

液 氧 炸 藥

苏联 Л.Н.馬尔欽科 著

鍾以文 譯

冶 金 工 業 出 版 社

本書先敘述液態氧的基本知識，制取的方法，供儲存和運輸用的容器；繼而研討用於液氧炸藥的吸收劑之選擇問題，制备吸收剂的工艺操作，液氧炸藥的寿命和其爆炸性質，以及使用这类炸藥的爆破技术。

本書供从事爆破工程的採矿企業的工程技术人员之用，也作为矿业高等学校和中等專業学校学生在學習“鑿岩爆破工作”課程時之用。

Л. Н. МАРЧЕНКО: ОКСИЛИКВНТЫ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ
РАЗРАБОТКАХ

УЛТЕХИЗЛАТ (Москва—1955)

液氧炸藥

鍾以文 譯

1957年4月第一版 1957年4月北京第一次印刷 3,542册

787×1092·1/32·55,000字·印張 $2\frac{22}{32}$ ·定价(10) 0.44元

冶金工業出版社印刷厂印 新华書店發行 書号 0626

冶金工業出版社出版(地址:北京市灯市口甲45号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093号

目 录

序.....	4
第一章 液氧炸藥的性質和特点.....	5
第二章 液态氧和其性質.....	13
第三章 氧的制取方法、制取氧的設備和其操作.....	16
第四章 儲存和运输液态氧的容器.....	31
第五章 液氧炸藥的吸收剂.....	40
第六章 制备吸收剂的工艺操作.....	44
第七章 液氧炸藥的寿命.....	48
第八章 液氧炸藥的爆炸性質.....	57
第九章 富氧的液态空气之应用.....	69
第十章 使用液氧炸藥於露天探矿中的 爆破作業技术.....	72
参考文献.....	86

序

用露天方法开採有用矿物时，爆破工程在提高劳动生产率方面，起着重大作用。在短時間內，便能得到所需要破碎程度的大量崩落矿体。

本書闡述關於現代利用特殊一类炸藥——基於液态氧而成的液氧炸藥在露天採矿中的問題。

液氧炸藥，具有在本書中詳述的优点和缺点。液氧炸藥的优点，在極大程度上胜过其缺点，因而能在使用露天方法开採有用矿物的大型採矿企業中，获得广泛应用。

現今苏联的液氧炸藥是最安全的，同时也是極猛烈的炸藥。近年来，苏联学者們和生产者們完成了一系列的科学研究工作，来保證液氧炸藥的实际使用充分安全，也使得它們的威力大为增高，在必需的情况下，还达到最强有力的狄那米特炸藥之威力。

本書的任务，在於使矿山工人、技術員和工程师熟習液氧炸藥的性質和特点，以及近年来在这方面所进行的一些工作。

趁本書出版之际，著者仅对編輯 M. K. 格拉烏畢茨和評閱人 A. Д. 雅洪托夫所給予的宝貴指示，致以謝忱。

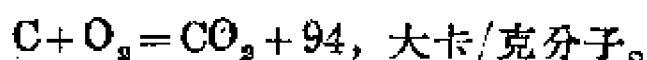
第一章 液氧炸藥的性質和特點

用可燃性多孔物質作為吸收劑，以液態氧飽和而成的炸藥，叫作液氧炸藥類（簡稱液氧炸藥）。

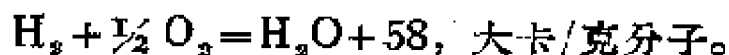
液氧炸藥一詞，是由液體和氧氣二詞而來。在液氧炸藥的集合名稱之下，不可了解為某一個炸藥，而是炸藥的一大類，它們具有一宗主成分，作為其組成部份的共同体，並因之而給予它們以固有的共同性質。

液氧炸藥產生各種不同的爆炸效果，這些效果，主要取決於下列諸因素：吸收劑的種類和密度、纖維的尺度（對磚塊狀吸收劑而言）、粉碎度（對粉末狀吸收劑而言）、和在爆炸時液態氧在爆炸混合物中的含量。

液氧炸藥作用的原理，與普通炸藥作用所根據的相同，就是基於碳被氧化成為二氧化碳的物質之非常迅速地爆炸化學變化



吸收劑含有氫時，也發生氫被氧化成水的反應。



液氧炸藥成份中差不多完全沒有氮，這就使他們優於普通炸藥，因為在普通炸藥中（例如硝基化合物），氧化可燃元素所需的氧，系與氮結合成為硝基（ NO_2 ）而儲藏於炸藥中。硝基的存在，就大大地減低了在爆炸時釋放出來的能量。因為用來作為炸藥而含有化合氮的硝基化合物，在其生成時，要消耗大量的熱。這樣，就相應地減少了爆炸變化反應的正能量平衡。

例如，生成一克分子的硝化甘油，要消耗 94 大卡的热，生成一克分子的硝酸铵，要消耗 88 大卡的热等等。此外，在普通炸藥組成中存在的氮，在爆炸变化反应中是惰性物，因为，和它們化合的氧在釋放出之后，氮就不再繼續参加放热反应，从而对爆炸能量的增加就沒有帮助。

液氧炸藥却不是这样，全部位能差不多都在爆炸瞬間釋放出来，这是因为液氧炸藥中的液态氧是單純状态，而不是某一种化合状态。为了明显起見，茲將各种炸藥的爆热列於下表中：

炸藥名称	爆热，大卡/公斤
碳質吸收剂的液氧炸藥.....	2200
泥煤吸收剂的液氧炸藥.....	1900
蘆葦吸收剂的液氧炸藥.....	1600
硝化甘油.....	1470
62%狄那米特.....	1200
七号阿莫尼特.....	1060
六号阿莫尼特.....	940
梯恩梯.....	800
八号安全阿莫尼特.....	636

液氧炸藥的成份不固定是其特点，这是由於沸点为 -183° 的液态氧不断从其中蒸發所致。由於这个特性，所以在使用液氧炸藥来进行爆破作業时，就需要把工作佈置得異常适宜和精确。因为只有在液氧炸藥藥包的成份中，包含着足够氧化可燃元素所需的氧量时，爆炸作用才是最有成效的。

液氧炸藥可能的有效爆炸，可分为兩種特出状态。液氧炸藥中所含的氧量，足以完全氧化可燃元素，特别是把碳氧化成为二氧化碳时，則这时候液氧炸藥的有效爆炸最为巨

大。爆炸时液氧炸藥之成为这种状态者，名为“CO₂点”，相当於零氧平衡状态。

液氧炸藥成份中的氧含量只足够把碳氧化成为一氧化碳时，該炸藥的爆炸效果就比较低，但在一定的生产条件下，这种爆炸仍是合格的。爆炸时液氧炸藥之成为这种状态者，名为“CO点”。

如前所述，在第一种情况下，在“CO₂点”时爆炸释放出来的能量，便較在“CO点”时为强。实际上，液氧炸藥的有效利用的可能性，限制於所指的两种状态的时间內。在这个时间范围以外（就是說在液氧炸藥中氧含量增高或減低时），破坏作用就逐渐衰弱。最后，当剩余的氧过多或其含量很少时，液氧炸藥就完全不爆炸，

液氧炸藥有了上述的特点，就造成在組織爆破作業时大为不便，但是对作業的安全有利。使用液氧炸藥的危險性，仅在以小时来計算的一段短時間內，即在其成份中保持有一定量液态氧的时候。应用所有其他炸藥时，則从制造时起至爆炸时止，都可發生危險。

液氧炸藥在临用前，才直接加以制造。把压成磚塊狀或筒形的吸收剂藥包（或称吸氧藥包）垂直放在浸漬器（有称为保温器，是一种特制的双層壁容器，兩壁間填充絕热物質）中，用液态氧浸泡。將藥包放在浸漬器中，直至其完全飽和为止。以放吸收剂於液态氧中时起，至藥包完全浸飽时为止所經的时间，叫作飽和时间。

已完全为液态氧所飽和的液氧炸藥藥包，从浸漬器中取出时起，至該藥包仍能爆炸所經的时间，叫作液氧炸藥的寿命时间。寿命延續时间和許多因素有关，其中主要者为：藥

包（或磚塊）的直徑、吸收剂的化学組成、吸收剂或藥包填料的壓縮密度、包皮的結構、以及液态氧在其中进行蒸發的介質。

藥包的直徑越大，寿命就越長，这是因为單位体积的蒸發面积減少、液态氧从饱和的藥包中蒸發就較慢所致。

吸收剂的化学組成，根据吸收剂中可燃元素的含量，对液氧炸藥的寿命有影响。吸收剂所含的碳和氢越多，則氧化它們所需的氧就越多。所以在其他条件相同时，以这种吸收剂而成的液氧炸藥藥包之寿命势必縮短。

吸收剂或藥包填料的壓縮密度增加，液氧炸藥藥包的寿命即減短，因吸收剂一緊密，則作为液态氧佔用的空間便減少。

如液氧炸藥的寿命不足以供完成爆破前的准备作業（从液态氧中取出藥包、运至深眼或炮眼、裝填、安置起爆綫路、起爆），則減小吸收剂的密度，就是說減少單位体积中的可燃物量，同时也就是增加氧含量，这样便可使同一吸收剂的液氧炸藥得到較長的寿命。

准备用液态氧饱和的吸收剂，或是壓縮成磚塊，或是將吸收剂物料裝填在包皮中作成藥包。在后一种情况下，为了增加液氧炸藥的寿命時間，可使用絕热性良好的特制包皮。裝在这样包皮中的藥包寿命就会延長（就是減少了液态氧的強烈蒸發）。

凡能多少加速或延緩藥包中液态氧的蒸發过程的介質，对液氧炸藥的寿命就大有影响。例如，液氧炸藥处在水中时，蒸發过程就大为加速；放在深眼中，蒸發过程就延緩。液态氧蒸發速度增高时，液氧炸藥的寿命時間減短，而在延

緩時則增加。

液态氧供吸收剂組成中可燃元素的氧化剂之用。近年来，有拟以含氧 70—80% 的富氧液态空气来代替高純度液态氧的趋势。使用富氧的液态空气，是基於液态氮的沸点（ -196° ）和液态氧的沸点（ -183° ）之差異。

如果取含氧 70—80% 的富氧液态空气来代替高純度的液态氧作为氧化物，並估計藥包从浸漬器取出来至爆炸时的一段时间內，約有 30% 的液体蒸發掉，那末，到爆炸时，液体所含的氧就不是 70—80%，而是 95—96%，这个量对有效的爆炸变化反应已足够了。此外，近年来的科学研究工作确定了，由富氧液态空气而成的液氧炸藥，对机械作用的感度比由高純度液态氧而成的液氧炸藥要低得多。

液氧炸藥中的吸收剂，是决定这类炸藥的性質和安全性的主要因素。应用液氧炸藥於爆破工程的初期，多半採用含碳多的吸收剂，例如烟黑和灯黑。当时設想，吸收剂組成中的碳越多，爆炸时，炸藥的作用將越强。后来發現这种液氧炸藥对打击的感度極为灵敏，使用它們是危險的。为了消除液氧炸藥在使用中的危險起見，乃改用含水分 20% 的木炭作为吸收剂。

吸收剂潤湿到某种程度，就減低了液氧炸藥对机械作用的感度。晚近，由於利用纖維質物料（青苔、鋸末、泥煤等）作为吸收剂，液氧炸藥对打击和摩擦的感度就大为減低。

科学研究工作确定，粉末狀吸收剂可能是使用液氧炸藥时早炸的原因，因为液态氧从藥包中蒸發时，吸收剂的微小粒子也随之游离出来，並同气态氧的气流从炮眼中躍出。吸收剂的粒子同氧和空气摩擦，乃在其中产生靜电荷的逐渐积

累，当其电位达到相当大的数值时，就造成积累电荷的放电，从而导致液氧炸藥的早炸。

为了消除此塵末生成的可能性起見，就提出了制造液氧炸藥用的纖維質吸收剂的新方法。

苏联科学院矿业研究所的方法（系 B. A. 阿索諾夫所建議），是把作吸收剂的纖維物質，在大量水中研碎以获得細（小纖維的）長的纖維，然后压成任何形狀和重量的磚塊。这时得到的吸收剂，乃是由杂乱交織的細纖維而成者，保有良好的吸收能力、容易压制成磚塊、使用方便。这种保証沒有塵末的加工方法，把液氧炸藥的威力減低至某一程度^①，同时降低了它們对打击的感度。其他基於压榨纖維物質的方法（为 A. Д. 雅洪托夫所建議），是採用上層末腐而具有纖維質構造的水苔泥煤作为吸收剂。水苔泥煤不預先加工即压榨成磚塊，尔后以液态氧来飽和。

吸收剂和液氧炸藥所固有的性質，可分为物理化学的与爆炸的兩種。屬於物理化学性質的是密度、多孔性和湿度。

液氧炸藥的密度不仅关系到其寿命，而且与猛度和功能（即表示炸藥爆炸功的性質）有关联。在其他条件相同时，吸收剂的密度越大，液氧炸藥的猛度和功能就越高。同时，吸收剂的密度越大，液氧炸藥的寿命時間就越短。所以吸收剂的使用密度之抉擇是具有重大原則性意义的，並且是在使用这类炸藥时所要考虑的主要因素之一。

吸收剂的多孔性，对爆炸变化反应的速度有强烈的影响：吸收剂的孔越多，則在反应時間內参加反应的組分之接

① 据 B. A. 阿索諾夫著 Взрывные Работы(1953 年) 133 頁，則謂不減低液氧炸藥的威力——譯者。

触面就越大，爆炸变化的速度便越高，液氧炸藥爆炸时能量的釋放就越快。

吸收剂的湿度，影响到液氧炸藥的感度和炸藥藥包在爆炸时所釋放出来的能量大小。吸收剂的湿度增加，液氧炸藥对机械作用的感度就降低，同时，爆炸时所釋放的能量也减少。为了合理地使所举的兩個因素互相联系起見，纖維質吸收剂中的湿度量就以 18—20% 为限。

在液氧炸藥的諸爆炸性質中，必須要指出猛度、功能和对外来作用的感度。

液氧炸藥的爆炸性質，就猛烈程度言，以其在“CO₂ 点”爆炸时为最大，因在此情况下，釋放出的能量最多。根据吸收剂粒子的粒度和它的密度之不同，液氧炸藥的猛度和功能可能在一广大範圍內变动。液氧炸藥的猛度通常在 12—20 公厘間变动；吸收剂的粒子較細而其密度又較大时，猛度可达到 25 公厘。在同一情况下，液氧炸藥的功能可能在 400—600 公分³ 內变动。由密度最大和粒子最細的吸收剂制成的液氧炸藥，其猛度和功能都極大。

在“CO₂ 点”和“CO 点”的时间間隔內，液氧炸藥的猛度和功能，系愈近於“CO 点”的氧含量就愈为减低；待至藥包內的氧含量降低到“CO 点”以下和增高到“CO₂ 点”以上时，液氧炸藥的爆炸指数就逐漸降低，結果接近於零值。

液氧炸藥对机械和热作用的感度，取決於吸收剂的組成、它的加工制造方法、液氧炸藥中的液态氧含量。由碳質（烟黑、炭等）吸收剂制成並即時使用的液氧炸藥，具有最灵敏的感度；水分含量增高时，液氧炸藥的感度降低。由纖

纖維質吸收劑所制成的液氧炸藥對機械和熱作用的感度都低，而且由纖維狀纖維質吸收劑制成的液氧炸藥之感度，則低於由粉末狀吸收劑制成者。

吸收劑經過耐火加工處理後而制成的液氧炸藥，對熱作用的感度大大降低。這種液氧炸藥，在受火星或火焰作用時，既不着火也不爆炸。

液氧炸藥和普通炸藥比較，具有下列優點：

1. 液氧炸藥是唯一可用當地原料制成的炸藥，因為液態氧可自空氣中取得；並可利用該地廣有的任何多孔性可燃物質作為吸收劑，例如，泥煤、青苔、蘆葦、稻桿等；省去了從別處運輸任何原料，因此，免除了遠程運送炸藥的鐵路或其他運輸的負擔。

2. 不需要為液氧炸藥建築專門的儲存倉庫和警衛室等，因為並不保管作成後的液氧炸藥，它們的組成部份單獨都不是可爆炸的物質。

3. 使用液氧炸藥時，可免去如運輸和保管普通炸藥時所發生的危險，以及在消除拒爆藥包時不可避免的危險。在進行爆破作業時，拒爆的藥包是常有的。

4. 液氧炸藥並不是一個具有一定固有爆炸特性的炸藥，乃是具有不同性質的炸藥的整個一類。所以在必要的情況下，改變吸收劑的密度、吸收劑粒子的粒度和以液態氧來飽和它的程度，就能造成各種不同威力的液氧炸藥。按照威力來說，液氧炸藥可以和黑色火藥以及威力最大的狄那米特炸藥之作用相類似。

5. 蘇聯企業經濟資料的分析指出，爆破單位體積的礦體，其液氧炸藥的用費是不高於阿莫尼特的。

液氧炸藥和其他炸藥比較，固然有許多很大的优点，但是，並不是沒有某些缺点的。这些缺点虽可逕自說成是一些特性，但到了某种程度的时候，就会使得进行爆破作業复杂起来。

这些特性包括：

a) 液氧炸藥的寿命比較短（但在正規組織作業的情况下已足够），因而就使得爆破作業不得不按照精确的圖表进行，而不允許有大的迟緩和拖延；

b) 对打击和热冲量的感度灵敏；

B) 使用液氧炸藥的探矿企業，必須直接进行制造液态氧和吸收剂的生产組織；

c) 爆炸时，炸藥的密度比較小（約1克/公分³），它使这些炸藥的巨大威力受到某种程度的抵消。

在不久以前，液氧炸藥的採用，主要为在裝填深眼过程中所發生的早炸危險妨碍着。这种危險之起因，在当时並不清楚。液氧炸藥的性質和特点未曾完全充分研究，並且研討跟採用平行地进行，这就成为採用液氧炸藥时毫無疑义的阻碍。

現时，關於液氧炸藥性質的研究，和使用安全品級之液氧炸藥的大量資料已积累起来，因此，更广泛地在露天开采工程中使用它們就有了可能。

第二章 液态氧和其性質

大气中含有游离态的氧，其量約佔大气重量的 $\frac{1}{4}$ 或体积的 $\frac{1}{5}$ ，液态氧即可得自大气，用作液氧炸藥組成中所含的第

二个成分。从前把氧認為屬於“永久气体”一类，就是說，这种气体在常溫时，不管加压力多少，它是不可液化的。后来才証明，气态氧是可液化的，但要如此，就必须把它冷却到临界溫度 -118.8° 。在这样的溫度和与之相应的临界压力51.35大气压下，气态氧就开始变为液体。在正常大气压力(760公厘水銀柱)下，气态氧也可以变成液体的，但要如此，就必须把它冷却到 -183° (精确些，就是冷却到 -182.96°)。

在 0° 和压力为760公厘水銀柱时，氧的克分子体积等於22.414公升。在同一情况下，气态氧1公尺³的重量为1.42893公斤。气态氧对空气的密度是1.1053。

氧的临界压力等於51.35大气压；临界溫度为 -118.8° 。

液态氧的蒸气压力和蒸發潛热是与溫度有关的(表1)。

表 1

溫 度	蒸气压力 公斤/公分 ²	蒸發潛热 大卡/公斤
-213	—	57
-203	0.06	55
-193	0.32	54
-183	1.00	51
-173	2.7	49
-163	5.0	46
-153	11.0	43
-143	18.0	38
-133	29.0	31

1克分子氧在 -182.96° 和正常压力时的蒸發潛热是1630大卡/克分子；換算成1公尺³①时蒸發潛热(在 15° 和

① 指气体——譯者。

压力为 735.5 公厘水銀柱时) 就等於 66.7 大卡/克分子。

1 公升液态氧在沸点 (-182.96°) 和压力为 760 公厘水銀柱时的重量是 1.13 公斤/公升。

1 公升液态氧蒸發时, 可得 $\frac{1.13}{1.4289} = 0.79$ 公尺³ = 790 公升的气态氧, 这个体积系指它在 0° 和压力为 760 公厘水銀柱时而言, 如在 1 大气压和 15° 时, 就等於 874 公升。

反此, 1 公尺³ 的气态氧在压缩时, 就生成 $\frac{1}{0.790} = 1.265$ 公升的液态氧 (在 0° 和 760 公厘水銀柱时)。

液态氧是淡青色的透明液体。由於液态氧被黄色的液态氮冲淡, 所以液化空气时所得的液体空气呈淺淡青色。液态氧受放电的作用, 就可变成液态臭氧。液态臭氧是深藍色而易爆炸的液体。

液态氧是順磁性的, 並具有良好的电絕緣性。

液态氧在 -218.4° 时, 固化成淡青色的六角形晶体。固态氧的熔化热是 106.5 大卡/克分子或 3328 大卡/公斤。繼續冷却时, 固态氧的晶体形狀就轉变而产生同素異形体。在 -252° 第二次結晶时所生之固态氧, 其密度为 1.46 克/公分³。

在溫度从 -200 到 -183° 範圍内, 液态氧在定压 c_p 时的热容量为 0.406 大卡/公斤。在定压为 760 公厘水銀柱和溫度 0° 时, 气态氧的热容量为 0.218 大卡/公斤。在同一条件下, 气态氧在定容 c_v 时的热容量为 0.156 大卡/公斤。热容量之比值 K 为:

$$K = \frac{c_p}{c_v} = \frac{0.218}{0.156} = 1.397.$$

氧的高化学活度是大家所知道的，並且溫度增高时，氧化反应就进行得非常强烈。基於此特点，液态氧就在以多种热冲量中的一种来激起反应的条件下，用於液氧炸藥中。有机可燃物氧化反应进行的速度，是依靠所析出的热量渐增、使氧化过程發展起来的溫度渐加而不断增長的。所發出的热量随着反应物質的逐漸氧化而越来越多起来。

气态氧和易燃物質，如矿物油或动物油、凡士林、棉花、羊毛和其他处在压力下容易燃燒的物質接触时，就可發生自燃，常常轉为爆炸。

例如，当含有油跡的压力計或管子与盛有氧气的鋼筒連接时，就会發生这样的情形。迅速开活門时，管中或通路中氧气的压缩热、气流中的电荷和其他諸因素，都可作为燃燒或爆炸的初冲量（或称激發冲量）。所以在用氧气作業时，应注意不要使它和易燃物質接触。所有儲氧的器具之所以都要仔細地去油脂，其目的即在於此。

一切多孔性有机物(煤、碳黑、泥煤、青苔、楷桿等)浸透液态氧后，置於密閉空間內，点火时都会产生强烈爆炸。液态氧和液态烴类（汽油、苯、酒精、油类等）的混合物也是会爆炸的。固态已炔与液态氧的混合物乃是異常容易爆炸的强力炸藥。

第三章 氧的制取方法、制取氧的 設備和其操作

工業上用的氧系得自空气。从空气中制取氧，乃是最廉

的方法。其法是基于液态空气(沸点是一 192° 至 -194.4°C)、液态氧(沸点是一 182.96°C)和液态氮(沸点是一 195.8°C)的沸点差。液态空气在起初阶段受热时,由于氮的沸点较低,它就首先蒸发掉,因此,在液相里面氧的含量逐渐增多。

液态空气可认为是液态氧在液态氮中的溶液。随着氮的蒸发,液体中的氧便增加,同时,处在液体上面气相中的氧含量也增加起来。在它们之间的比例一定时,平衡状态即行建立,其中,在给定的压力和温度下,气相的一定成份和液相的一定成份相适应,由图1可得而知。

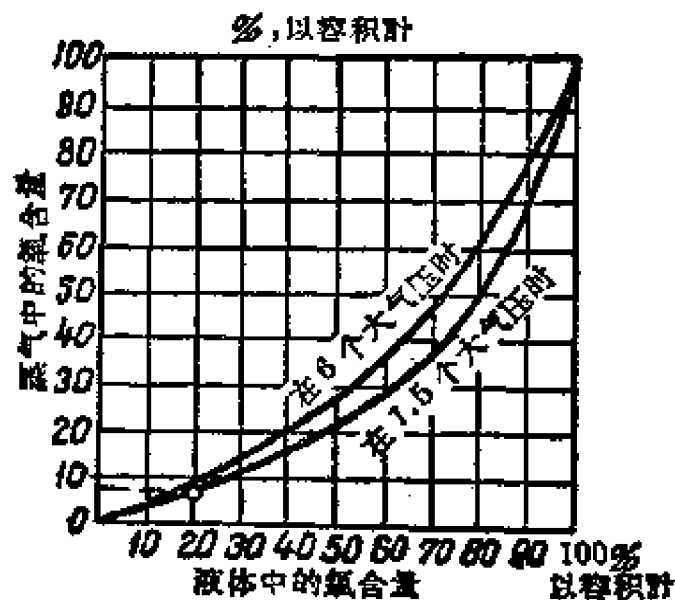


图1 压力为1.5和6个大气压时,氧和氮的混合物之平衡曲线

从图中可得出结论:氧在液体中的含量总比在气相中的含量为高,并且氧在液相和气相中的总含量,是随压力之增大而加多的。

但是,蒸发的实际方法,正如冷凝法一样,当液体蒸发

掉 55% 时，它就使留下的 45% 之液体有最高的氧含量。

所以用工业设备制取液态氧是基于精馏，就是说基于以混合物上升的蒸气同下沉的液体多次相繼地接触，来分开两种液体混合物的过程。

过程的实质是这样的：液态空气蒸发时，所生氮和氧的气态混合物就通过氧含量較少的液体而出。因为此液体含氮較多，所以它的温度低於气相的温度，当蒸气和液体互相接触时，气态混合物中所含的氧遂行冷凝，就是在气相中氮的含量增多的同时，液体中的氧含量也就丰富起来。

在蒸气和液体直接接触（混合）时，液体蒸发，氧就冷凝；过程在此情况下往复多次，直至气体几乎含純淨的氮，而液体則含氮很少时为止。

多次蒸发和冷凝的过程，系在分离器内进行。該器称为精馏塔。为了保证上升的气体和下沉的液体能更充分接触起見，乃在塔中裝置一些塔板。

液态空气和其組成部份的沸点都是处在很低的温度区間内，所以分离空气的操作也是在这些很低的温度下进行。这个方法，一般名为“深度冷冻法”。

有两个过程作为它的基础：

- a) 空气的压缩；
- 6) 精馏液态空气以圖分离其氧和氮。

除了上述两个过程外，在由空气制取氧的设备中，还有一些輔助工序，这些工序是：

- a) 把要加工的空气中之机械混合物、二氧化碳和水分除去；
- 6) 在空气压缩机中把空气压缩；

В) 在热交换器中用已由空气分离出来的冷气来冷却空气;

Г) 空气在胀气机①中膨胀;

Д) 气态氧被压缩装入钢筒, 液态氧由冷凝器流入贮存槽中。

用深度冷冻法来分离空气的氧和氮的所有设备, 都必须把空气中的二氧化碳和水分除去。因为无论是二氧化碳或水分, 它们的凝固点都较高 (相当于 0° 和 $+32^{\circ}$), 在分离器的低温情况下, 它们就要在热交换器中冻结, 而把连接管和蛇管堵塞, 从而就破坏了设备的正常工作。

空气之压缩是在空气压缩机中进行, 在这里就造成压力。气体膨胀时, 温度大为降低, 因而气体容易变为液体; 这是根据所谓焦耳—汤姆孙效应而来。该效应是这样的: 当压缩的气体通过小孔膨胀时 (此过程名为节流), 气体即冷却, 其温度乃降低。

应该对微分的焦耳—汤姆孙效应和积分的焦耳—汤姆孙效应加以区别, 微分效应系指由于无限小的压力变化而显示出的温度降低; 积分效应是压力有限的下降时之温度变化②。

① 或称膨胀机——译者。

② 两种节流效应若以数量表示时, 则微分效应 (j) 可写成热含量 (i)

不变时温度对压力的偏微分, 即 $j = \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i = \text{const.}$

积分效应 (j_{Σ}) 是气体的压力从 p_1 变到 p_2 时的温度变化, 可用下式表示:

$$j_{\Sigma} = \int_{p_1}^{p_2} j dp = \int_{p_1}^{p_2} \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_i dp.$$

——译者。

由於节流的气体之內能減少而發生的焦耳—湯姆孙效应，犹如液体蒸發時而使它外圍介質冷却一样。

周圍介質之变冷，是由於从其中夺去了热来补偿液体蒸發時所需的蒸發潜热。同时，應該考虑到在气体节流过程中，它的热含（焓）是不变的。气体在縮小这一方面之热含变化，系發生於节流过程以前，或發生於在压缩机中壓縮气体把机械功消耗於壓縮的时候。

按照最后产物的聚集状态，制氧設備分为气态式（即制出气态氧）和液态式（即制出液态气）两种。

工業的制氧設備又分为高压設備和低压設備，这种区分是有条件性的，因为从上所述，得知氧是可以在5—7个大气压的低压情况下获得的。“高压”和“低压”二語，是以冷却过程来决定的，該設備的配置即根据这个而作成。

“高压”制氧設備，都知道有几种型式，茲举能够生产液态氧和气态氧的制氧工業管理总局的設備来作扼要地說明。該設備的示意圖如圖2所示：空气通过空气过滤器1后，其中机械混合物（如灰塵、砂等）在这里遂被除去，以后就进入多段往复式空气压缩机2。圖中所示为四段压缩机，也有在設備中使用五段和六段压缩机的。空气通过压缩机的每一段以后，都經過水冷却器而把压缩所生的热傳給水，此后通过油水分离器而把凝結的水分和滑油分开。

空气在压缩机的第二段和第三段之間，通过盛苛性鈉溶液的去碳器3，空气中的二氧化碳即被此溶液除淨。通过空气压缩机最后一段以后被压缩了的空气，便送往干燥器組4去，在这里用小塊苛性鈉把空气进行最后的干燥。

壓縮空气通过干燥器組以后，就进入位於分离器6上面

在热交换器中进来的空气温度，平均比由它来分离的氧和氮的温度高 $5-8^{\circ}$ 。含有 $45-50\%$ 的氧的富氧空气聚集在下塔蒸发器 9 中。氮气上升并在冷凝器 11 的管中液化，液化了的氮一部份注入下塔，另一部份则聚集于冷凝器 11 的容器 12 中，经过氮气节流阀 13 进入上精馏塔顶部塔板上；下塔蒸发器 9 中的液体经过氧气节流阀 14 同样进入上塔塔板上。

气态氮经热交换器的氮气格间 15 向外引出，而在冷凝器上部的气态氧，则经热交换器的氧气格间 16 先通过气量计 18 而引入贮气柜 17 中。柜中氧气又为氧气压缩机 19 抽出来，并在机中压缩到 150 个大气压，再经充氧架 20 装入钢筒中。

起动制氧设备时，应在可能地短期内使分离器冷凝，并且须在蒸发器中和冷凝器中积累必要的液体，此时在空气压缩机中把空气压缩到 200—220 大气压。可是当气态氧在分

而越浓，最后约含 $94-96\%$ 的氮的蒸气进入冷凝器 11 的管中，在此，由于上塔 8 流下而聚集于冷凝器管间的液态氧之蒸发，遂使氮蒸气冷凝成液体。液态氮一部份从下塔顶部往下流（由蒸发器 9 中的蛇管经空气节流阀而流入下塔的液化空气则从塔的中部往下流），以除去氮中残存的氧；而另一部份的液态氮则聚集于冷凝器 11 的容器 12 中，经过氮气节流阀 13 进入上精馏塔顶部塔板上。聚集于下塔蒸发器 9 中的富氧液态空气，经过氧气节流阀 14 同样进入上塔的顶部塔板上。此两部份液体在上塔内的塔板上逐板下流，液体遂为氧逐渐增浓，最后所得的纯液态氧则收集于冷凝器 11 的管间，而蒸气则几为纯氮。

气态氮由塔顶引出，经过热交换器的氮气格间 15 以冷却新进入分离系统的空气。在冷凝器 11 管间的液态氧，则吸收了氮蒸气在冷凝器中液化时的冷凝热而蒸发成气态氧，经过热交换器的氧气格间 16，和气态氮一样在热交换器中冷却即将进行分离的空气，然后它再通过气量计 18 而引入贮气柜 17 中。氮气又为氧气压缩机 19 从贮氧柜中抽出来，并在机中压缩到 150 个大气压，再经充氧架 20 装入钢筒。

分离器中开始制得，並且分离空气的操作过程即行建立时，則只把空气压缩到 50—60 大气压，如此大的压力便足够抵偿分离器所损失的冷。

设备用于生产最高产量的液态氧时，冷却损失就增加，增加之量就是由分离器中随取去的液态氧一同带走的冷量。为了抵偿这个另外的全部冷的损失起见，就把空气压缩到 200—220 大气压。

此外，设备用于生产液态氧时，约有 50% 的空气从干燥器组进入往复胀气机 21 膨胀，以取得必需的冷量。空气在胀气机中的膨胀功，借皮带传动传给空气压缩机的轴上。空气在胀气机中膨胀，当其压力从 220 下降至 6 大气压时，此时的温度就冷却至 $-110 \sim -120^{\circ}$ 。

在胀气机膨胀后冷却的空气，使之经过胀气过滤机 22 以除净所带的滑油，然后进入所谓热交换器的胀气支管 23；在胀气支管中补充冷却后，这部份空气就直接送入下塔的蒸发器中。由分离器的冷凝器内出来的液态氧流入立着的固定貯槽 24 中。由此按照需要情形，将液态氧放入运输槽或容器中运至需用地点。这种设备用于生产液态氧时，常常得到约 20% 的气态氧。

现将制氧工业管理总局的设备性能数据列举于下。

设备生产氧的能力 (氧的纯度为 99%) ^①	气态氧，公尺 ³ /小时	30	130	250
	(当在 0° 和压力为 760 公厘汞柱时)。			
	液态氧，公斤/小时	30	140	280

① 在决定制取液态氧的设备的生产能力时，照例地在设备中只有 70—80% 的氧成液态，其余为气态。

压缩机所压缩的空气量，公尺 ³ /小时，（在 0° 和 760 公厘汞柱时）				
工作压力，大气压	制取气态氧时	80	60	55
	制取液态氧时	200	200	200
发动机的设备容量， 仟瓦		50	250	500
压缩机轴上需要的功 率，仟瓦	制取气态氧时	42	160	290
	制取液态氧时（将膨胀 气机收回的能量算入）	45	190	360
压缩机轴上的能量单 位消耗，仟瓦-小时	每 1 公尺 ³ 的气态氧	1.40	1.25	1.15
	每 1 公斤的液态氧	1.50	1.35	1.30

压缩机轴的能量消耗值列举於上。所以设备中的实际能量消耗，把皮带传动和电动机的损失估计在内，将高出 10—12%。此外，如把起动时间、设备发热停车等等估计在内，则每年的能量平均消耗就要增长。将一切损耗计算在内，可取制 1 公尺³ 气态氧每年消耗能量平均为 1.8—2.0 仟瓦-小时为准；在制取液态氧的设备中，则 1 公斤液态氧为 1.5—1.8 仟瓦-小时/公斤。

低压制氧设备的特点，在于制取供液氧炸药用纯度为 95—98% 的液态氧。当必须使用较差的（即纯度较差的）氧时，可用空气把它冲淡至所要的百分比。

低压设备的显著特点，使得制氧设备的工艺操作系统必需有之某些改变。这些改变可归纳如下：

a) 使用涡轮压缩机来代替往复式压缩机，因为主要的气流并不压缩到 5.5 大气压以上；

6) 以冷冻回收器来代替主要气流的间壁热交换器，并

用在冷冻回收器填料表面上冻结的方法以除净气流中的二氧化碳和水分；

B) 用涡轮胀气机作为设备中的致冷机。

涡轮压缩机和往复式压缩机比较，它有下列优点：外型小生产能力强；对1公尺³压缩空气的重量小；排送和抽吸方面都没有阀；转速大，能直接和发动机连接；空气不为滑油蒸气弄脏；工作可靠，管理简单。

冷冻回收器是一直立圆筒壳，其中紧密地装以圆盘形填料，该填料系由波形钢带或铝带^①卷绕成圆盘形而成。使用这种填料，就能保证在较小的容积中而有巨大的热交换表面积。例如，在某些冷冻回收器中1公尺³的这种填料，就有2000—4000公尺²的表面积。每一设备中都装有几个冷冻回收器，至少，也不应少于两个。

这些冷冻回收器借压缩空气的并流，和膨胀至低压的空氣的逆流或由设备出来的氧气或氮气流来工作。并流和逆流的分配则利用活门来管制。

冷冻回收器的工作示意图，如图3所示： α 为冷冻回收器的外壳， δ 为其填料，1、2、3和4为强制作用的进气活门和出气活门，5为强制作用的旁通活门，6为自动管理活门。

冷冻回收器的工作原理如下：由压缩机出来往制氧装置去的压缩气流，通过一个冷冻回收器，例如在左边的一个。在此情况下，左边冷冻回收器的活门1和5就开放，空气由此进入器中，当其与冷却的填料表面接触时，即行变冷。此时，填料本身就热起来，在冷冻回收器温热端（在图3上的

① 厚约0.1—0.3公厘——譯者。

留下的空气从一冷冻回收器旁通到另一回收器去，使器中的压力相等起来，从而在变换冷冻回收器的活门时，就减少了压缩空气的损失。空气通过冷冻的填料时，不仅把它自身冷却，同时还把其中所含的二氧化碳和水分冻结在填料的表面上。

填料的温度到 0° 时，水汽就其在上凝结成液体，温度在 0° 至 -40° 时，水分便冻结成冰，最后温度在 -135 至 -170° 时，二氧化碳就冻结成雪。逆流时，因为由分离器出来的空气是干燥的，且不含二氧化碳，所以它遂为水汽和二氧化碳重新饱和，这些杂质就得以由冷冻回收器排除去。这样，则填料一方面把空气和氧气冷却，而另一方面则又把不相干的杂质不断地清除。

单涡轮式胀气机的使用，是低压设备最新的改变。单涡轮式胀气机系一涡轮机（旋转涡轮压缩机），以空气为工质来转动该机的转子。导入单涡轮式胀气机中的空气进行着膨胀，同时就按照它们所作的外功量而冷却。空气进入单涡轮式胀气机的速度不能超过200公尺/秒。转子转动（圆速）速度也大略与此相同，因为速度再高时，材料的强度就不够了。

在低压制氧设备中，可指出按П. Л. 卡皮兹院士的方法制取液态空气和气态氧的设备。按照制取液态空气的实验设备图解（图4），空气经过过滤器1而入压缩机2，并压缩到6—7大气压的压力，压缩空气在水冷却器3中冷却，导入滑油分离器4，再由分配阀5送入冷冻回收器6。分配箱的活门作成活塞式的滑阀，由电磁铁使之运动。电磁铁则借电动机开动的接触机构每25—27秒交替地接通电流。

冷冻回收器具有真空的絕热^①。器中填料由寬 50 公厘、厚 0.1 公厘的鋼帶或鋁帶作成。冷冻回收器冷冻端（上端）有自动活門 7。空气出冷冻回收器后，主要部份就經過濾器和溫度調節器 8 而进入單渦輪式脹气机 9，在此进行膨脹而冷却，並入液化器 10，在液化器中經內管又入第二冷冻回收器再返回壓縮机的吸入管中。另有一小部份空气則从第一冷冻回收器經過止逆閥 11 而进入液化器的管間中，在此液化，並經活門 12 进入受器 13，自此，經過旋塞 14 而注入杜瓦瓶中。

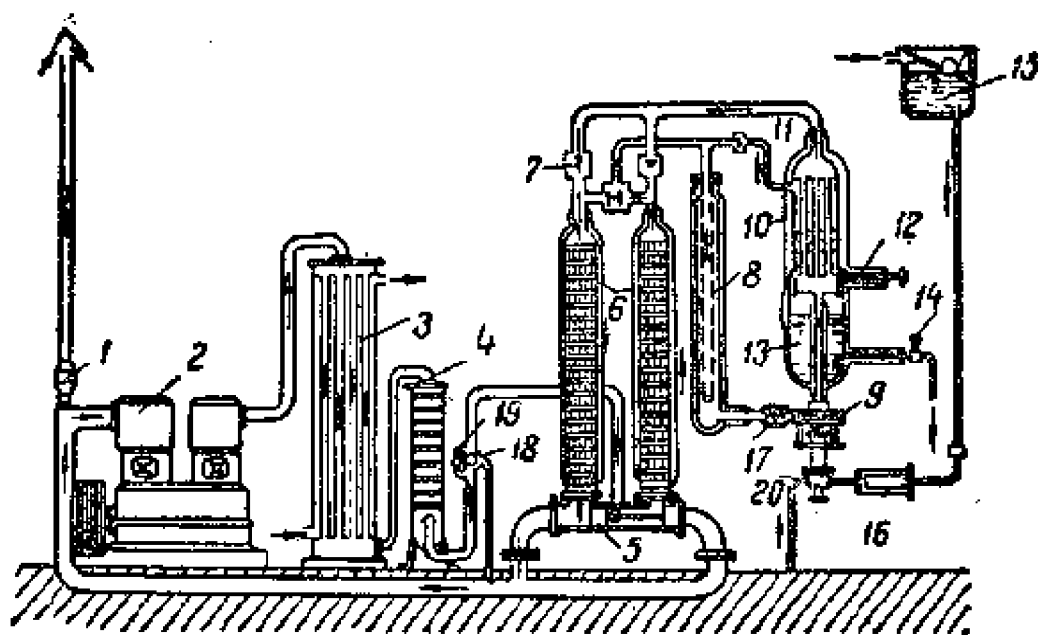


圖 4 卡皮茲院士的制取液态空气的设备圖解

除此以外，圖 4 中又表明：水箱 15，濾水器 16，为單渦輪式脹气机加热用的电加热器 17，旋塞 18，旁通 19 和水制动器 20。

类此的设备，每小时能加工約 600 公尺³ 的空气，平均

① 真空的絕热系在器的双層壁間造成真空以避免对流换热——譯者。

生产29—30公斤的液态空气。制得1公斤液态空气，約消耗电能为1.7 仟瓦-小时。如果考虑到把得之於脹气机的能量更合理地利用，並减少管路和冷冻回收器中的各种損失，則生产1公斤液态空气的能量消耗，可降低到1.2 仟瓦-小时。

制取液态氧設備的不同处，在於它有精餾裝置，液态氧則在其中从液态空气里分离而出，成为最后产物由設備中取去。每小时制得200公斤液态氧的設備（圖5），要由6大气压的單渦輪压缩机来供給空气，每小时需要4500—5000公尺³的空气。

如圖5所示：1为压力調節器，2为空气冷冻器，3为除水器，4为冷冻回收器的活門機構，5为廢空气排洩管，6为空气分离箱的外壳，7为裝控制和测量仪表的板，7a为电表盤，8为單渦輪式脹气机的外壳，9为减速裝置，10为电动机，11和12为貯液态氧的固定槽，13为空气預热器。

制氧設備的管理，要按照制氧工業管理总局拟訂的專門規程来进行。

設備在長期停車后再开动时，須先加以預热，並仔細地吹入空气清扫。一切活門的开和关，应当逐漸地和謹慎地进行，不要破坏机械的运轉或引起損坏。

在制氧車間內，不許吸烟和点火。車間里的熔接、切削和焊接工作，只能在特殊情况时在主管人員亲自监督和採取一切預防措施之下来进行。

容易着火和燃燒的物質（如汽油、煤油、油类等）应儲存在特別隔离的地方，盛在封閉的铁桶中，儲量不超过一晝夜的用量。

处理液态氧应特加小心，当其触及皮膚时，能引起皮膚

外皮严重烧伤，衣服为液态氧浸透时，可能有冻伤的情形發生。

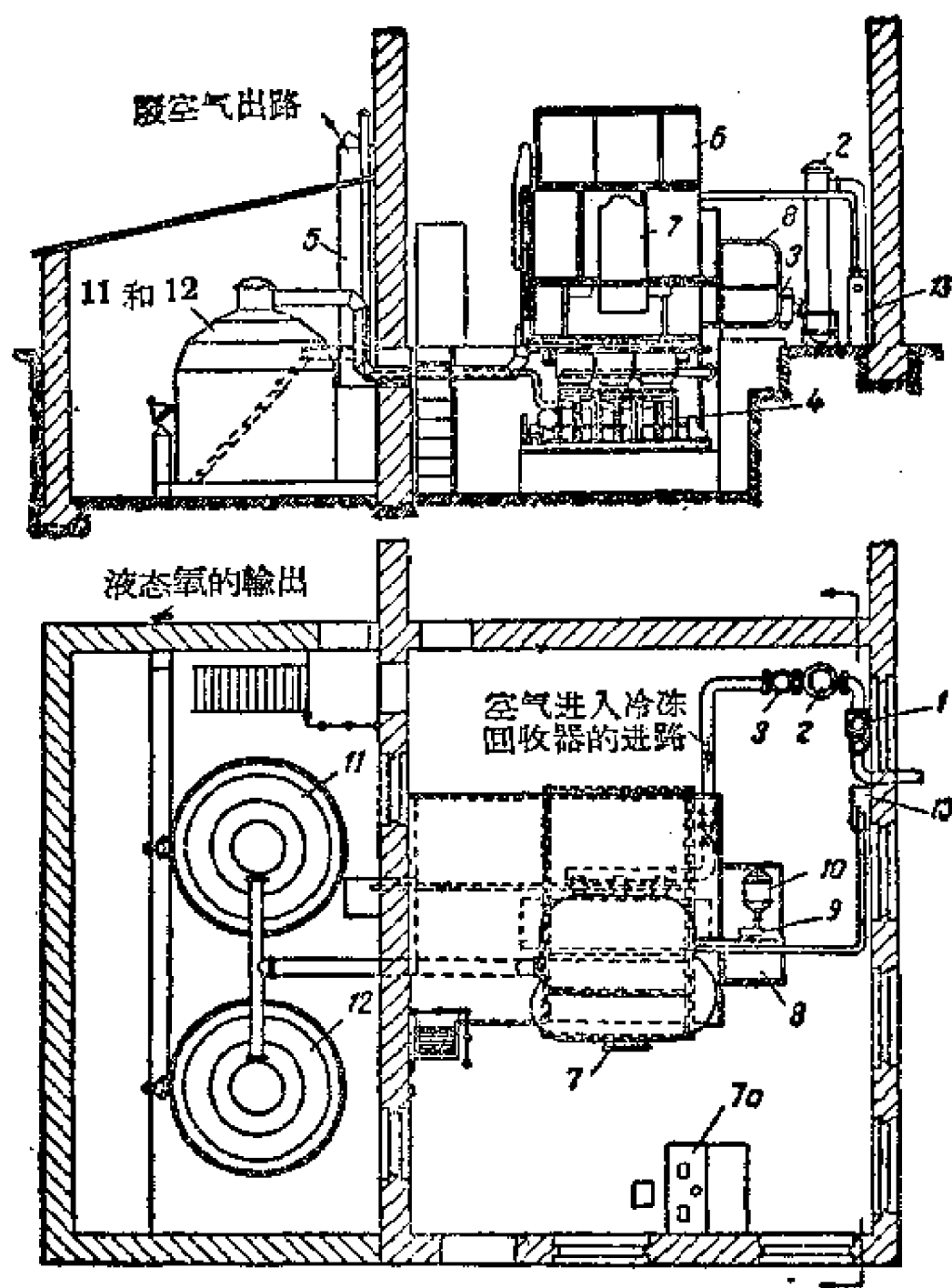


圖 5 П. И. 卡皮茲院士式制取液态氧的设备

第四章 儲存和運輸液態氧的容器

液態氧的主要性質之一是比較容易揮發，因此運輸它的技術問題，就與此性質有密切關係。液態氧之所以比較容易揮發，是由於它的蒸發潛熱很小（大約為 51 大卡/公斤）。液態氧的沸點在 1 個大氣壓時為 -180° ，然而周圍介質在一年四季中的溫度則在 -30° 和 $+30^{\circ}$ 範圍間變動。溫度雖有如此巨大的變動，但是這個範圍和液態氧沸點的差異還是這樣大的，以致於周圍介質同液態氧的溫度比較起來总是很“熱”的。

有這樣的溫度差，就能保證有大量的、強烈的熱流向液態氧。同時為了使液態氧變為具有 $+20-30^{\circ}$ 的氣體，便要消費一些熱，它消費多少，就去取多少，即 1 公斤液態氧約需熱 95 大卡。

外熱流入液態氧有三種途徑： a) 對流； b) 熱傳導； c) 輻射。輻射在這種情況下，並無實際意義，因此不去考慮它。為了防止引起液態氧損失的熱之侵入起見，就需要減少或消除對流和熱傳導的作用。

對流作用，在氣體加熱時具有重大意義，氣體加熱而致溫度改變時，它的比重有相當大的改變。雖然氣體的热傳導性很小，但因對流的緣故，熱乃迅速地在氣體中傳播。

填充的絕熱材料之導熱系數，主要隨該多孔性絕熱物質的緊密度所表征的容重（即單位容積的重量）為轉移：容重越大，導熱系數就越大，也就是說它的热絕緣性質越差。

某些物質的導熱系數的數值列舉於下：

物質	导热系数 卡/公分-秒-度	物質	导热系数 卡/公分-秒-度
鋁.....	175	黃銅.....	55
石棉(棉絮狀).....	0.04	紫銅.....	320
气溶膠.....	0.048	米波拉 (Мипора) ...	0.022—0.025
毛氈.....	0.36	錫.....	56
空气、氧、氮		軟木板.....	0.035—0.06
在+20°时(气体)	0.0215	鉛.....	30
同上, 在-183°时		碳酸鎂, 容重	
(液体)	0.0072	为 150 公斤/公尺 ³ ...	0.038

特別是在外部介質和絕热物質之間建立一真空層，对流或热傳导的作用便获得减少或消除。可是，容器的尺寸大时，造成真空热絕緣，即過於复杂，因为容器壁的絕對密閉性一旦破坏，过一些时候，真空就減低，壁間絕热作用从而大为变坏。所以真空絕热緣只用於容量不大的容器並且是在試驗室的技术上。

多孔性絕热材料，用於工業設備上作为容量大的容器的热絕緣。这些材料的孔中含有不流动的空氣，由於气孔微小，其中不会有对流存在，这样就使得傳热不良。所以一切多孔性材料的热傳导是很小的。

也使用高度多孔性材料如矿滓纖維、碳酸鎂作为絕热材料。为此目的，Ю.Н.雅比宁曾建議用硅酸气溶膠，此物容重为80—110公斤/公尺³，导热系数比碳酸鎂减少了五分之三。

现时开始使用所謂米波拉一物作为液态氧运输槽的热絕緣。米波拉是成泡沫狀而硬化的脲醛樹脂，是輕而多孔的物質，热傳导性甚小，这种物質能够滿足对优良絕热材料所提出的要求。米波拉的导热系数在容重为15—20公斤/公尺³

时，是 0.022—0.025 卡/公分·秒·度。

米波拉和別种热絕緣物比較，其优点是質輕而無吸湿性。因为米波拉的气孔是閉塞的，孔間並不相通，所以在冷却时几乎不吸入周圍的空气。米波拉的外觀是白而很輕的塊狀物，容易切成任何形狀的塊。米波拉含有大量的氧、氢和碳元素，故为可燃物質。米波拉为液态氧浸透时，即成为一种弱液氧炸藥。米波拉用作絕热材料时，为了消除着火的危險，按照本書著者所建議的方法，它在制造过程中要用特殊成份来加工制造。

儲存和运输为量不大的液态氧，可使用真空热絕緣的容器，此容器称为杜瓦瓶。其容量有 2、5、10、15 和 20 公升五种。容量 15 公升的瓶最为广用（圖 6）。

杜瓦瓶由两个柴銅鈹作的球組成的，其中一个安放在另一个里面。悬吊在長管 2 上的內球 1 是在外球 3 內，長管即作为瓶頸。將兩球壁間的空气

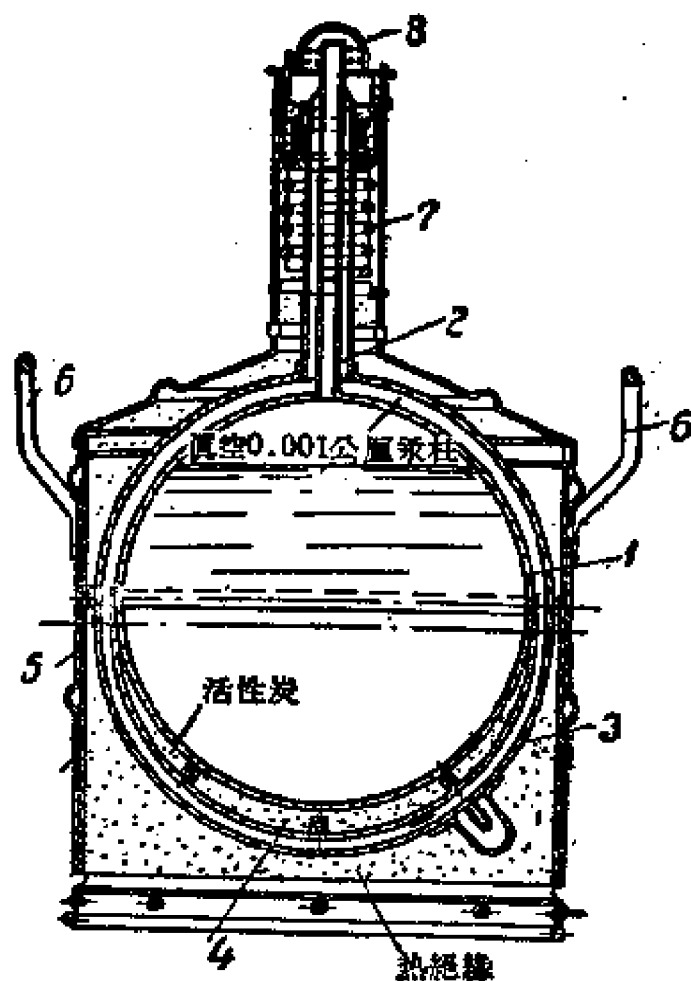


圖 6 杜瓦瓶截面圖

抽出，直到殘余压力为 0.001 公厘汞柱为止。高度真空能保證成为优良的热絕緣以防外热浸入。

因为少量空气还有侵入真空的球壁間（經過金屬的小孔眼和銅球焊接的地方）的可能，所以为了保持球壁間 4 的真空起見，乃在此壁間放置少量的活性炭或硅冻。此二物在低溫时能吸收超过其体积 350—400 倍的气体。这种措施便能够長时期保持容器壁間的高度真空。

如圖 6 所示：4 为活性炭室，5 为金屬外壳，6 为側把手，7 为彈簧，8 为盖住內瓶口的盖子。盖子上鑽有孔，作为蒸發了的氧气之自由出路。

液态氧在杜瓦瓶中可長期儲存和运输。为了減少輻射傳热，內球的外表面和外球的內表面都加以精密的磨光或鍍銀，

为了避免机械損伤，兩個球都放置在金屬瓶壳內，空隙填以热絕緣物，如圖 6 所示。壳上安裝兩個側把手 6，作为提携之用。

構造如上述的瓶，是十分坚固的，可使用 2—3 年之久。在此時間以后，球壁間的真空就必須重新抽过，活性炭和硅冻也应更換。瓶的尺度和在儲藏同运输时液态氧的損失，列於表 2 中。

表 2

容量，按氧計		瓶重，公斤		尺度，公厘		儲存时的損失 公升/小时
公升	公斤	空时	裝滿时	直徑	高度	
5	5.7	4.5	10.2	240	500	50
10	11.2	7.5	18.8	295	620	45
15	17.0	17.0	34.0	360	690	40

液态氧从瓶内倾倒出来时，由於液态氧的强烈蒸发，在瓶里就造成一剩余压力。如图7所示，瓶倾斜时，外瓶和内瓶的壁便於这时接触，周围介质的热就有可能直接传给予液氧。因此，液体蒸发加强，压力增加，液体乃为之向外挤出。

利用漏斗来将液态氧装入杜瓦瓶。为了避免杜瓦瓶里的压力增高起见，就不应用实软木塞来塞瓶子。瓶塞应防止灰塵等落入瓶的内容物里，並且同时还要保证由瓶中液态氧蒸发成的气态氧能自由逸入大气中。

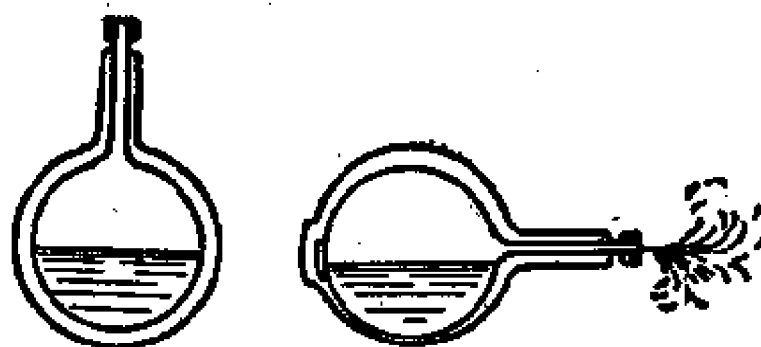


圖 7 杜瓦瓶傾倒圖

为要儲存大量液态氧，可直接在制氧設備附近建立一些固定的貯槽，並用管使它同 冷凝器 連接。随着液 态氧的积聚，它就从設備中沿着管路源源流入槽中。

固定槽（圖8）是由薄黃銅皮作成的球1，它懸掛在鐵壳3里面的鏈子2上。球的上部有一入洞4，用盖子盖着並焊住。該入洞系作为修理时檢查球的内部並清扫槽之用。將沉降槽5从外边焊在球的下面上，淤渣和滑油即沉降於此槽內；此处球壁有一些小孔眼，作为沉淀物流入沉降槽之用。

从沉降槽向外引出一管6，用作吹入空气以清扫槽和排

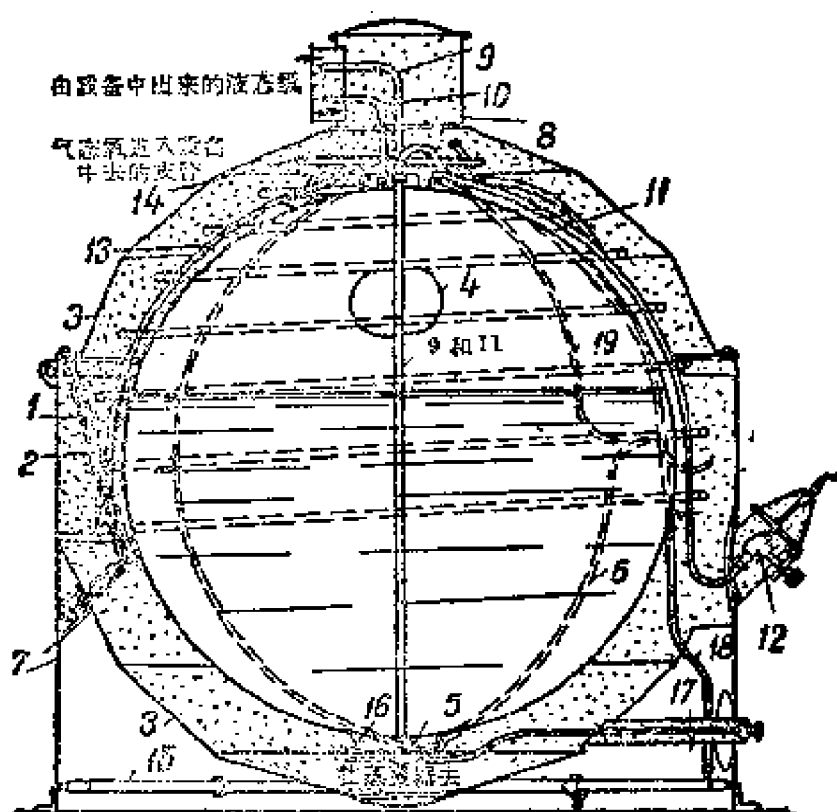


圖 8 固定槽截面圖

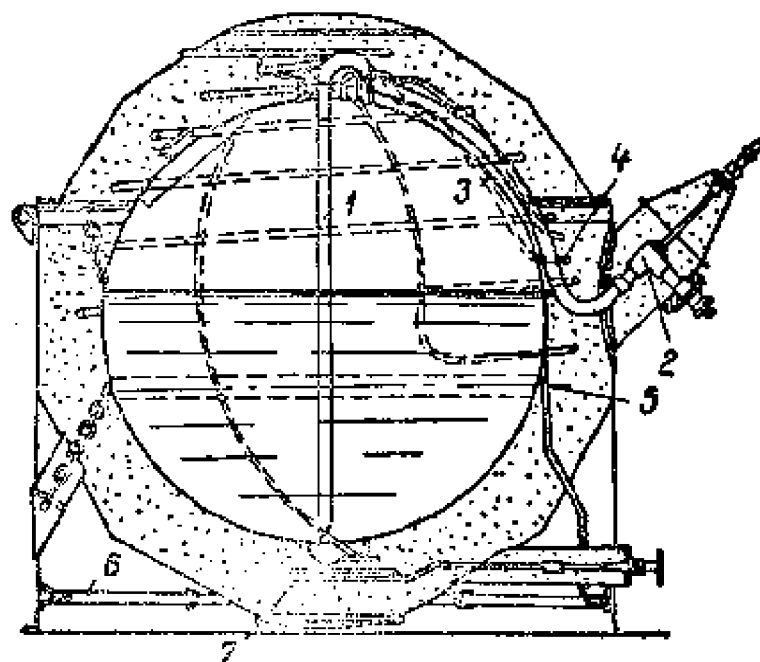


圖 9 運輸槽截面圖

除淤渣。槽壳下部支承在圓筒架 7 上。壳壁和黃銅球壁間填充一厚層熱絕緣物（常用米波拉）。以球壳上部的罩子 8 作为它所具有的可拆卸的盖子。

裝液态氧入槽中，是使用把槽同制氧設備冷凝器連接起來的管子 9。在槽內蒸發出來的氧，則沿焊在黃銅球上部的第二根管子 10 回到設備中。

把液体从槽里倒出，是經過管子 11，該管一端插到黃銅容器底，另一端則和放出液体的活門 12 相連。利用螺帽把一根可弯曲的金屬軟管連接在活門上，軟管的另一端則和搬運槽連接。液态氧受槽中存在的压力作用逐經過管 11 和活門 12 而流注運輸槽中。

蛇管 13 用作由槽里出来的 气态氧之出路，該管敷設在槽中熱絕緣內，以便於使它更好地冷冻。此外，管 14 备有小孔，气态氧沿着它直接进入槽的熱絕緣中，因此，在熱絕緣孔中的空气冷却时，真空就不会在那里形成，外界的湿空气將不致侵入，因为湿空气毫無疑义地要使絕热材料的絕热性質变坏。

蒸發器 15 供由槽中倒出液态氧时、蒸發少量的液态氧以增大槽中压力之用。蒸發器中的液体沿蛇管 16 經過活門 17 而来，生成的氧体則沿着管 18 而往黃銅球上部去。

槽上裝有一最大压力为 2 个大气压的压力計，和帶有刻度的液位指出器。管 19 通向最大压力規定为 0.6 个大气压的彈簧安全活門。固定槽盛液态氧的容量可为 1200—8000 公升。

除了用来儲存液态氧的固定槽外，还有運輸槽。運輸槽的構造和固定槽大同小異，每个固定槽稍加改造，就可用于

運輸槽。但从固定槽把液态氧放入運輸槽、以及由運輸槽把氧放出来，都是經過管1和活門2（圖9）。

固定槽和運輸槽之別，在於運輸槽上部沒有用管子作为出路的罩帽，而有一帶活門的附加管3作为直接把气态氧放入大气中之用。此外，如圖9所示，4为冷冻热絕緣的管子，5为增高槽中压力的管子，6为蒸發器，7为蒸發器的蛇管。

裝置在載重汽車上而又与其載重量相当的運輸槽，能保証將液态氧由制氧設備处运送到需用地点。運輸槽盛液态氧的容量通常为1200—2800公升。

把液态氧由固定槽放注入運輸槽，有如圖10所示。

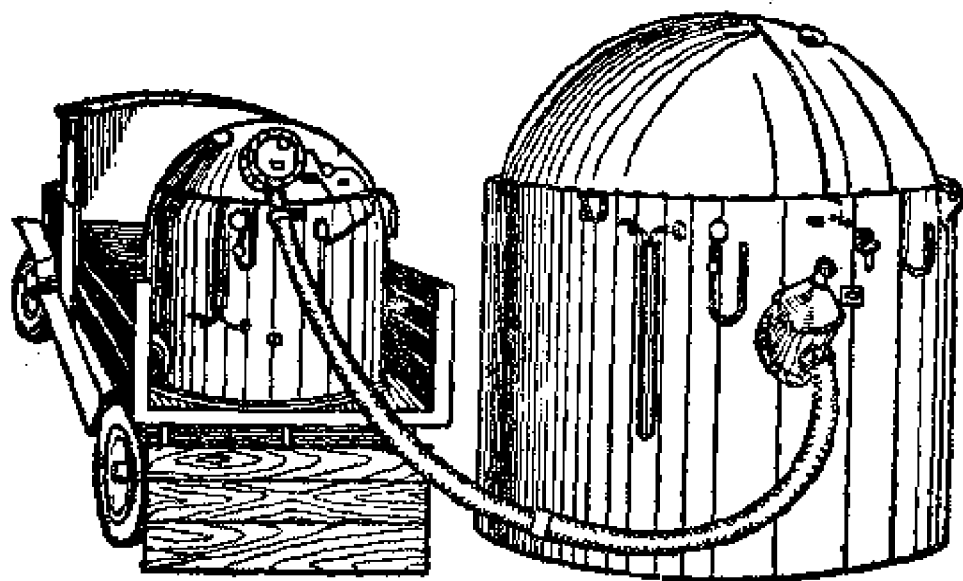


圖 10 放注液态氧入運輸槽

固定槽和運輸槽的規格，載在表3中。

液态氧在固定槽和運輸槽中的蒸發損失量，以該槽中所盛的液体量来計算，每小时約在所盛量的0.4—0.7%之間变动。運輸槽中的蒸發損失和其盛滿的程度有关，裝得少时，損失（公升/小时）就多。

表 3

指 标	槽 的 种 类			
	运输的	固 定 的		
	容量，公尺 ³	(按气体计)		
	1000	2400	4000	6600
按液态氧计算的容量.....	1200	2890	4820	7950
同上，换算成气体，公尺 ³ ...	1000	2400	4000	6600
重量，公斤：				
空槽.....	1200	1800	2300	3385
液态氧.....	1360	3280	5450	9010
装满的槽.....	2560	5080	7750	12395
最大使用压力，大气压.....	0.6	0.6	0.6	0.6
试验压力，大气压.....	2	2	2	2
蒸发损失的容量百分率，以 每小时计.....	0.7	0.6	0.5	0.4
黄铜球的尺寸，公厘：				
内径.....	1320	1770	2100	2480
壁厚.....	2	2.5	2.5	3
外壳的外廓尺寸，公厘：				
直径.....	1850	2410	2760	3150
高.....	1810	2400	3170	3510
热绝缘的需要量，公斤（米 波拉）.....	50	80	135	200

在铁路上远程运输液态氧时，系使用装置有大容量的槽之铁路平板车，也使用专门的铁路罐车。罐车的容量可盛液态氧 20—30 吨。罐车由厚 2.5 公厘的黄铜板制成，悬挂在

由厚4公厘鉄板制成的外壳內之鏈子上。用米波拉作为热絕緣。外壳有鋼架，罐車固定在它的上面。液体在罐車內的揮發量每小时約为其容量的0.11—0.12%。

槽和罐車要时常打开，將內球焊接处熔开，加以檢視並仔細地清扫。这种操作，每三年內至少应进行一次。此外，在六個月內，还应至少有一次把槽和罐車用热空气加热，用溶剂加以清洗。后者仅对裝置往复式脹气机的制氧設備所制的氧才是必要的。使用的溶剂为二氯乙烷或三氯乙烯。

第五章 液氧炸藥的吸收剂

就当地到处都有的材料中来選擇吸收剂时，应考虑到要保證液氧炸藥的效力和使用的安全。对液氧炸藥用的吸收剂所提求的主要要求，可綜合如下：

a) 以該吸收剂为基础而制成的液氧炸藥，对各种热和机械作用的感度應該是这样的：就是在它們作用之下使用这类炸藥要安全；

б) 用以作吸收剂的可燃物，应尽可能具有大的多孔性、必要的纖維尺寸、防止液态氧由液氧炸藥藥包中流出的粉碎度。

в) 吸收剂在液氧炸藥中具有燃料的功用，当其為液态氧浸透以后，它应保證爆炸变化的反应最为完全、析出最多的热量（能量），这样，液氧炸藥才产生巨大的功能（由於使反应加速）和强烈的猛度；

г) 取得吸收剂的原料基地，应接近使用液氧炸藥的企

業，这样才可能减少运输費用。

使用液氧炸藥的企業，可直接制备吸收剂来組織这类炸藥經常不断的制造，其价格約低於礦業上所用的硝酸炸藥的价格。

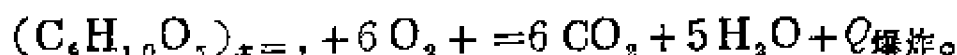
作吸收剂的基本物料，按其性質來說，可分为碳質的和纖維質的；有时候又在其中加入容易氧化的金屬粉。按吸收剂的結構來說，可分为粉末狀的和纖維狀的。

碳質吸收剂的元素組成是大量的碳和小量的氮。屬於这类吸收剂的有各种碳黑（灯黑，烟黑等）、煤等等。碳質吸收剂在美国比較广泛流行。但經苏联研究者的工作証明：以碳質吸收剂为基础的液氧炸藥，对机械作用的感度是很高的，因此，危險性就大。甚至以盛行使用碳質吸收剂的美国來說，也承認此危險性是很真实的，並且为了部份地消除此危險性起見，乃使碳質吸收剂（粒狀的）的水分增加到20%。

为了增高液氧炸藥的爆溫，有时在碳質吸收剂中加入容易氧化的金屬細粉，这样，就增加了气体的体积，从而就使炸藥的功能增大。

纖維質吸收剂組成中含有各种变体的纖維素（ $C_6H_{10}O_5$ ）_x。这种吸收剂和碳質吸收剂的主要区别，在於纖維質吸收剂除了可燃物外，其組成中还含有氧化剂（氧），因此这种吸收剂單位重量的可燃物量，就小於碳質吸收剂。所以用纖維質吸收剂制成的液氧炸藥，爆炸时釋放出的能量就比由碳質吸收剂制成者为低。用下列計算例來說明，即可一目了然，

纖維素的元素分子，在爆炸变化时，如要其中的可燃元素完全氧化，則需要12个原子的氧

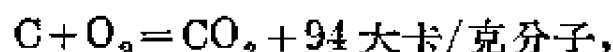


由元素氧化成的产物之生成热为

$$(6 \times 94 + 5 \times 58) = 854 \text{ 大卡/克分子。}$$

如此，則爆热 ($Q_{\text{爆炸}}$) 將等於 $Q_{\text{爆炸}} = Q_{\text{終态}} - Q_{\text{初态}} = 854 - 296 = 558$ 大卡/克分子，式中的 $Q_{\text{初态}}$ 为由元素化合成一克分子之纖維素的生成热，使成为整数即等於296大卡/克分子。因此，1公斤液氧炸藥的爆热为 $\frac{558 \times 1000}{354} = 1580$ 大卡/公斤。液氧炸藥爆炸产物的气体体积为 696 公升/公斤。

使用碳質吸收剂时，如果它是純碳，則反应將如下所示：



或为 2136 大卡/公斤，气体体积为 510 公升/公斤。

同时，由於纖維素分子中有若干的氧，这就使得从外面取来氧化可燃元素的氧量减少，由之就大大地增加了这种液氧炸藥的寿命。此外，纖維質吸收剂的結構能使得它們較為紧密，这样就使單位体积的炸藥爆炸时，释放的能量大为增多。密度增高，也使得液氧炸藥的破坏作用（猛度）加强。

纖維質吸收剂的液氧炸藥对机械作用的感度，已确定比基於碳質吸收剂而成的液氧炸藥低得多。

世界各处实际上可用来作液氧炸藥的纖維質吸收剂之品种，是各种各样的。屬於这种吸收剂的有：青苔类的各种变种、軟木粉、木粉、鋸末、泥煤、蘆葦、羽毛草、茅草、稽桿、各种壳类、干草、木纖維等等。

挑选吸收剂时，其灰份起着重要作用，因为大量不燃燒的（矿物的）殘渣是惰性物質，它既不参加能量平衡，而且

第六章 制备吸收剂的工艺操作

制备吸收剂的工艺操作特性和系统，根据所采用的吸收剂之种类和保证使用基于该吸收剂制成的液氧炸药要极为安全的条件来决定。

用细粒木炭来制备吸收剂时，系把烧成后的木炭加以碾碎、活化，并在10—30号筛上筛过以除去塵末和微细部份；此后，使其中得到18—20%的湿含量。为了使液氧炸药具有防火性起见，在美国则用防火剂来处理细粒木炭。

如果液氧炸药是由碳质吸收剂制成，并作为深眼装药用者，则将碳质吸收剂放在布制包皮中；作为炮眼装药用者，则放在纸筒中。

在使用纤维质吸收剂之初期，是把他們粉碎、就其在天然的湿度下装在布或纸制包皮中。为了增强纤维质吸收剂（泥煤、木粉等等）的液氧炸药之炸碎效力起见，乃以容易氧化的金属粉或细粒作为金属附加物加入炸药中，比较常用的金属为铝，有时也用铁合金。粉碎纤维质吸收剂，系在解磨机或球磨机一类的机器中进行。吸收剂和金属附加物的混合则在同一磨机中进行。

制备粉末状吸收剂的工艺操作比较简单，包括把吸收剂物料放在解磨机中粉碎，和装入包皮中的操作。灰份不超过12%的优良腐质泥煤，在按试验方式进行作业的情况下，曾经用来作为粉末状吸收剂。粉碎后的吸收剂如不筛去塵末，就会增加早炸危险。吸收剂的湿度不限定，但实际上，产物是风干了的。在这种状态下的湿含量不一致，而随季节、气候和

大气条件的变化为轉移。

以粉末狀纖維質吸收剂来制液氧炸藥，有一特点，就是需要改变制吸收剂的工艺操作以保証吸收剂中不含塵末，因此，才能消除由塵末而可能發生的早炸危險。

在苏联为了改变制备纖維質吸收剂的工艺操作所作的工作，也是以消除由塵末之形成而生的危險为基础。因此之故，乃以調节塵末的湿度来达成这个目的，就是說造成这样的一些情况，在此情况下，不可能在气化了的空气或气态氧中生成有危險性的塵云。

調节湿度，是保証液氧炸藥所用的吸收剂中的湿含量，要在18—20%範圍內經常不变。在此情况下，塵末是沉重的，在气体中就不会飞揚。但是，要保持这种湿度，在大多数情况中是不可能的。譬如，在夏季气候干燥的地方，在空气湿度很小的情况下，吸收剂中的水分就容易蒸發，吸收剂迅速变干，以后就能导致塵云的生成。

存放吸收剂的專門倉庫，要附有調节空气湿度的設備，則該項建筑物即將复杂，在經濟上也不合算。應該指出，吸收剂的湿含量在20%以上时，它的塵末就变为沉重，在气态氧的大气中难以飞揚，同样的悬浮物甚至在5000—7000伏特电位差的不断火花放电情况下，也不致爆炸。

調节湿度設備所造成的复杂性，阻碍了在此方向的工作發展。

改变制备吸收剂工艺操作中的另一方法，是創制盛裝吸收剂的特种包皮，液态氧能透过它，塵末則被截留。在此情况下，就把粉末狀的泥煤吸收剂放於由紙漿鑄成的包皮中，包皮厚度約为2—3公厘。經研究后証明：这种包皮的强度是

不够的，当將其拋入深达 15 公尺的深眼中时，就会破裂。繼后，把这些裝滿了吸收剂並浸足了液态氧的包皮放在特制套中，該套仍由紙漿制成，但壁厚为 4—5 公厘；且有一以同一材料制成的頂盖。將吸收剂放在藥筒中再將藥筒放在包皮中，該藥筒作为附加的套，如此而成的組合，其强度即足够了。但是，它並不能完全預防在氧气流中（由裝填液氧炸藥的深眼中蒸發所成的）可能造成的塵云。

此外，根据下列諸原因，这种制备吸收剂的方法是不合理的：

a) 藥包結構包括三种構件（包皮，頂盖，套）是很复杂的；

6) 把液氧炸藥藥包放入深眼中时，由於包皮和套的壁厚，以及兩者間空隙的关系，裝填密度就大有損失，因此，深眼單位体积中所放置的炸藥量遂少得多；

b) 使用此方法时，不得不把放在套中的作好的液氧炸藥藥包放在工作面附近，赶急把頂盖盖上，这样，就使裝填深眼的工作复杂起来。

所以，關於制备吸收剂的后来研究工作，就轉变为使用纖維状态的吸收剂来消除其塵末。在此方面，可举出兩項具有实际意义的研究工作：

a) 某一採矿企業所进行的研究，就是在遥远的北方运用了液氧炸藥（是雅洪托夫的建議）；

6) 苏联科学院矿业研究所（阿索諾夫的建議）在科恩拉德基斯基矿山实际情况中所进行的研究，但目前尚未获得广泛应用。

第一項研究工作，是研究採用尚保持有纖維構造的 低腐

質的上部苔泥煤作为吸收剂。制备它的工艺操作是这样的：先将天然的苔泥煤烘干至湿含量为 18—20 %，然后在模子里压成密度约为 0.5 克/公分³ 的圆柱形藥包，压时将压料反复装入 3—4 次。压成的磚塊用細繩捆紮后，送往倉庫儲存。

为矿业研究所推荐的制备吸收剂之工艺操作，能使凡能分裂成最細纖維絲的任何纖維質物料都变为細纖維狀的構造。应用这种工艺操作时，是将大略切碎的吸收剂（稻桿、蘆葦、羽毛草和类似的物質）同大量的水在打漿机中加工，以至得到均匀的細纖維物質为止。細纖維物質在水中的濃度，以干物質計，大約为 6 %。纖維物質除去大部分的水后，就压成任意形狀和尺寸的磚塊，尔后再干燥至湿含量約在 18—20 % 范围以内。在此干燥状态的磚塊密度约为 0.45 克/公分³。

制备吸收剂的第一种方法最为簡單，生产設備只限於烘干房和压榨場。使用第二种方法来制备吸收剂时，就要有較复杂的設備，需要大生产能力的打漿机。但是，由后一种方法制成的磚塊，則比較致密，完全可能不产生塵末。而由第一种方法制成的磚塊，在用它来作業时，却能析出少量塵末。此外，按照矿业研究所方法制成的磚塊，机械强度較大，用於任何作業时，並不需要用細繩捆紮来保持其形狀。

应当指出，不管用那种方法制成的吸收剂来作的液氧炸藥，对热的感度都極为灵敏，容易为火星和火引起燃燒，並且在密閉或半密閉空間（裝填的深眼或藥室等）內的燃燒，能在压力增高的情況下，容易轉变为爆炸。事实上，以液态氧飽和过的磚塊狀纖維質吸收剂是和粉末狀的一样的，都具

有因热作用而起火和爆炸的严重危险性。

当吸收剂中的氧含量达到足以把吸收剂氧化为二氧化碳的那种情况时，危险性特为巨大。为了消除此严重危险起见，苏联矿业研究所曾按照本书著者建议，增用一道防火工序，把吸收剂物料浸以防火盐。这项工作是在（当採用不在打漿机中制备吸收剂的工艺操作时）在將吸收剂干燥至正规湿含量以前的最初工作段中进行。为此，系將新苔泥煤浸以防火盐的濃溶液，压去多余液体后，再把物料烘干。

按照第二种方法制备吸收剂时，並不施以防火的附加工序，而是用防火盐的濃水溶液来代替打漿机中的水。在打漿机中加工后，吸收剂物料用普通方法將水挤去，並加以压榨。在用任何方法来制备纖維質吸收剂的过程中，施以防火的加工，就能够得到对火星作用不敏感的液氧炸藥，从而消除了因火星而起火的危险。作好的磚塊是完全安全的，能儲存於矿山倉庫中。

第七章 液氧炸藥的壽命

液氧炸藥的寿命（或液氧炸藥的寿命時間）一詞，系指这些炸藥保持着爆炸能力的期間而言。

液氧炸藥的寿命長短，取決於吸收剂的化学性質、水分、其中灰份和其他不燃燒物質的数量、吸收剂的壓縮（裝填）密度、藥包为液态氧饱和（浸透）的程度和液态氧从藥包中蒸發的速度。液态氧从藥包中蒸發的速度，也視藥包的直徑（藥包的几何形狀和其尺寸）、在其中發生蒸發过程的周圍介質

之情况（風速，大气压力，导热物質的热阻等）为轉移。

藥包吸收剂为液态氧飽和的程度，以飽和系数（ K_H ）来表示，飽和系数可理解为完全飽和时，氧气重与單位体积吸收剂重之比。

氧系数是用来說明液氧炸藥在爆炸时的氧平衡的。此系数可用在各种点（ CO_2 ， CO ， X ）中的氧气重与單位体积吸收剂（或可燃物部份）重之比来表示，並可借事先給定的氧平衡用計算法来确定。氧平衡是确定爆炸时机的准則，零氧平衡相当於“ CO_2 点”，就理論上而言，液氧炸藥在这一点爆炸，就会产生最大效果。但因裝填深眼需要極多的時間，所以氧系数的計数值应当是一个極限点，这个点相当於效力最为适宜和最小可能的氧系数。在实际工作中，这样的点常常包含負氧平衡，位在“ CO_2 和 CO 点”之間，在确定液氧炸藥的爆炸特性时，用实践方法来決定它。

液氧炸藥的飽和系数总要大於氧系数，否則可燃元素只有部份地氧化，爆炸就微弱，或者完全不会發生爆炸。液氧炸藥的飽和系数值，随吸收剂的密度、吸收剂物料的真比重而定，用下列順序来确定：

1. 确定吸收剂在藥包中所佔的体积，

$$V = \frac{P}{\rho},$$

式中的 V —吸收剂的体积，公分³；

P —藥包中吸收剂的重量，克；

ρ —吸收剂物料的真比重，克/公分³。

2. 确定藥包中空隙的体积

$$V_1 = V_2 - V,$$

式中的 V_1 —藥包-吸收剂中的空隙体积，公分³；

V_2 —藥包的体积，公分³。

3. 确定飽和系数 (K_H) 值

$$K_H = \frac{\tau V_1}{P},$$

此时

$$V_1 = V_2 - V = \frac{P}{\Delta} - \frac{P}{\rho};$$

$$K_H = \tau \frac{V_1}{P} = \frac{\tau}{P} \left(\frac{P}{\Delta} - \frac{P}{\rho} \right) = 1.14 \left(\frac{\rho - \Delta}{\Delta \rho} \right), (1)$$

式中的 K_H —飽和系数；

τ —液态氧的比重，等於 1.14 克/公分³；

Δ —吸收剂在藥包中的压缩（裝填）密度，克/公分³。

吸收剂的物料真比重，对給定了型式的吸收剂是有一定值的，碳質吸收剂为 2.00 克/公分³，纖維質吸收剂是 1.35 克/公分³。

藥包的吸收能力，和吸收剂的物料真比重成正比，和吸收剂的密度成反比。所以两个裝填密度相等的藥包，其中吸收剂的物料比重較大的藥包，就可吸收較多的液态氧。碳質吸收剂（碳黑、木炭）的比重最大，但是按照安全条件，在苏联並不採用。

液氧炸藥的寿命，随藥包的裝填（压缩）密度增加而減短，显然是要考虑到藥包的体积（对一定情况言）是一常值。因此，裝填密度越大，或在藥包空間中的吸收剂之物料越多，則留存的空隙容积越少，在此藥包中的氧重量就越

少。同时应该考虑到在該藥包空間內的吸收剂之物料越多，則氧化可燃元素所需的氧就越多；就是說，氧系数要越大。所以減低裝填密度，可增加將为液态氧佔用的自由空間；但減低了裝填密度，則由於減少了炸藥爆炸变化时所放出的热量关系，同时就減少了該型式的液氧炸藥之功能和猛度。

如果吸收剂因結構的关系而粉碎得較粗（例如，泥煤或青苔-水苔），則大部份的液态氧將呈微滴状态而居於吸收剂諸小粒的較大間隔間。当此藥包从液态氧中取出来时，一部份的氧却很快地从藥包里流出。为液氧炸藥的藥包所能吸收的液氧量，由公式（1）确定之。

例）試驗猛度用的液氧炸藥藥包之体积为 50 公分³。未为液态氧飽和的藥包重是 23 克。吸收剂的物料（採用蘆葦）比重为 1.33 克/公分³。裝填密度为 $\Delta = 0.46$ 克/公分³。

將上項数据代入公式（1），則得飽和系数为

$$K_H = 1.14 \left(\frac{\rho - \Delta}{\rho \Delta} \right) = 1.14 \left(\frac{1.33 - 0.46}{1.33 \times 0.46} \right) = 1.62。$$

这时，为液态氧充分飽和时的藥包重 P_H ，將等於：

$$\begin{aligned} P_H &= K_H P + P = P (K_H + 1) = 23 (1.6 + 1) \\ &= 23 \times 2.6 = 59.8 \text{ 克,} \end{aligned}$$

式中的 P_H ——完全飽和时的液氧炸藥藥包之重。

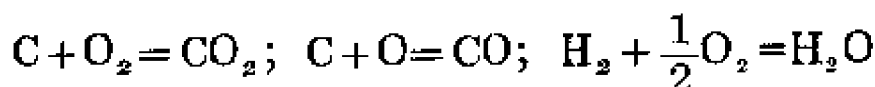
既知液氧炸藥藥包的重量，並定期地从液态氧中取出藥包来秤量，該藥包充分飽和的时间遂可确定。为此所需的时间，將为用該吸收剂所裝填的一定密度的藥包之飽和时间。

氧系数 K_x 也可用下列方式来計算。

將吸收剂进行元素分析，在分析过程中測定碳、氫、氧和氮的百分率，同时也确定灰份和水分的百分率含量。

例) 进行由青苔-水苔而成的吸收剂之元素分析, 得出了下列数据: 碳C—43.1%, 氢H—5.2%, 氧O—40.3%, 氮N—1.8%, 灰份—3.1%, 水分—6.5%。

应根据下列吸收剂之可燃元素的氧化反应出发来决定氧系数:



$$\begin{array}{ccc} 12 & 32 & 12 & 16 & 2 & 16 \\ \text{换算成比例} & 1:2.67 & 1:1.33 & 1:8 \end{array}$$

由上列之比, 就可基于吸收剂元素组成之分析来确定氧化1克吸收剂所需要的氧量。

1. 确定对“CO₂点”的氧系数:

$$43.1 \text{ 克} \times 2.67 = 115 \text{ 克}$$

$$5.2 \text{ 克} \times 8.0 = 41.6 \text{ 克}$$

$$K_{CO_2} = \frac{(115 + 41.6) - 40.3}{100} = 1.16。$$

2. 确定对“CO点”的氧系数:

$$43.1 \text{ 克} \times 1.33 = 57.0 \text{ 克}$$

$$5.2 \times 8.0 = 41.6 \text{ 克}$$

$$K_{CO} = \frac{(57.3 + 41.6) - 40.3}{100} = 0.59。$$

为了确定液氧炸药的寿命, 可作一液氧炸药药包的氧之蒸发曲线以供研究之用。把液氧炸药药包放在浸渍器中用液态氧浸透至全饱和。液氧炸药药包的氧之蒸发曲线可由这样的方法得到: 将在蒸发过程中的药包, 每隔二分钟在天秤上(最好是在有指针的台秤上)不断地称量, 直至重量不变为

止。試驗時秤得的重量記入觀察記錄中。

觀察記錄第一号

試驗日期——1954年8月10日。

蒸發狀況——在露天中蒸發。

大氣溫度—— $t_{\text{大氣}} = 22^{\circ}\text{C}$ 。

風速—— $v = 0.5 - 1.0$ 公尺/秒。

相對濕度——63%。

大氣壓力——765 公厘汞柱高。

藥包 号数	吸收剂的特 性和組成	吸收剂藥包 的 尺 寸		重量 克	秤量時 間, 分	藥包重 量, 克	減少的 重量 克	藥包中 的 氧 重, 克
		直徑 公 厘	高 公 厘					
四号	纖維質吸收剂	130	500	3500	0	8200	0	4700
					2	7900	300	4400
					4	7600	300	4100
					6	7300	300	3800

液氧炸藥藥包的壽命和其直徑有關係。藥包直徑越大，它的壽命就越長。例如，直徑為 32—36 公厘的藥包壽命，平均是 8—12 分鐘，而直徑為 180—200 公厘的則為 40—60 分鐘。

在預計每個藥包的重量時，除在充分飽和時的極限重量外，應計算它在“CO₂ 點”和在“CO 點”的重量。此後，根據試驗數據，在表格上作一曲綫，按照曲綫求出該藥包的壽命。

以後，應用同一吸收劑作成的液氧炸藥時，如果藥包的裝填（或壓縮）密度和尺寸都一樣，則採用的壽命時間，基

本上要 and 事先所确定的一致。

为液态氧所饱和的藥包之最大重量，可借返复秤量（一直到重量不变）法来测定^①。將藥包平放在浸漬器中用液态氧来饱和，液氧炸藥藥包沉沒於底时，即为完全被饱和之証（此为大致确定完全饱和的方法中之一法），但是，在此以后，还使藥包在浸漬器中再浸 10 分鐘为宜。

每个液氧炸藥藥包的寿命，在理論上可分为四个时期：

a) 完全將可燃元素氧化、随之生成二氧化碳 (CO_2) 並釋出剩余氧的时期。这个时期起自从浸漬器中取出藥包，直至藥包中的氧含量足以完全氧化可燃元素时为止。在此时期之初，因剩余的氧过多，有时液氧炸藥藥包就不会为雷管起爆；随着液态氧的蒸發，它的含量遂接近於“ CO_2 点”时机，爆轟能力就逐漸产生；藥包爆炸的最大威力出現在“ CO_2 点”附近。

6) 氧化不完全、爆炸产物中生成的一氧化碳逐漸增多、但不析离游离碳的时期。这个时期是从“ CO_2 点”延續到“CO点”；在此时期內，爆炸力不断减小；在最后时期，爆炸产物中只生成一氧化碳，但不生成游离碳。

B) 氧化不完全、爆炸产物中有部份游离碳生成的时期。这个时期从“CO点”起，一直延長到藥包中所存的氧尚可保証爆炸的可能性时为止；可是，爆炸力則大为衰弱。

F) 爆炸能力丧失时以后的时期。这时，藥包变为安全，对火焰或打击的作用就無所謂敏感了。在此时期內，藥包中还有一些液态氧，但在此情況下，並不能起氧化反应，

① 即再三用液态氧饱和，返复秤量，直至重量为一常量时，就以此时的重量作为所求的重量——譯者。

即使反应事先已经发生，也不能继续下去。

如上所论的液氧炸藥藥包的寿命时间，可描繪成一曲綫，有如圖 11 所示。

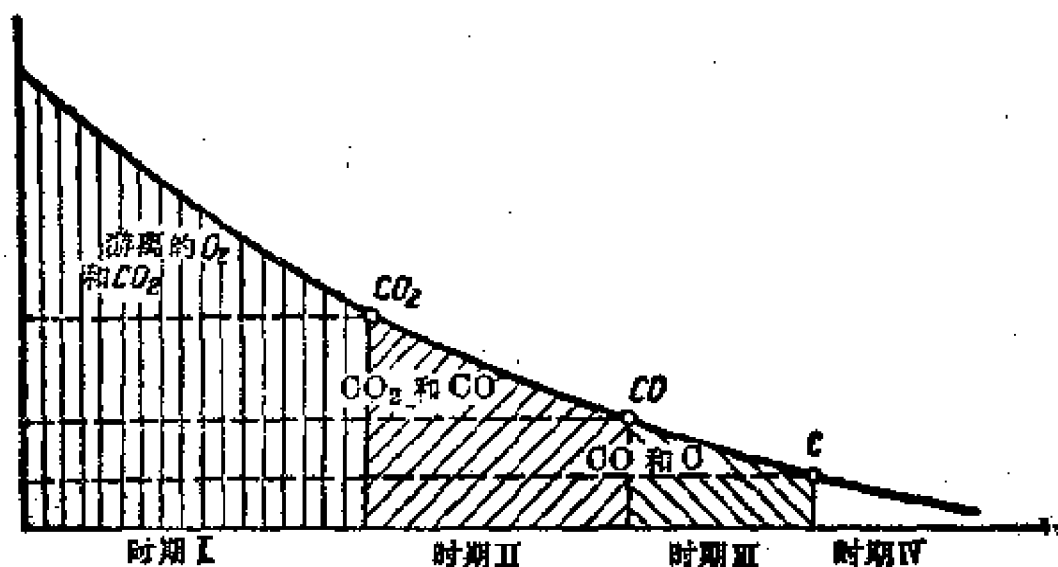


圖 11 液氧炸藥藥包的四个寿命时期

在地下进行爆破作业时，不容許生成有毒的爆炸气体产物，所以利用液氧炸藥於地下爆破时，只限定在时期 I 的时间內爆炸。在露天开採时，从安全观点来看，爆炸气体产物的組成就無任何意义，液氧炸藥可以在时期 I 以后（即在时期 II 和 III 以內）爆炸。在此情况下，必須使可燃元素要在同时完全氧化，以保証釋放最多的热，就是放出最大量的爆炸能。所以在露天爆破中，主要是使液氧炸藥在产生最大而猛烈的效果时候爆炸。但在个别情况下，釋放出較少能量的爆炸也是允許的，那时藥包的寿命时间將不包括时期 I，而是时期 II 或 III，相应地增加了它的绝对值。

寿命时间明显地划分为四个时期，只有藥包內全部吸收剂的氧在均匀蒸發的情况下，才可以这样划分。事实上，在

藥包內处在蒸發過程中的液態氧，在整个藥包內之分配並非均勻的，在此情況下，藥包中就能同時有與壽命時期Ⅱ或Ⅲ相當的兩個或甚至於三個狀況存在。

只有藥包在浸漬器中同液態氧共處的時間內，藥包中的氧才均勻地分配着。自從它在浸漬器中取出以後，氧的分配均勻性，在最初時刻就迅速地破壞。因為藥包的表面直接和溫度較高的周圍介質接觸的關係，在藥包外圍的吸收劑表層上的氧，就首先向外蒸發。

結果，在藥包中心部份的吸收劑，在液氧炸藥壽命時間的全部時期中，含氧較多，而藥包外層則最為貧乏。由此得出結論，甚至在“CO₂點”爆炸的藥包，也能生成一些不完全氧化的產物——一氧化碳。

藥包周圍的介質，對液氧炸藥藥包的壽命大有影響。試驗結果，得知液態氧從藥包往外蒸發時，在大气中比在炮眼或深眼中為迅速。測定处在空氣中的液氧炸藥藥包壽命的結果，能作出如下的結論：

- a) 在無風的情況下，液氧炸藥的壽命比有風時長些；
- b) 有風時，液氧炸藥的壽命取決於試驗時的空氣運動速度，大約要減低了 $\frac{1}{2}$ — $\frac{5}{6}$ ；

液氧炸藥藥包在炮眼或深眼中的壽命，比在露天中長些；時間增加多少，視裝藥重量而定。

應當指出，在每種情況中，壽命因素並沒有一定值，可以有某些範圍的變動，以介質情況為轉移。究其實，液態氧的蒸發應認為是由於周圍介質把熱給予藥包使其受熱而產生的結果。

如果能阻滯所謂的給熱，則液氧炸藥的壽命即將增加。

在藥包周圍用絕熱材料來作一包皮，或在吸收劑中加入一些與其相配合來減低導熱系數的物質，都能增高液氧炸藥的耐熱性。

液氧炸藥能產生爆炸作用的時間很短，所以在使用液氧炸藥時，就要求把工作佈置得更為得宜和精確。從這樣的觀點上看來，最好是液氧炸藥的壽命要尽可能地延長，否則就減少準備工序所費的時間。這些工序計有：從浸漬器中將藥包取出送至裝藥地點、拋投藥包入深眼中、填塞深眼、敷設起爆綫路和起爆。減少這個時間，也必然要使組成爆破作業的工序加速起來，然而根據許多理由（忙亂時發生危險，液態氧的飽和^①在“CO點”以下等等），這是不好的。同時，由於壽命短，使用液氧炸藥進行爆破作業的危險就大為減少。在用普通炸藥的情況下，只要其存在一日，便可因處理不慎或不當隨時發生危險；在用液氧炸藥時，則只有在有限的壽命時間中，才有危險存在。

第八章 液氧炸藥的爆炸性質

液氧炸藥按其效力言，可分為多種。其區別決定於吸收劑的種類和其粒子的大小，以及加於吸收劑成份中來增強液氧炸藥效力的各個附加物的特性和性質。此外，液氧炸藥的爆炸性，極大程度上又取決於爆炸時在吸收劑中的液態氧量。

① 原文為 испарение (蒸發) ——譯者

液氧炸藥的效力是基於化學的爆炸變化，所以就和普通工業用炸藥一樣，要按照通用的方法來測定其爆炸性質。考慮到液氧炸藥所具的特點，在這些方法中有某些要略加變更。

功能和猛度指數，是液氧炸藥的主要爆炸性質。按照指數，這些炸藥就可以互相比較以及和普通炸藥比較。

為了適應液氧炸藥的特點起見，根據 A.B. 柯列尼斯托夫的建議，測定它們的猛度方法有了某些改變。

液氧炸藥的猛度，是根據炸藥裝藥爆炸時，標準鉛柱被壓縮的量來測定的。此時以在“CO₂ 點”時機爆炸的 50 公分³ 之液氧炸藥容積量作為裝藥量，此值相當於密度為 1.0 克/公分³ 的炸藥藥包 50 克的重量。

如果作試驗用的藥包之裝填密度取作 0.44 克/公分³，則藥包-吸收劑之重為 2.20 克，液氧炸藥在“CO₂ 點”的氧系數值為 1.28 時，它的藥包在“CO₂ 點”時機之重將為 50 克，就是說，以此時機為準，要使可變的試樣依照它的情況，接近別種炸藥所用的標準試樣。當試驗樣品的氧含量是另一種時，試樣重量自當改變。但因試樣中的可燃物的量是不變的，故在此方法下來比較猛度指數是完全可允許的。

測定液氧炸藥的功能，基本上是按試驗普通炸藥時所用的方法進行。不過情況要略加改變，要把受試炸藥的重量（10 克）改為在“CO₂ 點”時機爆炸的體積（10 公分³）。此外，因為不斷蒸發的氧會將填塞物拋開，故試驗時系在不加填塞的情況下來進行爆炸。

液氧炸藥的猛度是不一致的，大約在 8—25 公厘範圍內變動。對猛度值有主要影響的是：爆炸瞬間吸收劑中的氧含

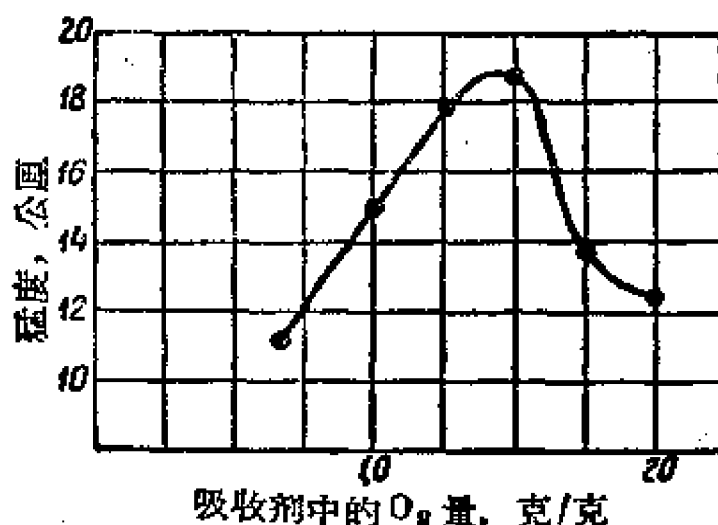


圖 12 藥包中的氧含量和猛度值的关系

量、吸收剂的密度和其組成。在实际上使用的纖維質吸收剂液氧炸藥，其猛度約在 11—18 公厘範圍內。

吸收剂中氧含量多少的影响，具有各种規律性：液氧炸藥藥包中含有过多剩余的氧时，猛度值是比較低的。后来随着液态氧的蒸發，含量就接近“CO₂点”，猛度值增强，在此时达到一定的最大程度，此后，遂很显著地降低。氧含量多少的影响，从以粉碎的黑麦桿作成的吸收剂例子中即可看出，試驗数据載於圖 12 和表 5 中。

表 5

吸 收 剂	爆炸时藥包的重量, 克	藥包中的氧重量, 克/克吸收剂	猛度, 公厘
黑麦桿.....	38.5	0.69	11.2
黑麦桿.....	45.8	1.00	15.3
黑麦桿.....	51.5	1.25	18.2
黑麦桿.....	57.3	1.50	18.9
黑麦桿.....	63.0	1.75	13.3
黑麦桿.....	68.6	2.00	12.5

試驗情况：吸收剂被磨碎至可通过篩孔 0.4 公厘的解磨机的篩子；藥包中的吸收剂重为 21.3；吸收剂的裝填密度为 0.43 克/公分³。

液氧炸藥的猛度值随吸收剂的密度而变化，其間的关系数据，載於表 6 和圖 13 中。

表 6

吸 收 剂	吸收剂的密度，克/公分 ³	爆炸时藥包重量，克	猛度，公厘
磚塊狀蘆葦.....	0.30	35.7	12.9
同 上	0.35	45.5	15.5
同 上	0.40	49.7	17.9
同 上	0.45	56.7	18.5
同 上	0.50	62.8	17.5
同 上	0.55	68.5	14.4

試驗的条件：在“CO₂点”时机进行爆炸。

从表 6 和圖 13 中就可看出，所採取的吸收剂的密度大小（称为使用密度），頗影响於液氧炸藥的猛度值，在一定

站明密斗到目上法

表 7

吸 收 剂	粉碎度 (解磨机筛子的筛孔大小, 公厘) 在装填密度相同时	
	4.6	0.9
	猛度, 公厘	
黑麦秆.....	9.8	14.6
大麻皮.....	11.7	14.9

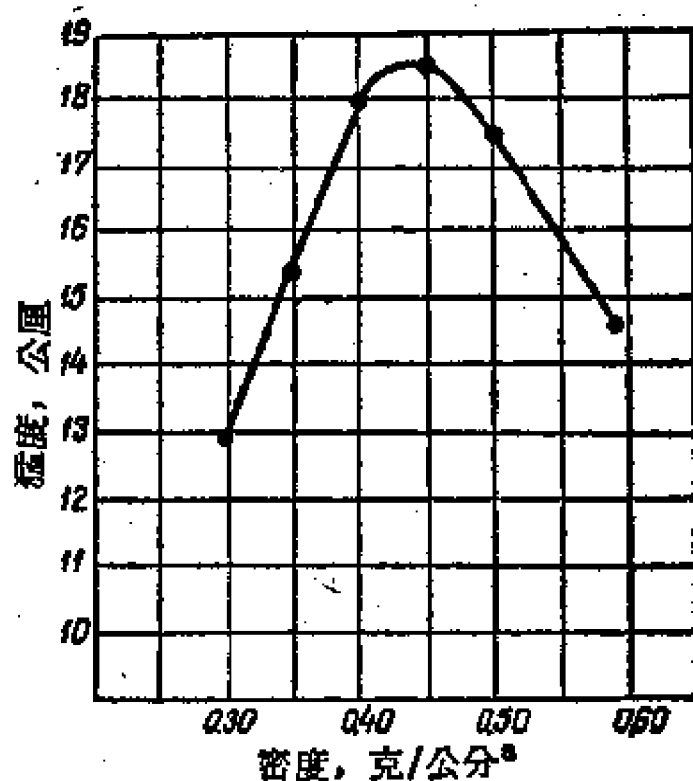


圖 13 吸收剂密度和猛度的关系

液氧炸藥。

吸收剂物料對於液氧炸藥的猛度大小的影响, 比較不大。所有由纖維質物料而成的吸收剂, 粒子大小一定、在給定的氧系数下, 它們的猛度值大約相同。吸收剂中的灰份,

對於液氧炸藥的猛度，有很大的影响，是十分自然的，因为灰份乃是矿物性殘渣，並不参与氧化反应，也就是在爆炸时不参加釋放热量。所以吸收剂的灰分越高，液氧炸藥的猛度值就越小。

在同一密度时，吸收剂中的湿量對於液氧炸藥的猛度大有影响（在某种限度下），如表 8 所示。

表 8

吸 收 剂	湿 含 量, %	猛 度, 公 厘
黑麦桿.....	5	16.3
黑麦桿.....	10	18.2
黑麦桿.....	15	16.8
黑麦桿.....	20	15.5
黑麦桿.....	25	15.1
黑麦桿.....	30	12.2
黑麦桿.....	35	11.4

上举液氧炸藥猛度的各种数值，对苏联进行生产和实验过的液氧炸藥說来，並不是最大的。例如，按照 B.A. 阿索諾夫的資料，由磚塊狀蘆葦吸收剂而成的液氧炸藥，其猛度就达到 23 公厘；可是，按照 A. И. 雅洪托夫的資料（諾里尔斯克联合工厂的制成品試驗），由苔泥煤而成的液氧炸藥之猛度則为 25 公厘，总的猛度則在 14—18 公厘範圍內。

炸藥的猛度值和爆轟速度值有密切联系。所以影响炸藥爆轟速度大小的各种因素，同样影响猛度。

例如，就青苔-水苔作成的液氧炸藥來說，因吸收剂裝填密度的影响，就使爆轟速度在 2400—3900 公尺/秒之間变

动。按照 A.Д. 雅洪托夫的資料，苔泥煤吸收剂的液氧炸藥之爆轟速度，根据藥包中液态氧含量的多少，可在2340—5000 公尺/秒之間变动。

关于液氧炸藥的气体体积、爆热和爆溫諸值与普通炸藥的比較数据，載於表 9 中。

表 9

炸 藥	气体体积, 公升/公斤	爆 热, 大卡/公斤	爆 溫, 度
硝化甘油.....	717	1470	4110
海索根.....	908	1500	3850
特出兒.....	742	1078	3915
梯恩梯.....	728	800	2950
62%狄那米特.....	634	1200	4040
六号阿莫尼特.....	860	938	2600
碳質吸收剂的液氧炸藥, 密度为0.59时.....	1110	1250	3970
同上, 密度为0.35时.....	925	1060	3540
纖維質吸收剂的液氧炸藥, 密度为0.56时.....	1035	1100	2850
同上, 密度为0.41时.....	760	810	2850

附註：表中列举的液氧炸藥之数据，系对 1 公升的炸藥言。

从表 9 中列举的数值，可以証明液氧炸藥的爆炸性質是和威力最大的炸藥相同的。

以下來討論液氧炸藥对外来各种形式的冲量（如打击、摩擦、火焰和火星）之感度問題。这些對於使用这类炸藥时的安全問題都是有密切关系的。

在液氧炸藥發展史中，大家都知道有許多不幸事件發生，其原因都認為是由于這些炸藥對打擊的感度靈敏所致。研究了液氧炸藥對打擊的敏感度，指出碳質吸收劑（碳黑，木炭）的液氧炸藥對打擊的感度，要比纖維質吸收劑的液氧炸藥靈敏得很多。所以迄今在大多數情況下，都用纖維質吸收劑來製造液氧炸藥。

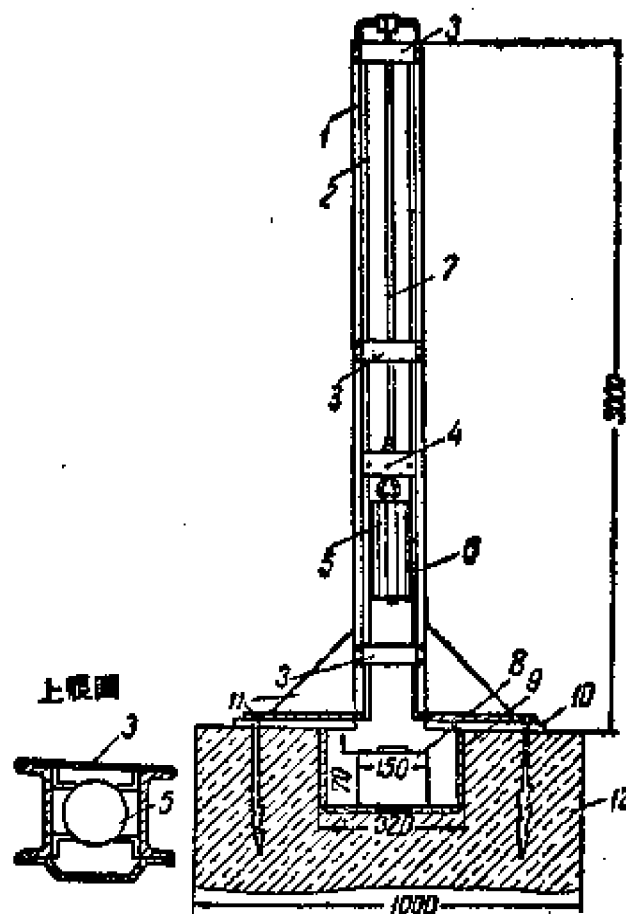


圖 14 試驗液氧炸藥打擊感度的落錘試驗器

由於受試藥包的液態氧迅速蒸發的緣故，所以在實驗室研究液氧炸藥的打擊感度是有困難的。取 0.03 克試樣來測定固體炸藥打擊感度的普通方法，對液氧炸藥並不適合，須取 25—30 克重的藥包來測定其感度。將此種大小的藥包放

在落錘重 25 公斤、可自由下落的特种落錘試驗器上來試驗。
(圖 14)。

如圖 14 所示：1 為鋼架 (120 號槽鋼)，2 為導軌 (角鐵 $45 \times 45 \times 5$)，3 為連接鉸，4 為制住鉸，5 為 25 公斤重的落錘 (樁錘)，6 為昇高重錘的小鉤，7 為昇高重錘的拉繩；8 為鋼砧；9 為爆炸室，10 為座鉸，11 為加勁桿，12 為混凝土基礎。

液氧炸藥在此種落錘試驗器上的試驗法如下。在直徑 125 公厘、高 375 公厘的鋼砧上，安放一直徑 32 公厘、高 25 公厘的液氧炸藥藥包。作試驗用的這種藥包，系由普通炮眼藥包 (尺寸為 32×300 公厘) 上截割下來的，吸收劑的裝填密度相等。藥包的包皮是由紙作的。藥包裸露一端用略大於藥包直徑的圓紙杯緊緊包裹。試驗藥包作好后，即放入液態氧中飽和，此后從浸漬器中取出，經過 30 秒大約相等於“CO₂ 點”時，便進行試驗。

試驗要進行多次，直至能把液氧炸藥的感度範圍確定為止。此時測定：a) 在試驗 10 次中無一次不炸的落錘最大高度，b) 在試驗 10 次中即使有一次爆炸或發火時的落錘最低高度。

由各種吸收劑制成的液氧炸藥，它們的打擊感度之試驗數據，列於表 10 中。

表 10 中的數據表明：1) 液氧炸藥的打擊感度隨吸收劑粒子的粒度的增大而降低；2) 纖維狀吸收劑的感度很低，遠非粉碎的 (細蘆葦) 可比。

液氧炸藥對火焰或火星的感度是灵敏的，如有各種不利的情勢湊合時，可造成液氧炸藥藥包早炸。

表 10

吸 收 剂	藥包中吸收 剂的密度 克/公分 ³	最低高度, 公分,		發生拒爆的 最大高度 公分
		爆 炸	發 火	
灯黑.....	0.39	5	—	—
烏拉尔泥煤.....	0.43	10	5	—
細木粉.....	0.42	10	—	5
粗木粉.....	0.41	20	—	10
羽毛草.....	0.40	30	—	20
巴尔汉泥煤.....	0.41	40	30	20
細蘆葦.....	0.51	40	30	20
細黑麦桿.....	0.42	30	—	20
粗黑麦桿.....	0.30	40	—	30
粗蘆葦.....	0.45	40	—	30
磚塊狀蘆葦.....	0.35	60	—	50

进行爆破作業时，在裝填深眼过程中还可能發生各种火星。例如，在裝填深眼过程中，岩石填塞物粒子的碰击、或者在填塞时它們碰上深眼壁、落到深眼中去的岩石塊彼此碰击或碰击深眼壁，凡在这些时候都可發生火星。最后，在使用有塵末的吸收剂时，有不可避免的靜电积累，积累的靜电荷放电也發生火星。

从所有別的观点来看，对液氧炸藥虽有好評，但它們对火焰或火星的感度高，便使其推广受到某种程度的阻碍。

所有液氧炸藥，甚至連纖維質吸收剂的液氧炸藥在內，受火焰或火星的作用，都会非常迅速地起反应。它們在露天中容易着火，呈强烈的燃燒，产生鮮明的火焰；在密閉空間中（例如在深眼中）的燃燒，則能容易轉变为爆炸。許多在

从前不能确切决定其原因的早炸，都可能以此特性来解释。

为了降低液氧炸藥对火焰或火星的感度，就必须使这些炸藥具有耐火性，以减少它們因火焰或火星而起火的可能性。

施行这项工作的原则，是基于在吸收剂中加入一些防火鹽。加工的工艺操作是很簡易的，就是在制备纖維質吸收剂的任一方法中，把吸收剂用一定濃度的防火鹽溶液浸透，挤去多余的溶液，將吸收剂稍加干燥，而后，便照通常順序进行下一步工作。

研究受过处理的液氧炸藥之耐火性，可制备一些和測定猛度用的相同試样来进行（圖 15）。为此，便將体积为 50 公分³並具标准使用密度的吸收剂藥包，用液态氧来飽和。藥包从浸漬器中取出后，放在固定在鉄架上的特制夾子中，用一段燃着的緩燃导火索射出的一股火花去点着它。液氧炸藥藥包如系由未受过防火处理的吸收剂而成者，則容易在緩燃

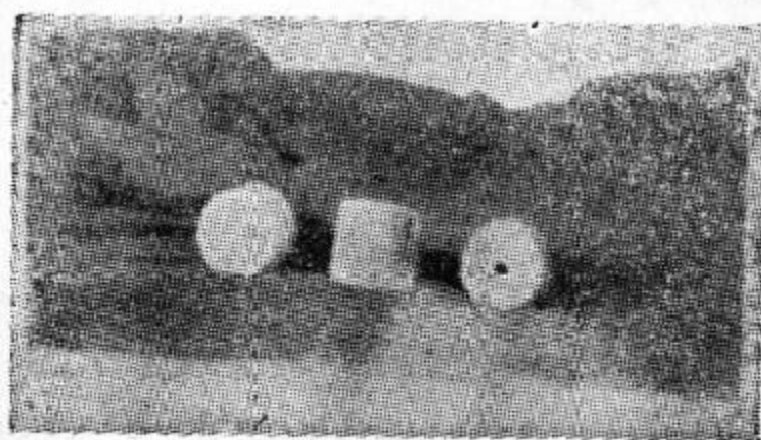


圖 15 用来試驗耐火性的液氧炸藥藥包

导火索的火花作用下点着，並行强烈地燃燒（圖 16）。如系由受过处理的吸收剂而制成的藥包，則受距离藥包 1 公分（圖 17）远燃着的导火索一股火花的作用，也不会点燃；即使把导火索紧貼着藥包，也点不燃（圖18）。

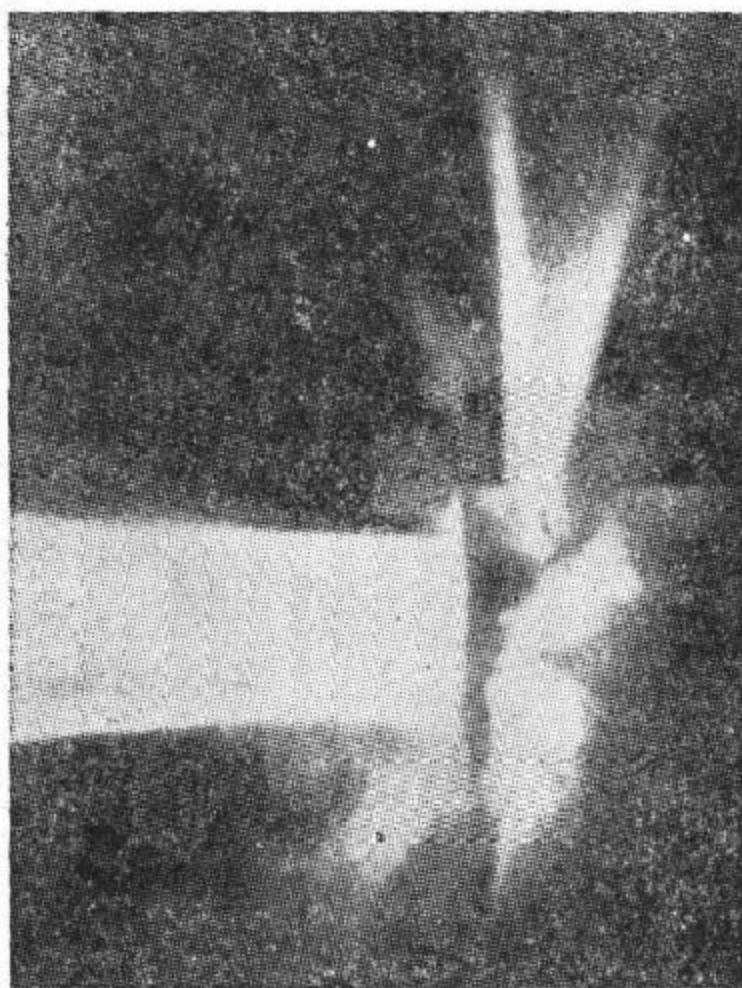


圖 16 未受防火剂处理的液氧炸藥藥包的燃燒情形

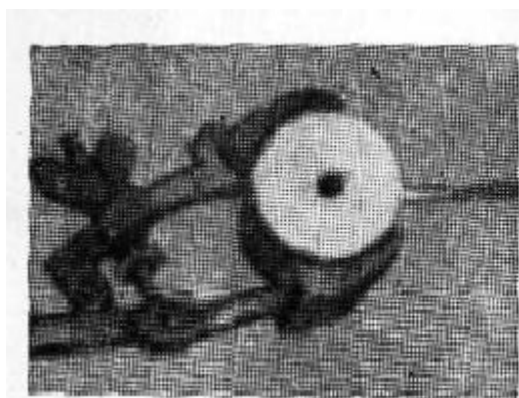


圖 17 用防火剂处理过的液氧炸藥藥包，受距离 1 公分远的导火索火花的作用情形

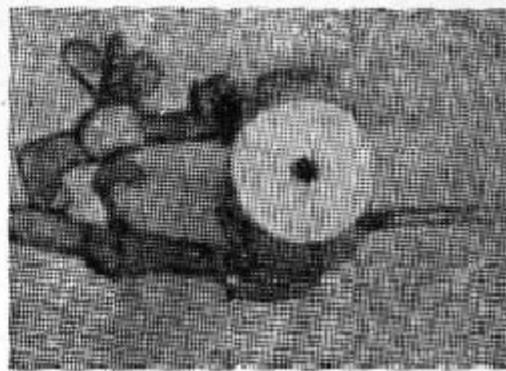


圖 18 用防火剂处理过的液氧炸藥藥包，受緊貼着它的导火索火花的作用情形

防火的处理，大大地降低了液氧炸藥对火星和火焰冲量的感度，这样就增加了用液氧炸藥进行爆破作業的安全性。

第九章 富氧的液态空气之应用

以高純度液态氧为基础而成的液氧炸藥，对机械作用的感度是灵敏的。在此情况下，液氧炸藥的感度系随液态氧的純度增高而大为增加。用烟黑和粒炭一类吸收剂而成的液氧炸藥，其感度最为灵敏，感度試驗結果，列於表 11 中。試驗时系在“CO₂点”时机进行爆炸。

表 11 的数据，表明了液态氧的純度从 90% 減到 80% 时，液氧炸藥的打击感度就降低到 $\frac{1}{6}$ 。液体中的氧含量繼續降低，对于烟黑吸收剂（最細分散的微粒），則情况無显明变化，但对于粒炭吸收剂，当液体中的氧含量为 55% 时，則感度还要降低到 $\frac{1}{6}$ （或和最初相比，則降低到 $\frac{1}{36}$ ）。

纖維質吸收剂制成的液氧炸藥，也呈現大致相同的情况。由此就說明了液态氧的純度對於液氧炸藥对机械作用感度的影响。

表 11

液体成份, %		試驗十次, 重 25 公斤的錘落下時不引起爆炸的最大高度, 公分	
氧	氮	烟 黑	粒 炭
98	2	2.5以下	10
90	10	2.5	10
80	20	15	50
70	30	15	50
63	37	14	—
55	45	17.5	300

由液态氧的沸点 (-183°) 和液态氮沸点 (-196°) 的差異, 便能提出以富於氧的液态空气来代替液氧炸藥中的液态氧問題。这是由於爆炸时, 液体要不可避免地進行自然精餾, 於是处在蒸發过程中的液态空气便在極大程度上富於氧, 爆炸时大約只利用了原量的 $\frac{1}{3}$ 。

表 12

开始蒸發前液体中的氧含量, %	在蒸發掉原来体积的30%、50%及70%的情況下, 蒸發后之液体中的氧含量, %		
	30	50	70
90	92.0	95.3	96.7
80	85.5	90.0	93.0
70	77.0	83.4	90.5
60	72.1	80.5	90.0
50	62.4	73.2	84.5
40	48.2	56.0	68.2

液体中的氧含量取決於最初含量的多少和其蒸發的程度，茲列举其間相关的数据於表 12 中。

从表 12 中可看出，液体中的最初氧含量为 60 % 时，当在其体积減少到 30 % 的情况下（就是等於有 70 % 蒸發掉，这是在液氧炸藥爆炸时，时常發生的）氧的濃度並不低於 90 %。苏联科学院矿业研究所根据这一点，曾对用纖維質磚塊狀吸收剂制成的液氧炸藥进行了研究，其吸收剂用最初状态含有不同氧量之液体来飽和。研究的結果載於表 13 中。

表 13

液体中最初的氧含量， %	猛度，公厘	
	在“CO ₂ 点”时机	在“CO点”时机
98	19.8	10.7
90	17.4	10.5
80	19.8	10.1
70	19.0	10.3
60	—	10.6
50	—	10.3
40	—	10.3

表 13 的数据証明，利用氧含量为 70 % 的富氧液态空气是最适宜的，这一点在应用液氧炸藥时應該考虑到。

第十章 使用液氧炸藥於露天採礦中 的爆破作業技術

由上所述，得出液氧炸藥的優點為：

- a) 威力（猛力）大；
- б) 單獨組份運輸時安全；
- в) 消除未爆藥包安全；
- г) 可能利用當地原料來製造；
- д) 和現時使用的工業炸藥比較起來價格較廉。

液氧炸藥的缺點為：

- a) 和硝酸銨炸藥相比，它們對熱和機械作用的感度靈敏；
- б) 壽命有限，裝填時間要嚴格規定；
- в) 在現行的操作技術下，在含有水的深眼中不可能爆炸。

液氧炸藥能製成具有各種爆炸特性的（從低猛度起至高猛度止）炸藥。但由經驗證明，除少有的例外外，所有用液氧炸藥進行的爆破作業，都盡量使這些炸藥具有最大威力和最高猛度。

使用液氧炸藥類的炸藥證明，借它們之助，能爆破比較堅強的岩石。為了顯明起見，現將液氧炸藥和最通用的工業炸藥的威力特性，列於表 14 中，以資比較。

使用猛烈的炸藥，如果有減弱其爆炸作用之必要，則減少爆破一定體積的岩體所需的裝藥量，或者把定量的裝藥分

表 14

炸 藥	密 度 克/公分 ³	猛 度 公厘	功 能 公分 ³
62%狄那米特.....	1.4	16	380
六号阿莫尼特.....	1.0	14	360
七号阿莫尼特.....	0.95	13	350
九号阿莫尼特.....	0.95	11	300
以下列吸收剂作成的液氧炸藥:			
磨碎的礅桿.....	0.45①	18.2	530
磨碎的泥煤.....	0.45①	17.5	520
木粉.....	0.45①	18.4	540
磚塊狀蘆葦.....	0.45①	22.0	580

① 指吸收剂尚未加以饱和的密度而言，爆炸时炸藥的密度約近於 1。

配於拟加爆破之岩体的龐大体积上来达到減弱的目的。

液氧炸藥虽說是有巨大的功能、極强的破坏作用，但是它們在爆炸时的密度总是約近於 1.0 克/公分，大多数很少超出这个数值范围，因此，这些炸藥用来爆破極坚强的岩石，效力就不够了。按照 M. M. 普罗托基亞濶諾夫教授所訂的岩石坚硬系数，屬於 5 至 15 級的岩石，使用液氧炸藥来爆破应認為最适宜。

除了对拟用液氧炸藥来破坏的岩石要适当地决定其等級而外，最合理地应用这些炸藥於爆破作業的条件和方法，也有研究的必要。

在露天开采中一切現有的爆破作業方法，都可使用液氧

炸藥。

裸露（外部）裝藥法 適於爆破不合規格的過大礦塊成為所需要的塊度。用此法時，系將炸藥藥包安置在擬加爆破的礦塊上，使用電雷管或導爆索來起爆。外部液氧炸藥藥包也可用現時各種緩燃導火索來起爆。至於不能以普通導火索進行點火起爆的顧慮，正如實際爆破作業證明，是毫無根據的。導火索的包皮已能夠很好地防止火花過早點燃藥包。

在裸露裝藥的情況下，應將裝有浸漬器的汽車開到爆破作業地區，距離要爆炸的藥包不得近於 100 公尺，藥筒或藥包即在浸漬器內飽和。藥包飽和后從浸漬器中取出，送到不合規格的過大礦塊處並安裝於其上。幾個藥包成為一組，起爆則按組進行。同時至多可爆炸的藥包數目，則以這些藥包的壽命來規定其限制額。由於液氧炸藥的炸碎效力很強，用外部裝藥爆破時，可使不合規格的過大礦塊獲得良好的破碎。安置藥包時，要考慮到風向，須使導火索的燃燒從下風方面進行。

在露天開採中，爆破過大不合規格的礦塊，有時則應用**炮眼裝藥法**。用此法時，系在礦塊上鑽鑿一個或幾個炮眼來放置直徑不小於 32 公厘的液氧炸藥藥包。從壽命的觀點來看，藥包的直徑以 38 公厘較為合理。

炮眼藥包的飽和，系在爆破地區內進行。爆炸時，把盛有液氧炸藥的浸漬器放在掩蔽所中。

放炮工在開始裝填藥包前，先用與藥包直徑相等的木質炮棍檢查炮眼，判斷藥包能否在其中通過。不許將液氧炸藥裝填在有岩粉渣的含水炮眼內，炮眼的直徑和長度小於規範所規定的數值也是不允許的。

裝填每个炮眼时，要使得藥包所佔的深度不超过炮眼深度的 $\frac{3}{5}$ 。液氧炸藥藥包可用木質炮棍自由地送入炮眼中。禁止把堵塞住的液氧炸藥藥筒往炮眼里推进或从其中拔出；似此炮眼即行作廢。起爆藥筒，最后才放入炮眼中。起爆裝在炮眼中的液氧炸藥藥包，只允許使用电雷管或导爆索。藥包上的雷管孔，应在吸收剂藥筒尚未用液态氧飽和前就作好，並用小木栓塞着，在要插入雷管前取出。在已飽和的藥筒上挖雷管孔是危險的。

炮眼裝藥后，便於其中裝入填塞物，填塞物乃是一些裝有砂的紙筒，直徑比炮眼小 5 公厘。起爆一組裝入炮眼的液氧炸藥藥包所費的时间，从藥筒由浸漬器取出时算起，应不超过十分鐘。

从操作过程的簡易和作業的安全观点看来，以峒室裝藥法为有利。峒室裝藥法的操作技术如下。在峒室底板上鋪 30 公厘厚的木屑一層，此后，在其上放一截面与其相当的鋅皮槽。此槽用直徑約成 200 公厘的木炭团裝滿。为了裝得最多起見，可使用各种直徑的炭团和炭屑来裝填峒室。一格槽裝滿后，再增加一格重新用炭团裝滿。总共增到三格，每格高为 800 公厘。①每格使用二枚电雷管，並將这些电雷管連成总的起爆綫路。此后；用具有一小孔作为穿过导电綫的盖盖住各鋅皮槽。然后再把雷爆峒室和通往地面的坑峒全部空間用岩石填密。

① 原文在此处似有遺漏。按照我国鞍鋼大孤山鉄矿所用方法，和后文对照起来，似应加入下文：“每格有一小鋅皮管通往总管（名为溢流管）。液态氧將來即在坑峒（井）口由此总管注入鋅皮槽来飽和炭团吸收剂。总管亦为鋅皮制，放在一木槽內，木槽由坑峒口通到峒室”。——譯者。

为了預防导电綫不致在填塞时被损坏起見，須將其放在木槽中。填塞完畢后，便用运输槽中的液态氧来饱和木炭团，运输槽距坑峒口約 5 公尺远。液态氧沿鋅皮管下流於峒室中，最初注入不多。輸送液态氧入峒室的鋅皮管，其直徑应不小於 25 公厘， 但又不大於由运输槽中放液态氧出来的軟管之直徑。經過 5 分鐘，当鋅皮管的溫度和液态氧的溫度一致时，液态氧的蒸發便緩，此后就用液态氧来把峒室注滿。

峒室为氧注滿所需的时间，大約 1 吨的氧需时 30 分鐘，此外，从地面到峒室还另裝有蒸發管，作为蒸發的氧逸出的出路，該管直徑，以每 1 吨液氧炸藥用 50 公厘² 的截面面积来估計。

也可使液态氧經專門鑽鑿的深眼灌注於峒室中。裝填完畢时，电起爆綫路即接於普通电力網上，用开关接通电路来起爆。

組織液氧炸藥的峒室裝藥爆破时，必須顧及到下列諸特点。

吸收剂裝入峒室以前，划出半徑为 50 公尺的地区为危險地帶， 在此边界上分設警衛， 所有和裝填工作無关的人員，都要退出此地帶以外。

每一峒室应对放置計算的液氧炸藥藥包於其中的可能性、堅強的可靠性和含水的有無加以檢查。峒室有水时，則不进行裝填液氧炸藥，因为有水时，氧的蒸發强度会增高几倍，藥包的寿命便相应地減短。

由放炮工將吸收剂放於峒室中，同时又往該处安置起爆藥包。起爆藥包系用导爆索成十字形交叉捆紮的吸收剂塊而成。起爆藥包的数目以每 500 公斤液氧炸藥用 1 个起爆藥包

来计算，但应不少於两个。

填塞峒室时，应对溢流管和蒸發管加以保护，不使受损。

开始灌注液态氧之前，除監視飽和的人員外，其他任何人員都应离开行將爆破的地方。

深眼裝藥法 在爆破作業时最为流行。在爆破作業正确組織的情况下，使用深眼裝藥法，則無引起矿山很大麻煩的二次爆破（爆破不合規格的过大矿塊），例如，科恩拉德斯基矿山的二次爆破为 2%，並不使露天採矿的作業受到限制。

使用液氧炸藥的深眼裝藥法，在裝填深眼时，可以用飽和了的藥包，也可逕在深眼中用液态氧来浸透藥包，第一种深眼裝填法应用最广。

用飽和了的藥包来裝填时的作業，系按照下列順序进行。在液氧炸藥工厂的吸收剂車間中，將所需尺寸的吸收剂藥筒或磚塊垂直放入（用上部繩子結成的环）浸漬器中，用拖拉机的附掛車或汽車运往液氧車間。藥筒或磚塊在發給前，应在專門房間中用壓縮空气把塵末清除。浸漬器放在液氧車間隣室內，与液氧儲存槽連接的金屬軟管經液氧車間壁上小孔通入此室內。

液态氧經軟管注入浸漬器中，一根軟管在一小时內可注滿 10 个浸漬器^①。起初，浸漬器只注上少量的液态氧，供冷冻之用，然后再把浸漬器注滿，所注入的液态氧量要足够飽和吸收剂和在運輸时冷冻浸漬器之用。吸收剂在飽和期

① 此与浸漬器的尺度有关，原書未曾提及浸漬器的尺度——譯者

間，拖拉机則开到 50—100 公尺以外去，汽車則应熄火。

灌注液态氧於盛有吸收剂藥包的浸漬器中，也可以在充氧站进行。对充氧站地区提出的要求，和对炸藥倉庫的要求相同。

充氧站是一有頂的房間，其中有兩条通路，其一規定为載浸漬器的平車用，而另一条則为載盛有液态氧的槽的平車或罐車用。充氧站可允許有蒸汽或热水的煖房裝置，惟鍋爐房須距充氧站 50 公尺远。禁止在充氧站的房中吸烟或点火；照明应当使用有防爆設備的电灯，或蓄電池电灯，該处也应裝置有同露天採矿場聯絡的電話。吸收剂开始飽和，同將制好的液氧炸藥从充氧站运往露天採矿場的时间，要按矿山的命令来确定。

在用液态氧来飽和吸收剂的时间內，摩托機車和电力機車不得进入充氧站房間，应停在 50 公尺远以外。所有必要的車輛調換，都要在機車和載液氧炸藥的平車之間配置蓬車。在充氧站內用液态氧来飽和吸收剂时，应不斷通風，大門应开着。

液态氧注滿或液态氧已將吸收剂藥包飽和以后（和採用的操作过程有关），載液氧炸藥的車輛即开到露天採矿場去。可利用摩托機車、汽車、帶有附掛車的拖拉机和电力機車作为牽引工具。內燃机应具有帶火花消灭器的排气管。用电力機車牽引时，电力機車和載液氧炸藥的平車之間应有一些空車，或总軸数不少於四軸的平車，运输液氧炸藥不得用蒸汽機車或煤气汽車。

每一运输液氧炸藥的車队，由一液氧炸藥放炮工护送。車輛进行的路綫，在从充氧站或制氧厂出發前即行規定；車行

速度,每小时不能超过 15 公里。浸漬器在运输时应敞开放置在运输車輛上;浸漬器的盖子应严密盖住,并用帆布被复。

起爆材料禁止和液氧炸藥同車运输;液氧炸藥可允許和梯恩梯或阿莫尼特同在一起运输。载液氧炸藥的車輛在露天探矿場中应放在距裝填的深眼 50 公尺远以外。

每个深眼中要放入的液氧炸藥藥包的重量,須根据給定的該种液氧炸藥的功能,用普通程序来进行計算。

深眼裝填液氧炸藥以前,先要加以驗收,决定深眼对裝填的适用程度。此时决定: a) 深眼的深度和直徑; b) 弯曲和含水的程度; B) 从深眼口可能落入深眼中將其堵塞的石塊和矿塊的清除程度。

用鋼卷尺測量深眼深度;檢驗直徑則用末端帶把手的專門磨光的木样板。样板的高度应比液氧炸藥藥包大 10 公分、直徑大 10 公厘。样板由放炮技術員放入每个深眼。如样板不能自由地通过整个深眼,則用散的阿莫尼特代替液氧炸藥来裝填。檢驗后的深眼,用木塞塞上。

充有水的深眼,則將水抽去。如其中猛烈湧水,便用其他炸藥如梯恩梯或为防水層封裹的阿莫尼特藥包来裝填。裝填含有水的深眼可使用混合法,就是在下面有水部分用耐水的阿莫尼特藥包或梯恩梯藥包,上面無水部份用液氧炸藥裝填。

每个深眼所需的藥包(交給放炮工)的計算,以公斤和藥筒数目来表示。

車輛到达爆破地区和機車离开后,把帆布从浸漬器上取下,然后使用小鈎从浸漬器中取出液氧炸藥藥包,放在帆布的或木制的担架上,分送至諸深眼。藥包分送至深眼系放炮

工遵照放炮工長的指示而行。搬運工多少，取決於深眼數、深眼深度和擔任裝填的放炮工人數。

一小時內裝填 5 個深達 20 公尺的深眼，需要放炮工一人，搬運工二人。用液氧炸藥裝填深眼，由液氧炸藥放炮工執行，搬運藥包應由受過專門訓練的工人擔任。

液氧炸藥藥包，在帶邊緣的木担架上搬運到深眼的總重，應在 50 公斤以內。搬運時，担架不得碰到固体物上，藥包不得从担架上落下等等。在每個深眼旁邊，禁止堆積為量在 75 公斤以上的液氧炸藥。

為避免靜電荷積累起見，盛液氧炸藥的浸漬器應接以地綫。

用液氧炸藥裝填深眼，應當迅速不息地進行，以便能準確地在計算時間內施行爆炸。根據液氧炸藥的壽命，爆破作業領導者可交付每一放炮工裝填數個深眼。

在特殊情況下（驟然的大雷雨、下霧、大風雪），深眼的裝填工作可以停止。在此情況下，爆破作業領導者應保證對所有裝填了的深眼加以保衛，直至其中的藥包無液態氧蒸發、藥包變成無爆炸性為止。液態氧已蒸發掉並未損壞的液氧炸藥藥筒，還可用來第二次飽和。

在裝填深眼期間，一切不相干和未參加作業的人員，須囑其走出現場。將送到深眼的藥包放在帆布地毯上，或仍舊放置於深眼附近的担架上。為了避免凍傷起見，所有擔任搬運和裝填的人員都應帶皮毛手套工作。使用專門夾具來放液氧炸藥藥筒於深眼中。這種夾具能在藥包放入深眼以後自動解脫。裝填人必須注意到裝填的正確性，藥包未達眼底或未觸及上次所放的藥包以前，無論如何也不應再續投藥筒，投藥

筒时，要使藥筒不經推动和摩擦便能前进。阻塞的液氧炸藥藥筒，禁止推送和拔出；有为藥筒堵塞的深眼应行作廢。

用导爆索將普通液氧炸藥藥筒纏裹成十字形，作为起爆藥筒。每一深眼应放有安置在藥包柱上下兩端的两个起爆藥筒。其間，上面的起爆藥筒是輔助的。液氧炸藥藥包的起爆仅允許使用导爆索。

裝填完畢后，載空浸漬器和其他用具（担架、小鈎等）的平車即开出危險地帶范围以外。同时敷設导爆索構成的起爆綫路。在这样的起爆方法之下，可不必填塞。起爆按照普通炸藥所用的方法来进行。

假定說，液氧炸藥的爆速和猛度是非常大的，反应在藥包体中迅速即完成，填塞物的有無对爆炸結果，便無多少重大影响。据此而論，在液氧炸藥的爆速很大时、以及完成填塞操作的时间於“CO₂点”以前不能安排在正常作業进度表中，並且进行填塞要引起液氧炸藥中的能量損失，則在此等情况下，不施行填塞也是可以的。但在所有其他情况中，正如所有其他炸藥一样，填塞是必要的，沒有它，总会降低爆破作業的效力。

但是，在使用液氧炸藥时，施行填塞这一操作是有其特点的。填塞材料应取其可以滲透气体，否則，深眼中就会产生压力而可把藥筒从深眼里抛出，或在其中早炸。所以可把經過二号篩除去塵灰和細小部份的粗石块，作为液氧炸藥填塞材料之用。填塞深眼，应填至深眼口。也可用裝砂的紙筒来填塞。裝砂用的紙筒，系由堅韌的紙作成，砂裝入后，用麻繩捆紮。液氧炸藥藥筒应具备牢固的繩圈，以便悬吊藥筒放入深眼。

裝填深眼和起爆藥包所需的总時間，分配如下：从飽和至裝填約需 3—3.5 小时；从裝填至爆炸約需 1—2 小时。危

險範圍的边界可和普通炸藥爆炸時一樣計算。

用液態氧直接在深眼中來飽和吸收劑藥包的过程（德爾泊水電站建設公司的方法）如下。在深眼中放入一個厚 0.3—0.4 公厘的黑鐵皮套筒，長比深眼深度多 10—20 公分。筒徑比深眼直徑小 20 公厘（如深眼直徑為 150 公厘，筒徑則為 130 公厘，或深眼直徑為 200 公厘，筒徑則為 180 公厘）。套筒有一底，以免液態氧由套筒流入深眼中。

因套筒系用細而牢的細繩懸吊入深眼中，所以套筒下部的底要這樣作，使得當筒到了深眼底以後，細繩則鬆開，能讓它自由地拔出來。深眼深度在 7 公尺以上時，則將套筒作成可以分解的，而由小於 7 公尺長的幾節套筒組成。這樣長的一節套筒，有充分的強度，垂直放在深眼上時，不會變形。

放套筒入深眼，照下列順序進行。把最下一節有底的套筒，在深眼的上面豎立起來，筒底下面繫上細繩，套筒用細繩吊入深眼中，如套筒長 7 公尺，則吊下到 6.5 公尺時，然後把第二節豎起，並將其微微縮小的下端插入已吊入深眼中的套筒上約 5—10 公分。

接合處用膠帶纏裹，兩節套筒放在 7 公尺以下後，要使第二節的上端在深眼口露出 0.5 公尺，以便照上法接第三節，以下類推。深眼中如充有水且深在 1 公尺以上時，需將水抽出，因為套筒受排擠水柱而生的壓力即行變形。

套筒放入深眼後，便裝入吸收劑藥筒，藥筒直徑應比套筒直徑小 20 公厘；藥筒長為 1 公尺。把兩個串聯的疊氮鉛特出兒電雷管引進藥筒的上部。全部起爆綫路用串聯法或其他聯結法聯結起來。起爆綫路經檢驗證明無疵後，乃在深眼上部安置用來灌注液態氧的保溫箱。該箱放置在墊木上，要

使得通小旋塞的进路保証無阻。小旋塞下部放在一小洋鉄皮套管的一端內；該管他端則削成斜形，以便能稍插入於上部吸收剂內。

現將上述裝置的示意圖示於圖19中：1 为盖子，2 为小箱，3 为热絕緣，4 为垫木，5 为液态氧的进路管，6 为深眼，7 为吸收剂藥筒。採用这样的構造系統时，液态氧一舉大量地向上部藥筒注下，並沿着藥筒往下流，当环繞它們流动时，就逐处被吸收。如果沒有下端的小套管，則下流的液态氧就歪斜，大量落到套筒和藥筒間的縫隙里去，那时，下面的藥筒將为液态氧过饱和，而上面的則未饱和。此外，因为液态氧充滿於藥筒和套筒間的环形縫隙間，气化的氧(气态)就在套筒里沒有自由出路，当其冲开一条出路时，液态氧遂从套筒里被抛出来；在此情况下，饱和就不成为平靜而正常的。

比較上述的深眼液氧炸藥藥包所用的諸法，應該指出，“德森泊水电站建設公司的方法”是比較复杂而难以实行的。此外，用此法时，个别藥包的饱和不均匀（即下部藥包饱和，而上部未饱和）想必是可能的。这就影响到深眼裝藥法

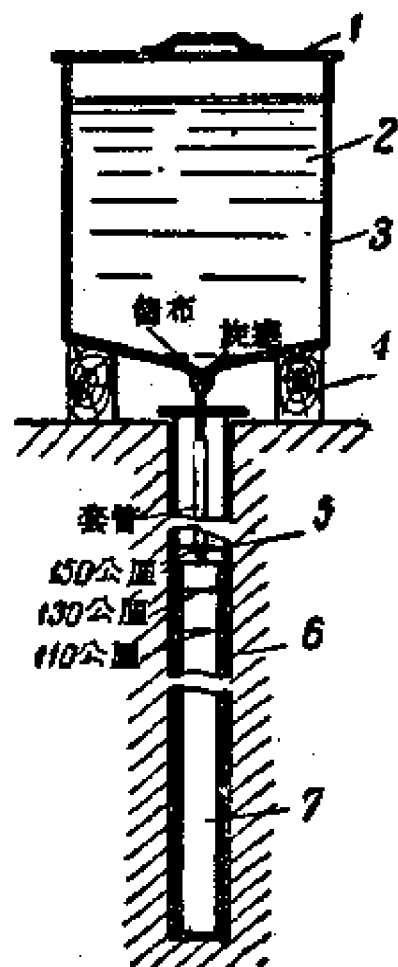


圖 19 在深眼中浸透吸收剂的示意圖

的爆破效果，同时，最大抗力照例是在工作面的下部，在这里装药不足时，便会在底板上留下难以清除和要费时间来清除的峪坎。所以宁用在浸渍器浸透药包法，而采用一切办法来保证使用液氧炸药的作业之安全。

这些办法，主要在于降低液氧炸药对打击甚至对火星的感度。使用纤维质砖块状吸收剂时，液氧炸药的打击感度便会减低。

液氧炸药对火星的感度，使用防火处理过的吸收剂，即行降低。最后，把浸渍器接以地线来防止静电荷积累的可能性，则积累的电荷之消除就有了保证。

应当指出，Ю.А. 曼捷费尔曾进行过一些试验，以图研究在浸渍器中用液态氧浸透液氧炸药药包时静电荷积累的可能性。由试验确定了，在将药包放入浸渍器中时以及从其里面取出时，药包均带电。

由几个容器依次来注满浸渍器时，其中每个容器本身都产生电位，最后，所有的电位便集聚（加在一起）起来。加在浸渍器上的电荷，不会自行流走，但当浸渍器的金属外壳同手接触时，就很容易消失。在此情况下，将浸渍器外壳接地便是根本预防的办法。

由浸渍器中取出药包时，发现电位值无比增大。研究证明，各个吸收剂在从浸渍器中取出的瞬间，产生不同的电位值。它既取决于该吸收剂的粉碎度，也和其本质有关。

由各种吸收剂而成的液氧炸药药包，在从浸渍器取出来时的电位差之测量数值，列于表 15 中。

最后，Ю.А. 曼捷费尔得出结论，在盛有液态氧的浸渍器中所存在的一些液氧炸药药筒，当其依次取出时，每个后

取出的藥筒之电位值將比前一次取出的大些，但不成正比。因此从浸漬器中取出藥筒时，靜电荷的积累可以达到很大的数值而产生某种危險。为了消除此危險，就应不断地使藥筒同接地綫的一塊金屬網擦摸，使电荷导走，浸漬器也接应地。

表 15

吸 收 剂	粉碎度，以解离机篩 子的篩孔大小表示， 公厘	积累的电位，伏
木屑.....	0.4	3000
木屑.....	3.0	4500
哈尔哈什泥煤.....	0.4	1800
哈尔哈什泥煤.....	3.0	4000
活性炭.....	3.0	1700
粉末狀蘆葦.....	0.4	2700
纖維質磚塊狀蘆葦.....	—	2100
袋布（藥筒包皮）.....	—	8100

盛有液态氧的浸漬器，应借助於連接浸漬器内部金屬部份的兩根金屬滙流条来和地連接。浸漬器被滙流条从外部系住，並且应在复套上伸出 1.0—1.5 公厘。

运输液氧炸藥的平車，应有金屬滙流条而与走行車架連接。滙流条須配置得能保証它們和浸漬器的滙流条可靠地接触。汽車的走行車架，用一拖在地上的鏈条来接地。搬运藥筒的木担架应釘以銅綫，要使得藥筒同地可靠的接触。

汽車和鐵路平車上的貯氧槽也应有接地裝置。

遵守所示的措施，即可免除靜电荷积累的危險。

如果拒爆藥包产生的原因，是由於外部起爆綫路的完整性被破坏，並且此时最小抵抗綫之值未改变。則消除此未炸的液氧炸藥藥包，可用重复起爆法进行。消除拒爆的藥包，

也可採用听任液态氧从藥包中自然蒸發的方法。使用后一方法来消除拒爆的藥包时，爆破作業領導者应当为液氧炸藥藥包所在地区組織警衛，直至藥包中的液态氧蒸發完为止。

蒸發延續時間以小时計，大約採取：外部裝藥为 1 小时，炮眼裝藥为 2 小时，深眼裝藥为 12 小时，重 1 吨的峒室裝藥为 24 小时，重 3 吨的峒室裝藥为 48 小时。

解脫地面上可見部份的导爆索，应在过了上述時間以后再進行。如果导爆索不能取出来，則应在深眼、炮眼或坑峒口附近切斷。

清除深眼中的吸收剂，可在从浸漬器取出藥筒后之 24 时，用鑽孔机来进行。此时，应先注水於深眼中，然后放入鑽具。

參考文獻

Ассонов В. А. К вопросу о применении окисляквитов в СССР. Горный журнал, 1944, № 11—12.

Ассонов В. А. Перспективы применения окисляквитов на основе нового способа брикетирования поглотителей. Бюллетень «Кислород», 1944, № 3.

Большедворский Г. М. Жидкий кислород на открытых горных работах. Горноленинград, 1933.

Быков В. Т. Опыт применения окисляквитов на поверхностных и подземных работах. Бюллетень «Кислород», 1946, № 4.

Глизианенко Д. Л. Основы производства жидкого кислорода. Госхимиздат, 1951.

Граубиц Ж. К. Окисляквиты в горном деле. ОНТИ, 1931.

Марченко Л. Н. Перспективы применения окисляквитов в горной промышленности. Сборник к 72-летию со дня рождения акад. А. А. Скочинского «Рудничная аэрология и безопасность труда в шахтах». Углетехиздат, 1949.

Марченко Л. Н. Использование обогащенного жидкого воздуха в окисляквитах. Бюллетень «Кислород», 1948, № 5.

Марченко Л. Н. Применение окисляквитов на открытых горных разработках. Сборник «Взрывные работы на металлических рудниках». Металлургиздат, 1950.

Перрот Г. С. и Толч Н. А. Взрывчатые вещества с жидким кислородом (окисляквиты). ОНТИ, НКТП, 1933.

Таранов П. Я. Опыт Днепростроя по применению окисляквитов. Сборник «Взрывное дело». ОНТИ, НКТП, 1936.

Яхонтов А. Д. Промышленное применение окисляквитов на Норильском комбинате. Бюллетень «Кислород», 1945, № 6.

