

液 氧 炸 藥

Л. Н. 馬尔欽科 著

鍾 以 文 譯

冶 金 工 業 出 版 社

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，制备吸收劑的工藝操作，液氧炸藥的壽命和其爆炸性質，以及使用這類炸藥的爆破技術。

本書供從事爆破工程的採礦企業的工程技術人員之用，也作為礦業高等學校和中等專業學校學生在學習“鑿岩爆破工作”課程時之用。

Л. Н. МАРЧЕНКО: ОКСИЛИКВИТЫ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ
РАЗРАБОТКАХ

УГЛЕТЕХИЗДАТ (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冊

787×1092·1/32·55,000字·印張2 $\frac{23}{32}$ ·定價(10) 0.44元

冶金工業出版社印刷廠印 新華書店發行 書號 0626

冶金工業出版社出版 (地址：北京市灯市口甲45號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

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採矿中的 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，来保証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 Ж. К. 格拉烏畢茨和評閱人 А. Д. 雅洪托夫所給予的宝貴指示，致以謝忱。

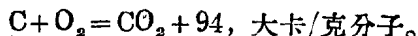
第一章 液氧炸藥的性質和特点

用可燃性多孔物質作为吸收剂，以液态氧飽和而成的炸藥，叫作液氧炸藥类（简称液氧炸藥）。

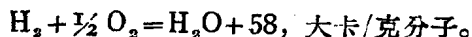
液氧炸藥一詞，是由液体和氧气二詞而来。在液氧炸藥的集合名称之下，不可了解为某一个炸藥，而是炸藥的一大类，它們具有一宗主成分，作为其組成部份的共同体，並因之而給予它們以固有的共同性質。

液氧炸藥产生各种不同的爆炸效果，这些效果，主要取決於下列諸因素：吸收剂的种类和密度、纖維的尺度（对磚塊狀吸收剂而言）、粉碎度（对粉末狀吸收剂而言）、和在爆炸时液态氧在爆炸混合物中的含量。

液氧炸藥作用的原理，与普通炸藥作用所根据的相同，就是基於碳被氧化成为二氧化碳的物質之非常迅速地爆炸化学变化



吸收剂含有氢时，也發生氢被氧化成水的反应。



液氧炸藥成份中差不多完全沒有氮，这就使他們优於普通炸藥，因为在普通炸藥中（例如硝基化合物），氧化可燃元素所需的氧，系与氮結合成为硝基（ NO_2 ）而儲藏於炸藥中。硝基的存在，就大大地減低了在爆炸时釋放出来的能量。因为用来作为炸藥而含有化合氮的硝基化合物，在其生成时，要消耗大量的热。这样，就相应地減少了爆炸变化反应的正能量平衡。

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 38 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，氮就不再繼續參加放热反应，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，可分为两种特出状态。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减低时），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，直至其完全饱和为止。以放吸收剂於液态氧中时起，至藥包完全浸饱时为止所經的时间，叫作飽和时间。

已完全为液态氧所饱和的液氧炸藥藥包，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减少、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减少。

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，就是說减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。在后一种情況下，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（就是减少了液态氧的强烈蒸發）。

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. Ассонов 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

雜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作者。

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；

б) 对打击和热冲量的感度灵敏；

в) 使用液氧炸藥的採矿企業，必須直接进行制造液态氧和吸收剂的生产組織；

г) 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，更广泛地在露天開採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° 範圍內, 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漸加而不断增長的。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、替桿等)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