

國防科學叢書

火 藥

---

嚴 演 存 著

6

中華自然科學社主編  
商務印書館印行

## 緣 起

科學與國防之關係，夫人而知之矣！戰略學，戰術學，彈道學，飛行學，航海學等，固為直接用於疆場之科學；機械工程學，航空工程學，造船工程學，化學工程學，電機工程學等，又莫不為兵器製造與運用中之基本工具。再如地理學，測量學，製圖學，交通學，土木工程學，採冶工程學，醫學，農學等，或為戰略決擇之繩準，或為資源給養之所利賴，或為士兵健康戰鬥力之所攸關。例如尚在進行中之德蘇大戰，希特勒傾其全軍之師，操其最高度之科學兵器，據其偏面估計，滿心於閃擊三個月後直搗莫斯科。孰知經過兩年來之苦戰，遭遇了無可挽回之犧牲，而莫斯科猶可望而不可即，此何故歟？實蘇聯冬季零下三十度以下之風雪天氣為之也；亦即氣象學的障礙作用為之也。又如在我國抗戰期中，我砲兵部隊某次按圖發砲，屢發不中，事後研究，始發現由於地圖之失真，是即測量製圖工作之錯誤，而直接影響於作戰之效能也。諸如此類，例不勝舉。總之，今日之戰爭，乃科學之戰爭，戰爭之勝負，決於科學程度之高低。蔣委員長云：「無科學即無國防，無國防即無國家。」亦即我人欲立國於今世，必須建設國防，建設國防，又非從科學着手不為功，此所以國防科學之研究，為全國朝野之所提倡。

本社同人，原均各就性之所好，從事於各部門科學之專門研究，其工作範圍，雖未必盡標以國防之名，然皆直接或間接與國防科學密切相關。竊以百事之舉，必集多人之參加合作，其成功方臻偉大，何況今日之戰爭，不啻為國力之抗衡，國防

責任，應在全體國民，故今之談國防建設者，莫不倡全民國防之口號。至國防科學之研究，固無從亦不必全民參加，但對於國防科學基本智識之認識，確有灌輸於全民之必要；非如是國防科學究研之風氣無從養成，參加國防科學工作之中下級幹部無從徵集。是以我人一面從事專題之研究，同時尤應致力於國防科學智識之普及，本社編著國防科學叢書之旨趣，蓋在於此。尚希社會人士，賜以匡正，是所至幸！

編 者

## 弁 言

一、本書限於篇幅，以簡明爲主。讀者欲作進一步之探討，可參考他書。願火藥書籍，即西文中亦少佳構；下列諸書可爲介紹者，一則以其庸中佼佼，再則以國內曾有翻印本也。

Marshall: Explosives (取材失之陳)

Stettbacher: Schiess. - U. Sprengstoffe (多謬誤)

Beyling-Drekorp: Zuend.-U. Sprengstoffe. (佳作，但限於礦用炸藥之使用方面之理論)

二、本書乃自作者筆記及歷年在兵工學校，重慶大學及西北工學院之講稿彙摘而成。溯其來源，則爲德英法之書籍雜誌數十種。若語入語註其來歷，將失之紊亂，多佔篇幅，且亦不合本書之體例矣。故缺焉。

三、目下物資維艱，故本書插圖，力求減少；凡非僅以文字不能說明者，不附插圖。祈讀者識而諒之。

四、專門名詞，以採用國立編譯館所定者爲原則。其尙未定而國內已有通行之名詞者因之。惟尙無譯名，或舊名顯有不妥，不能盲從者（如第六節註中所舉者），乃以私意酌定之。

五、讀者對於本書內容，有所指教討論，作者不勝歡迎！

民三十一年八月於陝西城固古路壩

# 目 次

## 弁言

第一章 緒論 .....	1
第一節 定義 .....	1
第二節 火藥之分類 .....	2
第二章 火藥之力量 .....	4
第三節 爆發後所生氣體體積, 爆熱, 爆溫 .....	4
第四節 火藥壓力, 火藥力 .....	6
第五節 爆發之徐速 .....	8
第六節 火藥之狂度 .....	10
第七節 火藥力量之測驗 .....	10
第八節 引爆難易及超距爆轟 .....	12
第三章 火藥之安全問題 .....	13
第九節 安定性 .....	13
第十節 感度 .....	15
第十一節 危險距離 .....	16
第四章 黑色火藥 .....	18
第十二節 組成及原料 .....	18
第十三節 製造 .....	19
第十四節 性質及用途 .....	23
第十五節 變相之黑藥 .....	24
第五章 液體火藥 .....	26
第十六節 液態氧火藥 .....	26

第十七節	過氧化氮火藥	28
第十八節	卡獨克斯及海特陸克斯	28
第六章	硝化纖維素	30
第十九節	概說	30
第二十節	原料——纖維素	31
第二十一節	硝化之理論	33
第二十二節	製造	35
第二十三節	性質	40
第二十四節	用途	42
第七章	硝化甘油	44
第二十五節	概說	44
第二十六節	製造	44
第二十七節	性質	47
第二十八節	用途	49
第八章	其他液體硝酸酯	51
第二十九節	二硝酸乙二酯	51
第三十節	二硝酸氯丙二酯	52
第三十一節	其他之甘油衍生物	53
第三十二節	三硝酸硝基異丁三酯	58
第九章	其他固體硝酸酯	55
第三十三節	六硝酸己六酯	55
第三十四節	奔特脫	55
第三十五節	硝化澱粉	57
第十章	三硝基甲苯及其他芳香族經之硝基物	58
第三十六節	概說	58
第三十七節	性質	58

第三十八節	製造	60
第三十九節	用途	64
第四十節	硝基甲苯及二硝基甲苯	67
第四十一節	其他芳香族烴之硝基物	68
第十一章	三硝基酚(及其他酚之硝基物)	71
第四十二節	概說	71
第四十三節	製造	72
第四十四節	性質	78
第四十五節	用途	74
第四十六節	其他酚類之硝基物	75
第十二章	芳香族胺之硝基物	77
第四十七節	特出兒	77
第四十八節	四硝基苯胺	78
第四十九節	六硝基二苯胺	79
第十三章	非芳香族屬之硝基烴, 硝胺, 硝酸合胺	80
第五十節	黑索近	80
第五十一節	非芳香族屬之硝基烴	81
第五十二節	脂肪族硝酸合胺	82
第五十三節	脂肪族硝胺	82
第十四章	引藥	85
第五十四節	雷汞	85
第五十五節	疊氮化鉛	86
第五十六節	雷管	87
第五十七節	電點火管, 電雷管	90
第五十八節	導火索, 導爆索	91
第五十九節	火帽, 點火藥	92

第六十節 其他引藥	94
第十五章 硝化甘油炸藥(代拿枚)	96
第六十一節 概說	96
第六十二節 性質	100
第六十三節 製造	101
第十六章 硝酸銨, 硝酸銨炸藥, 特許炸藥	104
第六十四節 硝酸銨	104
第六十五節 硝酸銨炸藥	105
第六十六節 特許炸藥	106
第十七章 氯酸鹽炸藥, 過氯酸鉀炸藥(附有機氯 酸鹽及過氯酸鹽)	110
第六十七節 氯酸鹽	110
第六十八節 啓代脫	110
第六十九節 撕撥來關爾炸藥	111
第七十節 過氯酸鹽炸藥	112
第七十一節 氯酸及過氯酸之有機化合物	113
第十八章 無煙火藥	114
第七十三節 概述	114
第七十三節 成分	115
第七十四節 性質	122
第七十五節 製造	126
第七十六節 速燃無煙火藥	129
表: 二十八	
圖: 十	



# 火 藥

## 第一章 緒論

### 第一節 定義

一種固體或液體，能瞬息間生化學變化，發生熱量及氣體，致氣體驟然膨脹，實用上可利用之以做工作者，謂之火藥 (explosives)；其變化膨脹之現象謂之爆發 (explosion)。

自熱力學觀點而言，爆發反應必乃「自動發生」(Spontaneous)者，亦即火藥必為「不安定」之物。惟必須注意，此處「自動發生」及「不安定」兩語，均乃指熱力學上之意義；換言之，即爆發之際，「自由能量」(Free energy) 必須減少，熱力學中之不安定，與一般有機化學中所謂不安定殊不同；一般火藥，以後者之意義言，殊為安定，蓋並不見自己分解也。

爆發與燃燒之分別，換言之，火藥與普通燃料或可燃混合物之分別，其要點厥有兩點：其一，爆發之作用迅速；其二，火藥之可燃物與氧化劑均納於極小容積中，成為固體或液體；一旦爆發，則均成氣體，突然膨脹，遂可做多量工作。茲比較火藥與他種可燃混合物如第一表：

第一表

	每仟克所生熱量	與氧之混合物每仟克所生熱量	每升所生熱量
氫	29100 大卡	3230 大卡	1.7 大卡
炭	9400	2330	4.4
煤	7860	2140	4.1
硝化甘油	1455		2350.0
三硝基酚	900		1560.0

(大卡 Cal., 升 liter, 仟克, Kilogram, Kg.)

自此可知火藥每仟克所生熱量，初不及燃料之多；惟以單位體積言，則所生熱量甚大；且又有大量氣體發生，致劇烈膨脹而形成爆發。

① 此處之「爆發」乃狹義的意義。廣義的爆發，則如德國工程師學會 (VDI) 所定之定義：「氣體或蒸汽，突然膨脹而做工作，謂之爆發。」此則包括鍋爐之爆發，氣體之爆發等在內也。

## 第二節 火藥之分類

自其用途而言，火藥可分類如下：

(1) 發射藥 (Propellant)……裝於槍砲之「藥室」(Powder chamber) 中；分解後之氣體，將子彈射出。

(2) 彈丸用炸藥……裝於砲彈，炸彈等之中。

(3) 爆破 (Blasting) 用炸藥。

(a) 軍用 例如爆破鐵軌橋梁等用。

(b) 民用 開礦，築路闢荒，破壞不要之建築，去冰川礁石，農業用（掘坑，去樹根）等。

(4) 引藥 (initial explosives)……點着或引爆上述各火

藥者。蓋使用上述諸火藥時，一般均非用火直接點着，而乃先以火或衝擊使少許引藥爆發，再傳及所用之火藥也。引藥又可分引火藥與引爆藥兩者，詳見第五十六節及第五十九節。

至就性能言，則發射藥可自成一類，其爆發作用頗齊緩。餘三者可列爲一門，其爆發作用甚猛，可總名曰炸藥（參考第五節）。

就成分言，火藥可分類如下：

(甲)各成分混合後方成爲火藥（氧化劑與可燃物存在於不同分子中），如黑色火藥，液氧火藥是。

(乙)單獨一個分子即可爆發之火藥：而（不揮發大—與零）(a)含— $\text{ONO}_2$ 者：(nitrolo compounds) 硝基化合物

(i) 酯 (esters) 如硝化纖維素，硝化甘油等是。此類最爲重要。

(ii) 有機鹽，如胍之硝酸鹽。

(iii) 無機鹽，硝酸鉍。

(b) 含— $\text{NO}_2$ 者：(nitro compounds) 硝基化合物

(i) — $\text{C}-\text{NO}_2$ ……如三硝基甲苯等芳香族硝基物。此類亦最爲重要。

(ii) — $\text{N}-\text{NO}_2$ ……如二硝基胍等。

(c) 含— $\text{ClO}_2$ 者

(d) 含— $\text{ClO}_3$ 者

(e) 含— $\text{N}_3$ 者

(f) 含— $\text{N}_2$ 者

(g) 雷酸鹽

(h) 過氧化合物

(i) 乙炔化合物

大多數均爲收熱化合物 (Endothermic compounds)，用爲引藥。

## 第二章 火藥之力量

### 第三節 爆發後所生氣體體積，爆熱，爆溫

火藥之力量，由於爆發後大量氣體之發生；氣體體積大，即火藥之力量亦大。然氣體體積與溫度壓力有關，一般為便於比較計，將火藥爆發後所生氣體之體積，化為標準狀況（攝氏零度一大氣壓下）而計之。又命火藥爆發後所生氣體之溫度曰爆溫（temperature of explosion），所生熱量曰爆熱（heat of explosion），則爆後實際之氣體體積，比例於爆溫；而爆溫則受爆熱及爆發後生成物之成分之支配。故爆熱，爆溫，氣體體積三者，為比較火藥力量常用之數字。爆發後生成物之成分亦有聯繫關係。

爆熱可在測熱器（calorimeter）中測之。收取爆發後之生成物，可分析其成分；並測其體積，再換算為標準狀況即可。爆溫則不便直測，理論上可用高溫測溫計（pyrometer）測量；實際上因爆溫僅存在於一瞬間，火藥生成物旋即冷下，現今之高溫測溫計均有惰性，不及記錄此瞬間之溫度。現今惟一之實驗方法，乃將燻點已知之物，與火藥同置一器中；爆發之後，察其有無會燻化之象，因而判定爆溫至少有若干度。現今文獻中之爆溫數字，均自計算獲得，蓋

$$T = \frac{Q}{\Sigma Cp}$$

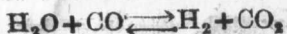
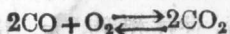
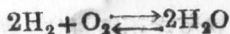
因生成物為氣體，比熱為溫度之函數，故可書作  $\Sigma a + \Sigma b \cdot T$ ,

故

$$T = \frac{Q}{\Sigma a + \Sigma b \cdot T} \dots\dots\dots (1)$$

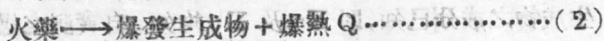
生成物之成分已知，則  $\Sigma a$  及  $\Sigma b$  均知，自實測之爆熱  $Q$ ，用 (1) 式即可求得爆溫  $T$ 。另一種自實測之壓力而計算爆溫之方法，見第四節。

以上所述之方法——爆熱，生成物之體積及成分，由實驗直接測定；爆溫由計算而得，——乃現今一般所用者。文獻上此類數字，多由此得來。然此時所得之數字，與實驗時所用器具方法，頗有關係，蓋爆發後之生成物，係在高溫之下，高溫時化變速度甚大，故下列諸反逆反應，容易發生：



故爆發後之生成物，可視為一可生「可逆變化」(reversible reaction) 之複雜氣體系。氣體系之成分，受溫度及壓力之支配。實驗所用「密閉爆發器」(bomb) 之大小，影響於壓力，故必影響於其成分。又爆發後氣體冷卻之際，因溫度變遷，氣體系之成分亦隨之變化(平衡常數為溫度之函數)。但溫度愈低，則化變速度愈慢，終至不復變化。按實驗時必須將氣體冷下，方可舉行分析。故所得結果，決非為爆發瞬間之情形；冷卻愈慢，則相差愈多。又冷卻之際既生化學變化，則亦有熱的變化；故測出之爆熱，與真正之爆熱亦有差異。惟實驗時如設法使爆發後所生之氣體，立刻作多量工作，使其迅速冷卻(例如火藥盛一小容器中，再放一大容器中，爆發後將小容器炸破。)則其結果比較的近乎為爆發瞬間之情形。但此種實驗方法殊不便捷耳。

或以為實驗方法，既不準確，則竟可不加實驗，逕以計算方法求之。其計算方法之原理如下，其詳則非本書所能及也。<sup>①</sup>



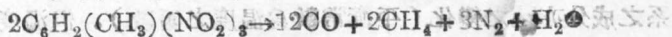
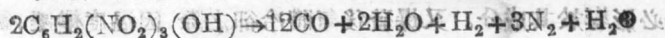
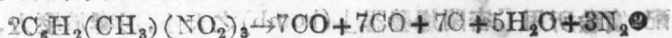
而爆發後生成物即為一可生可逆反應之氣體系，故其成分必受溫度之支配，即

$$\text{成分} = Q(T) \dots\dots\dots (3)$$

自(1)(2)(3)式 T Q 等未知數，可以計算決定。

如數據(Data)充足，此法較之實驗，更為精確。所得者乃爆發頃間之情形。惟計算時所需數據(如高溫時之比熱)，每不夠用，且不甚可靠，是其困難耳。

由於前文所云實驗值之不盡可恃，故文獻中同一火藥之爆熱，爆溫，氣體體積，往往相異頗大。爆發生成物之成分更甚；有時且有顯著之謬誤。例如下列諸式，乃自西文名著中摘錄者，以熱力學之眼光察之，知決不可能，殆半因冷卻之際，湧起作用，半因分析之誤也。



① 德國火藥雜誌 (Zf. d. ges. Schiess.-u. Sprengs.) 209, 296; 1934.

② Stettbacher. Schiess.-u. Sprengstoffe, S. 63.

③ Colver: High Explosives, P. 311.

④ Smith, TNT P. 90.

#### 第四節 火藥壓力，火藥力

火藥在密閉中爆發時所生壓力，視乎容器大小與裝藥之多少。設在體積 V 之密閉器中，裝火藥 M，爆發後所生最大壓

力為  $P$ ；又  $Q$  為火藥之爆熱， $V_0$  為單位重量火藥爆發後生成物在標準溫度壓力下之體積， $T$  為溫度， $P_0$  為大氣壓，則用

Van der Waal 式，而忽去  $\frac{a}{V^2}$  項，並令  $b$  為  $a$ ，則得

$$P(V - ma) = P_0m(V_0 - ma) \frac{T}{273} \quad (4)$$

$$= \frac{P_0mV_0T}{273} \quad (4)$$

此式可化簡為

$$P = \frac{f\Delta}{1 - a\Delta} \quad (5)$$

其中  $f = \frac{P_0V_0T}{273} \quad (6)$

$$\Delta = \frac{m}{V} \quad (7)$$

$f$  稱為火藥力 (force of explosive)。  $a$  乃 Van der Waal 式中係數，即氣體分子本身所佔體積之函數；而在火藥學中使之包括爆發固體成分之體積，名之曰餘容 (Covolume)。  $\Delta$  稱為裝填密度 (loading density)。 (5) 式稱為 Abel 式。

火藥在爆發時所生最大壓力，有種種測定之方法，其最重要者有二：(1) 火藥氣體加壓於一小銅柱，將其縮短；而縮短之量，與所受壓力之關係，預先已以槓桿原理加一定壓力於其上以測定之。此法謂之銅柱測壓法 (Copper crusher method)。又小銅柱亦可用彈簧代替。(2) 石英片在一定軸方向受壓力後可生電荷；此項電荷積於一凝電器 (Condenser) 上，利用真空管擴大其電壓，而使作用於一陰極示波器 (Cathode ray oscillograph)，陰極射線受電力之吸拒而偏動，可用照像攝出；此偏動之距離，比例於電壓，亦即比例於火藥爆發後所生壓

力。此法稱曰壓力電測壓法 (Piezoelectric method)。同一密閉器中，變更裝藥之多少，即變更裝填密度  $\Delta$ ；每次均測其所生之壓力  $P$ ，自 (5) 式即可算出  $f$  及  $a$ ， $f$  之另一求法可將上章所求得之  $V_0$  及  $T$  代入 (6) 式求之。反之，自實測壓力值所得之  $f$ ，及實驗所得  $V_0$ ，代入 (6) 式，可以算出爆溫  $T$ 。此即上節所曾提及之爆溫之第二種計算法也。

一定裝填密度下所生壓力，與火藥力  $f$  近似成正比例；火藥發揮之力量，往往與  $f$  大有關係，故有火藥力之名。

自 (6) 式，

$$f \propto V_0 T$$

即

$$\propto \frac{V_0 Q}{\Sigma C_V}$$

按  $\frac{V_0 Q}{\Sigma C_V}$  Berthetot 氏稱之曰火藥特徵數 (explosive characteristic)，其後因  $\Sigma C_V$  往往不易確知其值，遂遂用  $V_0 Q$  為特徵數。

### 第五節 爆發之徐速

爆發依其徐速顯然可以分兩大類：其一，爆發之速度不甚大，每秒鐘不過數釐米乃至數米，其速度隨外界壓力而增；此時之爆發，在火藥學中每稱之曰燃燒 (combustion)，然實較普通習見之燃燒為速。另一種爆發，其速度異常迅速，每秒在千米以上，其速度與外界之壓力無關；此時之爆發每稱為爆轟 (detonation)。

因而火藥亦可分為發射藥與炸藥兩大類：發射藥之爆發作用屬前一類即燃燒；其他爆破用炸藥，彈丸用炸藥等之爆發作用屬後一類，即為爆轟作用。將炸藥露放於石上，炸時竟可將石裂開者，即因爆轟作用異常迅速，其力集中於短時



間內，故遂猛烈也。因而炸藥之力量，與其爆轟之速度曰爆速 (velocity of detonation) 者，至有關係。

測爆速之方法，最重要者有二：(一)取一長管，中盛欲試之火藥，相距一定距離之兩點處，各接一電路；電路各接一感應圈。電路炸斷時因感應圈之作用，各生一火花，射於一高速度回轉之筒上；筒上塗有煙墨，自兩火花痕間之距離，可以計算時間，因而計其速度。(二)比較法，用第一圖之裝置，AB管中裝有所欲試之炸藥，另接一爆速已知之導爆索，ABC，此導爆索放於一鉛板上。火藥自A點開始爆發，則一方面自A而B而C，另一方面自A而C，兩者交於C；此點在鉛板上可以察出。按AC間爆轟時間必等於ABC間者；設導爆索之爆速已知，則AC及BC間之爆轟時間均已知，而AB間之爆轟時間可算出，即爆速可算出矣。

