

电子学
79:61
3-90
31

电子管制造工艺

P-114

南京无线电工业学校編



3305818

本書系根据中等专业学校电子管制造工艺課程教学大綱的內容而編写的。

書中叙述了現代电子管制造技术方面基本典型制造工艺。全書共分二十一章：第一章叙述电子管生产的基本知識；第二章到第六章叙述电子管零件的淨化、热处理、被复以及連接等方法。第七至第十五章叙述电子管的零件阴極、栅極、彈簧及热絲、阳極、引出綫、吸气剂、絕緣零件、玻壳、芯柱等的制造方法。第十六到廿一章叙述电子管的裝架、封口、排气、老練等工艺过程以及电子管的測試和檢驗。

本書可供中等专业学校电真空器件專業学生作工艺課程的教材用，亦可供高等学校电真空器件專業学生及工厂技术人員作参考。

本書由孙天章和金紹焰两同志編写。

D03E/06

国防工业出版社

北京市書刊出版业营业許可証出字第074号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ · 印張 $13\frac{3}{16}$ · 359 千字

1959年3月第一版

1959年3月第一次印刷

印数：0,001-15,000册 定价：(10) 1.90元

NO. 2782

前 言

新中国成立以来，电子管制造业也和其他工业一样，在党和政府的英明领导下，在建设社会主义总路线的光辉照耀下，得到了飞跃的发展。并在发展电子管工业的同时，相应的设立了电真空器件制造专业的中等技术学校。

“电子管制造工艺”是电真空器件制造专业的专业课程之一。在最初讲授这门课时，由于这方面的书籍和资料很少，因此在教材的内容和安排上均感到困难。1955年苏联专家奥尔金同志来我校工作，为我校部分教师和工厂技术人员讲授了将近半年的电子管工艺课，并编写了讲义，这为我们后来自己编写教材指出了内容的安排方法与供给了很多有关电子管制造的新工艺。在此，我们特向奥尔金专家表示深深的感谢。

因此，本书的编写，主要是参考奥尔金专家所编的电子管制造工艺和其他电子管制造有关的书籍，并结合我国目前的生产情况而编写成的。由于与此课程一样作为电真空器件制造专业的专业课程还有“电子管设计及基础”、“电真空材料”、“真空技术”、“电真空制造电气装备”和“电真空制造机械装备”。因此，在本教材中，有关电子管的理论、电子管的材料、真空的获得与测量、以及电子管制造上所用的电气装备和机械装备均未作详细的叙述。

本教材虽经三年的实际教学和两次修改，但由于编者的理论水平 and 实际工作经验不足，因此书中错误和遗漏之处在所难免，望读者不吝指正为感。

孙天章、金绍焰

1958.12.

目 录

前 言	3
绪 论	9
第一章 电子管生产的基本知識	11
§ 1-1 电子管的典型結構	11
§ 1-2 电子管生产的特点	12
§ 1-3 电子管生产的技术准备	13
§ 1-4 电子管生产过程的組織	22
§ 1-5 电子管符号的命名	2
第二章 电子管零件的机械加工	3
§ 2-1 电子管零件机械加工的特点	
§ 2-2 电子管零件加工时所用的潤滑剂	
§ 2-3 金屬零件的冲制	
§ 2-4 金屬絲料的拉制	46
§ 2-5 切削加工	50
第三章 电子管零件的淨化	5
§ 3-1 电子管零件淨化的目的	52
§ 3-2 材料及零件淨化的方法	52
§ 3-3 金屬絲料的淨化	
第四章 电子管金屬零件的热处理	
§ 4-1 电子管金屬零件热处理目的	
§ 4-2 电子管生产上对金屬零件所进行的热处理工艺	
§ 4-3 金屬零件在氬气中进行热处理	
§ 4-4 金屬零件在燃燒不足的气体中进行热处理	
§ 4-5 金屬零件在真空中进行热处理	
§ 4-6 金屬零件在空气中进行热处理	
§ 4-7 金屬絲状材料的热处理	
§ 4-8 測量溫度的仪表	

第五章 电子管材料及零件的被复	89
§ 5-1 电子管材料及零件被复的目的	89
§ 5-2 被复的种类及方法	90
第六章 电子管金属零件的连接	110
§ 6-1 连接方法的分类	110
§ 6-2 电阻焊接	111
§ 6-3 熔融焊接	121
§ 6-4 钎焊	125
§ 6-5 冷压焊接	128
§ 6-6 机械连接	129
第七章 阴极制造	132
§ 7-1 阴极的种类及其结构形式	132
§ 7-2 钨阴极制造	136
§ 7-3 钍钨阴极制造	137
§ 7-4 氧化物阴极的制造	145
§ 7-5 其他类型阴极的制造	167
第八章 吊丝、弹簧及热丝的制造	172
§ 8-1 吊丝、弹簧及热丝的结构	172
§ 8-2 吊丝及弹簧的制造	174
§ 8-3 热丝的制造	176
第九章 栅极制造	189
§ 9-1 栅极的结构及其要求	189
§ 9-2 栅极材料	191
§ 9-3 在绕栅前的材料处理	194
§ 9-4 栅极制造	195
§ 9-5 栅极在绕栅后的加工	204
第十章 阳极制造	203
§ 10-1 阳极的结构及其所用材料	208
§ 10-2 自然冷却阳极的制造	217
§ 10-3 强迫冷却式阳极的制造	221
第十一章 引出线的制造	223
§ 11-1 引出线的作用及其材料	223

§ 11-2	引出綫的結構形式	235
§ 11-3	引出綫的制造	235
第十二章	吸气剂	232
§ 12-1	使用吸气剂的目的	232
§ 12-2	常用的吸气剂材料	232
§ 12-3	吸气剂制造	233
§ 12-4	吸气剂的应用和裝置	240
第十三章	絕緣零件加工	243
§ 13-1	絕緣零件的作用及材料	243
§ 13-2	云母絕緣片的加工	244
§ 13-3	陶瓷絕緣零件的加工	248
第十四章	玻璃零件的制造及加工	251
§ 14-1	电子管中所用的玻璃制品	251
§ 14-2	玻管和玻杆的制造	251
§ 14-3	玻壳的制造	255
§ 14-4	玻璃零件的压制	263
§ 14-5	玻璃的应力及其消除方法	264
§ 14-6	玻璃表面淨化	272
第十五章	玻璃与金屬的封接	275
§ 15-1	玻璃与金屬封接的分类	275
§ 15-2	玻璃与金屬的封接材料	277
§ 15-3	玻璃与金屬封接的結構	281
§ 15-4	玻璃与金屬封接前的准备	282
§ 15-5	玻璃与金屬的封接技术	286
§ 15-6	在封接时降低应力的措施	304
§ 15-7	陶瓷与玻璃的封接以及陶瓷与金屬的封接	305
第十六章	电子管的装架	307
§ 16-1	电子管装架的意义和特点	307
§ 16-2	电子管装架的技术要求	307
§ 16-3	大量生产中电子管的装架組織	311
§ 16-4	装架所用的設備及工具	312
§ 16-5	装架的一般方法	314

§ 16-6 装架的废品及检验	318
§ 16-7 装架工作的机械化	319
第十七章 电子管的封口	324
§ 17-1 封口的意义和形式	324
§ 17-2 封口的方法	324
§ 17-3 封口时所产生的废品	331
第十八章 电子管的排气	334
§ 18-1 排气的意义和目的	334
§ 18-2 排气的工艺过程	335
§ 18-3 排气设备	346
§ 18-4 充气管排气法	355
§ 18-5 排气时所产生的废品	356
第十九章 电子管的装头	360
§ 19-1 装头的意义和目的	360
§ 19-2 管基的形式及制造	360
§ 19-3 焊泥	362
§ 19-4 装头的工艺过程	365
第二十章 电子管的老练	370
§ 20-1 老练的意义和目的	370
§ 20-2 老练的过程及其规范	371
§ 20-3 老练的设备	378
§ 20-4 老练时可能发生的现象	380
第二十一章 电子管的测试与检验	383
§ 21-1 测试与检验的意义和目的	383
§ 21-2 电子管电性参数的测试	385
§ 21-3 电气测试的设备	404
§ 21-4 寿命试验	406
§ 21-5 特殊试验	408
附 录	415
参考书	420

緒 論

我們的時代是電子器件飛速發展的时代。在近代科學研究以及生技術的各個領域中，都在採用着各種類型的電子管。可是電子管從發明到現在還僅僅只有五、六十年的歷史，遠在1873年俄國科學家羅特金首先發明了電燈，為電子管的發明創造了條件。到1881年時發現了愛迪生效應，即電流能夠在真空中通過，這現象立即引起了當時科學家們的廣泛興趣，直到1904年本世紀初葉，第一只電子管——最簡單的两極管，才被製造出來，以後在短短的數十年中，電子管由兩極到多極、由簡單形式到複雜形式、由接收到發射、由小功率到強大功率、由低頻到超高頻，它的發展速度是極其驚人的。到了現在各種各樣的電子管已經在國民經濟各個部門廣泛地被應用着。如在無線電收音、無線和有線通訊、有聲電影、電視等這些我們所熟知的技術領域中大量地應用着電子管；不僅如此，在近代工廠企業中，也採用着各種電子管用來操縱複雜巨笨的機器，用來控制時間和使生產自動化，用來測量和安全保護，以及用於大功率整流等等。此外利用了電子管使無線電導航真正成為可能，使飛機能在黑夜或雲霧天亦可起飛和降落。又如在工業上和醫療事業上所廣泛使用的X光技術也是電子管使用的一例，而近代的電子顯微鏡、電子計算機以及對原子能的研究上都少不了應用電子管。必需指出，電子管在國防軍事上的特殊重要性，利用了無線電操縱，就能控制火箭和導彈，雷達的使用使我們能在百里以外探索敵機的方向和數量，利用了它再和無線電技術相結合，便可能使槍炮作出正確的射擊，而近代作戰的軍事聯系更少不了電子管。

關於電子管的應用還可以敘述很多，例如測量人腦微弱“電流”波形的心理儀器，探掘地下礦藏的探索器等。由此即可看出電子管對國民經濟各部門的重要性。

由於各方面對電子管的需要，現在每年在世界上生產的各種電子

管的数量是極為惊人的，据不完全统计，全世界的年产量約在 1000 亿个以上，由于数量这样之多，而类型又是那样的复杂，因此随着电子管制造技术的日益發展和需要，就建立了一个新的工业部門——电子管工业。

但是，在解放前的旧中国不仅沒有从事电子管制造的工厂，而且也沒有培养这方面的專門人材。只有在解放后的新中国，电子管工业也和其他工业一样，得到了应有的發展，不仅設立了培养这方面專門人材的学校，而且还在苏联的无私援助下建立了近代化的电子管工厂。目前随着祖国社会主义經濟建設的高漲，电子管工业亦有很大的發展。

要制造出大批高質量的电子管，就必须研究电子管的制造工艺，而所謂电子管的制造工艺，就是指电子管的整个加工、处理和装配的过程。由于近代各种技术的發展，目前电子管的制造工艺也就逐漸摆脱了以前那种手工操作的生产状况，而接近于机械化和自动化的生产方法了。但是这并不是意味着电子管的制造工艺无須要改进，恰恰相反，在現代制造电子管的許多工序上还存在着許多需要解决或改进的問題，諸如阴極制造，电子管老練等工艺，迄今还没有确定地获得一完整的規律方法；在零件装配工序上还是很多用手工进行操作等。此外，由于电子管制造工艺的特殊复杂性和高度精确性，以及需要極度的清潔和衛生，以致使得电子管的廢品与其他器件相比显得較為惊人，在一般工厂里制造的电子管往往仅能保証 80~90% 的产品合格或能维护所規定的寿命。所以指出这些問題，就是为了促使注意，从而不断地加以改进它的制造工艺过程。

由于电子管的种类繁多，因此在本書中只能着重于叙述典型的制造工艺，亦即叙述一般电子管的制造过程。叙述将按照这样的次序进行：先从有关电子管生产的基本知識开始，接着討論零件的各种加工及处理方法，然后研究各种結構元件如阴極、栅極、阳極等的制造方法，最后再研究装架、封口、排气、老練及試驗工艺，并且在叙述典型制造工艺的同时，还指出某些器件的制造特点和研究一些主要的装备。

第一章 电子管生产的基本知識

§1-1 电子管的典型結構

电子管是一种利用在真空中或稀薄气体中放电現象的器件，因此也广义地称“电真空器件”。

电子管的制造到目前为止其种类型式有数千种。这里先来介紹一下典型的电子管結構。圖 1-1 所示为小型玻壳四極管的結構，它主要由接受电子的阳极、發射电子的阴极以及控制电子的栅極所組成。电极的相对位置的固定則依靠云母片来完成。为了使电极能处于真空或稀薄气体状态，将整个电极封闭于玻璃或金属的管壳中，利用引出綫穿过管壳以便与外电路相联接，通常引出綫穿过管壳的那部分称为芯柱，在某些电子管中，由于引出綫是軟的，为了便于将管子插入电路，在电子管的引出綫端还装有管基和管帽。管内真空度的形成，是借排气管来达到，排气完成后即将它封闭，此后依賴吸气剂将管内真空度再行提高。由此可知，电子管也是由許多的結構元件——零件和組件所組合起来的器件。

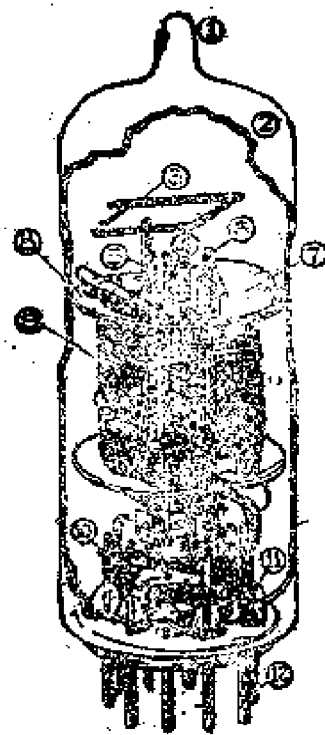


圖1-1 小型玻壳四極管結構:

1—排气管封端; 2—玻壳; 3—吸气剂; 4—阴极; 5—第一栅極; 6—第二栅極; 7—隔离片; 8—云母片; 9—阳极; 10—芯柱屏蔽片; 11—芯柱; 12—管脚(引出綫)。

所謂零件就是指那些未經过装配工序而制造成的結構元件，如栅極、阳极、云母片、管壳等；而組件即是由二个以上零件所組合而成的結構元件，如装架好的电子管管芯。如果将这些零件和組件再組合起来而成为有使用价值的結構，那就称为器

件了，如制成后的电子管。

电子管的各种类别和型式就其内部结构和外形其差别均很大，但所有这些电子管均为由一些零件和组件所组合而成。在电子管中，主要的零件或组件是阴极、栅极、阳极、芯柱、管壳等。我们研究电子管的制造，也就是先从研究这些元件的结构形状，所用材料，制造工艺开始，然后研究整个电子管的装配及处理的过程。

§1-2 电子管生产的特点

电子管工业生产和其他工业生产比较起来，它有很多特有的性质。

(一) 电子管的生产可说是多种技术的综合，它需要应用下列各项专门技术：

(1) 真空技术：高真空的获得和测量、真空系统的装置、使用及维护等。

(2) 玻璃技术：玻璃与玻璃的封合，玻璃零件的吹制、拉制和压制，玻璃与金属及陶瓷的封接等。

(3) 机械技术：模具及工具的设计和制造，各种零件的冲制及加工等。

(4) 化学技术：零件的清洁处理、零件的涂敷、碳酸盐、吸气剂及其他化学药品的配制等。

(5) 无线电技术：电子管的设计和改良，电子管的测试及测试所用装备。

(6) 冶金技术：金属及合金材料的冶炼、制造及分析等。

(二) 在电子管生产时，需要用到种类繁多的材料，其应用的材料大致有这样几类：

(1) 金属材料：如钨、钼、钽、铜、镍、铁、汞、钴、铀等以及如钨钼、镍锰、镍铁、铁镍钴等合金。

(2) 化学材料：如酒精、三氯化乙烯、醋酸戊酯、苛性钠、硝酸银、蒸馏水等等。

(3) 绝缘材料：如云母、陶瓷、胶木、石英以及玻璃等。

(4) 气体：如氩气、氧气、氮气、煤气、水蒸汽、压缩空气等。

并且对于材料的要求亦往往很高。对于金属材料一般要求金属的蒸汽压低，在高温时的机械性能好，易于去气等。对于所用的化学材料，一般总要求有很高的纯度，特别是硫、磷、砷等含量要甚小。

(三) 在电子管生产时，要求有良好的真空卫生环境和制度。

电子管在制造时要求高度的清洁，这是保证电子管产品质量的首要条件，特别是阴极制造车间和装架间。因此在选择厂房地址、厂房设计时均须充分考虑这要求。要求厂房最好不要建立在化学工厂或炼油厂附近，并且为了使车间内有净洁的空气，要求送入某些车间的空气是经过过滤后才送入的。

除此以外，为了保证经常有良好的清洁，还必须订出全面的真空卫生制度，并促使全厂工作人员严格遵守真空卫生制度。例如要求电子管工厂的工作人员在每天进厂前，应用肥皂仔细洗手，并冲洗后用电气吹干。进车间时，应着整齐规定的工作服，不得穿外鞋入内等等。

§1-3 电子管生产的技术准备

为了保证均衡地完成国家生产和掌握新产品的任务，保证工作的最高经济指标以及使工厂技术能够经常不断的进步，就必须合理地把生产中各个组成部分配合起来，为了达到这样的目的，就必须要有生产技术准备。

生产技术准备工作包括设计准备和工艺准备两部分。

(一) 生产的设计准备

(1) 设计准备的任务 生产设计准备的任务就是要拟订出产品的结构，并制定出所有的必须文件（图纸、说明书、技术条件、参数一览表等），同时根据最新的科学技术成就，尽量地来改进产品的结构（如改进电子管的耐震性，耐热性，提高工作频率及延长运用寿命等）和降低产品成本。

(2) 设计准备的步骤 可以这样认为，拟定产品的设计是任何生产的开始阶段，产品的结构拟定由生产性质决定，因为器件的制造

方法也即工艺是决定于构造的，因而生产的組織及計劃也决定于結構。現在將設計一新产品所需的步驟分述于下：

1. 写出新器件的技术任务書——根据訂戶的要求，在技术任务書中写出該器件的用途、使用範圍、結構特点、主要參數和特性等等。

2. 根据技术任务書，在設計科进行器件的結構設計，初样制造、并进行試驗。

3. 初样成功后，在試制車間少量試制，观察生产的情况和結果，与理論推算偏差程度，和技术任务書要求是否符合，并作必要修正。

4. 在以上各步驟都成功后，那么就进行編写和拟定總結的工作，總結必須詳細，还需繪出全部必要的圖紙，以后就轉入生产。

(3) 設計时应考虑的問題 为了使設計工作完全符合生产的要求，在进行設計时，必須从这样两个观点出發：第一、應該从使用观点出發，这就是說要保證管子的寿命达到所規定的時間，應該使器件在使用期間內保持給定參數在規定的公差值範圍內。应使器件的尺寸、耐震性等等都合乎条件。第二、也应该考虑到結構的工艺性。这就是指在設計器件或設計某一零件时，設計者不仅要以成品的用途及工作条件为前提，而且还應該考虑到零件的制造及装配的方法是否經濟及方便，如果忽視了这一点，往往会浪费人力和物力，使产品的工艺过程复杂，成本提高。

举例言之，譬如 $2\Pi 1\Pi$ 型束射輸出四極管，原先設計的电極形狀如圖 1-2 所示，在此設計中，束射屏的尖角和阳極間距离很小，只有 0.5 毫米。在小量生产时，这样的距离尚可控制，改为大量生产后，就發生很多碰極短路的現象，后来把阳極形狀改成如实綫所示的形狀，結果缺点改进了而特性却并没有什么影响。

因此，如果从这一工艺上的

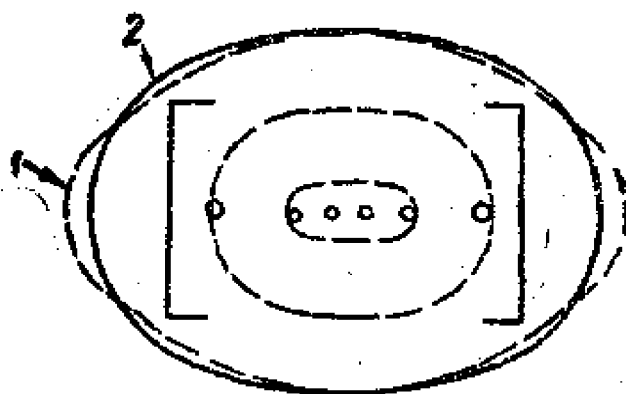


圖1-2 $2\Pi 1\Pi$ 結構：
1—改前之阳極；2—改后之阳極。

观点出發，就應該在設計時盡量滿足以下這些要求：

1. 所設計電子管燈絲電壓、陽極電壓等最好是根據標準的規定值，或者按照其一般的技术条件。
2. 在不降低管子質量的前提下，尽可能地選用標準通用的金属材料。
3. 在不影响管子的特性情形下，所选用的結構零件尽量应用工厂中或部屬中規格化的零件。
4. 所設計電子管零件應該簡單，且有互換性，使制造簡單，装配方便，便于用自动化或半自动化的装备。
5. 零件的公差應該設計得适当，不寬亦不嚴。如果太寬，零件不準確，太嚴則制造麻煩。

为了簡化生产，縮短技术准备時間以及降低产品成本，因此电子管的零件在設計及制造时常考慮到零件的通用化、規格化、标准化。

所謂零件的通用化，就是用一种零件或組件代替一些其他毫无必要的各种零件和組件。也就是說最好在設計零件時選擇一些“通用性”的零件，用它來代替其他构造尺寸不同但用途相同的零件，如接收放大管中高放大系数五極管的陽極、間熱式陰極套管、玻壳、管帽等。零件采用通用化后能够簡化生产和降低成本，但这样做必須在技术上有所依据。

零件或材料的規格化也是为了减少用途相同的零件或材料的种类，它和通用化不同的之处在于：規格化是拟定的，而通用化是根据实际要求選擇的。例如現在有甲、乙、丙、丁、戊五种在結構上有些差异而用途相同的零件，我們如果适当地規定两种零件为規格化的零件，則以后在用上列零件时，即可采用已規格化了的零件，如电子管中有的管壳、管座、管帽等。又例如电子管中所用的材料种类和尺寸要求很多，我們也可設法限制它的种类，規定几种适宜的規格化的种类，以后就在这几种中選用。如对于鎢鉬合金絲的規格化則有 MB-50 和 MB-20 的两种鎢鉬合金絲等。前者是含鎢鉬各为 50%，后者为含 20% 的鎢和 80% 鉬的合金絲。

所謂标准化是对在实际生产已經証实为最适合使用的材料、零件及組件的性質及結構形状以及參量的数值和檢驗方法等所拟定的。标准化的范围很大，有部屬标准，也有国家标准。因此标准化的拟定必須經過詳細的研究，而且尚須得到实际的証实，它一經国家局批准后，就具有法律的效力。

采用通用化、規格化和标准化的零件或材料后，这样設計的工作量就减少，縮短了設計准备時間，并且亦减少了工艺准备工作，因此加速了生产技术准备工作，也降低了产品的成本。

(二) 生产的工艺准备

(1) 工艺准备的任务 工艺准备的任务就在于如何将已設計好的电子管根据設計結構圖紙，来拟定管子的制造工艺，并且根据最新的科学技术成就，不断地改进管子的制造工艺。从这观点出發，生产的工艺准备是生产技术准备的第二个阶段。

(2) 工艺准备的内容 生产工艺准备的内容大致包括下列几类：

- 1) 檢查設計圖紙中的工艺性問題。
- 2) 根据最新的科学技术成就拟定零件、組件以及整个管子的制造工艺。
- 3) 設計和制造材料加工、零件制造及管子装配所需的冲模、工具及装备等。
- 4) 拟訂工艺过程中的各种定額（机时、工时、材料消耗及各种动力等定額）。
- 5) 采用合理的技术檢查和先进的生产組織形式。

另外工艺装备的設計和制造是新产品生产准备中最繁重并且時間最長的工作。在試制新产品时也往往化費用在工艺准备上，因此在設計和制造工艺装备时，應該尽量利用原有的装备或設計提高装备的負荷，同时也須和設計准备相配合。在零件、組件的通用化、規格化和标准化的基础上，来力求工艺装备的通用化、規格化和标准化。

(3) 工艺文件 工艺文件就是記載工艺过程的技术文件。它是

工艺准备中的主要内容。这种文件为了閱讀方便起见往往以卡片的形式編制。常用的工艺文件有下列几种：

一、工艺过程卡——工艺过程卡是按每一零件来編制的，用来指出零件制造时各工艺工序完成的順序，并指出由哪些車間来完成这些工序，同时也附有解釋怎样进行这些工序的工艺卡。除此以外，在工艺过程卡中，它还包括下列内容：

1. 材料名称及規格。
2. 材料从何处領来。
3. 材料的消耗定額。

二、工艺卡——工艺卡是按每一零件、組件或管子来編制的，它包括下列内容：

1. 詳細地說明某一工序的操作。
2. 进行这工序所用的工具、裝置和設備。
3. 加工規格，有时应附草圖。
4. 工人业务水平。
5. 所需時間定額。
6. 真空衛生等級。

三、工艺檢驗卡——这种卡片指出每一零件、組件或器件的工艺工序所需檢驗的方法，它还指示：

1. 零件的尺寸及公差或管子的参量。
2. 用什么工具和装备进行檢驗。
3. 指出哪些为可修廢品，哪些为不可修廢品。

在表 1-1、1-2、1-3 及 1-4 上示出了电子管生产上所用的几种工艺文件格式。

此外，工艺文件也包括一些必需的工具、装备的工作圖紙等。

必須指出，生产技术准备的两个組成部分——設計准备和工艺准备是有着密切的联系的，工艺准备固然要按照設計要求及圖紙进行工作，但在設計准备时也須經常考虑到制造工艺上的問題，只有这样才能使生产准备工作順利协调地进行。

表1-2 工艺卡片式

标 号		加 工 名 称	工 艺 卡 片	代 号	第 页	
					共 页	
設 备		圖 号	工 具、仪 器		圖 号	
材 料、零 件、部 件						动 力
名 称	国家标准、技术条件		牌 号	尺 寸		
						真空卫生等级
						预防措施
更改标记				编制	校对	检查人
文 件 号				姓 名	7	
签 字				签 字		
日 期				日 期		

表1-3 工艺卡格式

标 号		加 工 名 称	工 艺 卡 片	代 号	第 页	
					共 页	
工 序 号	工 序 名 称			工具、仪器 和补充文件		
更改标记				编 制 校 对	检 查 人	核 准
文 件 号			姓 名			
签 字			签 字			
日 期			日 期			

表1-4 檢驗卡格式

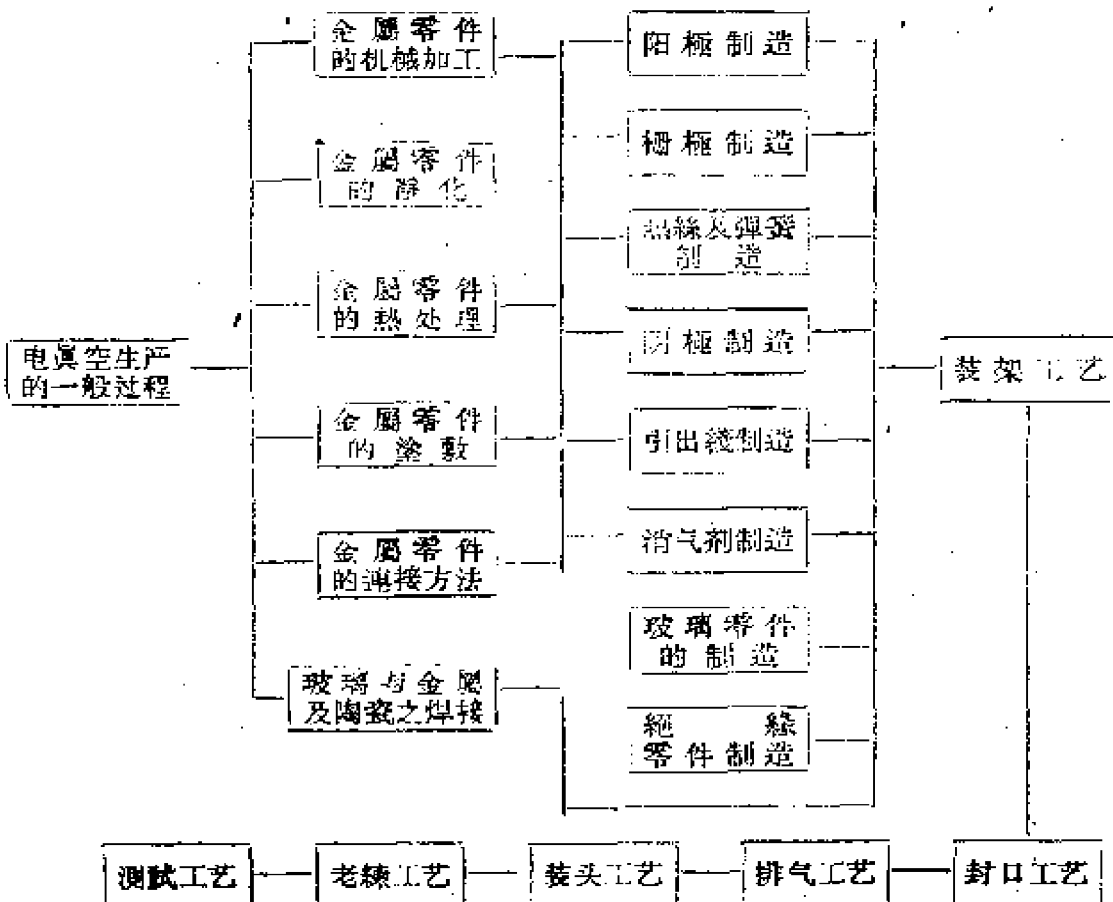
標 号		零件或部件名称		檢 驗 卡			代 号		第	頁	
									共	頁	
草 圖	檢驗卡操作号	車間 編号	操作名称	檢驗者	檢 种	檢 驗 对 象	仪 器 及 工 具 名 称	編 号	檢 驗 品 百分率允許率	特殊的技术指示	备 注
备注:											
替 換	日期	代号更改						編 制	校 对	审 核	批 准
原圖号		中 請 書 編 号						姓 名			
原圖号	簽 名	簽 名						簽 名			
		日 期						日 期			

§1-4 电子管生产过程的組織

象生产其他产品一样，整个电子管的制造工艺过程可分为很多单独的工作，例如材料制造零件的工作，零件装配成组件的工作，组件又装配成产品的工作。由于电子管的类型多，以及生产方式的不同，各种类型的电子管在工艺过程上也有所区别，但基本生产顺序都是类似的。在表1-5上列出了电子管制造的典型顺序。显然，表上的前面部分系指各结构零件制造时可能用到的工艺方法，中间部分则为各结构零件本身的制造过程，所有这些均称为电子管生产的准备工序，而表上的最后部分（即自装架以后），系指管子的装配以及装配后的加工，则称为装配工序。

为了更好地进行生产，一般准备工序及装配工序在不同的车间内

表1-5 电子管生产顺序示意图解



进行。这些車間由于所完成的工作不同，而就划分为准备車間和装配車間。在較大的工厂中，准备車間又往往按生产对象划分为很多車間，如阴極車間、栅極車間、玻璃零件車間等；但也有按工艺性質而划分的，如化学車間、机械加工車間等。而装配車間則又視所生产电子管的类型或功用的不同而划分为几个單独的車間，如接收放大管車間、中小型振蕩管車間、大功率振蕩管車間、汞气管車間、电子束管車間等。在每个装配車間內，一般包括装架、封口、排气、装头、老練及試驗等等工序，其中装架工序由于其要求特殊清潔，所以要求單独分开。此外装配車間內生产工段的划分，而以对象划分比較好，即將每一生产的管种划分为一工段（即組成一流水綫），这种組織的优点是：

1. 保証生产对象的数量、質量及生产期限，使工人 与領導人員（工段長）的責任更加强了。
2. 消灭了生产中无人負責的現象。
3. 减少了生产中的在制品数量，于是加速了流动資金周轉，降低了生产成本。
4. 縮短了零件的生产周期及运送路綫。

在工厂中，除了准备車間和装配車間外，还有一些其他輔助車間及工作部門，它們并不直接从事生产，而是为了保証生产車間工作的順利进行，如工具車間、机修車間、动力車間、庫房、运输以及行政部門等。

§1-5 电子管符号的命名

为了区别各种类型的电子管及其性質，每一种电子管都有它特定的符号。到目前为止，电子管的各种符号大都为数字及字母所組合而成；而关于电子管命名的符号，各国亦常不一致，这里我們仅将我国最多用的电子管命名符号叙述如下：

在电子管制造的初期所生产的电子管，这时由于电子管的种类还不多，电子管的应用也不广，因此那时所生产的电子管，其名称常以簡單的符号来表示。如：10、30、40、50、75、80等等。随着电子管的

發展和管种的增多，逐漸寻找了一种比較科学的命名方法，也就是使近二十年来所生产的电子管，其名称的命名有了一定的規律，并且根据这样的命名方法，使应用者看到电子管的名称后，不查閱电子管特性手册，就可約略知道該管的型式、功用以及灯絲电压等。这种命名符号大都是由四个部分所組成的。

第一部分它代表灯絲电压，通常以数字的整数来表示，如：

0——表示这类电子管为冷阴极电子管，但 0-1A 是例外。

1——表示这类电子管的灯絲电压为 1.4 伏，但也有的是 1.25 或 2 伏，甚至个别的为 0.625 伏。

2——表示这类管子的灯絲电压为 2.5 伏。

3——表示这类管子的灯絲电压为 2.8 伏，但这类管子的絲極往往有中心抽头，因此并联应用时則为 1.4 伏。

5——表示这类管子的灯絲电压为 5 伏。

6——表示这类管子的灯絲电压为 6.3 伏。

7——表示这类管子的灯絲电压为 6.3 伏，但它为鎖入式的管基。

12——表示这类管子的灯絲电压为 12.6 伏。

14——表示这类管子的灯絲电压仍为 12.6 伏，但它亦为鎖入式的管基。

20 以上表示实际的灯絲电压数值。

例如：1R5 电子管其灯絲电压为 1.4 伏，6SA7 其灯絲电压为 6.3 伏，12SG7 和 14F7 它們的灯絲电压則为 12.6 伏，而 14F7 还說明这个电子管的管基为鎖入式。

第二部分是代表电子管的功用，它以字母来表示。从 A、B、C、……到 S、T 均代表为各种放大用的电子管，其中 H 是代表两極檢波管；由 U、V……到 Y、Z 則代表是各种整流管，但其中 1U4、1U5、6U5、6U7-G、6V6、6V7-G、6W4-GT、6W7-G、6Y6-G、6Y7-G、6Z7-G、7V7、7W7、7X7 等为例外，它們仍为各种放大用的电子管。

例如：1A5、6K7、6V6 等就为各种放大管，而 5Y3、5U4-G 等就为整流管。

在第二部分中，如果在字母的前面再加上一个字母，則往往又說明了管子的型式。如加入L的往往为灯絲电压为1.4伏的鎖入式电子管，例如：1LA4、1LB4、1LC6等（而灯絲电压为6.3伏或12.6伏的鎖式电子管，則由于在符号的第一部分中已以7代替6，14代替12以作区别，故不再加L）。对管壳頂部无引出綫的电子管則常在第二部分中字母的前面加入S，例如6SK7、6SJ、76SA7等，但亦有例外的，如6V6等。又如在字母的前面加入A、B或C，則这类管子常为花生管，例如6AK5、6BD6、6CB6等等。但这种亦有例外的，如6AB7、6AC7、6AF7、6AQ7、6AS7为非花生管，而1L4、3S4、6C4、6j6却为花生管。

第三部分代表管基中有用的引出綫（管脚）数目，它以数字3、4……到7、8来表示。例如1B3-GT它实际有用的引出綫为三个，5U4-G、5W4等实际有用的引出綫为四个，1A5-GT、6K5-GT等实际有用的引出綫为五个，6K6、6V6等为六个，6SQ7、6SK7为七个，6K8为八个，这里例外的亦有，如5Y3的实际引出綫为四个，6SN7的实际引出綫为八个等。

第四部分代表电子管的外形，它亦常以字母来表示。如G代表管壳为瓶形（ST式）的玻壳，其管基为八脚式的电子管，例如1H4-G、5V4-G、6K7-G等。而GT則代表管壳为筒形（T式）的玻壳，管基为八脚式的电子管，例如1C5-GT、6K7-GT、6SA7-GT等。金屬管一般无第四部分，例如6j5，則表示金屬管壳的6j5，其他如管壳为瓶形玻壳，但管基为非八脚式的，这种电子管往往亦无第四部分，如1A6等。

如果我們將四部分一起来說明則知1C5-GT即為灯絲电压为1.4伏的放大管，管壳为筒状玻壳，管基为八脚式，有用管脚引綫为五个的电子管。5U4-G即為灯絲电压5伏的整流管，管壳为瓶状玻壳，管基为八脚式，但有用管脚引綫为四个。6SJ7即為灯絲电压为6.3伏的放大管，管脚有用引綫为七个，引綫全在管基上，管壳为金屬。14C7即為灯絲电压12.6伏的放大管，管基为鎖入式，有用管脚引綫为七个。

所有和上述命名●規則中例外的电子管，極大多數是早期所生产的电子管，以及由于无正式特定的标准所引起的。

关于苏联所生产的电子管符号規則如下。

苏联在过去所生产的电子管其命名符号也不規則，但現在苏联已把电子管命名的符号訂出国家标准，目前我国电子管厂所生产的电子管也暫根据这种标准命名。这种命名的符号它亦由四个部分所組成：

第一部分代表灯絲电压，它亦以整数数字表示。如：

1——表示灯絲电压为 1.2 伏，也有的是 1.25 伏，个别的为 0.7 伏。

2——表示灯絲电压为 2.2 伏，但也有是 2.3 伏、2.4 伏、2.5 伏、1.5 伏的。

4——表示灯絲电压为 4.2 伏或 4.4 伏。

5——表示灯絲电压为 5 伏。

6——表示灯絲电压为 6.3 伏。

7——表示灯絲电压为 7.35 伏。

10——表示灯絲电压为 10 伏。

12——表示灯絲电压为 12.6 伏。

20 以上——表示实际的灯絲电压数值。

例如：1Б1П即為灯絲电压是 1.2 伏，4Ж1П 为 4.2 伏，6П1П 为 6.3 伏，30П1С 为 30 伏。

第二部分代表电子管的結構特性。如：

Д——表示两極管；

X——表示双两極管；

С——表示三極管；

Э——表示四極管；

П——表示輸出五極管或束射四極管；

К——表示有屏蔽的遙截止五極管或四極管；

● 这种命名电子管符号的規律，主要是对英、美及日本所生产的电子管而言。

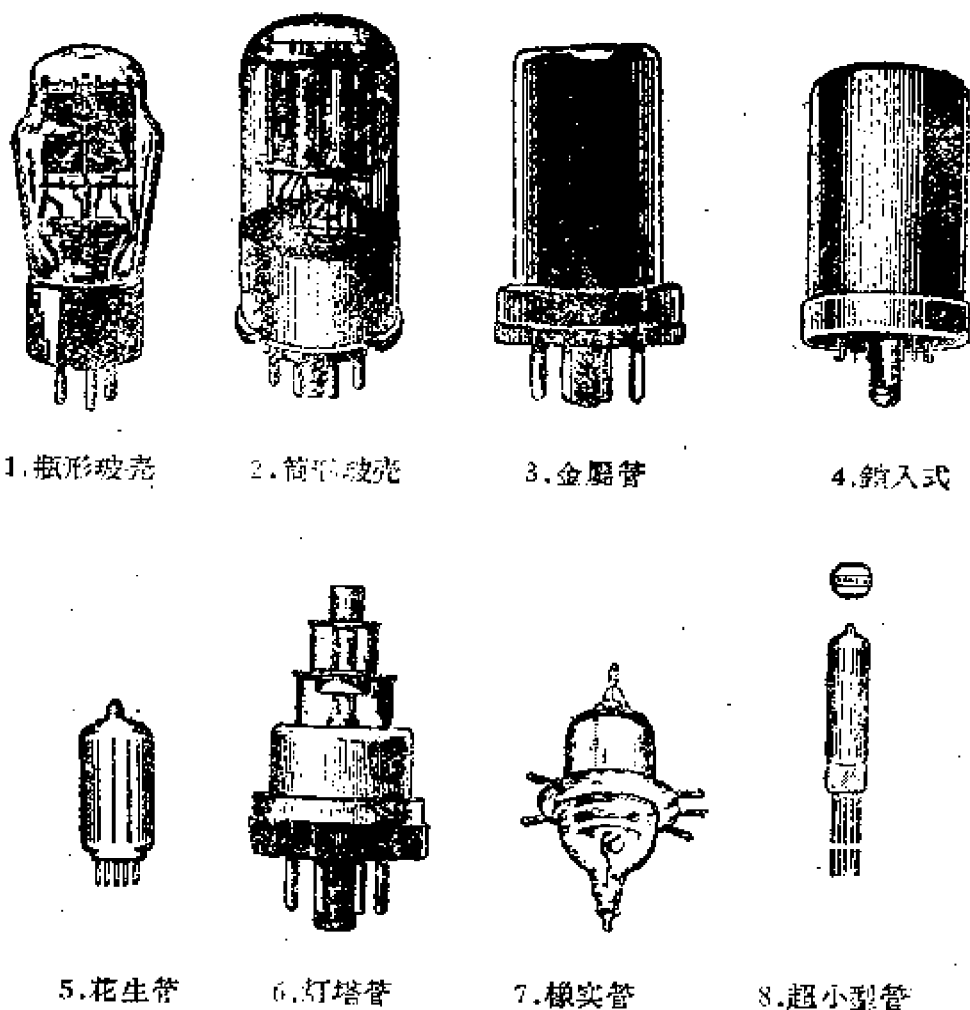


圖1-3 各种电子管外形。

Ж——表示有屏蔽的銳截止五極管或四極管；

A——有双控制柵的变頻管；

Г——兩極三極管或双兩極管；

Б——兩極五極管或双兩極管；

Н——双三極管；

Φ——三極五極管；

И——三極七極管；

Е——調諧指示管。

例如：6A1П 为变頻管，6K4П 为遙截止五極管，6B8C 为二極五極管等。

第三部分代表同类管子的序号，它以数字表示，以区别同种结构而特性不同的电子管。例如 6Ж2П 和 6Ж3П 它們同为銳截止五極管，但特性不完全相同，又如 6Н1П 和 6Н3П 亦同为双三極管，但它們的特性亦不相同。

第四部分代表管子的外形，它以字母表示。例如：

С——表示为玻璃管壳；

Ж——表示橡实形管壳；

Л——表示鎖入式管基；

П——表示花生管（小型管）；

А——表示管壳直徑小于 6 毫米的超小型管；

Б——表示管壳直徑小于 10 毫米的超小型管；

Д——表示盘状封接管（如灯塔管等）。

金屬管壳通常无第四部分。各种电子管的外形示于圖 1-3。

例如：1А1П、6Ж1П 等均为花生管，1Н3С、6Н8С 等均为玻壳电子管（外形为筒形亦可能为瓶形），4Ж1Л、10Ж1Л 等为鎖入式电子管，6Д4Ж、6Ж1Ж 为橡实管，6Д6А 为管壳直徑小于 6 毫米的小型管，6Ж2Б 为管壳直徑小于 10 毫米的小型管，6С5Д 为盘状封接管（灯塔管）。

現在我們將四部分連起来說明，如 6А1П 即說明是灯絲电压为 6.3 伏的变频管，外形为花生管。1К4П 为灯絲电压是 1.2 伏的遙截止五極管外形为花生管。6К3 为灯絲电压是 6.3 伏的遙截止五極管，金屬管壳。

以上所述均为接收放大管的命名符号，而对于其他电子管的命名符号，苏联所定的国家标准規定为：

第一部分是字母代表管子的类别。如：

- 1) ГК——表示为頻率在 25 兆赫以下的振荡管；
- 2) ГУ——表示頻率在 25~600 兆赫範圍內的超高频振荡管；
- 3) ГС——表示頻率在 600 兆赫以上的厘米波振荡管；
- 4) ГМ——表示調制管；
- 5) В——表示大功率整流管；

- 6) СГ——表示稳压管；
- 7) ТГ——表示充气閘流管；
- 8) ТР——表示水銀閘流管；
- 9) ТХ——表示冷阴極閘流管；
- 10) ГГ——表示充气整流兩極管；
- 11) ГР——表示水銀整流兩極管；
- 12) И——表示引燃管；
- 13) ПИ——表示脉冲振蕩管；
- 14) ГМИ——表示脉冲調制管；
- 15) ТГИ——表示脉冲充气閘流管；
- 16) Ф——表示光电管；
- 17) ФЭУ——表示光电倍增管；

18) 电子束管是以数字表示螢光屏直徑的尺寸（厘米），对于矩形玻屏則为对角綫長度。

第二部分对于整流管、充气管、閘流管以数字代表管子序号，而对于振蕩管、調制管、光电管、光电倍增管以及稳压管則沒有第二部分，而仅以划綫（——）表示。对于电子束管，則以字母表示电子束管的性質，如：

- ЛО——表示用靜电偏轉的示波管或映象管；
- ЛМ——表示用电磁偏轉的示波管；
- ЛК——表示用电磁偏轉的映象管；
- ЛП——表示攝象管。

第三部分对于各种振蕩管、調制管、放电管、稳压管、光电管、光电倍增管以及电子束管是表示管子的序号。而对充气管、閘流管、引燃管以及整流管第三部分是沒有的，而以划綫（——）表示。

第四部分对于所有强迫冷却的振蕩和調制管以字母 A 表示水冷式，以字母 B 表示風冷式。对于大功率整流管、充气管、閘流管及引燃管这部分以分数表示。分子表示阳極电流的平均值（安培），对于脉冲电子管則表示脉冲电流值；而分母表示阳極逆峰电压的幅值（仟

伏)。而对于电子束管、光电管、光电倍增管以及稳压管等第四部分是沒有的，对于示波管和映象管第四部分則以字母表示螢光屏所現的顏色，如：

Б——表示白色；

С——表示藍色；

В——表示綠色；

Ж——表示黃綠色。

現將各部分連接并举例說明如下：

1) ГY-89Б即為工作頻率在 25~600 兆赫間的振蕩管，陽極為風冷式。

2) TP1-40/15即為水銀閘流管，其陽極電流為 40 安培；最大陽極電壓為 15 仟伏。

3) 43ЛК2Б即表示螢光屏直徑為 43 厘米的電磁偏轉映象管，螢光的顏色是白色。

最近我國已經擬定了我國生產的電子管命名標準草案，其命名方法基本上是根据蘇聯的電子管命名標準來擬定的，而其中的俄文字母則以拉丁字母來代替，且管子的類別則以該管名稱的拼音字母的字冠來表示。

第二章 电子管零件的机械加工

§2-1 电子管零件机械加工的特点

电子管的多数结构元件都是由各种金属材料所制成的，且一般要求电子管内部的金属零件应该愈少愈佳，愈小愈好。这是因为金属大多含有气体，如果所用的金属零件小且少，那么带入管内的气体可能就愈少，同时还能节约金属材料的消耗和使管子的工作频率提高。为此，通常作为电子管零件的材料总是采用片料或丝料的占多数，同时它们的含气量亦较少，又易去气，并便于冲压加工。因此，虽然对金属进行机械加工的方法很多，除冲压加工外，还有如切削加工中的车、铣、刨等。但在电子管生产上，实际上以冲压加工用得最多。尤在接收放大管中，几乎所有的金属零件都是用冲压加工制得的，仅大型振荡管中的部分零件，才用铣、刨、磨等方法。例如，发讯管中固结用的螺絲就是用车床加工制得的，水冷管的铜阳极及风冷管阳极的散热片，亦需用车、铣的加工。此外石墨阳极则亦需用切削加工，而某些与硬玻璃熔封的引出线，如钨杆、钼杆等，其与玻璃熔封处常在磨床上经过研磨，以得到光洁无缝的表面。

在电子管制造上，对于金属零件的加工，除了采用冷冲压加工及少数切削加工外，对于那些不同直径的金属丝亦采用锻拉加工。

对电子管金属零件进行机械加工时，应该尽可能使零件避免沾上油脂。因为油脂通常系碳氢化合物，若被带入电子管内部，则会破坏管子的真空度，或引起其他的不良后果。故在进行机械加工时，所用设备润滑部分的油不能太多，而在设备的其他部分，特别是要与零件相接触的部分，则绝对不允许有油。若在加工时对加工物必须使用润滑油，则所用的润滑油应该是以后能较易清洗去的油类。其次对电子管零件进行机械加工时，还往往视运用条件提出一些附加的要求，这些

表2-1 各种金属在不同机械加工时所用的润滑剂

加工方式 金属材料	冲 压 加 工	切 削 加 工	鍛 拉 加 工
錫 (細絲及薄帶)	1. 矿物油 2. 酒精、汽油混合物 (按体积計, 酒精85%、汽油15%) 3. 酒精、汽油和油类的混合物 (酒精80%、汽油10%、变压器油10%)		氨基皂液
錫 (粗絲及厚帶)	1. 肥皂液 2. 矿物油 3. 酒精汽油混合物 4. 酒精汽油和油类的混合物	1. 苏打水 2. 矿物油 3. 氯化腊 4. 酒精汽油混合物	肥皂液 (按重量計 肥皂和水的濃度为 1:10)
銅	1. 矿物油 2. 酒精汽油混合物	1. 苏打水 2. 矿物油 3. 酒精汽油混合物	肥皂液
高錳鋼和不銹鋼、鉄錫合金、低碳鋼	1. 矿物油 2. 蓖麻油加酒精 3. 肥皂液	矿物油	1. 肥皂液 2. 矿物油
鋁	矿物油	先复石墨乳 后复氯化腊	石墨乳
錫及錫鋁合金			石墨乳
鋁	矿物油		
鋅	1. 矿物油 2. 肥皂液	1. 苏打水 2. 松节油 3. 矿物油 4. 酒精汽油混合物	
古伐合金	1. 矿物油 2. 松节油加酒精 3. 肥皂液	1. 苏打水 2. 矿物油 3. 酒精汽油混合物	
黃銅	1. 矿物油 2. 苏打水 3. 肥皂水	1. 苏打水 2. 矿物油	苏打水

要求通常是很高的。例如，某些作为阳极的零件要求不能有厚薄不均匀的现象，不然在电子管工作时，很可能由于在薄处发生过热，而引起电子发射或使电极变形，甚至产生击穿的现象。又如在剪裁或冲制材料时，在切断的边缘上，通常不允许有毛刺、墩粗等，而应平整光滑。最后，为了使加工后的金属零件不存在应力，亦须在加工后进行退火。否则日久后零件会发生变形或挠曲，以致影响了电子管的参量。

§2-2 电子管零件加工时所用的润滑剂

电子管金属零件加工时，一般不使用润滑剂，理由如上节所述，但在某些机械加工中有时不得不用润滑剂，否则会增加加工的困难。例如，用压延法拉伸零件时，只有当模子与材料之间存在一定的滑动时，压延才能正常地进行，否则零件很难有光滑的表面，甚至还会引起材料的破裂。又如在锻拉加工时，为了使金属丝与拉丝模之间有一定滑动，以及减少拉丝模的磨损，亦需要施加润滑剂。此外在进行某些切削加工零件时，为了冷却工具以降低它的磨损，也常使用润滑剂。由于电子管制造上采用着各种不同的金属材料及机械加工方法，因此相应的润滑剂也采用得很多。

通常在丝料锻拉加工时，如冷拉铜丝、镍丝及镍金合丝等，常用肥皂液等作为润滑剂；而热拉钨丝、钼丝及其合金丝时，则用石墨乳作为润滑剂。在金属切削加工时，对于镍及其合金可用40%的氯化腊作润滑剂；对于钢、铜、铝、黄铜等则常用特制苏打水和矿物油或肥皂液等。在冲压加工时，则视金属材料的不同可分别采用肥皂液、矿物油、加有酒精的蓖麻油等作润滑剂。例如，在压延金属管壳时，就是用肥皂液作润滑剂，冲制钼的零件则用矿物油，在冲制镍及铁镍钴合金零件时则用加有酒精的蓖麻油（因用不加酒精的纯蓖麻油，会由于蓖麻油在长期保存或加热之后很难从零件上除去，以后在氢中退火后在零件上会变成炭痕）。

当然，在各种工序上有时还使用着其他的润滑剂，如变压器油、机油、松节油、汽油等，在表2-1上列举了常用金属材料在不同的机

械加工时所用的潤滑剂。

§2-3 金屬零件的冲制

冷冲压加工是制造电子管金屬零件最常用的一种机械加工方法。一般电子管所用的各种阳極、无縫阴極套管、束射屏、金屬管壳以及大多数輔助零件，如吸气剂碟、隔离罩、管基、管帽、管脚等等，几乎都是由冷冲加工制造的。此外某些非金屬材料，如云母絕緣片的制造亦用冷冲压工序完成。这是由于进行冲压加工有下列各項优点：

(1) 生产率高，因而降低了零件的制造成本。

(2) 冲压加工所得的零件公差小，精确度高，使零件有互換性。并且在大量生产中只須抽驗部分零件就可，而无須全部进行檢驗。

(3) 由于冲压加工簡單，故可用技术水平較低的工人；仅对安裝模子的工人要求技术較高。

(4) 冲压加工进行得适当时，所消耗的材料較少；且由于加工后的廢料往往成带状，而不是屑末状，可便于利用。

(5) 可以較少的工序制造形状复杂的零件。

(6) 便于使用自动装置。

在冷冲压加工中，按照材料的加工性質及外力的作用情况，它可分为分离、变形及复合三工序。

所謂分离工序，就是将材料的一部分按照封閉的或不封閉的周边从原材料上截下的工序。属于这类的、应用于电子管生产上的有冲裁、裁切、冲孔、修边等。

所謂变形工序，就是将材料变成一定形状的工序。电子管生产上属于这类的有弯形、压延、冲紋、縮口等。

复合工序就是在一个冲模中連續进行两个或两个以上的簡單工序的冲压。例如可将冲裁和变形，冲裁和冲孔，裁切和冲紋等合并一次进行。

茲将电子管生产中最常用的冲压工序分述于下：

(一) 冲裁：

冲裁就是将材料沿封闭的周边冲下，所冲下的部分是我们所需要的；它和打孔不同，打孔所冲下的部分却是废料。冲裁是最常用的一种冲压工序。

冲裁和打孔都是用冲模来完成的。最简单的冲模如图2-1所示。它主要由阳模1和阴模2组成。阴模2借螺钉固定在下模板3上，有时阳模1和模柄4分别制造，此时模柄4将其细的一端铆在上模板5中，阳模1装在夹板6内并用螺钉7固定在一起。在冲裁的过程中，材料发生复杂的变形，这种变形可以分为三个阶段，其过程大致如图2-2所示。开始时阳模同材料接触，并将材料稍压入阴模，此时金属材料处于弹性变形阶段。当阳模继续下降时，材料就逐渐过渡到塑性变形阶段，此时材料产生挤压、弯曲及拉伸。最后在这一部分上塑性变形加速，沿阳模的刃锋边形成向材料内部发展的裂缝，终于因为阳模的继续下降而使材料分离。

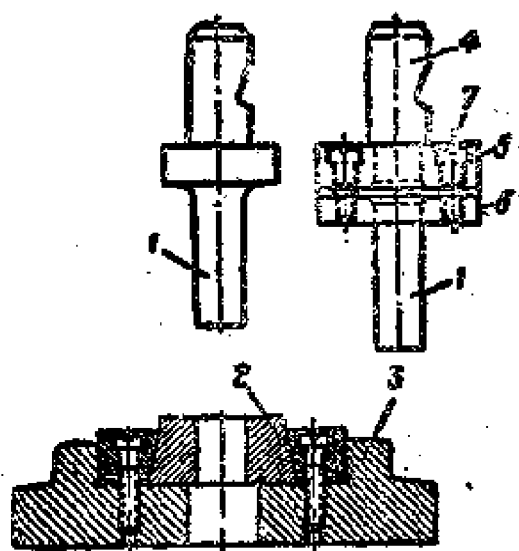


图2-1 冲裁模。

在电子管生产上，由于要求冲制零件的精确度高，因此冲裁模大多用有导柱的冲裁模，这种冲裁模如图2-3所示。由于上模能沿着固定在下模上的导柱滑动，因此保证了阳模和阴模有可靠的方向。导柱模的优点很多，如：模子的寿命长，冲压准确度高，在冲床上安装方便迅速，经验欠缺之工人亦可装模。导柱模的导柱数目及排列方式有很多种，如图2-4所示。其中两个导柱的模子一般尺寸较小，而四个导柱的模子尺寸较大。

零件冲裁的质量和很多因素有关，为了使冲裁过程中破坏的裂缝能重合，以达到冲裁边缘的平整，这就要求阳模和阴模之间有一定的间隙。而这间隙不能太大，否则冲件将发生弯曲，向阴模的边呈圆形，剪断面发生斜削，并且切边将产生大的毛刺；但间隙亦不能太

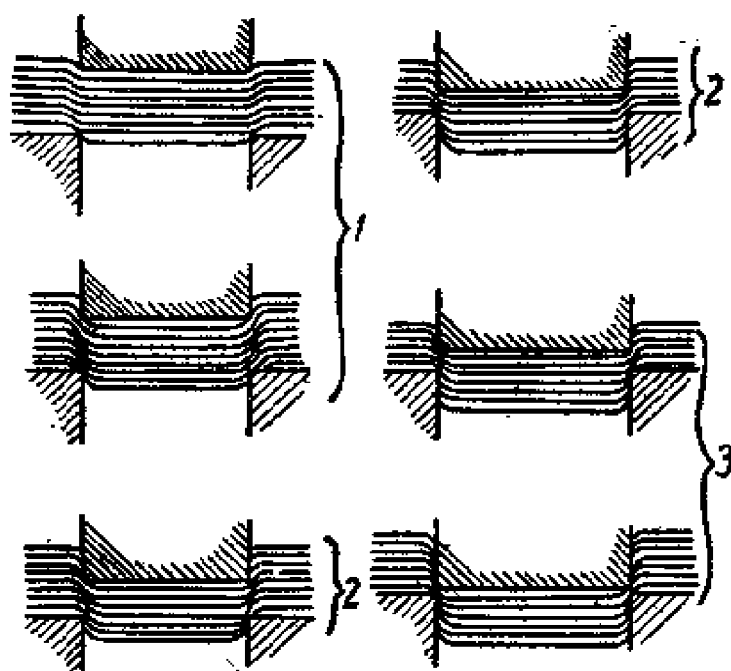


圖2-2 冲裁过程。

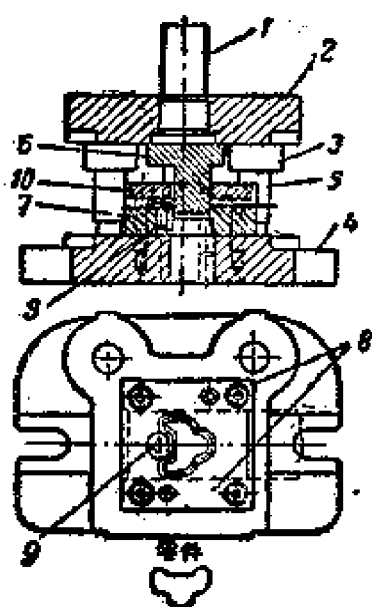


圖2-3 导柱冲裁模:

1—模柄；2—上模板；3—导柱套；
4—下模板；5—导柱；6—凸模；
7—凹模；8—导尺；9—挡料销；
10—卸料板。

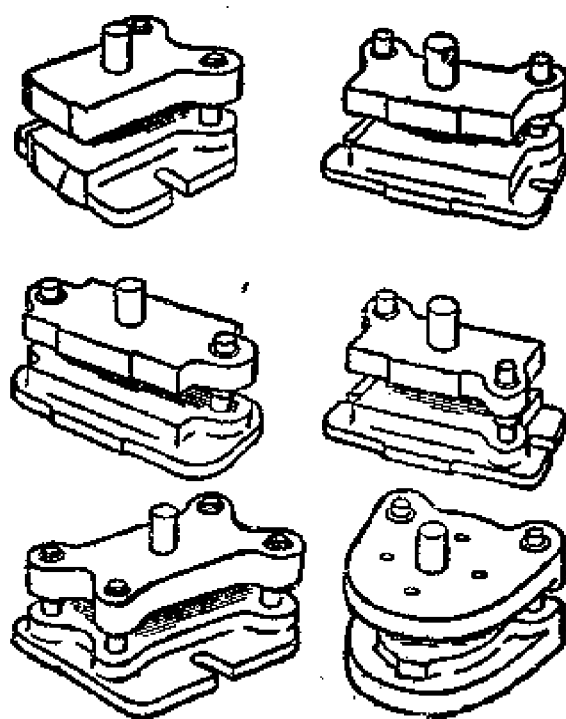


圖2-4 导柱模的形式。

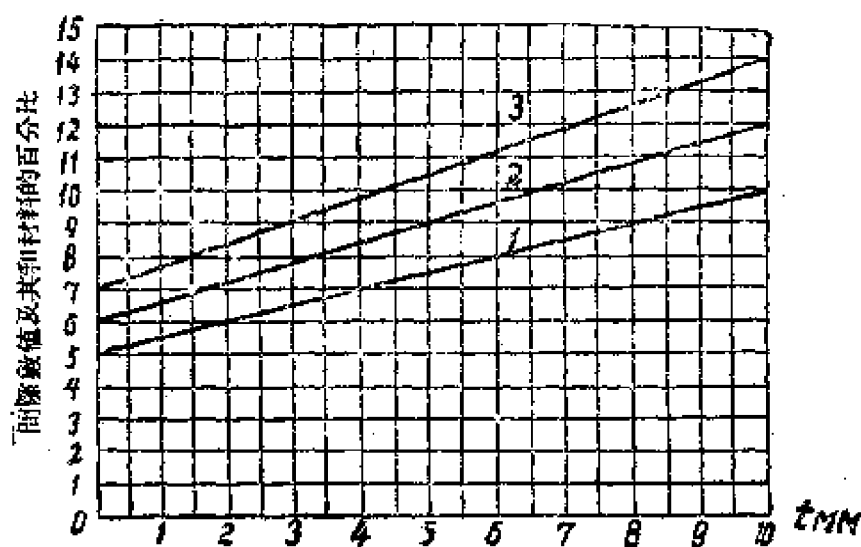


圖2-5 決定沖裁模間隙的曲線：

曲線 1 為軟料；曲線 2 為中等硬鋼；曲線 3 為硬鋼。

小，不然仍會因所發生的裂縫彼此不重合而產生毛刺，並且還使沖模的磨損加速。經驗指出，間隙與材料的性質及厚度有關，通常沖模的間隙約在板厚的 4~18% 之間，金屬愈硬和材料愈厚則間隙也應愈大，其關係示於圖2-5。由於沖裁零件的尺寸視陰模尺寸而定，因此取間隙的也就是減小陽模尺寸，而陰模尺寸則和零件一樣；打孔的尺寸是視陽模的尺寸而定，這樣間隙就應取在擴大陰模的尺寸，而使陽模尺寸和孔的尺寸一致。當然影響沖裁的質量亦和模子邊刃鋒利程度有關，邊刃的變鈍使沖裁零件的周邊出現毛刺，邊刃愈鈍，則毛刺愈大。一般如果陽模的邊刃鈍了，毛刺出現在沖下的零件上；而陰模的邊刃鈍了，則毛刺留在余下的材料上。此外，沖裁零件的質量還和工作時的狀況有關，例如陽模和陰模對得是否很準確，以及零件本身形狀等情況。一般說，若沖裁零件本身之尺寸與其厚度相比顯得太小時，沖裁的質量就很難保證。一般材料要求零件寬度須大於材料厚度的 1.5 倍，而圓孔的最小直徑不得小於材料的厚度。並且對於沖裁零件的形狀，也應盡量避免有銳角，而應該是直徑較大的均勻曲線所連接成的周邊。因為這樣，沖模可以耐久，沖裁後零件的質量也較高。

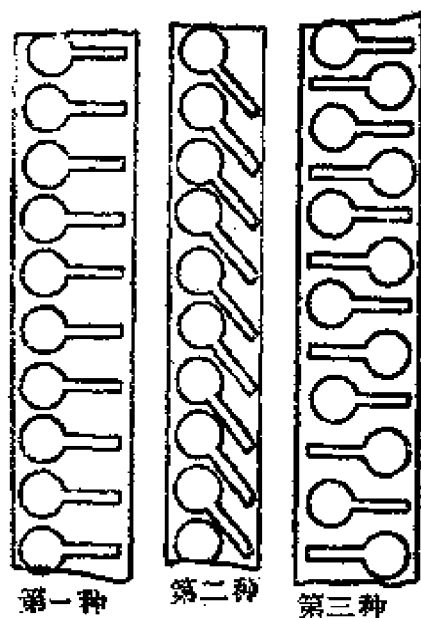


圖2-6 冲裁零件的排列。

最后必須指出，为了合理地使用材料，必須使冲件在材料上作最經濟的排列，使其廢料尽量地少。如圖 2-6 示出了三种排列的方式。显然，第三种排列是最經濟的方式，而第一种排列为浪費最大。这是因为在无廢料的冲裁中，零件的邊緣往往是皺折的，如果要求零件的邊緣整齐平滑，那么零件之間就应有搭边，

也就有了廢料的产生。搭边的尺寸一般由材料的厚度、机械性質以及所需冲裁的准确度来确定；搭边过大材料浪費，但搭边也不能过小，它在冲裁时应有一定的剛度和强度。不然板料在送料时会被拉断。一般对于不大的和形状簡單的零件，搭边的寬度約取 1.5 到 3 毫米。而无廢料的冲压，只能用于冲制无孔的零件或是以后还需进行整修的零件。

冲裁工序有时常和其他工序合并进行，組成复合工序。如电子管

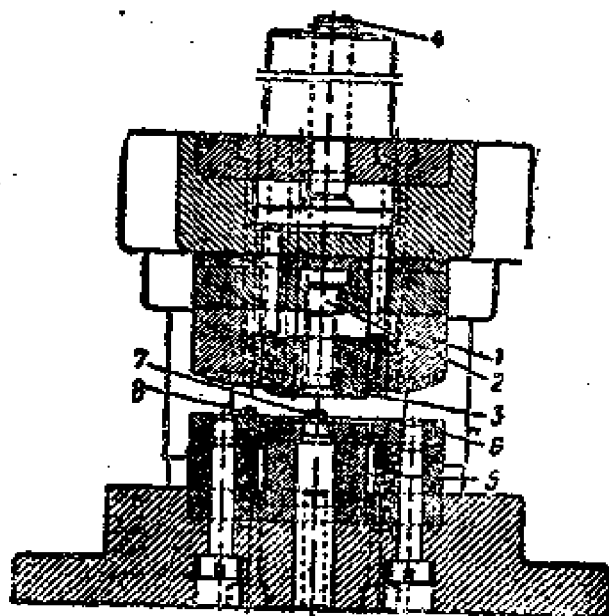


圖2-7 冲裁和打孔的复合模：

1—冲裁凹模；2—冲孔凸模；3—頂件器；4—頂杆；5—冲裁凸模；6—卸料板；7—擋料銷；8—銷子。

制造中云母絕緣片的冲制，常用复合模将冲裁和打孔一并进行，这是由于云母片的加工不能承受多次冲压的緣故。圖 2-7 所示即为有导柱的冲裁和打孔的复合模。并且用来冲制云母片的冲模，要求冲模內設計有通压缩空气的气道，以便在冲制时将云母片的碎屑用压缩空气吹出。否則由于粉末的存在，会加速模子的磨損，并且还会由于粉末的堵塞而引起阳模的折断等情况。

(二) 弯形:

所謂弯形就是将材料借模子弯成一定的形状。因此它亦是制造金

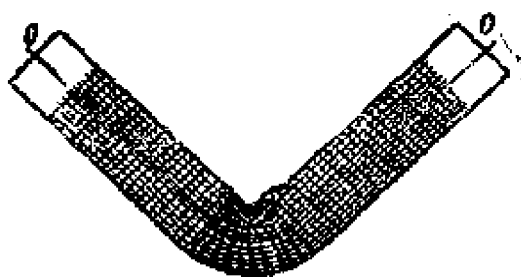


圖2-8 材料在彎曲中变形。

屬零件应用得很多的一种工序，并且它通常总在材料冲裁后进行。利用冲模弯形不仅生产率高，而且質量也得到保証。如 阳極、束 射屏、隔离罩等的成形，以及某些支杆的弯曲等皆屬弯形工序。

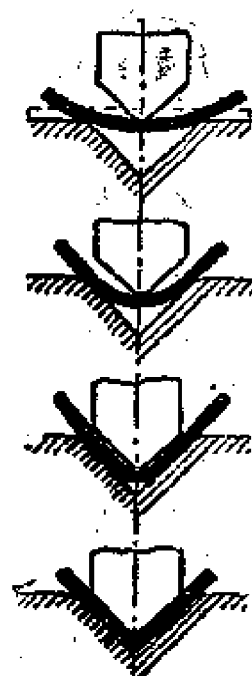


圖2-9 材料的弯形。

弯形的特点为材料部分繞某一弯曲綫而相对轉动，如圖 2-8 所示。材料在靠近內边处（即与阳模接触的一边），受到了压缩作用；而在外边（即与阴模接触的一边），則受到拉伸作用。在压缩与拉伸之間的中性層（0—0），其長度不發生变化，其位置由弯曲半徑所决定。一般当弯曲半徑比材料厚度稍大一些时，中性面 0—0 才接近截面的中心；而当弯曲半徑等于或小于材料的厚度时，則中性面移向內边处，这时外边材料由于过度的拉伸，就可能出现裂开。通常以弯曲半徑大于材料厚度約五倍时弯形最佳。

圖 2-9 所示是用模子彎形材料的各個階段。

常用的彎形模為有導柱及頂件器的雙角彎模。如圖 2-10 所示，它和沖裁模外形相類似，亦由陽模及陰模所組成。模子裝在有導柱的模匣內 (1, 12, 13, 14)，導柱的位置與模子的軸綫平行，材料放在陰模 3 上，由裝在凹模上的四個銷子 2 和 9 保持其位置。這時更準確的位置是用另外兩個固定在頂件板 4 上的銷子 6 來維持的，頂件板 4 同時又有壓件的作用，其壓力系經過頂杆 5 利用彈簧、橡皮緩沖器或壓縮空氣等方法來實現 (圖上未繪出)。卸件銷子 8 是為了避免零件附着在陽模 7 上，利用在軸頭 11 內滑動的頂杆 10 直接因沖床的運動使卸件銷 8 將零件推下來。

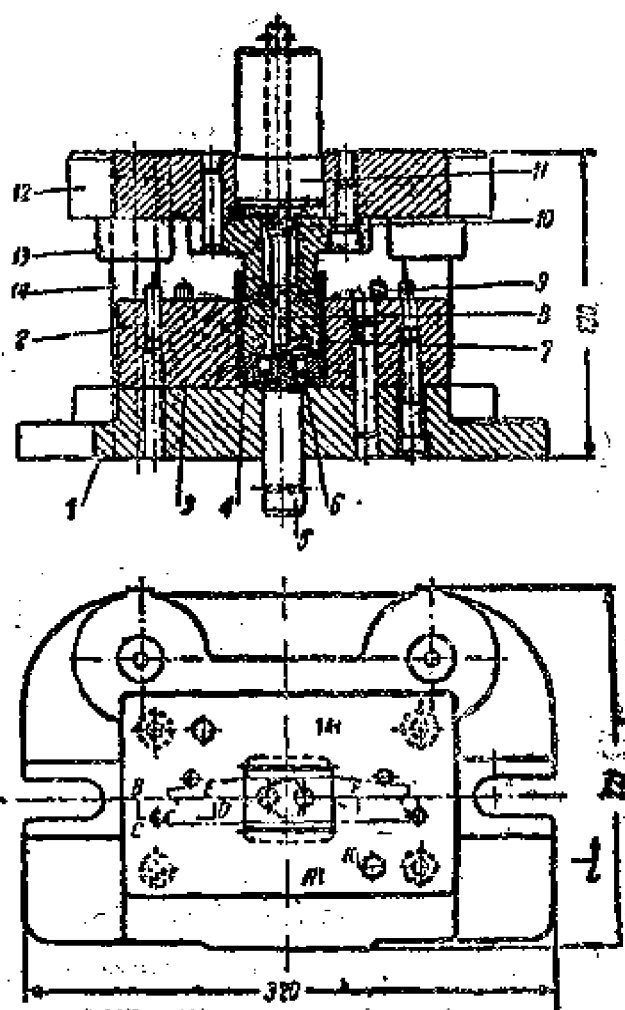


圖 2-10 有導柱及頂件器的彎形模。

彎形模和沖裁模不同的是彎形模的邊刃是鈍的，並且它的陰模與陽模之間的間隙亦較沖裁模為大，通常其間隙略比材料的厚度大一些。間隙過大，造成零件變形，形狀不準確，間隙過小常使材料變薄。如對於有色金屬（銅、黃銅、鉛），其間隙為材料厚度的 1.0 至 1.1 倍，對於鋼，為其材料厚度的 1.05 至 1.15 倍。而對於取間隙的方向，則要看情況而定，如果要求零件的外形準確，間隙應向陽模取得；如

果要求零件的內形準確，則間隙應向陰模取得。

在彎形後自沖模中取出的零件，往往由於材料彈性變形的存在，

使零件的形状多少与模子的形状有所区别，即产生所谓回跳作用。弯形时回跳的数值视弯件的形状（单角弯形大于双角弯形）、弯曲材料的机械性质（材料愈硬回跳愈大）、弯曲半径（弯曲半径愈大回跳愈大），

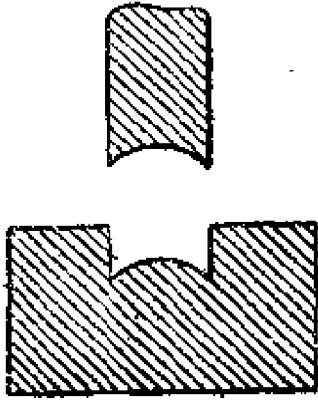


圖2-11 有回跳角的弯形模。

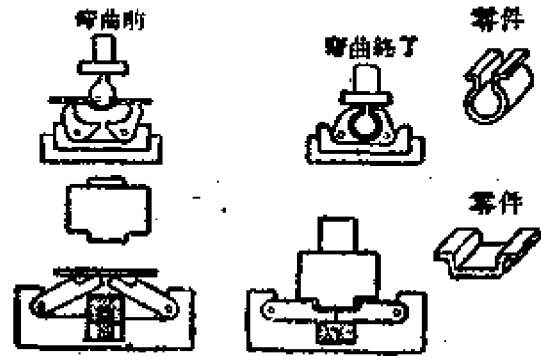


圖2-12 用摆动夹的弯形模。

以及材料的厚度（厚度愈小，回跳愈大）有关。因此为了得到正确尺寸的零件，常需在設計弯形模时将材料的回跳数值計算在內，如为了减少双角弯曲时的回跳，阳模往往作成凹进的，而阴模則作成微呈凸

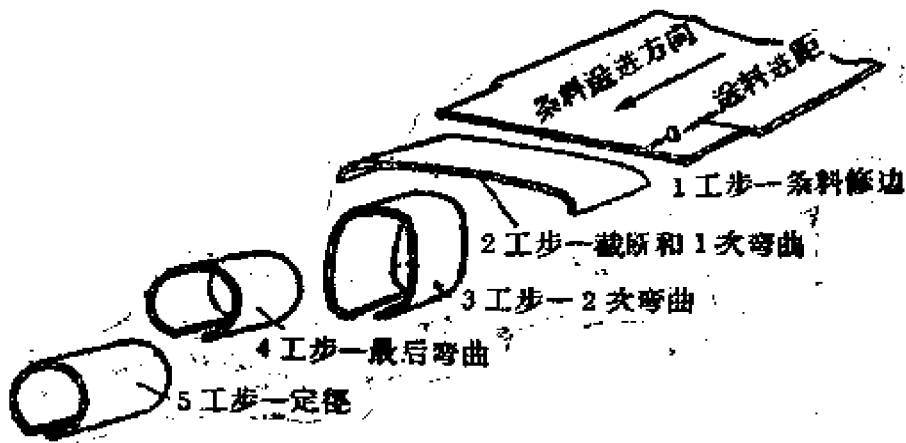


圖2-13 用連續模制造套管程序。

出的，如圖2-11所示。这样，自弯形模中取出后，由于双角回跳而使下面变平，而达到所需之形状。

有时要得到零件形状复杂的弯形，弯形常需进行两次以上，最后得到所需的形状，但对于形状复杂的弯形，如果使用有摆动夹、侧楔、滚动轴等弯曲模，有时弯形就可一次形成，如圖2-12所示，即为用摆

动夹的弯形模。

弯形工序有时亦常和其他工序合并进行，組成复合冲压。如在圖2-13上示出了用連續模进行冲裁和弯形的复合冲压来制造有縫套管的

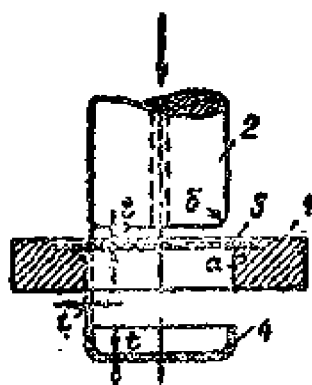


圖2-14 压延模的工作部分。

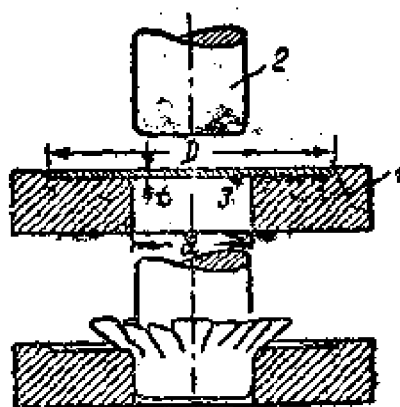


圖2-15 發生皺折的压延情形。

程序。

(三) 压延:

压延是将平的材料拉伸成为一端敞口的空心零件或将空心半成品作进一步的拉伸的工序。电子管中的有些零件，如管帽、管基、金屬管壳、銅的外阳極、电子束管阳極、无縫套管等就用压延进行加工的。

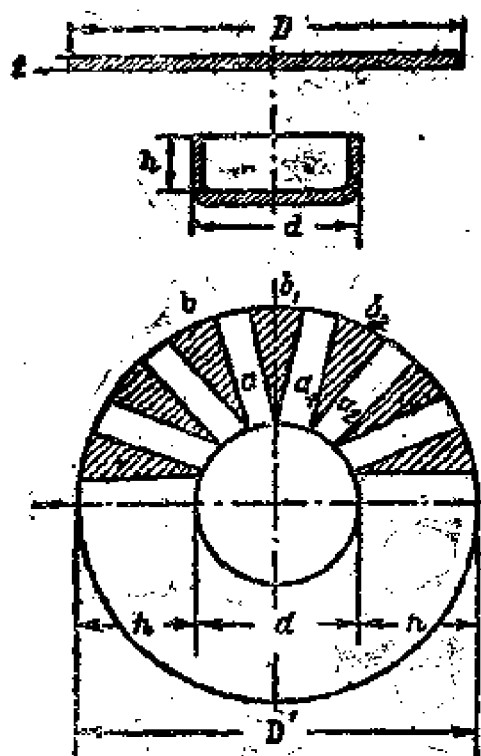


圖2-16 产生皺折的原因。

压延使用压延模。压延模的工作部分如圖2-14所示，它由圓柱形的阳模2和阴模1所組成，其阳模具有圓弧的圓角 δ ，而阴模具有圓弧形的圓角 α 。当阳模2向下运动时，即將平面的材料3拉伸成形；但在压延的过程中，由于阴模的直径 d 小于材料的直径 D ，故在压延过程中材料的周边产生皺折，如圖2-15所示。产生皺折的原因可用圖2-16來說明，这是由于

压延成筒形时，圖中三角形 b , b_1 , b_2 ……实为多余材料，它們在压延过程中受到压挤而趋向圓周各方向，故使圓周各处产生皺折。为了避免皺折的产生，就采用了有压边圈(防皺圈)的压延模，如圖 2-17 所示。即除阳模 2 和阴模 1 外，还另用压边圈 3，压边圈将材料的边緣压在阴模上，使其不能产生皺折，材料仅能在阳模的压力下沿徑向移动。压边圈上的压力一般約为压延所用力的 10%，如果压边力太小时就仍会产生皺折；如果太大时，就会将零件的底部或凸緣撕破。此外，压延时皺折的产生还与阳模和阴模間的間隙有关。如果間隙太大，而压边力不够，則在压延时将会产生皺折，或使零件的边緣会变厚；如果間隙太小时，就会使零件撕破。一般材料，如鋁、銅、鋼等压延模的間隙为材料厚度的 1.15~1.5 倍。至于取間隙的方向，除最后一次外，在其他各次压延中間隙可取于任一方向，仅在最后一次压延时，如果須保証零件外部尺寸准确，則間隙取于阳模；如果要求零件内部尺寸准确，則間隙取于阴模。

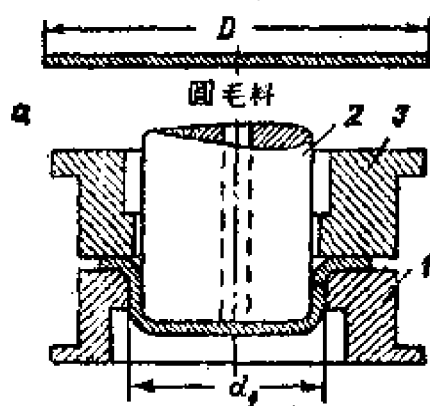


圖2-17 有压边圈的压延模。

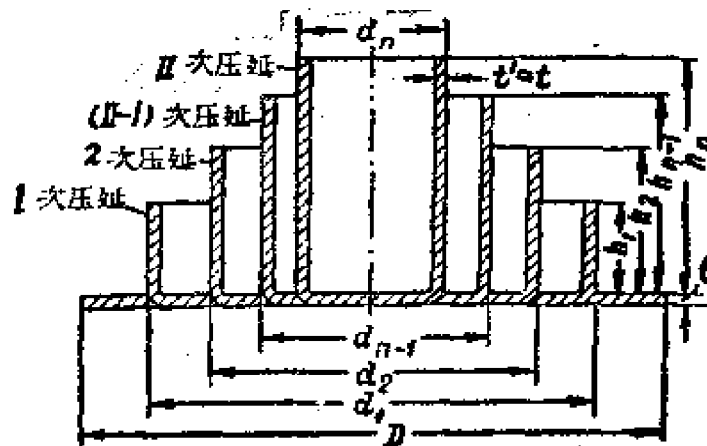


圖2-18 多次压延。

材料在进行压延时，如果形状改变得很大时，則压延須經過几次压延后，才能压成最后的形状，如圖 2-18 所示。压延的次数决定于平面材料与制成零件直徑的比例、压延零件的形状、材料的厚度及机械性質，阳模与阴模的圓角半徑、阳模与阴模的間隙压延速度以及所用潤滑剂性能等。一般压延次数均根据由試驗得到的压延系数来决定。所謂压延系数即是压延后尺寸和压延前尺寸之比，对于圖 2-18 筒形压

延时的各次压延系数为:

$$m_1 = \frac{d_1}{D}; \quad m_2 = \frac{d_2}{d_1}; \quad m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}。$$

压延系数的大小决定于压延次数的多寡, 非常明显, 压延系数愈小, 愈能充分利用材料的塑性, 并减少压延次数。

通常在压延时, 为了使材料恢复塑性, 要进行中间退火, 退火在专用的炉内进行, 退火温度视零件材料而定。例如对于钢为 $650 \sim 850^{\circ}\text{C}$, 铝为 $250 \sim 400^{\circ}\text{C}$, 铜为 400°C , 而黄铜零件在 $550 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 下

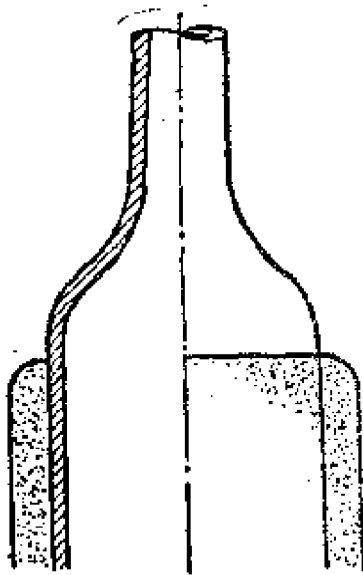


圖2-19 縮口。

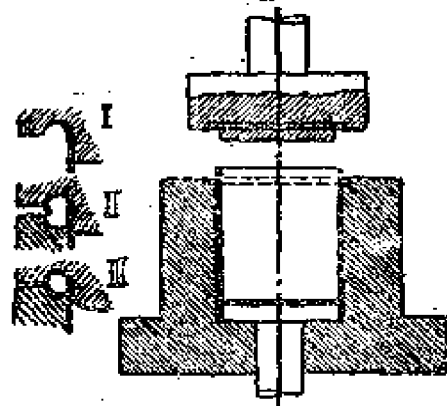


圖2-20 卷边。

进行退火等。

(四) 其他冲压工序:

除上述三种常用的冲压工序外, 在电子管生产上有时还用到其他工序, 如缩口、压印、冲纹、卷边、校准等, 由于这些用得不多, 仅简要叙述如下:

(1) 缩口 缩口是将已经压延好的空心零件的敞口部分进行缩小的方法, 如图 2-19 所示。电子管的某些阴极套管须将其上部进行缩口。缩口时, 将套管插在与成品形状相同的阴模内, 并为了防止皱折的产生, 须在套管内插入校正棒。视套管缩小成最后口径的程度, 缩口工作可由一次或数次完成之。

(2) 卷边 卷边是将零件边缘弯曲成为圆环的一种方法。它是用阳模压入材料，使材料边缘沿阴模的半径均匀地弯成圆环，即如图2-20，I→II→III所示。卷边主要用于高压整流管的阳极边缘，以避免阳极尖端引起强大的电场强度。

(3) 冲纹 冲纹是将零件平面上压成深纹。在电子管制造中，冲纹主要用来使零件增加辐射面积及机械强度用的，如阳极、隔离罩等常进行此种加工。

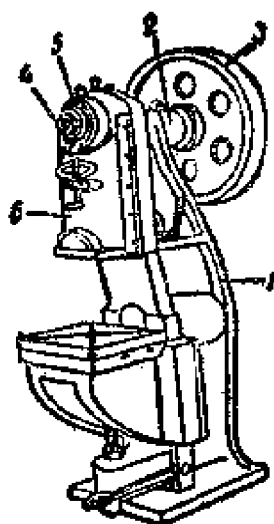


图2-21 偏心冲床。

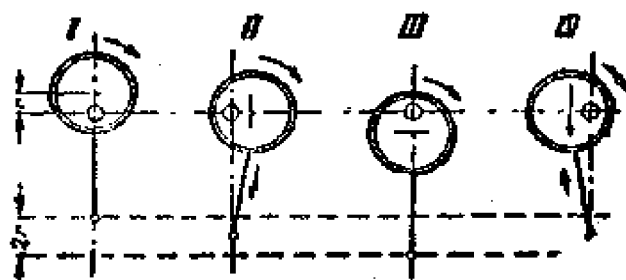


图2-22 偏心冲床工作原理。

(4) 压印 压印是在零件上压出符号或数字的工序。金属电子管管壳上的符号常用这种方法来进行。

以上所述的各种冲压加工均在相应的各式冲床上进行。冲床的种类很多，但其基本的结构是差不多的。由于电子管的零件均较小，故通常采用冲床压力不大的小型和中型冲床；只有在很少工序中（例如铜阳极的压延），才采用压力达数十吨的大型冲床。按冲床的工作原理而言，电子管生产上以偏心冲床和曲轴冲床用得最多。如图2-21列出了偏心冲床的外形，冲床包括床身1和工作轴2，在其后端装有飞轮3，在其前面有套着连杆5的偏心杆4，连杆同冲头6铰接，于是能使冲头在沿床身的导轨上作上下运动。阳模固定在冲头上，阴模固定在冲床台上。偏心冲床的工作原理可由图2-22说明。当工作轴转动时，轴端的偏心杆使连杆产生左右摆动，因而使连杆的下端产生上下运动；其上下运动的距离，即相当于冲头的行程。冲头的行程为偏心半径的两倍。曲轴冲床和偏心冲床不同的，就在于

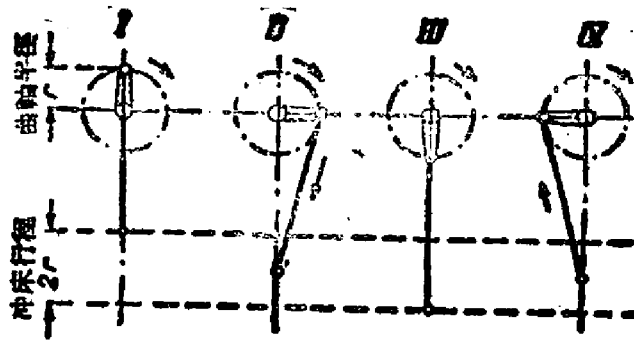


圖2-23 曲軸沖床工作原理。

它以曲軸半徑代替了偏心半徑，其工作原理如圖2-23所示。由此可見，曲軸沖床的沖頭行程要較偏心沖床的沖頭行程為大。故它適宜了沖制較大的零件。此外，有時為了在一台機床上繼續進行多種工序，來提高那些小型零件如套管、管腳等的生產率，目前在電子管生產還採用了多連杆自動沖床以及其他專門的自動機。這種設備可連續將絲料或帶料作切割、沖裁、彎折、成形等工序，常用的如萬能自動彎形機，其

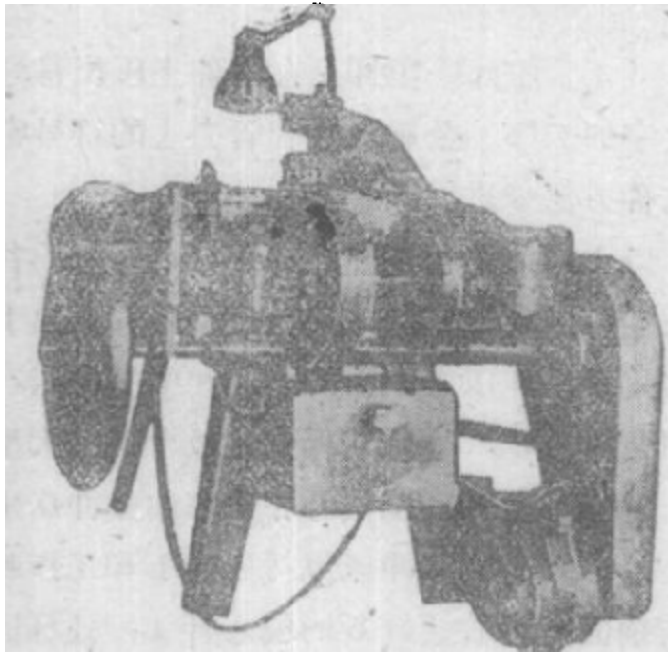


圖2-24 萬能自動彎形機。

外形如圖2-24所示。

萬能自動彎形機的特點是它具有自動送料裝置和自動停料機構，而零件彎形和成形則依靠前、後、左、右四個滑塊來進行，零件沖壓的全部過程是在一個往復的週期內完成，所以它的生產率要比沖床高得多。

在圖2-25上示出了小型管陽極在這種萬能自動成形機上的加工過程。

§ 2-4 金屬絲料的拉制

在電子管製造中，常需製造很多絲狀或杆狀的金屬零件，例如熱絲、陰極絲、柵極絲、彈簧、引出綫等。所需這些金屬絲料，均由鍛

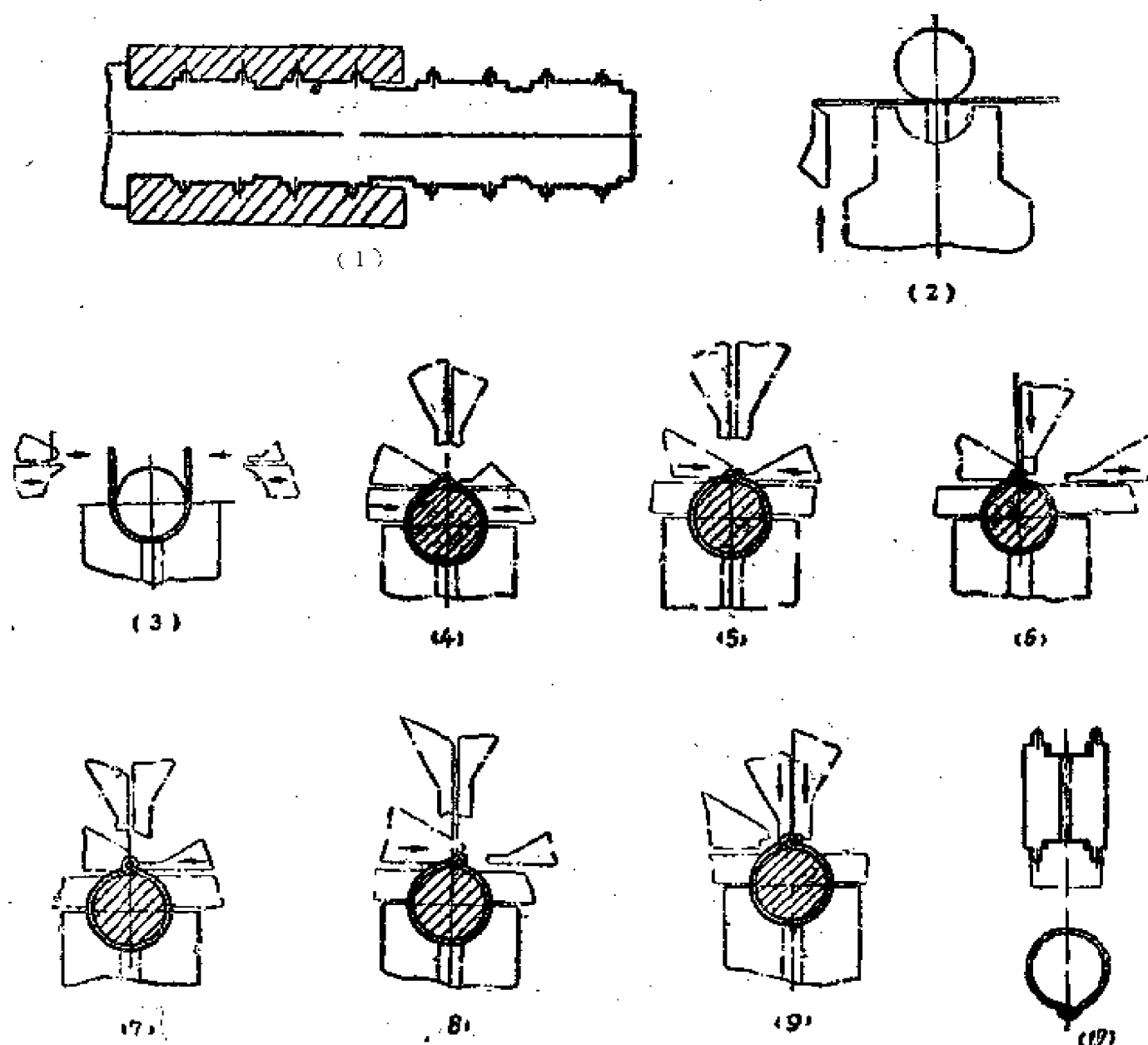


圖2-25 在万能自动弯形机上阳极的加工过程:

1—冲裁; 2—剪裁; 3—用前边冲头成形; 4—用左边和右边冲头成形; 5—用左边和右边冲头成形接縫; 6—用后边冲头成形接縫; 7—用右边冲头成形接縫; 8—用左边冲头弯折接縫; 9—用后边冲头接縫成形; 10—成形后零件。

拉加工所得。鎢絲、鉬絲以及杜美絲是电子管工厂中最常用的絲料，这里先将鎢絲和鉬絲的鍛拉加工进行叙述，至于杜美絲的制造以后将在第十一章引出綫的制造中講述。

錫粉經過錫酸的提純、三氧化錫的制取和還原、粉末的压制以及高溫的燒結后，已經成為粗直徑的錫棒，接着就須進行機械的鍛拉加工。首先將這樣的錫棒，放在專用的旋錘機中錘打。旋錘機的結構原理示于圖2-26，它具有·一固定的鑄鐵機架，在機架內軸承套中的滾柱系沿圓周均勻地排列。在滾柱中間有一旋轉軸，軸上有一供錫條錘打時的孔道，其中放置有兩個自由活動的沖擊錘。當此軸轉動時，由於離心力的作用，沖擊錘便向外拋，與凸起的滾柱相撞而又被彈回中心，

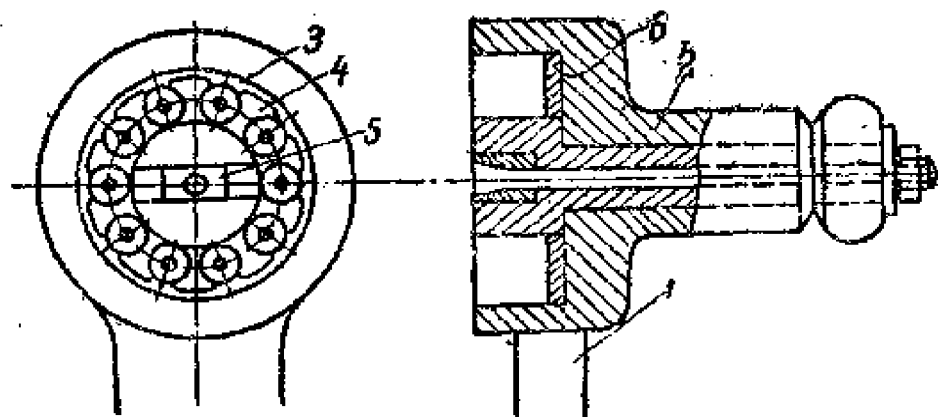


圖2-26 旋錘機。

1—機架；2—軸；3—滾柱；4—軸承套；5—沖擊錘；6—固定軸承套的鋼環。

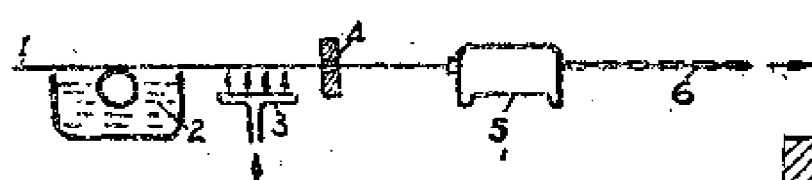


圖2-27 鏈式拉絲機工作原理。

於是將錫條進行錘打。因為錫棒很脆，在室溫下無法承受塑性變形，故錘打應在熱態下進行。為此需要把錫棒放在通有氫氣的管狀電爐中，加熱到 $1400\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 左右。在旋錘

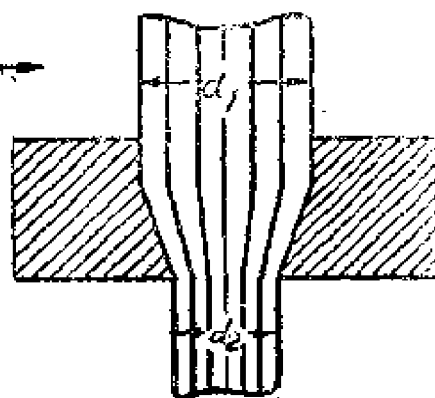


圖2-28 金屬絲通過拉絲模的情形。

時，當錫棒的一端錘細后，就換一端進行錘打。由於錘打是高速進行的，約每分鐘錘打 $10000\sim 12000$ 次，所以錫棒的直徑很快地變細，隨著錫棒直徑的變細，錘打時加熱溫度也就慢慢降到約 1000°C 左右。在這

样的旋錘机上通常把直径14毫米的錐棒錘打成直径为1.75~2.25毫米的細錐棒，錐棒錘細后进行拉絲。

拉絲首先在直綫运动的鏈式拉絲机上进行，因为直径接近2毫米的細錐棒，其机械性能还很硬，不能把它卷起来直接在旋轉式拉絲机上进行拉絲。鏈式拉絲机上拉絲的原理如圖2-27所示，錐棒經過盛用石墨乳的容器2和煤气加热爐3，在由鏈条6拖动的小車5的牽引力作用下通过拉絲模4。由于拉絲模的截面尺寸小于原始材料，这样就使錐棒的横截面积縮小。金屬絲通过模具的情况可以很好地从圖2-28上看出，由于錐棒的总体积保持不变，拉絲后棒就伸長了。經過鏈式拉絲机粗拉后，能够把錐棒拉成直径达1毫米的錐絲。此后拉絲就可在旋轉式拉絲机上进行，其工作原理如圖2-29所示。錐絲由綫輪1，一直繞到綫輪8，拖动綫輪8由电动机带动，它一边旋轉一边把經過塗料槽3，加热爐4和拉絲模5的錐絲繞到自己的軸上。經過这样多次的拉絲，每一拉絲阶段的断面收縮率約达12~13%，这样最后可以拉得直径为0.01毫米以下的細錐絲。

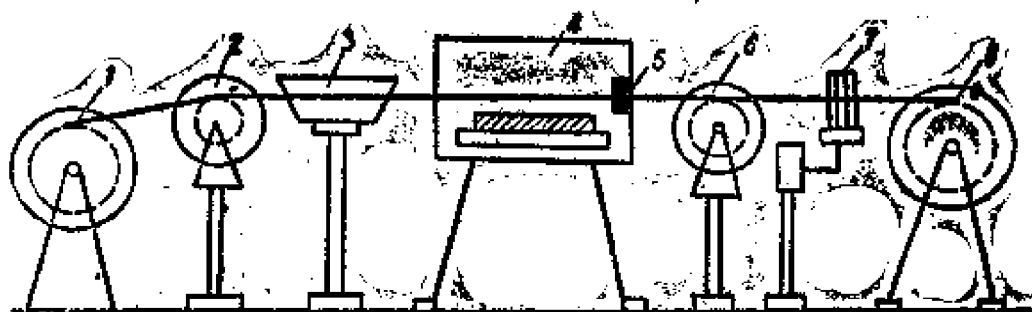


圖2-29 旋轉式拉絲机示意圖:

1—放模綫輪；2—導輪；3—塗料裝置；4—加热爐；5—模具；6—導輪；
7—排綫机构；8—拖动綫輪。

拉絲的断面收縮率可以下式表示:

$$h = 100 \frac{F_1 - F_2}{F_1} = 100 \frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2} = 100 \frac{P_1 - P_2}{P_1} \circ$$

这里 F_1 , D_1 和 P_1 为拉絲前的截面积、直径和在每200毫米長的絲料重量，而 F_2 , D_2 和 P_2 为拉絲后的截面积，直径和在每200毫米長的絲料重量。

無論在何階段拉絲時，鎢絲表面上均須覆蓋一層石墨乳。石墨乳的作用有二：一作潤滑劑用，以減少外摩擦，另外還起着防止鎢絲在煤氣爐中加熱時表面氧化的作用。而煤氣爐的功用是在於加熱鎢棒，以減少拉絲時所產生的應力，並改善其結晶組織，增進絲的延性和韌性。不然，冷的鎢絲很脆容易拉斷。一般拉絲時加熱溫度約從 800°C 變到 500°C ；絲愈粗，加熱溫度也愈高。並且在拉絲時，所用拉絲模往往也須同時加熱，例如須將金剛石模加熱到 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 左右。加熱的目的是為了避免被拉絲與冷的模子相接觸時冷卻，否則會發生斷絲的危險。

鉬絲的拉制過程和上述相彷彿，但由於鉬絲的機械性能較之鎢好，它不象鎢那樣脆弱，因此燒結後的鉬棒經錘打後，就可以直接將直徑約 2 毫米許的鉬絲圈繞在綫輪上，而送至旋轉式拉絲機上進行拉絲。同時也由於鉬絲的拉伸強度較好，所以在它被拉至 0.65 毫米以下時，為了提高生產率，可以在多次拉絲機上進行拉絲，所謂多次拉絲，就是在一台設備上裝着許多個不同直徑的模具，令鉬絲連續經過幾個模具後，就達到最終的直徑尺寸。

此外，如鎢鉬合金絲，含鈦鎢絲等也是在熱態下拉制而得的。只有那些塑性較好的金屬絲料。如銅絲、鎳絲以及鎳合金絲等才在冷態下拉制，雖然由於材料性質不同，拉制的過程大致是相彷彿的。

§2-5 切削加工

一切有屑的機械加工，諸如車、銑、刨、鑽、磨等皆屬於金屬切削加工。在電子管零件製造上，此類加工用得不多，僅在某些器件中，如大型振蕩管和超高频電子管中的部分零件須用切削方法來進行加工，由於用得不多，故僅作簡述於下：

在大功率振蕩管的外陽極製造時，須用車削加工，如圖 2-30 所示，先將經壓延成毛坯的圓筒車成一定外徑和長度，然後再將其錐形處車薄，以使以後易于壓薄。而風冷管的散熱片加工則亦需用到車和銑。在對於某些振蕩管汞汽管中的石墨陽極或柵極，則必須用刨、車和

鑽的方法来进行加工。此外，如有些振荡管的硬引出綫，以及一些固結用的螺絲，亦需用車床进行加工。而某些管基，管脚的制造，則还需用到銑的方法。

至于磨削加工在零件制造上用得更少，仅用于与玻璃封接的鎢杆或鉬杆，有时为了获得光潔无縫的表面，而在无心磨床上进行研磨。这种方法是将金屬杆自由地裝在二个砂輪之間，如圖2-31所示，其中小的一只砂輪不起磨削的作用，仅使零件發生旋轉以及使零件作軸向的行进，而大的砂輪則起磨削的任务。两砂輪的旋轉方向相同，但

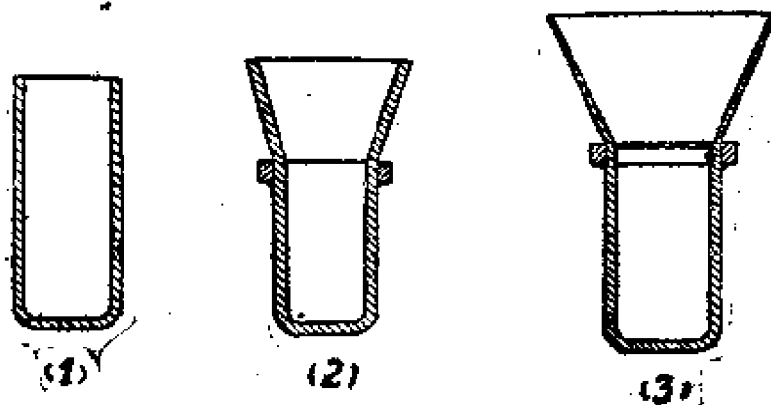


圖2-30 銅阳極車削加工。

磨削輪的速度要比控制輪大几十倍。在无心磨削时，鎢杆中心必須高于砂輪中心，否則会使鎢杆直徑不圓。

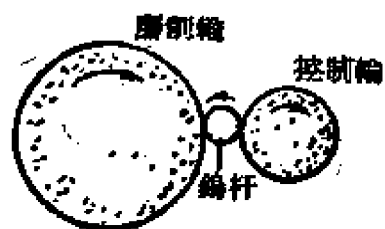


圖2-31 无心磨削。

第三章 电子管零件的淨化

§ 3-1 电子管零件淨化的目的

在金屬零件制造的过程中，往往会沾上油污等不潔之物，即使有些零件在加工时不使用潤滑剂，但髒物仍免不了存在；这是因为各种零件在加工及儲存的过程中，尙会沾上一些髒物的，它們的来源甚多：諸如操作者的手汗、儲存过程中的灰塵或杂物、空气中残余的煤气、設備上的油污、以及零件本身的氧化等。这些髒物如存在于电子管内部，往往会給电子管帶來严重的危害性。因为它们的存在将引起下列不良的后果：

（一）在零件上所沾及的油脂或汗水，在电子管排气过程中，由于电極加热，而使它們分解，放出大量气体。或在以后运用过程中逐渐分解和蒸發，这样就促使管内真空度变坏，改变了电子管的特性，甚至成为廢品。

（二）电極上如有氧化物或氯化物，則以后受电子冲击后会使它們分解放出氧气、氯气等。而这些气体将使激活阴極中毒，以致阴極的电子發射能力减弱或丧失。

（三）零件上的油污和灰塵在零件受热后燒尽而变为灰，而灰会蒸發并沉积到絕緣零件上，于是造成極間的漏电，破坏了电子管的正常运用。

为此，金屬零件必須进行清潔处理。事实上在电子管生产上零件在加工的过程中常經過多次的淨化工序；并且根据零件材料的性質、工作时的情况、髒物的性質及程度等，在电子管生产中采用了各种不同的淨化方法来达到零件淨化的目的。

§ 3-2 材料及零件淨化的方法

通常在电子管制造上所采用的淨化方法，可有以下几类：

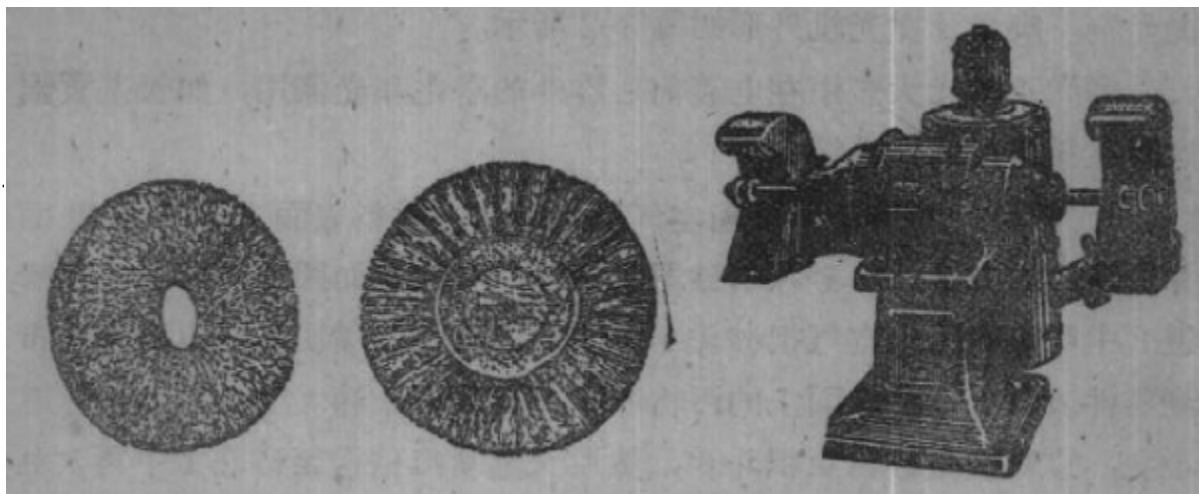


圖3-1 刷光輪。

圖3-2 磨光及拋光機。

(一) 機械淨化法

借機械方法除去金屬表面的髒物稱為機械淨化法。採用此法時，往往金屬的一層表面與髒物一同被除去。在電子管生產上大致用到下列幾種方法：

1. 刷光 刷光是用金屬細絲制成的刷光輪（圖3-1）將金屬表面的污物除去或使其表面光潔的方法。刷光輪裝在刷光機上。工作時刷光輪以高速旋轉，並將欲刷光之零件靠在刷光輪上，於是得以將髒物刷去。刷光常用於電鍍前材料的淨化，碳化零件碳化後的去碳灰等。

2. 磨光 磨光是以高速旋轉的砂輪或金剛砂輪來砥磨零件表面的方法，目的在使零件的表面光潔平整。砂輪材料普通有碳化硅（褐色）及氧化鋁（白色）兩種。在砥磨時，為使表面得到光滑的表面，往往還在砂輪上敷以磨料。

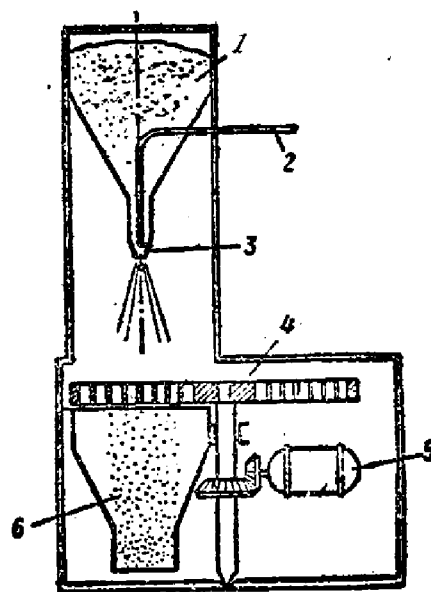


圖3-3 噴砂器原理圖。

3. 拋光 拋光是借高速旋轉的布質或氈質拋光輪擦光零件表面的方法，目的是使其光澤無痕。拋光常在磨光後進行，以除去零件表面由於磨光所留下的細痕。拋光時常在拋光輪上敷以適合零件材料的

拋光劑。磨光及拋光機外形如圖 3-2 所示。

磨光及拋光大多用在電鍍前後零件的淨化和光澤用，如管基黃銅邊圈在鍍鉻後的拋光等。

4. 噴砂 噴砂是用壓縮空氣把細砂打在材料表面上以沖洗表面除去髒物的方法。噴砂在噴砂器中進行，其構造如圖 3-3 所示。由管道 2 中吹出的壓縮空氣把砂斗 1 中的砂經吹嘴 3 噴出，並以高速沖擊到零件表面上，將表面上的污物沖掉。零件置於轉台 4 上，台上有小孔，以便收集砂粒至積斗 6，然後又重新把砂送至砂斗 1 中再次利用。但必須指出，砂粒使用多次後須重新經過處理，使清潔後再用。同時一種砂最好不要用來加工幾種材料，因為砂粒在加工後常帶有被噴材料的屑末，否則會使零件弄髒。

噴砂所用壓縮空氣的壓力約在 0.3~5 大氣壓之間，視材料性質及厚度而定。所用之砂粒一般為金剛石砂，鋼砂和石英砂。零件經噴砂後須把留在表面的砂粒洗去，為此在零件噴砂鉅時，就不能用石英砂而是用鋼砂，這是由於石英砂屑需用氫氟酸溶去，而鉅會與氫氟酸起作用，用鋼砂後鋼屑只要用鹽酸就可溶去，故極方便。

噴砂除能淨化零件表面外，又因為經噴砂後零件表面會變得粗糙，以致使有效表面積增大，故在電子管製造上，某些零件常借噴砂來增加其散熱能力。

因此噴砂法常用來加工金屬水銀整流器的內壁，某些電子管的陽極以及應用於與玻璃封接的鎢鉅引出綫等。

表 3-1 上示出了噴砂所用砂粒大小和空氣壓力。

表 3-1 噴砂所用砂粒大小和空氣壓力

零件的性質	壓縮空氣壓力 (公斤/厘米 ²)	砂粒大小 (毫米)
大型零件，其厚度大於 3 毫米	2.0~4.5	2.0~3.0
片狀零件，其厚度小於 3 毫米	1.0~2.0	1.0~2.0
片狀零件，其厚度小於 1 毫米	0.3~0.5	0.05~0.1
小零件	0.5~1	0.5~1

(二) 化学淨化法

化学淨化法主要用来除去零件表面的油脂、氧化物及其他髒物。常用的化学淨化法計有：碱液去油、电解去油、有机溶剂去油、酸液浸蝕、电解浸蝕等。茲分別叙述于下：

(1) 碱液去油 中等濃度的苛性鈉或苛性鉀溶液可用来除去零件表面的油脂。我們知道一般油脂可分为两大类：一类是可皂化的油脂；例如植物性及动物性油类。另一类是不可皂化的油脂，属于这类的是各种矿物油类。当沾及可皂化油脂的零件浸入碱液时，由于碱液与油脂的化学作用，促使油脂轉变为脂肪酸的盐类（肥皂），而它能溶于液体中，結果零件得以淨化。若以苛性鈉溶液为例，其反应有如下式：



油脂

苛性鈉

甘油

鈉肥皂

当沾及不可皂化油脂的零件在碱液中清洗时，虽然此时不能借皂化作用去除油脂，但油脂仍可借乳化作用而告去除。这是因为零件表面用碱液来浸潤要較矿物油脂为易；所以当零件浸入碱液时它的表面油膜就被破坏而凝聚成单独的小滴；后者与零件表面脱离，并乳化于碱液中。因此它仍有去油之能力，但去油效果当然不及皂化作用。

在碱液去油时，通常采用苛性鈉或苛性鉀溶液，有时也可采用碳酸鈉或碳酸鉀溶液。至于溶液的濃度則不能过高，一般在5~20%左右，否則金屬零件的表面易生成暗色的氧化膜，并且在濃度过大时乳化液将不稳定，同样使生成的肥皂不易溶解而凝聚在零件表面上，有碍于去油速率。此外，一般在碱液去油时需进行加热。加溫的結果能加速化学作用，增高所生成肥皂的溶解度，并且能促使溶液的循环，于是大大增加了去油效果。所加的温度一般約为70~80℃为宜。

金屬零件自碱液中取出后，須立即在沸水中徹底清洗，使碱液全部洗去，然后再在冷水中清洗。至于檢查去油是否徹底，則可視金屬零件自冷水中清洗后其表面是否全为水所潤湿而定。例如若有水斑或水滴，則表示表面尚有油污，須再加处理。應該特別指出的是已經碱

液去油的零件，不能在空气中露置过久，以免表面氧化。

(2) 电解去油 零件净化有时仅用碱液去油脂尚不能得到良好的效果，因此除了单用碱液去油外，还可在清洗的零件与容器间加以适当的电压（如果容器为非金属则另在溶液中加入一金属电极），来加速净化作用，此时可得到满意的清洗效果。所施电压可为直流电亦可为交流电；如为直流电则清洗之零件常接至阴极，而清洗容器接至阳极。这样，在电解时于阴极——零件的表面产生氢气，借氢之逸出和冲击零件表面，有助于油脂脱离零件表面，因而加速了去油过程。如所施电压为交流电时，则当零件为负半周时，其作用与前述一样，而当零件为正半周时，则此时除能去油外尚可使金属表面的氧化物溶解；如以铝为例，则可由下列反应式说明：

1. $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$;
2. $4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$;
3. $\text{MoO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MoO}_3$;
4. $\text{MoO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{MoO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ 。

所生成之钼酸钠能溶于水，故能使铝去掉氧化物。当然在去油脂的速率上而言，用交流电不及直流电快。

(3) 有机溶剂去油 这是一种最常用的去油方法。如前所述，由于矿物性油脂与碱溶液仅能生乳化作用，因此去油效果不好；而有机溶剂则能把矿物性油脂很好地溶去，所以当零件含有矿物性油脂时就应该用有机溶剂来去油。如果零件上动植物性油脂和矿物性油脂都有，则也需用有机溶剂去油，然后再用碱液或电解去油法，这样才能彻底地将油脂除去。

用作去油的有机溶剂有：汽油、苯、丙酮、四氯化碳、三氯化乙烯等，它们有的是碳氢化合物或是具有氯化物的有机溶剂。因为它们都是去油脂的很好溶剂，因此工厂中都常采用它们，特别是具有氯化物的有机溶剂还具有不燃的性质，因此使用得更广。

兹把常用的几种有机溶剂去油效率及物理性质列于表 3-2 中。

三氯化乙烯和四氯化碳都是最广泛使用的有机溶剂，特别是前者

用得更多，因为后者一方面它的去油效果不及前者，并且它只能用于冷的情况，又它含有微量杂质，如硫化碳等，而这些杂质对管子特别对阴极有害，故用得较少。

表3-2 几种有机溶剂的去油效率及物理性质

名 称	沸 点 (°C)	密 度 (在150°C)	蒸 汽 压 (毫米汞柱) (在20°C)	去油效率 (%)
汽油	--	0.69~0.74		45
丙酮(C_3H_6O)	56.1	0.79		
四氯化碳(CCl_4)	76.4	1.605	89.5	75
三氯化乙烯(C_2HCl_3)	87	1.471	56	96

三氯化乙烯为挥发性液态溶剂，沸点为87°C，比重为1.47，其蒸汽压比空气大13倍，因此它的蒸汽是聚在底下的。三氯化乙烯不会燃烧，且与空气不会形成爆炸性混合物，它除能很好地溶解矿物性油类外，尚能溶解橡胶、石蜡、树脂等物。三氯化乙烯的缺点是容易分解成HCl、Cl和CO，因此使用一时期后会分解而呈酸性，此时去油能力就减弱了。所以必需经常检查三氯化乙烯有否分解，由于未分解的三氯化乙烯略呈碱性，故检查时可用酸碱指示剂——酚酞试剂来检查，正常时应呈玫瑰色。为了防止三氯化乙烯的分解，有时可在每100千克的三氯化乙烯内加入50克稳定剂二乙基胺或三乙基胺；如三氯化乙烯已经分解并变为酸性时，则可加入碳酸钠溶液，煮沸使其中和，并经过蒸馏后仍可能变为纯净良好的三氯化乙烯。三氯化乙烯如爆于阳光下或受火焰照射后易于分解，因此保存时必需装在暗色的玻璃瓶中。此外，由于过高的温度（超过125°C）亦会使它容易分解，因此使用温度不可超过120°C。三氯化乙烯与火焰接触后会分解生成有毒的光气($COCl_2$)，对操作者健康极有危害。因此在净化时加热三氯化乙烯常用蒸汽加热，而不直接用火焰加热。由于三氯化乙烯的蒸汽极为难闻，且吸入数量多后会使人昏迷，何况分解后的蒸汽可能还生成有毒光气。因此用三氯化乙烯清洗零件时，需在特制的清洗柜中进行。

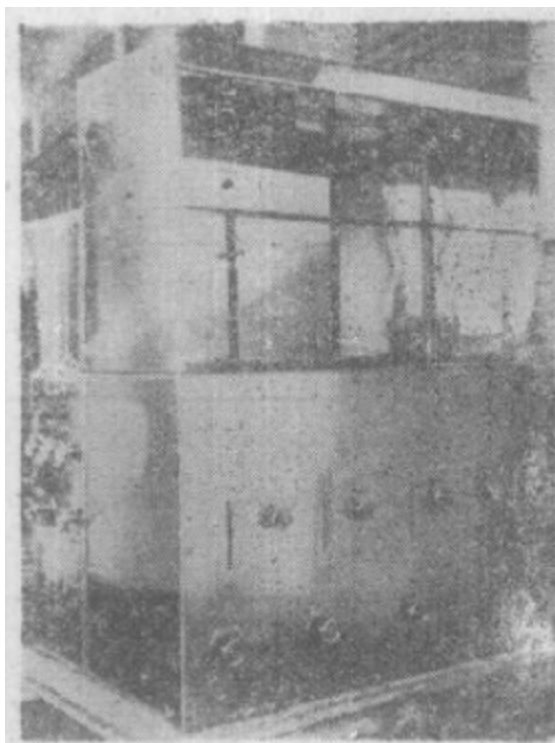


圖3-4 三氯化乙烯清洗設備。

行，如圖 3-4 所示。整個結構由不銹鋼所制成。櫃的上半部用冷水管進行冷卻，使三氯化乙烯蒸汽能凝結下來。

為了使零件能清洗干淨，而溶液又能很好地利用，在這種清洗櫃內部常又分成四個小槽，如圖 3-5 所示，第 1, 2, 3, 三個小槽內盛有三氯化乙烯，第四個小槽（空室）作為清洗過的零件干燥用，以免把殘余的三氯化乙烯帶走。在各小槽的底部均通有蛇形蒸汽管，以便加熱三氯化乙烯。清洗時零件先在第一槽內洗，然後再在第二、三槽內洗，因此前面的槽內三氯化乙烯是較髒的，而後面的小槽內的

溶液總是較潔淨的，這樣保證了零件最後一定能在清潔的溶液中清洗。工作時新鮮的溶液不斷從第三槽內加入，以後第三槽的溶液更換給第二槽，而第二槽的溶液又更換給第一槽，末後第一槽的髒溶液則放出重新去進行蒸餾淨化。當然亦可在各小槽內均放入新鮮的三氯化乙烯，這樣清洗效果更佳。

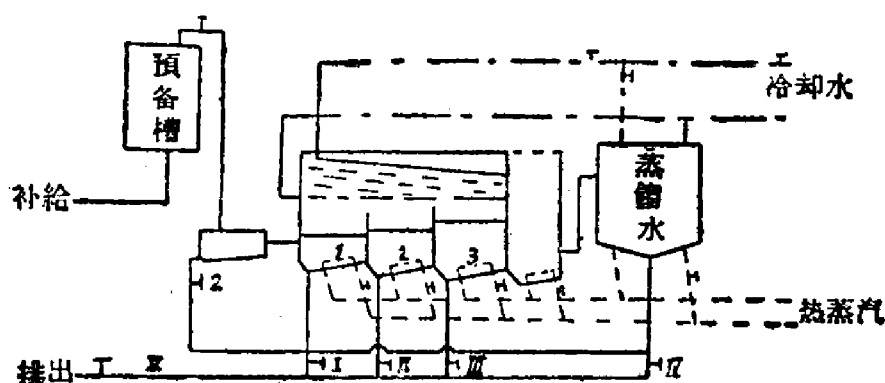


圖3-5 三氯化乙烯清洗櫃工作原理圖。

在使用三氯化乙烯為清洗溶劑時，還應注意下列幾點：

- 1) 三氯化乙烯不能用來清洗鹼土金屬如鉀、鈉、鋰、銀、鋇、

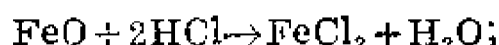
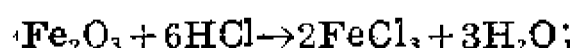
鈣等，因這樣會形成強烈的爆炸性化合物。

2) 水、酸及鋁與三氯化乙烯相接觸時能促使其分解，因此鋁零件或敷鋁鐵零件一般不能用三氯化乙烯來清洗，而用汽油來清洗。

3) 如果某些零件在前一次加工工序中曾使用含有水及鹼液的滑潤劑（肥皂乳膠液、胺肥皂液等），則在清洗前必須先去掉這些對三氯化乙烯有害的物質，不然皂液與三氯化乙烯會形成難以去掉的粘性物質。為此，須先將零件在熱水中洗，以溶去肥皂。最後在酒精中脫水干燥之。

4) 三氯化乙烯清洗過的零件必須用水及酒精清洗之，以去掉可能存在于零件表面上的氯離子。此後同樣需在酒精或甲醇中浸洗一下，使加速其干燥。

（4）浸蝕 為了淨化金屬零件的表面，還可使用浸蝕的方法。此時主要是去除金屬零件表面的氧化物，它通常隨去油脂之後進行。浸蝕一般在酸性溶液中进行，用鹼性溶液則較少，其主要淨化原理在於大多數金屬的氧化物及金屬本身能被相應的酸液所溶解，因而把表面的氧化物及磷物能除去。如鐵及鐵的氧化物與鹽酸作用後，其反應式如下：



因此浸蝕法溶液的選定須視被處理的材料和氧化膜性質而定。此外，若按被浸蝕的程度來分，則浸蝕可分為兩種：

1) 輕浸蝕：此時多半在稀溶液中进行，淨化後所得表面一般較光潔，主要溶去的是金屬表面的氧化物而金屬本身浸蝕甚小。

2) 重浸蝕：如果在濃溶液中进行浸蝕，往往使得金屬本身亦溶去一層相當厚的金屬，此時淨化後零件的表面還變得粗糙。在某種情況下，例如以後要在該零件上塗敷物質時，則表面粗糙能增加塗層的牢固性。

金屬零件在酸中浸蝕後須用冷水徹底清洗，然後再在無水酒精或

甲醇溶液中清洗，以加速其干燥。至于檢查淨化情况，亦与檢查碱液去油一样，当金屬零件經過酸清洗后，再經冷水冲洗，此时金屬零件表面亦应全为水所湿润，而无水斑或水滴，否則需重新进行处理。

(5) 电解浸蝕 如电解去油一样，有时为了对某些金屬的浸蝕作用更为有效起見，常采用电解浸蝕的方法。用电解浸蝕时，电解液仍为相应的浸蝕溶液，零件可接至阳極亦可把零件接至阴極。前者借零件上逸出的氧气来冲击表面氧化物，并把其溶去；后者則靠零件上生成的氢气冲击氧化物，亦并把氧化物溶去。电解浸蝕时电流密度通常为 $5 \sim 10$ 安/吋²或更大些。

在进行以上所述的几种化学溶剂来进行淨化时，常把零件放在金屬絲編制的籃中（或冲有小孔的金屬皮制成的小籃中）。为了不易使金屬籃生銹起見，通常籃用鍍或不銹鋼制成，其各式外形有如圖 3-6 所示。然后把籃子和零件一起浸入溶液中进行清洗。此外盛放化学溶剂

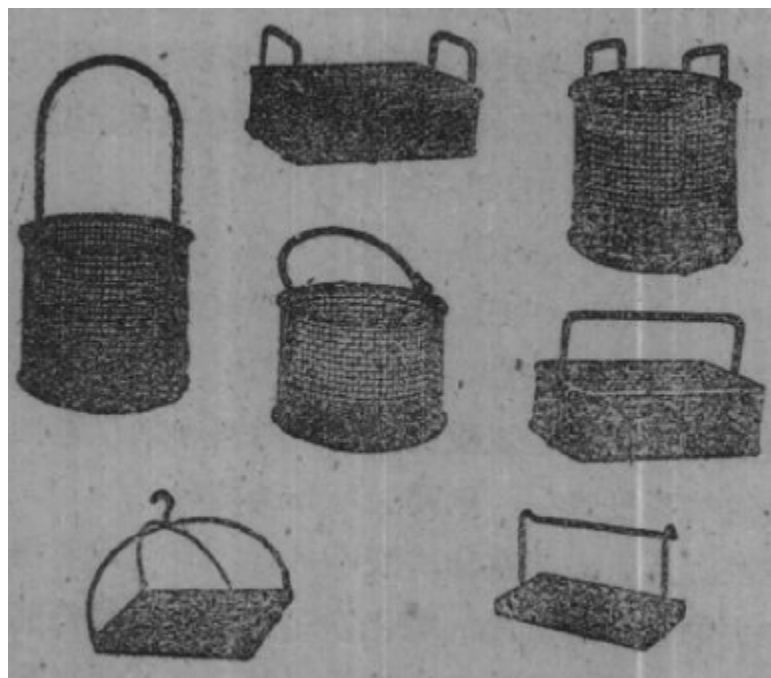


圖3-6 淨化零件用金屬籃。

的器皿需不被酸鹼所腐蝕，通常用陶瓷或玻璃制的缸桶。又由于清洗时，这些酸鹼的蒸汽很重，有碍工人健康，因此清洗在通風櫃中进行。同时車間也必須有很好的通風設備。

(三) 物理淨化法——超声波清洗

超声波清洗零件是近几年刚被应用的，用它来清洗某些难以用普通方法淨化完善的細小零件特別有效；如間熱式陰極的套管，小型管的框狀柵極等。

陰極無縫套管是將鎳用深拉的方法制成的空心細小管。為了保證電子管熱絲與陰極間有好的絕緣性能，以及對氧化物陰極的發射沒有破壞作用，特別是長期保持管內高的真空度，為此必須徹底地淨化陰極套管上面所殘留的滑潤劑及其他污穢。但由於陰極套管是細而長的空心管，故內部的污穢及油脂用上述幾種的淨化方法。如單用有機溶劑淨化，是不能得到滿意的效果的，而機械淨化法又不能用。

用超声波淨化不但可以去掉油脂，並且還可以除去其他無機雜質，如氯根和硫酸根。超声波的淨化原因，目前尙無肯定的解釋，但一般認為主要是由於超声波的孔隙現象，發生強大的撞擊力量，使物體表面的物質和油脂破壞了，於是沖落在液體里，使零件表面淨化。

超声波是高於音波頻率的彈性介質的機械振動。超声波同樣有聲波一樣的物理性質；並且它還有許多與光波類似的性質；如反射，折射，聚焦等。但由於運動質點的能量與平均速度的平方成正比，同樣聲波在介質中傳播的能量也就與頻率的平方成正比。所以高於音波頻率的超声波就可以傳播較大的能量。超声波在介質中傳播時同樣使介質質點產生相互交替的稠密和稀疏的分布，於是介質中的壓力便交替地改變，時而大於介質中原有的壓力，時而又小於原有的壓力。頻率愈高，這種壓力的改變就顯得愈大。當強功率超声波作用於液體中時，則液體在稠密處受到壓力，在稀疏處受到拉力；當液體在稀疏狀態時，由於液體經不住強大的拉力，以致使液體分裂，於是這分裂處就形成瞬時的孔隙。但由於振動的頻率很高，壓縮與拉稀過程在不斷地變動，故孔隙在很短促的時間內就又閉合，在閉合時產生很大的瞬時壓力，常可達到幾萬個大氣壓，並且在空隙形成與閉合的時候，常發生帶電現象；並可看出液體在微微發光，超声波的這個特點，稱為“空隙現象”。

超声波在电子管生产上，不仅可以淨化零件，并且还可調均与研磨氧化物阴極的碳酸盐塗浆来代替球磨。

超声波的获得及其装备。

产生超声波的方法很多，但要获得强功率，高频率的超声波則一般采用下面两种方法：

一种是利用晶体的压电效应；另一种是利用鉄磁性物質的磁致伸縮效应。

这两种类型的超声波發生器，除作用原理不同外，所应用的頻率范围也各不相同。磁致伸縮式的工作頻率范围約在2 仟赫到60 仟赫，而压电式則常工作在100 仟赫以上。产生这两种超声波的振动都是利用电子管振蕩器所产生的高频电磁能来激励的，如图3-7。

I 磁致伸縮式 磁致伸縮效应，是鉄磁性材料置于交变磁场中，由于分子的重新排列，使材料的长度发生变化。如以镍棒放在强大的交变磁场中，則镍棒的长度会产生周期性的伸縮，于是就使镍棒产生縱波振动，發出超声波。此类用超声波来淨化零件的装置如图3-8所示。图中1为玻璃容器，2为清洗液体，3为振动子，4为电磁綫圈，5在a圖为橡皮塞，在b圖为橡皮膜（或塑料薄膜）。橡皮

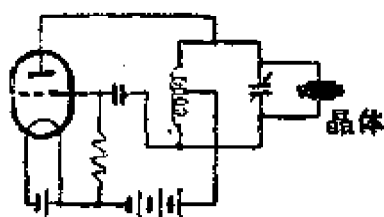


圖3-7 用电子管振蕩器来激励晶体。

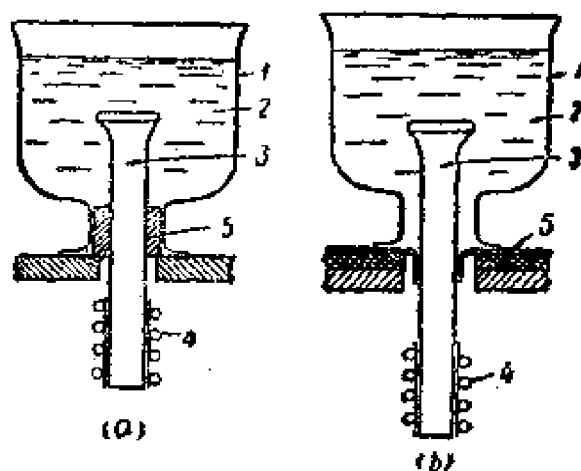


圖3-8 磁致伸縮式超声波装置。

塞或橡皮膜均固定在振动子上，以密封容器。振动子是用鉄磁性材料制的，如镍或镍的合金；此外为使振动子得到最大的振动，必須使所施电磁频率和振动子本身的自然频率一致，使它共振，为此用一定电磁频率，就可計算相应的振动子长度。根据棒的縱波振动原理，得

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

式中 f ——为振动频率亦即外施电磁频率；

l ——为棒的长度（厘米）；

E ——为振动子材料的弹性系数；

ρ ——为振动子材料的密度；

n ——为1, 2, 3, ……等，基频或各次谐波。

如振动子为镉制，则 $E = 20.2 \times 10^{11}$ 达因/平方厘米， $\rho = 8.9$ 克/立方厘米，则其频率与棒长之关系为

$$f = \frac{238090}{l(\text{厘米})} (\text{赫})。$$

因超声波的振动能量与频率的平方成正比，所以工作频率总希望能较高，但由公式可看出，如频率过高，则振动子长度将变短。故实用上，这类振动器大都工作在10 仟赫附近，并没有超出音频范围，在工作时有刺耳的噪声。这是磁致伸缩振动器的主要缺点。为了降低噪声，可把容器装置于隔音封闭柜中。

磁致伸缩的镉振动子当温度变化时，镉棒的自然振动频率就按一定的温度系数而变化，为了获得较宽的频率响应，须把镉振动子制成空心，这样不但频带变宽，而且还可通入冷水来冷却。

这类磁致伸缩的振动器，其能量每平方米约为数瓦，振动面积较大，因此总辐射功率也较大，虽它的工作频率不高，但应用仍很多。

II 晶体压电式 晶体的压电效应，是晶体受电场的作用时会产生机械的变形，如果施交变电压于晶体上，则晶体就产生机械振动。

具有压电效应的晶体很多，常用的有石英和钛酸钡等。把晶体置于液体中产生超声波时，往往由于强烈的超声波撞击晶体，而使晶体过早损坏，并且用来净化的溶液也都是导电的，因此在设计此种超声波发生器时，往往不直接把晶体接触溶体。而把晶体



圖3-9 压电式超声波装置。

裝在容器壁上，如圖 3-9 所示。或把晶体放在絕緣油內，再由絕緣油把超聲波傳到欲淨化的另一容器內。此法在更換淨化溶液時亦較前法為方便。

同樣為了使晶体與外施電磁頻率共振，則晶体的厚度與外施電磁頻率 f 須符合下列關係式：

$$\text{對石英} \quad f = \frac{285000}{d} \text{ 赫,}$$

$$\text{對鈦酸鋇} \quad f = \frac{235000}{d} \text{ 赫,}$$

式中 d 為晶体的厚度（厘米）。

§ 3-3 金屬絲料的淨化

金屬絲料或帶料的淨化，常借電解去油或有机溶劑去油進行，這是由於金屬絲料表面的污物主要為絲料拉制所沾染的油脂或石墨，至於絲表面的氧化物一般總是極其輕微，所以不必用化學溶劑法清除，而可借以後絲料在退火時將其還原。但絲料的淨化必須採用連續的裝置，目前在生產上常用的有以下兩種設備：

（1）曲折式絲料淨化裝置 這種設備的裝置原理如圖 3-10 所示。在這種裝置中金屬絲或帶借小滾輪 3 導向淨化溶液中，絲或帶將

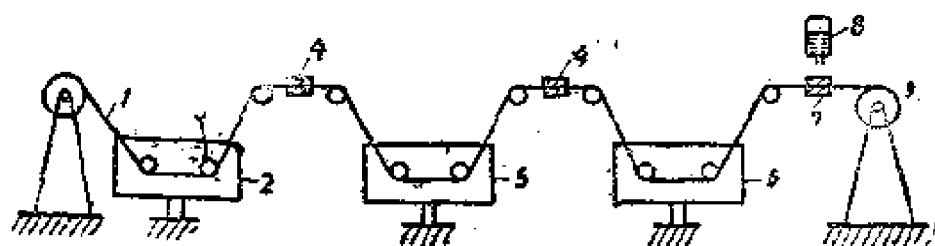


圖 3-10 曲折式金屬絲料淨化裝置。

順次經過三個盛有淨化溶劑的金屬槽 2, 5, 6（槽內各放各種淨化溶劑，如三氯化乙烯，苛性鈉溶液及水等，視淨化性質而定），而最後一個槽內往往盛的是蒸餾水。在兩槽之間的上部，裝有夾子 4，夾子內放紗布和棉布并沾有稀濕的氧化鋁粉末。以起絲料的擦洗作用，8 為盛有

酒精或甲醇的小壺，使酒精滴在下面裝有棉花的夾子7中，以加速絲料的干燥。然后把絲繞在收綫軸9上。這種裝置的缺點是絲經過一系列的滾輪曲折而上下前進，因此在收綫軸上對絲的拉力甚大，故不宜於細絲淨化，否則常易發生斷絲的現象。所以這種裝置適宜於一般直徑絲料及帶料的淨化。

(2) 直拉式絲料淨化裝置 使用這種設備絲料淨化時，金屬絲以直綫通過各盛有溶劑的淨化小槽，其裝置原理如圖3-11所示。因此這種裝置對絲的拉力較小，故能淨化較細的金屬絲（絲的直徑可到12

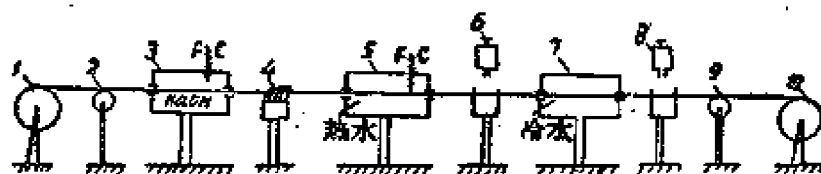


圖3-11 直拉式絲料清洗裝置。

~120微米)。裝置中有三個淨化槽，圖中槽3內置放的是10~20%的氫氧化鈉或氫氧化鉀溶液，並使其溫度保持在70~80℃，借皂化作用以去除油脂。絲料通過該槽時，並被不斷向上涌上的溶液所淹沒。槽口用壓縮空氣向槽內吹，使液體不致由兩邊槽口溢出。這種淨化有時為了加速或更有效地淨化絲料起見，也常在絲料與槽壁間加以電壓，使助以電解清洗，如鎢、鉬絲料淨化時常這樣進行。所施電流密度一般在0.4~1.4安/厘米²左右，但在絲的拉速很快時，甚至可達6~7安/厘米²。由此可見，電流密度與絲的拉速和直徑有關；直徑愈小，拉速愈慢，電流密度也應該相應地小一些。通常絲的拉速為12~15米/分。絲料通過第一槽後，先經過內置有斷錐絲的小夾4，使它對絲料作機械擦拭，然後絲料在70~80℃熱蒸餾水槽5中拭洗掉殘余鹼液，以後絲料經過盛有脫脂棉的支架，其上裝有2~10%稀醋酸的滴管，醋酸以60~70滴/分的速率滴在脫脂棉上，使中和在絲料表面上可能剩余的鹼液。接着絲再在冷水槽7中清洗。最後為了加速絲的干燥再經過滴有酒精的脫脂棉，酒精由滴壺8滴下，其流量為60~70滴/分。然後絲被繞在收綫軸10上。

第四章 电子管金属零件的热处理

§ 4-1 电子管金属零件热处理目的

在电子管制造上，金属零件进行热处理往往为了达到退火，预先去气和表面净化的目的。金属材料在加工成零件前或在加工的过程中，为了使材料容易加工起见，常需进行退火，以改善材料的可塑性。而对于已经机械加工制得的零件（特别是用冷冲压所加工的零件），为了使得零件今后不致变形，也常须进行退火使其定形。此外由于金属或金属零件内部往往含有很多气体；关于金属含气的原因是由于大多数金属在熔融状态下会大量吸收气体，因而金属在熔炼的过程中就不可避免地会吸收了一些气体如：氢、氮、氧、一氧化碳、二氧化碳等。这些气体，一部分是由炉内熔炼时所分解出来的气体，另一部分是熔融金属在大气中倾倒或加工时所侵入的。而且即使制好后的零件，如果长期存放在大气中后，也会吸收气体。金属零件所含之气体如果在装入管壳前不进行去除，则当在电子管排气时，将会在这些零件中大量放出气体，以致对阴极激活不利，甚至中毒。并且这样还大大增长了排气时间。因此，在电子管制造上，金属零件及组件在表面净化后装入芯前，总要进行预先去气。

除此以外，金属零件表面经过一般化学溶剂净化后，并不意味着该零件已经完全净化了。这是因为一方面零件经过净化后，在装配成组件时经过焊接或其他加工等步骤又可能使零件氧化，何况净化后的零件如露置（存放）于空气中久后，亦会重新生成一层不易为肉眼所见的氧化膜。因此在装入管芯前亦必需将这些氧化物还原掉，否则管子在以后运用过程中由于这氧化物分解而释出一部分气体。

但是也必须指出，并不是所有电子管内的零件都要进行热处理的。例如：那些在管子工作时仍保持冷态的阴极吊丝及弹簧，预先去气是完全不必要的。因为一方面在管子运用过程中它不会放出内部气体，

更重要的是进行热处理后反会失其彈性。又例如綫狀陰極，它的預先去氣也是多余的。这是因为所需的去氣溫度在以后排氣時仍會達到；且因零件質量很小，所放出的氣體不多。而對於那些較大型的電子管直熱式陰極，則在氬中或真空中成形時，那時陰極就已經部分去氣了。

§4-2 電子管生產上對金屬零件所進行的熱處理工藝

電子管生產上所用的金屬材料及零件在進行熱處理時，雖可達到退火、預先去氣和表面淨化的作用，但要使零件能夠得到良好的熱處理目的及所需達到的作用，就必須了解達到這些目的的方法。下面就分別敘述之：

一、金屬材料及零件的退火

金屬退火的目的是為了減低硬度、提高韌性和可塑性、消除或減低組織的不均勻性，以去除內部應力，從而增進加工性能。為此退火也就是消除金屬內部由於冷加工所引起的晶格的歪扭，以及產生再結晶的過程。要達到這目的，一般就是將金屬加熱到一定的溫度（退火溫度），在此溫度保持一段時間，然後再慢慢進行冷卻。

因此影響退火的質量，就與下列因素有關：1. 加熱速度，2. 加熱溫度（退火溫度），3. 在退火溫度下保持的時間，4. 冷卻速率，5. 退火環境。

加熱速度：這由金屬的性質，零件的大小及形狀而定。一般金屬的導熱性愈低、零件形狀愈複雜、內應力愈大，則加熱速度愈慢。

退火溫度：這溫度一般亦隨金屬的性質及成分而定，並且必須嚴格遵守某一金屬的退火溫度範圍，溫度的過高或過低都會導致不良的退火後果。

保持時間：金屬在退火溫度時所保持的時間，至少須足夠使整個零件完全熱透到退火溫度，並且使其結晶組織得到應有的恢復。因此所保持的時間亦要視金屬的成分，結晶組織以及零件的大小而定。通常零件愈大，原有組織變得愈劇烈，則保持時間就必需較長。

冷卻速率：一般金屬在退火後均須緩慢冷卻下來，而冷卻速率的

快慢必須使金屬中不再引起內应力為原則。

退火環境：大多數金屬在高溫時容易與空氣中的氧發生氧化而生成氧化物。而作為電子管的零件是絕不允許在金屬表面有氧化物的存在，且電子管的金屬零件通常總是較細小的，因此我們亦不希望採取以後再去除氧化物的方法；這樣退火就必須在不會與金屬發生作用的氣體中進行。在電子管生產上，金屬零件進行退火通常可在下列環境中進行：

1) 在氫氣中 它不會使金屬氧化，相反地能很好地還原零件上的氧化物。但鉄零件在氫中退火較少用，因這時往往使鉄的含碳量減低，並且這種氣體使用時易發生爆炸的危險。

2) 在氫氮混合氣體中 這種氣體是由20~30%的氫和70~80%的氮混合而成的。在這種氣體中進行退火亦不會使金屬發生氧化，並且還不會產生爆炸的危險。

3) 在燃燒不足的气体中（主要為CO以及少量CO₂），在這種氣體中進行熱處理時不會使金屬發生氧化，且對鉄的含碳量不會發生改變，故鉄制零件最好在這種氣體中進行。

4) 在真空中進行 這時亦可避免氧化。

5) 在空氣中進行 一般金屬零件均不能在空氣中進行退火，只有那些不易氧化的貴金屬，如金、鉑才能在空氣中進行；此外鎢鉬等金屬為了預先燒去表面石墨等髒物，也有先在空氣中退火的，但這種零件必須以後還須在氫氣中進行熱處理。

二、金屬材料及零件的預先去氣

金屬內部所含的氣體分子在高溫下會迅速擴散，因此金屬零件的去氣也就必須把金屬加高溫度後才能進行；為了能把在擴散狀態下的氣體分子有效地除去，加熱尚須在有抽氣機工作情況下的真空爐中進行，或在有氫氣流的爐中進行。後者由於氫的擴散速率甚大，用它來取代金屬內的其他氣體，而氫本身很易在以後排氣時抽去。

一般氣體的擴散速度均隨溫度的升高而迅速增加，因此在預先去氣中總希望選擇可能的最高溫度以縮短去氣時間；並且預先去氣的溫

度亦应比将来工作时的温度要高，否则以后在高温时仍有放出气体的危险。但是在决定去气温度时亦不能任意的提高，因为在过高的温度下金属会过度的蒸发，零件会软化以致产生不希望有的挠曲和变形。

至于去气的时间，它首先决定于所选择的去气温度，另外还决定于金属零件的厚度，金属的结晶结构以及金属中所含的气体等，如去气温度高，零件薄，则去气时间可短。通常大结晶结构的金属要比小结晶结构的金属难以去气，在各种气体中由于氢的扩散最快，故就最易除去；氧却最难去掉，且在高温下还与金属生成难以分解的化合物。

三、金属零件在热处理时的表面净化

电子管金属零件在进行热处理时，如果还要使零件起净化的作用，则需在热处理时考虑到热处理环境。能够起净化作用（主要是去表面的氧化物）的环境主要有：

1) 在氢气中进行热处理。这是因为氢气具有还原作用，它能把表面的金属氧化物还原。在其他还原性气体中进行热处理，虽也能起此作用，但效果不及氢中好。如某些金属在一氧化碳的气体中进行热处理，常易在金属表面生成碳化物，如在镍上生成 $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ，在铁上则生成 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 等。

2) 在真空中进行热处理。因为很多金属的氧化物在高温下会分解，放出的氧即被抽气机抽走，并且还可能为金属内部所放出的还原性气体（ CO , H_2 ）所还原。所以这样亦能去除部分氧化物。此外，表面的一些其他脏物，往往亦因在高温下而挥发或蒸发脱离金属表面，于是亦被抽气机所抽走，而如石墨，往往经在真空中热处理后，石墨内所含的一些低挥发性灰分和杂质也就均被蒸发而除去。

有时为了去表面的炭末，油脂等污物或退火亦有在空气中进行热处理，而把表面污物烧去或使污层变松，或达到退火作用。但此时亦就伴生有氧化物，故经此处理后，则仍需在氢气中进行还原。

综上所述，金属材料及零件在进行热处理时，就可根据上述情况来拟订或考虑其热处理工艺。并且如果我们选择适当的热处理环境及

溫度，則零件經過熱處理後就可同時達到退火、去氣及淨化的目的。而在電子管生產上所用的金屬材料及零件，在進行熱處理，通常總要求能同時達到這三個目的，這也就是所以在電子管生產上對於金屬零件的熱處理通常總是在氫氣中或真空中進行得較多的緣故。遇到在這樣的情況下，這時的熱處理溫度將根據退火溫度呢？抑是根據去氣溫度？一般總是根據退火溫度較多。因為大多數金屬的退火溫度範圍較狹，而如果我們所選擇的退火溫度比去氣溫度還低，這時可延長熱處理溫度的時間來彌補由於去氣溫度較低的不足。但有時我們亦不一定要求這三個目的均能達到，如僅需得到退火或淨化，特別是對原材料的熱處理常可碰到這種情況，這時當然熱處理工藝就可簡單一些。

§ 4-3 金屬零件在氫氣中進行熱處理

上面已經講過，由於氫氣的擴散速率很高，且氫又具有還原性質，故零件在氫氣中進行熱處理時往往能同時達到退火、去氣和淨化的目的。並且零件在氫氣中進行熱處理要比在真空中進行簡單，這是因為它不需要有真空系統，當然亦就沒有預先抽氣的時間，而零件能連續通過氫氣爐進行熱處理，因此生產效率也就很快。為此，在電子管生產上，金屬零件的熱處理幾乎極大部分均在氫氣爐中進行。金屬零件在氫中進行熱處理在術語上簡稱燒氫。

但必須指出，並非所有金屬零件均可在氫氣中進行熱處理的，如鋁、鎂、鈦等要與氫起作用的金屬就不能在氫中進行熱處理。還有一些金屬在氫中退火會改變其原有性質；例如炭鋼在氫氣中退火後其含碳量會減少。另外銅（普通銅因內有氧）如在氫中進行熱處理後，則氫將與氧生成水汽而把銅的結構變鬆了（即所謂銅的氫氣病）。所以象這些金屬都不能在氫氣中進行熱處理。

有時在生產上對於一些銅制的小零件，如銅邊杆的柵極，為了方便起見也在氫中進行熱處理；但這時必須注意到溫度不能過高，時間不能太長。此外，照例碳化零件亦不能在氫中進行熱處理，因為在高溫時，氫與零件表面的碳將會生成粘性的碳氫化合物，但為了生產簡

便起見，也常就在氫中進行，此時亦同樣應注意溫度選得低些，時間短些。

零件在氫中進行熱處理須在特別的加熱爐中進行，常用的氫氣爐構造如圖 4-1 所示。整個爐子可劃分為三個區域，圖上第一部分為預熱區，零件由這裡進入，爐的這部分為生鐵鑄的管子。圖上第二部分為加熱區，零件在這裡就進行熱處理，加熱區的爐管是由耐高溫的氧化鋁燒結制成的。在這爐管外繞有加熱用的鉬絲，在鉬絲上通電后就使爐管加熱。又為了使爐管的熱量不致外散，在爐管外裝有保熱鐵箱，鐵箱的內壁為絕熱的石棉板，其餘空間都填滿了絕熱材料，如氧化鎂粉、高嶺土粉等物。至於圖上的第三部分為冷卻區，爐的這部分亦為生鐵鑄的管子，外面圍有冷卻水套，使零件不致於取出時因高溫而氧化。

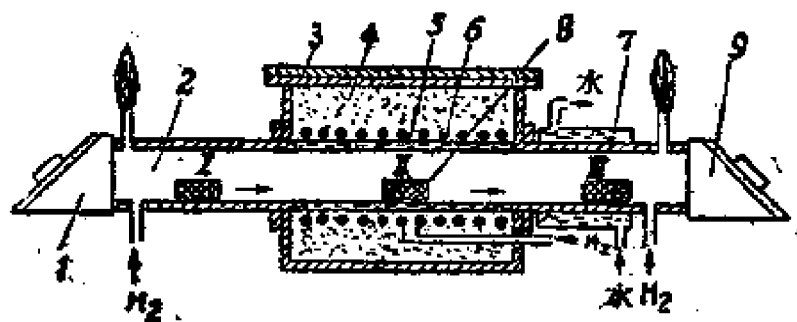


圖 4-1 氫氣爐結構：

- 1—裝料門；2—預熱區；3—爐壳；4—絕熱物質；5—氧化鋁爐管；
6—電熱絲；7—冷卻水管；8—裝有零件的小舟；9—卸料門。

爐的溫度由熱電偶高溫計來測量，但因熱電偶只能裝在爐管的外壁，故測得的並非爐內的真正溫度，為此亦常需光學高溫計作為輔助。

這種氫氣爐在工作時除了在爐管中通入氫氣外，另外亦需在電熱絲（鉬絲）的周圍通以氫氣，以免鉬絲氧化。應該強調指出，由於氫中如混有一定量的空氣後，遇火後即會爆炸，因此在操作氫氣爐時必須遵守下列操作規程：先在爐內通入氫氣（如有氮則可先通入氮），把爐內的空氣全部趕跑，經過約 0.5~1 小時後，這時用試管在出氣口收

集一管所放出的氫，然后在离开爐子較远的地方用火点試管內的氫，听其是否产生較大的爆炸声，若發出較大的爆炸声則說明爐內氫氣中还存在有一定量的空气，这时还需再繼續通入氫氣把空气赶走，直到由試管中試点时仅产生小声的爆炸声为止。此后就可把爐子出气嘴处的氫点着。在出气嘴点火的目的是：一方面为了把多余的廢氫消除，以免跑到室內，有形成爆炸性混合物的危險；另一方面还可从火焰的高度来約略指示爐內的氫氣流量，并且火焰高度的变动与否也可以指出爐內氫气压力的稳定情况。最后才加上爐管上的电热絲电压，使爐子升溫，直到爐溫升到所規定的热处理溫度为止。

把欲进行热处理的零件放在鑄制的小舟內（如溫度高于 1100°C 則用鉬制小舟），然后把小舟由装料处爐門放进預熱区（在打开爐門时，必須用火將爐門口氫氣点着，以免氫跑到室內），停一会后再用鉄杆把小舟推进加热区进行热处理，于是再在預熱区放入另一待燒小舟，然后把爐門关上，直至經過規定的热处理時間后，才打开爐門用鉄杆將加热区的小舟推向冷却区进行冷却。同时也把預熱区的小舟推向加热区，并再在預熱区放入下一个待燒的小舟。再經過一規定的热处理時間后，于是打开卸料处爐門，把冷却区的小舟从卸料口爐門取出（在打开卸料处爐門时，同样要将氫氣点着），这样便完成了第一个小舟內零件的热处理过程，以后的小舟就可同样的連續进行下去。

小舟的移动除人工进行外亦可用附加的推进机构（圖4-2）或傳送帶裝置（圖4-3）来进行。

前者的裝置方法是借蜗輪带动螺杆移动的方法，使用此法时，零件处理只能分批进行。后者是由傳送帶連續緩慢的旋轉而工作，因此零件热处理仍能連續进行。

工作时爐內氫的流量必須很大，普通氫氣爐每小时要消耗500~750立升的氫。氫的流量所以要这样大：这是一方面可防止空气的进入，并且还能使爐內保持經常为新鮮的氫所占滿，使热处理質量不致变坏。在爐管直徑較大的氫氣爐，当开啓爐門时，有时还嫌爐內氫的压力不够，有使空气窜入的危險，这时尚須再加大氫的流量。

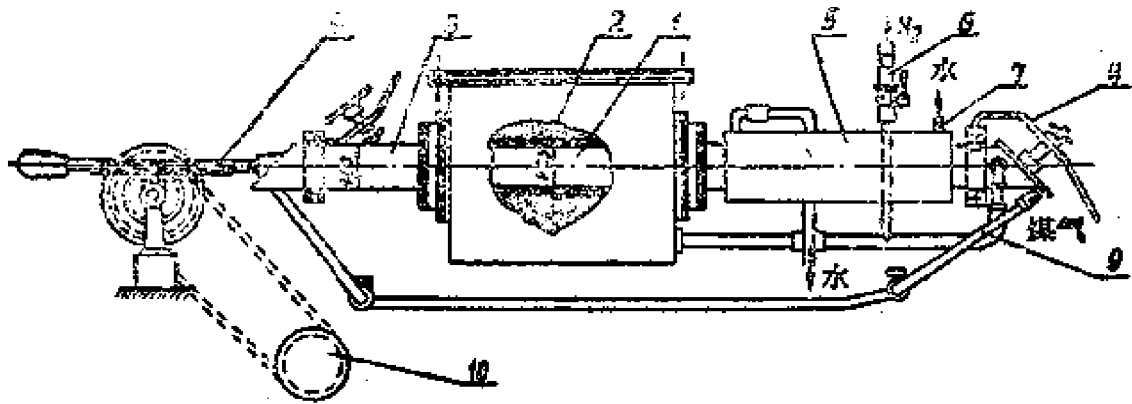


圖4-2 裝有附加推進機構的氫氣爐：

1—爐管；2—電熱絲；3—預熱區；4—推進杆；5—冷卻水套；6—氫氣管；
7—冷卻水管；8—門閥機構；9—煤氣管。

此外，在氫氣爐工作時應備有氮氣，當在氫氣來源中斷時（如停電），應迅速將氮氣通入爐內（亦包括電熱絲部分），以防止可能因空氣流入爐內而引起爆炸，電熱絲部分通氮是為了保護電熱絲不致氧化。

如圖4-1及4-3所示的連續工作的氫氣爐，常用來熱處理一般零件用，因工作時經常打開爐門，且氫的要求流量很大，故爐子的溫度不能升得很高，一般僅能達到 1300°C 左右。而如圖4-2所示的這種氫氣爐，由於工作時零件燒氫不是連續進行，且氫的流量亦較小，故爐子溫度可升得較高，最高能達 1750°C ，它可用來氧化鋁的焙燒及其他零件高溫焙燒用。

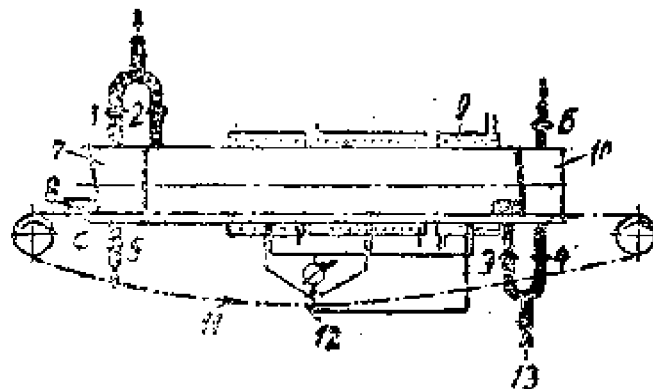


圖4-3 有傳送帶裝置的氫氣爐：

1~6—自動控制氣體的活門；7—進料室；8—置有零件的小舟；9—冷卻水套；10—卸料室；11—傳送帶；12—熱電偶溫度計；13—氫氣。

氫氣爐內所用的氫氣純度要求很高，其中所含的水汽及氧氣應尽可能地少，因為這些氣體會促使金屬的氧化。但在工廠中氫的來源多半由電解而得，這樣就總常含有些水汽和氧氣等，用時要經過純化。純化可使氫通過盛有銅屑（300°C）的圓筒去氧和通過盛有硅胶的圓筒來吸去水汽。

氫的濕度通常以露點來表示，露點就是水蒸汽開始凝聚時的溫度。一般氫的露點低於-40°C已為良好，如要氫的乾燥度更高時，有至露點為-60°C。所謂氫的濕度亦即 $\frac{H_2O}{H_2}$ 比值的大小，顯然這個比值愈小，則氫氣愈為乾燥；而各種金屬其可能氧化的程度不一樣，不易氧化的金屬氫的濕度可允許大些，如銅、鎳、鈷。而對於那些容易氧化的金屬則要求氫的濕度很小，如鐵、鉬、鎢、錳、鉻等。例如當氫中所含水汽超過10%時，則鐵的表面就會發生氧化；而對於鉻，則氫中只要含有 $\frac{1}{7400}$ 的水汽，在900°C時就會使鉻氧化了。附帶指出，金屬熱處理的溫度愈高，則在這種情況下金屬就愈易氧化。鉬較鎢不易氧化，有時鉬還有意在濕氫中進行熱處理，以去除表面的石墨或其他碳素。而鎢則必需在乾燥的氫中熱處理，否則將在表面生成 WO_2 和 W_2O_5 的氧化物。此外如鎳中含有錳及硅的成分時，則在溫度較高時，鎳或其合金亦易氧化。

54-4 金屬零件在燃燒不足的气体中進行熱處理

這種燃燒不足的气体是由普通煤氣在氧氣不足的情況下燃燒所得的。我們知道那些由於含碳的鋼如在氫中熱處理後會改變其含碳量，故常在这种還原性气体中進行熱處理，並且金屬在这种气体中熱處理時，要求CO的純度不一定很高，即 $\frac{CO_2}{CO}$ 的比值可略大，例如在400°C時在氫中還原氧化鐵時要求氫的濕度 $\frac{H_2O}{H_2}$ 小於 $\frac{9}{1}$ ，但如在CO气体中還原時，即使在1000°C也只須 $\frac{CO_2}{CO}$ 的比值小於 $\frac{2.5}{1}$ 就可。此外這種气体還不易發生爆炸。

用CO气体進行熱處理的設備亦類似於氫氣爐，其結構出于關

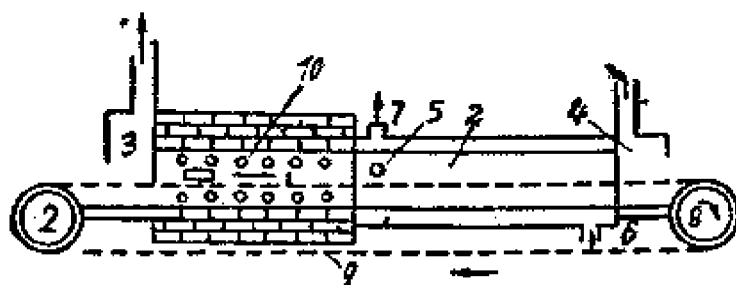


圖4-4 一氧化碳热处理爐子。

4-4。圖中 1 为爐腔即加热区，2 为冷却区。零件的移动是由傳送带 9 来进行，加热元件 10 是固定在用耐火磚构成的爐腔內壁上，气体由孔 5 送入爐內，3 为进料室，4 为卸料室，6 为冷却水进口，7 为冷却水出口。

但由于这种气体所含杂质較多，且在高温下易使金属表面生成碳化物，因此虽則有上述某些优点及价格亦較氩便宜，但在电子管生产上一般不常采用。

§4-5 金属零件在真空中进行热处理

上面已經提到，某些会与氩起作用的金属如钽、锆、钛、铜等不能在氩中进行热处理，这些金属就只能在真空中进行热处理了。零件在真空中加热时，除要求能退火外，还能除去大部分金属内部所含的气体，并且也会去掉一些氧化物。

关于在真空中进行热处理的装置结构至今已很多，但某些由于结构或使用太复杂，故現在已較少用，今将在生产上常用的两种真空爐叙述于下：

(1) 外爐加热真空爐 这种真空爐的结构装置有如圖 4-5 所示。加热零件放在金属制爐管 1 中，爐管由外爐 5（可用煤气或电热絲加热）加热，爐內的高真空由蒸汽流抽气机 7 和旋轉抽气机 6 来实现。由于真空爐很难設計能連續工作的结构，而零件在真空爐进行热处理的周期又很长；它总需經過装料、抽真空、爐子加热、零件进行热处理，最后降低爐温冷却零件等过程。这一周期通常需要 12~24 个小时。因此这种爐子在生产上为了提高生产率起見，常設計成装有两

个爐管和两套抽气設備，但合用一加热爐。这样一个爐管在进行加热时，另一个爐管可进行冷却，卸料和装料，如此輪流进行，則生产率就可提高一倍。

(2) 高频加热真空爐 这种真空爐和上一种不同的是它用高频感应加热来加热零件的，设备的装置如图 4-6 所示。借高频綫圈加热玻璃罩內的金属杯，而零件就放在此金属杯內。高真空亦同样由蒸汽流抽气机和旋轉

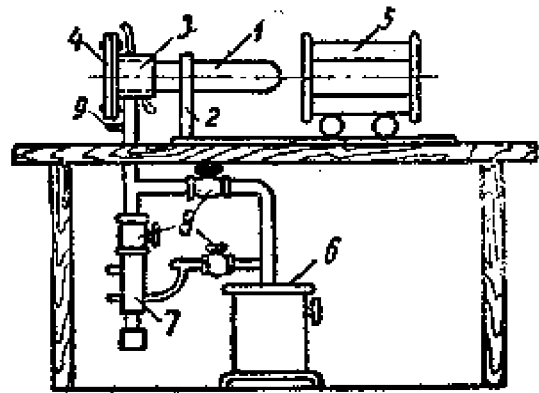


圖4-5 外爐加热真空爐：

1—爐壳；2—爐的支架；3—冷凝器(箭头指示流水的方向)；4—盖子，封閉装卸口；5—爐的活动部分(带有电綫与保温设备的加热器)；6—旋轉抽气机；7—蒸汽流抽气机；8—真空閥；9—真空計連接管。

抽气机来实现。真空爐所用的玻璃罩有石英和玻璃两种；石英的能加热到 1600°C ，而玻璃的只能加热到 1200°C 。玻璃罩的邊緣應該磨平，使它能紧密地压在金属底盘上；底盘中間有孔以作抽气之用。又为了使玻璃罩与底盘能很好的密封，在两者之間又垫一橡皮环，并在其上塗以蓖麻油密封。而玻璃罩邊緣的外部則塗以真空封脂，因玻璃內的金属杯系作高频加热之用，故要求能耐高溫，所以金属杯最好应用鉭鈮合金制成，否則用鉭或鉮制。

这种真空爐的使用亦和外爐加热真空爐一样，先是在金属杯中装上待燒零件，然后放入玻璃罩內，在玻璃罩底边塗上真空封脂。开始先以旋轉抽气机抽到预备真空，然后再用扩散抽气机抽到所需的真空度，于是加以高频电流。当加热的零件在真空中保持規定的時間后，除去高频电流，讓零件在真空中逐漸冷却，待冷却后才从放气閥放入空气，以免零件重被氧化，这时即可取下玻璃罩把金属杯中零件取出。这种真空爐在生产上为了提高生产率起見，也是往往在一个台上装有4套到8套的这种真空設備，而合用一个或二个高频加热綫圈。当第一个玻璃罩內的零件在高频加热时第二个玻璃罩可以在进行抽真空，而第三个玻璃罩內的零件可在卸料和装料，而第四玻璃罩是

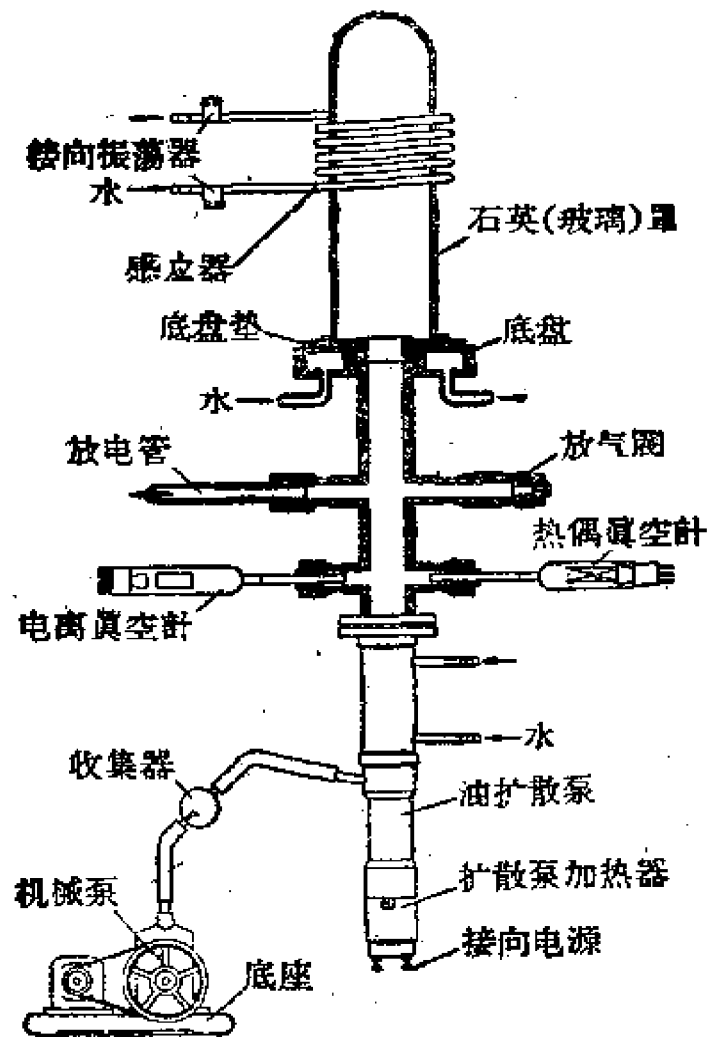


圖4-6 高頻真空爐。

在进行冷却。

零件在玻璃罩内加热的温度，通常用光学高温计测量，但必须保持玻璃清净透明，如发现玻璃罩壁被零件中所蒸发出来的物质所熏黑时，这时即应把玻璃罩拿去进行清洗。

由以上可知，零件在真空中进行热处理时要较在氩气中进行其生产率变慢得多。因此在生产上，一般除了钽、锆、钛等金属零件在真空中进行热处理外，其他零件总是尽可能在氩气中进行，但石墨零件去气也必须真空中进行。

§4-6 金属零件在空气中进行热处理

在空气中进行金属零件的热处理是最简便的一种方法，但由于空

气中含有大量的氧气，因此金属在空气经过高温后，绝大多数金属的表面就会生成氧化物，所以这种方法对于电子管的金属零件热处理应用得极少。除了那些不会氧化的贵金属外，有时镍、钨、钼等零件为了预先烧去磷物亦有先在空气中进行热处理，但这时热处理温度一般用得较低（仅 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ ），并且以后还得再在还原性气体中进行还原。

金属在空气中进行热处理，通常是在空气炉（马弗炉）内进行，如图 4-7 所示。这种炉的结构较简单，通常炉腔由耐火泥砖构成，炉堂的加热亦由电热丝来进行。在炉堂和炉壳之间填满了耐火绝热物质如碳化硅，氧化铝。一般的空气炉温度能达 1000°C 。炉子常附有自动温度控制器，使温度能自动调节在所指定的温度范围。

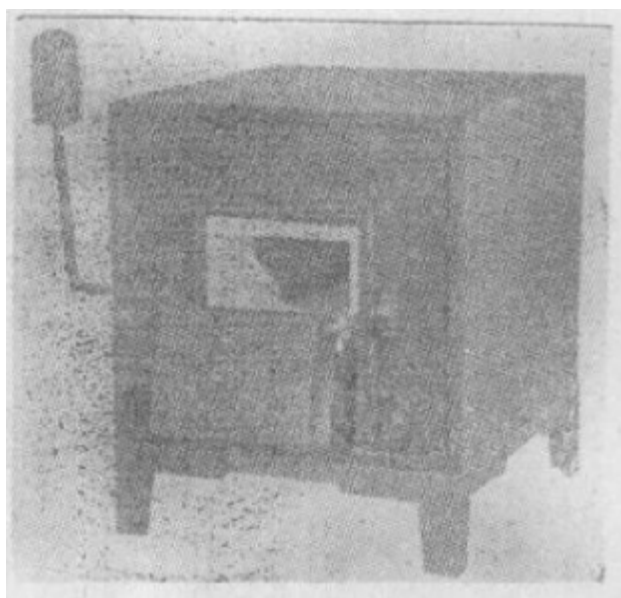


圖4-7 馬弗爐。

这种炉子在电子管生产上还常用来进行绝缘零件如云母片和陶瓷片的加工时的焙烧用等。

§4-7 金属丝状材料的热处理

金属丝状材料的热处理绝大多数情况是为了达到退火的目的，但一般亦起净化作用。丝状材料在进行退火时为使丝料所受的温度均匀起见，需要把丝单独连续地通过炉子而进行，切莫把整卷丝料放入炉内进行退火。目前在生产上所用的退火炉有水银触点退火炉、氧化铝炉管退火炉、以及钼管退火炉等。并为了使丝在高温时不致氧化或起净化的作用，在炉内需通入保护性气体，如氢气或氢氮混合气体。

1) 水银触点退火炉——这种退火炉的结构如图 4-8 所示。丝的加热是用电流直接通过丝本身发热的方式而进行的。但由于丝在不断地移动，故丝上的接点用水银作为接触点，这样一方面减少了丝的摩

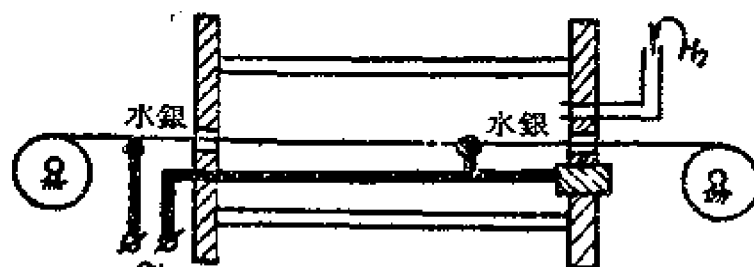


圖4-8 水銀触点絲料退火爐。

擦，且亦保證絲有良好的電接觸。在工作時，先在爐內通入氫氣，然後接上電源並調到一定的電壓使絲達到所需的溫度，同時絲以一定的速度連續通過爐子。

鎢絲的退火常在氫氮混合的氣體（ $20\sim 30\% \text{H}_2 + 70\sim 80\% \text{N}_2$ ）中進行，退火溫度約為 $1200\sim 1400^\circ\text{C}$ ；鉬絲則不在氫氮混合氣體中退火，否則它的退火質量將變壞，故它在氫氣中進行。此外鎢絲和鉬絲及它的合金絲由於當拉絲後其表面常帶有石墨層，而這石墨必須先行去掉，否則會形成碳化物使絲發脆，若作為陰極的鎢絲則降低了以後電子發射。為此鎢絲、鉬絲及其合金絲往往在氫中退火前常使它們先通過空氣爐，把表面石墨及髒物燒去，所經過空氣爐的溫度約為 600°C ，然後再經過通有氫氣的爐中退火還原，後一爐子的溫度則為 $1100\sim 1300^\circ\text{C}$ 。至於鎳絲及其合金絲也可在水銀触点退火爐中退火，爐中亦通入氫氣，溫度為 $800\sim 1000^\circ\text{C}$ 。

這種爐子的優點為爐子無須預熱，且因僅加熱金屬絲本身，故耗電極少，此外爐子的結構亦很簡單。但這種加熱方式使絲的退火溫度與外界電壓及接觸點的偶然變化有關，影響了絲的退火均一性，並且水銀蒸汽有毒，故目前生產上已少用。

2) 氧化鋁管退火爐——這種退火爐的結構如圖 4-9 所示。爐管由氧化鋁製造，在爐管外繞以電熱絲加熱。因此這種爐子的熱容量較大，當外界電壓偶然暫有變化爐管溫度不致立刻受到影響，故退火均一性較好。但這種爐子耗電量大，且爐子預熱時間很長，而在爐中還需置附氫安全裝置，所以結構亦就複雜，因此這種退火爐目前在生產

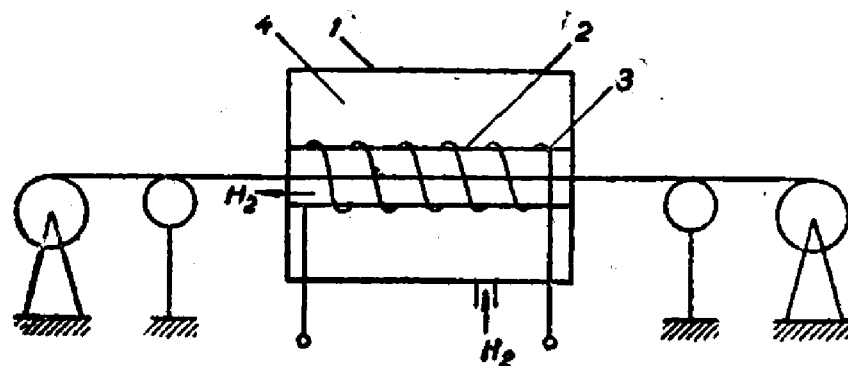


圖4-9 氧化鋁爐管絲料退火爐：

1—鐵制爐壳；2—氧化鋁爐管；3—金屬絲；4—絕緣材料。

上已用得不多。

3) 鉬管退火爐——這種退火爐的外形示于圖4-10，其結構如圖4-11所示。它的爐管系為厚0.1毫米的薄鉬皮制成，工作時在鉬管兩端施電壓以加熱鉬皮爐管，溫度可達 2000°C ，絲料則在爐管的中心通過。并為了避免鉬管因加熱後膨脹而發生爐管的彎曲，所以爐管作成一端固定而另一端則可活動，使有伸縮的余地，為受熱後的鉬管仍處於拉直狀態，尚在活動端加一重錘，如圖上所示。在鉬皮爐管的外面包有熱絕緣物質，防止熱量外散，并為了爐壳溫度不至很高，還在爐內通水進行冷卻。

使用這種爐子的優點為：加熱經濟，受外界電源變化并不敏感，爐子預熱時間短，且無水銀蒸汽。因此這種爐子在目前生產中應用是一種比較好的絲料退火爐。

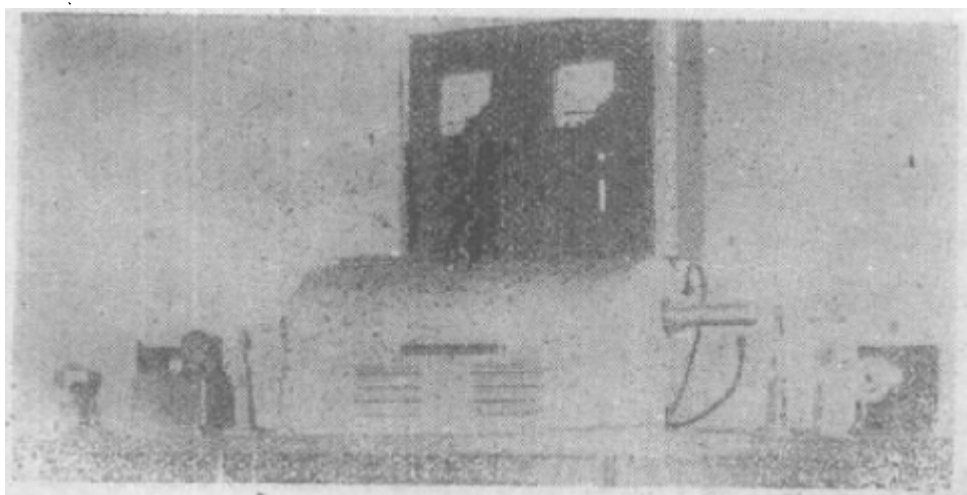


圖4-10 鉬管絲料退火爐外形圖。

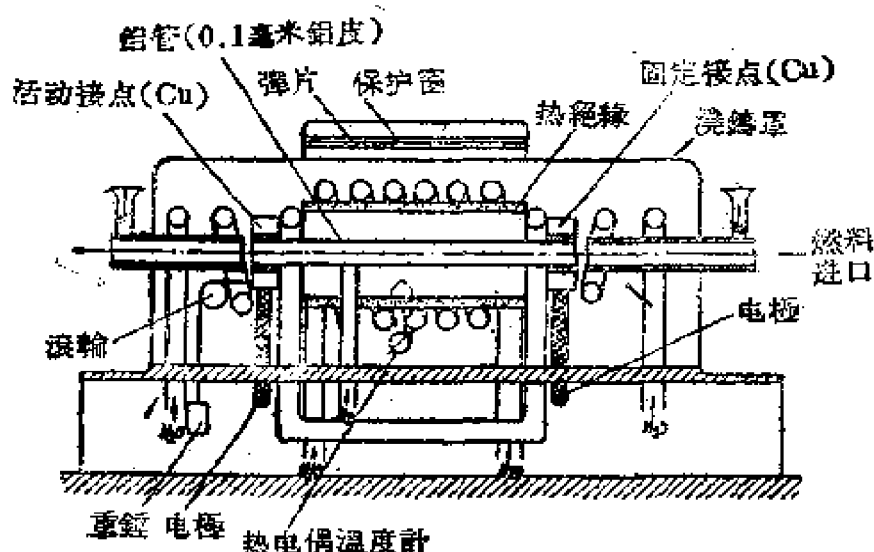


圖4-11 鉛管絲料退火爐。

各种金屬零件的热处理规范有如表 4-1 所示。

表4-1 金屬零件的热处理规范

金 屬	零 件	热 处 理 环 境	温 度 °C	时 間
鉛	振蕩管柵極	真 空	<1500	<2 小时
	螺旋及彈簧	氬 气	1300	2~5分
	鎢 絲	氬氮混合气体	1200~1400	
	X射綫管鎢	真 空	1800	8~11小时
鉍	阳 極	氬 气	1000~1100	20~30分
	柵 極	氬 气	800~1000	10~30分
	鉍 絲	氬 气	1000~1200	
銀	阳 極	氬 气	800~1100	5~20分
	柵 極	氬 气	600~800	5~10分
	炭化零件	氬 气	600~800	5~10分
		真 空	600~900	<30分以上
	大电子管中的大零件	真 空	900~1100	30分鐘以上
	鎢 絲	氬 气	800~1000	
鉄 (鋼)	金剛管壳	氬氮混合气体	1100	10分
	屏蔽罩, 阳極	氬 气	900~1100	2 小时以上
		真 空	900~1000	10~30分
鉄鉻	X射綫管阳極	真 空	800~1000	2 小时以上
	及其他零件	純 氬	900~1200	10~30分

(續)

金 屬	零 件	熱處理環境	溫度℃	時 間
銅	銅邊杆的端極	氬 氣	100~500	5~10分
	振蕩管的銅零件	真 空	600~700	10~20分
	X射綫管印極銅棒	真 空	700~800	2小時以上
鉍	陽極, 端極	真 空	1500	10~30分
	鉍 絲	真 空	1000~1200	
銀	各種零件	空氣中或氬氣中	500~700	5~20分
鉑	絲或帶	空氣中	600~800	

表4-2 金屬絲料退火規範

材料名稱	直 徑 (毫米)	重 量 毫克/200毫米	退 火 規 范			機 械 特 性	
			電流強度	溫度指示器 指 數	速 度 (米/分)	伸 長 率 (百分比)	抗 張 力 (克)
鎢 絲	0.025	1.84~1.96	7~8	79~85	3~6		≥120
	0.110		8~8.5	80~85	10~12		2350~2450
鉍 絲	0.03	3.9~4.2	8~9.2	80~92	6	≥15	≥170
	0.06	5.7~6.06	8~9.2	80~92	6	≥17	≥220
	0.08	10.14~10.76	8.5~9.5	85~95	10	≥18	≥430
	0.084	11.18~11.86	8.5~9.5	90~95	10	≥18	≥470
	0.1	15.52~16.48	8.7~9.7	90~95	10	≥18	≥665
	0.13	26.21~28.97	8.7~9.7	90~95	10	≥18	≥1130
	0.15	34.90~38.58	8.7~9.7	90~95	10	≥18	
	0.2	62.05~68.57	8.7~9.7	90~95	10	≥18	≥1800
	0.6		11.5~13.5			≥16	
銀鎢絲	0.05	3.44~3.64	4.5~5.0	27~40	10~12	13~22	≥110
	0.076	7.93~8.09	4.5~5.0	35~45	10~12	14~18	≥270
	0.08	8.83~8.97	4.5~5.5	35~45	10~12	12~16	≥370
	0.1	13.70~13.92	5.0~5.5	35~48	10~12	8~12	500
	0.13	23.37~23.83	5.0~5.5	35~48	10~12	8~12	850
	0.15	直徑±25%	5.0~5.5	35~48	10~12	6~10	≥1600
鎢鉍絲	0.030	1.29~1.37	5~6.5	35~55	10~12	16~22	—
	0.040	2.31~2.43	6~7	55~70	10~12	≥20	≥140
	0.050	重量±5%	6~7	55~70	20	≥26	≥220
	0.080	重量±3%	6~7	55~70	20	26~28	≥650
	0.1	重量±2%	6~7	55~70	20	27~30	≥850
	0.13	重量±1.7%	6~7	55~70	20	27~30	1200

§4-8 測量溫度的儀表

在電子管生產上用來測量溫度的儀表通常的有下列幾種:

(1) 液體玻璃管溫度表 這種溫度表是利用玻璃管內物質(液

体) 热膨胀性质的作用。玻管内的液体可为水银、酒精或甲苯等物质, 通常以水银的为多。这种温度表大多应用在温度较低的情况下, 如在测量由 -80 到 $+500^{\circ}\text{C}$ 的温度范围时, 通常总是使用这类温度计。这是因为它的使用简单, 并且测量的结果有足够高的准确度, 何况价格又为低廉。

如用石英玻璃制的水银温度表, 则可用于测量达 700°C 的温度。

(2) 热电偶温度计 热电偶温度计是利用不同金属的接合点在位于有温度差的情况下而产生热电势的作用。通常的结构原理如图4-12所示。工作时热电偶的热点置于欲测量温度的位置, 然后在电流表中读出电流的大小, 但一般现成的热电偶温度表, 均已把电流表的刻度相应的转换刻为温度的数值。

用来制造热电偶的材料要求在测量的温度范围内它们的物理化学性质应该稳定, 并能产生足够的热电势, 所生电势最好应与温差成直线关系; 而电阻温度系数要尽可能小, 常用的热电偶材料有下列几种:

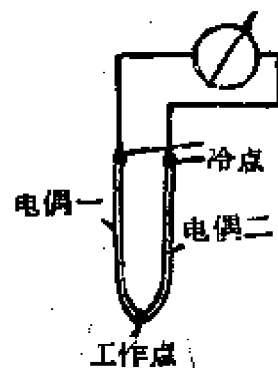


图4-12 热电偶温度表。

1) 铁和康铜——这种热电偶用来测量 600°C 以下的温度, 由于这种热电偶测量温度较低, 且铁易生锈, 故应用得比较少。

2) 镍铝合金和镍铬合金——这种热电偶在高温下抗氧能力很强, 常用来测量 1000°C 以下的温度。

3) 铂铑合金和铂——这种热电偶在长期测量中, 可用于测量达 1300°C 的温度, 而在短时期测量中, 则可用于达 1600°C 的温度。由于这种热电偶较前几种价高得多, 故如用来测量 900°C 以下的温度时是不适宜的。此外, 这种热电偶在氧化性气体下工作是很好的, 但如遇在还原性气体中工作时则对它有害, 此时必须将热电偶和被测介质隔开。

热电偶在工作时应该保持冷点温度的恒定, 因此最好把冷端置于恒温箱 (0°C) 中, 否则读得的温度误差较大。但这样使用在一般生产

上是極不方便的，为此一般热电偶在工作时，就仅要求冷端置于室溫；这种情况在測量高溫时誤差不会产生很大。并为了保証冷端能接近室溫，因此冷点和热点之間須有足够長的距离，即不能把热电偶做得很短，使冷点溫度不致上升。在遇到杆状硬的热电偶做得太長不便时，可在热电偶上再用柔軟的導綫延長之，如圖4-13所示，但这时所用軟綫的性質应当与被接長的热电偶完全相同。

在測量爐內有气体的溫度时，为了保护热电偶不受侵蝕起見，常在热电偶外加一保护管，这时热电偶外形如圖4-14所示。保护套的管是用不銹鋼或石英制成。

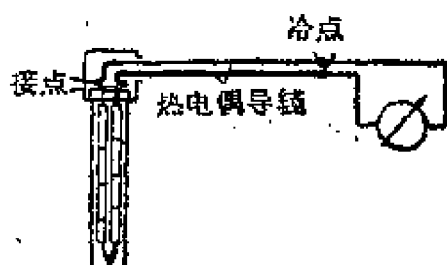


圖4-13 有延長軟綫的热电偶。

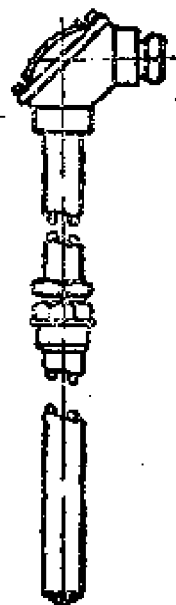


圖4-14 有保护套的热电偶外形。

为此，热电偶溫度計，大都用于測量 $600^{\circ}\text{C} \sim 1300^{\circ}\text{C}$ 情况下的溫度。且用这种溫度計还有可能装自动記錄溫度的設備以及自动控制溫度的裝置，因此这种溫度計在生产設備上应用得最廣。

(3) 光学高溫計 光学高溫計是基于發热物体产生輻射光的性質。它是利用發射物体的輻射光强度和仪表中灯泡絲所發光的强度相比較而測得溫度的。这种溫度計的結構原理如

4-15 所示。1 为物鏡，2 为目鏡，3 为紅色滤光鏡，使仅以 0.65 微米的紅色光进行比較，4 为具有弧形鎢絲的灯泡，5 为吸收玻璃，当測量較高溫度时，6 为电阻器，以改变灯泡所發光的强弱，7 为电流表通

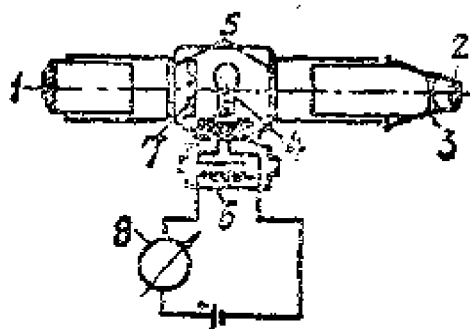


圖4-15 光学高溫計結構原理。

高溫度时，6 为电阻器，以改变灯泡所發光的强弱，7 为电流表通

常亦已把它的刻度刻为相应的溫度了。

测量时把灯泡接上电源，目鏡对准被测量的热源并調凸鏡 1 的焦点，于是在視界範圍內輻射热源的象所形成的發光背景上就可看到弧形的灯絲。如果灯絲加热的溫度比热体低，則灯絲的亮度就要比热体光所形成的背景亮度弱些，这时灯絲就在这个背景上显出一条暗的弧綫，如圖4-16，(1)所示。如果灯絲的溫度調节到和热体的溫度相同时那这时灯絲的弧形就消失了，如圖4-16，(2)所示，此时在电流表中所讀的溫度，即為被測热体的溫度，而若灯絲的溫度調得比輻射热体的溫度还高，那末就在發光的背景上的灯絲就形成發亮的弧綫了，如圖4-16，(3)所示。这时就必須再降低灯泡溫度，重新調节。

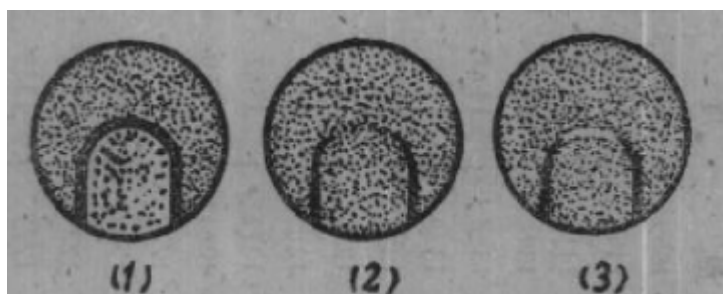


圖4-16 觀察光学高溫計中的三种情况。

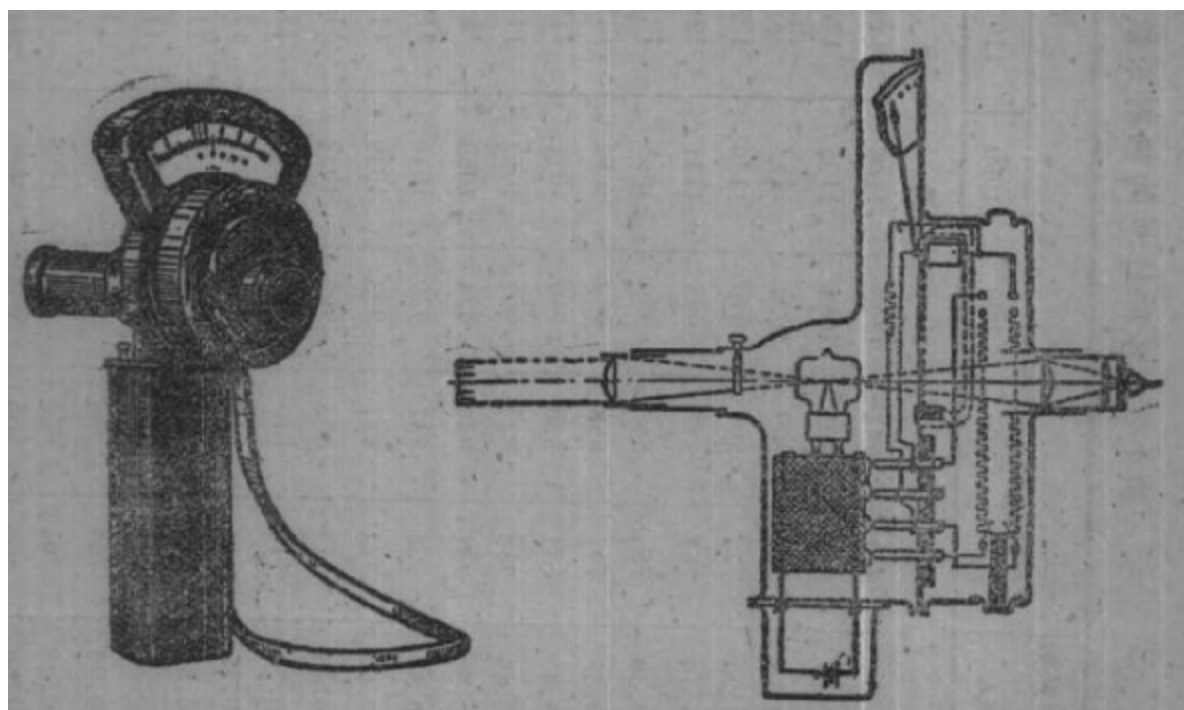


圖4-17 光学高溫計外形及結構圖。

表4-3 各种材料的辐射系数在各种温度下测得温度与真正温度的对照 $\lambda=0.65\mu$

辐射系数 $\varepsilon\lambda$	测 得 温 度 $^{\circ}\text{C}$										
	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000
0.05	848	983	1123	1266	1415	1559	1728	1840	2240	2614	3017
0.10	810	935	1064	1195	1330	1468	1609	1754	2056	2373	2708
0.15	789	909	1032	1157	1284	1414	1546	1682	1960	2250	2552
0.20	774	891	1010	1130	1253	1378	1504	1633	1897	2170	2453
0.25	763	878	993	1111	1230	1358	1473	1597	1850	2111	2379
0.30	755	867	980	1095	1211	1329	1448	1568	1814	2065	2322
0.35	747	858	959	1082	1196	1311	1427	1545	1783	2027	2276
0.40	741	850	960	1071	1183	1296	1410	1525	1758	1996	2237
0.45	736	843	952	1062	1172	1283	1395	1508	1736	1968	2204
0.50	731	837	945	1053	1162	1272	1382	1493	1717	1945	2175
0.55	726	832	939	1046	1153	1261	1370	1480	1700	1923	2149
0.60	722	827	933	1039	1145	1252	1360	1467	1685	1905	2126
0.65	719	823	927	1032	1138	1244	1350	1457	1671	1888	2106
0.70	716	819	923	1027	1131	1236	1341	1447	1659	1872	2087
0.75	712	815	917	1021	1125	1229	1333	1437	1647	1858	2069
0.80	710	812	914	1017	1119	1222	1325	1429	1636	1844	2054
0.85	707	809	910	1012	1114	1216	1318	1421	1626	1832	2039
0.90	704	805	907	1008	1109	1210	1312	1413	1617	1821	2025
0.95	702	803	903	1004	1104	1205	1306	1407	1608	1810	2012
1.00	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000

这类仪表的外形和结构有如圖4-17所示。它能測量700~2000°C。当測量700~1400°C的量程时，这时灯泡前的吸收玻璃应旋开，而在測量1400~2000°C时，則需把吸收玻璃旋上。被测物体和高温計的距离可在0.5~5公尺的范围内进行測量。

用这种仪表來測量溫度的最主要优点是在測量溫度时它无需把仪表的任何一部分触及被测高温物体，这样就使得很多无法用上述溫度計来进行測量的情况，它却能够进行測量，并且測量时还不会影响被测物体的溫度場。例如一般热电偶測量高温爐溫度的时候，大都均只能測得爐管表面的溫度，因此要測管內的真正溫度。就常需用这类溫度計来进行。此外在电子管生产上測量高温物体的溫度时，亦經常使用光学高温計，尤在排气时測量管内电极溫度更为不可缺少；因为这时电极均已封入玻壳内部，无法再用普通一般所用測量溫度的仪表来进行測量。

由于各物体的輻射系数各不相同，因此虽則在同一溫度下，但各个物体所产生的輻射能强度亦就不等，換句話說也就是用光学高温計所測得溫度总非是該物体的真正溫度，这是因为一般光学高温計在校准仪表中灯泡灯絲的溫度时是与絕對黑体所产生的輻射能强度相比較，为此亦只有測量絕對黑体时，表上所指溫度才为真正該物体的溫度，而一般物体的輻射系数总是比絕對黑体的輻射系数为小(絕對黑体的輻射系数 $\xi=1$)，因此所測得的溫度总較真正溫度为低，如要求得被测物体的真正溫度，則可按下式进行校准：

$$T = \frac{T_1}{1 + \frac{\lambda T_1}{C_2} \ln \xi_\lambda},$$

式中 T ——为被测物体的真正溫度；
 T_1 ——由高温計表中所讀的溫度；
 λ ——測量的波長，为0.65微米；
 C_2 ——常数，为14320 微米·度；
 ξ_λ ——被测物体的輻射系数。

由于式中 C_2 和 λ 均已固定，因此只要知道被测物体的輻射系数

后就可进行校准。并为了使用方便起见，以上校准公式已作成表4-3，使用时只要在表中查之便可。

各物体的辐射系数列于表4-4中。

从校准公式或表4-3中都可看出，如果被测物体的辐射系数愈小，所测温度愈高，则所测量的温度与真正温度的误差愈大；反之，如所测物体的辐射系数较大，即接近于1（如大于0.5），而所测温度又较低（如在1000°C以下），则所测温度与真正温度已很接近，一般已可不必再进行校准。

表4-4 各种物质的辐射系数值

$$\lambda = 0.65 \mu$$

材 料	ϵ_λ	材 料	ϵ_λ	材 料	ϵ_λ	材 料	ϵ_λ
銀	0.07	鎳	0.36	氧化鈣	0.10~0.40	氧化鎢	0.60~0.70
銅	0.10	鈷	0.36	氧化鎂	0.10~0.43	氧化鉄	0.63~0.98
金	0.14	鉬	0.37	氧化鈦	0.20~0.57	氧化鈷	0.70~0.75
鋁	0.24	鈮	0.37	氧化鉍	0.07~0.37	氧化鎳	0.85~0.96
鎘	0.24	鎢	0.43	氧化鎳	0.18~0.80		
鈾	0.30	鉭	0.49	氧化鋁	0.22~0.40		
銻	0.32	釷	0.59	陶 瓷	0.25~0.50		
鋇	0.33	鉍	0.61	氧化錫	0.32~0.60		
鉻	0.34	鈦	0.63	氧化鈦	0.50~0.55		
鉄	0.35	碳	0.80	氧化銅	0.60~0.80		

第五章 电子管材料及零件的被复

§5-1 电子管材料及零件被复的目的

在电子管制造上，往往在材料或加工后的零件上被复一層其他物質，这种被复盖的材料或零件有的是金屬的，也有是非金屬的。例如某些电子管中的阴極、栅極、阳極以及云母片等都是經過被复的。在电子管制造上所有材料及零件进行被复的目的有下列几方面：

(一) 改变零件表面的輻射率

电子管中的有些零件，例如阳極、栅極或散热片等，为了增加其有效發散功率，提高热負荷，不至于在高溫下变形或过度蒸發，常被复上一層輻射系数較大的物質，如碳、銻等暗黑色物質，以增加其輻射能力。但也有某种情况，希望零件的表面輻射系数要小，例如金屬管壳的内壁等，以降低管壳的热量向管内阳極輻射。

(二) 改变零件表面的电子發射能力

在电子管中，阴極是發射电子的源泉。为此，某些阴極是用被复逸出功較低的物質制成，以得到較高的發射能力来达到作为阴極的目的，如氧化物阴極，光电阴極等。但在电子管中往往我們希望除了阴極需發射电子外，并不希望其他的电極会發射电子。因为这样会破坏电子管正常工作的。可是一般栅極和阴極相距很近，往往使阴極上的激活性物質跟到栅極上去，从而引起栅極也發射电子。为了消除或避免这种情况，常在栅極上塗金塗碳等这一类逸出功較大的物質。

(三) 改变零件表面的导电率

电子管中的某些零件要求表面的导电率大，有在表面鍍銀的；有些电子管的玻璃壳为了能使跑到玻壳上的电子引走，以及避免玻壳引起二次电子的产生，就在玻壳的内壁塗以石墨；有的为了起屏蔽作用，也有在电子管的玻壳的外壁塗以金屬粉層。但也有些零件要求表

面的导电率極小的，如云母絕緣片。为此常在云母片上噴塗氧化鎂粉以降低表面导电率，增加电極間的絕緣性能。另外如間熱式阴極的热絲为了使它不至和阴極套管發生短路或漏電，亦要在它的上面被复一層絕緣物質，如氧化鋁来达到相互絕緣的目的。

(四) 防止金屬零件受到腐蝕

电子管外部的金屬零件如：管脚、管帽、金屬管壳等，由于它們暴露于空气中，常会产生氧化和腐蝕。为了使它們免受氧化和腐蝕，常在这些零件上被复另一种不易腐蝕的金屬，如鎳、鉻等。或是塗上防腐漆等。而对于电子管内部的零件，如果使用那些較易氧化的金屬所制成的零件，如鉬或钽的零件，由于它們很易在高溫时于真空度差的情况下氧化。为此，也常在这些零件上鍍銀、金或鉑等貴金屬。

(五) 改变材料的物理性質

有时为了改变金屬的物理性質，常采用双金屬的方法（即所謂包金法）。例如为了得到和軟玻璃膨脹系数相接近的金屬，就用鉄鎳合金上鍍銅来制成杜美絲，为了得到輻射系数大且不易氧化的阳極材料，就制成了鋁包鉄的敷鋁鉄皮。又例如为了改善銅零件的点焊性能，則在其表面鍍鎳，以及其他等等。

(六) 其他

除上述外，有时为了提高电子管的真空度，阳極、栅極或其他零件上塗吸气剂。为了稳定栅極的接触电位差，而在其上塗鎂或其他物質。另外如杜美絲外層塗硼砂使以后它与玻璃能作气密的封接等等。

§5-2 被复的种类及方法

根据上述各种的被复目的以及不同的要求，在电子管生产上所有的被复种类及方法可有下列几种：

(一) 机械被复法

在这类被复法中又可分下列数种方法：

1) 噴塗法 这种方法是把欲塗复的物質配成悬濁液，然后借噴槍（內通壓縮空气）将悬濁液噴到被塗复的物体上。应用这种被复方

法的如有間熱式氧化物陰極塗碳酸鹽、熱絲塗氧化鋁、陽極塗鉛、云母片塗氧化鎂、玻壳內壁塗石墨以及金屬管壳塗漆等等。关于詳細被復方法將分別在以后各章中敘述。

2) 拉塗法 這種方法主要应用于絲料被復，塗復時亦把被復的物質先配成懸濁液，然後將絲料通過盛有懸濁液的小杯，使懸濁液被塗敷到絲料上，然後進行烘干，如圖 5-1 所示。应用這種被復方法的如有直熱式氧化物陰極的塗碳酸鹽及間熱式陰極的熱絲塗氧化鋁等。

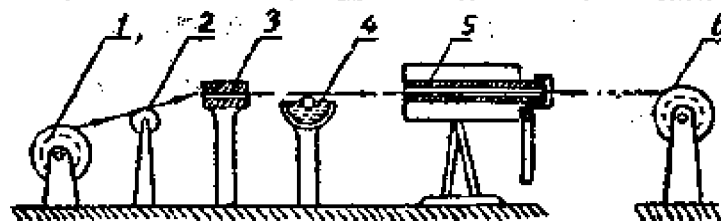


圖5-1 拉塗裝置:

1—綫輪；2—導輪；3—支持輪；4—小杯；5—烘爐；6—收綫輪。

3) 浸漬法 這種方法亦需將被復的物質先配成懸濁液，然後將欲塗復的零件向懸濁液內浸漬，取出後烘干而成。或將這種懸濁液向欲被復的零件內灌塗後倒出。应用這種方法的有如陰極射綫管內壁之塗石墨，螢光灯管壳內壁的，塗螢光粉等。這時所用的裝置如圖 5-2 所示。石墨塗液盛于漏斗 *D* 中，管壳裝于可以繞軸 *AB* 旋轉的支架上管壳底部經過管塞將懸濁液通入，這只要將漏斗 *D* 提高就可達到。同時還裝有一空管 *E*，此管略高出液面 *C*，以便當石墨灌入時將管內空氣趕跑。待管壳繞 *AB* 軸旋轉後則在管壳壁上就沾上一層石墨液，然後再將漏斗 *D* 放下管內剩餘塗液又都回到漏斗 *D* 中，以後將管壳烘干即成。

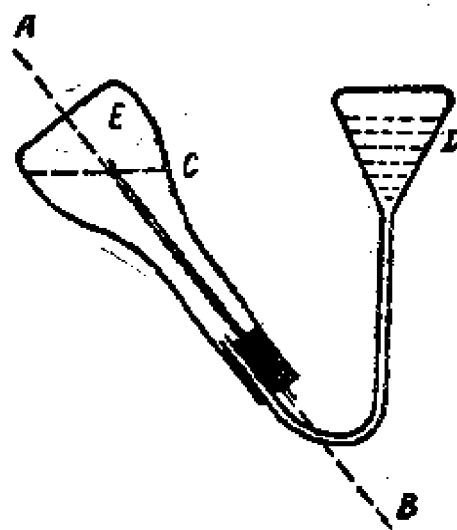


圖5-2 管壳塗石墨。

4) 沉淀法 這種方法是將欲塗物質加粘結劑和沉淀劑一起配成溶液，然後將它倒在欲塗的物體上面，待被塗物質沉淀在底部後，就輕輕將上面的液體倒去，此時只剩被塗物質留在底部，最後進行烘干

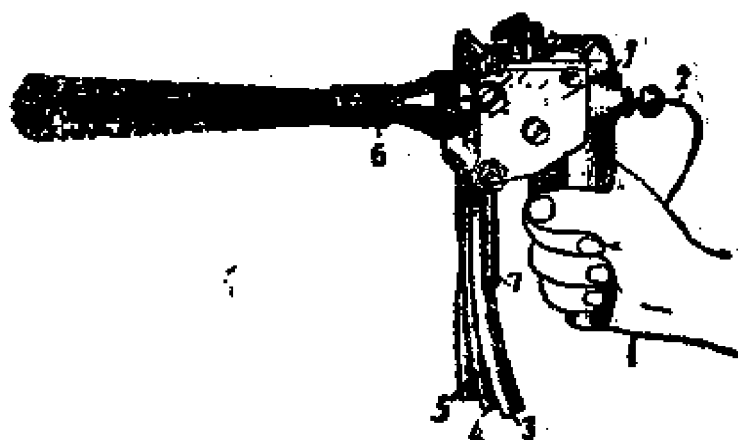


圖5-3 噴金屬用噴槍:

1—槍身; 2—熔噴金屬絲; 3—氧氣管; 4—乙炔氣管;
5—氮氣管; 6—噴嘴; 7—控制柄。

即成。例如電子束管螢光屏的被復就用此法進行，它的沉淀溶液是由螢光粉、硅酸鉀、硝酸鋇及蒸餾水所組成。

以上四種方法主要用來所被復的物質為非金屬物質，如果是被復金屬物質，則用以下方法：

5) 熔融噴塗法 這種方法是將熔化了的金屬用壓縮空氣使之呈微粒狀噴射到被塗敷的物體表面而成的。欲被復的物體可為金屬制的亦可為非金屬制的。噴塗時需用特殊的噴槍進行，其結構如圖5-3所示。它是將金屬絲2送入槍內氧炔焰中或電弧中熔化，然後用壓縮氮氣將熔融金屬噴出。在噴塗時，如果零件表面粗糙，則以後所得塗層要比零件表面光滑的結合得牢一些。此外噴塗質量亦和噴槍與零件之間的距離，壓縮空氣的大小等有關。這種被復常用來塗復玻殼外壁的金屬屏蔽層。

6) 熔融拉塗法（熱塗法） 熱塗法是用將塗復的金屬熔化，然後將欲被復的金屬零件與此熔融的金屬直接相接觸後而塗敷上的。這種熔融金屬與被復金屬之結合，主要是借它們的分子結合力，因而可能在結合處形

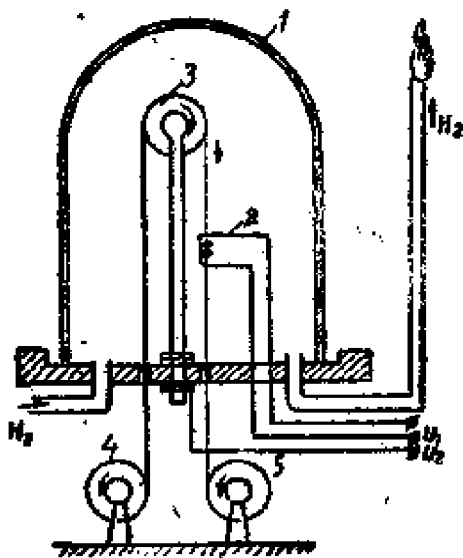


圖5-4 熱塗裝置。

成金屬的固溶體。這種方法原應用於被復熔點溫度較低的金屬，如錫、鋅、鋁等。但在電子管生產上，這種方法主要用來金屬絲料的被復，而且被復的金屬其熔點也較高，如柵極絲料的塗金、銀、鋁，或它們的合金，以及有時在直熱式氧化物陰極芯金屬（鎢絲）上塗青銅等。它們的被復是在保護性氣體（常在氮中）進行，其裝置如圖 5-4 所示。金屬絲從放絲輪 4 出來後繞過滾輪 3 即進入用螺旋 2 加熱的熔點金屬中，塗復後出玻璃罩繞在收綫軸 5 上，螺旋絲 2 的加熱由電源 U_1 供給，電源 U_2 是使金屬絲在通過螺旋 2 前先自行通電進行預熱，以使熔融金屬容易附着。加熱用的螺旋 2 常用鉚絲制成，塗復的金屬放在螺旋內，因為熔化了的金屬其滴較小，且其表面張力較大，故不致由螺旋溢出。但也可把塗復的金屬放於特殊的石墨小坩堝中，石墨小坩堝外仍用螺旋鉚絲加熱，這時金屬在坩堝內熔融。坩堝的底部有小孔，以便讓欲塗復的金屬絲通過。這種用熱塗法所得塗層的厚度，與被復絲料的直徑，通過熔融金屬的速度，熔融金屬的溫度以及絲料的預熱溫度有關，一般塗層厚度隨絲料的直徑增加而變厚，也隨着絲料通過熔融金屬的速度增快而變厚。但如果絲料直徑過大或拉速過快時，則塗層往往又會變得粗糙。而對於熔融金屬的溫度如果較低，則塗層亦較厚。此外，絲料如果經過預熱，則所被復的厚度亦會較厚。在生產上經常總是以調節絲的拉速來控制塗層的厚度較方便，不得已才略改變熔融金屬的溫度（且變化不大，或採用多熔點的合金）。

熱塗時絲的拉速一般在每分鐘 20~40 米之間，而被復塗層厚度可在幾十微米到小於 1 微米的範圍內調節。

實驗證明，合金常較純金屬易於塗復，故有時常用金——鉚，金——銀，金——鋁，銀——鉚，銀——鋁，鉚——鎳等合金來進行塗復。

用熱塗法來進行柵極絲料塗復金屬的優點是：金屬的消耗量少（柵極邊杆上所塗的金屬可省去），廢品亦較少，並且用熱塗法所得的金屬塗層要比用電鍍法所得的塗層來得牢固。

7) 熔融浸漬法 這種方法的塗復原理和熔融拉塗法相同，但前所敘述之熱塗法主要用來塗復直徑較細的金屬絲，而對於一般金屬零件

件的塗复則常用这种浸漬法。它是將經過淨化后的零件在熔融金屬中浸漬，然后取出而成。这种方法常用来鍍錫与鋅。如电子管的銅引出綫，有时为了易于与管基上的管脚进行焊接，常先在銅引綫上鍍錫。

8) 輾压法 (包金法) 这种方法就是将两种不同的金屬进行热压或輾压，使两者紧密地結合在一起，以得到所謂双金屬。在电子管生产上，这种方法常用来制造敷鋁鉄、鍍包鉄絲、銅包鉄絲以及杜美絲的鉄鍍芯上敷銅等。对于敷鋁鉄皮的輾压过程一般如下：先将鉄皮进行退火，然后将一定厚度的鉄皮和鋁皮进行表面淨化。淨化后，將鋁皮复在鉄皮的两面放到滾压机上进行輾压。一般輾压前的材料厚度在0.5~2.2毫米者，其所用滾压机滾筒直徑为210~300毫米，滾筒轉速約为每分鐘18~24轉。压制时滾筒与复鋁鉄需加热到200°C以上。

(二) 物理被复法

在这类被复法中可有下列几种方法：

1) 阴極濺射法 这种方法是利用气体放电时借高速的正离子轟击阴極，而使阴極的金屬濺出凝結到欲塗复的零件上。因此塗敷必須在特殊的抽真空装置中进行，如圖5-5所示。圖中1为玻璃罩，2为阴極，3为欲被复的零件，

它位于阴極和阳極之間，而4为阳極。通常零件和阴極間的距离約为阴極位降。塗复时，先把容器內空气抽去，大約到 10^{-4} 毫米汞柱左右，然后充入氩或氖气，压力約为 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 毫米汞柱。充气的目的—方面可防止金屬氧化，且还可降低电离电位。然后在兩極上施以500~5000伏的高电压，以使气体放电后，产生高速的正离子来轟击阴極，使它濺射出被复的金屬塗

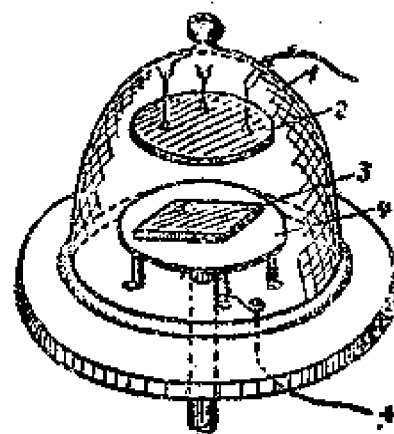


圖5-5 阴極濺射法：

1—玻璃罩；2—阴極；
3—零件；4—阳極。

到零件上。利用这种方法，在金屬或非金屬上均能被复。但这种方法塗复的速度甚慢，一般得到 10^{-6} 厘米厚的塗層，約需十分鐘左右。

2) 眞空蒸發法 它是应用在眞空中的高溫下使金屬得到蒸發而

沉积到欲被复零件表面的方法。这种方法比阴极溅射法应用得广，这是因为它形成涂层迅速，且又不需很高的电压。进行这种方法涂复时亦需一特殊的抽真空装置，如图 5-6 所示，蒸发在玻璃罩内进行，把涂复的金属置于钨螺旋加热器上，欲被复的零件置于上方，涂复时将容器内抽真空到 10^{-5} 毫米汞柱左右，为了得到良好的涂复效果，容器内的真空度应使气体分子的平均自由路程大于容器的最大几何尺寸，使金属分子能直接跑到零件上，待达到这样的真空度后，就通电加热螺旋丝，于是金属蒸发沉积到零件的表面上形成一层金属薄膜。由于铜和银不易熔裹在钨丝里，为此若在蒸发这些金属时，就应用钼丝或钨丝作为加热器。

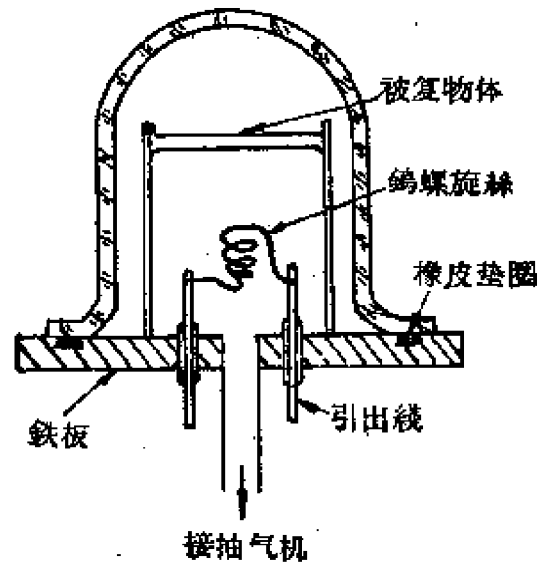


图 5-6 真空蒸发装置。

此外，涂复时金属的蒸汽压最好应大于 10^{-3} 毫米汞柱，一般金属在其蒸汽压达到 10^{-2} 毫米汞柱时的温度列于表 5-1 中。

表 5-1 各种金属其蒸汽压达 10^{-2} 毫米汞柱时的温度

金 属	蒸发温度 $^{\circ}\text{C}$	金 属	蒸发温度 $^{\circ}\text{C}$
汞	47	银	1046
镉	268	金	1172
锌	350	铝	1182
镁	439	铜	1269
铅	727	铁	1421
锡	875	镍	1444
铬	917	铂	2059

这种方法亦同样能在金属制的或非金属制的零件上涂复金属薄层。

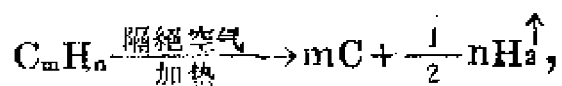
(三) 化学被复法

1) 化学溶剂法 它是用相应的化学溶剂来进行金、银、铂等涂复，这种用化学溶剂的涂复金属，主要适用于玻璃制品的涂复。例如玻璃上涂银常用 8 克硝酸银溶解于 100 立方厘米的蒸馏水中，并滴入阿莫尼亚直至沉淀消失为止，然后把溶液经过过滤保存于暗处。在使用前滴入 30% 的甲醛溶液 50 滴，欲涂的玻璃零件在此溶液中浸 10~15 分钟后，即有银沉积于上。此外如涂复铂，可将 1 克铂氯酸(H_2PtCl_6)溶解在 3 立方厘米的无水酒精中，之后加以硼酸的浓酒精溶液 10 立方厘米及松节油与薰衣草油的等量混合物 20 立方厘米，所得到的为适度的粘状体，它可保持很久。用时，将这种粘状体用毛刷涂敷于玻璃制品上，而后放在电炉中慢慢加热至 800°C ，时间约 10~20 分钟，铂即被复于玻璃上。光电管阴极的基底常用此法进行涂复。

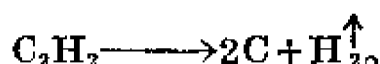
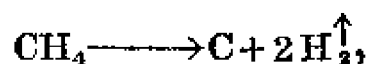
2) 氧化法 某些易氧化的金属，于空气中加热至一定温度，即在表面生成一层所需的氧化层。例如铁、镍或镀镍铁等零件在空气中加热至 900°C 则在表面生成黑色的氧化层，这就使得零件的热辐射性能提高了。氧化常在空气炉中(马弗炉)进行，马弗炉的结构在第四章中已经叙述，它为一用耐火材料制成的高温炉，加热亦用电热器进行。因为它无需抽真空，故使用方便。马弗炉除了可作为零件氧化外，有时还可作金属零件及玻璃制品的退火用。在电子管生产中，零件氧化主要是为了增加辐射系数，但铁及镍的氧化物在较高的温度下即会分解，故用这种方法来进行黑化的零件，其工作温度不得超过 500°C ，所以仅能适用于小型接收放大管中工作温度较低的阳极或隔离罩，并且这种氧化层往往当弯曲时易于剥落，因此氧化总在电极成形后进行。

3) 碳化法 它是利用碳氢化合物在隔绝空气的情况下加热而使其分解出的碳沉积到金属表面，使表面达到黑化的方法。用这种方法所得的黑化其耐高温性能较氧化法稍高。在接收放大管所用的许多阳极和散热片，常用这种方法来进行黑化，以提高电极的热辐射能力。

碳氢化合物在加热分解时，可用下列反应式表示：



式中 m 和 n 为任意数值，例如对于甲烷 (CH_4) 和乙炔 (C_2H_2) 即可直接用下式表示：



在电子管生产上用来碳化零件所用的碳氢化合物有：甲烷、乙炔、煤气、汽油、苯等。这些碳氢化合物在应用时各有优缺点，兹分别叙述于下：

(1) 甲烷——它是饱和氢的碳氢化合物，由于它无聚合作用，故在碳化时零件表面不易生成小塊（即所谓碳疤，碳疤是零件碳化后的一种废品形式，它的存在使表面不均匀，且由于碳疤易带有杂质，所以以后会放出气体）。它的缺点是制取不易，成本较高。

(2) 乙炔——这种气体为制取容易，价格低廉；但它是不饱和氢的碳氢化合物，有聚合作用，故碳化时易生成碳疤，使用时常加入二氧化碳来阻止乙炔的聚合，并且通入二氧化碳，由于冲稀了乙炔故还可避免乙炔气体的爆炸可能性。此外因乙炔气体中常含有磷、硫等杂质较多，所以在应用前须经过仔细过滤。

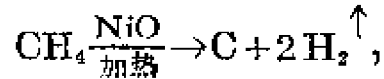
(3) 煤气——由于煤气在电子管制造厂中一般总是有的，故用它极为方便，且因煤气中常含有大部分的甲烷气体，故碳化时不易形成碳疤。但由于煤气中也往往含有硫、磷等有害电子发射的杂质，所以用来碳化的煤气，还须再进行仔细的过滤和净化，可是要满意地达到这要求，通常总不是很容易的。

(4) 汽油——汽油的来源容易，使用亦较方便，但汽油中亦大部分为不饱和氢的碳氢化合物，故易生成碳疤。并且汽油中亦常含有铅、硫等杂质。

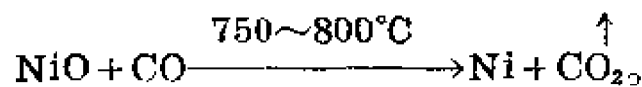
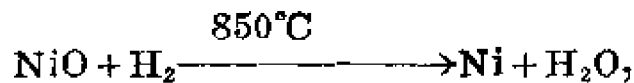
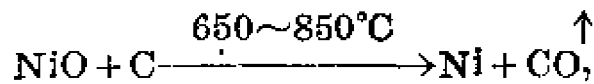
(5) 苯——苯的优点为杂质少，不必进行净化处理就可直接应用。但它为不饱和氢的碳化合物，所以碳化时亦易生成碳疤。

碳化前的零件必须先经过净化、烧氢等步骤，将金属表面的油脂及氧化物去除，并且一般还要进行氧化，使表面先生成一层氧化亚镍

(NiO)。这是由于氧化亞鎳有催化作用，促使有机物分解：



而氧化亞鎳本身又很易被 C、H₂、CO 还原，使得重新又变成新鮮的鎳：

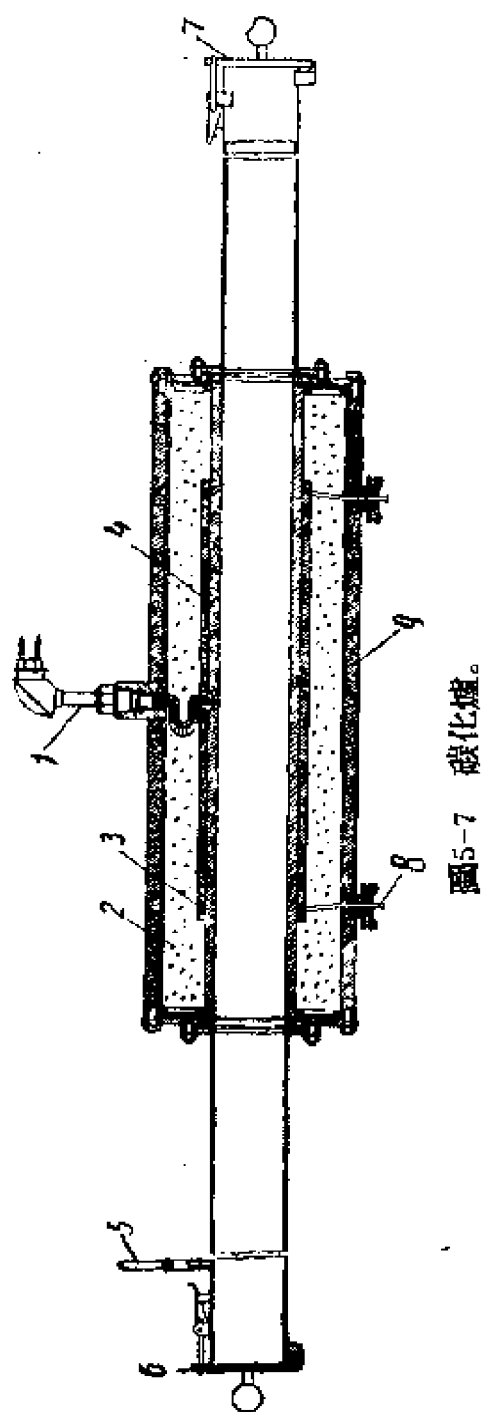


这样所得新鮮鎳的形成，使鎳的品格变松表面粗糙了，于是以后生成的碳化鎳及碳能附着于鎳的品格中，使表面碳層牢固。

氧化亦在馬弗爐中进行。氧化时的溫度需严格控制 在 850°C，使形成草綠色的氧化亞鎳 ($2\text{Ni} + \text{O}_2 \xrightarrow{850^\circ\text{C}} 2\text{NiO}$)，時間約需二十分鐘左右。如果氧化溫度太低，則鎳的表面是形成彩色的氧化鎳 (Ni₂O)；而溫度过高，則表面就变成深灰色的三氧化二鎳了。此外，在氧化时要注意使表面氧化均匀。为此，零件在放置于馬弗爐中时，不要相互重叠。

氧化后的零件，接着就可进行碳化。碳化在碳化爐中进行。碳化爐的构造亦和氫气爐的构造相类似，它一般亦分預热区、碳化区和冷却区。如图 5-7 所示。爐管 3 应用石英制成，外繞鎳鉻电热絲 4，这样可不致漏气。在爐管和爐壳間填以氧化鎂和石棉等絕热物質 2，爐管的溫度，借热电偶 1 来进行测量。

有时为了使碳化良好起見，常用混合气体进行碳化，例如純用甲烷进行碳化时，所得表面为灰色，而加入汽油蒸汽后，則就可得黑色表面。在这种情况下，液态的汽油在送入碳化爐前，需先将它汽化。汽化用汽化器来进行，它为由电热絲来加热的容器，液体由活門控制可逐滴滴入汽化器內。汽化器上装有溫度表，以便观察器內溫度。汽化后的蒸汽再借甲烷气体将汽油蒸汽一并送入爐內，送入气体的方向应



和碳化零件移动的方向相反。

在进行用甲烷和汽油进行碳化时，其操作规程如下：先将炉子升温，并保持在 850°C ，然后加热汽化器，滴下汽油（每一碳化炉每分钟约 40~60 滴如苯则为 120 滴/分）使汽油汽化，汽化器温度保持在 $95\sim 110^{\circ}\text{C}$ 。以后将甲烷和汽油蒸汽一并通入炉内，并点燃装料端出气管的气体，所通入之气体压力约为 1.5~2 个大气压，这时火焰的高度应为 20~25 厘米左右。在打开装料端炉门时，并应迅速用煤气焰点燃炉内气体，然后再将装有零件的镍盘用推杆推入炉内，关闭炉门。零件在炉内碳化时间约需二十分钟，最后再用推杆把零件推至冷却区冷却。

除可将已成形的零件进行碳化外，有时亦可先将材料进行碳化，然后再成形。如将材料进行碳化时，则此时常可采用连续碳化，其设备示意图如图 5-8 所示。但用连续式碳化炉时，必须氧化亦应连续进行，否则氧化质量是不易控制得均匀的。

在碳化时，炉子温度、气体流量、碳化时间均必须控制严格，否则将会产生碳化不良等情况。碳化时可能产生的废品形式及原因如下：

（1）碳化后有黄色斑点。这主要是由于含硫之故，尤其是镀锌铁皮碳化后，常易产生这类废品。

（2）产生各式斑点。其原因可能是因零件表面不清洁或氧化温

度过低；也有可能是由于碳化时零件相互重叠而引起的。

(3) 碳疤过多。这大都由于碳化时的气体为不饱和氢的碳氢化合物后所产生聚合作用的结果。或是气体太浓，亦会生成这种情况。

(4) 碳化表面太粗松，形成鹅绒状物质。这主要由于碳化温度太低的原因。

(5) 表面不易生成碳化层。其原因主要是表面不清洁，或碳化气体太淡，或炉子漏气。

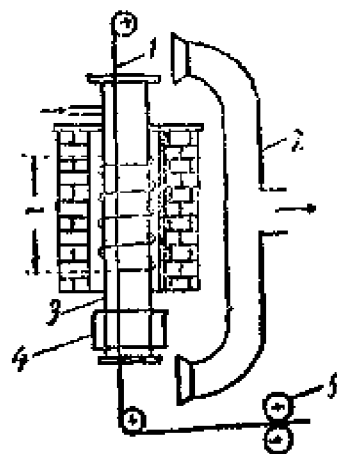


圖5-8 連續式碳化爐：

1—鐵帶；2—抽風機；3—燃管；4—冷却器；5—滾輪。

零件在經過碳化后，通常還要經過一些特殊處理，例如用鐵絲或鋼絲制的刷光輪將零件表面的碳粒，殘余灰粉等刷去，再在熱的蒸餾水中煮，以去除表面上的油脂碳疤等。

(四) 电化学被复法

在电子管制造上，属于这类被复方法的为下列几种：

1) 电镀法 在电子管生产上，电镀亦是常用的一种被复方法，如铁皮镀镍、铁镍合金镀铜（杜美丝），电子管的管脚管帽镀镍镀银、栅极镀金等等。

电镀是利用电解的原理，它将欲被复的零件浸于电解液中（电解液主要是由用作复盖的金属盐类，以及其他增加电导率的物质所配成的溶液），以它作为阴极，再把被复的金属（常为板状）亦浸于同一电解液中作为阳极。在直流电场的作用下，阳极的金属失去电子而变为金属离子跑到溶液中，而溶液中的金属离子跑向阴极取得电子后变为金属原子而沉积于阴极上。*

零件在电镀前，表面必须仔细地去除油污氧化物等脏物，只有零件经过彻底的净化后，电镀才能获得良好的效果。为此，在电镀前的零件，总须用机械、化学甚至电化学等方法来进行净化。

电镀时最主要设备就是电镀槽。电镀槽是貯放镀液的容器，其大小需视欲镀零件的大小及数量而定，深度亦视零件的长短而定。镀槽

过浅当然不宜，鍍槽太深則所需鍍液要多，且对于更換鍍液、攪拌及撈取跌落鍍件均為不便，故亦不好。

電鍍槽視零件的形狀、數量及用途不同而有着各種不同的種類，一般常用的為固定電鍍槽、鐘形電鍍槽及滾筒電鍍槽等。固定電鍍槽往往用于被復尺寸較大（如原材料）或形狀複雜及數量很多的零件。它為長方形鍍槽如圖 5-9 所示，其大小視零件而定，槽殼可用木材、鋼、水泥、塑料等材料制成。在槽底常裝有加熱器，使鍍液保持一定的溫度，有時還有攪拌器使鍍液濃度維持均勻。由于這種鍍槽的生產率較低，故鍍槽上常裝置傳送機構，使鍍件能平行着陽極而移動，這樣所得鍍層也較均勻，且生產率也大大提高。鐘形電鍍槽的結構如圖 5-10 所示，這種鍍槽主要用來電鍍小型零件，如管腳、管帽等鍍鎳用。槽殼 1 通常均用木制，亦有用鋼制外襯橡皮或塑膠的，桶底用銅板制成，以便作為陰極。陽極板 2 則固定在結構上部的連杆伸入槽內，工作時槽由電動機 3 通過減速器 4 及蝸輪機構 5 的帶動繞其軸而旋轉。當槽

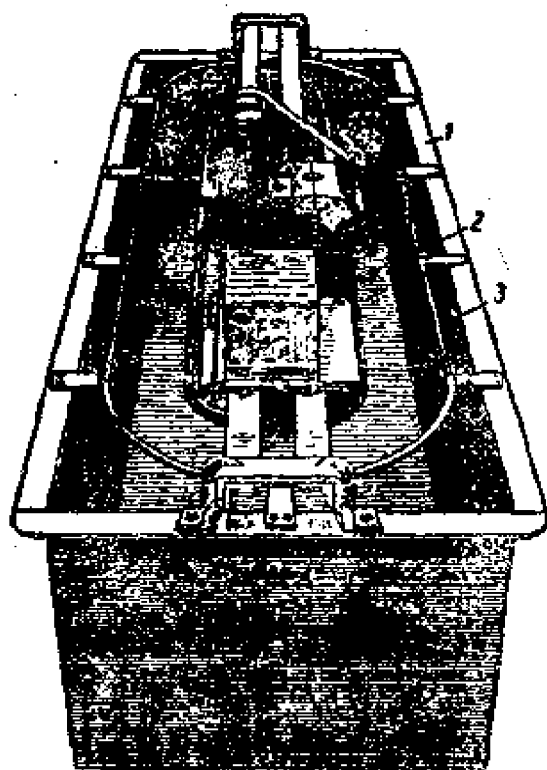


圖5-9 固定電鍍槽

1-槽殼；2-傳送帶(陰極)；3-陽極架。

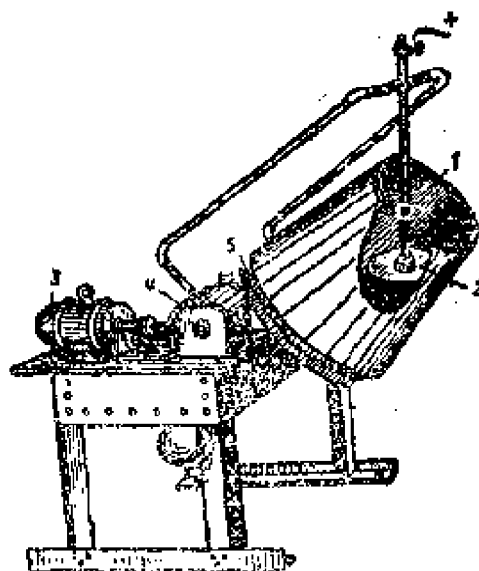


圖5-10 鐘形電鍍槽。

旋轉時，鍍件混在一起，整個時間與陰極相接觸，與被復的同時，鍍件亦因相互摩擦而拋光。這種鍍槽的缺點是因容量不大，電鍍液少，在電鍍過程中易生熱和變髒，且在卸料時，因須連電解液一併倒出，故電解液的浪費較多。此外所得鍍層也不易控制得準確。它的優點是能鍍很小的零件。滾筒電鍍槽的結構如圖 5-11 所示，鍍槽仍作盛置電鍍液用，但電鍍時鍍件置于用絕緣材料制的有孔滾筒內（滾筒的支架仍為金屬），滾筒置于兩個陽極之間，並以滾筒的支架作為陰極。滾筒的裝料和卸料是在滾筒邊旁進行。裝料後，滾筒可由升降機構放入槽中，同時滾筒在槽中旋轉，因此在電鍍時，零件同樣會因摩擦而被拋光。待得到所需鍍層厚度後，停止滾動，然後將滾筒升起取出鍍件，再繼續進行下一批零件的電鍍。這種鍍槽的優點為電解液浪費少，且亦能鍍小的零件，每批電鍍的零件數量多，故生產率高。

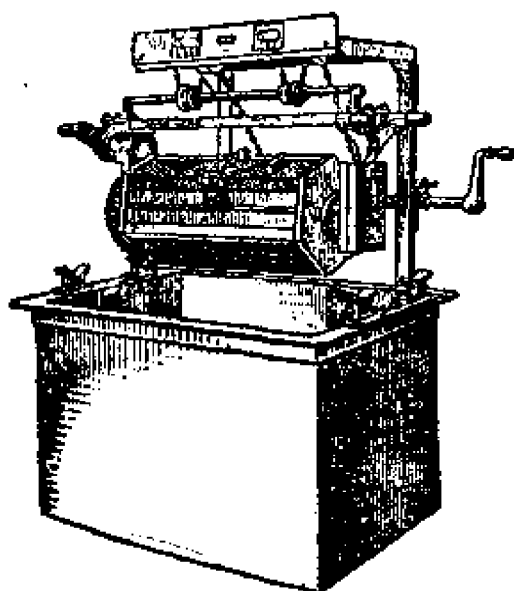


圖 5-11 滾筒電鍍槽。

電鍍槽中的陽極它需作為補充鍍液內的金屬離子，因此陽極即為所被復的金屬，它常由鑄造、壓延或電鍍製成。其形狀一般為板狀、球狀或其他形狀，這應視鍍件的形狀而定，使陽極和陰極各相對應點之間的距離接近相等為原則。此外，作為陽極的金屬要求所含雜質較少，這樣可使電鍍液不會很快就變髒。如果陽極材料所含雜質較多；則可用潔淨的布袋將陽極蒙罩起來使用。

在電子管製造上，電鍍用得較多的是鍍鎳、鍍銅、鍍金、鍍銀、鍍鉻等。茲分述于下：

鍍鎳——在電子管生產上，鍍鎳是應用得很廣泛的一種防止腐蝕（或氧化）的方法。如電子管的腳管、管帽以及其他外部黃銅零件都常進行鍍鎳。鍍鎳也常應用於被復電子管內部的零件，如鍍鎳鐵制陽極、散

热片，隔离罩以及栅极的铜边杆镀镍等。

镀镍时作为电镀液的主要成分是硫酸镍，此外镀液中还加入一些其他物质，例如为了增加镀液电导而加入的鹼金属盐（如硫酸钠），借以维持槽中酸度在一定范围内的缓冲剂（如硼酸），为了使阳极易于溶解以防止它的钝化所加入的氟或氯的化合物（如氯化钠）。在表 5-2 中列出了最常用的镀镍电解液成分。电解液的成分可以在表内所指的值上 10% 范围内变动。在加入新的镀液时，或电镀液已工作一时期后，就必须检验镀液的酸值，平常亦须每天测定一次酸值。这是因为当镀液酸度高时，镍就不易镀上，而在酸度低时，在镀液中就会生成氢氧化镍，这样会使所得镀层变脆并有脱落的危险。因此必需保持酸值一定（如表中所示）。如酸值不符合规格时，可加入酸溶液或鹼溶液予以恢复。在正常的维护情况下，镀液在工作中是稳定的，如果正确的清除有害杂质，它可使用很长的时间而无须更换。因此为了合理的净化镀液，应该周期地加以过滤。

表5-2 镀镍槽液的成分和操作规程

	成分名称	分子式	数量 克/立升	电压 伏	阴极电流密度 安/平方公寸	温度 °C	酸值 PH
固定电 镀槽	硫酸镍	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200~225	3.5~4.5	0.6~0.7	35~40	3.5~5.4
	硫酸钠	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	50~60				
	氯化钠	NaCl	4~5				
	硼酸	H_3BO_3	25~27				
筒形电 镀槽	硫酸镍	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	200~250	8~10	3~5	18~15	5~5.6
	硫酸钠	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	125~175				
	硫酸镁	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	5~6				
	氯化钠	NaCl	4~6				
	硼酸	H_3BO_3	30				
流动电 镀槽	硫酸镍	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	110~130	3.5~4.5	0.5~0.6	20~25	5.4~5.6
	硫酸钠	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	70~80				
	氯化钠	NaCl	4~5				
	硼酸	H_3BO_3	25~27				

鍍鎳时所最易产生的缺陷是鍍層粗糙并有斑点，这是由于鍍液中含有杂质灰塵，这时鍍液就必须进行过滤。此外也有發現鍍層脫皮，这时由于鍍液溫度太低之故。

鍍銅——鍍銅在电子管制造上用得不多，主要用于杜美絲制造时在鉄鎳芯上鍍銅。

鍍銅的鍍液有氰化物鍍液和酸性鍍液两类，前者适宜于鍍复保护性的薄鍍層；后者适宜于鍍厚的鍍層。因此在制造杜美絲时塗銅是用酸性电鍍液。酸性鍍液主要为硫酸銅和硫酸。硫酸銅作为轉換銅离子用，硫酸則为增加导电性，减低銅离子濃度，促使阳极溶解，以及防止盐基性銅盐或亞銅盐的产生。鍍銅鍍液的成分列于表 5-3。

表5-3 鍍銅槽液的成分及操作規程

电鍍槽 形 式	成分名称	分 子 式	数 量 克/立方	电 压 伏	阴极电流密度 安/平方公寸	温 度 °C	酸 值 PH
酸 性 液							
滚动槽	硫酸銅	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	200	1.5	1~3	18~20	
	硫 酸	H_2SO_4	50				
固定槽	硫酸銅	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	250	1.5	5~10	20~40	
	硫 酸	H_2SO_4	70~75				
氰 化 液							
	氰化銅	CuCN	25	3~3.5	0.5~0.75	18~25	
	氰化鈉	NaCN	25				
	碳酸鈉	Na_2CO_3	5				
	苛性鈉	NaOH	15				

酸性鍍液在电鍍时常見的缺陷是鍍層粗糙不光滑，这也由于鍍液中有悬浮粒杂质存在的緣故。这时就需过滤鍍液。此外如果鍍液中硫酸的含量不足时，会在凹处得到暗色不密致的鍍層，而当銅离子濃度小但酸度过大时，則在阴极会慢慢放出气体，使得鍍層变松。

鍍銀——鍍銀常用于超高頻電子管中的引接綫鍍復，以降低導體表面的電阻。鍍銀是在氰化液中进行，這鍍液是由氰化銀和氰化鉀的復鹽的溶液。鍍銀鍍液的成分及操作規程于表 5-4 上。鍍銀前，为了使以后鍍層結合得牢固起見，須先將鍍件进行汞化。即鍍件在含有 5~10 克/立升的氯化汞和 10~15 克/立升的氰化鉀的水溶液中浸一下，使表面产生一層薄的水銀膜，然后再在水中清洗后就可放入鍍銀槽中进行鍍銀。

表 5-4 鍍銀槽鍍液成分

成分名称	分子式	数 量 克/立升	电 压 伏	阴极电流密度 安/平方公寸	温 度 °C
氰 化 銀	AgCN	35	2~2.5	0.1~0.5	18~25
氰 化 鉀	KCN	48			
碳 酸 鉀	K ₂ CO ₃	38			

鍍金——鍍金在電子管制造上过去用于柵極鍍復，从而降低柵極電子發射，但近来已漸漸被熱塗法所代替。此外在長寿命可靠性電子管中，为了改善電子管管脚的接触電阻，也有在管脚上鍍金的。

鍍金亦在氰化液中进行，但这时鍍件不必进行汞化，按其鍍液的組成可分氰化液和亞鐵氰化物鍍液两种，如表 5-5 所示。通常柵極鍍金是用氰化鉀鍍液，这时在電鍍液中允許含金或氰化鉀的量为 10%

表 5-5 鍍金槽液的成分和操作規程

成分名称	分子式	数 量 克/立升	电 压 伏	阴极电流密度 安/平方公寸	温 度 °C
金	Au 阳极	2~3	2.85	0.3	60~80
氰 化 鉀	KCN	15~20			
亞鐵氰化鉀	K ₄ Fe(CN) ₆ ·3H ₂ O	200		4.6	70
氯 化 金	AuCl ₃ ·4H ₂ O	50			
碳 酸 鈉	Na ₂ CO ₃	50			

的变动，但鍍液中銅、鎳及銀的雜質不應超過 0.1 克/立升。當柵極電鍍後，應在熱水中浸洗，再在酒精中漬洗，以加速乾燥。最後電鍍完畢，自鍍液中取出的金陽極亦需同樣進行清洗。

電鍍質量的優劣與很多因素有關，如電鍍前的處理等，但在電鍍時影響鍍層質量的因素是：

(1) 電鍍液的性質——如果電鍍液較濃時，則電鍍液的導電率較高，電流密度可較高，所以電鍍效率就高，但溶液在使用過程中的浪費較大。至於電鍍液中金屬離子的濃度更為重要，一般在金屬離子濃度減少時，陰極極化即會增加，晶粒變細，鍍層質量較好。降低溶液中金屬離子濃度的方法有二種：一為增加有同離子的化合物，如鍍鎳液中加入的硫酸鈉，或如酸性鍍銅液中所加的硫酸；這種溶液常呈酸性或中性，所鍍金屬一般有形成大結晶的傾向。另一種為組成復鹽及複合離子。電鍍時所用的復鹽常為氰化鉀或氰化鈉，如鍍銅、銀、金時所用的氰化物鍍液；這種溶液常呈鹼性，其所得鍍層的結晶組織較為細小。

(2) 電流密度——電流密度對電鍍鍍層的結晶組織影響很大，一般總希望電流密度尽可能增大，這樣可使電鍍加速；且在一定範圍內，電流密度的增大会使鍍層結晶變細。但電流密度也不能太大，當超過一定限度時，由於陰極處附近的溶液內缺乏金屬離子，它們來不及自溶液的其他部分趕來遞補，因此陰極上氫的分解作用增劇，使鍍層變得粗而松。

(3) 溫度及攪拌——溶液有一定的溫度，一方面可使金屬易于離解，且導電率亦因而增大；另一方面溶液溫度高後金屬離子的活動性亦增強，於是容易使得陰極處的金屬離子濃度保持一定。但溫度亦不能太高，特別是在電流密度小時，否則鍍層晶粒將會變粗。此外，在電鍍時，溶液尚須攪拌，使鍍液濃度均勻，保證在陰極附近有新鮮的金屬鹽及離子，並且攪拌還可將陰極上的氣泡除去，以免鍍層產生凹陷。

近來由於工業的飛速發展，電子管的產量亦日益增高，因而要求

加速电镀的过程，即进行所谓快速电镀。进行快速电镀，一般主要是如何创造能在高电流密度下进行电镀的条件。目前进行快速电镀，一般常采取下列措施：

- (1) 采用金属离子浓度高的电解液。
- (2) 提高电镀液的温度。
- (3) 应用反向电流。即在电镀时，不断改变电极极性，以便采用大的电流密度，这可由闸流管来进行控制。
- (4) 在电镀过程中进行搅拌或摇动零件，近来更有采用超声波来进行的。
- (5) 在电镀液内加入特殊的附加剂。这种附加剂能增加使用大的电流强度，以及改善镀层的质量。

兹将快速镀铜的电镀液成分及规范列于表 5-6：

表5-6 快速镀铜法的电镀液成分及规范

成 分	数 量 克/立升	温 度 °C	正向电流持 续时间(秒)	正向电流密度 安/平方公寸	反向电流持 续时间(秒)
氯化铜	60	50~60	10	3~4	1
氯化钾	5~6				
苛性钠	20				

采用这种镀液及规范进行镀铜，其镀铜速度可增加 2~3 倍。

2) 电泳法 电泳法主要用来在金属零件上被复非金属物质的一种方法。目前在电子管生产上采用电泳法来进行被复已逐渐广泛地应用起来，如氧化物阴极的芯金属上涂碳酸盐，热丝上涂氧化铝，阴极射线管上涂荧光屏以及其他等。

电泳是利用溶胶悬浊液中带电的微粒，在电场的作用下，微粒向反极性的电极移动，而沉积在它表面上的一种方法。这是因为悬浊液中的微粒吸附了溶液中的离子后使它带电性，而被电场吸引的缘故。所以如果电泳时微粒吸附正离子，则微粒就向阴极移动，如果微粒吸附负离子，则微粒就向阳极移动。前者称为阴极电泳，后者称为阳极

电泳。因此属于何种电泳，这主要决定于溶质与溶剂的性质。由此可见，电泳被复和电镀被复是不同的，后者是借电解作用使金属离子在电场的作用下所产生的转移，因此它是遵守法拉第定律；而前者则为荷电微粒在电场作用下的运动。故它和法拉第定律无关。

电泳被复时，亦需先制成电泳液（悬濁液），这电泳液往往有下列几部分所组成：

（1）被复物质（如碳酸盐、氧化铝等）。

（2）溶剂（如甲醇，丙酮等导电率较大的溶剂）。

（3）粘結剂（如棉胶，其含量不能多）。

（4）充电剂。因为有些被复物质配成悬濁后，溶液中常无离子（杂质离子），如氧化铝等，因此为了使微粒带电起见，需另加入些电解性物质，使它在溶液

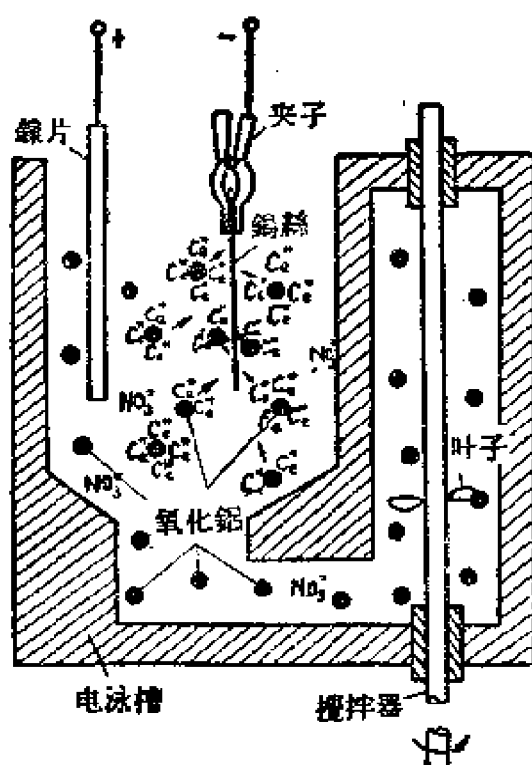


圖5-12 氧化铝电泳时的情形。

中解离为离子，这样微粒才能带电，如图 5-12 所示。这些另外加入的电解性物质，即所谓充电剂。如氧化铝电泳时所加入的硝酸铈。但也有些被复物质由于它本身已含有少量的电解性物质，如碳酸盐中常含有微量硝酸盐杂质，这时常就无需再加充电剂了。

影响电泳涂敷的因素除了所选择的悬濁液外，还与悬濁液的浓度，所加的电压高低以及电泳时间有关。电泳时，涂层分量与各种因素的关系为：

$$M = L \frac{CQ}{g},$$

式中 M ——被复物质的沉积分量；

L ——为决定于悬濁液性质的系数；

C ——悬濁液的浓度；

Q ——电泳时的电荷量；

g ——悬濁液的电导。

由此可見，当电泳时要得到一定厚度的塗層，在增加悬濁液的濃度和加高电压时，就可縮短电泳的时间，如圖 5-13 所示。但應該指出，电泳的电压一般常在 10~100 伏之間，过高的电压不仅不安全（会燃燒）而且会引起过大的电流，这样会产生較多的气体，使塗層变粗和不均匀。同样，悬濁液的濃度一般亦不能过大，以免微粒迅速沉积或相互粘合，使塗層的質量变坏。另外悬濁液溫度的升高，也会降低塗層重量，这是由于大多数无机物在加热后則減低了微粒对于离子的吸附作用，所以电泳作用降低。

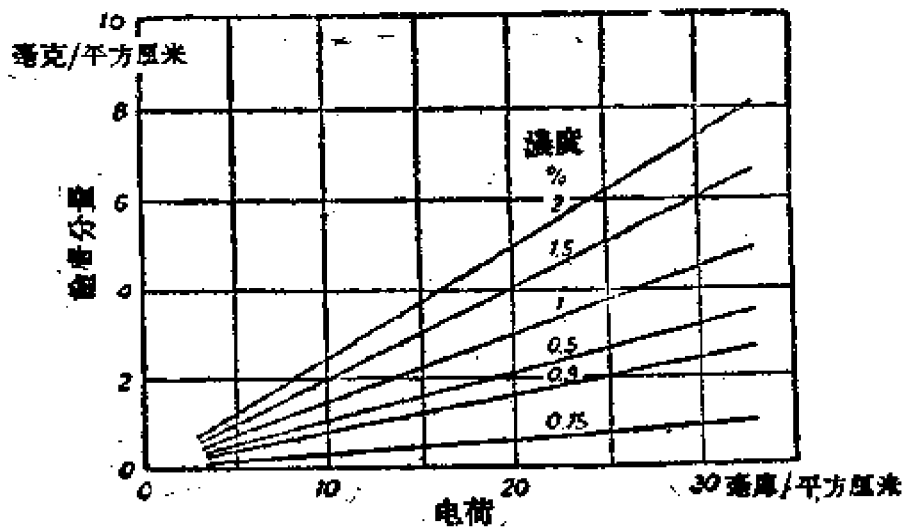


圖5-13 塗層分量与通过电量及溶液濃度的关系。

塗層的分量是随着电泳的时间而增加的，但随着塗層的形成和增厚，沉积物就愈来愈少了。这是因为塗層往往具有很大的电阻率，它的生成和增厚就吸取了很大一部分外电压的緣故。

用电泳法进行塗复的主要特点是塗層光滑紧密。至于各零件用电泳法进行塗复时的詳細工艺，我們将在講到各零件的制造时再叙述。

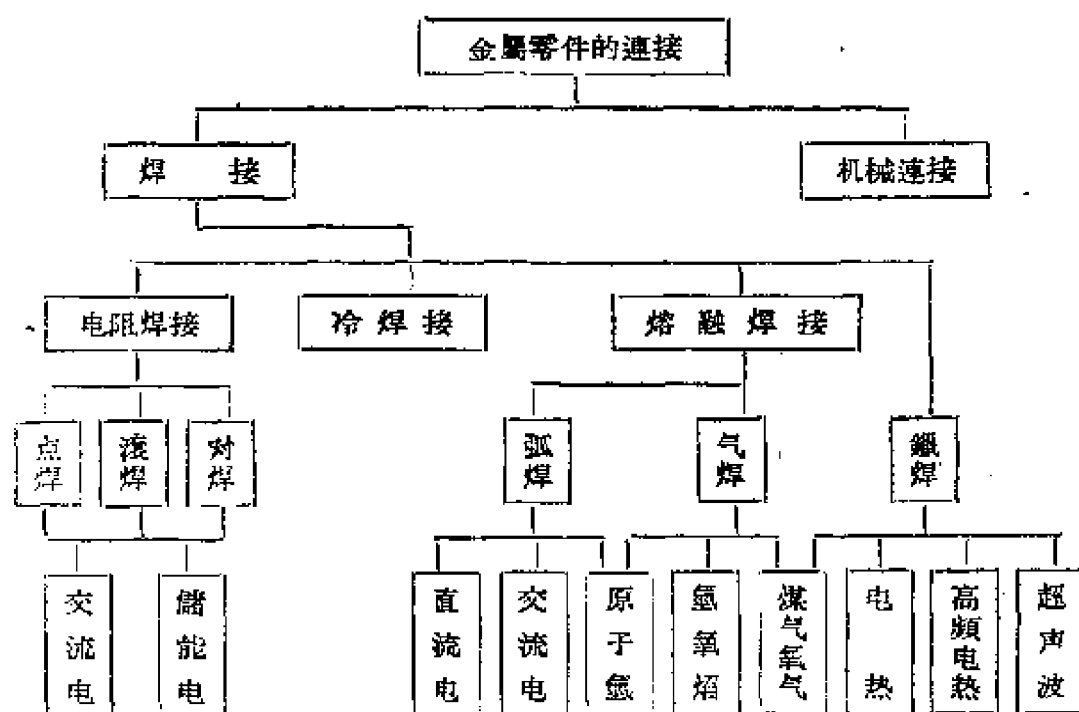
第六章 电子管金属零件的连接

§ 6-1 连接方法的分类

为了把电子管的各个零件装配成为电子管，在电子管制造上，根据材料性质、零件形状以及机械强度要求等的差异，采用着各种连接方法。主要的可分为焊接和机械联结两大类，特别是以焊接用得最多。

焊接是借金属间原子的相互作用与扩散而牢固地结合在一起的方法；因此为了促使金属间原子的相互作用与扩散，在焊接时常需加热。所供给的热源要求热量集中且能保持焊接处必要的清洁。在电子管制造中，在遇到采用焊接零件发生困难甚至不可能进行焊接时，有时就用机械联结来达到。这种联结，它不依靠原子间的相互作用与扩散来实现，而仅依靠摩擦力的作用。若在正确的方法下进行连接，亦能有足够的机械强度。在表 6-1 上列出了各种连接方法的分类：

表 6-1



§6-2 电阻焊接

电阻焊接是以电流直接流过焊件本身及焊件间的接触电阻所产生的热量而焊接的。在进行电阻焊接时，焊接所生的热量 Q 与流过的电流 I 、时间 t 以及金属的电阻 R 有关，它们的关系遵照楞次——焦耳定律：

$$Q = 0.24 I^2 R t_c \quad (1)$$

由于这类焊接迅速简便清洁，又无需外加材料，因此是电子管生产中应用得最广的一类焊接方式。在这类焊接中，根据焊接方式的不同可分为点焊、滚焊和对焊，如图 6-1 所示。其中尤以点焊应用最多，在一般接收放大管中零件的结合和装配几乎全采用点焊。

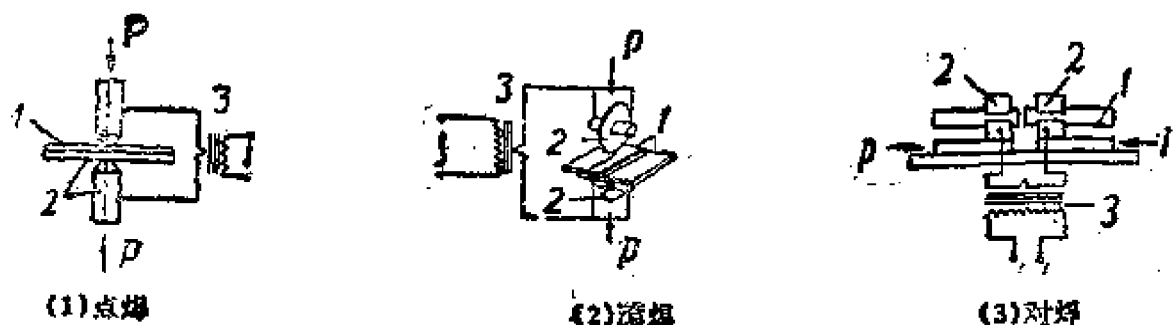


图6-1 电阻焊接的几种方式：

1—材料；2—电极；3—电源。

(1) 点焊 在这种情况下，焊接时所产生的热量，根据公式 (1) 可以用下式表示：

$$Q = 0.24 I^2 (2R_2 + R_1 + R_3 + R_4) t_c \quad (2)$$

各电阻的情况示于图 6-2 中。

在通常的情况下，接触电阻 R_1 总要比其他电极或焊件的电阻大得多，因此当有强大的焊接电流流过时，就在焊接处产生热量，其热量的分布如图 6-3 所示。亦即是在两焊件之间的区域温度最高。当电流通过的时间适当时，就使焊件间的部分金属达到熔点，并施压力于电极，这时截断电流，于是溶化核心即行冷却，使两焊件连接在一起。如图 6-4 所示。其焊接处的金相组织也示于图 6-4 上箭头所指一圆

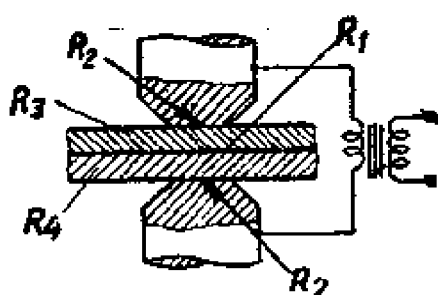


圖6-2 点焊时电阻的分布:

R_1 —接触电阻; R_2 —电极的接触电阻;
 R_3 —上焊件的电阻; R_4 —下焊件的电阻。

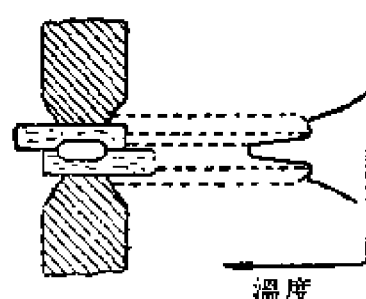


圖6-3 点焊时的温度分布情况。

內。至于焊接处的其他部分，虽亦产生較大的热量，但由于它們的散热要比中間部分容易得多（因为焊接的电极是用銅做，故导热率很大），因而焊件表面的金屬不至熔化，而常处于塑性状态。待熔融的核心凝固后，才可去掉压力，否則焊接的質量将受到影响。为此，点焊的过程总是先施压力于电极，然后接通电流，再切断电流，最后除去压力而完成焊接。

但要获得良好的点焊焊接，亦非是件簡單的事，它与下列因素有关：

1) 电流密度，焊接时间与压力。这三者是重要的焊接因素（这里所指的焊接时间主要的是指接通电流的时间）。显然，电流密度的大小和焊接时间的长短与焊接时热量产生的多寡成正比，电流密度过小或焊接时间过短就会导致焊接温度不足，以致焊接处的核心金屬熔融不够，如圖 6-5, a 所示，这样的焊接是不够牢固的；但电流密度和焊接时间也不能太長，否則焊接处核心中的熔化金屬会产生强烈过热的现象，并使核心增大，以致熔化金屬在某处突破表面，产生金屬喷射的现象，如圖 6-5, b 所示。因此必需使焊接时的电流密度和焊接时间适宜，这样才能得到正常的焊接核心，如圖 6-5, c 所示。还需指出，焊

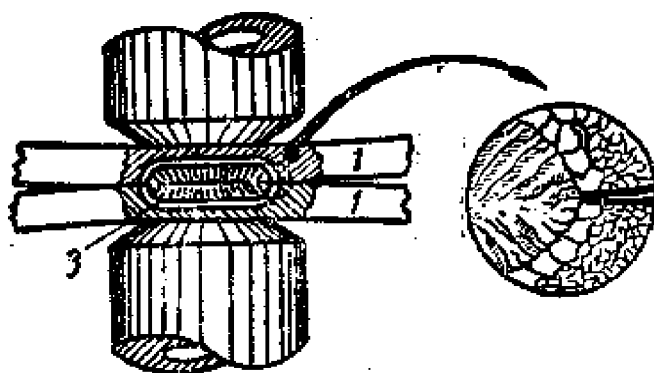


圖6-4 点焊时的焊接情况。

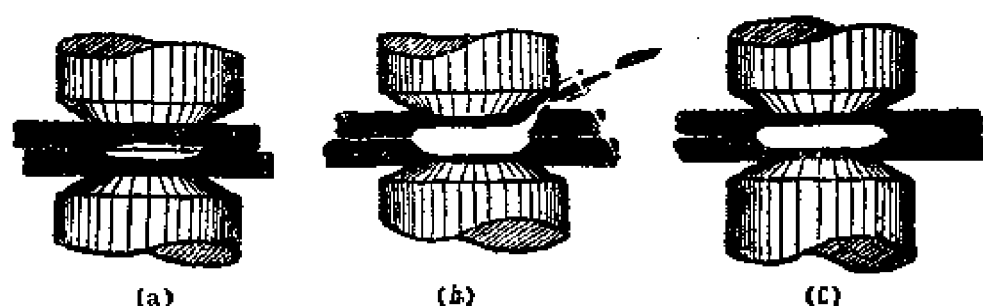


圖5-5 焊接時所產生熱量大小對焊接的影響。

接時所需的電流密度和焊接時間，它們之間是有一定的關係的；在一定情況下，如果電流密度小，即可增長焊接時間來彌補；另一種情況也可以，那就是如果焊接時間較短，則可增大電流密度來彌補。在電子管生產上，總希望採用後一種情況，因為焊接時間縮短，可以減小焊接處金屬的氧化的範圍。焊接時所施壓力的大小，對焊接質量影響也很大。施加壓力後，一方面使熔化後核心處的金屬更可能很好地相互擴散以使金屬能熔接起來。另一方面又能使兩焊件接觸緊密，不致於由於強大的電流通過時在某些空隙發生火花，從而引起焊件的燒穿。但壓力也不能太大，否則焊接處的接觸電阻將降得過小，反使焊接發生困難。

2) 焊接材料的表面清潔情況。如果焊接材料的表面有油污或氧化物，則在焊接處的接觸就不會緊密，以致僅通過幾個微點相接觸，形成這幾個微點上的電流密度特別大，於是產生局部過熱的現象，這樣亦會引起液態金屬的飛濺。並且表面不清潔將會阻止熔接時金屬原子的擴散，以致降低焊接質量。何況作為電子管的零件，本身亦應該是潔淨無氧化物的。為此，在電子管生產中；零件在點焊時，常在焊接處噴以保護氣體（氮或氫氮混合氣體）或在焊接處沾以酒精，四氯化碳等易汽化的液體，使焊接時這些液體汽化而隔離了空氣。此外亦同樣要求焊接處的表面很平整，不然亦會引起火花或金屬的濺射。

3) 焊接材料的性質。金屬的電阻率愈大，導熱率愈小，熔點較低，則愈容易焊接，如兩種不同的金屬進行焊接時，亦要求它們的電阻率，導熱率和熔點不要相差太遠。例如，鎳與鎳或鎳與鐵很易點

焊，而銅与銅或銅与鎢就很难焊接，甚至不可能，这是因为它們很难同时达到熔接溫度。各种金屬点焊的难易，列于表6-2。

同样，亦要求焊接时两焊件的厚薄或直徑不要相差太大，否則总是較薄的或較細的焊件先行熔化，而待較厚的或較粗的焊件熔化时，这时可能前者早已燒穿或熔断，以致不能达到焊接。一般相同金屬的两焊件的厚薄，如果不超过 1:3 是容易焊接的，相差再大就会感到困难了；这时焊接规范（焊接电流和时间）主要决定于較薄的零件，或略增大一些。而对两种直徑粗細不同的金屬絲料进行点焊时，則它們的直徑之比不超过以下公式之比，則尚可进行焊接：

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \sqrt{\frac{T_1^3}{T_2^3}}$$

式中 d_1 ——为金屬絲 1 的直徑；
 d_2 ——为金屬絲 2 的直徑；
 λ_1 ——为金屬絲 1 的热傳导系数；
 λ_2 ——为金屬絲 2 的热傳导系数；
 T_1 ——为金屬絲 1 的熔点；
 T_2 ——为金屬絲 2 的熔点。

此外，容易氧化的金屬亦难进行焊接，例如鋁的熔点虽并不高，仅 658°C ，但因易于生成一層难熔的氧化鋁（ Al_2O_3 ）薄膜，因而就使焊接發生了困难。

点焊在电子管生产上一般所用的都是小功率点焊机为多，如圖6-6所示。它主要由一低压强电流的变压器和焊接电極所組成。圖6-6，（1）所示为一旧式的点焊机，工作时下电極不动，而上电極則可繞支点而作約 30° 度角的轉动，焊接时它就压在焊件上，电極的轉动和电流的接通均通过脚踏控制板来实现，压力的大小則借彈簧来进行。因此这种点焊机的电流接通，由于采用机械接触开关，因此焊接時間控制不够精确，所以最好另外再用一時間控制器。圖6-6，（2）所示即为改良后的点焊机，这种点焊机的下电極亦是固定，而上电極却作上下移动，如圖6-7所示。压力是借电磁力来完成，它的原理如圖6-8所

表6-2 各种金属点焊的特性

金属1 金属2	钨	莫耐尔	康铜	镍铬合金	殷钢	铁铬合金	铝	铜	铁	镍	钼	钨
钨	2	—	—	—	—	—	4	4	3,7	2	4,5	4,8
钼	2	6	—	—	6	—	4	4	3,7	2	4	4,7,8
钽	2	—	—	—	—	—	4	4,5	3,7	2	5	
镍	1	6	3	6	3	2	3,4	3	1	1		
铁	2	6	2	6	—	—	3	2~3	1			
铜	3	—	—	—	—	4	4	6,3-4				
铝	—	4	2	4	—	—	3					
铁铬合金 70/30	—	—	—	—	3	—						
殷钢	—	6	—	—	6							
镍铬合金 80-20	3	6	—	6								
康铜	—	1	6									
莫耐尔	—	6	—	—	6							
钨	1											

符号:

- 1—很易焊接;
 2—能够焊接;
 3—焊接困难;
 4—不易焊接或不能焊接;
 5—在四氯化碳中可焊接;
 6—用节流管控制时能够焊接;
 7—用节流管控制时,对于丝料可焊接;
 8—有钼做垫料时可焊接。

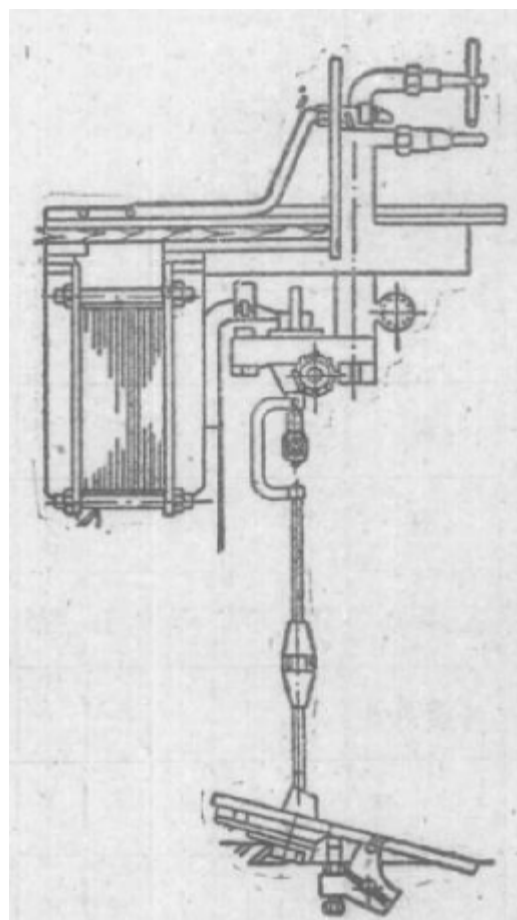
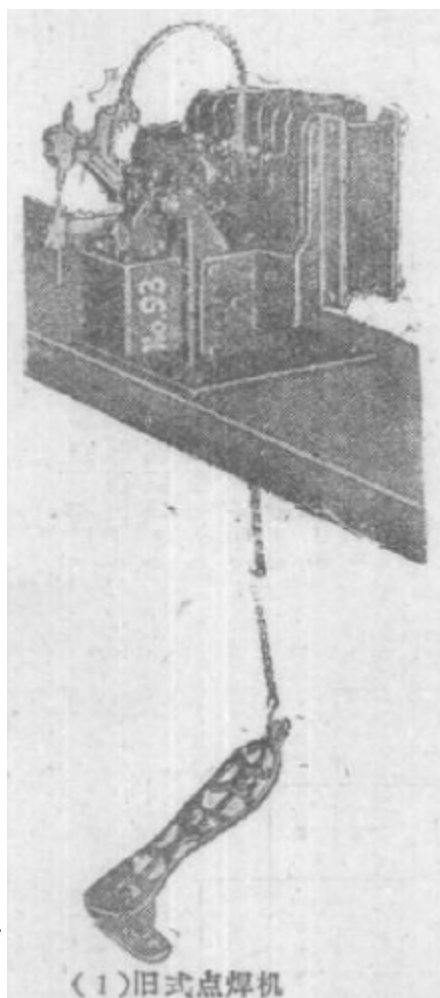
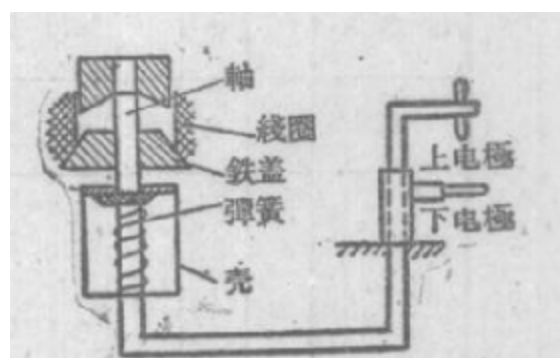


圖6-6 点焊机。



示。当綫圈中通入电流时，鉄芯就被吸下，通过和鉄芯装在一起的軸，使上電極压在下電極上，壳中的彈簧是用来控制電極压力的大小，彈簧对軸所施的压力是向上的，而电磁力的是向下的，結果上電極所受的力便为两者之差。电磁力是不变的，用螺母調節彈簧的長度使改变

它的压力，便可使軸所受的向下压力得到調整。电磁鉄的电源接通仍用脚踏开关控制。当脚踏开关踏下时接通电磁鉄电流，然后再把焊接电流接通。因此这种点焊机焊接压力一定，而且操作輕便，接通电流的时间亦由时间控制来进行。

在焊接中大型电子管时，因为管子的結構較大，形状亦較特殊，要求点焊机的功率較大。因此在这种情况下，点焊机的上电极作为手拿，而下电极则仍固定在台上。显然这样的焊接，电极压力是由操作者所控制。

此外，点焊机电极的材料和形状也有一定的要求。要求作为电极的材料导热性高，导电性好，并在高温下仍有高的硬度，因此常用的为硬軋銅。有时嫌其硬度不够，則用錫青銅（0.9~1.2%錫）或鉻青銅（0.4~0.8%鉻，0.3~0.6%鋅）制成。为了易于焊接純銅的焊件，也有用錫或鉬作电极，此时可将錫嵌在銅制的电极端作为电极。由于

电极工作时通过很大的电流。故易氧化，为避免接触不好起見，应该常用砂紙或銼刀去掉电极表面的氧化物，以提高焊接質量。此外，为了焊接方便起見，还要求电极的形状应该与所欲焊接零件的形状相适应，在圖6-9上列出了用于电子管生产上的几种电极形状。

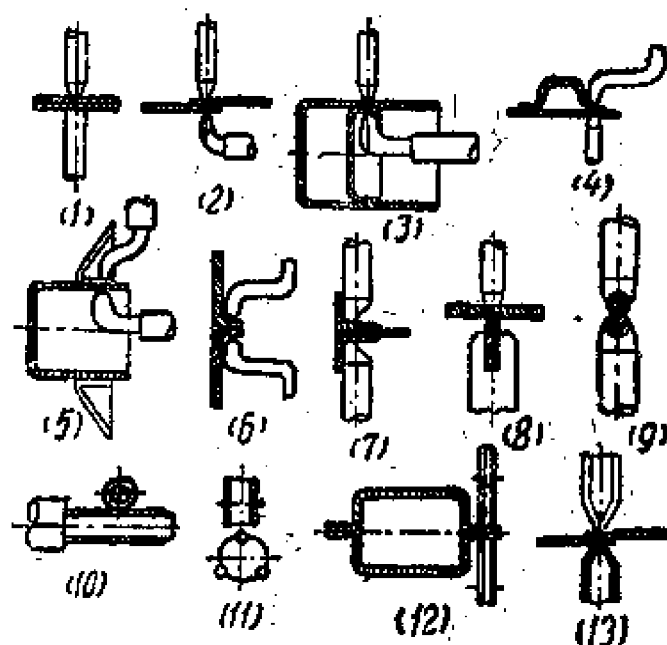


圖6-9 点焊用电极形状:

(1)~(6)一点焊用;(7)一有角焊接物用;(8)一焊料焊接用;(9)一絲料焊接用;(10)~(12)一縫焊用;(10)在阳極心模上焊接;(11)在柵極圓模上焊接;(12)阳極組合;(13)一在保护气体中点焊。

至于焊接时间的控制，目前已有各种的采用电子管电路的时间控制器，簡單的有用电子管和繼电器組成的时间控制电路，但这种时间控制器由于繼电器的慣性，

因此時間常不易調得很短（常在0.05秒以上），且工作时繼电器噪声甚大，另外由于触点处易發生电弧，触点常会燒毀，因此目前常用閘流管和引燃管組成的時間控制器，由于它取消了焊接繼电器，因此改善了以上的缺点。

通常为了使用方便起見，一般在每一点焊机上均裝有点焊時間控制器。但由于在整个裝架过程中，点焊所占的时间很少，并且在进行小型管裝架时，一般可不改变焊接時間而仅改变焊接电流，亦能滿足良好的焊接情况。为此，也为了避免采用大量的時間控制器，在小型管裝架間內的点焊机，往往可采用集中控制的时间控制器，即裝架間內的所有点焊机，由一个或两个集中控制的时间控制器来控制，当然这时所有点焊机在使用时的焊接時間均是一致的，而焊接电流在各点焊上則仍各能調節。

圖6-10所示的即为一集中控制的时间控制器綫路原理圖。这种時間控制器在工作时，它經常不断地使引燃管以間斷的作短時間（焊接時間）引燃，因此当各个点焊机应用时，就能使点焊机得到一次短时

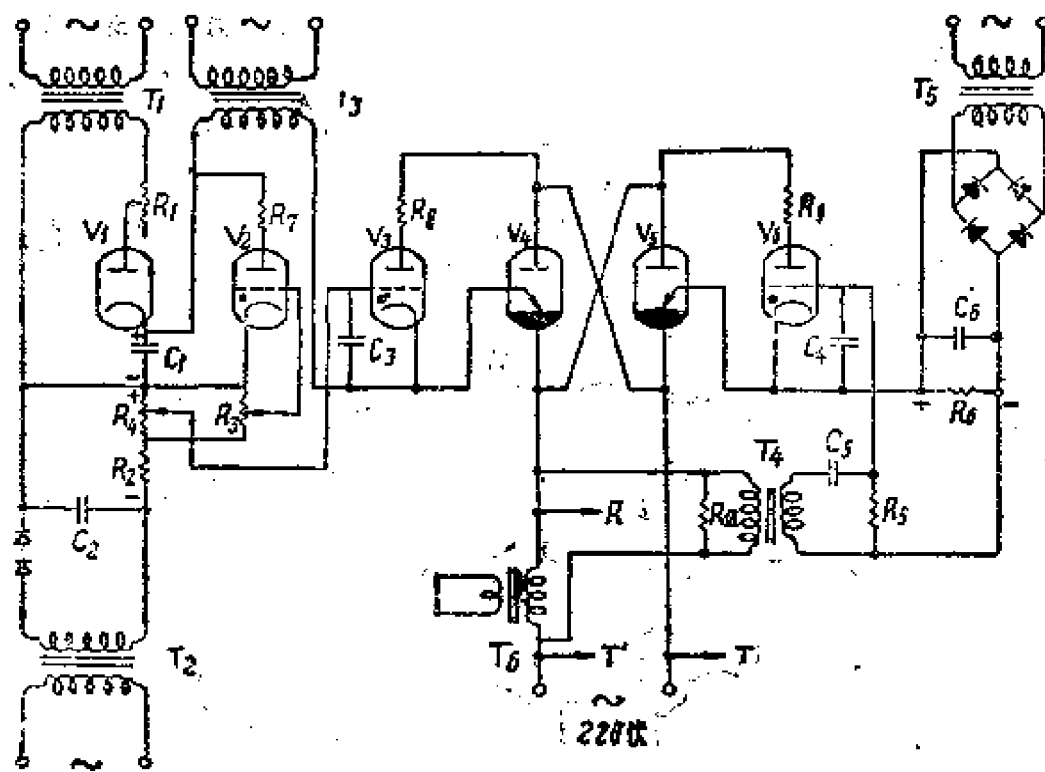


圖6-10 点焊机時間控制綫路原理圖。

間的通導。當然也應指出，在各個點焊上還應有自動切斷電流的繼電器，即點焊時當腳踏開關踏下時，只能使點焊机變壓器得到第一次通導的機會，此後繼電器即將電流切斷，以免下一次引燃管通導時，電流再流經焊接變壓器。

圖中變壓器 T_1 、整流管 V_1 、電容器 C_1 、閘流管 V_2 、電阻 R_3 等組成一弛張振蕩器，即 C_1 不斷地充電，而又經閘流管 V_2 不停地放電，弛張振蕩器的振蕩頻率可由 R_3 和 R_1 進行控制。變壓器 T_2 主要使 R_4 上產生一直流電壓，它和 C_2 上的充電電壓以及 T_3 上交流電壓一併是控制閘流管 V_3 的着火時間，而閘流管 V_3 的着火，亦即控制了引燃管 V_4 的引燃，於是使焊接變壓器 T_6 上流過交流半周的電流。同時，又為了使正半周和負半周的電流均能通過焊接變壓器，故又用了引燃管 V_5 和閘流管 V_6 以及變壓器 T_4 、 T_5 等。變壓器 T_4 是使引燃管 V_4 通導時使在 R_5 上產生一反相電壓，來抵消在 R_6 上的負柵壓，使閘流管 V_6 着火，這樣也就控制了當 V_4 在正半周引燃時，則負半周 V_5 也必然引燃。使在正負兩半周中，均有電流流過焊接變壓器至於引燃管的引燃時間控制，可由調整 R_1 、 R_4 和 R_3 來達到。

又圖中接線端 $RT'T$ 是引到各個點焊机上去的，其中所以需將 T 端亦出去的目的，就是為了能控制自動切斷電流的繼電器，它保證當腳踏開關接觸時，經過焊接變壓器的電流僅只通過一次。

(2) 滾焊 滾焊是用一個或兩個滾動的圓形電極進行一連串連續的點焊，滾輪始終壓在焊件上面，焊接時，通常一個焊點部分地疊蓋着前一焊點，如圖 6-11 所示。由於焊點的疊蓋，因而消除了焊點之間的不緊密性，所以它適用於板狀材料的密封焊接。在電子管生產上，這種焊接用得不多，主要用於金屬電子管的封口及振蕩管柵極製造。

滾焊的原理和點焊相同。但在滾焊中，由於焊點重疊，因此有一部分電流就通過剛焊成的焊點，於是產生了電流的分路，並且這部分路電流常達焊接電流的 20~50%，為此滾焊機的功率幾乎為焊接同樣厚度的金屬之點焊机功率的兩倍。

滾焊的方式通常有下列兩種：一種是滾輪連續在焊件上滾動，並不斷地送入電流，另一種是滾輪仍在焊件上連續地滾動，但電流卻斷續地通入。通常後者用得較多，因為前者造成電極和焊件的過熱，以致產生變形濺射等缺陷。

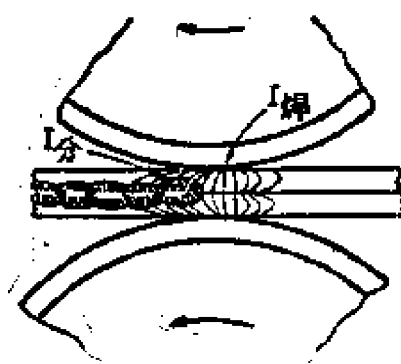


圖6-11 滾焊。

(3) 對焊 它是用來焊接棒狀，管狀及絲狀的金屬物件。對焊根據焊接方式的不同，又可分壓焊和閃焊。

壓焊是在通電流前先施較大的壓力使焊件相對緊接（圖6-12, a），然後通入電流，使焊接處金屬熔接，此時壓力仍然加著，因而焊接後接處直徑略有增加，如圖6-12, a下部所示。閃焊是先將兩焊件相對地接觸在一起，如圖6-12, b所示，但此時不加壓力於電極，在通電流的瞬息間，即刻把焊件稍微分開，使它產生電火花，然後才加以較大的壓力，使它們焊接在一起，其焊接後形狀如圖6-12, b所示。壓焊的強度較好，常用於棒狀金屬焊接，但焊接後長度稍會變短；閃焊焊接後長度改變較少，由於焊接時間較短，故不易氧化。一般較細的絲料，常用閃焊焊接。還需指出，壓焊法是仍屬電阻焊接的原理，而閃焊法

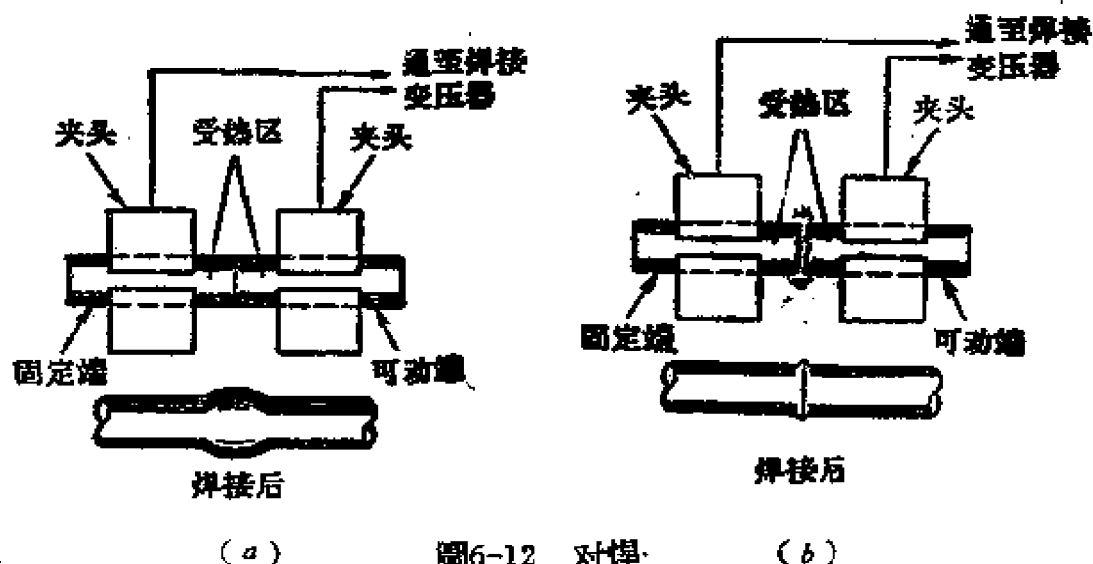


圖6-12 對焊：
a—壓焊；b—閃焊。

實質上已屬於电弧焊接了。

对焊机的外形示于圖6-13, 在电子管生产上主要用来焊接金屬棒, 如鎢杆、鉬杆的焊接, 以及鎢杆或鉬杆和銅絞絲的焊接等。

在电子管生产上, 引綫的对焊机亦有以儲能电来进行焊接的, 这种儲能电常以电容器的放电来达到, 采用这种电能, 可省去复杂的时间控制器, 并大大縮小了焊接变压器的功率其綫路如圖6-14, 这时焊接电能的大小, 就主要决定于电容器的容量。

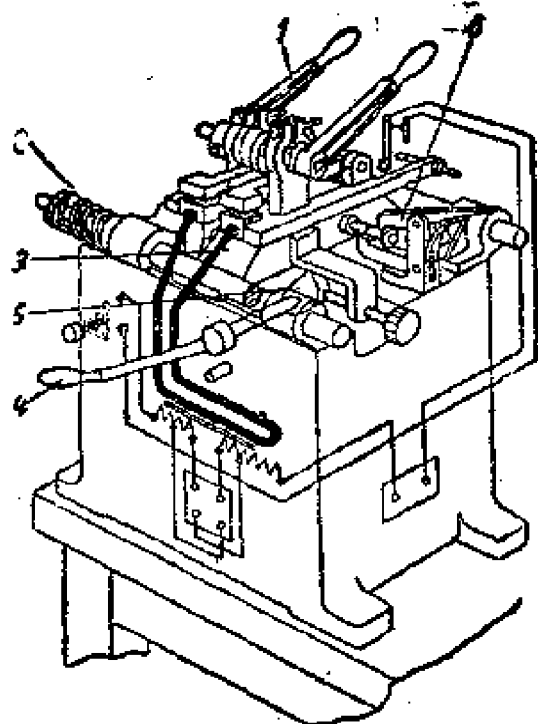


圖6-13 对焊机:

1—偏心夹具; 2—彈簧; 3—焊極;
4—手柄; 5—偏心輪; 6—卡子。

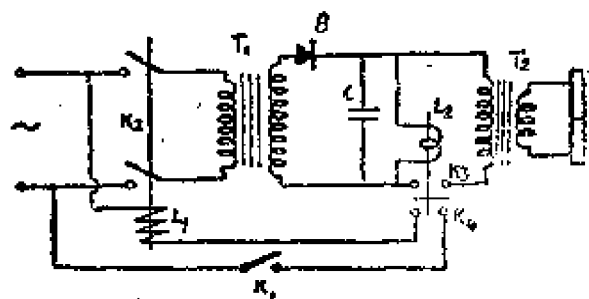


圖6-14 儲能电焊接綫路。

工作时先将开关 K_1 閉上。在焊接时将 K_4 閉合, 这时繼电器 L_1 接通, 于是将 K_2 閉上, 待 K_2 閉上后, 电源变压器 T_1 上即感应有电源, 經整流器 B 使对电容器 C 进行充电, 当在电容器两端的电压充至一定值时, 繼电器 L 就动作, 将 K_3 閉上同时釋放 K_4 , 这时充在电容器內的电能就流过焊接变压器 T_2 的初級綫圈, 这样就进行了一次焊接。

§6-3 熔 融 焊 接

熔融焊接一般包括弧焊和气焊, 茲分述于下:

(一) 电弧焊接

电弧焊接是以直流电或交流电, 通过电極和焊件, 使在两者的間

隙产生电弧（或在两电极间产生电弧）用电弧的高热把金属的焊接部分烧熔，并使它们的分子彼此相互地混合固结在一起。

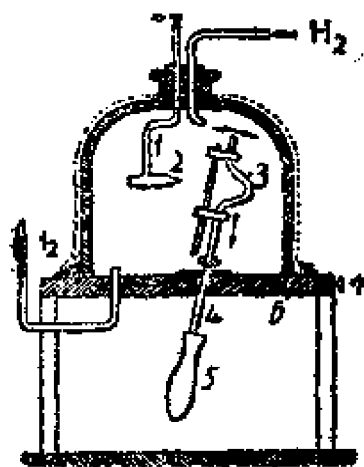
由于电弧所产生的热量，在正负两极上并不一致，正极放出的热量要比负极为大，通常正极放出的热量约占全部的60~75%，因此如果进行直流弧焊时，必须考虑到电极和焊件的极性问题，而在交流弧焊时，由于电流方向时在转变，故两极热量相同。

电子管零件在进行弧焊时，根据电子管生产的特点，通常须在保护性气体下进行，以免焊件在高温时氧化和吸收周围的气体。

根据电极的材料及产生电弧方法的不同，弧焊可分为多种形式。兹将在电子管生产上常用的几种弧焊方法叙述于下：

1) 焊件与炭电极产生直流电弧的方法。

此法是用直流电在焊件与炭电极间产生直流电弧而焊接的。这时炭极总接负极，这样一方面可以热量集中在焊件，并且还大大减少炭



分子飞向焊件。焊接常在氩气流保护下或在通有氢气的玻璃罩内进行，其装置如图6-15所示。这样要较不用罩的安全，因氩气有形成爆炸性气体的危险。这种焊接适宜于钨制零件与钨、钽及镍的焊接；钽则不能在氩中焊接。

2) 焊件与焊料电极间产生直流电弧的方法。

图6-15 在钟罩内的氩保护气体中用直流电弧及炭电极焊接的方法：

1—炭；2—焊接处；3—加工物支持器，用平滑球面轴承；4—可向各方向移动的加工物支持装置；5—绝缘把手；6—金属制底板；7—有玻璃小窗的金属钟罩或有保护网的玻璃钟罩，内充以保护气体。

在用这种方法焊接时，焊件通常仍接正极，负电极往往是与焊件同一材料的金属棒。当电弧产生时，此金属棒熔化，而熔化的金属滴落在焊件接合处作为联结物，使焊件固接在一起，如图6-16。这种操作同样须处于氩气下进行。

3) 在两炭极间产生交流电弧的方法。

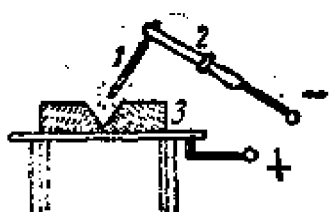


圖6-16 直流弧焊:

1—焊料; 2—電極; 3—焊件。

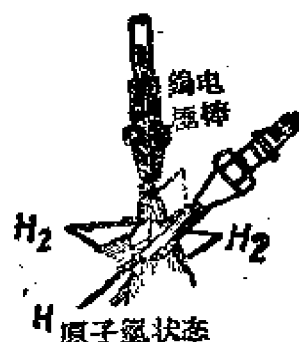
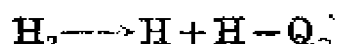


圖6-17 原子氫焊接。

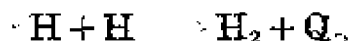
在这种焊接中，电弧在两个固定的炭电极中产生。有时电弧还可用电磁力将电弧吹成突出的尖形以便焊接。用这种方法进行焊接的不便在于炭棒常需补给，其优点是电弧的发生与焊件无关，因此能熔接非金属材料，例如能熔融石英等。

4) 原子氢焊接。

进行这种焊接时所用的热量除掉电弧热外，还有氢分子分解为氢原子时所吸收的离解热。它是以两个钨电极通以电流后，在尖端产生交流电弧，并在电弧的周围喷出氢气，如图6-17所示，由于电弧的高热将氢分子 (H_2) 分解成氢原子 (H)。在分解过程中，氢从电弧中吸收大量热量（每克分子氢约吸收 100 仟卡的热量）。如下式所示



这些氢原子沿电弧方向前进，遇到焊接金属后，温度下降，氢原子重新结合为氢分子，而将吸收的大量热量放出。这时的反应式为：



因此这种方法焊接所产生的热量，不仅是电弧热，而且还有分子氢离解为原子氢时所吸的热量，所以原子氢焊接时的温度很高，约能达 $4000^{\circ}C$ 的高热。它能熔接熔点高的钨和钼，而熔点低的金属铝亦能焊接。

用这种方法焊接金属时，熔化的金属不与空气接触，金属不会氧化和氮化，并且由于原子氢非常活泼，即使金属上原来有氧化物亦会

被还原掉。

原子氩焊接的设备如图6-18所示。在进行焊接时，电弧的引燃约需300伏特的交流电压。而电弧的维持电压约为60~120伏特，电流的大小则视所焊接金属零件的厚薄粗细而定，一般在10~60安培左右。焊接时电极棒的运行方向和角度，对焊接质量影响很大，一般火焰应与金属表面成 45° 角，而电极运行方向应与氩气逸出的方向相反。

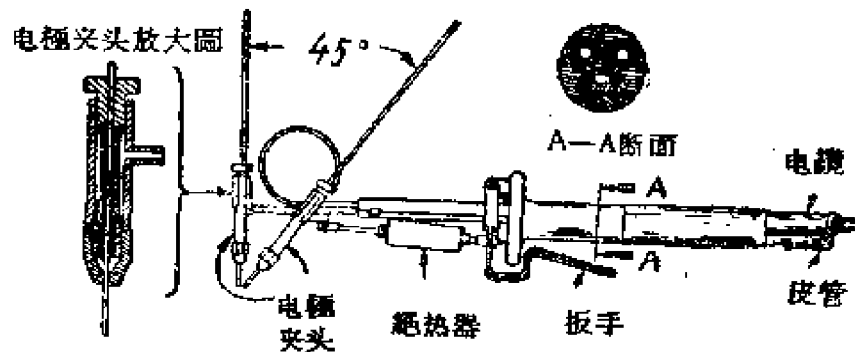


图6-18 原子氩焊接设备。

在大功率振荡管中，粗的钨阴极焊到粗的钼支柱上等都用这种方法焊接。

电弧焊接的优点是机械强度大和高的温度稳定性。虽则如此，但在电子管生产上它的应用不如阻焊广，这是由于弧焊在很多情况下受到限制，例如在管芯上的零件一般不能用弧焊进行焊接，因为它的温度不能很轻易的控制到你所需的地方，且由于弧焊温度范围较广，会影响附近零件受到高温的危险，此外应用弧焊的技术要较阻焊为高，且它的生产率很低，这也影响它应用的范围。

(二) 气焊

气焊是以气体燃烧所产生的高热火焰将金属熔化而焊接起来的。气焊根据所用的气体不同，可分几种气焊，在电子管生产上较常用的有两种：

1) 氧气煤气焊——这种气焊是用煤气和氧气混合燃烧所产生的高热火焰，把金属焊接起来。

2) 氢氧焊——这种气焊是用氢气和氧气混合燃烧所产生的高热

火焰，把金屬焊接起来，它的溫度要比煤氣和氧氣的混合火焰高。在用這種火焰時，兩種氣體的混合比例必須適當，若氫過多，則還原作用強，而焊接處將吸收氫氣，這特別對於銅，將有顯著的多孔性出現；若氧過多，則由於焊接處氧化而使強度減弱。

氣焊在電子管生產上多用於引出綫的焊接，特別是銅絲和杜美絲的焊接，因為它們是很難採用點焊來進行焊接的。

§6-4 鑲 焊

鑲焊是用熔點較被焊金屬為低的第三種金屬作焊料而焊接另兩金屬的方法。這時，鑲（焊料）僅僅與被焊接的金屬表面形成合金。

鑲焊在電子管生產上也是一種應用得不很少的焊接方法，如大功率及超高頻等電子管的陽極與散熱片的焊接，引出綫接頭處的焊接以及其他不能用阻焊和弧焊的情況下的焊接。

鑲焊前焊接處必需進行淨化，保證無油脂、氧化物及灰塵等雜質。為了得到牢固的焊接，須使兩焊接的零件形狀能很好地配合，以便熔化的鑲能很密合地被復在焊接零件的表面，使其相互擴散，形成焊接處表面牢固的合金。

為了增加在鑲焊時的可焊性，通常在焊接時需加入助焊劑，加入助焊劑後可防止焊接金屬表面的氧化，並能溶解表面或加熱時所生成的氧化物，增加焊料在焊接表面的流動性，加大了焊料和焊接金屬的浸潤度，從而使它們牢固地焊接在一起。助焊劑常可分為兩類，即：無腐蝕性助焊劑和腐蝕性助焊劑。

1) 無腐蝕性助焊劑 這類助焊劑一般僅能保護焊件免受氧化，而不能起淨化的作用。焊接時的浸潤性亦不佳，故僅適用於焊件清潔的焊接。屬於這類的助焊有松香和松香酒精等。有時為了增進焊劑的浸潤性可在此類焊劑中加入少量甘油。這類焊劑在焊接後不會腐蝕零件，但焊接較慢，故不適用於大量生產中。

2) 腐蝕性助焊劑 這類助焊劑除能保護金屬不受氧化外，還能起淨化表面的作用，屬於這類助焊劑的有氯化鋅及氯化銨或硼酸及硼

砂等，前两种主要用于軟鐵焊接，后两种主要用硬鐵焊接氯化鋅及氯化銨均能溶于水和酒精，可單獨使用或联合使用。至于硼砂和硼酸也可單獨应用或混合应用，硼砂內加入硼酸可增加在高温时鐵的流动性。硼砂在單獨使用时需用酒精調和后应用。所用硼砂如內含結晶水則应焙烤后再用，否則在焊接时会产生气泡。这类焊剂的作用迅速，焊接良好，但由于有腐蝕作用，故焊接后須进行淨化。

如果在氬气中或真空中进行鐵焊的零件，則可以不用助焊剂。

鐵焊时所用的鐵按其熔点及机械性質，一般分为硬鐵和軟鐵两类：軟鐵是用熔点低于 500°C 的金属或合金作为焊接的焊料，如錫、鉛、鎳、鉍、銻等，它焊接后的机械强度較差，其拉伸强度小于 $5\sim 7$ 千克/毫米²。硬鐵的熔点是高于 500°C ，且它的机械强度亦較大，其拉伸强度能达 50 千克/毫米²，屬於硬鐵的有銅、銀及其合金等，在表 6-3 上列举了在真空技术中常用的鐵及成分。在选用时須考虑到它們的熔点，蒸汽压，机械强度及化学稳定性。

鐵焊时借加热的方法不同可分为：（1）爐鐵；（2）浸鐵；（3）澆鐵；（4）气鐵；（5）高頻鐵接；（6）超声波鐵接等。

1) 爐鐵——把欲鐵焊的金属零件在焊縫中放入焊料后，放在充有保护性气体的电爐中进行加热，爐子常分两区，即工作区和冷却区，焊接后用人工或自动移入冷却区进行冷却。爐內通入保护气体，使焊件不至氧化，并且在焊接时可不用助焊剂，保护气体可为氬气亦可为氬氮混合气体，这样的鐵焊亦可在 §4-5 中所述的外爐真空爐中进行。

2) 浸鐵——进行这种浸鐵时，就把焊料熔为一池。焊接前，接头处先淨化并沾以助焊剂，然后把焊件接头浸入池內后取出，使接头焊接，在軟鐵合金焊料表面亦宜置一層助焊剂以防軟鐵氧化。此法主要用于絲及小零件焊接，如引綫与管針焊接。

3) 澆鐵——澆鐵是把熔化的焊料倒入焊件的連接处，其原理和浸鐵相同。

4) 气鐵——是用燃燒气体的火焰温度来供給鐵焊之用。焊接时，焊料預先放入接头处，并塗以助焊剂，然后用火焰将填充金属加热至

表6-3 作为电真空用的一般钎

钎	成 分 %											熔 点 °C	用 途
	铂	金	银	镍	锡	铜	铝	锡	磷	锌			
伍德合金					50	12.5		25	12.5			61	用于电真空系统密封
罗兹合金					50			25	25			94	
锡 银						13		32	50			145	
锡 银 64								36	64			181	
锡 银 33								67	33			240	用于引出线与管座焊接
锡									100			232	
银						100						321	用于焊接电子管 阳极与散热片
铜银磷合金			15				80			5		641	
磷铜合金							93			7		707	用于焊接非钎零件机械强度好， 且有助焊剂作用
锌铜银合金			45				30				25	720	
铜银合金			72				28					778	用于和铜焊接
铋铜银合金			8				50				42	830	
铜铋合金							54				46	875	用于铜和铁的焊接
铜金合金		80					20					890	
镍金合金		82.5		17.5								950	在氩中焊接
银			100									990	
金		100										1063	
铜							100					1082	
银铂合金	27		73									1160	在氩中焊接或在 钨上
铜镍合金							75					1205	
银												1450	

熔点以上进行焊接。温度不宜过高，否则会改变焊料的成分和减弱助焊剂的作用。

5) 高频钎接——这种方法是用高频感应电流来加热焊件的，它的优点为功率集中，加热效率高，生产率快，故近来在电子管制造上也

应用得很多。电磁场是依靠一定形状的高频感应线圈来实现的，线圈用铜管绕成，以便可通水冷却，有时为了使电磁场集中，常在高频振荡器输出端和感应线圈之间加一高频变压器。

图6-19示出了大功率电子管中铜引出线与可伐盘的焊接。焊接前，

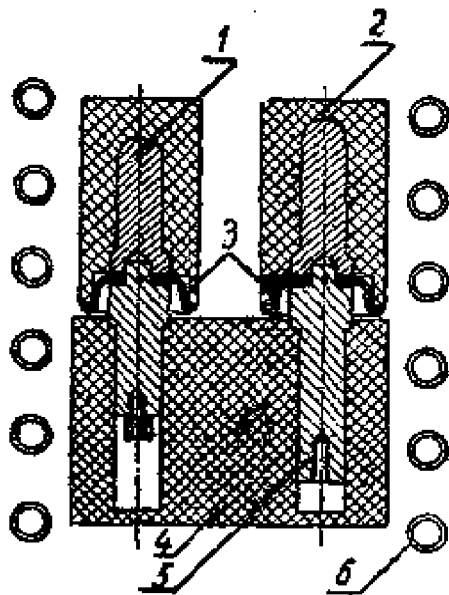


图6-19 可伐盘与铜引出线的高频焊接：

1—铜引出线；2—石墨套；3—可伐环；4—石墨芯模；5—引出线；6—高频线圈。

先把引出线固定于石墨芯模上，加上银铜焊料片，然后套上可伐盖，再加一银铜焊片于可伐盘上，再装铜引出线于焊片上，最后套上石墨套。石墨芯模和石墨套主要用来固定焊件及加热之用。然后可置§4-5中所述的高频加热真空炉中进行加热。加热时间约2~3分钟即可，在进行焊接时，加热温度和时间必需控制恰当，且亦要求焊件预先有良好的净化。

6) 烙铁钎焊及超声波钎焊——

烙铁钎焊是把烙铁(焊极常为铜)放在

火焰中加热(或用电热丝加热)，然后

把烙铁熔沾焊料于焊极，再用烙铁去

加热焊件，并把焊料涂于焊接处，使它们焊接起来。它的焊接原理和

浸钎相同，这种焊接在白炽灯生产上用来焊接灯头电极以及电子管引

出线的焊接，此外在无綫电装配上亦常应用。目前为了使这种焊接也

有可能用来焊接铝等难焊金属，于是在这种电烙铁装置上加入了超声

波振动子，即成为所谓超声波钎焊，由于有声波的作用，使焊接时金

属表面的氧化物去除，于是铝等金属的钎焊便成为可能。

§6-5 冷压焊接

冷压焊接是一种新的焊接技术，它是利用金属塑性变形的原理。在进行前面所述各种焊接中都需要在焊接时加入各种不同方式的热能，但在进行这种冷压焊接时，它无需加入任何热能，即在常温下就可进

行。采用这种方法，它可簡單容易地焊接各种金屬甚至鋁及鋁合金等。

用这种方法焊件在焊接前需进行很徹底的淨化，要求沒有一絲油脂和氧化物。在这种情况下，如果把这两种金屬合在一起时，当它們的表面相距仅只数埃时（1 埃 = 10^{-8} 厘米），这时两种金屬的原子外層軌道上的电子就会相互發生作用，使两金屬表面之間产生金屬型的吸力，于是使这两金屬焊接在一起。但由于要在焊接前絕對完全去除金屬的氧化膜是有困难的，因为即使从去除氧化膜到焊接时的間隔很短，但仍会生成新的氧化膜。为此，要进行这种焊接，就必须施加压力使两金屬焊件表面紧紧接触，以使氧化膜破坏。

冷焊的优点除了不必加热外，而且它在焊接时的生产率很高，目前这种焊接已在无綫电零件生产上找到了实际的应用，相信这种焊件不久亦可在电子管生产上得到应用。

§6-6 机械連接

在用电阻焊接，熔融焊接或鑲焊都不能应用时，或者不适宜时，例如金屬熔点相差悬殊或是直徑相差太大的金屬絲連結，或靠近玻璃部分的焊接等就常应用机械連結法。

現將通常在电子管中所采用的各种机械連結逐一簡述于下：

1) 切压法 这种方法主要用来固結栅絲和栅極边杆之用，如圖 6-20 所示。它是先用割刀在边杆上切一小槽，然后把細絲落于槽內，最后再用压刀在小槽上滾压，使細絲封閉于槽內。

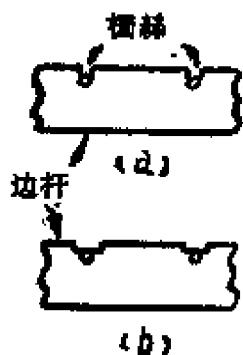


圖6-20 切压法固結。



圖6-21 冲压法固結。

2) 冲压法 这种方法亦用来繞制細絲柵極用，它是用很硬的細柵絲(一般为鎢絲)和性質較軟的柵極边杆的連結。先将边杆橫放在圓形心模上，然后在它的上面繞以鎢絲，再用偏心压輪將鎢絲硬压入軟的边杆，如圖6-21所示。

3) 夹持法 这种方法用于白熾灯及小型管 热絲与 連接綫的連接，此时連接綫預先压扁，并弯成鈎状(有时亦用薄片)，以后把热絲放入其中夹压；或在連接綫上热絲从其一端穿入后再夹紧，也可再加以点焊，如圖6-22所示。

4) 折叠法 这种方法大都用在金屬圓筒的接縫，如有些圓筒形的阳極、隔离罩或有縫套管等的接边，如圖6-23所示：(1)是准备状，(2)是完成后的形状。

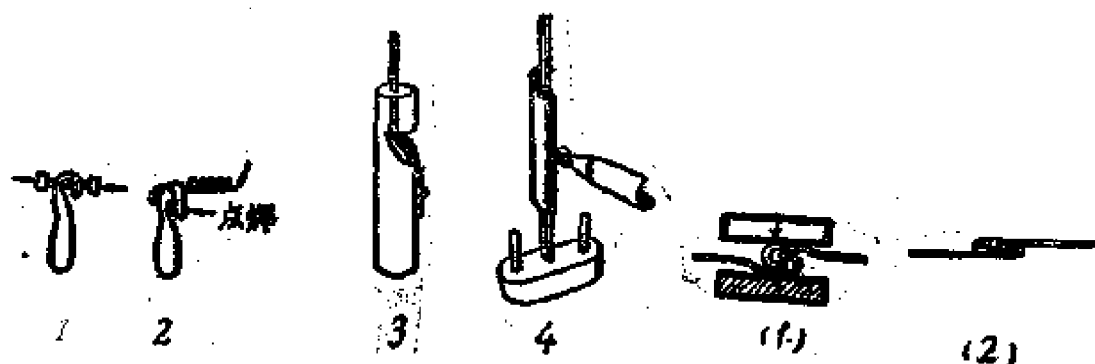


圖6-22 夹持法。

圖6-23 折叠法。

5) 鉚接法 鎢、鋁及鉍等难焊金屬，有时常用鉚釘連接法，如圖6-24所示。此外云母片和导絲固定，有时亦用空心鉚釘来进行，如圖6-25所示。圖6-26示出了半阳極用鉚接法进行連接的两种接边形式。

6) 綁扎法 这种方法主要用于細金屬絲与粗金屬杆的連結，因

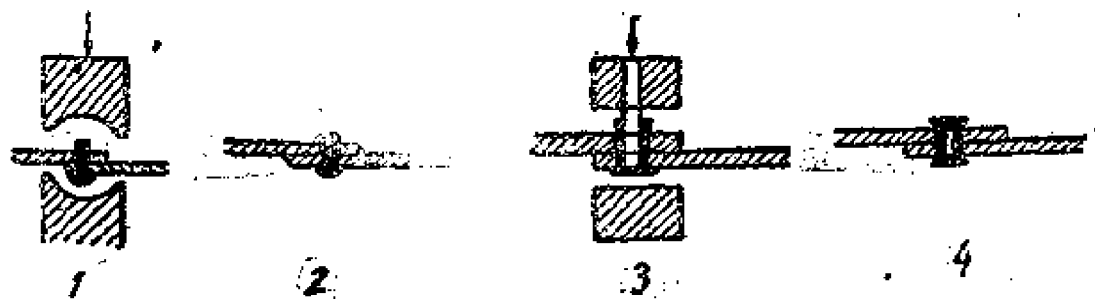


圖6-24 鉚接法。



圖6-25 用空心铆釘固結云母和支杆。

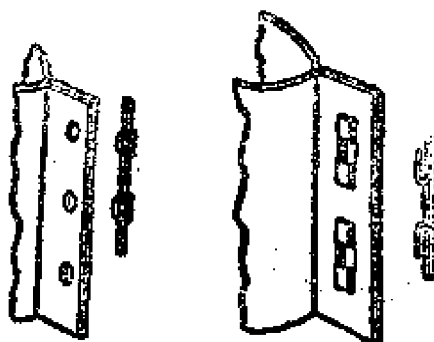
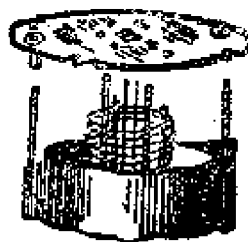


圖6-26 半阳極用铆接法連接。

为它們之間的直徑相差較远，很难采用焊接的方法，所以就采用这种連結法。圖6-27 (a) 所示即为細栅絲与栅極边杆的連結，圖6-27 (b) 所示即为較大的鎢阴極与其引出綫的連結。

7) 螺絲連結法 这种方法用于大型电子管中电极和玻璃芯柱的連結，它是借帶有螺絲的金属圈箍紧于玻璃芯柱上面而成的，如圖2-28所示。

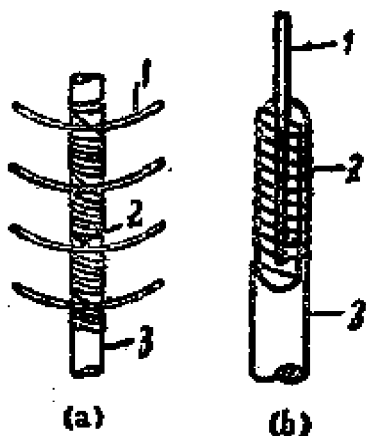


圖6-27 綁扎法:

1—金属細絲，(a) 中为栅絲，(b) 中为阴極；2—綁扎用金属細絲；3—支杆。

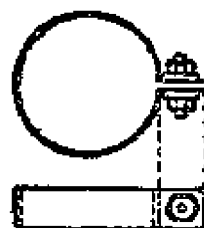


圖6-28 螺絲連接。

第七章 阴極制造

§7-1 阴極的种类及其結構形式

阴極是电子管中最主要的元件。首先，整个管子的工作取决于它的特性；此外，在很多場合下管子的寿命系由阴極的工作期限所决定。因而，作为电子發射源泉的阴極，往往被認為是电子管的心臟。

絕大多數的电子管是利用热电子發射，常用的热电子發射阴極就总的方面講可分三类：即純金屬阴極、被膜阴極和半导体阴極。

在純金屬阴極中，主要的是鎢阴極，这是由于鎢的熔点高，蒸發率小，具有稳定的电子發射，能耐正离子的轟击和制造簡易。它的最大缺点是效率低，因此目前它主要应用在大型的功率振蕩管中。

由于鎢阴極的效率低，因此这种阴極的結構形式总是采取直接加热的方法。一般簡單的是折叠形，但有的为了获得大的發射电流，就采用了較复杂的結構，例如鼠籠式、螺旋式等以增大發射表面。在圖7-1上所示的就是各种常見的鎢阴極形状。

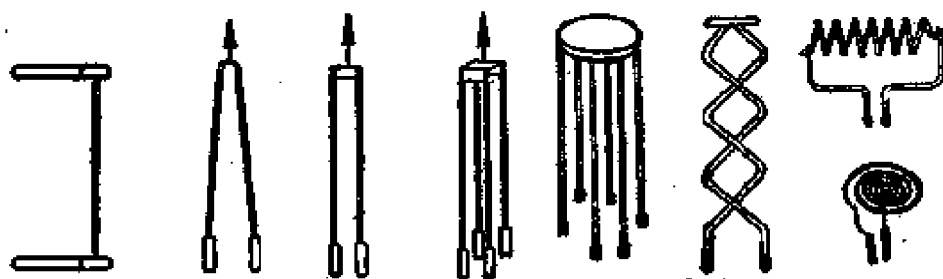


圖7-1 各种鎢阴極形状。

鎢的熔化溫度高达 3643°K ；同時在高溫下蒸發也不大，其显著蒸發溫度約为 2700°K 。因此鎢阴極的工作溫度可以選擇得較高，通常視阴極直徑粗細的不同，工作溫度在 $2400\sim 2600^{\circ}\text{K}$ 範圍內，在特別大的功率管中，为了获得較高的發射效率，溫度甚至可用到 2650°K 。

当然，从另一方面看，温度的升高会降低阴极的寿命。因此通常规定在保证阴极寿命不低于 1000 小时的前提下，选择工作温度的。而在某些特别大的功率管中，管子设计得可以拆开，以便损坏后的钨阴极可以替换。

仅在很少情况下也用钽或铌来做纯金属阴极。

由于纯金属的逸出功大，所以它们的电子发射不可能高。研究指出，当纯金属的表面复盖上一层正电性物质的原子或分子薄膜时，将使金属的逸出功大为降低，如表 7-1 所示，因而就使发射能力大为增加，利用这种现象所制得的阴极统称为被膜阴极。常用的钍钨阴极就是属于这类的阴极，它是在基金属钨的表面上复盖一层钍原子而制成的。这种阴极较纯钨阴极要经济得多，而且经过碳化处理后，它的发射稳定性也会大大地增加，因此在中型功率振荡管中，它获得了广泛的应用。并且随着真空技术的发展，有逐步取代纯钨阴极的趋势。

钍钨阴极虽则它的发射效率比钨阴极要高得多，但由于它仍采用直接加热的方法较方便，故它的结构形式一般亦和钨阴极类似。

钍钨阴极有着约 20~50 毫安/瓦的发射效率及近 1000 小时的寿命。但是作为实际应用的阴极，它存在着严重的缺点，这些缺点是：

(1) 钍的蒸发率大，阻止了运用温度的提高，发射效率受到了限制。

(2) 对于气体非常敏感。如果在工作时，由于其他电极逸出少量气体，结果阴极发射效率便将跌落。又因它的运用温度低，因而当发射跌落时，内存的钍就不能向外补充。

(3) 不能在高电压下运用，由于在高电压下，易产生正离子轰击阴极，表面钍层易被打落，因而电子发射下降。

所以，这种阴极只能用于低阳极电压（300 伏以下）的电子管中，但是在这些低电压管子中则采用氧化物阴极要有利得多。故在现在它已失去了实用价值。

在现代电子管工业中广泛采用的是经过碳化处理的钍钨阴极。这种阴极有时简称为碳化阴极，和钍钨阴极相比，它有着很多的优点，

表7-1 在金屬上复盖了正电層后逸出功改变的数值

金屬 (心金屬)	膜	φ_0 (伏)	純金屬的 φ_0 (伏)
鎢	鈦	2.6	4.52
鎢	鉻	2.7	4.52
鎢	磷	2.7	4.52
鎢	鈷	2.84	4.52
鎢	釷	2.7	4.52
鎢	鉛	3.14	4.52
鎢	銀	1.56	4.52
鎢	鉅	1.36	4.52
鉕	鈦	2.58	4.44
鉕	鈦	2.52	4.07

这在下面还要叙述。

此外，属于这类被膜阴极的还有L型阴极，硼化物阴极等。

(1) L型阴极 L型阴极就其发射原理言，属于被膜阴极类，但就其激活物质的材料言，也可以看作是氧化物阴极的某种变态。它的结构如图7-2所示。图中(a)是平面形L型阴极的剖面，(b)是应用在磁控管中的圆柱形L型阴极的剖面。但无论是何种形状，它总是由这些主要部分所构成，即多孔的钨盖(1)、钨基(2)、作为激活物质的稀土金属碳酸盐(3)和热丝(4)。当加热这种阴极时，

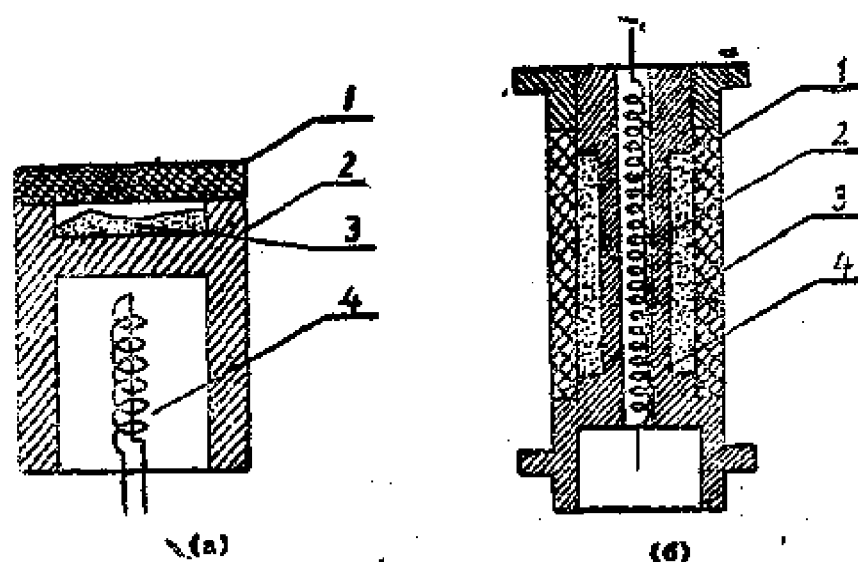


图7-2 L型阴极结构。

鹼金屬碳酸盐开始分解并形成相应的氧化物（通常为氧化鋇和氧化鋇）。氧化物与鋇和鋇起作用，释放出自由的金属鋇和鋇，所生成的鋇和鋇渗入鋇盖的細孔中，并扩散到它的表面上。若温度适当，可以在表面上成形一單原子的活化層，因而使阴極获得大的电子發射。

这种阴極具有很大的脉冲發射性能、大的机械强度、高的寿命、低的噪音，以及不易为残余的气体所毒化的优点，故这种阴極应用于超高频管及某些电子束管中。

（2）硼化物阴極 这是一种新的阴極，它的發射物質是稀土族或鹼土族元素的硼化物，常用的是硼化鋱（ LaB_6 ）。硼化物是塗在鋇、鋇或鋇的芯金属上或是直接作成管状或片状，这种阴極当在加热和去气后就可發射电子，而不必进行特殊的激活。这种阴極的發射效率高，不怕正离子的轟击，对气体也不敏感，若将它置于空气中然后再放入管中，仍不丧失發射性質。因而这是一种很有發展前途的阴極。在目前它的用途还不广，主要应用在超高频的振荡管中。

第三类阴極是半导体阴極，这种阴極是在金属上（芯金属）塗一層厚度較厚的，能發射电子的半导体（激活性物質）。常用的氧化物阴極就是半导体阴極的主要类型。

氧化物阴極系由两部分組成，一是作为基底的芯金属，另一部分是氧化物（氧化鋇、氧化鋇和氧化鈣）塗層。氧化物阴極經過激活处理后，表面的逸出功降得較小，所以它的發射效率要比鋇阴極与鋇鋇阴極高得多。

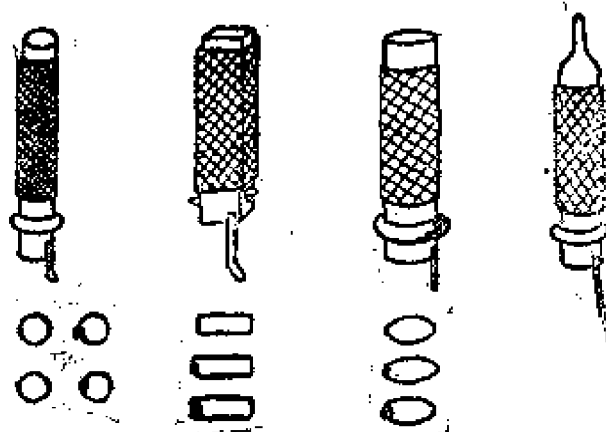


圖7-3 几种間热式阴極外形。

由于这緣故，現代无綫电接收放大管和小功率振荡管中几乎完全采用氧化物阴極。氧化物阴極又是一种理想的电子点源，它具有很大的电流密度，并且对于温度变化不太敏感，因此也被应用在阴極射线管中。此外，它还被采用在多种多样的气体放电管，放电灯以及各种超

高频电子管中。

氧化物阴极的发射电流与很多因数有关，如氧化物涂层的成分、厚度、密度和结构、芯金属中杂质的成分、阴极的工作温度。此外，管子的工作环境也有关，如残余气体的多少与成分，管内零件的净化和选用零件的材料等。

由于氧化物阴极的工作温度较低（ $900\sim 1350^{\circ}\text{C}$ ），且辐射系数小，故它能适宜于用直接加热或间接的方式来加热。因此一般氧化物阴极的结构也就分为直热式结构和间热式结构两种。在直热式阴极中，芯金属呈带状或丝状，在带上和丝上涂氧化物。在间热式阴极中，芯金属通常是截面为圆形，椭圆或矩形的金属套管，在套管上涂上氧化物层，如图 7-3 所示。阴极套管厚度一般为 $0.05\sim 0.15$ 毫米，套管亦有缝套管和无缝套管两种，其中无缝套管因加热均匀，故质量较好。

大多数的阴极套管均为圆形，但在某些要求阴极工作面积大的电子管（功率管，高跨导的电子管）中则常就采用了椭圆形或矩形的阴极。又为了使阴极套管能固定于云母片上，在套管的一端作出突缘（滚筋），使套管能卡在云母片上。在套管的下端尚需焊接阴极连接带（阴极尾丝）以便引导阴极电流，且要求这连接带不能导走过多的热量，故需用导热率低的金属（镍铬，可伐或铁镍合金）制造。

为了使阴极套管能很方便地固定于云母片孔中，故要求套管上的氧化物涂层在两端需留出长约 $3\sim 5$ 毫米，在某些复合管中（如 6B8C，6SQ7 等）涂层需要中断，以避免管内的电子相互影响。

由于间热式阴极的发射面是等位面，并且工作电流与加热电流无关，加上间热式阴极的热惯性很大，故它可应用交流电来加热。所以现代用交流电的接收放大管中和小功率振荡管中均普遍采用这种阴极形式。

§7-2 钨阴极制造

钨阴极的制造过程比较简单。首先将拉成一定直径后的钨丝净化，以去掉表面的氧化物，特别是残余的石墨，石墨若不消除将来会大

大地降低鎢陰極的电子發射。根据絲的直徑，淨化用浸蝕或用在空气中热处理的方法进行，然后再在氬气中或真空中进一步热处理。

淨化后进行陰極成形。由于作为鎢陰極的鎢絲直徑相差很悬殊，它們的加工方法有所不同。直徑小于 0.2 毫米的鎢絲，在冷态下成形；而粗鎢絲必須在热态下成形。成形在相应的心模或特别的样板上进行。为了保持陰極正确的形状，有时將陰極与心模一起置于氬气中，在約 $1500\sim 1600^{\circ}\text{C}$ 温度下退火定形。此时，鎢絲部分再結晶，因而陰極的形状得以固定。陰極成形时，如果陰極須加热，則所加陰極电压应逐漸上升，否則由于鎢的冷态电阻很小，而造成过大的电流。

陰極成形后，可用焊接法或綁扎法將鎢陰極固結在芯柱的陰極引出綫上，这时要特別注意連接的强度。然后再在氬中或空中加热到 2000°C ，予以最后成形。

在制造过程中，为了較仔細地去除陰極上的石墨和其他磷物，可以多次进行淨化。例如在鎢陰極焊到芯柱上前，在煮沸的苛性鈉溶液中进行清洗，然后再用流水和蒸餾水淨化。

最后應該指出，鎢的結晶結構对鎢陰極的工作和制造过程具有很大的意义。因为首先：由于鎢的結晶結構；使它显得很硬而难以加工，常常在加工过程中引起鎢絲开裂。其次，鎢的結晶結構对鎢陰極的定形有很大关系。为了使鎢陰極容易成形且稳定性較大，在原材料中常加入一些杂质，如氧化硅和氧化鋁等，它們的存在，包围了鎢的晶粒，并阻止其增大，因而使鎢在机械和热的加工过程中，具有較高的强度。第三、鎢的結晶面对它的逸出功会有改变，（由于結晶面的不同，鎢的逸出功可以在 $4.36\sim 4.65$ 电子伏范围内变动）因而对它的發射性能也起着一定的影响。

§7-3 鈾鎢陰極制造

鈾鎢陰極在制造工艺上，鈾鎢陰極在激活处理前几乎与鎢陰極没有什么区别。当然，原材料的配制是不同的。为了制造鈾鎢陰極，在压制和燒結前，鎢粉中須仔細地混入适量的氧化鈾 (ThO_2)。通常直

徑細于 150 微米的鎢絲，混入的氧化鈦約占 0.5~0.8%。直徑大于 150 微米的鎢絲，氧化鈦的含量可達 1%，當直徑大于 1 毫米時，氧化鈦的含量可增加至 1.2~2%。混入的量再多是不適宜的，否則絲將變脆，使拉絲困難。在蘇聯常採用商標為 BT-10 和 BT-15 的鈦鎢絲，前者氧化鈦的含量約占 1~1.5%，後者氧化鈦的含量約為 1.5~2%。

如果將成品鈦鎢絲加熱到鎢陰極的正常工作溫度，則觀察到它的電子發射和純鎢絲一樣。當加熱溫度高于 2600°K 時，內含的氧化鈦開始顯著地和鎢起作用，還原出金屬鈦。所獲得的金屬鈦並不是直接經鎢結晶向外擴散的。而是從它形成的地方，沿着鎢結晶間的裂縫及薄層蔓延開來，使鎢的結晶顆粒蒙上鈦的薄膜，最後跑到鎢絲外表面的結晶面上。但是在這樣高的溫度下 ($2600\sim 2800^{\circ}\text{K}$)，由於鈦原子的蒸發率非常大，以致鈦原子幾乎不能在表面上停留。所以，在這種情況下，絲表面的電子發射仍然保持着純鎢的性質。

为了不使鈦过多地蒸發，在高温下使氧化鈦還原成鈦的時間應該維持得很短，通常約為半分鐘。然後將絲溫度降至約 2100°K ，維持一個較長的時間 (0.5~1 小時)。在這溫度下鈦的還原實際上已經停止，但是原先還原出來的鈦，尚能以顯著的速度沿着鎢的結晶顆粒擴散到絲的表面。同時，由於溫度降低了，鈦的蒸發也大大地減少了。以致使鈦向表面的擴散稍大于鈦在表面的蒸發。在這種情況下，絲的表面就形成了鈦的單原子層。這是在於鈦上蒸發鈦要比由鎢上蒸發鈦容易得多，且單原子層外的鈦在這溫度下不能留在表面的緣故。

凡是使陰極得到正常電子放射的過程，稱為激活。因此鈦鎢陰極的激活就是鎢表面上形成鈦的過程。激活的溫度範圍通常在 $2000\sim 2200^{\circ}\text{K}$ 之間。如果溫度超過 2300°K ，陰極發射又將跌落，因為此時表面鈦原子的蒸發速度超過了鈦原子由內向外的擴散速度。這在圖 7-4 上可看出，當溫度再高時，鈦鎢陰極的發射能力將完

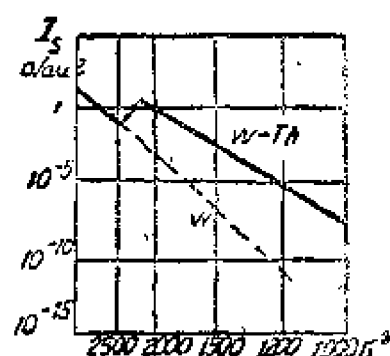


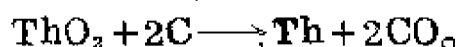
圖 7-4 鈦鎢陰極的發射與溫度的關係。

全与鎢阴極重合。这个过程通常叫做去活化。

虽然我們在上面指出鈾鎢阴極在 2100°K 时已具有足够高的發射效率。但在此溫度下鈾的蒸發率仍然很大，阴極中鈾的儲量将很快地被消耗，不足用来补充表面的鈾層。因此实际上鈾鎢阴極不能工作在此溫度，否則寿命将很短，为此，鈾鎢阴極的一般工作溫度是 $1800\sim 1900^{\circ}\text{K}$ 。此时鈾的扩散几乎已停止，阴極仅由存在于絲表面的鈾層来工作。但尽管如此，由于鈾的蒸發率已經減得很小，所以如果没有其他的損失，阴極仍能工作 1000 小时或者更長一些。

由上所述可知，鈾鎢阴極在制造工艺上与鎢阴極的差別，主要在于需要激活处理。必須指出，正确的激活规范应視每批鈾鎢絲而异，在实际上需由試驗确定。因为鈾鎢阴極的活化速度与絲中氧化鈾的含量及鎢的結晶結構有很大关系，而这一切在每批鈾鎢絲之間可能有些改变。

鈾鎢阴極的最大缺点是發射不穩定和寿命低。显然，其根本原因主要是由于鈾在鎢表面的易于蒸發，因而不允許阴極使用于活化溫度（在这溫度下，鈾还可移动，且能扩散到表面以补充鈾層的减少）。其次是由于不足的金屬鈾儲存量所引起的。在碳化阴極中，这两点都有一定程度的改善，这种阴極本身仍然是鈾鎢絲，但它的表面層却成碳化鎢 (W_2C)。而阴極表面碳的存在，会影响氧化鈾的还原过程。若不存在碳，氧化鈾系由鎢来还原出鈾；当存在碳时，在足够高的溫度下，还会發生下列还原反应：



这反应逆行得很快，因此碳化阴極中还原出鈾的儲存量比較含氧化鈾量相同的鈾鎢阴極要多好几倍。除此以外，碳化阴極还具有其他的优点，这些优点叙述于下：

(1) 在碳化阴極中，鈾層附着于碳化鎢的表面上，而不附着在鎢表面上。由于鈾在碳化鎢表面上的蒸發速度要比在純鎢上小得多，因而在同样的工作溫度下，鈾的蒸發率将減小。圖 7-5 示出了它的蒸發速度的比較。

(2) 由于上述优点, 碳化钨阴极的工作温度就可选得高些, 譬如一般工作在 2000°K 。在此温度下, 钨还能从内向外扩散, 这样在钨层被某些因素破坏的情况下, 表面上暴露处立刻将被扩散出来的钨原子所补充和复盖。

(3) 由于钨在表面蒸发慢, 损失少, 储存量大, 因而阴极的寿命较长。

因此现代钨钨阴极总是进行碳化得较多。显而易见, 碳化阴极的制造实际上就是钨钨阴极制造的延续。开始的制造过程是一样的, 也是先将钨钨丝进行切割、净化、在芯模上预先成形, 煮沸的碱溶液中及蒸馏水中清洗。所不同者是最最后还要进行碳化处理。

现将碳化阴极的制造过程叙述于下:

先将钨钨丝进行净化, 然后将它装在芯柱上, 并用弹簧钩拉住, 使位置和形状固定, 接着送往真空或氩气中加热成形。加热用约两倍的额定灯丝电压, 时间为 $10\sim 30$ 秒, 并且在成形时阴极还得到了额外的净化, 待阴极成形后进行碳化。必须指出, 碳化总是在成形后才进行的, 这是因为碳化以后阴极将变得很脆。

碳化是在碳氢化合物气体中进行的, 使碳氢化合物蒸汽的分子和阴极热表面接触后而分裂为碳和氢, 碳沉积在阴极上与钨作用在表面形成一层碳化钨 (WC 和 W_2C)。但碳化时, 不能让碳无止境地渗透到钨中, 以致使钨过多的转变为碳化钨, 这样阴极就变得很脆而成为废品。阴极碳化的程度, 就其截面积言, 通常约为 30% 转化为碳化钨, 而 70% 仍为钨。依重量计, 碳的含量只占约 $0.25\sim 0.5\%$ 。当然, 碳化程度是与丝的直径有关; 丝愈细, 则碳化的程度也就相应较浅。

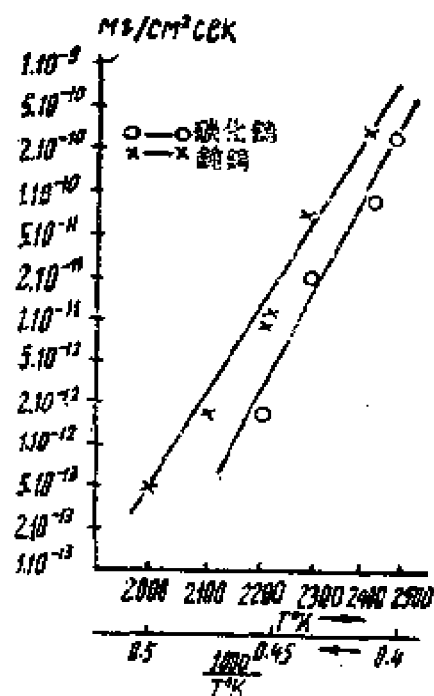


圖7-5 碳化钨和純钨的蒸发速度比較。

碳化时常用的碳氢化合物有：

苯、萘、汽油等。

目前阴极碳化所进行的方法有二种：一为在真空中碳化，一为在氢气中碳化，各分叙于下：

1. 真空中碳化 进行这样的碳化是在如图 7-6 所示的装置系统中进行。碳化时先用抽气机将玻璃罩中的空气抽去，约抽至 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 公厘 Hg 的真空度，然后打开活栓 6，使碳氢化合物蒸汽进入定容器，经数十秒钟后，关闭活栓 6 并打开栓 7，使定容器内的蒸汽进入真空罩中，然后加灯丝电压进行碳化，碳化时温度一般在 $2200 \sim 2400^{\circ}\text{C}$ 之间，碳化持续时间约为 3~50 秒。碳化后关闭活栓 8，

打开活栓 9，并用前级抽气机将玻璃罩内的碳氢化合物抽去，待阴极冷却后，打开活栓 10 放入空气，就可在玻璃罩内取出碳化好的阴极。

2. 氢气中碳化 除了在真空中碳化外，还可以在氢气中进行碳化，在氢气中碳化实际上也就是在氢和碳氢化合物的混合气体中进行碳化，进行这种碳化时所用的装置如图 7-7 所示。碳化时先用氢气赶走空气，然后使氢气通过碳氢化物的液面而带出碳氢化合物的蒸汽，组成氢和碳氢化合物的蒸汽的混合气体流入碳化阴极的玻璃罩内，这时就可加热阴极而进行碳化了。碳化时的温度和時間仍和真空中一样。

碳化时所用的氢气要求纯度很高，尤其是不应含有氧和水蒸汽，否则会使阴极氧化，一般要求氢的露点在 -40°C 以下。

为此由外面送入的氢，在图 7-7 中可看出，先经内盛红热 (500°C) 铜屑的去氧炉，然后进入蛇形冷却管中冷却，由冷却管出来的氢气，

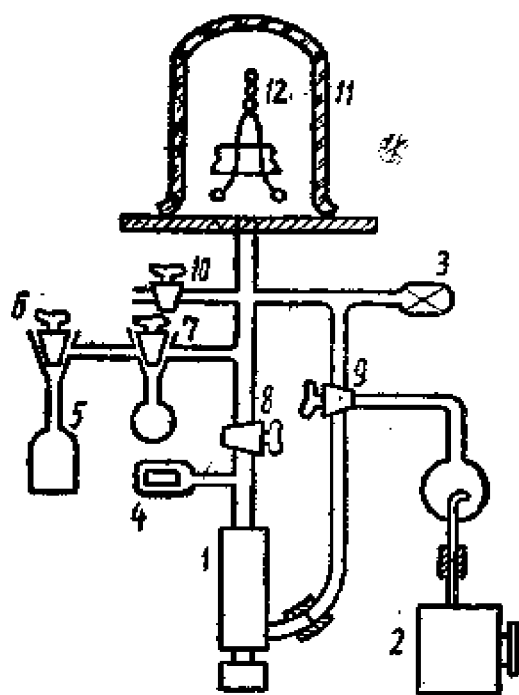


图 7-6 真空中阴极碳化装置：

1—扩散抽气机；2—旋转抽气机；3—热偶真空计；4—电离真空计；5—盛有碳氢化合物的容器；6、7、8、9、10—真空活栓。



圖7-7 在氫氣中陰極碳化的裝置：

- 1—盛有銅層的去氧爐，外用电熱絲加熱；2—蛇形冷卻器；3—氫氧化鈉；4—二氧化矽；5—五氧化二磷；6—過濾器；7—碳氫化合物容器；8—內盛玻璃纖維的玻璃球；9—碳化罩；10—流量表。

再進入兩個盛有氫氧化鈉（或氫氧化鉀）的瓶子，和兩個盛有二氧化矽的瓶子及一個盛有五氧化二磷的瓶子來吸收氫中水汽，再後通過盛有玻璃絲的過濾器，把氫氣中的雜質微粒濾掉，經過這樣過濾後的氫氣就可應用了。

在氫氣中碳化，因為它無需漫長的抽真空時間，因此它的生產率很高，但在氫中碳化，由於氣流的不穩定，常使碳化質量難以控制。特別應該注意的是那些柵極上塗有銻的陰極不能在氫氣中碳化，而只能在真空中進行碳化。此外，在氫中碳化，由於氫氣流帶走了陰極表面的熱量，故同樣達到一樣的碳化溫度，在氫中所需的陰極加熱功率要較在真空中的為大。

以上所述碳化是在電子管封口前進行的，但碳化也可是封口好的電子管在排氣台上進行碳化，這種方法，雖然可省去專門的碳化裝置，但排氣台的真空系統會被碳氫化合物沾污，而使排氣台的極限真空降低，並且在排氣台上進行碳化時，需先將管子的玻殼和電極很好去氣然後才能碳化，不然陰極可能會被放出的氣體所氧化。為此，这样就加長了陰極碳化的時間，所以在排氣台上進行碳化的方法。在大量生產中不是一種好的方法，目前都已少用。

在碳化時，為了陰極的良好發射和長的壽命，因此不僅要得到一定的碳化百分數（一般在18%~30%），而且還必須得到一定的碳化層結構（應該在鎢表面得到是層狀的 W_2C 結構），如圖7-8所示。

碳化时的碳化百分数和表面结构情况，主要和碳化温度，碳氢化合物蒸汽的大小，以及碳化时间有关。实验指出，碳氢化合物的分解，一般随温度的增高而上升，并且碳氢化合物的蒸汽压大，分解速度亦大。而碳在钨中的扩散速度亦随着温度的升高而增加。当碳化温度低，碳氢化合物流量太大时，这时碳的扩散很小，因

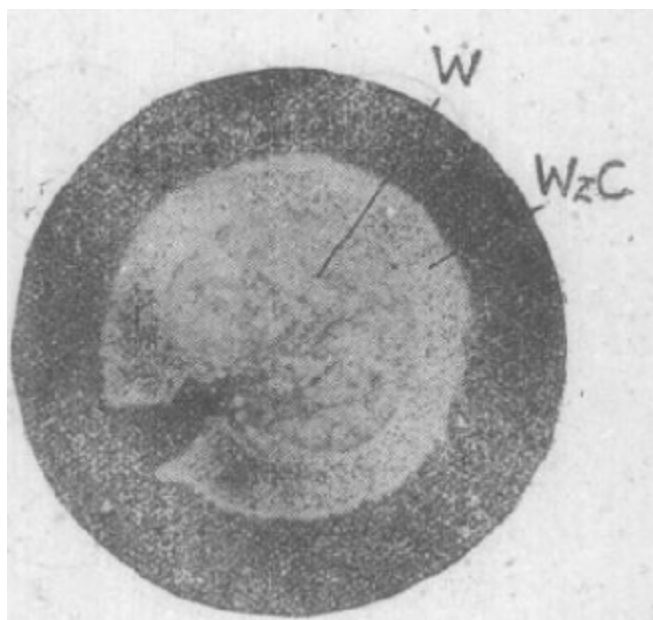


圖7-8 碳化陰極剖面照片。

此表面就生成大結晶的 WC，并在 WC 的上面还可能有沉积的純碳，如圖 7-9, (1) 所示，而在表面上存在純态的碳时，会使陰極 輻射率增加，这当然对陰極工作不利。此外，大的結晶結構的碳化鎢 (WC)，也将使鈷扩散到陰極表面的速度变慢。在另一种情况下，当碳氢化合物蒸汽压小而温度比較高时，碳素就很容易向內層滲入甚至其速度超过了碳氢化合物在表面分解出碳的速度，結果在表面就不会沉积純态的碳，而是得到結構密致層狀的碳化鎢，如圖 7-9, (3) 所示。如果碳氢化合物的濃度再低时，則結晶就逐漸成为如圖 7-9, (5) 所示。这样的晶粒結構使将来鈷能很容易地扩散到陰極表面。

当然，这并不意味着碳化时蒸汽压應該愈小，溫度應該愈高，因为最佳的碳化規範还取于一些其他的因素，例如是否能在規定的時間內产生足够的碳化等。

在实际碳化过程中，我們要保持碳氢化合物的蒸汽压，陰極溫度是很困难的，首先由于碳化过程进行得很快，因此不能保持溫度不变，如果控制加在陰極上的电压，但由于碳化时陰極电阻的变大，使电流变小，因而陰極溫度稍会降低，所以即使保持灯絲电压不变，仍很难得到碳化因素的不变。为了控制碳氢化合物的蒸汽压，有时就将

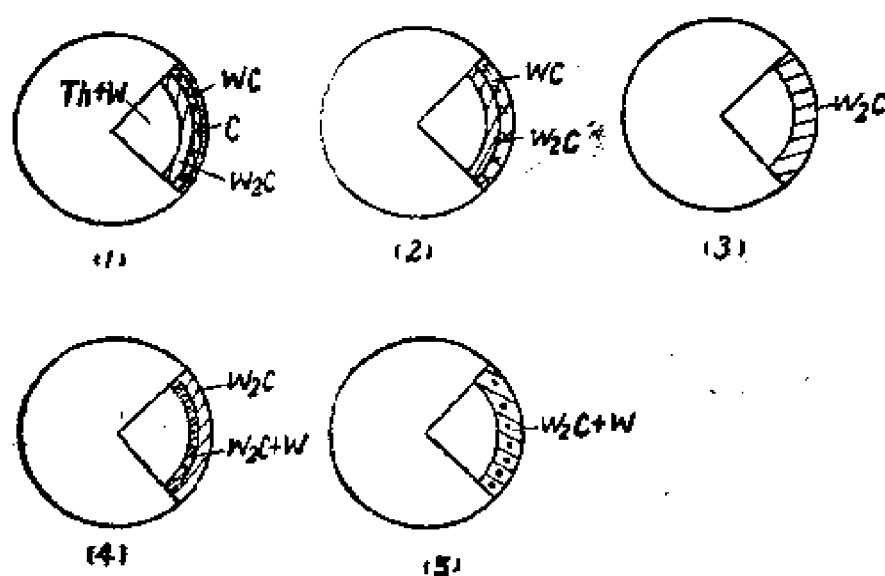


圖7-9 各種碳化程度。

圖 7-6 中的碳氫化合物容器和定容球放在恒溫箱中。為了控制所加陰極電流的不變，可採用電子管控制裝置，當陰極電壓降至某一值時，就自動切斷燈絲電流。

碳化後，碳化百分數的測量，可測量其電阻值來達到，這是因為碳化鎢的電阻比純鎢的電阻要來得大之故。但電阻值變化很小，故需用電橋法進行測量，並在陰極冷卻後進行，然後依下式計算之：

$$S = \frac{A_{W_2C}}{A_W} \approx \frac{R_1 - R_0}{R_0}$$

式中 S —— 碳化百分數；

R_1 —— 碳化後電阻；

R_0 —— 碳化前電阻。

如果碳化後發現碳化百分數太大，一般可進行去碳。去碳可在真空中或氫氣中加高溫進行，利用在真空中的殘余氣體或氫氣中在高溫下與碳化鎢起反應來還原去碳。而在真空中去碳速度緩慢，在氫氣中去碳較快，但在氫中去碳時，由於表面氣體奪去碳的速度大於內部碳向表面的擴散速度，故去碳後使表面一層成為純鎢。而在真空中去碳，因靠表面碳的蒸發和殘余氣體的還原，所以去碳速度很慢，失去的碳仍被內部擴散出來的碳所補充，因此表面仍能保持為碳化鎢的

結構。

§7-4 氧化物陰極的製造

在現代電子管陰極製造中，氧化物陰極的製造占着極大的一部分。

氧化物陰極的製造工藝可以劃分為這樣幾個過程，即芯金屬的製造工藝，碳酸鹽的配制、塗敷的方法與裝入管殼後陰極的進一步處理（如分解、老練等）。在本節中我們只敘述陰極在裝入管殼前的工藝過程，至於裝入殼後的陰極處理，將在第十八章和第二十章中加以敘述。

（一）芯金屬的製造工藝

氧化物陰極在結構形式上可分為直熱式陰極和間熱式陰極兩種。但無論是直熱式陰極或間熱式陰極，作為它們理想的芯金屬材料，都應該滿足下列要求：

- （1）熔點高。
- （2）高溫下蒸發率小。
- （3）在工作溫度時，仍有足夠的機械強度，對於直熱式陰極言，更要求抗張强度高和再結晶微小。
- （4）對塗層發射產生有利的影響。
- （5）在一切溫度下，對塗層和可能存在的气体或蒸汽，有高的化學穩定性。
- （6）陰極製造期間去氣容易。
- （7）電阻率低。
- （8）導熱率低和輻射率低，保證加熱經濟。
- （9）機械加工性好，特別對於間熱式陰極的套管，更要求展延性佳。

根據以上這些要求，能用作為芯金屬材料的金屬有鉑、鎳和鎢。鉑具有高的化學穩定性和高的熔點，早期曾作為氧化物陰極的芯金屬材料，但惜於價格太昂貴。現在最常用的芯金屬材料是鎳和鎳的一些合金。因為鎳能滿足上述的大部分要求。作為芯金屬材料的鎳，其成

表7-2 一些作为阴极芯金属的镍的成分

国 别	阴极用镍	化 验 成 分									
		C	Cu	Fe	Mg	Mn	S	Si	Ti	Al	Zn
苏联	镍 I	0.1	<0.10	<0.05	0.10	<0.05	<0.005	0.15~0.2	—	<0.01	<0.002
	镍 II	—	—	2%	—	—	—	1.7	0.2~0.5	—	—
美国	镍 I	0.08	0.04	0.05	0.01~0.10	—	—	0.15~0.25	<0.01	—	—
	镍 II	0.05	0.04	0.05	0.01	0.02	0.05	0.01	—	—	—
英国	镍 I	<0.04	>0.12	>0.20	0.07	<0.15	0.005	<0.01~0.10	—	—	—
	镍 II	0.08	0.2	0.2	(0.035)	0.2	0.01~0.10	0.01~0.05	—	—	—
德国	镍 I	0.05	<0.1	0.1	0.07~0.05	<0.05	0.003	<0.02	—	—	—
	镍 II	0.05	<0.1	0.1	—	<0.05	0.005	<0.02	—	0.45~0.55	—
法国	镍 I	0.02	0.02	0.10	0.08	0.05	0.005	<0.05	—	—	—
	镍 II	0.05	0.02	0.10	0.02	0.05	0.005	0.15	—	—	—
瑞士	镍 I	—	0.01~0.04	0.04~0.06	0.09~0.13	0.04	0.002	0.03~0.10	—	—	—

分是很重要的。某些雜質，例如錳、硫、鋅、銅、鐵等的存在，會對陰極發射產生有害的影響。但是有些雜質却是無害的，當芯金屬中加入適量的某些雜質，如硅、鎂、鈦、鋁、鈣、鎢時，由於它們具有促進陰極激活過程的能力，因而對發射產生有利的影響。因此通常作為芯金屬的鎳，在製造時常有意加入一些有利的雜質。

作為芯金屬材料的鎳，隨著各種商標牌號有着各種不同的成分。在表 7-2 上列舉了某些作為芯金屬材料的鎳的成分。

鎳作為芯金屬材料的缺點是熔點不高以及在高的工作溫度下機械強度顯弱。當作為直徑很細小的直熱式陰極芯金屬時，這個缺點就顯得特別嚴重了。因此在這種情況下，通常用鎢絲作為芯金屬材料。從各方面看，鎢是很好的直熱式陰極芯金屬材料。但不足的是鎢很易為鹼土金屬氧化物所放出的氧所氧化，並且對陰極發射性能產生不利的影響。也就是不符合前述第四項和第五項要求，因此它的应用就受到了限制，只有在發射電流很小的電子管，例如在省電直流電子管中才被採用。為了消除這個缺點，有時在鎢芯絲表面上塗以青銅層，以避免鎢與氧化物層的直接接觸。此外，也有將金屬絲繞在鎢芯的周圍，再在其上塗氧化物層的方法，也能加強核心金屬與塗層間的結合。

直熱式氧化物陰極的芯絲通常由鎳絲或鎢絲制成，其直徑視燈絲電流的不同可以由 20 微米粗到 200 微米。帶狀的氧化物陰極芯絲只能由鎳制成，它主要作為氣體放電管的陰極。無論是絲狀或帶狀芯絲，其製造工藝都較簡單，通常只需經過表面去油，浸蝕，在氫中退火等步驟，這些工序將在下面和間熱式陰極一併敘述。

在上面會敘述間熱式陰極套管的結構分有縫套管和無縫套管兩種，它們大都均由鎳製造而成。有縫套管的製造是先將一定厚薄的片料進行沖裁，然後卷成管狀。而無縫套管是由拉伸的方法制得，以後再根據套管的長度進行切割。在切割時，可能在端部形成對管子有害的毛刺，故還必須將毛刺去除。此後，視各種不同的要求和條件，對陰極作一系列的機械加工、淨化、退火和焊接等工序。

有縫套管的滾筋，一般在片料沖裁時已可形成，而無縫套管的滾

筋，則必須以後單獨進行。

滾筋可以借手工，也可以在半自動的滾筋機上進行。圖7-10所示的就是無縫套管在滾筋機上滾筋的工作過程。首先將套管套在偏心模針上，再用活動夾模夾緊，然後使偏心模針隨軸作偏心旋轉，結果套管便滾出了一圈凸緣。為了製造截面呈橢圓形和矩形的套管，還須進行成形的工序。即將圓形套管在專門的芯

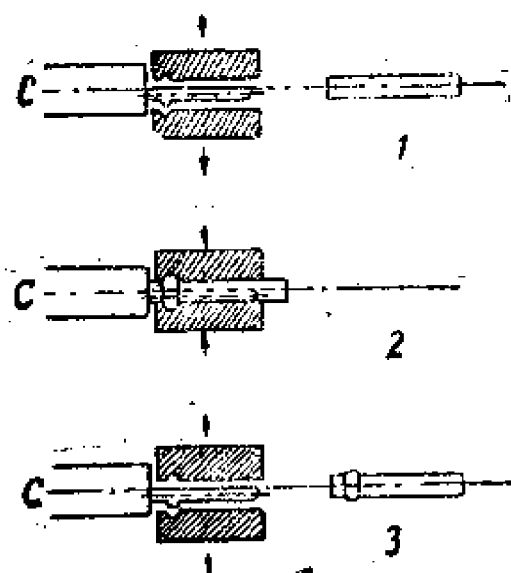


圖7-10 無縫套管滾筋過程。

模上沖壓成所需的截面形狀。在不少的情況下，成形須分幾次進行。而這些截面的套管往往不易滾筋，為了使它們仍能支撐在絕緣片上，通常是在套管的端部（即滾筋的位置），壓出凸出的點子，以達到能支撐在雲母片上的目的，並且這樣熱量散逸較小。在有些幾何尺寸較大的陰極套管，而管子的本身的幾何尺寸卻較小時，這時為了使雲母片上套管的孔和柵極邊杆的孔之間仍有一定的距離，為此就把套管上部進行收口，使套管直徑變小。在套管直徑較大的電子管中，這時陰極本身無謂的散熱就成為一個較重要的問題。因此也需把套管進行收口，這樣一方面頂端熱量不易散走，並且由於套管的直徑變小了，使套管與雲母片接觸的周長減少，這樣通過雲母片把熱量導走的可能性也就少了。所有這些都屬於機械加工，在進行這些加工時，都應該毫無例外地注意到零件的潔淨性。

在氧化物陰極芯金屬加工過程中，淨化和退火具有特別重要的意義。芯金屬的去油是在熱的三氯化乙烯中進行。接着再仔細地清洗及乾燥，直到完全潔淨為止。由於套管的直徑很小，用一般方法還不能使它的內壁徹底淨化。所以現在已採用超聲波進行淨化，用這種淨化方法清洗套管的內壁得到了很大的效果。特別是頂端經過收口的套管，更須用超聲波淨化清洗內壁。

为了塗層和芯金屬結合得牢固起見，有时須得到粗糙的芯金屬表面。这可以用浸蝕法进行。接收放大管的阴極通常在加热到 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的 50 % 盐酸溶液中浸蝕，几何尺寸大的套管則在王水中浸蝕。此时套管的表面稍微变得粗糙。在浸蝕后必須經過多次地清洗，以完全去掉残余的酸液。此外为了不使阴極芯金屬在以后放气，常常須不止一次地在氩气爐中去气。在氩气中退火的另外目的是为了保証芯金屬表面的高度潔淨性。有时仅在氩中退火还不够，需要預先进行附加的氧化来配合，例如先将阴極套管在空气中于 350°C 下加热 10 分鐘，然后再在氩中于 800°C 下还原 1~2 分鐘。这样加工后，所得到的表面可以达到非常潔淨的程度。

最后进行尾絲（連接帶）的焊接，焊接工序通常在退火前进行。它可借手工进行点焊，亦可在自动焊尾机上进行，如圖 7-11 所示。在进行尾絲焊接时，要注意套管的氧化和尾絲焊接不正。

表 7-3 上所示的是一般套管的加工順序。芯金屬經過这些工序后，最后能达到足够的潔淨度。

在特殊情况下，氧化物阴極芯金屬的表面需要專門的处理。例如在潔淨的芯金屬表面上，用噴塗法塗以加在粘結剂中的鎳粉，然后在氩中 $1200\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 温度下进行焙燒。使阴極表面显得粗糙，因而芯

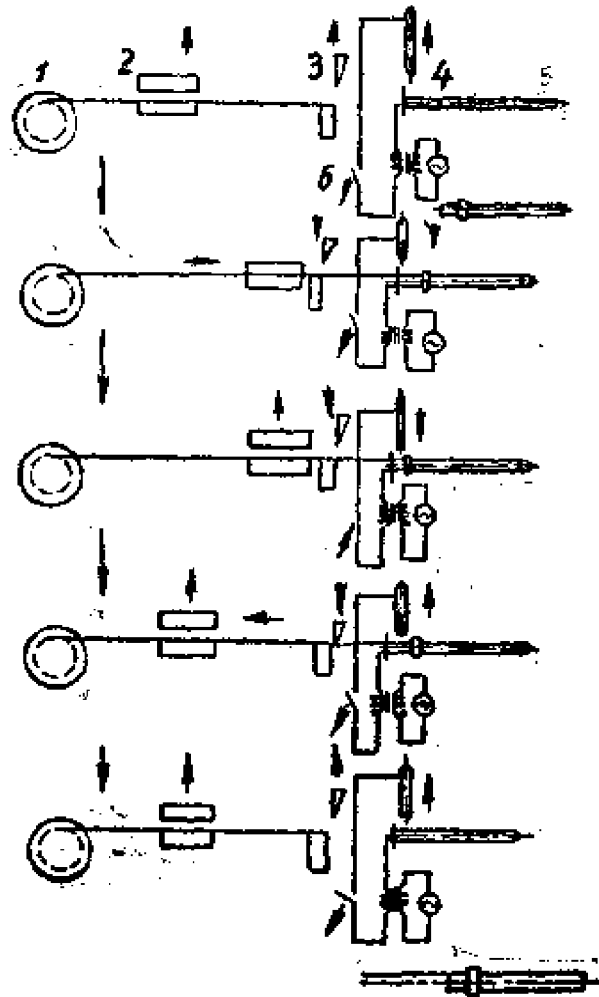


圖 7-11 套管焊接尾絲过程圖:

- 1—尾絲絲盤；2—送絲机构；3—切刀；
4—焊接電極；5—套管；6—开关。

表7-3 无縫套管加工順序

材 料 准 备	: 檢驗→擦管。
↓	
机 械 加 工	: 切管。
↓	
清 潔 处 理	: 外壁清洗→干燥→内壁清洗→干燥→蒸餾水与酒精洗→干燥。
↓	
机 械 加 工	: 滚筋→去毛刺→檢驗。
↓	
焊 接	: 尾絲清洗→点焊→檢驗。
↓	
清 潔 处 理	: 去油清洗→干燥→酸洗→水洗→蒸餾水与酒精洗→干燥。
↓	
热 处 理	: 空气中氧化→氩气中退火。

金屬与塗層間的結合就显得牢固。但由于此时芯金屬热輻射的能力也增强了，所以一般阴極套管不宜采用。而对于脉冲状态下运用的阴極，为了增强塗層和芯金屬間的結合能力以及其他原因，甚至可以用鎳粉压制成的套管。

在气体放电管中，阴極套管往往做成特殊的形状，圖7-12上所示的就是其中的一例。由于增大了發射表面和采用了保热套，这种阴極具有較高的發射效率。

(二) 碳酸盐的制取

塗層是氧化物阴極的另一組成部分。如众所知，通常采用鹼土金屬的氧化物，即氧化鋇、氧化鋁和氧化鈣作为塗層的材料。但是由于鹼土金屬的氧化物在空气中很不穩定。它会强烈地吸收周圍的潮气，而形成氢氧化物。例如将氧化鋇置于空气中，遇空气中水汽，即将按下式起反应：

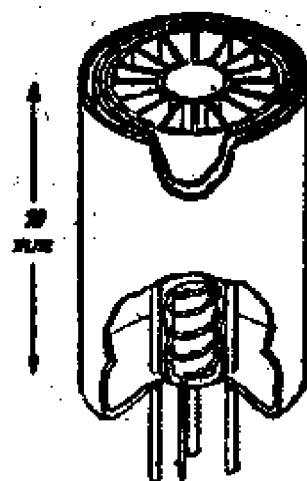


圖7-12 保热式阴極。



而生成氫氧化鋇，使本身体积变大。塗層本身的發脹，則降低附着的强度，以致由芯金屬上产生掉粉的現象。此外，所吸收的水汽在塗層分解和激活过程中还会毒化阴極。所有这些，使塗層的原材料不能直接采用鹼土金屬的氧化物。

經過長期的实验和許多次摸索后，在各种可能使用的鹼土金屬盐类中选用了鹼土金屬的碳酸盐 (BaCO_3 , SrCO_3 , CaCO_3)。这是因为：

(1) 碳酸盐的化学性稳定，易于制造。

(2) 碳酸盐經通电加热后，例如在真空中加热到达近 1000°C 时，它便很容易地分解出相应的氧化物，其反应式如下：



(3) 它所分解出的二氧化碳与管内电極反应極微，并且所生的二氧化碳能与由粘結剂变成的碳生成一氧化碳，最后被抽气机排除。

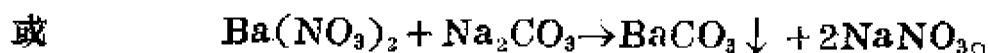
作为塗層原材料的碳酸盐必須極其純淨，在碳酸盐中必須 $\text{Al}_2\text{CO}_3 \leq 0.001\%$ ， Fe_2CO_3 和 $\text{SiO}_2 \leq 0.01\%$ ，此外在碳酸盐中應該完全不含氯化物，硫酸盐及硝酸盐。因为市售的碳酸盐不能符合要求，所以在电子管生产中常用專門的方法自己来制造和处理。

一般氧化物阴極的塗層是由鹼金屬的碳酸盐——碳酸鋇、碳酸鋇、碳酸鈣——所組成的，其中鋇盐对电子發射起着决定性的作用。但尽管这样，通常仍不采用單一的碳酸鋇作为阴極的塗層；而采用二元碳酸盐 ($\text{BaCO}_3 + \text{SrCO}_3$)，或三元碳酸盐 (再加上 CaCO_3)。这是因为当配制宜时，混合碳酸盐的性質在很多方面要比單一的碳酸鋇为佳。首先，由混合碳酸盐所得的發射可以比單純的碳酸盐为高，这是由于逸出功降低之故。如圖 7~13 所示。关于这一点，其原因可能：碳酸鋇加热时，强烈地燒結甚至于熔化，其結果使氧化物阴極变得很坚实而不粗松，因而塗層得不到好的电子發射。但在加入适量的碳酸鋇和碳酸鈣后，情况就可改变。由于它們在真空中加热时較碳酸鋇早分解，并且得出極难熔的氧化鋇和氧化鈣，这些氧化物的存在阻止其塗

層的燒結，因而使塗層不致變得很堅實。這樣，塗層的电子發射便提高了。其次在溶劑和粘結劑相同時，由混合碳酸鹽所組成的塗層與芯金屬之間的粘結比單純的碳酸鋇組成的塗層更為牢固，這是由於氧化鋇不易與芯金屬起反應的緣故。此外，碳酸鋇和碳酸鈣的加入能減少塗層的蒸發。並且碳酸鈣的加入，一般還認為有助於陰極抵抗正離子的轟擊，因此在充气放電管中，总是用三元碳酸鹽來製造陰極塗層。

至於它們之間的比例則應該有所一定。在大多數情況下，二元碳酸鹽中碳酸鋇和碳酸鋇的量的比例大致相等。而三元碳酸鹽，則碳酸鈣的量不超過10~15%，而碳酸鋇的含量仍保持在50%左右。

因為在陰極製造中，對碳酸鹽提出了特別的物理及化學要求，例如希望它呈現一定形狀的晶体，極其均勻的混合及高度純淨等。因此在电子管製造中，用專門的方法來制取碳酸鹽。一般是用鋇、鋇或鈣的硝酸鹽加以碳酸鈉或碳酸銨沉淀而制得的。若以碳酸鋇為例，其反應如下：



同樣的方法，可以制取碳酸鋇或碳酸鈣。但是為了得到好的电子發射，混合碳酸鹽的所有成分應很好地攪和。攪和的方法有兩種，一種是先分別制取單純的碳酸鹽，然後再用機械法進行混合；另一種是將二元、或三元的硝酸鹽以所需比例先混合在一起，然後同時進行沉淀的方法。用後一種方法，可以得到 $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{CO}_3$ 或 $(\text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca})\text{CO}_3$ 的混合晶体。已經証實。這種混合晶体的碳酸鹽具有較好的發射性能。因此在目前已不採用機械混和法，而是採用混合沉淀法來製造。混合

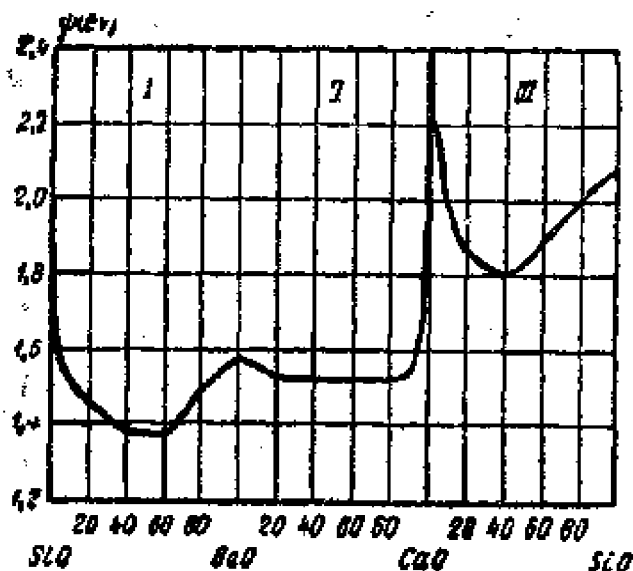


圖7-13 不同成分的BaO、SrO和CaO所組成混合物的逸功。

碳酸盐的配制視其用途和要求常不一致，茲分別举例如下：

1. 二元碳酸盐的制造

1) 碳酸鈉沉淀法——称取 1000 克的硝酸鋇和 818 克硝酸錫溶于盛有 90°C 的 9250 立方厘米的蒸餾水的反应鍋中，过滤后把这溶液倒在含有 870 克碳酸鈉和 4600 立方厘米的蒸餾水溶液內，为了用較濃的硝酸盐溶液，这时溫度仍保持在 90°C，便有沉淀产生，然后把沉淀后的表面液体吸去，并用 80~90°C 的热蒸餾水进行冲洗，（每公升碳酸盐約用 30~40 升水），直至用硝酸銀檢查氯离子时无白色氯化銀沉淀出現为止，以后用离心机将水分除去，然后取出，于 120°C 烘箱中烘干，以后在 250°C 溫度下烘 12 小时，使所生成的酸性碳酸盐分解，其反应式如下：



烘干后的碳酸盐碾細后装入有磨口塞的玻璃瓶中，并用羊皮紙及石腊封口。

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	蒸 餾 水	Na_2CO_3	蒸 餾 水
1000 克	818 克	9250 立方厘米	870 克	4600 立方厘米
沉淀温度为 90°C				

2) 碳酸銨沉淀法——称取 1000 克的硝酸鋇和 810 克的硝酸錫溶于盛有 60°C 的 10 立升的蒸餾水的反应鍋中，然后加入氫氧化銨 170 立方厘米以加助于溶液的沉淀，然后再和含有 1130 克的碳酸銨和 4700 立方厘米的蒸餾水的溶液（溫度为 40°C）混合沉淀，沉淀后也同样进行过滤、清洗、烘干等，其方法与前同。

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	蒸餾水	NH_4OH	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	蒸 餾 水
1000 克	810 克	10 立升	170 立方厘米	1730 克	4700 立方厘米
沉淀温度为 60°C					

2. 三元碳酸盐的制造

1) 碳酸鈉沉淀法——称取 1000 克的硝酸鋇，810 克硝酸錫和 140 克的硝酸鈣，溶于盛有 90°C 的 11000 立方厘米的蒸餾的反应鍋中，过

滤后把这溶液倒在含有 950 克碳酸鈉和 4200 立方厘米的蒸餾水溶液內混合沉淀，沉淀后进行过滤、清洗烘干等其方法与前相同。

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	蒸 餾 水	Na_2CO_3	蒸 餾 水
1000 克	810 克	140 克	11000 立方厘米	950 克	4200 立方厘米
沉淀温度为 90°C					

2) 碳酸銨沉淀法——称取 1000 克硝酸鋇, 650 硝酸銻和 450 克硝酸鈣溶于盛有 80°C 的 17500 立方厘米蒸餾水的反应鍋中, 并加入 1400 立方厘米的氫氧化銨, 然后和含有 3200 克碳酸銨和 6000 立方厘米蒸餾水的溶液 (温度为 30°C), 混合沉淀。沉淀后再进行过滤、清洗、烘干等, 以后处理和前相同。

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	蒸餾水	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	NH_4OH	蒸餾水
1000 克	650 克	450 克	17500 立方厘米	3200 克	1400 立方厘米	6000 立方厘米
沉淀温度 80°C						

在制取碳酸盐时, 为了使制品得到較均一的性質, 所有上述的方法都应该較大量地配制。原始化学藥品的溶解及盐的沉淀都在容积較大內塗瓷的特殊反应鍋中进行。溶液的流通借压缩空气来达到。溶液的加热通常使用蒸汽, 而所得碳酸盐与残余溶液的分离以及盐的清洗, 是在离心机上进行的; 用这种装置一次就能得到 10 公斤以上的碳酸盐。圖 7-14 示出了这种設備。

在沉淀碳酸盐, 可能得到針状和球状的結晶。一般用碳酸鈉沉淀所得的結晶形状以針状体为主; 而用碳酸銨沉淀所得的結晶形状則以球状体为主。經研究發現, 針状結晶的發射性能要較球状結晶的为好, 而要希望获得表面光滑的塗層时, 球状結晶的碳酸盐比較容易滿足要求。

但应指出, 結晶形状和大小除与溶液的成分有关外, 还与沉淀时的温度, 溶液的濃度以及沉淀的速度有关。通常随着沉淀温度的升高, 晶体的形状由球状体轉变为針状体, 而晶体的大小与沉淀温度的关系則如圖 7-15 所示, 从圖看出, 当温度在 80°C 左右时, 晶体顆粒达到

最大。此外，实验証明，随着溶液濃度的减少針狀結晶增多，并且結晶粒子增大。圖7-16所表示的是用碳酸銨沉淀的三元碳酸盐結晶大小与溶液濃度的关系。至于

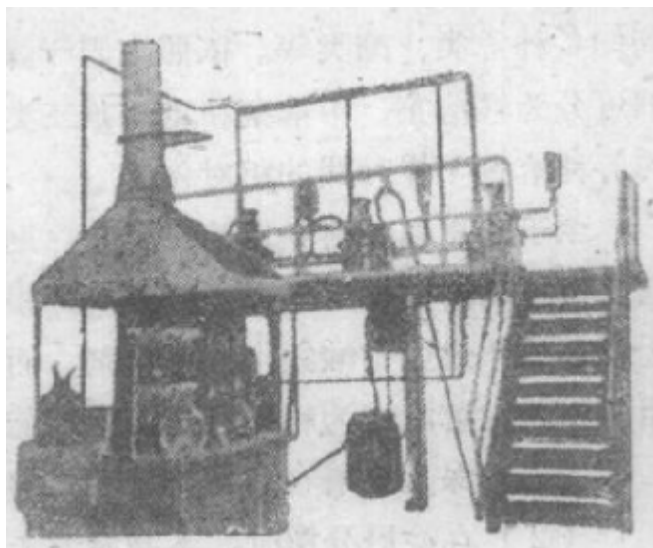


圖7-14 碳酸盐制造設備。

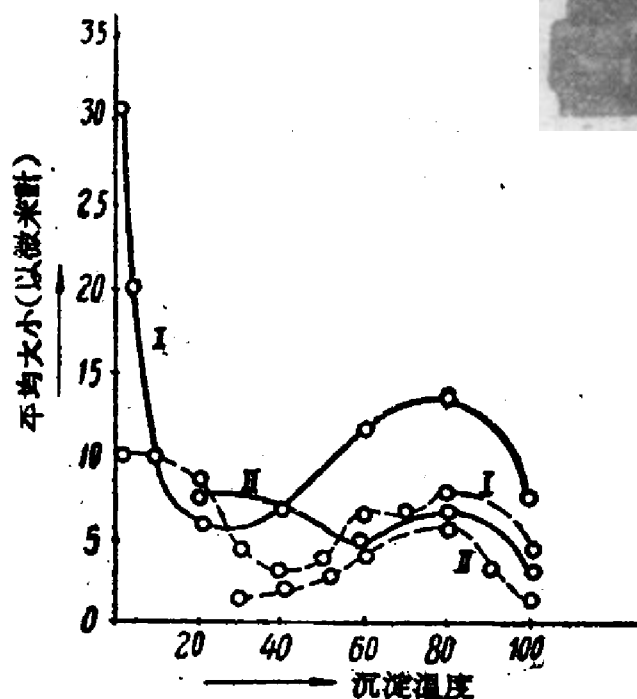


圖7-15 碳酸盐沉淀温度与結晶粒子大小的关系:

I— $1/4$ 摩尔-二元碳酸盐; II— $1/2$ 摩尔-三元碳酸盐。

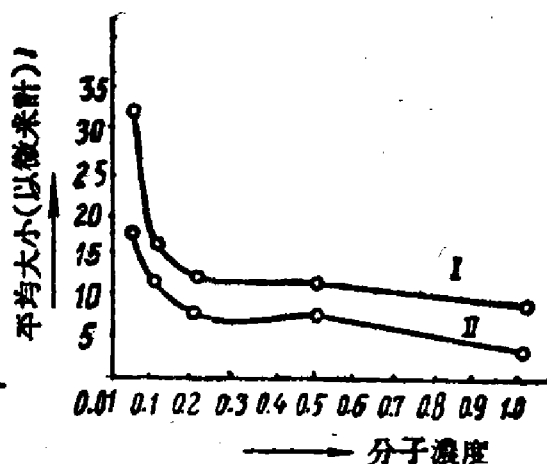


圖7-16 溶液濃度与粒子大小的关系:

I—沉淀温度为 80°C ; II—沉淀温度为 60°C 。

成分的影响，一般說来，結晶随溶液含鈣量增加而变大，但对于常用的碳酸盐言，因含鈣量都很小，因而影响不大。而沉淀速率一般不能太快，否則結晶变大。

(三) 發射漿的配制

为了在芯金屬上塗复碳酸盐，先要将碳酸盐配制成發射漿。發射漿由碳酸盐，溶剂和粘結剂所組成，有时还加入少量的增塑剂。除了在拉塗时用水作溶剂外，在所有其他情况下都用有机溶剂作为溶剂，

例如各种醇类、酯类等。依照它們干燥時間（蒸發速率）的不同，溶剂可分为輕溶剂，中溶剂和重溶剂三类，表 7-4 示出了以乙醚为基础的各種溶剂干燥時間的相对值。

至于选用何种材料作为粘結剂，則要視溶剂而定，因为首先希望它能很好的溶解在所选择的溶剂中。根据这个要求，若以水作溶剂时，选用硝酸鋇或亞硝酸鋇作为粘結剂。而在以有机体作溶剂时，一般只能采用硝棉溶液作为粘結剂。因为它能满足以下要求：

（1）保証塗層在制造时具有足够高的机械强度。

（2）在塗層分解时，本身能消失，并且所生气体无害于阴極或邻近电極的化合物。

硝棉溶液是由含氮量約 11~12% 的硝化纖維溶解在有机溶液中（如醋酸戊酯、甲醇、丙酮、醋酸丁脂等）而配成的。它的粘度視溶液中硝化纖維的濃度而定。由于硝化纖維易于爆炸，故在处理时需特別小心。

增塑剂是非揮發性物質，它的加入是使完全干燥的時間推迟，从而

表 7-4 各种溶剂的干燥時間

	溶 剂	干燥相对時間	沸 点 (°C)
輕 溶 剂	乙醚	1	34
	丙酮	2.1	55
	醋酸甲酯	2.2	59
	醋酸乙酯	2.9	75
	苯	3	80
中 溶 剂	丁酮	4	79
	醋酸异丙基	5	89
	甲醇	6.3	64
	丁醇	8.3	78
重 溶 剂	醋酸丁酯	12	121~127
	醋酸戊酯	13	135~140
	甲基异丁酮	20	116
	丁醇	33	114~118
	戊醇	62	129

增加了胶塑物的柔性。在某些情况下，發射浆中加入少量增塑剂是有好处的。因为單純的硝化纖維薄膜可能驟然起收縮作用，而有使塗層脫落的危險，或者变得过于硬脆的現象。作为增塑剂的有草酸二乙酯、乙醚丁酯、磷苯二酸丁酯等。

所有的發射浆成分應該非常純淨。此外，它們之間的比例應該选得很正确，并且在一經确定后須严格地遵守这比例关系。在大多数情况下，粘結剂的含量不能太多。一般若用无机的粘結剂（硝酸盐），通常不超过碳酸盐重量的10%；若选用有机的粘結剂（硝化纖維），則約占溶液重量的1.5~2%；在加添增塑剂时，其分量更少，一般約为所加硝化纖維重量的10~60%。至于总的發射浆配方則应視对塗層要求而定。例如，欲得到表面粗松的塗層时，溶剂中輕溶剂和中溶剂的分量就应该增多等。此外，發射浆的配方还和塗敷的方法有关，例如：在拉塗时和噴塗不同，它可采用水为溶剂等。在表 7-5 上列举出發射浆配方的几个例子。

表7-5 發射浆成分

	I	II	III	IV	V	VI
碳 酸 盐	750克	450克	3000克	400克	450克	200克
甲 醇	450毫升	350毫升	1800毫升	200毫升	350毫升	—
丙 酮	—	—	300毫升	300毫升	—	—
水	—	—	—	—	—	80克
醋 酸 戊 酯	259毫升	—	1000毫升	—	—	—
乙二酸二乙酯	—	—	240毫升	—	—	—
草酸二乙酯	60毫升	—	—	—	—	—
硝 棉 溶 液	416毫升	100毫升	1500毫升	120毫升	100毫升	—
硝 酸 鋁	—	—	—	—	—	15克
用 途	噴塗	噴塗	噴塗	电泳	电泳	拉塗

發射浆配好后，就要放在球磨机上进行球磨，使發射浆中各种成分很好的混和。在球磨时，为使發射浆的品質一致起見，必須使球的数目，球的总重，球磨的轉速和球磨的时间等都保持一定。普通球磨时间需經 20 余小时，球磨机轉速約在每分鐘 40~60 轉左右，这和溶

液的粘滯度有关，不能太快和太慢，太快則球將隨瓶而旋轉，失去球磨作用，過慢當然要增加球磨時間。近來發射漿的球磨，已有以超聲波來代替之趨勢。

在氧化物陰極製造上，和熱絲塗敷一樣，目前也採用這樣三種方法：即拉塗法，噴塗法和电泳法。至於究用何種方法則要視陰極的結構和管子對陰極的要求而定。茲分別敘述于下：

拉塗法 拉塗法目前只採用塗敷絲或帶狀的直熱式陰極。用拉塗法塗敷時，通常採用三元碳酸鹽，其中摻以蒸餾水及一些作為粘結劑用的硝酸鹽。

絲的塗敷在拉塗機上進行。它由放綫機構，若干帶滾輪的塗槽同樣數量的封閉爐以及收綫機構所組成，有時在第一個滾輪前邊放置一個預熱爐，整個設備排列成“列車”式，如圖 7-17 所

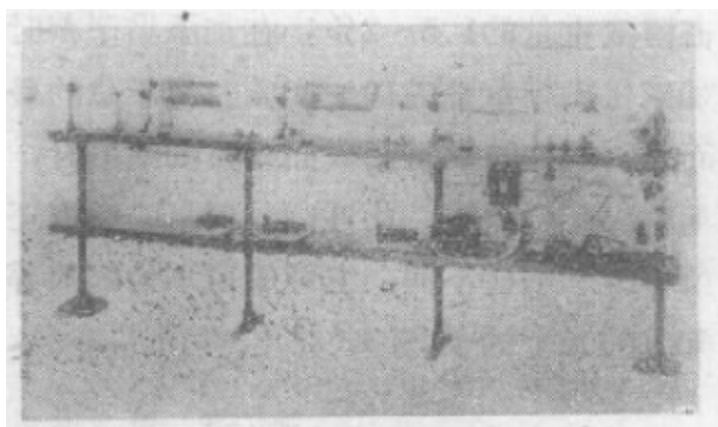


圖 7-17 拉塗設備。

示。欲塗的絲以每分鐘約數米的速度通過塗槽內滾輪的溝道塗上一層發射漿。接着在封閉的爐中加熱，此時塗層中的溶液開始被蒸發；同時依靠事先拌在發射漿中的粘結劑的作用，塗層緊密地附着在芯絲上。如同塗敷熱絲時那樣，一直到獲得所需的厚度為止。

因拉塗時，採用水作溶劑，硝酸鋇作為粘結劑。當這種發射漿構成的塗層在封閉爐中加熱時，首先水開始蒸發，然後硝酸鋇分解為氧化鋇。但如前所述，氧化鋇置於空氣中極不穩定，因此在爐中往往通入 CO_2 氣，使它与 BaO 結合成 BaCO_3 。此外 CO_2 氣的充入，還可以阻止塗層中主要成分碳酸鹽在加熱時的分解。這樣，從爐中得出的塗層將完全由碳酸鹽所組成。有時為了使塗層附着力增大起見，在絲塗好后，還在表面上再塗以一層粘結劑以資保護。這樣設備就必須增加一塗粘結劑的槽和烘干它的爐子，此爐子溫度較低，一般在 180°C 以下；而封閉加熱爐的溫度則在 800°C 左右。用拉塗法得到的塗層比較

紧密，且表面平滑，但其發射性能較差。

噴塗法 噴塗法是目前最常用的塗敷方法，几乎所有間熱式陰極套管都用它來塗敷。噴塗法借噴槍進行。最簡單的方法是把陰極套管裝在一個可轉動的架子上，用手使噴槍來回地進行噴塗。但由于手工噴塗法難以得到厚度一致的塗層，且生產率不高，目前在電子管生產上採用能大量生產的噴塗機（圖7-18）。在噴塗機上塗敷時，陰極套管成批地裝在框子上，如圖7-19所示。框將陰極套管的上下端遮蓋，而露出中間應該復蓋塗層的部分。在工作時，噴槍在陰極前自動來回移動或者使陰極在固定的噴槍前來回移動。移動噴槍陰極固定或者移動陰極噴槍固定，則需要視具體情況而定。一般移動陰極較方便，至于移動則一般是等速的，但也可以是變速的或旋轉的。

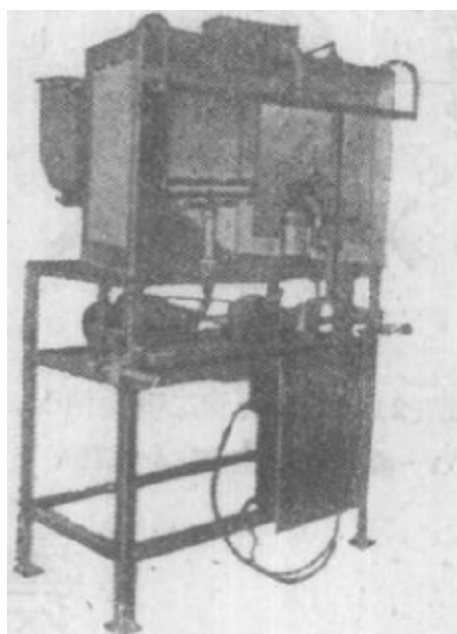


圖7-18 塗噴設備。

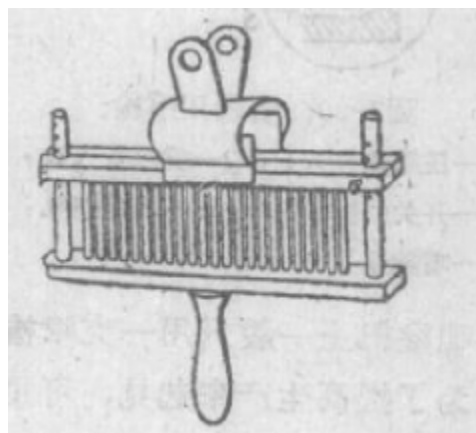


圖7-19 噴粉架。

噴塗用的噴槍如圖7-20所示，經過淨化處理的並且露點足夠低的壓縮空氣（2~5大氣壓）由圓孔噴出，為了使長形套管在軸向上能均勻地被復，噴槍噴液的噴射面應呈橢圓狀。為此噴槍噴嘴的結構需如圖7-20所示，在噴嘴的兩邊用壓縮空氣吹之，使得橢圓狀的噴射面，因此如果調節這兩邊空氣壓力的大小，則就調節了橢圓的程度，如表7-6所示。

在噴塗時要使套管圓周方向的塗層均勻，則噴槍和套管位置應呈

表7-6 噴槍精圓調節

噴 粉 形 狀	噴槍的噴嘴刻度
圓	0~5
水 平 體 圓	15~20(噴嘴空氣孔在垂直平面)
垂 直 體 圓	15~20(噴嘴空氣孔在水平平面)

一定的角度，如扁平形套管，噴槍應與套管成直角，而如圓形套管則噴槍應與套管成 45° 角噴射，這樣如用一支噴槍在套管前面，來回噴塗後，然後再把噴粉架反轉 180° 再來回噴塗，則可得四周均勻的塗層，這在圖7-21上可清楚看出。

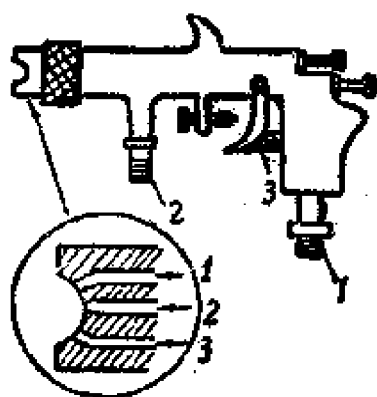


圖7-20 噴塗用噴槍：

1—壓縮空氣入口；2—噴塗漿入口；
3—開關（槍口中：1，3—壓縮空氣；
2—噴塗漿）。

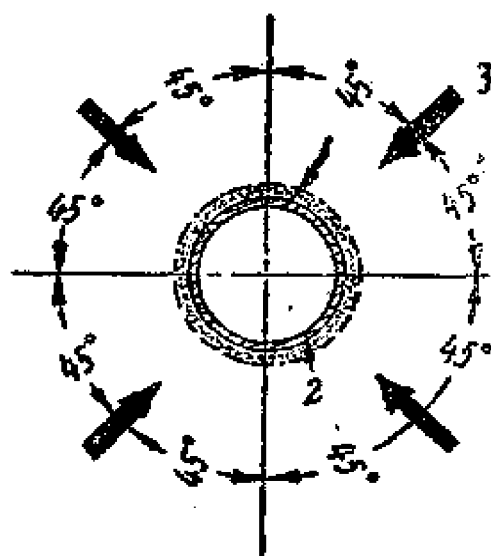


圖7-21 圓形套管之噴塗情況：

1—塗層；2—套管；3—噴槍。

噴塗機上一般只用一支噴槍，但有時為了提高生產率起見，可用兩支或四支噴槍進行噴塗。圖7-22所示，就是用兩支噴槍來噴扁平形套管的情況，圖上噴槍固定不動，而套管來回地移動，這樣，噴槍裝置方便，並且噴射因素較穩定。圖7-23繪出了用四支噴槍來噴塗圓形套管的情況，這樣比用一支噴槍生產率要提高四倍，並且它的噴槍亦是固定的，僅以套管來

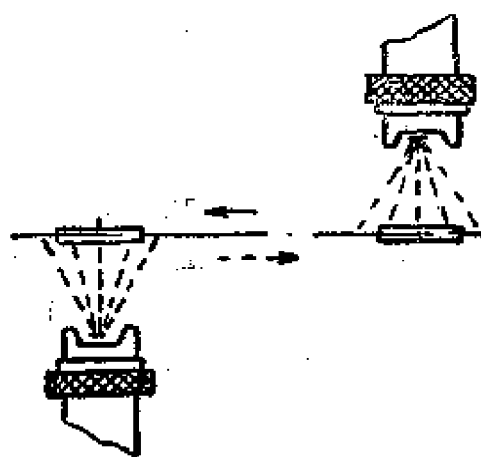


圖7-22 用兩支噴槍噴塗扁平形套管的情況，圖上，噴槍固定不動，而套管來回移動。

回移动，因此噴塗質量也較高，目前大量生产上都漸漸采用这种方法。

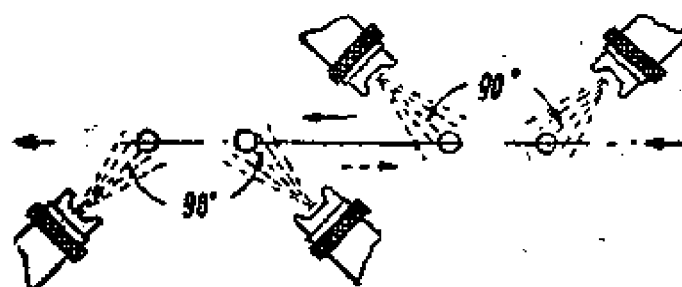


圖7-23 用四支噴槍噴塗圓形套管的情況，

圖中，噴槍不動，而套管來回移動。

用噴塗法進行敷塗的一個很大的優點就是可以得到各種不同粗糙度的塗層。但是也正由

于這樣，為了得到所需的塗層，就必須嚴格控制噴塗的條件。在噴塗時主要影響噴塗條件的因素約有下列幾點：

- (1) 噴槍的調整，噴嘴孔大小，壓縮空氣大小。
- (2) 室內空氣的溫度與濕度。
- (3) 所用壓縮空氣的溫度與乾燥程度以及潔淨性。
- (4) 噴槍與陰極間的距離與角度。
- (5) 噴射時移動的速度及其規律性。
- (6) 發射漿的性質。

噴槍的調整是指噴嘴的直徑和壓縮空氣壓力的調整。它決定着空氣與發射漿懸濁液間的多寡，而這個比數是決定塗層乾燥快慢的主要因素之一；並且它也影響淀積在套管表面上的塗層重量。

壓縮空氣和周圍大氣的溫度及濕度對噴塗的質量有很大的影響。首先，它們也是決定塗層乾燥快慢的因素；其次，由於水能夠凝聚硝化纖維，因此當壓縮空氣和周圍大氣的濕度大時，其中的水分会使發射漿懸濁液小滴內的硝化纖維凝聚，因而大大降低了塗層的機械性能。何況當壓縮空氣噴射時，由於溶劑的蒸發引起了周圍大氣的急劇冷卻，也能使濕空氣的凝聚。因此一般要求壓縮空氣的露點不高于 -12°C 。

噴槍和陰極間的距離，影響着塗層的松緊，並且也對塗層的均勻性稍有关系，這是因為噴射路綫的長短，決定着噴射漿中的溶劑的蒸發多少，以及噴射漿截面的大小。距離遠時，溶劑蒸發較多，故塗層

較松，反之則較緊。

在塗層厚度一定的情况下，若噴射移动速度快則噴塗次數要增多，此時前後兩次噴射相隔時間也就壓縮。反之，當噴射移动速度慢時，由於每次套管上得到的發射漿多，故噴射次數減少。并且這和塗層的粗糙度很有關係，例如，在其他因素不變情況下，移动速度的減慢，將得到較平滑的塗層。

此外，發射漿懸濁液中溶劑的性質對塗層也有很大影響。蒸發速率大的溶劑在噴射途中迅速蒸發，因此將產生疏松的塗層；有時防止蒸發過快，可加入草酸二乙酯。而蒸發速率小的溶劑在噴射途中不易蒸發，因此就得出潮濕而緊密的塗層。

但通常在噴塗時，有一些因素，如溶劑的種類，壓縮空氣的露點和周圍大氣的狀況等都已經固定，所以此時控制噴塗條件的主要是：

- (1) 壓縮空氣的壓力。
- (2) 噴槍在陰極的距離。
- (3) 陰極噴塗的次數。

噴塗機正確調整後，就能夠得到質量較為一致的陰極。陰極噴塗漿在使用前需經過至少 1 小時的滾搖，滾搖後應立即使用。噴好後的陰極在 $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的烘爐內烘 3 分鐘，然後進行檢驗，合格的陰極即可送去裝架，如果噴粉後的陰極，並不立即進行裝架，都要放在盤子里，并蓋以玻璃紙，貯存在 60°C 的櫃內，當天晚上未及裝架的陰極亦要送回加熱櫃內，作隔夜貯存。

噴塗法的主要優點是塗層疏松，因而發射性質較好；并且在改變一系列因素時，能得到不同粗糙度的塗層。但這種方法也有缺點，那就是發射漿的浪費大，很不經濟。

电泳法 這種塗敷方法主要是用于直熱式陰極、高壓整流管陰極以及外形特殊的陰極等。

由於我們欲塗的發射漿為懸濁液，而這懸濁液中微粒往往帶有電荷，當我們把接反極性的陰極放在懸濁液中以後，於是這些微粒就塗敷到陰極上去了。

一般的碳酸盐悬濁液的微粒是带正电荷的，因此均用阴极电泳法，即将心金屬接負極。特別当心金屬是鎢絲时，則阳极电泳一般就不能用，因如鎢絲接正極，在电泳时正極上会产生氧气使鎢絲氧化，这样在氧化处碳酸盐就塗得少了，并且亦粘附得不牢。

电泳时的發射浆成分主要亦是碳酸盐中加入有机溶剂 甲醇 和 丙酮，另外再加硝化纖維粘結剂，所得悬濁液要求較稳定，在一定時間內不会沉下，并且溶液要有一定的导电率，一般如用甲醇和丙酮作溶剂时則就有一定的导电率，否則可加入草酸或草酸鉍等物質来增加导电率。

用于电泳法的碳酸盐，一般在制造碳酸盐时則清洗硝酸鈉不給它去得很淨，这样在电泳时該物电离，正鈉离子吸附在碳酸盐粒子上，以后在电泳时就可不必再加充电剂。

为了减少溶液的蒸發和减少悬濁液中碳酸盐沉淀的速度，可以在悬濁液中附加些其他的液体，如乙二醇乙烯等。欲使得到附着力較强的塗層，电泳液中也可加入适量的粘結剂，如硝棉溶液等，但量不能多。

表 7-5 上列举了两种常用的电泳液的成分。在混合这些成分时，往往球磨数十小时以上，使攪和均匀粒子分散。电泳时，塗層很細，比用其他方法塗敷时更細。粒子愈細，得出的塗層也愈坚实，并且有可能得出很薄的塗層。例如使用粒子粗細是百分之几微米的碳酸盐，用电泳法能够得出 0.5~1 微米厚的塗層。

塗敷可以在立式或臥式的設備进行。用这种設備能塗敷已成形的阴极。在圖 7-24 上画出了一种立式电泳設備的工作原理，这种設備主要是塗未成形的阴极絲。容器（1）中盛着配好的电泳液，当絲通过鎢筒（2）的中心时由于鎢筒和絲之間电場的作用，使絲塗敷上一層碳酸盐。接着絲在烘爐（3）中烘干塗層，然后再在盛粘結剂的小槽（4）中加固，加固后絲通过电爐（5）以烘干粘結剂。这样塗好的阴极絲，塗層与芯絲的結合力显得很強，能够滿足阴极进一步成形时所需要的机械强度。

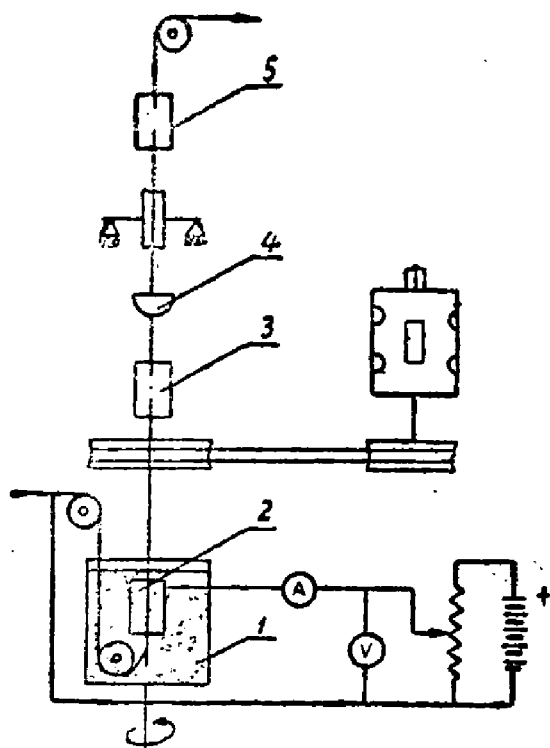


圖7-24 立式电泳設備工作原理。

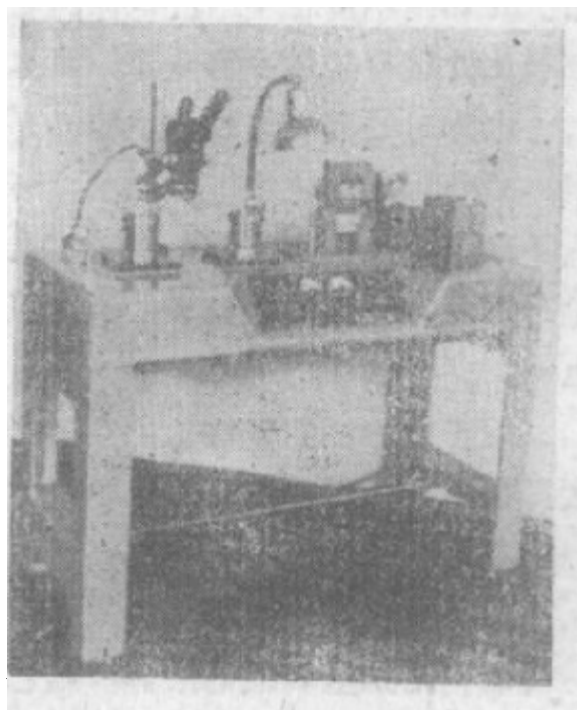


圖7-25 电泳机。

圖 7-25 上所示的是一種新型臥式电泳机，在這種設備上，絲作斷續的平行移動。當絲經過第一小槽時，稍為停留一刻，使其表面沉積上一層碳酸鹽。並且由於利用了脈沖的電源，使其在陰極絲的兩端不被復塗層。第二槽內盛硝棉溶液，它的作用主要是加固陰極塗層。此後絲的兩端被裝上小鍍片，切割成段。所有過程都借機械結構自動進行，這種設備常常用來大量生產直熱式陰極電子管的陰極絲。

塗層的分量是隨着电泳時間增加的。但是隨着塗層的形成和增厚，沉積的過程變得愈來愈慢了，這是因為塗層具有着很大的電阻率，它的生成和增厚吸取很大一部分外電壓的緣故。

用电泳法沉積碳酸鹽時，對於各種金屬都很好，在用鎢絲作芯金屬時，鎢絲表面會稍微氧化，因此，塗敷時需加小心。电泳法的優點是塗層結實，表面平滑。塗敷時控制方便，能精確地控制塗層厚度：

并且生产率高。但是就塗層的發射性質言，不及噴塗法好；而且它不适宜于塗敷間熱式陰極。

以电泳法所得塗層一般均比用其他塗复方法所得的塗層来得紧密而平滑，因而不易引起陰極的濺射和跳火，并且亦較耐正离子的轟击，另外电泳法亦适宜于塗复形状复杂的陰極。因此对于直熱式陰極、高压整流管陰極、某些充气管陰極、陰極射綫管陰極、脉冲应用等电子管陰極均用电泳法进行塗复。

塗复后的陰極均需进行檢驗，由于陰極的生产量大，所以一般均采用抽驗的方法，但在挑选抽驗的陰極时必需考虑到代表性，如噴塗后从噴粉架上取下的陰極，一般抽驗陰極的挑选是取两边及中間各取一个。

抽驗时主要檢驗陰極表面的粗糙度，塗層的厚度及表面状况。

关于噴塗表面的粗糙度的标准，一般分为七級：

- (1) 極光滑面；
- (2) 光滑面；
- (3) 中等光滑面；
- (4) 微粗糙面；
- (5) 中粗糙面；
- (6) 粗糙面；
- (7) 極粗糙面。

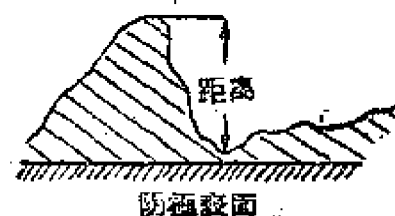


圖 7-25

測量所塗陰極的粗糙借光学显微鏡进行。一般是在显微鏡下观察

表7-7 粗糙度檢驗标准

等 級 范 圍	最高最低間之距离(微米)
(1)~(2)	8~12
(2)~(3)	12~15
(3)~(4)	15~18
(4)~(5)	18~21
(5)~(6)	21~25
(7)	>25

塗層凹陷的最大深度，如圖 7-26 所示，然后再与上述标准級別相比較而确定，相当于各标准級別的最大凹陷深度值如表 7-7 所示。通常使用表面粗糙的塗層，因为它的电子發射好。但是这种塗層的缺点是不够牢固；并且当塗層表面电位梯度大时，个别凸出部分，会从阴極脫落，同时产生火花。因此在实用上并不都用粗糙的塗層，例如整流管的阴極應該比一般的阴極光滑，以便在反电压的情况下，不产生火花。又例如对于阴極間距离很小的管子以及对于运用在脉冲状态的管子，阴極表面亦應該是平滑的。

阴極塗層的厚度可用投影放大仪直接讀出；但比較常用的还是用称重量的方法。間热式阴極塗敷重量通常为 $6\sim 8$ 毫克/厘米²，在脉冲管中，阴極的重量还可以再增加些。

此外，在抽驗样品时，氧化物塗層上不应该存在凝渣、团粒、暗紋及裂縫等現象。并且塗層与芯金屬結合得須足够牢固，不能有掉粉、脫皮及散裂等不良情况。

塗复碳酸盐合格后的阴極，就可将它送去装架了，至于阴極在封口以后，排气及老練时的处理及激活过程，将在以后叙述。

經過很好激活后的氧化物阴極具有高的發射能力。

氧化物阴極的通常工作溫度約为 $750\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，有些間热式阴極工作溫度可能还要低一些，但是就在这种溫度下，氧化物阴極就有很高的电子發射能力。因此，氧化物阴極的效率是非常高的。氧化物阴極的效率很大程度上与阴極結構有关，間热式阴極虽然热損失較大，效率仍在 50 毫安/瓦特左右；而那些細絲形的氧化物阴極达到的效率可以超过 200 毫安/瓦特。在某些离子管中，如果阴極具有很好的屏蔽，效率甚至高达 1000 毫安/瓦特。

氧化物阴極的寿命与管子的工作条件有关。就溫度而言，若將溫度选得比正常高，常常使寿命降低，因为此时氧化鋇和金屬鋇蒸發速率会大大增加。此外，当溫度增加时，氧化層易被燒結，这也可以使發射跌落。但如果在極低的溫度下工作（小于 700°C ），氧化物阴極就往往会中毒，显然这可以由电子管内部零件逸出的气体在低溫下易与

陰極作用的結果。並且在另一方面溫度愈低，那麼由於雜質還原或電解而產生的鎢的激活過程也將受影響，同時鎢的擴散將大大減弱。因此溫度降低對陰極並無好處，只有害處。

除溫度外，管內的真空度及零件在運用期間的放氣量對壽命也有影響。如果管內存在着有害的氣體，如氧氣、水汽、氯氣等，陰極很快被中毒，如果氣體量過多，那麼在足夠高的電壓下，將生成正離子，正離子轟擊陰極，易使表面塗層損壞。一般而言，在正確選擇陰極溫度，管內真空度好及塗層厚度足夠時，氧化物陰極壽命可達10000小時，甚至更長。通常市售的氧化物陰極接收放大管，壽命均在1000小時以上。

因為氧化物陰極具有高的效率，加熱經濟等優點，它廣泛地應用在接收放大管、小功率整流管以及電壓降小的充氣管或汞氣管中。但氧化物陰極也有缺點，除上述的對某些氣體敏感和不耐正離子轟擊外，在正常的工作溫度下，氧化物陰極還會經常地蒸發。這樣，蒸發出來的鎢及氧化鎢沉積在陰極周圍的其他電極或絕緣零件上，結果就會引起一系列不良的現象。例如：引起柵極的二次電子發射和熱電子發射，改變了陰極間的接觸電位差以及破壞了某些零件表面的絕緣性等。所有這些都將進一步影響管子的正常工作。由於它的這一些缺點，限制了氧化物陰極在大、中型功率振盪管中的運用。

§7-5 其他類型陰極的製造

（一）L型陰極的製造

L型陰極的製造和其他陰極不同，它的製造要點就在於獲得一多孔的海綿狀的鎢蓋。多孔的鎢蓋其製造過程是：首先將一定大小粒子的細鎢粉置於油壓機下壓制。為了使鎢粉易於壓制，在鎢粉中預先摻入微量粘結物，例如摻入1%的石蠟與苯混合物。在壓制時，壓力約在10~150噸/平方厘米之間，壓力應從四面進行，以力求壓制均勻。得到的一定密度的鎢塊再在氬氣中燒結，燒結的溫度視要求而不同，約在1200~1700°C。接着在機械加工後，將鎢塊與銅粉放在一起，並在

高温下使銅熔化滲入鎢中，然后再对它进行压力加工。

这样制得的制品在稀硝酸中浸蝕以去銅，并且在真空中于 1600°C 溫度下退火，此时残余的銅被完全去掉。于是便得到了多孔的海棉狀鎢蓋。此后与鉬基固結，固結可以用机械嵌入法实现，但更多的是用电阻法或弧焊法进行焊接，因为这样的固接具有好的气密性，可以避免鎢鎢器中的激活物質与外界直接相接触。

L 阴極制好后还須进行激活，激活过程可以分成这样几个步骤：

1. 接至真空系統进行排气。
2. 用烘箱加热到 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ ，使管子去气，获得高的真空度。
3. 阴極加热到略高于 1100°C ，此时阴極中碳酸盐开始分解。
4. 再升高阴極溫度至 1800°C ，此时所生成的氧化物与鎢和鉬起作用，而生成相应的金屬鎢和鉬。

5. 在适当的溫度下維持一較長時間，以获得表面的活化層。

(二) 鉍阴極

借鉍蒸汽凝結在金屬或其氧化物上面制得的阴極，通称为鉍阴極。因为鉍的逸出功較所有金屬为低，只有1.81电子伏。所以鉍阴極具有大的發射能力及高的效率。但是尽管如此，由于鉍阴極易蒸發和激活層的不够稳定，并且它在一般結構的电子管中的难于制造，故在目前它只应用于光电管中。

$\text{Ag}-\text{Cs}_2\text{O}-\text{Cs}$ 光电阴極是最常用的一种光电阴極，这种阴極的工艺过程是这样的，首先在光电管的玻壳內壁上（或在金屬上）塗敷一薄的銀層，塗銀的方法通常用化学溶剂法，但也可以采用真空蒸發法。然后将光电管与鉍蒸汽源裝在一起，如圖7-27所示，并焊接至固定的真空系統上抽气。当真空度达到要求时，充入約 10^{-2} 毫米水銀柱

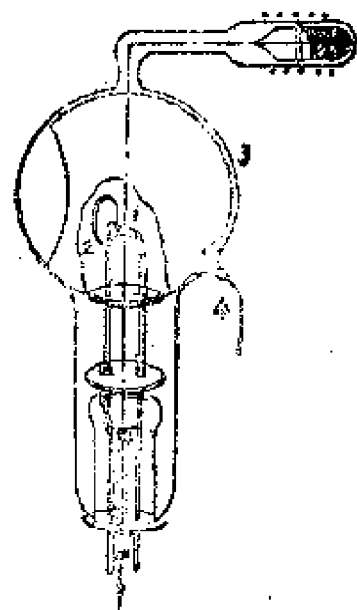


圖7-27 光电管的制造：

- 1—繞在銀絲上的鎢螺旋；
2—半透有孔的屏蔽；3—
銀層；4—阴極引綫。

的氧气，并借助于放电使銀層轉变为 Ag_2O 。此后将氧气抽去，并加热铯蒸汽源讓铯蒸汽进入光电管。充入光电管的铯蒸汽与阴極上的 Ag_2O 層發生反应，于是便构成了具有过剩 Cs 的 Cs_2O 層，再經過老練便制成了 $\text{Ag}-\text{Cs}_2\text{O}-\text{Cs}$ 光电阴極。

最近被广泛应用的另一种銻铯光电阴極，也是铯阴極的一种。这种阴極是借铯蒸汽凝結在銻層上而制得的，它可以获得更高的灵敏度。

使用这些阴極制造出各种光电管，它們現在被广泛地应用在有声电影、工业控制上等。

(三) 敷銀阴極

敷銀阴極与前述的氧化物阴極无多大区别，所区别者是它們的制造方法不同，这种阴極是由金屬銀蒸發到一根預先氧化过的鎢絲上而制成的。其大致工艺过程如下：

作为芯金屬的鎢絲首先經過清洗，然后在氩气中或真空中退火。接着在空气爐中进行氧化。但是由于氧化鎢激活性質不太好，所以現在鎢絲多半預先經過鍍銅的工序，然后再在 850°C 左右的温度下进行氧化。所得到的黑色氧化銅，在銀蒸發到其上时，能够很容易給出自己的氧气而使氧化。圖 7-28 示出了鎢絲鍍銅及氧化的連續裝置原理。

然后将由这种絲制成的阴極装入管中，而在管子的阴極上或在其他容易加热的电極上則裝着銀的蒸汽源。經過封口和排气以后，使氧化过的芯絲加热并同时使銀蒸發，这样銀蒸汽淀积到阴極上，并因将銅还原而形成氧化銀層，其中有金屬銀的存在，后者扩散到表面上形成單原子的激活層。

这种阴極早先曾經被采用于收音管中，但是由于它的一系列缺点，目前几乎已經完全被氧化物阴極所代替。这种阴極的一个很大的缺点就是在制造期間會發生銀蒸汽，銀蒸汽不但凝結在阴極上，而且也凝

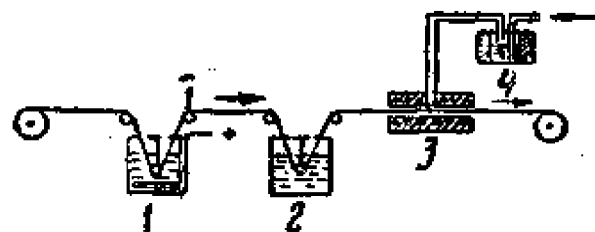


圖 7-28 鎢絲鍍銅及氧化裝置：

1—鍍銅槽；2—清洗槽；3—氧化爐；4—空氣潤濕器。

結在管內一切其他電極上和絕緣體上，於是引起了極間漏電、柵放射等後果。不但如此，在柵極多或者柵圈密的管子中，要使鋇均勻地淀積到陰極上在技術上將非常困難或者甚至幾乎是不可能的。此外敷鋇陰極也不耐正離子的轟擊，對過熱非常敏感，比功率高以及壽命較短等缺點。

(四) 氧化鈦陰極

氧化鈦陰極主要有兩種形式：一種是把氧化物陰極中所用的鹼土金屬氧化物改為氧化鈦，氧化鈦可以用电泳或噴塗的方法塗到芯金屬（鎢、鉭或鉬）上。製造這類陰極的主要困難在於氧化鈦層與芯金屬之間牢固的粘結。氧化鈦塗層的厚度一般在 10~100 微米之間。這種陰極可以做成直熱式或者間熱式。另一種氧化鈦陰極就是所謂陶瓷陰極，它是用壓制或燒結純氧化鈦或者它與鎢粉的混合物而製成的杆狀或圓柱狀陰極。

因為採用的是氧化鈦，所以它不需要象氧化物陰極那樣從碳酸鹽分解而制取氧化物。為使氧化鈦陰極激活，溫度須升高至 2800°K 。此時，氧化鈦被芯金屬還原出鈦。為不使生成的鈦蒸發太多，故這個溫度只能維持約幾秒鐘左右。氧化鈦陰極的運用溫度通常在 $1800\sim 2000^{\circ}\text{K}$ 之間，其壽命可達幾千小時。

氧化鈦陰極具有下列優點：

1. 氧化鈦層的電阻很小，因為電阻很小故即使在最大的脈沖發射電流之下，塗層的溫度並不升高，也不產生火花。
2. 不易中毒。與鈦鎢陰極相比，氧化鈦陰極中毒靈敏度低。因此這種陰極能够在真空度不良及燈絲電壓不足的情況下運用。

但氧化鈦陰極有着塗層粘結性差及效率低等缺點，現在氧化鈦陰極僅在少數振蕩管中使用。

各種陰極的參數參看表 7-8。

表7-8 各种阴极一些参数

阴 极 类 型	阴 极 的 發 射 物 質	工作温度 °C	單位功率 (瓦/厘米 ²)	發 射 率 (安/厘米 ²)	效 率 (毫安/瓦)
純 金 屬 阴 极					
鈹	W _a	2200~2400	70~80	0.3~0.7	2~20
鉭	Ta	1950~2150	34~50	0.17~0.65	2.4~12.5
被 膜 阴 极					
敷 鈹 阴 极	鈹 層	1530~1630	11~18	0.3~0.8	3.5~50
碳 化 阴 极	鈹 層	1700~1750	14~22	0.7~1.5	50~70
L 型 阴 极	鉍 層	830~1300	~10	1~10	100~1000
硼 化 鎢 阴 极	鎢 層	~1600	~40	1~10	100~250
半 导 体 阴 极					
敷 鈣 阴 极	BaO+Ba	600~800	4~6	0.3~0.9	70~120
氧 化 物 阴 极 (連續运用)	(Ba, Sr)O 或 (Ba, Sr, Ca)O	660~820	3~4	0.1~2	30~500
氧 化 物 阴 极 (脉冲运用)	同 上	~850	3~5	1~100	300~20000
氧 化 鈹 阴 极	ThO+Th	~1600	~40	4~10	100~450

第八章 吊絲、彈簧及熱絲的製造

§8-1 吊絲、彈簧及熱絲的結構

吊絲、彈簧及熱絲都是電子管內部重要的絲狀零件，在直熱式陰極的電子管中，吊絲或彈簧起着支撐和固定陰極的作用。如果沒有吊絲或彈簧的存在，陰極的形狀將不能固定，特別在高溫下將發生鬆弛、彎曲、變形以及受震而振蕩的現象。對於間熱式陰極的電子管言，熱絲更是必不可缺的零件，因為它起着加熱陰極的功用。

隨着各種電子管對陰極支撐固定方法的不同，電子管中吊絲和彈簧有着很多不同的結構形狀。圖 8-1 示出了一些常見的吊絲及彈簧形狀。其中彈簧 *a)*、*b)*、*c)*、*d)* 主要用於陰極直徑較粗的電子管中，而吊絲 *e)*、*f)*、*g)*、*h)*、*i)* 則用於陰極直徑較細的電子管中。

在設計和製造吊絲及彈簧時，主要的問題是要求具有合適的拉力，這是因為當陰極處於工作溫度時，它的

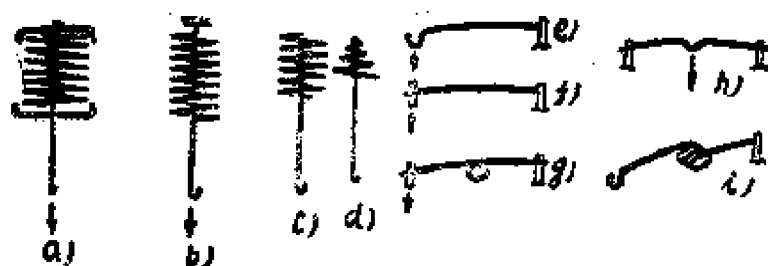


圖8-1 直熱式陰極的各式吊絲及彈簧。

抗張強度減少得很厲害；而在處理陰極時的溫度則比工作溫度高，這樣，陰極的抗張強度將更減小。因此，如果吊絲或彈簧的拉力設計或製造得过緊，那么就有可能在陰極熱的狀態下拉斷陰極；反之，若拉力過松，則當在陰極熱的情況下引起陰極的鬆弛，甚至造成碰極的危險。另外，有些吊絲或彈簧在管子工作時本身尚通過陰極加熱電流。如圖8-1，*e)*、*f)*、*g)*所示吊絲便是，這種吊絲常在小型接收放大管中被採用，它們更需特別小心地考慮拉力，否則很可能由於電流通過吊絲本身，而使彈性改變，造成冷態時過緊在熱態時又變得过松的現

象。所以为了避免阴极加热电流通过弹簧或吊丝发生热量，这种吊丝或弹簧的直径至少应大于阴极直径的3倍以上。

至于拉力的大小，对于吊丝则决定于丝的材料，直径，长度以及支杆焊接的位置有关。而弹簧的拉力，则和丝的材料，直径，螺旋的直径和圈数以及在装架阴极时的弹簧拉曳程度有关。

热丝构造的基本形式可以分为两大类，即折叠形热丝和螺旋形热

丝二种。在圖 8-2 上列举了

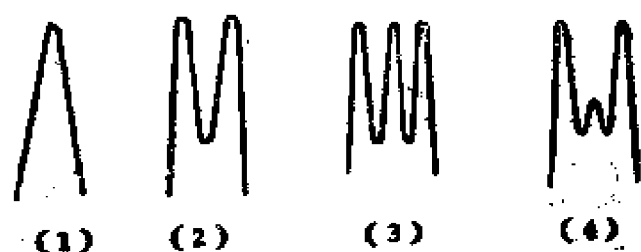


圖8-2 折叠式热丝外形。

几种折叠形热丝的外形，这种形式的热丝在构造上很简单，通常被广泛地采用于加

热电压較低的电子管中。如

加热电压高于12.6伏时，由

于丝太长不便折叠，以及难于塞入套管的缘故，它的应用便受到了限制。这种折叠式热丝在设计时每段长度常不相等，使各弯折点不集中在一起，这样一方面便于热丝插入套管，并且尚可避免在弯折点热丝的短路，这是因为在弯折点的涂层常易脱落的缘故。此外，有时为了提高阴极套管下部的温度（因为一般阴极套管下部焊有连接带，以致有部分热量被传走，故温度較低），热丝的形状设计成如图 8-2，（4）所示，以使热丝下部有較多的热量。

与折叠形热丝相比，螺旋形热丝多半用于热丝电压較高的电子管中，且其结构形状也较为复杂些，就本身结构而言，它又分为单螺旋形，双螺旋形，复绕螺旋形三种。常見的螺旋形热丝示于圖 8-3。圖上的（1、2、3）为单螺旋形热丝，（4、5、6）为双螺旋形热丝，（7、8、9）为复绕螺旋热丝。

螺旋形热丝在设计时为了弥补阴极套管两端所产生的冷端作用常将螺旋形热丝的两端螺距绕小一些，以提高热丝两端的温度来消除套管的冷端作用，如图 8-3，（2）、（4）、（6）所示。

螺旋形热丝在运用上較折叠式热丝为佳，它所产生的交流磁场影响比折叠式热丝小，且亦不易发生绝缘故障，使用寿命一般也較折叠

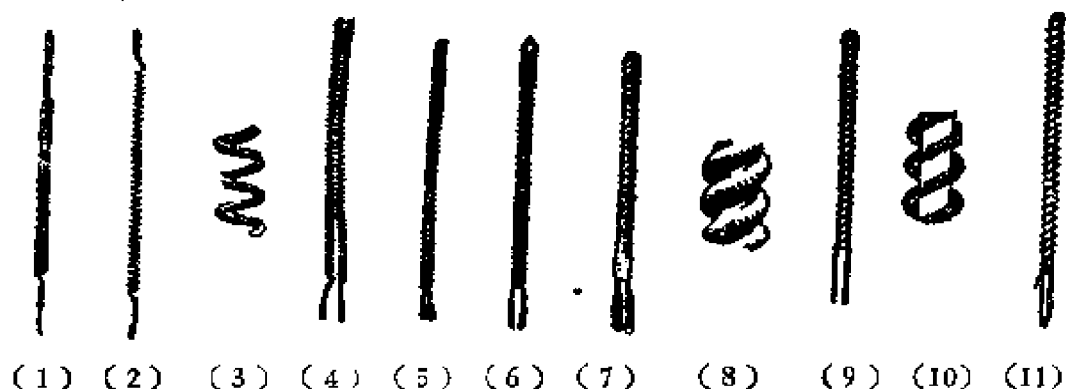


圖8-3 各種螺旋形熱絲。

式熱絲長。但折疊式熱絲製造較方便。

§ 8-2 吊絲及彈簧的製造

作為吊絲或彈簧的材料，其最主要的要求就是需有一定的彈性，而且這彈性不致於在高溫下改變或喪失（因為吊絲和彈簧與陰極相接觸，溫度有時也能達到很高），根據這要求，最適合的材料是鎢，因為它在高溫下有一定的彈性。鎢作為彈簧材料的缺點是不易繞制，並且在高溫度下會產生再結晶的現象。因此有時在鎢中摻入一些鈦、鋁、硅或其他雜質等來改進這個缺陷。鎢用得不多，在個別情形下也有用它來繞制彈簧的。另外，在某些大型振蕩管中也有用鉕鈳合金絲繞制彈簧的。鉕鈳合金絲加工較易，沒有再結晶現象，但是價格昂貴，因而很少應用。

對於使用在指型及小型管中的吊絲，製造過程極為簡單。它是先將絲切割成一定的長度，例如 10~30 毫米長左右。然後用簡單的手工夾具製成，或者用自動機製造。製造吊絲的要点就是很好地使它熱加工，一般在製造前，絲在 1000~1200°C 溫度下退火，退火後的絲加工方便，且在高溫下性質很少改變，保證了按計算數據得到的拉力。使用在大型電子管中的螺旋形彈簧，製造上要略為複雜些。這種彈簧常用兩段金屬製成但也有用一種金屬製成的。製造的步驟是先繞制螺旋。在圖 8-4 上畫出了繞制圓柱形彈簧螺旋的手工裝置示意圖。當搖

动手柄时就使心杆转动，与旋转同时，由于螺钉在固定螺母上旋转，因而使心杆作平移运动。这样，就可把丝绕在上面。在绕上一定圈数后，可以将丝的一端切断，取下绕好的螺旋。如图8-1，b所示的圆锥形弹簧的螺旋也可以这样绕制，所不同者，

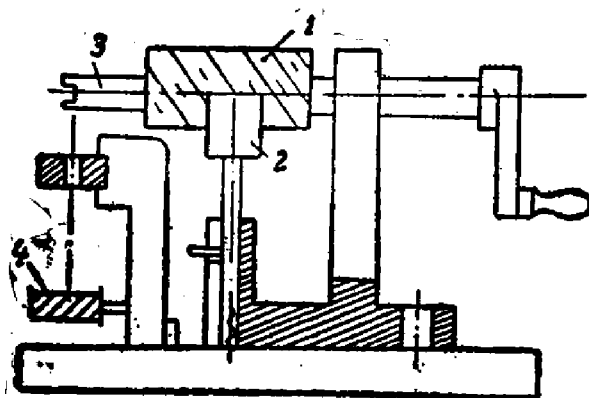


圖8-4 圓柱形彈簧繞制機示意圖：

1—螺釘；2—螺帽；3—心杆；4—絲的繞圈。

只是心杆也作成圓錐形而已。如果所繞制的螺旋絲較粗，為了避免在繞制時發生斷裂，以及為了防止在繞好后螺旋鬆開，常需要在熱態下進行繞制。例如用煤氣火焰使絲加熱到赤紅程度（800~850℃左右），或者在繞制時通以電流，但此時決不允許螺旋圈有鬆動的現象，因為

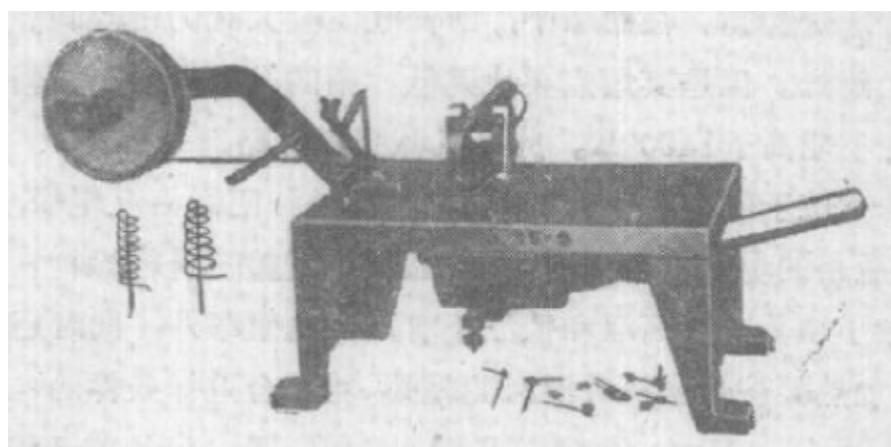


圖8-5 彈簧繞制機。

螺旋繞好后形狀就很難改變了。為此，在繞制時，必須使絲貼緊模子。螺旋繞好后，再用鉬絲制作鉤子，然後將兩者焊接成完整的彈簧。在某些情形下，彈簧也可一次繞成，圖8-5示出了這種設備的外形。

無論是吊絲或螺旋形彈簧在成形后，常需經過去油、清洗等步驟。對於有芯絲不易取下的彈簧還需進行腐蝕芯絲，最後彈簧還往往在略帶濕性的氫氣中進行焙燒。

§ 8-3 热絲的制造

作为热絲材料的首要条件，就是要耐高溫。由于热絲位在阴極套管的内部，其表面积总是比阴極套管表面积小，为了給予阴極以应有的溫度，热絲本身的溫度就必須比阴極為高，通常两者差达 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 度左右。这样，热絲材料就必須采用高熔点的金屬，如鉬、鎢等。鉬加工性能虽較好，能制造形状較为复杂的热絲，但是在高溫下它的机械强度不够且会显著蒸發，因而一般已不用純鉬絲制造热絲。鎢的熔点最高，在高溫下蒸發少，是很好的热絲材料。但其缺点是加工性能不够理想，在高溫（ $1600\sim 1700^{\circ}\text{C}$ ）中退火后，鎢絲会变脆，在装裂时易折断，并且不宜制造形状較复杂的热絲。制造形状較复杂的热絲，現在广泛采用鉬鎢合金絲。通常采用的鉬鎢合金絲有两种：一种是鉬鎢含量各占一半的合金絲，另外一种鎢的含量只占20%。鉬鎢合金絲沒有鎢那样脆。在冷态下，即使直徑較大时仍可繞制螺旋，加工性質也比鎢好。但是其熔点要比鎢低，鉬的存在有助于蒸發，因而其工作溫度不能高于 1400°K 。此外机械强度也略逊一筹。

热絲它位于阴極套管内部，为了使热絲和阴極相互絕緣，不致于产生漏电，短路的現象，在它的表面上还必須复盖一層絕緣物質。这層絕緣物質除了須具有在高溫和低溫下有高的电阻率外，同时还應該导热性好，使加热經濟及阴極升溫時間縮短。能符合这样条件的电气絕緣物質，計有 ThO_3 ， MgO ， ZrO_2 ， BeO ， Al_2O_3 等。但是前三种氧化物都要与鎢在高溫下（接近 2000°C ）起反应；而析出其本身的金屬，使絕緣性能大大变坏。因而在电子管生产中只采用后面二种材料，它們在高溫下都具有大的絕緣强度和高的电阻率。可是又由于氧化鉍有毒会損害操作者健康，所以实际上現在几乎全用經過焙燒的氧化鋁作为热絲的塗复材料。

一、折疊式热絲的制造

折疊式热絲的制造根据所用途复氧化鋁方式的不同，加工的工艺也就不同。热絲表面塗复的方法目前已采用的有噴塗法，拉塗法和电

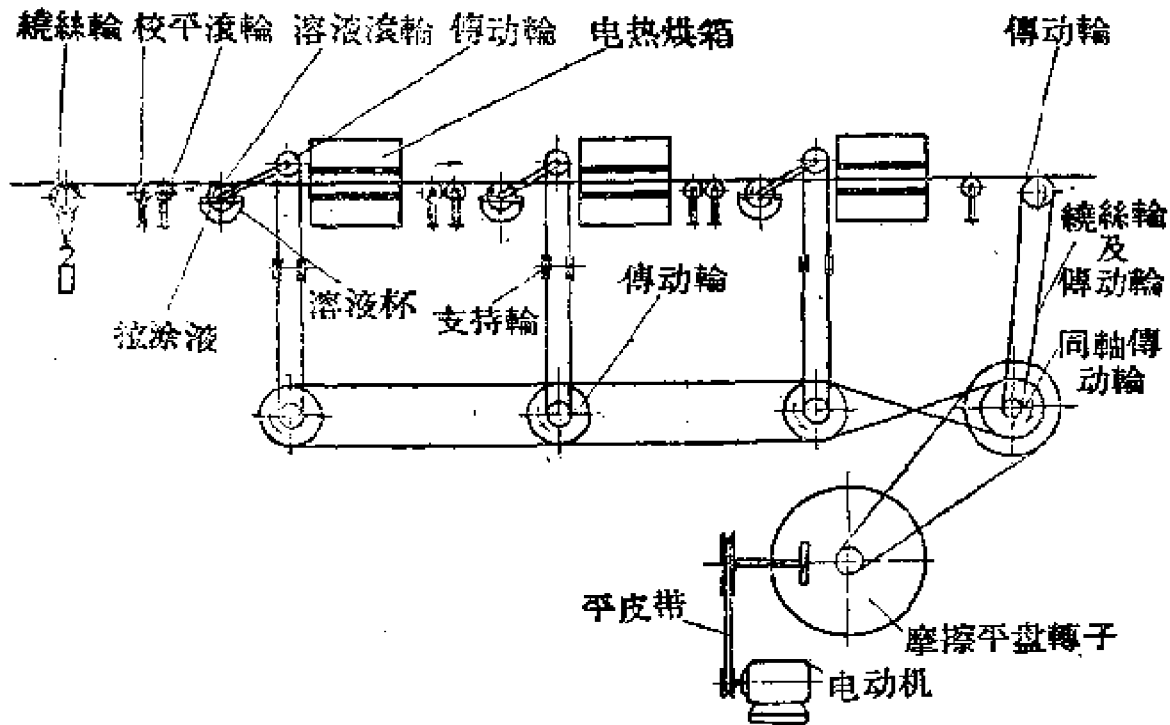


圖8-6 拉塗裝置的傳動系統圖。

泳法三種；如果採用拉塗法時，則必需先塗復後成形，而如採用噴塗法和电泳法時，則常先成形後塗復。

製造折疊式熱絲的材料多半是用鎢絲，在加工前的鎢絲必先進行清洗淨化，然後才可進行塗復。

在採用拉塗法塗敷的製造熱絲過程是這樣的：就是將絲連續地通過一系列小槽和爐子，並在絲的表面上一次又一次地塗復上一層氧化鋁，一直達到所需的厚度為止。多次塗敷的原因是為了塗層較牢固，這種裝置由若干小單位所組成如圖 8-6 所示。每一小單位包括一只供塗敷用的小槽和一只相應的小烘爐。

拉塗法所用塗漿的成分除氧化鋁粉末外，還有水和硝酸鋁溶液。在這裡水是溶劑，而硝酸鋁的加入使它能很好地附着在通過的芯絲上。至於它們三者間的比例則應有一定的關係。例如可按下述比例配方：50~70厘米³的水，25厘米³硝酸鋁溶液和 50 克氧化鋁粉末混和在一起，然後經球磨機研磨而成。這樣當絲通過這小槽時表面即塗復上一層白色的塗漿，此後接着進入烘爐，烘爐的作用在於使絕緣層與鎢

絲相固結，爐溫達到要求時水分將被蒸發，硝酸鋁則按下列反應分解：



結果形成氧化鋁而釋出五氧化二氮氣體。必須指出，在塗敷過程中，爐溫必須控制得十分準確。這是因為：1. 溫度過高會使生成很硬的塗層，在進一步將熱絲折疊成形時，易將絲折斷；2. 溫度太低，塗層沒有烘乾，在將來插入套管時有被括脫的危險。通常爐溫控制在 $450\sim 550^\circ\text{C}$ 範圍內，而且一般後爐比前爐溫度順次升高約 $20\sim 30^\circ\text{C}$ ，以便更好地烘乾，得出所需的絕緣強度。在表8-1上列舉了各種不同直徑鎢絲在塗敷時爐溫的試驗數據。在順次經過若干單位後，絲表面達到了必需的塗層厚度，此後便被繞在收綫軸上。

在拉塗時，所用的氧化鋁粉末必須很純潔。為了獲得密致的塗層，氧化鋁粉末的粒子大小應該小於10微米。為此，在使用前，原材料（鋁粉）常須經過球磨，清洗等步驟，然後必須在馬弗爐中或氫氣

表8-1 塗復各種絲直徑的參考數據

絲的直徑以微米計	60.5	63	69	80	84	86
有絕緣後絲的直徑 μ	220~240	220~240	225~250	225~250	245~265	130~145
第一次爐溫 $^\circ\text{C}$	450~470	450~470	450~470	450~470	460~490	460~490
第二次爐溫 $^\circ\text{C}$	500	500	500	500	500~520	500~520
第三次爐溫 $^\circ\text{C}$	530~580	520~530	520~530	530~550	530~550	530~550
移動速度	4.4~4.5米/分					

爐中加熱數小時，使鹼金屬、鹼土金屬的氧化物及其他不溶於水的有機雜質揮發。這些雜質的存在會大大降低氧化鋁的絕緣性能。最後，純淨的氧化鋁可達到很高的絕緣性，在 1000°C 的溫度下約具有 10^6 歐姆/厘米以上的電阻率，而絕緣層塗敷過厚是不必要的。此外，由於陰極套管內表面是一定的，塗層一厚工作溫度必然相應地升高。而工作溫度提高，塗層的絕緣電阻將大大減小。例如當溫度升高到 1600°C 時，氧化鋁的絕緣電阻率竟會降到 5×10^3 歐姆/厘米以下。所以塗層溫度過厚反

而有害，一般約在 60~100 微米之間。

在拉塗時，有時為了增加熱絲塗敷的生產率，可以在一個設備上同時通過兩根鎢絲。並且為了避免設備過長，熱絲可以借專門的機械結構作往返運動，經過來回往返運動後，絲達到所要的厚度，用微米計檢驗合格後，塗敷好的絲被繞在收綫軸上。

拉塗後的絲是很長的，需要進一步折疊成形。折疊數少的熱絲可以很方便地採用手工成形。最簡單的热絲成形裝置如圖 8-7 所示，它由金屬板及其上的支柱組成。用手工將熱絲繞在支柱上就可成形。這種裝置的缺點生產率太低。另外一種裝置生產率較高，其作用原理和繞綫圈相彷彿，不同之處在於它的芯模呈一種特殊的多角形。圖 8-8 上所示的就是其芯模的一種剖面形。當進行成形時，搖動手柄將已塗復了塗層的热絲繞在此特制的芯模上。為了裝架時便於點焊，在熱絲的兩個末端須用圓柱形滾子去除絕緣塗層，然後在圖上 (1) 處將熱絲切斷，並將其成束地取下，再用手工彎折成形，如圖 8-8 b 所示。

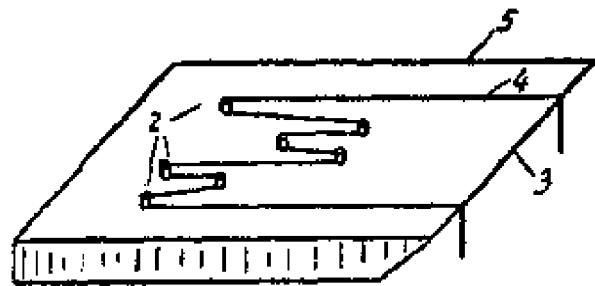


圖8-7 手工熱絲成形法。

在成形過程中，彎折處易掉粉。為了補救這個毛病，可以用电泳

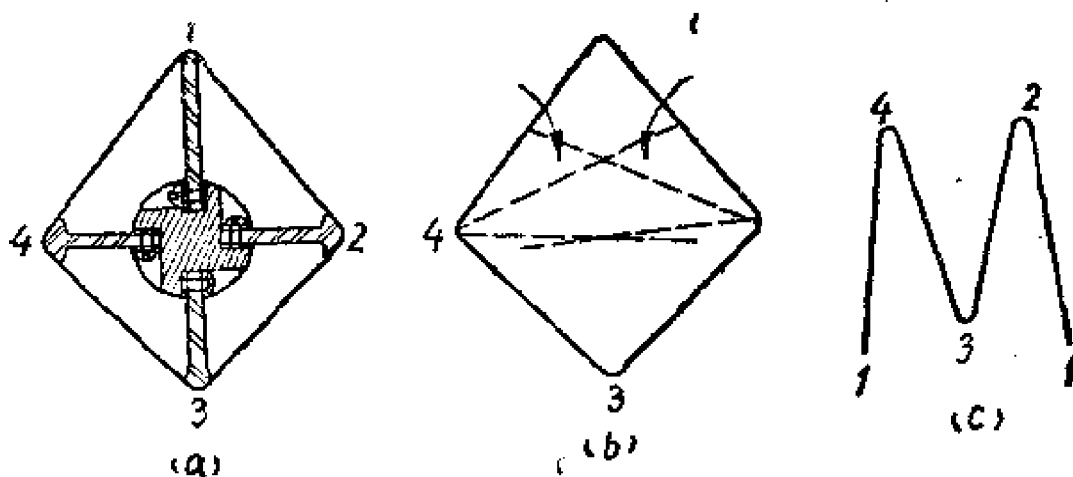


圖8-8 繞制法熱絲成形。

a—芯模的剖面；b—取下的熱絲；c—成形後熱絲。

的方法重新使暴露的点子涂复。由于这缘故,用拉涂法所涂复的热丝,其直径不能太粗。

如用电泳法涂复制造热丝时,则总是先成形后涂复,最近为了提高热丝成形的生产率,采用了自动成形机,圖 8-9 上示出了这样一种成形机的外形。它的主要工作部分系一作間歇运动的鼓輪。在鼓輪上装置了小針,其排列形状应和成形的热丝尺寸相对应。例如欲成形圖 8-8 所示的热丝,鼓輪上相对应的小針应排列成如圖 8-10 所示。在工作过程中小針随圖 8-10 自动成形机鼓輪部分鼓輪的間歇运动逐个跳出。同时热丝随放线机构按圓弧形軌道作来回摆动,并不断放线。其成型过程如圖 8-11。最后热丝繞成所需形状,并被自动剪下。然后用电泳法进行涂复絕緣層。



圖8-9 热絲自动成形机。

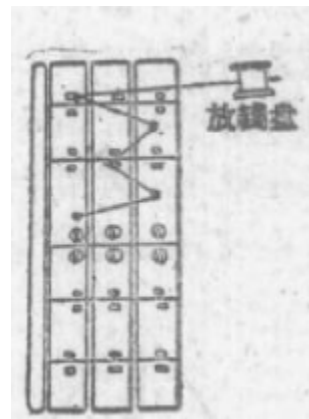


圖 8-10

用电泳法沉积氧化铝的塗液成分包括三大类:第一类是主要的成分,如氧化铝粉末、作为溶剂的甲醇或其他有机溶剂、作为粘結剂的确棉溶液等。第二类成分是使氧化铝粒子稳定带电的充电剂如硝酸铈 $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ 等,第三类成分是輔助溶液,例如当电泳液酸度大时加入的中和剂碳酸铵等。

用于电泳法的氧化铝粒子大小必須合适,如果粒子不够細,得出

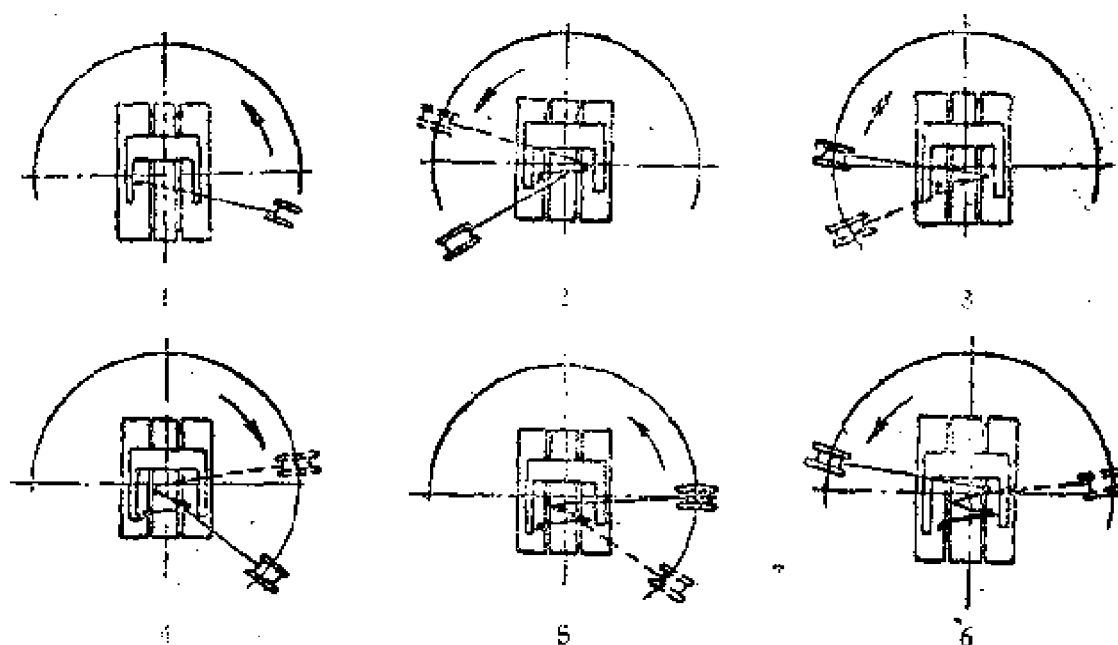


圖8-11 自动机热絲成形过程工序示意图。

1—絲料繞入成形針；2—絲料第一次弯折成形；3—絲料繞入下一个成形針；4—絲料第二次弯折成形；5—絲料再繞入下一个成形針；6—絲料第三次弯折成形。

的塗層將很粗松，在热絲弯折或装架时易掉粉。但如粒子过于細小，塗層在燒結时易变脆，热絲弯曲时易折断。一般对于折叠形热絲电泳，氧化铝粒子大小平均在15微米左右，对于螺旋形热絲电泳，粒子大小还要再小些。

甲醇是电泳液的最好溶剂，实验証明，用这种溶剂，得出的塗層是密致結实的，而用其他溶剂时，則往往会形成海棉状结构的沉积。

充电剂的作用是使氧化铝粒子呈显带电性。以前采用硝酸鋁作为充电剂，它的优点在于当加热时，它分解成氧化铝和氧化氮气体，并不影响氧化铝塗層的純度。但是，應該着重指出，一般在电泳时氧化铝應該很純，而当硝酸鋁作充电剂时，即使帶有微少的杂质，也会大大影响塗層的質量。所以現在多半不用鋁的硝酸盐，而用硝酸銻作为充电剂，这样，就有可能使用純度較低的材料，而得到合格的沉积。在用硝酸銻时，当电压加上后，在溶液中硝酸銻便离解成銻离子和硝酸根。依靠着甲醇作为媒介，銻离子能附着在氧化铝粒子上面，这样，

就能够使氧化铝粒子在电场的作用下，跑向负极并沉积在作为负极的热丝上，如图 5-12 所示。

在电泳液中，硝酸铈及甲酯都带有水分。因而在电泳时，电泳液中可能析出氢离子，为了中和由于氢离子出现而产生的酸度，有时还需加入中和剂碳酸铵等。

所有这些成分可按以下方法配制：将 450 克的氧化铝 75 毫升的硝棉溶液和 300 毫升的甲醇放入球磨机中，并且球磨约 10~12 小时或视需要更长一些，在涂敷开始前，再混入约占总容量 3% 的硝酸铈溶液，此后，就可进行电泳。

最简单的电泳涂敷可以借手工浸渍进行。在大量生产时，可以采用高生产率的自动设备。在图 8-12 上示出了这样的一种设备，这种设备共有八个位置，其展开图如图 8-13 所示。在第一个位置上放着电泳用的涂槽，为了保持溶液的悬浮状态，槽内装置了搅拌器。欲涂敷的热丝装在上方的夹子中，借凸轮的作用，在每一个位置夹子自动地下沉一次。当热丝浸在槽中时，在热丝与槽壁间加上小于 100 伏电压，槽壁接正，热丝接负。这样由于阴极电泳的结果，热丝表面便沉积了一层均匀的涂层，然后热丝自槽中取出，转到第二个位置，在盛有丙酮的槽中洗清一下，洗去附着在表面的氧化铝粒子。然后再转到第三个位置，利用热压缩空气来干燥

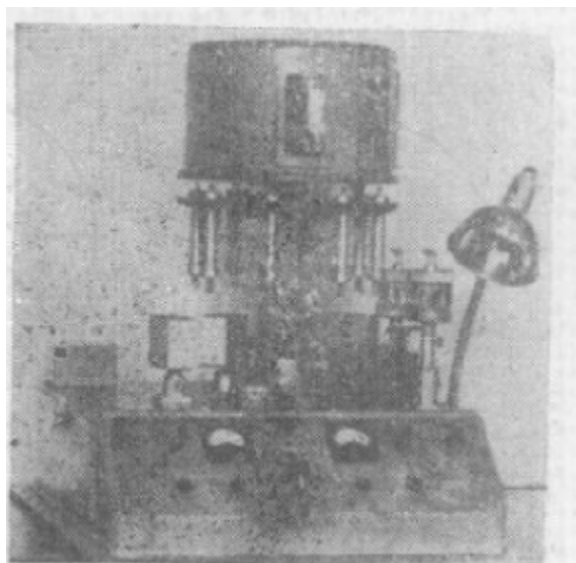


图 8-12 热丝电泳机。

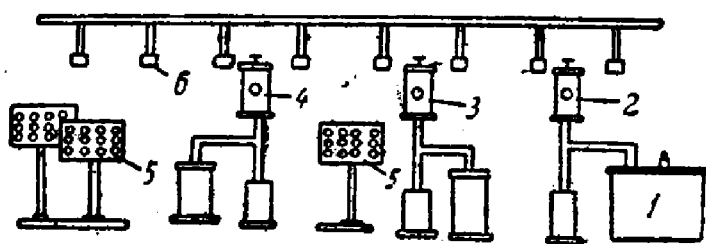


图 8-13 热丝电泳机工作过程原理图：

1—电泳液貯盛罐；2—电泳液工作槽；3—丙酮溶液槽；
4—粘結剂槽；5—烘爐；6—热絲夹。

涂层，使有机溶剂迅速蒸发。接着在第四个位置的棉胶槽中加固，加固后再经烘干等步骤，而在第七个位置上被取下。显见，这种立式的

自动电泳机具有較高的生产率，且能保證塗層質量的均一性。

在电泳法塗敷时，塗層的厚度、表面的粗糙与光潔与否取决于氧化鋁粒子的大小、电泳悬濁液的电导、外加电压值、电泳的时间及攪拌的速率等。此外，塗層的質量还与电泳悬濁液中各种成分的比例有关。例如当硝酸鋇溶液的量过多时，会引起塗層質量的变坏，使塗層上形成气孔、凹口等缺陷，又例如当添加过量的磷酸鋁溶液时，会使塗層粗糙及凝聚起来。这些缺点在高电压电泳时，特別容易产生，所以也需要特別加以注意。

用电泳法塗敷热絲，优点甚多，首先是塗層的質量較高，它可以得出表面堅固、緊密和光滑的塗層，同时，塗層的厚薄可以很好地被控制、消耗材料少且生产量大。此外，与拉塗法比較，它可以塗敷結構形状較复杂的热絲，并且热絲的两端可以空出，无須在塗敷后多一次剖去塗層末端的工序，因而現在电泳法已廣泛的采用起来。

至于用噴塗法来塗敷折叠式热絲則甚少用，一方面塗料浪費很大，并且塗層亦不均匀。

当塗复和成形后的热絲就送往退火爐燒結，这种退火爐如圖 4-2 所示，燒結的溫度視材料及要求而定，約在 $1300\sim 1700^{\circ}\text{C}$ 。其目的除了使芯金屬与塗層在高溫下固結外，还起着淨化塗層的作用，因为此时硝酸鋇将完全分解，某些易蒸發的磷物将揮發掉。这样就减少了使用时热絲漏电可能性。

热絲在燒結后应很好地保存或者运往装架間。折叠形热絲的优点是构造簡單，制造方便，因而也比較經濟。所以現在应用得很广。

二、螺旋形热絲的制造

螺旋形热絲的制造过程，和折叠形热絲一样，也包括成形和塗复两个基本工序，但是由于它的形状較為复杂，因此在工序順次上总是先成形后塗复的。所以它的塗复就只能采用电泳法和噴塗法，而不能应用拉塗法。

螺旋形热絲由于形状复杂，所以它的材料一般都用鎢鉬合金絲的較多。当鎢鉬合金絲經過淨化后，就可进行成形。

單螺旋熱絲可以用未退火的鎢絲繞制。繞螺旋是在繞螺旋機上進行，圖 8-14 所示的就是繞制單螺旋設備的外形，其工作原理可用圖 8-15 來說明。將繞螺旋用的芯絲放在綫軸（1）上，芯絲材料一般采用鋼絲，但也有采用青銅或鉬絲的。機器開動後，芯絲以直綫方向不

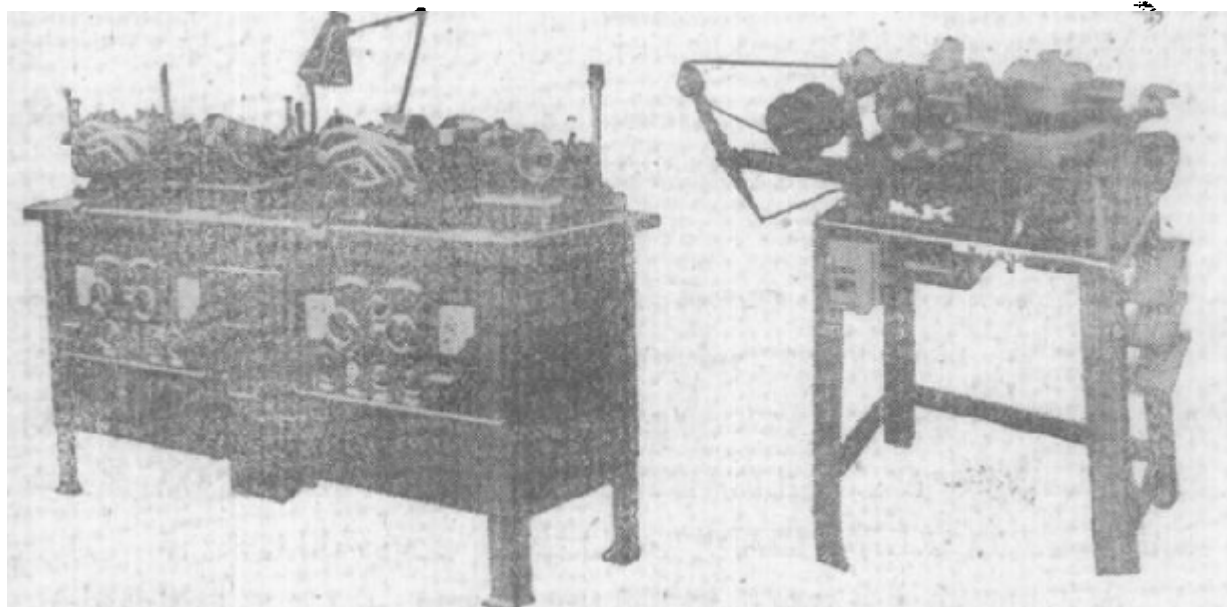


圖 8-14 單螺旋繞制機。

斷自左向右推進，前進速度視所需熱絲的螺距而定，熱絲是金屬材料（鎢絲或鎢鉬合金絲）放在小綫軸（4）上。在工作時，小綫軸不斷高速旋轉，絲經小滾輪（5）的引導繞在芯絲上。為了便於將螺旋依所需長度切開，在進行繞制時，可用間歇加快熱絲前進速度來完成。此外，在繞制過程中，芯絲及熱絲芯金屬材料應被拉得足夠地緊。芯絲拉得太松，它的移動將不均勻，會影響螺距的精確性。芯金屬材料拉得太松，則會引起螺旋的鬆開。但是也不能將它拉得過緊，以免造成斷絲及嵌入芯絲較深的現象。為了使這兩種絲鬆緊適合和均勻，在繞螺旋機的綫軸上裝有可調整的緩衝裝置。

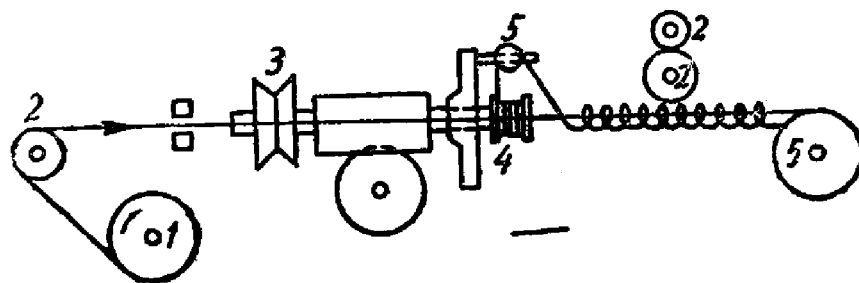


圖 8-15 繞制螺旋絲的工作原理圖。

在用鎢絲制造螺旋时，在繞制过程中最好将鎢絲进行退火，即将其加热到暗紅，不然由于絲的彈性較大，当去掉芯絲时，螺旋会产生变形。加热可用电流通过絲本身来达到，亦可用火焰来加热。

在有些机器上为了檢查繞制螺旋过程中的节距是否均匀，装有放大約30倍的显微镜，并用螺旋的脉冲光綫照到螺旋絲上，使心軸轉过一圈受到一次光綫的照射。因此，若繞制的节距均匀时，就产生了螺旋固定不动的影象，而在螺距不均匀时，則螺旋的象就产生了移动。

螺旋繞好后，为了避免螺旋的松开，它与芯絲一并送往敞口的管状氫气爐中进行加热，其溫度約为 700°C 。如果这时退火的目的除了消除螺旋絲中的应力，还須去掉表面的氧化物时，則溫度須增高到 $1100\sim 1270^{\circ}\text{C}$ 。如表面有石墨等磷物时，則退火前尚須先去其石墨。

經過退火的螺旋，就可切成單个螺旋絲，此后必須去掉芯絲，較粗而短的螺旋用手工就可除去芯絲，芯絲細的就必須用浸蝕法溶去芯絲（用不与螺旋材料作用的芯絲）但不損伤外繞的螺旋。一般溶去青銅或鉬制芯絲用硝酸或硝酸和硫酸的混合液，溶去鋼制芯絲則用盐酸。在溶絲时，由于鎢在酸中会使氧化加剧，故溶絲后的螺旋需浸入煮沸的氫氧化鈉溶液中，因鹼不与鎢作用，但能很好地溶去它的氧化物，并还能淨化石墨及油污。在鹼中处理后，有时尚再在冷酸中浸蝕，以除去可能剩留的芯絲，然后再在水中清洗，并在酒精中洗，以加速其干燥，最后再在湿氫中退火，以进一步定形和去除表面磷物。一般螺旋愈粗，燒氫溫度愈高，且時間亦愈久，如直徑小于0.07毫米的鎢絲螺旋，溫度是在約 1100°C 時間 $3\sim 5$ 分鐘。絲的直徑大于0.07毫米，則溫度为 $1150\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ，時間 $10\sim 20$ 分鐘。总之，溫度不能高于鎢的再結晶溫度，以免鎢絲变脆。

至于双螺旋形热絲，其成形过程大致与前述相同，但所用繞制設備却有所差异，圖8-16所示的就是一种簡易的繞制双螺旋热絲的設備。但在大量生产时，螺旋的繞制可以自动进行，这种設備如圖8-17所示。其工作原理可用簡化圖8-18來說明。欲成形的热絲先被切割成一定長度，然后經過小孔（1）被壓縮空气吹入，落在擋板（4）旁等

候繞制。当軸轉动时，經齒輪帶動杆（6）轉动。由于固定螺母（8）的作用，螺杆（6）既作旋轉又作平行运动。在螺杆（6）的端部裝置了一个特殊的芯杆（5）。由于它将擱在擋板旁的熱絲叉住，并且一面前进，一面旋轉的結果，使熱絲得以成形。在圖 8-19 上繪出了繞制双螺旋的示意过程圖。复繞螺旋的成形，須經過两次繞制，熱絲先繞成單螺旋，然后置于氫中退火，退火后，視其結構或用上述方法繞制双螺旋，或再繞一次單螺旋。繞制完畢后，溶去芯絲便制成了复繞螺旋形熱絲。

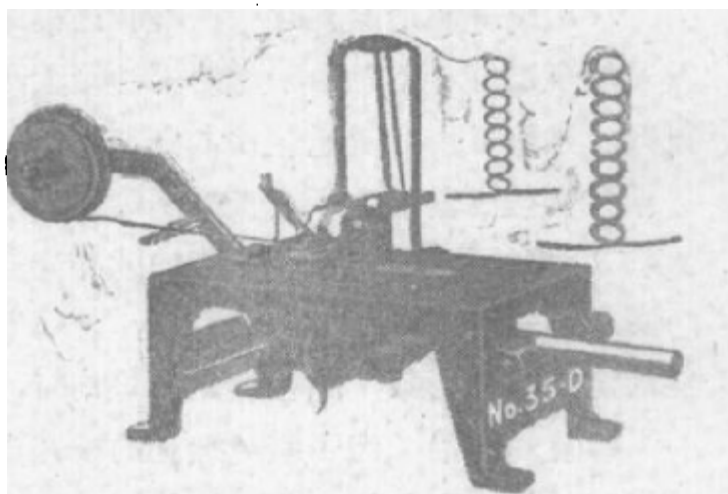


圖8-16 簡單的双螺旋繞制机。



圖8-17 双螺旋繞制机。

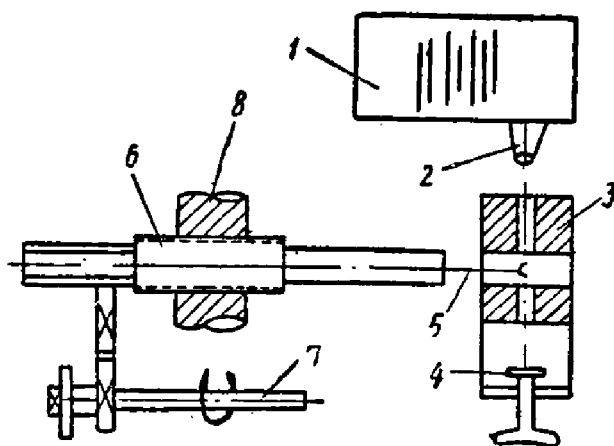


圖8-18 双螺旋自动繞制机工作原理圖。

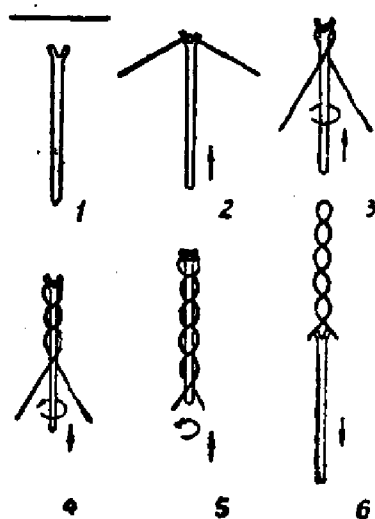


圖8-19 双螺旋繞制过程圖。

正如前述，为了使阴極加热溫度平均，有时熱絲的螺距特地制得

BA-3 編絲



繞單螺旋



繞雙螺旋



插入鉛套管



取出鉛套管



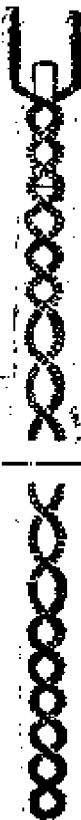
鋸鉛鉛芯



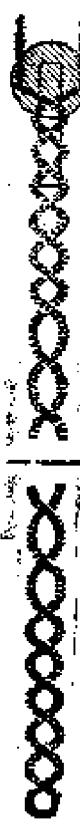
裝熱絲自由端



插入瓷芯模



固定瓷芯模



塗覆三氧化二鉛



圖8-20 直徑較粗的復繞螺旋熱絲製造過程圖。

不均匀，在繞制这样的热絲时，芯杆的推进速度需要改变。此外，那些較粗的复繞螺旋形热絲，为了增强其机械强度，其內常須插入陶瓷芯杆作为支持，这个工序也是在成形后进行的，整个复繞螺旋形热絲的制造过程如圖 8-20 所示。

螺旋形热絲經繞制、退火、溶絲、清洗等工序后，就可进行塗复。塗复可用电泳法和噴塗法进行。

在使用噴塗法时，噴塗漿由氧化鋁粉末、有机溶剂及粘結剂所組成。与拉塗时的塗漿不同，此时的粘結剂采用硝棉溶液。

噴塗法塗复可用手工或在半自动机上进行。塗复时，热絲置在特殊的夹子中，一端固定，而螺旋則处在噴槍口密集的噴流中，当热絲的一面被复上一層塗層后，須将夹热絲的夹子旋轉 180° ，以便各方面得到均匀的塗層，热絲經噴塗后，須放在 $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘3~3分鐘，以去掉有机溶剂，然后用称重量的方法来檢驗塗層被复的厚度。

噴塗法塗复的質量与氧化鋁粒子的粗細有很大关系，为了获得密致的塗層，在用噴塗法时，所用氧化鋁粉末粒子應該比拉塗时更細，为使塗層密致，一般90%以上的粒子尺寸应小于4微米且其最大的粒子不能大于30微米。此外，它与塗敷时的一些因素，如噴塗的距离、噴塗的角度、溶剂的揮發性等都很有关。

噴塗法的最大缺点是材料浪費較多，因而不夠經濟，在噴塗时，通常有接近90%的塗粉沒有用在塗复上，而落在噴塗設備中。噴塗法的另外一些缺点是它的塗層粗松，不易燒結，因而在装架时容易使絕緣層散落。又与其他塗敷方法比較，它要求操作工人有較高的操作技能。只有这样，塗層的重量及松紧度才能合乎要求。因此現在多半不采用噴塗法塗敷热絲，而采用电泳法。其电泳的方法則与折叠形热絲相同。

与折叠形热絲相类似，螺旋形热絲在塗敷后，也要在氫气中或成形气体中进行高溫燒結，溫度为 1700°C 。在此溫度下，由于氧化鋁結晶的改变以及塗層中的水分，粘結剂的揮發，使塗層变硬并牢固地与热絲的芯金屬相結合。此外，由于某些磷物在高溫下的扩散与蒸發，也使塗層得到附加的淨化。

第九章 柵極製造

§ 9-1 柵極的結構及其要求

柵極在電子管中起着控制電子的作用，因此柵極的結構大多均為柵欄狀或網狀，但就其結構形式而言，目前已有各種各樣的柵極結構形式。在普通結構的電子管中，柵極的結構形式有如圖 9-1、9-2 及 9-3 所示。按其橫截面的形狀，則柵極可分為圓形、橢圓形及矩形等，如圖 9-4 所示。一般的柵極均由柵絲和邊杆組成，柵絲常以螺旋的方式繞在邊杆上，並加以固結；或把柵絲編成網形，然後固結在邊杆上。脈沖振蕩管的柵極有時就製成鼠籠式，如圖 9-3 所示。柵絲是柵極的主要工作部分，它起着控制電子的作用，而邊杆是作為固定柵絲，保證柵極有一定的形狀和機械強度，並且它還起着散熱的功用。在電子管工作時，柵極受到陰極及周圍其他電極的輻射熱，有時還加上柵極電流的加熱，以致使柵極溫度升高；而電子管在一般正常運用下，柵極溫度的過高常會引起不良的影響，如引起柵極電子放射、接

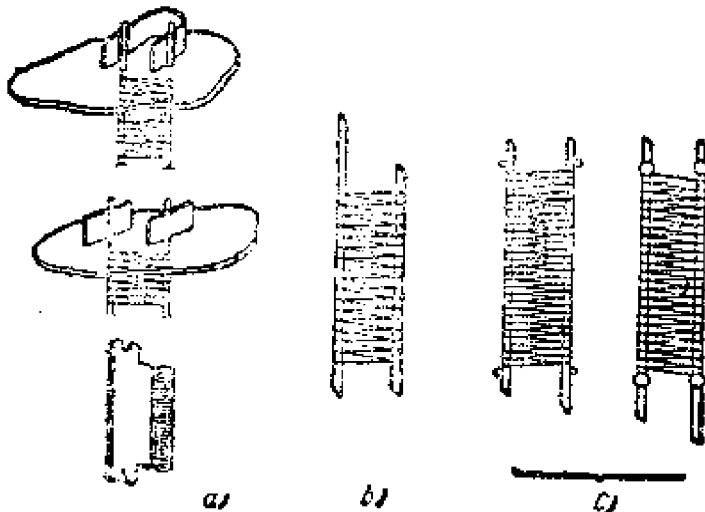


圖9-1 一般接收放大管柵極結構。

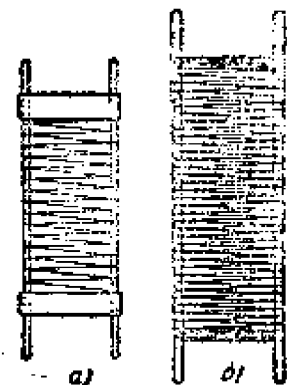


圖9-2 有腰帶及柵極加密的柵極。

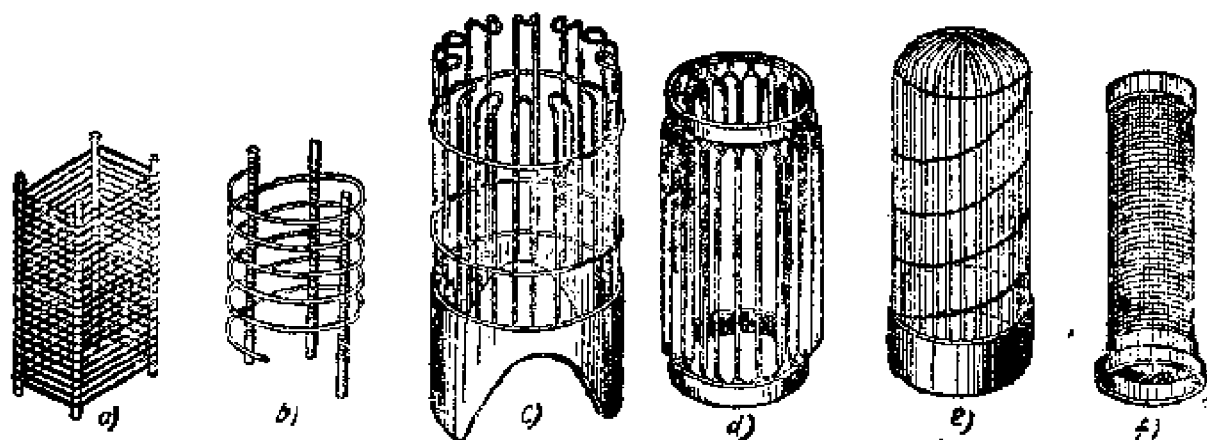


圖9-3 各種振蕩管柵極。

觸電位差的改變以及柵極變形等。為此，設法降低柵極的工作溫度是一很重要的問題，有時如果僅靠邊杆的散熱不能達到要求時，就在柵極邊杆的上端焊上一黑色的散熱片，如圖9-1，*a*。或用銅作柵極邊杆等。

在振蕩管中，為了防止電子飛出陽極的空隙邊緣，常在柵極的兩端加焊腰帶，如圖9-2，*a*。而在接收放大管中，則改為在柵極的兩端將柵絲繞得更密一些，如圖9-2，*b*所示。

為了使柵極邊杆在裝架時容易插入云母片孔中，常將邊杆切成 45° 的斜角。

現代在製造柵極與陰極柵極間距離甚小的電子管，以及疊合式自

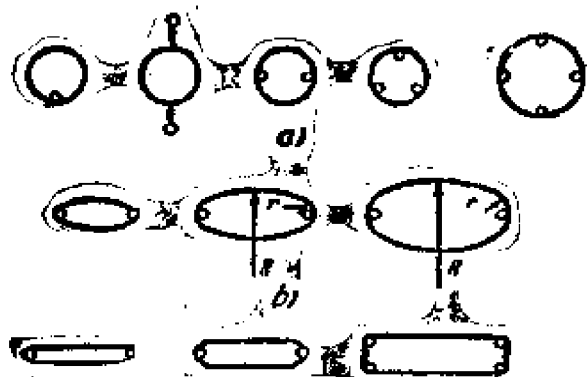


圖9-4 柵極結構的截面圖。

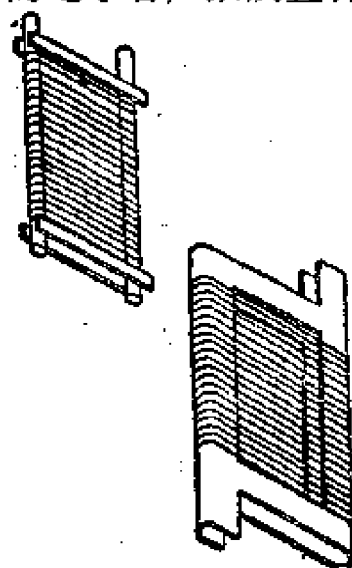


圖9-5 框狀柵極。

动装架的电子管中，栅極就采用了框状的栅極，这种栅極的外形如图 9-5 所示。

栅極是电子管重要零件，它要求有較高的机械强度，否則由于栅極与阴極之間距离或栅絲螺距的变化，将会引起电子管特性跨导或放大系数很大的变化，并当电子管受振蕩后还会引起微音及其他杂音。

此外，栅極表面的性質亦很重要，在活化阴極的电子管中，往往由于阴極上活化物質的蒸發落在栅極上，这样一方面使栅極易于引起热电子發射，同时还改变了栅極与阴極間的接触电位差，所有这些均使电子管參量發生变化。而一般說来，这些要求对于第一栅極来講特別重要。

§ 9-2 栅極材料

由上面所述对于栅極的要求，于是对制造栅極的材料，也就相应地提出下列要求：

（一）对于栅絲材料的要求

理想的栅絲应具备下列条件：

1. 抗張强度高，能耐拉，要有适当的韌性。
2. 高溫时不易变形。
3. 熔点高，蒸汽压力低。
4. 热膨脹系数小。
5. 导热率高。
6. 化学稳定性好，不易氧化。
7. 热电放射和二次电子放射要很低，即逸出功高。
8. 含气量少，且易去气。

（二）对于边杆材料的要求

边杆的主要作用是支撑栅極，考虑到栅極在电子管中的結構及运用条件，因此对边杆应具备如下条件：

1. 机械强度高。
2. 导热性好。

3. 易于点焊。

4. 不易氧化。

但是在实际上，并不存在完全符合上述条件的理想栅极材料。因此在电子管制造上除了使用某些金属材料外，还采用若干合金材料来制造栅极。目前常用的栅丝材料计有：镍丝、钼丝、钨丝、钽丝、镍锰丝、镍钼丝、镍铬丝及镍钨丝等。

1. 镍丝及镍锰丝。纯镍丝的机械强度及加工性能都适合于绕制一般接收放大管的栅极。但是为了使栅极的表面逸出功稳定，材料刚度有所改进及防止氧化，通常采用在镍中掺入小量的锰制成的镍锰丝。然而锰的掺入又会引起附带的不良影响：例如容易使氧化物阴极中毒。因而镍中含锰量也不能太多，一般不超过5%。

2. 钨丝及钼丝。钨丝、特别是钼丝是常用的栅丝材料。钨丝与钼丝的熔点较高，且导热性比镍丝和镍合金丝要大，用来把栅丝上的热量传导到边杆上去是较有效的。钨丝可以拉得很细，细钨丝常应用于绕制跨导很大的电子管栅极（钨丝直径可小于8微米）。此外，大型振荡管栅丝亦用钨丝制造。钼丝的应用更广，它是主要的绕栅（特别是绕制控制栅极的）材料。因为它是有很多优点，诸如延伸率大，强度高，在中、大型振荡管中能担负很大的热负荷而不变形等等。此外钼丝与其他难熔金属相比较具有较好的加工特性。但是钼丝也有缺点，与钨相比较，诸如在高温下蒸发速度大；再结晶温度及熔化温度低等等。而最主要的是钼在空气中或真空度差的情况下加热时很易氧化。钼的氧化物对阴极发射影响非常不好，并且当碱土金属及其氧化物蒸发到钼丝上时，会引起显著的栅放射现象。因而通常的钼丝须进行被复。为了防止氧化可以在钼丝上被复镍或银层。被复镍的过程往往用电镀法。为了防止在镀镍过程中氢气掺入钼丝内，降低钼丝的伸长百分率，这个过程往往在绕栅后进行。被复银则可以采用热涂法。为了降低栅放射以及稳定接触电位差，栅丝上常进行涂金，涂金的厚度一般要求不少于1微米。涂金可用电镀法，但目前已逐渐用热涂法来代替，因为这样一方面金的消耗较小，并且结合亦较牢固。

同样，有时为了稳定电子管的参量，在鉬絲上热塗鋁層，这样以后栅極在真空中加热后，在栅絲的表面还会形成具有輻射能力的暗灰色層。此外在大型振蕩管中也有在鉬絲上塗鋁的，塗鋁后使輻射增加，并且改善了真空特性。

3. 鉬絲及其他合金絲，鉬絲很少用来繞制栅極，因为它价格昂貴。若用鉬絲制作振蕩管栅極时，常用在二氧化碳或一氧化碳使其表面形成碳化鉬来减少栅放射。鎳鉬合金絲是用来取代鍍鎳鉬絲的，它的机械加工很容易，真空性好，并且不易氧化，是一种較新的栅絲材料。鎳鎢合金絲也是一种極新的栅絲材料，它在真空中的性質，加工性能及价值方面要比鎳鉬合金絲更好一些。但是在目前它們的应用都还不多。

至于現在常用的边杆材料計有：鎳杆、鉬杆、銅杆、鉻銅杆、鎳鉬合金、鉄鎳合金及鎢杆等。鎳杆广泛地用来作为接收放大管中的边杆，取其有一定的机械强度，良好的点焊及能适合加工（自动繞栅）上的要求。有时为了增进它的机械强度，在鎳杆中常掺入5%的錳。鉬杆在較大的电子管（多半是振蕩管）中被广泛使用。因为它的机械强度比鎳杆大得多，并且熔点高。但是它和鎳一样也易氧化，并且不能用于自动繞栅。銅杆作为边杆最大优点是导热性佳。但它的缺点是难于点焊，并且經一系列的热加工后会完全丧失彈性，所以不适用于支撑尺寸較大的栅極。如果在銅中掺入（0.4~1%）的鉻便能够使边杆的机械强度大为增进。所以用鉻銅杆制造的边杆用途还是很广的，它往往用为需要發散較大热量的第一栅边杆。鎳鉬含量相等的鎳鉬合金杆有时也用来制造边杆，用这种材料制的边杆在退火后可以得到足够的机械性質。此外，在强功率振蕩管中考虑到栅極溫度可能达到很高，因而以高熔点的鎢作为边杆材料的，但此时栅絲与边杆的联結將發生困难。在小型管中有时为使边杆能与玻璃相熔封，也有以鉄鎳合金杆作为边杆材料的。

至于这些最常用的栅極材料的一些基本性質可以參閱表9-1，表中列举了鎳、鎳錳、鎳鉻、鎳鉬等材料的一系列性質，彈性系数、抗

張力、热膨脹系数。

表9-1 制备柵極用的金屬和合金的性質

材料	成 分	比 重 克/厘米 ³	热导率 卡/厘米· 米·°C	彈性系数 千克/ 厘米 ²	抗張力 千克/毫 米 ² /20°C	热膨脹 系 数 $\beta \cdot 10^{-7}$	比 阻 微欧姆· 厘米	备 注
工业用的 鎳	Ni	8.9	0.14	20000~ 22000	$\frac{74}{40} *$	130	8.6	柵極边杆
鎳合 鎳金	4~5%Mn	8.8	—	—	$\frac{100}{60} *$	—	20	接收放大管 的柵絲
鎳合 鎳金	Ni+20%Cr	8.36	0.034	22000	90	125	110	接收放大管 的柵絲
鉬合 鎳金	20%Mo+Ni	8.8	0.04	—	$\frac{150}{85} *$	107	110	接收放大管 的柵絲發射 管的边杆
鉬	Mo	10.3	0.35	32000	$\frac{150}{80} *$	53	4.8	接收放大管 的細柵絲。 發射管边杆
鎢	W	19.3	0.48	35000	$\frac{200}{100} *$	44.4	5.5	接收放大管 的細柵絲。 發射管边杆
鉭	Ta	16.6	0.73	19000	$\frac{120}{35} *$	65	15.5	發射管的柵 絲
銅	Cu	8.9	0.92	11000	$\frac{40}{20}$	165	1.72	接收放大管 和小型發射 管的柵極边 杆

* 上面的数字是指硬材料，下面的数字是指退过火的。

§ 9-3 在繞柵前的材料处理

絕大多數柵極材料在繞柵前需經一定的处理。因为它对繞柵的質量有着很大的影响，并且保證了柵極在电子管中正常的工作。当原材料——合于要求的边杆和柵絲——从倉庫中領来后，往往先需复繞，使这些絲料整齐匀称地繞在一定直徑的綫軸上，而所用綫軸的大小往往合乎下一步工序的需要。复繞在复繞机上进行，此后对柵極材料进行淨化。

無論是柵絲或边杆，在拉絲时都因使用潤滑剂，因而在很多情况下有必要在退火前清除柵極材料的殘余潤滑剂和其他可能沾上的油脂。柵極材料的去油脂通常采用电解清洗的方法，且为了提高生产率往往

使用專門的設備，其法在第三章中關於絲料的淨化一節中已敘述。

同樣，邊杆也常用电解清洗法清洗，並且它通常采用交流電解法去油。其設備與柵絲清洗設備相彷彿，也是“列車”式。所不同者，邊杆清洗設備上往往附設有敞口的氧化爐。當邊杆通過此爐時，表面的油脂由於在大气中被加熱表面變粗鬆了。這樣，就便於進一步地清洗。邊杆清洗液則常采用50%的硫酸溶液。它能起浸蝕作用，並在電壓加上時，分解出氫分子沖擊邊杆表面，以達到去油脂之效。此後經過一系列前述的中和，清洗及干燥步驟後，繞在收綫軸上。

柵絲和邊杆經過淨化處理後，還不能直接送去繞柵。因為在繞柵時，常要求柵絲和邊杆有一定的機械特性。例如在繞柵時，往往要求柵絲的延伸率達到8~12%，而對於邊杆往往要求其軟而易於切割槽等等。為了滿足這些要求，柵極材料（邊杆和柵絲）在繞柵前，須分別進行退火。以增進材料的可塑性，並且還可以淨化表面。至於退火的过程與所用設備已在第四章絲狀材料退火中敘述。

柵絲和邊杆經過退火後就可以送去繞柵。但是有的柵極還須經過熱塗或電鍍的工序。例如柵絲須塗金的柵極，可以在繞柵前預先在熱塗設備上連續塗金，塗金的目的已知前述，主要是為了增加柵極的表面逸出功和穩定接觸電位差，減低熱電放射及二次電子放射。另外如由於鉬絲製造的柵極為了防止氧化，常需要鍍鎳或鍍銀，這些过程也都在退火後進行。

大型振蕩管的柵極邊杆大都用銅杆，它們往往預先按一定長度進行切割。並且為了防止氧化及改善點焊性常預先鍍鎳或焊上鎳條。所有這些工序也都必須在繞柵前進行。

§ 9-4 柵極製造

一般常用的螺旋形柵極，通常是用繞制的方法將柵絲按一定節距繞在邊杆上並將其固結在邊杆上的。用這種方法製造柵極通常視管子大小不同而采用兩種方法：1. 手動機繞柵——常應用於大型振蕩管柵極的繞制；2. 自動機繞柵——廣泛地應用於接收放大管及小型振蕩

管柵極的繞制。現分別敘述于下：

1. 手动繞制柵極

在大型振蕩管中因为柵極較大，同时柵極边杆材料往往用鉬或鎢制成。鉬杆和鎢杆性質很硬，因此不能采用自动切割的繞柵方法。所以制造这种柵極时不得不在手动繞柵机上进行。手动繞柵極的型式很多，圖 9-6 所示即为它的一种外型。其工作原理圖如圖 9-7 所示。当

搖动手柄时，柵極芯模与絲杆同时轉动，此时柵絲由綫軸上退下，并經過絲杆繞到柵極边杆上。柵極边杆放在芯模的两边凹槽中。芯模表面必須光滑而且其形状須与欲繞柵極的形状相一致。为了便于

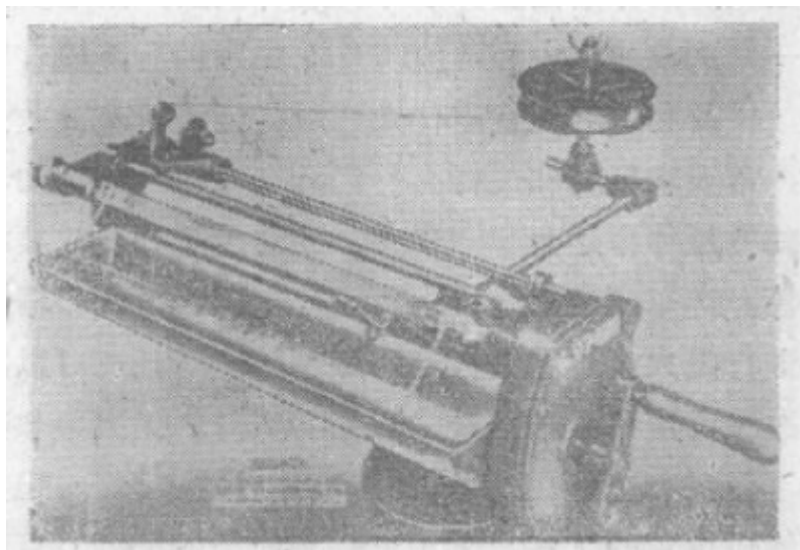


圖9-5 手动繞柵机。

将已繞制好的柵極取下，芯模往往是由夹片及活动的楔子所組成。圖 9-8 所示即为这种芯模。显然，当需要繞制不同形状的柵極时，必須

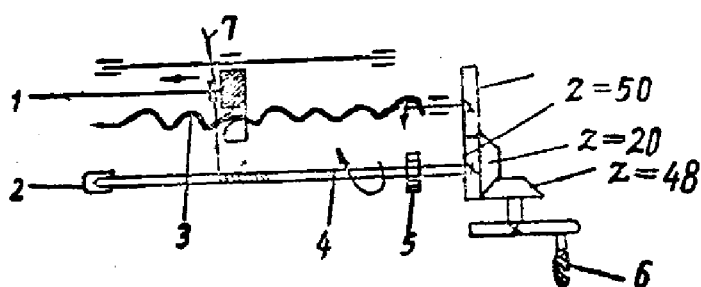


圖9-7 手动繞柵机傳动圖：

1—半合螺母与絲架；2—彈簧頂針头；3—絲杆；4—芯模；5—卡头；6—手柄；7—柵絲。

采用不同的柵極芯模，并改变絲杆的螺距，因为絲杆的螺距决定了所繞柵極的柵絲节距。

当柵絲按一定节距繞上后，就可用点焊进行焊接，因为柵絲与边杆直徑相差較大，故焊

接必須用時間控制器来进行，焊接规范一般应用短時間强电流。并且这种点焊为了方便起見，常采用半圓形的电極作滾焊焊接。电極半圓

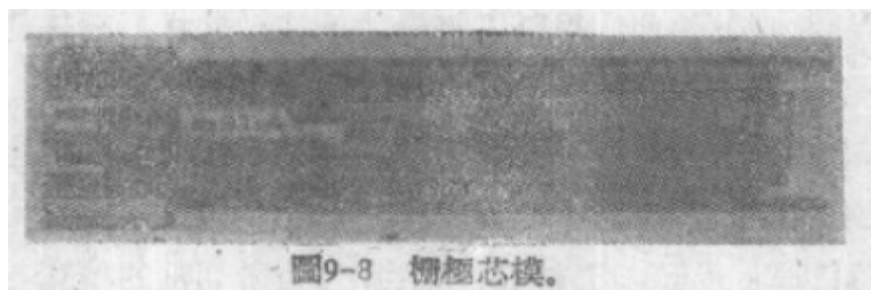


圖9-8 柵極芯模。

的弧長約比柵極稍長一些，而另一電極則由繞柵模本身來擔任。因此在焊接時，只要將半圓電極在邊杆上一滾，便完成了焊接過程，生產率甚高。用這種方法制好的柵極如圖 9-9 所示。

2. 自動機繞制柵極

為了大量製造柵極，在電子管生產上最廣泛地採用自動機繞柵。

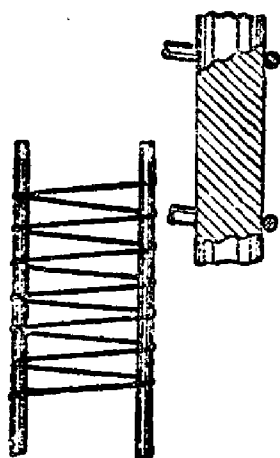


圖9-9 由手動繞柵機所焊接的柵極。

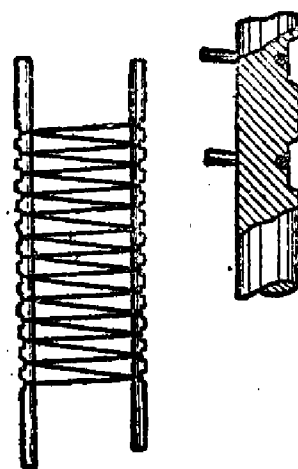


圖9-10 用自動繞柵機所製造的柵極。

自動機繞柵的原理就是用機械切壓法來固結柵絲與邊杆，如圖 9-10 所示。圖 9-11 示出了它的繞制原理，將兩根邊杆嵌在繞柵模的兩邊。在繞柵模上下用割刀切割和壓刀壓入。在繞柵開始後由於機床的轉動，繞柵模及邊杆與割刀，壓刀及柵絲作相對運動，每當割刀碰到（割到）邊杆時，就在邊杆上割出一個槽口，然後把柵絲繞

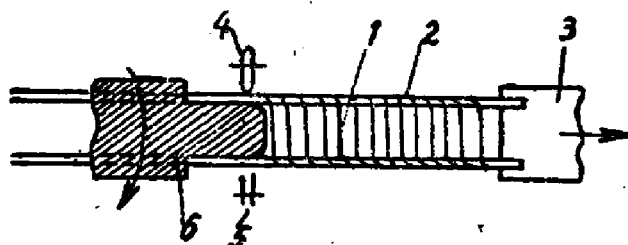


圖 9-11

1—柵絲；2—柵極邊杆；3—拉杆；4—割刀；
5—壓刀；6—繞柵模。

入。以后就在割刀的地位用压刀将栅絲压住。这样，栅絲就牢固地嵌在边杆上了。

用自动繞栅机时，所用的割刀与压刀都呈正圓形，不这样割槽与压槽的深淺将不一致。由于割刀的作用是切割槽口，因此刀口須很鋒利，同时刀口厚度應該与栅絲直徑相当，因为所切割的槽寬与刀口厚度有关。如果刀口厚度过寬，那么栅絲将来会在槽口里移动。如果刀口厚度过窄，那么栅絲会繞不进去，当压刀压下时，易發生断絲現象。割刀割入深度也須一定。割槽太淺固結性差，割槽太深影响边杆的机械强度。一般割入深度約为边杆直徑的三分之一左右。至于压刀由于它主要作为压槽之用。所以它的刀口要比割刀的刀口寬得多。但也不能太寬，一般它和栅極螺距大小以及栅絲粗細有关；螺距小，栅絲細，压刀寬度就要狹些。此外，割刀和压刀的中心位置必須和两边杆的中心在一直綫上，否則亦会产生断絲的現象，并且要求割刀和压刀在繞栅时在軸向不能有所搖动，不然繞栅的节距不正确，且易断絲。

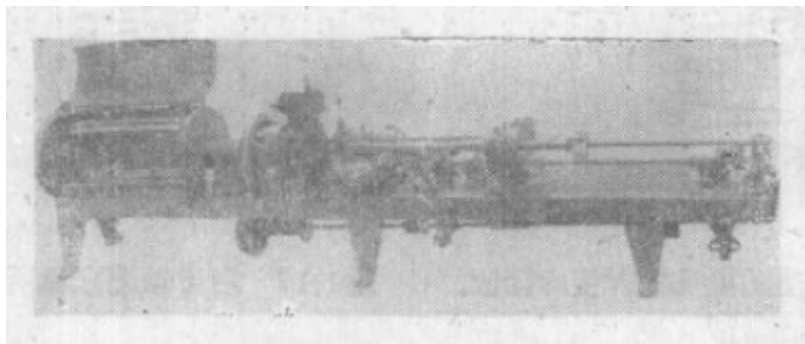


圖9-12 自动繞栅机。

自动繞栅机型式很多，但按其繞制方式而言，一般分为两种。一种是最常用的，在繞栅时边杆既作平行移动又作旋轉运动的繞栅机。如圖9-12所示的一种。这种繞栅机繞制的栅条較短，一般約为0.4米。主要应用于制作尺寸較小的接收放大管栅極。另外一种自动繞栅机，边杆只作平移运动而不作旋轉运动，但此时栅絲綫軸，割刀与压刀都随軸旋轉，这种設備可繞制長达1.2米的栅条。其生产率高但精确性方面不及前者，主要用来繞制尺寸較大的栅極。

因此自动繞栅机不象手动繞栅机每次所繞的只能是一个栅極，而是一次就能繞几个到十几个甚至数十个栅極，以后将它在空圈处切开，如图 9-13 所示。而且为了便于将来容易拆去空圈的栅絲，所以要求繞栅时压刀在空圈处不压边杆，这可由压刀的控制凸轮机构来完成，使边杆到空圈时，压刀

离开边杆。有时为了使边杆沒有毛刺，以便以后容易插入云母片孔，也就要求在空圈处割刀也最好不割，目前新型的繞栅机（A501M 型和 2250B 型）亦已能做到这点，它由另一割刀的控制凸轮来完成。

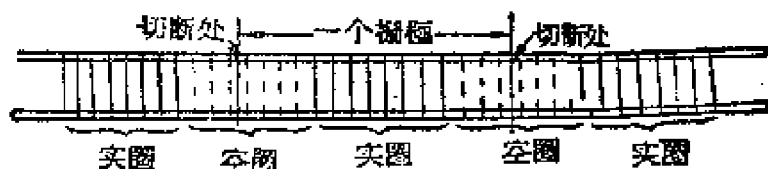


圖9-13 自动繞栅机所繞的栅極条。

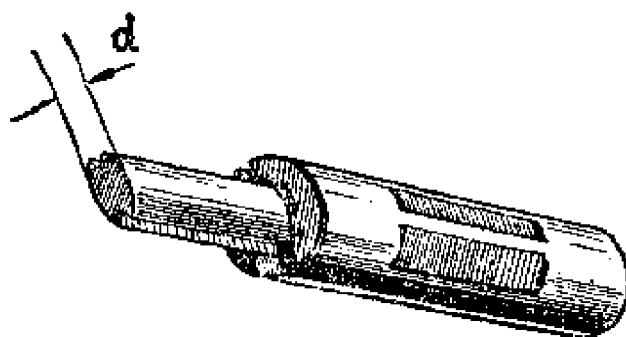


圖9-14 繞栅模外形。

繞制各种不同形状的栅極是靠变换繞栅模

来完成的。繞栅模表面应当極為光滑，它的短軸直徑 d (圖 9-14) 應該相当于所繞栅極的幅寬減去栅絲的两倍直徑。为了使繞栅时，繞栅处幅寬有可能稍有調整，繞栅模的尾端和首端之間做得有一些斜度。一般繞栅模其首端尺寸 d_1 作成等于栅極內部尺寸減去 0.2 毫米，而其末端尺寸 d_2 作成为栅極內部尺寸加上 0.4 毫米尺寸。此外，特殊形状的栅極須用特殊的繞栅模，在圖 9-15 上示出了几种特殊繞栅模的外形。

A501-M 型自动繞栅机，它是專門用来繞制等节距的栅極用的，其工作原理示于圖 9-16。繞栅机的旋轉是由电动机来带动，速度的調节可通过无級变速器 1 来进行，然后經過离合器 2 由鏈条带动車头旋轉，車头上装有繞栅模夹具 4。車头旋轉后通过等比齿輪 5 和 13，使繞栅模夹具 4 和夹鉗 15 能作同步旋轉。边杆从边杆盘 3 通过車头繞栅模，然后用夹鉗 15 夹住，割刀 6 装在繞栅模的上端，而压刀 11 装

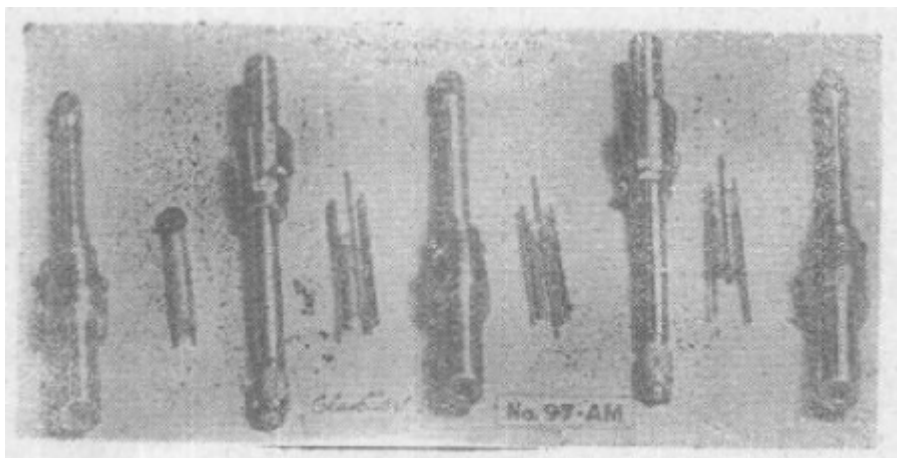


圖9-15 各種繞柵模。

在繞柵模的下端，它們之間的距離相差半個螺距或1個半螺距。引進螺桿是由滑杆軸14通過齒輪組18來帶動旋轉。工作時，半合螺母16合緊於引進螺桿上，但由於半合螺母不能旋轉，而引進螺桿在作旋轉，因此半合螺母就帶動夾鉗15向左方拉動，拉動的速度則決定於齒輪組18的組合，所以不同柵極的節距只要調換18的組合就可以了。

這種繞柵機能夠在空圈時控制割刀和壓刀不割壓邊杆，它是通過凸輪8使割刀在空圈時離開邊杆，同樣借凸輪9使壓刀在空圈處壓刀離開邊杆。為了保證割刀和壓刀能準確地在每個柵極空圈處離開邊杆，要求凸輪軸每轉一周應恰為繞制一個柵極的總圈數（空圈+實圈），這是通過齒輪組12的組合來達到的。

至於繞柵機的開動和停止部分它是通過電磁繼電器來進行的。為了保證安全起見，邊杆絲盤3的架子罩必須蓋上後使觸點 K_1 閉上，才能使電動機有轉動的可能。同樣在引進螺桿外邊也有一保護罩，只有在觸點 K_4 按下時這保護罩才打開，而在罩子蓋上後車頭才能轉動。繞柵機的自動停車是依靠觸點 K_3 來進行， K_3 的位置可以調節，使半合螺母移至所需的距離時才觸及它。 K_3 的接通，就使繼電器2和繼電器3動作，繼電器2則使離合器2脫開，而繼電器3則控制制動器動作，保證離合器脫開後，車頭立即不再旋轉。離合器2脫開的同時，還使引進螺桿上的保護罩打開，而在保護罩打開時觸及 K_4 ，於是繼電器2的電源切開，但這時由於鎖入機構（見圖9-17, 26）使離合器仍處於

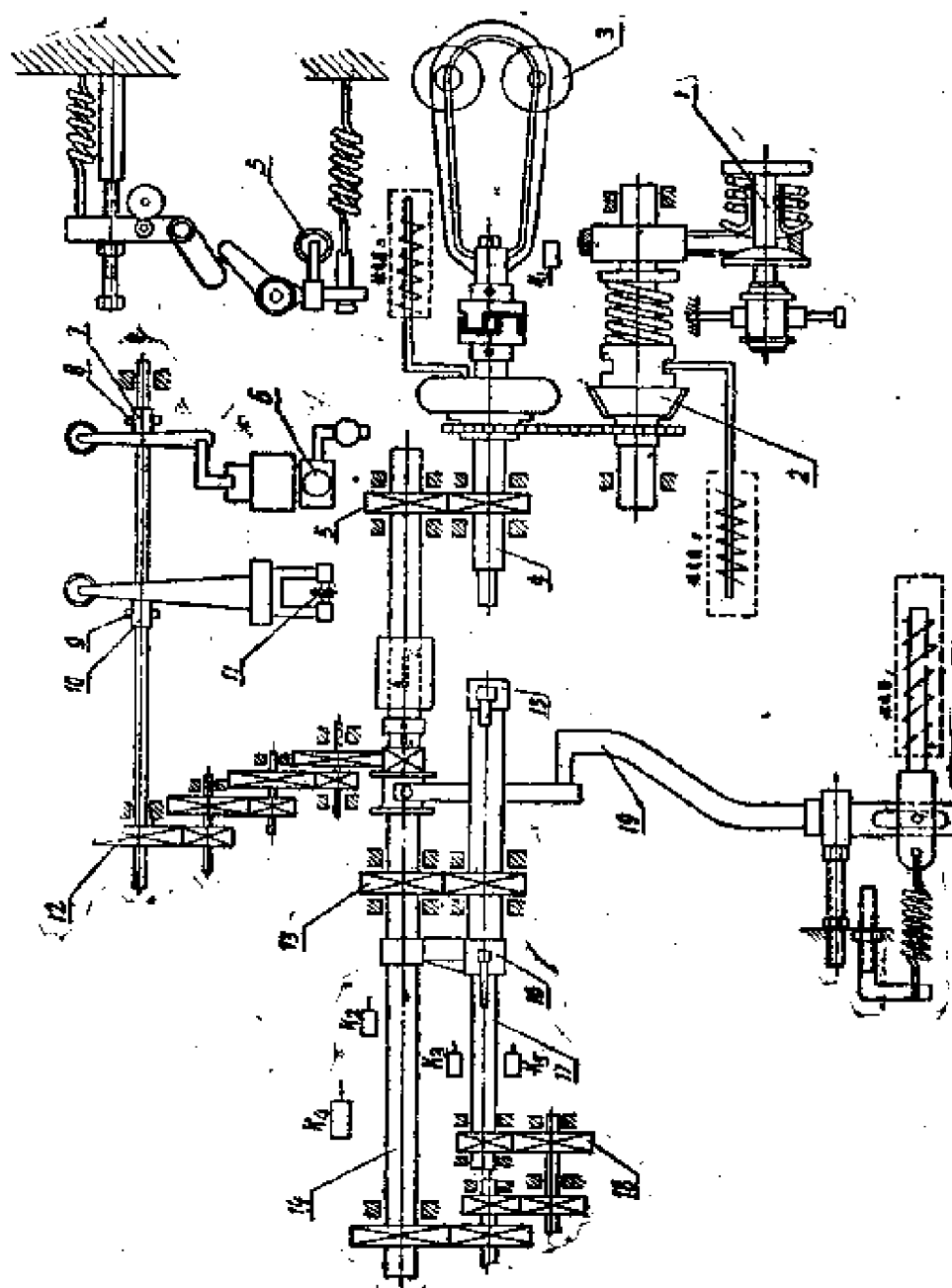


圖9-16 A-501M自動機柵機工作原理圖

1—無級變速器；2—离合器；3—邊杆絲盤；4—繞欄模夾具；5—等速傳動齒輪；6—割刀；7—滾輪；8—控制割刀的凸輪；9—控制壓刀的凸輪；10—滾輪；11—壓刀；12—齒輪組；13—等速傳動齒輪；14—滑杆；15—夾鉗；16—半合螺母；17—引進螺杆；18—齒輪組；19—控制壓刀、割刀凸輪軸的离合器机构。

脫开状态，因此車头仍不旋轉，只有当保护罩閉上后，才使鎖入机构脫开而使离合器閉合，車头才开始旋轉。而 K_2 是控制繼电器 1，它在車头将停車前接通，使杠杆 19 将傳动至齿輪組 12 的离合器打开，这样可使繞至整个栅条的最后一个栅極空圈时，压刀和割刀凸輪不再旋轉，以便于給夹鉗夹后的栅極不致成为廢品。

2250B 型自动繞栅机，这种繞栅机它主要用来繞制不等螺距的栅極，圖 9-17 示出了这种繞栅机，其傳动工作原理如圖 9-18 所示。它的繞制方法基本上和繞等节距的繞栅机一样，所不同的是，在繞等节距栅極时，半合螺母和夹鉗是以等速前进，而在繞不等节距时，就要求半合螺母和夹鉗的移动

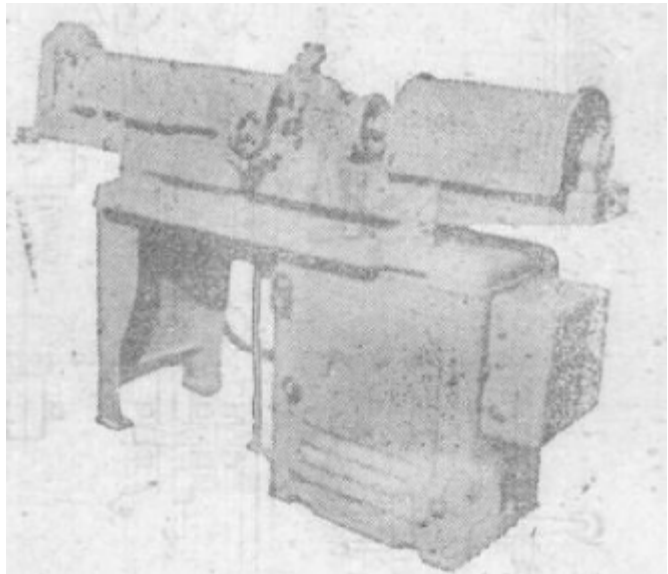


圖9-17 2250B繞栅机。

应是变速的，这样才能繞出不等的节距。这种变速的形成是依靠凸輪 14 来进行，它通过滑塊 25 使半合螺母上的引进螺杆产生一定的移动。这样，它除了以原来速度在引进螺杆上移动外，还加上滑塊对引进螺杆的移动，因此，半合螺母对繞栅机而言，它的速度就成为二者移动速度之和，于是就成为变速了。除此以外，在繞制不等节距的栅極时，为使压刀的压入能仍配合于变动后的割槽位置，故亦要求压刀在橫向亦应有相应的移动，这就通过凸輪 12 来达到。同样，凸輪 12，14 和凸輪 9，11 是在同一軸上的，它們的旋轉一周，均应等于一个栅極的总圈数（空圈+实圈）。

这种繞栅机的开动和停車，亦是用触点繼电器的， K_1 仍是边杆絲盘保护罩的触点，只有当保护罩合上，使 K_1 閉合，这时电动机电路才有可能接通。自动停車装置是通过触点 K_3 ，当半合螺母 22 走至 K_3 处，使 K_3 閉合，这时使繼电器 ΘM 接通，于是将离合器 2 打开，并通过

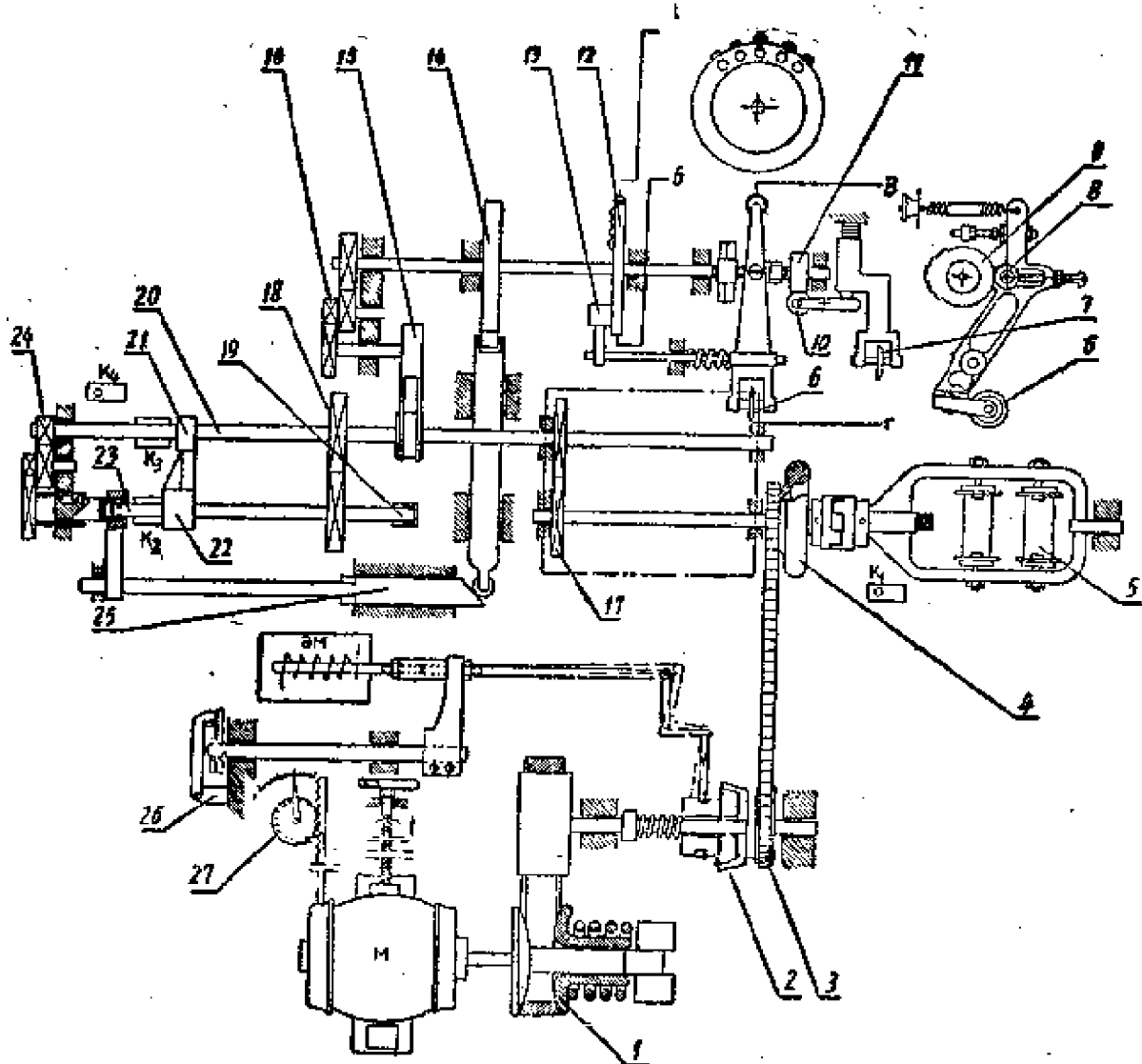


圖9-18 2250B自动繞柵机原理圖:

1—无級变速器；2—离合器；3—鏈条；4—手推轉盤；5—边杆絲盤；6—压刀；7—割刀；8—滾輪；9—控制压刀凸輪；10—滾輪；11—控制割刀凸輪；12—变节距用控制压刀凸輪；13—滾輪；14—变节距控制引进螺杆凸輪；15—齒輪；16—齒輪組；17、18—等速傳动齒輪；19—夾鉗；20—滑杆；21—滑杆擋架；22—半合螺母；23—引进螺杆；24—齒輪組；25—滑塊；26—鎖入机构；27—速度表。

杠杆将引进螺杆的保护罩打开，罩子打开后就使触点 K_4 断开，于是繼电器 ΣM 的电路就又中断，但这时由于鎖入机构 26 的关系，使离合器仍然沒有合上，所以車头还是停着的，只有当保护罩合上，由于 26 使离合器合上，这时車头就又开始轉动。而 K_2 的接触，就可使电动机的电源断开。

这类自动繞柵机除了有自动停車裝置外，往往还装有柵絲斷絲裝置，如果在繞制过程中柵絲中斷，則机床亦会自动停止轉动，因此这类繞柵机有条件可采用多机床管理。

在柵極繞制的过程中，为了保証柵極的繞制，應該注意以下这些因素：

- 1) 压刀和割刀是否符合要求，它們的位置装得是否符合規定。
- 2) 繞柵模形状是否正确，表面是否光潔以及是否有因硬度不够而被磨損的迹象。
- 3) 繞柵机本身有否跳动，車头中心是否对正，絲杆本身节距准确与否。
- 4) 松絲的速度与車头的速度是否調节得适当。边杆装得有否松紧不一。
- 5) 注意表面清潔及其他等。

§ 9-5 柵極在繞柵后的加工

繞柵后，虽然柵極已基本成形，但是作为完整的單个柵極，还需經過一系列的加工步驟。即是拆柵、拉柵、切柵、去油清洗、退火、矯直、撑柵、修柵及檢驗等。

(一) 拆柵

拆柵的目的是將單个柵極之間的空圈柵絲从柵条上拆下。拆柵的方法很簡單，可以借錫子手工拆除之。因为这些廢柵絲在繞柵时并没有用压刀將它們与边杆压住，所以能很方便地拆除。

(二) 拉柵

在拆柵后往往进行拉柵，拉柵的目的在于拉直柵条。由于边杆由絲盘中松下以及在自动繞柵时割刀压刀的机械力作用，柵条在繞柵后常呈弯曲或波紋状，故需要將它拉直，拉柵可以用冷拉法或热拉法。冷拉法就是借两个夹子用力硬拉直之。但对于边杆强度較高的柵条則應該采用热拉法。所謂热拉法，就是在保护性气体中（例如成形气体中），通电流加热將其拉直。

(三) 切柵

由于在自动繞柵机上繞成的柵極是許多柵極連在一起的（見圖9-13），因此必須在空圈处将其切开成單个柵極。切断时柵極上部的两边杆常切成同样長度，而柵極下部的两边杆則常切成一長一短。使長者能与心柱上的引出綫相連接。而边杆切断面的形状，則也有三种切法，如圖9-19所示。圖a为平切，这种切法最簡單，但这种切法常因切口端形成鋸粗的現象，而使以后插入云母片發生困难。圖b为斜切成 45° ，这样便于插入云母片，但要求切刀位置有一定的角度，目前这种切法用得較多。圖中c为錐切法，这种形状亦易于插入云母片，但这种切法較困难，故采用得較少。切柵通常在小形冲床上进行，或在專門的切柵机上进行，圖9-20示出了一种最簡單平切切柵机外形。切柵机的切刀必須鋒利，否則会在柵極端形成毛刺、鋸粗等現象，形成不必要的廢品。

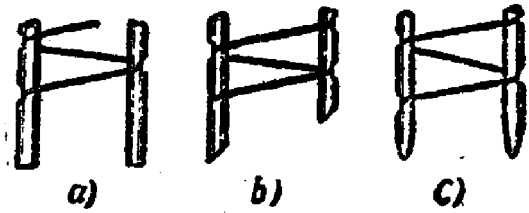


圖9-19 柵極边杆末端外形：
a—平切；b—斜切 45° ；c—錐切。

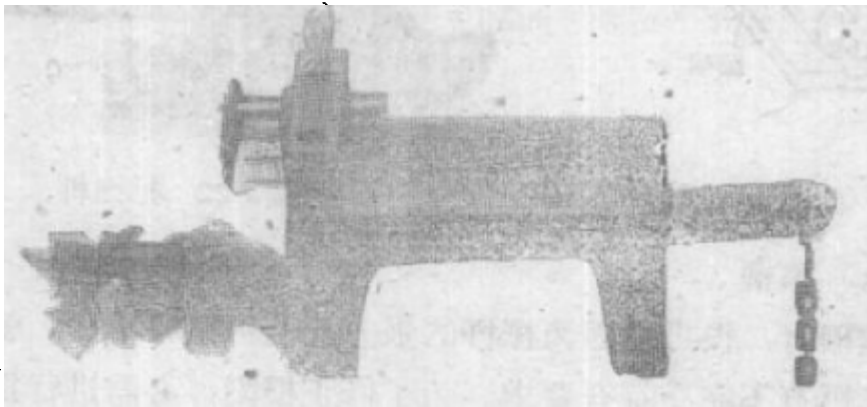


圖9-20 切柵机。

(四) 去油清洗

柵極經過繞制及上述的机械加工后，表面可能又沾上油脂。故必須在柵極退火前經過清潔处理。这可以在三氯化乙烯或丙酮中进行，然后再于热蒸餾水及酒精中清洗。

(五) 退火

这一次退火除了能去除在加工过程中柵極表面的氧化物外，还能

去除由于繞柵时所产生的应力，使柵極能够在以后撐柵及矯直时得到必須的形状。并且还起預先去气的作用。退火在氩中进行，一般溫度約在 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，時間約为 $5\sim 10$ 分鐘。由于現在整个柵極是处在同一退火溫度下，退火的溫度必須适当，它往往取决于边杆材料。例如鎳边杆的柵極退火溫度要高些，銅边杆的柵極退火溫度就要低些等。

(六) 矯直

边杆經過切柵后一定又有些撓曲了，为使柵極形状完全合格，須先将边杆弄直。为了弄直边杆，往往将柵極套在模子上，上下为带有凹槽的压模，如圖 9-21 所示。然后施力压下即可将边杆矯直。

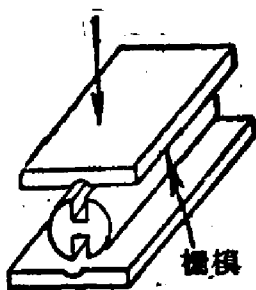


圖9-21 柵極边杆矯直模。

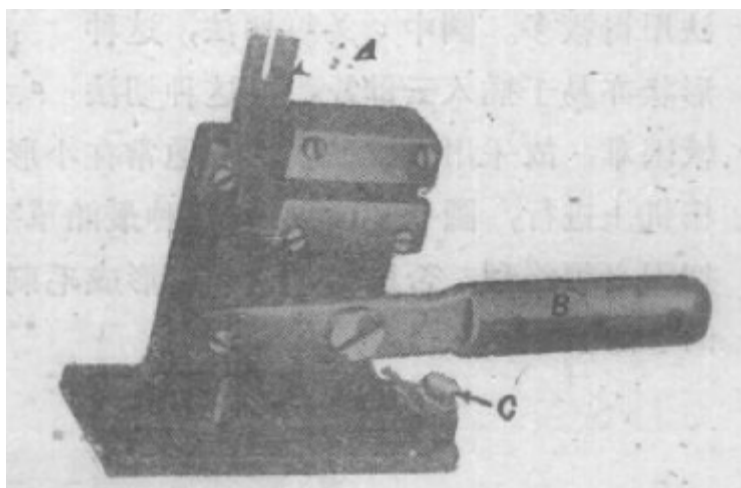


圖9-22 撐柵机。

(七) 撐柵

在繞柵时，很可能因为柵極的張力及繞得紧松不一，就使边杆中心距离或幅寬不完全符合要求。为了修正柵圈，必需进行撐柵。撐柵在特制的撐柵机上进行，圖 9-22 上所示的就是撐柵机的外形。从圖上可以很清楚的看到，当柵極套入模后，按下手柄就可使中心杆上升而撐开两旁模片，使模子紧貼于柵極。于是柵極便最后成形了。当然也不是所有柵極都是这样最后定形的。有些形状很扁的柵極，其幅寬較之边杆直徑大得很少，例如象 $2H1\Pi$ 管的柵極等，就不能用一般方法撐柵，而以用特殊方法进行定形。

(八) 檢驗

柵極制成后，須對它進行嚴格的檢驗，以保證電子管的質量。常須檢驗的計有：1. 外形是否正確，主要是柵極短半徑尺寸。2. 表面是否清潔，有無纖維及氧化。3. 節距是否均勻。4. 是否有斷絲及亂絲。5. 邊杆是否在同一平面，端部有否毛刺。6. 整個柵極在投影放大鏡下是否呈撓曲等。

當然上述的工序並不是所有柵極都須進行的，而且隨着柵極類別的差異，以及要求而定。例如有時清潔處理在切柵前進行。又例如有些柵極需在繞柵後進行電鍍或塗鍍等，但是無論如何工序的排列都必須符合工藝的原則，只有這樣才能在保證質量的前提下降低生產成本。

至於應用於在功率振蕩管及超高頻電子管中的柵極，在製造上又有所差別：大功率振蕩管柵極形狀呈圓柱形，它無須繞柵，往往是焊接而成的；超高頻電子管的柵極通常呈平面形網狀，也無須繞柵，往往是由金屬絲所編織成，然後再焊上框圈而成。

而框狀柵極的製造，則往往是先將細鎢絲繞在鋁框上，然後用金將柵圈焊在柵框上而成。

第十章 阳極制造

§ 10-1 阳極的結構及其所用材料

在电子管中，阳極是一个作为接受电子的元件。因此由于它受高速电子的撞击，以及加上阴極和栅極的热辐射，所以阳極在工作时常处于較高的温度。为此在设计阳極結構以及选用阳極材料时，均必須考虑到这重要因素。保证在阳極工作时，阳極的辐射热不致影响阴極温度的升高以及不超过阳極材料的最大允許工作温度。

电子管阳極，根据阳極散热方式的不同，可分自然冷却阳極和强迫冷却阳極两大类：

(一) 自然冷却的阳極

这类阳極大都为中小型电子管的阳極，其热負荷一般均低于 $10\sim 15$ 瓦/厘米²，工作时主要靠本身的热辐射来發散热量以降低阳極温度。这类阳極的結構形式有如圖 10-1 所示各种形状。为了制造和去气方

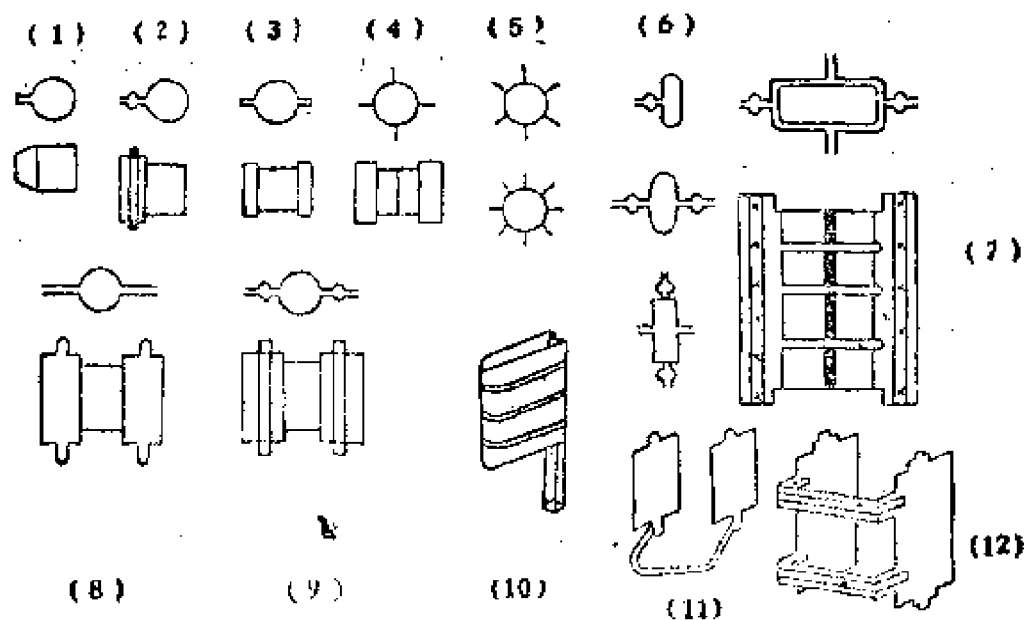


圖10-1 各种阳極形状。

便起見，這類陽極大都用金屬片料所制成，如一般接收放大管的陽極是用厚為 $0.1 \sim 0.2$ 毫米的鋁片（或鍍鋅鐵）所沖成，因此當製造陽極的尺寸較大時，往往在陽極高溫時嫌其機械強度不夠，以致會產生變形的危險，所以在設計尺寸較大的陽極時，陽極的表面常作有筋紋，以增強機械強度。陽極的結構形式除決定於與管子的參量有關的幾何形狀外（圓形，矩形，橢圓形或其他等），還需考慮到陽極支撐的方式，一般陽極的支撐方式有如圖 10-2 所示。圖中（1）所示的即在陽極的兩邊（或一邊）延伸一部分以將邊杆焊入作為支撐電極用；而某些陽極則依靠陽極上或陽極的延伸部分突出的小舌和云母片相固結，裝架時將小舌插入云母片孔中，並將小舌彎折固定在云母片上，如圖

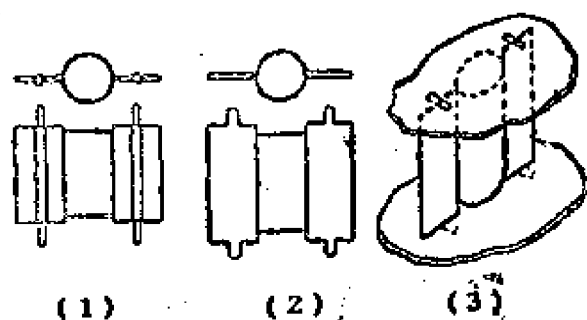


圖 10-2

中（2）所示。還需指出，由於陽極是包圍着陰極和柵極，且上下用絕緣片固定，因此裝架後的陽極，必須考慮到保留足夠大空隙，以使陰極在分解或去氣時所放出的氣體能很好地被抽去。為此，一般陽極的上下端和云母片相接觸處常作凹形以留空隙，如圖中（2）所示（有時這樣還可降低在云母片上的極間漏電），或把陽極在裝架時兩端不緊靠云母片。這可在裝架時達到。

一般接收放大管都為氧化物陰極的电子管，對於這類氧化物陰極电子管的陽極，要求在工作時的最高溫度不能超過 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，否則會引起陰極過熱。有時陽極僅依靠陽極本身及其作為支撐用的延伸部分的面积散熱還不夠時，往往還將陽極再設計有散熱部分，如圖中（1）所示。但一般接收放大管的陽極，通常總不希望設計有散熱片，因為這樣會增加沖制時的麻煩，何況這散熱部分不能作得太大，否則將影響整個管子尺寸的增大。因此在电子管製造上除了採取增加陽極散熱面积來降低陽極溫度外，還採取了增高陽極表面輻射系數的方法來借以提高散熱功率。為此採取了各種黑化表面的方法，例如將鋁或鍍銀

鉄进行碳化、氧化、塗石墨以及采用复鋁鉄等。有时还用噴砂的方法，将表面粗化，来增加阳極的有效面积，这样亦同样提高了輻射功率，在圖 10-3 中列出了各种黑化后的阳極或噴砂后的阳極的輻射功率。

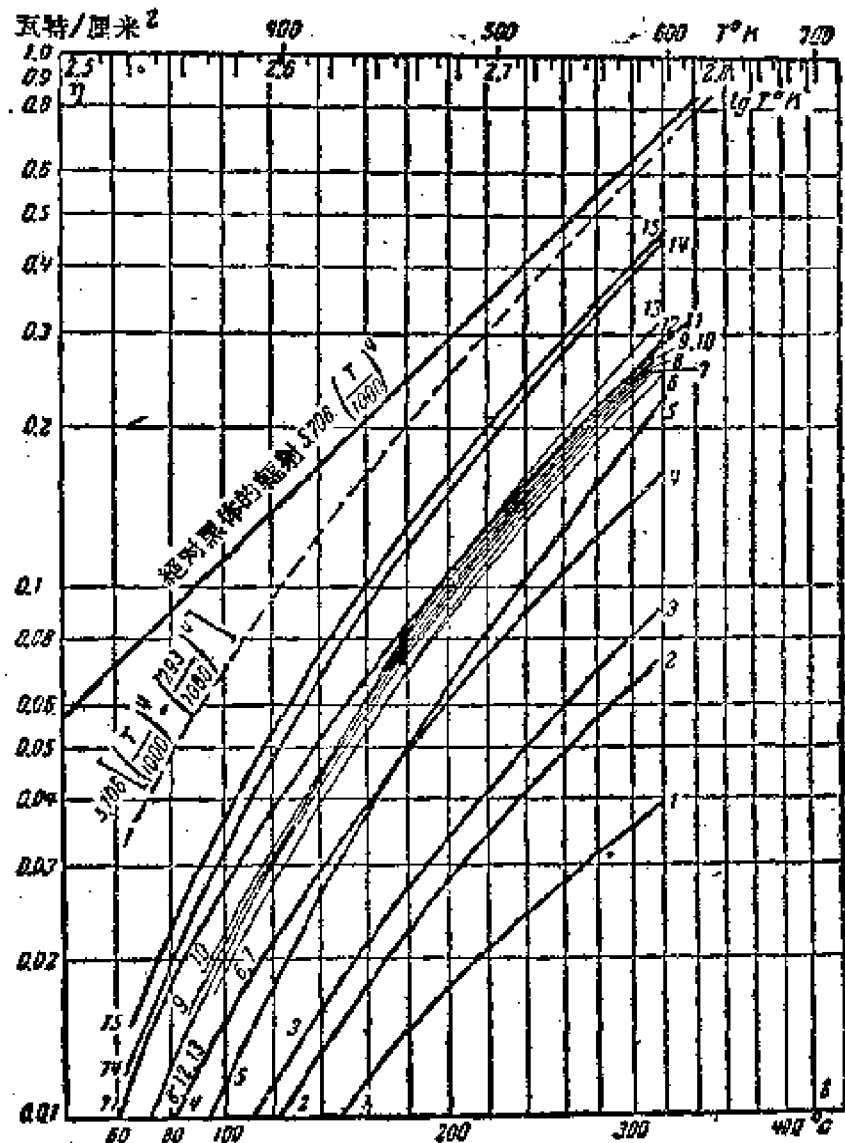


圖10-3 用各种黑化方法所得表面的輻射功率:

1—純鋁；2—鍍鋁鉄皮；3—用酸浸蝕粗化的鍍鋁鉄；4—噴砂粗化的鍍鋁鉄；5—氧化的鋁；6—經過磨光的塗石墨的鋁；7—塗石墨的鍍鋁鉄；8—塗石墨氧化过的鋁；9—塗石墨的鋁；10—經過磨光的塗石墨的鍍鋁鉄；11—經過酸浸蝕的并塗有石墨的鍍鋁鉄；12—經過噴砂的塗石墨的鍍鋁鉄；13—酸浸蝕后的黑化鍍鋁鉄；14—碳化的氧化鋁；15—噴砂粗化并塗石墨的鍍鋁鉄。

由此可見，經過表面黑化后的阳極，其輻射功率可大大提高。目前在接收放大管中，以黑化来提高阳極的發散功率已被認為是唯一的

方法, 因为这样不会无謂增大管子尺寸。还需指出, 阳極的黑化目的是把阳極热量輻射出去, 因此黑化一般总希望仅黑化外表面 (只有当要避免阳極發射电子时, 才有需要内外表面均黑化), 因为如果阳極内表面發散較大的輻射热, 会使阴極产生过热的现象 (特別在間热式整流二極管中)。但实际上只有在用噴塗法进行黑化时才易做到这点, 一般采用在气体中进行黑化或用复鋁鉄时, 黑化后总是内外面都黑化了的。

片状阳極的結構可以由一整塊的金屬片所制成, 亦可由两个半阳極所組合而成, 如用两半阳極組合时, 則可用点焊或机械方法 (鉚接) 固結起来。当用点焊进行固結时, 如果所用的阳極材料为碳化的鎳或鍍鎳鉄, 則往往由于不易将支杆縫或阳極孔內的碳灰刷淨, 因而增加了点焊的困难。这时常用两个半阳極較好; 但是如阳極材料用不經碳化的鎳、复鋁鉄或用在連續碳化爐內所碳化的鎳皮, 則此时阳極应尽可能設計为由一整塊金屬片所制成。因为这样可簡化阳極的制造工序。

工作于高頻率的电子管阳極, 为了降低極間电容 C_{g1a} , 常将阳極面积尽可能的减少, 如圖 10-1 右下角的两个阳極 (11, 12) 所示。

至于鈷鎢絲阴極的阳極, 要求工作时阳極的最高溫度不得超过 1000°C , 这时阳極最好用鉍来制造, 因为鉍在 1000°C 左右吸气能力最大, 正由于鉍的吸气特性, 所以在設計鉍阳極时, 必須保証在工作时阳極能达到这样高的溫度。它的热負荷能达 10 瓦/厘米², 这是設計其他材料的阳極所不同的地方。因此鉍阳極常不需另在表面塗复其他輻射系数較高的物質, 或加添散热片。

石墨阳極主要应用于热負荷較大的电子管中, 如中型振蕩管以及

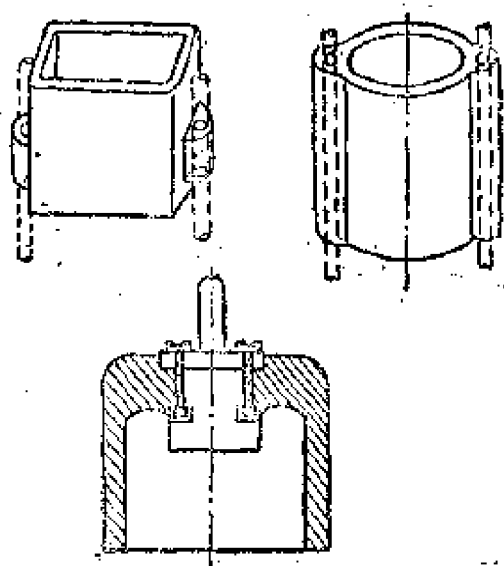


圖10-1 石墨阳極。

水銀充氣管中。但由於石墨陽極的機械加工複雜，強度又小，不能點焊，因此固結也較困難。在設計石墨陽極的時候，應使陽極結構尽可能簡單為原則，且為了固結陽極，常需使陽極零件設計有小耳或螺紋，如圖 10-4 所示，以便與支杆相固結。有時為了提高管內真空度，還在石墨陽極外塗鍍。

用來製造這一類的陽極材料有：

(1) 鎳及鍍鎳鉄 一般無線電接收放大管、小型振蕩管以及其他多種氣體放電管中，大多採用鎳製造陽極。這是因為鎳有良好的機械加工和焊接性能，因而可以制成任意結構的陽極。但是，鎳的缺點是輻射率較低。

作為陽極材料的鎳由於功用的不同，和作為陰極的鎳相比較，可以允許多含一些錳（Mn 達 0.3%），但是較多錳的含量也是不好的，因為這樣將引起下面兩個後果：

- 1) 在真空中加熱時，鎳的蒸發會增加。
- 2) 黑化陽極時，會顯得困難。

除了錳的含量不能過多外，製造陽極的鎳其含銅量亦不能過多。銅的存在大大地增加鎳的蒸發。此外，其含鋅量，也應該很少，這是因為陽極表面大，其溫度也相當高，它的溫度比鋅在真空中開始顯著蒸發的溫度還高（在真空中鋅的顯著蒸發溫度為 200°C ），所以鋅的存在將引起顯著蒸發。必須使鋅的含量規定在 0.007% 以下，常常規定了這樣還不能避免鋅的蒸發。

鎳的價格並不便宜，而且象我國目前產鎳很少，因此可用鍍鎳鉄皮來代替鎳。它的輻射系數比純鎳稍大一些，但在去氣速度上，機械性質上都不如鎳，特別當加熱超過 900°C 時，用它制成的零件就發生彎曲，因此它的应用受到了限制。但最近我國已發現有大量的鎳礦，今後我國鎳的產量一定很多。

(2) 敷鋁鉄和敷鋁鎳 敷鋁鉄是一種很好的代鎳材料，尤在缺少鎳的情況下应用它，具有更大的實際意義。這種材料是在鉄皮的兩面均復上一層鋁而制成的，所用的鋁和鉄必需高度純，然後用熱軋法

軋成所需的厚度。軋制后的敷鋁鐵皮，鋁層厚度約為 10~20 微米，其鐵的結晶變為纖維狀結構；因此性質變硬，不易加工。為了改善鐵的機械性能，需將它在 $535 \pm 5^\circ\text{C}$ 的溫度下進行退火，退火溫度必需嚴格控制，時間約 5~8 小時。敷鋁鐵經過退火后，還具有吸收氣體的性能（特別是氧）；並且放氣亦較碳化的鎳和鉬為少。這種材料當其在真空中或氫氣中加熱到 800°C 時，由於鐵擴散到被復的鋁層中，與鋁發生作用生成暗黑色的物質（可能是 FeAl_3 ），其輻射系數很高（在 607°C 時為 0.858），發散功率約為 1.7 瓦/厘米^2 。應當指出，鋁不僅與鐵作用后会呈黑色，其他金屬如與鎳或鉬作用后也同樣也變黑色。

採用發鋁鐵，不僅省去了高價的黑化工序，且去氣性能亦較純鎳好。實驗證明，在接收放大管和小功率振蕩中以敷鋁鐵代替碳化的鎳或鉬后其質量都有提高，特性參量亦較穩定，電子管壽命也有延長。此外敷鋁鐵還可代替石墨陽極，並且代替后，排氣時間還可縮短。

但由於這種材料目前生產時間尚不長，在大量生產中的工藝尚未完全掌握，因此在製造過程中還存在一些問題，如這種材料的可塑性比一般鎳要差（尤其在不正確的退火溫度時更為顯著），因而在沖制較深零件時，常會發現鋁層的裂開和剝落；並且敷鋁的点焊性能也較差。在点焊時，常會使零件燒毀或焊接不牢的廢品；或在焊接外濺出熔化的金屬。此外，這種材料因有鋁故不能用三氯化乙烯進行清洗，一般可在汽油和酒精的混合溶液中清洗或在丙酮中進行清洗。

（3）鉬 由於鉬難熔，機械强度高和其他性能，它以前用來製造發射管的陽極。因為在這類管子中陽極的溫度通常達到很高，在高溫下要求不變形，這一點鉬能很好地滿足。按化學成分，鉬通常也能滿足技術要求，鉬常見的缺陷為分層，以及即使在變形不大時也會出現裂紋。這是由於鉬是纖維狀的結構，纖維間結合不強，如果加工不適當，常會出現上述缺陷。

此外，鉬制零件較難去氣，而且特別令人討厭的是鉬的焊接性非常差，因此通常必須用機械縫合或用鉚釘來連接。這樣結合的零件不能用化學或電化學的方法淨化。因為這些清洗或浸蝕的溶液流到縫

中，以后很难再除去，这样以后就成为放气或腐蝕鉍的根源。因此在制造結合的鉍零件时要求特別清潔，不得用任何潤滑剂，也不允許手摸金屬。所以，現在已很少用鉍制造阳極了。

(4) 鉍 鉍广泛用于制造振蕩管的阳極。它的优点很多。例如熔化温度高，蒸汽压力低。鉍还比較容易机械加工，可以制成結構堅实的阳極。并可在保护溶液中使用点焊法，而且鉍还有吸气性能。鉍开始显著吸气在 700°C 附近，在 1000°C 时达到最大值，而当温度高于 1300°C 时，鉍又重新放出吸收的气体。因此最好使鉍工作温度在 $700\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 范围内。但鉍的价格昂貴。

由于鉍的輻射系数很小，为了增加它的發散功率，常用噴砂粗化表面的方法，这时所用砂粒应用鋼砂进行，因为鋼砂易用盐酸清洗掉，切不能用石英砂，这是由于清洗石英砂需用氢氟酸来进行，而氢氟酸虽与鉍作用不大，但因浸蝕石英砂时要放出原子氢，于是鉍就吸收，使鉍的机械性質变脆。

已經知道鉍不能在氢气中进行热处理，因为这样会使鉍变脆，甚至使鉍变为粉末，因此有时我們在收集廢鉍时常用这一性質，将鉍变为粉末后以便另作他用。

(5) 石墨 在中型功率振蕩管中，特別在水銀充气管中常使用石墨作为阳極材料，石墨比其他金屬材料有很多的优点。例如石墨有的熔化温度很高或更恰当的說有很高的升华温度（大約为 $3600\sim 3900^{\circ}\text{C}$ ）。石墨的輻射系数亦很大，大約在 1500°C 最大工作温度下，它的耗散值达 60 瓦/厘米^2 。由于石墨阳極壁制造得很厚，阳極可以經受相当大的过载而沒有熔化的危險。受热时也不会弯曲变形，尺寸可以很准确。此外，石墨还具有吸气特性。石墨的蒸汽压很小，这就消除了泡壳上和管内絕緣零件上沉积一層薄薄导电膜的危險。石墨的另一个特殊优点是它不与水銀起作用，因而可用于水銀充气管中。但是石墨也有着缺点，它的缺点是机械加工复杂，机械强度差（特別在薄处），有分層現象，并且它不能点焊、連接困难等。此外，在石墨中往往含有灰分，灰分容易引起逆弧，因为灰粉主要是鹼金屬及鹼土

金屬的氧化物，它会使石墨表面逸出功降低。石墨的去气也很困难。由于其他多孔性也就不能用任何溶剂来去油脂。为此石墨的使用范围仍然受到一定的限制。

(二) 强迫冷却的阳极

这类阳极大都为功率大于 1 瓩以上的大功率电子管的阳极。因此阳极耗散功率亦甚大。为了提高阳极单位面积的發散功率，工作时阳极依靠冷水或空气来进行冷却，因此它的热負荷可提高到 $15 \sim 35$ 瓦/厘米²。

水冷却的阳极结构如图 10-5 所示。由于这种阳极，它同时也是电子管管壳的一部分，因此作为这种阳极的材料，除了要能与玻璃封接外，还应该具有良好的导热性和气密性，一般常用无氧铜来制造。在阳极靠近与玻璃封接的地方，焊有一凸出的法兰盘，以便阳极搁置在水套中，或支持散热器（在风冷管中），并亦作为阳极的引线。

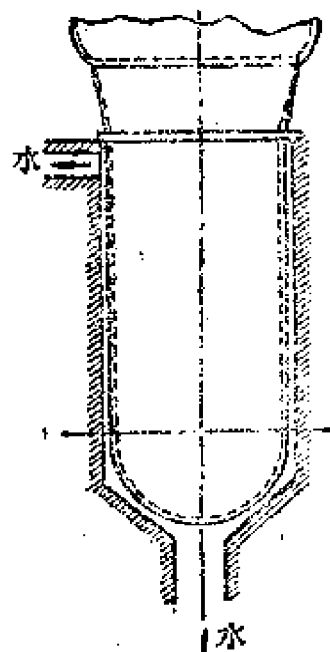


圖10-5 水冷管阳极。

风冷却的阳极，则借外加的散热片用風扇来冷却散热片及阳极。此外，在發散功率不大的电子管中，亦有用周圍的空气作自然冷却的。散热器的形式有如圖 10-6 所示，它要求用导热率高的材料铜制成，有时希望重量輕也有用鋁制的。在设计 and 制造风冷管的阳极时，为生产簡化起見，常即在水冷管的阳极外加焊一散热器即成，这类电子管的阳极外形如图 10-7 所示。散热器的工作面积一般是愈大愈好，这可由增加散热器的片数、散热片长度和散热器的直径来达到；但散热器的片数过多是无益的，因为这时两片之间的空隙将降小，使热量散逸的效率降低。而散热器直径或散热片的增加太大，同样亦是不适宜的，因为这样除了增加散热器的重量外，在距离阳极較远的那部分散热片，由于温度較低，对降低阳极温度的作用已很小了。

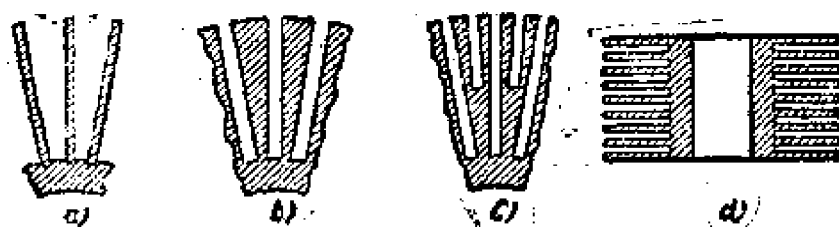


圖10-6 散热器形式。

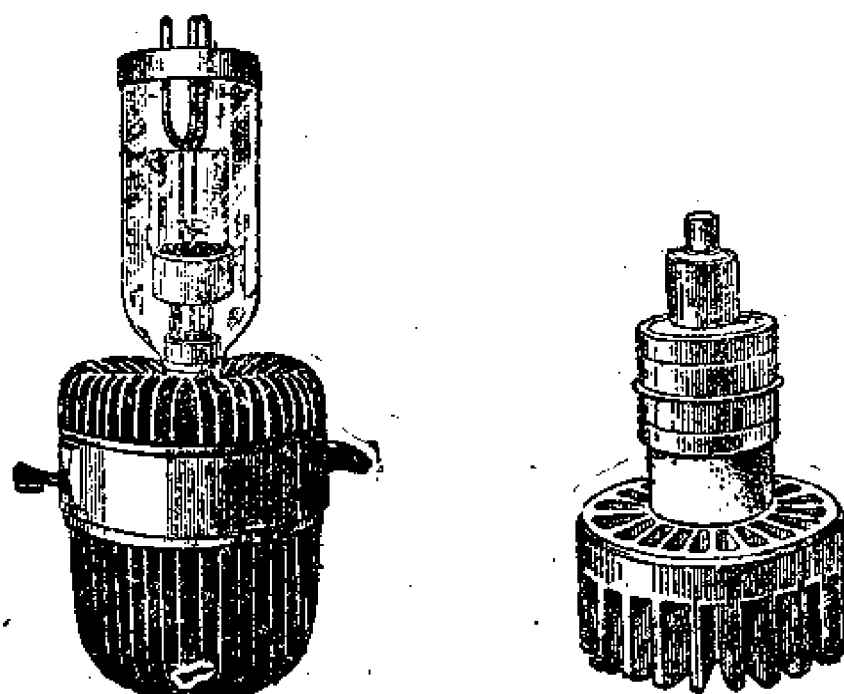


圖10-7 振蕩管裝有輻射器的陽極。

为了保护外阳極散热器不受空气的浸蝕，以及提高散热片的輻射系数起見，需在散热器上塗以黑漆。

用来制造这一类阳極的材料主要为：

(1) 銅 銅的导热率大，韌性高，气密性好，因此它适宜于做强迫冷却的阳極。用来制造这类阳極的銅，要求純度很高，最好用无氧良导銅，或用电解銅 (M-1)。要求銅在 99.9% 以上，磷的含量不得大于 0.003%，砷的含量不能超过 0.002%，氧的含量应小于 0.04%。鋅的含量不得大于 0.003%。

由于銅的熔点低，蒸汽高，因此銅阳極的工作溫度不能超过 400°C 。

銅的膨脹系数很大，为了与玻璃封接后不致产生危险的应力，常

将与玻璃封接的边缘做得很薄，因此这种铜阳极在封接处的机械强度总是较差的。

(2) 古伐及铁铬合金 古伐（铁镍钴合金）及铁铬合金由于它的膨胀系数和硬玻璃相接近，因此它们亦可作为强迫冷却的阳极。用这种金属时，在封接处由于不必将阳极制得很薄，所以机械强度较好，但由于这种金属的导热率低，所以用这种材料作阳极时，它的壁厚一定要减小些。为此有时就用这种金属作为铜阳极和玻璃封接时的中间金属，它能与玻璃很好地熔封，亦能与铜用腊焊（银或银铜合金）焊接起来。这样，在铜阳极与玻璃封接处的强度便可大大提高。

§10-2 自然冷却阳极的制造

这类阳极大多数采用金属片料制成，因此均为冷冲压加工所得。用冷冲压制造阳极时，一般可分为三个步骤，即冲裁、弯形和成形。但有些形状简单的阳极，也可以在冲裁后直接冲制成形，例如图 10-8 所示的阳极可以用图 10-9 上所示的模子冲制成形，而图 10-10 的阳极，则需要经过冲裁、弯形和成形的过程，如图 10-11 所示。

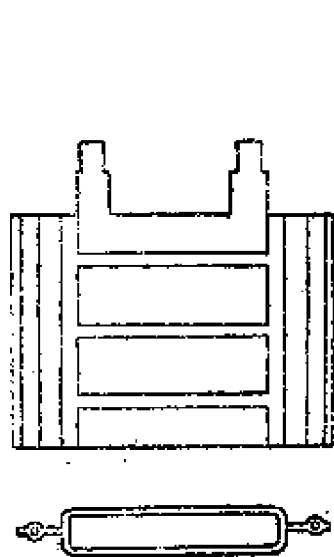


图 10-8

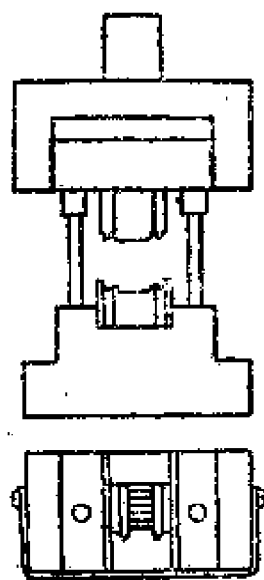


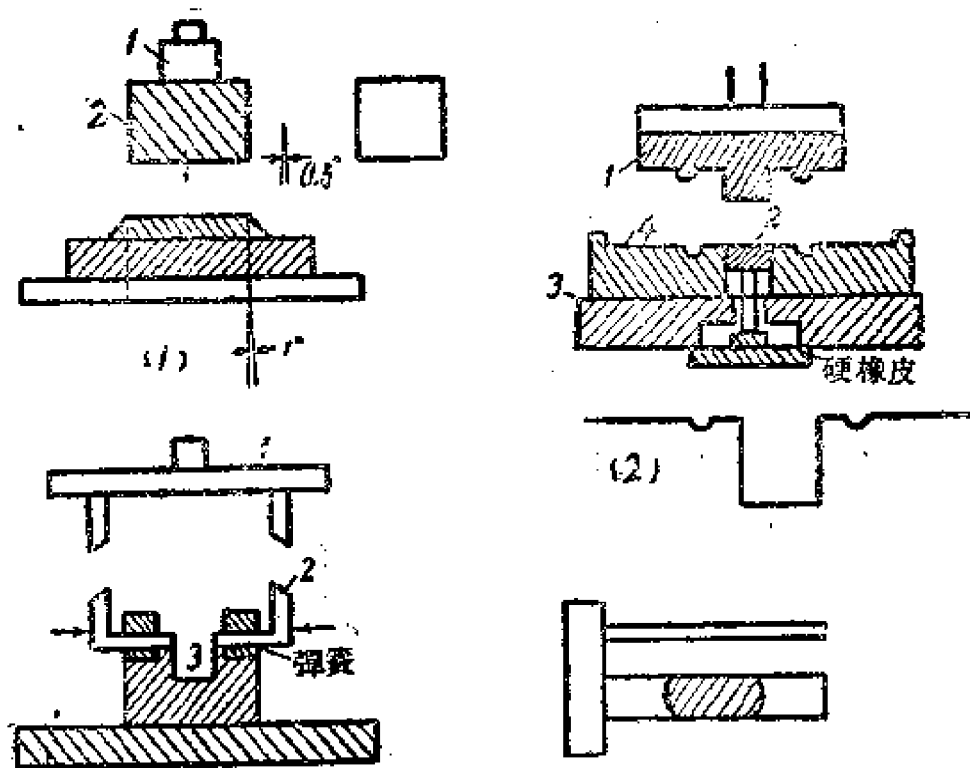
图 10-9



图10-10 直热式整流管阳极。

目前对于小型接收放大管的阳极或其他零件，由于所用材料厚度较薄，故可在万能自动弯曲机上进行。这种机器的工作原理已在 § 2-

3 中叙述。



(3) 圖10-11 冲模圖:

1—冲裁模; 2—弯形模; 3—成形模。

阳極成形后, 然后进行淨化。主要为去除油脂(如第三章中所述方法), 如果阳極需进行碳化的, 則淨化后就可进行碳化。阳極碳化能提高阳極的輻射率, 且碳具有較高的逸出功及低的二次电子發射系数, 因此碳化还带来了附加的好处。但是碳化后亦会可能引起下列不良的情况:

- 1) 气体逸出量可能增多。
- 2) 零件去气温度被限止得不能过高, 否則可能發生掉碳現象。
- 3) 如果零件上的碳落到电極間, 可能造成电極短路。
- 4) 碳化后的零件点焊較难。

碳化后的阳極一般要在热的蒸餾水中煮一下, 以去除表面的油脂碳垢等杂质。或用金屬絲刷光輪刷去表面的碳灰, 殘余的碳垢等。对于發散功率要求較大的阳極, 在碳化后还須再經噴砂粗化表面。

用鋮、鋮制造阳極时, 它的基本过程与上述相类似, 但在某些工

序上有些不同。例如为了增加它們的輻射率往往采用粗化或塗鋅而不采用碳化；这是因为碳化的零件不能在高温下运用，因它受到高速的电子轟击后，便会其放出气体。鋁陽極的淨化及退火可用普通方法进行，但因为鋁具有吸气性能，因此，鋁陽極必須在真空中退火。鋁陽極常借噴砂来粗化表面，以增加有效散热面积，但在噴砂时所用的砂應該用鋼砂而不用石英砂。鋁陽極在制造时，由于鋁难于点焊，因此只能用鉚合或机械縫合的方法。为了增加鋁陽極的輻射能力，可以在陽極上塗鋅，鋅在真空中燒結后，就呈暗灰色，視被复的粗糙程度，其輻射系数可达 $0.5 \sim 0.65$ 。此外由于鋅具有吸气性，故还能增进管内的真空度。

为了塗鋅牢固起見，塗鋅分两步进行，首先在陽極形状上噴塗一層摻有粘結剂的鋁粉粗化表面，然后再在鋁底上复一層鋅，其方法如下：

1. 塗鋁底層：在塗敷鋁底層时，粘結剂是由硝化纖維溶于乙酸戊脂所組成，在通風櫃中用噴槍进行噴塗。噴塗后将陽極放在 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 干燥箱中干燥 15 分鐘，干燥后再在氩气爐中退火，溫度約为 $1200 \sim 1250^{\circ}\text{C}$ ，这时鋁粉与陽極材料燒結在一起，得到清潔粗糙的表面。

2. 塗鋅層：將已被复鋁層的陽極在热蒸餾水中及酒精中清洗，干燥后用噴槍进行噴鋅，其裝置如圖 10-12 所示，因鋅易爆炸，故噴槍需用玻璃制造，而不得用金屬制的噴槍。噴鋅悬濁液中粘結剂是由硝化纖維溶在乙酸戊脂和二乙基草脂中而成，而悬濁液是由純鋅粉与粘結剂以 1:2 的比例配制而成。被复后，陽極予以干燥，并在 $900 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 的溫度下于

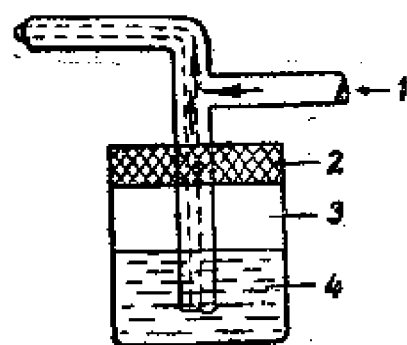


圖10-12 塗鋅噴射器：

1—空气；2—橡皮塞；3—噴槍
貯藏器；4—鋅悬濁液。

真空爐中进行燒結，真空爐的溫度逐漸升高，以便使抽气机能及时抽去陽極所放出的气体，否則鋅層有被氧化的危險，并失去了吸气性能。必須注意，因为鋅很活潑易爆炸，在氧化时即使在 200°C 就会产

生猛烈的爆炸，所以在进行塗鋅时必须注意安全，并严格遵守操作规程。

在中型振荡管中和中大功率的水银充气管中还广泛使用石墨阳极。由于石墨脆性大，故石墨阳极壁一般较厚；其外形如图 10-4 所示。石墨阳极不能冲制或挤压，它在金属切削车床上进行加工，以得到所需的形状。又由于它不能焊接，所以还须在阳极旁侧制成支杆小耳。在加工石墨阳极时，不能采用任何润滑剂。石墨阳极在装入管内前必须进行额外加工。首先将几个阳极叠加在一起，放在空气中用高频电流加热，使温度升高到红热（ $1000\sim 1500^{\circ}\text{C}$ ）。这一工序目的在于烧掉杂质、灰塵和在制造阳极时落入的各种磷物。但在进行这一工序时，应该小心不能使时间过长（一般为 $20\sim 30$ 秒），以免石墨阳极呈现较大脆性。加热前和加热后，阳极的内外面应用硬毛刷刷，有时在加热后再抛光，以得到清洁及光滑之表面。此后，阳极在真空中去气。石墨阳极在真空中去气的温度大约为 $1500\sim 1800^{\circ}\text{C}$ ，去气时间约为 8 小时。实际上有时只需在 $1200\sim 1300^{\circ}\text{C}$ 温度下去气 $1\sim 2$ 小时，其结果已足够满意。此后，如果阳极不需塗鋅的话，便可直接送往装架。如果工作时阳极热负荷较大，则还需进行塗鋅。塗鋅过程与前述相仿佛，但在石墨阳极塗鋅时不需要在阳极上预先被复镍底层；同时其烧结温度要略高些，约在 1300°C 左右。

在倫琴管中，阳极是用鑄造連接法制成的。这种阳极系由两部分材料所組成。因为处于高速电子轟击下，所以温度极高，故需用高熔点材料鎢制成。但是鎢的导热性不够好，而且鎢不能加工得很薄来与玻璃相熔封。因此在制造时，鎢必须嵌在銅鉈中，由銅来担负导热和与玻璃相熔封的作用。在制造这种阳极时，先将鎢鏡放在硝石溶液中浸蝕以净化表面，再在真空中进行退火。经过这样处理后的鎢鏡，就可以安置在石墨坩堝或鉄制坩堝的底部，并在其上放置潔淨的銅塊。将此坩堝置于真空爐內，并加热使銅塊熔化（爐內真空度应不低于 10^{-3} 毫米水銀柱）。由于冷却后，銅鉈上部可能出现龟裂现象，因此熔化时銅的高度应比实际阳极头高上 $2\sim 2.5$ 倍，并且在冷却时要自

下而上慢慢进行，一般这整个过程需要几个小时左右。此外，为减少龟裂及排除在鎢鏡周圍出現气泡的可能，冷却时，坩堝应放在离心机上不断旋轉。这样，得出的制品就会比較堅实。从坩堝內取出制品后，还要在旋床上进行加工，使阳極表面很光滑，并且将銅棒車成中空，便于以后通水冷却。

§10-3 强迫冷却式阳極的制造

强迫冷却式的阳極主要的为銅制的外阳極。它的制造过程是先利用銅板在冲床上进行压延，如圖 2-29 所示。在每次进行下一次压延时，須将毛坯上的潤滑剂洗去，以便进行退火。为方便起见，退火常在空气中进行，以恢复可塑性准备下一次的压延。退火后表面所形成的氧化物用等量硫酸和硝酸的混合液浸蝕掉，这样重复压延直至形成所需要的筒状尺寸为止。压延后的銅阳極在車床上加工成一定的直径。然后在其上端用鑲焊焊上法兰盘。并且为了能与玻璃进行非匹配的封接，在阳極的敞口端車成一定的斜度，最后再在車床上用滾輪将其边缘压薄。经过这样的压薄后，銅阳極的边缘就变得很柔韧，以致能与任何膨胀系数的玻璃相封接而不会在玻璃中形成危险的应力。

但这样的封接，由于封接处銅已很薄，因此封接的机械强度不良，近来已有采用鉄鉻合金来代替銅的，因为鉄鉻合金的膨胀系数和硬玻璃的膨胀系数很接近；因此它在与玻璃封接处的边缘不必制得很薄，所以封接处的机械强度较高。与此同理，有时就用这种鉄鉻合金作为銅与玻璃封接的过渡环，而阳極本身仍用銅，这样就消除了用鉄鉻合金作阳極导热不良的缺点，同时也解决了銅封接处机械强度不够的缺点。

如果是風冷管的阳極，那末以后还要再套上散热器，或在阳極的制造过程中在它的外表面上旋以小槽，然后在其槽上焊以散热片。散热器与阳極的固結，都是采用鑲焊焊住，并保証散热器与阳極有很好的接触。焊料一般用軟鑲，如錫、鎳或銀銅合金。焊接則在真空中用高频加热进行，或在真空爐內进行。

散热器的制造一般是将整塊的銅用机械加工制成（旋或鏜），有时为了避免在加工时金屬产生大量的廢料，則将其先鑄造一定的形状，然后再进行加工，或是采用單独片状的散热片。近来为了降低散热器的重量，在金屬陶瓷管中有采用鋁作散热器的，但这时散热器与阳極的固結不能用焊接而只能用螺紋的結合。

至于在超高頻强功率振荡管中，例如在磁控管阳極，常为多孔的諧振腔形式。这一种阳極成形往往需要鑽床加工，然后再在外面焊上散热片完成之。

第十一章 引出綫的制造

§11-1 引出綫的作用及其材料

任何电子管它均是一密封的器件，而电子管的工作，又必須和外界要有电的联系，为此在电子管的管壳上（大多数为心柱部分），总是封有引出綫，使内部电极有导綫延伸于管外以便能和外电路相接。

延伸于管外的一部分引出綫，往往是軟綫，在接收放大管中为了便于应用起見，就在引出綫上装以硬的接綫脚（如管帽或管基），也有的是用硬綫，在这种情况下，一般就不需要另装管帽或管基，而直接就可插入电路的管座中应用。

因此作为电子管引出綫的材料，需有下列要求：

- （一）引出綫材料表面最好能与玻璃（或陶瓷）有相同或接近的热膨胀系数。使封接后，不致使玻璃产生应力。
- （二）引出綫的表面最好能与玻璃相粘合，以保証气密性。
- （三）引出綫材料应有足够的熔点（高于玻璃工作温度）。
- （四）引出綫材料的导电率及导热率应高。
- （五）对某些管子的引出綫（兼作管之插脚的）还需有足够大的机械强度。

能滿足于引出綫要求的材料有下列几种：

鎢，杜美絲，鎳絲、銅絲、鉄鎳鉻、鉄鉻、鎢及鉬等。至于这些金屬的詳細性質，我們将在 § 15-2 节中进行叙述。

§11-2 引出綫的結構形式

根据各种电真空器件的結構形式，引出綫的形式約有下列几种：

- （1）三节引綫 鎳絲——杜美絲——銅絲。

这种引出綫如图 11-1, a 所示。上端用鎳絲，这部分以后存在管

子内部，因而要求这部分有一定的机械强度，以支撑电极或引导电流，且易点焊，便于装架，故常用镍。有时为了熔接时不易氧化和变脆，则用含有3% 锰的镍。

中间部分材料为杜美丝部分。这部分以后封于玻璃中，以便能与玻璃很好密封，故用杜美丝。

下面部分铜丝。这部分以后是留在管子外部作连接线用。要求导电性好，且有一定的柔软性，故常用铜丝。这种三节引线常用于收音管的梳形心柱中。

(2) 二节引线 钨杆（或钼杆）——绞铜丝。

这种引线如图 11-2 所示。上端为钨杆（或钼杆）。由于钨或钼能与硬玻璃封接，且机械强度在高温时亦很好，故这部分导线一方面是以后作支撑电极用（或引导电流），另一方面亦封于玻璃中，而下面一段则由于这类心柱往往流过电流较大，考虑其导线的柔软性，故采用多股绞铜丝。这类引线常用于发讯管的梳形心柱中。

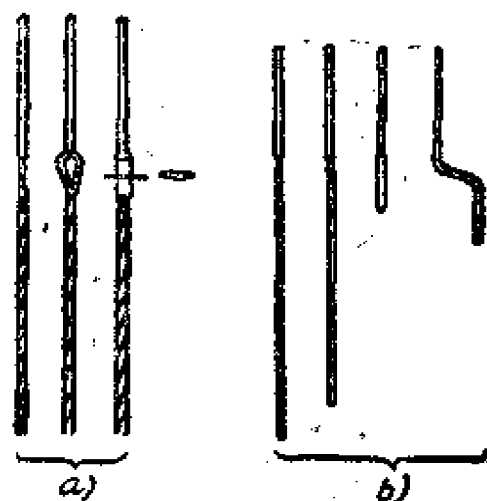


圖 11-1
a — 三节引线 b — 二节引线。

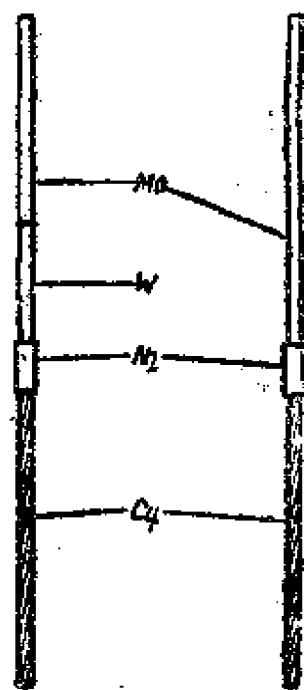


圖11-2 二节引线。

杜美丝——镍丝。

这种引线如图 11-1, b, 11-3, a 上面这部分是杜美丝，它亦与钨杆——绞铜丝中的钨杆作用一样，一方面与玻璃封接，另一方面亦

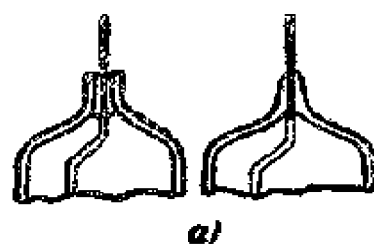
作支撐電極之用。但一般由于杜美絲的直徑不能過大，故機械強度較差；僅能用于小型管中。下面這部分引出綫以后留在管外，且又作管腳之用（這種電子管不裝管基）故要求很堅硬因而用鎳。這種引出綫常用于小型管平板形心柱中。

（3）單節引出綫 鎢杆或銅杆。

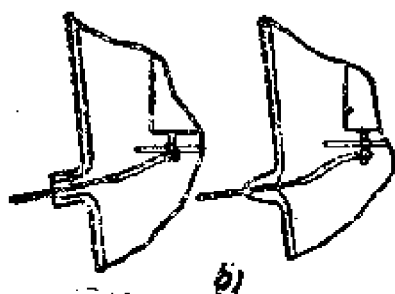
這種引出綫如圖 11-3、b 所示。常用于中小型發訊管的平板形心柱中，整根引出綫由一種材料構成，即支撐電極，又與玻璃封接亦作管腳之用。故在引出綫一端切為錐形，以方便插入管座。

鎳鉻鐵合金。

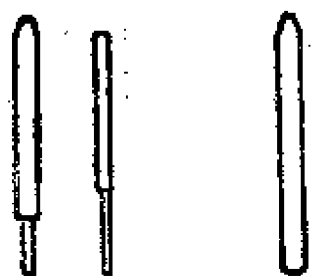
在中小型發訊管中往往玻殼和芯柱采用硬玻璃，故引出綫能用鎢或銅，而在收訊管中管殼和芯柱常用



a)



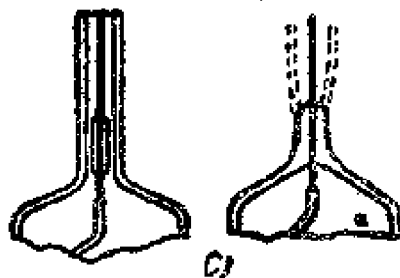
b)



(a)

(b)

圖 11-3



a)

圖 11-4

軟玻璃，則需另采用一種金屬，要求它能與軟玻璃封接，且又有一定的機械強度，故設計了鎳鉻鐵合金作引出綫，它的形狀和單節鎢杆一樣。

（4）特殊形狀的引出綫

在電子管中，有時為了引出綫不集中在一起，故在有些電子管中，柵極或陽極引出綫，往往是从玻殼頂部或側部引出如圖 11-4 所示，在

振蕩管中，由于引出綫粗大，故常有如圖 11-5，*b*，*c* 所示几种形式；在超高频电子管中，要引出綫电感小，故把引出綫作成盘状，如圖 11-5，*a* 所示。

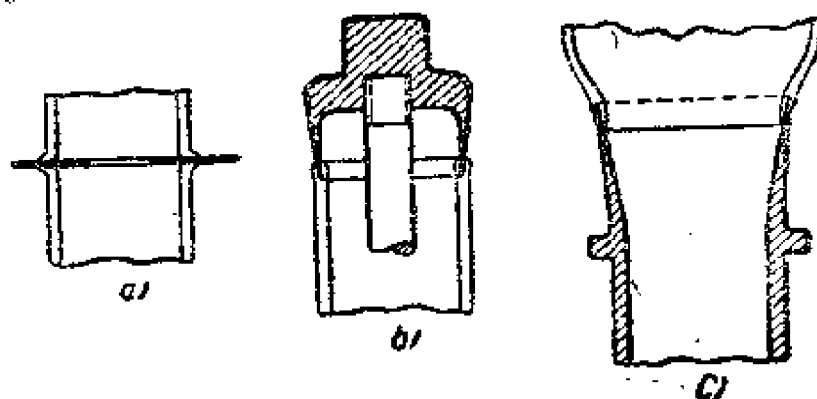


圖 11-5

§11-3 引出綫的制造

(一) 杜美綫的制造

杜美綫是最常用的引綫組成部分，其原材料为 42% Ni 和 58% Fe 的铁鎳合金棒。在制造杜美綫时，往往首先对鉄鎳合金棒进行清潔处理，使其表面淨化和光潔。接着将鉄鎳合金棒在溫度 1200~1250°C 的氫气爐中退火，時間約为两小时，目的为使表面氧化鉄还原及杂质去除。退火后，将棒連續通过 10% 的鹼溶液以去除表面的油脂和斑点，以便經此輕微浸洗后能有助于复銅的質量。

鉄鎳合金棒复銅常用电鍍法。电鍍槽中装以电解液，电解液如前所述主要为硫酸銅溶液。棒作为阴極，直接挂在槽中的銅条上；而放在电解液中的銅条就作为阳極，于是在电流的作用下，銅就沉积到鉄鎳合金棒的表面上，經過一定時間后，表面就形成一結实的銅層。在鍍銅时，棒表面的清潔程度有着很大的意义，若棒不够潔淨，在进一步加工时，銅層很可能从杜美綫上脫落。此外，还必须很好控制鍍上的銅量，通常被复在棒上的銅量大約占棒原重量的 35%，棒的厚度在复盖銅后相应地增加了 1.5 毫米。

在被复銅后，这样的棒就拿去进行机械加工。先經錘打，旋錘大約在 650°C 的溫度下进行。經過三次到四次旋錘后，杜美綫的直徑大

約就減小到7.6毫米。然後在氫中或其他還原性氣體中退火，改變其可塑性以便適于拉絲。拉絲時先進行粗拉，然後再進行細拉。粗拉時用工業動物油脂作為潤滑劑，細拉時則用肥皂液作為潤滑劑。杜美絲的拉絲是在冷態下進行的。为了不致于使拉絲時發生困難，在拉絲過程中，杜美絲必須經過多次退火。絲拉到所需直徑後，再經過清潔處理以去除表面的潤滑劑殘余。這工序可以和復繞合併進行，在復繞時，使絲連續通過沾有純酒精的棉花就可以。此後，為了保證杜美絲在與玻璃熔封時的氣密性，必須進行塗硼。

塗硼在特製設備上進行，設備的示意原理如圖11-6所示。杜美絲由放綫輪1經導向輪2繞到拖動輪6上。在塗硼槽4前後裝有兩個煤氣爐。杜美絲先通過第一個煤氣爐3。在此爐中由於加熱的結果，一方面去掉油脂雜質，另一方面使銅層表面氧化，形成一層極薄的低價氧化銅（ Cu_2O ）。然後通過盛有熱硼溶液的小槽4，再進入煤氣爐5。在此爐中將硼烘干，並由於硼與氧化銅之作用使絲表面現出紅色，其深淺度視溫度而定。

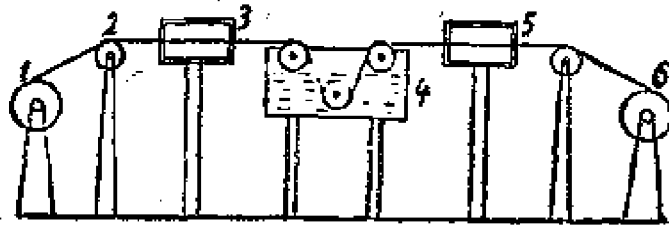


圖11-6 杜美絲塗硼過程圖。

通常第一爐爐溫約為 $630\sim 650^{\circ}\text{C}$ ，第二爐爐溫約為 $1000\sim 1050^{\circ}\text{C}$ 。在塗硼時爐溫應控制得很正確，特別是第二爐的爐溫。如果它的溫度不正確，將嚴重地影響杜美絲質量。溫度不足，絲呈草黃色；溫度過高，則絲將呈暗櫻桃色，而杜美絲正常的顏色應為磚紅色。此外，第二爐加溫還起着使杜美絲退火的作用。這樣，經第二爐後，杜美絲就變得軟而有彈性了。

除了用上述方法製造杜美絲外，還可用輾壓法製造杜美絲。這種方法的要點是在預先在拋光過的鈹鎳合金棒上，繞上一層薄的（約0.25毫米厚）銅帶，然後再在這棒上套上一銅管，它的外徑約為 $20\sim 22$ 毫米，厚度約為2毫米。套上這樣銅管後，將棒的一端錘打成圓錐形，接着在大型鏈式拉絲機上進行拉制。為使銅管和鈹鎳合金棒緊密

地靠攏在一起，棒在拉制后应放在立式管狀爐中加熱。加熱的溫度應使銅恰能熔化，而將銅管和鐵鎳合金棒焊在一起，此后的工藝過程和前法無異。

（二）引出綫的焊接

在多節引出綫製造時，需要進行焊接。

引出綫的焊接，亦不外乎用點焊、氣焊、對焊、弧焊等方法進行。焊接可借手工進行，但在生產上這些焊接大多均在專用機上進行。不論採用何種焊法，均要求焊接處的接點不能太大，並有一定的焊接強度，目前生產上以氣焊用得較多。

氣焊時，为了不使焊接金屬迅速的熔化，要求採用較高的火焰（一般用氫-氧焰或煤氣-氧氣焰），並且將火焰調節得很狹尖，使溫度主要集中於金屬的焊接處。

用於鎳絲與杜美絲或銅絲之間的焊接，在生產上現大都在專用的自動焊接機上進行焊接。這種機器有兩種：一種是用氣焊，一種是用電容器放電焊接。

（1）圖 11-7 所示的是自動焊接引綫的氣焊機，它的火焰是由氫和氧所組成的。圖上所給的是小型管二節引綫（鎳絲和杜美絲）的焊接過程。1. 是將鎳絲以一定的長度切下，然後用夾鉗將鎳絲送往火焰處；2. 與杜美絲進行焊接；3. 將已焊好的引綫取出；4. 然後在鎳絲的中間切分為兩根引綫，為了使今後導絲便於插入管座，尚將引綫切成 60° 的錐形。由於杜美絲在倉庫中保存後表面礪層吸有潮氣，故在焊接前需先經 800°C 的烘爐焙烘，並且從綫盤上下來的絲料，亦均經校直機構將絲料拉直。引綫的焊接接頭，因為它今後是封入玻璃內部，故要求接點圓滑。為此，在焊接時當絲料燒融在一起後，尚需再向兩邊輕微拉一下。在這種焊接機上，所有這些過程，均是通过繼電器及凸輪的控制來進行。

（2）電容器焊接機的工作原理圖如圖 11-8 所示，圖下面一部分是銅絲和杜美絲焊接，從絲盤上下來的絲料均先經過校直，杜美絲也同樣經過干燥爐然後接通電路，使預先充電到 400 伏的電容器經過接

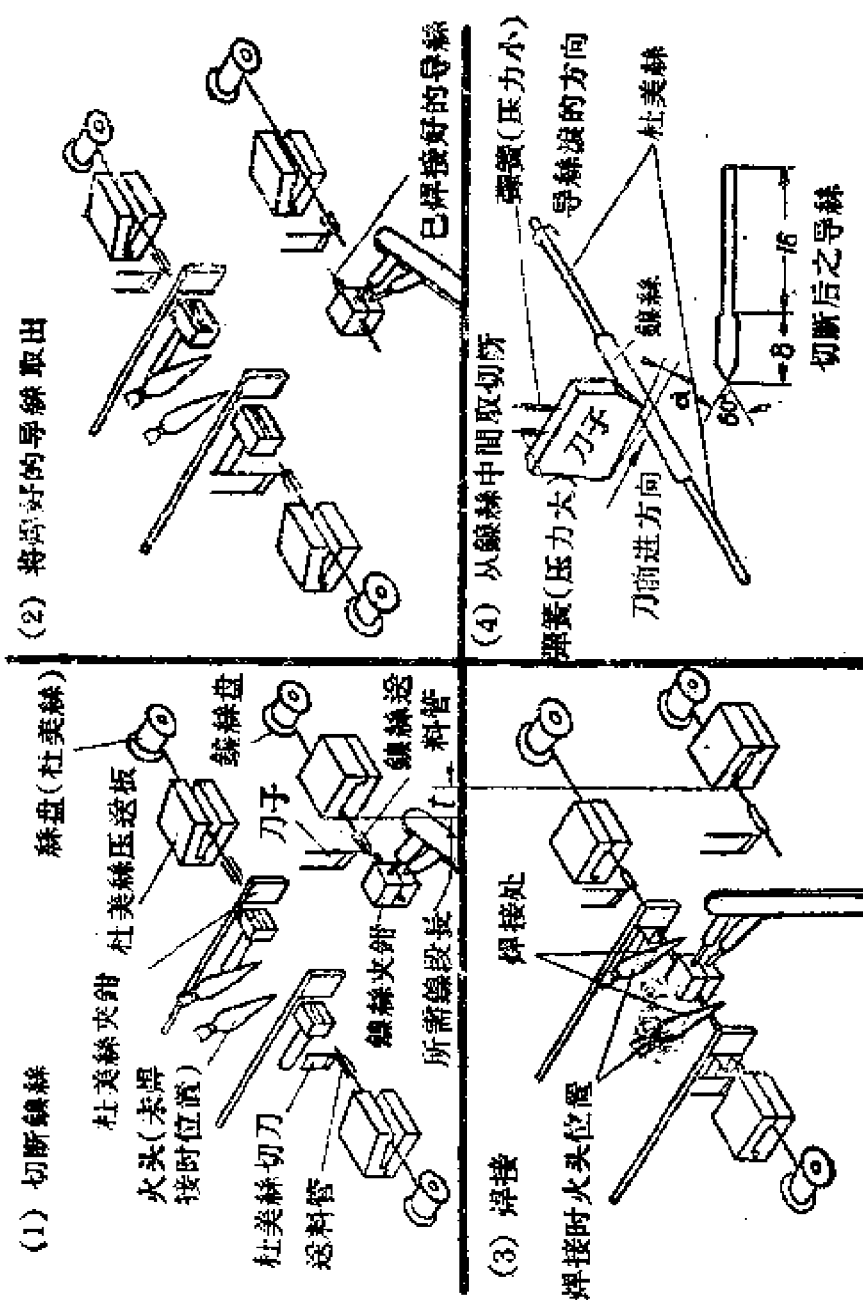


图11-7 自动焊接导丝制造过程。

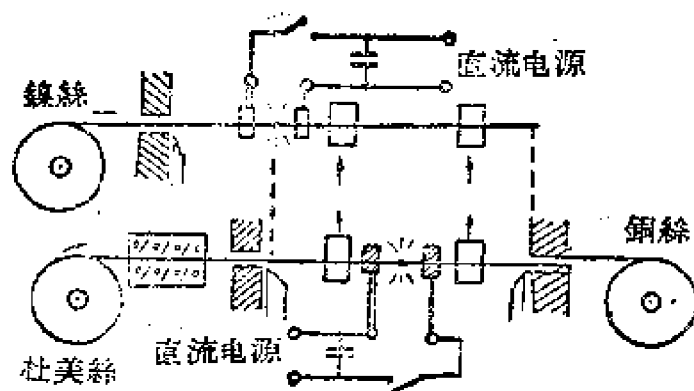


圖11-8 电容器放电焊接机原理。

头处的放电，絲端迅速加热到熔点，使其焊接在一起。焊接后，两边由刀切下，而导絲由夹絲器送向圖上面一部分所示机构，使其杜美絲的另一端再与鎳絲焊接。为了使焊接点的質量良好，电容器放电电流应该恰当，故对不同直径的絲料，应选用一定值的电容器如表 11-1 所示。

表 11-1

杜美絲直径(MM)	鎳絲直径(MM)	銅絲直径(MM)	电容器容量(MF)
0.25	0.5		200
0.25	0.6	0.55	250
0.4	0.64	0.55	400
0.4	0.65		400

电容器焊接机与气焊机比較起来它有以下优点：

- 1) 它不需氢气和氧气。
- 2) 焊接較牢，且焊接的形状較好。
- 3) 生产率高（約每小时 5000 个）。
- 4) 能焊接較短的杜美絲。
- 5) 导絲氧化較少。
- 6) 因为沒有氢和氧，工作較安全。

在鎢杆或鉬杆和銅絞絲焊接时，在对焊机上进行，为了焊接牢固起見，在焊接处用片料弯成的鎳管套住，其中放一定的黃銅焊料，通

后，使其焊接在一起。这种焊接的自动机，目前还没有，对于钨杆与钼杆的焊接，则采用原子氢焊接。

在焊接时，由于机器调整不当，或火焰温度不适宜，在焊接时常会引起下列废品：

1. 焊接不牢。焊接处有气泡、发脆以及钨丝过度的氧化。这些主要是由于火焰温度过高或过低所引起的。

2. 焊接接点太大、焊接弯曲或焊接后丝不对正中心。这些则主要由于机器调整不当所引起。

至于单节引出线的制造，主要是进行切割。必须注意，对于钨钼引出线的切割须要非常小心，以免产生劈裂和有毛刺现象。有时为避免切割后产生毛刺，可以将钨杆或钼杆放在盛有苏打水的滚筒内，利用滚筒旋转时的相互磨擦而去除。如果这种引出线是兼作插脚的，那么端部还必须磨成一定的角度，使成锥形，以便于插入管座。

作为引出线的钨杆和钼杆表面必须很好的净化，直径在1毫米以上的钨杆和钼杆去除污物常用无心磨床来进行研磨，这样可使它和玻璃的封接不致于产生漏气。在某些情况下，钨杆或钼杆虽经研磨后，还发现有较细裂缝，则可用在钨杆或钼杆上进行镀铜的方法来消除这个缺陷，因为经镀铜后，这些小裂缝被填满了。但镀铜后的钨杆或钼杆需再经烧氢、清洗、涂硼等工序而制成合用的引出线。

用可伐合金制造引出线时，其表面也必须经过抛光，直到完全消除粗糙和表面的毛刺为止。以后用慢速切削法很好地切割。经过这样加工后，再进行去油和氢中退火，如果不将可伐进行退火，则与玻璃封接后，在封接处会产生气泡，因而降低封接处强度和增加漏气的可能性。

第十二章 吸 气 剂

§ 12-1 使用吸气剂的目的

电子管一般都要求有较高的真空度，例如需有 10^{-6} 毫米水银柱的压强。不这样，管子就无法正常工作。但是这样高的真空度，通常就不能单纯依靠抽气机来获得，而常需要吸气剂的帮助。因此吸气剂的第一个作用就象一个辅助抽气机，借此来提高真空度。其次电子管封离后常存在一些气体，这些气体或者是由于未被排尽而残留的，或者是由于在封离排气管时，从玻璃中放出的；加上管子在使用时，管内元件也可能逸出一部分气体。所有这些气体都已经都不能由抽气机来排除，它只能使用吸气剂才能达到目的，因而也可以把吸气剂看作一个特殊的抽气机。此外，有些吸气剂涂在栅极或阴极上，由于它们颜色较深还能有助于散热。最后吸气剂还具有一个极重要的意义，即它能够缩短为获得必要真空度所需要的排气时间，使生产速率加快，成本降低，亦即提高了生产率。

§ 12-2 常用的吸气剂材料

严格而言，吸气剂并不能真正“消灭”气体，而只是把气体吸走了。有些物质吸气的的能力很强象钡、锶、钛等，它们在大气中吸气的体积可以达到本身体积的几百倍，甚至千余倍；但也有些物质几乎不能吸气，或只有在某一定条件和范围内，才能吸微量气体，例如电子管的玻壳只有稍微加热后再冷却时才吸一点气体。但是无论如何，固体吸气终不外乎这样三种形式。一种是吸附，所谓吸附，即气体分子碰到固体后，凝聚在其表面上，单靠吸附，不仅吸气量少而且很不稳定。另外一种形式是气体分子渗入固体内部，好似空气分子溶解在水中一样，形成固溶体。还有一种形式是固体和气体起化学作用而形成化合物。

但是这并不意味着凡是能吸气的物质都能够成为电子管中的吸气剂，作为吸气剂材料应满足下列要求：

(1) 吸气剂本身应该易于去气。

(2) 吸气剂的蒸散温度必须适当。蒸散温度过高将导致管内其他电极过度蒸发，蒸散温度过低则在排气过程中吸气剂将先行蒸散。

(3) 吸气剂要尽可能和很多的气体起化学作用，并且在长时间内牢固地吸住它。

(4) 吸气剂本身的蒸汽压要低，同时也要求吸气剂和气体所生成的化合物的蒸汽压低（一般不超过 10^{-8} 毫米水银柱），这样，才不至于影响真空度。

(5) 吸气剂的存在不对电子管参量有所影响。

最符合这些要求的莫过于碱土金属，其中尤以钡为最佳。这是因为它不仅化学性活泼和具有大的吸气能力，而且钡吸气剂还有着两个独特的优点：首先是钡蒸汽不会使阴极中毒，因而特别适用于氧化物阴极的电子管；其次钡吸气剂是蒸散后所形成的“镜子”，仍具有一定吸气能力。后者的原因是它与氧所生成的氧化钡体积小，且表面上的氧化钡层不能阻止气体分子深入“镜子”的内层。这样，钡吸气剂能继续吸收在运用过程中电极所放出的气体，以维持良好的真空度。

但是钡的性质太活泼，故实际上钡常和其他金属制成合金或保护壳形式使用。

除了上述蒸散式吸气剂外，在大型振荡管中还采用不蒸散的吸气剂。这种吸气剂是用金属带或金属粉末制成的。它们的形状不会改变，亦不生成“镜子”；当电子管受热到足够高的温度时，不蒸散吸气剂就产生吸气的作用，属于这种吸气剂的计有钽、锆、铀等。

现在在电真空技术中所采用的吸气剂很多，各种吸气剂的性能列于表12-1中。

§ 12-3 吸气剂制造

常用的蒸散式吸气剂虽然很多，按其形式言只有三类，即：

表12-1 各种吸气剂的性能

吸气剂种类	使用的形状	放入管中方法	在管中 处理方式	去气温度℃	蒸散温度℃	工作温度	所吸收气体
I 不蒸散吸气剂							
钽	密实的带末粉	制造零件 涂复零件	去气 烧结	1600~2000 1600~2000	—	700~1200 700~1200	O ₂ , H ₂ O ₂ , H ₂
钼	密实的片	用钼丝焊到零件上	去气	>1650	—	~500	O ₂ , H ₂
钨	密实的带	焊到零件上	去气	200~1300	—	800	} O ₂ , N ₂ , CO CO ₂ , H ₂
	密实的丝	绕到栅极边杆上	去气	低于1700	—	低于1600	
	Zr或ZrH ₄ 粉	涂复零件	去气和烧结	200~1300	—	800	
钕	粉带			200~1200	—	800	O ₂ , N ₂ , H ₂ CO, CO ₂
钐	粉	涂复零件	去气和烧结	800~1200 在石墨上为1800~1600	—	400~500	O ₂ , H ₂
铈	粉(烧结的)			800~1000	—	200~600	O ₂ , H ₂
II 蒸散吸气剂							
钨	0.1×3带	焊到零件或碟上	蒸散	400	500	只在蒸散 时吸气	O ₂
钨钨合金	粉	涂在零件上	蒸散	400	500	同上	O ₂
钨	铜管 钨管 钨管	将一段管子焊到零件或碟上	蒸散	600~700	900~1300	20~200	O ₂ , N ₂ , H ₂ CO, CO ₂ , H ₂ O
钨钨合金 钨钨合金 钨钨合金	片	焊到有盖的碟上	蒸散	600~700	900~1100 200~800 200~800	20~200	O ₂ , N ₂ , H ₂ O NO, CO, CO ₂
钨钨	燃烧剂片	同上	去气和蒸散	着火前	燃烧剂的工 作温度	20~200	O ₂ , N ₂ , H ₂ CO, CO ₂ , H ₂ O
钨钨	钨带或螺旋涂以钨 钨带或钨	用电流或高频电 流加热带或螺旋	去气和蒸散	800~1100	1200~1300	20~200	同上
钨钨盐	钨带或螺旋涂以钨 钨带	同上	同上	900~1100	1300	20~200	同上
钨钨	片	焊到有盖的碟上		600~700	1000~1500	20~200	同上
钨钨	片或放在带上的膏			600~700	250~1100	20~200	同上

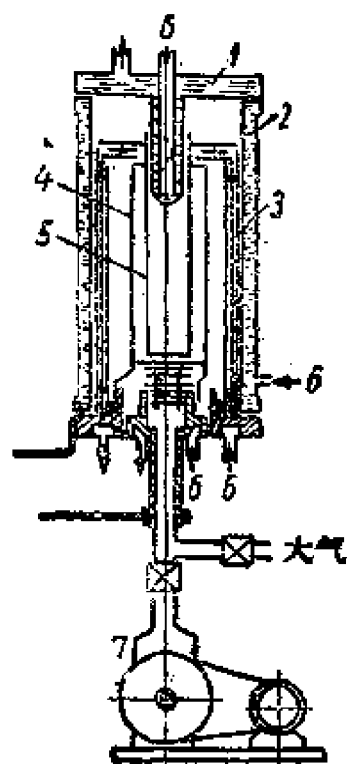


圖12-1 真空坩埚爐：

1—爐蓋；2—爐壳；3—反
射屏；4—加熱器；5—坩
埚；6—冷卻水；7—抽氣
泵。

1. 鋇吸氣劑。如鉄包鋇、鎳包鋇、銅包鋇等。

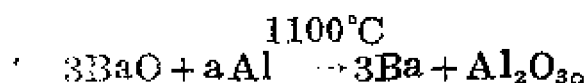
2. 鋇合金吸氣劑。如鋇鋁合金、鋇鎂合金、鋇鎂鋁合金等。

3. 鋇化合物吸氣劑。如鋇鈦、鋇鉍、鋇鈦、鉍酸鋇等。

茲分別擇其要者敘述如下：

(一) 鋇吸氣劑

這種吸氣劑以雙金屬絲形式出現，其心子為鋇，外殼包以金屬管，如鉄管、銅管、鎳管等，以保護鋇，使其不致氧化。在製造這種吸氣劑時首先制取鋇。金屬鋇是以氧化鋇用鋁粉還原而制得的。在製造過程中為了促使反應加速，常加入10%的過氧化鋇，其反應式如下：



此反應在真空坩埚中進行。真空坩埚的結構如圖12-1所示，反應坩的蓋具有中空的柱，使鋇蒸發後能凝結在這裡，反應坩外面用電熱器加熱，並為了防止熱量散失，在加熱器的四周裝有反射屏。這種設備的外殼是夾層的，以便通水冷卻。

在製造時，先將400克氧化鋇和53克的鋁粉放在玻璃瓶內，在滾磨機上攪拌半小時，然後將這混合粉末在壓力為1000~1200斤克/平方厘米的水壓機上將其壓成條塊，這是為了避免氧化鋇和鋁的粉末被抽走的緣故。以後就將條塊放在真空坩埚內。抽真空後的壓力應不大於 7×10^{-2} 毫米汞柱，然後將爐溫加熱到1100°C，到1100°C時使鋇升華3小時。以後冷卻爐子，將二氧化碳送入爐內，並在取鋇時應不斷地用二氧化碳吹。

鋇制得後，由於它很易氧化，故將其灌入金屬保護管中，然後

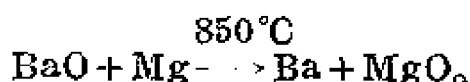
按需要長度将它切割成段，在切割时必须注意切出之端头性質。若切割刀不够鋒利，可能得到閉塞的端头，使加热蒸散时，鋇由金屬管内逸出發生困难。反之若切割刀过于鋒利，那么端头处有过多的鋇表面暴露；这样，两端的鋇将氧化，減少了純鋇总量。同时在蒸散吸气剂时易产生液态鋇喷射的現象。这种类型的吸气剂現在已很少使用。

由于氧化鋇很不稳定，故氧化鋇的来源是由过氧化鋇来制到。它的制造过程是这样的：首先将过氧化鋇研碎并过篩，然后将它置于馬弗爐中加热，先使爐温在 200°C 保持 2 小时，再将爐温升到 900°C 焙燒 2 小时，于是过氧化鋇就轉变为氧化鋇 $2\text{BaO}_2 \xrightarrow{900^{\circ}\text{C}} 2\text{BaO} + \text{O}_2\uparrow$ ，待爐子冷却后将氧化鋇倒于金屬盘上，并立即将其錘碎。

（二）鋇合金吸气剂

这是常見的一种吸气剂，常呈片状。所制得的合金在空气中相当稳定，几小时的暴露对它沒有損害；同时这些合金在蒸散时不会發生液体鋇的流动与飞溅現象，这种情况使这种合金形式的吸气剂在大量生产电子管时得到应用，但其缺点是吸气能力不很强。常用的此类型吸气剂計有鋇鎂吸气剂，鋇鋁吸气剂等。

（1）鋇鎂吸气剂 鋇鎂合金最方便的制造方法是以氧化鋇和鎂在氬气中起反应而得到：



制成合金后，把金屬磨成粉末，然后再将粉末压成小片，放在玻管内抽真空保存，这种鋇鎂吸气剂在生产中常用的为含有 74% 的鎂及 26% 的鋇。

（2）鋇鋁吸气剂 这种吸气剂由于鋁的保护作用在于其表面上的薄氧化鋁層能阻碍空气渗入合金的内部。

鋇与鋁制造合金的过程如下：

将以丙酮清洗过并进行干燥的鋁屑和金屬鋇屑交替的放在真空反应坩堝中（一層鋁屑一層鋇），这种真空反应坩堝和制造鋇所用的一

样，仅仅是坩埚的盖上不必有中空的柱，因为它不由蒸发而形成。爐子逐漸加热到 800°C ，在此溫度下保持 20 分鐘，然后冷却爐子取出鋇鋁合金放在輥式磨碎机中磨碎，如作片状吸气剂其顆粒要能通过 65 孔的篩子；而制造带状吸气剂时則須再繼續磨碎，直至顆粒能通过 200 孔的篩子，然后将合金粉放入玻璃瓶中，充入二氧化碳，并用石腊封好。

这种吸气剂在制造片状时，鋁和鋇的比例是 65% 的鋇和 35% 的鋁；而制造带状吸气剂时，則鋇和鋁的成分是等量的。

当准备压片时，为了易于結合起見，在金屬中再加以少量的鋁粉。鋇鋁片在特殊的自动压床（圖12-2）上压制，压床的示意圖如圖12-3 所示。最后将吸气剂錠片压入小碟內。

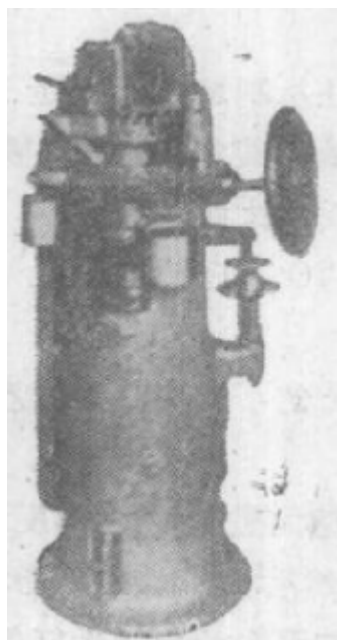


圖12-2 压片机。

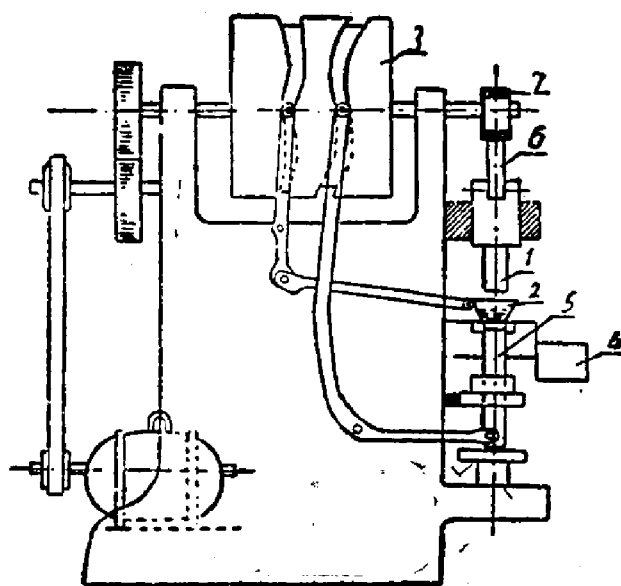


圖12-3 压制錠片状吸气剂設備示意圖：

1—阳模；2—凸輪；3—漏斗；4—盛片箱；
5—推料机；6—連杆；7—偏心輪。

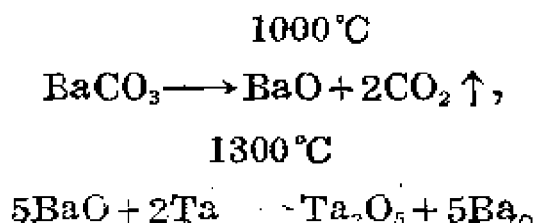
（三）鋇化合物吸气剂

在此类吸气剂中，鋇的蒸散系依靠化学反应而产生的，常用的鋇鋇、鋇鈦、鋇鈦等吸气剂都属于此：

（1）**鋇鋇吸气剂** 这种吸气剂是由一种能够将鋇从氧化鋇或碳酸鋇中还原出来的鋇絲或鋇带制成的。在制造这种吸气剂时，将碳酸鋇

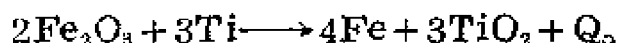
和碳酸鋇用噴的方法塗到鉬絲或鉬帶上。將碳酸鋇和碳酸鋇混和，目的是為了在熱處理吸氣劑的過程中使碳酸鋇不會熔化。

制成的螺旋絲放在專門的小罩中，小罩具有方向性，使鋇蒸汽蒸發到一定的地方。如果是鉬帶制造的，那麼可以將鉬帶作成小船狀，塗層只塗一面，這樣就無須應用小罩了。鋇鉬吸氣劑在 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 時，碳酸鹽分解出氧化物，在 1300°C 時 BaO 與 Ta 起作用，其反應式如下：



生成之鋇，隨即沉積在電子管泡殼上。由於這種吸氣可以通電加熱來蒸散，因而適用於金屬管中。

(2) 鋇鈦吸氣劑 製造這種吸氣劑往往從製造鋇鋁合金開始，然後由鋇鋁合金，金屬鈦粉和氧化鐵混合而成。其中加入氧化鐵的目的，是由於氧化鐵和鈦作用會產生熱量，其反應式如下：



這樣，使得吸氣劑可以在較低的溫度下蒸散。

這種吸氣劑在製造時，亦有片狀和帶狀的，其製造工藝分述於下：

1) 片狀鋇鈦吸氣劑 先將鈦粉在真空爐內進行去氣，溫度為 $700\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，真空度不低於 5×10^{-3} 毫米汞柱，然後將 36% 的鈦粉和 7% 的氧化鐵倒在瓷研缸中輕輕研磨，直至均勻混合為止（無紅色粉末出現），以後再加入 57% 的鋇鋁合金，一併放在滾磨機滾半小時，這樣所得的混合粉末就可利用壓力機壓制成小片。此後將此吸氣劑片在自動小沖床上壓入鋇碟中。

2) 帶狀鋇鈦吸氣劑 在製造時，先將已去氣過的鈦粉 33.2 克，鋇鋁合金 50.8 克，氧化鐵 6.35 克和 35 毫升的硝棉溶液放入瓶中研磨，球磨時間約 12~16 小時使其配制成膏狀，然後在帶狀吸氣劑製造機上（如圖 12-4）將吸氣劑膏連續塗在鉬帶或鎳帶上，在這種設備上，它是

先将镍带（或钼带）冲压成一小舟状，然后用玻璃棒将沾上吸气剂膏涂于已冲制好的小舟内，再通过炉子烘干（90~100℃）即成。最后再在切割机上割为单个的吸气剂。

至于氧化铁的制造，可由硝酸铁与草酸作用制得，其过程如下。以 428 克的硝酸铁溶于 500 毫升的蒸馏水中，再以 220 克草酸溶于 440 毫升的蒸馏水中（50℃）的溶液倒入硝酸铁溶液中混合，待蒸发后得淡黄色的细小结晶，研磨后再在 150~170℃ 的温度下干燥，最后再在 500℃ 的马弗炉中焙烧 1 小时。

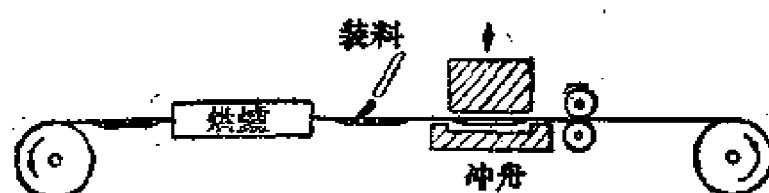


图12-4 带状吸气剂制造机原理图。

（3）钨钍吸气剂 先将72.8克的钍放在滚桶中（内放 500 克礞石球）球磨 8 小时，然后再将24.3克的钨钼合金和 2.9 克的氧化铁进行研磨，最后将这三种粉一并倒在玻瓶中将它滚磨半小时。

钨钍粉制成后，将其妥为保存。在压制钨钍片时，应先将压模擦净，然后借冲床将钨钍粉制成片。在压制过程中，应特别注意吸气剂片的重量是否合格。此后，再将小片用单轴压力机压入镍壳（吸气剂碟）中去，要求在压制时必须使支架和小片接触良好，因为只有这样，才能保证电子管排气时吸气剂蒸发的均匀。

钨钍吸气剂吸气能力很强，它常用于零件运用温度高的电子管中。

（四）镁铝膏吸气剂

它是将 50% 的镁铝合金粉和 50% 的硝棉溶液倒在一起搅拌均匀而成。

而镁铝合金粉的制造是以 45 克的镁屑和 55 克的铝屑，经过丙酮去油后将它们分层交替地装入压模中，用压力为 1500~2000 斤克/平方厘米

的水压机压紧。然后把压好的鋂鋁条放在坩堝中，再放真空爐內加热，溫度逐漸升到 500°C ，保持 5 分鐘，去掉加热，待冷却后取出，經過研磨即成。

（五）鋂液吸气剂

这种吸气剂主要用于塗复阳極和栅極，其配制方法如下：將 100 克的鋂粉和 200 毫升的硝棉溶液放在瓷滾瓶中滾磨，內放磨球重为 375 克，在球磨 4~8 小时后，再加酒精 100 毫升，并繼續滾磨半小时后即可使用。

§ 12-4 吸气剂的应用和裝置

在使用蒸散的吸气剂时应注意下列几点：

- （1）在其他加工过程中，如封口、电極去气时，不应有蒸散。
- （2）吸气剂蒸散时要有一定的方向性，使其蒸汽不凝結在心柱上或絕緣片上，否則会造成漏电。
- （3）吸气剂蒸汽不能凝結在栅極上，否則要引起栅極放射及接触电位的改变。
- （4）蒸散吸气剂时溫度不应过高，否則会把吸气剂支架及碟的金屬蒸發。

为了吸气剂能够控制其蒸散，各种蒸散吸气剂，一般都裝在特殊的支架或小碟上，如圖 12-5 所示。

支架和碟不能选得过大，因虽則这些支架和碟已預先去气，但当碟的面积过大时，在加热吸气剂时，仍有放出大量气体可能。

以后用高頻电流加热或直接用电流通过支架加热，將吸气剂蒸散。在金屬管中，蒸散吸气剂除了可用直接通电流加热支架外，亦可用火焰加热吸气剂所在部分的管壳，如圖 12-7，*a*，*b* 所示。

由于蒸散吸气剂时，大多数情况下，蒸散的物質是金屬鋁，所以必須避免它蒸散在管內絕緣物上、电極上、以及玻壳的中間部分，因为这样会产生漏电、栅極的热电子及二次电子發射，以及难以使电子管靠輻射散热等不希望有的現象，为了將金屬鋁蒸散到玻壳上一定地

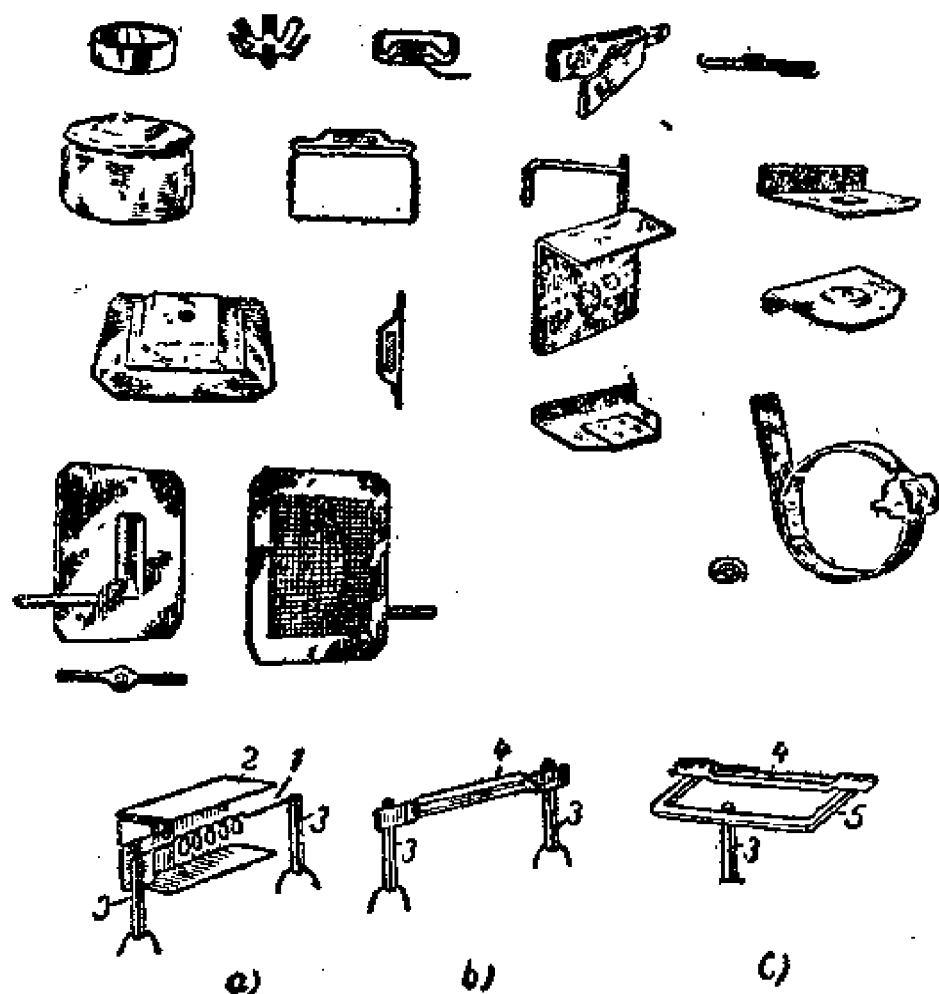


圖12-5 蒸散吸气剂所用的支架或小碟:

1—螺旋絲; 2—方向屏; 3—支柱; 4—鉚帶; 5—加熱環。

方，必須正常地選擇放置吸气剂的位置以及給碟以必要的形狀，在圖12-6，12-7示出了接收放大管中所用的放置吸气剂的位置。

鉚的蒸散還和管內真空度有關，當在真空度差的情況下，蒸散后的吸气剂在“鏡子”上出現虹彩般的花紋，表示吸收了較多的氣體。當真空度良好時，則鏡子是平滑、密致和光澤的。

對於不蒸散吸气剂的应用，有的是直接就以這種具有吸气能力的金屬（如鉚等）作為電子管的陽極，一方面它具有吸气能力，另一方面單位面積的耗散功率亦可提高。不蒸散吸气剂另一種应用方法是將這些金屬（如鋅、鈦或鈹等）的帶或粉末，焊或塗在電子管內部的

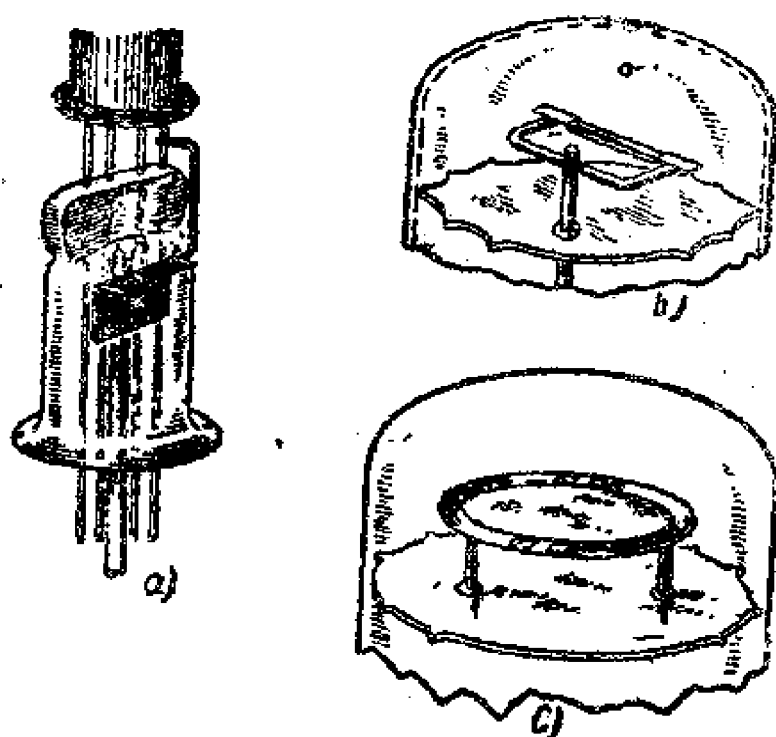


圖12-6 玻璃壳管吸气剂裝置位置。

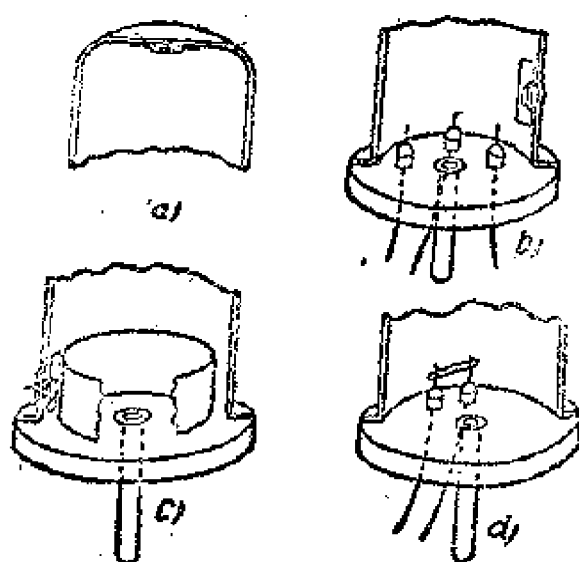


圖12-7 金屬壳管吸气剂裝置位置。

零件（如阳極、栅極、散熱片或隔離片等）上，但這些零件必須保證當電子管工作時能達到該種吸气剂的吸气溫度。

第十三章 絕緣零件加工

§ 13-1 絕緣零件的作用及材料

电子管内絕緣零件是固定电子管各电极的相对位置或絕緣用的。

作为电子管的絕緣支撐零件，因为在器件制造和工作时，管芯工作溫度很高，所以要求这些絕緣材料在高溫时仍有高的电介性能。用于超高频管中的絕緣材料，还要求其介質損耗小。此外，当絕緣支撐材料厚度較薄时，亦应具有一定的机械强度。考虑到上述要求，在各种电子管内，采用下列材料作为絕緣零件：

在接收放大管和小功率振蕩管中，因工作电压及工作溫度均較低，又为了制造方便起見，几乎絕大部分絕緣零件都为云母片所制成。

在中、大型振蕩管中，則由于工作电压較高，电极溫度亦較高，故用陶瓷片作絕緣零件。

在电子管中所采用的云母片多半采用高質量的白云母，它的化学成分表示为： $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ 。

白云母片一般是无色的，但亦有略帶玫瑰色的、淡綠色或其他顏色的，这也說明在云母內含有不同的杂质，因而它們的質量也不相同。試驗指出，以帶玫瑰色的白云母最佳，即它的漏電和放气最少。在电子管中用云母作为絕緣零件，主要由于云母有下列优点：重量小，彈性大，在薄片状时仍有很好的机械强度，容易冲制，电气絕緣性能好等。

电子管所应用的陶瓷片，其主要成分为鋁矾土，即氧化鋁（ Al_2O_3 ）。一般的鋁矾土都是由溶液中沉淀出来的粉末，它是白色的物質，熔点为 $2050^{\circ}C$ ，硬度很大，絕緣性也很好，在 $1000^{\circ}C$ 时的电阻系数为 10^6 欧姆·厘米。除氧化鋁絕緣片外，在某些振蕩管和其他大型管中还采用由氧化鎂物質构成的絕緣片。氧化鎂物質主要由滑石制成，滑石的化学成分表示式为： $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ ，其純度常不一致，主要杂

質为氧化鉄。用这种材料制成的陶瓷有很大的机械强度，在高温时电阻大，介質損耗小，所以性能很好。

在某些功率放大的管中，工作溫度可以达到很高（高于 1000°C ），此时可以利用石英作为管内絕緣零件，例如它可用来絕緣支撐振蕩管中的阴極和栅極，因为該处溫度很高，要求有最良好的絕緣性質（ $R \approx 10^{14} - 10^{16} \Omega$ ）。

§ 13-2 云母絕緣片的加工

作为电子管絕緣支撐零件的云母片，冲制后的形状有如圖 13-1 所示。

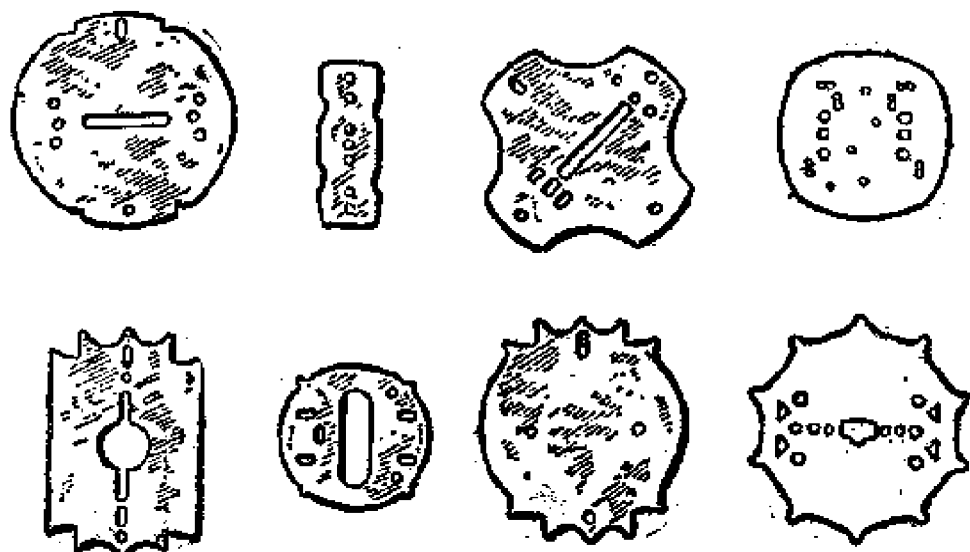


圖13-1 云母片各种形式。

因为大多数云母片需与玻壳內壁相固定，以使管芯能在管内不致动蕩，为此对于云母片的外形在設計时亦有一定的要求。早期由于考虑玻壳的內徑有一定的公差，而为了使云母片仍能与玻壳有紧密的接触起見，因此常把云母片設計成有尖角，如圖 13-1 下面 4 个圖所示。但这样亦有缺点，就是云母片装入管壳后，尖角被弯折，当管子內强烈振动后，往往会使尖角处的云母片折落，影响了管子質量。为此，目前均已逐渐不采用有尖角的云母片，而設計成如圖 13-1 上面 4 个

圖一类的形状。

圖中的云母片上冲有許多小孔，電極就是用這些小孔來固定的。云母片厚度變化的範圍可在0.2~0.5毫米之間，隨云母片直徑而略增。云母片上小孔的直徑和形狀，以及各孔間的距離決定於電子管各零件的結構和電極固定的方法。有時為了減少云母片表面的電導和使電極容易去氣，除了固定電極用的小孔外，常又另開些小槽，以增長小孔之間的距離，如圖13-2, a 所示。

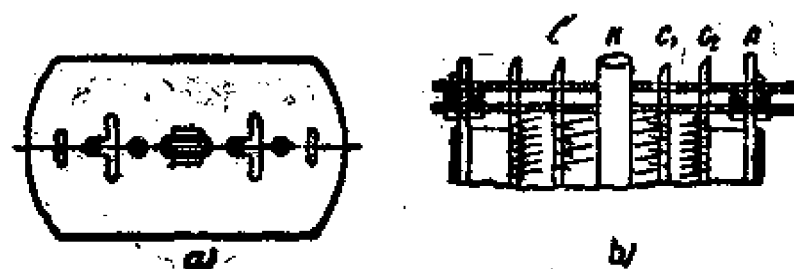


圖13-2 降低云母片漏電的方法。

如果云母片體積小，但需要小孔很多，不能沖制這樣的小槽，則採用多層云母片。這些云母片彼此固牢在一起，把需要絕緣好的各零件固定在不同的云母片上，這種固定如圖13-2, b 所示。

由於云母片的質地很松，而製造時又用沖床沖壓，因此云母片上孔之間的距離不能太小，一般不能小於0.25毫米。

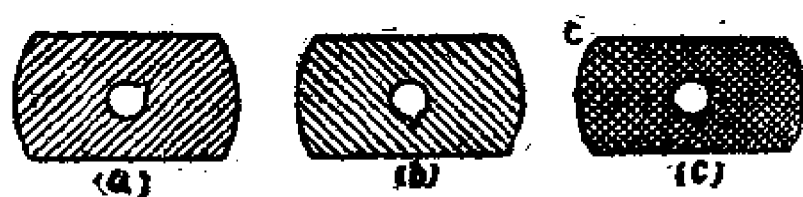


圖13-3

云母片的孔公差要求很嚴，這對電子管的機械性能有關，而目前在製造上的最小公差是 ± 0.005 毫米，故在長壽命可靠電子管中為了滿足孔的可靠精度，常用雙層云母彌補這缺陷，如圖13-3 所示，圖上(a)(b)虽有可能產生小缺口，而合在一起后缺口就被彌補了(圖13-3, c)。

天然采得的大云母片，必須先制成一定厚度的薄片，然后再在三吨偏心冲床上冲制。

剥开的薄云母片常含有其他杂质或遭到一些损伤，因此完整的云母片是很难得的。由于它的贵重，在冲制时必须使产生的废料尽可能少，并且应该保持潔淨，避免在云母片上沾附油脂和磷物。

云母片的缺点是層間含有氧化物及盐，主要为“锈斑”的铁盐，它是云母片放气及电导增加的原因。其他的缺点是層間有巨大的空气隙，它使云母片裂成單个的晶体，以致在加工或冲制时个别云母片塊会脫落，有这种缺点的云母片一般要剔除掉。

云母片冲制好后，有时为了减小表面电导，常在表面上塗敷一層氧化鎂。在塗敷以前先把云母片放在馬弗爐中，于 $450\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的溫度下焙燒1小时左右，以去除云母片表面上的有机杂质。塗氧化鎂的目的是由于在电子管排气及老煉时，管内元件（阴極、消气剂等）受热蒸發，在云母片表面上可能淀积金屬（主要是鋇）。它的存在，就会使云母片表面电阻大为降低，使管子的工作遭到破坏。

表面上塗了氧化鎂絕緣薄層后就能够减小表面电导，其原因是：

1. 塗敷了氧化鎂后，表面变粗糙，从而增加了表面距离。
2. 在粗糙層上一般不易形成密層的金屬層，并且由于蒸發出来的金屬总是向着某一方向的，因此复盖金屬难以連成紧靠的导电薄膜，这种情况可以在圖13-4上看得很清楚。
3. 凝結在表面上的金屬鋇、鈉等物質亦为与氧化鎂中的結晶水起作用而变成导电性不良的氧化物。

用很純并且極其細的氧化鎂作为塗敷的原料，塗敷采用噴塗法。噴塗时的噴漿成分为：

1. 氧化鎂——135克；
2. 細粉 36 克；
3. 碳酸鎂——12克；

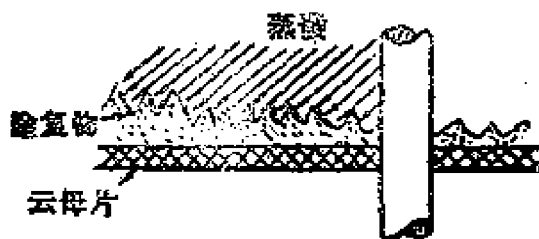


圖 13-4

4. 氢氧化铝和氢氧化镁混合物 300 立方厘米；

5. 蒸馏水——2公斤。

为使混合的质量较好，须将悬浊液放在有瓷球的球磨机上进行约 36~48 小时的研磨。球磨后，把悬浊液过滤，保存在封口的罐中。由于氧化镁具有明显的碱性，所以在混合过程中，同时还会引起化学反应生成氢氧化镁。对于氢氧化物，其特点是能与结晶水结合成氧化镁水泥，在制造悬乳液时发生的过程可用下式表示：



式中 m 、 n 、 l 分别为自由水和结合在水泥中的水的分子量数。

喷浆配制以后，就可用喷枪（图13-5）在云母片的表面喷上绝缘物。

喷好以后在 120°C 的温度下干燥 3~10 分钟。在干燥时，自由水就蒸发了。但是因为氧化镁水泥不是在云母片上形成的，而是早在配

制悬乳液的过程中就已形成了，所以涂层粘得不牢。为此尚须进行牢固手续，其过程如下：

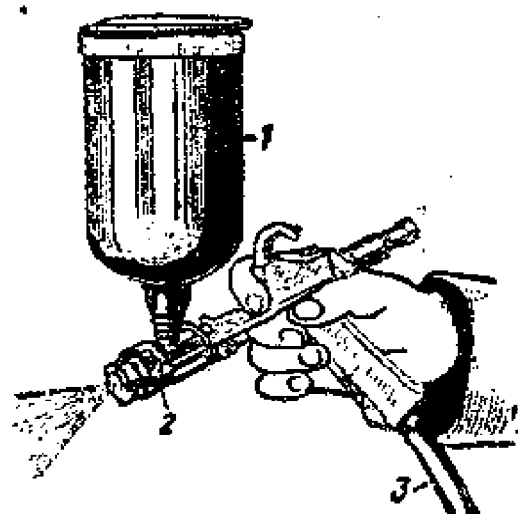


图13-5 喷氧化镁喷枪：

1—容器；2—枪身；3—皮管。

1. 将涂复后的云母片放在马弗炉中于 $450\sim 500^\circ\text{C}$ 下焙烧 2 小时。

2. 在室温下于蒸馏水中浸 1~2 小时。

3. 将云母片放在干燥柜中的铝板上在 $100\sim 120^\circ\text{C}$ 的温度下进行干燥，直到完全去掉结合的水为止。

这是由于在第一步加热时，氧化镁水泥分解出结晶水，并可能有部分氢氧化镁分解，第二步又把云母片放在蒸馏水中洗时又重新形成化合物和水泥，但是由于这时这过程已在云母片上进行，因此在干燥后在表面结合得很牢。

在喷涂氧化镁时，为了不使空气中的硫化物和磷物带进涂层，故需要在特殊的通风柜中进行。

云母片在真空中加热到 200°C 时会放出大量的气体和 气态产物，这主要是由于残存在層間的潮气蒸發。当溫度至 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 时放气减少，这是由于水已完全去掉，只有水气及有机磷物在分解。当加热超过 400°C 时放气又重新增加，并且在 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ 放气达到最大，在这溫度下云母片結晶破坏了，放出結晶水蒸汽，同时云母片丧失了透明性，厚度增加（膨脹），机械和电气性能都大大变坏。为此，無論在云母片加工（焙燒）过程中或电子管制造过程中，都不允許加热云母溫度超过 550°C 。

§ 13-3 陶瓷絕緣零件的加工

目前粘土材料以及其他类似粘土性質和加工工艺的无机材料都称为陶瓷。

陶瓷的生产是将粉末状材料和液体或粘結剂混合研磨并在以后进行高溫燒結而成。

在中型振蕩管中常用陶瓷絕緣体，正如接收放大管中用云母片一样，这是因为振蕩管的工作溫度比接收放大管高得多，所以在振蕩管中不能采用云母片。此外云母的机械强度也不足以固定振蕩管中的大零件。陶瓷有很高的工作溫度，并且对長時間的高溫加热有高度的抵抗性。陶瓷在电場中也不会疲劳，在机械負荷長時間的作用下，亦不会产生变形。合适地选择陶瓷成分和結構，可使陶瓷材料的机械强度很好，介質常数很大，介質損耗小，介質常数的溫度系数合乎要求，热稳定性好。

陶瓷零件主要由鋁矾土粉末制成。鋁矾土粉末往往含有少量杂质，故一般須預先对它进行淨化处理，这可以借化学方法或者放于氬气中于高溫下（約 1600°C ）焙燒来达到。处理后可以將鋁矾土放在电爐中熔化，所得到的材料研碎后，就是鋼鋁石。

在制造鋁矾土的陶瓷零件时，最初在純鋼鋁石中加入約十三分之一的方硼石爐料，再与約 0.7 分重的蒸餾水配合，置于球磨机上研磨，時間約为 4 小时左右。磨好后取出此絕緣物質，在 $100\sim 120^{\circ}\text{C}$ 的溫度

下干燥一晝夜，以完全去除湿气。

湿气消除后，将所得到的物質在60~80孔密的篩中篩过，就可以将此来配制粗粉。

在上述配料中，方硼石爐料的加入是作为熔剂，以降低鋼鋁石的燒結溫度，并为了在燒結过程中較好地把粒子粘合起来，其本身由73%的硼酸、8%的氧化鎂和19%的碳酸鈣所組成。

粗粉由87%的純鋼鋁石方硼石爐料和13%的石腊所組成。

在这里加入石腊是作粘結剂用的，这样就使得压制过程比較方便。將物質攪拌后放在干燥櫃中，于80~100°C溫度下干燥30~40分鐘，直到全部石腊溶化为止。

陶瓷零件是在空气压缩机上冷压成的，压制后的零件形状有如圖13-6所示。在压制陶瓷零件时，必須注意到使所得零件附合尺寸的要求（达到給定的尺寸）。零件尺寸之公差是随制件的尺寸增加而增加的，小个零件的一般公差，約为 $\pm 0.1 \sim 0.2$ 毫米，中等大小和大个零件的公差約为長度的1.5~4%。

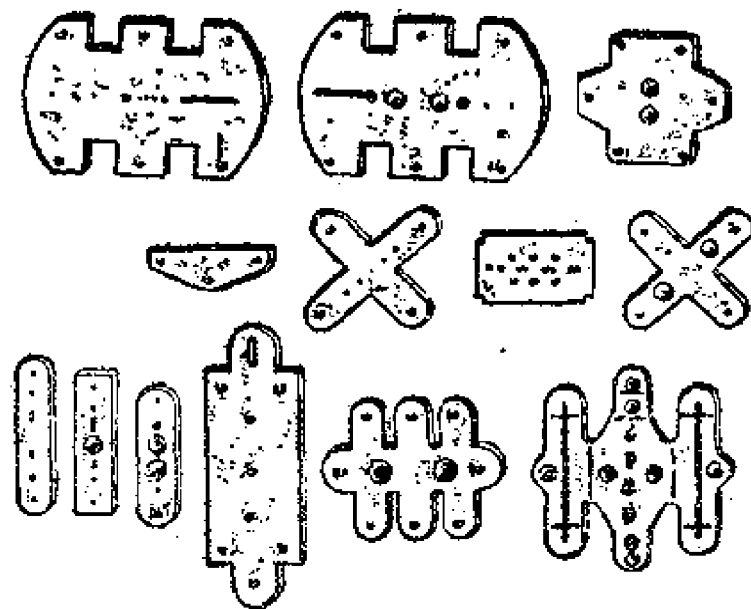


圖13-6 陶瓷絕緣片。

大陶瓷零件的公差比較大，是因为零件在干燥和燒結的过程中收縮得比較多。而收縮的多少与許多因數有关，收縮的大小必須在設計

冲模时要考虑到。为了使零件尺寸的公差符合于給定的公差，就必须准确的选择零件的制造过程和考虑到陶瓷物質的物理和化学上的特点，如顆粒的大小、潮湿程度、压制时的压力的大小和燒結的情况等。在燒結时如果維持的时间不同，陶瓷的收縮也就不同。收縮愈大，所得的陶瓷也就愈結实，但收縮得愈多也就很难得到大小合适的制品。另外所填物質的密度不同，均匀制品各部分收縮也就不同。压成以后，为了燒除制品中的有机粘結物(石腊)就要把陶瓷制品在 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的溫度下預热 $6\sim 7$ 小时，然后慢慢將溫度升到 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$ ，此后在 $22\sim 24$ 小时之內慢慢將溫度降到 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。其所以必須如此慢速降低溫度，是为了不致使陶瓷制品裂开，零件是在耐火粘土舟中預热的，舟底敷有一層鋁矾土，以免溫度产生剧烈的变化，因为鋁矾土加热是很慢的。

为了使零件具有机械硬度，須把零件放在鏈式爐中进行燒結。先将絕緣零件装在小舟中，小舟順着爐腔慢慢移动，燒結溫度为 $1200\sim 1300^{\circ}\text{C}$ （隨所要求的收縮程度而不同）。

陶瓷絕緣体的廢品大部分是由于尺寸不合或由于燒結时、封口时、甚至排气时产生裂縫。

陶瓷片在裝架前要在空气中进行高溫处理，以便把所有的髒物都燒掉。这样的陶瓷片在以后器件排气时或进一步加工就不会放出大量气体。

在挑选陶瓷零件和装配陶瓷零件时必须戴上不会起毛头的手套，否則女工的手指会使光亮而多孔的表面弄髒。

用氧化鎂物質制造陶瓷是从配制滑石物質开始，滑石物質主要由滑石、碳酸鈣以及蒸餾水等配制成的，此后的加工加热与上述鋁矾土陶瓷相似，所不同的只是这种陶瓷的最后一次燒結溫度为 $1000\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 。

至于石英的制造是用很純的氧化硅(SiO_2 含99.6%以上)在高頻感应熔爐中熔化而得。石英玻璃的加工需在 $1800\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 的氬氧焰中加工，火焰中不应含有碳，否則会降低石英質量，石英零件的淨化在氬氟酸中进行，至于石英零件的去气溫度則可达 800°C 。

第十四章 玻璃零件的制造及加工

§ 14-1 电子管中所用的玻璃制品

在电子管制造中，有很多零件是由玻璃制造成的，如管壳（当然也有金属制成的或陶瓷制成的）、排气管、绝缘支架等。这是由于玻璃有很好的气密性、透明、加工容易，且能和金属很好的封接，玻璃的电绝缘性也很好，另外玻璃还能制成各种复杂的形状，因此在电子管制造中大量地使用玻璃制的零件。

§ 14-2 玻管和玻杆的制造

如众所知，玻管及玻杆在电子管制造中是很重要的零件（半成品）。这种零件在生产中常按重量计算故又常称这类玻璃为重量玻璃。这些玻璃用来制造玻壳、心柱、绝缘支架等。

重量玻璃可用手工拉制法或机器拉制法制得。

1. 手工拉制法 手工拉制玻管或玻杆是由工人利用吹管从玻璃炉内出粘一团玻璃，先作为圆柱状毛坯，以后与另一工人一起将这毛坯吹拉成所需直径的玻管，如图 14-1 所示。

吹管由钢制成，长由 1.1 到 1.4 米，外径由 10~25 毫米，视玻管的大小而定，管的一端作吹气用，另一端焊有一铁角锥，以挑粘玻璃料用。

吹管的操作如下：先把挑料的一端放入炉中烧热（因只有热的铁棒才能粘得住玻璃料），然后再把管端插入玻璃熔料的表面上，绕轴旋转吹管，使在管端粘上一团玻璃料。此后从炉中拿出，在铁滚板上滚动并吹气。铁板表面应该很平滑，这可在铁板上稍用腊涂之。工人将吹管在铁板上滚动后，将这一分玻璃从铁板上拿下来（滚动的目的，一方面玻璃慢慢形成了小圆柱；另一方面，如果在玻璃中有空气，那么就可在这时候把它清除出去。并且在滚动时使圆柱形的玻璃可均匀。

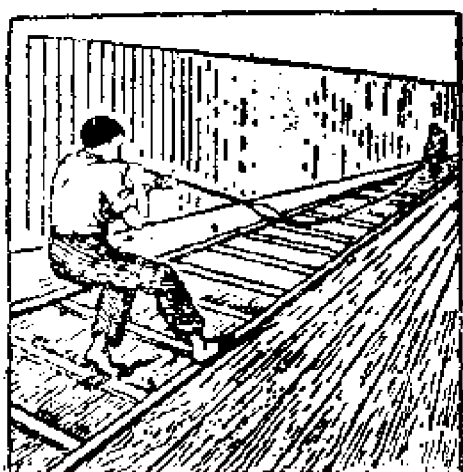


圖14-1 玻璃拉管。

形状也就有規則，这样才能拉出圓形且厚薄均匀的玻管)。然后工人将圓柱吹成小瓶，并且为了避免玻璃都集中在頂部，故在吹气时常把吹管举向上方，这时另一工人也用同样一吹管，粘上一塊不大的玻璃，并使其具有小鈎形状，于是就将这小鈎按到上一工人的玻璃小瓶上，并保持吹管在水平位置，就开始把玻璃团拉长，这种手工拉制的玻管或玻杆，其直径厚度全憑熟練的技巧掌握，尤其与工人脚步速度有关。这种拉制可以拉成直径在70毫米以下的玻管，再粗的玻管人工吹力就不够了，用手工拉制的玻管直径在10到30毫米时，尺寸可以拉得很准确。

制造玻杆也用同样的方法，其唯一的差别是在作玻璃圓柱时没有空气泡，拉时也无需吹气。

显然用手工制造玻管，仅能适宜小量生产，并且玻璃料浪费很

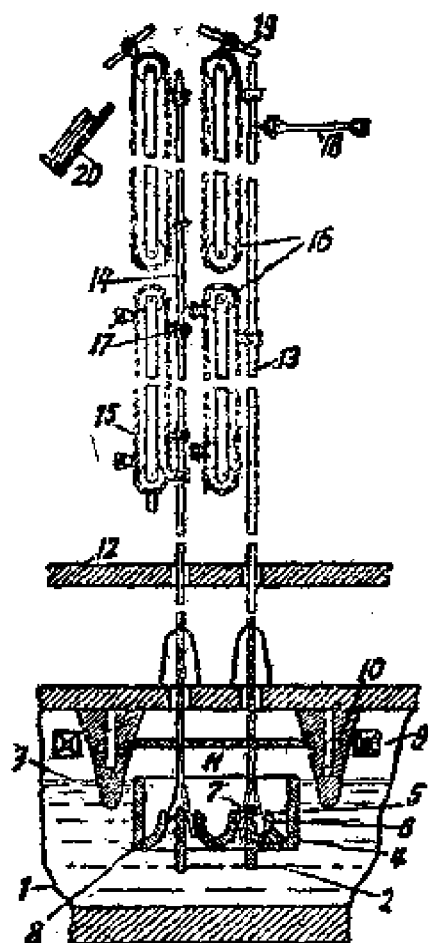


圖14-2 垂直式自动拉管机:

1—玻璃熔爐；2—熔融玻璃；3—玻璃液面；
4—耐火泥舟；5—管嘴；6—吹空气腔；
7—拉玻管的成形隙；8—拉玻杆的成形隙；
9—加熱間；10—耐火壁；11—工作室；
12—地板；13—拉制的玻管；14—拉制的玻杆；
15—傳送机；16—傳送帶；17—夹头；18—切割；19—割下的玻管；20—斜槽。

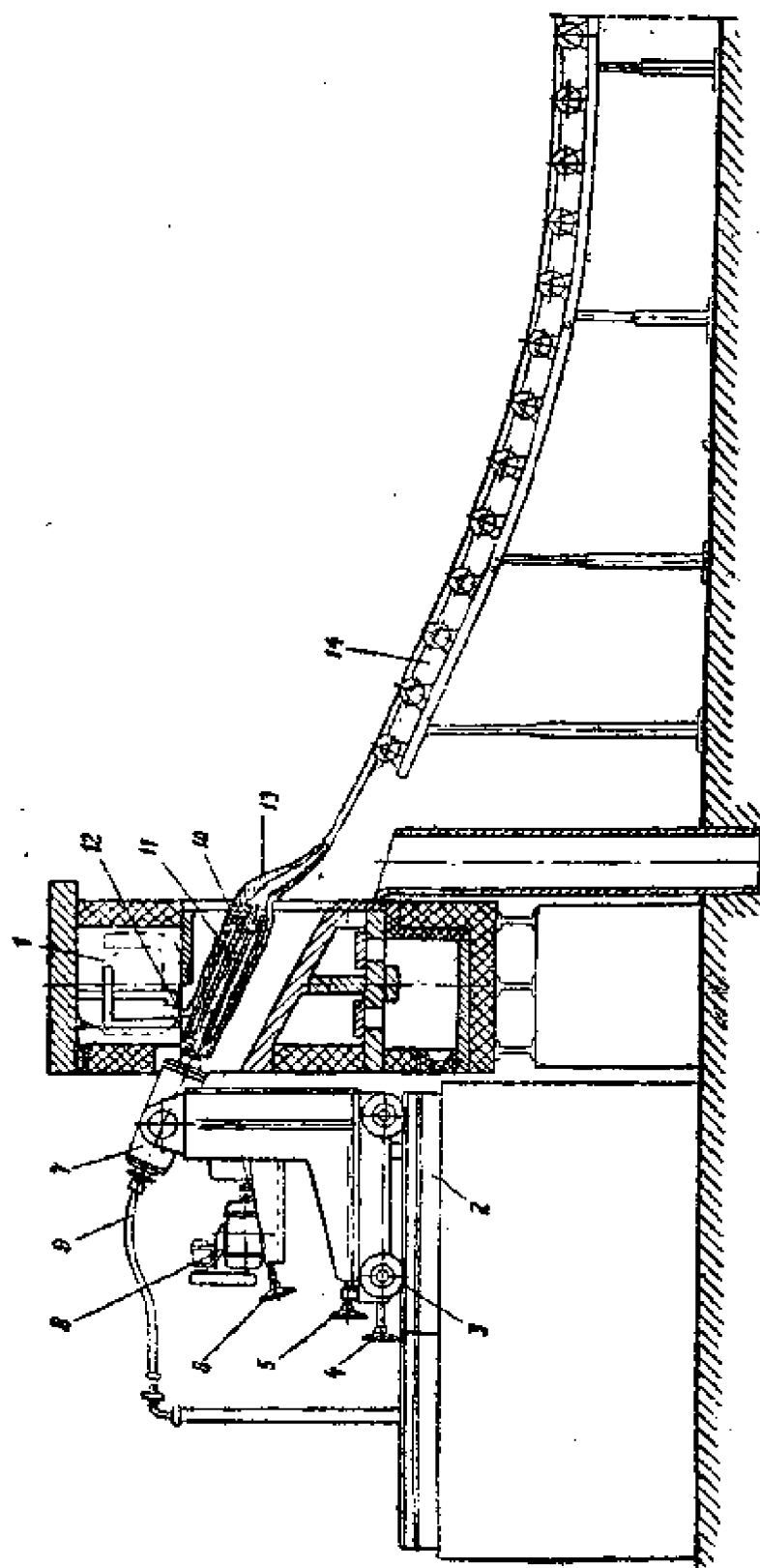


圖14-3 水平式自動拉管機。

1—熔融玻璃爐；2—機器架；3—能在軌道移動的機器輪子；4、5、6—調節機器的手柄；7—機器主軸；8—直流電動機；9—軟皮管，里面通入空氣以拉玻璃管；10—鋼管；11—陶瓷套；12、13—玻璃液流；14—滾軸的傳送帶。

多，对于大量生产则需用机械吹制法。

2. 机械吹制法 现在用机械法拉制玻管、玻杆的机器已经很多，这类机器大致可分成两大类。一种是垂直拉制的，一种是水平拉制的。垂直拉制的工作原理示意图如图 14-2 所示。

它用一环形有小孔的耐火粘土作的小舟，此舟浸在玻璃浆内，开始时用特制铁管拉出一段玻管，使在管上端粘上玻璃并向上拉起，玻璃浆一方面经过环形小孔，另一方面由于中间不断通入压缩空气，因而就形成玻璃管。管子上升到足够高度时，它被传送带上的夹子夹住，而当它升到传送带顶端时就不需要它了，随着拉出的长管子，玻璃就逐渐冷却和变硬，在传送带的顶端装置一个割刀，它将冷却的玻管切成一定的长度。管子的直径及壁厚是由传送带的运转速度、舟浸入玻璃缸中的深度、空气的压力以及舟上的洞孔尺寸来决定的，也就是说可以利用它们来调整。

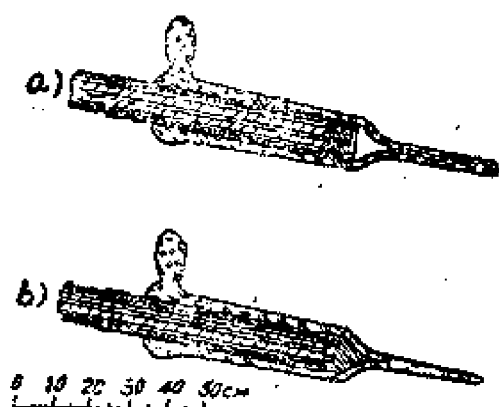


图14-4 a) 拉玻管用吹嘴；

b) 拉玻杆用吹嘴。

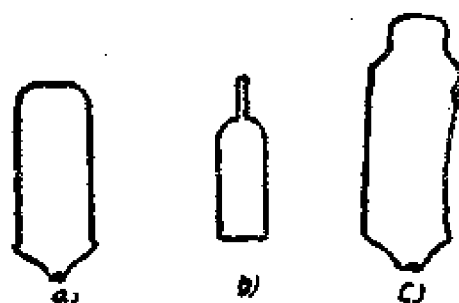


图14-5 玻璃外形。

水平式拉制的机器工作原理如图 14-3 所示。

玻璃浆由炉口 1 流到旋转而倾斜的耐火陶瓷 11 上，在这管中是用耐火金属作成的端头 10，管中有压缩空气吹玻璃，滚下的玻管为传送带 14 拉住，在冷却后割成小段，水平拉管机上有时还设有自动选管装置以及管端烧圆装置。

在拉制玻璃棒时，则要用实心吹嘴来代替空心圆柱体（如图 14-4），并且在拉制时不需吹气。

玻管、玻杆制成后，視其在电子管生产中的应用，还需要进行切割、校准等工序。

§ 14-3 玻壳的制造

电子管玻壳的外形很多（如圖 14-5），但大都是对称的空心泡。因此它的制造可以用吹管沿着長軸旋轉，而將玻璃吹到模具中去的方法。玻壳制造亦有用手工吹制和机器吹制的，在吹制玻壳时为了要得到一定形状的玻壳因此需用模具，模具一般是由两片构成的；如圖14-6

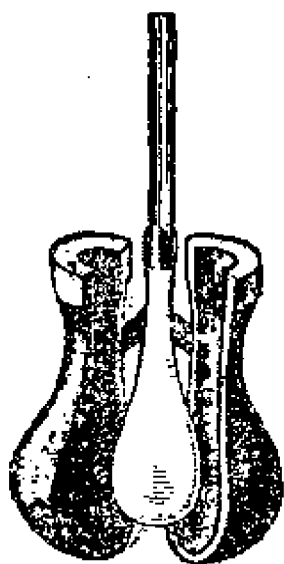


圖14-6 玻壳吹制用模具。

所示。仅在吹不对称玻壳时，才用三瓣的模具。制造模具的材料可用木材或生鉄，木材模具价廉，但由于很容易损坏，寿命不长，故在生产上一般都用生鉄模具，模具的壁厚約为20~30毫米，并且要厚薄均匀，以使热量傳送均匀。此外在吹制玻壳时为了要把模具中的空气排出，故在模具壁上鑽有些小孔。并在模具的内壁还要塗上一層平滑的油灰層，为此一般先在鉄模具内表面上塗一層薄的亞麻漆（麻亞油內滲入少量的松香），再在合上的模具中填上篩过的細木炭粉，然后将多余的木炭粉倒出，于是經過約十余小时的时间即可应用。一般油灰層的厚度大約有 0.2 毫米，所以模具直徑要做得比玻壳直徑大 0.4 毫米，此外这油灰層应非常的光滑，因为粗糙的表面将会在热的旋轉玻壳表面上留下許多沟紋，油灰層在工作时要磨損或因操作不準確而损坏，因而油灰層是需經常更新的，一般在一工作日后需更換一次。

（1）手工吹制法 生产量不太大的玻壳往往是用人工吹制的，吹玻壳亦需要象吹玻管一样要一根鉄制的吹管，管子的大小根据所吹管子的大小来選擇，一般吹制重30~40克的玻壳时采用直徑为13毫米的吹管。吹較大的玻壳时則用直徑为18毫米的吹管。如果吹很小的玻壳时吹管的外徑可以小到7毫米。

手工吹制的过程如下：起初的过程也和吹玻璃一样，工人先把吹管在爐內挑出一小团玻璃，其重量約等于所吹玻壳的重量（圖14-7，（1））。然后工人将这团玻璃在滾板上滾动，并稍将吹管向下压，以后从滾板上拿下来吹气，使成小瓶（圖14-7，（2））。在吹小瓶时要避免玻璃下垂，这可将吹管举向上方吹气，使玻璃不致集中在玻壳的頂部，并使其整个玻壳的均匀分布（圖14-7，（3））。当小瓶的体积变到一定的尺寸后，将吹管再放向下方，放时将小瓶拉至所需的長度，并立即将其放入鉄模具內。在这时小瓶已差不多和玻壳一样長，于是工人就将这紅热的玻璃小瓶放入模具中，使其玻壳几乎沉到模底，工人踏住踏板将模具合上（圖14-7，（4））。同时一边吹气一边作不断的旋轉，于是玻壳就制成了（圖14-7，（5））。

当玻壳制好后，工人要把玻壳从吹管上打下来。打下来最簡便的方法就是将玻壳和玻璃接头处沾一点冷水，使玻璃驟然冷却，再在此

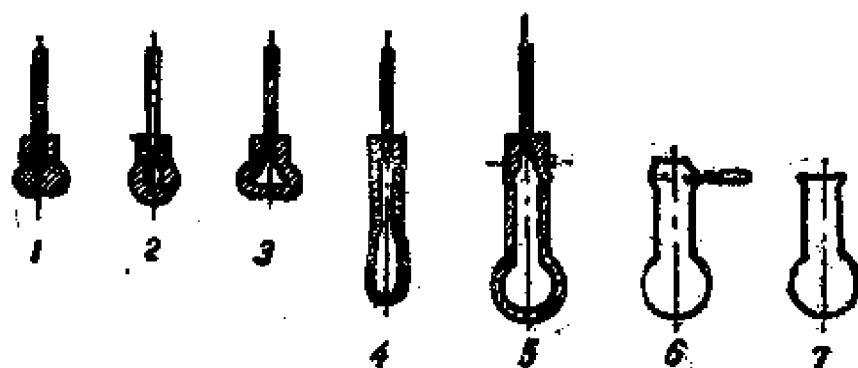


圖14-7 玻壳吹制过程圖。

处輕輕一敲即落下（圖14-7，（6））。

在吹制玻壳时，要用水不断地把玻壳冷却，为此模具是装置在一个有机械傳动的脚踏装置中。冷却模具的冷水应相当純淨，并且要常更換，更不应是硬水，否則对玻壳質量將發生影响。此外，吹制玻壳时要求整个玻壳的厚薄均匀，因为如果玻壳頸玻璃太薄，則将来在封口时玻壳頸部的玻璃将会熔接不起来。如果玻壳的壁过薄而頸部过厚那么过薄的部分在将来玻壳加热时，如在排气时就会产生凹陷或有被冲破的危險，并且玻壳頸部过厚将使与芯柱封接时很慢，且不好。

除玻壳頸部玻璃厚度須均匀外，同一类型玻壳的重量也应尽可能的一致。这就需要挑料时准确，特别是在自动封口机上封口，玻壳过輕在封口时余料不易自动落下。

除了根据加工的条件对玻壳提出这些要求外，还要求玻壳在垂直軸方向的圓周長度尺寸要准确，特別重要的是要使玻壳內徑相同，公差的范围一定要小，因为云母片要支撑在玻壳上。在大功率电子管中，如果玻壳的直径不一样，則在心柱上支撑电极的高度也就不一致，无论从电子管的机械、热或光的性能来講都是不好的，另外玻壳当然不应是橢圓或是歪的，而应当是垂直剖面沿長軸的旋轉体。

(2) 机械吹制法 用手工法吹制玻壳不能适应大量生产的需要，因此就必须采用机器吹制玻壳法。用来吹制玻壳的机器，目前有好几种，下面列举二种常用的机器。

甲. 类似手工吹制法的机器：



圖14-8 鏈式自动吹玻壳机。

这种机器如圖14-8所示，熔化的玻璃由爐中流出来时首先在二个有水冷却的圓滾輪1和2間通过，把玻璃压成带状。然后把玻璃带4送到傳送装置5，它由許多固定在无头鎖鏈上的單个平板6組成。每一平板上有一小孔7，在小孔7中慢慢地装进具有一定粘度的玻璃。在傳送装置上平行运动着的还有一个同样的无头傳送带，在它的下方固定着許多为吹玻壳用的头子8，头子与許多吹压缩空气用的导管9相連。头子的位置与傳送装置平板上的小孔相对，这样头子压住了玻璃带。当傳送带再向前行进时，就慢慢地使通过小孔的玻璃变成小瓶。以后小瓶就进入了玻壳模子10，模子10固定在傳动装置下方的无头傳送带上。当模子自动合上之后，經过头子吹入压缩空气。同时模子亦

在傳动，当傳送帶再往前行进时，模子便分开，以后模子和吹气头子也就离开了。在金屬带上残余的玻璃被旁边的圓盘去掉，而制成的玻壳則由另一装置12从金屬帶小孔上取下。

这种机器吹制玻壳一方面生产率高，并且还改善了劳动条件。另一方面，它所制玻壳的質量也更为标准，尤其是壁厚的均匀度一致。

圖10-9为另一种用机器吹制玻壳的机器，它的工作原理基本上和鏈式吹玻壳机一样，仅机器作成圓形轉盘而已。

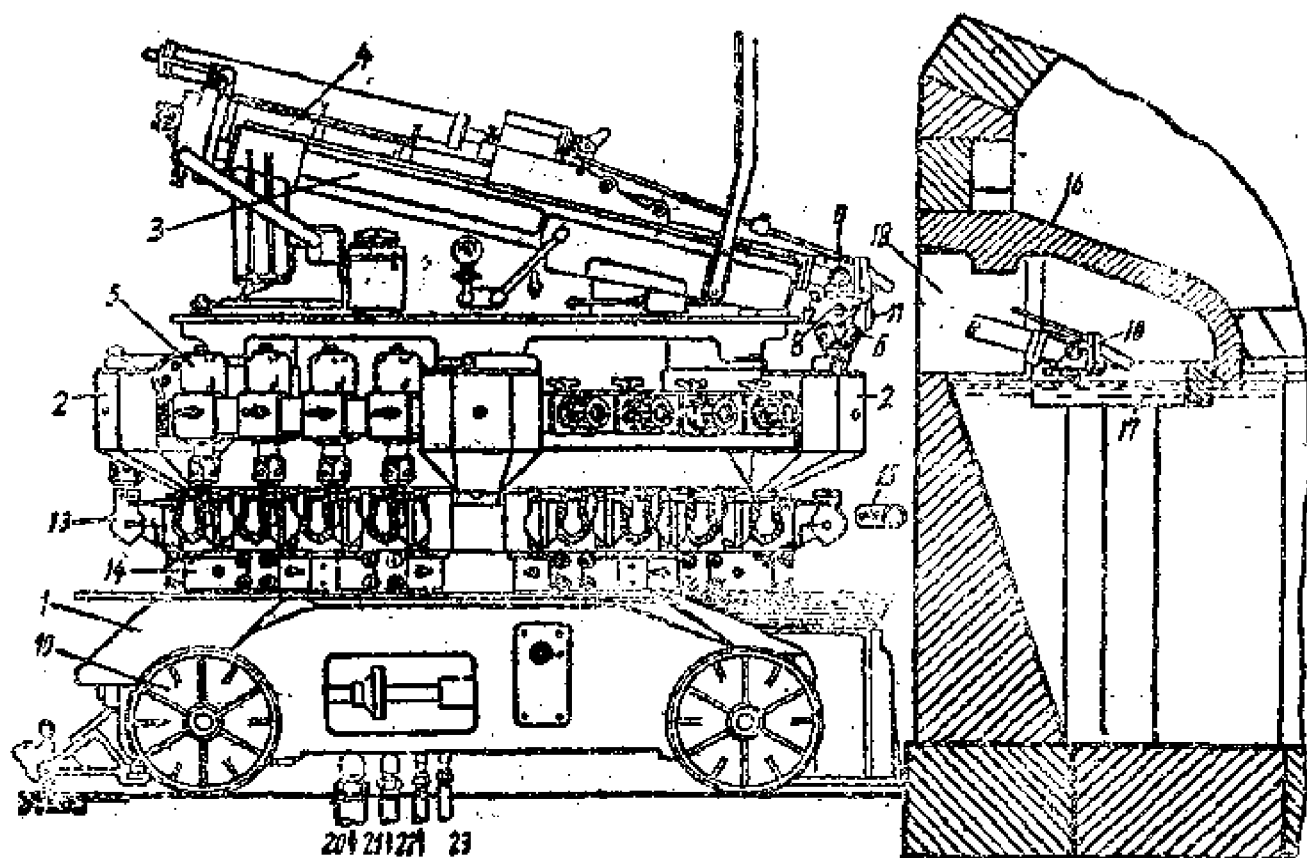


圖14-9 轉盘式自动吹玻壳机：

1—机身；2—轉盘；3—聚集机器的机身(真空源)；4—真空机；5—呼气管；6—頸口鉗；7—管子的呼气嘴；8—玻璃毛坯；9—吸气端盖；10—在玻璃中的吸嘴；11—吸入端接料部分；12—切断多余玻璃的刀；13—模子；14—調节吹風的活門；15—冷却模子的水管；16—爐膛；17—爐內玻璃面；18—爐窗；19—自动拖曳机器用的輪子；20—空气管；21—真空系統管；22—軟水管；23—排水管。

乙. 由玻管制成玻壳的机器：

在小型电子管中，由于玻壳的形状簡單，因此就可用相当直径的

玻管制成玻壳。它的制造过程如图14-10所示。先把玻管切成一定的长度，然后把一段玻管烧成二个玻壳，这全部在一部机器上完成。在图14-11上示出了这样一种设备的外形。有时为了使玻壳的内径准确起见，再在玻壳校准机上进行内径的校准，校准的过程如图14-12所示，最后再在排气管机器上接上排气管。于是就形成了图14-13的玻壳。

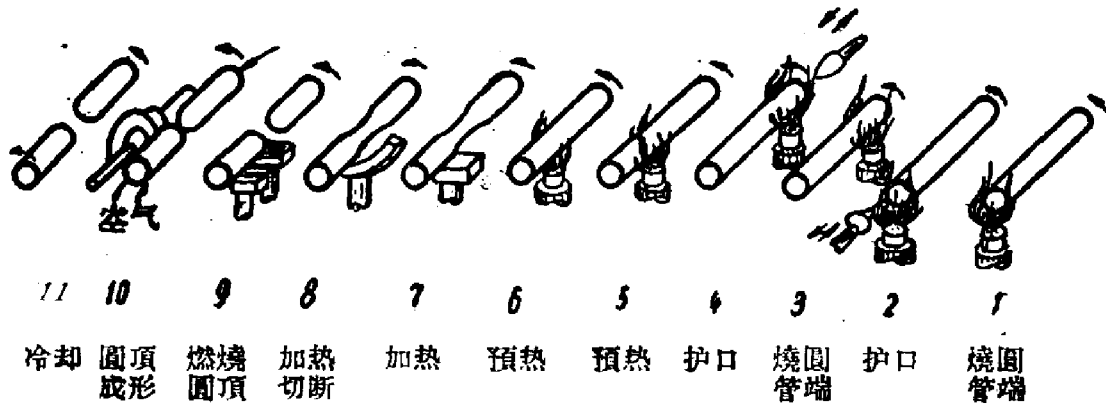


圖14-10 小直徑玻壳制造过程。

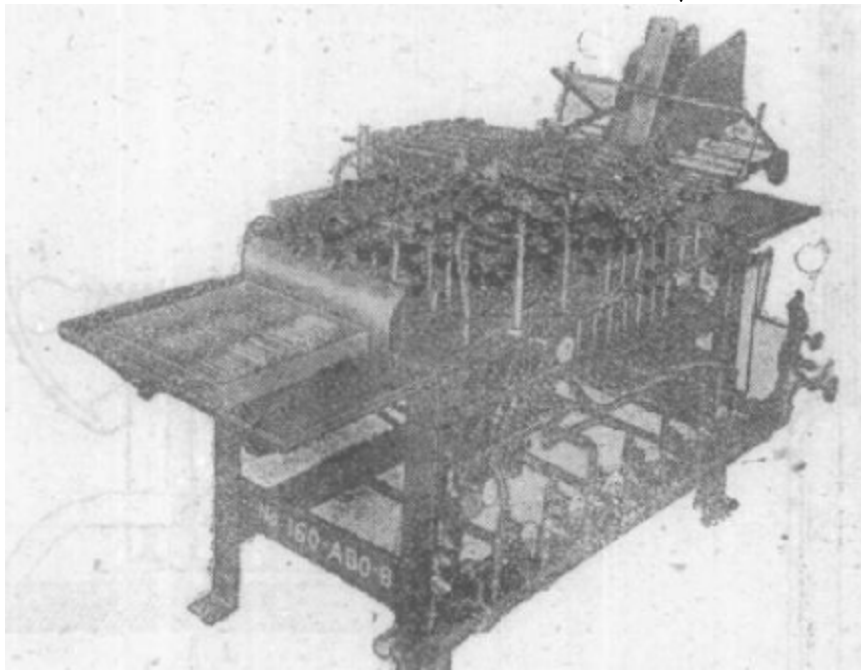


圖14-11 小直徑玻壳制造机。

(3) 玻壳的加工及檢驗

1) 玻壳的切割——用模子吹制的玻壳，为了使玻壳的頸部平整，或玻壳的重量一致，因此在封口前的玻壳要进行切割（割头）。所以在

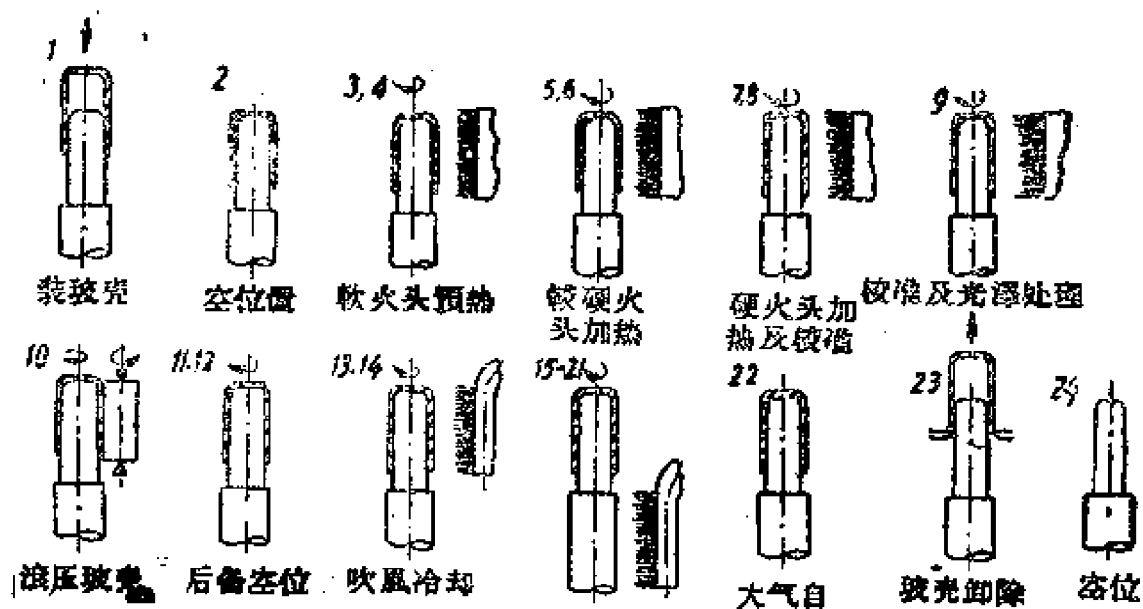


圖14-12 玻壳內徑校正过程圖。



圖14-13 接排气管后的玻壳。

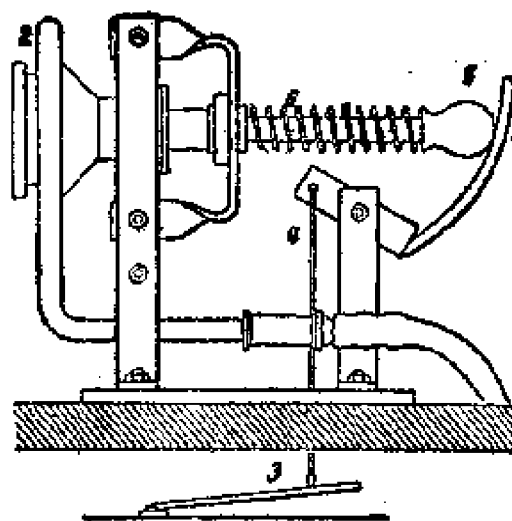


圖14-14 玻壳切割器：

1—鉄壳；2—焊氣火头；3,4,5,6—管壳压紧机构。

吹制好的玻壳頸部做成一凸边，以后用切割器在此切开，切割器如圖 14-14 所示，它用火焰把鉄环燒至赤热，然后将玻壳頸靠在鉄环上一轉，再以湿布一抹即在頸处裂开。

2) 玻壳的清洗——从玻璃車間制好的玻壳，由于运输和存放，因此会沾上一些潮气和灰塵，故在使用以前必須把它清洗一下。清洗也可由手工清洗和机器清洗，一般用热自来水冲洗，若發現不够清潔可用微弱的盐酸和硫酸水溶液（按重量不超过 0.4）冲洗。以后再用蒸餾水冲洗，然后放在特殊的木格玻壳架（圖 14-15）上干燥之。玻壳架放在 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱中。

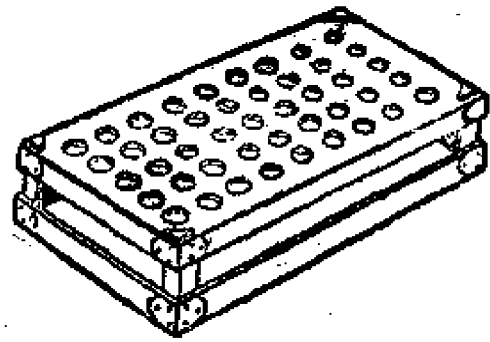


圖 14-15 玻壳架。

3) 玻壳的打印——在电子管上为了表明电子管的型号，工厂商标及制造日期，需要在玻壳上打印。玻壳打印一般在洗玻壳以后进行，但也可以在封口后的玻壳上打印。

在洗玻壳后进行打印比較方便，并且可用热印法。热印法的标号明显，且印得牢固，这种方法先要配制打印膏，打印膏是由下列成分溶于 30 毫升的甘油中制成的：

硼酸鉛： $\text{Pb}(\text{BO}_2)_2$ 22.5 克；

氧化銀： Ag_2O 52.5 克。

将打印膏打在玻壳的側部或頂部，打好后即在玻壳上出現黑色的印子，但这样很易擦去，为了使印字牢固地印在玻壳上，必須把那一部分玻壳加热到 450°C ，使硼酸鉛与玻璃燒在一起。并且氧化銀变成銀而与硼酸盐燒在一起故其印子由黑色而轉变成为金黄色。

打印如在封口后进行就只能用冷却印法，冷印法是用含有氫氟酸成分的打印膏打印的。

打印可用手工进行，亦可在專門的打印机上进行。这种打印机的結構和小型的印刷机很相似，如圖 14-16 所示。先将印膏打在橡皮墊 2 上，然后将管子在其上一滾，于是印就反印到管壳上了。

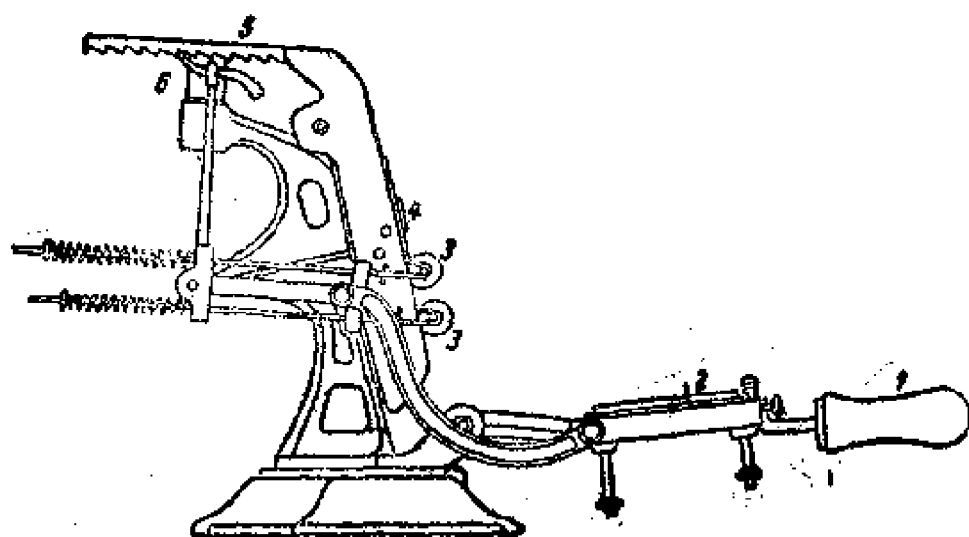


圖14-16 玻璃打印机:

1—手柄；2—橡皮墊；3—滾筒；4—青銅的印子；5—敷有印膏的圓盤；
6—推牙，當舉起手柄時即推動5。

4) 玻璃的檢驗——為了製造合格的電子管，玻璃也必須進行檢驗。對於玻璃的外形，高度或直徑可用特制的模板來檢驗（模板可用鋅板或銅板制成），把它們套到玻璃上，對着光觀察，就可很清楚地觀察到模板與玻璃間的差別。至於測定玻璃的厚度可用赫芝光學儀器來進行檢查，這種儀器可測出很薄的厚度，準確度達到0.1毫米儀器如圖14-17所示。

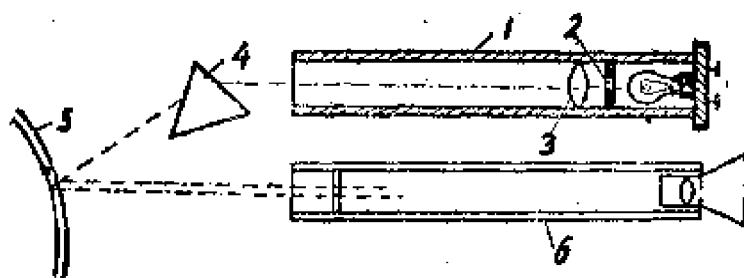


圖 14-17

管1內小燈泡的光線通過狹縫2，小縫的象借助於透鏡3和稜鏡4，射到被測的垂直放着的玻璃5上，縫的象由玻璃壁的外表面和內表面反射，用平行光學筒6就可以看出有二個象，根據縫的二個鏡緣

之間的距離，就可直接在光學筒的透明刻度上讀出玻殼的厚度。但當玻殼表面曲率大時，所得讀數應有修正。一般玻殼很薄時誤差可以略去不計。

除了檢驗玻殼的尺寸外，玻璃制品本身亦常具有許多其他的缺陷，玻璃本身的這些缺陷是由于玻璃漿的物理和化學均勻性遭到局部的破壞所造成的。一般玻璃的缺陷由下列幾種類型：如氣態內結（氣泡、小米粒）、液態內結（紋縷、大紋縷或綫結）、固態內結（石塊、粗粉、磚子）等。

1. 氣泡：這是玻璃制品中最常見的一種缺陷，並且是吹玻璃工藝中最常見的一種缺陷，如果氣泡直徑小就稱為“小米粒”。將帶有氣泡或“小米粒”的玻璃在火焰中加工時氣泡內的空氣將會膨脹，因而可以使軟化了的玻璃冲破，在被沖開的地方形成小坑。如果氣泡大時有時還會形成空洞，並且在有氣泡的地方當加上高壓時亦會引起電击穿；這種氣泡的形成主要是由於爐料的澄清不好。

2. 紋縷：這種缺陷從外表上看上去好像是一層層的波浪似的，這是由于在玻璃熔制過程中雖然玻璃漿的化學成分一樣但由於其粘度是隨溫度的不同而不同，如果攪拌得不够均勻就會形成這種缺陷，帶有這種缺陷的玻璃不易加工，往往在加工過程中或是已加工好的成品會產生爆裂。

3. 砂子：玻璃有時會發現小的沙粒，這往往是由于在熔制玻璃時由坩堝壁、池窑壁上掉下來的粘土，另外當玻璃中有過量的石英存在時多餘的石英沙粒就會形成粗粉。帶有這種固體內結的缺陷的制品，會使玻璃粗化，並且使熱膨脹系數不均，所以亦會引起小裂縫。

§ 14-4 玻璃零件的压制

電子管的厚壁零件大都是用爐中取出的液態玻璃压制而成的，這種方法多半用於制造平板形芯柱的毛坯，電視顯象管的玻璃屏有時亦是採用压制的方製成。

压制是在特殊的壓模中進行的，它有三個主要部分：陽模、陰模

及压环所組成。压环用来成形零件上面部分，并防止玻璃由压模中挤出，阴模具有与制品形状相应的凹穴。在簡單压模中，制品由阴模中倒轉取出。在用手工压制玻璃零件时，如果工人技巧熟練，生产率每班可有 500 个到 800 个。如果用压缩空气压床，則生产率每班可达 1500 个。而在大量生产中，則采用多軸压缩空气压床，它是自动地由玻璃熔爐中吸取玻璃或是用火焰将切断的玻璃管环加热压制，这种自动机的生产率每班可达 12000 个零件。

§ 14-5 玻璃的应力及其消除方法

(1) 玻璃产生应力的原因 由于玻璃的热膨胀系数很大，并且导热性又很差，因而在玻璃加热或冷却的过程中，就会在玻璃内部形成应力。这种应力的形成，如果超过一定限度时，玻璃就会立刻或在以后發生炸裂，因此在电子管生产上，玻璃制品的应力是一很重要的問題。

当加热到轉化溫度以上的玻璃在空气中冷却时，因为玻璃的热导率很小，因此当外層玻璃已經冷却时，而内部玻璃却还处于較高的溫度，但在冷却的过程中，玻璃的体积是要收縮的，可是由于内外層的溫度不一致，因此玻璃内外各層的收縮程度也就不同，这样就在玻璃内部产生了应力。

根据冷却情况的不同，所生应力可有暂时应力与永久应力之分別。

加热到轉化溫度以上的玻璃，如冷却較快时（例如置于室溫中自然冷却），外層玻璃很快达到轉化溫度以下，而内層玻璃的溫度却还很高，在外層冷却到凝固点以前，这时玻璃的内層与外層尙无应力产生。因为在熔融状态，膨胀系数相差不大，即使产生应力，也会被玻璃分子的移动所抵消；但是当外層达到轉化点以后，外層与内層的膨胀系数有显著不同，并且这时由于外層已达到凝固状态，当繼續冷却时，其体积的縮小不大，而内層的溫度却較高，同样冷却到室溫时，体积的縮小就大得多，但由于这时外層的玻璃已硬化，不允許内部的玻璃自由地縮小，因此在外層的玻璃就受到内層玻璃一压力，而内層的玻

璃則受到拉应力，如圖 14-18 所示。这时由于內層玻璃尚未凝固，因此受到应力后，就使內部分子产生移动，而当玻璃冷却后，这时分子已不能回復原来排列，所以这种应力在玻璃全部冷却后还始終存在。故称这种应力为永久应力。这种应力过大时，立即会使玻璃破裂或以后發生破裂，因此在玻璃制品制造或加工时，應該竭力避免永久应力的形成。

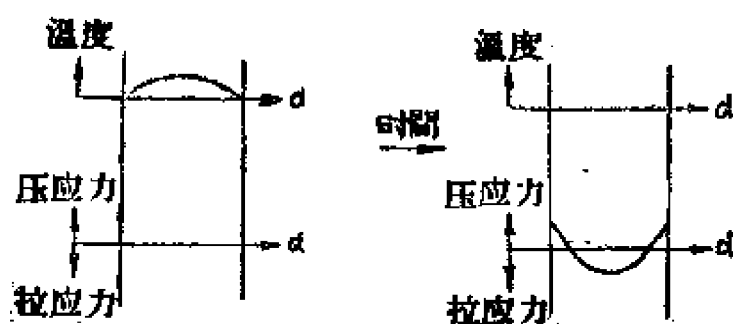


圖14-18 永久应力的形成过程。

与此不同，如果加热到轉化溫度以上的玻璃，讓其慢慢冷却，使外層与內層同时达到凝固溫度，这样外層与內層几乎无溫度的差别，自然也沒有应力的产生。此后，如果降低溫度較快，則由于外層冷却較快，根据固体热漲冷縮原理，外層收縮将大于內層，結果外層将給予內層一压应力，而外層則受內層給予的拉应力，但由于这时玻璃已經凝固，內部分子不会再因应力而有所迁移，因而当內層相繼冷却后，应力即所消除，如圖 14-19 所示。

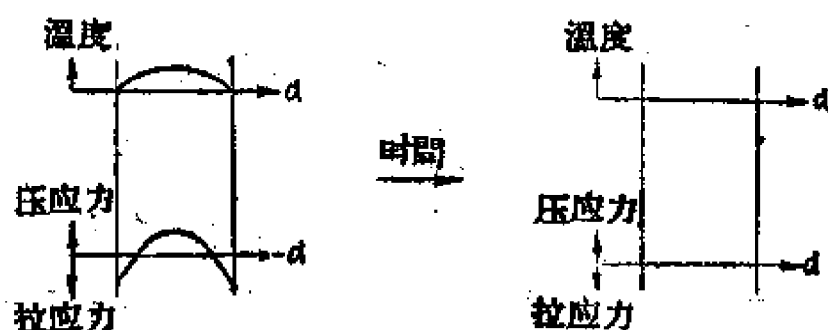


圖14-19 暫時应力形成过程。

由于这种应力是在冷却（也可能在加热）的过程中形成，以后就自行除去，故称这种应力为暂时应力。暂时应力对玻璃制品并无多大妨碍，但如原来玻璃制品内已稍有永久应力，在玻璃制品再次加工或受热后冷却时，则加上这时所生的暂时应力，可能就有使玻璃破裂之虞。为此暂时应力我们亦不希望在加工过程中形成。此外当玻璃加热时，如果温度在转化温度以下，则加热时在玻璃中所生应力，亦是属于暂时应力。

（2）应力的避免与消除 玻璃制品由熔融状态冷却时将产生应力，而应力又会导致制品的炸裂；因此在电子管制造上就必须设法避免应力的形成，而对已有应力的制品要设法消除。避免与消除玻璃应力的方法在术语上称为“退火”。

我们知道玻璃应力的形成，主要由于玻璃的膨胀系数大，导热率小，因此当玻璃内外层温度差大时，则其内外层收缩或膨胀的速率亦就不一样，于是玻璃产生了应力。为此我们要避免应力的产生，就要使玻璃在冷却或加热时，使其内外层的温度差愈小，所以就需要玻璃在加工后缓慢冷却，这种方法我们称为退火，如果玻璃制品在制好后，已生成有应力，则就要设法把它消除。永久应力的生成由于内层玻璃已在转化温度以上，为此要消除应力，就必须把它再加热到转化温度以上，使内部分子得到移动，经过一段时间后，分子恢复原来的排列，这时内外层温度亦相等，因此应力全部消除。以后再在转化温度下慢慢冷却，这样虽则尚可能生成暂时应力，在最后将全部消除，其应力消

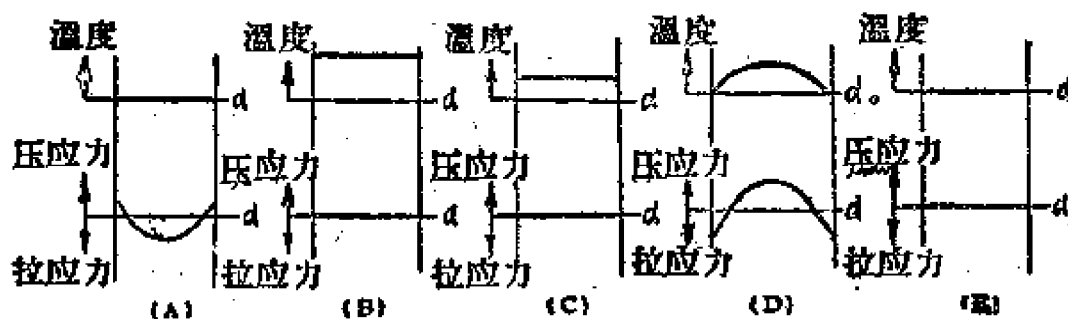


圖14-20 除去应力的过程。

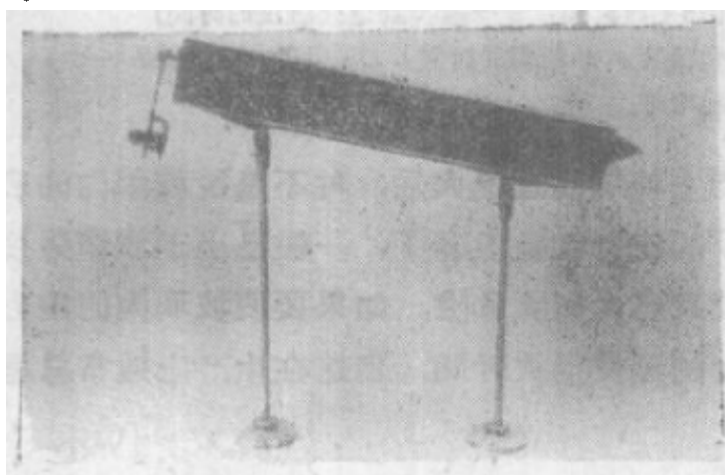
除过程如图 14-20 所示。

一般如果玻璃加热到转化温度，则约许保持15小时后便可消失应力，但如加热在转化温度以上，则每升高 8°C ，约可使消除应力的时间缩短一半。因而为了退火时间不致太慢，退火温度以高为宜，但亦不能太高，否则会使玻璃零件产生变形的危险。在生产上一般是在这样的温度下，如果保持15分钟就可消除应力（即使分子的排列回复到原来的情况），这样的温度称为“退火温度”。

玻璃的膨胀系数愈大（软玻璃），玻璃制品的形状愈复杂，玻璃愈厚，则应力也愈易生成，退火也愈显得重要和必要。

退火可在煤气火焰中进行，也可在退火炉中进行。退火炉是一只里衬绝缘材料的铁箱，使热量不易散失，退火箱可分连续退火炉和分批退火炉二类：

1) 连续退火炉 这种退火炉是以一定的退火温度分布的，而被退火的零件则又以一定的速度在箱内移动，这种退火箱有长式的和圆式的，如图 14-21 所示。通常用于在制成成品后及时退火之用，退火时间一般较短。



a)



b)

图14-21 a—长式退火炉；b—圆式退火炉。

这种退火爐主要用于生产上制成的零件及时退火用。

2) 分批退火爐 这种退火爐零件分批放入退火爐中，然后爐中溫度以一定規律变化，这种退火箱多用于复杂仪器制成后的退火，以及再次减少制品的应力时之用。这种退火爐的退火時間較長，它通常以馬弗爐代之。

至于退火爐的加热，可用电热与火焰二种。用电热絲加热，調節方便真空衛生亦好，但是耗电甚大，火焰加热較經濟但較髒。

不論是那一種退火爐，玻璃制品在退火爐中所經歷的時間和受的溫度应符合圖 14-22 所示的曲綫，这种退火曲綫的原理主要亦就是根据圖 14-20 的消除应力的过程而来的。表 14-1 列出了几种不同膨脹系数以及不同厚度的玻璃的退火曲綫实验数据。

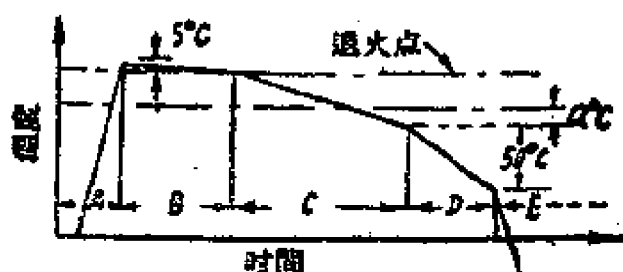


圖 14-22 退火曲綫:

A—加热到比退火溫度高 5°C 的時間；B—維持到退火溫度的時間；
C—开始冷却到低于轉化溫度 $\alpha^{\circ}\text{C}$ 所需的時間；D—再冷却 50°C 所需的時間；E—最后自然冷却。

必須指出，在一般生产上玻璃經過退火后，并不是說玻璃內的应力已完全消除，但这时剩下的应力已是很弱了，一般已小于玻璃強度的 5%，这样就对玻璃的制品已无多大危險。如果要使玻璃內的应力降得很小很小这就必需大大的延長退火時間，但这在生产上通常总是不能實現的。

(3) 檢查应力的方法 沒有应力的玻璃它是各向均匀的物体，即在各个方向上的物理性質均相同，这种玻璃的各个方向的化学性質也相同。含有应力的玻璃，由于应力使得玻璃分子彼此的排列改变了，因此它就成了各向异性的介質，根据这种性質通常借偏光仪檢查玻璃

表14-1 玻璃退火曲线的数据

玻璃的膨胀系数 $\alpha \cdot 10^{-7}$	玻璃的厚度 (毫米)	退火温度 (°C)	单面冷却情况					双面冷却情况						
			C		D		E	C		D		E		
			A	B	时间 分	温度 °C	冷却 速率 °C/分	冷却 速率 °C/分	冷却 速率 °C/分	A	B	时间 分	温度 °C	冷却 速率 °C/分
33	3.2	575	130	5	5	12	24	130	400	5	5	39	79	400
	6.4	553	30	15	10	3	6	30	130	15	10	12	24	130
	12.7	531	8	30	20	0.8	1.6	8	30	30	20	3	6	30
50	3.2	528	85	5	5	8	16	85	260	5	5	26	52	260
	6.4	510	21	15	10	2	4	21	85	15	10	8	16	85
	12.7	492	5	30	20	0.5	1	5	21	30	20	2	4	21
90	3.2	451	50	5	5	4	8	50	140	5	5	14	28	140
	6.4	433	11	15	10	1	2	11	11	15	10	4	8	50
	12.7	415	3	30	20	0.3	0.6	3	3	30	20	1	2	11

中的应力。

偏光仪主要利用了物理中的偏振光原理。它的工作原理如图 14-23 所示。当一自然光线经过特制玻璃（通常是用黑色的玻璃），反射后就产生极化，即使反射光线在某一方向的振动特别强，这种在一个固定方向光振动较强的光称为偏振光，这就是所谓光的偏振现象。

当偏振光通过各向异性的物体（有应力的玻璃）时，则产生了双折射现象，即它分解成为二条偏振光线，一条称为寻常光线；另一条则称为非寻常光线。前者当入射光线的方向改变时它的折射率是不变的，而后者的折射率则随入射光线的方向改变，因为折射率决定于光线的速度，所以寻常光线通过玻璃时的速度是不变的，而非寻常光线通过玻璃后的速度则随入射角而变。因此，当玻璃受到压应力时非寻常光线要比寻常光线的速度大，但当玻璃是拉应力时，寻常光线又比非寻常光线的行进速度大。而这速度的大小的差别由应力的

大小和性质来决定，如果玻璃内无应力，则两者速度一样。

寻常光线和非寻常光线均为偏振光，但两者的振动面是相互垂直的。为了能使这种的振动面能在同一平面上，以便产生光的干涉，为此，还须再经过检偏镜，使一条光线又会分解成两条光线（寻常光线和非寻常光线），其中两条寻常为检偏镜所折射，它对测量应力是无用的。而两条非寻常光线则可以通过，且这时它们的振动面是在同一平面上，如果测量的玻璃有应力时，它们的速度不相同，因此两者间有一光程差，其大小与玻璃的厚度以及其中的应力有关，并且由于这光程差使光产生干涉，即彼此叠加。而这种干涉能使一定波长的光线削弱或消失，如果当光程差为光波长时，则就完全抵消。而当在其他情形时，则发生一定波长光线的削弱或增加，由于我们是用白光照射的，因此当产生光程差时即有一定波长的光线产生，故在检偏镜中就出现

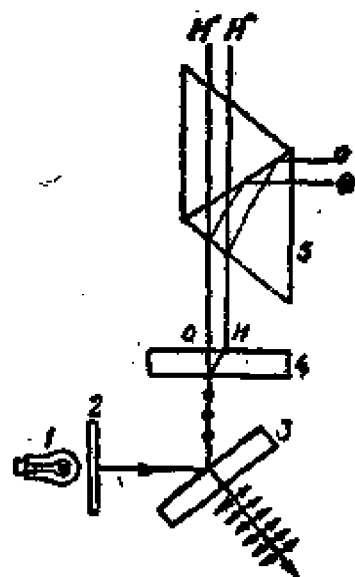


图14-23 偏光仪原理图。

- 1—灯泡；2—毛玻璃；
3—起偏镜；4—应力玻璃；5—检偏镜。

了色采。測量時就借色采來判斷應力的情況。在圖 14-27、圖 14-28 示出了 3C-4 玻璃的应力情況。

在圖 14-24 上示出了測量小玻璃零件的偏光儀工作原理。在圖上由燈泡 1 產生的光綫經過毛玻璃 2 使光綫成為漫射光，然後射在起偏鏡 4 上（起偏鏡是黑色玻璃製成的），此鏡的位置與光綫成全偏振角。反射後所得的偏振光，經過被測玻璃零件 6，如果 6 中有應力時，光綫會分解成尋常的和非尋常的兩條光綫，這兩條光綫再經過檢偏鏡 8。

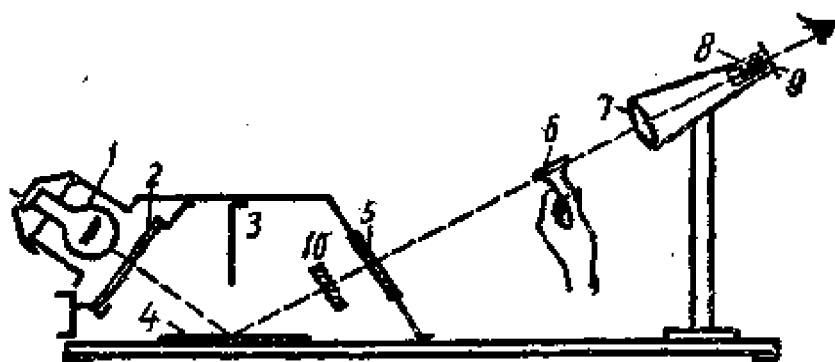


圖14-24 小型零件用偏光儀。

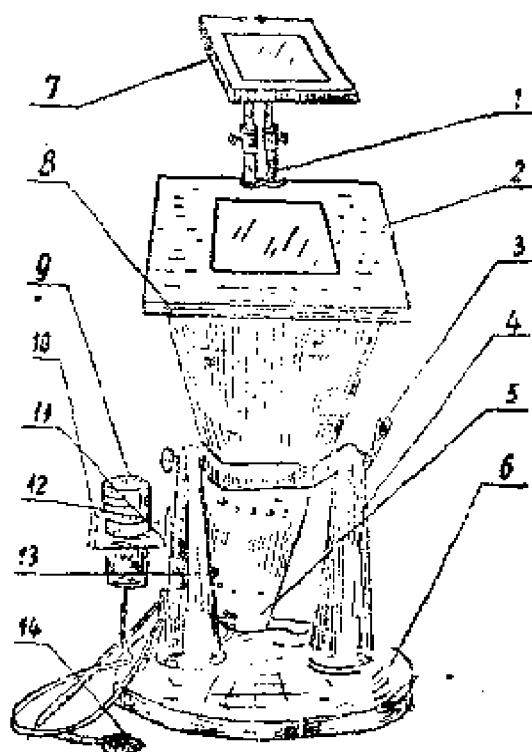


圖14-25 大型偏光儀的外形圖：

1—檢偏鏡支架；2—觀察物件的台面，
上為毛玻璃；3—手柄；4—骨架；5—
機殼；6—底座；7—檢偏器；8—投射
器；9—燈座；10—燈座擱架；11—內
裝双凸透聚光鏡；12—夾透鏡圓環；
13—散熱罩；14—按鈕。

为了提高偏光仪的灵敏度同时能看出应力的大小及性质（压缩或拉伸），就在偏光仪中加入一色光片（石英片）一般的偏光仪中都有。这时从偏光仪中看玻璃时若无应力存在的地方则呈紫红色，有应力存在的地方则呈另外一些颜色，如蓝色、绿色、黄色等。根据光色的亮度及位置就可判别制品中的应力的大小及位置。

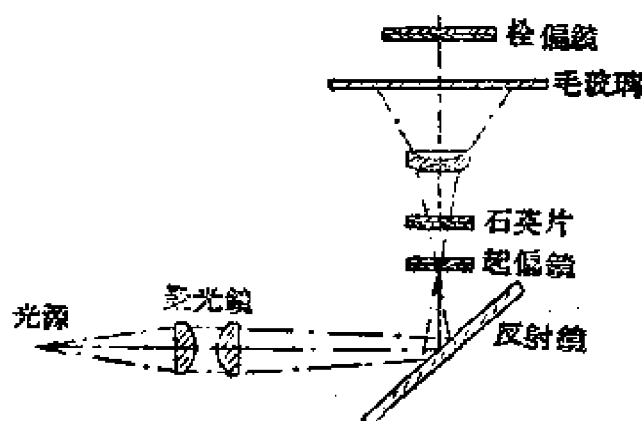


圖14-26 偏光仪工作原理圖。

但是由于形成光程差还与玻璃的其他因素有关，如玻璃的形状厚度、成分等。因此单从色采来判别应力不甚可靠，为此在生产上决定合格应力的制品时，往往要与标准样品比较之。

至于尺寸较大的玻璃制品则通常在大型偏光仪上测量，其外型如图14-25所示。它的测量原理和上述相同，这可以从原理图（图14-26）上清楚地看出。

§ 14-6 玻璃表面净化

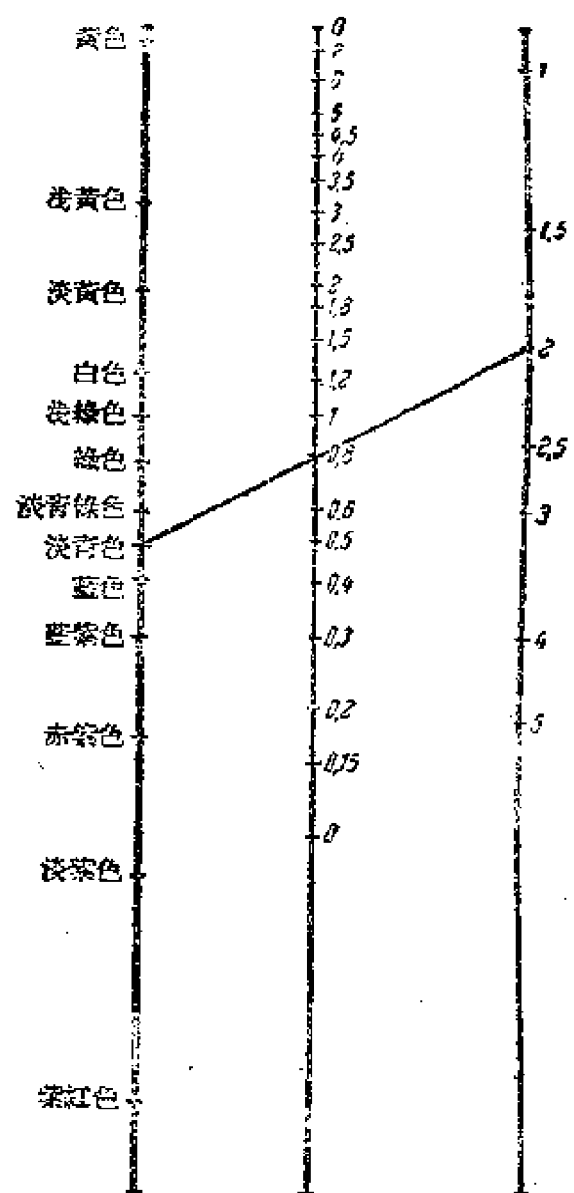
欲使玻璃表面清洁，应该尽可能避免使用机械净化法特别是用硬質工具来进行擦拭，例如用铜刷等，这是因为这样做了以后，在玻璃表面上易生成损伤裂纹，而这些微小损伤会引起玻璃进一步加工时的破裂，脏的玻璃可以用化学方法进行净化，其法如下：

先用氢氧化钠或氢氧化钾溶液进行洗涤，接着用浓的铬酸混合物（在浓硫酸中加入粉末状的重铬酸钾 $K_2Cr_2O_7$ ）视脏的程度洗数分钟乃至一日，然后再用水冲洗，最后以蒸馏水洗净，最好煮沸数次，这样

清潔度可更高。

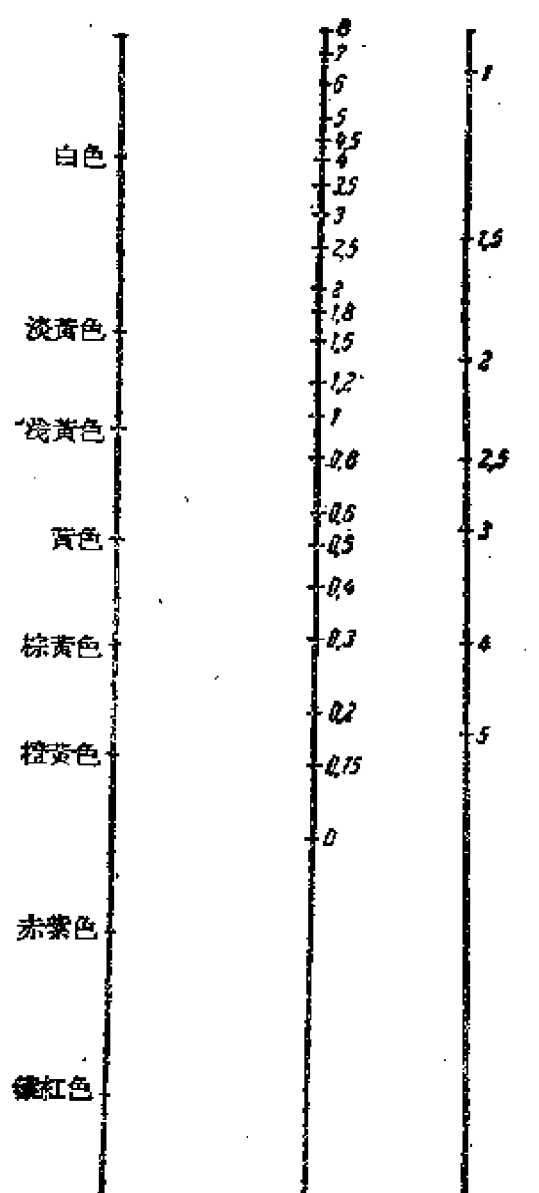
玻璃表面洗淨后需进行干燥，通常用热空气进行；小的玻璃制品干燥则可以采用純酒精脫水的办法。

更强烈的洗滌法是用 1 ~ 2 % 的氫氟酸洗，但此时時間不能超过



在偏光鏡中 应力 玻璃厚度
的玻 璃顏色 (仟克/毫米²) (毫米)

圖14-27 3C-4玻璃在偏光儀中的
顏色和拉應力的关系。



在偏光鏡中 应力 玻璃厚度
的玻 璃顏色 (仟克/毫米²) (毫米)

圖14-28 3C-4玻璃在偏光儀中的
顏色和壓應力的关系。

1~2 分鐘，因氫氟酸對玻璃有侵蝕作用。

要去除玻璃表面上的油脂，例如去除玻璃活栓上的油脂污，可以用重鉻酸鉀溶液洗，再在煮沸的水中洗淨的方法。

直接从玻璃工廠拿來的不過分臟的玻璃及玻璃管可以直接放在里包鉛皮的水槽的架子上，在這槽中用 1~5 % 的鹽酸洗滌，然後以 40°~50°C 的熱水沖洗，為了避免水乾燥後出現斑點常常再用蒸餾水進行洗滌，至於乾燥大都採用空氣乾燥法。

第十五章 玻璃与金属的封接

§ 15-1 玻璃与金属封接的分类

在电子管生产中，玻璃与金属的封接是一个很重要的制造环节。为了保证管子可靠地工作，这些封接除了要求在机械强度上坚固外，更重要的是必须有良好的真空气密性和必要的热稳定性，在某些情况下还往往要求有适当的防湿性。在大量生产中，要使金属与玻璃的封接达到这样的要求并不是件轻而易举的事，因为有许多因素都会影响玻璃与金属封接的质量，而这些因素影响质量的程度又需与封接的类别有关。目前，在真空技术领域内，按玻璃与金属封接的原理，封接一般可分为下列四大类：

（一）匹配封接 所谓匹配封接，就是所选用的玻璃和金属的膨胀系数极其接近，因此在封接时金属可直接与玻璃相封接，并且在封接后，玻璃内的应力可被控制在安全范围内，这样，玻璃就不会因应力而碎裂。

在进行匹配封接时，为了估计产生应力的可能性，知道玻璃和金属的平均膨胀系数还不够，还要看从室温到玻璃转变点温度范围内，玻璃与金属膨胀系数的接近情况，在这温度范围内，若两者膨胀曲线能几乎重合，则封接质量最好，但实际上这种情况很难做到，一般若玻璃和金属的膨胀系数差异在整个温度范围内不超过10%，就可视为匹配封接。至于当温度超过玻璃转化温度以上后，膨胀曲线的差异通常可不加考虑，因为此时玻璃分子已开始具有活动性，这样，在玻璃中已不会产生应力。

目前，匹配封接是金属玻璃的主要型式之一，例如象在某些振荡管中，钨杆和钨钼玻璃的封接就是匹配封接的典型例子，图15-1上示出几种金属与玻璃匹配封接时的热膨胀系数接近情况。

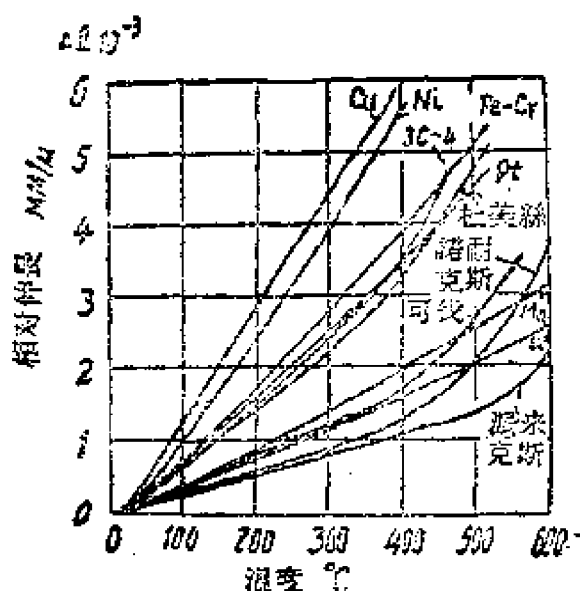


圖15-1 在不同溫度下金屬與玻璃的膨脹系數曲線。

(二) 非匹配封接 在非匹配封接時所選用的金屬膨脹系數，並不與之相封接的玻璃接近，故在封接後就可能產生應力，為了不使玻璃碎裂，通常採用下列措施來減少或避免應力的產生。

(1) 選用直徑細小的金屬絲，此時所產生的應力微弱，常不足以使玻璃碎裂，例如某些電子管中，軟玻璃與杜美絲的封接以及細鎢絲和石英玻璃的封接等。

(2) 選用性質柔軟的金屬。使封接時產生的應力，可由金屬的變形予以一定程度的改善。依靠這原理膨脹系數為 16.7×10^{-6} 的金屬銅，能與膨脹系數為 3.9×10^{-6} 至 10.2×10^{-6} 的任一種玻璃作氣密封接，這在大型振蕩管和超高频管中應用很廣。

(3) 應用中間玻璃。當玻璃與金屬膨脹系數不能配合時，可以應用膨脹系數介於兩者之間的中間玻璃作為橋梁，使主要玻璃能和金屬間接地得到封接，應用此法時，最後一段的玻璃與金屬封接尚需採用匹配封接。

(三) 焊接 所謂焊接，就是用焊料來封接金屬和玻璃，其法先在玻璃欲焊表面敷上一薄金屬層，如鉑、銀等。在玻璃上被復金屬層

的方法，如前所述可用化学沉淀法，真空蒸發法，阴極濺射法，以及金屬噴鍍法等。此后再將金屬与敷有金屬薄層的玻璃作焊料封接即可。

(四) 机械連接 此法和焊接有类似处，亦以第三种材料作媒介物，在玻璃与金屬之間注以熔融之焊料，冷却后，焊料紧密地使金屬与玻璃密封。例如可以用水銀或熔融之鉛，来得到机械連接。

在这上述四类封接中，后两类封接在电子管制造技术上很少应用，而匹配及非匹配封接則在实用上極為重要，故本章将着重于叙述这两类封接。

§15-2 玻璃与金屬的封接材料

玻璃与金屬进行封接时所用的金屬和玻璃須要有一定的要求。通常用来与玻璃封接的金屬除了在匹配封接时对金屬热膨脹系数提出必要的要求外，还应滿足以下要求：

1. 金屬熔点必須高于玻璃操作温度。
2. 金屬必須潔淨，即尽可能不含有非金屬，否則会影响热膨脹系数。
3. 必須有足够的延展性，即在金屬加工后，不应有裂痕、細縫、皺紋等缺陷。
4. 在封接或以后应用的过程中（50~2000°C）不应發生同素异性体的轉变。
5. 在封接过程中，任何氧化物層的形成，必須牢固地粘附在金屬与玻璃上。
6. 如果金屬絲需載有大的电流，則金屬需有高的导电性和导热性。

当然，理想的封接金屬是沒有的，但是目前已經找到了各种适用于硬玻璃及軟玻璃封接的金屬，常用的計有：

(1) 鉑：鉑的热膨脹系数和軟玻璃相近（ $\alpha = 9.1 \times 10^{-6}$ ），故常用来与軟玻璃封接，它的优点是耐熔，能抵抗氧化不易生成厚的氧化層且焊接时气孔少，此外鉑的屈服强度低，韌延性大不易生成应力。

但是由于鉑的价格高，故在生产上很少用，仅在实验室中偶而应用。鉑的封接温度一般为 $1000^{\circ}\sim 1100^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 杜美絲：在第十一章曾講过，杜美絲是一种最常用的封接材料。因銅和鉄鎳合金具有不同的膨脹系数，因此在制成的杜美絲中，根据其成分的百分比，其徑向上可有不同的膨脹系数，通常变动在 $7.1\sim 9.1\times 10^{-6}$ 之間，普通杜美絲外包銅占絲重 25~30%，其徑向膨脹系数与鉑相接近，因此杜美絲也称为代鉑絲，它也用来与軟玻璃封接。

由于杜美絲的徑向和軸向的膨脹系数不一样，故用于心柱內的杜美絲，其直徑不应超过 0.8 毫米，以免在玻璃中生成应力，杜美絲与玻璃的封接是在 $750\sim 800^{\circ}\text{C}$ 的还原火焰中进行的，封接操作应迅速进行，以免銅被过度氧化。

(3) 鎢、鉬及其合金。鎢和鉬的热膨脹系数較低，因此可用来和低膨脹系数的硬玻璃作匹配封接。此类金屬的优点是熔点高，导电性好因而載流量大。此外，它們的表面能很好地和玻璃粘合在一起，特别是鎢，它在較低温度下迅速氧化，其氧化層能很好地和玻璃粘附着。鎢封接到玻璃中后，其表面生成橙紅色，就是鎢的氧化物和玻璃的化合物鎢酸钠 ($\text{Na}_2\text{W}_2\text{O}_6$)。鎢和鉬的缺点是性質堅硬，难于加工，加工时容易产生劈裂毛刺。因而有时借鍍銅的方法来弥补表面小裂縫。

含有 70% 到 98% 的鎢，而其余是鎳，鎳和銅，或鎳和鈷的合金也可作为玻璃与金屬的封接。这种合金能够被滾压，鍛造和机械加工，且能制成任意要求的形状，而这是为純鎢及鉬所不可能的。它們的缺点是較大的膨脹系数，較低的熔点和較低的电和热的傳导度。其热膨脹性主要与附加金屬的含量有关。这种合金可以适用于連接热膨脹系数介于硼硅玻璃和軟鈉玻璃之間的玻璃。

(4) 鉄鎳合金：这种合金的膨脹系数随鎳的含量而增加。含 50% 的鉄及 50% 的鎳的合金，其膨脹系数接近于鉑的膨脹系数，因而这类合金可与軟玻璃焊接在一起，但当改变成分的百分比时，虽則可以得到各种热膨脹系数的鉄鎳合金，但这种合金不能与硬玻璃封接，这

是因为这种合金的热膨胀系数到某一温度以上（这温度与铁磁性消失相一致）膨胀系数会急剧增加，故这类玻璃只能与软玻璃（3C-4）封接。

（5）古伐合金（铁镍钴合金）：铁镍合金中的一部分镍以钴代之能降低其热膨胀系数，而不影响膨胀曲线的转折温度，这样可以得到适宜与硬玻璃焊接的合金，例如含24~29%的镍，17~18%的钴，53~59%的铁的铁镍钴合金具有 4.7×10^{-7} 的热膨胀系数，因而可与钨镍硬玻璃封接。此外加入钴后可改善金属氧化层的性能，氧化层为鼠灰色，在表面上结合得很牢，古伐的氧化温度约为650°C，如过度氧化，则氧化层变为黑色多孔，会产生微小漏气。这种金属它能与3C-5，3C-8，46的玻璃相封接。

（6）铁镍铬合金：在铁镍中加入铬能增加它们的热膨胀系数，故它用于和软玻璃封接。

（7）铁铬合金：含有约0.1%碳的钢，如加入15%左右的铬可减低其热膨胀系数，含有适量铬的合金，它具有很大的抵抗氧化的能力，而所生成的一层绿色氧化薄层能紧密地与金属粘结，且它能保护在封接过程中进一步的氧化。含有26%的铬铁合金杆，有足够的机械强度，以忍受被插入管座的耐力。

（8）铜：铜的热膨胀系数很大（ $\alpha = 16.7 \times 10^{-6}$ ）。但它能与膨胀系数和其相差很大的玻璃封接，这是因为它的屈服点低，柔软韧性高，因之不易产生应力，但封接处铜的厚度必须很薄，以保证所产生的应力在安全限度内。作为封接材料的铜，需要极高的纯度，例如其含铜量应高于99.9%，含磷量应低于0.003%，含砷量应低于0.002%，以及含氧量应低于0.04%等，这是因为含磷量过多，氧化层就不能牢固地粘在金属上，因铜中有了还原剂，它就会使低价氧化铜还原成为多孔的铜；若含氧量过多，则铜会变脆，至于砷的存在，由于它的易挥发性，将对管子不利。

目前铜是非匹配封接的主要封接金属，铜的缺点是熔点稍低，因而在与硬玻璃封接时加工须仔细和恰当，铜的另外一个缺点是封接处

表15-1 电子管用各种玻璃的成分及其性质

玻璃类别	玻璃牌号	玻璃的主要化学成分(重量百分比)										温度 °C		线热膨胀系数		比重 克/厘米 ³	主要应用
		SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	PbO	ZnO	Na ₂ O	K ₂ O	退火 ($\eta=25 \times 10^{13}$ 泊)	软化 ($\eta=10^9$ 泊)	α 10 ⁻⁶ /°C	温度°C 范围内			
钠钙玻璃	16	70	—	—	3.8	—	—	10.4	—	11	4.8	460	490~510	87~90	25~100	2.7	照明灯用玻璃管及玻杆
	N2	71.9	—	—	5.8	3.6	2	—	—	16.1	1	500	550~600	—	—	—	接收放大管玻壳
	82	74	—	—	5.0	3.6	—	—	—	16.6	—	500	520~550	88~92	25~100	2.35	
	71	73.3	—	0.4	5.4	3.9	—	—	—	17	—	500	510~530	87~90	25~100	2.35	照明灯及小型管壳柱用玻璃管
	BH-1	69.4	—	—	5.5	3.5	5	—	—	12.5	4.1	~500	510~510	86~90	25~100	2.11	
玻璃	112	71.5	—	—	4.5	1.5	7	—	—	10	5.5	~500	510~550	87~90	25~100	2.54	振荡管壳及接收放大管壳柱用玻璃管
	n23	69.6	2.8	4.0	6.9	—	—	—	—	9	7.7	530	570~590	84~87	25~100	2.57	
	3C-4	55	—	1.7	0.3	—	—	30	—	3.8	9.2	460	475~490	85~89	0~310	3.06	
钨钼玻璃	3C-5K	60.3	24.3	3.5	—	—	—	—	—	3.9	5.4	535	565~585	48~50	25~100	—	振荡管的玻壳及玻璃管
	3C-8	66.5	23	3	—	—	—	—	—	3.7	3.8	500	545~565	48	25~100	2.25	
	N46	68.5	17.2	2.5	—	—	—	3	6.5	—	—	550	580~600	46~48	25~100	2.34	
	3C-5	67.5	20.3	3.5	—	—	—	—	8.7	—	—	~515	560~570	48~50	25~100	2.27	
钨钼玻璃	N-17	73	16.5	—	—	—	—	6	—	3	1.5	520	~580	36	25~325	2.4	超高频管的玻壳及玻璃管
	3C-9	68.8	26.5	1.6	—	—	—	—	—	7.5	0.6	—	~575	35.5	25~325	2.11	
	3C-11	71.8	18	1	0.3	—	—	—	—	4.2	1.7	530	~645	39	25~325	2.2	
派来克斯 石英玻璃	—	80.8	12	2.2	2.3	—	—	—	—	4.1	0.1	560	620	33	25~325	2.23	振荡管玻壳及管内丝零件
	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1500	5.8	0~1000	2.18	

强度差。

为了作出气密性的封接，同样须选用合适的与金属相封接的玻璃，能够和金属封接的玻璃很多，往往两种物理性质不相同的玻璃能够熔接至同一种金属或合金。但也须指出，有时两种不同玻璃都可与一特种金属得到良好的封接，但两者都不一定都能和另一热膨胀相同的金属封接，其原因就在于玻璃与金属的热膨胀曲线一致性如何，表15-1上列出了几种能与金属相封接的玻璃组成成分。

§15-3 玻璃与金属封接的结构

在电子管生产中金属与玻璃封接的形式可分为两大类：

(一) 圆封封接 这种封接应用得很广，这时金属常以杆状的形式被玻璃所包围，故又称杆状封接，如图15-2所示。常见的接收放大管梳形芯柱的封接以及接收放大管和中小型振荡管盘形芯柱的封接皆属于圆封封接。

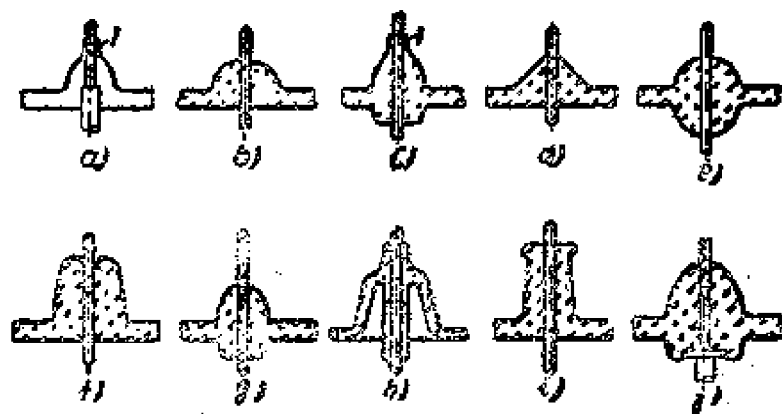


图15-2 圆封封接。

(二) 贴边封接 这种封接的形式又可分下列几种：

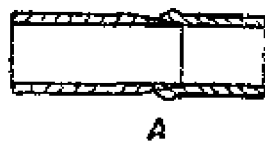
1. 管状封接：这类封接是管状金属与玻璃管的非匹配封接，如大型振荡管的铜阳极与玻璃的直接连接以及某些大型管的引出线封接等。

按封接形状及方法的差异，管状封接的形状亦可有(1)内壁封接，(2)外壁封接，(3)内外壁封接，(4)插入或边缘封接四种，如

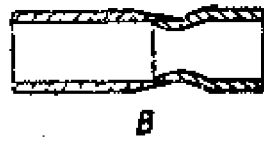
圖 15-3 所示。

2. 盘状封接：这种封接亦有两种，一种是金屬盘在玻璃中如圖 15-4 所示，另一种是玻璃盘在金屬中，后者应用較少。

盘状封接現广泛应用于超高频管中，例如应用在灯塔管与速調管中。



A



B



C



D

圖15-3 管状封接。

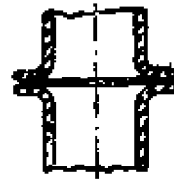


圖15-4 盘状封接。

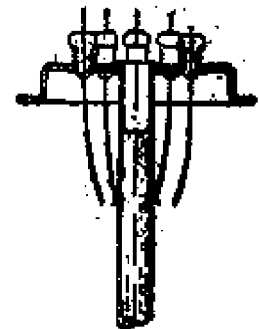


圖15-5 套筒封接。

除了上述两种封接，还有所謂套筒式封接，在此种封接时，玻璃在金屬圓柱体内部并且常和杆状封接結合应用，例如金屬管的芯柱就是应用的实例，如圖 15-5 所示。

§15-4 玻璃与金屬封接前的准备

玻璃与金屬的封接質量除了与它們的性質有关外，还和很多其他因素有关。諸如材料表面的潔淨度、加工的溫度、金屬表面氧化的程度等。其中封接金屬表面的潔淨程度对封接質量具有極大的影响。由于金屬在加工成絲状或片状时，表面常沾有油脂或生有氧化物，故在金屬封接前首先需要把这些污物去掉，这样才能得到完善的封接。清潔处理的具体方法随材料性質而有所差异。茲将一般的清洗方法列述于下：

一、鎢及鉬：

鎢的清潔处理如下：將鎢絲浸在沸騰的 20% 氫氧化鈉溶液中煮

15 分鐘，隨即以水沖洗，然後檢驗鎢絲有否裂痕，檢驗方法是將它放在 20% 鐵氰化鉀和 10% 的氫氧化鈉中煮沸浸蝕，以便把裂痕檢出。在封接至玻璃時放在由 5 分硝酸和 3 分硫酸溶于 2 分蒸餾水中所組成的溶液中清洗幾分鐘，清洗後再浸于鉻酸中，然後再以流水浸洗。

鉬的清潔處理除了在 1000°C 溫度下的濕氫氣中退火以除去石墨或其他碳素外，其他處理和鎢一樣，這樣就得到柔軟而清潔的絲料，如要檢驗裂痕，其手續和鎢一樣，在封接時所用清潔溶液亦和鎢一樣。

鎢和鉬也可用浸于熔融的苛性鈉或電解的方法來清潔，前法是浸于 300°C 約含有 10%（以重量計）的亞硝酸鈉與苛性鈉的混合溶液中，經數秒鐘完成的。所形成鎢酸鈉或鉬酸鈉的作用是很劇烈的，反應速率為溶液的溫度和亞硝酸鈉的濃度所控制，故亞硝酸鈉必須常常補充。在浸過苛性鈉後，將它在熱水中洗滌，然後放在鉻酸中中和，最後再用水沖洗。電解法是要清潔的導絲浸于 20% 苛性鈉溶液中，導絲接直流電源正極，負極接銅板，交流電亦可，電流密度必須足夠高，使幾秒鐘後就能得到光潔的表面，隨後用水清洗。

二、鐵鉻合金：含鉻 26% 的鐵鉻合金應在 950°C 濕氫中退火，便成為柔軟而潔淨的絲，去其氧化層可以在 20% 的鹽酸中腐蝕 2 分鐘，然後沖洗。

三、鐵鎳合金：在 950°C 氫氣中退火即可。

四、鐵鎳鈷合金：洗去表面油脂，繼之在含有 10% 鹽酸及 10% 硝酸溶液中浸 2~5 分鐘，溫度為 70°C，然後清洗，並在石灰水中中和。電解法亦可用，其溶液為 5~10% 的硫酸溶液，或氯化鈉與 10~15% 的鹽酸溶液，交流電電壓為 10 伏，電流密度約 0.25 安/厘米²，以其他被淨化的金屬片作為第二個電極，這種金屬在真空爐中退火較佳，溫度為 700~1100°C 之間，因為在氫氣爐中退火以後在封接的邊界上出現氣泡。

五、鉑：鉑及其合金用熱的王水浸蝕，繼之在水中徹底清洗。

六、銅：銅清潔處理可浸于 50% 的硝酸中數秒鐘，然後在水中清洗，移入清水中清洗時要迅速以防產生污點。用鉻酸亦可，但鉻酸

淨化后需極其徹底的清洗。

金屬在經過徹底淨化后，即可用来和玻璃相封接。要进行玻璃与金屬的封接，必須將封接处加热到高温，現在加热下多使用煤气火焰。軟玻璃与金屬加工时用煤气和空气的混合火焰；而硬玻璃与金屬加工时用煤气和氧气的混合火焰，此时煤气与空气的混合火焰仅用来进行預热和退火。当用煤气火焰进行封接时由于很难使加热处定位，而火焰又具有一定宽度的高温区，因而两封接处間不能小于 70~80 毫米，否則当加热其中之一时，会把先封好的那一个又弄坏了。在很多情况下这就使管子的尺寸有了不必要的增大。为了消除此一缺点，近年来，特別在作盘状封接时广泛采用了高频加热法，此时借高频感应电流作用使封接处的金屬部分温度升高，并間接地将与金屬相接触的玻璃加热。

此外，为了使玻璃与金屬封接后有良好的气密性，就必须使得玻璃浸潤金屬表面的情况要好，亦即使玻璃与金屬間有良好的粘合力，因为玻璃是由氧化物組成的，因此要得到很好的浸潤程度，必須亦使金屬表面氧化。

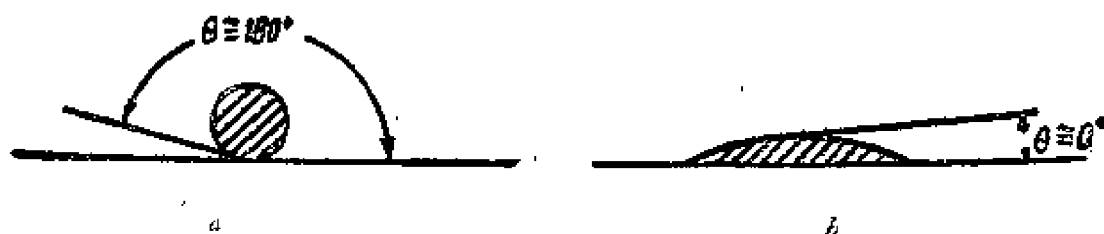


圖15-6 玻璃在金屬中的浸潤度。

玻璃浸潤金屬的程度与液体表面浸潤的物理意义一样，也可用所謂边界角来表示，如圖 15-6 所示，当无浸潤时 a 圖 边界角接近于 180°，而在理想的浸潤时，边界角接近于 0°。表 15-2 表示 3C-5 玻璃

表15-2

金屬或其氧化物	Mo	MoO ₃	MoO ₃
浸潤角 θ	146°	120°	60°

浸潤鉬及其氧化物所得的結果。

因此，对于所有的金屬及其合金，只有当在金屬的表面上有氧化物薄膜才能得到良好的封接。这层氧化物作为金屬与玻璃的粘結剂，是因为它既溶于金屬中，又溶于玻璃中的緣故。但是并不是所有的氧化物層都对封接有利的；值得注意的是金屬氧化物的性質对粘結的質量影响很大，通常高价的氧化物粗糙而多孔，它沒有良好的粘合力，因此亦就得不到气密的封接，而低价的氧化物通常較坚实密致，由于它能溶于玻璃中又和金屬結合得很牢，因此能得到气密的封接。为此，金屬与玻璃封接时，加热的溫度与火焰的性質必須保證金屬表面生成一層低价的氧化物，过度的氧化是不利的。另外，氧化層的厚度对封接質量的影响也很大，如果氧化層很薄，那么封接时的粘結过渡層亦很薄，因而不牢固。如果氧化層过厚，那么在玻璃与金屬間由于封接后有某些氧化物沒有浸入玻璃和金屬，这样就可能使以后空气經封接处漏气。对于金屬上氧化層的厚薄一般可借封接处的顏色来决定，随着氧化層厚度的增加封接处的顏色就变暗，但当达到某一厚度时以后再繼續增加，封接处的顏色就不改变了。当封接处的顏色还和它的厚度有关时，这种薄膜較好。因为氧化層的厚度和封接時間有关，所以在金屬与玻璃封接时，必須有合宜的封接時間。

总之，在进行金屬与玻璃封接时，为了得到气密封接的制品，金屬表面常需要預先进行氧化，以得到所需要的氧化層成分及厚度；并且在封接过程中，还需要特別仔細和小心，以免由于火焰性質，加热溫度及時間的不当而引起預先得到的氧化層起变化。由于这一原因，如鉬絲，杜美絲上常塗复一層硼砂保護層，并且銅焊接到玻璃中須在火焰的还原部分中进行。另外玻璃浸潤金屬的問題，还和金屬表面的清潔度有关，因此金屬在其焊接玻璃中之前，应仔細淨化。同时为了防止焊接时金屬的放气，焊接前的金屬亦应进行預先去气。

至于具体的各类制品封接过程将在 §15-5 节中叙述。

§15-5 玻璃与金属的封接技术

(一) 芯柱制造 (圍封封接)

芯柱是电子管引出线穿过管子的一部分结构，因此芯柱的制造好坏，总是与管子内部是否能长期保持高真空度有关。

为此，芯柱制造，是电子管生产中重要的一环，也是金属与玻璃封接的实际应用范例。就芯柱的构造形式言，可总分为两大类：(1) 梳形芯柱，如图 15-7 a 所示；(2) 平板形芯柱，如图 15-7 b 所示。

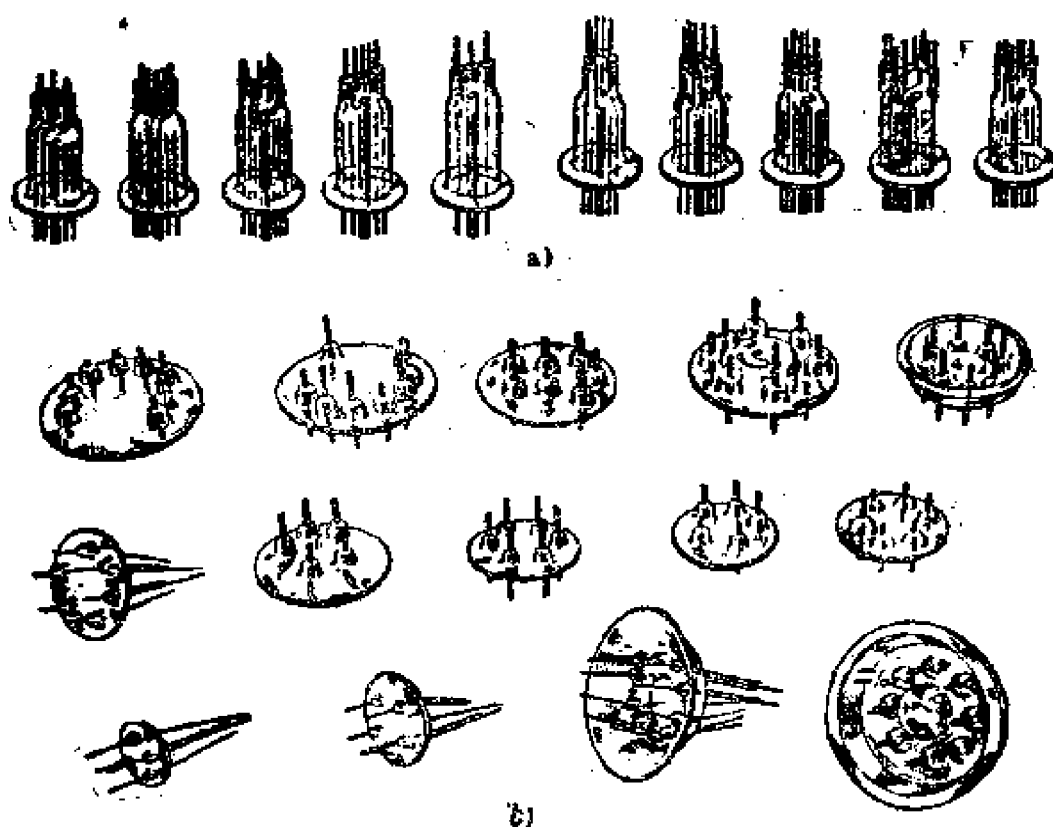


圖15-7 各种芯柱。

在这二类芯柱中，梳形芯柱缺点较多，诸如：

1. 导丝集中在一起，故极间电容大，并且导丝长，引线电感大。
2. 用梳形芯柱的管子其尺寸较大，结构强度小，微音效应显著。
3. 导丝靠得很近，导丝间的玻璃容易电解。

而平板形芯柱却可消除或减少这些缺点，故目前在设计电子管

时，已渐渐趋向于采用平板形芯柱的电子管，但在汞汽整流管等大器件中仍以采用梳形芯柱为佳。

(1) 梳形芯柱制造 梳形芯柱的制造过程包括割玻璃管、排气、制喇叭、扩宽、制导丝、成芯柱等工序，例如 15-8 所示。

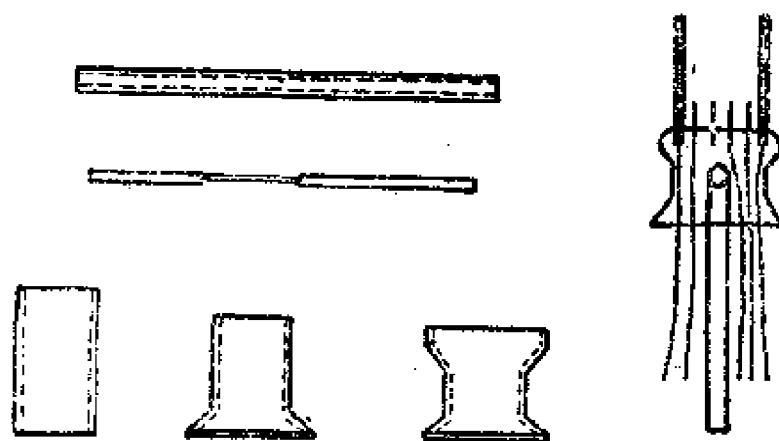


圖15-8 梳形芯柱制造圖。

1. 玻璃管的选择：用作为芯柱的玻璃其膨胀系数应考虑与金属的膨胀系数相接近。又为了防止玻璃的电解，常不采用含鹼量太多的玻璃。因含有鹼金属的玻璃在制芯柱时，往往会在导丝间电压作用下，产生鹼离子的向负極移动（但在热阴極整流管中因为负極的反向电压较高，故向阳極导丝移动）因而在該处的鹼金属特別多，而在正电压高的导丝上就生成不易导电的 SiO_2 層改变了玻璃的结构，結果在同一玻璃片上，膨胀系数亦就各不相同，于是使封接部分易于碎裂。通常在阴極导丝附近所看到褐色乃至青色物就是由于玻璃电解而生成的。而杜美絲封接时，由于电解的結果，在其正極的导丝上因氧的产生而成为黑色，而在負極則呈銅的本色，这种作用的最后結果将产生漏气或玻璃的碎裂。因此用于制作芯柱的玻璃含鹼量不宜太多，故制作芯柱常用含鉛玻璃，在振荡管中則用多硼玻璃。

玻璃零件在机器上加工时，火焰的温度与加热时间对各排位的玻璃必需适当，且不可能时常調节，因此各排位玻璃管的直径、管壁的厚度（关系到热容量）及玻璃的組成（关系到粘滯性）等应非常的均

表15-3 各玻管直径的公差

直径(毫米)	软 玻 璃		硬 玻 璃	
	直径公差范围	厚度及其公差范围	直径公差范围	厚度及其公差范围
小于 3	± 0.1	0.5 ± 0.1	± 0.1	0.5 ± 0.1
3~12	$\pm 0.2 \sim \pm 0.3$	0.7 ± 0.1 到 1.0 ± 0.2	± 0.7	1.0 ± 0.2 1.25 ± 0.25
12~25	$\pm 0.5 \sim \pm 0.7$	0.7 ± 0.1 到 1.6 ± 0.3	± 1.0	1.25 ± 0.25 1.5 ± 0.3

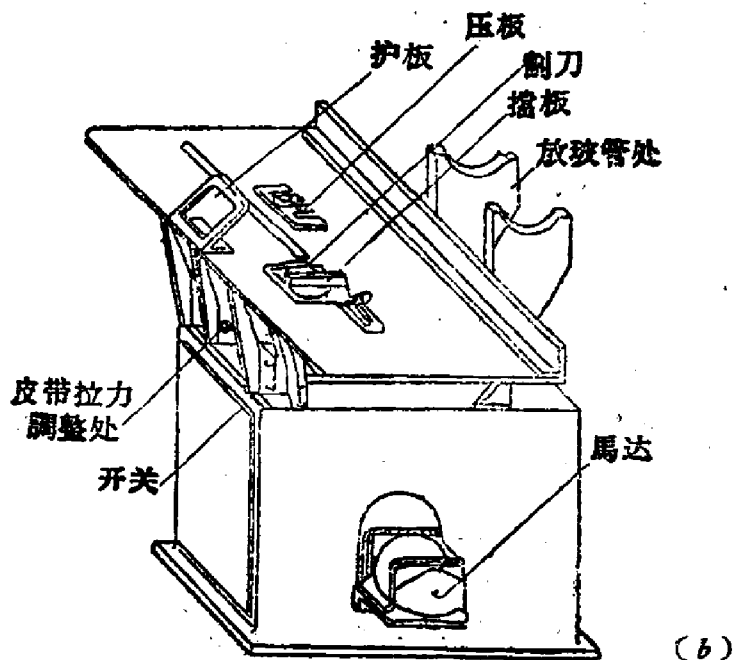
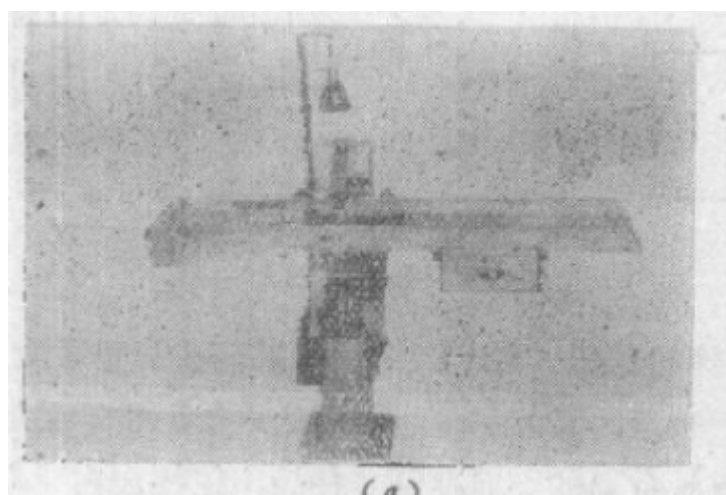


圖15-9 (a)普通砂輪切管机; (b)改进后砂輪割管机。

一。一般，玻璃的組成是都可保證的，至少，在一批的玻璃管中它是恒定的。但玻璃的直徑及厚度則難均一，尤在人工吹拉的玻璃管中更如此。因此須允許有一定的公差範圍，如表 15-3 所示，當作為原材料的玻璃公差範圍甚大時，則可將玻璃管進行分批，而對每批玻璃管調整一次火焰。

2. 玻璃管的切割：送入車間的玻璃管常為約 1 米長的玻璃管；在制芯柱時先要把它切割成一定長的小玻璃管。直徑小於 12 毫米的玻璃管以及玻璃杆可直接在高速旋轉的砂輪機上切割（圖 15-9），在砂輪機上切割玻璃管和玻璃杆的常見廢品是在切割面有毛刺、碎片及裂縫，另外用砂輪切割玻璃管，當直徑超過 12 毫米時，有不光滑的切口出現。

在大量生產中，切割玻璃管可採用半自動的火焰切割機，這種機器的外形如圖 15-10 所示，在此時，主要利用扁細的火焰將玻璃管加熱，然後再將玻璃管與冷的硬質切刀相接觸的方法進行切割。

在切割直徑大於 26 毫米的圓柱形玻璃製品時，特別是沿長度直徑不等的製品時，可用電熱絲來切割，其設備如圖 15-11 所示。切割先

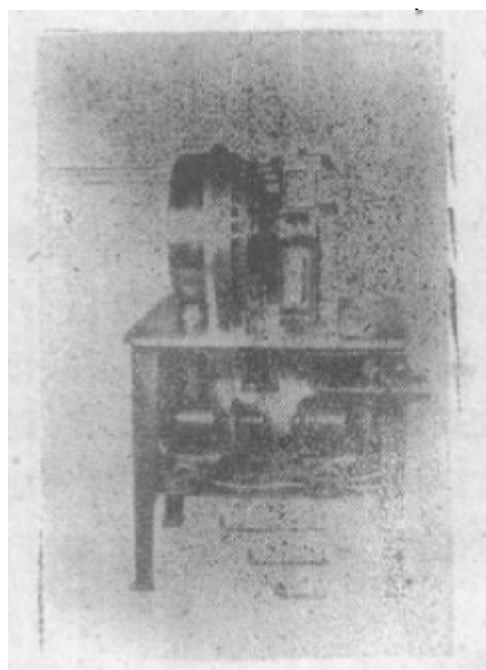


圖15-10 火焰割管機。

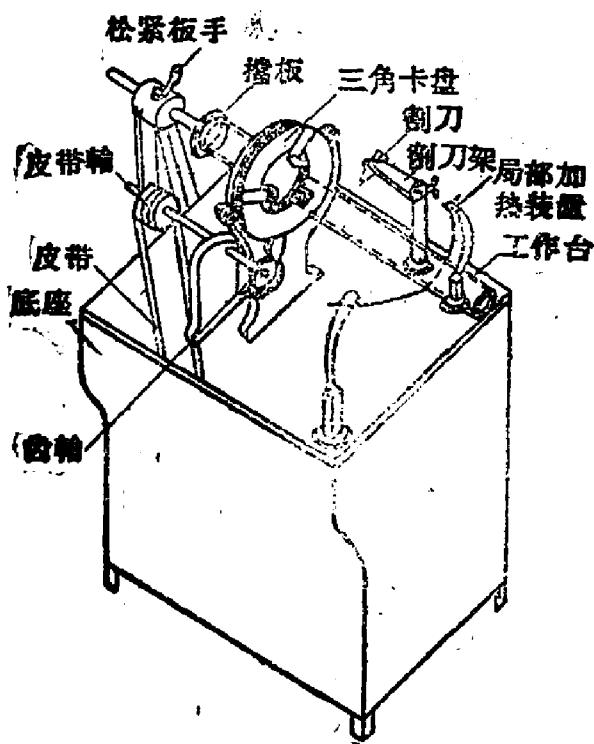


圖15-11 電熱絲割管機。

要在切割的地方用砂輪刻條痕，然后把刻痕放在電熱絲上，當玻璃受熱後，再用沾水的棉花在其上使速冷（軟玻璃可不必用水）於是玻管就自行裂開。

3. 翻制喇叭：對已切割成段的玻管進行翻邊的過程，稱為制喇叭，其目的在使芯柱和玻壳便於封合。

制喇叭機有四軸，六軸等多種（圖 15-12）。其成形過程如圖 15-13 所示，先將玻管插進喇叭機的夾鉗內，夾鉗則由馬達帶動而旋轉，其旋轉速度以 150~500 轉/分為宜。然後用對頭火焰加熱，直至玻管軟化時，移開火焰，用黃銅棒伸入管中進行翻邊。

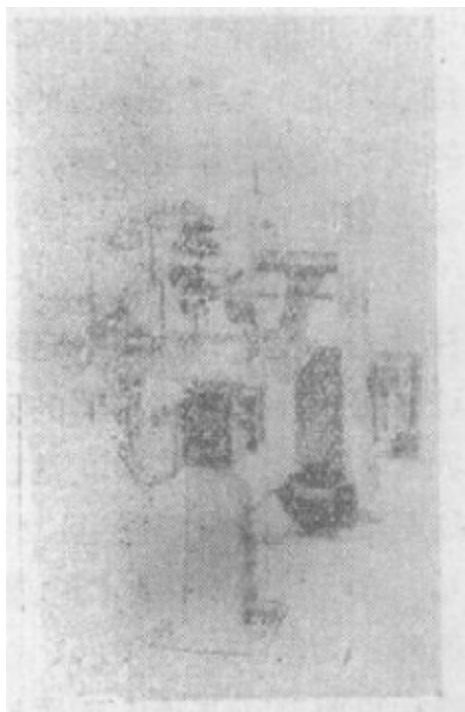


圖15-12 喇叭機。

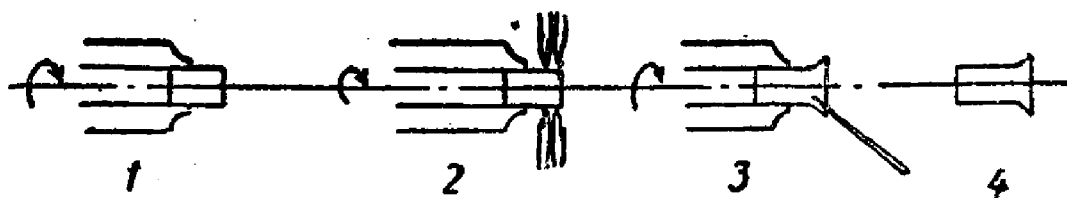


圖15-13 喇叭成形過程。

除去這樣製造喇叭外，在大量生產中，常用自動喇叭機進行製造。這種設備外形如圖 15-14 所示，其工作原理是先利用圖 15-15，a 所示的機構，將玻管下端翻成喇叭形，然後兩用兩圓形小刀，將其切成規定的長度，如圖 15-15，b 所示。在切好一個喇叭後，接着再翻制第二個，之後又切割如此連續進行，直到長約 1.2 米的整根玻管加工完為止，喇叭制好後為消除應力須進行退火，制作芯柱用的喇叭要求：

- 1) 喇叭邊平整，無高低不平現象。
- 2) 喇叭是圓形的，大小在規定公差範圍內。

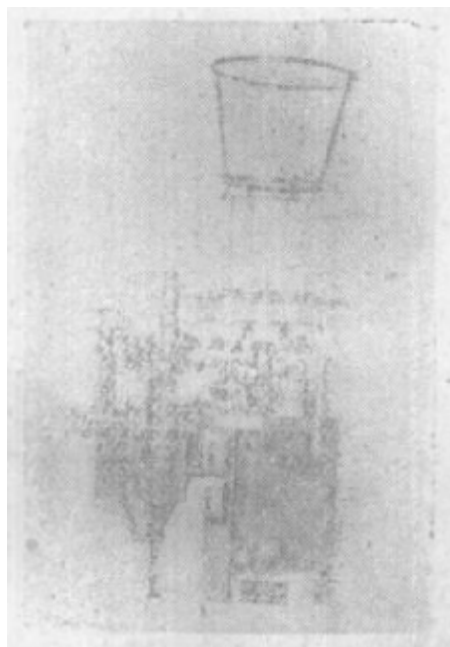


圖15-14 自动喇叭机。

3) 各部分玻璃厚度要均匀。

4. 撑寬。因为在电子管芯柱上常有甚多的引綫，为了把引綫封入芯柱，并又使引綫間有一定的距离，不致使玻璃电解，故需把已翻好喇叭的玻璃管之另一端进行撑寬。

制造收音管梳形芯柱时，半成品的撑寬是在6軸或9軸的轉盘机上进行的，在圖15-16上示出了这样的設備，它是用一三角形的銅模，在燒軟了的玻璃管中伸入擴張而成。或是用象圖15-17所示的蟹鉗形机构来进行。

对于大型电子管梳形芯柱的制造往往借鑷子完成撑寬，它的工作則在單軸玻璃車床上进行。經過撑寬后的半成品还必須予以退火。

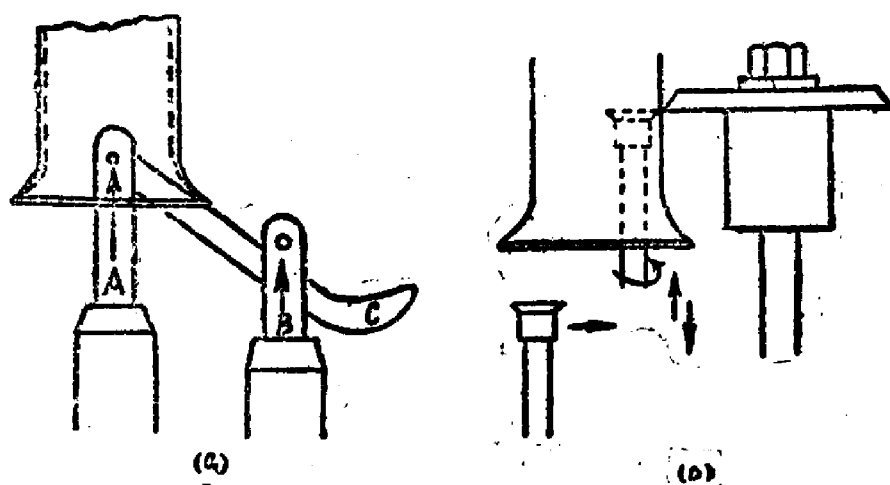


圖 15-15

5. 压制芯柱。在翻制喇叭及撑寬以后，下一步工序就是将其与引綫及排气管組合在一起，而构成完整的梳形芯柱。

压制梳形芯柱的机器常采用8軸，12軸，24軸等的芯柱机，其外形如圖13-18所示，机器的軸大都能旋轉，但也有的是不旋轉的，如



圖15-16 擴寬機。



圖15-17 擴寬機構。

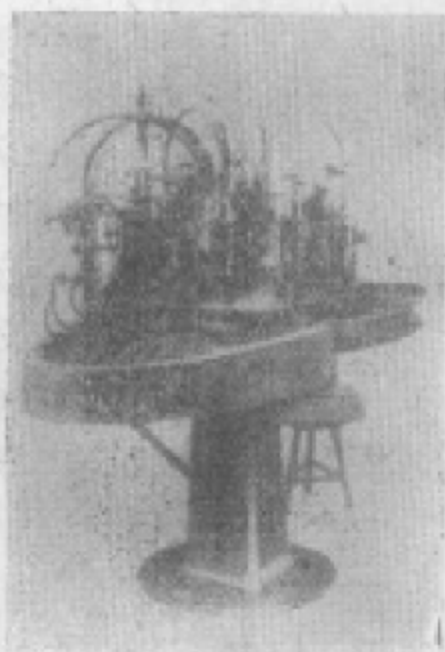


圖15-18 梳形芯柱機。

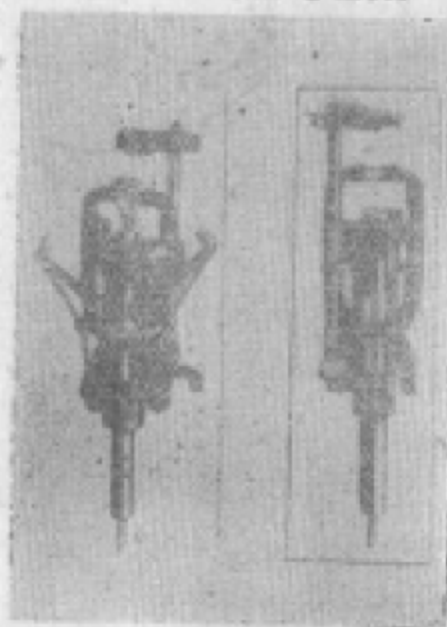


圖 15-19

24軸自動芯柱机等。能旋轉軸的压制芯柱机构如圖 15-19 所示。

制芯柱时，引綫插入样板中，样板的形状如圖 15-20 所示，以后玻璃半成品套在其上，并用夹子夹住，上面再用特殊的支持器固定好排气管，接着在旋轉的芯柱机上压制芯柱。若以八軸芯柱机为例，芯柱机的各排位作用是：第一、二两个位置为插引綫，以及放喇叭及排气管；在第三、四两个位置是加热；在第五个位置上用硬火焰加热，这时玻璃已被燒軟，于是用夹头将玻璃和芯柱封压起来；第六个位置上是吹排气管孔，以及把芯柱的肩吹成圓弧状；到第七和第八两位置就用軟火焰进行退火。最后，将制得之芯柱放入連續式退火爐中退火。連續式退火爐的外形如圖 15-21 所示。

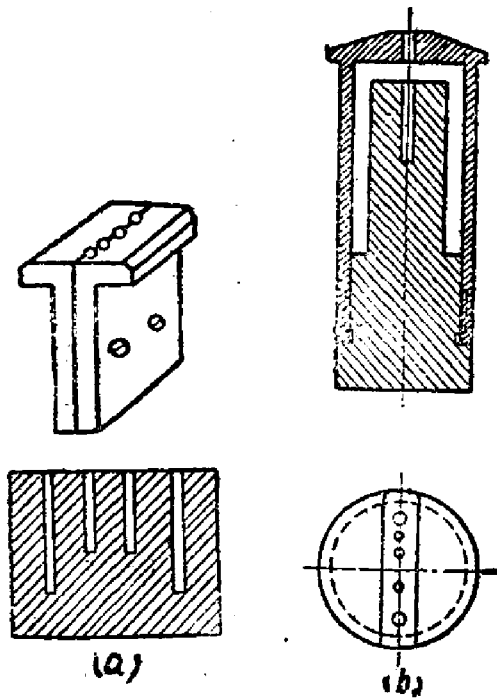


圖15-20 芯模样板。

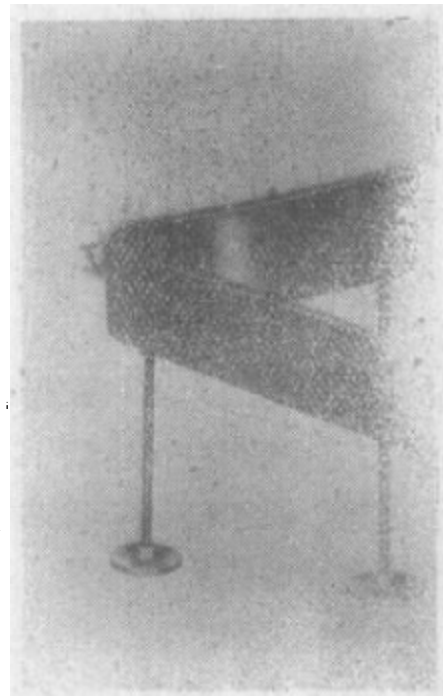


圖15-21 退火爐。

芯柱制成后，先須进行檢驗，以保証質量。为了制取一优良的芯柱，在芯柱制作时，應該严加小心，茲将經常須注意之处罗列于下：

1. 各导絲間距离須准确，无碰絲等現象。
2. 导絲各結合点不能太大，无發毛及不平現象，且接合点必須夹在玻璃中間。
3. 杜美絲不發黑（氧化）或变質。或在杜美絲和玻璃封接处不

应有气泡。

4. 排气管正直。
5. 排气管厚度及直径须均匀，不然排气孔周围的玻璃太厚易生应力，太薄，则机械强度不够。
6. 排气孔大小适宜，一般不应小于排气管的内径。
7. 喇叭管放在芯柱袋上，须完全遮盖住导丝，使火焰不能由下面的空隙窜入喇叭管中间，而烧到导丝。
8. 喇叭管弯曲处的玻璃不能过厚。
9. 喇叭管须良好的退火，去除热加工时所产生的应力。
10. 喇叭管在放上芯柱机前最好能预热一下。
11. 排气管需插在喇叭管的中心。
12. 芯柱上的导丝及支柱，需与玻璃有一定的结合，保证有一定的机械强度。
13. 芯柱机上的火焰位置高度须适当。
14. 火焰温度适当，即煤气、空气、氧气等的流量应有一定的大小。
15. 芯柱的两肩应吹鼓得很圆滑。
16. 芯柱从芯柱机上取下时，不能使导丝动摇，即要求芯柱袋孔的大小合适，便于插导丝及芯柱的取下。
17. 芯柱的退火应良好，不存在有过多的应力。

大型管的梳形芯柱制作过程，基本上和上述相仿佛，但因其体积较大，制作不易，故通常在单轴的立式芯柱机上制造。并且由于这时引出线是用钨杆或钼杆，而它们很易氧化过度，故为了达到玻璃与金属很好的封接，通常在封接前在与玻璃封接的那部分引出线上预先烧上玻璃珠。图 15-22 所示是制成后的这类振荡管芯柱。

(2) 平板形芯柱的制造 上面已经讲过梳形芯柱有着一系列的严重缺点，这些缺点大大的限制了它的应用，因此在目前新型接收放大管和振荡管中都采用了平板形芯柱。

在平板形芯柱中大都采用直径为 1 毫米左右的钨杆、钼杆，或高

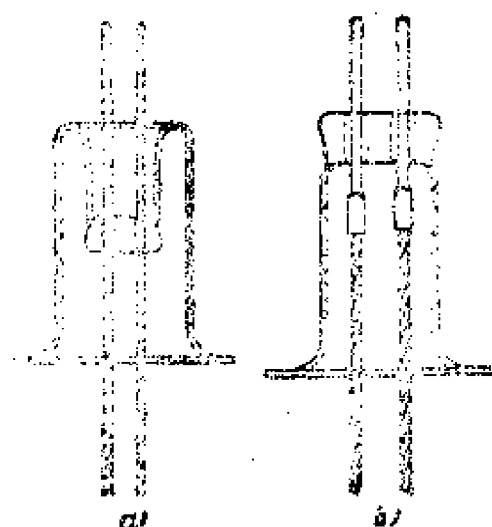


圖 15-22 液蕩管的梳形芯柱。

鉻鋼作引綫，因而平板形芯柱的引綫亦常可用作管脚。

各种平板形芯柱制造，大致方法是类似的，一般均先制好玻璃毛坯，然后在玻璃毛坯中放入引綫，加热至玻璃软化后，再用压模压成。

对于指形管的平板形芯柱制造，芯柱毛坯就是一小段玻璃管。如图 15-23, 1 在此玻璃管内放入一定位置的导絲，图 15-23, 2 然后用火焰加热

此玻璃管，待玻璃管软化后，就进行第一次冲压，使软化的玻璃挤向中间部分图 15-23, 3 繼續加热，并且为了使整个玻璃受热均匀，在芯柱的中间部分也用火焰加热，加热至玻璃熔化后再进行第二次冲压，以得到最后的形状，如图 15-23, 4 所示。以后送入退火爐中長時間退火。



圖 15-23

这种指形管的平板形芯柱制造均在多軸自动芯柱机上制作，其各位置的加工过程如图 15-24 所示，芯柱的导絲采用特殊的机构自动掉入芯柱模的孔中。然后由人工套上一小段玻管，芯柱压制成后，亦自动的由芯柱机送入退火爐。

較大一些的平板形芯柱的制造，是从压制平板形玻璃毛坯开始，因为这类芯柱大都采用鎢或钨作引出綫，为了使它們能与玻璃很好的封接，引綫上須預先燒上玻珠。形成玻珠的方法有二：一是將玻璃杆在火焰上燒熔后把玻璃燒在导絲上。另一法是将一內徑和导絲直徑相

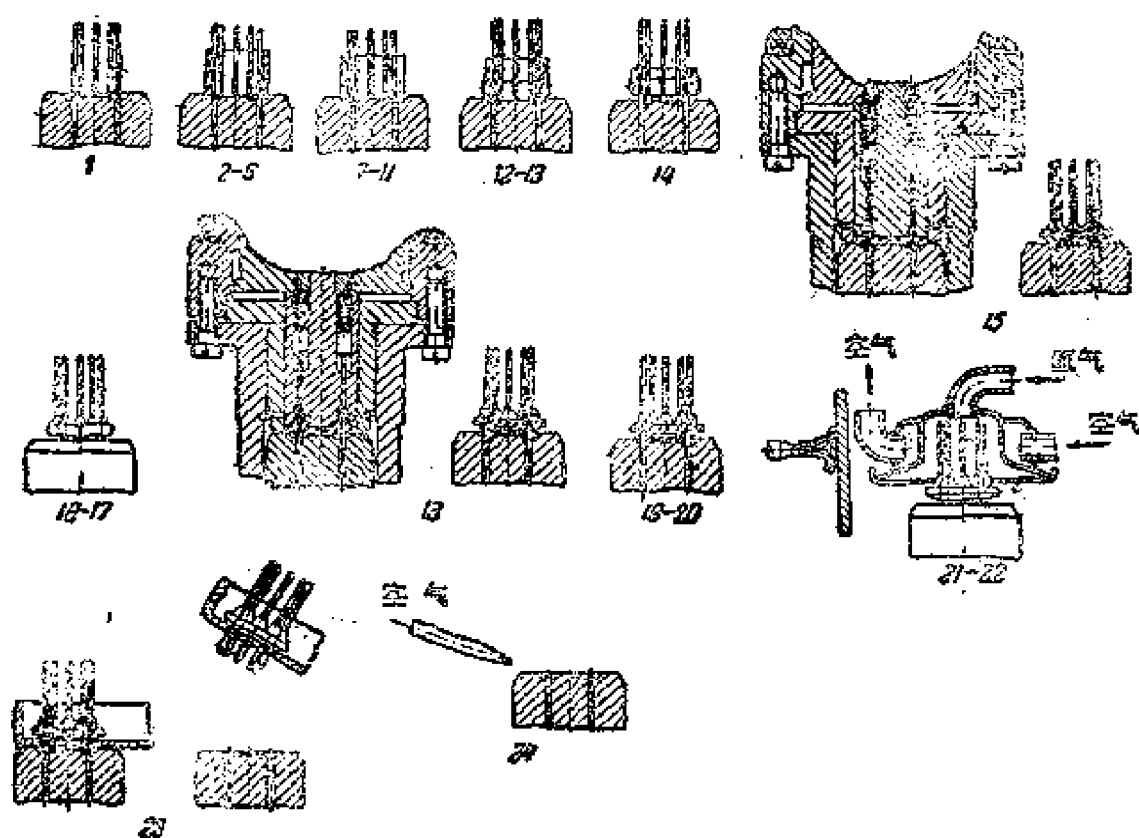


圖15-24 在24位自动芯柱机上平板形芯柱的制造过程

1—装引出綫；2、6—装已切成的玻璃环；7、11—預热玻璃；12、14—燒熔玻璃；15—預压；16、17—加热玻璃；18—最后压制成形；19、20—冷却芯柱；21、22—使氧化了的引出綫在氫中加热还原；23—卸下制成的芯柱；24—吹淨模子。

仿的玻管套在导絲上，然后将其燒熔在一起，前者适用于較細的引綫，后者多用于較粗的引綫。

在引綫燒玻珠前，引綫的表面应仔細地淨化，淨化采用前述的浸蝕法。淨化后，引綫在流水中及蒸餾水中徹底清洗。以后在甲醇中浸洗，以加速其干燥。

淨化后的导絲即可进行燒玻珠，燒玻珠可用手工进行，也可以在机器上进行。在机器上进行燒玻珠时，引綫插到装在軸上的样板中（圖15-25, 1），然后在火焰中将其氧化（圖15-25, 2），引綫氧化后，在其上套入玻璃管（圖15-25, 3）再用火焰将其熔合在一起（圖15-25, 4），在进行燒玻珠时，火焰須从一端燒到另一端，使玻管与引綫空

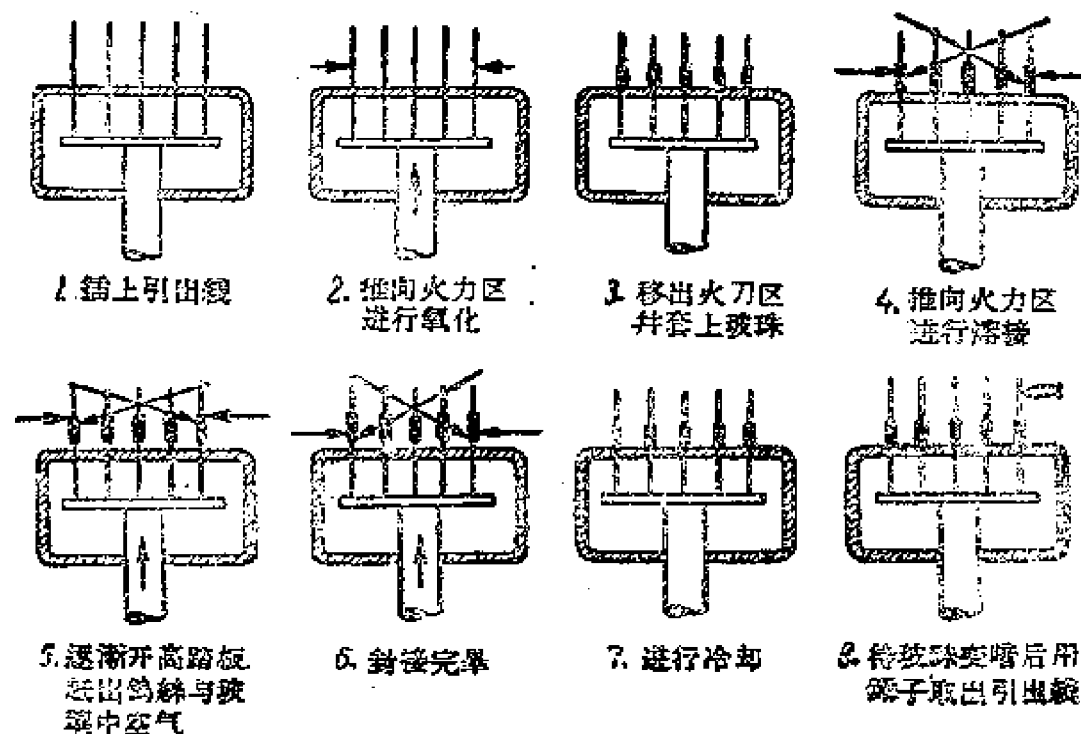


圖15-25 引线燒玻璃珠过程。

隙間的空气赶跑(圖 15-25, 5)。最后, 封接完畢, 待其冷却取下。

在进行芯柱压制时, 只要把玻璃毛坯和燒上玻璃珠的引线封接即可, 玻璃毛坯的压制是将融熔玻璃在模中压出, 其外形如圖 15-26, a 所示, 为使芯柱上插引线的孔光滑起见, 故用金刚砂将两面研磨, 然后放在芯柱机上, 插上已燒好玻璃珠的导丝, 用火焰加热后冲压而成, 如圖 15-26, c 所示。

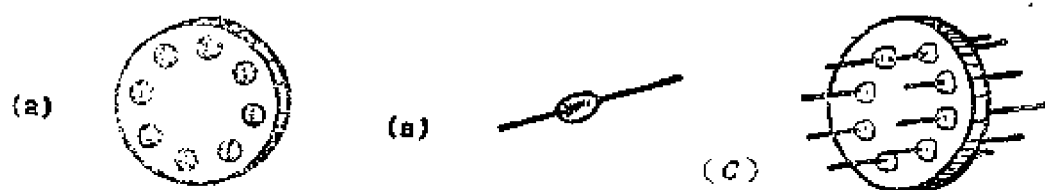


圖15-26 平板形芯柱制造过程。

另一种是所謂盘形芯柱制造, 这种芯柱的制造过程如圖 15-27 所示, 它亦是預先由液态玻璃压制成毛坯开始(圖 15-27, a), 然后在研磨机上磨去凸头下端多余的玻璃, 形成插引线的孔(圖 15-27, b)接着

在專門的機器上接排氣管(圖 15-27 *e*)。最后，在芯柱機上把已燒好玻璃珠的引綫與其封接起來，形成圖 15-27，*d* 所示的形狀，并送入退火爐退火。

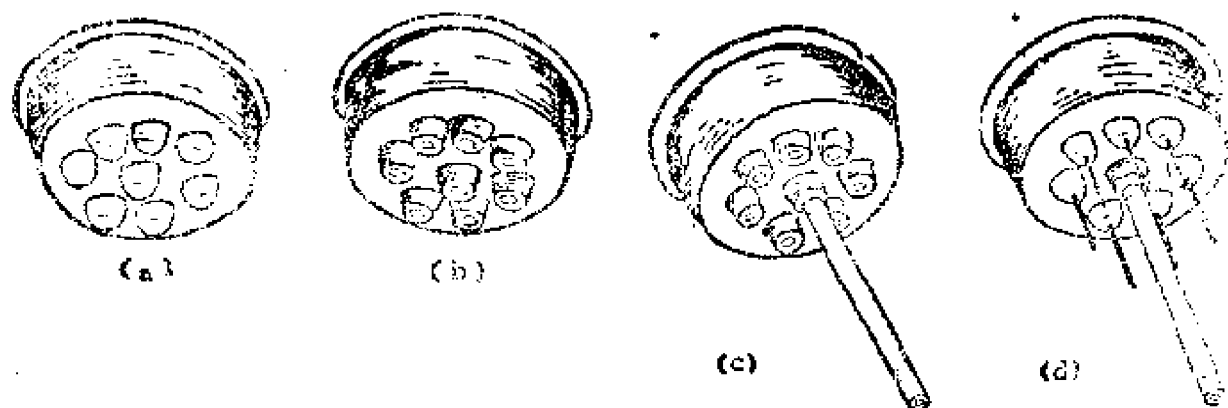


圖 15-27 盤形芯柱制造过程。

制造平板形芯柱，要 100% 的檢查芯柱廢品。檢查時借偏光儀檢查其剩余应力（与标准芯柱相比較）并借特殊量規檢查排氣孔大小，此外还要檢查其外形及机械强度等。

(3) 金屬电子管芯柱制造 金屬管中所用的芯柱有两种：一种是金屬底的(如圖 15-28, *a*) 另一种是玻璃底的(如圖 15-28, *b*)。无論是那一种基座都为鋼盘。在第一种芯柱中，鋼盘上焊古代制的空心鉚釘，然后再把燒有玻璃珠的導絲焊接到空心鉚釘的孔中。在第二种芯柱中，先在鋼盘上焊上高鉻鋼套环，以后再在套环中压入一玻璃底，其上有排氣管和導絲。

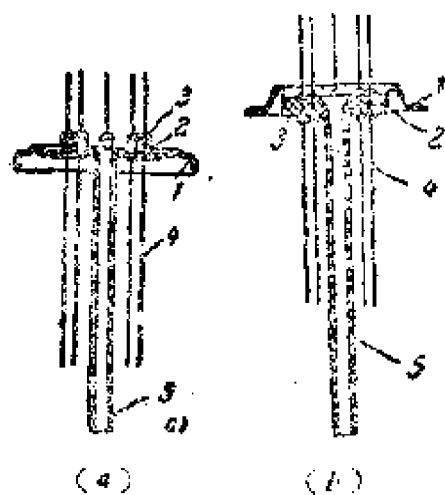


圖 15-28

目前以玻璃底的芯柱用得最廣，这种芯柱的制造工艺如下：

先用縫焊將制成的鋼盘与套环焊接在一起，鋼盘一般用厚为 0.5 毫米的鋼片制成。冲制后，先行去气接着在冷盐酸中清除表面的氧化物。以后进行鍍 Ni 及鍍 Cu，最后在約 1120°C 的溫度下退火。在退

火时，Cu 与 Ni 结合为浅灰色合金，作为以后铜盘与套环、铜盘与管电的焊料。它对保证两处焊接的密封性起着很重要的作用，然后在24轴自动机上将导线、玻璃、排气管与其封接在一起，它在24轴自动机各排位的分配是这样的：1—8为装料；9—为夹引出线；10—13用火焰加热；14—17玻璃预先成形；18—接排气管；19—预先冲压；20—最后冲压；21—24退火。

金属管芯柱压制后，由导线送入隧道式退火炉，对金属管芯柱言，其实无须退火以完全去除应力，因为只有金属套环对玻璃施有压应力时，套环才不致于从玻璃上脱下。故退火温度很低（约400°C），且在氢气中进行，这样，以便将被复在铜盘上的 Cu, Ni 合金还原。

此后，芯柱经过检验，并在特殊的弯曲机上将导线成形。

（二）贴边封接技术。

（1）管状封接：这种封接在电子管生产上，主要应用于振荡管，磁控管以及其他特殊的电子管中。进行这种封接时，一般可采用任何金属与玻璃封接，但目前以铜和可伐用得较多。作管状封接时，为了减少封接后玻璃内的应力，金属的封接端应做成“刀口”形，故这种封接也称刀口封接。其封接的形状如图 15-29 所示。

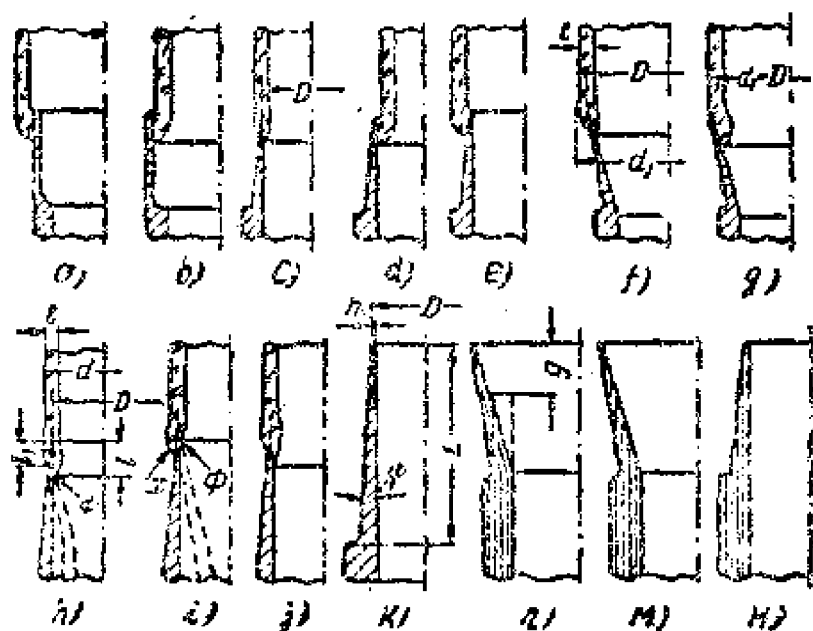


图15-29 管状封接接边形状。

圖中符号: t ——玻璃厚度;

d ——玻璃直徑 $\approx D + (0.6 \sim 0.8)t$;

d_1 —— $d + 1 \sim 5$ 毫米;

l ——玻璃封接內边長度;

l_1 ——玻璃封接外边長度 ($l = l_1 + 1 \sim 2$ 毫米);

L ——刃口長度。

表15-4 l_1 和 L 与 D 的关系

D	到10	10~15	15~25	25~60	大于60
l_1	1~1.5	2~2.5	2~3.0	2.5~4.0	3.5~5.0
L	$(1.5 \sim 1.8)D$	$(1 \sim 1.5)D$	$(0.8 \sim 1)D$	$(0.5 \sim 0.8)D$	$(0.3 \sim 0.5)D$

封接端刃口的厚度 t_1 应该在 0.04~0.06 毫米的范围内, 而刃口的斜角 ψ , 则为从 2° 到 $3^\circ 30'$ 。这种刃口是在車床上用滾輪压成, 而多余的材料用銳利的輪切去。刃口的表面应该是潔淨光亮的。这时由于刃口很薄, 难以用一般卡規量測, 其檢驗可用大姆指甲輕压之, 其合格的刃口应有一定的弯曲。

为了得到气密的封接, 銅管須先經過净化和去气, 然后将封接邊緣加热并浸入硼砂的饱和溶液, 取出后再加热至赤热, 使沾上的硼砂溶化而附着于金屬上。处理良好时, 表面应呈光澤紅色的氧化亞銅, 而无任何一点暗色的斑点。此后便可与玻璃进行封接了。

这种封接是在臥式玻璃車床上进行, 如圖 15-30, 封接的方式有二: 一种是先在銅管上燒玻璃, 其方法先将銅阳極夹在玻璃車床的固定夹头上, 并在可动夹头上夹一玻璃环, 移动可动夹头, 使玻璃环套在銅阳極邊緣上, 然后用火焰加热阳極上靠近封接薄緣处的法兰盘, 利用傳导使薄緣受热。当薄緣表面因氧化而成为黑紅色时, 即用强火焰加热薄緣外部的玻环, 在玻环軟化后, 用石墨小鏟将它压在薄緣外部, 接着在薄緣上部一定長度处割断玻环如圖, 并再用火焰加热之, 使玻环軟化后, 用石墨小鏟把它压在薄緣內壁, 于是第一步工作完成。然后将燒有玻珠的外阳極与玻管相封接。此时在可动端夹上玻

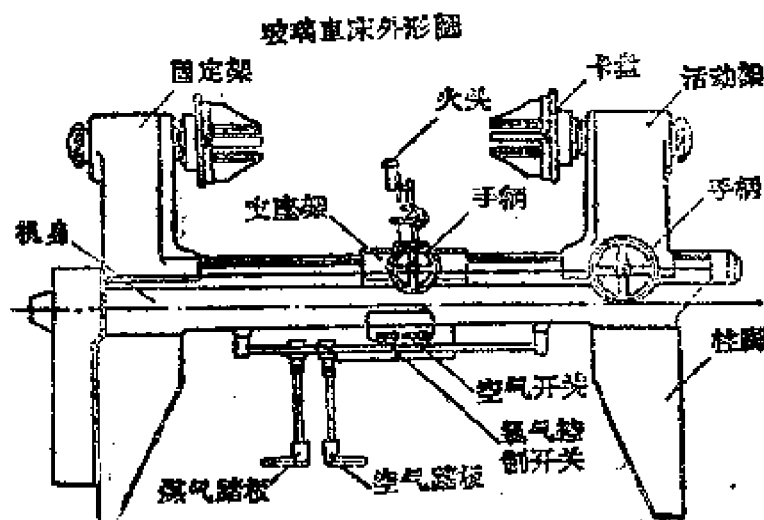


圖 15-30 臥式玻璃車床。

管，并将其与外阳極接近，用火焔在联接处加热，玻璃熔化后，推进可动夹头，使玻管与外阳極上之玻珠对接，在接合后即送入退火爐退火。圖 15-31 所示的就是这种方法。

另一种方法如圖 15-32 所示，先将玻璃做成一定形状，使其适合

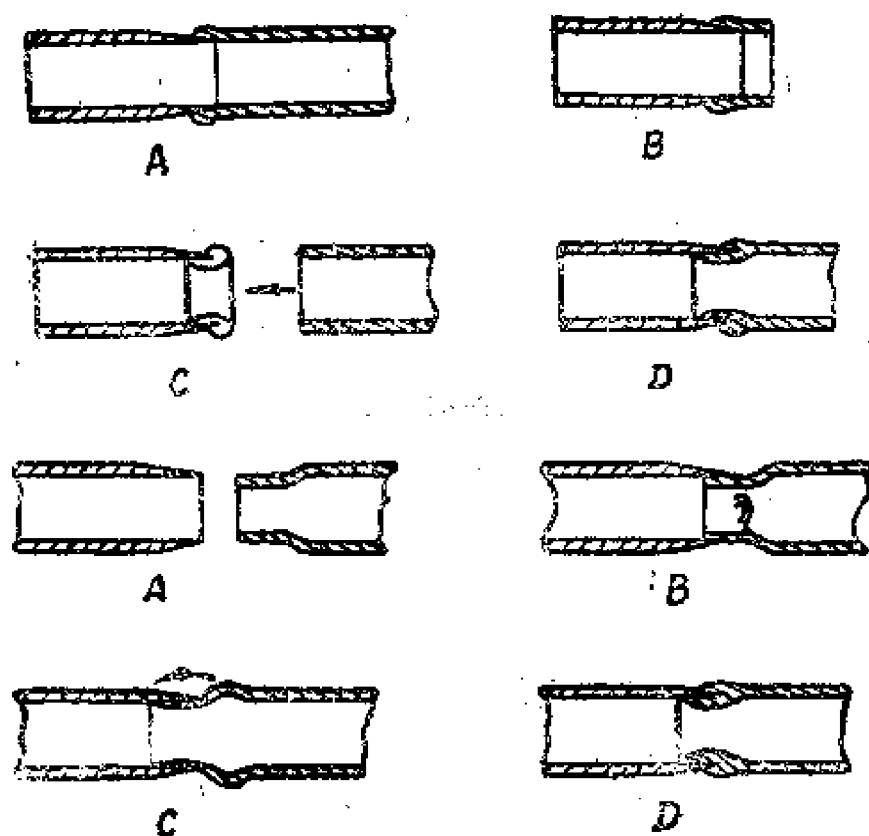


圖 15-32

銅管的內壁，然後增加玻璃車床轉速，並繼續加熱，利用旋轉的離心力，使熔化的玻璃與銅管粘合，以後再把車床轉速降低，使玻璃堆積在傾斜邊緣上（圖 15-32, c）。接着利用“小錘”將此堆積的玻璃壓在傾斜面的外壁（圖 15-32, d），由於與玻璃封接處金屬壁很薄，這種管狀封接的缺點是：機械強度不高。

（2）盤狀封接：盤狀封接大多用於超高频電子管中，如速調管、燈塔管、天線開關等。這種封接是以金屬盤的形式與玻管相封接，如圖 15-33 所示。

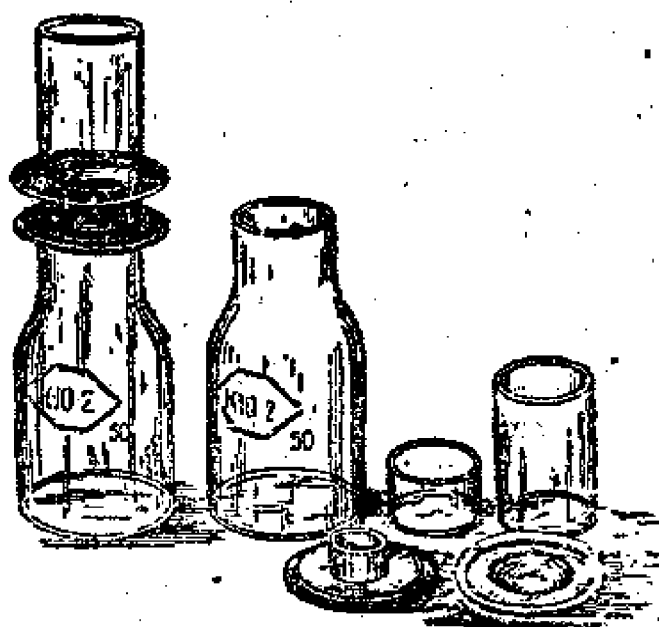


圖 15-33 盤狀封接。

在這種封接中，當玻璃受熱時，銅盤受到軸向的壓力，為此銅盤必需具有足夠的塑性。此外，銅盤的厚度對封接的質量也有同樣的影響，一般銅盤的厚度在 0.25~0.35 毫米左右。

這種盤狀封接，由於零件較小，且定位要求精確，因此封接大都用高频電流來進行。此時，整個結構銅盤與玻管固定在特殊模架上，使封接時零件能保持準確的位置，然後用高频感應線圈套在銅盤的外面，如圖 15-34, A 所示。利用銅盤中產生的渦流將盤加熱，並同時亦使封接處的玻璃端也受熱。當玻璃軟化後，就將玻璃管輕輕壓在盤上，使其封接成如圖 15-34, B 所示，這種封接在生產中常在立式高频

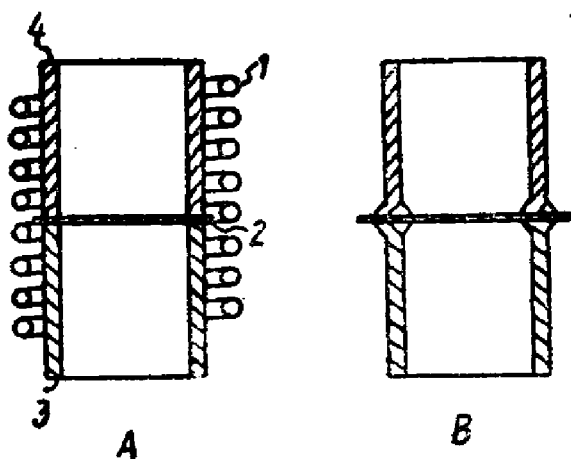


圖 15-34

1—加熱綫圈；2—銅盤；3—玻管。

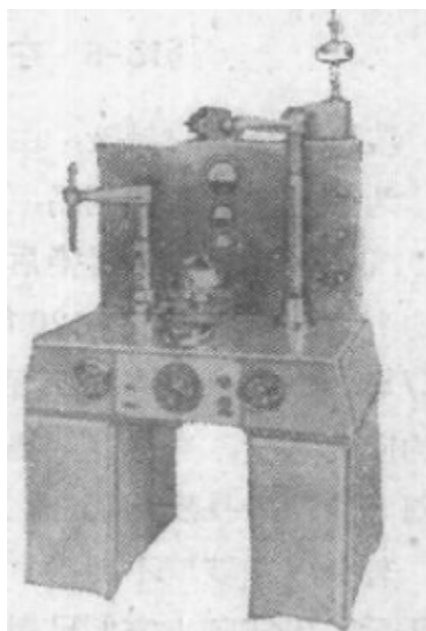


圖15-35 立式高频封接机。

封接机上进行，如圖 15-35 所示。

此外，封接也可在臥式高频封接上进行，这种封接机的主軸在工作时可旋轉，因此在封接时被封接的零件亦可旋轉。

为使焊接过程簡便及封接良好，銅盤的表面預先塗以一層薄的熔接剂，这熔接剂是用 100 克細玻璃粉，3.5 克粘土溶于 50 立方厘米的水中，并加以研磨而制成的。熔接剂塗在銅盤上后，放在爐中将熔接剂燒結，在 900°C 溫度下保持 40 到 45 秒鐘。在燒結后，熔接剂应呈橘紅色的光澤表面。

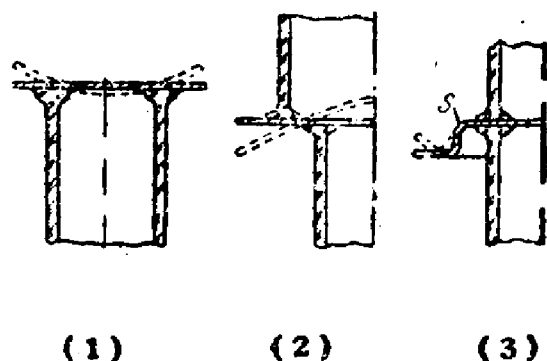


圖 15-36

在进行盘状封接时，玻璃要阻止銅的徑向压縮，因此玻璃外边的銅盤部分会弯曲，如圖 15-36，1 和 2 中虛綫所示，这就可能使盘与玻璃在焊接处裂开，为了消除这一缺点，盘的外边部分作成一定的形状(圖 15-36, 3)

这样使盘可由端 S 点弯曲而避免玻璃开裂。

§15-6 在封接时降低应力的措施

玻璃与金属的封接，由于两者膨胀系数的不同，就必然会产生应力，为了得到合格的制品，可从下列几方面来降低应力：

(一) 尽可能使封接后玻璃所受之应力为压应力。这是由于玻璃的抗压强度（61~120 千克/平方毫米）要比抗张强度（3.5~8.5 千克/平方毫米）大得多。下面我们来讨论一下玻璃与金属封接时所产生的应力情况。今假定金属的膨胀系数较玻璃大，且在高温下封接时金属与玻璃的长度相等（图 15-37，1）。

若金属和玻璃不封接，在冷却后必定玻璃长于金属，如图 15-37，2 所示。但实际上它们已封接在一起，在冷却后它们的长度还应相同，故玻璃受到一 d_1 的压缩，而金属则受到一 d_2 的拉伸（图 15-37，3）因而这种情况下玻璃受得的是压应力。反之若玻璃的膨胀系数大于金属，则玻璃将受到张力。

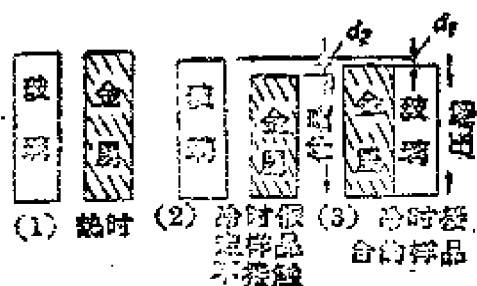


图 15-27

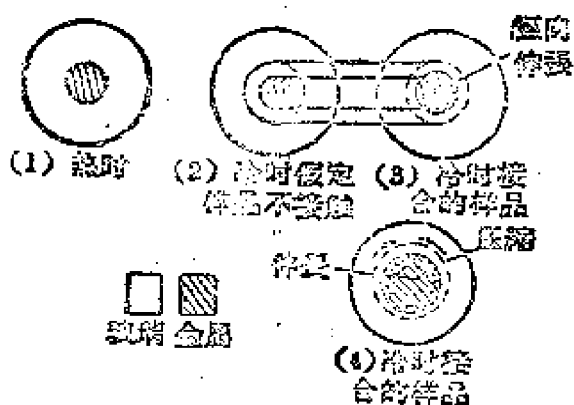


图 15-38

在圆封封接中，除了轴向应力外还有径向应力和圆周方向的应力。这种封接时所产生的应力情况如图 15-38 所示，若金属的膨胀系数大于玻璃，则玻璃的轴向与圆周方向在压缩，而在玻璃和金属间存在着径向拉伸，表 15-5 指出玻璃与金属封接时的应力情况，由此可知最好要求心柱中的导线，其膨胀系数应比玻璃小。

(二) 选择膨胀系数相接近的玻璃与金属。

表15-5 圓封封接中玻璃所受应力情况

膨 脹 系 数	軸 向	圓 周 向 徑 向
金 屬 大 于 玻 璃	压 应 力	压 应 力
玻 璃 大 于 金 屬	拉 应 力	拉 应 力

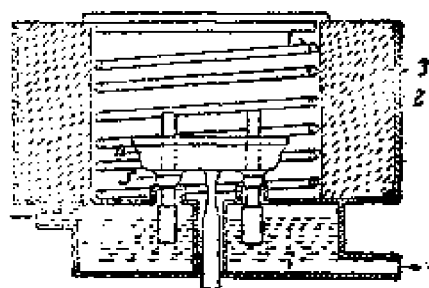


圖 15-39

1—加熱絲；2—烘箱；3—絕熱物質；
4—芯柱玻璃；5—封接金屬。

(三) 在不能获得金屬与玻璃的膨脹系数紧密的配合时，可在玻璃的下限退火溫度範圍內，延長熱處理時間来消除封接中的应力。

(四) 此外，当玻璃与金屬的膨脹系数相差極远时，为了减少封接中的应力，可用先后冷却法(圖 15-39)，采用这种方法，例如可使膨脹系数为

4.6×10^{-6} 的铁鎳钴合金与膨脹系数为 3.2×10^{-6} 的硬玻璃相封接。它是使玻璃在其退火範圍时，先在金屬上噴空气使金屬冷却。使玻璃在 500°C 的下限退火溫度时，膨脹系数大的金屬却被冷却至約 360°C ，讓金屬先收縮得較多，然后再同时进行冷却，由于这时收縮相差已不大，故应力不会形成。若应用液体冷却則可使具有膨脹系数与 10.5×10^{-6} 的合金和 3.2×10^{-6} 的硬玻璃相封接。但这种退火方法所制的制品，如果制品再度受热时，就很易炸裂。

§15-7 陶瓷与玻璃的封接以及陶瓷与金屬的封接

对于制造在高頻或高溫运用下的电子管，陶瓷的封接技术愈来愈显得重要了。以下将对陶瓷与玻璃以及陶瓷与金屬的封接作一簡單的叙述。

(1) 玻璃与陶瓷的封接 玻璃与陶瓷的封接亦和玻璃与金屬封接一样，在封接时必须首先考虑到它們的热膨脹系数相接近，同时还

应要求被封接的陶瓷有較高的热稳定性。为此，与硬玻璃封接的陶瓷和与軟玻璃封接的陶瓷是不同的。通常与硬玻璃封接的陶瓷是由瓷土（高岭土）、硅綫石、鋯石（ $ZrSiO_4$ ）所組成。这种陶瓷在成形后应在 $1450^{\circ}C$ 的溫度下进行焙燒，但在高溫焙燒后往往会引起很大的收縮。有时常多加入些高岭土来减少它的收縮性，可是过多的加入高岭土又会使陶瓷的热膨脹系数降低。为了再提高陶瓷的热膨脹系数，可加入一些氧化鎂，氧化鋯等物質。

而与軟玻璃封接的陶瓷，則采用滑石加氧化鎂的陶瓷，因为單独的滑石热膨脹系数太小；加入氧化鎂或氧化鋯后可提高其热膨脹系数，但这类陶瓷的热稳定性比与硬玻璃封接的陶瓷要差。

此外，为了使封接后的陶瓷能保証良好的气密性，可在陶瓷表面用玻璃粉复上一層釉。

（2）陶瓷和金屬的封接 陶瓷与金屬的封接是先在陶瓷上塗复一層金屬層，然后用它和金屬焊接。所用的焊料可用軟鐵或硬鐵。軟鐵有一定的韌性，故封接后不易生成应力，但由于軟鐵熔点較低，故不能应用于制造中需受高溫的零件。而硬鐵由于性質坚硬，故則要求封接的陶瓷和金屬的热膨脹系数相接近。

至于陶瓷上被复的金屬通常为銀層，現有用塗鉬和鉄再塗鎳，或是塗鈦等。

第十六章 电子管的装架

§16-1 电子管装架的意义和特点

电子管的装架就是把电子管的零件装配成电子管，即把电子管的各个零件如阴极、栅极、阳极以及吸气剂等按照一定的结构装到心柱上，并把各电极相应的连接在心柱导线上的过程。

电子管结构的复杂性以及结构对特性的敏感性，电子管的装架工作便成为复杂而又细致的工作。这因为电子管的电极尺寸对电子管的特性有着很大的影响，即使是很微小的改变亦会导致性能很大的差异，所以在电子管零件的制造中常使它们的尺寸保持不变，这在电子管的装架时也应该使零件的几何形状不受到改变。可是要做到这一点并非是一件容易的事，因为电子管零件本身就是非常脆弱的。在装架时难免会或多或少的使形状改变，特别是小型电子管，并且在装架过程中还要保持高度的清洁。为此，装架工总为女工担任。电子管质量的好坏及成品率的高低，在很大程度上决定于电子管的装架。

普通的电子管结构形式，由于其结构的复杂性，因此到目前为止装架大都均由人工操作。至于装架采用机械化，自动化我们将在§16-7中讨论。

§16-2 电子管装架的技术要求

(1) 清洁上的要求 因为电子管内部要求高度清洁，因此装架前零件均已经过严格的清洁处理，当然在装架过程中更应保持零件及管芯的清洁，这一点首先要求装架车间须非常清洁，为此装架车间总应是单独的房。房内的空气用鼓风机送入前最好经过过滤，室内地板和墙壁要经常保持无尘。车间内的工作人员需着白色工作服（并且工作服最好是用无纤维的尼龙做）、工作帽和工作鞋；严格遵守真空卫生规则，在工作前应先洗手，且还需再用酒精擦手，有时还戴

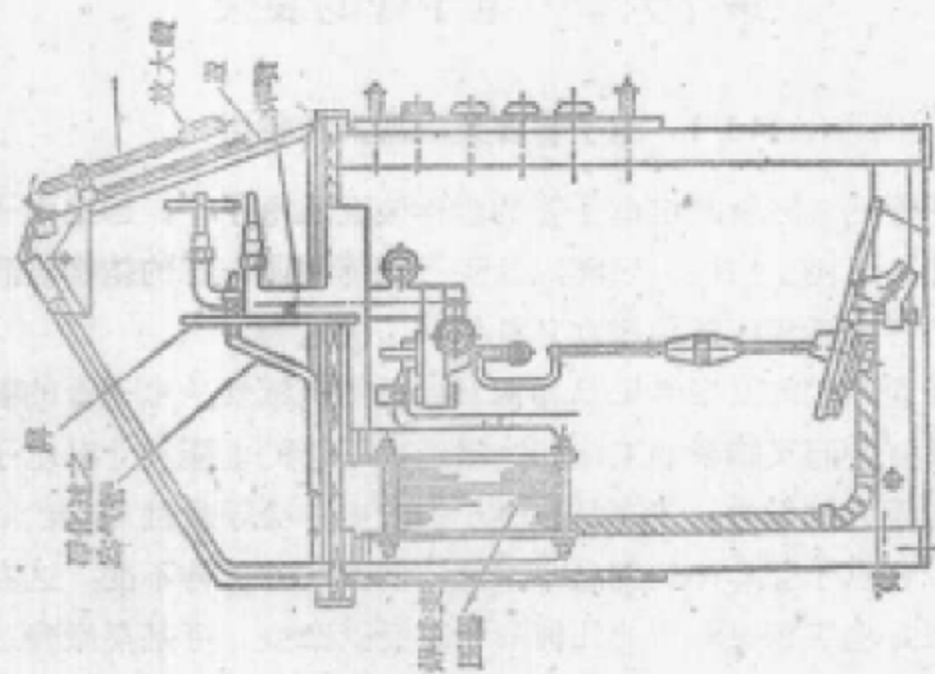
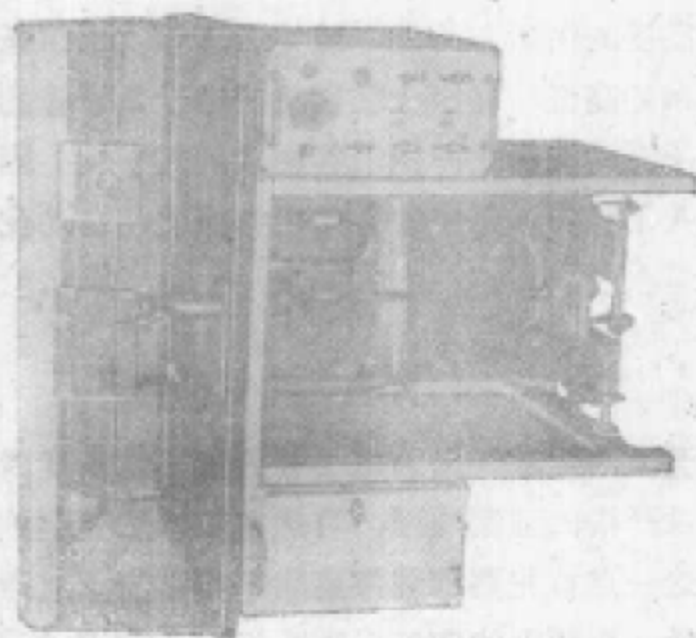


圖16-1 裝架台。



上特制的橡皮指套；装架所用的工具亦应用酒精擦洗。

为了防止装架时由于人的呼吸所产生的水汽落到装架的电子管上，因此电子管的装架台应为具有玻璃罩的装架台，如图 16-1 所示，在这种台子的玻璃罩内送入低压过滤空气。使罩内比罩外具有较大气压以阻止呼吸气体落在电子管上，有时在人面与装架的电子管之间尚置有透明防护板，更可防止呼吸气体落在电子管上。

有些装架台在设计时，内部不吹压缩空气，则此时可用尼龙丝作帘，这样女工手可以自由的伸入，而灰塵仍不会跑进装架台里面。

压缩空气的过滤是采用如图 16-2 所示的装置，人口空气经过多层的硅胶与棉花后，使其中所含的杂质微粒及水汽均被滤去。

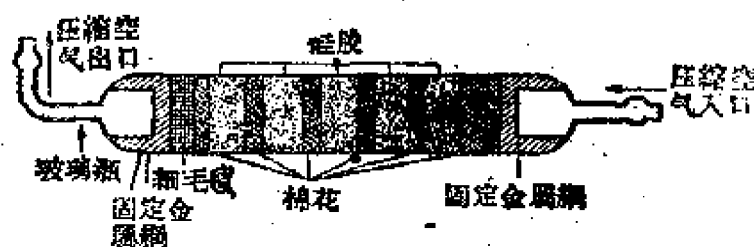


图16-2 空气过滤装置。

在装架时有时会发现在零件上或是已装配的零件上存在有纤维，或者由于焊接时控制得不良所产生的金属溅末落在零件上，因此在这种装架台上又装有高压空气吹嘴，利用高压空气把这些纤维和金属末吹去。此外工作位置，零件及成品的存放也应注意清洁，例如放在适当的盛器内，并用玻璃盖盖上。

(2) 电极形状完整性的要求 为了使制造的电子管的特性偏移不大，在装架的时候要求电子管各电极的形状及尺寸不受到改变。但因为电子管零件本身就非常脆弱，装架时难免要受到一些变形。在所有的电子管零件中，最脆弱的是栅极，特别是小型电子管中的栅极，由于构造的细小，所用的栅丝也就更细，像这种零件也就特别容易变形；所以在装架时，很微小的人为应力已足够使它变形。在装架时所造成的栅极缺陷，除了它的尺寸改变外，还容易发生栅丝的揉

乱。

电子管的装配工作，在中小型电子管中，是把各个电极依着次序装到云母片或瓷隔板上。由于各零件与所需插的孔之间的尺寸有公差存在，往往会发生或松或紧的现象。装配稍紧时，零件的插入就需要较大的力量，变形也就最容易在这时候发生。由于造成变形的最大原因就是工作的不小心；所以在装配的时候应特别细心，遇到配合较紧时，更应细心的工作，决不可急躁。

由于电子管的各个电极都是一个套着一个的，例如栅极套在阴极外面，而阳极又套在栅极的外面等。把栅极套在阴极上时，稍一不慎，就会把栅丝揉乱，且把阴极上的氧化物刮掉（对于氧化物阴极而言），阴极上的氧化物被刮去一部分后，阴极的发射将缺乏均匀，而这些被栅丝刮去的氧化物，如果留在栅丝上，则以后也将引起栅极发射。

阳极一般说来是比较坚固的，所以在装架时所造成的阳极缺陷也就较小，但在零件的焊接不小心时，也可以形成电极的变形。

在装架时零件可能发生弯曲，等到把各零件装到一起后，很可能各栅极的边杆不与阴极在同一个平面内。所以在把各栅极装完后，在沒有装阳极以前，应该“对正中心”，即輕輕的校正各零件使各栅极边杆与阴极在同一平面内。

（3）零件联接及固定牢固性的要求 电子管内部电极固定的牢固性，以及联接的牢固性对电子管以后的运用有着很大的影响。在装架的时候，应该都能使各零件很好地固定在各个位置上，不致发生由于电极的摇摆而引起极间距离的变化。对于中大型电子管，电极固定大都采用腰箍固定在芯柱上，所以这些腰箍的螺絲一定要拧紧。对于中小型电子管各电极间的固定是采用云母片或陶瓷板，在把电极插到这些绝缘片上特定的小孔里时，除应不使这些小孔受损而发生电极在孔里松动外，尚应使电极不能在沿轴的方向移动，即电极应该紧紧的固定在上下绝缘片之间；特别是間热式电子管的阴极，因为它不象栅极等那样可以通过较粗的导丝间接的固定在芯柱上，所以在装架的时候应该使阴极上的筋紧靠在云母片上。

裝架時零件的联接大部分採用點焊，只有在極個別情況下，如在大型管里有用鐵焊的。联接的地方應該有足夠的強度，且用點焊法時不能燒壞零件。因此，點焊時電極壓力及時間的準確控制是很重要的。零件焊接後，應該檢驗焊接是否牢固，其法就是對焊接點上加一個不大的拉力，如焊接處因此而脫開則應重焊。對於小型管焊接好壞的檢驗更顯重要，因為在小型電子管里焊接零件都很細小，很易發生焊接不牢或燒壞的現象。

為防止零件焊接時的氧化，在電極周圍可充以保護性氣體（20% H_2 + 80% N_2 ），或在焊接的地方沾上酒精，當焊接時電極發熱後，酒精蒸發而圍集在焊件的四周隔絕了焊件與空氣接觸，亦可防止氧化。

§16-3 大量生產中電子管的裝架組織

在大量生產中，特別是那些生產量很大的接收放大管中，完全採用了流水作業法；只有那些生產量很小的電子管例如大型管，或是構造過於簡單的電子管，才採用單個裝架法，即由一個人完成全管的裝配工作。裝架工作的流水作業，就是把全管的裝配工作分由幾個人來擔任，第一個人裝配一部分零件後，接着傳至下一個人，由他裝配另外一部分零件。這樣依次下去，直到最後一人裝完為止。

較單獨裝架，流水裝架形式具有以下優點：

1. 工作效率高：由於流水綫工作的專業化，每個成員固定於某一特定工序，並不改變，所以他在裝架中所用的設備工具等均可採用專用的，而且在操作中可以不必要經常更換。特別是點焊机，可以不因焊接對象的改變而時有調節。因此不必要的輔助時間便減少。此外，由於工作專一，熟練程度也就容易提高。

2. 產品的均一性：電子管是一種敏感的器件，特別是氧化物陰極的電子管，很微小的不易察覺的人為因素已足可影響到它的特性。如果電子管的裝架，是由一個人單獨進行，那末由於各人的技術熟練程度不同，或是某些難以想象的人為因素，各人所裝架的電子管，勢必特性產生，參差不齊。如果採用流水作業，則每人在各電子管中都

担任了某些特定的零件装配，所装的电子管就要均匀得多。

3. 檢驗工作加强，防止廢品的流窜：在流水綫中还可由操作工人来担任檢驗工作，就是下一个人檢驗上一个人的装架工作，以及零件的完整性，清潔性等。因为流水綫总有几个人，所以一个电子管在装架过程中可經過几次檢驗。这样便可及时發現产品的缺陷，或者补修，或者报廢，更可防止廢品流入下一工序，繼續进行加工造成更大的損失。

装配流水綫中各工人的操作，應該有良好的同期性，这样产品在流水綫上就不会發生积压阻塞的現象。因此在划分装架工作的工序时，應該仔細的考虑，尽量划分合理。此外为使流水綫的成員有缺勤时，流水綫仍能繼續生产，最好應該备有一定量的全能工。

§16-4 装架所用的設備及工具

一、点焊机 点焊机是作焊接零件之用，点焊机結構已在第六章中叙述过，这里不再重述。在装架时使用点焊机，主要是怎样選擇相应的电极形状来焊接零件，这样不但保證了焊接質量，并且还可提高焊接效率。

二、鑷子 鑷子(圖 16-3)是装架中最不可缺少的一种工具，因为电子管的零件很細小，无法亦不可用手去拿，只有用鑷子才是較方便亦較恰当的。

装架工作中所用的鑷子有两种：一种是普通的，另一种就是在普通的鑷子的尖端上又包上橡皮。前者用来鑷普通的零件，后者專用于鑷阴极热絲之用。

三、装架針 装架針(圖 16-3)是用来整理被揉乱的栅絲，对正中心时輕輕撥直零件之用。有时零件过于微小，不使用鑷子操作时，亦可用装架針来撥动零件，或已装架的零件有不易用壓縮空气吹去的污物如过長的纖維或是焊接的濺沫，可用装架針撥去。

四、尖头鉗 尖头鉗是用来弯曲导絲之用，較細的导絲可以用鑷子来弯，較粗的导絲就要用尖头鉗来弯。尖头鉗在装架中大型电子管

耐用得較多。

五、剪刀及斜口鉗 剪刀是用來剪斷細的金屬絲和薄的金屬帶之用，對於較粗的導絲剪斷則應用斜口鉗。

六、螺絲起子 中大型發訊管芯柱腰箍固定螺絲擰緊用，以及在調點焊机电極及電流時用之。

七、放大鏡及顯微鏡 用以檢驗電子管的裝架，較大的電子管其裝架好壞可直接用肉眼觀察，或者更為明顯起見可用放大鏡，對於小型電子管則須採用顯微鏡來檢查裝架的好壞，因為這些電子管中的零件都很細小，且結構緊湊，細小的缺陷不易用放大鏡檢出。在小型電子管裝架中，放大鏡有時用來協助裝架工作，使裝架工作易于進行，這時的放大鏡往往就裝在帶有玻璃罩的裝架台上（圖16-1）。

八、盛具 電子管零件的存放應採用專用的盛具（圖16-3）。裝架中採用的有長方形及方形膠木盒，小斜槽膠木盒及大斜槽膠木盒等。長方形及方形膠木盒用來存放裝架的成品，和其他的零件。斜槽膠木盒則專用於存放陰極，柵極等零件，根據零件的大小，採用大斜槽或小斜槽膠木盒在各盒上均應配有玻璃蓋，零件取出後，則應把玻璃蓋

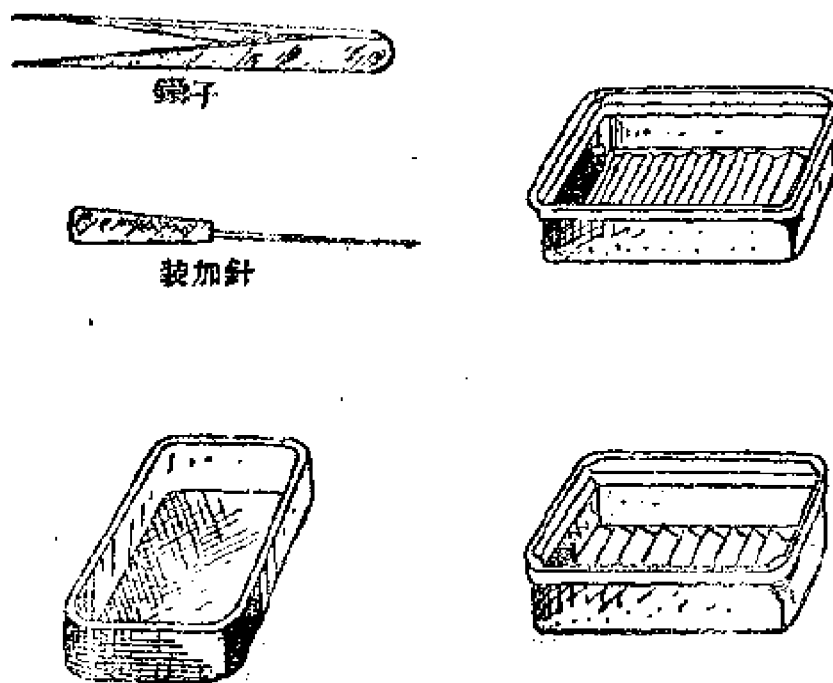


圖16-3 裝架工具。

蓋上，防止污物落在零件上。

九、装架模 为了提高装架质量的均一性，并且亦便于装架起见，往往采用特殊的装架模；但由于电子管结构的复杂性，且电子管本身的体积又很小，因此装架模的应用，常仅应用在简单结构的电子管中，或尺寸较大的电子管中。

§16-5 装架的一般方法

电子管的装架方法是各个电子管的具体结构而拟定的，但必须以装架方便，使装架速度尽可能快为原则。一般总是由内装到外，先装主要零件，后装辅助零件。所谓由内装到外就是先装阴极，再装栅极，后装阳极，主要零件是指这些阴极、栅极、阳极等，辅助零件是指屏蔽片、散热片、吸气剂等。

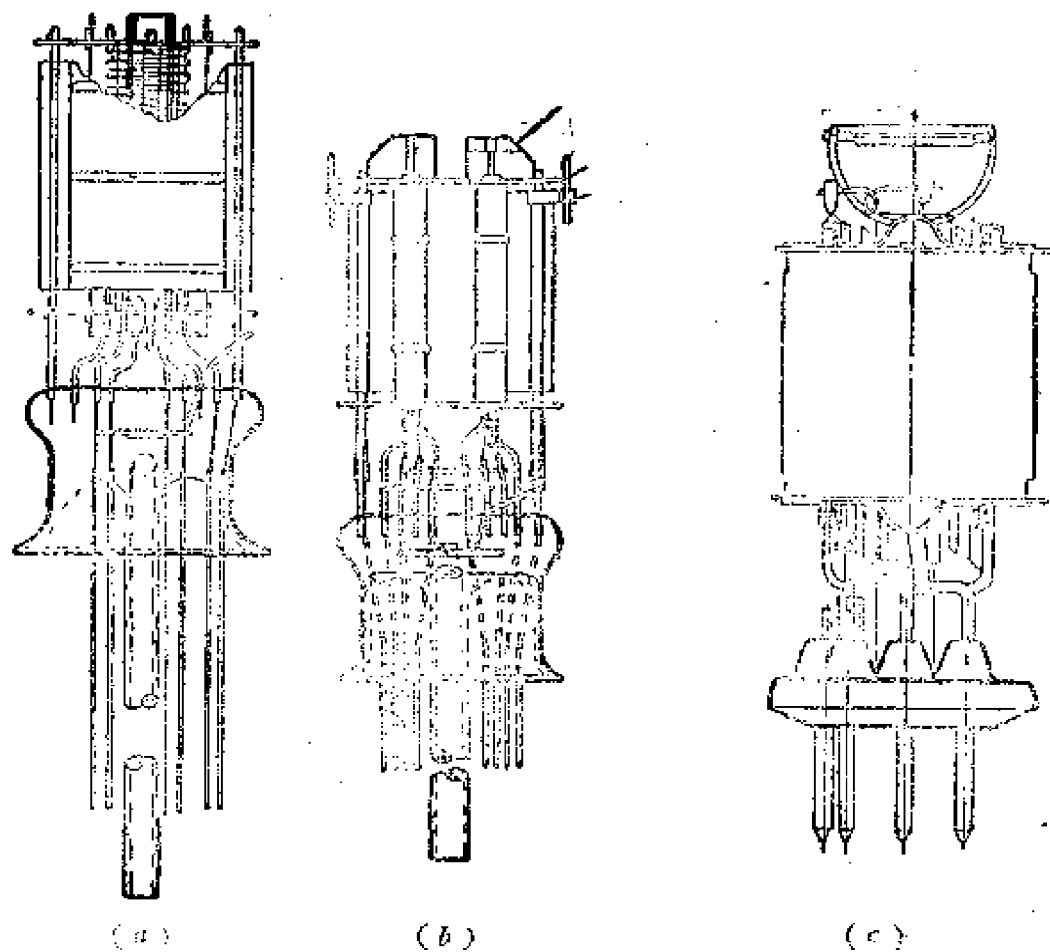


圖16-1 装架方法。

对于收訊电子管，随着心柱形式的不同，在装架时可有两种装架方法：一种是适用于梳形心柱的，就是把絕緣片各主要零件，个个依次装到心柱上去（圖 16-4, a）。另一种是适用于平板形心柱，它是先把絕緣片和主要另件装配成管芯，然后把这管芯焊到心柱上去（圖 16-4, c），当然这种方法亦适用于梳形心柱中（圖 16-4, b）。后者的装架方法比較簡單，尤在机械装架及采用模子装架較方便，故近来已逐渐采用这种方法进行装架較多。

对于直热式阴極，因为阴極要用彈簧鈎吊起，因此这类电子管的装架就不能象間热式阴極的电子管那样，先在絕緣片上装阴極，再装栅極、阳極；而必須先把栅極阳極固定在絕緣片上，然后再装阴極。

圖 16-5 所示为手工装架电子管的情形。

圖 16-6 就是装架时的手法及順次。現举平板形心柱 6 K 4 П 电子管的装架过程如下：

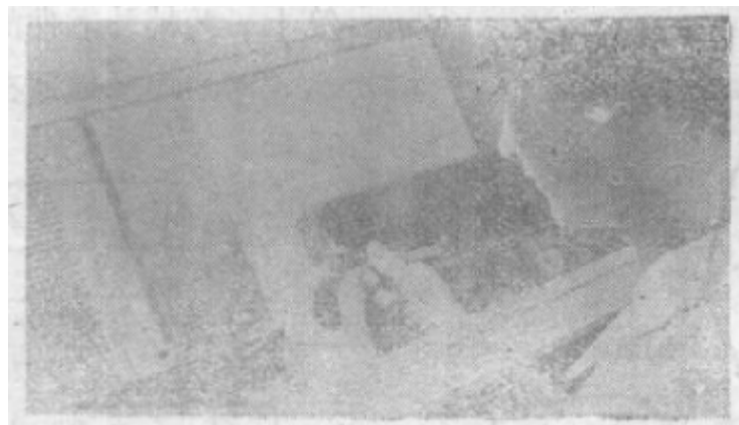


圖 16-5 手工装架电子管。

- 1) 把阴極插入云母片上；
- 2) 把第一栅極插入云母片上；
- 3) 把第二栅極插入云母片上；
- 4) 把第三栅極插入云母片上；
- 5) 把阳極插入云母片上；
- 6) 套上隔离罩，并用压缩空气吹净管芯；
- 7) 套上云母片，并把阳極小耳弯到紧貼在云母片上；
- 8) 装隔离罩片，使隔离片紧貼在云母片上，然后和隔离罩小耳

焊牢；

- 9) 靠阴极有筋的一端把阴极夹扁；
- 10) 焊接阴极连接带至隔离片；
- 11) 套下隔离片，使它紧贴在云母片上，然后和隔离罩的小耳焊牢，再将下隔离片小耳焊到第三栅极边杆上；
- 12) 第一栅极及第二栅极的边杆上焊上连接带；
- 13) 把热丝插入阴极套管；

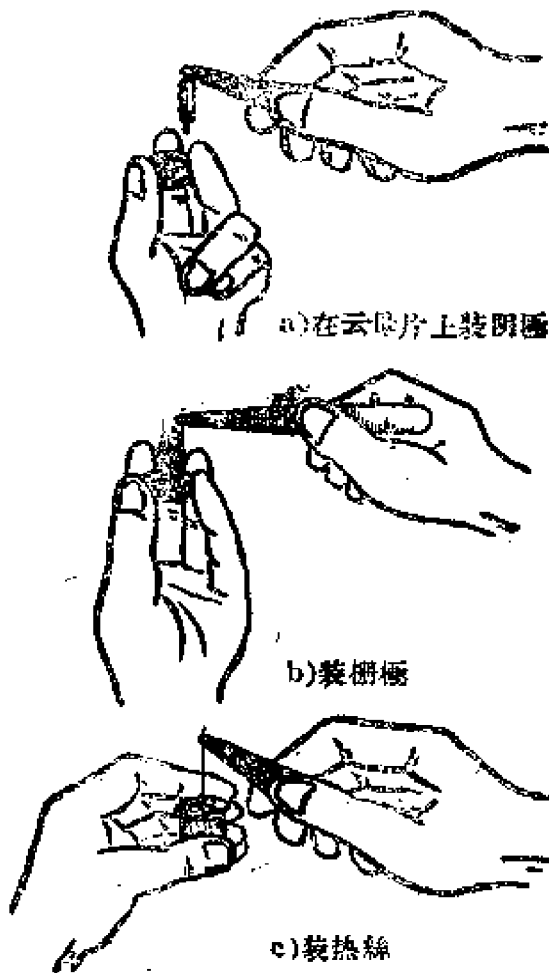


圖16-6 裝架时的手法。

14) 把已装配的管芯焊到已装有隔离片的芯柱上，并把各电极与芯柱上各相应的导丝相焊接。

以上从第一到第七的步骤中，是主要零件的装配，第八到第十三为辅助零件的装配。至于消气剂的焊接通常在管芯清洗后进行。

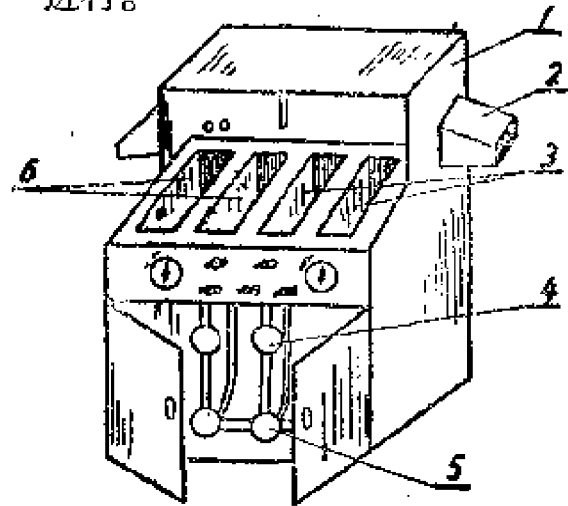


圖16-7 清洗櫃：

- 1—烘箱；2—出口处；3—酒精槽；
4、5—活栓；6—蒸餾水槽。

电子管装架完畢后，可能有一些污物落在电极上，如手汗、氧化物粉，因此尚需再进行一次清洗。并且清洗以后，一方面可以洗去零

件上的污物，另一方面对于氧化物阴极而言由于阴极受到湿润作用，使氧化物层变松，亦有助于以后的阴极激活。

清洗的方法是把装架好的管芯，放在热蒸馏水中（90~100℃）浸洗几分钟，再在酒精中浸一下，然后进行烘干，整个过程可在专门的清洗罐（图16-7）中进行。

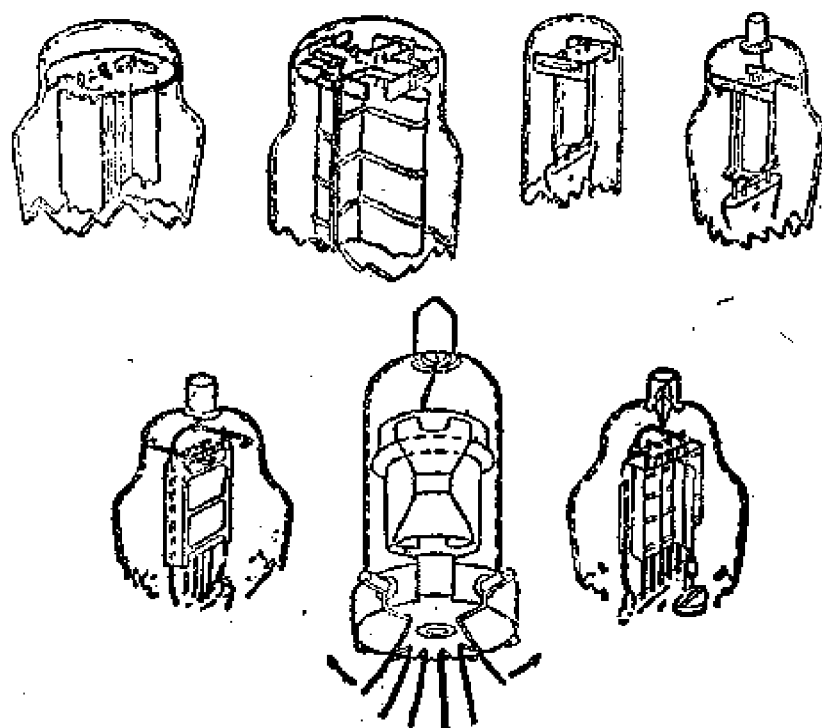


图16-8 玻璃管壳中管芯的固定。

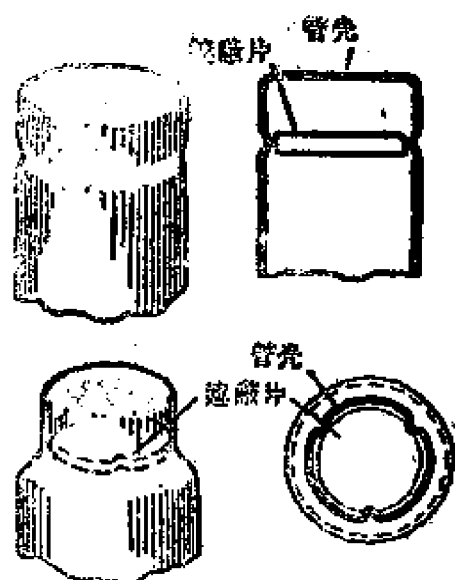


图16-9 金属管壳中管芯的固定。

装架完毕的管芯，在封口前就需套上管壳，为了增加管芯的稳固度，因此管芯的上部必须和管壳的内壁紧靠，这就靠上云母片的尖角来达到。这也就是要求管壳内径公差小的原因，有时为了节省大的云母片，则采用云母片的小翼，或用钢丝、钼丝做的弹簧来完成，在图16-8上就绘出了几种固定在管壳上的方法。

对于金属管壳的电子管，则要使

其固定在管壳上更为簡單，將金屬壳位于管内上云母片的地方收口即可，如圖 16-9 所示。

§ 16-6 裝架的廢品及檢驗

裝架時可能產生的廢品很多，因此需要檢驗的項目也就很廣，一般可包括下列几項：

一、清潔度的檢驗

1) 用顯微鏡檢查管芯內部，如陰極表面，柵極、陽極表面，束射屏上等有否微小纖維或焊接濺沫，如有則可用壓縮空氣吹除，如吹不掉則用裝架針撥去。

2) 管芯的外表面應清潔，不應有污漬，手印等。

二、各零件的檢驗

裝架後的零件應保持它原有的完整性，而且各電極應牢固的固定在絕緣片上，各電極間的距離亦應該準確。零件的檢驗計有：

1) 陰極的檢驗

陰極表面的氧化物不應有剝落，在顯微鏡下觀察陰極視其是否彎曲，如有以上情況均為廢品，并用顯微鏡檢查陰極在云母片上的位置，陰極上的筋應頂着云母片，用鉗子向上頂陰極的端頭時，陰極應不向上移動，否則就為廢品。另外如直熱式陰極的彈簧鉤是否與柵極邊杆相碰，有則校正之。

2) 熱絲檢驗

視熱絲彎折處的氧化鋁有否鏽落，否則為廢品。熱絲不能與陰極尾絲相碰，否則熱絲將因熱脹冷縮而與陰極尾絲相摩擦，時間長後該處氧化鋁便會剝落。

3) 柵極檢驗

檢查柵極圈的位置，應特別注意上柵圈和下柵圈須將整個陰極蓋住，對於束射電子管，還須檢查柵絲是否對齊。另外如檢查柵絲有否揉亂和折斷等。

4) 陽極和隔離罩的檢驗

檢查電極固定在云母片上的牢固性，可輕輕用錘子抖動陽極或隔離罩，當抖動時不應有搖擺的感覺。

5) 云母片的檢驗

檢驗云母片內表面任何相鄰兩電極的孔間有無大塊的氧化鎂剝落或缺損，有則為廢品。在云母片的反面則允許有大塊的氧化鎂剝落。

三、焊接的檢驗

焊接處用錘子輕輕地推或拉，焊接處不應有鬆動或脫離。檢查心柱有否由於焊接而引起的裂縫或破損，最後用檢驗器檢查電極有否短路或斷路。

§ 16-7 裝架工作的機械化

由於接收放大管的生產量很大，而用手工進行裝架的生產效率很低，並且容易引起裝架後的電子管參量的不一致性。因此對於接收放大管管芯的裝架希望能應用機器來進行。但由於電子管的結構複雜、零件細小脆弱，特別是將各柵極的邊杆同時插入公差很小的云母片孔中感到最為困難。所以要設計這樣的裝架機器並不是件輕而易舉的事，近來雖已設計出了這種機械裝架的機器，但它亦只能適宜於結構較簡單的電子管（如二極管或三極管）。這種機器的工作原理是利用云母片作定位片，然後在定位片的孔內插入各個電極元件（陰極、柵極及陽極）。此外，為了使在套第二個云母片準確起見，它採用了定心機構，保證使所有的零件固定，並使其準確地對準着第二個云母片的孔。

圖16-10示出了用來裝架 6 H 8 C 的半自動裝架機。在這機器上共有八個位置，各位置的裝架工藝過程如圖 16-11 所示，機器旋轉一周後，心模依次經過裝架各元件機構的各個位置，順次裝架並固定元件，最後將已裝架好的管芯由心模脫入盒內。

這機器裝架各元件的機構的工作原理大致如下：

云母片裝置機構 云母片是預先整齊地裝在柱狀空心管內，並用真空系統將云母片保持在夾頭的表面上，然後用夾頭將云母片套在定位銷上。

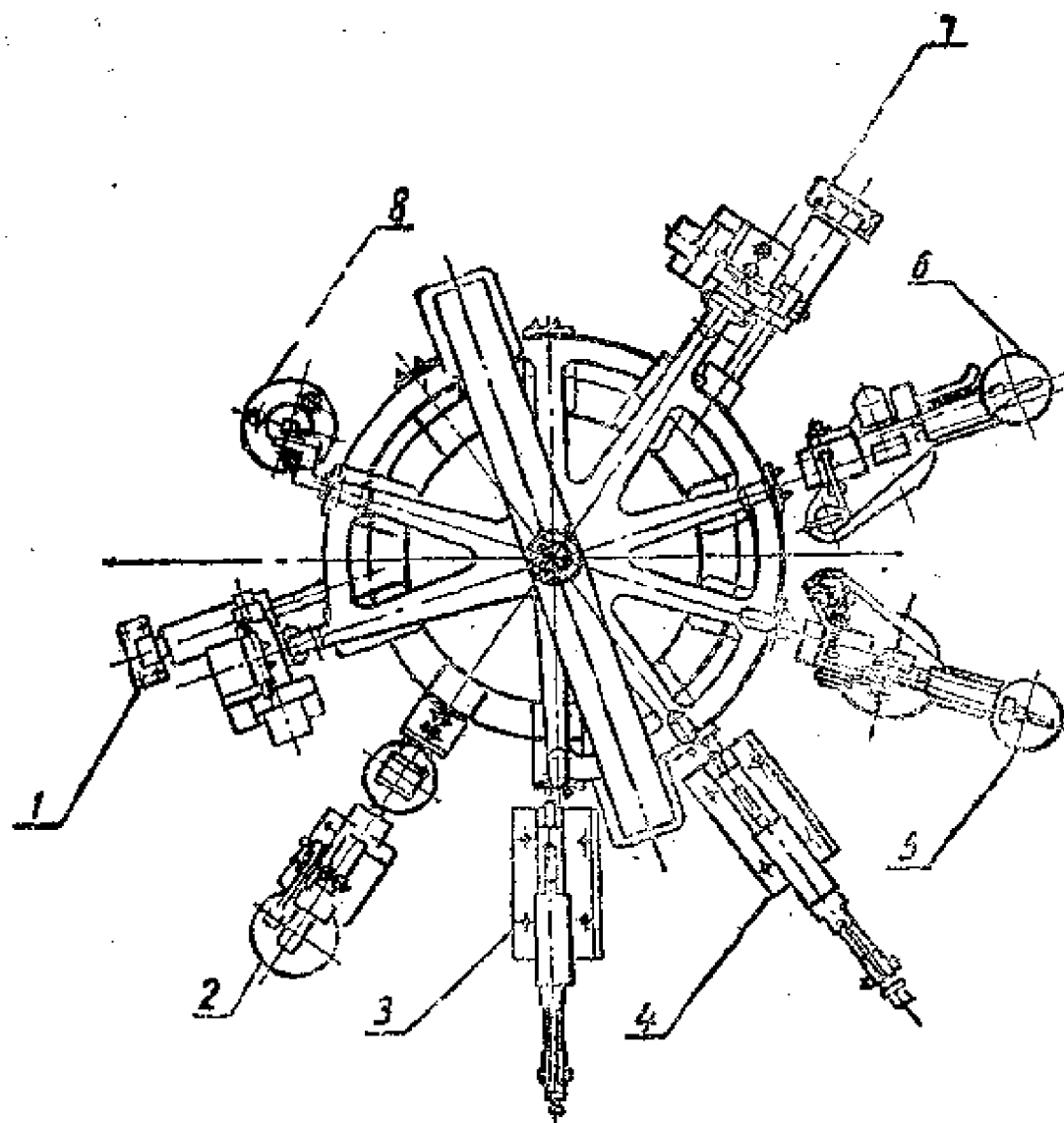


圖16-10 八位置機械裝架機：

- | | |
|------------|------------|
| 位置1—裝下云母片； | 位置2—裝陰極； |
| 位置3—裝第一柵極； | 位置4—裝另一柵極； |
| 位置5—裝第一陽極； | 位置6—裝另一陽極； |
| 位置7—裝上云母片； | 位置8—組合併卸下。 |

陰極裝置機構 陰極是預先放在接收槽內，然後利用水平滑塊的針尖插入陰極套管，隨即滑塊就將陰極送至云母片上，並將其插入云母片孔內。

柵極裝置機構 由於柵極邊杆插入端的自由長度常有長短，故柵極裝入接收槽內後須按柵絲的最末圈來確定位置。然後再利用夾具將

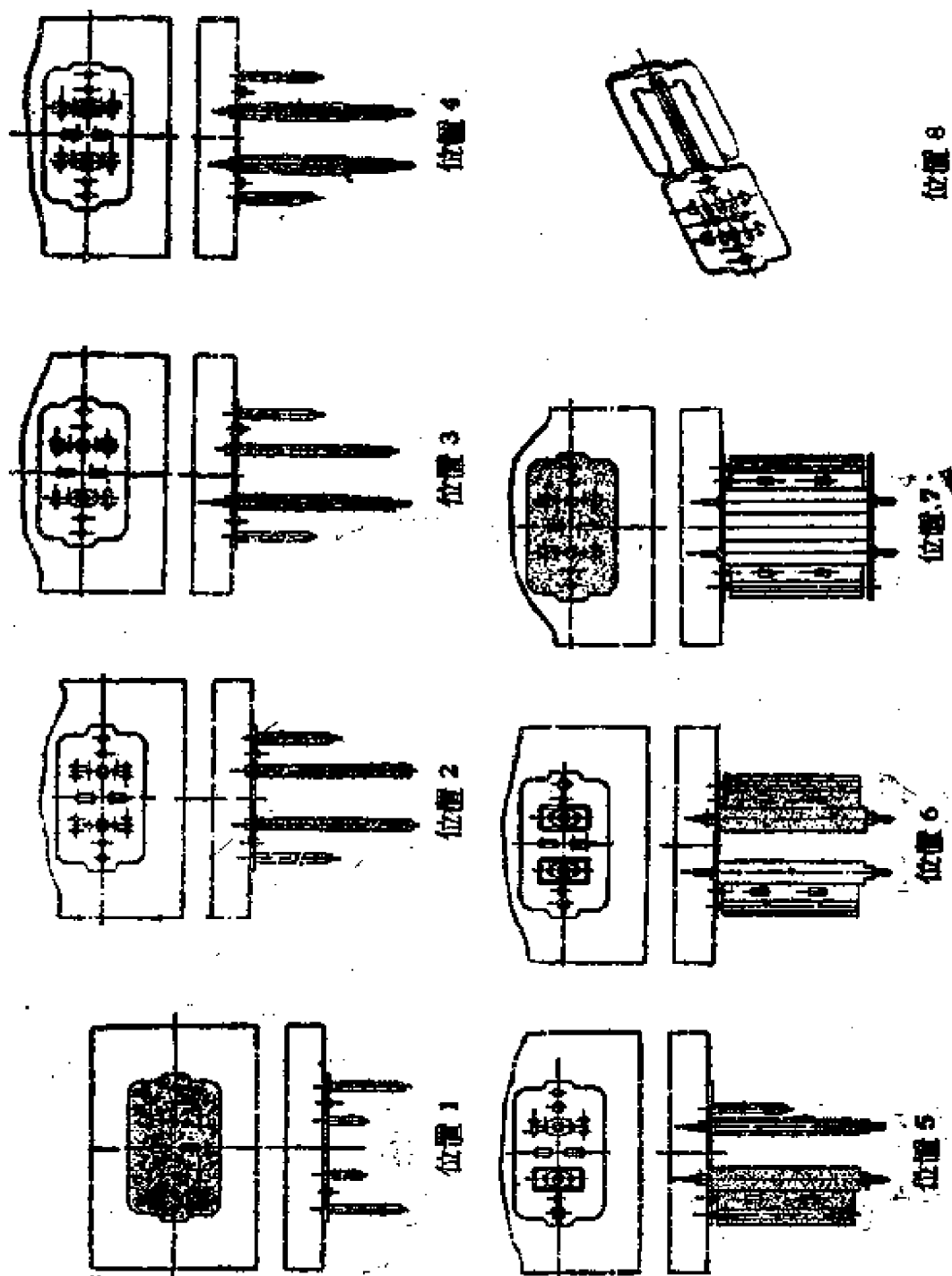
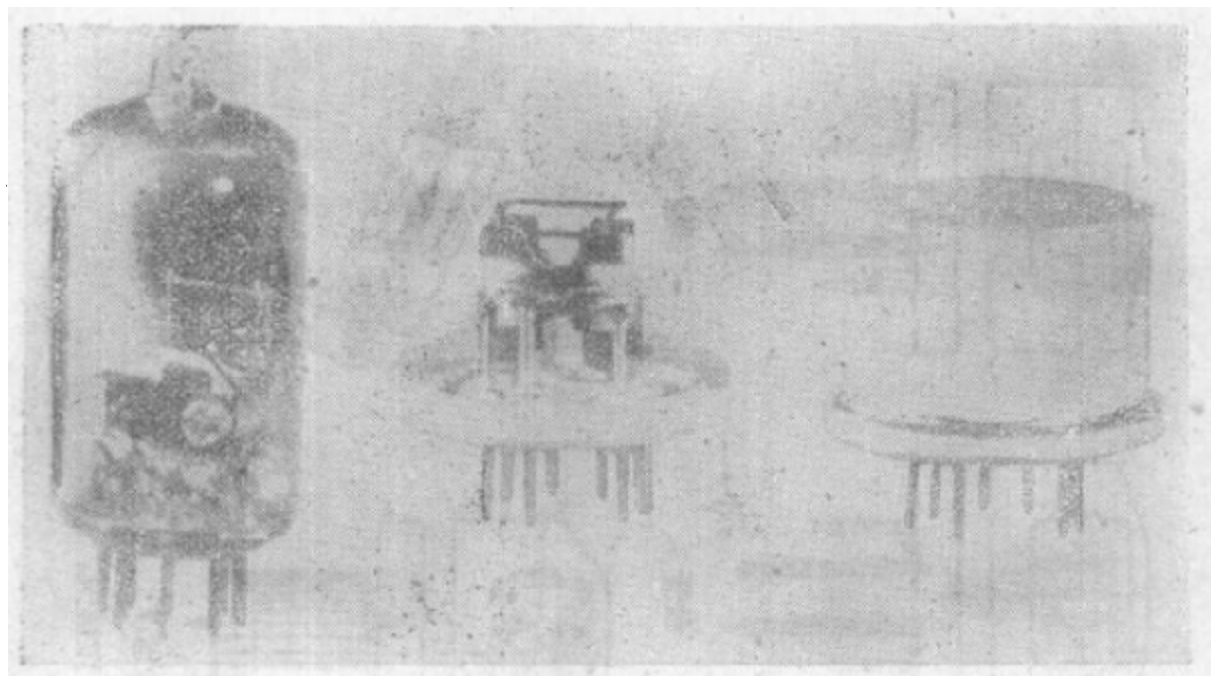


圖16-11 機械裝架的工作情況。



普通装架的电子管和自动装架的电子管。

栅絲移近心模，并使边杆插入云母片孔。

阳極裝置机构 这机构尚有校直阳極小耳的輔助裝置。开始先用手将阳極移到矯形模，用上下夹紧裝置将小耳成对地校直。然后用固定在滑块上的夹头夹住阳極，送至芯模上插入云母片孔，并且阳極小耳用心模的鉗口弯折之。



圖16-12 叠合式結構电子管。

这种机器的生产量每小时达300个~400个；但由于这种机器的結構复杂而精确，因此仅适用于大量生产的結構簡單的电子管，何况帮助进行这机器工作的还需要4~6个的女工。因此，目前对于这种装架机尚在进一步改进中。

要設計改进机械装架机的簡單化，另一途徑就是从改进电子管的

结构着手。为此，就设计了叠合式结构的电子管，如图 16-12 所示。其中最主要的不同之点是取消了云母片，而以陶瓷间隔片代替。这样元件的组合就成为简单的一个叠一个的了，整个管芯是组合在两个小轴栓上。

装架时首先是放一个阳极，然后在他上面放二个陶瓷间隔片，再在陶瓷片上放一个框状栅极，以后在框状栅极上再放二个陶瓷间隔片，同样其余元件均套在轴栓上，直到顶为止。叠放完毕后，用热封压固定这小轴栓，就得到坚固而稳定的装架组合，整个装架过程如图 16-13 所示。

这种叠合式结构的电子管，一方面使装架的机器简单化了，管理机器的人也减少了；除此以外，它还有一系列的优点，如增进了电子管的可靠性和牢固度，减少了微音效应，并且还由于不用云母片，因此它能适应在高温下工作。

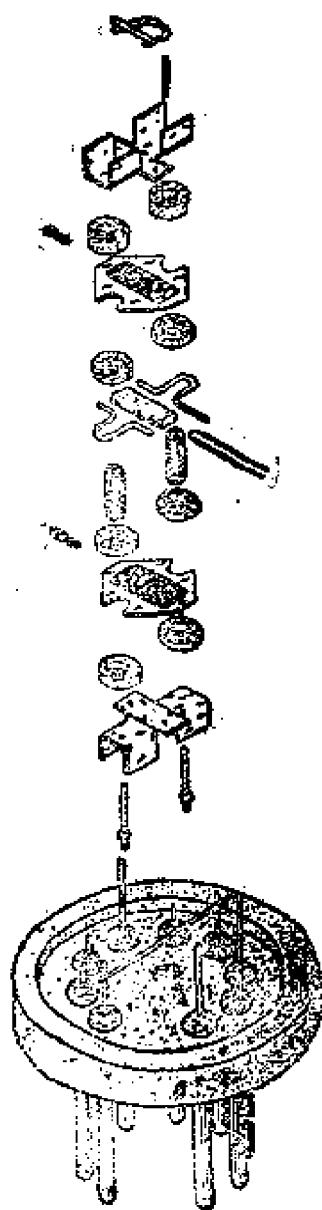


图16-13 机械法装架时电极组合顺序。

第十七章 电子管的封口

§17-1 封口的意义和形式

电子管的封口，就是将芯柱和管壳封接起来的一个工序。在电子管生产上，这个工序起着隔绝外界大气、保持内部真空的重要作用。在封口以后，电子管只剩排气管和外界大气相通，以供抽真空之用。由于电子管的类型和结构众多，因此封口的办法也就各有不同。最常看到的也是最主要的为玻璃与玻璃的封接，在这种形式封接中，由于芯柱形式的不同，还分为梳形芯柱封口和平板形芯柱封口两大类。此外，有时还进行玻璃与金属的封接（例如具有外阳极的振荡管、灯塔管等）或金属与金属的封接（例如金属管），甚至金属与陶瓷的封接（例如金属陶瓷管）。当然，随着封接形式的不同，就需要有相当的合适工艺和应用的装备。

无论是上述何种封接，为了达到密封的目的，通常总要利用高温熔接的方法。根据加工对象的不同，在实用上得到高温的方法有：火焰加热、高频加热和电热丝加热等。而其中尤以火焰加热为最普遍，其原因是用火焰加热工艺简单，且装备价廉。但在很多场合下，火焰加热并不是最好的，主要的缺点是在用火焰加热玻璃时，难于使加热处定位，并有可能使部分零件氧化。此外用火焰加热，在洁净性方面显得较差，因煤气中常可能含有对阴极发射有害的杂质例如硫等。

§17-2 封口的办法

根据电子管芯柱形式的不同及管壳尺寸的大小，封口大致可分下面几种：

（1）梳形芯柱的封口 梳形芯柱的收音电子管封口，由于玻璃较薄，且生产量大，故大都在多轴旋转式封口机上进行（如六轴、八轴、十二轴等），其外形如图 17-1 所示。

在封口机各軸的近旁裝有強度不一的火焰，這些火焰一般是固定不動的。工作時，將裝好管芯的电子管芯柱插在能旋轉的軸上，并使排氣管及引綫外端位于軸的内部，以免引出綫被火焰燒壞，然後再在芯柱上套上玻壳。至于管壳的支撐，則根据管子的大小分別來對待，如

对于接收放大管，其管壳大多借管芯上云母片來支撐，而对于中型振蕩管，管壳之支撐則需用附加的支持物來支撐。

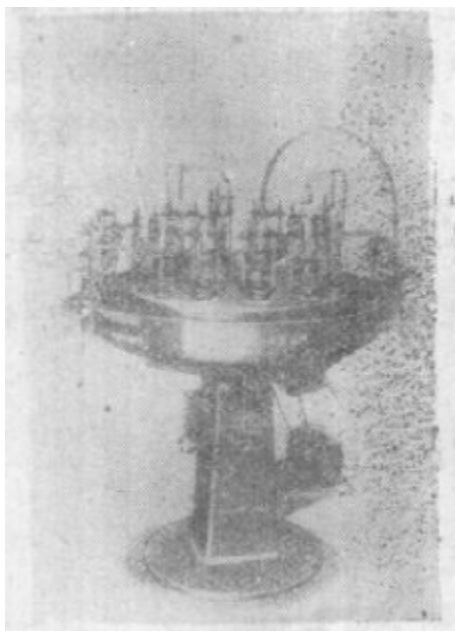


圖17-1 八軸封口机。

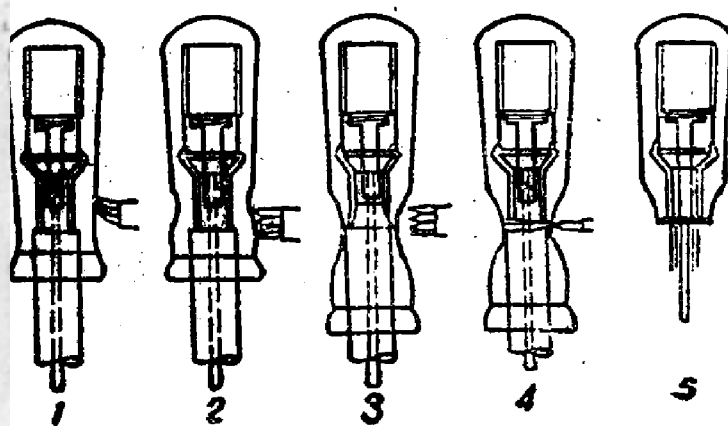


圖17-2 八軸机封口过程。

在圖 17-2 上亦示出接收放大管于八軸封口机上的整个工作过程。

封口時先用軟火焰將與芯柱封接的玻壳部分逐漸加熱（圖 17-2 (1, 2)），接着再用較尖的火焰加熱，直到玻璃軟化為止。由于玻壳本身重量的作用，其下部慢慢下墜并使玻壳直徑縮小，以至于與芯柱的喇叭接觸而相互熔接在一起（圖 17-2 (3, 4)），以後繼續加熱封接的地方，玻壳的多余部分即落下，這時玻壳和芯柱就完全封好了（圖 17-2 (5)）。最后利用軟火焰將封口處退火，以避免產生應力。在這時為了避免封接處玻璃堆積在一起，并使封口處圓滑，通常還向管內輕輕吹入適量的空氣。接着就从封口机上將封接好的电子管取下，并为了不致在封接处的玻璃太厚，常又在玻壳和芯柱間加一拉力，使封接处，稍拉長一些。然后立即放入退火爐中退火。又在接收放大管封口時，有时因多余玻璃的自身重量不够，不能使玻璃很快的去掉，就需在玻璃的頸上套上一金屬環、重物或用金屬搭拉下多余玻璃。在有上引出

綫或旁引出綫的电子管封口时，还常在封口机上加装一排火头同时进行封口或者以后用人工封接引綫。至于大型电子管的封口（如中型振荡管、气体放电管等），因其玻壳较大，且玻璃大都为硬玻璃，故多在單軸封口机上进行。而其封口的过程和前述的相差不大，只是手工操作的部分較多。那些特殊结构的电子管在进行封口操作时，往往与管芯最后装架結合在一起，如管芯各个組件（阳極、栅極、阴極等）装在不同芯柱上时（圖17-3）封口就必须依次地进行，并且封口时須特別仔細，因管子各电极的極間距离与相对位置和封口的定位有很大关系。用来大型电子管封口的封口机，其形式总分为二类：一为火头不动，芯柱軸轉动的。另一类为火头轉动，芯柱軸不动的。在圖17-4

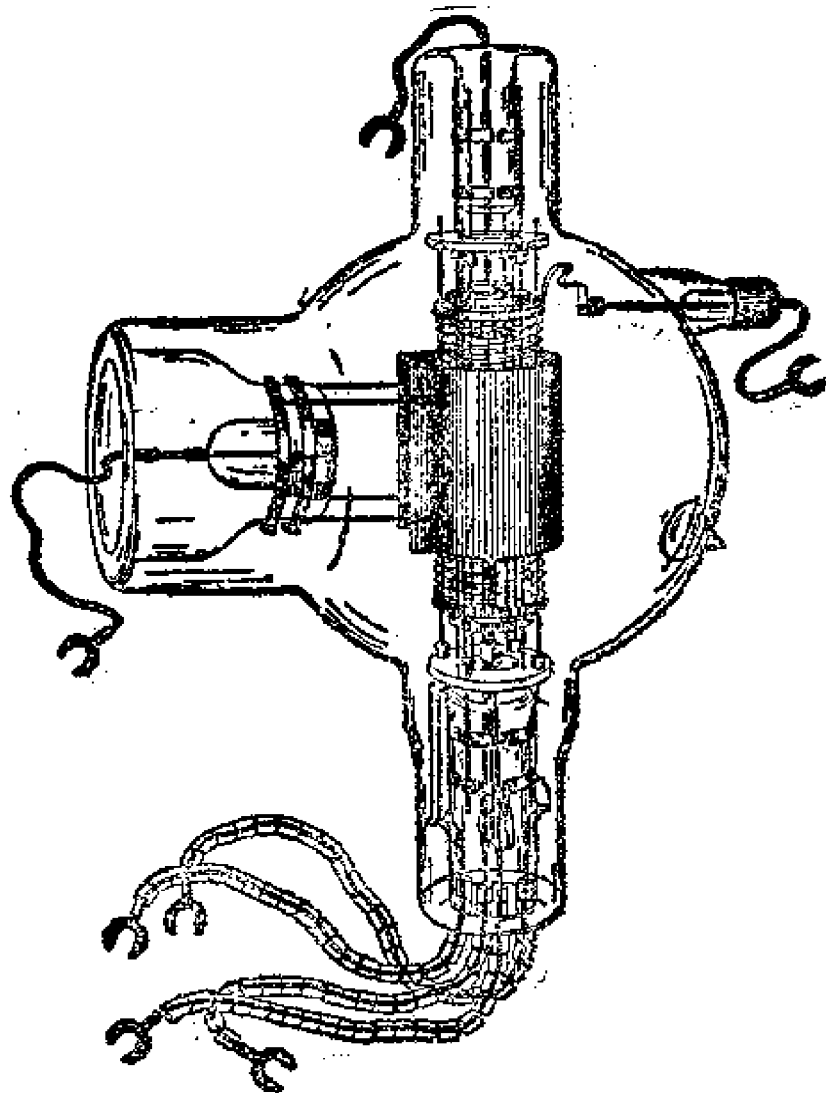


圖 17-3

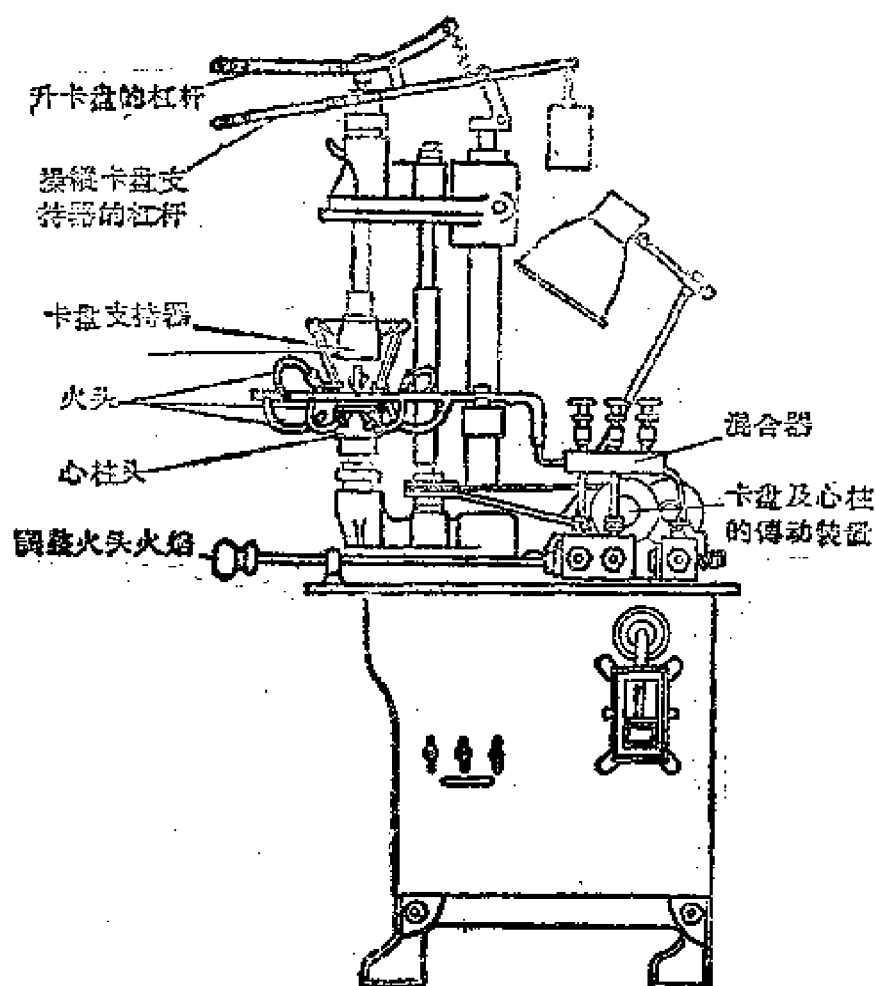


圖17-4 立式封口机。

上示出了后一类型的封口机外型。前者主要用来封接对称旋轉体的管子，而后者则适用于封接不对称旋轉体的封接。

(2) 平板形芯柱的封口 平板形芯柱与玻壳的封口过程和梳形芯柱与玻壳的封口过程稍有些不同。在平板形芯柱与玻壳封口时，玻壳边和芯柱采取对接或叠接的方式，在封口后，玻壳上没有多余的玻璃去掉，而芯柱的圆边就与玻壳边封接在一起，并为了使得封接处玻璃的平整，因此在封接后常用專門的石墨滾輪(大管子封口时用石墨鑊)压平。在封口的最后一步亦要在管内吹入空气，以平整焊接之处，不使玻璃堆积在一起，各种平板形芯柱的封口其封接处有如圖17-5所示。这类芯柱由于管芯和芯柱很近，为了避免封口时电极氧化，常自排气管中通入惰性气体。在这种情况下，如果要平整封口处則不需再

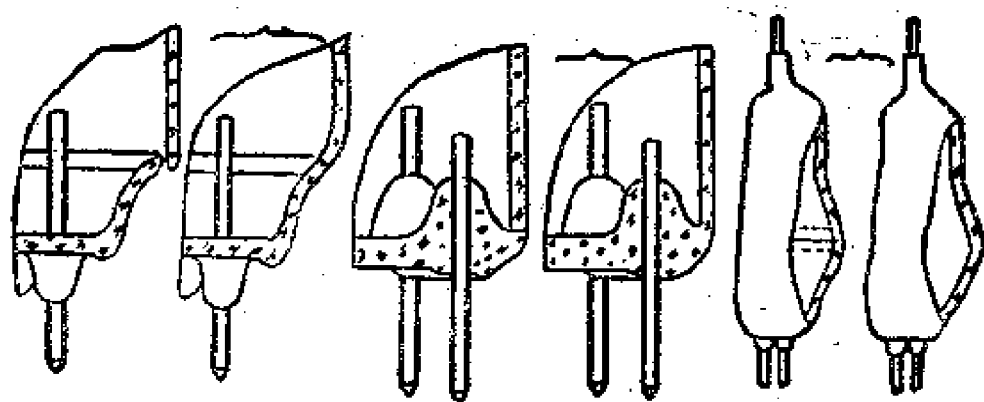


圖17-5 平板形芯柱封口形式。

用空气吹，而只要将惰性气体的气流加大就可。

为了使封口的缝均匀，不产生有厚薄不平的情况，这就要求在平板形芯柱封口前，玻壳边要切得非常平齐，切割面相差不得超过0.5~1.5毫米，为此用普通切割玻壳的方法，不能保证这样的准确度，因而这类封口的玻壳在切割之后常在研磨机上把切割的边缘磨光。

由于平板形芯柱的玻璃较厚，因此在封口前往往需要预热，以免芯柱突然破裂。除了小型管直接在封口机上进行预热外，一般均另用预热炉进行预热，使芯柱先均匀加热到300~400℃，然后再放在封口机上进行封口。有时预热炉和封口后的退火炉联合在一起，这时炉内的一部分位置就作管子预热用，而另一部分位置作封口后退火之用。在管子进行预热和退火时，为了避免电极氧化，也同样应向管内通入惰性气体，惰性气体可用氮气或一氧化碳，为了去除气体中之水汽以及进一步有助于防止氧化，往往使气体预先通过酒精干燥。

也象梳形芯柱封口一样，不同尺寸的平板形芯柱管子的封口也采用不同的装备，如指形管的封口一般在24轴封口机上进行如图17-6所示。在这种封口机上，为了避免车间穿堂风对火焰的影响，因此在封口机的四周围有玻璃。从第一位置到第四位置是将带有玻壳并已装架好的管芯装到玻壳夹具上，第五个位置是校准芯柱水平位置，使芯柱的位置恰在封口火焰的位置。在这种指形管封口时为了防止引出线过热而歪曲，还需在管脚上套上样板。在6~15位置用火焰将样板

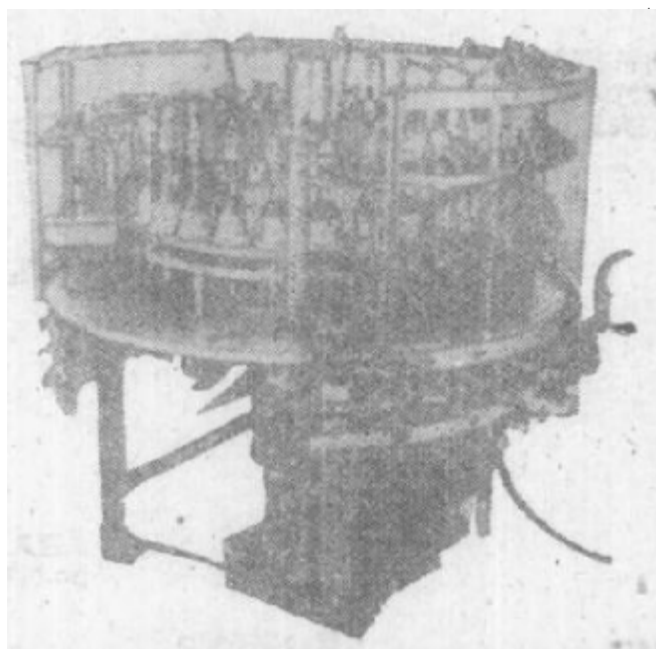


圖17-6 24軸指形管封口机。

玻壳及芯柱加热，在 16 和 17 位置用中火焰（煤气加空气）加热玻壳边缘，在 18 位置上用硬火焰（煤气加氧气）使玻壳边缘和芯柱封合，并用轆子滚压。于 19 位置玻璃熔接完成（煤气和氧气），接着在 20～23 位置管子进行退火（软火焰），最后在 24 位置把管子取下。整个过程如图 17-7 所示。

至于中型振荡管的平板形及盘形芯柱在多轴封口机上封口后，则放入如图 17-8 所示的退火炉进行退火。

平板形芯柱的大型电子封口亦在单轴立式封口机上进行，用这种设备进行封口时，工人应随时改变火焰的温度和位置，起初是逐渐加热芯柱和玻壳，以后加强火焰烧熔封接处的玻璃，封口后再用软火焰进行退火，最后将管子放在退火炉中退火。在这种设备上封口时，火焰的调整对封接质量具有特殊重要性。

（3）具有外阳极的大型振荡管封口 这种管子的封口形式我们在第十五章内已经讲过，它在玻璃车床上进行，亦就在玻璃车床上进行铜与玻璃的管状封接。

封接后，将接有玻壳的阳极经预排气保证不漏气后，便可进一步与装有管芯的芯柱封接，这时已是玻璃与玻璃的封接，封接仍在玻璃

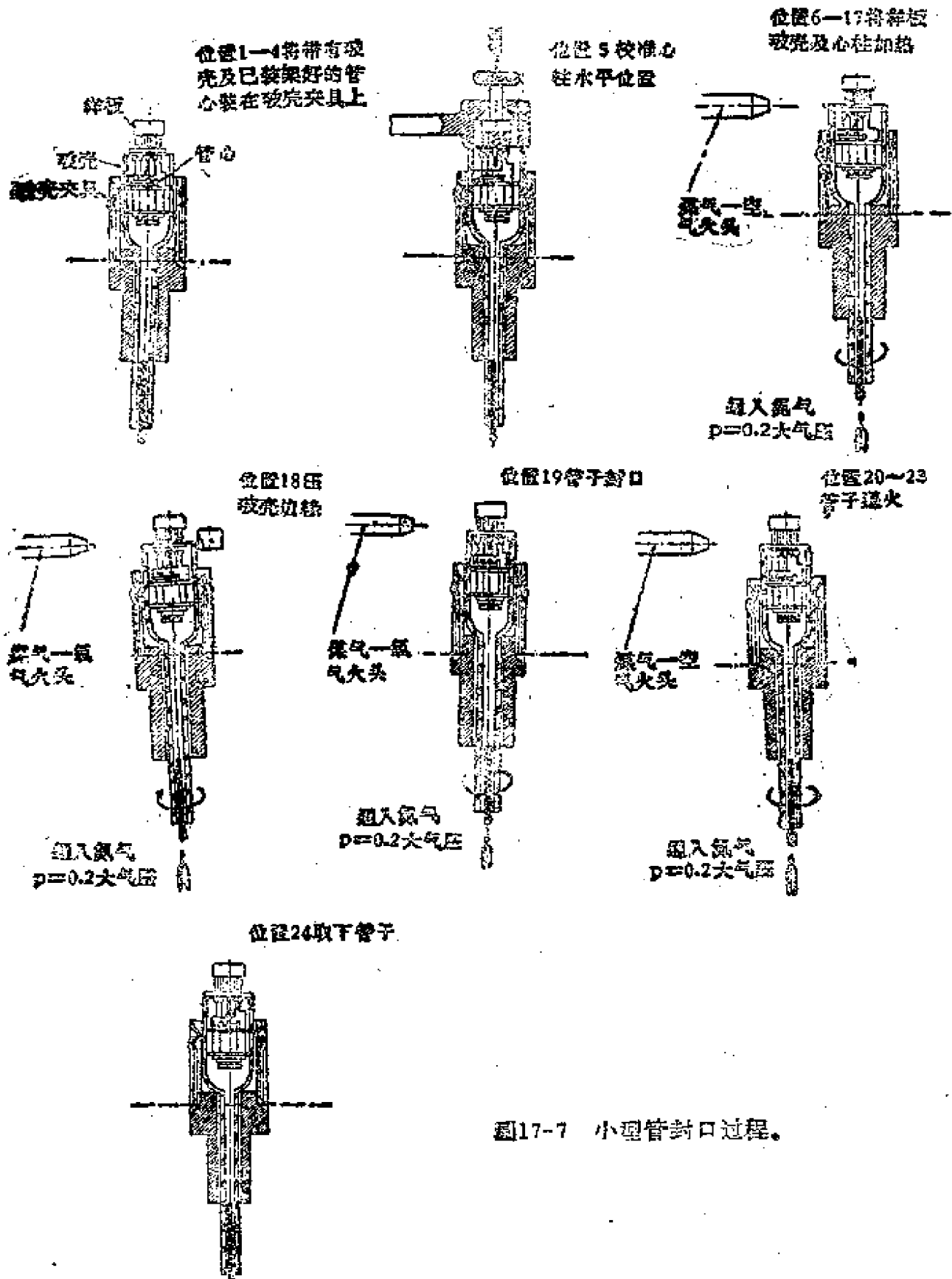


图17-7 小型管封口过程。

車床上進行。為了防止管內電極在封口時遭到氧化，封口時必須在管內充入氮氣。

(4) 金屬電子管的封口 金屬管的封口，因為是金屬與金屬的焊接，故採用滾焊的方法，在焊接時使金屬管殼的法蘭盤與芯柱法蘭盤用圓形電極滾焊，焊接時採用由閘流管控制的脈沖電源，每秒鐘的脈沖數則視電極的滾動速度而定。如前所述，滾成的焊點必須是一個個重疊相接的，以保證封口的气密性。

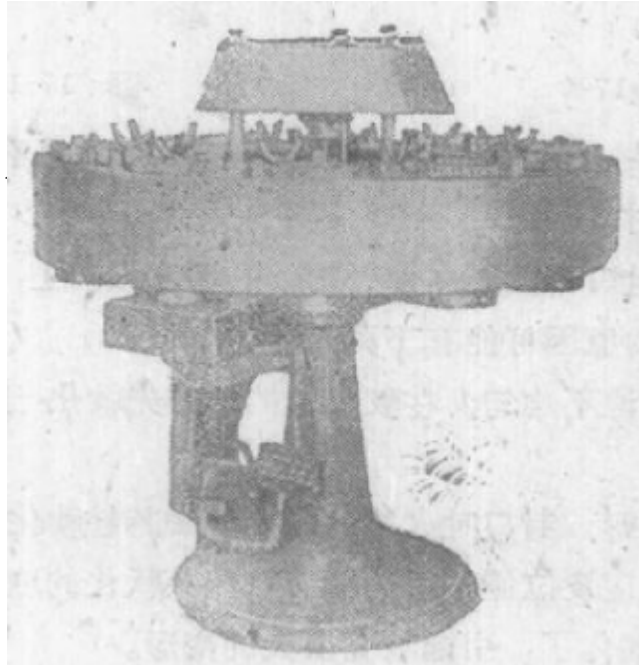


圖17-8 退火爐。

(5) 高頻封口 高頻封口也稱感應封口，這種封口主要用于銅與玻璃的封接。在這種封口方法中，玻璃是由被熾熱的金屬間接加熱的。在封口時，工作件的外面圍以載有高頻的綫圈，使在金屬中感應生成渦流，當金屬發熱生成暗紅色或橘紅時，靠近接觸處的玻璃即告軟化，在重力或加外機械力的作用下，軟化的玻璃流動而與金屬相粘結。這種封口方法特別适用于盤狀封接及直徑不太小的對接。圖 17-9 和 17-10 分別示出了在這種封接前后的情形。

§ 17-3 封口時所產生的廢品

封口主要是熱加工過程，因此封口的溫度高低必須適宜，否則亦

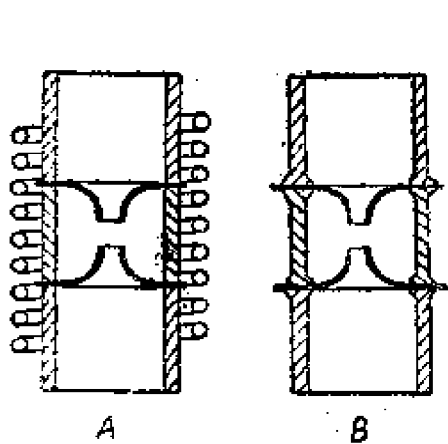


圖 17-9

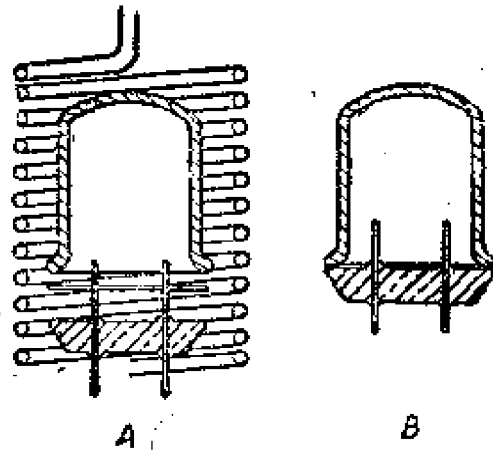


圖 17-10

会产生一些廢品，在生产上常見的封口廢品形式还有下列几种：

一、管子封口不正

封口后的封口平面不在管壳的軸的垂直方向上，称为封口不正，产生封口不正的原因可能有下列几种：

1. 玻壳厚薄不均匀：在玻壁薄的地方先軟化，于是封口后的管壳就偏向这方向。
2. 芯柱变形：封口时火焰过强，致使芯柱軟化。
3. 火焰强度及位置不正确：使玻璃該軟化的地方不軟化，而不应軟化的地方却軟化了，引起玻壳很大的变形。
4. 装架不正。
5. 封口机的軸轉速不均匀。
6. 退火爐溫度过高。

二、玻璃熔接不良

封口后在熔接处不圓滑，产生这种情况的原因可能是：

1. 火焰强度不够。
2. 封口时管内吹气不佳。
3. 指形管封口时滾輪压得不当。

三、玻璃炸裂

产生封口后炸裂的原因可能有：

1. 芯柱制成后，退火不良，而一般平板形芯柱比梳形芯柱更易

炸裂。

2. 玻壳中有水分或磷物，以致加热后玻壳冷热不均匀。
3. 火焰温度不恰当，尤其是两位置間温度相差过大。
4. 封口后退火不良。

四、玻璃發黑

造成这种發黑的原因主要是火焰中煤气过多，成为还原性火焰，将玻璃中的氧化鉛还原为鉛了。

五、电極氧化

造成电極氧化的原因，可能是火焰温度太高，或保护性气体流量不足。

六、封口后氟化物阴極發黃

这主要是火焰温度过高，致使碳盐酸过早分解，而这时由硝化纖維所变成的碳不能除去，故使阴極变黄。

七、封口后排气管断裂

此外：由于温度控制不当，还会造成吸气剂过早蒸散；直热式电子管的彈簧吊絲喪失彈性等廢品。

第十八章 电子管的排气

§ 18-1 排气的意义和目的

电子管是利用在真空中或稀薄气体中放电的现象，这就说明电子管的工作必须处于高真空状态下。为此在电子管制造中，一般在管子进行封口以后，下一步的工序就要进行排气。

在电子管中，由于各种类型的电子管的工作情况不同，因此要求真空度的高低也就不同，一般电子管的真空度要求如下：

- | | |
|-----------------|------------------|
| (1) 寿命接近終了时的收音管 | 10^{-4} 毫米水银柱； |
| (2) 旧的收音管（工作时） | 10^{-5} 毫米水银柱； |
| (3) 新的收音管（工作时） | 10^{-6} 毫米水银柱； |
| (4) 寿命接近終了时的发信管 | 10^{-5} 毫米水银柱； |
| (5) 旧的发信管（工作时） | 10^{-6} 毫米水银柱； |
| (6) 新的发信管（工作时） | 10^{-7} 毫米水银柱； |
| (7) 新的发信管（冷态） | 10^{-8} 毫米水银柱。 |

电子管管内含有过多的气体，会使那些敏感的电极，如氧化物阴极、钍钨阴极及钨阴极等受到氧化作用而破坏其电子发射面。同时气体的存在，在电场的作用下将发生电离，生成了具有较大质量的正离子。而正离子在电场的作用下是向阴极移动的，因此当电场强度大时，正离子撞击阴极的能量也就很大，这就可使阴极发生“溅射”现象，降低了电子的发射。当真空度很差时，甚至可以完全丧失发射电子的能力。从这里也就说明了发信管的真空度所以要比收音管的真空度要求高的原因（因发信管的工作电压更高），并且正离子的存在还会引起栅极电流以及阳极电流的增大，因而亦就破坏电子管正常的工作特性。

为此，排气时不仅使管内的气体、零件表面所吸附的一些气体被排去；而且零件内部的气体亦要彻底清除。这样才能使电子管在工作时，不再由零件中再放出气体而破坏真空度。

排气的目的是获得高真空，除此以外，对于各种不同型式的电子管，还可进行不同的要求。如电极的净化、阴极的碳化与激活、氧化物阴极的碳酸盐分解、吸气剂的蒸发、甚至进行充气管的气体充入、大型发信管的老练工艺等。

§ 18-2 排气的工艺过程

电子管的排气，除了利用抽气泵及真空系统不断地进行抽真空外，还包括很多重要的过程，如零件去气、阴极分解、吸气剂蒸散及排气管封离等，兹分别叙述于下：

(一) 零件去气

我們已經知道，为了保持电子管内部长时间的高真空，在排气时，不仅要排去电子管内部空间的气体，并且尚需把吸附在零件表面及内部的气体驱除。因此为了简化排气工艺过程及缩短排气时间，零件在装架前均需经过预先去气（见第四章）。

虽则如此，但要使零件内的气体彻底除去，我們在排气时还得用各种方法来进行零件的去气。因为气体分子在金属中的扩散速度随温度指数地增加，为此要除去零件中所含的气体只有在高温下进行。并且由于零件在净化及去气后放置在大气中仍有可能吸收一些气体，因此在排气时必须进行零件去气，并选择可能的最高去气温度，使去气时间缩短。在排气时增高零件温度的方法有下列几种，但需根据不同的条件而采用之。

一、外爐加热法：这种方法主要用于电子管外部零件的去气，如玻壳去气；强迫冷却电子管的銅阴极去气等。

玻璃的放气与其成分及其表面状态有关，由于玻璃受潮性很强，因此当加热玻壳时，大部分放出的是水蒸汽，另外亦有 CO_2 ， H_2 ， N_2 ， O_2 等气体。圖 18-1 指出了玻璃在不同温度下的放气情况。当温度开始升高时，首先放出的是吸附在表面的水蒸汽和二氧化碳，随着温度的上升，放气亦就增加，温度到达 T_1 时（軟玻璃 $T_1 \approx 100^\circ - 200^\circ\text{C}$ ，硬玻璃 $T_1 = 300^\circ\text{C}$ ），放气达到最大，过了这点以后，虽则温度再升

高，但放气却减少了，这是由于水蒸汽和二氧化碳的吸附层减少了。当温度到达 T_m 时（软玻璃 $T_m \approx 300^\circ\text{C}$ ，硬玻璃 $T_m \approx 400^\circ\text{C}$ ），放气为最小，此时可认为吸附层气体已完全抽走。但若继续再升高温度，放气又迅速上升。这时溶在玻璃内部的气体虽仍不断释出，但其中大部分为在高温下玻璃分解而产生的气体。

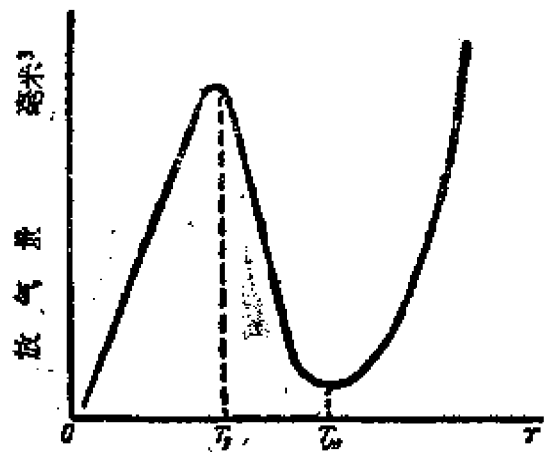


圖18-1 玻璃放气曲线。

因此在拟订去气温度规范时， T_m 是一很重要的数值。实际排气时为了能迅速并彻底排除

玻璃吸附层的气体，常选择其最高去气温度（比 T_m 高约 $50 \sim 70^\circ\text{C}$ ）。

烘箱的加热方法可用煤气或电热丝加热，电热丝较清洁，但耗电较大。

至于金属管壳的去气，去气温度需达 1150°C 左右，因此这时就直接用火焰将它加热。又为了避免芯柱的玻璃碎裂，在管子的芯柱部分预先在 200°C 的温度进行预热。

二、直接通电加热法：这种方法主要用于阴极去气，使电流直接通过阴极来加热（对间接式阴极则以电流通过热丝来加热），为使阴极获得足够的热量去气，保证工作时不再放出气体，所以阴极电流应大于阴极正常工作电流。在进行阴极加热时，应在管内压力降低到 10^{-2} 毫米水银柱以下时才开始，并且温度也应慢慢地升高，不致于放气过多，使电极氧化，在必要时需间隙地加热。对于这种的加热方法在测定温度时如无法使用光学高温计，则可借测定阴极的电阻以间接求其温度。

三、电子与离子冲击加热法：这种方法是利用阴极所放射的电子（有时还包括电离后的离子）。在电极间的高电场作用下，快速打在这些欲去气的电极上，以致使这些电极发热而放出气体。此法一般适用于阳极或栅极的去气，特别是发讯管栅极的去气。高速电子打在电极

上，使电极吸收的加热功率为

$$P_a = I_a \cdot U_a \quad \text{或} \quad P_g = I_g \cdot U_g,$$

式中 P 为去气功率； I 、 U 为电极的电流和电压（下角注 a 表示阳极，下角注 g 表示栅极）。

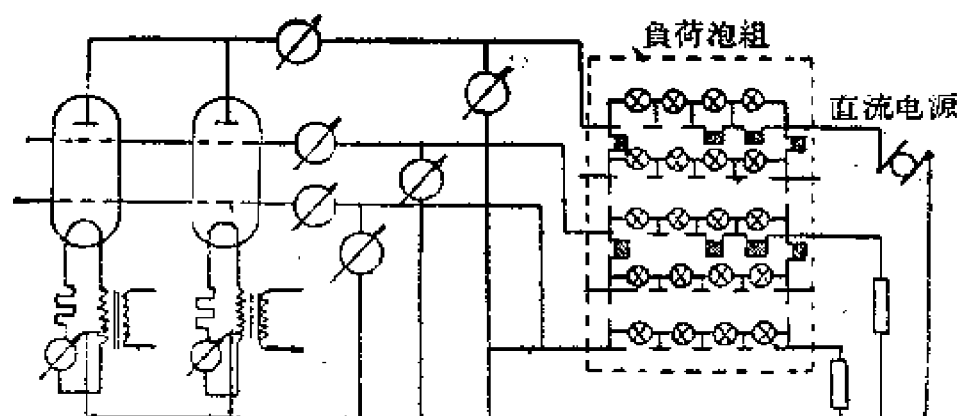


图13-2 电子冲击法去气电路图。

应用电子冲击加热，可使电子管内电极温度分布均匀，不致于因电极一处灼热而使这部分金属蒸发，并凝结在较冷的电极上。并且使用这种方法，电极的温度较易控制。此外，它和实际运用情况最接近，故它是很有效的加热方法，特别是某些难以应用高频加热的地方（例如栅极）必须应用这种方法去气。此外，由于电子的轰击，还能使电极上的氧化物和氯化物分解，因而用这种方法进行去气也就最为彻底。

应用电子与离子冲击加热，应注意金属温度升高后放出的气体过多，抽气机来不及抽走，以致使这些气体发生电离，产生了大量的正离子冲击阴极，使阴极受损甚至发生电弧，将阴极或其他电极烧坏。为了限制加热时通过的电流，常在电路中串入一限流电阻（实际上用白炽灯泡），如图 13-2 所示。并可用不同大小的灯泡及其串联或并联来控制通过的电流。对于高电压的电子管，因电极距离较大，要达到所需加热功率，必需亦要加较高电压，但电压增高后，可能因电子速度增加而产生 X 光，为了保护操作者的健康，应在排气台上装上保护屏装置。

四、高频感应电流加热法：这是一种利用管外线圈所产生的电磁场，使电极发热而去气的方法（图 18-3）。电极的发热主要由感应涡流及磁滞损耗所引起，因而此法仅适用于有感应回路，并且没有金属屏蔽的零件去

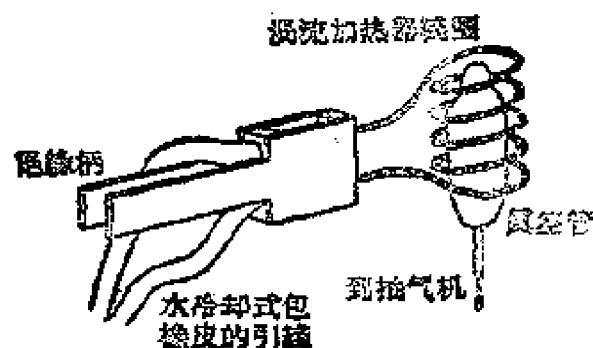


图18-3 高频加热电子管阳极。

气。电子管的阳极用此法去气颇合适，而栅极去气因阳极屏蔽的缘故，它们只能得到由阳极辐热出来的热量来加热。因此在大型电子管中，栅极去气必须采用电子冲击法进行。

在一空心圆柱形电极的电子管外套上加热线圈，则此圆柱形电极所能吸收的功率为：

$$P = 2.81 \times 10^{-6} G Z^2 \sqrt{f \mu \rho_T} \quad (\text{瓦}),$$

式中 Z ——加热线圈的磁化力（安匝）；

f ——加热时所使用的频率；

μ ——电极的导磁率；

ρ_T ——在温度 T 时的电极的电阻率（欧·平方毫米/米）；

G ——常数，其值与线圈高度 h 、线圈直径 d ，及电极直径 d_e 之值有关，其关系曲线绘于图 18-5 上。

由公式可知，加热频率愈高好象所得功率愈大，但实际上由于高频电磁场的趋肤效应，致使电磁场不能透入电极内部。电磁场的透入深度 d_0 与频率间有如下关系：

$$d_0 = 500 \sqrt{\frac{\rho_T}{f \cdot \mu}} \text{ 毫米}。$$

同时，在用高频电流将电极加热时，电极放出很多气体，其中主要为水蒸汽，这时的气压有可能达到 10^{-1} 毫米水银柱，并且往往会在高频电场的作用下发生气体游离，与此同时出现了气体辉光，气体游离的程度与高频电流的频率亦有关系的，频率愈高，游离作用增加：

● 透入深度表示自导体表面至电流密度减低到导体电流密度的37%的深度。

当气体中含有氧的成分时，游离将使电极氧化作用加强，这是不希望产生的，因而频率过高亦是不适宜的，通常使用频率为100~500仟赫。为此，如果在高频加热时，气体来不及抽去时，高频加热应该断续进行。

加热线圈的形式种类很多，根据电子管的结构及电极形式而选用，一般有盘形、圆柱形、平面状等形式（图18-4），并用粗铜丝、铜带或铜管（中间可通水冷却）制造。线圈和玻璃壁接触的地方通常需用石棉或云母片来隔开，以防止玻璃炸裂。自动排气车上的高频加热线圈，有时可用两只平行的长方形线圈，当排气时，电子管在它们的中間经过。金属圆筒形电极去气，常用圆柱形线圈加热，对于那些小金屬零件（如吸气剂的支架环），则用盘形线圈加热较宜。

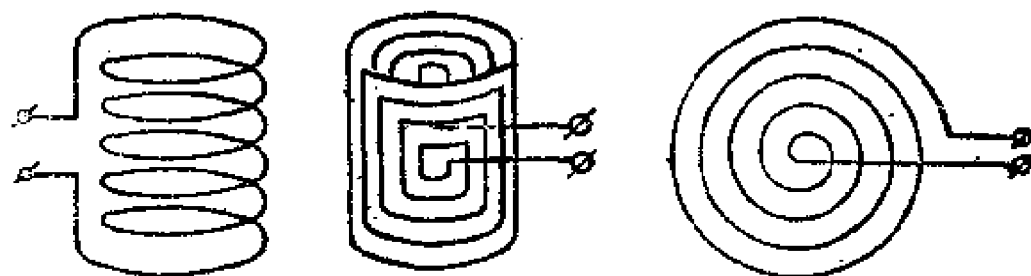


图18-4 各种高频加热用线圈。

前面我們已經講过，由于电子管在排气时，不單只是获得高真空，并且它还須完成阴极净化或氧化物阴极的碳酸盐分解。因此在純金属阴极电子管排气的最初，往往点燃阴极到較高温度，这样一方面当然使阴极内部气体得以驅去，并且还可使阴极表面污物蒸發，达到表面净化的目的。

（二）、阴极的处理

在阴极制造一章中我們已經知道，氧化物阴极在制造时塗層为碳酸盐，在排气时才将鹼土金属碳酸盐分解为各該金属的氧化物。这是因为在排气后真空度已較高，鹼土金属的氧化物亦就不会再受外界空气的影响。

分解时的化学平衡式为

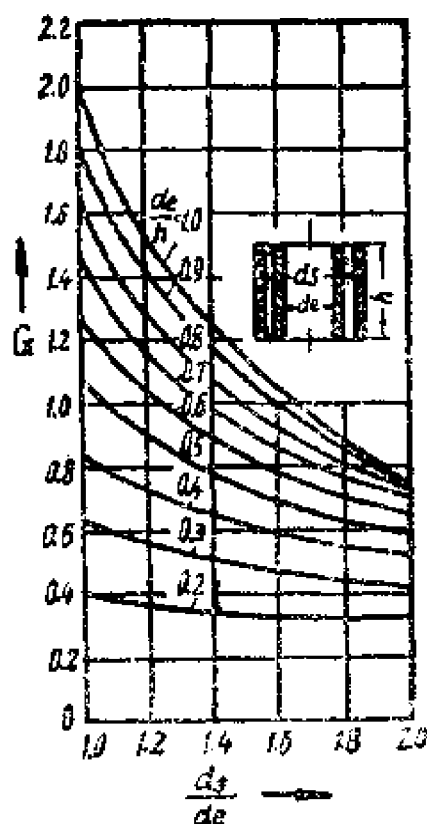


圖18-5 高频加热功率与其线圈的几何尺寸关系。

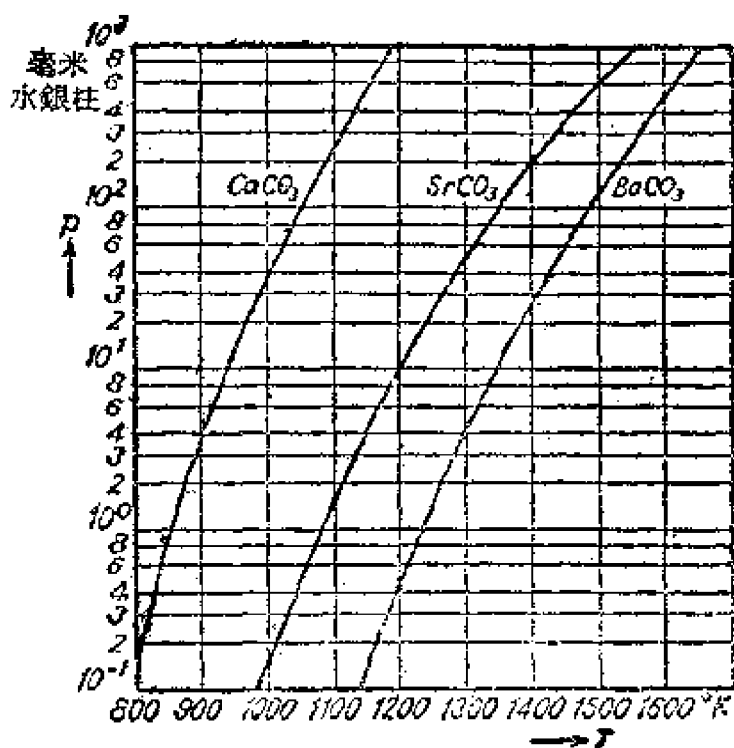
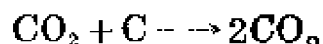


圖18-6 碳酸盐分解时的温度和离解压力的关系。



显然这种可逆反应和离解压力有关，并与材料性质及温度也有关，圖 18-6 所示即是三种碳酸盐的离解压力与温度间的关系曲线。由曲线可知，在一定温度下，以碳酸钡的离解压力为最低，因此在选择分解温度时，混合碳酸盐中亦就依碳酸钡为根据。

碳酸盐在分解时就会释出很多气体，当阴极开始加热之际，管内压力升高达几十毫米水银柱，大约阴极经过 20 秒钟的灼热后，管内压力达最大值，此后阴极达到足够高的温度，气体也就开始很快被抽去。释出气体在开始 10~15 秒钟内主要是水蒸汽和二氧化碳，以后因为二氧化碳要和涂层上由粘结剂变成的碳化合成一氧化碳：



所以后来放出的就主要为一氧化碳了，而一氧化碳的形成与释出

对阴极的激活亦有很大帮助。为此这也就是我们为得氧化钡时所以不采用过氧化钡、氢氧化钡、硝酸钡，而用碳酸钡的原因；因这些化合物释出的气体将不是这样对阴极有利，何况用碳酸钡时所释出的二氧化碳又能有助于除去粘剂。

碳酸盐分解期间，在一般的排气机工作情况下，真空度约在 10^{-1} 到 10^{-3} 毫米水银柱之间；由图 18-6 可知，分解温度不得小于 1150°K ，否则分解时间要长，另外分解难易又和阴极涂层情况有关，松的涂层其分解时间要长，因粒子松传热慢之故。并且这也和粒子粗细有关，粒子细的分解时间则可短些。为了使分解时间缩短，只有把阴极加热的温度提高，但另一方面分解温度过高亦是不利的，因为通常所用氧化钡和氧化锶的混合物中，易挥发的氧化钡就最先蒸发，涂层中氧化钡的浓度因而减低，涂层的成分就接近纯氧化锶了，这样阴极发射电流就会降低。另外这些蒸发出来的氧化钡使阴极周围的电极激活，因而引起栅极放射及极间漏电等不良后果。

实际上一般分解温度约在 $1350^{\circ}\text{K} \sim 1500^{\circ}\text{K}$ 之间，亦即所施加热电压在正常工作电压的 200 与 250 % 之间。此外在施加热电压时应注意阴极温度需慢慢升高，否则会使阴极各部分产生显著的温差，以致涂层破裂。至于钨阴极与钍钨阴极在排气时，也需经过一些处理，对于钨阴极言主要是去气及净化表面，对于钍钨阴极言，有时还在排气台上进行附加的碳化处理及激活，在大型发讯管制造时，老练往往亦在同一设备上进行。

（三）蒸散吸气剂

一般电子管在排气的最后，就进行吸气剂的蒸散，在散蒸吸气剂前，均要进行预先去气，然后才正式把吸气剂蒸散。在蒸散吸气剂时，应注意不要使加热温度过高或时间过长。玻壳温度亦不应过高，否则吸气剂易凝结剂玻壳的其他不希望凝结的部分，以致造成极间漏电。

现代对特性要求较高的指型电子管中，为了排除在排气时所产生的杂质微粒，如氧化物粉、氧化铝粉等。通常在排气后留下一段较长的排气管（图 18-7），以便在振动台上将内部杂质微粒振落在此排气管。

下部。然后在杂质振落后再把多余的排气管封离。由于在第二次封离排气管时，玻管内尚会放出些气体。因此在这种情况下，吸气剂就不在排气时进行蒸散而在第二次封离排气管后再单独进行蒸散，如图18-8所示。

(四) 排气管封离

因为在封离排气管时，玻管内尚会放出气体，因此在进行排气管封离时，必须有一定步骤，使在封离时所放出的气体仍能抽走。为此先用火焰渐渐加热排气管，烧至软化后，将管子向上拉，使排气管变细（如图18-9），等待一时期后，使玻璃中的气体被抽走，然后再在拉长部分靠近电子管处进行加热，并尽快的使玻璃壁凝合，使电子管和抽气系统分开。排气管的封离端，应有完整的气密性，没有凝渣和凹口，并且应具备正确的形式，如图18-10所示。在这里应该说明在电子管封离以后，即使封离得不恰当，亦不能进行修正，因为这样很易造成漏气或促使玻璃再度放出气体。

尽管在排气时包含着许多不同的过程，但对于一般的电子管；在

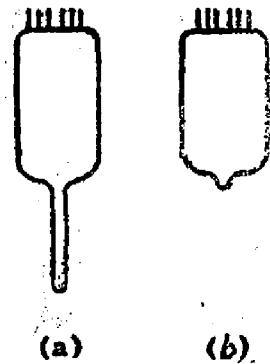


圖18-7 排气后去除管子内的污物方法。



圖18-8 蒸散吸气剂。

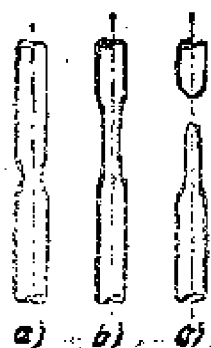


圖18-9 排气管封离

过程:

a—燒熔排气管; b—把
燒熔拉細; c—封离。

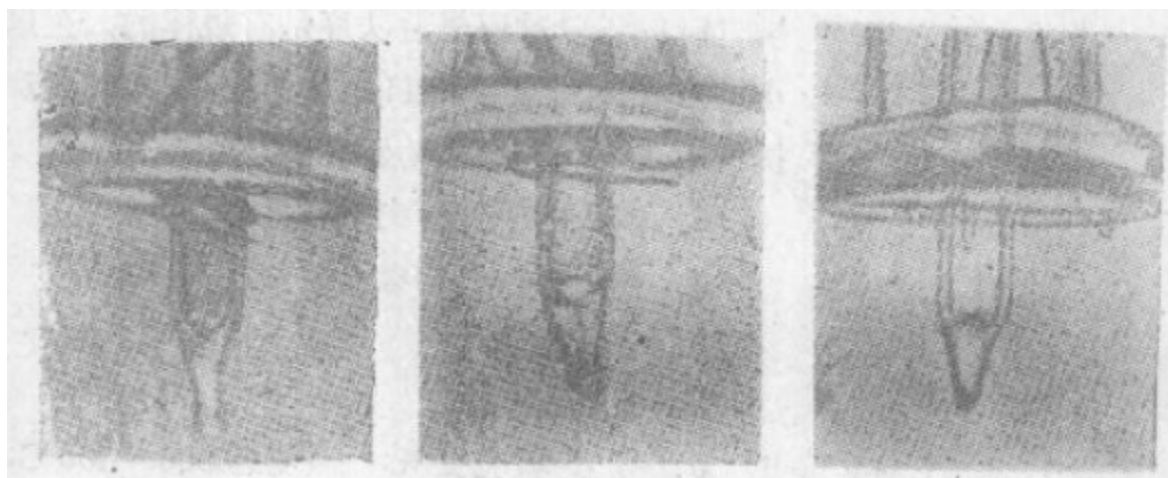
排气时的各項过程先后次序是有規律的, 茲以
小型接收放大管 6H2Π 型电子管在 24 軸自动
排气車上的排气规范为例說明之:

1. 拔去电子管封离后的排气管;
2. 插上被排气的电子管;
3. 預先去气;
4. 檢查漏气;
5. ~11. 玻壳去气, 温度为 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$;
12. ~13. 管芯去气, 进行高频加热;
14. 管芯去气, 高频加热温度为 750°C ,
灯絲电流为 0.3 安;
15. 管芯去气, 高频加热温度为 800°C , 灯絲电流为 0.36 安;
16. 管芯去气, 高频加热温度为 800°C , 灯絲电流为 0.4 安;
17. 管芯去气, 高频加热温度为 850°C , 灯絲电流为 0.42 安;
18. 管芯去气, 高频加热温度为 850°C , 灯絲电流为 0.42 安;
19. 管芯去气, 高频加热温度为 900°C , 灯絲电流为 0.42 安;
20. 管芯去气, 高频加热温度为 900°C , 灯絲电流为 0.43 安;
21. 管芯去气, 高频加热温度为 900°C , 灯絲电流为 0.46 安;
22. 管芯去气, 高频加热温度为 900°C , 灯絲电流为 0.46 安;
23. 吸气剂去气;
24. 封离电子管。

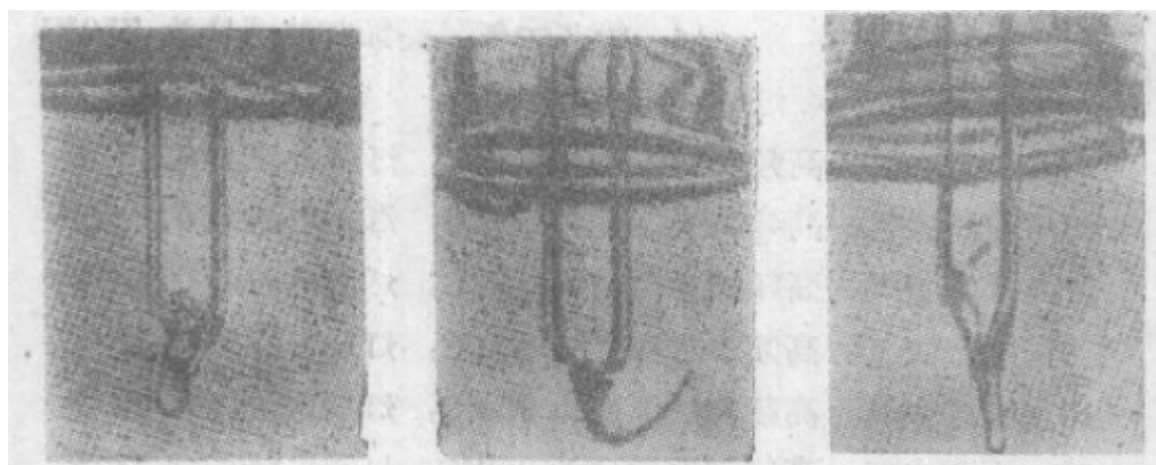
而对于中大型振荡管其排气工艺又稍有不同, 它們大都在長排車
上进行。此时, 老練工序也往往就在排气台上完成。茲以碳化阴極的
中型振荡管 TV-80 的排气规范举例說明如下:

1. 当抽气机开始抽气后, 先用火花檢漏器檢查真空系統有无漏
气, 如管中發淡兰色光則为正常, 如發現紅光即說明漏气, 应立即將
漏气处檢出。

2. 当管内压力抽低至約 10^{-4} 毫米水銀柱时, 此时用火花檢漏器
在管中檢查时已不能激起輝光。就可进行烘玻壳, 以 30~40 分鐘升



排气管封离后正确的外形。



排气管封离后不正确的外形。

圖18-10 排气管封离端外形。

到 500°C ，在 500°C 保持 20 分鐘，再以 30 分鐘的時間冷却。

3. 阴極电压加至 5 伏，阳極用高频进行去气，这时阴極加热，主要是为了防止在阳極放气时被冷阴極所吸收。阳極去气温度为 $800^{\circ}\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，時間 120 分鐘。

4. 用高频綫圈加热吸气剂去气。

5. 二次玻壳去气，温度为 500°C ，時間 20~30 分鐘，冷却 20 分鐘，这是由于在阳極放气时，可能又有一部分气体被玻壳所吸收的缘故。

6. 二次阳極高频加热去气，温度为 $800^{\circ}\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，時間 1 小时。

7. 阴極激活：

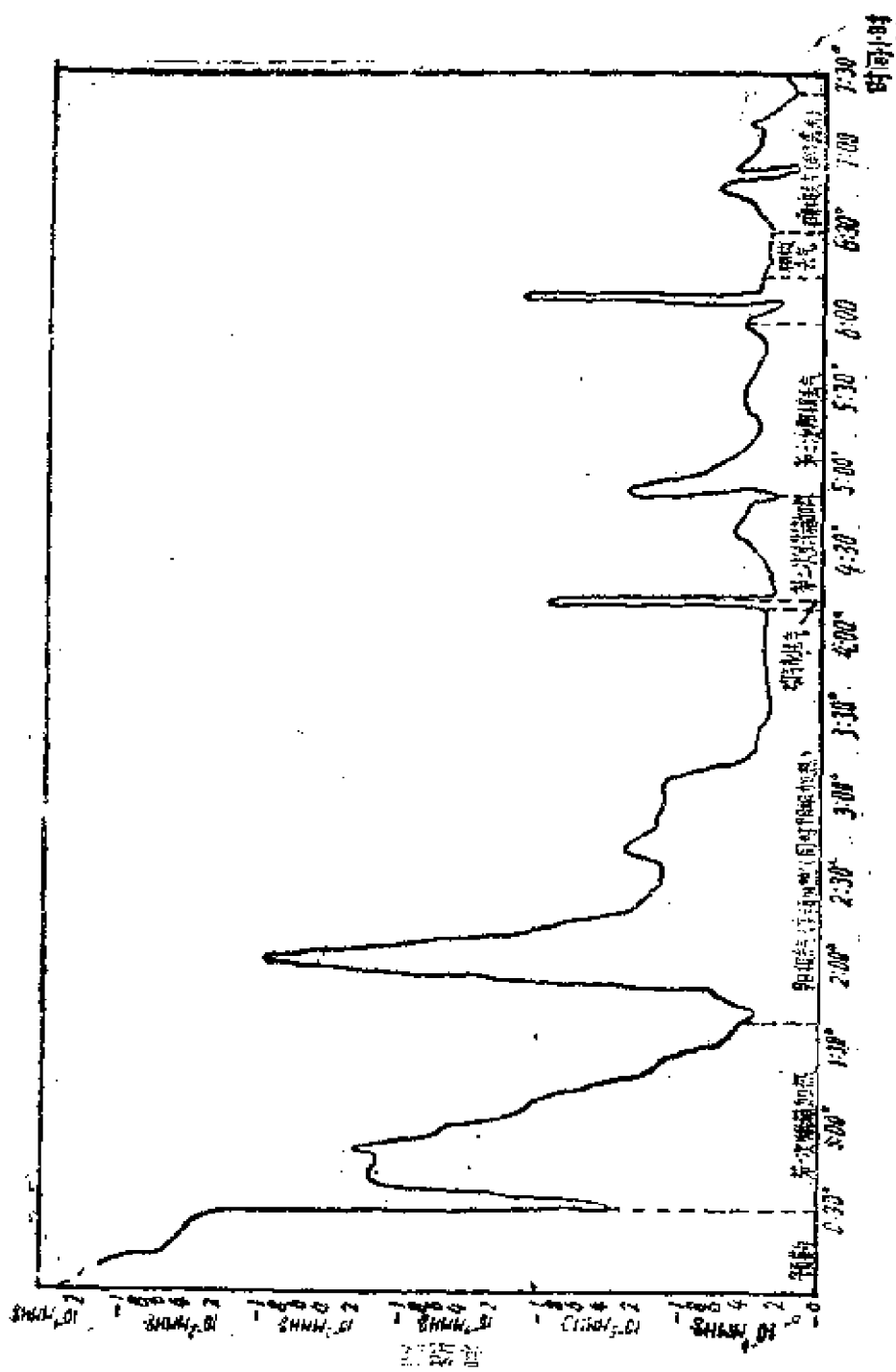


图18-11 TY-80排气时真空度的变化情况。

$U_1 = 7$ 伏	1 分鐘	
$U_1 = 10$ 伏	1 分鐘	
$U_1 = 12.6$ 伏	3 分鐘	
$U_1 = 25$ 伏	3 秒鐘	3 次
$U_1 = 14$ 伏	5 分鐘	
$U_1 = 12.6$ 伏	3 分鐘	

8. 柵極去气, 將各柵極連在一起, $U_1 = 12.5$ 伏, U_g 由 0 升到 300 伏, 時間为 10 分鐘。

9. 陽極电子轟击去气:

$U_1 = 10 \sim 11$ 伏	$U_g = 300$ 伏 ~ 400 伏
$U_a = 1000$ 伏	維持 10 分鐘
$U_a = 1500$ 伏	維持 10 分鐘
$U_a = 2000$ 伏	維持 10 分鐘
$U_a = 2500 \sim 3000$ 伏	維持 10 分鐘

第八第九两步也就是进行管子的老練工作。

此外, 排气规范的拟訂, 很大程度和排气过程中管內的真空度变化有关, 为此要能合适的拟訂排气规范, 常需將排气时的真空度变化情况用曲綫描出(圖 18-11), 就是用上述排气规范进行排气时的真空度变化曲綫。

§ 18-3 排气設備

(一) 長排車

一般長排車常用来获得真空度要求較高的电子管排气之用。排气时可把管子直接焊在真空系統上, 它可用来單獨一只管子排气或数只一批进行排气。如大型發訊管的排气通常总在这种設備上进行。在實驗室或試制車間亦常应用此类排气設備。

長排車的結構大都均为一長方形的金屬架子。但对于不同管子的長排車有时在設計上也就各有不同, 一般可包括下列几部分:

(1) 烘箱: 供玻壳去气之用。加热常用电熱絲或煤气。

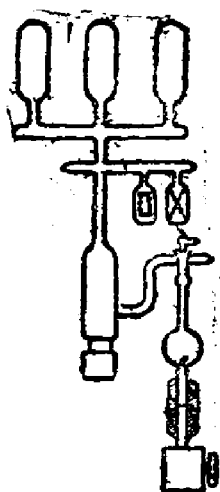


圖18-12 長排車真空系統。

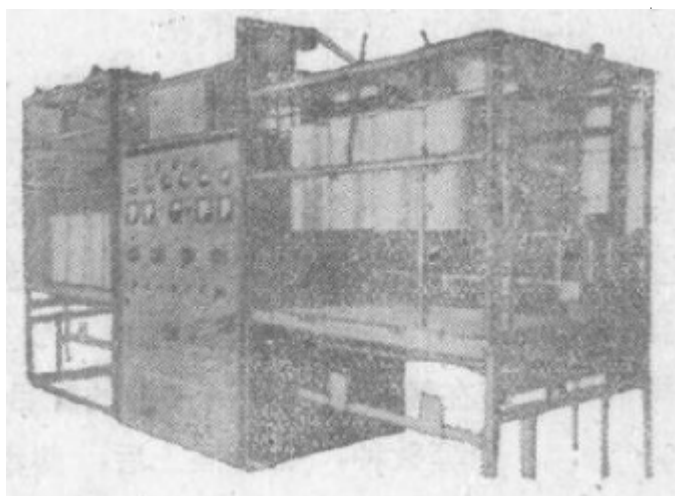


圖18-13 長排車外形。

(2) 真空系統：包括擴散抽氣機、機械抽氣機、真空計等，如圖 18-12 所示。普通為了使用方便起見以油擴散抽氣機用得較多。為了保證高的真空度，在高真空部分不允許有橡皮接頭。真空計亦應採用電離真空計和熱真空計。

(3) 電源部分：供給陰極加熱電流，擴散抽氣機加熱及抽氣機馬達電源，以及電子衝擊直流電源等。

圖 18-13 示出了一種振蕩管用的排氣台外形，圖中中間部分為電氣部分控制台。由於這種排氣台上有進行電子轟擊用的高壓直流電源，因此為了安全起見，常在排氣台的前面裝有保護屏，只有當保護屏拉下時電源才能接入。並且在大型電子管的排氣台，由於烘箱體積

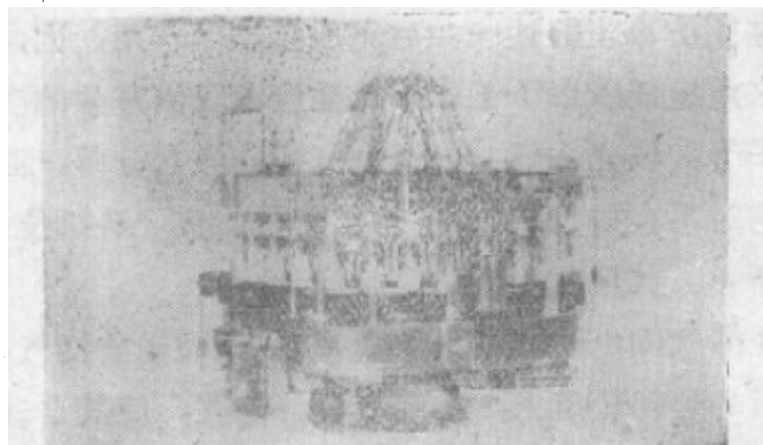


圖18-14 圓排氣車外形。

太重，有时烘箱由电动机来进行升降。

(二) 圓排車(自动排气机)

圓排車的形式有如圖 18-14 所示，它是一轉盤式的机器。这种机器的主要部分是两块轉盤，如圖 18-15 所示。定盤 1 和机器的基架連在一起，抽气机也个个通向定盤，定盤的上面复着动盤 2，定盤和动盤之間是磨光的平面活門，平面之間用蓖麻油密封之如圖 18-16 所示，当轉盤 3 工作时，定盤亦随着轉动。欲排气的管子插入插座 4，插座(排位)分布在轉盤的四周，插座的数目一般有 16 个，20 个，24 个，36 个和 48 个等数种，管子插上后，轉盤作間歇运动，当动盤不轉时，这时动盤与定盤的洞孔相重合，因此管子进行抽气。待这样旋轉一周后，管子的排气就完成了。这种机器的生产率很高，因此它适宜于大量生产的电子管制造。

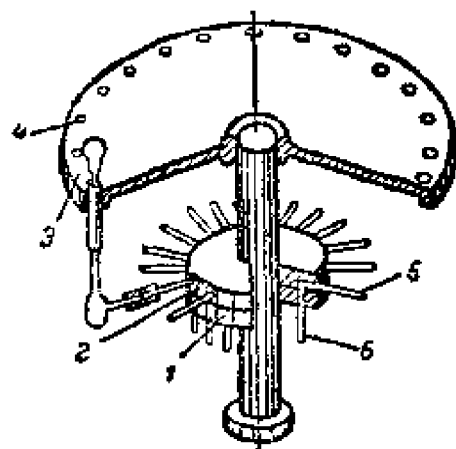


圖18-15 圓排車結構。

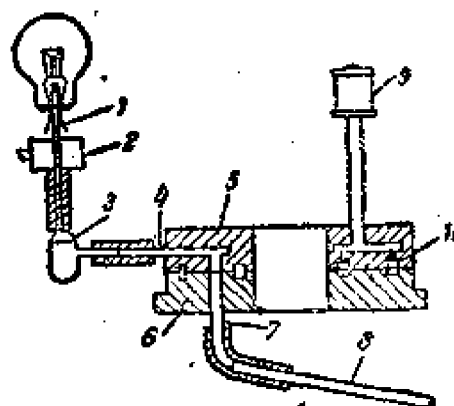


圖18-16 圓排車活門結構。

电子管在圓排車上經過一周后完成了排气作用，因此在圓排車的所有排位上必就担任着以下工作：从插座中取出殘余的排气管，插入待排气的电子管，玻壳去气，阴極去气及碳酸盐分解，高频去气，吸气剂蒸散（有时不在排气机上蒸散），管子封璃。各排位的工作分配如圖 18-17 所示。其展开如圖 18-18 所示。

为了避免漏气的电子管不再繼續抽气，以免影响抽气机正常工作。因此在排气机的起初位置上，需装有栓漏装置，使其自动發出訊号，通知工作人員把該管的排气管通道关闭，这种装置如圖 18-19 所示。

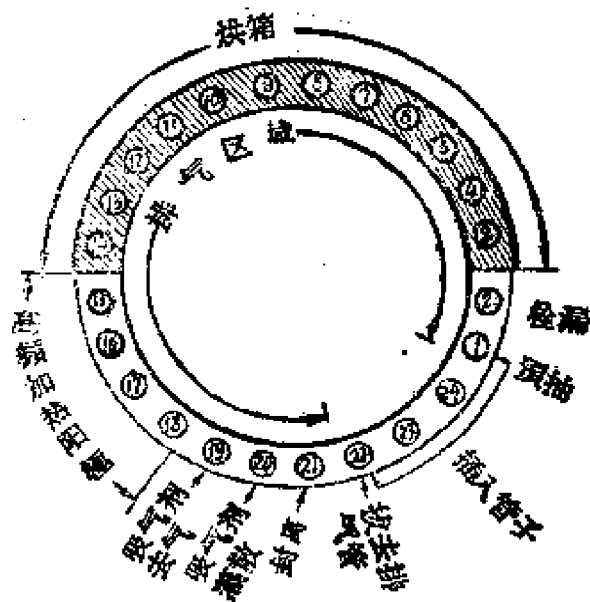


圖18-17 圓排車各排位工作。

新式檢漏的裝置當其發生訊號後，尚能自動把該管的排氣管通道關閉，這種裝置借訊號通向繼電器，由繼電器來控制夾鉗 4 和 5 而達到目的。

圓排車上各位置 and 抽氣機的連線原則上應盡量使大部分位置都直接連到一個獨立的抽氣機上；幾個位置合併連到一個抽氣機，只能在排氣剛開始時的幾個位置上用。因而在圓排車用多室

抽氣機較合適，它們由一個馬達帶動幾個抽氣機，占地位很小。

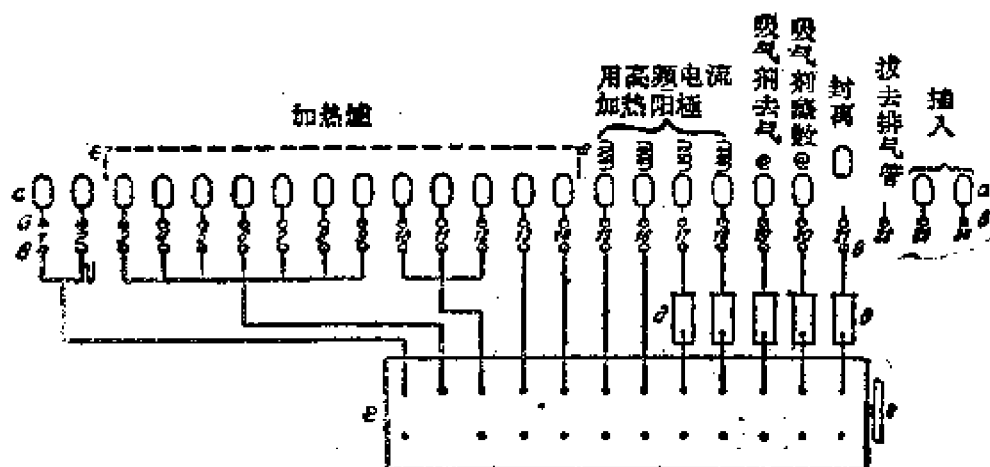


圖18-18 圓排車各排位展開圖。

上面所敘述的這種圓排車，由於定盤與動盤的活門是在高真空處，即在被排器件和擴散泵之間，因此真空度不易抽高。另外有一種圓排車，它在轉盤上裝一擴散泵，由於這樣裝置，擴散泵可以和轉盤一併轉動，如此，轉盤活門就處在低真空（前級真空）方面了，所以容易得到高真空，這種圓排車的外形如圖 18-20 所示，但此設備就必需在每一排位上均有一擴散抽氣機。

這種排氣機的真空系統展開圖如圖 18-21 所示。為了使排氣情況

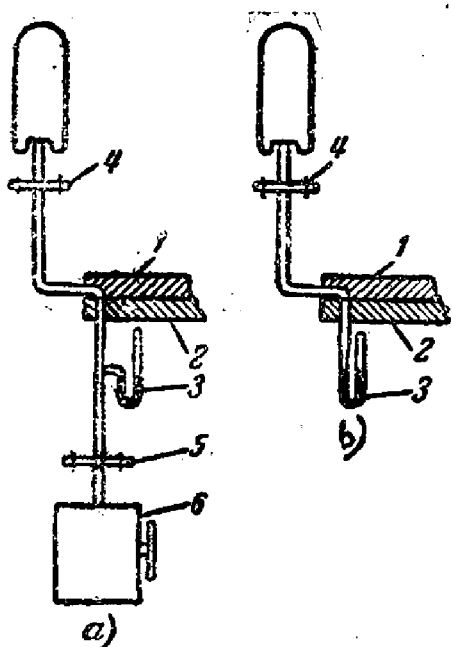


圖18-19 栓漏裝置：

1—動盤；2—定盤；3—真空計，內有二触点，當壓強升高時，接通訊號電路（鈴、燈、甚至繼電器）；4—夾鉗，平時開着，但管子漏氣時夾上；5—夾鉗，平常夾着，但當夾4夾上後則打開，使把真空計內空氣排出；6—抽氣機。

動，以觀察每一位置的真空度情況。

（三）高頻電熱的設備

除排氣后台外，在排氣時還要應用高頻電熱設備。

高頻電熱的設備主要是高頻強功率發生器。適用於電子管生產上的高頻強功率發生器，其頻率約為300~500千周/秒。這種高頻率的強功率發生器，主要有電子管式和電弧式兩種。這類強功率高頻發生器就是一個高頻振盪器，其諧振線圈或電容器直接用於高頻電熱，或是經過耦合設備再供給電熱用的線圈。

1. 電子管式高頻電熱器

這種電熱器很似一強功率的無線電發射機，但高頻電熱設備不需要高度的頻率穩定度，也不需要調幅及其附屬的設備，故比發射機要簡單得多。高頻電熱器是一強功率的振盪器，用於電子管生產上的高

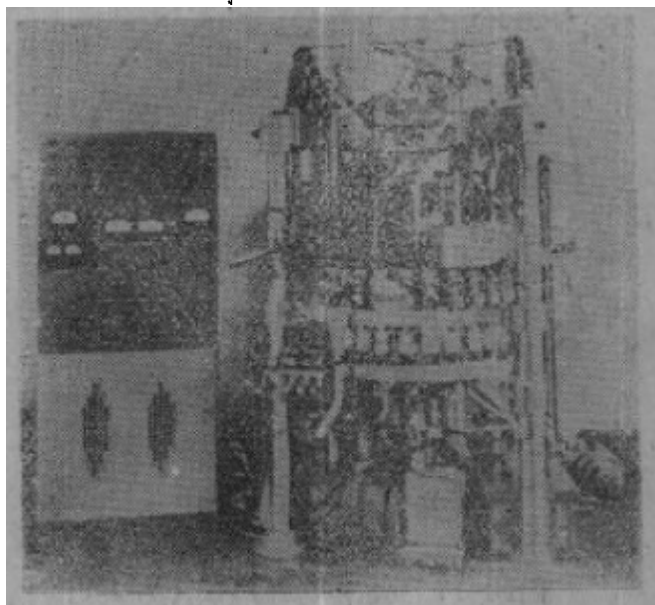


圖18-20 高真空圓排車。

正常，必須經常檢查真空度，在生產上必須每天檢查抽氣機的工作狀態，以及插口橡皮密封的質量。有時為了觀察排氣的過程，在轉盤的一個位置上連接一熱真空計，它與轉盤一起轉

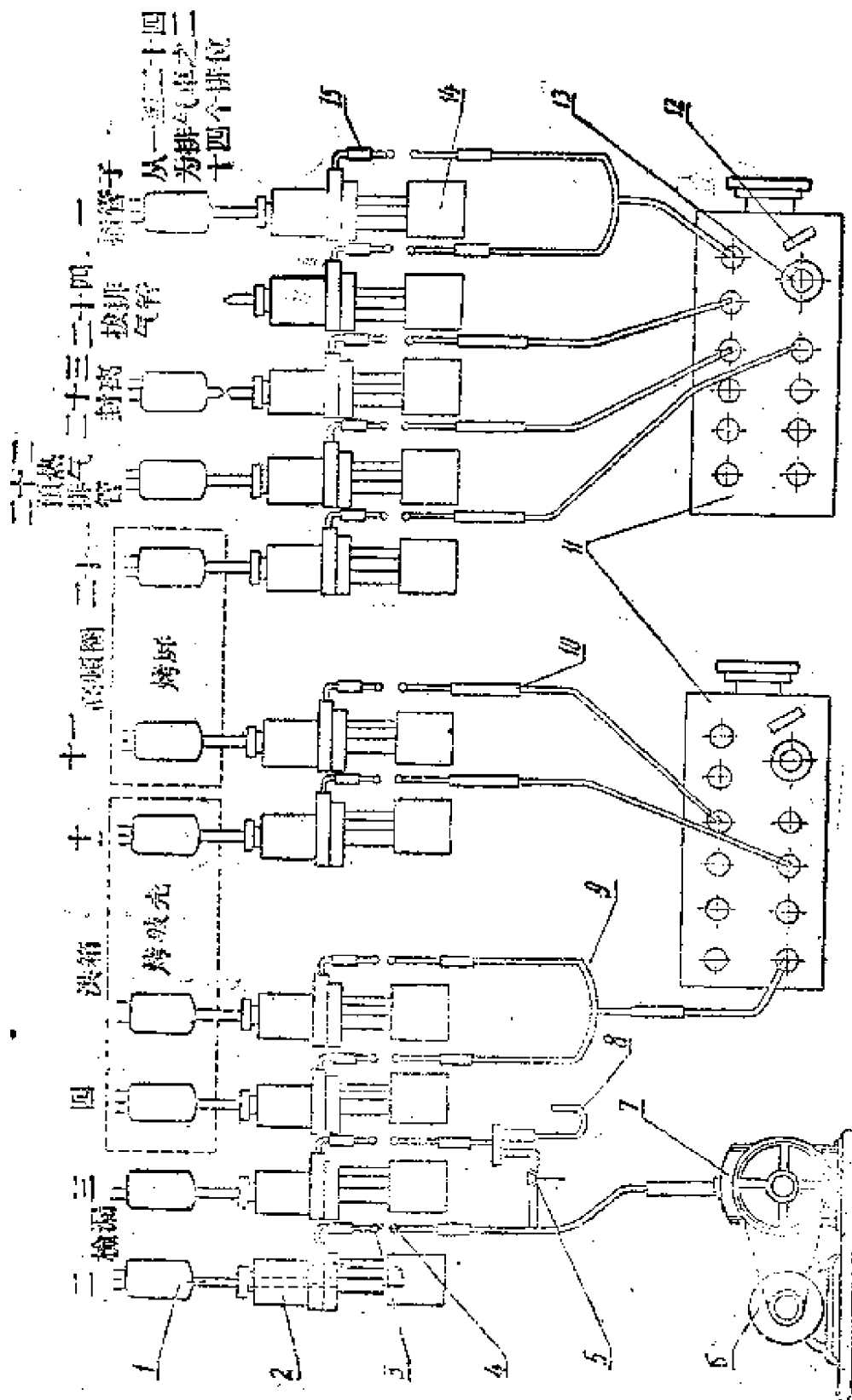


圖18-21 24軸高真空排盤車真空系統展開圖

頻電熱器，其功率約在 1~20 仟瓦之間，由於輸出大量的高頻電功率，因此其本身亦發生很大的熱量；為此其綫圈大部用銅管製造，便於內通冷水，以作冷卻之用。較大功率的电子管電熱器，电子管常採用風冷式电子管或水冷式电子管，圖 18-22 表示用水冷管 F 452 作振蕩器的 20 仟瓦高頻電熱器綫路。在电子管式的高頻電熱器中所用的电子管陽極電源，可有两种不同的方法供應，一种是直接把交流高壓施于电子管的陽極上，此法簡單又價廉，但效率很低，故使用較少，通常在小功率（一仟瓦以下）電熱器上應用。在強功率的高頻電熱器中，电子管陽極電壓總由直流高壓電供給。

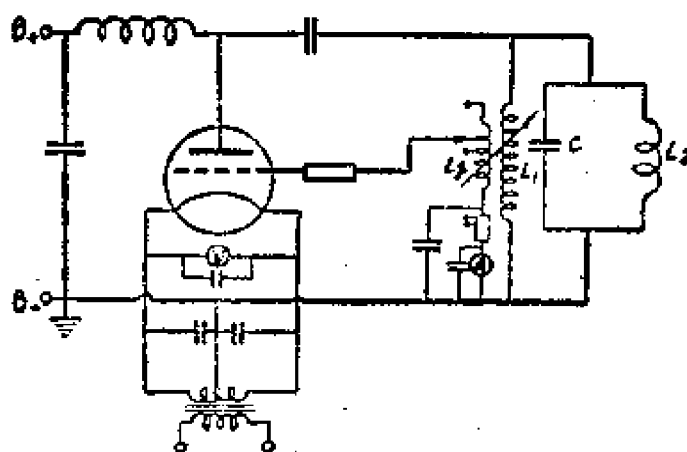


圖18-22 电子管式高頻電熱器綫路原理圖。

表 18-1 列出了一般电子管式高頻加熱振蕩器的主要故障及修 復方法，以供參考。

2. 电弧式高頻電熱器

这种電熱器系利用电弧產生諧振頻率振蕩。因为在火花片兩端的高電壓，游离了电弧間隙間的空氣而發生电弧，电弧產生以後，其本身產生各種不同頻率的電波，但只有与諧振綫路相同的頻率才能通過諧振綫圈，使高頻功率輸出，因此这类振蕩器的效率亦就較电子管式為低。

电弧式電熱器包括三部分：（一）高壓變壓器，其功用是將 50 赫芝頻率的電源自低壓 220 伏或 380 伏升高至 10000~15000 伏，（二）火花片，即电弧發生器，（三）諧振綫路，它包括一個電容器与一個綫圈，

表18-1 一般电子管式高频振荡器的主要故障及修复方法

故障种类	故障现象	故障原因	消除故障的方法
振荡停止。	无栅极电流；阳极电流偏大。 振荡电路中无电流。 被加热物体无加热效果。 振荡管阳极过热。	栅极耦合不够。 阳极电路中负荷电阻太小。 次级电路和负荷的耦合太紧。 振荡电路的电容器已击穿。	增强栅极耦合（增加激励电压）。 增大阻栅负荷电阻。 减弱与负荷电路的耦合。 调换已击穿的电容器。
高压整流电路中保险丝熔断。	接入高压电路时，高压电表无指示。 无阳极电流。	充气整流管发生逆弧；或隔直流的电容器击穿。 整流管灯丝变压器线圈绝缘击穿。	消除整流管逆弧。或更换整流管； 调换隔直流的电容器。 更换或修复灯丝变压器。
振荡管阳极电路中保险丝熔断。	高压电表指示电压。 振荡管开管时无阳极电流。	振荡管损坏。 隔直流电容器击穿。	调换振荡管。 调换隔直流电容器。
振荡管阳极过热。	阳极冷却水套中有特殊的喘噪声， 冷却水温度过高。	冷却水流量不够，阳极表面产生水垢。 栅极激励不足。	增加冷却水流量；洗除阳极的水垢。 增强栅极耦合。
振荡管栅极引出线过热。	红色指示表变暗。 栅极引出线的玻璃上生裂纹。	栅极过压。 产生寄生振荡。	减弱栅极耦合。 消除寄生振荡。

一般线圈与电容器组合的谐振频率的在 $100 \sim 500$ 仟赫之間，线圈同时也作高频电热中的加热感应线圈。

火花片的作用是發生电弧，最簡單的火花片是由两个金屬电极組成，当两个火花片之間的电压升高到一定程度时，其間的空气發生游离成为电弧，因为要求输出功率大，故火花片两端所加电压很高，为此就需把好几片火花片串联使用。火花片由黃銅或紫銅制的盘形片状物構成，盘的直径約为 25 毫米，盘与盘之間的距离約为 0.1 毫米，这便是产生电弧的間隙。并在發生电弧的一面包上一層薄的鎢片，这样使發生电弧以后，火花片不致很快损坏。又因为有很大的电流通过电弧隙，它会發生高热，因此銅盘要用水冷却（小的可自然冷却）。

圖 18-23 表示电弧式电热器的綫路。

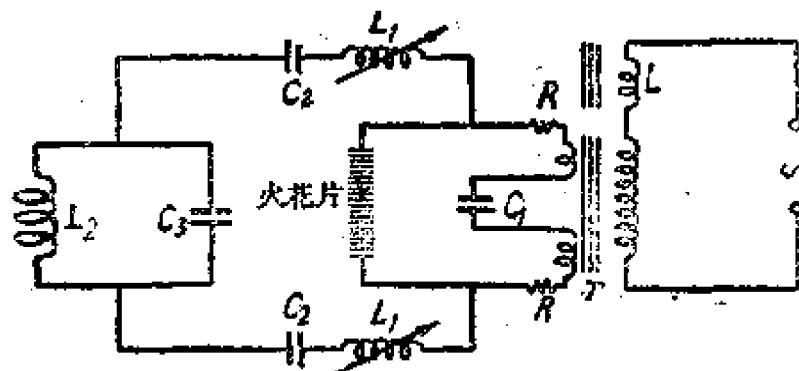


圖 18-23 火花式高频电热器线路圖：

R —阻尼电阻； L —扼流线圈； L_1 —調諧电感； L_2 —工作线圈； C_1 —功率控制电容器； C_2 —隔耦电容器； C_3 —槽路电容器； T —高压变压器。

电弧式与电子管式电热器相比較其缺点是：

1. 电弧式电热器在使用时，由于产生各种不同频率的高频电波，因此会影响附近无线电的接收。
2. 电弧式电热器在使用时，产生嘶嘶噪音。
3. 效率低。

因此目前在电子管制造厂中已逐渐不采用电弧式电热器。

（四）火花式真空度檢查器（火花线圈）

火花式真空度檢查器，简称火花线圈，在电子管制造上亦是經常用到的一种仪器，尤在長排車上进行排气时作檢漏之用。它是应用高

頃高压的电磁場，使容器中稀薄气体激起放电，利用真空度的改变致使放电的輝光顏色發生改变的現象。因此它能約略地估計管內的真空度，如管内發紫紅色光一般气压約在几个到 0.01 毫米汞柱，到管内發微藍光时約为 0.01 毫米汞柱到 0.001 毫米汞柱左右，到真空在 0.001 毫米汞柱以上时，这时一般輝光也就消失了，有时仅在玻壁上有微微的螢光。这种火花式真空度檢查器的外形有如圖 18-24 所示。

使用时把真空度檢查器的放电端靠近玻壳，如圖 18-25 所示。即可引起管子內部放电，从顏色来大約估計真空度。一般情况，当管子經一定時間抽气后，管内真空度即可达到 10^{-3} 毫米汞柱左右，此时用火花式真空度檢查器檢查时，应已无輝光，但有时却虽管子經長时期的抽气后，用火花式真空器檢查时总还是發現管内有紅光，这就說明被抽的管子有漏气孔，此时就可移动火花式真空檢查器的放电端在管子玻壳的四周来回移动找寻漏孔；在玻壳完整部分則放电端与玻壳常成杂乱的火花束，如圖 18-25, *a* 所示，但当放电端移至漏孔附近处，則此时火花束就集中对着漏孔处，如圖 18-25, *b* 所示。

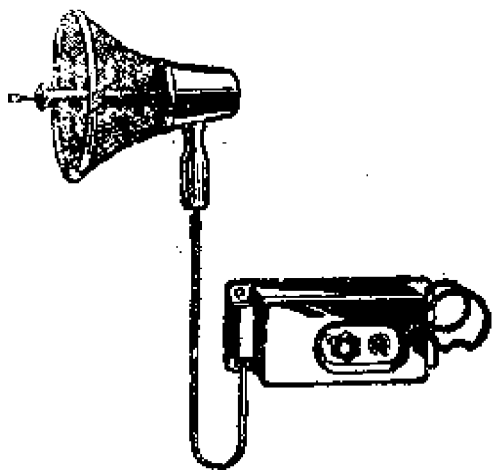


圖18-24 火花式真空檢查器。

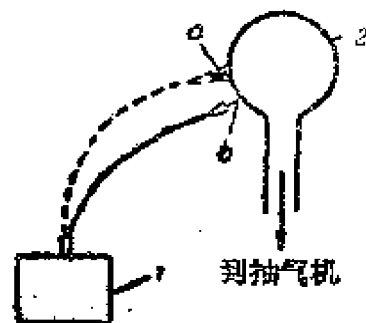


圖18-25 火花式真空度檢查器工作情况：

1—火花綫圈；2—被抽电子管；*a*—玻壳完整；*b*—玻壳有漏孔。

此外在使用火花式真空檢查器时要注意，不要使放电端長时对着玻壳某一部分进行檢查，这样容易發生玻壳燒穿或裂开等現象。

§ 18-4 充气管排气法

充气管的排气工艺除了前述真空管排气工艺外，还增加了充入所

需气体的步骤。在充入气体前必须把管子内部的有害气体降低到最小程度。为此在生产上常采用惰性气体“冲洗”的方法来缩短排气时间。即当管子的真空度抽到一定稀薄后，依次地充入一定压强的惰性气体，然后再把所充入的气体抽去。冲洗气体一般就用管子最后欲充的气体，但如所充气体昂贵时，则可用其他价廉的惰性气体代用之。

充入气体的方法，根据气体性质的不同和控制压强的精密度不同，可有以下几种方法。

(一) 惰性气体的充入

(1) 用电磁铁法，它是把所充气体的容器接入如图 18-26 装置的充气系统，然后再把这部分充气系统接入排气系统。应用时，在真空中借电磁铁移动铁块，把气体容器上的封嘴击破；所充气体的压强，则靠上面两个活门间的容积大小来控制。应用这种方法甚为简单，但所充气体压强并不十分精确，故在生产上仅适用对于气体压强要求并不很高的充气管。

(2) 用电磁铁控制水银活门法

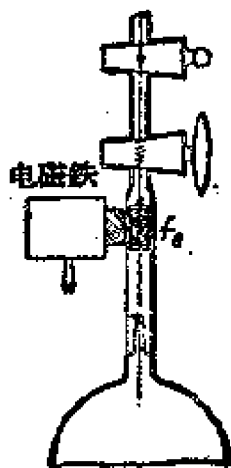


图18-26 在真空中用电磁移动铁块充惰性气体。

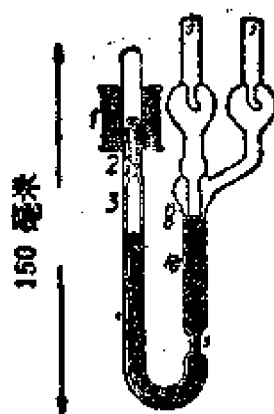


图18-27 电磁控制充气活门。

这种方法的装置如图 18-27 所示。充气时，用电磁铁 4 将内部玻管中的铁块吸起，使左边玻管的水银上升，左边玻管中的水银下降，于是 6，7 两玻管就相通了，把气体充入了管子。

(3) 用扩散空隙的精密控制活门法

对于充入低气压的气体时, 和要求所充气体压力能有精密控制时, 则采用圖 18-28 所示的装置。所充气体是经过玻管上一条細縫扩散过来的。細縫的長度則可由改变玻管中的水銀面高低来达到。因此改变水銀面的高低, 亦就控制了所充气体的压力大小。

(4) 針形活門法

对于充入气体量多, 但亦須較能准确控制气体流量的, 則可用圖 18-29 所示的方法, 它是利用針和孔間的空隙大小来改变它的流量, 而針是裝在中間具有螺紋的芯子上, 于是轉动芯子就改变了針的上下, 这样也就控制了活門的大小, 使流量得到控制。

(二) 汞的充入方法

充入汞的方法很多, 最常用的用高频加热玻管的方法, 即把需要充的水銀量預先灌在一玻管内, 在此玻管中部套一金屬环, 然后将此玻管封入管子內, 或管子的排气管延伸部分, 待管排气接将完成, 并須充入水銀时, 即用高频綫圈加热該盛有水銀的玻管, 而玻璃管因金屬环發热而破裂, 于是水銀即流入电子管內, 如圖 18-30 所示。

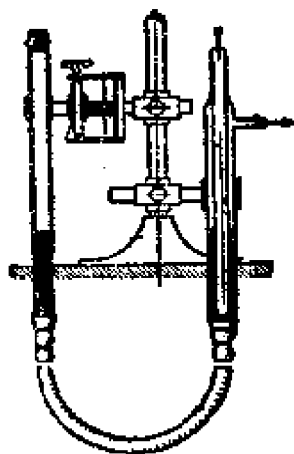


圖18-28 用扩散空隙的
精密控制活門。

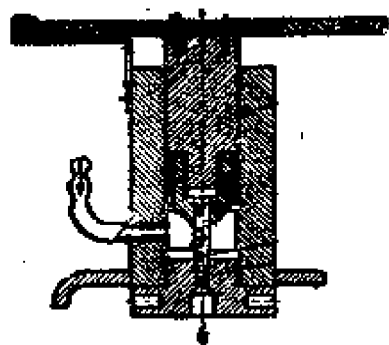


圖18-29 針形活門充
进气体。

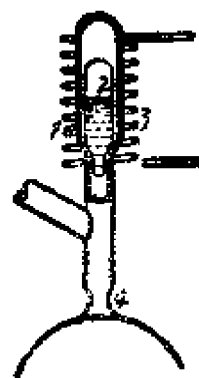


圖18-30 用高频电流破
裂儲藏有水銀的
玻璃小瓶法。

另一种較簡便的方法是把盛有水銀的玻管預先接在电子管排气管的延伸部分, 这时水銀和电子管之間仅具空間是相通的, 而水銀尚不能流入电子管內部。直待排气即将完成, 須充水銀时, 于是就用煤

气火焰把盛有水銀的玻管加热，使水銀蒸汽蒸發，跑到冷的电子管中就被凝結下来。用这方法时，必須使水銀玻管和电子管的連接較近。而电子管与排气系統連接須較远，并且应用这种方法，容易使大量水銀蒸汽进入抽气机，对真空衛生是不利的。

§ 18-5 排气时所产生的廢品

电子管排气时，由于规范及控制的不适当，也可能形成很多廢品，茲将常見廢品分別叙述如下：

1. 玻壳或芯柱炸裂。这是封口后退火不良，或高频加热时綫圈触及玻壳所致。

2. 电极与玻壳去气不徹底，造成阴极中毒和真空度不良。这可調整烘箱溫度及去气時間，以及高频綫圈位置及高频振蕩輸出功率来消除廢品。

3. 玻壳凹入。这可能是封离排气管时，火焰太大，以致使玻壳燒凹。

4. 排气管被折断。

5. 阴极呈黃色，此真空度不高所致。

6. 排气管封离不正确。

7. 管内真空度不高，其原因可能：

1) 电极去气溫度不够高，去气不完全。

2) 阴极加热溫度不够高，碳酸盐分解不完全。

3) 玻壳去气不完善。

4) 芯柱慢性漏气。

5) 扩散泵不正常，如油内有水蒸汽等。

6) 定盘和动盘間密封不良。

7) 真空橡皮漏气。

8) 机械泵中的油日久未換。

8. 电极發生变形，这可能是高频加热溫度过高。

9. 氧化物阴极碳酸盐分解不好及中毒其原因可能有：

1) 加热灯丝电流太小。可能灯丝电源未调整好或接触不良，因而阴极温度过低，碳酸盐分解不完全，一般要求在排气后氧化物阴极中剩余的碳酸盐不超过15%，否则在老练时剩余碳酸盐将继续分解，放出大量气体。

2) 阴极在真空度很差情况下分解，氧化钡及钡和气体作用；并且还可能是涂层中的粘结剂变成碳后不能化合成一氧化碳而除去，而使阴极变灰色。

第十九章 电子管的装头

§19-1 装头的意义和目的

将管基固結到管子上，并包括将引出綫焊接到管針內的过程，总称为装头。电子管装头的必要性表现在这些方面：有很多电子管，特别是梳形芯柱的电子管，其外引出綫細而軟或者为軟的絞綫所构成；因此，在与外电路连接以及更换电子管时显得極不方便；此外，当插入或拔出电子管时，与引綫封接处的玻璃由于机械强度低常易碎裂或将排气管折断。为了这些原因，一般电子管都需装以管基以資保护，并且使能方便而可靠地接至外电路。

但是装有管基的电子管也有一些缺点，例如其引綫电感和極間电容要比不装管基的管子大，而沿管基的極間电导也会增大等。为此，指型管和一些用于超高频的盘封管大都不装管基，而直接用硬引綫代替插脚。

§19-2 管基的形式及制造

作为装头用的管基其形式有二种。一为装在电子管下端的帶有管針的管基（圖 19-1）；另一类为装在电子管上部或旁側的管基俗称管帽（圖 19-2）。在大量生产中，为了减少管基的类型，使生产成本降低，并且也为了使用者的方便，通常总尽可能采用相同結構的管基。

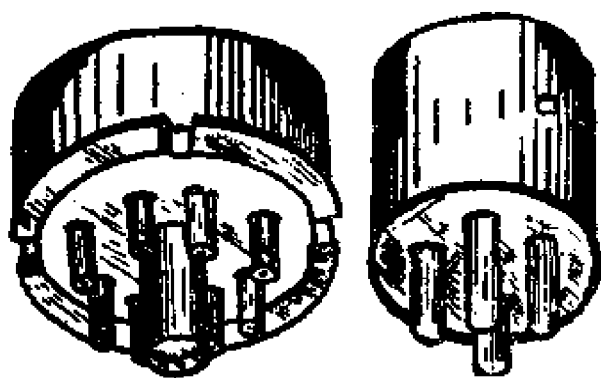


圖19-1 管基。

現代收訊管最常用的是八管針位置的管基，如圖 19-3，*b*、*c* 所示。它的管針沿直徑 17.5



圖19-2 管帽。

毫米的圓周均勻分布，管針的直徑為 2.4 ± 0.1 毫米。為了保證無錯誤的插入管座，此種管基的中心有一方向鍵。此外，也有應用4腳、5腳或6腳管基的（圖19-3, a）。此種管基通常無方向鍵，盡依靠管針不均勻的分布和不同直徑的管針來保證正確無誤地插入管座。

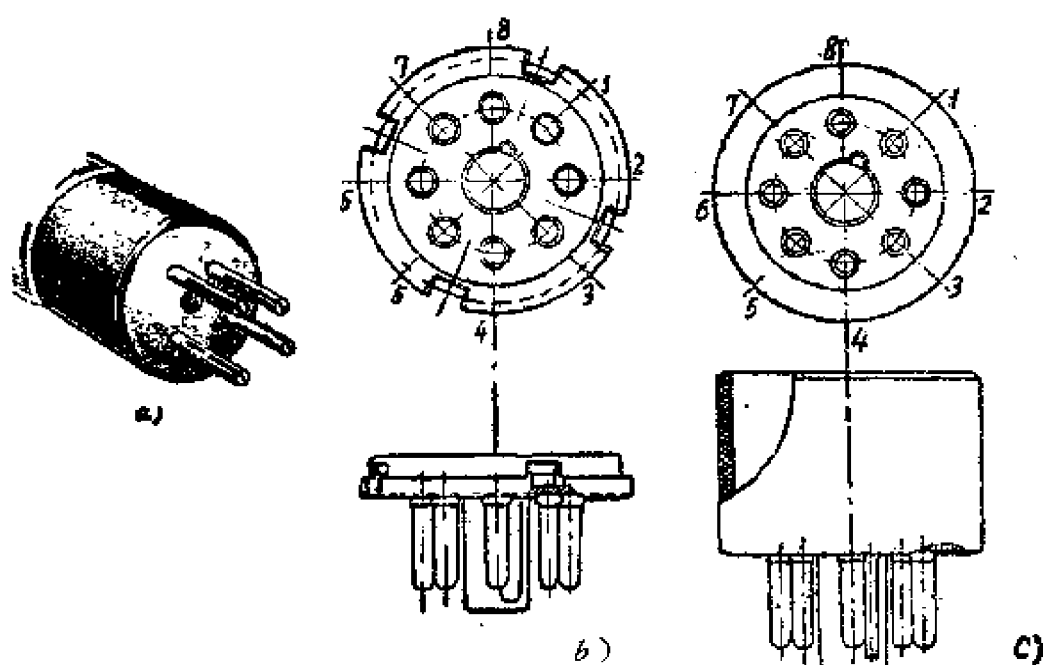


圖 19-3

為了不影響管子的性能和適用條件，作為管基的材料應滿足下列要求：

- (1) 絕緣性能高。
- (2) 介質損耗低。
- (3) 熱穩定性好。
- (4) 具有抗潮的能力。
- (5) 有一定的機械強度。

管基通常用塑料製造，在芯柱需要屏蔽的电子管中有时采用有金

屬邊的管基，如鍍鎳銅邊等製造管基，而在高頻電子管中為了減少介質損耗則常用陶瓷材料制作管基。

至於管針管帽的材料則常用在空氣中不易生銹的金屬制成，如鍍鎳黃銅等。在長壽命可靠性電子管中，有時為了保證管針長期有良好的接觸，還在管針上進行塗金。

作為電子管管基的塑料需用熱變定性塑料，這種塑料它在受熱和壓力後軟化，接着它就成了不融化和不溶解的狀態，但它經一次壓塑後，就不能回復轉變，也就不可能重新再進行加熱塑造。常用的酚醛塑膠就是屬於這一類的塑膠。

酚醛塑膠在加熱和時間的作用後即產生聚合作用，它有三個A、B、C不同的狀態，在前兩種狀態下，使它壓塑成為制品，在壓塑的最後過程中，將它成為C的狀態。

在壓制塑料制品時所用的塑料稱為壓粉，它由化學工廠所製造的。壓粉是由人造樹脂（如酚醛樹脂），填料（如大理石，雲母等）增韌劑（硬脂酸）和染料所組成。

熱變定性塑料在壓塑制品時，在電子管生產上常用熱塑法進行，即在壓塑時，塑模要加熱到一定的溫度（一般為 $150^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{C}$ ，用蒸汽或電氣加熱）。使樹脂能在模中很快地進行聚合反應，待模子加熱到指定的溫度後，在模中送入一定分量的壓粉（通常預先算好），並加壓力壓緊。一般先要在 $15\sim 30$ 秒內使壓力加到 50 公斤/平方厘米，以後再將壓力提高到 $300\sim 600$ 公斤/平方厘米。

欲保證塑制品的質量，必須遵守規定的溫度，壓力和制品停留在塑模中的時間。最佳的溫度、壓力和時間與制品的形狀及壓粉性質有關，在實際中須由試驗求得。

如果所加的壓力和溫度超過了最佳值，常會使塑品的脆性增加。

制品在壓床上停留時間的久暫也是很重要的，時間不足，制品就顯得不夠堅定，而且在運用過程中它的尺寸和形狀還會改變。

在壓制前通常尚將壓粉進行預熱，壓粉進行預熱一方面可以縮短壓塑所需的時間，並且尚能驅除壓粉中的潮氣，從而降低因產生氣泡

而成为的廢品。并且还可延長压模的寿命，这是因为用預热过的压粉在压塑时所用的單位压力可低些的緣故。

由于压塑后的制品，有时制品的尺寸和形状还会稍有改变，为了稳定制品的外形起見，还須将制品进行陈老的手續，亦即將制品放在烘箱中（130~170°C）歷經 3~8 小时后取出，使塑膠完全轉变为 C 的状态，烘箱的溫度須慢慢上升，加热太快或溫度过高，都有可能使制品产生气泡和歪扭的現象。

有时管基装在玻壳上后会發現管基会将玻壳压碎，这主要也由于塑膠压塑后尚未完全轉变成 C 的状态而使塑料产生收縮所引起的。

§19-3 焊 泥

将玻璃管壳和管基固結在一起，就必须使用一种粘結剂，这种粘結剂即所謂焊泥。电子管装头用的焊泥材料應該具备下列性能：

- 1) 电气絕緣性能好。
- 2) 在高溫或高湿度的情况，保持原有的粘合强度。
- 3) 不含有会与管壳、管基或其他接触材料起化学反应的物質。
- 4) 在硬化时体积不会改变过大，以使管壳受到过大的应力。
- 5) 在必要的情况下，允許使管基和管壳分开以便再次利用。

此外，焊泥还应该具备与装头过程相适应的硬化条件，例如在装头时，焊泥的硬化時間應該适当。硬化太慢，将影响装头的生产率；硬化太快则使装头过程發生应付不及的困难。

在目前电子管装头工序中，应用的焊泥种类很多，总的說来可以分成两大类：即冷装头焊泥，和热装头焊泥。茲分述如下：

（一）冷装头焊泥

所謂冷装头即在工艺过程中无需采用加热而硬化的装头方法。因此冷装头焊泥的一个共同特点是：装头后，焊泥迅速硬化和凝固。这样，就不可能一次配制很多的冷装头焊泥。所以其缺点是不能在大量生产中应用。

但是冷装头焊泥的硬化希須加热，因此那些不允許加热的管子和

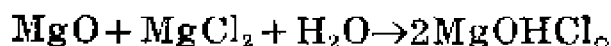
尺寸很大以致于加热不便的管子，在装头时往往采用冷装头焊泥较适宜。此外，一般冷装头焊泥还具有这些优点：如较良好的机械和电气性能，对玻壳不产生危险的应力等。

1) 石膏焊泥 它是由石膏和水调配而成的。将焊泥敷在管基上，然后把管基压在管子上，经过约半小时后，由于石膏又结合了结晶水，即



发生硬化，将管基和玻壳牢固在一起。

2) 氧化镁焊泥 它由氯化镁溶液和氧化镁混合而成，这种焊泥混合后约经过半小时就开始凝固，但固结需经约5~8小时其硬化过程的反应式为



3) 氧化铅焊泥 这种焊泥由氧化铅和甘油调配而成，混合后约经10~20分就开始凝固，约经1~2小时就开始固结，这种焊泥能经受较高的温度和湿度，但惜于成本较大。

其配制成分列于表19-1上。

表19-1 冷装头焊泥配方

序号	名 称	配 方
1	石膏焊泥	1分水掺混2分石膏($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (按重量)
2	氯化镁焊泥	6分25%的氯化镁(MgCl_2)水溶液掺混10分(按重量)氧化镁(MgO)
3	氧化铅焊泥	4~5分氧化铅(PbO)掺混1分甘油(按重量)

(二) 热装头焊泥

热装头焊泥与冷装头焊泥的不同点在于它的凝固和硬化必须借升高温度的方法来达到。这样，在室温情况下，配制好的焊泥虽经很长时间仍然不会硬化。因而热装头焊泥可以预先大量配制，借自动装头机大量装头。

热装头焊泥乃是将各种天然树脂和人造树脂，加以不同的组合，溶于酒精中并混以填充剂而制成的。人造树脂(电木等)，一般使焊泥

机械强度增大并具有热稳定性。天然树脂（虫胶、松香等）则使其具有抗潮性和粘性。并且它还会缓和人造树脂所产生的压应力。

焊泥中所含树脂量一般为15~25%。树脂溶于酒精中，这种树脂溶剂具有粘着力，在受热时硬化，因此亦可以不加特殊的附加物来固结轻的管基，在固结接收放大管的管基和大型管装头时，由于它很难填满管壳与管基间的空隙，因此往往在这种粘剂中还掺混各种粉末状的填充剂：如白垩、滑石、大理石、鋅鋁白等。

某些情况下在焊泥中还加入少量的六甲基四胺 $[(CN_2)_6N_4]$ ，它是人造树脂聚合的触媒，在焊泥受热时，加速它的硬化过程。此外，在大多数的热装头焊泥中还加入一些指示剂——孔雀绿，当树脂完全聚合后，绿色染料变成暗黄色或砖红色。这就可以根据焊泥颜色，判断装头的温度是否正常，而且常常还可以决定管子掉头的原因。例如，如果掉下的管基其焊泥为绿色，则说明加热管基温度不够应增加温度。如果掉下的管基，焊泥是砖红色，那末就可能是配制焊泥时它的配方不恰当等。

常用的热装头焊泥及其配制成分列于表9-2上。

表9-2 热装头焊泥配方

序号	名 称	配 方
1	洋干漆粘剂	以洋干漆9.6千克溶于9立升酒精中。
2	硝基粘剂	把碎塑料3千克溶于20立升的丙酮及20立升的乙酸丁脂混合溶液中。
3	洋干漆电木焊泥	洋干漆1000克，电木粉980克，松香400克，玻璃砂900克，氟石粉1050克，酒精1250立升。
4	酚醛焊泥	酚醛树脂260克，无水酒精615毫升，洋干漆150克，优洛托品38克，大理石粉1500克。
5	松香粘剂	松香600克溶于0.5立升酒精中，（并在一升上述粘剂中加入2.5%的孔雀绿溶液20毫升）。

§19-4 装头的工艺过程

整个装头过程包括以下的操作：

在管基内边涂上焊泥→抹直引出线并将其穿入管针→加热装头处

使焊泥硬化（冷装头无须加热但一般须加压力）→剪断过长之引线，并将其焊在管针上。

管基上涂焊泥的操作可用手工或机械的方法进行。无论借何法进行，在涂焊泥时必须保证在管基边的内表面上均匀地涂上一层厚约数毫米的焊泥，并且每个管基上所涂的焊泥量应该一定，否则因为装头机的温度是一定的，不然焊泥的硬化程度将不一致。焊泥应该涂得比管基边缘略低1~2毫米，以免在装头时焊泥溢出边缘。同时焊泥也不应流到管基底部。以免形成引出线之间的漏电。

有时为了防止焊泥受热时放出的潮气跑到玻壳上，可在管基涂上焊泥后，再在其上涂以松香粘剂，使它在装头时，在管壳和管基的接触部分包上一层松香漆。

用手工涂焊泥通常借刮刀进行，此法虽简易，但生产率低。用机械法涂焊泥，则借半自动的烘装焊泥机进行（图19-5）。

这种装置的原理图如19-4所示，由一漏斗形的焊泥储存器所构成，焊泥的落下依靠压缩空气来进行，然后借推塞将一环状焊泥推出至管基的周边上。

这种装置亦可装在转盘上，而转盘以间歇运动，在插孔上用手放入管基，当管基移动到有储存器的下口时，转盘借凸轮作用而上升，于是管基就套在储存器下口上。此时，储存器中的推塞由颈中挤出环状的焊泥，将它粘附在管基的周边上。以后转盘落下，并将下一管基送到颈下，这样连续进行，最后涂好的管基用手取出。

焊泥涂好后，接着将管基与玻壳套在一起，此时，必须先把引出线抹直，并排列成一定的位置，以便正确无误地将各引线穿至相应的管针中。引线在管基内应尽量不交叉，若必须要交叉时，两相邻的引

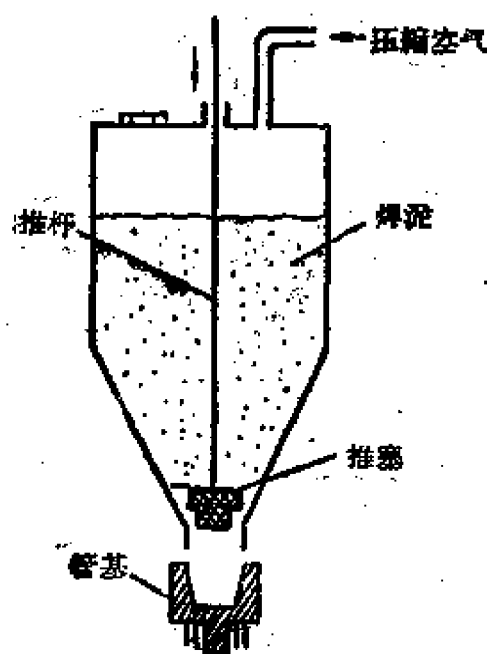


图19-4 半自动装管基
焊泥机原理图。



圖19-5 半自动装焊泥机。

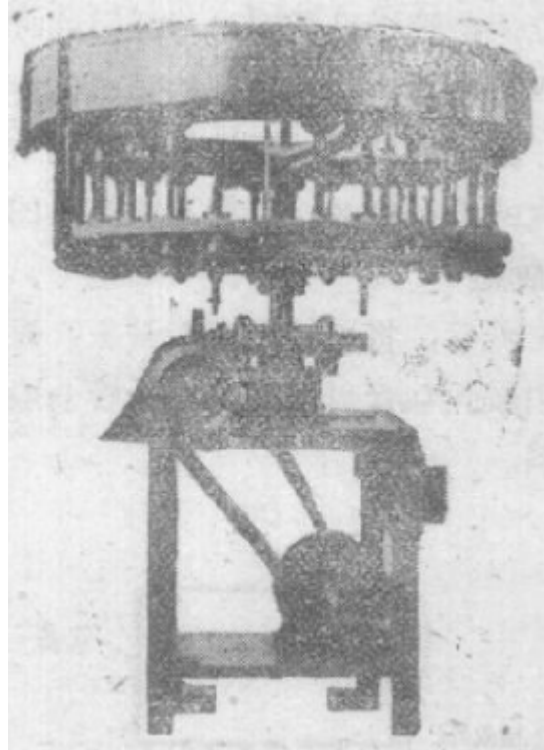


圖19-6 轉盘式烘装机示意图。

錢須套上絕緣的黃蠟布套管。

在热装头时，一般溫度愈高，硬化也愈快。因此从提高装备生产率的观点出發，選擇較高的加热溫度显然是有利的，例如当装头溫度为 $250\sim 280^{\circ}\text{C}$ 时，焊泥在 $2\sim 3$ 分鐘后即硬化了。但是在大多数情况下，这往往是不可能的，因为在如此高的溫度下，玻壳会放出气体，而更重要的是当溫度超过 180°C 时，一般塑料管基将膨脹，弯曲甚至燒坏。因此对于塑料制的管基，其加热溫度只能限止在 $175\sim 180^{\circ}\text{C}$ 以下，此时硬化時間約需 $10\sim 15$ 分鐘。而对于金屬管基一般加热溫度仍可提高到 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，此硬时化的時間縮短到 $2\sim 3$ 分鐘。

为了提高装头的生产率，通常采用多軸的烘装机装头。在圖19-6上示出了轉盘式烘装机的外形圖。

烘装机上装有放管子的插头，它由生鉄卡盘及夹紧的錐形帽所組成。当欲烘装的管子放在插头中后，即被彈簧压紧，同时用煤气火焰加热烘装处，使焊泥受热而硬化。

在工作时机器不断的轉动，轉速視硬化時間而定，一般約 $10\sim 15$ 分鐘旋轉一周。待轉一周后，用手取下管子，但要注意虽然在末后几

个位置，管子已受到冷却，但此时管基和焊泥仍可能是热的，故取下时应加小心，保持管基的正确位置。

至于大型电子管的装头，则常在恒温箱中加热，或者就用手持煤气火头进行加热。有些不便加热的管子则借用冷装头法进行，此时无须加热。

此后，将引线焊至管针上，焊锡时先将过长之引线剪去，然后再将引线焊在管针下端。电子管一般采用 30% 锡和 70% 铅的合金作焊料。

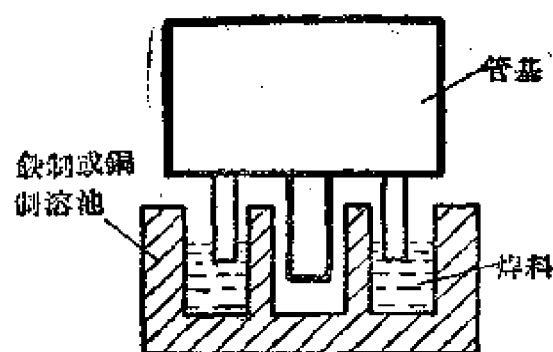


圖19-7 接收放大管焊锡装置。

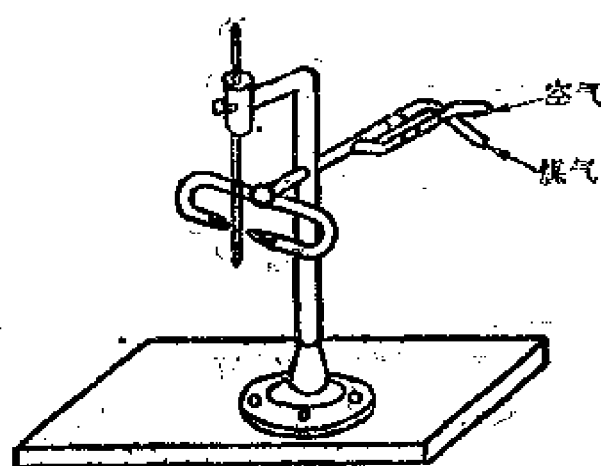


圖19-8 煤气烙铁。

为了使焊锡工作加快，在接收放大中，管基上的所有管针焊锡通常是同时进行的，此时采用特殊的焊锡装置，如图 15-7 所示。其中放入焊料；下面用电热器或煤气加热，使焊料熔化，焊管针时，只要把管针向里一浸就可以了。

较大的管子进行管针焊锡时，则往往借烙铁进行，烙铁为煤气火焰所烧热，然后将欲焊管针和焊条共同移至烙铁下进行焊接，这种装置示于图 19-8 上。

为了使引线 and 管针能焊接在一起，在焊锡前，引线和管针上的氧化物及赃物应除去，所以要用焊剂。最常用的焊剂是氯化锌溶液（1000 毫升的蒸馏水中加 250 克的氯化锌）。此外也有用加氯化铵的氯化锌溶液（60 克氯化锌加 20 克氯化铵溶于 70 毫升的蒸馏水中）和加甘油的氯化锌溶液（将 625 克氯化锌溶于 1000 毫升蒸馏水中，然后取此溶液

600毫升加入200毫升比重为1.12的盐酸和浓度为25%的氨水200毫升，使溶液呈中性，最后再加48毫升的甘油)。由于这些焊剂均有腐蚀性，故焊锡后的管针应用水和酒精仔细擦洗。

第二十章 电子管的老練

§20-1 老練的意义和目的

电子管的老練就是将总装配完竣后的电子管，进行进一步电气处理，以达到正常运用标准的一个加工过程。

一个电子管经过零件制造加工以及装架、封口、排气、装头后可以說基本上已完成了加工的程序。从外表上看，它已与一只完整的电子管毫无区别，但是实质上它还与正常的运用标准有一定的距离，所謂老練就是使管子达到正常运用标准的一个重要步骤，这是因为它能完成下列几个作用：

(1) 完成阴极的激活作用，使发射达到正常稳定。

在制造过程中，未經老練的电子管，虽也有一定的电子发射能力，但这些放射往往是不稳定的，并且各管子的放射量也不一致。如純鎢阴极的电子管，由于在制造时不可避免的与空气中的氧化合，而在鎢阴极表面上生成氧化鎢，这样就增加了阴极的逸出功，因而电子发射不高，而老練就可把这氧化鎢蒸發掉。又如鈷鎢阴极的电子管，不經老練則氧化鈷沒有还原为鈷，以致在阴极表面不能形成一單原子鈷層，故发射量也不会高。对于氧化物阴极的电子管，在排气时由于管内真空度还不高，故在排气后仅完成了氧化物的分解作用，虽然这时由于一氧化碳或心金屬中激活剂的作用，部分氧化鋇还原成鋇，但由于管内真空度还不高，因此虽則有少量的鋇形成，亦是不稳定，何况鋇原子的数量亦嫌不足，所以未經老練的电子管，总是沒有足够的和稳定的电子发射。

(2) 除去管内电极中的残余气体，进一步提高真空度。

極大多数收訊管，由于在自动排气机上排气，因此在排气时零件(栅極)未經电子轟击，这些零件中的残余气体在以后运用时会逐渐放

出。而經老練則可用電子轟击，使電極內氣體釋出，氣體由吸氣劑吸去。

(3) 電子管參量穩定的處理。

上面已經講過，未經老練的電子管，由於陰極未經正常的激活處理，因此放射是不穩定的，另外管內真空度不高，形成反棚流的影响，使電子管參量也不一致。除了上述情況，管子參量的穩定和管內電極間接觸電位差的穩定關係也很大，特別是陰極與第一棚極間的接觸電位差。其他如工作在脈沖狀態下的氧化物陰極電子管，陰極可能產生火花，因此在老練時還可進行陰極表面毛頭的處理，即把它預先在脈沖狀態下，升高電極電壓，結果結合不牢的氧化物就自陰極上去掉。

(4) 降低陰極與熱絲間的漏電。

對於間熱式陰極的電子管，由於氧化鋁內部及表面上有磷物，故常使陰極與熱絲間的漏電較大，在老練時可在陰極與熱絲間加電壓，以降低其漏電電流。

§20-2 老練的過程及其規範

電子管的老練根據電子管的類型不同，其規範也各有差異。

在選擇和擬訂老練規範時先要了解該電子管的排氣規範及電子管正常工作的最大極限情況，然後根據老練的理論要求來進行試驗，最後作壽命試驗來驗證選定的規範是否合適。

一、純鎢陰極的老練 純鎢陰極的老練比較簡單，一般有以下步驟：

(1) 升高鎢絲電壓，使陰極溫度稍大於工作的溫度，利用蒸發的鎢分子與殘余氣體化合以提高真空度。

(2) 將鎢絲溫度升高到 3000°K ，維持很短時間，以淨化表面，去除氧化物。

(3) 將鎢絲溫度回復到稍大於正常值，同時在各電極加上電壓作靜態或動態運用，以清除殘存在電極的氣體，這一時間較長，一般是四到十餘小時。

二、鈦鎢陰極的老練 鈦鎢陰極的激活过程于第七章已述过，在此仅将老練步骤叙述如下：

(1) 将阴極溫度升高到 $2000\sim 2200^{\circ}\text{K}$ ，同时在其它電極上加一定的正电压，利用正电压使电子轟击電極，由吸气剂吸去電極中逸出的气体，這步時間一般約 15 分鐘左右。

(2) 将阴極溫度升高至 2800°K ，閃練 0.5~1 分鐘，使氧化鈦还原为金屬鈦，并使阴極表面淨化。

(3) 将阴極溫度降低至 $2000\sim 2200^{\circ}\text{K}$ ，維持数分鐘以至 1~2 小时，使阴極表面能形成一單原子鈦層。

正如我們在第十八章中講排气時已提到，中、大型振蕩管的老練，为了簡便起見，老練就在排气時进行。因此，鎢陰極和鈦鎢陰極的电子管，老練也大多在排气時就合并进行。

三、氧化物陰極的老練 氧化物陰極是目前最常用的陰極，根据現代半导体的能帶理論，已能很好地解釋其所以發射大的原因。

半导体能帶理論認為，当个别的原子結合成晶体点陣時，电子的能級将受到邻近各原子電場的作用，而發生变动；因而，在組成該晶体点陣的原子中，所有电子的可能能級，将由彼此远离的、分立的許多原子能級，展开成为几个“能帶”，在此能帶中包含着密布的可能能級，即滿足于量子規律的能級。一般导体，尽管其个别的能級不相連續，但能帶是彼此相重叠的。而純淨的氧化物陰極塗層却不是这样，它是电介質，也就是其能帶不互相重叠，而被禁区所隔开。这样的能帶圖如圖20-1, 2所示。显然，只有处于能級較高的导帶中的电子才能實現电子發射，但在电介質中，由于禁区很寬，电子需要克服很大的功才能从滿帶跃迁到导帶中。因而純淨的氧化物塗層不是电子發射体，若要使它成为电子發射体，則必需进行激活处理。而陰極的激活处理实际上就是将原为电介質的氧化物塗層轉換为具有电子导电性的半导体的过程。我們知道，电介質与半导体的区别在于半导体的导帶与位于导帶下面的滿帶之間的距离，比起电介質要小得多。这样，对于半导体來說，电子由滿帶跃迁到到导帶将容易得多。为了將純淨的

氧化物塗層完全激活，在排气以后就需要进行老練，此时在塗層中将获得多余的金屬鋇。由于多余的金屬鋇原子存在，就破坏了原来的晶体点陣結構，結果，使得在能量圖中出現了新的局部能級，这个由鋇原子存在而产生的能級在能量圖中的位置，如圖20-1，b所示。它离导带下緣很近，因而在获得不大的能量时，相当于該能級的电子便能跃迁到导带中去，結果，使导带中的电子数目增加了，也就是增加了氧化物阴極的电导率。显然，当这些处于导带中的电子，其能量足以越过位壁壘时，在外电場作用下便将离开塗層，实现电子發射。因此可以确信，氧化物塗層之所以發射大，主要是由于塗層中多余鋇的存在，而多余鋇的获得，据理論和实践研究已証实主要原因有二：

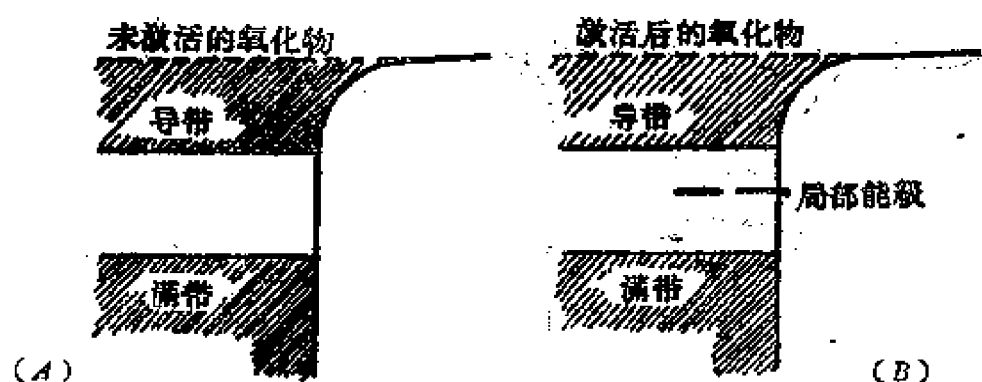


圖20-1 氧化物塗層能帶的示意圖

- (1) 还原作用；
- (2) 电解作用。

所謂还原作用，主要是包含在芯金屬材料中的还原性杂质，如硅、鈦、鎂、鋁等，它們能在加热的情況下与塗層起作用而还原出金屬鋇，因而使阴極活化过程加速。所謂电解作用，是指在阴極以及其他各極都加上适当电压后，發射电流流經塗層本身，使塗層分解为氧气和金屬鋇，而获得金屬鋇的过程。此时，塗層中的氧化鋇借电解作用，分解为氧离子和鋇离子，帶有負电性的氧离子向塗層表面移动，并在表面逸散；而帶有正电性的鋇离子，在电場的作用下，向芯金屬方向移动，在达到塗層和芯金屬交界处后，中和而变为鋇原子。由于芯金屬溫度高，因此所获得的金屬鋇重新向外扩散，于是在塗層中获得了多余

的銀。这样，在进行氧化物阴極老練完成阴極激活作用时，必然与以上两作用有着密切的联系。實質上由于銀的产生、扩散以及銀的在塗層表面蒸發皆和溫度時間成正比，因此在拟定老練的步驟和規範时，就在于如何确定一最佳的溫度和時間，以便最完善地激活阴極。此外，在氧化物阴極老練过程中，还得設法完成其他几項作用。通常，老練的具体規範随阴極而异，并需借試驗法确定，但大致的步驟是相同的。茲將氧化物阴極的一般老練步驟叙述于下：

(1) 还原激活阴極——氧化物阴極老練的綫路原理圖如圖20-2所示。这一过程是把阴極过热一短時間，使氧化物塗層由于杂质还原作用而还原出金屬銀，在此时選擇阴極的过热溫度及持續時間是很重要的，一般是根据試驗的方法得到，通常所加的电压約相当于正常电压值的二倍左右，時間約1~5分鐘，此步老練的目的在于保証阴極表面有足够数量的銀原子，并使其在塗層中均匀地扩散。为了不使銀蒸發过多，必須用試驗法求得最佳之加热溫度及持續時間。

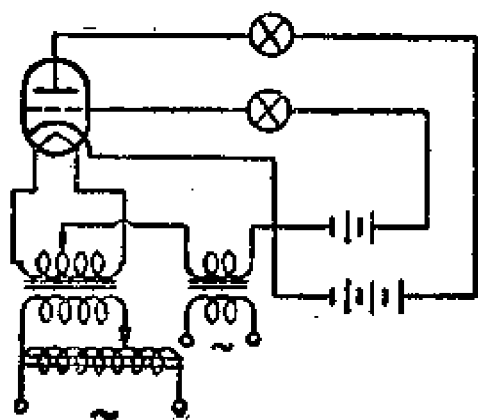


圖20-2 老練綫路原理圖。

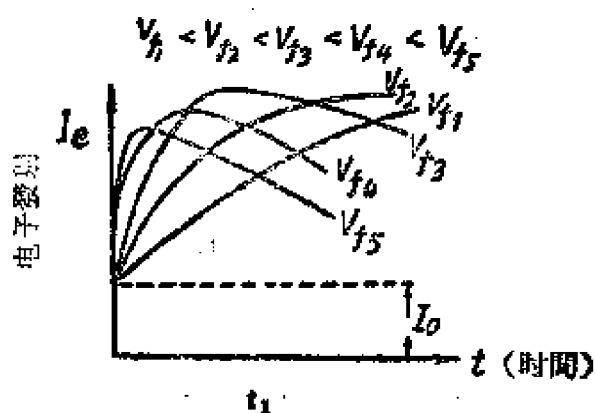


圖20-3 不同灯絲电压的放射曲綫。

其試驗的方法是这样的：取若干批电子管，每批加以不同的灯絲电压，在每隔若干秒后測其放射电流的变化，然后从各批放射曲綫中确定最佳規範。例如，若各批电子管曲綫如圖20-3所示。則从曲綫可知，显然加热电压以 V_3 为最佳而時間以 t_1 为最佳。

(2) 电極去气及电解激活阴極——这一步驟，在各电極上加以一定的正电压，借电子轟击使电極去气。为了保証电子管在工作时电極不再放气，故加在电極上的电压应比額定值高5~10%，一般持續時

間約10~20分鐘，由于这时電極上可能放出大量氣體（放出氣體在電場作用下被游離且為吸氣劑所吸收），為了避免陰極中毒，因此在零件去氣時需將陰極燈絲電壓稍微提高一些，但亦不宜太高，以免銀蒸發過多，通常約接近于正常值的1.5倍，而在塗層分解出二氧化碳氣，它與殘余的碳（源自硝棉）作用而生成一氧化碳，由于一氧化碳的還原作用，這樣就有效地中和了有害氣體的毒化作用。

這步另外一個重要作用就是電解激活陰極。在這步老練時所有電極都加電壓，此時塗層中通過定向的大量電流，這電流促使塗層分解出氧氣和銀，于是塗層中自由銀的數量增加，因而在進行此步老練時，雖有氣體放出，但放射電流往往上升。此外，在柵極上塗有鎂穩定劑的電子管，在這時還需將第二柵短時間加熱，使鎂蒸散到控制柵上，以穩定控制柵和陰極間的接觸電位差，在圖20-4上示出由于柵極上塗鎂后，使接觸電位差穩定，因而亦使電子管的陽極電流較不塗鎂的為穩定。

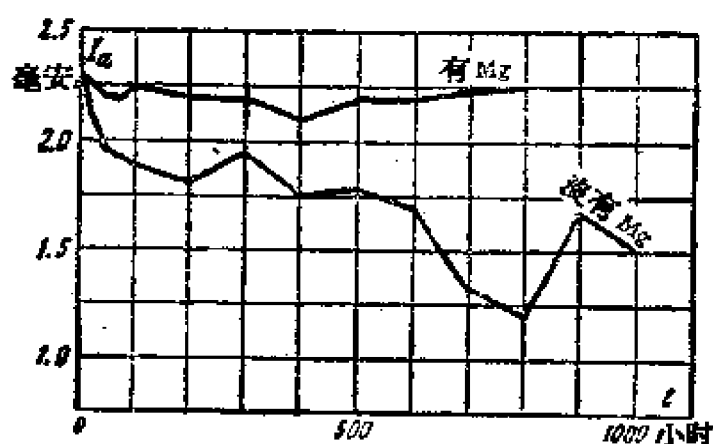


圖20-4 柵極上塗鎂對陽極電流的影響。

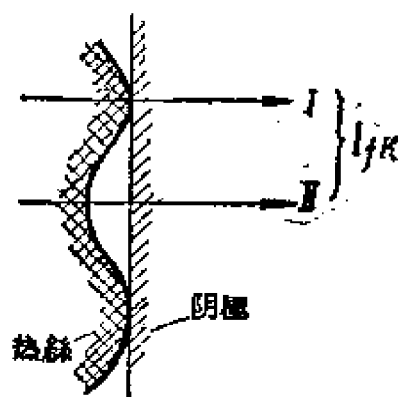


圖20-5 熱絲漏電電流。

在蒸散時，必須在陰極加熱情況下進行，否則鎂蒸落在陰極上會使陰極發射降低。

（3）獲得高真空（硬化）——此時陰極燈絲電壓約比正常值增15~20%，並且其他電極上仍加正電壓，只有第一柵一般不加正電壓，因一般接收放大管在工作時，第一柵常處於負電位，放氣的可能性很少。這步時間較長可延至10分鐘到30分鐘，使所放出氣體能全部被

吸气剂吸去。

(4) 降低阴极与热丝间漏电——间热式氧化物阴极的电子管，老练的最后一步往往是进行降低热丝与阴极套管间的漏电。这种漏电流是有两部分组成如图 20-5 所示。I 表示漏电流的电导电流部分，即通过热丝与套管的接触处而通导的电流，它的数值由氧化铝的绝缘性能决定，II 所示的漏电流系为热丝与套管未接触的真空间的电流，这电流可能是电子电流和离子电流所组成。

在热丝不同温度下，阴极热丝间的电压 U_{fk} 与漏电流之间有如图 20-6 所示的关系。

有图可知漏电流随热丝温度上升而急剧地增加，并且漏电流的大小还和电压的极性有关，即曲线所示的非对称形状。这可能是由热丝与阴极间的空隙部分两边所发射的电子电流不一致的缘故。这种漏电流具有不对称形状

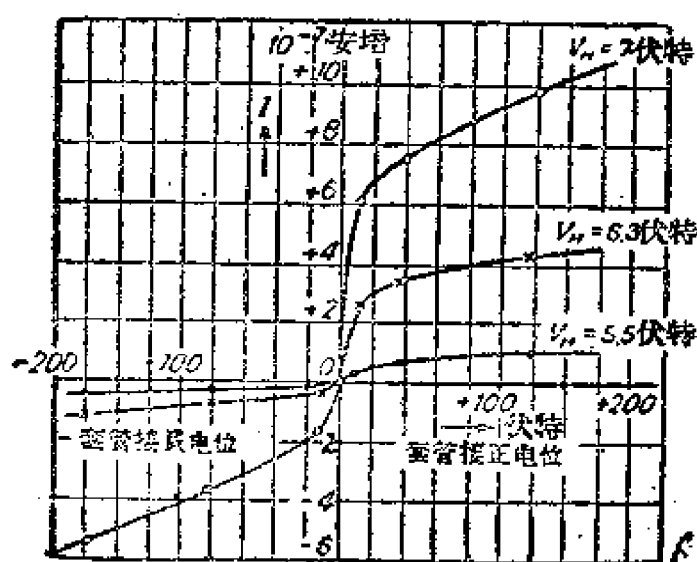


图20-6 阴极热丝间电压与漏电流。

对于管子工作于自给栅偏压时，影响是很不好的。这时漏电流与总的阴极电流叠加，一起流过自给栅偏压的电阻，由于漏电流是不对称的，因而栅偏压就成为交变的了，以致使管子的阳极电路中出现交流成分，工作于音频放大时，即会听到扰人的“交流声”了。

阴极与热丝间的漏电流，主要是氧化铝内部及表面上的杂质髒物所致，因此要减少漏电流，除了一方面从氧化铝塗敷物制造上着手，设法清除掉杂质髒物外，另一方面也可在老练时用电气处理方法，进一步降低漏电流。为此，此步中在热丝与阴极套管间加上约 120~220 伏的直流电压（热丝接负极），电压的值一般以高为宜，但是这亦为应用情况及阴极热丝间击穿电压所限制。当电流过绝缘塗层，由于漏电

流中有离子流分量的那些杂质的离子就向热丝运动,并积附在它上面。这样,氧化铝中的杂质离子,就被清除掉,因而增强了绝缘性能。而加交流电也具有同样的效果,故在生产上为了方便起见,一般都采用交流电。必须注意只有阴极加热时,才发生氧化铝的电解及净化过程。对于不同的管子,老练时加在热丝与阴极间的电压及时间也就各不相同。近来为了缩短生产时间往往将第三、四步叠加进行。

上面所述的仅是一般老练的过程,至于具体拟定某种管子的老练规范,并非单靠理论或计算所能求得,而还必须根据实验资料及经验资料来决定,一般除考虑阴极的类型以及制造时的加工过程(特别是排气规范)外,老练规范的拟订有时还和使用情况有关,如那些工作于脉冲状态的电子管,那么它就应该预先进行脉冲老练。电子管的使用寿命及参量稳定度亦与老练有关,一般生产上老练后的电子管,要经60~70小时工作后,参量才趋最后稳定。

某些军用电子管,对参量稳定性要求很高,在这种情况下,老练的持续时间还要增加(长时老练间),但老练的时间过长,会影响管子的寿命。

拟定老练规范也不能过重或过轻,如果老练过重,可能由于激活物质蒸发太多,或由于零件放出气体过多使发射有下跌趋势;但老练过轻时,则又会使零件去气得不够,使以后管子在运用时放出气体,并使它的参量有剧烈变化。因此,判定老练规范的是否合适,有些管子仅由测量老练后管子的参量还是不够的,必须最后用寿命试验的结果来校验。

在生产上,虽则各种管子都有自己的老练的规范,但有时可能由于零件净化和去气程度、阴极制造和排气过程略有差异,虽用同一种规范老练,成品管的参量仍可能不一致。为了弥补这一缺陷,而使这些管子的参量都能达到要求,往往需要进行补充老练。对于氧化物阴极的接收放大管,一般如果管子经过老练后,发现下列特征,均有可能用补充老练来加以补救:

1. 电极去气不够,真空度低,这可能由于栅极电子轰击去气不

够，在补充老練时应加重栅極冲击电流。

2. 發射电流小，这可能由于激活不够，在补充老練时可适当提高阴極温度或电極电压。

3. 阳極电流或跨导偏大，这可能由于栅極尺寸变小，在补充老練时应加重栅極电流，使栅極过热后变形，有时可能复原。

4. 接触电位差太大或太小，在补充老練中可重新控制栅極上的激活性物質来达到。

5. 阴極与热絲間的漏电电流大。

但是必須指出，并非所有产生这些缺陷的电子管均可用老練来进行补救的。

§ 20-3 老練的装备

电子管的老練除大型發訊管的老練在排气台上进行，絕大部分电子管的老練均在老練台上进行。

根据生产規模大小的要求，老練台的制成有連續式（自动的）和成批式的二种。

1. 連續式老練台 它为一轉盘式装置，如圖 20-7 所示，采用滑动触点的綫路，每一位子可插約 4~6 只电子管。轉盘以間歇运动，管子經旋轉一周后，即完成老練。这种老練台的最后一位子是进行管子預热的，在它的旁边放着試驗台，以便接着就可进行試驗，并这样可省掉預热設備。

2. 成批式老練台 它为一固定裝置的設備，无轉动部分，如圖 20-8 所示。这种老練台上管子老練是成批进行的。成批式老練台根据生产規模大小不同要求，在裝置上又可分單管式和多管式。在大規模生产中，生产品种比較固定，就采用單管式較适宜，否則就以用多管式較好。所謂單管式即一部老練台为某一型号电子管專用而多管式老練台往往可作几种管子老練。

成批老練台大部分借人工調节老練規範，当然这种設備也可自动調节老練規範，例如在采用時間繼电器及中間繼电器后，就可以达到

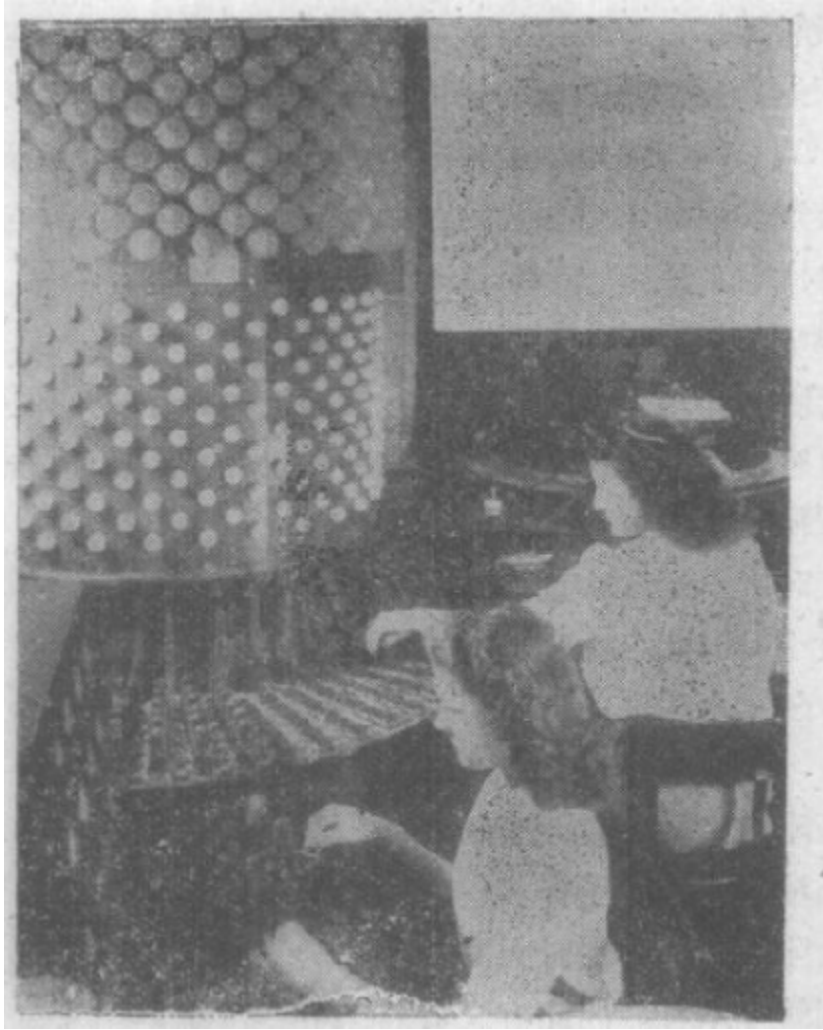


圖20-7 連續式老練台。

这样的目的。

老練台的綫路，視所老練的管型而不同，但基本接綫都是相同的，在圖20-9上所示的为一五極接收放大管的老練綫路圖。此綫路中阳極和帘柵極，可用交流或直流电压，正常的时候，热絲和阴極間仅有很小的漏电，此漏电流在緩冲灯 J_1 上产生一不大的电压降，不足以使与 J_1 并联的指示灯 J_2 發光，但如当热絲与阴極間有短路时，交流电压就全部加在 J_1 上，使指示灯 J_2 亦發光，于是工人就可把短路的电子管拔去，显然这样花費時間太多，在自动老練台的綫路中就不适宜。因此有时把老練綫路中的阴極供电綫路接成如圖20-10所示，当 J_1 亮时将开关 K_1 轉到位置2，这时經過短路的一部分有很大电流流过（ R 作限制和調整变压器 T_2 的短路电流之用），由于大电流的通过，便

将短路的微粒燒掉，或燒坏阴極或热絲，此后就恢复了其余管子的正常老練，而这产生短路的廢管子可在以后試驗时剔除。

在所有的老練綫路中加至各电極的电压都通过一負荷灯泡，为簡便起見負荷灯泡一般采用普通的白熾灯，但也有采用特制鎢絲灯泡的。

負荷泡的作用有三：

① 起限流作用：在电極去气时常使气体輝光放电，因此电流增加很大，負荷灯泡有限流的作用，它可防止管子因弧光放电而損坏。

② 維持老練规范：电子管开始电極去气时，由于气体放电，管子的內阻很小，因此电極电路中的电流增加，外加电压在此时主要加在負荷泡上，由于負荷泡的灯絲有溫度越高电阻越大的性質，限制了电路中的电流，随后电子管真空度改善，其內阻将增大，此时大部分电压就加到管子本身。因此有了負荷泡，就能起維持老練规范的作用。

③ 指示情况：有了負荷泡能够指示管内真空度的情况，电極短路或开路的情况。

至于負荷泡的选择（功率及电压）一般用試驗法求得。但如預先作出各种灯泡的伏安曲綫，将可有利于灯泡的选择。

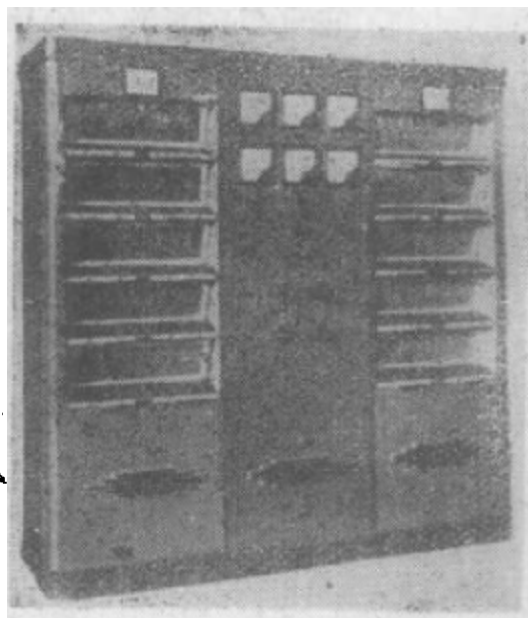


圖20-8 成批式老練台。

§ 20-4 老練时可能發生的現象

在电子管制造过程中，如果稍有操作不小心，或其他外界的原因，就会造成管子的廢品，所有廢品的現象除了一部分性能必須在試驗时才能檢出，但也有一部分可以在老練时就發現，这些現象大致有下列几方面：

1. 灯絲不亮——在老練时当加上灯絲电压后，如果發現灯絲不

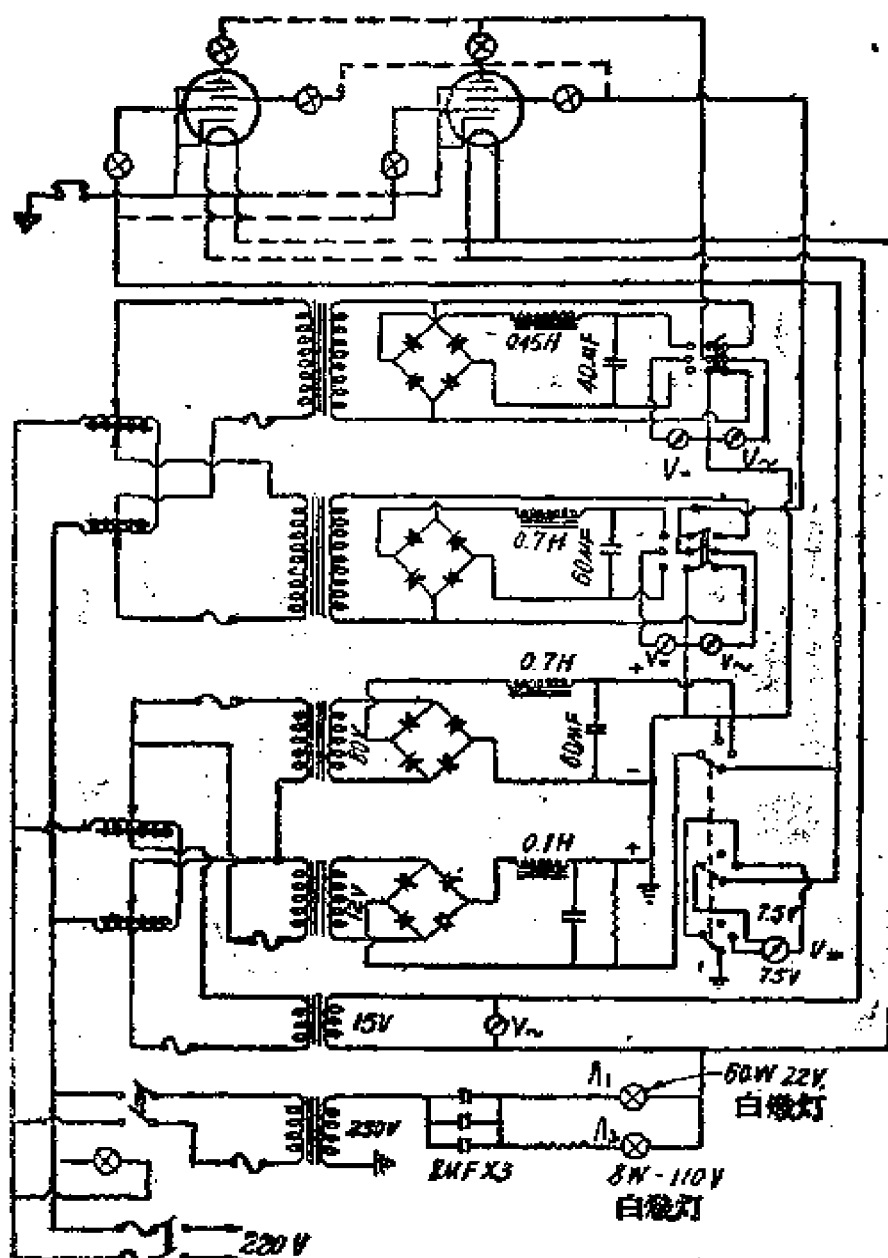


圖 20-9

亮，其原因可能是灯絲未焊妥，或灯絲已燒斷，或管子漏氣。

2. 串联在灯絲与阴極电路的指示灯泡發亮——这是由于阴極和热絲短路。

3. 管内有藍光——这是气体多，当加上阳極和栅極电压后，使气体游离而产生輝光放电。

4. 栅極电路中的負荷泡特別亮——此为栅極和阴極發生短路，这时外加电压等于全部直接加在負荷泡上，故負荷泡特別亮。

5. 負荷泡全不亮——可能是柵極开路，当柵極开路时柵極負荷泡当然不亮，而这时跑到柵極上的电子，由于沒有回路，于是电子就聚积在柵極上，使柵極形成一个負电位，这样跑到其他電極上的电子也就大大减少，往往也不足以使其他電極上的負荷泡發亮，或亮度很暗。

6. 負荷泡的亮度較暗——这是阴極激活不正常，放射小所致。

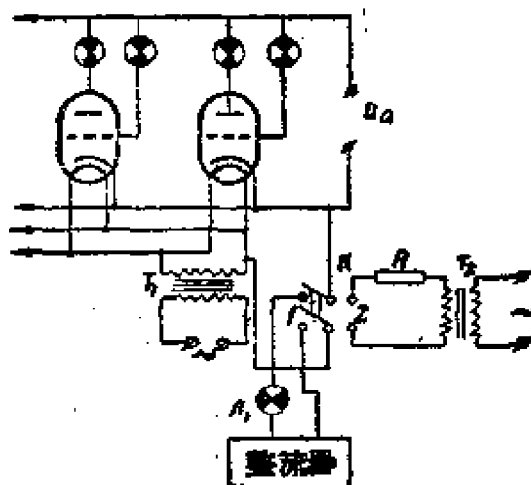


圖 20-10

第二十一章 电子管的测试与检验

§ 21-1 测试与检验的意义和目的

在电子管制造过程中，从原材料加工为零件，再由零件装配成管芯，以至封口、排气、装头、老练，其本身应有的加工过程已完全结束；但在这一系列的制造过程中，可能个别零件或加工过程受到意外的影响，特别是像装架等这些手工操作程序，造成管子的特性偏移的可能性更为较大，以致最后使成品的外形或电气特性发生改变，而不能符合使用者的要求。为此，在电子管生产企业内，特别应该注意如何保证产品的质量問題。

提高和保证产品质量的途径是多方面的，例如像领导的重視，严格的責任制度，发动群众，加强生产技术的組織工作，全面地考虑各項改进的建議等都是不可缺少的，而加强技术监督工作更有着特殊的重要性。在电子管生产中，为了保证合格的质量，除了在电子管生产过程中对原材料、半成品、生产条件、工艺方法以及对生产上所使用的工具实行广泛地檢驗和监督外，在电子管制造完畢后，还必须对成品进行一系列电性參量及外形試驗和檢查，以防止廢品的出厂。

由于近代电子管的种类繁多，而各型电子管又常有其一定的要求，故对于不同类型的电子管，测试和檢驗的范围和方法也是有差别的，一般系依据該管的技术条件进行。技术条件通常分为总技术条件和分技术条件两类。例如，一組性質相类似的电子管所共同要求的技术条件，即称为总技术条件；而除去在总技术条件內的要求外，对于各个管子本身所特有的要求，則称为該管的分技术条件。

在总技术条件內，一般包括下列內容：

- (1) 这类电子管总的要求（包括結構上的要求）。
- (2) 电性試驗及气候試驗的要求。

- (3) 标志和包装的方法。
- (4) 验收規則。
- (5) 試驗的方法及試驗裝置。
- (6) 对分技术条件的要求。

在分技术条件內，則包括下列內容：

- (1) 在总技术条件內未作規定的特殊要求与試驗方法。
- (2) 試驗的条件及参数表。
- (3) 其他等。

在成品檢驗时，較可靠的方法是分两步进行，先在生产車間将制成后的电子管立即进行測試和檢驗，此后将合格的产品送到“中間倉庫”，在那里存放一定時間(对于不同类型的电子管，保存三天到三十天不等視其管子尺寸及其运用要求而定)然后管子重新按交貨參量进行技术檢驗。这是因为剛制成后的管子，可能有細微漏气，存放以后慢性漏气便可檢出。此外，在檢驗数量上为了保証成品的質量，对那些重要的參量必須100%的进行檢驗，但也为了避免人力物力的过度浪費，对于某些參量一般只进行抽驗，所謂抽驗就是在每批管子中抽一定的百分比进行試驗。例如像一些不常变化的參量的測試(極間电容等)、帶有破坏性的試驗(寿命試驗等)和一些不太重要的測試都可以采用例行試驗的形式。但是必須指出所抽驗的电子管，應該是任意的和有代表性的，并且在發現所抽电子管中有不合格产品时，应抽加倍数量的电子管进行試驗，当繼續存在不合格产品时，应全部报廢或采取相应的措施。

由于考虑到电子管的运用条件和場合，除了对它进行各項电性參量測試外，有时还进行一些其他的特殊測試，如气候測試、机械測試、寿命測試等，以便及时了解每批电子管的生产質量。

总之，在电子管生产上，加强測試和檢驗工作具有着很重要的意义，它不仅是能防止廢品出厂，而且往往还能从廢品的种类、数量等方面發現生产上所存在的缺陷和問題。

§ 21-2 电子管电性参数的测试

制成后的电子管，一般均在生产车间的试验台上进行测试。这类电性参数的试验台，一般可在其上测量的项目常有：灯丝电流、阳极电流、栅极电流、跨导等。

对于间接加热式阴极的电子管，在测试特性以前，为了紧缩试验时间，必须进行预热。这是由于间接加热式阴极的热容量较大；当灯丝接上电源，须经一定时间后，阴极表面才能达到正常的工作温度。

最简单的预热方法仅在被试管的灯丝上加正常的工作电压；而其他的电极均为开路。因此这种方法是较简单的；但这种方法亦就只有阴极温度是升高了，而其他电极仍是冷的，或者亦只不过得到一些阴极的辐射热。在某些管中，电子管的运用特性因电极的冷热亦稍有差别，特别是反栅流的大小（气体电流、栅极放射及热漏电流）。因此为了使电子管的测定能接近于电子管的运用情况；所以另一种预热的方法就是除了将灯丝加电压外，在其他电极上，亦施以接近于运用情况下的电压。

下面我们吧电子管的各种电气测试叙述于下：

（一）短路断路试验

这试验是检查电子管各电极是否短路或断路，它是在进行测试特性时最先进行的项目，因为这样可避免由于电极短路或开路所引起的短路电流或因栅极开路而引起阳极电流过大等情况，而毁表或跳过荷保护器的危险。

测量的方法，最常用的是用氖灯电路，如图21-1所示。在正常情况下，外施交流电源，经电子管本身的整流作用；因而电流只能单方向流过，所以氖灯仅一半发光；但如形成短路以后，则电流再不流经电子管，这时流过氖灯的就为交流电流，使氖灯就全部发光。如电极有开路，则因无电流通过氖灯，则氖灯不发光。

在生产性试验台上，为了能同时观察各电极的短路情况，则采用多相电源的方法，常用的六相电源法其线路如图21-2所示。

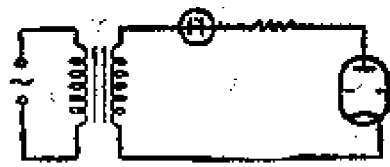


圖21-1 簡單的測試電子管短路的電路。

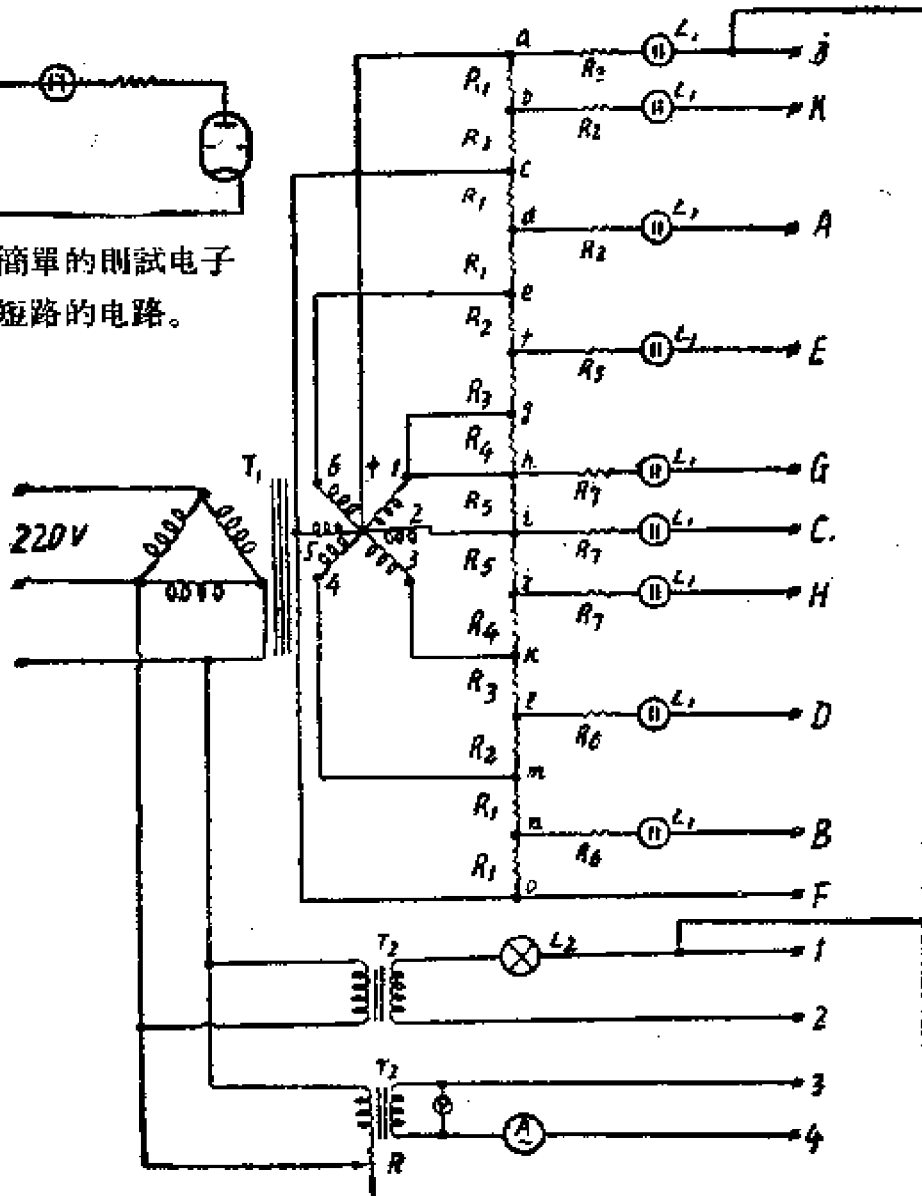


圖21-2 電子管測試短路電路圖。

把被試管的各極相應的接在輸出端，按照各管的要求接入。在圖21-3上所示的為四極管測量短路斷路的綫路圖。當管子在震動時，電極間最可能發生短路或斷路，因此在試驗短路斷路時，需用帶有橡皮的或軟木頭的木槌敲擊管子；在管殼的側部，上部各方向敲擊約10下左右，小槌的運動距離約為10厘米。有時也把進行短路試驗的電子管放在振動台上進行試驗。在金屬接收放大管或金屬化玻璃管殼的電子管中，由於金屬管殼或金屬化的玻璃管與第一只管腳連有引綫；為了檢驗他們的接觸情況，可在管殼和第一個管腳間加一電壓，並串入指

指示灯 A_4 ，如圖 21-3 所示，如接触正常时，則指示灯应發亮。

(二) 灯絲电流的測量

电子管灯絲电流的測量，是当灯絲两端加以額定电压，而其他各电极的电压为零电位，测这时所流过灯絲的电流。

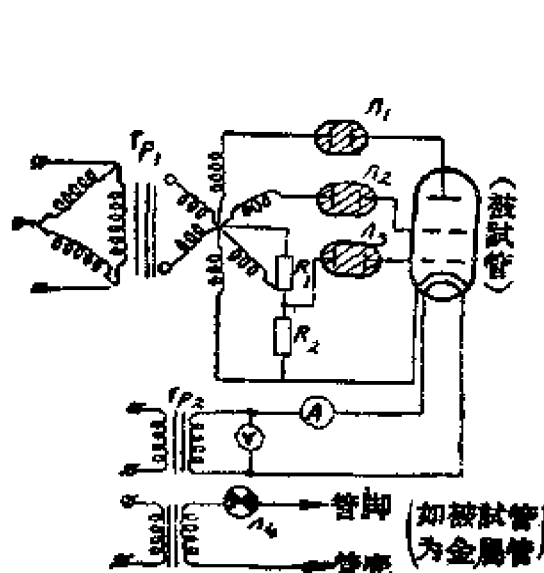


圖21-3 四極管測試短路电路圖。

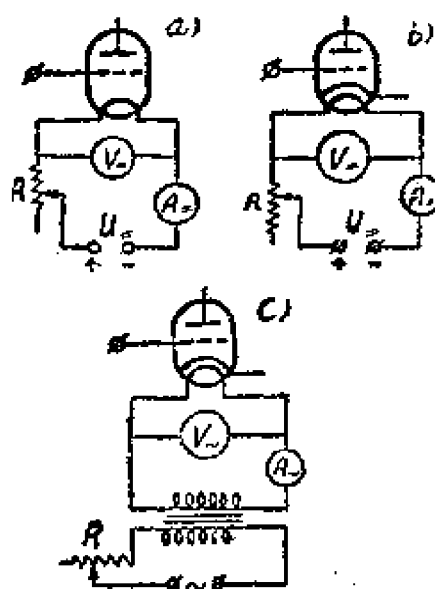


圖21-4 灯絲电流的測量綫路。

其簡單的測量电路如圖21-4所示。在測量直热式阴極的电子管灯絲电流时，灯絲电源应用直流电，如圖21-4, a 所示。在測量間热式阴極的灯絲电流时，灯絲电源可用直流电亦可用交流电，如圖21-4, b, c 所示，而对直热式二極整流管則灯絲电源亦允許可用交流电进行測量。

在上述綫路中，很明显的在电流計中的讀数，实际上是灯絲电流再加上流过伏特計的电流的总和。为此，在測量小数值灯絲电流的电子管时，为了讀得真正的灯絲电流，常在伏特計上装一开关。在讀电流值时，把伏特計关去。而在試驗台上，为方便起見，則常用抵消法将流經伏特計的电流抵消，其綫路如圖21-5所示。

(三) 热絲与阴極間漏电流測量

热絲与阴極間的漏电流过大，会增大在电子管使用时的交流声，因此要求它們之間的漏电流不能超过一定数值。其測量的电路如圖

21-6所示。在灯絲上亦应加以額定灯絲电压。綫路中的电阻 R 系作保护电表之用。測試时在热絲与阴極間加上規定的直流电压, 然后拨动倒相开关, 各讀得阴極接正極和阴極接負極时的一次漏电流讀数。但应注意, 在装置这种綫路时, 应考虑到各接綫柱之間的漏電。

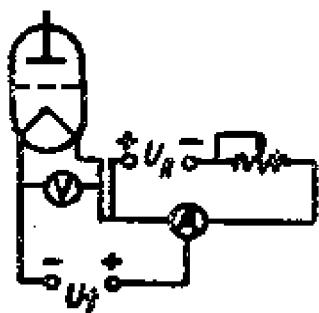


圖21-5 用抵消法測量灯絲电流的綫路。

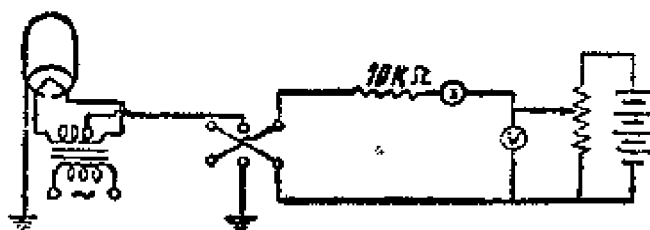


圖21-6 阴極与热絲間漏電的測量。

漏电流过大之原因, 常为氧化鋁处理不严格, 或热絲塗复后焙燒溫度不够。

(四) 阳極电流測量

測量电子管的阳極电流, 一般均是測量其工作点的阳極电流。即所加栅極电压和其他电极的电压, 均为該电子管的正常額定电压, 其綫路如圖21-7所示。

一般在測量时, 栅極上不加交流电压, 但有时亦可在栅極上加交流电压; 如測量变频管的阳極电流时施加交流电压, 这时阳極电流和变频跨导可一并測量。

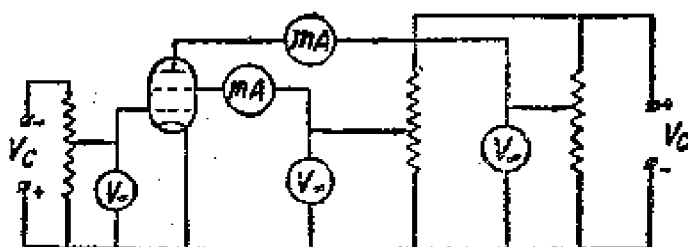


圖21-7 阳極电流的測量。

測量时, 阳極电流的偏大或偏小, 可能是由于栅極的几何尺寸不正确, 或栅極与阴極間的接触电位差發生改变, 或是装架时电极位置变形, 或是排气, 老練工艺不完善等。

(五) 阴極發射电流的測量

純鎢阴極或鈦鎢阴極的电子管, 在試驗阴極發射时, 大都均測量其飽和电流; 而对于氧化物阴極, 則要測量其飽和电流就有困难了,

即使在極短時間（1微秒）下測量也很不易。

因此對於普通接收放大管的發射電流測量，常用如圖21-8所示方法，即將所有柵極（已接地的抑制柵除外）和陽極連在一起，加以約20~50伏的電壓，交直流均可，讀其從陰極支取的總電流，當然這電流不是陰極的飽和電流；但從這測量中，亦可看出陰極的工作狀態及零件的去氣程度，如果零件有髒物或去氣不好，或陰極激活不佳，則發射電流較低，有時尚會產生發射下降的情況。後一情況是由于陰極中毒所致。這是由于電子轟擊電極，使電極上的髒物（氧化物及氯化物）分解，放出氧和氯毒化了陰極。為此，發射電流試驗普通進行不超過一秒鐘的時間。

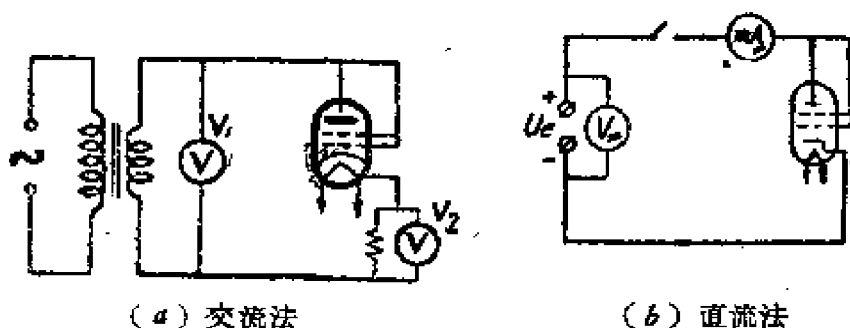


圖21-8 發射電流的測量。

用脈沖法測量陰極發射電流的方法其線路如圖21-9所示，即在陰極和其他電極間加一脈沖電壓，然後從電阻 R 上量得脈沖峰值電壓再轉求其脈沖電流值。

在測量時，脈沖電壓的峰值、脈沖寬度以及重複頻率等均須考慮或按照規定數值。

(六) 跨導的測量

電子管的跨導為陽極電流的增量和控制柵極電壓的增量之比，即：

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \quad (U_a \text{ 為常數})。$$

下面所述各種測量跨導的線路原理，均從此定義而出，今把各測量的方法及線路敘述于下：

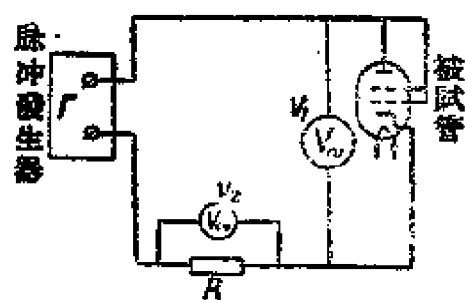


圖21-9 脈沖法測量發射電流。

1. 两点法: 这种方法的测量线路如图21-10所示, 测量时必须管子处于相应于特性曲线工作点的状态, 然后在栅极上变动一电压 ΔU_g , 即把开关 K 向 1 和 2 各扳一次, 读两次的阳极电流 I_a'' 和 I_a' , 这时其跨导值就为

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{I_a'' - I_a'}{\Delta U_g}。$$

ΔU_g 一般为 1 伏或 0.5 伏。

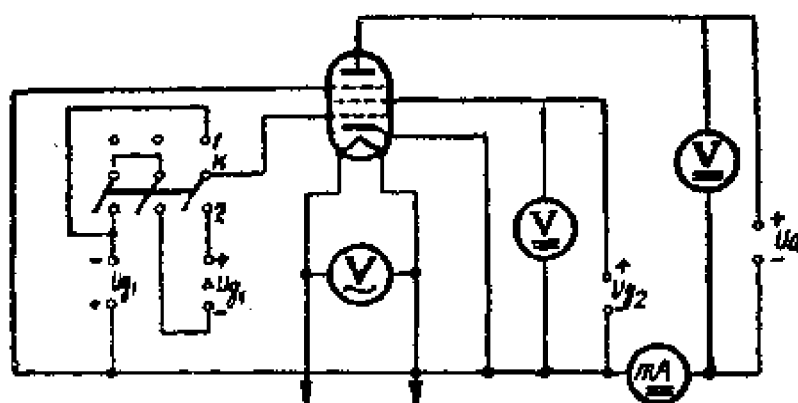


图21-10 两点法测量跨导的线路。

2. 电桥法 用电桥法测量的最简单的电路如图21-11所示。

由图可知通过耳机的电流有二部分, 一部分是栅极回路中的电流, 另一部分是经放大后在阳极电路中的电流, 这二部分电流是反向的, 因此当平衡时恰为抵消, 这时耳机中没有声音。

故有

$$\frac{e_s}{R} = \frac{\mu e_f}{r_p} \quad \text{即} \quad S = \frac{1}{R}。$$

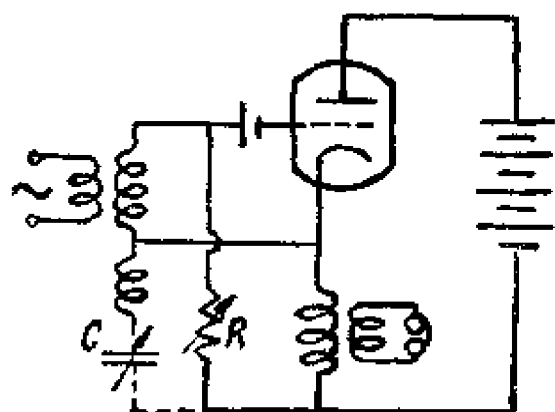


图21-11 电桥法测量跨导。

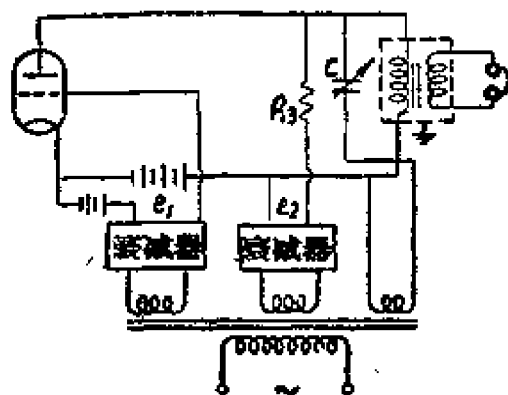


图21-12 三电压法测量跨导。

3. 三电压法 此法的綫路圖如21-12所示, 这种方法的測量較准确, 但在綫路中需衰减器, 且輸出变压器的屏蔽亦要好。測量时它是利用电压 e_2 在 R_3 上所得的电流 i_3 和阳極电流 i_p 抵消 (而电容器 C 用来弥补由于电子管極間电容所引起的阳極电流的相角差), 这时在耳机中就无音可聞。因此当平衡时即可由下式将跨导求出

$$S = \frac{i_p}{e_1} = \frac{i_3}{e_1} = \frac{e_2}{R_3} \cdot \frac{1}{e_1} = \frac{1}{R_3} \cdot \frac{e_2}{e_1}。$$

4. 电表法 用这种方法的电路如圖21-13所示, 栅極輸入是交流电压, 其值一般为 1 伏 (有效值), 所引起阳極电流成分用整流式交流毫安表讀出。

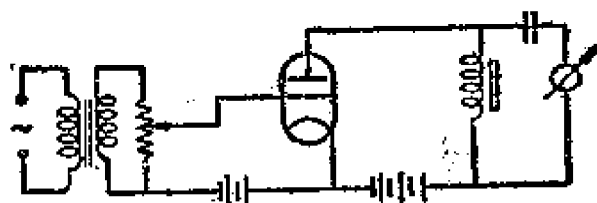


圖21-13 电表法測量跨导。

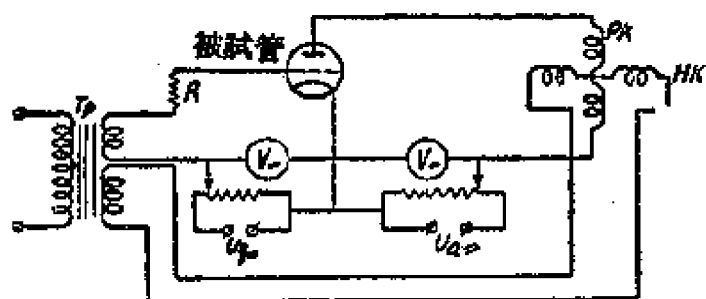


圖21-14 跨导表法測量跨导。

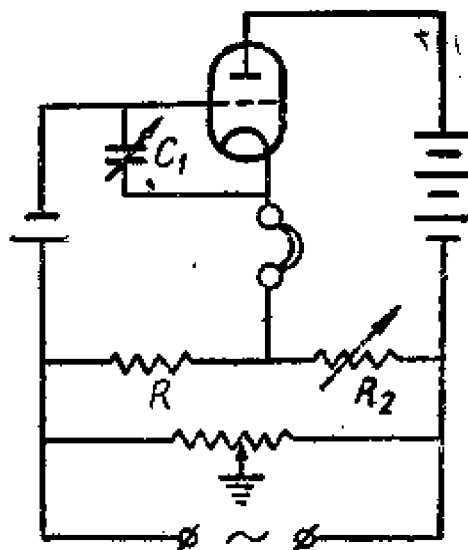


圖21-15 放大系数測量。

因 $S = \frac{\Delta I_p}{\Delta U_g}$, 今因栅極交流电流为 1 伏, 即毫安表上所讀的数值就为毫安/伏, 因此可把毫安表的刻度画为毫安/伏, 如流经电表为 2 毫安, 即跨导为 2 毫安/伏。

5. 跨导表法 它是利用專用的动圈式电表, 这电表由可动綫圈 PK 和不动綫圈 NK 所組成, 綫路如圖21-14所示。

电表指針与可动綫圈相連, 工作时由于流经两綫圈的电流所产生的交变磁場相互作用的結果, 使可动綫圈产生偏轉, 这样亦就直接讀出了跨导值。

(七) 放大系数的测量

电子管的放大系数为阳极电压的增量和栅极电压的增量之比，即：

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \quad (I_a \text{ 为常数})。$$

因此所有测量放大系数的线路，也就均从此定义出发，其测量的方法常用的有下列几种：

1. 电桥法 这种方法最简单的线路如图21-15所示，在栅极和阳极上加上工作时的直流电压，然后调整电阻器 R_1 和 R_2 ，亦即改变栅极和阳极上的交流电压（电源频率最好为 400 赫）。当在耳机上无声时，则这时栅极电路中的交流成分刚和阳极电路中的交流成分相互抵消，即电路达到平衡

$$e_a = \mu e_g$$

$$\therefore \mu = \frac{e_a}{e_g} = \frac{iR_2}{iR_1} = \frac{R_2}{R_1}。$$

2. 三电压法 此法如测量跨导时所用三电压法一样，亦需衰减器，其线路如21-16所示，其中 e_1 , e_2 , e_3 必须同相，它系由同一变压器供给。使在阳极电路中放大 μ 倍后的 e_1 和外加的 e_2 相抵消，亦即 $\mu e_1 = e_2$ ，故得

$$\mu = \frac{e_2}{e_1}，$$

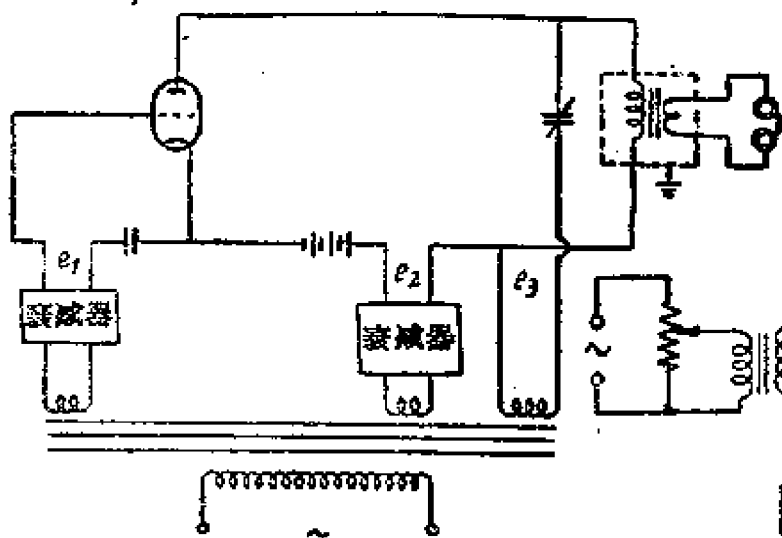


图21-16 用三电压法测量放大系数。

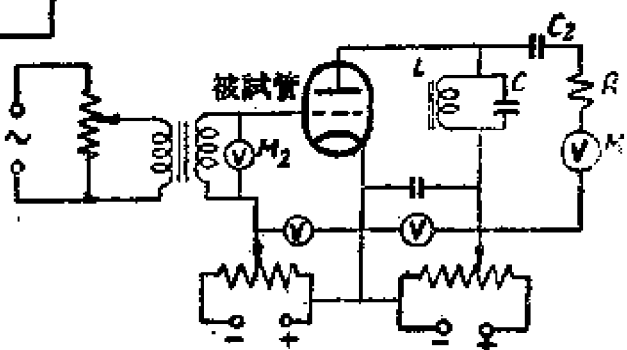


图21-17 阳极负载法测量放大系数。

而綫路中的 c_3 和 C_1 同样是为弥补由于电子管本身極間电容所引起的相位差。

3. 阳極負載法 这种方法的測量綫路如圖21-17所示，在电子管栅極和阳極上加以正常的直流电压。在測量时，調节回路中的 L 、 C ，使其調諧到栅極电路上所加的交流电頻率，于是产生諧振。这时阳極阻抗为无限大，根据放大倍数 $K = \frac{\mu}{1 + \frac{R_f}{R_L}}$ ，当 $R_L \gg R_f$ 时，則 $\mu \approx K$ 。

所以讀出在阳極电路阻抗两端的交流电压与栅極上交流电压的比值，即为所求之放大系数

$$\mu = \frac{e_1}{e_2} = \frac{M_1}{M_2}。$$

为此，这种方法一般只用于放大系数小于 400 的电子管。

(八) 反栅極电流的測量

反栅極电流一般可能由离子电流、栅極热电子电流及極間漏电流所組成。因此造成反栅流过大的原因：也就可能是真空度差、栅極温度过高，栅極上有激活物質、以及心柱导絲間或管基極間的漏电流。但在極大多数情况下，造成反栅流大的原因是真空度差所引起的离子电流，因此有时亦往往以这种測量反栅流的大小来判定管子真空度的高低。

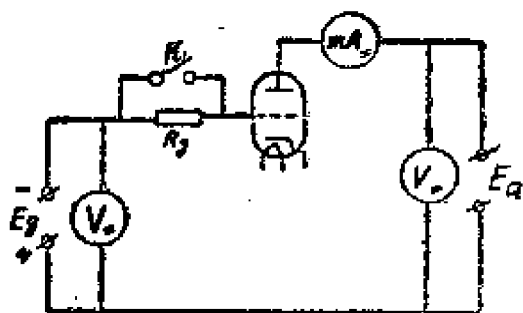


圖21-18 反栅流測量。

測量反栅流的方法，根据不同的要求可有：

(1) 降壓法 其測量的綫路如圖 21-18 所示，在栅極上加一負电压 U_g ，測量时先閉合 K_1 ，讀得阳極电流为 I_a ，然后打开 K_1 ，这时由于栅極电流在 R_g 上产生降壓，因此需仍保持阳極电流就必须調节栅極电压，如电压增加到为 U_g' ，这样栅極电流即从下式可求：

$$I_{g1} = \frac{U_g' - U_g}{R_g}。$$

这种方法适宜于无微安計而只有毫安計用，但測量手續較煩。

(2) 栅極电流表法 这种方法測量的綫路如圖 21-19 所示。它

可从栅极电路中的电表内直接读出栅流数值，图中 R 为限流电阻，以防止管子在真空度差时产生反栅流过大以致烧毁微安表。并且为了保护栅极电表，栅极电表的短路开关仅在测量栅流时打开，而平时或在测量其他参数时就将开关闭合使栅流不流经电表。

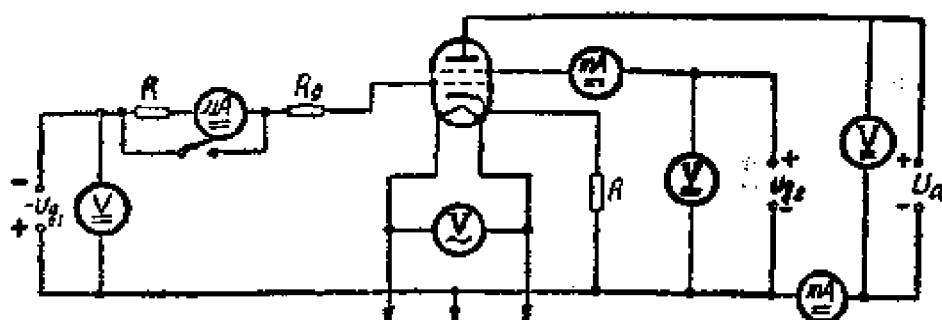


圖21-19 反栅流的測量。

用以上两种方法所测量的反栅流包括总的反栅流，但在生产上有时要分析反栅流过大的原因时，为了能确实且迅速的解决这一问题，就有必要分解在反栅流中所包括的各电流成分，其分解的方法是：先在第一栅极上加一较大的负栅压，使管子闭塞，这时无电子电流达到各极，当然亦无离子电流而只有栅极热电流及漏电流。以后不加灯丝电压，而仅在栅极上加额定电压，因此这时就只为漏电流了。

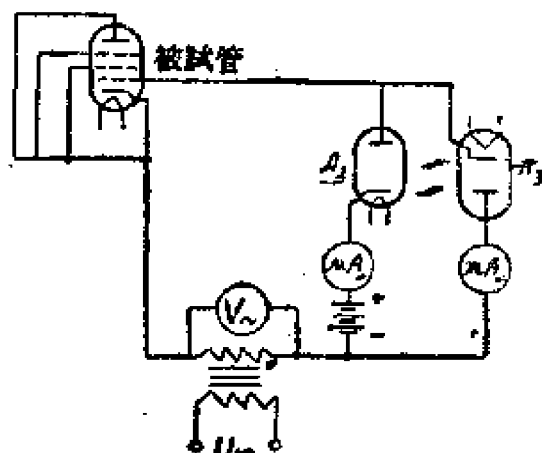


圖21-20 栅极热电流測量。

在有时栅极工作于正电压的电子管，则直接测量其栅极热电流可用如图21-20所示的线路，它是用二只两极管的线路来进行测量的，当栅极在正半周时，阴极电流则由 I_k 通过。而当栅极在负半周时，则这时栅极热电流由 I_g 通过从微安表读出。

(3) 用脉冲法测量工作于正栅压的栅极热电流 其测量线路如图21-21所示， V_g 为管子正常工作时的正栅压，这时所产生栅极电流经过整流管，因为整流管内阻小，故在示波器上无读数。当栅极

受热后，在栅路上加以大的负脉冲，使管子闭塞，这时被试管中只有栅极的热电子流，而这反向电流流过栅极电阻 R_g ，在其上产生电压降，由于极性相反，这时整流管也就不再通导，故压降可由示波器读出。

(九) 变频跨导的测量

变频跨导是变频管阳极电路中的中频电流增量与射频信号电压增量的比

$$S_{np} = \frac{\Delta i_1(\text{中频})}{\Delta e_g(\text{射频})}。$$

在电子管生产上，测量变频跨导常用零频法测量，其电路如图 21-22 所示。在第一栅和第三栅上加以相同频率的信号（为方便起见常用 50 周市电）。测试时，利用开关 K ，使第三栅的信号电压和第一栅的电压有同相和反相 180° 的可能，测得两次不同的阳极电流，于是变频跨导就可根据下式求出：

$$S_{np} = \frac{I_p' - I_p''}{2\sqrt{2}E_g} = K(I_p' - I_p''),$$

式中 $K = \frac{1}{2\sqrt{2}E_g}$ 为一常数。

因 E_g 为固定不变，故所读阳极电流的差，就相当于一定的变频跨导。

很显然，象以上这样的电路在操作时很不方便，试验者一方面要

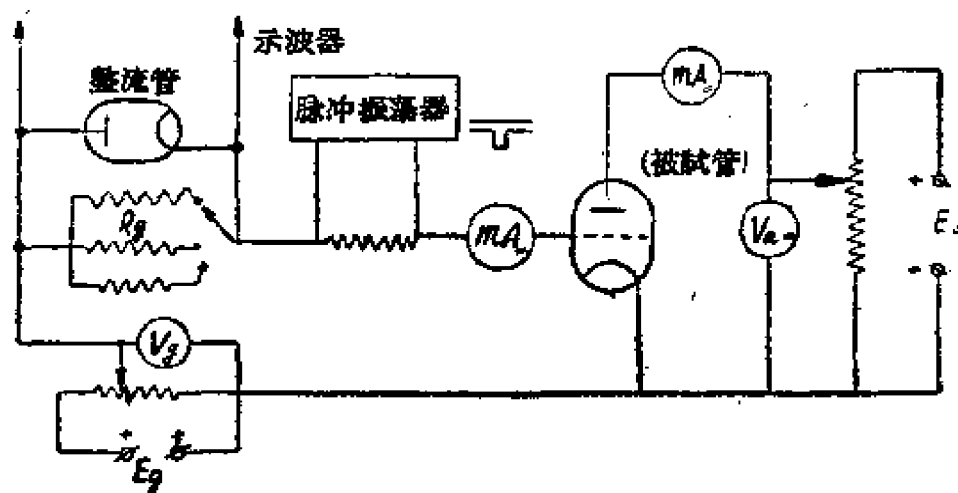


图21-21 工作于正栅压的反栅流测量。

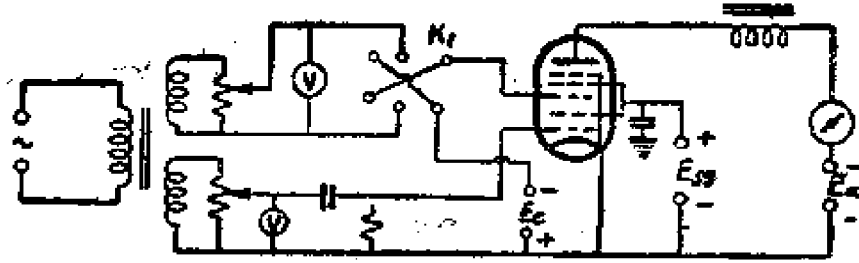


圖21-22. 零頻法測量變頻跨導的綫路。

扳動開關 K_1 ，另外又要讀二次電流之差。為此就設計了自動控制調換相位的方法，這樣，一次就能直接讀出變頻跨導的大小。

圖 21-23 示出了一種利用繼電器來控制調換相位的方法。

它主要由 P_1 和 P_2 兩個交流極化繼電器來完成調相位的工作。由於採用 50 周市電供給繼電器，故繼電器每秒鐘動作 100 次，為此柵極訊號電源需用 100 周/秒（這可把 50 周市電倍頻得到），這樣陽極電流的变化每秒鐘為

100 次，由於變動得很快，而電表的慣性甚大，因此在表中就指出了兩者之差，亦即直接指出了變頻跨導的大小。

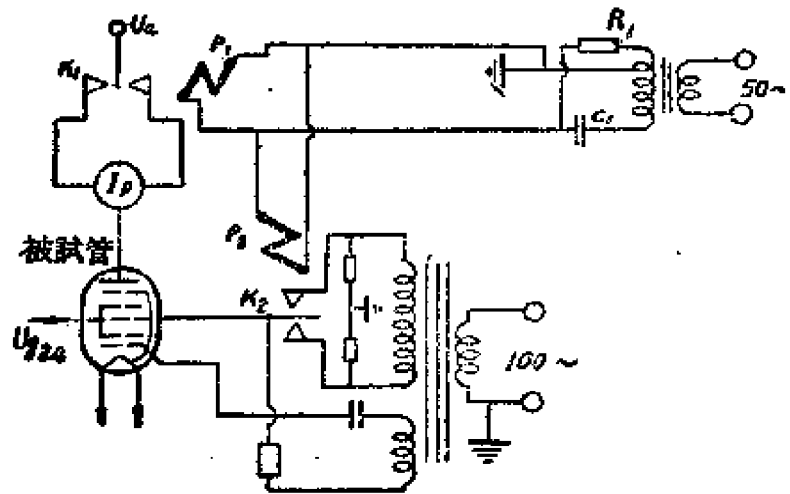


圖21-23 用繼電器調相的測量變頻跨導的電路。

電路中 R_1 和 C_1 是用來使供給繼電器的 50 周電源和供給

第一、三柵的 100 周電源差相位移 45° ，以使和陽極電流的变化同步。

另一種自動控制調換相位來測量變頻跨導的方法，其調換相位亦由繼電器來完成，使電表能自動讀出兩者電流之差，則是採用了電容器充電抵消的方法，因此法較為簡單，不再作詳細敘述。

（十）輸出功率的測量

1 運用在甲類情況下低頻輸出功率的測量 1) 陽極電阻法 測量的綫路如圖 21-24 所示。虛綫內的部分是電子管穩壓器，以保證電子

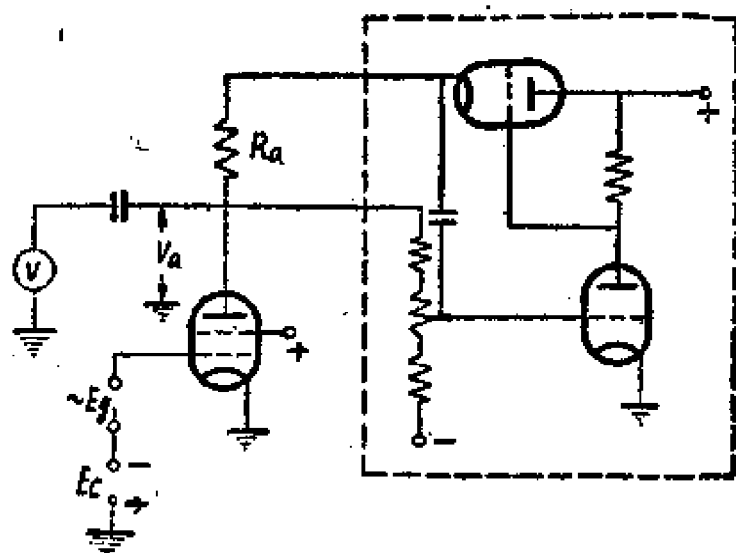


圖21-24 輸出功率測量。

管陽極給于穩定的直流電壓。這時在陽極負載上的輸出功率為：

$$P = \frac{V_a^2}{R_a}。$$

此處 V_a 為伏特計 V_2 上所讀的電壓，要求此伏特計的內阻不小於 100 R_a 。

2) 調諧陽極電路法

其線路如圖21-25所示。柵極以50周交流電壓供給。 L 的自感量約100亨的抗流圈， C_1 的電容量約0.1微法的電容器，在工作時需調諧 L 到50周的頻率。

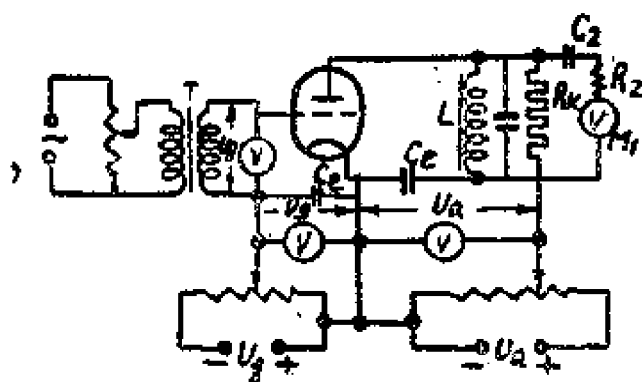


圖21-25 輸出功率測量。

其輸出功率
$$P = \frac{V_a^2}{R_a} = \frac{I^2(R_k + R_a)^2}{R_a}，$$

式中 R_a ——電子管負荷的全部交流電阻；

R_k ——諧振回路的諧振電阻，其值為 100000 歐；

R_a ——電表 M_1 的直流電阻；

$$R_2 = \frac{R_a \cdot R_k}{R_k - R_a} - R_{a0}$$

2 運用在乙類情況下的低頻輸出功率測量 1) 陽極電路直流成

分法 这种方法的测量线路如图 21-26 所示，在栅极上施以规定的交流电压，读出阳极电路中的直流电流 I_0 ，然后再把栅极电路中的交流电压去掉，再读出阳极电路中的直流电流 I_0 ，则输出功率为：

$$P \approx \frac{\pi^2}{4} (I_0 - 0.25I_0)^2 R_{a0}$$

2) 阳极抗流圈

法 这种方法其测量线路如图 21-27 所示，输出功率是测量在电阻 R 上的电压求得，其值由下式算得：

$$P = \frac{U_a^2}{R}$$

由上式可知，如需由电压表上读作功率数值，作为功率表时则其刻度应为平方值。

3 振荡管的输出功率测量

小功率振荡管一般在自激振荡状况下试验，而大型

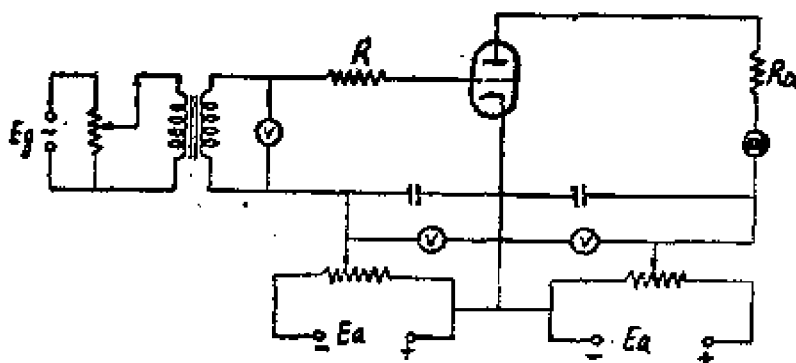


图21-26 输出功率测量。

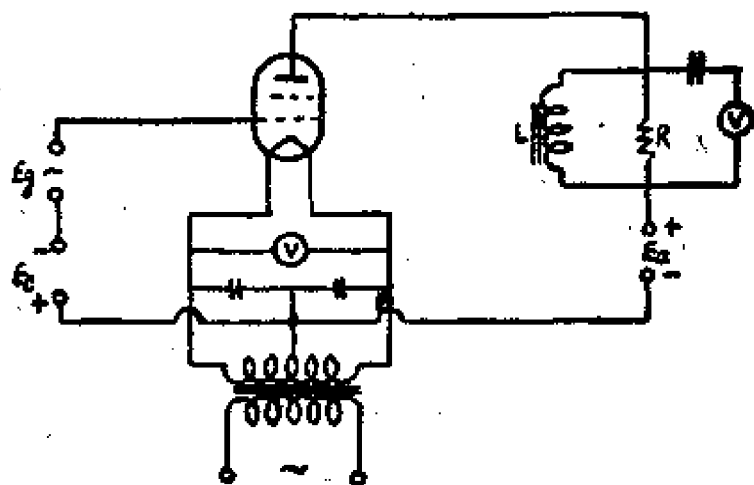


图21-27 输出功率测量。

振荡管则在他激振荡的情况下试验，在后一情况中，必须防止管子产生自激振荡，因这时振荡频率将不再等于激励频率。在进行这类电子管试验时，亦要采取预防电路产生寄生振荡。

由于电子管的输出功率与频率有关，故在管子进行动态试验时，应在一定的给与频率下试验。

测量的方法，根据管子结构和功率的大小可以有下列几种方法：

1) 负荷灯泡光度比较法 其线路原理图如 21-28 所示。试验时先把阳极回路中 LC 调谐到所需频率，再在输出回路中并接一负载灯，

利用电感耦合，把功率加于负载灯上，于是负载灯发亮。为了能求出消耗在负载灯上的功率，另外再用一比较灯，比较灯由已知直流电源供给。借光电池（或光电管）来判定负载灯和比较灯的亮度一致时，即负载灯所消耗功率即为比较灯所消耗的功率，亦即比较灯所消耗功率，就是所要测量的功率。而比较灯所加功率则可由电表读出。

利用这种光度比较法的优点是测量的结果与光电池的衰老无关。

但图 21-28 所示测量输出功率线路，并非实际管子的输出功率，其中还差一中间回路的效率。

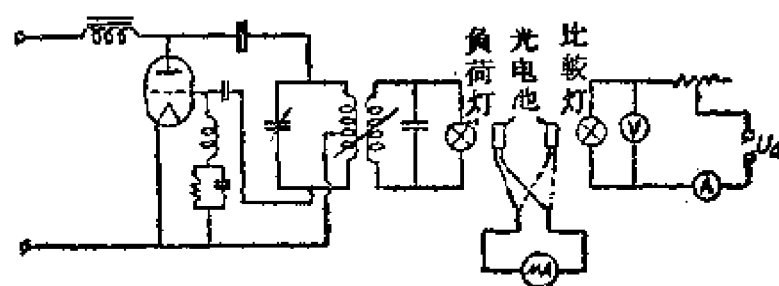


图 21-28 光度比较法测输出功率。

此法适用于中小型振荡管的输出功率测定。

2) 阳极损耗法 电子管的输出功率和阳极损耗有以下关系：

$$p = p_0 - p_a$$

式中 p ——有效振荡功率；

p_0 ——阳极直流输入功率；

p_a ——阳极损耗功率。

p_0 的数值直接可由直流电表读出，即 $p_0 = I_0 V_0$ ，而 p_a 的求得，对于水冷管和自然冷却管的求法各分别叙述于下：

1) 水冷管 是用测量冷却阳极的进出水温度的方法，即是求出消耗在水中的功率，然后减去灯丝功率，栅极消耗功率，即为真正阳极上的损耗功率。其公式如下：

$$p_a = 69.5(t_2 - t_1)Q - p_f - p_{g1} - p_{g2} - \dots$$

式中 t_2 ——冷却水出水温度 (°C)；

t_1 ——冷却水进水温度 (°C)；

Q ——每分钟流量 (公斤)；

p_f ——灯絲消耗功率；

p_{g1} ——第一柵損耗功率；

p_{a2} ——第二柵損耗功率。

2) 自然冷却式 对于自然冷却电子管，阳极耗散功率的測量可在管壳附近正对阳极散热最大的部分紧縛一灵敏的溫度計（如热电偶或热电堆）。先把电子管調整到固定的振蕩情况，并使它保持这种振蕩，直到溫度計的讀数稳定为止。然后把电子管轉換到静态工作情况，再調整柵極电压，使阳极电流恢复到溫度計的讀数与振蕩情况下相同时为止，即阳极溫度与前相同。于是这时在电表上讀得的直流阳极电压和阳极电流的乘积，即为动态时的阳极損耗功率。

(十一) 極間电容的測量

电子管任何两个电极或两个以上电极間的極間电容，总是包括这些电极和与其連接在一起的零件，如散热片、引出綫、管針以及管帽等之間的总电容值。

極間电容的存在对于管子的运用有很大的影响，它影响管子能量的回饋，輸入阻抗和輸出阻抗等，在那些高頻率放大管中更应注意。

測量極間电容的方法甚多，較方便且亦較准确的方法有如圖 21-29 所示綫路，这样裝置的極間电容測量器，可測 0.0006~30 微微法的电容，而其誤差小于 10%。

圖中虛綫框內，即为被测电子管的各極間电容及漏电阻。

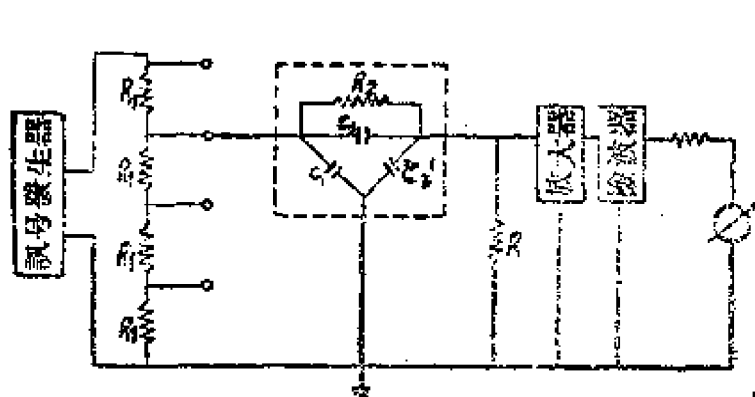


圖21-29 極間电容測量原理圖。

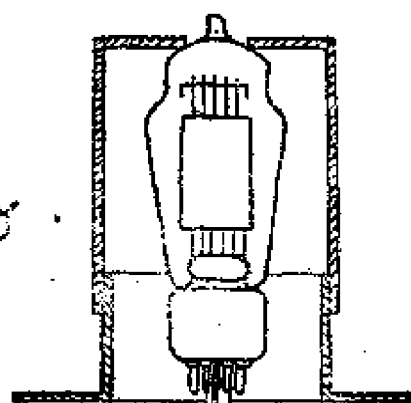


圖21-30 測量極間电容时电子管所用的屏蔽罩。

由訊号發生器所产生的交流电流，經極間电容 C_2 ，并在电阻 R 降生一交流电压降，不同的 C_2 （管子的極間电容），在 R 上所得的电压降就不同，經放大檢波后，就可很灵敏的由电表讀出極間电容大小的数值。

由此綫路可以看出，当測量極間电容 C_2 时，另一極間电容 C_1 因和訊号电源相并联，故 C_1 可以忽略；而極間电容 C_3 因和 R 相并联，而这时 R 的阻抗相对地比 C_3 的阻抗为小，故 C_3 的影响亦就为極微，因此这种方法測量时，其誤差較小。

在測量电子管某兩極間的極間电容，需把电子管其余各电极接地。除此以外，如被测电子管的管壳为玻璃时，則应把被测电子管放在金屬的屏蔽罩內进行測量，并把电子管連管座一起封閉在內，如圖21-30所示。

由于一般总是測量靜态的極間电容（即是无空間电荷情况下），因此在測量时阴極不需加热。

（十二）微音效应的測量

当电子管受机械振动时，电子管零件亦受到振动。在零件受振动时，有时会产生各种頻率的振蕩，一般这些振蕩在电子管停止振动时它就很快地衰减；但有时也会在电子管振动停止后，尙会發生衰减的剩余振蕩。在零件發生振动时由于电极相互間的位置發生变动（特别是栅極与阴極間距离）。于是在阳極电路中也产生了交流成分，这样在阳極电路的揚声器中就可听到逐漸衰减的声音，这种現象就是所謂微音效应。由此可知，产生微应效应的原因，主要和电极的結構，所用材料，直热式阴極的彈簧拉力等有关。

測量微音效应的綫路如圖21-31所示。在栅極和阴極上仍加一定的直流电压。試驗时，用电磁鉄以一定的重力加速度来撞击电子管。一般規定为0.5克，方向是垂直于电子管的軸綫，并由下往上。如电极發生振蕩則就产生微音作用，所产生的衰减交流成分就在 R_1 上产生电压降，这电压經放大檢波后，就可用电压表測其最大幅值。

測量其最大幅值的方法是調节 R_3 ，使由二極管檢波后的电压和外

自动记录测量阴极加热时间的电路如图 21-34 所示。

当开关 K_1 和 K_2 开启时，这时在闸流管栅极加有负电压，闸流管不发光。测量时把开关 K_1 和 K_2 闭合后，这时阴极就加上灯丝电压，同时由于 R_2 上的正电压加于闸流管栅极，于是使它发光，计时器就开始动作（在图中未画出）此后阴极电流逐渐上升，亦即在电阻 R_1 上的电压逐渐增大，由图可知 R_1 上的电压相反于加在闸流管的栅极上的正电压，因此当阴极电流增大到规定值的80%时，这时就刚使闸流管的栅极电压熄火，这可调节 R_3 和 R_4 的电压来调节而达到。当闸流管熄火后，在闸流管电路中的继电器就动作，把计时器的线路切断，于是计时器就指出了阴极加热的时间。

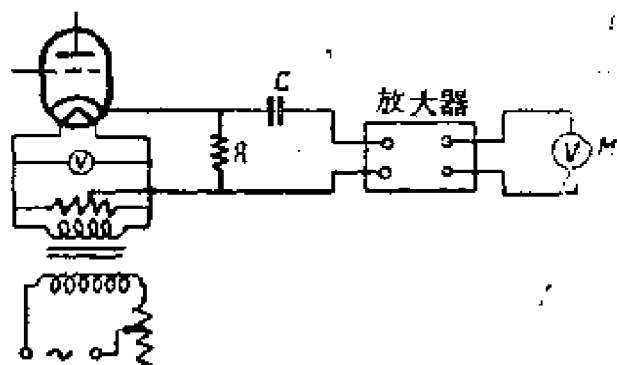


图21-35 交流声测量。

(十五) 交流声的测量

间接式阴极的电子管，由于热丝用交流电供给，如果热丝的漏电电流较大，于是在阳极电路中会产生交流成分的电流，严重时可在扬声器中听到嗡嗡的交流声。

测量交流声大小的电路如图 21-35 所示，即由电压表读出交流声电压的数值。

§21-3 电气测试的设备

为了进行上述各种电性参数及特性的测量，在电子管生产中，采用了各种不同的试验装置，但一般可分下列几种类型：

一、多特性参数专用试验台

这种试验台的形式有如图 21-36 所示，在这试验台上可测量某一管子的若干基本电性参数，如灯丝电流，阳极电流，特性跨导，放射电流，反栅流，输出功率等。试验台包括电源部分和各种特性参数测定的电路。在测量时，只要按下各继电器电键，于是各组继电器接点

便自动接成相应的欲試特性的电路，这时就可由仪表上讀出参量数值。电源供給常用电子稳压器，它保証当外界交流电压在 $\pm 15\%$ 的范围内变动时，电压稳定度不超出 0.1% ，并且使用稳压装置，可以不用大量的伏特表，簡化台面的复杂性。使操作者容易观察所讀的仪表。

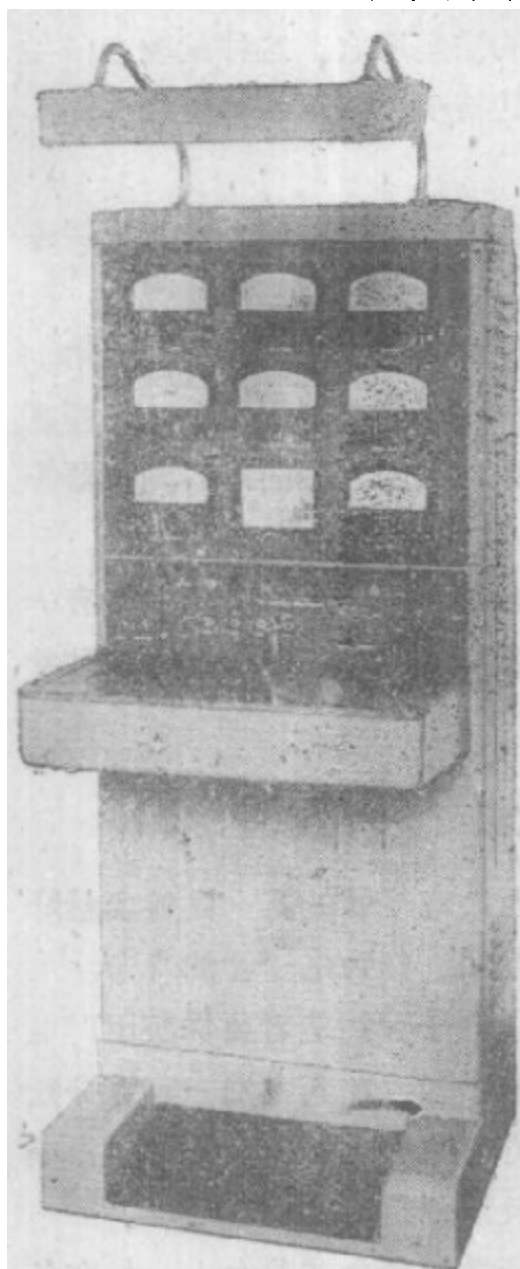


圖21-36 收訊管專用試驗台。

这种試驗台的生产率高，适宜于大量生产上用，小型接收放大管的試驗台，大多采用这种形式。

这类試驗台的另一种形式，如圖21-37所示，它亦能进行数种的电性参数测量，但电路的轉換不是依靠繼电器来完成，而直接采用多位多刀开

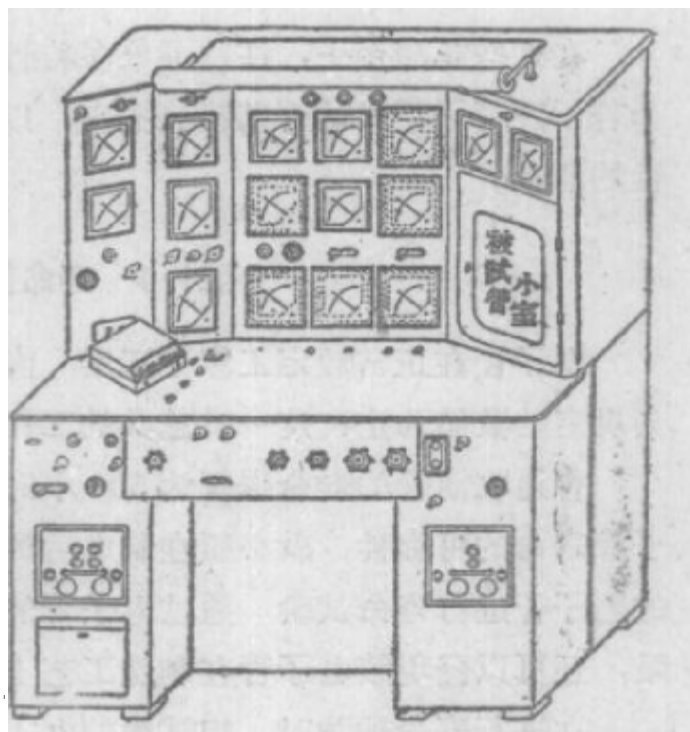


圖21-37 中型發訊管專用試驗台。

关。这是由于这种試驗台被試电子管所加的电压較高，电流較大之故。因此这类試驗台大多进行中小型振蕩管的測量。

二、多特性参数万用試驗台

这种試驗台的形式和圖 21-36 相仿，它与上面多特性参数專用試驗台的不同之处是它能在這試驗台上进行好几种不同型号电子管的測試，这是由于在这种試驗台上，装有很多种电子管管基的插座，以适应若干种电子管的測試，或是备有一套若干种管子型式的管座接綫插座。測試时，选择适应于該管管脚接綫的插座用之。这种試驗台，主要适用于生产量并不很大，而品种較多的情况下采用。

三、專用試驗台

某些电性参量如各并装在一个試驗台上，則可能由于接綫太复杂而容易引起相互間的影响，或是进行抽驗的特性。在这种情况下，往往把測量这特性的电路，单独装成一个試驗台，專測这一特性而用。

如微音效应測量台，高周杂音測量台，低周杂音測量台，阴極加热時間測量台，交流声測量台，極間絕緣試驗台，極間电容測量器等均为这一类型的試驗台。

在这些試驗台上，往往亦象多特性参数万用試驗台一样，备有一套若干种管子型式的管基接綫插座，以便能进行不同管型而同一种特性的測量。

§21-4 寿命試驗

电子管在正常額定工作下运用，直至該电子管的某一电性参量降到規定的数值为止，这一段总共的工作期間，称为电子管的寿命。

普通收訊管的寿命保証为 500 小时。电子管制造者要保証出厂电子管寿命的可靠性，就必须要在制成后的电子管，在其中抽一定百分数的电子管进行寿命試驗。通过电子管的寿命試驗，不但驗證了工作期限，还可以發現該电子管在制造工艺上及所用材料上的合适性。

在进行寿命試驗时，把試驗的电子管插到寿命試驗台上，并在各电極上加一定的电压（一般与正常工作情况相同），以后每隔一定時間，电子管由寿命台上取下，按技术标准进行各种电性参数試驗与特殊試驗。

由于电子管在最初工作期間，管子的参量最不稳定，因此在管子

工作的最初 100 小时內，每經 25 或 50 小时測量一次參量，100 小时以后，可每經 100 小时試驗一次。对于接收放大管通常規定寿命試驗期間的測試時間为隔 10, 25, 50, 125, 350, 500 小时后进行各項參量試驗一次。

普通接收放大管的寿命保證为 500 小时，因此一般寿命試驗到 500 小时后就停止再进行試驗。但如在新管子試制或工艺

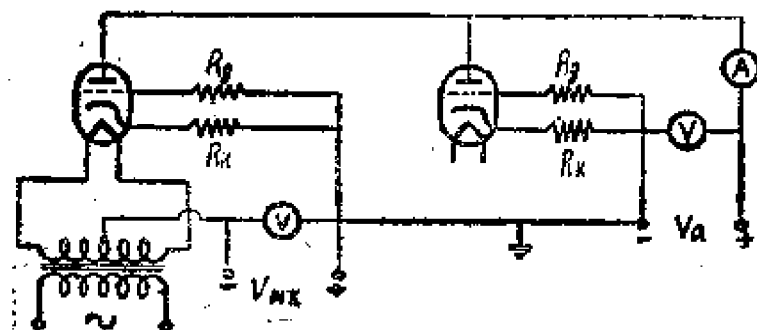


圖21-38 間熱式三極管寿命試驗台的电路原理圖。

改变，或材料改变时，則这时寿命試驗往往就需一直进行到寿命終了为止。因为这样可以驗證制造工艺或材料选择的合适性。

为了分析參量的穩定度，可作參量改变的平均值与寿命試驗時間的关系曲綫圖。

圖 21-38 为間熱式三極管寿命試驗台电路原理圖。在寿命試驗台上，往往就有若干只电子管并联在一起，由公共电源供給。

在寿命試驗过程中，为了观察所加电压及电流，因此在試驗台上装有电压表和电流表，一般寿命試驗台的形式与老練台相似。

由于各个电子管采用共用公共电源，所以电子管很可能产生寄生振蕩。为此往往試驗台的每个底板上試驗的电子管不是很多的，有时常在每个电子管的阳極电路中串接約 50~100 欧姆的电阻来防止寄生振蕩的产生。

在电子管的各电極（阳極、栅極）电路中串接有白熾灯，以防止电極的短路。并亦作短路时的指示。

在用靜态寿命試驗不能表征管子实际工作状态时，例如在振蕩状态时，管中所發生的过程往往和在电極上加直流电压时就不相同，因而为了得到关于电子管質量的正确概念，有时就需在动态情况下进行寿命試驗。

大型振蕩管，一般制造工厂不作寿命試驗，这是由于大型电子管

的寿命較長，生产量不大，价值又高。消耗功率亦大。因此往往由使用者使用后代作运用情况的报告。

§21-5 特殊試驗

由于現代电子管的应用極其广泛。諸如在飞机，坦克，汽車，及船舶上的无綫电設備中，以及探險用，气象用，導彈上用和人造衛星上用的无綫电以及其他电子仪器中所用的电子管，它們往往可能在極恶劣的环境下工作。为了保証每一个出厂的电子管都能可靠地工作，于是在設計和制造电子管时，就必須多方面考虑一切可能在运用中，在運輸中和保存在倉庫中时所發生的一切情况。

在完全模仿运用状况，運輸状况和在倉庫中保存情况相似的人造环境中做綜合性的試驗，是鑒定电子管的結構和制造工艺的有效方法。在这些試驗中，有着多种情况的气候和机械效应作用在电子管上：例如試驗溫度，湿度，空气压力，机械性的撞击，顛震等情况对电子管的反应。

一、气候試驗

气候試驗一般包括高溫試驗，低溫試驗，湿度試驗，低气压試驗等。

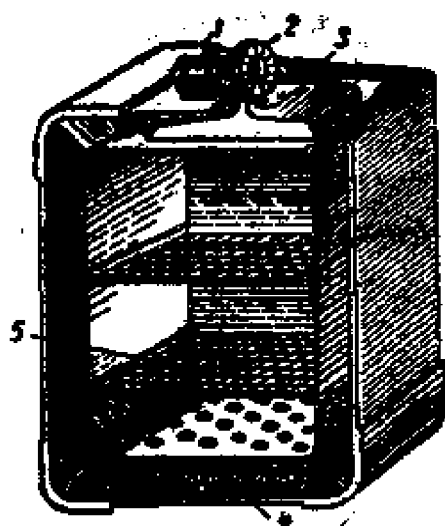


圖21-39 高溫箱:

1—电动机；2—鼓風机；3—集气罩；
4—發热器；5—隔層板。

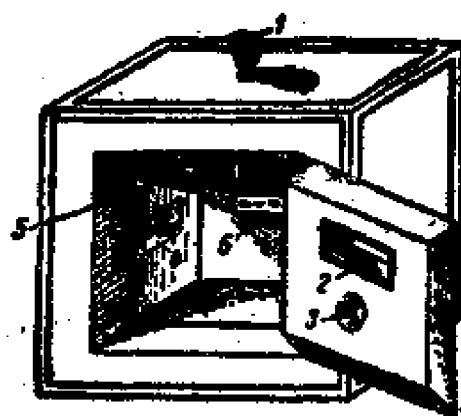


圖21-40 冷冻箱:

1—漏斗；2—观察用孔；3—供手伸入用孔；4—干冰口袋；5—槽盘；6—接电板。

高溫試驗

把被試驗的电子管放入高溫箱中，箱內溫度調節到 70°C ，兩小時後取出，進行電性參數的測量及外形檢查。

這是由于在飛機，坦克，船舶或其他類似情況下工作的電子儀器其電子管周圍的環境溫度最高可達 70°C ，因而電子管必須要求在這樣高的環境溫度下，仍能正常的工作。

高溫箱（也即恆溫箱）的構造如圖 21-39 所示（圖中門已去掉）。箱壁為夾層構造，在這夾層中充滿空氣，發熱的電熱器 4 裝在箱底部；在箱的頂部裝有鼓風機 2，使箱內空氣對流，保持全箱溫度的分佈均勻。這種高溫箱常有恆溫裝置，故又稱恆溫箱。其恆溫裝置常用的為水銀接點的溫度控制器。

低溫試驗

將被試電子管放在溫度為 -60°C 的低溫箱中 2 小時後取出，進行電性參量的測量和外形檢查。

這是因為工作在高空，或保存於倉庫時，可能受到這樣低的溫度。

至於低溫箱的設備，其構造較多，有的是箱內直接放液態氧，或干冰來冷凍的，有的是按林德氏冷卻機原理工作的壓縮裝置，圖 21-40 所示是用液態氧直接冷凍的低溫箱，箱壁內層是用絕熱物質填滿，如雲母、石棉或玻璃棉等。液態氧由箱頂漏斗 1 灌入，流到裝在箱內上部的雙層檔盤 5 中。液態氧先流入上層的檔盤，待盛滿後，經由特備的水溝溢流到下層檔盤中。這樣，液態氧就有兩倍的气化面積，增加箱內冷卻作用。

潮濕試驗

將被試的电子管放在相對濕度為 95~98% 溫度為 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的潮濕箱內放 48 小時後進行電性參數試驗、外形檢查以及電極間絕緣試驗。

這是由于有些無線電設備或電子儀器要在雨雪中應用、海水濺潑的場所和有水汽凝結的情況下運用。特別是有些電子管需要短暫地或

長久地沉在水中工作，因此电子管可能受到高湿度的影响。

潮湿箱的构造如圖 21-41 所示，它的上部是潮湿器 2，使产生潮湿空气，并用鼓風机使箱内空气产生对流。下面一部分是工作房，内有攔柵 1 以安置試管。潮湿器是由潮湿的麻布網 2 所組成。麻布網被水淋湿，当空气經過潮湿的麻布網，以及直接接触到淋下的水滴后，产生很大的湿度。如在潮湿器的壁上加装發热器，那末空气受潮的速度还要快。潮湿的空气經過工作房側面壁上的隙縫进入工作房內。

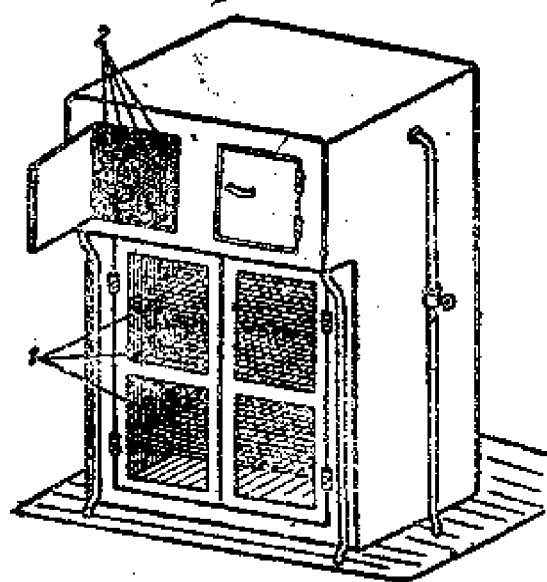


圖21-41 潮湿箱。

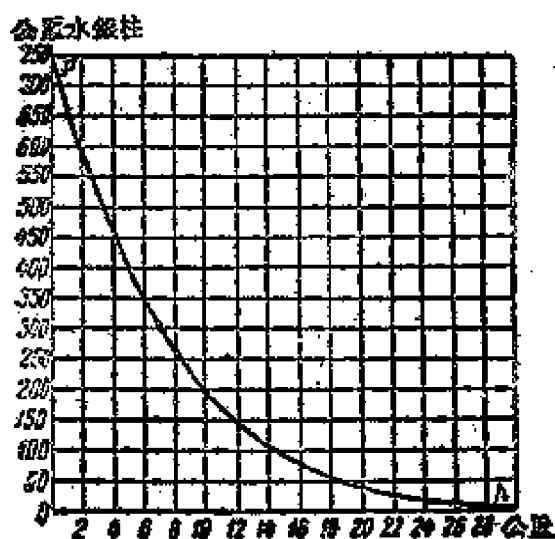


圖21-42 地面上高度和气压的关系圖。

如果有时要使电子管在工作状态下在潮湿箱内进行試驗，那就需要在潮湿箱的后壁上，加装接头以供給电源。

低气压試驗

将进行試驗的电子管放在气压箱內，并使其在箱內工作，把箱內空气抽至一定的低气压后，視其管脚間有否跳火等情况。因空气的击穿电压和气压的高低有关。

用于飞机上或測量高空气候的气球上所用的电子管，由于离开地面愈远气压将逐漸降低，其关系由如圖 21-42 所示。从曲綫可知，飞机上升到十公里时这时空气压力就为 200 毫米汞柱，如果再繼續上升到十五公里，这时空气压力仅 70 毫米汞柱，而这时的击穿电压几乎要較在地面上时减小四倍。

气压箱的构造如图 21-43 所示。它是一个用金属制的坚固箱子，1 为用螺栓门着的能关紧时保持气密的门。2 为窗孔，以观察内部情况，气压箱内的空气用抽气机抽去，3 为门门，4 为压力表，5 为放气阀，箱后壁板上备有接电板，以便电子管能在气压箱内加上电压。

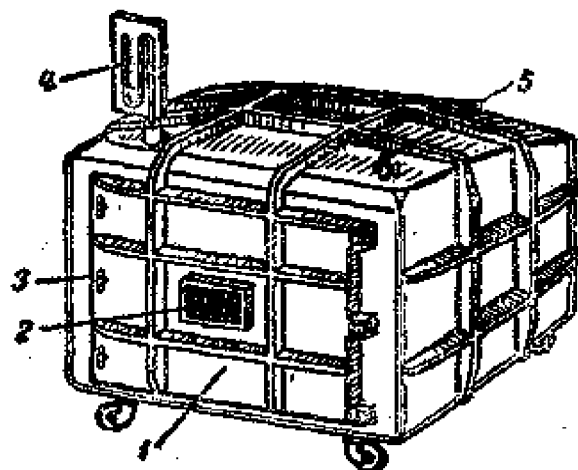


图21-43 气压箱。

玻璃的热稳定性试验

将电子管放在 100°C 的水中浸一分钟（浸入水中到管基为止）。取出后立即放入 0°C 水中浸 10 秒钟，取出后检查玻壳，视其有否裂纹，以及真空度破坏等现象（如吸气剂镜变白，则已漏气）。

管基和管帽牢固度试验

将电子管放在温度为 50°C 的水中，18 小时后把电子管自水中取出，使其在室温下干化一小时，然后在管壳和管基间加上一个经常增长的扭力矩，直径在 40 毫米以下的管基上加 0.23 公斤公尺，直径在 40 毫米以上时加 0.3 公斤公尺。直径达 10 毫米的管帽则加 0.02 公斤公尺，直径超过 10 毫米的管帽则加 0.04 公斤公尺。在此试验后，管基和管帽不有应摇动和脱开。

玻璃与金属熔接处的热稳定度试验

将电子管放在高温箱中，温度为 135°C ，经 30 分钟后，取出放在室温中冷却一小时，这样循环两次。经 48 小时后，视其有否漏气或机械损伤等情况。

二、机械效应试验

电子管在运输的途中，或运用的过程中，都可能遭受到短暂的冲击。如应用在飞机，汽车，坦克，拖拉机，船舶中的电子管就经常处于振动，颠簸，晃荡的情况下工作。为了保证在以上情况下电子管仍能很好地工作，就必须预先进行机械效应的试验。

机械效应試驗常分振动顛震試驗与撞击試驗两种：

(1) 振动顛震試驗 此項試驗在特殊的振动台上进行，振动台要求能产生正弦的振动，且其振动频率和振幅均能調节，把被試的电子管牢固地固定在發生垂直振动的振动台上。先是把电子管直立地固定进行 30 分鐘的振动，然后又把电子管水平地固定进行 30 分鐘的振动，以后进行电性参数的测量。有时在振动台上还进行短路断絡試驗以及高周杂音，低周杂音試驗等。

振动台的形式有下列几种：

叶片式机械振动台

这是一种大型的振动台，如圖 21-44 所示，它最大可載重 70 公斤，它的主要部分是由重量 M 和彈簧 K 組合而成的。振动台的工作原理，如圖 21-45 所示。



圖21-44 振动台。

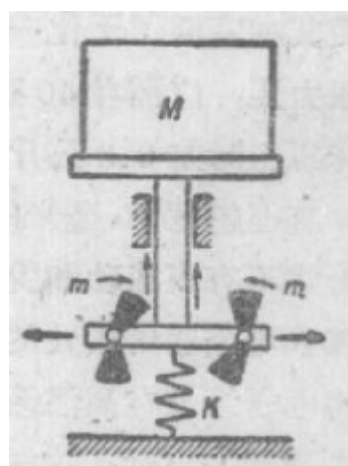


圖21-45 振动台工作原理。

它是靠一对不平衡的叶子 m 在相反的方向旋轉，在旋轉时两个叶子离心力的水平分力相互抵消，仅有离心力的垂直分力，周期地改变着合力的大小。于是使振动台产生垂直的正弦振动。至于这合力的大小，則决定对称軸位移角的大小，改变这一对叶子的不平衡角度，就能改变振幅的大小。

振动台的构造如图 21-46 所示。当电动机 1 转动时，经皮带轮 12 和皮带 13 组成的传动机构，带动了轴 10，再经齿轮 9 和 6 去转动轴 5。齿轮 6 和 9 的齿数是相等的，因而它们的转速也是一致的，但旋转方向相反。在这齿轮轴的末端装有叶片 7 和 11。各叶子的叶瓣的相对位置是能改变的，以调节离心力的垂直分量，由此能使振动台的振幅，在 0.2 公厘到 2.5 公厘范围内任意调节。调节时，可利用刻度盘 *a* 和叶瓣上的游标尺 *b*（图 21-47）。

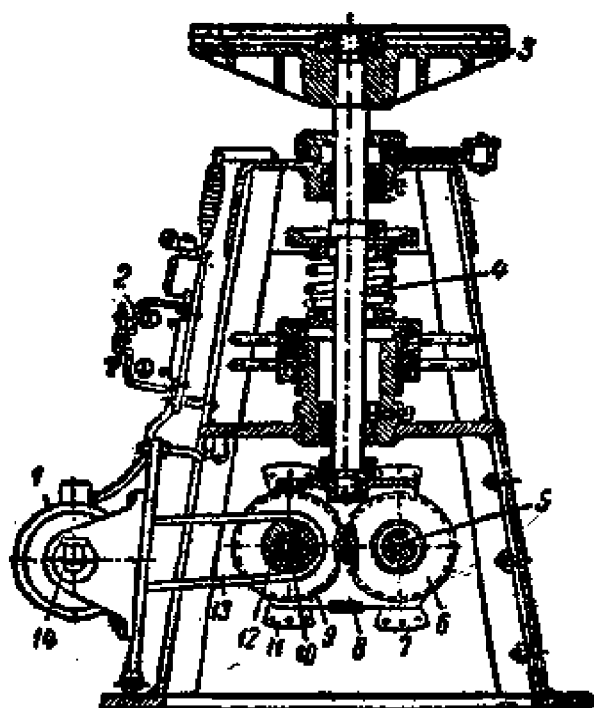


圖21-46 振动台构造。

改变振幅的大小，需在振动台静止才能进行。振动台上装有测量振幅用的装置，它是一个放大十倍的测视镜和供指示用的刻度为 0.1 公厘的标尺。至于振动频率的改变，是改变接在电动机直流电源中的变阻器 2 来达到。

测量振动台的振动频率是利用转数表 14，表上的刻度自

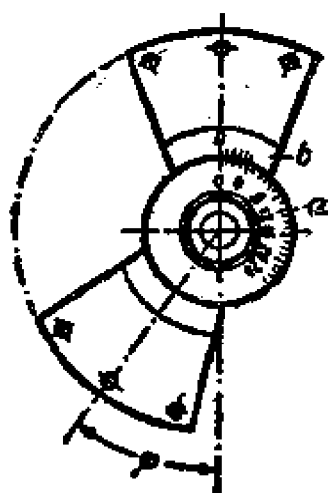


圖21-47 叶片位置。

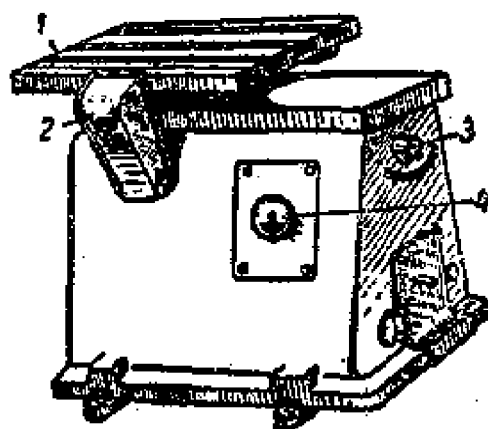


圖21-48 偏心軸振动台：

1—台面；2—测振幅鏡；3—頻率調節器；4—頻率測量器。

10 到 80 周。

偏心軸机械振动台

这是一种小型振动台，如图 21-48 所示，它最大的只能载重 15 公斤，大都用来作中小型發訊管耐震試驗用。

它的工作原理图如 21-49 所示。当电动机带动偏心軸时，偏心軸就以自己的偏心矩（ $e = 0.75 \sim 0.8$ 公厘）轉动，由于轉动不均匀，通过阻尼彈簧 K_2 ，把能量傳到台座 M_1 上，又因动作彈簧 K_1 的作用，使台座 M_1 作上下正弦振动。

振动台的振动頻率。亦由改变电动机的轉速来达到，它可由零到 90 周，振幅的改变则借动作彈簧的彈力大小来調整，可在 0.4 ~ 4 公厘的范围内变动，測量振幅和頻率的方法，与叶片式振动台一样。

以上两种均是产生垂直正弦振动的振动台。下面介紹一种产生水平正弦振动的振动台。

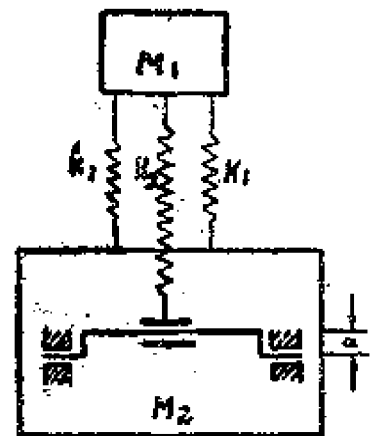


圖21-49 偏心軸振动台工作原理。

电磁振动台

这种振动台也是属于小型振动台，它大都用于小型接收放大管的耐震試驗，或作清除管芯中杂质微粒的振动用。

这种振动台是靠电磁力使振动台振动的，台内有鉄心綫圈繞組，內通交流电流及直流电流。使通入直流电流所产生直流磁場和通入交流电流所产生交变磁場相互作用，因此总的磁場时而增大，时而减小，于是使振动台产生正弦的振动。改变直流电流的大小，就可改变其振幅。

（2）撞击試驗 我們已經知道，电子管在运输或运用的过程中，可能它到短暫的撞击，因此在电子管制成后，在出厂前亦应先作撞击試驗。

撞击时的最大加速度大小，以重力加速度 g (980 公分/秒²) 的倍数来表示。

由于撞击时的最大加速度测量很复杂，因此在作撞击試驗时最簡單的方法是把装箱后的电子管在一定高度自由落在硬地板上，有时并且在箱的四面各撞击一次（底，盖，两侧），然后打开包装的箱子，視其电子管有否机械损伤，并測量其电性参数。

另一种是采用撞击台来进行的，其装置如圖 21-50 所示。被試箱子 1 裝在台板 2 上，当电动机带动凸輪 4 旋轉时，先把台板 2 抬高到最高，而連杆 5 与两个以自己为中心作轉动的杠杆 7 和 8 与凸輪 4 連接着的支杆 9 扣住。到凸輪 4 轉到圖 21-50, b 的地位时，支杆 9 就从台板上脫出，于是台板就連同被試箱子及彈弓 10 一起跌在鉄鑽 6 上。

台板的跌落高度能在一定範圍內改变，这可用改变鉄鑽的高度来达到。撞击的頻率亦决定于电动机的轉速。

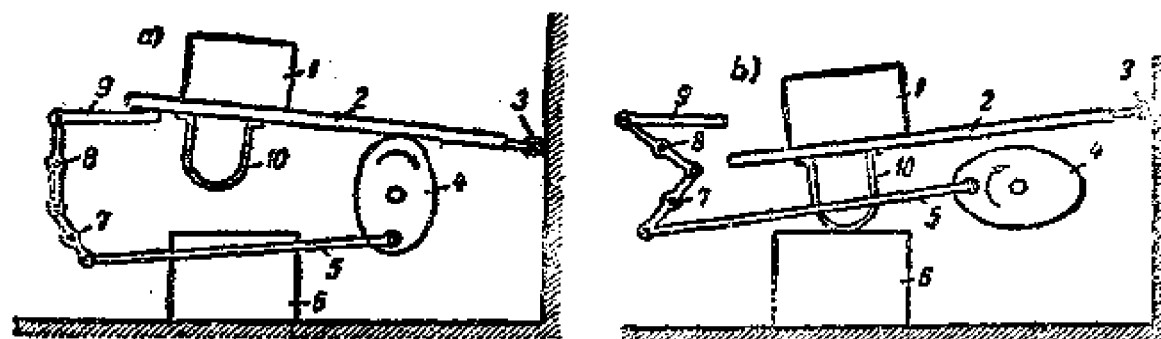


圖21-50 撞击台：

a — 台板在抬起的状态； b — 台板在撞击的一瞬間。

附录 I 各种金屬材料的比重

名称	比重20°C	名称	比重20°C	名称	比重20°C
鋰Li	0.53	鈦Ti	4.5	銅Cu	8.9
鉀K	0.86	銻Zr	6.4	鉬Mo	10.2
鈉Na	0.97	銻Sb	6.6	銀Ag	10.5
銣Rb	1.53	鉻Cr	7.1	鉛Pb	11.3
鈣Ca	1.55	鋅Zn	7.1	鈀Pd	12
鎂Mg	1.74	錫Sn	7.3	銩Rh	12.4
铍Be	1.85	錳Mn	7.4	汞Hg	13.5
銻Cs	1.87	鉄Fe	7.9	鉭Ta	16.6
硅Si	2.4	鎘Cd	8.6	鈳W	19.3
鋇Sr	2.6	鈮Nb	8.6	金Au	19.3
鋁Al	2.7	鎳Ni	8.9	鉑Pt	21.4
鋇Ba	3.6	鈷Co	8.9	銨Ir	22.4

附录 II 各种合金的比重

名 称	成 重 量 分 重 量 %	比重 20°C	名 称	成 重 量 分 重 量 %	比重 20°C
高铬钢	Fe72, Cr27, Si, Mn	7.6	可耐尔	Ni72, Co18, Fe7, Ti3	8.6
不锈钢	Fe73-Ni18, Cr8, Si, C, Mn	7.9	磷青铜	Cu87, Sn12, P1	8.8
镍钢	Fe64, Ni36	8.1	镍锰合金	Ni94, Mn5, Fe, Cu	8.8
杜美丝芯钢	Fe57, Ni42, Si, Mn, C	8.2	康铜	Cu60, Ni40	8.9
镍铬合金	Ni80, Cr20	8.4	莫耐尔	Ni68, Cu29, Fe2, Mn1	8.9
可伐	Fe54, Ni28, Co18	8.4	钨钼合金	W20, Mo80	11.2
黄铜	Cu68, Zn32	8.6	钨钼合金	W50, Mo50	13.2

附录 III 各种金属及合金的热性质

名 称	熔点 °C	热 传 导 卡/厘米·秒度 20°C	线热膨胀系数 $\alpha = 10^{-7}$ 20~100°C	名 称	熔点 °C	热 传 导 卡/厘米·秒度 20°C	线热膨胀系数 $\alpha = 10^{-7}$ 20~100°C
汞	-39	0.027	1820(体积)	铍	1555	0.16	116
铂	1773			铈	1600		
铜	1083			钨	3370	0.17	90
镍	1452			钼	2630		
铬	1900			钽	1850		
铁	1535			铌	1860		116
钴	1495			锆	2500		72
锰	1200			铈	2630	0.35	55
铝	933	0.27	263	钨	2850	0.13	65
镁	650	0.042	120	钨	3370	0.48	44
锌	420	0.37	257	殷钢		0.026	11
锡	232			ЭН-36			
铅	327			可耐尔			197
铋	271			黄铜	900	0.2	184
镉	321			(П-68)			
铟	156			康铜	1200	0.05	152
铊	304			莫耐尔	1250	0.06	137
铋	271			镍铬合金	1400	0.03	125
铋	271			不锈钢	1400	0.05	
铋	271			镍锰合金	1430		
铋	271			高铬钢	1480	0.06	100
铋	271			钨钼合金	2290		55
铋	271			(50%W, 50%Mo)			
铋	271			钨钼合金		0.074	90
铋	271			(10%Ir)			
铋	271			杜美丝芯钢		0.04	60
铋	271			ЭН-42			
铋	271			可伐			56

附录IV 绝缘材料性质

材 料	比 重 (克/立方厘米)	莫氏 硬度	膨胀系数 $\beta \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$	比 阻 (欧姆厘米, 在 20°C)	介质常数 ϵ	介质损失 $\text{tg } \delta \times 10^4$	耐 压 (千伏/毫米)	热 导 率 (卡/平方厘米·秒·°K/厘米)
石 英	2.2	7	58 ($25 \sim 1000^\circ\text{C}$)	$10^{17} \sim 10^{18}$	$3.5 \sim 3.7$	$1.2 \sim 2.6$	$20 \sim 30 (20^\circ\text{C})$ $4 \sim 5 (500^\circ\text{C})$	$0.33 (0^\circ\text{C})$ $0.0064 (950^\circ\text{C})$
氮 铝 石	$3.03 \sim 3.9$	—	62 ($15 \sim 1000^\circ\text{C}$)	10^8 (1000°C)	~ 8	—	—	$0.0016 \sim 0.0084$
金 刚 砂	3.9	9	80 ($20 \sim 1000^\circ\text{C}$)	10^{13} (300°C)	$9.5 \sim 9.9$	$32 \sim 77$	15	$0.013 \sim 0.019$
滑石(人工的)	2.65	7~8	85 ($20 \sim 800^\circ\text{C}$)	$10^{14} \sim 10^{15}$	$5.5 \sim 6.5$	$25 \sim 1000$	20~30	0.0054
天然滑石 (煅烧过的)	$2.6 \sim 2.8$	7~8	90~100	$10^{14} \sim 10^{15}$	$5.4 \sim 6.5$	$25 \sim 100$	5~10	$0.0033 \sim 0.0067$

附录 V 空气中水蒸汽含量和所测露点的对照表

露点(°C)	水蒸汽含量 (克/米 ³)	体积百分数 (%)	露点(°C)	水蒸汽含量 (克/米 ³)	体积百分数 (%)
-45	0.067		-12	1.80	
-33.3	0.295		-11	1.96	
-30	0.33	0.0368	-10	2.14	0.257
-29	0.37		-9	2.33	
-28	0.41		-8	2.54	
-27	0.46		-7	2.74	
-26	0.51		-6	3.00	
-25	0.55	0.052	-5	3.24	0.325
-24	0.60		-4	3.51	
-23	0.66		-3	3.81	
-22	0.73		-2	4.13	
-21	0.80		-1	4.47	
-20	0.88	0.103	0	4.84	0.603
-19	0.96		+5	6.84	0.863
-18	1.05		+10	9.4	
-17	1.15		+15	12.3	1.69
-16	1.27		+20	17.3	2.30
-15	1.38	0.164			
-14	1.51				
-13	1.66				

附录VI 细直径钨丝和钼丝的直径和重量对照表

$$d = K\sqrt{G}$$

 d = 丝料直径

 G = 每 200 毫米丝长的重量

 K = 常数, 钨丝为 1.82×10^{-2} 钼丝为 2.51×10^{-2}

 (MB-50 为 2.20×10^{-2})
 (MB-20 为 2.44×10^{-2})

钨 丝		钼 丝	
直径(毫米)	重量(毫克/200毫米)	直径(毫米)	重量(毫克/200毫米)
0.010	0.304	0.010	0.158
0.015	0.684	0.015	0.355
0.020	1.22	0.020	0.633
0.025	1.90	0.025	0.986
0.030	2.73	0.030	1.142
0.035	3.72	0.035	1.931
0.040	4.86	0.040	2.523
0.045	6.15	0.045	3.202
0.050	7.60	0.050	3.940
0.055	9.19		4.78
0.060	10.9		5.63
0.065	12.8		6.69
0.070	14.9		7.8
0.080	19.4		
0.090	24.6		
0.100	30.4		
0.110			
0.120			
0.130			
0.140			
0.150			36.5
0.160			40.4
0.170			45.6
0.180	38	0.180	51.2