



9051

高等學校教學用書

爆破工程

B. A. ACCOHOB 著

喬丕成 譯



龍門聯合書局

高等學校教學用書



爆 破 工 程

B. A. 阿 索 諾 夫 著
喬 丕 成 譯
于 學 馥 校

龍 門 聯 合 書 局



這一本「爆破工程」(Взрывные работы)是莫斯科斯大林探礦學院阿索諾夫(В. А. Ассонов)所編「鑿岩爆破」(Буровзрывное дело)的第二冊。原書經蘇聯高等教育部審定為高等探礦學校的教科書，1948年由東方煤炭工業部探礦技術出版社出版。

本書由北京鋼鐵工業學院喬丕成譯，于學馥校，其中有計量和檢驗儀器一部份是由于之汾所譯。在文字及名詞修正上，龍維琪和謝純懋參加了一些工作。

爆 破 工 程 ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

В. А. АССОНОВ 著

喬 丕 成 譯

于 學 馥 校

★ 版權所有 ★

龍門聯合書局出版

上海南京東路61號101室

新華書店華東總分店總經售

上海南京西路1號

文明印刷所印刷

上海西康路337弄90號

1953年11月初版

1954年7月四版

印數8501—10500冊

定價¥16,000

上海市書刊出版業營業許可證出029號

引 言

採掘有用礦物就必須使岩石與礦體分離，而掘鑿的礦石，又必須碎為適當的大小以便利裝載和運輸。礦石的性質、硬度、黏性、解理和其他特性可據以決定採掘時需要耗費的動力的數量。

採礦工作的生產率因礦石的性質和所用的動力的種類和數量而不同。如柔軟和鬆散的地層（沙、黏土）用鐵鏟和鋤頭即可挖掘，但這種方法非長時期不能得到大量的產品，因此必須使用機械（掘鑿機、刮土機等）化的方法以開採這種地層。

為了掘鑿硬的岩石就必須使用較多的能量，其需要的功率因分離介質的性質而不同；至於供給必需功率的動力的種類也與此有連帶的關係。

例如煤炭一類的弱地層用風鑽即可使其與礦體分離。至於掘鑿較堅硬的地層，除投入大量的炸藥爆炸能外別無他法。此種情況說明了爆破工作在採礦工業中所佔有的重要意義，並使我們瞭解到如不使用炸藥的爆炸能便無法開採有用礦物。

在完成戰後斯大林五年計劃的國民經濟計劃對採礦工業提出的任務中，爆破方法就有了更加重大的意義。正確組織的並使用一切現代技術成就的爆破工作能夠保證迅速開掘大巷道和準備巷道（即迅速準備煤、礦石和其他有用礦物的開採）及直接採掘這些有用礦物過程中的最高效果。

高等採礦學校教學大綱中所規定的研究如何使用炸藥能來破碎礦石的問題是「鑿岩爆破學」這門學科所研究的對象。這種學科又分為兩種獨立的部門：「鑿岩工程」和「爆破工程」。

包括炮眼和深眼穿鑿的方法、工具和技術的「鑿岩工程」部份，單獨編寫為一本教本。這一本的內容是「爆破工程」。

應用爆破方法（露天工作、地下工作、有沼氣或礦塵危險的礦井內的工作）中不同的條件對爆破工程的組織和技術提出了不同的要求。爆破工程本身是一種複雜操作的綜合：選擇爆破工作的方法、適當的炸藥品種和爆炸材料、儲藏爆炸材料的組織工作、制定藥包敷設略圖、確定每個藥包量、規定爆炸的方法和程序、在個別地點裝置藥包、藥包的堵塞和爆炸過程的本身。

一切操作手續必須很好地完成並且相互間須有嚴密的配合。任何一種操作手續的必要順序不被遵守、或完成得不够美滿，就會引起採掘工作循環過程的延緩或破壞，並因整個工作的進行不能脫離爆炸材料的緣故，可能遭受危險。

在爆破時必須十分注意安全的要求，因為遵守安全措施就會使工作完全沒有危險而且收到效果。對這些措施的任何疏忽大意就會造成危險並降低工作效能。

除了上述各種操作間的聯系外，在爆破工作的進行中必須和鑿岩工作密切配合，因為不正確打成的炮眼或深眼會引起藥包在爆破介質中不正確的配置，換句話說就是在爆破體的容積中爆炸能不正確的分佈。

在現代的實際操作中，採掘有用礦物的方法或為露天開採法，或為地下開採法。在這兩種情況下，爆破工作的條件和實施的技術方面是有相當的差別的。

用露天法開採有用礦物時，使用較大的藥包裝置於深眼內或峒室內。在使用巨大藥包的工作中，工作人員負有很好地完成爆破工作的任務，並在計算藥包時負有務使其所發生的機械功量符合要求的特別重大的責任。藥包量太小時，就必然會損壞難以補救的工作面；而藥包量太大時，又不可避免地發生爆破體的碎片被拋擲於危險區域界限以外，而這種區域的半徑是在爆破工作組織的過程中規定的。

在地下開採有用礦物的方法中，使用的藥包比較小，但從責任上講，這種工作也是非常重要的。在準備工作中，爆破工程限制着巷道的掘進速度；而在清除工作中，爆破時得適當尺寸的礦石的多少又視應用

爆破方法是否正確為轉移。對現時地下採礦工作所使用的運輸機械來說，爆破工作必須以適當的工作質量來保證機器發揮其效能，使礦石破碎均勻以便利其裝載的工作。

在一切地下爆破工作中，爆炸時生成的有害氣體起着相當大的作用。坑道空氣因這些氣體而污濁，可能因需要通風而引起工作面長久停工，否則會使礦井內工作的工人中毒。

在有沼氣或礦塵危險的礦井中，爆破工程尤有特殊的嚴重性，它們可能為沼氣或礦塵爆炸的原因從而可能引起事故或災變。

從以上所述不難明瞭爆破工作的嚴重性和責任及這一部分在培養採礦工程師方面所應有的巨大意義。

這本書是高等採礦學校的教本，它是按照作者在莫斯科斯大林採礦學院的教學大綱寫成的。這種教本除給讀者一些爆破學理論原理外，並注意到一些主要的實際問題^①，因為將來的生產指揮員必須以充份的知識武裝自己才能在實際爆破工作中得到安全的保障和很好的效果。

① 關於在具體條件下的爆破操作，在L巷道掘鑿I中有詳細的說明

5(3)7
5/7140

K.1

目 錄

引言	I
----	---

第一章 炸藥理論簡述

1. 爆炸現象	1
2. 炸藥	2
3. 炸藥的分類	4
4. 氧平衡及其重要性	5
5. 起爆能和炸藥的敏感性	7
6. 爆炸分解的速度和形式	13
7. 炸藥的作用的性質	19
8. 爆炸過程及其理論	20
9. 爆炸過程的特徵及其計算值	25
10. 爆炸功	33
11. 影響爆炸	40
12. 炸藥密度和裝藥密度	42
13. 藥包爆炸的爆力集中作用	44
14. 爆炸中的有害氣體	47
15. 安全炸藥理論	49

第二章 工業炸藥

16. 炸藥按使用情況分類·····	56
17. 硝鉍炸藥·····	57
18. 硝化甘油炸藥·····	64
19. 芬芳族硝化炸藥·····	70
20. 液氧炸藥·····	72

第三章 爆炸材料

21. 起爆炸藥·····	76
22. 雷管·····	80
23. 導火線及其點火材料·····	85
24. 傳爆線·····	89

第四章 炸藥檢驗及廢炸藥的銷毀

25. 爆炸品的檢驗限期及規定·····	92
26. 爆炸材料的銷毀·····	99

第五章 爆炸材料的運輸

27. 鐵路、船舶及飛機運輸·····	101
28. 爆炸材料的汽車和馬車運輸·····	101
29. 往爆破工地的爆炸材料運輸·····	103

第六章 爆炸材料的保存、準備、統計和發出

30. 佈置爆炸材料倉庫的安全距離的特點·····	107
---------------------------	-----

31. 安全距離的計算公式和順序·····	111
32. 爆炸材料倉庫的構造原則·····	115
33. 炸藥的準備工作·····	122
34. 爆炸材料的核算及發料工作·····	124

第七章 在均質介質內的爆破作用

35. 爆破作用理論概述·····	126
36. 藥包的概念·····	128
37. 藥包計算原理·····	133
38. 堵塞對藥包量的影響·····	142

第八章 爆 破 方 法

39. 裸露藥包法·····	146
40. 炮眼法·····	147
41. 露天和地下採礦工作中炮眼排列的基本原則·····	149
42. 有幾個自由面時確定炮眼的數目和深度的方法·····	156
43. 在有一個自由面的掌子面工作時炮眼數目和深度確定法··	157
44. 蛇穴法·····	167
45. 深眼圓柱藥包法·····	168
46. 峒室藥包法·····	173

第九章 炸 藥 起 爆 法

47. 爆炸起爆法簡述·····	183
48. 火花起爆法·····	184
49. 電雷管灼熱理論簡述·····	191

50. 電雷管的性質·····	193
51. 成組電雷管準爆的條件·····	198
52. 電流強度計算·····	205
53. 電源·····	208
54. 測量儀器及控制儀器·····	218
55. 導線及其接合·····	223
56. 導火藥筒製作法·····	228
57. 傳爆線起爆法·····	231
58. 中繼雷管起爆法·····	234
59. 怎樣保障藥包的同時爆炸·····	234

第十章 爆 破 技 術

60. 因預定目的不同的爆破工作方法和特點·····	237
61. 爆破工作規則概述·····	242
62. 裸露藥包法工作技術·····	244
63. 炮眼法工作技術·····	245
64. 深眼圓柱藥包法工作技術·····	251
65. 峒室藥包法工作技術·····	254
66. 有沼氣和礦塵危險的礦井爆破工程的特點·····	260
參考文獻·····	265

第一章

炸藥理論簡述

1. 爆炸現象

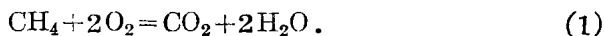
爆炸一詞的廣泛意義，就是因物體的急劇變化而使其本身的位能以同樣急劇的速度變為機械功，並使其周圍介質（среда）發生破裂。照例，這種功是由於爆炸前原有的或爆炸時發生的氣體或蒸汽膨脹作用而產生的。

爆炸的主要特徵，是它對爆炸地點周圍介質瞬時和急劇地增高壓力，並因介質的振動而發生或大或小的聲響。

爆炸可以分物理性的和化學性的兩種。

物理性爆炸可以舉例如下：如鍋爐因水迅速變為蒸汽而發生爆炸；或裝有可燃性或壓縮氣體的罐，因罐壁不夠堅固而發生爆炸。在這些爆炸中只發生物體的物理現象變化（由液體變成蒸汽或氣體、壓縮氣體的膨脹），化學成份並不變化。

化學性爆炸的必要條件是物體的化學變化。例如沼氣和氧氣混合而發生爆炸，它的化學變化的結果是



物體因化學變化而發生爆炸的因素有三種：變化進行迅速、生成氣體和放出熱量。上述每一種因素在爆炸的過程中都起着很大的作用。

把爆炸現象和燃燒現象作一個比較，就可以很明顯地看出反應速度的影響了。在燃燒時雖然也生成氣體並放出熱量，但因反應進行速度很慢，僅不過每秒幾公分的關係，所以它就散佈在大氣中。但在爆炸時反應傳播的速度是每秒幾百或常常是幾千公尺。

由於爆炸而產生的蒸汽或氣體是物體在爆炸分解時產生機械功的物理因素。與爆炸前物體所佔的體積相較，發生氣體的體積愈大，爆炸力就愈強（其他情況不變）。普通工業用炸藥每公斤生成的氣體是600—1000公升。

熱量的放出（發熱反應），表現在爆炸時，主要是由於溫度的增高而成了高壓。假定氣體是理想氣體，按照給呂薩克（Гей-Люссак）定律，壓力的增加和溫度的上升成正比

$$p = p_0 + p_0 \frac{t}{273}, \quad (2)$$

式中 p —最終壓力，以公斤/公分² 計算；

p_0 —最初壓力，公斤/公分²；

t —爆炸溫度，°C。

這樣溫度增加1°，則壓力增加最初值的 $\frac{1}{273}$ 。

爆炸時溫度相當高——1500°—4500°。因此壓力因溫度的影響而增加了許多倍，爆炸威力亦因之而增強。

從上所述看來，可以說爆炸就是物體的一種急速的變化，在變化時放出大量的熱並生成極熱的氣體，同時，由於氣體生成地點壓力的急劇增加而產生功。

2. 炸 藥

炸藥 (BB) 就是某些化合物化學系統，因受外力衝擊影響而以極大速度變為其他的化合物，同時生成氣體並放出熱，使氣體溫度增高，因之在炸藥爆炸地點發生極高的壓力。

爆炸化學系統有以下幾種：氣體混合物（沼氣+空氣，乙炔+氧）、固體或液體和氣體的混合物（炭末、木屑或同類的粉狀物+空氣，石油細沫+空氣）、液體物（硝化甘油）、液體混合物（硝基苯+硝酸，硫化碳+過氧化氮）、液體和固體混合物（狄納米特（динамиты）：液體硝化甘油+硝酸銨，液氧炸藥：液氧+固體燃料）、還有固體爆炸化合物或混合物（三硝基甲苯，阿莫尼特 аммонит）。上述後兩組在應用上較有意義，

而且現在普遍採用的也是固體爆炸化合物或混合物。

一切炸藥在化學上都是不夠穩定的體系^①，在外力的衝擊下亟求轉變為較穩定的體系。這種體系好像放在陡峭山頂的一輛雪橇。如無外力推動，它可以在山上長時間靜置，但如稍加碰擊即可從山上滑落，並且速度不斷增加，能也不斷增加，直至有相當的能量可以完成相當量的功為止。

炸藥的特性就在於它本身含有可形成最後體系的必要的化學元素。例如石油、木炭等燃燒時，與空氣中的氧化合，也就是說燃燒物本身含有大量的可燃物，但如果沒有空氣是不能起燃燒作用的。炸藥的爆炸分解，就是完全依靠它本身所含元素而發生的。

如將一公斤炸藥的放熱能量與一公斤普通燃料的放熱能量比較，則普通燃料較炸藥為優，從下面第一表內所列的幾種炸藥和燃料的放熱能量上即可明顯看出。

第一表

物 質 名 稱	放 熱 能 量 仟卡/公斤
煤油	11000
重油	10500
亞麻油	9300
乙醚	8900
酒精	7100
甘油	4300
纖維素	4200
硝化甘油	1470
六號阿莫尼特	938
ATI-1 號礦石安全阿莫尼特	667
八號安全阿莫尼特	636

炸藥與普通燃料相較，如按照化合物的容積計算，則炸藥在能量的集中性上來說就佔了絕對的優勢。例如一公升的氫氧混合物在燃燒時總共可發生 1.8 仟卡的熱量，但一公升硝化甘油在爆炸時可發生 2350

① 在常溫中每種實際上應用的炸藥在化學上是穩定的。

仟卡。因此可以說，炸藥在微小的容積中蘊蓄着大量的能。

在爆炸時能以極大的速度發生能，這對炸藥在威力上來說是具有極大的意義的，從下面的舉例可以看出，即使是一種比較弱的炸藥，其威力之大也超出我們的想像力，而達到驚人的程度。

八號安全阿莫尼特炸藥筒重 200 克、直徑 32 公厘、長 25 公分。它的爆炸分解速度為 2800 公尺/秒，就是說 25 公分的炸藥筒在 $0.25:2800=0.00009$ 秒的時間內完全爆炸。這樣，炸藥在爆炸時 1 公斤能生 636 仟卡的熱量，因此一個重 200 克的炸藥筒在爆炸時可發生 127 仟卡的熱量。熱功當量等於 427 公斤公尺，上述熱量的功等於 $127 \times 427 = 54229$ 公斤公尺的功，即在 0.00009 秒的時間內所發生的功量。大家知道：功率等於能量被能量發生的時間除，所以功率等於

$$\frac{127 \times 427}{0.00009} = 60250000 \text{ 公斤公尺/秒} \approx 590000 \text{ 瓩。}$$

3. 炸 藥 的 分 類

自從有了化學這門科學以來，曾經製出數以千計的各種炸藥。其中有些是純理論的，有些因某種原因而棄置不用，第三種只限於軍事目的，最後第四種在工業爆破工作中有各種不同的用途。此處只談第四種。

一切炸藥可以分為以下兩類：а) 爆炸化合物和 б) 爆炸混合物。

第一類的各種化合物中有三硝基甲苯（тринитротолуол 亦名 тротил, тол）、三硝基二甲苯（тринитроксилол 亦名 ксилит）、硝化甘油、硝化棉（пироксилин）等。

第二類炸藥包括由兩種或幾種化合物所組成的系統，其中有的是爆炸物、有的是在化學上不互相結合的非爆炸物。例如狄納米特、阿莫尼特、液氧炸藥（окисликвнты）、狄納孟（динамоны）及其他礦業工程中的炸藥。

爆炸化合物可以分為以下各類：

а) 硝酸酯（азотнокислые эфиры спиртов） 屬於此類有實際用途

的炸藥如下：硝化甘油 $C_3H_5(ONO_2)_3$ ，二硝化乙二醇（нитрогликоль） $C_2H_4(ONO_2)_2$ 和四硝化戊四醇（пентаэритриттетранитрат 或 тэн） $C_5H_8(ONO_2)_4$ 。前兩種是狄納米特的組成部份，тэн 炸藥可製傳爆線，有時也可裝雷管。

б) 硝化纖維素（азотнокислые эфиры клетчатки）膠質棉 $C_{24}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9$ （коллоидный хлопок）即屬此類，為狄納米特的組成部份。

в) 硝化物 這類炸藥中有三硝基甲苯 $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ 、三硝基二甲苯 $C_6H(NO_2)_3(CH_3)_2$ 、二硝基萘（динитронафталин） $C_{10}H_6(NO_2)_2$ 等為製阿莫尼特炸藥的組成部份；有時苦味酸（пикриновая кислота） $C_6H_2(NO_2)_3OH$ 亦可用在露天工作中。此外還有三硝基三酚鉛（тринитрорезорцинат свинца 又名 темерес） $C_6H(NO_2)_3O_2Pb$ 、三硝基苯甲硝胺（тринитрофенил метилнитрамин 又名 тетрил） $C_6H_2(NO_2)_3NCH_3NO_2$ 等可以用來裝雷管。

г) 硝酸鹽 在這一類中硝酸銨 NH_4NO_3 的用途最廣，它差不多是一切工業炸藥的基本組成部份。

д) 氮氫酸鹽 這一類中的疊氮鉛（азид свинца） PbN_6 是製造雷管最好的成份。

е) 雷酸鹽類 其中最著名的是雷汞 $Hg(CNO)_2$ ，也可製雷管。

上述各種炸藥的特性以後再加闡明。

現代工業炸藥必須具備下列基本條件：1) 價格比較便宜，2) 製造簡單而安全，3) 使用便利而安全，4) 性質經久不變，5) 在足夠的起爆衝擊下即能連續爆炸，6) 爆炸時能均勻進行，7) 有足夠的爆炸威力，以達到預期的爆破目標。

此外對某些炸藥還有補充的要求，如：在坑道中有毒氣體的發生量要少、在周圍介質中有沼氣及煤塵時要安全等（參看第 14、15 節）。

4. 氧平衡及其重要性

一切現代工業炸藥的爆炸分解，都是建立在可燃性元素（碳和氫）氧化的原則上。氧為氧化劑，它在每種炸藥中以各種不同的形式存在。

着。所以任何一種炸藥除了可燃性元素外也含有氧。

在爆炸化合物中每一分子的化合物裏，除了少數特殊情況外都是由可燃性元素和氧原子構成的。如二硝化乙二醇的實驗分子式為 $C_2H_4(ONO_2)_2$ ，其中含有碳、氫和它氧化所必需的氧。

至於現代應用的工業炸藥本身為混合物，所以情形就有些不同了。在這些混合物中至少必須有兩種組成成份。這兩種成份之一必須是可燃體，另一種必須含有大量的氧。

在現代的工業炸藥中含氧成份為硝酸銨。為了同樣的目的，有時在炸藥的成份中採用其他硝化物（硝酸鈉、硝酸鉀、硝酸鈣）、氯酸鉀、氯酸鈉或過氯酸鉀和過氯酸銨。在一切情形下，含氧物體必須有過量剩餘的氧，才能供給爆炸混合物中其他富有可燃性元素的氧化之用。

下面第二表中含氧化物，是在爆炸混合物中使用的，表中列舉其所含剩餘氧的%。

第 二 表

編號	名 稱	實 驗 化 學 式	分解時生成 的氣體容積 (公升/公斤)	分解後固體 殘留物(%)	含 氧 化 合 物 含 氧 總 量 (%)	剩餘氧 量(%)
1	硝酸銨	NH_4NO_3	976	—	60.0	20.0
2	過氯酸銨	NH_4ClO_4	790	—	56.2	28.1
3	硝酸鈣	$Ca(NO_3)_2$	476	24.4	58.5	58.5
4	硝酸鈉	$NaNO_3$	439	27.1	56.5	56.5
5	硝酸鉀	KNO_3	386	38.5	47.5	47.5
6	過氯酸鉀	$KClO_4$	333	52.5	47.6	47.6
7	氯酸鈉	$NaClO_3$	326	53.4	46.6	46.6
8	氯酸鉀	$KClO_3$	274	60.9	40.5	40.5

在確定每種炸藥的特性時，必須注意它的氧平衡，平衡的值可以作為（該種炸藥中）氧氣含量對於所含一切可燃性元素在完全氧化時需要量的指標。

氧平衡有零平衡、正平衡、負平衡幾種。

如某一種炸藥所含的氧量，恰好足夠使所含一切可燃性元素完全

氧化，這種氧平衡叫作零平衡。

如炸藥本身的含氧量不足，不能達到上述的目的，這樣的氧平衡就叫做負平衡。如炸藥含有多餘的氧時，就叫做正平衡。

負平衡或正平衡的值，可由氧的剩餘或不足的重量與參加化學反應的各物體（或一種物體）分子總重量的比值而求得。

炸藥的氧平衡有巨大的意義。最有效的炸藥的氧平衡是零，因為在這種情況下，可燃性元素可以完全氧化，並可以發生大量的熱，也就是說炸藥可以發揮大量的能。

例如一克原子（грамматом）碳完全氧化為二氧化碳氣體時，可發生 94 仟卡/克分子的熱量，但在不完全氧化時（氧氣不足），一克原子碳氧化為一氧化碳時，只發生 26 仟卡/克分子。

在氧過量時，炸藥的位能也不可能完全利用，因為這時在高溫和高壓下，容易生成氧化氮（окись азота），這就是說一部份反應是吸熱的（生成氧化氮時吸收熱量為 22 仟卡/克分子）。

此外視正平衡和負平衡值大小的不同，在爆炸時亦發生各種不同量的有毒氣體。正平衡時發生有毒氣體氧化氮，負平衡時發生有毒氣體一氧化碳。所以新式的工業炸藥的配製，都設法得到零的氧平衡或近似於零的氧平衡。

各種炸藥氧平衡的值詳見第三表。

5. 起爆能和炸藥的敏感性

為了在炸藥的任何一點引起最初的爆炸分解，必須由外界在這一點上消耗一部份能以達到衝擊的目的。為此目的而消耗的能量叫做起爆能（начальный импульс）。引起炸藥爆炸的過程叫做起爆（иницирование）。

起爆能所完成的功與爆炸完成的功相較是微乎其微的。起爆能的作用對炸藥整個來說，表現在對局部的作用上，藉以使炸藥的一小部份的分子失去它的不甚穩定的平衡。此後爆炸分解的進一步發展便不再需要外界的能，僅靠已經發生爆炸分解部份所發生的能量，即可繼