（較高的濕度，有利的溫度）促使菌類植物（霉菌）及昆蟲的繁殖。

霉菌復蓋在另件的表面，會使抗電強度降低和介質損耗增加，促使腐蝕的加強。使本身含有微機體的某些材料損壞等等。

昆蟲進入設備內部，凹穴，裂縫及各種縫隙中筑巢將使機件堵塞。某些熱帶昆蟲如白蟻等能吞食有機材料。

防止微機體和昆蟲影響的方法是選擇適當的結構材料，採用特殊塗復及有機藥劑的浸漬，其中最有效的為：磷—氯汞苯酚和氯汞苯等兩種。採用密封並在密封機箱內打入1.5—2大氣壓的氣體也可保護設備不受昆蟲的侵入以及霉菌的繁殖。

6. 輻射

如前所述，日光的直接照射會使設備變熱，除此之外，日光中的紫外線輻射使材料產生化學變化（如使油漆、顏料和大部分的塑料氧化），因而使保護層剝落，褪色和開裂。也會促使材料老化，如軟橡膠在日光的長期照射後會變硬並裂開。

放射性輻射也促使化學成份的變化和使空氣游離。

防止其影響的方法是選擇不受其影響的材料，以及隔絕輻射的直接作用。

II. 機械因素及其對無線電設備工作的影響：

無線電設備在使用、運輸和儲存中要經受各種類型的機械作用，這些作用，按他的原因，可分為二類：

1. 正常工作所引起的。如調諧機構，操縱機構，旋轉天線系統等；

2. 由于设备所处的使用条件所引起的。其中包括偶然性碰撞，振动，冲击等。

1. 正常使用的机械作用

机务员操纵设备的动作和工作时自动传动机械作用主要是摩擦，长期摩擦将引起活动机构零件的磨损。在固定工作的状态下，这种磨损只引起的设备寿命的某些缩短。在活动客体上，由于具有附加的振动和冲击，操纵设备的条件变坏了，特别在紧张的环境（如战场上）下操纵，错误操纵的可能性增加了。在这种情况下，设备的调谐和操纵机构可能在不正常机械应力下受到损坏。为了避免这种危险性，最好在设计操纵机构时取安全系数足够大的机械强度。

2. 震动和冲击

汽车、船舰、飞机、火箭等活动客体上的无线电设备都经受了强大的振动和冲击；例如汽车设备一般经受频率为200—500赫的震动，动态过负荷可达几十个g，一般船只中的振动频率为几赫到几十赫，快速船舰为100—500赫，飞机中约为500赫和震幅达1毫米，喷气式飞机中可达1000赫，而火箭起飞时，其动态过负荷可达几十个g等等。当设备、零件或组件的机械震动频率与客体的振动频率相符时，将产生谐振现象，其振幅可以增大10—15倍之多。

任何设备，零件及元件在运输和使用时，都可能经受偶然性的碰撞和跌落，这时，也经受震动和冲击。例如75千克的物体由60厘米的高度跌落，可以达到16g的加速度。

冲击是运动状态的剧烈变化或突然变化，冲击作用下，设备内部的结构零件受到很大的动态过负荷，以致引起机械上的破坏。震动可看作是交变方向的，时常发生的冲击作用。

震动对设备工作的影响表现为：坚固性的减弱或破坏；材料在交变负荷下疲劳而降低零件强度以致破坏；改变设备工作状态（例如失谐）；引起微音效应等。

减小冲击和震动的影响可采用如下方法：

1) 采用减震装置

2) 采用加固结构和附加的紧固制动构件；安装时采用防止产生局部应力的措施（如在陶瓷等脆性零件与金属间用软性物质垫衬）。

3) 选择惯性小的零件，在选择零件元件时应了解其冲击负荷和震动负荷方面的使用条件，和它本身的自然谐振频率，并使零件、元件的自然谐振频率在客体振动频率范围以外。

4) 在结构零件的强度计算时采用较大的安全系数；

为了在强度计算时考虑这些因素，应将这些机械作用折算为作用力的形式；

在震动情况下，已知震动频率 f （赫）和振幅 S （毫米）则设备的最大加速 J （g）可按下列式计算：

$$J(g) = \frac{a}{g} = \frac{\omega^2 S}{g} = \frac{4\pi^2 f^2 S}{9810} \quad [g] \quad (1-103)$$

式内 a 表示设备的圆周加速度，

g 是重力加速度（=9810毫米/秒²），

ω 是角速度。

最大加速瞬間，設備或元件重心形成的力 N (公斤) 为：

$$N = PJ \quad (\text{公斤}) \quad (1-104)$$

其中 P 表示設備或元件的重量 (公斤)。

在冲击的情况下，已知冲击的瞬时速度 U (厘米/秒) 和冲击过程的位移 S' (即彈性和永久变形总和，厘米)，則最大加速度 J (g) 可按下列式計算：

$$J (g) = \frac{a'}{g} = \frac{1}{g} \cdot \frac{1}{2} \frac{U^2}{S'} = \frac{U^2}{2 \times 981 S'} \approx \frac{U^2}{2 \times 10^3 S'} \quad (1-105)$$

式中 a' 为設備的加速度。

力的計算可按 (1-104) 式进行。

总之，以上所述使用条件常常同时作用到零件，元件，和整个設備上，必須作綜合的考虑。

元件，設備的必要的結構特征和工艺特征是由使用条件确定的，設計者在設計前最好亲自到使用的环境中去体会和測試，以便具体地深入地了解这些条件。

为了保証其影响在允許的限度以內，制造好的設備应抽一定数量的样品作环境試驗。这在第二十章內再詳細分析。

§1-2 对无綫电設備的一般要求

对無綫电設備的要求包括技术性的，使用性的，工艺性及經濟性的。只有綜合地滿足上述要求的設計方案，才是最好的方案。实现上述各方面要求，往往碰到很多矛盾和困难，要求設計者采用折中方法灵活地加以解决。为此，設計者对这些要求必須有所了解。

技术性的要求一般属于保証設備的电性能方面的，在电路設計之前按不同設備的具体的功能提出，在不同的專業課程中将提到，这里只就使用性的和工艺經濟性的要求进行討論。

I. 工作的可靠性

所謂“設備工作可靠性”是在規定的設備所处的使用条件下，規定的使用時間內，無綫电設備保持正常工作 (參量在規定範圍內) 的能力。

基于現代無綫电設備已使用在極為重要的場合，可靠性問題在最近阶段已提到極重要的地位，人們对它进行了大量的研究工作，提出了很多提高可靠性的重要方法，其中有从概率的控制出發的，也有从技术措施出發的。

为了提高可靠性，要求在設備設計和制造中做到：

1. 使用可靠性高的零件及元件；
2. 最大限度地簡化設備 (因为在其他条件相同时，設備愈复杂，元件愈多，則可靠性愈低)；
3. 零件及元件在額定条件下工作；
4. 安装控制仪表和自动的控制裝置来測定及自动恢复主要元件部件偏离額定状态所引起的失效 (例如各种指針式仪表，熔断保險器及电流电压过荷繼电器等)。以便能迅速地进行操縱和檢修；

5. 采用自动閉鎖裝置来保証維護操作的正确和迅速。避免發生事故和过早陈老，或者降低其工作性能；

6. 配置备份元件和部件，使部件标准化和采用可快速装折的连接結構。以便于用快速更換方法排除故障；

7. 严格遵守生产工艺規程；

8. 对設備进行預先的老炼和檢驗。

II. 使用的經濟性

無綫电設備使用及維護中的費用总数往往大大地超过設備的造价，有时，降低設備的造价会使維護費用增高，但維護費的多少与設備的电路及其造价的关系并不是很大的，因此在設計無綫电設備时，有必要也有可能不仅力求降低設備的造价，而且要考虑使用的高度經濟性。

为了提高使用的經濟性，要求在設計和制造設備时，考虑如下几方面：

1. 减小电源的电能消耗；

2. 尽量减小备份零件、元件及部件的数量；

3. 进行預防性及恢复性檢修时，應該簡便而不要求技术熟悉程度很高的人員；

4. 設備的操縱簡單方便，不要求高級技術人員；

5. 設備的重量和尺寸尽可能小，其形状便于包装和裝置到活动客体上，以减少運輸費用和减小活动客体的重負荷。（减小活动客体上無綫电設備的重量的尺寸的意义，不仅在于减少动力消耗費用，更重要的是增加活动客体上可能裝載完成多种功用的設備的能力以及增加飞行路程）。

III. 制造的工艺性和經濟性。

在設計制造大量生产或批量生产的無綫电設備时，注意制造工艺可能性，工艺过程的簡單化以及制造成本的降低具有很大的意义。为了这些目的，應該做到：

1. 元件、部件和整机的結構的簡單化和合理化。設計結構时，应略去其中不必要的部分，力求每一个零件、元件，甚至是其中的构件都有一定的功能。并正确規定其电气上和机械上的公差和表面加工光潔度；

2. 尽量采用普通品种材料以及标准化的零件、元件和部件，采用已掌握的結構，在設計新的元件部件或整机結構工艺时，應該尽可能与已掌握的原有結構工艺相类似甚至保持不变，以便能縮短掌握設計制造時間，利用現有設備，保証高的可靠性，以及促进原理性設備的發展（集中精力来搞尖端）；

3. 选择高生产率的方法（如冲压方法、机械化自动化装配和印制装配等）；

4. 保証合理利用生产設備，工具，模具，夹具，以及合理利用原材料的可能性（尽量利用不昂貴的）；

5. 生产操作及調整技术簡單，要求劳动力的技术熟練程度低和劳动量消耗小；

6. 生产准备工作簡單，所需的生產面积小。

上述关于对無綫电設備要求的几个方面仅仅是一般性的要求，在具体的情况下，可能还有某些特殊的要求，这方面将在討論具体的元件和設備时提出。即使在这些一般性要求中，我們已清楚看到它們之間存在着錯綜复杂的矛盾。其中主要是可靠性和工艺經

济性之间的矛盾。是否能合理地顺利地解决这些矛盾，有賴于設計者是否具有正确的設計思想 and 是否具备足够的結構設計和制造工艺方面的知識和經驗。为了获得这些条件，除了掌握馬列主义的观点和方法以外，还要在学好这門課（掌握基本的結構 工艺 知識）的基础上，不断地在实际工作中积累丰富的知識和經驗。

§1—3 无綫电工業的現代发展趋势。

基于無綫电电子设备应用愈来愈广泛，以及要求它所完成的功能愈来愈复杂，基于現代無綫电电子设备可能在愈来愈复杂的和愈恶劣的条件下工作，以及对它的要求（特别是可靠性和减小重量与尺寸的要求）愈来愈高。現代的無綫电結構設計及制造工艺水平以惊人的速度在發展着。目前，在無綫电工業領域內正在实现着如下發展趋势：

I. 設備、零件，元件及部件的小型化和微小型化。

对裝置在高空活动的客体如飞机、炮彈、火箭中的無綫电設備來說，小型化和微小型化的任务特別迫切。

II. 零件、元件及部件的进一步标准化和規格化。

如前节所述，这一点無論对提高設備工作可靠性以及工艺性和經濟性都具有重要意义。

III. 設備、零件、元件及部件生产專業化。

即設立生产一个类型或有限种类产品的工厂，如專門的電容器厂、电阻器厂、陶瓷零件厂、广播收音机厂、电视接收机厂、測量仪器厂、雷达厂，等等。这样可以进行大規模生产，因此，利用专用的（即使是复杂的）自动流水生产所带来的經濟效果，完全可补偿专用设备的高昂費用。生产的專業化，只有在标准化程度很高的前提下才可能普遍实现。

IV. 生产的机械化和自动化（特别是装配的机械化和自动化）。

其突出的优点是生产率高，能解放減輕人的劳动以及保證产品质量。

所有这些趋势的实现，都可以提高我国無綫电工業的技术水平。但应该指出：我国原有的無綫电工業是落后的，因此，为了多、快、好、省地达到这一目标，党正确地提出了一整套两条腿走路的方針，在要求大型企业进行專業性生产同时，还要求他們进行綜合性，多品种生产，在尙未能机械化、自动化的地方，要求土法先上馬。我們应結合党的政策方針，正确地理解以上的發展趋向。

第二章

表面复盖

§2-1 概 述

I、表面复盖的功用：

各式各样的表面复盖方法在电讯工业中得到了广泛的运用，这是因为它可以改善另件或整机的表面性能，从而提高了另件或整机的质量。其次，由于使用很薄一层贵重材料的复盖，常常就可以使从较差材料制得的另件或整机具有贵重材料的性能，因而可以节约大量贵重材料，有很大的经济价值。

我们知道，金属另件的表面受潮气作用后，多多少少会发生腐蚀现象。这种腐蚀现象在钢铁制品上特别明显。制品表面受腐蚀后不仅使表面遭到损害，而且还要使制品的机械强度下降，从而影响到整个机器工作的可靠性。除此之外，电讯器材中，某些金属制品上的腐蚀还会导致绝缘体的漏电，有时甚至会引起线路上产生短路现象。譬如，如果空气可变电容器的极片是钢板做的，极片上一旦有了腐蚀现象，就有可能引起动片和定片间的短接。有时，金属上受空气中潮气的作用而产生的氧化物，还会在绝缘材料的表面上爬行扩散开来，这时不管在设备中用多么优良的绝缘材料，设备的工作能力一定会逐渐变劣，有时甚至因此完全丧失了工作能力。由此可见，保护电讯器材不被腐蚀是表面复盖一个十分重要的任务。

很多种表面复盖的方式可以提高制品表面的机械强度，例如钢制另件表面的渗氮，铝制另件的阳极化处理，都能提高另件的机械强度。又如，金属另件镀以铬层，就能增加零件表面层的硬度，因此，在实用中很多另件（象电容器的转轴、蜗杆、齿轴、摩擦传动机构等等）为了提高它们的机械性能，都要施以技术性镀铬。

有些表面复盖可以提高器件的电气性能，例如，为了减小高频电路中的损耗和提高电路的品质，常常把连接用导线，振荡回路中裸铜线做的线圈，电容器极片，空腔谐振电路和其他谐振系统内的机件都施以镀银。此外，如在有些无线电发射机中由于使用了铁制骨架和隔离屏，从而引起了很大的发射电力损耗。如果在这些骨架和隔离屏上复盖上一层0.05—0.1毫米厚的铜层，则损耗就会显著的降低。

绝缘材料上施以提高表面绝缘电阻的表面处理，也是常见不鲜的，象在硬橡皮或塑料制的绝缘制品表面上，经过仔细的抛光后，就会具有很大的表面绝缘电阻。这是因为抛光的表面具有良好的防止潮气和污秽影响的能力。

有时为使钢制、铜制或镀镍的器件易于软钎，常常在进行钎接前，对它们施以热镀锡或电镀锡合金的表面复盖。

为使陶瓷、玻璃、云母和石英等绝缘制品，具有接受软钎的性能或需要在它们表面

做上金屬電極，這時，就必須把它們加以金屬化。燒滲銀這項復蓋工藝即可使它們獲得良好的銀層。

為使金屬製品具有良好的防銹蝕性能或者欲使某些製品具有美麗的外觀，常常採用油漆復蓋工藝。

由以上極為簡單的敘述，我們已經可以看出各種表面復蓋工藝，在無線電工業中的重要性。因而一個設計師必須很好的懂得這方面的知識。

II、表面復蓋的分類：

在電訊工業中所採用的表面復蓋，常按其基本功用或塗復的方法加以分類。

按其基本功用可分成以下三類：

1. 保護性的。

其主要功用是保護電訊器件在良好、一般、惡劣及海上等運用條件下工作時不被腐蝕。鍍件鍍鋅是保護性復蓋最典型的例子。

2. 保護—裝飾性的。

除保護電訊器件不被腐蝕外，這類復蓋還給予器件以美觀的外表，各類裝飾性油漆復蓋就是這類復蓋很好的例子。

3. 特殊復蓋。

其基本功用是為了給予器件表面以特殊的性質，或者是使器件能在特定的環境中正常的工作。例如：鍍銀是為了提高射頻另件的表面電導率，磷酸鹽處理是為了使變壓器用硅鋼片獲得一層良好的絕緣層等等。

按照復蓋的方法可分成以下四類：

1. 金屬非電鍍復蓋。

熱鍍錫鉛料或鎢鉛料，用噴灑法或燒滲法來金屬化等均屬此類。

2. 金屬及非金屬的化學復蓋。

其中包括化學鍍銀及鍍銅，金屬器件的鈍化，磷化和硝化等。

3. 金屬及非金屬的電鍍復蓋。

其中包括各種類型的金屬電鍍，以及對鋁及其合金的電化學氧化處理等。

4. 油漆復蓋。

III、使用條件的說明

由於復蓋種類的選擇應根據產品和產品上各個另件的工作條件，所以，為了能正確的選擇復蓋的種類和所需厚度，設計者必需熟悉機器和儀器安裝地方的環境情況，必需完全了解在這種環境下的工業鍋爐廢氣和其他廢氣的情況，產品內外的另件處於何種溫度範圍，及周圍的相對濕度，以及在某些特殊情況下還必須知道產品要在機器哪一部分安裝，外界的腐蝕介質浸入這一範圍的情況如何。根據在實際使用中常遇到的情況，以及為使人們對於複雜的使用條件具有明確的和統一的标准。所以，在無線電工業中，已把各種使用條件，劃分為良好的、一般的、惡劣的、海上的和特殊的等五種類型。各類條件的特性如表 2—1 所述。

表 2—1

使用条件的类型及其特性說明表

使用条件	条件的特性
良好条件	密閉的、有暖气及有通風的室中，其周圍环境中沒有工业鍋爐及其他廢气。在居民住所，俱乐部和其他場所安裝的無綫电另件和仪器，以及买驗室中的測量仪器（化学方面的买驗室除外）都处于这类条件下。在海上、大地上、空中工作的有绝对和永久密封及热絕緣的机器另件亦屬此类。
一般条件	有小量的廢气和海水蒸气脏污了的环境；相对湿度可以定期到98%；溫度在 -10 到 $+60^{\circ}\text{C}$ 之間。未密封，但不透水的，在戶外大气条件下工作的另件（在上面指出的允許湿度和溫度下）無雨雪及含水蒸气的大气直接影响，在汽車、坦克、飞机的內艙，以及大量廢气和海水蒸气难于浸入的室內使用的机器另件。
恶劣条件	大量廢气脏污的，并可能有雨和雪直接影响的环境；相对湿度达98%；溫度在 $\pm 70^{\circ}\text{C}$ 之間，在直接有雨和雪影响的天然大气条件下工作的非密封机器的另件；在接近海水蒸气或大量廢气聚集的区域中，安裝的机器另件。
海上条件	在海船上的机械中，其外部另件会受到海水的直接影响，内部另件处于海水蒸气饱和的大气中。
特殊条件	由个别情况决定的条件。

§2—2 用燒滲法金屬化

I. 燒滲銀

1. 簡述:

在無綫电器材中所应用的陶瓷、玻璃、云母和石英等制品。常常需要在它們的表面敷上一層金屬，根据工作条件和用途，希望所敷上的金屬具有以下性質。

- 1) 和基础材料結合牢靠。
- 2) 能够进行鉚接加工。
- 3) 有高的导电率。
- 4) 化学成份的时间稳定性高。

用在陶瓷、玻璃、云母和石英上燒滲銀的方法来金屬化。可以很好的滿足以上要求。

燒滲銀的方法，就是用焙燒的方法使金屬銀渗透到基础材料的表面層中去，由这些基础材料所制得的另件經燒滲銀后可获得某些特別的性質。例如：在陶瓷骨架或玻璃管上用燒滲法所获得的銀層，具有与陶瓷或玻璃相近的綫膨脹系数，这个性質就使我們可以解决制造高稳定性电感綫圈的問題。在陶瓷、玻璃和石英上燒滲銀層后，即可以进行軟鉚加工，在云母片两面燒滲銀，可以制得高稳定性的云母电容器。用燒滲銀的方法还可以制造需要具有高稳定参数的印制电路。

2. 銀膏的配制:

燒滲銀的本質就是把銀膏中含銀的化合物 (Ag_2CO_3 或 Ag_2O) 在一定的溫度下还原成金屬銀，并且借銀膏中的助熔剂使金屬銀与陶瓷、玻璃、云母和石英的表面牢靠的燒

結起来。

銀膏是由碳酸銀 (Ag_2CO_3) 細粉或氧化銀 (Ag_2O)，加助熔剂和胶合剂混合組成。

助熔剂：其作用是增加金屬銀和基础材料表面層結合的亲合力。在一定的温度下，金屬銀同助熔剂形成一种胶体溶液，而助熔剂渗入到陶瓷中之后，又同陶瓷一道熔化为玻璃状的变态組織，这时，金屬銀即可渗透到陶瓷的表面層中去。在冷却后，就获得了銀和陶瓷間具有很大机械强度的結合。

胶合剂：其作用是赋予銀膏在不同基础材料表面上，能够粘着的能力。此外，胶合剂还給予銀膏以适合需要的稠密度，以保证敷挂基础材料上的圖形，在銀膏干固的过程中不会产生变形。胶合剂并不直接参与燒滲的作用，它应当在 300°C 以前，完全燒尽不殘留一点灰份。在胶合剂燒尽的过程中，将会在陶瓷和燒滲銀層間形成許多微小的“孔洞”，这些“孔洞”使燒滲銀層和陶瓷的結合在高温时丧失其密封性，因此，当用在陶瓷上燒滲銀的方法作密封时，另件的最高工作温度不应超过 85°C 。

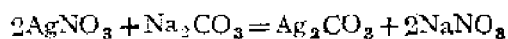
最广泛采用的助熔剂是氧化鉍 (Bi_2O_3) 和硼酸鉛 (PbB_4O_7)；胶合剂是用上等松香和潔淨的松节油配制而成的，其近似的化学分子式是 $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ 。

銀膏的配制工艺，乃是将上述三种成份長時間混拌的过程，其目的是要获得在成份上非常均匀的，顆粒極細的机械混合物。

现将銀膏的具体配制方法叙述于后：

配 制 碳 酸 銀

配制碳酸銀的原始材料是硝酸銀 (AgNO_3)。先把硝酸銀的水溶液加热到 $60+70^\circ\text{C}$ 之間，同时，加几滴酚酞試剂的酒精溶液。与此同时，还要准备碳酸鈉 (Na_2CO_3) 的水溶液，配制的比例是把一份（重量計）碳酸鈉，溶解在四分（重量計）水中，仔細滤去一切机械性的污物，然后，不断地吸取少量的碳酸鈉掺到硝酸銀中，直到显示出白玫瑰色为止。这两种溶液起着下列的反应：



↓

在这个化学反应的过程中，碳酸銀就沉淀到底下。至于混合这两种溶液的手續，所以要这样繁复的理由，是在于不使混合溶液中有过量的碳酸鈉，这些过量的碳酸鈉是很难从沉淀下来的碳酸銀中洗滌除掉的。

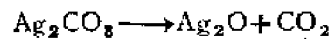
待化学反应終了后，把沉淀液加热煮沸一至一个半小时，而后冷却到室內温度。冷却了的沉淀液，要經過多層滤紙的过滤；若要加速过滤的过程，可以利用吸水泵，不过，这时滤紙就要放在細麻布上，以消除在过滤过程中，可能發生的滤紙撕裂情况。

从这里所得到的沉淀物，先用开水，然后再用 $70-80^\circ\text{C}$ 的蒸餾水洗滌，一直到洗滌的水中不复呈鹼性反应时为止。檢驗这个反应，可以随时用酚酞試剂来鑑定；凡是未被洗净殘留在碳酸銀中的鹼，能和松香—松节油質的胶合剂發生皂合，这会使銀膏变濃稠的。

洗滌好的沉淀物，再重新过滤，而后放在恒温器中，加热到 $120-140^\circ\text{C}$ ，烘干6—

8小时。

从上面所述方法得来的碳酸银是黄色的，但是，一經烘干就几乎变成了黑色。这是因为一部分沉淀已分解为氧化银（ Ag_2O ）和二氧化碳（ CO_2 ）的缘故。化学反应是：



助熔剂和它的配制法

最通行的助熔剂成分，如表2—2所列。配制助熔剂的手續中，包括磨碎，混合各成份和放在球磨中磨細，最后以每平方公分2000—2500孔的篩子篩过。

經常在陶瓷电容器上，会發生一种“閃爍”現象。产生这閃爍現象的根源之一，就是氧化鋅作祟，因此陶瓷的电容器上最好用只含有磷酸鉛的助熔剂。

配制胶合剂

胶合剂是用二份（以重量計）最上等的松香和三份清淨的松节油配成的。松香要清除偶然的机械性污物。然后放在瓷臼中搗成細粉，再同松节油調和。配制时，可以加热到70—80°C来加速溶解的过程。

待松香完全溶解在松节油中后，再补充松节油，使它的比重等于0.934至0.936（在20°C时）。胶合剂达到了这个比重时，就表明它已配制好，也就是具备了制造技术所要求的稠密度。

配制銀膏

配制銀膏所需要的成份，是依燒滲到何种基础材料上为轉移的。表2—2所列舉的配合成分，是从實驗中得来的。

表2—2 各类銀膏配方一覽表

銀膏的用途	銀的化合物		助 熔 剂		胶 合 剂				涂敷的方法
	碳酸銀 Ag_2CO_3	氧化銀 Ag_2O	氧化鋅 Bi_2O_3	鉛酸 PbO	松 香	松节油 $\text{C}_{10}\text{H}_{18}$	苧 麻 油	电容器油	
用于陶瓷	58.5	—	1.0	2.2	13.3	25.0	—	—	用毛笔涂敷
用于陶瓷	63.0	—	1.0	2.0	4.6	16.4	6.5	6.5	用專門的机器和工具涂敷
用于玻璃和石英	59.0	—	—	2.5	13.0	25.5	—	—	用毛笔涂敷
用于云母	41.5	—	—	2.5	21.0	35.0	—	—	用噴霧法涂敷
用于陶瓷	—	52.0	1.0	2.2	14.0	22.8	4.0	4.0	用專門的机器和工具涂敷

注：苧麻油和电容器油都是用于調整銀膏稠密度用的附加物。

按上面配方中的成分配好的原料，裝到陶瓷桶的球磨機中去磨細；每次裝載的量不要超過桶內容量的 $\frac{1}{3}$ 。同時，在這裝量中加入“小鵝卵石”或瓷質小球。這些卵石或瓷球的總重量，約同配料的重量相等。實驗證明，球磨中採用大小相等的卵石或瓷球（直徑為1.5厘米—4厘米），所得的結果較好。

球磨的桶應當用蓋子蓋嚴，經過檢查桶蓋的嚴密性後，就開動機器，讓它不斷地旋轉70—75小時，要獲得均勻、細致的銀膏粉料，作這樣長時間的研磨是完全必要的。因為銀膏的各成分，尤其是助熔劑材料，研磨得越細，燒滲所得銀層與基礎材料就附着得越牢靠。

為了要防止銀膏因松節油中容易揮發的成分蒸發，或者因周圍空氣慢慢的氧化作用而變得濃稠，銀膏應當保存在嚴密封蓋的陶瓷質的或玻璃質的容器內。

配制好的銀膏是一種含有若干種原素混合物的膠體溶液。由於這些原素的比重不相同，銀膏在長期保存後，其中比重大的原素，就沉積到容器的底部，因此，在使用這銀膏之前，必須就在這個容器內仔細地調勻，臨用時，再掏取一份用量，放在瓷臼中研磨，以消除在保存時間內可能結成一團的現象。

3. 燒滲前的表面準備和銀膏的塗敷方法。

在燒滲銀層以前，基礎材料必須順次受到表面清潔和塗敷銀膏的加工。

1) 表面的清潔：

經過這道工序應當除盡基礎材料表面上的有機和無機的污穢（如油膩、樹脂、膠料、酸、鹼、泥土、灰塵等），否則將會使銀膏塗敷不上去或使銀膏塗敷不均勻，不連續。從而影響燒滲銀層的質量。

選用那一種清潔方法，主要決定於基礎材料的尺寸、數量和材料的種類。

在實驗室中或小量生產中，對於表面不大的陶瓷，玻璃或石英制材料，可以用酒精或汽油洗淨。

對於大量生產的陶瓷材料，則可放在70—80°C的肥皂水中用超聲波清洗，然後，放在110—120°C的烘箱中烘乾。另一特別有效的方法就是把陶瓷材料放在電爐中加熱到500—600°C，這時陶瓷材料表面上的污穢即可全部燒盡。

云母片一般是用酒精清洗。

2) 塗敷銀膏：

在陶瓷、玻璃、云母和石英上塗敷銀膏有以下五種方法：

- (i) 用軟質毛筆（如黃狼毛或灰鼠毛）塗刷。
- (ii) 噴濺法。
- (iii) 沉浸法。
- (iv) 用專用機器塗敷。
- (v) 印制法。

毛筆塗刷法：先用專用的繪圖儀器在坯料表面上繪出所需圖形，然後，用毛筆蘸銀膏加以描塗，或者用鏤空樣板來直接塗刷，該法耗勞動量大，所以一般僅在小量生產中用來塗敷表面積不大的坯料。

噴濺法：这种施工方法同噴漆法很相似，亦是用噴槍来进行涂敷，如果在坯料的全部表面上都要涂敷銀膏，則無任何輔助工具，如果需要涂敷成一定的圖形，則必須使用鑲空样板。

噴濺法無論用于小量、成批或大量生产，生产效率都很高，但原料損耗較大，因此，噴濺法最好能在具有銀膏收捕設備的風洞內来施工。

沉浸法：一般說来，沉浸法应用的範圍很窄，因为他仅能涂敷一些尺寸不大，形状簡單的流綫型零件，而且，不易获得很均匀的涂敷層。

用专用机器涂敷：用专用的机器来涂敷最大的特点就是生产效率特別高，凡欲在平板上、圓柱体上以及球体上复制綫条时，采用这个方法均是很合理的。可是，这个方法需要配备有較昂貴复杂的机器，所以只有在成批或大量生产中应用才有利。

現在，用来涂敷銀膏的机器，类型异常繁多，圖2—201表示两种实用的例子，說明

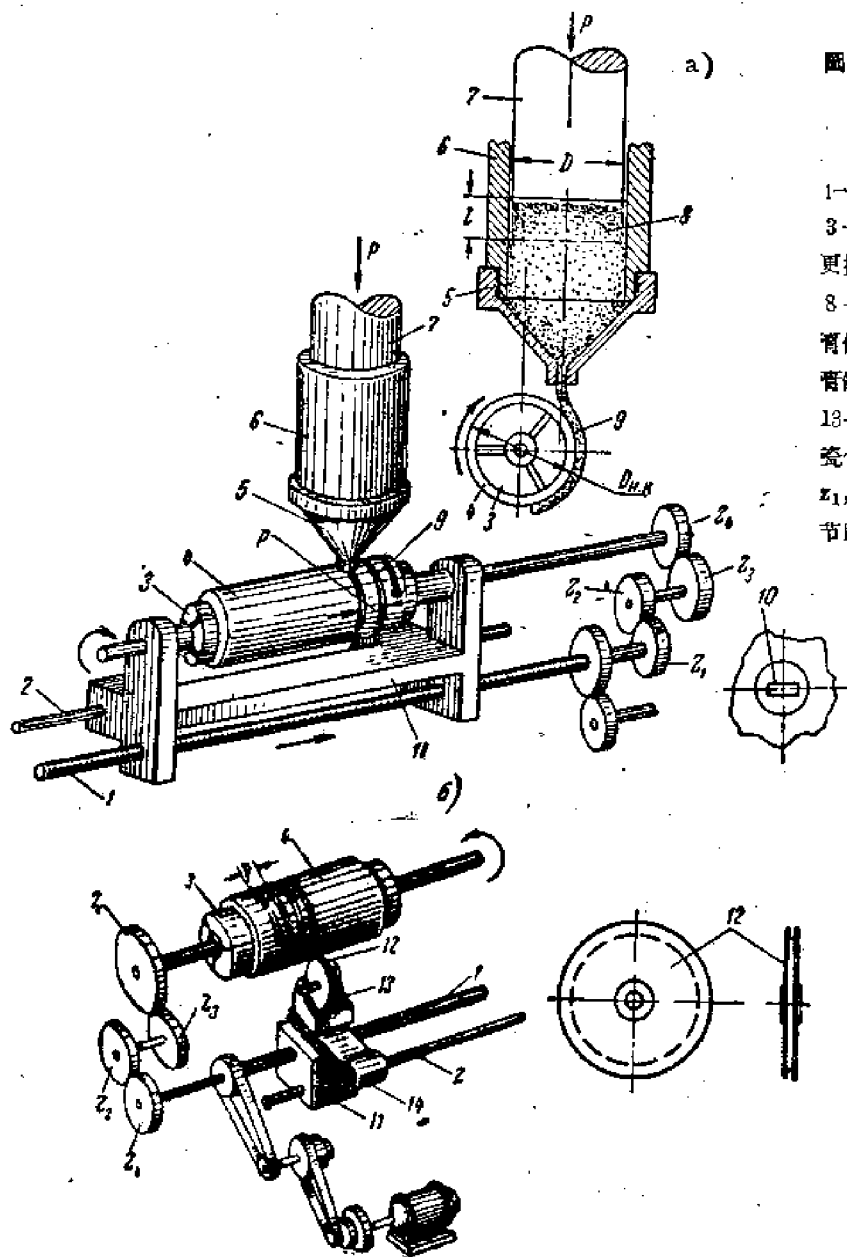


圖2—201 用来在圓柱陶瓷骨架上涂敷銀膏的机器的运动图 (a, b)

- 1—行走螺旋杆 2—行極導軸
- 3—支承杆 4—陶瓷骨架 5—可更換的嘴子 6—圓柱桶 7—活塞
- 8—銀膏 9—从嘴孔中压出的銀膏件 10—嘴子上的孔口 11—銀膏缸坐架 12—带沟槽的黃銅輪子
- 13—銀膏缸 14—使黃銅輪子和陶瓷骨架压紧的彈簧
- Z_1, Z_3, Z_5, Z_4 —搭配各种螺絲节距用的变换齒輪

在圓柱形陶瓷骨架上涂敷銀膏的方法。

印制法：印制法就是应用特制的模型和鑲空网板来施工的，因該法亦需专门的机器設備，故也較适合用于大量生产中。

4. 在陶瓷上燒滲銀層

在单件和小量生产中，可以采用能燒到 900°C 的馬福炉来对陶瓷进行燒滲銀，成批和大量生产时，則应用有温度自动调节裝置的隧道炉。圖2—202所表示的是一种臥式隧道炉的結構簡圖。

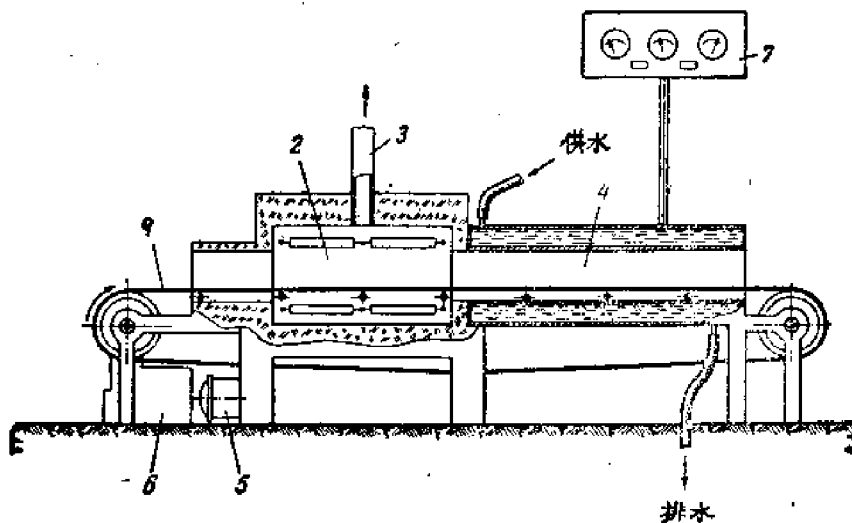


圖2—202 用来燒滲銀的臥式隧道炉

- | | |
|----------------|-----------------|
| 1— 鍍鉻錢做的傳送帶 | 2— 燒滲室 |
| 3— 通風管 | 4— 具有水套的冷却区 |
| 5— 电动机 | 6— 改变傳送带运动速度的机构 |
| 7— 自动控制燒滲状态的仪表 | |

燒滲銀的过程能够用圖2—203来表示。

为了获得完善的燒滲銀層，每个陶瓷零件，至少应当燒滲两次。第二次燒滲的目的，是为了消除由于第一次涂敷銀膏不均匀所造成的缺陷，同时也为了增加銀層的厚度。一次燒滲銀層的厚度只有 $7-17$ 微米，第二次燒滲所得銀層的厚度可达 $3-20$ 微米。銀層和陶瓷間的結合力，最佳能达 180 公斤/平方公分，燒滲所得銀層的导电率不及金屬銀优良，这是因为燒滲銀層是多孔性結晶組織的緣故。

燒滲所得銀層在温度升到 200°C 时，有能为錫熔解的特性，所以，当需要在燒滲銀

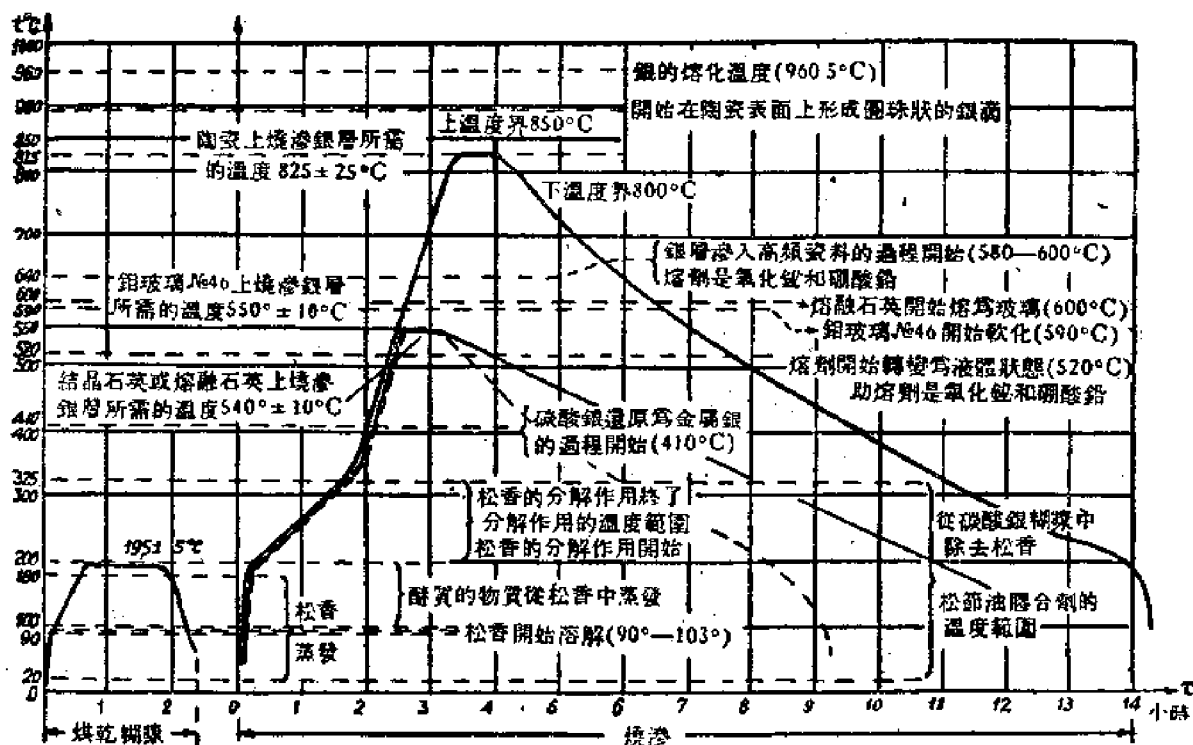


圖 2-203 陶瓷、玻璃、石英基礎上的碳酸銀糊劑的燒滲和燒滲操作情況圖。

層上進行軟鐸加工時，為了消除錫對銀層的有害作用，建議採用以下兩種辦法。

1) 用低溫鐸錫（如隔鐸料）進行鐸接，但用低溫鐸錫是得不到牢固的機械結合的。

2) 較好的辦法是，先對燒滲銀層進行酸性鍍紫銅，然後用普通鐸錫進行鐸接。

經過鐸接後，陶瓷和銀層的結合力在溫度從 $-40 - +85^{\circ}\text{C}$ 時為 50—70 公斤/平方公分。在玻璃石英及雲母上燒滲銀層。

玻璃上的燒滲法

玻璃上燒滲銀層的施工程序，很多地方是和前面所述用於陶瓷中的操作法相同。在這裡，也是依靠助熔劑，起着活躍的作用，來把銀滲透到玻璃的表面層中去，並且同它結合起來。

對於玻璃，可以允許使用助熔劑份量較少的銀膏，並且，助熔劑僅由硼酸鉛一種或分製成。這樣做的原因，是能提高玻璃上燒滲銀面的導電率。

燒滲的手續，是先把玻璃的表面作塗抹銀膏前的處理。事前處理包括用棉紗團擦去表面上的污砂，並且用酒精洗淨。小型零件在酒精中浸泡約 20—30 秒鐘，洗淨後的零件放在空氣中乾燥，然後，用前面敘述過的任何一種方法來塗抹銀膏。

在玻璃上燒滲銀的狀態，已指出在圖 2—203 中。最高的燒滲溫度決定於玻璃的軟化溫度，並且規定它比軟化溫度更低 30°C 。這樣，即使溫度的公差是 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，也不致於使玻璃變形。例如 46 號鉛玻璃的軟化溫度是 590°C ，於是最大的加熱溫度應當在 $540—560^{\circ}\text{C}$ 範圍內，換句話說，燒滲溫度應該規定為 $550 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。

冷却时的技术规程完全决定于玻璃的种类和对玻璃所要求的烟火程度。玻璃在烧渗后冷却所需的时间，假如没有特殊的要求，一般地要比陶瓷和石英所需的时间为短。

玻璃上接触到助熔剂的地方，总是染有很弱的颜色，而且助熔剂中杂质越多时（尤其是含有铁和别的金属的杂质），颜色也越深。

烧渗银层上，电镀保护性铜层的方法，也与陶瓷相同。

图2—204中的各种电感线圈，就是在玻璃管上烧渗银层的制品。

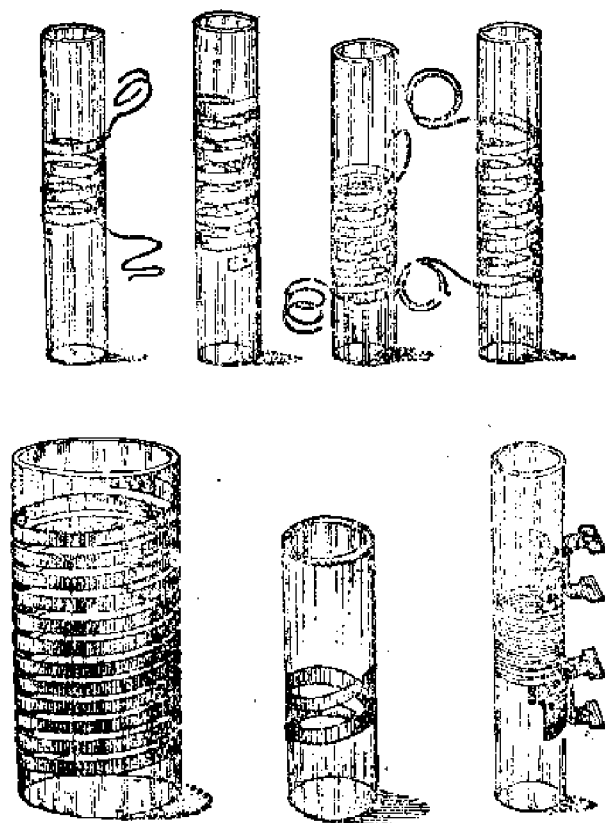


图2—204 在玻璃管上烧渗银层制成的电感线圈。

石英上的烧渗法：

晶体的石英或水晶以及熔融石英的热胀系数很小，在无线电工程上是个很有价值的绝缘材料。它的主要介电性能，实际上不受频率的影响，所以，扩大石英在近代无线电器材中的应用范围，是有很大的实际利益的，为此，在石英上渗入同石英表面坚固地接合的金属是完全必要的。把这个任务具体化起来，就得到在石英上烧渗银层的实施规程。

虽然，晶体石英和熔融石英的熔点很高(1710°C)，但是，烧渗时所用的温度是允许低到 $530-550^{\circ}\text{C}$ 的范围内，因为这个温度已经足够从碳酸银或氧化银中还原出金属银来，并紧密地结合在石英表面上。而且，对于熔融石英来说，上面所指定的温度还是一个加热的界限，如果超越了这个界限，譬如，提升到 600°C 或以上时，石英将发生“透明消

失”现象。这就连带着损耗了一部分优良的特性，例如，提高了透气性。

涂抹银膏前的处理工作，是在酒精中洗净污秽。涂抹银膏可以用笔刷法，也可以用喷溅法。石英上所用的银膏成分，如表 2—2 所列。至于烧渗操作的技术规程，可以参考图 2—203。

云母上的烧渗法：

在高稳定性云母电容器的生产中，采用在云母上烧渗银层一法是很流行的。在云母片的两面，各渗透一层银面，可以做到让极片完全贴伏在介质上，而没有空气或别的东西夹杂在它们之间，从而，电容器受温度的影响而变改电容量的程度，将只由云母的物理常数来决定了。

云母上烧渗银层的施工技术有它固有的特点，这个特点完全是由云母的特性和片子微薄的厚度所决定的。

在云母上涂抹银膏；只能应用夹框以喷溅法来实现（图 2—205）

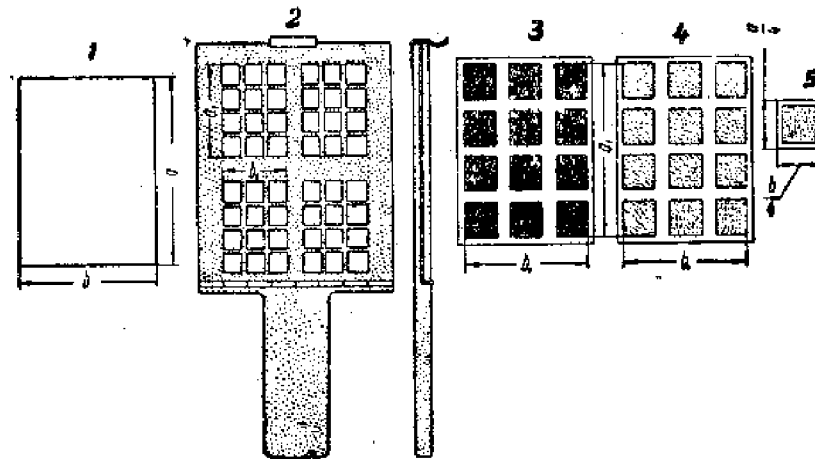


图 2—205 用于制造云母电容器的云母片上烧渗银的工艺过程。

- 1—包含 12 块电容器叠片的云母片
- 2—可装四块云母片的真空夹框
- 3—涂敷了含磷酸银银膏的云母片
- 4—烧渗后的云母片
- 5—经裁切后的电容器叠片

施工时，云母片就夹在夹框之间，云母片的两面是都需要涂抹银膏的。云母片被窗格板上格子遮盖着的部分是涂不到银膏的。制造云母电容器所用的云母片的大小，自 4 到 40 平方厘米，每一种面积大小的云母片，要各有专用的夹框。窗格板上窗孔的大小和数量，决定于电容器极片的大小。

小电容量电容器的云母片尺寸不大，可以把很多块彙集在一块不小于 20 平方厘米的云母片上，待烧渗完竣后，再裁切为单个的小块。虽然，这样的制法需要用价格比较高昂的大张云母片，但是，在生产上相对的仍属有利，因为，这样可以免去对大量小块的

云母片来各个装夹的繁复加工。

涂抹銀膏要在特殊的有抽气設備和銀膏收捕器的風洞中（圖2—206）操作。涂抹层的均匀情况和涂層的厚薄，需要在檢視中来判断，为了这个目的，風洞上装有电灯。

用噴霧法来涂抹銀膏，由于散霧的关系，損耗很大，所以在風洞內裝有用法兰絨袋子做成的收捕器。堆积在法兰絨袋子上的銀膏，可用振動的方法取下再用。

由于云母片上的銀膏層是非常薄的，所以燒滲前的烘干手續，就沒有再施行的必要了。云母片在涂好銀膏后，就可以立即进入燒滲操作（圖2—206）。云母片放在傳送帶1上，不断地送入电炉的隧道中进行燒滲。隧道的全程中有两个加热区域，各用自动温度調節器控制着加热温度。在第一个加热区域中，温度逐渐均匀地从150°C升到500°C，而在第二个加热区域中則保持在500—520°C之間。

全部过程需要十分鐘行畢。在这个時間內傳送帶的行動速度是每分鐘0.4公尺。在这全程中完成燒尽胶合剂，还原成金屬銀并和云母的表面層緊密結合，而且滲入到每面表面層下3—5公微的深度等几項任务。这里要指出的是，我們不希望金屬銀滲入得更深，因为这將招致云母片（只有20到70公微厚）击穿电压降低的惡果。

銀面凸出云母片表面的厚度，一般每面只有1—3公微。

II. 燒滲混合物

前面已經指出，当温度很高时，燒滲銀層和陶瓷間的結合，就喪失其真空密封性。为了要得到在高温条件下仍能与陶瓷保持真空般密封結合的金屬層，最有前途的方法是在陶瓷表面上燒滲金屬細粉和金屬化合物的混合物。

混合物由以下成份組成：

原料名称	按重量所占百分数
碳化鉄粉末	45
氧化鎳	35
氧化鉻	5
氟化鈉	3
氧化鋁	2

燒滲的簡要工艺过程如下：

1. 把除碳化鉄粉末外的其他所有原料放入振動式或滾動式球磨機中，磨碎到通过1000孔/平方厘米的篩子时，只有0.5%的剩余物为止。
2. 配制胶合剂：胶合剂由一分重量的虫胶和四份重量的酒精混合而成。
3. 把第一道工序所得混合物、碳化鉄粉末及胶合剂（其中干燥的虫胶按重量为整个混合物的10%）放入球磨機中長時間的研磨混合，以获得均匀研細的膏漿。
4. 涂敷膏漿：用毛笔涂敷或噴槍噴敷。
5. 干燥：在1.5小时內，从50°C升至200°C。
6. 燒滲：在真空度为0.5毫米水銀柱的真空炉中进行燒滲。燒滲的温度为1100—1150°C。

燒滲所得金屬層，具有不銹合金鋼的性質，并且具有良好的鍍錫性。

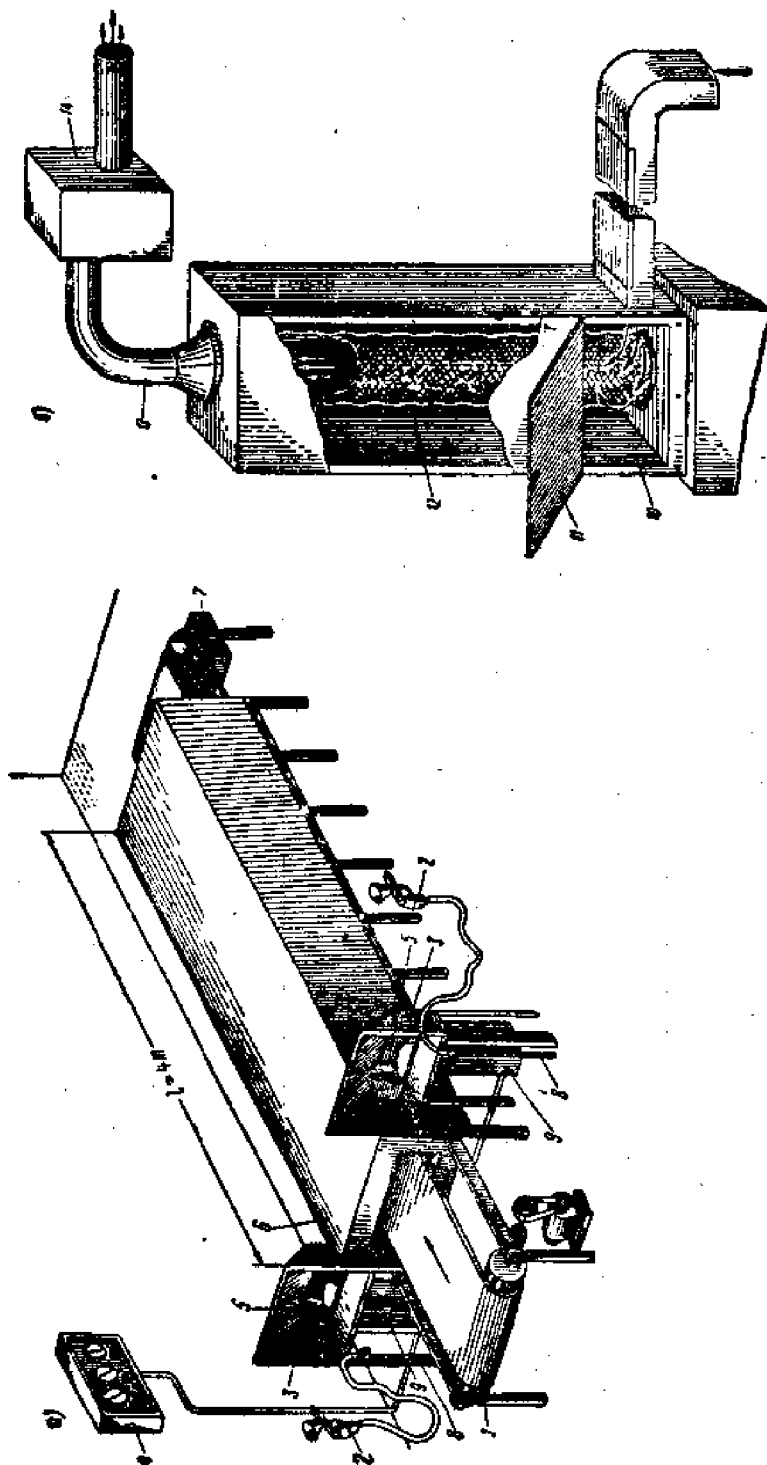


圖 2—206 煤滲裝置 (a) 和除塵風洞 (b)

- | | | | |
|------------|--------|-------------|------------|
| 1—傳透帶 | 2—噴槍 | 3—風洞 | 4—溫度自動控制儀表 |
| 5—檢驗用電燈 | 6—縫道電爐 | 7—裝灰母片的小箱 | 8—空氣通溝 |
| 9—和風洞連接的管道 | 10—通風道 | 11—通風道小門 | |
| 12—裝灰鐵皮子 | 13—抽氣管 | 14—抽氣用風扇的罩子 | |

§2—3 电鍍及化学复盖

I. 与金属复盖有关的金属特性。

在这一节里，我們所碰到的絕大多数复盖都是金属复盖，因此，为了对这些复盖能更好的了解，并进行选择，有必要首先闡述一些与金属复盖有关的金属特性。

1. 金属复盖的保护特性：

在金属另件上鍍其他金属来保护金属另件的方法，与金属在一定介质中的电化特性有关。金属在一定介质中，有一定力量能轉变为溶液，这就是金属电化特性之一。金属的这种力量以电化电位值表示。金属的电化电位越負，則轉变为溶液的力量越大。

在鍍層金属中有細孔时，电解液則可滲入鍍層与金属另件之間，此时，即可把鍍層金属和鍍層金属視为有一定电位差的短路电池。

电位負的金属是陽極，它是能溶解的电极，比有較正电位的陰極容易毁坏。金属的电化电位系列如表 2—3 所示。

表 2—3 金属电化电位系列

金 属	化学符号	标准单位	金 属	化学符号	标准单位
鋰	Li	-3.02	錫	Sn	-0.14
鉀	K	-2.92	鉛	Pb	-0.13
鈉	Na	-2.71	氢	H	0.00
鎂	Mg	-1.55	銻	Sb	+0.10
鋁	Al	-1.30	铋	Bi	+0.20
錳	Mn	-1.10	砷	As	+0.30
鋅	Zn	-0.76	銅	Cu	+0.34
鉻	Cr	-0.56	銻	Rh	+0.68
鉄	Fe	-0.44	銀	Ag	+0.81
鎘	Cd	-0.40	汞	Hg	+0.85
鈷	Co	-0.26	金	Au	+1.50
鎳	Ni	-0.25			

如果在一定介质中鍍層金属的电化电位負于另件的电化电位时，鍍層为陽極，陽極鍍層被破坏后，可以借电化关系来保护另件，反之，如果鍍層金属的电位正于另件，則鍍層为陰極，陰極鍍層只能借机械的关系来保护另件金属，而当鍍層的完整性被破坏后，反会加速另件金属的腐蝕。

陽極鍍層的保护特性及工作期限基本上决定于它的厚度，而陰極鍍層的保护特性則决定于它的厚度和鍍層多孔的情况。

2. 金属和合金的耐锈性

由于金属和合金的物理化学性質不同而具有各种不同的耐锈性。金属和合金的耐锈

性如表 2—4 所列。根据此表，設計时就可以决定何种金屬另件需要加以保护性涂复，何种金屬另件無需进行保护性涂复。例如：磷青銅和不銹鋼制得的另件，在任何使用条件下，都無需加以保护性涂复，而碳素鋼和低合金鋼等，如不进行保护性涂复，則不能使用。

表 2—4 金屬和合金的耐锈性

金 属 与 合 金 的 名 称					耐 锈 特 性
铁 合 金	铝 合 金	镁 合 金	锌 合 金	铜 合 金	
需要热处理 18Cr 8Ni 不銹鋼	—	—	—	鉛青銅 錳青銅 磷青銅	非常稳定，在良好条件、一般条件和恶劣条件，不需要采用任何保护涂复。
需要热处理的含 铬不銹鋼 (12— 15%Cr)。	高度純潔 的鋁	—	—	銅，黃銅 含錫的青 銅	稳定性較小，在良好和一般条件下沒有保护涂复时可以采用。
合 鋼 鋼	鋁硅合金	—	—	—	輕微腐蝕，在一般和恶劣条件，需要某些补充保护。
碳素鋼和低合金 鋼	經過天然 老化的杜 拉鋁	錳鉄合金	含有鋅， 鋁和鎂的 合金	—	可以腐蝕，沒有保护層时，不能采用。
含有硫氧化物及 气体的鉄	含大量銅 鋁和鉄的 合金	經常采用 的一种鎂 合金	—	—	腐蝕性特別强，須有严格保护的条件下才可以采用。

3. 允許和不允許的电化偶。

在电訊設備中，由不同金屬制成的另件常常相互接触（如用金屬另件裝合成部件或整机），这就导致了电化偶的形成，它可能会加速金屬另件的腐蝕。

工作在一般条件，恶劣条件及海上条件下的金屬另件，其允許和不允許的电化偶分別見表 2—5 和表 2—6。

表 2—5 不允許的金屬电化偶表

主体金屬和合金	補助金屬与合金可以与主体金屬合成电化偶者
鋁和鋁合金	銅及銅合金，銀，金，鉑，鈮，鈳，錫，鎳，鉻。
鉄鋁合金	合金鋼及非合金鋼，鎳，銅，鉛，錫，錫鉛合金，金，銀，鈉，鎳，鉻。
鋅和鋅合金	銅及銅合金，銀，金，鉑，鈮，鈳。
普通鋼，錫，鉛， 錫鉛合金，錫	銅，銀，金，鉑，鈮，鈳。

表 2—6

允許的 金屬電化偶表

主體金屬與合金	與主體金屬和合金可以形成電化偶的金屬與合金
鋁和鋁合金	鎂和鎂合金，鋅和鋅合金，鎢，普通鋼。
鎂和鎂合金	鋁和鋁合金，鋅和鋅合金，鎢。
鋅和鋅合金	鋁和鋁合金，鎳鉻合金鋼及普通鋼，鎂鉛合金，錫鉛合金，鎢，錫，鉛
銅和銅合金，銀，金，鈷，鉑，鈾。	這些金屬及合金間的任何配合，以及與鉻，鎳，高合金鋼之配合。
銅及銅合金，銀	當釐焊時，與錫鉛合金間的任何配合。
鉻，鎳，合金鋼及普通鋼，錫，鉛，錫鉛合金，鎢。	這些金屬與合金間的任何配合。
普通鋼	與帶有潤滑油操作的銅合金的配合。

當按照結構圖連接金屬另件時，當某些另件必須形成不允許的電化偶，而又不可能採用保護塗復時，則在另件之間應當放入絕緣墊衬。

II. 電鍍和化學塗復的選擇。

根據實際使用和實驗的結果，對於各種電鍍和化學塗復的特性及應用範圍，在國家標準中都作了詳細的規定和說明。因而，設計者欲能正確的選擇所需塗復種類，必須熟知國家標準中的規定和說明。為此，下面特從國家標準中摘列出鍍鋅、鍍銀和鋁的化學氧化等幾種塗復的規定和說明（表 2—7），作為設計者熟知國家標準的參考。

除上述三種電鍍塗復外，在電訊工業中，還用到其他一系列電鍍和化學塗復，現將它們的特徵和應用範圍簡述如下。

鍍鎳：在一般條件下使用設備時，鍍鎳屬陰極塗復，故其保護性能不如鍍鋅好。

在海洋蒸汽飽和的環境中和在海水中使用時，鍍鎳和陽極塗復是一樣的。而且在這些條件下比鍍鋅耐久，鍍鎳性柔軟，彈性高，容易焊接，如果嚴格的遵守熔接規程，則可熔接。

鎳鹽有毒并很缺乏，所以僅在海洋氣候條件下才選用鍍鎳。由於鎳具有潤滑性能，故在需要緊密裝配的、重要而精確的另件上可選用鍍鎳。

在有硫化物的環境中，不允許採用鍍鎳。在封閉的整機中，尤其在密封的整機中，塗過阿立夫油或浸過干性油的另件，鍍鎳是不耐久的。這時，必須將另件再塗上熱干燥清漆。

鍍鋁：是保護裝飾性塗復，對鋼質制品是陰極保護，故只有在良好條件下，並具有大的塗層厚度（12—15微米）時，才可能用作保護塗復。對銅及銅合金鍍鋁則是陽極保護，故具有良好的保護性能。

鋁具有很好的接受拋光特性，故可給予另件以美麗的外觀。

鋁塗復的硬度接近於熟鐵的硬度，因此，鋁塗復的耐久性要比鍍鋅好得多。鋁塗復

表 2-1-7

电镀和化学涂复的分类、特性、应用范围和标记

零件材料	涂复用途	保	护	銅及銅合金	鋁及鋁合金 (硅鋁明合金, 杜拉鋁)
涂复种类	保	护	特	殊	保
涂复种类	鍍	鍍	鍍	涂	化
涂复特性	鍍鋅屬於陽極塗復類, 在大氣條件下, 塗復具有高度保護性能。在海水和蒸氣的環境中, 鍍鋅不如鍍銅耐久。	鍍鋅具有中等硬度, 能承受折彎、擴展。但經受不住壓, 剛電鍍的鍍層, 可以熔接 (如果正確遵守工藝規程也可以錫焊)。鍍鋅不耐磨, 其保護性能在 -70°C 以下降低, 在 $+250^{\circ}\text{C}$ 以上時, 鍍層性脆, 鍍鋅能溶解在酸和碱的媒介中, 它的修飾性質不高, 鍍鋅的本色為淺灰色稍帶淺藍色, 隨時間而逐漸變暗; 在潮濕的大氣下, 鍍鋅另件會生成白色的氯化鋅層, 它不會降低塗復的保護性能。鍍鋅另件表面可能是無光澤或是有光澤的, 光澤鍍亮鋅于電解液中加入特種混合物即可 (底層金屬不磨光, 亦不拋光)。	鍍鋅具有高度化學穩定性和導電率, 在很長時間內可以保證高度的導電率。	鍍鋅具有高度化學穩定性和導電率, 在很長時間內可以保證高度的導電率。	用化學氧化取得的氧化薄膜, 其保護性能和附着性能比用電化學方法取得的氧化膜低。
	涂复特性	比較可靠方法是先鍍鋅, 隨後鈍化成紅色。塗復的保護性能是根據其厚度而定, 在浸阿立夫油的另件和用漆布包封的整件, 特別是在密封時, 塗復層是耐久的, 在這種情況下, 必須把另件塗上熱干燥噴漆。	鍍鋅具有高度化學穩定性和導電率, 在很長時間內可以保證高度的導電率。	鍍鋅具有高度化學穩定性和導電率, 在很長時間內可以保證高度的導電率。	用化學氧化取得的氧化薄膜, 其保護性能和附着性能比用電化學方法取得的氧化膜低。
涂复特性	比較可靠方法是先鍍鋅, 隨後鈍化成紅色。塗復的保護性能是根據其厚度而定, 在浸阿立夫油的另件和用漆布包封的整件, 特別是在密封時, 塗復層是耐久的, 在這種情況下, 必須把另件塗上熱干燥噴漆。	鍍鋅具有高度化學穩定性和導電率, 在很長時間內可以保證高度的導電率。	鍍鋅具有高度化學穩定性和導電率, 在很長時間內可以保證高度的導電率。	鍍鋅具有高度化學穩定性和導電率, 在很長時間內可以保證高度的導電率。	用化學氧化取得的氧化薄膜, 其保護性能和附着性能比用電化學方法取得的氧化膜低。

涂复种类	使用条件类别	鍍			暗			鍍			鍍時鉍示鈍化呈紅色						—			帶氧化成淡綠色		
		良好	一般	恶劣	良好	一般	恶劣	良好	一般	恶劣	良好	一般	恶劣	良好	一般	恶劣	良好	一般	恶劣			
鋼紙的涂复記	涂复記号	3.11.19	3.11.20	3.11.35	3.12.10	3.12.20	3.12.35										2.57		2.57条硝化纖維漆或特种磁漆。			
涂复(微米)	厚度	7—10	15—20	30—35	7—10	15—20	30—35										—		—			
应用的	涂复範圍	虹色鍍鉍，对于无特殊修飾要求而在潮氣下使用的或要油漆的另件是可靠的防銹涂复。 当部件連接需要电气接触点的条件下（特別在超短波裝置中）的另件和組件以及裝配时浸錫的另件适用鍍鉍（不鈍化呈紅色）。																				
特殊条	件	为了防蝕，广播設備无須涂复。有外螺紋和內螺紋的另件；在涂复后，留有密封的涂复層时，允許用螺紋扳牙和絲鏈来加工。 要求油漆的另件和部件的鍍鉍在各种使用条件下，其厚度均为 7—10微米。																				
特	條	根据需要在某些特殊情况下，鍍層的厚度可增大或减少并將其記入标記內。																				
		磁漆的名称和標記在圖紙中有說明。																				

能抵抗碱及弱酸溶液的作用，但不易焊接和涂漆。

对于鋼制另件常把涂复作成多層的，即先鍍銅再鍍鎳，以提高保护性能。

鍍銅：由于銅和鉄的电化电位差很大，所以鍍銅不能用来作为单独防护黑色金屬另件生銹用。

鍍層有中等硬度，能經受弯曲、引伸和扩孔，新鍍層上容易鍍錫，焊接和拋光。鍍層具有高度附着力，所以在多層保护中作为底層。在空气中鍍層容易氧化和变黑。

鍍黃銅：鍍黃銅就是在另件表面上鍍以銅鋅合金的过程。

鍍黃銅很少被用作裝飾涂复，只有另件在良好条件下才使用，鍍后須进行拋光及表面氧化。

鍍黃銅大都被用作特殊目的涂复，如將鍍黃銅用来在將鋼制另件压入橡皮时，使易于附着于橡皮。

鍍層的一般厚度为2—5微米。

鍍鉻：属于保护涂复和特殊涂复。对于黑色金屬，鍍鉻是陰極保护，而对于銅及銅合金則是陽極保护。

鍍鉻層具有良好的附着力，很高的硬度，耐磨性和耐热性。

鉻層能良好地拋光，甚至在高温时（400—500°C）亦不失去光澤。

由于鍍鉻电解液的扩散性能很差，所以形状复杂的另件上鍍鉻是困难的。

对于傳导电流的另件，不采用鍍鉻，因为鉻具有較大的比电阻。

为提高鍍層的保护性能，对于鋼制另件，一般使用多層涂复——銅、鎳、鉻。对于銅制另件，有时亦采用多層涂复——鎳、鉻。

用Π0С—20型鉛錫合金电镀：属于特殊涂复，对于鋼制另件是陰極保护，对于銅及銅合金則是陽極保护。

鍍層具有与基础金屬良好的附着力、良好的彈性和在一般及海上条件下的化学稳定性。

該种电镀常用于既要进行焊接又須防蝕的另件中。

鋁及其合金的电化学氧化：属于保护涂复和特殊涂复类。所得鋁的氧化膜具有良好的抗蝕能力，具有高的硬度和电絕緣性能。

由于薄膜与基础金屬具有牢固的附着力，并能牢固的涂上油漆，故常用作油漆前的打底。

化学鍍銀和鍍銅：在印刷电路的生产中（參見第十八章），得到了广泛的应用。在涂复前先对絕緣基础另件进行表面准备（經受脫脂和噴砂加工），然后将絕緣基础另件沉入涂复用金屬盐溶液中，当金屬从金屬盐溶液中还原出来后即沉积到另件的表面上。

通常在用化学法涂复金屬薄膜后，还須进行电镀加厚。

氧化：在另件表面形成原始金屬的氧化薄膜的过程，称为氧化。薄膜的厚度約为1微米。在氧化时另件的尺寸不改变。

鋼制另件的氧化膜是黑色的。鋼及銅另件的氧化，仅用在不具有焊縫的制品中作为裝飾的目的。涂复的抗蝕性很弱。

鈍化：是形成氧化薄膜的过程。另件鈍化后在外表上得到虹的颜色，它属于保护性

涂复。

磷酸盐化：即是在鋼的另件表面形成磷酸盐薄膜的化学过程。薄膜的表面粗糙，具有高的吸附作用，故可作为油漆前的打底層。

磷酸盐化实际上不改变另件的尺寸。磷酸盐薄膜不导电，不能焊接，不能經受冲击及不允許在摩擦的状态下工作，所以磷酸盐处理是不用来作最終涂复的。

硝化：是用氮来使鋼饱和的扩散过程，它在較高温度（600—700°C）的气态媒質中进行。

硝化是鋼在工業大气、河水中抗蝕性很好的保护物，但不适用于海上条件下工作的另件。它能很好的抵抗弱碱溶液的作用，并具有較高的磨損强度。

从上所述，可以看出，一个設計者欲能正确地选择复盖的种类和加工处理的方法，必須知道：

1. 制造另件的材料（見表 2—7）；
2. 金屬复盖的保护特性及复盖所要达到的要求；
3. 使用条件（見表 2—1 和表 2—7）；
4. 各种金屬的耐锈性（見表 2—4）；
5. 允許和不允許的电化偶（見表 2—5 和 2—6）；
6. 一切电鍍層都不是均匀的。

另件的內部涂層一般均比外部涂層薄，而未穿通的孔及深孔处，很难或不能涂复。这些地方建議噴油漆或涂复磁漆。

7. 有縫隙的組件（如由螺絲連接、搭接及鉚接等方法裝合成的組件）一般不宜采用电鍍涂复，因为电解液流入縫內就很难全部清除，当存放或使用时要吸收潮气，使产生腐蝕現象。

对于气焊或电焊連結的組件，建議采用磷化酸油漆。在具有电气接触或制品表面在工作中需要受到摩擦的情况下，采用在电鍍后，接縫处用油漆或磁漆涂复的方式。

8. 用型砂或硬模法鑄造的黑色和有色金屬另件不允許作防腐蝕或保护——裝飾用的金屬电鍍。

9. 帶有螺紋和三級精度的另件，送去表面处理时，不应有很厚的氧化層。因为在去除了很厚的氧化層以后，将使螺紋或另件的精度遭到破坏。

10. 送表面处理的另件应預先考虑到公差配合問題，因为电鍍前的处理会使另件外部尺寸减小，而电鍍会使另件外部尺寸加大。由于鍍層厚度很难精密控制，所以对于要求公差配合特別严格的另件，一般應該用無須电鍍涂复的金屬来制造。

III. 复盖的工艺

1. 复盖前的表面准备：

表面准备的好坏，直接影响着另件复盖的質量，如果准备工序进行得不好，就可能涂复不上或涂复層与基体金屬間附着不牢固。

各种准备工序的特征和应用范围如表 2—8 所列。

2. 电鍍及化学涂复工序：

各种电鍍和化学涂复的工艺，都已为国家标准化了。此处我們仅列出最常用到的

表 2—8

准备工序的特征, 应用范围和标记

材料名称	工序名称	工 序 特 性	工序标记	应 用 范 围
銅 銅 及 其 合 金 ， 鋁 及 其 合 金	化学去油	除去零件表面油污的工序称为去油。油脂分两类。 (1) 动物及植物油脂，可用碱溶液去除。 (2) 用有机溶剂可以溶解的矿物油。因此去油这道工序总是要在有机溶液和碱溶液中进行。	0.1	用作零件表面去油。 (1) 在金屬涂复前或在涂漆前施行。 (2) 作为退火，回火，焊接，油淬火等工序之前的中間工序的加工。
	电化学去油	电化学去油就是借助电流在碱溶液中去油。 这种方法比用化学方法在碱溶液中去油的效果较好。	0.2	用途同上。
	化学腐蚀	除去金屬零件表面氧化物和露出底层金屬的方法称为腐蚀。 去除氧化物可用化学方法或电化学方法。在很多情况下，电化学方法比化学方法效果更大。腐蚀后零件表面重新氧化的倾向很大，特别是非合金鋼制另件更是如此，所以涂复前对零件进行腐蚀必須将零件放入鍍槽内之前进行。在其他情况下必須用防腐溶液（钝化）进行最后加工或将零件表面涂油。 进行腐蚀时另件厚度可能减薄，对于氧化層紧密的另件更是如此。金屬被腐蚀常常从零件尖锐的边角开始。	0.3	采用本工序是为了除去很大的氧化層，該氧化層是在进行金屬和化学涂复前，零件在空气中自然氧化而形成的，采用本工序亦为了松散大部分热处理及所形成的氧化層。 在某些情况下，化学腐蚀用作在切螺紋、熔焊或钎焊前的中間加工用。 采用化学腐蚀是为了在涂复前除去合金鋼与有色金属零件表面上的氧化物，同时也作为零件不进行涂复时的最后工序。 装配結構不应采用腐蚀。 有机械加工面，螺紋或焊缝的另件和部件不应有很大的氧化層。
	陽極腐蚀	挂在陽極上的另件腐蚀过程称为陽極腐蚀。 采用陽極腐蚀的方法与采用化学腐蚀的方法相同，可以达到腐蚀表面的作用。經過陽極腐蚀后，表面便成粗糙，这样就能更好的与鍍層联結起来。 电化学腐蚀比化学腐蚀效果大，腐蚀大零件时尤其显著。	0.5	采用本工序是为了除去大部分的氧化層，該氧化層是零件在空气中自然氧化而成的，本工序尤适于在无陽螺紋的，简单的和中等复杂的零件上施行。 对装配結構与部件不采用腐蚀。
	化学浸酸	从金屬表面除去氧化物薄膜的过程称为浸酸，与腐蚀相比，則浸酸是个時間較短的工序。	0.7	采用本工艺是为了另件放入鍍槽前，从它的表面去除氧化薄層。 (1) 在化学腐蚀后进行。 (2) 代替腐蚀（另件表面有氧化薄膜时）。 鋁及其合金不采用。
	电化学浸酸	电化学浸酸是借助于电流进行酸洗的过程。 电化学方法与化学方法相比，則电化学浸酸的效果更好，后者能保证鍍層与另件表面更好的附著。	0.6	

表 2-8 (續)

材料名称	工序名称	工 序 特 性	工序标记	应 用 范 围
銅 鋁 及其合金	机械磨光	磨光是一种机械工序，用該工序可以从另件表面消除大的粗糙情形，以及消除綫紋創伤及不平的現象。經磨光后表面平整光滑。 在进行磨光时，材料的厚度和另件的尺寸可能减少，尖锐的边和角可能磨平，孔可能扩大的这些情况都是根据另件表面（加工精度）和结构的情况而定。	0.10	采用本工序是为了除去另件表面較大的粗糙，綫紋，創伤以及不平的現象，主要是在有光澤保护裝飾涂复（鍍銀，鍍）前进行。 在某些个别情况下，根据工艺师和設計师的意見可將它作为单独的工序。例如：磨光联合的表面，磨滑动的表面等。在某些情况下，另件尚为毛坯即加以磨光（例如另件尚为片状时）。 单独工序的质量，其磨光另件表面光潔度，应符合圖紙的規定。 送进車間的涂复另件，其表面光潔度应不低于 6 級。
	机械抛光	抛光是一种机械工序，經抛光后表面有光澤。抛光对材料厚度的損耗很小，1~3 微米。 用特种砂輪机进行磨光和抛光。 机械磨光和抛光是所有各种表面处理中最費錢的方法。所以采用时必须要在技术上应做到合理正确。	0.11	用于最后平整表面及在光澤涂复时底層金屬表面的准备，以及涂复精加工。在表面情况良好时，抛光可做为单独的工序采用。 机械抛光应用在鋼及有色金屬另件，当对表面精加工有特殊要求时，作为最后的工序。 进行抛光另件的表面，其光潔度的級別，按国家标准应附合圖紙的規定。 另件抛光的表面光潔度，应不低于 10 級。
	电化学抛光	从另件上去掉細致的粗糙表面，并借助电流在特种溶液中使另件表面具有光澤而采用的电化学的过程称为电化学抛光。 目前抛光技术仅可除去金屬表面層的細紋，它并不能代替磨光。 在电化学抛光时，同时可抛大量和各种形状的另件，但用机械抛光时，一次只能抛一个另件或小批另件，而且抛复杂形状的另件时就很难。	0.12	用于除去另件表面上的細紋，并使其具有光澤，以及代替机械抛光。

表 2—8 (續)

材料名称	工序名称	工 序 特 性	工序标记	应 用 范 围
鋼、銅及其合金，鋁及其合金，鋅及其合金	噴砂加工	用压缩空气使另件表面受到干砂流打击而除去氧化物的工序称为噴砂加工。 經過噴砂使另件表面去掉不平小凹痕及輕微的裂伤，使表面粗糙均匀且无光澤。 噴砂加工保証金屬另件和涂層之間有良好的附着力。 該項加工的缺点是：由各种軟質黃銅，鋁及类似金屬制的另件与部件的外形有打坏的可能。	0.13	在进行保护和特种无光澤涂复前，例如鍍錫，鍍鋅，磷酸盐化以及油漆涂复前，做为准备另件时普遍采用的方法。 对于有銲焊及熔錫縫的另件加工，以及对热轧或热冲制的，經過热处理的另件，使用噴砂加工特别合适。
	刷光	用旋轉金屬刷进行表面加工称为刷光。刷光可除去油污，但不能除去机械缺陷：如划痕、凹陷。 用軟金屬（鋅、錫、銀）的电鍍，在刷光后具有少許光澤。	0.14	用金屬刷刷光是为了去掉腐蝕后的腐蝕渣，和松散的氧化物，以便使涂复層光滑和具有少許光澤（鋅、錫、銀）。
	滾光	滾光就是另件在鼓形滾筒里的加工。 依靠另件間彼此的磨擦和与研磨料之間的磨擦来进行清潔表面和除去表面的不平整。	0.15	細小另件涂复前大都用該法处理，或作不需涂复另件的独立最后工序，以及清洗另件的表面。 有陽螺紋和有銳边的另件，以及用軟合金做的薄壁另件不应滾光，以免改变其尺寸。

表 2-9

鋼 質 另 件 鍍 鋅 的 工 艺

工步编号	工序和工步名称	设备名称	电 解 液 成 分			工 作 条 件			特 殊 条 件	
			成分名称	成分化学式	成分含量 克/公升	混合物容	温 度 °C	电流密度 安/公寸		电 压 (伏)
涂复前，根据表面情况按卡片 3； 5； 13； 14 进行零件表面准备										
I 1	1 装在固定槽的夹具上	流水固定槽	—	—	—	—	—	—	—	把用散装的方式准备后的零件装在夹具上。
2	2 化学或电化学浸酸	带边缘抽风的固定槽	1. 盐酸 2. { 硫酸 重铬酸钾	HCl H ₂ SO ₄ K ₂ Cr ₂ O ₇	50—100 80—85 2—3	—	15—25 15—25	— 8—10	— 1—3分 1—3分	把用散装的方式准备后的零件装在夹具上。 电化浸酸比化学浸酸的效果要好。溶液 I 供化学浸用。溶液 II 供电化学浸用。表面经过机械加工的及氧化膜不大的，无焊缝的零件可以按卡片 1 去油及电化浸酸后进行涂复。
3	3 用喷水清洗	有淋水龙头的固定槽	—	—	—	—	自来水温度	—	10—15秒	
II 1	1 镀锌	带活动棒的固定槽或浸于电解液中的罐形槽。	I { 氯化锌 氰化钠 苛性钠 甘油或胶 硫化钠	ZnO NaCN NaOH Na ₂ S	35—45 80—100 60—80 3—5 3—5	—	15—25	2—5	3—4	电解液 I 供表面形状复杂的零件镀锌用。 电解液 II 供经通率火或氟化后的零件及在装配时需要改变形状（弯曲、扩孔等）的零件镀锌用。 这时为避免积聚，表面的准备应该用液桶或喷砂机处理。在 PH=3.8—4.5 下对平形零件进行镀锌时，固定槽中的电流密度由与零件放在同一表面的电流密度计确定。

把用散裝的方式准备后的零件裝在夹具上。

电化浸酸比化学浸酸的效果更好。溶液 I 供化学浸用, 溶液 II 供电化浸酸用。表面經过机械加工的及氧化膜不大的, 无露縫的另件可以按卡片 1 去油及电化浸酸后进行涂复。

电解液 I 供表面形狀复杂的零件鍍鋅用。

电解液 II 供經通凉火或氰化后的零件及在裝配时需要改变形狀 (弯曲、扩孔等) 的零件鍍鋅用。

这时为避免供漿, 表面的准备应該用滾桶或吹砂机处理。在 PH=3.8—4.0 下对本形零件进行鍍鋅时, 固定槽中的电流密度由与零件放在同一表面的电流密度計确定。

表 2-9 (續)

工步編號	工步名稱	設備名稱	電 解 液 成 分			工 作 條 件			特 殊 條 件		
			成分名稱	成分化學式	成分含量 克/公升	濕合物 容	溫 度 °C	電流密度 安/公寸 ²		電 壓 (伏)	時 間
II 1	在氧化電解液 中進行氧化 鍍鋅時需要 有邊緣抽 風。		硫酸鋅	$ZnSO_4 \cdot 0.7H_2O$	200—250		15—25	3—5	3—4	視鍍層厚 度而定	在鍍形槽中鍍鋅時 電流密度為0.5—0.7 安/平方公寸，因此 在鍍電機或整流器端 头上的電壓應不小於 12伏。 在鍍形槽中鍍鋅時 不一定更加光亮。液 為了調整氧化電解液 中的金屬鋅含量，建 議將鋅陽極放在用非 合金鋼製成的網袋內 或換掛鋼陽極、網袋 及鋅陽極放在玻璃布 制的套內。 建議採用網袋，以 便在其中放入小塊的 剩餘陽極。
			鈉明礬或 硫酸鋁	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	30—40						
2	在回收槽中洗 滌	固定槽	硫酸鈉	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	50—100		15—25	—	—	10—15秒	
			聚二磺酸 鈉	$C_{10}H_8(SO_3Na)_2$	1—2						
3	用噴水清洗	帶零件振動裝 置及淋水龍 頭的固定槽	—	—	—	—	自來水 溫	—	—	10—15秒	為了按標記3.11及 3.12在氧化槽中得到 無光澤鍍層，在電鍍 的最後5分鐘，電流密 度為3—20安/平方公 寸，溫度為40—45°C， 陰極和陽極過程時間 (秒)的比例應為 10:1。

表 2-3 (續)

工 序 編 號	工 序 和 工 步 名 稱	設 備 名 稱	電 解 液			成 分			工 作 條 件			特 殊 條 件
			成 分 名 稱	成 分 化 學 式	成 分 含 量 克/公升	混 合 物 容 積	溫 度 °C	電 流 密 度 安/公 寸	電 壓 (伏)	時 間		
III	1 鍍層浸亮	固定槽 帶零件振動裝 置及淋水龍 頭固定槽 ” 有熱空氣循環 的干燥箱或 离心机 工作台	硝酸	HNO ₃	20-30	—	15-25 自來水 溫度	—	—	2-3 秒 10-15 秒		
	2 用噴水清洗		—	—	—	—	—	—	—	10-15 秒		
	3 用噴水清洗		—	—	—	—	70-93	—	—	—		
	4 干燥		—	—	—	—	—	—	—	—		
	5 从夾具上卸下		—	—	—	—	—	—	—	—		—
IV	1 檢驗	工作台	—	—	—	—	—	—	—	—	技术要求見 NE9.014.001	

鋼質制品上鍍鋅和銅質制品上鍍銀的工藝過程，作為典型的例子。

銅質零件的鍍鋅工藝：如表 2—9 所述：

銅質零件的鍍銀工藝：首先根據零件表面情況和對鍍層的要求選擇表 2—8 中所述的有關準備工序把零件的表面準備好，然後送去電鍍。為了去除零件在存放或運送過程中，其表面可能形成的很薄的氧化膜，在電鍍前應把零件放入濃度為 50 克/公升的鹽酸中腐蝕，隨後用噴水沖洗干淨。

為了使銀能牢固的鍍在鍍件上，應將鍍件先在 AgCN 與 KCN 的水溶液中汞齊化，使鍍件表面產生一薄層水銀膜，這層水銀膜能使電鍍的銀層牢固的附着在鍍件上。

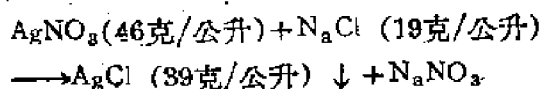
汞齊化後，應用噴水將鍍件洗淨，然後才可放入電鍍槽液中进行電鍍。

一般最常採用的氰化鍍液，其配方和工作規範如表 2—10 所列：

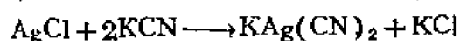
表 2—10 鍍銀用氰化鍍液的配方和工作規範

成份名稱	化學分子式	含量 (克/公升)	電壓 (伏)	電流密度 (安/公寸 ²)	溫度 °C
氯化銀	AgCl	39	2—2.5	0.1—0.5	18—25
氰化鉀	KCN	70			
碳酸鉀	K_2CO_3	38			

其中氯化銀與氰化鉀是電鍍液的主要成份，碳酸鉀是提高電鍍液導電率的，它們在配製成氰化鍍液的过程中變化情況如下：

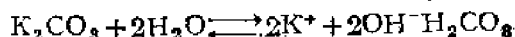


AgCl 是白乳黃色的沉淀，待完全沉淀後，用虹吸管將溶液吸出，再將剩在器皿底的 AgCl 沉淀，用水清洗 2—3 次，最後移置于配製好的 KCN 溶液中，此時化變結果產生了絡鹽銀氰化鉀。其反應如下：



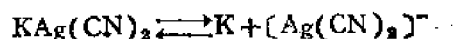
按反應式，每 39/公升的 AgCl ，只須加 35 克/公升的 KCN 即能反應完全了。但鍍銀液需要很豐富的 K^+ 及 CN^- 離子，所以實際上，往往在鍍銀液中加入的 KCN 數量為反應所需量的兩倍。

在電鍍液中的 K_2CO_3 與水化合後，就產生了 KOH ，結果就使電鍍液的導電率提高了，它的反應是：

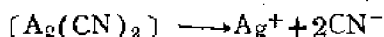


由於 K^+ 和 OH^- 離子的作用，使鍍液的導電率提高了，從而就加快了電鍍的速度。

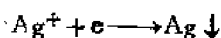
在電鍍過程尚未開始進行時，鍍槽內的絡鹽是經常處於游離狀態的，該情況可用下式表示：



电镀开始后，銀氰的負离子即向鍍槽正極游离，并自行分离，如下式所示：



这时，銀正离子即向負極（鍍件）游离，在鍍件上放电，并沉积在鍍件上，如下式所示：



这样，鍍件上就鍍上了一層銀。

鍍液中的KCN之值，随着电镀过程的进行将逐渐减少。所以，电镀液应經常校正，即应經常添加KCN以作补充，这才能保证鍍液始終处于良好的工作状态。

IV. 涂复質量的檢驗：

对于电镀和化学涂复采用以下的檢驗方法：

1. 涂复外形的檢驗：一般都是用肉眼来断定的。

2. 試驗复盖金屬与基础金屬間的附着强度一般可以用下列方法来进行：

1) 在零件表面上刻上交叉伤痕(深到基础金屬)的方法：如果在伤痕交叉的地方，复盖層不掉皮和不起壳則附着被認為是良好的。

2) 反复曲折片状材料成 90° 的角度，直到折断为止。如果涂复層与主体金屬的连接长度为折断处长度的95%，則附着力被認為是良好的。

3) 用金屬綫試驗的方法：它是把金屬綫环繞在和金屬綫直徑相等的园軸上，一般可环繞10—15匝，如果不發生涂复的裂痕，附着被認為是良好的。

3. 确定涂敷厚度的方法：

1) 定期液流法：涂复層在特定溶液的作用下被溶解，由于溶液的細流按照規定的速度和力量流到被試驗零件的表面上。所以涂复層的厚度即可根据在試驗处涂复層被溶解掉所花費時間的长短来算出，該法的精确度为 $\pm 10\%$ 。

2) 容量液流法(按照耗費溶液的容积)。涂复的地段在溶液的作用下被溶解。溶液按照規定的速度和力量流出，并以細流形式流到被試驗零件的涂复表面上。厚度的計算是根据在試驗地段涂复層被溶解尽所耗費的溶液容积来进行的。該法的精确度为 $\pm 15\%$ 。

3) 点滴法：是在涂复地段上，經過一定時間間隔，連續加上溶液点滴，同时使每一点滴在涂复層上保持一定的時間，于是涂复地段被溶液点滴所溶解。涂复厚度的計算是根据所耗費的点滴数来进行，該法精确度为 $\pm 20\%$ 。

4) 退鍍法：是在不会損伤主体金屬的溶液中，除去要决定厚度的涂复層。根据所除去涂复層的重量和所除去的涂复層的面积来确定平均的厚度。

5) 在用磁性金屬制成的零件上，非磁性涂复層的厚度可以利用 THIC—1型仪器（具有电磁發送器）的原理来測量。（即鍍層厚度測試仪）

4. 涂复層多孔性的确定方法。

1) 印迹法：

在制品表面上紧貼上一張被溶液潤湿的过滤用紙，这种溶液和主体金屬离子化合时，可以在紙上显示顏色。根据在一平方厘米上出現点迹的数量来确定多孔性。

2) 浸染法：与印迹法的区别是用含有相应試剂的明胶溶液来代替过滤用紙。

§2--4 油 漆

油漆复盖就是指在零件表面上涂上一层或数层完整的油漆薄膜，这些薄膜在一定的温度下烘干或自然凉干。

这层漆膜可以保护零件不受腐蚀，也可给零件美丽的外表和必要的颜色标记。

一般说来，油漆复盖层在化学稳定性能上，是比金属复盖层高的，因此具有更好的抗蚀性，从工艺观点出发考虑，对于表面面积很大的机件，油漆要比电镀或某些化学复盖方便得多。这些都是油漆复盖得到广泛使用的原因。

油漆复盖的缺点是：它的机械强度比一般金属复盖层要小得多，并且油漆复盖层无法获得金属复盖层的某些特性（导电性，可焊接性等）。因此它的应用范围受到一定的限制，一般说来，油漆复盖常用于符合下列条件的器件中：

1. 不会受到很大的机械作用。
2. 没有摩擦或滑动的表面。
3. 不要求准确的公差及配合。
4. 机械装合时，不要求进行导电。
5. 不需要进行焊接。
6. 一般说来，不应受到高于 200°C 的加热（一些专用的耐热油漆，不受此限制）。

I. 油漆的种类：

从选用的观点出发，可大致把油漆按用途分成以下几类：

1. 浸渍用油漆：

常用的有环氧树脂绝缘漆，沥青型绝缘漆等。用于变压器、电机绕组的浸渍。

2. 保护、标志及绝缘用油漆：

包括涂复电阻器用的各种电阻漆及涂复电容器用的各种电容器磁漆等，常用浸渍或喷漆的方法进行涂复施工。

3. 保护、装饰用油漆：

包括各种类型的磁漆、硝基漆、清漆、珐琅漆、皱纹漆、锤纹漆及防锈漆等。常用刷涂、喷漆、沉浸或滚压法进行涂复施工。

4. 专用油漆：

如专为硅钢片绝缘用的硅钢片清漆，专为生产漆包线用的漆包线漆及专为胶木化用的胶木漆等。

上面提到的各种油漆施工工艺和电镀及化学涂复一样，也已经标准化了，所以，在这里只做简要的介绍。

II. 油漆涂复工艺：

油漆涂复的工艺过程包含以下几项操作：

对油漆表面的准备、打底、磨光、油漆和干燥等。

1. 对油漆表面的准备，包括：

- 1) 用金属刷或喷砂加工来清洁表面。亦可用磨光砂纸清洁。
- 2) 腐蚀，随后应中和和清洗。

3) 去油。

2. 打底：零件的表面准备好以后就进行打底，它是保证涂复层与基础材料间有良好的附着力的工序。打底以后就进行干燥，然后用油灰填平零件表面的缝隙。用油灰平底是为了填塞不平的粗糙的伤痕。平底以后把制品干燥和磨光。

3. 磨光：表面是用下面的研磨料来磨光：天然的浮石、刚玉、金刚砂（后面两种主要是做成磨光砂纸的形式）。磨光可以有干的和湿的（带水的）。

磨光结束后，表面被清洗和烘干。

在高质量的涂复操作时，打底和磨光要反复进行 2—3 次。

4. 油漆：在磨光好的表面上涂复油漆。

5. 干燥：干燥最常用热空气或红外线来进行。

在大多数的情况中，最终的涂复油漆层要涂复和干燥好几次。（亦即重复步骤 4. 及 5. 好几次）。

油漆是在专门的油漆室中（装置有良好的通风设备）进行。涂复的方法列于表 2—11 中。

表 2—11

油漆涂复的方法

方 法	应 用 范 围	优 点 和 缺 点
用小刷油漆	各式各样的制品	简单并可以油漆任何尺寸的制品。 劳动量大和不高的生产率
用沉浸法油漆	尺寸不大的流线型制品	简单和高生产率
空气的喷雾（喷涂）	各种形状和尺寸的制品	高的涂复质量，高的生产效率，但漆料的损耗和溶剂的损耗均较大，且须设置装有鼓风设备的专用小室
用滚压法油漆（用橡皮的辊轴）	用平板材料做成的另件（特别适合于在漆层表面需要做出美丽的花紋处）	用以对于形状不复杂的另件

最近日益广泛地采用在高压电场中的喷漆的方法。这种方法可以使油漆过程自动化，减少油漆的耗費大約为 30—50%，并且可以获得较均匀的涂層。

这个方法的实质是：在电极系统中，其中一极是需要油漆的制品，而另一极是起量的电极，一般都是在起量电极的电极网上加上负电压，而把正电压加于制品。

油漆从喷雾器喷入电场中后，油漆的微粒即得到负电荷。这时，微粒就沿着电力线运动，最后落附处于正电位的制品表面上。

在这部设备工作时所要求的电流，当电压为 100—130 千伏时，不超过 5 毫安。所以，电能的耗費是非常小。

最后，我们把油漆工艺过程的程序列于表 2—12 中供参考。

表 2—12

用油漆来涂复另件

操 作	設 备	在 $t=100-120^{\circ}\text{C}$ 时的干燥时间 (小时)	材 料
清潔	噴砂設備	—	
去油	工作台	—	白节油
打底	噴射小室	—	M—138号打底漆
干燥	烘箱	0.6	—
局部平底	工作台	—	平底 AM
干燥	烘箱	1.0	—
砂磨	工作台	—	砂布
平底	工作台	—	AM 平底料
整个的第一次干燥	干燥箱	1.0	—
砂磨	工作台	—	砂布
平底	工作台	—	平底料
第二次干燥	烘箱	1.0	—
磨光	工作台	—	砂布
打底	噴射小室	—	M—138号打底漆
干燥	烘箱	0.6	—
第一次油漆	噴射小室	—	相应色彩的油質磁 瑯漆
干燥	烘箱	1.5—2.5	
輕磨光	工作台	—	浮石粉砂布
第二次油漆	噴射小室	—	相应色彩的油質漆
干燥	烘箱	1.5—2.5	—

第三章

浸漬、灌注、蘸漬和密封

§3-1 引言

从第一章所述，我們已經知道，潮气对無綫电另件、部件和整机有着相当大的危害作用。为了防护潮气对于無綫电另件、部件和整机的影响，常采取下列工艺措施：

1. 浸漬；
2. 灌注；
3. 蘸漬；
4. 塑料压封；
5. 密封。

浸漬：將絕緣材料的裂縫、空隙、小孔、毛細管和結構間的空檔，以及另件和部件結構單元間的空隙（如繞組匝間的間隙），用不吸濕的電絕緣材料填滿的工藝措施叫浸漬。

浸漬除能防潮外，還可以：

1. 提高纖維絕緣材料的抗電強度。因為纖維絕緣材料的击穿電壓主要決定於材料間的空氣。用絕緣性高的浸漬材料代替空氣就使制品的抗電強度提高了。
2. 提高另件、元件、器件的機械強度。因為用浸漬材料可把綫匝、繞組、磁路片等固定起來，消除相互間的位移和變壓器的“嗡嗡”聲。
3. 提高纖維絕緣材料的热穩定性，延緩了因干燥過度所致的热破坏時間。
4. 改善了傳熱性。纖維材料因細孔中充滿空氣所以傳熱性很小，浸漬後由於浸漬材料傳熱性較高，就改善了冷卻的條件，使能經受更大程度的加熱。
5. 提高了化學穩定性，如所用的浸漬材料在酸、鹼、氨、氮等蒸汽中是化學穩定的，就可使設備的壽命延長。

但浸漬也增加了繞組的固有分布電容，這對某些綫圈來說是不希望的。然而對製造固定電容器却是需要的，這時就應採用介電常數高的浸漬材料。

灌注：在另件、元件、器件與封閉或不封閉的外殼壁間的空間，用電絕緣材料或混合物填沒的工藝措施叫灌注。

灌注的防潮性能是由灌注材料或混合物的物理性能，灌注層的厚度，通過灌注層的引綫數量等因素決定的。最後一項因素是由於灌注材料與引綫間因綫膨脹系數的差異，形成了毛細管。為了延長潮氣沿這毛細管而浸入的路程，可將引綫做成彎曲的形狀見圖

3-101。

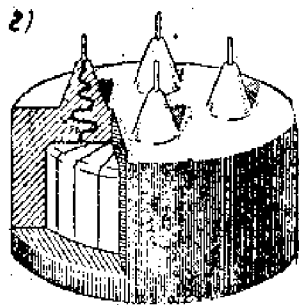


圖3——101 加長在防潮層中引出綫的方法

和浸漬配合使用，灌注的防潮性可显著提高。

蘸漬：在另件、元件或器件的表面上，复盖一層不透水的或憎水性的电絕緣材料叫蘸漬。

作为蘸漬用的材料，应有一定的粘附力，它防潮的程度由材料的物理性能决定。薄的蘸漬層增高繞組的固有分布电容不大，因此蘸漬常用来提高高频綫圈的防潮性能。

为了提高耐湿性，浸漬、灌注、蘸漬可以单独使用或任意配合着使用，这由無綫电设备的用途和使用条件决定。

塑料压封：为了提高另件和元件的防潮性能可将它压在塑料中，用塑料压封是蘸漬的特殊情况。

必須指出，上述几种方法都不能完全消除潮气的侵入，这是由于用来防潮的材料有着多孔的結構，气孔的尺寸超过了水分子的有效直径。在引綫处是防潮層最薄弱的地方，因为相邻材料間線膨脹系数的差异，就形成了毛細管，使潮气很容易渗透到另件和部件的内部。但是上述各项工艺措施在相当大的程度上，使另件和部件的防潮性能得到了提高，所以，在無綫电工業中，它們仍然得到了非常广泛的应用。

密封：这是防护潮气长时期影响的最有效办法。密封时，将另件、元件或一些复杂的装置安装在不透气的外壳—密封盒中。在这外壳上有电和机械的引出端，电引出端是用各种形式的瓷或玻璃的絕緣子，机械引出端是在密封盒外面控制密封盒里面的調諧机构或傳动系統用的如圖（3—102所示）

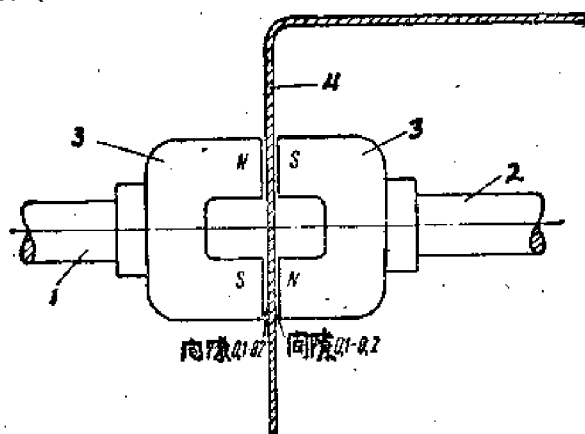


圖3——102控制密封外壳內傳动系統的机构

1——外半軸；2——內半軸；3——永久磁鉄；4——用非磁性能金屬作的密封外壳。

除密封外，無線電設備中還用了各種形式的密閉結構措施，它們可在短時期內防止外界氣候因素的影響。如壁和壁之間的隙縫，軸穿過壁時，軸和壁間的隙縫等，可用橡皮，浸過油的皮革或細毛毯等填塞起來（見圖3—103）

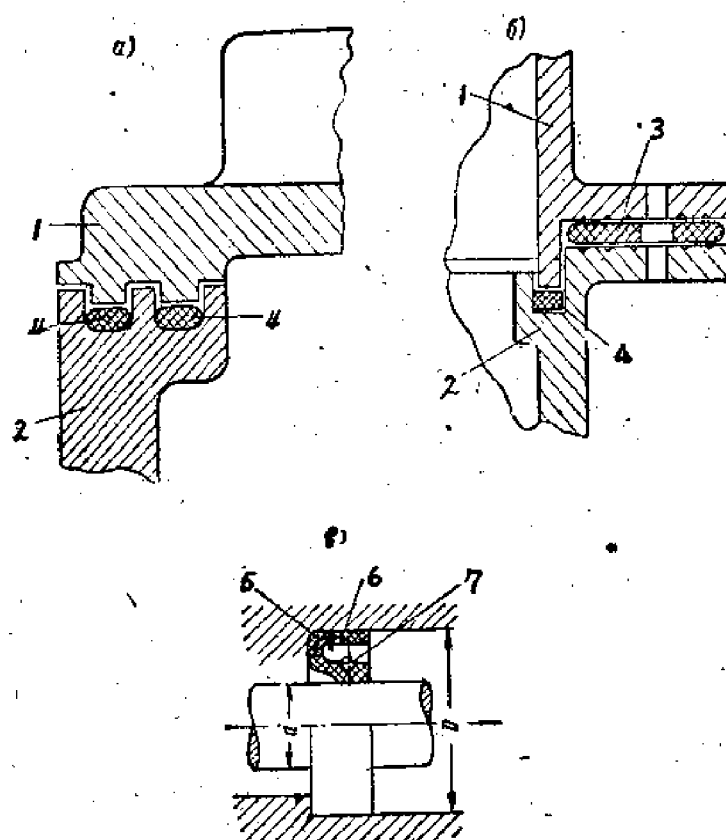


圖3—103用橡皮墊封的方法

- а——用帶形橡皮墊封密封的結構
- б——用平板形和帶形橡皮墊封進行双重密封的結構
- в——軸和壁之間的密封結構
- 1——壳蓋
- 2——壳身
- 3——橡皮墊封
- 4——橡皮帶
- 5——橡皮軸套
- 6——錐形環圈
- 7——螺旋形彈簧

密封和密閉的質量，由工作溫度的範圍、氣壓降低的程度決定。如氣壓的變化只是由於地理條件的差異，在 760 ± 30 公厘水銀柱間，此時對密封盒和密閉的機械強度不提出特別的要求，如外界氣壓降低很多使密封盒受到大的機械負荷，這時就要求密封的結構有大的機械強度。

§3—2 浸漬、灌注和蒸餾用的材料

用作浸漬的材料應有比較小的分子尺寸和粘性。為了減小材料的粘性常加入溶劑

(如石油类碳氢化合物, 芳香类碳氢化合物, 酒精、松节油、醚等), 稀释剂 (如汽油、苯、酒精等挥发性较高的物质) 或将浸渍材料加热。用高分子物质作蘸渍材料, 既使粘性很少也不易浸入制品的细孔和毛细管中。

按照制品的使用条件和用途, 可用不同的浸渍、灌注、蘸渍材料。如:

变压器油: 用来浸渍和灌注在密封外壳中的高压变压器, 由于要通过油的循环来散热, 所以油的粘性应小。

蓖麻油: 用来浸渍纸电容器和灌注有橡皮零件的器材。

电容器油和凡士林油: 绝缘性能高, 可浸渍和灌注高压电容器。

漆清—油清漆: 可用以浸渍各种工作于低频, 不长期经受高湿度作用的线圈。这类漆中耐湿性最高的447号漆用得最广。

1154号漆青油清漆: 耐热性高, 也不受油的溶解, 用作高压变压器的浸渍剂, 可显著提高绕组的绝缘电阻, 结合用变压器油的灌注可保证具有特别高的防潮性。

以合成的热固性树脂为主的许多混合物 (如酚醛树脂、乙烯甲醛树脂、苯乙烯醇酸树脂、环氧树脂、丙烯酸树脂等), 浸渍和灌注工作于低频的制品。将浸渍与灌注或蘸浸结合使用可提高浸渍制品的防潮性。

BI-7 漆和聚苯乙烯漆: 用来浸渍和蘸渍高频电感线圈。

CB-1 漆: 用于印制电路的防潮、浸渍线圈及机械加工后的纸胶板和布胶板。

各种蜡状材料及其混合物 (如纯地蜡、石蜡、纯地蜡—松香混合物, 纯地蜡—松香—石英砂混合物等), 可作浸渍, 灌注和蘸渍的材料。浸渍和同时灌注主要是和密封的或不密封的外壳结合使用的, 蘸渍是用以提高工作温度不大的高频线圈的防潮性。

§3-3 浸渍、灌注和蘸渍的工艺

I. 干燥:

在浸渍、灌注和蘸渍处理前, 须要预先进行干燥, 以除去绝缘材料细孔、毛细管和零件及部件的结构空隙中的潮气, 否则, 在浸渍时将会把潮气封闭在制品的内部, 从而使制品的质量变坏。

用树脂和漆料进行浸渍、灌注和蘸渍以后, 亦需进行干燥, 以除去材料中的稀释剂和溶剂。

干燥的物理本质是除去制造产品所用材料中的潮气。

除去潮气的速度, 可用下式表示:

$$\frac{dM}{dt} = b \Delta C S \quad (3-301)$$

其中: $\Delta C = P_s - P_0$;

$\frac{dM}{dt}$ ———— 从制品表面上除去潮气的速度。

b ———— 除潮系数, 它与去除潮气的气体力学条件, 以及液体的物理性质有关。

S ———— 制品的表面积。

P_s ——在材料表面上水蒸汽的压力。

P_0 ——周围环境中的水蒸汽压力。

由此可见，当周围环境中的水蒸汽压力愈小时，从物体表面除去水份的速度则愈大。所以，最好能在真空中进行干燥。很显然，如果真空度愈高，则干燥的速度亦愈大。上述分析对于去除稀释剂和溶剂的情况，也是正确的。

真空干燥还有一个很大的优点，就是它使水液气化的温度降低了。例如，当真空度为10毫米水银柱时，水液的气化温度则降到 $+15^{\circ}\text{C}$ 。

但是，干燥不能仅认为只是表面蒸发现象。干燥的速度还决定于潮气从制品内部向表面移动的速度，在被干燥的制品中，潮气总是由湿度较高的区域移向湿度较低的区域，潮气移动的速度，正比于湿度的梯度，如果再附加上与湿度梯度同向的温度梯度，则潮气移动的速度将会显著的增大。

所以真空干燥时总是要加热的，但用一般的加热方法在制品中建立的温度梯度是和湿度梯度的方向相反的（即在制品的表面上温度较高）。为了在制品内部建立较高的温度，使温度梯度和湿度梯度的方向一致，在某些情况下，可在变压器线圈内部放一个通电流加热的绕组，或者在线圈骨架的内孔，放一个电加热器，这样可缩短干燥时间二分之一。如热量只能从外面传进去，则可利用热扩散效应，即先将制品整个加热，然后再冷却其表面，使潮气的移动加速，这方法对浸渍大型零件和元件的加速干燥特别有效。

干燥可在下述设备中进行：

1. 空气自然对流的干燥箱：用电、蒸汽或气体加热，温度可达 200°C ，主要缺点是箱内温度不均匀，空气运动速度小，溶剂和稀释剂的蒸汽和敞开的电加热器接触时，有爆炸的危险。

2. 自动调整温度的恒温箱：温度也可到达 200°C ，箱内各点温度均匀，但只能干燥小型制品，此外由于是空气自然循环，增加了干燥所需的时间，所以不适用于生产条件。

3. 强制空气循环的干燥箱：用加热空气的强制循环，不仅能缩短干燥过程，使干燥箱内温度均匀，对含成膜成分的氧化聚合特别有利，这种干燥箱的温度可达 $180-200^{\circ}\text{C}$ ，可自动调整到 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的准确度。图3—301所示是这种干燥箱的结构形式。

4. 用红外线的干燥装置：用于干燥经过浸渍和灌注后敷在制品表面上的薄漆膜，当用这种方法来去除被浸渍制品内部的稀释剂和溶剂时，常常给出相反的结果，因为，当用这种方法干燥时，将会在制品表面上先形成一层妨碍内部挥发性物质顺利挥发的薄膜，红外线干燥装置的示意图如图3—302所示。

干燥后的制品应立刻进行浸渍、灌注或蘸渍，以防潮气再浸入制品内部。为此，现在常使干燥和浸渍、灌注或蘸渍的操作，在同一个装置中完成，这种装置就是最常采用的真空—浸渍装置。制品在此设备中先真空干燥，然后就在真空的条件下浸渍、蘸渍或连同灌注的浸渍，所以它能够避免干燥过的制品在大气中再受潮湿的作用。

5. 真空—干燥箱：在制品受到浸渍以后，可用它来去除浸渍材料中的稀释剂和溶剂。箱中的真空度可达到0.1毫米水银柱，如果再配合着加热，则可使被浸渍制品干燥的过程大大缩短。真空—干燥箱的示意图如图3—303所示。

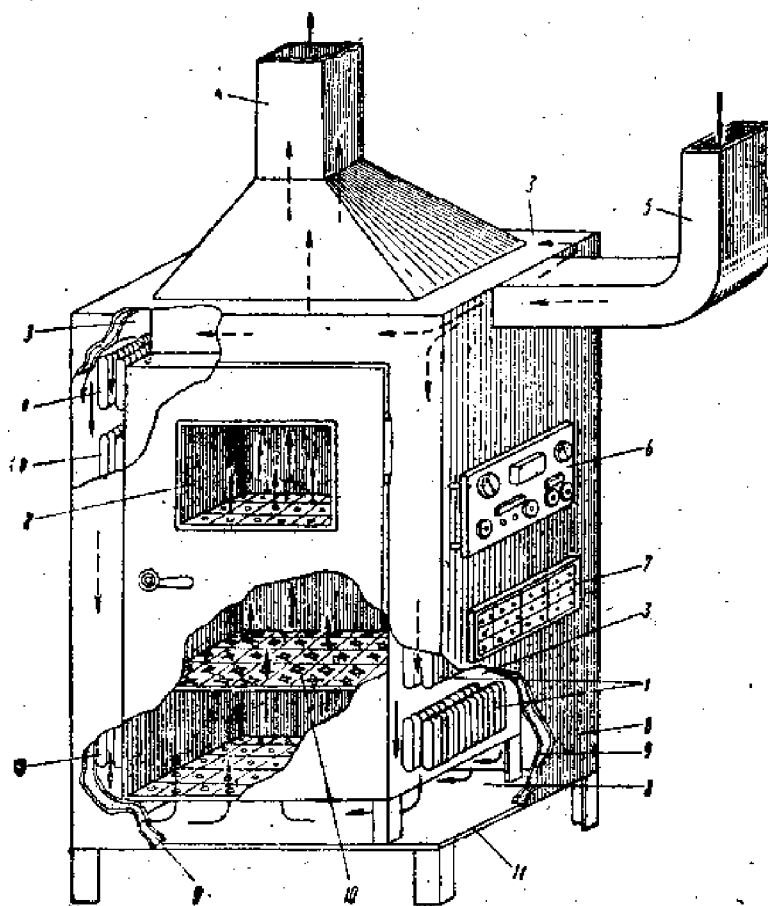


图3——301强制空气循环的干燥箱

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1——加热空气用的电加热器 | 7——接线板(为了供电给在箱内的设备) |
| 2——窥窗 | 8——干燥箱的外壳 |
| 3——装有加热器空气通道 | 9——绝热材料 |
| 4——通风管 | 10——金属板做的栅格架 |
| 5——进风管 | 11——箱底 |
| 6——自动控制干燥状态的控制盘 | |

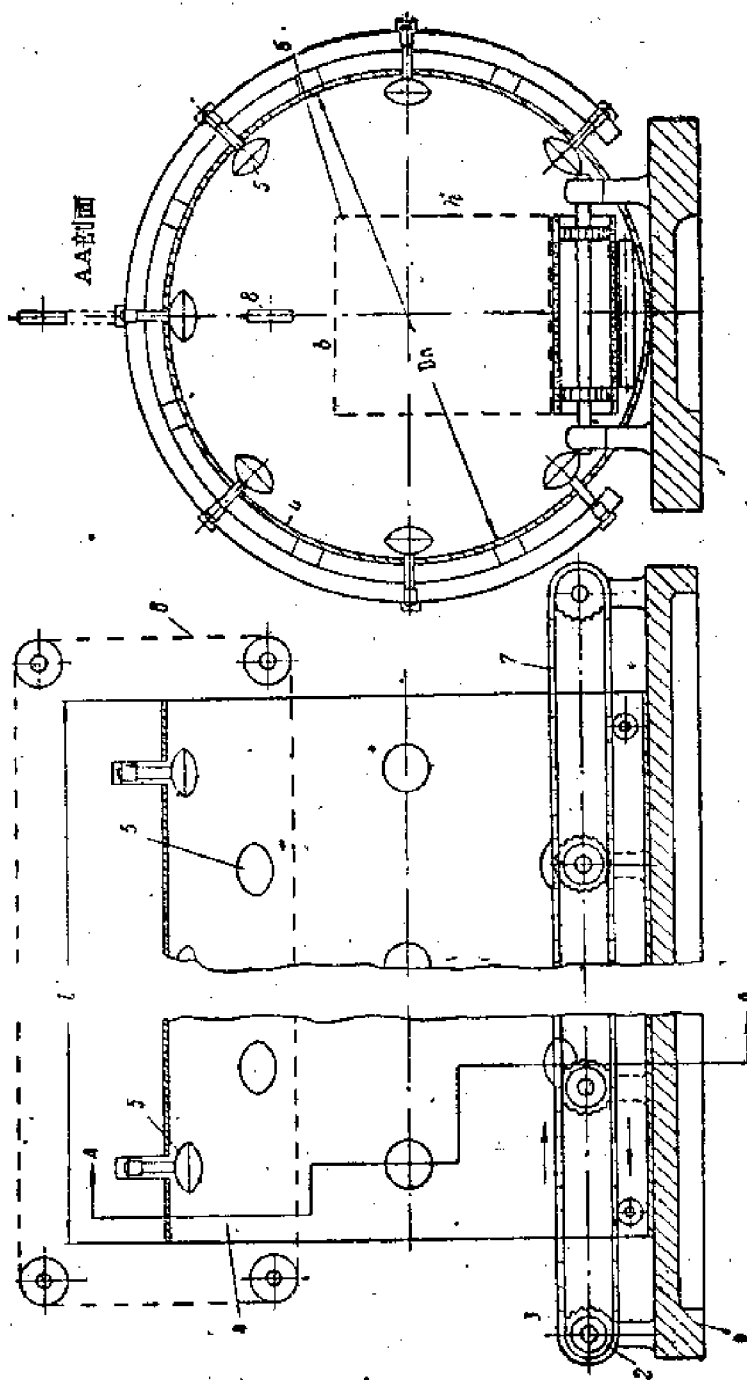


图 3—302 具有传送带的红外线干燥设备

- 1——基座
- 2——传送带
- 3——放置产品的位置
- 4——反射表面
- 5——红外线灯泡
- 6——放置在传送带上的大尺寸产品
- 7——卸去烘干后产品的位置
- 8——挂悬零件的传送带

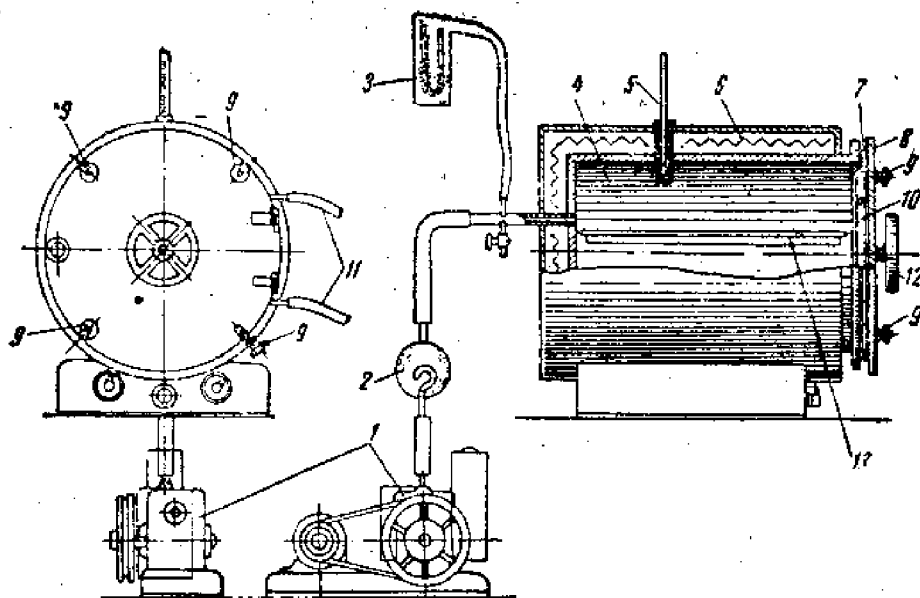


圖3——303 真空——干燥箱

- | | |
|----------------------|--------------|
| 1——真空泵 | 8——蓋子 |
| 2——水蒸汽和揮發物質的凝
聚裝置 | 9——压紧蓋子的螺母 |
| 3——水銀壓力計 | 10——水套 |
| 4——密封的干燥室 | 11——進水和出水的管子 |
| 5——溫度計 | 12——打開密封室的手柄 |
| 6——電熱器 | 13——可拆式的架子 |
| 7——密封衬墊 | |

II. 浸漬

浸漬的方式有三種：

1. 敞開式浸漬（在大气壓力下浸漬）：适用于溶劑揮發性比較大的浸漬料，如含苯占總重量90%的聚苯乙烯漆。浸漬過程是：先把制品放入溫度為 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 的漆液中浸漬，然後進行干燥，干燥的溫度不應超過 40°C ，時間為15—20小時，這樣可免除制品表面聚合膜發生裂紋。

這種浸漬只是利用了液體靜壓力，故不能將制品浸透，制品內部仍然保存着潮氣，所以這種浸漬的應用是有限的。

2. 真空浸漬：與真空干燥在一個真空浸漬設備中進行，浸漬的質量和真空干燥時的真空程度有關，在生產條件下，剩餘壓力約1—2毫米水銀柱，這時在制品內部的气孔、隙縫中建立了低的壓力，除去了很大部分潮氣，有助於浸漬料的浸入。但由于浸漬料中揮發物質的气化降低了真空度，使壓力超過20—40毫米水銀柱，同時提高了浸漬料的粘度。

真空浸漬開始後，真空泵的工作時間不必超過10分鐘，因為這對去除在浸漬料中的气泡已足夠了。

真空浸渍装置的示意图如图 3—304 所示:

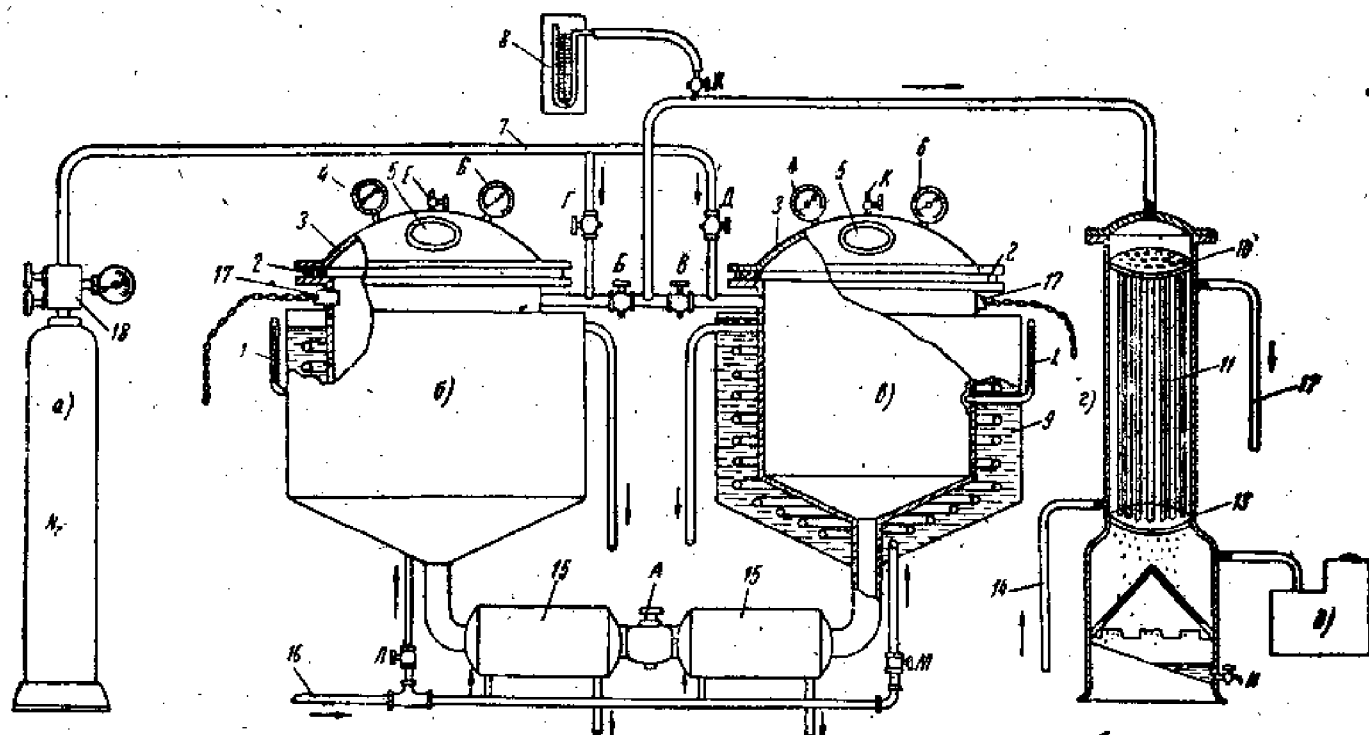
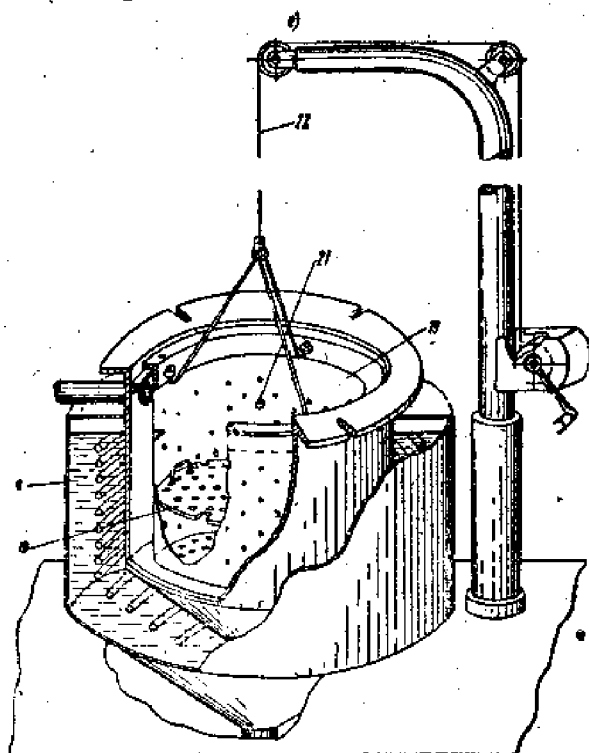


圖 3—304 真空浸渍装置



- a——盛氮气的钢筒 r——冷凝器
 6——浸渍材料的加热罐 K——真空泵
 7——浸渍罐 e——放浸渍零件的盖子
 1——温度计 2——密封衬垫 3——盖子 4——真空计 5——视窗 6——压力表 7——气管 8——水银压力计 9——蒸气加热式油浴夹套 10——上隔板 11——紫铜管 12——冷却水出水管 13——下隔板 14——冷却水进水管 15——联接罐6和罐e的管道(附有加热器) 16——蒸汽管道 17——电源接线板 18——减压阀 19——圆筒形盖子 20——框架 21——放置框架用的角铁 22——升降机构的索绳
 A, B, B, T, Д, E, Ж, И, Л, M 閥

3. 循环浸渍：在浸渍粘度较大的材料或具有填充料的混合物时，除了抽空外，还必须充以3—5个大气压的压力，充气所用气体应该是惰性气体（如氮气），而不能用压缩空气，因为，它会引起浸渍用材料和混合物的剧烈氧化。

在真空和加压轮流作用下进行浸渍的方法，称之为循环浸渍。加压的目的是为了把粘度较大的浸渍材料压挤到制品的内部去，这对抗湿性要求较高的制品特别重要。不断抽空的目的是为了去除浸渍材料中的气泡和充入罐内的氮气，以改善制品的质量。

循环浸渍的全部工艺过程与时间的关系，如图3—305所示。

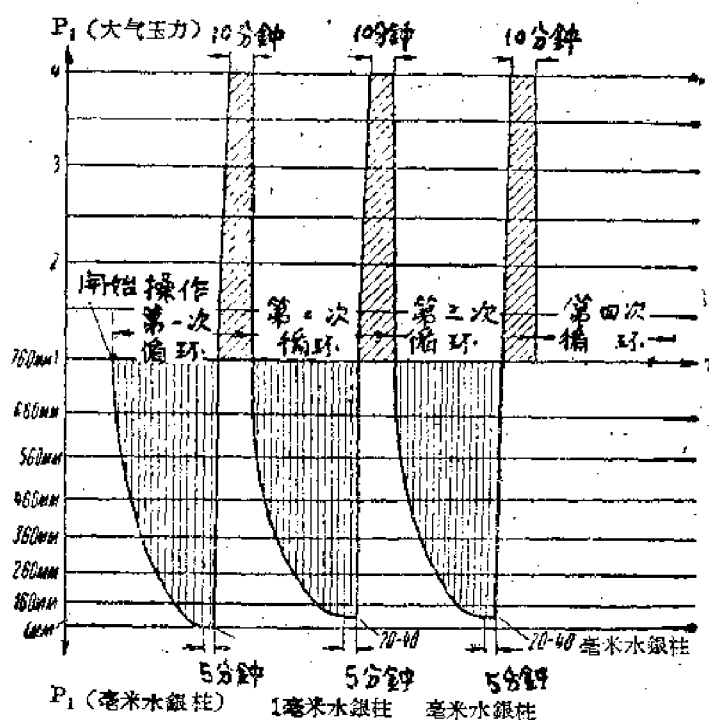


图3—305 循环浸渍过程的说明图

循环浸渍是由2次至6次或者更多次的循环次数组成，实际所需循环次数的多少，决定于被浸渍制品的尺寸和它的结构特点，一次循环大约需要一小时。

当使用两个罐子中（图3—304）的任意一个来放置和加热浸渍材料时，另一个则作为真空干燥和浸渍制品用。

浸渍时的温度状态，决定于浸渍材料的物理性质、制品中绝缘材料的性质和绕组用导线绝缘层材料的热稳定性等。

浸渍材料在罐子中的最高水平，应比通向冷凝器的管子低150—200毫米。否则在真空浸渍的过程中，由于会在浸渍材料上面激起浪花和泡沫，从而使浸渍材料跑入真空泵中。但是同时考虑到，浸渍材料的水平应比被浸渍的制品高50毫米。

罐子A和B具有完全相同的结构，可以轮流用它们来进行浸渍操作，这样能使生产效率得到很大的提高，当正在罐子B中进行浸渍操作时，即可在罐子A中装入制品，并进行真空干燥，当在罐子B中完成浸渍后，即可把浸渍材料从罐子B中转移到罐子A中，

这时在罐子6中即开始了浸渍操作，在罐子B卸出浸渍好的制品后，又可装入新的制品并对制品进行真空干燥，在此时间内，罐子6中正浸渍着制品，一直如此轮流下去。

浸渍需要密封的部件或整机的过程，也就是用浸渍材料灌注密封外壳中剩余空间的过程。这种操作的特点，可以用对低频变压器和扼流圈（它们均安装在密封用的外壳中）浸渍地蜡的操作来说明，熔化的地蜡从工艺孔或壳口进入外壳内，为了提高罐子工作空间的利用率，密封用外壳应该很紧凑的安放在专门的管子中，安放外壳时应注意使工艺孔朝上，先在温度为 $110-115^{\circ}\text{C}$ 的条件下，进行两小时的真空干燥，并在以后全部的循环过程中保持此温度（ $110-115^{\circ}\text{C}$ ）不变，干燥以后就进行三次循环浸渍（约需3小时）。然后把地蜡从浸渍制品的罐中移入另一罐中（这道操作约需一小时），这样，浸渍和灌注密封外壳的全部工艺过程，约须六小时（其中考虑了装、卸制品所需的时间）。

浸渍好的部件，取出后放在工作台上（应注意使工艺孔朝上），然后焊封工艺孔，焊封的温度应比制品在工作时可能受到的最高温度高 20°C ，最后将外壳表面上残余的地蜡用破布蘸溶液（苯、丙酮等）擦洗干净。

Ⅲ. 浸渍和灌注的典型工艺过程举例（浸渍和灌注环氧树脂）：

环氧树脂能用来提高零件、部件和设备的防潮性，环氧树脂及其化合物对各种金属及其他材料有很高的粘附力，该性质可保证在环氧树脂与制品表面接合的界面间，几乎不会因为具有不同的线膨胀系数而形成毛细管和细孔，并且环氧树脂及其化合物对潮气的作用具有很高的稳定性，所以用环氧树脂浸渍或灌注的制品，可以很好的在热带运用条件下工作。

环氧树脂化合物的种类是极多的，按其工艺特征可分成两类：第一类是无须加热即可凝固的化合物；第二类是须要加热才能凝固的化合物。

1. 无须加热的灌注工艺：该工艺过程可用灌注脉冲变压器的环氧树脂化合物（按重量含100份环氧树脂，10份氮六环，20份磷苯二甲酸丁酯）来说明，该化合物应在配成后40分钟内用完，因为如果超过了这段时间化合物将迅速的变稠，为了灌注脉冲变压器，常使用带盖子的用塑料粉压制的薄壁外壳，灌注的工艺程序如下：

- 1) 首先在薄壁外壳的内部涂上一层准备好的化合物；
- 2) 在所涂化合物变稠以后，放入具有黄铜引出线的脉冲变压器；
- 3) 用专门的注射器进行灌注；
- 4) 在温度为 20°C 的条件下，保持24小时，以使化合物完全硬化；
- 5) 去除已硬化化合物表面上的毛刺；
- 6) 装上壳盖（用胶合或螺钉固定的方法）。

2. 需要加热的灌注工艺：所使用的混合物，按重量含100份环氧树脂、100或200份石英粉、 $2.23 \times K$ 份顺丁烯二酸酐（此处K——树脂的环氧数，一般写明在材料的说明单中）。

石英粉应能通过10000孔/厘米²的筛子，并须在马福炉中以 700°C 的温度，煅烧2小时，待其冷却到 $110^{\circ}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 时，即可倒入装有环氧树脂的金属器皿中，然后进行仔细的搅拌，搅拌均匀后放到真空——干燥箱中，先在温度为 $120^{\circ}\pm 10^{\circ}\text{C}$ 和气压为100毫米水

銀柱的条件干燥1小时，然后把气压降到20—30毫米水銀柱，并一直保持此条件，直到把化合物中的气泡去除干净为止。

順丁烯二酸酐加入的方法是：先把順丁烯二酸酐装入玻璃环中，并在温度为 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的水槽中使其溶化，然后倒进上述配好的混合物中，使混合物冷却到 $90^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 即可使用，具有順丁烯二酸酐的化合物只允許保存一昼夜。

含有100份石英粉的化合物是用来灌注环形变压器和低压綫圈的，而含200份石英粉的化合物则是用来灌注高压变压器綫圈的。

灌注的工艺如下：

- 1) 灌注用模子的准备；
- 2) 在正常气压下干燥制品；
- 3) 在真空条件下灌注制品；
- 4) 化合物的聚合；
- 5) 檢驗。

先用苯或其他溶液擦净模子的内表面，然后在擦净的模中放入制品并在 $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的温度下干燥2小时。干燥可在普通具有鼓風裝置的烘箱中进行。在干燥进行了一段时间后，即可将加热到 $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的化合物灌入模内。然后移入真空——干燥箱中，把箱子的温度升到 $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，并抽真空至20—50毫米水銀柱，保持此真空度5—10分鐘，以后化合物中的气泡能全部消除，最后把带有制品的模子移入普通的烘箱中，在正常气压下进行聚合，聚合的温度状态为，在 $120 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 保持2小时，再在 $140 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 保持2小时。

从模子中取出制品，并在温度不低于 120°C 的条件下去除毛刺，待制品冷却到室温后就进行外观檢驗，以發現毛刺、胶盖和气孔等缺陷，胶盖的出現是因为部分化合物在規定的聚合工艺步骤之前，就發生了聚合所引起的。

在圖3—306中示出了脉冲变压器的結構，其繞組被安置在两个环形的鉄淪氧磁芯

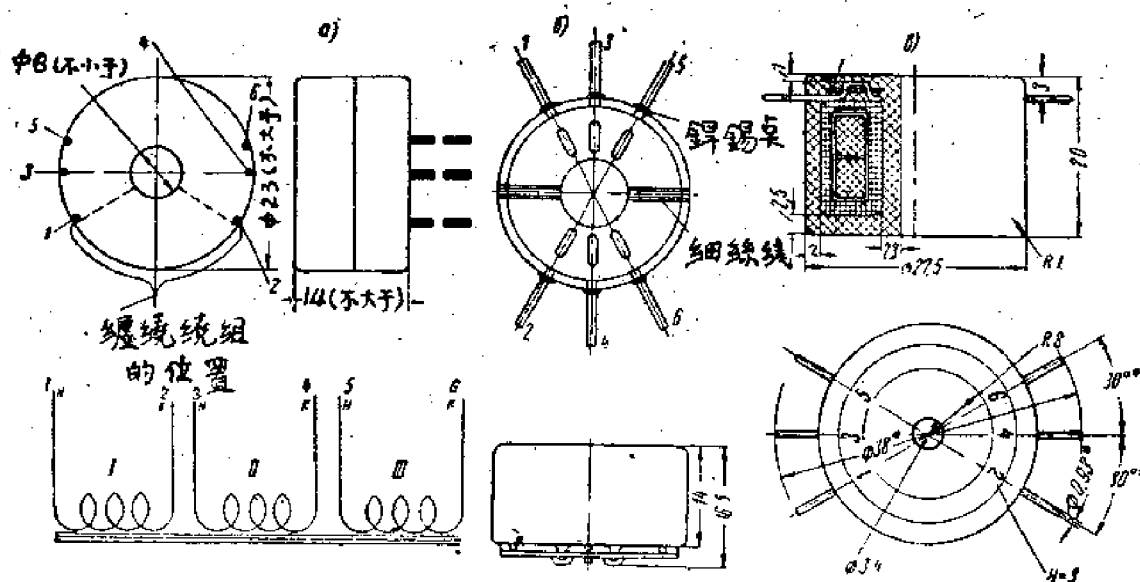


圖3—306 用环氧树脂时合物灌注須防靜的脉冲变压器

1——电路圖空 6——具有引出綫的綫圈空 2——灌注后的变压器

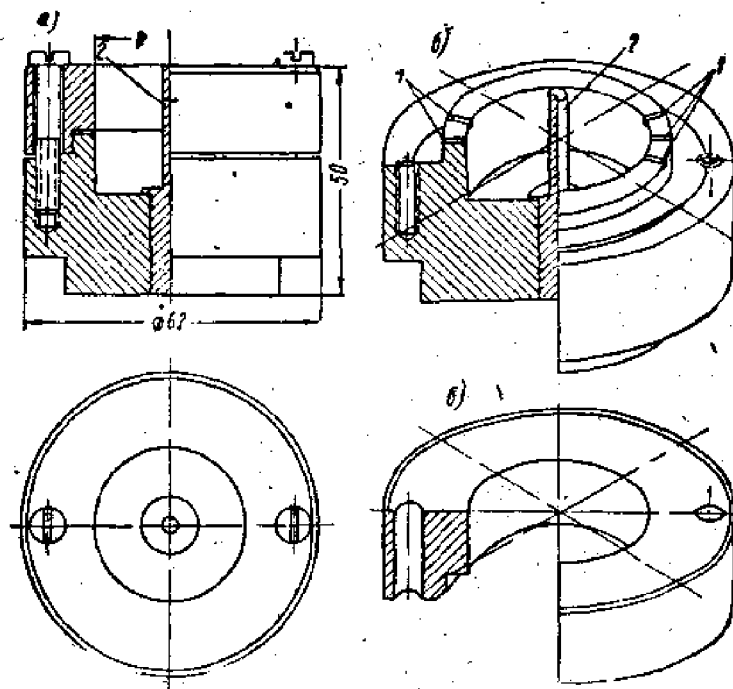


圖3—307 用环氧树脂混合物灌注脉冲变压器的模子

- a——模子的全貌
- b——模身
- c——模盖
- 1——为了引出变压器六根引出线的凹槽
- 2——定位销

中，为了提高防潮性，須用环氧树脂化合物进行灌注，灌注用的模子如图3—307所示。

环氧树脂化合物聚合时發生的收縮，將使鉄淦氧磁路受到压力，从而使其导磁率發生变化，于是綫圈的电感量亦將随之發生变化。

为了不使磁路受压，在纏繞繞組前，应在磁路表面上涂复一層厚0.5—0.7毫米的彈性材料。

§3—4 浸漬、灌注和蘸漬的质量檢驗

漬漬，灌注和蘸漬完成后，应根据技术条件的規定进行电气的、气象的和机械的檢驗。

1. 繞組或綫圈的电气檢驗項目：

- 1) 断路檢驗；
- 2) 匝間短路檢驗；
- 3) 繞組和外壳間的絕緣电阻值；
- 4) 損耗；
- 5) 繞組間的分布电容量；
- 6) 品質因数。

2. 气象試驗：

总的要求是：在技术条件规定的作用温度范围内，浸渍，灌注和蘸渍的性质不应发生变化，特别重要的是，在负的极限温度下不应该开裂，在最高温度时不应该软化。

在潮湿箱中放置48小时后，测量其绝缘电阻值，与潮湿试验前的数值进行比较，并根据技术条件的规定，确定其是否合格。

3. 机械试验：

主要是检验它们的机械强度、弹性、附着力，以及与振动、冲击作用有关的特性。

为了研究浸渍的深度、干燥的程度等，常常允许折散一些制品。

关于浸渍材料填满空间的程度，可用X射线装置来进行检验。

§3—5 密封的外壳和绝缘子

制造密封外壳的材料，可以用不透潮气的黑色和有色金属、陶瓷、玻璃等。用软钢带料做的金属外壳，应用最广，在不能用铁磁金属的场合，外壳可用铜带或黄铜带料制成，在掌握了超声波焊接和用冷塑性变形连接金属的地方，也可用铝的带料做外壳，当密封大尺寸的制品时，可用含砂的铝合金，以铸造的方法来制造外壳。对于一些电参量要求很稳定的小型零件和元件，可以用陶瓷外壳来密封。至于用玻璃做密封外壳，则很少应用。

各种常用金属和陶瓷外壳的结构，分别如图3—501和3—502所示。

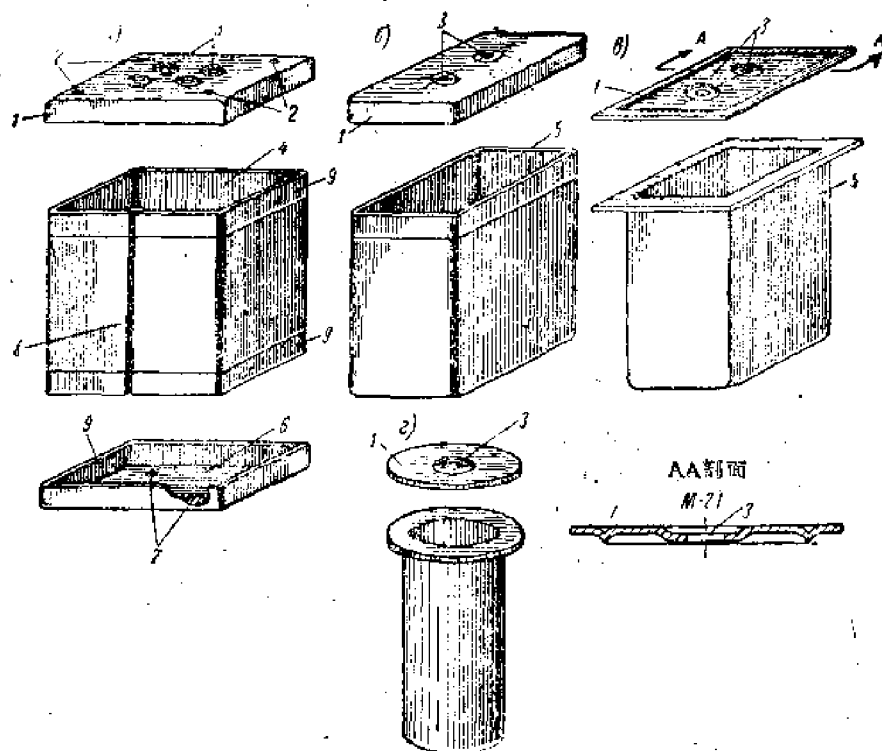


图3—501 密封用金属外壳

- a——套合式外壳，6和7——用引伸法制成的外壳，r——用冲挤法制成的外壳（所用的材料是：黄铜，紫铜，铝）
 1——盖子 2——为了装固被密封制品的孔眼 3——安装绝缘孔的窝孔
 4——壳盖 5——壳身（壁和底） 6——壳底 7——工艺孔
 8——焊缝 9——镀银的部位

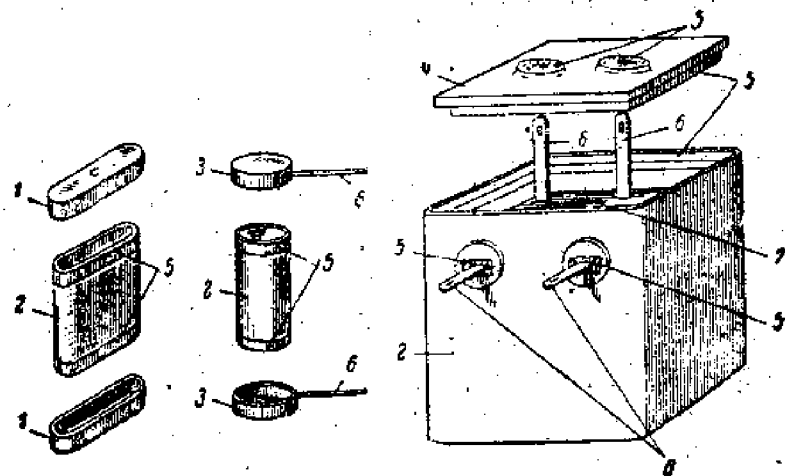


圖 3—502 密封用陶瓷外壳

1——具有引出线孔的金属盖 2——壳身 3——兼作引出线用的金属盖 4——陶瓷盖 5——用烧漆法复盖上的金属陶瓷表面 6——引出线 7——被密封的制品

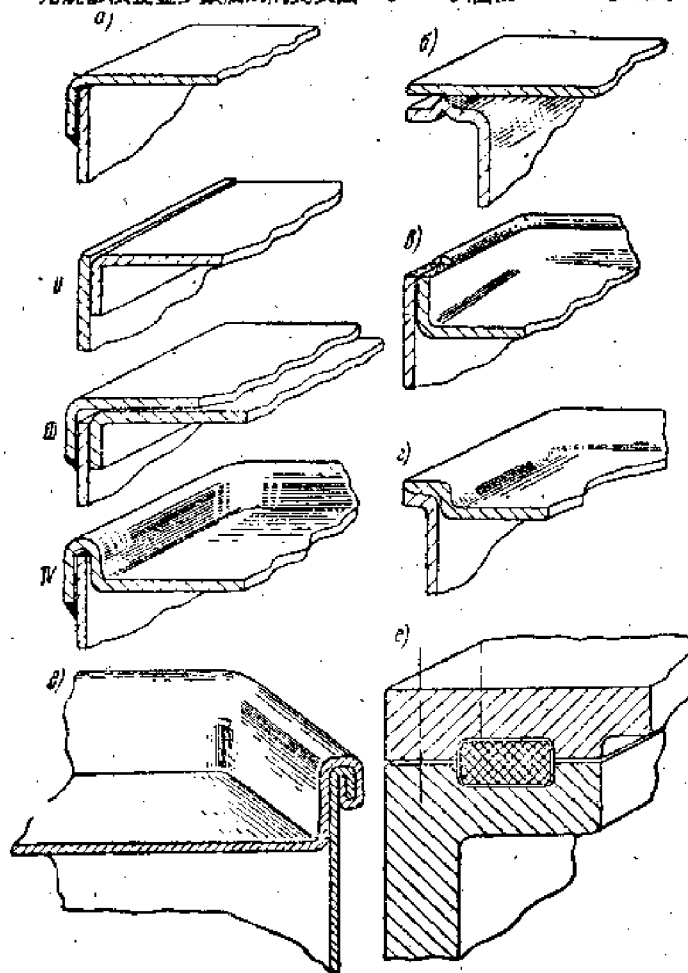


圖 3—503 金属外壳各结构的密封接合法

a——焊接 I——外盖型, II——内盖型, III——夹紧接合法, IV——镶嵌接合法
 6——凸焊接合法 a——电弧焊接法 r——翻边接合法 d——卷边接合法
 e——用橡皮垫密封的方法

外壳的形状决定于制品的结构特点，而后者与制品的用途、工作条件及密封的方法有关。

在制造金属外壳时，重要的问题是，将外壳的几个部分牢固地、不透湿气地连接起来，使其密封性能长期不受破坏。

可以用各种方法，将构成外壳的零件，密封地联结起来，如图 3—503 所示。

对于用软钢、黄铜、铜的带料做的外壳，可以用易熔焊料（ИОС—40）来焊接，用这种方法连接起来的密封盒，能保持密封的温度范围，是自 -40°C 到 $+85^{\circ}\text{C}$ 。

同样的材料，如用凸焊或电弧焊，则保持密封的温度范围可自 -80°C 到 $+160^{\circ}\text{C}$ 。凸焊的方法如图 3—504 所示：

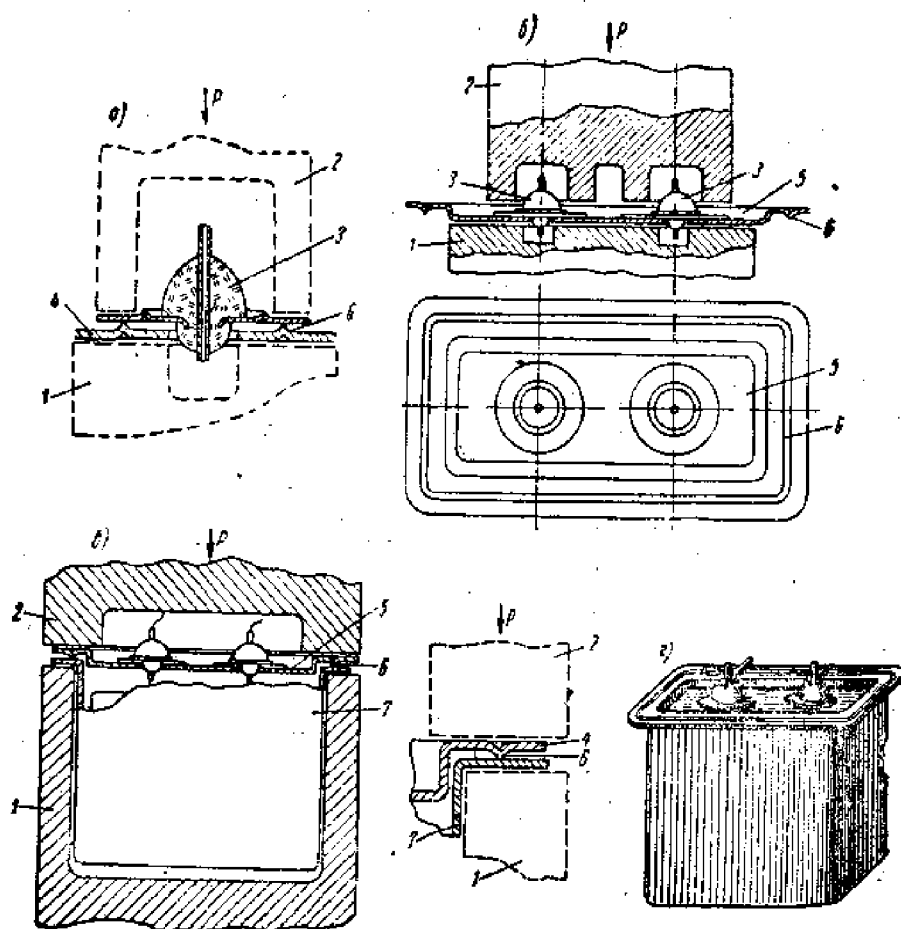


图 3—504 凸焊法

а——把垫圈式绝缘子焊到壳盖上的工艺程序说明图

б——同时把两个绝缘子焊到壳盖上的方法

в——壳盖和壳身的焊接

г——密封电容器的外形。

1——下电极

5——壳盖

2——上电极

6——凸尖

3——绝缘子

7——壳身

4——壳盖的一部分

对于用铝的带料做的密封外壳，如用金属的冷塑性变形来连接，保持密封的温度范围也可自 -80°C 到 $+160^{\circ}\text{C}$ 。冷塑性变形的特法如图3—505所示：

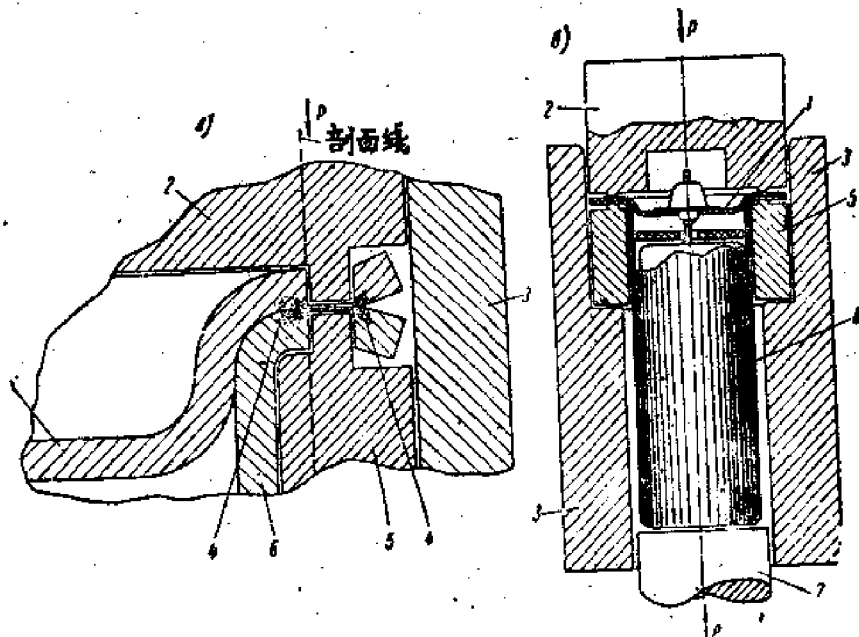


图3—505 用金属塑性变形的特法进行密封焊接（冷焊）

- | | |
|-----------------|--------|
| 2——冷焊圆筒形外壳的说明图， | |
| 6——冷焊圆筒形外壳的装置。 | |
| 1——壳盖 | 5——下模 |
| 2——上模 | 6——壳身 |
| 3——基座 | 7——上推轴 |
| 4——冷焊的周边 | |

厚度为0.1—0.2毫米的软钢带料，如用垫入塑性材料后一起滚卷的方法来制造外壳，则保持密封的温度范围较小，约自 -50°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ 。

当用含砂的铝合金或青铜用铸造方法做外壳，并用真空橡皮做密封衬垫，则保持密封的温度范围更小，约自 -40°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ 。

作为引出端用的绝缘子，有玻璃的、玻璃陶瓷的和陶瓷的几种，如图3—506所示。

玻璃绝缘子：其上有铁镍合金作的管和盘，由于铁镍合金（Fe—54%，Ni—28%，Co—18%）的线温度膨胀系数 4.6×10^{-6} 和用作绝缘子的玻璃的线温度膨胀系数（4.5—4.8） $\times 10^{-6}$ 很接近，因此，能得到良好的密封。合金做的盘是用来将绝缘子焊到外壳上去的，而管子作密封的引出头。

在焊接过程中，温度的剧烈变化，就在玻璃中引起了内压力，在环境温度的剧烈变化下就使玻璃开裂。

玻璃陶瓷绝缘子是在玻璃和合金盘间加上陶瓷套垫，使能经受温度的剧烈变化。

陶瓷绝缘子的端面用烧渗银的方法金属化后，就可与密封外壳焊起来，绝缘子的中心有对穿的孔，以便焊接引出端。

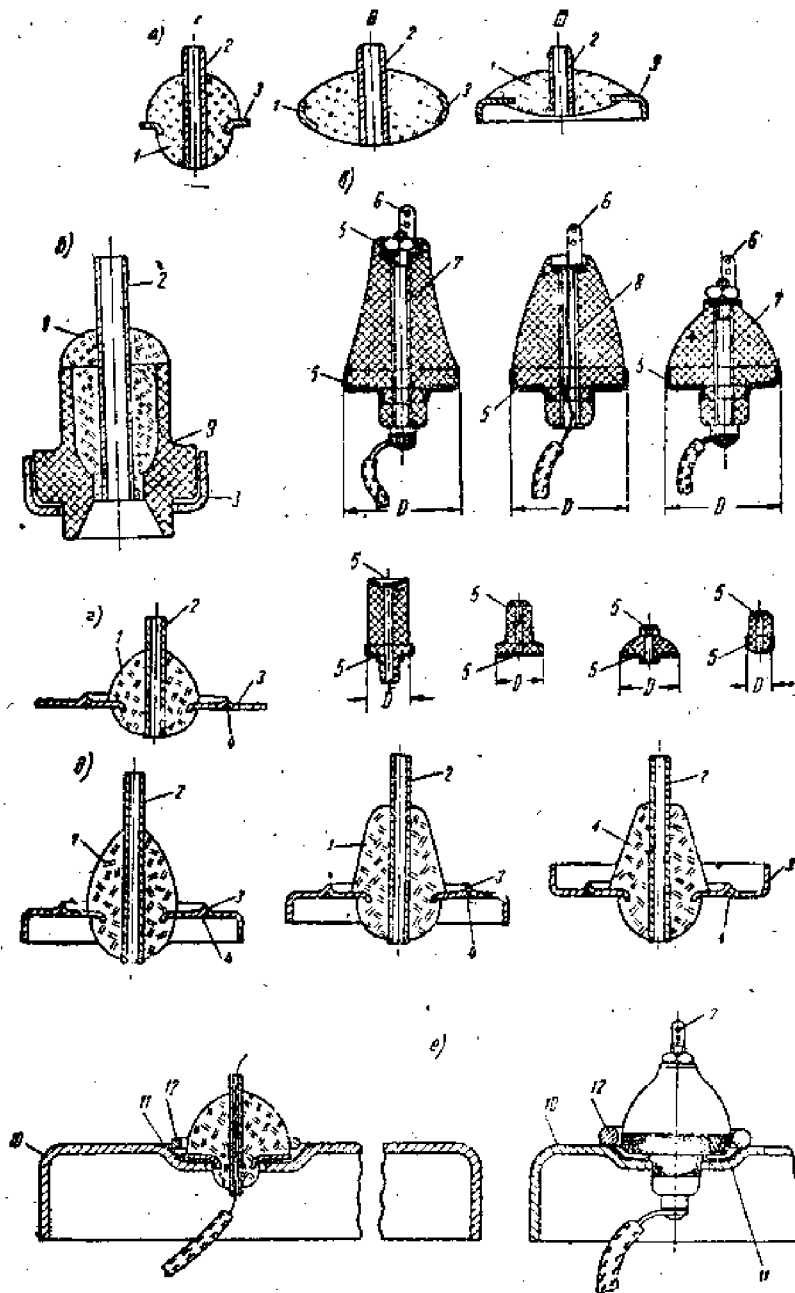


圖3——50J 密封用穿通式絕緣子

a——用焊接方法來固定的玻璃絕緣子：I——墊圈式，II——圓筒式，IV——罩蓋式。

б——用焊接方法來固定的玻璃陶瓷絕緣子

в——用焊接方法來固定的陶瓷絕緣子

г——用凸焊法來固定的墊圈式玻璃絕緣子

д——用弧焊法來固定的罩蓋式玻璃絕緣子

е——玻璃絕緣子和陶瓷絕緣子的焊接方法

1——玻璃絕緣子

2——穿通管

3——凸緣

4——凹不

5——覆蓋在陶瓷上的銀層

6——焊片

7——截流桿

8——空心鉚釘

9——陶瓷絕緣子

10——亮蓋

11——覆蓋有錫層的窩孔表面

12——易熔焊錫環

§ 3-6 无线电零件和部件的密封方法

凡是重量不太大的无线电零件，例如分段式油浸纸质电容器，可以用电工压纸板来衬垫，然后装到盒壳中去。如果零件的重量很大，象低频变压器，就必须固定得很坚固，而且，这些零件大部分都是固定在盖子上。盖子的构造，要依靠增加厚度的方法来加固。固定变压器和低频扼流圈的方法，用得最普遍的是利用絆子，如图3—601。

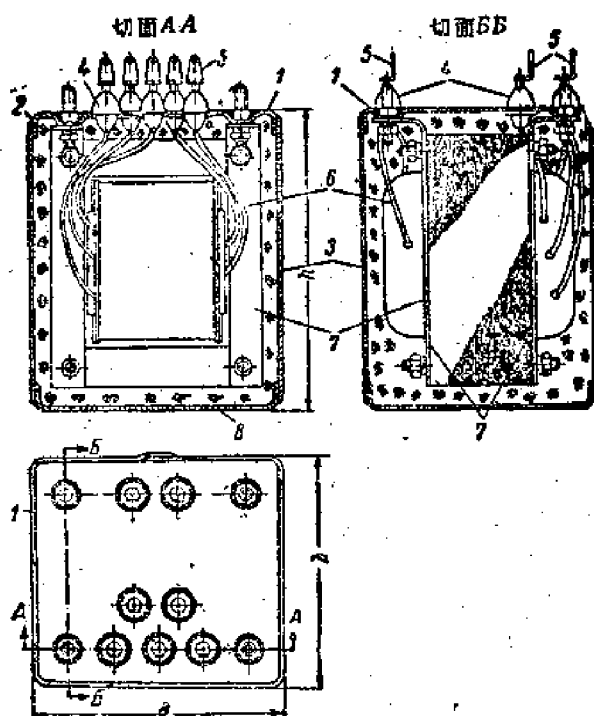


图3—601 变压器和低频扼流圈安装在密封壳中的方法

- 1——盖子；2——壁板和盖子的焊接处；3——盒壳的壁板；4——玻璃绝缘子；
5——焊片；6——出线头；7——固定变压器在盖子上用的絆子；8——施工小孔

密封焊接玻璃绝缘子上的管和陶瓷绝缘子上的孔，有好几种方法：当绝缘子上的孔不大时，密封总是同固定密封件出线头合并着完成的，这时出线头上要括去一小段绝缘皮层，松开合股的导线束，剥离一部分数量导线，让剩下的部分适足以穿过玻璃绝缘子上的管子或陶瓷绝缘子中心的孔。多余的导线可以剪去，剩下的导线搓成绞线，这样就更容易穿过绝缘子上的小孔了。假使机件是固定在盒壳的壳身上的，那末，合上盖子时，出线头的导线应当先穿出绝缘子（图3—602a）。

待盖子合上后，把出线头焊好，并且，同时也就密封焊没了绝缘子上的孔（图3—602b）。用出线头的绞线完全堵塞绝缘子上的孔，是非常有利于实现严密的密封焊接的，而且，还能节约焊锡的消耗量。

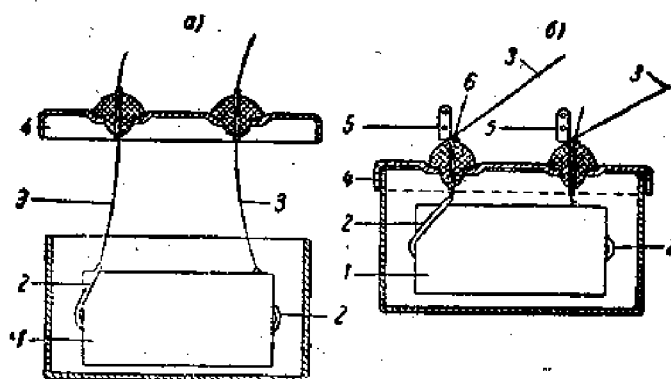


圖3—603 出綫頭固定在玻璃絕緣子上小孔的方法

- a——出綫頭的絞綫穿過絕緣子上小孔的情形。
 6——密封焊沒管子小孔，并且，固定住出綫頭絞綫的情形。
 1——密封件；2——出綫頭；3——出綫頭的絞合導綫；4——蓋子；
 5——焊片；6——密封焊接處和絞綫剪斷處。

大型絕緣子上的孔，直徑比較大，在这里为了要便利密封焊沒这孔和把出綫頭固定住，可以在絕緣子的孔中，插一个空心鉚釘或圓頭螺栓。穿在絕緣子上的空心鉚釘套上焊片后，就把它滾輾擴張开来，压住焊片，同时自己也就固定在絕緣子上。螺栓露出在絕緣子孔上部的部分，可以直接焊在絕緣子孔四周圍的銀層上，以构成所需的密封形状。至于固定出綫頭的方法，則在絕緣子帶空心鉚釘的构造中，把絞綫的絕緣皮層刮去，穿过鉚釘孔，并且焊牢在絕緣子的上部。假使絕緣子是帶有螺栓的，那末，出綫頭就焊在螺栓的圓頭上。当焊接鉚釘在絕緣子的銀層上时，焊錫熔化后就均匀流在絕緣子上的沉孔中，同时就把絕緣子孔密封住。

鉚釘焊接到絕緣子上的一道手續，应当在絕緣子焊接到蓋子上以前完成。然而，密封焊接螺栓，最好是在絕緣子已經焊在蓋子上之后来完成。達到密封件用絆子固定在帶有絕緣子的蓋子的情形时，出綫頭的固定方法，可以从上面所述的方法中挑选最适合所用絕緣子类型的一种来实施。在这一种构造中，焊接出綫頭比較簡便，因为在这里，蓋子和密封件間的相对位置是不变的。

在檢查了出綫頭焊接点的机械强度、电气接触情况和孔的密封焊沒情况之后，就可以把蓋子焊接到盒壳的壁板上。为了提高密封的質量，提高綫卷的絕緣电阻和改善散发因电气的損耗而产生的热量的条件，可以把密封件先行浸漬，而后在盒壳中灌注浸漬材料或灌注浸漬混合料，来填滿盒內的空档。

假使按照工作的条件，不需要浸漬和灌注，那末，把密封件安装在密封外壳中，放到烘箱中烤干，然后再把施工小孔焊沒。

防护盒盖不受侵蝕，除用电鍍术鍍以鋅層一法外，也可以涂敷油漆或清漆。

裝合低頻變壓器的順序如圖3—603。

無線電器材中，另外一些密封另件的例子如圖3—604所示。

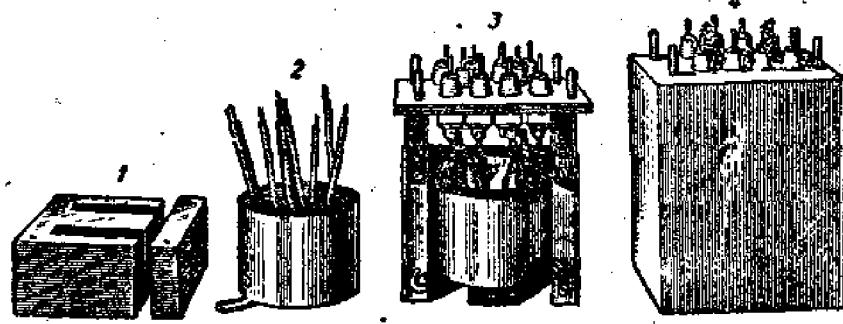


圖3——603 密封的低頻變壓器的結構原件

- 1——由山形鐵片和I形鐵片組成的鐵芯；
- 2——繞在骨架上的線圈；
- 3——裝成的變壓器；
- 4——變壓器密封在盒殼中（蓋子和底都是平焊的，全身用油漆塗蓋）。

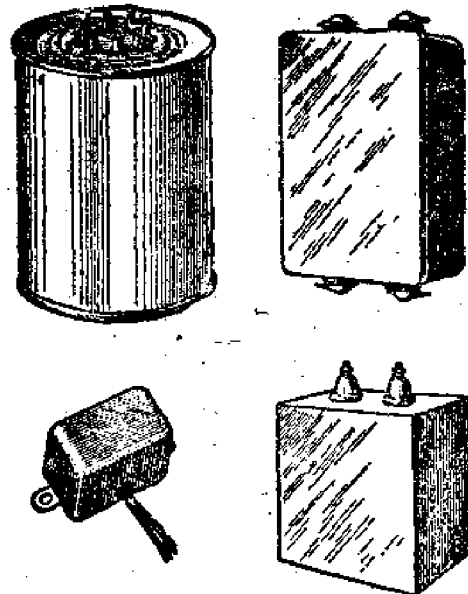


圖3——604 無線電器材中密封零件的例子

§3—7 無線電器材總體的密封

當我們把個別密封的無線電另件和部件，蒐集在一個公共的機架式底座上，就成為一個具有很多密封盒殼的無線電設備總體（圖3—701）。無線電設備一經密封措施後，在重量和尺寸方面，無疑是會增加的。此外，同一個無線電設備總體上，還裝有一些沒有防禦氣候和大氣壓力作用能力的另件，所以，依舊會改變它的電氣參數，以致機器工作不正常。因此，把整個無線電設備封閉在一個密封盒子內，不單是比較合理的解決了支支碎碎地去防禦那些外界的影響，而且，相對地還能把總體減到最小重量和最小尺寸，以及簡化了製造技術。

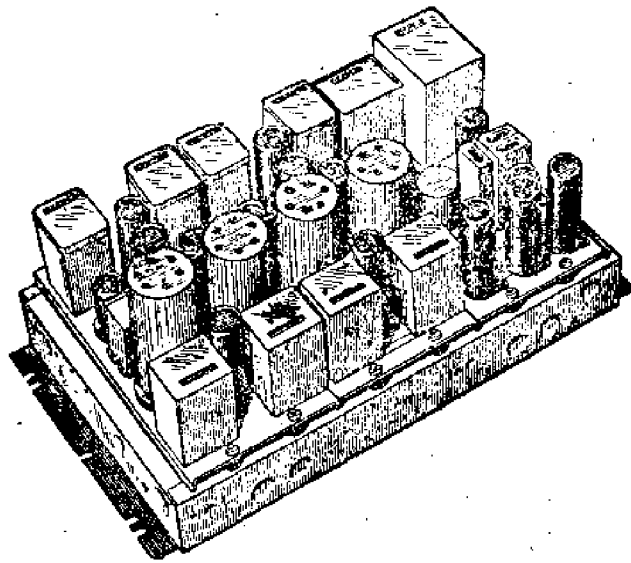


圖3——701帶有密封部件的無線電設備的一般樣子

可是，把無線電設備总体整个地密封起来，直到現在还只能在有限的範圍中应用，而且，还只能在运用中不再揭开机噐（譬如更換真空管和修理）的条件下，才能达到这个目的。因为，噐噐一經打开，就很快地从周圍空气中吸取潮气。而要恢复密封状态，却只能在制造工厂中来操作。

指定来容納整个噐噐的密封盒子，可能有各种形状，一般还有好些玻璃質或陶瓷質絕緣子，要分別裝在密封盒子的蓋子上、底上或壁板上。

在密封的盒壳中充以氦气或六氟化硫气后，所得密封效果的质量很高。

要把氦气或六氟化硫气充到密封的盒子中，須要利用盒子上带瓣閥的施工小孔（圖3—702）。这个特殊构造乃是在密封盒壳的蓋子、底或壁板上冲出一个沉孔；沉孔的中央再冲出施工小孔8。在沉孔的底上，垫衬一薄的圓形軟性橡皮垫片，垫片的中心部切開几条交叉縫7，这个橡皮垫片就是双向作用的瓣閥。假使盒子內气体的压力和外界大气压力平衡时，瓣閥就处在关闭状态。在橡皮垫片上，再垫以橡皮垫圈5和黃銅网片；銅片上再摺上一个熔点約为70°C的易熔合金（25%的錫、12.5%的鉛、50%的鉄和12.5%的鎳）制成的环圈。沉孔的四壁則附有螺紋。

产生密封的技术施工程序，是在圖3—703所示的設備上进行的。在这个設備中，包括有儲氮气的鋼瓶1，减压节門2、吸湿器3、真空罐11和真空泵10。在真空罐的外圍有水浴鍋12，并且，經由水管14和15分別輸送冷水和热水。水浴鍋是以热絕緣材料13制成的。在真空罐11的蓋子4上，各有压力表5、溫度計6、真空表8和控制罐內压力的节門（罐內的压力可是大气压力或是真空）；真空泵上还备有水銀压力表9。

施工的程序如下：把裝合得坚固的結構元件裝到盒壳中，以施工小孔朝上的方向放进真空罐內，加热到40—50°C，然后，把真空罐的蓋子盖严，开动真空泵，打开閥6，使真空罐內的压力降低到1公厘水銀柱，此时，溫度应保持在40—50°C。

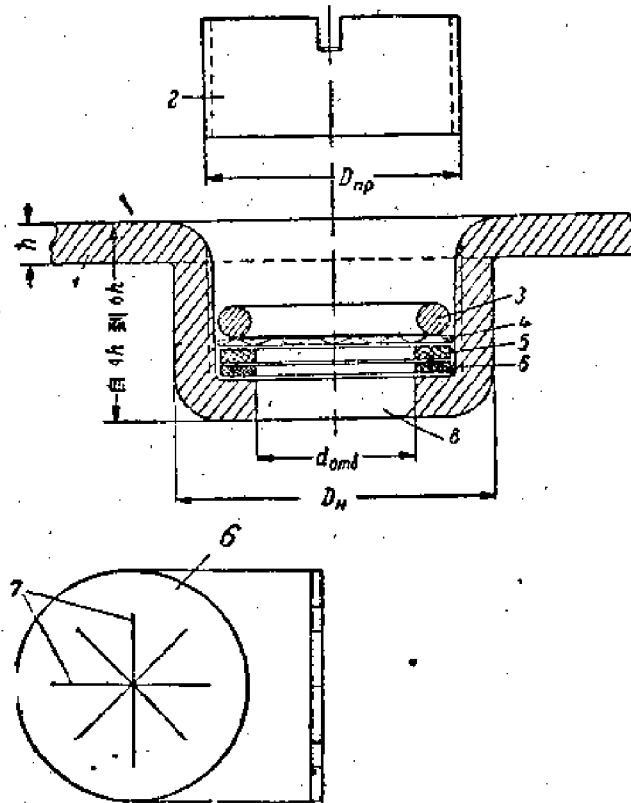


圖3——703 密封盒壳上施工小孔暨附設的閥閥

- 1——密封盒壳的底、蓋子或壁板；2——螺絲塞頭；3——易熔合金環，
4——黃銅網片；5——橡皮圈；6——双向作用橡皮閥閥；7 閥上的切開縫，
8——施工小孔。

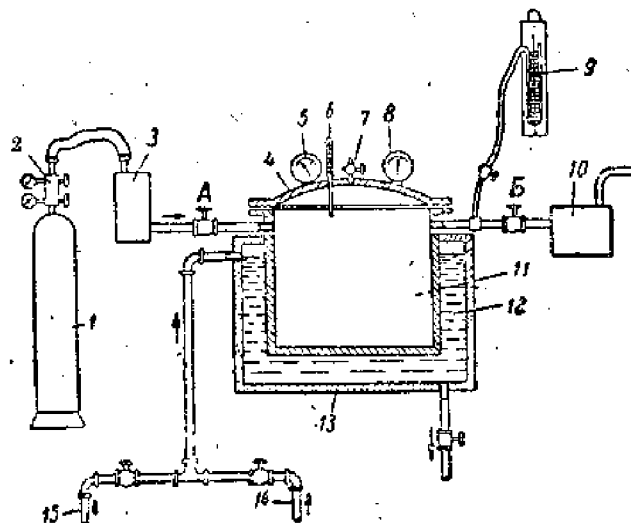


圖3——703 在密封盒子內充氮氣或六氟化硫氣的設備

真空烘干手續要延續一至二个小时(看密封件的大小),真空泵要不断地工作,来协助驅除密封件內的潮气。待真空烘干操作終了后,关闭閥B,同时,借减压节門把氮气的压力降低到1.5个气压。

然后打开閥A,使真空罐慢慢地充滿氮气。氮气經过吸湿器时,器內的氯化钙或矽酸凝胶質吸收氮气中所含潮气,干燥的氮气就充滿在真空罐內,也同时充滿在密封盒壳內。这道手續进行得要徐緩,約須半小时到一个半小时之久;目的是使氮气有充分的时间,在吸湿器中除去潮气,从而提高密封的質量。进入真空罐內的氮气所含湿度,一般不得超过4—5%。待真空罐內的氮气压力达到1—1.5气压后,就把閥A关闭,接着打开閥7。降低罐內的压力到大气压力后,就重新关闭閥7。

繼之,把通到水浴鍋中的热水,提高到足以使罐內的温度达到90—95°C的高度。这时置在施工小孔的孔窩(圖3—702)中的易熔合金,因受热而熔化;熔化的合金流到黃銅网片的上部表面上,但不致經由网片上的小眼流下去。密封件在封口温度(90—95°C),停留的时间不得多于半分鐘到一分鐘,因而在达到这个時間后,从速把水浴鍋的热水放去,而通进冷水,使罐內的温度降到15—20°C。这样之后就可以打开罐盖,取出密封件,并且用带螺絲的塞子2盖住施工小孔。这塞子要一直旋下,直到它的带槽平面和盒子平面齐平为止。

焊死塞子后,密封的施工程序即告完成。密封盒壳的内部,則仍保持着施工过程中所賦予的压力(等于大气压力)。从实际的气象学來說,密封盒內的压力,不应小于730公厘和大于780公厘水銀柱。如果要比照大气压力来增高或降低密封盒壳内部的压力,可以在真空罐內充气时,調节充入氮气的数量。密封盒壳內的压力大小,应当标明在塞子上。

若是要把几个气压的高压气体密封在盒子內,就需要采用圖3—704所示的设备。这个设备包括:氮气瓶1、减压节門2、吸湿器3和真空泵7。凡是要充高压气体的密封外壳,一定要具备三个管口,其中只有管子4是带有閥的,其余两个管子都是带着龙头的。

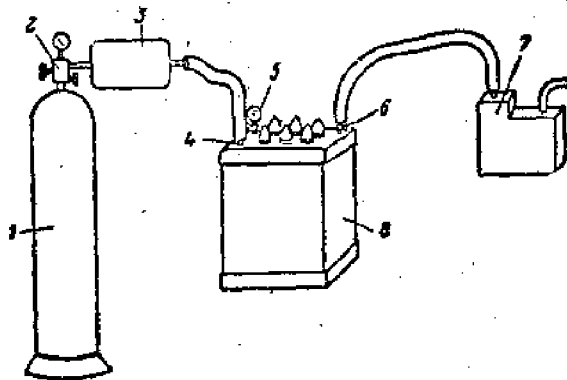


圖3 — 704 以超大气压体封在盒子中的方法

技术施工程序是:首先作真空烤干;这时要把密封的盒子暨内部的构件,一并放进

有自动温度控制器的烘炉中，加热到80—100°C，待真空干燥操作終了后，把管子6关闭，并且，讓氮气慢慢地经过吸湿器灌进盒壳中去，待压力表所指示盒内的压力达到所要求的大小后，就把管子4和6上的橡皮管拔去，盖上带螺旋的帽罩，并且，仔细地把它們焊死。安装压力表5的管子带有閥，这样在运用中，不需使用压力表时，有可能把它取下，压力表取下后，管口务須仔細焊沒。

假使充氮气前，不把整个密封盒子暨内部构件进行真空干燥，那末，盒内构件的材料一定吸有潮气，日后逢到外界环境的低温冷却作用时，这潮气就会分离出来，凝結在密封盒壳的内部表面上。此后，如果又遇到因外在的原因，而提高温度或者由于机器在工作中發散热量时，又会惹起这凝結的水重新蒸發，于是，内部构件中的吸湿材料，首先就吸收这水蒸汽，一直到同盒内空間湿度达到均衡状态为止。这种样子的潮气轉移現象，在密封盒壳内是到处都会發生的。这种有害的現象，是可能减低到最小程度的，这只要延长真空干燥的时间和仔细地干燥所充进去的氮气即可。密封盒壳内的湿度如果不超过5%，是不会对机器的正常工作有任何影响的。

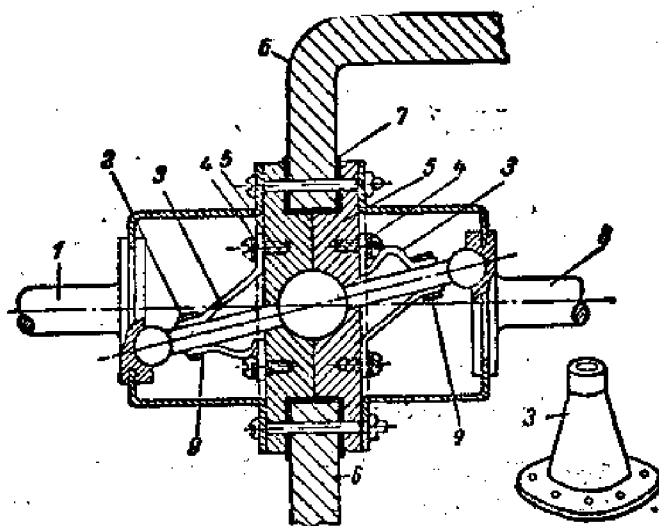


圖3—705 調節密封盒內的压力机构

- 1——外軸头；2——軸；3——真空性橡皮制的封套；4——彈簧垫圈；
5——垫塊；6——密封盒壳的壁板；7——密封衬垫；8——內軸头；
9——箍紧封套管頭头的緊圈。

如果要不伤害密封性而又能对机器进行調整，或降低盒内部的压力，則可以采用圖3—705所示的机构。这个机构在实用中，能够不管内外压力的差別是多大，始終保持高度的密封性。

这个机构的作用原理：是当轉动外軸头1时，聯絡在内外軸头之間的軸2，就跟着扭轉；这个軸扭轉的道路，恰好形成两个有共同頂点O的圓錐体。內軸头8因軸2的扭轉，遂被带动而旋轉。盒壳內的密封性，因有真空紧密性橡皮制成的封套3的保障，是不致改变的。这些封套的凸緣是用热丁二烯粘在垫塊5上，橡皮封套的頸部，也用热丁

二烯粘在軸 2 的两头上。軸 2 作扭轉运动时，封套有彈性的变形，所以不会損害到密封性。

§3-8 密封品質的試驗

只有把盒壳的全部結構元件仔細地接合好，才能获得所期待的密封性。因此，在制造盒壳的各个結構元件的过程中，要对密封接合处作密封品質的試驗。

盖子在焊好絕緣子后，要在水槽中經受压力試驗。試驗的裝置如圖3—801所示。

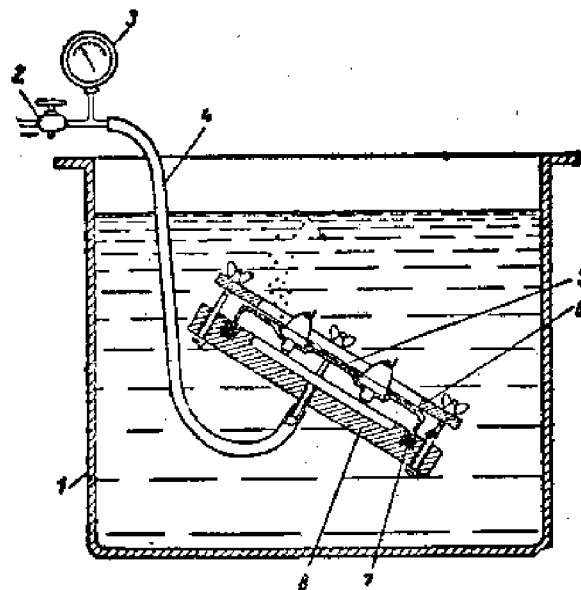


圖3—801 密封盒蓋的密封試驗

- 1——水槽；2——空氣管進口閥；3——壓力表；4——橡皮管；
5——焊有絕緣子的蓋子；6——壓板；7——橡皮塞；8——底板。

盒壳的盒身，如果是由底和壁板焊接而成的，也要經過空氣压力的試驗，操作的方法和上述的相同，但試驗夾具上應備有堵塞施工小孔的裝置。

另外還有一種試驗的方法，是利用煤油能滲透過最微細孔眼的本領，來檢查密封性。試驗時把煤油注在盒身或蓋子的試品中，經過三四小時之后，從蓋子或盒身的另外一面，就可以看出密封接合不佳的地方，即使是極微細的煤油滲透痕迹，用紫外綫來檢查，也能看得很顯明。

已經制成的密封件，也要經過压力的試驗，這項試驗要在圖3—802所示的設備中進行。

試驗的方法是把密封件的試品 1，浸沉在玻璃油箱或水箱 3 中，在這玻璃箱外，再蓋一玻璃罩 2，罩內的空氣如果經由下部的管子抽出后，由于罩內空氣稀薄，压力減小的效果，創造了使密封件內部殘余空氣或氣體外逸的條件，即使密封性的損傷極微小，也是能檢查得出來的，凡是有氣泡漂起的現象，就證明是密封性不佳。

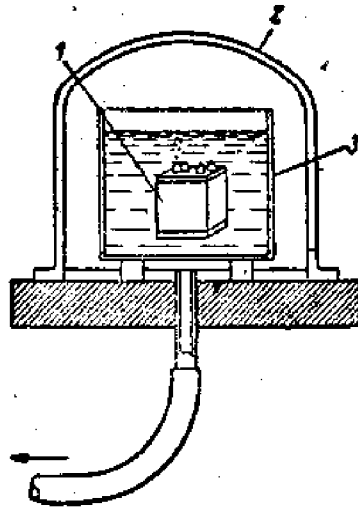


圖3——802 密封件的品質試驗

代替浸沉在水內的鑒定法，也可以把盒子上所有封口的地方都塗一層礦物油，凡是有氣體從盒子中逸出的地方，就會在油膜處產生氣泡，所以就能很方便地檢查出來密封性不佳的地方。

密封性方面的瑕疵，也能够在礦物油（變壓器油）中，用加熱法來查出。從盒子上密封性不佳的地方逸出的空氣或氣體，就將變成氣泡，漂出油的表面。試驗時的溫度不要超過 $110-115^{\circ}\text{C}$ 。

在烤箱中加熱檢驗，也應用得很廣泛。這時，試品要放在一張紙上，加熱後，如果紙上留有污點，就可以確定密封性的品質不佳。

在運用中遇到氣壓發生變化時，會加速大氣壓力的空氣從有瑕疵的封口處潛入盒殼內部；充滿了氮氣或六氧化硫氣的盒殼內，如果出現了氧氣，則它對於某種化學物質所起的作用，也能用來指示密封性的品質。

§ 3-9 各種防潮方法的應用範圍

在相對濕度為 $60-65\%$ 的正常環境濕度下，氣壓範圍是 $720-790$ 毫米水銀柱，溫度在 -40°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ 內平緩變化時，並不提出增強防潮性的要求，浸漬、灌注、蘸漬只是用來提高絕緣的抗電強度、提高耐熱性、提高機械強度、改善散熱的條件等，這時可用符合技術要求的任何一種材料來浸漬、灌注和蘸漬。

如氣壓範圍相同，但設備使用於相對濕度到 80% ，溫度範圍自 -50°C 到 $+70^{\circ}\text{C}$ 的場合，就可用蠟狀材料，或用以其為主的混合物。

當溫度範圍加寬到自 -60°C 至 100°C ，要在相對濕度為 $70-85\%$ 的條件下防潮，就要用漆來浸漬。

使用條件的溫度範圍自 -60°C 到 $+120^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度達 95% 時，必須用熱固性混合物來防潮。

当温度范围加宽到自 -60°C 到 $+140^{\circ}\text{C}$ 时，短期作用的湿度等于相对湿度 $95 \pm 3\%$ ，经常处于 40°C 到 45°C 的环境温度下(热带的使用条件)，就必须应用以环氧树脂为主的混合物。

如要长期经受相对湿度到 $95 \pm 3\%$ 的高湿度影响，使用在气压很低的条件下，就要用密封。

第四章

塑料零件

§4-1 概 述

塑料制品日益广泛应用于电讯工业中，这是因为在很多情况下塑料的特性比其他材料的特性高得多。例如：氟有机塑料在耐化学性能方面高于金和铂，同时是超高频介质。某些类型的玻璃塑料在拉伸强度方面超过了碳素钢等。

塑料的优越性能，保证了它广泛地应用于无线电工业中。塑料广泛地用作电绝缘材料及细工材料。在很多情况下，塑料的装置零件的质量比陶瓷装置零件的高。层状塑料广泛地应用于印制电路技术中。高频塑料广泛地应用于分米波段范围内（如带状波导管），并用作高频电缆的绝缘。由塑料来制造的外壳制品，种类是很多的。制造电容器用的膜状与片状塑料，在无线电工业中得到了广泛的应用。为了减少环境媒质对无线电设备的影响，而用树脂注入零件，部件及组件也得到了更广泛的应用。

除了塑料有好的特性而得到广泛的应用外，用塑料制造零件的方法也比较简单，这也促进了塑料的应用。

§4-2 制造塑料零件所应用的材料

按照加工方法或应用，塑料的可以如下分类：

1. 粉状压塑材料：

热固性的——在压力和热的作用下变成柔软状态，加温至一定温度时，塑料复固。热固性塑料是不可逆的，所以，不能进行重作。

热塑性的——也是在压力和热的作用下变成柔软状态，但压模降温后，变固，如果再升至一定温度时，又变软。所以热塑性塑料的制品可以反复进行很多次加工。

2. 薄板状的和层状的压塑材料。

3. 膜状材料。

4. 铸造树脂。

现在我们讨论上列的材料。

1. 粉状压塑材料：

粉状压塑材料可以分为两大类，低频用的及高频用的，表示如表4-1及表4-2。

表4-1内，酚甲醛树脂或酚氨基甲醛树脂加木粉及矿物粉当做填料，所以制成的压塑粉可用于用热压法来制造接线板，线圈骨架，绝缘垫圈等零件。用酚甲醛树脂加木

低频压塑粉的特性

表 4-1

压塑粉的成份		压塑的状态		压塑制品的特性							
胶合剂 (树脂)	填料	压力 千克/厘米 ²	温度 °C	每一毫米厚度 的压塑时间 (分)	收缩 %	密度 克/厘米 ³	吸水 性 %	馬氏 耐热 度 °C	冲击强度 千克厘米/厘米 ²	tgδ	击穿电场 强度 千伏/毫米
酚甲醛及甲酚甲醛 混合物	矿物粉及木粉	300	155	1	0.6-1	1.4	0.25	100	4.2	0.09	13
酚氨基甲醛树脂	木粉及矿物粉	300	160	2.5	0.6-1	1.4	0.25	100	4.2	0.09	13
酚氨基甲醛树脂	云母、石英粉	200	180	2.5	0.4-0.65	1.9	0.08	100	3	0.01	12
酚氨基甲醛树脂	云母、石英粉及木粉	300	200	2.5	0.5-0.8	1.9	0.08	100	4	0.02	12
酚甲醛树脂	石棉	450	175	1.5	4	1.84	0.8	200	18	0.2	9
酚甲醛树脂	矿物粉及木粉	300	190	1	0.6-1	1.35	0.1	110	94	0.1	12
酚甲醛树脂	木粉	500	—	1-1.75	—	1.5-1.75	—	12	2.5	—	—
酚甲醛树脂	云母	—	—	—	0.6-0.85	1.4	—	110	8	0.2-0.3	12
乙醛基纖維	高岭土	300	150	每个制品压塑 时间10-30分	—	1.1	0.8	40	20	—	—
酚甲醛树脂	重晶石	—	—	—	0.9	1.5	0.12	110	4.5	—	7
酚甲醛树脂	废棉紗	350	160	1	0.8	1.45	0.4	110	9	>0.1	2
酚甲醛树脂	石棉	—	—	—	0.3	1.85	1.0	200	21	—	—
三聚氰胺甲醛树脂	纖維	350	160	2.5	1	1.6	0.1	130	4	0.05-0.7	13
脲甲醛树脂	硫酸纖維	280	140	1.5	0.8	1.4	1	100	5	0.02	—
聚甲基丙烯酸酯 100%	無	110-300	140-100	3-5	0.1-0.6	1.2	0.5	60	5	0.07	23

表 4—2

高频塑料的特性及其压塑的状态

压塑状态及成品特性	测 量 单 位	压 塑 粉 名 称								
		聚 乙 烯	聚 苯 乙 烯	聚 乙 烯 乙 烯	聚 乙 烯 乙 烯	硬 橡 胶	型 苯 酸 塑 料	胶 合 云 母	聚 四 氟 乙 烯 塑 料	聚 三 氟 乙 烯 塑 料
压塑时的压力	千克/厘米 ²	70—40	400	100—250	—	—	200	500—700	—	—
压塑温度	°C	120—160	135—150	180	—	—	150—160	600	—	—
收缩	%	2—2.5	0.2—0.8	0.4—0.5	0.5—0.8	—	2.5	—	—	—
密度	克/厘米 ³	0.92—0.85	1.05—1.07	1.38—1.4	1.2	1.0	1.2—1.25	2.6	—	—
吸水性	%	0—0.01	0.05	0.03—0.2	—	—	0.06	0.3	—	—
馬氏软化温度	°C	104—120	90	115—130	100—150	130	93	450	—	70
导热度×10 ⁴	卡/厘米.秒.°C	6.2	1.9—3.2	—	6	—	—	—	6	1.4
线膨胀温度系数	1/°C	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	7×10 ⁻⁵	5.5×10 ⁻⁵	—	5.7×10 ⁻⁵	7×10 ⁻⁴	—	—
冲击强度	千克.厘米/厘米 ²	—	8	24	10	15	2	2.5—2.9	—	—
拉伸强度	千克/厘米 ²	127—133	350—600	820—520	310—390	500	600—700	420—350	—	—
拉伸时间伸长	%	300—500	1—5	—	—	—	—	—	—	—
比容积电阻	欧.厘米	10 ¹⁵ —10 ¹⁷	10 ¹⁵ —10 ¹⁷	—	10 ¹⁵ —10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹² —10 ¹³	10 ¹⁵	1.1—1.9·10 ¹⁶	1.2·10 ¹⁶
50赫时介电系数	—	2, 3	2, 5	2, 6	3	2.7	3.7—3.8	7.5—8	1.9—2.2	3
当10 ⁶ 赫时介电系数	—	2, 25	2, 55	2, 5	2.8	2.4	3.47	7	2	—
当50赫时tgδ	—	0.0001	0.0003	0.001	0.0007	0.0004	0.01	0.005	0.0002	0.015
当10 ⁶ 赫时tgδ	—	0.0001	0.0003	0.0002	—	0.0006	0.011	0.004	0.0002	0.01
当10 ⁶ 赫时tgδ	—	0.0002	0.0003	0.0004	0.0008	0.0009	0.006	0.006	—	—
击穿电强度	千伏/毫米	40	20—50	15	不大于50	35	25	15	25—27	19

粉当做填料所制成的压塑粉用来制造不要求有高绝缘的另件，如旋扭、圆盘、盖子、按钮等。用酚氨基甲醛加石英粉或云母粉当做填料所制的压塑粉可用来制造大的装置另件、电子管座、电感线圈的骨架等等。用酚醛树脂加石棉粉所制成的压塑粉可用来制造要求有较高耐热性的另件。用酚醛树脂加云母当做填料的压缩粉用来制造电子管底以及多甲基胺脂酸树脂（一种有介电性质的有机玻璃）用来制造窥视玻璃，信号灯罩、刻度盘等。

以上是热固性塑料粉的应用。现在再讲高频塑料的特性（表4—2）。

高频塑料是用来制造没有填料的另件的，例如：聚乙烯应用于制造高频电缆，聚苯乙烯，聚二氯乙烯，硬橡胶应用于制造高频装置另件，四氟乙烯及四氟乙烯塑料应用于厘米波技术中等。

2. 层状压塑材料：

应用于无线电工业上的层状压塑料，有低胶板、布胶板、玻璃布胶板等。工业所出产的纸胶板及布胶板有板状的，管状的及圆柱形的。按照应用频率来给它们分类，它们共有11种，厚度是自0.2到50毫米，见附表4—3所列。

表4—3 纸胶板的类型

纸胶板的牌号	编号	纸胶板的用途	频段
A	1	工作于当周围环境的温度自 -60 到 $+70^{\circ}\text{C}$ 时的变压器油中；	低 频 率 下
B	2	同上，但是沿着脊的方向具有较高的电强度；	
B	3	工作于周围环境的温度自 -60 到 $+70^{\circ}\text{C}$ 时的空气及变压器油中；	
Bc	4	用做渗透材料用，工作于周围环境的温度 -60 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 的空气中；	
Г	5	工作于周围环境的温度自 -60 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 时的较高湿度的情况下；	
Д	6	当板座材料用，工作于周围环境的温度自 -60 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 时的空气中	
AB	7	当周围环境的温度自 -40 至 $+60^{\circ}\text{C}$ 时，工作于一般用途的无线电设备中；	高 频 率 下
BB	8	当周围环境的温度自 -60 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 时，工作于电话装置中；	
BB	9	当周围环境的温度自 -60 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 时，工作于高频装置及电话装置中；	
ГB	10	当周围环境的温度自 -60 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 时，工作于高频装置中；	
ДB	11	当周围环境的温度自 -60 至 $+70^{\circ}\text{C}$ 时，作板座材料，工作于高频装置中。	

这些纸胶板的基本特性列于表4—4中；

表 4—4

紙 胶 板 的 基 本 特 性

特 性 名 称	指 标
1. 比重	1.25—1.40
2. 抗拉断極限强度 (千克/厘米 ²)	700—2000
3. 垂直于塑料層靜止弯曲的極限强度 (千克/厘米 ²)	800—2500
4. 垂直压缩塑料層时的極限强度 (千克/厘米 ²)	1500—2500
5. 彈性模数 $\times 10^5$ (千克/厘米 ²)	0.28—2.1
6. 垂直于塑料層的比冲击韌度 (千克/厘米 ²)	13—40
7. 布氏硬度 (千克/毫米 ²)	28—40
8. 24小时內的吸水量 (克/公分 ²)	0.5—0.7
9. 馬氏耐热度 (°C)	150—100
10. 热容量 (卡/克度)	0.3—0.4
11. 导热度 $\times 10^{-4}$ (卡/厘米·秒·C)	5—8
12. 綫膨脹溫度系数 $\times 10^{-5}$ (1°C)	1.7—2.5
13. 比容积电阻 (欧厘米)	10^{10} — 10^{18}
14. 平均击穿电場强度 (千伏/毫米)	12—30

布胶板类似紙胶板的材料，但它是用布做的（一般是粗白洋布或平織布）。与紙胶板比較布胶板的絕緣性能低得多，而且在潮湿大气里它的絕緣性能是急剧下降的。布胶板的厚度，一般是自0.5—50毫米。常用的布胶板如表 4—5 所列出的。

表 4—5

电 工 布 胶 板 的 类 型

布胶板的 牌 号	編 号	主 要 的 用 途
A	1	当做結構与絕緣材料用，工作于当周圍媒質溫度自-60至+70°C时的变压器油中。
B	2	当做結構与絕緣材料用，工作于当周圍媒質溫度自-60至+70°C时的空气中。
B _н	3	当做絕緣材料用，工作于当周圍媒質溫度自-60至+70°C时的无线电设备的空气中。
Г	4	当做板座材料用，工作于当周圍媒質溫度自-60至+70°C。
CT	5	当做电工玻璃板用，工作于当周圍媒質溫度自-60至+125°C时的空气中。

这些布胶板的基本特性皆詳列于表 4—6 中。

表 4-6 数 种 层 状 酚 醛 塑 料 布 胶 板 的 特 性

指 标	塑 料 的 基 体			
	棉 布	玻 璃 布	石 棉 布	木 胶 合 板
比重	1.3—1.4	1.6—1.84	1.6—1.3	1.02—1.48
抗拉断的极限强度 (千克·厘米 ²)	500—1200	900—2400	650—1180	1500—3600
弹性模数 $\times 10^9$ (千克/厘米 ²)	0.21—1.05	0.7—1.4	0.2—1.05	3
抗压极限强度 (千克/厘米 ²)	1400—3000	2900—3800	160—3150	1200—3000
抗静止弯曲极限强度 (千克/厘米 ²)	900—2000	1100—2300	700—1400	1700—3800
抗切割极限强度 (千克/厘米 ²)	880—1045	1300	590—1025	—
比容积强度 (千克厘米/厘米 ²)	20—64	32—83	15—40	30—100
布氏硬度 (千克/毫米 ²)	25—45	—	25—43	30—87
导热度 $\times 10^{-4}$ (卡/厘米·秒·°C)	120—160	170—1800	160—250	150—170
热容量 (卡/克·°C)	5—8	5—8	—	6—10
线膨胀温度系数 $\times 10^{-5}$ (1°C)	6.3—0.4	—	—	0.4—0.6
比表面电阻 (欧)	8—4	—	1.7—2.5	—
比容积电阻 (欧·厘米)	$10^9—10^{11}$	$10^{10}—10^{12}$	10^9	—
50赫时介质损耗角的正切值	$10^{12}—10^{13}$	$10^{10}—10^{13}$	10^9	$10^9—10^{11}$
10°赫时介质损耗角的正切值	—	0.04	0.3—0.6	0.04
当50赫时的介质系数 ϵ	0.02—0.08	0.01—0.02	—	0.01—0.07
当10°赫时的介质系数 ϵ	5—10	5.4—5.6	25	5—6
电气强度 (千伏/毫米) (与厚度有关)	4.5—7	3.7—5.7	—	7—8
吸水量 (24小时内) %	4—24	12—26	0.6—2	3—12
当压力为37—44千克/厘米 ² 时的摩擦系数	0.3—1.0	0.03—0.06	0.3—2	0.4—1.1
当压力为10千克/厘米 ² 时的摩擦系数	—	—	—	0.014—0.035
	—	—	0.5—0.7	0.06—0.09

4. 膜状材料:

膜状材料, 广泛地用作电容器的介質絕緣材料。現在我們來討論数种膜状材料的特性:

醋酸纖維素膜:

厚度..... 0.085 ± 0.015 毫米

$\text{tg}\delta$ (当 10^6 赫时)0.035

t° $20^\circ \pm 3^\circ\text{C}$

ϵ (当 10^6 赫时)3.4—4.21

击穿电場强度.....62千伏/毫米

軟化温度..... 80°C

聚苯乙烯膜:

厚度..... 0.02 ± 0.003 ; 0.05 ± 0.001 毫米

$\text{tg}\delta$ (当 10^6 赫时) $5 \sim 6 \times 10^{-4}$

ϵ2.75

击穿电場强度.....100千伏/毫米

軟化温度..... $80^\circ - 90^\circ\text{C}$

聚乙烯膜:

厚度.....自0.03—0.2毫米

击穿电場强度.....50—80千伏/毫米

軟化温度..... $100 - 110^\circ\text{C}$

具有高的耐寒性 (-60°C)

聚四氟乙烯塑料膜:

$\text{tg}\delta$ (当 10^6 赫时) $2 \cdot 10^{-4}$

ϵ (当 10^6 赫时)1.9—2.2

击穿电場强度.....100千伏/毫米

它是耐冷的最好材料。

聚乙烯苯二甲脂膜:

$\text{tg}\delta$ (当50赫时) $2 - 6 \cdot 10^{-3}$

ϵ (当50赫时)3—3.4

击穿电場强度.....80—120千伏/毫米

4. 鑄造树脂:

鑄造树脂由于有高的耐湿性, 耐水性, 密封性及在动态負荷情况下有高的可靠性, 最近已开始广泛地采用。

現在我們來討論某些类型的鑄造材料。

混合物 KPMC—1, KPMC—2 是以聚醚树脂为基体的 (前者是硬的, 后者有較高的可塑性及耐寒性)。在硬化状态下具有下列特性:

电气强度.....21—29千伏/毫米

比容积电阻..... $10^{14} - 10^{15}$ 欧·厘米

t_g (当50赫时) 0.014—0.025

ε 3.7—4.3

线膨胀温度系数 $9-10 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

环氧树脂 (硬化的):

击穿电场强度 30 千伏/毫米

比容积电阻 $10^{13}-10^{15}$ 欧·厘米

t_g (当 10^6-10^8 赫时) 0.02—0.03

ε (当 10^6-10^8 赫时) 3.5—3.8

环氧树脂—聚酯树脂的复合物:

击穿电场强度 10—25 千伏/毫米

比容积电阻 10^{15} 欧·厘米

t_g 0.002—0.004

MBK—1 及 MBK—3 型的丙烯酸盐混合物: (前者是硬的, 后者是橡胶状的) (在硬化状态下)

	MBK—1	MBK—3
击穿电压:	20—25	15—18 (千伏/毫米)
比容积电阻	$10^{13}-10^{14}$	$10^{12}-10^{13}$ (欧·厘米)
t_g :	0.05—0.07	0.04—0.06
ε :	3.1—3.5	4.5—5.2

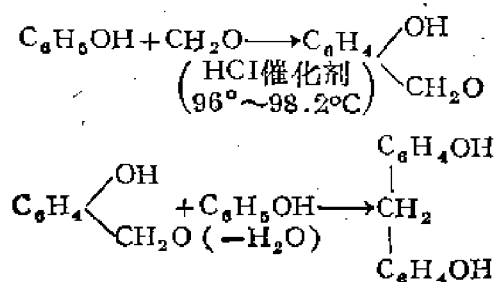
§4—3 制造塑料制品的工艺 (以酚醛树脂的塑料为例)

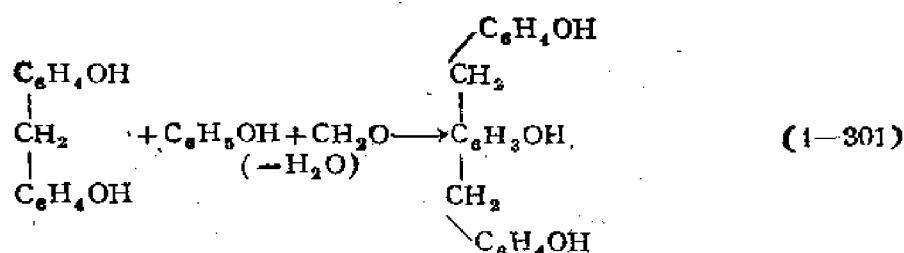
I. 原料:

已经指出, 塑料零件是用压塑粉用冲压或铸造的方法来制造的, 或者利用层状塑料用机械加工的方法来制造的。用塑料制造出的零件的质量, 决定于压塑粉的成分, 配制压塑粉的工艺, 及零件的制造工艺。压塑粉由树脂、填料, 硬化剂或树脂硬化加速剂、润滑剂、染料等所配制的。压料粉的配制, 是利用专用设备来加工的复杂过程。现在简单地讨论一下压塑粉配制的原料及过程。

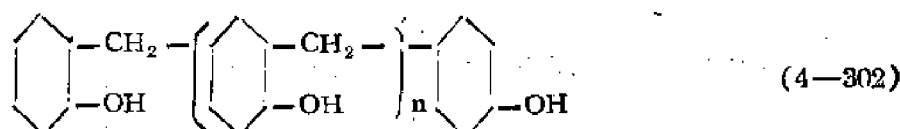
树脂: (未压塑前的酚醛树脂)

树脂是任何压塑材料的基体, 它的特性基本上决定了塑料成品的特性。在制造酚醛树脂时 (未压塑前), 采用苯酚及甲醛为基体, 并加少量盐酸当做催化剂。在加温至 98°C 时, 化变应是:



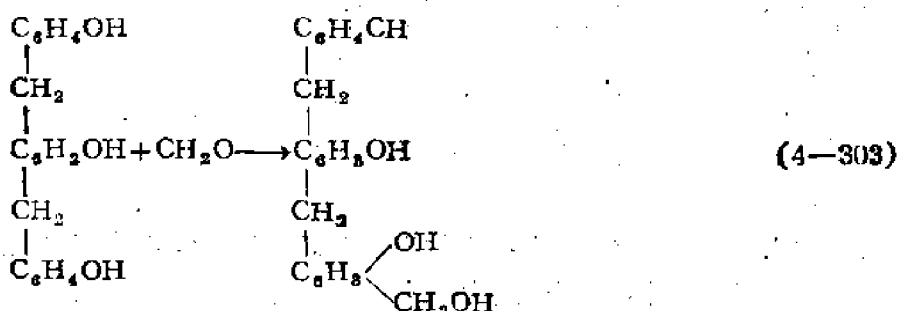


(4—301) 式內最終一步，就是綫性酚醛樹脂的基本因素，它的結構式。



(4—302) 式就表示用酚醛樹脂做成的塑料粉還沒有壓塑成塑料零件時的結構，此時的化學名辭叫做綫型酚醛樹脂，它是壓塑粉中的主要成分。

如果在綫性酚醛樹脂里加大甲醛的量，則可溶性酚醛樹脂就形成了，如：



(4—303) 式右端就是可溶性的酚醛樹脂，它所以成為可溶性的，就是因為在它的結構里存在了一個很活潑的 OH，及一個亞甲基醇 CH_2OH 。

在製造樹脂時，應用酸性的或碱性的催化劑。當應用酸性催化劑時，得到所謂綫型的酚醛樹脂，當應用碱性催化劑時，得到所謂可溶性的酚醛樹脂。應當指出——用可溶性的酚醛樹脂作為基體製成的壓塑粉，通常具有最好的電氣絕緣性能。

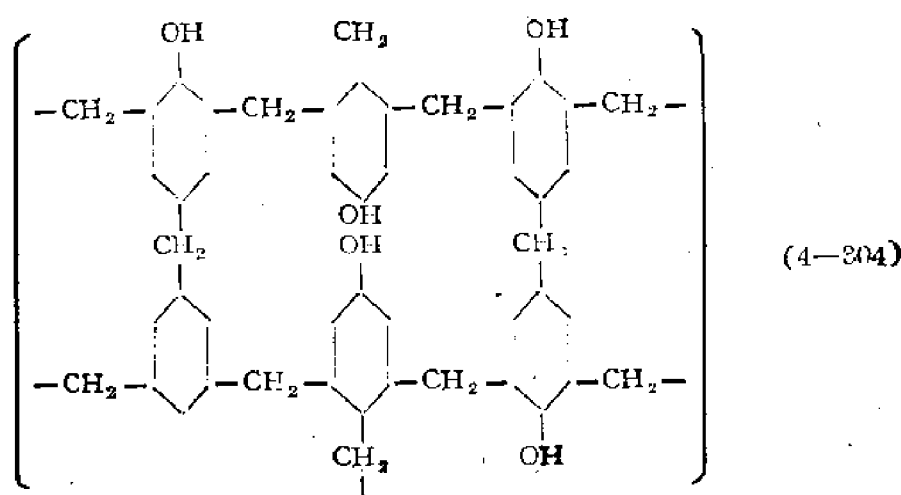
填料：

最常用木粉、短纖維石棉、云母、石英粉等作為填料。礦物填料的應用，稍微增加了塑料製品的耐濕性。

填料可以在某種程度上改變塑料的性能。

樹脂硬化的硬化劑或促進劑：

為了將綫型酚醛樹脂變成熱固性的塑料，採用硬化劑六亞甲基四胺 $[(\text{CH}_2)_6\text{N}_4]$ ，加到塑料粉里去，在壓塑塑料粉成為塑料零件時，則綫型酚醛樹脂，即變為體型的樹脂，這就使樹脂變固了，它的結構式，應如 (4—304) 式表示：



此结构式，是目前研究酚醛塑料零件得到的一个最可能的结构，它的分子量高达1270。这个结构式表示酚醛树脂做成的塑料零件里变固了。由这个结构再不能变回原线型酚醛树脂去。

在可溶酚醛塑料中采用使热固性可溶酚醛塑胶加速硬化的专门物质，除六亚甲基四胺外，也可采用碱土金属的氧化物、氯化镁及氯化钙。

润滑剂：

润滑剂加入塑料粉的成分中去，是为了改善它的可塑性，并为了使被压塑的制品不附着于压模的表面。此外，大家还认为润滑剂会减少压塑材料粒间的摩擦，即塑料粉中加入了润滑剂后，在压缩时，可以提高材料的流动性和可塑性。混脂酸、硬脂及硬脂酸盐都可用来做为润滑剂。

染料：

染料的应用，使压塑材料有各种不同的颜色等。对于染料所提出的基本要求，是耐热性、耐光性、徙动稳定性等（徙动的意义，是使染料的粒子跑到塑料制品的表面上）。在生产中应用大量有机的及无机的染料。

其他的补充料：

为了得到发光的塑料（例如：为了度盘装置）在压塑材料的成分中加入荧光粉的激励剂。

II. 线型酚醛压塑粉的生产：

线型酚醛压塑粉可以用干制法（辊轧及螺旋推进法）及湿制法（乳胶体轧制法）来配制。现在线型酚醛树脂压塑粉主要是用干制法来制造的。

我们来讨论线型酚醛树脂压塑粉的制造作为例子。（表4—7）

图4—301表示用连续辊轧法生产压塑粉的示意图。

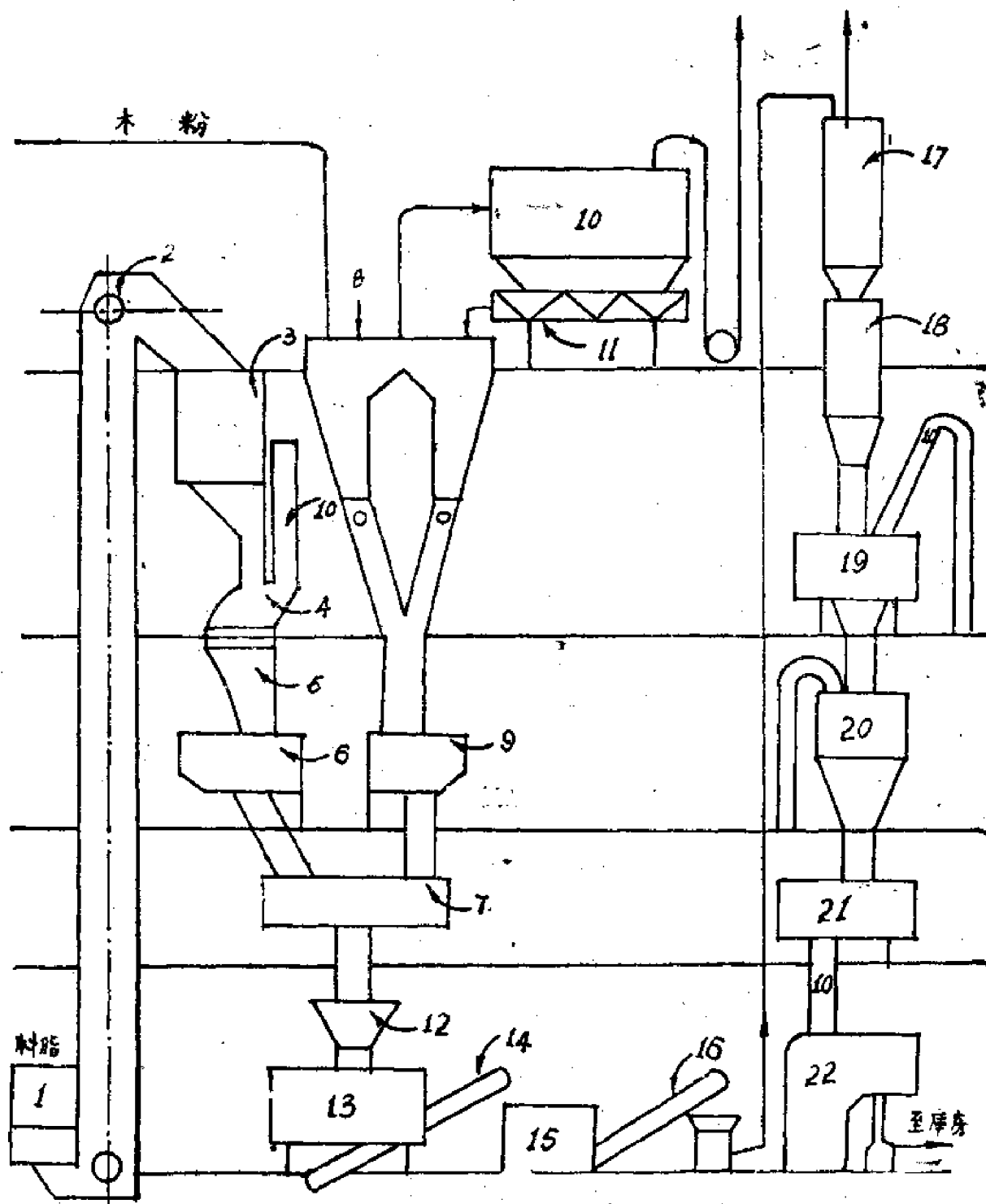


圖4——301 用連續輥軋法生產壓製粉的示意圖

- | | |
|-------------------------|----------------|
| 1, 15. 齒牙破碎机 | 11. 螺旋推進器 |
| 2. 翻斗提升機 | 13. 輥子 |
| 3, 5, 8, 12, 13, 20. 溜斗 | 14, 16. 傳送帶 |
| 4. 沖擊動作式磨碎機 | 17. 旋風分离器 |
| 6, 9. 自動天平 | 19. 籠型粉碎機型的磨碎機 |
| 7. 拌合機 | 21. 分批的拌合機 |
| 10. 袋式濾氣器 | 22. 定量包裝機 |

表 4—7

酚醛树脂压塑粉的配方

序 号	名 称	重 量 比	用 途
1	酚甲醛树脂	4.8	树 脂
2	木粉	43.6	填 料
3	六亚甲基四胺	6.5	硬 化 剂
4	普鲁士红	4.4	填 料
5	基胺墨	1.1	染 料
6	熟石灰或氧化镁	0.9	硬 化 剂
7	混脂酸或硬脂	0.7	潤 滑 剂

圖4—801 示意图的工作进行如下:

树脂在齿牙式破碎机 1 中预先压碎后,用翻斗提升机 2 送到漏斗 3 中,从那里自动地进入冲击动作式磨碎机 4 中去进行最终的磨碎。磨碎的树脂从漏斗 5 经过自动天平 6 周期地装到容量为 20 立方米的拌合机 7。翻斗提升机及磨碎机 4 中的空气,经过袋式滤气器 10 而进入小室中,被滤气器阻挡住的树脂再倒入磨碎机中去。用气动把木粉送到漏斗 3 中去,自流地送到天平 9 中去,再周期地装到拌合机 7 中去。传送木粉的空气从漏斗 8 经过袋式滤气器出来,而被袋式滤气器阻挡的木粉依靠螺旋推进器 11 再回到漏斗 8 中去。

磨碎的压塑粉的其他成分直接装到拌合机 7 中去,

在结束混合过程后,成分的混合物经过漏斗 12 进入到辊子 13 中去。

在辊子上由于温度及压力的作用,使填料和其他成分被混合的树脂所浸渍。

从辊子上切成带料的碾压过的压塑材料由传送带 14 送到破碎机 15 中去。在传送带 14 上由于空气的吹洗也使压塑材料冷却。磨碎的压塑材料用传送带 16 送到管道中去,然后经过旋风分离器 17 及漏斗 18 自流地送到磨碎机 19 中去。压塑材料从放在磨碎机下的漏斗 20 中出来,倒入拌合机 21 中去,在这里将各批合并并标准化。最后一个操作是在定量包装机 22 上将压塑粉定量包装成小的包装。

Ⅲ. 可溶酚醛树脂压塑粉:

可溶酚醛树脂压塑粉的生产,也可以用干制法及湿制法来实现,较常用的是干制法。生产可溶酚醛树脂压塑粉的设备和生产线型酚醛树脂压塑粉的设备相似。可溶酚醛树脂压塑粉的配方作为例子表示如附表 (4—8)

表 4—8 可溶性酚醛树脂压塑粉的配方

序 号	成 分 的 名 称	重 量 比
1	酚甲醛树脂	25.8 (以干的重量来计算)
2	甲酚甲醛树脂	25.8 (同上)
3	木粉	40.8 (同上)
4	六亚甲基四胺	1.0
5	混脂酸	1.4
6	普鲁士红	4.4
7	氨水	到甲醛完全胶合为止

IV. 層狀塑料的生产:

紙胶板、布胶板和玻璃布胶板的制造工艺是相似的。因此我們只討論紙胶板的生
产。

为了制造紙胶板，紙的浸漬是在水平浸漬机上进行的。水平浸漬机的示意图示于圖
(4—302) 中。

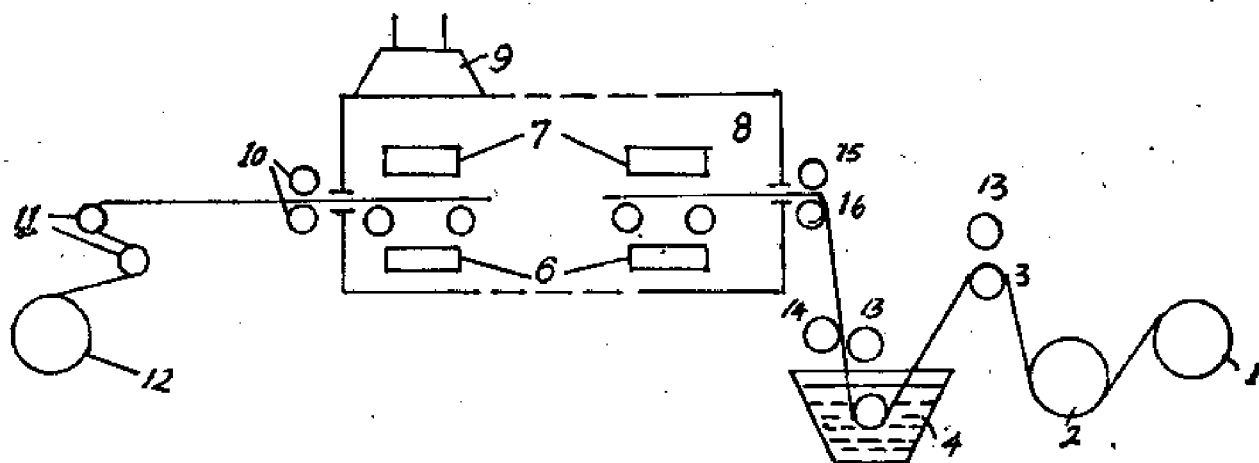


圖4—302 水平浸漬机的示意图

- | | |
|------------|------------------|
| 1. 原始填料的辊軸 | 8. 浸漬机的烘干室 |
| 2. 烘干油 | 9. 排气罩 |
| 3. 导向軸 | 10. 主动軸 |
| 4. 浸漬槽 | 11. 調整輥 |
| 5. 浸漬槽的軸 | 12. 已浸漬过填料的紙的收集管 |
| 6. 支持軸 | 13. 14. 挤压軸 |
| 7. 蒸汽螺旋管 | 15. 16. 压力軸 |

水平浸漬机的工作原理如下:

填料 (对于紙胶板來說是紙) 从辊軸 1 繞过烘干軸 2 及导向軸 3 跑到浸漬槽 4 中去。多余的漆被挤压軸 13、14 从填料上挤出来。从浸漬槽中出来，填料跑到水平的烘干室 8 中去，在这里被軸 6 所支持住。軸 10 是主动的，而在必要时，軸 15、16 和軸 10 同步的旋轉。用蒸汽的螺旋状管 7 来加热烘干室。

浸漬后的紙切成塊状，叠放起来，再压制成紙胶板。在叠放以前，为了清除剩余的揮發性物質要預先进行烘干。

紙胶板的压制，是当温度为 $160-165^{\circ}\text{C}$ ，压力不超过 100 公斤/厘米² 时，在層压冲床上进行的。在冲床下的持續時間是每一毫米板厚为 3—7 分鐘。在冲压持續時間后，将被压制的板料冷却，冷却时，为了避免由于存在于其中的揮發性物質而产生材料的膨胀所以不除去压力。

V. 获得塑料制品的方法:

为了获得塑料制品，采用以下的基本方法:

- 1) 压塑;
- 2) 压铸;
- 3) 無压力鑄造;
- 4) 机械加工;

1. 压塑

压制塑料制品, 是利用压模和冲床(液压式的或机械的)来进行的。进行压制的办法是根据所采用的压塑粉的特性, 在热的或者冷的压模中压制。这是压塑热固性塑料粉的办法。

热塑性压塑粉的制品是在冷却到温度为 $10-60^{\circ}\text{C}$ 以后才取出。这样就降低了劳动生产率, 因此加工热塑性压塑粉时, 常用压铸法进行。

2. 压铸:

压铸是在专门的鑄造机上实现的, 鑄造机的示意图示于圖4—303。

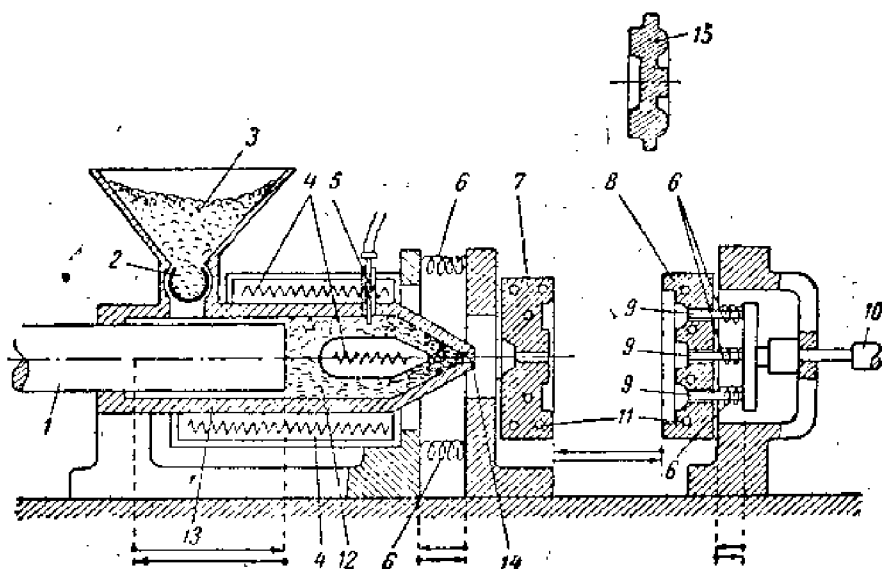


圖4—303 压铸法制造热塑性物質的鑄造机略圖

- | | |
|-----------|------------------|
| 1. 撞杆 | 10. 支柱式推器 |
| 2. 定量装置 | 11. 在模子内使水流动冷却的槽 |
| 3. 盛料漏斗 | 12. 装料室 |
| 4. 加热器 | 13. 圆柱体空腔 |
| 4. 自动调温器 | 14. 圓筒形杆臂 |
| 6. 弹簧 | 15. 压制另件 |
| 7. 模子的一半 | |
| 8. 模子的另一半 | |
| 9. 浇嘴 | |

机器是按下式方式来进行工作的: 压塑粉倒入漏斗3中, 从那里经过定量装置2送入圆柱体空腔13中。撞杆1的运动, 把压塑粉送到加热器4中。为了加速材料的加热,

在圓柱体中裝置有芯子，由于它把材料变成薄層，从而就加速了加热过程。

当撞杆再往后运动时，就把軟化了的材料在压力作用下通过嘴子14送入冷的鑄型7和8中，那里由于是低温，因而就迅速的被凝固。此后，鑄型被拆开，而借助于推出器10把制品推出。

根据材料性能来决定是把鑄型預热到40—60°C或者是用水冷却到15—20°C。为了冷却和預热，在鑄型中裝置了专门的水管，用作冷却和加热的水流过水管。

3. 無压力的鑄造：

無压力的鑄造，很少用来制造零件。这样的鑄造法是被用来用树脂灌注組件和部件的，目的是为了密封。

4. 机械加工：

为了获得制品而进行的塑料机械加工，很少区别于金屬加工，主要区别是仅改变切削工具磨銳的角度，所以对紙胶板、布胶板、玻璃布胶板和其他塑料的机械加工，可完全采用金屬加工的办法来做。

§4—4 塑料零件的設計

在設計塑料零件时，必須遵循零件設計的一般原則，并且必須考虑到塑料的材料特性和塑料零件工艺制造的特点。

I. 零件的形状：

零件的形状，應該做成使零件很容易的从压模中取出。在設計零件时，还應該考虑到压模制造的复杂性，因此零件的形状應該簡單。

II. 斜度：

为了保证零件能从型模中取出，外壁和內壁應該具有一定的結構斜度。对于热压，建議用下面的斜度最小值（見表4—9）。

表 4—9 建議 的 斜 度

制品的高度	不大于10	10—100	100—200	大于200
斜 度	10:100	2.5:100	1:100	0.5:100

在冷压时斜度应做成(5÷10):100。

III. 壁厚：

塑料零件最小壁厚，决定于它的机械强度和塑料的流动性。

对于酚醛塑料型的热压塑料零件，不推荐采用小于1.5毫米的壁厚，在冷压时，壁厚应取4—6毫米。为了减少弯曲和其他的缺陷，應該尽可能做到相同的壁厚和务必做到平滑的过渡（參見圖4—401和4—402）。

薄壁制品，可以利用加固筋来加固，这些加固筋應該被安置得与压塑的軸向平行着。

具有加固筋零件結構的例子示于圖4—403。



圖 4 — 401 具有相同和不同壁厚的制品

- a) 不正确的
- b) 正确的

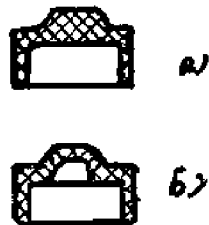


圖 4 — 402 具有相同和不相同壁厚的制品

- a) 不正确的
- b) 正确的

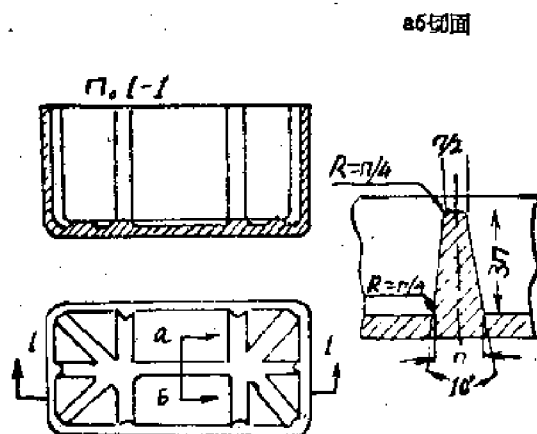


圖 4 — 403 具有加固筋的空心塑料另件的結構

在不必要有加固筋的地方，空心制品的壁推荐不做成平面的，而做成有少許凸出的弧形。

Ⅳ. 孔洞：

在設計孔洞时，应照顧到压模的强度和遵循圖（4—404）中的建議。

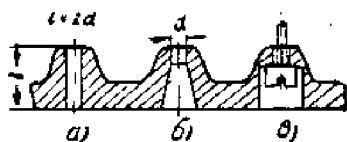


圖4——404 孔洞的結構形狀

- а) 对于这种孔洞，压模心子的强度是不足的，因而心子可能损坏。
- б) 对于这种孔洞，压模心子比較坚固一些，因为压模心子的半径增大了。
- в) 这个孔大大的增强压模的强度。

对于用木粉作为填料的热压塑料，推荐最大的比例是 $\frac{H}{T} = 2.5$ （參見圖4—405）。

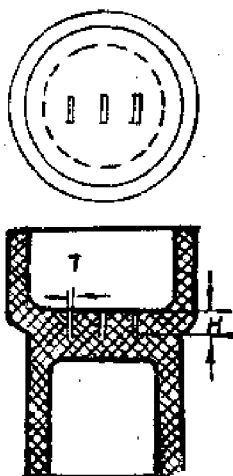


圖4——405. 在塑料制品中細而深的“死孔”

对于具有碎棉布填料的塑料 $\frac{H}{T} \leq 2$ 。

对于用压塑和鑄压方法允許 $\frac{H}{T} \leq 6$ 。

为了防止孔和零件边缘之間的間隔的断裂，同样也为了防止“死孔”底的变曲，应遵循表4—10中的建議（圖4—406）。

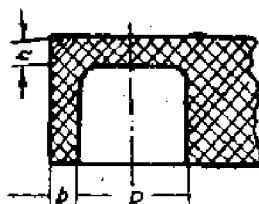


圖4——406 在塑料制品中間隔“死孔”底的厚度

表 4—10 孔洞間的厚度，孔洞与边缘間的留边厚度及死孔底厚的最小值

D (毫米)	厚 度 的 最 小 值 (毫 米)	
	間 隔 b	死 孔 底 h
不大于 3	1.0	1.0
3—6	1.5	2.0
6—10	2.5	2.5
10—18	3.5	3.0
18—30	4.0	4.0
30—50	5.0	5.0

对于具有螺紋的孔洞，留边的数值应增加到1.25倍。用作打孔的凸部应该向零件里移动少許（示于圖4—407）。

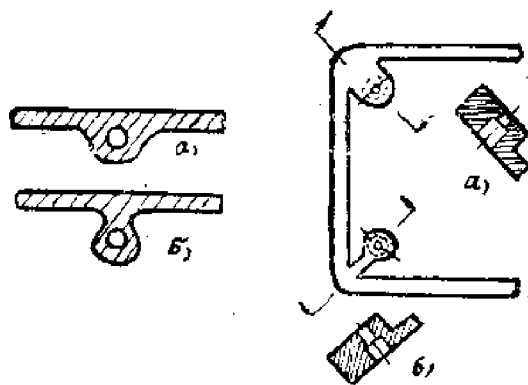


圖 4 — 407 安置在另件边缘用作打孔的凸部的形状
a) 不正确的 b) 正确的

V. 圓角半徑和螺紋:

已經指出在塑料零件上具有尖角和尖銳边缘是不希望的。

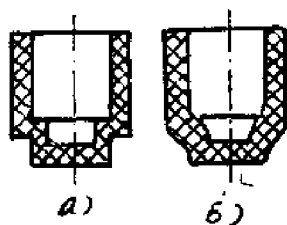


圖 4 — 408 具有尖角和尖銳邊緣以及圓角和圓滑邊緣的制品
a) 不正确的 b) 正确的

对于热压塑料，推荐采用的最小圆角半径是0.8毫米，在冷压时是2—3毫米。也不允许采用要求凸模有尖锐边缘形状的零件结构（圖4—409）。

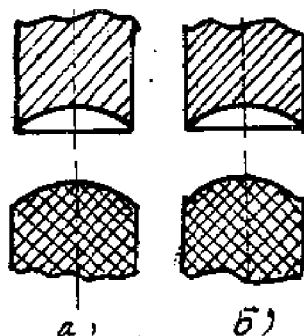


圖4—409 具有凸起的制品
a) 不正确的, b) 正确的,

在设计有螺纹的制品时，应该周密考虑到螺絲能自由的旋入和旋出，在此情况下，螺纹应该只采用大的。



圖4—410 螺紋孔潤入口部分的正确形状

在細螺紋的情況下，以及如果按照使用条件的需要常常进行旋进旋出的情况，建議采用嵌入金屬螺紋。

VI. 滚紋和刻槽:

压塑时在塑料零件上很容易获得滚紋。紋齿形应该做成半圓形的断面，安置得与压塑的中心軸向平行（圖4—411和圖4—412）。

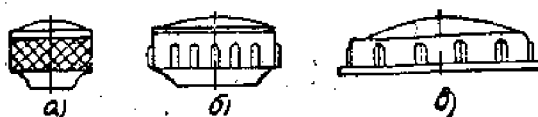


圖5—411 塑料另件的滚紋及刻槽的形式
a) 不正确的 b) 正确的 c) 正确的

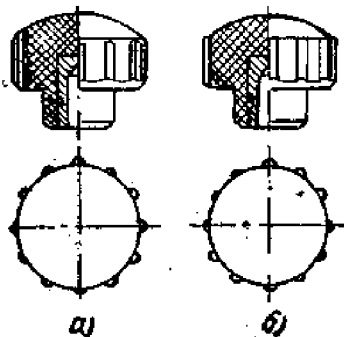


圖4—412 塑料另件上的刻槽形式
a) 正确的 b) 不正确的

Ⅶ. 塑料零件的加固（如塑料件内加放金属嵌件等）：

为了塑料零件的加固，应采用以下措施：

1. 当塑料部件与其他零件或部件必须有牢固的螺纹件連結时，要应用螺纹衬套或者是用带有螺纹部分的心杆来加固塑料（圖4—413）。

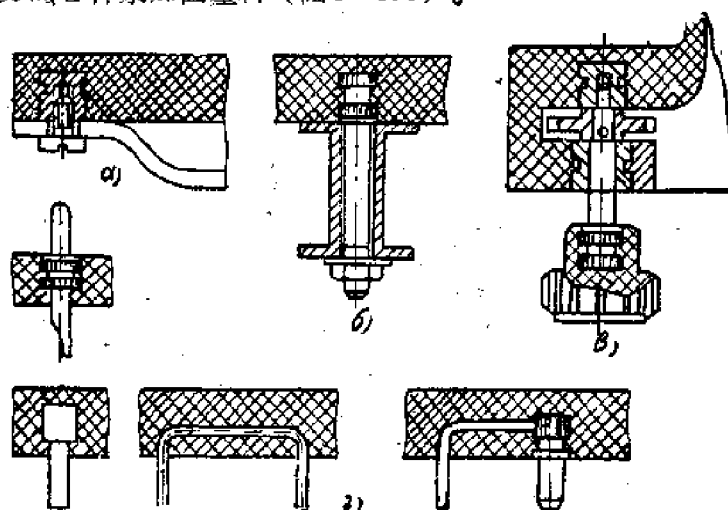


圖5——413 加固的塑料另件

a) 用螺纹衬套来加固的， b) 用具有轴承功用的另件来加固的，
c) 用心杆和螺纹加固的， f) 用导线的嵌件来加固的。

2. 如果按结构考虑，在塑料中要求装置轴承或者轴。

3. 如果在塑料中要求装上电气接点。

用作提高机械强度而在塑料零件里加金属嵌件，只是在特别情况下才能允许这样做，因为塑料和金属具有不同的温度膨胀系数（参见表4—11），当存在有温度的变化

表4—11 各种材料的线膨胀温度系数 $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ (0° 和 100°C 之間)

材 料	系 数 数 值
具有石棉或者玻璃纖維的酚醛塑料	1—3
具有木粉的酚醛塑料	3—5
聚苯乙烯	7—10
醋酸纖維素	10—16
乙炔纖維素	10—14
銅	1.65
黃銅	1.84
鉛	2.38
鋼	1.2
銀	1.97
玻璃	0.85—1.07
陶瓷	0.1—0.4

而使材料变化时，将会导致零件产生断裂和裂纹。

为了改善被加固过的塑料，必须：

1. 使嵌件的截面小于壁的截面。
2. 嵌件应该放置得离开制品的边缘和表面远一些。

为了把嵌件紧固在塑料中，嵌件的表面应做有小槽或滚花（图4—414）与（图4—415）。

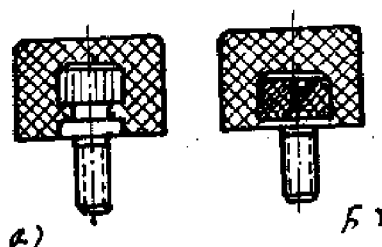


图4—414 与滚花配合的槽(a)及嵌件的斜方纹(b)

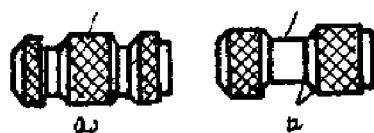


图4—415 具有小槽的金属嵌件

a) 不正确的 b) 正确的

建议用下面的小槽的尺寸比值以及它们在被压入部分中的位置（图4—416）。

$$d_1 = 0.8D$$

$$d = 0.75D$$

$$a \geq 0.25D \text{ (但不小于1毫米)}$$

$$b \geq 0.25D \text{ (但不小于1毫米)}$$

$$c \geq 0.25D \text{ (但不小于1.5毫米)}$$

其中 D 是嵌件被压部分的最大直径（在滚花前）。

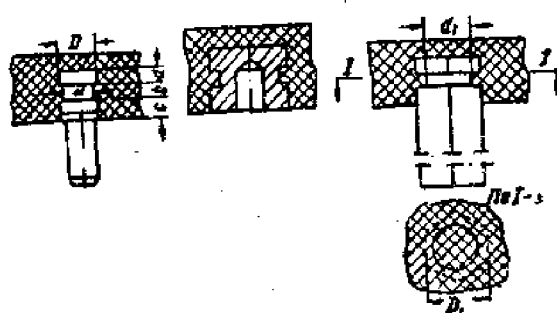


图4—416 塑料零件的加固部分的尺寸

在杆状的长的嵌件的情况下，不应该沿着嵌件的长度上做有几个小槽，因为这样会由于塑料和金属有不同的热膨胀系数而导致在塑料中有相当大的应力。这时滚花做成直

綫的（圖4—417）。



圖4——417 杆狀嵌件的正确結構

被推荐的沒有小槽的金属嵌件的結構，示于圖4—418中，嵌件高度对直徑的比例不應該取得大于4。

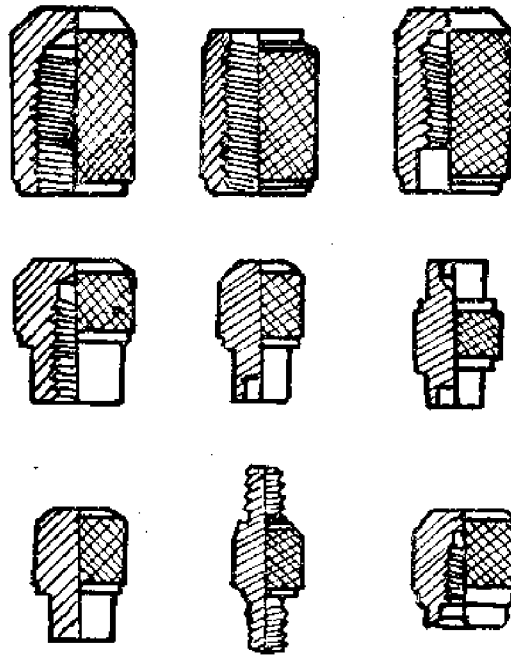


圖4——18 金属嵌件的結構

由于有引起应力的危險性，應該避免用大的薄板形嵌件，而且还應該把嵌件安置得和表面之一齐平（圖4—419和圖4—420）。

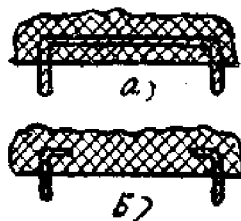


圖4——419 在塑料中的薄板形嵌件

a) 不正确的 b) 正确的

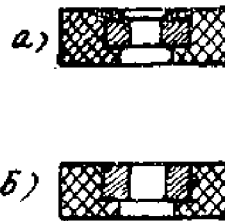


圖4——420 靠近制品表面的嵌件

a) 不正确的 b) 正确的

根据制品机械强度来考虑，被安置在凸起部分或轮毂中嵌件的高度应该大于凸起部的高度（圖4—421）。对于螺纹嵌件压入部分，应具有比螺钉大的直径（圖4—422）而对凸起部分的长度，为避免歪斜应该不小于2—3倍螺钉的直径。



圖4—421 在凸起部中的嵌件

a) 不正确的 b) 正确的

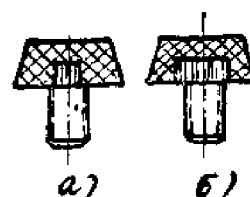


圖4—422 螺纹的嵌件

a) 不正确的 b) 正确的

不应采用安置得与压塑中心轴有角度的嵌件（圖4—423），在这些情况下，必须进行鑽孔并在必要的情况下进行攻螺纹或者采用专门的自动攻螺纹的螺钉。



圖4—423. 与压塑中心轴有角度的螺纹孔

a) 不正确的 b) 正确的

在塑料零件与其他零件相联接时，結合的銜接处，不应该做在塑料上而应该做在嵌件的端面上（圖4—424）。

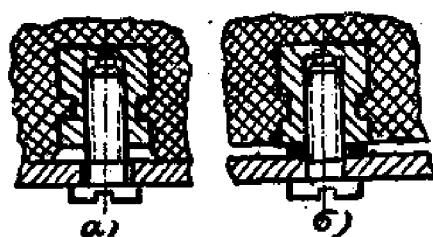


圖4—424 塑料另件和其他另件的結合

- a) 在紧固时，螺纹套管将被拔去
- b) 銜接处不在塑料上，而在套管端面上（为防止拔出套管用的）

鋅片嵌件为能紧固地与塑料件接合，焊片嵌件上应做有孔洞，切口或折弯（圖 4—425）。在金屬焊片的厚度小于0.5毫米时，建議不采用孔洞而用切口，在塑料件壁厚小时，則用折弯。

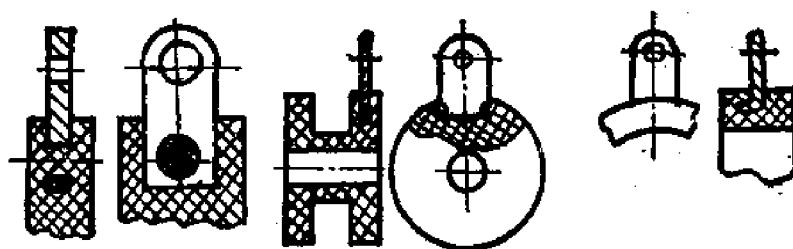
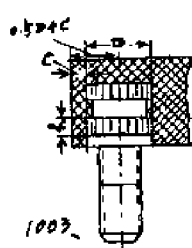


圖 1—425 在塑料中鋅片嵌件的紧固

在嵌金屬嵌件处，塑料層厚度的最小数值列举在表 4—12 中。

表 4—12 压入金屬嵌件处的塑料层厚度的最小数值(尺寸用毫米)

D	b	C	
不大于 4	0.8	1.5	
4—8	1.5	2.0	
8—12	2.0	3.0	
12—16	2.5	4.0	
16—25	3.0	5.0	

在非圓形嵌件的情况下，塑料最小允許的厚度應該增加。

在大的金屬嵌件压入到塑料中时，有时預先在嵌件上涂复薄的一層耐热橡胶，它可以补偿热膨胀系数的差值，采用橡胶和“格里夫搭”漆涂复嵌件，也是为了获得嵌件与塑料件間的密封。

Ⅷ. 塑料零件制造的准确度：

已压塑好的制品的尺寸，照例总是小于压模腹腔工作部分的相应尺寸，这是由于塑料在凝固和冷却过程中具有收縮的性能。收縮的大小决定于采用的压塑材料（它的线膨胀系数，及湿度等），压塑状态和制品的壁厚。

因此为了降低收縮，建議进行压塑粉預先烘干。制品在压模中进行冷却。

压塑制品尺寸的准确度，对于小型制品是在四級範圍內，而对于大型制品是七級。

在表 4—13 中列举了对于热压制品公差的大約数值，而在圖 4—426 上是对获得

压模成形部分的标称尺寸的制品和标称尺寸的加工余量。

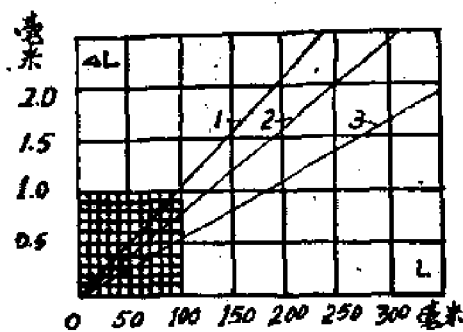


圖4——426 压塑制品标称尺寸的加余量决定于压模成型部分相应的标称尺寸〔对于具有0.6—1%收缩率的压塑料〕

1. 压模型心. 2. 中心間的距离 3. 压模凹孔

表4—13 对于具有0.6—1%收缩率的压塑另件的包圍（孔洞）和被包圍（軸）部分的公差（可溶酚醛树脂的和綫性酚醛树脂的压塑粉）

包圍和被包圍部 分的标称尺寸 (毫米)	極 限 偏 差 (微 米)			
	孔 洞 的 偏 差		軸 的 偏 差	
	下 面 的	上 面 的	下 面 的	上 面 的
从 1到3	0	+60	0	-60
3—6	0	+80	0	-80
6—10	0	+100	0	-100
10—18	0	+120	0	-120
18—30	0	+170	0	-170
30—40	0	+230	0	-230
40—50	0	+280	0	-280
50—65	0	+340	0	-340
65—80	0	+400	0	-400
80—100	0	+460	0	-460
100—120	0	+530	0	-550
120—150	0	+660	0	-660
150—180	0	+780	0	-780
180—220	0	+940	0	-940
220—260	0	+1100	0	-1170
260—310	0	+1300	0	-1300
310—360	0	+1500	0	-1500

第五章

陶瓷零件

§5-1 概 述

如果要提高無線电設備的使用要求，就需研究一些新型的絕緣材料来满足这要求，陶瓷就是这些新型絕緣材料中很好的一种。陶瓷材料是在燒結各种金屬氧化物的过程中得到的，它具有一些塑料另件材料所沒有的优越性能。

陶瓷的基本特性如下：

1. 能耐温度、湿度及各种化学活性物質的作用；
2. 高的机械强度；
3. 小的綫性膨胀温度系数；
4. 有很大范围的电气特性；
5. 老化慢并沒有剩余变形。

由于陶瓷有这样的优越特性，而且陶瓷另件的制造比較简单，这就使得陶瓷广泛地应用在無線电設備中。

由于陶瓷另件的多样性和各种类型陶瓷的多样性，为了分析及使用它們方便，这就有必要把陶瓷材料分成类和級。一般是按陶瓷介电常数的大小和应用范围把它們分成三大类八个級，又在每級里按照类似的电性能及机械性能分成若干組。这样区分法就使我們能够很方便的来選擇和应用这些陶瓷材料。各种無線电用陶瓷的类和級，如表 5-1 所列。

§5-2 制造陶瓷零件所应用的材料

按照使用的方式，陶瓷另件可以人为地分成两类：

1. 电容器陶瓷—用来制造陶瓷电容器。
2. 装置用陶瓷—用来制造装置另件、各种型式的絕緣子、底座和骨架等。

現在我們只限于討論装置用陶瓷。装置用陶瓷也可分为装置用陶瓷、真空陶瓷及耐热陶瓷等。真空陶瓷是用来制造电子管电極的固定另件，而耐热陶瓷是用来制造变阻器，电加热仪器的底座等。

真空陶瓷和耐热陶瓷合称为多孔陶瓷。其所以这样命名，是由于在这种材料的結構中有15%的体积是孔穴。

装置用陶瓷，應該具有小的損耗 ($\text{tg}\delta$) 及小的介質常数 (ϵ)，否則，陶瓷另件将引入很大的損耗，并大大地增加了起始电容量。装置用陶瓷的特性列于表 5-2 中：

表 5-1

无 缝 电 陶 瓷 材 料

材料的类、级	组	介質常数 (当温度为 $\pm 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时)	样品的电容温度系数	介質损耗的正切值, 不大于				比容积电阻, 当温度为 $\pm 100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时不小于 (欧, 厘米)	电强度不小于 (千伏/毫米)	弯曲时的强度 (克/厘米 ²)	线性膨胀 温度系数 不大于	推荐的应用范围	
				当 温 度 为									
				$0.0120 \pm$	$0.0130 \pm$	$0.0140 \pm$	在 潮 湿 后						
1. 介質常数大于 12 的高 频材料	I	a	130—190	$-(1300 \pm 200)10^{-6}$	0.0006	0.0008	0.0010	0.0008	10^{11}	6	800	$12 \cdot 10^{-6}$	不决定频率稳定度的调路电容器和阻隔电容器
		6	65—100	$-(700 \pm 100)10^{-6}$	0.0003	0.0008	0.0012	0.0008	10^{11}	8	800	$8 \cdot 10^{-6}$	通过温度补偿电容器和阻隔电容器
	II	a	31—50	$-(80 \pm 30)10^{-6}$	0.0006	0.0008	0.0010	0.0008	10^{11}	8	700	$8 \cdot 10^{-6}$	高稳定度的电容器
		6	17—30	$-(50 \pm 20)10^{-6}$	0.0006	0.0008	0.0012	0.0008	10^{11}	8	700	$8 \cdot 10^{-6}$	
	III	—	12—30	$-(30 \pm 20)10^{-6}$	0.0006	0.0008	0.0012	0.0008	10^{11}	8	700	$8 \cdot 10^{-6}$	小的装置零件
		a	不大于 7.5	$+(110 \pm 30)10^{-6}$	0.0010	0.0012	0.0015	0.0008	10^{12}	20	1400	$6 \cdot 10^{-6}$	
2. 介質常数小于 9 的高 频材料	IV	6	不大于 8	$+(60 \pm 20)10^{-6}$	0.0020	0.0030	0.0040	0.0008	10^{12}	20	1400	$8 \cdot 10^{-6}$	大的装置零件
		a	不大于 7.5	$+(60 \pm 20)10^{-6}$	0.0003	0.0008	0.0010	0.0008	10^{12}	20	800	$3 \cdot 10^{-6}$	高稳定度的电感器和调路电容器
	V	—	不大于 9	$+(110 \pm 30)10^{-6}$	0.0012	0.0018	0.0025	0.0008	10^{12}	20	2000	$6 \cdot 10^{-6}$	小型和中型的高机械强度和耐热性的零件
		a	不大于 7.5	$+(110 \pm 30)10^{-6}$	0.0010	0.0012	0.0015	0.0008	10^{12}	20	800	$3 \cdot 10^{-6}$	高稳定度的电感器和调路电容器
		6	不大于 8	$+(110 \pm 30)10^{-6}$	0.0020	0.0030	0.0040	0.0008	10^{12}	20	1400	$8 \cdot 10^{-6}$	大的装置零件

VI	—	不大于 7.5	不 規 定 标 准	* 0.0012 标 准	* 10 ¹² 标 准	不 規 定 标 准	600	6·10 ⁻⁶	用于电真空器件 內的絕緣子
VII	—		+(200±100)10 ⁻⁶	不 規 定 标 准	10 ¹²	18	600	6·10 ⁻⁶	不決定設置穩定 度的裝置另件
3. 介質常 數大于 1000的 低頻材 料	a	不小于 2300	不 規 定 标 准	0.04	0.05	0.07	10 ¹⁰	12·10 ⁻⁶	低頻和直流电容 器
	6	不大于 2000	不 規 定 标 准	0.04	0.05	0.10	10 ¹⁰	12·10 ⁻⁶	压电变换器及低 頻电容器
	B	不小于 1000	* * *	0.005	0.005	0.007	10 ¹¹	12·10 ⁻⁶	低頻和直流电容 器

* 应在温度+300±10°C时进行测量。

** -60° 至 100°C 范围内的介質常數比之于在 +20±5°C 时的介質常數的变化不大于±35%。

注 1. 当Ⅳ级 6 組材料用作制造变换器时，測量压电系数 d_{31} ，其数值应不小于 $1.5 \cdot 10^{-9}$ (CGS制)。

2. Ⅳ和Ⅴ级的材料可以用来制造电容器，这时其介質常數上跟受限制，而靜止弯曲强度極限应不小于 800 千克/厘米²。

3. 第一类材料的 tg δ 值不当温度为 +80°C 时来檢驗。

表 5-2 裝置用陶瓷的特性

陶瓷特性	皂石陶瓷 (CL-4)	皂石陶瓷 (C-55)	尖晶石陶瓷 (III-15)	剛玉与多鉛 紅柱石陶瓷 (KM-1)	超高頻率 (VΦ-50)	多孔陶瓷 (VΦ-50-T)	超高頻率 (VΦ-53)	超高頻率 (VΦ-46)	(电工瓷料)
在频率为0.5~5兆赫时的介电常数 (ε)	6.5—7.0	6—7	7—7.5	7.1—7.4	8—8.5	6.5—7.0	8—8.5	7.8—8	5.5—6
当温度为20°C及频率为1兆赫时损耗角的正切值 (tgδ)	0.003 —0.0005	3—3.10 ⁻⁴	0.0005 —0.0008	0.0013 —0.0018	0.0003 —0.0006	(30)°C 频率1兆赫 0.0005 —0.0007	0.0003 —0.0005	0.0006 —0.0012	0.0087 —0.01
当温度为+80°C及频率为1兆赫时损耗角的正切值 (tgδ)	0.0003 —0.0006	6—7.10	0.0006 —0.0009	0.002 —0.0024	0.0004 —0.0008		0.0004 —0.0006	0.0012 —0.0015	0.02 —0.03
在30—80°C范围内频率为5兆赫时, 介电常数随温度系数	$+(110-120) \times 10^{-6}$	$+(100-110) \times 10^{-6}$	$+(110 \pm 30) \times 10^{-6}$	$+(110-150) \times 10^{-6}$	$+(110 \pm 30) \times 10^{-6}$		$+(110-135) \times 10^{-6}$	$+(110 \pm 30) \times 10^{-6}$	$+550 \times 10^{-6}$
当温度为+10°C时的比容积电阻(欧·厘米)	10 ¹² —10 ¹³	(1—4) × 10 ¹³	10 ¹²	10 ¹³ —10 ¹⁴	(1—5) × 10 ¹³	t+300 10 ¹² —10 ¹³	(3—9) × 10 ¹³	10 ¹² —10 ¹⁴	10 ¹¹
抗弯强度 (千克/厘米 ²)	1400—1800	1600—2000	1400—1800	1800—2200	2600—3200	750—1000	2600—3200	2500—2800	400—700
击穿电压 (千伏/毫米)	25—29	—	720	80—35	15—20	—	25—30	20—30	10—20

电工瓷料，或者称为絕緣瓷料，具有不高的电气絕緣特性，而且随着温度的上升 $\tan\delta$ 迅速地增加。电工瓷料用来制造工作于低頻范围内的絕緣子。电工瓷料的制品可以作成任何尺寸的制品。

YΦ—46是超高频瓷，广泛地用来制造大尺寸的装置另件及高频电容器。

YΦ—50是超高频瓷，用来制造高频电容器及装置另件（用强挤及压制法）。

YΦ—53是具有高的机械强度的超高频瓷，用来制造瓷制另件及高频电容器（用强挤及压制法）。

EM—1是剛玉与多鋁紅柱石陶瓷，用来制造大尺寸的装置另件及高压低频电容器。

山—15是尖晶石陶瓷，具有高可塑性的物質，用来制造装置零件及高频电容器。

CU—4是皂石陶瓷，用来制造高质量的装置零件及高频电容器（用强挤、压制、冲压及热压鑄的方法）。

C—55是皂石陶瓷，用来制造装置零件用强挤、压制、冲压的方法）。

YΦ—50—T是多孔陶瓷，用来制造电子管内的絕緣子。多孔陶瓷，分为真空的及耐热的两种。氧化铝陶瓷和無綫电皂石陶瓷，同样是真空陶瓷的例子，它們是和有机胶合剂一起压制成的，胶合剂在以后焙燒时燒掉。

耐热陶瓷，有熟耐火粘土的和堇青石的。

熟耐火粘土陶瓷，是在1300°C下焙燒过的粘土和未焙燒过未加工的粘土的混合物。

堇青石陶瓷是由堇青石 ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) 和长石制成的。

多孔陶瓷的特性列于表 5—3 内。

表 5—3 多孔陶瓷的特性

特 性	测量单位	真 空 陶 瓷		耐 热 陶 瓷	
		氧化鋁的	無綫电皂石的	堇青石的	熟耐火粘土的
密 度	克/分米 ³	2.5	2	2.1—2.2	1.9—2
吸 水 度	%	10—15	10—15	不大于2	10—15
导 热 度	瓦特/分米度	0.08	0.015	0.02	0.01
溫度膨脹系数	度 ⁻¹	$5.5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
弯 曲 强 度	千克/分米 ²	700	450	750	850
介 質 常 数	—	5—6	4—5	—	—
在高频时的 損耗角:					
20°C时	分	2—5	2—4	—	—
300°C时	分	5—6	4—5	—	—

比容电阻					
60°C时	欧·厘米	—	—	10^{12}	10^{11}
300°C时	欧·厘米	10^8	10^9	10^8	$5 \cdot 10^8$

*根据 Н. Н. Богородицкий 的数据

§5—3 制造陶瓷制品的工艺

陶瓷的性能，决定于陶瓷结构里的三个相的情况，这三个相是结晶相、玻璃相及气相。

陶瓷里的结晶相是陶瓷结构内的结晶部分，这结晶结构愈整齐、愈均匀，愈紧密则陶瓷的性能愈好。陶瓷的性能，如介質損耗、介質常数、温度膨胀系数、机械强度等，都与结晶相的特点有关。

陶瓷的玻璃相，是陶瓷内结晶间的玻璃质材料，它的功用是把结晶体胶合在一起，以做成陶瓷。陶瓷的烧结温度、可塑性的程度均决定于玻璃相的数量。

气相在陶瓷里的存在，会使陶瓷的电气性能及机械性能降低，气相是陶瓷结构内闭口气孔中的气体。由于气体杂质的游离，在较高的场强内会引起介質損耗。在陶瓷内是否会出现气相，与材料的加工方法有关。

三个相的情况，决定于材料的成分、材料的制造工艺及焙烧陶瓷的温度状态等三个因素，但这三个因素是受陶瓷制造平衡规则所约束的，如果三个因素不超越平衡规则的范围，陶瓷是能焙烧成功的，在这范围内，三个相仍然存在，但三个相的内容变化了。

陶瓷零件的制造工艺过程，可以分成下列的基本操作：

1. 原材料的准备；
2. 塑性陶瓷材料的配制；
3. 塑性陶瓷材料制品的成形；
4. 初烧（按照需要）；
5. 制品的上釉（按需要用高火釉）；
6. 制品的焙烧；
7. 上釉及焙烧（按需要用低火釉）；
8. 制品的磨光。

我们现在简单的来讨论所列举的过程及生产时所必要的设备。

1. 原材料的准备：

配制陶瓷材料所必需的所有原材料，为了得到国家标准所决定的性能，都要根据平衡规则（注1）配料并遵守工艺规范进行加工。准备陶瓷材料所必需的原材料可以分成三组：块状的或粘土质的，石砾状的及粒状的。

注1. 陶瓷制造的平衡规则即烧结陶瓷所用的平衡图规则，参阅矽酸盐工艺学即知。

配制上列每一組的原材料的工艺，可以列成下列形式：

塊狀的或粘土質的材料（粘土、混凝土塊、高岭土）：

- 1) 用手工进行机械杂质及泥渣的清除；
 - 2) 在粘土切割机上压碎；
 - 3) 用手工进行杂质的清除（石、鉄等）；
 - 4) 烘干到湿度为 3 %；
 - 5) 在球磨机上磨碎到在10000孔/厘米²篩子上剩 6 %到 5 %的剩余物为止。
- 第5)个操作，在用干法配制陶瓷材料时才进行。

石狀材料（石英、长石、結晶花崗岩滑石、大理石、菱苦土、螢石等）：

- 1) 在顎式破碎机上压碎；
- 2) 在洗滌圓筒中清洗；
- 3) 选除外来杂质（手工进行）；
- 4) 在碾碎机上磨碎；
- 5) 在06号、09号篩子（相当于：直径为0.25毫米的导綫做成的孔，在1厘米²上有139个网孔；直径为0.35毫米导綫做成的孔，在1厘米²上有64个网孔）上篩选。

6) 磁选。

为了配制某些陶瓷材料，須要用焙燒过的石狀材料时，在第4 操作后即进行磁选，然后焙燒到温度1300—1400°C。在焙燒后再进行压碎、磨碎及在06，09号篩子上篩选。

粒狀材料（二氧化鈦，二氧化鋁，鉛丹、石英砂等。）：

- 1) 按照需要，篩选出外来杂质；
- 2) 在06、09号篩子上篩选。

某些材料也要进行焙燒，在焙燒后，將燒結好的材料在顎式破碎机上压碎，然后在碾碎机上碾碎，再經過06、09号篩子进行篩选。

准备原材料的设备：

- 1) 顎式破碎机、

顎式破碎机的作用原理示于圖 5—301。其中：

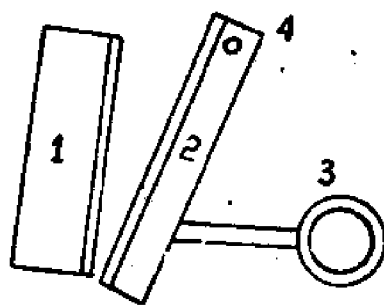


圖 5 — 301 顎式破碎机的运动系統圖

1 — 不动顎板；

2 — 可动顎板；

3—偏心机构，它使可动颚板运动。当偏心机构运动时，可动颚板向左运动，并围绕铰链4作旋转运动，此时颚板间的材料即被压碎。当偏心轮继续运动时，可动颚板向右退开，破碎的材料则被倒出，而位于破碎机间隙上部的材料下降，在颚板下一次的摆动时被压碎。

2) 碾磨机：

碾磨机的工作原理示于图 5—302。其中：

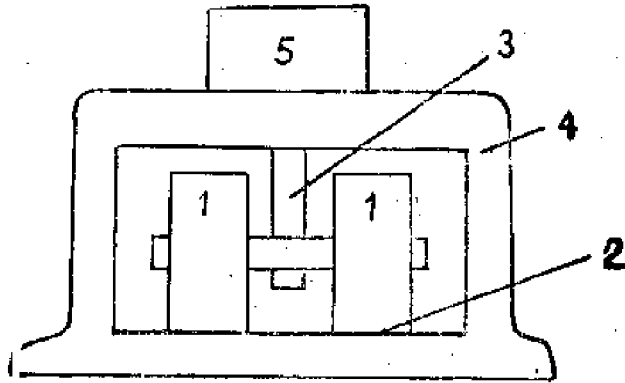


图 5—302 碾磨机示意图

1—滚子；

2—底；

3—轴；

4—机架；

5—传动装置。

材料在碾磨机中磨碎，是依靠滚子的重量来实现的。

在某些结构中，底是旋转的，滚子只环绕自己的轴旋转，而本身并不移动。

3) 球磨机：

球磨机的装置示于图 5—303。其中：

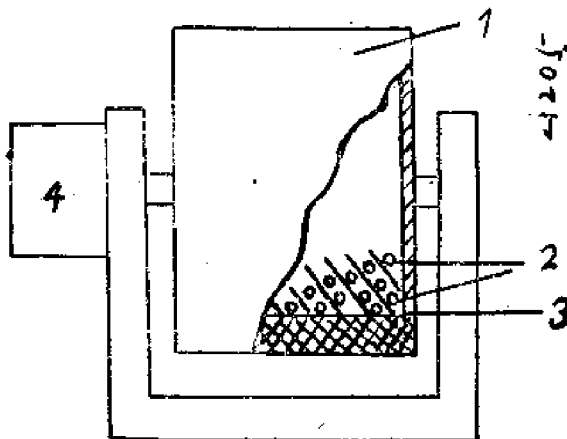


图 5—303 球磨机示意图

1 — 圓筒;

2 — 球;

3 — 材料;

4 — 傳動裝置。

球磨机尺寸的大小，要看陶瓷材料研磨量的多少而定，假設材料的研磨量是 W ，球磨机內球体的重量是 G ，其間最有效的关系，是：

$$W = (0.7 - 1.0)G \quad (5-301)$$

这样，当 W 为已知时，球体重量即可計算出。 G 的系数，是按球磨机的大小来决定的，应用的球磨机愈大，比值愈大，但最大不能超过1.0，最小不能低于0.7。

同时，球体在球磨罐內的装载量也是有严格規定的，这用填充系数(Φ)来表示这个关系。

$$\Phi = \text{填充系数} = \frac{F_1}{F} = \frac{F_1}{\frac{1}{4}\pi D^2} = 0.4 \quad (5-302)$$

式內 F_1 表示球体在球罐內所占的断面积， F 是球磨罐以 D 为直径的全断面积。此两值之比是0.4，这样球体在球磨罐旋轉时才有可能由上向下跌落以击打陶瓷材料，而不会在球磨罐內随罐的旋轉而在里边滾滑。

球体直径(d)与球磨罐直径(D)，为了材料研磨效率高，也有一定的关系。

$$d = \left(\frac{1}{24} - \frac{1}{18} \right) D \quad (5-303)$$

式內 D 的系数的大小，也是与球磨罐的大小成正比的，最大的球磨机不能大于 $\frac{1}{18}$ ，

最小的球磨机不能小于 $\frac{1}{24}$ 。

球磨罐每分鐘的轉数和它的直径有紧要的关系，可用下式求出。

$$n = \text{球磨罐每分鐘最佳轉数} = \frac{32}{\sqrt{D}} \quad (5-304)$$

由此式可理解到，球磨罐直径越大，它的轉数愈小，这直接与材料研磨效率有关。
〔 D 在(5-304)式內的单位是公尺〕。

为了加快球磨机的研磨速度，現在将球体换为圆柱体，这样就将研磨速度提高了一倍左右，原因是由于球磨罐旋轉时，要里边的圆柱体也会同軸向地旋轉，所以，当圆柱体在球磨罐內由上向下跌落击打研磨的材料时，是以綫面关系来与材料接触，而并非如球体是以点面的关系来与材料接触，所以，研磨速度快了。当圓筒旋轉时，球和材料一同完成圖 5-304所示的路程。此时材料被磨碎，并获得仔細的拌和。

4) 电磁傳动輸型的电磁分离器：

电磁分离器用来除去大塊的铁及具有磁性的材料，因为磁性材料对陶瓷材料最有害处，所以铁質及具有磁性的材料应由陶瓷材料內去除干净。

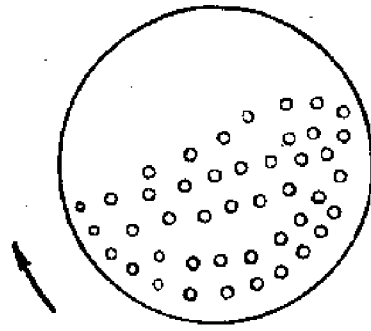


圖 5 — 304

电磁傳动輪型的裝置圖示于 5—305。

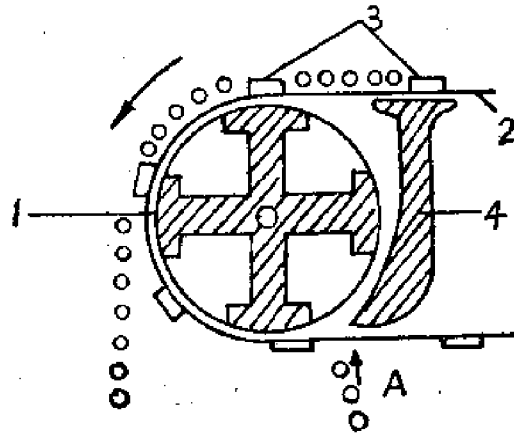


圖 5 — 305 电磁傳动輪型的示意圖

- 1 — 帶有繞圈的四極電樞；
- 2 — 裝有鐵片了的傳動帶；
- 3 — 鐵片；
- 4 — 軛鐵。

傳送帶的鐵片靠近电磁傳动輪時，就磁化了，並將鉄塊或磁礦物吸向鉄片，非磁性材料經過傳动輪將掉入漏斗中，而磁性材料將要被电磁傳动輪阻留住，一直到“A”點為止；在這裡磁性材料已走出恒定磁場的作用範圍，而進到交變磁場的作用範圍（依靠軛鉄 4），然後落到另外的漏斗中去。

5) 圓盤式电磁分离器；

圓盤式电磁分离器，用來分離干的磨得很細的材料。在圖 5—306 中表示了圓盤式电磁分离器的示意圖。其中：1 — 傳送帶；2 — 二極的电磁鉄；3 — 鉄盤；4 — 圓盤的傳动裝置；5 — 振動器；6 — 漏斗。

磁性微粒，經過电磁鉄和圓盤間，依靠強的磁場從材料中吸出，然後通過旋轉的圓

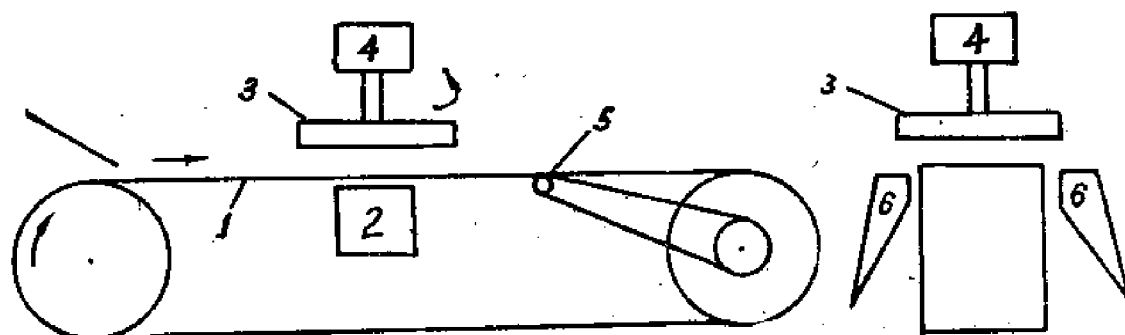


圖5-200 圓盤式电磁分离器的意圖

盤把它們落到漏斗中去。振動器使磁性雜質很易从干的磨得很細的材料中提出。

2. 陶瓷材料的配制：

可用干的和湿的方法配制陶瓷材料。

当用干法时，把按規定比例称好的成分装到球磨机中或振动式碾磨机中（当可塑性材料含量很少时），在碾磨机中进行磨碎和混合，把材料磨碎到規定的細度为止，然后用06、09号篩子篩选。此后就进行磁性分离。

为了制造制品，在材料中应加入胶合剂。用湿法配制陶瓷材料的工艺如下：

1) 称量成分。

2) 在装有水的球磨机中进行磨碎，开始进行磨碎时是没有可塑性材料的，然后才加入可塑性材料。

3) 为了清除机械的雜質，进行材料的篩选。

4) 材料的磁性分离。

5) 在压滤器中进行过滤。

6) 材料的檢驗和包装。

在表5-4中列出了几种陶瓷材料成分的配方：

由表(5-4)所給出的陶瓷材料的配方，是三种标准陶瓷材料成分的設計，尤其是第二个配方，是标准的长石瓷的配方，这一个配方，前边已經叙述过，它是用来制造大尺寸装置零件及高压低频电容器陶瓷的配方，这个配方里具备了陶瓷結構的一切特点。配方中的第3、4、5、6項材料合起来是长石原料，它在配方中的作用是助熔剂，在燒結陶瓷过程中它也担負了玻璃相的責任。那就是說，它是陶瓷中結晶体之間的接合剂。此外还知 Al_2O_3 是賦予陶瓷机械强度的，高频土是賦予耐高电压强度的，同时

长石也赋予了耐高温的急变性能。总起来說，表中第二个配方是三种陶瓷材料合成的，所以它的特性是受了三成分平衡圖的支配的。圖 5—307 就是这个三成分平衡圖，圖中共划分成三个区域。

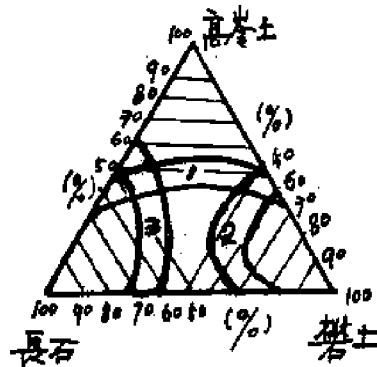


圖 5—307 陶瓷三成分平衡圖

1. 表示高岭土作用的范围，这个成分越多，做成的陶瓷愈有更高的耐电压强度；
2. 表示矾土作用的范围，这个成份愈多，做成的陶瓷就愈有更高的机械强度；
3. 表示长石的作用范围，长石愈多，制成的陶瓷，就愈有耐高温的急变性能。

如此說来，陶瓷的三成分平衡圖，是某品种陶瓷的材料成分的設計圖，限于这个三角形范围内，任何这三种材料成分的組合，都可制成一种陶瓷，这种陶瓷的性能，視組合成分的数量来定。此外，燒結温度也是主要的因素，成分的某种組合，就需某一个温度来燒結（这在圖內并没表示出来）。

配制陶瓷材料的设备：

二) 振动式碾磨机：

振动式碾磨机，是用来干細磨或湿細磨陶瓷材料的，并可以把材料微粒的直径磨細到小于10—20微米。在圖 5—308中示出了振动式碾磨机的示意图：其中：1—装料箱；2—振动器（由偏心軸构成）；3—弯曲的联轴节；4—电动机；5—彈簧。

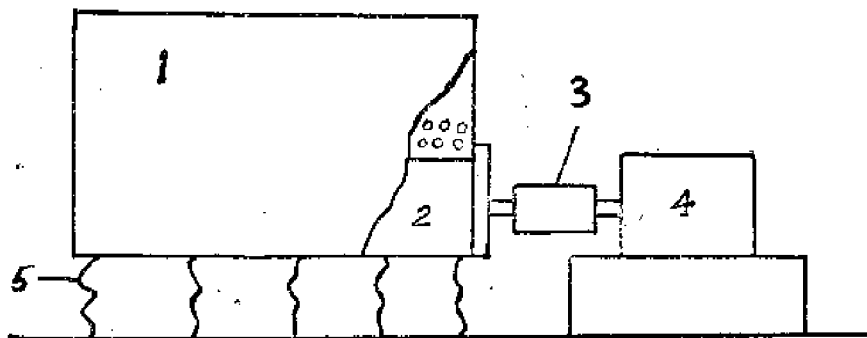


圖 5—308 振动式碾磨机的示意图

振动式碾磨机的工作，按以下方式进行：当偏心軸旋轉时，将产生 每分鐘 1500—3000次的振动頻率。这个振动傳送給碾磨机的装料箱，及在装料箱內的球和材料。由于球和材料的运动就把材料磨細了。

2) 振动筛:

振动筛是供筛选陶瓷材料和釉料用的，在圖 5—309a 上繪出了振动筛的示意图。其中:

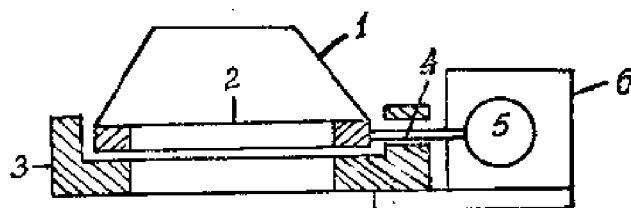


圖 5—309 a 振动筛的示意图

- 1.—装料罩;
- 2.—筛网;
- 3.—机架;
- 4.—推动杆;
- 5.—曲轴连杆机构;
- 6.—电动机。

曲轴连杆机构通过推动杆，把振动运动传给筛子，这种振动将促使材料通过筛子。

3) 梳形电磁式分离器:

为了净化材料，采用梳形分离器，它安装在槽盘（材料沿着它流动）中。材料经过梳片流出时，被分散成细流，并被磁性杆净化，铁质的粒子被磁性杆吸住。通常在槽盘中装置有几个磁性分离器。

可移式梳形电磁分离器的外形示于圖 5—309b. 其中:

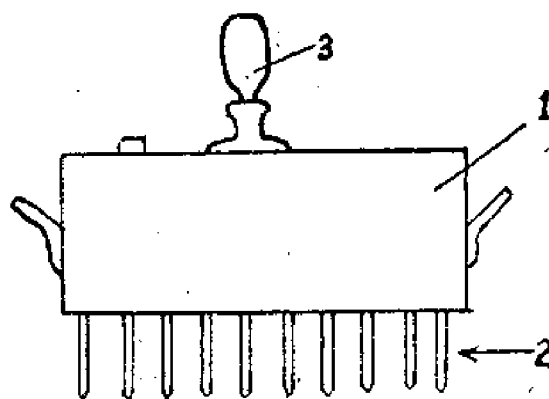
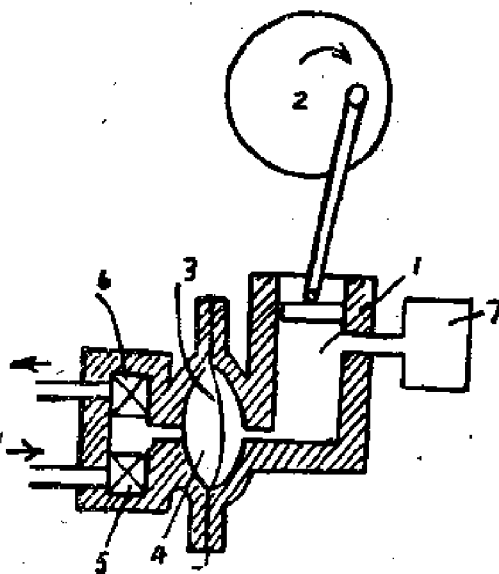


圖 5—309 b 梳形电磁式分离器

- 1—箱子（里面安置有电磁线圈）;
- 2—铁梳齿形的极端;
- 3—照明用的灯泡。

4) 振膜泵:

振膜泵以 8—10 个大气压力把液状材料送进压滤机中, 在圖 5—310 上繪出了振膜泵的示意图。其中:



圖、——310 振膜泵的示意图

1—具有活塞和水的圓柱筒;

2—偏心連杆机构;

3—橡皮振膜;

4—小室;

5—吸入閥;

6—压出閥;

7—安全調节器。

当活塞向上运动时, 被活塞所吸引的水把橡皮振膜向右弯曲, 閥 5 打开, 并把液状材料吸入小室。当活塞向下运动时, 水把橡皮振膜推向左边, 閥 5 关闭而閥 6 打开, 并在压力之下把材料送入压滤机。

5) 压滤机:

在压滤机中除掉材料中多余的水份。液状的坯浆被压成含有 25—30% 湿度的湿餅。压滤机的示意图 5—311 中。其中: 1—貼包在金屬框架上的厚亚麻布; 2—机座; 3—螺杆压榨器; 4—金屬框架。

坯浆压入压滤机逐渐地放出多余的水份, 多余水份经过亚麻布流到下面。陶瓷材料則被亚麻布保留下。

6) 真空捏和机:

真空捏和机被用来除去材料中的空气, 在圖 5—312 中繪出了真空捏和机的示意图。其中:

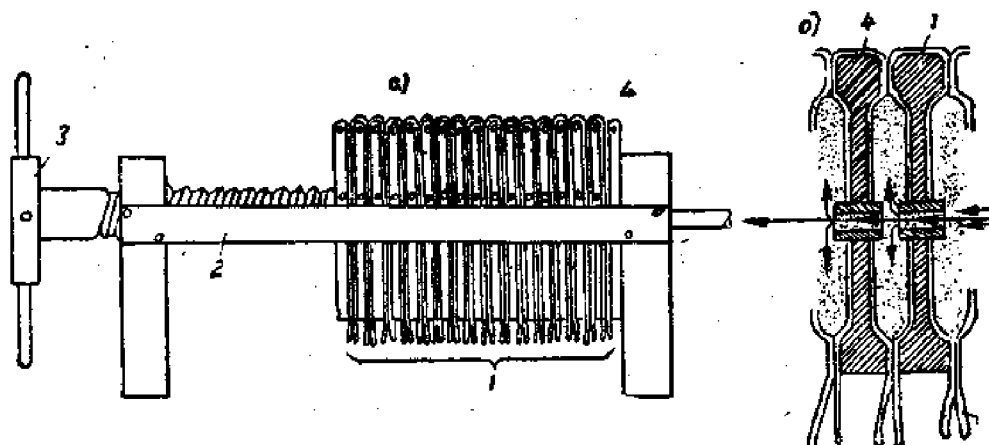


圖5——311 壓濾機 a) 裝配成的壓濾機的總圖 6 壓濾機的蜂窩式濾器的剖視圖

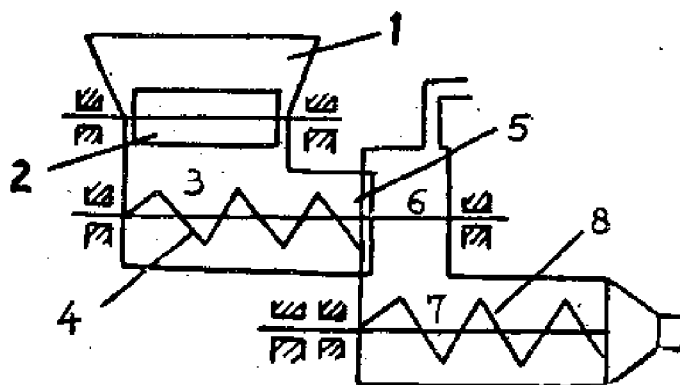


圖5——312 真空捏和機的示意圖

- 1—漏斗；
- 2—鋼軸；
- 3—上螺旋推進器；
- 4—上螺旋推進器的螺桿；
- 5—具有2—6毫米的孔洞的隔板；
- 6—真空室；
- 7—下螺旋推進器；
- 8—下螺旋推進器的螺桿。

坯料餅進入真空捏和機，被鋼軸揉搓並進入上螺旋推進器，被螺桿推送的材料塊，經過隔板壓入真空室中。那里利用真空泵使真空室始終保持着稀薄的空氣，這樣，可以從材料中消除空氣含量。用下螺旋推進器的螺桿，把已除盡空氣含量的材料，從出料孔推出。

3. 陶瓷材料制品的成形：

陶瓷制品的制造工艺系統示在圖5—313

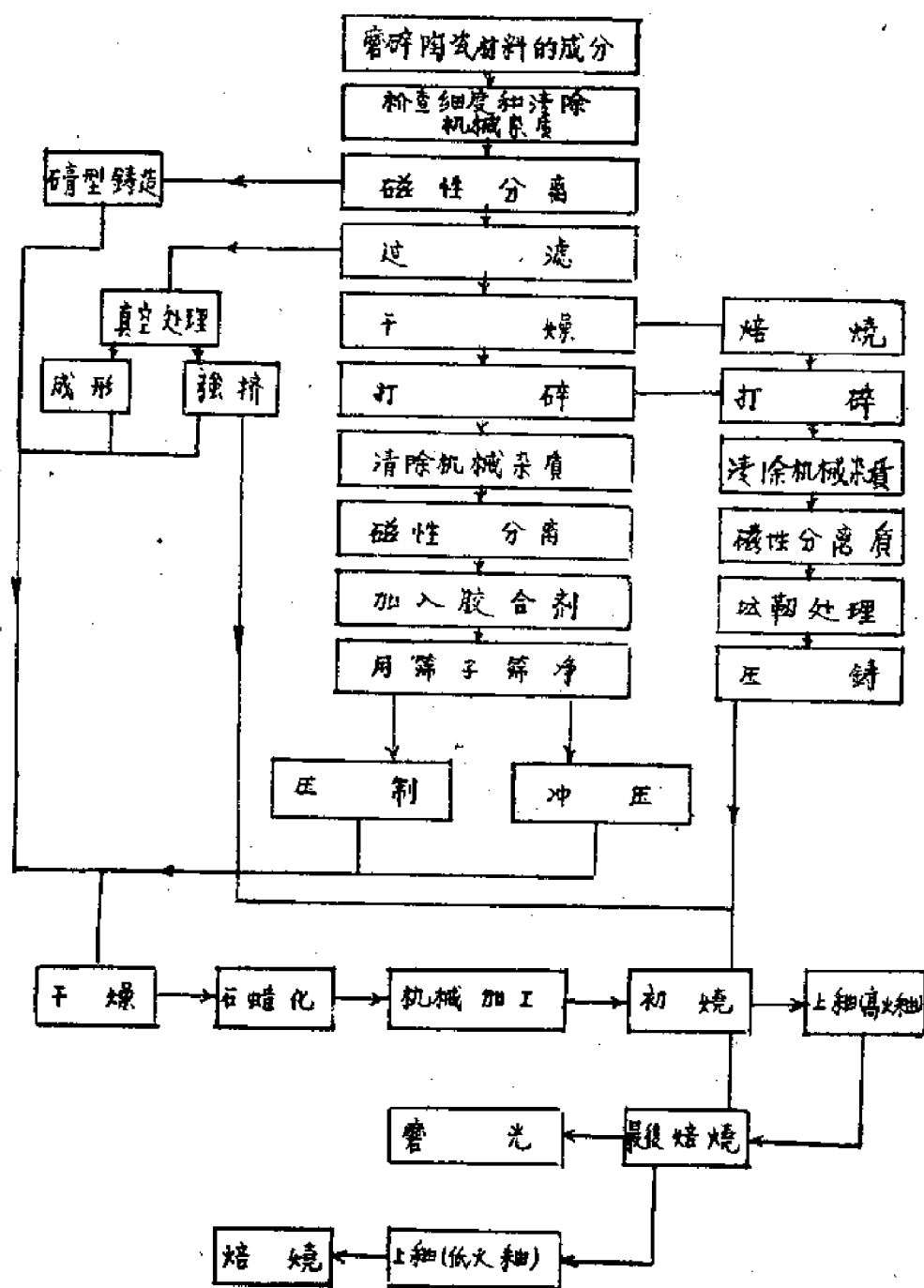


圖 5 — 313

从圖 5 — 313 显然可見，当用冲压法、压制法及压铸法来制造制品时，在陶瓷材料里应調配上胶合剂。

胶合剂的成分及它們的用途列举在表 5 — 5 中：

表 5—4

陶瓷材料的名称	陶瓷材料的成分 (以重量计)	
超高频瓷 (4Φ-46)	1. 在1400°C焙烧过的矾土 (Al_2O_3)	65
	2. 碳酸钡 (BaCO_3)	4
	3. 粘土 ($\text{Al}_2\text{CO}_3 \cdot \text{XSiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$)	26
	4. 大理石 (CaCO_3)	3
	5. 未加工的滑石 ($\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$)	2
刚玉与多铝 红柱石用瓷 (KM-1)	1. 在1420°C焙烧过并含有1%硼酸的矾土 (Al_2O_3 1% H_3BO_3)	35.2
	2. 未加工过的高岭土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	28
	3. 粘土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{XSiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$)	21.8
	4. 碳酸钡 (BaCO_3)	8
	5. 碳酸锶 (SrCO_3)	2
	6. 大理石 (CaCO_3)	2
皂石陶瓷 (C-55)	1. 未加工过的滑石 ($\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$)	35
	1. 未加工过的滑石 ($1d_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)_4$)	79
	2. 烧结块 2. 未加工过菱苦土 (MgO , SiO_2 , CaO)	19
	3. 锌白 (ZnO)	2
	3. 未加工过的菱苦土 (MgO 94%, CaO 1.5%, SiO_2 1.9%, SiO_2 1.9%, Fe_2O_3 0.3%, Al_2O_3 0.3%)	16
	4. 粘土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{xSiO}_2 \cdot \text{xH}_2\text{O}$)	8
	5. 锌白 (ZnO)	2

表 5—5

	胶合剂的成分%									陶瓷材料的成分%		陶名 瓷材 料的称	制 品 的 外 形	制 方 品 成 形 的 法
	水	糊 精	亚 硫 酸 盐 液	腐 蝕 的 煤 油 膏	白 的 煤 油	煤 油	石 蜡	地 蜡	混 合 酸	蜂 蜡	胶的 合 测量	干的 陶 瓷 粉 量		
1	100										6-12	88-94	所有的材料	压制, 机
2	90	10									6-12	88-94		简单的
3	90		10								8-10	90-92		压制

4	77			23					25-30	70-75	高压的和 高频陶瓷 耐热的材 料	复 什 的	冲压
5	54			24	22				20-25	75-80			压制, 机 械加工
6	80			10	10				20-25	75-80			冲压, 机 械加工
7						100			5-15	85-95	真空用的 材料及皂 石	的	冲压
8						80		20	20-23	77-80			
9						35	22	43	18-20	80-82			
10						93		5	10 80-82	90 80-82	皂石	压鑄	
11						94		6	13 18-20	97 80-82	瓷		

粉料和胶合剂的混合,是用螺旋桨搅拌机或者用手工搅拌,在某种情况下,为了加速混合过程,采用先预热坯浆到40—50°C的方法。

螺旋桨搅拌机的示意图,示于图5—314上。其中:

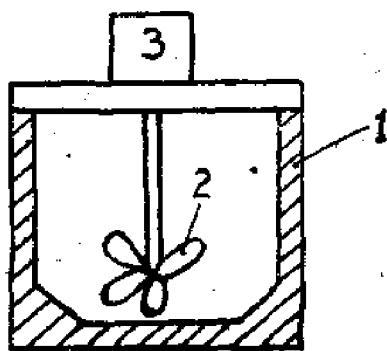


图5——314 螺旋桨搅拌机的示意图

- 1—外壳;
- 2—螺旋桨;
- 3—电动机。

我们现在来讨论获得陶瓷材料做成半成品的各种方法。

1) 成形:

这个方法,是用来制造大尺寸的旋转体(平滑的和带棱角绝缘子及大功率的回路电容器等)的制品。在成形时,可塑的材料块,投到成形机的工作台上,或投入装在工作台上的模型中。模型是用木头做成的,并且浸过石蜡、地蜡或卤蜡。制造模型时,应考虑到收缩系数。当台子以50—60转/分的速率旋转时,用手工或者用样板,把材料做成所要求的形状。然后切下多余的材料。制品从工作台上或模型中取下后,即进行烘干、石蜡化、机械加工与焙烧。

用成形法加工的材料应具有20—24%的湿度。

2) 石膏型鑄造:

石膏型鑄造, 是用以制造具有复杂外形的大型制品, 这个制造方法比成形法简单。

坯浆灌入干的石膏型中, 型壁很好地吸收水份, 直到它的湿度不大于18—20%为止。

从石膏型中取出已制成的制品(毛坯), 去除鑄痕, 用软的海棉抹平并且烘干。干燥以后, 需要进行机械加工的毛坯要先进行石蜡化, 然后再进行机械加工。此后进行焙烧。在石膏型中鑄造, 由于坯浆成分的不恒定, 不能保证有高的尺寸准确度。

3) 金属型模压鑄:

压鑄用于复杂外型产品的成形, 这个方法保证高的制品精确度。

在圖 5—315 中繪出了压鑄裝置的原理圖。其中: 1—槽; 2—加热器; 3—坯浆; 4—管子; 5—盖板; 6—金属型模; 7—压板; 8—支柱; 9—横梁; 10—閥; 11—气管。

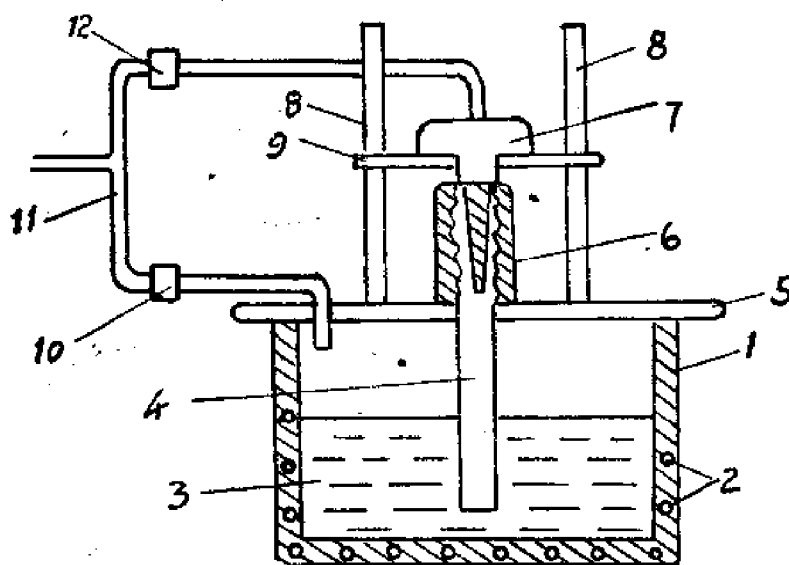


圖 5—315 金属型鑄造裝置的示意圖

金属型模鑄造制品的成形, 按以下方式进行:

可拆卸式的金属型模安装在台上的压板下。在槽中注入坯浆, 并且对于薄壁的制品加热到温度60—70°C, 对于厚壁的制品加热到50—60°C, 然后型中灌满坯浆, 在压力为1—3个大气压下, 维持1秒到2分钟, 维持的时间决定于制品的厚度。压力是由沿着气管通向装置的压缩空气产生的, 最后使维持的压力降低, 拆开型模, 把鑄造好的制品取出。压鑄是最先进的陶瓷制品成型方法, 因为它保证制品有高的准确度, 并可能使制造陶瓷制品的过程自动化。

4) 强挤法:

强挤法, 是用以制造具有各种断面的杆、轴、管等的毛坯和制品, 为了获得复杂形状的制品, 还要进行机械加工, 强挤法成型制品的示意圖, 示于圖 5—316。其中: 1—活塞; 2—挤压筒; 3—陶瓷材料; 4—嘴子; 5—型芯。

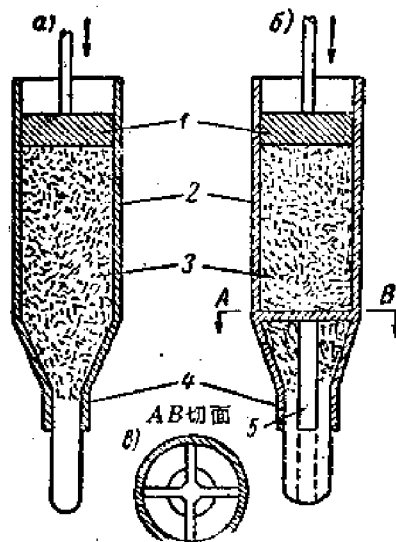


圖5——313 陶瓷材料經過嘴子的强挤法

a) 連續杆材的强挤 b) 管子的强挤 a) 嘴子

对于用强挤法成形的制品，陶瓷材料应装在水压机或机械压床的挤压筒中。先把挤压筒抹涂上薄薄的一層油。在給予压力时，陶瓷材料經過嘴子被挤压出，在毛坯上切下需要的长度，它被放置在專門的木制槽盘上。所获得的毛坯应具有平滑的表面，沒有气泡、气孔等缺陷，把沒有上述缺陷的毛坯烘干，石蜡化，和进行机械加工。强挤法比成形和石膏型鑄造具有較高的生产率。

5) 压制：

压制法，用以制造具有孔洞、凸处及凹部的平面制品（例如：灯座）。

在用压制法时，制品的成形是在压床上（压床的压力是300至800公斤/厘米²）把陶瓷粉料放在金屬型模中压制成的。对于小型的制品，把规定的压粉量装入压模的凹模中并刮平，以后再把凸模引入凹模中。在压制具有較大表面的平面制品时，制品的成型是分两个步骤进行的。开始按計算給予50—100公斤/厘米²的压力，然后升高这个压力并且进行再一次的压制（压力为300—800公斤/厘米²）。在压制复杂外形的制品时，压模应涂复薄薄一層变压气油。

压制的方法，可以获得具有高精度度、低收縮率，及高的陶瓷焙燒料密度的制品。

6) 冲压（塑性压制）：

冲压方法，用以制造尺寸不大而外形复杂的装置用陶瓷制品。这些制品是以50—60公斤/厘米²的压力在金屬型模中用压塑粉料来压制成形的。冲压方法的缺点是：高而且不稳定的收縮率及所获得制品的多孔性。因此用冲压方法所制造的制品，仅仅被采用在低电压电场和低频中工作。

在制造复杂外形的制品时，在冲压前，先把陶瓷材料混合物加热到40—50°C。

4. 在焙燒前陶瓷毛坯的石蜡化，机械加工：

为了使另件具有需要的形状，陶瓷毛坯在成形后（压制、强挤等），要进行附加的

机械加工。

为了使之具有必需的强度，在机械加工之前毛坯应石蜡化。在石蜡化之前把毛坯烘干到湿度不大于1%，然后把毛坯加热到温度70—80°C，并沉浸在具有同样温度的液态石蜡中。在石蜡槽中保持2—5小时（决定于毛坯的尺寸）以后，把它们从槽中取出，并且分置在网子上待其变冷。

陶瓷毛坯在石蜡化以后，焙烧之前，应在镗床上铣床上和鑽床上进行机械加工，所用的工具与对金属加工时一样。当把毛坯安装在机床上和加工它们时，应注意：陶瓷毛坯具有较高的脆性，所以应避免用较大的力量。在鑽时，应采用鑽模，大的孔应按次序地用几个尺寸逐渐加大的鑽头来鑽。应该采取措施防止材料在鑽头鑽出的地方碎裂。

5. 上釉：

上釉，是用以防护陶瓷制品污秽和提高它们的机械强度，但同时釉也使陶瓷的电气特性有些变坏。所以，最近已开始采用在陶瓷制品上复盖硅有机化合物的方法来代替上釉。

釉有低火釉和高火釉两种，对电工用瓷及超高频瓷的制品上釉，是用高火釉，对于皂石制品，则用低火釉。

某些类型釉的成分列举在表5—6中：

高火釉的制造，根据配方，把原料按一定比例配好，装到球磨机中（其中材料、球、水的比例为1:1.5:1），在那里受到60—70小时的碾磨。

在精细的磁性分离以后，釉浆的坯浆经过5号筛子筛选。这以后就蒸发或者引出水份到达必须密度（1.25—1.38）。

低火釉的制造，低火釉最初的配制与高火釉一样，它碾磨的时间为5—6小时。这以后所获得的混合物受到熬煮（在温度为950—1050°C）。熬煮进行到不再出现气泡为止。然后，材料在水中冷却，并且再在球磨机中磨细。这样低火釉就制成了。

在初烧以后，就把高火釉涂复到制品上，在不要涂复釉的地方，用混合物（用相等分量的松香、石蜡和蜂蜡配制成的）涂盖起来。在涂上釉后，把制品烘干，然后就进行焙烧。

在制品经过最终焙烧，并在水中洗净和烘干以后，才涂上低火釉。

已上釉的制品，还要在100—120°C的温度下烘干，然后进行专门的焙烧。

6. 陶瓷毛坯及制品的热处理：

陶瓷毛坯按照需要，要经过干燥，初烧，最终焙烧。及上釉焙烧。

制品的烘干一般可在温度能达110°C的烘箱中进行，也可以用高频电流来烘干。

初烧的目的，是全部地或部分地除去胶合剂，这可以缩短最终焙烧的时间。初烧的极限温度是900°C。初烧后，制品或者用压缩空气清洁，或者用水来洗，然后再烘干，初烧的时间、温度和状态与炉子的尺寸和制品有关。

最终焙烧，决定了陶瓷制品的结构（也决定了原始材料的结构）。最终的焙烧，可在焰式炉或者在电炉中进行。在煤气炉中焙烧时，制品应放在专门的烧钵中。

实践指出，陶瓷制品的焙烧，具有下列最佳条件：

1) 长的另件（杆、管、轴等）在悬挂的状态下进行焙烧。

2) 直径小于10毫米的薄壁的管与轴, 应垂直的安放在刚成型的板上进行焙烧。

3) 直径大于10毫米的厚壁的管与轴, 在具有穿通孔的熟耐火粘土板上进行焙烧, 制品的两端, 用糊精的水溶液, 固定在穿通孔上。

4) 薄壁的及外形复杂的制品, 安放在炉中的保姆沙(支架)上; 支架由和制品一样的陶瓷材料所做成。

焙烧的状态和制品尺寸有关。

7. 在制品最终焙烧后, 制品的机械加工:

1) 磨光

长圆柱形的陶瓷制品的磨光, 在无心磨床上进行, 磨光的制品, 要仔细的在流水中清洗, 然后在温度为120—150°C下烘干。磨光的深度, 不超过0.05毫米。

平面的磨光, 在磨床上进行, 陶瓷制品用胶合(胶—75%石蜡, 25%松香)的方法固定住。磨光有: 粗磨—用粒度为120—180的刚玉粉或金刚砂粉来进行。此时材料与水的比值为1:3; 细磨—粒度为240—280的粉, 与水的比值为1:4。

2) 毛坯的切断

用细的金刚砂轮或刚玉砂轮来切断焙烧过的管。切断以后, 制品的端面应在平面磨床上整修。

在结束这一部分时, 引入配制陶瓷材料 II—4 和配制YФK—46型超高频瓷的陶瓷材料的暂行工艺规范。

暫 行 工 艺 規 范	規 范 的 名 称	頁 次 1
	CH-4 陶瓷材料的配制	总 頁 数

牌号 CH-4 的皂石材料，是属于Ⅱ級 a 組（表5—101），并且是提供制造优良的装置零件和高頻电容器用的。

成形的方法：經過擠子強擠、壓塑、沖壓和熱鑄型

設備、工具、夾具

1. 洗滌的滾筒。
2. 顎式破碎機。
3. 碾碎機。
4. 翻斗提升機。
5. 磁性分离器。
6. 旋轉式圓柱型或振動型的篩子。
7. 天平。
8. 球磨機。
9. 電磁鐵。
10. 用于坯漿的振動篩。
11. 螺旋槳攪拌棒。
12. 振膜泵。
13. 貯槽。
14. 壓濾機。
15. 真空捏和機。
16. 台子。
17. 鑄型的裝置。
18. 立式擠子的壓床。
19. 水壓機。

	CH-4 陶瓷材料的配制	頁 次 2
--	--------------	-------

20. 压模。
21. 嘴子。
22. 用鋁板或者胶合板鑲成的槽。
23. 溫度范围在70—100°C 备有溫度調節器的干乾燥房。
24. 1350°C的周期作用的爐子。
25. 1350°C的电爐。
26. 帶有电流計的鉑——鉑銻热偶。
27. 燒鉢。
28. 实验室的天平。
29. 比重計。
30. 09, 03, 02, 015, 003的篩子。

輔助的材料

1. 亚麻布紡織品。
2. 皂石磨球。

电气和物理特性

序 号	特 性	数 值
1.	介質常数, 在頻率为0.5—5兆赫时,	6.5—7.0
2.	在溫度为 $+20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和頻率为 1 ± 0.2 兆赫时, 介質損耗角的正切值。	0.0003—0.0005
3.	在溫度为 $+80 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和頻率为 1 ± 0.2 兆赫时, 介質損耗角的正切值。	0.0005—0.0006

	CH-4 陶瓷材料的配制	頁 次 3
4	在溫度范围为 $+20^{\circ}\text{C}$ — $+80^{\circ}\text{C}$ ，頻率在 0.5—5 兆赫时，介質数常的溫度系数。	$+(110-20)\cdot 10^{-6}$
5	在溫度为 $+1^{\circ}\text{C}$ 时的比容积电阻 (欧姆 $\times$ 厘米)	$10^{12}-10^{13}$
6	極限抗弯强度 (公斤/厘米 ²)	1400—1800
7	燒結溫度 $^{\circ}\text{C}$	1270 ± 20
8	吸水度 %	0.02

材 料 的 配 方

序号	原 料 的 名 称	按照干料来計算含量%
1	在溫度为 $1320\pm 20^{\circ}\text{C}$ 焙燒过的滑石	50
2	未加过工的滑石	17
3	碳酸鋇	10
4	未加过工的菱苦土	8
5	鋅白 (粉状)	4
6	粘土	7
7	皂土	4

	CU—4 陶瓷材料的配制	頁 次 4
--	--------------	-------

材料的化学成分

序号	氧化物的名称	氧化物的含量 (按重量計%)
1	SiO ₂	49.08
2	TiO ₂	0.04
3	Al ₂ O ₃	3.40
4	Fe ₂ O ₃	0.44
5	CaO	0.20
6	MgO	26.81
7	BaO	8.40
8	Na ₂ C + H ₂ O	0.24
9	SO ₂	0.02
10	ZnO	4.00
11	其他氧化物	7.37
		100.00

	CH—4 陶瓷材料的配制	頁 次 5
--	--------------	-------

工 艺 步 驟

1. 原料的准备。
2. 材料的配制。
3. 清理和分离。
4. 材料的脱水。
5. 挤压用材料的准备。
6. 压塑和冲压的材料的准备。
7. 热塑材料的准备。
8. 焙烧。

原 料 的 准 备

所有投入生产的原料，应该各有卡片，卡片中主要写明所进行的关于它們符合于技术条件和国家标准結論的化学分析。

材料的預先处理，是根据列于表 1 中的資料来进行的。

表 1

序 号	原 料 的 名 称	原 料 处 理 的 基 本 过 程	工 艺 規 范
1	2	3	4
1	未加工过的滑石 (塊状)	清理，洗淨，烘干，击碎，在碾碎机中磨細，干磨，經過06号篩子篩选，分离。	I—371
2	焙燒过的滑石	清理，洗淨烘干，击碎；在碾碎机中磨細，干磨，用06号篩子篩选分离，在溫度为 $1320^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 焙燒，用067号篩子篩选。	

CU-4 陶瓷材料的配制		頁 次 6
1	2	3
3	碳酸鋇	烘干，用09号篩子篩选分类，洗净烘干，击碎，在碾碎机中磨細，在球磨 机 中 干磨，用09号篩子篩选、分离。
4	未加过工的菱苦土	不经过处理。
5	鋅白（粉状）	
6	皂土	分类，击碎，分离，用09号篩子篩选，在倒入滾桶之前应浸湿20—24小时
7	粘土	击碎，分类，烘干

已进行过預选处理的材料，应保藏在用鍍鋅鉄皮、鋁板或胶合板鑲成的貯槽里，每一批已准备好的原料，应具有檢驗标签，在它上面写明主要的分析数据，湿度，研磨的細度和原料預先处理的特点。

2. 材料的配制

原料用符合于国家工艺規范的湿方法来进行磨細。

根据配方把材料倒入球磨机中，并且必須要校正湿度。

为了磨碎，必須采用皂石的球

材料 (T)，球 (III) 及水 (K) 之間的推荐比值是

$$T:III:K=1:1:1$$

装到液桶里的次序

1. 装入干膏的成分：焙烧过的滑石，未加工的滑石，碳酸氢，菱苦土，锌白。
2. 灌水。干膏成分与水間的比值 1:1。
3. 装入所有的球。
4. 磨碎到在003号篩子上剩余物为0.3—0.1%。
5. 装入粘土及皂土（皂土預浸湿20—24小时）。
6. 灌水，直到得到比值 $T:III:K=1:1:1$ （包括浸湿皂土的水）。
7. 磨碎到在003号篩子上剩余物为0.03—0.1%。

3. 坯浆的清理及分离

为了清除坯浆中的偶然的杂质，例如球的碎片，将它们通过具有02或015号筛孔的振动筛子。

为了去除铁的杂质，坯浆要根据国家规范，经过磁选。

4. 材 料 的 脱 水

材料 CU-4 的脱水是根据国家规范在压滤机上进行。

5. 强挤用材料的配制

具有18—21%湿度的坯料饼脱水以后，通过真空捏和机（根据范围 I—211）。真空处理过的棒状材料，放在专门的室中或密封的柜中，恒定温度是 $+(10\sim 15)^{\circ}\text{C}$ ，放置的持续时间，不少于2星期。放置以后，材料2—3次的通过真空捏和机，然后进行强挤。

直径大于20毫米及厚壁管（壁厚不小于10毫米）的毛坯的强挤，是在真空捏和机中经过相应的嘴子来进行的。

薄壁管，是由真空处理过的材料在垂直螺旋嘴子压床或水压机上成形的。直径不大于20毫米的轴，建议也用在真空捏和机上的专门嘴子来强挤成形。在此情况下，材料的湿度应该不大于20%。材料的收缩系数，随着材料的批量，另件的尺寸来变动，而对每批新的材料应检验样品。

收缩系数的平均值（一般的）：

$$K\phi = 1.23 - 1.29$$

$$K_h = 1.16 - 1.19$$

强挤好的毛坯，按照毛坯的直径不同在空气中干燥2到4昼夜。

然后放到温度为 $60^{\circ} - 70^{\circ}\text{C}$ 的干燥室中去，烘干到湿度为1.5—2%。直径不大于20毫米的毛坯的烘干，可以不要在空气中预干，而在干燥室内进行。

	CH—4 陶瓷材料的配制	頁 次 9
--	--------------	-------

6. 压制和冲压用材料的配制

供压制和冲压用的材料在烘箱内烘到剩余湿度不大于2%。

另件的成形，用有8—10%水的压制或用水乳胶及石蜡粘料的压制和冲压来进行。

按对压缩粉的塑性要求不同而加入8—22%的乳胶。直径的收缩率，随粘料的数量及压制的压力从1.14改变到1.19。

高度的收缩率，随压力的大小在1.19—1.23的范围内改变。

备注：每种制品及每批新的材料的收缩率由经验的方法决定。

7. 热塑型材料的配制

把湿度不大于15%的坯料研捣碎成尺寸为20—25毫米的碎块，然后按下列规定在火焰炉中或电炉中焙烧。

CH-4 陶瓷材料的配制	頁 次 10
--------------	--------

从开始算起的焙燒的 時間 (小时)	溫度間隔 °C	每小时溫度增量 °C
0—1	50—100	50
1—7	100—1300	200
7—8	1300	0
8—9	1300	0

备注: 为了避免熟耐火粘土将材料弄脏, 在装載前, 推荐用焙燒在 $132^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ 的細石英砂坯漿灌入燒鉢。

焙燒后, 可以用二种方法将材料磨碎:

a) 在碾碎机上磨碎到在015号篩子上有30—35%的剩余物能完全經過02号篩子。

6) 在碾碎机上磨碎到能通过06号篩子, 而后在球磨机上磨碎 (附加入数量为干材料重量0.2%的混脂酸) 直到能通过02号篩子。

热鑄法成形的另件, 用的坯漿按照国家规范用下列成分的胶合剂来配制:

按照方法 “a” 碾碎 按照方法 “6” 碾碎

石 蜡——79% 石蜡 80.2%

地 蜡——10.5% 地蜡 19.8%

混脂酸——1.5%

CH-4 陶瓷材料的配制	頁 次11
--------------	-------

随着成型另件外形的复杂程度,胶合剂的含量从11.5%改变到13%。收缩率1.10—1.12。

用热铸法形成的另件要经受初烧,按照国家规范所列的规定用焙烧到1300°C的滑石或风土填入。

8. 焙 烧

由CH-4材料制成的另件焙烧,在火焰爐或电爐中进行。

另件装在燒鉢內。填料——石英砂,它焙烧在1320±20°C,且是从06号篩子选出及漏出的。

另件焙烧的温度是1270±20°C,随着爐的体积大小,在最終溫度下,維持 焙 燒 1 到 2 小时。

当焙烧由CH-4材料制成的石蜡化毛胚时,温度上升曲线的形状是改变的,而最終溫度保持不变。

当焙烧由CH-4材料制成的非石蜡化毛胚时温度上升速度表。

時間間隔 (小时)	溫度間隔 (°C)	每小时溫度增量 (°C)
0—1	50—200	150
1—2	200—500	300
2—4	500—900	200
4—7	900—1200	100
7—9	1200—1270	35
9—10	1270±20°	0
10—11	1270±20°	0

	CH-4 陶瓷材料的配制	頁 次 12
--	--------------	--------

备注：当在体积大于2立方米的爐中焙燒时要維持焙燒24小时。焙燒由材料CH-4 制成的石蜡化毛杯的溫度上升速度表

時間間隔 (小时)	溫度間隔 (°C)	每小时溫度增量 (°C)
0—6	50—350	50
6—7	350—500	150
7—9	500—900	200
9—13	900—1200	50
13—17	1200—1270	35
17—18	1270±20°	0
18—19	1270±20°	0

爐子是自然冷却的。当溫度不高于800°C时开爐，且在不高于120°C时卸下。
当溫度不高于60—80°C时，将焙燒过的另件从燒鉢中取出。

暫行工藝規範	規 范 名 称	頁 次 1
	VφK-46型超高频瓷的陶瓷材料的配制	总 頁 数

超高频瓷 (VφK-46型) 是供制造高质量装置零件用的, 其中包括大体积的零件, 以及高质量的电容器。

电气和物理特性

序号	特 性	数 值
1.	介电常数	8.0—8.5
2.	在温度为 20°C 和频率为 1 兆赫时的介质损耗角的正切值。	0.0008—0.0012
3.	在温度为 80°C 和频率为 1 兆赫时的介质损耗角的正切值。	0.0012—0.0015
4.	在温度范围是 20—100°C 时, 介电常数的温度系数。	$\pm (110 \pm 30) \cdot 10^{-6}$
5.	在温度为 100°C 时的比容电阻 (欧姆·厘米)。	$10^{12}—10^{14}$
6.	视在密度 (克/厘米 ³)。	3.2—3.4
7.	在温度范围是 20°—100°C 时的线膨胀系数。	$(5.0 \pm 0.5) \cdot 10^{-6}$
8.	极限抗弯强度 (公斤/厘米 ²)。	2000—3000
9.	烧结温度 (°C)。	1410 ± 20

	YφK-46型超高频瓷的 陶瓷材料的配制	頁 次 2
--	-------------------------	-------

材料的配方

序号	原 料 名 称	干的物質 (%)
1.	經1400±10° C 焙燒过的山东張店N0501工厂的矾土	65
2.	碳酸鋇	4
3.	苗家山或者陽西的粘土	24
4.	彭县的石灰石	3
5.	山东掖南的滑石	2
6.	張家口的經過淘汰选矿操作的皂土	2

备注：可以采用苗家山粘土去代替陽西粘土

配制材料的工艺程序

1. 原材料的准备。
2. 材料碾磨。
3. 坯漿的淨化和分离。
4. 脫水。
5. 材料的准备和制品的成形：
 - a) 用于强挤的材料准备
 - 6) 用于压制的材料准备
6. 制品的焙燒。

1. 原材料的准备

所有投入生产的原材料,都应备有說明書,根据关于符合它們的技术条件和 国家标准所进行的化学分析的結論来編写說明書。原材料不應該含有外来的雜質。

原材料的預先处理是根据下面的国家规范来进行:

		УФК-46型超高频瓷的 陶瓷材料的配制	頁 次 3
序号	原 料 名 称	国家工艺规范	
1.	在1380°C 焙烧№501工厂的矾土		
2.	山东掖南的滑土 (生的)		
3.	碳酸鋇		
4.	彭县的石灰石		
5.	苗家山的粘土		
6.	張家口的皂土		
7.	陽西的粘土		

所有进行过預先处理的材料都应保藏在用白鉄或者鋁板鑲成的柜子里。

每一批配制好的原料都应该具有檢驗卡片，写明主要的分析值、溫度，碾磨的細度，預先处理。

2. 超高频陶瓷材料的碾磨

超高频陶瓷材料的碾磨是符合国家规范的湿方法进行的。所有材料称量的 进行应符合考虑必須的湿度修正的材料配方。

建議 材料 (T)、球 (Ш) 和水 (Ж) 之間的比例用：

$$T:Ш:Ж = 1:1: (1.0-1.25)$$

装到滾桶里的次序

1. 装入干磨的成分 (矾土、滑石、碳酸鋇、石灰石)，是所有的成分同时装入的。
2. 按照干磨的成分与水之間的比例为1:1.25倒入水。

	УФК-46超高频瓷的陶瓷材料的配制	頁 次 4
--	--------------------	-------

3. 装入圆球。
4. 研磨，使通过006号筛子时，在筛子上的剩余的材料，不应该超过0.05—0.07%，大约研磨60小时。
5. 装入皂土。
6. 倒入水，直到水与被磨细的材料的比值为 (1.0—1.25) : 1。
7. 研磨，使通过003号筛子时剩余的材料不应该超过0.02%，总共研磨大约 85 小时。

3. 坯浆的净化与分离

为了清除偶然的杂质(例如球中的碎片)，坯浆应通过具有015号筛网的摇摆筛。
为了清除铁杂质，坯浆应根据规范№ 20进行磁性分离。

4. 脱 水

超高频瓷材料的脱水，根据工艺规范№ 18在压滤机上进行。

在材料贮存的情况中，如果它是供用压制法或冲压法成形的材料应把它以坯料饼的形式储藏室中。

供强挤用的材料，应以真空处理的毛坯或坯料饼的形式储藏。

材料应有从说明书来的摘录，在摘录中指出：

1. 材料的名称
2. 第N批
3. 实验员应标明关于材料的质量是否合格。

	УФ К-46型超高频瓷的 陶瓷材料的配制	頁 次 5
--	--------------------------	-------

5. 用成形法的制品的材料的准备

a) 在压滤机脱过水的，湿度为24—25%的坯料餅形式的超高频瓷料，应不少于3次的通过真空捏和机（根据规范№21）。

对于产品的毛坯是在真空捏和机中经过相应的嘴子挤压出来的。

薄壁管是在垂直嘴子的机械冲床或水压机上挤压出来的。使挤压过的毛坯干燥，挤压毛坯烧前的收缩是5—6%，烧后的收缩决定于产品的尺寸：

$$K_{\phi} = \sim 1.23 - 1.25$$

$$K_b = \sim 1.20 - 1.21$$

对每单独的一批产品的收缩系数，是根据試驗样品来确定的。

軸和管子用的焙烧是在吊悬状态下进行的。

6) 用于压制法的材料的准备：

供压制用的超高频瓷料，应干燥到剩余的湿度不大于2%，在经过0355号筛子筛过的材料中，加入10—12%的水份，润湿的粉料重新混合并通过06号筛子。

在比压力为500公斤/厘米²时，收缩系数如下：

$$K_{\phi} = \sim 1.20 - 1.21$$

对于每单独的一批产品的收缩系数，是根据試驗样品确定的。

6. 产品的焙烧

产品的焙烧是在焰式爐或电爐中进行的，用经过1400°C焙烧过的矾土撒在下面。

	УФК-46型超高频瓷的 陶瓷材料的配制	頁 次 6
--	-------------------------	-------

焙燒的最終溫度是1400—1450°C。在最終溫度下維持焙燒2小時。

备注：用作敷在下面的材料，可以采用生矾土

在焙燒石蜡化的制品時，溫度上升速度

時間間隔 (小時)	溫 度 (°C)	每小時增長的溫度 (°C)
0—1	20—50	30
1—9	50—250	25
9—10	250—300	50
10—19	300—1200	100
19—22	1200—1350	50
22—23	1400±20	30
23—25	1400—1420	0

在焙燒未石蜡化的制品時，溫度上升的速度

溫 度 (°C)	每 小 增 長 的 溫 度
20—900	100—300
900—1200	100
1200—1380	30
1400±20	0
1400±20	0

	УФК—46型超高压陶瓷 材料的配制	頁 次 7
--	-------------------------------	--------------

对于小型制品推荐用下列温度曲线的快速焙烧规定状态:

温 度 (°C)	每小时坛的温度温度 (°C)
20—600	100—300
800—1200	100
1380±20	0

温度上升到900°C之前, 增加的速度是每1小时100°C至300°C (由坛子的构造、制品的体积和制造工艺来确定)。

在最终焙烧以后制品的冷却建议用最大速度 (在所有的情况下)。

§ 5—4 陶瓷零件的設計 (基本原理)

1. 尺寸比例:

构成平面另件的最佳方法,是采用一次或二次的压制。为了保証可以一次压制出具有不大于2.5毫米的凸部或凹部的平面另件,应该具有下列的尺寸(圖5—401): h —在底座上的凸部高度,不大于 $0.3H$; H —另件的高度; α —傾斜角,不小于 1° ; R —底座的圓角半徑,为0.8毫米; r —外表面的圓角半徑,不小于0.5毫米。

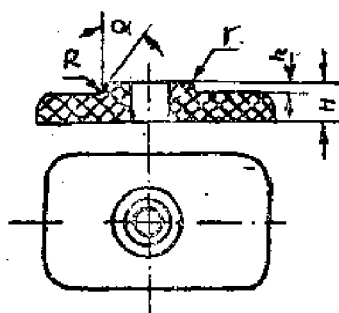


图5—401 一次做成的另件的尺寸

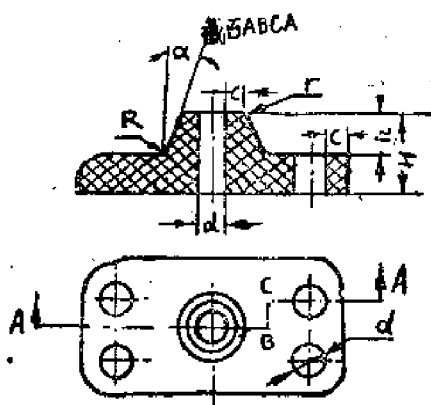
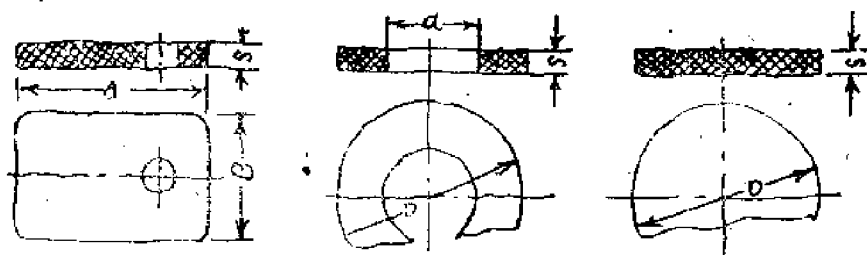


图5—402 二次做成的另件的尺寸

具有大于2.5毫米的凸部或凹部的平面制品,为了保証在截面內具有均匀的材料密度,通常用两个工序制成。在此情况下,制品应具有下列尺寸(圖5—402): d —中心孔的直径,不小于 $0.2H$ 并不小于2毫米; C —壁的最小厚度,为 $0.7d$ 并不小于2毫米; h —不大于 $5C$; α —不小于 3° ; R —不小于0.8毫米; r —不小于0.5毫米。

为了减少在制品焙燒时所产生的变形,需要遵守表5—7中所示的尺寸間的比例。

表 5—7



A×B	S 不小于	D	d	S 不小于	D	S 不小于
毫 米						
15×10	2.0	10	3.5	1.8	10—15	2.0
20×15	2.5	15	8.0	2	15—20	2.5
30×20	3.0	20	10	3	20—30	3
40×30	4.0	30	15	4	30—40	4
50×40	5.0	40	20	5	40—50	5
70×50	7.0	50	25	6	50—70	7
90×70	9.0	60	30	7	70—90	9
110×90	12.0	70	35	8	90—110	12
130×100	15.0	80	40	9	110—130	15
150×130	20.0	90	45	10	130—150	20
		100	50	12		

在制造管子及套管时，应当遵守表 5—8 及表 5—9 所推荐的尺寸。

表 5—8

外径 (毫米)	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
壁厚 (毫米)	2.5	3.0	3.5	3.5	5.0	6.0	6.0	6.0	7.5	7.5
长度 (毫米)	50	70	80	100	120	160	200	240	320	400

表 5—9

外 徑 (毫米)	最 小 壁 厚 (毫米)	外 徑 (毫米)	最 小 壁 厚 (毫米)
3	0.2	20	2
4—10	0.3	25	2.5
12	0.4	30	3.5
14	0.5	40	5.5
17	0.6	50	7.5
18	1.0		

2. 錐度:

制品的垂直外壁及內壁应具有錐度, 这是为了将陶瓷制品从型腔或压模中取出所必要的。

对于用冲压和成型的方法所做成的制品, 最小的錐度是 3° , 对于用压铸和压制的方法所做成的制品錐度是 1° 。

3. 同样的壁厚:

壁的不均匀性, 可能是焙燒时制品变形的原因。因此, 必須力求設計出同样的壁厚。在有不同厚度的必要时, 應該做成平滑的过渡。(見圖5—403)

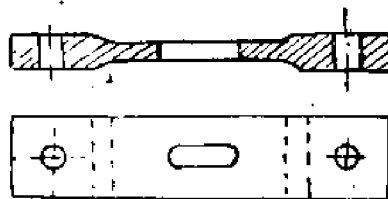


圖 5 — 403 从一个厚度到另一个厚度的过渡

4. 圆角:

陶瓷制品中不允許有外面的及內部的尖角。所推荐的最小圆角的半径, 列于表5—10中。

表 5—10

成 形 的 方 法	圆 角 半 径 (毫 米)	
	边 的	过 渡 的
压 制	0.5	0.8
冲 压	0.8	1.0
成 形	1.0	1.5
塑 造	1.0	1.5
压 铸	1.0	1.5
机械加工	0.8	1.0

5. 端面的形状:

为了减少废品, 端面不应具有尖锐的稜边及急剧的过渡。推荐的端面形状, 示于图 5—104 中。

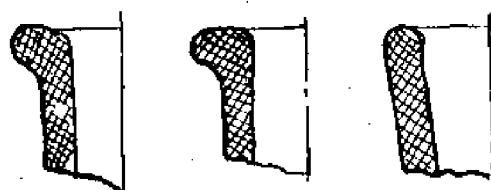


图 5 — 103 推荐的端面形状

6. 对称:

为了有均匀的收缩及为了减少变形, 制品的形状应该是对称的。见图 5—405 及图 5—406。

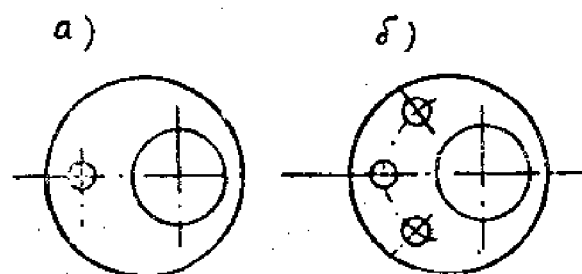


图 5 — 105 影响制品收缩的陶瓷材料的分布

a) 不良的材料分布

b) 正确的材料分布

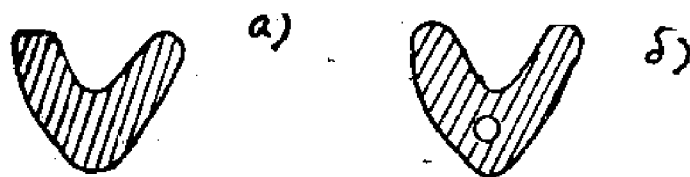


圖 5—408 在引伸時陶瓷材料的分布

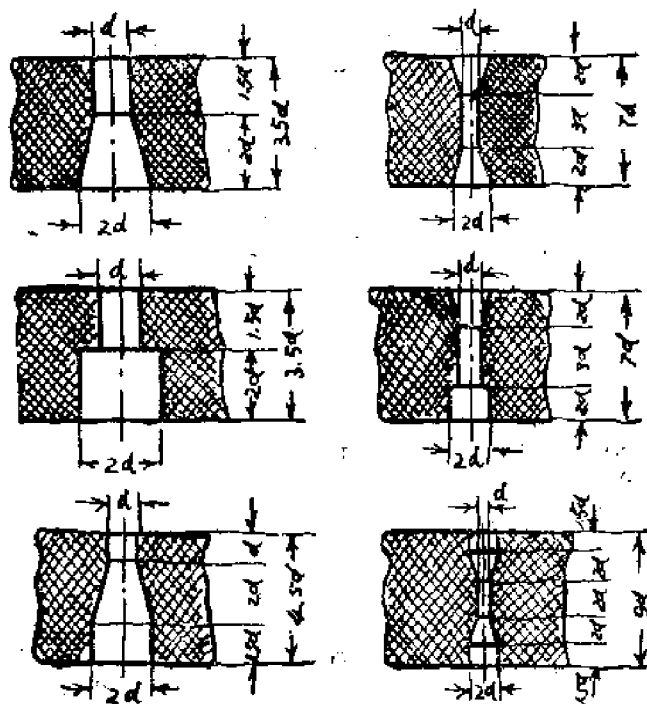
a——不正确的分布

b——正确的分布

7. 孔、切口和槽的形成：

为了使鑄造的或压制的另件易于从鑄型及压模中取出，孔、切口和槽做成不小于 1° 的錐度。

当用冲压的方法制造制品时，孔做成圖 5—407 所示的形状。



单向形成的孔

双向形成的孔

圖 5—407 孔的最佳高度及其形状

不穿通的孔，应当做得使它的长度不超过直径的 2 倍，而直径小于 3 毫米的孔，应当具有不大于孔径的长度。

紧固用的孔，应当做成椭圆形或开口的形状。（見圖 5—408）

表 5—12

h	c
达10	1.5
从10到20	2.5
从20到30	3
从30到40	4
从40到50	5
从50到60	6

双向冲压时，間隔的尺寸示于表 5—12中，双向冲压法成形的制品的間隔尺寸示于圖5—409。

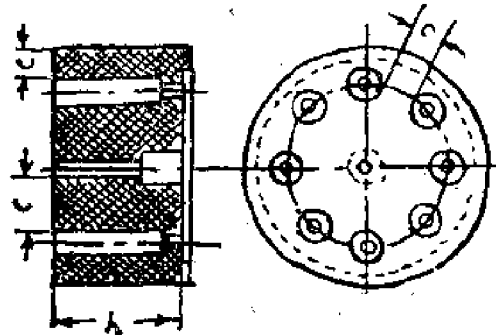


圖 5—409

9. 螺紋：

在陶瓷制品上应当应用圓螺紋，因为尖角的螺紋很快就会剥落。

应当避免制造小于1.25毫米螺距的螺紋，因为要做到这样小的螺距，在制造工作上是很复杂的。

电感綫圈骨架和扼流綫圈骨架的螺紋角的价值，应该是 90° ，而螺紋的深度大約等于0.6个螺距。

10. 合成另件：

形状复杂的另件，应当做成合成另件。合成另件的例子，示于圖5—410；圖5—411中。

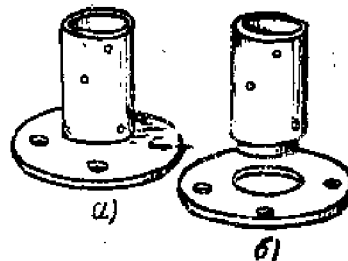


圖 5—410 电感綫圈合成骨架的结构

a) 制成的骨架

b) 其另件

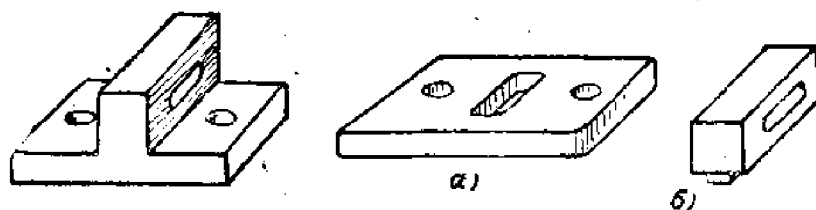


圖 5——411 合成的緊固零件

11. 陶瓷零件的公差:

在焙燒后, 不进行机械加工, 陶瓷零件的可能准确度, 由下列各表来表示。

表 5—13 是线性长度的容许偏差。

表 5—13

线性长度的容许偏差

額定尺寸 (毫米)	制 品 成 形 的 方 法		
	压制, 强挤 (还需进一步对石蜡化毛坯进行机械加工), 金属型压铸	冲压, 强挤 (还需进一步对未加工的毛坯进行机械加工的)	成形或石膏型铸造
	第 1 组	第 2 组	第 3 组
	偏 差 (毫 米) (±)		
达 5	0.2	0.3	1.0
大于 5 到 10	0.2	0.4	1.0
大于 10 到 15	0.3	0.5	1.2
大于 15 到 20	0.4	0.6	1.4
大于 20 到 25	0.5	0.8	1.6
大于 25 到 30	0.6	0.9	1.8
大于 30 到 40	0.7	1.1	2.2
大于 40 到 50	0.8	1.2	2.4
大于 50 到 60	0.9	1.4	2.8
大于 60 到 70	1.0	1.5	3.0
大于 70 到 80	1.1	1.7	3.4
大于 80 到 90	1.2	1.8	3.6
大于 90 到 100	1.3	2.0	4.0
大于 100 到 120	1.5	2.3	4.4
大于 120 到 140	1.7	2.6	4.8
大于 140 到 160	1.9	2.8	5.2
大于 160 到 180	1.2	3.1	5.6
大于 180 到 200	2.3	3.3	6.0
大于 200 及更大	—	1.7%	3%

备注: 在单向偏差时, 上列公差的绝对值加倍。

重要另件的中心距容許偏差列于表 5—14。对于不重要的另件，应当按表 5—13 采取中心距的容許偏差。

表 5—16 中列举了圆柱形杆及管子（其长度对直径的比值不大于 6，壁厚不小于直径的 $\frac{1}{6}$ ）的直线性容許偏差。

陶瓷制品的平面度的容許偏差，与平面的尺寸和制品的成形方法的关系列于表 5—17。

表 5—14 重要另件的中心距容許偏差

中 心 距 (毫米)	偏 差 毫米 (±)	中 心 距 (毫米)	偏 差 毫米 (±)
达 6	0.1	大于 50 至 65	0.6
大于 6 至 10	0.15	大于 65 至 80	0.7
大于 10 至 18	0.2	大于 80 至 100	0.8
大于 18 至 30	0.3	大于 100 至 120	0.9
大于 30 至 40	0.4	大于 120 至 150	1.2
大于 40 至 50	0.5	大于 150 至 220	1.5

表 5—15 在一个平面上，测量出的角度容許偏差

制 品 成 形 的 方 法	角 的 最 小 偏 差		
	长 度 (毫米)		
	达 10	自 10 至 40	大于 40
压制，强挤（还需进一步对石蜡化毛坯进行机械加工），金属型压铸	±2°	±1°	±0°30'
冲压，强挤（还需进一步对未加工毛坯进行机械加工）	±3°	±1°30'	±0°45'
成型及石膏型铸造	±4°	±2°	±1°

表 5—16 圓柱形杆与管子（長度对直徑的比值不大于 6，
壁厚不小于直徑的 $\frac{1}{4}$ ）的直綫性容許偏差

長 度 (毫米)	直 徑 (毫米)							
	从 3	从 3 至 5	从 5 至 10	从 10 到 15	从 15 到 20	从 20 到 30	从 30 到 50	从 50 到 100
	偏 差 (毫米)							
从 20 ……	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.30
从 20 到 30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	0.30	0.35
从 30 到 50	0.40	0.40	0.40	0.35	0.30	0.30	0.35	0.40
从 50 到 70	—	0.50	0.50	0.40	0.35	0.35	0.40	0.45
从 70 到 90	—	0.60	0.60	0.50	0.40	0.40	0.45	0.50
从 90 到 120	—	0.70	0.70	0.60	0.50	0.45	0.50	0.60
从 120 到 150	—	—	0.80	0.70	0.60	0.50	0.60	0.70
从 150 到 180	—	—	0.90	0.80	0.70	0.60	0.70	0.80
从 180 到 210	—	—	1.0	0.90	0.80	0.70	0.80	0.90
从 210 到 240	—	—	1.1	1.0	0.90	0.80	0.90	1.0
从 240 到 270	—	—	1.2	1.1	1.0	0.90	1.0	1.1
从 270 到 300	—	—	1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.2

表 5—17 陶瓷制品的平面度的容許偏差与平面尺寸及制品成形方法的关系

平面尺寸 (毫米)	制 品 成 形 的 方 法		
	压制、强挤（还需进一步 对石膏化毛坯进行机械加 工的）；金属型压铸	冲压、强挤（还需 进一步对未加工毛 坯进行机械加工的）	成形及石 膏型鑄造
	第 一 組	第 二 組	第 三 組
	偏 差 (毫米)		
达 10	0.15	0.25	0.40
从 10 到 20	0.20	0.30	0.50
从 20 到 30	0.30	0.50	1.00

从30到50	0.50	0.80	1.60
从50到70	0.60	0.90	1.80
从70到90	0.80	1.2	2.40
从100	—	长度的1%	长度的2%

§ 5—5 装置零件的絕緣計算

从本章及第四章所述，我們知道，塑料另件和陶瓷零件，在無綫电設備中的主要用途之一，就是作为装置零件。对于由塑料或陶瓷所作成的装置零件，其重要的电气指标就是零件的絕緣指标，为此，在設計这些零件时，必須进行零件的絕緣計算。特別在下列两种情况，絕緣計算更加显得重要：

1. 当綫路中的电阻值可以与装置零件的絕緣电阻相比較时，或者，当流往絕緣装置零件的泄漏电流可以与工作电路的电流相比較时。

2. 当电路中具有能破坏絕緣的高电压时。

第一种情况，要求計算零件的絕緣电阻值，并将計算值与要求值相比較，决定其是否合格，一般应要求絕緣零件的电阻值，比工作电路中的电阻值，高出几个数量級，对于泄漏电流值，亦須进行計算和比較，一般要求絕緣零件上的泄漏电流值为工作电路电压值的万分之一或十万分之一。

从物理学中知道，任何物体的直流电阻值，可按下式計算

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (5-501)$$

其中： ρ ……比电阻；

L ……长度；

S ……截面积。

我們知道，任何絕緣材料都具有两个比电阻：表面比电阻 ρ_s 和体积比电阻 ρ_v 。

两个載流元件（見圖5—501）之間的絕緣电阻，可按下列步驟进行計算。

1. 确定表面絕緣电阻 R_s 。

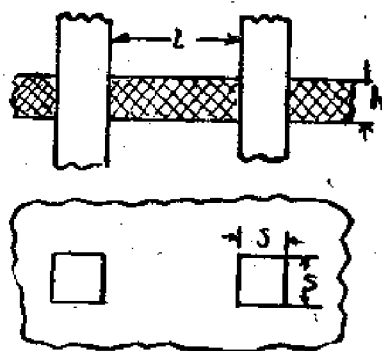


图5—501 絕緣电阻的計算

$$R_s = \rho_s \frac{L}{S_1} \quad (5-502)$$

其中： ρ_s ……表面比电阻（欧姆）

L ……两个载流元件之间的距离（厘米）

S_1 ……载流元件的宽度（厘米）

2. 确定体积绝缘电阻 R_v

$$R_v = \rho_v \frac{L}{S_2} \quad (5-503)$$

其中： ρ_v ……体积比电阻（欧姆·厘米）

L ……载流元件之间的距离（厘米）

S_2 ……载流元件处于材料厚度中的截面积（厘米²）， $S_2 = S_1 h$

3. 算出总的绝缘电阻 R_{us}

$$R_{us} = \frac{R_v R_s}{R_v + R_s} \quad (5-504)$$

以上计算，是假设两个载流元件具有相同的几何尺寸，均为矩形，以及相互位置是平行的。但是，实际上，我们所碰到的载流元件，可能是具有各种尺寸的，而且两个载流元件的形式也可能不同。

在图5—502上，给出了在实际工作中，最常碰到的一些载流元件的几何形状和它们的计算公式。

利用图5—502中所给出的公式，不仅可以计算绝缘电阻值，而且可以用来确定两个相邻载流元件间，允许的最小距离。

例：确定纸胶板上两个接触簧片之间允许的最小距离 L ，簧片的尺寸是：

$h = 8$ 毫米，

$H = 16$ 毫米。

簧片之间允许的绝缘电阻值 $R_A = 1000$ 兆欧。

解：从图5—502上可以看到，我们的情况是类似于第一种情况的，因为，簧片可以以足够远的间距，用铆钉装固在纸胶板上，而且体积绝缘电阻，可以忽略不计。

因此，对于这种情况，可用下列公式进行计算。

$$R_{us} = \frac{2\rho_s L}{H+h}$$

为了确定允许的最小距离，可把上列公式写成如下形式。

$$L = \frac{R_{us}(H+h)}{2\rho_s}$$

已知： $R_{us} = R = 1000$ 兆欧

所以可算得：

$$L = \frac{10^9 \cdot 2 \cdot 4}{2 \cdot 10^{16}} = 0.12 \text{ 厘米} = 1.2 \text{ 毫米。}$$

如果，在电路中具有高电压，那么，绝缘材料和载流元件之间的距离，如果选择得不正确，就会引起所谓击穿现象。

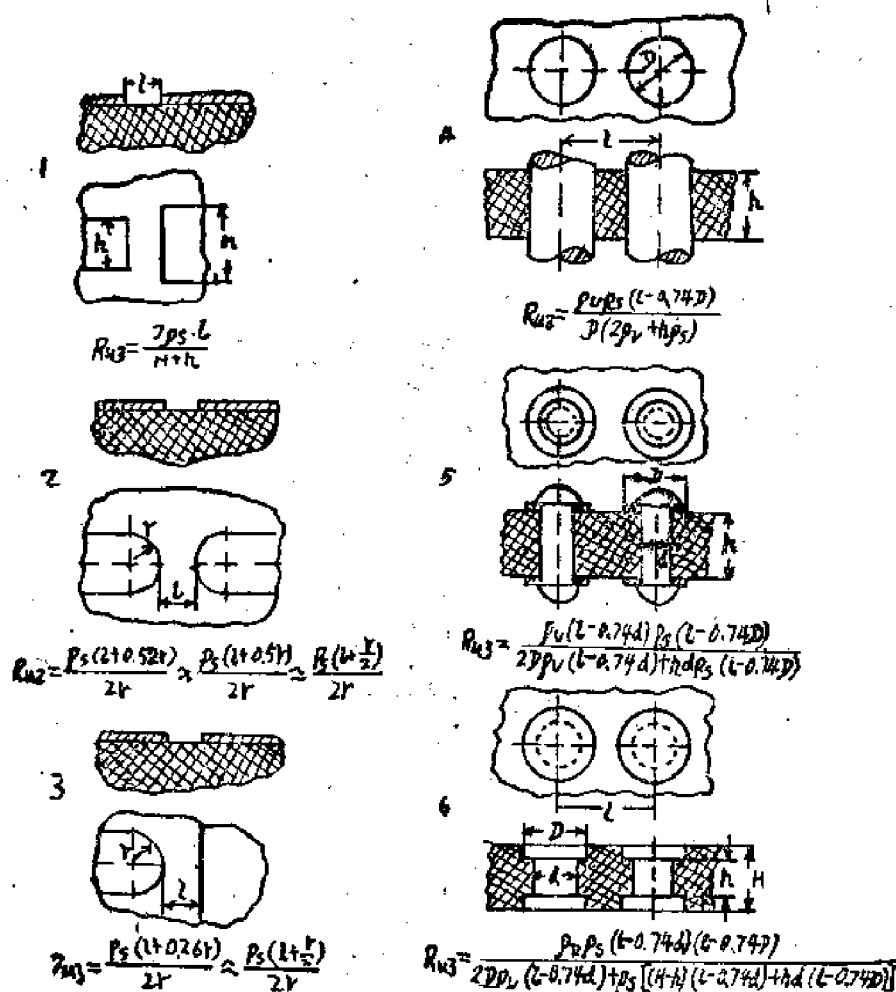


圖5——502 載流元件的幾何形狀和它們的絕緣電阻計算公式

在高压电路中發生絕緣击穿时，将会使無綫电設備的工作受到破坏。因此，高压电路的絕緣問題，是極為重要的問題。

絕緣材料被击穿后，其击穿处的絕緣性質劇烈的恶化，并轉化成具有导电或半导电的性質了，击穿現象，可能是沿着材料的厚度發生的（貫穿式击穿），亦能是沿着材料的表面發生的（表面击穿）；当高压導綫間，存在空气时，除了會發生电击穿現象外，亦可能产生所謂“电暈”現象，后者在比較低（与电击穿相比較）的电位梯度下，就会出现。“电暈”是放电的一种特殊形式，其特征是，在載流元件間的空气，产生游离和閃光。

所有的絕緣零件，均具有一定的抗电强度，抗电强度大小，常用試驗电压值来表示，所謂試驗电压，就是指零件在此电压短時間（一般为1分鐘）的作用下，不会产生击穿和表面“飞弧”現象，試驗电压一般比实际的工作电压要高几倍。

試驗电压的数值，决定于工作电压值和零件运用时的气象条件。在标准气象条件下工作时，如果所需工作电压为100伏，則試驗电压可取500伏，在高湿度的条件下，对于上

述工作电压值，試驗电压則应降为250伏。

当工作电压大于100伏时，試驗电压值則应按下列公式求出。

对于标准气象条件：

$$u_n = 2u_p + 100 - \frac{7.5 \cdot 10^4}{0.5 \cdot 10^5} - \frac{u_p^2}{0.5 \cdot 10^5} \quad (5-505)$$

对于高湿度情况：

$$u_n = 1.5u_p + 500 - \frac{4 \cdot 10^4}{u_p} - \frac{u_p^2}{1.2 \cdot 10^5} \quad (5-503)$$

上列公式中： u_n ……試驗电压（伏）

u_p ……工作电压（伏）

在圖5—503中，用曲綫示出了試驗电压和工作电压的关系，可用此圖来确定試驗电压值。

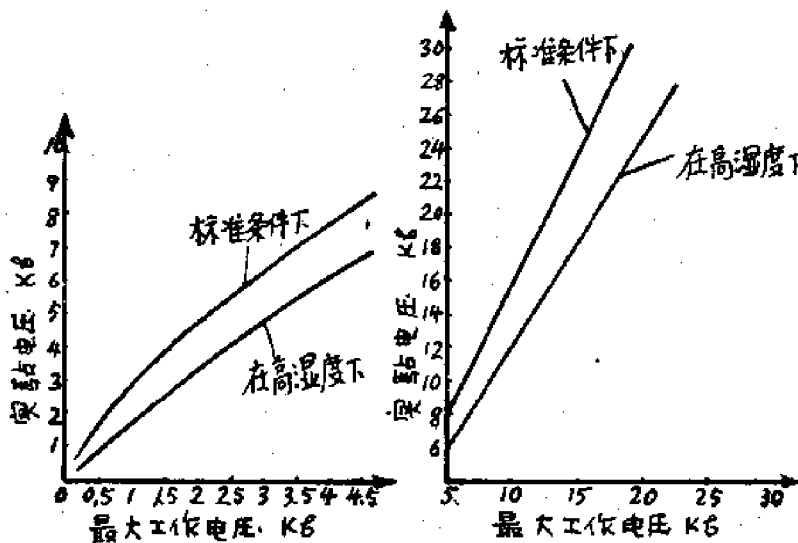


圖5—503 試驗电压和最大工作电压間的关系曲綫

在設計高压部件和零件时，必須考虑到，为使部件和零件，在試驗电压作用下，不会产生局部的放电和毫無抗电强度不够的象征，因此，應該給予一定的安全系数，一般安全系数值，可取1.5—2。

所有絕緣材料的击穿电場强度值，可在相应的技术条件中查得，因此，对于具有一定厚度的材料，其击穿电压值，可用下式算得。

$$u_x = u_1 \sqrt{d} \quad (5-507)$$

其中： u_x ……击穿电压（千伏）

u_1 ……击穿电場强度（千伏/毫米）

d ……材料厚度（毫米）

所有介質（液体的、固体的和气体的）的击穿电压，均与电場的形式有关。固体介質的击穿电場强度，将随材料厚度增加而降低。

高压部件和零件的计算步骤如下:

1. 确定在标准气象条件下的试验电压 u_u ;

2. 给定安全系数 $K=1.25\sim 2$ 后, 确定计算用电压 u_p ;

$$u_p = Ku_u \quad (5-503)$$

3. 求出击穿电压:

$$u_x = u_1 \sqrt{d}$$

4. 比较计算电压和击穿电压

如果 $u_p \leq u_x$, 则设计将是正确的。

应该指出, 计算所得数值, 仅是一个近似的数值, 因为, 在计算时, 没有考虑到电场的形式。

在特别重要的情况下, 建议采用制造实验用样品的方法, 来确定部件和零件的抗电强度值 α 。

例: 确定在标准气象条件下, 垫衬用纸胶板必须厚度, 已知: 工作电压为1500伏, 纸胶板的击穿电场强度 $u_1=2.3$ 千伏/毫米。

解: 根据图5-503, 查得试验电压 $u_u=4$ 千伏现取 $K=1.5$, 则可算得 $u_p=1.5 \cdot 4=6$ 千伏, 如果取 $u_p=u_u$ 做为合格条件, 可算出材料应有的厚度:

$$d = \frac{u_x^2}{u_1^2} = \frac{36}{5.29} = 6.8 \text{ 毫米}$$

第六章

磁性零件

§6—1 应用于磁路中的磁介体

所谓磁介体，就是用介质把分散的铁磁体颗粒粘结起来的一种磁性材料。

制造磁介体的过程，实质上就是将铁磁体粉末和有机的或无机的绝缘胶合剂混合的过程。

作为磁介体基本成份的铁磁物质，应该具有高的磁性，而绝缘胶合剂应该可以密实的包围住每一颗金属的粉粒，并使粘合成的零件具有所要求的机械强度和刚度。除此之外，还要求胶合剂的性质不会随时间发生变化（即不会陈老）。

目前常用的磁介体的基本成份，主要是羰基铁或铝硅铁的粉末。

绝缘胶合剂则常用酚醛树脂、聚苯乙烯、虫胶、液体玻璃和其他绝缘材料。

磁介体零件的导磁率，是用有效导磁率来表征的。有效导磁率的高低主要决定于：铁磁体的磁性、颗粒的形状和尺寸、含绝缘胶合剂的百分比、铁芯的结构和制造的方法等。

有效导磁率 $M_{\phi\phi}$ 的数值，等于线圈带铁芯时的电感量 L_c 对于无铁芯时电感量 L 的比值，可用下式表示：

$$M_{\phi\phi} = \frac{L_c}{L} \quad (6-101)$$

I 羰基铁：

羰基铁的优点是分散度高，颗粒具有在模压时不致损伤绝缘膜的理想球体形状，除碳、氧和氮以外，羰基铁没有任何其他的附加杂质，可用大小不同的颗粒配成粉料，以达到最高的体积占空密度等。

目前，羰基铁粉末已被制成五类：P-2、P-1、P-8、II和BKⅡ，在表6-1中指出了它们的化学成份和颗粒的尺寸。

羰基铁粉末的电磁性质与它本身的颗粒尺寸、化学成份和结构形式有关，实验列出，球形颗粒的粉末具有最好的性质。

从表6-1可以很明显的看出，BKⅡ型羰基铁具有最大的起始导磁率。

BKⅡ型羰基铁，是将普遍的羰基铁粉末进行热处理而制得的。热处理的条件是真空度为0.1毫米水银柱，温度为806°C，热处理的结果，使颗粒表面层中的氮、氧和碳的含量均大大的减少了，因而粉末亦从无光泽变得发亮了，所以，用BKⅡ型粉末所制成的零件，亦具有和金属一样的光亮表面。

表 6—1 羰基鐵粉料的化學成份，顆粒的平均直徑和電磁參數

羰基鐵的種類	化學成份的百分數 (按重量)				顆粒的平均直徑 d_{cp} (微米)	基本電氣參數			
	Fe	C	O ₂	N ₂		用環形鐵芯測得的起始導磁率 μ_0 (高斯/奧)	磁滯損耗係數 Bh	渦流損耗係數 Bf	後效損耗係數 Bn
P—2	97.5 —98.0	0.8 —1.0	0.2 —0.7	0.6 —0.8	2	13	0.16	2.1	0.3
P—4	98.0 —98.5	0.7 —0.9	0.2 —0.3	0.6 —0.8	4	12	0.15	2.0	0.3
P—8	98.0 —98.5	0.7 —0.9	0.2 —0.3	0.6 —0.8	8	12	0.13	2.0	0.3
II	98.0 —98.5	0.5 —0.7	0.4 —0.5	0.6 —0.8	2	13	0.11	2.5	0.4
БКЖ	99.9 —99.59	0.05 —0.1	НСТ	НСТ	10	60	11	18	1.4

注：1. II 類粉料用於有線電通訊中

2. БКЖ 類粉料是由直接還原的羰基鐵製成的。

具有羰基鐵鐵芯的線圈，電感溫度係數為正值，工作頻率可以達到 100 兆赫（工作頻率與所用膠合劑的材料有關）。

II 鋁硅鐵：

鋁硅鐵是鉛、硅和鐵的合金（Al—5.6%、Si—9.5%、Fe—84.9%）。鋁硅鐵質的鐵芯具有很高的有效導磁率（30 以上），電阻係數等於 1.5 歐·平方毫米/公尺。

鋁硅鐵的製造方法，是把合金的各成份，放在高頻電爐的坩堝中熔化，並鑄成任意形狀的杆或板，冷卻後擊碎，然後在球磨機中輾成平均尺寸為 20 微米的顆粒。但用這種方法製得的顆粒，其表面會形成硬結（金屬顆粒表面永恒變形的結果）。

為了消除顆粒表面上的硬結，應把細粉在限制著的空氣中，以 800°C 的溫度進行燻火。在燻火過程中，粉粒的表面將獲得一層氧化鋁和氧化硅薄膜。這層皮膜具有絕緣性，能降低渦流損耗，並保護顆粒，使其表面不再形成硬結。

以鋁硅鐵製成的鐵芯，能在 10 兆赫以下的頻率中，代替羰基鐵鐵芯。

用鋁硅鐵作鐵芯的線圈，具有負的電感溫度係數，鋁硅鐵會隨著時間而陳老，於是也就會使該零件的參數發生變化。

§C—2 用磁介體製造鐵芯

常把製造鐵芯的過程劃分成以下兩個階段：

1. 磁介体粉末的制造;

2. 铁芯的制造。

在制造磁介体粉末时，常采用的胶合剂，是酚醛树脂和聚苯乙烯，酚醛树脂的最佳含量是4%（按重量计）。

树脂含量的最低值为3.5%，低于这个数量，则所制得铁芯的机械强度就剧烈的下降。

制造粉末所用的酚醛树脂溶液，是由1份重量的酚醛树脂和4份重量的乙醇配制而成的。为了要去除一切杂物，溶液应该用900孔/平方厘米的筛子滤过，然后，把按计算值称好的羰基铁粉末，连同配好的溶液，一起倒入机械搅拌器内，在40—50°C的温度下，搅拌均匀，加温的目的，是为了加速乙醇和一切水份的蒸发。配好的混合料中，只应含0.9—1.2%的水份，最后把仔细拌匀的但具有一定湿度的混合物，以400孔/平方厘米的筛子筛过备用。

如果是聚苯乙烯作为胶合剂，则用能通过10000孔/平方厘米筛子而没有一点残余的聚苯乙烯粉末与羰基铁粉末混合。聚苯乙烯的含量，按计算，应为混合物重量的10—13%。两种粉末的混合，可在圆筒形球磨机中进行。为了能仔细地拌匀，搅拌的时间应为10—12小时，搅拌时，在球磨机内不放置小球，以免在搅拌过程中使羰基铁粉末形成不希望的硬结。

把拌匀的混合物，用专门的挤压机，在10—180°C的温度下，通过挤压机上装设的内直径为1毫米的嘴子，挤压成杆料。待杆料冷却后，把它击碎备用。

聚苯乙烯是一种高频介质材料，它比热固性树脂具有较小的损耗，所以，在制造工作于高频条件下的磁路时，常用它作为胶合剂。除此以外，聚苯乙烯还具有不会随时间而陈老的优点。

现在，已能用磁介体制造任何结构形式的零件了。图6—201示出了某些典型的磁路结构。

制造磁介体零件的方法有：冷压、热压和压铸等三种。

冷压法，用酚醛树脂作为胶合剂的磁介体粉料。热压和压铸法，则适用于以聚苯乙烯为胶合剂的粉料。

1. 冷压：可以用羰基铁磁介体压制封闭式环型铁芯，（图6—301）的工艺作为冷压的例子。

环型铁芯可按下列程序制得：

1. 冷压成形；
2. 胶合剂的聚合和铁芯的老化；
3. 防潮浸渍；
4. 环型铁芯两端面的处理；
5. 磁参数的检验。

冷压可在能将精确控制比压力 P_{PK} 的液压机上进行。

冷压时，最佳的比压力是8—10吨/厘米²。当比压力从0增加到8吨/厘米²时， μ 值将随压力的增加以线性的规律增加，继续增大比压力至10吨/厘米²时，磁导率实际上

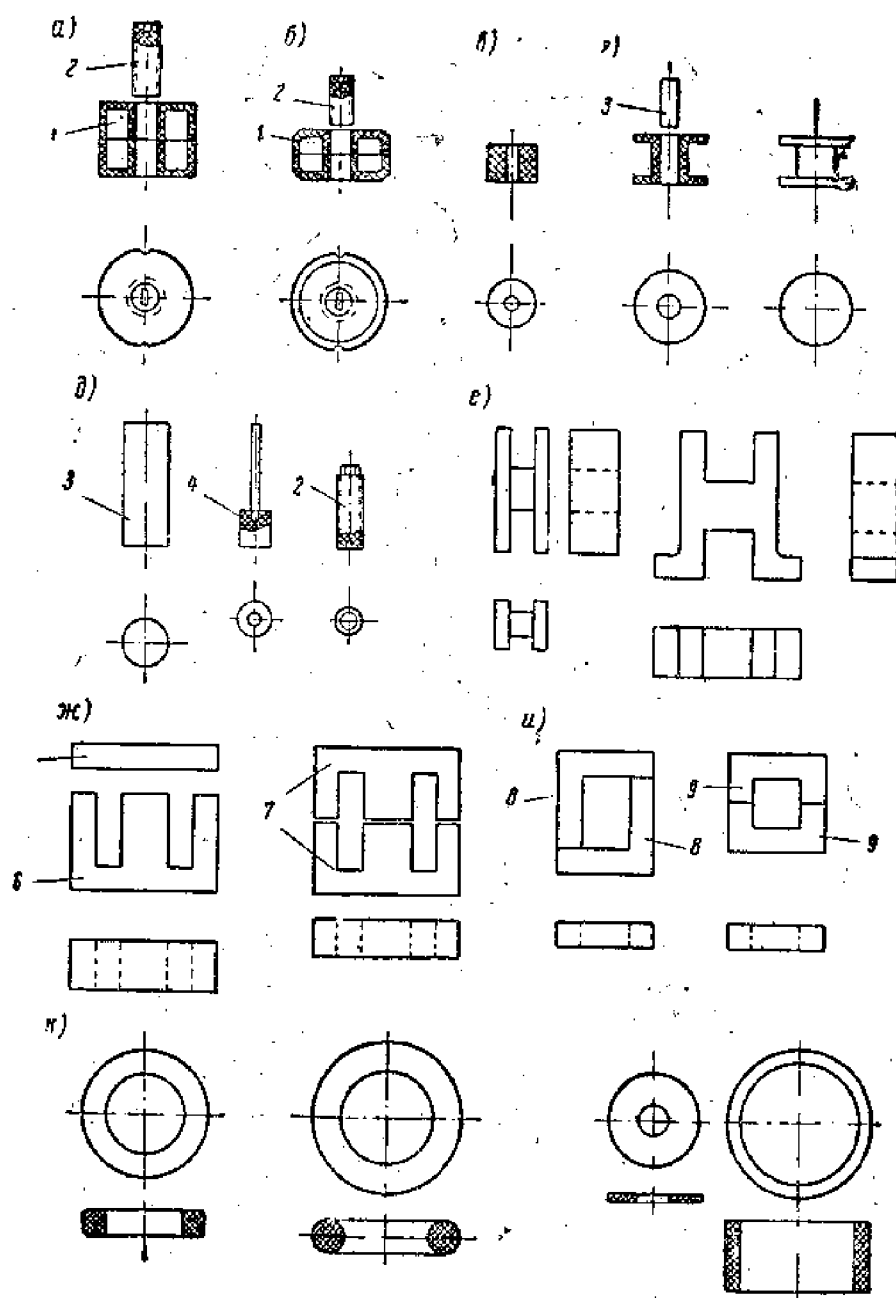


圖 6 — 201 磁介質鉄心の形状

- | | |
|-----------------|----------------|
| a和b——封閉式杯型鉄心 | B——有中心穿孔的圓柱型鉄心 |
| r——具有平滑微調的綫軸型鉄心 | A——圓柱型鉄心 |
| e——H型鉄心 | ж——圓型鉄心 |
| ж——環型鉄心 | и——芯軸型鉄心 |
| к——環型鉄心 | |
| 1——杯型鉄心的一字部份 | 2——帶螺旋微調杆 |
| 3——平滑微調杆 | 4——簧鋼微調杆 |
| 5——磁路的閉合部份 | 7——山形部对接成的磁路 |
| 6——磁路的山形部份 | 9——磁路的H形部份 |
| 8——磁路的r形部份 | |

不再增大，但是，却使渦流損耗增加了。

采用高于11吨/厘米²的比压力，将会加速模子的磨損。当压力高到16吨/厘米²时，将会使磁介体的粉末从圓球形顆粒变成六角形顆粒，后者因具有尖銳的棱角，故会将絕緣的薄膜割裂，造成导电率的增加，从而使渦流損耗和磁导率均增大。

随着比压力的增加，被压制零件的硬度亦将增加，原因是压力增加后，羰基鉄顆粒在零件中的体积占空系数增加了，同时，顆粒还形成了会使零件硬度增大的硬結。但是，由于在冷压时粉末的流动性較差，因而沿着零件的高度、硬度和密度将是不同的。在单面拖压的情况下，零件的上層，因直接受到上模压力的作用，所以硬度和密度較大，而零件的底層，硬度和密度則較小。愈靠近零件的底層，硬度和密度愈小的原因是，因为从零件上面所加的外压力，有一部份消耗在克服粉末顆粒間的內摩擦力和粉末与模壁間的外摩擦力上了。应该指出，当零件的高度为它的直徑 5—6 倍时，零件的底部几乎完全受不到压力的作用。

除了上述由于压制过程的物理特点所引起的不同均匀性外，不完善的工艺操作亦会引起不均匀性的出現，譬如，当把粉末装入压模中时，由于分布得不均匀，就会引起零件各部份密度和硬度不均匀性的出現。当零件的高度不大，而在垂直于外加压力方向的表面积很大时，这种不均匀現象，将特別严重。

圖 6—202 示出了两个重量一样的鉄芯，其有效导磁率随长度变化的情况，鉄芯^a是用单向加压制得的，而鉄芯^б则是利用双向加压制得的。在胶合剂聚合以后，把鉄芯切成如圖 6—202 所示的五个部份。测量每一部份的有效导磁率 M_{eff} 值，将得到如圖 6—

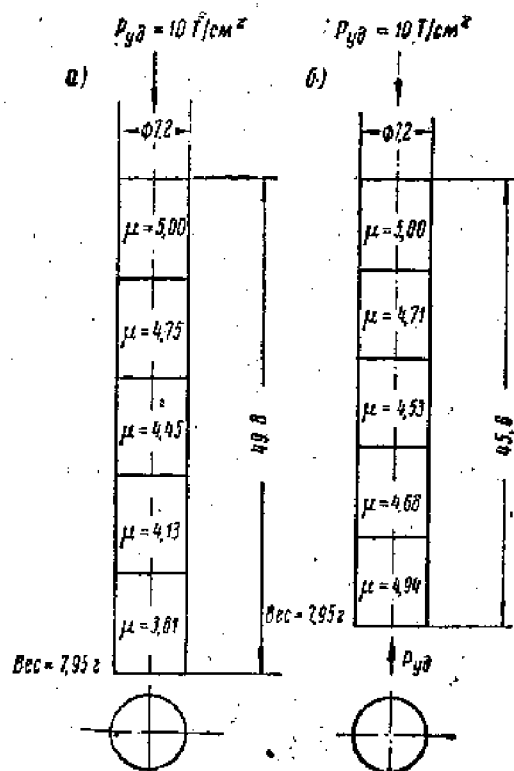


图6—202 圓柱形鉄芯有效导磁率的变化与冷压时加压方式的关系

a——从向上向下单向加压

б——双向加压（由羰基鉄和酚醛树脂胶合剂制成的磁介质）。

202所示的分布情况。从零件长度的比值(49.8和45.6毫米)，以及从有效导磁率平均值的比值(4.79和4.41)，我們可以看出，有效导磁率是随零件的密度或线性规律变化的。

在冷压外形复杂的零件时，应该用双向压力，以增加零件的凸部、壁或其它结构部份的机械强度，并提高零件的有效导磁率。在将粉末装入压模时，使粉末分布均匀，这对于所有的压制方法都是必须的，为此，常采用振动式摇摆压模的措施。

压模常以高合金钢X12M(铬钢合金钢)，XBF(铬、钨钢合金钢)或别种能耐高压的钢料制成，模子制成经热处理后，都必须进行抛光和镀铬。

为了要使压制成的制品尺寸完全一致，在装每一服粉料时，均应称量得很准确。

压制时的施工温度是15—20°C，每次保持规定的压力1—2秒鐘，配制粉料时，残留在粉料中的水份(0.9—1.2%)起着胶合剂的作用。所以，干燥了的粉料，就必须用乙醇和水，以5:3的比例配成的混合剂来润湿。

压制成的铁芯，应在空气中放置数小时，以消除压制时所造成的内应力，同时排出潮气。当使用了须要聚合的胶合剂时，应在消除内应力和排除潮气后，将铁芯放到有温度自动控制装置的加热炉中，按胶合剂聚合时所需要的温度和时间进行胶合剂的聚合。

当铁芯是由两个或数个零件组合而成的时候，在各组合零件结合的表面间如果存在空隙，将对铁芯的性质产生严重的有害影响。(如使导磁率大大下降。因此，各零件的结合端面，都必须用00号金刚砂的齿輪进行仔细的研磨。

用铝硅铁来制造铁芯的工艺，与上述的工艺完全相似。唯一的区别是所需的压力較低(7—8吨/厘米²)原因是铝硅铁颗粒具有尖锐的棱边，如果仍用8—10吨/厘米²的压力，就会使颗粒间的绝缘薄膜受到破坏，从而使涡流损耗增加。

II. 热压:

用热压法压制零件时，压模要加热到180~200°C。由于这温度的作用，使聚苯乙烯过渡到液体状态，这时，如果施加4—5吨/厘米²的比压力，就能很均匀的把粉料压满在模型中，因而，无须象冷压法中那样，有时须要用双向加压的方法。

为了要获得结实的组织，压力应保持3~10分鐘(所需时间的长短，决定于零件的尺寸)。

待加压的操作完成后，用水冷却压模至80~85°C，然后取出制品。随之，又可重新加热压模至170~200°C，进行下一次压制。

从这里可以看出，热压法所需时间比冷压法要多，所以生产效率亦較低，但是，用热可塑性树脂做胶合剂，可以省去用长时间来进行聚合和陈老。此外，如果是采用了高频绝缘材料(象聚苯乙烯，还能大大提高制品的电和磁的性质。

热压法主要的优点是，粉料能够很容易的注满模型的各个凹下部份，而且，密度亦很均匀。这一点，对于外壳复杂的，有细致螺纹的或其他特殊结构部份的零件，显得特别重要。

以聚苯乙烯或其他热可塑性树脂做绝缘胶合剂的磁介质，具有可逆的加工性能，也就是说，有缺陷的零件能够作为原料重新用热压法，再进行压制。

Ⅲ. 压鑄:

在制造以聚苯乙烯为胶合剂的磁介体零件时,最常采用这种方法。在該法中所使用的加工装置与压力模鑄塑料的装置一样。磁介体在压鑄机的坩鍋中被加热到 $210\sim 220^{\circ}\text{C}$,此时粉料則熔化成流动状态,所以,很容易从坩鍋中压入模子內。为了提高生产率,模子总是尽可能做成多型腔式的。为保证所压得的制品尺寸一致,模子应保持一定的温度不变,所以,須要用水来对模子进行不断的冷却。在压力作用下,熔化的原料注滿模腔所需的时间很短,大約是十分之几秒钟。原料注滿模腔后,应保持所加压力不变(大約保持 $2\sim 3$ 秒钟),直至制品在模中完全硬化为止。制品硬化后,即可从压模中取出。

制成的磁介体零件,不允許再接受任何压力或切削的机械加工,因为这些机械加工的作用,都可能招致金屬微粒的永恒变形(硬結)。

磁介体是吸潮性的物質,所以必須用浸漬地腊,蘸漬或灌注混合物,以及密封的方法,来防护湿气对制品的作用。

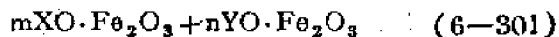
制品的質量,应当經技术檢驗确定。技术檢驗包括:按圖檢驗外形尺寸,机械强度以及測量制品的規定参数(如 μ 值, Q 值,抗电强度,絕緣电阻)等。

§6-3 鉄淦氧磁路的制造

由于無綫电技术不断的發展,因而要求創制一种高频时損耗小,而导磁率高(100及1000数量級)的磁性材料,用非金屬鉄磁材料作成的鉄淦氧或氧化鉄(磁性陶瓷材料)可以滿足所提出的要求。

鉄淦氧的磁特性同它們結晶点陣的排列有关,通常它的結晶排列是属于立方体的,立方結構是在燒結两价金屬(如鋁、鋅、錳、鎳、鎂)的鉄淦氧时所形成的。

这些化合物化学分子式的一般形式为:



式中: X和Y—表示两价的金屬

鉄淦氧磁路制造工艺的实質,是在于得到用非磁性鉄淦氧(鋅、鎳、或鎂的鉄淦氧等)作成的固体液浆。将固体液浆制成鉄淦氧的反应是直接在于 $(1100-1400^{\circ}\text{C})$ 温度作用下实现的,也就是說,在焙燒压成的零件时,将使分散的粉末顆粒燒結成密实而結構均匀的物质。

焙燒后的鉄淦氧,获得很大的硬度,其断面与焙燒成的陶瓷断面相类似,亦具有細緻的結晶結構,由于鉄淦氧在焙燒后是一种結構均匀一致的体系,所以与磁介質是有区别的。

根据鉄淦氧的电气特性,可把列入半导体类。它的直流比电阻等于 10^6-10^{11} 欧/厘米,这比金屬鉄磁材料的比电阻要高 10^6-10^{11} 倍。

鉄淦氧磁路的制造可按下列工序进行:

1. 原材料的化学分析;
2. 将成分相同的材料磨碎成粉末;
3. 把胶合剂加入粉料中,以使混合物具有一定的可塑性(这是压制零件所必需的);

4. 将混合物作成所要求的结构形式一成形；

5. 零件的烧结。

供制造粉末用的原始材料有：

1. 氧化物：

氧化铁 (Fe_2O_3)；氧化亚镍 (NiO)；氧化锌 (ZnO)；氧化镁 (MgO)；氧化铜 (CuO)；氧化亚锰 (MnO) 等。

2. 氢氧化物及低价氢氧化物： $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ； $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ； $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ； $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 等。

3. 硫酸盐： $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ； $\text{NiSO}_4 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$ ； $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。

碳酸盐，硝酸盐及其他盐类也可以应用。全部材料在生产之前，都要进行化学分析，以决定配料的成分。

粉料的准备：在烧结过程中欲得到结构均匀的铁合金，决定的因素是：将原始材料制成具有高度分散性的粉末，并把它混合均匀。

可用几种方法制得粉料：沉淀法，分解法和加热分解法等。将各种物质分解得到的氧化物按一定比例进行混合。

欲使制成的铁合金，具有所要求的质量，其基本条件是严格控制原材料的用量，尽可能的消除混杂到粉料中的杂质；以及严格的遵守磨碎，压制和烧结的工艺规程等。

可用由氧化物制造镍、锌、铁合金的工艺程序作为例子来说明铁合金的制造过程。

1. 磨细材料：首先将称好的材料倒入振动式球磨机（图6—301）中进行磨碎。如果各种材料的硬度差别较大，就应分别进行磨碎，然后在球磨机中进行仔细的混合，把用淬火钢作成的钢球（直径为20—40毫米），放入振动式球磨机中，（材料与钢球的最佳重量比是1:3大于这个比例就能缩短磨碎时间）。

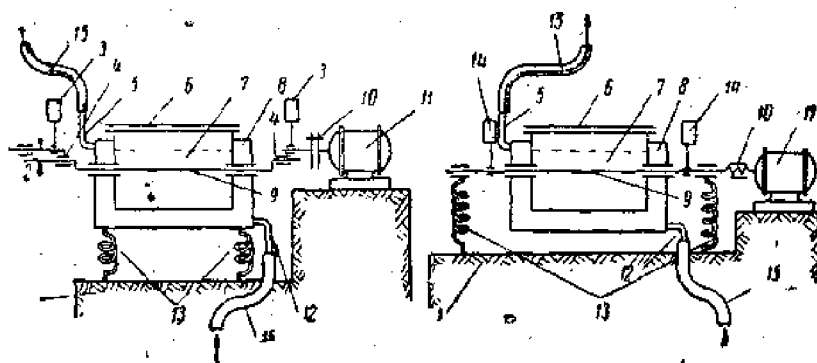


图6—301 振动式球磨机

- | | |
|--------------|-------------------|
| 2——振动式球磨机的全貌 | 5——两种振动式球磨机的工作原理图 |
| 1——底座 | 2——振动数值 |
| 4——转动的轴套 | 3——摆臂 |
| 7——振动箱 | 6——振动箱的盖子 |
| 10——联结器 | 8——水套 |
| 13——弹簧 | 9——轴 |
| | 11——电动机 |
| | 12——冷水输入管 |
| | 14——振动器 |
| | 15——橡皮管 |

为了磨碎高强度的材料,振动式球磨机的振幅 S 应为2—2.5毫米,振动的频率 $f=25$ —30赫芝,当材料和钢球的体积占振动箱容积的60%时,根据材料的硬度,可选择材料和球的重量比从1:3到1:8。

为了消除被磨材料内的金属粉粒,在振动箱的内壁及盖子的内表面上铺盖一层厚约10毫米的橡胶,极小的橡胶微粒不会影响材料的成分,因为在作成固体液浆前橡胶的微粒就被烧尽了。对被磨碎材料进行多次的分析证实淬过火的钢球,不会在材料内引入微小的金属粒子。如果被磨材料中不允许有一点金属粒子存在时,建议球及振动箱的内壁都用焙烧过的同类铁渣氧做成。用振动式球磨机来磨细材料时,大约经过40分钟后,粉粒子的直径就达到5—10微米。

在进行振动球磨时,将会析出大量的热能,因此,应在振动箱的外面包一层通水的外套,以便不间断地通入冷水,对箱子进行冷却。

经检验合格后的粉料,即可装入用耐火泥做成的圆柱形烧钵中进行烧炼。烧炼炉的温度以每小时200—250°C的速度上升,镍锌铁渣氧粉料烧炼的最高温度是900°C,当温度升至900°C后保持此温度约一小时。烧炼的目的是为了消除混入粉料内的有机物,并实现局部形成结晶点阵的化学反应,这样,就使烧结后,材料都结合成块状,因此,必须进行第二次振动磨碎,以得到尺寸为4—6微米的颗粒,因为只有当材料具有高度的分散性时(颗粒的尺寸应为1微米或者更小)才能获得最均匀的结晶结构。

2. 加胶合剂:

加胶合剂的方法,是把胶合剂和前面准备好的粉料放在一起,进行长时间的充分搅拌。如果,所采用的胶合剂是石蜡,则在搅拌时,须将球磨机的搅拌箱,加热到80—90°C,搅拌连续进行3—4小时。搅拌以后的混合物,应能通过规定的筛孔,在搅拌好的混合物中,石蜡的数量占10—16%。在个别的情况下,石蜡中还要加入少量的蜂蜡、油酸和桐油。

当用强挤法(通过一定形状的口)来制造零件时,采用的胶合剂,是36%桐油和18%糊精的混合物,所用的糊精是预先溶解在水中的机械混合物(其中糊精按重量计为46%)。强挤法所用的粉料,是由68%(按重量)的粉料和32%的胶合剂配成的。

3. 成形:

成形的方法有冲压、压制、强挤和热压铸等,由此可见,铁渣氧零件的制造方法,是与陶磁零件的制造方法相类似的。

用压制法制造零件时,必须用双向加压的方式,为了使长度较大的零件,能获得同样的密度和均匀的导磁率,双向压力不应加在零件的端面上,而应该加在侧面上,譬如:在压制杆形天线、互感器的铁芯和其他一些 $\frac{1}{D}78$ 的零件时,就须要采取所述的加压方式。

因为配制成的混合物具有相当大的密度,所以在强挤直径大于10毫米长杆形零件时,在已压出杆料的重力作用下,零件的横断面尺寸就随之减小。因此在这种情况下,建议用卧式强挤法。

4. 烧结(即零件的焙烧)用温度可升至1400°C的隧道式电炉来烧结零件。装置零件

用的底板是耐火泥或鉄淦氧做成，在板上鋪一薄層氧化鋁的粉末，以防止零件与板产生粘着現象。平板形零件可叠放成几層，各層間用氧化鋁粉加以垫隔，但叠高一般不应超过60毫米。在这种情况下最下層的焙燒零件，应放在燒过的鉄淦氧板上。

焙燒零件时，先以每小时150—200°C的温升速度，将温度升至800—900°C，然后以每小时50—100°C的速度，升至零件的燒結温度（1100—1400°C）在燒結所須要的最高温度下保持四小时左右，随后，零件被冷却到80—100°C，在隧道式电炉中燒結零件所須時間，总共約为15—16小时。

用石蜡作胶合剂的零件，在焙燒之前，須用燒除的方法排掉所有石蜡，譬如，在具有强制通風装置的电炉中进行燒除。

通風的目的是为了排除石蜡化学分解出来的产物。如果在燒去石蜡时，温升过快，就会使石蜡燃燒起来，从而造成不可修复的廢品。因此，应该用2—6小时的时间把产品加热至200—300°C，然后即可将温度，在一个半小时内升至700°C，这个最高温度被保持5—10小时（由零件的尺寸决定）随后再繼續提高温度，以完成燒結的过程。以石蜡作为胶合材料，仅在成形这道工序中，要求混合物的可塑性較高时，才被采用。

用硫酸鉄、硫酸鋅及硫酸錳作为原料的錳鋅鉄淦氧，可用另一些方法制造，用化学分析的方法，对上述三种硫酸盐进行質量檢驗以确定 Fe_2O_3 、 ZnO 、 MnO 在它門当中含量的百分数。然后根据表6—2所列数据，計算出制造粉料的配方。

表 6—2

錳鋅鉄淦氧的成分（按重量）

鉄 淦 氧 牌 号	各成分的百分比（按重量）		
	Fe_2O_3	ZnO	MnO
M—1000	72.6 ± 0.2	9.7 ± 0.2	17.7 ± 0.2
氧化鉄M—2000	71.4 ± 0.2	9.4 ± 0.2	19.2 ± 0.2
M—3000	70.4 ± 0.2	14.1 ± 0.2	15.5 ± 0.2

根据上面的計算值，把硫酸盐装入球磨机中，并且在每1公斤原材料中加入0.4克的水，經長時間的湿磨后，将得到的机械混合物，倒在圖6—302所示的振动式干燥器的烘盘2上，在烘盘上面，是內表面为搪瓷的罩盖4，用电气加热元件6，使烘盘得到均匀的加热。頻率为50赫芝，双振幅为0.5毫米的振动，与加热的配合，大大加速了除水过程。蒸發的水蒸气，通过排气管5，用通風机抽出。上述的振动状态使混合物粒子得到約2.5g的加速度，由于料粒的剧烈移动，所以料粒与盘底不会發生粘合；料粒本身也不会形成团塊。10公斤重的混合物在这种振动干燥器上除水及消除团塊的时间，当温度在最初30分鐘內就升到200°C时，不会超过1小时。

将脫水的盐的混合物装在耐火泥制的燒鉢內，在电炉中用 $950 \pm 25^\circ C$ 的温度鍛燒到不再分解出气体时为止（約4—6小时）鍛燒后的塊状物体，再放入振动磨中，磨細到

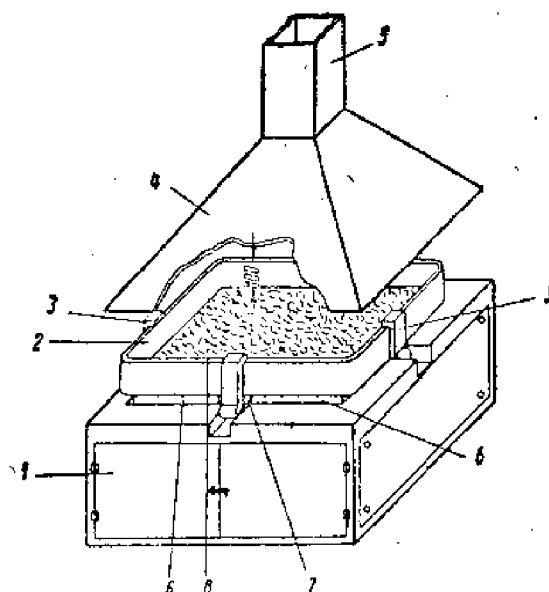


圖6 —— 302 振動式干燥器

- | | |
|------------------|--------------|
| 1 —— 內部裝有振動機械的盒子 | 2 —— 烘盤 |
| 3 —— 固定烘盤的卡夾 | 4 —— 吸氣系統的罩蓋 |
| 5 —— 吸氣管 | 6 —— 電加熱元件 |
| 7 —— 十字梁頭 | 8 —— 欲干燥的混合物 |

顆粒的尺寸為4—6毫米為止，然後，用0.3—0.5噸/厘米²的壓力，將粉料壓成圓柱形或矩形的坯餅，再放入溫度為1000±25°C的電爐中鍛燒5小時左右。待坯餅冷卻後又用振動磨來磨碎和磨細。為使製成的粉料，具有可塑性，故須在粉料中加入濃度為10%的聚乙稀醇水溶液，在粉中加入的水溶液按重量計為10%或者按重量加5%的石蠟作膠合劑。

用制得的混合物以1.5噸/厘米²的壓力在壓模中，壓成零件。如果，是採用石蠟作為膠合劑，則在鍛燒前，為了除去石蠟，模壓零件，須在250±25°C的溫度下，熱處理24小時。

把零件裝在用錳鋅鐵滄氧作成的板上後，即可放在真空爐中進行燒結。裝載零件可在溫度不高于300°C的爐中進行。裝完後，爐溫按每小時300°C的速度，在正常大氣壓力下升高，最後達到表6—3（NO: 5、6、7和8）所指示的燒結溫度。保持燒結的溫度5小時左右，然後隨爐冷卻，並同時在爐內建立1毫米水銀柱的真空度。在冷卻到1100°C之前，此真空度保持不變，在由1100°C冷至250°C時，冷卻的速度是每小時100°C左右，此時，真空度保持在0.1—0.3毫米水銀柱的範圍內，當爐溫冷卻到不高于250°C，並在爐內建立起正常大氣壓力以後，方可開爐取出零件。

零件在燒結後，將發生收縮。收縮的大小，決定于混合物的成分，混合物的製造工藝，壓制零件的方法和狀態以及燒結的溫度等。

某些牌號鐵滄氧的收縮系數列于表6—3中。

表 6—3

編号	牌 号	焙 燒 溫 度 °C	收縮 系数 $K_g = \frac{Q_1}{Q_0}$
1	HU—15	1000±10	1.13—1.15
2	HU—300	1160±10	1.19—1.21
3	HU—1000	1160±10	1.19—1.21
4	HU—2000	1270±10	1.22—1.25
5	M—1000	1150—1270	1.10—1.16
6	M—2000	1150—1270	1.10—1.16
7	M—3000	1300—1360	1.10—1.16
8	M—4000	1300—1380	1.10—1.16

溫度及其對時間的變化，製造固體液漿的設備情況，以及冷卻的狀態等，均是確定被製成磁路性質的重要因素，譬如，為了使某些牌號的錳——鋅鐵淦氧具有所要求的性質，須要使其在燒結後，從1000°C迅速的冷卻（淬火）。

在電子計算機和其他電子儀器中，常採用一些具有矩形磁滯迴線的小型化環狀鐵淦氧（尺寸是：高0.5毫米，內徑1毫米，外徑2毫米）。為了製造這種零件，須要特別干淨的原料，為此常用再結晶或其他有效的方法，來徹底清除掉原料內的全部雜質。小型化環狀鐵淦氧制品的壓制，燒結和磁參數的檢驗，均須採用自動化生產的方式，以清除在操作過程中，對於規定工藝狀態任何細小的偏差。

隨著粉料和鐵淦氧物質製造工藝的日益完善，除了可以製造上述含兩種金屬的鐵淦氧外，還可以進行製造含三種或更多種金屬的鐵淦氧。很显然，粉料製造的發展方向，將是掌握製造合金氧化物的工藝，如：製造鐵、鋅、鎳的合金氧化物，錳、鋅、鐵合金的氧化物，以及其他合金的氧化物等。為此，應先在真空條件下，預先製成合金。

§6—4 鐵淦氧零件的機械加工方法

經燒結後的鐵淦氧，具有很大的硬度，这样就限制了对它进行机械加工。

与陶瓷零件的机械加工方法相似，可用砂輪、金屬絲、超声波、金鋼鋸，以及用金鋼砂磨料粉配合上金屬管等方法來加工鐵淦氧零件。其工藝過程與對陶瓷的加工工藝完全相同。

鐵淦氧零件的表面經過良好的研磨和拋光，可以達到分子咬合的程度，这样就有可能進行複雜結構磁路的裝合。

將環形磁性瓷切割成兩部分的加工方法是具有實際意義的，譬如，對於電視射線管的偏轉系統，所用的環形鐵淦氧，就須要進行切割。這種方法的實質，在於加熱塗復在環形鐵淦氧表面上的導電層，由於加熱處的热膨脹，零件就自行斷裂。在須要切割的

环形铁氧体的表面上用石墨笔画一条宽约0.7—1毫米的石墨线，然后，在石墨线的两边加上800—1000伏的交流电压，于是沿着所画石墨线就有约600毫安的加热电流通过。零件就受到加热，而形成裂缝（图6—401）。

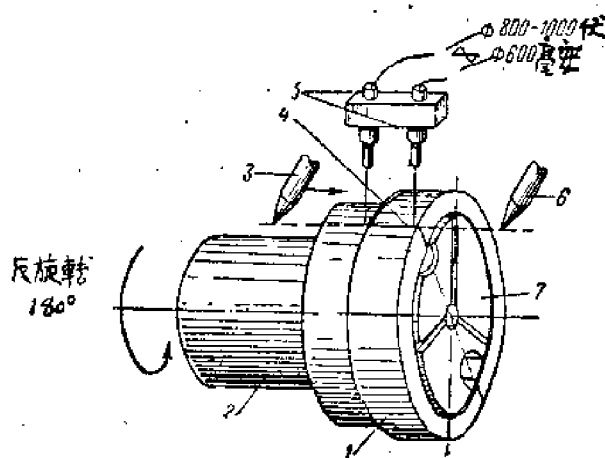


图6—401 利用局部加热的方法将环形铁心切割成两部分的说明图

- | | | |
|-------------|-----------|-------------|
| 1——环形铁心 | 2——主轴 | 3——画线前石墨的位置 |
| 4——画上石墨线 | 5——引入电的电极 | |
| 6——画线后石墨的位置 | 7——心轴 | |

利用这种方法，可把铁氧体零件切割成所要求的段数，而不受外形的限制。因此它最适合于切割装配好的，而结构和尺寸都不能改变的铁氧体零件。

§6—5 铁氧体磁路的质量检验

焙烧后的铁氧体零件，全都要进行外表，几何尺寸及磁特性的技术检验。

在车间中仅用简单结构的Q值测量仪，在规定的频率上，对铁氧体零件的 μ 和Q进行检验，而在大批生产时，Q和 μ 的检验应采用与标准试样比较的方法在测 μ 和Q的自动装置上进行。

对铁氧体零件的磁特性检验应包括下列各项：

1. 绘出起始导磁率随温度的变化曲线；
2. 测量导磁率的温度系数；
3. 测量零件的比电阻值；
4. 测量导磁率的不稳定温度系数；
5. 测量强磁场下的损耗角，以及技术条件说明的其它参量的测量。

§6—6 铁氧体磁物的应用范围

铁氧体磁物，除了可以作为磁路和铁芯外，还有其他一系列用途，现将铁氧体磁物的应用范围列于表6—4中。

表 6-4

应用范围	频率	要求的特性	铁淦氧磁物的性能	铁淦氧磁物的类型 μ 。	必需的改善
A, B—H线性的特性曲线, 小的磁通密度					
滤波的电感	100 仟赫	在低频上有高的Q值, 准确性, 稳定性。	高的 μ Q值, 低的磁滞作用, 可能做成杆状。	锰 锌 1000—2500	较高的 μ Q值 较低的温变系数
中频变压器	465 仟赫	高Q值, 稳定性, 微调的可能性	高 μ Q值做, 成杆状的可能性。	镍 锌* 100—200	在高频上有较高的 μ 值对于温度变化和磁及机械的作用有较大的稳定性。
铁淦氧磁物天线	1000 仟赫	足够高的Q值, 稳定性	高的 μ Q值, 做成杆状的可能性。		
宽频带变压器	不大于15兆赫	好的频率特性,	高 μ 值, 小损耗, 获得装配结构的可能性	锰 锌 1000—2500 镍锌*300	均匀的磁与机械的特性
可调线圈	各种不同的	有±20%的调节范围	高 μ 值成形的可能性	锰 锌 镍 锌*	
线圈中的微温铁心	各种不同的	调节>10:1	实现各种结构的可能性, 在直流场中 μ 值的可变性		
小型的零件与结构	各种不同的	足够的Q值不大的尺寸	实现盒形铁心的可能性	锰锌>1000 镍锌>*1000	在足够大的Bm时有较高的磁泡, 较小的损耗
负载线圈	音频	稳定性, 损耗的调制, 小的损耗	高的 μ Q		对直流磁场有较小的灵敏度 较小的磁滞损耗。
B, B—H从中间到高的磁通水平的非线性特性曲线					
扫描变压器	15—100 仟赫	低损耗, 小体积		锰锌>750 镍锌>*750	较高的磁泡, 较小的损耗, 较高的居里点

表 6—4 (續)

偏轉系統					
小型變壓器	脈 沖	小體積，便于安裝	高 μ 值，做成盒形鐵心的可能性	鎳鋅4000	較高的磁飽和
載頻變壓器	各種不同的				
扼 流 圈					
濾波電感		高的無功阻抗	高的損耗（在高于極限頻率時）	鎳鋅>500 鎳鋅>*500	
磁帶錄音頭			機械強度小的損耗	鎳 鋅 鋅 鋅	大的磁飽和 平滑的表面

C, B—H 的最高非線性，矩形的磁滯迴線

儲能裝置	脈 沖	兩個穩定的磁狀態，迅速的反复磁化。	獲得小型環的可能性，磁滯迴線是足夠的矩形化	鎳 鋅	磁滯迴線的較高的矩形化穩定性，相同的特性曲線
轉換裝置	脈 沖	迅速的反复磁化	磁滯迴線足夠的矩形化	鎳 鋅	在高的輸出值時有高的磁飽和。
具有多于一個小孔的環磁性放大器					

D, 微波特性

絕緣子衰減器，轉換器，調幅器，			法拉第效應，鐵磁諧振，	鎳 鋅*	
-----------------	--	--	-------------	------	--

E, 磁致伸縮

遲 延 綫					
濾波器與振蕩器					
測量溫度的儀器		對溫度振動的靈敏度	低的居里點，對溫度振動的靈敏度		

*) 可以附加地包含錳、鎂、鈣、銅和鋁。

第七章

电感线圈

高频电感线圈，广泛地采用于无线电设备中，它是振荡回路的重要元件之一。此外还用作滤波元件（高频扼流圈）、耦合元件，以及作为集中参量延迟线的组成部分等。

高频电感线圈可以分成两组：

1. 固定电感量的高频电感线圈。
2. 可变电感量的高频电感线圈。

对电感线圈具有多方面的要求。（例如工作频率范围、功率、用途、使用条件等方面），其结构也是多种多样的，因此，对电感线圈进行更详细的分类是困难的，也由于这个原因，电感线圈目前仍属于非标准元件。

§7-1 电感线圈的基本参量

电感线圈的基本性能可用以下参量表征：

1. 电感量：高频电感线圈的电感值按工作频段和用途而定，其数值一般在自数千分之几微亨到几十毫亨的范围之内。电感量的准确度也按用途而定，一般在0.5—15%的范围内。

2. 稳定性：电感线圈的稳定度和电容器稳定度一起决定了振荡回路频率的稳定度，因此，这是线圈的重要参量之一。电感线圈的温度稳定性用电感温度系数（TKH）及电感温度不稳定系数（TKHH）来表征。

3. 品质因数：

电感线圈的品质因数表征了在线圈中的损耗。线圈的品质因数为：

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (7-101)$$

其中： ω ——角频率

L ——线圈电感量

R ——线圈电阻，它表征了线圈中总的损耗，并为如下各部分损耗电阻之和；

$$R = R_{\pi} + R_{\mu} + R_c + R_{\text{H}} \quad (7-102)$$

其中： R_{π} ——线圈导线及屏蔽罩中的电阻，与频率有关。

R_{μ} ——介质损耗电阻，与频率有关。

R_c ——芯子的损耗电阻，与频率有关。

R_{H} ——辐射损耗电阻，与频率有关。

这样一来线圈的品质因数决定于与频率及线圈结构有关的很多因素。一般在(50—300)的范围内。

4. 固有电容:

电感线圈的等效电路(简化的)可以用图7—101的形式来表示。

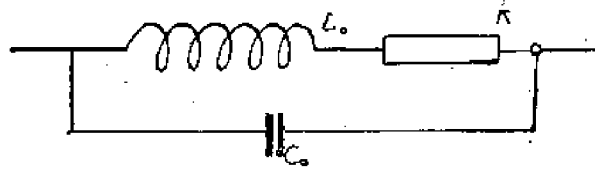


图7—101 电感线圈的等效电路

由图可见，电感线圈是一个振荡回路，其中的电容 C_0 ，即电感线圈的固有电容。

电感线圈的固有电容是由线圈间的分布电容形成的，其中一部分通过空气的，另一部分通过骨架的介质材料。

固有电容对电感线圈的参量的影响在接近线圈的固有谐振频率 ω_0 ($\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$)

时特别强烈。因此，电感线圈应该运用在工作频率 $\omega_F < \frac{1}{5-10} \omega_0$ 的情况下。

5. 抗电强度:

电感线圈的抗电强度应该保证工作时不发生沿空气以及沿骨架表面的击穿。对于用在发射机及振荡器中的线圈来说，这一参量特别重要。

6. 过热温度:

即线圈工作时由于损耗功率所引起的温升(与周围媒介的温度差)。为了使固定线圈的介质材料不致过热，导线的过热温度不应超过50—60°C。实际上，这种情况只在发射机的线圈上才存在。

7. 机械强度:

电感线圈的机械强度应该是保证机械作用(冲击、振动、加速)下其电气参量保持不变。当线圈的机械强度不够时，在外力作用下所产生的可逆的变形会引起微音效应，而不可逆的变形会引起电感量的变化。

8. 尺寸及重量:

电感线圈的尺寸及重量应满足设备所提出的要求。

§7—2 电感线圈的结构

前面已经指出，电感线圈的结构是极为多种多样的，按照电感线圈的结构特征，可以分成单层的及多层的；屏蔽的及非屏蔽的；有芯子的及无芯子的。

在一般情况下电感线圈的主要组成部分是：骨架、绕组、屏蔽罩及芯子。

I. 骨架：线圈的骨架是用来固定线圈匝和芯子，以及把线圈固定到机架或屏蔽罩上的。骨架的结构及材料影响到线圈的固有电容及损耗。制造骨架用的材料有：胶木化

紙，紙膠管，塑料和陶瓷等。高質量電感線圈骨架應該用高頻介質（聚苯乙烯、高級瓷料等等）來做。

某些情況下，線圈也做成無骨架的形式（如超短波線圈）。

骨架的直徑實際上做成下列尺寸：對於接收機單層線圈 $D = 12 - 20$ 毫米；對於小功率發射機的單層線圈為 $20 - 60$ 毫米；對於蜂房式繞法的多層線圈 $D_0 = 6 - 13$ 毫米（在某些情況下達 $20 - 25$ 毫米）。

為了固定繞組的引出端，可在骨架上做出孔來。為了便於與電路連接（錫焊），有時在骨架上鉗上焊片等附件。

圖 7—201 示出了適用於單層線圈以及多層（蜂房式的或者交叉式的）線圈的骨架結構。圖 7—201a 的結構是用紙或者紙膠管做成的，圖 7—201b 及 b' 的結構是塑料做成的。在圖 7—201b 及 b' 的骨架的內部具有旋入芯子用的螺紋。

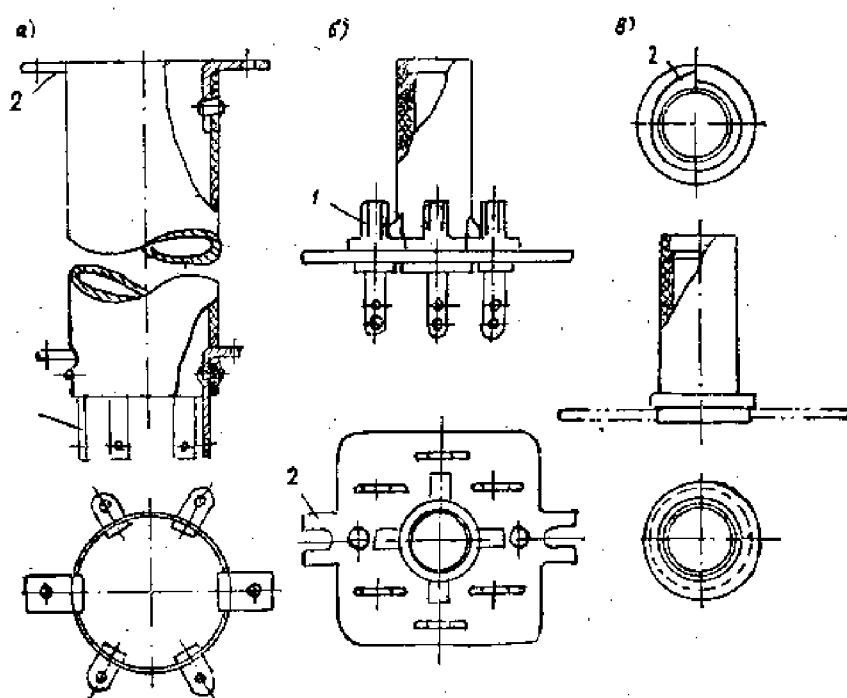


圖 7—201

電感骨架的結構

1——引出焊片

2——固定元件

短波單層線圈電感的骨架的結構示于圖 7—202。圖 7—202a, b, r 所示的骨架可用塑料或者陶瓷做成，b 型可用塑料做成。為了提高對機械力的穩定性在圖 7—202b 及 b' 的骨架上做出敷設導線用的螺紋。

筋條式骨架（圖 7—203）應用於單層電感線圈，目的是為了減少固有電容及損耗。這種類型的骨架可以用陶瓷及塑料來製造，最常用於發射機的線圈中。

分層式繞法或者准繞法的多層線圈可採用圖 7—201 所示類型的骨架。這些骨架常用塑料做成。為了減少繞組的固有電容，把骨架分段（圖 7—204b）。

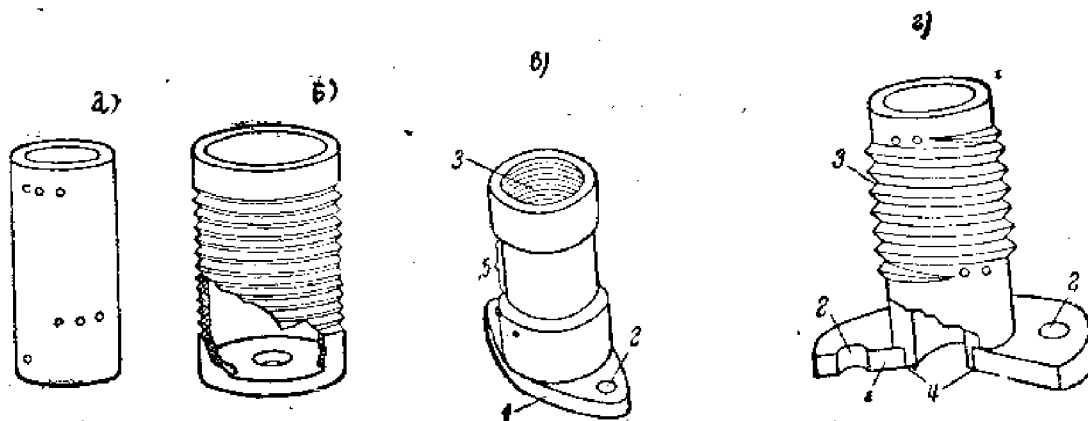


圖 7——202 螺旋線圈的骨架

a) 光滑的, б) 具有線槽的; а) 具有裝固用凸緣及限制簧組寬度用的輪肩;
 r) 裝合成的;
 1——凸緣, 2——固定用的孔, 3——放骨架用的溝槽, 4——調節芯子位置用的螺紋;

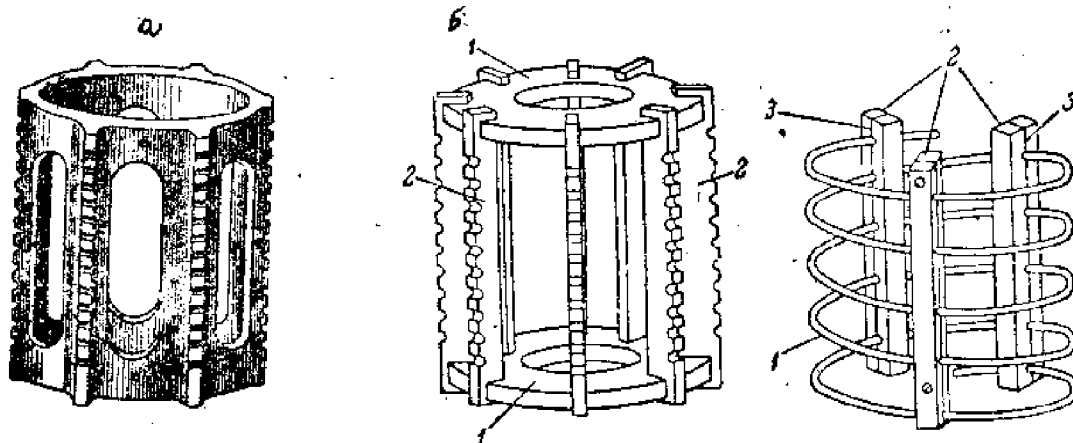


圖 7——203 筋條式的線圈骨架

a) 用陶瓷做成整個的骨架, б) 裝合成的, 具有兩個圓盒; в) 用三條筋條固定線面的
 線圈;
 1——圓盒, 2——筋條 3——導線

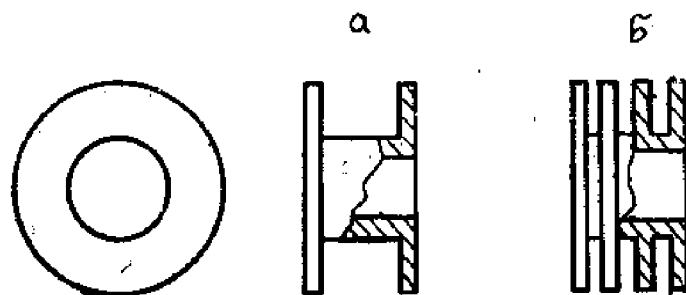


圖 7——204 多層線圈的骨架

II. 繞組: 繞組的型式及繞組的導線根據繞組的工作波段及其穩定性等要求而定。

當頻率低於500千赫時,接收機的电感繞組的繞組做成蜂房式的或者普通多層式的;當頻率高於1.5÷2兆赫時,可以採用單層繞組,當頻率由500千赫到2兆赫時,可以採用單層繞組也可以採用多層繞組。

多層繞組的繞組導線可採用漆包綫(ΠЭ),單絲漆包綫(ΠЭΠΠ),單紗漆包綫(ΠЭΠБ)或編織綫ΠДΠΠ)。單層繞組的繞組可採用漆包綫,單絲漆包綫及被銀軟銅綫(ММ)。

導綫直徑根據計算按表7—1及表7—2來選擇。當導綫直徑的計算數據不符合於導綫的額定直徑時,可選擇最接近導綫的額定直徑值。

表7—1 繞組用漆包綫、絲包綫和紗包綫的數據

銅綫額定 直 徑 (毫米)	帶絕緣的導綫的最大直徑(毫米)					
	優等耐久 漆包綫	單絲耐久 漆包綫	單紗耐久 漆包綫	單 紗 漆包綫	雙絲包綫	雙紗包綫
0.03	0.038	—	—	—	—	—
0.05	0.065	0.12	—	—	0.16	—
0.06	0.075	0.13	—	—	—	—
0.07	0.085	0.14	—	—	0.18	—
0.08	0.095	0.15	—	—	—	—
0.09	0.105	0.16	—	—	—	—
0.10	0.120	0.175	—	—	0.21	—
(0.11)	0.130	—	—	—	—	—
0.12	0.140	0.195	—	—	—	—
(0.13)	0.150	0.205	—	—	—	—
0.14	0.160	0.215	—	—	—	—
0.15	0.170	0.225	—	—	0.26	—
0.16	0.180	0.235	—	—	—	—
(0.17)	0.190	0.245	—	—	—	—
0.18	0.200	0.255	—	—	—	—
(0.19)	0.210	—	—	—	—	—
0.20	0.225	0.29	—	—	0.32	—
(0.21)	0.235	0.30	—	—	—	—
0.23	0.265	0.32	—	—	—	—
0.25	0.275	0.34	—	—	0.37	—
0.27	0.305	0.37	—	—	—	—
(0.29)	0.325	0.39	—	—	—	—
0.31	0.350	0.415	—	—	0.43	—

表 7-1 (續)

銅線額定 直 徑 (毫米)	帶絕緣的導線的 最大直徑 (毫米)					
	優等耐久 漆包線	單絲耐久 漆包線	單紗耐久 漆包線	單 漆包 紗 線	雙絲包線	雙紗包線
(0.33)	0.370	0.433	—	—	—	—
0.35	0.390	0.455	0.51	0.51	—	—
0.38	0.420	0.485	0.54	0.54	0.5	—
0.41	0.450	0.520	—	—	—	—
0.44	0.485	0.550	0.605	0.605	0.58	—
0.47	0.515	0.580	0.63	0.63	—	—
0.51	0.560	0.625	0.68	0.68	0.63	—
0.55	0.600	0.665	—	—	—	—
0.57	0.630	—	0.73	0.73	—	—
0.59	0.650	0.705	0.75	0.75	—	—
0.64	0.70	0.755	0.81	0.81	—	0.81
(0.69)	0.75	0.805	—	—	—	—
0.74	0.80	0.865	—	—	—	0.94
0.80	0.86	0.925	0.98	0.98	—	1.02
0.86	—	0.985	—	—	—	—
0.93	0.99	1.055	—	—	—	—
1.00	1.070	1.135	1.21	1.21	—	1.27
1.13	1.235	1.295	—	—	—	—
1.25	1.330	1.385	1.46	1.46	—	1.82
1.35	1.430	1.485	—	—	—	—
1.45	1.53	—	—	—	—	—
1.50	1.58	—	1.71	1.71	—	1.77
1.56	1.64	1.695	—	—	—	—
1.81	—	—	—	—	—	2.06
2.10	—	—	—	—	—	2.37
2.26	—	—	—	—	—	2.53
2.44	—	—	—	—	—	2.74
2.63	—	—	—	—	—	2.93
3.05	—	—	—	—	—	3.38
3.23	—	—	—	—	—	3.53
3.53	—	—	—	—	—	3.83
3.86	—	—	—	—	—	4.13
4.50	—	—	—	—	—	4.8
5.20	—	—	—	—	—	5.5

注1. 括号中的優等耐久漆包線ИДЛ-1的尺寸最好尽可能不用。

注2. 導線在20°C時的電阻應不大於每米0.01754歐。

注3. 最高功率溫度為100±5°C。

注4. t 等於100±5°C、對耐久漆包線ИДЛ— (繞成兩圈時) 的击穿電壓應不小於下面所示的數字:

导线直径 (毫米)	击穿电压 (伏)	导线直径 (毫米)	击穿电压 (伏)
0.03	100	0.23—0.31	750
0.05—0.07	350	0.53—0.8	850
0.08—0.13	400	0.83—1.35	1000
0.14—0.21	500	1.40—1.56	1250

表 7—2 绕组用高频导线 (编织线) 的数据

单根心线 的 额定直径 (毫米)	心线数目	导线切面积 (毫米 ²)	单丝漆包编织线		双丝漆包编织线	
			最大外径 (毫米)	每米的电阻 (欧)	最大外径 (毫米)	每米的电阻 (欧)
0.05	10	0.0193	0.33	1.095	—	—
	15	0.0294	0.37	0.697	—	—
	21	0.0412	0.42	0.525	—	—
0.07	7	0.0269	0.34	0.760	—	—
	10	0.0385	0.41	0.532	—	—
	12	0.0462	0.44	0.445	—	—
	16	0.0615	0.47	0.333	—	—
	21	0.0818	0.52	0.254	—	—
	28	0.108	0.60	0.190	—	—
	35	0.135	0.76	0.152	—	—
	49	0.189	0.84	0.108	0.91	—
	63	0.243	1.02	0.085	1.09	—
	84	0.323	1.13	0.053	—	—
	119	0.457	1.31	0.045	1.38	—
	147	0.535	—	0.036	1.43	—
	175	0.674	1.60	0.39	1.67	—
	245	0.944	1.82	0.022	1.89	—

0.1	9	0.071	0.52	0.275	—
	12	0.094	0.57	0.208	—
	14	0.110	0.60	0.177	—
	16	0.126	0.64	0.155	—
	19	0.149	0.67	0.131	—
	21	0.165	0.71	0.118	—
	24	0.188	0.79	0.105	—
	28	0.220	0.82	0.088	—
	32	0.252	0.87	0.077	—
	35	0.275	1.04	0.071	—
	49	0.385	1.15	0.050	1.22
	70	0.550	1.51	0.035	—
	84	0.660	1.57	0.029	—
	105	0.825	1.73	0.024	—
	119	0.935	1.82	0.021	—
	175	1.376	2.23	0.014	—
0.2	7	0.220	0.75	0.985	—
	9	0.283	0.90	1.069	—
	12	0.378	1.01	0.950	—

發射机所用的大功率电感綫圈的繞組可采用銅綫、鍍銀銅綫及具有各种切面的管子。

Ⅲ. 屏蔽罩：屏蔽的作用是减少外界磁場的影响及为了消除寄生耦合。屏蔽的效果可用屏蔽系数来表征。屏蔽系数等于在同一干扰場中，未屏蔽的綫圈所感应的干扰电动势与已屏蔽的綫圈所感应的干扰电动势之比。

中等質量屏蔽罩（鋁制的）的屏蔽系数約为500。

屏蔽罩的形状有圓截面和矩形截面两种，通常用鋁、黃銅、銅做的。鋁屏蔽罩在無線电广播設備中应用得最广（因为便宜）。高稳定电感綫圈的屏蔽罩用殷銅及被銅陶瓷（因为它们具有小的綫性膨胀系数）做成，为了提高其屏蔽效果，可鍍复銀層，在要求更高情况下有时采用多層屏蔽。

屏蔽罩的直徑 D_s 通常选为綫圈直徑 D_k 的1.5—2.1倍即（ $\frac{D_s}{D_k} = 1.5-2.1$ ）波长較短时比值 $\frac{D_s}{D_k}$ 应选取較小的数值。当屏蔽罩为正方形截面时也可选取同样比值，此时正

方形边长 $a = \frac{D_s}{1.2}$ 。屏蔽罩的厚度一般在0.25—0.8毫米的范围内选择。

装上屏蔽罩后，綫圈电感量将降低，而綫圈的固有电容及損耗将增加，这一点在設

計綫圈时应加以考虑。

往往把电感綫圈和电路的其他元件（例如电容器，电子管等等）一起屏蔽起来，这时屏蔽罩通常用合金鑄成。圖 7—205 示出某些屏蔽罩結構例子。

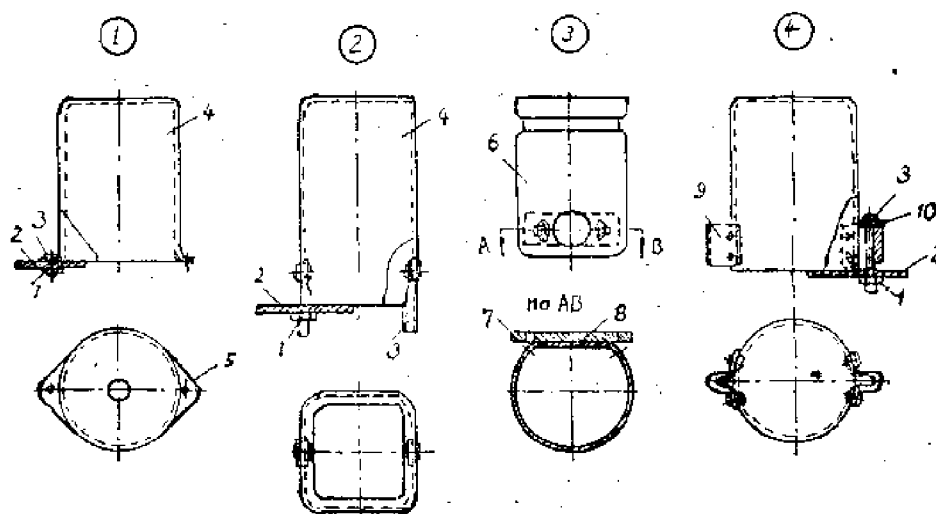


圖 7—205 屏蔽罩結構及其固定方法的某些例子

- 1——螺絲，2——設備底板，3——螺釘，4——鋁屏蔽罩，5——固定用的孔，
6——銅屏蔽罩，7——側旁的固定座板，8——銲接處，9——緊固定用的凸耳，
10——墊圈

Ⅳ. 芯子：电感綫圈的芯子用来增加綫圈的电感量或用来調节电感量。为了增加綫圈电感量（或在要求一定电感量下，縮小綫圈尺寸）和調节电感量，可用高频磁性材料（磁介質，鉄淪氧）作芯子。在寬頻帶迴路中为了降低綫圈品質因數（加寬迴路通頻帶）可以用黃銅作成的芯子来实现电感量的調节。

电感綫圈芯子的結構将在“具有芯子的电感綫圈的計算”一节中进行討論。

了解了电感綫圈各組成部分后，現在讓我們介紹一些电感綫圈的結構例子。

在圖 7—206 中示出了具有屏蔽罩的中波迴路的結構。鋁屏蔽罩是圓切面的。綫圈繞組是蜂房式的。圖“a”的骨架用塑料做成；圖“b”的骨架用胶木化紙做成并胶合在紙胶板制成的安裝板上。圖“a”的綫圈采用了分段繞組。

中頻滤波器的結構示于圖 7—207。迴路綫圈的蜂房式繞組是分段的，并且用芯子来微調。正方形截面的鋁屏蔽罩在圖中沒有表示出来。电路的其他元件与迴路綫圈一起放在屏蔽罩中。

中頻滤波器的另一結構示于圖 7—208。其中迴路綫圈采用普通多層繞組，并具有壳型磁芯，磁芯用胶合方法固定在紙胶板制成的安裝座板上。

滤波器的电感綫圈常常采用环形磁芯或骨架。其結構示于圖 7—209

用于發射机具有筋条式骨架的电感綫圈示于圖 210

固定在电容器上的無骨架电感綫圈示于圖 7—211。这种綫圈运用于米波發射机中。

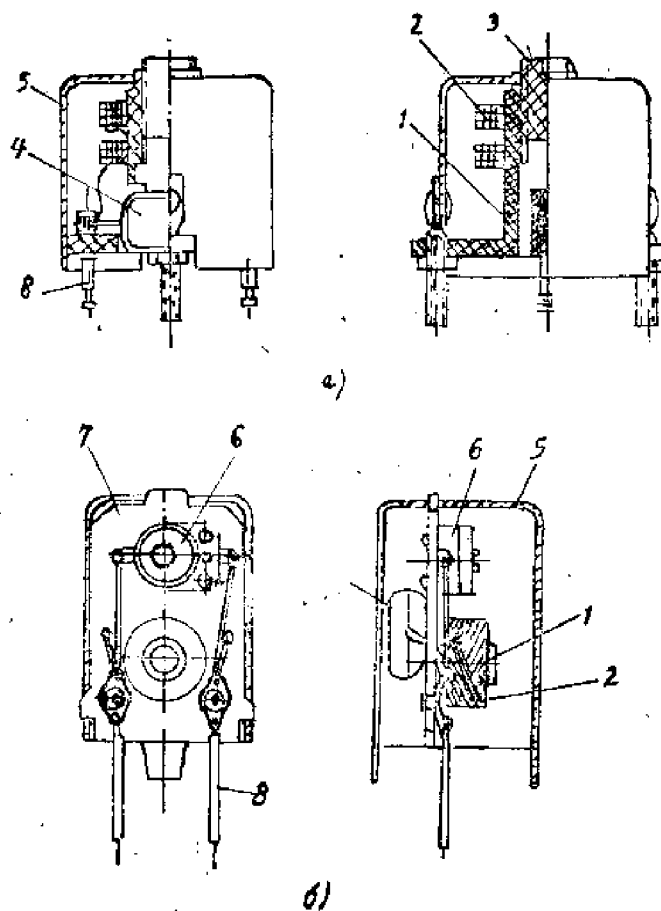
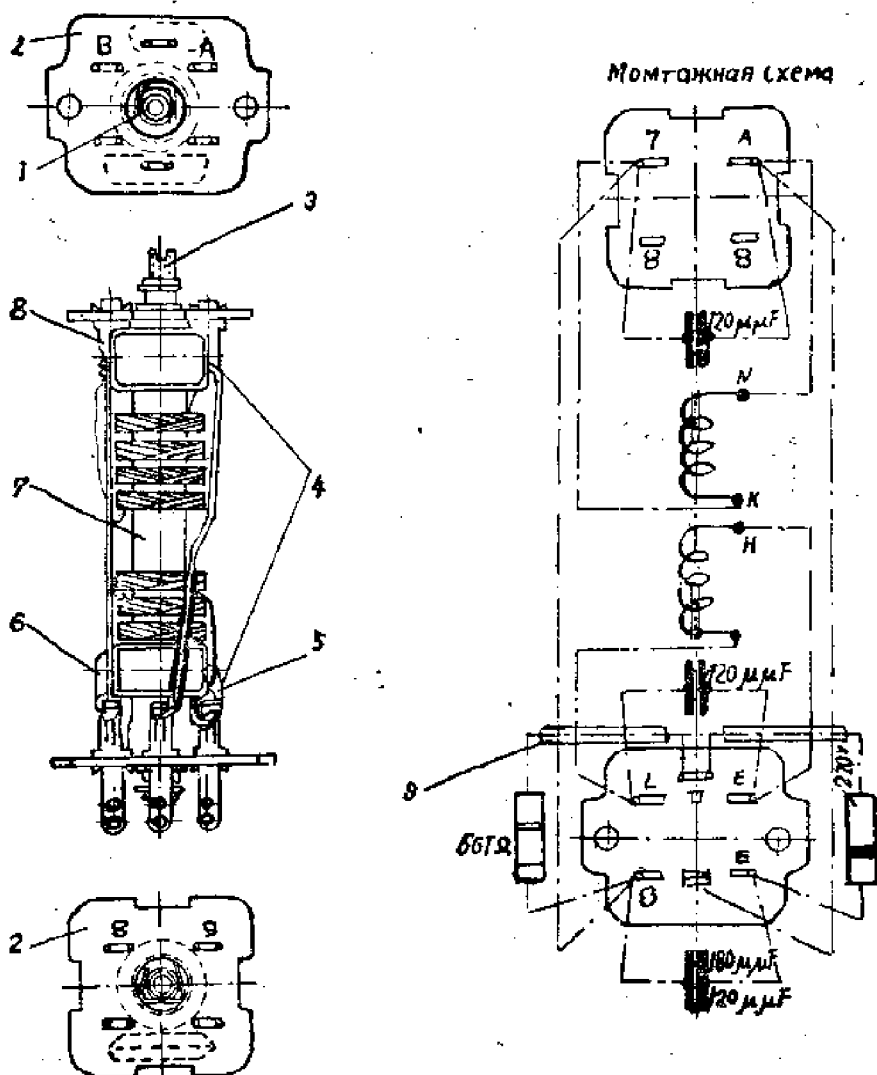


圖 7 — 206 具有屏蔽罩的中波回路

■用磁介質芯子調的，6用半可變電容器調的

1——線圈骨架，2——線圈線匝，3——芯子，4——固定電容器，5——屏蔽罩，
6——微調電容器，7——安裝板，8——引出端



7—207 450 仟赫的中頻濾波器

1——制動彈簧；2——具有焊片的座板；3——芯子的螺絲；4——焊接處；5——220 仟歐的電阻；6——56 仟歐電阻；7——骨架；8——電容器（12 微法）；9——絕緣導管。

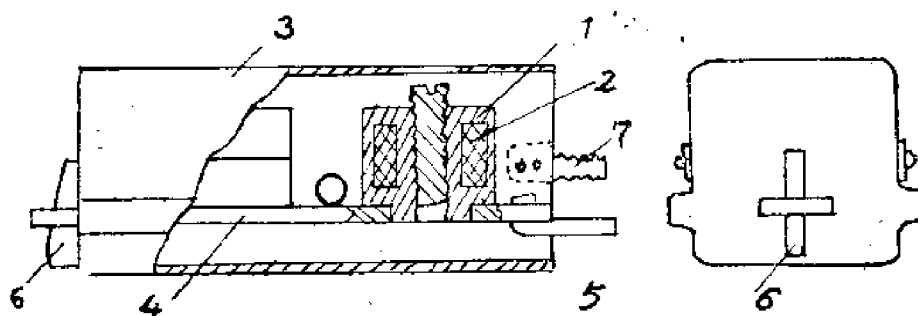
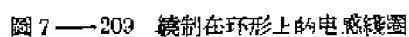


圖 7—203 中頻濾波器

- | | |
|------------|---------|
| 1——壳型磁芯 | 5——引出端 |
| 2——具有骨架的線圈 | 6——鍵 |
| 3——屏蔽罩 | 7——固定螺絲 |
| 4——紙膠板基座 | |



- 1——紙膠板片
2——環
3——繞組
4——固定用螺釘



超短波段用的稳定线圈示于图 7—212

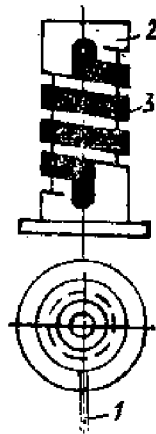


图 7—212 烧渗在陶瓷骨架上绕组导体的电感线圈。

- 1——引出线； 2——骨架；
3——烧渗在陶瓷上的绕组导体

盘旋式电感线圈（7—213）有时应用于发射机中，用圆导线或带形导线绕制。用十字架形的框子作骨架。

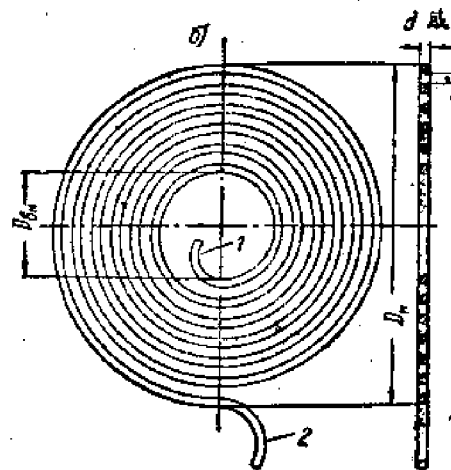


图 7—213 平面螺旋线圈

印制电路的电感线圈（图 7—214）也是螺旋式的。为了比较各种结构电感线圈的质量，表 7—3、7—4 列出了某些数据。

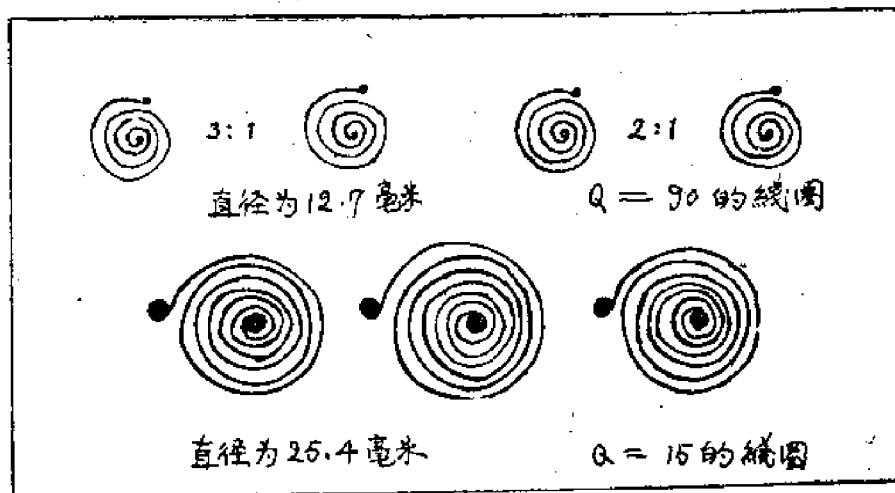


圖7—214 試驗印制线圈

其中的比例数值 (3:1 2:1等等) 是导线宽度与匝間距离之比。

表7—3

迴路电感线圈的主要数据

线圈制方法和线圈架的材料	ΔL	β_L	Q	C_0 (微微法)	应用范围
陶瓷线圈架上冲积繞法的线圈	$(10 \rightarrow 20) 10^{-6}$	0	80—150	0.5—2.0	高稳定度的短波和超短波的振荡器及本机振荡器
陶瓷线圈架上热繞法的线圈	$(10 \rightarrow 30) 10^{-6}$	0	100—400	0.5—2.0	同上
陶瓷线圈架上冷的紧繞法	$(40 \rightarrow 100) 10^{-6}$	$(1 \rightarrow 10) 10^{-4}$	100—400	0.5—2.0	低稳定度的短波和超短波的振荡器及本机振荡器
無线圈骨架的线圈	$(50 \rightarrow 150) 10^{-6}$	$\geq 2 \times 10^{-2}$	100—500	0.5—2.0	超短波的放大级
有机电介质线圈骨架上的单層密繞式线圈	$(100 \rightarrow 200) 10^{-6}$	$(1 \rightarrow 2) 10^{-2}$	80—200	3—5	低稳定度的振荡器和本机振荡器 中波和短波的放大级
“蜂房”式繞法的线圈	$(150 \rightarrow 300) 10^{-6}$	$\geq 2 \times 10^{-2}$	50—100	5—10	低稳定度的振荡器和长波及中波的放大级
交叉式蜂房繞法的线圈	$(150 \rightarrow 300) 10^{-6}$	$\geq 2 \times 10^{-2}$	30—50	15—30	同上
分段式 (3—4分段) 堆繞繞法的线圈	$(100 \rightarrow 300) 10^{-6}$	—	150—170	5—10	低稳定度的振荡器和长波及中波的放大级
非分段的繞繞法的线圈	—	—	20—30	10—15	同上, 但用于极长波, 高频扼流圈

表 7—4

印制綫圈的品質因數

綫圈号	底 板		綫圈直徑 (毫米)	綫		頻 率 兆 赫	电感量 微 亨	品 質 因 數
	材料	牌 号		厚 度 (毫米)	匝 数			
1	酚……	2	2.22	0.0127	7.25	45	0.60	110
2	酚……	3	2.22	0.050	9	45	1.25	30
3	聚乙烯		2.22	0.025 ¹⁷	7.25	45	1.60	130
4	酚……	1	12.7	0.025 ¹⁷	4	110	0.14	90
5	酚……	1	9.5	0.025 ¹⁷	4	110	0.17	98
6	聚苯乙烯		12.7	0.025 ²⁷	4	110	0.19	115

綫圈号中：

1) 被渗炭过的

2) 复盖有0.025毫米厚度的电镀銀層。

在結束电感綫圈結構的討論时，讓我們討論电感綫圈的微調方法；对于具有芯子的綫圈來說，用移动芯子位置的方法，可以簡單而准确地实现电感量的微調。

多層綫圈可以用加繞或折去綫匝的方法来微調。如果多層綫圈是分段的，則用改变各分段間的距离的方法来微調（調整范围約为10—15%）。为了微調单層綫圈，可采用改变引出端的焊接点位置（發射机的綫圈及具有金屬化綫匝的綫圈），改变边缘綫匝的繞距（調整范围約为2—3%），以及移动专门用以調节的短路圈等方法来微調。

§7—3 电感綫圈的制造工艺

I. 骨架的制造：

电感綫圈的骨架用电纜紙，硬橡胶，塑料及陶瓷制造。

塑料及陶瓷骨架的制造工艺已在本書第四、五章中討論过，不再重述。

骨架在結構上有非組合的及組合的两种，当綫圈的尺寸較大时（例如大功率設備中的綫圈），采用組合式骨架。

II. 繞組的繞制：

电感綫圈繞組的繞制在繞綫机上进行。所采用的繞綫机有手动的（圖7—301），也有机动的（圖7—302）。

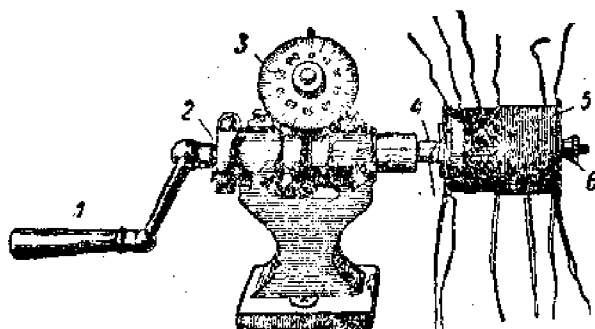


圖7—301 手搖繞線機的典型構造

1——搖柄；2——齒輪傳動；3——計數盤；4——機頭軸；5——裝夾在機頭軸上的錢圈；6——裝夾骨架在機頭軸上的用的螺母。

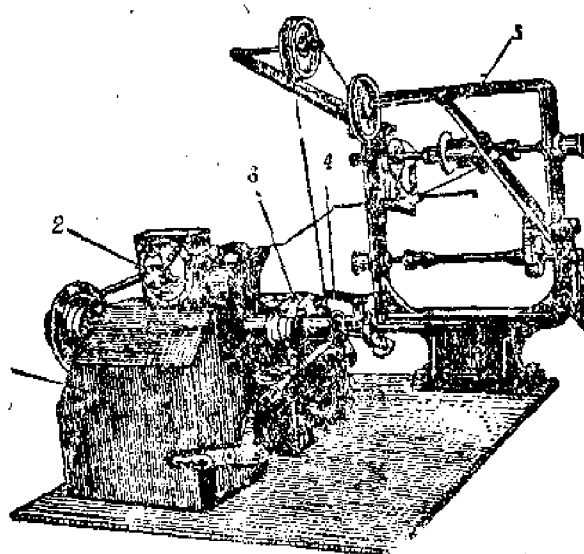


圖3——302 普通繞線機（適合0.05至0.5公厘的導線）。

1——機身；2——計數器；3——車頭主軸；4——走錢杆（是两根鋼絲）；5——繞線架子。

其中一種繞線機的示意圖示于圖7—303。利用這種類型的機器可以進行單層及多層繞線的繞制。利用變速箱14及固定裝置5按照導線直徑及繞法來選擇走錢器的走錢。

為了使繞組緊密，繞制時導線用專門機構來拉緊（圖7—304）。對於銅線來說，允許的拉力值應等於 $6000d^2$ 克（ d ——不帶絕緣導線直徑（毫米））。

蜂房式和交叉式繞線機的运动示意圖7—305。這種機器中的繞組寬度決定于凸輪5的形狀，即凸輪工作表面高度的差值。

在繞組一個周期內，凸輪軸的轉數決定于下式：

$$n_z = \frac{P}{2} \quad (7-301)$$

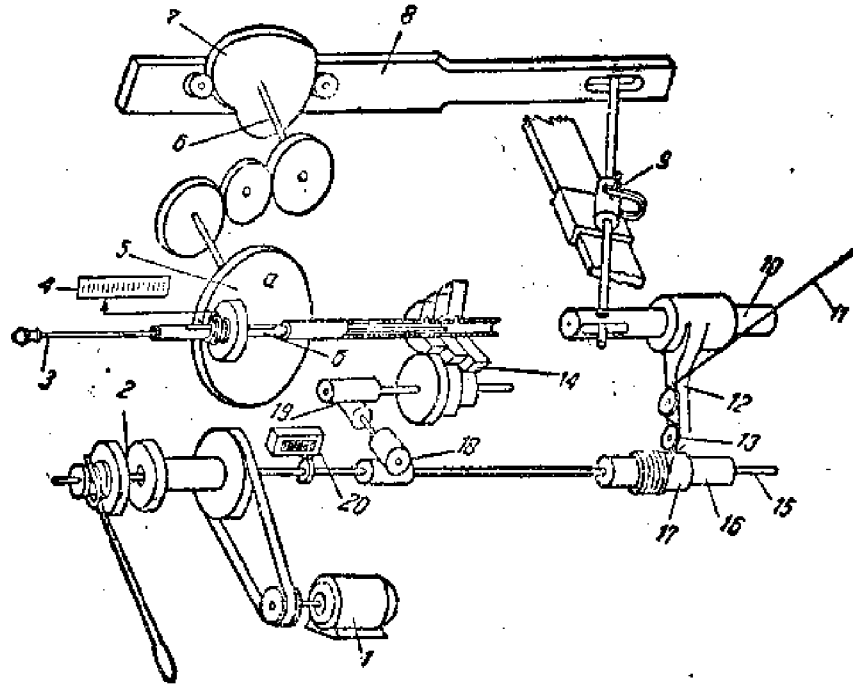


圖 7—303 具有摩擦傳動機構及變速器機構的排線機示意圖

1——电动机，2——摩擦機構，能平穩地啟動和停止卷繞的動作，3——轉換變速齒輪的拉桿，4——調節摩擦機構的指標尺，5——改變走線機構轉速的摩擦機構（a——大圓盤，b——小圓盤），6——走線機構的軸，7——心形齒輪，8——曲柄的拉桿，9——改變繞組角度的機構，10——走線器的擺軸，11——導線，12——走線器，13——導線扶導輪，14——變速機構，15——主軸，16——骨架芯子，17——骨架，18、19——鋼杆傳動機構，20——計數器。

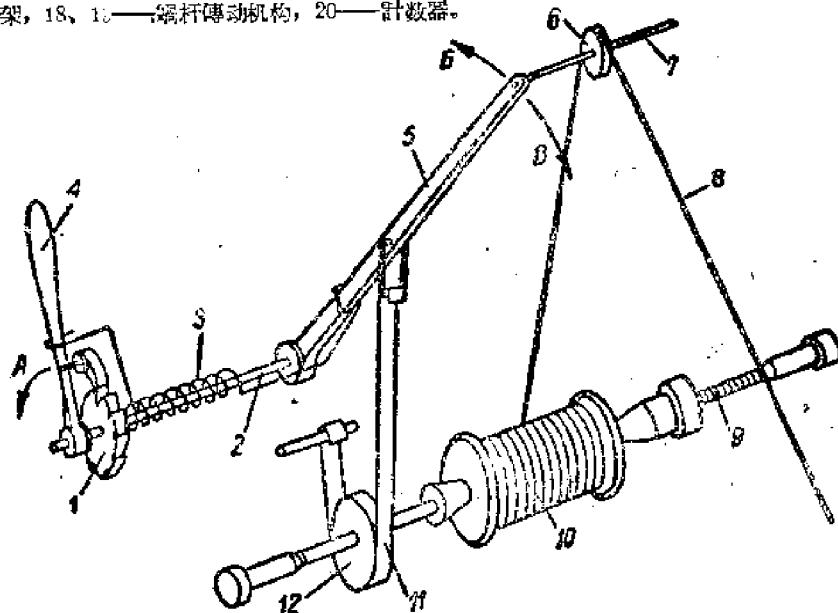


圖 7—304 拉線機構

1——開輪裝置，2——拍打軸，3——螺旋彈簧，4——手柄，5——杠杆，6——滑輪，7——滑動軸，8——導線，9——主軸，10——導線繞軸，11——制動帶，12——制動盤。

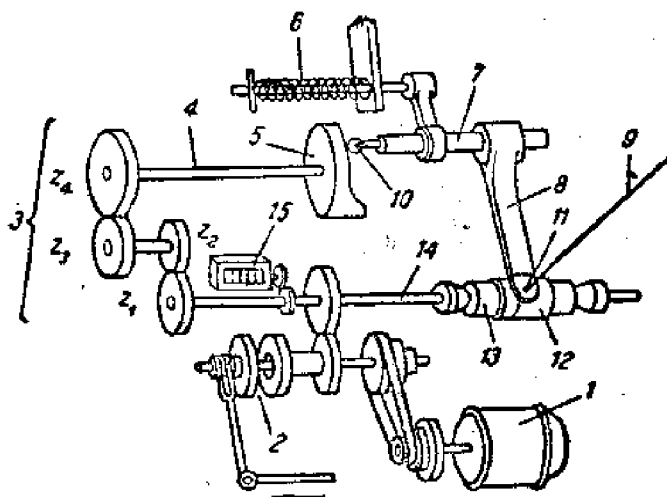


圖7—305 具有凸輪裝置的蜂房式和交叉式繞綫机的运动示意图

1——电动机，2——摩擦机构，用平滑地启动和停止机器，3——四齿輪組成的傳动机构，4——走綫机构軸，5——凸輪，6——彈簧，使走綫机构的芯子緊壓到凸輪工作表面，7——走綫机构的芯子，8——走綫机构，9——導綫，10——滑輪，11——導綫的扶導輪，12——骨架，13——骨架芯子，14——走軸，15——轉數計數器。

其中：P——轉折數。

一周期內主軸的轉數等于：

$$n_{\text{主}} = 1 \pm \frac{\beta}{360} \quad (7-302)$$

因而决定于齒輪3的凸輪轉數与主軸轉數間的傳動數应等于：

$$i = \frac{P}{a \left(1 \pm \frac{\beta}{360} \right)} \quad (7-303)$$

对于交叉式繞組，傳動數等于：

$$i = \frac{1}{q \pm \frac{\beta}{360}} \quad (7-304)$$

其中：q——在一周期內的匝數。

在环形芯子上的繞綫是利用梭子（參見圖7—306）用手工进行或者在环形繞綫机器上进行。

环形繞綫机的运动系統列于圖7—307。这一系統的主要部分是两个环1及2的系統，一个环嵌入另一个环，并具有公共的接合綫。在把环形芯子5装在螺旋夾子中后，把环子1及2套上并緊固在支架滑輪3上。在內环子的絕緣槽內繞上环形繞組所用的足够數量的導綫，導綫的端头通过外环子壁的沟槽并固定在环形芯子上。当用橡胶錐体4来轉动环子1和2时按照順时針把導綫繞在环形芯子上。

在繞制时導綫的必要拉力是以內环子的制動来达到的。在繞制的繞距以螺旋夾头6圍繞着軸7的轉动来实现。

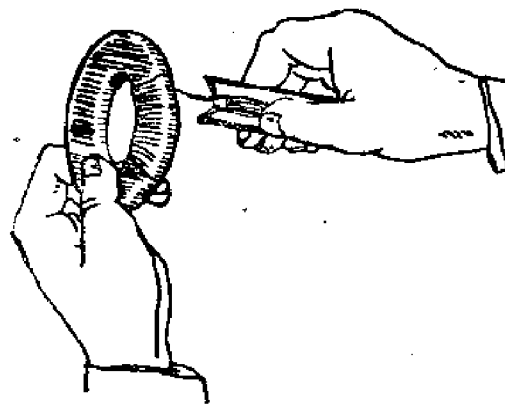


圖 7—308 环形織組的製造

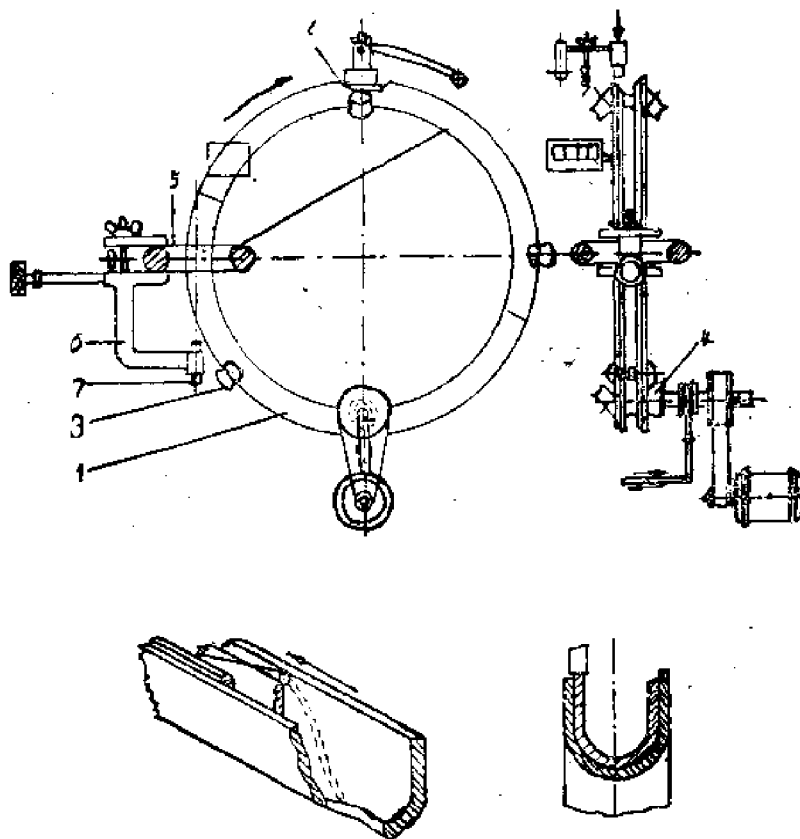


圖 7—307 环形織機器的示意圖

- | | |
|---------|-------------|
| 1——外環 | 5——环形芯子 |
| 2——內環 | 6——螺旋卡頭 |
| 3——支架滑輪 | 7——螺旋卡頭的轉動軸 |
| 4——橡膠錐體 | |

在較现代化的环形繞綫机中，繞制时环形芯子是自动移动的。

用不同切面的粗銅綫或粗銅管来繞制电感綫圈的螺旋形綫匝的过程如下：

先将銅管一端压扁，用石英砂紧密地填充于管内，然后将管的另一端也压扁。銅管的一端通过电炉(圖7—308)并紧固在芯棒3上。电炉和拉銅管用夹具在繞制时裝置在車床的刀架上。管子加热到一定的温度后启动車床，管子在加热状态下纏繞在芯棒上。

必須的繞距是用按計算好的数值自动地移动車床刀架的方法来实现的。用电炉来加热管子温度应为 300°C 左右。

如果綫匝紧固在筋条式骨架上，則芯棒的直径应等于 $0.9-0.95$ 的綫圈綫匝的内徑。

用帶料来繞制时，也可以采用这种裝置(圖7—308)。

借助于圖7—309的裝置进行热繞，是利用通过導綫的电流来加热的，温度应为 120

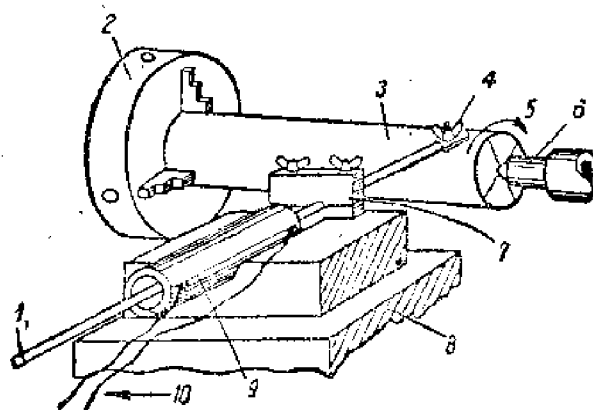


圖7—308 用紫銅管(以及銅綫和銅帶)来制造螺旋管的裝置

- 1——用砂子填滿的紫銅管 2——車床的卡盤，3——芯棒，4——固定管端的螺栓，
5——芯棒的傳动方向，6——后頂針座的中心，7——拉緊机构，8——刀架，
9——管形电炉，10——刀架移动方向。

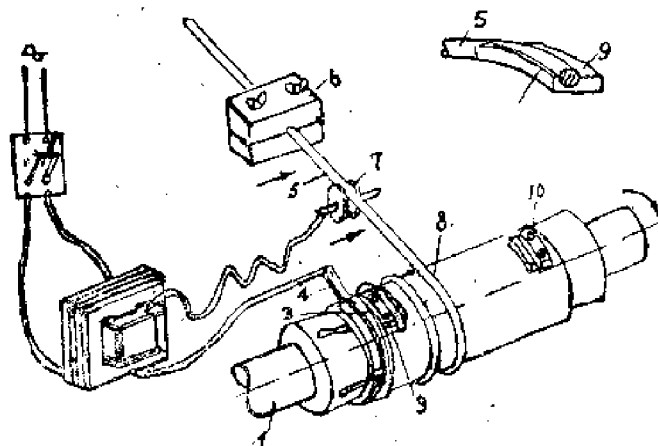


圖7—309 用电流加热紫銅綫后繞在陶瓷骨架上的方法

- 1——固定骨架用的芯棒，2——变压器，3——接點环，4——滑动环，5——被
繞到骨架上去的号綫，6——拉綫机构，7——滑动接触，8——陶瓷骨架，9——黄
銅板在其中固定了繞組的末端

—150°C。由計算來確定導線的拉力，對於軟銅線（M·Γ·M·牌號的導線）為5—6 仟克，對於M·Γ·T為8—10仟克。

用熱配合法製造線圈的要點是將一段銅制套筒在加熱狀態套在陶瓷骨架上，冷卻後套筒與陶瓷骨架具有緊配合，線匝可用車削方法做出。

以空心管為導體的大型無骨架線圈不易繞制，可用電鑄法製成。

電鑄法的要點是在塗有石墨蜡模型（按線圈的形狀、尺寸製成）上，電鍍上所需厚度的銅層，然後用加熱方法使蜂蜡溶化流出。當線圈尺寸不大時，可用低熔點的金属（例如鉛）代替蜂蜡，這就不必在模型塗敷石墨層。

用電鑄法製成的線圈，由於在製成銅管的过程中，不須經過任何能產生很大機械應力的機械加工，製成後不須退火，並且具有足夠的溫度穩定性。

在陶瓷上燒滲銀方法製造線圈的工藝已在第五章中討論。

III. 線圈的防潮處理：

為了提高電感線圈的耐潮性，採用了浸漬、灌封、蘸漬及密封等措施。當選擇浸漬材料時，應該特別注意這些材料的 ϵ 值和高頻時的 $\text{tg}\delta$ 值。專門用於高頻的浸漬材料性能見表7—5所示。

表 7—5

名 稱	介質常數 ϵ	損耗角正切 $\text{tg}\delta \cdot 10^4$	密度 d , 克/厘米 ³
純地脂	2.1—2.3	1—10	0.90—1.2
石 脂	2.0—2.3	3—7	0.86—0.93
聚苯乙烯	2.2—2.6	1—8	0.95—1.07
聚異丁烯	2.25—2.4	2—10	0.91—1.00
聚 乙 烯	2.3—2.1	2—5	0.92—0.95

上述的這些防潮工藝，在第三章中已進行討論。

§7—4 電感線圈繞組的類型及線圈幾何尺寸的計算

已經指出：按照繞組類型電感線圈可以分成單層的及多層的。

I 單層的電感線圈：

單層電感線圈有密繞的及間繞的。其中間繞可獲得較高的品質因數，但在一定電感量下，比密繞線圈的尺寸大一些。當電感量大於15—20微亨時，可採用單層密繞，其品質因數和穩定度也比較高。單層線圈在密繞情況下只適於製造電感量小於（200—500）微亨的線圈。

高穩定度的單層線圈繞制在具有螺旋形線槽的骨架上。線槽的深度一般為0.2—0.3 d

(d ——导線直徑)。

繞制可用普通繞法、熱繞法、燒滲法、熱配合法和電鑄法。熱繞法和熱配合法制成的繞圈導體內具有內應力，當溫度升高時熱膨脹只會使導體內應力減弱，並不引起變形，繞圈的溫度穩定實際上由骨架材料的線膨脹系數決定，高頻瓷的線膨脹系數是很小的 $(4.5-7) \times 10^{-6} \text{度}^{-1}$ ，因而也就大大地提高了繞圈的溫度穩定性。

用燒滲法來涂復繞匝的電感繞圈，由於導體與陶瓷的緊密連接，也具有很高的溫度穩定性。

用電鑄法制成的電感繞圈，由於電鍍銅具有高的純度，導電率高， Q 值也較高。此外，如前所述，也能獲得較高穩定性。

單層電感繞圈的主要尺寸是：繞組直徑 D ——一般等於骨架直徑；繞圈長度 l ，等於邊緣繞匝軸綫間的距离；繞距 τ ，等於相鄰繞匝軸綫間的距离。

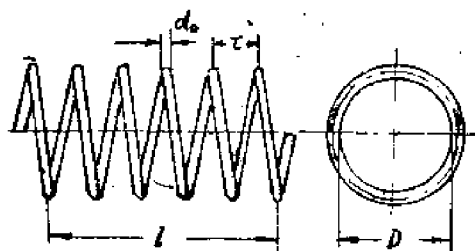


圖 7—101 單層繞圈的計算尺寸

在密繞時繞圈的長度等於

$$l = \alpha d_{ns}(N-1) \quad (7-401)$$

其中： d_{ns} ——帶絕緣的導線直徑

N ——匝數

α ——繞組稀疏度系數，由表 7—6 來決定。

表 7—6 稀疏度系數數值表

無絕緣的導線直徑 (毫米)	0.08—0.11	0.15—0.25	0.35—0.41	0.51—0.93	1.0以上
α	1.3	1.25	1.2	1.1	1.05

在間繞時繞圈的長度等於

$$l = \tau(N-1) \quad (7-402)$$

II 多層電感繞圈：

用以繞制電感量較大的繞圈（如 $L > 200-500$ 微亨），多層電感繞圈的繞組有：簡單的分層繞法；簡單的堆繞法；蜂房式繞法及交叉蜂房式繞法。多層繞圈可以是非分段的及分段的。分段繞圈可以減少繞圈的固有電容。

多層繞圈的主要尺寸是：繞圈外徑 D ；內徑 D_0 ；繞組長度 l 。

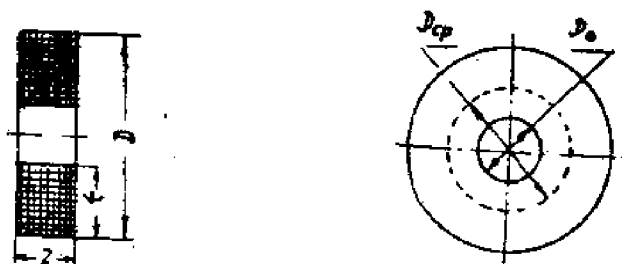


圖 7——402 多層繞圈的計算尺寸

繞組的徑間深度 t 等于

$$t = \frac{D - D_0}{2} \quad (7-403)$$

1. 簡單分層繞組：此時繞匝有規則地一層層地排繞在骨架上，這種繞法可在尺寸不大時獲得大的電感量，但分布電容大，於是相應地降低了其 Q 值。

簡單的分層繞法的繞組深度也可用下式計算：

$$t = \frac{d_0^2}{2} \quad (7-404)$$

其中：稀疏度係數（表 7-6）

2. 簡單堆繞組：纏繞繞匝和各層的迭放沒有一定規律，這在生產設備缺乏的情況下，其製造較上一種繞法方便。

這種繞法的繞組深度也可按式（7-404）計算，但稀疏度係數 α 應增加10—15%。

3. 蜂房式繞組：這種繞法是繞匝由繞圈一端按一定角度繞到另一端，然後再折回來，因此繞匝相互之間並不是平行地放置，而是相互交叉。繞匝分布的這一特點，使繞組的分布電容減小，並且具有較高的機械強度允許做成無骨架的。

在圖 7-403 中示出了當蜂房式繞組（圖 a）的表面繞匝分布及在不同的轉折數時繞匝分布的展開示意圖（圖 b, r）。

蜂房式繞法的特點，可用在一匝內導線自繞圈的一端繞到另一端的轉折數 P （在一匝內導線折彎次數）來表征。

$$P = \frac{\pi D_0}{l} \operatorname{tg} \varphi \quad (7-405)$$

式中： φ ——導線的偏角（敷繞角）

$$\varphi = 90 - \frac{4}{2}$$

而 φ 為導線折彎角，如圖 7-403 所示。

增加轉折數可減小繞圈的固有電容，但這時將減少導線的彎折角 φ ，因而使繞制過程中的困難增加了。同時， P 的增加也增加了繞圈尺寸所需的導線總長度，並因而增加了繞組的總電阻。

由（7-405）式可見最大的轉折次數除與繞圈尺寸（ D_0, l ）有關外，主要決定於繞

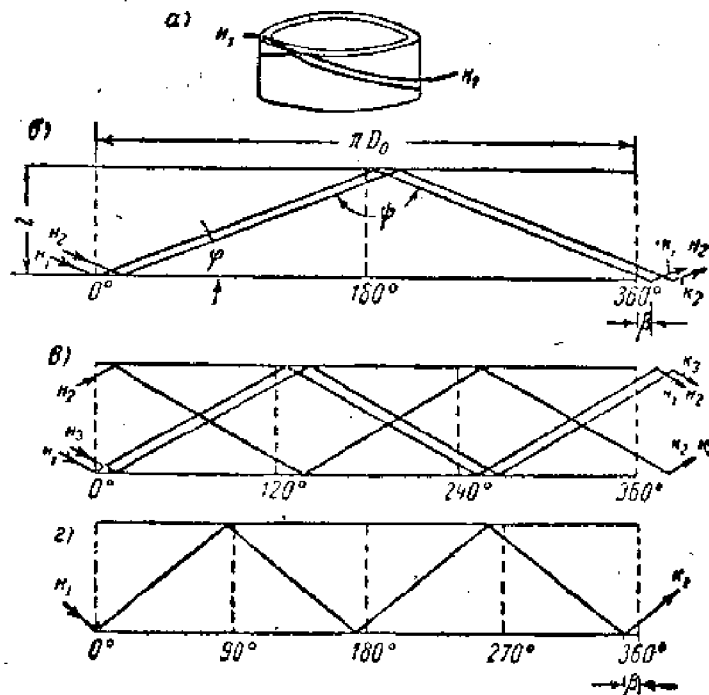


圖 7—403 蜂房式繞法: H——繞匝的始點; K——繞匝的終點。

制工藝上允許的最大偏角，實際上允許的最大偏角 P 按所用導線種類可在以下數據選擇；對於各種漆包線 $P \leq 17^\circ - 19^\circ$ ；對於絲包線 $P \leq 19^\circ - 21.5^\circ$ ，對於編織線 $P \leq 23^\circ - 26^\circ$ ，但一般 P 不大於 6° 。

蜂房式繞組繞制過程的重复性，用周期來表征。所謂周期，是指導線環繞着繞圈軸回到繞組邊緣上的起始位置時的繞線角度。因為繞組相鄰匝之間應該有位移，所以周期值不等於 360° 。按導線繞回邊緣時位置的遲或早，又可将蜂房繞法分為滯後繞法及超前繞法兩種。當滯後繞法時，周期等於 $(360 + \beta)^\circ$ ；當超前繞法時，等於 $(360 - \beta)^\circ$ ；其中角 β 是所謂角節距（相鄰彎折點之間的角度）。關於周期的概念，在計算繞線機傳動比時是必須的，對繞圈電感參數則無影響。

顯然，周期數 N_k 等於：

$$N_k = N \left(1 \pm \frac{\beta}{360} \right) \quad (7-406)$$

其中： N ——匝數； $+$ 號相應於超前繞法， $-$ 號相應於滯後繞法。

從圖7-404可明顯地看出，兩相鄰折彎點之間的距離 a 可等於：

$$a = P \cdot \text{ctg} P - \pi D_0$$

把長度值 a 轉換成弧度 β ，則我們得到

$$\beta = \frac{2(P \cdot \text{ctg} P - \pi D_0)}{D_0} \quad (7-407)$$

當滯後繞法時： β 是正號，當超前繞法時是負號。

實際表明，當相鄰繞匝的導線中心距等於 $1.25d_{ns}$ （ d_{ns} ——帶絕緣的導線直徑）時，

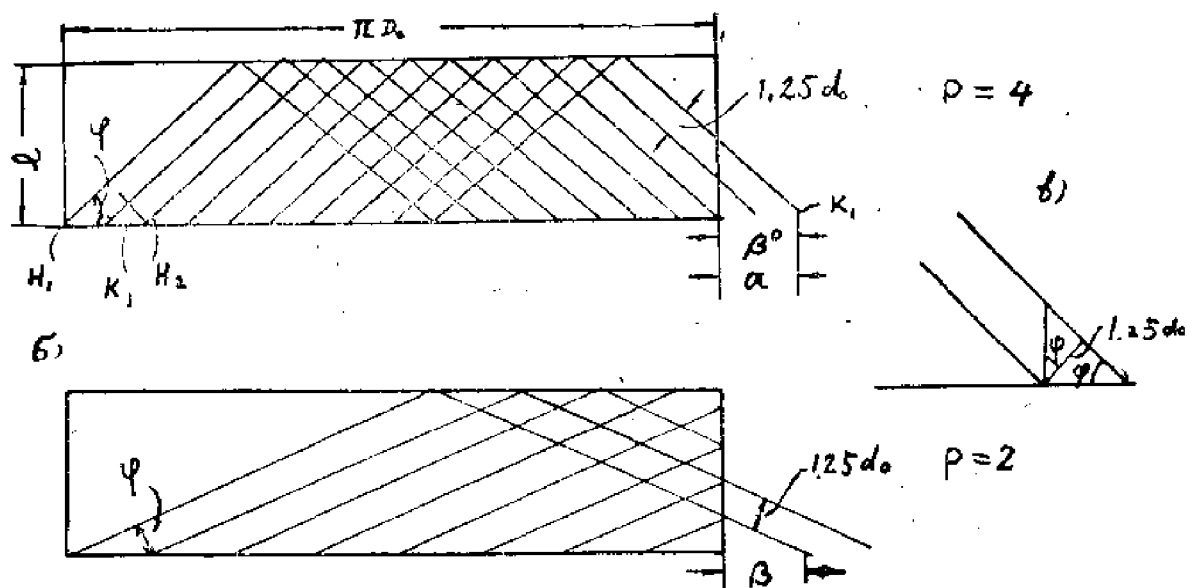


图 7—401

繞圈得到最好的机械性能。因而长度值 a 应等于：

$$a = \frac{n \cdot 1.25d_{\text{ns}}}{\sin p}$$

其中： n ——整数。

令 $n=1$ 并把 a 轉化为弧度 β ，則

$$\beta = \frac{2.5d_{\text{ns}}}{D_0 \sin p} \quad (7-408)$$

現在我們来决定蜂房式繞法繞圈繞組的深度 (圖 7—404B)。

因为相邻繞匝导線軸間距为 $1.25d_0$ ，所以用导線層将第一匝导線全部盖住所必需的匝数 n ：

$$n = \frac{l \cos p}{1.25d_{\text{ns}}} + 1$$

这时繞組深度为 $2d_{\text{ns}}$ 。因为在繞圈中繞匝总数为 N ，則繞組深度等于：

$$t = 2d_{\text{ns}} \frac{N_{\text{II}}}{n} = \frac{2.5d_{\text{ns}}^2 N_{\text{II}}}{l \cos p + 1.25d_{\text{ns}}} \quad (7-409)$$

由于导線絕緣有些压扁，繞組实际深度比上述計算結果要小 5—10%。

在蜂房式繞組中內徑一般均不超过 15—20 毫米，軸向长度 l 不超过 5—8 毫米；常用的內徑是 5—10 毫米，长度为 2—5 毫米。这种繞圈的 Q 值一般为 80—100。

4. 交叉蜂房式繞法：为了获得长度为 20—50 毫米的繞圈，可采用交叉蜂房式繞法，这种繞法除导線偏角外还用每周期內的匝数 q 来表征。 q 越大，則繞組深度越小，但繞圈的固有电容越大。这种繞組 Q 值較小，固有电容較大，适用于以长圓柱形磁芯来調諧的迴路中。当要求电感量很大但要求分布电容較小时，也可采用这种繞組。

在圖 7—405 示出了交叉蜂房式繞法的示意图，很明显地，对于交叉蜂房式繞法下列

公式将是正确的:

$$a = 2l \operatorname{ctg} \varphi - q \pi D_0 \quad (7-409)$$

$$\beta = \frac{2(2l \operatorname{ctg} \varphi - q \pi d_0)}{D_0} \quad (7-410)$$

$$t = \frac{5d_{\pi}^2 N_{\pi}}{q(1 \cos \varphi + 1.25d_{\pi})} \quad (7-411)$$

与蜂房式相同, 式 (7-411) 也是当相邻线匝的导线中心距等于 $1.25d_{\pi}$ 时才是正确的。

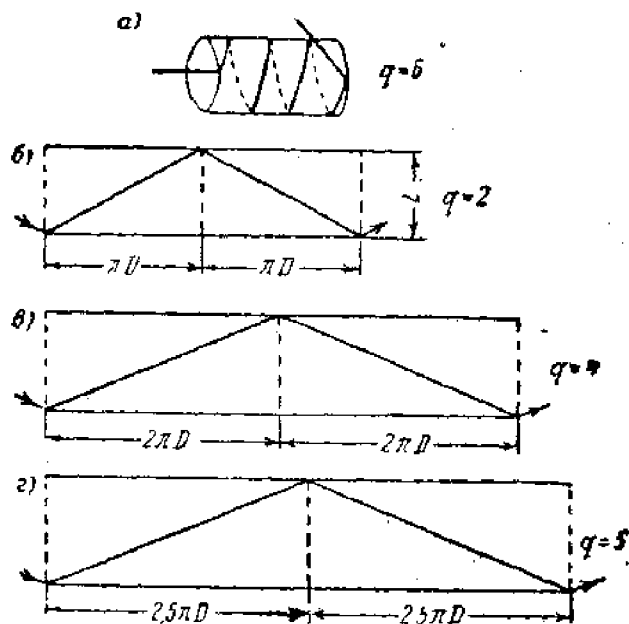


圖 7—105 交叉式蜂房繞法

5. 平面螺旋式繞圈:

其性質与单層繞圈相似。可做成間繞的和密繞的。其尺寸如圖 7-406 所示:

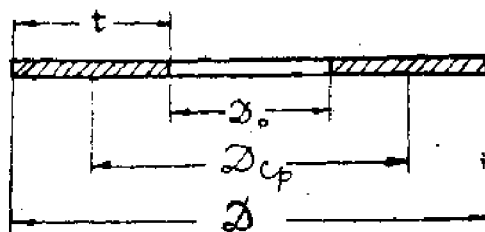


圖 7—406

当密繞时: 其繞組深度 t 为:

$$t = \infty d_{\pi} N \quad (7-412)$$

其中： α ——稀疏度系数，取自表7-6。

当間繞时：

$$t = \tau (N - 1) + d \quad (7-413)$$

§7-5 无屏蔽无芯子电感线圈的计算

I. 单層綫圈电感量的計算

电感的电动势可以下式表示：

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

也可表示为：

$$e_L = -N \frac{d\varphi}{dt}$$

因而
$$L \frac{di}{dt} = N \frac{d\varphi}{dt}$$

对于长的螺旋管当 $\mu = 1$ 时

$$\phi = \frac{\pi^2 N D^2}{1} i \times 10^{-9}$$

因而
$$L = \left(\pi^2 \frac{D}{1} \right) N^2 D \times 10^{-9} \text{ (亨)}$$

因为綫圈为有限长度，所以应该加以修正，乘上一系数K，则：

$$L = \left(\pi^2 \frac{D}{1} K \right) N^2 D \times 10^{-9} \text{ (亨)} \quad (7-501)$$

显然，K与綫圈的结构尺寸有关， $K = f\left(-\frac{1}{D}\right)$ 。对于密繞单層綫圈系数K可以决定于下列关系式：

$$K = 1 - \frac{4}{3\pi} \frac{1}{\frac{1}{D}} + \frac{1}{8} \left(\frac{1}{\frac{1}{D}} \right)^2 - \frac{1}{64} \left(\frac{1}{\frac{1}{D}} \right)^4$$

由于式(7-501)括号内数值只与 $-\frac{1}{D}$ 有关，所以可改写为更简化形式：

$$L = L_0 N^2 D \times 10^{-9} \text{ (亨)}$$

(7-502)

或者
$$L = L_0 N^2 D \text{ (厘米)}$$

其中D的单位为厘米，系数 L_0 与 $-\frac{1}{D}$ 的关系曲线示于图7-501。从此图中，按 $\frac{1}{D}$ 可查得 L_0 值。

当綫圈尺寸满足 $0.2 < -\frac{1}{D} < 3$ 这一关系时，按下列經驗公式計算，可得到良好的效果。

$$L = \frac{1000}{101.79 + 45.6} N^2 D \times 10^{-9} \text{ (亨)} \quad (6-503)$$

綫圈电感量也可按圖7-502圖表进行快速計算。此圖表也是根据上述經驗公式繪成

的, 当 $\frac{l}{D} < (5-6)$ 时, 计算误差小于 $(2-) \%$ 。

上式计算方法用来计算单层间绕线圈时, 计算值偏大, 但当绕距不大时, 仍相当准确。

采用圆截面导线的间绕线圈, 当匝数大于 4 时, 可按下列式计算:

$$L = L' - 2\pi ND(A+B) \times 10^{-9} \text{ (亨)} \quad (7-504)$$

其中 L' ——按式 (7-502) 计算得的电感量

A 及 B 为修正系数, 由图 7-503 的曲线查出。

当匝数小于 5 时可按下式计算:

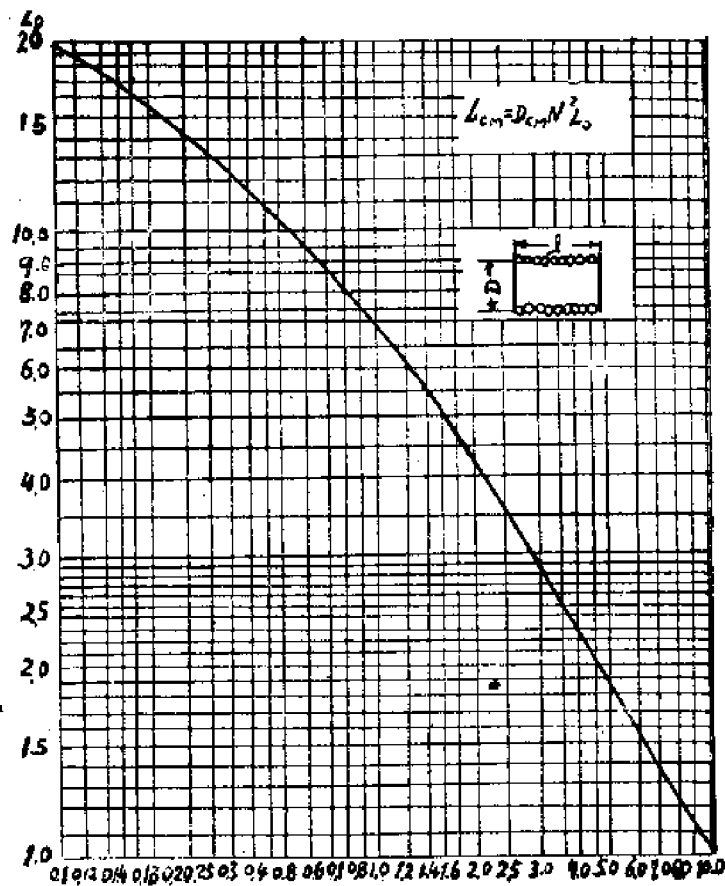
$$L = NL_1 + 2(N-1)M_{11} + 2(N-2)M_{12} + \dots \quad (7-505)$$

其中 L_1 ——单个线匝的电感量

M_{11} ——相邻线匝间的互感量

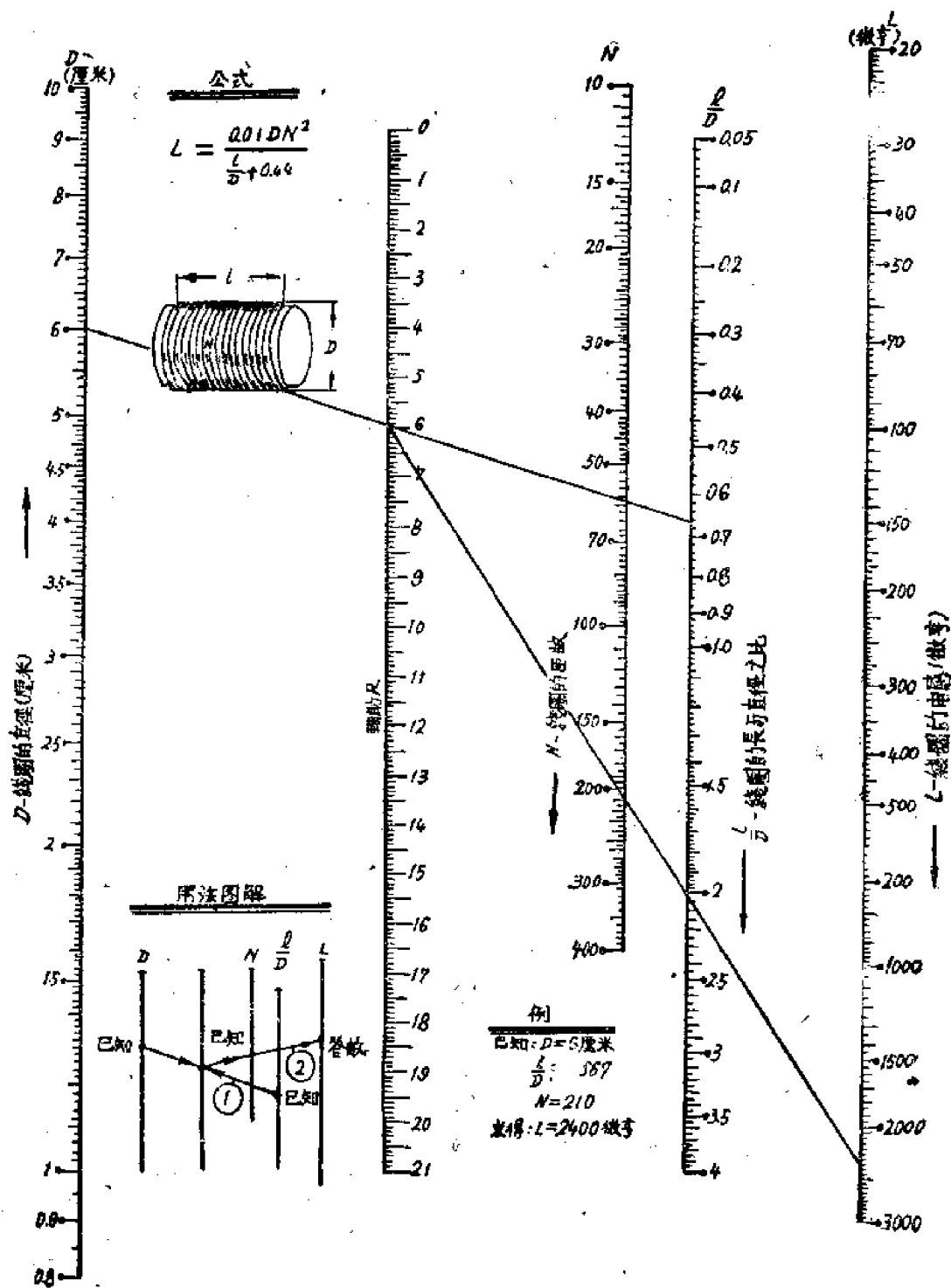
M_{12} ——相隔一匝的两线匝间的互感量。

绕制在具有边数多于 5 的正多边形截面的线圈 (即筋条式骨架的情况), 电感量的计算也可以按上列公式进行, 此时的线圈直径应理解为计算等效值, 它等于



线圈长度对其直径的比值 $\frac{l}{D}$

图 7-501 系数 L_0 的曲线



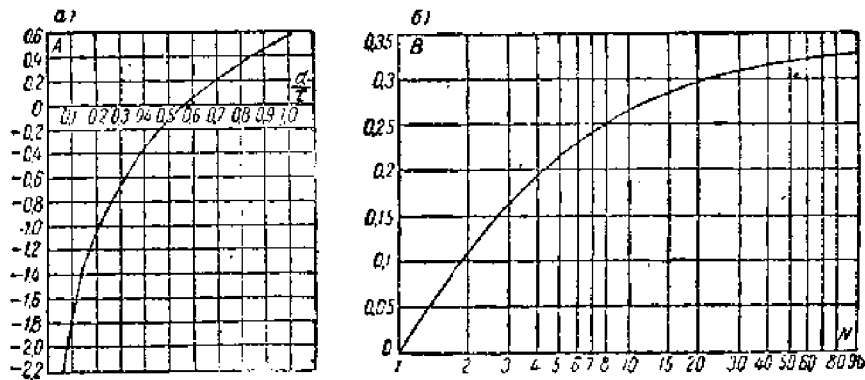


圖 7—503 系数A (曲线a) 和系数B (曲线b) 的数值曲线

$$D = \frac{D_{\text{вн}} + D_{\text{он}}}{2} \quad \text{或} \quad D = D_{\text{он}} \cos^2 \left(\frac{90}{m} \right)^\circ \quad (7-506)$$

这里

$D_{\text{вн}}$ ——内接圆直径；

$D_{\text{он}}$ ——外接圆直径；

m ——多边形的边数。

II. 多层线圈电感量的计算

多层线圈电感量的计算与绕法（分层、堆绕、蜂房式、交叉蜂房式）无关，可以按下式计算

$$L = L_0 N^2 D \times 10^{-9} \quad (\text{亨}) \quad (7-507)$$

式 (7-507) 与 (7-502) 相同，但形状系数 L_0 还须考虑到绕组深度。

L_0 可根据 $\frac{l}{D}$ 及 $\frac{t}{D}$ 从图 7-504 的曲线查得。

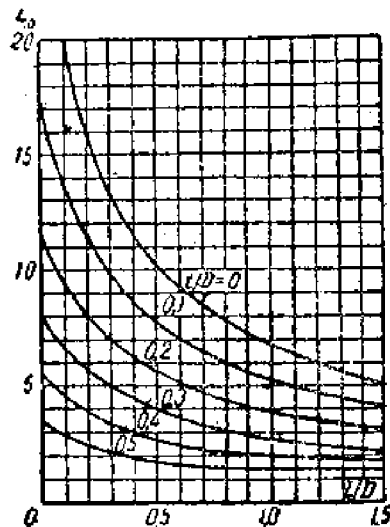


圖 7—504 多层线圈的系数 L_0 的数值曲线

($\frac{t}{D}=0$ 时的 L 值对应于绕组厚度很小的多层线圈)

其中 D 为线圈的外径。

L_0 也可用以下经验公式算出：

$$L_0 = \frac{1000}{45.6 + 101.7 \frac{I}{D} + 85.3 \frac{t}{D_{cp}} + 65 \frac{tI}{D_{cp}^2}} \quad (7-503)$$

利用图7-505的计算曲线可简化其计算过程。

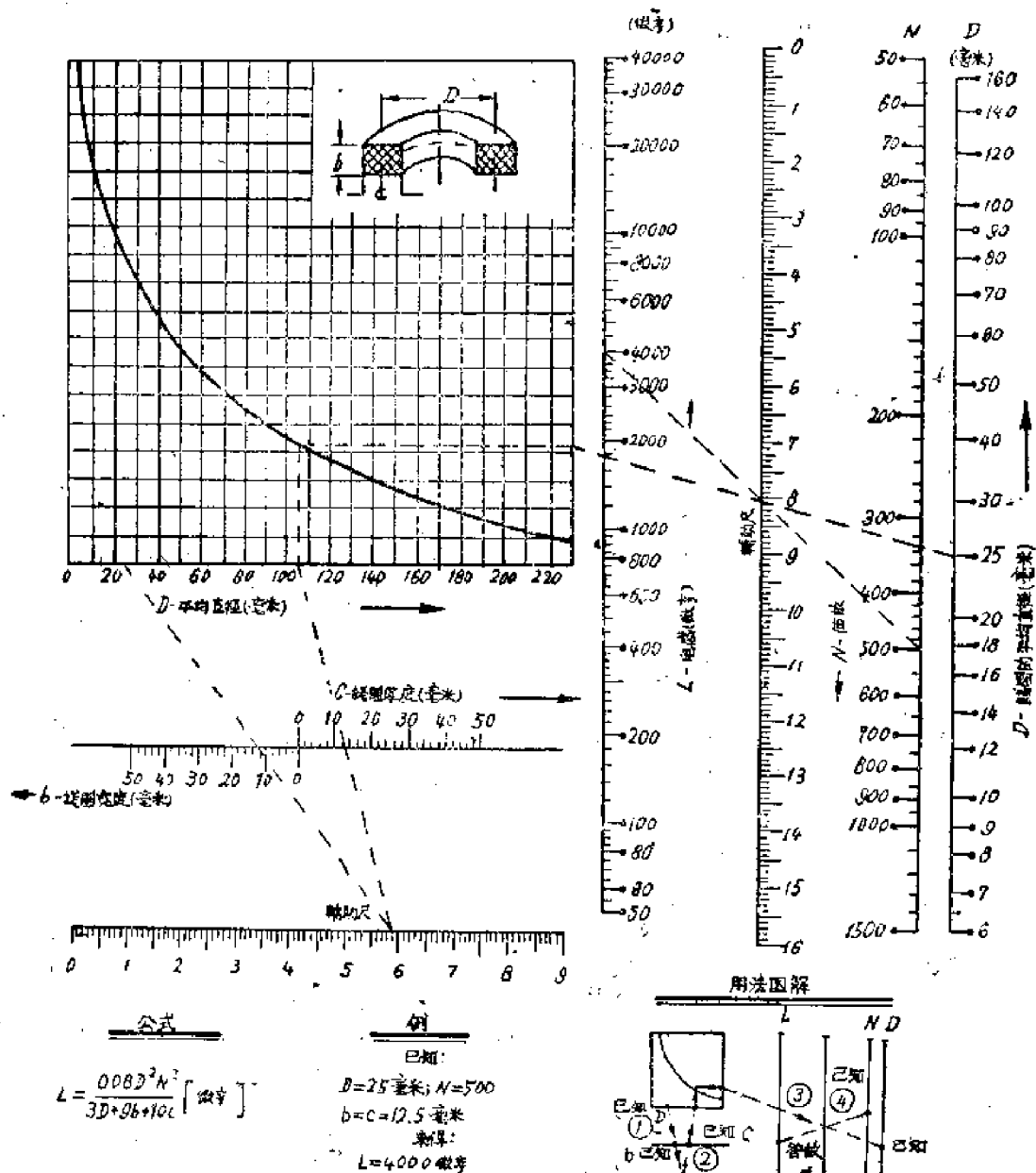


图505

计算分段线圈(图7-50)电感量时,除计算每分段的电感量外,还要考虑相邻分段间耦合的影响,因此,可用下式计算:

$$L = L_c(S + 2K(S-1))$$

其中

L_c ——每分段的电感量

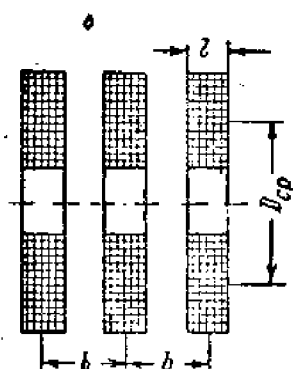


圖7——506分段線圈

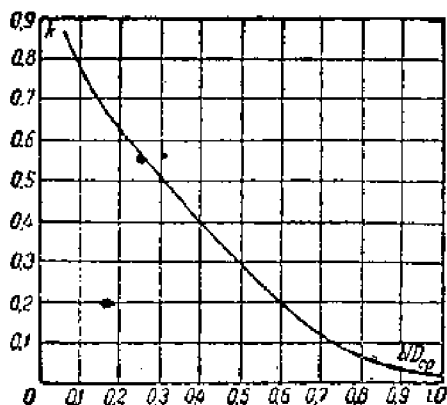


圖7——507分段多層線圈（各段相同）耦合系
數 K 的数值曲綫圖

S ——分段数

K ——相鄰分段間的耦合系数，按圖7—507的曲綫来决定

单面螺旋式線圈的电感量也可按式（7—507）計算，但 L_0 的計算式不同，

$$L_0 = \frac{1000}{40.6 + 111.7 \frac{t}{D_{cp}}} \quad (7-510)$$

Ⅲ. 电感線圈匝数的計算

計算線圈时，一般都給出線圈直徑 D ，帶絕緣導線直徑 d_{ns} ，線圈电感量 L 。对于单層線圈應該确定的是匝数 N ，線圈长度 l 以及繞距 τ （間繞的情況下）。对于多層線圈应确定的是：匝数 N ，繞組长度 l ，繞組深度 t 。

由式 $L = L_0 N^2 D \times 10^{-9}$ 可推得

$$N = \sqrt{\frac{L}{L_0 D} \times 10^9} \quad (7-511)$$

由于其中 L_0 与線圈尺寸 $\left(\frac{l}{D}, \frac{t}{D}\right)$ 等) 有关，而尺寸 l, t 等又与待求的匝数及導線直徑有关，因此，只能用試探方法进行計算；先假定尺寸求 N ，再按照求得的匝数及導線直徑决定線圈的实际尺寸 (l, t 及 τ)。然后按这些尺寸計算出線圈的实际电感量 L 。

如果符合于給定值，則計算結束。如果它們不相符，則选出新的比值 $\frac{l}{D}$ 及 $\frac{t}{D}$ ，并重新进行計算。

对单層密繞來說；用以下方法計算其匝数，可以簡化其計算过程。引用参量 P_0 。

$$P_0 = \frac{L}{N_0^2 D^3} \times 10^9 \quad (7-512)$$

其中： $N_0 = \frac{N}{l}$ 即在一厘米繞組长度內必須的匝数。

則 $L = P_0 N_0^2 D^3 \times 10^{-9}$

但根据公式 (7-501) 可得, $L=L_0\left(\frac{l}{D}\right)^2\left(\frac{N}{l}\right)^2D^3$, 比较此两式可得

$$P_0=L_0\left(\frac{l}{D}\right)^2$$

因为 L_0 与 $\frac{1}{D}$ 有关, 所以, 可按 L_0 与 $\frac{1}{D}$ 的关系曲线绘出关系式 $P_0=\psi\left(\frac{1}{D}\right)$ 的曲线。

这个曲线列于图7-508, 这样一来当引入了参量 P_0 时单层密绕线圈的计算进行如下:

选定导线之后, 可求出 N_0

$$N_0=\frac{10}{\omega d_{n3}} \quad (7-513)$$

当选定 D 后即可求出 P_0 , 并从图7-508中查得相应的 $\frac{l}{D}$ 值。

最后, 可按式确定和 N 。

$$l=D\left(\frac{l}{D}\right)$$

$$N=N_0 l$$

选择导线直径和线圈直径的原则和方法, 将在以后几节中讨论。

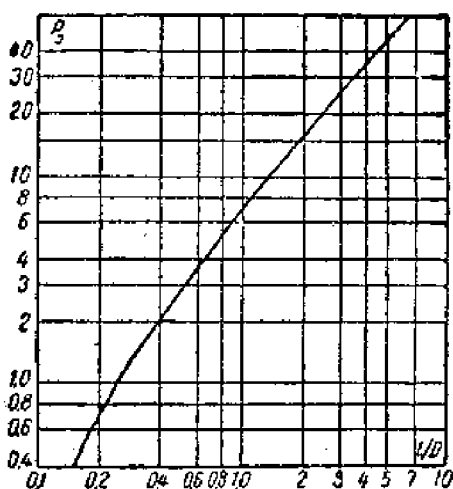


图7-508 系数 P_0 的数值的曲线

§7-6 线圈导线的高频电阻及导线直径的选择

大家知道, 当线圈工作于高频时, 由于集肤效应和邻近效应的影响, 线圈导线截面上的电流分布是不均匀的, 有如图7-501所示。这使得导线的有效截面减小, 因此, 导线在高频时的电阻 r_f 大大地超过了导线的欧姆电阻 r_0 。

当频率低于7-10兆赫时, 单层及多层线圈的导线的 r_f 可由以下公式来决定:

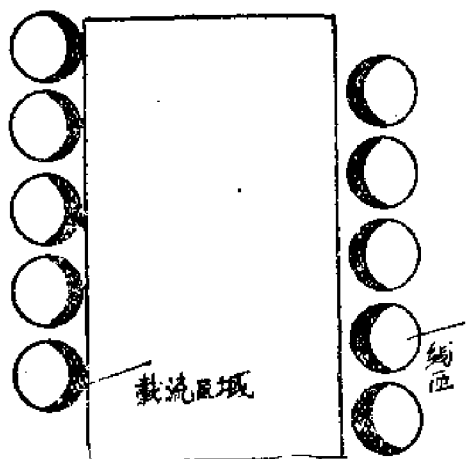


圖 7—601

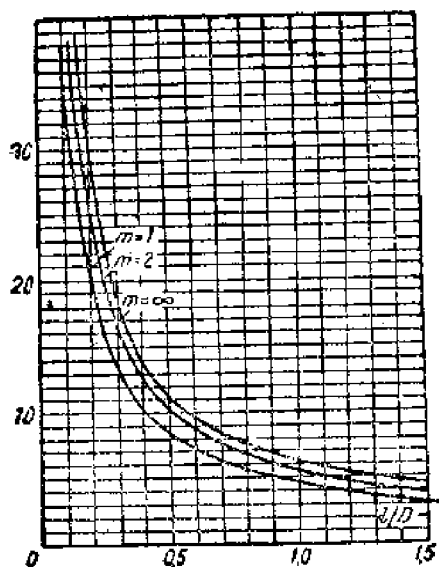


圖 7—603 為計算單層線圈用細密的多層
線圈電阻用的係數 K 的數值曲線圖
(m —層數)

$$r_f = r_o \left[F(Z) + \left(-\frac{KNd}{2D} \right)^2 G(Z) \right] \text{ [歐]} \quad (7-601)$$

其中

d ——不帶絕緣的導線直徑 (厘米)

D ——單層線圈的直徑或者多層線圈的外徑 (厘米)

K ——考慮到線圈尺寸對鄰近效應影響的係數，由圖 7-602、7-603 的曲線查出。

$F(Z)$ ——考慮到集膚效應影響的係數。

$G(Z)$ ——考慮到鄰近效應影響的係數。

係數 $F(Z)$ 及 $G(Z)$ 按表 7-7 查出。

表 7-7 係數 $F(Z)$ 及 $G(Z)$ 的數值表

Z	$F(Z)$	$G(Z)$	Z	$F(Z)$	$G(Z)$
0.1	1.000	$\frac{Z^4}{64}$	5.0	2.043	0.7559
0.2	1.000		5.2	2.114	0.7992
0.3	1.000		5.4	2.184	0.8255
0.4	1.000		5.6	2.251	0.8609
0.5	1.000	0.0097	5.8	2.324	0.8962
0.6	1.001	0.0202	6.0	2.394	0.9316
0.7	1.001	0.0373	6.2	2.463	0.9671
0.8	1.002	0.0632	6.3	2.533	1.003

0.9	1.003	0.01006	6.4	2.603	1.033
1.0	1.003	0.01519	6.8	2.673	1.073
1.1	1.008	0.0220	7.0	2.743	1.109
1.2	1.011	0.0303	7.2	2.813	1.144
1.3	1.015	0.0413	7.4	2.884	1.180
1.4	1.020	0.0541	7.6	2.954	1.293
1.5	1.026	0.0691	7.8	3.024	1.251
1.6	1.033	0.0863	8.0	3.091	1.287
1.7	1.042	0.1055	8.2	3.165	1.322
1.8	1.052	0.1265	8.4	3.235	1.357
1.9	1.064	0.1489	8.6	3.306	1.393
2.0	1.078	0.1724	8.8	3.376	1.428
2.1	1.094	0.1967	9.0	3.446	1.464
2.2	1.111	0.2214	9.2	3.517	1.499
2.3	1.131	0.2462	9.4	3.587	1.534
2.4	1.152	0.2708	9.6	3.658	1.570
2.5	1.175	0.2949	9.8	3.728	1.605
2.6	1.201	0.3184	10.0	3.799	1.641
2.7	1.228	0.3412	11.0	4.151	1.818
2.8	1.256	0.3632	12.0	4.504	1.993
2.9	1.286	0.3844	13.0	4.856	2.171
3.0	1.318	0.4049	14.0	5.209	2.348
3.1	1.351	0.4247	15.0	5.562	2.525
3.2	1.385	0.4439	16.0	5.915	2.701
3.3	1.420	0.4626	17.0	6.268	2.873
3.4	1.456	0.4807	18.0	6.621	3.056
3.5	1.492	0.4987	19.0	6.974	3.232
3.6	1.529	0.5160	20.0	7.328	3.409
3.7	1.563	0.5333	21.0	7.681	5.586
3.8	1.603	0.5503	22.0	8.034	3.763
3.9	1.640	0.5573	23.0	8.388	3.936
4.0	1.678	0.5812	24.0	8.741	4.117
4.1	1.715	0.6010	25.0	9.094	4.117
4.2	1.752	0.6179	30.0	10.85	5.177
4.3	1.789	0.6348	40.0	14.40	6.946
4.4	1.826	0.6517	50.0	17.93	8.173
4.5	1.863	0.6687	60.0	21.46	10.48
4.6	1.899	0.6858	70.0	25.00	12.25
4.7	1.935	0.7030	80.0	28.54	14.02
4.8	1.971	0.7203	90.0	32.07	15.78
4.9	2.007	0.7376	100.0	35.61	17.73
			100.0	$Z\sqrt{\frac{2+1}{4}}$	$Z\sqrt{\frac{2-1}{8}}$

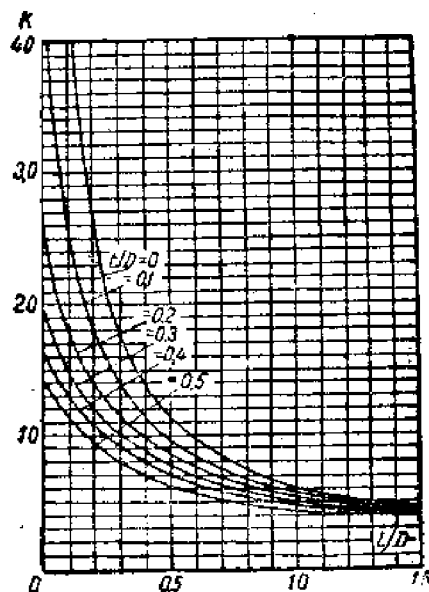


图 7—303 为计算多层线圈用的系数K的数值曲线图

其中: Z ——参数, 对于铜导线是

$$Z = 0.106 d \sqrt{f} \quad (7-602)$$

铜导线欧姆电阻等于:

$$r_o = \frac{7 D_{cp} N \cdot 10^{-6}}{d^2} \quad [\text{欧}] \quad (7-603)$$

其中 D_{cp} 及 d 的单位为毫米。

蜂房式绕组, 由于导线的折弯, 每匝的平均长度增加了, 为此线圈电阻应该增加 $\frac{1}{\cos \varphi}$ 倍。

导线直径的增加引起其周界的加长, 因而高频电阻也就降低, 但直径愈大, 邻近效应愈强, 由于邻近效应而产生的电阻也就愈大 (大致与导线直径成正比)。在一定频率下电阻与直径的关系可用图 7-604 的曲线表示, 由图可见: 当频率已定时, 线圈的高频电阻在某一直径值时具有最小值, 直径小于此值, 集肤效应影响占优势, 直径大于此值, 则邻近效应占优势。

为了决定导线的最佳直径 d_{opt} (毫米), 可以利用图 7-605 的曲线, 其中列举了乘以 $P d_{opt}$ 对数值 $\frac{f}{P^2}$ 的关系。

曲线中 f 的单位为赫

对于单层及多层线圈来说辅助值 P 决定于下式:

$$P^2 = \frac{L S^2}{D^2} \quad (7-604)$$

其中 L ——线圈的电感量 (微亨)

D ——线圈的外径 (厘米)

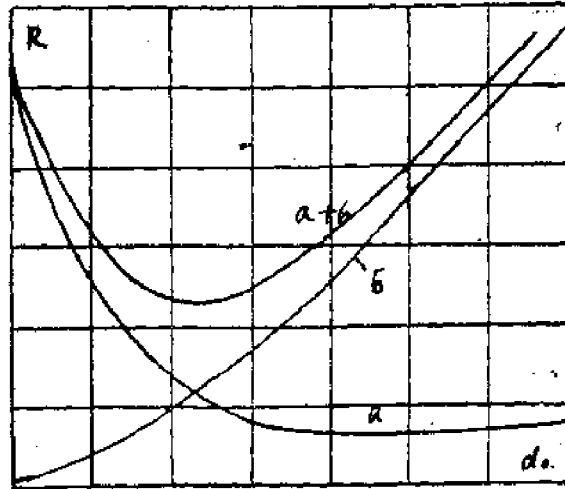


圖 7——604 線型电阻各分量与导线直径的关系曲线

a. 当频率一定时一段直导线（此时，不产生邻近效应）的高频电阻。

b. 由于邻近效应而产生的高频电阻的增加。a+b. 导线的高频电阻。

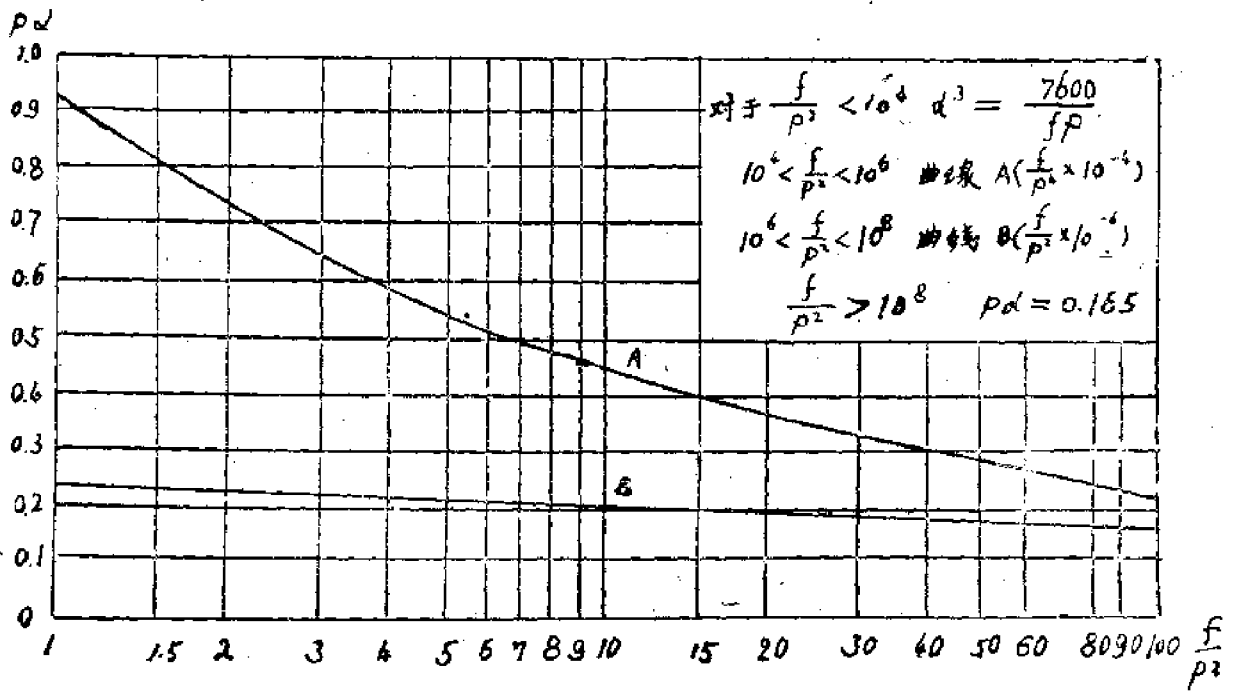


圖 7——605 决定最佳导线直径的曲线

S——系数，决定于圖7—606及圖7—607

为了用加长导线总周界的方法来减少线圈导线的高频电阻，有时采用特殊的多芯导线——編織线来繞制线圈。把編織线应用在中波上特別有效。在頻率1—1.5兆赫时，由于在每根芯线的絕緣中介質損耗的增大，采用編織线是不适合的。用編織线繞制线圈时，其高频电阻及最佳直径的計算与上述方法相似；此时，

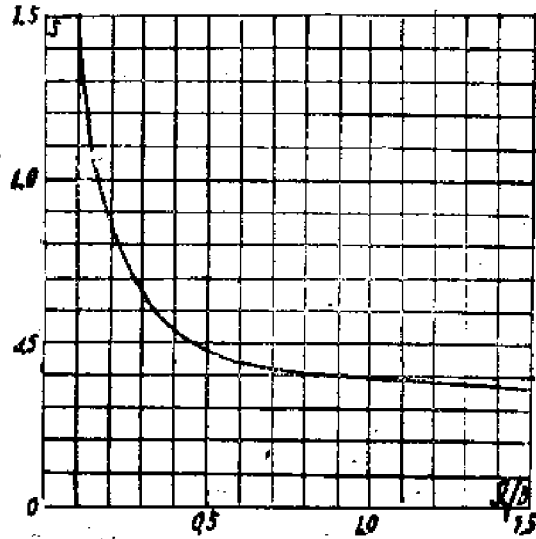


圖7——06 单層线圈的曲綫 $s = f \left(\frac{l}{D} \right)$

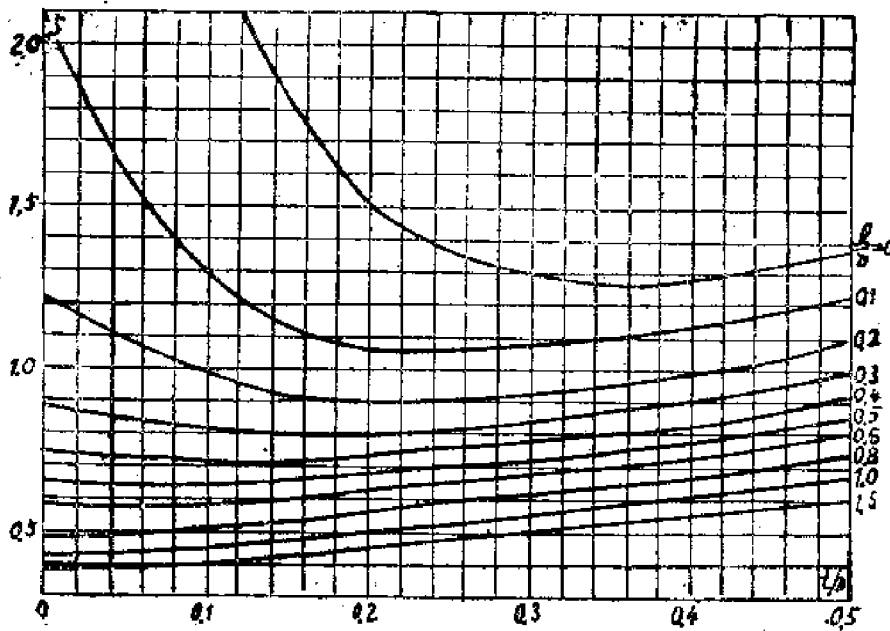


圖7——607 多層线圈在不同 $\frac{l}{D}$ 之 F 的曲綫 $s = f \left(\frac{l}{D} \right)$

$$r_f = r_o \left\{ F(Z) + \left[\frac{C}{d_o^2} + \left(\frac{KN}{2D} \right)^2 n^2 d_o G(Z) \right] \right\} \quad (7-605)$$

其中 d ——每根芯线的直径(厘米)
 n ——总线数
 d_o ——总直径(厘米)
 C ——与总线数有关的系数(参见表7-8)

表 7-8 系数 C 的数值表

n	3.0	7.0	9.0	15	19	27	>27
c	1.55	1.815	1.84	1.88	1.90	1.92	2.0

编织线欧姆电阻等于:

$$r_o = \frac{7aD_{CP} \cdot \pi \cdot 10^{-5}}{nd^2} \quad (7-606)$$

这里, 系数 a 是考虑到由于芯线的扭转所引起的加长。当 $n=3$ 时 $a=1.02$; 当 $n=9$ 时 $a=1.04$; 当 $n=27$ 时 $a=1.06$ 。对于用编织线绕制的蜂房式绕组来说, 也还需乘上 $\frac{1}{\cos \varphi}$ 。

计算 r_{out} 时可采用相同的方法, 但辅助值 P 应按下列式决定:

$$P^2 = O + \frac{n^2 LS^2}{D^3} \quad (7-607)$$

系数 O 的值取自表 7-9

表 7-9 系数 O 的值

n	1	3	7	9	15	27	>27
O	0	0.9	2.4	3.3	5.7	10.4	$0.4n$

间绕的短波及超短波线圈导线的最佳直径的计算比较简单一些, 它决定于线圈的尺寸及绕距。在圆导线的情况下最佳直径等于:

$$d_{opt} = \frac{\tau}{K_1} \quad (7-608)$$

系数 K_1 按图 7-608 的曲线来决定。

当用最佳直径的铜导线来绕制时这种线圈的电阻等于:

$$r_f = \frac{7.4N^2 \sqrt{\frac{f}{1}} \cdot 10^{-7}}{D} \text{ (欧)} \quad (7-609)$$

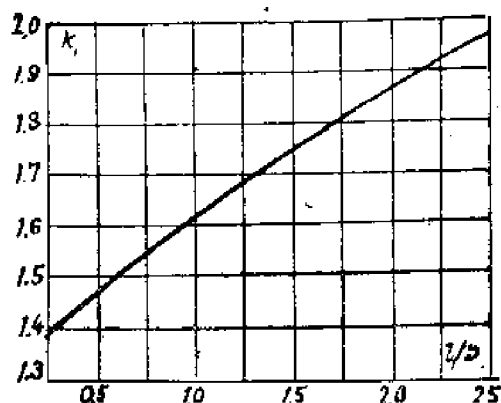


圖 7—608 为計算圓形導線的短波和超短波繞圈电阻用的系数 K_1 的曲線

为了减少集膚效应和邻近效应的影响，在短波及超短波繞圈中采用扁平截面的带状導線繞繞，当以寬边繞制时，導線的最佳寬度等于：

$$b_{\text{opt}} = \frac{\tau}{K_2} \quad [\text{毫米}] \quad (7-610)$$

系数 K_2 决定于圖 7—609 的曲線

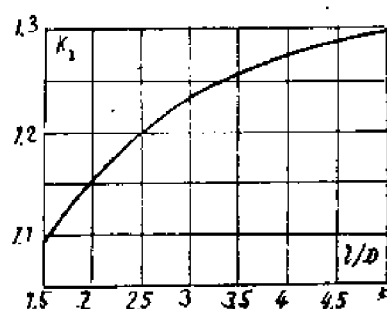


圖 7—609 为計算扁導線的短波和超短波繞圈电阻用的系数 K_2 的曲線

如果帶厚 $a > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho}{f}} \times 10^3$ 毫米，則这种繞圈的 r_l 等于：

$$r_l = \frac{0.5 N^2 \sqrt{f \cdot \rho} \times 10^{-8}}{l/d} \quad [\text{欧}] \quad (7-611)$$

式中 ρ ——導線的电阻率（欧·厘米）

§7-7 电感繞圈的固有电容

当頻率接近于繞圈的固有諧振頻率时，电感繞圈的固有电容使实际电感量产生变化并增加了損耗。

繞圈固有电容的計算是很复杂的，通常用近似方法。

繞制在光滑骨架上的單層电感繞圈的固有电容可决定于下式

$$C_0 = \frac{\pi D}{8.31 \left[\frac{\tau}{d} + \sqrt{\left(\frac{\tau}{d} \right)^2 - 1} \right]} \quad (\text{微微法}) \quad (7-701)$$

单層綫圈的固有电容也可以按下列經驗公式來計算

$$C_0 = \psi D \quad (\text{微微法}) \quad (7-702)$$

其中 ψ 是由 $\frac{\tau}{d}$ 決定的系数可从表 7-10

表 7-10

τ/d	1.25	1.5	2	2.5	3	4	5	> 5
ψ	0.65	0.61	0.53	0.51	0.48	0.445	0.435	0.34

按圖 7-701 的曲線來決定固有电容，給出了良好的效果。

在無骨架綫圈或筋条式骨架綫圈的情況下，由上述方法所決定的固有电容應減少 15~20%；在具有切槽的骨架的情況下應增加 20~25%；綫圈經過浸漬及蘸漬后固有电容的增大了 20~30%。

蜂房式繞法綫圈的固有电容可由以下公式計算：

$$C_0 = \frac{r D_{cp} l}{3 p^2 t} \quad (\text{微微法}) \quad (7-703)$$

其中： r ——与導綫絕緣層的介电系数有关的系数，決定于表 7-11

表 7-11

導綫的牌号	单絲包綫 (ПШО)	漆包綫 (ПЭ)	单絲漆包綫 (ПЭШО)	双絲漆包綫 (ПШД)	单紗漆包綫 (ПЭБО)	双絲編織綫 (ПЭМО)
r	3.4	3.7	3.8	3.9	4.3	5

其他符号及单位和以前相同。

当多層綫圈采用分層繞法或堆繞繞法时，用計算法求得的 C_0 值是不准确的，进行粗略計算的方法將在下一章討論。

为了减少多層綫圈的固有电容采用了分段，在各分段間的距离大約等于繞組的长度时，分段綫圈的固有电容可由以下經驗公式計算：

$$C_0 = C_{oc} \frac{0.33S + 0.67}{S}$$

其中 C_{oc} ——每分段的固有电容；
 S ——分段数。

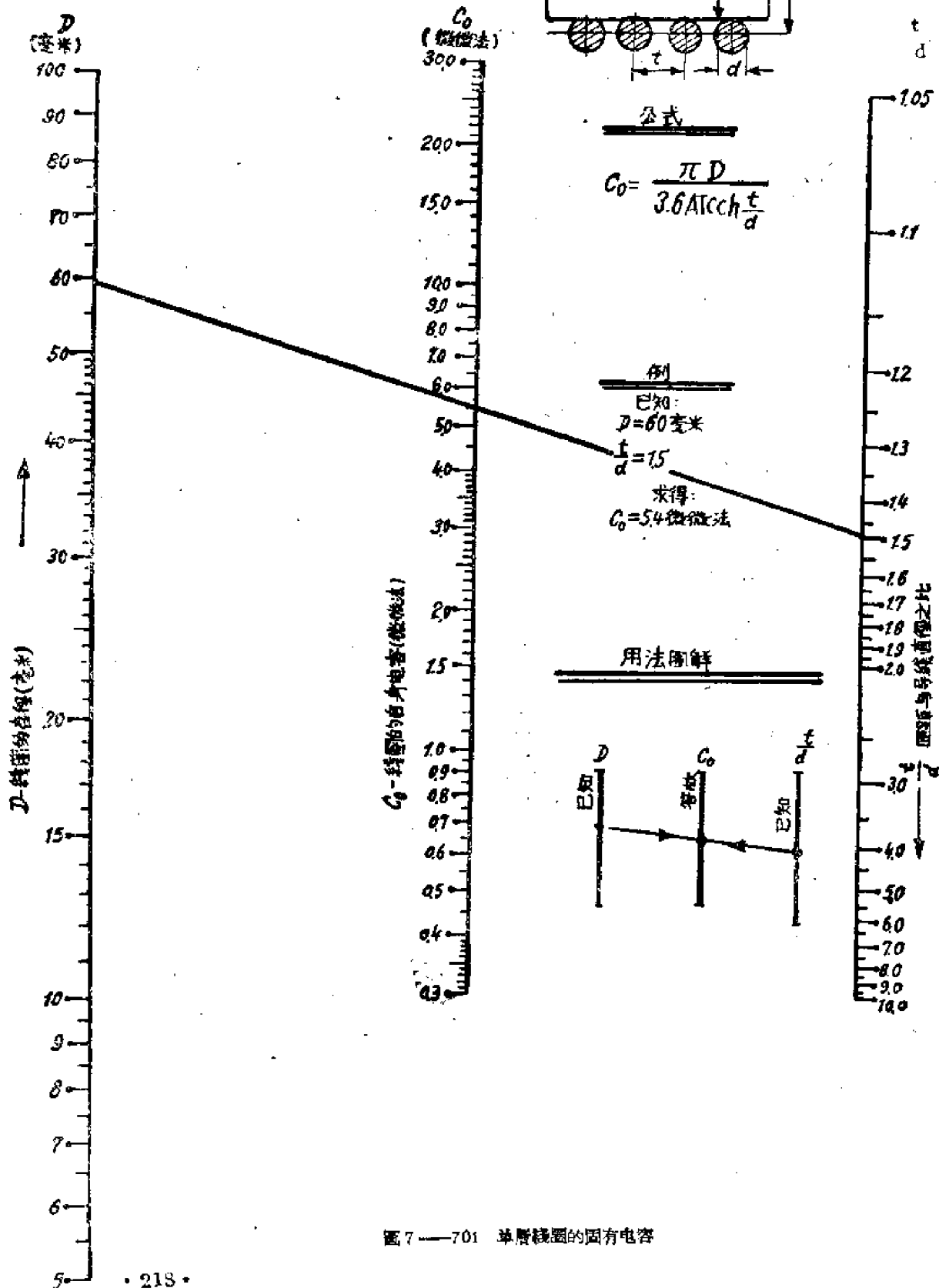


图7——701 单层线圈的固有电容

线圈经过介质的固有电容值，决定了线圈介质中的损耗，它可由下式计算：

$$C_{og} = \frac{C_o}{1 + \frac{1}{\lambda \epsilon}}$$

其中 ϵ ——骨架材料的介电常数，

λ ——与绕组结构有关的系数。

当圆导线绕在筋条式骨架上时 $\lambda = 0.06$ ；当绕制在光滑骨架上时 $\lambda = 0.08$ ；当绕制在刻槽骨架上时 $\lambda = 0.111$ 。

对于多层绕法 $C_{og} = (0.8 \div 1.0) C_o$ 。

§7-8 电感线圈的品质因数及线圈尺寸的选择

电感线圈的品质因数决定于公式：

$$Q = \frac{\omega L}{r} \quad (7-801)$$

对于无屏蔽无芯子的电感线圈：

$$r = r_f + r_g$$

式中 r_g ——由介质中损耗所引入的电阻。

电介质中损耗所引入的电阻可按下列式计算：

$$r_g = 0.25 C_{og} \operatorname{tg} \delta L^2 f^3 \cdot 10^{-8} \quad (7-802)$$

其中 C_{og} ——线圈通过介质的固有电容（微微法）

L ——线圈电感量（微亨）

f ——频率（兆赫）

$\operatorname{tg} \delta$ ——介质中的损耗角正切。对于单层线圈，它决定于骨架的材料；对于多层线圈它决定于导线绝缘层及垫层介质；当漆绝缘时 $\operatorname{tg} \delta = 0.018$ ，当丝绝缘时 $\operatorname{tg} \delta = 0.04$ ；当纸绝缘时 $\operatorname{tg} \delta = 0.36$ 。

实际上只有当固有电容很大时才考虑介质中的损耗。

当计算短波或超短波单层线圈的品质因数时，引入的介质损耗取决于骨架材料，当用高频损耗小的优质绝缘材料作骨架时，这一部份损耗可略，因而，线圈的损耗可认为只由导线的高频电阻 r_f 决定。于是，当导线直径为最佳值时，计算 Q 值的公式可写为：

对于因铜导线绕制的线圈：

$$Q = 8.5 L_o D \frac{I}{D} \sqrt{f} \quad (7-803)$$

对于扁导线绕制的线圈：

$$Q = 12.6 L_o D \frac{I}{D} \sqrt{\frac{f}{\rho}} \cdot 10^{-8} \quad (7-804)$$

这里： D ——线圈直径（厘米）

f ——频率（兆赫）

ρ ——导线材料的比电阻（欧·厘米）。

当频率接近于电感线圈的固有频率时线圈的品质因数等于：

$$Q^1 = Q(1 - \frac{I^2}{I_0^2}) \quad (7-805)$$

研究表明，为了得到大的线圈品质因数，应该增加线圈的直径（因为当大的线圈直径时邻近效应减弱），并用最佳直径的导线来绕制。此外为了获得最大品质因数应该采用下列线圈尺寸比值：对于单层线圈 $\frac{l}{D} = 0.5$ 。对于多层线圈 $3l + 2l = D$ 。上述线圈尺寸间的比值并不是严格的极限值，所以允许有某些偏差。

大电感量的多层线圈（大于5毫亨），为了提高Q值一般是分段的，分段数可以自2到8。各分段做成一样的，相邻分段之间的距离取小于或等于每一分段绕组的长度。

§7-9 互感及耦合系数的计算

电感量及互感量的计算在H·J·卡朗达洛夫及Л·А切依特林的“电感的计算”一书中有足够的全面的阐述。以下将引入某些决定互感量及耦合系数的计算公式（所有尺寸取厘米的单位）。

在同轴线圈间的互感量（图7-901）等于：

$$M = \frac{M_0}{2} \sqrt{D_1 D_2} \cdot 10^{-8} \text{ (微亨)} \quad (7-901)$$

其中： $D_1 D_2$ —线圈的直径（厘米）

M_0 —系数，按数值 $P = \frac{b_2}{b_1}$ 从图7-902、图7-903、图7-904中查得。

当同样的线圈时，即 $D_1 = D_2$ 时

$$M = \frac{M_0 D}{2} \cdot 10^{-8} \text{ (微亨)}$$

在单层线圈和具有正方形截面或近于正方形的截面的多层线圈（它们之间距离超过线圈最大直径）之间的互感等于：

$$M = \frac{M_0 N_1 N_2}{2} \sqrt{D_1 D_2} \cdot 10^{-8} \text{ (微亨)} \quad (7-902)$$

其中： M_0 —中心线圈间的互感系数；

在两个线圈结构尺寸相同时：

$$M = \frac{M_0 N^2 D}{2} \cdot 10^{-8} \text{ (微亨)}$$

两个同轴单层线圈（图7-905）间的互感量等于：

$$M = 0.000617 \frac{D_1^2 D_2^2 N_1 N_2}{l_1 l_2} (k_1 a_1 + k_3 a_3 + k_5 a_5) \text{ (微亨)} \quad (7-903)$$

其中 $k_{1,1} = \frac{8}{D_2^2} \left(\frac{X_2}{r_3} - \frac{X_1}{r_1} \right)$; $X_1 = B + \frac{l_1}{2}$; $X_2 = l_2 + B + \frac{l_1}{2}$;

$$r_1 = \sqrt{X_1^2 + \left(\frac{D_1}{2} \right)^2}; \quad r_2 = \sqrt{X_2^2 + \left(\frac{D_2}{2} \right)^2}; \quad k_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{X_1}{r_1^3} - \frac{X_2}{r_2^3} \right);$$

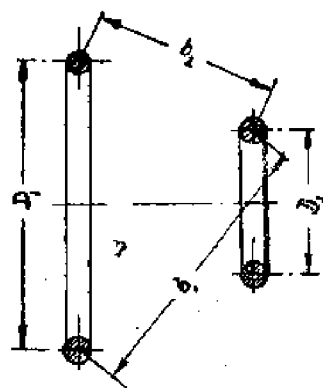


圖7——901 为計算兩同軸線間的互感量用的結構尺寸

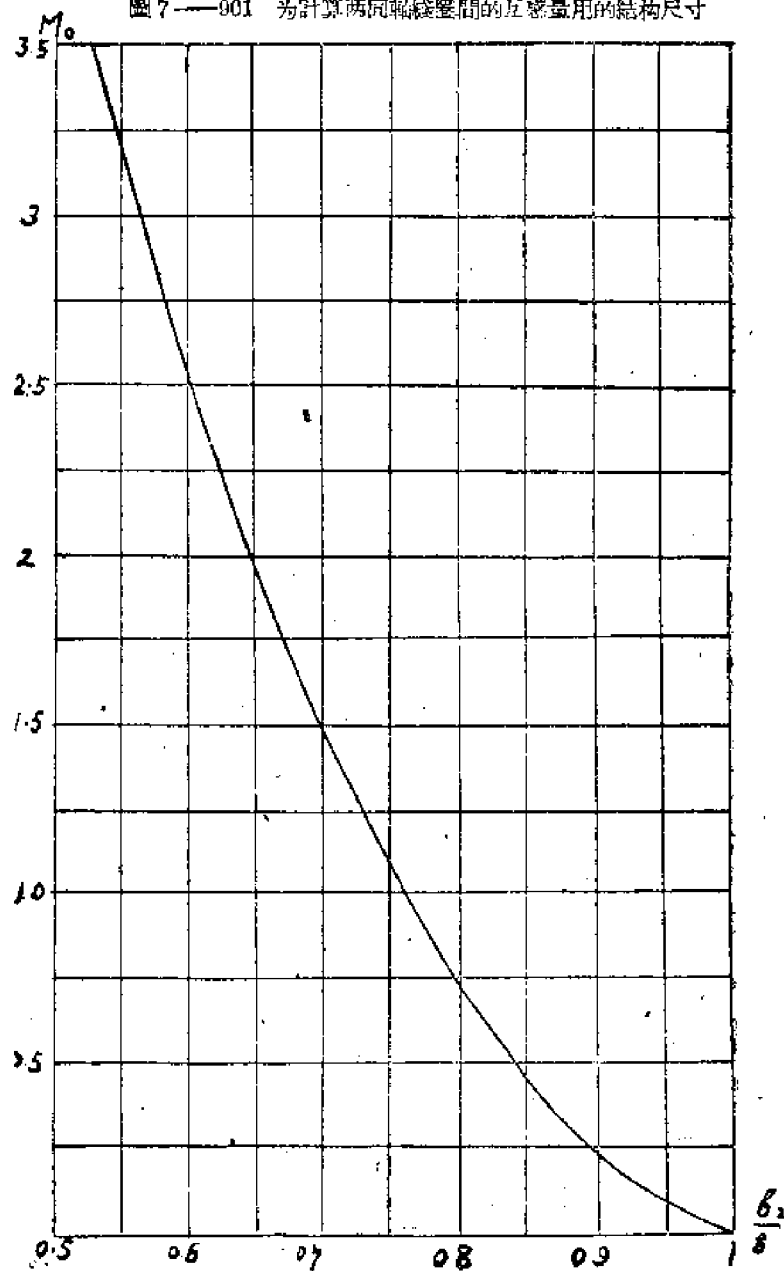


圖7——902 對於 $p = \frac{B_2}{B_1}$, 在0.5——1範圍內時係數 M_0 的曲線

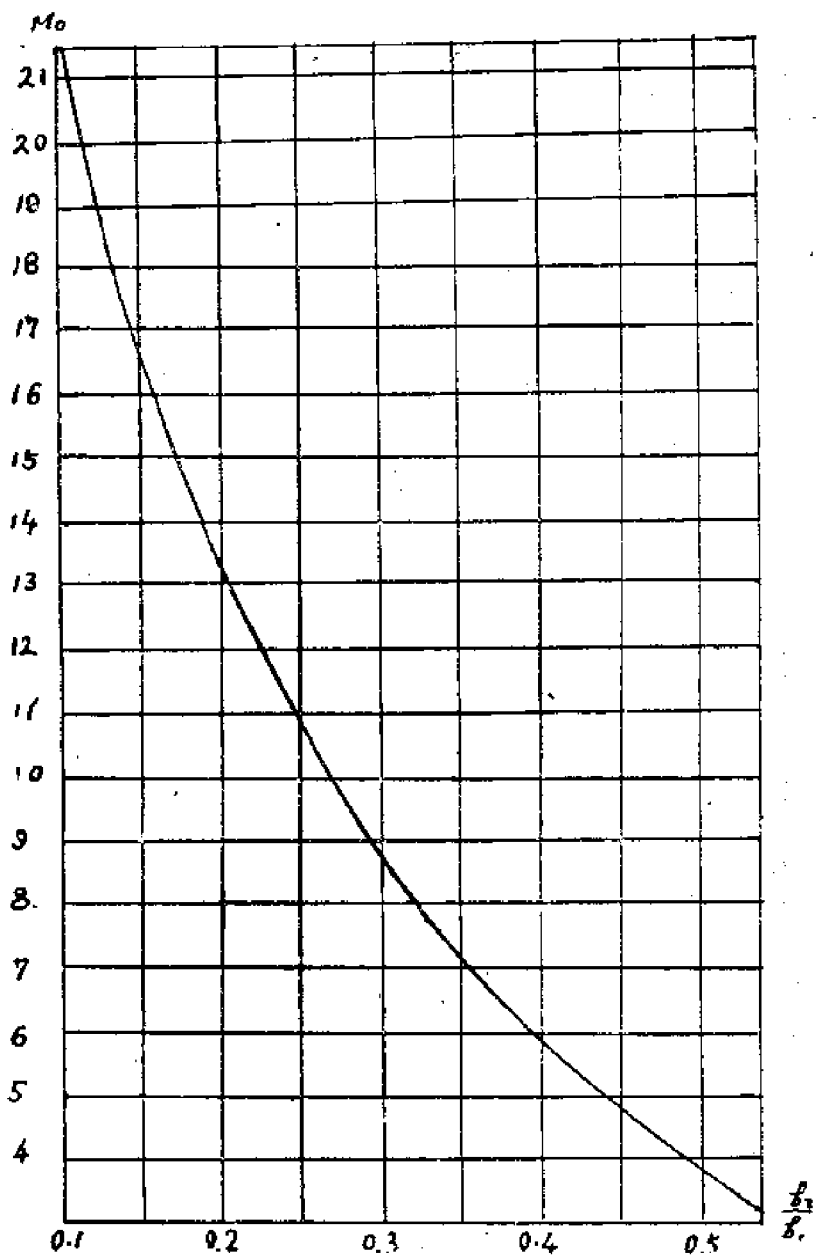


圖7 — M_0 對於 $p = \frac{g_2}{g_1}$ 在 0.1—0.5 範圍內時系數 M_0 的曲線

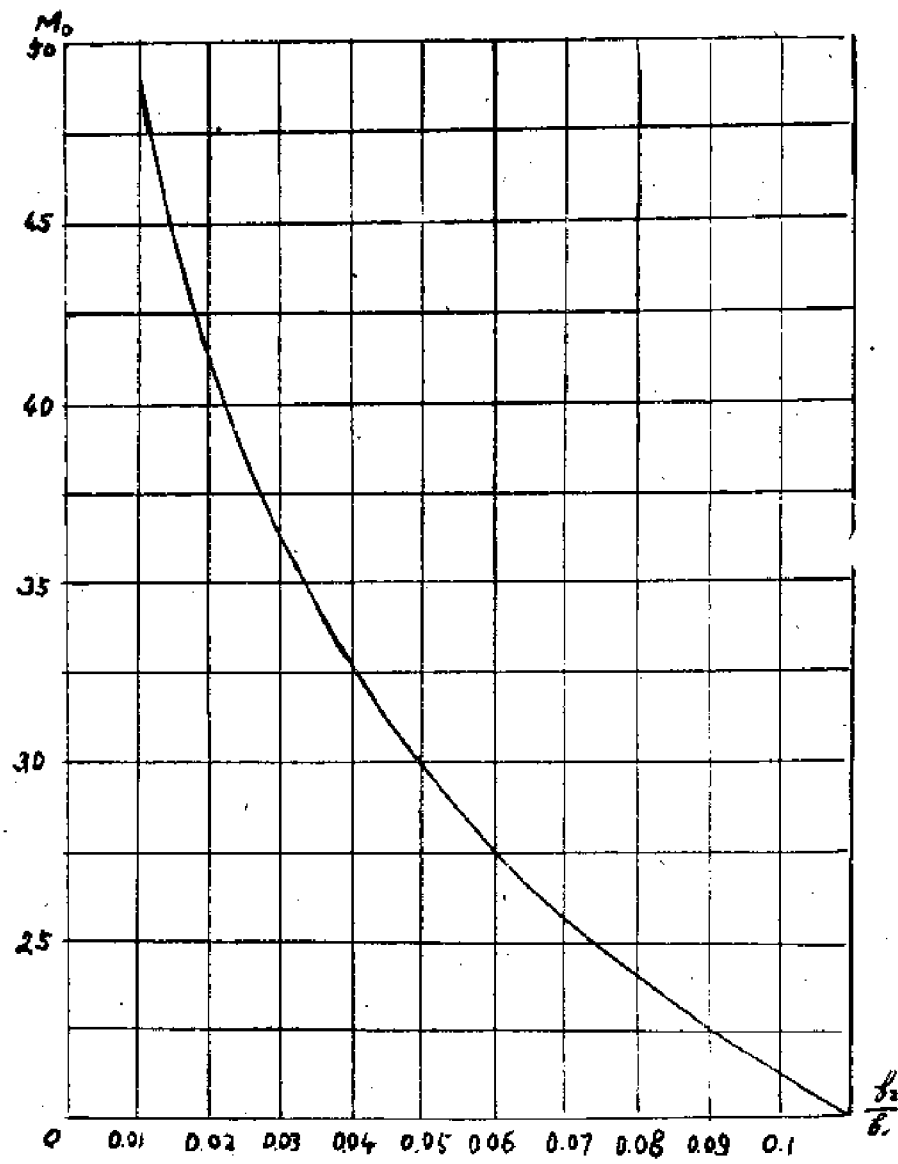


圖 7 — 001 對於 $p = \frac{B_1}{B_2}$ 在 0 — 0.1 範圍內時係數 M_0 的曲線

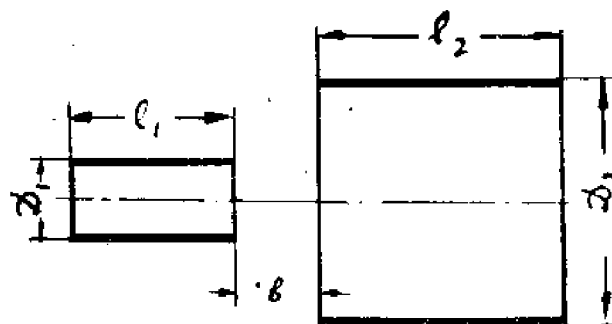


圖 7 — 005 繞圈間互感量的計算

$$a_2 = -\frac{D_1^2 l_1}{8} \left(3 - \frac{4l_1^2}{D_1^2} \right); \quad k_5 = \frac{D_2^2}{3^2} \left[\frac{X_1}{r_1^9} \left(3 - \frac{16X_1^2}{D_2^2} \right) - \frac{X_2}{r_2^9} \left(3 - \frac{16X_2^2}{D_2^2} \right) \right];$$

$$a_5 = \frac{D_1^4 l_1}{32} \left(\frac{5}{2} - 10 \frac{l_1^2}{D_1^2} + 4 \frac{l_1^4}{D_1^4} \right)$$

两个同轴多层线圈 (圖 7—906) 間的互感量等于:

$$M = \frac{N_1 N_2}{6} \left[M_{12}' + M_{13}' + M_{14}' + M_{15}' + M_{1'2} + M_{1'3} + M_{1'4} + M_{1'5} - 2M_{11} \right] \quad (7-904)$$

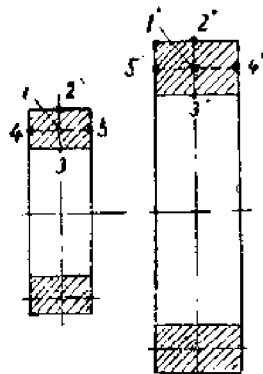


圖 7—903 多层线圈間的互感量的計算

这里 M_{11} , M_{12}' 等如圖 7—906 所示的各点沿着截面分布的线匝的互感量。其轴平行的同样单层线圈 (圖 7—907) 的互感量等于:

$$M = \frac{0.6 N_1 N_2 D^4}{B_s} 10^{-3} \text{ (微亨)} \quad (7-905)$$

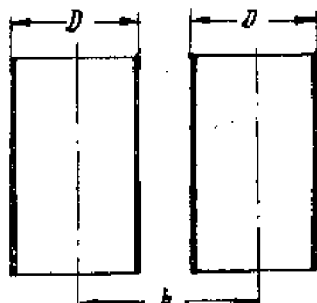


圖 7—907 为計算平行放置的两线圈間的互感量用的结构尺寸

在两个插入同轴线圈 (7—908) 之间的互感量等于:

$$M = 0.00493 \frac{D_2 N_1 N_2}{g} \left\{ 1 + \frac{D_1^2 D_2^2}{128g} \left(3 - 4 \frac{l_2^2}{D_2^2} \right) \right\} \text{ (微亨)}$$

对于图 7—908 “a” 的情况 $g = \frac{1}{2} \sqrt{D_1^2 + l_1^2}$
 而对于图 7—908 “b” 的情况 $g = \frac{1}{2} \sqrt{D_1^2 + l_2^2}$ (7—906)

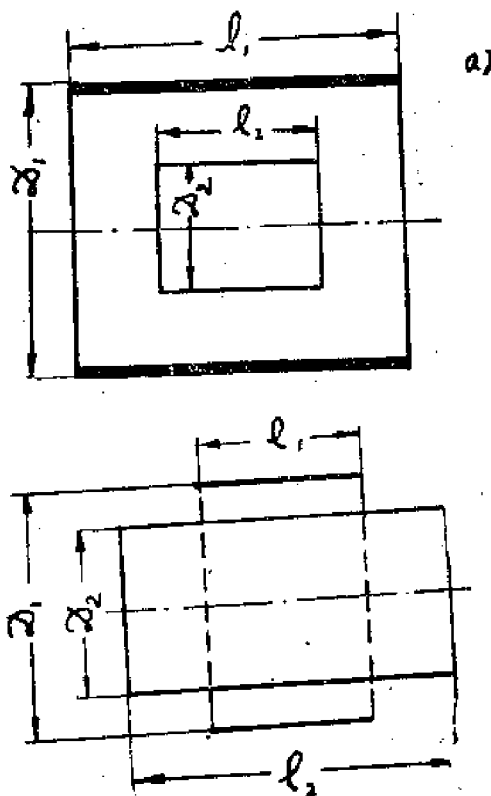


图 7—903 同轴线圈间互感量的计算

耦合系数等于:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (7-907)$$

同轴远离线圈间的耦合系数等于:

$$K = \frac{M_0}{2\sqrt{L_{01} L_{02}}} \quad (7-908)$$

其中 L_{01} 及 L_{02} —— 线圈的形状系数。

相同的同轴近置单层线圈间的耦合系数等于:

$$K = \frac{2}{2 + 11 \frac{l}{D}} \quad (7-909)$$

同軸插入單層線圈（圖 7—908 “a”）間的耦合係數等於：

$$K = \frac{D_2 l_2}{D_1 l_1} \quad (7-910)$$

§ 7—10 屏蔽電感線圈的計算

線圈放入屏蔽罩后，其電感量要減小，損耗電阻和固有電容都得增大。
為了計算屏蔽對線圈參數的影響，可將電感線圈的屏蔽罩看成是具有與屏蔽罩尺寸相等尺寸的短路線匝，它通過互感與線圈耦合着。如所周知，與另一個線圈相耦合的線圈的電感量等於：

$$L_{sk} = L - \frac{\omega^2 M^2}{r_s^2 + \omega^2 L_s^2} L_s$$

其中 L_{sk} —屏蔽線圈的電感量，

L —未屏蔽線圈的電感量，

M —線圈與屏蔽罩間的互感量，

r_s —屏蔽罩的高頻電流電阻，

L_s —屏蔽罩的電感量。

在足夠高的頻率時 $\omega^2 L_s^2 \gg r_s^2$ ，則

$$L_{sk} = L - \frac{M^2}{\sqrt{LL_s}}$$

因為線圈與屏蔽罩之間的耦合係數等於：

$$K = \frac{M}{\sqrt{LL_s}}$$

則屏蔽線圈的電感量等於：

$$L_{sk} = L(1 - K^2) \quad (7-1001)$$

對於單層線圈耦合係數“ K ”可按下列式計算：

$$K^2 = \frac{100}{L_0 L_{0s} \left[1 + \left(\frac{l_s}{D_s} \right)^2 \right]} \left(\frac{D}{D_s} \right)^3 \quad (7-1002)$$

其中： L_0 及 L_{0s} ——線圈及屏蔽罩的形狀係數。

l_s 及 D_s ——屏蔽罩的長度及直徑

D ——線圈的直徑。

對於單層線圈耦合係數也可按下式計算：

$$K^2 = \eta \left(\frac{D}{D_s} \right)^3 \quad (7-1003)$$

其中 η —參量，按圖 7—1001 的曲線來確定：

對於多層電感線圈耦合係數決定於下式：

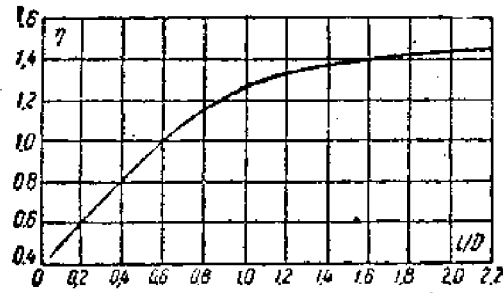


圖 7 — 1001 系数 7 的数值曲线图

$$K = \frac{\left(\frac{D^1}{D_0}\right)^3}{L_0 L_{00} \left[1 + \left(\frac{L_0}{D_0}\right)^2\right]} \quad (7-1004)$$

$$\text{其中 } D^1 = \sqrt[3]{\frac{D^3 + D_0^3}{2}}$$

单层的或者薄的多层线圈的电感量可以按图 7-1002 的计算曲线求出；

由于屏蔽罩的影响而引起的电感线圈电阻的改变，是由两个原因产生的。首先是由于屏蔽罩引起线圈场的变化，其次是由于耦合线圈—屏蔽罩引入线圈的电阻。考虑到由屏蔽罩所产生的场的变化时线圈导线电阻：

$$r_{f \approx K} = r_0 \left[F(Z) + \left(\frac{KNd}{2D} \right) (1-K^2)^2 G(Z) \right] \quad (7-1005)$$

其中“K”—线圈及屏蔽罩间耦合系数。

由屏蔽罩所引入的电阻等于：

$$\Delta r_s = - \frac{\omega^2 M^2}{\omega^2 L_s^2 + \omega^2 L_0^2} r_s$$

因为 $M^2 = K^2 L L_0$ ； $L_s = L_{00} D_0$ ； $L = L_0 N^2 D$ ，则变换最后一式后我们得到：

$$\Delta r_s = K^2 N^2 r_s \frac{D}{D_0} \frac{L_0}{L_{00}} \approx K^2 N^2 r_s \frac{D}{D_0}$$

如果线圈与屏蔽罩顶（和罩底）之间的距离大于线圈直径，则罩顶（和罩底）的影响可以忽略，因此，屏蔽罩的电阻等于：

$$r_s = \rho_s \frac{\pi D_0}{l_s X_s}$$

其中 πD_0 是涡流途径长度， X_s —电流渗入深度，等于：

$$X_s = \frac{1}{20} \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (\text{厘米})$$

而 $l_s X_s$ 则为涡流的有效导流面积。

这样一来

$$\Delta r_s = 20 \pi K^2 N^2 \frac{D}{D_0} \frac{D_0}{L_0} \sqrt{f \rho} \quad (\text{欧}) \quad (7-1006)$$

这里所有线性数值以厘米为单位； ρ 以欧厘米为单位； f 以兆赫为单位。

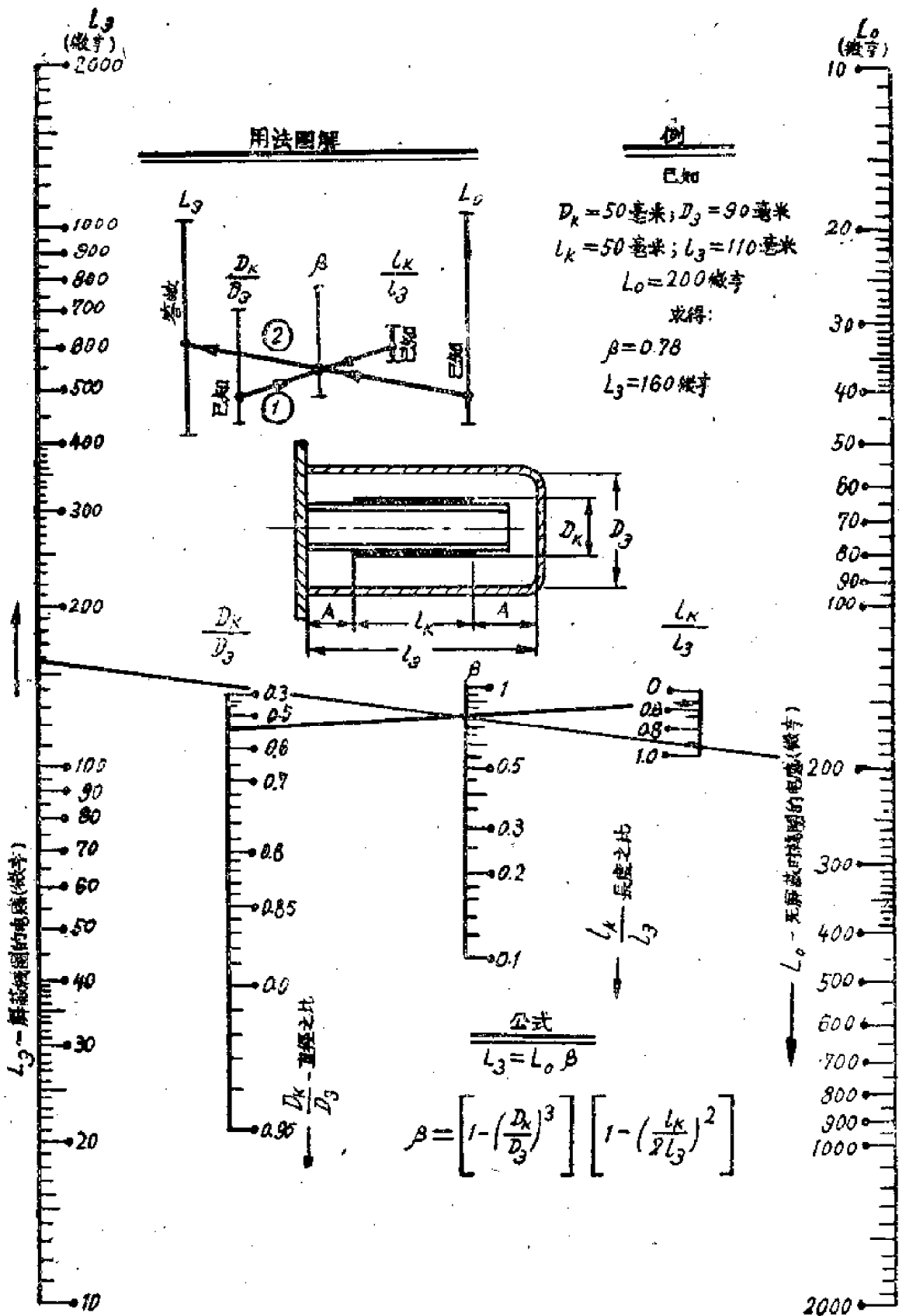


图 7 — 1002

对于铝 ($\rho_s = 2.8 \times 10^{-6}$ 欧厘米) 屏蔽罩我們得到:

$$\Delta r_s = 1.05 K^2 N^2 \frac{D}{D_0} \frac{D_0}{l_s} \sqrt{f} \cdot 10^{-3} \text{ (欧)} \quad (7-1007)$$

屏蔽綫圈导綫的高频总电阻等于:

$$r_{\text{tot}} = r'_{\text{BK}} + \Delta r_s \quad (7-1008)$$

当綫圈对于屏蔽罩的位置放置得正常和屏蔽罩尺寸的正确选择时, 屏蔽罩所引起的場的变化影响可以忽略。为此, 綫圈导綫的高频电阻可以認為 (足够准确) 等于:

$$r_{\text{BK}} = r_f + \Delta r_s \quad (7-1009)$$

屏蔽罩使綫圈的固有电容增加, 屏蔽罩愈近綫圈, 固有电容的增加愈大。

屏蔽綫圈的稳定性也比無屏蔽时低, 因为罩的几何尺寸和电阻的改变也相应地改变了綫圈的参数和电流在导綫上的分布。

屏蔽罩与綫圈距离愈大, 对綫圈的影响愈小; 但屏蔽罩最大尺寸受設備尺寸的限制, 而縮小綫圈直徑又受到本身 Q 值降低的限制。分析表明, 为了使綫圈电感量和 Q 值下降不显著 ($< 10\%$), 比值 $\frac{D_0}{D}$ 应在 $1.5 \div 2.5$ 的范围内选择 (波长較短时应选較小比值)。

設計屏蔽綫圈时就从选择适当 $\frac{D_0}{D}$ 比值开始, 然后, 再按 L 值 (所需的無屏蔽綫圈电感量, $L = \frac{L_{\text{BK}}}{1-K^2}$ 而 L_{BK} 是給定的) 来設計不带屏蔽罩的綫圈。

§ 7-11 具有芯子綫圈的計算

电感綫圈的芯子采用两种类型: 磁性的及非磁性的。

磁性芯子的采用可以减小电感綫圈的尺寸, 提高綫圈的品質因数, 并且当芯子相对于綫圈移动时可能改变电感量。

非磁性芯子应用于短波及超短波波段的电感綫圈, 它們被利用来作为电感量的微調。

I. 磁性芯子綫圈。

高频电感綫圈最常用的磁芯結構形状示于圖 7-1101

柱杆形磁芯 (圖 7-1101, a, б, в, г,) 的結構最简单, 用于綫圈时綫圈的結構不需作大的改变。其缺点是磁性利用率低, 但具有較小的損耗, 宜于較高頻率。

綫軸型磁芯 (圖 7-1101, д, е,) 的磁性利用率較高, 但引入綫圈的損耗相应增大, 所以工作頻率小于 2—2.5 兆赫。

装甲形 (壳形) 磁芯 (圖 7-1101, ж, з) 的磁性利用率更高, 但損耗也更大, 因此工作頻率不高于 1.5—2 兆赫。这种磁芯具有自身屏蔽作用, 屏蔽罩对綫圈的影响不大, 因此屏蔽罩的尺寸可作得小些。

当頻率低于 50—70 千赫时, 可以采用 III 形和 II 形磁芯。

对电感量較大綫圈, 最好采用环形磁芯, 此时, 其磁性能得到最充分利用, 但損耗更大, 因此应用頻率較低。采用了磁性芯子将增加了电感綫圈的固有电容, 装甲形磁芯特别显著。制造磁性芯子用的材料有: 鉄砂鋁合金, 羰基鉄, 鉄淦氧。这些材料的基本特性列于表 7-12; 表 7-13; 表 7-14。

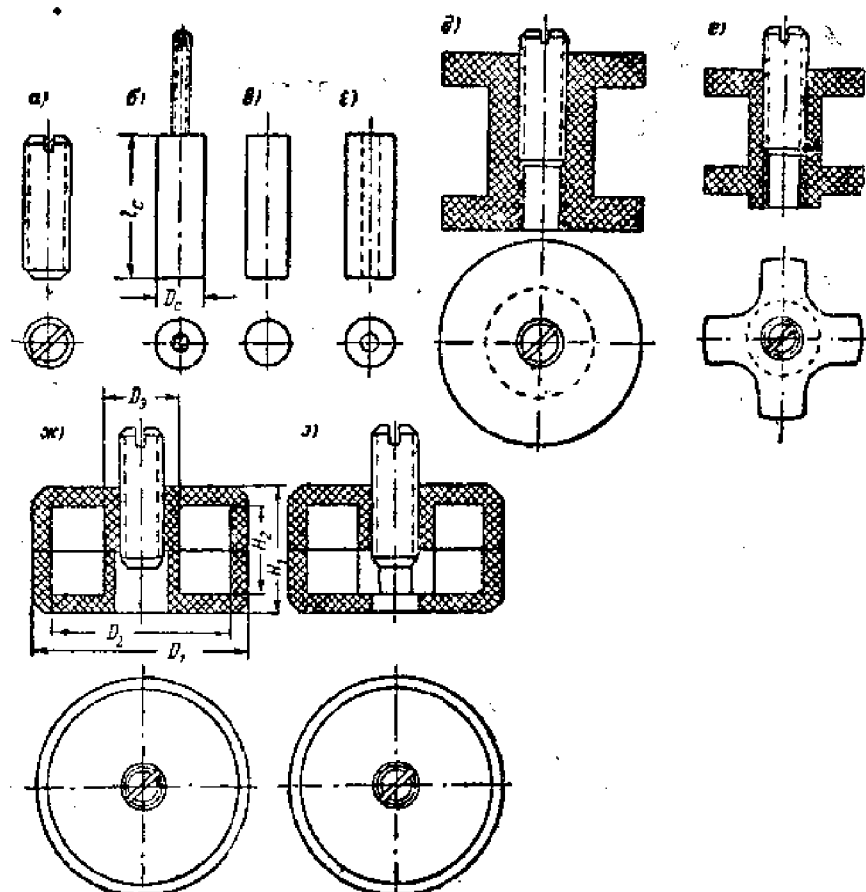


圖7——1101 磁性鉄粉心的型式: a—有螺紋的圓柱鉄粉心 (CII型); 6—有螺絲的圓柱鉄粉心 (CIII型); B—光圓柱形鉄粉心 (CIV型); F—圓筒形鉄粉心 (CV型); II和e—線軸形鉄粉心; ж—閉路式鉄壳形鉄粉心 (CBA); z—开路式鉄壳形鉄粉心 (CB5)

表7—12 磁介質的特性

磁介質的名称	起始導磁率 (高斯/奧斯特)	滯后損耗系 數 $\times 10^{-3}$ (1/奧斯特)	渦流損耗系 數 $\times 10^{-9}$ (1/赫)	后效損耗系 數 $\times 10^{-8}$	導磁率的溫度 係數 $\times 10^{-6}$	用于那个頻 率範圍 (赫)
压制磁鉄矿	6—9	1	10	0.5	1250	达 10^6
鋁砂鉄TЧ—60	60	4	200	1.7	400	达
鋁砂鉄TЧK—50	50	4	200	1.7	—150—50	达10
鋁砂鉄BЧ—30	30	2	60	1.5	—200	达 5×10^4
鋁砂鉄BЧ—20	22	1	10	1	—20	达 1.5×10^5
鋁砂鉄PЧ—9	9	0.8	4	0.6	—100	达 10^7
鋁砂鉄PЧ—6	6					达 10^7
羰基鉄П—4	11	0.18	5	0.4	—50	达 10^7

标准镍——铁合金的基本磁参数

表 7-13

铁合金的 型号	μ_0 高 斯 —— 奥斯特	μ_{max} 高 斯 —— 奥斯特	极限工 作温度 °C	导磁率的 温度系数 $\beta \cdot 10^4$ (自 0° 到 + 40°C)	B_{max} 高 斯	B_r 高 斯	H_c 奥斯特	在弱磁场中的损耗系数当电流频率 为 60 ÷ 120 仟赫时		
								$62 \cdot 10^3$	$68 \cdot 10^3$	$6n \cdot 10^3$
								当 $H = 30$ 奥斯特时		
HI-2500	2230 ÷ 2800	3000 ÷ 6000	60	+3000	2500	950	0.10	2000	1000	95
HI-2000	1800 ÷ 2200	2500 ÷ 5000	90	+5000	3000	1230	0.36	1000	400	25
HI-1000A	800 ÷ 1200	2000 ÷ 3000	80	+2000	2500	650	0.15	450	200	20
HI-1000B	800 ÷ 1200	2000 ÷ 3000	100	+5000	2600	1200	0.30	250	100	6
HI-600	540 ÷ 680	750 ÷ 300	100	+5000	3500	1800	0.60	120	50	4
HI-400	360 ÷ 440	800 ÷ 350	130	+3000	2500	1600	1.00	110	40	2
HI-400	360 ÷ 440	2000 ÷ 2300	250	+6000	4300	2800	0.30	60	20	10
HI-400	360 ÷ 440	600 ÷ 700	140	+100	3000	1000	0.80	200	200	10
HI-250	220 ÷ 280	250 ÷ 350	100	+500	2300	600	1.30	40	12	4
HI-100	80 ÷ 120	90 ÷ 130	280	+4000	3800	3000	2.00	7	4	5

表 7-14 鉄 氧 值 的 基 本 磁 参 量

鉄 磁 氧 型 号	μ_0 高 斯 — 奥斯特	Bmax 高 斯 — 奥斯特	極 限 工 作 溫 度 °C	導 磁 率 的 溫 度 系 数 $\beta \cdot 10^6$ 当 H = 0 时	Bmax 高 斯	Hc 高 斯	損 耗 系 数		
							$\delta_2 \cdot 10^3$ 当 H = 1 奥斯特	$\delta_3 \cdot 10^3$ 当 f = 1 赫	$\delta n \cdot 10^3$
鉄 氧 体 —2000	1800 ÷ 2200	6000 ÷ 7000	70	+6000	2200	1100	—	—	—
鉄 氧 体 —1000	800 ÷ 1200	3000 ÷ 3500	110	+4000	3000	1400	—	—	—
鉄 氧 体 —400	360 ÷ 440	750 ÷ 850	120	+2000	2000	900	120	30	3.5
鉄 氧 体 —200	180 ÷ 220	280 ÷ 330	120	+800	1500	800	75	20	4.0

磁芯的特性可以用下列参量来表征:

1. 动态导磁率:

动态导磁率 μ_{ω} 是感应密度的交变分量对于磁场强度的交变分量的比值。

$$\mu_{\omega} = \frac{B_m}{H_m}$$

动态导磁率与磁芯的材料有关, 也与材料工作状态 (H_m 大小及工作频率) 有关。

圖 7—1102 及圖 7—1103 示出几种铁氧体动态导磁率与频率的关系曲线。

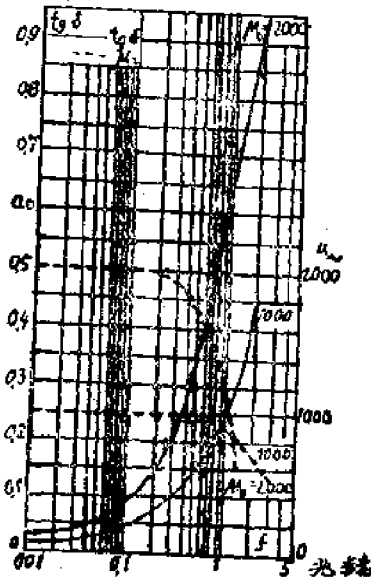


圖 7—1102 铁氧体—1000及—2000的动态导磁率及损耗角正切对频率的关系 ($H_m=0$)

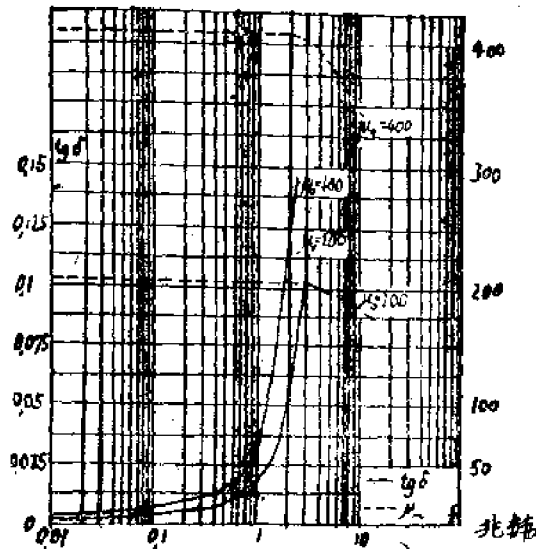


圖 7—1103 铁氧体—400及铁氧体—200的动态导磁率及损耗角正切对频率的关系 ($H_m=0$)

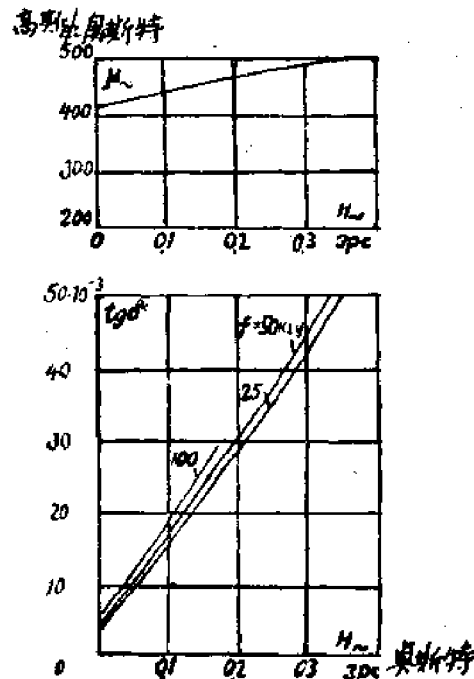


圖 7—1104 鉄粉体—100当频率达100仟赫时动态导磁率与場强的关系

动态导磁率与交变場强的关系的例子示于圖 7—1104。

2. 芯子的有效导磁率

芯子的有效导磁率 μ_s 可用下式表示:

$$\mu_s = \frac{L_c}{L} \quad (7-1101)$$

其中 L_c —磁芯繞圈的电感量

L —同一繞圈無芯子时的电感量。

芯子的有效导磁率与芯子材料的动态导磁率, 繞圈的形状尺寸, 芯子的形状尺寸以及繞圈和芯子的相互位置等因素有关。

3. 磁芯磁性能利用系数:

磁芯磁性能利用系数由下式表示

$$K = \frac{\mu_s}{\mu_m} \quad (7-1102)$$

K 越大, 則鉄芯材料磁性能利用越充分。对于环形鉄芯 $K \approx 1$ 。

4. 損耗

磁芯引入繞圈中的損耗, 决定于磁性材料的損耗 (包括磁滯、渦流、后效三部分損耗, 以及磁芯的磁性能利用系数。磁性能利用系数愈小, 則磁芯引入的損耗也愈小。也就是說, 当利用系数为 K , 則磁芯引入的損耗比材料的損耗小 K 倍。因为磁性能只有

$\frac{1}{K}$ 部分被电感繞圈所利用。

磁性芯子电感线圈的计算步骤如下：根据电感线圈的用途（基本上是根据工作频率）选择芯子类型及芯子材料。然后决定芯子的有效导磁率 μ_2 （ μ_2 是由实验数据来决定的）。

圆柱形磁芯的 μ_2 可按式进行大致的计算： $\mu_2 = K\mu = K\mu K\mu$ (7-1103)

其中 $K\mu$ —与线圈和芯子直径比值 $\frac{D}{D_c}$ 有关的系数，由图7-1105的曲线来决定。

K' —与芯子的长度和直径比值有关的系数，由图7-1106的曲线来决定。

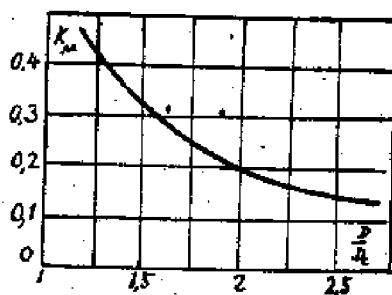


图7-1105 $K\mu$ 依赖于比值 $\frac{D}{D_c}$ 的关系曲线

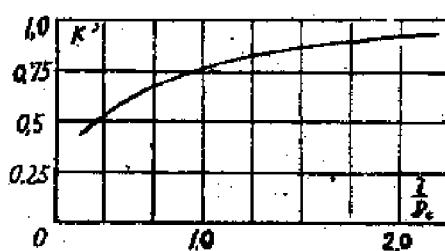


图7-1106 修正数 K' 的关系曲线

当间绕及多层绕时，应将 μ_2 减小10—15%。

在决定了 μ_2 以后，按下式求得计算电感量。

$$L = \frac{L_s}{\mu_2}$$

其中： L_s —给定的具有磁芯的线圈的电感量。（亨）

按计算电感量 L ，用一般的方法决定线圈尺寸，匝数及导线的高频电阻。

由芯子引入线圈的损耗电阻可按式来决定：

$$r_c = \omega L_s \delta_c H + \omega \cdot L \cdot \delta_{cb} f + \omega L_s \delta_{cn} \text{ (欧)} \quad (7-1104)$$

其中： ω —线圈的工作角频率

H —线圈的磁场强度

f —频率（赫）。

δ_c ; δ_{cb} ; δ_{cn} —磁芯的磁滞损耗、涡流损耗及后效损耗的损耗系数。可由下列式子计算：

$$\delta_{c_1} = \delta_r K^2$$

$$\delta_{c_2} = \delta_R K$$

$$\delta_{c_3} = \delta_n K$$

这里 δ_r , δ_R , δ_n —芯子材料的损耗系数。因为在小功率无线电设备的迴路线圈中的电流很小, 因而磁场强度很小, 所以在大多数情况下磁滞损耗可以忽略。

线圈导线的电阻等于:

$$Y = Y_f + Y_c$$

(7—1103)

已标准化的某些型号磁芯子的数据列于表7—15及表7—16。

表7—15

芯子型号	尺寸(毫米)		平均值 μ_0		平均值Q	
	D	l	A级	B级	A级	B级
CHP—1	6	10	1.5	1.7	130	90
CHP—2	6	19	1.65	1.95	135	92
CHP—3	7	10	1.6	1.7	130	100
CHP—4	7	19	1.75	1.95	140	97
CHP—5	8	10	1.6	1.7	130	105
CHP—6	8	19	1.8	1.9	145	103
CHP—7	9	10	1.5	1.65	140	105
CHP—8	9	19	1.75	1.85	145	110
CHT—1	9.3	10	2.1	2.1	160	130
CHT—2	9.3	19	2.45	2.35	185	137
CNT—1	9.3	10	2	2	180	130
CNT—2	9.3	19	2.35	2.2	180	137
CnHK—1	9.3	19	2	2	130	180
CnHK—2	9.3	19	2.5	2.5	180	140

A级是在200—2000千赫波段上, B级是在2—26兆赫波段上

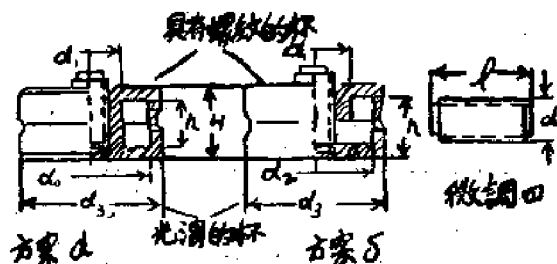


表 7—16

壳形铁基铁心的尺寸

芯子的型号	杯子尺寸 (毫米)					微調器尺寸 (毫米)	
	d_1	d_2	d_3	h	H	e	d
CB—1	6	10	12.3	8.2	10.6	11.5	4
CB—2	10	18.5	23	6.2	11	13	7
CB—3	11	18	23	12	17	19	7
CB—4	13	22	28	17	23	25	8
CB—5	13.5	27	34	20.4	28	30	8

壳形铁基铁心的基本数据

芯子的型号	平均值 μ_3		平均值Q		調 諧 范 围 (%)
	A級	B級	A級	B級	
CB—1a	4.5	—	135	—	22
CB—2a	3.7	—	223	—	20
CB—3a	4.6	6.5	240	135	20
CB—4a	4.7	5.6	210	185	20
CB—5a	4.5	5	235	180	20
CB—1 δ	3	—	95	—	35
CB—2 δ	2.7	—	190	—	30

A級在200—2000仟赫波段上；B級在50—200仟赫波段上；

在表 7—15 及 7—16 中所列出的 μ_3 及 Q 的值，相应于繞在骨架上具有三个分段的綫圈。骨架的内徑比磁芯直徑大 0.2 毫米，壁厚为 0.75 毫米，綫圈的长度为 10 毫米。对于长波及中波用单絲包編織綫 (ЛЭШО) 7×7 导綫进行繞制，对于短波用漆包綫 (ЛЭ)。

列于圖 7—1107 及圖 7—1108 的計算曲綫大大地簡化了磁芯电感綫圈的計算。

圖 7—1107 的第一条計算曲綫是对于全部插入的，尺寸为 $\phi 7$ 毫米和长度为 11 毫米的鋁矽铁合金磁芯子（上一条曲綫），下一条曲綫是对于同样尺寸的黃銅芯子，而中間一条曲綫是对于無芯子綫圈。这个圖的其余計算曲綫是对于全部插入的芯子（上一条曲綫）及全部拔出的芯子（下一条曲綫）及全部拔出的芯子（下一条曲綫）。

圖 7—1108 的第一条計算曲綫是对于中間位置的芯子，其余的是对于全部插入的（上一条曲綫）及全部拔出的（下一条曲綫）芯子。

当給定的 L 时，按所列計算曲綫来决定匝数的方法是：把相应于給定电感量数值的点投影到曲綫上，再把所得到的点投影到 N 軸上。

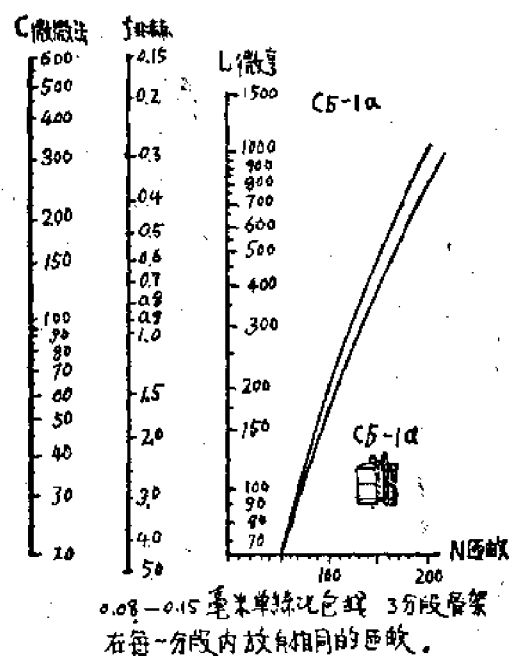
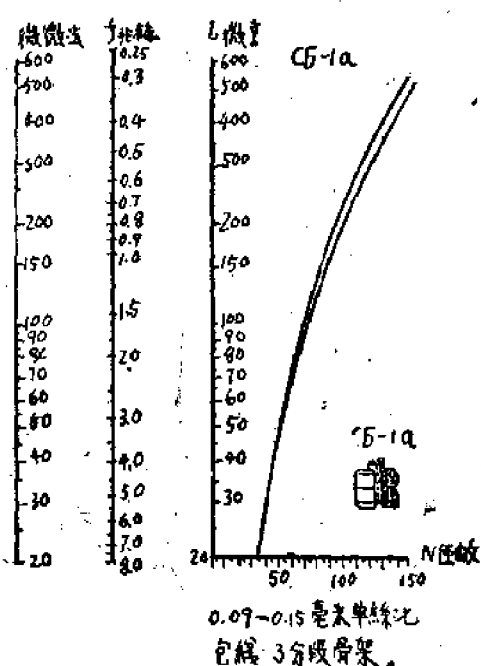
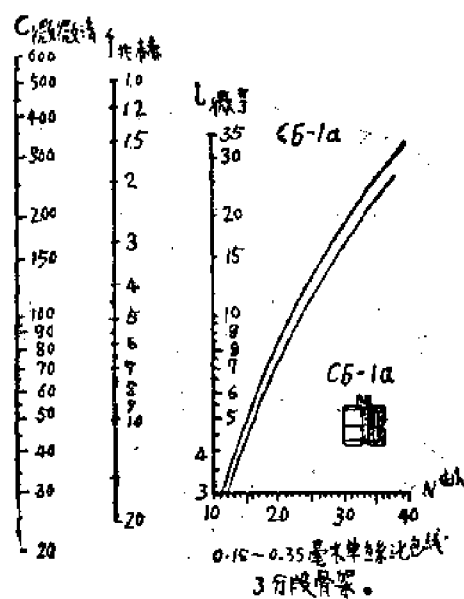
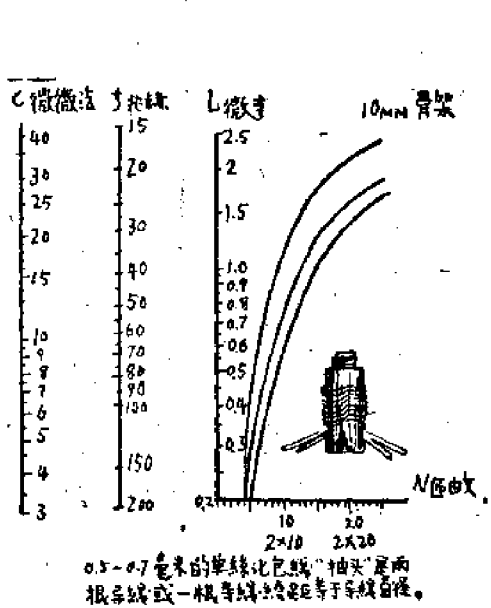


圖 7——1107 決定電感線圈匝數的計算曲線

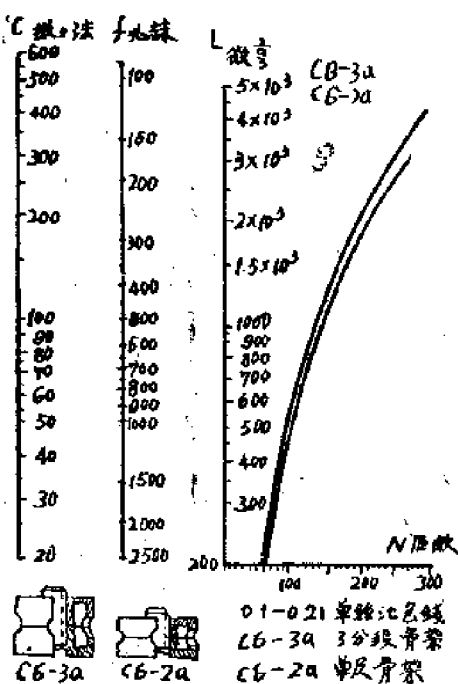
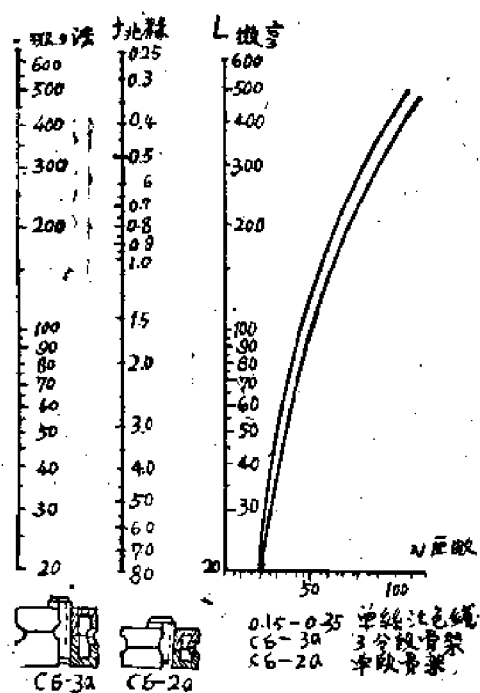
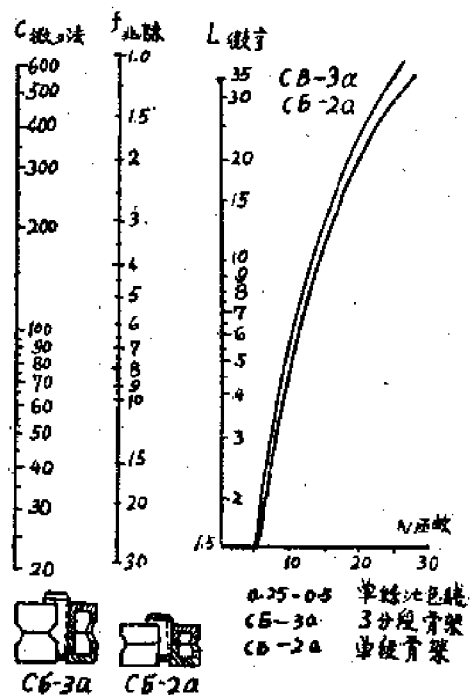
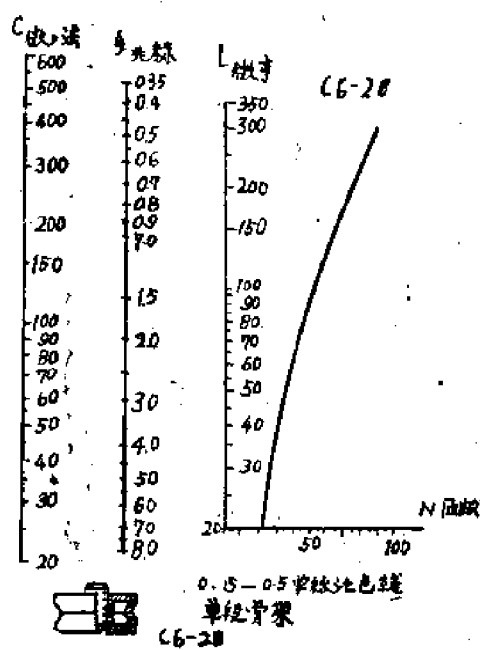


圖7——1108 決定電感繞圈匝數的計算曲線

此外，知道迴路电容量及工作頻率利用这些計算曲綫可以决定必須的电感量值。为了决定电感量須要把座标“C”上迴路电容量的点与座标“f”上工作頻率的点用直綫連接起来，延长这一直綫到与座标“L”相交其交点便是所要求的解答。

II. 非磁性芯子

非磁性芯子用来微調在短波及超短波波段的电感綫圈。制造芯子的材料是黃銅或銅。

最常用的非磁性芯子的形状示于圖7—1109。

对于綫圈來說黃銅及銅的芯子是一个短路匝，当移动芯子时它与綫圈的耦合改变了，因而，綫圈电感量也将变化，耦合愈紧則綫圈电感量愈小。除了减少电感量以外，非磁性芯子將給綫圈引入損耗，耦合愈紧，損耗也愈大。在圖7—1110示出了具有非磁性芯子的綫圈的品質因数的相对变化与其电感量相对变化的关系曲綫。

从圖7—1110的曲綫可見，当用芯子来改变4—6%的电感量时，將引起了綫圈品質因数降低8—10%。因此，当利用非磁性芯子时，通常以电感量相对变化不超过3—5%为限。

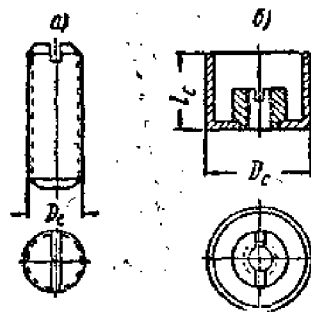


圖7—1109 非磁性芯子

a—圓柱形非磁性芯子，

b—杯形非磁性芯子，

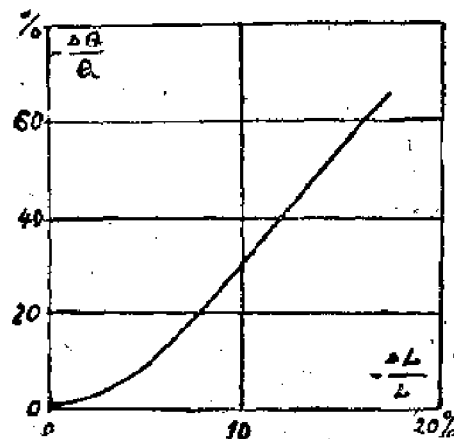


圖7—1110 由于綫圈的磁場区域内引入金属芯子而使綫圈品質因数变坏与—— $\frac{\Delta L}{L}$ （由于引入芯子而产生的电感量的相对变化值）的关系曲綫

当以等效短路匝代替芯子的影响后，具有非磁性芯子线圈的计算可以用一般方法进行。

更快地计算具有非磁性芯子的电感线圈可以利用图 7—1111 的曲线来进行，计算品质因数可以利用图 7—1110。

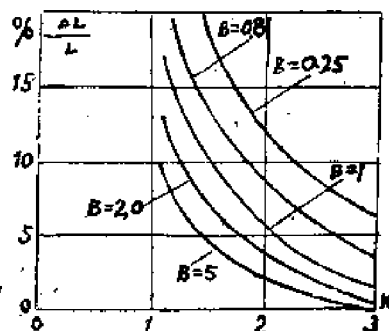


图 7—1111 按照电感量变化的范围计算芯子的有关尺寸的曲线

$B =$ 芯子的直径；
芯子的高度；

$K =$ 绕组的直径
芯子的直径。

具有非磁性芯子电感线圈的计算也可以按图 7—1107 的第一条计算曲线（下面的一条曲线）来进行。

§ 7—12 可变电感线圈—变感器

在某些类型的无线电设备中，回路的调谐并不是用可变电容器而是用可变电感器—变感器来进行的。

线圈电感量的改变可以用下列方法来实现：

1. 用改变线圈匝数的方法。
2. 用改变两线圈间的互感量的方法。
3. 用磁性芯子相对于线圈的移动的方法。
4. 用改变线圈铁芯的有效导磁率的方法。
5. 用非磁性芯子相对于线圈移动的方法。

上述每一种改变电感量的方法都在无线电设备中得到了应用，因此现在我们来讨论各种类型的变感器的结构和计算特点。

1. 改变匝数的变感器。

改变匝数的变感器最常用于短波发射机。这种类型变感器的结构和电路图示于图 7—1201。

变感器由线圈 1 组成，线圈的线匝分布在陶瓷骨架的槽中，骨架的两端置有两个接触环，这两个接触环相应地与绕组的始端及末端联起来。在接触环上放有固定接触刷

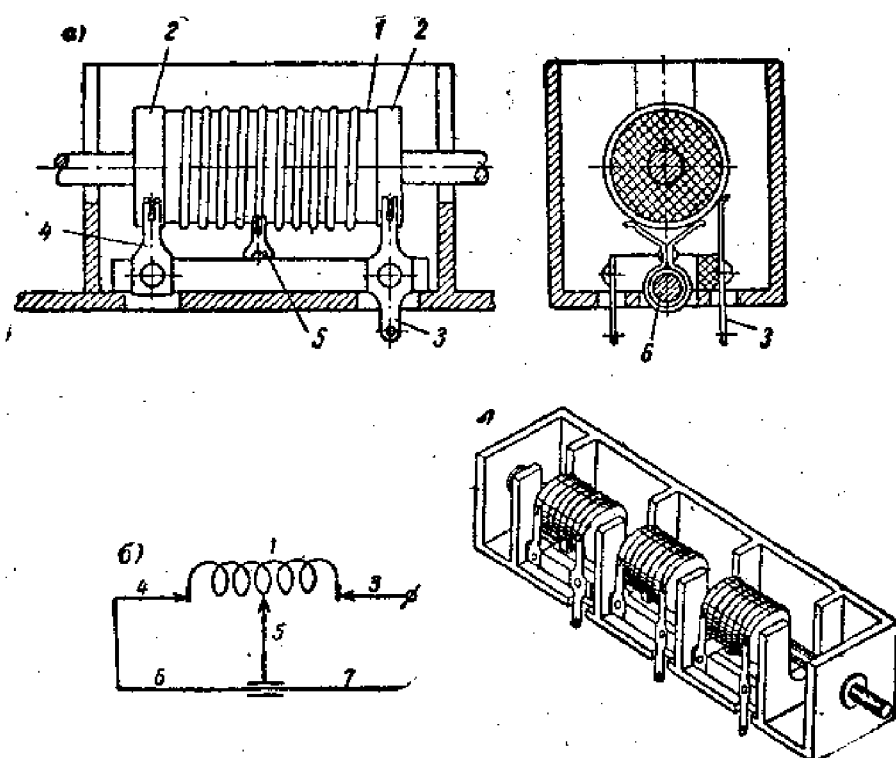


圖 7—1201 具有滑接点的圓柱形繞組式的變感器：

a—单个變感器的結構；6—原邊圈；B—變感器部件的結構

1—繞圈；2—接觸環（繞圈兩端的接觸環）；3及4—固定接觸刷子；

5—移動刷子；6—導向刷子；7—導向刷子引出線

3、4。可動接觸刷子5裝在套管形的導向裝置6上，並可以沿着軸移動。該軸與其中的一個固定接觸刷具有電氣上的連接。可動刷子接觸點與繞匝的導線具有弧面接觸。當轉動骨架時，可動刷子便沿着軸移動，因而改變了繞圈接入迴路中的匝數。

圖 7—1201 還示出了變感器組的結構，在這種結構中所有三個繞圈骨架都裝在公共的軸上，這是為了同時實現整個電路的調諧。

改變匝數的變感器繞圈也可以由平面螺旋式繞組作成，有時繞圈只有一匝，甚至數分之一匝。

在這種類型的變感器的結構中，常常用轉動可動接觸刷子（而不是轉動骨架）來實現電感量的調節。

這種類型變感器的結構很簡單，其嚴重缺點是存在滑動接觸，從而引入數值上相當大的和不穩定的接觸電阻。這種變感器的計算與單層間繞圓柱形繞圈的計算相同。

具有滑動接觸的變感器的復蓋系數 $K_L = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}$ 可以做得很大。

II. 互感變壓器。

這種類型變感器的結構示意圖示于圖 7—1202

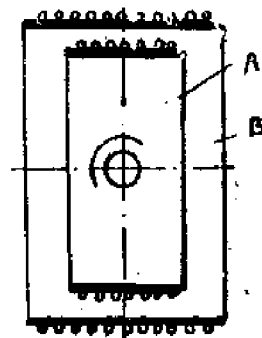


圖 7—1202 互感变换器

繞圈 A (轉子) 可以在固定繞圈 B (定子) 內轉動。轉子的繞匝或者是與定子繞匝串聯或者是並聯。

1. 當串聯時:

$$L_{\max} = L_c + L_p + 2M$$

$$L_{\min} = L_c + L_p - 2M$$

其中

L_c ——定子電感量

L_p ——轉子電感量

M ——定子與轉子間的互感量，當耦合係數為 K 時等於

$$M = \frac{K}{\sqrt{L_p L_c}}$$

當定子和轉子的電感量相同時復蓋係數等於

$$K_L = \frac{1 + K}{1 - K}$$

這樣一來復蓋係數隨着定子和轉子間耦合係數的增加而增大。

2. 當定子和轉子並聯時 (並聯用於較高頻段)

$$L_{\max} = \frac{L_c L_p - M^2}{L_c + L_p - 2M}$$

$$L_{\min} = \frac{L_c L_p - M^2}{L_c + L_p + 2M}$$

當 $L_c = L_p$ 時

$$K_L = \frac{1 + K}{1 - K}$$

這樣一來在結構相同的情況下串聯和並聯具有相等的復蓋係數。

這種變感器最常用的結構有三種:

1. 圓柱形的 (具有沿圓周分布的繞阻);

2. 圓柱形的 (具有沿圓柱體的母綫分布的繞阻);

3. 球形的 (具有沿球形表面分布的繞阻)。

具有沿圓周分布繞組的圓柱形變感器 (圖 7—1202) 不可能得到大的定子和轉子間

的耦合系数，因为要轉子在定子中轉动必滿足下列条件：

$$D_P \approx (0.6-0.7) D_C \text{ 及 } l_c \approx (0.6-0.7) D_C$$

其中 D_P 和 D_C 为轉子和定子的直径， l_c 为轉子的軸向长度。

所以这种类型变感器的复盖系数只能做到 $K_L = 4-5$ 。为了增加复盖系数可以在轉子中引入磁性芯子。

具有沿圆柱体母线分布的繞組的圆柱形变感器（圖 7—1203）有大的定子和轉子間的耦合系数（可达到 6—10），因为在这种結構中轉子和定子繞圈間的空隙可以做得較小。

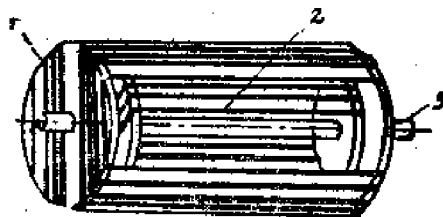


圖 7—1203 沿圆柱体母线繞制的圆柱形变感器

1—定子 2—轉子 3—軸

在球形变感器（圖 7—1204）中，轉子及定子都是球面的部分。由于定子和轉子可以放得很近，因而可以得到更大的复盖系数（达 12—20）。

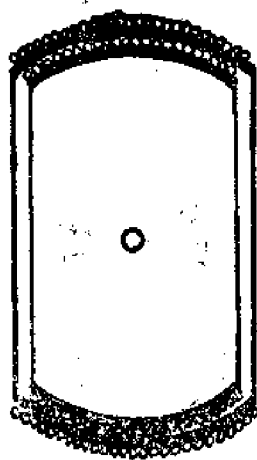


圖 7—1204 变感器

球形变感器的定子及轉子可以用塑料或陶瓷做成，并用燒滲法敷上繞匝。为了增加耦合系数，可将定子的繞匝敷在定子的內表面上。

球形变感器的可貴特性是具有接近于直綫頻率式的轉角的变化規律。

互感变感器的計算方法如下：首先是根据要求的复盖系数 K_L 确定 L_{max} ， L_{min} 及耦合系数 K 。然后选定 L_c 求得 L_p 。再用一般方法进行定子和轉子繞圈的結構計算，并使它們之間的耦合系数等于所确定的数值。

Ⅲ. 移动磁芯的变感器

这类变感器简称为铁磁变感器，主要采用于接收机中。按照芯子的材料和磁路结构，铁磁变感器可以得到10到120或更大的复盖系数。

在圖7—1205示出了铁磁变感器的两种结构。结构“B”的复盖系数比结构“a”约大1.5—2倍。

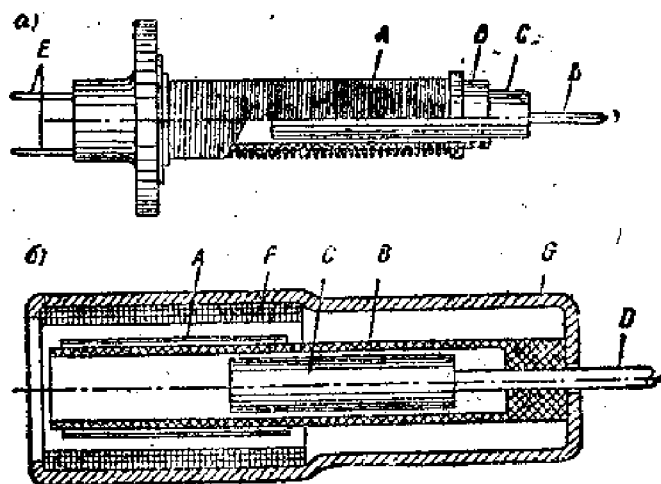


圖7——1205 铁磁变感器

A是繞組；B是塑性材料的繞圈架；C是铁芯；D是拉杆；E是引線；F是磁生材料制的外加圓柱；G是屏蔽罩。

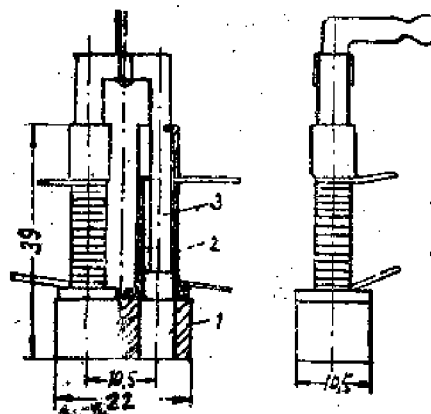


圖7——1206 铁磁变感器的结构

1—铁淦氧磁扼 2—繞圈 3—π形铁淦氧芯子

圖7—1206所示的铁磁变感器结构可以得到复盖系数为115。这样大的复盖系数是因为把繞圈分成两部分并采用了π形芯子（当芯子全部插入时可构成空隙不大的磁路）。

芯子的材料用铁淦氧（ $\mu_0=1000$ ）做成的。

铁磁变感器可以用作数个迴路統調。圖7—1207示出了双調諧迴路組的大致結構，在圖7—1208示出了三調諧迴路組的結構。

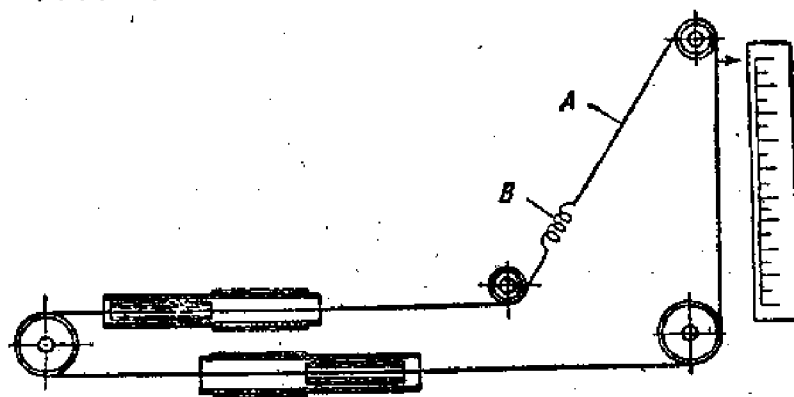


圖7—1207 具有铁磁变感器的調諧單位

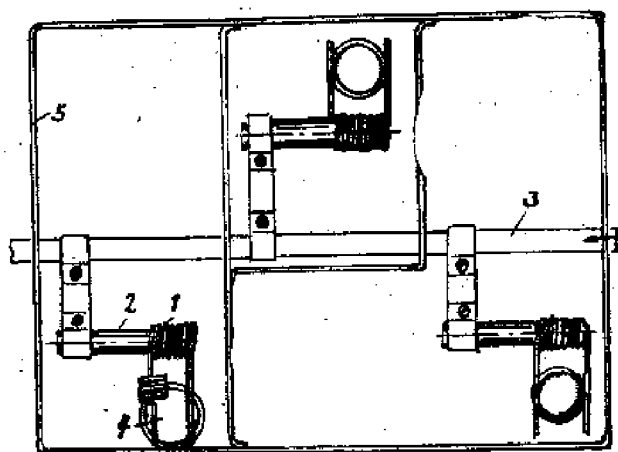


圖7—1208 具有铁磁变感器的超短波調諧組合

1—线圈 2—芯子 3—导向板(拉杆) 4—电子管管座 5—机壳

可以采用不同直径的芯子或者不同线圈分布的线圈来实现各迴路的跟踪。

铁磁变感器的计算与磁性芯子线圈的计算相同。

IV. 改变线圈磁芯有效导磁率的变感器

这种类型的变感器称为磁性变感器。

大家知道，磁芯的有效导磁率与恒定磁场有关，磁性变感器就采用了改变直流磁场的方法来改变其电感量。有效导磁率与恒定磁场的关系决定于可逆导磁率。

可逆导磁率是当磁芯中的恒定磁场大大超过交变磁场时的导磁率。

在圖7—1209中示出了可逆导磁率与恒定磁场的关系。

对于铁氧体—2000，可逆导磁率及 $\tan\delta$ 对恒定磁场强度的关系示于圖7—1210。

必須指出，可逆导磁率的温度稳定性强烈地依赖于恒定磁场，如圖7—1211所示。

在这种情况下为了得到大的复盖系数，应该选用起始导磁率大的磁性材料并采用閉合

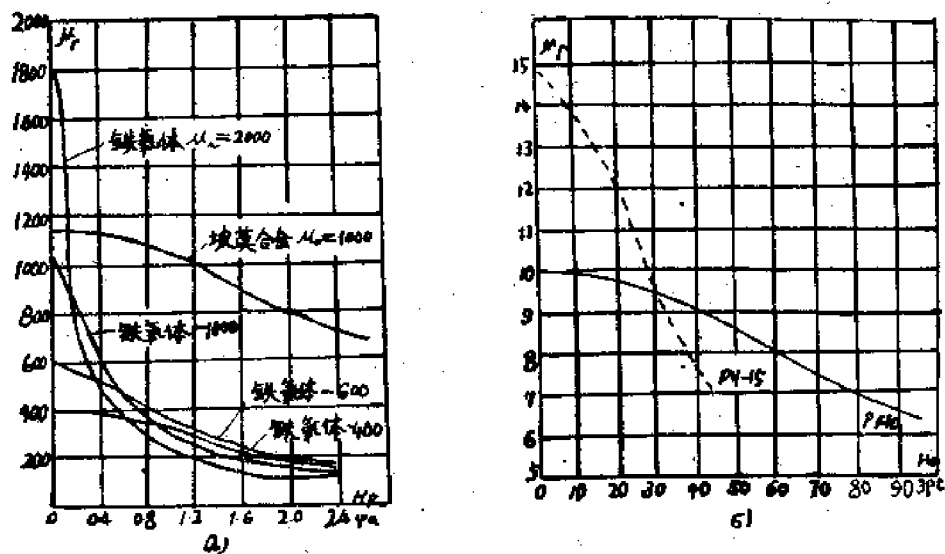


图 7——1209 铁氧体和坡莫合金的可逆导磁率对恒定磁场强度的关系

a. 对于高导磁率铁氧体和坡莫合金 ($f=100$ 仟赫, $B_m=10$ 毫奥斯特)
 b. 对于高磁导率铁氧体: 铁氧体 P4-10 及铁氧体 P4-15.

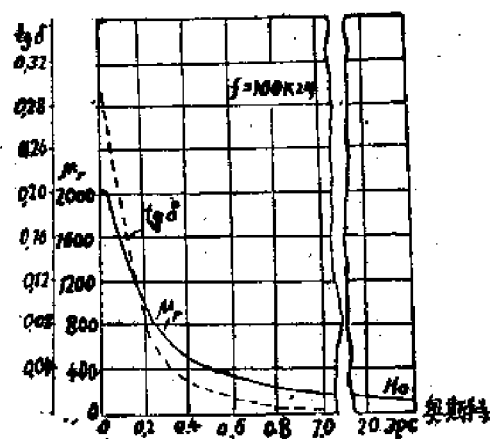


图 7——1210 铁氧体——2000 中可逆导磁率及损耗角正切对恒定磁场强度 H 的关系, 当 $f=100$ 仟赫及 $B_m \approx 0$ 时。

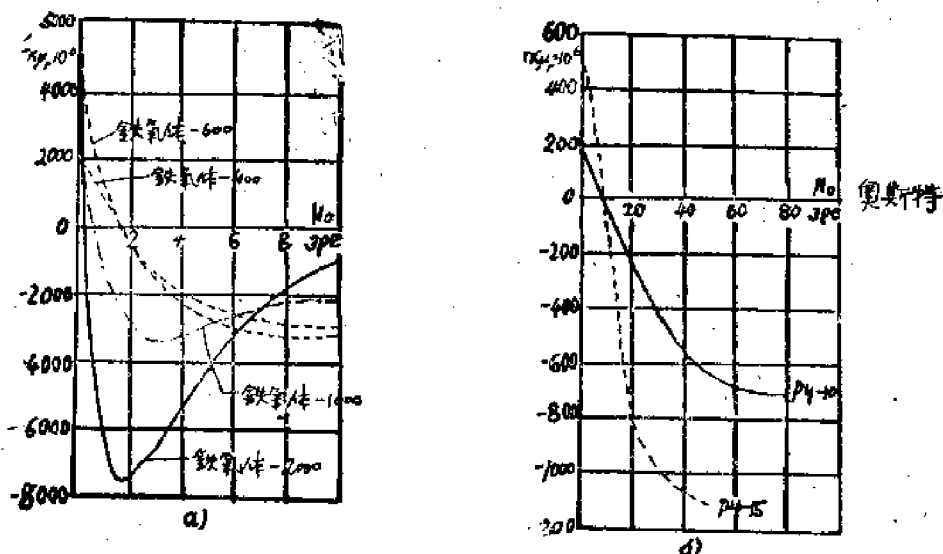


圖 7 — 1211 各种牌号铁淦氧的可逆导磁率温度系数与恒定磁场的关系曲线

- 8. 具有高导磁率的铁淦氧,
- 6. 具有低导磁率的铁淦氧.

磁路。

磁性变感器中有两种调谐方法：电气的和机械的。

如果采用 $\mu_{\text{H}} = 25$ 的铁淦氧为磁芯，并且在频率为 3 兆赫的情况下， Q 值为 100—120，则这种结构的复盖系数 $K_L = 2$

在更高频率时，磁性变感器的结构有些改变。电感线圈绕在管状铁淦氧芯子上，这个芯子闭合了电磁铁的 Π 形磁路。电磁铁磁路也用铁淦氧做成。

电气调谐的磁性变感器可以很容易地实现远距离控制。

具有机械调谐的磁性变感器（两组的）结构示于圖 7 — 1213。

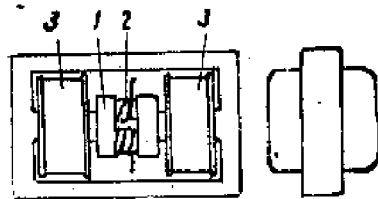


圖 7 — 1212 电气调谐的磁性变感器

- 1—柱形铁淦氧磁芯
- 2—高频线圈
- 3—电磁铁线圈（每个线圈有200匝并装在阿姆可磁芯上）

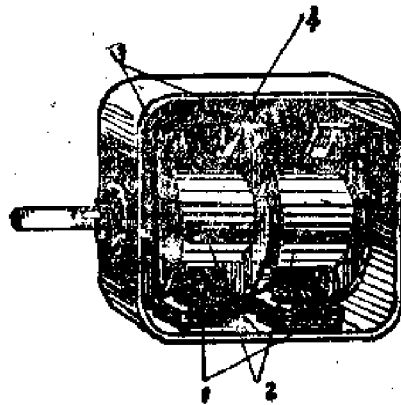


图 7—1213 机械调谐的磁性变感器 (两组的)

1—在柱形铁氧磁芯上线圈

2—磁铁

3—及 4—磁端

其中的每一组由一个圆柱形永久磁铁 (它有两个板状磁极) 及一个 Π 形铁氧磁芯的线圈所组成的。磁极板片具有特殊的形状, 能绕轴转 250° 角。在零度位置上, 磁极板为铁壳所短路。当自 0° 转到 250° 时穿过线圈芯子的磁通量按一定的规律增长, 这个规律决定于磁极板片的形状, 这时线圈电感量自 $L_{\max}$ 变到 $L_{\min}$ 。

中间磁极板片的厚度为 1 毫米, 侧旁板片为 0.5 毫米。侧片具有径向裂缝, 用以跟踪。

为了消除各分级间磁场的相互影响, 应使永久磁铁的同名极相毗邻并安装在黄铜轴上。

当磁芯材料为铁氧体-600, 磁芯体积为 6 厘米³, 永久磁铁在长波及中波段内的 Q 值为 50—80 时, 复盖系数可达 120。

在选定了材料及已知回路工作频段的情况下, 磁性变感器的计算根据 μ_r 对 H_0 的关系来进行。

V. 非磁性芯子相对于线圈移动的变感器

这种变感器最常用的结构是以定子为电感线圈, 以短路圈为转子的结构。这种变感器结构常用于发射机中。为了得到直线频率式的调谐规律, 转子可作成球形, 在它的表面上复有一匝或两匝的短路圈, 转子的转动轴与定子轴线成 45° 倾角, 这时转角范围为 230° 。这种类型变感器的主要零件的形状示于图 7—1214。

线圈电感量的改变也可以利用非磁性材料作成的芯子或圆盘来实现 (见图 7—1215 及图 7—1216)。

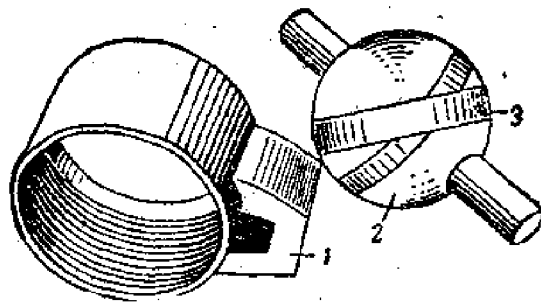


圖7——1214 具有短路圈的變感器 1—定子；2—轉子；3—短路圈

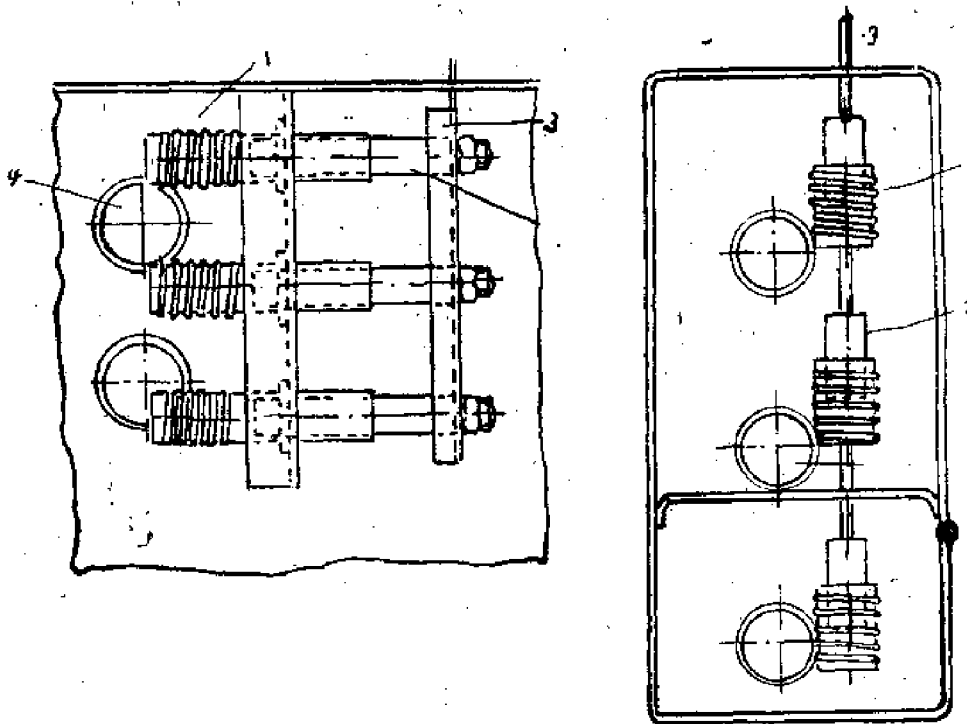


圖7——1215 具有非磁性芯子的變感器的超短波調諧組合

- 1—線圈 2—芯子 3—導向板（拉桿）
4—電子管管座 5—機壳

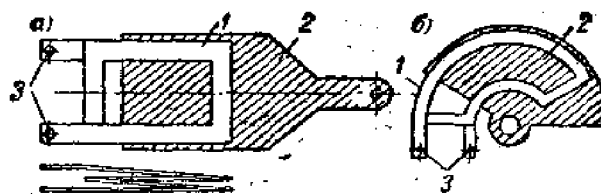


圖1——1216 具有屏蔽的變感器

- 1—扁帶做成的兩面線圈；2—銅或黃銅的屏蔽；3—引出線

§7-13 米波发射机的回路线圈

在短波发射机中利用了三种型式的回路线圈：

1. 固定电感线圈。
2. 具有短路匝的线圈。
3. 具有滑动接触的线圈。

短波发射机线圈的基本特点是功率很大，往往须采用强制水冷或风冷。所以它的结构和计算也具有某些特殊之点。

I. 固定电感线圈：

固定电感线圈应用主用可变电容器进行调谐的短波发射机回路中。

这种线圈通常为单层间绕绕组。

当级的功率达100—200瓦时线圈用数毫米直径的铜导线制造，绕制在圆柱形的高频陶瓷或胶合云母的骨架上。

当级的功率达1—2千瓦时，线圈用直径小于10—12毫米的铜导线或铜管制造。为了减小损耗及固有电容骨架制成梳形或者把线圈紧固在介质条板上。

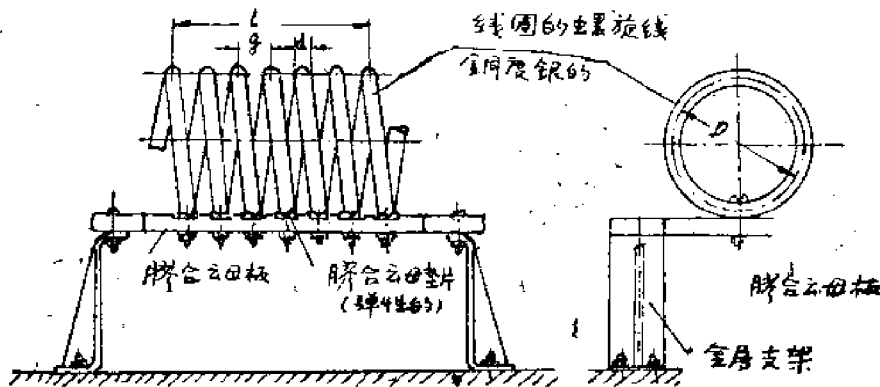


图7—1301 紧固在胶合云母板上的固定电感线圈

在后一种情况下线圈可利用螺栓紧固在板上。在条板与线圈之间垫有弹性金属垫片，以防止胶合云母过热并减弱加在板上的局部机械应力。只有铜管或铜条的直径不小于8—12毫米的这种结构才能得到足够的机械强度。

当级的功率大于2千瓦时螺旋线圈一般用直径为10—25毫米的铜管做成。线圈一般是做成无骨架的。

为了得到足够的机械强度，可将线圈紧固在2个到3个绝缘子上（图7—1302）。

表7—17中列出了工作在发射机中的固定电感线圈的基本数据。

除了导线直径和绕距的选择外线圈的计算可用一般方法进行。线圈导线直径大致可以由表7—17来决定。在水冷时管子的直径应相应于连接管用来联结电子管水套和线圈的螺旋线圈的截面。

绕距的选择决定于允许的电场强度（与骨架材料及紧固方式有关，在无骨架线圈中决定于空气中的允许电场强度（以及决定于结构的考虑。

表 7-17

波 段 (米)	該 級 功 率 (仟瓦)	該級工 作类型	綫圈中 的有效 電流量 (安)	冷 却	導 線 截 面	導線直 徑d (毫米)	螺旋綫 的固定 方 式	綫圈的 電感量 L (微亨)	綫圈直徑D (毫米)	綫圈匝數 n	綫圈長度 l (毫米)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	13
1	75-100	0.1	功率放大	1-2	对流	○	2-2.5	骨架	125	18	110
2	50-100	0.1-0.2	”	1.5-3	”	○	2.5-3	”	125	19	60
3	33-70	0.15-0.25	”	2-4	”	○	3-4	”	125	6	40
4	75-150	0.5	”	3-6	”	○	5-6	梳形骨架	150	18	173
5	50-100	0.5-0.75	”	4-7	”	○	6-8	”	100	14	173
6	30-50	0.75-1	”	5-8	”	○	8-10	無骨架或 在板上	100	12	173
7	24-36	1-2	”	6-10	”	○	10-12	”	80	12	173
8	15-27	2-3	”	10-15	”	○	12-15	無骨架	60	19	173
9	15-90	5-6	”	40	水冷	○	15	”	180	10	300
10	10-90	15-20	电话工作	50	”	○	20	”	250	14	580
11	15-90	18-20	板調	90	”	○	25	”	400	7	3500
12	15-50	100-120	”	200	”	○	40	”	600	4	500

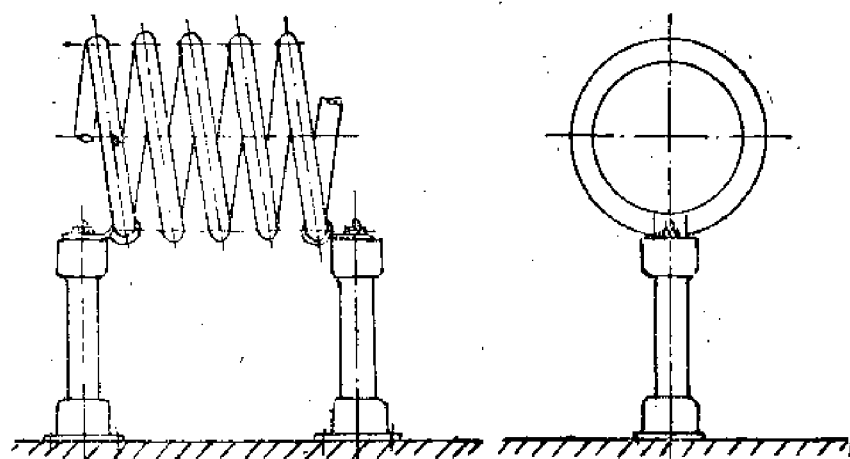


圖 7 — 1302 固定在絕緣子上的無骨架固定線圈

根据允許的場强，允許的最小繞距 $\tau_{\min}$ （厘米）应为：

$$\tau_{\min} = \frac{U_{k\max}}{NE_g} + d \text{ [厘米]} \quad (7-1301)$$

其中： $U_{k\max}$ ……線圈中的最高电压[仟伏]

N ……匝数

E_g ……允許电場强度[仟伏/厘米]

d ……导線或銅管的直径[厘米]

E_g ：对于陶瓷为 1—1.5 仟伏/厘米

对于胶合云母为 0.7—1 仟伏/厘米

对于空气为 5 仟伏/厘米

根据結構的考虑出發，应取：

$$\tau = (2-2.5) d$$

線圈的直径要选择得使螺旋線很容易弯曲，为此：

$$D \geq 10d \quad (7-1303)$$

II. 具有短路面 的線圈：

具有短路面的線圈应用于發射机中，当复盖波段是用改变線圈和接入电容器来实现时它作为頻率的微調。

具有短路面 的線圈結構的例子示于圖 7—1303。

圖 7—1303 的線圈应用在功率为 15 仟瓦的电报發射机的輸出級。該級是推挽电路，电子管为 Г-450，用水冷。为了联接水冷系統在線圈端头焊上法兰盘，在中間線圈上焊入与螺旋管相通的管子，以便出水。这样一来水在压力之下从線圈端头进入，从中間出来。線圈的端头借助于法兰盘紧固到电子管的水套上去，在線圈的中間点高频电位等于零，把線圈紧固在支座絕緣子上。螺旋線用直径为 20 毫米的銅管做成。

短路面放在線圈的中心。短路面的軸的一端固定在軸承上，軸承固定在支座絕緣子上，而短路面軸的另一端插入焊接在螺旋線中間匝上的止推軸承中。

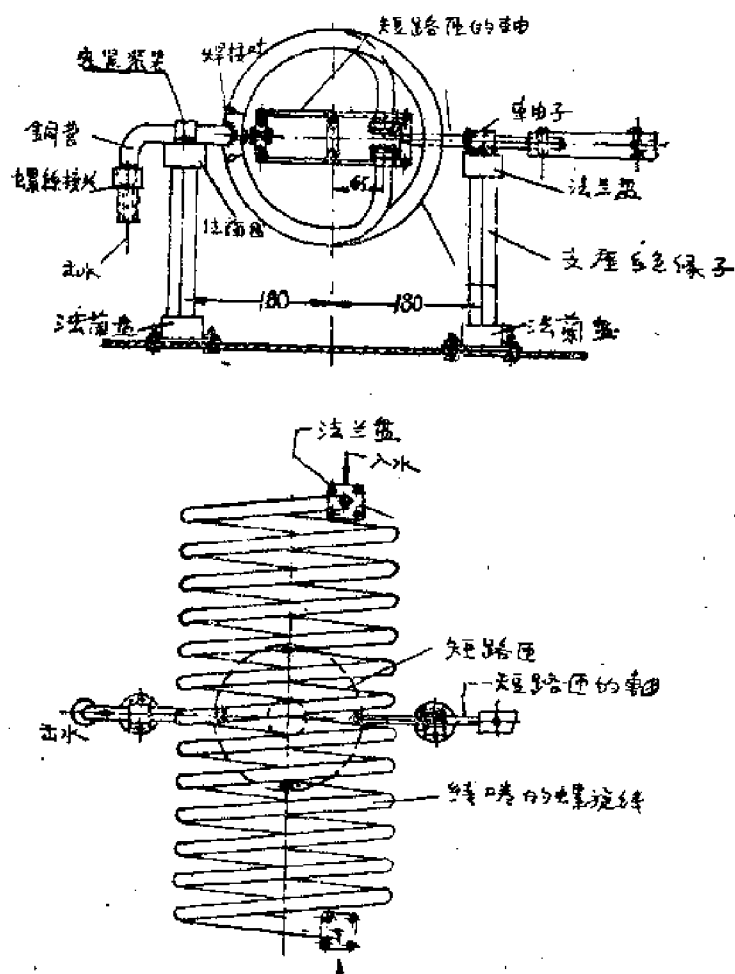


圖7—1303 具有短路匝繞圈

这种系統的最大电感量等于

$$L_{\max} = L_K$$

最小电感量

$$L_{\min} = L_K - \frac{M_{\max}^2}{L_B}$$

其中：

L_K ——綫圈的电感量；

L_B ——短路匝的电感量；

$M_{\max}$ ——綫圈与短路匝間的互感量（耦合最紧时）。

短路匝电感量 L_B 及互感量 M 按以前列出的公式計算。

互感量也可按下式計算：

$$M_{\max} = N \cdot F \sqrt{\frac{D D_B}{2}} \quad (\text{微亨}) \quad (7-1304)$$

其中： D ……綫圈直徑（厘米）

D_B ……短路匝直徑

N.....綫圈匝数

F.....参量X的函数, X由下式确定;

$$X = \sqrt{\frac{(1 - \frac{D_B}{D})^2 - \frac{l_1^2}{D^2}}{(1 + \frac{D_B}{D})^2 + \frac{l_1^2}{D^2}}}$$

这里: l_1 ——短路匝与半个綫圈的中間匝的距离(見圖7—1304)。

函数F見表7—18。

表7—18

X	F	X	F	X	F	X	F
0	—	0.110	0.02032	0.41	0.00574	0.71	0.00139
0.010	0.05018	0.120	0.01928	0.42	0.00551	0.72	0.00131
0.011	0.04817	0.130	0.01832	0.43	0.00530	0.73	0.00123
0.012	0.04787	0.140	0.01743	0.44	0.00509	0.74	0.00115
0.013	0.04687	0.150	0.01651	0.45	0.00488	0.75	0.00107
0.014	0.04594	0.16	0.01583	0.46	0.00469	0.76	0.00100
0.015	0.04507	0.17	0.01515	0.47	0.00450	0.77	0.00093
0.016	0.04423	0.18	0.01449	0.48	0.00432	0.78	0.00085
0.018	0.04278	0.19	0.01387	0.49	0.00414	0.79	0.00080
0.020	0.04146	0.20	0.01328	0.50	0.00397	0.80	0.00073
0.022	0.04027	0.21	0.01273	0.51	0.00380	0.81	0.00067
0.024	0.03918	0.22	0.01221	0.52	0.00364	0.82	0.00062
0.026	0.03818	0.23	0.01171	0.53	0.00349	0.83	0.00056
0.028	0.03725	0.24	0.01124	0.54	0.00334	0.84	0.00051
0.030	0.03639	0.25	0.01079	0.55	0.00319	0.85	0.00045
0.032	0.03558	0.26	0.01037	0.56	0.00305	0.86	0.00041
0.034	0.03482	0.27	0.00996	0.57	0.00291	0.87	0.00035
0.036	0.03411	0.28	0.00957	0.58	0.00278	0.88	0.00032
0.038	0.03343	0.29	0.00920	0.59	0.00265	0.89	0.00028
0.040	0.03279	0.30	0.00884	0.60	0.00253	0.90	0.00024
0.042	0.03218	0.31	0.00850	0.61	0.00241	0.91	0.00020
0.044	0.03160	0.32	0.00817	0.62	0.00229	0.92	0.00017
0.046	0.03105	0.33	0.00786	0.63	0.00218	0.93	0.00014
0.048	0.03052	0.34	0.00756	0.64	0.00207	0.94	0.00011
0.050	0.03001	0.35	0.00727	0.65	0.00193	0.95	0.00009
0.060	0.02775	0.36	0.00699	0.66	0.00183	0.96	0.00007
0.070	0.02584	0.37	0.00672	0.67	0.00176	0.97	0.00006
0.080	0.02429	0.38	0.00646	0.68	0.00168	0.98	0.00002
0.090	0.02276	0.39	0.00621	0.69	0.00157	0.99	0.00000
0.100	0.02148	0.40	0.00597	0.70	0.00148	1.00	0

短路匝的直径根据线圈匝与短路匝间空气隙的抗电强度来选择。

建议用以下式子进行计算：

1. 对于圆管线圈：

$$D_L = D - \frac{d + d_B}{2} - (1.5 \sim 3) \text{ (厘米)} \quad (7-1305)$$

2. 对于扁平截面的环形线圈

$$D_c = D - \frac{d + b}{2} - (1.5 \sim 3) \text{ (厘米)} \quad (7-1306)$$

其中： d …… 线圈管的直径（厘米）

d_B …… 短路匝管子的直径（厘米）

b …… 扁平环带的宽度（厘米）

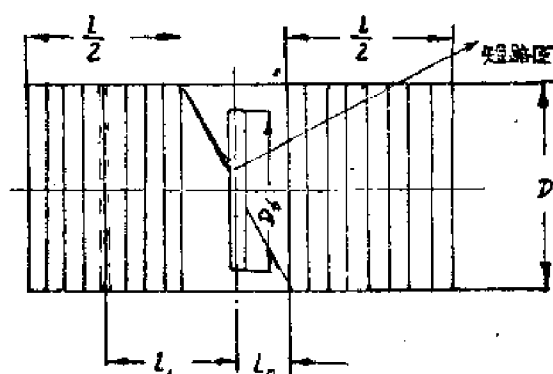


圖 7—1304 計算短路匝与线圈間的互感量用的尺寸示意图

为了伸出短路匝的转动轴，线圈的中间的两面的绕距应加宽，并取等于 $2l_0$ 。（参见圖 7—1304）

建议取 $l_0 = 1.5 \sim 2$ 厘米

具有短路匝的线圈的计算过程如下：

由于 l_0 的存在及机架的屏蔽作用，线圈的实际电感量将降低，为此，计算时按要求的电感量增大 10%，作为给定的电感量，然后按这个增大了的电感量用一般的方法来计算线圈。线圈绕距的决定与固定电感线圈一样。短路匝的直径， I_{max} 及 I_{ind} 的计算按上述公式进行。在计算短路匝以后要按下式（对于铜短路匝）来校验短路匝的过热：

$$t = 3.3 \frac{I_{B\Phi\Phi}^2}{p_B^2} \sqrt{f} \cdot 10^{-4} \quad (7-1307)$$

这里： t —— 过热温度（°C）

p_B —— 短路匝截面的周界（厘米）

f —— 工作频率（赫）

$I_{B\Phi\Phi}$ —— 在短路匝中电流的有效值（安）

$$I_{B\Phi\Phi} \approx I_{K\Phi\Phi} \frac{0.8 M_{max}}{L_B}$$

其中： $I_{K\Phi\Phi}$ —— 线圈中的电流有效值（安）

如果短路匝的过热超过 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，則必須强制冷却或者重新計算。

III. 滑动接触的綫圈：

滑动接触的电感綫圈在短波發射机中得到了广泛的应用。因为采用这种綫圈时可以增加波段复盖系数，减少發射机的尺寸和价格。

在滑动接触綫圈中通常都用短路其部分綫匝的方法来实现电感量的平滑变化。

用于单边級的該种綫圈的电路圖列于圖 7—1305。

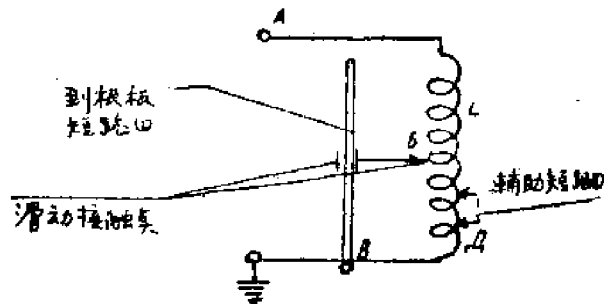


圖 7—1305 单边滑动接触綫圈的电路圖

点B及B間的綫匝是利用滑动接触点及短路臂来短路的。在点A及B間的綫匝是工作的部分。在点Γ及A間放有輔助短路桥，以便短接相邻綫匝。輔助短路桥是用来使綫圈不工作部分所組成的迴路不致調諧于工作頻率或其諧波。

圖 7—1306列出了推挽級綫圈的电路圖。在这种綫圈中工作綫匝在点 A_1 、 B_1 及 A_2 、

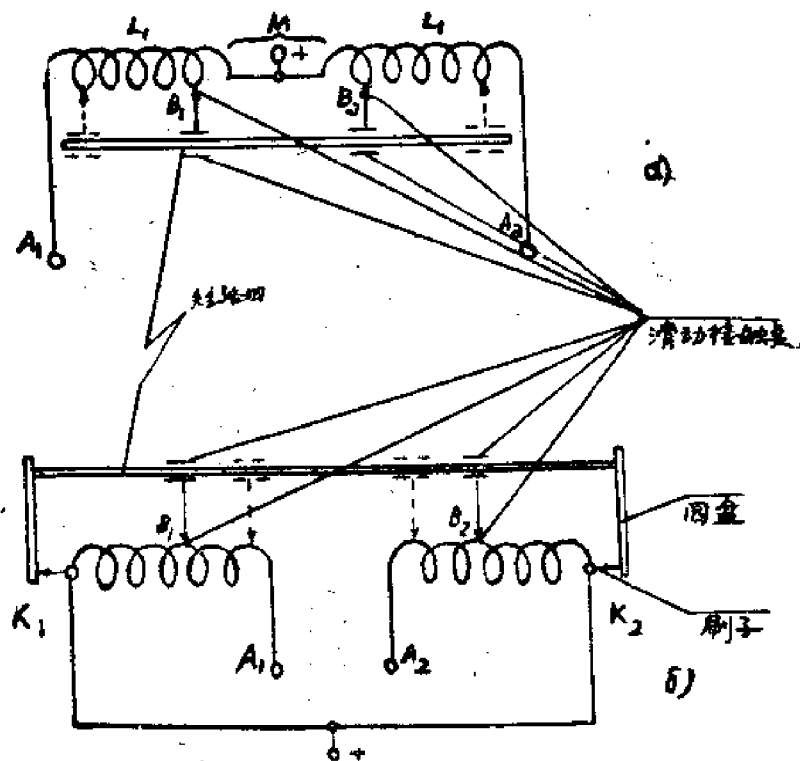


圖 7—1306 推挽滑动接触綫圈的电路圖

B_2 之間，用虛線來表示當最大電感值時的接觸點位置。在圖7—1306“ δ ”電路中的最小電感量小於圖7—1306“ α ”電路中的最小電感量。但是圖 α 線圈的結構比 δ 圖的簡單，因為在這種結構中是四個滑動接觸點，而不是六個（在電路“ δ ”中有兩個附加滑動接觸點 K_1 及 K_2 ）。有了附加接觸點增加了損耗並降低線圈穩定性。選擇那一種線圈結構按所要求的最小電感量而定。

工作在19—90米波段的15千瓦板調發射機輸出級的推挽線圈可以作為滑動接觸電感線圈結構的例子（圖7—1307）。

這種線圈的電路圖相當於圖7—1306 δ 。

推挽線圈由兩個稱為“螺旋線”的半徑圈所組成，螺旋線是用正方截面的銅管按不同的方向繞製成，每一個有 $7\frac{1}{4}$ 匝。螺旋線的電感量為15微亨。線圈用水冷。螺旋線的匝固定在陶瓷棒3上，陶瓷棒緊固在鋁矽合金的十字形架子4上。十字形架子用角鋼5緊固在機架上。陶瓷軸6穿過線圈，陶瓷軸借助於軸承7裝固在十字形架子上。轉軸用伸到前機箱面板上操縱輪8通過緩動裝置來轉動。

黃銅集流盤10利用支架9牢固地緊固在軸上，在集流盤上對稱地緊固上。圓銅管做成的短路器11及陶瓷棒做成的平衡器12。

在短路器上裝有（對稱於線圈中心）兩個接觸系統13，它們可以對稱地沿短路銅管移動。接觸系統13各有兩個可動接觸點，其中的一個包住了螺旋管，而另一個包住了短路器。

在每個螺旋管的外面一匝上緊固有刷子14，它保證了最後幾匝與集流盤10的接觸。在螺旋管的端頭有凸緣接頭15，用以聯接螺旋管和水冷系統。

電感量的調節通過以下過程：當轉動軸6時短路器11同時與它轉動。在短路器上沿圓柱體的母綫上有切槽，在其中插入接觸系統的梢釘，這樣阻止了接觸系統13的轉動，接觸刷子16包住了綫匝管子，所以當轉動轉軸時迫使接觸系統隨着螺旋管的綫匝沿着短路器作直綫移動。為此，螺旋管端頭便與接觸系統的綫匝短接，而螺旋管的右繞組和左繞組便可以對稱地改變右綫圈和左綫圈的匝數。

現在我們來討論這種線圈各單個零件的結構特點（從功率大的觀點出發）。

1.螺旋管：螺旋管可以用圓的、長方形的、T形及方形截面的導綫作成。

導綫的截面及其尺寸是根據以下兩方法選擇：

1)導綫截面應保證給定的線圈尺寸。

2)應保證導綫與接觸系統的刷子之間具有必須接觸面。

圓截面導綫不能保證與刷子的良好接觸，因為很難保證螺旋管綫匝的均勻性，所以刷子可能在某些位置上與綫匝的接觸不良。參見圖7—1308。

因此圓截面導綫幾乎不應用於滑動接觸的電感線圈中。

長方形截面導綫圖7—1309可以用來製造1—2千瓦功率級的螺旋管。

當大的功率時長方形截面的導綫仍不能保證與刷子的可靠接觸。

T型截面的導綫廣泛地用來製造功率約為1—2千瓦的螺旋管。因為這種截面的導綫便於緊固在陶瓷柱上（圖7—1310）。

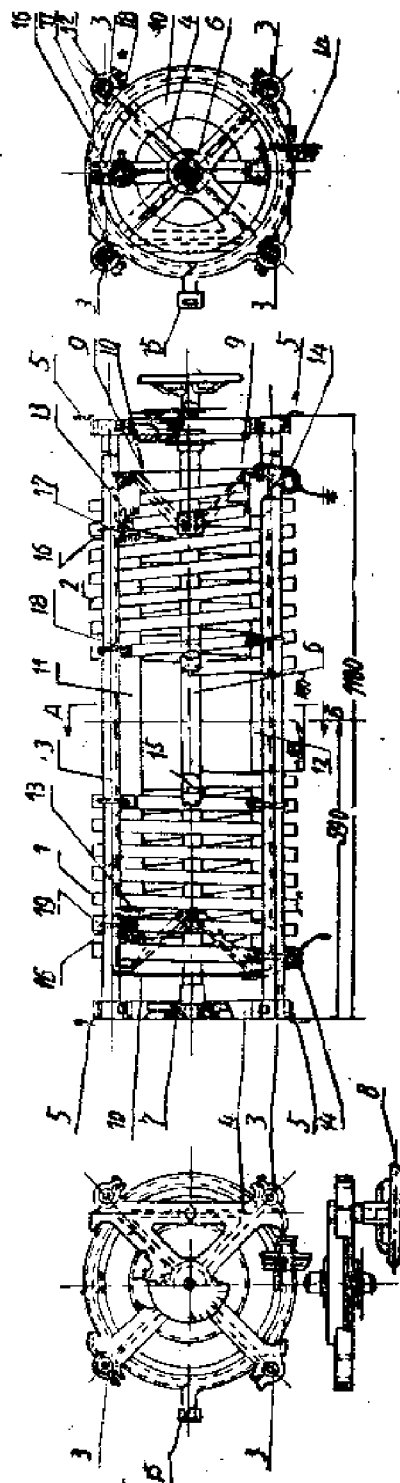
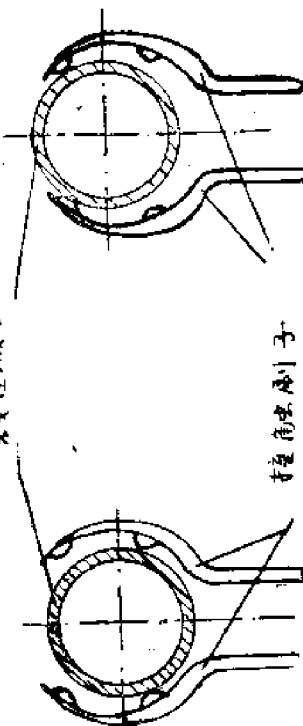


圖 7—1307 入_{max}=90米, p₀=15(瓦), L₁=15微亨的短波发射机功率級通路樣圖

- 1 左螺旋簧 2 右螺旋簧 3 陶瓷簧 4 鋁合金十字形架子 5 角鋼 6 陶瓷軸
7 彈簧軸承 8 彈簧軸 9 支架 10 彈簧盤 11 彈簧盤 12 陶瓷不銹器
13 可動磁軸承 14 磁子 15 磁子 16 磁子 17 磁子 18 磁子 19 磁子

線圈磁子

磁角磁子



線圈磁子

線圈磁子

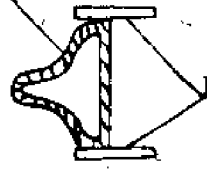


圖 7-1308 磁子與磁面與磁線接觸而之磁接觸的磁子

圖 7—1309 長方磁面磁線

圖 7—1310 T形磁面磁子

陶瓷柱上按繞距的距离的各点做有沟槽，并在槽内进行金属化。螺旋管的线匝可焊到金属化层上，以保证可靠的固定及消除线匝与瓷柱间因存在空隙而产生打火。

由于同样的原因（即与长方形截面导线时相同），T型截面导线不应用于大功率。

在功率大于2千瓦的级中，滑动接触线圈中采用了正方形截面管子来制造螺旋管（图7—1313）。

由于导线侧表面很大，线匝与刷子之间即使在线匝直径不均匀的情况下也可得到可靠的接触。

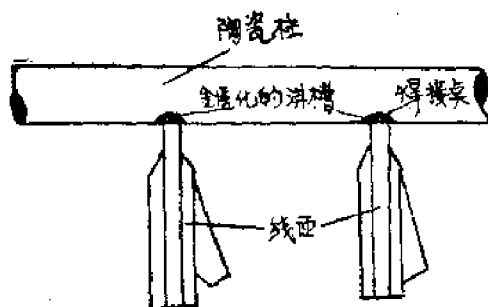


图7—1311 T型截面线匝的固定

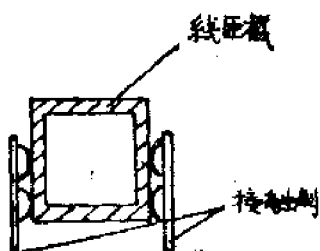


图7—1312 正方形截面管子

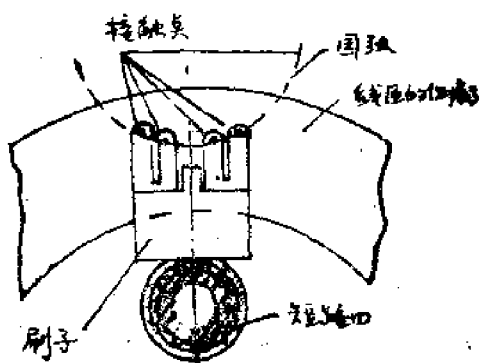


图7—1313 刷子接触点沿线匝侧表面的分布

大的导线侧表面允许刷子接触点按圆弧分布，这样也可增加系统的寿命（在这样分布接触点时导线侧表面的磨损降低了）。

当正方导线截面时接触系统的结构也比较简单，螺旋管本身在机械上也较可靠。

螺旋管在陶瓷柱上的紧固应保证螺旋管有足够的机械强度并消除线匝与瓷柱间的打火。

为了在大功率时不增加线匝尺寸，有时不将每一个螺旋管线匝都固定在瓷柱上，而是每隔一个线匝进行固定（因为空气的电气强度大于沿陶瓷表面的击穿电压，这样做可以降低对匝间绝缘的要求），此时对于相邻线匝可在不同的柱子上固定。把螺旋管线匝紧固到柱子上的最简单的方法示于图 7—1314。

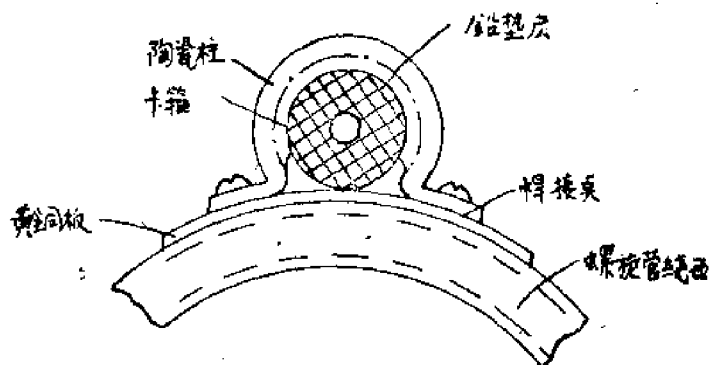


图 7—1314 把螺旋管线匝紧固到陶瓷柱上的方法之一

为了使柱子不与螺旋管的所有线匝接触，在线匝紧固点上焊上相应厚度的黄铜垫片。为了使拉紧卡箍时，柱子上所产生的压力均匀（即不形成局部压力点），在柱子上套上铅的垫层。当用图 7—1314 所示的方法来紧固线匝时，线圈的螺旋管应该制造得足够准确，否则由于线匝直径的不均匀以及柱子的弯曲将使柱子产生很大的机械应力，甚至会使陶瓷柱折断。

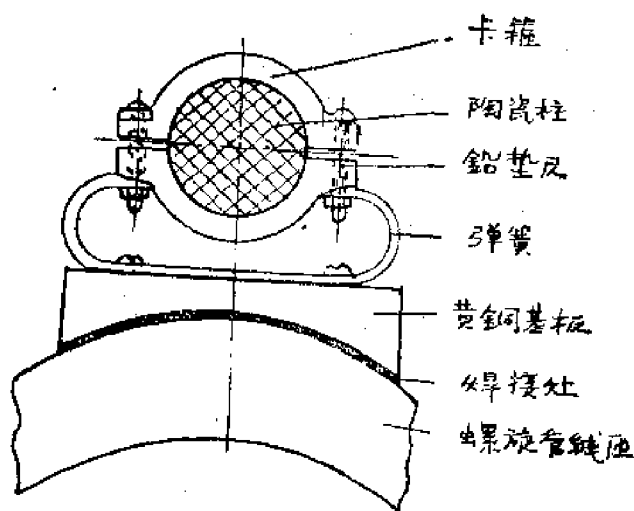


图 7—1315 把螺旋管线匝紧固到陶瓷柱上的方法之二

当采用图 7—1315 和 7—1316 所示的紧固方法时，对螺旋管制造准确度的要求可以降低。其中在图 7—1316 所示的结构里可以利用螺母改变柱与匝之间的距离，补偿螺旋

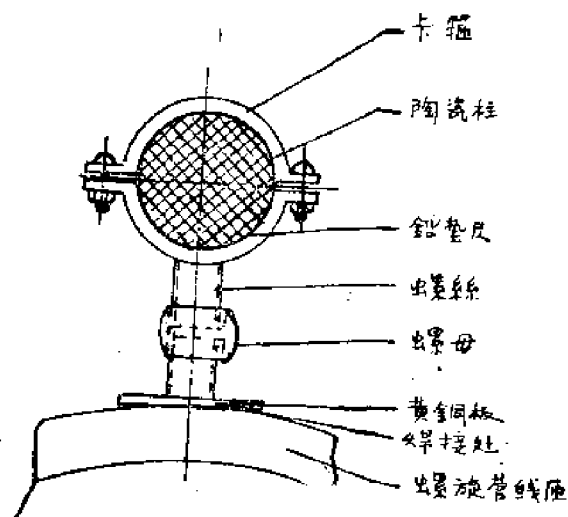


圖7—1316 把螺旋管线圈紧固到陶瓷柱上

管各线圈直径的差别，从而使柱子上的机械负荷变得均匀了。

2. 接触系统

在滑动接触电感线圈中接触系统用以把螺旋管线圈与短路器之间的连接。所以接触系统有两个接触头，第一个是保证与线圈的接触，第二个是保证与短路器的接触。

对于接触系统的基本要求是移动时接触的可靠性和小的摩擦。

接触系统的结构例子示于圖7—1317，其中除了接触系统外还示出了黄铜盘和短路

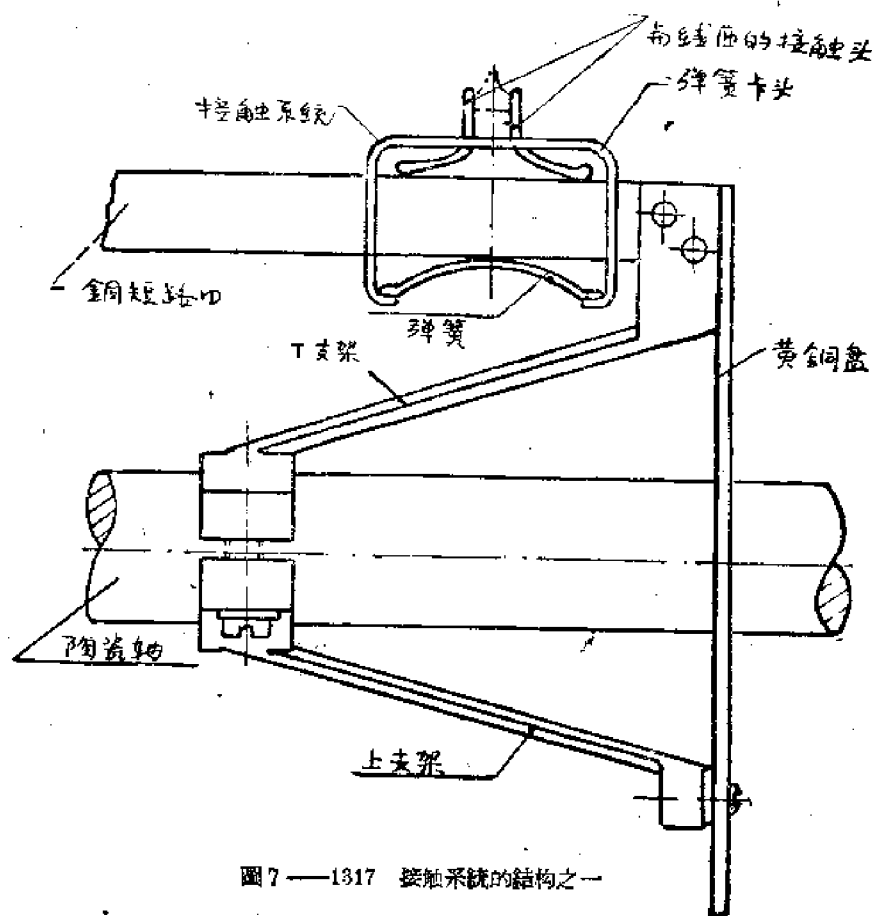


圖7—1317 接触系统的结构之一

器紧固到轉軸上去的結構方式。

接触系統沿正方截面銅短路器（參見圖 7—1317）移动。它由黃銅卡頭、青銅彈簧及兩個青銅接觸頭所組成。在彈簧卡頭側壁上有正方形孔，通過這些孔使彈簧卡頭套在短路器上。把彈簧和接觸頭折彎可減少移动時的摩擦，並保證了可靠接觸所必須的壓力。這種類型的接觸系統應用在功率為 2 仟瓦的功率級的繞圈中。

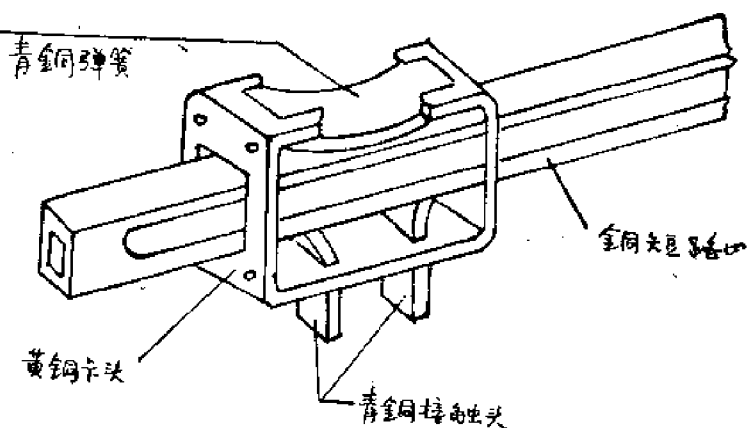


圖 7—1318 接觸系統的立體圖

15—30 仟瓦功率級所用的接觸系統的結構示于圖 7—1319。

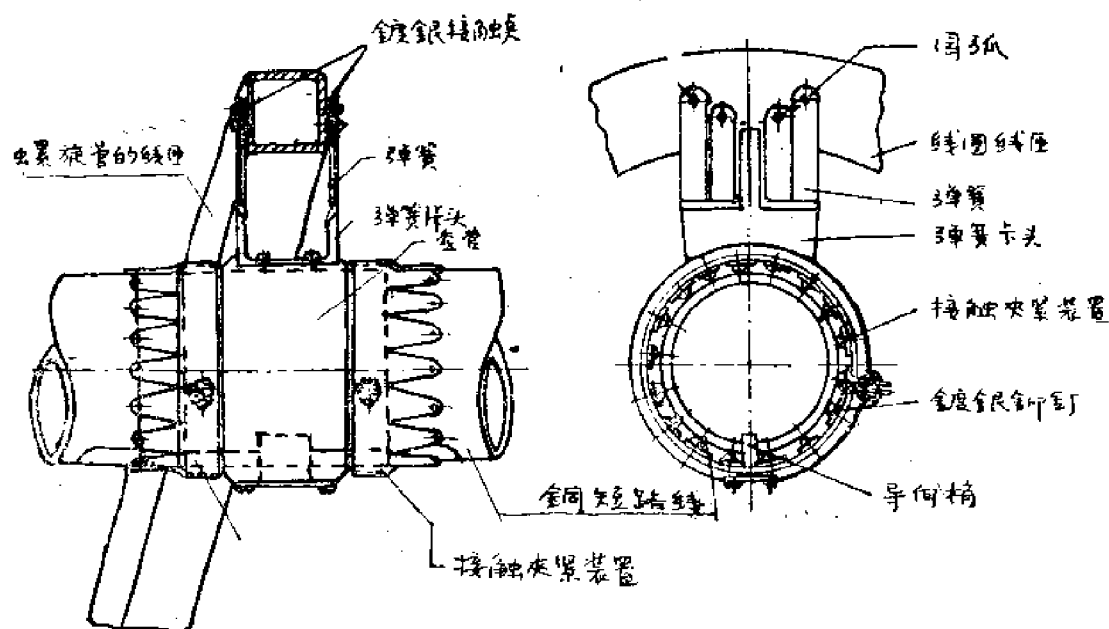


圖 7—1319 接觸系統

接觸系統由黃銅套管、兩個青銅夾緊裝置及接觸刷所組成。黃銅套管套在圓截面的短路器上。為了消除套管的轉動，短路器具有軸向槽，而套管具有导向梢。套管與短路

器之間的接觸是利用兩個接觸夾緊裝置來實現的，它們借助於拉緊螺栓緊固到套管上。
接觸刷示於圖 7—1320。

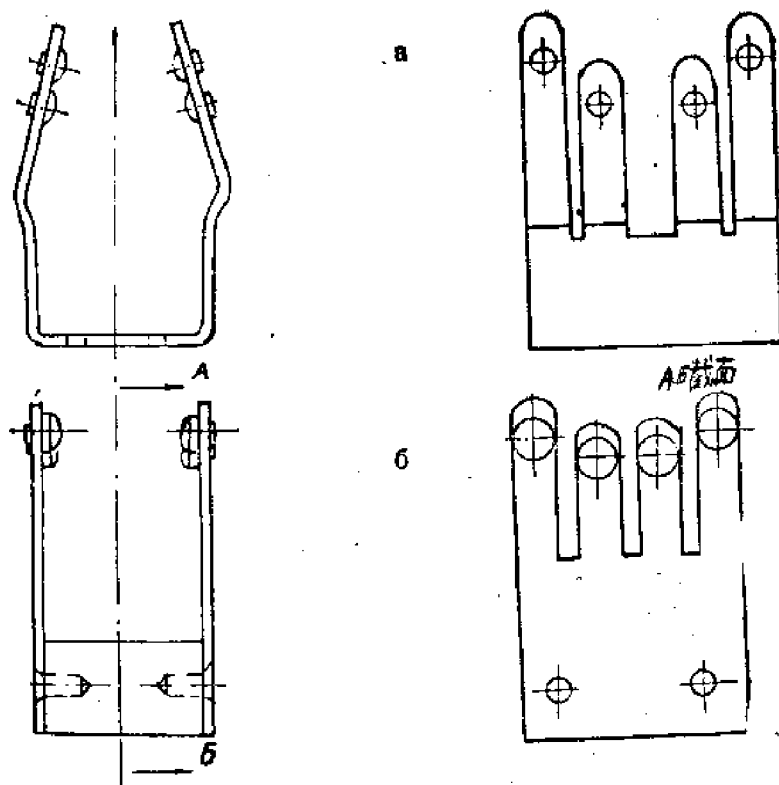


圖 7—1320 接觸刷的彈簧

圖 7—13206 的結構較為方便，因為接觸彈簧中沒有彎折部分，因而沒有產生接觸彈簧與相鄰線匝間打火的危險。

對於 60—120 千瓦功率級的繞圈，為了得到可靠的接觸，接觸系統的結構不得不做得更為複雜。這種接觸系統的結構例子示於圖 7—1321。

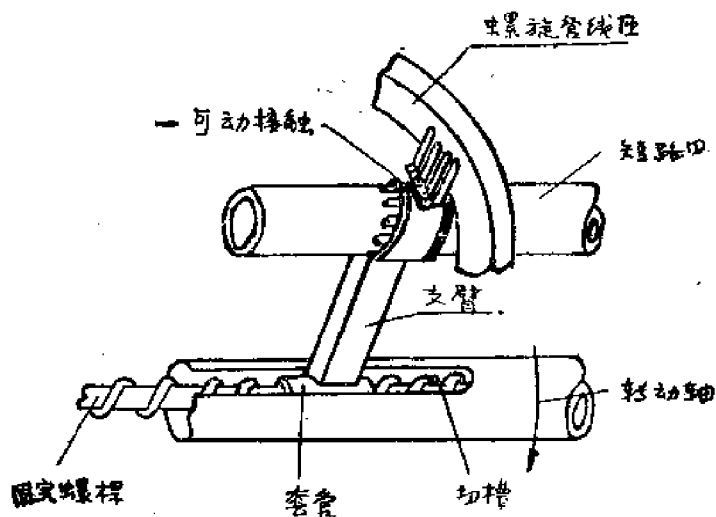


圖 7—1321 大功率繞圈的接觸系統

这种结构的工作原理如下：具有矩形螺纹（螺距等于线圈的绕距）的固定螺杆放在空心金属轴内，此轴具有轴向槽。在螺杆上套有套管，套管借助于支臂与接触系统连接。当转动轴（套管）时螺杆保持不动，借助于杠杆强迫接触系统沿螺旋管线圈移动。

3. 刷子：刷子是用以保证螺旋管线圈端头与黄铜盘间的接触。这是为了使螺旋管不工作线圈短路所必须的。

刷子的结构例子示图 7—1322。

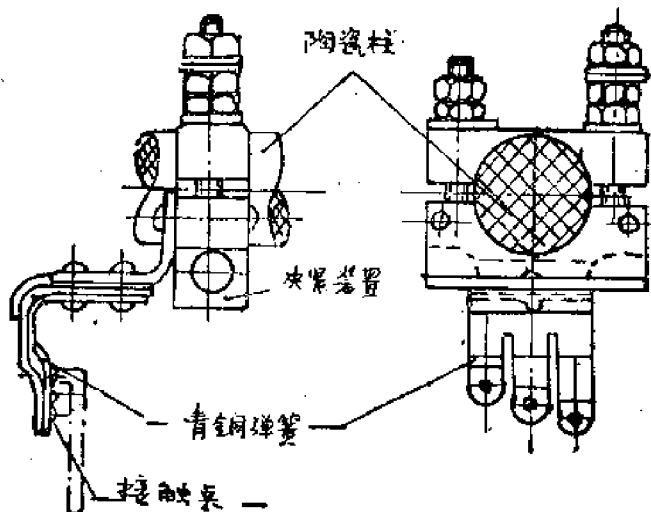


图 7—1322 刷 子

从图 7—1322 可见螺旋管端头与黄铜盘之间的接触是用青铜弹簧（紧固在夹紧装置上来保证的，夹紧装置固定在陶瓷柱上，在这个夹紧装置上还固定了螺旋管的端头。

辅助短路器是用来消除线圈非工作部分与工作部分间的谐振的。辅助短路器的结构示于图 7—1323。

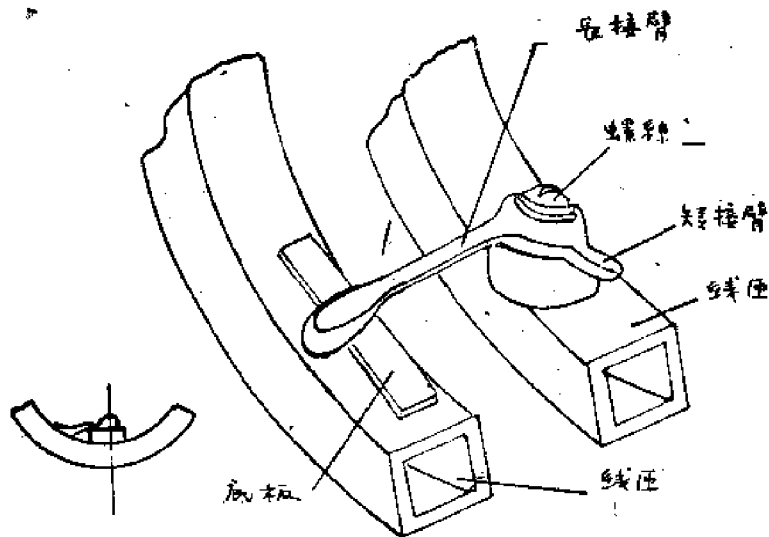


图 7—1323 辅助短路器

由圖 7—1323 可見，在运动时接触系統碰上长接臂則相应断开相邻匝，碰上短接臂則相应于将相邻匝短接。

另一种輔助短路器的結構示于圖 7—1324。其工作原理可以从圖中了解。

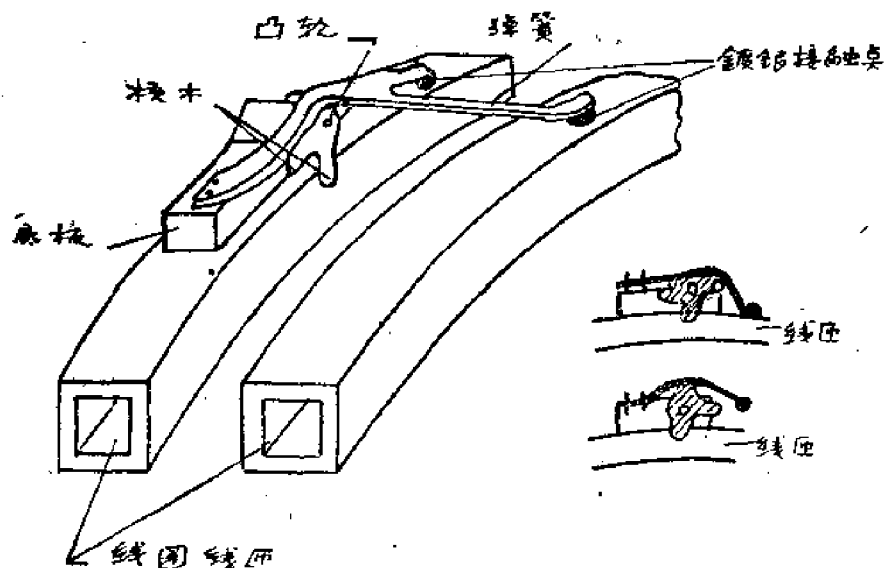


圖 7—1324 輔助短路器

滑动接触电感线圈的計算过程如下：設計用的大概数据可以从表 7—19 中选择，表中所列为工作在現有發射机中的滑动接触推挽电感线圈的数据。

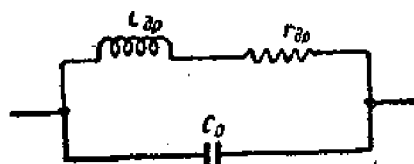


圖 7—1401 高频扼流圈的等效电路

§ 7—14 高频扼流圈

高频扼流圈用以防止高频电流进入电路。在級中与迴路并联并构成并饋电路或者在电源电路中用来去耦。

扼流圈的簡化等效綫路示于圖 7—1401。

从圖 7—1401 可見，扼流圈的等效电路与电感綫圈的等效綫路相同。

扼流圈的固有諧振頻率等于

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$$

表 7-19

号	波 段	綫的工 作类型	綫的功率 (千瓦)	綫圈中的 最大电流 有效值 (安)	冷 却	厚綫截面 及其尺寸 (毫米)	綫圈的最 大电感量 L_{max} (微亨)	綫圈的最 小电感量 L_{min} (毫亨)	綫圈直 徑D (毫米)	螺距 ϕ (毫米)	一个螺 旋管的 长度 l_1 (毫米)	一个螺 旋管的 匝数 n_1	螺旋管 間的距 离 h_1 (毫米)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	15-60	未調波 放 大	1—2	20	对流		10	0.03	100	13	130	$9^{3/4}$	60
2	13-90	"	1—2	10	"		18	0.03	155	14	144	$9^{3/4}$	60
3	13-90	"	5—6	40	水冷		17	0.1	180	30	300	$10^{1/2}$	180
4	13-90	板調	18—20 在靜止状 态时	90 在調制时 的平均值	"		30	0.1	400	43	350	$7^{1/4}$	250
5	13-90	"	120—140 在靜止状 态时	200 在調制时 的平均值	"		20	0.25	600	70	265	$3^{3/4}$	300

在频率高于谐振频率时扼流圈变成容抗。为了扼流圈在很宽的频段的工作，一般把绕组分成一系列不等的分段，这时扼流圈可以看成是一系列具有不同谐振频率的串联的抗流圈。

将分段扼流圈接入电路时，应使扼流圈具有固有电容的一分段处在最高的高频电位。

高幅扼流圈的结构例子列于图 7—1402。

图 7—1402 a)和б)所示的扼流圈骨架是用木或塑料做成的，绕组是多层分层绕法和堆绕法。也常常采用非绕线电阻的陶瓷柱作为扼流圈的骨架 (图 7—1402 в)和г))。

为了提高高频扼流圈的电感量或缩小其尺寸，可采用磁介质或铁氧体的芯子，芯子一般是环形的。

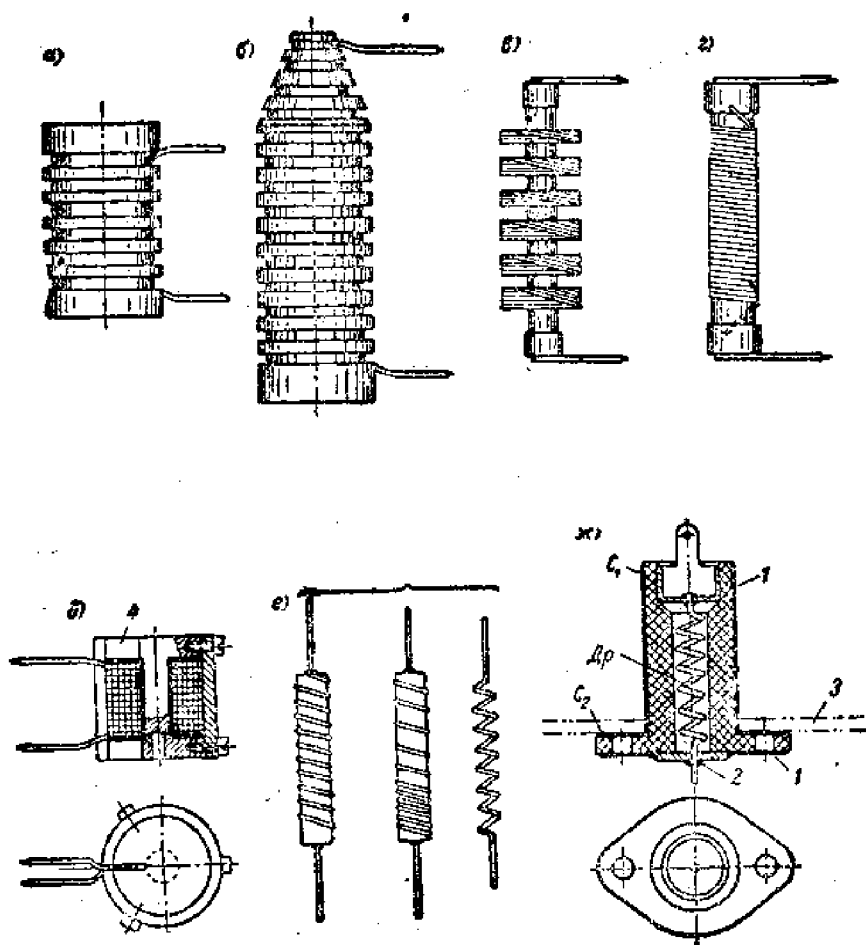


图 7—1402 高频扼流圈设备：а—长波用的；б—宽波段（长波及中波）用的；
в—中波用的；г—短波用的；д—具有铜心的灯丝扼流圈；е—超短波用的扼流圈；
ж—超短波电源滤波器；
1—金层喷涂；2—焊接；3—机壳；4—剖面图。

在某些情况下，也直接利用连接导线箍住铁氧芯子来代替电流电路的去耦的扼流圈。

扼流圈的计算与电感线圈的计算相同。

对于并馈电路，扼流圈的电感量可取为回路电感量的10—20倍，对于电源电路，扼流圈的电感量可大致按表7—20来选择。

表 7—20

f, 兆赫	达0.5	1	5	10	20	50	100	200	500
L_{EP} 微亨	$1 \div 10 \cdot 10^3$	250—1500	80—400	30—150	15—80	4—25	1.7—8	0.6—2.5	0.15—0.4

灯丝扼流圈的电感值可取得小一些。

电源电路用的扼流圈的导线直径按允许的电流密度来选择（一般是2.5—3.5安/毫米²）。当要求导线的截面较大时（大于3—5毫米²），可用扁平条来绕制。

§ 7—15 电感线圈的稳定性

温度及湿度对电感线圈参数的影响很大。湿度增加了线圈的固有电容并降低了击穿电压和品质因数。为了减小湿度的影响，把电感线圈用不吸水的物质来浸渍或蘸渍，在重要的情况下把电感线圈密封起来。

电感线圈的温度稳定性（电感温度系数）。 α_L 决定于下式：

$$\alpha_L = \alpha_{Lr} + \alpha_{Lx} + \alpha_{Ls} + \alpha_{Lk} + \alpha_{Lc} \quad (7-1501)$$

其中： α_{Lr} ——由于几何尺寸改变引起的电感温度系数分量。

α_{Lx} ——由于电流沿导线截面重新分布所引起的分量。

α_{Ls} ——由于屏蔽罩所引起的分量。

α_{Lk} ——由于芯子导磁率变化所引起的分量。

α_{Lc} ——由于固有电容所引起的分量。

现在，我们来讨论电感温度系数各个分量的确定问题：

I 由于几何尺寸改变所引起的电感温度系数分量：

1. 单层线圈的 α_{Lr} 可按下列确定：

$$\alpha_{Lr} = \alpha_{Ld} + (\alpha_{Ld} - \alpha_{Li}) \frac{1}{1 + \frac{a}{D}} \quad (7-1502)$$

其中：

α_{Ld} ——线圈直径的线胀系数

α_{Li} ——线圈长度的线胀系数

a ——与 $\frac{1}{D}$ 有关的系数

当 $\frac{l}{D} > 0.7$ 时, $a = 0.45$

$0.7 \geq \frac{l}{D} \geq 0.465$, $a = 0.435$

$\frac{l}{D} < 0.465$, $a = 0.366$

由此式可见, 当 $\alpha_{1D} = \alpha_{1H} = \alpha_{1t}$ 时, $\alpha_{1L} = \alpha_{10}$ 。

2. 多层电感线圈的 α_{1L} 可由下式确定:

$$\alpha_{1L} = 2 - \frac{\alpha_{1D} D_0 + \alpha_{1H} t}{D_0 + t} - \frac{3\alpha_{1D} D_0 + \alpha_{1H} l + 13\alpha_{1H} t}{3D_0 + 9l + 13t} \quad (7-1503)$$

其中:

α_{1D} ——线圈内径(骨架)的线胀系数。

α_{1H} ——线圈绕组深度的线胀系数。

α_{1t} ——线圈沿长度的线胀系数。

同样, 当 $\alpha_{1D} = \alpha_{1H} = \alpha_{1t} = \alpha_1$ 时, 则

$$\alpha_{1L} = \alpha_1$$

因此, 减小 α_{1L} 的方法只要是选用线胀系数小的材料作骨架, 实际中 $\alpha_{1L} \approx (5-8)$ 毫米 $\times 10^{-6} (^{\circ}\text{C}^{-1})$ 。

II 由于电流沿导线截面重新分布所引起的电感温度系数分量。

1. 圆截面的导线的情况按下列计算:

大家知道, 温度变化会引起导线电阻率的变化, 从而改变了导线截面上的电流分布(即引起有效载流面积的改变)。因而也改变了线圈的有效直径(它决定了电感温度系数线圈电感量)。并引起电感量的相应变动, 这便是形成 α_{LM} 的基本原因。

$$\alpha_{LM} = \alpha_p \frac{r_0}{w_L} \left[F_2 + \left(\frac{KNd}{2D} \right)^2 G_2 \right] \quad (7-1504)$$

其中:

α_p ——线圈导线材料比电阻的温度系数。

r_0 ——线圈导线的欧姆电阻。

w_L ——在工作频率时线圈的电抗。

K ——形状系数(见前面§7-5)

$$K = \psi \left(\frac{l}{D} \right)$$

N ——匝数。

d ——导线直径。

D ——线圈直径。

F_2 及 G_2 ——系数, 决定于图 7-1501 的曲线或表 7-21。

2. 扁平导线的情况, 当用扁平导线绕制短波及超短波的线圈时, 由于电流沿导线切面重新分布而引起的电感温度系数分量, 可按下列式计算:

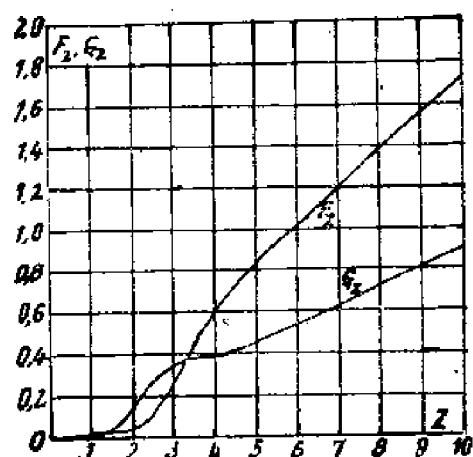


圖7——1501 函數 F_2 和 G_2 的值

表7—21

Z	F_2	G_2	Z	F_2	G_2	Z	F_2	G_2
1.0	0.00068	0.00512	2.4	0.0947	0.255	3.8	0.541	0.377
1.1	0.00110	0.00878	2.5	0.1156	0.277	3.9	0.547	0.379
1.2	0.00198	0.01419	2.6	0.1391	0.296	4.0	0.606	0.383
1.3	0.00316	0.0218	2.7	0.1651	0.312	4.1	0.626	0.386
1.4	0.00487	0.0321	2.8	0.1936	0.325	4.2	0.665	0.391
1.5	0.00721	0.0454	2.9	0.224	0.336	4.3	0.692	0.396
1.6	0.01036	0.0618	3.0	0.257	0.343	4.4	0.718	0.401
1.7	0.01483	0.0913	3.1	0.291	0.353	4.5	0.733	0.407
1.8	0.0204	0.1037	3.2	0.336	0.358	4.6	0.736	0.413
1.9	0.0276	0.1279	3.3	0.362	0.362	4.7	0.798	0.420
2.0	0.0366	0.1539	3.4	0.389	0.366	4.8	0.807	0.428
2.1	0.0476	0.1804	3.5	0.435	0.370	4.9	0.839	0.433
2.2	0.0608	0.206	3.6	0.471	0.372	5.0	0.848	0.444
2.3	0.0765	0.232	3.7	0.537	0.374			

$$\alpha_{lm} = \frac{\xi}{D\sqrt{f}}$$

(7—1505)

当 $K, t < 5$ 时正确。

其中：

D——綫圈直徑

t——繞組深度，單層時為帶的厚度

f——工作頻率

K_1 ——系數， $K_1 = 2\pi\sqrt{\frac{f \cdot 10^{-9}}{\rho}}$

ρ ——比電阻（歐·厘米）

ϵ ——系數，按圖 7—1502 的曲線查得

圖中的參量 β 由 F 式算得：

$$\Phi = \frac{2 K_H}{\left(\frac{\tau}{a}\right)^2}$$

此式中的 a 為帶的寬度，而系數 K_H 可按下列式計算：

$$K_H = \frac{L \cdot l}{\pi^2 N^2 D^2}$$

研究表明，採用帶狀導線的間繞可以減小這一分量。此時 α_{Lm} 約為 $(2-5) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

III. 由於屏蔽罩所引起的電感溫度系數分量。可以按下列式計算：

$$\alpha_{Ls} = \frac{3\alpha_{1s} - 3\alpha_{1D} - \alpha_\eta}{D^3 - \eta D^3 - 1} \quad (7-1506)$$

這裡：

α_{1s} ——屏蔽罩材料的綫脹系數。

D_s ——屏蔽罩的直徑。

η ——系數，按 $\frac{1}{D}$ ，從圖 7—1503 的曲線查到。

$$\alpha_\eta = P(\alpha_{11} - \alpha_{1D})$$

P ——系數，按 $\frac{1}{D}$ ，按圖 7—1503 的曲線來決定。

除了上述的屏蔽罩對於綫圈的影响外，還必須考慮到屏蔽罩對綫圈高頻電阻的影响。如果在公式 7—1504 中乘入 $(1-K^2)$ 則算得的 α_{Lm} 值已包括了這種影响。

實際上的 α_{Ls} 可達 $(20-40) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，綫圈及屏蔽罩材料的綫脹系數小的材料（殷鋼、陶瓷）作屏蔽， α_{Ls} 也要減小。增大 $\frac{D_s}{D}$ 比值，也有較顯著的效果。 $\frac{D_s}{D}$ 可取 2.5—3 或更高的值。

IV. 由於磁芯導磁率的变化所引起的電感溫度系數分量。由以下公式確定：

$$\alpha_{Lh} = \frac{\mu_c}{\mu} \alpha_\mu \quad (7-1507)$$

其中：

μ_c ——芯子的有效導磁率。

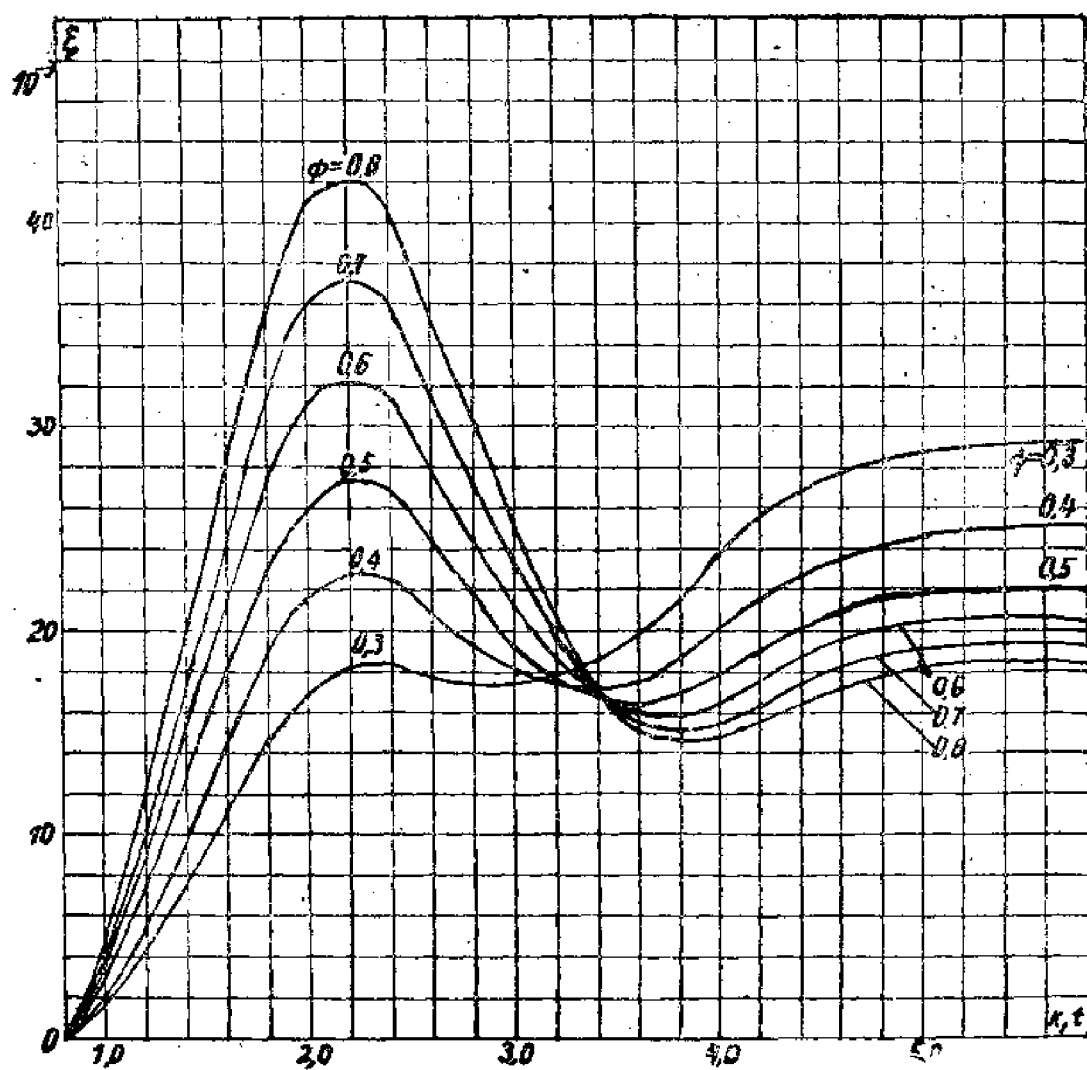


圖 7 — 1502 系数 ξ 的值与 κ, t 的关系的曲线

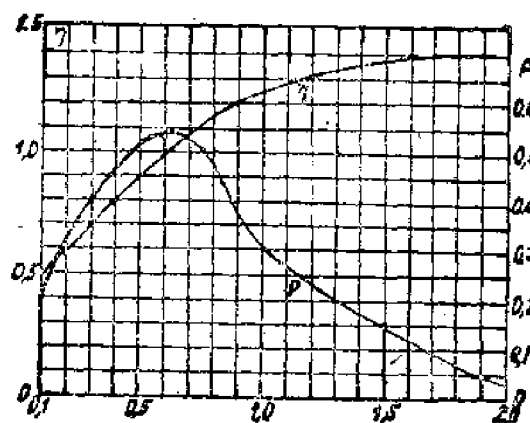


圖 7 — 1503 系数 γ 及 p 的值

μ — 芯子材料的导磁率。

α_{μ} — 芯子材料的导磁率的温度系数。

V. 由于线圈固有电容量变化所引起的电感温度系数分量。可以由下式确定：

$$\alpha_{Lc} = (\alpha_{L'} + \alpha_c) \frac{1}{\frac{f_0^2}{f^2} - 1} \quad (7-1508)$$

这里：

$\alpha_{L'} = \alpha_{Lr} + \alpha_{Lm} + \alpha_{Ls} + \alpha_{Lk}$ 按以前给出的公式来决定。

f_0 — 电感线圈的固有谐振频率。

f — 工作频率。

α_c — 电容温度系数，按下式来决定：

$$\alpha_c = \frac{C_B \alpha_K + C_g \alpha_{\epsilon}}{C_B + C_g} \quad (7-1509)$$

其中：

C_B — 线圈通过空气的固有电容。

C_g — 线圈通过介质的固有电容。

α_K — 骨架材料的膨胀系数。

α_{ϵ} — 骨架材料介电系数 ϵ 的温度系数。

对于单层线圈来说，可用下式作近似的计算：

$$\alpha_{Lc} = \frac{a \epsilon \alpha_{\epsilon}}{(1 + a \epsilon) \left(\frac{f_0^2}{f^2} - 1 \right)} \quad (7-1510)$$

其中：

a — 系数，与骨架结构形式和导线形状有关。

对于在光滑骨架上圆导线绕组等于 0.08。

对于在带线槽的骨架及圆导线绕组等于 0.111。

对于沿螺旋骨架的螺旋槽涂复的绕组等于 0.14。

对于沿螺旋骨架的螺旋顶部涂复的绕组等于 0.6。

为了减小 α_{Lc} 这一分量，可增加回路电容量，或选用 ϵ 小的材料做骨架，这时 α_{Lc} 约为 $(1-2) \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

§ 7-16 电感线圈的自动温度补偿及高温稳定性线圈的结构

电感线圈的自动温度补偿可以用下列方法来解决：

1. 用选择绕组直径及长度的不同线性温度膨胀系数的方法来控制 α_{Lr} 。
2. 用控制多层分段绕组的各分段间互感的方法。
3. 采用与绕组耦合的短路匝并使耦合随温度而变。
4. 用控制屏蔽罩的去磁影响的方法。
5. 用控制芯子导磁率数值的方法。

显然，第一种和第二种方法以及第三种和第四种方法具有相同的物理意义。采用第

一种方法的自动补偿线圈骨架的结构示于圖 7—1601, 其中, 骨架的夹板用玻璃做成, 而开口套管用硬橡胶做成。在这种情况下沿长度的膨胀 (决定于硬橡胶) 将比沿直径的膨胀 (决定于玻璃) 大些。在套管做有螺纹槽用以安放绕组, 尺寸 “a” 的选择要确定导线及骨架直径膨胀的一致为条件。

圖 7—1602 示出了按用第三种方法的自动补偿线圈的结构。

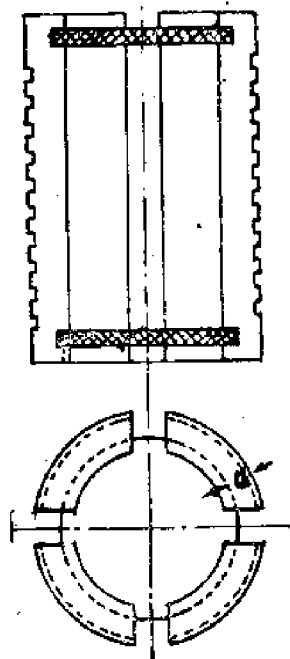


圖 7—1601 自动补偿线圈的骨架

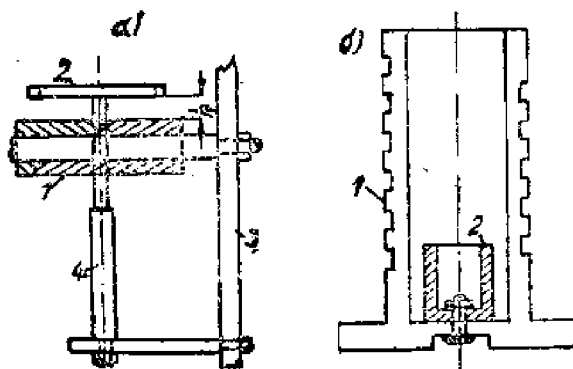


圖 7—1602 借助于短路匝的 TKA 自动补偿

在圖 7—1602 (a) 的结构中短路匝 2 紧固在殷钢柱杆 4 上。多层线圈 1 固定在硬橡胶支架 3 上。当温度增高时线圈靠近了短路匝 (硬橡胶伸长较大), 并因此而得到补偿 (硬橡胶的线性温度膨胀系数为 $70 \cdot 10^{-6}$ 而殷钢 $0.9 \cdot 10^{-6}$)。

在圖 7—1602 (b) 的结构中, 由于铜和陶瓷的线胀系数的差别, 当加热时空心铜圆筒 2 靠近涂复在陶瓷骨架 1 上的线圈线匝。

线圈电感温度系数的所有补偿方法都使线圈的结构复杂化,使循环性及在时间上的稳定性变坏,在第三种和第四种方法时降低了品质因数。

高稳定度电感线圈应该具有高的循环性。并且没有老化,在工作频段内具有小的以及恒定的电感线圈系数,以及具有小的衰减。

单层高稳定电感线圈应采用陶瓷骨架并采用强制的绕组固定方法。强制的绕组固定方法有三种:即烧渗法、热绕法、热配合法。其工艺已在§7—3中讨论过了。

高稳定的单层线圈的电感温度系数约为 $(1-20) \times 10^{-8} ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

多层稳定电感线圈或者是做成无骨架的,或者是做成图7—1601所示的组合骨架,为了固定线圈匝应采用高频浸渍材料(见§7—3列表)或者用由它们配成的复合物来浸渍。

多层稳定线圈的电感温度系数约为 $(50-100) \cdot 10^{-8} ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

为了防潮,高稳定线圈必须封起来,密封外壳通常也是屏蔽罩。对于稳定线圈,屏蔽罩直径应比一般线圈大一些, $\frac{D_0}{D}$ 不小于 $3 \div 4$ 。

用具有金属化内表面的陶瓷屏蔽罩来屏蔽,得到了良好的效果。

如果循环性不变坏则采用自动补偿的线圈结构是合理的。

§7—17 电感线圈的测试

电感线圈电感量和品质因数的测量,最常利用Q表进行。

利用桥式电路来测量电感量和品质因数可以得到较高的测量准确度。

电感线圈固有电容的测量也利用Q表来进行。

当电感线圈具有大的固有电容时($C_0 > 20$ 微微法),固有电容按图7—1701的电路来进行。

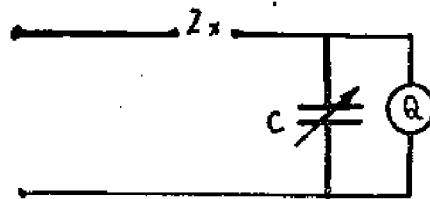


图7—1701

把被测试线圈 L_x 代替标准线圈接入Q表,然后在确定Q表的电容C到位置 C_1 后,改变振荡器的频率来调谐整个系统到谐振。得到谐振频率 f_1 。然后改变Q表电容的位置到 C_2 。 C_2 大于或小于 C_1 ,并重新找到谐振频率 f_2 。根据所取得的数值按图7—1702的坐标绘成曲线,即可决定电感线圈的固有电容 C_0 。

如果取频率 f_2 等于 $\frac{f_1}{2}$,则固有电容的计算可按式进行。

$$C_0 = \frac{C_2 - 4C_1}{3} \quad (7-1701)$$

当频率 f_2 等于 $2f_1$ 时，固有电容等于：

$$C_0 = \frac{C_1 - 4C_2}{3} \quad (7-1702)$$

如果电感线圈的固有电容很小 ($C_0 > 20$ 微微法)，则固有电容按图 7-1703 的电路进行测量。

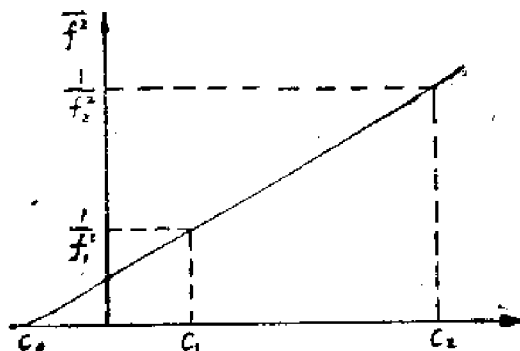


图 7—1702

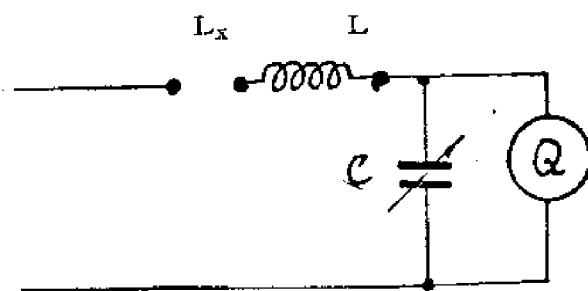


图 7—1703

在这种情况下把被测电感线圈与标准线圈 L 串联地接入 Q 表电路中。

在测量时，应这样来选择 Q 表振荡器的频率和电容量，使得在接入或断开被测线圈时，谐振频率不变。

用这种方法测量时线圈的固有电容等于：

$$C_0 = \frac{1}{4\pi f^2 L_x} \quad (7-1703)$$

线圈的固有电容也可以从两次测量电感量来求得：当音频等于 $800 \div 1000$ 赫时（在这样的频率下线圈的固有电容可以忽略）及在高频 f 时。进行了这样两次电感量的测量后，可按下式计算电感线圈的固有电容：

$$C_0 = \frac{L_1 - L'}{(2\pi f)^2 L' L_1} \quad (7-1704)$$

其中：

L_1 —在高频 f 时，测得的电感量。

L' —在音频时，测得的电感量。

f —测量 L_1 的频率。

第 八 章

变 压 器 及 低 頻 扼 流 圈

在無綫电設備中广泛应用低頻扼流圈来阻止低頻电流的流过。它們应用在低頻滤波电路，电源滤波电路以及板調發射机調制电路（作为調制扼流圈）中。

变压器在無綫电設備中获得了更广泛的应用。它們应用于电源电路（电源变压器）、低頻电路（低頻变压器，寬頻带变压器）以及脉冲电路（脉冲变压器）中。它們的基本作用是变换电压，匹配阻抗及分隔两个电路（因为只有磁耦合）等。

按其电路中的具体用途，对低頻扼流圈及变压器所提出的要求极为多样，而且同一用途时还可用多种結構方案来实现；这就迫使在很多情况下，按具体电路的要求，进行单独的设计制造。不过，由于無綫电工業的迅速发展，已出現对部份（主要是用于民用設備的）种类的低頻扼流圈及变压器进行标准化，大量生产的趋势。尽管如此，对于大部分种类的低頻扼流圈和变压器来说，目前在设计和制造設備时，仍是单独进行设计和制造的。因此，在本章里将比較詳細地討論其結構、工艺及計算的方法。

任何变压器及低頻扼流圈将在結構上均由磁路，繞組（一个或几个），以及机械固定和絕緣零件三个部份組成。現在我們分別討論这三部份的結構及其主要尺寸。

§8—1 磁路的結構及其主要尺寸

变压器和低頻扼流圈的磁路，最常采用对反复磁化具有很低损耗的电工鋼或磁性合金的板料或带料制成。为了减小渦流损耗，板料和带料的厚度被軋成十分之几到千分之几毫米。在某些情况下，也采用鉄氧磁制成的磁路，其結構形状与板料或带料制成的磁路相差不大，而制造特点已在第六章述及；因此，这里主要討論板料及带料制成的磁路。

較通用的磁路結構形状有柱型（ Π 形），装甲型（山型、T型和十字型）和环型三种，各种形状都可用冲压叠片或卷繞的方式制成（如图 8—101 所示）。

柱型磁路的基本特点是，繞組可以繞在两个柱上，因而具有大的繞組冷却表面，較小的繞組导線消耗，較小的漏感，以及对外磁場有較低的灵敏度（因为适当地配置繞組可使变压器的两个綫圈中所感应的干扰电动势互相抵消），这种鉄芯常用作小功率輸出变压器，大功率及中等功率的电源变压器，以及中小功率的脉冲变压器（因为脉冲变压器的鉄損比銅損大，大功率的脉冲变压器要求大的鉄芯冷却表面）。为了简化变压器結構，有时繞組只繞在一个柱上，在这种情况下，这种磁路則沒有上述的优点。

装甲型（有时称为壳型）磁路的基本优点是鉄芯窗口內具有較高的繞組导線填充系数，繞組只需用一个骨架，具有較大的鉄芯冷却表面以及可用鉄芯的磁軋部份来保护繞

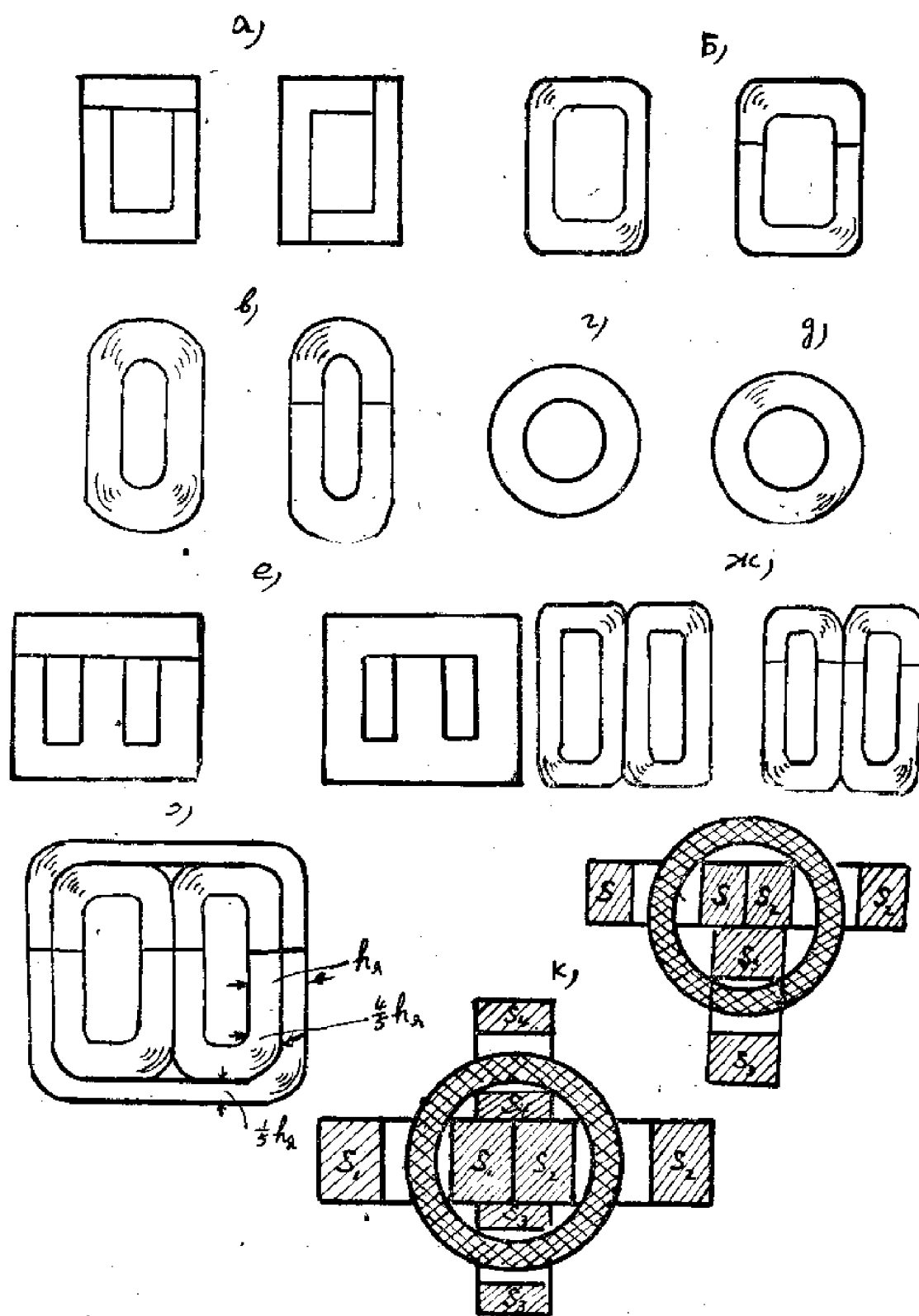


圖3—101 變壓器及低頻流磁路結構形狀

- a) II形疊片 б) II形卷繞磁路 в) 橢圓形卷繞磁路 г) 環形疊片磁路 д) 環形卷繞磁路
 e) III形疊片磁路 ж) III形卷繞磁路 з) 寬輕III形卷繞磁路 и) T形卷繞磁路 к) 十字形卷繞磁路

組避免机械损伤（特别是十字形和T字形組合时），而且本身对外界的發散磁場較小，可减小对外部电路及元件的影响，或者允許放置很近的磁屏蔽（虽然漏感較柱型鉄芯大，但外磁軛有自身屏蔽作用），所以，此种鉄芯与柱型的不同，它广泛应用于較小功率的低频变压器，低频扼流圈以及电源变压器中，也用于大功率的脉冲变压器中。

环形磁路的基本优点是，繞組可均匀地沿磁路分布，因而其漏感最小，也几乎不受外界磁場影响，同时最便于作成無非磁隙的結構，因而磁性的利用率（如导磁率）最高。由于这个原因，最近已日益得到广泛采用。它最常用在極小功率的变压器中。

現在讓我們討論这几种磁路的主要結構尺寸，以及它們的最佳比例（从电气、結構及經濟要求出發）：

1). 鉄芯的窗口尺寸与外形尺寸及其最佳比例：

对柱型鉄芯（圖8—102）这些尺寸为（用厘米表示）：

鉄芯窗口寬度— b

鉄芯窗口高度— h

鉄芯柱的寬度— a_c

鉄芯柱的厚度— b_c

鉄芯磁軛寬度— h_g

鉄芯磁軛长度— l_g

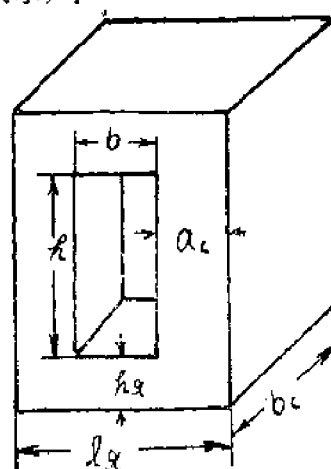


圖8—102 柱型鉄芯的基本尺寸

当要求变压器价格最小时，这些尺寸的最佳比例为：

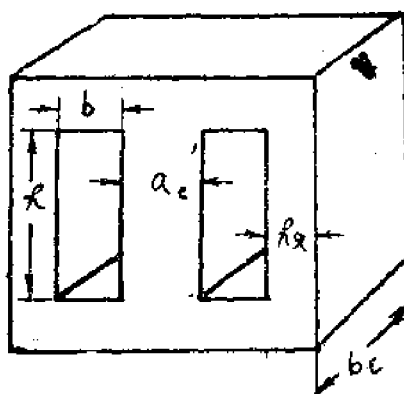


圖8—103 壳型鉄芯的基本尺寸

$$b=0.9a_c, \quad h=2.5a_c$$

当要求变压器的重量最輕时，最佳比例为：

$$b=1.35a_c, \quad h=2.5a_c$$

对壳型鉄芯（圖8—103），这些尺寸所用的名称及符号与柱型鉄芯相同。

从经济观点出发，对叠片铁芯最常采用“無廢料”冲压，用“無廢料”冲压所制得的铁片形式示于圖8—104。这里“無廢料”的含义是将由窗口中冲出的廢料用作接磁轭。

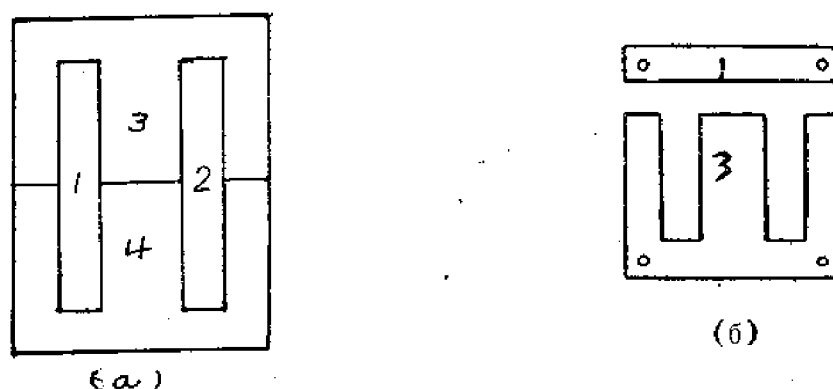


圖8—104 壳型铁芯的無廢料冲压

1、2——垂直轭板条

3、4——水平片

a) 冲压线条；b) 冲压后組成形式

“無廢料”冲压片分为两种类型：

a) 一般的“無廢料”冲压片，其尺寸的比例为： $h_g = 0.5a_c$ ， $b = 0.5a_c$ 。这一类型冲压片是从前所創立的。目前，仅在沒有添置新冲模的企业中采用。

b) 磁轭較寬的“無廢料”冲压片，它的尺寸比例为：

$$h_g = 0.65a_c, \quad b = 0.65a_c$$

这种冲压片是最近几年研究出的新方案，采用这种冲压片，可在不影响其性能的前提下，减小变压器的尺寸和价格，因而得到了广泛的采用。研究指出：对于最小价格和最小重量的变压器和扼流圈来说，铁芯之间的尺寸，存在着不同的最佳比值，这个比例为：

最小价格变压器： $h_g : a_c = 0.65$ ， $b_c : a_c = 1.5$ ，

$$b = h_g = 0.65a_c, \quad h = 2h_g + 0.5a_c$$

最小重量变压器： $h_g : a_c = 0.65$ ， $b_c : a_c = 2$

$$b = 1.1a_c, \quad h = 2.5b = 2.75a_c$$

但对上述的比值，有不大的偏差是允許的，因为最佳值表现得并不尖銳。

为了方便起见，苏联已把壳型铁芯的尺寸规格化（見附录），設計变压器，可按此表选择铁芯片的型号。

2) 磁力綫的平均长度— l_c （厘米）

由于轉弯处力綫分布不均匀，力綫的平均长度，不完全等效于铁芯的几何平均长度，但在很多情况下，可用铁芯的几何平均长度来进行計算。如此，对于柱型铁芯来说（見圖8—105）

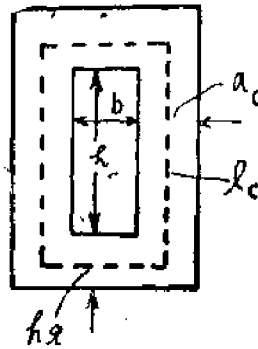


图8—105 柱形铁芯的磁路平均长度

$$l_c = 2(h + b + a_c + h_g)$$

当磁路截面均匀时 (即 $a_c = h_g$) l_c 可简化为 $l_c = 2(h + b + 2a_c)$ 。

对于壳型铁芯 (图8—106)

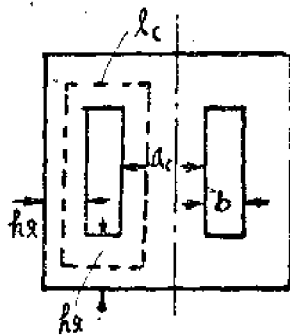


图8—106 壳型铁芯的磁路平均长度

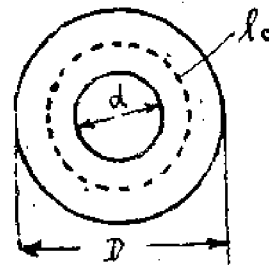


图8—107 环形铁芯的磁路平均长度

$$l_c = 2(h + b + h_g) + h_g + \frac{a_c}{2}$$

对于环形铁芯 (图8—107)

$$l_c = \frac{\pi(D + d)}{2}$$

3) 铁芯的净截面 $S_{\text{净}}$ 和铁芯的几何截面积 S_c (厘米²)。

由于铁芯片间具有绝缘层 (氧化层、漆层等) 及装配时不可避免的结构空隙, 因而, 为磁性材料占据的面积 (净截面积 $S_{\text{净}}$) 比铁芯的几何截面 S_c 小: 即 $S_{\text{净}} = K_c S_c$, 其中: K_c ——铁芯的占空系数, 其值永远小于1, 按经验可由表8—1决定 (它依赖于磁性材料片厚及绝缘方式等)。

表 8—1

片 厚	Kc		
	不 带 絕 緣	0.01 毫 米 漆 絕 緣	用 粘 性 烟 紙 絕 緣
0.5	0.93	0.93	0.88
0.35	0.88	0.86	0.83
0.2	0.80	0.76	—
0.1	0.70	0.65	—

通常鉄芯的几何截面，作成矩形的（为了使鉄芯的结构简单），此时

$$S_c = a_c \cdot b_c \quad (\text{厘米}^2)$$

但是，在大功率变压器及扼流圈中，有时也采用阶梯形截面，这是为简化繞組骨架结构（尺寸較大的圓筒形骨架比矩形骨架更便于制造），减少繞組导线的消耗（在圓形骨架情况下，阶梯截面时，鉄芯磁性材料在骨架內的填充量比正方形截面大，因而可以在小的圓周所包圍的面积內，实现較大的磁路截面，故可使骨架的直径减小），以及提高繞組的絕緣强度（导线的圓弧形配置，可避免当方形装置时电场在轉角处的集中，以及較粗导线在轉折处的絕緣漆層的裂开）。但采用圓形骨架时，由于骨架占去一部份窗口面积，而必須加长磁路长度，因而使磁性材料的用量增加了。

阶梯形截面的结构形状及尺寸如图8—108所示。

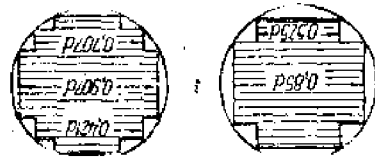


图8—108 阶梯式鉄芯截面

从圖可見，阶梯級数愈多，銅导线的消耗量减少。阶梯形截面鉄芯常用在大功率变压器柱形鉄芯中，大功率脉冲变压器的T型或十字型鉄芯的截面，也是阶梯形的。

4) 鉄芯的体积。

任何类型鉄芯的体积均可按下式計算

$$V_c = S_c l_c \quad (\text{厘米}^3)$$

为了計算鉄芯磁性材料的重量 G_{π} ，应用磁性材料的淨体积 V_{π} ($V_{\pi} = S_{\pi} l_c$) 与磁性材料的比重相乘，則得 $G_{\pi} = q S_{\pi} l_c$ (公斤)。

其中 q 为磁性材料的比重，（对于硅鋼來說， $q = 7.8 \times 10^{-2}$ 公斤/厘米³）。

§ 8—2 磁路的制造工艺

如前所述，从工艺特征来看，磁路分为两种，即冲压叠片制成的和卷繞制成的。

叠片磁路用冲压片装叠方式制造鉄芯，是最先采用的工艺方法，由于制造过程简单和易于掌握（可用一般設備完成），直到现在仍广泛采用，特別对于厚度較大（0.35及0.5毫米）而帶有很大脆性的硅鋼片，这种工艺几乎是唯一可实现的工艺（在这种情况下，不能采用卷繞方法制造）。

叠片磁路的制造工艺过程，包括如下工序：

- 1) 板片的冲制（包括去毛刺），
- 2) 退火和被复绝缘层，
- 3) 装叠及紧固。

1) 冲制板片：

按所组成铁芯的结构要求，将板料或带料在具有相应冲模的冲床中冲成所需要的形状，较通用的板片形状如图8—201所示。

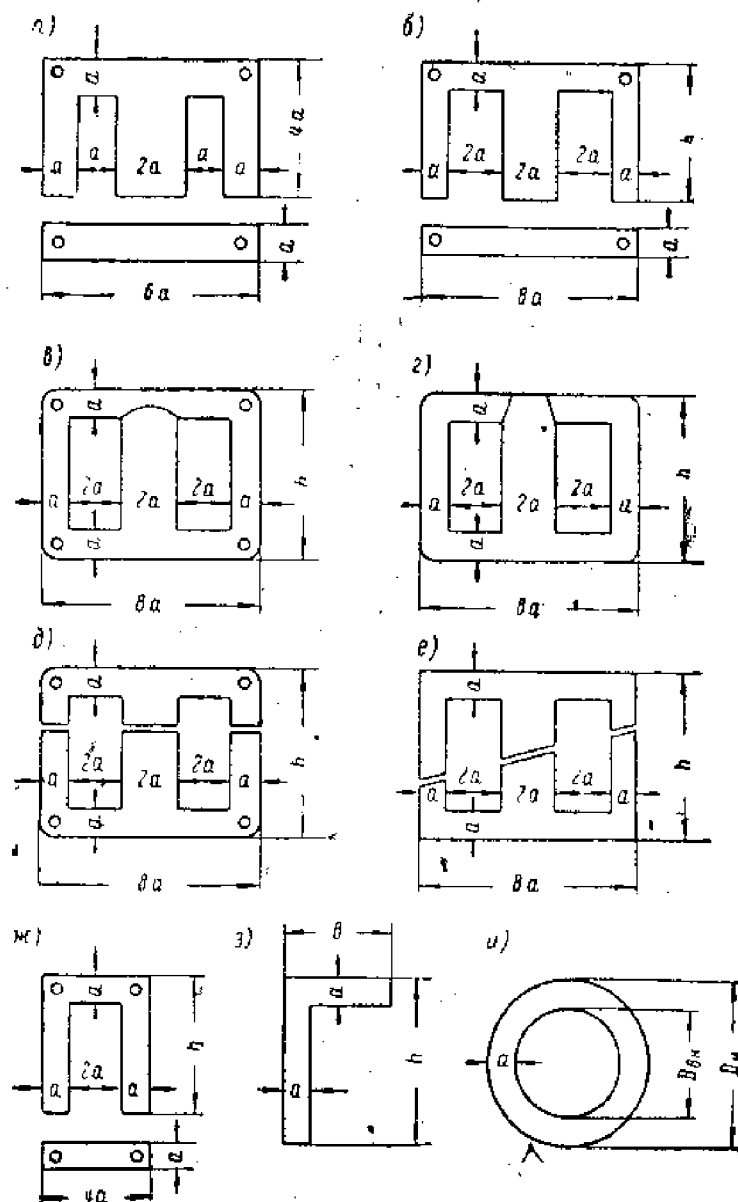


图8—201 磁路板片的主要类型

a) 和b) U形和插条；c) 和d) 中心柱上具有开缝的封闭式板片；

e) 和f) 具有直接缝和斜接缝的封闭式板片；

g) U形板片；h) T形板片；i) 环形板片。

圖中的a和B均具有標準化尺寸，是最常用的兩種形式；B和Г的結構形狀，可使工藝上不可避免的空隙減小，因為磁路上只有一條切斷磁力綫的非磁隙；D和E便于配裝成具有非磁隙的磁路，而且其中D圖所示的片子形狀，其兩半是相同的，這使得可用一個沖模完成；2B和3是用來組成柱型磁路的；而H則用來組成環形磁路的。

圖8—201a和B中的山形以及2B中H形板片的沖壓，可以排成無廢料的形式，如圖8—202所示。

圖中a)的排樣，用來沖制H形板片（包括等截面和不均勻截面的），D)圖排樣，用來沖制一般型式和 $b=a_c$ 的III形片，而B)圖的排樣，可用來沖制一般地并且 $b=\frac{1}{2}a_c$ 的III形片。這種排樣方案，在沖制過程中，同時完成橫板片（橫磁軛）的沖制操作。

圖8—201的B)、Г)、D)、3)和H)的板片形狀，由於不能進行無廢料沖壓而採用得很小。H)圖所示的環形片，幾乎已不採用。

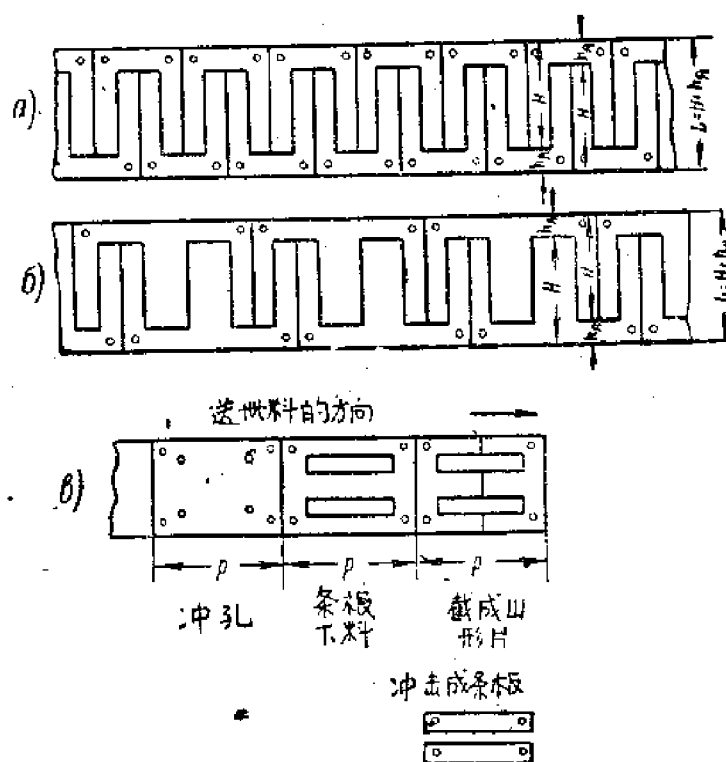


圖8—202 板片無廢料沖壓的排樣圖

a) H形板片的排樣；b) III形板片的排樣；B) 同時沖壓H形片及短條板

厚度小於0.1毫米的較薄板料的沖壓，是有困難的，這時易于加速沖模的磨損，同時由於較薄材料的剛度不足，為了得到毛刺較少的片子，就必須預先給予一定的留邊，這樣，沖壓過程的廢料增加了，而且沖片後的裝配過程，常常引起板片的變形。由於這些原因，沖壓疊片工藝，不利於制作較薄材料的鐵芯。

大家知道，現代所出產的冷軋鋼和磁性合金，大多數都具有各向異性的磁性能，因而，沖片時，應使磁路中力綫較長的部分與壓延方向相符。但是即使已注意到這一工藝原則，在沖片疊裝磁路中，仍不能完全避免與壓延方向垂直的某些片段，因而使磁性能

得不到充分的利用,这是叠片型铁芯严重的缺点。大尺寸的柱型铁芯,有时用长条形板片装叠成(圖8—203),长条的长度方向与压延方向相符,因而,可以部分避免这种缺点。

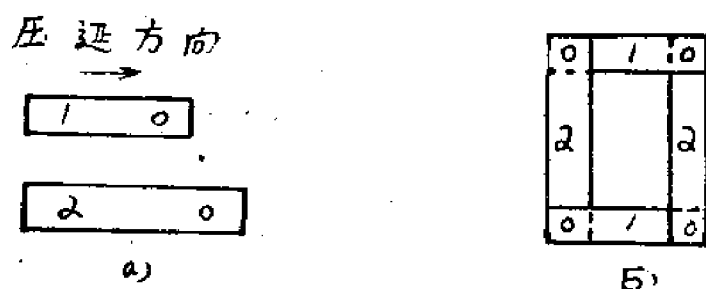
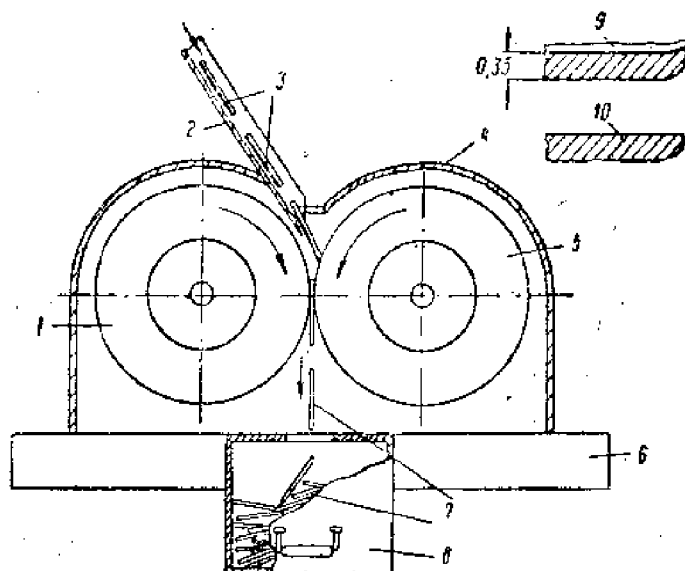


圖8—203 用长条形片叠装柱型铁芯。

a) 条形片; b) 叠装柱型铁芯。

而完全消除这一缺点,則有待于采用卷繞型铁芯。

由于冲模的陰模与陽模之間,存在着空隙,因而冲出的板片边缘具有毛刺。毛刺的存在,使装配成的铁芯的占空系数减小,并引起铁芯片間的短接,所以,在冲片之后,必須进行修整(去毛刺)操作,最现代化的去毛刺工艺,是采用加工平板的圓輪磨床,其簡圖表示于圖8—204a),它的基本部分是两个滾輪,在两輪間通过板片,由結实的橡胶制成的傳动滾輪1,以圓周速度5—12米/分的速度旋轉,由磨料制成的滾輪5,以恒定的圓周速度(30米/秒)旋轉,板片带毛刺的一面对着滾輪5,板片的毛刺和凸出的不平坦部分,被輪5磨去。大量生产中,采用同时完成整形和齐片装箱的半自动机,其外形圖示于圖8—204b)。



a)

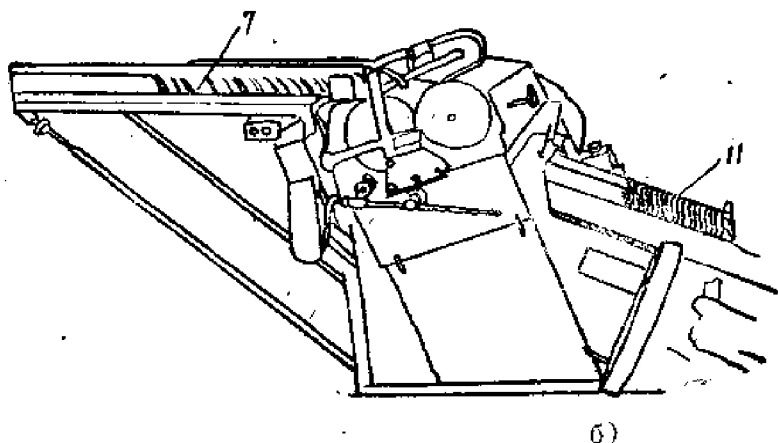


图8—201 a) 去毛刺磨床, 6) 齐片装箱半自动机

1——结实橡皮制成的滚轮, 2——板片进入磨床的导板, 3——未加工的板片, 4——罩, 5——磨轮, 6——基础, 7——加过工的板片, 8——箱子, 9——具有毛刺的板片, 10——去毛刺后的板片, 11——准备装箱的板片。

冲压时, 板片的边缘产生0.5到4毫米宽(这宽度依赖于阴模阳模间空隙的大小和钢的牌号)的变形, 在这个区域内存在着内应力, 并引起磁性能的严重降低。

2) 退火及被复绝缘层:

为了消除金属磁路板片的内应力(在材料生产过程中产生的和冲压载切过程中产生的), 应进行热处理——退火, 经退火后, 磁性材料的导磁率提高了, 而矫顽磁力 H_c 降低了。

作为一个例子, 图8—205可表明退火对导磁率的影响。

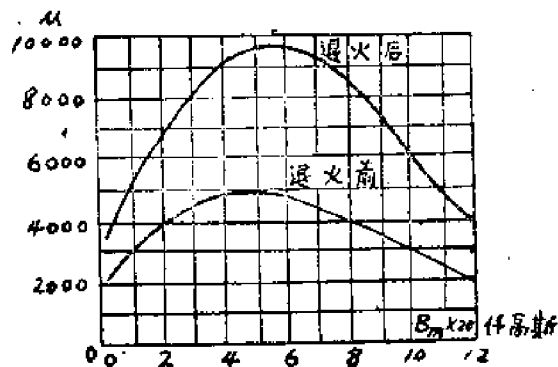


图8—205 对于3M10钢在经过很好地退火前和退火后的导磁率对感应密度的关系

为了减小磁芯中的涡流效应, 磁路板片间必须建立良好的绝缘。实践指出, 当频率为50赫而磁感应不高时, 用退火(在空气中)时所形成的氧化膜, 便可以得到满意的结果。在这种情况下, 退火的过程也是被复绝缘层的过程。当频率高于1,000赫, 且磁感应较大时, 或者, 当采用不生成氧化膜的退火工艺时, 退火后, 须另进行涂复绝缘层工艺。

板片的热处理, 可在电气加热的炉内进行, 按板片材料的型号和性能的要求, 热处理的温度, 在800到1,200°C内变化。

热处理工艺有如下几种:

a) 在有限空气中退火:

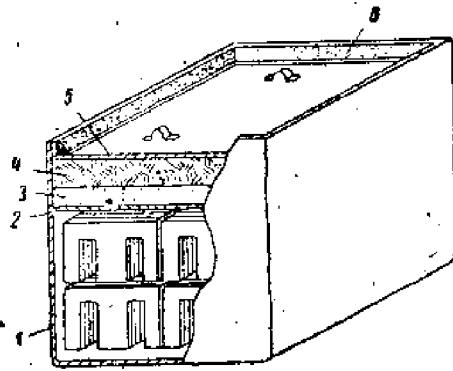


图8—206 在有限氧化介质中退火时所用的箱子及其封口（密封）方法

1——耐热的钢制箱子；2——内盖；3——铸铁屑层；4——耐火粘土层；5——外盖；
6——外盖封口用的耐火粘土。

冲制好的磁路板片装放在图8—206所示的钢制箱（1）中，盖上内盖（2），在内盖（2）的上面，放上铸铁屑（3）（用来吸收退火过程中由于密封破坏而进入箱内的氢气）和耐火粘土（4），再盖上外盖（5），用耐火粘土封好。然后送入加热炉中，待升至最高处理温度时，保持3小时，随后以每小时50°C的速度降温（为了免除板片的弯曲），炉冷却至300°C时，从炉中取出箱子，待箱内温度降至100°C以下后，才能取出板片。

在大量生产中，退火是在具有电加热器和温度自动调节的连续动作的隧道炉中完成的，装有板片的箱子借助于在轨道上的小车，在隧道中向前移动，并经过热处理所需温度和保持时间。采隧道炉比采用其它结构的炉子具有高的生产率，并且节省燃料。

上述退火过程，同时使板片形成氧化膜，氧化膜的厚度与箱内所存留的空氣的多少有关，为了生成能用于板片间绝缘的氧化膜（厚度应为10微米到20微米），箱子内所装的板片应占箱子全部容积的30—35%。如果箱子内存留空气过多或因密封不严而进入空气，氧化膜将过厚，而钢的截面相应减小（特别是对较薄的板片），此外，这样的氧化膜已成为铁渣，所以不结实，易于裂开或剥落。此时应用腐蚀法把它除去，在腐蚀和中和其酸性后，再用其它方法被上绝缘层。为了获得极薄的、光亮的氧化膜，有时装入的份量尽可能多的板片，并用石棉屑或纯石英砂填满所有空槽和仔细封口。

6) 在保护性气体（氢、纯氮或离解的氨、氮氢混合物）中退火：

常采用的保护气体为氢气，在氢气中焖火，能使电工钢板和XBII钢板的磁性得到很大的改善，因为如果退火温度为1100—1200°C，则不仅可以消除内应力，而且能培育金属的粗晶粒，从而提高了它的导磁率和降低了它的磁滞损耗。同时也消除了表面层上有害的物质及氧化物。

在氢气中焖火，所采用的具有电热器的炉子的简图示于图8—207中。

图中的说明，已表明了整个设备的各组成部分。氢气在进入炉子之前，应除去其中的残留氧气和潮气，其中的氧气经过装置A)为其中加热到600°C的铜屑或铝屑所吸收。通过装置F)使氢气冷却后，再在装置B)中除去潮气。炉子在开始加热的同时，通入氢气，从而将炉内所有空气从阀2排出。此后，在退火的整个过程中，保持氢气的供给，并从此建立对被退火板片的保护性气圈。

在排除了箱子和管道内的空气之后，才可以点燃从管 2 排出的氢气，所点燃的火焰 3，可指明通过设备内的氢气是否正常。

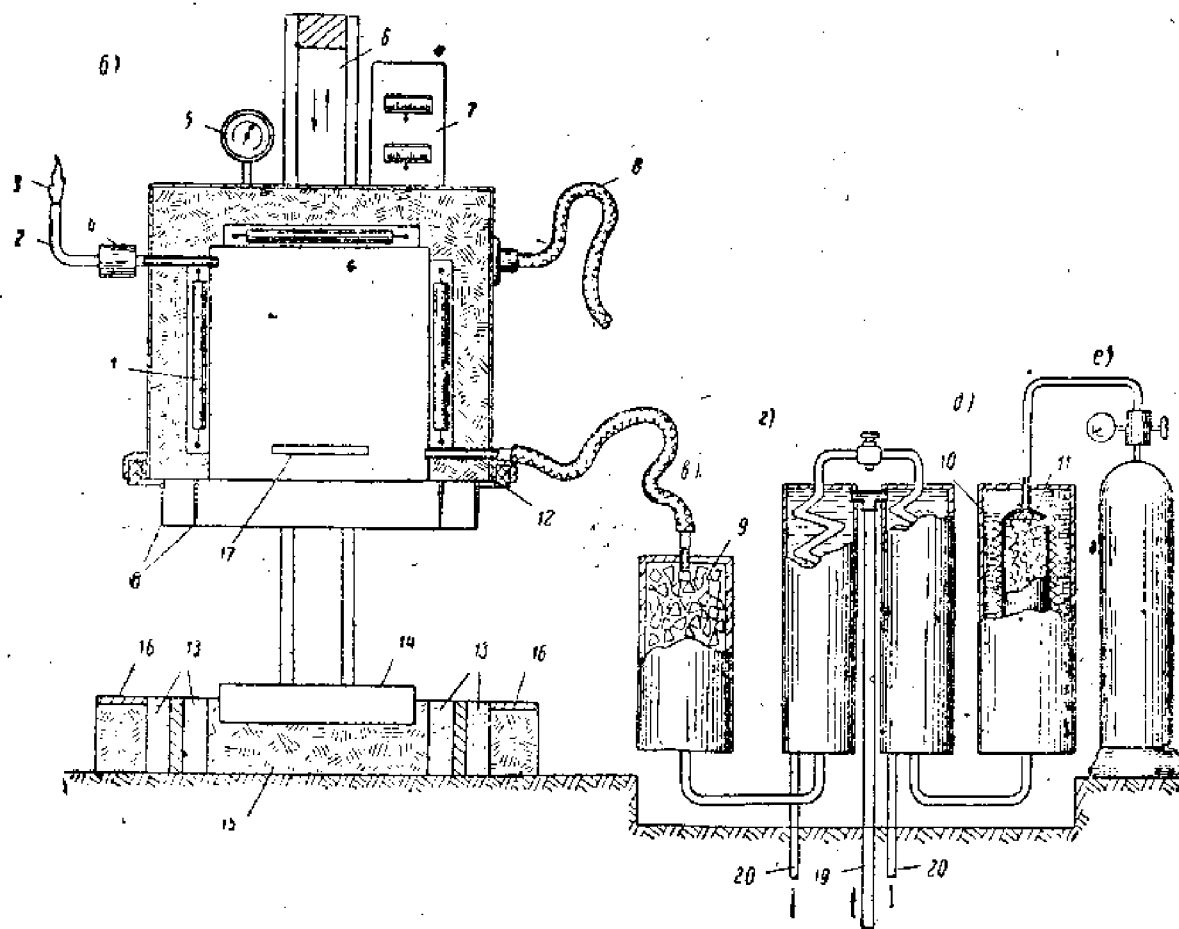


圖 2—207 在氢气保护气氛中退火用的炉子简图

a) 控制台；6) 具有电加热的炉子；b) 吸收潮气的装置；r) 冷却器；A) 吸收氧气的装置；e) 具有氢气的钢瓶；1—加热器的元件；2—流出氢气的阀；3—火焰；4—预防火焰侵入炉内的装置；5—热电高温计；6—升降机机架；7—气压表；8—供电电缆；9—吸潮器；10—电加热器；11—铜或铝屑；12—硬橡皮制成的垫封；12—具有石英砂的坑；13—炉基；15—基础；16—钢板铺成的绝缘带；17—热电偶；18—衬制隔板；19、20—送入和排出冷却水的管道。

采用氢气作为保护介质，有爆炸的危险。因此，在所有不必采用氢气的工艺条件的情况中，应采用别的退火方法。

Б) 在真空中退火

在真空中退火时，由于强烈地清除了板片表面所吸附的氢气、氧气，而使磁性材料磁性能得到显著的改善。由于不消耗氢气而比在氢气中退火更为经济。图 8—203 示出在真空中退火的装置简图。板片放置在装置于加热炉内的耐热钢制的密封小室内，小室与真空泵相连接，并在整个退火过程中建立 1—5 毫米水银柱的真空度。

退火温度和抽空程度可用热偶高温计及真空计来监视。

后面的两种（在氢气和在真空中）退火，在板片表面不生成氧化膜，也称为亮焯火，因此，在退火后用化学方法或涂复绝缘漆的方法，在板片表面挂上绝缘膜。化学方法也称磷酸盐处理，即在板片表面上挂上磷酸盐薄膜（磷酸盐处理工艺可参考第二章），

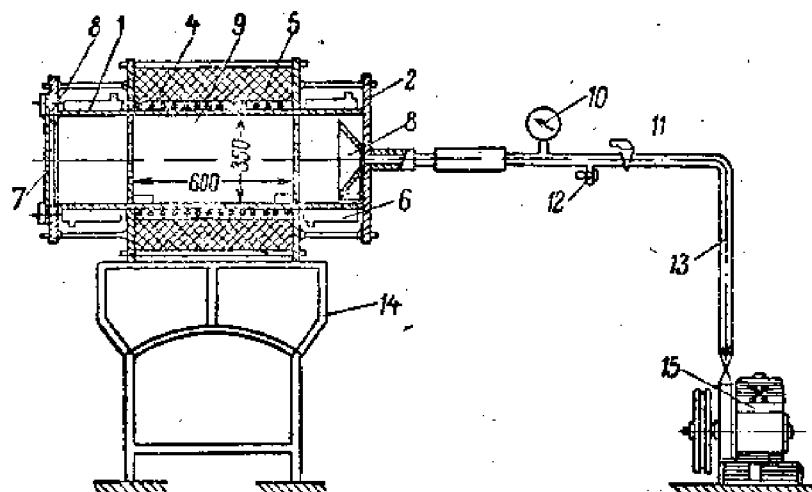


图8—203 真空退火炉的简图

1—石英管 2—连接到真空泵的凸缘 3—真空橡皮制成的衬垫 4—加热元件 5—具有石棉绝热层的外壳 6—冷却水套 7—用螺钉收紧的门 8—反射器(对于热辐射) 9—炉子的工作空间 10—真空计 11—开关 12—取消真空的开关 13—抽真空的管道 14—台架 15—真空泵。

这层膜由磷酸铁和磷酸锰的混合物组成，具有几乎是黑的深灰色。由于它本身是多孔性的，所以具有很高的吸附能力。当复盖层的厚度为5—8微米时，它的直流电阻约为2—3欧/平方厘米(板片的两面)。如果在这膜层上再抹以变压器油或浸以稀薄的酚醛树脂，其电阻还能大大提高。实践指出，当变压器或扼流圈工作于频率为1000赫以下，而且磁感应不大高时，可采用这种薄膜作为板片间绝缘，当更高频率和磁感应更大时，就必须板片的一面或两面涂复绝缘漆(一般用无色硝基纤维漆)，频率愈高和磁感应愈大，则所需的漆层厚度愈大。

复盖漆层，可以用喷雾器进行。也可采用涂复漆的设备。这种设备的简图示于图8—209中。板片由输送带送至旋转的辊子4和3，由它们的中間通过并蘸上漆，当单面涂漆时，板片在传送带上排成连续的，这时只在辊子表面上具有漆液。当双面涂漆时，板片在传送带上排成间断的行，在板片间断时，辊子4上也蘸有漆液，并转涂在板片的表面上。在涂复漆设备的出口，输送带把板片送至具有红外线加热的隧道式干燥器中，将漆层干燥，这种干燥器的简图示于图8—210中。

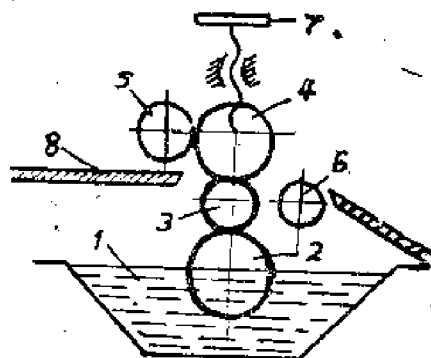


图8—209 变压器铁芯板片涂漆装置简图

1.具有绝缘剂的槽；2.供漆液的辊子；3.使板片下表面涂漆的辊子；4.使板片上表面涂漆的辊子；5.齐片棍；6.导向棍；7.机械夹紧和空隙调整装置；8.工作台。

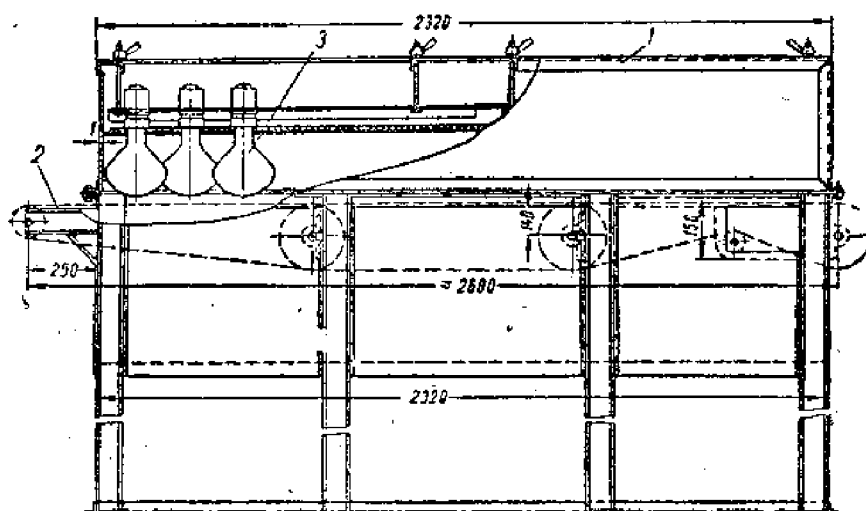


图8—210 具有红外线加热的输送带式干燥器

1—外壳 2—输送带 3—红外线辐射管

应当注意的是，退火后的板片应避免机械作用（碰击，强烈地拉伸，压紧等），更不能再次进行机械加工，否则，其磁性能又大大降低，特别是对于象坡莫合金等对机械作用敏感的材料。

3) 装叠及紧固：

将按上述工艺过程制成的板片装到带有绕组的骨架中去可有两种型式：“交叠式”和“对接式”（见图8—211）。经验与分析表明，装叠型式及紧固工艺，同样影响叠片型铁芯的电磁性能，装叠型式，对电磁性能的影响是由于空隙的存在所引起的，因为空隙（特别是切割力线空隙）将引起磁阻的增加，从而使铁芯的有效导磁率降低。现在让我们对前述的两种装叠形式作比较：

图8—211所示的对接式铁芯，具有切割力线空隙4（称为非磁隙），这将使磁路引入串联的磁阻，因而总磁阻增加了。但在某些情况下（见后面所述），当磁路要求引入最佳非磁隙时，这种装叠形式是必需的。为了获得一定尺寸的非磁隙，装配时，可在横接合处垫上一层或几层电容器纸或电缆纸。

交叠式装叠时，铁芯交接处的力线分布如图8—211B)所示。由图可见，在板片的横接合处，有一部分力线通过侧旁的板片，因此横接合空隙对磁阻的影响相对地减小了。由于叠片间叠合面很大，在多数情况下，几乎所有力线都不通过横接合处，而磁阻只取决于旁路磁阻。所以说，交叠式装叠有利于磁阻的减小。但是切断板片处的旁路磁通，使侧旁板片的这一区域的磁通密度增加。如果这种增加导致磁性材料的局部饱和，则该部分材料导磁率将下降，使得磁阻增加，交叠愈稠密（即交叠次数愈多），磁通密度增加的区域愈大。为了避免这种情况，有时不采用单片交叠式，而采用多片（2—4片）交叠式（见图2—211）。高导磁率的材料，一般具有低的饱和磁感应，易于因此而造成局部饱和，所以该种材料的铁芯宜用多片交叠式装叠。

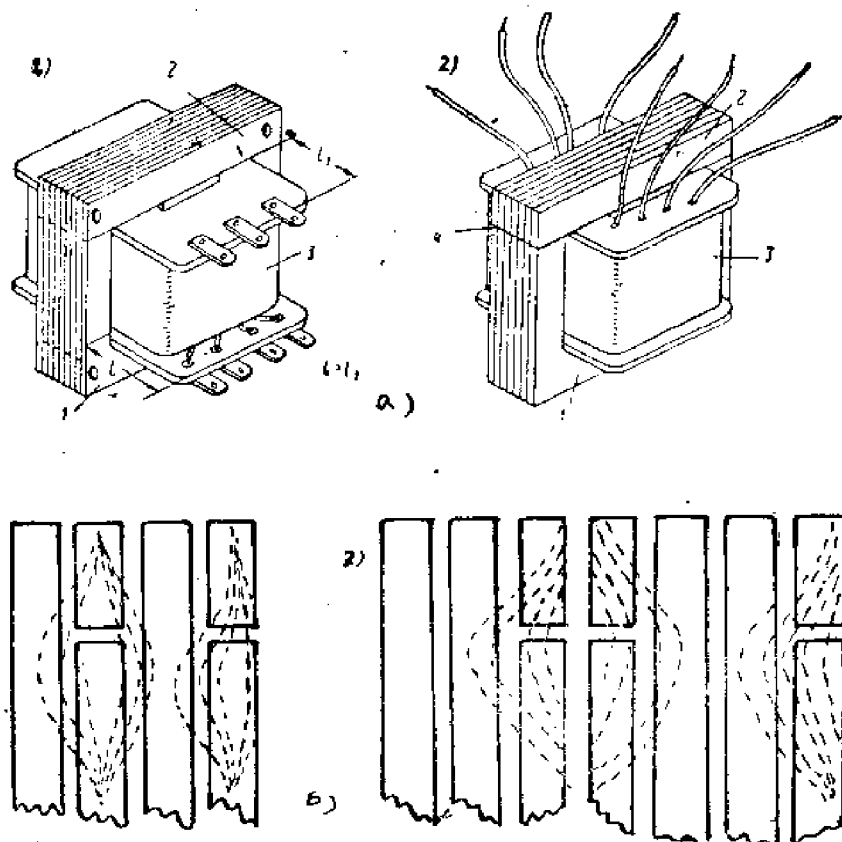


圖8—211 a) 裝置鐵芯板片的兩種結構形式：1) 交疊式，2) 對接式。

1——U形板片 2——黃條板 3——錢包 4——磁路的非磁部分

6) 交疊式裝置板片接合處磁通分布圖 1) 單片交疊式 2) 雙片交疊式。

从工艺观点来看，对接式装叠比交替片装叠操作简单，并易于机械化施工。因为板片不须一片一片的插入。当小批生产时，装叠工作是用手工完成的，装叠后，仍用手工方法进行紧固。为了改善叠片的占空情况，紧固前，还要经过一次压紧工序。压紧工作一般都在螺杆压床上借助于压紧工具（圖8—212a）完成。加压时，单位压力以不超过每平方厘米40公斤为限（以免片間絕緣变坏，为此，任何情况下不得超过70—80 公斤/厘米²），压紧后，再用錘敲入几片（4—6片），以保证錢包紧紧地固定在芯柱上。

叠片的紧固一般用通过预先在板片上冲出的安装孔的收紧长螺钉或双头螺栓完成，这些螺钉或螺栓应该与片子絕緣（用紙胶管或電纜紙包好），以防止板片互相短接。由于板片上冲出的孔占去了铁芯一部分截面积，铁芯局部磁感应密度相应增大，这将引入附加损耗。对于小尺寸板片，这种效应更显著。因此，小型磁路，可以用U形夹壳（圖8—212）进行紧固。

在大量生产中，采用各种不同的具有复杂运动系统的自动机来装叠磁路，圖8—213所示的示意图是其中一种用机械化装叠U形片和横片的方法。

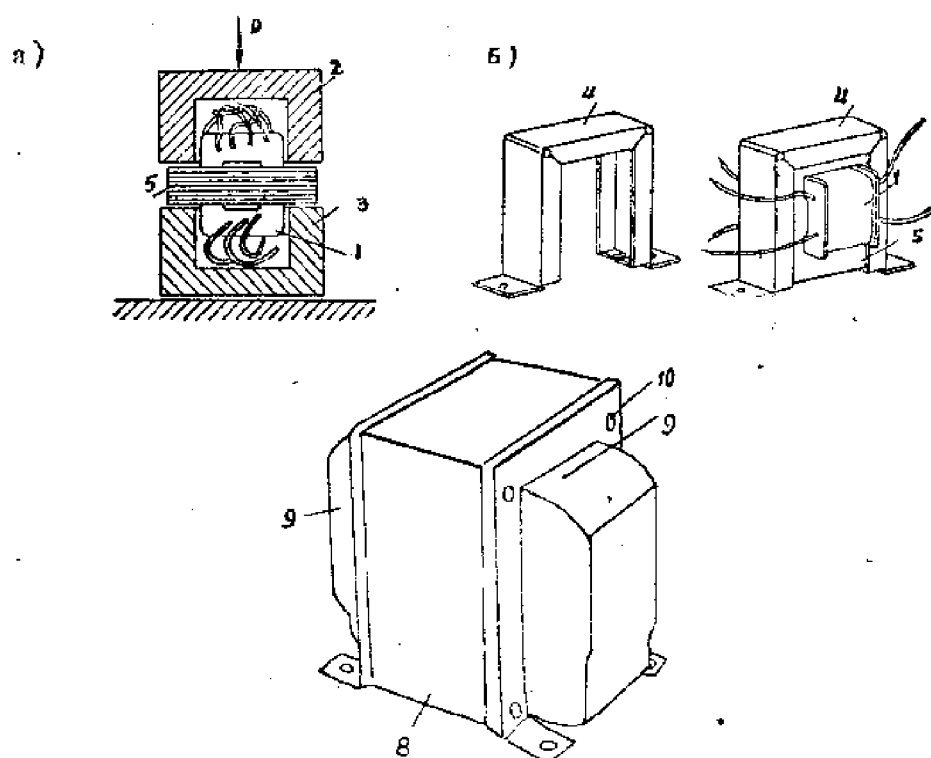
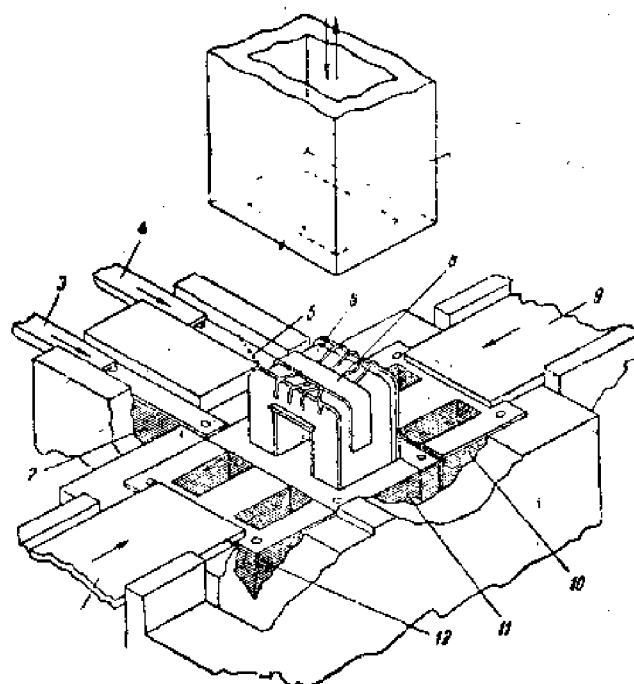


圖8—212

a) 壓緊工序的工具，б) 用U形夾框來緊束磁路 в) 具有屏蔽罩的裝配好的變壓器外形
1—樣包；2—上壓模；3—下壓模；4—U形夾框；5—磁路；8—磁路；9—屏蔽罩；10—收緊螺栓。



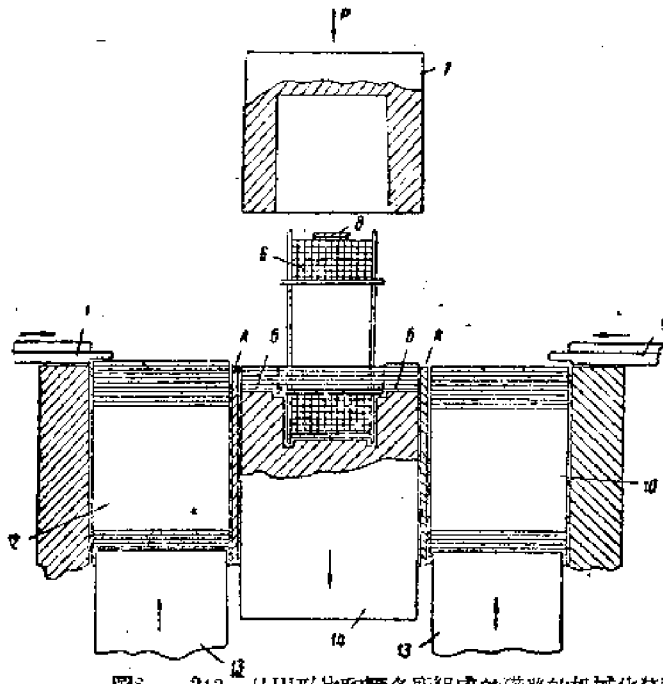


圖3——213 从I形片和橫條所組成的磁路的機械化裝配示意圖

- 1, 9——I形片的推片板 2, 5——具有橫條片的儲片匣 3, 4——橫條片的推片板 6——繞包
7——压紧叠片的上楔 8——压紧引出綫用的U形夾 10, 12——I形片的儲片匣
11——磁路叠片已裝叠好的部分 13——供給I形片的機械(供給橫條片的機械, 与
此具有相似形式) 14——繞包的框架。

从圖可見, 自动机各部分協同动作的結果, 使裝叠板片(交叠式)和压紧工作的工序相繼完成了。

环形鋇片以及沒有收紧螺栓的其他鋇片, 有时也用胶合法进行裝叠和紧固, 一般采胶木漆、BΦ-4胶和其他胶合剂进行胶合; 这些胶合剂具有电絕緣性能, 因此, 沒有必要預先在鋇片上形成氧化膜及涂复磷酸盐膜和漆層。

表徵磁路質量的重要因素是占空系数。占空系数的大小, 决定于鋇片表面的質量(光滑程度), 鋇片的弯曲程度, 是否存在毛刺, 絕緣膜的厚薄, 材料厚度的均匀程度, 以及固紧另件对叠片的压紧程度等。而所有这些因素, 除与原材料質量有关外, 还与磁路的制造工艺有关。并且, 在某些情况下, 为了提高占空系数所采取的措施, 可能与提高磁路的其他性能(如提高材料导磁率)有着矛盾。比方說, 增加对叠片的压紧程度, 将导致片間絕緣及材料磁性的变坏; 而增加絕緣層厚度, 却又降低了占空系数。解决这些矛盾应从具体情况出發, 对于坡莫合金來說, 由于其磁性能对机械应力特別敏感, 因而不能为了謀求高的占空系数而增大对叠片的压力, 对于工作能在較高頻率的磁路, 不能謀求高的占空系数, 而減薄絕緣漆層的厚度。

II. 卷繞磁路

用卷繞方法制造磁路, 与前述叠片方法制造磁路(以I形鋇片叠成的壳型磁路为典型)相比較, 具有一系列优点, 其中主要的如下:

(晶粒取向磁)

1) 可以作成磁通方向与压延方向一致的磁路, 充分地利用了各向异性的磁性能, 因而, 在得到同样的电感量的条件下, 可以减少磁性材料的消耗, 减少制品的重量和尺寸。

2) 可以采用很薄的材料(达20微米厚度)来制造磁路, 因而可减少渦流效应(渦流損

耗及磁集膚效应)的影响。这也使得变压器及扼流圈在满足一定的电性能下减小尺寸和重量。

3)可以扩大对施工过程的监视,因为磁路性能可以在与绕组連結以前进行检验。

4)制造工艺过程易于机械化和自动化(从后述的工艺中理解)

由于上述的优点,愈来愈多的采用卷绕方法来制造具有各向异性磁性的材料的磁路,但当板料较厚时,采用卷绕方法加工有困难,因此这种工艺只限于厚度在0.35毫米以下的条料或带料中采用。

卷绕型磁路常用的结构如图8—214所示。

从图8—214可见,卷绕磁路具有切开的和不切开的两种型式。切开磁路的优点是绕组的装置简单,可以得到所需的非磁隙(当必需时)。不切开的磁路必需用特殊的绕线机(环形绕线机)或手工方法(穿梭方法)来制造,可以得到完全没有非磁隙的磁路。卷绕磁路制造的工艺过程,如图8—215所示。从图可见,在进行磁路卷绕以前的所有工序,都不依赖于磁路的结构,而以后的工艺过程随磁路型式和加工方法的不同而异。现在让我们简单地讨论各个主要的工艺过程。

1)带料的清潔

为了使材料表面的污垢和防锈油脂不弄脏后面的加工设备,及影响加工质量,必需进行清潔,为此,先将带料卷放在溶剂中几小时,然后在具有汽油或丙酮槽的专用设备(图8—216)中使带料拉过槽内的两块细毛毡块之间。

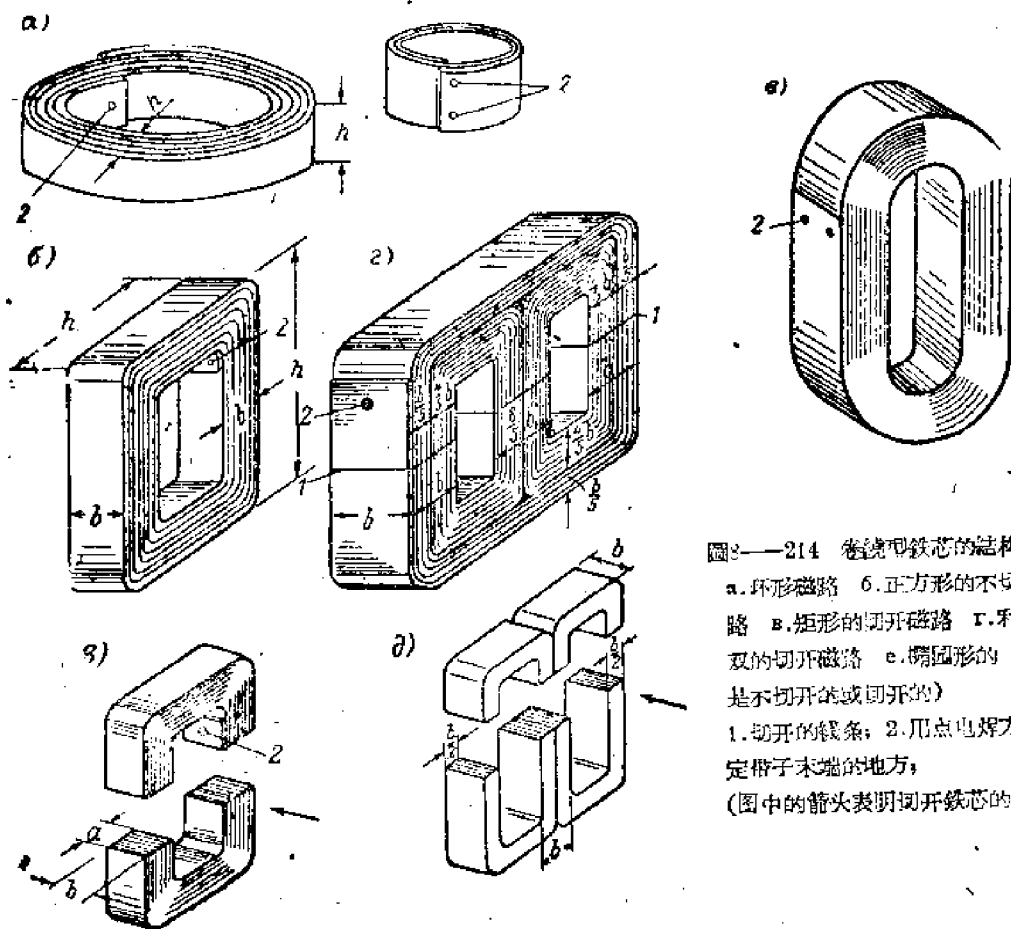


图8—214 卷绕型铁芯的结构型式:
a. 环形磁路 b. 正方形的不切开磁路 c. 矩形的切开磁路 d. 和a. 成双的切开磁路 e. 椭圆形的(可以是不切开的或切开的)
1. 切开的线条; 2. 几点电焊方法固定带子末端的地方;
(图中的箭头表明切开铁芯的方向)

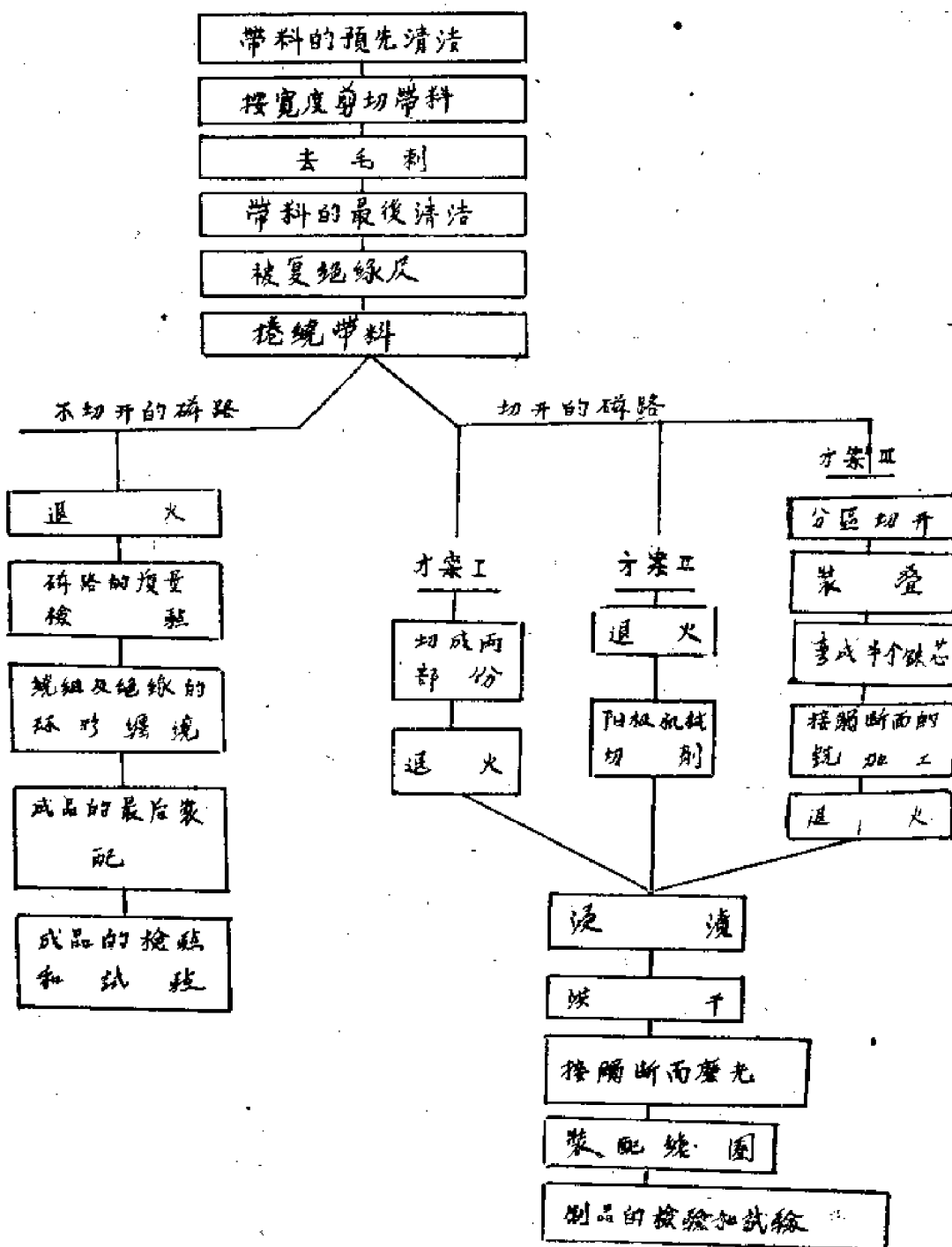


圖8—215 制造卷带型铁芯的工艺流程圖

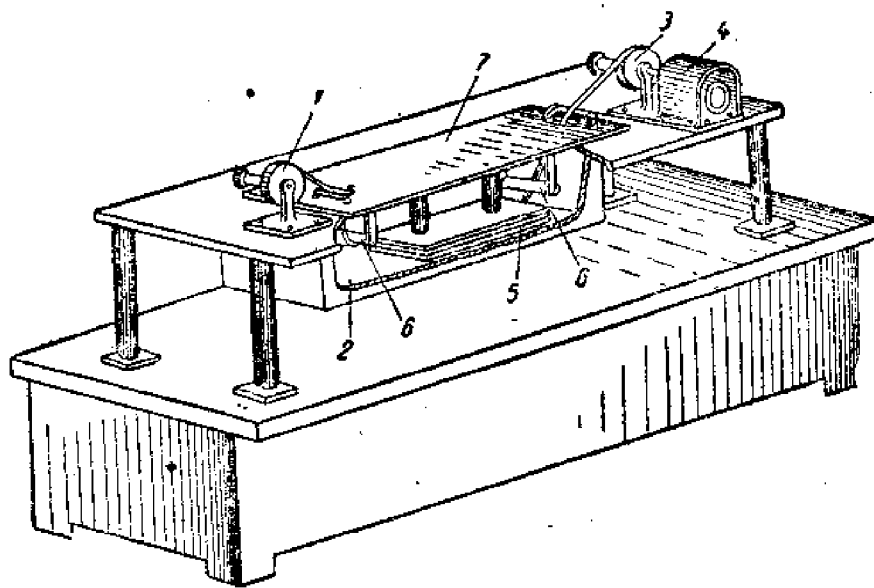


圖3—216 帶料的清潔和脫脂設備的簡圖

1.原始帶料盒；2.槽；3.收集盒；4.具有減速器的電動機；5.細毛毯墊塊；6.導向輥子；7.蓋。

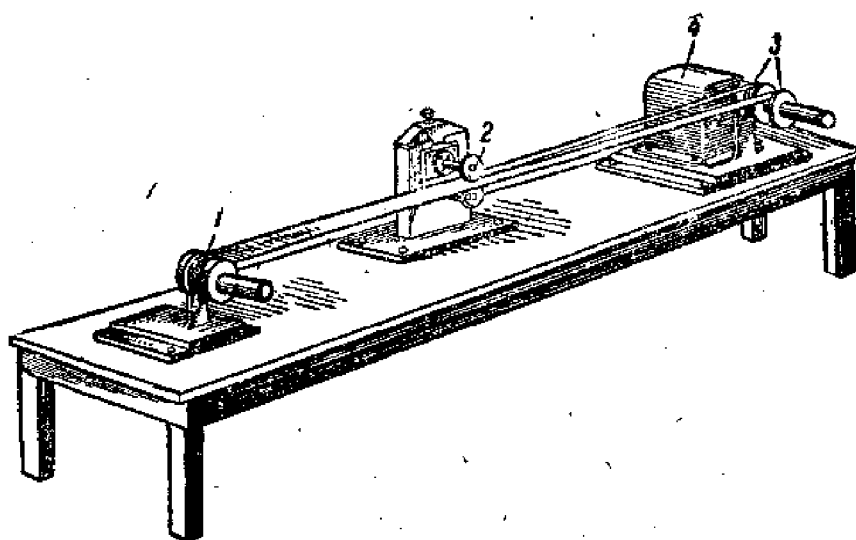


圖3—217 剪切帶料的剪床簡圖

1——原始帶料盒 2——剪頭 3——收集盒 4——電動機

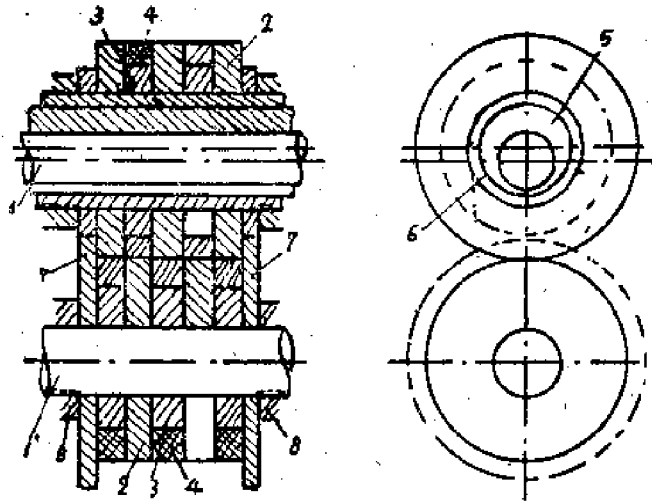


图8—218 具有盆形刀的剪头

- 1.小轴 2.盘形刀 3.衬垫环 4.橡皮垫环 5.偏心套筒 6.套筒 7.定位的横板
8.收紧螺母。

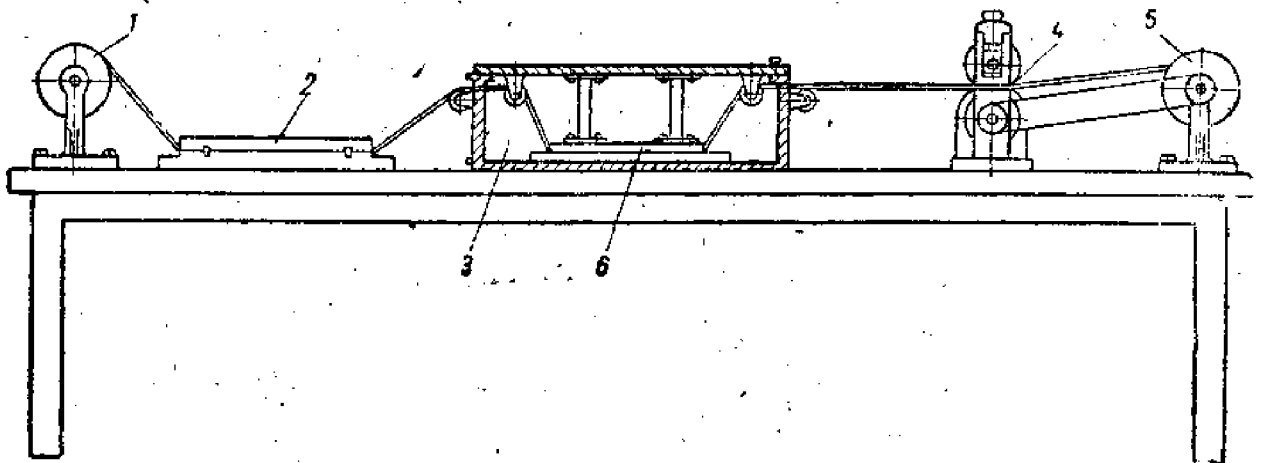


图8—219带料机械去毛刺的装置简图

- 1—原始带料盒 2—具有研磨表面的板块 3—脱脂槽 4—轧辊的辊子
5—收集盒 6—毛毡块

2) 剪切带料

按所需的宽度剪切带料是在辊子剪床(图8—217)上完成的。其中的具有圆盘切刀的剪头示于图8—218。利用这种设备可以剪切0.1—0.03毫米的带料,剪切速度为40—50米/分。厚度小于0.03毫米的带料,由于刚度小而很难在辊子剪床上剪切。

3) 去毛刺

去毛刺可用机械法或电抛光法进行。用机械法去毛刺为专用设备可以具有图8—219所示的形式。这个设备使带料表面磨去毛刺,去脂,以及在钢辊子中轧辊。经过

这种设备的加工，带料的表面就具有较好的质量。

经轧辊后，带料厚度减小了0.001—0.002毫米，宽度相应地增加了(0.1—0.15)毫米，但宽度的增加实际上不影响铁芯的质量。此外，在剪切时，可以考虑到带料宽度的增加。

用电解抛光方法去毛刺的本质是在电解过程中阳极上的金属被溶解。其中，微小的凸起部分(即毛刺)由于电场集中而首先被溶解，凹部则不被溶解，直到得到光滑的表面。电抛光去毛刺时，可采用图8—220所示的装置，先将带料卷绕在陶瓷型心

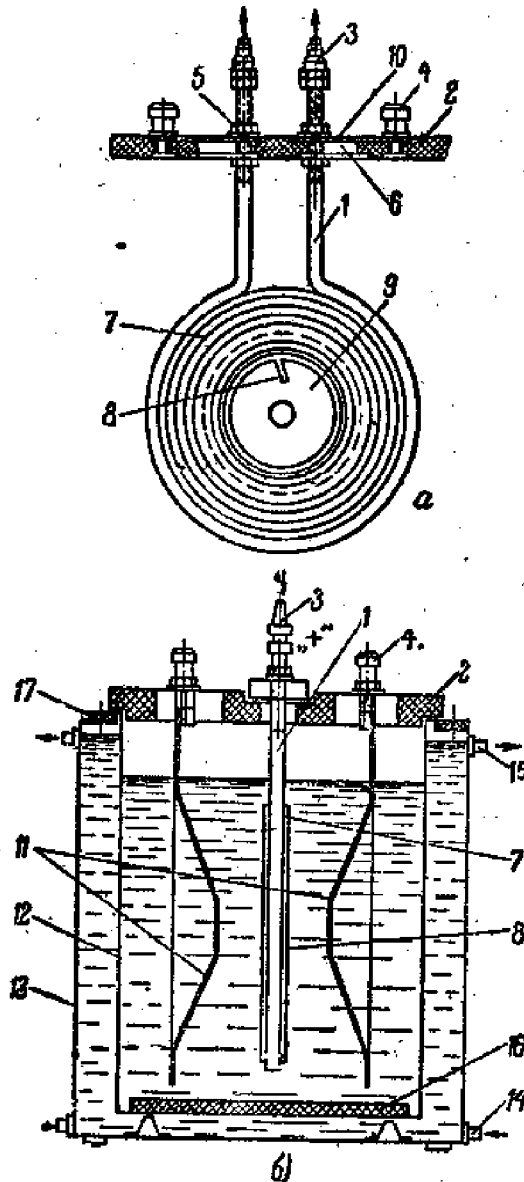


图8—220 带料的电抛光

a) 装夹带料的工具；b) 电抛光装置简图。

- 1—空心铜管 2—绝缘板 3—管接头 4—接线柱 5—螺母 6—
 夹槽 7—带卷 8—固定第一匝的地方 9—陶瓷型心 10—接触板片
 11—阴极 12—槽 13—外壳 14—供给冷却水的管接头 15—排水
 管的接头 16—与槽底隔离的玻璃板 17—衬垫。

上，并插入专门的装夹工具中（圖 8—220a）。在进行电抛光之前，先浸入具有二氯乙烷的槽内，在 5—6 分钟之后，取出干燥并以甘油浸渍（这一工序有助于金属的选择性溶解），然后放入电抛光装置（圖 8—220b）中，并接上直流电源正极。抛光装置槽内的电解液是浓磷酸及浓硫酸的溶液，其阴极为一切断的锥体，应布置得与卷的端面平行。

这种阳极的结构保证沿两个加工表面上的电流密度均等，电解过程时间平均为 5—10 分钟。此后，放入中和及清洗的溶液中。由于在电解过程中会发热，电解槽及装夹带卷的工具均需进行水冷。

与机械方法相比，电抛光去毛刺，提供更好的加工质量。

4) 被复绝缘层及卷绕磁路毛坯

因为被复绝缘层以后要退火，所以绝缘层应该耐热并经受得住退火的高温。绝缘可采用滑石粉、二氧化钛、硅酸盐和其他无机材料。

用电泳（即电渗）法具有最好的质量。电渗现象的基础是悬浮胶液中的粉状物质在直流电场的作用下移动（泳向负极），并沉积于带料的表面上。绝缘层的厚度，可用悬浮液的浓度，流过的电流密度及时间（即速度）来控制。

被复上绝缘层通常与卷绕铁芯工作在同一个联动设备上完成，这个联动设备的简图示于圖 8—221

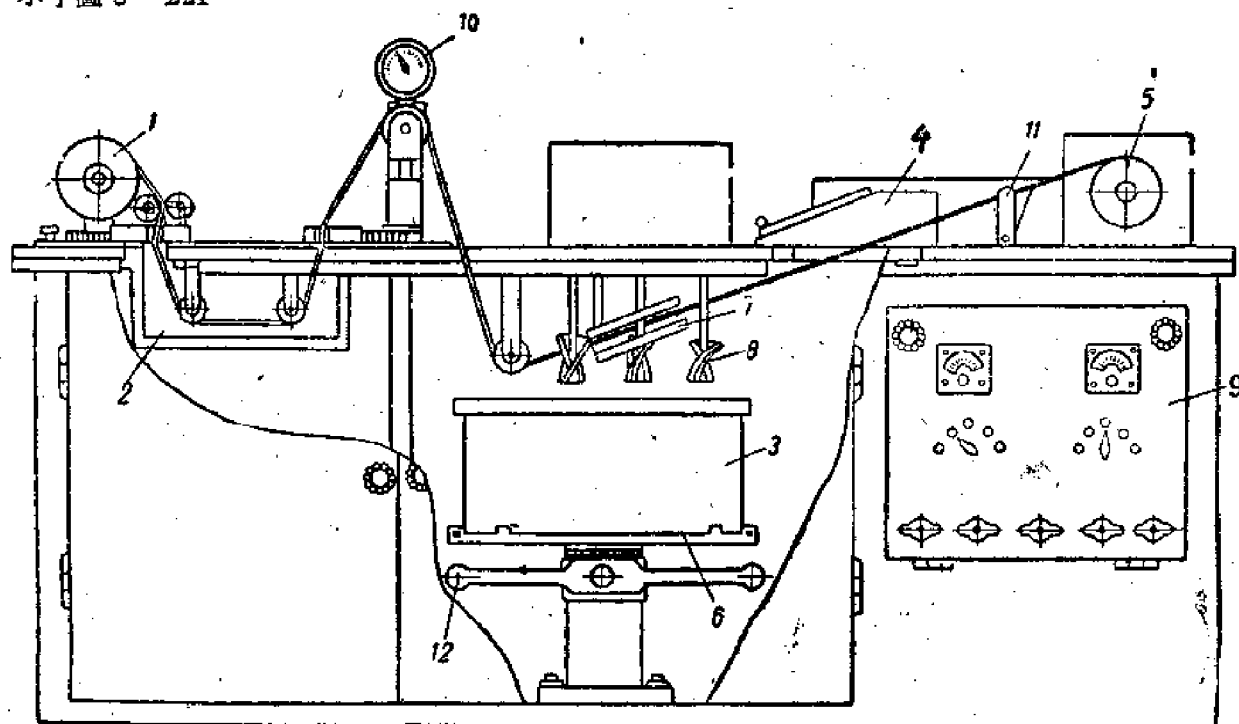


图8—221 电泳——卷绕设备简图

- 1——具有制动装置及盒子轱轳的圆柱形箱 2——脱脂槽 3——具有悬浮液的槽
- 4——干燥箱 5——卷绕装置的收集盒 6——升降台 7——电枢 8——搅拌机构
- 9——控制台 10——测力计（检验拉紧程度） 11——夹紧海绵 12——升降台手柄

卷繞時的拉力，決定於材料性質，帶料的厚度和寬度，可大致的按圖 8—222 的圖表決定，對於坡莫合金，可採用由圖表所確定的拉力。對於XBII，可以採用較大的拉力。

所製成的鐵芯性能的同一性，在很大程度內決定於繞匝間絕緣質量和占空係數，為此，這一工序非常重要，應當特別注意电泳的狀態及拉力是否選擇得恰當，並保持在整個過程中电泳狀態和拉力的恒定。

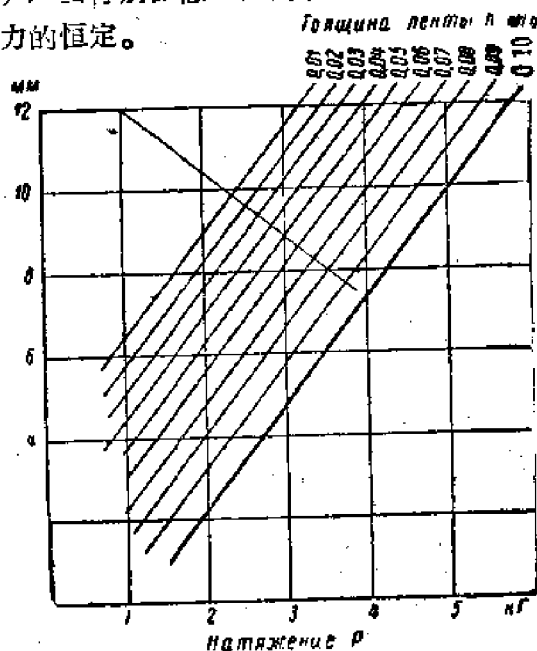


圖 8—222 卷繞帶料鐵芯時決定拉力的圖表

卷繞到所需要的繞匝後，剪斷帶料，並借助於兩個尖銳的銅電極，對帶的末端進行點焊固定，焊點之間應互相關離 1.5—2 毫米。

6) 不切開磁路卷繞後的工序：

如果所製造的磁路為不切開的，則在卷繞後即可進行退火，在這種情況下，退火的目的是消除材料製造、剪切和卷繞時所產生的內應力，不需產生氧化膜（已被復絕緣層），因而，通常都採用真空退火和氫氣退火。

退火之後，對磁路的匝間絕緣和磁性能進行檢驗。匝間絕緣情況的檢驗，是通過對始匝與末匝間電阻測量得到的，當絕緣質量良好時，這個電阻應該接近同樣長度帶料的電阻。

鐵芯磁性的測量可用圖 8—223 所示的裝置進行。這裝置的特點，是環形鐵芯的初級及次級測試繞組作成模夾具的形式，即把繞組的橫向切成兩半，測量時把鐵芯放於其中後再接合起來。其中被切開的每根繞組導線的接合處，通過接插件進行電氣的接觸。測量的線路原理，與一般測量磁特性線路相同（見電工測量課）。

進行磁性檢驗以後，便可以進行繞組的纏繞以及後面的工序。

6) 切開磁路卷繞後的工序

製造切開磁路時，在卷繞後，可用三種方法進行。

第一種方法的特點，是用一般的機械切削方法進行加工，加工後的鐵芯材料，存在着應力，因而退火必須安排在機械加工之後。

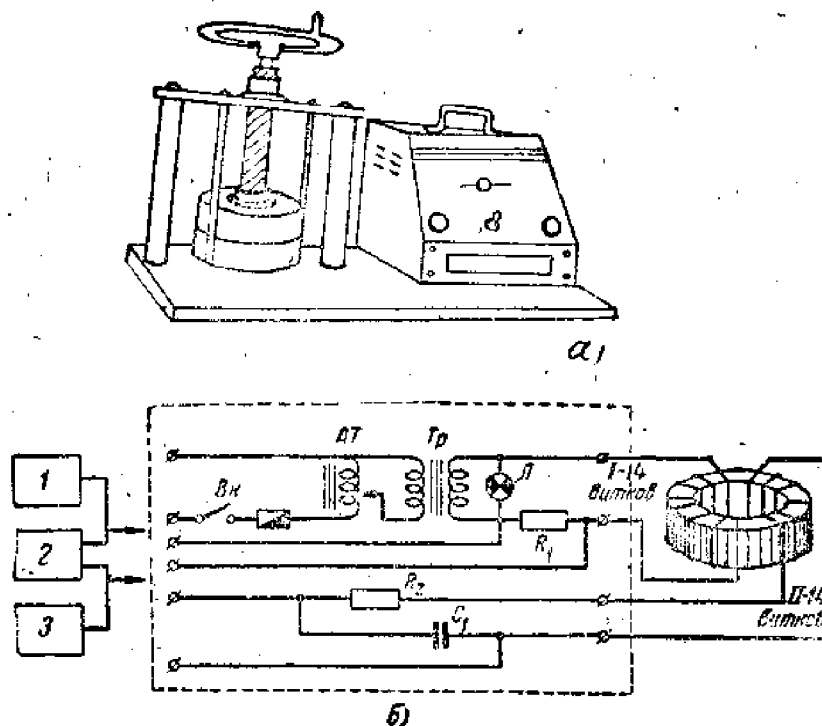


图8—223 檢驗叠片型鉄芯磁性用的装置

a) 装置的外型 b) 装置的原理线路

1, 2——真空管电压表。——示波器

第二种方法的特点是用电火花方法进行切削（也称陽極机械切削），这种方法不会使材料引起内应力（此外还能保证很高的表面质量，使相繼的接触断面磨光的工序简化，而且生产效率也很高），因而可在切削加工前进行退火工序。

第三种方法是用一般的机械切削，将絕緣好的带切断成单塊的条料并装置成束，然后用装在銑床上的模夹具弯成U形，并銑平接触端面。所經過的这些机械加工，均使材料产生内应力，因而退火必需在这些工序之后。

用上述不同方法加工后，将得到半个鉄芯的初形。再經過工艺过程圖所示的共同工序后，便最后制成了鉄心。其中浸漬及烘干工序，是为了加固和保护，接触断面的精磨，是为了使接合处得到准确的和極小的非磁隙。

§ 8—3 綫包的結構

变压器及低頻扼流圈綫包的結構除了保证所要求的电感量或初級电感量以外，还需要满足損耗功率、抗电强度、分布电容和漏感，机械牢固性、尺寸重量，以及工艺性、經濟性等方面所提出的要求。选择綫包的結構类型，以及設計其結構参数（包括匝数和几何尺寸等）都从以上的要求出發。

I. 綫包的类型及其結構特点

按結構特征分为有骨架和無骨架两种。在有骨架綫包中，繞組导綫纏繞在絕緣材料

制成的骨架上。骨架可以是無凸緣的，有凸緣的和有分段凸緣（中間隔板）的；在某些情況下，骨架具有與高頻電感線圈相類似的結構形狀；這種結構綫包的優點是機械強度和絕緣强度高，而且可用于繞組的複雜配置和繞法。在制造無骨架綫包時，先將導綫纏繞在專門的芯模上，繞完後退出芯模，并用棉紗把繞匝綁緊，然後用漆或瀝青浸漬或用樹脂灌封。與有骨架的綫圈相比，這種綫圈的優點，是尺寸稍小及造價較低。但機械強度和絕緣強度較低，并且不能用來實現繞組的複雜配置和繞法。

按繞組配置的結構，綫圈可分為層狀配置和盤狀配置兩種形式。每一種配置都可作成交替式的和非交替式的（見圖 8—301）

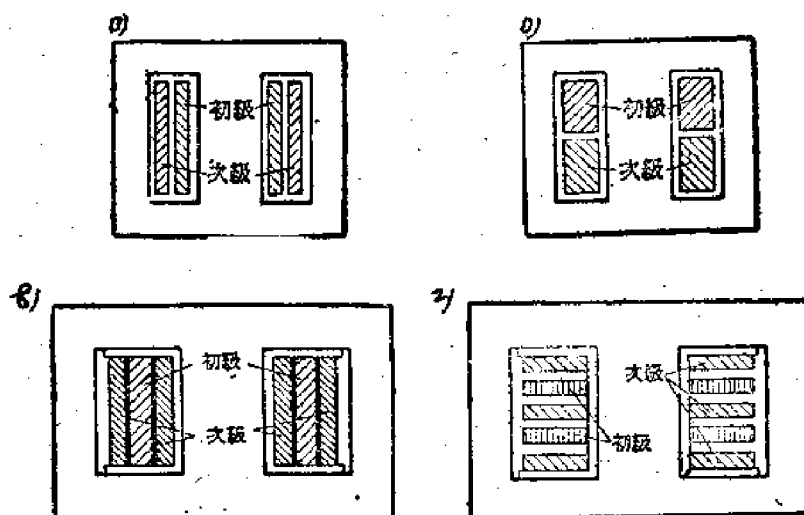


圖 8—301 變壓器綫包配置的结构形式

a) 層狀非交替式 b) 層狀交替式 c) 盤狀非交替式 d) 盤狀交替式

所謂“交替”，是指初級與次級的交替。此外，對於層狀配置的綫圈，還可以採用分段繞法，此時每段內既有同名繞組，也有非同名繞組（見圖 8—302）

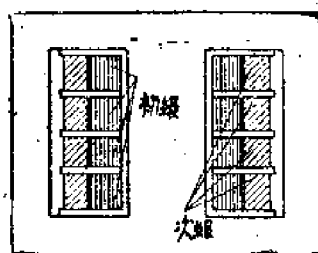


圖 8—302 變壓器綫包的層狀分段配置

非交替式層狀綫圈在結構制造上是最簡單的。交替式比非交替式綫圈有小的漏感和大的分布電容；交替次數愈多，則這一特點表現得愈顯著。對於非交替式或具有相同分段數的交替式綫圈來說，層狀配置具有較小的漏感（小 2—3 倍），但當交替次數增

加时，工艺过程较复杂化，线包的造价将显著增加，而且线包的占空系数降低，因而不能采用过多的交替次数，一般仅采用二次交替方法来进一步减小漏感。层状配置时的分布电容较盘状配置大。由于上述这些原因，一般非交替式盘形线包极少采用，而经常采用的是具有较多分段（但 $< 7 \div 9$ 段）的交替式盘状线圈，以便达到既减小漏感又能获得小的分布电容的目的。此外，当匝数较多时，盘状配置线包中绕组在各分段内的层数较多、层间电位差较小，因而对层间绝缘要求较低（当变压器的工作电压较高时，这一点很重要）。但由于这种配置的价格高，而且机械强度低，所以只有当电压较高和匝数较多的情况下才采用它。分段层状配置与盘状配置相比，具有更小的漏感和分布电容，并同样具有层间绝缘要求低等优点，但是，当交替次数较多时，工艺更为复杂，价格高昂，只有对减小寄生参量要求更高和工作电压相当高的情况下才采用。

绕制多层线圈时，常采用的有分层绕（排绕）和乱绕（堆绕）两种绕法。分层绕的特点是相邻绕组间是并排排列的，乱绕的特点是相邻两匝间不并排排列，所以也称为不规则绕法。乱绕法的优点是制造简单而价廉，当导线较细时，有较大的铁芯窗孔占空系数，但导线直径超过0.4~0.5毫米时，差不多完全不用（因为不均匀和不规则使占空系数变得很小）。即使导线较细时，也很少采用，因为在这种情况下，用最常用的绕组导线——漆包线绕制时，容易发生短路匝的危险（因为，当采用这种绕法时，由于导线厚度不均匀和骨架的不均匀等原因，导线陷落到下层去的情况几乎是不可避免的，特别当骨架无凸缘时，容易产生边缘线匝滑落）。由于这些原因，乱绕法一般只有在工作电压很低，骨架具有凸缘和中间隔板，以及采用高电气强度和高机械强度的绝缘作导线的绝缘层（ПЭВ, ПЭМ, ПЭМШО等等）的情况下采用，例如工作电压很低的层状配置的输入变压器，为简化工艺，常采用乱绕（此时采用小直径的漆包线，而小直径导线的排绕工艺较复杂）。

II. 绕组在铁芯窗中布置的计算

1. 层状配置的绕组

1) 当采用乱绕时（图 8—303）

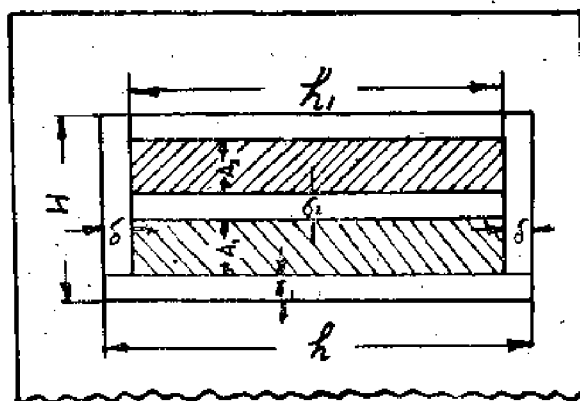


图 8—303 乱绕层状配置绕组的结构尺寸

6) 确定绕组长度 h_1 :

$$h_1 = h - 2\delta$$

(8—301)

其中, h —铁芯窗高度, 当铁芯尺寸确定后为已知。

δ —为了使导线不致滑落, 所需的距离。对于小功率变压器为2毫米, 对于中等功率的变压器为5~6毫米。

当采用有凸缘骨架时, δ 为凸缘板厚度。

6) 绕组所占的截面积 Q_i :

$$Q_i = \frac{d_{ins}^2 W_i}{K_{zi}} \quad (8-302)$$

其中: d_{ins} —导线绝缘层的直径,

W_i —绕组的匝数,

K_{zi} —绕组面积的占空系数, 它考虑了缠绕时导线不紧密所形成的空隙, 绝缘衬垫所占空间以及导线在矩形骨架上的鼓起情况。其大小决定于导线直径, 衬垫的厚度及数量, 以及缠绕的精确度和缠绕时的拉力。可按表8-2的经验数据确定。

表 8-2

带绝缘导线的直径 毫米	没有衬垫乱绕时的 K_z		用薄纸作衬垫乱绕时的 K_z	
	圆形线卷架	方形线卷架	圆形线卷架	方形线卷架
0.05	0.75	0.65	0.6	0.5
0.1	0.8	0.7	0.7	0.6
0.2	0.85	0.75	0.75	0.7
0.5	0.9	0.8	0.8	0.75

B) 绕组的厚度 A_i :

$$A_i = \frac{Q_i}{h_1} \quad (8-303)$$

r) 绕包的总厚度 A :

$$A = \sum A_i + \sum \delta_i \quad (8-304)$$

其中, δ_i 为所需的绝缘垫衬的厚度, 决定于绕组的电位情况和所用的垫衬材料的耐压强度及机械强度, 按经验确定(可参考“低频变压器设计”一书的257页)。

如果所计算得的 A 比窗口宽度小3—5毫米, 则可认为绕组布置是合理的, 如果不在这一范围内, 则磁路尺寸应加以适当调整。

2) 当采用分层绕时(结构尺寸可用图8-303的符号)。

a) 绕组长度 h_1 :

$$h_1 = h - 2\delta$$

6) 每一绕层的匝数 n_i :

$$n_i = \frac{h_1}{d_{ins}} \quad (8-305)$$

B) 绕组层数 C_i :

$$C_i = \frac{W_i}{n_i} \quad (8-306)$$

C_i 最好选取整数, 此时可适当减小 h_i

r) 繞組厚度 A_i

$$A_i = d_{i\text{из}} C_i + \delta_i (C_i - 1) \quad (8-307)$$

考虑到导线在矩形截面骨架鼓起地方的情况, 此时 A_i 应增大 (1.2~1.4) 倍, 当繞組層数很多, 导线較細, 以及鉄芯柱厚度与宽度的比值較大时, 应乘較大的倍数。当層数少、导线粗及正方形鉄芯截面时, 应乘上 1.2。

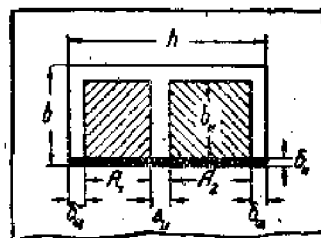
綫包总厚度 A

$$A = \sum A_i + \sum \delta_{ij}$$

其中: δ_{ij} —繞組間的絕緣層厚度。

繞組布置的校驗与乱繞时相同。

2. 盘状配置綫包



圖P—304 盘状配置綫包的结构尺寸

1) 对于非交替式 (当綫包只有两个繞組时), 見圖 (8-304)

a) 各繞組高度 b_H

$$b_H = b - (\delta_K + 1) - 0.2b \quad (8-308)$$

其中的 $\delta_K + 1$ 項为考虑到装配时公差应增加的 1 毫米, 0.2b 項为繞組上邊緣到鉄芯軀的距离經驗上的数值。

各繞組所占的截面积 Q_i

$$Q_i = \frac{d_{i\text{из}}^2 W_i}{K_{zi}}$$

当采用乱繞时, K_{zi} 可从表 8-2 查得。

繞組厚度 A_i :

$$A_i = \frac{Q_i}{b_H}$$

最后, 如果所計算各值滿足下式, 則布置是合理的。

$$\sum A_i + \Delta_{12} + 2\delta \leq h \quad (8-309)$$

如前所述, 非交替式的盘状配置綫包極少采用, 常用的为交替式, 此时, 各繞組应

分成数段，每个分段的厚度及匝数，应按以下方法进行计算。

2) 对于具有奇数分段的对称布置的线包(图8—305所示为具有两个绕组的情况)

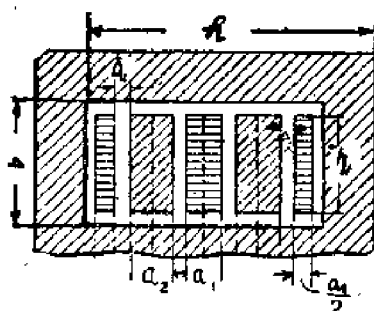


图8—305 对称盘状配置线包的结构尺寸

绕组分段厚度 a_i

$$a_i = \frac{mA_i}{S-1} \quad (8-310)$$

其中: S —线包总分段数,

m —线包的绕组数, 当变压器只有一个初级和一个次级绕组时, $m=2$ 。

各分段的匝数 W_{ic}

$$W_{ic} = \frac{m W_{ic}}{S-1} \quad (8-311)$$

两边缘的分段的厚度和匝数, 为其中的一半。

3) 对于具有奇数分段的不对称配置的线包(图8—306示出其中具有两个绕组的情况)

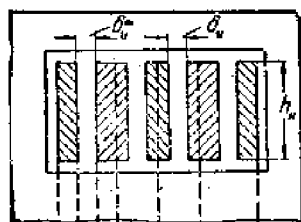


图8—306 不对称盘状配置线包的结构

边缘绕组分段厚度 a_1

$$a_1 = \frac{mA_1}{S+1} \quad (8-312)$$

各分段匝数 W_{ic}

$$W_{ic} = \frac{m W_{ic}}{S+1} \quad (8-313)$$

非边缘绕组的分段厚度和匝数, 可按对称盘状线包的公式计算。

- 4) 对于具有偶数分段的线包 (实际上很少采用)
(图 8-307 示出其中具有两个绕组的情况)

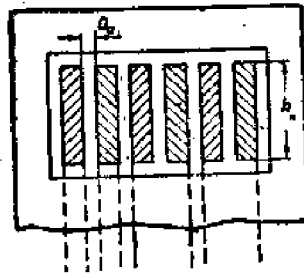


图 8-307 偶数分段盘状线包的結構

此时,

$$a_i = \frac{mA_i}{S} \quad (8-314)$$

$$W_{ic} = \frac{mW_i}{S} \quad (8-315)$$

III. 导线的选择及绕组电阻的计算

漆包线广泛地应用来绕制绕组。其主要优点是绝缘层厚度小 (因而可得大的铁芯窗口占空系数) 和便宜。其最大缺点是绝缘层的机械强度低。因此, 采用漆包线时, 一般应用分层绕法, 每绕完一层后垫上一层绝缘层, 当导线直径大于 1.5~2 毫米时, 不应该绕在矩形截面的骨架上, 因为在弯曲部分的漆膜可能裂开。

当导线直径大于 1 毫米时, 双纱包线 (ИБД) 和双丝包线 (ИШД) 获得了应用。这种导线的绝缘层具有足够的机械强度, 但绝缘层厚度较大。

单纱耐久漆包线 (ИЭДБ0) 及单丝耐久漆包线 (ИЭДШ0) 的绝缘层比漆包线略厚, 但绝缘层电气强度和机械强度都高, 因而它们应该应用在乱绕及粗导线绕制 (直径大于 0.5~2 毫米) 时。

在导线直径很大 (大于 1.5~2 毫米) 的情况下, 为了提高占空系数及简化导线的排绕, 采用矩形截面导线是合理的。

当绕组的工作温度较高时, 应该采用具有特殊绝缘层 (硅有机物、特种陶瓷) 的导线。

在大多数情况下, 绕组导线截面 (q) 都根据允许电流密度选择, 此时:

$$q = \frac{I_{\text{eff}}}{j} \quad (8-316)$$

其中 I_{eff} —绕组导线中的有效电流。

j —允许的电流量密度, 当空气自然冷却时, 在 2.5—45 安/毫米² 的范围内。

当用油自然冷却时, 在 4.5—8 安/毫米² 范围内。

在某些情况下, 按电气计算所得到的绕组电阻来选择, 此时, 绕组导线的截面积应该是

$$q = \rho \frac{l_1}{r} \text{ (毫米}^2\text{)} \quad (8-317)$$

其中:

r —要求的繞組电阻, [欧姆]

l_1 —繞組长度[米]

ρ —導線材料的电阻系数[欧姆·毫米²/米]

計算后應該選擇導線規格中最接近的数值。繞組導線长度 l_1 , 按下式計算:

$$l_1 = l_{wi} W_i \text{ [米]} \quad (8-318)$$

其中: l_{wi} —繞匝平均长度[米]

要准确地計算 l_{wi} , 只有在計算好繞圈的配置之后, 而繞圈的配置計算, 必須先知道導線直徑, 因此, 当确定導線截面时, 必須先估計 l_{wi} 的近似值 l'_w 。对于标准鉄芯, 可从規格表中查得 l_{wi} 。对于其他鉄芯, 可以按下列公式計算。

a) 具有一个繞包和矩形截面骨架的壳型鉄芯 (圖 8-308)

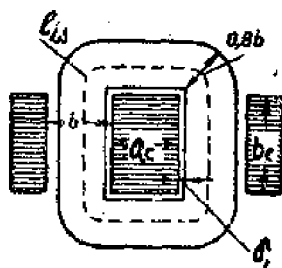


圖8—308 单繞包壳型变压器繞面的平均长度

$$\begin{aligned} l'_w &= 2(a_c + 2\delta_1) + 2(b_c + 2\delta_1) + 2\pi(0.4b) \\ &= 2a_c + 2b_c + 8\delta_1 + 2.5b \end{aligned} \quad (8-319)$$

B) 具有两个繞包和矩形截面骨架的柱型鉄芯 (圖 8-309)

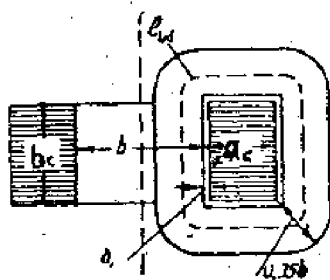


圖8—309 双繞包柱型变压器繞面的平均长度

$$\begin{aligned} l'_w &= 2(a_c + 2\delta_1) + 2(b_c + 2\delta_1) + 2\pi(0.175b) \\ &= 2a_c + 2b_c + 8\delta_1 + 1.1b \end{aligned} \quad (8-320)$$

B) 具有两个线包和圆形截面骨架的柱型铁芯 (圖 8—310)。

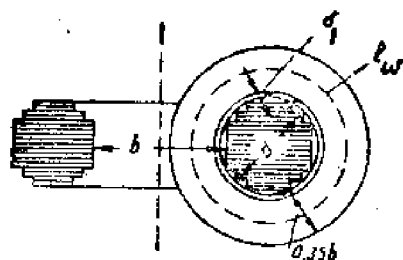


圖 8—310 双线圈圆柱型骨架柱型变压器的线圈平均长度

$$l'_w = \pi(D + 2\delta_1 + 0.35b) = 3.14D + 6.3\delta_1 + 1.1b \quad (8-321)$$

在确定导线的必须直径后, 可按以下式子计算准确的绕组的线圈平均长度 l_{w1} 和线包的线圈平均长度。

a) 当骨架截面为矩形时

$$l_{w1} = 2(a_c + b_c + 4\delta_1 + 2A_1) \quad (8-322)$$

$$l_{w2} = 2(a_c + b_c + 4(\delta_1 + A_1 + \delta_2) + 2A_2) \text{ 等} \quad (8-323)$$

这里 l_{w1} 、 l_{w2} 的下标 1、2……应理解为绕组从最内层开始的布置次序。

6) 当骨架截面为圆形时

$$l_{w1} = \pi(D + 2\delta_1 + A_1) \quad (8-324)$$

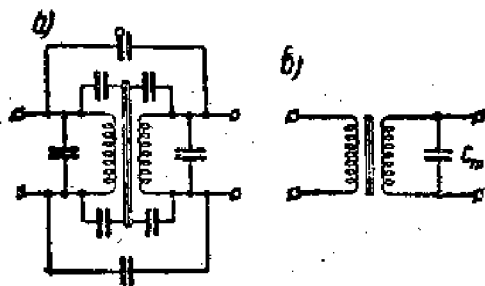
$$l_{w2} = \pi(D + 2\delta_1 + 2A_1 + 2\delta_2 + A_2) \text{ 等} \quad (8-325)$$

$$\text{最后 } l_w = \frac{l_{w1} + l_{w2} + \dots}{m} \quad (8-326)$$

其中: m 为线包所包含的绕组数。

IV 线包的固有电容:

变压器具有一系列寄生电容, 如图 8—311 所示, 这些寄生电容, 严重地影响到变压器的频率特性和相位特性。



圖—311 用等效电容量 C_T 来代替变压器中的许多电容量

这些寄生电容对变压器频率——相位特性的影响, 是由于它们在变压器工作时贮存了一定能量, 其大小决定于下式:

$$w_c = \frac{1}{2} CU^2$$

(8-327)

式中: w_c ——所貯存能量

C ——某两点間电容量 (或某两点間静态电容)。

u ——該两点間的电位差。

为了簡化分析和計算过程, 通常以貯存能量相等为条件, 将所有寄生电容折算到次級繞組中去, 并相加成总的等效电容 C_T 来代替全部寄生电容的影响, 所組成的 C_T 为称为变压器的固有电容或动态电容。

現在讓我們討論动态电容的計算:

1. 初次級繞組間的动态电容:

1) 当变压器繞包具有两个層状配置的初次級繞組时。圖8—312示出初次級繞組相邻近一層的情况:

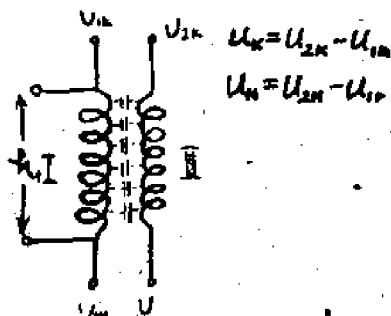


圖8—312两个繞組間动态电容計算的線路

繞組間的静态电容为 C_{12} , C_{12} 具有分布性質。但当每一繞組都具有均匀繞匝时, 可以認為繞組間各点的电容是随长度 h_1 均匀分布的。任意点单位长度 dx 上的静态电容应为 $\frac{C_{12}}{h_1} dx$ 。

为了把 C_{12} 算到初級繞組中去, 應該滿足以下能量等相的关系式

$$\frac{1}{2} C_{12}' u_1^2 = \frac{1}{2} \int_0^{h_1} u_x^2 \frac{C_{12}}{h_1} dx$$

式中: C_{12}' 为繞組間的动态电容

u_x 为距 H 端距离为 x 一点的电位差

$$u_x = u_{2x} - u_{1x}$$

考虑到 u_x 也按 x 的綫性規律变化, 則得:

$$u_x = u_H + \frac{u_K - u_H}{h_1} x,$$

将 u_x 表示式代入經過簡單演算可得:

$$C_{12}' = \frac{u_H^2 + u_H u_K + u_K^2}{3u_1^2} C_{12} = \alpha_{12} C_{12} \quad (8-328)$$

这里的 α_{12} 称为折合系数, 完全取决于繞包繞組上电压的分布情况。

应用同样原理和方法，可推导出两个相邻近的盘式绕组（圖8—313）的动态电容表示式

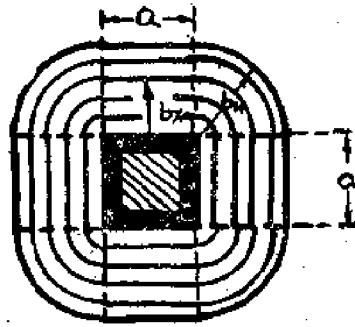


圖8—313 盘形绕组的侧面形状

$$C_{12}' = \frac{C_{12}}{3U_1^2} \left[U_H^2 + U_H U_K + U_K^2 + \frac{\pi b_H^2}{2Q} (U_K^2 - U_H^2) \right]$$

式中：Q——盘形绕组侧表面面积〔厘米²〕

U_H ——在 $b_K = 0$ 处绕组端点之间电压

U_K ——在 $b_K = b_H$ 处绕组端点之间电压

由于两个绕组间的绝缘层厚度很小，所以其静态电容可采用平板电容器公式计算（在工程计算上是足够精确的）。

对于层状配置线包：

$$C_{12} = 0.9 \frac{0.0885 \varepsilon h_1 l_w}{\delta_{12}} \approx 0.08 \frac{\varepsilon h_1 l_w}{\delta_{12}} \text{ 微微法} \quad (8-329)$$

对于盘状配置线包：

$$C_{12} = 0.9 \frac{0.0885 \varepsilon b_H l_w}{\Delta_{12}} \approx 0.08 \frac{\varepsilon b_H l_w}{\Delta_{12}} \text{ 微微法} \quad (8-330)$$

式中： ε ——绝缘材料的介电系数

h_1, l_w, b_H 所代表的尺寸与以前相同〔厘米〕

δ_{12}, Δ_{12} ——绝缘层的厚度〔厘米〕

这里系数0.9为考虑到实际绕组长度 h_1 （或 b_H ）的占空系数经常小于1的系数。

绕组与铁芯之间，以及线包与屏蔽之间的动态电容的计算所得的最后表示式与上述相同。

2) 绕组本身的动态电容：

单层绕组的分布电容与其他寄生电容相比一般极小，在变压器中可以忽略，在不能忽略的情况下，可采用高频电感线圈一章所讲过的方法和图表计算。

下面只讨论多层次级绕组折算到初级的动态电容的计算。

变压器中最常采用的分层绕法的多层绕组，可具有如图8—314所示的两种连接形式：

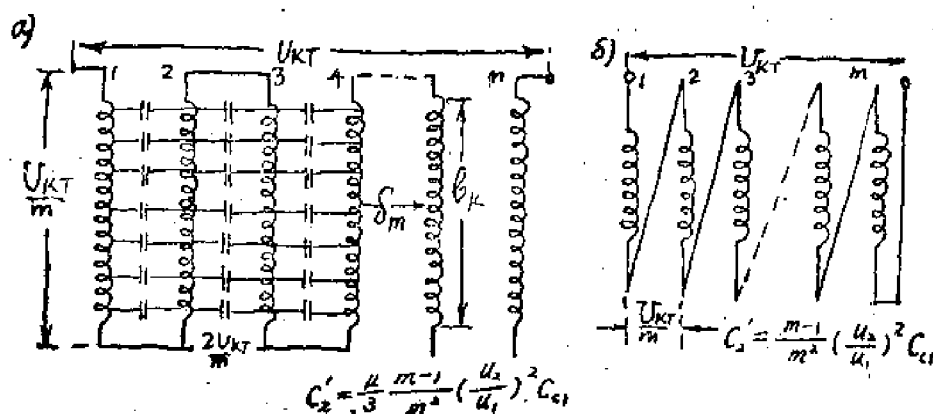


圖 3—314 多層繞阻動態電容的計算線路

設繞組中每層間的靜態電容為 C_{c1} (C_{c1} 與該繞層所處的位置有關, 這裡取其平均值, 即取於繞組中間的兩層間的靜態電容, C_{c1} 可用 C_{12} 的表示式計算, 但其中的 l_w 應改為 l_{w2}), 則對於 a) 圖所示的繞組, 動態電容表示式 (採用同樣原理推导) 應為:

$$C_2' = \frac{4}{3} \frac{m-1}{m^2} \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 C_{c1}$$

$$\text{對於 b) 圖: } C_2' = \frac{m-1}{m^2} \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 C_{c1} \quad (8-311)$$

式中: m ——層數

當採用交替式或分段繞法時, 應分別計算繞組各段的動態電容, 此時, m 應理解為段內的層數, 而 U_2 應理解為段兩端的電壓。

從這兩個公式可見, 採用 b) 圖所示的連接方法可減小其動態電容, 但工藝複雜, 以致在一般情況下都避免採用。

採用分段繞法, 由於各段的端電壓減小, 也可大大地減小繞組的動態電容 (即使總的次級動態電容為各分段之和), 這是因為動態電容與端電壓的平方成正比的緣故。但是分段愈多繞包的結構和工藝愈複雜。實際上分段數不應大於 (3—4) 段 (實踐表明當分段數為 3—4 段時, 已足以使繞組的動態電容小於繞組間和繞組與鐵芯間的動態電容, 因而進一步增加分段數也就沒有必要了)。

顯然, 從上述各種動態電容的最後表示式可得出結論: 為了減小動態電容, 首先應力求減少靜態電容, 即採用較小的絕緣材料; 採用具有較厚絕緣的導線; 增加層間、繞組間、繞組與鐵芯間以及繞組與屏蔽間的絕緣層厚度 (或距離); 減小繞包的尺寸 (l_w , b_1 , b_H)。然而應當指出, 採用增加絕緣層厚度的方法, 將導致漏感的增長和鐵芯窗占空系數的降低。此外, 當增加絕緣厚度時, 還會使繞包尺寸增大, 從而使電容有某些增長。除此之外, 為了減小動態電容, 還應力求減小折算系數, 也就是說, 當配置繞組時, 應使得繞組相應絕緣點間的电位差最小。

5. 變壓器繞包的漏感:

變壓器的漏感和固有電容一起決定了變壓器的高頻段的頻率——相位特性。漏感是

初級（或次級）沒有與整個次級（或初級）耦合的短路磁通所形成的。在一般情況下，其大小主要取決於兩個繞組間的耦合程度（互相間位置），而幾乎與磁路的結構無關。

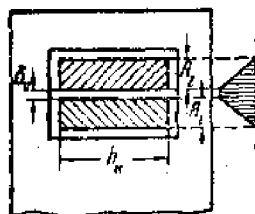


圖3—315 層狀非交替繞包之漏感的計算圖

為了分析簡便起見，在變壓器的等效電路中，通常將次級的漏感歸算到初級繞組，組成總漏感。總漏感 L_{sk} 的數值，可從儲存能量相等的條件中求得。現在，讓我們舉層狀非交替配置的繞包為例，說明其折算方法。

圖8—315示出這種繞包的結構以及在繞包中磁場分布曲線，其中在繞組間絕緣層內的磁場強度 H_0 ，等於初級繞組電流所建立的磁場。故可由下式算得：

$$H_0 = \frac{4\pi}{10} \frac{w_1 i_1}{h_1} \quad [\text{奧斯特}]$$

在空間內的磁能密度，由下式確定：

$$\frac{dw}{dv} = \frac{1}{8 \cdot 10^7} B \cdot H \quad [\text{焦耳/厘米}^3]$$

因為繞包由非磁性材料作成，故昇磁率等於1，則

$$\frac{dw}{dv} = \frac{H^2}{8\pi \cdot 10^7}$$

因而，可求得繞包內所儲存的總磁能為：

$$\begin{aligned} W &= \frac{h_1 l_w}{8\pi \cdot 10^7} \int_{A_1 + \delta_{12} + A_2} H^2 dx = \frac{h_1 l_w}{8\pi \cdot 10^7} \cdot H_0^2 \left(\delta_{12} + \frac{A_1 + A_2}{3} \right) \\ &= \frac{2\pi w_1^2 i_1^2 l_w}{10^9 h_1} \left(\delta_{12} + \frac{A_1 + A_2}{3} \right) \quad (8-332) \end{aligned}$$

在等效電路中的總漏感 L_{sk} 內所貯存的磁能為：

$$W = \frac{L_{sk} i_1^2}{2}$$

利用貯存磁能相等的條件，最後可求出結構上所保證的漏感 L_{sk} 為：

$$L_{sk} = \frac{0.4\pi w_1^2 l_w \cdot 10^{-8}}{h_1} \left(\delta_{12} + \frac{A_1 + A_2}{3} \right) \quad [\text{亨利}] \quad (8-334)$$

這裡所有長度單位均為厘米。

顯然，如果把 δ_{12} 改為 Δ_{12} ， h_1 改為 b_n （見圖8—316），則上式亦可用來計算盤狀非交替繞包的漏感。

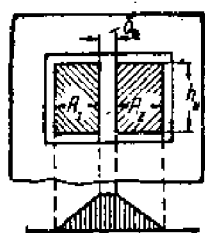


圖8—316 盘状非交替綫包漏感計算圖

用同样原理和方法，可得到以下两种常用的綫包漏感表示式：

对于对称的交替式層状綫包（圖8—317a）。

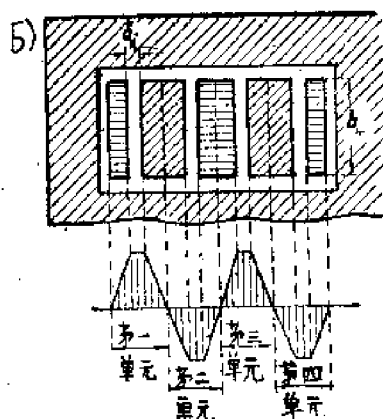
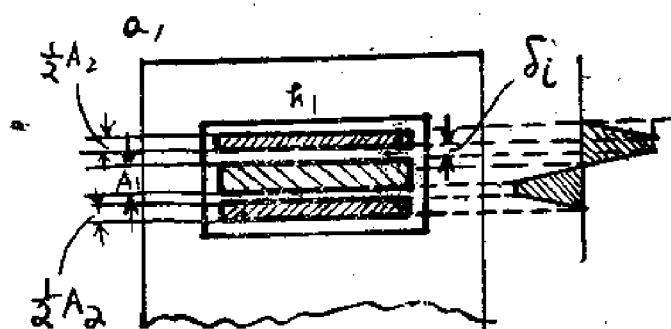


图8—317交替式对称綫包之漏感計算

a)——層状配置綫包

b)——盘状配置綫包

$$L_{sk} = \frac{0.4\pi w_1^2 l_w \cdot 10^{-8}}{h_1 \cdot m^2} \left(\sum \delta_i + \frac{1}{3} \sum A_i \right) \text{ (亨利)} \quad (8-334)$$

(对于該圖來說 $\sum A_i = A_1 + A_2$)。

对于对称的交替式盘状綫包（圖8—317b）。

$$L_{sk} = \frac{0.4\pi w_1^2 l_w \cdot 10^{-8}}{b_H^2 \cdot m^2} \left(\sum \Delta_i + \frac{1}{3} \sum A \right) \text{ (亨利)} \quad (8-335)$$

其中：m——磁場分布曲綫梯形单元的数目

$$m = S - 1$$

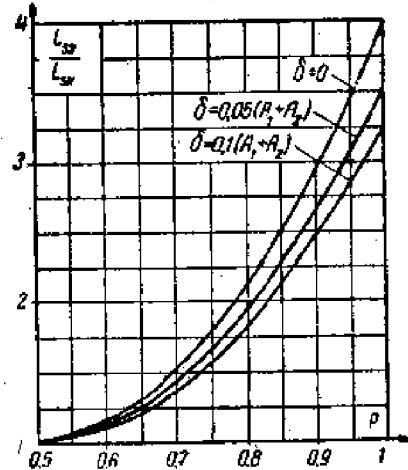
S——段数

其他不常用綫包漏感的計算公式可參考Г.С.采金編著的“低頻变压器設計”一書的第十五章。

在某些情况中，电气計算結果常要求变压器具有一定的漏感值，而当結構上所保証的漏感 L_{sk} 小于 L_s 变为不能允許时，就需要采取措施使 L_{sk} 增加到所需的 L_s 值。为此，最简单的方法，是增加繞組間的距離，即增加分隔繞組的絕緣衬垫厚度。也可以增加繞組的匝数，但这是不利的，因为增加了導綫的消耗。当需要几倍地增加漏感时，可以改用漏感較大的綫包配置形式（如盘状非交替式配置的綫包）。

如果采用非交替層状配置綫包时所算得的 L_{sk} 不超过电气所要求的 L_s 的四倍，則

应采用交替式层状配置线包（分段数为3）。当变压器负载为纯电阻时，把一个绕组分成匝数相等的两部分，可得到最小漏感 L_{SK} ，当所分成的两部分不相等时，漏感将增加，因此，可用改变两部分匝数比的方法，来把 L_{SK} 调整到所需的由非交替式和交替式所得漏感 L_K 之间的任何中间值。为了使应用这一原理调整漏感的方法简化，可利用漏感计算结果所得的曲线进行计算（见图8—318）。其中，曲线的横坐标 $P = \frac{\text{外部绕组匝数}}{\text{绕组总匝数}}$ ，而纵坐标是实际漏感 L 与所分成的两部分匝数相等时的 L_{SK} 的比值。



图——318 当某一交替式层状线包的绕组分成不相等匝数的两部分时确定漏感增加的曲线

当线包为盘状配置时，漏感的调整可采用改变其分段数的方法进行。如果电气上所要求的 L_s 为已知，所需分段 S 可用下式求得（对于常用的对称交替式盘状配置线包）：

$$S = m + 1 = \sqrt{\frac{L_{1K}}{L_s} + 1} \\ = \sqrt{\frac{0.4\pi^2 w^2 i^2 \cdot 10^{-8}}{b_H \cdot L_s} \left(\sum \Delta_i + \frac{1}{3} \sum A_i \right) + 1} \quad (8-336)$$

将所算得的 S 值化整为较大的奇数，然后用稍许改变分段间衬垫厚度 Δ_i 和分段厚度 A_i 的方法进行最终的调整。

6. 线包的骨架及绝缘：

线包骨架及绝缘方式的选择应遵循以下原则：

1) 骨架的结构形状及绝缘方式应满足绕法及绕组配置方面所提出的要求，例如，当一般的层状配置时，为了简化骨架的制造，可采用无凸缘的矩形截面骨架或有颊板骨架（图8—319a）。当盘状配置和乱绕法时，宜采用具有中间隔板和端颊板的骨架（图8—319b），或者“饼干”式骨架（图8—319b）。缠绕时要求绕组对称度很高的变压器，其骨架的制造精确度也要求很高，在这种情况下，应采用由厚度为0.25—0.5毫米的黄铜片焊接成的骨架，如图8—319c所示，为了使骨架本身不致形成短路匝，骨架应有纵向切口。骨架的内外表面应涂敷上一层足以抗住试验电压和防止铁芯短路的绝缘材料。

2) 骨架的结构及绝缘（绝缘材料的性能及厚度）应满足抗电强度以及允许发热的要求。

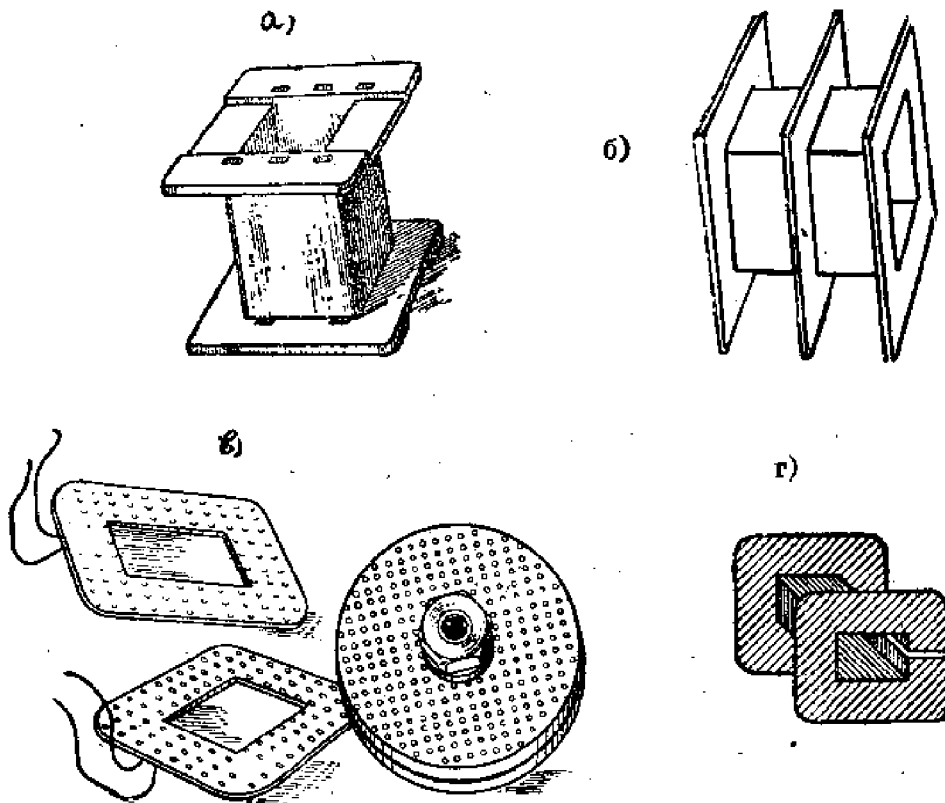


圖8—319 a) 用塑料壓制的具有端額板的骨架結構 b) 由紙板膠合成的具有中間隔板和端額板的骨架結構 c) 餅干形骨架及已繞成的分段繞包 r) 由黃銅片做成的具有切口的骨架

为此，对于工作电压較高（3000伏左右）和功率較大的变压器，常采用圆柱形的或具有中間分段隔板和边缘隔板的圆柱形骨架，圖8—320示出了这种骨架的两个例子。

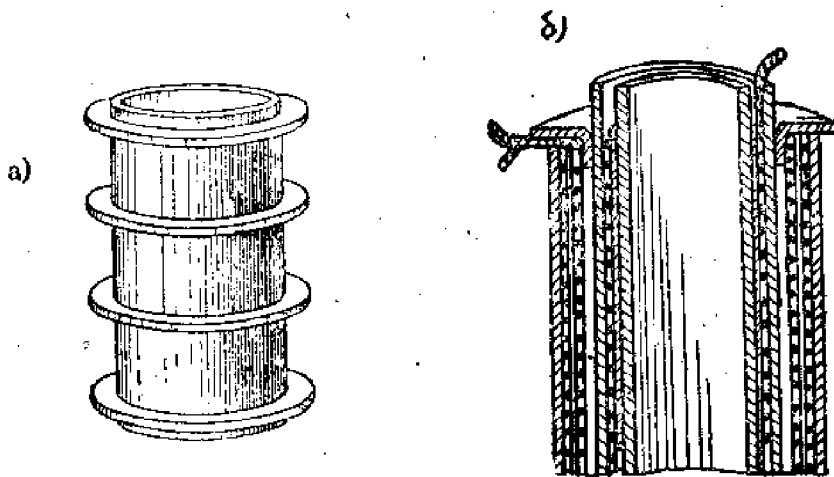


圖8—320 a) 大功率变压器繞包高压繞組的專門骨架 b) 高压脉冲变压器圆柱形繞包的結構

采用圆柱形骨架，可提高线包的绝缘强度（理由见前述）。

图8—320所示为大功率变压器线包的高压绕组的专用骨架，在这种情况下，用这种骨架缠绕好的高压绕组套在低压绕组外面，由于变压器是浸在油里的，在绕组间应留有充油的空隙，以便冷却油的流通。为了提高电气强度，这个高压骨架的边缘隔板可做得厚一些，并距骨架的套筒边有一定距离（防止绕组与铁芯间的放电）。

图8—320b所示，是用类似图a所示的骨架，装配成整个线包的一个结构例子，在这种结构中，借助于纵向衬垫保持绕组间具有一定厚度纵槽，以改善其冷却条件，高压脉冲变压器常采用这种结构的骨架。

功率管阴极处于高压的情况下，其灯丝变压器的次级绕组与地之间的绝缘要求极高，为此，可采用图8—321所示的骨架结构和绝缘方式。

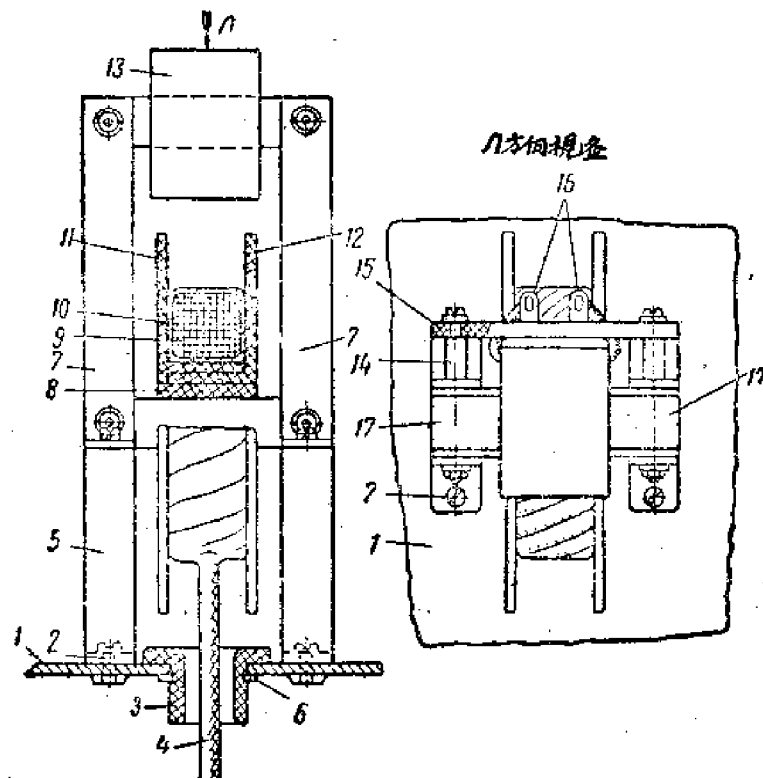


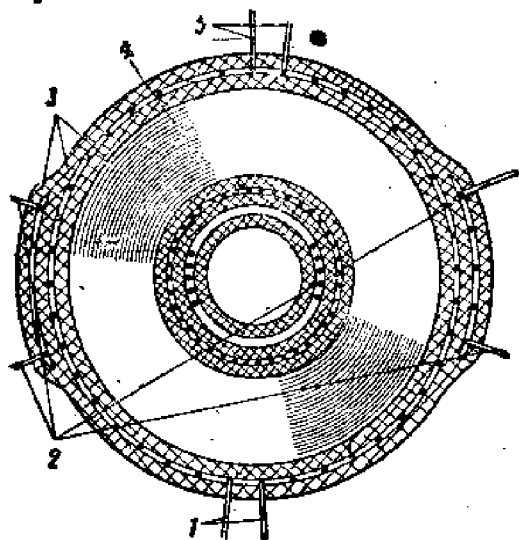
图8—321 阴极具有高压的功率管灯丝变压器结构

- 1—底板 2—螺钉 3—套管 4—次级绕组引出线 5—支架 6—开口环 7—紧固磁路条板 8—套筒 9—次级绕组 10—绝缘层 11、12—骨架的颊板 13—次级绕组 14—套管 15—框 16—焊片 17—磁路

图中的次级绕组9做成无骨架的形式并且有良好的绝缘层10。骨架由高绝缘强度材料制成的套筒8和两个颊板11和12组合而成。颊板的叠合式结构保证了次级绕组与铁芯间具有足够长的沿表面击穿路径。

在功率较大的环形变压器中，为了解决绝缘和散热问题，可采用具有高电气性能和

高耐热性能的塑料（如环氧树脂）进行涂复式的绝缘。如图8—322所示。



8—322 环形高压脉冲变压器的结构

1、5——次级绕组引出线 2——初级绕组引出线 3——环氧树脂涂复层 4——磁路

3) 骨架的结构及绝缘应满足减小寄生参量（电容和漏感）的要求。

为此，最好是选择介电系数小而绝缘强度高的材料作骨架和绕组绝缘层。当这样做仍不能满足要求时（特别在要求大大地减小分布电容时），可以采用架空形式的绕组装置方法。

作为这种装置方法的例子，让我们介绍以下几种变压器的结构。

在某些具有很少匝数的功率脉冲变压器中（此时，绕组是单层的或很少层数的），为了减小线圈的寄生电容，采用了如图8—323所示的结构。其中，导线支持在具有凹槽的直角形绝缘体上，导线的大部分处于架空状态。由于空气或绝缘油（当为了提高抗电强度和改善散热而采用油浸时）的介电常数比固体介质小得多。因而，其匝间或绕组间的分布电容都减小了。为了加长导线与磁路间沿绝缘体表面击穿的路径，直角形绝缘体可作成具有斜面2（图8—323a）或直角加长面（图8—323b）的结构。

作脉冲调制振荡器的磁控管的阴极通常是接地的，此时，其阳极具有脉冲高压，因此，要求其灯丝变压器的次级绕组与地之间不但既有高的抗电强度，而且，应有尽可能小的电容，为了这个目的，也采用如图8—324所示的几种“架空”的绕组装置方法。

在图8—324a)的结构中，骨架具有沟槽6以及在连接处的凸部和凹槽9，其目的在于加长绕组与磁路间沿表面击穿的路径。

图8—324的几种结构的次级绕组，都采用无骨架形式，为了提高抗电强度，包裹绕组的绝缘层，应具有足够的抗电强度。

如上所述，骨架及绝缘的结构尺寸，主要取决于上述因素，计算方法与安秒绝缘零件的计算相同。（参见第五章§5—5）

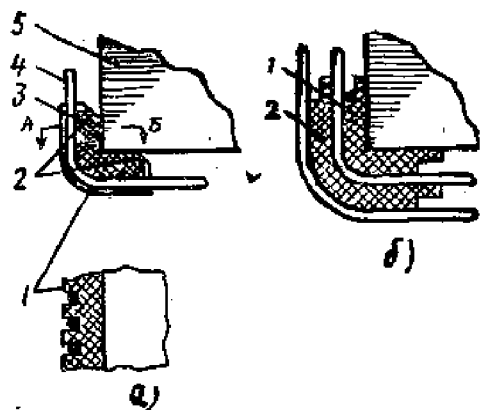


圖3—328 功率脉冲变压器的繞組固定方法

a) 單層繞組

1—凸部 2—斜面 3—直角形絕緣體

4—繞組導線 5—磁路

b) 雙層繞組

1、2—直角形絕緣體

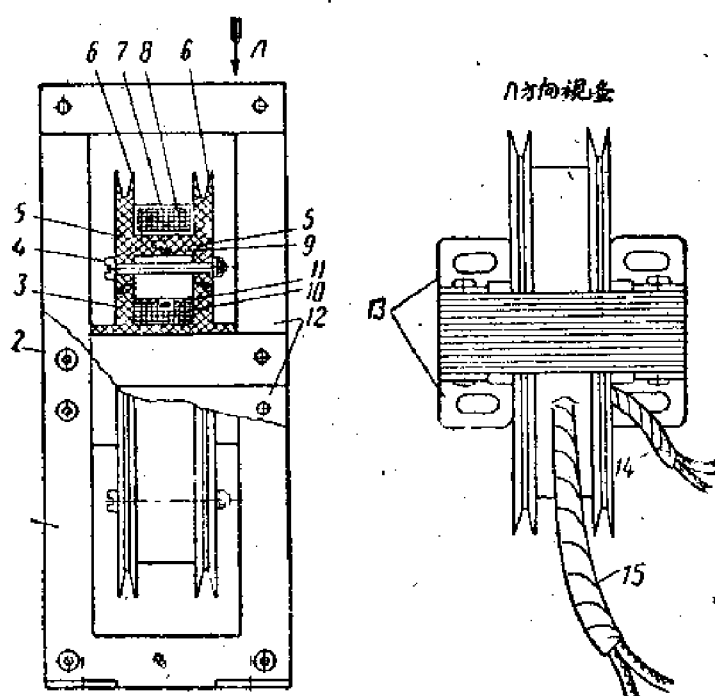


圖3—321 当磁路營工作于阳極接
地时，其灯絲变压器結構的几个
例子。

a) 1—金属框架 2—管狀鋸釘

3—骨架 4—螺釘 5—骨架的

肋板 6—环槽 7—次級繞組的絕

緣層 8—次級繞組 9—骨架肋板

接合处的凸部和凹槽 10—初級繞

組 11—初級繞組的絕緣層 12—

磁路板片 13—凸耳 14—初級

繞組引出線 15—次級繞組引出線

b) 1—初級繞組骨架 2—磁路

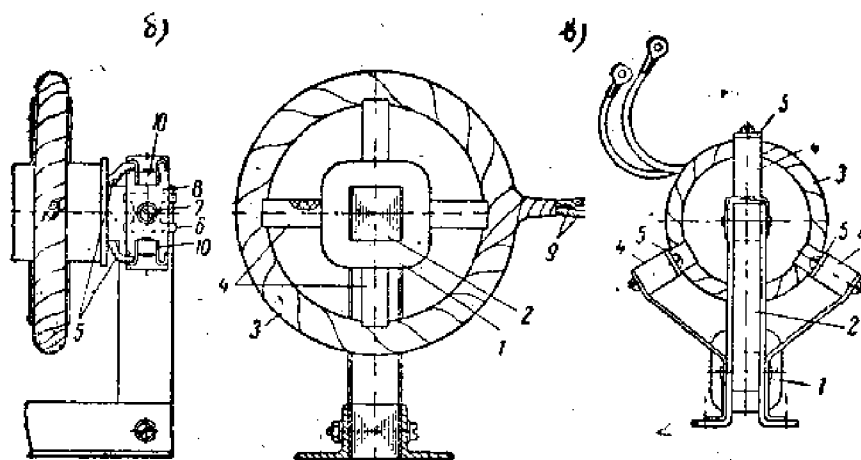
3—次級繞組 4—絕緣支柱

5—初級繞組引出線 6—成形墊

板 7—螺釘 8—絕緣板

9—高压引出端 10—焊板

11) 1.2.3.4同5) 圖3—夾板



§8-4 綫包的制造工艺

無骨架綫包的制造工艺，在前节中已簡單述及。

有骨架綫包的制造工艺包括以下主要工序：

- 1) 骨架絕緣衬垫及引出綫的制备；
- 2) 纏繞及繞組端头的固定；
- 3) 加固及防潮处理；
- 4) 檢驗。

茲分別作簡單的討論：

1. 骨架及絕緣衬垫的制备：

骨架通常采用以下几种方法制造：

1) 压塑法：

此时所用材料为各种塑料、夹布塑料、胶木漆和電纜紙等。采用压塑法可制造完整的和电气强度、机械强度很高的各种形状無凸緣和有凸緣的骨架，但需要專門的复杂的压模，适宜于大量生产时采用。

当骨架的尺寸較大时，为了提高其机械强度，应选用夹布的塑胶来压制。

無凸緣的底筒式骨架通常用胶木化電纜紙卷在芯型 2 (圖8-401) 上，并在簡單的压模中制成，由于工艺及制造設備簡單，成本很低，在一般变压器中得到广泛采用。

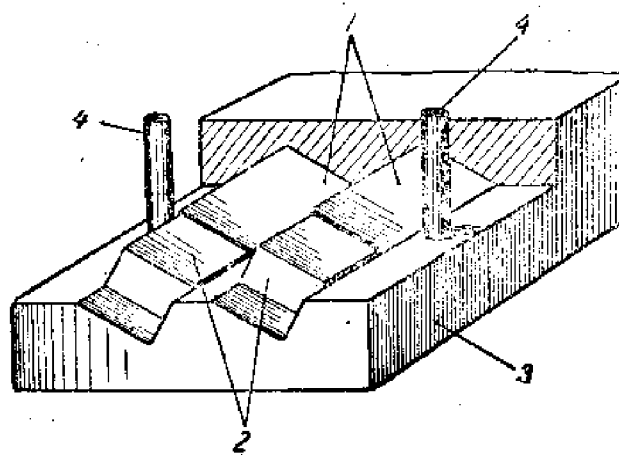


圖 8-401 压制直角形卷筒的模具 (其中之下面部分)

1——胶木化電纜紙卷成的骨架 2——型芯 3——下模 4——导向柱

当骨架的形状复杂或尺寸很大时，为了简化模具的工艺，骨架可由数个压塑的零件装配成。

压塑骨架的結構設計及工艺在本書第四章已討論过，这里不再重复。

2) 装配法：

此时所用的材料通常为各种板料 (如紙胶板、布胶板、厚紙板、黃銅板等)。

先用落料或裁剪方法将板料作成一定形状的图片，然后装合成完整的骨架，为了提高其机械强度，有时用BΦ胶进行附加胶合，或用某种树脂浸渍。图8—402示出用这种方法加工的骨架的两个例子：

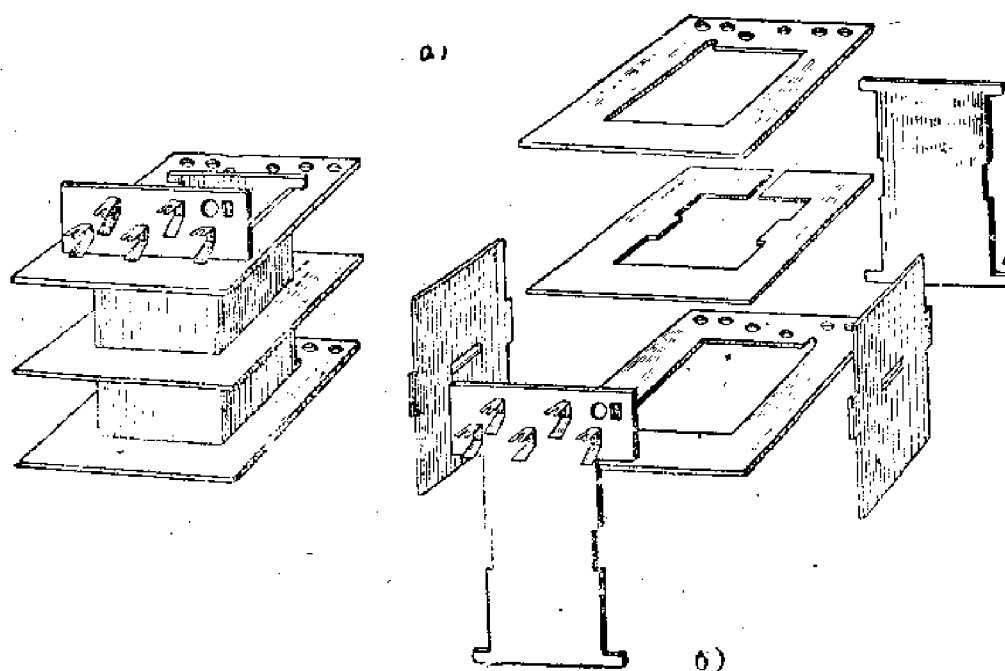


图8—402

- a) 由纸胶板装配成的骨架及其零件
b) 由纸板制成骨架的零件
1——骨架套筒的纸型 2——胶板的薄片

采用这种方法制成的骨架在机械强度和电气强度方面比上法制得的稍差，但工艺上不要求复杂的压模，适宜于小批生产。

线包内部各层之间，以及线包外表面，最常采用电容器纸、电缆纸等电工绝缘纸作绝缘，在重要情况下，也采用漆布、漆绸、玻璃布或某些具有一定机械强度和绝缘性能的塑料薄膜。在进入缠绕工作之前，预先将这些膜状材料在专门的设备上裁剪成所需尺寸的带子。当绕组导线很粗时（直径大于0.2—0.5毫米），绕组导线本身可作引出线；当绕组导线很细时，绕组必须用另外的引出线，通常用带绝缘的引出线（如安装导线，多股塑胶线）。在进入缠绕工作之前，将这些线断切为等长的小段（一般长度为25—120毫米），剥去端头（7—10毫米的长度）的绝缘层并进行端头热浸锡。为了提高生产率，目前这些操作均已自动化或半自动化。

2. 缠绕导线及绕组端头的固定：

缠绕导线是制造线包的主要工艺过程。因为缠绕过程中的工艺因素（绕线机的结构、对绕线机调整的正确与否，绕线时对导线的拉力等）也严重地影响线包导线的占空系数（它表征了线包的质量）的大小。

綫包的纏繞工作可用人工的或半自動的繞綫機進行。人工繞綫機的生產率很低，不能保證綫包的質量，只在缺乏設備以及小量生產的情況下採用。當綫包採用亂繞法時，可採用這種繞綫機繞制。為了提高生產率和提高製品的質量，目前已廣泛採用（特別在大量生產情況下）半自動繞綫機，

半自動繞綫機，具有當繞完一層或整個繞組所需匝數時，自動停車的控制系統，以及自動敷上層間絕緣和塗膠的裝置。

作為一個例子，圖8—403示出一種在大量生產時採用的能同時繞制多個綫包排繞綫機的簡圖。

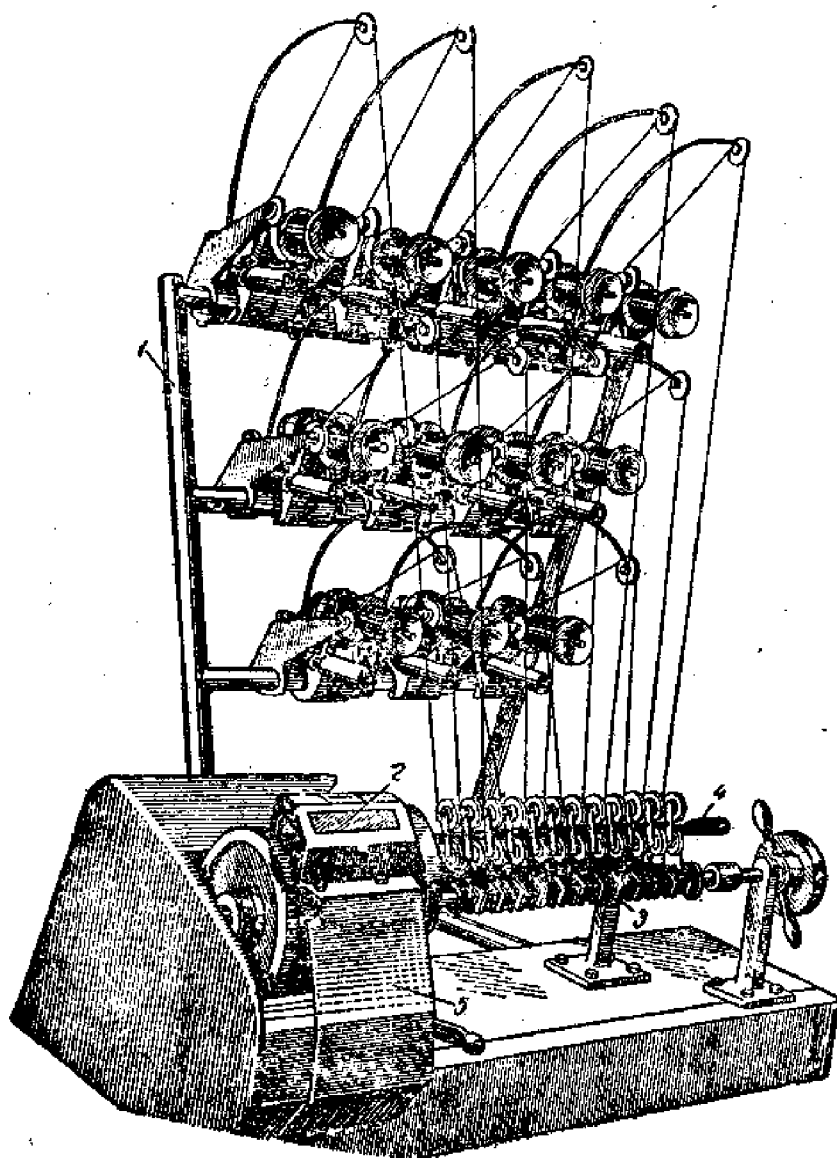


圖8—403 纏繞多綫包的半自動排繞綫機

- 1——裝有12卷導綫的架子 2——自動匝數記數器 3——裝有12個骨架的型芯
4——排綫機械 5——聯動盒

当采用半自动繞綫机时，为了提高生产率和保証制品質量，繞綫前必須进行正确的調整（包括繞距的和繞組寬度的調整，繞綫速度，繞綫机轉数的調整和导綫拉力的調整等）。

繞綫速度是影响生产率的重要因素；提高轉速受到导綫允許的圓周速度的限制。而导綫的允許圓周速度，依赖于导綫的直徑（它决定了导綫的強度）以及骨架形状和尺寸（它决定繞綫的拉力）。在相等強度的条件下，圓形截面骨架的速度，可比矩形截面骨架高15—20%。对于每种具体情况下的最佳繞綫速度，由規格表确定，一般在几十到几千轉/秒的范围之内。

导綫拉力的选择和調整的正确与否，对綫包質量和繞綫速度有很大的影响。拉力不够，会降低繞組的牢固性，并因此而降低多層繞組的占空系数，以及促使繞匠产生軸向移动。拉力过大，会引起导綫的增长和直徑减小，并因此而引起繞組电参量的改变，导綫絕緣的損伤，甚至产生击穿危險。允許的拉力，依赖于导綫材料和直徑，可由下式确定：

$$F_H = 0.68 P_{np} \quad (8-401)$$

式中： F_H ——导綫的拉应力

P_{np} ——相对于一定材料和直徑的拉力的極限值。

例如：对于銅

$$P_{np} = 6000d^2$$

式中 d 为不带絕緣时导綫的直徑（毫米）。

調整繞綫机的拉力时，可借助于專門的圖表进行。

环形变压器的繞綫工作，在电感綫圈一章已討論过了，这里不再复述。

經驗指出，綫包引出端的損伤，是安装設備和运用設備过程中經常碰到的产生廢品或引起故障的原因之一，为此引出端的固定應該是足够牢靠的。其中，应当特別注意的是，引出端綫与繞組导綫間电气連接的質量，以及連接处的絕緣。

圖8—404示出几种不同的固定引出端和抽头的最常用的方法。通常采用細布作的帶子、漆布帶子或紗綫作端头的固定。

为了使繞組导綫与引出綫之間有可靠的电气連接，可采用錫銲，此时和銲接綫包內部导綫一样，應該用含有足够錫的銲料和無酸性的銲剂（例如：好的松香）。因为，应用銲油和酸性銲剂时，經過一些時間后会引起銲接点的氧化和导綫的腐蝕，甚至变成断路。

銲接处用細漆布作成的垫衬从两边絕緣。

为了避免拉紧引綫时引出綫匝的位移，可用堅固的綫将引出綫綁紧在骨架的底筒上（見圖8—404b），为了更牢固起見，最好是把引出綫銲接到附加的接綫板（它安装在磁路或外壳上）的銲片上。电气安装时，外部安装接綫通过銲片与引出端連接。

繞成的綫包应在專門設備上（見最后一节）进行短路匝的檢驗和匝数檢驗。

3. 綫包的防潮处理及加固：

非密封的变压器綫包有时进行单独的防潮和加固处理。由于組成綫包的主要部分，

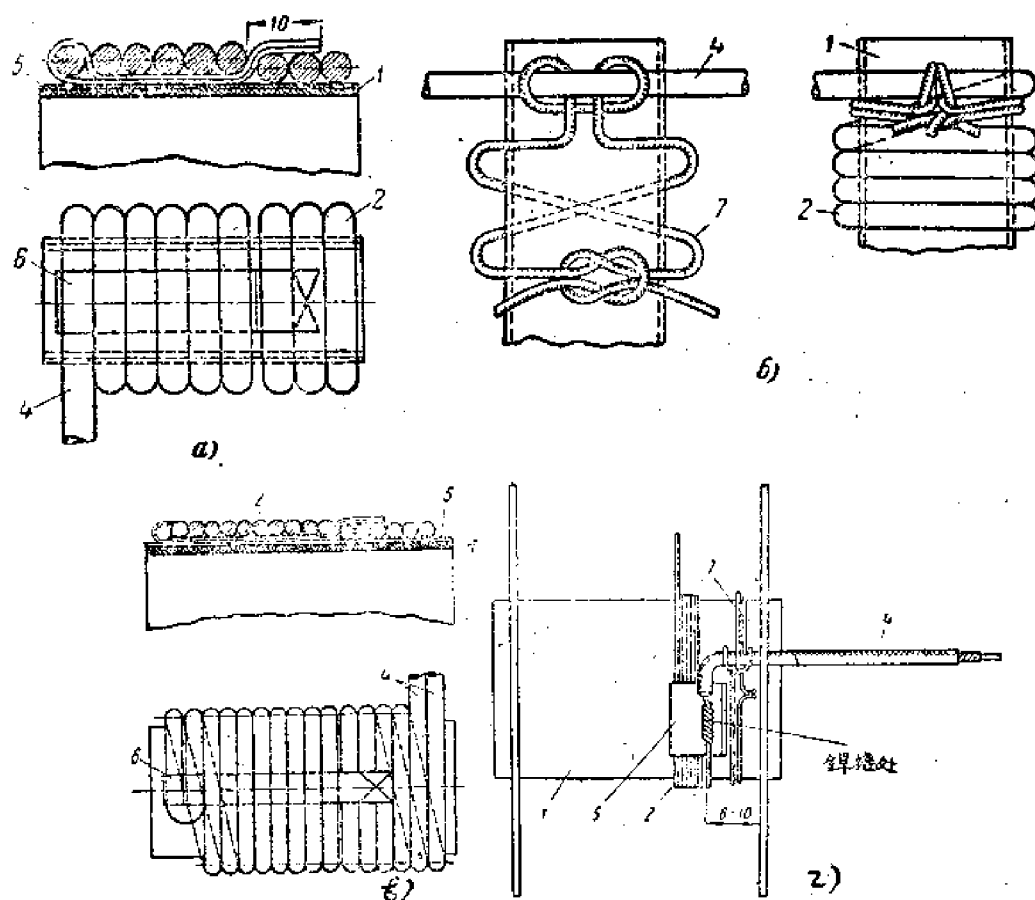


圖2—101 繞組端頭的固定方法

a) 用一段紗帶固定繞組的始端(紗帶頭由后面的几匝压紧); 6) 用線來固定繞組端頭; b) 用帶子來固定繞組的中間抽頭; r) 以柔軟安裝導線作成的

引出線的固定

1——骨架; 2——繞組; 3——抽頭; 4——引出線; 5——絕緣料墊; 6——固定用的扁平紗帶; 7——固定用的線。

是絕緣材料和直徑不大的銅導線, 所以它是變壓器中對外界因素影響的最薄弱的部分, 為此, 通常採用的加固及防潮方法是浸漬、醃漬和灌封。

在選擇浸漬、醃漬和灌封材料時, 應特別注意它的耐熱強度, 體電阻率, 以及在濕度增高時, 這些材料對繞組導線材料的化學活潑性及所需要的介電系數值(在許多情況下, 希望介電系數最小)。通常作為浸漬、醃漬材料的, 有地蠟、各種漆、瀝青、磁漆、樹脂和它們的混合劑等。此外, 對於浸漬、醃漬, 還可以採用各種鹵蠟絕緣劑。

浸漬好綫包的機械牢固性, 決定於浸漬材料的機械性能, 採用一般的地蠟、瀝青浸漬時, 對綫包的加固作用較小, 為了更可靠的防潮和加固, 在許多情況中, 可採用具有高電氣性能和機械性能的樹脂(例如環氧樹脂)對綫包進行灌封(灌封工藝見第二章)。

圖8—405a)，b) 示出用环氧树脂灌封綫包裝配成的两个变压器結構例子，而圖8—405B)所示为与磁路及部分装固零件一起进行灌封的变压器結構。由圖可見，作为綫包引出端的鐸片和絕緣子，都可直接固定在环氧树脂的外皮上，由于环氧树脂具有極高的机械强度和粘合（与金屬或与介質之間）性能，这种簡單固定方法，可获得足够的牢固性。也由于同样原因，即使在机械强度要求很高的情况下，綫包仍可采用無骨架的。

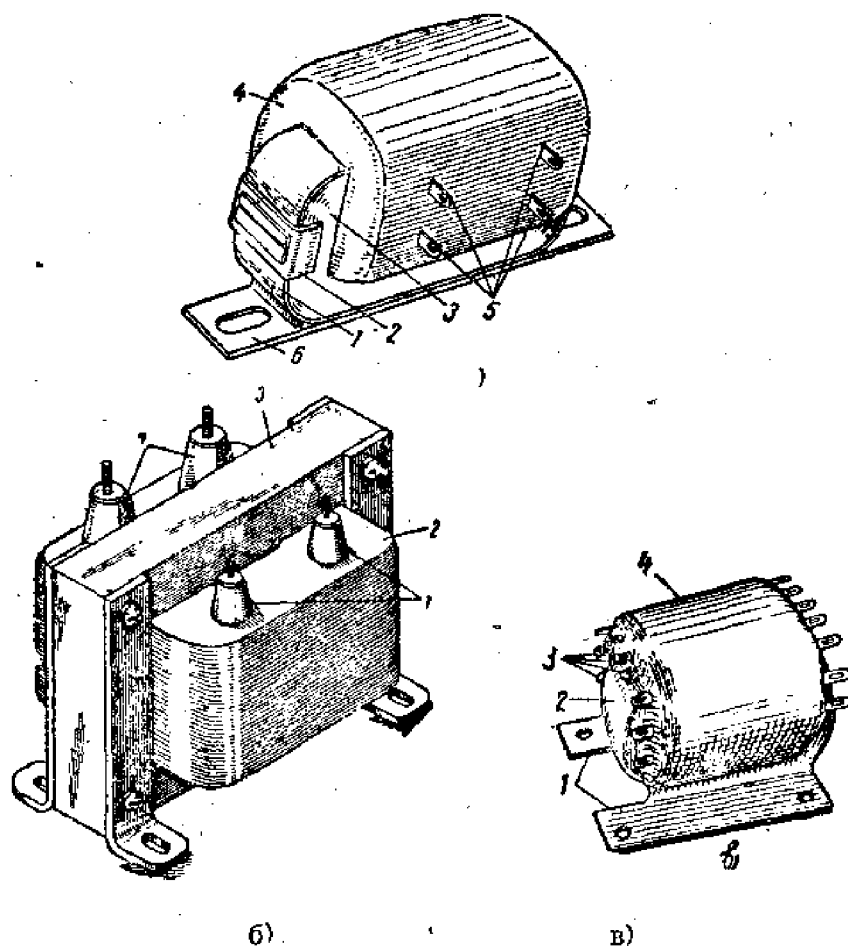


圖8—405 用环氧树脂灌封的变压器結構

a) 低压变压器結構

1.卡箍 2.搭扣 3.磁路 4.环氧树脂作成的無骨架綫包外皮 5——引出端
焊片

b) 高压变压器結構

1.低压繞組引出端 2.环氧树脂作成的無骨架綫包外皮 3.磁路 4.高压繞
組引出端

B) 整个被灌封在环氧树脂內的低压变压器

1.支座 2.卷繞型磁路 3.引出端焊片 4.綫包

應該指出，綫包进行了浸漬和灌封后，不仅可提高其防潮能力和机械强度，而且可改善其热傳导性，因而也减少了造成綫包內部局部过热的危險性。

浸漬、蘸漬和灌封的工艺，已在第三章討論。

§8-5 变压器及低頻扼流圈的总体結構

任何变压器及低頻扼流圈，除了必須滿足电气上要求以外，还須考慮到能經受得住外界因素的影响。其中包括电磁場的、气象的和机械的影响。現在讓我們討論考慮到防止这些因素影响的总体結構方面的措施。

I. 电磁屏蔽：

由于繞組的匝数很多，即使在弱的干扰場作用下，也可能在繞組上出現大的干扰电动势，以至影响弱訊号电路的正常工作。为此，在变压器及低頻扼流圈中也常常采用电的及磁的屏蔽。

1. 靜电屏蔽：

防止空間靜电場的干扰，可以輕易地用接地的导体所作成的屏蔽罩实现。（导体可以是任何金屬制成的以及具有任意厚度的膜層或板料）。当电路的最大信号电压只有数微伏时，屏蔽的接地應該做得很精細，同时，变压器的引出端（甚至是外部导綫）也应该屏蔽起来，但这将引起变压器的輸入电容的增加，在許多情况下，这是不希望的，为此，变压器引出端，應該做得小些，变压器与电路的联接应尽可能短。

在某些变压器中（如电源变压器中），为了防止从初級电路（在电源变压器中是电源綫）通过繞組間电容耦合所引入高频电场干扰（也称电压干扰），可在繞組間垫上一層一端接地的开路繞匝或一圈开路的金屬箔。对于在低頻长波及中波範圍内工作的設備，这种屏蔽繞匝的效果是很好的。在短波特别是超短波範圍内，为了使薄片能起屏蔽作用，應該保証用作箔与外壳連接的集流器具有很小的电感（在技术上还有困难）。上述这种方法有时也用来减小繞組之間的电容。

2. 磁屏蔽：

变压器及低頻扼流圈受到外磁場的干扰更为严重，而且防止这种干扰比靜电保护更为复杂。为了减小外磁場在繞組中感应的电动势，應該：

- 1) 减小变压器的尺寸和繞組的匝数，为此，必須采用具有高导磁率的磁性材料；
- 2) 布置变压器时，使綫包的軸与干扰磁場力綫垂直（用試驗方法），应用具有对称綫包的柱型或具有均匀繞組的环型結構变压器，也可以减少磁場干扰。

但是，前面两种方法不能保証把干扰电平降低到所需的程度。因此，当变压器不是采用对称柱型或均匀环型結構时，必須用磁屏蔽，即用高导磁率的金屬制成屏蔽罩包住变压器，如圖8-501所示。在低頻範圍（几十到几百赫），由于屏蔽罩磁性材料的导磁率很大，屏蔽罩本身磁阻比罩与变压器間空隙的磁阻低，所以干扰磁場的大部分沿屏蔽罩通过而不穿过变压器的磁路（即旁路作用）。在較高頻率时，应采用导电率較高的材料（如銀）来作磁屏蔽罩，以使通过屏蔽罩进入变压器铁芯的部分交变干扰磁場在屏蔽罩的金屬中引起較大的渦流，这些渦流所建立的反向磁場，足以将干扰磁場的一大部分抵消（即渦流去磁作用）。

由于减小了穿过变压器铁芯的干扰磁場，因此就减小了繞組所感应的干扰电动势。当干扰磁場为均匀磁場，而且沒有屏蔽时，变压器所感应的干扰电动势 E_{π} 和有屏蔽时变压器所感应的电动势 $E_{\pi 0}$ 之比，称为屏蔽系数 β ，它表征了屏蔽的程度：

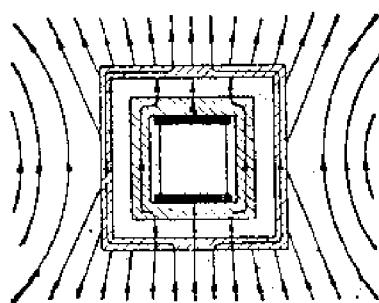


圖8—501 用高導磁率的屏蔽來保護變壓器不受外磁場的干擾

$$\beta = \frac{E_{\Pi}}{E_{\Pi 0}}; \quad \text{或 } \beta_{dB} = 20 \lg \frac{E_{\Pi}}{E_{\Pi 0}} \quad (8-501)$$

由上述的原理不难看出：為了利用旁路作用來增加屏蔽係數，屏蔽的材料應具有高的導磁率和大厚度，並且應使磁力綫所通過的途徑沒有大的接合縫隙（為了減少旁路磁阻）。同時，屏蔽罩與變壓器間應留出一定非磁隙，並且不允許具有形成引導橋的銅質零件（為了增大干擾磁場通過變壓器的磁阻）。而為了利用渦流去磁作用來增加屏蔽係數，屏蔽材料應具有高的導磁率和大厚度，並且使與磁力綫垂直的途徑上沒有大的接合縫隙。

這樣一來，為了在很寬的頻率範圍內增加屏蔽係數，首先，屏蔽罩材料應具有高的起始導磁率（因為干擾場強一般很弱）和高的導電率，但實際上高導磁率磁性合金的導電率很小，因此，用磁性材料作的屏蔽時，難於兼顧到旁路作用和去磁作用，以便在很寬的頻率內達到此目的。當要求屏蔽係數很大時（在10—100範圍內）最好選擇坡莫合金作為屏蔽材料。但當頻率增高時，磁集膚效應將使材料導磁率下降，而且，材料的導磁率愈高，電阻率愈低和厚度愈大，導磁率下降現象出現得愈早，因此，當屏蔽由高導磁率合金製成時，為了減少屏蔽作用隨頻率的增高而下降的現象，應該由不厚於0.3—0.4毫米的薄片疊至必須的厚度。採用非金屬磁料（如起始導磁率為400或2000的鐵淪氧）作屏蔽，可以更有效地減少這種現象。當屏蔽係數只需幾十而要求變壓器尺寸很小時，採用這種材料是適宜的，但不應忘記，鐵淪氧工作的溫度範圍受居里點的限制。

採用軟鋼及一般變壓器鋼作屏蔽，由於起始導磁率很低，其屏蔽效果很差，當要求屏蔽係數大於10—20時，就要求很大尺寸，既笨重又昂貴，當所要求的屏蔽係數不高（<10）時，屏蔽作用可在幾千赫（甚至幾十千赫）的範圍內幾乎保持不變。

在設計屏蔽的結構時，可以採用增加其厚度和它與變壓器間空隙的方法來達到所需的屏蔽係數，但不應忘記，這將導致變壓器外部尺寸和結構的笨重，實際上，屏蔽罩的厚度不超過1毫米，而空隙距離一般為0.05—0.1厘米左右。

考慮到不造成與力綫正交的接合縫，最簡單屏蔽結構及安裝變壓器方法如圖8—502所示：

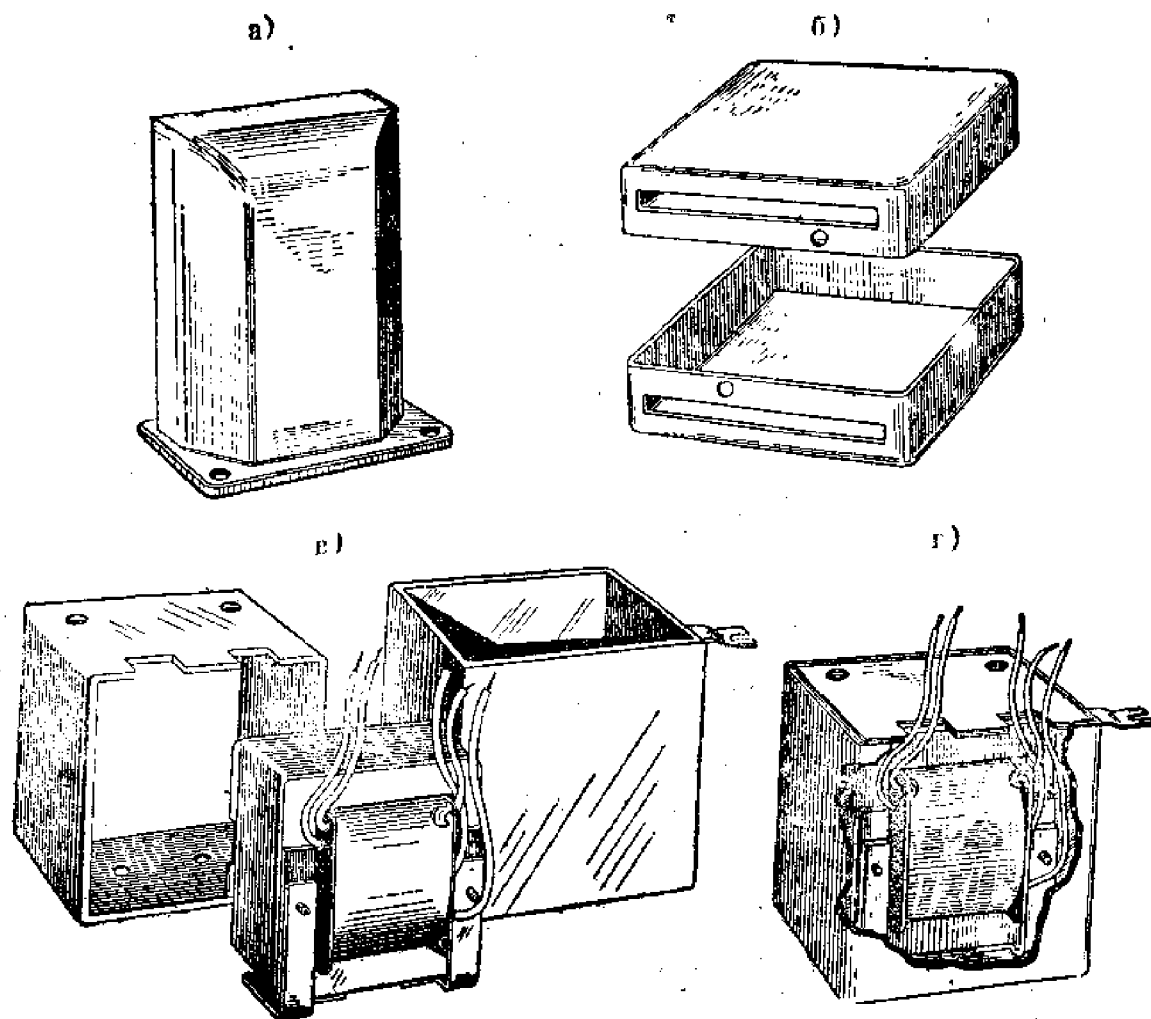


圖3—502 几种简单的屏蔽罩结构例子

a) 壳式磁性屏蔽 b) 由两个片子冲压成的屏蔽 c) 一个套在另一个外面的
由两矩形筒做成的屏蔽以及和变压器固定方法 d) 装上了屏蔽的变压器

其中圖a)和b)的特点是只有一个方向的接縫。放置变压器时，可使其线包軸綫与此接縫相平行。圖c)和d)的特点是結構本身提出了充分利用磁导材料各向异性性能的可能性。此时，可能通过线包的磁力綫与磁屏蔽材料的压延方向一致，而与力綫垂直的接合縫的結構为叠合式的，这也不导致磁阻的增加。

当要求更高(几百到几千)的屏蔽系数时，采用双重(圖3—503)或三重屏蔽方法来达

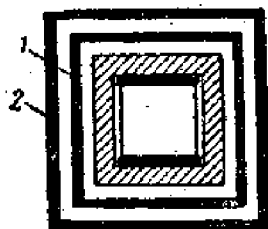


圖3—503 双重屏蔽

1—内屏蔽；2—外屏蔽。

到所需的屏蔽系数，比用增加厚度或增加铁芯与屏蔽之间的距离更为合理。因为双重屏蔽的屏蔽系数为内屏蔽对变压器的屏蔽系数与外屏蔽对内屏蔽的屏蔽系数的乘积，而当将单层屏蔽的厚度增加一倍时只能使屏蔽系数增大一倍。

为了减少所使用材料和减小总尺寸，实际上多重屏蔽各外壳间距离应该选择得和铁芯与内屏蔽间的距离大致相等，各外壳的厚度相同而且均不超过0.5—1毫米。每层屏蔽也采用图8—502 B)的结构形式。

由厚度为0.3—0.5毫米坡莫合金作成的屏蔽，当频率超过几百或几千赫时，其屏蔽系数已开始下降。由导电率较高的非磁性金属材料（如紫铜或铝）作成的屏蔽的屏蔽系数随厚度增加而增大，也随干扰场频率的升高而增大（在射频时达到很高值）。当频率降低时，作用大大降低，显然，可采用增加厚度的方法使它在较低的频率上产生屏蔽作用（但这样做不经济，并增加了重量和尺寸），但在一般所采用的厚度（十分之几毫米到几个毫米）下，当频率降低到几十赫时，屏蔽作用实际上已消失，因此，为了实现宽频段内的屏蔽，应该采用由铜（或铝）和磁性材料做成的没有非磁隙的组合屏蔽，其中可以具有不同方案；例如，可以是坡莫合金—铜的，坡莫合金—铜—坡莫合金，铜—坡莫合金—铜以及其他等等的组合。由于在这种情况下，各单独屏蔽层相互之间的相位相反的作用，比在具有非磁隙的多层屏蔽时更为有利，其屏蔽效果更加提高了。磁性材料的屏蔽罩的结构通常和图8—502所示的结构相同，而铜屏蔽罩可以用铜板条弯成，并且接缝处熔接得很好的无盖矩形筒（装置时应使其轴线与线包的轴线平行）。也可以在垂直于线包轴的平面内垫放厚度为1—2毫米的铜片。

当在钢制底板上安装具有磁屏蔽的变压器时，在屏蔽与底板之间也应保持一定非磁屏（为了避免干扰磁场为底板所集中，因而引起对变压器的干扰显著增加），但电气上又应该与底板相连（为了避免静电感应），为此，可用非磁性金属制成的固定零件以及在屏蔽与底板间垫入非磁性的金属垫层。

设备中的电源变压器，是产生干扰磁场的来源之一，因此，为了防止它本身所发散的磁场对设备其他元件的干扰，也应将它屏蔽起来，为此，在一般情况下，可采用如图8—504所示的结构，用冲压成的盖罩，罩住线包露出的部分，在这种情况下，可以不

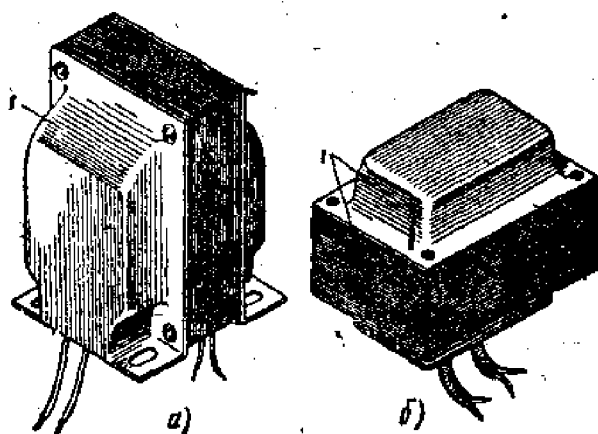


图8—504 具有磁屏蔽的变压器结构

1—钢制的屏蔽罩

必盖住磁路的頂部和留出空隙，因为它無須防止外界場的干扰。这种形式外壳的另一个重要作用，是在机械上保护变压器綫包不受碰伤。

在某些电视接收机中，为了防止电源变压器的發散磁場对电子射綫管的偏轉綫圈造成干扰，采用了如图8—505所示的结构，測量結果表明，当繞在变压器中部的短路匝由厚度为3毫米和宽度为65毫米的鋁带制成，連接处采用熔接时，可使电子射綫管附近的發射磁場减小12—16分貝。获得这样滿意的效果，是由于鋁制短路匝与磁路銅片构成了双層的銅—鋁組合屏蔽所致。

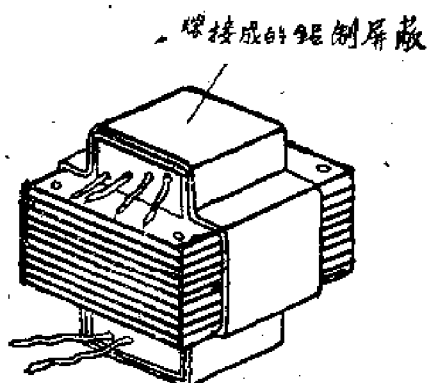


圖8—505 用鋁制短路匝来屏蔽电源变压器

現在，讓我們討論屏蔽罩尺寸的計算：

当于扰場的情况和允許的干扰电压 $U_{\text{нз}}$ (伏) 为已知时，必須的屏蔽系数可用下式計算：

$$\beta_{\text{н}} = \frac{6.28 \times 10^{-8} K_{\text{н}} W_1 f_{\text{н}} H_{\text{н}} S_{\text{ж}}}{U_{\text{нз}} \sqrt{1 + \left[\frac{6.28 f_{\text{н}} L_1 (1 + \alpha)}{\alpha R_1} \right]^2}} \quad (8-502)$$

或者 $\beta_{\text{н}} \text{ 分貝} = 20 \lg \beta_{\text{н}} \quad (8-503)$

式中： $\beta_{\text{н}}$ ——必須的屏蔽系数

$K_{\text{н}}$ ——考虑到变压器鉄芯集中磁力綫的系数，其大小决定于鉄芯形状、尺寸和变压器离开干扰源的距离。測量結果指出，在普通情况下：

$$K_{\text{н}} = 3-5$$

W_1 ——綫圈初級繞組的匝数；

L_1 ——初級繞組电感(亨)；

$S_{\text{ж}}$ ——鉄芯淨电截面(厘米)；

R_1 ——干源电源的内阻(欧)；

α ——电阻比 $\alpha = \frac{R_2'}{R_1}$ ；

R_2' ——折算到初級的等效負載电阻(欧)；

$f_{\text{н}}$ ——干扰場的頻率 (赫)；

$H_{\text{н}}$ ——干扰磁場强度 (高斯)。

如果屏蔽罩的结构如图8—506所示，则这结构的实际屏蔽系数可按下列式计算：

$$\beta_k = 1 + \frac{2 \delta_a p_s \delta_s \mu_{0s}}{l_n b_c l_s} \quad (8-504)$$

或， $\beta_{kdb} = 20 \lg \beta_k \quad (8-505)$

式中的尺寸符号如图所示， μ_{0s} 为屏蔽罩材料的等效起始磁率。

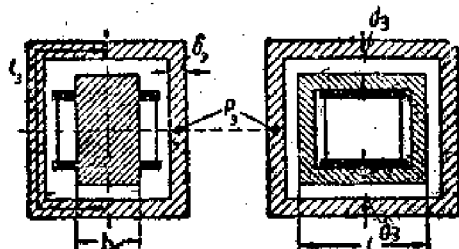


图8—503 计算屏蔽系数的结构示意图

当 δ_s 不超过铁芯外尺寸的(5—10)%，屏蔽罩为一厚度均等的密封矩形结构时，该公式的结果是正确的。

屏蔽罩的结构尺寸和材料的参量应满足。

$$\beta_k \geq \beta_n \quad (8-505)$$

II. 防潮和防止气压变化的影响：

潮气浸入变压器的绝缘物中，会使其线包内部因绝缘电阻降低和介质损耗的增加而产生局部过热，以致使其绝缘性能更为变坏，经过一定时间后，即可产生局部烧穿，产生短路。并因而引起电感量改变和损耗增加。有时在绕组之间以及在线包与铁芯之间也会烧穿。潮气加速金属材料腐蚀，会造成绕组的断路（特别是直径小于0.05—0.1毫米的导线）。所有这些现象都影响变压器可靠地工作，或者缩短了变压器的寿命。

气压的变化，在严重情况下，可能使变压器产生电击穿或因散热不良而造成不允许的过热。因此，除了在设计和制造磁路和线包时，应考虑到防潮处理以外，还应该在总体结构时加以考虑。

为了提高线包与铁芯间的电气绝缘和提高线包在铁芯中装合的牢固性，可以在线包装上磁路后进行浸渍和灌封，采用这种浸渍或灌封的变压器结构例子如图8—405B所示。其所采用的材料和工艺过程，与单独进行线包浸渍和灌封时相同。采用浸渍和灌封，对于防潮的效果与所用材料电气性能和机械性能以及工艺过程的正确与否有关，当采用环氧树脂灌封变压器时，可获得十分满意的抵抗外界因素（包括气象的和机械的）影响的能力^①，因此，现在已愈来愈广泛的用于小型变压器中（当变压器尺寸很大时，采用这种灌封将消耗大量树脂）。但当采用一般材料进行浸渍或灌封时，在增高温度和降低气压情况下，其效果就不能满足要求了，因为在这情况下，潮气会通过浸渍（或灌封）材料中（特别是它与引出线连接的地方）的不可避免的裂缝慢慢地浸入线包内部。

在某些情况下，把尺寸很小的变压器在预先烘干之后放入密闭塑料外壳中，并用橡

胶片垫进行塞封，也可以达到防潮目的，这种方法在安装方面很方便，但当使用时间较长时，外壳的接合缝不能完全防止潮气的浸入。有时，在放入外壳以前预先经过浸渍。图8—507所示就是这种结构的例子。

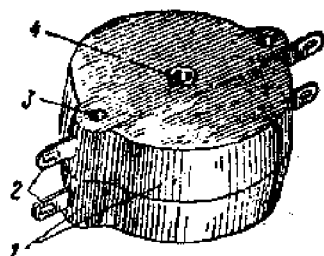


图8—507 已装入塑料外壳中小尺寸的环形变压器

1. 外壳的两半 2. 引出端焊片 3. 用来连接外壳两个半体的螺钉孔 4. 嵌压入的螺母（用来收紧装互变压器的螺钉）。

防止外界因素影响的唯一可靠的方法是密封。但必须特别注意，在外壳进行密封以前要细致地排除外壳内的潮气。对于高压变压器，为了提高密封空间内变压器的抗电强度及减少变压器尺寸，应采用绝缘油灌注，采用这种方法相当昂贵，因此，只有在重要情况下才采用。（密封的工艺参见第三章）

Ⅲ. 发热检验和散热措施：

某些功率变压器中，铁芯的损耗（铁耗）和线包中的损耗（铜耗），可能引起过热，因此应对它进行发热检验，并采取单独的散热措施。

在变压器中，在一般情况下，散热主要是依靠对流（周围气体或液体的局部运动）的散热。

依靠对流散热时，所排出的热功率 P_K 〔瓦〕由下式决定：

$$P_K = \alpha_K (t_2 - t_1) S \quad (8-507)$$

式中： t_2 ——加热表面的温度 $^{\circ}\text{C}$ ；

t_1 ——周围介质的温度 $^{\circ}\text{C}$ ；

S ——散热的表面积〔厘米 2 〕；

α_K ——散热系数〔瓦/ $^{\circ}\text{C}$ 厘米 2 〕。

α_K 是当加热表面与周围介质的温差为 1°C 时，1厘米 2 表面上，在一秒钟内排出的热量。它依赖于冷却表面的形状，周围介质的密度、湿度和温度以及流动速度等多种因素。对于不同的具体情况， α_K 有不同数值。欲确定其准确的数值是十分复杂的（正因为如此，发热的计算只能是近似的），为了近似计算， α_K 可采用以下由经验得来的大概数值：

对于空气自然冷却来说，铁芯表面的： $\alpha_K \approx 14 \times 10^{-4}$ 〔瓦/ $^{\circ}\text{C}$ ·厘米 2 〕，线包表面上的 $\alpha_K \approx 10 \times 10^{-4}$ 〔瓦/ $^{\circ}\text{C}$ ·厘米 2 〕，从变压器表面上平均的 $\alpha_K \approx 13 \times 10^{-4}$ 〔瓦/ $^{\circ}\text{C}$ ·厘米 2 〕。

而对于浸油的情况，从变压器表面上平均的 $\alpha_k \approx 50 \times 10^{-4}$ (瓦/°C·厘米²)。

当 P_k 等于变压器总的损耗功率 ΣP (由铁损和铜损组成，计算方法将在以后各节中讨论)时，根据 P_k 表示式，可导出变压器的温升 Δt (与周围介质的温差)为：

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{\Sigma P}{\alpha_k \cdot S} \quad (8-508)$$

这里的 S 应理解为有效的散热表面，即变压器 (或其密封外壳) 与周围介质直接接触的表面，但当所露出的表面之间形成小于(3—6)毫米的隙缝时，依靠对流的散热已几乎消失，因此应从总的表面中减去。显然， S 的计算因变压器结构不同而异，读者可利用几何学的知识自行确定。或者，当给定变压器工作的周围环境的最高温度 t_1 时，为了检验，可算出散热表面的最高发热温度 t_2 ：

$$t_2 = \Delta t + t_1 \quad (8-509)$$

由于线包中具有较大部分绝缘材料 (在油浸渍情况下，还包括变压器与外壳之间的油层)。因此，线包内部与变压器线包 (或外壳) 外表面之间，具有一定的阻热性，以致形成一个温度差 $\Delta t'$ (对于采用一般浸渍的敞开式变压器，大约为10—15°C，对于油浸变压器，大约为35—45°C)，因而，线包内部最高温度 (危险温度) t'_2 应等于：

$$t'_2 = t_2 + \Delta t' \quad (8-510)$$

所算得的线包内部最高温度 t'_2 ，应该小于由线包绝缘材料耐热性所决定的允许工作温度。(对一般变压器所采用的绝缘材料来说约为105°C)。

如果检验的结果不能满足上述要求，应采用耐热性高的绝缘材料或采用其他排热措施，例如在变压器上附加装上散热片，采用风冷等。当设备上不允许采用这些措施或采用后仍不能满足散热要求时，应按照允许发热要求来确定所需要的变压器铁芯尺寸和外壳尺寸，但这种情况下可能使变压器的电气性能变坏。

当按冷却条件来确定铁芯或外壳最小尺寸时，可按相反的顺序计算，为此，应首先知道外部媒质的最大温度 t_1 ，线包的最高工作温度 $t_{\max}$ ，以及变压器损耗功率的近似值 (可用近似算法，因为它依赖于变压器的结构)。

对于敞开式变压器来说：

绕组表面允许温升 $\Delta t_{\max}$ 为：

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - \Delta t' - t_1 \quad (8-511)$$

变压器尺寸应保证其有效散热表面 S_a 。

$$S \geq \frac{\Sigma P}{13 \times 10^{-4} \Delta t_{\max}} \quad (8-512)$$

对于油浸变压器来说：计算外壳对周围空气的容许温升 $\Delta t_{\max}''$ 时，为安全起见， $\Delta t'$ 取较大数，近似地确定为绕组最高允许温升的2/3，即：

$$\Delta t' = \frac{2}{3} (t_{\max} - t_1) \quad (8-513)$$

$$\text{则} \quad \Delta t_{\max}'' = t_{\max} - \frac{2}{3} (t_{\max} - t_1) - t_1 \quad (8-514)$$

也为了安全起见，认为油的温度与外壳相同，因而变压器表面对油的允许温升

$\Delta t'_{\max}$ 为:

$$\Delta t'_{\max} = t_{\max} - \Delta t'' - \left[\frac{2}{3} (t_{\max} - t_1) + t_1 \right] \quad (8-515)$$

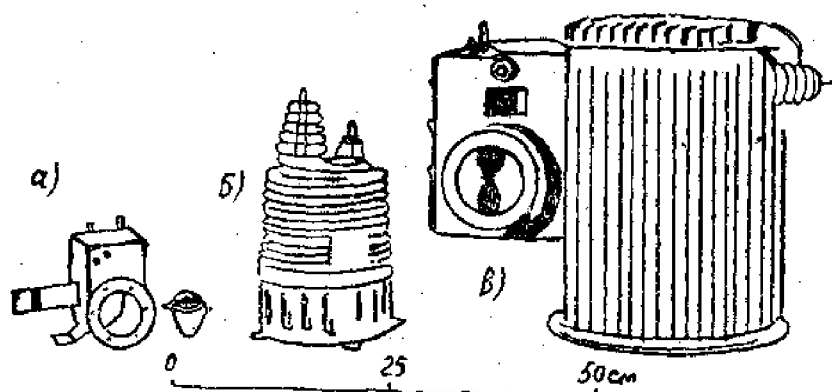
式中: $\Delta t''$ 为线包内部与其表面的温度落差 (约为 $10-15^{\circ}\text{C}$) , 此时, 变压器尺寸应保证具有有效散热表面:

$$S' \geq \frac{\Sigma P}{50 \times 10^{-4} \Delta t'_{\max}} \quad (8-516)$$

而外壳尺寸应保证具有有效散热表面:

$$S'' \geq \frac{\Sigma P}{13 \times 10^{-4} \Delta t_{\max}} \quad (8-517)$$

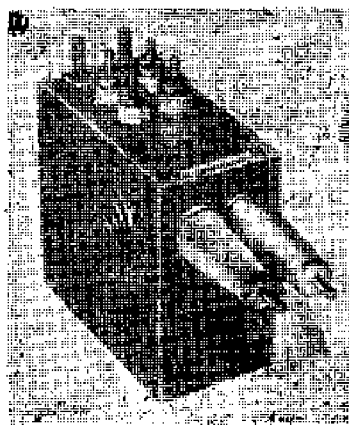
当所计算得的外壳表面很大时, 为了减小体积, 可采用具有波纹形表面的结构以便在小体积下加大其散热表面积, 由于减小了充油的体积, 由于这种结构同时具有加固作用, 因而可以用较小厚度的壁板来实现必要机械强度, 所以变压器的重量也得到了减轻, 这种结构的例子示于图 8-508,



当变压器外壳充满油时, 在很多情况下, 应考虑到油在热膨胀时对外壳所造成的内压力, 当油的容积足够大时, 这种压力会使外壳受到机械上的破坏, 为了减小油的绝对容积, 有时在外壳内放入一些玻璃珠, 也可以用外壳内留出一个容积不大的不充油的空气缓冲层的方法来减小其压力, 但外壳内空气容量过大, 将使内部抗电强度降低, 因此, 也使这种方法的采用受到限制, 为了防止冷却油受热时内压力引起的破坏, 在功率较小的密封充油变压器中 (此时变压器析出热量较小, 而油的容积不大), 通常可采用有足够柔性变形的薄壁板制成外壳, 为了增加壁板的柔性, 有时把它压成波纹形状, 如图 8-509, a) b) 所示。在中等功率变压器中, 可在外壳上装置易于变形的柔性涨缩盒, 如图 8-509, B) 所示。大功率密封变压器常采用圆柱形外壳, 这时可将外壳的大部分做成涨缩盒的型式, 如图 8-509, r) 所示, 这种结构外壳同时也加大其散热表面。

近几年来, 由于实现小型化的要求, 变压器的散热问题已引起人们的极大重视, 为此, 最近已开始采用一种能显著地提高散热系数的新方法——蒸发冷却法。

从物理学中知道, 当液体从物体表面上蒸发 (气化) 时, 将从该物体中吸收大量热



a)

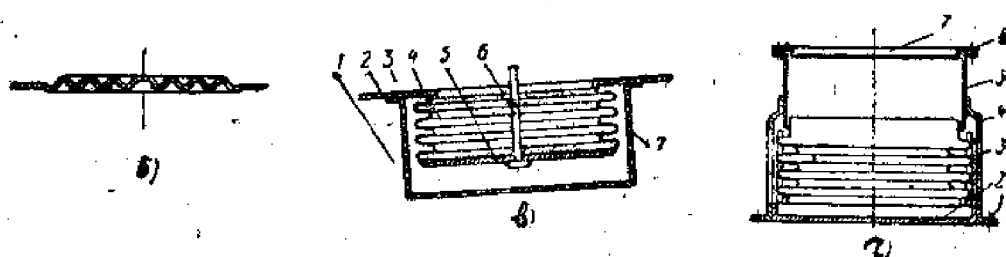


圖8—509 油冷变压器擴張器及其零件結構

a) 具有柔性外壳的高压脉冲变压器外型, б) 增加壁板柔性的結構示例, в) 漲

縮盒的結構

1. 内部空間 2. 外壳壁板 3. 外部空間 4. 漲縮盒的側壁 5. 連接螺桿的圓盤

6. 充油時用來壓縮漲縮盒的螺桿 7. 保護漲縮盒不受玻璃珠碰击的保護罩

в) 大尺寸漲縮盒的結構

1. 固定用的凸緣接头 2. 外壳盖子 3. 漲縮盒 4. 支架 5. 外壳的剛性部分

6. 外壳的凸緣接头 7. 外壳的上盖

量, 因而这个过程使物体的温度显著降低。这便是蒸發冷却法的物理基础。

目前, 蒸發冷却是用液态氟化物实现的, 采用氟化物蒸發冷却变压器結構如图 8—510 所示, 密封变压器外壳內充有小量液态氟化物, 綫圈和磁路內插入玻璃編織物, 編織物的另一端浸入液体中, 并借助于毛细管作用将液体引导到綫包的空隙內, 变压器工作时所發出的热量, 使氟化物从綫包表面上蒸發, 并吸收大量热量, 气体氟化物将在冷却的外壳壁上凝結, 并因而产生了循环的气化和液化过程。为了冷却氟化物, 外壳底部裝有导热用的銅板。

理論分析指出, 这种具有蒸發和凝結过程的系統的总散热系数, 比只利用气体对流的同样密封系統的散热系数要大十倍左右。

实践表明, 采用这种冷却的变压器可能工作在高达 250°C 的环境之下。氟化物的高的絕緣性能, 也使变压器抗电强度得到进一步提高。

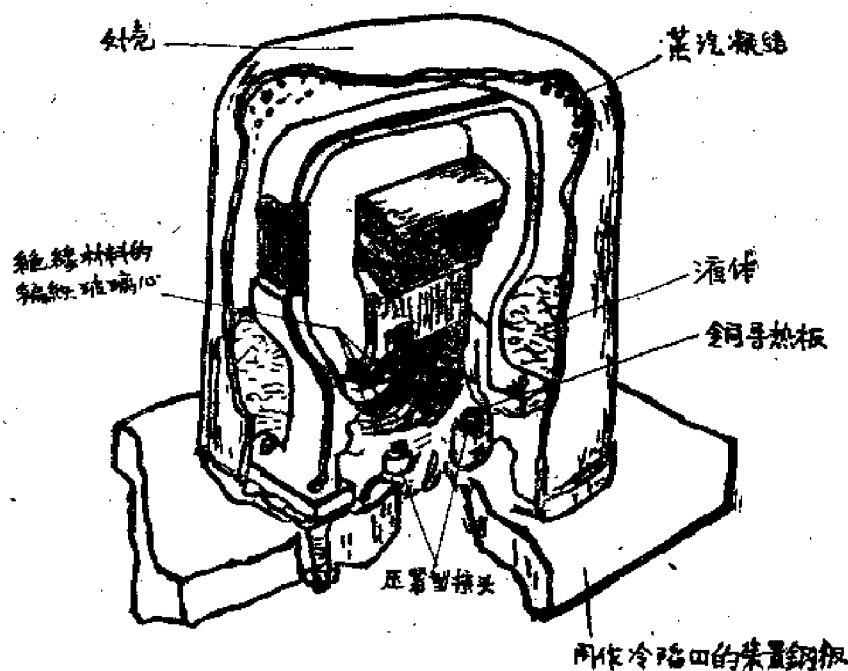


图8—510 氟化物蒸发冷却变压器剖视图

由于上述这些原因，在不采用其他复杂的强迫冷却的条件下，也可能大大地缩小变压器的尺寸和重量。图8—511所示，便是由于采用这种结构使磁控管灯丝变压器体积缩小的例子。

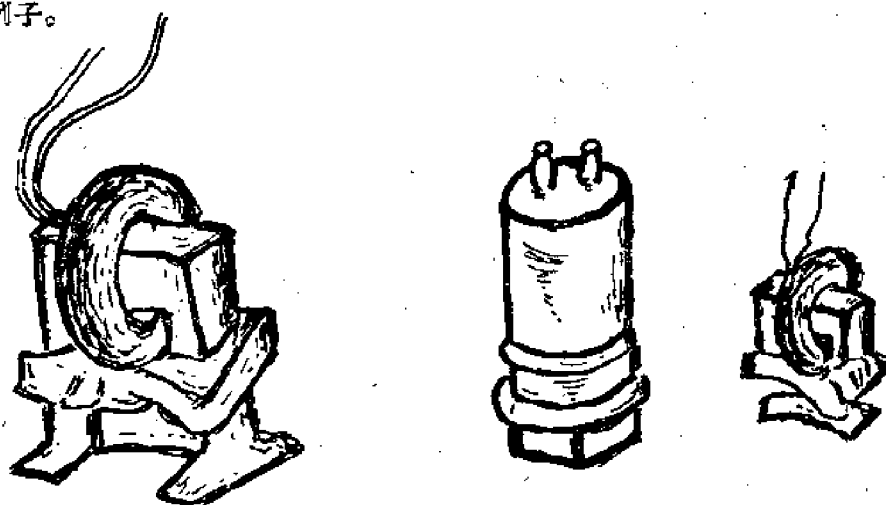


图8—511 在磁控管灯丝变压器中采用氟化物蒸发冷却，使尺寸缩小的示例

当变压器用耐高热的绝缘材料（例如采用能工作于 300°C 的聚四氟乙烯陶瓷绝缘的导线，以硅有机化合物浸渍的玻璃绝缘的导线等为绕组导线，采用硅有机浸渍过的玻璃布为线包内的绝缘层；采用石棉、云母、玻璃、硅石等作为绝缘垫片，用 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 等作磁路的片间绝缘层）时，兼用这种蒸发冷却系统可以进一步提高其工作温度，并实现小型化。现在已用上述措施制成尺寸非常小的能在 500°C 环境下工作的变压器。

VII. 机械保护和结构零件：

前面已指出的某些屏蔽罩，各种防潮的保护层以及密封外壳，都可以同时保护变压器免受机械损伤，当须要这些壳层同时完成机械保护作用时，应该注意到使它们具有一定机械强度。当依靠这些壳层仍不能满足机械保护要求，或者没有上述这些壳层时，应另外考虑变压器的机械保护措施。

变压器是设备中最笨重的零件之一，使用过程中可能受到特别大的机械作用，因此，对它本身的装合方法，以及把它固定到设备中去的方法，也应给予很大的注意。

现在我们来讨论考虑到上述因素的某些常用的结构例子。

为了把小尺寸具有叠片式磁路的变压器固定到底板上，可采用装合磁路的带脚的U形夹壳。

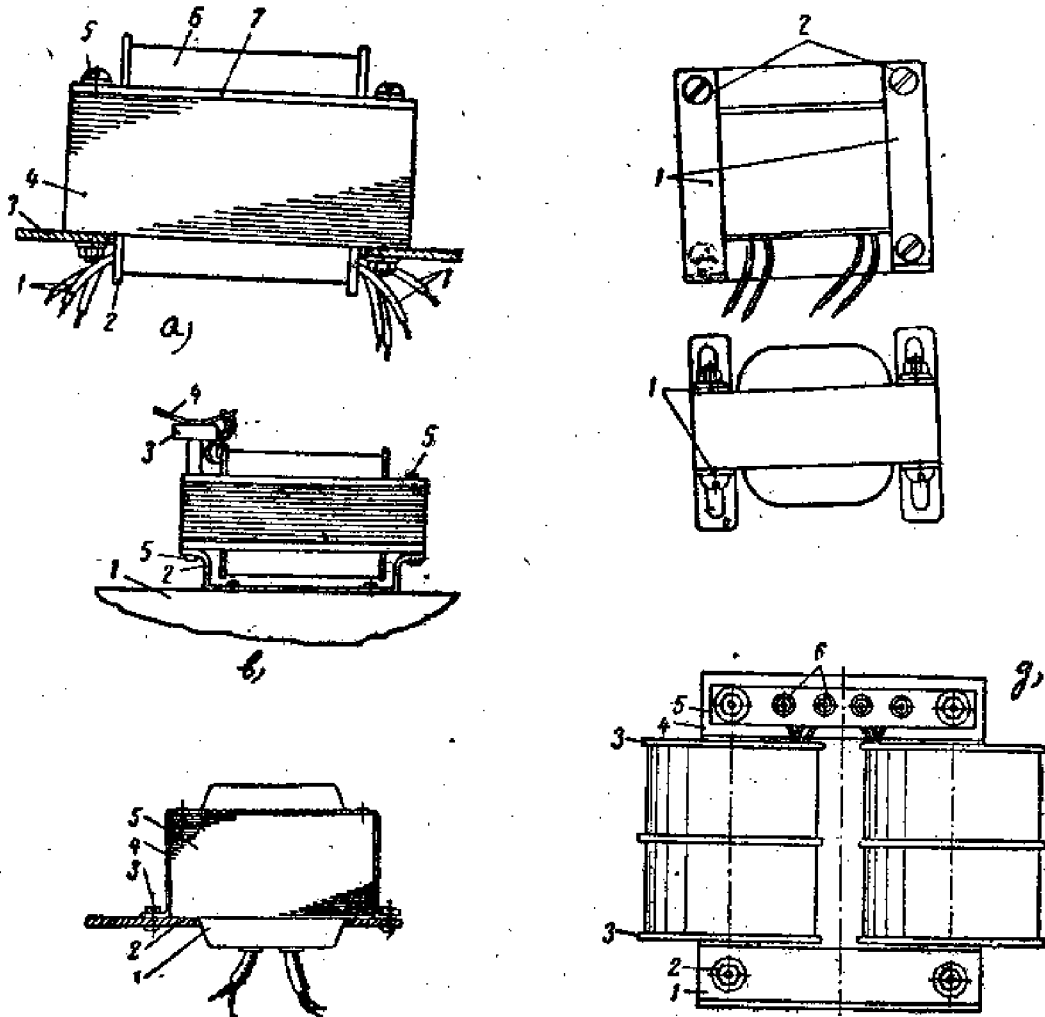
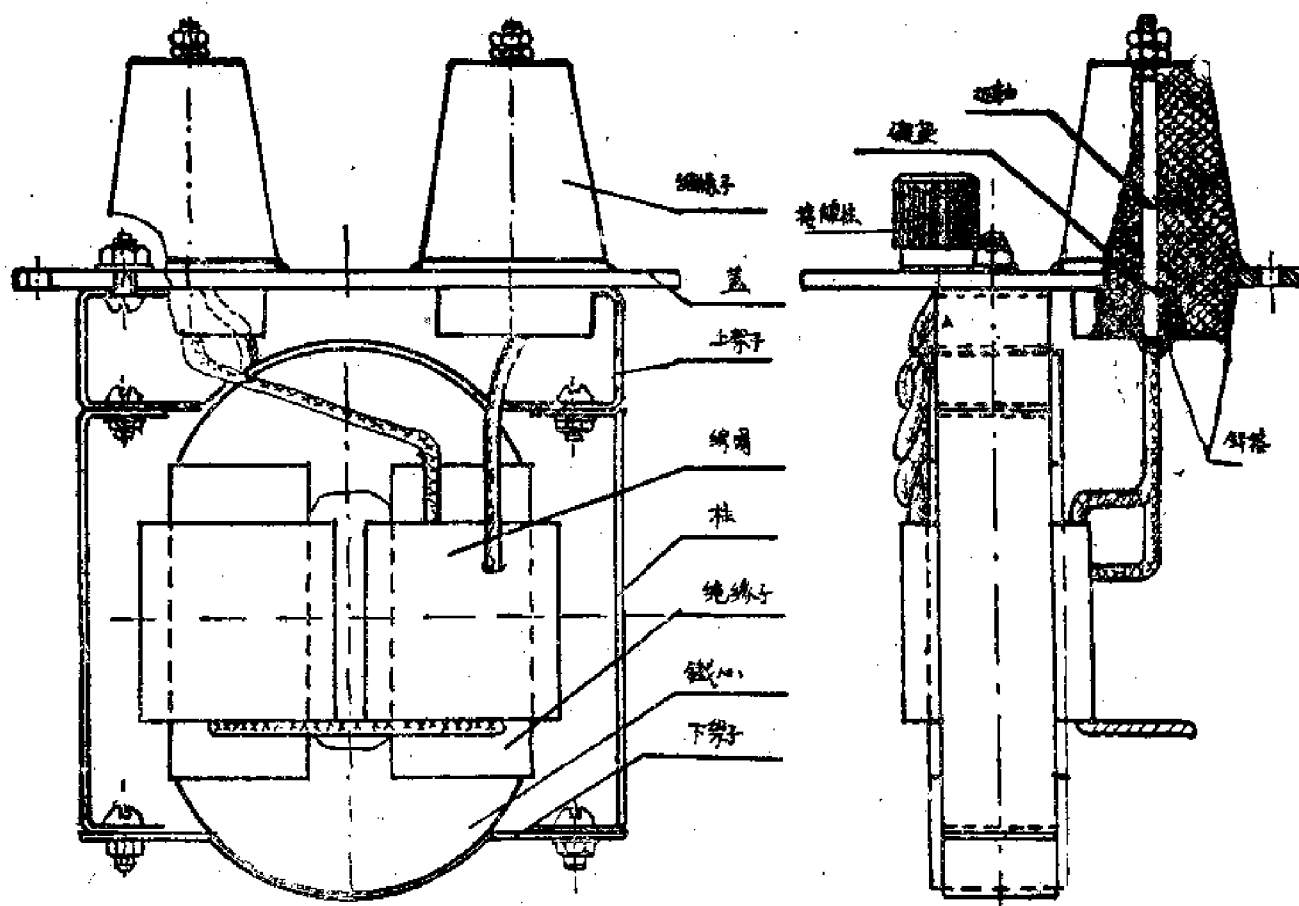


图8—512 具有叠片磁路变压器的固定方法

a) 直接利用收紧磁路的螺钉固定 1.引出线 2.骨架 3.底板 4.磁路 5.收紧螺钉 6.线包 7.压板条 b) 用带脚的压板条固定 1.板条 2.螺钉 c) 用U形支架固定 1.底板 2.U形支架 3.接线板 4.焊片 5.管状螺钉 r) 用U形压板固定 1.钢制盖子 2.底板 3.螺钉 4.U形压板 5.磁路 ж) 用角铁固定的具有双线包的柱形变压器 1.角铁 2.收紧螺钉 3.骨架的频板 4.磁路 5.介质的接线板条 6.引出端

具有卷繞型磁路的變壓器，通常用鋼帶來收緊磁路的两半，帶箍的連接處可以用端頭扣緊搭扣或螺釘等進行連接。借助於銲接在鋼帶上的條板（圖8—405, a）或鉚接在鋼帶上的各種形式支腳或支座進行固定。在這種情況下，帶箍承受着整個變壓器的重量，必須具有足夠的強度，收緊的接合處時應保證足夠的拉力，但也應注意到拉力過大，會導致磁路的應力變形，以致引起磁性的變壞。當採用圖8—405, B所示的用環氧樹脂灌封整個變壓器的結構時，可以較順利地解決這個矛盾，因為環氧樹脂的高的粘合性能和高的機械強度使其中的緊固和接合得到了額外的加強；此外，當鋼帶的厚度較大時，在工作頻率較高的變壓器中，鋼帶內將產生較大的渦流，引入附加的損耗和加熱，在某些情況下，這是不允許的。因此，在大功率的脈沖變壓器中，裝合固定的鋼帶，最好不通過鐵包的軸心，裝固的結構形式如圖8—513所示。



• 340 •

密封在金属壳内部的变压器可以固定在外壳的盖子上(圖8—513),通过壳的固定零件固定到底板上。这种固定方法虽然结构简单,但并不是最好的,因为变压器的全部机械重负荷都支持在外壳盖子及其壳体上,这就要求整个外壳的结构(包括壳体、盖子及其间的接合缝)都必须具有足够的机械强度和刚度,也就是说,必须采用具有足够壁厚的外壳以及坚固的连接(盖子与壳体之间)方法,这就大大地增加了外壳的重量。为此,当变压器使用在具有较大机械负荷的情况下,最好是采用圖8—514a所示的结构。这种结构与上述结构的不同点,在于变压器本身的重量直接通过铆接在框架上的空心支柱3(圖8—14a)或紧固在成型支持臂上的双头螺栓3(圖8—514, B)传给底板而不过外壳。

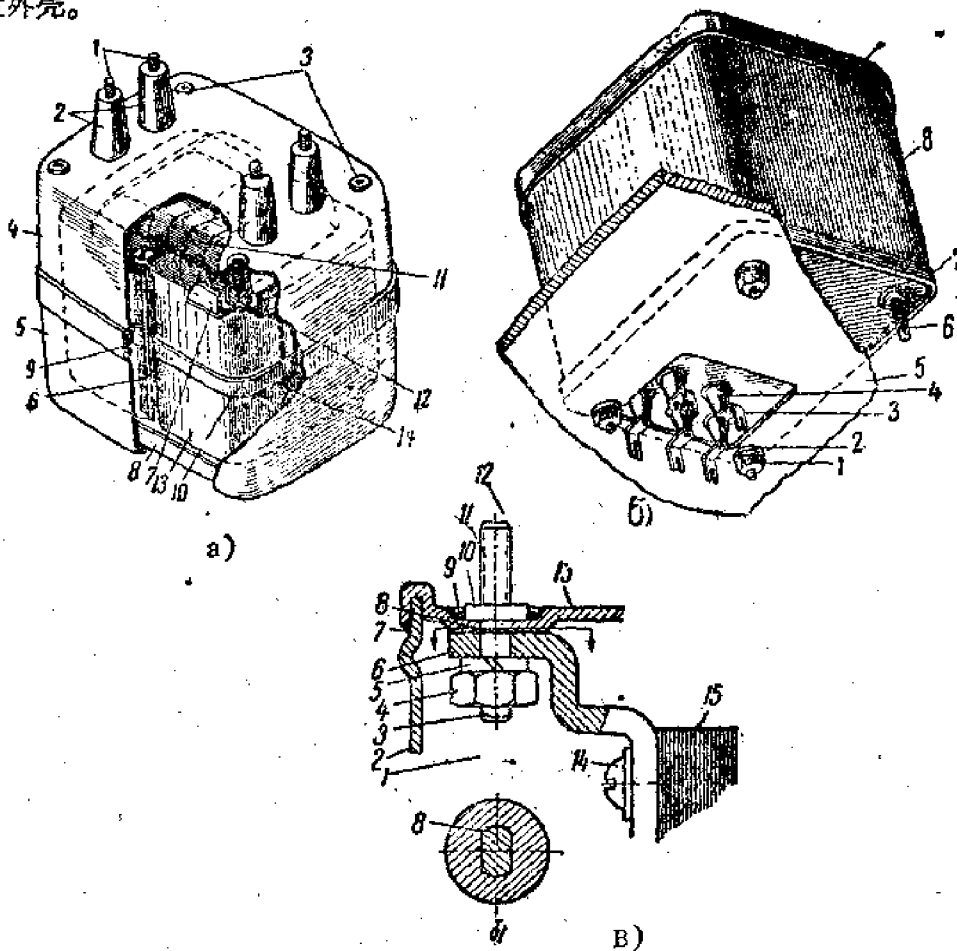


圖8—514 密封变压器的固定方法

a) 借助于两个角铁制成的框架,直接固定变压器

1.引出端 2.絕緣子 3.支柱 4,5.外壳罩 6.收紧框架用的螺釘 7,8.角铁制成的框架 9.焊缝 10.鋼帶 11.綫包 12.压紙板制成的彈性基衬 13.磁路 14.磁路的接合处

b) 借助于通过盖子的双头螺栓直接固定变压器

1.固定变压器的螺母 2.彈性垫圈 3.引出端的焊片 4.密封空心絕緣子 5.底板 6.双头螺栓 7.下盖 8.外壳壳体 9.上盖

B) 双头螺栓平面内的垂直剖面圖

1.密封的空間 2.外壳罩板 3,11.双头螺栓的一端 4.螺母 5.彈性垫圈 6.成形的支持臂 7.焊缝 8.双头螺栓中具有矩形截面的段 9.双头螺栓与盖子的焊封处 10.双头螺栓的凸緣 12.外部空間 13.盖子 14.螺釘 15.磁路

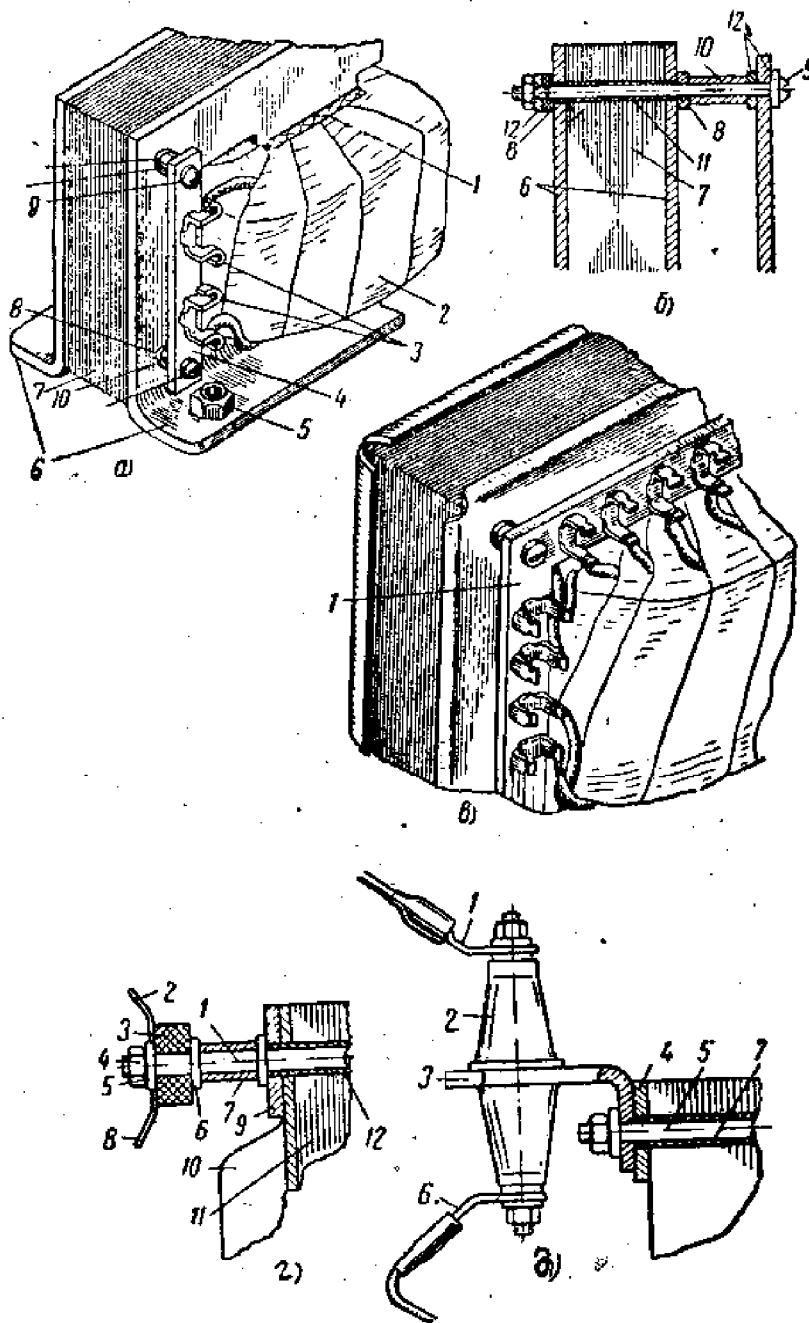


圖8—515 某些变压器引出端的结构

a) 电源变压器引出端的结构 6) 螺钉0平面的垂直剖面图 1. 塞紧用的楔
2. 无骨架线圈 3. 焊片 4. 介质板条 5. 压入的螺母 6. 直角支板 7. 磁路
8. 介质垫圈 9. 螺钉 10. 金属套管 11. 介质套管 12. 弹性垫圈

b) 具有很多引出端的变压器 1. 介质板框

r) 低压变压器引出端的结构 1. 双头螺栓 2. 8. 焊片的端头 3. 绝缘板条
4. 螺母 5. 8. 垫圈 7. 套管 8. 压紧的板条 10. 磁屏蔽罩 11. 磁路 12. 介
质套管

x) 敞开式高压变压器引出端的一种结构

1. 6. 导线的端头 2. 绝缘子 3. 直角支板 4. 压板条 5. 双头螺栓 6. 套管

这样一来，外壳及其盖子都可由薄壁的材料制成，并且，由于这种结构进行焊接的地方不承受大的机械负荷（当充油时，只承受油的重负荷），这使得在震动和冲击的作用下，也能防止焊封处的密封受到破坏。

在图8—514a中，变压器磁路13为两个用长螺钉6收紧的框架7和8所夹紧，为了使装配紧密和防止磁路产生局部变形（这种变形会导致磁性变坏），在框架和磁路之间，垫入压纸板制成的弹性垫衬。铆接在框架上的8个空心支柱3的端头，可用钎口并相繼进行钎焊的方法来保证与外壳间具有机械上牢固的密封连接。借助于旋入空心支柱内的螺钉可将变压器固定到底板上。

由图8—514B可看出，变压器通过固在磁路15上的成形支臂6与双头螺栓的一端连接，借助于双头螺栓和螺母1（图8—514C）可将具有很重量的变压器直接固定到底板上去。双头螺栓与外壳的密封连接可采用焊封方法，为了减小当旋紧螺母时在焊接处所产生的剪切应力，双头螺栓的中段具有阻碍它在盖子的孔中转动的矩形截面的一段8。

小尺寸的环形变压器，通常用介质板借助于螺栓收紧的方法进行固定，介质板盖住变压器上下两面，也起着机械保护作用。当这种变压器密封在塑料外壳内时，可以用通过外壳的安装孔的螺钉固定（图8—507），有时，为了便于检修，这种塑料外壳作成电子管管底形式，其插脚同时完成机械固定和电气连接的作用。

已经指出，在一般用途小功率低压变压器中，为了简化结构，可用软接线作为引出端。在功率较大和工作电压较高的变压器中，为了保证引出端的电绝缘强度和线圈的机械强度，应采用具有附加固定的引出端，这种引出端可以是紧固在介质板（它一般装固在磁路上）上的焊片或接线柱（图8—515a、б、в、г）胶合在环氧树脂外皮上的焊片或绝缘子（图8—405），也可以是压塑在塑料外壳上的焊片（图8—507）或焊接在金属密封外壳上的绝缘子（图8—514）。

为了检修方便，某些密封变压器的引出端做成插接头的形式，但在重量较大情况下，不能依靠插脚作机械固定，为此，应具有另外的固定零件，这种结构例子如图8—516所示。

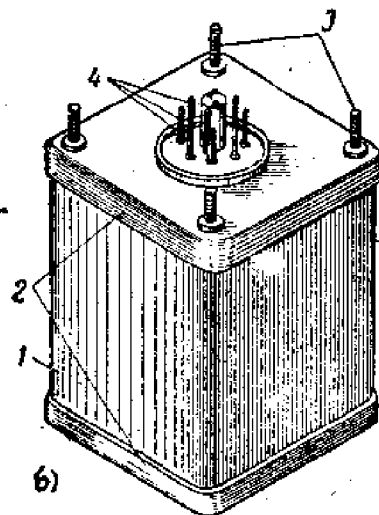


图8—516 1——外壳壳体 2——盖子 3——双头螺栓 4——插座接头的插脚

§ 8—6 变压器和低频扼流圈的繞組电感及磁路參量

前面的几节中已討論了变压器及低频扼流圈的結構和工艺，在以后的各节中，将要討論各种类型变压器的結構參量計算及結構設計方法，但討論計算方法以前，必須了解繞組电感量与繞組結構參量和磁路參量的关系，以及磁路參量与变压器及低频扼流圈工作状态和磁路本身結構的关系等問題，与这些問題有关的理論电工基础及無綫电材料等課程已討論过了，这一节里只对某些实用的結論作簡單的敘述。

理論和分析表明，利用以下近似公式計算任何具有閉合型磁路的繞組的电感量，在工程計算上的准确度是足够的：

$$L = \frac{0.4\pi w^2 \mu S_m}{l_c} \cdot 10^{-8} \quad (\text{亨}) \quad (8-601)$$

式中：

L ——繞組电感量(亨)；

w ——繞組匝数；

S_m ——磁路靜截面积(厘米²)；

l_c ——磁路长度(厘米)；

μ ——閉合型磁路的工作导磁率。它等于磁感应交变成份幅度 B_m 与相应的磁場交变成份幅度 H_m 之比；

$$\mu = \frac{B_m}{H_m}$$

由于磁性材料 $B \sim H$ 的非綫性，以及渦流等效应的影响，磁路的 μ 值除了决定于磁性材料的磁性能以外，还决定于磁路的工作状态和工作頻率等因素。当变压器和低频扼流圈工作在对称的交流状态时，磁路經受着对称的反复磁化，此时， μ 值称为动态导磁率，一般用 μ_d 表示：

$$\mu_d = \frac{B_m}{H_m} \quad (8-602)$$

式中：

B_m ——交变磁感应的幅度(高斯)

H_m ——交变磁場的幅度(奥)

由于磁性材料磁特性的非綫性， μ_d 与 B_m 或 (H_m) 的大小有关。作为一个例子圖8—601示出了94AA矽鋼的 $\mu_d - B_m$ 的关系曲綫。

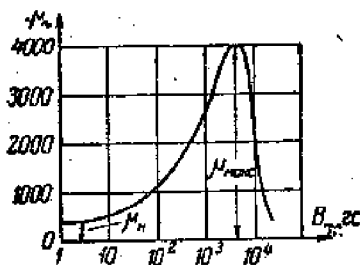


圖8—601

由圖可見，当 B_m 很小时； μ_d 几乎保持不变，在 μ_d 保持不变的这个範圍內的 μ 值，

称为起始导磁率，用 μ_H 表示：

$$\mu_H = \frac{B_m}{H_m} \quad B_m \rightarrow 0 \quad (8-603)$$

随 B_m 增加， μ 到达一最大值，也称最大导磁率，用 μ_{max} 表示。

有时，变压器和低频扼流圈工作电流中除交流成份外还有直流成份，其导磁率由局部迴线（圖8—602）的斜率决定，有时称这种情况下的导磁率为增量导磁率，用 μ_δ 表示。

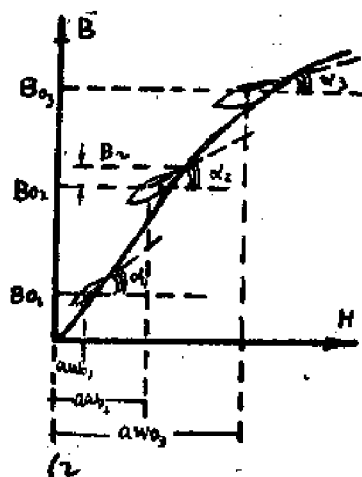


图8—602 局部反复磁化和由于恒定磁场所引起的局部磁化迴线斜率的减小

由圖可見，其 μ_δ 除与 B_m 的大小有关外，还依赖于直流磁場(或直流磁感应)的大小。

圖8—603示出了 μ_δ 值与直流磁場(用每厘米安匝数 aw_0 表示， $aw_0 = \frac{I_{0w}}{l_c}$ 安匝/厘米)的

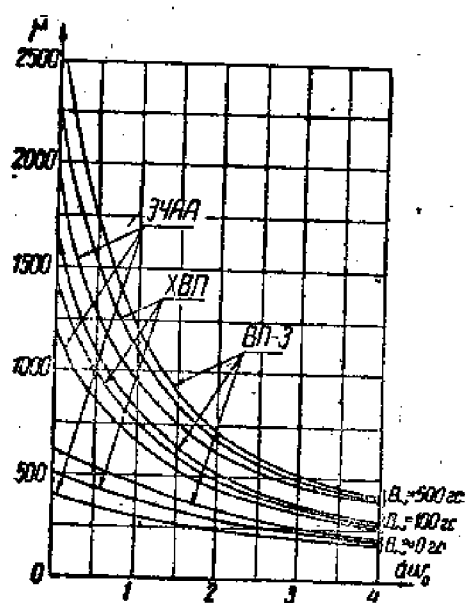
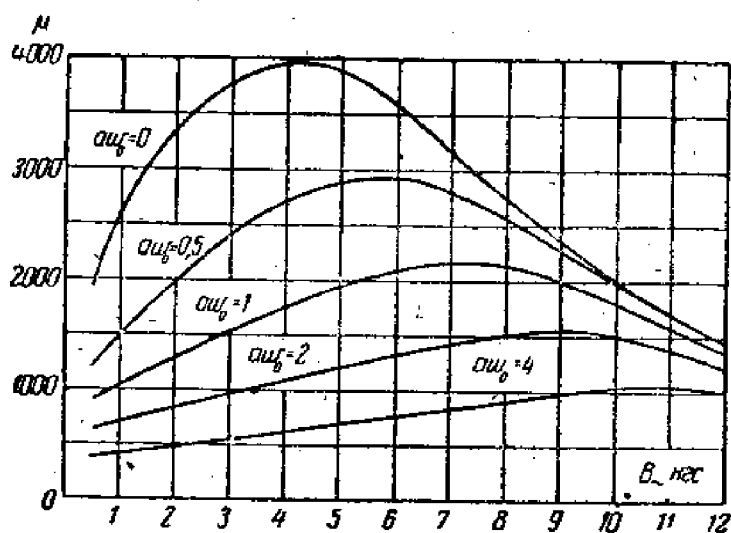


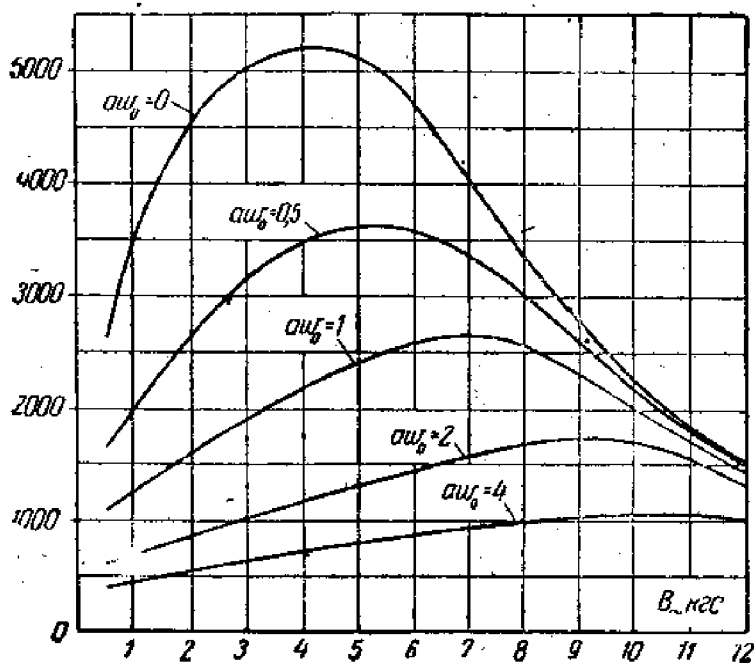
图8—603 不同 B_m 值时34AA, X87, B7-3型鋼磁路 μ_δ 值与直流磁場的关系曲线图

关系 (1安匝/厘米 $\approx 0.4\pi$ 奥)。

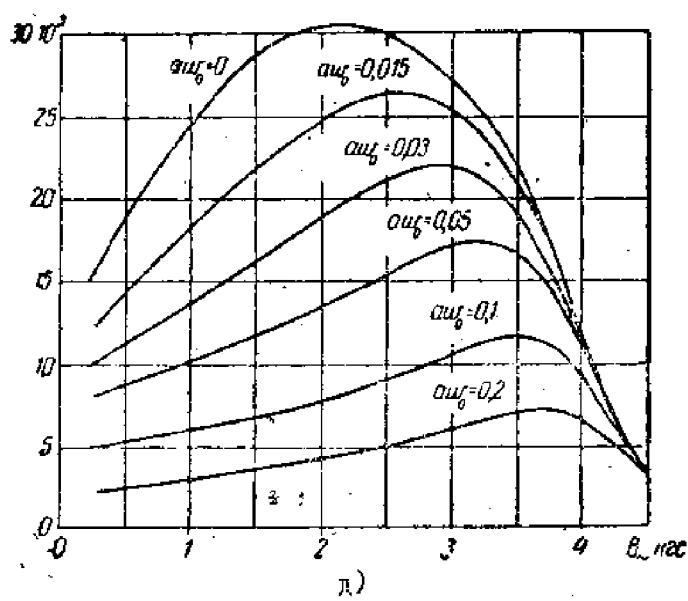
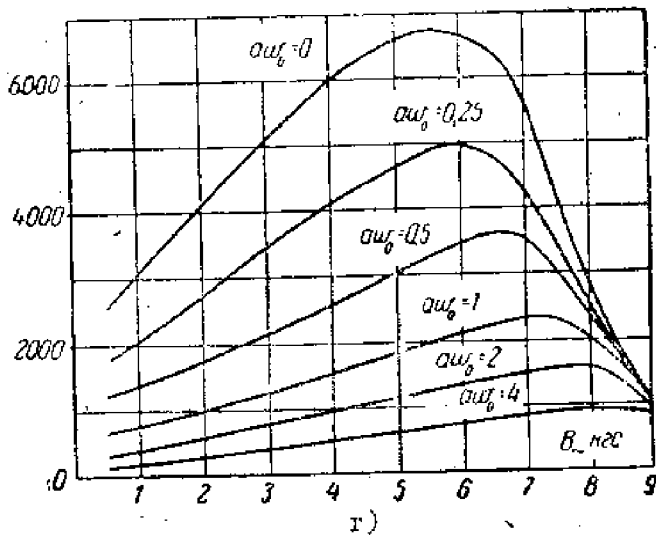
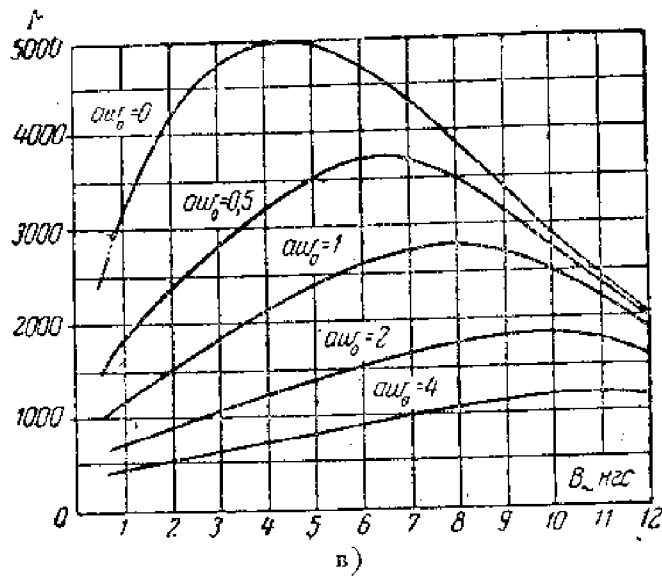
为了设计方便起见,通常将上述工作状态对导磁率的影响,综合为如图8-604所示的曲线族,它表明了某种磁性材料的 μ , B_m 和 aw_0 三个值之间的关系,其中对称磁化的工作状态,相当于 $aw_0=0$ 的情况。

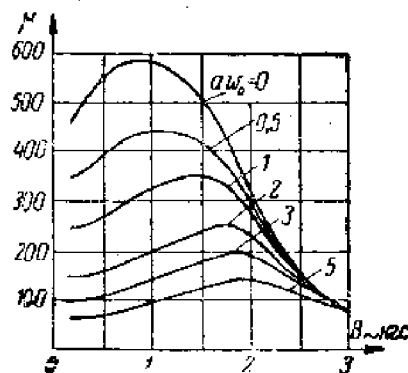


a)



b)





g)

圖8—101 某些常用磁性材料的 $\mu \sim B \sim a\omega$ 曲綫族

a) 工厂退火 (冲压后未退火) 的 0.3~0.5 毫米的 01A 鋼, 6) 工厂退火的 0.35~0.5 毫米的 БН—1 鋼, Б) 工厂退火的 0.35~0.5 毫米的 XBI 鋼, Г) μ_R 为 2000 的, 厚度为 0.2 毫米的退火的 45% 坡莫合金, Д) μ_R 为 10000 的, 厚度为 0.2 毫米的已退火的 78% 坡莫合金, e) μ_R 为 400 的磁鉄鉄渣氧。

从这些曲线中可看出, 当磁路中具有直流磁场时, μ 值大大降低, $a\omega$ 愈大, μ 值降低得愈显著。为了改善这种情况, 可在磁路内加入一很小的非磁性空隙, 由于非磁隙很小, 可以认为在非磁隙的截面内磁力线分布与在磁性材料中的分布相同, 因此, 计算具有这种磁路的绕组电感量时, 仍可采用上述公式。此时, 其中的 μ 值应该用等效 μ 值 (用 μ_0 表示) 代替。

现在来讨论 μ_0 值与非磁隙长度 l_3 以及直流磁场的关系。当加入很小非磁隙时, 磁路的总磁势 $H_M l_c$ 为磁性材料部分的磁势 $H_M l_M$ 与非磁性材料部分磁势 $H_3 l_3$ 之和,

$$\text{即: } H_M l_c = H_M l_M + H_3 l_3 \quad (8-604)$$

由于 $l_c \gg l_3$, 因而可认为非磁隙内的 B 值与磁性段内的 B 值相等, 而且 $l_c = l_M + l_3 \approx l_M$, 再考虑到非磁性材料的 $\mu = 1$ (即 $B = H_3$) 则上式可写为:

$$H_M = H_M + B \frac{l_3}{l_c} \quad (8-605)$$

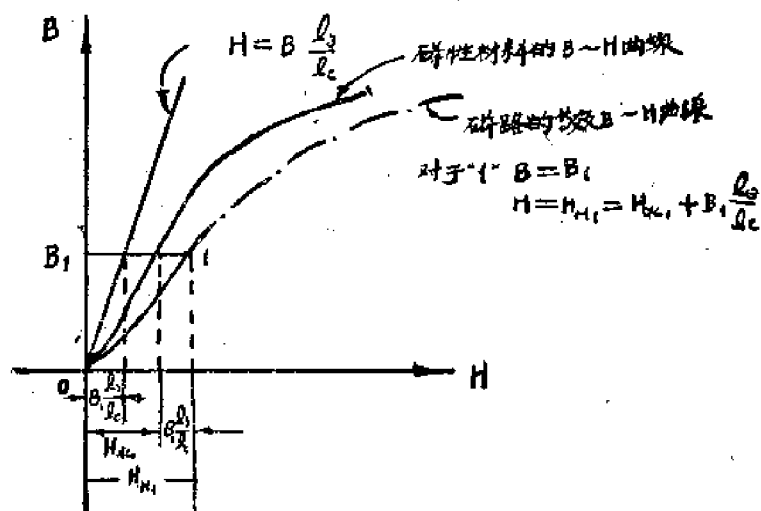
式中的 H_M 与 B 的关系, 是由材料的 $B-H$ 曲线所表征的, 而 $H = B \frac{l_3}{l_c}$ 在 $B-H$ 坐标上为一通过原点的直线; 按上式进行叠加的结果, 得到该磁路的等效 $B \sim H$ 曲线 (如图 8-605 点画线所示), 磁路的等效 μ 值由此曲线确定。

或者, 也可以把上式写成:

$$\frac{B}{\mu_0} = \frac{B}{\mu_M} + B \frac{l_3}{l_c} \quad (8-606)$$

从公式不难得到

$$\mu_0 = \mu_M \frac{1}{1 + \mu_M \frac{l_3}{l_c}} \quad (8-607)$$



图——605 用作图法得到具有非磁隙磁路的等效 $B \sim H$ 曲线

应该注意的是， μ_{π} 为磁性材料的工作导磁率，为了确定 μ_{π} 值，应首先确定磁性材料的实际工作状态 (aw_0 值， B_{π} 值)。

例如，当具有直流磁化时，应首先确定磁性材料内工作的直流磁场 (aw_0) $_{\pi}$ 。既然磁路应满足以下方程式 [用 B_0 和 (aw_0) 表示静态时的 B 和 (aw)]:

$$I_0 \omega = (aw_0) l_c + \frac{R_0}{0.4\pi} l_3 \quad (8-608)$$

那么，该方程在 $B_0 \sim (aw_0)$ 座标上所作成的直线与材料静态磁化曲线的交点 C ，就应该为材料的直流工作点，材料中工作的 (aw_0) $_{\pi}$ 值，可由此交点的横座标确定 (图 8-606)。

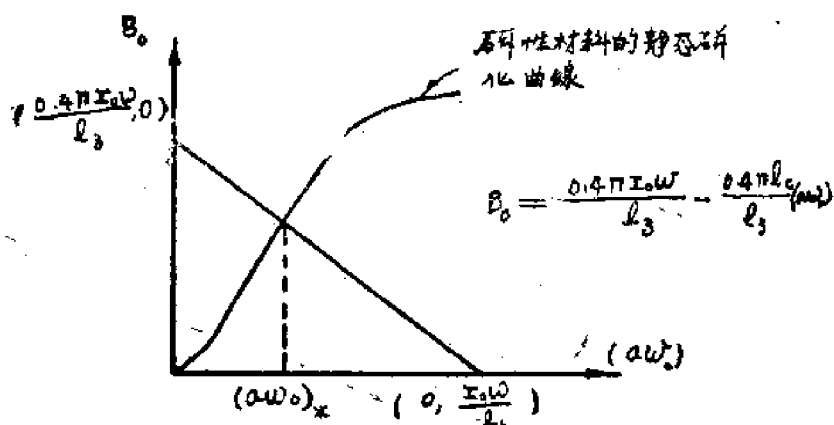


图8——606 用作图法求得具有非磁隙磁路磁性材料部分的工作直流磁场

由于具有非磁隙的变压器及低频扼流圈多数工作于直流磁场 aw_0 较大而交变磁感应 B_{ω} 较小的情况下，因此，我们以这种情况为例子来说明非磁隙 l_3 对等效起始导磁率 μ_{on} 的影响。

利用上述作圖方法，可繪出如圖8—607所示的相应于不同 l_3 值的等效B—aw曲綫，对于不同的直流磁場 aw_0 （ $= \frac{I_0 w}{l_c}$ ）的各种 l_3 情况，都可以由相应的局部磁化迴綫来确定其 μ_{en} 值。

按圖8—607比較各小迴綫斜率可作出另一組曲綫圖8—608。

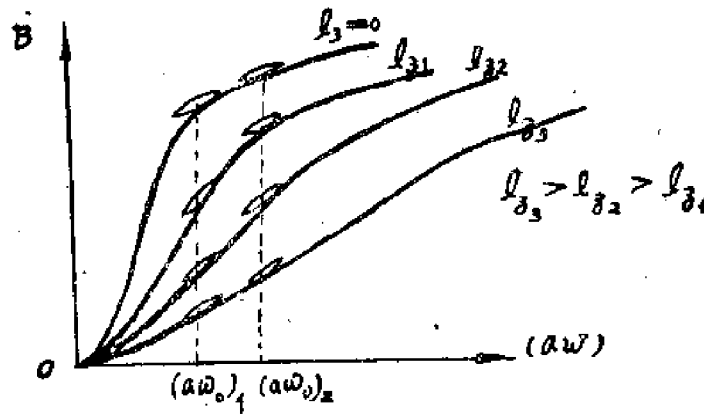


圖8—607 表示非磁隙和直流磁場对 μ_{en} 的影响的示意图

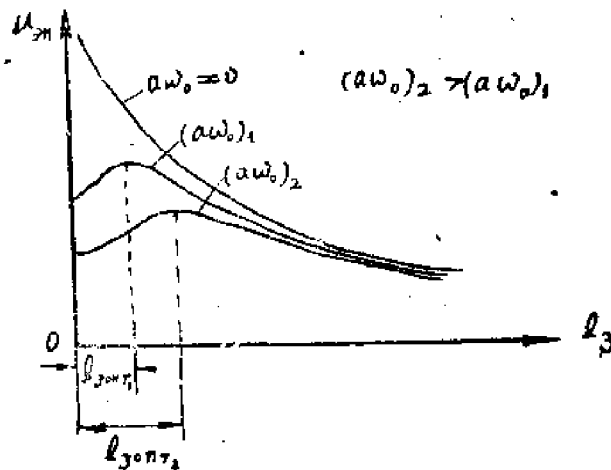


圖8—608 表明 μ_{en} —— l_3 —— aw_0 关系的示意曲綫

从此可以得出結論：在磁路中加入很小的非磁隙，可以使 μ_{en} 提高，当 l_3 到达某一定值时，可以得到最大的 μ_{en} 值（此 l_3 值称最佳非磁隙，用 $l_{30\text{HT}}$ 表示）。当 l_3 繼續增大时， μ_{en} 随着下降。此外，最佳非磁隙的大小，除决定于磁性材料特性以外，还决定于所加的 aw_0 ， aw_0 愈大，則 $l_{30\text{HT}}$ 也愈大，为了設計方便起见，某些参考書繪出了由实验方法得到的某些常用材料的最佳非磁隙（用相对值 $Z_{0\text{HT}}$ 表示， $Z_{0\text{HT}} = \frac{l_{30\text{HT}}}{l_c} \cdot 100\%$ ）与 aw_0 的关系曲綫，以及在最佳非磁隙时 μ_{en} 与 aw_0 的关系曲綫。

在进行設計时，未选择鉄芯以前，还不知道磁化安匝数，因而上述曲綫实际上不能用来确定 μ_{en} 值，而为了确定鉄芯的尺寸或匝数， μ_{en} 值必須是已知的。为了大致地将

μ_{BH} 确定下来, 可利用 μ_{BH} 与 LI_0^2 的关系式。从电感计算式乘上 I_0^2 可得:

$$LI_0^2 = \frac{0.4\pi \times 10^{-8} \mu_{BH} S_{\Sigma} w^2}{l_c} I_0^2$$

$$= 0.4\pi \times 10^{-8} \mu_{BH} S_{\Sigma} l_c (a\omega_0)^2 \quad (8-609)$$

此式反映了 (LI_0^2) , $(S_{\Sigma} \cdot l_c)$, μ_{BH} 及 $(a\omega_0)$ 四个参数的关系。其中 μ_{BH} 或 $(a\omega_0)$ 的关系是已知的 (图8-609a), 因此, 为了确定 μ_{BH} 与 LI_0^2 的关系, 只须知道铁芯的体积 $S_{\Sigma} l_c$ 即可。为便于计算, 某些参考书用一个中型变压器体积的平均值 (取 $S_{\Sigma} l_c = 30$ 厘

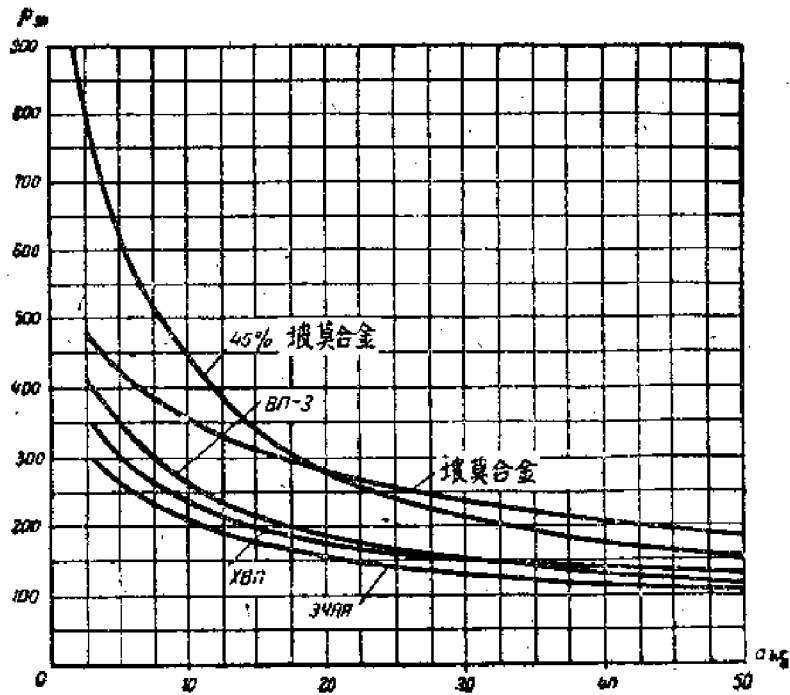


图8—609a) 几种主要铁磁材料在 B_c 较小时的 H 与 $a\omega_0$ 关系曲线

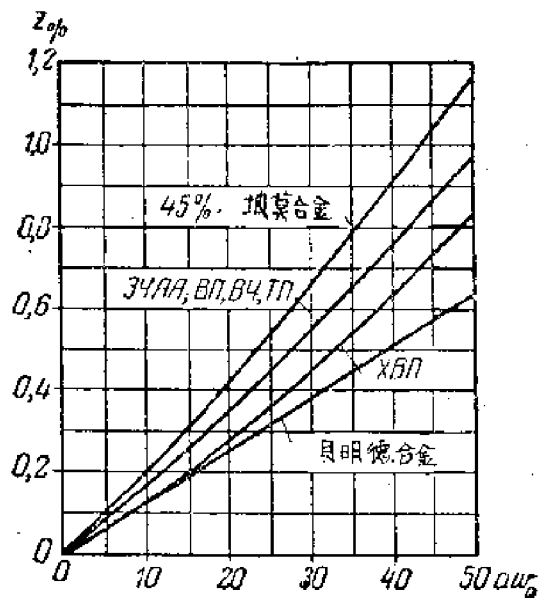


图8—609b) 几种主要铁磁材料在最佳非磁频率时的 μ_{BH} 与 $a\omega_0$ 的关系曲线

米²) 代入上式, 并绘制了几种常用磁性材料的 $\mu_{\text{эп}}$ 与 $L_1 I_0^2$ 的关系曲线 (圖8—610)。設計时可利用这一曲线按已知 $L_1 I_0^2$ 值确定 $\mu_{\text{эп}}$ 的近似值 (用 $\mu_{\text{эп0P}}$ 表示), 然后用逐次渐近法来得到最后的数据 (铁芯尺寸或匝数)。

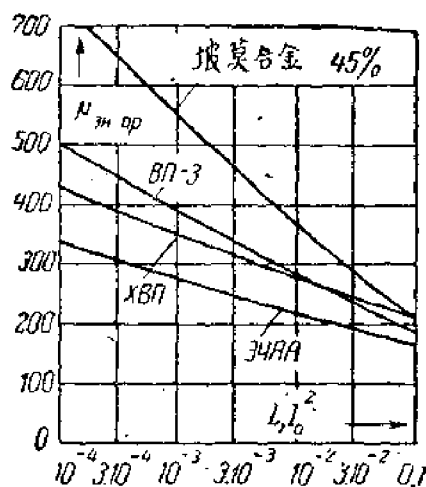


圖8—610 几种常用材料的等效导磁率近似值与 $L_1 I_0^2$ 的关系曲线

当变压器工作于脉冲状态时, 铁芯的磁化过程与上述具有直流磁化的过程相似, 为了叙述的方便起见, 将在脉冲变压器一节中具体讨论。

磁性材料的导磁率, 除与上述工作状态有关以外, 还与工作频率有关, 这主要是由于涡流所引起的磁集膚效应, 很可能使铁芯薄片的表面造成局部饱和, 从而使材料的这一部分的导磁率降低。频率愈高, 则涡流效应愈严重, 因而 μ 值总是随频率的升高而降低的。

当采用片状金属磁性材料作磁路时, 减小片子的厚度, 可以改善频率升高时所引起的导磁率的降低, 为了使导磁率的降低不显著, 要求薄片的厚度 $\delta_{\text{ж}}$ (毫米) 满足下式要求:

$$\delta_{\text{ж}} \leq 5.2 \times 10^4 \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{f \mu}} \quad (8-610)$$

式中:

$\rho_{\text{ж}}$ —磁性材料的电阻率 [欧·厘米]

f —工作频率 [赫]

由此可见, $\rho_{\text{ж}}$ 的增大, μ 的减小, 也可改善磁路导磁率随频率的增高而下降的现象。实验的结果也说明了这一事实 (圖8—611)

磁介质和铁溢氧的 $\rho_{\text{ж}}$ 很大, 即使不分成薄片, 在很高频率时其 μ 值仍保持不变。

涡流效应, 除引起材料的 μ 值随频率增高而下降以外, 还使铁芯的损耗随频率的升高而增大, 也就是说, 它使代替铁芯损耗的等效并联电阻 r_c (見圖8—612) 减小了, 当 r_c 减小到一定限度时, 就必须考虑到 r_c 对变压器低频段频率特性的影响, 为了使 r_c 对频率特性的影响可以忽略, 要求片的厚度比上式所计算数值还要小; 此时应满足下式:

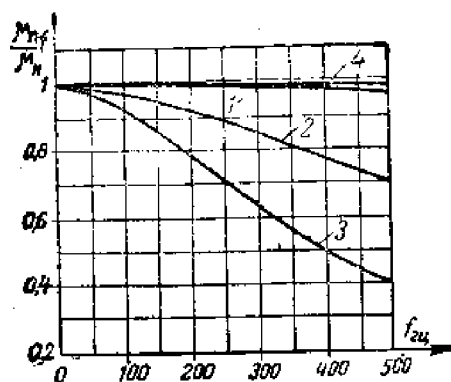


圖8—611 具有不同 μ_R 和 δ_R 的磁滲材料的 μ_r 與頻率的关系曲綫

1.34AA $\delta_R=0.35$ 毫米 2.坡莫合金 $\mu_R=5000$ $\delta_R=0.8$ 3.坡莫合金 $\mu_R=10000$ $\delta_R=0.35$ 毫米 4.坡莫合金 $\mu_R=10000$ $\delta_R=0.1$ 毫米

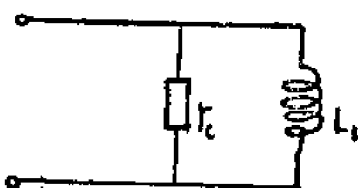


圖8—612 考慮到鐵芯損耗的等效電路

$$\delta_R \leq (2.6 \sim 1.7) \times 10^4 \sqrt{\frac{\rho_R}{f\mu}} \quad (8-611)$$

設計具有一定頻率响应要求的低頻變壓器或扼流圈時，最好按上式選擇片厚，如果實際工藝上做不到，則在計算其低頻段的响应時，必須考慮到 γ_c 之值。

§8—7 低頻扼流圈的設計

低頻扼流圈通常使用在電源濾波電路，低頻放大器耦合電路及調幅電路中。在進行電路設計時，通常提供了以下作為結構設計的原始數據：

- 1) 要求的繞組電感 L 〔亨〕
- 2) 要求的繞組電阻 r 〔歐〕；或者在電源濾波扼流圈中，有時提出允許的直流電壓降 ΔU 。
- 3) 扼流圈的工作狀態。例如通過繞組的直流分量 I_0 ，工作交變電壓幅度 u ，工作頻率 f 等。

此外，用於低頻放大器的耦合扼流圈，還提出容許的最大固有電容。由於這種扼流圈的設計與低頻變壓器的設計方法幾乎相同，因此，這里以討論電源濾波扼流圈為主。

結構設計的基本任務，是確定鐵芯材料和結構尺寸（或型號），繞組匝數和導線直徑，此外，在設計過程中，應考慮到所提出的某些特殊要求（如尺寸、重量、使用條件等），採用有關結構措施。

計算時，一般從選擇鐵芯材料和類型開始，選擇磁性材料和鐵芯類型，應該考慮到

扼流圈工作状态的特点，以及重量、尺寸经济等方面的要求。例如对于使用在一般设备上的电源滤波扼流圈，由于绕组的交流分量很小（交流分量的大小，决定了铁损大小），电源频率不高（50赫），为了经济起见，可选损耗较大质量较低的D1、D3等型号矽钢片，并选取较大的厚度（一般为0.5毫米）。

对于大多数扼流圈来说，如無特殊要求，一般常选择广泛采用的D4AA和D4A矽钢片，以及最常采取用的III型叠片式铁芯结构。

工作频率较高时，可以按已给出的公式来决定片厚，大致确定了铁芯材料和类型之后，即可进入结构尺寸和匝数的计算。此时，可利用以下两个基本关系式：

1) 已指出的电感计算式：

$$L = \frac{0.4\pi\mu_w^2 S_{\Sigma}}{l_c} \cdot 10^{-8} \quad [\text{亨}] \quad (8-701)$$

2) 电工基础已指出的，当工作于正弦电压时的关系式：

$$U = 4.44fw S_{\Sigma} B_m \cdot 10^{-8} \quad [\text{伏}] \quad (8-702)$$

式中：U——绕组工作电压的有效值（伏）。其余符号及单位如前所述。

由于磁路 μ 值与工作状态有关，因而必须分别进行讨论：

A) 对于没有直流分量的情况

在这种情况下，磁路应该是带非磁隙的（或用交叠装合的），所以很简单地从上述基本公式中得到铁芯体积（消去其中W）：

$$S_{\Sigma} \cdot l_c = \frac{0.067 \times 10^8 U \mu}{f^2 L B_m^2} \quad [\text{厘米}^3] \quad (8-703)$$

式中 B_m 值，可根据其他条件（例如容许的非线性失真、容许损耗等），或者，当对 B_m 值没提出要求时，可以选择最佳的 B_m 值（即当 μ 值为最大值时的 B_m 值）。当 B_m 值确定后，可按 $\mu \sim B$ 曲线确定 μ 值。

然后，按 $S_{\Sigma} \cdot l_c$ 值确定 S_{Σ} 和 l_c 的数值，确定此值的主要依据，是在铁芯窗口中绕组的布置是否合理，当 l_c 小时，窗口也小，线包容纳不下； l_c 过大，则窗口中的占空情况变坏。为了避免这两种极端情况，应选择适当的 l_c 值，可惜在未进行绕组的布置以前（即未知其匝数和导线直径）， l_c 的适当值不能确定。只好按一般的经验初步选定以后，再按绕组布置的情况进行检验。对于标准化铁芯，初步选定 l_c 值时，最好是选标准数据。

初步确定了 l_c 和 S_{Σ} 之后，匝数数可以从下式（由熟知的电感计算式导出）求得：

$$W = \sqrt{\frac{L \cdot l_c}{0.4\pi\mu S_{\Sigma}}} \cdot 10^{-8} \quad (8-704)$$

下一步是进行导线直径的计算和绕组布置（按§8-3的方法进行），如果检验结果不合理，应重新选择一个 l_c 值，并重复以上计算，直到趋于合理为止。

最后，如果必要的话，应进行其他检验，如发热检验等。

应当指出，绕组完全不通过直流分量的扼流圈，在实际电路中应用得比较少。实用上大多数扼流圈，都工作在具有直流的情况。

6. 对于具有不大的直流分量的情况

经验指出，当直流磁场（ aw_0 ）< 5安匝/厘米（在 aw_c 未能确定的情况下，可近似地按 $L I_0 < 20 \cdot 10^{-4}$ 来决定），根据前述的电感计算式可得：

$$\begin{aligned}
 L I_0^2 &= \frac{0.4\pi \times 10^{-8} \mu S_{\text{ж}}}{l_0} w^2 I_0^2 \frac{l_0^3}{l_0^2} \\
 &= 0.4\pi \times 10^{-8} \mu S_{\text{ж}} l_0 (aw_0)^2 \\
 \text{即 } \frac{L I_0^2}{S_{\text{ж}} l_0} \times 10^8 &= 0.4\pi \mu (aw_0)^2 \quad (8-705)
 \end{aligned}$$

在这种情况下，利用圖 8-701 所示的曲线（从实验得出），可很方便地确定当 B_m 为某一定值时 μ 与 (aw_0) 的关系。设计时 B_m 值可按工作交流电压的大小选定，因而对不同的 aw_0 可求得相应的 μ 值，从而也可算出相应的 $[0.4\pi \mu (aw_0)^2]$ 值。利用这种方法所得来的数据，可绘出 $\frac{L I_0^2}{S_{\text{ж}} l_0} \times 10^8 = \varphi(aw_0)$ 的关系曲线（例如圖 8-702 所示）。

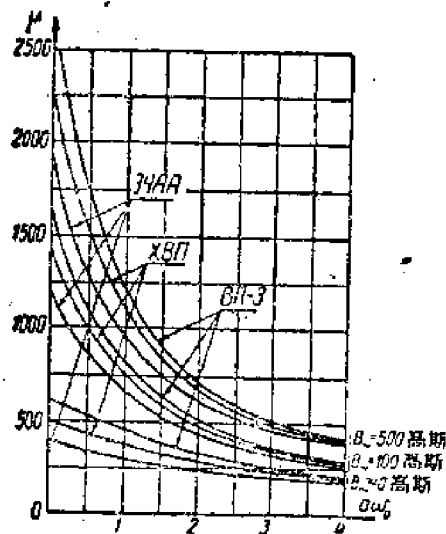


圖 8-701 当 B_m 为不同值时，几种磁性材料的 μ 值与 aw_0 的关系曲线

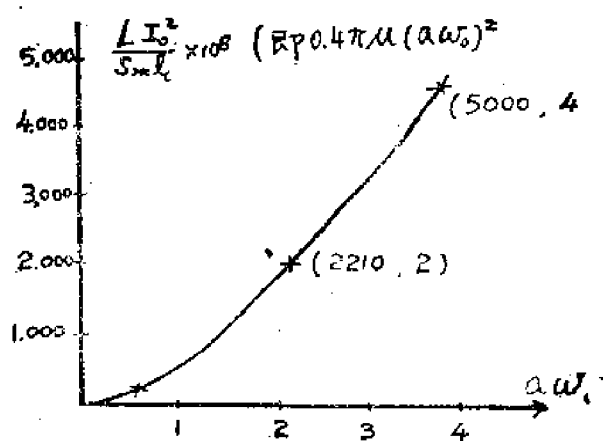


圖 8-702 $I_0 I_0^2 \times 10^8 = \varphi(aw_0)$ 曲线 (34AA, $B_m = 100$ 高斯)

此曲线同时表明了 $S_{\pi}l_c$ 与 w 的关系。当 $S_{\pi}l_c$ 确定时，可求得 w ，或者相反，但 $S_{\pi}l_c$ 和 w 均未能确定的情况下，可以得到很多组的数据，其中，选择合理的解答，应根据对扼流圈提出的其他要求为依据，对于应用于一般设备的扼流圈，为了降低成本，应当选择较大的 S_{π} 和 l_c 值。而在某些重要情况下，为了减小重量和体积，应选择较小的 S_{π} 和 l_c 值。这可根据经验确定。

确定 S_{π} 和 l_c 的值，可采用与上述相同的方法。

匝数的确定，在这种情况下，可简单地从下式求得：

$$W = \frac{aw_0 \cdot I_c}{I_0} \quad (8-706)$$

以后各步骤也和上述情况相同。

实用上大多数低频扼流圈，都工作在具有较大直流磁化的情况下的，现在让我们较详细地讨论其计算方法：

B) 对于具有很大直流分量和小的交流分量情况，当 $(aw_0) > 10$ 安匝/厘米时（或近似地按 $l_0^2 > 50 \times 10^{-4}$ ），应采用具有非磁隙的磁路。（当 $5 < aw_0 < 10$ 时，既可采用具有非磁隙的磁路，也可采用有非磁隙的磁路）。

由于增加了 l_{cent} 这个与其各参数有密切关系的待求参数，使这种扼流圈的计算过程大大复杂化了，已给出的基本公式，在这种情况下，更显得不够用，因此只好采用按经验的计算方法。大家知道，经验本身就具有局限性，它只能解决某一具体问题，因此下面针对最常用的情况，讨论某些例子。

电源平滑滤波器扼流圈的计算：根据经验曲线的计算方法。当选用一般的34A和34AA矽钢片作磁路，以及选用常用的II3（漆色线）和II3I（耐久漆色线）作绕组导线时，可以用图8-703曲线进行简化计算：

我们举以下例子加以说明：

例 已知数据： $L = 25$ 亨， $I_0 = 80$ 毫安，

计算步骤：

1. 计算磁能系数 A_1

$$A_1 = L I_0^2 = 0.08^2 \cdot 25 = 0.16$$

2. 按a曲线找到相应的 $S_{\pi}l_c$ 值 $S_{\pi}l_c = 70$ 厘米²

3. 选铁芯尺寸

选标准铁芯：III—24（CT—360A规格）

查得： $l_c = 13.4$ 厘米， $a_c = 24$ 毫米

$$\text{则 } S_{\pi} = \frac{S_{\pi}l_c}{l_c} = \frac{70}{13.4} = 5.28 \text{ [厘米]}$$

当 $\delta = 0.5$ 毫米时，查得占空系数 $K = 0.91$

$$\therefore \text{叠片厚度 } b_c = \frac{S_{\pi}}{K \cdot a_c} = \frac{5.28}{0.91 \times 2.4} = 2.34 \text{ [厘米]}$$

4. 计算参数 M

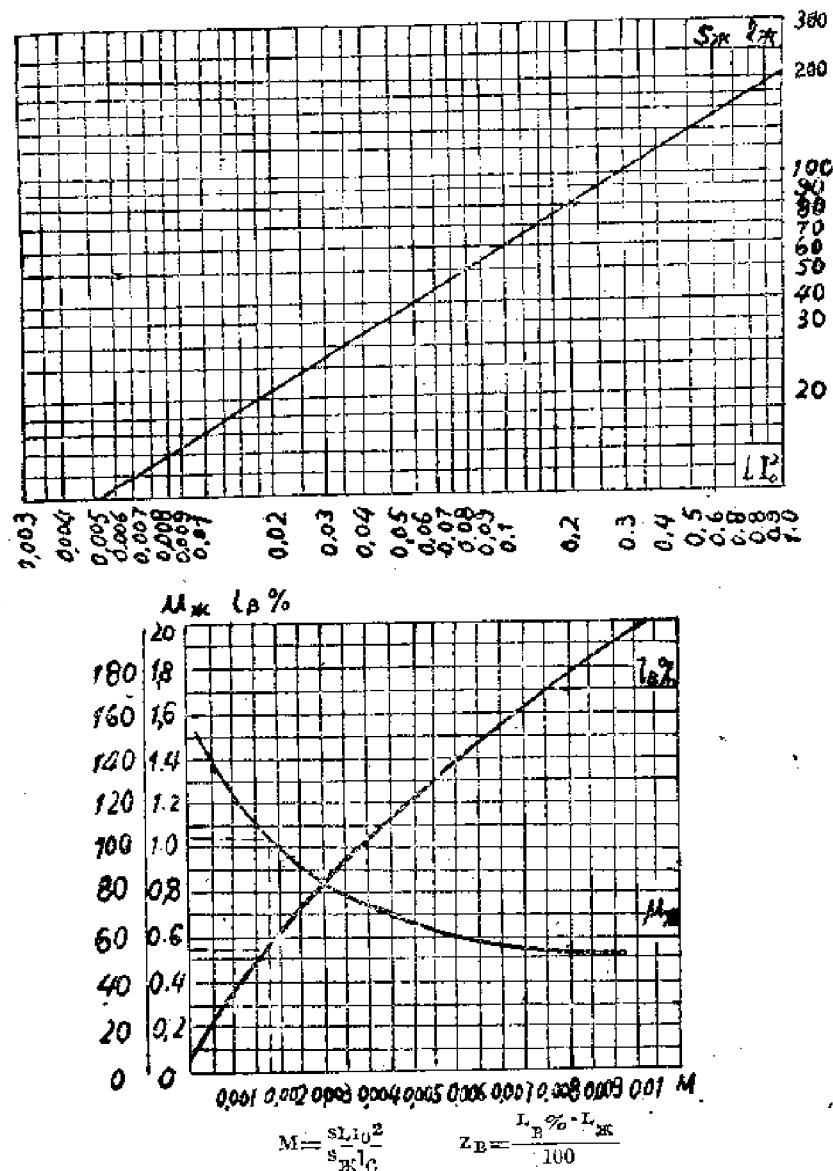


圖8—703 对平滑滤波器扼流圈进行简化计算的曲线图

$$M = \frac{L I_0^2}{S_\pi I_\pi} = \frac{0.16}{70} = 0.0023$$

5. 按B曲线确定: $z = 0.65\%$; $\mu_\pi = 97$

6. 计算绕组匝数

$$W = 10^4 \sqrt{\frac{I_c L}{0.4 \pi \mu_\pi S_\pi}} = 10^4 \sqrt{\frac{13.4 \times 25}{0.4 \pi \times 97 \times 5.28}} = 7100 \text{ 匝}$$

7. 计算最佳非磁隙

$$l_2 = z \cdot l_1 / 100 = 0.65 \times 13.4 / 100 = 8.8 \times 10^{-2} \text{ 厘米。}$$

其余步骤与前述相同。

§8—8 电源变压器的设计

无线电设备中所用的电源变压器,通常用作电子管的灯丝(降压)和整流器(升压)的电源供电。

設計电源变压器的基本原則是：在滿足給出的电气要求以及散熱要求的前提下，尽可能地减小其重量，体积以及降低其造价。

对电源变压器來說，电气上的要求，主要是能實現給定的升压或降压的任务，也就是要求从它次級得到准确的輸出电压和足够的輸出功率。此外，还要求具有足够的絕緣强度和尽可能高的效率。

电源变压器屬於功率的变压器，工作过程中所損耗的功率較大，因而散熱要求便成为設計其結構的重要依据。

實現上述要求与减小其重量、体积以及降低造价往往存在很大的矛盾，有賴于通过正确的設計来解决。为了解决这些矛盾，人們进行了研究，研究結果表明：

当 $\beta = \frac{P_M}{P_C} = 1.25 - 1.55$ 时，可使变压器获得最大变换效率（其中 P_M 为銅損， P_C 为鉄損）。

当 $\lambda = \frac{G_C}{G_M} = 4.5 - 5.5$ (G_C 为鉄重， G_M 为銅重) 时，可以获得最小价格。

当 $\lambda = 2 - 3$ 时，可以获得最小重量。

一般由市电供电的设备中的电源变压器工作于50赫的頻率下，但飞机等活动容器上的电源变压器，为了减小变压器以及滤波器件（如滤波扼流圈）重量和尺寸，也可能工作于400赫，800赫，1000赫，甚至更高的頻率之下。

計算电源变压器的方法随着它的用途和具体要求不同而有所不同，但其基本原理和大致步骤是相似的。为此，这里我們只詳細地討論其中最常用的一个例子。

小功率电源变压器的計算方法及举例：

計算小功率电源变压器的原始数据包括以下各項：

- 1) 相数 m
- 2) 电源电压有效值 U_1 [伏]。
- 3) 次級繞組电压， $U_2, U_3, U_4, \dots, U_i$ [伏]
- 4) 次級繞組电流有效值 $I_2, I_3, I_4, \dots, I_i$ [安]
- 5) 負載的功率因数 $\cos \varphi_i$
- 6) 电源頻率 f [赫]
- 7) 最高环境温度 t_{PJ} [$^{\circ}C$] (由使用条件确定)
- 8) 变压器的最高允許温度 t_1 [$^{\circ}C$] — (由变压器所用的絕緣材料决定)
- 9) 其他特殊要求：如最低价格、最小重量等。

計算可按以下步骤进行：

1° 鉄芯材料及厚度的选择：

我們知道对于工作于正弦状态的变压器有如下关系式：

$$U = 4.44 W_1 f s_m B_m \times 10^{-8} \text{ [伏]}$$

考虑以下关系式

$$l = j \cdot q = j \cdot \frac{q_0}{W}$$

其中 q_0 — 繞組中銅的总截面

j —繞組導線的電流密度

q —導線淨截面

可得變壓器所能容納的總的伏安數為：

$$\Sigma VA = UI = 4.4fS_{\Sigma}j_0B_m \times 10^{-8} \text{ (伏安)}$$

由上式可見，為了使變壓器能傳輸較大（伏安）值的功率，除了要求工作於高頻率 f 以及要求具有較大鐵芯體積 V 以外，還要求鐵芯工作在較大 B_m 值的情況下，或者說，為了使變壓器能傳輸一定的功率，如果材料能工作在較大的 B_m 值，則可縮小變壓器的體積（它決定於 S_{Σ}, j_0 ），但大的 B_m 值受材料的飽和磁感應 B_s 的限制，因此，在選擇材料時，應選擇具有較大 B_s 值的材料。

此外，當 B_m 值較大時磁性材料的損耗增加，以致引起發熱的增大，因此，要求材料具有高的 B_s 值的同时，還要求具有低損耗。這就是選擇鐵芯材料的主要根據。當然，也應同時考慮到與變壓器的用途有關的重量、價格等因素。

片子的厚度按工作頻率高低及功率大小，從經驗選擇。

一般來說，對於要求最低價格的變壓器可選擇質量較低的 341 或 311（損耗大）矽鋼片，厚度為 0.5 和 0.35 毫米；對於要求最小重量可選 3310 帶狀矽鋼片，厚度為 0.35 毫米；工作於 400 赫的變壓器，可選 334，3340，344，347，348，當工作於 800 赫或更高頻率時可選坡莫合金（厚度 < 0.2 毫米）或鉄滲氧。當功率大於 100 伏安時鋼片的厚度在 0.2—0.35 範圍內選擇，當功率小於 100 伏安時，通常其厚度選為 0.35。

2. 繞組功率和電流的計算：

次級繞組的總功率：

$$P = \sum_{i=1}^n I_i U_i \cos \varphi_i$$

無錢電設備的電源變壓器常以整流器為負載，在種情況下，由於負載的非線性（整流特性），初次級功率關係是用利用係數表征的，為此，該次級繞組的功率應該計及利用係數，為了計算初級的電流，可利用等效概念，但不是實際的次級功率的概念。

對於常用的電容性負載整流器，可利用下式求得此等效次級功率的近似值，

當半波整流時： $P_2 = 0.95 U_2 I_2$

當全波整流時： $P_2 = 2 \times 0.85 U_2 I_2$ ，（此時，數值 2 即為相數， U_2 為半個繞組電壓）。

當橋式或倍壓整流時： $P_2 = U_2 I_2$ ，（此時 U_2 為整個繞組電壓）。

以電子管燈絲為負載時， $\cos \varphi_1 = 1$

初級繞組的功率因數：

$$\cos \varphi_1' = \frac{I_{1a}}{\sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}}$$

其中初級繞組電流的有功分量 I_{1a} 和無功分量 I_{1p} ，按下式計算：

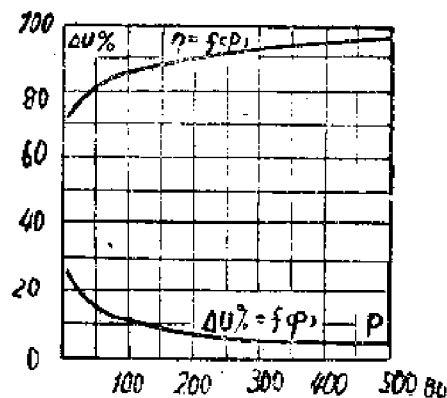
$$I_{1a} \cong \frac{P}{\eta U_1}$$

$$I_{1P} \cong I_{1\mu} + \frac{\frac{n}{2} \sum U_i I_i \sin \varphi_i}{\eta U_1}$$

$I_{1\mu}$ 为磁化电流，一般取

$$I_{1\mu} = (0.4 \sim 0.5) I_{1a}$$

η 为变压器的效率，可初步按圖8—801曲线查得：



8—801 小功率变压器效率和电压降与功率的关系曲线

在电阻性负载情况下（无线电设备的电源变压器常为这种情况）， $\sin \varphi_i$ 均等于0，因而有

$$\cos \varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{I_{1\mu}}{I_{1a}} \right)^2}}$$

初级绕组的电流

$$I_1 = \frac{P}{U_1 \eta \cos \varphi_1}$$

3° 选择铁芯中的磁感应密度，可按材料的种类进行。

对于241及911牌号的壳型磁路：

$$B'_m = 12000 \sim 13000 \text{ (高斯)}$$

对于具有宽軛的壳型磁路（也是241，911）。

$$B'_m = 12500 \sim 13500 \text{ (高斯)}$$

对于同样材料的具有四个接合处的柱形磁路应取小于上述的（5—10）%。

工作频率400赫的变压器一般为 $B_m = 5000 \sim 7000$ 高斯。

4. 选择绕组的电流密度：

功率大于100瓦的变压器中，一般取

$$j = 4.5 \sim 3.5 \text{ (安/毫米}^2\text{)}$$

功率小于100瓦的变压器中，一般取

$$j = 3.5 \sim 2.5 \text{ (安/毫米}^2\text{)}$$

5. 选定 α 值, 并按下式决定铁芯柱的截面积:

$$S_{\pi} = C \sqrt{\frac{P_1 \alpha \cdot 10^6}{f B'_m}}$$

式中 $P_1 = U_1 I_1$ — 所需之伏安数。

C — 系数, (决定于结构)

对于圆形绕圈的柱形铁芯 $c = 0.5$

对于矩形绕圈的柱形铁芯 $c = 0.6$

对于壳型铁芯, $c = 0.7$

铁芯的截面取之等于

$$S_c = \frac{S_{\pi}}{K_c}$$

其中: K_c — 铁芯截面积的占空系数。

6. 决定绕组中的匝数:

初级绕组的匝数等于

$$w_1 = \frac{\left(U_1 - \frac{\Delta U \% U_1}{200} \right) 10^8}{4.44 f B'_m S_{\pi}}$$

其中: $\Delta U \%$ 为初级绕组中电压降的百分比, $\Delta U \%$ 的预定值, 取自图 8—801 的曲线。

加在绕组一匝上的电压为:

$$e'_w = \frac{U_1 - \frac{\Delta U \% U_1}{200}}{w_1}$$

次级绕组的匝数决定于下式:

$$w_i = \frac{U_i + \frac{\Delta U \% U_i}{200}}{e'_w}$$

为了绕制方便起见, 低压绕组 (即灯丝绕组) 的匝数要取最近的整数 (取整数 w_n 代替 w'_n)。再重新计算每匝上的伏特数, 在其他绕组中的匝数及柱中的感应密度值:

$$e_w = e'_w \frac{w_n}{w'_n}$$

$$w_i = w'_i \frac{w_n}{w'_n}$$

$$B_m = B'_m \frac{w'_n}{w_n}$$

当空载时次级绕组上的电压为:

$$U_i = e_w w_i$$

7. 决定绕组导线的截面和直径。

繞組導線橫截面的預定值，按下式求之

$$q_i = \frac{I_i}{j_i}$$

導線橫截面和直徑的最終值按規格表中最接近的數據來選擇。重新計算繞組中的電流密度：

$$j_i = \frac{I_i}{q_i}$$

當導線截面 $q > 10 \text{ 毫米}^2$ 時，繞組應該用矩形截面的導線來繞，或者用 2—3 根圓截面并聯導線來繞制繞組。

8. 選擇鐵芯片的尺寸：

如果變壓器鐵芯是用標準片疊成的。則根據柱截面的計算數值 S_c ，遵守下列關係式來選擇標準鐵芯的尺寸：

$$b_c = (1-2) a_c$$

鐵芯窗高度的預定值可決定于下式：

$$h = \sqrt{\frac{n \sum q_i W_i}{K_1 \frac{1}{100 K_0}}}$$

其中： K_1 —鐵芯窗的高度對寬度的比值

$$K_1 = \frac{H}{b} = 2.5-3$$

K_0 —鐵芯窗的繞組占空系數；對於小功率電源變壓器 $K_0 = 0.2-0.3$

如果變壓器的導磁體並非用標準片疊成的則導磁體的尺寸根據下列關係式來決定：

對於柱形的

$$S_a = (1-1.2) S_c$$

對於壳形的

$$S_a = \frac{(1-1.2) S_c}{2}$$

$$b_c = (1.2-2) a_c$$

$$h_a = \frac{S_c}{b_c}$$

鐵芯窗的高度和寬度的預定值按以前列出的公式來決定。

9. 繞組在鐵芯窗中排置的校驗和確定鐵芯片的尺寸。繞組在鐵芯窗中排置的校驗，已在 § 8—3 中討論。

10. 變壓器繞組的銅重量：

繞組的銅重量可按下式決定：

$$G_{\text{銅}} = 8.9 W_i q_i l_{w_i} 10^{-6} \quad [\text{千克}]$$

其中： l_{w_i} —第 i 個繞組的線匝平均長度。

繞組銅的總重量等于

$$G_M = \sum_{i=1}^n G_{Mi}$$

11. 變壓器繞組的銅損

當繞組加熱到溫度 75°C 時變壓器繞組的銅損決定于下式:

$$P_{Mi} = 2.4 j^2 i G_{Mi}$$

在繞組加熱到溫度 t 的情況下,在此公式中,必須乘入一修正系數: 等于

$$\frac{1+0.004(t-20)}{1.22}$$

12. 變壓器鐵芯鋼的重量:

變壓器鐵芯鋼的重量決定于下式:

對於柱型鐵芯:

$$\text{柱子重量 } G_{\text{жс}} = 7.8 H S_{\text{ж}} 10^{-3} \text{ (仟克)}$$

$$\text{磁軛重量 } G_{\text{жл}} = 2 \times 7.8 l_{\text{л}} S_{\text{жл}} 10^{-3} \text{ (仟克)}$$

其中: $S_{\text{жл}} = S_{\text{ж}} K_c$

$$l_{\text{л}} = b + 2a_c$$

對於壳型鐵芯:

$$\text{柱的重量 } G_{\text{жс}} = 7.8 H S_{\text{ж}} 10^{-3} \text{ (仟克)}$$

$$\text{磁軛重量 } G_{\text{жл}} = 2 \times 7.8 (H \times l_{\text{л}}) S_{\text{жл}} 10^{-3} \text{ (仟克)}$$

其中: $l_{\text{л}} = 2b + a_c + 2h_{\text{л}}$

鐵芯的總重量

$$G_{\text{сж}} = G_{\text{жс}} + G_{\text{жл}}$$

13 鐵芯的鋼損耗:

在柱子中的鋼損耗

$$P_{\text{cc}} = P_y \left(\frac{B_c}{B_y} \right)^2 \left(\frac{f}{f_y} \right)^{1.3} G_{\text{жс}}$$

在磁軛中的鋼損耗

$$P_{\text{cl}} = P_y \left(\frac{B_{\text{л}}}{B_y} \right)^2 \left(\frac{f}{f_y} \right)^{1.3} G_{\text{жл}}$$

其中:

P_y —在感應密度為 B_y 和頻率為 f_y 的情況下的比損耗。

$$B_{\text{л}} = (0.75-1) B_c$$

鐵芯中鋼的總損耗

$$P_{\text{сж}} = P_{\text{cc}} + P_{\text{cl}}$$

14. 決定變壓器的空載電流:

變壓器的空載電流

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_M^2} \approx I_M$$

其中: I_{0a} —由於銅損耗和鐵損而引起的空載電流的有功分量,對於小功率電源變壓器

它很小，被忽略掉。

I_M —磁化电流或者电流的无功分量，它决定于下式：

$$I_M = \frac{aW_c l_c + aW_{\pi} l_{\pi} + 0.8Bn\delta_s}{\sqrt{2} W_1}$$

其中： aW_c 及 aW_{π} —在变压器的柱子和磁轭中的磁场，它根据磁化曲线按感应密度 B_c 及 B_{π} 来决定。

l_c' 及 l_{π}' —铁芯和磁轭中磁路的平均长度。

δ_s —铁芯中等效空气隙的数值，在交叠式装配的情况下 $\delta_s = 0.004$ 厘米。

n —铁芯中空隙数目，在柱型铁芯中 $n=4$ 或 2 ；在壳型铁芯中 $n=2$ 或 1 。

B —铁芯中的磁感应密度。

W_1 —在初级绕组中的匝数。

15. 变压器的效率：

在额定负载下效率值决定于下式

$$\eta = \frac{P}{P + P_{\pi} + P_M} \cdot 100$$

在局部负载的情况下效率可近似地决定于下式：

$$\eta = \frac{\gamma P}{\gamma P + P_{\pi} \left(\left(1 + \frac{\Delta U \%}{200} + \gamma \frac{\Delta U \%}{200} \right)^2 + \gamma (P_M J^2 \mu r_1) + J^2 \mu r_1 \right)} \cdot 100$$

其中： γ —系数，它表明了该局部负载与额定负载的比值。

16. 变压器发热的检验，按 §8—5 中的方法进行。

§ 8—9 低频变压器的设计

低频变压器在低频电路里用来匹配阻抗及级间耦合。按在电路中的位置可分为输入变压器、级间变压器和输出变压器。

I. 低频变压器所引起的失真

电气上对低频变压器的基本要求是在一定频率范围内能无失真（或失真在允许范围内）地传输一定功率的音频信号。

低频变压器所引起的失真通常有频率失真，相位失真及非线性失真三种类型。为了分析和计算低频变压器的频率失真，通常采用图8—901，所示的等效电路。

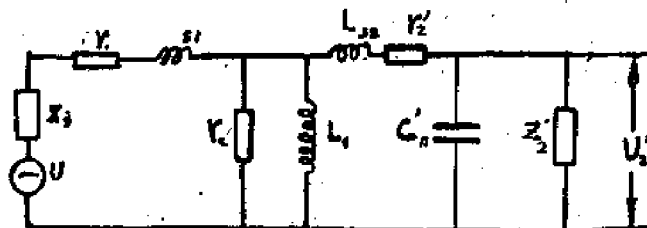


图 8—901 低频变压器工作时的一般等效电路

图中： u_1 ——电源电动势， Z_1 ——电源内阻。

r_1 ——初级绕组电阻。 L_{s1} ——初级漏感。

r_c ——铁芯所引入的损耗等效电阻。

L_1 ——初级绕电感。

L'_{s2} ——次级绕组的折合漏感。 $L'_{s2} = \frac{L_{s2}}{n^2}$

(L_{s2} ——次级绕组漏感, n ——变压比 $n = \frac{w_2}{w_1}$)

r_2 ——次级绕组的折合电阻, $r_2' = \frac{r_2}{n^2}$

(r_2 ——次级绕组电阻)

C_n' ——变压器总的动态电容

Z_2' ——折合负载阻抗, $Z_2' = \frac{Z_2}{n^2}$

U_2' ——变压器的折合负载电压 $U_2' = \frac{U_2}{n}$

对等效电路的分析表明, 频率失真和相位失真主要是由于初级电感量, 绕组漏感和动态电容所引起的。变压器的电气计算时, 根据对变压器频率和相位失真的要求, 已确定必须的初级电感, 漏感和动态电容, 所确定的数值是结构设计的原始数据。

非线性失真可用电压谐波系数 K_r 来表征:

$$K_r = \sqrt{K_2^2 + K_3^2 + \dots + K_i^2 + \dots}$$

其中: K_i ——为 i 次谐波的谐波系数

$$K_i = \frac{U_i}{U_1}$$

U_1 ——基波电压。

i 次谐波的电压谐波系数也可用下式表示:

$$K_i = a_i \frac{0.159 R_{\Sigma H}}{i L_1} \quad (8-901)$$

其中: $R_{\Sigma H}$ ——讯号源的等效内阻

$$R_{\Sigma H} = \frac{(R_i + r_1)(R_{2\omega} - r_1)}{R_i + R_{2\omega}} \quad (8-902)$$

$$R_{2\omega} = r_1 + r_2' + R_2' \text{——变压器中频段的交流输入电阻;} \quad (8-903)$$

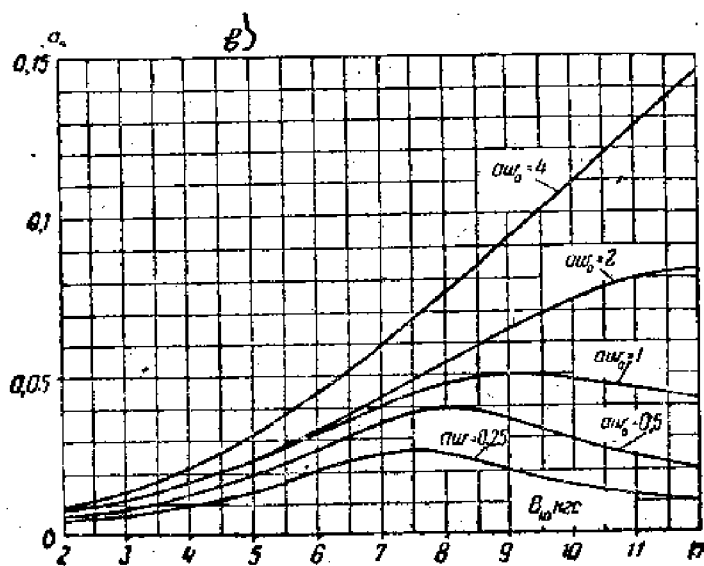
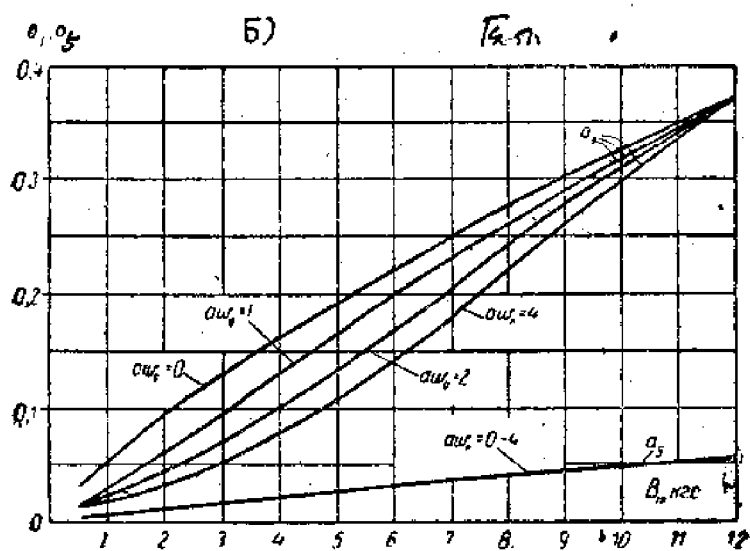
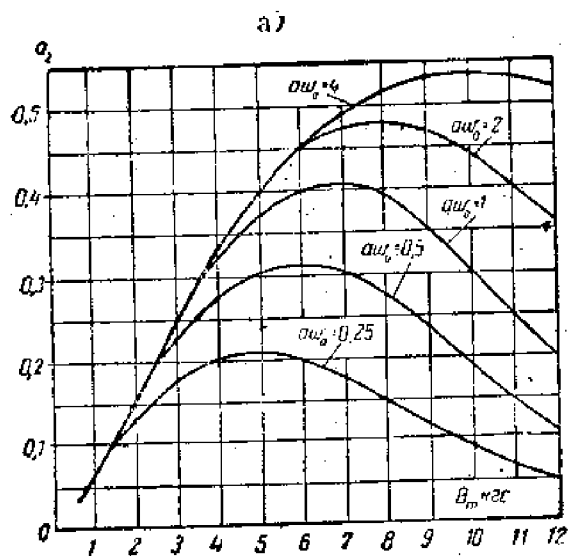
R_2' ——折合负载电阻;

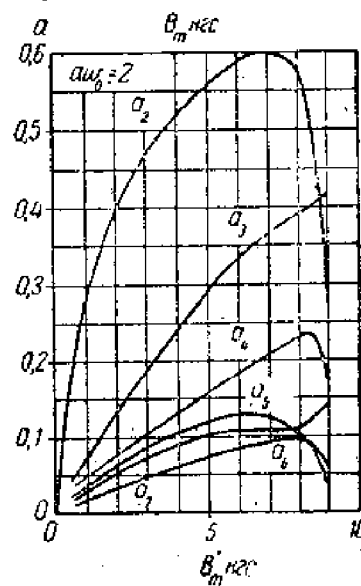
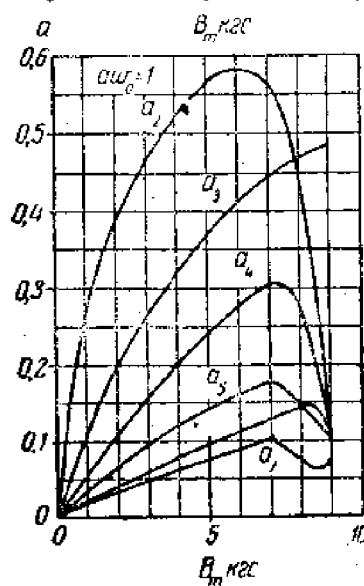
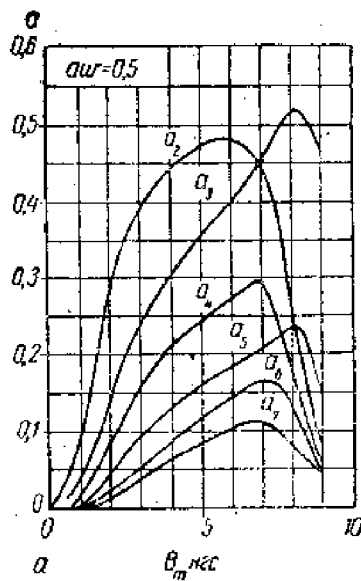
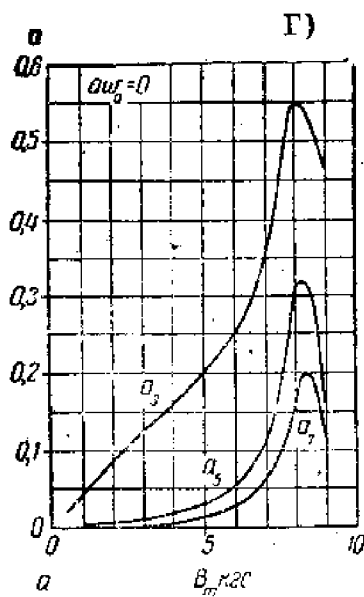
a_i ——第 i 次磁化电流的谐波系数, 为该次谐波短路电流 I_{2K} 与基频电流 I_1 之比。

非线性失真主要是磁性材料磁特性的非线性所引起的, 而材料磁性的非线性程度因工作状态 (B_m , aw_0 , 等) 的不同而不同。因此, 失真程度不仅取决于材料本身特性, 也决定于其工作状态。为了便于估计, 用实验方法绘出了某些材料的 a_i 与 B_m , aw_0 的关系曲线, 如图 8-902 所示:

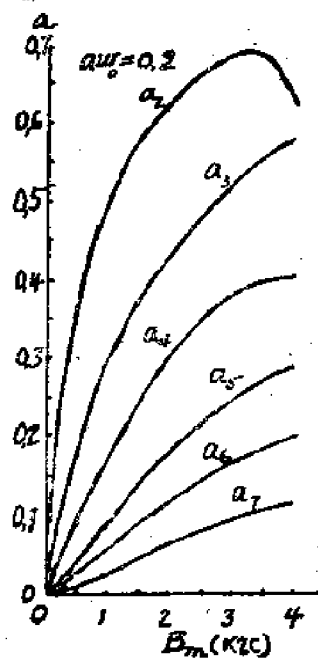
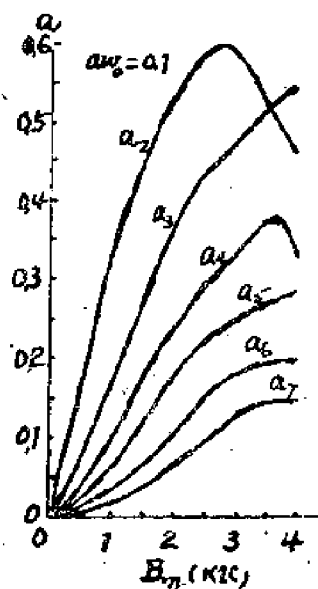
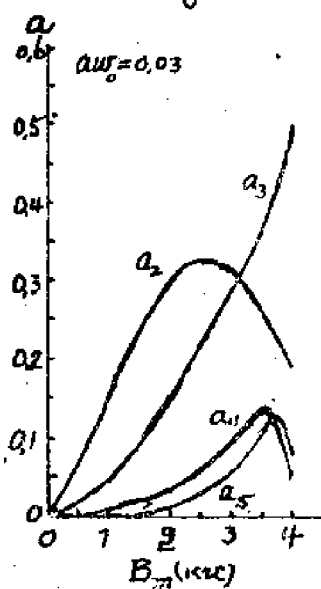
II. 低频变压器电参数与结构尺寸的关系

为了进行变压器结构设计, 引入参量——变压器初级绕组时间常数:





$\delta)$



II)

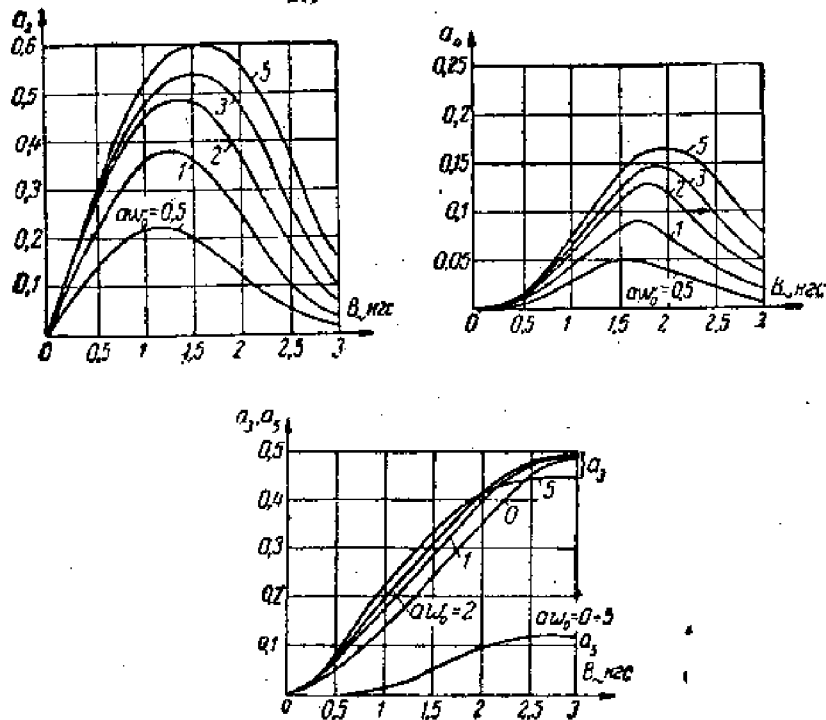


圖3——002某些材料的 a_1 与 B_m , a_{1a_2} 的关系曲线

a) ——厚0.3——0.5毫米的01AA型、XBII型和BII型变压器钢片的磁化电流二次谐波系数与磁通密度交变成分和永久磁化强度的平均关系曲线 6) ——厚度0.3——0.5毫米的01AA型、BII型和XBII型变压器钢片的磁化电流三次和五次谐波系数与磁通密度的交变成分和永久磁化强度的平均关系曲线 б) 厚度0.3——0.5毫米的01AA型、BII型和XBII型变压器钢片的磁化电流四次谐波系数与磁通密度的交变成分和永久磁化强度的平均关系曲线 r) 退火的45%坡莫合金永久磁通的磁化电流谐波系数与磁通密度的交变成分和永久磁化强度的关系曲线 д) 退火的78%坡莫合金的磁化电流谐波系数与磁通密度的交变成分与永久磁化强度间的关系曲线 ● 起始导磁率为400高斯/奥的铁不氧磁物的磁化电流谐波系数与磁通密度的交变成分和永久磁化强度的关系曲线

$$\tau_1 = \frac{L_1}{r_1} \quad (\text{秒}) \quad (8-904)$$

因为其中的 L_1 和 r_1 可用以下公式表示:

$$L_1 = \frac{0.4\pi\mu S_{\pi} W_1^2}{l_c} \times 10^{-8} \quad (\text{亨})$$

$$r_1 = \rho_0 \frac{l_{w1} W_1}{q_{w1}}$$

因而 τ_1 也可表示为:

$$\tau_1 = 0.4\pi \frac{\mu}{\rho_0} \frac{S_{\pi} q_{w1}}{l_c l_{w1}} \quad (8-905)$$

如果用全部绕组的总的铜净截面代替初级绕组的铜净截面,以整个线包的平均绕组

长度 l_w 代替初级绕组的 l_{w1} ，则得到铁芯的时间常数。

$$\tau_c = 0.4\pi \times 10^{-8} \frac{\mu}{\rho_0} \frac{S_{\pi} q_0}{l_c l_w} \quad (8-906)$$

分析表明，对于工作在“A”类状态下的两个绕组的变压器来说，必须的 τ_c 为

$$\tau_c \geq 2\tau_1$$

对于工作在“B”类状态下的输出变压器：

$$\tau_c \geq 1.707\tau_1$$

从式(8-906)可见，铁芯的时间常数正比于变压器线性尺寸的平方。因此有以下关系。

$$\tau_c = \mu C V^{\frac{2}{3}} \quad (8-907)$$

$$V = \sqrt{\left(\frac{\tau_c}{\mu C} \right)^3}$$

其中：V——每个变压器所消耗材料的体积；

C——比例系数，与变压器尺寸和绕组导线的比电阻之比有关。

这样，我们就找到了变压器尺寸与其他电气参量的关系式。

III、低频变压器的临界功率和容许磁感应密度

变压器的功率愈大，则铁芯内的磁感应密度愈大，当变压器功率使铁芯的B值达到非线性失真要求允许磁感应密度 B_{MH} 时，这个功率称为变压器的临界功率。最大允许功率和允许磁感应密度之间的关系由下式表示：

对于“A”类工作的具有有功负载的变压器：

$$B_{MH} = \frac{2.98 \times 10^{-4} (1 + \eta)}{f_H S_{\pi}} \sqrt{\frac{p l_w}{(1 - \eta) q_0}} \quad (8-908)$$

对于“B”类工作的具有有功负载的变压器：

$$B_{MH} = \frac{4.21 \times 10^{-4} (0.707 + \eta)}{f_H S_{\pi}} \sqrt{\frac{p l_w}{(1 - \eta) q_0}} \quad (8-909)$$

式中： η ——变压器效率

f_H ——最低工作频率(赫)

其他符号和前述相同。

IV、低频变压器铁芯尺寸

低频变压器的尺寸与时间常数 τ_c 及最大允许磁感应 B_{MH} 有关，因此，确定尺寸时，应考虑到这两项要求。

小功率及中等功率变压器，可以选择既满足 τ_c 同时又满足 B_{MH} 指标的标准铁芯。

大功率的变压器，当标准铁芯不能满足时，则应根据给定的 τ_c 和 B_{MH} 用计算方法确定铁芯尺寸。

当计算铁芯尺寸时，采用了铁芯结构常数A这一参量：它可表示为：

$$A = \frac{\tau_c}{\mu} = 7.18 \times 10^{-8} \frac{S_{\pi} q_0}{l_{\pi} l_w} \quad (8-910)$$

其中 μ 值应根据最小信号幅度的工作状态确定，例如对于工作信号电平很小并且无直流磁化的输入，级间和输出变压器来说，应取起始导磁率。

由式 (8—910) 可見, 当鉄芯材料选定后, 求得其相应工作状态的 μ 值, 就可按要求的 τ_c 值算出来, 鉄芯的結構尺寸也就可按此式选择, 在标准鉄芯中, 一般列出由实际尺寸算得的 A 值, 以便于按所需之 A 值选择鉄芯的型号。

单纯按式 (8—910) 来确定鉄芯具体尺寸是不够的, 为此, 应考虑到为了降低变压器重量, 体积或造价有关的最佳尺寸比例(如§8—1所述)。例如: 对于最低价格的壳形变压器, 当采用較寬磁軛的無廢料冲压时, 最佳的尺寸比例为:

$$h_H:a_c=0.65;$$

$$b_c:a_c=1.5;$$

$$b_c=h_H=0.65a_c;$$

$$H=2h_H+0.5a_c=1. a_c。$$

因而: $S_{\Sigma}=a_c b_c l_c=1.5a_c^2 k_c$

$$q_0=H_H k_0=1.17a_c^2 k_0$$

其中: k_c ——磁性材料在鉄芯截面的占空系数;

k_0 ——繞組銅在窗口中的占空系数, 可从表 8—3 查得;

表 8—3

导线的牌号及其直径(毫米)	鉄芯窗中导线材料净截面的占空系数的大数值 K_0			
	$E_0 < 300$ 伏	$E_0 = 300 - 1000$ 伏	$E_0 = 1 - 3$ 仟伏	$E_0 = 3 - 10$ 仟伏
耐久漆包线 0.05—0.1	0.14—0.20	—	—	—
耐久漆包线 0.1—0.2	0.18—0.25	0.15—0.20	—	—
耐久漆包线 0.2—0.5	0.22—0.30	0.18—0.25	—	—
单絲耐久漆包线 0.1—0.2	0.10—0.6	0.08—0.12	0.06—0.10	—
单絲耐久漆包线 0.2—0.5	0.15—0.22	0.11—0.16	0.09—0.14	0.08—0.15
单紗耐久漆包线双絲包线 0.2—0.5	0.14—0.20	0.10—0.15	0.08—0.12	0.06—0.12
双紗包线双紗耐久漆包线 (JB, BQ) 0.5—0.15	0.16—0.25	0.13—0.20	0.10—0.15	0.08—0.15
双紗包线双紗耐久漆包线 0.5—0.45	0.22—0.30	0.18—0.25	0.14—0.20	0.10—0.20

而 $l_c=5.67a_c$

$$l_w=6.88a_c$$

把这些关系代入式 (8—910) 最后可解得:

$$a_c = \sqrt{\frac{3.09 \times 10^3 A}{k_c k_0}} \quad (8-911)$$

对于最小重量的变压器来说, 利用了其最佳尺寸比例, 经过同样的推导可得:

$$a_c = \sqrt{\frac{1.71 \times 10^8 A}{k_c k_o}} \quad (8-912)$$

为了按照最低工作频率时允许的磁感应密度计算壳型变压器铁芯尺寸，也应利用最佳尺寸比值的关系式，并按公式 (8-908) 和 (8-909) 推导出：

对于最低价格的壳型变压器

“A”类状态：

$$a_c = \sqrt[5]{\frac{2.52 \times 10^9 (1+\eta)^2 P}{B_{MH}^2 f_H^2 k_c^2 k_o (1-\eta)}} \quad (8-913)$$

“B”类状态：

$$a_c = \sqrt[5]{\frac{4.63 \times 10^9 (0.07+\eta)^2 P}{B_{MH}^2 f_H^2 k_c^2 k_o (1-\eta)}} \quad (8-914)$$

对于最小重量的壳型变压器：

“A”类状态：

$$a_c = \sqrt[5]{\frac{6.75 \times 10^8 (1+\eta)^2 P}{B_{MH}^2 f_H^2 k_c^2 k_o (1-\eta)}} \quad (8-915)$$

“B”类状态：

$$a_c = \sqrt[5]{\frac{1.35 \times 10^9 (0.07+\eta)^2 P}{B_{MH}^2 f_H^2 k_c^2 k_o (1-\eta)}} \quad (8-916)$$

具有阶梯形截面的柱形铁芯（主要用于功率 > 1 仟瓦的变压器，而且一般为“B”类工作）也应从 B_{MH} 值出发来计算其尺寸。和上述一样，我们也利用其中的最佳尺寸比例可以得到（对“B”类工作状态）：

对于最低价格，铁芯外接圆的直径 d 可由下式算得：（最佳尺寸比为： $b=0.9d$, $h=2.5b$ ）

$$d = \sqrt[5]{\frac{8.9 \times 10^9 (0.07+\eta)^2 P}{B_{MH}^2 f_H^2 k_c^2 k_o (1-\eta)}} \quad (8-917)$$

对于最小重量（最佳尺寸比为 $b=1.35d$, $h=2.5d$ ）

$$d = \sqrt[5]{\frac{4.42 \times 10^9 (0.707+\eta)^2 P}{B_{MH}^2 f_H^2 k_c^2 k_o (1-\eta)}} \quad (8-918)$$

V、绕组匝数的计算

低频变压器绕组匝数应满足两项要求：第一是满足给定的初级电感量，其次是铁芯中的磁感应密度不超过非线性失真的容许值。

对于小功率变压器来说，铁芯中的 B 值不会很大，因此只须按要求的初级电感量计算，计算方法及公式与扼流圈相同。

功率在几瓦以上的变压器，则应从两项要求出发。

根据给定的 B_{MH} 值计算 W_1 的公式为：

“A”类时：

$$W_1 = \frac{7.98 \times 10^8 U_{M1} (1+\eta)}{f_H S_M B_{MH}} \quad (8-919)$$

“B”类时初级中半个绕组的匝数 $W_{1\pi}$ 为：

$$W_{1\pi} = \frac{9.33 \times 10^8 U_{\text{нлн}} (0.707 + 7)}{f_H S_{\text{ж}} B_{\text{жн}}} \quad (8-920)$$

此外，計算匝數時，還應考慮到其他各種具體情況，如功率的大小，有無直流磁化等。

VI. 結構計算的步驟：

低頻變壓器的結構計算過程的擬定，應考慮到很多複雜的具體情況，因此，不能一一加以討論。為了解其一般過程，列舉小功率輸出變壓器的計算步驟作為其中的一個例子。

由電氣計算給出：

揚聲器的音圈電阻 R_2

負載功率 P_2

板流的直流分量 J_0

初級繞組的最小電感 L_1

允許的漏感 L_s

初級繞組的電阻 r_1

次級繞組的電阻 r_2

變壓比 $n = \frac{W_2}{W_1}$

電源電壓 E_0

最低工作頻率 f_H

板路負載阻抗 R_a

變壓器應該考慮到最小重量。

1. 選擇磁路材料：

因為變壓器需具有最小重量，所以我們選擇具有大起始導磁率的磁路材料。由於存在有恒定磁化，這種材料可以取厚度為0.35毫米的45%坡模合金板料。

2. 決定等效起始導磁率：

因為變壓器工作在具有恒定磁化的情況下，所以在磁路中必需引入非磁性隙。有效起始導磁率的大致數值 $\mu_{\text{эноп}}$ 按圖8-610的曲線來求得。為此要先求得 $L_1 I_0^2$ 。

3. 決定結構常數和選擇鐵芯尺寸：

因為變壓器工作在“A”類狀態，所以結構常數等於：

$$A = \frac{2\tau_1}{\mu_{\text{эн}}} \cong \frac{2L_1}{r_1 \mu_{\text{эноп}}}$$

根據所得的A值按標準鐵芯數據表，對於計算小重量變壓器的鐵芯我們選擇標準壳型鐵芯，在表中還列出了以後計算所必需的鐵芯所有幾何尺寸。

4. 決定繞組的匝數：

初級繞組的預定匝數，決定于下式：

$$W_1 = 8.92 \times 10^3 \sqrt{\frac{L_1 l_{\text{ж}}}{\mu_{\text{эноп}} S_{\text{ж}}}}$$

每一厘米導磁體的長度上的恒定磁化為：

$$aw_0 = \frac{I_0 w_1}{l_m}$$

按圖 8—610 的曲綫，考虑到最佳空气隙后，在已知 aw_0 时，可找到有效起始导磁率的真正值为 μ_{0H} ，从而初級繞組的匝数，等于

$$W_1 = 8.92 \times 10^3 \sqrt{\frac{L_1 l_m}{\mu_{0H} S_m}}$$

次級繞組的匝数，定于下式：

$$W_2 = W_1 n$$

5. 鉄芯中感应密度的校驗

給定变压器的效率 η ，則加到变压器初級繞組的最大功率，等于：

$$P = \frac{P_2}{\eta}$$

初級繞組的电压幅度，决定于下式：

$$U_{m1} = \sqrt{2PR_{a1}}$$

在小的輸出功率和低的工作頻率的情况下，感应密度的交变分量，等于

$$B_{mH} = \frac{7.98 \times 10^8 \cdot U_{m1}(1+\eta)}{l_m q_c W_1}$$

在感应密度值 B_{mH} 超过允許值的情况下，應該增加繞組的匝数。

在必要时还要計算非綫性失真系数。

6. 决定非磁性隙值

非磁性隙值按圖 8—609B) 曲綫来决定，根据已求得的 aw_0 ，找出 Z

$$\delta_a = \frac{Z l_c}{2 \times 100}$$

7. 决定繞組导綫直徑

初級繞組的导綫直徑根据給定电阻 r_1 按下式来决定：

$$d_1 (\text{毫米}) \cong 0.15 \sqrt{\frac{l_w (\text{米}) W_1}{r_1}}$$

次級繞組的导綫直徑

$$d_2 \cong 0.15 \sqrt{\frac{l_w W_2}{r_2}}$$

根据所得的繞組导綫直徑，我們按标准值来决定繞組导綫的最后直徑。

8. 繞組分布的校驗

繞組在变压器窗中分布，按照以前列出的公式进行。

9. 变压器漏感的校驗

按下式来决定漏感

$$L_{sk} = \frac{1.256 K p l_w W_1^2}{10^8 r_1} \left(\delta_{12} + \frac{A_1 + A_2}{3} \right)$$

如果所得的漏感值大于給定值，則把繞組做成交替式的。

§ 8—10 寬波段变压器

寬波段变压器应用于工作在寬頻段內的电子系統中。例如工作在載波電話电路中的变压器，应具有通頻帶自 1 到 100 千赫，用于傳輸綫与天綫匹配的变压器应具有通頻帶自 0.1 到 250 兆赫等等。

对于寬波段变压器的基本要求是：在給定頻段內頻率特性的均匀性。

要滿足在寬頻段範圍內頻率特性的均匀性的要求是复杂的，因为变压器通頻帶的增加在低頻範圍內是与初級繞組电感量的增加联系着的，而在高頻範圍內通頻帶的增加，是与固有电容和漏磁感的降低联系着的。

除了上述以外，还由于变压器的漏感和固有电容的串联迴路的諧振現象；而产生在高頻範圍內变压器頻率特性的不均匀性。

这样一来当設計寬波段变压器时，就提出了下面一个基本任务；建立具有足够大的初級繞組电感量以及較小固有电容量和漏感的变压器。

寬波段变压器的計算与低頻变压器的計算方法相同，所以我們不再討論了。

現在我們来討論能够建立寬通頻帶的变压器的某些結構措施。

在不改变鉄芯时，变压器初級繞組电感量的增加是与增加繞組匝数联系着的，这时頻率特性的低頻端进入到更低頻率的範圍內。但是为了保持傳輸系数，或者說要保持原有的輸出电平，必需正比地增加次級繞組的匝数。次級繞組匝数的增加导致了漏感和固有电容的增加，因此頻率特性的上限移到較低頻率的範圍，即产生变压器頻率特性往低頻方面的移动。

因而对于寬波段变压器必須采用高導磁率材料（具有高鎳含量的合金）及鉄淪氧（后者用于工作在高頻範圍的变压器）。

鉄芯用的板料應該选用不大的厚度（变压器的頻率上限越高則所用的板料应越薄）。

当具有恒定磁化时在鉄芯中做出非磁性隙。非磁性隙的数值应仔細地选择。

当用板料来制造时，寬波段变压器的鉄芯类型建議用柱型的或环型的，最好鉄芯是卷繞的。这可以更好地利用材料的磁性能并使漏感减少一些。

鉄淪氧寬波段变压器鉄芯常常做成壳型的。

鉄芯尺寸应尽可能地取小些，因为这也可使漏感减小。

寬波段变压器的繞組做成带骨架的和無骨架的。常常采用分段繞組，这可以减小变压器的固有电容。相应地选择次級繞組各个分段的固有頻率，可以扩展寬波段变压器的頻率特性。分段間引入屏蔽也降低了繞組的固有电容，但这时繞組对地的电容量增加了。

在变压器的推挽輸出及輸入的情况下，必需采取措施以使繞組两半中的电阻和电容均衡。为了达到这一点的最簡單的方法是保持两半之間几何上的对称，使它們在物理上是相同的。

在某些情况下当推挽輸入和輸出时要求同一繞組兩端的对地电容量相等，为此要放入專門的靜电屏蔽以平衡上述电容量。为了减少漏感有时采用交替式分段繞組。

为了减小分布电容和繞組間电容，应采用小介电常数的材料作为綫匝層間和繞組間的墊層。在工作于高頻的寬波段变压器中，为此，应采用聚苯乙稀膜，聚四氟乙稀膜及

其他具有小介电常数的高频材料。

为了浸渍宽频段变压器也应该采用小介电常数的浸渍材料。为了这个目的最好采用以聚苯乙烯为基体的浸渍材料（宽波段变压器的过热温度一般不大）。

屏蔽宽波段变压器的结构例子列于图 8—1001。

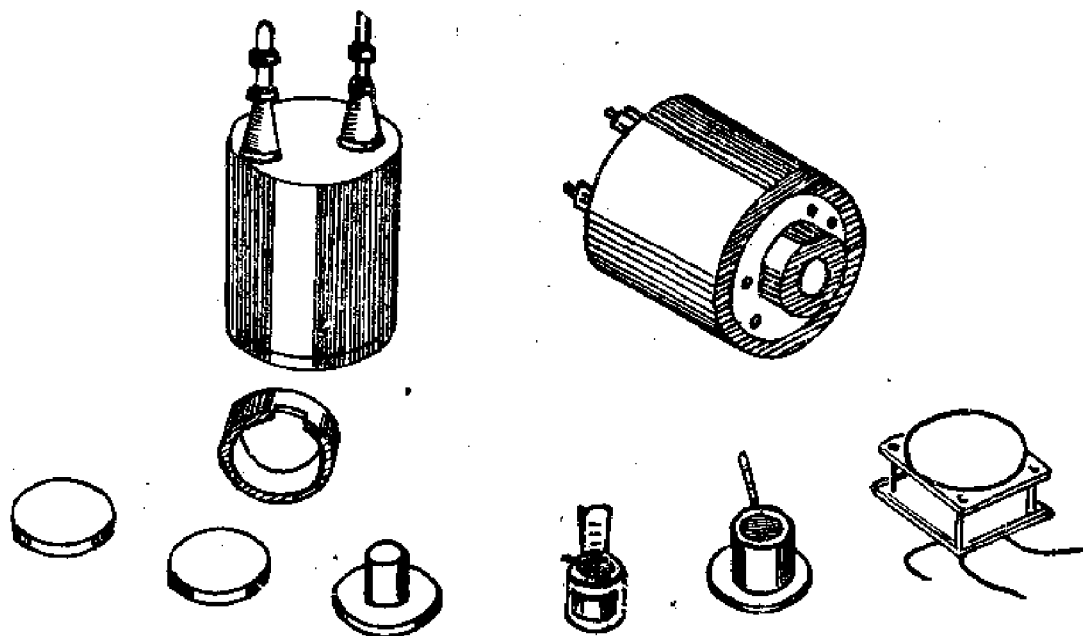


图 8—1001 变压器装配元件的外形

在图 8—1001 示出了宽波段变压器的外形及其装配元件的外形。这种变压器用来匹配天线和传输线，其工作频率为 0.1—250 兆赫。它利用高起始导磁率的铁淦氧作为铁芯材料。

这种类型的变压器可以具有对称的和非对称的初级绕组。次级绕组是对称的。

变压器绕组的结构零件示于图 8—1002。

从图 8—1002 可见变压器的初级绕组是用的厚度为 25.4 微米的带料。而绝缘层则采用了厚度为 3.8 微米的聚苯乙烯带料 ($\epsilon=2.6$)。初级绕组绕在细的聚苯乙烯骨架上。采用盘旋式的初级绕组代替用圆截面导线绕制的分层绕组可以减少初级绕组的阻抗。

为了得到初级绕组的对称性放入屏蔽 7。屏蔽和初级绕组间绝缘的厚度要选使得绕组起始端和铁芯间的电容量等于绕组末端和屏蔽之间的电容量。屏蔽是接地的。

次级绕组直接绕在屏蔽上的绝缘层上。次级绕组是用圆截面导线绕成的一层线圈。装好的变压器放在密封外壳内。

§ 8—11 脉冲变压器及其设计

脉冲变压器极其广泛地应用在各种无线电电子设备的脉冲设备中。它的主要用途，是阻抗匹配，变换脉冲电压的幅度和相位，电路的去耦，以及与电子电路一起形成脉冲等。

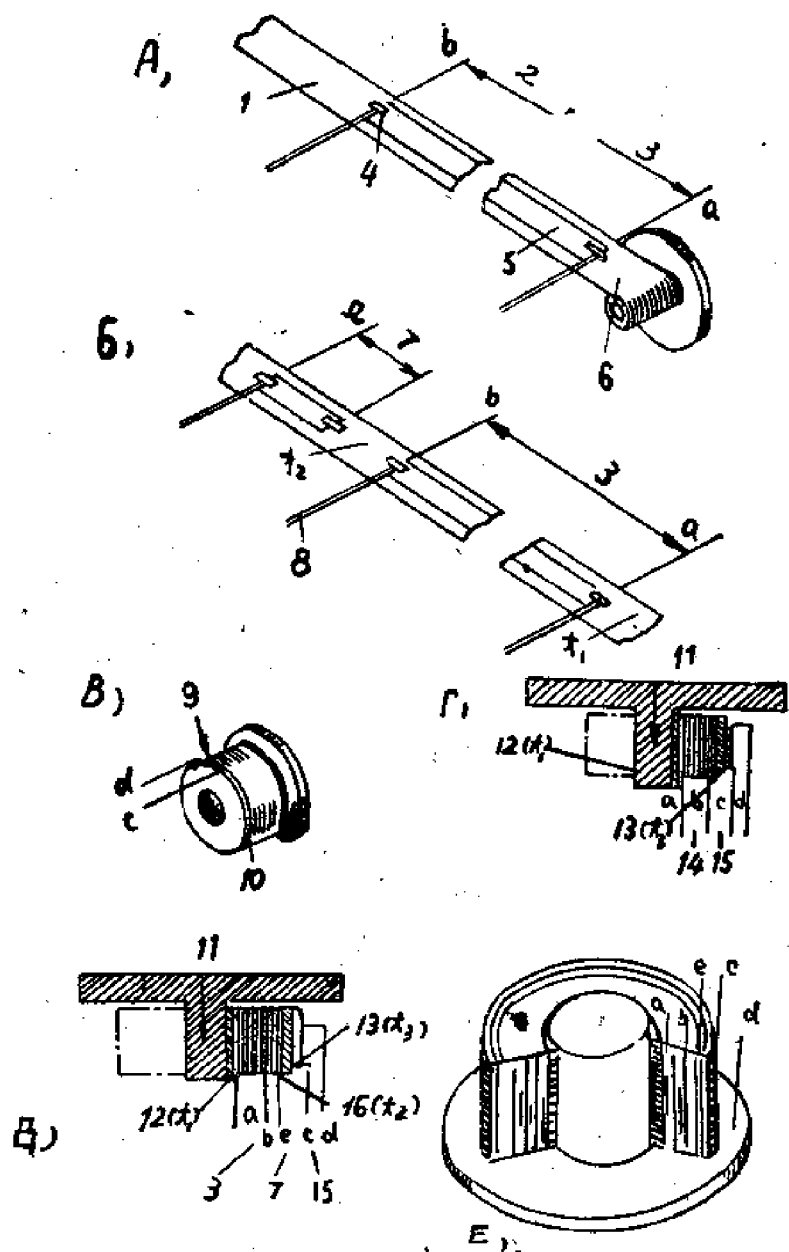


图2—1002 绕组的结构零件

A) 非对称带状初级绕组；B) 具有屏蔽的对称带状初级绕组；B) 两种类型的次级绕组；F) “对称——非对称”型变压器的剖面；D) “对称——对称”型变压器的剖面；E) “对称”型变压器的剖面。

1. 聚苯乙烯带（可以利用其他材料） 2. 接地端；3. 初级绕组；4. 固定端；5. 铜带；6. 聚苯乙烯带（可以利用其他材料）；7. 屏蔽；8. 漆包铜线引出端，焊在铜带上（引出端的长度约10毫米）；9. 用聚苯乙烯胶合剂固定；10. 次级绕组的单层绕组；11. 铁芯；12. 套管 (t_1)；13. 屏蔽和次级绕组间的绝缘 (t_3)；14. 铜带的初级绕组；与聚苯乙烯带在一起（可以利用其他材料）；15. 次级绕组；16. 屏蔽与初级绕组；16. 屏蔽与初级绕组间的绝缘 (t_2)。

对它所提出的基本要求，是傳送脉冲电压时所产生的波形畸变应在允許的限度以內。因此，在这里我們將着重地研究其产生波形畸变的原因，找出滿足波形畸变要求的結構設計所需的關係式，并提出减小其波形畸变的結構措施。

I、表征波形畸变程度的参量

圖8—1101虛綫所示，为一理想矩形脉冲电压波形，其幅度为 U_1 ，脉冲持續時間为 t_n ，將上述理想矩形脉冲接入脉冲变压器的初級，則次級將有一脉冲电压 u_2 ，为方便計算起見，一般以折到初級的折算值 u'_2 表示：

$$u'_2 = \frac{u_1}{u_2} \cdot u_2 \cong \frac{W_1}{W_2} u_2 = \frac{u_2}{n}$$

由于脉冲变压器不可能为一理想綫性元件，因而輸出脉冲 u'_2 的波形，不再为理想矩形，在一般情况下， u'_2 的波形如圖8—1101中实綫所示。为便于設計，通常用以下参量来表征輸出波形的畸变程度。

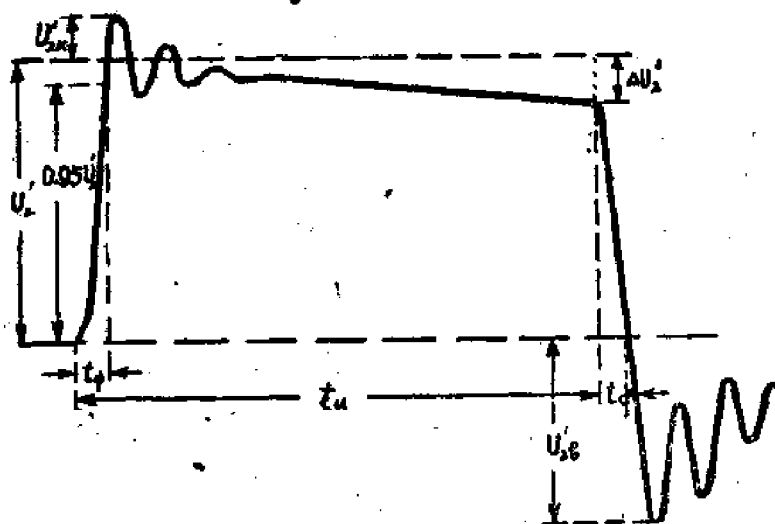


圖8—1101 表征波形畸变主要参量的示意图

- 1) 脉冲前沿寬度 t_ϕ (也称脉冲上升時間)，即由起始点上升到 $0.95U'_2$ 的时间。
- 2) 超量 U'_{2k} ，即頂部迭加高频振荡的最大幅度。
- 3) 脉冲的頂部下降 $\Delta U'_2$ ，但通常用相对值 λ 表示；

$$\lambda = \frac{\Delta U'_2}{U'_2}$$

- 4) 脉冲后沿寬度 t_c (也称脉冲下降時間)；即由脉冲終結点下降到零电压的时间。
- 5) 脉冲反峰的最大幅度 U'_{2B}

显然，在理想矩形情况下，上述五个参量均为零，而其值愈大，則波形的畸变愈严重。

这五个参量的重要性，因使用場合的不同而异，对使用在最常用的設備中的变压器來說， t_ϕ 和 λ 是决定設備質量指标的主要因素，因而在設計变压器任务中，总是提出 t_ϕ

和 λ 的要求的。一般情况下，不过分大的超量（一般为 $\Delta U_2' \leq 0.15 U_2'$ ）是允许的。除了特殊情况外，对 t_c 一般并不提出严格要求；而反向的振荡通常可在电路上用简便方法（如削波法）加以克服，因此，设计任务中常常是对 t_c' 和 U_{2b}' 不提出要求。所以，这里也不加以讨论，必要时读者可参考有关参考书。

II 脉冲变压器的等效电路：

分析畸变的原因时，必须首先确定其等效电路。理论推导的结果表明，当不考虑铁芯内涡流效应时，可采用图8—1102所示的等效电路来分析脉冲变压器的工作过程：

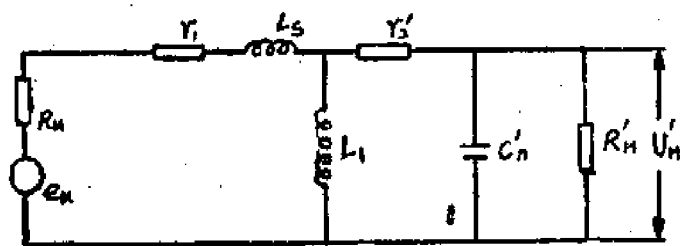


图8—1102 不考虑涡流影响时的等效电路

这个电路的符号所代表意义为：

e_H —脉冲电源的电动势；

R_H —脉冲电源的内阻；

r_1 —初级绕组电阻；

L_s —总漏感；

L_1 —初级绕组电感；

r_2' —次级绕组电阻 r_2 的折算值， $r_2' = \frac{r_2}{n^2}$ ；

C'_n —变压器绕组总动态电容 C'_T 与电源输出电容 C_H ，负载输入电容 $C_{H'}$ 之和；

R_H' —负载电阻 R_H 的折算值； $R_H' = \frac{R_H}{n^2}$ 。

应该指出，在实际电路中，脉冲电源和负载的各参量（ e_H ， R_H ， R_H' 等）常常是非线性的，但是，这里假设其为常数（取其平均值），在工程计算上并不引起不能容许的误差。

III. 脉冲工作时铁芯所产生的各种效应对变压器工作的影响。

不管变压器工作在那一种状态，铁芯中所发生的物理过程都决定于电磁感应现象，磁滞现象，涡流效应和磁饱和效应等因素。但在脉冲工作状态下，某些因素（如涡流）的影响比一般运用状态下更为显著，而且由于某些因素（如磁滞）所引起的现象将具有一些特殊形式。

为了使研究简化，可以假定绕组电阻 r_1 、 r_2 ，漏感 L_s 和总寄生电容 C'_n 都等于零（实际上其本身数值很小，影响也很小，此外，还可以假设变压器为空载或负载为一数值不变的纯电阻，假设电源为一理想的矩形脉冲。

1. 磁滞现象的影响:

当变压器空载时, 根据电磁感应定律, 所加的初级脉冲电压 U_1 ($U_1 = \text{const}$) 应与绕组感应电动势相等:

$$U_1 = W_1 \frac{d\phi}{dt} \cdot 10^{-2} = W_1 S_{\Sigma} \frac{dB_c}{dt} \cdot 10^{-2}$$

式中: t —时间[微秒]

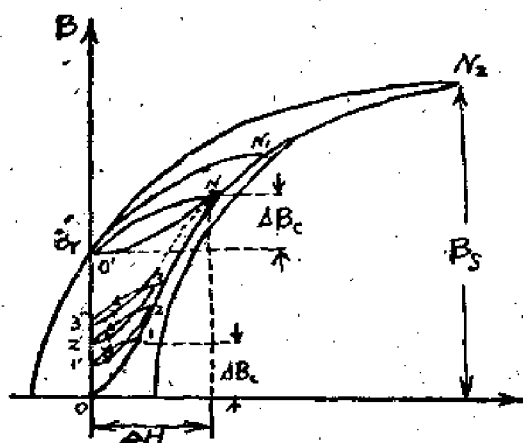
B_c —铁芯的平均磁感应[高斯]

S_{Σ} 的单位仍为[厘米²]

因此, 在脉冲作用时间 t_n 内, 铁芯的平均磁感应增量 ΔB_c (从上式积分得) 为

$$\Delta B_c = \frac{100 U_1 t_n}{W_1 S_{\Sigma}} \quad (8-1101)$$

显然, 既然假定在 t_n 时间内 u_1 保持不变, 则 ΔB_c 也保持为一常数。因此, 当加于初级绕组的是一系列具有这种性质的电压脉冲, 由于铁芯材料的磁滞效应; 铁芯将按图 8-1103 所示的过程磁化。



8—1103 当一系列电压脉冲加于初级绕组时铁芯的磁化过程

如图 8-1103 所示, 当第一个脉冲作用时, 磁化将到达点 1, 但脉冲结束时, 由于磁滞效应的影响, 它并不回到零点, 而是回到点 1', 当第二个脉冲作用时磁化将从 1' 点开始, 到达由恒定的 ΔB_c 所决定的点 2, 然后回到点 2', 第三个脉冲又从 2' 点开始磁化等等, 如此, 带 "a, b" 各点不断向上位移直到 0' 点 (此时 $B = B_r$), 建立了稳定的局部迴线 0'N。显然, 工作导磁率应由 0'N 局部迴线确定, 并称之为脉冲导磁率:

$$\mu_A = \frac{\Delta B_c}{\Delta H} = \frac{\Delta B_c}{H} \quad (8-1102)$$

不难看出, 脉冲导磁率比在对称工作时的动态导磁率 μ_d 要小得多。并且, 随着 ΔB_c 的增大, μ_A 也相应的减小。为了便于计算, 某些资料中给出常用磁性材料 ΔB_c 与 H 的关系曲线, 按此曲线可以很容易地找到一定 ΔB_c 值的 μ_A , XBT 鋼和鉕坡莫合金的 ΔH 曲线如图 8-1104 所示:

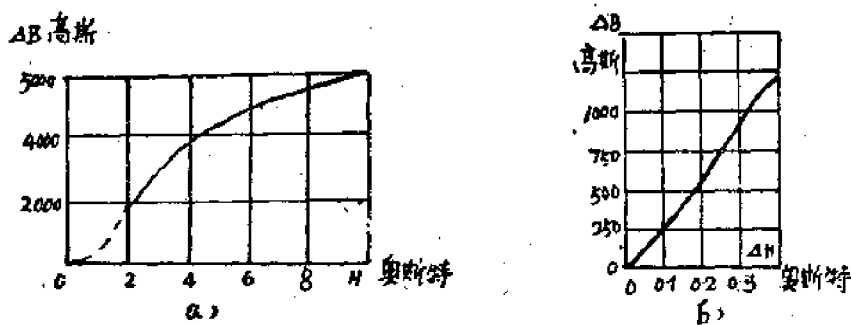


圖8—1104

a) XBI鋼的 ΔB 與 H 的關係曲線 b) 鉕坡莫合金(4—79)%的 ΔB 與 H 的關係曲線

當 ΔB_c 的增大，使局部迴線的頂點進入磁飽和區域時（超過圖中的 N_2 點）， μ_{Δ} 將顯著下降，這種情況是不允許採用的。允許的最大磁感應增量 $\Delta B_{\max}$ 決定於材料的飽和磁感應 B_s 與剩餘磁感應 B_r 之差：

$$\Delta B_{\max} = B_s - B_r \quad (8-1103)$$

選擇磁路材料時，必須使其 $\Delta B_{\max} > \Delta B_c$ ；因此，對於功率較大的脈沖變壓器來說，應選擇具有 B_r 較小和 B_s 較大的材料。

在實際情況中脈沖電源往往受負載的影響而不能保持恒壓輸出，這時脈沖磁化過程不能認為 ΔB_c 為恒定值，局部磁化曲線的位置受到最大可能的 ΔH 的限制，而當電源所能給出的 ΔH 很小時，局部迴線的始點可能達不到 B_r （圖8-1105），但這種情況是不穩定的，由於某種原因（如電路工作不正常等）使材料產生了原始剩磁時，則局部迴線仍可能從 B_r 開始，由於穩定情況下的 μ_{Δ} 比不穩定時小，工程計算時應以穩定情況來確定 μ_{Δ} 值。

某些情況下，輸入脈沖可能附加有直流成分，局部迴線的起始點將由附加的直流磁場所確定，如圖8-1106所示，此時，其 μ_{Δ} 和 $\Delta B_{\max}$ 都將進一步減小。

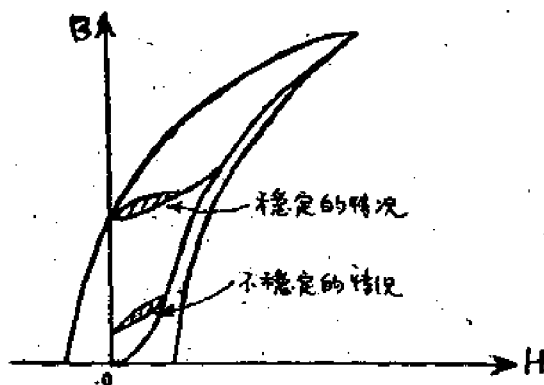


圖8—1105 不穩定的脈沖磁化局部迴線

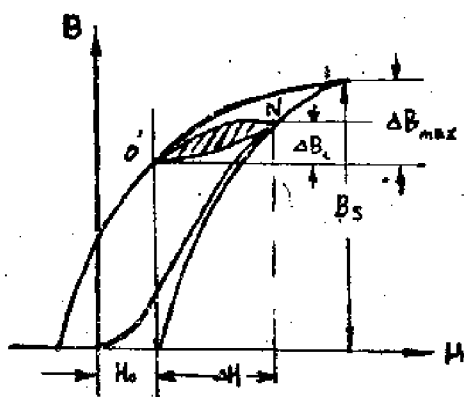


圖8—1106 当脉冲附加有直流成分时的局部迴線。

为了提高磁路的 $\Delta B_{\max}$ 值，或者，为了在 ΔB_c 比较大的情况下提高 μ_{Δ} 值，可以采用以下两种方法：

1) 在磁路中加入非磁隙，如前所述，当加入非磁隙时，磁路的等效磁滞迴线向右移了（圖8—1107），此时 B_r 将减小为 B'_r ，而 B_s 仍保持不变，因而 $\Delta B_{\max}$ 增大了。此外，由圖可見当由脉冲电源所决定的 ΔB_c 较大时（特别是工作在 ΔB_c 接近 $\Delta B_{\max}$ 或 $\Delta B_c \geq \Delta B_{\max}$ 的情况下）加入了非磁隙也可使 μ_{Δ} 提高。

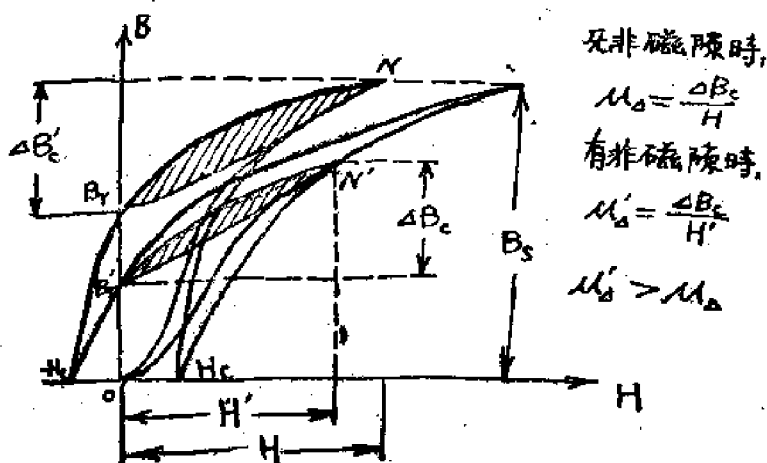


圖8—1107 磁路中引入非磁隙后 $\Delta B_{\max}$ 的提高和 μ_{Δ} 的損失

由圖也不難看出，当材料的矯頑磁力 H_c 愈小，則加入非磁隙的效果愈大，因此，在采用具有非磁隙磁路时，应选择 H_c 較小的材料（如坡莫合金）。

如前所述，加入非磁隙同时使磁滞迴线各点的斜率降低，非磁隙愈大，則降低愈严重。因此，相对于一定的 ΔB_c 也具有一最佳非磁隙（即使 μ_{Δ} 获得最大值的非磁隙）。其值同样可用圖解法或实验方法求得，圖8—1108示出用圖解法得到的XBI铁芯和鋁坡莫合金铁芯的脉冲导磁率与非磁隙（用相对值表示）的关系曲线，和接近于最佳非磁隙时

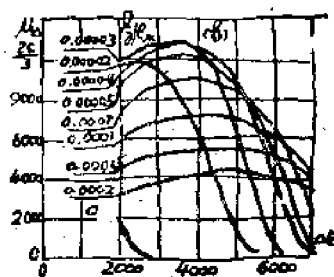
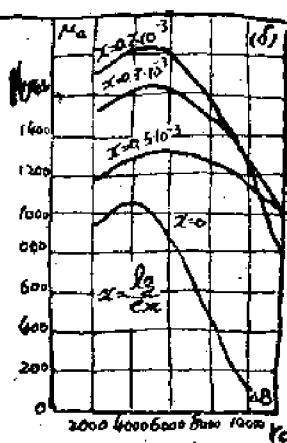
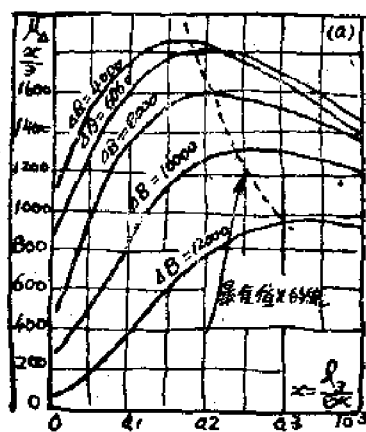


图 1102 a) XRTT 丝束的轴向坐标与归一化坐标的关系曲线 b) XRTT 丝束

以前采用某种方法消除反磁场 H_0 ，脉冲磁化的起始点将变为D点，则可在 $\Delta B_{\max}$ （此时， $\Delta B_{\max} = B_s + B_r$ ）降低不大的情况下获得更大的 μ_{Δ} 值（此时 $\mu_{\Delta} = \mu_{\Delta 2} = \frac{\Delta B_2}{\Delta H_2}$ ）。

当采用辅助去磁时，磁路材料最有利的是选择 μ_m 较大（可得到高的 μ_{Δ} ）， H_0 较小（要求小的辅助去磁场）和 B_s 较大（可得到大的 $\Delta B_{\max}$ ）的材料。

实现辅助去磁场的方法有电流激磁法和永磁激磁法两种。

电流激磁法可通过图 8—1110 所示电路实现。

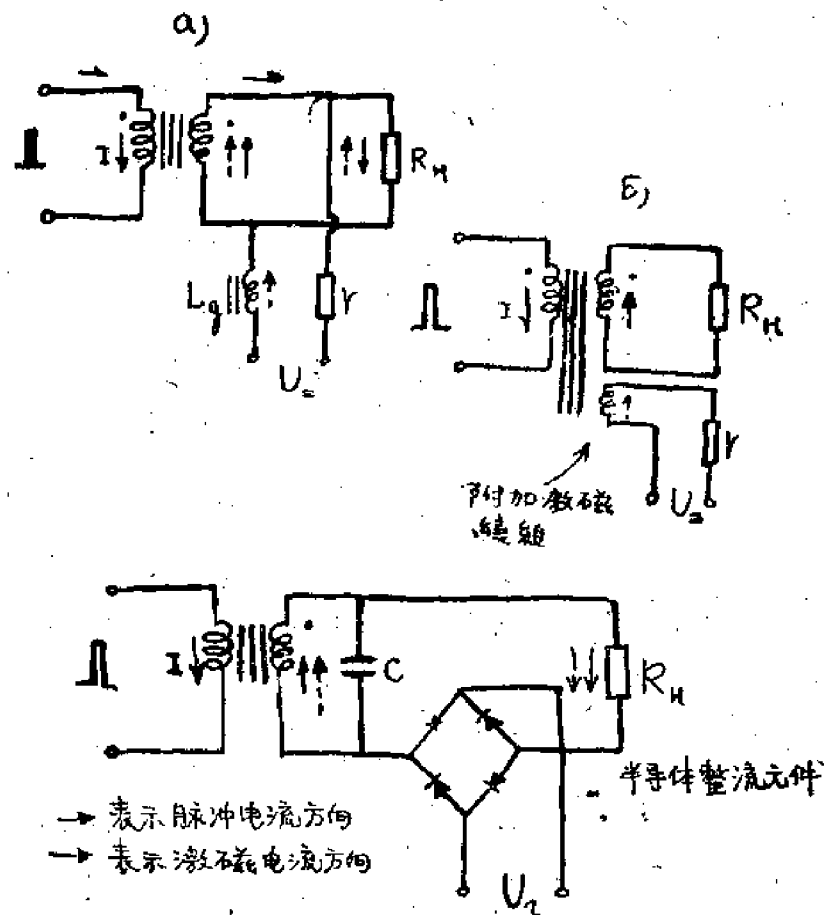


图 8—1110 采用电流激磁产生辅助去磁场时的电路

图 8—1110B 所示电路为最近采用的新方法，与从前常采用的两种方法（图 8—1110 a, b）相比，其优点是不须采用尺寸很大的隔离扼流圈或辅助的激磁绕组（附加绕组会增加引起变压器发热的铜损和增大变压器尺寸），只须用尺寸较小的一般元件（半导体二极管及一般电容器），因而比上述两种方法简单，并可以减小设备尺寸和重量。

采用电流激磁法时，无论采用那一种电路，所采用的激磁系统都得使得变压器的寄生参量（主要是寄生电容）增大，这将引起变压器的高频畸变增大（见以后分析），因

此，只适用于工作在 t_a 较大（例如 $t_a > 10$ 微秒）的变压器中（此时，对高频畸变方面要求不高，因而寄生参量影响不大重要）。

对于XBII作成的磁路，当采用电流激磁法来产生辅助去磁场时，去磁场 H_0 所产生的效果可用图8—1111来说明，利用这种曲线来进行设计是十分方便的。由图可见，利用 $|H_0| > 1.5H_c$ 是不必要的，而 $|H_0| < H_c$ 时， μ_a 提高又很小，因此一般 $|H_0|$ 应在 $(1 \div 1.5) H_c$ 的范围内选择。但应该以已选定的 ΔB 值为主要依据。在图8—1111B)上给出了钕钨莫合金的同样曲线族，钕钨莫合金的 H_c 很小（ $H_c < 0.1$ 奥斯特），因此应用辅助

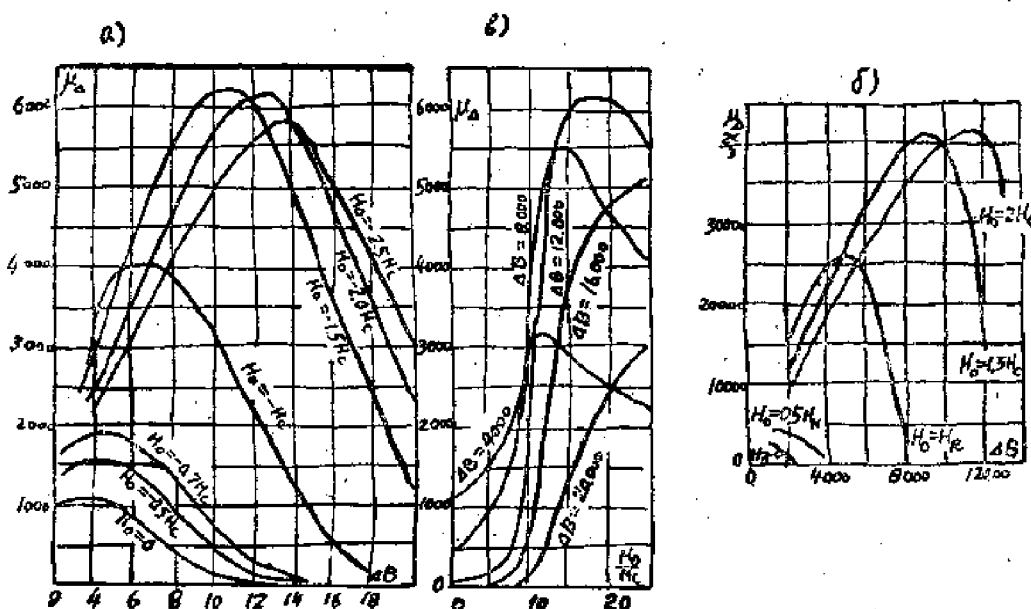


图8—1111 a) XBII钢中 μ_a 与 ΔB 的关系曲线族

(以 H_c 为参量) b) XBII钢中 μ_a 与 H_0 的关系曲线族 (以 ΔB 为参量)

B) 钕钨莫合金 (4—79)%中 μ_a 与 ΔB 的关系曲线族 (以 H_c 为参量)

去磁的效果最好，只是 ΔB_{max} 较XBII稍小。

当工作于短脉冲($t_a < 10$ 微秒)时，应采用永磁激磁法。即采用装入磁路横截面内的永磁体来产生恒定的去磁场；其结构示意图8—1112所示。由于永磁片的加入不影响线圈结构，因而对线圈不引入附加的寄生参量，变压器的高频特性不受到任何影响。但由于

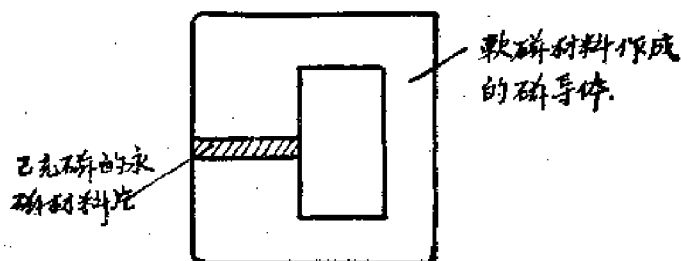


图8—1112 利用充磁的永磁体进行辅助去磁的磁路结构示意图

在这种情况下所采用的永磁铁合金的导磁率 μ_H 趋近于非磁性材料的导磁率($\mu_H \rightarrow 1$)，因此，插入永磁体相当于在磁路内做成一个相当大的非磁隙，磁路的动态导磁率相应地降低了，因而也大大地降低了用预磁化方法来提高 μ_A 的效果，为了改善这种情况，要求磁路具有特殊的结构，目前，这种结构的复杂性、工艺制造上的困难以及其他某些原因，仍妨碍着它的广泛应用，但可以设想，对工作于大功率短脉冲（此时主要是要求磁路具有大的 ΔB_{max} 和小的绕组寄生参量）的变压器来说，这种磁路的广泛采用是很有希望的。

2. 涡流效应的影响：

涡流效应的影响主要有两方面，一方面是以损耗和储能形式使等效电路增加了新的参量，另一方面是产生磁集肤效应。

1) 考虑涡流影响的等效电路及视在脉冲导磁率。

在铁芯内所产生的涡流，象无限多个负荷的次级绕组一样，使初级电流增加，更详细的分析指出，当磁路由片状材料组成时，涡流所引起的初级电流增加可用并联于初级电感 L_1 的无穷多个支路代替，如图8—1113所示。也就是说，流过这个网路的电流与涡流所引入的附加电流相等效。计算指出：附加电流（有时称为等效涡流电流） i_B 之值可用下式表示：

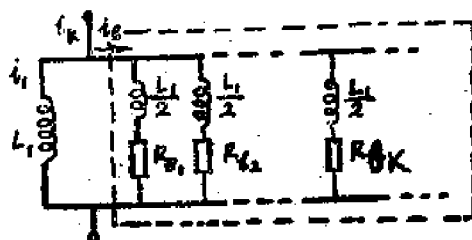


图 8—1113 考虑涡流影响的等效电路

$$i_B = U_1 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2\tau_B}{L_1 k^2} \left(1 - e^{-\frac{K^2 t}{\tau_B}} \right) \quad (8-1104)$$

式中： δ_k ——铁片厚度（厘米）， ρ_k 表示磁芯材料比阻（欧·厘米） 按 (8-1107) 是

图中的 R_{Bk} 为第 k 个涡流支路电阻，示如：

$$R_{Bk} = k^2 R_{B1} = k^2 \frac{L_1}{2\tau_B} \quad (8-1106)$$

式中， R_{B1} 表示第一个支路的涡流电阻。

利用数学关系式：

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6} \quad \text{则式 (8-1104) 可写成}$$

$$i_B = U_1 \frac{\pi^2 \tau_B}{3L_1} \left[1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} e^{-k^2 \frac{t}{\tau_B}} \right]$$

$$i_B = U_1 \frac{1}{R_{B0}} F\left(\frac{t}{\tau_B}\right) = I_B \cdot F\left(\frac{t}{\tau_B}\right), \quad (8-1103)$$

式中: R_{B0} 为 i_B 趋于稳定值时总的等效涡流电阻;

$$R_{B0} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{R_{Bk}}} = \frac{3L_1}{\pi^2 \tau_B} = \frac{12W_1^2 S_{\Sigma} \rho_{\Sigma}}{\delta_{\Sigma}^2 l_c} \quad (8-1107)$$

(这里用 L_1 和 τ_B 的表示式代入)

$F\left(\frac{t}{\tau_B}\right)$ ——表征涡流变化规律的函数,

$$F\left(\frac{t}{\tau_B}\right) = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} e^{-k^2 \frac{t}{\tau_B}} \quad (8-1108)$$

I_B ——总的等效涡流的稳定值,

$$I_B = \frac{U_1}{R_{B0}} = U_1 \frac{\delta_{\Sigma}^2 l_c}{12W_1^2 S_{\Sigma} \rho_{\Sigma}} \quad (8-1108)$$

由式(8-1106)不难看出,为了粗略的计算,可将电路再简化为图8-1114所示的形式。

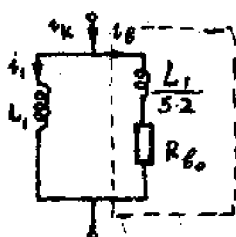


图8—1114简化的涡流等效电路图

为此,当考虑到涡流影响时,变压器的实际的励磁电流 i_K 包括 i_1 和 i_B 两部分,称为视在励磁电流, $i_K = i_1 + i_B$, (实际情况中 i_B 可能比 i_1 大好几倍)。

这些电流的波形如图8-1115所示。如果假设 i_K 的变化是线性的(图中的虚线),显然可以用一个等效电感(称为视在电感)代替整个电路,因而,也可用一个等效的导磁率来表征这个视在电感的数值,这个等效的导磁率称为视在脉冲导磁率,一般用 μ_K 表示。由于 μ 值反比于磁场,而磁场与绕组电流成正比,既然电流可由 t_g 表示,因而可以得到。

$$\mu_K = \frac{K}{t_{g \times 1}}$$

$$\mu_K = \frac{K}{t_{g \times 2}}$$

由图8-1115, g) 可见 α_2 的大小与 t_g 有关, ($t'_g > t_g$, $\alpha_1 < \alpha'_2$) 因此, μ_K 不仅与磁路的特性有关,也和 t_g 的大小有关。

这个关系可以用以下公式求出:

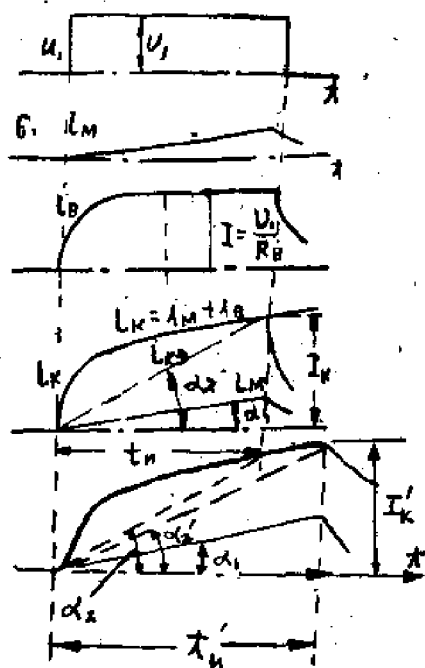


圖8—1115 磁化勵磁電流波形圖

因為 $\mu_K = \frac{\Delta B_C}{\Delta H_K}$

(ΔH_K 為由 I_K 決定的磁場，而 $I_K = i_K(t_n)$)。

所以，可以得到：

$$\begin{aligned} \frac{\mu_K}{\mu_\Delta} &= \frac{\Delta B_C / \Delta H_K}{\Delta B_C / \Delta H} = \frac{\Delta H}{\Delta H_K} = \frac{i_1(t_n)}{i_1(t_n) + i_K(t_n)} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{j_B(t_n)}{i_K(t_n)}} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2}{3\tau_n} - \frac{2}{\tau_n} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} e^{-k^2 \tau_n}} \end{aligned} \quad (8-1109)$$

其中： $\tau_n = \frac{t_n}{\tau_n} = \frac{10000\pi\rho_K t_n}{\mu_\Delta \delta_K^2} \quad (8-1110)$

稱為相對渦流時間。

式 (8-1109) 可繪成相應的曲線 (圖 8-1116)

由圖 8-1116 可見，當 $\tau_n < 1$ 時， $\frac{\mu_K}{\mu_\Delta} < 0.3$ ，即 μ_K 只有 μ_Δ 的 0.3 倍，材料磁性的利用是很低的，當 $t_n = 3$ 時， $\frac{\mu_K}{\mu_\Delta} \approx 0.5$ ，磁性的利用顯著地提高了，但 τ_n 愈大，則要求的鋼片厚度 δ_K 愈小，鐵芯價格也提高了，考慮到曲線在頂部的斜率很小，因而提高 τ_n (即減小 δ_K 的方法) 來提高 μ_K 值是不合理的 (不經濟)，所以在設計時一般選擇 $\tau_n \geq 3$ ；

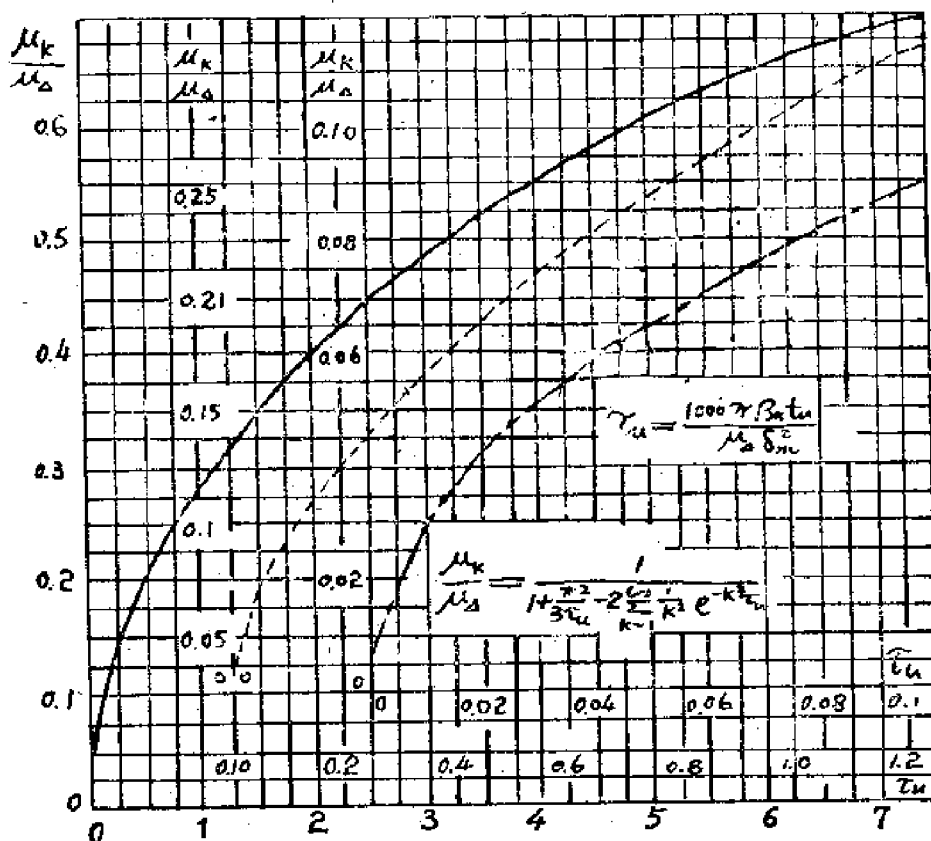


圖3—1116 $\frac{\mu_k}{\mu_\Delta}$ — τ_H 关系曲线

选定 τ_H 后，即可求得所需之片厚 δ_m 。

$$\delta_m = \sqrt{\frac{1000 \pi \rho_m t_m}{\mu_\Delta \tau_H}} \quad (8-1111)$$

2) 磁集膚效应的影响

由于薄片的外表層没有为渦流路徑所包围，在这一層上实际上不存在渦流去磁作用影响，因而，外表層的磁感应 $\Delta B_{\text{外}}$ 将比内部大，并且可认为由 μ_Δ 决定。因而有

$$\Delta B_{\text{外}} = \mu_\Delta \Delta H_x$$

为此，可得到如下关系：

$$\frac{\Delta B_c}{\Delta B_{\text{外}}} = \frac{\mu_x \Delta H_x}{\mu_\Delta \Delta H_x} = \frac{\mu_x}{\mu_\Delta}$$

所以， $\frac{\Delta B_c}{\Delta B_{\text{外}}}$ 与 τ_H 之关系也可由圖8—1116曲线表示：

同样，由曲线可见，当 $\tau_H = 1$ 时 $\frac{\Delta B_c}{\Delta B_{\text{外}}} = 0.28$ ，即 $\Delta B_{\text{外}}$ 几乎为 ΔB_c 的四倍，在这种情况下，如果变压器工作在 ΔB_c 較高的情况下，則表面的B值可能达到 B_s ，材料的这种局部饱和现象将引起 μ_x 的額外下降，因此， $\tau_H < 1$ 在 ΔB_c 較大时一般是不允許的。

当 $\tau_n > 3$ 时， $\frac{\Delta B_c}{\Delta B_{\delta x}}$ 的增大十分缓慢，因此，基于前述同样理由，这也是不合理的。考虑到这些因素，我们得到同样的结论：即 τ_n 应在 ≥ 3 的范围内选择。不过，如果工作于 ΔB_c 接近于 ΔB_{max} 时，考虑到集肤效应的影响， τ_n 应取得大一些。

3) 涡流损耗功率的计算：

涡流损耗功率可以从其等效电路中计算。

损耗功率的瞬时值，在脉冲作用时间内并不是常数（由于涡流电感的存在），但我们要求得的是其平均值（因为它决定了发热），所以我们可以忽略涡流电感的储能作用，实际上，它所储存的能量在脉冲结束之后仍损耗在铁芯内部，因此，这种忽略对于平均损耗功率的计算并无影响。因为图 8—1117 所示的两个具有阴影线的部分的面积大致上是相等的。

瞬时功率

間的 $\Delta B \sim \Delta H$ 曲綫 (圖 8—1118)，作為設計參考。

2. B_0 較小，因此 $\Delta B_{\max}$ 較小，為了提高 $\Delta B_{\max}$ 可採用預磁化方法。

3. 當頻率較高時，某些鐵滄氧具有一些特殊的損耗。如鉄磁諧振損失，在某些情況下，也須作考慮。

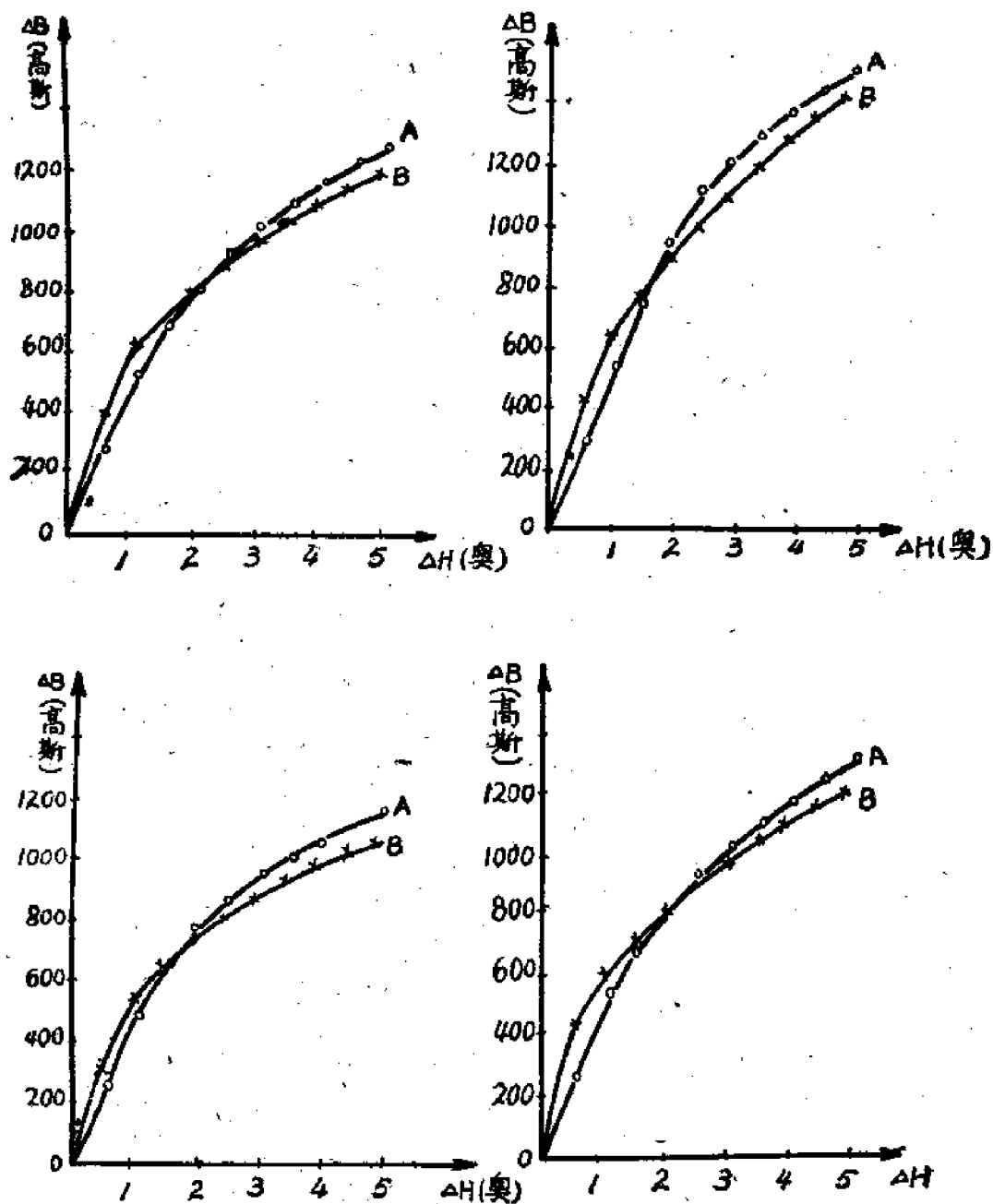


圖8—1118 常用鉄滄氧的 $\Delta B \sim \Delta H$ 曲綫

A'—Ni—Zn鉄滄氧， $\mu_H=105$ 。B—Mn—Zn鉄滄氧， $\mu_H=760$ 。

4. 具有对脉冲磁化的时滞现象, 其磁化过程如图 8-1119a 所示, 脉冲作用时按 $B_r \sim B_{\text{max}} \sim B_r'$ 相应各点进行, 而由 B_r' 降低到 B_r , 是在脉冲作用之后进行的, 而且, 这个过程需要一定时间, 称为恢复时间 (用 t_n 表之)。显然, 如果 t_n 大于 $T_n - t_n$, 则下一个脉冲作用时, 磁化将从 B_r' 开始, 这就使得 μ_n 额外地降低了, 为了避免这种现象, 设计时, 力求不工作在 $T_n - t_n > t_n$ 的情况下, 这一点有时使铁淦氧的采用受到限制。 t_n 之值除与材料品种有关以外, 还与磁化强度及脉冲时间有关。图 8-1119b 所示便是用试验方法得到的这种关系曲线。可以用来确定不同工作状态下的 t_n 值。

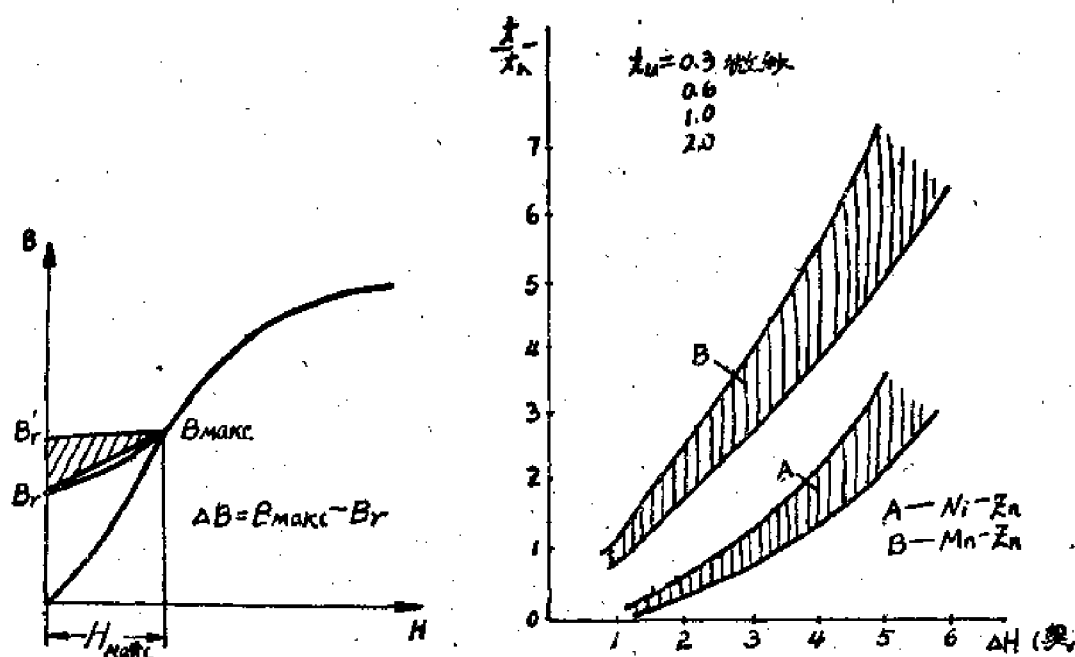


图3—1119 a) 铁淦氧电脉冲磁化的时滞现象
b) 表示 t_n 与 ΔH 的关系的数据范围的试验曲线

IV. 脉冲的顶部畸变:

矩形脉冲的顶部为缓慢变化过程, 相当于低频情况, 等效电路的寄生参量可以忽略。又因我们关心的是 $t = t_n$ 时总的电压降落 $\Delta U_n'$, 其下降过程的变化规律不加考虑, 因此, 我们可以利用视在初级励磁电感 L_n 代替涡流的影响。此时, 我们可将等效电路简化为图 8-1120a 所示形式。

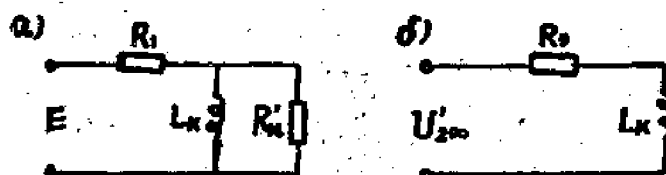


图3—1120 分析脉冲顶部失真的等效电路

圖中: $R_1 = R_H + r_1 \approx R_H$

$R_H' = \frac{R_H}{n^2}$ (因为脉冲变压器一般匝数很少, r_1 和 r_2 一般可略去。)

L_x ——視在励磁电感, 由 μ_x 确定。

$$L_x = \frac{0.4 \pi w_1^2 \mu_x S_m \cdot 10^{-8}}{l_c} \quad (\text{亨}) \quad L_c \text{ 磁路长度 (8-1114)}$$

利用戴維宁定理可得圖 8—1120B) 所示电路, 圖中的 R_0 及圖 8—1121 中的 U_2' 为:

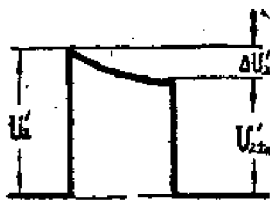


圖8—1111 分析頂部畸变的波形圖

$$R_0 = \frac{R_H' \cdot R_1}{R_H' + R_1}$$

$$U_2' = \frac{R_H'}{R_1 + R_H'} E$$

分析圖 8—1120B 电路, 最后得:

$$\Delta U_2' = U_2' \cdot \frac{R_0 t_H}{L_x} \cdot 10^{-8}$$

因此,

$$\lambda = \frac{\Delta U_2'}{U_2'} = \frac{R_0 t_H}{L_x} \cdot 10^{-8} \quad (8-1115)$$

(t_H 单位为微秒)。

利用已指出的式 (8—1101)、(8—1114) 和 (8—1115) 可解得:

$$S_m \cdot l_c = \frac{100 \mu_x t_H \lambda}{0.8 \Delta B_c^2} \cdot \frac{U_1^2}{R_0} \quad (8-1116)$$

式(8—1116)为計算变压器尺寸之基本公式, 当磁路材料及其工作状态已选定时, 根据对变压器的頂部畸变要求, 按此式可計算所須之鉄芯体积。

V 脉冲的前沿畸变:

考虑到涡流的影响, 变压器的等效电路如图8—1122所示:

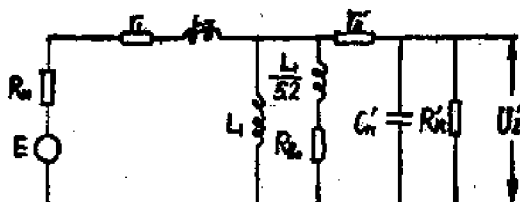


圖8—1122 計及渦流影响的脉冲变压器等效电路

在脉冲开始的瞬间，经过 L_1 的电流与流过负载 R'_H 的电流相比是很小的，因此，在分析前沿畸变时，可认为 L_1 所呈现的阻抗为无穷大（即开路）。分流支路的总阻抗，按照同样理由也可以近似地认为开路（由于 $\frac{L_1}{5.2}$ 的存在，而且一般 R_{B0} 也相当大）。

为此，我们便得到了分析前沿畸变的等效电路（图8—1123）。

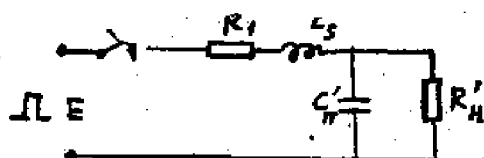


图8—1123 分析前沿畸变的等效电路。

利用运算术分析该电路，并引用以下符号，即可得解得电压的表示式；引用的符号：

$$\gamma_R = \frac{R_1'}{R_H'} \quad (\text{电阻比}) \quad (8-1117)$$

$$U_{2\infty} = \frac{E}{1 + \gamma_R} \quad (\text{当 } t \rightarrow \infty \text{ 时的 } u_2) \quad (8-1118)$$

$$\rho = \sqrt{\frac{L_s}{C'_H}} \quad (\text{波电阻}) \quad (8-1119)$$

$$T_1 = \sqrt{\frac{L_s C'_H}{1 + \gamma_R}} \quad (\text{寄生时间常数}) \quad (8-1120)$$

$$\tau = \frac{1}{T_1} \quad (\text{相对时间}) \quad (8-1121)$$

$$\delta = \frac{1}{2\sqrt{1 + \gamma_R}} \left(\frac{\rho}{R_H'} + \gamma_R \frac{R_H'}{\rho} \right) \quad (\text{过渡特性参量或称衰减量}) \quad (8-1122)$$

表示式：

第一种情况：

当 $\delta < 1$ 时，具有振荡过程：

$$\frac{U_2'}{U_{2\infty}} = 1 - \frac{e}{U} \sin(\nu\tau + \rho) \quad (8-1123)$$

式中：

$$U = \sqrt{1 - \delta^2}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\nu}{\delta} = \frac{\sqrt{1 - \delta^2}}{\delta}$$

第二种情况：

当 $\delta > 1$ 时，具有非周期过程：

$$\frac{U_2'}{U_{2\infty}} = 1 + A e^{-\alpha_1 \tau} + B e^{-\alpha_2 \tau} \quad (8-1124)$$

式中: $A_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 - 1}} - 1 \right);$

$B = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 - 1}} + 1 \right);$

$\alpha_1 = \delta - \sqrt{\delta^2 - 1};$

$\alpha_2 = \delta + \sqrt{\delta^2 - 1}.$

按所得的上述这些式子, 可繪出表征不同 δ 值时脉冲前沿形状的曲线圖 (圖8—1124)。

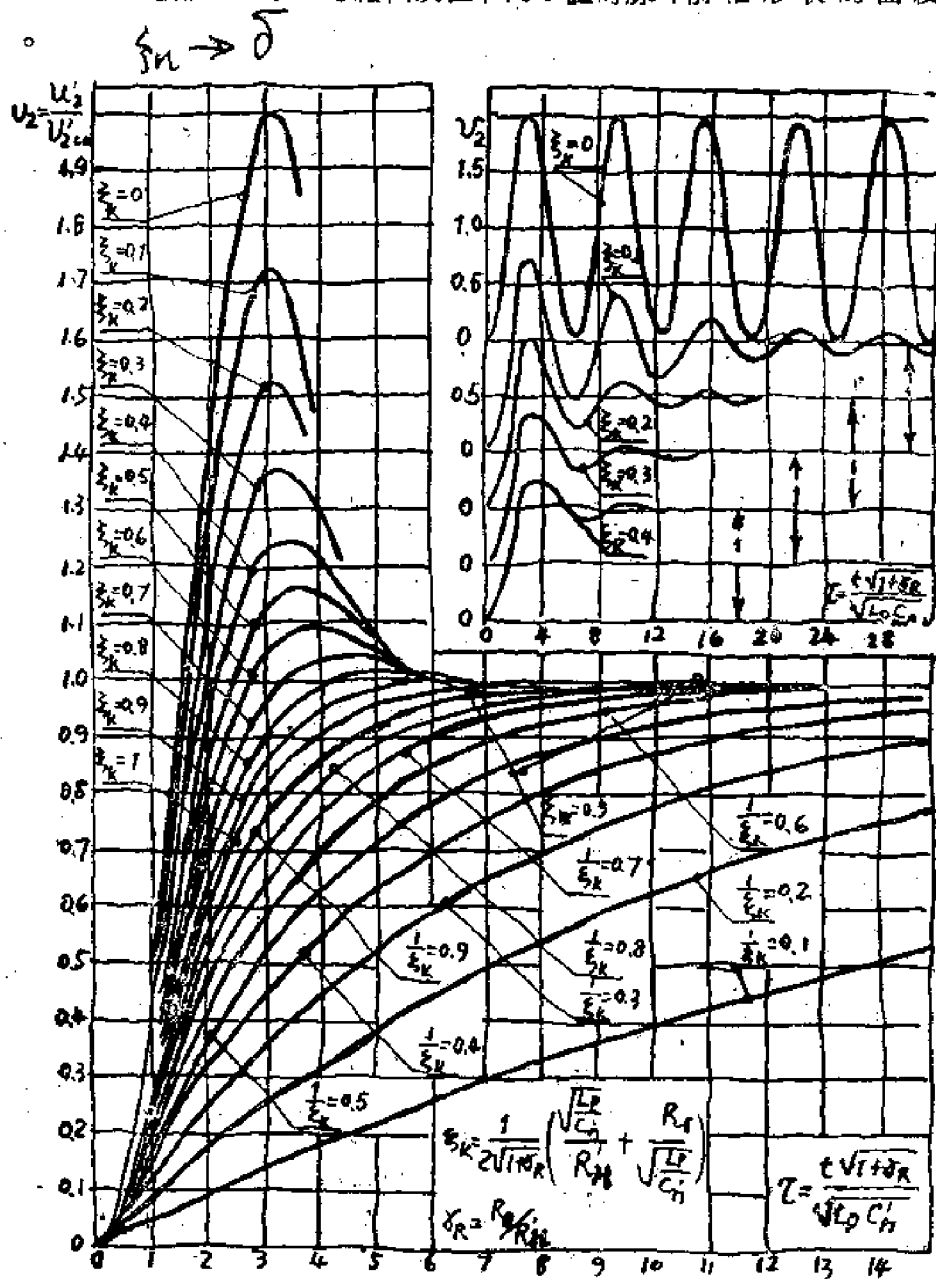


圖8—1124 不同 δ 值时的脉冲前沿形状

可直接求得某一 δ 值的相对上升时间 $\tau_\phi (= \frac{t_\phi}{T_1})$ ，因而可求得 $t_\phi = \tau_\phi T_1$ ，
 由曲线

即当 δ 为一定时 t_ϕ 与 $T_1 (= \sqrt{\frac{L_s C_n'}{1+Y_R}})$ 成正比，所以为了减小前沿畸变，应相应地减小 $L_s C_n'$ 乘积。此时，由图可见 τ_ϕ 也随 δ 而变， δ 愈小，则 τ_ϕ 愈小，因而 t_ϕ 也愈小，但随着 δ 的减小，出现了振荡情况， δ 愈小则超量愈大。

实际上当 $\delta \geq 0.5$ 时 $\frac{U'_{2k}}{U'_{2\infty}} \leq 0.15$ ，在一般情况下，这是允许的，如果选择 $\delta = 0.7$ ，则在一般情况下更为合理，所以一般的设计都取这个数据，这样，我们便得到进行粗略计算的基本关系式：

$$T_1 = \sqrt{\frac{L_s C_n'}{1+Y_R}} \leq \frac{1}{3} t_\phi \quad (8-1125)$$

但是，分析式子 (8-1122) 的结果表明，当 Y_R 已定时， δ 与 $\frac{\rho}{R_H}$ 的关系并不是任意的，其中当 $\frac{\rho}{R_H}$ 为某值时， δ 具有最小值，因而，使我们选择小的 δ 值成为不可能，用数学方法可求得 δ_{min} 为

$$\delta_{min} = \sqrt{\frac{Y_R}{1+Y_R}} \quad (8-1126)$$

此式可见，当 $Y_R < 0.35$ 时， $\delta_{min} < 0.5$ ，此时由于超量过大，应选 $\delta = 0.5$ （而不能选 $\delta = \delta_{min}$ ）。

当 $Y_R > 0.35$ 时， $\delta_{min} > 0.5$ ，为了减小 t_ϕ ，显然应取 $\delta = \delta_{min} = \sqrt{\frac{Y_R}{1+Y_R}}$ ，由此式代入 δ 表示式 (8-1122) 并解出其中的 ρ ，此 ρ 值因为与最小 t_ϕ 相对应而称之为最佳 ρ 值：得

$$\rho_{opt} = \left(\sqrt{\frac{L_s}{C_n'}} \right)_{opt} = \sqrt{R_1 R_H'} \quad (8-1127)$$

由于各参量关系的复杂性，从前沿失真要求出发计算变压器的结构比较困难，但以上基本关系式 (8-1125, 8-1126, 8-1127等) 可用来确定其中某些变压器结构参量。

VI 脉冲变压器的结构特点：

如前所述，为了减小前沿畸变，除了选择适当的 ρ 值以外，应力求减小寄生时间常数 T_1 ，即减小 $L_s \cdot C_n'$ 乘积。

总的动态电容，通常主要决定于绕组静态电容，因而 $L_s \cdot C_n'$ 乘积，是与 $L_s \cdot C_T$ 成比例的。从 L_s 和 C_T 的计算式中，不难导出，乘积正比于下列数值。

$$L_s \cdot C_T \text{ 正比于 } \xi / w^2 w_1^2 \left(1 + \frac{A_1 + A_2}{3\beta_{12}} \right)$$

也就是说，为了减小 t_ϕ ，必须相应地减小上述各结构参量 (l_w 、 w 、 $A_1 + A_2$ 等)，以及用 ϵ 小的介质进行绝缘。

但是，为了减小顶部畸变，力求增加 L_x （因为， $\lambda = \frac{R_0 t_n}{L_x}$ ）由前述可知：

$$L_x = \frac{0.4 \pi w_1^2 \mu_r S_m}{l_c} \times 10^{-8}$$

因此，除了应力求减小 l_c 以外还必须尽量增大 w_1 ， S_m （应注意到 S_m 增加时， l_w 也相应增加）和 μ_r 。

可见满足前沿畸变和顶部畸变的要求，在结构上是有矛盾的。脉冲变压器的结构特点主要从这个矛盾的解决体现出来，此外，某些情况中，绝缘和散热问题也显得十分突出。

由于上述理由，脉冲变压器具有以下结构特征：

1. 对材料性能的要求较高。

选择高导磁率和厚度小的材料，是解决上述矛盾的重要途径，为此，脉冲变压器最常采用坡莫合金 H79M4，冷轧钢 3310，3340 铁淦氧等磁性材料，厚度约为 0.2—0.01 毫米甚至为 0.001 毫米。

选择 ϵ 小的高绝缘的耐热材料，也是解决上述矛盾的重要措施，为此，最常采用漆绸，有时也采用高质量的塑料膜和氟塑料。大功率的脉冲变压器，为了在小尺寸情况下实现高的绝缘强度，常采用高质量的材料浸渍和灌注。

2. 对工艺和结构的要求较高。

制造脉冲变压器时，常采用效果较好的真空退火来提高材料的 μ 值。最常采用能提高磁性利用率的卷带型铁芯结构。在磁路中常采用非磁隙，预磁化。装配时，应特别考虑防止造成过应力的措施。

3. 匝数很少，特别是工作于短脉冲的变压器，为了有效地减小寄生参量，一般匝数只有几匝到几十匝。绕组通常作成单层的或层数很少的。由于匝数很少，容许采用同绕法来减小分布电容。

4. 铁芯尺寸小，这是因为铁芯尺寸 (S_m) 增大时，绕组尺寸也相应地增大，为了使尺寸的减小不致使 L_x 降低，最好选择大的比值 $\frac{S_m}{l_c}$ ，为要做到这点，要求有大的铜占空系数和铜占空系数。此外在中小功率变压器中，铁芯截面作成矩形的，以便在满足截面尺寸要求和窗口尺寸要求下，减小 l_c 值。

VII. 脉冲变压器的计算方法。

脉冲变压器的计算比较复杂，因为它有多方面的要求，例如，波形畸变的要求，功率的要求，和绝缘的要求等，变压器的结构参量，应该满足这些要求。要满足这些要求在结构上往往是有矛盾的，因此，我们应按照不同的情况拟定相应的步骤。

在一般情况下应该从最难满足的要求出发来确定变压器的基本尺寸，然后检验其他要求。

最常用和最方便的方法是先按大致要求，选定铁芯材料，选定 ΔB_c ，求出其相应的参量 ΔB 、 μ_r 、 μ_x 。

然后，按平顶部失真要求，确定所需铁芯体积，确定其尺寸，求出匝数，然后检验

繞組布置，檢驗前沿畸變發熱等等。

設計者在設計時，最好參考某些參考書給出的例子，按其步驟設計，或者參考現有的同類型脈沖變壓器的結構數據來預先確定某些參量，以便使計算過程簡化。

由於上述理由，我們在這裡不討論具體計算步驟，只舉一簡單例子，以供參考。

例題：計算一脈沖變壓器，它的用途是：磁控管與調制器的匹配；調制器帶有閘流管和仿真綫。給出的條件是：

輸出電壓 $u_2 = 35$ 千伏；

次級繞圈里的脈沖電流 $i_2 = 100$ 安；

脈沖持續時間 $t_n = 3$ 微秒；

脈沖重複頻率 $F = 500$ 赫；

變換系數 $n = 2.4$ ；

兩次級繞圈，經過這繞圈的磁控管燈絲電流 $i_H = 15$ 安；

當輸入脈沖是理想矩形波時，輸出脈沖的前沿持續時間 $t_\phi \leq 0.4$ 微秒；

在脈沖時間內負載電流的容許下降率 $\frac{\Delta i_2}{i_2} \leq 0.05$ 。

解：變壓器鐵芯是用薄鋼帶卷繞成 O 型的，在鐵芯兩柱上等分地布置初次級繞組各一半，表示如圖 8—1125。

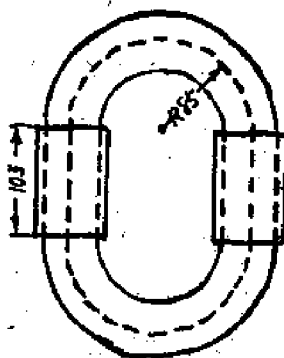


圖 8—1125 繞組在脈沖變壓器 O 型鐵芯上的布置

在鐵芯每個柱上裝置上單層初級繞組，次級繞組分為四部份，分裝在兩個柱上。因為次級繞組是雙套的，因此鐵芯每柱上均有次級繞組四層。見圖 8—1126。

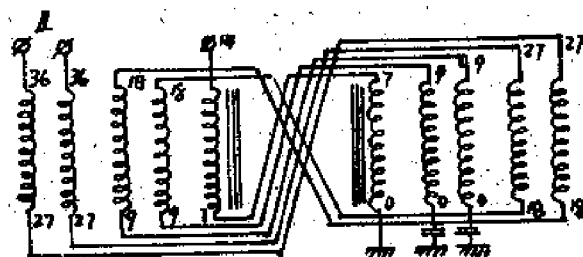


圖 8—1126 脈沖變壓器繞組連接圖（數字表示繞組端對地的電壓）

脉冲变压器的铁芯及线包必需浸在油里，因为变压器是在高电压与大功率上工作。浸在油里的变压器沿绕组上可担负3千伏/厘米，为保险起见，可降低到2千伏/厘米使用。因为在绕组一层上的最高电压降是9千伏，因此线包的高度 $h_B=4.5$ 厘米，见图8—1127

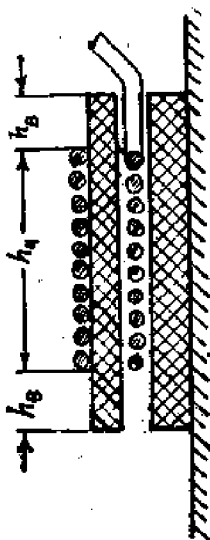


图8—1127 脉冲变压器层间绝缘的分布

层间绝缘材料要凸出线圈边沿部分，以防线圈边沿间发生击穿现象。第一与第四层间的最大电压降为22千伏。浸在油中的绝缘材料表面上的容许的电压降是10千伏/厘米，所以各层间绝缘材料凸出线圈边沿部分，应有 $h_B=3$ 厘米的长度，这还是保守的数值。这样，绕组与绝缘凸出部分的总长是10.5厘米。

为了两柱上绝缘好并包装好的绕组能安全工作，在铁芯半圆内径里两柱上绕组间的距离，选择为5厘米。因为这变压器传达这样高的功率，故铁芯截面积里边的柱间的距离应有5~9厘米，所以就将变压器铁芯半圆的半径定为8.5厘米。这样，在铁芯内磁力线的平均长度（即磁路长度）应为 $l_K=70$ 厘米。

为制造脉冲变压器，采用冷辗钢（XBII）当做铁芯材料。因为这种钢带的特性，很适合脉冲变压器铁芯应用，例如，这种磁性材料可满足脉冲磁场的变化 $\Delta H=4$ 奥斯特及铁芯磁感应的变化 $\Delta B=4000$ ，那就是说，这种钢材具有好的导磁变化率 $\mu_\Delta=900$ 。冷辗钢带的标准厚度是 $\delta=0.08$ 毫米，它的比阻是 $\rho=50 \cdot 10^{-6}$ 欧·厘米²/厘米，由此可以计算脉冲变压器铁芯内之视在导磁率应如：

$$\mu_K = \left(\frac{1}{\mu_\Delta} + \frac{\delta^2}{1000 \rho t_a} \right)^{-1} = 520.$$

允许的视在磁化电流，等于折算到初级绕组的负载电流的容许变化，这就可以算出负载电流的相对下降率，如

$$\frac{\Delta i_2}{i_2} \leq 0.05$$

并知 $i_2 = 100$ 安

故负载电流的变化是 $\Delta i_2 \leq 5$ 安。

变压器的变换系数是 2.4，故负载的负载电流变换到初级时，是

$$i_K = \Delta i'_2 = 5 \times 2.4 = 12 \text{ 安。}$$

i_K ， $l_m \cdot \mu_K$ 及 ΔB 为已知，初级绕组的匝数，可计算出如

$$W_1 = \frac{0.8 l_m \Delta B}{\mu_K i_K} = 36 \text{ 匝}$$

同时，次级绕组的匝数，是

$$W_2 = \frac{q_T}{K} W_1 = \frac{2.4}{0.94} W_1 = 92 \text{ 匝，}$$

计算内 q_T 是变压器变换系数， K 是变压器的耦合系数，其值是 0.94，

又知 $u_1 = \frac{u_2}{2.4} = 14.6$ 千伏，冷軋鋼的铁芯截面积是

$$S_K = \frac{125 u_1 t_m i_K \mu_K}{l_m (\Delta B)^2} = 30 \text{ 厘米}^2。$$

初级绕组分做两个单层，步置在铁芯两个柱上，每个 18 匝。次级绕组是双套，每套有四个层，也装置在两个铁芯柱上。每层 23 匝，这参阅图 8—1126 即知。

标准冷軋鋼的宽度是 5.4 厘米，并知 l_m 之值是 70 厘米，所以铁芯截面积（纵向的）是 54×70 厘米²。

知绕组的高度为 4.5 厘米，这就是容许初级绕组的匝距是 2.4 毫米，而次级绕组的匝距是 2.0 毫米。

绕组导线直径，是按通过的电流来选择。脉冲矩形波电流是流经初级绕组的，矩形脉冲的空穴率是

$$Q = \frac{1}{T t_n} = 667$$

脉冲电流的数值，是 $i_n = 240$ 安，在脉冲时间内，线圈内消耗的脉冲功率，表示如

$$P_n = i_n^2 R_{06M}$$

计算中的 R_{06M} 是初级线圈的电阻。线圈内的平均功率值是

$$P_{cp} = \frac{i_n^2 R_{06M}}{Q}$$

所以电流的有效值，是

$$I = \sqrt{\frac{P_{cp}}{R_{06M}}} = \frac{i_n}{\sqrt{Q}} = 9.3 \text{ 安。}$$

由次级绕组流过脉冲电流和磁控管的灯丝电流，又因次级绕组是双的，所以次级绕组的每层中的电流应是 50 安。脉冲电流的有效值是 $I_1 = 1.9$ 安，灯丝电流有效值是 $I_n = 15$ 安，所以在初级绕组里的总流是

$$I_2 = \sqrt{I_1^2 + I_n^2} = 15.2 \text{ 安。}$$

浸在油中的变压器的绕组的饼数并不多，且容许的电流密度很大，所以应用的铜导线里的电流密度是要考虑的，平常采用 $j = 8 \sim 10$ 安/厘米²，这样初级绕组导线的直径，

应是1.2毫米，次級繞組的導線应是1.5毫米徑。

作为繞組間的絕緣，一般都是采用黃蜡綢，它的击穿电压是24千伏/毫米，由圖8—1126所示的繞組間的电压，可以計算出絕緣材料厚度（圖8—1128）

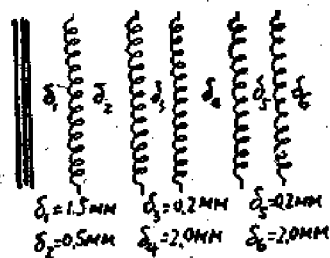


圖8—1128 層間絕緣厚度的計算

其中， $\delta_1=1.5$ 毫米， $\delta_2=0.5$ 毫米， $\delta_3=0.2$ 毫米， $\delta_5=0.2$ 毫米， $\delta_6=2$ 毫米。画出繞組的磁場分布圖（圖8—1129）。

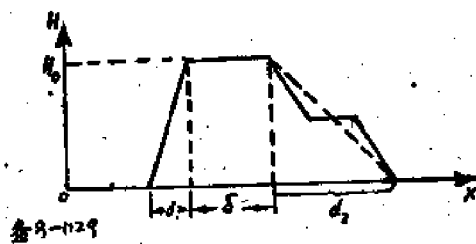


圖8—1129 变压器中磁場的分布

为簡化計算起見，圖中有一段是拉直了的（圖上画成了虛綫），沿X軸綫的尺寸，是： $d_1=0.12$ 厘米， $\delta=0.05$ 厘米， $d_2=0.84$ 厘米，繞匝平均长度P似等于28厘米，由此可以算出柱上每一繞組的漏感 $L_{P1}=9.4$ 微亨，总漏感（两个扼上的） $L_{P2}=19$ 微亨。

寄生电容可用以前公式計算（見表8—4，所注繞組的符号，見圖8—1130）。

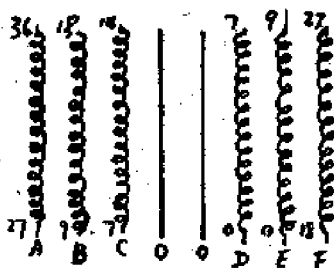


圖8—1130 变压器繞組的符号

又知黃蜡布的介电常数是3，所以变压器的分布电容量是 $C_{\pi}=660$ 微微法。

由于 δ 为已知，脉冲前沿波形，可由圖8-1124查出。这个例题中，由于 $R_1=R_2=61$ 欧，可得 $R=17$ 欧， $r=1$ ， $\delta=1.1$ ，所以可断定输出电压中并不产生电振荡。

前沿时间，是脉冲达到0.8全高度时所经历的时间，此值等于 $\frac{T}{3.5}$ 。换算时间单位，则

$$t_{\Phi} = \frac{\sqrt{L_T C_{\pi}}}{\sqrt{1+r}} T = 0.28 \text{ 微秒，满足了要求。}$$

表8-4 寄生电容量的计算

餅形綫圈	电 位		MN	电 位 差		ϵ_{MN}	δ_{MN}	$\frac{\epsilon_{MN}}{\delta_{MN}}$
	$x=0$	$x=h_H$		U_H	U_K			
A	27	36	AB	18	18	1.63	0.20	8.25
B	9	18	BC	2	4	0.047	0.03	0.94
C	7	4	CO	7	14	0.58	0.13	3.83
D	0	7	OD	0	7	0.083	0.15	0.55
E	0	9	DE	0	2	0.007	0.25	0.14
F	18	27	EF	18	18	1.6	0.20	8.25

$$\sum \frac{\epsilon_{MN}}{\delta_{MN}} = 21.99$$

§8-12 变压器和低頻扼流圈的测试

低頻扼流圈和变压器的测试特点与它们的用途及工作条件有关。它们具有下列的测试项目。

1. 低頻扼流圈

- ① 在一定的磁化电流和频率下的电感值。
- ② 绕组的直流电阻。
- ③ 绕组之间和绕组与铁芯间的抗电强度。
- ④ 绝缘电阻。
- ⑤ 固有电容（这一测试对于調幅扼流圈是重要的）。

2. 电源变压器

- ① 空载及额定负载时的变压系数。
- ② 绕组的直流电阻。
- ③ 抗电强度。

④絕緣电阻。

⑤空載电流及損耗。

⑥高压繞組的对称性。

3. 低頻变压器和寬波段变压器

①在一定的磁化电流和頻率下初級繞組的电感值。

②繞組的直流电阻。

③抗电强度。

④絕緣电阻。

⑤变压系数。

⑥漏感。

⑦固有电容。

⑧繞組的对称性。

⑨頻率特性。

⑩相位特性。

⑪非线性失真。

⑫屏蔽系数。

4. 脉冲变压器

①繞組的电感量。

②繞組的直流电阻。

③抗电强度。

④絕緣电阻。

⑤脉冲形状的决定。

除了上述測試外，低頻扼流圈和变压器还要試驗耐热性，耐潮性，密封性及其他。

短路匝的測試：

測試短路匝用的仪器电路圖示于圖 8—1201。

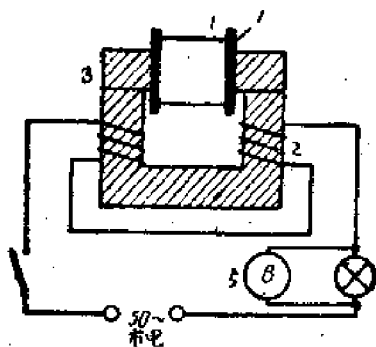


圖8—1201 測試变压器繞圈短匝的設備的簡圖

圖中：1—被測繞圈；2—励磁圈；3—可拆磁軛；4—白熾灯；5—伏特計；

把被測繞圈套在可拆磁軛上。当存在短路匝时，被測繞圈中的短路电流会降低励磁

繞組的阻抗，这样从电源供給的电流增加了，用伏特計把它計录下来，更灵敏的仪器（用于細的导綫和匝数多的綫圈）做成桥式或平衡电路。

装成的变压器的短路匝測試可按圖 8—1202 的电路来进行。

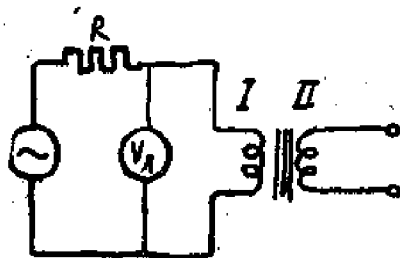


圖 8—1202 发现低频变压器綫圈中短路匝用的仪器的电路

測試是在頻率 400—500 赫当电压为額定电压两倍的情况下进行的。电阻值 R 約为 5 仟欧。当存在短路匝时用电子管伏特計測得的电压将与外加电压有很大的不同。

繞組匝数的測量：

繞組匝数的測量可用圖 8—1203 的电路来进行。圖中 y 是放大器， II 是零位指示器（电子管伏特計）。

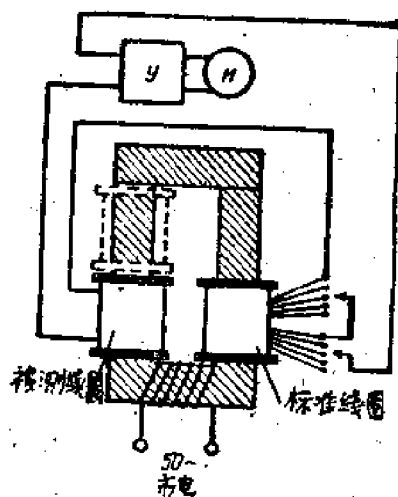


圖 8—1203 測量綫圈匝数的仪表的线路

被测綫圈：（1）套在具有可拆磁軛的导磁体上。在导磁体的另一臂上装有标准綫圈（2），被测綫圈的一端与标准綫圈的一端相串联，标准綫圈具有若干个抽头，以便于把測量范围内的任何匝数接入电路。两个綫圈是这样联接在一起的，即使其感应电动势的方向互相相反，改变接入电路的标准綫圈的匝数，使感应电动势达到平衡，当标准綫圈的匝数与被测綫圈的匝数相等时，两者的感应电动势相互抵消了，这时，接在綫圈两端的真空管电压表讀数为零，被测綫圈的匝数可以根据标准綫圈抽头部分的匝数直接

讀出。为了提高测量的准确度，两个线圈的尺寸和导线直径最好尽可能地接近。

繞組直流电阻的测量：

繞組直流电阻是用欧姆表来测量的。在需要提高测量准确度的情况下繞組的电阻可以用直流电桥法来测量。

抗电强度的测试：

抗电强度的测试是在繞組間以及繞組与鉄芯間来进行的。

测试的状态可采取如下：

(1) 滤波扼流圈： $U_{\text{H}} = 2U_{\text{H}} + 500$ 伏。当 $U_{\text{H}} \leq 100$ 伏时，电压自 $\frac{1}{3}U_{\text{H}}$ 升高到 U_{H} 共10秒鐘。测试持續时间为60秒。

(2) 电源变压器： $U_{\text{H}} = 2U_{\text{H}} + (5000 \div 1000)$ 伏。电压自 $U = \frac{1}{3}U_{\text{H}}$ 开始升高共进行10秒鐘。测试持續时间为30秒。

(3) 低频变压器： $U_{\text{H}} = 2U_{\text{H}}$ 。电压均匀地升高到 U_{H} 。测试时间为60秒。

(4) 脉冲变压器： $U_{\text{H}} = 2U_{\text{H}} + (500 - 1000)$ 伏。电压在10秒鐘內自200伏逐步升高。测试持續时间为60秒。

当采用交流来测试时，可采用圖8—1204所示的电路来进行。

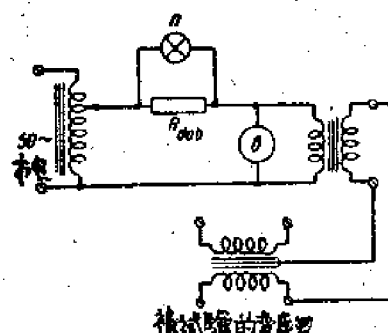


圖8—1204 变压器电气强度試驗設備的线路圖

测试用的高压是用高压变压器来获得的，电压的数值可用接在高压变压器初级端的自耦变压器来调节。为了限制击穿时的短路电流，在电路中接入限流电阻 R_{000} 。击穿的现象是用伏特计的讀数迅速下降以及与电阻 R_{000} 联的小灯泡的發光来指示。

絕緣电阻的测量：

絕緣电阻在繞組間以及在繞組和鉄芯及屏蔽罩之間进行测量。絕緣电阻一般用兆欧表来测试。

一般認為，对于扼流圈、电流变压器和低频扼流圈必須的絕緣电阻为100兆欧，对于脉冲变压器为500兆欧。

繞組对称性的测量：

繞組的对称性可用圖8—1205的电路来测量。

在需要测量对称性的线圈上接上有具有中心头的电阻器 R_c ，电阻器两部分的对称性应该比变压器所必須的对称性大2—3奈貝（5—10倍），在变压器的另一个线圈加上

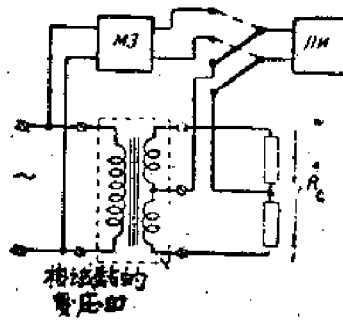


圖8—1205 測量對稱變壓器對稱性的線路

自振蕩器來的交流電壓，振蕩器的頻率是測量變壓器對稱性的所需要的頻率，在振蕩器上接上十進位的衰減器M3。

把灵敏的电子管指示器ΠΠ接入變壓器繞組與電阻的中點時讀出其讀數，再把它轉換到衰耗器上，調節衰耗器使伏特計達到同一指示，然後讀出衰耗器的指示 β_M (奈貝)，并按下式來計算繞組的對稱性

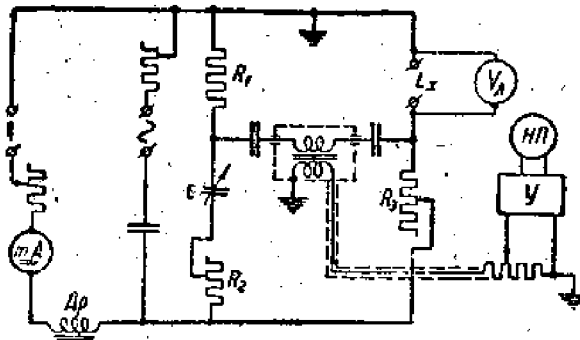
$$\beta = \beta_M + I_{nh} \quad \text{奈貝} \quad (8-201)$$

式中： n —變壓系數。

繞組電感量的測量：

當沒有磁化電流時，繞組的電感量可以用电桥法和伏特計安培計法來進行測量。測量必須在接近於最低工作頻率的頻率上進行。

當具有磁化電流時，繞組的電感量可以按圖8—1206的電路來測量。



圖——1206 用標準試驗法測量低頻變壓器（輸出變壓器）繞組的電感 L_x 用的電橋電路

Y—放大器；VT—真空管電壓表；mA—直流毫安表；Др—抗流圈。

繞組上的交流電壓確定為 $0.01U_H$ ，但不小於0.1伏，電流的直流分量確定等於額定值。頻率取接近於最低工作頻率。

電感量的計算按下式進行

$$L_x = \frac{R_1 R_2 C}{1 + 4\pi^2 f^2 C^2 R_2^2} \quad (8-1202)$$

漏感的测量:

漏感用电桥法进行测量,其方法是当短路次级绕组时测出初级绕组的电感量。测量频率约为1千赫。

固有电容的测量:

测量固有电容有数种方法。

其中有一种方法是初级绕组开路时,固有电容按次级绕组方面的谐振频率 f_p 来决定。在这种情况下,折算到初级端的固有电容量按下式来决定

$$C' = \frac{1}{4\pi^2 f_p^2 L_1} \quad (8-1203)$$

当另一种方法时按图8-1207的电路进行测量。

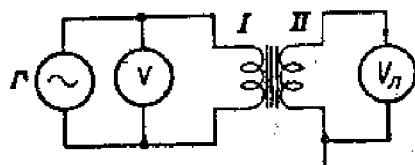


图8—1207 测量变压器自电容值用的电路。

Γ——具有小内阻的及具有均匀调节频率的振荡器。

具有低内阻的振荡器接到变压器的初级绕组,在次级绕组中接入具有小输入电容和大输入电阻的电子管伏特计。

固有电容按下式计算

$$C_{21} = \frac{1}{4\pi^2 f_p^2 L_s''} \quad (8-1209)$$

其中:

f_p — 谐振频率。

L_s'' — 从初级端测出的漏感(用以前所述的方法来测量)。

必须记住,这时要考虑到电子管伏特计的输入电容:

$$C' = C_2' K^2 \quad (8-1205)$$

$$C_2' = C_2 + C_B \quad (8-1206)$$

其中:

K — 变压系数。

C_B — 电子管伏特计的输入电容。

C_2 — 次级绕组的电容量。

变压系数的测量:

空载变压器的变压系数可以用电子管伏特计测量变压器的输入端和输出端的电压的方法来测量。

必須指出，变压系数与频率有关。

变压系数，空载电流及空载损耗（电源变压器需进行此项测量）可按圖 8—1208 的电路进行测量。

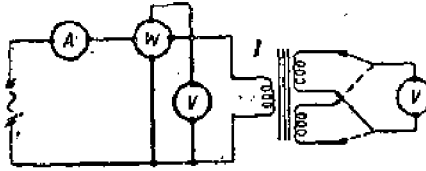


圖 8—1208 測量空載时的变压系数、空載损耗和空載电流用的电路

频率特性的測量：

变压器的频率特性可以按圖 8—1209 的电路来測量。測量时在变压器的輸入端加上恒定电压。这时取下输出电压对频率的关系。

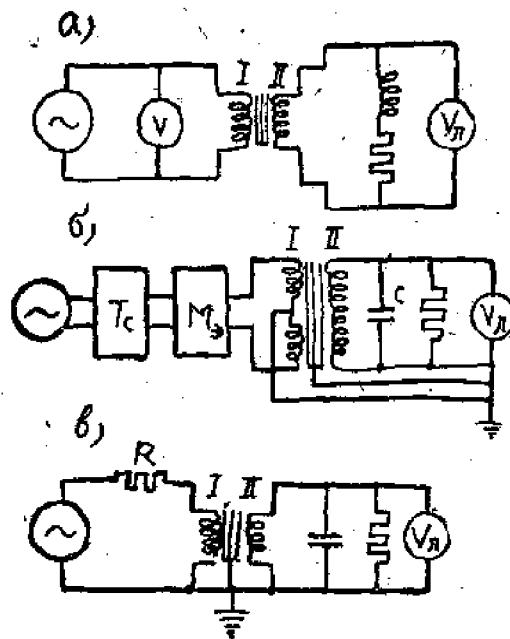


圖 8—1209 測量频率特性的电路

a) 适用于具有感性負載的輸出变压器；B) 适用于对称的輸入变压器；B) 适用于非对称的級間变压器

Tc——使之对称用的变压器；M3——衰减器；V1——电子管伏特計。

为了正确地測得变压器的频率特性，在变压器的电路中必須接上在正常工作条件下的輸入阻抗和輸出阻抗。

相位特性的測量：

变压器的相位特性可用圖 8—1210 所示的电路来测量。

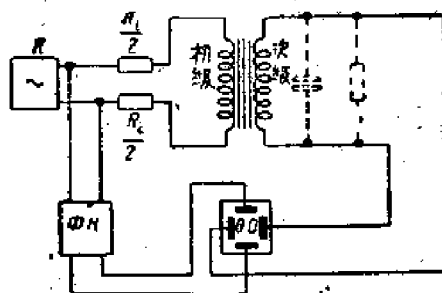


圖 8—1210 描繪变压器相位特性曲线的线路

圖中：I 为內阻很小的可变頻率振荡器， R_1 为訊号电源的等效电阻， ΦH 为电子示波器。在示波器的一个放大器上加上經移相电路 ΦH 的电压，在另一个放大器上加上变压器的输出电压，調整移相电路的相移，使在示波器的屏幕上出現一条傾斜直綫，此时，变压器产生的相移等于移相电路所产生的相移。相位特性应该由从相移接近于零的工作頻率的中点开始。

相位特性对于工作在反饋电路中的变压器是必須的。

这一測量对于工作在这一反饋电路中的变压器是必須的。

非綫性失真系数的測量：

非綫性失真可以按圖 8—1211 的电路来进行測量。

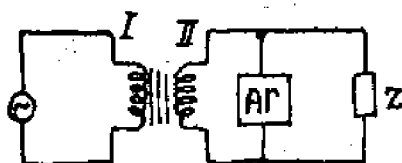


圖 8—1211 直接决定非綫性失真用的电路

Z ——負載；AT——諧波分析器

非綫性失真系数是利用一振荡器来測量的，这个振荡器具有严格的正弦波形和达到变压器額定功率所須的足够功率，变压器負載应相应于額定負載。

在最低工作頻率时得到最大的非綫性失真系数。

非綫性失真系数按下式进行計算：

$$K = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}{U_1^2}} \quad (8-1207)$$

屏蔽的測試：

为了测量变压器的屏蔽作用，把变压器放在弱的均匀的交变磁场中，交变磁场的频率取测量时所需要的频率。在变压器的次级绕组上接上具有高输入阻抗和足够灵敏度的电子管伏特计，屏蔽系数就是当变压器具有屏蔽时的感应电压和没有屏蔽时的感应电压的比值。

决定脉冲形状：

脉冲变压器的脉冲形状借助于矩形脉冲信号发生器和具有分辨能力的示波器来决定。

标准脉冲信号发生器必须具有与被变压器相同的参量。在这种情况下按图 8—1212 的电路进行测量。

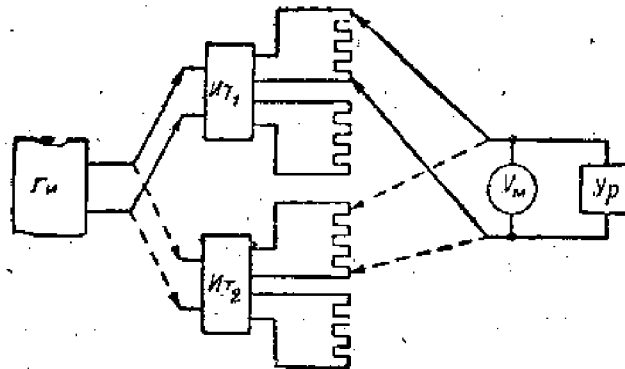


图8—1212 比较从被试变压器和标准变压器次级线圈上所得脉冲波形的示意图。

Γ_{μ} ——矩形脉冲发生器，ИТ₁——标准变压器，ИТ₂——被试变压器， V_m ——最大值电压表， y_p ——调整脉冲波形的设备。

标准变压器和被测变压器具有同样的负载。借助于频值伏特计和阴极示波器进行标准变压器输出脉冲的比较。

磁性材料数据

附表1

材 料 名 称 規 格	起始导磁系数	电阻系数 微欧—厘米	比 重 克/厘米 ³
变压器硅钢片 341, 0.3—0.5毫米	350	60	7.6
变压器硅钢片 342, 0.3—0.5毫米	400	60	7.6
高导磁硅钢片 346, 348, 0.35毫米	600	60	7.6
高频硅钢片 344, 0.1—0.2毫米	500	60	7.6
冲模硅钢片 3310, 3320, 0.25—0.5毫米	500	60	7.6
H80XC坡莫合金 0.05—0.08毫米	18,000	≥62	8.5
” 0.10—0.15 ”	20,000	≥62	8.5
” 0.18—0.25 ”	25,000	≥62	8.5
” 0.28—0.40 ”	35,000	≥62	8.5
” 0.50—0.10 ”	30,000	≥62	8.5
H50XC坡莫合金 0.05—0.08 ”	1,000	≥85	8.3
” 0.10—0.15 ”	2,000	≥85	8.3
” 0.18—0.25 ”	2,000	≥85	8.3
” 0.28—0.40 ”	3,000	≥85	8.3
H45坡莫合金 0.05—0.08 ”	10,000	—	8.2
” 0.10—0.15 ”	1,000	—	8.2
” 0.18—0.25 ”	2,000	—	8.2
” 0.28—0.40 ”	2,000	—	8.2
H79M4坡莫合金 0.05—0.08 ”	12,000	55	8.6
” 0.10—0.15 ”	15,000	55	8.6
” 0.18—0.25 ”	18,000	55	8.6
” 0.28—0.40 ”	20,000	55	8.6
78%中等质量坡莫合金 0.20—0.50 ”	10,000	60	8.5
45% ” ” 0.20—0.50 ”	2,000	45	8.2
波明陀合金 0.20—0.50 ” ”	700	5—30	8.5
铁 硅 氧 —400	400	10 ¹²	4.5
” —1,000	1,000	10 ¹²	5
” —2,000	2,000	10 ¹²	5

硅鋼片之新旧标号对照

附表 2

旧 标 号	新 标 号	旧 标 号	新 标 号
33	331	B4-1	344
33A	331	B4-2	344
34	341	XBII	3310
34A	341	XT-18	3320
34AA	342	XT-18.5	3320
BII-1	345, 347		
BII-2	345, 347		
BII-3	346, 348		

附表 3

圓形截面鋼導線的數據

無絕緣導 線直徑 毫米	無絕緣導 線每公里 重量的 公斤	20°C時每 公里導線 的電阻 歐	ΠЭЛ, ΠЭТ		ΠЭМВ	ΠЭВ-1	ΠЭВ-2	ΠЭМНО		ΠЭМБО		ΠЭО		ΠЭЛ	
			帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤
0.05	0.0173	8920	0.065	0.019	0.075	—	—	0.12	0.028	—	—	—	—	—	—
0.06	0.0252	6200	0.075	0.027	0.085	—	—	0.13	0.034	—	—	—	—	—	—
0.07	0.0343	4550	0.085	0.036	0.095	—	—	0.14	0.045	—	—	—	—	—	—
0.08	0.0148	3480	0.095	0.047	0.105	—	—	0.15	0.057	—	—	—	—	—	—
0.09	0.0567	2750	0.103	0.059	0.115	—	—	0.16	0.070	—	—	—	—	—	—
0.10	0.0700	2230	0.120	0.073	0.135	0.12	0.13	0.175	0.089	—	—	—	—	—	—
0.11	0.0847	1840	0.130	0.088	0.145	0.13	0.14	0.185	0.105	—	—	—	—	—	—
0.12	0.101	1550	0.140	0.105	0.155	0.14	0.15	0.195	0.123	—	—	—	—	—	—
0.13	0.118	1320	0.150	0.122	0.165	0.15	0.16	0.205	0.141	—	—	—	—	—	—
0.14	0.137	1140	0.161	0.141	0.175	0.16	0.17	0.215	0.161	—	—	—	—	—	—
0.15	0.158	930	0.170	0.162	0.185	0.18	0.19	0.255	0.184	—	—	—	—	—	—
0.16	0.179	871	0.180	0.184	0.195	0.19	0.20	0.235	0.206	—	—	—	—	—	—
0.17	0.202	772	0.190	0.207	0.205	0.20	0.21	0.245	0.230	—	—	—	—	—	—
0.18	0.227	689	0.200	0.232	0.215	0.21	0.22	0.255	0.256	—	—	—	—	—	—
0.19	0.252	619	0.210	0.258	0.225	0.22	0.23	0.265	0.284	—	—	—	—	—	—
0.20	0.280	558	0.225	0.286	0.24	0.23	0.24	0.290	0.316	0.325	0.328	0.300	0.318	0.39	0.36
0.21	0.309	506	0.235	0.316	0.25	0.24	0.25	0.300	0.346	0.355	0.361	0.310	0.349	0.40	0.39
0.23	0.370	421	0.255	0.378	0.27	0.27	0.28	0.320	0.40	0.355	0.327	0.330	0.413	0.42	0.40
0.25	0.438	357	0.275	0.447	0.29	0.29	0.30	0.340	0.480	0.375	0.498	0.350	0.483	0.44	0.53
0.27	0.510	306	0.31	0.525	0.33	0.31	0.32	0.370	0.560	0.425	0.593	0.390	0.572	0.49	0.63
0.29	0.589	265	0.33	0.605	0.35	0.33	0.34	0.390	0.641	0.445	0.676	0.410	0.654	0.51	0.72

附表 3 (續)

无絕緣導 線直徑 毫米	无絕緣導 線每公里 重量 公斤	20°C時每 公里導線 的電阻 歐	ПЭЛ, ПЭТ		ПЭВ	ПЭВ.1	ПЭВ.2	ПЭМНО		ПЭМНО		ПЭСО		ПЭСО		ПЭД	
			帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤
0.31	0.673	232	0.35	0.690	0.37	0.35	0.36	0.415	0.733	0.470	0.769	0.430	0.743	0.53	0.82	0.53	0.82
0.33	0.762	205	0.37	0.780	0.39	0.37	0.38	0.435	0.826	0.490	0.863	0.450	0.836	0.55	0.91	0.55	0.91
0.35	0.837	182	0.39	0.875	0.41	0.39	0.41	0.455	0.924	0.510	0.953	0.47	0.934	0.57	1.01	0.57	1.01
0.38	1.01	154	0.42	1.03	0.44	0.42	0.44	0.490	1.09	0.545	1.13	0.50	1.10	0.60	1.18	0.60	1.18
0.41	1.18	133	0.45	1.20	0.47	0.45	0.47	0.520	1.27	0.575	1.31	0.53	1.28	0.63	1.36	0.63	1.36
0.44	1.36	115	0.49	1.39	0.51	0.48	0.50	0.550	1.45	0.605	1.49	0.58	1.47	0.66	1.55	0.66	1.55
0.47	1.55	101	0.52	1.58	0.54	0.51	0.53	0.580	1.64	0.635	1.69	0.59	1.67	0.69	1.75	0.69	1.75
0.49	1.68	92.9	0.54	1.71	0.56	0.53	0.55	0.600	1.78	0.655	1.83	0.61	1.80	0.71	1.83	0.71	1.83
0.51	1.82	85.7	0.56	1.85	0.68	0.56	0.58	0.625	1.93	0.68	1.97	0.63	1.95	0.73	2.03	0.73	2.03
0.53	1.97	79.2	0.58	2.01	0.60	0.58	0.60	0.645	2.08	0.70	2.14	0.65	2.10	0.75	2.19	0.75	2.19
0.55	2.12	73.7	0.60	2.16	0.62	0.60	0.62	0.665	2.23	0.72	2.29	0.67	2.26	0.77	2.34	0.77	2.34
0.57	2.28	68.6	0.62	2.32	0.64	0.62	0.64	0.685	2.39	0.74	2.46	0.69	2.42	0.79	2.51	0.79	2.51
0.59	2.44	64.0	0.64	2.49	0.66	0.64	0.66	0.705	2.56	0.76	2.62	0.71	2.58	0.81	2.68	0.81	2.68
0.62	2.69	58.0	0.67	2.74	0.69	0.67	0.70	0.735	2.82	0.79	2.89	0.74	2.85	0.84	2.95	0.84	2.95
0.64	2.86	54.4	0.69	2.92	0.71	0.69	0.72	0.755	3.01	0.81	3.07	0.76	3.03	0.86	3.13	0.86	3.13
0.67	2.14	49.7	0.72	3.20	0.74	—	—	0.785	3.30	0.84	3.36	0.79	3.32	0.83	3.42	0.83	3.42
0.69	3.33	46.8	0.74	3.38	0.76	0.74	0.77	0.805	3.50	0.86	3.56	0.81	3.51	0.91	3.60	0.91	3.60
0.72	3.63	43.0	0.78	3.68	0.80	—	—	0.845	3.80	0.90	3.88	0.84	3.83	0.94	3.92	0.94	3.92
0.71	3.83	40.7	0.80	3.88	0.83	0.80	0.83	0.865	4.01	0.92	4.08	0.86	4.04	0.96	4.12	0.96	4.12
0.77	4.15	37.7	0.83	4.21	0.86	0.83	0.86	0.895	4.34	0.95	4.42	0.89	4.37	0.98	4.46	0.98	4.46
0.80	4.48	34.8	0.86	4.55	0.89	0.86	0.89	0.925	4.67	0.98	4.77	0.92	4.70	1.02	4.81	1.02	4.81

附表3 (續)

无絕緣導 線直徑 毫米	无絕緣導 線每公里 重量 公斤	ПЭЛ, ПЭТ		ПЭЛН 帶絕緣 導線的 直徑 毫米	ПЭВ-1 帶絕緣 導線的 直徑 毫米	ПЭВ-2 帶絕緣 導線的 直徑 毫米	ПЭМНО		ПЭТВО		ПЭВ		ПЭД	
		帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 重量 公斤				帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 重量 公斤			帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 重量 公斤
0.83	4.82	0.89	4.79	0.92	—	—	0.955	5.02	1.01	5.12	0.95	5.03	1.05	5.17
0.86	5.17	0.92	5.25	0.95	0.02	0.95	0.985	5.38	1.04	5.48	0.98	5.42	1.08	5.53
0.90	5.87	0.96	5.75	0.99	—	—	1.025	5.89	1.08	5.98	1.02	5.94	1.12	6.03
0.93	6.05	0.99	6.13	1.02	0.99	1.02	1.055	6.27	1.11	6.38	1.05	6.32	1.15	6.45
0.96	6.45	1.02	6.53	1.05	—	—	1.085	6.69	1.14	6.79	1.08	6.74	1.18	6.85
1.00	7.00	1.07	7.08	1.10	1.08	1.11	1.135	7.25	1.21	7.35	1.14	7.30	1.27	7.42
1.04	7.57	1.12	7.65	1.15	—	—	1.175	7.83	1.25	7.95	1.18	7.90	1.31	8.00
1.08	8.16	1.15	8.26	1.19	1.16	1.19	1.215	8.43	1.29	8.57	1.22	8.49	1.35	8.63
1.12	8.78	1.20	8.90	1.23	1.20	1.23	1.255	9.07	1.33	9.20	1.26	9.12	1.39	9.24
1.16	9.41	1.24	9.55	1.27	1.24	1.27	1.295	9.71	1.37	9.85	1.30	9.79	1.43	9.91
1.20	10.1	1.28	10.2	1.31	—	—	1.335	10.4	1.41	10.6	1.34	10.5	1.47	10.7
1.25	10.9	1.33	11.0	1.36	1.33	1.36	1.385	11.2	1.46	11.4	1.39	11.3	1.52	11.5
1.30	11.8	1.38	12.0	1.41	1.38	1.41	1.435	12.1	1.51	12.3	1.44	12.2	1.57	12.4
1.35	12.8	1.43	13.0	1.46	1.43	1.46	1.485	13.1	1.56	13.3	1.49	13.2	1.62	13.4
1.40	13.7	1.48	13.9	1.51	1.48	1.51	1.535	14.1	1.61	14.2	1.54	14.1	1.67	14.3
1.45	14.7	1.53	14.9	1.56	1.53	1.56	1.585	15.1	1.66	15.3	1.59	15.2	1.72	15.4
1.50	15.8	1.58	16.0	1.61	1.58	1.61	1.635	16.2	1.71	16.4	1.64	16.3	1.77	16.5
1.55	17.0	1.64	17.2	1.67	1.64	1.67	1.715	17.4	1.77	17.6	1.70	17.5	1.83	17.7
1.62	18.4	1.71	18.6	1.74	1.70	1.73	1.775	18.8	1.83	19.1	1.76	18.9	1.89	19.2
1.68	19.8	1.77	20.0	1.80	—	—	1.835	20.2	1.89	20.5	1.82	20.4	1.95	20.6
1.74	21.2	1.83	21.4	1.86	—	—	1.895	21.6	1.95	21.9	1.88	21.8	2.01	22.0

附表 3 (續)

无絕緣導 線直徑 毫米	无絕緣導 線每公里 的重量 公斤	ΠЭЛ, ΠЭГ		ΠЭЛ'	ΠЭВ-1	ΠЭВ-2	ΠЭШО		ΠЭШО		ΠЭО		ΠБД	
		帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤	帶絕緣 導線的 直徑 毫米	帶絕緣 導線每 公里的 重量 公斤
1.81	22.9	1.90	23.1	1.93	1.90	1.93	1.965	23.1	2.02	23.7	1.95	23.5	2.08	23.8
1.83	24.8	1.97	25.0	2.00	—	—	2.035	25.2	2.09	25.6	2.02	25.4	2.15	25.7
1.95	26.6	2.04	26.8	2.07	—	—	2.105	27.0	2.16	27.4	2.09	27.2	2.22	27.6
2.02	28.6	2.12	28.9	2.15	—	—	2.175	29.1	2.23	29.4	2.16	29.2	2.29	29.6
2.10	30.9	2.20	31.2	2.23	2.20	2.23	2.255	31.4	2.31	31.7	2.24	31.5	2.37	31.9
2.26	35.8	2.31	36.1	2.33	—	—	—	—	—	—	—	—	2.59	36.9
2.44	41.7	2.54	42.1	2.57	2.54	2.57	—	—	—	—	—	—	2.77	43.0
2.63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.96	49.7
2.83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.16	57.6
3.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.38	66.7
3.28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.61	77.0
3.53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.88	89.3
3.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.13	103
4.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.43	120
4.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.83	145
4.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.13	164
5.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.53	192

附表 4

矩形截面铜导线的数据

a 毫米	b 毫米	(B.b) 毫米																HBO	HBM
		2.12	2.26	2.42	2.62	2.83	3.05	3.28	3.53	3.8	4.1	4.4	4.7	5.1	5.5	5.9	6.3		
0.90	0.90	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.00	1.00	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.08	1.08	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.16	1.16	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.25	1.25	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.35	1.35	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.45	1.45	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.53	1.53	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.68	1.68	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.81	1.81	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
1.95	1.95	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.14	0.27
2.10	2.10	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
2.26	2.26	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
2.44	2.44	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
2.68	2.68	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
2.83	2.83	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
3.05	3.05	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
3.28	3.28	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
3.53	3.53	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
3.8	3.8	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.175	0.33
4.1	4.1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.23	0.44
4.4	4.4	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.23	0.44
4.7	4.7	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.23	0.44
5.1	5.1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.23	0.44
5.5	5.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0.23	0.44

注：打叉的表示标准尺寸；一划表示该种导线尚未生产

附表 5

1. 加宽靴并用“无损耗”冲片叠成，供最便宜的变压器用的铁心

铁 心 型 号	铁 心 尺 寸 , 毫 米				变 压 器 轮 廓			用 本 表 各 种 铁 心 装 成 的 变 压 器 的 主 要 数 据								
	y ₁	y ₂	y ₃	h	b	尺 寸 , 毫 米			c _c 平 方 厘 米	l _c 厘 米	q ₀ 平 方 厘 米	l ₀ 厘 米	结 构 常 数 A	铁 心 重 量 克	线 圈 重 量 克	变 压 器 重 量 克
						H	B	Y								
III-10×10	10	10	6.5	13	6.5	31	36	21	0.83	5.66	0.230	5.35	4.40·10 ⁻⁵	62	13	73
III-10×15	10	15	6.5	18	6.5	31	36	26	1.32	5.66	0.225	6.85	5.50·10 ⁻⁵	93	15	108
III-10×20	10	20	6.5	18	6.5	31	36	31	1.76	5.66	0.22	7.85	6.25·10 ⁻⁵	124	17	141
III-12×12	12	12	8	22	8	38	44	26	1.27	6.74	0.36	1.00	6.97·10 ⁻⁵	111	25	136
III-12×18	12	18	8	22	8	38	44	32	1.90	6.74	0.35	8.20	8.65·10 ⁻⁵	167	28	195
III-12×24	12	24	8	22	8	38	44	38	2.54	6.74	0.34	9.40	9.80·10 ⁻⁵	222	31	253
III-14×14	14	14	9	25	9	43	50	30	1.73	7.92	0.48	8.24	9.15·10 ⁻⁵	167	39	206
III-14×21	14	21	9	25	9	43	50	37	2.53	7.92	0.47	9.64	11.5·10 ⁻⁵	251	44	293
III-14×28	14	28	9	25	9	43	50	41	3.45	7.92	0.46	11.0	13.1·10 ⁻⁵	385	50	385
III-16×16	16	16	10	28	10	48	53	33	2.25	9.03	0.64	9.28	12.4·10 ⁻⁵	240	58	298
III-16×24	16	24	10	28	10	48	56	41	3.38	9.03	0.62	10.9	15.3·10 ⁻⁵	360	66	426
III-16×32	16	32	10	28	10	48	56	49	4.50	9.03	0.60	12.5	17.2·10 ⁻⁵	480	74	554
III-19×19	19	19	12	33.5	12	57.5	67	40	3.18	10.6	1.00	11.0	19.6·10 ⁻⁵	407	103	515
III-19×28	19	28	12	33.5	12	57.5	67	49	4.68	10.6	0.98	12.8	24.3·10 ⁻⁵	610	123	733
III-19×38	19	38	12	33.5	12	57.5	67	59	6.35	10.6	0.95	14.8	27.6·10 ⁻⁵	814	133	932
III-22×22	22	22	14	39.0	14	67.0	78	46	4.26	12.4	1.45	13.0	27.6·10 ⁻⁵	640	165	825
III-22×33	22	33	14	39.0	14	67.0	78	57	6.39	12.4	1.40	15.2	34.1·10 ⁻⁵	960	210	1170
III-22×44	22	44	14	39.0	14	67.0	78	68	8.52	12.4	1.35	17.4	38.3·10 ⁻⁵	1280	230	1510
III-26×26	26	26	17	47.0	17	81.0	94	53	5.95	14.7	2.20	15.4	41.5·10 ⁻⁵	1100	330	1430
III-26×39	26	39	17	47.0	17	81.0	94	69	8.92	14.7	2.15	18.0	52.0·10 ⁻⁵	1650	390	2090
III-26×52	26	52	17	47.0	17	81.0	94	82	11.90	14.7	2.1	20.6	59.3·10 ⁻⁵	2200	420	2320
III-30×30	30	30	19	53.0	19	91.0	103	64	7.92	16.9	2.9	17.6	55.5·10 ⁻⁵	1610	500	2110

附表 5 (續)

鉄 心 型 号	鉄 心 尺 寸, 毫 米				变 压 器 輪 廓			用 木 表 各 种 鉄 心 装 成 的 变 压 器 的 主 要 数 据								
	y ₁	y ₂	y ₃	h	b	尺 寸, 毫 米			q _c 平方 厘米	l _c 厘米	q ₀ 平方 厘米	l ₀ 厘米	結 构 常 数 A.	鉄 心 重 量 克	綫 圈 重 量 克	变 压 器 重 量 克
						H	B	Y								
III-30×45	80	45	19	53.0	19	91.0	106	79	11.9	16.9	2.8	20.6	63.8·10 ⁻⁵	2410	570	2980
III-30×60	80	60	19	53.0	19	91.0	106	94	15.8	16.9	2.7	23.6	76.8·10 ⁻⁵	3220	630	3850
III-35×35	35	35	22	61.5	22	105.5	123	75	10.8	19.8	4.0	20.4	75.8·10 ⁻⁵	2540	800	3940
III-35×52	35	52	22	61.5	22	105.5	123	92	16.0	19.8	3.9	23.8	95.0·10 ⁻⁵	3810	910	4720
III-35×70	35	70	22	61.5	22	105.5	123	110	21.6	19.8	3.8	27.4	109·10 ⁻⁵	5080	1020	6100

附表 5 (續)

2. 裝置最輕的变压器用的鉄心

鉄 心 型 号	鉄 心 尺 寸, 毫 米				变 压 器 輪 廓			用 本 表 各 种 鉄 心 装 成 的 变 压 器 的 主 要 数 据								
	y ₁	y ₂	y ₃	h	b	尺 寸, 毫 米			a _c 平 方 厘 米	l _c 厘 米	q ₀ 平 方 厘 米	l ₀ 厘 米	結 构 常 数 A	鉄 心 重 量 克	綫 圈 重 量 克	变 压 器 重 量 克
						H	B	Y								
III-4×4	4	4	2.5	14	5	19	19	13	0.140	3.90	0.134	3.2	1.08·10 ⁻⁵	6.2	4.2	10.4
III-4×6	4	6	2.5	14	5	19	19	15	0.210	3.90	0.190	3.6	1.40·10 ⁻⁵	9.3	4.6	18.9
III-4×8	4	8	2.5	14	5	19	19	17	0.280	3.90	0.126	4.0	1.63·10 ⁻⁵	12.5	4.9	17.4
III-4×10	4	10	2.5	14	5	19	19	19	0.350	3.90	0.122	4.4	1.79·10 ⁻⁵	15.6	5.3	20.9
III-5×5	5	5	3.5	17	6	24	24	16	0.220	4.50	0.205	3.9	1.84·10 ⁻⁵	13.1	7.8	20.9
III-5×7	5	7	3.5	17	6	24	24	18	0.310	4.50	0.200	4.3	2.30·10 ⁻⁵	18.3	8.4	26.7
III-5×10	5	10	3.5	17	6	24	24	21	0.440	4.50	0.194	4.9	2.72·10 ⁻⁵	6.2	9.3	35.5
III-5×12	5	12	3.5	17	6	24	24	22	0.530	4.50	0.187	5.3	2.98·10 ⁻⁵	31.3	9.7	41.0
III-6×6	6	6	4.0	20	7	28	28	18	0.320	5.44	0.297	4.5	2.79·10 ⁻⁵	21.2	13.1	34.3
III-6×9	6	9	4.0	20	7	28	28	21	0.475	5.44	0.290	5.1	3.57·10 ⁻⁵	31.8	14.5	46.3

附表 5 (續)

铁 心 型 号	铁 心 尺 寸, 毫 米				变 压 器 轮 廓			用 本 表 各 种 铁 心 装 成 的 变 压 器 的 主 要 数 据								
	y ₁	y ₂	y ₃	h	b	尺 寸, 毫 米			q ₀ 平方 厘米	l _c 厘米	q ₀ 平方 厘米	l ₀ 厘米	结 构 常 数 A	铁 心 重 量 克	线 圈 重 量 克	变 压 器 重 量 克
						H	B	Y								
III-6×12	6	12	4.0	20	7	28	28	24	0.63	5.44	0.280	5.7	4.08-10 ⁻⁵	42.5	15.7	58.2
III-6×15	6	15	4.0	20	7	28	28	26	0.79	5.44	0.270	6.3	4.47-10 ⁻⁵	58.0	16.7	69.7
III-9×9	9	9	4.5	22.5	9	31.5	36	25	0.71	7.7	0.450	6.3	4.73-10 ⁻⁵	46.0	27.8	73.8
III-9×13	9	13	4.5	22.5	9	31.5	36	29	1.03	7.7	0.440	7.1	5.93-10 ⁻⁵	66.6	30.6	97.2
III-9×18	9	18	4.5	22.5	9	31.5	36	34	1.43	7.7	0.425	8.1	7.00-10 ⁻⁵	92.1	38.7	125.8
III-9×22	9	22	4.5	22.5	9	31.5	36	37	1.75	7.7	0.41	8.9	7.52-10 ⁻⁵	112	38	148
III-12×12	12	12	6.0	30.0	12	42.0	48	34	1.27	10.3	0.88	8.5	9.17-10 ⁻⁵	109	73	182
III-12×18	12	18	6.0	30.0	12	42.0	48	39	1.90	10.3	0.85	9.7	11.8-10 ⁻⁵	164	82	246
III-12×24	12	24	6.0	30.0	12	42.0	48	45	0.54	10.3	0.83	10.9	13.5-10 ⁻⁵	218	89	307
III-12×30	12	30	6.0	30.0	12	42.0	48	50	9.17	10.3	0.80	12.1	14.6-10 ⁻⁵	274	93	369
III-15×16	15	16	8.0	40.0	16	56.0	64	45	2.25	13.7	1.70	11.1	18.1-10 ⁻⁵	258	185	443
III-16×24	16	24	8.0	40.0	16	56.0	64	53	3.38	13.7	1.65	12.7	23.0-10 ⁻⁵	387	205	592
III-16×32	16	32	8.0	40.0	16	56.0	64	61	4.50	13.7	1.60	14.3	26.4-10 ⁻⁵	517	224	741
III-16×40	16	40	8.0	40.0	16	56.0	64	68	5.63	13.7	1.54	15.9	28.6-10 ⁻⁵	645	240	885
III-20×20	20	20	10.0	50.0	20	70.0	80	57	3.52	17.1	2.76	13.8	29.6-10 ⁻⁵	505	373	878
III-20×30	20	30	10.0	50.0	20	70.0	80	65	5.28	17.1	2.69	1.8	37.8-10 ⁻⁵	758	417	1175
III-20×40	20	40	10.0	50.0	20	70.0	80	76	7.01	17.1	2.60	17.8	43.1-10 ⁻⁵	1010	454	1464
III-20×50	20	50	10.0	50.0	20	70.0	80	85	8.80	17.1	2.51	19.8	45.9-10 ⁻⁵	1260	487	1747
III-25×25	25	25	12.5	62.5	25	87.5	100	71	5.50	21.4	4.48	17.4	47.5-10 ⁻⁵	590	765	1735
III-25×37	25	37	12.5	62.5	25	87.5	100	83	8.13	21.4	4.37	19.8	60.3-10 ⁻⁵	1460	850	310
III-25×50	25	50	12.5	62.5	25	87.5	100	95	11.0	21.4	4.22	22.4	63.5-10 ⁻⁵	1970	930	900
III-25×62	25	62	12.5	62.5	25	87.5	100	107	13.6	21.4	4.07	24.8	74.7-10 ⁻⁵	2440	990	3430

附表 b (續)

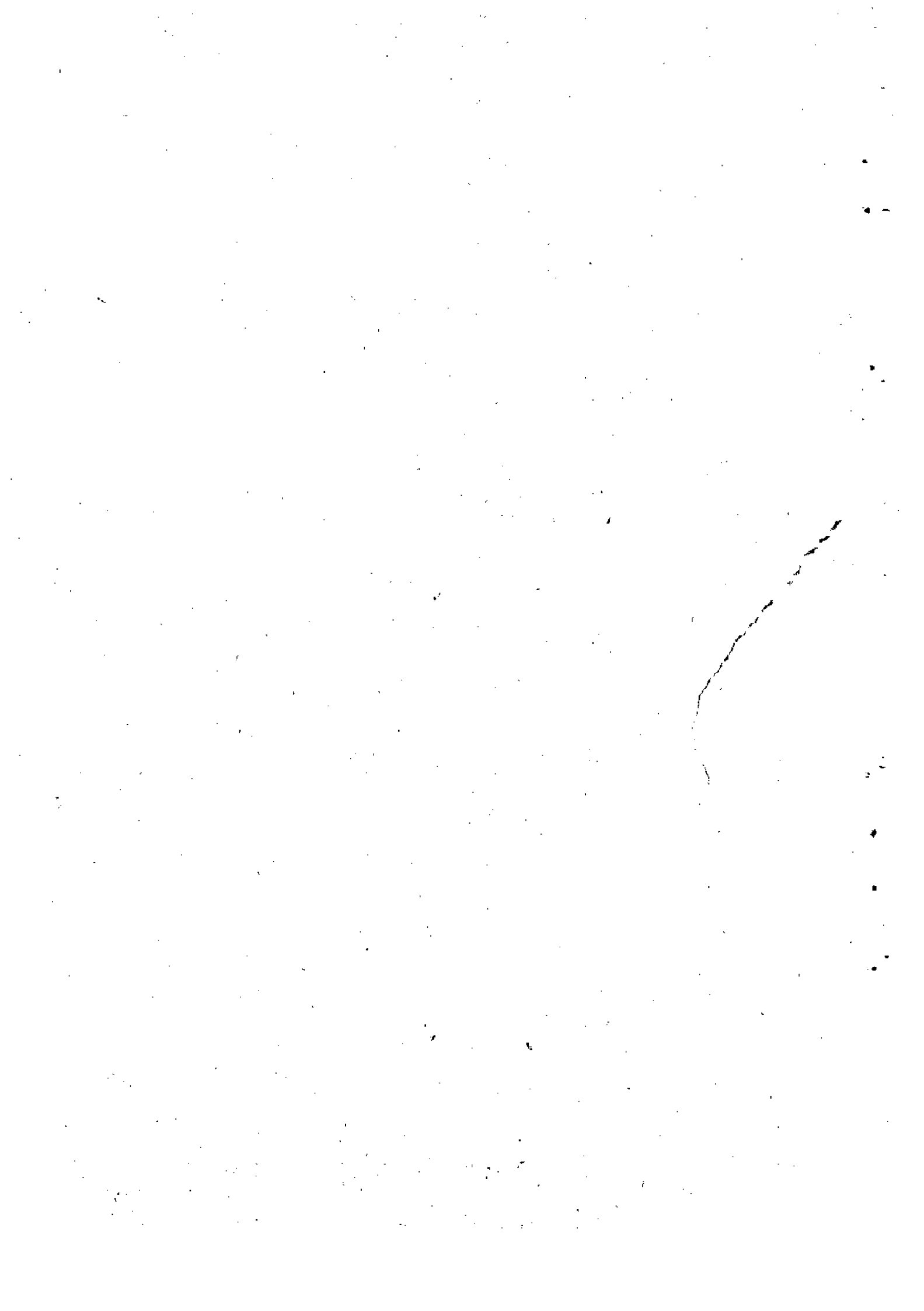
铁 心 型 号	铁 心 尺 寸, 毫 米				变压器轮廓				用本表各种铁心表成的变压器的主要数据							
	y ₁	y ₂	y ₃	h	b	尺寸, 毫米			q _c 平方 厘米	l _c 厘米	q ₀ 平方 厘米	l ₀ 厘米	结构常数 A	铁心 重量 克	线圈 重量 克	变压器 重量 克
						H	B	Y								
III-32×32	32	32	16.0	80.0	32	112.0	128	92	9.0	27.4	7.60	22.2	80.7·10 ⁻⁵	2070	1630	3720
III-32×48	32	48	16.0	80.0	32	112.0	128	107	13.5	27.4	7.42	25.6	103·10 ⁻⁵	3110	1850	4960
III-32×64	32	64	15.0	80.0	32	112.0	128	123	18.0	27.4	7.17	28.6	118·10 ⁻⁵	4140	2010	6150
III-32×80	32	80	16.0	80.0	32	112.0	128	139	22.5	27.4	6.90	31.8	128·10 ⁻⁵	5180	2150	7930

3. 用CT-360A规格的鉄片叠成的鉄心 (不建議采用, 本表列出其数据仅供参考) 附表 5 (續)

铁 心 型 号	铁 心 尺 寸, 毫 米				变压器轮廓			用本表各种铁心表成的变压器的主要数据								
	y ₁	y ₂	y ₃	h	b	尺寸, 毫米			q _c 平方 厘米	l _c 厘米	q ₀ 平方 厘米	l ₀ 厘米	结构常数 A	铁心 重量 克	线圈 重量 克	变压器 重量 克
						H	B	Y								
III-10×10	10	10	5	15	5	23	30	13	0.88	5.57	0.137	5.5	2.82·10 ⁻⁶	42	7.5	50
III-10×15	10	15	5	15	5	25	30	24	1.32	5.57	0.134	6.5	3.5·10 ⁻⁶	63	8.5	72
III-10×20	10	20	5	13	5	25	30	23	1.73	5.57	0.129	7.5	3.9·10 ⁻⁶	84	9.5	94
III-12×12	12	12	6	18	6	30	36	22	1.27	6.68	0.208	6.5	4.37·10 ⁻⁶	73	13	83
III-12×18	12	18	6	18	6	30	36	28	1.80	6.68	0.203	7.7	5.33·10 ⁻⁶	109	15	124
III-12×24	12	24	6	18	6	30	36	34	2.54	6.68	0.193	8.9	6.02·10 ⁻⁶	146	17	163
III-14×14	14	14	7	21	7	35	42	26	1.73	7.8	0.297	7.6	6.23·10 ⁻⁶	116	22	138
III-14×21	14	21	7	21	7	35	42	33	2.53	7.8	0.29	9.0	7.68·10 ⁻⁶	174	26	200
III-14×28	14	28	7	21	7	35	42	40	3.45	7.8	0.28	10.4	8.55·10 ⁻⁶	232	29	261
III-16×16	16	16	8	24	8	40	48	30	2.25	8.9	0.0	8.6	8.43·10 ⁻⁶	173	34	207

附表 6 (續)

铁 心 型 号	铁 心 尺 寸, 毫 米				变 压 器 轮 廓				用 本 表 各 种 铁 心 装 成 的 变 压 器 的 主 要 数 据							变 压 器 重 量 克
	y ₁	y ₂	y ₃	h	b	尺 寸, 毫 米			q _c 平 方 厘 米	l ₀ 厘 米	q ₀ 平 方 厘 米	l ₀ 厘 米	结 构 常 数 A	铁 心 重 量 克	绕 线 重 量 克	
						H	B	Y								
III-16×24	16	24	8	24	8	40	43	33	3.38	8.9	0.39	10.2	10.4-10 ⁻⁵	239	39	298
III-16×32	16	32	8	24	8	40	48	43	4.50	8.9	0.38	11.8	11.7-10 ⁻⁵	346	44	390
III-18×19	18	18	9	27	9	45	54	33	2.85	10.0	0.54	9.8	11.3-10 ⁻⁵	246	52	298
III-18×27	18	27	9	27	9	45	54	42	4.28	10.0	0.53	11.6	14.0-10 ⁻⁵	339	60	429
III-18×33	18	33	9	27	9	45	54	51	5.71	10.0	0.51	13.4	15.6-10 ⁻⁵	492	67	559
III-20×20	20	20	10	30	10	50	60	36	3.32	11.1	0.70	10.9	14.6-10 ⁻⁵	337	75	412
III-20×30	20	30	10	30	10	50	60	45	5.28	11.1	0.68	12.9	18.0-10 ⁻⁵	503	83	592
III-20×40	20	40	10	30	10	50	60	56	7.04	11.1	0.63	14.9	20.2-10 ⁻⁵	875	97	772
III-24×24	24	24	12	36	12	60	72	45	5.07	13.4	1.11	13.0	23.0-10 ⁻⁵	580	140	720
III-24×36	24	36	12	36	12	60	72	57	7.51	13.4	1.07	13.4	28.4-10 ⁻⁵	870	160	1030
III-24×48	24	48	12	36	12	60	72	69	10.10	13.4	1.04	17.8	31.6-10 ⁻⁵	1160	180	1340
III-30×30	30	30	15	45	15	75	90	56	7.32	16.7	1.65	16.4	36.4-10 ⁻⁵	1140	300	1440
III-30×45	30	45	15	45	15	75	90	71	11.9	16.7	1.80	19.4	47.5-10 ⁻⁵	1710	340	2030
III-30×60	30	60	15	45	15	75	90	86	15.8	13.7	1.73	22.4	53.0-10 ⁻⁵	2280	380	2600
III-40×40	40	40	20	60	20	100	120	75	14.1	22.3	3.60	22.2	73.5-10 ⁻⁵	2700	780	3480
III-40×60	40	60	20	60	20	100	120	93	21.1	22.3	3.50	23.2	90.7-10 ⁻⁵	4350	900	4950
III-40×80	40	80	20	60	20	100	120	116	23.2	22.3	3.40	30.2	102-10 ⁻⁵	5400	1000	6400



第九章

电阻器

各种类型的电阻器在无线电电子设备中得到广泛的大量采用，它们被用来作为分压器和分流器，作为电路的负载，电路中的衰减元件，RC型回路元件等。

基于电阻器的大量应用，绝大部分电阻器已标准化。

按照电阻值的性质，电阻器有如下几种类型：

1. 固定电阻器：其阻值是固定的，使用时不改变。
2. 可变电阻器：在使用时，其阻值可以用移动可动触点的方法进行调节。
3. 非线性电阻器：其阻值随外加电流或电压的变化而非线性地变化。
4. 特殊的电阻器：其阻值在温度及光等的作用下发生变化，如热敏电阻、光敏电阻等。它们主要用于不同形式能量的变换器中。

后面两种电阻器将在其它课程中讨论。

按照电阻器本身导流元件的结构特征可分为线绕的和非线绕的两大类：其中非线绕电阻器又可分为薄膜型和合成型两种，所谓薄膜型，其导流元件为敷在介质基体上（例如瓷柱、瓷管的侧表面上或成形瓷件的表面上）的半导体（例如碳、硼碳、金属氧化物等）薄层或金属薄层。而所谓合成型，其导流元件是粉状导电物质与胶合介质的机械混合物，可以作成实心的或附着于任何基体表面的膜片状的。

按照用途，电阻器可归并为以下几种主要类别：

1. 通用电阻器：应用在小功率的各种电路中。例如小功率电子管的板极负载、栅漏电阻、电源电路中的吸收器与分压器以及滤波器的元件，振荡回路和变压器中的衰减调整，脉冲形成电路中的分流器附加电阻，精密度不高的测量仪表中的附加电阻和分流器，以及音量控制或音色调整器等。

通用电阻的阻值范围由10欧到10兆欧。功率自0.1瓦到2瓦，在很少情况下为5瓦和10瓦。工作电压不超过数百伏。所有类型的线绕和非线绕电阻均可用作通用电阻。

2. 兆欧电阻器：主要用于电流很小的测量装置及各种类型的射线测量仪内。阻值可大到 10^{12} 欧，由于工作电压小（一般为数十伏），因而耗散功率极小，用微瓦来计量，功率值的标准未规定。兆欧电阻多数制成合成型的。

3. 大功率电阻器：用作负载，附加电阻及吸收器。功率可达数千瓦，为此目的采用线绕和实心电阻器（吸收器）。这样电阻常具有强制冷却。

4. 高压电阻器：用于高压装置中的分压器和吸收器，以及供整流器中滤波电容器的放电和消灭火花用等。阻值一般很大（达 10^{11} 欧）工作电压达100千伏，功率达100瓦，

通常采用合成漆膜电阻器。

5. 高频电阻器：在工作频率高于10兆赫的无线电电子设备中作为匹配负载，衰减器等天线等元件。阻值不大于数千欧，功率在300瓦以下，但在人工冷却时则可达数十千瓦。通常采用薄膜型电阻器。

6. 精密和半精密的（测量用的）电阻器：用于精密测量装置、计算设备、电气信号时间控制器、继电器系统、电阻箱、衰减器及其它等等装置内。阻值由数分之一欧到1兆欧，在很少情况下达10兆欧，阻值标准未规定。功率不大于2瓦。这类电阻器的特点是具有很高的制造精确度和使用稳定性。在许多情况下采用密封的结构。为此目的采用线绕及薄膜电阻器。

7. 小型电阻器：用于晶体管的小型设备中。其特点是：除尺寸小外，阻值有一定界限（0.5—1兆欧以下），工作电压小（在60—100伏以下）。其功率小于0.1瓦，为此目的，可采用各种类型的电阻器。

§ 9—1. 电阻器的基本参量

按不同的用途，对电阻器可提出不同的要求。下面来讨论表征这些要求的基本参量：

1. 电阻值：无线电电子设备中所应用的阻值范围很广，可自十分之几欧（用于测量技术）到 10^{12} 欧（也用于测量技术）。

通用电阻器得到了广泛的应用，因而通用电阻器已标准化，其标准额定值列于表9—1。

表 9—1 非线绕电阻的标准额定值级数

苏 联 和 美 国					德 国	
10	16	27	43	68	10	30
11	18	30	47	75	12.5	40
12	20	33	51	82	16	50
13	22	36	56	91	20	60
15	24	39	62	100等	25	80
						100等

阻值可由10欧到10兆欧。

电阻器的阻值有四个精确度等级，即0级（±2%）I级（±50%），II级（±10%）、III级（±20%）。

额定阻值及其精确度等级一般在电阻器的表面上标出。有时也采用彩色符号表示

(当电阻器尺寸较小时)。

用彩色表示电阻值时, 标记的方法如表 9—2 所示。

表 9—2

颜 色	棕	紅	橙	黃	綠	藍	紫	灰	白	黑
所表示数字或另的个数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

表示公差的点: 金色为 I 級, 銀灰色为 II 級, 本色 (無色) 为 III 級。

2. 額定功率及極限工作电压 額定功率: 即电阻器長時間工作而不損坏以及不根本地改变本身电参数的允許最大負荷功率。

电阻器的額定功率由最大容許温度确定并依賴于它的結構 (散热表面和材料的耐热性等等)。加热温度由周圍介質温度和电阻器的过热温度 (它超过周圍介質温度的度数) 組成。

对于各种型号的电阻, 存在着最大的周圍介質温度極限, 在这个極限温度下, 电阻器可以負荷于額定功率状态而不致过热。当周圍介質的温度較高时, 为避免电阻器的过分加热, 耗散于电阻上的直流或交流功率应降低。例如: 对于 BC 电阻, 周圍介質在 40°C 以上每升高温度 1°C 必須降低功率 1.5%。当电阻器工作于稀薄大气中时 (此时散热条件比正常大气压时坏), 功率还需要降低。

此外, 对于每种型号的非繞綫电阻器还有最大工作温度極限, 超过此極限是不推荐使用的。

应当指出, 如果非繞綫电阻所負荷功率超过額定功率或电阻器工作于温度超过所推荐的最大温度, 则电阻器的寿命將縮短。可是, 如果采用电阻器的强制冷却或者把它放入油中, 它便可以长期地工作在超过額定功率 9 倍 (或更大) 的直流或交流功率中。

电阻器的極限工作电压是長時間 (例如 10,000 小时) 工作而不發生过热和过量放电 (电弧、火花放电) 的直流和交流电压 (有效值)。也就是說, 在極限工作电压下, 电阻器所耗散的直流或交流功率不超过額定功率并远离过量放电状态。

为了不超过額定功率 P_H , 加于电阻器上的电压不应超过由下式所确定的电压值 U :

$$U = \sqrt{R P_H}$$

为了不在电阻各部分間产生过量放电, 各种结构的电阻器中, 对所加电压也有一个極限值。这个極限值电压除依賴于电阻器本身的結構 (如电阻器长度) 外, 还与周圍大气压力有关, 大气压降低时, 其極限电压减小。

电压 U 和極限电压所依賴的因素不同, 并常常具有不同数值, 而極限工作电压 U_F 应由其中数值最小的一个确定。对于低阻值电阻器來說, 电压 U 常低于極限电压。因此, 其極限工作电压 $U_F = U$, 也就是說, U_F 由 P_H 确定, 对于高阻值 (例如 $R > 1$ 兆欧) 的电阻器, 由于 R 数值很大而使 U ($U = \sqrt{R P_H}$) 可能为很大数值, 因而 U 常接近 (而不是远离) 于極限电压, 而 U_F 应受到極限电压的限制。

为了使电阻器可靠地工作于脉冲负荷下，在电阻器上所耗散的平均功率应小于额定功率（例如：对于BC电阻为小于1倍，对MLT电阻应小于9倍）。尽管在这种情况下脉冲功率可以大大地超过额定功率，但脉冲电压的幅度（以试验电压为限）只可能大于极限工作电压几倍，例如，BC电阻和MLT电阻容许的脉冲功率大于额定功率1,000倍，但脉冲电压幅度仅大于连续工作的极限电压的0.7—2.4倍。

基于上述原因，在电阻器的规格中同时地列出额定功率极限工作电压以及试验电压。

3. 电阻与频率的关系：当电阻器使用在频率较高的电路中时，必须考虑到其固有电容和固有电感，集肤效应，以及其保护层和骨架的介质高频损耗等所引入的影响。在这种情况下，电阻器不能简单地由其标称阻值表征，而表现为一个具有附加损耗的回路系统。

一个额定阻值为 R 的电阻器在高频时的等效电路可粗略地表示为图(9—102)。

图中 L 为电阻体的分布电感的等效值（可以由集中参数表示）。 L_s 表示引线电感及 L_s 的大小决定于电阻本身结构及引线的结构。



图9—101

C 为电阻的固有电容（没有考虑对地的电容）的等效值（以集中参数表示）， C_0 为引出端之间的电容，其大小也决定于电阻及其引出端的结构。

大家知道，集肤效应将引起的电阻导流体阻值的增大，图中以 r_B 表示其绝对增大的部分， r_B 的大小与电流的透入深度成反比关系，而透入深度又随频率的增高而减小。薄膜型中电流分布可认为不受集肤效应的影响， r_B 接近于零。合成型（实心型）和绕线电阻导流体为实心导体，当频率较高时其阻值强烈地受集肤效应的影响，对绕线电阻还受邻近效应的影响。

图中的 R_m 表示保护层骨架介质绝缘电阻和高频损耗所引入的分路电阻，在一般情况下，这个电阻相当大，只有当电阻额定值相当大时才须考虑其影响。当工作于超高频频段时，额定阻值虽小，但绝缘材料中的损耗可能使分路电阻 R_m 大大减小，为此在这种情况下采用高频损耗特别小的陶瓷作为电阻基体，并且不用保护层。

这样一个包括很多元件的复杂电路，在分析时十分困难。在大多数情况下，实际上某些寄生参量的影响可以忽略。

对于一般用于短波以下的电阻，其中的分布电感 L 和分布电容 C 相当大，引线电感和引出端间电容与此相比可以忽略。由于阻值和使用频率不太高，实际上， R_m 很大， r_B 很小（实心电阻例外），也可以忽略，等效电阻可简化为图9—103所示。

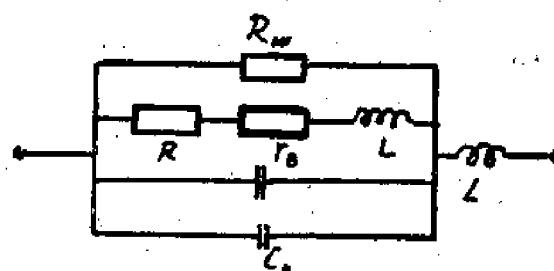


圖 9-102

对于角频率为 ω 的交流电流所呈现的阻抗为：

$$Z = R \frac{1 + j\omega \left(\frac{L}{R} - CR - \frac{L}{R} \omega^2 LC \right)}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 R^2}$$

此电路具有谐振特性，其谐振频率为 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 。在这种情况下，显然工作在远小于谐振频率范围之内，一般为工作频率 $f_p < \frac{1}{10} \frac{\omega_0}{2\pi}$ 即得：

$$\omega^2 LC < 0.01$$

此时：

$$Z \approx R \left[1 + j\omega \left(\frac{L}{R} - CR \right) \right] = R(1 + j\omega\tau)$$

式中 $\tau = \frac{L}{R} - CR$ 称谓时间常数(秒)，用它来估计L及C对电阻的影响最为方便。

从式可见， τ 可以为零，此时 $R = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ，似乎在这种情况下Z与频率无关，但实际上是不存在的，因为L本身就与f有关。

当 $\tau = \frac{L}{R} - CR < 0$ 时，阻抗Z呈容性，此时 $R > \sqrt{\frac{L}{C}}$ ，符合于此条件的电阻列入高阻电阻。（对于圆柱体电阻此值约为300欧，对于螺旋刻槽电阻约为3,000欧，对于绕线电阻几乎全部的额定值都不能满足）。

研究结果表明，在这种情况下（低于几百兆赫）的等效电路可简化如图9-104所示，其中 C_f 表示随频率而变的有效分路电容。

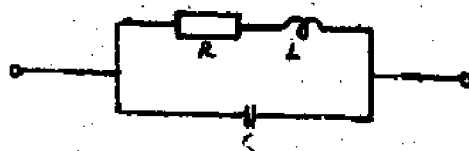


圖 9-103

分析結果表明，如果 $f \leq \frac{0.1}{CR}$ 时，該电路的等效电路与频率無關，并等于总分布电

容 C 的 $\frac{1}{6}$ ，同时，有效电阻 R_0 也与频率無關而等于直流时的电阻 R 。

当 $f > \frac{0.1}{CR}$ 时， R_0 和 C_f 随频率的增高而降低。其中有效电阻与频率的关系可用通用曲线(圖9—105)表之。

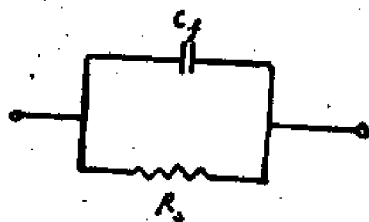


圖9—104

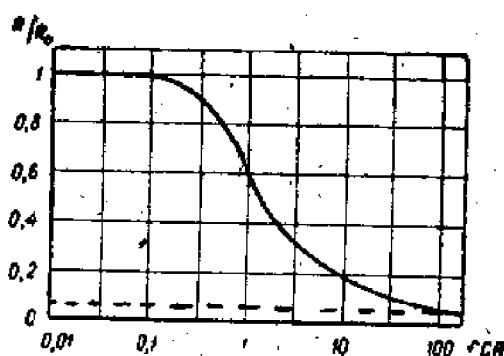


圖9—105 高阻值电阻有效电阻与频率关系的通用曲线(根据胡威的数据)

为了求得电阻值与频率無關的频率，需要知道 C ， C 值可用 Q 表用失調方法測得总电容 C_x 后减去 C_0 来获得， C_0 可用無导流層的电阻器測得。

当 $\tau = \frac{L}{R} - CR > 0$ 时，阻抗呈感性，此时 $R < \sqrt{\frac{L}{C}}$ 电阻的等效电路可简化如圖

9—106所示。 L 和 R 都不依赖于频率，但阻抗将随频率的升高而升高。在实际中，当 $\omega L = 0.1R$ 时，可不考虑频率的影响。对于無刻槽电阻器(一般低阻值时都無刻槽)，当电阻长度为 l (厘米) 时，可用下式近似地确定 R 与频率無關的范围。

$$f < 5 \frac{R}{l}$$

由此可見，当 R 值值給定时， l 愈小則可使用的频率范围愈寬。

例題：已知碳膜电阻BC—1 长度 $l = 2.6$ 厘米，額定阻值为200欧，求其極限工作频率；当額定阻值为一兆欧时，用 Q 表測得其总电容 $C_x = 1.2$ 微法，引出端無导流膜时的电容 $C_0 = 0.2$ 微法，求其極限工作频率及使用在频率为1兆赫时的有效电阻 R_0 。

$$R = 200 \text{ 欧时, } f = 5 \frac{R}{l} = 5 \times \frac{200}{2.6} = 388 \text{ 兆赫。}$$

$R = 100$ 兆欧时

$$f = \frac{1}{CR} = \frac{0.1}{1 \times 10^{-12} \times 10 \times 10^{12}} = 0.01 \text{兆赫。}$$

当 $f = 1$ 兆时

$$fCR = 1 \times 10 \times 1 = 10$$

$$\frac{R_p}{R_0} = 0.2 \quad \therefore R_p = 0.2 \times 10 M\Omega = 2 M\Omega$$

4. 稳定性: 在无线电设备中 (特别在测量仪器中) 的电阻器, 一般应具有很高的稳定性, 电阻的稳定性与温度、湿度、电压、时间等因素有关。

温度的变化, 常引起阻值的可逆变化, 这种变化一般由电阻导流体的材料及其结构所产生的, 在阻值很高时 (特别在高温时, 这种变化也取决于绝缘基体, 粘合介质或保护层电导率与温度的关系。

电阻器的温度稳定性由电阻温度系数TKR表征, TKR的定义为:

$$TKR = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \text{ [度}^{-1}\text{]}$$

但是电阻值对温度的关系, 只有对金属及其合金是线性的, 对于非线绕电阻器的材料, 具有非线性关系。在这种情况下, 对于不同温度, TKR并不是常数。在制造厂所给出的数据中, 一般为20°C和70°C时测得的平均数值。

某些最常用的材料和非线绕电阻的TKR列于表9—3。

高的温度, 常引起电阻值的不可逆变化。一般来说如果电阻器使用于制造厂所规定的温度范围内, 这种变化是不大的。

制造厂所生产的固定电阻和可变电阻的阻值对温度的变化 (在-60—60°C范围内) 是很敏感的。某些电阻耐热系数可能达到20%。为此, 在选用时应给予充分的注意。

对无保护层的合成电阻器防潮系数可达到10—15%, 对于质量较高的炭膜和金属膜的涂釉电阻则不超过2—5%。

表 9—3 某些材料和各种非线绕电阻的TKR

电阻或材料的类型	TKR × 10 ⁴	电阻或材料的类型	TKR × 10 ⁴
金属	40—62	BC 电阻	由-2 到 -20
锰铜	0.1—0.3	МЛТ 电阻	±10
康铜	-0.5—2.5	ТОКЛМ 电阻	±20
镍铁合金	10	БЛП 电阻	-1
镍铬合金	1.2—4	МЛП 电阻	±1
多晶石墨	-10		

潮气可以加速电阻金属导流部分的腐蚀, 薄膜型电阻受潮后, 防护层将变形, 引起

导流层从基体上分裂或脱离，水份进入导流层的微小孔隙后，将使导流层膨胀而增加导电粒子间的距离，所有这些都使电阻值增加，而对于高阻电阻来说，表面上凝聚的水份将形成一个分路，使阻值降低，为了防止潮气影响尽可能采用防潮涂复和密封。对于温度的稳定性取决于所采用的防潮措施，制造厂按结构的防潮程度规定各种类型电阻器的允许工作湿度极限。

衡量电阻器对潮湿稳定性的准则是防潮系数，此系数表示电阻器在相对湿度较高的环境下放置一定时间后阻值的相对变化。如果在正常条件下的阻值为 R_1 ，受潮后为 R_y ，则防潮系数 K_y 为：

$$K_y = \frac{R_y - R_1}{R_1} \cdot 100\%$$

试验的状态（湿度和时间）根据型号和用途选择，在24—400小时以及相对湿度为85—98%之内。

对无保护层的合成电阻防潮系数可达10—15%，对于质量较高的炭膜和金属膜的涂釉电阻则不超过2—5%。

如果电阻导流部分所通过的电流不引起大量发热而使电阻器阻值随温度而变化的话，那么，以金属为导体的电阻器的阻值与外加电压无关。

以非金属导体的电阻器，由于非金属导体有粒状结构，而颗粒之间相互接触的地方所形成的接触区的过渡电阻与外加电压有关。因而这种电阻器的阻值随外加电压而变。此时，电阻器的伏安特性由某一电压值开始为一曲线，阻值随电压的升高而降低，在这一电压范围内的电阻称非线性电阻，如图9—107曲线所示。

非线性的程度由电压系数表征，所谓电压系数 K_H 即电压改变时阻值的相对变化：

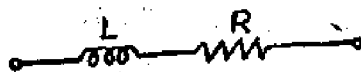


图9—106

$$K_H = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \cdot 100\%$$

其中 R_2 和 R_1 ——分别为 U_2 和 U_1 时的阻值，而且 $U_2 > U_1$ ，因为 $R_2 < R_1$ ，所以 K_H 为负值。

实际上， K_H 值是在 U_2 等于最大工作电压以及 $U_1 = 0.1U_2$ 的条件下测定的。

K_H 值可由电阻的伏安特性曲线（图9—107）来确定。

$$K_H = \frac{U \operatorname{tg} \varphi}{I} - 1$$

φ ——在线性区域内伏安特性的倾斜角，当电压很低时 $I = U \operatorname{tg} \varphi$ ，因而 $K_H = 0$ 。

非线性电阻器在存放和负荷的过程中，由于电阻器的导电材料，粘合剂或接触元件逐渐产生不可逆的物理变化和化学变化，其阻值也随时间而变化，这种变化通常称为老化。

电阻器的老化决定于许多因素，不仅与电阻器本身的结构及阻值有关，同时与电阻器所处的条件有关。

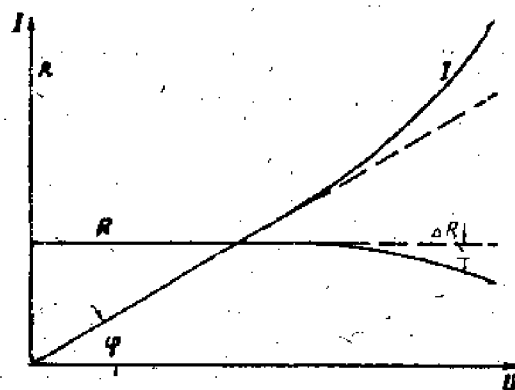


图9—107 电流及阻值与电压的关系曲线

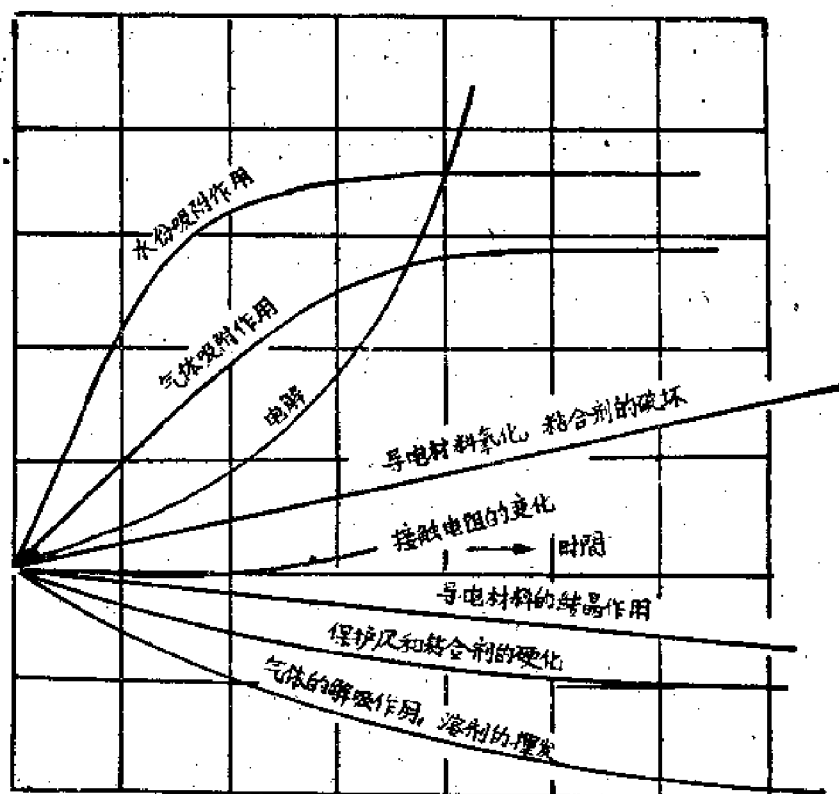


图9—108 非线绕电阻的老化过程的组成要素

图9—108表示能引起非线绕电阻器老化过程的各种组成要素、阻值变化的总和以及随时间变化的过程是由这些组成要素所确定的。

线绕电阻对时间很稳定，在一般要求不高的情况下可以不考虑。

在存放情况下，电阻器对时间的稳定性用“存放系数”表示。如果在正常条件下，阻值为 R_1 的电阻器在温度为 $+10^{\circ}\text{C}$ 到 $+35^{\circ}\text{C}$ 及相对湿度50—80%条件下保存6个月后的

电阻值为 R_x ，则存放系数 K_x 应为：

$$K_x = \frac{R_x - R_1}{R_1} 100\%$$

在非室内存放条件下（即野外条件），电阻器的 K_x 值可达百分之几。

在负荷作用下，电阻器对时间的稳定性用老化系数表示。老化系数为在额定功率（或极限工作电压）下长期负荷几千小时，试验时用150%的额定功率（不超过极限电压时）负荷100小时，老化系数 K_0 可由下列公式来计算：

$$K_0 = \frac{R_0 - R_1}{R_1} 100\%$$

考虑到电阻器在使用时由于过负荷产生的局部破坏所引起的阻值不可逆变化，也必须以负荷系数来表示电阻器阻值对时间的稳定性，一般负荷系数用相当于额定功率200%（但不超过试验电压）的负荷进行试验。

质量优良的非线绕电阻器的老化系数不超过2—5%。

5. 固有噪声：

在所有导体中，由于电子不规则的热运动而产生了热噪音电动势，其频谱是连续的，而且频谱的各分量具有相等强度。

在通频带 $f_2 - f_1$ 内，阻值 R 的电阻器上所产生的热噪音电压 U_T （均方根值）可按下式算得：

$$U_T = \sqrt{4KTR(f_2 - f_1)} \text{ (伏)}$$

其中： K ——波尔兹曼常数，等于 1.37×10^{-16} 尔格/度。

T ——绝对温度 $^{\circ}K$ 。

式中可见，热噪音电压 U_T 与材料和导体的形状无关，而仅仅与温度和阻值有关。

由上式计算可知，在正常条件（ $T=300^{\circ}K$ ）下，五千赫频带（广播的典型频带）内，阻值为1兆欧的电阻的 U_T 等于10微伏。这个数值已大大超过了好的电子管输入端的固有噪音电平。在有效讯号很小的情况下，为了减小电阻的热噪音，必须使输入端电阻很小，但却同时损失了设备的灵敏度。

热噪音与导体中通过的电流无关，而是一种无法消除的物理现象。

在颗粒状结构的导体中，除了热噪音外，当电流通过时，还会出现所谓“电流”噪音，这是由于导体微粒的非正常振动使微粒间的接触面积发生变化，而引起接触电阻值的起伏变化，通过电阻的电流受到阻值起伏变化的调制而出现起伏变化的电压。

研究结果表明，在导体结构均匀的情况下，电阻器的电流噪音电动势 e_R 可由下式来计算。

$$e_R = C_2 U^a \left(\frac{D}{l} \right) \alpha \sqrt{\frac{R}{r_K} \lg \frac{f_2}{f_1}}$$

式中： C_2 ——与电阻器导流体材料有关的系数。

U ——外加电压。

α ——系数，约等于0.8—0.9。

D ——电阻器基体的直径。

l ——电阻器导流体的长度。

r_k ——导体微粒間的接触电阻。

f_2 及 f_1 ——通頻帶的界限。

从此式可以看出，电流噪音与导体材料和电阻器的结构有关。除正确地选择导电材料外，还可以用加长导流元件，减小导体微粒尺寸和提高导体微粒电阻的方法来减小噪音。

此外，从式中可见，由于 α 接近1，因而 e_R 几乎与外加直流电压成正比。电流噪音具有連續頻譜，如通帶 f_2-f_1 不变， f_2/f_1 比值仍随频率的增高而减小，但是却使 e_R 的幅度随频率的升高而减少。

除此以外，金属附件（如引出端或可变电阻器的可动接触件）与导流体之间的接触电阻也会产生接触噪音电压，即使在接触点电阻較小的情况下也是相当可观的。

当温度降低时，接触噪音电平也随着降低，但降的程度比热噪音小。

綫繞电阻器的噪音电平比非綫繞电阻器小得多，而且主要是內热效应所引起的。

技术上，噪音电平用比值 $\frac{e_R}{U}$ 来表征的（不包括热噪音，因它与电阻器本身无关），

并采用单位（微伏/伏）。因为 α 小于1，所以比值 $\frac{e_R}{U}$ 仅是一个相对于U值给定情况下的参考标准。

对于質量較好的电阻器（金属膜电阻器，碳膜电阻器）来说，在50—10,000赫带內的 $\frac{e_R}{U}$ 比值，当 $R=1$ 兆欧时为0.2—0.5微伏/伏。在这种情况下，当外加电压为20—40伏时，电流噪音就达到热噪音电平。对于無螺旋槽的合成电阻（TO，TOM型）来说，其噪音电平比其他电阻高一个数量级。电流噪音电压仅有几伏时就已超过上述数值。

噪音的存在将对有用信号产生干扰，降低设备对弱信号的工作能力。

§ 9-2 綫繞电阻器

綫繞电阻器有最高的参量稳定性，可以制成大的耗散功率，高的額定值精确度和小的噪音电平。它的主要缺点是当电阻值大时有大的体积，大的固有电感和固有电容（这将限制它的应用频段）以及价格昂贵。

因此綫繞电阻器应用于要求有高的精确度和稳定性的测量仪器中和要求有大耗散功率的电路中。

I. 綫繞固定电阻器：

按照电阻器的结构可分成：

1. 单層裸露式。
2. 单層封閉式。
3. 多層的。
4. 特殊高频的。

1. 单層裸露式綫繞电阻器：

一般纏繞在陶瓷骨架上，在骨架两端具有黄銅夹紧装置，作为电阻器的引出端，电

阻絲纏繞后，將兩個端頭熔接到引出端上（圖9—201）。

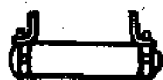


圖9—201

可用表面進行氧化處理的裸導線進行密繞或間繞。導線的直徑根據允許電流密度（達10安/毫米²）選擇，此時相鄰繞匝間的电位差不超過2—5伏（按氧化層的絕緣強度）。可以用來作為電阻絲的高阻合金的基本特性列于表9—4中。

對於繞制固定電阻器錳銅鎳合金、康銅及鎳鉻合金的導線得到了最廣泛的應用。對於特別穩定的電阻器採用預先經受人工老化（加熱到120—150°C，在此溫度下持續30—40小時，而後在室溫下補充持續）的錳銅鎳導線。

錳銅鎳合金、鎳鉻合金和康銅的繞制導線的数据列于表9—5及9—6中。

有時也可採用漆包線或絲包線來繞制，但耐熱性要壞得多，一般允許電流密度為4安/毫米²。

單層線繞電阻器的計算進行如下：

（1）導線直徑：

$$d = \sqrt{\frac{1.27 I}{j}} \text{ 毫米} \quad (9-201)$$

對於氧化導線的電流密度 $j = 10$ 安/毫米²。

對於帶絕緣導線 $j = 4$ 安/毫米²。

（2）導線長度：

$$L = \frac{Rd^2}{\rho} \cdot 0.785 = \frac{R}{R_1} \text{ 米} \quad (9-202)$$

其中：R——給定的電阻值，

ρ ——材料的比電阻（歐·毫米²/米）。

R_1 ——給定直徑導線一米長的電阻值。

（3）繞制匝數：

$$n = \frac{L \cdot 10^3}{\pi D} \quad (9-203)$$

D——骨架直徑（毫米）。

某些高阻合金的基本特性

表 9-4

合金	化 学 成 分 (%)	比电阻当 20°C时 ($\frac{\text{欧} \cdot \text{毫米}^2}{\text{米}}$)	电阻温度系数 (1/°C)	对于铜的 热电动势 (微伏/°C)	允许的 发热温度 (°C)	抗力极限 (千克/毫米 ²)	相对伸长 (%)
康铜	Cu54±67; Ni39±45; Mn1±3	0.48—0.52	-0.000003	-30÷40	400	40÷50	15÷35
铭铜镍合金	Cu82±86; Mn11±15; Ni2±4; Fe; Ae	0.42—0.48	+0.00004	0	300	50÷65	25
银铭合金	Ni55±80; Cr14±20; Fe14±18; Mn1±2	1.08±1.12	-0.00013	—	1100	70÷75	30
铂银合金	Pt93±95; Ni5±7	0.11—0.50	+0.00022÷0.00071	-0.5÷5	—	—	—
铂铜合金	Pt90±98; Cu2±9.5	0.15±0.57	+0.00020÷0.00183	-0.5÷5	—	—	—
钯银合金	Pd30±60; Ag53±70	0.14±0.16	+0.00032÷0.00041	-1.2÷1.4	—	—	—
金银合金	Au89±95; Ni4±10	0.084±0.5	+0.00023÷0.00094	-3÷5	—	—	—
铂铱PtIr10	Pt90±0.4; Ir10±0.6	0.23	-0.00133	—	—	32.2	26
铂铱PtIr25	Pt75±0.5; Ir25±1	0.316	-0.00095	—	—	36	21

表 9 — 5

錳鋁銅合金和鎳鉻合金電阻絲的數據

錳 鋁 銅 合 金 絲					鎳 鉻 合 金 絲			
額定直徑 (毫米)	電 阻 (歐/米)	最大外直徑 (毫米)			額定直徑 (毫米)	電 阻 (歐/米)	額定直徑 (毫米)	電 阻 (歐/米)
		ПЭШОМТ	ПШДМТ	МНТ				
0.03	606	0.09	—	0.03	0.03	1530	1.0	1.30
0.05	220	0.135	—	0.05	0.05	551	1.1	1.14
0.06	152	0.145	—	—	0.07	281	1.2	0.95
0.07	112	0.155	—	—	0.08	215	1.3	0.91
0.08	81.9	0.165	—	—	0.10	168	1.4	0.70
0.10	54.8	0.21	0.25	0.10	0.15	61.2	1.5	0.51
0.12	38.9	0.23	—	—	0.20	34.4	1.6	0.54
0.15	24.3	0.26	0.30	—	0.25	22.0	1.7	0.47
0.18	16.9	0.29	—	—	0.30	15.3	1.8	0.42
0.20	13.7	0.31	—	0.2	0.35	11.2	1.9	0.38
0.25	8.93	0.38	0.40	—	0.40	8.58	2.0	0.34
0.30	6.22	0.43	0.46	—	0.45	6.78	2.25	0.27
0.40	3.50	0.54	—	0.4	0.50	5.51	2.50	0.22
0.50	2.24	0.63	0.67	0.5	0.60	3.82	2.75	0.18
0.60	1.52	0.76	—	—	0.70	2.81	3.0	0.15
0.80	0.851	0.97	—	—	0.80	2.13	—	—
1.00	0.548	1.19	—	—	0.90	1.70	—	—

ПЭШОМТ——單絲漆包硬錳鋁銅合金線。

ПШДМТ——雙絲包硬錳鋁銅合金線。

МНТ——錳鋁銅硬裸線。

注1. 錳鋁銅合金在0到100°C溫度範圍內之溫度系數...

對於A類電阻絲.....由 3×10^{-5} 到 4×10^{-5} 歐/1°C

對於B類電阻絲..... 6×10^{-5} 歐/1°C

注2. 在2.0°C下長為1米截面積為1平方毫米電阻絲的電阻應在0.43—0.5歐之間。

表 9 - 6

康銅电阻綫之数据

額定直徑 (毫米)	电 阻 (欧/米)	最 大 外 直 徑 (毫米)				
		ПК	ПЭК	ППДК	ЛЭШОК	ПШОК
0.03	6.930	0.03	—	—	—	0.08
0.05	248.0	0.05	0.075	0.17	0.135	—
0.06	163.0	0.06	—	0.18	0.145	—
0.07	127.0	0.07	0.095	0.19	0.155	—
0.08	95.0	0.08	0.105	0.20	0.165	—
0.09	73.2	—	—	—	0.175	—
0.10	61.8	0.10	0.140	0.23	0.20	—
0.12	41.1	0.12	0.160	0.25	0.22	—
0.14	30.4	0.14	—	—	—	—
0.15	26.82	0.15	0.190	0.28	0.25	—
0.16	21.9	0.16	—	0.29	—	—
0.18	18.3	0.18	0.225	0.31	0.285	—
0.20	14.5	0.20	0.245	0.35	0.315	—
0.22	12.2	0.22	—	0.37	—	—
0.25	9.47	0.25	0.310	0.40	0.38	—
0.28	7.55	0.28	—	—	—	—
0.30	6.578	0.30	0.360	0.45	0.43	—
0.35	4.83	0.35	0.420	—	0.46	—
0.40	3.70	0.40	0.470	0.54	0.54	—
0.45	2.905	0.45	0.530	—	0.60	—
0.50	2.380	0.50	0.580	0.64	0.65	—
0.60	1.645	0.60	0.690	—	0.76	—
0.65	1.390	0.65	—	—	—	—
0.70	1.210	—	0.80	—	0.87	—
0.75	1.100	0.75	—	—	—	—
0.80	0.9251	0.80	0.90	0.94	0.97	—
1.0	0.5921	1.00	0.12	—	1.19	—
1.2	0.411	1.20	—	—	—	—
1.3	0.301	1.30	—	—	—	—
1.5	0.268	1.50	—	—	—	—
1.8	0.183	1.80	—	—	—	—
2.25	0.123	2.25	—	—	—	—
2.5	0.095	2.50	—	—	—	—
3.0	0.066	3.00	—	—	—	—

ПК——康銅綫

ПЭК——漆包康銅綫

ППДК——双綫包康銅綫

ПЭШОК——单絲漆包康銅綫

ПШОК——单絲包康銅綫

注1: 在20°C下长为1米截面积为1平方毫米康銅电阻綫的电阻应在0.44到0.49欧之間

注2: 溫度系数每1°C应介于 10×10^{-5} 到 30×10^{-5} 之間

注3: 最高工作溫度达500°C

注4: ПЭК 导綫两种絞合样品的平均击穿电压应为

直徑0.1毫米以下……不小于250伏(有效值)

直徑由0.12到0.3毫米……不小于350伏(有效值)

直徑0.35毫米以上……不小于450伏(有效值)

(4) 繞組长度:

$$l = n d_0 K + d_0 \quad (9-204)$$

其中: d_0 ——带絕緣导綫的直徑。

K ——稀疏度系数。

(5) 冷却的檢驗:

$$\pi(D+d)l \times 10^3 = SW \quad (9-205)$$

S ——比耗散功率, 对于氧化物 $S = 10-12$ 厘米²/瓦。对于带絕緣导綫 $S = 20-25$ 厘米²/瓦。

W ——电阻器的額定功率。

裸露式綫繞电阻器的主要缺点是电阻絲受周圍介質的化学作用将使电阻值随時間而增加(主要是加热时受氧化)。但工艺上較簡單, 这种电阻器只使用在正常条件下和稳定性要求不高的設備中。

2. 单層封閉式綫繞电阻器:

将单層裸露式电阻涂以保护層即成封閉式。这种保护層用来防止外界因素的影响(即防潮, 防止氧化, 以及防止机构上的损伤等), 也用来固定繞匝, 避免發生短接。保护層最常采用釉層, 但近来已开始采用硅有机涂复来代替更为耐久。

在我国这种电阻器主要按苏联的标准生产, 其中最常用的为ПЭ型和ПЭВ型两种, 外形如图9-202所示。

ПЭ型电阻的引出端做成軟多股絞合綫的形式。ПЭВ型电阻采用黄銅片的引出端。

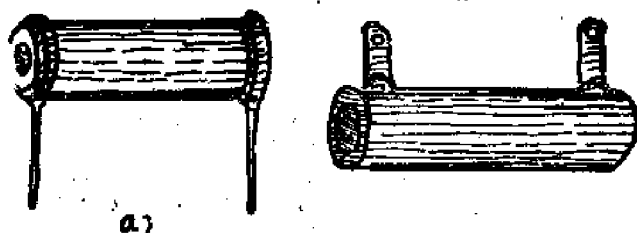


图9-202 固定涂釉綫繞电阻器 a) ——ПЭ б) ——ПЭВ

Π9B-X属于可变电阻，它具有可移动的接触卡箍和除去釉层的部分（圖9—203），但其电气性能与Π9B完全相同。

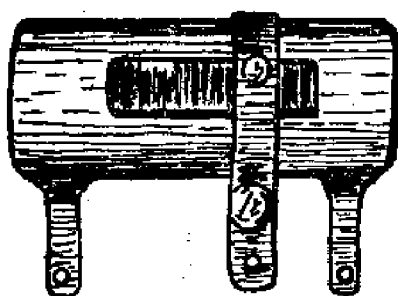


圖9—203可調節的除釉繞線電阻器 Π9B-X型

所有这些电阻都按 I、II 級精确度生产。

周围介质的極限工作温度：对Π9型为 -60°C 到 $+70^{\circ}\text{C}$ 。而对Π9B和Π9B-X为 -60 到 $+100^{\circ}\text{C}$ ，当温度超过 $+40^{\circ}\text{C}$ 时，每升高一度实际負荷功率必須降低額定功率的0.32%。当大气压力为40毫米水銀柱的条件下工作时，必須降低功率不小于20%。

Π9型电阻允許在相对湿度不超过80%的条件下使用，Π9B和Π9B-X型电阻 的主要数据列如表9—7。

这种电阻器經常使用在無線电設備的供电电路中。

我国华北無線电器材厂按德国标准生产的这种繞線电阻器与上述种类相比特点为：体积小、耐热，并能在各种恶劣的环境下使用，在額定負載下，电阻表面温度不超过 400°C 。其詳細規格可参考該厂的产品說明。

以上所述各型号的电阻器都具有深褐色或青色的外表，着以的颜色有助于輻射散热。为此，某些工厂生产的类似电阻器具有黑色粗糙不反光的表面。

最近，苏联制成了精密的ΠKB型繞線固定电阻器和可調節的ΠIKB型电阻器（类似于Π9B-X型）其額定功率为1—5瓦。不降低功率时能工作于周围介质温度达 $100-125^{\circ}\text{C}$ 的条件下，而降低功率时可达 250°C 。这些电阻器均采用硅有机物的涂复层（有助于耐热性）。

3. 多層繞線电阻器：

当采用多層繞法时，分布电容增加，散热条件和抗电强度都变坏，但可用較小的尺寸实现較高的阻值及高的精确度，宜用作小功率的精密电阻器。

带絕緣的（絲包的或漆包的）电阻絲纏繞在附有引出端的塑料骨架或陶瓷骨架上。一般采用分層繞法或万用繞法，有时为了得到較小的电感量采用双繞繞法（当频率为20—30千赫时），为了提高抗电强度和减小固有电容采用分段繞法。

工業生产的ΠT型电阻器是这种結構形式的一种，如圖9—204所示。按額定功率有ΠT—0.5（0.5瓦）、ΠT—1（1瓦）和ΠT—2（2瓦）三种，各种的阻值范围和尺寸列于表9—8中。

表 9-7

ПЭ, ПЭВ и ПЭВ-Х电阻的主要数据

型 号	額定 功率 瓦	有效額定阻值范围	管的尺寸 (毫米)			重量 (不大于) 克
			外徑 (不大于)	內徑 (不小于)	长度 (不大于)	
ПЭ-7.5	7.5	5欧—5千欧	12	3.5	41.5	12
ПЭ-15(Тип I)	15	5欧—5千欧	16	5.5	51.5	16
ПЭ-20(Тип II)	20	2.5欧—5千欧	20	9.5	51.5	60
ПЭ-25(Тип III)	25	5欧—5.6千欧	25	12.4	51.5	40
ПЭ-50(Тип IV)	50	1欧—15千欧	25	12.4	92.0	60
ПЭ-75(Тип V)	75	1欧—30千欧	25	12.4	16.4	110
ПЭ-150(Тип VI)	150	0.9欧—50千欧	32	17.0	21.9	300
ПЭВ-2.5	2.5	48欧—430欧	14.5	3.5	27.5	14
ПЭВ-7.5	7.5	5欧—3.3千欧	1	3.0	37.5	23
ПЭВ-10	10	5欧—10千欧	16	5.0	42.5	27
ПЭВ-15	15	5欧—15千欧	19	7.5	46.5	36
ПЭВ-20	20	10欧—20千欧	19	7.5	53.0	44
ПЭВ-25	25	10欧—24千欧	23.5	11.4	53.0	67
ПЭВ-30	30	10欧—30千欧	23.5	11.4	73.2	80
ПЭВ-40	40	20欧—51千欧	23.5	11.4	69.2	93
ПЭВ-50	50	20欧—51千欧	32	18.9	93.4	132
ПЭВ-75	75	51欧—51千欧	32	18.9	143.2	253
ПЭВ-100	100	51欧—56千欧	32	18.9	173.5	286
ПЭВ-100X	10	5欧—200欧	16	5.0	42.5	34
ПЭВ-15X	15	20欧—220欧	19	7.5	46.5	42
ПЭВ-20X	20	20欧—430欧	19	7.5	53.0	52
ПЭВ-25X	25	10欧—510欧	23.5	11.4	53.0	67
ПЭВ-30X	30	20欧—1千欧	23.5	11.4	73.2	90
ПЭВ-50X	50	24欧—5.5千欧	32	18.9	93.4	144
ПЭВ-100X	100	51欧—2.7千欧	32	18.9	173.5	296

表 9-8

ПТ型电阻的阻值范围和尺寸

型 号	阻 值 范 围	尺 寸 (毫米)			
		长度 L	高度 H	外徑 D	骨架直徑 D
ПТ-0.5	1—150,000欧	18	23	16	3.6
ПТ-1	1—530,000欧	26	24	18	3.6
	0.02—1兆欧	28	25	20	3.6
ПТ-2	20—1000千欧	32	34	28	6

使用条件为：环境温度自 -60 至 $+70^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度达98%，大气压力达41毫米水银柱，振动达加速度为6g。

工作电压达400伏，电阻温度系数不大于 $25 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，阻值的误差 $\pm 1\%$ 。

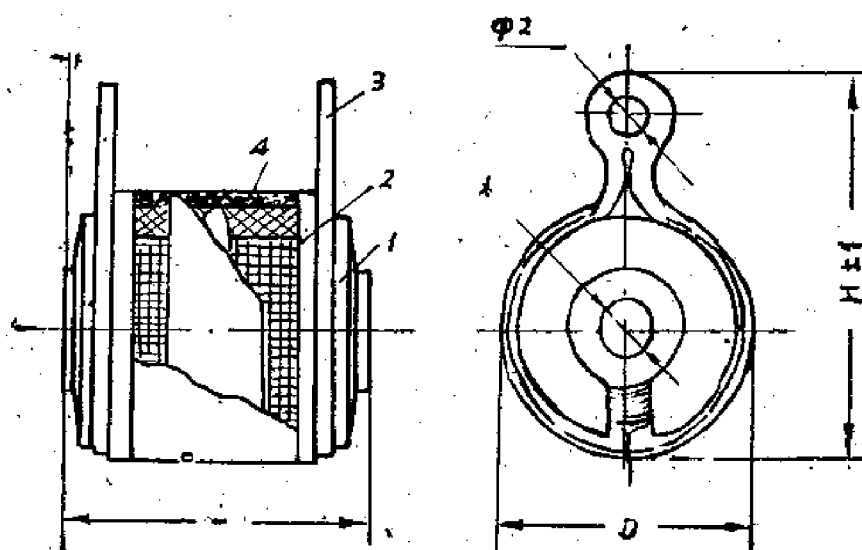


圖9—204 DT型精密繞線電阻器

1. 陶瓷骨架 2. 電阻繞線組 3. 引出端 4. 外繞線保護層。

多層繞線電阻的計算可進行如下：

(1) 導線直徑：

$$d = \sqrt{\frac{1.27 I_0}{j}} \text{ 毫米} \quad (9-206)$$

其中 $j = 2 - 4$ 安/毫米²。

(2) 導線長度

$$L = 0.785 \frac{R d^2}{\rho} = \frac{R}{R_1} \text{ 米} \quad (9-207)$$

(3) 平均繞匝長度：

$$l_{cp} = \frac{\pi(D_0 + 0.5t)}{100} \text{ 米} \quad (9-208)$$

其中： D_0 ——骨架的外徑。

t ——繞制深度。

(4) 匝數：

$$n = \frac{L}{l_{cp}} \quad (9-209)$$

(5) 繞組在芯子內分布的檢驗：

在一層內的匝數

$$n_1 = \frac{l}{d_0}$$

其中: l ——繞組長度。

$$\text{層數} \quad m = \frac{n}{n_1} \quad (9-210)$$

繞制深度

$$t' = md_0 \quad (9-211)$$

如果繞制深度 t' 大大地小于 t 則應增加導線直徑。如果 t' 大于 t 則應選用具有大芯子的其它骨架。

(6) 冷却的檢驗:

$$\pi(D_0 + t)l \leq SW \quad (9-212)$$

其中: $S = 20-25 \text{ 厘米}^2/\text{瓦}$

多層電阻器在繞綫机上繞制。为了提高耐潮性, 在繞制后用浸漬材料來浸漬。

4. 高頻綫繞電阻器:

前面已經述及一般的綫繞電阻器只能應用在工業頻率以及很有限的音頻範圍內, 當頻率接近20千赫時, 就需要用雙綫繞法, 而當採用特殊繞法時, 可使綫繞電阻在數百千赫的範圍內只具有很小的電抗分量。

為了在較高的頻率下具有較好的質量, 通常必須同時減小其固有電感和固有電容, 雙綫繞法可使電感減小, 但固有電容仍可能相當大, 採用直徑尽可能小的骨架以及應用高比阻(鎳鉻合金)的細電阻絲也有助於電感的減小, 分段繞法或單綫繞法以及採用介電系數小的材料作骨架有助於減小分布電容, 而單綫繞法和雙綫繞法同時採用, 再正確選擇兩種繞法的匝數比, 可使電阻在頻率达100千赫時仍有相當好的質量。

為了同樣目的, 可採用圖9-205所示的幾種電阻器的繞制型式。

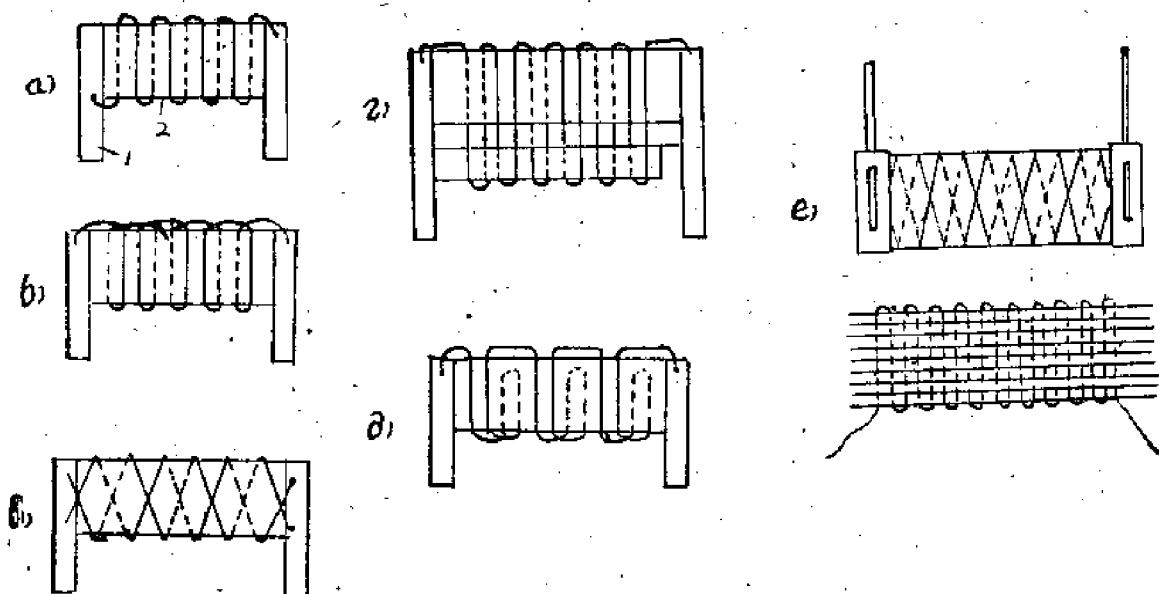


圖9-205 高頻綫繞電阻的繞組類型

1——引出端 2——云母片作成的骨架

- a) 簡單繞法 b) 鉸鏈法繞法 B) 由兩個互相反繞繞組并聯組成的并聯繞法
r) “8”字形繞法 K) 串聯雙綫無感繞法 e) 在棉紗帶徑綫上編織成的

其中的 a) b) n) r) 适应于低欧电阻，而 x) 和 g) 适应于较高欧电阻，这种绕法的电阻可用于 1—1.5 兆赫以下的频率。

用于更高频率（10 兆赫以下）的电阻是由布置在金属薄片上很细的导线来制成的，由于金属片的去磁作用，导线的电感可以降低。

制造高频电阻的高阻合金丝的直径尽可能选得小一些，以便减弱趋肤效应和邻近效应的影响，表 9—9 中列出了当各种高欧合金线的高频电阻 R_1 高于该导线直流电阻 R_0 1% 时的最大直径之值。

为了获得电阻值对频率的最高恒定性，应当选取直径尽可能小的导线。

高频绕线电阻的最实际的应用是作为测量相应频率的设备回路的等效负载电阻，

表 9—9 在 $\frac{R_1}{R_0} = 1.01$ 时导线直径之值（毫米）

频率（千赫）	100	200	40	600	1000	1400	2000	3000
锰镍合金	1.78	1.26	0.89	0.73	0.56	0.48	0.39	0.35
铜镍合金	1.89	1.39	0.95	0.77	0.50	0.51	0.42	0.35
镍 丝	1.94	1.37	0.97	0.79	0.64	0.52	0.43	0.35
镍铬合金	2.60	1.75	1.30	1.00	0.805	0.70	0.585	0.475

II. 绕线可变电阻器：

绕线可变电阻器应用于电子管电路和电机机械计算设备中，按结构绕线可变电阻可分成三类：

1. 具有接触系统的可变电阻器：在接触系统的各接点上接有固定电阻器，它具有高的计数准确度，用于测量技术中，可变电阻箱就是其中的一种应用。

2. 具有直线运动的活动接触件的可变电阻器：前述的 ПЭВ—X 型绕线电阻就是其中的一种型式，此外，这类电阻可用扁平型长骨架做成，还可具有裸露式的。这种电阻器常用来调整电子管的灯丝电流，管状结构的电阻器由于在设备中安装很方便而得到了最广泛的应用。

图 9—206 示出这种类型的微开式变阻器的一种结构形式，其额定功率为达 0.75 瓦，可工作于温度从 -60°C 到 $+70^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度达 98% 以及大气压力达 41 毫米水银柱的情况下。

当转动调节螺钉 11 时，带有滑动触点 5 的滑块 10 可以沿导杆 13 移动，为了改善滑板 10 与夹板 12 的接触，滑块具有专门的附加可动接触件 16，它也沿着与夹板 12 相连接的导杆 13 滑动。变阻器用带螺母 15 的螺栓 7 固定到设备的底板上，此时，为了使夹板 12 与底板 1 绝缘，可用两个介质套筒 6 和 14，在同一图上也示出底板 1 上定位孔 2 的分布。

3. 具有旋转运动的活动接触臂的可变电阻器：按阻值对接触臂转角的变化规律可

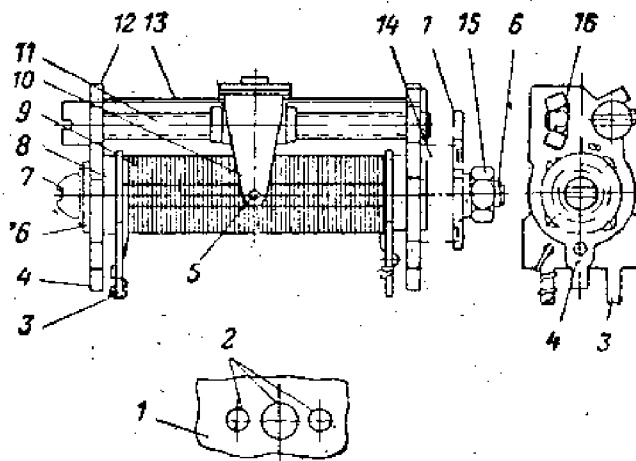


圖 9—206 綫繞電阻器

1. 底板 2. 孔 3, 4. 連接外部導線處 5. 滑動触点 6, 14. 分置套筒 7. 螺絲 8. 陶瓷骨架 9. 電阻絲 10. 滑塊 11. 螺釘 12. 夾板 13. 導杆 15. 螺母 16. 可動触点。

分为两类，即綫性的和函数式的。

这种可变电阻器的結構很多，現在我們来討論某些典型的例子：

苏联工業生产的III1型綫繞可变电阻器，其額定功率为1瓦，額定阻值有47、5.6、6.8、8.2、10、12、15、18、20、22及24欧等数种。可工作于温度由 -60°C 到 $+85^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度达98%，以及大气压力达15毫米水銀柱的情况下，耐磨性为5000次迴轉，保証的使用期限为1000小时，III1型电阻器的結構示于圖 9—207。

如圖所示，高阻合金絲8纏繞在塑料板片9上，板片9折弯成圓弧形并裝固在塑料的基座10上，沿着电阻絲具有可以滑动的小滑臂7，小滑臂固定在具有起子槽的軸13上，小滑臂的主部19具有与固定的引出端5相連接的滑动触点。小軸可以在嵌入塑料基座10內的軸承（黃銅套筒）18內轉動，用开口垫圈5对軸作軸向固定。整个电阻器用旋于套筒18上的螺母12固定在設備底板的圓孔1內，螺母12与底板2之間垫入用来制止轉動的彈性开口垫圈11。为了避免在震动和冲击的情况下小滑臂7的偶然位移，預先用螺母17对軸进行附加制轉，其中的螺母17具有与套筒18彈性构件14（由套筒終端的縱向切口得到）的錐形表面相接触的錐形面。該圖旁边示出沒有紧固螺母17的軸端头的較為簡單的結構型式，这种型式在不移动式設備中采用。电阻器壳体上的凸部6插入設備底板2的附加定位孔3內，以防止在运用时电阻器产生轉動。

从这种典型的結構中可以看出，这种可变电阻器結構的基本部分为：电阻元件，接触臂以及机械固定零件，其中电阻元件的結構形状决定了阻值与轉角的关系，对于綫性的可变电阻器，电阻元件的骨架具有沿长度的均等的截面，对于函数式的可变电阻，其截面是不均等的。圖 9—208 示出了骨架不均等的函数式綫繞可变电阻器电阻元件結構的例子。

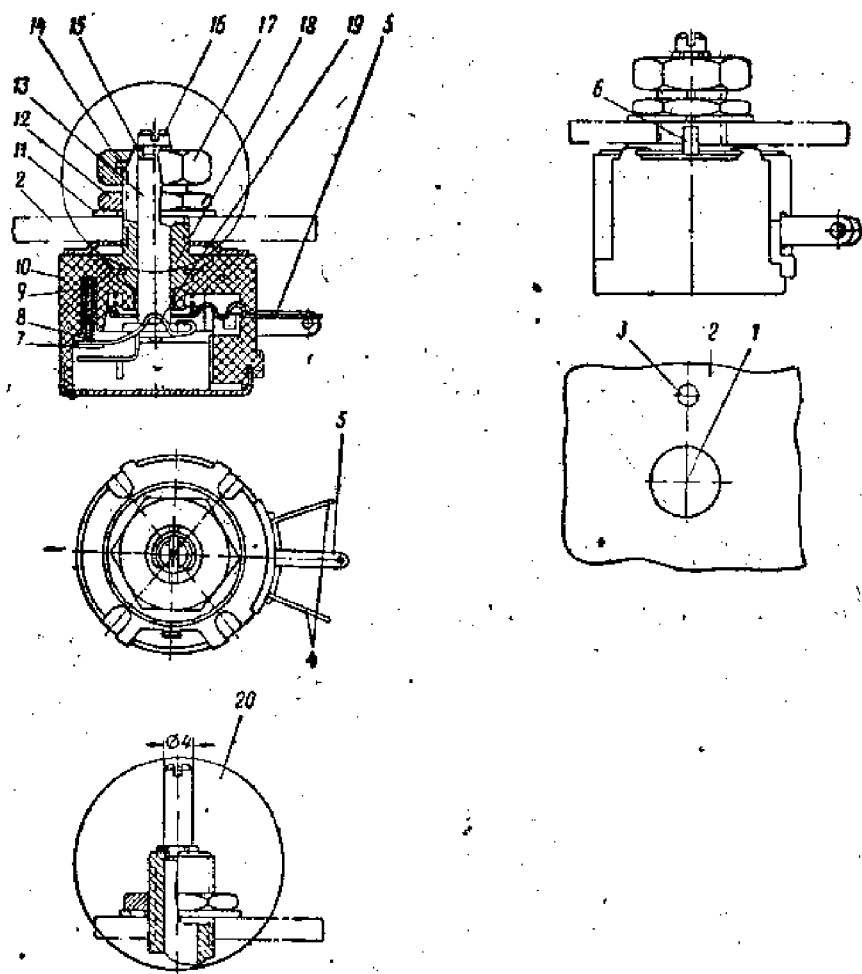


圖9—207 線繞可變電阻器

- 1, 3——設備的底板上的孔 2——底板 4, 5——引出端 6——固定用的凸部
 7——小滑臂 8——電阻絲 9——片形骨架 10——基座 11——鎖緊墊圈
 12——螺母 13——軸 14——彈性構件 15——開口墊圈 16——起子槽
 17——螺母 18——套筒 19——滑臂的主部 20——軸端头的另一種結構形式

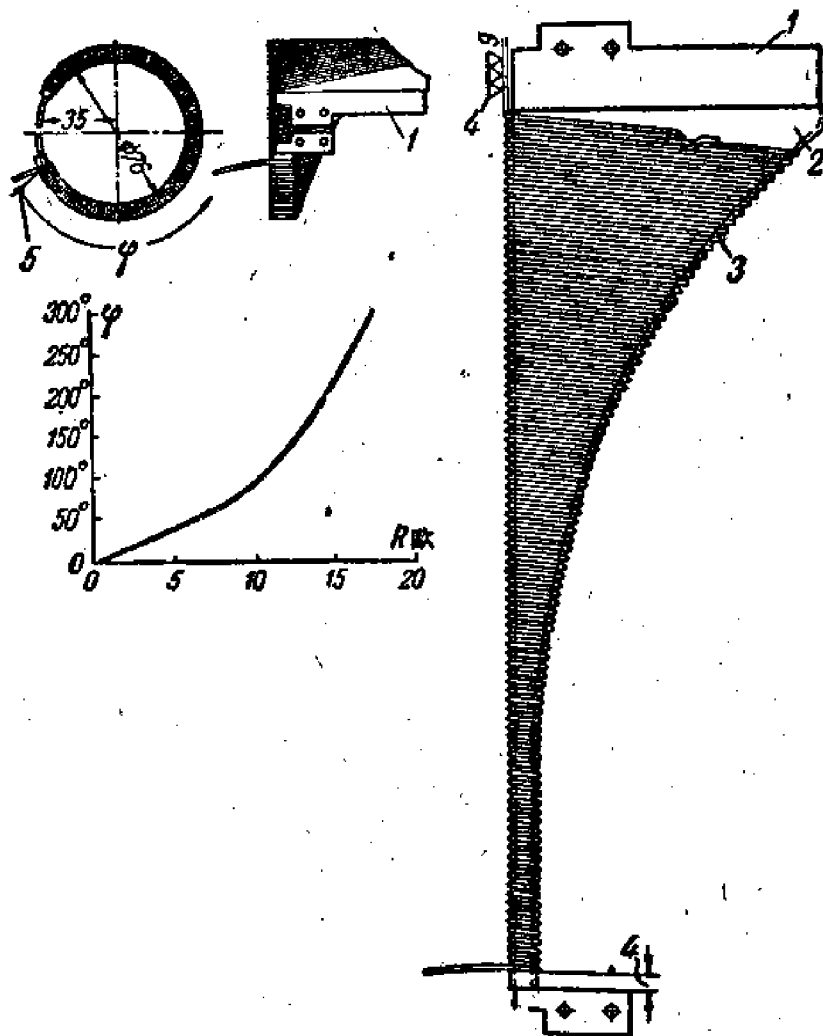


圖9—208 不等長卷距的可變電阻器

1——骨架（金屬的），2——石棉衬墊，3——氧化的康銅導線，直徑0.8公厘，
4——磨去0.1—0.15公厘深；5——相當 R 最小的位置。

在這個例子中結構的其餘部分和 IIII 型電阻器類似。

繞線可變電阻器的可動觸點在調整時，通常由一匝跑到相鄰的一匝（或几匝），因而阻值與轉角的关系並不是平滑的曲線，如圖9—209所示。



圖9—99 阻值变化曲线圖

但是，在要求阻值精确度較高的設備中使用時，要求具有良好的平滑性，阻值变化的平滑性，除了与活动接触点的結構和纏繞工作的好坏有关外，还决定于电阻元件的結構，当电阻元件骨架的截面較小(即每匝长度較短)，电阻絲很細，而骨架长度很长时，由于一匝(或几匝)的电阻 ΔR 很小，因而可获得較好的平滑性。“弦形可变电阻器”就是基于这个原理設計的。它的电阻元件骨架是細长的圓柱体(形状与“弦綫”相似)，細的电阻絲纏繞于其上，圖9—210示出具有圈的弦形电位器，它具有較小的阻值变化范围，圖9—211示出具有数圈的弦形电位器，它具有較大的阻值变化范围。这种电位器的基本优点是阻值的精确度較高，缺点是尺寸較大。

在某些設備中有时也采用正弦或余弦变化規律的电阻器。

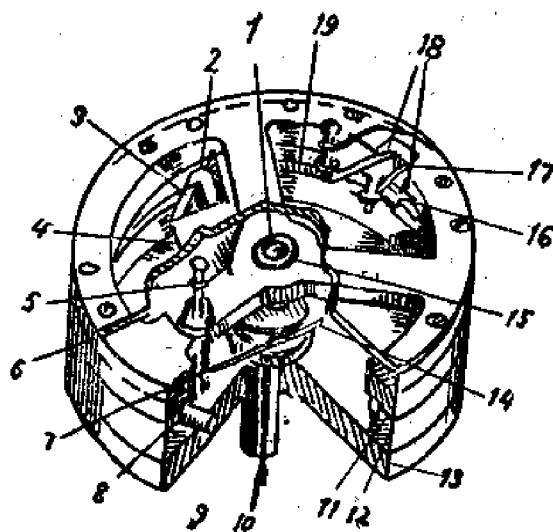


圖9—210 RL-210型弦型电位器簡圖

1——具有軸承的上底座 2——纵向棒形銀合金接觸刷子直徑为0.5毫米 3——接觸彈簧 4——接觸臂 5——刷子的引出端 6——外壳 7——集流環 8——集流環的固定裝置 9——嵌压入的軸承裝置 10——不銹鋼的电位器軸 11——緊固弦形骨架用的上絕緣墊圈 12——緊固弦形骨架用的下絕緣墊圈 13——具有軸承的下底座 14——集流刷 15——嵌压入的軸承 16——連接桥 17——电阻元件的引出端 18——繞組的引出端螺柱 19——弦形电阻元件。

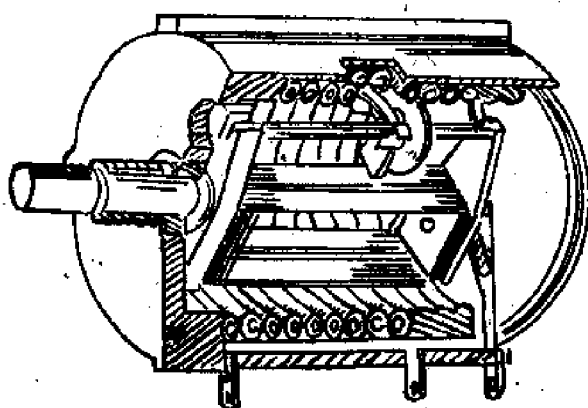
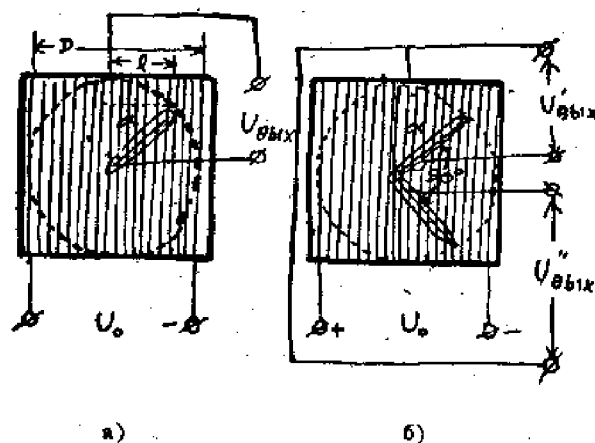


圖9—211 “Телит” 型的多圈弦型电位器的略圖



圖——212 旋轉触臂的正弦函數电位器示意圖

最简单的获得正弦（或余弦）关系的电位器的原理图示于圖 9—212 中，它们的电阻元件是繞有均匀繞組的絕緣平板，輸出电压由滑动臂接触点和电位器繞組的中点 0 引出。

在圖 9—212a 的电位器中，輸出电压 $U_{\text{ВМХ}}$ 与輸入电压 U_0 之間是按正弦規律变化的。由圖可見輸出电压是由滑动接触点与电位器繞組中点 0 引出的。由于滑动接触点繞支点而作圓周旋轉，圓周的直徑为 D 。因而，距离 l 与直徑 D 之間滿足正弦关系，即 $l = \left(\frac{D}{2} \right) \sin \alpha$ ，所以輸出电压 $U_{\text{ВМХ}}$ 与加于电位器的总电压 U_0 的比值为

$$\frac{U_{\text{ВМХ}}}{U_0} = \frac{l}{\frac{D}{2}}$$

$$\text{即 } U_{\text{ВМХ}} = \left(\frac{U_0}{2} \right) \sin \alpha。$$

在圖 9—2126 的电位器中，具有二个滑动接触点，它們彼此偏移 90° 角度。这种电位器可同时得到正弦电压与余弦电压的变化規律。

$$U_{\text{正弦}} = \left(\frac{U_0}{2} \right) \sin \alpha$$

与
$$U_{\text{余弦}} = \left(\frac{U_0}{2} \right) \sin (90^\circ + \alpha) = \left(\frac{U_0}{2} \right) \cos \alpha$$

在圖 9—213 与圖 9—214 中示出了函数式电位器（正弦型或余弦形的）的结构，前一种电位器的变化是当固定刷子时，轉动骨架而得到的，在后一种电位器中是用当固定骨架时，轉动刷子的方法来达到的。

从上述的綫繞可变电阻器与电位器的结构可見，其结构的基本部分为：电阻元件、接触刷及固定零件。

(1) 电阻元件：

电阻元件是由繞于各种骨架上的导綫組成。繞組导綫一般是采用鎳鉻合金导綫或康銅导綫，錳銅鎳合金綫由于易于腐蝕而很少采用。在重要場合下，为提高耐蝕性采用以貴金屬为基体的合金制造的导綫（見表 9—4）。

为了制造准确的电阻器，必須采用沿长度具有很小电阻綫性誤差的导綫。沿导綫长度电阻的綫性誤差决定于两个原因：导綫直径的不准确性及导綫材料沿长度的不均匀

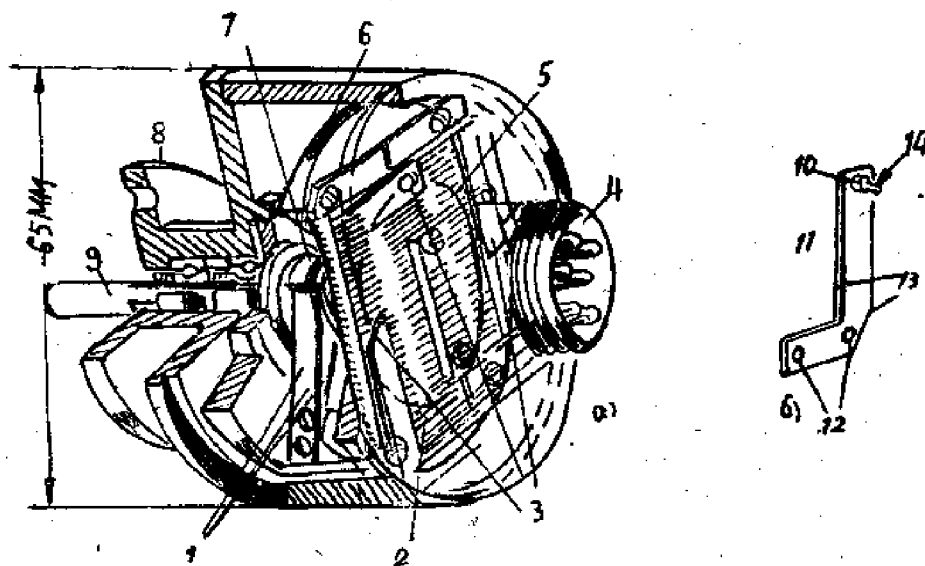


圖 9—213 RL—11 型电位器的略圖

a) 电位器的剖視圖 b) 接触刷的略圖

- 1—鎳給电器的接触刷 2—接触路徑 3—四个接触刷 4—电綫插头
- 5—电位器的繞組繞在弯曲片形骨架上 6—胶木轉子，其上固定有骨架
- 7—集流环（第二个环型未示出） 8—固定电位器用的凸緣 9—电位器軸
- 10—焊到接触杠杆上的銅套管 11—两块焊在一起的平面磷青銅彈簧片为了增加接触杠杆的剛度 12—把接触杠杆紧固到胶木外壳上的孔 13—片磷青銅給接触杠杆以可曲性 14—焊在銅套管上的炭刷

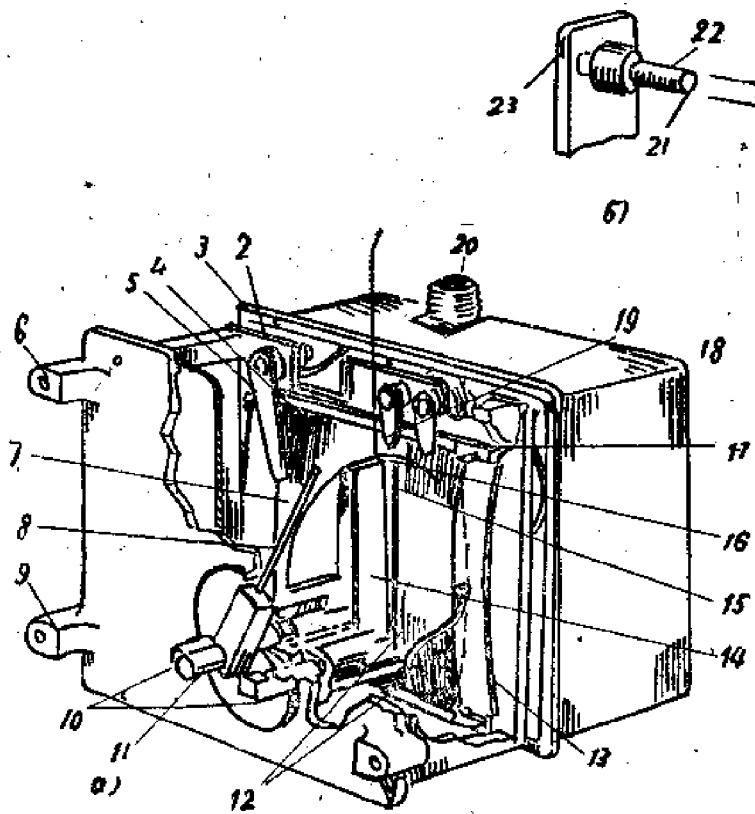


圖 7——214 RL-29 型非线性电位器的略圖

- a—电位器的剖視圖 6—接觸刷略圖
- 1—接觸路徑 2—固定电阻元件的胶木板
- 3—不透水塗層 4—电位器繞阻繞在弯曲的胶木片状骨架上
- 5—具有 10° 傾角的引出端 6—紧固电位器用的凸耳
- 7—位于骨架凸出边的繞阻上面部分 8—用手轉动刷子的杠杆
- 9—紧固电位器用的凸耳 10—限制刷子轉角的制动器 11—电位器軸
- 12—把电流引到接觸刷的軟導線 13—繞阻的下面部分被弯曲骨架拉紧
- 14—制动器、限制当电位器抖动时接觸杠杆的摆动
- 15—接觸杠杆 16—接觸刷 17—具有 10° 傾角的引出端
- 18—金属外壳 19—具有 0° 傾角的引出端
- 20—电線插头 21—鉛錫合金的仔細‘光的半球形接触头
- 22—黄銅棒，其上焊有接触头 23—黄銅接觸杠杆。

性。为了减小沿导綫长度的电阻线性誤差，常对导綫采取校准。其中电拋光法得到了良好的效果。这个方法的本質仍是使被校准的导綫通过电解槽，在槽內按导綫电阻的不均匀性溶解掉金属的方法使沿导綫整个长度具有相同的电阻。电解液对鎳铬合金采用硫酸，对康銅是正磷酸、硫酸、铬酐和水的混合液。

繞組的骨架也决定着电阻器的准确度和质量。骨架应具有准确的尺寸与足够的机械强度。

按骨架的形状可分成环形的、扁平的、柱型的及弧形的。(圖 9—215)

环形骨架(圖 9—215. a、б、B、r)在繞制时比較复杂,但在繞制后不要經受任何变形,并允許不限制接触刷的圓形运动。环形骨架也可以具有阶梯形截面,以得到必要的函数关系(圖 9—216)。

圖 9—215. 的平面形骨架得到广泛应用,这种骨架繞制比較方便,但是在繞制后要經受弯曲可能引起变形。有时平面形骨架的弯曲在繞制前进行。但是由于有剩余变形,它的質量是比环形的要差。

圖 9—217 中示出几种平面形骨架的形状。圖 9—217a 是用于綫性电位器的。圖 9—217б 及 B 是用于函数式电位器的。圖 9—217б 所示的骨架最小与最大高度之比不应小于 1:10。否則將使骨架变脆并使其固定复杂化。骨架中切口的最大傾斜角不应超过 15° , 因为在大的傾斜角时会使繞組綫匝發生滑动。

圖 9—217B 的骨架是用于余弦或正弦函数式电位器。

骨架材料可利用塑料、陶瓷与金属。

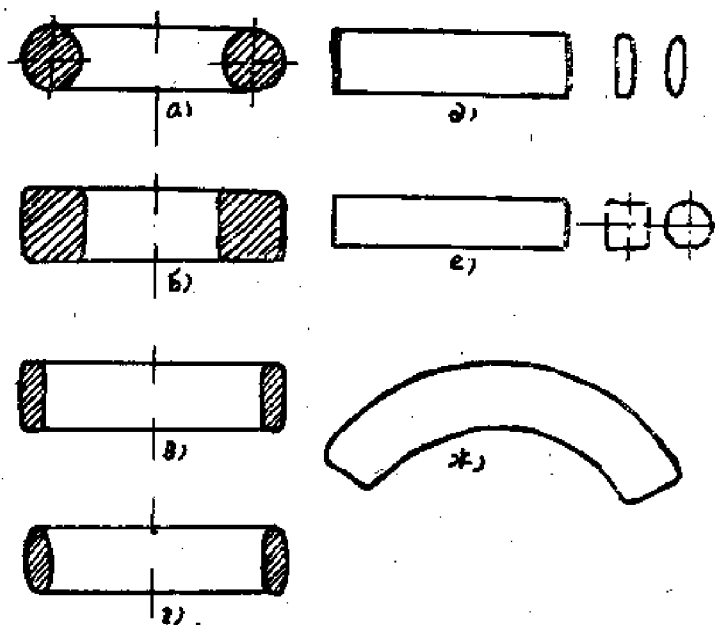


圖 9—215 电位器骨架的形状

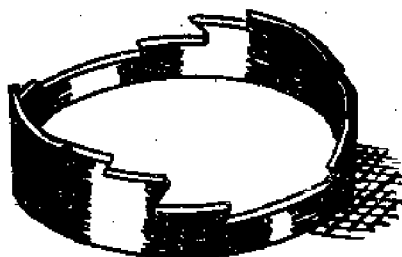


圖 9—216

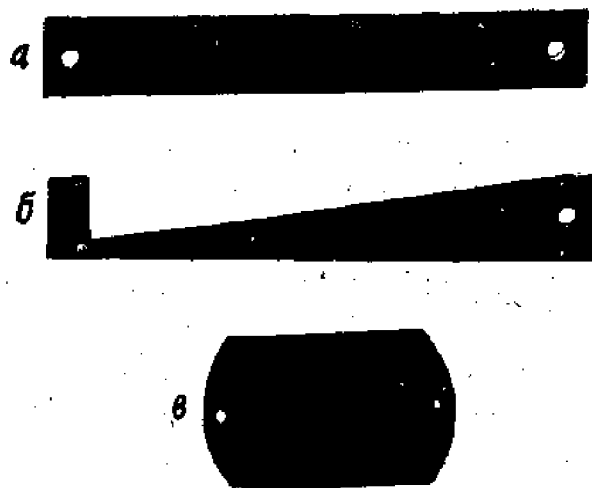


圖 9—217 电位器平面骨架的形状

塑料骨架最常采用的是紙胶板或布胶板，厚度为0.5—1.2毫米。主要用来制造平面形骨架，这类骨架是用冲压的方法来制造。

用压塑粉制的骨架一般是带有各种截面的环形。它們是用压制法或压铸法来制造。

陶瓷骨架一般制成环形的骨架，它們主要用于低准确度与大功率的綫性电位器中。

金屬骨架用于制造高准确度的电位器，一般制成环形或弦形。环形金屬骨架是在車床上或銑床上进行加工，表面光潔度不应低于7級。在骨架表面要涂复上絕緣層并用漆来浸漬。

弦形骨架一般用带聚乙烯絕緣的銅导綫来制造。为了得到直徑均匀的骨架，导綫先要进行校准。

导綫的繞制是在專門的繞綫机上进行的。

导綫与引出端的連接采用夹紧、釐焊或熔焊的方法。

电位器的接触路徑可用三种方法来清潔：机械的、化学的及超声波的。

(2) 接触刷：

接触刷的作用是从接触路徑上集流，对于接触刷的基本要求是：接触的可靠性，小的和在時間上恆定的过渡电阻，小的骨架繞組磨损。

接触刷可以具有極为多样的形式，在圖9—218示出了最常采用的接触头形式，

实践指出，对于繞綫电位器的最好的接头是圆柱体，其軸与繞組导綫的軸平行，在这种形状下接触头同时不与多于两根綫匝相接触，因此只短路一匝。

在圖9—219示出了圆柱形接头的形状。

圆柱形接触头的最佳直徑在自0.25到1毫米的範圍內，而且对于具有小繞距的細繞組导綫选择較小的圆柱体直徑，对于具有大繞距的粗导綫选择大的直徑，制造接触头的材料对于接触質量具有很大的意义，

在表 9—10 中列出了滑动接触头的材料数据。

在表 9—11 中给出了最常采用的贵金属成分的百分含量；在表 9—12 中给出了这些金属的物理性能和接触性能。

对于青铜类导线必须采用较软的合金作为接触头，对于镍铬类的导线采用较硬的合金。

在某些不很重要的电位器中采用磷青铜接触头，这种接触头质量低。

过渡电阻与接触材料，工作条件及压力有关，过渡电阻与压力有关只有在小于某压力时才出现，大的压力实际上并不改变接触电阻。（对于贵金属的导线和接触点比压在 1—4 克范围内）在很多情况下，接触头的压力值确定等于 40—50 克（导线是镍铬合金或康铜的，接触头是贵金属合金的）。

表 9—10 滑动接触头的材料

材 料	符 号	成分的 百分比	合金 的类型	熔 点 (°C)	密 度 (克/厘米 ³)	退火过材 料的硬度		比 电 阻 10 ⁻⁸	导 热 度 °C	电弧形 成参数		在容性电路中的 的腐蚀系数	
						布 氏	维 氏			U (伏)	在 J (毫安) 下 U = 220 伏	在 短路时	在 断路时
铂	Pt	—	纯金属	1733	21.4	50	39	10.6	0.7	15.5	1.0	0.16	0.02
钯	Pd	—	同上	1534	—	501	—	10.73	0.41	—	—	—	—
铱	Ir	—	”	2454	—	1705	—	4.30	0.59	—	—	—	—
钴	Co	—	”	1490	—	1252	—	6.80	0.70	—	—	—	—
银	Ag	—	”	961	10.5	25	23	1.58	4.16	12.3	0.48	0.39	0.003
铂—铱	ПИ—25	25	固熔体	1840	21.75	270	250	33.5	—	15.2	1.0	0.014	—
同上	ПИ—10	10	同上	1780	21.5	150	120	24.5	0.31	20.0	0.74	—	—
钯—铱	ПДИ	—	”	1580	12.6	—	110	27.0	—	—	—	—	—
钯—银	ПДС	—	”	1330	11.0	22	95	35.8	0.31	—	—	—	—

表 9—11 最常采用的接触合金的成分含量 (%)

合 金 的 牌 号	铱	钨	银	钴	钼
ПДИ—10	10±0.5	—	—	—	其 余 的
ПДСК—35	—	—	85±1.5	5—10	”
ПДС—20	—	—	40±1.0	—	”
ПДС—80	—	—	80±1.0	—	”
ПДР—10	—	10±0.5	—	—	”

表 9—12

接触合金的物理性能和接触性能

合 金 的 特 性	ПДИ—10	ПДСК—35	ПДС—20	ПДС—80	ПДР—10
1. 比重	72.6	11.1	11.2	10.7	12
2. 比电阻 (欧毫米 ² /米)	0.27	0.30	0.44	0.06	0.25
3. 维氏硬度, 当负荷为 5 仟克时 (在 900°C 退火后)	110	1792	120	62	93
4. 当负荷为 50 仟克时的平均接触过渡电阻 (样品 3 毫米, 接触球面的半径 10 毫米) (欧姆)	$7 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$

关于过渡电阻可按图 9—220 的曲线来判断。

接触头是由校准过截面的导线用冲压的方法制造的, 在制好接触头后, 沿着绕组面移动的接触表面要磨光。

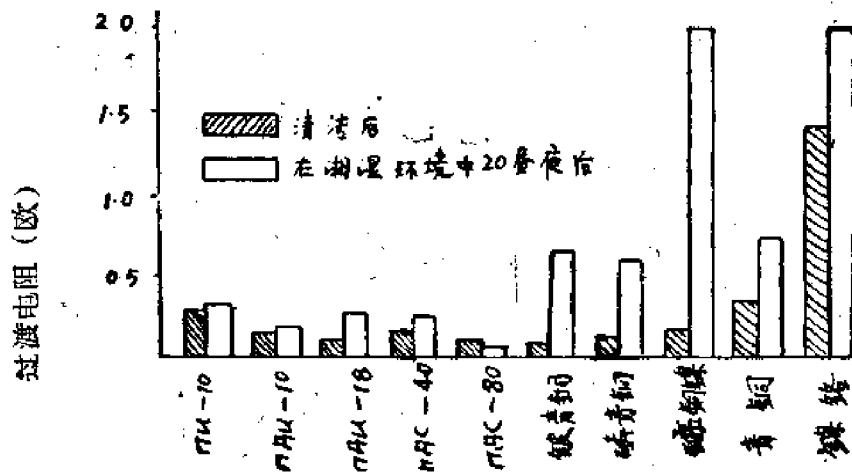


图 9—220 过渡接触电阻值

在绕组面上的必要的接触压力是以接触弹簧来保证的, 接触弹簧一般是平面形的, 用弹性材料制造, 最常采用磷青铜。

接触头与接触弹簧的连接可以用夹紧钎焊或熔焊的方法来进行。

3. 固定零件:

电位器的外壳应该制造成具有必要的准确度, 外壳用金属, 最常用铝合金来制造, 对于精密度较低的电位器外壳用塑料制造。

电位器的轴用软钢或黄铜来制造, 在制成后轴要经热处理,

对于电位器最常利用滑动型的轴承, 在某些情况下用滚珠轴承。

在某些特别重要的情况下, 电位器放在充有惰性气体的密封壳内。

4. 电位器的计算:

(1) 线性电位器: 用下列基本数值来表征 (参见图9—211)

R_0 ——总电阻 (欧)。

l_0 (α_0) ——最大位移 (毫米或度)。

d ——不带绝缘的绕组导线直径 (毫米)。

ρ ——比电阻 (欧·毫米/米)。

H ——骨架的高度 (毫米)。

B ——骨架的厚度 (毫米)。

l ——线匝的长度 (毫米)。

n ——匝数。

L ——绕组导线长度 (米)。

t ——绕距 (毫米)。

$\Delta R = R_0/n$ ——计数能力 (欧)

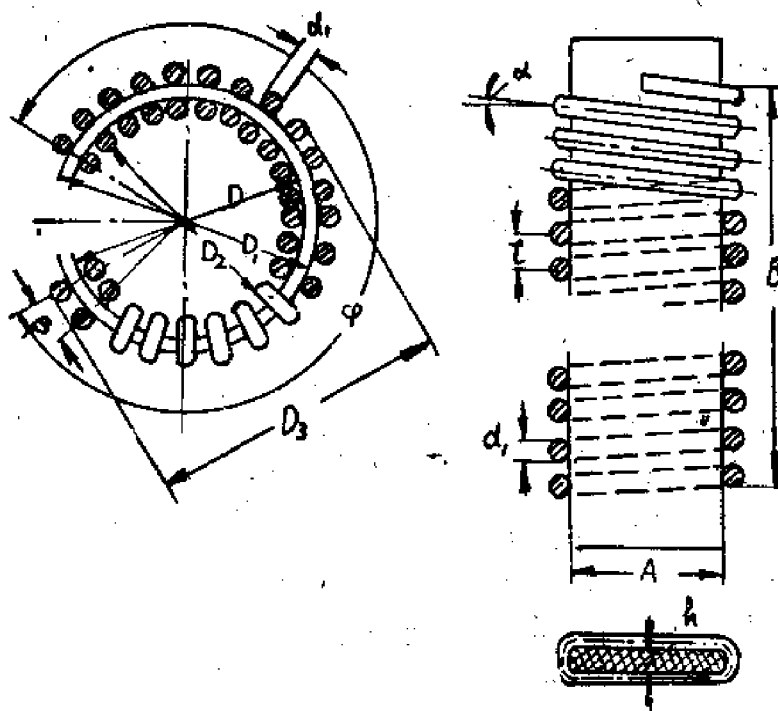


图9—211 在弯成环形的平面骨架上的电阻器的绕制

对于绕制在平面骨架上而后弯成环形的电位器可以用下列公式:

$$R = \frac{2H + 2B + \pi d_1 f}{\cos \alpha} = \frac{10^3 L}{nk} = \frac{785 d^2 \Delta R}{\rho k} \quad (9-213)$$

其中: d_1 ——带绝缘导线直径。

f ——考虑到导线在骨架上弯曲特点的系数, 对于用比导线软的材料骨架

$f=0.82$, 对于硬材料的骨架 $f=1.05$ 。

k ——考虑到在绕制时导线拉长的系数, $k=0.97$ 。

匝数:

$$n = \frac{R_0}{\Delta R} = \frac{10^3 L}{kl} = \frac{\varphi}{B} = \frac{785 R_0 d^2 \cos \alpha}{\rho k (2H + 2b + \pi d_1 f)} = \frac{l_0 - d_1}{t} \quad (9-214)$$

繞組導線長度 (米):

$$L = l n k 10^{-3} = 0.785 \frac{R_0 d^2}{\rho} = \frac{(2H + 2b + \pi d_1 f) k n}{\cos \alpha} \quad (9-215)$$

繞組長度 (毫米):

$$\begin{aligned} l_0 = n t + d_1 &= 785 \frac{R_0 d^2 t}{\rho l k} + d_1 = \frac{(D + b) \pi \varphi}{360} + d_1 \\ &= \frac{L \cos \alpha \cdot 10^3}{K(2H + 2b + \pi d_1 f)} + d_1 \end{aligned} \quad (9-216)$$

繞距 (毫米):

$$\begin{aligned} t &= \frac{l_0 - d_1}{n} = \frac{(l_0 - d_1) \rho l k}{785 R_0 d^2} = \frac{(D + b) \pi \varphi}{360 n} \\ &= \frac{(D + b) \pi \beta}{360} \end{aligned} \quad (9-217)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{2H + 2b + \pi d_1 f}$$

$$\beta = \frac{\varphi}{n}$$

有效轉角範圍:

$$\varphi = \frac{(l_0 - d_1) 60}{(D + b) \pi} = \frac{785 R_0 d^2 t 360}{\rho l k \pi (D + b)} = \beta n \quad (9-218)$$

$$D = \frac{(l_0 - d_1) 360}{\pi \varphi} - b = \frac{785 R_0 d^2 t 360}{\rho l k \pi \varphi} \quad (9-219)$$

$$D_1 = D + 2b$$

$$D_2 = D - 2d_1$$

$$D_3 = D + 2b + 2d_1 = D_1 + 2d_1$$

为了能把骨架变成环形, 必須滿足下列条件:

$$t \geq \frac{(D + b) d_1}{D - d_1} \quad n \leq \frac{\pi \varphi (D - d_1)}{36 d_1} \quad (9-220)$$

(2) 函数式电位器:

在計算函数式电位时器的基本任务是求出骨架的截面, 即求出骨架高度 H_x 与骨架长度 l_x 的关系。

这一任务可以解决如下。令給出决定关系 $R_x = \varphi(l_x)$ 或另一关系式 $H_x = \varphi(l_x)$ 的截面 (圖9-222)

導線在骨架上均匀繞制, 而且在单位骨架长度上的匝数等于 n/l_0 。

当从位置 l_x 移动电位器的接触头以不大的区段 dl_x 时, 电阻值的增量 dR_x 等于:

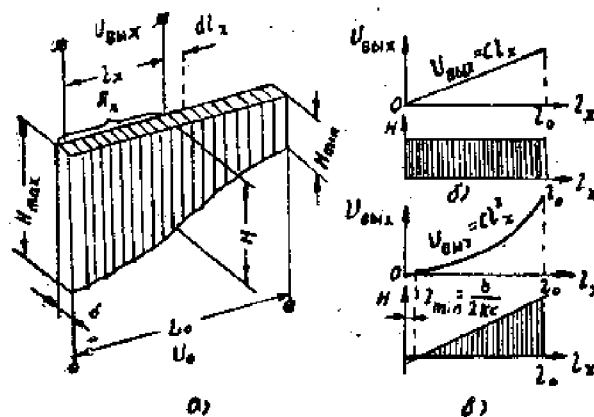


图 9—222

$$dR_x = \rho \frac{n}{l_0} \frac{dl_x l_{cp}}{q} \approx \frac{pn}{l_0 q} 2(H_x + B) dl_x \quad (9-221)$$

其中： ρ ——导线的比电阻。

q ——导线横截面的面积。

l_{cp} ——在距绕组始端为 l_x 时绕组线匝的平均长度。

H_x ——在距绕组始端为 l_x 时骨架的高度。

B ——骨架的厚度。

变换公式 (9-221) 我们得到：

$$H_x = c \frac{dR_x}{dl_x} - b \quad (9-222)$$

其中： $C = l_0 q / 2 \rho n$

因此当给定电阻值对骨架长度的变化规律 $R_x = \varphi(l_x)$ 时，骨架高度的关系决定于下列表示式：

$$R_x = c \varphi'(l_x) - b \quad (9-223)$$

如果给定电压对骨架长度的变化规律 $U_x = \varphi_1(l_x)$ ，则骨架高度对长度的关系决定于下列表示式：

$$H_x = c_1 \varphi_1'(l_x) - b \quad (9-224)$$

其中： $c_1 = l_0 q R_0 / 2 \rho n U_0$

这里： R_0 ——电位器的总电阻（欧）。

U_0 ——外加在电位器绕组两端的电位值（伏）。

如果决定电位器截面的曲线斜变超过 15° 则为了防止在绕制时线匝滑落，应作成阶梯形的骨架截面，如图 9-223。

在遵循满足函数关系必须准确度的范围内，可以用阶梯截面来代替骨架的光滑截面。

为了避免线圈掉落，当把导线绕在阶梯式骨架上时，在骨架的阶梯中应做成凸部如图9—224所示。

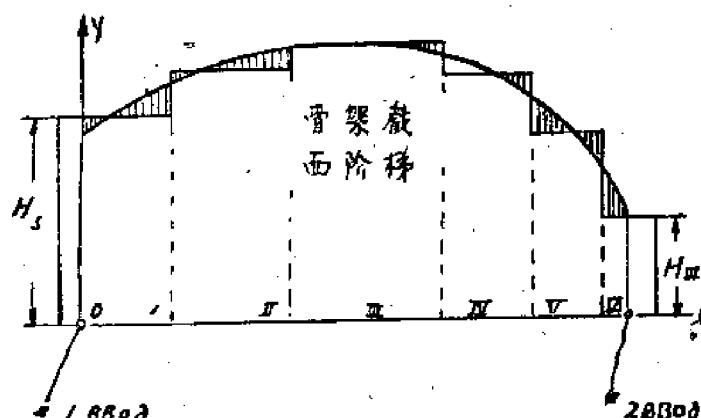


图9—223 变阻器——电位器

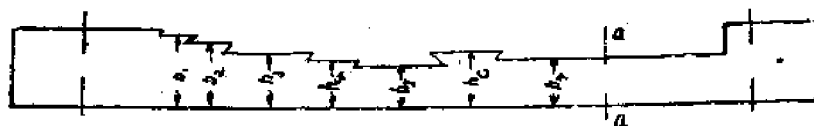


图9—224

§ 9—3 非线绕电阻器

非线绕电阻器可以分成两种类型：

1. 以导体薄膜为基体的电阻器。这种薄膜是用沉积的方法、用氧化物还原的方法或用蒸发金属的方法在绝缘骨架表面上获得的。
2. 合成体电阻器。是用粉状导体与胶合介质的混合物为基体。

I. 非线绕固定电阻器

1. 碳膜及硼碳膜电阻器

把陶瓷基体放入高温分解室（真空的或具有氧气含量不超过0.3%的中性气体中）内，使气态碳氢化合物 C_xH_y （例如庚烷蒸汽、汽油蒸汽或甲烷等）在足够高的温度下（900°C以上）进行热分解并发生去氢作用。这时，碳以石墨状结晶的均匀薄膜的形式沉积在基体表面上，形成碳膜电阻器的导流膜。

如果工艺过程正确，则该碳膜具有密实“光泽碳”的结构。因碳所组成的导流膜本身还具有耐热性、化学稳定性、高分散性、较大的电阻率，并且可用控制碳膜厚度的方法来获得不同阻值。

由于上述原因，碳膜电阻器具有一系列宝贵的特性，即比较良好的稳定性，受电压和频率的影响很小（实际上不受电压的影响）。固有噪声电平较低（相对于合成型来说）脉冲负荷稳定，温度系数不大并且是单值（负的），以及可以很精密地调整阻值等等。

因此，碳膜电阻器得到了最广泛的应用，它不仅可以作为一般用途的固定电阻器，也可以作为精密与半精密固定电阻和高频或特高频的固定电阻。

当阻值较高时，要求碳膜具有很小的厚度，这时其稳定性将降低。因此，最大额定值被限制为兆欧，对于小尺寸的电阻器，在恶劣的使用条件下，最好不采用阻值达兆欧的电阻。

碳膜不能耐受磨擦，因此不能用作具有可动触点的可变电阻器。

利用硼有机化合物，例如，最常采用的一硼三丙烷（丙基硼） $(C_3H_7)_3B$ 或一硼三丁烷（丁基硼） $(C_4H_9)_3B$ 等代替碳氢化合物，用同样热分解的方法可形成硼碳薄膜，在外形方面与碳膜区别很小，但比碳膜具有更小的温度系数（接近于线绕电阻），硬度较大，电阻率较大以及稳定性较高（在阻值与碳膜电阻相同的条件下）。

当阻值很高时，要求硼碳膜很薄，在这种情况下，硼碳膜的电阻温度系数也相应地增加到接近于碳膜的电阻温度系数，硼碳膜电阻的优点实际上已不存在。

为了增加电阻值，碳膜或硼碳膜电阻器常要用刻槽。对于高值电阻器用螺旋槽，对低值电阻器采用纵向刻槽（见图9—301）。有时为减小电阻器的固有电感，采用了特殊的刻槽方法（见图9—302）。

现在让我们讨论几种主要类型的碳膜及硼碳膜电阻器的结构及基本特性。

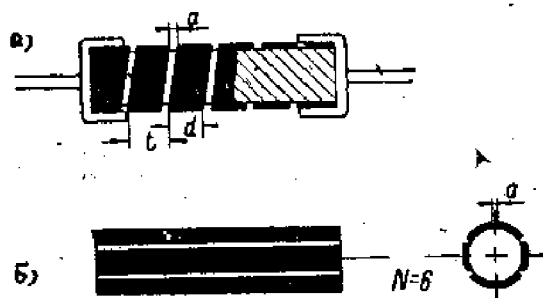


图9—301 薄膜电阻器刻槽的形式 a) 螺旋式的；b)，纵槽式的

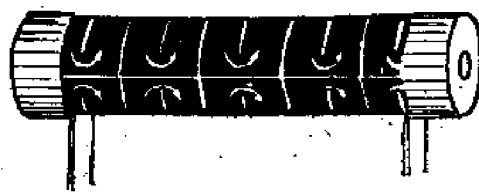


图9—302 具有小电感量螺旋槽的电阻器

（1）一般用途的碳膜及硼碳膜电阻器：

BC型电阻器属于一般用途的电阻器，在无线电设备中的应用最广泛。其结构图示于图9—303中。

小功率（2瓦以下）电阻的基体是陶瓷棒（瓷柱）。对于大功率的电阻器，为了减轻其重量和改善其散热利用管状基体。为了减小碳层与金属附件之间的接触电阻，与引出端接触的地方涂复上胶状石墨或分子银的悬浮体，干燥后形成中间接触层。这一点对于低欧大功率电阻器来说特别重要。

表9—13

BC型电阻的主要参数

类 别	40° 时的 額定 功率 (瓦)	基体的最大 尺寸(厘米)		单 位 負 荷 瓦/平方厘米	P ₂₅ 条件 下的 过热 温度 °C	电 阻 范 围		最大电阻值		极 限 电 压			最大計算的電 流密度	
		长	直徑			欧	兆欧	方形膜層 千欧/ 平方厘米	螺旋膜層 兆欧/ 平方厘米	連續 电压 (有效 电压)	脉 冲 电 压 在90毫米水 銀柱以下	在40毫米水 銀柱以下	連續 电流	脉冲 电流
BC—0.12 (VIM)	0.12	7	1.7	0.3	30	20	1	17.5	5	100	400	400	400	12500
BC—0.25	0.25	16	4.5	0.1	35	27	5	33	4.5	350	750	750	450	14000
BC—0.5	0.5	24	4.5	0.13	50	27	10	20	4.4	500	1000	1000	310	10000
BC—1	1	30	6.5	0.18	65	47	10	27	3	700	1500	1500	350	11000
BC—2	2	48	8.5	0.165	90	47	10	17.5	1.03	1000	2000	2000	203	63000
BC—5	5	75	15	0.1(0.16)*	95	47	10	8.5	1.45	1500	5000	3000	275	85000
BC—10	10	120	25	0.07(0.1)*	80	75	10	3.2	0.13	3000	10000	6000	155	5000

* 括号内的数值包括瓷管内表面的单位负荷值。

瓷棒单位负荷根据整个表面计算，并包括其端面。

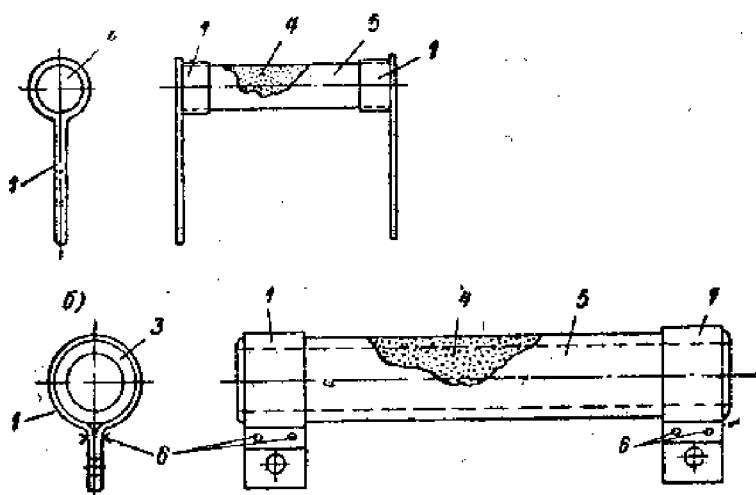


圖 9-303 BC型的結構圖

- a—柱形形 BC-0.25; BC-0.5; BC-1; BC-2
 b—管狀的 BC-5; BC-10; BC-15; BC-30; BC-60; BC-100
 1—接觸附件 2—基體 (柱杆) 3—基體 (圓管)
 4—基體的敷設表面; 5—保護塗復; 6—電點焊處

为了制造較高阻值的电阻，在导流表面層上做出螺旋形刻槽（因为未刻槽的阻值不超过15—25千欧，阻值小于500—1000欧的电阻器一般不刻槽。

为了防止碳層受损伤和防潮起見，电阻器上要涂兩層耐热的甘油邻苯二甲酸酯油基磁漆，阻值大于100—200千欧的电阻預先要涂以特別耐潮的甲酚甲醛漆，使用在热带条件下的电阻，保护層要更加加强。

BC型电阻器的参量列于表9—13，它們的主要定額列于表9—302。BC型电阻器的公差等級分为5%、10%及20%。

表9—14 BC 电阻 的主要規格

規 格	阻值的最大 变 更 %	試 驗 条 件
負荷系数	由+2到-6	2%及203%的額定功率
老化系数	由+4到-6	100小时; 1.5—3PH; 20°C
耐湿系数		
在 1 兆欧以下	6	} 400小时; 溫度98%; 40°C
大于 1 兆欧	10	
耐热系数	3	由-85到-60°C 两次循环
存放系数	3	倉庫保存 6 个月
脉冲負荷系数	2	平均功率等于額定功率1000倍的脉冲电压条件下 2 小时
耐振系数	2	3 小时; 加速度6g
噪声电动势	5 微伏/伏	工作电压在10000赫频带的条件下

温 度 系 数	$\frac{10^{-4}}{^{\circ}\text{C}}$	由+20	由+20
		到+100°C	到-60°C
10千欧以下	BC-0.12; BC-0.25; BC-0.5	6	8
	BC-1; BC-2 BC-5及 BC-10	5	6
由11到910 千欧	BC-0.12; BC-0.25; BC-0.5;	8	12
	BC-1; BC-2	7	10
	BC-5; BC-10	10	16
1兆欧以上	BC-0.25; BC-0.5; BC-1; BC-2	10	20
	BC-5; BC-10	12	16

BC型电阻可使用在相对湿度达98%以及温度从-60°C到+100°C的条件下，这时平均使用期限为3000小时。低阻值电阻的使用期限要长得多，每平方厘米的工作表面阻值超过1—2兆欧的高阻电阻，在湿度很高的环境中长期负荷的条件下，在个别情况中可能在规定的期限以前损坏。

BC型电阻的额定功率是根据周围温度40°C，总发热温度不超过130°C计算的。但是在额定负荷下各种BC电阻的过热温度也是不相同的，如图9—304所示，BC-2及BC-3型电阻的过热温度最大达90°C，而BC-0.25及BC-0.12型电阻却不超过40°C。这说明了小功率电阻尺寸的选择并不是按热力计算，而是按极限阻值。

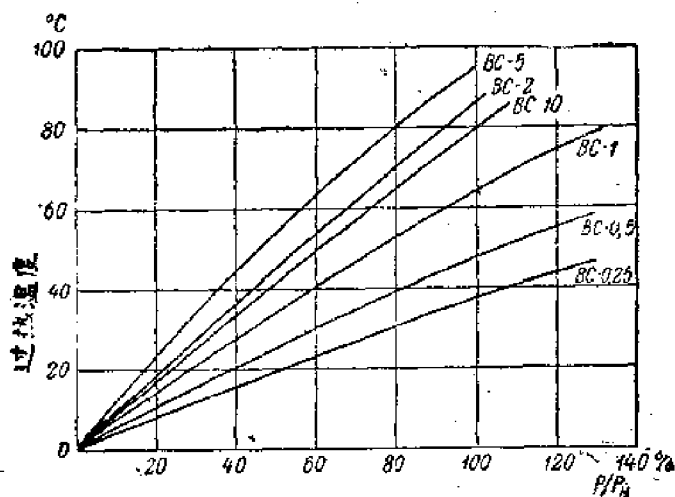


图9—304

图9—305所示是BC型电阻在不同环境温度下与总发热温度130°C相应的负荷曲线。当已知电阻使用的环境温度（大于40°C）时，按此曲线可确定该环境下电阻器的允许负荷功率，此曲线是根据BC电阻的标准对各类电阻统一规定的负荷限制曲线，由于容

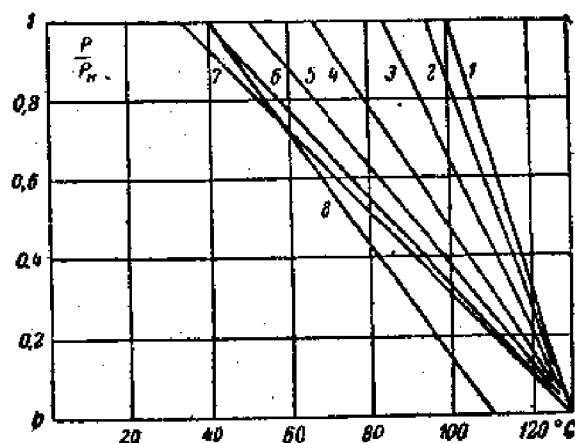


圖9—305

許电压是根据額定阻值計算的，故該曲綫預計了一定的安全系数，以免負公差較大的电阻过負荷。

利用圖9—306的圖表可以确定与額定負荷相适应的电压，該圖也示出了脉冲負荷状态的容許电压曲綫，同样也可利用它来确定与額定負荷不同的負荷条件下的容許电压，这时只需与負載成比例地改变电阻值后，就可讀出相应的电压。

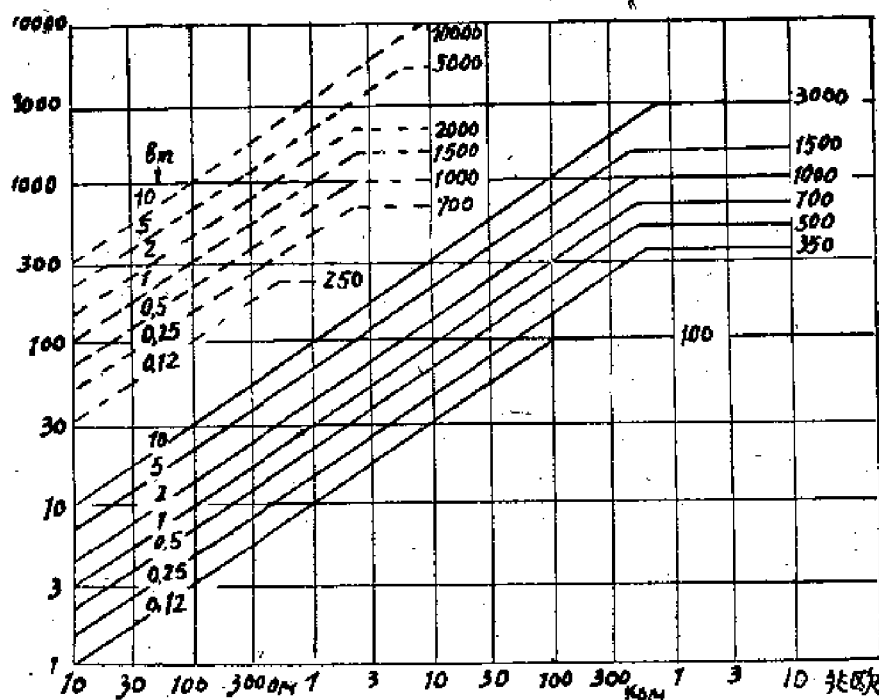


圖9——306 BC电阻在連續負荷（实綫）及脉冲負荷（虚綫）条件下的容許电压标准

在短期使用的条件下（在500小时以下），电阻器允許發热到160°C，在周圍介質温度不同的条件下，相应于該种状态的負荷曲綫如圖9—307所示。

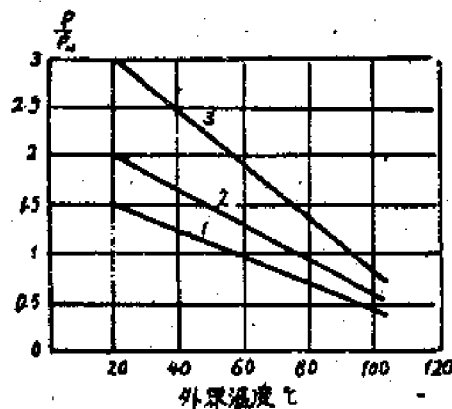


圖9——307 BC型电阻允許短时过負 (500小时以下) 曲线圖

1—BC-2, BC-5及BC-10; 2—BC-0.5, BC-1; 3—BC-0.12, BC-0.25。

• BC电阻阻值与电压的关系实际上不存在。

除表9—13所列的一般用途的BC电阻外，也制造专门用途的一定阻值范围内的大功率电阻器，其主要参量列于表9—15。

表9—15 大 功 率 的 BC 电 阻

类 别	定額功率 (瓦)	尺 寸 毫 米		阻 值 范 围	
		长	直 徑	欧	千 欧
BC—15	15	160	27	51	1000
BC—20	20	160	37	51	5
BC—30	30	230	42	51	5
BC—60	60	300	52	51	1
BC—100	100	500	62	51	1

(2) 高稳定性的碳膜及硼碳膜电阻器:

精密及半精密的碳膜及硼碳膜电阻器均供测量仪表使用，其制造公差由0.5%到3%。该种电阻器所必需的稳定性由其结构及制造工艺上的某些特点来保证。这些特点如下：

1. 电阻器要在不大的过负荷（2—5倍）的情况下进行电气老炼，并在正常条件下进行人工老化（保持3个月）。在某些情况下可以在不太高的温度下（50—70°C）进行热老炼，以便缩短人工老化的时间。

2. 降低单位表面上的最大阻值，这样可以避免采用稳定性不良和温度系数较大的膜层。

3. 限定最小阻值并改进与低值电阻器稳定性有很大关系的接触件。为此有时对导电层两端敷以金属并研磨基体，使其两端帽盖可以紧密配合。

4. 降低单位负荷，以减小老化系数及负荷系数。

5. 采用塑压及密封。

6. 对于有保护漆层的电阻，有时在涂漆后（或在第一层涂复后）进行补充刻槽然后再用手给切槽补涂漆，以提高调整精度。

УЛН型电阻器：

УЛН型电阻器属于半精密电阻，使用在低精度等级（1.5—2.5）的测量仪器中。所生产的电阻器，其功率在1瓦以下，额定阻值来规格化，一般在1欧到1兆欧的范围内。额定值的公差为±1.2%及3%。УЛН型电阻的主要参数列于表9—16及表9—17中。

表9—16

УЛН型电阻的主要参数

型 号	额定功率 (瓦)	尺寸毫米		单位负荷 瓦/平方厘米	P _н 时的 过热温 度 °C	阻值范围		最大换算阻 电 兆欧/平方厘米	最大工作电 压 伏
		长	直径			欧	兆欧		
УЛН—0.	0.1	16	4.5	0.05	20	1	0.6	0.45	250
УЛН—0.25	0.25	16	6.5	0.07	35	1	10欧	—	—
УЛН—0.25	0.25	21	4.5	0.07	30	10	1	0.44	350
УЛН—0.5	0.5	16	8.5	0.11	45	1	10欧	—	—
УЛН—0.5	0.5	31	6.5	0.09	35	10	1	0.28	500
УЛН—1	1	25	12	0.11	50	1	10欧	—	—
УЛН—1	1	48	8.5	0.08	55	10	1	0.1	700

表 9 — 17

УЛН及ВЛН电阻的主要规格

規 格	技 术 条 件 的 标 准		試 驗 件 条
	УЛН	ВЛН	
老化系数	0.5% + 0.01欧	0.5% + 0.01欧	100小时: ВЛН—1.5P _н , УЛН—3P _н 以下
耐湿系数 (平均值)	1%—2千欧以下 2%—2千欧以上	0.5	24小时: 温度20°C 湿度98%
存放系数	0.5% + 0.01欧	0.5% + 0.01%	六个月
温度系数 10 ⁻⁴ °C ⁻¹	3—10欧以下 5—200千欧以下 10—200千欧以上	1—对于1级精度 2—对于2级精度	在温度+20到+80°C的 范围

УЛП型电阻的结构与BC型电阻相同，只是额定阻值在10欧以下的电阻，其基体的长度较短，而直径较大，以便在膜层不太厚的情况下得到低阻值。然而从表9—16可见，УЛП型电阻的额定功率比同尺寸的BC电阻小一半，降低了加热温度，并相应地减小了老化系数及负荷系数。此外，由于采用某些特别工艺（老炼、加厚膜层涂端头石墨或被银等），使УЛП的稳定性比BC电阻提高了。

БЛП型硼碳膜电阻器：

БЛП型电阻器属于精密电阻，可以在精密的测量仪器中代替线绕电阻。其主要特点是电阻温度系数非常小（接近于高阻合金的），最小阻值可作到1欧，最高阻值较小（100千欧），额定电阻值仍未标准化。可以制成小公差（0.5%及1%）并保证其稳定性（见表9—17），在结构及制造工艺上与УЛП相似，尺寸也与同等功率的УЛП电阻相符合。

为了改善电阻器的稳定性采用密封的方法，密封电阻器可以完全耐潮，存放系数在1年内不大于0.2%。有些电阻器装在玻璃壳内，并充满氮气，其稳定性可达到万分之几。

（3）超高频碳膜电阻器：

超高频电阻器的结构特点是按不同用途而有各种各样的形状。

在超高频装置中的电阻器往往不仅是电路中的一个元件，而且是超高频装置（例如波导系统、衰减器等）结构中的构件（有时是主要部分）。因此，在大多数情况下，其固定方式根据装置的结构来确定。

除一般最通用的柱杆形（图9—308,Б）和管形外，还采用圆盘式（图9—308,а）及

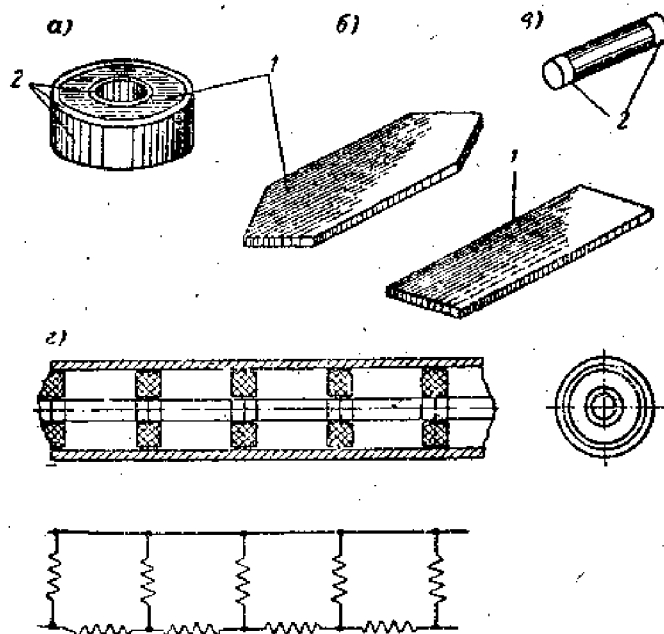


图9—308 超高频电阻器

а)圆盘形（垫层式） б)平板形 в)柱杆式
г)用垫层式电阻构成的超高频衰减器及其电路图
1——碳层 2——接触层

平板式(圖9—308,6)超高频电阻器,圖9—308,r示出用柱杆式电阻构成的超高频衰减器及其电路圖,而圖9—308,6所示的平板式电阻器也用作衰减器,直接放入波导管中,一般在基体的中心固定。

超高频电阻器通常沒有保护层,为的是减小分布电容以及消除能引起电阻过热的多余的介質損耗。从另一方面說,因为用于超高频裝置的通常都是阻值很低的电阻(10^{-4} 欧以下),所以沒有必要用保护层来防止外界的影响。同时,厚度較大的导电層可以保证具有小的电阻温度系数(不大于 $-3 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$)并使其能在 150°C 以下的温度和稳定性不显著恶化的条件下負荷。

超高频电阻大部分使用在脉冲电路中,而且需經受得住很大的脉冲过負荷,导电層的不均匀,可能使局部的过負荷达到不能容許的程度,对于大尺寸电阻,在波长与电阻器长度相差不多的情况下,阻值按长度分布的不均匀性,可能产生波的反射現象,因此,导电層的均匀性具有很大意义,获得均匀性的方法是陶瓷基体表面的精細加工,采用均匀細致的被碳工艺过程,以及精細地檢驗。

制造超高频电阻的主要困难是被碳后的 調准阻值只容許采用縱向刻槽(只能实现小調整)和重复被碳(仅能向小的一方面調准)。

YHY型电阻器:

YHY型电阻器为圆柱形,碳膜被在陶瓷柱杆($P_R \leq 2$ 瓦)上或陶瓷管($P_R > 2$ 瓦)上。其引出触点为燒渗在电阻器两端碳膜上的銀層。这样銀層也可以小圈状被复于需要抽头的部位的碳膜上。

YHY—III型电阻器:

YHY—III型电阻器为垫圈形,如圖9—303,a所示。被碳后在凸緣2 燒渗銀層,作为电阻器的引出触点。

这两种超高频电阻器的主要参数列于表9—18。

表9—18所列当降低功率使用时YHY的允許环境温度可达 130°C ,YHY—III可达 70°C ,高于 40°C 时每 10°C 应降低功率1%。在 $20-100^{\circ}\text{C}$ 范围内YHY的TKR不大于 $-4 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$ YHY—III 不大于 $-5 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$,在 $-10-+120^{\circ}\text{C}$ 范围内两种电阻都不大于 $-6 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

表9—18所列的功率是在正常冷却条件下的額定功率,当采用强制風冷时,功率大于10瓦的电阻器可以工作于5—10倍的过負荷条件下,可保持碳膜的温度不超过 150°C 。

YB型电阻器:

YB型电阻器是水冷式高频碳膜电阻器,它們制成功率大于1千瓦,阻值不超过几百欧,用来作为频率达100兆赫的等效負荷,圖9—309示出YB型水冷碳膜电阻器的两种結構形式,其制造工艺及主要規格与上述的YHY型电阻相同。

圖9—309,a所示的水冷电阻用作非对称負荷,整个电阻装入同軸綫的外导体內,并将接触环2 連接到同軸綫的外导体上,另一端的塞接头1与同軸綫的內导体連接,其中的接触环2、塞头1分别与电阻导流膜連接,冷却水由管接头3进入环形槽B—B,并由此流入有机玻璃保护套4与电阻本身5之間的厚度为0.5毫米的空隙中,到达电阻另一端的环境A—A后,再經過孔(示于A—A断面上)进入电阻基体的管(管內放有夹布塑胶

表 9—18

高频碳膜电阻的主要参数

型 号	额定功率在 40°C的条件下 (瓦)	尺 寸 (毫米)		阻 值 (欧)	在 $\tau = 1$ 微秒 时的最大电压 (伏)	最大试验 脉冲功率 (千瓦)
		长	直径			

1. YHY型电阻 (圆柱形) 100

YHY-0.1	0.1	8	1.8	由15到175	100	0.37
YHY-0.15	0.15	9	3	由7.5到75	250	0.71
YHY-0.25	0.25	15	4.5	由7.5到75	450	8.2
YHY-0.5	0.5	25	4.5	62; 75	500	3.25
YHY-1	1	28.5	6.5	62; 75	750	4.0
YHY-2	2	46.5	8.5	75	750	7.5
YHY-5	5	76	16	50; 75	4000	7.5
YHY-10	10	122	25	50; 75	6500	212
YHY-25	25	182	29	50; 75	8700	570
YHY-50	50	252	45	50; 75	12500	1000
YHY-100	100	352	64	75		2000

2. YHY-III型电阻 (垫圈式)

YHYIII-0.1	0.1	—	8	由6到28	55	0.11
YHYIII-0.15	0.15	—	12	由3到28	65	0.15
YHYIII-0.25	0.25	—	16	15	70	0.33

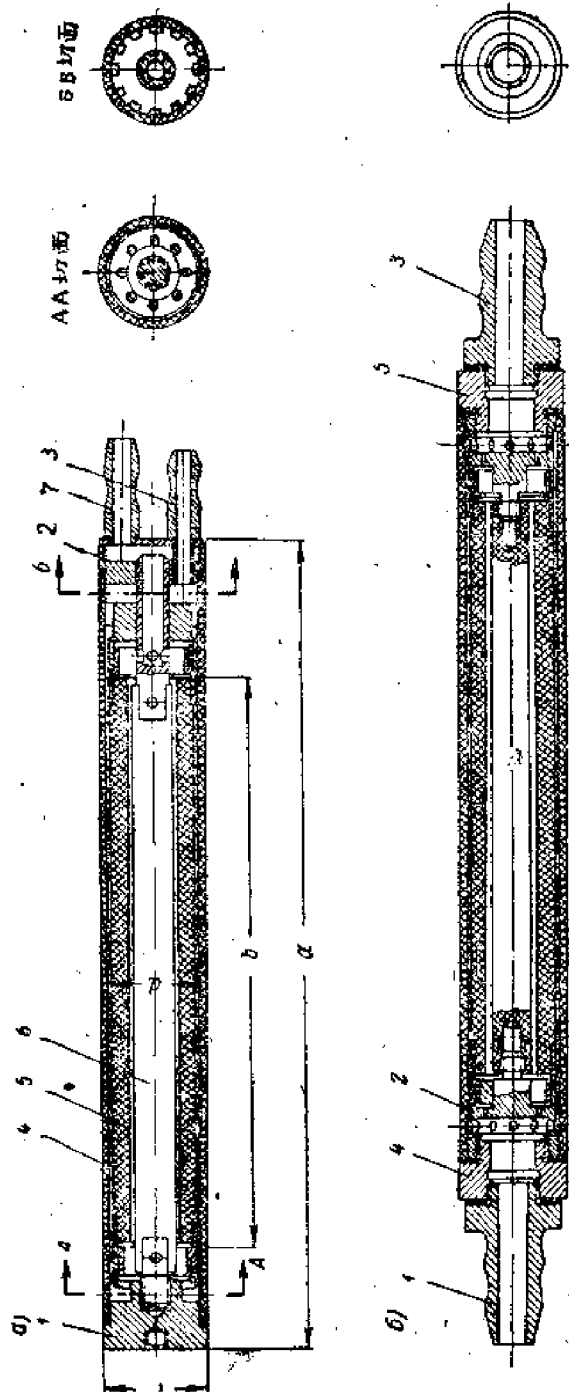


图 309

拉杆6)内,最后由管头7流出。

圖9—309,6所示的电阻器用作对称負荷,它以自己的接触环4和5分別接到对称双綫上,其中的接触环4和5与电阻体的引出端相連接。冷却水由管头1流入分流活門2,經分流活門同时进入电阻基体的内部及外部,并在电阻另一端会合由出水管接头3流出。

由于水冷电阻內的电流很大,必須保証电阻引出之元件与导流膜精密結合。为此,管状基体的两端在被碳前要进行研制,在兩端的碳層上用燒滲方法敷上銀層,再将車制的黃銅盖罩在上面。

由于阻值低,水的旁路影响不显著,所以冷却可用普通的自来水,管道內所需的压力不得小于4.5大气压,此时,在經电阻流出的水的温升不得大于15°C。

通常在使用水冷电阻器的设备中装有該电阻的自动开关,当水压低于規定值和流出水的温度超过規定温度时,开关自动断开。

VB型电阻的主要参数列于表9—19內,該表还列出了民主德国生产的水冷碳膜电阻器(HLS型)及水冷硼碳膜电阻器(HLBSW型)的主要参数,該种电阻器的结构如圖9

表9—19

水冷却式电阻的主要参数

型 号	功 率 (千瓦)	尺 寸 (毫米)				水消耗量 公升/小时
		a	b	c	d	
HLSW1	1	141	173	33	42	300
HLSW2	2	179	152	45	54	330
HLBSW2	2	141	173	36	42	600
HLSW3	3	229	152	45	54	420
HLBW3	3	179	152	45	54	720
HLSW6	6	335	245	56	70	480
HLBSW6	6	229	152	45	54	840
HLSW10	10	458	251	65	78	720
HLBSW10	10	335	245	56	70	960
HLSW20	20	698	251	65	78	900
HLBSW20	20	458	251	65	78	1 00
HLBSW40	40	698	251	65	78	1800
VB-5	5	352	270	45	37	300
VB-20	20	458	300	72	58	1200

—310所示，其阻值公差为2%。从表中数据可见，HLBSW型的允许单位负荷比HLSW型大（在相应的水消耗量较大的情况下）。

2. 金属膜电阻器：

金属膜电阻器和碳膜电阻器一样也是薄膜型电阻器。其导流部分是金属或合金薄膜（厚度约为0.1微米或更厚）。这层薄膜是采用真空蒸发法或阴极溅射法沉积于介质基体上制取的。在制造工艺上，金属膜比碳膜具有更大的灵活性，不仅易于变更薄膜厚度，而且可以变更其成分，同时还以采用金属与半导体的合金，这样一来，在控制薄膜电气性能方面开辟了非常广阔的前景。此外，更可贵的是可以更广泛地选择基体材料（不仅用陶瓷，而且可用易熔玻璃、层状塑料等），因为在沉积薄膜过程中，基体实际上不经过加热。但是，在制造工艺上也有缺点，即由于沉积过程所引起的薄膜不均匀性，以及对绝缘基体表面的要求太高。

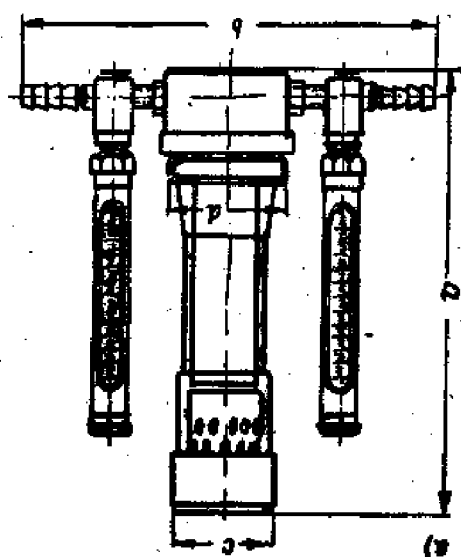


图9—310 HLSW型水冷却式电阻

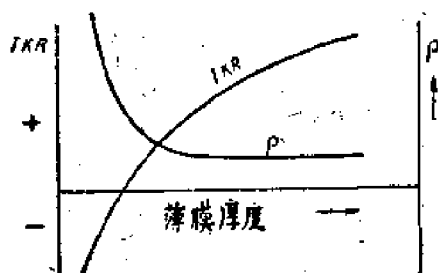


图9—311 金属膜电阻率和电阻温度系数与厚度的典型关系曲线

所沉积的金属薄膜的电性与原来金属的电性能有很大区别，随着厚度的减小，薄膜的比电阻增加，而TKR减小并在某一厚度通过零值而转入负值区域（见图9—311）。

当厚度达到数层分子的厚度时，其导电性几乎完全消失。

薄膜的比电阻和TKR除与其厚度有关外，还与金属种类（或合金的成分），形成薄膜的方法有关。

按照Я.И.福連克尔等学者的解释，当沉积金属很少时，金属薄膜以零散微粒的形式分布于基体表面上，在颗粒之间未形成桥接以前，电导率和电阻温度系数仅取决于金属微粒之间的间隙大小其电子的逸出功，而与金属的其它性能无关（并因此而与原金属性能有区别），随着沉积金属的增多，微粒间的间隙减小，则电导率增高而电阻温度系数的负值减小，当厚度约大于0.01微米时，形成了结晶核和晶体的导电链，此时，薄膜的电导率将大大增高，再将薄膜进行热处理，能促使其结晶，因而其性能将进一步接近于具有结晶结构的金属。基体表面的显微结构影响其结晶条件，并因此而影响薄膜的均匀性，这便是对基体表面质量要求特别高的原因。

微粒的电子接受了外界能量（如电场，温度，光能）后可以达到（或接近）逸出功的数值，也就是说其电导率受外界的影响，因此，极薄的（小于0.01微米）金属层要获得电性能对外界因素的高稳定性是十分困难的，所以，在金属膜电阻器中采用厚度大于0.1微米的金属制造，这种具有接近于结晶金属的薄膜如果用贵金属或难氧化的金属制造，可以在不需密封的条件下获得高稳定性。

金属膜电阻器可以用碳膜电阻器相同的刻槽方法来调整阻值。同时，由于沉积的金属膜具有很高内聚力，当用作可变电阻时，其耐磨性良好，但这种性能使它不能用碳膜电阻生产中广泛采用的机械磨去膜层方法来精密调整阻值。

基于上述的金属膜本身的特性及其工艺特点，所产生的金属膜电阻器与碳膜电阻相比较，具有如下优点：

1. 稳定性较高—耐湿性高，防潮系数小与电压的关系较小，老化性小及温度系数较小。
2. 阻值上限较高。
3. 噪音电平稍低。
4. 尺寸小——由于耐温性较高的结果。
5. 薄膜耐磨性好，可制造可变电阻器。

它的主要缺点为：

1. 难于获得均匀的金属薄膜（不均匀性使产生局部过负荷），不能制造大功率的电阻。
2. 材料成本及工艺要求较高，价格昂贵。

因此，金属膜电阻器也和碳膜电阻器一样可作为一般用途的精密与半精密的以及超高频的电阻器，此外还可作为可变的通用电阻器。

下面将分别讨论几种主要类型金属膜电阻的结构及基本特性。

MLT型电阻器：

MLT型电阻器属于一般用途的电阻器。

MLT型电阻器的结构如图9—312所示，各种电阻的基体都为陶瓷管（由于工艺上的要求）其中小于5瓦的电阻的引线为轴向的，对于小尺寸电阻来说，轴向引线更便于

使用，5瓦和10瓦的电阻则为径向引线。

表9—20列出了MLT型电阻器的基本参量。

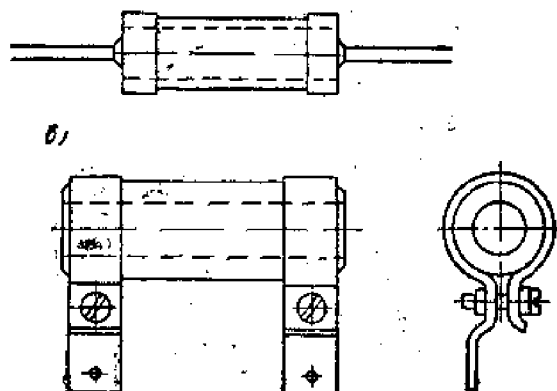


图9——312 MLT型电阻的结构

a) 0.5, 1和2瓦 b) 5和10瓦

表9—20 MLT型电阻的基本参数

电阻类别	温度在 70°C时的 额定功率	基体尺寸 (毫米)		单位负荷 瓦/平方厘米	阻值范围		在40毫米水银柱条件 下的极限电压	
		l	D		欧	兆欧	连续电压 伏(有效值)	脉冲电压 伏
MLT-0.5	0.5	10	3.2	0.42	100	5.1	350	750
MLT-1	1	12	5	0.39	100	10	500	1000
MLT-2	2	17	7	0.4	100	10	750	1200
MLT-5※	5	46	15	0.22	510	10	1000	5000
MLT-10※	10	66	26	0.19	510	10	1800	10000

注 有※符号的是工业上暂时还没有生产的。

由于利用不易氧化的金属膜作为导流元件并涂有耐热保护漆层，所以MLT型电阻与BC型电阻器相比较具有较高耐温性，因而在相同额定功率下具有较小的尺寸，以及在较高的周围介质温度（+70°C）时能够在满额定功率的负荷下工作，此外，它比BC电阻具有更好的耐潮性。

当MLT型电阻器在高于70°C的环境温度下使用时，其容许的额定功率可从图9—313曲线中求得。

当压力降至40毫米水银柱时，由于散热条件恶化，各种MLT型电阻器的容许负荷功率应相应降低40%。

所有MLT型电阻器对于额定阻值的容许电压，无论是连续负荷或脉冲负荷，均可从

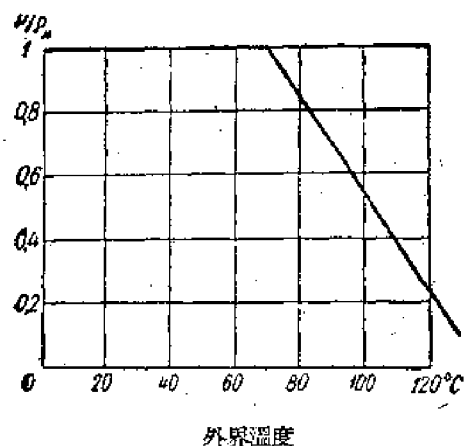


圖 9—313 在外界溫度不同的條件下，MIT型電阻的容許負載（用與額定功率的比表示）

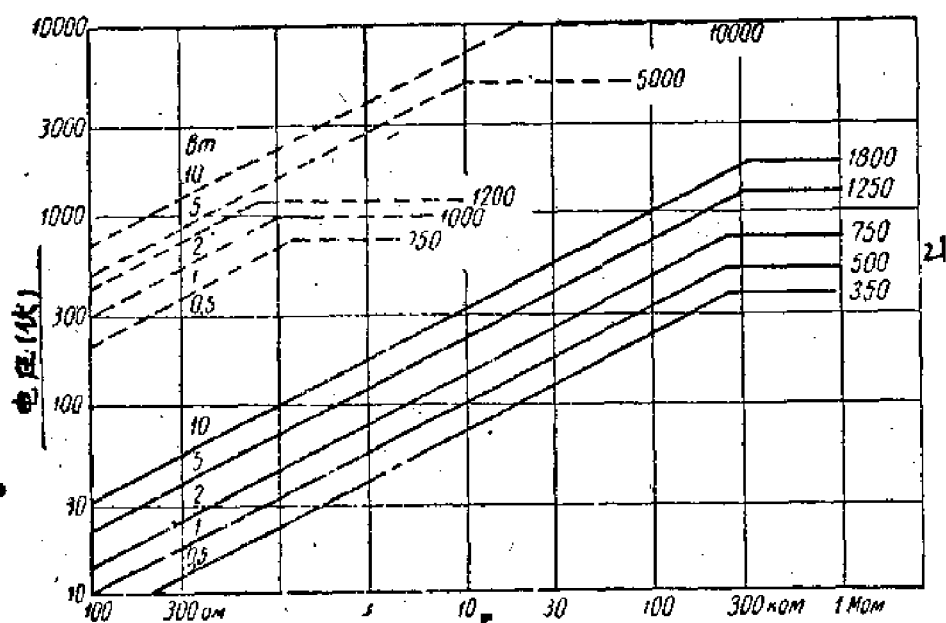


圖 9—314 連續負荷（用實線表示）和脈沖負荷（用虛線表示）時MIT型電阻的容許電壓

圖 9—314 中求出，由於尺寸小，MIT 型電阻器的極限電壓比同樣功率的 BC 型電阻器小，但比長度相等的 BC 型電阻器大。

MIT 型電阻器對溫度循環性變化比較穩定，MIT 型的高阻值電阻器的溫度系數較小，但在一批電阻中可能有正有負。因此，只有按照溫度系數符號進行分選後，這一優點才表現出來，反之，必須估計到溫度系數容許有兩倍數值的变化範圍。

MIT 電阻的基本特性列於表 9—21

MIT 電阻的主要缺點是脈沖負荷下穩定性較低，主要是由於導流膜不均勻所致，脈沖負荷下容許的平均功率降至額定值的 20%，因此在脈沖電路里使用 BC 型電阻器更為恰當。

MIT 型電阻器的導流膜的電阻率大，容易用較厚的導膜層獲得較高的阻值，但同時

表9—21

MJT 型电阻的基本特性

特 性	定 額 %	試 驗 規 范
老化系数		
对于0.5、1和2瓦的电阻	±4	在20°C时加以1.5-3P _n 条件下經120小时
对于5和10瓦的电阻	±6	
负载系数	±6	1%和100% P _n
防潮系数		
1兆欧以下的电阻	-3+6	400小时 相对湿度98% 温度10°C
1兆欧以上的电阻	-2+9	
耐热系数		
0.5、1和2瓦的电阻	±2.5	在-60到+20°C范围内加负荷經三次循环
5瓦和10瓦的电阻	±3	
存放系数	±3	在庫内存放6个月
脉冲负荷系		
0.5、1和2瓦的电阻	±3	在平均功率为額定功率20%下,加1000倍額定功率的脉冲电压經0.5小时
5瓦和10瓦的电阻	±3	在平均功率为額定功率30%下,加500倍的額定功率的脉冲电压經0.5小时
耐震系数		
0.5、1和2瓦的电阻	±2	加速度15g
5到10瓦的电阻	±2	加速度6g
噪声电动势	5微伏/伏	在最大电压下10千赫的
0.1°C的温度系数(%)		
1兆欧以下的电阻	±7	+20到+120°C
1兆欧以上的电阻	±11	+20到+120°C
于所有額定值电阻	±12	+20到-10°C

由于接触件与导流膜之間的接触电阻較大,却又妨碍了稳定低值电阻(100欧以下)的制造。

MJII型电阻器:

由于MJII电阻所采用的结构的改变,現在MJII电阻已改称为MTII(金屬膜的、密封的、精密的)型电阻器,但同时由于使用上的習慣,某些資料中仍称MJII电阻。

MTII电阻制造上不同于MJT的地方是精确地选择合金和毛坯加工规范,严格地檢驗,高压老練,剔选以及密封等,并且降低单位负荷和温升,因此,它的电阻温度系数很小(在 $\pm 1.6 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 内),稳定性高,这种电阻制造公差为1和0.5%,額定功率是根据外界最高温度为+50°C計算的。

这种电阻的结构如图9—315所示,电阻的基体采用MJT—2的尺寸,其中图9—315.a是密封在陶瓷管内,图9—315B密封在金屬管内,内部用环氧树脂澆鑄封口。

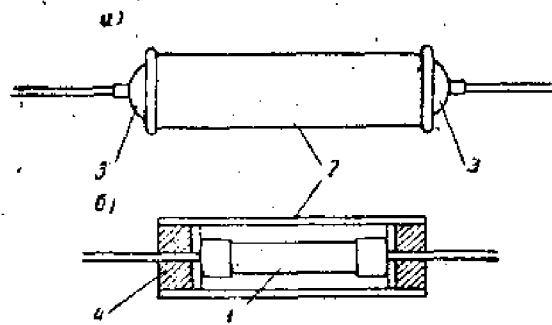


圖9——315 MJII型密封电阻的結構

1—电阻； 2—金属保护管； 3—玻璃绝缘子； 4—灌注环氧树脂

表9—22

MJII型电阻的基本特性

特 性	TV的标准 %	試 驗 規 范
老化系数	0.5	在20°C下加額定負荷經100小时
防潮系数（整批的平均值）	0.5	在20°C时，98相对湿度下放置24小时
存放系数	0.5	在庫內存放6个月
溫度系数°C ⁻¹		
1 級品	$\pm 1 \times 10^{-4}$	
2 級品	$\pm 2 \times 10^{-4}$	从+20到+80°C

MJII型电阻的主要特性見表 9—22

3. 金属氧化膜电阻器：

近几年来由金属氧化物及其合成的导电薄膜在工业生产中也得到了发展。虽然这些氧化物都是半导体，但在一定条件下仍能制成电阻率很高和电阻温度系数很小的薄膜，在大多数情况下，兼有半导体和导体两种性能是由于在氧化物成分内的过剩金属引起化学计算值的偏差所造成的。

金属氧化膜电阻类似于金属膜电阻，不同的是金属氧化膜电阻的制造工艺比较简单，而且在许多情况下耐热性较高。

目前二氧化锡薄膜电阻（即“锡酸盐”电阻）得到了最广泛的实际应用。这种电阻的制造过程不需要特别的温度，也不需要特殊的气体介质或真空。

二氧化锡薄膜可用化学方法沉积在玻璃或陶瓷的表面上方法制得（用氯化物 SnCl_2 或 SnCl_4 作原料），也可用逐渐加热锡金属膜（到400°C）以使其氧化方法制得。

用上述方法获得的二氧化锡薄膜与基体结合得很牢固，很坚硬，能耐酸，耐碱，并能耐高温（400°C以下。然而，如果有电解液时加上直流电压，二氧化锡薄膜会很快的破坏。

纯二氧化锡薄膜的电阻温度系数是负的，并且也和金属膜和碳膜一样，随薄膜厚度

的减小而增大，因此，为了保证稳定，薄膜最小容许厚度要在0.01—0.1微米范围内，

改变制造过程的条件及薄膜成分（加入不同制剂，如三氧化二锡），能在保持温度系数很小的条件下获得阻值范围较宽的薄膜电阻，沉积好的薄膜在400°C以上的温度下进行热处理，可使其导电率在某种范围内变更。

这种电阻的应用暂时还受着限制，因为在容许的外形尺寸的条件下还不能得到阻值大于 10^5 欧的电阻，然而，可以断定，若在提高极限阻值方面能够进一步的改进，将促使这种电阻使用范围扩大，特别是对于在高温条件下工作的设备。

4. 合成型电阻器：

作为合成型电阻器导流元件的合成体是一个多相系统，其中的一相是导电相，作为导电相的是另散粉状的导电物质（例如，常采用碳黑和细磨的石墨形形态的碳素）。非导电相的成分是：

1. 胶合用的介质材料——用来使合成体从机械上结合成密实的固体。分为有机的（如酚醛树脂）和无机的（陶瓷、玻璃）。

2. 粉状惰性材料——用来获得所要求的合成体结构以及机械性能。多数是采用矿物作填料，例如，二氧化钛、二氧化锆、硅酸、滑石粉、硫酸钡、云母粉、石英粉、磨碎的玻璃和其他材料等。

为了使合成物的电性能接近导电相的性能，必须使非导电成分不参与总的电导率，因此，导电相应当是连续的，同时非导电相的电导率应大大小于导电相的电导率。

制成的合成体的结构如图9—316所示，填料填充了合成体内的某些体积并相对地增加了分布在粘合介质材料内的导电成分的密度。



图9—316 具有惰性填料的合成物的结构图。黑色的点是导电体，白色的是填料。

改变各种成分的含量，可以改变导电物质的密度，因而可以改变合成物的电导率，导电成分含量小于某一极限，则电导率急剧下降，因为此时导电成分的连续链已为介质切断。但是，由于很薄的隔离介质层的电导率可能大大地大于介质的电导率。所以，导电颗粒间不能看作是完全绝缘的。

与上述物理概念相符的合成物的等效电路如图 9—317 所示：

图中 γ_n ——导电微粒的电阻；

γ_k ——微粒间的接触电阻；

γ_a ——微粒间隔离介质层电阻；

R_c ——粘合介质的电阻；

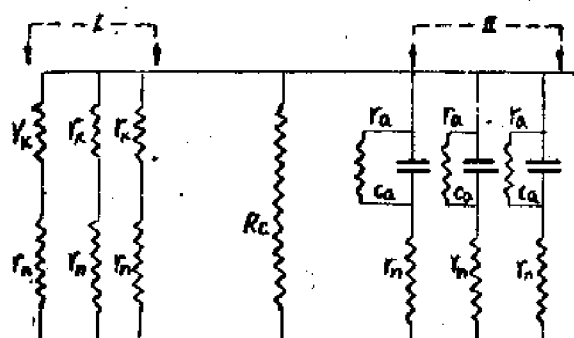


图 9—317 合成导体的等效电路

1——导电成分的連續鏈

2——导电成分的断續鏈

C_a ——微粒間層的电容。

电路的左面部分 I 是导电结构的連續（鏈狀）部分，右面部分 II 是断續部分或“粒状”部分。

断續部分具有介質的性能，这是电阻所不容許的，所以，实际上必須使合成物的鏈状結構起决定的作用。在鏈状部分中，除了在大压力下制成而且粘合介質含量少的低阻值合成物外，在大多数情况下，接触电阻起着决定性作用。

由于这个原因，使合成电阻的电压系数和接触噪音变得很大。同时也促使电阻器在长期負荷，（局部加热）的条件下产生显著的老化。

微粒間層电容（“内部”电容）的存在，还限制了电阻器的使用頻率。粘合介質的高頻損耗和表面效应也同样限制了电阻器工作頻率上限。

此外，含有机粘合介質（树脂）的电阻易受水份和高温的影响，但無机粘合介質（玻璃、陶瓷）的电阻却可达到較高的耐热性和防潮性。

由于上述的缺点，合成电阻不能使用在精密的高頻設備中，但并不妨碍該种电阻在一般用途电阻中的广泛应用。其主要原因是合成电阻的价格較低（只为薄膜电阻的几分之一）而且在使用上非常可靠，仅在电阻本身受到机械损伤时才可能损坏（由于导流元件断面較大）。

如上所述，合成物的电阻率可以輕易地用改变混合物的材料及其比例的方法在很寬的範圍內进行調整。有机粘合材料的合成物其数值可由 1 到 10^6 欧·厘米。因而，可能在导流元件断面很大的情况下得到高欧电阻而保証一定可靠性和稳定性（特别是实心結構时）。有机粘合介質的合成电阻器可作兆欧电阻器，無机粘合介質的合成物的电阻率較

低，只能达到 10^3-10^5 欧一厘米，不能用作兆欧电阻。

在工艺上，合成物便于制成任何形状（块状的或在任何基体表面上形成均匀薄膜片状的）的导流元件，这一点在薄膜型电阻器的沉积方法是作不到的，因而合成电阻可作成印制电阻、小型高欧电阻、大功率高压电阻等。

对最广泛应用的有机粘合剂来说，生产工艺上比较简单，不需复杂设备，贵重材料以及高温或真空过程，这是成本低的原因，但是对无机粘合介质的合成电阻却完全相反。

形成的合成体具有一定的耐磨性，也可作一般用途的可变电阻器。

除此之外，合成电阻还有一个特点，是可用改变合成物成分和工艺规程的方法在一定范围内控制电阻器的其它某些电气参量，例如，可改变电阻温度系数的大小及符号，其原理如下：

合成物的电阻温度系数TKR主要决定下面两个因素：（由其粒状结构特征确定的）。

1. 导电材料的电阻温度系数TKP₀；

2. 当温度改变时，由于导电微粒上压力改变导致导电微粒间接触表面变形所引起的与接触电阻有关的温度系数TKR_p，它不决定于粘合介质的成分和成型件的压力。

可用下式表示：

$$TKR = TKP_0 + TKR_p$$

在大多数情况下，TKP₀为负值。

对于无机粘合介质的合成电阻，一般成型压力很大，TKR_p非常小，而TKR实际上只由TKP₀决定。

对于不用压缩而自由形成漆膜方法获得的薄膜合成物（称合成漆膜），由于压力很小TKR值可以达到相当大的正值，因而可用改变压力（在容许范围内）或根据相应的TKP₀值选择导体的方法来达到规定的特别是接近于零的TKR值。但这种补偿的可能性只能局限在一定的温度范围内。

在了解合成电阻一般特别的基础上，让我们进一步讨论某些类型的合成电阻。

（1）一般用途的实心固定电阻器：

在苏联已很少采用一般用途实心电阻器，我国和其他国家仍广泛地采用。

这种电阻一般作成图9—318所示的结构，导流部分是合成体压成的圆柱体，金属

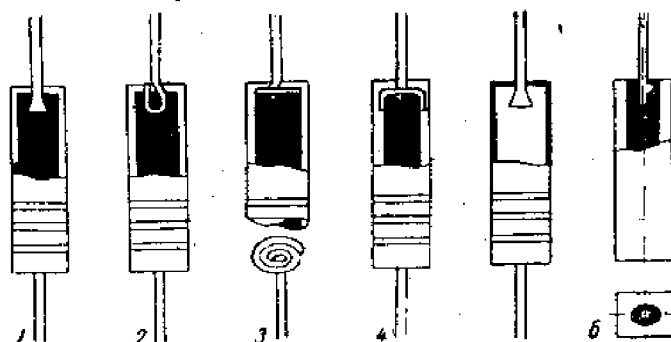


图9—318 实心电阻的结构

1、2、3、4、6——外壳绝缘 5——漆绝缘

引出线嵌压在合成体内部，用接触胶粘合上的引出线的结构（图中的3）和帽盖式引线结构（图中的4）使用得不太普遍，因为制造过程较复杂，以及接触胶可能引起电阻特性的变坏。导流部分一般具有塑料的，玻璃釉的保护绝缘外壳或涂漆的绝缘层。

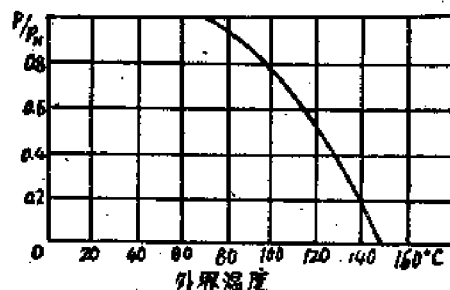


图 9-319 美国实心电阻的负载曲线

实心电阻的额定功率相应于外界温度70°C的最大工作温度允许达150°C。当外界温度增高时，容许负荷可按图9-319求得。该种电阻器具有这种种宝贵优点是因为，压制的合成物比薄膜电阻具有较高的耐热性，以及导流体为实心结构，内层的氧化极微，这种情况也有助于防潮性和耐盐水性的提高。

表 9-23

实心电阻的主要参数

70°C时的额定功率 瓦	尺寸 (毫米)		单位负荷 瓦/厘米 ²	阻值范围		最大电压 (伏)
	长度	直径		欧	兆欧	
0.5	9.5	3.5	0.4	10	22	350
1	14	5.5	0.4	10	22	500
2	17.5	8	0.4	10	22	1000

这种电阻器的规格符合于表9-23所列标准。

TBO型实心电阻器是用玻璃釉作为粘合介质的，功率由0.25瓦到100瓦，结构如图9-38中6所示。该电阻被封在玻璃壳内。这种电阻的稳定性大大超过有机胶合剂的实心电阻，而且具有很高的防潮性。在极限阻值不超过数百千欧时，能制成阻值一致的和性能良好的电阻。功率为0.5瓦的电阻的尺寸为2.5×18毫米。

(2) 一般用途的合成漆膜固定电阻器。

这种电阻器的结构示于图9-220中，基体是细玻璃管（外径是1.5—2毫米），其外表面涂合成物的悬浮体。镀银的铜引出端用专门的导电胶粘合到基体上，具有引出端的基体嵌压在塑料保护外壳内并有复合物浸渍。

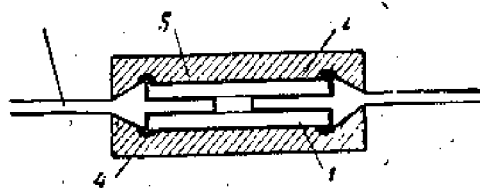


图9——30 BT型TO型电阻结构

1—玻璃基 2—导电膜 3—引线 4—接触胶 5—防护外壳

苏联生产的这类电阻为TO型和TOM型电阻。这些电阻器的主要参数列于表9—24中。

表9—24 TO、TOM和BT型电阻的主要参数

型 号	额定功率 (瓦)	尺 寸 (毫米)		单位负载 (瓦/厘米 ²)	过热温度 °C	阻 直 范 围		最大电压 (伏)
		长度	直径			欧	兆欧	
BTR	2/3	10	2.4	0.1	40	80	21	250
BTS	1/2	10	3.2	0.14	40	10	22	350
BTA	1	13	6.4	0.25	52	100	23	500
ETB	2	31	6.4	0.25	72	300	23	500
TO—0.25	0.25	17	5	0.03	25	300	10	200
TO—0.75	0.75	33	7	0.1	40	750	1.5	400
TOM	0.1	10	3.2	0.11	20	300	6.8	200

TO、TOM型电阻器比FC、MJT型电阻器便宜，但它们的性能坏些，电压系数为20%，噪音电平达60微伏/伏在负荷及保存时的不稳定性最大。

(3) 大功率合成电阻

功率大于2瓦的合成电阻器，在高压装置中和高频电路内用作负载电阻。这种电阻器绝大部分是用合成漆膜制成的。这样就保证了很小的电压梯度和极微的集肤效应。

高压漆膜电阻的特点首先是具有较大的额定阻值和耗散功率。为了得到满意的伏安特性，导电膜呈螺旋状，其长不得小于2厘米/千伏。

高压电阻的极限电压由电气强度确定，因其电阻值可达100—1000兆欧。

苏联生产的这种电阻器的型号为KLB，其结构如图9—321所示；

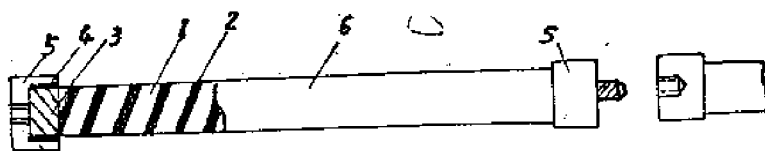


图9——321 KLB—30型高压电阻器

1—陶瓷基体 2—导电的漆膜螺旋线 3—石墨层 4—接触胶
5—金属筒 6—涂漆保护层

KJB 电阻器采用瓷棒基体，电阻器的引出端做成特殊的帽形，便于几个电阻进行串联（当必须提高允许电压时）。这种电阻制成额定阻值由47到1000兆欧，误差在15%以内，电压系数不超过15%，温度系数平均不超过 25×10^{-4} 。

KJB型电阻的主要参量列于表9—25

表9—25 高压电阻的主要参数

型 号	25°C时额定 功率 (瓦)	尺 寸 (毫米)		阻 值 范 围		最大电压 (千伏)
		长 度	直 径	千 欧	兆 欧	
KJB—10	1	46	8	47	1000	10
KJB—35	3.5	140	10	100	1000	35

(4) 高欧电阻器

图9—322所示为高欧漆膜电阻器的几种结构，

KJM型电阻的结构与BC型电阻相同，额定阻值为 $10^1—10^{12}$ 欧范围内，公差为20%、10%与5%。TKR不超过 $\pm 20 \times 10^{-4}$ 。最大工作电压为300伏，电压系数不大于10%，相对湿度在85%以下时电阻变化在5%以内，98%时防潮系数达15%。

KBM型电阻是高欧电阻器中一种比较完善的结构，电阻焊封在真空度约0.1—0.05毫米水银柱的玻璃管内，管的表面用防水物质处理，这样几乎可以完全免除水的浸润，因此能在100%的相对湿度下稳定地工作。管内的真空也有助于电阻的稳定性，特别在较高的温度下，因为它可消除漆胶合体的氧化破坏。为了同样目的也可充惰性气体。

KBM型电阻器制成两种结构。

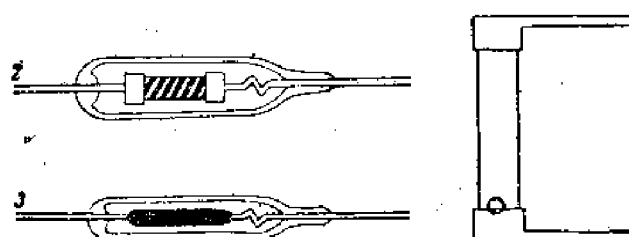


图9—322 炭黑漆膜高阻值电阻的结构

1—KJM型 (涂漆的)；2，3—KBM型 (真空的)

第一种结构(2)电阻器的基体是瓷棒，尺寸与KC—0.25型电阻器相同，制造工艺与KJM型电阻器相类似。在制造及保存后把电阻器封焊在玻璃管内，并在管内建立约0.1—0.05毫米水银柱的真空。

第二种结构(3)中，基体是玻璃棒。在其内部焊入金属引线。

表9—26 漆膜高阻值电阻主要参数

型 号	尺 寸 (毫米)		阻值范围 (兆欧)	最大电压 (伏)
	长 度	直 径		
KJM—1	31	6.5	$10-10^5$	300
KJM—2	28	4.5	10^5-10^6	100
KBM	50	6	$10-10^6$	100

(5) 小型电阻器

在小型电阻中, 由于直径小和热量通过引线的传导相当大, 因而具有很大的散热系数, 所以, 小型电阻的尺寸往往不决定于负荷功率, 而决定于容许电压梯度和生产可能。生产上最大的困难是引出线的固定, 引线占去电阻有效体积。

该电阻的特性与该型号的一般尺寸的电阻器相同, 误差为20%, 通常用清漆或瓷漆保护, 并用颜色标志。玻璃棒的端面及焊接引线处的基体用烧渗法烧上银, 然后再涂上导电膜, 这种电阻同样也放在建立真空的玻璃管内。

KMM型小型电阻器的结构图示于图 9—323 中电阻器的基体是玻璃棒, 棒内熔接入金属引线, 用烧渗法在棒的两端面涂银, 并使银层包复部分引线, 然后再涂压导电膜和涂保护瓷漆。小型电阻器的参量列于表 9—27 中。

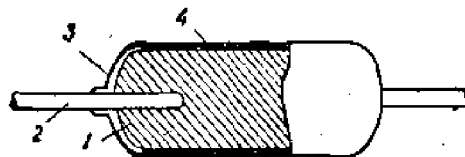


图 9—323 KMM小型电阻的结构

- 1—玻璃基体 2—金属引线 3—用烧渗法得的银层
4—导电膜 (清漆数层来表示出)

(6) 印制电路用的电阻器:

在介质底板的必要部位采用喷雾法或反复滚压法敷上一定形状合成悬浮体, 便形成了“印制电阻”, 这种电阻属于漆膜电阻器的类型, 具有与前述相立漆膜电阻相似的特性, 但由于依靠底板散热, 单位负荷更好。

在一个公共的底板上同时涂敷许多电阻时, 不能保证所需的阻值精确度, 特别是对于高值电阻, 因为在这种情况下, 每个电阻单独地进行热处理实际上是不可能。因此, 在要求精确度优于25%时, 必须采用从外表面磨擦膜及或切割的方法单独地调整, 欲减

小电阻时，可用低阻物质按其需要长度涂敷其两端。因为印制电路的主要优点是生产的自动化和机械化，所以单独调整电阻的方法影响了其整个生产过程的效率。

表9—27 小型电阻的主要参数

型 号	功率 (瓦)	导 体 种 类	生 产 者	尺 寸 (毫米)		阻 值 范 围
				长度	直径	
KMM	0.1	薄膜式	苏 联	7	2	0.5兆欧-100兆欧
TR	0.1	实心式	美国阿林布莱德里公司	3.5	1.7	1千欧-22兆欧
—	—	薄膜式	意大利西哥公司	5.1	1.9	10兆欧以下
HWK	0.1	薄膜式	德意志民主共和国	12	2.4	1兆欧-10兆欧
HWK	0.05	薄膜式	德意志民主共和国	8	2.4	—//—
WBN	—	实心式(陶瓷胶合剂)	德意志民主共和国	7.5	1.5	100欧-0.5兆欧
—	0.12	薄膜式(线状)	美国国际电阻公司	7.5	1.25	100欧-0.3兆欧

最近，美国已开始生产专用的带式“粘合”电阻，它可以成品形式粘贴在印制电路中，这种电路是在硅树脂漆浸渍过的专用石棉纸带上，用喷雾法经多次涂敷上导电合成悬浮体制成的。导电合成物中含有硅有机漆和特别耐热炭黑和石墨。因此，就保证了电阻能够在200°C以内的温度下工作。

将厚度0.25毫米、宽32毫米的石棉纸带通过专用箱在其内部进行涂敷，干燥和局部聚合。涂上的薄膜经局部聚合后在某种程度上仍保持着粘性，为了防止互相粘合，在带上涂敷一层聚乙烯薄膜以防止粘合，然后再绕成圈，即为成品，使用时，把它剪切成需要的尺寸。标准尺寸通常为3.2×10毫米，为了精确调整阻值，可以稍微改变其宽度，把薄片带粘性的一面粘在电路中预先准备好接触引线的相应位置后，在250—300°C的温度下聚合3—4小时。聚合后即牢固地粘合在底板上，得到所需的阻值，所需的宽度的精确尺寸用预先试验方法确定。

上述尺寸的电阻，用改变合成物成份的方法，可以得到10欧—10兆欧范围的各项阻值。低于150欧的电阻，采用含分子银（与石墨混合）的合成物。

这种电阻在负荷功率相当于1瓦/厘米²和温度为200°C的条件下经过500小时后，其变化不大于6%。

电阻粘在底板上后，用耐热敷层保护。

II. 非线绕可变电阻器

非线性绕可变电阻器具有多种类型，但它们的结构全部（或主要部分）按如下型式制成，如图9—324所示：

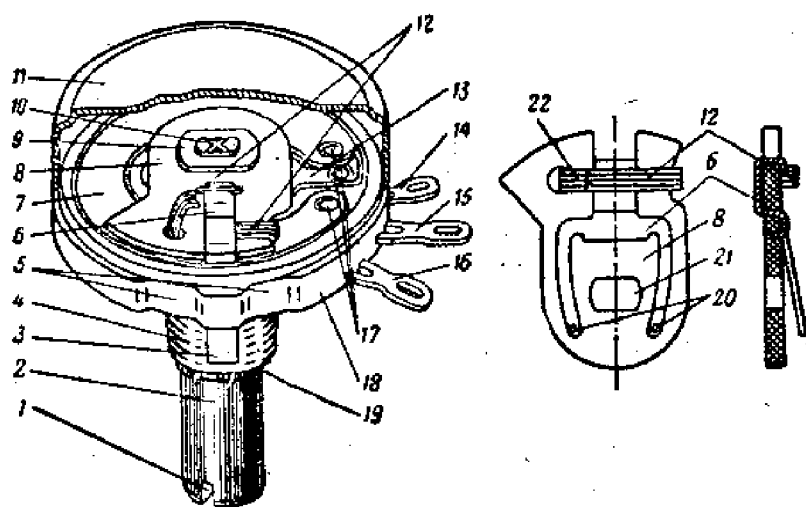


圖9——321 470歐，1瓦的可變非線繞電阻器

- | | |
|--------------|------------------------------|
| 1. 起子槽 | 13. 固定的接觸環 |
| 2. 軸 | 14. 16. 弧形電阻 7 端頭的引出端 |
| 3. 固定其方位角的凸部 | 15. 固定接觸環的引出端 |
| 4. 套筒軸承 | 17. 引出端 14. 15. 16 與電阻元件連接鉚釘 |
| 5. 安裝蓋子和鉤的凹部 | 18. 塑料基座 |
| 6. 滑動触点 | 19. 開口小 |
| 7. 平面弧形電阻元件 | 20. 可動触点 6 與固定接觸環 13 的接觸處 |
| 8. 可動支板 | 21. 固定軸的孔洞 |
| 9. 成形的墊片 | 22. 彈簧與電阻元件的接觸處。 |
| 10. 軸端的鉚接點 | |
| 11. 蓋子 | |
| 12. 触点的彈簧 | |

帶有導流層的平面弧形板 7 裝在金屬或塑料的基座 18 上，板的導流層兩個（或一個）末端有不動的引出端。軸承 4 內裝有轉動軸 2，它帶動可動的滑動触点 12，以改變電阻元件的工作長度。固定有滑動触点的可動支板 8 具有輔助触点 20，用它來保證與固定引出端 15 的電氣連接，軸上可裝上旋鈕或具有起子槽 1。在可動機械的上面戴上金屬或塑料的保護蓋 11。套筒軸承 4 的外表面具有螺紋，借助於旋於其上的螺母，可將電位器固定到設備的底板上，為了防止在震動和沖击時可動触点發生位移，某些類型電位器具有伸長的并帶縱槽的套筒（制動軸套），借助於附加的鎖緊螺母可將軸鎖緊。

I. 漆膜可變電阻器：

這是一般用途可變電阻器中最常用的一種。

CH 型可變電阻器是供一般的直流或交流電路中調整電壓之用。

按阻值隨轉角的变化規律分三種：如曲綫圖（圖 9—325）所示，這種電阻器的轉角約為 250°。

圖中，A—直綫式，常用來調整電路中的直流電壓，以便得到所需的工作狀態。

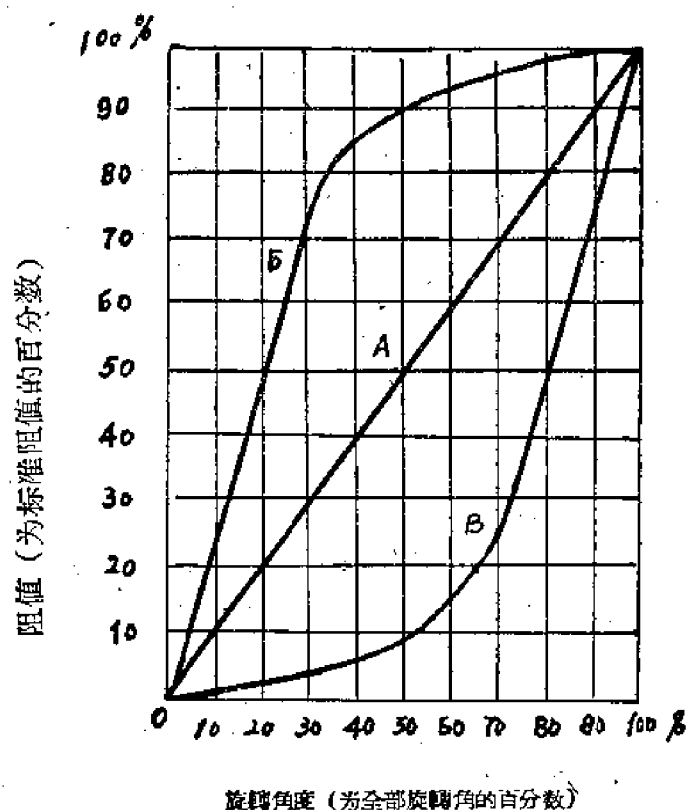


图9——225 阻值与旋转角的关系曲线

▲—直线式 6—对数式 B—指数式

B——对数式，主要用在滤波器中，作为接收和放大设备中的音质调节。

B——指数式，主要用作音量调节。

非线性的变化规律是通过漆膜电阻率（成分）随电阻元件长度的变化实现的。

按结构CII型电阻器又分为四种类型，即：

CII—I——单联电位器。

CII—II——带有制动轴套的单联电位器。

CII—III——双联电位器。

CII—IV——带有制动轴套的双联电位器。

BK型及TK型可变电阻器——与CII—I型结构相类似。主要区别是额定值的等级不同（自2500欧至75兆欧），其中TK型电阻上还附带装有一个开关（在收音机中常用作电源开关）。不同的变化规律电阻器制成不同的额定功率和额定阻值，如表6所列：

2. 实心可变电阻器：

实心可变电阻器主要应用在要求具有很高可靠性和耐磨性的专用设备中，因为实合成体具有比漆膜合成更大的耐磨性，在使用上更为可靠。

按苏联规格生产的实心可变电阻器具有如下型号：

表 9—28

型 类	額 定 功 率	額 定 阻 值 范 圍
直 綫 式	<0.5瓦	2500欧——7.5兆欧
对 数 式	<0.2瓦	15000欧——2.0兆欧
指 数 式	<0.2瓦	36000欧——2.0兆欧

CH0型——基体是陶瓷質(皂石瓷)，盖子是金屬的，导流層采用無机胶合剂(玻璃釉)，压入陶瓷基体的弦形沟槽內。与CH型漆膜电阻器相比較具有相当大的厚度(0.3—0.5毫米)，但与固定实心电阻器相比，这个厚度仍相当薄，因而阻值可能达到几兆欧(达到有机胶合介質时的阻值)，由于采用了無机胶合剂，这种电阻具有优良的防潮性和耐热性。

实心可变电阻器可用分段装料方法获得电阻率沿长度的变化，并可用磨的方法进行精密的阻值調整，但是，由于工艺較复杂，目前国产的CH0型电阻器只生产直綫式变化規律的。

CH0型的結構与CH型相似，CH0型电阻器又具有两种。即CH0—0.5(額定功率<0.5瓦，小尺寸，260°轉角)和CH0—2(額定功率≤2瓦，較大的尺寸，290°轉角和高的耐震性)。

按結構形状CH0—2型电又分四类，其中：

CH0—2—I：单联可变电阻器(分軸端带起子槽、無起子槽、带銼平面三种)。

CH0—2—II：单联可变电阻器(只有軸端不带起子槽一种)。

CH0—2—III：双联可变电阻器(有軸端带起子槽、無起子槽及带銼平面三种)。

CH0—2—IV：双联可变电阻器(只有軸端不带起子槽一种)。

漆膜及实心两种可变电阻都属于合成型的，它的电特性与同类固定电阻器特性相同，为了便于比較和選擇，将基本参量列于表9—29，

其它电气参数使用时可参閱产品目录，

国产的合成型可变电阻器还具有其它型号，如华北無綫电器材厂按德国标准生产的224—1、224—2、224—3及224—4型漆膜可变电阻器等，其結構性能可参閱該厂产品目录。

3. 金屬膜可变电阻器：

如果正确地选择制造薄膜的合金，沉积在玻璃板基体上的金屬膜具有較高的耐磨性，再基于金屬膜的其它方面优良的性能(稳定性高、耐热高，噪音低等等)，最近已开始采用金屬膜可变电阻器，但由于阻值受限制(要求較大厚度)，制造工艺比較复杂，要求选择有限品种的貴金屬合金(耐磨性要求很高)等原因，这种电阻器暂时还未得到广泛应用，在苏联和我国現仍未生产这种可变电阻器，

表 9—29

合成型可变电阻的某些数据

型 号	阻值范围	額 定 功率(瓦)	容 許 湿 度 %	容 許 气 压 mmHg	容 許 环境溫度 °C	容 許 工 作 电 压
С II	470欧 —4.7兆欧	0.5—2	98(20°C)	40	-60÷+70	400—500
BK; TK	2.5千欧 — .5兆欧	0.2—0.5	98(20°C)	760	-60÷+80	200—350
CHC-0.5	100欧 —1.0兆欧	0.15 0.3	100(40°C)	40	-60÷+80	250
CHO-2	47欧 —4.7	1 2	98—100 (40°C)	5	-60÷+130	600(当10mmHg) 200(当5mmHg)

可用弧形玻璃板基体的宽度和合金的成分来获得不同阻值的电阻器，按不同阻值范围可采用表 9—30所列的三种合金，

同样，用控制宽度和合金成分的方法也可制成非线性变化规律的，在直线式可变电阻器中，采用提高厚度均匀性并使宽度公差减小的措施之后，可制成直线性精确度达±5%的可变电阻器，这种电阻器可用在对直线性要求很高的测量仪器和计算装置中。

表 9—30

可变金属膜电阻用的合金

合 金	阻 值 (欧)	
	平方表面的电阻	成品电阻
1. 钽—42%，金—40%，铌—18%	100—500	20000以下
2. 钽—65%，铌—28%，锰—6%，铬—1%	500—900	36 000以下
3. 钽—35.5%，钨—9.5%，锰—5%	2000—7000	280000以下

为了获得必要的耐磨性，采用了迂迴刻槽方法（用某种腐蚀法去掉不需要的金属部分，以形成细致清晰的迂迴槽纹），并用金属将接触路径部分加厚，试验结果表明，阻值为300千欧的这种电阻，在70°C时加交直流负荷，在4克的接触压力下经300,000次旋转后其阻值变化小于0.6%。

4. 金屬氧化膜可电阻器:

由于金屬氧化膜具有牢固性,也开始用作可变电阻器,它在許多方面比金屬膜可变电阻器具有較大的發展可能性。

金屬氧化膜电位器的主要优点是阻值較高,可改变化学成分来控制阻值范围,温度系数低,耐热性好。它比金屬膜更适合大量生产,其缺点之一是接触电阻較高,因而需要較大的接触压力。技术上的困难是在所有工作条件下(尤其是在工作温度下)难以保持稳定而良好的电接触。

由于膜层具有良好的机械强度,除可作成具有加厚的迂迴式可变电阻器,还可作成加厚的連續导电窄纹的可变电阻器,而保証一定的耐磨性(例如:100,000次迴轉)。

这种电位器目前尚在發展中。

§9—4 电阻器的选用:

掌握了前面所述的电阻器基本用途、分类、基本参量及各类型电阻器的主要特性之后,便能正确和合理地选用电阻器。

选定的任务是确定电阻器的型号和結構。

选用电阻器的类型是根据电路工作状态需要和要求,設備的使用条件和要求,电阻器的价格等进行的,具体地说,应遵循以下基本要点:

1. 电阻器額定值及其誤差应符合計算电路的要求。除了对电阻值有特別高要求的測量仪器和計算装置应按計算阻值特別制造的电阻器或借助于高精度測量仪进行挑选以外,大多数情况下应从标准化的額定阻值中选择最接近計算数值的額定阻值的电阻器。

只有对精确度要求特別高的場合才选择其誤差等級为1%以下的电阻器,普通的無綫电设备应按电路的不同要求选择5%、10%、20%精度級的电阻器。应考虑到精度等級愈高则价格愈昂。

例如:推挽式放大器倒相电路中分压电阻和前一級的板極負荷电阻,推挽放大級的两个栅極电阻,以及反饋电路的分压电阻等,应选用誤差为5%級的电阻器。功率管的陰極电阻,一般电子管的負荷电阻、一般降压电阻分压电阻,等可选择誤差为10%級的电阻器,而一般电子管栅漏电阻、去耦电阻、低放管的陰極电阻等則可选用20%級的。

2. 电阻器的額定功率 P_{H06} 和極限工作电压 U_{P06} 必須高于电路中計算的負荷值。在一些較重要的設備以及装配得很紧湊的設備中,为了增长电阻器的寿命和避免烤坏邻近另件,有时选用 P_{H06} 比实际負荷值大(1倍到2倍)的电阻器。工作于脉冲电路的电阻器应遵从本参量中所提到的原則,并要用有利于脉冲电路的类型(如碳膜电阻等)。

3. 在工作频段內,电阻器阻值对頻率的关系应为电路的要求所容許(特別在高频电路中)。

4. 电阻器的噪音电平应大大地低于設備的灵敏度。

5. 电阻器对外界影响的稳定性应符合电路的要求。为此,应首先充分了解設備的应用条件,以及設備的如結構(如果需要采用整体密封,强迫冷却、恒温、防震装置等)。对于装置在活动壳体上的無綫电設備,这一准則特別重要,在大多数情况下,这一点是选择电阻器类型的最主要的根据。

第十章

固定电容器

§10—1 固定电容器的应用及类别

固定电容器用于振荡器及放大器的回路中来获得调谐与跟踪的温度补偿，以及作为隔直流、旁路之用，也可作为滤波器的元件，作为电能的储存器。

由于需要大量的固定电容器，在无线电工业中，除特殊应用者外，已将最常用的类型加以标准化，并组织大量生产。在应用中，选择所需要的电容器的类型，是根据其特性和使用条件的要求来进行的。

因为，电容器的特性，基本上是决定于分隔电容器极片的介质，所以电容器按它的介质来分类是很方便的，电容器按介质的不同，可以分类如下：

I. 气体介质电容器，有空气、充气及真空的三种。

II. 液体介质电容器，有充油和充合成液体的二种。

III. 无机固体介质电容器，有石英、玻璃、玻璃釉、云母、陶瓷及硫介质的六种。

IV. 有机固体介质电容器，有纸质及薄膜的二种。

V. 工作在和电解质有接触的固体介质电容器（电解电容器），有有极性的和无极性的二种。

学习本章的目的在于掌握常用的固定电容器的特性，并能够按照无线电设备所提出的技术要求来正确地选用固定电容器，并能了解主要类型的结构设计和制造工艺的基本情况。

§10—2 电容器的基本参量

I. 电容量：电容量就是在电容器的两电极间每单位电压所能储积电荷的能力，常用的电容量通常是在几个微微法到几千微法的范围内。这里：

$$1 \text{ 法拉} = 10^6 \text{ 微法} = 10^{12} \text{ 微微法} = 9 \cdot 10^{11} \text{ 厘米}$$

标准固定电容器是在专业化的无线电器材制造厂生产的，电容器的额定电容量，是根据需要由国家标准化的。各个电容器的电容量与额定电容量的容许误差由精确度来决定。通常分为四个基本等级；即0级，I级，II级及III级，此外对于电解电容器又增设了三个级，即IV级，V级及VI级。它们所代表的精确度如下：

0级容差±2%

I级容差±5%

II级容差±10%

Ⅲ級容差 $\pm 20\%$

Ⅳ級容差 $+20\sim-10\%$

Ⅴ級容差 $+30\sim-20\%$

Ⅵ級容差 $+50\sim-20\%$

特別精確的電容器，例如，云母電容器，它的容許容差要求很高，採用 $\pm 0.1\%$ 到 $\pm 0.25\%$ ；但電解電容器的精確度，因特性及應用上的關係，並不需高容差的上限，通常可達 $+50\%$ 。

必須按照無線電設備所提出的技術要求，正確選擇電容器的精確度等級，因為提高精確度的等級要求，要增加價格，從而提高了成本。

II. 抗電強度

1. 工作電壓：工作電壓有時稱為耐壓，即電容器能可靠地工作很長時間（例如10,000小時以上）的最大電壓，當電容器在更高的電壓下工作時，會顯著地縮短它的使用期限（耐久性）。

2. 試驗電壓：試驗電壓是電容器在一定的短時間內（通常是5秒鐘，有時為1分鐘），應能耐受而不致擊穿的電壓。根據實際要求，一般試驗電壓與工作電壓的關係為：

$$\text{試驗電壓} \approx (1.5 \sim 3.0) \text{ 工作電壓} \quad (10-201)$$

3. 擊穿電壓：擊穿電壓是電容器被擊穿的最小電壓。

抗電強度的大小，決定於分隔極片所用的介質厚度和品質，並且決定於它的結構，例如極片的形狀面積和散熱情況。

擊穿電壓也與外界條件有關。溫度、濕度和氣壓的變化，都對介質的擊穿電壓有影響。擊穿電壓與工作電壓的關係，根據實際需要，是：

$$\text{工作電壓} \approx \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{10} \right) \text{ 擊穿電壓} \quad (10-202)$$

III. 絕緣電阻：電容器的絕緣電阻，是加於電容器上的直流電壓和漏泄電流的比值：

$$R_{ux} = \frac{U}{I_{ym}} \quad (10-203)$$

應當注意，漏泄電流通常是在電容器加上直流電壓數分鐘後讀出的。

電容器的絕緣電阻，基本上決定於通過介質層的漏泄電流，因此，絕緣電阻與介質的體積電阻系數 ρ_v （歐·厘米），極片面積 S （厘米²）和介質厚度 d （厘米）有關：

$$R_{ux} = \rho_v \cdot \frac{d}{S} \cdot 10^9 \quad (10-204)$$

絕緣電阻的數值，通常是很大的，云母電容器在5,000兆歐以上，紙解電容器在100兆以上，電解電容器在1.0兆歐以上，才能在電路上應用。

為了判別大電容量的電容器的品質優劣，往往用絕緣電阻與電容量的乘積，即電容器的時間常數來衡量：

$$\tau = R_{ux} \cdot C = 0.884 \cdot 10^{-13} \cdot \varepsilon \cdot \rho_v \quad (\text{秒}) \quad (10-205)$$

由式 (10—205) 可見，电容器的优劣（即电容器的時間常數的大小）与电容器的形状和尺寸無關，而只决定于介質的品質。

必須了解，絕緣电阻降低时，会引起漏泄电流的增大，从而，可能破坏綫路各部分的工作。

絕緣电阻与温度及湿度有关，当温度和湿度升高时，絕緣电阻会显著地下降，所以，在設計及制造固定电容器时，为了降低它的損耗，浸漬与密封工作，一定要做好，务使 R_{uz} 不变。

Ⅱ. 損耗：电容器中的損耗，由下列成份組成：

1. 电容器介質中的損耗 P_g 。它是由下面这些情况引起的：(1) 由于离子的移动（电导和層間極化）。(2) 由于偶極子的旋轉或極根位移。(3) 由于介質中的空气的电离作用。(4) 由于極片邊緣外空气的电离的作用。

2. 电容器金屬部分中的損耗 P_M 。它是由下面这些情况引起的：(1) 由于电流使極片發热。(2) 由于电流使触点和端綫發热。(3) 由于極片的振动。

在单位時間內，电容器中的能量总損耗：

$$P_A = P_g + P_M \quad (10-206)$$

在电容器中所失去的能量，基本上变成电容器的發热，因此使它的特性变坏，有时也会引起电容器的击穿。

具有損耗的电容器，可用并聯的（圖10—201）或串聯的（圖10—202）的等效电路来表示。

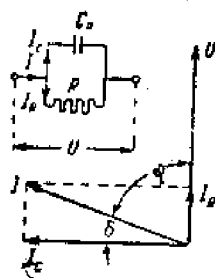
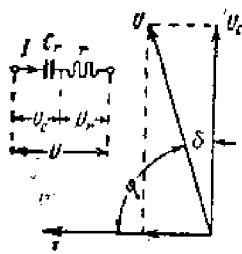


圖10—202相当于有損失的电容器的串聯电路。

圖10—201相当于有損失的电容器的并聯电路。

因此，电容器的損耗，通常由損耗角的正切值来表征。

对于串聯电路：

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_r}{U_c} = \frac{I \cdot r}{\frac{I}{\omega C_r}} = r \omega C_r \quad (10-207)$$

对于并聯电路：

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{\frac{U}{R}}{\omega C_p U} = \frac{1}{R \omega C_p} \quad (10-208)$$

并联电路与串联电路参量间的关系可由下列公式确定：

$$R = r \left(1 + \frac{1}{\text{tg}^2 \phi} \right) \quad (10-209)$$

$$C_R = \frac{C_T}{1 + \text{tg}^2 \phi} \quad (10-210)$$

在无线电工程中，判别电容器的品质，有时采用损耗角正切的倒数，即品质因数来表征。

$$Q = \frac{1}{\text{tg} \phi} \quad (10-211)$$

既知电容器的 $\text{tg} \phi$ 值，就可算出它所损耗的有功功率：

$$P_A = UI \cos \varphi = U^2 \omega C \text{tg} \phi = P_R \text{tg} \phi \quad (10-212)$$

式中： P_A ——有功功率（瓦）

U ——电压（伏）

C ——电容量（法）

P_R ——无功功率（乏）

在小功率电容器中的损耗，主要由介质的缓慢极化和介质的电导所引起的，这种电容器的极片和引线的损耗，通常可以略去不计。

回路中所用电容器的品质因数，通常自200到1,000左右。

温度和湿度对电容器损耗值有重大的影响，当温度和湿度升高时，损耗增加。

强力发射机及高频工业装置中的电容器，工作在高频、高压和大功率下。对于这类电容器引入无功功率的概念：

$$P_R = -\frac{1}{2} UI \sin \varphi \quad (\text{乏}) \quad (10-213)$$

因为高质量电容器的损耗角很小，所以 $\varphi \approx 90^\circ$ ，因此 $P_R = -\frac{1}{2} UI$ 。每一个电容器都有在使用过程中不应超过最大容许的无功功率 $P_{R\text{gon}}$ （相当于每个电容器的 $P_{R\text{gon}}$ 的值，在产品目录中可以查得）。此无功功率 $P_{R\text{gon}}$ 决定了电容器对交流电压的抗电强度。在电容器上容许的交流电压，等于：

$$U_{\text{gon}} = \sqrt{\frac{-2P_{R\text{gon}}}{\omega C}} \quad (10-214)$$

当交流电压高于容许电压时，介质就会发热，损坏电容器。所以，应用在高频和无功功率很大的情况下的电容器，应采取如下的降低温度的措施：(1)在电容器外壳上焊散热片，以增加电容器的散热面积，(2)用风扇进行强制的通风冷却，(3)采用水冷。强制风冷可以使电容器的额定无功功率提高3至4倍，而用水冷法，则可提高到20至30倍。

在小功率的设备中，电容器总是在不大的交流电压下工作，因此，无功功率这个参量，不是表示电容器特征的参量。

V. 固有电感：电容器的固有电感，是由电容器极片本身的电感和外部与内部的接线电感所构成的。电容器本身的电感与极片的面积以及极片和引线联接的方式有关，电容器尺寸愈小且引线和内部接线愈短，则固有电感也愈小。

在具有焊头的云母、陶瓷和紙解电容器的固有电感，大約等于和电容器大小相当的銅导线的电感。

固有电感的存在，会在电容器中引起諧振現象，使得电容器的总阻抗依赖于頻率。圖10—203繪出了电容器的近似等效电路。

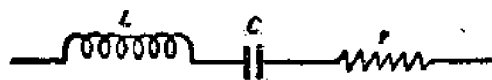


圖10—203 具有固有电感的电容器的等效线路

在諧振时，亦即 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$ 时，这个电路的阻抗最小，并等于损耗电阻。对于其他頻率来说，电容器的总阻抗增大，并具有电抗特性，在較 f_0 低的頻率时呈电容性，而在較 f_0 高的頻率时呈电感性。电容器总阻抗与頻率的关系繪于圖10—204。

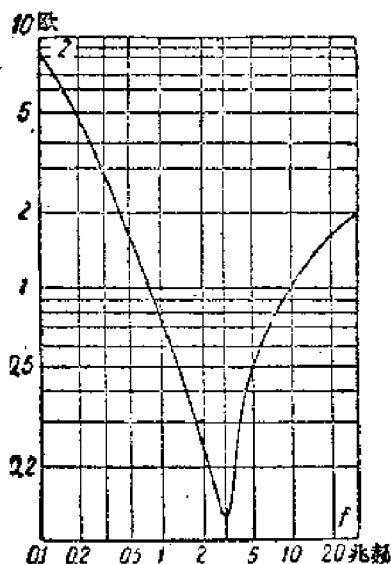


圖10—204 电容器总阻抗随频率变化的曲线 ($C=0.1$ 微法; $L=11 \times 10^{-3}$ 微亨)

只有在低于諧振頻率的頻率上，才能获得电容器的正常的运用，在这些頻率上，它才能具有容性的电抗。为了工作稳定起见，必須使最高工作頻率为电容器諧振頻率的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 。当接近諧振頻率时，总阻抗对頻率的依从性显著的增长，这就限制了电容器在超短波波段的应用。

特殊结构的云母和陶瓷电容器的固有电感很小，因而，具有高的諧振頻率。这些电容器可以有效地用于1,000兆赫至2,000兆赫以下的頻率。标准化电容器的固有电感和某些类型电容器的最高工作頻率，列于表10—1中。

表10—1

电 容 器 的 电 感

表10—1

电 容 器 类 型	$L \cdot 10^{-8}$ (微亨)	$f_{\max}$ (兆赫)
小尺寸云母电容器 (KCO-1—KCO-7)	4—6	150—250
中尺寸云母电容器 (KCO-11—KCO-13)	15—25	75—100
大尺寸云母电容器 (隔直流KB)	50—100	1—1.5
小尺寸陶质圆盘式电容器 КДК-3)	1—1.5	2000—3000
中尺寸陶质圆盘电容器 (КДК-1, КДК-2)	2—4	200—300
小尺寸陶质圆管形电容器 (КТК-1, КТК-2)	3—10	150—200
中尺寸陶质圆管形电容器 (КТК-3, КТК-5)	20—30	50—70
圆柱形外壳具有焊头的小尺寸纸质电容器 (КБ—И) ².....	6—11	50—80
圆柱形外壳、无焊头的中尺寸纸质电容器 (КБГ—И, КБ)	30—60	5—8以下
大电容量纸质电容器	50—100	1—1.5
空气介质、中尺寸、可变电容器	10—60	50—100
小尺寸可变电容器	6—20	300—350

Ⅵ. 稳定性: 电容器的稳定性, 是以它的基本参数的变化, 主要是电容量在温度、湿度、周围空气压力等的影响下, 所发生的变化来表示的。

在温度的影响下, 极片的面积, 间隙的大小, 电介质的介电常数数值发生变化。这些原因, 就引起电容器电容量的改变。

温度影响所引起的电容量的变化, 以电容温度系数 (TKE) 和电容不稳定系数 (TKEH) 来表示。

电容器的电容温度系数:

$$\alpha_c = \frac{\Delta C}{C \cdot \Delta t} \quad (1/\text{度}) \quad (10-215)$$

其中: ΔC —— 电容量在 Δt 温度变化下的增量。

C —— 室温下的电容量。

Δt —— 温度的增量。

电容器的TKE和所采用的材料, 在结构中, 这些材料的排列以及制造工艺有关。

电容器电容不稳定系数:

$$\beta_c = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \quad (10-216)$$

其中: C_1 —— 在室温下的电容量。

C_2 —— 在温度升高或降低到工作温度极限值之后再恢复到室温时测得的电容

电容器的电容不稳定系数，主要决定于介質的老化和結構在电容器中，当温度多次变化情况下，所發生的殘留变形。电容器的稳定性，可查用表中的数据。依从于温度稳定性的不同，标准化的固定电容器分为数组，见表10—2和表10—3。

1. 电容器的类型在下面討論； 2. 对于 $C \leq 4700$ 微微法來說。

新式电容器的稳定性

表10—2

电 容 器 类 型	α_c	β_c	应 用 范 围
高質量空气电容器	$20-50 \times 10^{-6}$	$0-0.1 \times 10^{-2}$	高稳定度的振蕩器和本机振蕩器
中等質量空气电容器	$100-200 \times 10^{-6}$	$0.1-0.5 \times 10^{-2}$	中等和低稳定度的振蕩器和本机振蕩器
温度稳定的陶瓷电容器①	$\leq 10 \times 10^{-6}$	$0.05-0.15 \times 10^{-2}$	各种不同稳定度的振蕩器和本机振蕩器
温度补偿的陶瓷电容器	$(50-1500) \times 10^{-6}$	$0.05-0.15 \times 10^{-2}$	各种不同稳定度的振蕩器和本机振蕩器
极板鍍有金属的云母电容器	$\leq 50 \times 10^{-6}$	$\leq 0.1 \times 10^{-2}$	中等稳定度的振蕩器和本机振蕩器
金属箔极板的云母电容器	$100-500 \times 10^{-6}$	$0.1-0.2 \times 10^{-2}$	各种不同的放大級隔直流电容器，滤波器
紙質电容器	$1-3 \times 10^{-3}$	$0.5-2.0 \times 10^{-2}$	各种不同的隔直流电容器，滤波器

①下面将解釋这些术语

标准电容器温度稳定性的組別

表10—3

組 別	α_c	β_c	外 壳 顏 色
A	未 注	明	—
B	$\pm 200 \times 10^{-6}$	0.005	—
B	$\pm 100 \times 10^{-6}$	0.002	—
Г	$\pm 50 \times 10^{-6}$	0.001	—
—	$-(1500 \pm 300) \times 10^{-6}$	—	—
Д	$-(730 \pm 100) \times 10^{-6}$	0.0015	紅 色
Ж	$-(690 \pm 70) \times 10^{-6}$	0.0015	橙黃色
М	$-(50 \pm 30) \times 10^{-6}$	0.0005	靛兰色
Р	$+(30 \pm 30) \times 10^{-6}$	0.0005	灰 色
С	$+(110 \pm 30) \times 10^{-6}$	0.0005	兰 色
Ц	$+(200 \pm 50) \times 10^{-6}$	—	綠 色

在湿度的影响下,空气和吸潮性介质的介电常数发生变化,绝缘电阻和损耗角也就发生变化。在电容器元件上凝结成薄膜状的潮气,引起电容器参数特别大的变化。

为了防止湿度的影响,固定电容器要用不吸潮的材料来浸渍和涂复,用油漆复盖或用塑料压制而成。主要的固定电容器要密封起来。压在塑料中的电容器,可在周围空气的相对湿度达65~70的情况下正常工作。而密封式的电容器则可在相对湿度达95~98%和更高的情况下正常工作。

周围空气压力的降低,会使电容器的电容量和抗电强度减小。

防止电容器随周围空气压力变化的可靠的方法,也是采取密封。密封式电容器可在压力低至50~100毫米水银柱的情况下正常工作。

在颠簸、振动和加速运动等等情况下,电容中所产生的机械应力,会引起各个结构元件的移动,从而影响电容器的电容量。

用无弹性材料制成厚的极片,增加间隙并且加固电容器的全部结构,可以消除机械振动的影响。

残留变形和介质老化,将引起电容器的参数随时间而变化。

Ⅲ. 比容和比电容:减小无线电设备的尺寸,亦即向每个元件提出减小尺寸的要求,就向电容器提出了一重要的参数:

$$V'_{yg} = V/C \quad \text{及} \quad C_{yg} = C/V \quad (10-217)$$

其中 V'_{yg} ——比容(厘米³/微法或厘米³/微微法)。

C_{yg} ——比电容(微法/厘米³或微微法/厘米³)

C ——电容量(微法或微微法)。

V ——电容器的体积(厘米³)。

§ 10-3 气体介质固定电容器

概述: 气体介质电容器有空气固定电容器,真空固定电容器和充气固定电容器等。

利用气体做介质的电容器具有下列特点:

(1) 损耗角小 ($\text{tg} \delta < 1 \cdot 10^{-5}$), 损耗是由支持住元件的固定介质和接触电阻所引起的。

(2) 温度改变时, 具有高的稳定性 (因为空气的介电常数的温度系数很小 $\alpha_{\epsilon} = \alpha_{\epsilon_0} \approx -2 \cdot 10^{-6}/\text{度}$)。

(3) 电容量和抗电强度随着周围空气的压力的改变而变化(高度改变±0.1千米时, 引起 ϵ_{air} 的变化平均为± $9 \cdot 10^{-6}$)。亦即电容量和抗电强度受周围空气的压力的影响而不稳定(真空及充气的电容器没有这个缺点)。

(4) 电容量也随空气湿度的变化而变化, 在极片上及电容器的固定介质上形成水汽薄膜时, 会强烈地影响电容量, 在干燥之后, 才能恢复到原来的值(真空及充气的电容器也没有这个缺点)。

(5) 比电容小, 这是因为空气的抗电强度低。因此, 大于1,000微微法的空气电容器是几乎不制造的。

I. 空气固定电容器:

空气固定电容器仅可用在工作电压较低和额定容量较小的场合，也就是在需要高度的电容稳定性和极小的损耗角的情况下，所以，这种电容器在特别精确测量上用来作为标准电容。在小功率的无线电发送机中也用。如图10—301示出了小功率无线电发送机用的空气固定电容器结构概图。

1. 低压标准空气电容器：供用在工作电压为500伏以下的直流电路中，其额定容量在10微微法至0.1~0.2微法之间。这类电容器需要容量的高度准确性，电容对时间的高度稳定性，电容的温度系数小，电容随频率变动小，绝缘电阻高和损耗角小。

标准空气电容器的额定电容的上限是0.1~0.2微法，这样大电容的电容器十分笨重，例如，在容量0.1微法时，容积约为0.1立方米，重约在30千克以上。所以，现代电容在0.01微法以上时，已由云母电容器所代替。

图10—302示出了低压空气标准电容器的结构概图。

2. 高压标准空气电容器：

有电容为100微法，工作电压10千伏，50赫（试验电压为15千伏）的电容器，其外壳直径为310毫米，高570毫米。由于过笨重已被充气电容器所淘汰，不再使用。

3. 无线电发送机回路中，空气固定电容器用于波长在100米（ $f > 3 \cdot 10^6$ 赫）以下，功率比较大之处。现代用的电容器，通常不超过数十或数百微微法，工作电压不超过数千伏。真空固定电容器比它更适宜用于短波。

II. 充气固定电容器：用高压气体（气体常用氮 N_2 或六氟化硫 SF_6 ，或弗利昂 Cl_2F_2 ），可以使气体介质电容器的抗电强度大为增加，并使尺寸减小。

充气固定电容器的外形，结构如图10—303所示。

这种充气电容器在频率为1.2兆赫时，工作电压达40千伏（峰值），额定电容为1,200微微法，充氮气达15~18大气压而加以试验时在周围温度为20°C时，100%调制，无功功率负荷达2,000千乏，电容器发热温度为70°C。

这种电容器密封的结构很好，一般说来，电容器的补加充气每年不超过一、二次。

充气电容器在 $10^3 \sim 10^6$ 赫频率范围内应用较为适宜，频率更高时用充气电容是不适宜的。

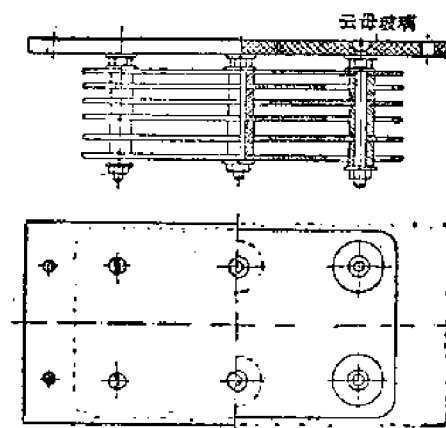


图10—301 小功率无线电发送机用的空气固定电容器结构概图。

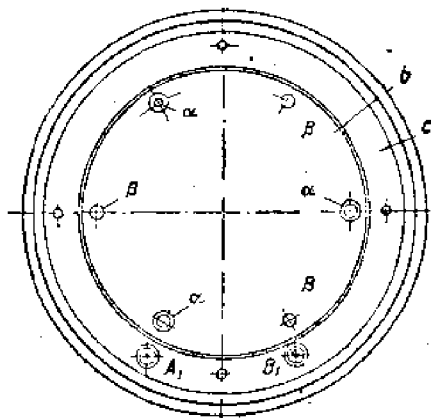


图10—302 真空空气标准电容器的结构剖面
A、B—主圆片；C—固定环；a、b—辅助圆片；
A₁、B₁—辅助圆片的固定触点；A₂、B₂—接触点；
K—行黄松圈（固体介质）；γ、δ—隔离套管；
—联接插头的插口

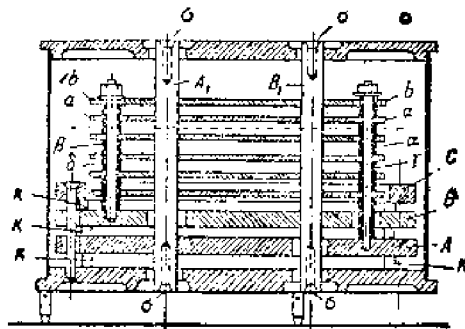
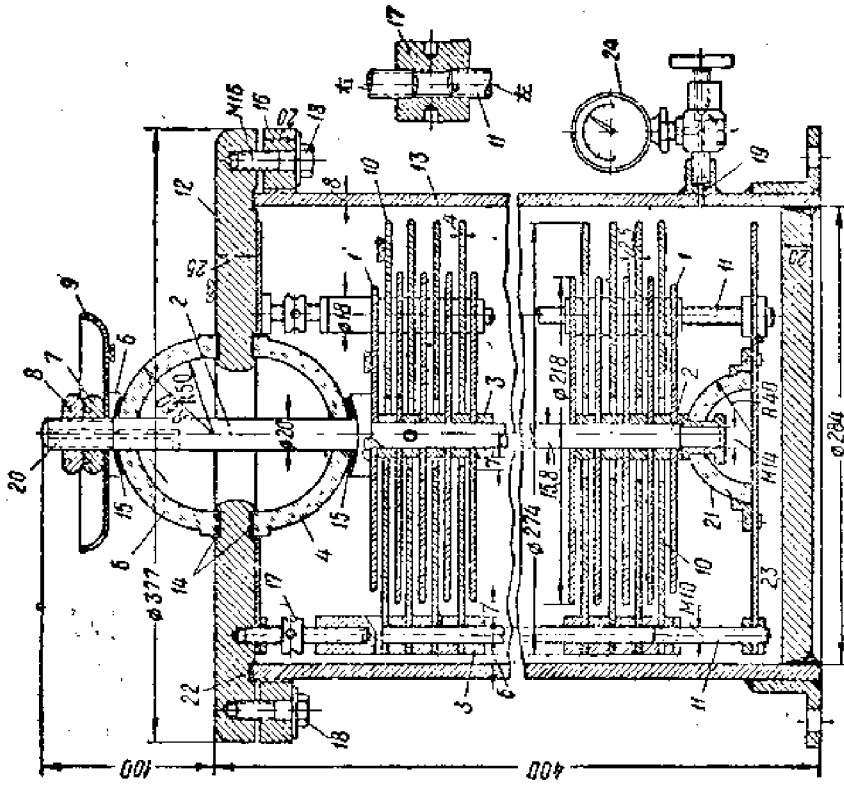


图10—303 真空式高频电容器的结构：5500厘米法，12千伏，0.05兆赫。
1—高压板片（圆形）；2—中心轴；3—漏气管；4—玻璃半球；5—玻璃半球；6和7—
将半球压紧在电容器盖上的螺帽和螺帽螺母；8—引出螺帽；9—引出端电极平面的金属盘；10—
低压板片（圆形，中央有孔以便中心轴2通过）；11—供接低压板片的轴杆（共有三个）；12—盖子；
13—外花边（螺旋状）；14—橡皮圈，使半球与盖密封；15—橡皮圈，使半球与中心轴密封；16—
一橡胶；17—螺帽，用来调整低压板片对于高压板片的移动（使接触均匀）；18—将盖子装到外壳
上用的螺套；19—充气的玻璃半球；20—橡皮圈，使盖与外壳密封（盖与外壳密封
腔内与周围的空气互相流通；21—气压表；22—橡皮圈，使盖与外壳密封（盖与外壳密封
代替）；23—外壳底部；4—“用电”的7至8大气压。



Ⅲ. 真空固定电容器：在气体的压力极低时，即在高度真空时，抗电强度急剧增加，因此，可以利用制成真空的电容器，用在高频高压上。其结构如图10—304所示。现代的圆筒形真空电容器尺寸较小，而且有很高的抗电强度（ $U_{pa\delta}$ 达20—30千伏）和极小的损耗角（ $tg\delta < 1 \cdot 10^{-4}$ ）。这就使得它能在高频和超高频时有很大的无功功率单位负荷，而不致有极度过热的危险，在 $10^6 \sim 10^8$ 赫的频率范围内，这类电容器与充气电容器不同，它们较适宜于制成小电容的额定电容 $C_{ном} = 5 \sim 10$ 以至 $100 \sim 250$ 微微法， $C_{ном}$ 更大时，这种真空电容器结构繁复，不易制造。品质优良的真空电容器，在 $10 \sim 20$ 兆赫以下的频率时，具有 $tg\delta \approx 5 \sim 8 \cdot 10^{-5}$ 。频率再高时，由于电容器金属部分中的损耗， $tg\delta$ 可能升高。在低频率（50千赫时）， $tg\delta \approx 1 \cdot 10^{-4}$ ，可是在这样的频率时，就不需要用真空电容器了。真空电容器的无功功率的额定数值，一般在200—300千乏以下。

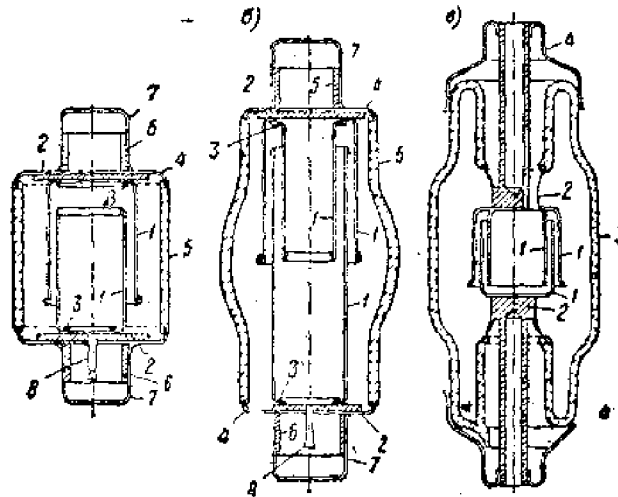


图10—304 真空电容器的结构方式

(a) 用镍铁合金制成端盘来封盖着的玻璃管：

1—圆筒形黄铜电极；2—支承电极的铁盘；3—将电极装牢（焊接）在铁盘上的铁环；4—镍铁合金制的圆盘，其边缘焊入玻璃内；5—玻璃管；6—套管，用来装牢引出盖；7—镀银黄铜制的引出盖；8—抽气管（密紧并浇注）。

(b) 与上相同：

不过用于较高的电压（16千伏）。数目符号同上。

(c) 装有结构繁复的巨大引出端的玻璃管：

1—圆筒形电极；2—由红铜精密车成的引出端；5—玻璃管；4—引出盖。

§10-4 液体介質固定电容器

液体介質比气体介質的优点在于 ϵ 較大，約大4—6倍（弱極性介質液体）。液体介質与在正常压力下的气体比較，抗电强度更大，所以，用液体介質代替气体介質可使电容器的比容积大为减小。但是，液体介質的損耗角較大，即使仔細提淨的無極性液体，其 $\text{tg}\delta=1\cdot 10^{-4}$ ，而气体则 $\text{tg}\delta<1\cdot 10^{-5}$ 。有極性的液体通常具有更大的損耗角。液体介質的介电常数，也与气体的不同，即使無極性的液体介質， ϵ 的数值也随温度而有显著变化，有極性介質的 ϵ 值与温度的关系可以非常巨大。此外，液体介質只有在經過仔細的干燥，除气和提淨后，才有大的抗电强度和小的損耗角，这就使得制造困难。为了防止液体漏出和免除周围空气中的湿气和灰塵侵入，这种电容器必須加以密封。

有机液体的重大缺点又在于它們当受熱和受電場作用时，漸致老化，液体介質的电气性能变坏。由于上述缺点的存在，所以，在無線电設備中，充油电容器不久就被云母电容器所淘汰，而云母电容器在现代又被充气电容器所代替。

不过，液体介質电容器仍然有新的用途，例如，在金屬加热用的工業高頻率的电路中，其工作頻率为 10^5 赫，在这种情况下，因为对于頻率稳定度的要求比無線电發送机电路中的大为降低，因此，即使 ϵ 較大也沒有关系。

这种电容器供有 $2-3\times 10^5$ 赫的頻率时，用于10千伏的工作电压下，电容有850微法（無功功率为1500千乏），电容器的尺寸为 $400\times 2500\times 490$ 毫米。

§10-5 固体无机介質电容器

固体介質电容器，在結構及性能上有以下特点：

(1) 固体介質用在电容器上时，与气体或液体不同之点是，可以得到简单的結構，因为可以将極片裝固在介質上，而不必用其他机构来支持。

(2) 无机介質具有高的耐熱性、机械稳定性和化学稳定性，因此可以保证电容器極片間距离不变，从而，使电容器在长时期内有極大的稳定性，能在電場和高溫度的长期作用下不發生老化現象。

(3) 无机固体介質的介电常数要比气体和液体介質的介电常数大，大多数的固体介質的 $\epsilon>5$ ，也有許多具有 $\epsilon>10$ 的。为制造电容器专用的无机介質的 ϵ ，可达80—90。最近几年制造了强性介質陶瓷，它的 ϵ 可大于1000，但是，它的 $\text{tg}\delta$ 較大，稳定性低。

(4) 許多无机介質的介电常数的温度系数 α_ϵ 及其綫脹系数較小，因此，可以得到很小的电容温度系数。

(5) 許多无机介質的 $\text{tg}\delta$ 極小，因此，可使以固体无机介質制成的电容器应用在高頻上。

(6) 固体无机介質不大适宜做成大容量的电容器，因为，欲使介質做得厚度極薄，是非常困难的。

(7) 抗电强度不高，在較大的介質厚度中，击穿電場强度难得过于15—20千乏/毫米。

綜合以上所述，无机介質电容器主要用在需要額定电容較小而电容稳定度必須極高

的高頻电路中。

1. **陶瓷电容器**：陶瓷电容器由于电气参数好，价格低，而得到广泛的使用。其优点是稳定性高，几乎没有老化现象。温度系数可因材料的不同而加以控制，能应用在相当高的工作温度。固有电感小，因此，可在短波和超短波回路中，也可作隔直流及级间耦合用。

其缺点是，陶瓷不能做得很薄，因此，大容量的陶瓷电容器是不制造的。

陶瓷电容器制造上用的陶瓷材料的标准规格，如表10—4所示。

由表10—4可见，由于材料的不同，可以得不同的电容温度系数（TKE）的类别，而且，这类别是用电容器上的所复盖的漆的颜色来标志的。

现在，分别来说明各种不同TKE的陶瓷电容器的用途。

1) TKE为正且小 $[+(30\sim50)\cdot10^{-6}]$ 的电容器，叫温度稳定电容器，用于高稳定的振荡器及本机振荡器的回路中。

2) TKE为正且大的 $[+(100\sim200)\cdot10^{-6}]$ ，用于低稳定的振荡器及本机振荡器的回路中，以及作为级间耦合、隔直流之用。

3) TKE为 $+(100\sim1200)\cdot10^{-6}$ 和 $-(40\sim60)\cdot10^{-6}$ 的，用来作为温度补偿。两者配合起来，以达到给定的电容温度系数。

4) TKE为 $-(500\sim1500)\cdot10^{-6}$ 用来隔直流及级间耦合，也可用于温度补偿。

除了上述的陶瓷材料之外，还有用强性介质陶瓷（赛格涅特陶瓷）等来做电容器的介质。这种介质，由于 ϵ 值很大（几百，几千，甚至达到几万）可以用来做大电容量的电容器，它在工作条件下，通常具有弱的非线性的特性。因此，可用来作低频滤波之用。也有用工作条件下具有高的非线性的材料叫可变康的来制造电容器，由于可变康的耐久性，价廉，结构简单及在工作中可靠，所以，可以在各种电路中用来代替电子管，可以用来作为倍频器、电压稳定器和放大器（即所谓介质放大器）等。强性介质也有压电效应的性能，因此，也可用来做压电变压器及机电变换器。

应该注意的是，强性介质陶瓷的 ϵ 与温度和电场都有很大的关系，因此，应用时，应该加以密切注意。除此之外，它还有老化现象，电容量随时间增长而减小，电容量与频率也有关系。因此，这种介质除了上述特殊用途外，由于稳定性差，仅能用来隔直流或滤波，也用来做超小型电容器和印刷电容之用。

现在，我们来介绍一般常用的陶瓷电容器的类型及其结构与工艺。

1. 低压陶瓷电容器：

低压陶瓷电容器广泛地应用在无线电设备中，其额定电容很小，从几个微微法到几百微微法，其良好特性不下于云母电容器。

常用的类型，有如表10—5所列出的数种。

表10—4与表10—5列出制造低压陶瓷电容器的陶瓷材料的性能及低压陶瓷电容器的规格与要求。型式KJK是表示圆片形的陶瓷电容器，型式KTK是表示管形的陶瓷电容器。图10—501内3是圆片形陶瓷电容器，5与6表示管形陶瓷电容器。此外，图内1表示珍珠式陶瓷电容器。2表示圆盘式陶瓷电容器，及4表示杯式陶瓷电容器。在图中，详细示出了它们的结构尺寸。

电容器制造上用的陶瓷材料的标准规格

表10-4

特 性 名 称	等 级 和 类 别 的 符 号					
	Ia	Ib	II	III	IVa	IVb
介电常数的温度系数 $\alpha\epsilon$, $\times 10^{-6}$, 每度	-730(± 100)	-600(± 80)	-50(± 30)	+40(± 20)	+110(± 30)	+150(± 50)
介电常数	70~90	50~55	20~30	12~30	小于7.5	小于7
损失角的正切tg δ , $\times 10^{-4}$, 在20°C和1兆赫时, 不大于	9	9	9	9	12	35
损失角的正切tg δ , $\times 10^{-4}$, 在50°C和1兆赫时, 不大于	13.5	13.5	13.5	13.5	18	49
体积电阻系数, 欧·厘米在100°C时, 不小于	10 ¹¹	10 ¹¹	10 ¹¹	10 ¹¹	10 ¹²	10 ¹²
击穿电场强度, 千伏/毫米(直流)不小于	8	8	8	8	15	15
极限弯曲强度, 千克/平方厘米不小于	800	800	650	650	1,200	600
密度, 克/立方厘米, 不大于	4	4	4.2	4	3.2	2.7
线膨胀系数 α_L , $\times 10^{-6}$ 每度	8	8	7.5	7.5	8	4.5
导热系数, 瓦/厘米·度	0.030	0.030	0.035	0.040	0.030~0.050	0.015
类别符号(按照TKE)	II	IK	M	P	C	II
电容器的颜色标志	红	橙	浅兰	灰	兰	绿

表10—5

低压电瓷电容器常用的类型

表10—5

低压陶瓷电容器型式	主要尺寸 (毫米)	容許 无功 功率	額定电容器的極限值(微微法)			
			K类(T-60) $TKE=570 \times 10^{-6}$	M类(TK-M) $TKE=50 \times 10^{-6}$	P类(TK-II) $TKE=+30 \times 10^{-6}$	C类(皂石或陶瓷) $TKE=+110 \times 10^{-6}$
КДК—1	8	25	2~20	1~7	1~5	1~3
КДК—2	10	25	20~62	3~10	1~7	1~5
КДК—3	16	75	20~100	7~20	5~15	3~10
КТК—1	11	25	2~150	2~39	2~15	2~15
КТК—2	20	50	100~300	30~91	10~39	10~30
КТК—3	30	75	240~430	82~150	35~62	24~51
КТК—4	40	100	350~620	130~200	56~82	43~68
КТК—5	50	125	560~750	180~240	75~120	62~100

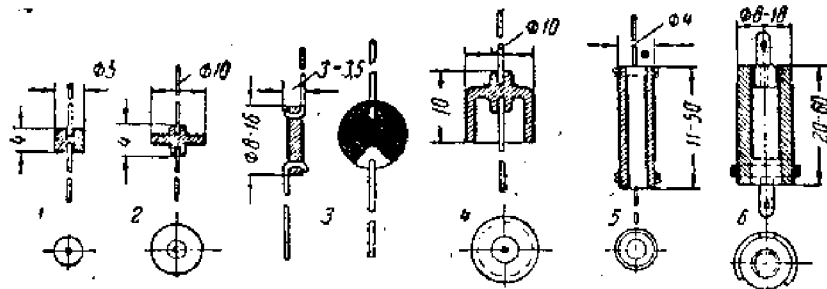


圖10—501 低压陶瓷固定电容器

1—“珍珠”式；2—“圆盘”式（圓片与垂直于电容器平面的引出端相连）；
3—“圓片”式（引出端在电容器平面内）；4—“杯”式；5—“管”式；
6—“管”式，用于略高工作电压。

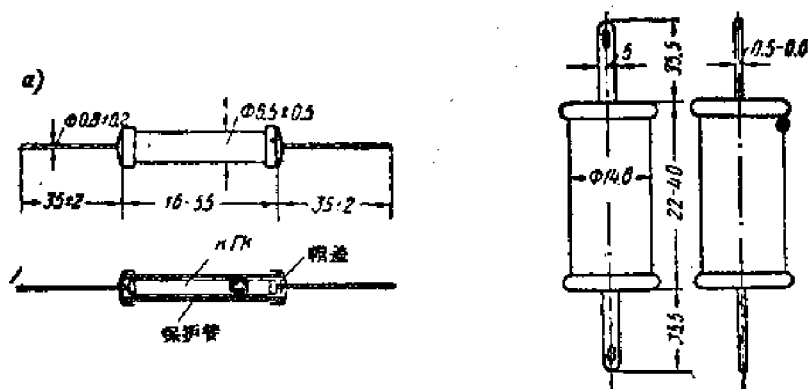


圖10—502 陶瓷密封电容器：a—ZTK型，b—ZTK6型

图10—502表示密封陶瓷电容器，a)表示KTK型，б)表示KTKБ型，这些电容器都是密封在保护管内，所以这两种陶瓷电容器的抗气候的性能很高。

图10—503，图10—504及图10—505表示了各种类型的超短波用的陶瓷电容器的结构。

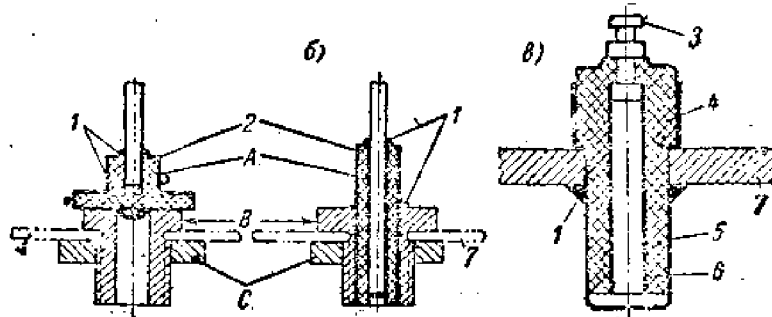


图10—503 超短波陶瓷漏直流电容器

1—焊接点；2—涂金属；3—引出端；4—陶瓷；5—外片；6—内片；7—机壳。

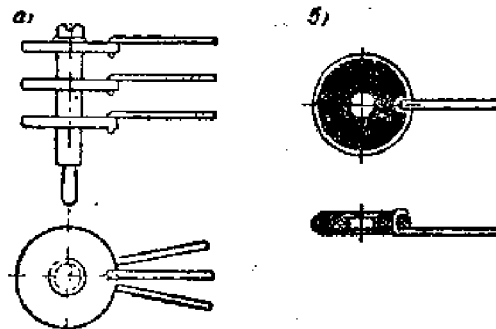


图10—504 超短波漏直流电容器组 а—一般组合形式；б—单段的。

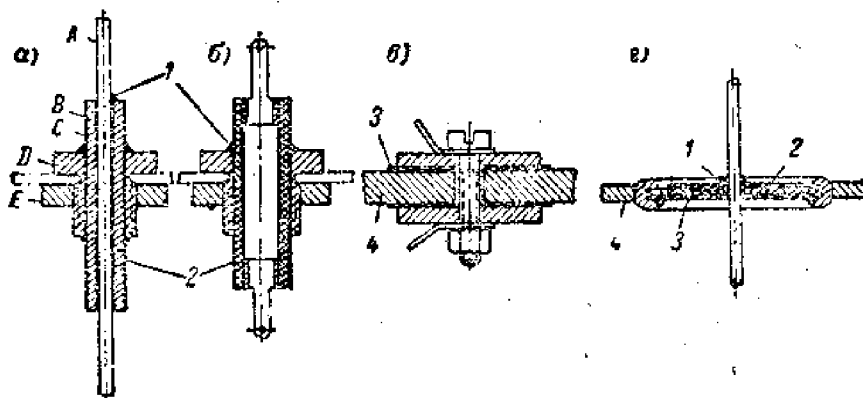


图10—505 用于超短波的旁路电容器

1—焊接点；2—涂金属；3—云母；4—机壳。

圓片形低壓瓷介電容器 (KDK) 管形低壓瓷介電容器 (KTK) 及珠形低壓瓷介電容器等，主要應用在振蕩回路、隔直流電路和柵極電路中，其工作電壓為高頻有效值250伏或直流500伏。筒形密封瓷介電容器和管形密封瓷介電容器，採取了密封的結構，能比前述的在更高的濕度下（達相對濕度98%）長期工作。由於採取了密封結構，它的外形尺寸也要大一些，固有電感也大一些。

圖10—506的曲線大体上決定了KDK, KTK和KTK這三種類型的陶瓷電容器的諧振曲線。

上面所說的電容器都是以陶瓷為介質，以燒滲銀的金屬層作為極片。由於燒滲在介質上，使得極片與介質之間沒有其他介質的存在，從而提高了穩定性，由於外表採取了保護性的復蓋，使得潮濕的影響小，採取了密封之後的就更能耐高的濕度。

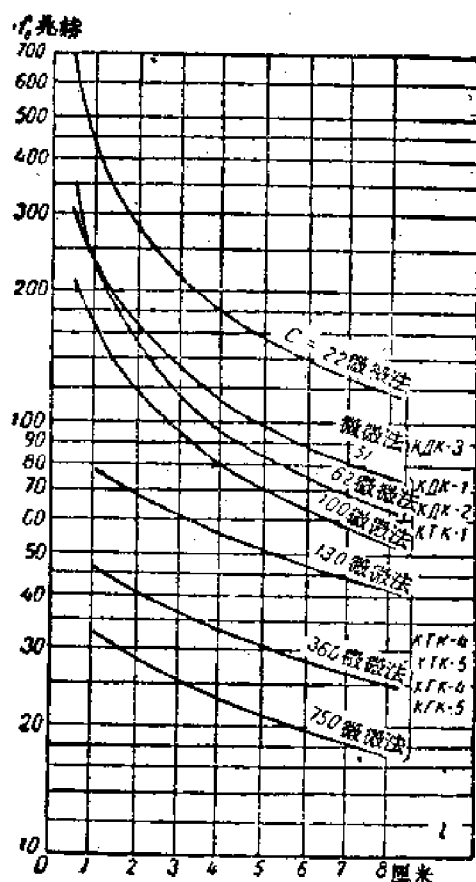


圖10—506 陶瓷電容器的諧振曲線圖

支柱式瓷介電容器 (KO) 和圓片支柱式瓷介電容器 (KDO)，由於採取了特殊的結構，其固有電感大為減小，可供無線電和電子儀器中超高頻（達數百兆赫）電路之用。

小型圓片瓷介電容器 (KDM) 和小型管狀瓷介電容器 (KTM) 有更小的尺寸，可在頻率到5兆赫的回路和隔直流電路中應用，不過，它的工作電壓較低（為60伏）。這類電容器中，為了縮小體積，也有以鐵電陶瓷作為介質的，在選用時，必須同時注意到鐵

电陶瓷的特性。

穿心式瓷介电容器 (KTI)，采取了特殊的结构形式，如图所示，其外电极焊上一有螺纹的套管，可以用来固定在机架的螺母上，而内电极则用一金属层载导体穿过而焊牢，这样的结构，使得固有电感非常小，可以用在1000—1600兆赫上作为隔直流电容器，和旁路电容器以及作为电源输入滤波之用。

2. 高压陶瓷电容器：

高压陶瓷电容器广泛应用于无线电设备的高压部分，由于应用在高压而采取了特殊的结构。

高压陶瓷电容器有如下几种类型：

CCY—P	瓶形罐状高压瓷介电容器	(原型号KBKT)
CCY—T	筒形桶状高压瓷介电容器	(原型号KBKB)
CCY—G	管形高压瓷介电容器	(原型号KBKT)
CCY—B	板形 (片状) 高压瓷介电容器	(原型号PKO)
CCY—G	梭管形 (圆筒状) 高压瓷介电容器	(原型号WKO)

其结构如图10—507、图10—508所示。

由于这些电容器都用在高压，因而必须注意它的无功功率和散热状况，及从结构上来保证耐受高电压。因此，下面分别来阐明。

a. 从散热条件来看：

(1) 罐状的：从自然通风散热的观点来看，罐状的最劣，因为其中的热量实际上只有从外侧的表面来散出，封闭的底部也阻碍着内侧表面上空气的流通。

(2) 管状的：除了外侧能散热外，内侧表面也有散热的作用，虽然内侧的散热作用较逊于外侧，

(3) 桶状的：散热条件特别良好，热量不仅可以从极片上散出，还可以从没有极片掩盖的相当大的侧面散出去。

(4) 片状的：在垂直安装时，两侧表面同等地发挥散热作用。

b. 从工作电压来看：

(1) 罐状的：成绩最好，因为这种电容器是有底部的，所以，凸缘只有一个，而为了加长沿凸缘的放电路径，只须在一边做出。

(2) 管状的：用来加长放电是凸缘，这些凸缘是由磨去管壁做成。因此，这些凸缘不能凸起很高，要得到高值的放电电压，就必须加多凸缘的数目，并且，在管子的两端都有这些凸缘，在高值工作电压下，对于产生电容起着作用的管长有效部分大为减少，因此，在高工作电压时，也就不宜采用管状电容器。

(3) 罐状的：它是模压制成的，在压制时，就可在二端压出凹口，制造较为方便。

(4) 片状的：也是先用模压，然后作出凹入部分，其缺点是，面积大，周围凸缘又高 (用于高工作电压时)，故需磨去大量材料，在焙烧薄而大的片子，也相当困难。

综合以上所述，可得结论如下：当电压高而高频电流负荷不大时，采用罐状电容器较为适宜，尤其是在额定电容较大时，当高频电流负荷大时，则用管状和片状电容器较为有利。当电压高时，可将几个电容器串联起来。在同样情形下，如果所需的额定电容

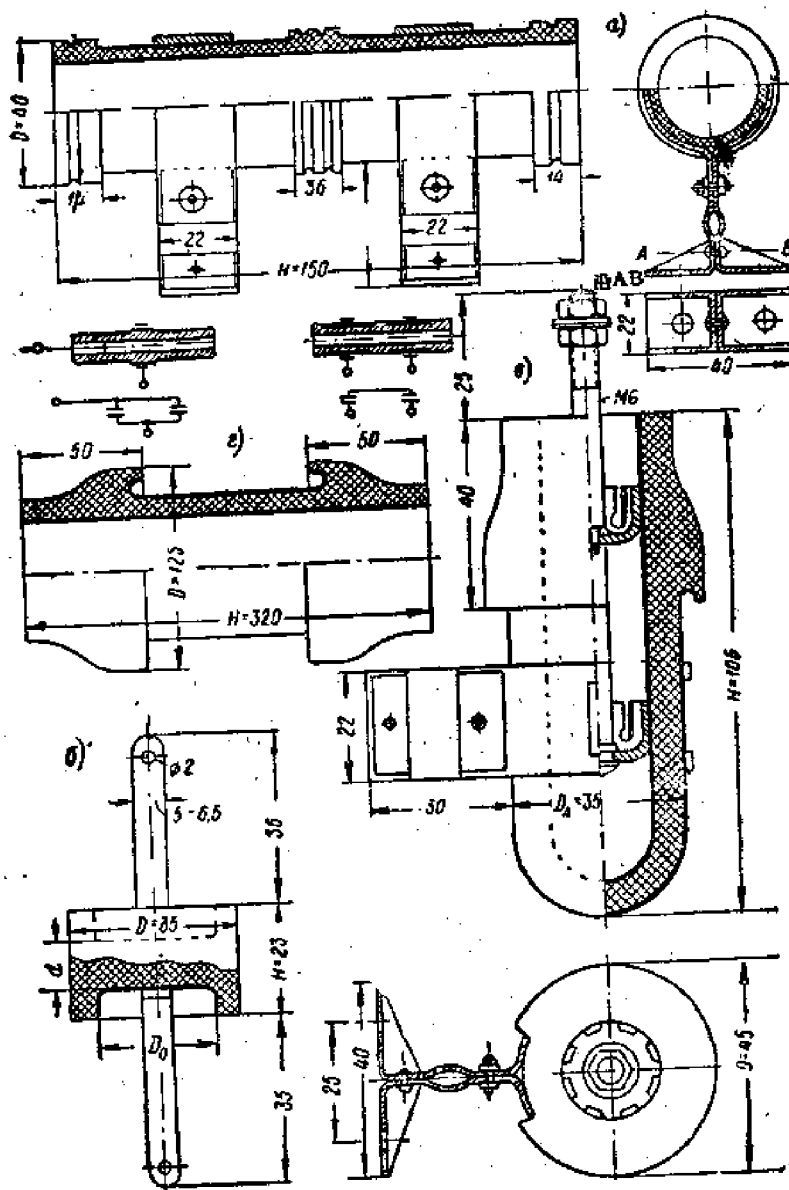


圖10——507高压陶瓷电容器а—管状，330微微法，6千乏，12千伏（試驗，直流）；б—桶状，22微微法，5千乏，20千伏（試驗，直流）；в—鐘状，47微微法，5千乏，30千伏（試驗，直流）；г—圓筒状，470微微法，8千乏，40千伏（試驗，直流）。

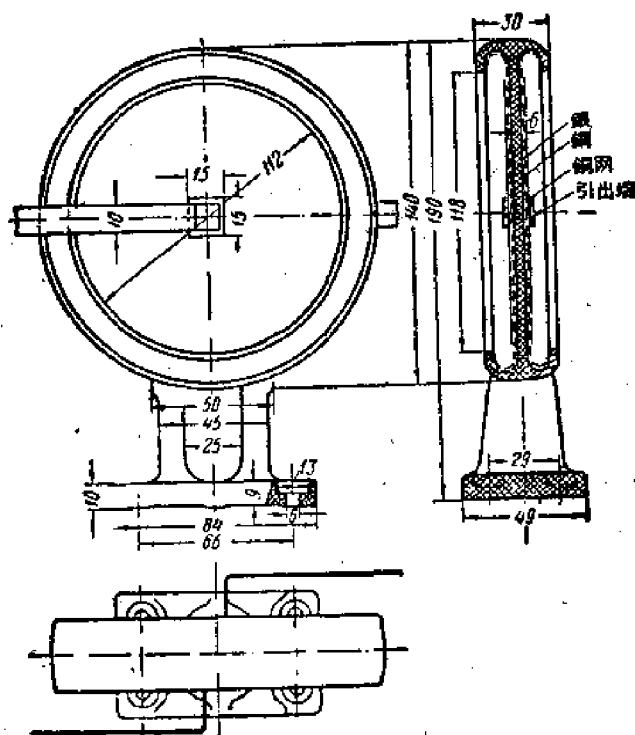


图 10—508 陶瓷片状电容器

150微法, 20千乏, 20千伏 (試驗, 50赫)。

不大，則宜用桶狀電容器。

2. 云母电容器:

云母电容器的特点，是电气指标高(高的抗电强度和小的损耗角)，尺寸不大，宜于大量生产，成本不高。

云母电容器广泛地作为回路、跟踪、耦合、分压和隔直流电容器，也用作高频滤波之用。应该注意的是，由于云母的缺少，所以，在不重要的电路中，现在用陶瓷电容器来代替云母电容器。

(1) 低压云母电容器：有如下几种常用的类型：

CY型云母电容器

(原型号RCO)。

CYM型密封云母电容器

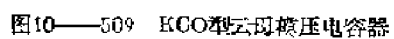
(原型号KCT),

CYMR型小型密封云母电容器

(原型号CTM (圖10—511))。其結

CY (KC0) 型云母电容器，是压塑在高频塑料中的，电容器采用具有良好电气性能的白云母来做介质，在云母介质的薄片（20—25微米）的两面上烧渗银作为极片，这样就比过去用铅锡箔等来做极片的云母电容器提高了稳定性，因为消除了层间的空气层，这就消除了由于空气层的不稳定的因素。

在圖10—512中示出了CY(KCO)型云母电容器的諧振頻率与电容量及引線長度 l 的



• 511 •

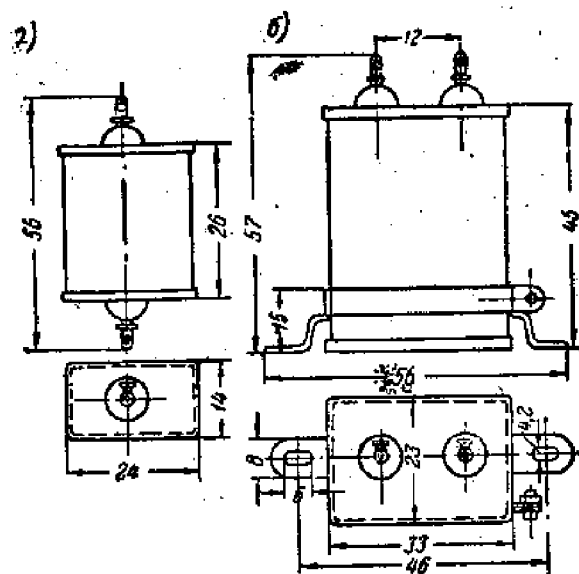


图10—510 云母鍍銀密封电容器 ■—KCT—1型, 6—KCT—2型。

关系曲线。根据这些曲线可以确定它所能用到的最高频率。

CYM(KCT)密封云母电容器, 和CYMX(ETM)小型密封电容器都采取了密封的结构, 能在98%的相对湿度下长期工作, 不过采取了这样的结构, 价格提高了, 因此, 仅应用在重要的机件中。

(2) 高压云母电容器:

高压云母电容器, 应用于发射机的振荡回路中 (在这种情况下必须考虑到大的功率), 及作为隔直流电容器和旁路电容器 (此时耐压要求高, 功率大)。

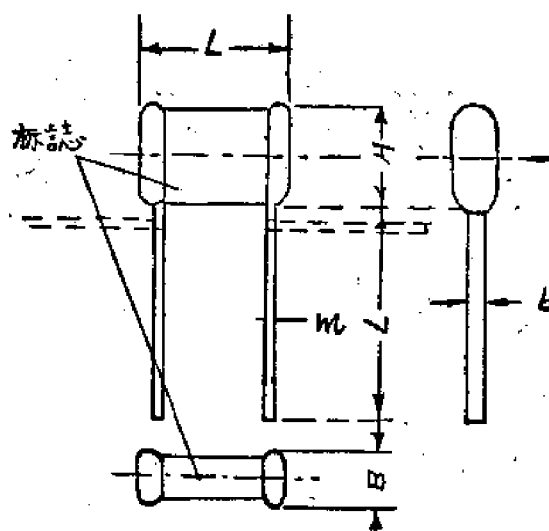


图10—511 CTM—3 云母电容器的外形

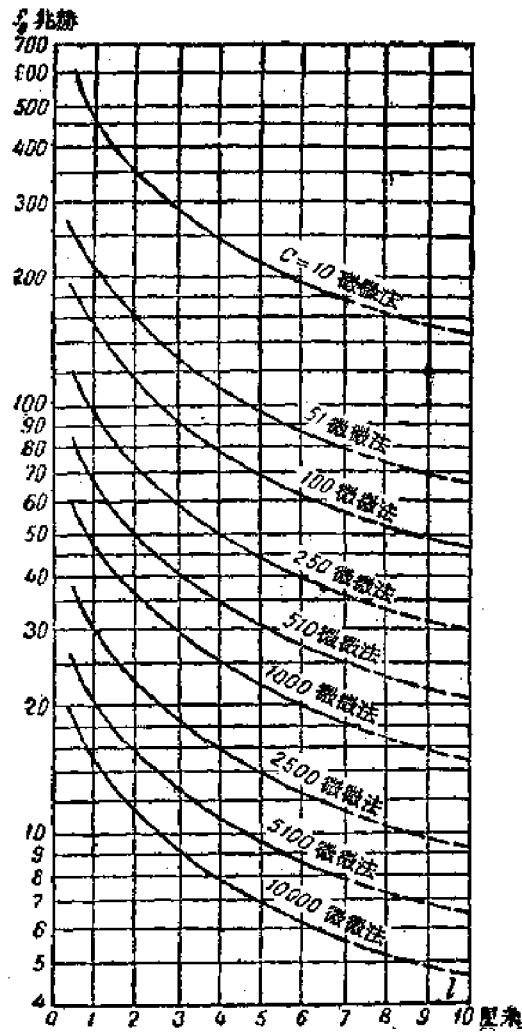


图10—512 云母电容器的谐振频率曲线图

高压云母电容器大都是由几个芯子（电容的分部）串联而得到的，这样就防止了在极片边缘上产生气体游离的可能性，芯子的数量是这样的，即使得加在每个芯子上的工作电压小于开始游离的电压。

高压云母电容器有以下类型：

CYY型高压云母电容器（原器号KB）

（未定型号）高压云母电容器（原型号KP）。

CYY(KB)型和KP型的电容器如图10—513和图10—514所示。

CYY(KB)型高压云母电容器，应用在高频回路中，具有陶瓷外壳，并在盖上装有黄铜杆的放电器，它保护当电压超过试验时电容器不损坏。

KP型高压云母电容器，用来隔直流，它的云母介质的品质较低。

应当指出，除了当要求的电容量等于及大于0.1微法的情况外，这二种高压电容器已有成效地被陶瓷电容器所代替。

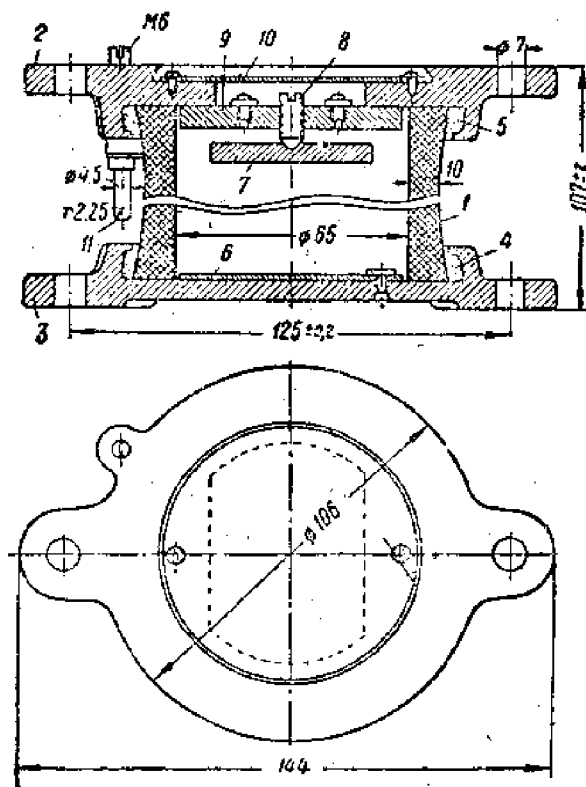


图10——513 装在陶瓷外壳中的电路云母电容器的结构。额定数据：0.03微法；35千乏；100千赫。1—陶瓷外壳；2—铝硅合金制的顶盖；3—铝硅合金制的底盖；4、5—胶合剂；6—红铜制的圆盘（作为到下侧引出端的接触片）；7—铜垫板；8—压紧螺絲；9—铜棒；10—記有牌号的护板；11—保护放电器（置在圆盘6与垫板7之間的整組串联分部，圖中未画出，外壳內的空间澆注瀝青）。

3. 玻璃釉电容器：玻璃釉电容器是近年来生产的新产品，由于能使生产自动化，所以，价格不高，不仅能与云母电容器竞争，还能与价格較廉的陶瓷电容器相对抗。玻璃釉現在应用很广，特別在印刷电路中。它之所以能与云母电容器竞争，是由于它的材料要比云母容易制成，而云母却是产量少且价格高的。無線电工业現正在着手玻璃釉电容器的全自动化的生产。玻璃釉电容器的型号为CYBL（原型号KC）。其外形圖如圖10—515所示。

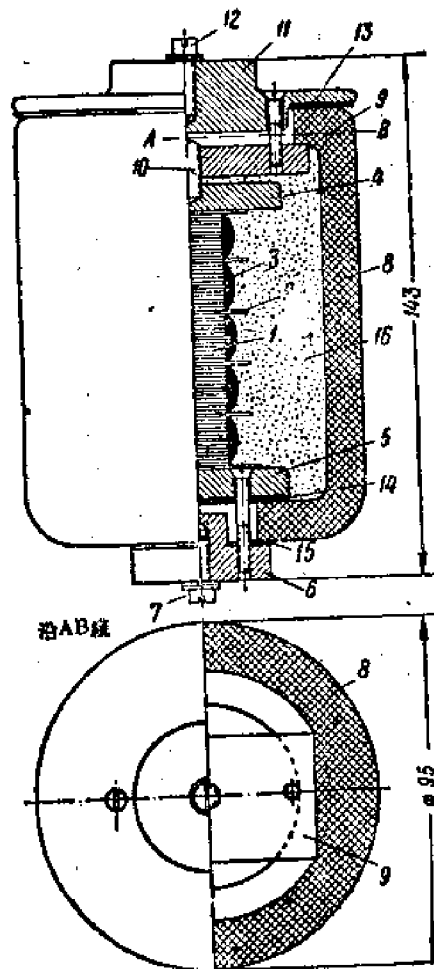


圖14——514 KP型云母电容器的結構。額定數據：0.001微法，15千伏。

1—分部；2—分隔片；3—分部的焊結處；4—上墊板；5—下墊板；6—底蓋；
7—下端引出螺栓；8—陶瓷外殼；9—撐板；10—壓緊螺絲；11—頂蓋；12—上端引
出螺栓；13、14、15—紙板衬片；16—澆注剂。

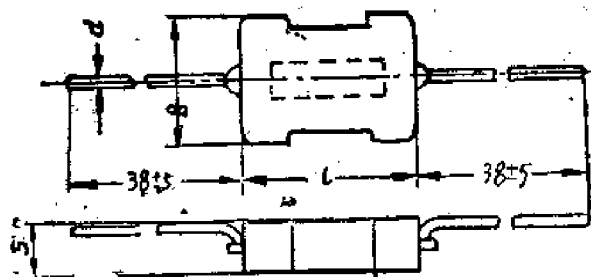


圖10——515 XC电容器的尺寸及某些电气参数

§10-6 固体有机介質电容器

概述:

优点:

(1) 有机固体介質可以做成厚5—6微米的薄片,同时,还具有足够的机械强度,而一般無机固体介質最薄仅能达200—300微米,再薄时,机械强度不够,脆性大了(云母例外,也只达20—30微米)。

(2) 抗电强度高,在短时試驗中能达到200—300千伏/毫米,这数值已比最好的陶瓷材料高出10倍。

(3) 对用某些浸漬材料处理过的紙來說,介电常数也能达到10—11的数值。

(4) 由于有机介質在很薄时仍能有高的拉伸强度和大的弯曲性,就可以在制大电容时可使过程机械化。

由于上述原因,就可以制成工作电压不高,电容量小而体积小的廉价电容器。

缺点:

(1) 化学稳定低,有老化現象,随着時間延长而抗电强度逐渐降低。

(2) 有机介質电容器,即使用在平常湿度,一般也要灌注或密封,这样就增大了体积。

(3) 有机介質的綫胀系数比無机介質的大(平均达10—20倍),因而使电容随湿度的变动更为强烈,以及在湿度循环作用下和长期保存时电容器稳定性恶化。

(4) 因为有机介質的耐热性低,在許多情形下,电容器容許工作温度的上極限就受到限制。

1. 紙介电容器:

在制造廉价而电容量高于0.1微微法的小型电容器时,常用紙做介質,从电的指标來說,紙質电容器远逊于云母和陶瓷电容器,因为它的电容量强烈地依从于温度,湿度、周围空气压力和頻率,并随時間而变。此外,紙介电容器的介質損耗也大,固有电感也大;这就限制了它在短波和超短波的应用(不能在高于3—4兆赫的頻率下工作)。由于上述原因,紙介电容器一般主要用在低頻,隔直流和旁路及滤波之处。

圖10-601示出了紙介电容器的諧振頻率和电容量及引綫长度的关系曲綫。

由这些曲綫可知,紙介电容器只能适用于較低頻率范围的电路中。

常用的紙介电容器有以下几种类型:

CZM-L 立式 短形 密封紙介电容器(原型号КБГ-МН)。

СЗМ-В 臥式 短形 密封紙介电容器;原型号КБГ-МН)。

CZM-J 金屬管 密封紙介电容器(原型号КБГ-М)。

CZM-C 瓷管 密封紙介电容器(原型号КБГ-И)。

CZЧ-L 立式 短形高密封紙介电容器(原型号КБГ-П)。

CZЧ-T 筒形 高压 密封紙介电容器(原型号КБГ-Ц)。

CZC-L (螺紋固定)穿心式密封紙介电容器(原型号КБГ-Р)。

CZC-B (扁盘固定)穿心式密封紙介器容器(原型号КБП-Ф)。

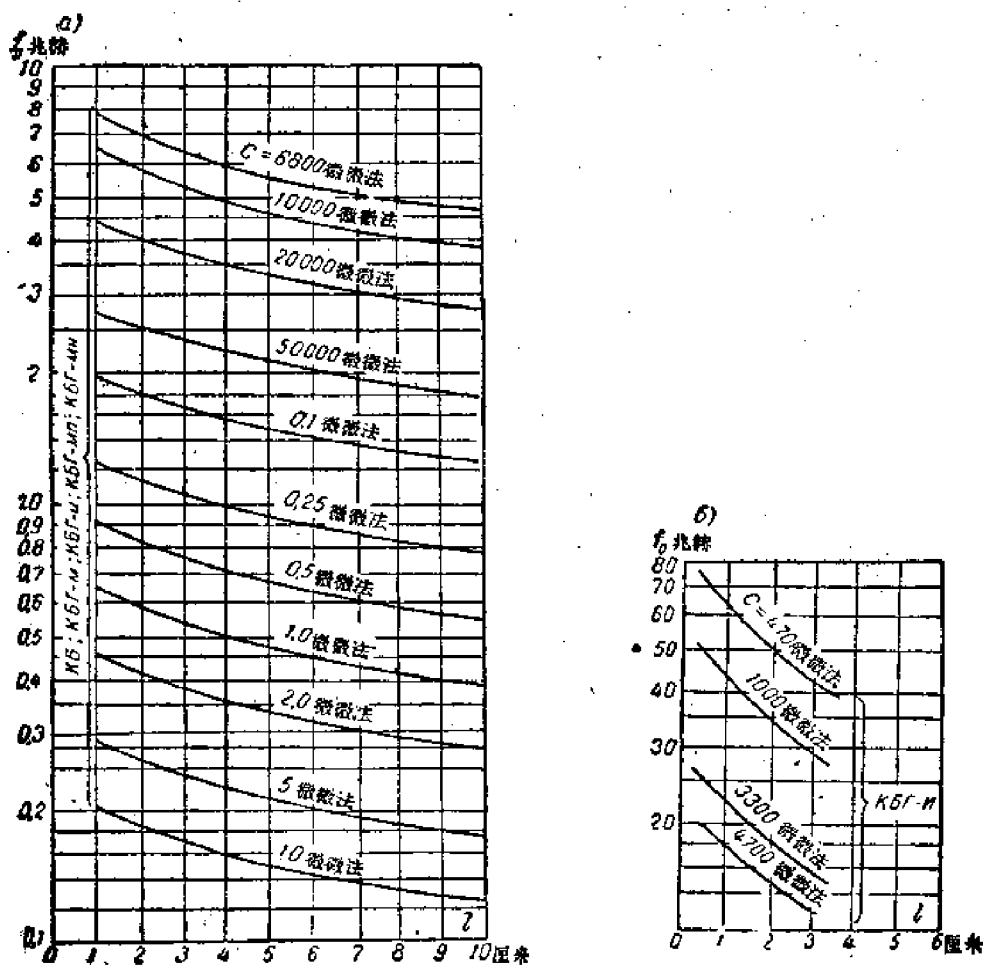


圖10——301 紙質電容器的諧振頻率曲線圖

CZC—J (托板固定) 穿心式 密封紙介電容器 (原型号КБП—0)。

CZR 耐熱 密封紙介電容器 (原型号БПТ)。

CZB 保護 密封紙介電容器 (原型号КЗ)。

CZX 小型紙介電容器 (原型号БГМТ)。

CZRX 小型耐熱密封紙介電容器 (原型号БГМТ)。

CZMX 小型密封紙介電容器 (原型号БТМ)。

其外形結構如圖10—602至圖10—605所示。

紙解電容器中，CZM (КБГ) 型和CZY (КБГ—II, КБГ—Y) 都是用液體和半液體浸漬過的密封式的電容器，在密封盒子內往往裝有幾個芯子 (或稱分部)。其接法如圖10—606所示。

CZC (КБП) 型穿心式電容器，又叫旁路電容器，它是用來作為電源電路的濾波電容器和各種隔直流電容器 (其作用應在極寬的波段內有效)。這種電容器的裝置法如圖10—607。

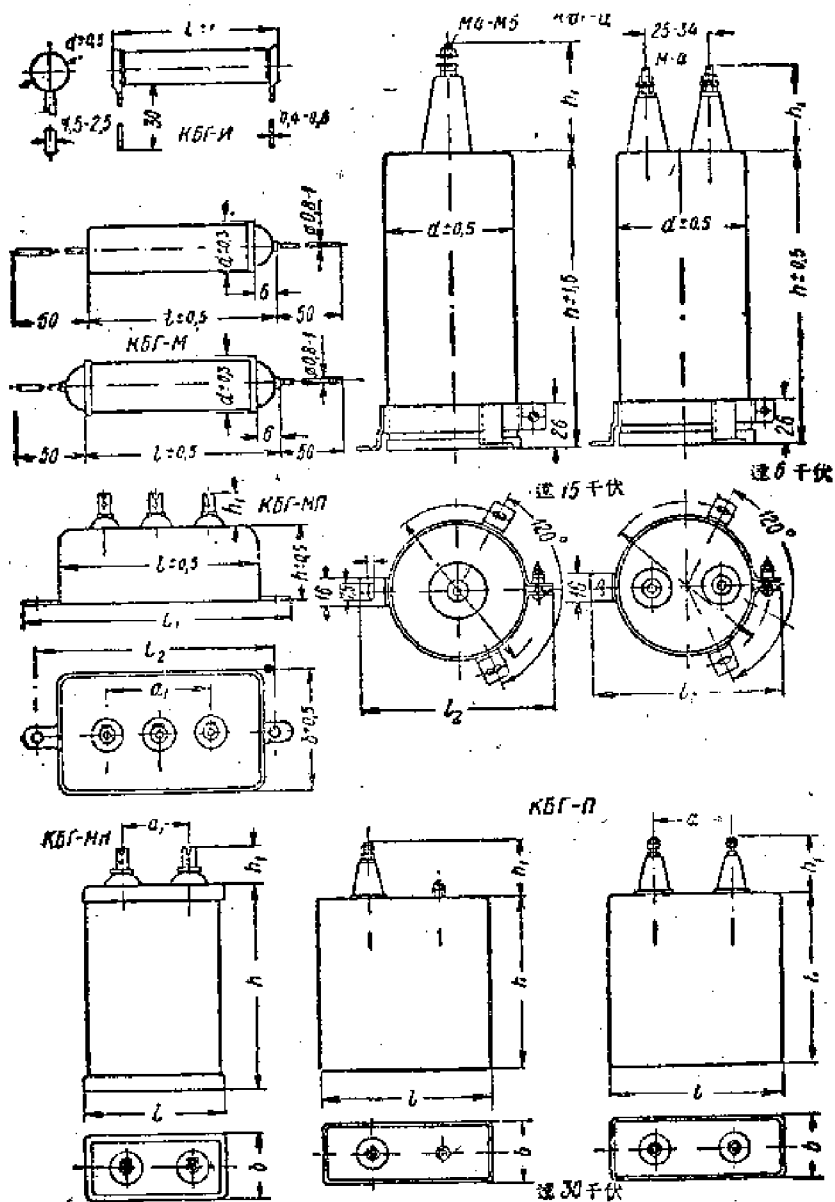


图10—602 液体或半液体浸渍的KBT型直流电压密封式电容器

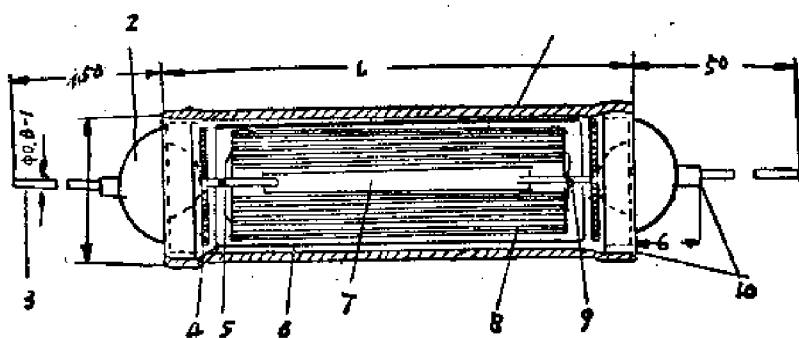


图10—603 KBT-M型电容器的剖面

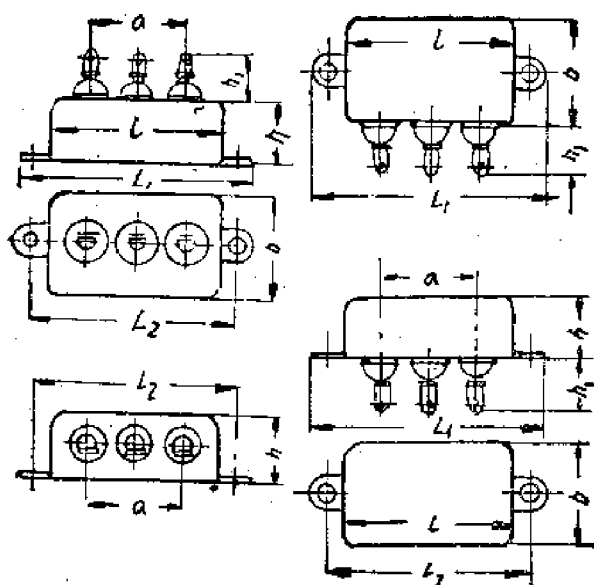


图10—501 KBT—MH型电容器

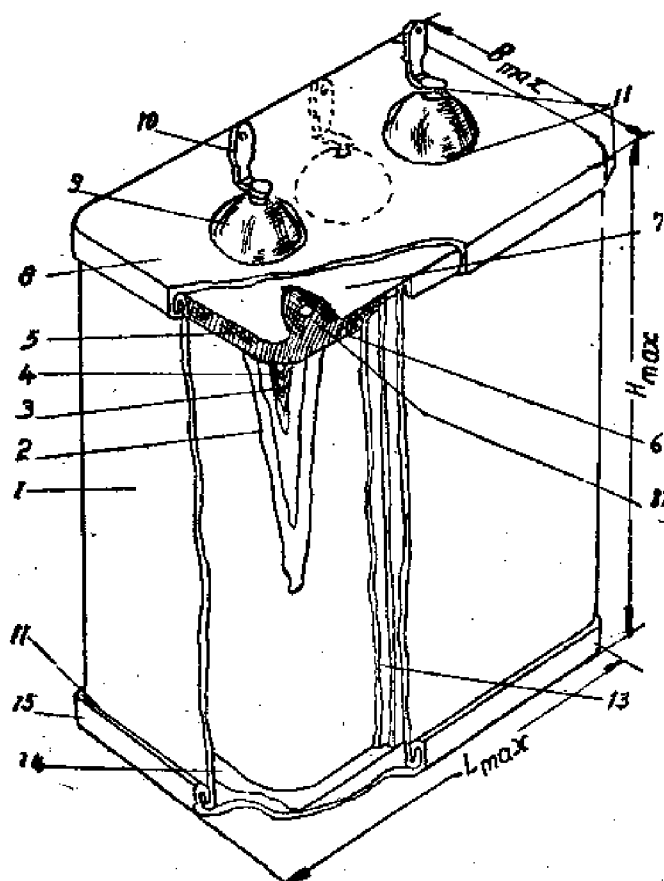


图10—05 KBT—MH型电容器之装置

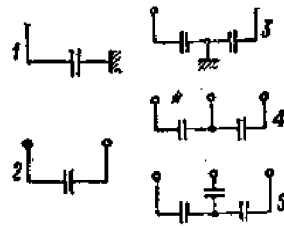


圖10—606 KBT—MH型电容器中分部的接法

1——一个分部，一个絕緣引出端，另一引出端就是外壳；2——一个分部，二个引出端都絕緣；3——二个部分，二个絕緣引出端，而第三个引出端就是外壳；4——二个分部，三个絕緣引出端（其中一个公用）；5——三个分部，三个絕緣引出端。

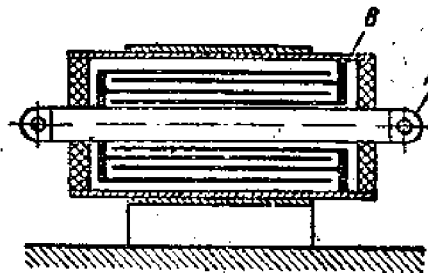


圖10—607 旁路电容器的裝置

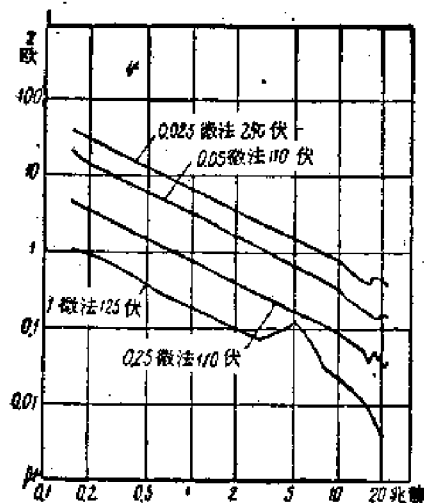


圖10—608 旁路电容器的总阻抗 z 与頻率間的关系

圖中A是与一組極片相联接且穿过中心的導綫，而另一組極片連到金屬的外壳上，这外壳就直接安装在机架上。由于接綫长度很短，穿心式电容器具有很小的电感，因而尽管其电容量大到几个微法，也可順利地工作于50—60兆赫的頻率上。旁路电容器的总阻抗与頻率間的关系示于圖10—608中。

CZX (BM) 和 CZMX (BFM) 型紙介电容器，其尺寸要較前述的小，不过它的工

作电压也較低, CZM (BM) 的工作电压仅为直流 100 伏, CZMX (BIM) 的工作电压为 400 伏。

CZR (BIT) 型电容器的耐热要較其他的紙介电容器好, 它的工作温度上限到 100°C , 而其他的仅为 70°C — 85°C 。

2. 金屬化紙介电容器

金屬化紙介电容中, 極片是一層厚約 0.1 微米的金屬蒸發層。这样薄的金屬層, 当受到电压冲击时, 通过电容器紙解質中的导电微粒的电流强度, 足以使导电微粒附近的金屬層溶解、蒸發, 而把导电微粒与極片絕緣 (見圖 10—609)。

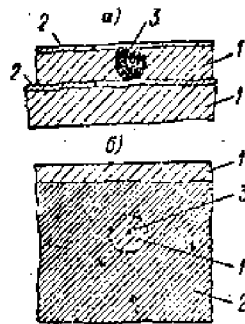


圖 10—609 單層金屬紙質电容器中的导电微粒: a—側面形状 (放大很多); b—从金屬層的一面看紙面。1—紙, 2—金屬層, 3—导电微粒。

在运用中受到瞬时电压作用和被击穿时, 也發生与此相同的現象, 击穿的地方, 也变成与極片絕緣而不致造成短路, 这种現象, 我們称之为“自愈”。

在一般紙解电容器的制造时, 为了避免紙上的导电微粒以及孔洞和某些弱点, 我們都用二層到三層紙来絕緣 (作为介質), 这样就使介質層加厚而增大了紙介电容器的体积, 而在金屬化紙介电容器中就可以由二層紙改为一層紙, 得以减小介質厚度到一半, 因此, 其比容就可以减少到四分之一, 而其工作电压则保持与用二層紙时相同。由于这种电容器的極片, 从用平常厚 7—8 微米 (鋁箔) 减小为 0.1 微米厚的金屬化层, 这就使得它的比容更为减小。

由于金屬化層很薄, 故在高湿度下其抗腐蚀的性能也極小, 因此金屬化紙介电容器都是采用密封的結構。

紙介电容器的芯子有几种繞法如圖 10—610 所示,

普通繞法如圖 10—610, ①所示, 它具有特別大的电感, 限制了电容器在高頻上的应用。

无感繞法是使二極片在相反的二端各伸出少許, 使同一極片的各圈間互相短路, 这样就可成为無感 (圖 10—610, ②)。

普通繞法也可使电感减到很小, 办法是使二个極片的引出接头, 尽可能互相接近 (如圖 10—611)。实际上, 在繞制的电容器中, 电感的大小, 大部分决定于引出綫接头間所包括極片的长度。在被包括的部分中, 二極片內的电流方向始終一致, 其所产生

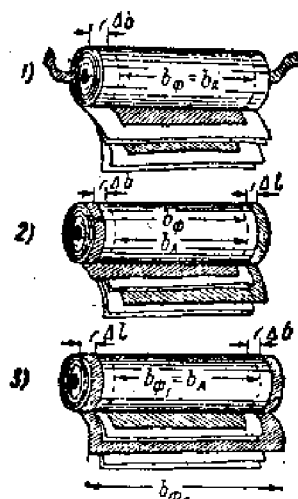


圖10—510 螺旋形电容器的各式卷法:

1—普通的; 2—無電感的; 3—有對穿極片的; Δb —凸緣間度, Δl —箔邊伸出的間度, b_ϕ —箔片的總間度, b_A —箔片的有效間度。

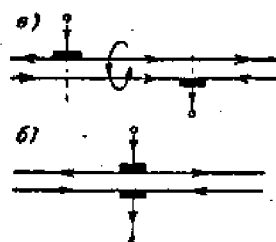


圖10—511 螺旋形电容器的展開圖:

a—引出點互相離開; b—引出點互相接近

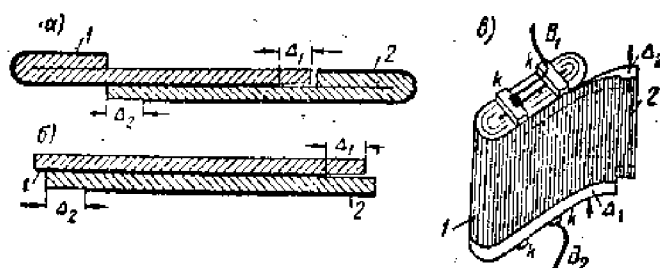


圖10—512 金屬紙質電容器分部的卷繞和加裝觸頭法:

a—紙條邊緣折轉的卷繞法; b—沒有折轉而有位移的卷繞法; c—用噴霧法在端頭加裝觸頭并用焊錫法將引出線焊在觸頭上之后的電容器分部。

1—第一紙條的金屬層; 2—第二紙條的金屬層; Δ_1 —第一條的凸緣; Δ_2 —第二條的凸緣; k—分部端頭上的觸頭; B_1 —由第一條接出的引出線; B_2 —由第二條接出的引出線。

的磁場也彼此相加，這就是發生電感的原因；在二極片上的電流方向相反時，其磁場也就互相抵消，就可成為無感的了。

金屬化紙介電容的卷繞法，又與一般的不同（見圖 10—612），這樣的卷繞法也是無感的，同時它的引出綫採取了特殊的在其兩端用金屬噴霧法噴上金屬條，再從金屬條件上焊出引綫。

金屬化紙介電容器有如下的類型：

CZj—L 立式 矩形 密封 金屬化紙介電容器（原型号 MBГЦ）。

CZj—L 筒形 密封 金屬化紙介電容器（原型号 MBГЦ）。

CZjD 單層 密封 金屬化紙介電容器（原型号 MBГO）。

CZjj 交流用 密封 金屬化紙介電容器（原型号 MBГИ）。

CZjR 耐熱 密封 金屬化紙介電容器（原型号 MBГТ）。

CZjX 小型 密封 金屬化紙介電容器（原型号 MDM）。

CZjMX 小型 密封 金屬化紙介電容器（原型号 MBГМ）。

3. 薄膜電容器

薄膜電容器的介質是一種薄膜，它是由合成的或其他高質量的絕緣材料制成的。薄膜電容器的極片有採用金屬箔片的，亦有採用直接塗復在薄膜上的金屬層的。

介質的高絕緣性能，使薄膜電容器可以製成具有高的電氣參數，它們接近於雲母電容器的參數。薄膜介質的緩慢老化，可以使薄膜電容器比紙介電容器獲得更穩定的參數。

製造薄膜介質的材料，有聚苯乙烯，聚四氟乙烯等。

薄膜電容器的主要缺點是低的耐熱性。除了有機介質薄膜電容器外，現在還進行着無機介質薄膜的試制，以大大地提高工作溫度（500°C）。

薄膜電容器有如下類型：

CB 聚苯乙烯電容器（原型号 ПМ/2пCO, ПO）。

CBY 高壓聚苯乙烯電容器（原型号 ПCB）。

CF 聚四氟乙烯電容器（原型号 ФТ, ФТН）。

CFY 瓷管高壓密封聚乙炔電容器（原型号 ФРТ—И）。

§10—7 電解電容器

電解電容器利用薄的金屬氧化層作為介質，帶有這氧化層的金屬就作為陽極，電容器的另一極片陰極是電解質。這種電解質的功用，是預備形成和恢復金屬氧化層用的。

通過電解質的作用，可以使金屬氧化層有很高的抗電強度（要比其他介質的抗電強度大數十倍到數百倍）。由於有這樣高的抗電強度，使得可以製造成比其他類型電容器的電容大數百倍的電容器。

氧化層與其他固體介質不同之處在於具有單向導電性，因此，電解電容器是有極性的，即帶有氧化層的極片是為陽極片，應接在正電位，若不按極性連接，就會通過強大的電流，以致發生過熱而損壞了電容器。

由於以電解質作為電容器的極片，又產生了與其他電容器不同的特點。因為電解質

比普通电容器金属极片具有更高的电阻，就使得电解电容器的损耗角较大，而且，随着频率的升高而急剧地加大，同时，老化作用也大。

综合上面所述的特点：电解电容器的主要优点是比电容大、重量轻、成本低，在较低的工作电压下可以获得极大的额定电容。缺点是大的损耗角，低的绝缘电阻，有极性，电容量在时间上和温度变化时没有足够的稳定性，电容量与频率有关，以及有限的工作电压上限。

因此，电解电容器基本上应用在电源滤波电路，去耦电路及自给偏压电路中，最近特殊类型的电解电容器成功地用于半导体电路中。

在无线电设备中，铝质电解电容器得到了最广泛的应用。其结构示于图10—701。

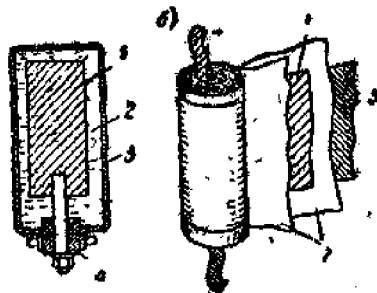


图10—701. 电解电容器的结构方式。

- (a)液体电容器：1—阳极板；2—电解液；3—外壳（阴面）；4—橡皮封口。
(b)干式电容器：1—阳极；2—电解液浸渍的纤维质衬片；3—阴面。

a)表示一液体铝质电解电容器。其中，1表示带有 Al_2O_3 膜的铝金属极板，2表示电解液，3表示阴极铝金属。b)表示一干式电解电容器的结构，其中除电解糊与液体电解电容器的电解液不同外，其余部分都是相同的。现在液体电解电容器已被淘汰而被干式电解电容器代替了。

其外形如图10—702所示。

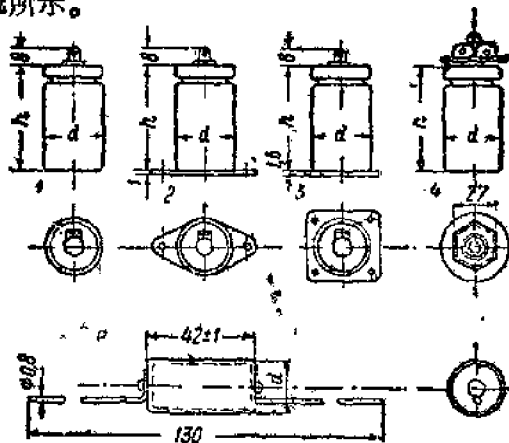


图10—702 K9型干式电解电容器。

- 1—无装固附件的K9—1a型电容器；2、3—有装固板（椭圆形或正方形）的K9—1b型电容器；4—有装固螺紋的K9—2型电容器；5—用引出线的K9—3型电容器。

铝质电解电容器的结构要求与制造工艺:

1. 铝质电解电容器的结构要求: 氧化膜 (Al_2O_3) 形成在阳极片上, 它是电解电容器的“心脏”部分, 它是半导体性质的, 正负直流电阻的比数约为100—10000倍, 所以, 电解电容器的两极是分为正负而不能互换的。这氧化膜的厚度, 在制造过程中形成后, 有0.001—0.10微米, 介电常数是7.5—10。

电解电容器的阳极片金属铝的纯度, 是制造电解电容器能否成功的关键问题, 它的主要杂质是Fe, Si与Cu等, 如果纯度达不到99.99%, 这样的铝箔是不能用来做阳极片的。阳极铝箔的厚度, 因为它的面层要制造成氧化膜, 必须是60—100微米。阳极铝片的有效面积, 也是电解电容量要大而比容要小的重要问题, 所以, 为了要扩大阳极片的有效面积, 在制造氧化膜前, 阳极片一定要经过腐蚀, 以加大它的有效面积, 腐蚀前后的面积比值, 约为2—4倍。图10—703就表示这腐蚀好了的阳极片一面的形状。

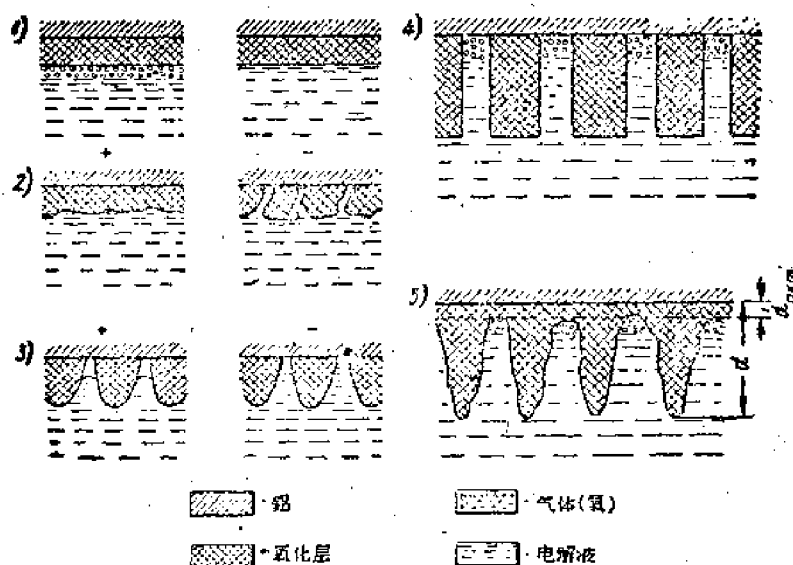


图10—703 电解质电容器中介质的结构图

1—氧化层由半导体的氢氧化铝形成, 接阳极时气体层作为介质。2—氧化层由海绵状结构的绝缘性氢氧化铝形成, 接阳极时膜层被压向金属而细孔被封闭。3—氧化层由固体氧化铝——有对穿细孔的介质形成; 接阳极时电解液被电渗压力从孔中挤出。4—氧化层由固体氧化铝——有对穿细孔的介质形成; 在孔中金属铝的表面上有气体层。5—氧化层由固体氧化铝——介质形成; 细孔并非对穿, 在铝的表面上有厚度为 d_{axm} 的密实薄层。

电解电容器阴极片的厚度, 只要20—30微米就可, 因为它在电容器工作中是不消耗的, 且阴极铝箔纯度也不象对阳极片要求的那样严格, 但也不能低于99.35%。

在干式电解电容器里, 电解糊及保存这电解糊的纤维质的选择, 也是重要问题。阳极片上氧化膜在生产工厂制成后, 在运输及运用这电解电容器的过程中, 极易破坏, 因为它的结构并不是坚固的, 而且是很薄的一层, 所以, 在阴阳两极片之间一定要预备上

电解液，原氧化膜有破坏之处，即刻再补充上，当氧化膜完整無缺时，电解液就静候待工。当阳极片上氧化膜破坏时，电解液即发生作用，来补充这氧化膜，电解糊的配方及电化过程，大致如下：

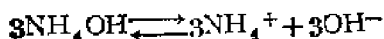
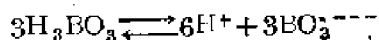
干式电解电容器电解糊的配方，示如表10—6。表内乙二醇及甘油都是用来当溶剂的。用乙二醇时，电解电容器的工作温度可由 -40°C 到 $+60^{\circ}\text{C}$ ；而甘油只能由 -10°C 到 $+60^{\circ}\text{C}$ 。氨水在电解糊内的功用是消除氢气的损害。正硼酸是电解液。

电解电容器电解糊的配方

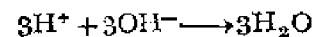
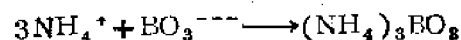
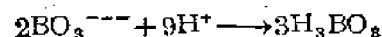
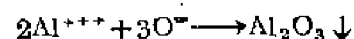
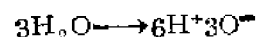
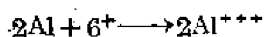
表10—6

材料名称及配制条件	50—100伏工作电压电解糊配方	300—450伏工作电压电解糊配方
乙二醇 $[\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2]$	——	1115克
甘油 $[\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3]$	92克	——
正硼酸 (H_3BO_3)	100克	600克
氨水 (NH_4OH)	120毫升 (22 $^{\circ}\text{C}$)	167克 (比重: 0.91)
煮沸温度	96°C	128°C
蒸发量	12.5~13.5%	21~21.5%
电糊比阻	——	900~1100欧·厘米

当没有直流电压在电容器上时，硼酸和氨水即自行游离，如：



当直流电压使用在电容器上时，氧化膜即形成在阳极铝片上，且氢气与氧气化合而变为水，其反应如：



由化变方程式中，可理解到氧化膜 (Al_2O_3) 是补充到阳极片上去了，大部分的氢离子变化为水了，但还有一小部分氢离子没有地方交代，结果是当直流电压应用到电容器时，它们就游离到阴极上去放电，而变为少量的氢气保留在电容器内。只因在电容器内氧化膜的补充，并不是经常的，且氢气的变成是少量的。所以，在电解电容器应用的最初数年内，不会发生问题，但日久天长若干年后，这少量的氢气会积少成多，而使电容器破坏了（有时似鞭炮爆破开）。

电解糊是需要浸渍到纸里去不許它在电容器内随便流动，这样对纸的问题就需要研

究它的特性了。

現在采用的电糊紙，主要是国产的毛边紙，湘毛边紙最好。这种紙在温度由 -10°C 到 $+60^{\circ}\text{C}$ 是好用的，它的性能是：

Cl^{-} 离子 $=0.003\sim0.008\%$ （起腐蝕作用）；

SO_4^{2-} 离子 $=0.005\%$ （增大电容器 $\text{tg}\delta$ ）；

Fe^{+2} 离子 $=0.0025\%$ （增大电容器的漏电电流）；

灰份 $=0.1\%$ （此值愈小，紙吸收电解糊愈多）；

吸油率 $=60\text{mm}$ （此值愈大愈好）。

自湘毛边紙这些特性，可断定这类紙在电解电容器內当做隔極紙及电糊紙用是够条件的，所以，現在国内很多工厂采用了这类紙来制造电解电容器。

2. 鋁質电解电容器的制造工艺

(1) 陽極鋁箔的情况及腐蝕：

在陽極鋁箔未赋能前（即未做氧化膜前），鋁箔一定先进行清洗及腐蝕，以除去油脂、污油及氧化物等，并借腐蝕办法，以增加陽極鋁片的有效面积，这数步工艺是自动化的（当然为小量生产，可用手工操作）。表示如图10—704。

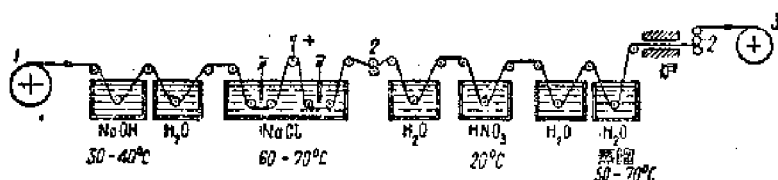


图10—704 动浸蝕过程概圖：——电化学法

1—未处理的箔片，2—牵引軸，3—处理过的箔片

图10—704內， NaOH 槽是去掉鋁箔片上的油脂及污油等用的； NaCl 是用以把鋁箔正电位化，以便加大它的腐蝕速度，所采用的直流电源，只数伏特即可； HNO_3 槽是把正电位化过的鋁箔表面腐蝕，以增加它的有效面积，其余的槽都是为冲洗及煮沸清潔用的。

2) 陽極鋁片赋能（即制造氧化膜）

在制造电解电容器的工艺过程中，陽極片之赋能，是一步关键性的工艺，与电容器的电容量，效用及寿命等都有关系。图10—705就表示这套赋能系統。可理会到，陽極鋁

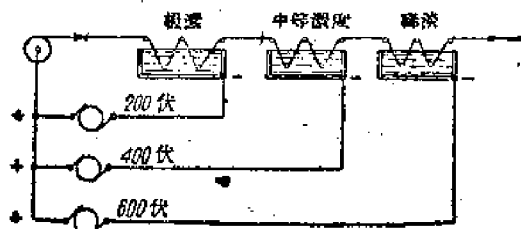


图10—705 陽極鋁片赋能系統

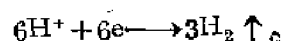
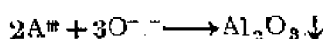
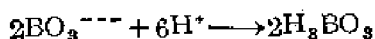
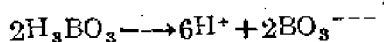
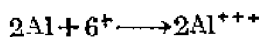
片上制造氧化膜是分为三步手續，第一次赋能是用極濃的电解液，而赋能电压是低的（仅200伏），目的是使氧化膜在陽極片上打下一个坚固的基础，再在这基础上加厚至規

定的厚度。这氧化膜加厚加固的过程，是在中等浓度电解槽与稀淡浓度电解槽而在将赋能电压逐渐增高的情况下进行的。成型电解槽内电解液的配制法，如表 10—7 所表示的。表内 H_3BO_3 （正硼酸）是电解液的主要成分， $Na_2B_4O_7$ （硼砂）是提高电解液导电率的，所以，在 400 伏成型电压以下，硼砂的量最低。阳极铝片上氧化膜形成时，在电解槽内化学变化情形如下：

成型电解槽内电解液的配制法

表 10—7

成型电压 (伏)	一 立 方 升 水 中 的 含 量 (克)	
	H_3BO_3	$Na_2B_4O_7$
600—850	150	0.00
600	100	0.20
500—600	120	0.42
560	100	0.80
510	100	2.50
420	100	15.60
400 以下	100	25.00



由电化学方程式看出，氧化膜在阳极铝片上是沉积了，氢气是在电负极上放出了。形成电压愈高，氧化膜形成得愈厚，但制造成的比电容愈小，这个关系表示如下式：

$$C_{FA} U_F = R_F \Rightarrow \text{常数} \approx 10-12 \text{ 微法} \cdot \text{伏} / \text{厘米}^2 \quad (10-601)$$

式内 C_{FA} 是比电容， U_F 是形成电压。由此式看出，形成电压用高了，氧化膜层加厚了，但比电容减少了，所以氧化膜层的厚度应适合要求为度，不能太厚，否则，电容量就会减小；因此，最高形成电压不能超过 600 伏。

阳极铝片上氧化膜形成的过程中，在高压槽内，形成电流的初值是 5—8 毫安/厘米²，电流逐渐减小，至形成完毕时，形成电流降至约 15 微安/厘米²。这形成电流与形成电压及电容量的关系，应如：

$$I (\text{毫安} / \text{厘米}^2) = K C U_F \cdot 10^{-3} \quad (10-602)$$

式内 K 系一常数，其值在 0.15—0.2 之间，C 值即形成的电容量。

(3) 电容器芯子装配与再赋能：

阳极铝片氧化膜形成完毕后，即按电容量要求裁剪。裁剪后，装订接电极接头。也

同样裁剪及装订接负极铝片。最后将裁剪好的隔极纸（毛边纸）与阴阳极铝片按一定工艺规范迭起、卷起，并紧扎成电容器芯子。

将扎好的电容器芯子成批地在浸渍罐内浸渍电解糊，这是真空式的浸渍，先将芯子里空气抽出，以后再将电解糊吸收到芯子里，有时遇到的困难是芯子里吸收电解糊不够充分，致使芯子里有的地方吸收不到电解糊，在此情形下，就应用压力把电解糊压到芯子里去。但制造电解电容器的手工业者，芯子里的电解糊，不是用真空浸渍法做成的，而是预先将隔极纸在电解糊内蘸好的，这样的做法，当然不合标准，但也解决了浸糊的问题。

电容器芯子浸电解糊后，即行再赋能，这次的赋能，是用电容器的工作电压做的，目的是补充并老化阳极片上的氧化膜。

4) 再赋能好的电容器芯子的密封与检验：

再赋能好的芯子，放在预备好的硬纸盒或纸管内，或铝制盒壳内，再将密封材料灌进去。为高级品，安放电容器芯子的密封金属盒壳与接出导线，也是采取密封办法的，这就保证密封永久完善。

电容器密封好后，下步的工序就是按照规格检验了。

除了铝质电解电容器外，近来已有采用钽来制造电解电容器。

钽的氧化层具有更好的特性并较易形成，但由于钽的缺乏及价格高昂，只有在特殊的情况下，才采用钽质电解电容器。钽氧化层和铝氧化层不同之处在于，有较高的介电常数（ $\epsilon = 11.6$ ）及较大的抗电强度（几乎2倍）。这就允许建立具有较大的比电容的电解电容器。

钽电解电容器与铝电解电容器比较，其主要优点是：

- (1) 在小的工作电压下较小的尺寸（当 $U_{P.6}$ 小于150伏时体积几乎小两倍）。
- (2) 大的工作温度范围（ $60^\circ - +125^\circ\text{C}$ ）。
- (3) 较小的损耗
- (4) 电气参数对温度的较小的依赖性。
- (5) 较大的绝缘电阻（比铝电解电容器大2—7倍）。

它的缺点是：

- (1) 较小的工作电压范围（6伏到150伏）。
- (2) 价值昂贵。

为了设计一个电解电容器，下边的例题是有帮助意义的。

例题：氧化膜的厚度，可做到 $0.07 - 0.7\mu$ ，取 0.1μ ，当做氧化膜厚度（ d ），氧化膜的介电常数是 $7.5 \sim 10$ ，取 7.5 （ ϵ ）。如果，要求的电解电容器的电容量是 $8\mu\text{F}$ ，问阳极片的长宽尺寸应是多少？

解：

$$\text{由 } C = \frac{\epsilon S}{4\pi d},$$

$$\text{得 } S = \frac{4\pi d C}{\epsilon}$$

$$= \frac{4\pi \times 0.1 \times 10^{-3} \times 8 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{11}}{7.5}$$

$$= 120 \text{ 厘米}^2$$

所以，陽極片的尺寸，可以是

长 = 30 厘米，

寬 = 4 厘米。

第十一章

可 变 电 容 器

可变电容器广泛地应用在无线电发射机、接收机及各种无线电测量仪器的可調振荡迴路中，所以它对无线电设备的質量有着極其重要的影响。

由于对可变电容器有各种各样的要求，其結構也是多种多样的，所以常常根据具体要求及用途进行設計，并根据設計来拟訂制造工艺。

§11—1 可变电容器的分类及其主要參量

I 可变电容器的分类：按照各种特征，可变电容器有以下几种主要分类方法，现列表于下：

可 变 电 容 器 的 分 类

表11—1

按动片和定片之间的介質类型分类	按 应 用 范 围 分 类	按 結 构 特 征 分 类	按制造或装合动片及定片的工艺特 征 分 类	按电容量的变化规律 分 类
1. 气体介質的	1. 用于无线电接收机，測量设备及小功率发射机的振荡回路中	1. 单連可变电容器	1. 用鉚縫法制成的	1. 容量直綫式的
2. 液体介質的	2. 用于功率振荡器的振荡回路中	2. 多連可变电容器	2. 用焊接法制成的	2. 波长直綫式的
3. 固体介質的			3. 用隔离垫圈法制成的	3. 頻率直綫式的
			4. 用压鑄法制成的	4. 容量对数式的
			6. 用組合法制成的（也就是同时使用了鉚縫法，压鑄法和焊接法）	

其中最常用的是按容量变化规律来分类。

II 可变电容器的主要参量:

1. 最大电容量值与最小电容量值:

最大电容量值和最小电容量值, 决定着无线电设备在某一工作波段内的频率变化范围。

某一工作波段内最高频率 $f_{\text{макс}}$ 对最低频率 $f_{\text{мин}}$ 的比值称为波段复盖系数, 可用下式算出:

$$r = \frac{f_{\text{макс}}}{f_{\text{мин}}} \quad (11-101)$$

电感量 L 和电容量 C 所组成的回路, 其谐振频率 f 为:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (11-102)$$

假定电感量 L 是一个常数, 则(11-101)式可转化成下式:

$$r = \sqrt{\frac{C_{\text{макс}}}{C_{\text{мин}}}} \quad (11-103)$$

其中: $C_{\text{макс}} = C'_{\text{макс}} + C_0$

$C_{\text{мин}} = C'_{\text{мин}} + C_0$

$C'_{\text{макс}}$ ——可变电容器之最大电容量。

$C'_{\text{мин}}$ ——可变电容器之最小电容量。

C_0 ——振荡回路的分布电容量, 其中包括: 安装电容, 电子管的极间电容, 电感线圈的固有电容等。

在实际生产中, 常把可变电容器的最大电容量, 做得比所要求的 $C'_{\text{макс}}$ 值要大一些, 原因是防止当 C_0 变得比预先估计的数值稍小时(例如: 在更换电子管或电感线圈时)。可变电容器就不能满足所提出的波段复盖系数要求了。

2. 可变电容器容量变化规律的准确性和恒定性:

可变电容器电容量的实际变化规律, 是否符合所提出的电容量变化规律(即: 可变电容器容量变化规律的准确性), 直接决定着无线电设备是否能正常的工作。而所谓变化规律的恒定性, 即第一次和第 n 次旋转时, 角度和容量的关系都应该始终如一。有时, 在变化过程中有如圖(11-101)所示之抖动情况, 亦是不允许的。

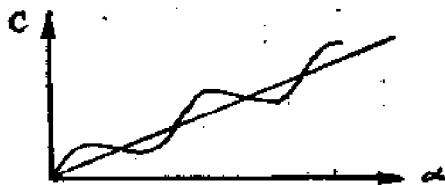


圖11—101

3. 工作电压:

为了保证可变电容器在正常工作情况下不被击穿, 对于高压状态下工作的电容器, 必须考虑到它的耐压问题, 并由此确定空气隙的大小。

对于在正常压力及干燥空气中工作的电容器，其空气隙的大小，可以按空气的容许电位梯度为500—700伏/毫米进行考虑。如果电容器是装在距离海面极高处的机器中，则必须考虑到空气的容许电位梯度与气压的关系。高度为10千米时，空气电容器的抗电强度几乎要降低到三分之二。（见图11—102）

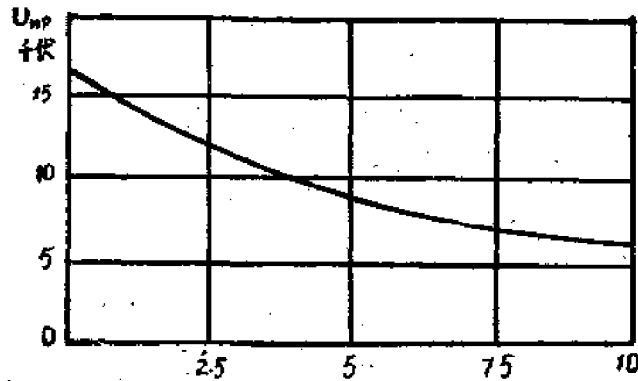


图11—102 击穿电压与海拔高度(H)间的关系

用于一般接收机中的可变电容器，由于加在电容器两端的工作电压很低，在制造上所能达到的动定片之间的空隙（一般为0.15毫米）就完全能保证不被击穿。因而对这类电容器将不考虑工作电压这项参量，而极片间的空隙是由工艺水平和稳定性来决定的。（关于空隙大小和稳定性的关系，后面将进行详细讨论）。

4. 容许损耗:

可变电容器与电感线圈的总损耗，决定着工作回路的Q值，因而直接影响着回路工作的稳定性和选择性。故对可变电容器的损耗应有一定的要求。

5. 温度系数及其恒定性:

可变电容器的容量温度系数的大小，直接影响着回路频率的稳定性。而温度系数是否恒定，却决定着进行温度补偿是否困难。因此应对该参量给予极大的重视，否则将使无线电设备无法正常工作。

6. 集流元件的阻抗值及其恒定性:

集流元件就是把电流引导到动片组的元件。由于动片须要转动，因而它与动片组的接触是滑动式的接触。所以很易引入较大的接触电阻和感抗，从而使Q值下降，稳定性变坏，故应设法使集流元件的阻抗值作到最小，并使该数值具有高度的恒定性，特别是用在超短波时更应注意。

7. 连的数目及在各速中电容量变化的统一性:

因为在某些设备中，要求同时调谐数个回路，所以常常需要把可变电容器作成多连的。各连电容器的动片组，均装在同一根轴上，当转动动片轴时，要求各连电容量的变化具有所要求的统一性，这样才能准确的按一定关系同时调谐数个回路。

8. 各连的屏蔽:

为了减弱电路各部份间的寄生电容耦合，以保证无线电设备能正常工作，要求各连

間應該有很好的屏蔽。

9. 耐震性:

可变电容器按照工作条件的要求, 应该具有足够的耐震性, 否则由电容器所引起的微音效应, 可能会破坏无线电设备的正常工作。

为了消除或减弱机械振动的影响, 最好用厚而無彈性的材料来制造極片, 并增加动片和定片之間的空隙, 以及設法加固电容器的全部結構等。

10. 动片旋轉力矩的大小及其恒定性:

动片旋轉力矩的数值及其恒定性, 决定于使用条件, 它們应该保証旋轉方便。力矩过大, 往往不易旋轉到預定的角度; 力矩过小, 則在旋轉到某角度后, 稍有振动或冲击时, 就可能使动定片的相互位置發生变化, 从而产生迴路失諧, 故旋轉力矩应严格按照要求給予滿足。

11. 重量和尺寸:

这个要求对于小型及移动式设备特別重要。

§11—2 可变电容器結構另件的設計和制造工艺

任何类型的可变电容器, 都包括下列基本构件: 动片組, 定片組, 軸承, 集流器和壳体等。而每一个基本构件, 又由許多另件組成。

某些可变电容器的結構, 如圖11—201, 圖11—202, 圖11—203所示。

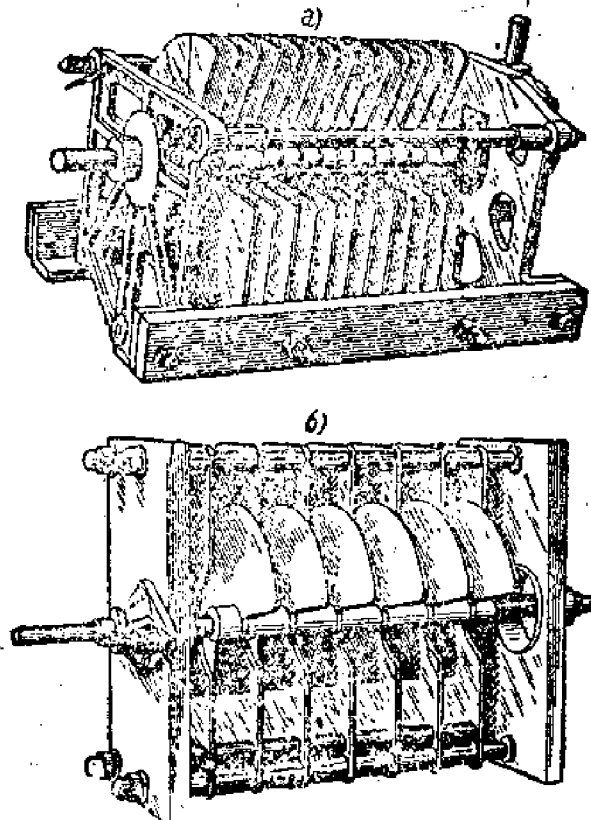


圖11—201 电容器的典型構造

a. 無線电发射机用可变电容器; b. 高频率高电压可变电容器。

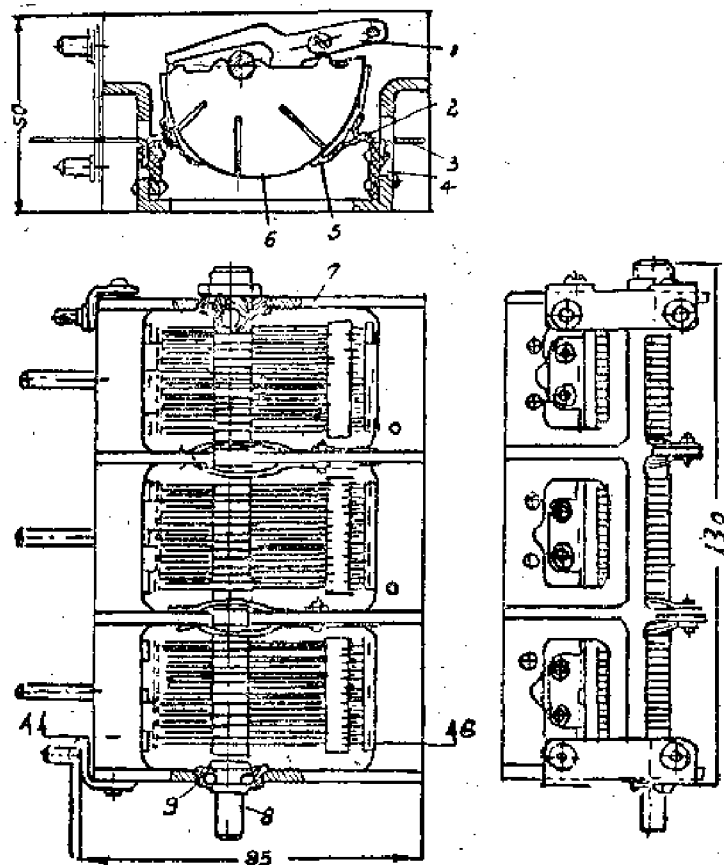


圖11——202 三通可变电容器

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. 用硬黄铜板料制成的集流簧片 | 6. 铝片 |
| 2. 焊錫 | 7. 铝合金片锻成的外壳 |
| 3. 黄铜的定片引入线 | 8. 黄铜制成的动片组的轴 |
| 4. 纸膜板绝缘体 | 9. 铜制轴承 |
| 5. 定片支持器 (黄铜造的) | 10. 电容器装到底板上用的螺栓 |

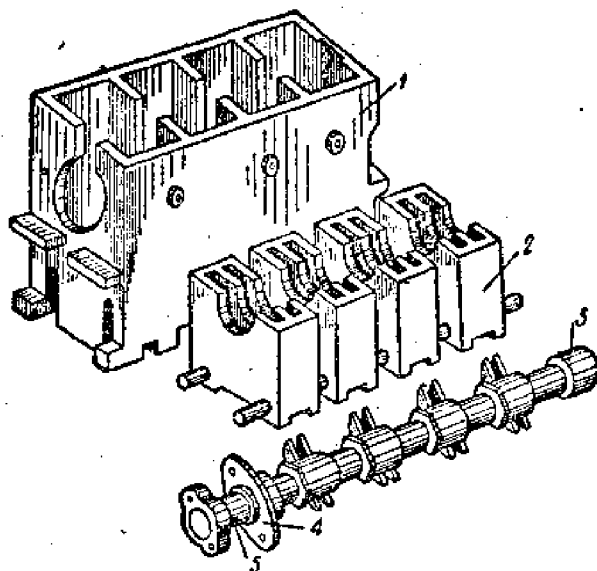


圖12——18 超短波用四連电容器 (拆散时的情形)。

- 1—壳体；2—定片組；3—动片組；4—鋼珠轴承；5—陶瓷軸。

I. 可变电容器的壳体:

壳体是可变电容器的基架,在它上面安装着所有构件和另件。

1. 对壳体的要求:

1) 足够的机械强度,以保证可变电容器工作的可靠性。

2) 足够的尺寸准确度。否则将使装配困难,甚至使电容器的电性能变得很差。例如:轴承孔和抵触螺钉孔的同心度不准,则很可能造成动片和定片碰片,至少会使容量变化规律受到破坏。

3) 易于固定到机器上去。

4) 工艺性、经济性好,即易于制造且成本低。

5) 有一定的温度稳定性,即线胀系数小,不存在残余的内应力等。

6) 其他要求。如有时要求体积小,重量轻,美观等。

2. 外壳制造工艺:

目前我国制造壳体,主要使用以下材料:铝合金、锌合金、钢、铜合金等。

制造壳体通常用的方法有:

1) 冲压法:

即先用冲压法冲成壳体的另件,然后再用铆缝法或焊接法装合成完整的壳体。

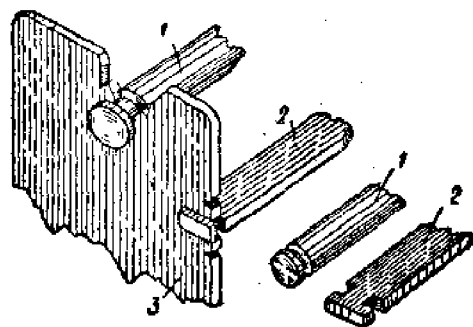


圖11——204a 用铆缝法装合多連电容器之結構

1—联接軸, 2—联接条, 3—端板。

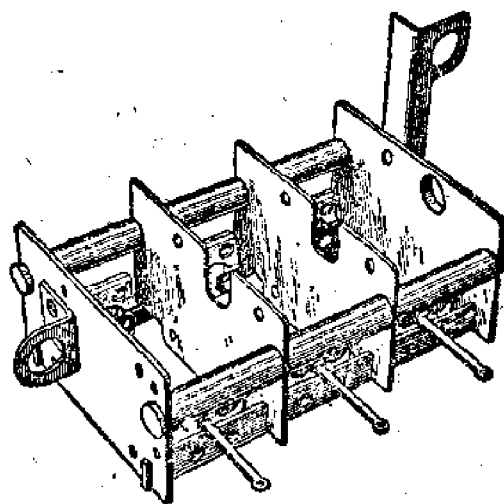


圖12——204b 三連可变电容器壳体

圖(11—204)所示是一用铆缝法装合成的外壳,为了保证外壳有足够的准确性,装合时应当使用专门的模夹具,端板一般是应用1.5—2毫米厚的软钢作为材料,为了固定到设备的底座上去,端板上具有装接上的带孔的支持板。

用铆缝法装合外壳,因在装合过程各组成部分受了外力的作用,所以常使外壳存在残余变形,严重影响着可变电容器工作的稳定性,但可用退火的方法克服此缺点。

该法制成的骨架,总的说来质量较差。目前仅使用在广播接收机和一般民用产品中。

該法在制造工艺上，也比压鑄法复杂。在大量生产中，目前我国許多工厂已逐步用压鑄法来代替鋸縫法。但是，当生产的数量較少时，由于压鑄模很貴，故仍用此法。

高稳定度可变电容器之外壳，需要用綫脹系数小的殷鋼制造时，則用焊接法裝合。此时避免了外力对外壳的作用，故不会产生残余的内应力。

2) 压鑄法:

适用于大量生产，常用材料是鋅合金、銅合金和鋁合金。

后两者均是国防材料，只有在特殊需要时才使用，一般普通的民用产品，尽可能选用鋅合金。

压鑄壳体一般用底部或側壁上的螺孔装固到底板上去。

圖(11—205)示出压鑄壳体的例子。

在这种结构中，前后壁板軸孔周圍具有加厚部分，以增加軸承的安装机构强度。

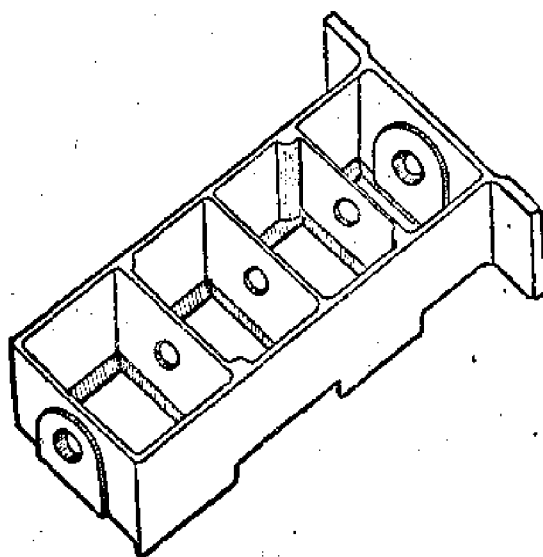


圖11—205 压力膜鑄成的多通电容器身架

3) 銑制法:

用軟鋼、黃銅、銅合金、鋅合金、鋁合金直接銑出。

后面两种方法在質量上能得出相同的結果，即稳定性和机构强度，可靠性，准确性等都比冲压法高，常用来制造超短波或測量設備中的电容器外壳。

銑制法比压鑄法加工的材料范围更广，但銑制法浪費材料較大，制造效率低，故只适用于小量生产，单件生产和不能使用压鑄法加工的情况中。

4) 可拆式裝合结构:

在發射机中使用較大的可变电容器的壳体，由于体积較大，用上述三种方法制造比較困难，所以只得用螺栓、螺母裝合成可拆式的壳体结构。

如圖(11—206)所示，端板是用鋁合金鑄成的，支杆是車出来的。

又如圖(11—207)所示，端板用陶瓷制成，这样則可不用絕緣子而直接固定到机器中去。

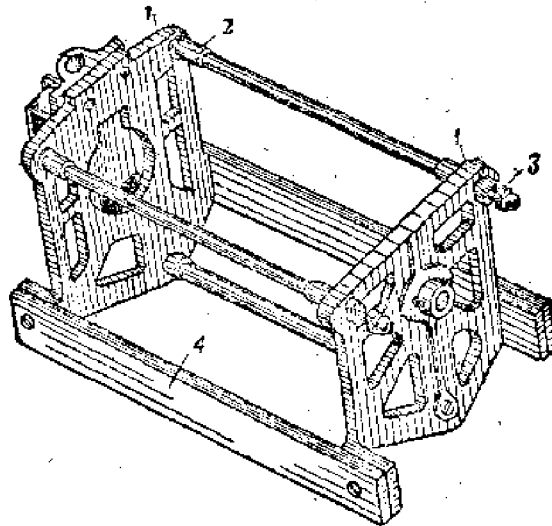


圖11—203 無線電發射機用，以鑄造墙板裝合的身架

1—以砂鋁合金鑄成的墙板；2—門緊螺絲；3—圓頭螺母；4—云母模制條。

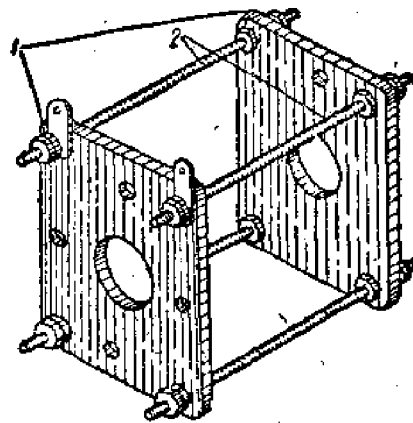


圖11—207 陶瓷墙板裝合的身架

1—陶瓷墙板；2—門緊螺絲。

II. 动片和定片：

1. 基本要求：

1) 足够的尺寸准确性。因为动片和定片的形状直接影响着电容器的变化规律，所以这个要求特别重要（关于动片和定片的计算，参见§11—4）。

2) 足够的厚度准确性。因为厚度直接影响着动片和定片之间空隙的大小，故可造成电容量的误差。

在大量生产中，为了不对片子厚度提出过于严格的要求，在装配前先将片子按厚度分成甲，乙，丙三类：

甲……0.593—0.597毫米

乙……0.598—0.603毫米

丙……0.601—0.609毫米

在装配时，由乙类的动片与乙类的定片，甲类的动片和丙类的定片，丙类的动片与甲类的定片相配合，这样将保证空隙的准确，同时也大大降低制造成本和减少了制造的困难。

3) 足够的平整度:

这样才能保证容量的准确和稳定，保证动片组旋转时不会发生动片与定片短接，并保证电容器在规定的工作电压下不被击穿。

2. 动片和定片的制造工艺:

1) 冲制:

一般使用的材料是铝、铜、黄铜、殷钢。

首先应检验金属薄板的厚度，或在无线电工厂中用精确的辗压机，压制所需的厚度。一般厚度为0.5—1.5毫米，误差应小于0.01毫米。极片愈厚机械强度愈高，耐震性愈好，但成本和重量也随之加高。

因极片所用材料均是有色金属或合金钢，价格较贵，所以在冲压排样时应该尽可能节约材料：图(11—208)中表明(甲)种排样方法比(乙)种排样能节省原料。

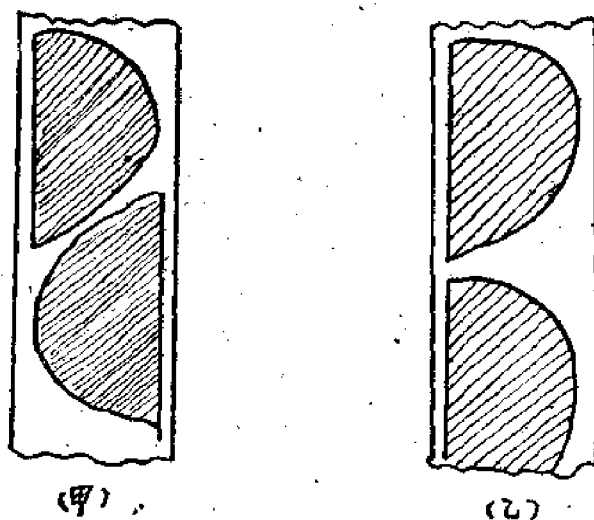


图11—208动定片的排样

(甲) 正确

(乙) 不正确

由于冲压时极片将会稍有弯曲，所以冲出的板片，一般均须经过麻压平或光压平，前者效果较好。因为前者是塑性压平，而后者是弹性压平，所以后者仍有弹性还原的可能性。在压平时，对于较软金属材料，应在下模底部垫以橡皮，防止板片被压薄，而影响板片厚度之准确性。在制造过程中，由于不可避免的某些制件不一致的情形，将影响电容量的准确度。因此，有时须把动片组外面两片切出几个缺口（俗称花片），以便在几个转角上进行容量的校准（参见图11—209）。在多速电容器中，为了获得各速电容量变化的统一性，这种校准显得特别重要。

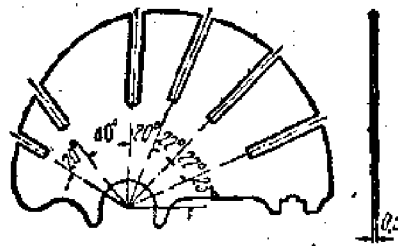


圖11—209 动片上的狭槽。

缺口深度一般为半径的 $\frac{2}{3}$ ，切口間角距一般为 $20^\circ-40^\circ$ 。

为使薄片容易和在薄片后不再弹回，或者说为了维持塑性变形，花片均需经过退火处理。有时为了消除动片和定片在冲压时所产生的内应力（这种内应力在使用环境的作用下，可能使板片产生不允许的变形）。也须要进行退火。退火时把薄片叠在一起，并夹紧在专门的夹具中，然后放进退火炉中，在三小时到四小时内升到退火温度（对于铝是 $240^\circ-280^\circ\text{C}$ ）；对于铜是 $350-400^\circ\text{C}$ ），保持一小时，然后打开炉子，随炉冷却。在退火后，黄铜片必须经受腐蚀处理，以除去表面之氧化层（这种氧化铜层，电阻很大，会引入附加损耗），腐蚀后须仔细洗净，否则薄片在残余的腐蚀液长期作用下，可能被腐蚀坏。

2) 压铸或铣出整个动片组和定片组：

采用动片和定片的整组铣制（如图11—210），可以得到电容的高度稳定性，这种电容器的定片和动片的毛坯，一般是由铝合金铸成的，经车削后用整套的专门薄片铣刀在胚子中铣出隙缝。这种电容器中的极片，厚度达2—3毫米，故重量大为增加。并且由于金属材料消耗较多，制作手续又较复杂，所以价格也大为增加。现在除极少数的情况之外，整铣式电容器片已不再制造。

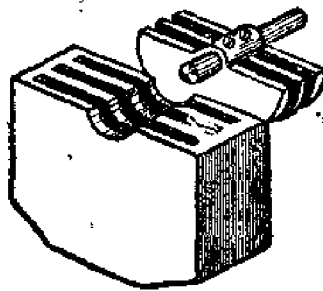


圖11—210 用鑄造法制成的动片組和定片組。

单个的铣制动片和定片亦只在高稳定性、高准确度和高压可变电容器中才使用，例如：主振，超短波及大功率发射机用可变电容器，因为该法所获得片子的外形和厚度都较准确，而且不会产生形变。为了提高其抗电强度，工作在高压情况下的电容器，应把片的边缘作成圆角，以使在边缘处电场分布比较均匀（如图11—211所示）。

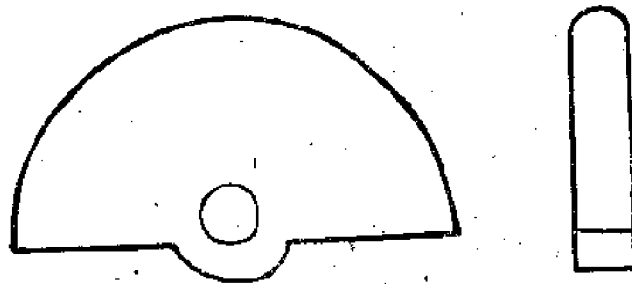


圖11—211

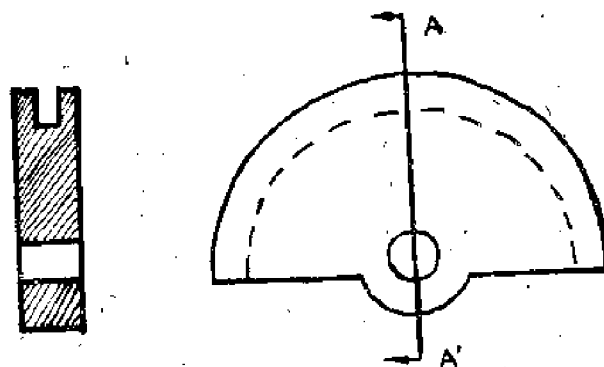


圖11—212

对于铣出或鑄出的动片，为了調整容量，在边缘做有2—3毫米深的环槽（如图11—212所示）。

如果准确度要求很高，则不应用撥片来調整容量，以免产生随温度变化的非循环性变形，因为在撥片时会产生剩余应力。

Ⅲ. 动片軸：

动片軸常用的材料是軟鋼，黃銅或陶瓷。为了使軸有一定的机械强度，軸的直径一般选用5—10毫米。为了固定动片，当用金屬軸时，常在軸上做有小槽（如图11—213所示），槽寬与动片厚度应为滑配合，槽距应准确的等于定片的厚度和动定片間空隙2倍的总和（一般要求达到3—10微米的准确度）。在实际制造时常用样板刀車出。



圖11—213 可变电容器动片組的軸

此外，为了配合止推軸承的滾珠，通常在軸的一个端面作有圓錐穴，在另一端头为了在軸承中安置滾珠，常作有凹槽。圓錐穴和凹槽均要求有較高之光潔度，以降低摩擦力。

对于超短波用多連电容器，为了防止連間的电感耦合，則用高频陶瓷軸。

为了保证可变电容器制造之准确度，对于动片軸应进行以下項目的檢驗：

1) 滾珠窩之錐度。

2) 各部分的同心度。

3) 尺寸檢驗：如槽寬、槽距、直徑、長度等。

IV. 軸承：

軸承在可變電容器中是一個重要的組成部分，它影響到電容器的穩定性，因而在選擇材料和製造時都應滿足一定的要求，這就是需要選擇具有較好耐磨性和耐溫性的材料，並要求所製得的軸承保證動片軸能均勻的旋轉和具有恰當的旋轉力矩。

可變電容器使用的軸承可分為兩大類：

1) 滑動摩擦軸承。

2) 滾動摩擦軸承（即滾珠軸承）。

以上每一大類又分為很多種（如圖11—214所示）。滑動軸承如圖（a, 6, B），只能

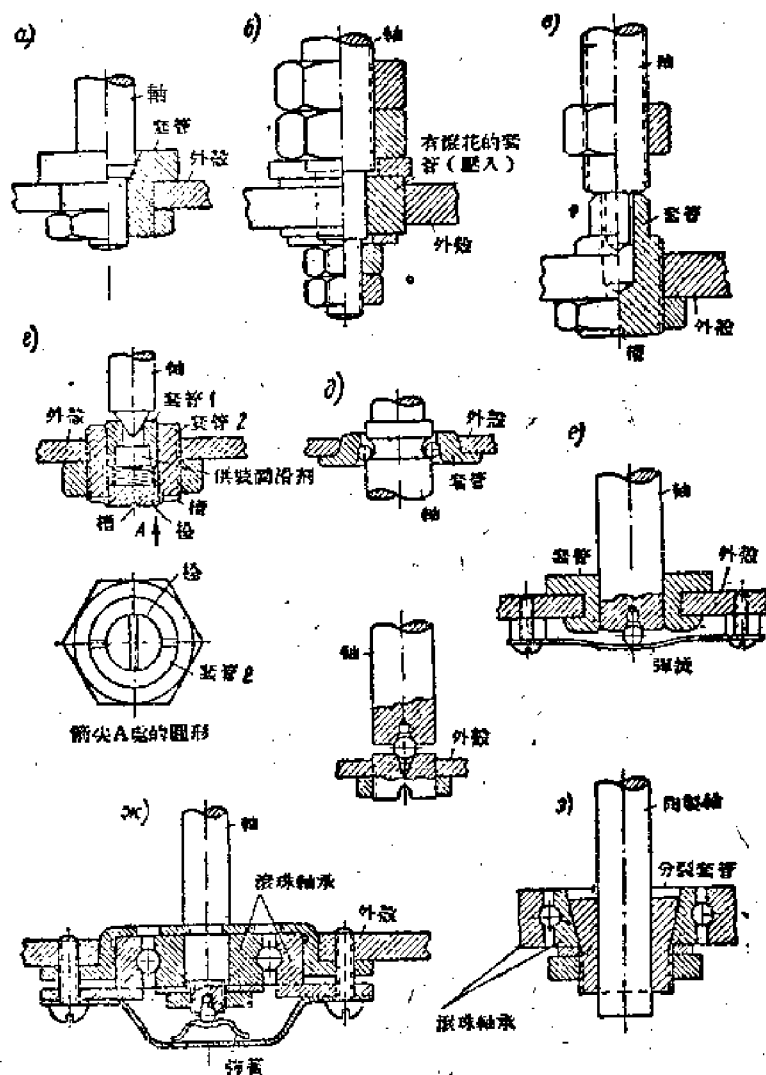


圖11—214 可變電容器的各種軸承結構：a—最簡單的下滑動軸承（動片有自由的軸向移動）；6—下軸承（動片的軸向移動受到限制）；B—下軸承（動片的軸向移動可以調整）；r—下軸承（動片的軸向移動可以調整；且有潤滑裝置）；A—特殊滾珠軸承，有滾珠雙軸承（軸向移動可以調整）；e—滾珠軸承，有消除軸向空檔的裝置；B—標準滾珠軸承有消除軸承本身空檔的裝置；3—標準滾珠軸承，固定裝牢在陶瓷軸心上的。

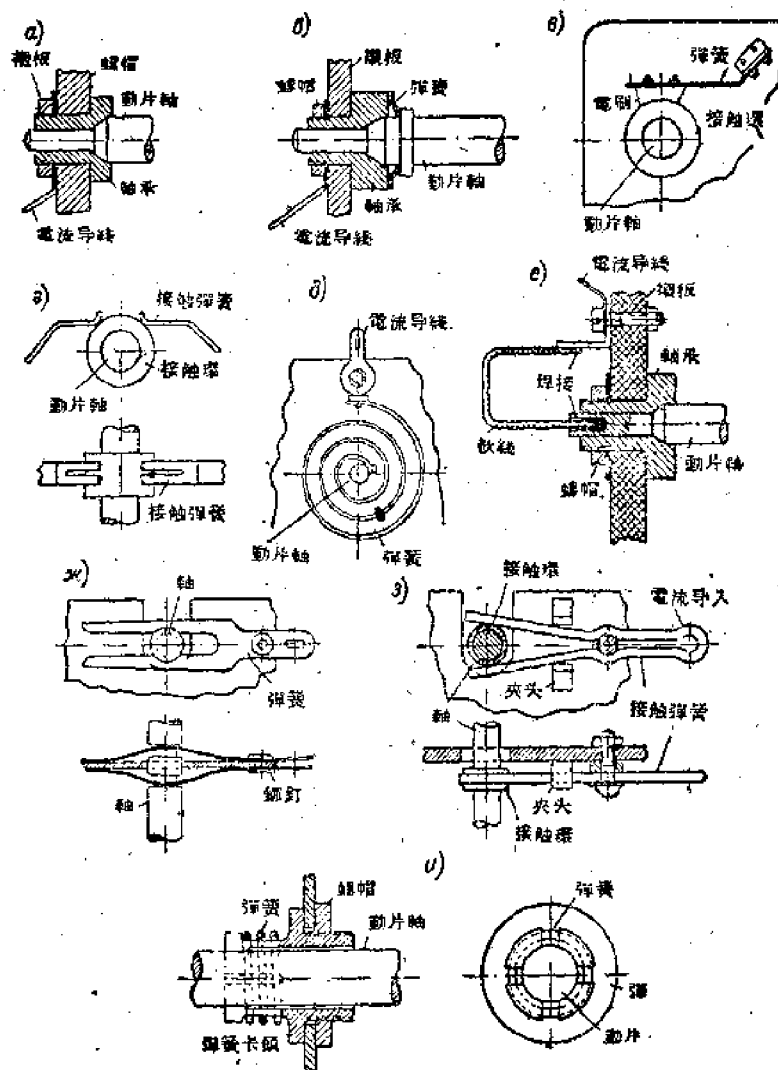


圖11—215 可变电容器中引导电流到动片的方法: a—经过轴承; b—用弹簧垫圈经过轴承; c—经过接触环和电刷; d—经过接触环和二个弹簧; e—经过螺旋弹簧; f—用柔软导线; g—用固定在屏板上的平弹簧; h—经过用硬导线弯成的叉状弹簧; i—经过有缝弹簧卡头。

用于最简单的电容器中，也就是普通的民用产品中。因为他们不能保证装配具有较高的准确度，并且在使用中很不可靠。散装的滚珠轴承（参见图11—214中r），此种轴承运用方便，成本较低，已获得了最广泛的采用。标准滚珠轴承有许多优点，如精确度高，稳定性好，旋转均匀，但成本较高，因此仅用于要求较严格的电容器中。

为了消除轴和壳体间产生不可逆变形的可能性，轴承常常通过专门的弹簧固定在外壳上。轴承的这种固定方法，当热膨胀时，可以允许轴承有不大的纵向伸长，而不致产生不可逆的变形，参看图11—214中d), e), m)。

V. 集流器:

集流器是用来使可变电容器的动片组与电路进行电气连接的零件。在大多数情况下，可变电容器的动片是接地的。因而集流器一端在电气上往往和壳体相连接，另一端则与动片组发生滑动接触。滑动接触点的接触电阻，应当尽可能的小（一般要求小于0.01欧），并且在使用过程中不发生变化。导电零件的总阻抗应当小（一般可在集流器上镀银来减小阻抗）。对于多速可变电容器，为了减小相互间的耦合，各速均应有自己单独的集流器。

集流器的结构如图（11—215）所示，其中“Ж”及“З”型的集流器在一般短波可变电容器中，得到了最广泛的应用。

弹簧卡头集流器“И”具有较好的指标，它具有小的过渡电阻约（0.0001欧）及不大的电感。

在超短波电容器中，常采用电容式集流器，虽然它们在很大的程度上增加了电容器的尺寸，但它们的主要优点，是具有极小的电感（参见图11—216）。

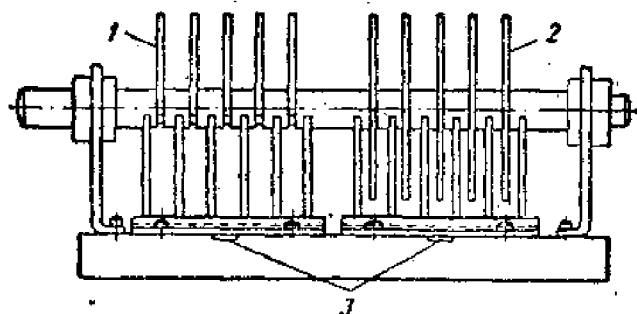


图11—216 具有电容式集流器的电容器

1—工作板；2—电容式集流器；3—自定片引出的引出端。

几种广泛应用的集流器（如图11—215中的“Ж”和“З”），都是用冲压法制造。因此，在排样上应注意节约原料。图（11—217）为平弹簧式集流器的排样，这样可进行无废料冲压。



图11—217 弹簧式集流器的排样

§11—3 电容器组件的装配：

电容器组件的装配主要指动片组，定片组的装配，即把动片装在套管（或轴心）上，和把定片装在支持零件上。现在常用以下方法进行装配：

I. 用易熔合金浇注（图11—3016）

将整组冲成的极片嵌入特制的模子中，注以熔化的合金，当这合金凝固时，就成为动片的套管或定片的支柱。用这种方法制成的动片组或定片组，最大的优点，是定片与支柱间和动片与套管间接触良好，可减少电容器的接触电阻，减小 $\text{tg}\delta$ ，因而使电容器

适用于超短波电路中。

II. 锡焊装配法: (圖11—301B)

將極片安装在定片支柱或軸心上, 用錫焊牢。这样的结构, 重量較澆注法为輕, 并且也适用于超短波。

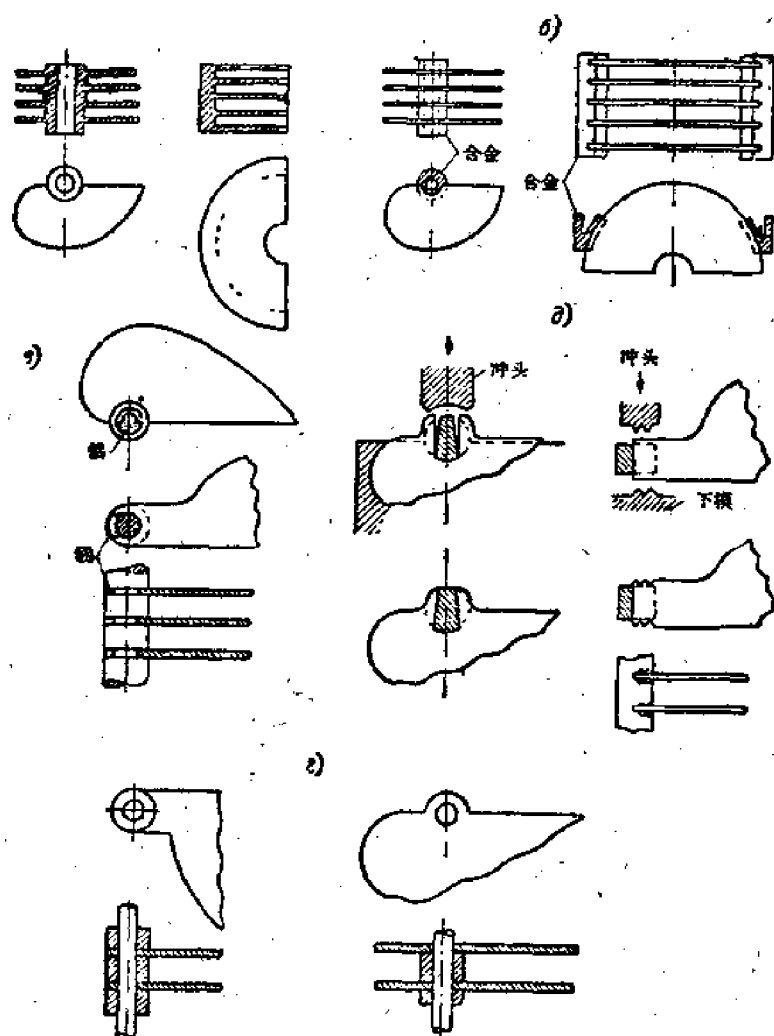


圖11—301 定片和动片的各種裝固法:

а—整組銑出; б—用易熔合金澆注; в—用錫焊; г—裝固在套
管上; ж—冲压。

有时为了易于焊接, 在焊接前先預热动片, 軸做成空心的, 以降低热容量。

用空心銑鉄焊接的方法如圖 (11—302) 所示。

III. 用隔离垫圈裝固在心軸上:

这种結構可以得到电容的高度稳定性, 制作标准可变电容器时, 用之尤为适宜。陶瓷軸心可变电容器亦常用此法装配。垫圈的制作必須有很高的精确度 (一般只允許相差 0.01—0.02 毫米以下), 否則極片間的縫隙大小, 可能与給定的数值相差很大, 尤其在

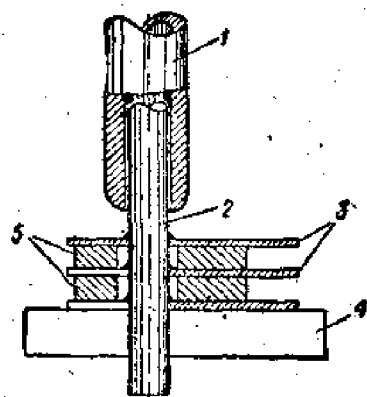


圖11—302 用空心烙鐵把動片焊到軸上的方法。
1—管式烙鐵頭；2—動片軸；3—動片；4—夾具；5—間隔墊。

片數較多時，誤差更大。

此種裝合方法，由於接觸電阻較高，故不能用於超短波電容器中。

Ⅳ. 沖壓或斂縫裝固法：

與焊接裝固一樣，這裡也是把定片和動片嵌入定片支柱和動片軸心（或套管）的槽中，然後在專門的沖床上，將極板上的小耳被壓擠緊縮，擠滿於軸上的槽內和極片的小孔內如圖（11—303）所示。

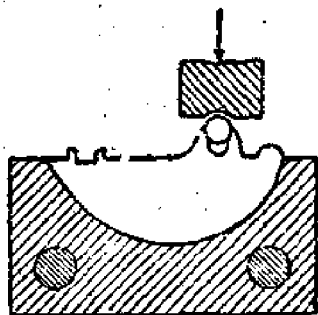


圖11—303a 用手扳壓力把軸勒住在動片組上。

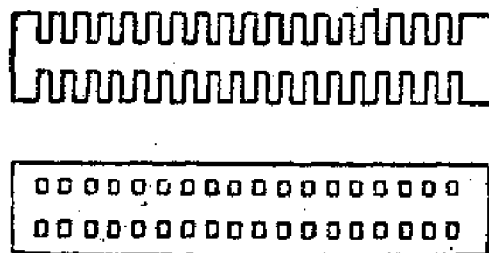


圖11—303b 固定動片用的梳片或小平片。

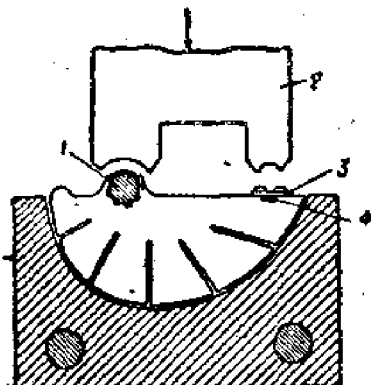


圖11—303c 動片組壓印操作的情形。

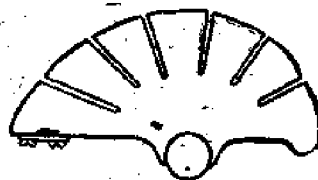


圖11—303d 動片組路印後的情形。

1—動片軸；2—上頭；3—梳片；4—絕緣墊片。

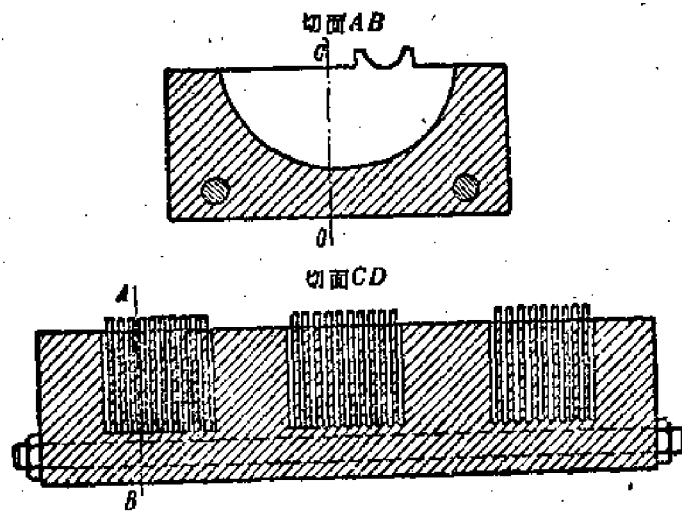


圖11——303a 裝合動片組用的夾具。

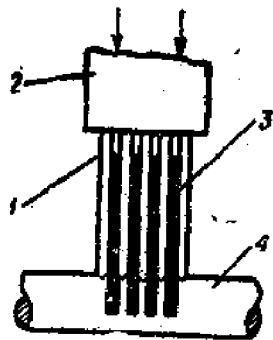


圖11——304a 在軸身上壓印卡緊動片的方法。

1—擴張盤；2—上沖；3—片子；4—軸。

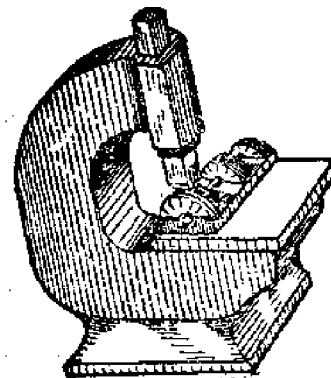


圖11——304b 軸身壓印用的手扳壓力機。

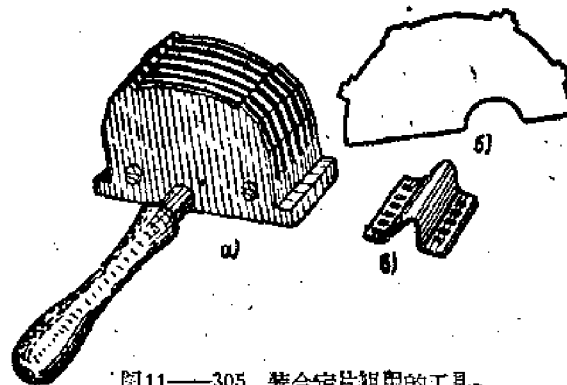


圖11——305 裝合定片組用的工具。

a—裝配用的工具；b—定片；c—鎖片。

另一種方法是在軸身上壓印，從而卡緊動片如圖（11—304）所示。

圖11—305所示工具，乃是一個鋼制的帶狹縫槽的樣子，片子則插在槽內。在片子上

的凸出部分，放置黃銅質的鎖片，鎖片中部鼓出，是為了增加它的剛性，

組合好的定片，連同工具一起放入具有 1、2 和 3 的三個沖頭的沖模上，（圖 11—305）一經沖壓，凸出部分就被皺，嵌在鎖片孔中，而固定起來。

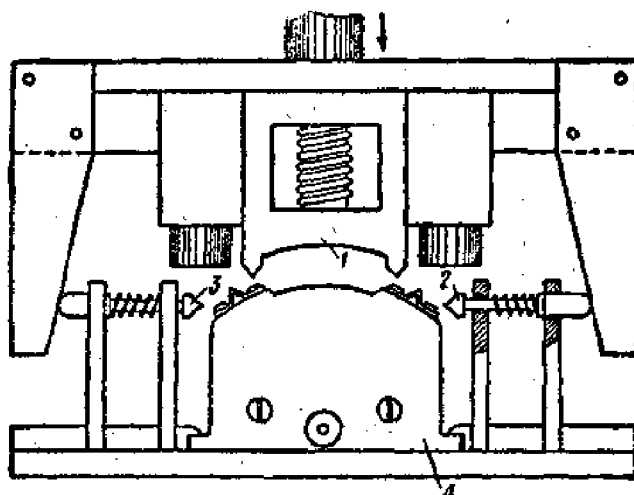


圖 11—305—30° 擴展定片粗的三沖頭沖模。

1、2、3——沖頭；4——組合好的定片（連同工具）。

§11—4 可变电容器的計算

在設計和生產過程中，需要把動片做成某些特定的形狀，以滿足可变电容器所要求的電容量變化規律，可变电容器的計算就是為了確定動片（有時也是定片）的形狀和尺寸。

為了達到這個目的，可以通過兩種方法：近似計算法和圖解法。

I. 具有 180° 轉角的可变电容器的近似計算：

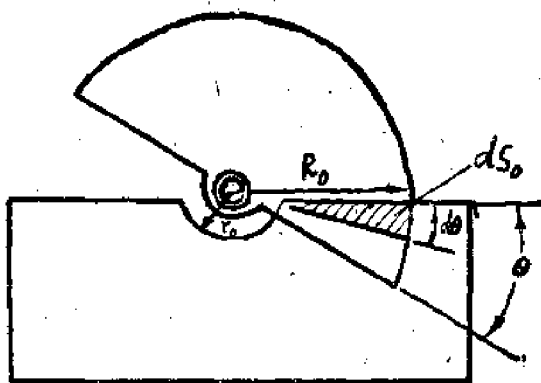


圖 11—401

如圖 11—401 當動片轉入定片 θ 角時，其電容量為 C_θ 可用下式表示：

$$C_\theta = \frac{\epsilon S_\theta (n-1)}{3.6\pi d} + C_{\text{非}} \quad (11-401)$$

其中：

S_θ ——动片的作用（复盖）面积（厘米²），

n ——极片的总数（根据电容器所需的结构尺寸，来加以选定），

d ——相邻动片和定片间的距离（厘米），

$C_{\text{мин}}$ ——动片完全旋出时，电容器的最小电容（微微法）。 θ 角以弧度表示。

ε ——介电常数。

由公式（11-401）得：

$$S_\theta = \frac{3.6\pi d(C_\theta - C_{\text{мин}})}{\varepsilon(n-1)} \quad (11-402)$$

设角度 θ 有一微小的增量 $d\theta$ 时，则作用面积的增量：

$$ds_\theta = \frac{3.6\pi d}{\varepsilon(n-1)} \cdot \frac{dC_\theta}{d\theta} \cdot d\theta \quad (11-403)$$

大家知道，有效面积的增量，亦可用下式表示：

$$ds_\theta = \frac{1}{2} (R_\theta^2 - \gamma_0^2) d\theta \quad (11-404)$$

其中：

R_θ ——动片可变半径，

γ_0 ——定片可变半径（一般为轴的半径与2—3倍片距之和）

令以上二式相等，得

$$\frac{3.6\pi d}{\varepsilon(n-1)} \cdot \frac{dC_\theta}{d\theta} = \frac{1}{2} (R_\theta^2 - \gamma_0^2) \quad (11-405)$$

设空气中的 $\varepsilon=1$ ，则得到

$$R_\theta = \sqrt{\frac{7.2\pi d}{n-1} \cdot \frac{dC_\theta}{d\theta} + \gamma_0^2} \quad (11-406)$$

将 θ 角改用度数表示：

$$R_\theta = 10.7 \sqrt{\frac{3.6\pi d}{n-1} \cdot \frac{dC_\theta}{d\theta} + 114.6} \quad (11-407)$$

当知道 $C_\theta = f(\theta)$ 的关系时，即可通过上式，求得动片的轮廓曲线 $R_\theta = f(\theta)$ 。

现在举几个例子，来说明可变电容器的计算方法：

1. 直线电容式电容器的计算：

直线电容式电容器的电容随转角的变化，是直线规律的，可用直线方程来表示：即

$$C_\theta = a\theta + b$$

当 $\theta=0$ 时 $C_\theta = C_{\text{мин}} = b$

$\theta=180^\circ$ 时 $C_\theta = C_{\text{макс}} = 180a + b$

$$a = \frac{C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}}}{180}$$

将 a 和 b 值代入则得：

$$C_\theta = \frac{C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}}}{180} \theta + C_{\text{мин}}$$

$$\frac{dC_\theta}{d\theta} = \frac{C_{\text{макс}} - C_{\text{мин}}}{180}$$

将此式代入 (11-407) 式, 得:

$$R_{\theta} = 10.7 \sqrt{\frac{3.5\pi d}{(n-1)}} \cdot \frac{C_{\max} - C_{\min}}{180} + \frac{\gamma_0^2}{114.6} \quad (11-408)$$

上式说明直线电容式电容器的动片半径, 是个常数。

2° 直线频率式电容器的计算:

直线频率式电容器的频率, 随 θ 变化的规律, 可用直线方程 $f_{\theta} = a'\theta + b'$ 来表示。

因 $f_{\theta} \propto \frac{1}{\sqrt{C_{\theta}}}$, 即 $f_{\theta} = K \frac{1}{\sqrt{C_{\theta}}}$ (K 为常数),

$$\text{代入, } C_{\theta} = \frac{K^2}{f_{\theta}^2} = \frac{K^2}{(a'\theta + b')^2} = \frac{1}{(a\theta + b)^2} \quad (11-409)$$

当 $\theta = 0$ 时

$$b = \frac{1}{\sqrt{C_{\min}}}$$

$\theta = 180^\circ$ 时

$$a = \frac{\frac{1}{\sqrt{C_{\max}}} - \frac{1}{\sqrt{C_{\min}}}}{180}$$

代入 (11-409) 式得:

$$C_{\theta} = \frac{1}{\left[\frac{1}{\sqrt{C_{\max}}} - \frac{1}{\sqrt{C_{\min}}} \theta + \frac{1}{\sqrt{C_{\min}}} \right]^2}$$

$$= \frac{C_{\min}}{\left[\frac{\theta}{180} \left(\sqrt{\frac{C_{\min}}{C_{\max}}} - 1 \right) + 1 \right]^2}$$

$$\text{令: } \frac{1}{180} \left(1 - \sqrt{\frac{C_{\min}}{C_{\max}}} \right) = \frac{1}{A}$$

则: $C_{\theta} = \frac{A^2 C_{\min}}{(A - \theta)^2}$ 对此式取导数

得: $\frac{dC_{\theta}}{d\theta} = \frac{2A^2 C_{\min}}{(A - \theta)^3}$; 把此导数代入 (11-407) 式

则得直线频率式电容器的动片的半径对转角的关系:

$$R_{\theta} = 10.7 \sqrt{\frac{3.6\pi d}{n-1}} \cdot \frac{2A^2 C_{\min}}{(A - \theta)^3} + \frac{\gamma_0^2}{114.6} \quad (11-410)$$

直线波长式及对数电容器, 都可用相同的推导方法, 得到 R_{θ} 随 θ 变化的规律。现仅将结果写出:

直线波长式:

$$R_{\theta} = 10.7 \sqrt{\frac{3.6\pi d}{n-1}} \cdot 2(a\theta + b)b + \frac{\gamma_0^2}{114.6} \quad (11-411)$$

其中:

$$a = \frac{\sqrt{C_{\max}} - \sqrt{C_{\min}}}{180}$$

$$b = \sqrt{C_{\min}}$$

对数电容式:

$$\begin{aligned} R_{\theta} &= \sqrt{114.6ka \cdot e^{a\theta} b + \gamma_0^2} \\ &= \sqrt{114.6ka \cdot e^{a\theta} C_{\min} + \gamma_0^2} \end{aligned} \quad (11-412)$$

其中:

$$k = \frac{3.6\pi d}{n-1}$$

$$a = \frac{1}{180} \ln \frac{C_{\max}}{C_{\min}}$$

$$b = \ln C_{\min}$$

以上这些公式指出, 电容器的动片半径, 除直线电容式外, 均不是常数, 它与 θ 有关。要计算这些半径, 需取一系列的角度 (一般每隔 10°), 绘出电容器片子的形状。应该指出, $\Delta\theta$ 取得越小, 准确度越高。下面是根据计算, 划出各种电容器片子的形状 (见图11-403) 及 $C_0 - F(\theta)$ 和 $f - \varphi(\theta)$ 的关系曲线 (见图11-402)。

直线频率式电容器的动片根据计算, 片子的最大半径与最小半径差得很多, 因而使电容器的尺寸增大和机械强度降低。为了免除这个缺陷, 动片的形状常要改变一些 (如图11-403b的实线所示)。这样做虽然电容量的变化规律稍许改变了一些, 但电容器工作的稳定性却变好了, 且片子的形状简化了 (电容器变化的规律的稍许改变对于有些情况常常是允许的)。从而使加工容易, 成本降低。

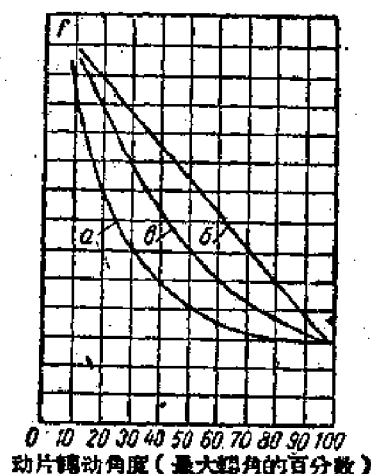


图11—402a 回路频率变化曲线图: a—直线电容式 b—线频率式; c—对数式电容器

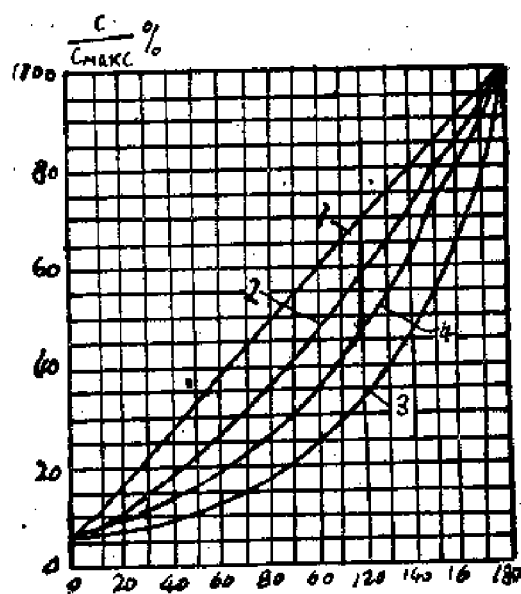


圖11—4026 容量变化对于轉角的关系

1.直綫电容式 2.直綫波长式 3.直綫频率式 4.容量对数式

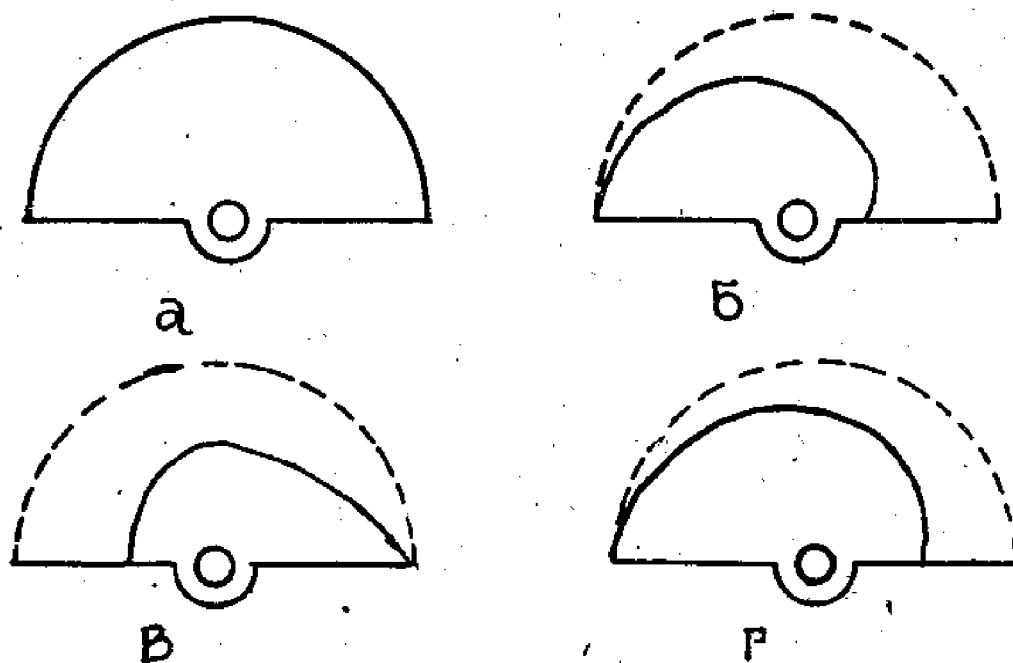


圖11—403 各种空气可变电容器的动片

a) 直綫电容式 6) 直綫频率式
b) 直綫波长式 r) 对数式

II. 轉角大于 180° 的可变电容器的計算:

轉角大于 180° 的可变电容器, 可以使讀数精确度提高。所以这种电容器, 常用于高频和測量仪器中。

設計角度为 270° 范围的电容器, 是最普通的。角度范围更寬的电容器, 如 330° , 其尺寸很大, 而且不能使讀数精确度比 270° 的增加很多, 故很少采用。

要达到上述提高精确度的目的, 可通过两种做法:

1. 动片的工作角 θ_B 大于 180° , 而定片具有工作角 $\theta_{\text{CT}} = 360^\circ - \theta_B$, 如图11-404,
2. 动片具有較小角度, 而定片具有大于 180° 之角度。

在通常情况下, 都采用第一种做法, 因为在动片具有大角度时可变电容器的尺寸可以做得較小。

現在我們先写出, 为計算角度范围为 270° 的可变电容器所引入的符号:

θ_{CT} ——定片角,

r_0 ——定片切口的起始半徑,

r_{OCT} ——定片切口的最后半徑,

θ ——瞬时角,

r_θ ——定片中切口的瞬时半徑 ($0 < \theta < \theta_{\text{CT}}$),

R_0 ——定片的起始半徑,

R_θ ——动片的瞬时半徑。

現分两部来进行計算:

1 当 $0 < \theta < \theta_{\text{CT}}$, 如图11-405a所示。

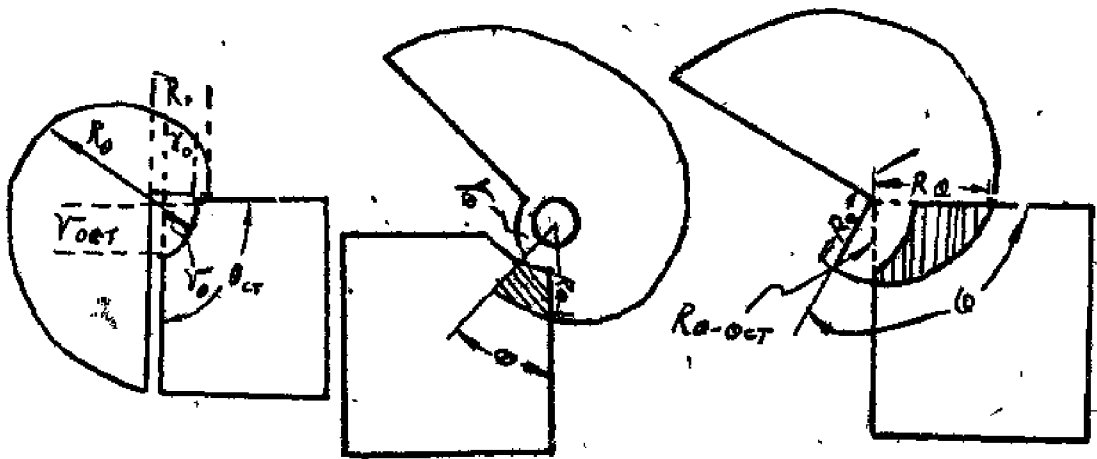


圖11—404a

圖11—405a

圖11—405b

在角度为 θ 时引入电容器的有效面积:

$$s_\theta = \int_0^\theta \frac{1}{2} R_\theta^2 d\theta - \int_0^\theta \frac{1}{2} r_\theta^2 d\theta = \frac{1}{2} \int_0^\theta (R_\theta^2 - r_\theta^2) d\theta$$

取导数

$$\frac{ds_{\theta}}{d\theta} = \frac{1}{2} (R_{\theta}^2 - \gamma_{\theta}^2)$$

由公式 (11-403)

$$\frac{ds_0}{d\theta} = \frac{3.6\pi d}{\varepsilon(n-1)} \cdot \frac{dc_{\theta}}{d\theta}$$

令此二式相等，以度数代替弧度，并认为空气的 $\varepsilon = 1$

则得：

$$R_{\theta}^2 - \gamma_{\theta}^2 = \frac{3.6\pi d \cdot 114.6}{n-1} \cdot \frac{dc_{\theta}}{d\theta} \quad (11-413)$$

切口半径 γ_{θ} 之变化规律是没有意义的，因为可以由动片形状适当的变化，即可把它考虑进去，为了计算简单起见，应当取：

$$r_{\theta}^2 = \gamma_0^2 \left[1 + (P^2 - 1) \frac{\theta}{\theta_{cr}} \right]$$

其中： $P = \frac{r_{ocr}}{r_0}$

γ_0 是根据结构的考虑来选出的。为了使电容量均匀，常取 $r_0 = \gamma_{ocr}$ ，故可根据公式 (11-413) 计算出在 $0 < \theta < \theta_{cr}$ 时 $R_{\theta} = f(\theta)$ 的关系。

R_0 由下面的计算确定：

假定 $\theta = 0$ 时 $R_{\theta} = R_0$

由式 (11-413) 得：

$$R_0^2 = \gamma_0^2 + \frac{3.6\pi d \cdot 114.6}{n-1} \cdot \frac{dc_{\theta}}{d\theta} \Big|_{\theta=0}$$

2. 当 $\theta > \theta_{cr}$ 如示意图 11-4058

此时电容器极片的有效面积等于：

$$S_{\theta} = \int_0^{\theta} \frac{1}{2} R_{\theta}^2 d\theta - \int_{\theta-\theta_{cr}}^{\theta} \frac{1}{2} R_{\theta}^2 d\theta - \int_0^{\theta_{cr}} \frac{1}{2} \gamma_{\theta}^2 d\theta$$

式中最后一项是常数，故求得导数为：

$$\frac{ds_{\theta}}{d\theta} = \frac{1}{2} [R_{\theta}^2 - R_{\theta-\theta_{cr}}^2]$$

由公式 (11-413) 得：

$$R_{\theta}^2 - R_{\theta-\theta_{cr}}^2 = \frac{3.6\pi d \cdot 114.6}{n-1} \cdot \frac{dc_{\theta}}{d\theta} \quad (11-414)$$

其中 $R_{\theta-\theta_{cr}}^2$ 在 $\theta = 2\theta_{cr}$ 范围内，已由 (11-413) 求得。

这样由式 (11-414) 即可求得 $\theta_{cr} < \theta < 2\theta_{cr}$ 时 R_{θ} 的轮廓曲线。

对于 $2\theta_{cr} < \theta < 3\theta_{cr}$ 的 R_{θ} 值，亦可用上述方法算出，从而得到整个动片的轮廓形状。

当 $\theta = \theta_{cr}$ 时，为得到电容量的均匀改变，根据式 (11-413) 和式 (11-414) 应该

使:

$$R_{\theta}^2 - \gamma_{\theta}^2 = R_{\theta}^2 - R_{\theta-\theta_{cr}}^2$$

当 $\theta = \theta_{cr}$ 时: $r_o^2 = r_{\theta_{cr}}^2$; 而 $R_{\theta-\theta_{cr}} = R_{\theta o}$

$$\therefore R_{\theta} = r_{\theta_{cr}}$$

由此可見, 前面假定的 $R_o = \gamma_{\theta_{cr}}$ 之正确性, 否則当 $\theta = \theta_{cr}$ 时, 会产生容量之跳躍。

III 可变电容器的圖解計算法:

現在我們来研究, 当电容变化規律不是用分析式繪出, 而是用曲綫圖繪出时, 电容器的动片外形的計算。为了进行这种計算, 将电容量曲綫分为 m 个相等的小段 (m 越大, 則計算越精确), 如圖11-406所示, 每一小段的容量变化規律, 大致可認為是直綫电容式的。因此动片相等于每段的小扇形的平均半徑, 可根据直綫电容式的公式来决定。

$$R_{\theta} = 10.7 \sqrt{\frac{3.6\pi d}{n-1} \cdot \frac{C_{makc} - C_{min}}{180} \cdot m + \frac{\gamma_o^2}{114.6}}$$

或者取用另一形式

$$R_{\theta} = \sqrt{A \cdot \Delta C + \gamma_o^2} \quad (11-415)$$

ΔC ——是从一个扇形轉到另一个扇形时, 电容量的增量, 可按曲綫来决定 (如圖11-406所示)

$$A = \frac{114.6 \times 3.6\pi d \cdot m}{180(n-1)} = 7.2 \frac{d \cdot m}{n-1} \quad (11-416)$$

根据最后一段 (第 m 段) 的 ΔC 值, 可以很方便的求得常数 A 。在給定最大的动片半徑 R_{makc} 之后, 从 (11-415) 式可得:

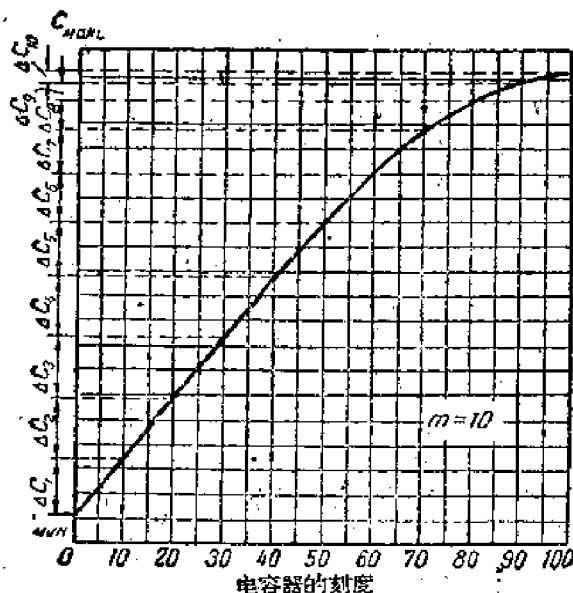


圖11-406 依照已知的电容器变化規律的曲綫 ($m=10$) 來計算电容器

$$A = \frac{R_{\text{макс}}^3 - r_0^3}{\Delta C_m} \quad (11-417)$$

由公式 (11-414) 式可求出 (薄片的) 总片数。

$$n = \frac{7.2 m \cdot d}{A} + 1$$

最大半径 $R_{\text{макс}}$ 必须选择得使 n 为整数。其余的扇形半径的计算可按公式 (11-415) 进行, 然后根据所得数据, 绘出动片的形状图。

实际上的 $R_{\text{макс}}$ 要比给定的 $R_{\text{макс}}$ 大一些, 这是因为在绘图时, 给定的 $R_{\text{макс}}$ 是绘在 m 和 $(m-1)$ 两线之间, 当用曲线板连接图点时, 延长到线上的点, 就会比给定的 $R_{\text{макс}}$ 值稍大。与此相反实际的 $R_{\text{мин}}$ 要比计算出的 $R_{\text{мин}}$ 要小一些 (如图 11-407 所示)。

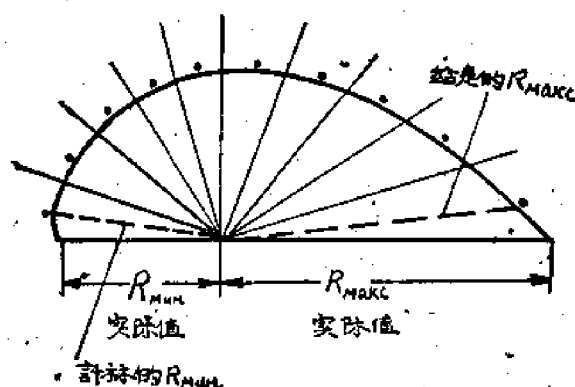


图 11-407

§ 11-5 空气可变电容器的温度稳定性:

前面已经讲过, 可变电容器容量的稳定性, 是最重要的参量之一, 特别是使用在频率稳定度要求很高的设备或回路中时, 稳定性这项指标, 就显得更为重要。从经验知道, 在小功率的主振回路中, 电感线圈很容易做得比较稳定 (例如: 使用在瓷管上烧渗银的线圈)。一般电感温度系数能达到 $10 \times 10^{-6} \text{度}^{-1}$, 而可变电容器电容温度系数一般却只能做到几十至一百 $\times 10^{-6} \text{度}^{-1}$ 。由此可见, 可变电容器对回路的稳定性起着主要作用, 所以应当引起特别的注意。

大家知道 可变电容器的容量可写成:

$$C = C_1 + C_{\text{мин}}$$

其中:

C_1 ——可变电容器容量的可变部分。

$C_{\text{мин}}$ ——最小电容量或固定部分。

根据上式知道, 可变电容器的温度系数等于

$$\alpha_c = \frac{\alpha_{\text{в}} C_{\text{мин}} + \alpha_1 C_1}{C_{\text{мин}} + C_1} \quad (11-501)$$

其中：

α_H ——固定部分的温度系数。

α_1 ——可变部分的温度系数。

由此可见，可变电容器的电容温度系数是个非固定的数值，下图（图11—501）中指出 α_c 值随容量改变的曲线。

只有使各分量电容的温度系数降低，才能使总的容量温度系数降低。

从式（11—501）和曲线知道，当容量愈小时， α_c 则愈大，所以在电容器的全部转角内，应避免使用 $C < C_H$ 的一段。

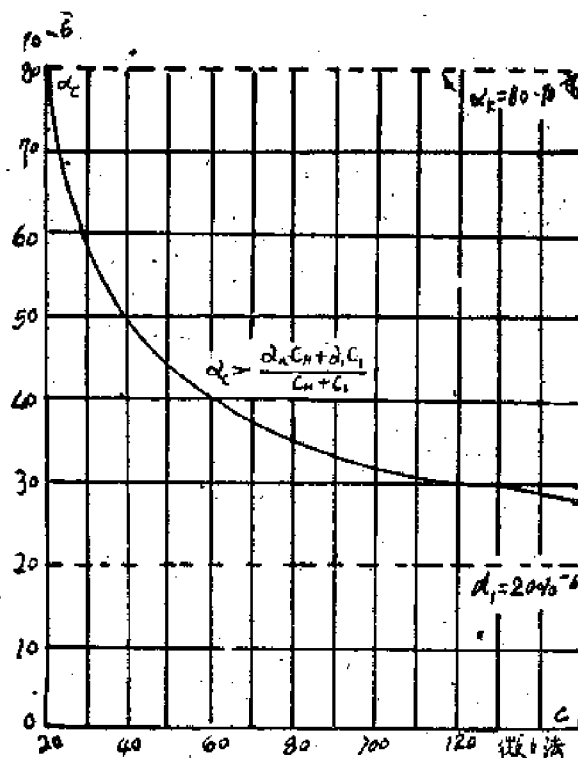


图11—501

其中假设： $\alpha_H = 80 \cdot 10^{-6} / \text{度}$

$\alpha_1 = 20 \cdot 10^{-6} / \text{度}$

$C_{H1} = 15 \text{ 微微法}$

$C_{\max} = 150 \text{ 微微法}$

大家知道，容量的可变部分可以用下式表示：

$$C_1 = -\frac{\epsilon S}{3.6\pi d} \frac{(n-1)}{n} \quad (11-502)$$

由此可见， ϵ ， S 和 d 的温度系数的大小，直接影响着 C_1 的温度系数大小。

近似的可以认为：

$$\alpha_c = \alpha_\epsilon + \alpha_s - \alpha_d \quad (11-503)$$

其中：

- α_s ——空气介电常数的温度系数。
- α_g ——极片复盖面积的温度系数。
- α_d ——动片和定片之间空隙的温度系数。

I. 空气介电常数的温度系数:

对高稳定性的可变电容器, 应考虑到温度、湿度及大气压力对于空气介电常数的影响。

空气的相对介电常数可由下式求得:

$$\epsilon = 1 + \frac{P}{T} \left[224 + \frac{e}{P} \frac{96000}{T} \right] 10^{-6} \quad (11-504)$$

其中:

- P ——大气压力 (毫米、水银柱)。
- e ——水蒸气压力 (毫米、水银柱)。
- T ——绝对温度。

由于空气介电常数变化的非线性和复杂性, 在实际计算中, 常利用如图11-502所示的曲线。

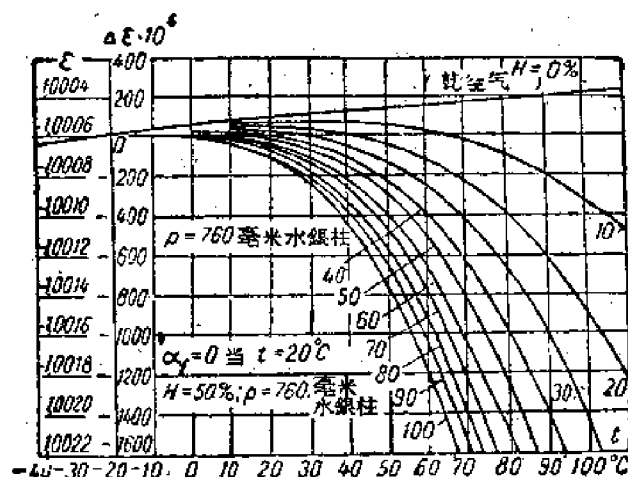


图11—502 潮湿空气的 $\Delta\epsilon$ 和 ϵ 与温度和相对湿度的关系

这些曲线给出的空气介电常数的相对增量值, 是在温度为20°C和相对湿度为50%时, 取空气的电常数为1, 及大气压力为760毫米水银柱时绘出的。由于空气的介电常数近于1。所以用绝对值代替相对增量。

$$\frac{\Delta\epsilon}{\epsilon} \approx \Delta\epsilon \quad (11-505)$$

从上述曲线查得的数值, 没有包括大气压力的变化对 ϵ 值的影响, 当考虑到大气压力有变化时, 应按下式修正,

$$\Delta\alpha_s = -\frac{224}{T^2} (760 - P) \cdot 10^{-6} \quad (11-506)$$

从图11-502的曲线可以看出, 温度愈高, 相对湿度愈大, 则同样的温度变化, 所引

起的介电常数变化也愈大。所以引起的容量相对变化也很大，而且不恒定。在要求可变电容器稳定性很高时，为了减少温度、湿度和压力对电容量的影响，常采用恒温 and 密封措施，可使 α_s 值少到 $-0.35 \cdot 10^{-6}$ 。

如果采用了吸水剂，当轴的引出端没有密封而外壳其余部分均加密封时， α_s 可达 $2 \cdot 10^{-6}$ 。

II. 極片工作面积的温度系数:

由于温度的改变而引起的極片作用面积的改变，是由两部分组成的。因此極片作用面积的温度系数 α_s 可用下式表示:

$$\alpha_s = \alpha_{sn} + \alpha_{scm} \quad (11-507)$$

其中:

α_{sn} ——極片自身面积的温度系数。

α_{scm} ——定片和动片間徑向位移的温度系数。

如果定片和动片是同一种金属材料制造的，那么極片本身面积的温度系数则等于:

$$\alpha_{sn} = \frac{\Delta S}{S \Delta t} = 2\alpha_{ln} \quad (11-508)$$

其中:

ΔS ——由于極片自身膨胀，所引入的有效面积增量。

S ——复盖面积，

α_{ln} ——極片材料的綫性膨胀系数。

由上式可見，要想减少 α_{sn} 值，必須选用綫膨胀系数較小的材料，来制造極片。

决定極片的徑向位移温度系数 α_{scm} 要复杂得多，它决定于动片和定片在結構上固定的点数和材料。

为了計算 α_{scm} 值，应暫不考虑定片和动片所产生軸向位移，及可能發生的極片折弯現象。

关于动片和定片間的徑向位移温度系数，可用下式表示:

$$\alpha_{scm} = (\alpha_{LC} - \alpha_{Ln}) \frac{x_l \sin \beta}{S} \quad (11-509)$$

其中:

α_{LC} ——外壳材料的綫性膨胀系数。

α_{Ln} ——極片材料的綫性膨胀系数。

x ——动片固定点和定片固定点間的距离，在圖11-503中定片均假定只在 B 点固定，即 $x = OB$

β ——位移方向和定子边缘之間的夹角。（如圖所示）

l ——定片和动片交綫的长度，即圖中的 OA 綫。

由上式和圖11-503可見:

1. 当电容量改变时，即动片轉角改变时， OA 及 S 均随之改变，所以 α_{scm} 是个常数。

2. 欲减小 α_{scm} 值，应选用綫膨胀系数相同或相似的材料做極片和壳架，即使

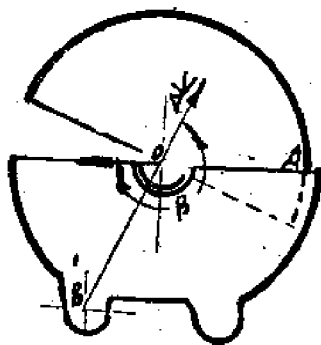


圖11—503a在一般結構的電
容中定片和動片相互間的徑
向位移

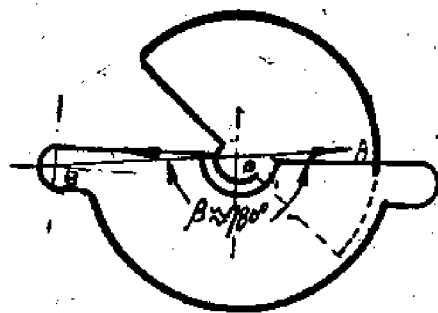


圖11—503 6. 使 α_{scm} 最小甚至消除的
定片固定方法

$$(\alpha_{Lc} - \alpha_{Ln}) = 0。$$

3. 欲減小 α_{scm} 值，應把定片的固定點尽可能放在近于軸的水平綫上，即使 $\sin\beta = 0$ 。
(如圖11—503)

Ⅲ 極片間距離的溫度係數：

圖11—504中：

d_m ——墊圈的厚度，即相鄰兩同性極片間距離。

d ——動片和定片間的空隙

d_n ——極片的厚度

顯而易見，

$$2d = d_m - d_n$$

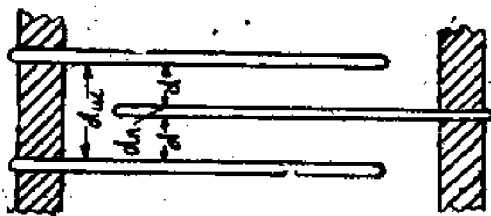


圖11—504

現在我們來決定動片和定片間距離的溫度係數 α_d 的數值。

根據溫度係數定義知道：

$$\alpha_d = \frac{\alpha_{emdm} - \alpha_{endn}}{d_m - d_n} \quad (11-510)$$

其中：

α_{ln} ——極片材料的線性膨脹溫度係數。

α_{lm} ——墊圈材料的線性膨脹溫度係數。

如果： $\alpha_{lm} = \alpha_{ln}$

則: $\alpha_d = \alpha_{cu}$

即当極片和垫圈是用同一种材料制成时, 空隙的温度系数就等于制造該零件所用材料的温度系数。

由此可見, 为了减少 α_d 的数值, 必須选用线胀系数小的材料来制造極片和垫圈。

制造的准确性, 对 α_d 值也产生影响, 如图11—505所示。

如果片間的距离为 d_x 和 $(d_m - d_x)$ 則片間电容量为:

$$C_A = K \frac{S}{d_x} \text{ 和 } C_B = K \frac{S}{d_m - d_x} \quad (11-511)$$

式中 K 为常数。

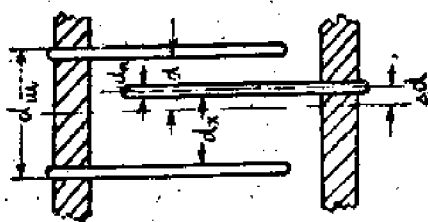


圖11—505

C_A ——片距为 d_x 的两片間电容。

C_B ——片距为 $(d_m - d_x)$ 的两片間电容。

d_x, d_m 为圖11—505所示, 这里忽略了極片的厚度。

将 (11—511) 改写为; (因設 d_m 为一常数)

$$\begin{aligned} C_A &= K \frac{S}{d_m} \cdot \frac{1}{d_x/d_m} = K' \frac{1}{d_x/d_m} \\ C_B &= K \frac{S}{d_m} \cdot \frac{1}{d_m/d_m - d_x/d_m} = K' \frac{1}{1 - \frac{d_x}{d_m}} \end{aligned} \quad (11-512)$$

圖11—505所示总电容量为:

$$C_E = C_A + C_B \quad (11-513)$$

根据式 (11—512), 和式 (11—513) 繪得曲綫 (圖11—506)

从圖11—506可見, $\frac{d_x}{d_m} = 0.5$ 时 (即片距很均匀), 片距的变动所引起的电容量

C_E 的变化甚小。当 $\frac{d_x}{d_m}$ 离 0.5 較远时, 則片距的变化将引 C_E 很大的变化, 例如, 对于

相等的片距变化量 ($\frac{\Delta d_x}{d_m} = 0.1$), $\frac{d_x}{d_m} = 0.5$ 时的 ΔC_E 远小于 $\frac{d_x}{d_m} = 0.7$ 时的 ΔC_E 。

一般当 $d_x = 0.5$ 毫米时, 希望 Δd_x 小于 0.01—0.02 毫米, $d_x = 10$ 毫米时, Δd_x 可相应的放宽到 0.02—0.04 毫米。

IV. 起始电容的温度系数:

可变电容器的起始电容量, 是由几个分量組成的。例如, 对于动片接地的可变电容

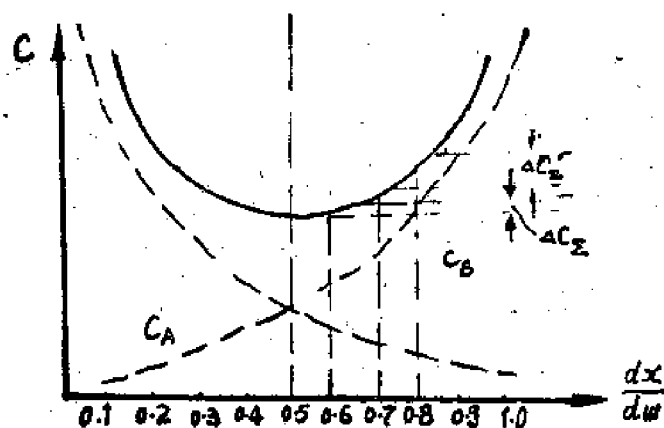


圖11—506

器，起始电容量可用下式表示：

$$C_{\text{MH}} = C_1 + C_2 + C_3$$

其中：

C_1 ——定片经过支撑的绝缘体，对壳体的电容量。

C_2 ——定片经过空气介质，对壳体的电容量。

C_3 ——当动片完全从定片中旋出时，动片和定片之间的电容量。

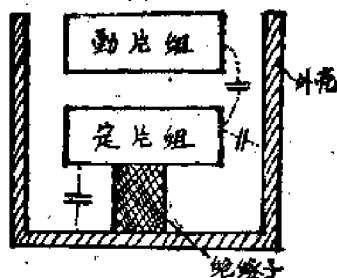


圖11—507

实际上，想计算出 C_{MH} 是非常困难的。因为每一部分电容量都与复杂的几何形状有关。

而起始电容量的容量温度系数，由各分量的电容温度系数所组成。因而要计算起始电容的温度系数，也是非常困难的。

为了降低起始电容量的温度系数，将采取以下措施。

1) 选择介电常数的温度系数小的绝缘子，为定片的绝缘支撑。例如选用熔融石英、高频陶瓷，以降低 C_1 分量的温度系数。

2) 使定片的固定点，尽量在动片的轴的水线上，以减小温度变化所引起的动片与定片之间的径向位移，从而使起始电容量的温度系数减少。

3) 从图 11-501 可见在容量较小 ($C < C_H$) 的一段中电容温度系数较大，并且变化

較劇烈，所以在实际中常常不選擇 C_{max} 为电容器使用时的起始量，而是比 C_{max} 稍大一些。这样，起始电容的影响相对减小了，并保持了电容器在工作的波段範圍內电容温度系数的比較小和比較穩定。

实际上，可变电容器的温度穩定性問題，要比上述的分析复杂得多。

例如：上面談到了，为了要减小电容量温度系数，应选择用綫脹系数相同的材料制造其結構另件，实际上由于各种結構另件所用材料体积不同，則热容量亦不相同，即使体积相同，但由于散热状态不同，也会在电容器开始工作不久时容量發生变化，往往要經過一段時間后才能穩定下来。

类似这些深入的問題，在实际工作中，很难全面考虑，只要最后穩定后的电容温度系数在規定範圍內即可。但应設法縮短电容器从不穩定状态过渡到穩定状态所需的时间。

例如：在电容器附近适当的位置上，安置一个电子管，利用电子管所發出的热量，迅速使电容器升到穩定的工作温度。

Ⅶ. 可变电容器的不穩定温度系数：

可变电容器的不穩定温度系数，与电容器的結構和材料有关，为了降低电容器的不穩定温度系数，应使电容器的結構和材料不会产生残余的变形和老化。为此，一般采取以下措施：

1. 壳体 and 軸应用綫脹系数相近或相等的材料做成，譬如，外壳用殷鋼制成，軸用高频陶瓷制成。

2. 采用的制造工艺，应使电容器不会产生內应力，例如用鑄造（如图11—508），焊接等方法制造可变电容器元件。

3. 采用不易溶化和軟化的介質材料，如高频陶瓷，石英等来做支持另件。

4. 在結構上应保証可变电容器各另件（特别是軸）在受热后能自由的膨脹，如当把动片組固定到綫脹系数不同的陶瓷軸上时，只在一端固定而另一端能允許其自由膨脹（見圖11—509）。

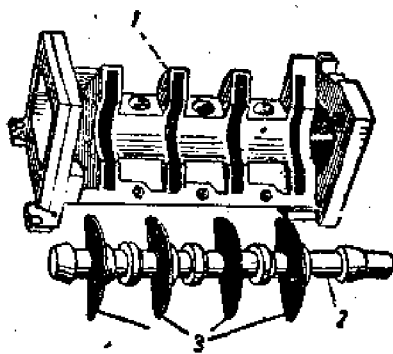


圖11—508 超短波可变电容器的鑄造支架和动片的外形

1—定片；2—陶瓷軸；3—动片組

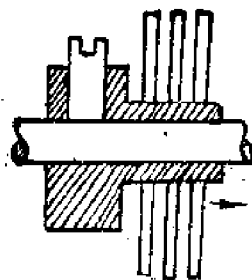


圖11—509 发热后能自由膨胀的固定方法

又如圖11—510所示軸承通过一彈簧外环装固到壳体上去，这时当軸与壳体的膨胀系数不同时，在受热后軸就不会發生变曲，甚至折断的情况。

5. 当在施工过程中，不得不采用会使电容器另件产生內应力的工艺方法时，必須在制成可变电容器后，进行人工老化，以消除內应力。

容量不穩定温度系数很大的可变电容器，有时比具有相当大的电容温度系数的可变电容器更危險，因为它常常使温度补偿無法規定。

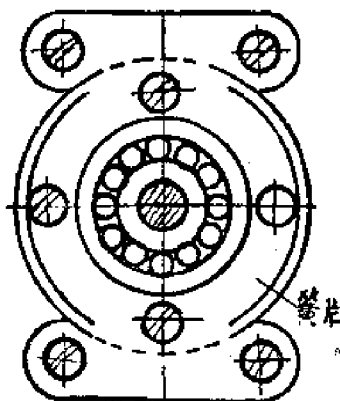


圖11—510 滾珠軸承的裝置及彈簧外环裝固法

VI. 温度补偿:

为了制造稳定的可变电容器，有时也采用温度补偿的方法。圖11—511a和11—511b示出具有温度补偿的结构例子。

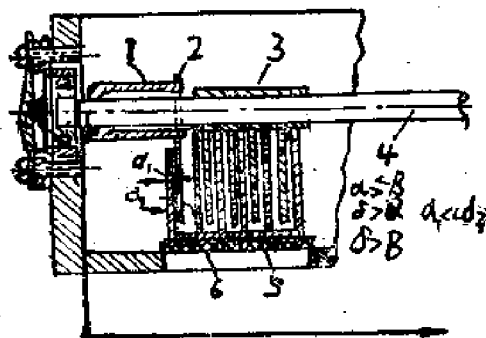


圖11—511a

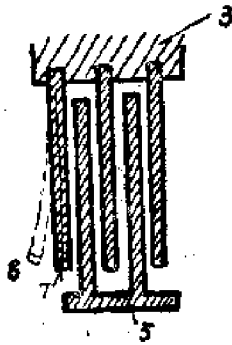


圖11—511B

圖11—511a所示的方法，是在电容器温度系数为正时，在电容器中装上一补偿片2，片2尽量偏向左边，当温度升高时，由于套筒1向右膨胀，则使得片2向所在空隙的中心位置移动，使容量减少，从而补偿了可变电容器由于温度升高而增加的容量。

圖11—511b所示的方法是为了补偿电容温度系数是正值的情况。在可变电容器中，装入一片双金属片（青铜，因钢），装置方法应该是，当温度升高时，双金属片向左偏转，从而使总容量减少。

§11—6 固体和液体介质的可变电容器

我們常常要求可变电容器，在具有大的容量和高的工作电压情况下，同时须要有較小的体积。尤其当無線电設備向小型化方向發展时，就显得更加重要，因而就利用介电常数和抗电强度都比空气大的固体或液体来做为介质。

I. 固体介质可变电容器：

1. 结构与普通空气可变电容器相似，仅在动片与定片的空隙中填入固体介质。

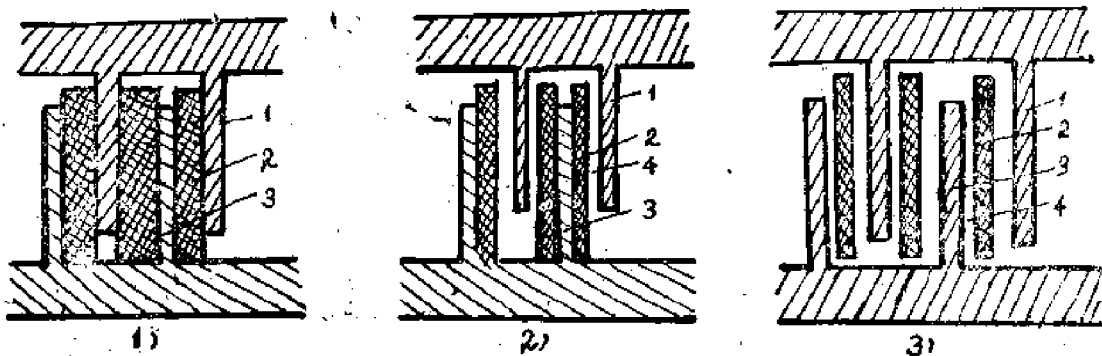


圖11—601 1) 理想固体介质可变电容器

2) 固体介质空气隙中占有一定空間并緊貼着定片的情况

3) 由于各种影响使固体介质弯曲，因而在空气隙中所占的空間不恒定的情况

1. 动片

3. 定片

2. 固体介质

4. 空气隙

在实际情况中，圖 11—601 的第三种类型最为普遍，而这种形式固体介質可变电容器具有極低的稳定性，并且在使用过程中，由于介質被磨損或弯曲，常引起电位梯度的改变，故很易被击穿。这种电容器过去曾在可变的耦合綫路中，現在已几乎完全不用了。

2. 圆柱形固体介質可变电容器：

最近出現一种鎳的金属氧化物的固体介質电容器，如圖 11—602 所示。使的鎳表面生成一層金属氧化物（即固体介質）。

这种电容器的最大电容量，可以做到 360 微微法，但由于鎳的膨胀系数較大，所以这种电容器的稳定性較差。目前仅在小型民用無綫电設備中应用。

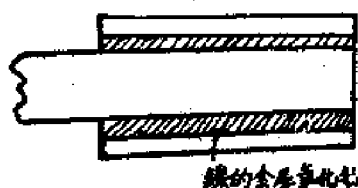


圖 11—602

由此可見，寻找一种好的固体介質和好的結構来提高固体介質可变电容器的稳定性，正是我們應該努力的方向。

3. 液体介質可变电容器：

这种电容器主要用于發射机中，以提高可变电容器的抗电强度，减小体积。常用的液体介質，有变压器油等。其主要的缺点，是目前所用的介質較易老化，尤其是当浸入某些杂质后，将使其电容温度系数大大增加，所以其稳定性亦很差。因而寻找一种稳定性高的液体介質亦是目前需要解决的問題。

§11—7 微調电容器

微調电容器是用于諧振迴路及須要調整的耦合迴路中，以調整迴路的諧振頻率。

在大多数情况下，調整电容量后，即把动片牢靠的固定住。一般是在活动部分涂以磁漆来把动片固定住。

对微調电容器，提出的最重要的要求之一就是固定的可靠性，亦即在长時間的工作中及在各种不同的机械作用下，保持已調准的电容量。关于損耗、稳定度、抗电强度等方面的要求，不应低于和它在一起工作的固定电容器或可变电容器的要求。

現在我們来討論最常用的微調电容器的結構。

上圖表示具有轉动片的空气介質微調电容器，它在結構上与普通小型直綫电容或可变电容器相同，这种微調电容器的特点是具有相当高的电指标，如 $\text{tg} \delta \leq 0.001$ ， $\alpha_c = 10^{-4} - 10^{-5}$ ， $R_{xx} \geq 50000 \text{M}\Omega$ 。但是，由于生产复杂，这种电容器只用在重要的仪器中，最小电容量为 4—5 微微法，最大电容量在 100 微微法以下的电容器用得最多。这种电容器在我国已經大批生产。

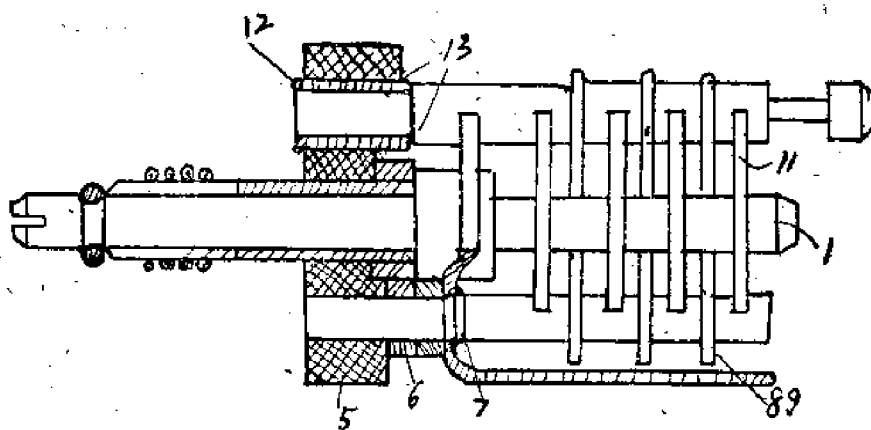


圖11—701 具有轉動片的空氣介質微調電容器

- | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1. 卡圈 | 4. 半空心鉚釘 | 7. 鉚緊處 | 10. 動片軸 |
| 2. 彈簧 | 5. 座板 | 8. 彈簧接觸片 | 11. 動片 |
| 3. 軸套 | 6. 墊圈 | 9. 定片 | 12. 空心鉚釘 |
| 13. 編焊料焊接 | | | |

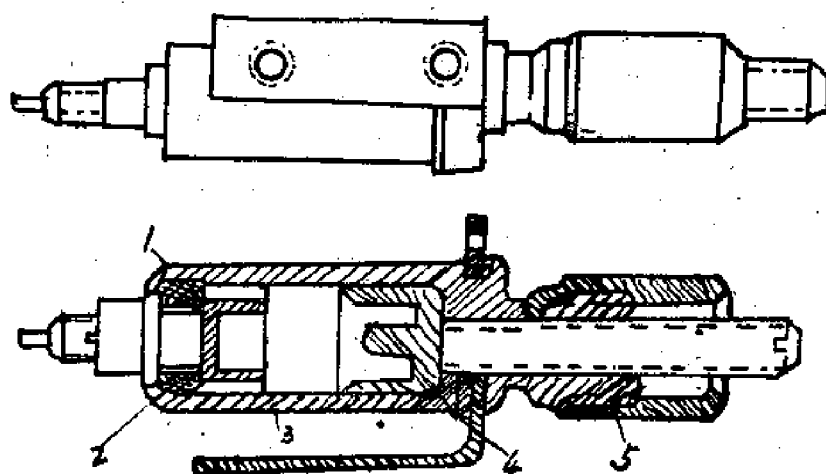


圖11—702 圓柱式微調電容器

- | | | |
|--------|------------|---------|
| 1. 收口 | 3. 微調電容器外殼 | 5. 專用螺母 |
| 2. 定子組 | 4. 動子組 | |

圖11—702是圓柱形式微調電容器，其特點是在機殼上所佔的面積小，為了提高其工作之穩定性，須要加以密封，所以結構比較複雜。常用工作在超短波的設備中。

圖11—703表示出標準墊圈式陶瓷微調電容器（KDK型）。這種電容器的特點，是製造簡單，尺寸小，電指標高， $\Omega \geq 500$ ， $\alpha_c = (300-700) \cdot 10^{-3}$ ， $\text{tg} \delta < 0.008$ ， $R_{\text{нз}} \geq 10000$ 兆歐， $U_{\text{p06}} = 2500$ 伏，其固定的可靠性約為 ± 0.008 ，這種電容器是由同時是定片的陶瓷機座及陶瓷圓盤的動片所構成的。用專門的扁平彈簧來消除動定片間的間隙，極片是用燒滲銀方法製成的：

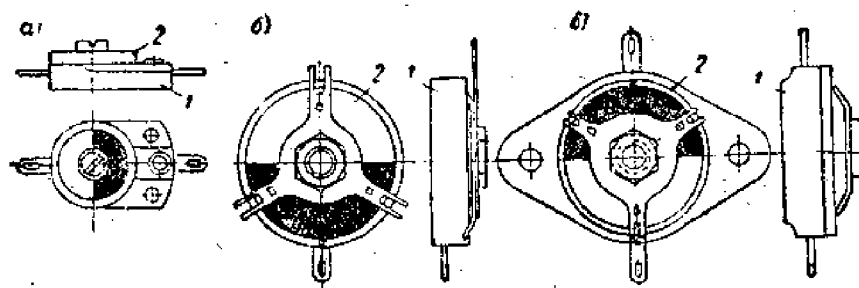


圖11—703 陶瓷微調電容器

3—KHK—1型；6—KHK—2型；9—KHK—3型
1—定片， 2—動片。

下面列出KHK型微調電容器的電容量的數據。

KHK型微調電容器的電容量

表11—2

類 型	電 容 量，微 法	備 注
KHK-1	2—7*；4—15；6—25；8—30	注：有星號(*)的 類型的電容溫 度系數不是規 定的標準值
KHK-2	6—60；10—100；25—150	
和KHK-3	75—200；125—250；200—325	
	275—375；350—450	

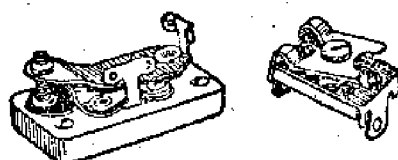


圖11—704 彈簧式微調電容器

圖11—704為彈簧式微調電容器。這種電容器結構、製造簡單，它用兩片極板組成，在極板間放有云母絕緣墊片，動片由彈性材料磷銅做成，為了節約起見，下極板可以用較便宜的材料（如紫銅或黃銅）來代替，上極可借螺絲釘之助，與下極板離開或靠近，從而使電容改變。

這種類型的電容器的容量是不穩定的，特別是容易受濕度的影響，故僅用於要求不太高的設備中。

§11—8 可變電容器的測試

對可變電容器測試的項目和條件，完全決定於電容器的結構和它的用途。對可變電容器，一般要經過機械的，氣候的和電氣的試驗。機械測試包括：確定動、定片組有沒

有機的縱向的搖動、耐震和抗沖擊強度，動片軸的轉矩，以及耐磨試驗等。

鑒定動片組有沒有橫向和縱向的鬆動，是用手的感覺來判斷的。凡是用手能感覺到的鬆動，都是不允許的，達到這種情況，就必須退回車間，重新調整。

有些電容器是用在常受震動的設備中，對於這些電容器，須進行耐震性和耐撞性的試驗。

耐震性試驗，是把電容器放在震動設備上以每分鐘1000次擺動的震率和1公厘的震幅作30分鐘的試驗。

耐撞性試驗，是把電容器放在震動設備上，以每分鐘200次以下的頻率和5—10公厘的自由跌落高度試驗。

試驗動片的轉矩，要使用測力計，構造最普通的電容器，正常轉矩約為500—1500克公分之間。

耐磨試驗，是使用一種特殊機械來轉動電容器的動片軸，在使軸經受10,000次反復旋轉（在180°轉幅範圍內）後，要求不發生手能感覺到的鬆動現象。

氣候試驗包括：加熱，冷凍，潮濕對電容器的影響。這些試驗，都分別在相應的試驗箱中進行。

準備使用在高穩定、高頻率電路中的電容器，特別是用殷鋼制的電容器，要在加熱箱中，經人工的老化試驗。試驗時把電容器加熱到70—80°C以後，再慢慢冷卻到正常的溫度，如此反復冷熱若干次，最後鑒定其結果。

在潮濕箱中要試驗各個零件表面反抗銹蝕的能力，並測定潮濕對於動定片間絕緣電阻的影響。

在冷凍箱中試驗的目的是要鑒定低溫對動片軸轉動的影響。在此試驗中電容器從冷凍箱取出，應在二分鐘內進行轉矩測量。上述之氣候試驗只需進行抽驗，即每一批產品中抽一些進行測試。

電氣絕緣強度試驗，是時有製品都要進行的。無線電發射設備中用的電容器，一般要作兩倍於工作電壓的直流或交流（50周）耐壓試驗。在接收設備中用的電容器，其空氣隙在0.5公厘以下的，要以500伏的直流或400（50周）伏的交流作耐壓試驗。試驗時動片要做全程轉動。

電容器在接受空氣絕緣強度試驗前，先用干燥壓縮空氣，把片子上的灰塵吹掉。在試驗中，片子間若產生火花，即把電路切斷，用小刀把相應地位的片子拔動，以增加空氣隙的大小。

電容器在直流電壓的試驗中時用的設備如圖11—705。

對於多連電容器來說，各連電容器的電容量變化都能準確地與變化規律曲線相符合

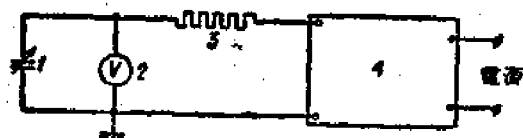


圖11—705 電容器作直流耐壓試驗的電路

1—試品電容器；2—電壓表；3—電阻器；4—整流器變電壓調節器

是很重要的，只有达到了这个要求，才能达到若干个迴路同軸調諧的目的。要达到这个目的，須利用一个能指示出極微电容量变化的仪器，来做细致的統調校正，这个装置原理示于圖（11—706）中。

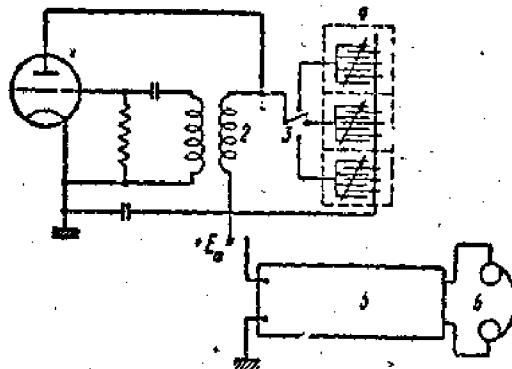


圖11—706 多連电容器共軸性的校准設備

1—电子管；2—外差綫圈；3—轉換器；4—試品多連电容器；5—再生式接收机；6—耳机

从上圖电路得知，試品(多連电容器)的动片組接到电路接地端，而各連电容器的定片組則輪流接到电路中去。差頻的效果，可用再生式接收机5借听觉来控制，它在接入第一連时就对准到另差地位，在不变动动片組位置的情况下，撥动花动片来进行校准，这样就可达到当任何一連电容器接到电路中去时，再生式接收机所听到的总是另差。

多連电容器共軸性的校准，要在度盘的180度範圍內若干点上进行，一般校准点的数量和花动片上所切割的裂縫数相同，这就可把这些扇形片撥开或撥關，以达到多連电容器的共軸統調的目的。

利用圖(11--707)的裝置，可以得到更准确的統調效果。

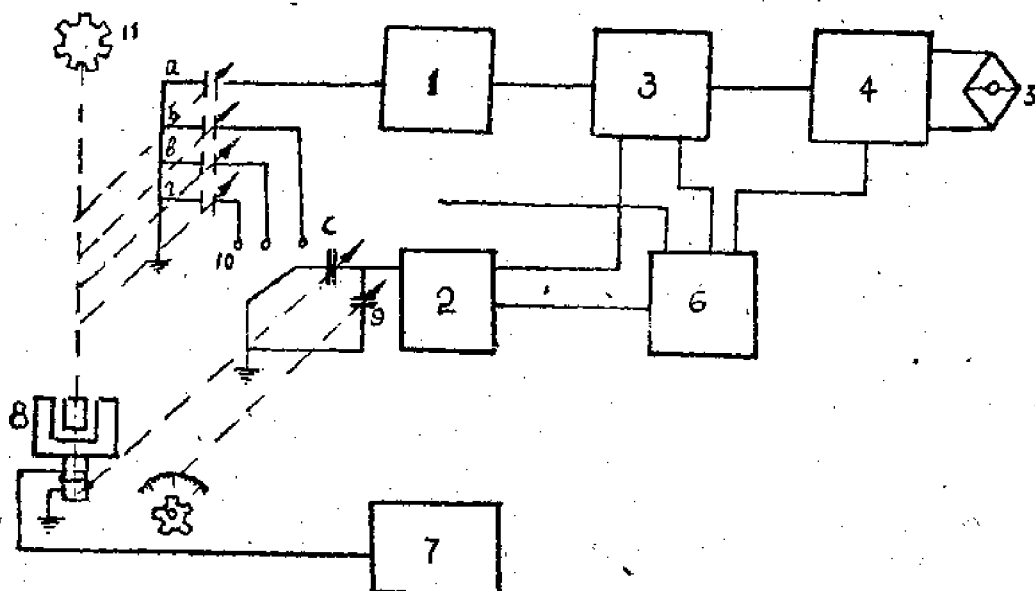


圖11—707

这种装置是两个振荡器 1 和 2，混频器 3，低频放大器 4，指示器 5，两个整流器 6 及 7，和电磁离合器 8 所组成。

在其中的一个振荡回路 2 中，接入标准电容器 c，而在另振荡器的回路中接入被调整可变电容器的第一连 a，从两个振荡器来的高频电压经过隔离电容器传输到混频器 3 中，从混频器负载的电压经过滤波器到低频放大器电子管 4，在电子管的板极电路中接入扬声器和另拍指示器。

被调谐电容 a 利用电磁离合器 8，在机械上与标准电容器 c 连接起来，在动片旋转前，电路调谐到另拍，然后进行被调电容器第一连的微调。

为了估计电容的差值，在振荡器 2 的回路中，接入公差电容器 9，它的刻度是微微法。

在调整微调电容器组件的第一连后，利用转换开关，把须调谐的其余连代替标准电容器 c 顺序接入，它们的微调以可变电容器的一连为标准来进行。

用这种仪器调好的电容量误差很小，当电容量为 15—50 微微法时为 ± 0.1 微微法，当电容量大于 50 微微些时为 ± 0.2 微微法。

有一些电容器还需作微音效应的测试，微音效应的测试装置如图 11—708 所示

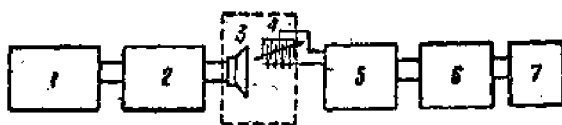


图 11—708 电容器的微音效应试验设备

- 1—音频振荡器；2—低频放大器；3—扬声器；4—试品电容器；
5—差频振荡器；6—差频接收机；7—电子管电压表

无线电广播收音机中所用的空气介质可变电容器就需要鉴定有无微音效应，这种效本质上是极片的机械振荡。电容器片子经受扬声器传出的音波的激动，即按其固有频率产生振动，这振动，振荡器发生了调频率作用，于是收音机扬声器就发生了一种低沉声音，扬声器的音波再度作用到电容器的片上，如此循环下去，就可能长久地在收音机的扬声器中发出低沉的声音。

消灭这种微音效应的方法一般有：

1. 对电容器片子进行热处理（退火）。
2. 多连电容器中用于振荡回路的一连，用厚实的材造片子或增大片间空隙。
3. 采用整块铸成的梳形片，可用软合金铸出的空心轴，使动片具有较大衰减作用。

用图(11—708)测试时，试品电容器连同扬声器放在接收机箱中，电容器接到差频振荡电路中，扬声器用可以均匀变动频率的音频振荡器，经过低频振荡放大器来振动，试验时如果接在差频振荡器的可变电容器的片子发生了振动，那末差频振荡器就受到调频振荡，讯号被调频接收机接收，在扬声器的输出端产生了电压，这电压可用电子管电压表测出，电子管电压表的指数是同试品电容器片子振动的振幅成正比例的，所以从电压上读数的大小就可以知道电容器片子的微音效应程度了。

