

# 藥學

E. de Barry Barnett 著

李潤田 譯

正中書局印行

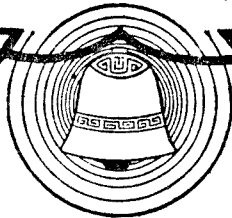
火 藥 學

E. de Barry Barnett

李 潤 田 譯



正 中 書 局 印 行



版權所有  
翻印必究

中華民國三十一年六月初版  
中華民國三十七年六月滬一版

火 藥 學

(Explosives)

全一册 定價國幣九元五角  
(外埠酌加運費匯費)

原	著	者	E. de Barry Barnett
譯		者	李 潤 田
發	行	人	蔣 志 澄
印	刷	所	正 中 書 局
發	行	所	正 中 書 局

(1377)

## 原 序

本書主旨，在關於火藥製造及其試法作一清晰而簡明之論述。火藥工業，不論平時或戰時，皆極重要，而與合成染料工業及人造肥料工業均有非常密切之關係。後二種工業，在英國已有確實基礎，故火藥工業亦隨之而擴張。軍隊與軍火工人得自歐戰之經驗，對於火藥處理與使用足以消除一向不信賴火藥之心理；同時對於火藥効用之偉大亦得有明證。歐戰前英國採用火藥之處，確屬有限，使用於爆破土壤及開鑿河渠等農業上者為量極少，希望將來對於一般爆破工程用火藥能大為發展，此有賴於火藥之廉價製造。為應付戰爭而設立之多數硝化工廠及硝酸銨合成工廠，足以利用硝酸銨火藥以達此目的。煤礦爆藥具極大重要性，本書中特專設一章以論述之，甚願英政府對於煤礦爆藥，除舉行官方試驗外，能將「科學研究」專款分出一部分，以供研究煤礦爆藥之用。蓋我國（指英國）雖擁有多數煤礦，然我人較之新舊二大陸其他主要產煤國家，對於煤礦爆藥研究特少，殊覺遺憾也。在美國出版有優異之「美國礦務局公報」(Bulletins of U.S. Bureau of Mines) 或「美國火藥局公報」(Bulletins of U.S. Bureau of Explosives)，但在英國則付缺如！

著者謹向 A. Marshall 氏致謝。Marshall 氏所著 "Explosives; their History, Manufacture, Properties and Uses," 一書，極有價

---

值。其所述者，遠較篇幅有限之區區本書為詳盡也。

巴萊·巴乃忒

1919年6月 E. de Barry Barnett.

## 譯者序

巴萊·巴乃忒所著「火藥學」一書 (E. de Barry Barnett, "Explosives"), 文理清晰, 論述嚴明。對於混合火藥分析尤為清爽, 為他書所不及。煤礦爆藥一章, 敘述甚為簡明得體。其他各章, 關於各種火藥之論說, 亦均確當可取。最後一章, 討論火藥之將來趨勢及其發展可能性, 尤有價值。

此書每章之末, 皆附有參考書目或文獻甚詳。對於研求火藥者, 為用匪淺, 亦本書之一特點也。

此書着重於工用火藥。對於軍用火藥, 敘述雖覺稍簡, 但仍不失為良好之參考書。一般人士讀之, 材料可稱豐富, 即對於火藥特感興趣之讀者, 亦大足以增長其對於火藥之認識。

原書出版於 1919 年。自今日言之, 似覺其版本太舊。然因該書敘述嚴明, 可取之處甚多; 加以近十數年來火藥工業之情況未有大變動, 故仍值得一讀。其中不合時之處, 業經譯者酌加修改, 並另插入火藥之定義一節與火藥理論一章, 對於研習斯學者, 不無裨益也。此外, 書末附火藥譯名表, 以為統一火藥學名詞之倡議。

譯者所補充之火藥理論部分, 另成一章。合原有之十一章共得十二章。理論部分之取材, 大半得自下列二書:

C. Beyling und K. Drekoft, "Sprengstoffe und Zuendmittel,"

1936, pp. 1-65.

A. Stettbacher, "Schiess- und Sprengstoffe," 1933 pp. 1-96.

本書承蒙羅明生君代為繪圖，特此致謝。

二十八年三月 李潤田

## 縮寫字

### 文獻

- A. Annalen der Chemie.
- A.E. Arms and Explosives.
- A.R. Annual Report of H.M. Inspector of Explosives.
- B. Berichte des Deutschen Chemischen Gesellschaft.
- C.r. Comptes rendus.
- I.S.C.I. Journal of the Society of Chemical Industry.
- P.S. Memorial des Poudres et Salpêtres.
- Soc. Transactions of the Chemical Society.
- S.R. Special Report by H.M. Inspector of Explosives.
- S.S. Zeitschrift f. Gesamte Schiess- u. Sprengstoff Wesen.
- D.R.P. Deutsches Reich Patent.
- A.P. American Patent.
- E.P. English Patent.
- F.P. French Patent

### 化合物等

本書採用英國各火藥工廠習用之縮寫字如下：

- B.G. Blasting Gelatine.
- M.N.N. Mononitronaphthalene.



C.C. Collodion Cotton.	M.N.T. Mononitrotoluol.
D.N.B. Dinitrobenzole.	N.C. Nitrocellulose.
D.N.N. Dinitronaphthalene.	N.G. Nitroglycerine.
D.N.T. Dinitrotoluol.	P.A. Picric Acid.
G.C. Gun cotton.	T.N.A. Tetranitroaniline.
G.P. Gunpowder.	T.N.N. Trinitronaphthalene.
M.J. Mineral Jelly.	T.N.T. Trinitrotoluol.
M.N.B. Mononitrobenzole.	W.M. Wood Meal.

M.A. 代表混酸 (硝酸與硫酸), N.A. 代表各種濃度之硝酸, 其一水合物用其化學符號  $\text{HNO}_3$  代表。S.A. 代表各種濃度之硫酸, 商品濃硫酸 (168° Tw.) 以 C.O.V. (concentrated oil of vitriol), D.O.V. (double oil of vitriol) 或 R.O.V. (rectified oil of vitriol) 代表之。其一水合物用其化學符號  $\text{H}_2\text{SO}_4$  代表。發烟硫酸為 "Oleum"。有時亦書作 F.O.V. 或 N.O.V. (fuming oil of vitriol, Nordhausen oil of vitriol)

# 目 次

第一意 緒論	1
第二章 火藥理論	20
爆發之誘起	20
爆速	22
爆發生成物	31
爆熱量	45
爆溫	55
爆壓	66
爆焓	77
爆炸力與火藥成分之關係	81
第三章 黑藥	83
第四章 化合火藥	93
硝化甘油	96
硝化纖維	106
芳香族硝基化合物	114
其他硝基化合物	123
殘酸	125
文獻	127
第五章 無煙藥	129

具來福線兵器用發射藥	129
含硝化甘油無烟藥	134
純硝化纖維無烟藥	140
滑膛兵器用無烟藥	142
脂肪族溶劑	148
文獻	150
第六章 爆破藥	151
猛烈藥及其類似爆藥	153
膠質爆藥	159
氯酸鹽火藥與過氯酸鹽火藥	165
硝酸銨火藥	173
“通尼忒”	175
文獻	176
第七章 煤礦安全爆藥	177
爆燃時間	177
試驗坑道	181
英國准用爆藥	190
“包并尼忒”	199
德國煤礦爆藥	200
奧國煤礦爆藥	202
比國煤礦爆藥	202
法國煤礦爆藥	204
文獻	204

第八章 火帽,雷管及導火索	207
火帽及雷管	207
導火索	219
文獻	222
第九章 火柴,打火合金及烟火	225
火柴	225
打火合金	230
烟火	233
文獻	240
第十章 火藥之爆發性	242
威力與猛度	242
猛度試驗	247
爆速	249
爆發壓力	259
爆熱量	261
爆溫	264
測時術	265
文獻	268
第十一章 感度及安定性	272
機械激動	273
爆炸	276
殉爆	277
熱與點火	278



## 第一章 緒論

**火藥之定義** 凡有實用價值之固體或液體因熱或衝激之作用，能於極短時間內，驟起極迅速之化學變化(分解)，而發生高溫度之大量氣體者，謂之「火藥」。

此火藥定義，為狹義的定義，但已足以認識火藥之為物，火藥之最主要特徵為能「爆發」。當氣體驟然發生或解放，以致發生巨大響聲者，不論其為化學變化或物理變化，亦不論其是否有熱量伴生，皆得稱為「爆發」。例如各種火藥之爆發，汽鍋之爆炸，汽車輪之爆裂等皆屬之，即凡屬本身不安定之物質，平時雖勉保原態，但苟有機會，則必向較安定之方向轉變也。

爆發現象既如上述，則凡能發生爆發之物質，統稱曰「爆發物」。換言之，即「爆發物」如在熱力學的不安定平衡狀態下之均一系或不均一系之物質，遇有輕微擾亂作用，即起化學的或物理的變化，於其周圍引起急激之氣壓變化，此即爆發物之定義，亦即火藥之廣義的定義。

火藥為爆發物之一類，爆發物中之固體或液體，具有實際使用上之價值者，即是火藥。又凡火藥之爆發，必為一化學變化。只生物理解之爆發作用之物，不能稱為火藥，爆發物之所以不能全稱為火藥者，其原因即在乎此。

由火藥定義觀察，知凡屬一種爆發物，必具備定義中所限制之條件，而後方得稱曰火藥。茲分析其條件於後：

火藥必須為固體物質或液體物質，或為固液二體之混合物。氣體物質不能稱為火藥。如黑藥、無煙藥、梯恩梯等為固體火藥之例，硝化甘油為液體火藥之例。氫與氧之混合物，雖亦能爆炸，但因其為氣體，故不得謂為火藥。其理由係因氣體物質之密度太小，不便運用，因之其單位體積之物質所生之「能」亦極少，不合實用。試觀下表：

物質名稱	1 Kg. 所生之能 Kcal (大卡)	物質密度	1 升所生之能 Kcal (大卡)
黑藥	713	1.2	855
爆炸膠	1555	1.63	2540
氫氧混合氣體 (2H <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> )	3242	0.0009 (26°C, 760 mm.)	1.62

上表就單位重量觀察，則氫氧混合氣體每公斤所生之能為諸種物質之冠，較之最猛烈之爆炸膠，猶超出一倍以上，似應為最優良之火藥，然轉觀以單位體量（每公升）物質所生之能比較，則所憶想能量最大之氫氧氣體之能，僅及爆炸膠之 1/500，即較能量最小之黑藥亦僅及其 1/500 而已。實際使用火藥時，不論炸藥或發射藥，密度問題，均極重要。如氣體者，其密度異常微小，當然不能使用。或曰：苟將氫氧混合氣體預加壓縮，增高其密度，以期發生較多之能，而用為火藥可乎？對曰：可，但世上須先有能耐高壓而輕便安全之容器。蓋欲使每公升之氫氧混合氣體，發生 1000 大卡之能，必須將該氣體加壓至 620 氣壓而後可。換言之，即欲使氫氧混合氣體發生與黑藥相等之能（855 大卡），亦必預加壓力至 500~600 氣壓，試問如

此極度高壓，豈一般實用材料所能耐受？冶金家已能製成一種鋼料，足以耐受 600 氣壓之氣壓，但其鋼壁必厚，重量必大，製造必難，價格必昂，尚萬難用於火藥也。

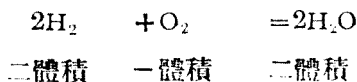
火藥必須具有實用價值。無實用價值之固體或液體爆發物，縱其性極猛烈，亦不得認為火藥，所謂有無實用價值，包括性質之敏鈍，製造之難易，價格之高低，運用之方便與否等等，有機物質中之重氮物質 (diaz-compound) 雖為強烈性爆發物，但因性太敏感，殊欠安全，故不用。

火藥須能在極短時間內發生極迅速之化學變化，火藥之爆發作用必為化學變化，且此化學變化之反應速度必須極大，否則縱能發生大量之熱與多量之氣體，但因為時太久，亦必無爆發發生也。汽鍋爆炸，汽車輪爆裂，二者俱為物理變化，只為氣體之急劇膨脹，而非化學變化，當然亦非火藥。

凡為火藥，當其爆發時，必須能生高溫度及大量之氣體，此為火藥定義中之最主要條件。惟其如此，故火藥不能不為固體或液體，取其密度大，蘊藏之能量大也。惟其如此，故火藥之爆發反應不能不為化學變化，因只有化學變化始能發生大量之熱及多量之氣體也。熱莫敵 (thermite) 為氧化鐵與鋁粉之混合物，燃燒後生成氧化鋁與金屬體，全係固體，並無任何氣體發生。但如其為量較多，反應激烈，亦發巨響而行成爆發之現象。乙炔銀 (acetylene silver),  $\text{Ag}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{Ag}$ ，受衝擊作用，則迅速分解為固體銀與碳二元素，亦無任何氣體發生，但亦生成巨響之爆發，斯二者俱僅憑其化學變化時所生之高溫度作用，將周圍空氣急劇膨脹，致發生巨響而形成爆發，其自身



固毫無氣體發生也。故難認為火藥類，又如氫氧二氣體之混合氣體，當爆發時其反應式為



由上式知三體積之混合氣體，爆發後只剩二體積，反而減小，但亦有爆發之巨響發生，寧非怪事？此無他，亦因其能生高溫度，氣體膨脹極速，故仍能爆發。

只為氣體變化，而無熱伴生，僅能爆發，而不得稱為火藥。例如汽鍋爆炸，汽車輪胎爆炸，二者本身均無熱量發生，反之，因對外做工作，反吸收外界之熱。

加熱或衝擊火藥之局部，則火藥全體均須完全爆炸，此亦為火藥要件之一。蓋實用上，例如砲彈或飛機炸彈，不論裝炸藥若干，其能爆炸必藉力於局部裝藥中起爆藥之起爆，方能全部爆炸，此起爆作用，當然只能加諸局部，絕不能加於全體也。

**史略** 黑藥為十九世紀中葉以前唯一無二之火藥，其來源甚不確定，西曆第七世紀時，廣用於防守君士坦丁堡之「希臘火」(Greek fire)，雖有人認為即係一種變形黑藥，但因其中是否含有助燃劑粗硝石，尙成疑問，故毋寧認為係一種縱火劑。西曆 1232 年，中國人似已利用黑藥於戰爭，羅哲·倍根 (Roger Bacon) 之著作中，載有硝石精製法，且用隱語密碼記載黑藥之製法，惟其究否可靠，則不無疑問，但無論如何，由倍根氏之後期著作中，可知其確已知由硫黃，木炭及硝石所製成之爆發性混合物，尤以“Opus Tertium,” “De Secretis,” 及 “Opus Magnus” 諸卷為著，又在同一時期，亞伯刺人似

亦已知類似混合物之爆發性。

黑藥之初期用途，僅限於軍事方面，數百年間並未用於爆破。最初，用黑藥裝製手榴彈，其功效不過只在恐嚇敵人。西曆 1346 年克里西 (Crecy) 戰爭時，英人始用火砲。但亦有人謂在該次戰爭發生前之希姆戰爭中 (Hispano-Moorish War) 即已使用之。

製造黑藥，初期方法甚為簡陋，僅藉手工搗原料於舂臼中而製之。十六世紀末葉，採用輪研機 (edge-runner) 以造黑藥。最初所製黑藥為粉狀，吸濕性大，搬運時因受震動影響，成分易於彼此分離。當十四世紀時，為防止成分分離，曾添加樟腦，氯化銨或膠。十六世紀時，始發明「造粒法」(cornning, granulating)。當混合完畢，加水將藥潤濕，壓成藥餅，再經打碎，過篩即得。

1588 年發明帶信管砲彈。信管構造之粗劣，乃意中事。1779 年英人攻佔直布羅陀時，始發明比較準確之信管。數年後，子母彈亦出現。

柏陶萊 (Berthollet) 於研究氯酸鹽時，在 1788 年倡議用氯酸鉀代替黑藥中之硝石，可得炸力較強之火藥，然其製造與使用，均極危險，僅在 1805 年由福西特氏 (Forsyth) 製成一種氯酸鹽混合物，用為起爆藥而已。

雷汞火帽始用於 1815 年。1831 年比克福氏 (Bickford) 發明緩燃導火索，1845 年矢彼恩氏 (Schoenbein) 發明硝化棉，1846 年蘇不萊勞氏 (Sobrero) 發明硝化甘油，於是火藥工業得開一新紀元，後二物因當初製造時，屢生意外危險，故並未能迅速普遍使用，矢彼恩將其英政府註冊之發明專利，售於凡屋閃地方之約翰·浩爾

公司 (John Hall and Sons), 其人如法製造硝化棉達數月之久, 但卒於 1847 年因工廠炸毀而停工, 六年後, 奧政府 又提倡之, 芬· 棱克將軍 (General von Lenk) 且組成砲隊, 即使用硝化棉爲發射藥及砲彈炸藥。雖略成功, 但因 1865 年發生二次嚴重爆炸災害, 遂又中止使用。

同時, 英政府 方面, 積極從事研究, 由 阿白爾氏 (Frederick Abel) 負責進行, 經過不久, 阿白爾 即發現硝化棉之所以性不安定者, 其原因端在洗滌之困難, 於是於 1865 年發明「磨漿法」(pulping process) 以精製之, 此法雖似簡單, 但其重要性之大, 堪稱爲劃時代的大發明, 蓋用此法, 能將素視爲極其危險之製法一變而爲最安全之火藥製造法, 而爲各種已知火藥之冠。使用此法, 且能將水濕棉藥漿壓成藥塊, 對於搬運與使用均稱便利, 自 1868 年 卜朗氏 (Braun) 發明以雷汞雷管起爆乾硝化棉, 並以少許乾硝化棉爲傳爆藥, 而使濕硝化棉亦同樣起爆後, 此種壓縮棉藥塊之用途, 大爲增加。濕硝化棉不易引火, 對於衝激又甚鈍感, 此項發明, 價值甚大, 曾多年用爲軍事爆破及信號之標準炸藥, 並用爲水雷, 魚雷之唯一爆藥。

硝化甘油雖係 1846 年 蘇不萊勞 所發明, 但 蘇氏 並未發現其重要性, 直至 1862 年 阿爾福萊·諾貝爾氏 (Alfred Nobel) 進行研究後, 始倡議用爲火藥。是年, 諾貝爾 在 瑞典斯托克浩爾木 (Stockholm) 附近開始製造, 嗣因使用時屢次發生意外災害, 致爲各國所禁止。於是 諾貝爾 從事研究安全之法, 終於 1867 年發明用一種多孔性物質吸收硝化甘油, 可使其運用安全, 其最適宜者首推矽藻土 (Kieselguhr), 品質優良之矽藻土, 能吸收三倍重量之硝化甘油, 仍保持乾

燥狀態 除此物外，在諾貝爾之專利註冊中，尚有其他多孔性物質，如磚粉，石膏等是。

1875年諾貝爾發明膠質猛爆藥，是為一大進步，此物之發明動機據稱係受一種無意中之巧合所暗示，某日，諾氏傷手，用弱棉膠（collodion）封傷口，事後當舉行硝化甘油實驗時，無意中竟發現該弱棉膠與硝化甘油相結合而變成一種膠體。膠質猛爆藥中之第一種為爆炸膠（blasting gelatine），含硝化甘油92%，又弱棉8%，此物發明，立即廣被採用，同時因覺有製造猛性稍小炸力稍弱之類似火藥之必要，遂發明在流動性較大之爆炸膠中，加以硝酸鉀及木粉，以改造之，此種混合火藥，應用極廣，名曰膠質猛爆藥（gelatine dynamite）及「解里尼忒」（gelignite），前者較後者炸力為大，但較之爆炸膠，則炸力略小。

1871年斯僕榮解氏（Sprengel）發明一種新火藥，係將適宜之有機物如硝基苯者，與濃硝酸或發烟硝酸，或液體四氧化氮相混合，即能爆炸，此種火藥，其各成分之物質，平時分別貯存，僅至臨使用時始相混合，故有安全之利，斯氏之發明，雖因運輸硝酸，諸多困難，但確曾盛行一時，1880年德文氏（Devine）將其改良，係取內盛氯酸鉀之藥包，在臨用之頃，浸以如硝基苯類之液體有機物，破岩火藥（rack-a-rock）即此種火藥之一種，曾於1885年開鑿紐約港時，用以爆破海爾門大岩石（Hell Gate Rock）。1885年乏末侯氏（Favier）首先發明硝酸銨火藥（ammonium nitrate explosives），當時因其具有可厭之吸濕性，並不受人重視。除此而外，二十世紀以來，屢有倡議使用液體空氣或液體氧氣與有機物之混合物為爆破藥

者。此種火藥，建築斯普隆隧道（Simplon tunnel）時，曾大量用之。但其缺點甚大，將來恐難望其普遍採用。歐戰時，德國曾用為一般爆破之用。在英國，斯僕榮解式火藥從未採用。蓋以將各成分舉行混合，依照德國火藥法規認為係一種製造工程，非經准許，不得隨意施行也。（見1875年英國火藥法規）。

如前所述，柏陶萊氏於1788年首先倡用氯酸鹽，嗣因其混合物性太敏感，而不得不放棄之。然此缺點，於1897年業為斯吹忒氏（Street）設法改良。氏將氯酸鉀與蓖麻子油混合，並酌加硝基碳化合物以增其黏度。此火藥名曰「瑟狄忒」（Cheddite），成就甚大。

自芬·棧克將軍組織砲隊使用硝化棉後，第一種無烟藥為1865年蘇采氏（Schultze）所發明。係先將木粉硝化，再於其表面塗以硝酸鋇或硝酸鉀，或二者之混合物所製成。五年後，福爾克曼（Volkmann）用醇醚合劑使硝化木受局部膠化作用，是為無烟藥之一大進步，並因而奠立近代新式無烟藥工業之基礎焉。1882年英國斯陶馬凱（Stowmarket）地方之「火藥公司」（Explosives Company）亦製造與此類似之火藥，稱曰E. C. 無烟藥，係將局部施行膠化之硝化棉，浸以硝酸鋇與硝酸鉀而成，隨即大為狩獵者所採用。

軍用無烟藥之最初出現者為1886年未埃意氏（Vitalle）所發明之B型無烟藥（Poudre B），法政府採用之。其製法，係用醇醚合劑膠化硝化棉，使成糕狀可塑物，輥成藥帶，切為藥片，經烘乾即成。

二年後諾貝爾發明蓆雷無烟藥（Ballistite），乃以硝化甘油膠化弱棉所製成。同年，英政府用丙酮與硝化甘油使強棉膠化，製成另

一種無烟藥，是爲柯達無烟藥 (cordite)。該二種發明，爲爭奪發明權，曾構成訴訟。其結局以強棉與弱棉定義不同，始得解決。(舊蓄無烟藥用弱棉，柯達無烟藥用強棉)。

1871年斯僕榮解氏發現苦味酸 (picric acid) 有爆發性，但並未付諸實用。至1886年始由杜平氏 (Turpin) 採爲砲彈炸藥。此法一經發明，即大爲各國所採用，而有 melinite, lyddite 之同性異名諸名稱。惟迄近代，大部分之苦味酸，已爲梯恩梯 (三硝基甲苯, trinitrotoluene) 所代替，因後者具有價廉而安全之諸優點故也。

四硝基苯胺 (tetranitroanilene) 與特出兒 (tetryl) 俱爲1910年福呂爾海木氏 (Fluorsheim) 所發明。二物皆因價昂，只能用於雷管及傳爆管，而不能用於全裝炸藥。

一般爆破工程利用火藥時，因火藥爆炸易引起坑氣或炭粉之爆發，故對於煤礦爆發災害，大爲增多。1873年馬克南氏 (Macnab) 倡議在裝藥前方，安置盛水小筒，以補救此弊。其後，依同一原理，又用含水90%之鮮苔或用含結晶水之鹽類，製成膠體，求達同一目的，均未成功。1885年普魯士以及其他各國政府，均建築試驗坑道，舉行試驗，遂相率發現以硝酸銨火藥爲煤礦爆藥中最安全之火藥。用於煤礦之火藥，條件至爲苛刻。欲達此目的，必於火藥內攪加多量非爆發性之鹽類。1913年又有膠質煤礦安全爆藥發明，係 Messrs. Curtis and Harvey 公司所發明，其專利註冊名稱爲「休坡銳皮忒」 (super-rippite)，能合乎 Rotherham 試驗處之規定。

1875年之火藥法規 1875年之火藥法規標明：「本法規所規定者，包括黑藥，硝化甘油，以及其他一切爆發性物品之製造、保管、售

賣，搬運及入口。」法規第三條述火藥之定義曰：「……黑藥，硝化甘油，各種爆破藥，雷汞及其他金屬之雷酸鹽，有色烟火，以及一切其他實際用於或製造爆發現象，或形成烟火之物質，不論是否與前述各物相似，皆屬之。此外，如霧信號器，烟火，導火索，火箭，底火，雷管，藥莢，一切彈藥，以及此類火藥之採用與製造亦均屬之。」法規第 104 條並規定凡係非常危險之物品，即使其不能因爆發而生任何實際効力，亦得受本法規之限制。」例如乙炔，在某種情況下，即受制於本法規。法規禁止未經許可隨處任意製造火藥。規定火藥廠距私宅，公路等之最近距離，並規定此項許可之請求條例。此法規足為工作者之保障。嚴密監督，在工廠內每一獨立建築物之興築，均須單獨請求准許。同一建築物內，隨時所能貯存之火藥量與工人數目，皆有一定限制。對於某種危險性製法與危險混合物，如氯酸鹽與硫黃，均加禁止。對於執行法規而巡視之視察員賦有極大權力。按此法規極為完善，因其條件嚴密，施行上絕無困難。

**建築物與安全** 火藥性本危險。其製造工程多分在多數小建築物中舉行。每個建築物內之工人數目，一般以五人為限。但在危險性較小之處所，得視需要情形，可酌量增加。火藥廠之危險性建築物，計分二種：即 (a) 火藥庫，(b) 製造廠。火藥庫建築須牢固，以免閒人闖入。普通多以石或磚建造之。設有二門，外門鑲鐵。反之，製造廠之建築，務求其輕微單薄，以備萬一發生爆炸災害時，不致有重大碎片遠飛。一般採用木板建築，其屋頂亦用同一材料，但加用防火料一層。曾有人倡議採用輕巧之鐵筋水泥以建造危險建築物，使發生爆炸時，得炸成粉碎，而不致發生碎片，但未受採用。

一切危險性建築物之四周，均圍以高及屋頂之土壘，使爆炸時，爆波得向上散入空中。可能時，土壘之門務求其正與室門相對。危險建築物之地板，通常舖以油布，有時亦舖鉛皮。所有地板，每日必洗滌一次。如有易生粉狀物之物品如乾燥硝化棉者運用其中，則當工作時，地板務須保持潮濕。窗上裝磨砂玻璃，以隔絕直接陽光。門戶係向外開，門上配黃銅鎖鑰，下工後，將門鎖閉。工作時，藉彈簧鍵使門關閉。危急時，以指捺鍵，門即自開。黃銅器皿，須保持其光亮，或塗以油漆。室內給光，採用電燈。燈泡覆以玻璃罩，嵌入牆壁中，再裝厚玻璃以與室內隔絕。電開關皆裝室外，工人須穿用特製羊毛衣，不具衣袋，不得有金屬鈕扣及鑽石等物品，亦不得攜帶烟具及火柴。凡屬危險性建築物，均極「整潔」(clean)，必換着特製之鞋始准入內。工人一般穿着無釘拖鞋，絨拖鞋或膠皮鞋皆可。平時存於室外廊下之廚中，當踏入門限時，始可換穿，免致踏着整潔物以外之地面。屋門之門限，為高八吋之木板製成，所以表示限內即係整潔處所也。對於庫房及少數其他建築物，可穿着特製皮套鞋走入其中。但只着皮套鞋並不可任意走進所有之各室。有數種火藥，易於荷電，是以工人之鞋，後跟上最好釘銅釘，使其人不至與大地絕緣。此點在捲製柯達無烟藥及處理乾硝化棉時最為重要。凡一切火藥廠內之建築物，概須裝設避雷針。方便時，當雷雨之際，最好暫停工作。

英國之火藥製造業，乃一切危險事業中之最安全者。1904～1914 十年間，每年因災害致死者，平均僅 7.7 人。1911～1914 年間火藥製造所生之災害次數，死亡與受傷人數，有如下表：



年份	災害次數	死亡	受傷
1911	69	13	49
1912	104	1	33
1913	85	13	50
1914	92	21	：

災害次數，不論其程度大小，凡因爆發而生者，均包括在內。歐戰時災害次數與死亡及受傷人數大為增多。乃由於出品過於增加，工作緊張與勞工稀少所致。

**入口數量與消耗量** 英國所需火藥，大半取給於國內工廠。但仍有若干購自外國，茲將 1912~1913 二年中入口之主要爆破藥數量，示如下表。但須注意其中一大部分係轉運性質，而非實際消耗於本國。

	1912	1913
爆炸膠	17,512 磅	240,393 磅
猛爆藥	116,370 磅	218,741 磅
〔解里尼忒〕	280,488 磅	686,995 磅

獵槍藥之消耗量，未有統計。爆破藥之消耗量，則取自開礦採石法規 (Mines and Quarries Act) 之報告。試觀 1910 及 1911 兩年之統計數字，足以明瞭火藥工業之範圍。

	1910	1911
黑藥	17,664,483 磅	17,305,073 磅
煤礦安全爆藥	8,677,882	9,340,033
〔解里尼忒〕	3,039,256	3,294,423
膠質猛爆藥	494,560	472,464
爆炸膠	257,756	244,155

惡伙式	123,584	119,751
其他	350,600	530,979
總計	30,538,121	31,297,883

美國消耗之火藥量，遠較英國爲多。1914~1917 數年間，美國國內所消耗之火藥量見下表：

	1914	1915	1916	1917
黑色爆破藥	206,099,700	197,722,300	215,575,625	277,118,525
高級炸藥	218,453,971	235,828,587	255,154,787	262,316,080
煤礦安全爆藥	25,097,818	27,349,909	34,685,241	42,040,722
總計	450,251,489	460,900,793	505,415,652	582,47,3527

表中數量以磅計算。上表數量雖已甚大，然尚有大量之出口，未在表內。茲再將其出口數量列如下表：

年份	猛 爆 藥		黑 藥		爆破藥包	其他火藥
	重量(磅)	價值(美金)	重量(磅)	價值(美金)	價值(美金)	價值(美金)
1914	11,293,115	1,212,000	293,500	891,453	6,567,122	1,955,442
1915	11,446,368	1,509,050	84,358,375	66,922,807	25,408,279	9,129,957
1916	18,601,285	4,173,175	303,648,981	262,116,893	55,103,904	394,133,334
1917	7,920,665	3,653,374	446,540,909	31,163,229	42,122,656	255,944,315

分類 茲將英國 1918 年所公佈「合法火藥統計表」(List of Authorized Explosives) 中關於火藥之官方分類法述如下。

### 第一類 黑藥

普通各種黑藥屬之。

### 第二類 硝酸鹽混合物

所謂「硝酸鹽混合物」係指除黑藥外，一切由硝酸鹽與各種形態之炭或非爆發性含炭素物質之混合物，不論其是否含有硫黃，亦不論是否機械的含有他種非爆發性物質，皆屬之。

屬於本類之任何爆破藥，凡含有硝酸銨，硝酸鈉，或氯化鈉時，均須包以包皮，製成藥包，或裝入藥箱（或在箱內再分成五磅重之小包），而以石臘或其他防水材料妥慎防潮。

### 第三類 硝基化合物

所謂「硝基化合物」係指一切具爆發性之化合物，或能與金屬結合以生成爆發物之化合物。係由硝酸或硝酸混酸，或由硝酸鹽與硫酸之混合物，與任何含炭素物質起化學作用所生成單獨含炭素之物質或含炭素物質與他物之混合物，均可使用。

硝基化合物得分為二種。

屬於本類之一切火藥，以及組成本類火藥之火藥半成品，須十分純淨。如覺其不純淨，則須經「耐熱試驗」試驗合格方可。此「耐熱試驗」係1914年2月2日經英政府特派員所規定者。

屬於本類之任何爆破藥，凡含有硝酸銨，硝酸鈉，或氯化鈉時，均須包以包皮，製成藥包，或裝入藥箱（或在箱內再分成五磅重之小包），而以石臘或其他防水材料妥慎防潮。

第一種者包括全體或一部分由硝化甘油或其他液態硝基化合物所組成之化合物或混合物。

凡屬本種之火藥，必具不易液化及不易滲出之凝固性。

又依照規定必須以防潮包裝送出之火藥，得因特別命令可免除其防潮處理，在命令有效期間內行之。

第二種者包括不屬於第一種之其他一切硝基化合物。

#### 第四類 氯酸鹽混合物

所謂「氯酸鹽混合物」，凡一切含氯酸鹽之火藥屬之。

本類火藥得分爲二種。

屬於本類之一切火藥，以及組成本類火藥之火藥半成品，須十分純淨。如覺其不純淨，則須經「耐熱試驗」試驗合格方可。此「耐熱試驗」係1914年2月2日經英國政府特派員所規定者。

屬於本類之任何爆破藥，凡含有硝酸銨，硝酸鈉，或氯化鈉時，均須包以包皮，製成藥包，或裝入藥箱（或在箱內再分成五磅重之小包），而以石臘或其他防水料妥慎防潮。

第一種者包括一切氯酸鹽製品之含有一部分硝化甘油或他種液體硝基化合物之火藥。（在英國現今屬於此種之火藥，並未經官方認可）。

凡屬本種之火藥，必具不易液化及不易滲出之凝固性。

第二種者包括不屬於第一種之其他一切氯化鹽混合物。

#### 第五類 雷酸鹽

所謂「雷酸鹽類」係指一切化合物或混合物，不論是否屬於上述各類，凡極易爆炸，適於製造火帽或其他起爆物體者，因敏感性甚大，極不安定（最易因輕微衝激而生爆炸），故極危險。

本類火藥得分爲二種。

第一種者包括雷銀、雷汞、及由此所成製品之用於火帽者屬之。又由氯酸鹽與磷或磷化合物製成之混合物，不論是否混有含炭素物質，亦屬於此種類。又凡由氯酸鹽與硫黃或硫化物組成之混合物，不

論是否混有含炭素物質，亦屬於此種類。(迄現在止，此種火藥之已經官方認可者，只有雷汞一種)。

第二種者包括氯化氮、碘化氮、雷金、重氮苯，及重氮苯之硝化物等。(迄現在止，此種火藥之已經官方認可者，只有氮化鉛一種)。

### 第六類 彈藥

所謂「彈藥」，係指上述之任何火藥類，凡用容器包裝者均屬之。凡適用於或準備用於製造藥莢或裝藥，以供輕兵器、火砲，或任何其他兵器之用；或供爆破或製造爆破或砲彈用之導火索或信管；或供製造起爆管，火帽，雷管，霧信號器，砲彈，魚雷，軍用火箭，以及其他一切之非烟火製品等均屬此類。

「碰炸火帽」項下，不包括雷管。

(碰炸火帽之裝藥，所含第五類第一種之藥劑，不得多於 0.6 格令 (grain)，此中含雷汞量須在 25% 以下，如所用裝藥為第五類第一種之其他火藥，則其為量不得多於 0.5 格令。又火帽之裝有插針，或其裝藥未覆錫箔或其他適宜被覆物者均不得歸入本類。)

「雷管」項下，係指特製之小管，內裝適量之雷酸鹽火藥，其一個小管爆炸，足以引起其他類似小管之爆炸。

「安全導火索」只能燃燒，而不爆炸。本身亦不備點火具。其構造及所含火藥量，務以燃燒時不至引燃於側旁之其他導火索，為要。

彈藥類得分為三種。

第一種——無官方定義。包括電氣，安全導火索，碰炸火帽，鐵道霧信號器等。

第二種者包括一切本身不備發火裝置而不屬於第一種之彈藥

類。

第三種者包括一切本身附有發火裝置而不屬於第一種之彈藥

類

### 第七類 烟火

所謂「烟火」，包括一切烟火劑及烟火製品。

第一種——烟火劑。（迄今此種烟火，未經官方認可）。

第二種——烟火製品，凡由上述各類烟火或烟火劑，製成小包或各種花樣，或經加工可製為引線，爆竹，火蛇，火箭（非為軍用），爆響盒，火矛，盤花，中國烟火，羅馬燭 以及其他一切可供發生烟火效力或烟火信號或聲響信號之特製品，均歸此類。凡構造堅固而嚴密封閉之金屬盒，內盛一磅以內之有色烟火劑而不至發生自燃現象者，得視為烟火製品。此處所指烟火製品，不得包括以後所述之各種火藥，不得採用火藥名稱，亦不得模仿火藥之顏色。

## 參考書目

- A.M. rshall, "Explosives," London, 1917.  
C.Guttman, "Manufacture of Explosives," London, 1895.  
P.C.Sanford, "Nitroexplosives," London, 1906.  
E.de W.S. Colver, "High Explosives," London, 1918.  
W.Walke, "Lectures on Explosives," London, 1897.  
H.W.L.Hime, "Gunpowder and Ammunition," London, 1904.  
E.M.Weaver, "Military Explosives," London, 1917.  
R.Moliné, "Les Explosifs et leur Fabrication," French translation

by J.A.Montpelier, Paris, 1909.

J.Daniel, "Dictionnaire des Matieres Explosives," Paris, 1902.

L.Godé, "Matières Explosives," Paris, 1907.

L.Vennin and G.Chesneau, "Poudres et Explosifs," Paris, 1914.

P.F.Chalon, "Les Explosifs Modernes," Paris, 1911.

R.Escales, "Die Explosivstoffe," Leipzig, 1905-1926

Heft I. "Schwartzpulver u. Sprengsalpeter," 1914.

Heft II. "Schiessbaumwolle," 1905.

Heft III. "Nitroglyzerin u. Dynamit," 1908.

Heft IV. "Ammonsalpetersprengstoffe," 1909.

Heft V. "Chloratsprengstoffe," 1910.

Heft VI. "Nitrosprengstoffe," 1915.

Heft VII. "Initialexplosivstoffe," 1917.

Heft VIII. "Rauchlose Pulver," 1926.

H.Brunswig, "Die Explosivstoffe," English translation by C.E.

Monroe and A.L. Kibler, New York, 1912.

A.Voigt, "Die Herstellung der Sprengstoffe," Halle, 1913-1914.

Teil I. Schwartzpulver, Chloratsprengstoffe,

Schiessbaumwolle, Rauchschwache Schiesspulver.

Teil II. Nitroglyzerin, Dynamit, Sicherheitsprengstoffe,

F.Salvati, "Vocabolario di Polveri Ed Explosivi," Rome, 1893.

---

R. Aranaz, "Los Explosivos Militares," Granada, 1904.

J. M. Vivas, U. R. Feigenspan and J. F. Ladreda, "Polvorasy Explosivos," Segovia, 1915.

An invaluable book on the legislation affecting the manufacture and storage of explosives has been prepared by Capt. J. H. Thomsen, entitled "Guide to the Explosives Act, 1875." The last edition was published in 1917.

A bibliography of the chief works on ballistics will be found at the end of the section on Propellants.

The chief periodicals dealing with explosives are:

Arms and Explosives, London.

Zeitschrift of Gesamte Schiess-und Sprengstoff-wesen, Munich.

Sprengstoffe, Waffen u. Munition, Berlin.

Mémoires des Poudres et Salpêtres, Paris.

Very valuable information is also published from time to time in the "Bulletins" and "Technical papers" of U. S. Bureau of Mines and the U. S. Bureau of Explosives.



## 第二章 火藥理論

### 爆發之誘起

欲使火藥爆發，必予以相當量之「能」。此「能」可不必施於火藥之全部，而只須施於局部之火藥上，即可引起全部火藥之爆發。當局部火藥因受外來之能而爆發時，則發生新的能。此局部火藥自身所發出之能，一般足以誘起其鄰近各部分火藥之爆發，如是逐漸推廣，終至全部火藥爆發。

能之種類不一。有熱能，機械能，化學能，放射能諸種，皆可誘起爆發。加熱於黑藥或無煙藥則爆發，是為熱能誘起爆發之例。雷汞及氮化鉛，受衝擊或摩擦即爆炸，是為機械能誘起爆發之例。氯酸鉀混合物遇硫酸而爆炸，是為化學能誘起爆發之例。於黑暗中混合氯氟二氣體，見強光即爆發，是為放射能誘起爆發之例。

使物質爆發之能，雖有上述諸種，但實際上火藥所利用者，多為熱（熱能）以及衝擊與摩擦（機械能）二種。化學能間有用之者，但甚少。（水雷之碰炸引信，有一種係利用氯酸鉀與硫酸之作用）。至於最後一種之放射能，則全無實用價值。

茲依火藥發火方法分類，可得下列六種：

- (1) 火焰（利用導火索或底火火帽之火焰）。
- (2) 電（利用電火花或電線灼熱）。

- (3) 摩擦(利用摩擦生熱)。
- (4) 衝擊(利用因衝擊而生之熱及激動力)。
- (5) 起爆(利用起爆藥或雷管)。
- (6) 殉爆(利用爆波之影響,使鄰近火藥因感應而爆發)。

以上六種誘起爆發方法,一二兩種係直接利用熱能。三四兩種係間接利用熱能。就中第四種之衝擊作用,除間接加熱外,並有驟加高壓於火藥之作用。第五種為利用少量特種火藥(即起爆藥)爆發所生之激動力以行起爆。第六種係由感應而來。

**熱之作用** 設以熱能加諸火藥,使其溫度升高至一定程度,則火藥開始分解,且因分解而發生定量之熱。此開始分解時之溫度如較低,則反應速度小,單位時間內所生之熱量亦少。反之,如此分解時之溫度較高,則所生之熱量亦必多。溫度低熱量少,不足以使鄰近火藥充分加熱,則分解作用必漸漸變緩。此時由分解作用所生之熱量,難以抵償因傳導與輻射所散失之熱量,然若最初之溫度甚高,所生之熱量足以抵償所損失之熱量時,則鄰近火藥之溫度,必較最初加熱之部分火藥之溫度為高。因而其分解速度亦必較先前為大。如是漸漸四向增升,終至分解速度極端變大,而形成爆發。

由上知凡加熱火藥至相當高溫,使分解生成之熱量大於傳導輻射損失之熱量,則該火藥必能因熱而爆發。此溫度特名之曰爆發點,或曰發火點。其值大小,依環境而異。如加熱溫度增高較速,熱之損失小,則發火點高;反之,如加熱溫度增高較緩,熱之損失大,則發火點低。是故各種火藥之發火點,恆規加熱之情況而異其值。

黑藥與黑藥類似品,及起爆藥,只憑熱之作用,可以爆發。

**衝擊與摩擦之作用** 火藥因衝擊與摩擦而爆發，雖似機械作用，但實則亦主係一種熱之作用。對於火藥加衝擊或摩擦所施之機械力；在火藥體中變為熱量，發生高溫，因而爆發。例如槍彈底火因受撞針衝擊而爆發是。

**起爆作用** 近代大多數之火藥，只憑熱能，不能使其爆發。例如梯恩梯，苦味酸，猛爆藥等是。此等火藥，加熱達其發火點，只燃燒而不爆發。苟欲使其爆發，則除加熱外，同時尚必須增高其氣體壓力。例如在密閉器內，引燃多量火藥，使其爆發生成物氣壓大增，使超過爆發所需之必要壓力時，則可由燃燒作用變為爆發作用。有時，此等火藥僅藉機械力之衝擊，亦能引起爆發。其原因在於衝擊作用，同時有加熱與增壓之二種效果故也。

凡不能藉熱而爆發之火藥，必設法利用他種手段以誘起其爆發。此為何？即起爆藥是也。起爆藥之作用，在於極短時間內，以非常大之加速度，予火藥以一種極強之激動與壓力，而使其爆發。實用上為方便計，多將起爆藥裝於小金屬管中，製成所謂「雷管」而使用之。凡雷管之裝藥，必可因熱而爆發。

## 爆速(爆發作用之進行速度)

**爆燃與爆炸** 物質之爆發，依其爆發作用進行之快慢，得分為二大類。第一類者，爆發作用係由熱之影響，逐層傳播。其速度自每秒數公尺起至數百公尺止，名曰爆燃。(combustion or deflagration)。亦稱為一級爆發 (explosion of first order)，或簡稱曰爆發 (explosion)。第二類者，爆速較大，自每秒一千公尺起以至於數千公尺，

名曰爆炸 (detonation), 或稱曰二級爆發 (explosion of second order)。

**氣體之爆發作用** 上述之爆發分類, 最初係由柏台勞 (Berthelot) 與未侯意二氏就氣體之爆發情形研究所得。其後, Mallard, Le Chatelier, Dixon 等復繼續研究之。茲根據前人研究結果, 試述氣體之爆發作用於下。

設有一兩端封閉之長玻璃管, 內盛甲烷與空氣之混合物。自其一端點火後, 則甲烷與空氣中之氧化合, 而發生燃燒。此燃燒之氣體層施壓力於其鄰近之氣體層, 同時並予以熱量。當此第二層氣體燃燒時, 因其曾受第一層氣體之預壓及預熱, 燃燒當然較為迅速。再次當第三層氣體燃燒時, 因其所受預壓與預熱, 較第二層所受者尤大, 故其燃燒速度當然更為增加。如是逐層推進, 可推知正在燃燒中之氣體層之前, 換言之, 即在火焰之前, 恆有一種壓力波在前先行, 因而火焰與壓力波之進行速度俱與時俱增。壓力波之前進速度既迅速增加, 則所有各氣體層之受壓縮亦皆極為迅速。事實上熱之損失甚小, 成為斷熱壓縮之狀態。此斷熱壓縮能使逐層氣體強烈預熱, 使其燃燒速度急速增高。最後, 壓力增加之急速, 一如以機械的衝擊作用加諸未燃氣體之上。然此種強烈之衝擊波動, 在相等壓力下, 能使其前面之物質預熱, 較純以斷熱壓縮, 加諸靜止氣體者, 能得較高之溫度。例如: 溫度  $15^{\circ}\text{C}$ ., 壓力  $1\text{ kg/cm}^2$  下之空氣, 施以衝擊波, 使壓力增至  $100\text{ kg/cm}^2$  時, 溫度可升至  $3590^{\circ}\text{C}$ 。但以斷熱壓縮將靜止空氣加壓至  $100\text{ kg/cm}^2$  時, 溫度只升至  $800^{\circ}\text{C}$ ., 此時靜止空氣之緊壓比為 26.8, 但衝擊波之緊壓比則只不過 7.06。換言之, 靜止空氣之斷

熱壓縮較衝擊波能產生甚為強烈之緊壓。因衝擊波能生高溫度，故能使所及之氣體層直接發生燃燒，衝擊波未施之前，有火焰壓力波前驅。此時火焰範圍與最大壓力範圍二者完全調合一致。此變化既已達其最大限度，繼續再升，當為不可能。故其傳播，必依此大小一致之速度推進，是即所謂最大爆速是也。

要而言之 點火於爆發性氣體之一點，最初發生普通燃燒，其速度漸次增加。由此所生之溫度與壓力可增高甚大，而至於變為爆發燃燒之傳播速度係漸次增加，並非躍進。但當其達到一定之數值時，則能突然一躍而為極大之數字，此後即保持不變。同時全部作用均生變化，即由爆燃(燃燒)而變為爆炸是。例如本生氏(Bunsen)曾測定某情況下氫氧混合氣體(氫二體積氧一體積)之燃速為34公尺/秒，但其真正之爆速，經柏台勞與宋埃意二氏之測定，則為2810公尺/秒。

Dixon 氏藉攝影術將氣體爆發情形攝於急速迴轉之感光底片上，得一攝影。根據此照片，將爆焰速度  $v$  與時間  $t$  之關係繪成曲線，如附圖所示。

可燃性混合氣體係裝於玻璃管中。管之左端(B)封閉，右端開放。在A處點火。因感光片之迴轉速度為定數，故火焰前行愈速，則底片上光線攝影亦愈水平。由圖可知：最初期火焰由點火處A點以較小之速度向左右兩端前進，其速度( $v$ )較小。及至C點，光線影上發生顯著之裂痕。即在此處混合氣體由燃燒變為爆炸。並可知玻璃管封閉之一端不發生爆炸。附圖之(11)表示由該攝影計算出之火焰速度。吾人可知在管之右端，當爆炸未出現以前之剎那間，火焰速度為

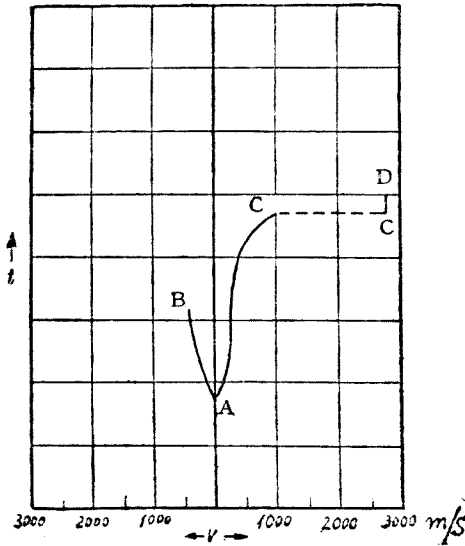


圖 1. 爆發速度與時間之關係

1000公尺/秒。變成爆炸之作用極驟，其反應速度急劇由 1000 公尺/秒一躍而為 2800公尺/秒。

**火藥之爆發** 固體火藥之爆發情形與上相似。一般之火藥，除爆燃外，多能爆炸。但吾人仍得別之為爆燃與爆炸二種。爆燃之特徵，在其傳播速度無一定數字，而依環境大異其值。例如在高壓下之燃燒較在常

壓時為迅速。換言之，即其燃速得因壓力之升高而增加也。

茲就導火索之燃燒情形解釋燃燒現象，緩燃導火索燃燒時，因索之包皮並非緻密不漏氣，而係相當疏鬆的，故其燃燒生成氣體得穿通包皮向外逸散，索內壓力，不至增高，故其燃速始終一如在定壓之大氣壓下燃燒然，其速度因而亦小。但速燃導火索則不然。此時索之包皮，遠較前者為緻密，漏氣可能較小，致因索內壓力增高之關係，其燃速大為增加，而形成爆發。實際上緩燃導火索之燃速每秒鐘僅不過約一公分左右，而速燃導火索之燃速則可達每秒鐘 100 公尺以上。

火藥之燃速除受氣壓影響外，同時並因藥粒形狀之不同而變

化。一般言之，小粒火藥較大粒火藥燃燒為迅速。蓋因粒與粒間之傳火，較由粒之表面向粒之內裏燃燒為易而速也。例如小方片狀之槍藥較長管狀之砲藥，燃速為大。

如上所述，變化火藥粒子之形狀大小與調節氣體之壓力（改變密閉之程度）。可大大增減火藥之燃速，乃係爆燃之特徵，但爆炸則反是。爆炸之速度，受外界環境之影響者甚小。每種炸藥，皆各有其一定之爆速。固體火藥爆炸，與氣體爆炸同，皆發生爆炸波。波之前方為未炸之火藥，波之後方為爆發生成物。爆炸波之寬度極小，依理論推算，常在 1/100,00 公分以下。

氣體能由爆燃轉變為爆炸，固體火藥亦然。其必要條件為氣壓必須增高至一定限度以上。例如點火於鑽孔內之猛爆藥，最初發生燃燒，當燃燒生成氣體之壓力超過某一限度時，即轉為爆炸。用此法雖亦能使猛爆藥爆炸，但實際上不能採用，因燃燒去之部分，所作之工作遠不及爆炸部分工作之多而有效也。普通猛爆藥之起爆，概藉雷管直接引爆。其他諸種炸藥之起爆，亦莫不如是。

用雷管起爆火藥，並非直接即能達其最大爆速，一般多少須經過相當長之藥體後，始能發揮最大爆速。所用雷管愈小，則此藥體之距離亦愈大，故凡起爆火藥，必須使用充分大小之雷管而復可。

火藥之爆速，依火藥密度而變化，密度大則爆速增高。然如密度過於增大，致爆波之傳播阻力太大時，反易使爆速減低，以至於半途熄滅而停止炸爆者有之。例如：茲有長鑽孔，其中裝填硝酸銨火藥，口部填塞。起爆後，因先爆炸之藥包爆炸後，施壓力於尚未爆炸之其他藥包，後者有時受壓縮過甚，致中途停止爆炸。加大壓製火藥之壓

力，固可增加裝藥密度，並增大爆速，但如所用壓力過度，反有「壓死」之弊。如雷汞雷管中之裝藥，即常有此現象，常因加壓太過而不能爆發。熔融之火藥，密度類皆甚大。鑄製之梯恩梯較高壓壓製者難於起爆。另一方面，於火藥中混加非活性物質，能減低其密度，使火藥炸力變小，爆速下降，因其能增大爆波前進之阻力也。例如矽藻土猛爆藥較純硝化甘油之爆速為小，即係此故。

爆燃與爆炸互異，除上述者外，根據衝擊波之力學學說，尚有下列之不同。爆燃之爆發生成物係向外散出，（例如緩燃導火索之燃燒）但爆炸之爆發生成物則在爆炸波之後向內衝動，且速度甚大。Becker 氏由實驗測得梯恩梯（比重 1.6）爆發生成物之進行速度為 800~1000 公尺/秒。當火藥爆燃時，爆發生成物之密度，恆較該火藥本身之密度為小，但當火藥爆炸時，爆發生成物因受壓縮關係，其密度反較原火藥為大。爆炸時爆發生成物之溫度甚高，壓力亦甚大；密度大之火藥所以難於起爆者，其原因即在於爆發生成物之密度必大於原火藥之密度所致。火藥密度愈大，則使爆發生成物之密度超過原火藥密度之困難愈甚。此所以密度大之火藥為難於起爆也。

測量火藥爆速，方法有多種，載本書第十章。茲將常見火藥之爆速，列表如下：

火 藥 爆 速 表

火 藥 名 稱	成 分	最大爆速	常用密
		公尺/秒	度公斤/公升
1. 硝 比 日 強棉，乾，N.13%	$C_3H_5(ONO_2)_3$	7450	1.60
	$C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$	6300	1.30
	$C_{24}H_{30}O_{10}(ONO_2)_{10}$		
3. 苦 味 酸	$C_6H_2 \cdot OH \cdot (NO_2)_3$	7100	1.60



4	梯 恩 梯	$C_6H_2 \cdot CH_3 \cdot (NO_2)_3$	6700	1.59
5	特 出 兒	$C_6H_2 \cdot (NO_2)_3 \cdot N$ $\left\{ \begin{array}{l} C_{13} \\ NO_2 \end{array} \right.$	7200	1.65
6	雷 汞	$Hg(ONC)_2$	4500	3.50
7	碰 蒂 兒	$C(CH_2ONO_2)_4$	8400	1.62
8	海 掃 根	$  \begin{array}{c}  NO_2 \\  \cdot \\  N \\  / \quad \backslash \\  CH_2 \quad CH_2 \\    \quad   \\  O_2N \cdot N \quad N \cdot NO_2 \\  / \quad \backslash \\  CH_2  \end{array}  $	8380	1.70
9	爆 炸 膠	92% 硝化甘油 8% 弱棉	7800	1.63
10	Dynamit 1	32.5% S.G. 2.1% S.C.(C.C.) 27.6% $NaNO_3$ 8.6% 木粉	6500	1.53
11	Dynamit 3	41.0% 膠質硝化甘油, 0.0% 木粉 10.6% T.N.T. 44.6% $NaNO_3$	5900	1.53
12	Dynamit 5	40.0% 膠質硝化甘油 53.0% 硝磺酸 1. % 木粉 11.5% 硝基甲苯 4.0% 50% 硝 鈣溶液	6150	1.45
13	Ammongelatin 1	25.0% 膠質二硝磺甘油, 5.6% 膠質硝化甘油, 17.6% 硝磺酸, 12.0% 硝酸鈉, 2.6% 二硝基甲苯 8.6% T.N.T. 1. % 木粉	6150	1.53
14	Ammonit 1 (Donarit 1)	50.6% 硝磺酸 4.0% 木粉, 12.6% T.N.T. 4.6% 硝化甘油,	4850	1.67
15	Donarit 2	84.6% 硝磺酸 3.0% 硝基甲苯 4.0% 硝化甘油 9.0% 木粉	3800	0.98
16	Caicinit 2	40.0% 硝化甘油, 6.0% 液體炭氯化合粉, 35.6% 硝基鈣, 12.6% 硝磺酸 9. % 木粉,	4150	1.25
17	Chloratit 3	91.0% 氯酸鉀 10.0% 洋油(石油)	3350	1.60
18	Gelatit 1	0.0% 膠質硝化甘油 2.0% 硝基甲苯 35.6% 硝磺酸 1. % 木粉 32. % 氯化鉀鈉	5950	1.63
19	Wetter-D tonit B	12.0% 硝磺酸, 4.0% 膠質硝化甘油, 2.0% 二硝基甲苯 3.0% 木粉 9. % 食鹽	3100	1.05
20	Wetter-Salit A	14.0% 膠質硝化甘油, 0.0% 硝磺酸, 1.8% 炭, 2.0% 木粉, 7. % 氯化鉀	3300	1.10
21	Wetter-Noblit A	40.0% 膠質硝化甘油, 2.3% 0.0% 硝磺酸鈣溶液, 21.1% 硝磺酸, 2.0% 二硝基甲苯, 1.0% 木粉 35.7% 食鹽	5750	1.66
22	Wetter-Noblit B	40.0% 膠質硝化甘油, 5.0% % 硝磺酸鈣溶液, 26.7% 硝磺酸, 0. % 木粉 % 食鹽	5650	1.65

爆發作用分爲爆燃與爆炸二種，已如上述。各種火藥，並非皆能爆燃與爆炸。黑藥及其類似火藥，只能爆燃，而不能爆炸。只能爆燃之火藥有一特點，頗值注意。即此種火藥多爲混合物，其各成分或爲可燃體，或爲氧化劑，單獨不能爆發，必合二種成分於一處，而後始有爆發性。例如組成黑藥之硝石，硫黃與木炭，三者均無爆發性。其中硫黃與木炭爲可燃體，硝石爲氧化劑。將三者均勻混合後，始取得爆發性，成爲火藥。此種混合物，在周圍密閉之良好情況下，其爆燃速度可以大增。硝石 75%，硫黃 10%，木炭 15% 所組成之黑藥，在嚴格密閉情況下爆發，其爆速爲 400 公尺/秒。然此數究甚小，不能與真正之爆炸作用相比。故特稱此類火藥爲緩性火藥，或稱低級火藥。反之，對於真正能爆炸之火藥，特名之曰猛性火藥，或高級炸藥。上表所列之火藥，均屬高級炸藥。一般言之，凡含有能爆炸成分之混合火藥，多爲高級炸藥，然高級炸藥並非在一切情況下皆能爆炸。多數火藥，用火燃點，多只燃燒，非俟氣壓極度高昇後，不至爆炸。換言之，即在特種少有的情況下，高級炸藥只爆燃而不爆炸。例如開礦鑽孔中之炸藥，有時因種種不利原因，只發悶響及大火焰而只爆燃，即其實例。

火藥中亦有不能爆燃而只能爆炸者，是爲起爆藥。如雷汞；氮化鉛是。但吾人可想像，當起爆藥點火後，亦非直接即起爆炸，乃係由爆燃以特別快的加速度轉變爲爆炸。其所以異於一般高級炸藥者，在其爆發反應之加速度特別高大，爆炸前之爆燃火藥段異常短小，幾等於零。據推測其長度當在一公厘以內。

爆發反應除上述爆燃與爆炸二種外，對於高級炸藥，有時尚有

原因不十分明瞭之第三種變化發生，是爲爆吹 (blown out 或 Auskochen)。爆吹較爆燃時間爲長；較普通燃燒能發生種種不同之生成物；最易生成氮之高級氧化物，形成棕色硝煙。礦山鑽孔中炸藥發生爆吹時噴出棕色之煙，即係此故。凡發生爆吹之火藥，爆發時常生成多量之一氧化碳，爲其特徵之一種。

因發生爆吹之火藥，爆發生成物與衆不同，又因爆吹皆發生於煤礦，可推知爆吹之原因，不僅在於火藥本身，而與火藥與煤炭之相互作用必有關係。尤當藥包與藥包間夾有煤炭時，最易發生爆吹。其情況如下：當第一個藥包因所裝雷管爆發而起爆時，藥包間之炭粉，增加阻力，致使第二個藥包不能繼續爆炸，而僅能燃燒。並以燃燒作用傳於其他各藥包，而由鑽孔衝出，因而發生有毒爆發生成物。但爆吹現象，有時因孔內氣壓增高，仍有轉爲爆炸之可能。

同理，如藥包與藥包間夾有灰土石粉等物，則已經爆炸之裝藥，亦能中途停止其爆炸。故有前部藥包爆炸而後部藥包爆燃之現象。然此正在爆燃中之裝藥，得因氣壓升高，復有恢復爆炸之可能。

火藥爆炸發生上述諸種不規則現象，以鑽孔深長，裝藥多且又爲硝酸銨安全爆藥時，爲最常見。此種火藥，本難起爆。後半部裝藥受前半部裝藥爆炸所生壓力緊壓，致使爆炸作用不能繼續前進。爲防止此現象，裝硝酸銨安全爆藥於鑽孔，不可壓緊，免致密度增高。

鑽孔中全體裝藥粒正常爆炸，不僅指一個藥包完全爆炸即算成功，而必須能引起其鄰近藥包之爆炸而後可。換言之，火藥必具大的傳爆力，縱使各藥包間留有空氣隙，亦須能引起其鄰近藥包爆炸。

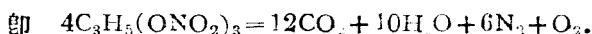
火藥傳爆力亦稱爲火藥之殉爆力，其試法載本書第十一章。

近代常用煤礦安全爆藥，殉爆距離為2~4公分。猛爆藥約8~12公分。多數氯酸鹽火藥，完全不能殉爆，即其殉爆距離等於零。故此種火藥，使用時必將各藥包緊密相接。然在鑽孔中之裝藥，情形又不同。因爆炸波而生之機械激動波，除經藥包外，尚經鑽孔壁得以協助其傳播，而得使鄰近藥包亦發生爆炸。因知裝藥之能否完全爆炸，與鑽孔壁之性質及情況大有關係。破裂之石壁，能使機械的激動波消散，而不能發生完全爆炸。此外鑽孔壁之彈性係數，對於激動波之傳播亦有影響。故堅硬岩石較質軟岩石傳播激動波之効力大。是故 Chloratit 3 火藥可大量用於堅硬無縫之鹽類礦，結果良好。但如將其舖於平面沙土上，則全不能殉爆。

### 爆發生成物(爆發之化學變化)

組成火藥之元素，最普通者有氮、碳、氫、氧。爆發之化學變化，即基於碳氮二元素之氧化。少數火藥，因含有他種元素，變化略異。例如黑藥含硫，則生二氧化硫與三氧化硫。〔五號阿基尼忒〕(Ammonit 5) 含鋁，則生氧化鋁。又如含有二硝酸氯甘油之火藥，能生游離之鹽酸。如同時火藥中尚含有硝酸鹼類，則能生成氯化物。雖然，最普遍之爆發生成物，仍多係碳、氮二元素之氧化物。爆發變化以合氧甚多之火藥為最簡單。因過量之氧，能將各可燃體完全氧化故也。反之，如火藥合氧少，不足完全燃燒之用，則其爆發時之化學變化，究將循何途徑發展，事先殊難逆料。因除二氧化碳外，尚有一氧化碳；除水分外，尚有游離之氫存在故也。為簡易計，先由含氧充足之火藥說起，茲以硝化甘油為例。按硝化甘油之化學式為  $C_3H_5(ONO_2)_3$ ，或

$C_3H_5N_3O_9$ 。氧化三個碳原子使成  $CO_2$ ，需六個氧原子；又氧化五個氫原子使成  $H_2O$ ，需  $2\frac{1}{2}$  個氧原子；總計共需氧原子個  $8\frac{1}{2}$  個。尚餘氧原子  $\frac{1}{2}$  個。又其三個氮原子，亦游離散出。故可將硝化甘油之爆發化學反應式書寫如下：



硝化甘油分子量為 227，二氧化碳為 44，水分為 18，氮為 28，氧為 32，因知  $4 \times 227 = 908$  g. 之硝化甘油爆發後，即生成以下之爆發生成物：

二氧化碳	= $12 \times 44 = 528$ g.
水分	= $10 \times 18 = 180$ g.
氮	= $6 \times 28 = 168$ g.
氧	= $1 \times 32 = 32$ g..

如以重量百分率計，則硝化甘油 100 g. 之爆發生成物為：

二氧化碳	= 58.2 %
水分	= 19.8 %
氮	= 18.5 %
氧	= 2.5 %.

由前式亦可計算體積百分率。在一定情況下，溫度與壓力不變，單位重量之氣體，所佔體積為一常數，由 Avogadro 氏氣體定律知之。據此定律，得知：每克分子量之任何氣體，當溫度為  $20^\circ C.$ ，壓力為 760 mm. 時，其所佔體積，概為 24 公升。(24.046 公升。) 上列反應式之右端，共有 29 個分子之氣體 ( $12 + 10 + 6 + 1$ ) 在  $20^\circ C.$  及 760 mm. 時應佔體積 696 公升。換言之，即 908 公分之硝化甘油，爆

發後，在上述情況下，生成 696 公升之氣體。亦即一公斤（即 1000 g.）之硝化甘油，能生氣體 706 公升之謂。但須注意，此係假定生成物中之水分為氣體狀態時所有之體積。如以水分為液態存在，則反應式右端僅有 19 個分子之氣體。所佔容積只有  $19 \times 24 = 456$  公升（溫度 20°C，壓力 760 mm.）亦即每一公斤之硝化甘油，只生氣體 503 公升也。

火藥爆發生成物之體積百分率，可如下計算之：例如上述反應式之右端，共有 29 分子之氣體（水分作為氣體狀態論），其中 12 分子為二氧化碳，10 分子為水蒸汽，6 分子為氮，1 分子為氧。因氣體不分種類，其克分子重量所佔容積概一律為 24 公升，故得硝化甘油爆發生成物之體積百分率如下：

$$\text{二氧 碳} = \frac{12}{29} = 41.4\%$$

$$\text{水分} = \frac{10}{29} = 34.5\%$$

$$\text{氮} = \frac{6}{29} = 20.7\%$$

$$\text{氧} = \frac{1}{29} = 3.4\%$$

如將水分作液態論，則為

$$\text{二氧 碳} = \frac{12}{19} = 63.1\%$$

$$\text{氮} = \frac{6}{19} = 31.6\%$$

$$\text{氧} = \frac{1}{19} = 5.3\%$$

## 火藥之爆發反應式及爆發生成物

名 稱	分子式	爆 發 反 應 式 (或 成 分)	1g. 物質爆發後所生成之新物質				
			CO <sub>2</sub> g.	H <sub>2</sub> O g.	N <sub>2</sub> g.	O <sub>2</sub> g.	其 他 g.
1 Nitroglycerine	227.1	$4C_3H_5(ONO_2)_3 = 2CO_2 + 11H_2O + 6N_2 + O_2$	0.582	0.198	0.185	+0.0352	—
2 Dinitrochlorhydrin	200.5	$C_3H_5C(ONO_2)_2 = 3CO_2 + 2H_2O + N_2 + O_2 + HCl$	0.659	0.179	0.140	-0.16	HCl: 0.182
3 Gun-cotton	1143.4	$4GH_29O_9(ONO_2)_{11} = 6CO_2 + 35H_2O + 22N_2 + 10O_2$	0.924	0.228	0.185	-0.287	—
4 Colloidion cotton	1453.3	$4C_24H_31O_{11}(ONO_2)_9 = 96CO_2 + 62H_2O + 18N_2 + 51O_2$	1.063	0.265	0.120	-0.388	—
5 reaminized nitroglycerine	—	(成分: Nitroglycerine 96.5%)	0.597	0.200	0.183	+0.024	—
6 reaminized dinitrochlorhydrin	—	(成分: Colloidion cotton 3.5%)	0.671	0.182	0.159	-0.168	HCl: 0.17
7 Dinitrotycol	152.1	$C_2H_4(ONO_2)_2 = 2CO_2 + 2H_2O + N_2$	0.579	0.137	0.184	0.000	—
8 Dinitrotoluene	182.1	$C_6H_4(NO_2)_2 = HCO_2 + 11H_2O + 2N_2 + 13O_2$	0.650	0.297	0.154	-1.141	—
9 Trinitrotoluene	227.1	$4C_6H_2(CH_3)(NO_2)_3 = 28CO_2 + 16H_2O + 35N_2 + 21O_2$	0.37	0.190	0.185	-0.740	—
10 Dinitronitro-naphthalene	173.1	$4C_{10}H_7(NO_2)_2 = 40CO_2 + 14H_2O + 2N_2 + 13O_2$	0.542	0.364	0.081	-1.987	—
11 Dinitro-naphthalene	218.1	$C_{10}H_6(NO_2)_2 = CO_2 + 3H_2O + N_2 + 15O_2$	2.018	0.248	0.159	-1.59	—
12 Trinitro-naphthalene	263.1	$C_{10}H_5(NO_2)_3 = 4CO_2 + H_2O + N_2 + 38O_2$	1.672	0.171	0.190	-1.60	—
13 Hexa-nitro-diphenylamine	439.1	$4NH_2(C_6H_2(NO_2)_3)_2 = 8CO_2 + 16H_2O + 14N_2 + 21O_2$	2.202	0.103	0.224	-0.529	—
14 Picric acid	259.6	$C_6H_2(OH)(NO_2)_3 = 3CO_2 + 9H_2O + N_2 + 13O_2$	1.152	0.118	0.184	-0.464	—

1f	Carbon (soot, ch. coal)	12.C	$C = CO_2 - O_2$	3.667	—	—	-2.667	—
1g	Coal	—	(成分: 80% C + 7% H + 9% O)	3.138	1.447	—	-2.591	—
17	Brown coal	—	(成分: 67% C + 11% H + 16% O + 5% H <sub>2</sub> O)	2.200	1.558	—	-1.758	—
18	Vo d meal Saw dust	—	(由分析結果實得)	1.701	0.570	—	-1.274	—
19	Cellulose	162.1	$C_6H_{10}O_5 = 6CO_2 + 5H_2O - 6O_2$	1.628	1.557	—	-1.188	—
20	Dextrin	—	(成分: 97% $C_6H_{10}O_5$ + 10% $H_2O$ )	1.465	1.549	—	-1.054	—
21	Starch	—	(成分: 約5% $C_6H_{10}O_5$ + 95% $H_2O$ )	1.081	1.078	—	-0.059	—
22	Pitch (T. pitch)	—	(成分: 50% $C_{10}H_{10}$ + 50% C)	3.569	1.237	—	-2.806	—
23	Anthracen (Phenathren)	171.1	$C_{14}H_{10} = 28CO_2 + 10H_2O - 32O_2$	3.439	1.500	—	-2.945	—
24	Naphthalene	128.1	$C_{10}H_8 = 10CO_2 + 4H_2O - 12O_3$	3.437	1.562	—	-2.999	—
25	Paruddin (Vaseline)	約 352.4	約 $C_{25}H_{52} = 2CO_2 + 26H_2O - 52O_2$	3.122	1.929	—	-3.451	—
26	Glycerine	92.1	$C_3H_5(OH)_3 = 3CO_2 + 3H_2O - 7O_2$	1.434	1.784	—	-1.218	—
27	Almitin (fat)	806.8	$C_{51}H_{98}O_5 = 102CO_2 + 98H_2O - 147O_2$	2.782	1.064	—	-2.876	—
28	Petroleum	約 309.1	約 $C_7H_{12} = 7CO_2 + 3H_2O - 10O_2$	3.205	1.125	—	-3.330	—
29	Myrtaluren	—	(成分: 43.0% C + 5.39% H + 18.8% O + 2.8% 灰分)	1.578	1.482	—	-1.088	—
30	Resin	約 302.2	約 $C_{20}H_{30}O_2 = 4CO_2 + 30H_2O - 52O_2$	3.912	1.894	—	-2.805	—
31	Salpeter	101.1	$KNO_3 = 2K_2O + 2N_2 + 5O_2$	—	—	1.139	+0.396	$K_2O: 0.46f$





茲將各重要化合火藥及重要火藥成分之爆發反應式及爆發生成物之成分列表如34—36頁。表中對於含氧不足之物質，亦假定其完全氧化，而於爆發生成物中以負號的氧表示其含氧不足之數。如此可得不少便利，試觀下述諸例題，可以知之

---

1 g. CO <sub>2</sub> 在 20°C., 760mm. Hg 時之體積為	0.5429 l.
1 g. CO ..	0.8584 l.
1 g. H <sub>2</sub> O ..	1.335 l.
1 g. N <sub>2</sub> ..	0.8581 l.
1 g. O <sub>2</sub> ..	0.7511 l.
1 g. HCl ..	0.6548 l.
1 g. SO <sub>2</sub> ..	0.3667 l.

---

1 g. HCl 中和時需 1,290 g. 之 K <sub>2</sub> O, 生成 2,043 g. 之 KCl 及 0,247 g. 之 H <sub>2</sub> O.
.. 0,850 g. 之 Na <sub>2</sub> O, 生成 1,663 g. 之 NaCl 及 0,247 g. 之 H <sub>2</sub> O.
.. 2,10 g. 之 BaO, 生成 2,85 g. 之 BaCl <sub>2</sub> 及 0,247 g. 之 H <sub>2</sub> O.
.. 6t,770 g. 之 CaO, 生成 1,523 g. 之 CaCl <sub>2</sub> 及 0,247 g. 之 H <sub>2</sub> O.
1 g. SO <sub>2</sub> 中和時需 1,470 g. 之 K <sub>2</sub> O, 生成 2,470 g. 之 K <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ,
.. 0,967 g. 之 Na <sub>2</sub> O, 生成 1,987 g. 之 Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> .
.. 2,394 g. 之 BaO, 生成 1,394 g. 之 BaSO <sub>3</sub> .
.. 8,875 g. 之 CaO, 生成 1,875 g. 之 CaSO <sub>3</sub> .

---

1 g. K <sub>2</sub> O 中和時需 0,467 g. 之 CO <sub>2</sub> , 生成 1,467 g. 之 K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ,
1 g. Na <sub>2</sub> O .. 0,710 g. 之 CO <sub>2</sub> , 生成 1,710 g. 之 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ,
1 g. BaO .. 0,287 g. 之 CO <sub>2</sub> , 生成 1,287 g. 之 BaCO <sub>3</sub> ,
1 g. CaO .. 0,785 g. 之 CO <sub>2</sub> , 生成 1,785 g. 之 CaCO <sub>3</sub> .

---

【例一】 Wetter-Detonit B 之成分為硝酸銨 72.0%，膠質硝化甘油 4.0%，二硝基甲苯 2.0%，木粉 3.0%，氧化鈉 19.0%。此火藥 100 g. 之爆發生成物，計如下表：

	CO <sub>2</sub> g.	H <sub>2</sub> O g.	N <sub>2</sub> g.	O <sub>2</sub> g.	NaCl g.
72.0 g. 之硝酸銨依上表第 33 項應生成	0.0	32.4	25.2	+ 11.4	—
4.0 g. 之膠質硝化甘油依上表第 5 項應生成	2.4	0.8	0.7	+ 0.1	—
2.0 g. 之二硝基甲苯依上表第 8 項應生成	3.4	0.6	0.3	- 2.2	—
3.0 g. 之木粉依上表第 18 項應生成	5.1	1.7	—	- 3.8	—
19.9 g. 之氧化鈉並不參加化學變化	—	—	—	—	19.0
即 100 g. 之 Wetter-Detonit B 生成物之爆發生成物	10.9	35.5	26.2	8.4	19.0

由此例可知前表中對於含氧不足之物質，仍假定其能完全燃燒之方便處。二硝基甲苯與木粉，所含之氧雖不足使其所含之碳氫二元素氧化，但因硝酸銨與硝化甘油皆含多量之過剩氧氣，故結局就全體言，仍能得完全氧化。且除完全氧化外，每 100 g. 之火藥，尚多餘 8.4 g. 之游離氧。對於礦用火藥，含氧過剩為極重要之條件。德國自 1934 年 12 月 13 日起，政府規定，凡礦山用之火藥或火工品，用於地下時，必須含有過剩之氧，至少亦須含氧充足，能起完全氧化。蓋如火藥含氧不足，則爆發生成物中雜生有毒之一氧化碳。此氣體有時接近坑氣，且有發生爆發慘劇之可能。

利用前表，計算爆發生成物之體積百分率，甚為便利，在上例中 1000 g. 之 Wetter-Detonit B 共生氣體 821 公升（水分以氣體狀態存在），或 347 公升（水分以液態存在）其各成分之比數如下：

	水分作氣態存在	水分作液態存在
CO <sub>2</sub>	7.2 %	17.0 %
H <sub>2</sub> O	57.7 %	—
N <sub>2</sub>	27.4 %	64.9 %
O <sub>2</sub>	7.7 %	18.1 %
	100.0 %	100.0 %

【例二】 Amnongelatin 1 之成分爲 膠質二硝酸氣甘油 25%，二硝基甲苯 2%，三硝基甲苯 8%，硝酸銨 47%，膠質硝化甘油 5%，硝酸鈉 12%，木粉 1%。此火藥之爆發生成物，得計算如下：

	C <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HCl	Na <sub>2</sub> O
	g.	g.	g.	g.	g.	g.
25 g. 之膠質二硝酸氣甘油依前表第 6 項應生成	16.8	4.5	3.5	4.2	4.1	—
5 g. 膠質硝化甘油依前表第 5 項應生成	3.0	1.0	0.9	+0.1	—	—
2 g. 之二硝基甲苯依前表第 7 項應生成	3.4	0.6	0.3	-2.8	—	—
8 g. 之三硝基甲苯依前表第 9 項應生成	10.8	1.6	1.5	-5.0	—	—
47 g. 之硝酸銨依前表第 33 項應生成	—	21.2	16.1	+0.4	—	—
12 g. 之硝酸鈉依前表第 32 項應生成	—	—	2.0	+5.6	—	4.4
1 g. 之木粉依前表第 11 項應生成	1.7	0.6	—	-1.5	—	—
即 100 g. 之 Amnongelatin 1 爆發後生成物之爆發生成物	35.7	29.5	24.6	1.4	4.4	4.4

此火藥之爆發生成物中，含有游離鹽酸及氧化鈉。二者在常溫下(在高溫高壓下亦然)彼此易於結合，而起中和作用。此外尚餘多餘之氧化鈉，則與二氧化碳作用生成碳酸鈉。故得從新計算如下：

由前表知 4.4 g 之 HCl 需  $4.4 \times 0.85 = 3.7$  g 之 Na<sub>2</sub>O 以中和，同時生成 7.0 g 之 NaCl 及 1.1 g 之 H<sub>2</sub>O，所餘 0.7 g 之 Na<sub>2</sub>O 尚可中

和0.5 g. 之  $\text{CO}_2$ , 而生成1.2 g. 之  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . 故該火藥之爆發生成物, 其最後之重量百分率得書如下式:

$\text{CO}_2$	35.2 %
$\text{H}_2\text{O}$	30.6 %
$\text{N}_2$	24.5 %
$\text{O}_2$	1.4 %
$\text{NaCl}$	7.0 %
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1.3 %

---

150.0 %

爆發生成物中之游離鹽酸, 後與苛性鹼相結合, 甚為重要。因二物對於工人健康大有妨害也。是故凡由二硝酸氯甘油製成之火藥, 必須含有鹼性物, 以固定鹽酸。德國警律規定, 凡礦用火藥, 概不得發生毒性氣體或固體, 以重衛生。

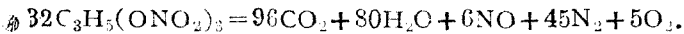
計算火藥爆發之化學變化時, 尚須顧及藥包之紙包皮。塗石臘或浸石臘之紙包皮, 燃燒時需大量之氧。故含氧適足或含氧略多之火藥, 本應完全氧化。然卒因包皮之關係, 有時反生氧氣不足之現象, 此層不可不注意。

以上所述火藥爆發之化學變化及其計算法, 係假定火藥之燃燒及爆燃, 在較低溫度與較低壓力下舉行。其所發生之氣體, 事後又冷至常溫情況; 但高級炸藥, 因爆炸波之作用, 溫度有數千度之高, 壓力有十餘萬氣壓之鉅。此時之化學變化, 與上述者不同, 其理甚明。今日吾人對於此高溫高壓下之真正爆發化學變化之經過情形, 尚無

精確理論可利用，僅在數種簡單假定下，得其近似值而已。其法如下：藉適宜試驗，推求火藥爆發反應情況，事實上僅在某一定限度內為有效。爆炸波經過火藥體後，在爆發生成物中必有一定之均勻狀態存在。此時如使均質中之混合物急速冷卻，使其無充分時間發生他種變化，則不至如徐緩冷卻時之易生別種化學變化。將此情況下之爆發生成物，加以分析，可得知真正爆炸時爆發生成物之較確結果。據試驗結果，爆炸波剛經過剎那間之爆發生成物之成分，與高熱高壓氣體經膨脹後所具之成分，大不相同。故推知爆炸波經過火藥體後，必尚有其他化學變化發生。是以得將火藥爆發作用分為二段：第一段係當爆炸波經過火藥體，使火藥全體或一部化為氣體，但並非最終之爆發生成物；第二段則係在爆炸波經過後，所生混合物彼此所發生之新變化是。

依據 Kast 氏研究，依據上述實驗及理論推斷為基礎，可將分解化學式書出，並對於爆炸波剛經過之剎那間火藥情況加以說明。

【例一】 硝化甘油



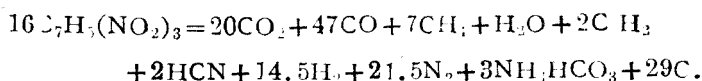
此式與前述之反應式不同處，為多發生 NO，因 NO 係由 N<sub>2</sub> 與 O<sub>2</sub> 化合而成。三者皆為二原子氣體，故爆發生成物之總體積得以不變。即 1000 g. 之硝化甘油，仍生成 766 公升之氣體 (20°C., 760 mm. Hg.)。此時各生成物之體積百分比比較前簡單式時略異，N<sub>2</sub> 與 O<sub>2</sub> 略減少，而新生成相當量之 NO，即

	簡單變化式	較正確變化式
CO <sub>2</sub>	41.4 %	41.4 %
H <sub>2</sub> O	34.5 %	34.5 %
NO	0.0 %	2.6 %
N <sub>2</sub>	20.7 %	19.4 %
O <sub>2</sub>	3.4 %	2.1 %
	100.0 %	100.0 %

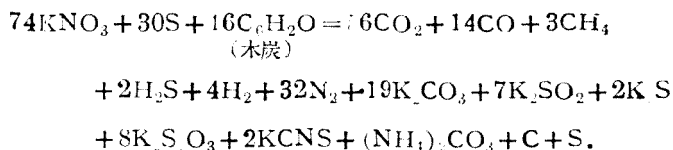
可知二種反應式之結果 所差並不十分大 凡含氧充足之火藥 一般皆如此。故一般言之，火藥簡單化學反應式所表示之變化可以相當的代表火藥剛爆炸剎那間之真正爆發生成物

如火藥含氧不足 則情形大異 此時僅憑簡單化學反應式之變化絕對不能代表真正之爆發反應 其爆發生成物之成分，大為不同，觀下例自明。

【例二】 梯恩梯。



【例三】 黑藥



例二為高級炸藥之例，例三為低級火藥之例 二者俱含氧不足，不能起完全氧化作用。

茲將常用火藥之成分列如下表:

1. 75%黑藥(爆藥)

{	硝酸鉀	75.7 %
	硫磺	14.6%
	木炭	9.7 %

2. 爆炸膠

{	硝化甘油	92.0 %
	弱棉	8.0 %

3. 一號 4 爆藥 (Dynamite)

{	硝化甘油	62.5 %
	弱棉	2.5 %
	硝酸鈉	27.0 %
	木粉	8.0 %

4. Annongelatine 1

{	膠質二硝酸氣甘油	25.0 %
	膠質油化甘油	5.0 %
	硝酸銨	47.0 %
	硝酸鈉	12.0 %
	二硝基甲苯	2.0 %
	三硝基甲苯	8.0 %
{	木粉	1.0 %

5. Ammonite 1.

{	硝酸銨	80.0 %
	木粉	4.0 %
	三硝基甲苯	12.0 %
	硝化甘油	4.0 %

6. Chloratit 3.

{	硝酸鉀	90.0 %
	石油	10.0 %

7. Wetter-Detonit B

{	硝酸銨	72.0 %
	膠質硝化甘油	4.0 %
	二硝基甲苯	2.0 %
	木粉	3.0 %
	氯化鈉	16.0 %

8. Wetter-Salit A

{	膠質硝化甘油	12.0 %
	硝酸銨	57.0 %
	炭	1.5 %
	木粉	2.0 %
	氯化鈉	27.5 %



## 9. Wetter-Nobelit B

膠質硝化甘油	30.0 %
56%硝酸鈣溶液	3.0 %
硝酸銨	29.5 %
木粉	0.5 %
食鹽	40.0 %

茲再將各重要火藥之爆發生成物列表如下：

各火藥爆發生成物之成分表

火藥名稱	火藥100g生成		氣體成分					氣體成分之體積百分率				
	氣體	固體 g.	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (氣體)	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	其他	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O (氣體)	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	其他
1. Black powder	278	599	135	—	85	—	2.58	48.6	—	37.0	—	20.8
2. Blasting gelatine	730	—	334	271	154	1	—	44.0	25.6	20.5	0.1	—
3. Dynamitel	651	168	247	236	140	28	—	38.6	36.2	21.5	4.3	—
4. Ammongelatine 1	824	82	193	409	211	11	—	23.4	49.7	25.7	1.2	—
5. Ammoniti	974	—	138	555	265	16	—	14.2	57.0	27.2	1.6	—
6. Chloratit 3	339	547	174	150	—	15	—	51.3	44.3	—	4.4	—
7. Wetter-Detonit B	824	190	59	474	225	63	—	7.2	57.7	27.4	7.7	—
8. Wetter-Salit A	711	275	83	399	190	39	—	11.7	56.0	26.8	5.5	—
9. Wetter-Nobelit B	538	469	109	264	129	45	—	19.5	49.1	24.0	8.4	—

(1) 20°C, 760 mm, 水分作氣體存在論

(2) 成分：CO 34.1, CH<sub>4</sub> 7.1, H<sub>2</sub>S 5.1, H<sub>2</sub> 12.1.

(3) 成分：CO 12.2%, CH<sub>4</sub> 2.7%, H<sub>2</sub>S 1.8%, H<sub>2</sub> 4.8%

上表之數字，僅黑藥一種係由精確計算求得，其餘概由簡單算法得來。除黑藥外，大都含有過剩之氧。用簡單算法差誤尚不大。氣

體積係以溫度  $20^{\circ}\text{C}$ ., 水分爲氣體爲標準。表中之數字係由火藥成分表計算而得。

由上表知各種火藥之爆發生成物與份量大有不同。須視其用途而選用適宜之成分。黑藥生成氣體最少；固體最多。生成氣體最多之火藥爲 Ammonit 1, 毫無固體殘渣發生。概言之, 凡含硝酸銨之火藥, 皆能生大量之氣體爆發生成物。此種火藥之生成物, 因含大量水分, 而水分之比重又最小, 故其爲量雖少, 然所佔容積則甚大。同時硝酸銨分解後, 不生固體殘渣, 至若他種硝酸鹽則皆生多量之固體生成物。

### 爆熱量(爆發所生之能)

**生成熱** 元素與元素結合而生成新物質時, 或吸收熱量, 或放出熱量。此吸收或放出之熱量, 卽爲該物質之生成熱。放出熱量作爲正數, 吸收熱量作爲負數。元素之生成熱等於零。

**最初狀態與最終狀態定理** 物質系中發生化學變化, 如係在定容或定壓下舉行, 則所吸收或所放出之熱量, 僅依該物質系之最初狀態與最終狀態爲轉移, 而與其中間所經過之變化毫無關係。故數次變化所生之總熱量等於其各次變化所生熱量之代數和。因而吾人得視火藥爲由元素生成爆發生成物之中間物質。準此, 以爆發生成物之生成熱總和, 減去該火藥之生成熱, 所得之差, 卽爲該火藥爆發時所應放出之熱量。亦卽該火藥之爆熱量。各火藥及各爆發生成物之生成熱見下表。表中數字, 係假定溫度爲  $15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ., 壓力爲 760 mm. Hg.

物質之生成熱 (溫度15—20°C., 壓力760 mm.)

## A. 火藥成分之生成熱

名 稱	化 學 式	分子量	一克分 子物體 之生成 熱Kcal	1 Kg. 物質之 生成熱 Kcal
1 Nitroglycerine	$C_3H_5(ONO_2)_3$	227.1	+ 94.2	+ 415
2 Dinitrochlorhydrin	$C_3H_5Cl(ONO_2)_2$	200.5	+ 87.8	+ 437
3 Gun cotton	$C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$	1143.3	+ 624	+ 545
4 Collodion cotton	$C_{24}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9$	1053.3	+ 705	+ 669
5 Gel, nitroglycerine	99.5% Nitroglycerine 3.5% Collodion cotton	—	—	+ 423
6 Gel, dinitrochlorhydrin	6.0% Dinitrochlorhydrin 3.5% Collodion cotton	—	—	+ 445
7 Dinitroglycol	$C_2H_4(ONO_2)_2$	152.1	+ 67.7	+ 445
8 D nitrotoluene	$C_6H_3(CH_3)(NO_2)_2$	182.1	+ 5.0	+ 27.4
9 Trinitrotoluene	$C_6H_2(CH_3)(NO_2)_3$	227.1	+ 15.0	+ 70.5
10 Mono itronaphalene	$C_{10}H_7(NO_2)$	173.1	- 14.7	- 84.1
11 Dinitronaphthalene	$C_{10}H_6(NO_2)_2$	218.1	- 5.7	- 26.1
12 Trinitronaphthalene	$C_{10}H_5(NO_2)_3$	263.1	- 3.3	+ 12.5
13 Dinitrobenzane (solid)	$C_6H_4(NO_2)_2$	168.0	+ 12.7	+ 75.5
14 Picric acid	$C_6H_2(OH)(NO_2)_3$	229.0	+ 49.1	+ 214
15 Carbon (soot, graphite)	C	12.0	0.0	0
16 Coal	(85% C + 5% H + 9% O)	—	—	+ 100
17 Brown coal	(60% C + 4% H + 10% O + 20% H <sub>2</sub> O)	—	—	+ 454
18 Saw dust	(45% C + 5% H + 35% O + 1% H <sub>2</sub> O)	—	—	+ 800
19 Cellulose	$C_6H_{10}O_5$	162.1	+ 200	+ 1200

20	Dextrin	(90% C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> + 10% H <sub>2</sub> O)	—	—	+ 150
21	Gelose	(7% C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> + 93% H <sub>2</sub> O)	—	—	+ 356
22	Pitch	( 0% C <sub>30</sub> H <sub>20</sub> + 1% C)	—	—	+ 100
23	Anthracene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178.1	- 43.3	- 26
24	Phenanthrene	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178.1	- 37.6	- 223
25	Naphthalene	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128.1	- 19.6	- 153
26	Paraffin	約 C <sub>25</sub> H <sub>52</sub>	約352.4	約+183	+ 518
27	Glycerine	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub>	92.1	+159.1	+ 173
28	Fat (mean value)	約 C <sub>51</sub> H <sub>98</sub> O <sub>6</sub>	約306.8	約+476	+ 590
29	Petroleum	約 C <sub>7</sub> H <sub>12</sub>	約 96.1	約+3.46	+ 560
30	Oil (mean value)	約 C <sub>23</sub> H <sub>36</sub> O <sub>7</sub>	約124.0	約+170	+ 400
31	Potassium nitrate	KNO <sub>3</sub>	101.1	+119.5	+ 118
32	Sodium nitrate	NaNO <sub>3</sub>	85.0	+111.2	+ 1190
33	Ammonium nitrate	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80.05	+ 88.1	+ 1100
34	Barium nitrate	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	261.4	+228.4	+ 874
35	Calcium nitrate	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	200.1	+216.7	+ 1162
36	Calcium nitrate (techn.)	(95% Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 5% NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	—	—	+ 1178
37	Calcium nitrate solu.	( 0% Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 0% H <sub>2</sub> O)	—	—	+ 2490
38	Potassium chlorate	KClO <sub>3</sub>	122.6	+ 95.9	+ 781
39	Sodium chlorate	NaClO <sub>3</sub>	106.5	+ 86.7	+ 815
40	Potassium perchlorate	KClO <sub>4</sub>	138.6	+113.5	+ 815
41	Sodium perchlorate	NaClO <sub>4</sub>	122.5	+100.5	+ 819
42	Ammonium perchlorate	NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub>	117.5	+ 96.7	+ 820
43	Potassium dichromate	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	194.2	+515.3	+ 1750

4	Potassium oxalate	$K_2C_2O_4$	166.2 + 324.7 + 1950
5	Sodium oxalate	$Na_2C_2O_4$	134.0 + 315.0 + 2350
6	Sodium bicarbonate	$NaHCO_3$	84.0 + 229.5 + 273
7	Ammonium sulphate	$(NH_4)_2SO_4$	132.2 + 251.9 + 2130
48	Ammonium chloride	$NH_4Cl$	53.5 + 75.8 + 171

## B. 爆發生成物之生成熱

名	類	化 學 式	分子重	一克分子 物質之生 成熱 Kcal	1Kg 物質之 生成熱 Kcal
9	Carbon dioxide gas	$CO_2$	44.0	+ 94.3	+ 214
	solid			+ 69.96 (0°C.)	+ 588
0	Water, liquid	$H_2O$	18.02	+ 68.37 (18°C.)	+ 3795
	steam			+ 57.84	+ 20
1	Nitrogen suboxide, liquid gas	$N_2O$	44.0	- 15.0 - 17.7	- 341 - 405
2	Nitrogen monoxide, gas	$NO$	30.0	- 21.6	- 720
3	Sulphur dioxide	$SO_2$	64.1	+ 70.9	+ 1105
4	Hydrogen sulphide	$H_2S$	34.1	+ 5	+ 147
5	Carbon monoxide	$CO$	28.0	+ 26.4	+ 945
6	Methane	$CH_4$	16.0	+ 18.11	+ 1131
7	Acetylene	$C_2H_2$	16.0	- 54.8	- 2107
8	Hydrogen cyanide liquid gas	$HCN$	27.0	- 25 - 39	- 926 - 1111
9	Potassium oxide	$K_2O$	94.2	+ 86.5	+ 921
0	Potassium sulphide	$K_2S$	110.3	+ 87.3	+ 790

1 Potassium sulphate	$K_2SO_4$	174.3	+340.6	+2952
2 Potassium thiosulphate	$K_2S_2O_3$	190.3	+272.8	+1430
3 Potassium rhodanate	KCNS	97.2	+ 49.8	+ 513
4 Potassium carbonate	$K_2CO_3$	138.2	+281.1	+2033
5 Potassium bicarbonate	$KHCO_3$	100.1	+233.8	+2331
6 Potassium chloride	KCl	74.6	+105.6	+1445
7 Sodium oxide	$Na_2O$	62.0	+100.7	+1622
8 Sodium sulphide	$Na_2S$	78.1	+ 88.7	+1137
9 Sodium sulphate	$Na_2SO_4$	142.1	+327.9	+2308
10 Sodium thi sulphate	$Na_2S_2O_3$	158.1	+256.3	+1620
11 Sodium rhodanate	NaCNS	81.1	+ 45.3	+ 559
12 Sodium carbonate	$Na_2CO_3$	106.0	+272.6	+2571
13 Sodium bicarbonate	$NaHCO_3$	84.0	+229.3	+2730
14 Sodium chloride	NaCl	58.5	+ 97.7	+1670
15 Ammonium carbonate	$(NH_4)_2CO_3$	96.1	+228	+2372
16 Ammonium bicarbonate	$NH_4HCO_3$	79.05	+205.3	+2.97
17 Calcium oxide	CaO	56.1	+152.1	+1711
18 Calcium carbonate	$CaCO_3$	100.1	+284.5	+2842
19 Calcium chloride	$CaCl_2$	111.0	+191.0	+ 720
20 Barium oxide	BaO	153.4	+153.4	+ 870
21 Barium carbonate	$BaCO_3$	197.4	+285.6	+1445
22 Barium chloride	$BaCl_2$	208.3	+205.0	+ 582

## C. 起爆藥之生成熱

23 Mercury fulminate	$C_2N_2O_2Hg_2$	284.6	- 63.0	-211.5
24 Lead azide	$Pb_3(N_3)_2$	297.2	-155	-374

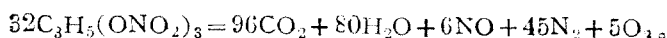
表中 No. 1 項表示 1 Kg. 之硝化甘油，由其元素生成時 放出 415 Kcal. 之熱量。反之，如欲將 1 Kg. 之硝化甘油分解為元素，則必須自外供給以同量之熱（注意：此乃指分解為各元素時所吸收之熱量，而非硝化甘油爆發時所生之熱量，二者不同，切勿混亂）。表中各物之生成熱，亦有為負數者，例如 No. 23 項之萘（anthracen），生成熱為  $-260$ ，意即 1 Kg. 之萘，由其元素生成時，吸收 260 Kcal. 之熱量。反之，將 1 Kg. 之萘分解，則可放出 260 Kcal. 之熱量。故知生成熱為負數之物質，較生成熱為正數之物質，含有較多之能。（萘之生成熱雖為負數，但頗安定。只可用為混合火藥之成分而不能單獨用作火藥）。

真正由爆炸波誘起之火藥爆發反應，迄今尚未充分明瞭，業如前述。然假定火藥分子受爆炸波之高壓高溫影響，先分解成較分子為小之單位，其一部分甚且變為簡單之元素。而後由此較簡單之分子或原子再從新配合，而生成火藥爆發時之真正爆發生成物。依此假定，益以生成熱學說，則可得結論曰：凡具有正數生成熱之化合火藥，如硝化甘油，欲使其爆發，最初必自外給以相當量之能，以誘起爆發。爆發既起，因初期分解生成物彼此發生新的變化，而發生定量之能，即以此所生之能以促進鄰近火藥分子之爆發，是故此種火藥皆有一定長度之爆發準備距離。另一方面，凡具負數生成熱之火藥，其火藥分子一經分解，即能直接放出熱量，而無需中間分解生成物之從新變化。故此種火藥一經誘起爆發，則進行極快，達到爆發所需之時間亦極短。故此種火藥最宜於作為起爆藥用。事實上現今所用起爆藥，其生成熱固皆為負數者也。

**爆熱量之計算** 計算火藥爆熱量，不必十分顧計爆發之化學變化式。僅藉原來物質與最後生成物之成分，即可求得之。關於火藥爆發時能量之變化情形，一般以熱化學法則為根據，即火藥之各成分，先分解為元素，而後再由元素彼此結合成為爆發生成物。在同樣情況下，含有負數生成熱之成分之火藥，較含正數生成熱或少量負數生成熱之成分之火藥，爆發時生成較多之爆熱量。如表中 No. 23 與 No. 24 兩項所示，含萘之火藥較含菲 (phenanthren) 之火藥，雖二者成分比例相同，萘與菲中碳氮比例完全相同，但前者較後者能生較多之爆熱量。

【例一】 試求每克分子重之硝化甘油之爆熱量。

硝化甘油爆發反應式為



爆發生成物之生成熱為：

$$CO_2 = 96 \times 94.3 = 9,053 \text{ Kcal.}$$

$$H_2O = 80 \times 57.84 = 4,627 \quad ,,$$

$$NO = 6 \times (-21.6) = -130 \quad ,,$$

---


$$13,550 \text{ Kcal.}$$

硝化甘油本身之生成熱為：

$$32C_3H_5(ONO_2)_3 = 32 \times 94.2 = 3,014 \text{ Kcal.}$$

$$\therefore 32 \text{ 克分子之硝化甘油之爆熱量} = 13,550 - 3,014 = 10,536 \text{ Kcal.}$$

$$1 \text{ 克分子硝化甘油之爆熱量} = \frac{10,536}{32} = 329.2 \text{ Kcal.}$$

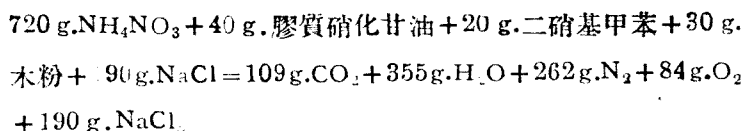
$$1 \text{ Kg. 硝化甘油之爆熱量} = 329.2 \times \frac{1000}{227.1} = 1,450 \text{ Kcal.}$$



此計算須加修正。因前表所列之物質生成熱，係在一定溫度一定壓力下之數字。即溫度  $15^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，壓力 760 mm。但實際情況，火藥爆發，並非在定壓下舉行，而係在近似定容情況下舉行。當爆炸波剛行經過之刹那，所有氣體爆發生成物占有之容積，與該固體火藥原占之容積相等（依據爆炸理論，氣體爆炸生成物所占容積，較原來固體火藥所占者猶小）。據此假定，知當爆發時，氣體並未膨脹，因而亦並未做任何工作。然定壓下之爆炸則不然。此時因氣體膨脹，占領一大容積，對於周圍之空氣，須做相當工作。換言之，即須消耗相當量之熱量。前表所列之生成熱，因係定壓的，故皆已除去對空氣作工作所耗去之熱量。然在定容爆炸時，並無熱之消耗。是故凡由前表所算得之火藥爆熱量，必再加以相當之數值而後可。此應加之數值，對於火藥常生之氣體言，約為氣體每一公升應增加 0.0242 Kcal.（假定火藥之比容為  $1\sim 2$  c. c. 之間）。又吾人已知一切氣體在溫度  $20^{\circ}\text{C}$ ，壓力 760 mm. 下每克分子概占容積 24.046 公升，故推知普通火藥常生氣體，每克分子應增多  $0.0242 \times 24.046 = 0.582$  Kcal.。在例一中，32 克分子之硝化甘油，爆發後共生成氣體 232 克分子，即一克分子硝化甘油生成氣體 7.25 克分子。應增多之熱量共為  $7.25 \times 0.582 = 4.2$  Kcal.。將此熱量加於定壓下爆熱量 329.2 Kcal. 上，則得  $329.2 + 4.2 = 333.4$  Kcal.，此即一克分子硝化甘油，在定容時爆炸，所生成之爆熱量。由此實例，可知對於定容變化下應加之修正，為值甚小；可以省略不計。因火藥爆發反應方程式中所生之差誤有時較此為大，故即將定容修正量省略，影響亦不大。

【例二】 試求 Wetter-Detonit B 之爆熱量。

由爆發生成物篇例一，知 Wetter-Detonit B 1000 g. 之爆發反應式如下：



上式兩端皆有 190 g. NaCl，應互抵消，生成熱不變，又右端之  $\text{N}_2$  與  $\text{O}_2$  因係元素，生成熱等於零。故得下表：

方 程 式 左 端	方 程 式 右 端
硝酸铵： $720 \times 1.100 = 792 \text{ Kcal.}$	$\text{CO}_2$ ： $109 \times 2.142 = 233 \text{ Kcal.}$
膠質硝化甘油： $40 \times 0.423 = 17 \text{ Kcal.}$	$\text{H}_2\text{O}$ ： $355 \times 3.209 = 1140 \text{ Kcal.}$
二硝基甲苯： $20 \times 0.0274 = 1 \text{ Kcal.}$	右端之生成熱 = 1373 Kcal.
木粉： $30 \times 0.830 = 24 \text{ Kcal.}$	左端之生成熱 = 834 Kcal.
左端之生成熱 = 834 Kcal.	定壓下之爆熱量 = 539 Kcal.

查火藥爆發生成物成分表(見前)，知 1 Kg. 之 Wetter-Detonit B 爆發時發生 821 公升之氣體。因知定容下應加之修正量為  $821 \times 0.0243 = 20 \text{ Kcal.}$ ，即在定容下該種火藥 1 Kg. 所生爆熱量為 559 Kcal.。

茲將前表所列之火藥之爆熱量，列如下表

火 藥 爆 熱 量 表

	火 藥 名 稱	100g. 之爆熱量 Kcal.	火 藥 密 度	1l. 之爆熱量 Kcal.
1	黑藥(壓縮狀)	713	1.2	855
2	爆炸膠	1555	1.63	2540
3	一號雷爆藥	1320	1.53	2040
4	Ammonageatine I	1095	1.53	1680

5	Ammonite F	964	1.1	1060
6	Chloratit S	1123	1.6	1800
7	Wetter-Detonit B	559	1.05	585
8	Wetter-Salit A	607	1.1	608
9	Wetter-Nobelit B	568	1.7	965
10	氮氣爆氣( $2\text{H}_2 : \text{O}_2$ )	3242	$\left( \begin{array}{c} 0.005 \\ 20^\circ\text{C., } 760\text{mm.} \end{array} \right)$	1.62

由表知固體火藥每公斤所生之爆熱量，彼此大有不同。例如爆炸膠之爆熱量，幾為 Wetter-Detonit B 之三倍，亦即前者所含之能三倍大於後者。為比較計，特將爆發性氣體之氮氣爆氣列為第 10 項。每公斤之氮氣爆氣，其爆熱量遠較一切固體火藥者為多。似應推為最優良之火藥，但事實上適得其反。蓋實際使用火藥，最重要條件為能在較小容積內（如鑽孔，砲膛等）發生最大之能，始能稱為優良火藥。上表第四行所給每公斤之爆熱量，以及第三行所列之密度，試加以研究，同時假定使用火藥時，即以表中所列之密度為實用密度，則結果大不相同。此時氮氣爆氣之爆熱量，僅及固體火藥爆熱量之 1/1000 之譜。在平常氣壓下鑽孔中所能裝進之氮氣爆氣，為重實屬無幾。如強欲裝填較多之氣體於鑽孔，則必加高壓而後可，例如欲使一公升之氮氣爆氣發生 1000 Kcal. 之爆熱量，所需加壓之壓力為  $620 \text{ Kg/cm}^2$ 。此種情形，實用時當然不可能，此所以一切爆發性氣體不能用為火藥也。

比較表中 No. 7, No. 9 兩項可以發現密度對於爆熱量之影響。Wetter-Detonit B 與 Wetter-Nobelit B 二種火藥每公斤所生之爆熱量，彼此相伯仲。但 Wetter-Detonit B 為粉狀，Wetter-

Nobelit B 則爲可塑性物。因而前者較後者之密度爲小。今如以每公升火藥之爆熱量爲標準，則 Wetter-Nobelit B 之爆熱量幾爲 Wetter-Detonit B 者之二倍之多。換言之，在同一容積內，Wetter-Nobelit B 之能量爲 Wetter-Detonit B 之二倍

**爆熱實測法** 火藥爆熱量除用計算法外，亦可用實測法求之。將火藥裝於真空密閉爆發器中，用電力點火引爆。所生爆熱量藉測熱計測量。由此減去引火物與雷管所生之熱量，其差即爲該火藥之爆熱量。試驗時，密閉爆發器內所容之火藥，至多不得超過其容量之半，換言之，即火藥裝填密度切勿大於 0.5。故由實驗所求得之熱量，與實際鑽孔中之滿裝火藥嚴密填塞者，情況不同。器內所生之氣體，可以膨脹，對外做相當工作。因知得自實驗之火藥爆熱量，必較火藥之真正爆熱量爲小。此外，試驗時，所生成之水分，係以液態存在；所有常溫下爲固體之生成物，亦以固態出現。但在爆炸剎那間之高溫時，水分係作氣態，固體生成物（例如鹽類）亦能作液態存在。二者情況不同，須加注意。準此，吾人可知火藥之真正爆熱量，又必較由試驗所得之值爲小。其所少之數即等於水分之蒸發潛熱與鹽類之熔化潛熱之和。此等應加之修正量可由計算求得其近似值。一般言之，用計算法所得之火藥爆熱量，與由試驗法加修正後所得之火藥爆熱量，可彼此完全一致。

**火藥之真正能量** 上述由計算法求得或由試驗法加修正後求得之火藥爆熱量，究竟是否能代表火藥所放出之真正能量。殊值研究。按火藥爆發時所放出之能，並非全部以熱能狀態表現。爆熱量三字實難代表火藥之真正能量。一部分之能，須用於爆炸波以維持其

高大之壓力。又在普通爆破時，鑽孔內常非完全裝滿火藥，而多少存有空氣隙。當爆炸之剎那，鑽孔容積尚未發生變化之頃，爆發生成物中之氣體，在鑽空內因膨脹而做工作，此工作所耗之能，當然亦必由火藥總能量中開支。最後，在爆作波後之爆發生成物，具有甚大速度（約 1000 m/sec），在高速度中所潛具之運動能，僅當其不傳於鑽孔壁與填塞物之情況下，以及爆發生成物之速度又變為零時，始能以熱的狀態收回。總之，由上述諸點觀察，可知實際上舉行爆破時以熱能狀態表現出之部分能，換言之，即使氣體爆發生成物之溫度升高所耗之能，較計算出或實測出之「爆熱量」為小，有時且甚小。其值大小，可估計為每一公斤火藥實際爆破時所生之熱量，較「爆熱量」約小 100 Kcal.。

## 爆 溫

既知火藥爆發時以熱能代表所放出之全能量，再知爆發生成物之比熱，即可計算火藥之爆溫。

**比熱** 將重 1 Kg. 之物質溫度升高  $1^{\circ}\text{C}$ . 所需之熱量，稱為該物質之比熱，以  $C$  示之。如物體之重，不只 1 Kg. 而係  $G$  Kg. 時，則  $G$  Kg. 物質升高溫度  $1^{\circ}\text{C}$ .，其所需熱量，當然為  $GC$ 。又如所升高之溫度不只  $1^{\circ}\text{C}$ . 而為由  $t_1$  升至  $t_2$  時，則此情況下所需之總熱量  $Q$  應為：

$$(Q = GC(t_2 - t_1)).$$

又設如同時有數種物質，其重量為  $G_1, G_2, \dots$ ，比熱為  $C_1, C_2, \dots$ ，而欲使其溫度全部由  $t_1$  升高至  $t_2$  時，則該物質系所需之總熱量應

爲：

$$\begin{aligned} Q &= G_1 C_1 (t_2 - t_1) + G_2 C_2 (t_2 - t_1) + \dots + G_n C_n (t_2 - t_1) \\ &= (G_1 C_1 + G_2 C_2 + \dots + G_n C_n) (t_2 - t_1) \\ &= \Sigma GC \cdot (t_2 - t_1)。 \end{aligned}$$

所遇物質如爲氣體，尚須顧及溫度升高時之情況，爲定壓的抑爲定容的。若係定壓的，則因溫度升高，氣體容積脹大，對外須做工作，而做工作須消耗一部分之熱量。故定壓下使氣體溫度升高數在定容下氣體溫度升高同樣程度時所需之熱量爲多。因而定壓下氣體之比熱  $C_p$  較在定容下之比熱  $C_v$  當然爲大。然火藥爆發反應發生時，多近似於定容變化，故計算火藥爆溫，以  $C_v$  爲較重要。

物質之比熱，並非常數不變，一般多隨溫度之增升而變大，尤以氣體爲然，因而前式所表示之數字，僅當  $t_2 - t_1$  爲值甚小時，相當正確。其原因在於  $C$  之值只在溫度範圍不大時方可視爲常數也。今如用於火藥爆發時之龐大溫度變化下，則僅可取在此溫度範圍內之平均比熱。溫度變化愈大，其值亦愈不同。對於前式，以平均比熱  $\bar{C}_1, \bar{C}_2, \dots$  代替  $C_1, C_2, \dots$ ，對於氣體，則以  $\bar{C}_{v1}, \bar{C}_{v2}, \dots$  代之，則前式方可適用。今於該式中，假定  $Q$  爲火藥爆發時真正所放出之熱量， $G$  爲爆發生成物之總重量， $C$  爲爆發生成物之平均比熱， $t_1$  爲未爆發前火藥之溫度，則  $t_2$  應爲爆發生成物因火藥爆熱量而升高之最高溫度。 $t_1$  值假定爲 20 C， $t_2$  值則假定在 1500°~4000°C 之間。因  $t_1$  較  $t_2$  甚小，故可省略不計，又爲簡單計，用  $t$  代替  $t_2$  (即  $t = t_2 - t_1, t_1 = 0, t = t_2$ )。在此種假定之下，吾人可將火藥爆溫之計算公式書如下式：

$$t = \frac{Q}{G_1 \bar{C}_1 + G_2 \bar{C}_2 + \dots + G_n \bar{C}_n} = \frac{Q}{\Sigma G \bar{C}}$$

應用此式，必先知火藥爆發生成物之平均比熱。關於此問題，有下之討論。

氣體平均比熱與溫度之關係，向用一次方程式表示，今日多認為未能十分滿意。由實驗求得高至 3000°C. 之平均比熱，曾試用下之近似方程式表示。即

$$\bar{C}_v = a - \frac{b}{T}$$

式中  $T$  為絕對溫度，等於  $t + 273$ 。用此式計算氣體平均比熱，甚稱滿意。所得結果見下表。表中除開列 1 Kg. 氣體之平均比熱  $\bar{C}_v$  外，並示以氣體之平均分子熱  $\bar{C}_v$ ，此  $\bar{C}_v$  即氣體每克分子重所具之平均比熱。對於水蒸汽之平均比熱，須特別注意。此物在一般溫度範圍內僅藉上式不足以表示其正確值。故特用二個不同之公式表示其二種溫度範圍內所應具之平均比熱。除對於水蒸汽在高溫時用 Bjer. um 氏數值外，餘皆以 1929 年 Nernst 與 Wohl 二氏之實驗結果為根據。

各種氣體之平均分子熱與平均比熱表

氣體名稱	化學式	平均分子熱 $\bar{C}_v$ (每克分子所需之 Kcal.)	適用溫度範圍	平均比熱 $\bar{C}_v$ (每公斤所需之 Kcal.)
1 二氧化碳	CO <sub>2</sub>	$\frac{12.75}{1000} - \frac{3.86}{T}$	>1200°T	$0.290 - \frac{87.8}{T}$
2 水(水蒸汽)	H <sub>2</sub> O	a. $\frac{10.58}{1000} - \frac{4.980}{T}$	1600° —2400°T	$0.585 - \frac{2.76}{T}$
		b. $\frac{17.0}{1000} - \frac{20.80}{T}$	>2400°T	$0.943 - \frac{1158}{T}$
3 氮	N <sub>2</sub>	$\frac{6.58}{1000} - \frac{1.373}{T}$	>1200°T	$0.234 - \frac{49.0}{T}$

4	氧	O <sub>2</sub>	$\frac{6.78}{1000} - \frac{1.100}{T}$	> 800°T	0.212 - $\frac{34.4}{T}$
6	一氧化碳	CO	$\frac{6.90}{1000} - \frac{1.882}{T}$	> 1200°T	0.243 - $\frac{67.7}{T}$
6	氫	H <sub>2</sub>	$\frac{6.26}{1000} - \frac{1.730}{T}$	> 1200°T	3.11 - $\frac{861}{T}$
7	雙原子氣體 (NO 等)		$\frac{6.63}{1000} - \frac{1.521}{T}$	> 1200°T	} 依分子之重量 不同而變化
8	四原子氣體 (NH <sub>3</sub> 等)		$\frac{13.23}{1000} - \frac{2.042}{T}$	> 1200°T	
9	五原子氣體 (CH <sub>4</sub> 等)		$\frac{10.58}{1000} - \frac{3.803}{T}$	> 1200°T	

多數之多原子氣體，其平均比熱，在吾人所需之高溫下，尙未實驗過。表中 No. 7 ~ No. 9 所列之數字，僅表示其近似值。因火藥爆發生成物中含此類氣體為量不多，故其對於爆發生成物之總平均比熱及火藥之爆溫，影響均不大。對於三原子氣體，所知不多，文獻又少，故未列出。SO<sub>2</sub> 之比熱約同 CO；又對於 N<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>S 以及 HCN 等氣體，亦因無正確文獻，一般均取與 CO<sub>2</sub> 相等之平均比熱而用之。

高溫下固體物質之平均比熱，所知較少。為簡單計，則利用 Dalong-Petit 及 Kopp-Neumann 諸氏定律，假定每原子固體物質之平均分子熱能為 0.0064 Kcal. 依此定律，食鹽，即 NaCl，之平均分子熱能為  $2 \times 0.0064 = 0.0128$  Kcal. 因 NaCl 含有二個原子故也。NaCl 之分子重為 58.46。故 1g. NaCl 之平均比熱應為  $\frac{0.0128}{58.46} = 0.000219$  Kcal.，其 1 Kg. 之平均比熱應為 0.219 Kcal.，如是算出之固體物質平均分子熱與平均比熱，列如下表。



火藥爆發生成物中常見固體物質之平均分子熱與平均比熱表

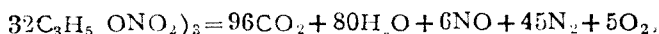
	物 質 名 稱	化 學 式	平均分子熱 $\bar{C}_v$ (每克分子固體所生Kcal.)	平均比熱 $\bar{C}_v$ (每公斤固體所生Kcal.)
1	硫 化 鉀	$K_2S$	0.0192	0.174
2	硫 酸 鉀	$K_2SO_4$	0.0448	0.257
3	硫代硫酸鉀	$K_2S_2O_3$	0.0448	0.236
4	硫 氰 化 鉀	$KCN$	0.0253	0.234
5	碳 酸 鉀	$K_2CO_3$	0.0384	0.278
6	碳 酸 氫 鉀	$KHCO_3$	0.0384	0.383
7	氯 化 鉀	$KCl$	0.0128	0.172
8	硫 化 鈉	$Na_2S$	0.0192	0.246
9	硫 酸 鈉	$Na_2SO_4$	0.0448	0.315
10	硫代硫酸鈉	$Na_2S_2O_3$	0.0448	0.283
11	硫 氰 化 鈉	$NaCN$	0.0253	0.316
12	碳 酸 鈉	$NaCO_3$	0.0384	0.382
13	碳 酸 氫 鈉	$NaHCO_3$	0.0384	0.457
14	氯 化 鈉	$NaCl$	0.0128	0.219
15	碳 酸 銨	$(NH_4)_2CO_3$	0.0896	0.952
16	碳 酸 氫 銨	$NH_4HCO_3$	0.0576	0.730
17	氧 化 鈣	$CaO$	0.0128	0.238
18	碳 酸 鈣	$CaCO_3$	0.0320	0.320
19	氯 化 鈣	$CaCl_2$	0.0192	0.173
20	碳 酸 鋇	$BaCO_3$	0.0320	0.162
21	氯 化 鋇	$BaCl_2$	0.0192	0.092

由表知固體物質之比熱，不甚正確。由此算出之數字，亦僅為近似值。是故發生大量固體爆發生成物之火藥，其爆溫不能正確求出。

### 爆溫之計算

【例一】 試求硝化甘油之爆溫。

硝化甘油之爆發反應式為：



$$\text{CO}_2 \text{ 96 分子: } \bar{C}_v = 96 \left( \frac{12.75}{1000} - \frac{3.860}{T} \right) = 1.225 - 370 \cdot \frac{1}{T},$$

$$\text{H}_2\text{O} \text{ 80 分子: } \bar{C}_v = 80 \left( \frac{17.40}{1000} - \frac{20.80}{T} \right) = 1.360 - 1664 \cdot \frac{1}{T},$$

$$\text{NO} \text{ 6 分子: } \bar{C}_v = 6 \left( \frac{6.63}{1000} - \frac{1.521}{T} \right) = 0.040 - 9 \cdot \frac{1}{T},$$

$$\text{N}_2 \text{ 45 分子: } \bar{C}_v = 45 \left( \frac{6.58}{1000} - \frac{1.372}{T} \right) = 0.296 - 62 \cdot \frac{1}{T},$$

$$\text{O}_2 \text{ 5 分子: } \bar{C}_v = 5 \left( \frac{6.78}{1000} - \frac{1.100}{T} \right) = 0.034 - 6 \cdot \frac{1}{T},$$

---


$$\therefore \Sigma G\bar{C}_v = 2.955 - 2111 \cdot \frac{1}{T}.$$

硝化甘油一克分子之爆熱量為 333.4 Kcal.，32 克分子之硝化甘油，其總熱量

$$Q = 32 \times 333.4 = 10,669 \text{ Kcal.},$$

由爆溫計算公式因得：

$$t = \frac{Q}{\Sigma G\bar{C}_v} \text{ 或 } T \cdot \Sigma G\bar{C}_v = Q.$$

將諸元代入上式，得

$$T(2.955 - 2111 \times \frac{1}{T}) = 10669,$$

$$2.955T - 2111 = 10669,$$

$$2.955T = 12780,$$

$$\therefore T = 4320 \text{ 絕對溫度},$$

$$\text{i.e. } t = T - 273 = 4047 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

該計算所採水蒸汽之分子熱，係取前表中之(2b)，結果尙可取。但如結果較低於  $2400^\circ\text{T}$ .時，則必須換取表中之(2a)，從新計算以求之。

如上算出之硝化甘油爆溫，如顧及其爆熱量之分配情形，不難想像其爲值太高。硝化甘油爆速既大，爆發生成物之速度亦大。當爆發時有不少能量以機械能現出，而不以熱能放出。設耗於此種原因之能爲每克分子 50 Kcal.，則 32 分子之硝化甘油共用去  $32 \times 50 = 1600$  Kcal.，即其總熱量  $Q = 10669 - 1600 = 9069$  Kcal.，以此數代入上式，得  $t = 3506^\circ\text{C}$ 。但因吾人對於火藥爆發時不以熱能放出之能，無法精確測量，故今後一概不加修正，不計可也。然吾人須了解一專，即由計算所得之火藥爆溫，較實際之爆溫爲高。對於各種火藥，僅可彼此互相比較，以得一概念而已。

【例二】試求 Wetter-Detonit B 之爆溫

Wetter-Detonit B 爆發後生成固體殘渣 其爆發生成物之成分爲： $\text{CO}_2$ : 0.9%， $\text{H}_2\text{O}$ : 35.5%， $\text{N}_2$ : 26.2%，O: 8.4%，NaCl: 19%，由此得計算一公斤火藥之  $\Sigma G\bar{c}$  如下：

$$\text{CO}_2 \ 109 \text{ g.}; G_1 \bar{C}_v = 0.109(0.290 - \frac{87.8}{T}) = 0.032 - 9.6 \cdot \frac{1}{T},$$

$$\text{H}_2\text{O} \ 355 \text{ g.}; G_2 \bar{C}_v = 0.355(0.685 - \frac{276}{T}) = 0.208 - 98.0 \cdot \frac{1}{T},$$

$$\text{N}_2 \ 262 \text{ g.}; G_3 \bar{C}_v = 0.262(0.234 - \frac{49.0}{T}) = 0.061 - 12.8 \cdot \frac{1}{T},$$

$$\text{O}_2 \ 81 \text{ g.}; G_4 \bar{C}_v = 0.084(0.212 - \frac{34.4}{T}) = 0.018 - 2.9 \cdot \frac{1}{T},$$

$$\text{NaCl} \ 190 \text{ g.}; G_5 \bar{C}_v = 0.190 \times 0.219 = 0.042$$

---


$$\therefore \Sigma G \bar{c} = 0.361 - 123.3 \cdot \frac{1}{T}.$$

查前表知 1 Kg: Wetter Detonit B 之爆熱量為 559 Kcal.,

故由式  $T = \frac{Q}{\Sigma G \bar{c}}$ , 得 .

$$T(0.361 - 123.3 \cdot \frac{1}{T}) = 559,$$

$$0.361T = 682,$$

$$T = 1890^{\circ}\text{abs.},$$

$$t = 1617^{\circ}\text{C.},$$

計算時有一點未曾考慮 按氯化鈉之熔點為  $804^{\circ}\text{C.}$ , 在大氣壓力下之沸點為  $1440^{\circ}\text{C.}$ , 在  $1617^{\circ}\text{C.}$  之高溫時, 已超過其沸點。然因爆炸時壓力有  $100,000 \text{ Kg/cm}^2$  之大, 故氯化鈉不應揮發, 而應仍保液體狀態。在此假定下, 以爆發作用之迅速, 此高溫度究否能透入氯化鈉各小體之內部 殊成問題 因爆溫與熔點相差甚鉅, 似可假定在爆炸波經過之後, 此高溫度有直接透入氯化鈉小體內部之可能, 而增高

其溫度至熔點以上。(在爆炸波之後，換言之，即當壓力漸小時，一部分之氯化鈉勢必揮發。蓋凡屬液體必有一定之蒸汽壓也。因蒸發需要相當熱量，故能減低爆發生成物之溫度。因知火藥中加入氯化鈉，當爆炸波經過後，對於爆發生成物有冷卻之作用)。所有氯化鈉，因即熔化。由此觀之，全部爆熱量，並非全用在爆發生成物之溫度增高。一部分之熱量，須用以熔融氯化鈉。氯化鈉之熔融熱為 0.120 Kcal/g. 90 g. 之 NaCl 熔化時需熱量  $90 \times 0.124 = 23.6$  Kcal.，將此數字減去後所餘之熱量，始為用於增高溫度之熱量。因得

$$0.361 T = 682 - 24 = 658,$$

$$T = 1820 \text{ abs.},$$

$$t = 1547 \text{ C.}$$

上例熔融熱對於爆溫之影響，尚不為大。但在發生多量固體殘渣之火藥（如 chloratit 3），則其影響相當大。茲將火藥爆發時常生固體殘渣之熔融熱，列表如下，以備參考。

常用火藥爆發後易生鹽類之熔點，沸點及熔融熱表

物質名稱	化學式	熔點°C.	沸點 C.	熔 融 熱	
				Kcal/kg	Kcal/每克分子
1 氯化鉀	KCl	772	1415	89	6.4
2 氯化鈉	NaCl	804	1440	124	7.2
3 氯化鈣	Ca <sub>2</sub> Cl	774	—	55	6.1
4 碳酸鉀	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	891	—	(51)	(7.0)
5 碳酸鈉	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	822	—	(69)	(7.0)
6 碳酸鈣	CaCO <sub>3</sub>	1330 (壓力 1025 atm.)	—	(70)	(7.0)

表中碳酸鈣之熔點，係在 1025 atm. 高壓下測得。因壓力小時 CaCO<sub>3</sub>

將分解為  $\text{CaO}$  及  $\text{CO}_2$  故也。在爆炸波高壓之下碳酸鈣不至分解。同理，其他常壓下易分解之物質，如銨鹽類亦如之。對於未經實驗實測之熔融熱，姑取其值為 7 Kcal 每克分子。而用括弧括之，以示區別。

茲將前表所列火藥之爆溫，用上法——計算，列如下表。

火 藥 爆 溫 表

	火 藥 名 稱	爆溫 °C.		火 藥 名 稱	爆溫 °C.
1	黑 藥	2320	6	Chloratit B	3880
2	爆 炸 膠	4210	7	Wette-Detonit B	1550
3	一 號 猛 爆 藥	3600	8	Wetter-Salit A	1830
4	Ammongelatin I	2880	9	Wette-Nolait B	1670
5	Ammonit I	2460			

上表中有一事堪加注意：即最後三種火藥之爆溫皆甚低也。是三者皆係煤礦安全爆藥，其成分中皆含有鹽類；亦即爆溫較低之原因所在。所含鹽類並不參加化學變化。但因溫度升高，發生熔融，能吸收熱量，致使爆溫降低。凡煤礦安全爆藥，爆溫必低，庶不至引起沼氣與炭粉之爆發，以策安全。

理論爆溫與實際溫之爆比較 上表所示各種火藥之爆溫，雖經加以各種可能的修正，但其值仍覺太高。可解釋如下。吾人計算時所採用之物質比熱，皆係在數氣壓下測得。但當火藥爆發時之極瞬間，壓力高至  $100,000 \text{ Kg/cm}^2$ ，此時之氣體，受壓極大，其性質近似固體，因而其比熱亦必較一般為大。其次，火藥一部分之能，變為機械能消耗失去，必亦為降低溫度之一因子。已如前述。再次，即在以熱

能狀態放出之能，亦有一部分因傳導與輻射二原因而散給於鑽孔壁，此項熱之損失，以常裝藥量較小時為尤大。最後如前所述，當爆發生成物予其熱量於鑽孔壁或填塞物時，氣體生成物對外須做工作。總之，由上述諸原因，表中所列之火藥爆溫值，係最高之爆溫，係理論數，實際上必較此為低小也。

用計算法求得之爆溫，其不精確既如上述。因而有人試驗企圖用實驗法實測之。但迄今日，測驗火藥爆溫之實際方法，尚無所聞。換言之，即火藥爆溫尚無法舉行實測也。

### 爆壓(氣壓與炸壓)

**氣壓與炸壓** 爆壓可分為二種：即氣壓(gas pressure)與炸壓(detonation pressure)是也。裝藥之火藥，全部爆發後，所生爆發生成物對於爆發空間所呈之壓力，稱為氣壓。爆炸液正控制之火藥層上所生之壓力，稱為炸壓。氣壓之作用，以爆燃火藥為最易了解，尤以發射藥為最明顯。例如火砲膛內之發射藥爆發後，其所生氣壓，能將砲彈自砲身中推出，此時所呈壓力，即係氣壓。但高級炸藥則全不同。此時對於其容器所呈之破裂作用，即係炸壓。爆炸時緊隨爆炸波所生之高壓氣體，以龐大而急促之勢，換言之，即以巨大無比的打擊，作用於火藥容器之上，例如作用於鑽孔壁或炸彈殼是。由炸壓所破裂成之碎石或碎鐵，再經氣壓四向吹飛。然此並非謂氣壓單獨不能發生破裂作用。例如當高級炸藥自身所佔容積較其容器之容積為小時，此時炸藥勢力不能達於容器之壁。火藥庫爆發，情形即如此。蓋炸壓僅能及於火藥直接所靠近之屋壁，能呈破裂作用，其餘離火

藥稍遠之屋壁，只不過受氣壓之作用而已。

### (1) 氣 壓

計算氣壓，須知三事：即容器大小，爆溫，及爆發生成物之量是也。因所謂氣壓係指全部火藥完全爆發之瞬間所呈之壓力，故其爆溫亦必以前節所求得之爆溫為準。此外尚須假定爆發後容器之容積不生變化。爆發生成物之量，可由火藥量依照前數節所述之方法求之。依此諸種假定，造成氣壓，容積，溫度與氣體生成物之重量之關係方程式，即可計算火藥之氣壓。

最簡單之氣體特性方程式，係依據 Gay-Lussac 定律與 Boyle-Mariott 定律所演出，其式如次：

$$PV = GRT,$$

式中  $V$  為所生氣體佔據之容積， $P$  為壓力， $T$  為絕對溫度， $G$  為所生氣體之重量， $R$  為一常數，通稱曰氣體常數。  $R$  值僅隨氣體密度 (20°C., 760 mm.) 變化，對於同一氣體，其值為常數。

茲再假定，以  $G_0$  為 1 Kg. 火藥爆發後所生之氣體重量，以  $P_0$  為 760 mm. Hg. = 1.033 Kg/cm<sup>2</sup> 之壓力，以  $T_0$  為 20°C. = 293° abs.，並以  $V_0$  為該情況下氣體所佔容積之公升數。則此時之情況，乃為火藥爆發後，放冷，氣體膨脹後之情況，亦即前「各種火藥爆發生成物之成分」表所列之情況。吾人可書其特性方程式如下：

$$P_0V_0 = G_0RT_0.$$

即用前表中之數字代入上式，可得爆發生成物之  $R$  值。雖然，此計算固無必要，可由下述知之。今設  $G'$  為火藥  $G$  Kg. 之爆發生成物之重量， $V$  為火藥爆發後所佔容積之公升數， $T$  為爆溫之絕對溫度，



$P$  爲該情況下所呈之壓力，以  $\text{Kg/cm}^2$  計，即氣壓也。於前式中以  $G'$  代  $G$ ，得  $PV = G'RT$ ，用另式  $P_0V_0 = G_0RT_0$  除之，則得下式：

$$\frac{PV}{P_0V_0} = \frac{G'}{G_0} \cdot \frac{T}{T_0},$$

上式  $\frac{G'}{G_0}$  表示火藥爆發後所生氣體量之比。 $G'$  代表由  $G$  Kg. 火藥所生， $G_0$  代表由 1 Kg. 火藥所生。二者之關係，當然與原火藥量彼此之關係相等。換言之，即  $\frac{G'}{G_0}$  應等於  $\frac{G}{1} = G$ 。將此代入上式，則得

$$\frac{PV}{P_0V_0} = G \cdot \frac{T}{T_0}, \quad \text{即 } P = \frac{TP_0V_0}{T_0} \cdot \frac{G}{V}$$

由此式即可計算火藥之氣壓，茲詳述如下。

觀上式得知式右端之第一因子並不隨環境變化。對於所用火藥量，及氣體所佔容積，毫無關係，而只視火藥之爆發生成物重量與其爆溫爲轉移。故其值對於各種火藥，均爲常數，亦即火藥特數之一也。特稱曰火藥比壓 (specific force of explosive)，一般以  $f$  代之。

$$\text{即 } f = \frac{TP_0V_0}{T_0},$$

代入前述各數字，可變爲：

$$f = \frac{T \cdot 1.033V_0}{293} = 0.003525 TV_0 = 0.003525 V_0(273+t),$$

式中  $t$  爲火藥爆溫，以攝氏表示之，今以  $f$  值代入  $P = \frac{TP_0V_0}{T} \cdot \frac{G}{V}$

式得

$$P = f \cdot \frac{G}{V}.$$

於此式中，使  $G=1 \text{ Kg.}$ ， $V=1 \text{ l.}$ ，則得  $P=f$ ，由此，可知所謂  $f$  者，乃係一公斤之火藥，爆發後，其生成物佔據一公升容積時所呈之壓力是也。換言之，亦即火藥裝填比重為一時之最大壓力之謂也。因  $f$  係假定單位容積單位重量下之值，故得稱之為比壓。用此公式能求得各種火藥之比壓，其法甚易。例如  $1 \text{ Kg.}$  硝化甘油所生之氣體爆發生成物在  $20^\circ\text{C.}$  及  $760 \text{ mm.}$  時佔容積  $766 \text{ l.}$ ，又其爆溫為  $4320$ ；即  $V_0=766$ ， $T=4320$ 。代入前式得

$$f = 0.003525 \times 766 \times 4320$$

$$= 11660 \text{ At} \cdot \text{l} / \text{Kg}$$

茲將數種火藥之比壓列表如下：

火藥名稱	比壓 $f$ At.l/Kg	火藥名稱	比壓 $f$ At.l/Kg	火藥名稱	比壓 $f$ At.l/Kg
1 黑藥	2540	4 Ammon-gelatin 1	9170	7 Wetter-Detonit E	5300
2 爆炸膠	12620	5 Ammonitz 1	9400	8 Wetter-Salit A	5300
3 一號猛爆藥	8910	3 Chloratit 3	4080	9 Wetter-Nobelit E	3590

由前式  $P = f \cdot \frac{G}{V}$ ，得  $f = P \cdot \frac{V}{G}$ ，得知比壓之因次 (dimension)

為  $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\text{l}}{\text{Kg}}$ 。此式中因分子中之  $\text{Kg}$  代表力，而分母中之  $\text{Kg}$  係代表

質量，二者性質不同，不能互消。茲為免除誤會計，特將  $\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$  易為氣壓

(公制氣壓)，即  $1 \text{ 氣壓} = \frac{1 \text{ Kg}}{\text{cm}^2} = 735.5 \text{ mm. Hg.}$  故比壓之因次改為

$$\text{At} \cdot \frac{\text{l}}{\text{Kg}}$$

由火藥比壓之大小，對於各種火藥之威力，可得一比較概念。惜其中忽略爆速因子，未能十分正確，否則火藥之威力可表示各火藥

之理論能量也。法國人曾在煤礦中將火藥作實際試驗，用一定重量火藥所能炸得之煤量為根據，將其所得結果與由理論計算出之火藥比壓相比較，結果如下：

火藥比壓與其實際效力之比較

火 藥 名 稱	比 壓 Kg/cm <sup>2</sup>	比 數	實際效力之比較	差
爆炸膠	10500	100	100	+ 0
猛爆藥	7797	74	67	+ 7
Gelatine grisoutine(NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 70%)	7563	72	69	+ 3
Gri outine B(NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> 88%)	6285	60	53	+ 7
8%NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> +1%DNN	9016	86	65	+ 21
8%NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> +20%NC(GC)	7825	74	61	+ 13
黑 藥	2919	28	31	- 3

由式  $P=f \cdot \frac{G}{V}$  知火藥之氣壓除與其比壓成比例外，尚與  $\frac{G}{V}$  有關。換言之，即火藥之氣壓，尚與火藥重量成正比，而與爆發後氣體所佔容積成反比。如  $G, V$  二元不變，則火藥比壓之愈大者，其氣壓當亦愈高。

火藥爆發後，氣體所佔之容積  $V$ ，與未爆發前火藥本身所佔之容積  $v$  不同，應加注意。礦山爆破時，鑽孔之容積，相當於  $v$ ，亦即火藥本身所佔有之容積也。但如遇爆發後發生固體殘渣之火藥，則爆發後生成氣體所佔之容積，成為爆發前火藥所佔容積減去固體殘渣所佔之容積之差。因固體殘渣不論為固態抑為液態（爆發高溫下），終非氣體也。此時之  $V$ ，當然較  $v$  為小。欲求固體殘渣之容積，須知

其各殘渣之重量及比重，以比重除重量即得。固體殘渣之重量，前在「爆發生成物」一節中已有紀載，惟火藥常見之固體殘渣，在高溫時作液態之比重，尚未求得。現吾人所知者，只為固態固體之比重，故一般即用後者計算，其差誤諒亦不至太大。茲將固態固體之比重，列如下表。

	固 體 名 稱	化 學 式	比 重
1	硫化鉀	$\text{KS}_2$	1.80
2	硫酸鉀	$\text{K}_2\text{SO}_4$	2.67
3	硫代硫酸鉀	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$	2.23
4	硫氰酸鉀	$\text{KCNS}$	2.05
5	氯化鉀	$\text{KCl}$	1.989
6	氯化鈉	$\text{NaCl}$	2.17
7	碳酸鉀	$\text{K}_2\text{CO}_3$	2.29
8	碳酸鈉	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	2.5
9	碳酸鈣	$\text{CaCO}_3$	2.71
10	碳酸銨	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	1.6
11	氧化鈣	$\text{CaO}$	3.3
12	碳	$\text{C}$	2.2
13	硫黃	$\text{S}$	1.92

設以  $u$  代表火藥 1 Kg. 爆發後固體殘渣所佔之容積，則其所生氣體佔有之容積應為  $v-u$ ，如有  $G$  Kg. 火藥爆炸，則此容積應變為  $v-uG$ 。於前式  $P=f \cdot \frac{G}{V}$  中，以此值代替  $V$ ，得  $P=f \cdot \frac{G}{v-uG}$ 。當  $P$  值不大，即當火藥為量不多而其容積較大時，此式算出之結果與

實測之氣壓彼此尚能一致。但如  $P$  值愈大，則由式算出之值與實測之值，差誤愈大；即算出者恆較實測者為高。其原因係因氣體特性方程式  $PV = GRT$  根本不適用於如斯高壓之用故也。

Van der Waals 曾導出一氣體特性方程式，比較正確，應用範圍亦較廣。其基本原理，係因氣體分子本身必亦佔據一定容積，而非毫不占空間者，吾人可想像當氣體受壓縮時，其分子必彼此愈趨密接，壓力漸增，最後各分子將彼此緊接，而無空隙存留其間。此時當然不能再加壓縮，已無力能使其容積再行變小。此氣體本身所應占有之容積，稱為氣體之餘容 (co-volume)。Sarrau 氏謂氣體之餘容，等於  $0^{\circ}\text{C}$ . 及 760 mm. 時，該氣體所占容積之  $1/1000$ 。今以  $\alpha$  代表 1 Kg. 火藥所生氣體爆發生成物之餘容，則最後氣體所占容積為：

$$V = v - (\alpha + u)G,$$

代入前式，得

$$P = \frac{fG}{v - (\alpha + u)G},$$

用  $v$  除分子分母，得

$$P = \frac{f \cdot \frac{G}{v}}{1 - (\alpha + u) \cdot \frac{G}{v}}.$$

上式中  $\frac{G}{v}$  關係甚鉅，意即火藥重量與其所占容積之比。即所謂裝填比重 (loading density) 是也。通常以  $\Delta$  表示之，即

$$\Delta = \frac{G}{v},$$

代入前式，得

$$P = \frac{f \Delta}{1 - (\alpha + u) \Delta},$$

由此式知：氣壓  $P$  仍與比壓  $f$  成正比。此外又依裝填比重  $\Delta$ ，1 Kg.

火藥所生之氣體餘容，以及固體渣等為轉移。茲將數種火藥之值列如下表。

計算火藥氣壓用諸元表

火 藥 名 稱	$a$ l/Kg	$u$ l/Kg	$a+u$ l/Kg	$\frac{1}{a+u}$ Kg/	常用密度 $\rho$ , Kg/l	氣 壓 $p$ Kg/cm <sup>2</sup> $\Delta = \frac{2}{3} \rho$
1 黑藥	0.269	0.260	0.519	1.93	1.2	3480
2 爆炸膠	0.708	0.000	0.708	1.41	1.62	56800
3 一號猛爆藥	0.606	0.067	0.673	1.49	1.53	29000
4 Amn ongelatine 1	0.763	0.037	0.800	1.25	1.53	51600
5 Ammonite 1	0.906	0.000	0.906	1.10	1.1	20500
6 Chloratit 3	0.316	0.276	0.591	1.69	1.6	14400
7 Wetter-Detonit B	0.765	0.088	0.853	1.17	1.05	9200
8 Wetter-Falit A	0.662	0.138	0.800	1.25	1.1	9400
9 Wetter-No elit B	0.501	0.187	0.688	1.45	1.7	19000

由表知各種火藥之爆發生成物，其餘容絕非不足道，未可等閒視之。除黑藥外，其他諸種火藥之餘容概較各該固體殘渣之容積為多，而且頗多。（實則即黑藥之餘容，亦幾與固體殘渣之容積相等）。

表中最後一項，表示火藥之氣壓。乃係裝填比重為  $\frac{2}{3}\rho$ ，即火藥以  $\rho$  之比重量裝填於鑽孔內，而鑽孔之容積係為火藥柱容積之  $1\frac{1}{2}$  倍。實用時，以表中所示之密度將火藥藥包緊密裝入鑽孔，並使填塞物亦緊密接於藥包上端，但鑽孔直徑須為藥包直徑之 1.225 倍。例如直徑 30 mm. 之藥包放入於直徑 37 mm. 之鑽孔內，其裝填比重即係  $\frac{2}{3}\rho$ ，此種情況於礦山實際爆破時多採用之。

式  $P = \frac{f \Delta}{1 - (\alpha + u) \Delta}$  雖遠較式  $P = f \cdot \frac{G}{V}$  為改良，但仍不適用於極度之高壓力，換言之，即不適用於裝填比重太太之情況。於該式中，如  $\Delta$  甚大，以至於式右端之分母變為零時，則  $P$  之值將變為無窮大。此所以  $\Delta$  不能太大也。如然，則

$$(\alpha + u) \Delta = 1,$$

$$\Delta = \frac{1}{\alpha + u}.$$

$\frac{1}{\alpha + u}$  之值見上表第四項。檢查此表，可發覺有數種火藥，當其裝填比重  $\Delta$  尚在其常用密度  $\beta$  以下時，已能發生無窮大的氣壓  $P$ 。例如第 2, 3, 4, 9 四種火藥，其  $\rho$  之值大於  $\frac{1}{\alpha + u}$ ，即屬此類。但此事不至實現，事實上為不可能。其原因經由 Nernst 氏闡明，謂極高度壓力下之氣體餘容  $\alpha$ ，並非一定不變，而係逐漸減小。雖然，前式  $P = \frac{f \Delta}{1 - (\alpha + u) \Delta}$  固仍有其相當價值，有時雖高至數千氣壓，求得之值，與實測之值仍能完全一致。有時其值雖不十分正確，但仍可據以為比較各種火藥氣壓之大小也。

由計算求得之火藥氣壓，僅適用於爆發時爆發容積不變之情況。反之，如爆發時鑽孔壁擴大，或填塞物吹散，則實際表現之壓力當較由計算所得者為小。此外，又因計算出之爆溫，乃係由理論算出之最高值，較實際爆溫為高，故由此算出之氣壓，當然亦必大於實際所表現之氣壓。

設如使較少量火藥爆發於較大的容器內，則計算氣壓，可大簡

便。因此時可將氣體餘容與固體殘渣之影響忽略，而無大礙。故直接採用前之簡單式  $P=f \cdot \frac{G}{V}$ ，式中  $G$  為火藥量之公斤數， $V$  為容器體積之公升數，例如某火藥庫之容積為  $8 \text{ m}^3$ ，內貯 Wetter-Detonit B 200 Kg.，今如使該火藥爆發，試計算火藥庫牆壁所受之壓力。按 Wetter-Detonit B 之比壓為 5300 at./Kg.

$$\therefore P = 5300 \cdot \frac{200}{8000} = 132.5 \text{ Kg/cm}^2.$$

又如改用較精確公式  $P = \frac{f \Delta}{1 - (\alpha + u) \Delta}$ ，則得  $P = 135 \text{ Kg/cm}^2$ 。

## (2) 炸 壓

火藥炸壓之計算 尚無法可行。即欲求其近似值，亦不可能。因在爆炸之極端高壓高溫下，吾人尚未能找出其特性方程式也。亦無法在爆炸剎那間測氣體所占容積之大小。依照爆炸時爆發生成物原理，其密度較火藥自身之密度為大一點推想，只知爆發生成物在爆炸剎那間所占之容積，應較火藥自身原占之容積為小。

依據爆炸理論，似可用下式表示炸壓。即

$$p = \rho DW.$$

式中  $\rho$  為火藥之密度， $D$  為火藥之爆速度， $W$  為爆發生成物之進行速度。用此值計算炸壓，因  $W$  值之大小，尚不可知，且又無良好方法進行測量。是故困難尚多。但吾人可用此式求得火藥炸壓之最大值。蓋  $W$  值雖不確知，而其必較  $D$  為小，固無疑義。今苟以  $D$  代  $W$  而應用之，所得結果當然為其最大值也，即  $p = \rho D^2$  是也。例如 dynamite I 之密度為 1.53，爆速為 6500 m/sec，則其最大炸壓，即



其炸壓之最高極限應為：

$$p = (0.00153 \text{ Kg/cm}^3) \times (65000 \text{ cm/sec})^2 \div 981 \text{ cm/sec}^2 \\ = 660,000 \text{ Kg/cm}^2,$$

上式之所以用  $981 \text{ cm/sec}^2$  除者，因密度  $\rho$  單位為質量的公斤 而壓力單位則為力之公斤也。如此所得之炸壓，當然為數太高。dynamite 真正的炸壓 只不過該值之六分之一，即不過  $110,000 \text{ Kg/cm}^2$ 。蓋由其他種種研究，吾人知火藥爆發生成物之進行速度約為火藥爆速之  $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{7}$  故也，因理論繁雜，茲不詳述。今取其平均數，即  $W = \frac{1}{6} D$ ，而代入前式，則得

$$p = \frac{1}{6} \rho D^2$$

茲將數種火藥之炸壓，用上式求出，列表如下。

火藥爆炸力之有關數字

火 藥 名 稱	密度 $\rho$ Kg/l	爆速 $D$ m/sec	炸壓概數 $p^{(1)}$ Kg/cm <sup>2</sup>	Kast氏 猛度值 $L^{(2)}$	$\frac{p}{L}$	比壓 $f$ at./Kg	鉛磚試驗 A C.C.	$\frac{f}{A}$
1. 黑藥	1.2	3 (max.) (40)	—	(3) (1.22)	—	2540	189	23.5
2. 爆炸膠	1.63	7800	168000	52.9	1100	12020	520	23.2
3. 一號猛藥	1.53	6500	119000	33.6	1240	8910	397	22.4
4. Ammongelatine 1	1.53	6150	93000	83.2	1140	9170	349	26.2
5. Ammonite 1	1.1	4820	44000	50.1	880	9400	380	24.7
6. Chloratit 3	1.6	3350	30500	23.7	1150	4980	188	26.4
7. Wetter-Detonit B	1.05	3100	17100	17.2	993	5300	218	24.8
8. Wetter-Salit A	1.1	3300	20400	19.2	1050	5300	215	24.6
9. Wetter-Nobelit B	1.7	3500	22200	35.4	2500	3190	181	20.4

註：(1) 由式  $p = \frac{1}{2} \rho D^2$  求得。

(2) 由 Kast 式  $L = \rho f D$  (見下) 求得。其中  $\rho$  之單位為 Kg/l,  $f$  之單位為 at·l/Kg,  $D$  之單位為 m/sec, 求得後再除以  $10^6$ 。

### 3) 爆 燃

表中有數種火藥，不知其爆速確數，只取估計數。將此表所示炸壓與前表所示之比壓，以及前表所示之氣壓相比較，可知就中當以炸壓為最大，但炸壓雖高，而其為時則極短，僅在爆炸波本身始具有之。反之，火藥之氣壓，只要所生熱量不因傳導與輻射消失，則可保持甚久，直至密閉器裂開或爆發生成物逸去為止，始漸減小。

吾人現甚需要一種能以測量爆發生成物進行速度之方法。如此，則可求出正確之炸壓，同時又可求出爆炸波中爆發生成物受壓縮之情形。由爆炸理論誘導出之受壓公式為  $1 - \frac{W}{D}$ 。假定爆發生成物進行速度與爆速之比為  $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{7}$ ，則爆炸波中之爆發生成物應占容積，當為原火藥所占容積之  $\frac{4}{5} \sim \frac{6}{7}$ 。反之，吾人試測火藥之炸壓，亦可由式  $p = \rho DW$  以計算  $W$  之值。然直接測量火藥之炸壓迄今事實上仍不可能，因尚無任何材料堪以耐受炸壓之高壓故也。

直接測量炸壓，雖不可能，但吾人可採用其近似測法之銅柱壓縮法以得其比例數。所用儀器名曰猛度儀 (brisance meter)。設吾人能設法求得該比例之係數，則可就銅柱壓縮之程度計算火藥之炸壓。但此係數究為何值迄今未明。幸為比較起見，只就其相互的比較值即可得其概念，固無需鑿鑿於其絕對值也。銅柱壓縮程度大小，即

表示火藥猛度之比較值。Kast 氏用猛度值 (brisance value) 代表火藥猛度之大小，此猛度值與由猛度儀求得之銅柱壓縮量適成正比。據此推測，猛度值與炸壓亦必成正比。猛度值之計算，其法甚簡。Kast 式為：

$$L = \rho f D,$$

式中  $\rho$  為火藥密度， $f$  為火藥比壓， $D$  為爆速。該式由來，姑從略。

用上式算出之猛度值，見上表。同時已將由式  $p = \frac{1}{2} \rho D^2$  算出之炸壓與猛度值之比，即  $\frac{p}{L}$  亦列表上。因  $p$  值係由近似式求出，其值當然不能十分正確。但除 Wetter-Nobelit B 外，對於其餘諸火藥， $\frac{p}{L}$  值幾皆等於一常數，其平均值為 1080。Wetter-Nobelit B 之所以例外者，因其含食鹽多至 40%，僅 60% 為爆發性成分也。又除含非活性成分甚高之火藥外，對於一般火藥以 1100 乘其猛度值  $L$ ，所得乘積，可表示各該火藥炸壓之近似數。即  $p = 1100 \cdot L$ 。

前式  $p = \rho DW$  在理論上完全不差。由此式知：火藥之密度愈大，爆速愈高，則其炸壓亦愈大。換言之，即其激動力愈強，爆炸力亦愈猛。又因前式  $L = \rho f D$  與炸壓成正比，故知火藥之比壓  $f$  愈大，換言之，即火藥生成氣體愈多，爆溫愈高者，其爆炸力亦愈猛烈。

## 爆焰(爆焰時間及爆焰長度)

火藥爆發之刹那，發生火焰，是為火藥之爆焰。各種火藥之爆焰，在同等條件下(例如裝藥量等)，有時間長短，火焰大小，以及光亮明暗之別。爆焰所能維持時間之久暫，稱曰爆焰時間。爆焰之縱長，稱曰爆焰長度。

爆焰之影響，工用火藥較軍用火藥為甚。工用者尤以用於煤礦時為最重要。是故一般提起煤礦爆藥之適用與否，必考察其爆焰時間，與爆焰長度，以為決定之基本條件，因其能左右煤礦安全也。吾人知煤礦炭坑中之空氣，常含有可燃性氣體，俗名沼氣，或稱坑氣，其主要成分，即化學上之甲烷。此外，並時有細粉狀之炭粉懸浮於空氣中。甲烷與空氣之混合物，能因火焰而爆發，為化學中周知之事實。今用火藥開採煤礦，同時又要礦中之爆發性氣體「坑氣」不生危險，則對於火藥之性質，當然必予以嚴格限制，以策安全。軍用火藥中，在口徑稍大之火砲，爆發時常有砲口焰與砲後焰發生。二者俱非吾人所願，然苦無適宜方法制止。砲口焰大之火藥，發砲時易為敵人發覺砲位所在，尤以夜晚為最。發生砲後焰之火藥，易使砲手灼傷，且有引起存置於砲後之彈藥爆發之危險，蓋皆不利也。

爆焰時間與爆焰長度，俱可由實驗測得。取定量火藥（通常 100 g.），納於直立小白砲內。於砲前方一定距離處（通常 6 m.）裝置迴轉速度一定之高速迴轉照像底片，砲與底片間隔以中留縫隙之擋板。於夜晚時，將火藥爆發，則爆焰之影，經擋板之縫隙而攝於迴轉底片上。因底片迴轉速度為一定，故於照相上得以火焰之寬，求出爆焰時間；並得以爆焰之高，表示爆焰長度。

爆焰依其情況不同，得別為下述三類：

(1) 爆焰時間長而爆焰長度大。屬此類者，多為性極猛烈之火藥，爆溫皆甚高。如矽土猛爆藥，爆炸膠，膠質猛爆藥，及「阿莽拿」(ammonal) 等是。此類火藥，不適於煤礦之用。

(2) 爆焰時間短而爆焰長度小。主含硝酸銨之火藥，以及一

切經各國政府特許之煤礦安全爆藥皆屬之，其爆溫皆較低，如 ammoncarbonit, Wetter-Detonit B 等是。此類火藥爆焰時間概在 0.0002 秒以下，專供煤礦使用。

(3) 發生一次及二次之兩度爆焰者。此類火藥，其原來之爆焰，即一次爆焰，本不甚大，為時亦不久。但在一次爆焰消失之後，在其上方，能發生爆焰時間甚久之二次爆焰。二次爆焰生成之原因，係由於火藥爆溫高，及其爆發生成物中含有可燃性氣體，因而得與空中之氧在高溫下化合而生爆發。例如苦味酸之爆焰時間，本只 0.00001 秒，但一次爆焰發生後 0.002 秒鐘，又有二次爆焰發生，此二次爆焰之時間，竟達 0.01 秒之久。如此長久爆焰時間之火藥，其不適於煤礦之用，理由甚明。故凡苦味酸，梯恩梯，強棉藥等，皆不可用於煤礦，以免危險。

總之，欲求火藥能適用於煤礦，不至引起災害，則其爆焰時間必甚短促，其爆焰長度必甚小。欲達此目的，端在適宜配合火藥之成分，使其爆焰短而促，使其含過剩之氧，及調節裝藥量等等。

炸藥中除煤礦爆藥外，其餘各種用途之炸藥，不論軍用或工用，爆焰長短久暫，皆無關係，並無考慮價值。

發射藥則不然，欲求其品質優良，必使砲口焰極力減小，砲後焰盡量避免。按砲口焰又可細分為二種，一如前述苦味酸之情形同，即一次爆焰與二次爆焰是也。一次焰為火藥本身爆發時所生之火焰，衝出砲口而形成砲口焰，二次焰係爆發生成物中可燃性氣體出砲口後又與空中之氧化合，發生燃燒所致。普通為使其減小，須設法降低火藥之爆溫，增加火藥成分中之氧。故新式無烟藥中多含有添加

劑如碳酸氫鈉，脲素，硝基胍（nitroguanidin）等消焰劑，以謀補救。至於砲後焰，則可藉壓縮空氣之吹散以減少之。

## 爆炸力與火藥成分之關係

火藥本為不安定平衡狀態下之固體或液體，一經輕微之擾亂作用，平衡破壞，發生化學變化，即起爆發。由此可知，凡屬火藥，其成分中必含有不安定的分子結團。此種分子結團，其各原子彼此結合甚為脆弱，稍受刺激，即起分解。

實用火藥中所含之不安定分子結團，最常見者有  $N=O$ ， $O-Cl$ ， $N=N$ ，及  $N=C$  四種。換言之，即氮氧原子團，氧氯原子團，重氮原子團，及氮碳原子團是也。

氮氧原子團所組成之火藥，為火藥中之最重要而最多者。硝酸鹽混合物，硝酸酯類，硝基化合物等火藥類，均屬此類。最普通之實例如黑藥，硝酸銨火藥，硝化棉，硝化甘油，無煙藥，猛爆藥，梯恩梯，特出兒，以及苦味酸等軍用工用火藥，皆係氮氧原子團（ $N=O$ ）之火藥。可大別為硝酸鹽或硝酸酯（ $-ONO_2$ ）與硝基化合物（ $NO_2$ ）二大類。歷來所用一切火藥，要以氮氧原子團者為最多，佔總數百分之九十以上。

次為氧氯原子團（ $O-Cl$ ）。氯酸鹽火藥（ $-O-ClO_2$ ）與過氯酸鹽火藥（ $-O-ClO_3$ ）屬之。此類火藥以氯酸鉀，氯酸鈉，過氯酸鉀，過氯酸鈉，及過氯酸銨為主要成分。如 cheddite, rack-a-rock, perammon 等為其實例。使用數量，較氮氧原子團火藥為少。但仍不失為重要之火藥類。

第三種爲重氮原子團 ( $N=N$ )。按重氮化合物爲有機物中之結合最弱者，最易分解，而形成爆發。惜因其太易爆發，感度太敏，殊欠安全。只可少量用爲起爆發，最普通之實例爲氮化鉛 ( $PbN_2$ ) 及重氮苯氯酸鹽 (diazobenzeneperchlorate) 二種。

最後一種爲氮碳原子團 ( $N=C$ )。此種分子結合，亦極易分解。感度尤敏，只可用爲起爆藥，不能用爲多量之主裝炸藥，最普通之實例爲雷汞 ( $Hg(ONC)_2$ )。

後二種原子團之火藥，用量雖不多，但其地位則極重要，大多數之氮氧原子團火藥與氧氮原子團火藥，皆須借重於重氮原子團火藥或氮碳原子團火藥以誘起爆發，始有實用價值。

火藥組織中所含之不安定原子團，爲數愈多者，其爆炸力亦愈大，例如強棉較弱棉，梯恩梯(即三硝基甲苯)較二硝基甲苯，爆炸力均較大。

如係混合火藥，則所含爆發性之成分愈多，而爆發性成分之爆炸力愈大者，該火藥之爆炸力亦愈強。反之，如其所含爆發性之成分愈少，而爆發性成分之爆炸力愈小者，該火藥之爆炸力亦愈弱。

### 第三章 黑藥

黑藥爲十九世紀中葉前唯一已知之火藥。即至今日，除軍用火藥外，仍以黑藥爲最廣用之火藥。軍事方面，黑藥只用作子母彈炸藥、導火索裝藥，及無烟藥之傳火藥等。因其價廉，獵槍藥仍多用之。一般爆破工程，爲求經濟，兼以黑藥不需雷管起爆，故仍多用之。英國於1911年所消耗之黑藥，佔全部爆破藥之55%。

黑藥之爆炸威力，遠較近代高級炸藥爲小。用特氏鉛壩試驗 (Trauzl test) 比較，黑藥之數字爲108，而一號猛爆藥爲520，爆炸膠則爲650。但黑藥亦有其優點。其猛性較小，對於爆破欲得大碎塊之軟質物質，最爲適宜。

英國所製黑藥，概由硝酸鉀，硫黃與木炭混合製成。但在美德二國，多以價格較廉之硝酸鈉代替硝酸鉀製成黑藥，用量甚多。用硝酸鈉製成之黑藥較用硝酸鉀製者，價較廉而威力較大。惟其吸濕性大，爲一大缺點。歐戰時英國不復能自德國購買鉀鹽，遂亦改用硝酸鈉。

製造黑藥須慎重選擇原料。所用硝石，須接近化學的純淨，對於石蕊試藥呈中性，不可含氯酸鹽與過氯酸鹽，尤以氯酸鹽爲大忌，氯化物含量須極微，以NaCl計算，不可多於0.01%，否則吸濕性變大。

硫黃中不可含不揮發性物質，亦不得雜有硫酸。商品硫黃華一



般多少皆帶酸性，故製黑藥宜採用棒狀硫而自行壓碎之。木炭質地良否，影響黑藥品質甚大。各黑藥廠多自行製造。英國最常用之木料有赤楊及山茱萸。又榛，柳，水松，麻桿，以及白楊等亦均可用。德國製之褐色藥，為火砲用黑色發射藥中之性質最佳者，係由麥桿燒成木炭配合製成。此種藥現早為新式無烟藥所代替矣。

凡製黑藥之木料，伐於春日。放置三月至三年之久，使木汁盡量揮發。然後剝去樹皮，鋸成木塊，置鐵筒中炭化之。

炭化爐形式有多種，最常用者為圓筒狀，筒長四呎六吋，直徑二呎四吋。裝入木塊後，封閉筒蓋，只留一出氣孔備乾餾時揮發物逸去之用。移筒安放爐內，在  $400^{\circ}$ — $500^{\circ}$ C. 之溫度，舉行炭化四五小時。乾餾所得之木醋酸，收集之可供提鍊醋酸及丙酮之用。然一般因其為量不豐，多將其通至爐內作為燃料之用。炭化畢，移筒至爐外，嚴密封閉出氣孔，使隔絕空氣，靜置放冷。內容物未放冷前，切不可放進空氣。即使已經放冷，亦須徐徐逐漸放入空氣。蓋因新製木炭能吸收大量空氣，且有發火之危險也。為此之故，乾餾罐雖有移動式與固定式二種可用，但一般以使用移動式者為便利。

黑藥之組成，依其品級不同而異。法國軍用黑藥自 1598 年採用以後，直至改用近代無烟藥止，其組成始終未變，乃係依據最出名之「116」(as, as, six, 即 a, a, six) 配方所製成。即硫黃一分，木炭一分，與硝石六分是也，亦即硝石 75%，硫黃與木炭各為 12.5% 之比例也。下表露布各國所造較新黑藥之成分。請注意藥之品級有多種。

國 別	獵用黑藥			爆破用黑藥		
	KNO <sub>3</sub>	S	C	KNO <sub>3</sub>	S	C
英	75	10	15	3-75	10-20	15
普通	—	—	—	62	20	18
注	78	10	12	40	30	30
弱	—	—	—	72	13	15
強	78	10	12	65-70	14-20	16
節	78	9.4	14.6	60.2	18.4	21.4
與						

製造黑藥，先將各原料分別磨碎。磨之形式不一。新製木炭，至少放置半月後，始可壓磨。否則因吸收氧氣而有發火危險。壓磨硫黃，須特別注意其荷電性，務須事先將磨用導電線接通大地。又硫黃粉塵，有爆發可能，每須加注意。木炭粉亦如之。

新式黑藥工廠，製造手續普通分為七段。如製模造火藥，則可分為八段。製造所以力求其嚴密者，主要目的在求得最勻緻之火藥，其各成分不至分離，藥粒不至破碎。

**預和** 此可於內有硬木球之紫銅球磨或附有攪拌器八具之迴轉鼓桶中行之。鼓桶與軸，迴轉方向相反。桶之迴轉速度，每分鐘為60轉，軸之速度則為120轉。只需數分鐘之久，即可混和均勻。是為「毛藥」(green charge)，傾出後，過篩，送往壓和房，

**壓和** 往昔用舂臼行之。即至今日，陸上小規模工廠仍有使用之者。然大部分已迅為輪研機 (edge runner) 所代替。輪研機由石輪與石盤，或鐵輪與鐵盤或硬木盤所構成。因石與鐵相遇能生火花，故二者不可連合使用。輪重每個約4-5噸。二輪距中心軸之距離互異，以使其路徑不同。各輪均附鏟子一個，以防止藥之粘着輪

上。又附有磷黃銅 (phosphor bronze) 製或硬木製之犁一個，以移藥輪下。上等輪研機之構造，其輪子並不接觸盤面，而僅保持相當距離。每個輪子須能單獨上下活動，以備萬一輪下遇有過於堅實之硬塊時，不至發生過度摩擦(圖 2 及圖 3)。在德國凡輪與底盤均係鐵

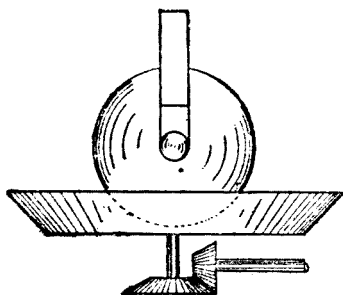


圖 2 黑藥壓和機

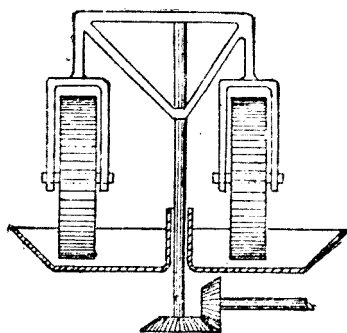


圖 3 黑藥壓和機

製者，則此條件必須滿足，不容忽略。每次壓和量為 50—80 磅，約需 3—8 小時，視藥之種類不同而異。研磨時藥中須不時注加由烘藥房得來之蒸餾水，使其水分常保持 3—6% 之間。壓和畢，取出藥餅，用手工約略打碎，即可供緊壓之用。最後如有粘着於機上之堅硬藥體，必須先用水充分潤濕後，始可用木器除去之。此項壓和工程，帶有危險性。英國各廠均備有特別保險裝置。該項裝置係在各機上部裝設水櫃，連以大木板一塊，當發生爆發災害時，爆波推動木板，則水櫃中之全部水量下傾於機中。在同一室中，各水櫃皆彼此相連接。如是則任何一個水櫃發動，所有水櫃均同時作用。通常每室裝六機，各機皆用堅固石牆彼此分離。具此設備，設如任何一機發生爆發，所生爆波推動木板，打翻室內所有水櫃，於是其他機為所波及之危險得以避免。

**緊壓** 此工作用水壓機行之，每次可壓 1000 磅，工作法如下：將銅板或硬橡皮板放平，板之四周圍以薄木框，框深高於板厚一時。將欲施緊壓之火藥滿裝盤內。刮平藥面使與木框邊緣等高，次取第二板加諸第一板之上，板上亦同樣圍以木框，同樣滿裝火藥。如是逐層增添，至所有之板全數加畢為止。普通有板 20—30 塊，板大小各廠不同，然一般用者多為二呎四吋長又一呎八吋寬。於是盡去其框，而將此所有藥板，推入具有向上移動之活塞之水壓機中（圖 4）。所施壓力，約為 400 磅平方吋，但僅憑壓力表不若測量活塞之上移距離為可靠。壓力之施加，務須徐緩，約需二小時之久。加壓畢，將板逐層取下，將如是所得藥餅之四邊，各切去約 1 吋，將所得藥頭另行貯存。蓋因四周之藥，未曾接受全部壓力故也。將藥頭重施壓和，再行緊壓。至於主要藥餅，則送至造粒機施行造粒。

緊壓工作相當危險，因每次藥量頗多，萬一發生爆發，災害甚大。為求工作人員安全計，所有一切機械管理諸工作，概在另一室中施行。該室與緊壓室隔以堅固牆壁，壁上設有適宜裝置，俾工作者可不入緊壓室而得觀測活塞之移動情形。

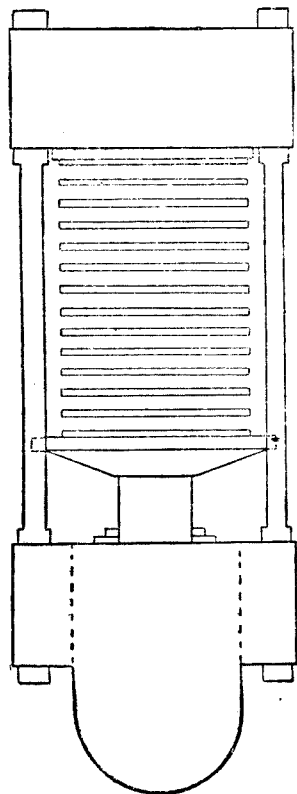


圖 4 黑藥緊壓機

英國多使用硬橡皮板而不用銅板，因前者較後者不易變形，且其傳播壓力亦較均勻也。但他方面硬橡皮板有易於荷電之缺點。古特曼氏 (Guttmaun) 曾記載有某次曾因此故發生猛烈爆發災害。其時一工人曾目覩有長約四吋之火花，自其手傳至緊壓機云。故凡黑藥緊壓機，均須妥慎接通大地以散電荷。

**造粒** 此工作目的在將由緊壓機壓成之藥餅，使經過三對或三對以上之帶齒輥子，使其破碎為適宜大小之藥粒。輥子用砲銅 (gun metal) 製成，每對中之二個輥子，相向迴轉。各對輥子之間，裝有砲銅絲篩，將藥粒篩分為三種大小。藥粒之過大者，前行運赴下對輥子；大小適宜者，收集之備另行加工；至於為粒過小者，經收集後重行壓和而重付緊壓。造粒機之構造，如圖 5 所示。輥子之軸承配有彈簧。備萬一遇有過於堅硬之藥餅時，輥子間之距離得以擴張 (圖 6)。用山菜莢木炭製成之黑藥，發生多量粉塵，一般均加篩一次，是謂「除粉」 (dusting)。

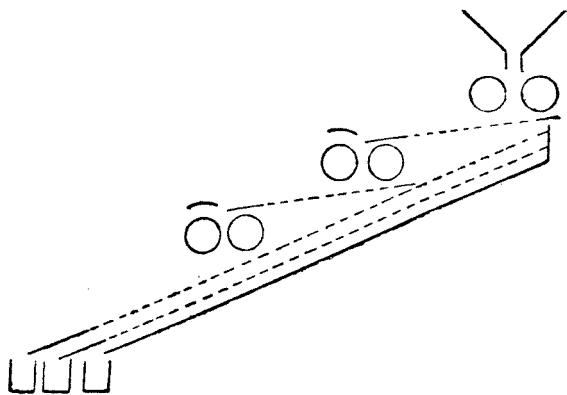


圖 5 造 粒 機

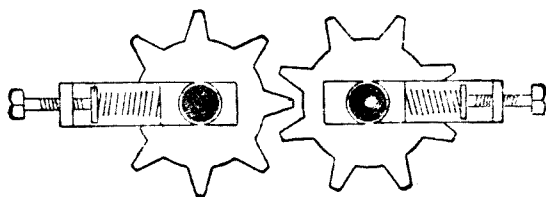


圖 6 造粒機之視子(表示彈簧軸承)

**加光** 此工程於木製迴轉鼓桶中舉行。其目的在使藥粒圓滑，以改善其外觀。如製緩燃黑藥及爆破用黑藥，一般尚須酌加少量之石墨粉。

**烘乾** 平鋪黑藥於木框帆布底之藥盤內，所鋪藥層須薄。以熱水管加熱空氣，再送熱空氣至烘乾室，室內溫度保持  $40^{\circ}\text{C}$ 。

**勻和** 混和數批黑藥，使其品質均勻齊整。

**成形** 無烟藥未發明前，帶來福線大砲亦使用適宜之緩燃黑藥，此種黑藥係將勻和後所得之火藥，加工壓成骰子狀或具一個至八個穿孔之多角體。德國式褐色砲藥，因甚易充滿模子，尤適於製造成形藥之用。藥粒上之穿孔，能使藥之燃燒速率勻靜。現今此種成形藥已不復使用，只製成藥包供爆破之用而已。製造爆破用藥包，其法甚簡。量取一定分量之藥倒入模子內，以上下夾攻之二個活塞壓縮之。機械式壓機或水壓機均可用。下方活塞上裝有中心桿。當活塞上移時，中心桿壓入藥柱中，形成穿孔，以備通入導火索之藥。

**硝酸鈉黑藥** 以價格較廉之硝酸鈉代替黑藥中之硝酸鉀所製成之鈉黑藥，在美國銷用甚廣。此種黑藥，威力略大。然其所以盛行，主要原因在於價格低廉。其最大缺點為吸濕性大。其製法與一般

黑藥同。平均成分爲：

硝酸鈉	74
硫黃	10
炭	16

美國每年銷耗鈉黑藥幾及一萬萬磅(50,000小噸)。歐戰前英國本不採用，但戰爭既起，因鉀硝來源斷絕，遂不得不改變黑藥定義，以求能包括鈉黑藥在內。

爆硝藥 德國曾大量採用一種鈉黑藥，成分所差不多，名曰「爆硝藥」(Sprengsalpeter)。其成分爲：

硝酸鈉	75
褐煤	15
硫黃	10

一般意見，認爲爆硝藥較普通黑藥爲安全。在德國可無限制的裝鐵道貨車運輸。

「包并尼忒」(boblinite) 爲黑藥之一種。乃英國採煤用火藥中之最廣用者。此火藥對於 Rotherham test 雖不及格，但在某種條件下，自1914年1月1日起特准使用五年。嗣經1918年9月18日議會通過，將其使用期限延長至1920年12月31日止。其成分據1913年9月1日煤礦爆藥令中規定如下：

成 分	第 一 種		第 二 種	
	最多	最少	最多	最少
硝酸鉀	65	62	66	63
木炭	19.5	17	20.5	18.5
硫黃	2.5	1.5	2.5	1.5
硫酸鉀	17	13	--	--
硫酸銅	--	--	9	7
粘土 玉蜀黍澱粉	--	--	3.5	2.5
石臘	--	--	8	--
水分	2.5	--	--	--

將此火藥用模子壓成小粒狀。每小粒之表面皆覆以石臘，並包以棕色紙。第一種「包并尼忒」之密度，不可超過 1.42，第二種者不可超過 1.48。每個鑽孔之裝藥量，並無限制，但不得用雷管起爆。

**安定性等** 黑藥一般視為安全之火藥。加熱至  $270^{\circ}$ — $300^{\circ}$  C. 則發火。取藥夾置於二銅面之間，以二公斤重錘自 70—100 cm. 之高處墮擊之，則爆發。遇水則完全失效。已經受潮之黑藥，縱經烘乾，亦不復能達其先前之藥力。蓋因水分溶解一部分硝石，乾後硝石析出，影響於火藥之勻緻性故也。爆發後，爆發生成物之 44% 為氣體，56% 為固體。氣體生成物主為氮、二氧化碳、一氧化碳，及少量之氫、甲烷，與硫化氫。固體生成物主為鉀之碳酸鹽與硫酸鹽以及未經燃燒之硫黃與微量之硫化鉀、硫氟化鉀及硝酸鉀。

每公斤重之黑藥，發生永久性氣體量，計算成標準溫度與氣壓狀況下為 250—300 c.c.，爆熱量為 500—700 Kcal.，其爆溫大概約為  $2700^{\circ}$  C.。

## 文 獻

Col. Hime, "Gunpowder and Ammunition," London, 1904. 此書敘述黑藥之歷史最為詳盡。

關於木炭與硫黃之製法，下列二書載有詳細敘述：R. Escales, "Schwarzpulver und Sprengsalpeter," Leipzig, 1904; 又 O. Guttmann, "Manufacture of Explosives," London, 1895.

關於黑藥之爆發生成物請參閱下列文獻：——



---

A., 102, 325; 109, 53; 265, 257.

Trans. Roy. Soc., 1875, 49.

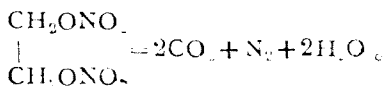
以往製造黑藥曾發生多次災害，其著者見下列各「特別報告書」：

S.R., 160, 163, 177, 179, 181, 189, 190, 202。

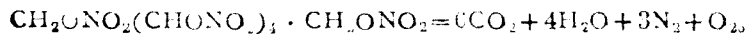
## 第四章 化合火藥

適於大量採用之化合火藥，為數不多。其條件為物理性良好，安定性大，製造便宜。迄至今日，除用於雷管及火帽之雷汞與氮化鉛外，合乎工業要求之化合火藥，只有硝酸酯與芳香族硝基化合物二類，硝酸酯中，低級醇類揮發性太大；高級者價格既高，又含氧不足，均不能用，多元醇中，以三硝酸甘油應用最廣。因甘油價格尚廉，其三硝酸化合物製造容易，亦不溶於水，殘酸又易於除去故也。對於特種用途，亦有用四硝酸二甘油及二硝酸氨基甘油者。法國曾倡議用二硝酸乙二醇，並稱乙二醇可由乙炔合成，價格低廉，謂可與甘油相競爭。酒石酸可硝化為二硝酸酯，惜其太不安定，不能用為火藥。

其他之多元醇，皆因價昂，故其硝酸酯不能大量採用。僅六硝酸甘露蜜醇尚有人倡用之。設如此等多元醇能以經濟方法製得，則由其含氮氧基之碳原子數目之多，有效氧增加，則其硝酸酯必將成為最有價值之火藥。例如二硝酸乙二醇不含有有效氧——



但三硝酸甘油則含有有效氧 2.5%，又六硝酸甘露蜜醇含 7.1%



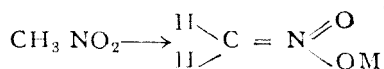
糖類可製成硝酸酯，葡萄糖與甘蔗糖之硝酸酯，已有人試用過。但糖類硝酸酯皆易溶於水，收濕性大，且性極敏感，故難於採用。多羥環己烷 (polyhydric cyclohexanol) 亦可製成硝酸酯，例如六硝環己烷 (inosite) 可硝化為六硝酸酯。但六羥環己烷及其衍生物在今日不過化學上之奇蹟而已，尙未能實用也。

脂肪族羥基化合物中之分子量不明者，以纖維素與澱粉二物為最著。二者俱能生成硝酸脂。其中尤以硝酸纖維應用最廣，(強棉，弱棉)，一般以棉為原料，但亦可使用木纖維。澱粉在硝化上與安定上困難甚多，故迄至今日，使用仍受限制。

脂肪族化合物之硝基化合物，苟製造便利，原本未嘗不可使用。例如四硝基甲烷 (tetranitromethane) 含有效氧幾及 24% 之多，



惜因此類物質均極不便使用，而且價格高昂。連接硝基根之炭原子，如同時亦含氮原子，則該物質易與金屬發生不安定鹽類。例如：——



多數脂肪族硝基化合物，皆具可厭毒性。尤以四硝基甲烷為甚。

芳香族碳氮化合物中，苯之二硝基化合物生成不難，但其三硝基化合物，則極難製造，其製備僅為化學上之一奇蹟。甲苯則不然，易於生成三硝基化合物，二甲苯亦如之。又甲苯之側鏈亦可硝化 (E.P. 6076<sup>11</sup>)，能生成硝基苯·硝基甲烷。其四硝基化合物，即三硝基苯·硝基甲烷，尙未加以研究。其他芳香族之碳氮化合物，萘能生成

四硝基化合物，但有相當困難。故普通只採用其一硝基、二硝基及三硝基化合物。

苯環上硝基根之加入，能因胺基根及羥基根之存在而變容易。例如苯胺製為四硝基化合物，困難不多；甲苯胺可製為四硝基化合物（即三硝基苯甲硝基胺，亦即特出兒），因價昂只能用於雷管，傳爆管，而不能大量採為炸藥用。二苯胺可製為六硝基化合物，若干處且已實用過，然因硝基根使亞胺氮原子帶呈酸性，為其缺點。

苯酚可製為三硝基化合物（即苦味酸，亦稱黃色炸藥）甲苯酚，亦如之。二者皆被採用，所引為遺憾者，酸性太強耳。

硝基苯硝酸酯（nitrobenzyl nitrate），雖不難由苯甲醇（benzyl alcohol）硝化製得，但迄無人採用，硝該酯概較硝基化合物為不安定。凡二者兼備之化合物，即使不適其他用途，最低限度亦可供雷管之用。

芳香族重氮鹽類皆能爆炸。然一般言之，性極敏感，缺氧甚多，實際上不能使用。曾有人試用對位硝基重氮苯硝酸酯（*p*-nitrodiazobenzene nitrate）於雷管，但未成功。

有一點應特留意。凡一切芳香族硝基化合物皆極端缺乏氧氣。即使尚未發現之六硝基苯，所含氧量亦不過僅足其自身燃燒之用而已，是故硝基化合物單獨雖能起爆，但一般多使與氧化劑混合使用，例如硝酸鉍是。但對於軍用方面，苦味酸與梯恩梯亦常不混合他物而單獨採用之。

有機過氧化物亦能爆炸，但太欠安定，不合實用。臭氧化物（ozonides）亦患此弊，按臭氧化物含氧甚豐，如臭氧苯（benzene

ozonide) 之分子式爲  $C_6H_4O_9$ ，苟非爲其不安定，必大可採用也。

無機化合火藥，氯化鉛可代替雷汞用於雷管。氯酸鹽由氯化物與氧生成時爲吸熱變化。該物有緩和之爆發性，用於混合火藥與烟火。瑟伙特 (cheddite) 卽其一例。硝酸銨甚難起爆，但爲用甚廣。過氯酸銨亦具爆發性，可用爲火藥之成分。重鉻酸銨亦係一種爆發物。性危險而瀆昂，法國有一二種火藥含有此物。一切銨鹽之能爆發者，皆係銨基爲酸基所氧化而然。

## 硝化甘油 (nitroglycerine)

硝化甘油一詞，不合化學命名法則。因其構造式爲  $CH_2(ONO_2) \cdot CH(ONO_2) \cdot CH_2(ONO_2)$ ，故應稱爲三硝酸甘油 (glycerine trinitrate)，然「硝化甘油」四字向爲商業上所習用，實際上且縮寫爲 N.G.。

供硝化用之甘油應純淨。優良之炸藥用甘油 (dynamite glycerine) 微呈淡黃色，比重 1.260 以上，須不含灰分。對於脂肪酸、醛類 (如 acrolin)，未鹼化之脂肪，氯化物，硫酸鹽等，僅可略帶痕跡，不得含蔗糖或葡萄糖，二者有時攪加甘油中冒充甘油。硝化用之酸，不得含砷質。

普通概用硝硫混酸舉行硝化。現今多用發烟硫酸配製混酸，以求混酸不含水分，但同時亦不可含有游離三氧化硫。採用發烟硫酸操作較爲便利，似並非切要。混酸成分，各廠不同。下列者尙稱良好。

$\text{HNO}_3$	40	46.5	41.5
$\text{H}_2\text{SO}_4$	58.4	52.5	81.0
$\text{H}_2\text{O}$	1.6	1.4	0.5

甘油一分，需混酸六分。

有數國家，使用附有機械攪拌器之鑄鐵夾層硝化器舉行硝化。但歐洲各國不加採用，而係使用內附冷卻蛇管之鉛製硝化器，以壓縮空氣為攪拌工具。在英國硝化時之最高溫度為  $22^\circ\text{C}$ ，在其他國家有為  $25^\circ\text{C}$  者，亦有高至  $30^\circ\text{C}$  者。此溫度以二支溫度表測量：一支浸入液體內部，另一支則高居液面之上，以測量上部攪拌用過之空氣之溫度。

**硝化室** 硝化器普通計有二種。但諾貝爾發明之舊式硝化器(圖7)，已早為湯姆遜，拿散及榮拖 (Thomson, Nathan, Rintoul) 三氏發明改進之新式硝化分離器所代替。舊式硝化器工作時，先自量酸槽放混酸入硝化器，而後打開壓縮空氣管與冷卻蛇管。乃徐徐噴入甘油。注加甘油速度，以保持硝化溫度為  $22^\circ\text{C}$ 。為

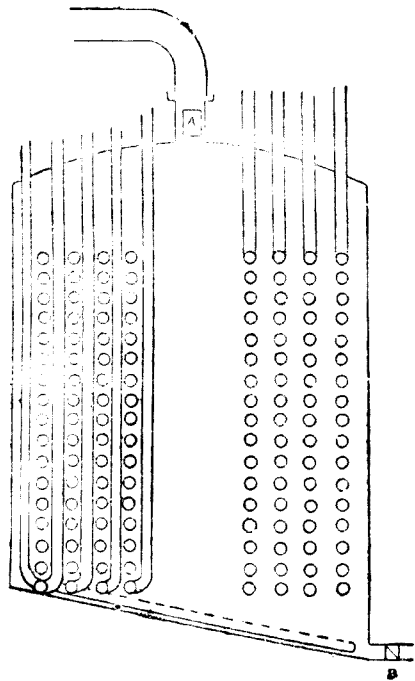
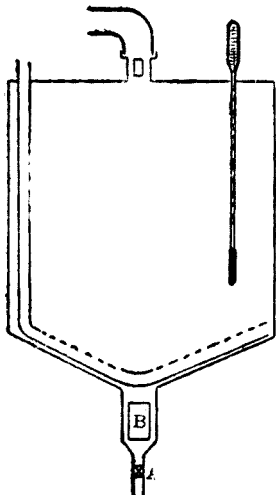


圖 7 甘油硝化器(舊式)

準。硝化進行時，專有工人一人，注意玻璃窗 A 內酸烟之顏色。萬一烟色變紅棕色，即為將生危險之徵兆。當硝化時，放出栓 B 藉可移動之鉛製凹槽臨時與一大安全槽接通。安全槽內裹包鉛，設於室外。萬一硝化操作超出控制以外，可將硝化器內容物立即放出使流入安全槽，以策安全。安全槽之設係預防性質。苟所用甘油品質良好，硝化時依法謹慎處理，一般不至有危險或困難發生。甘油加畢，將內容物放冷至  $15^{\circ}\text{C}$ ，乃經內部包鉛之凹槽流至分離室。硝化量各廠不同。每次用甘油約 300—500 磅。硝化所需時間多依冷卻用水之溫度轉移。普通如不用特別冷凝機（造冰機），大概冬日需半小時，夏日需二小時或二小時以上。每日硝化完畢，須嚴密洗滌器之內部，並將冷卻蛇管內滿充以水，擱置過夜。其目的在試驗蛇管是否完好無隙，所以為安全計也。每經約二個月，須將硝化器全部拆開，檢查並修理之。



8 圖 硝化甘油分離器

分離室 由硝化室移來之液體，流入鉛槽中（圖 8）。靜置後，比重較小之硝化甘油浮外於酸液面上，待分離完全，打開底部活瓣 A，放出殘酸。放酸出槽時，以在玻璃窗 B 處能看到硝化甘油與殘酸之交界線為度。於是將硝化甘油送至預洗槽，用清水或稀鹼水洗滌。硝化甘油較水為重，沉於水之下層。預洗畢，經由凹槽流入洗滌室，亦可稱曰過濾室。冬日凹槽須備夾套，中通溫水，以防硝化甘油結凍。

分離室所剩殘酸，運至「後分離室」，靜

置二三日，使分離完全。此處分離所得之硝化甘油，可撇出之，或用置換法置換而收集之。再用橡皮桶盛裝，送至預洗槽。所得之殘酸，則以唧筒壓送至製酸部，用蒸汽舉行脫硝，再濃縮之。殘酸中普通含硝酸 10—12%，為防止危險，使其不再分離硝化甘油起見，宜攪加 1—2% 之水。貯槽中之殘酸，天寒時須防其溫度下降太低，最好及早舉行脫硝。

分離槽與後分離槽均須裝置溫度表，壓縮空氣管及冷卻蛇管，以備萬一內容物發生分解，溫度高升時之攪拌及冷卻用，並須於室外裝設安全槽，以策安全。

殘酸中攪加 3—5% 之水分，可避免後分離作用，因而硝化甘油之油珠遂為稀酸所溶解，兼可防止未生變化之甘油或硫酸甘油變為硝化甘油。

為使分離作用相當迅速，所用混酸在使用前，須先靜置數日，使其中夾雜之烟灰、硫酸鐵、硫酸鉛等沈澱析出。有一種發明專利 (A.P. 801, 817) 稱添加氟化鈉能除去游浮於酸中之石英石，能使時間經濟，而每次用量甚少，只不過 0.001%。此外促進分離作用之註冊專利中，亦有用含矽物質如高嶺土 (China clay) 為添加劑者。(E.P. 14, 586<sup>12</sup>, Pat. Ann. 38, 595 (1911))。

**洗滌過濾室** 洗滌槽之構造，各廠不同，最佳式樣如圖 9 所示。此式者可不用任何活栓，將硝化甘油加清水或鹼水以壓縮空氣攪拌後，靜置之使沉澱。於是將軟橡皮管漸漸放下，以放出上部之廢水。存留槽中之硝化甘油，另加新水或新鹼水，經攪拌後，再如法分離之。如是繼續洗滌，最後俟硝化甘油呈中性，乃放下槽外之軟橡皮



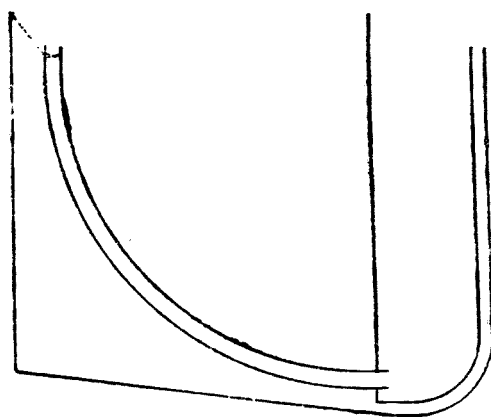


圖 1 硝化甘油洗滌槽

管，使其流出。另外尚有一種洗滌槽，其中硝化甘油之分離，係採用水置換法，使其被迫而流入於同一高度之另一槽中。

洗滌次數普通約為九次，即在預洗槽中水洗三次，鹼水洗一次；繼在洗滌室中用鹼水洗三次，而後再用水洗滌二次，但

實際上應繼續洗滌，直至硝化甘油合乎耐熱試驗（heat test）為止。耐熱時間，至少十分鐘以上（參閱第十一章）。洗滌用鹼水，約為 3% 之溶液，洗滌水之溫度須為 22°C 左右，最後一次之洗滌，最好使用蒸餾水，烘乾室所剩廢汽可供利用，將其凝聚成蒸餾水備用。如無蒸餾水，則須用軟性水，不可用硬性水。

凡得自預洗槽及洗滌室之一切洗滌用廢水，皆送至「洗滌廢水部」，在該處使其徐徐流經鉛製沉澱曲道（mabyrinth）中，交互自隔板之上部與下部通過。於是所有懸浮其中之殘餘硝化甘油油珠，皆得以沉澱。如是析出之硝化甘油，不時收集之，用橡皮桶送回洗滌室。

硝化甘油洗淨至呈中性後，用內盛海綿之法蘭絨袋過濾，以去一切塊狀物與懸浮物，乃將硝化甘油送於鉛槽中貯存，鉛槽安設於妥慎溫暖之室中。然一般均於製出後 36 小時內即行使用。

**硝化分離器** 此種硝化器為湯姆遜，拿散，萊施三氏所發明專利。(E.P. 15 983 A, 3:0<sup>m</sup>)，曾在工業化學會誌，1908. 193 頁上發表。其構造有如圖 10 及 11 所示。操作法如下：此器加殘法與硝化

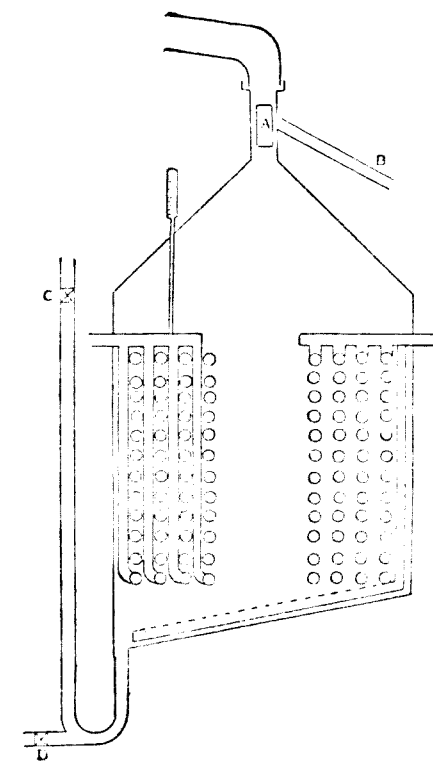


圖 10 硝化分離器

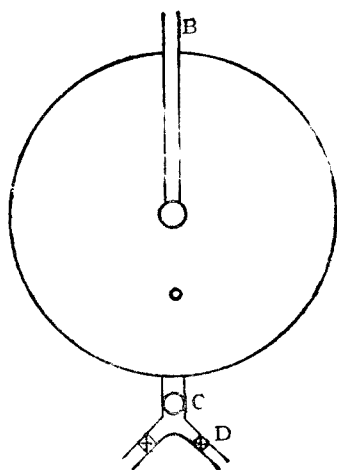


圖 11 硝化分離器  
表示殘液入口及出口之平面圖

情形全同舊式硝化器。硝化畢，硝化器內之內容物，無須移至他器，即在原硝化器中靜置數分鐘，乃將前次殘液經由活栓 C 徐徐放入器內。於是硝

化甘油經 B 管溢出，而流於同室內之預洗槽中。殘液與硝化甘油之分層界線可藉 A 窗觀察之。輸入殘液速率，務須調節之，使二種液體之分層界線保持平穩。硝化器中之硝化甘油一經析出，須立即使其

溢出。分離畢，將硝化器滿貯殘酸而放置之，等候下次使用。此時期內如續有硝化甘油析出，須即行移去。如設有後分離器，可將所剩殘酸經活栓 *D* 流入其中，但一般使用硝化分離器者，多加水於殘酸中，防止硝化甘油之離析，可免除後分離作用。英國所有各工廠，均已採用硝化分離器，其優點如下：

(1) 完全廢除一切活栓。因關閉活栓發生摩擦而引起之爆發危險，可全免除。

(2) 硝化甘油一經分離，立行移去。與殘酸接觸之時間，可減短至最小限度。

(3) 修理及換零件工作大為減少。舊式硝化器每日用畢後，必須用水洗滌。因而有殘留之稀酸，附着於鉛皮上，發生強烈腐蝕性。爲此之故，每隔二月須將硝化器拆開，加以檢查並修理之，曾有人謂硝化器之腐蝕，係酸烟之作用。事實上，舊式硝化器之鉛皮，較新式硝化分離器之鉛皮，所暴露於酸烟部分者並不爲多。反之，硝化分離器用畢後，內部滿充酸液，故因稀殘酸而生之腐蝕作用可以避免。用於瓦爾散·阿貝 (Waltham Abbey) 廠中之第一具硝化分離器，使用  $2\frac{3}{4}$  年之久，未經拆修，各部分仍然完好如初，而無需乎任何修理。

硝化甘油爲無色油液，結冰點爲  $13.3^{\circ}\text{C}$ 。然有時雖遠在此溫度以下，亦不結凍，即所謂過冷現象是也。已結凍之硝化甘油，較難起爆。量少時，對於衝擊變爲鈍感。但如爲最多時，則較諸液態硝化甘油尚爲敏感。

硝化甘油對於人體具有顯著之生理作用。能使血管脹大，發生劇烈頭痛而患病。人之皮膚，易吸收硝化甘油。大多數工人，最初均感此痛苦。但經過若干時日，漸漸習慣，可不為所侵。因硝化甘油而引起之頭痛，以服用濃厚黑咖啡或阿斯匹靈為最佳治療法。

硝化甘油對於激動甚為敏感。將硝化甘油藥樣夾於二個已炸火之鋼塊間，用二公斤重錘自 4 cm. 之高度處落下以打擊之，即可爆炸。

加熱硝化甘油，高度尚在 100 C. 以內，已漸漸分解。熱至 150 C. 則爆發。

工廠製造，由 100 磅之炸藥用甘油能製成 230 磅至 235 磅之硝化甘油。製造成本，在 1914 年每磅約合六便士。1918 年一月至六月，二家官辦工廠製造硝化甘油之成本，每噸價格，適不足 100 金磅。此中甘油費用占 40 金磅，硝酸費用占 45 金磅，(C.T.J. 1919, p. 139)。

為減低硝化甘油之冰點，曾有人於硝化甘油中援加二硝酸甘油。然因二硝酸甘油易溶於水，且能生成低凝點含水物 (cryohydrate) (D.R.P. 17, 575<sup>II</sup>, 181, 385)，故未能認為十分滿意。如改加二硝酸氯甘油，則結果良好。此物係得自一氯甘油之硝化，硝化法與甘油硝化法完全相同。因此物以與硝化甘油混合使用為唯一用途，故一般多取甘油與氯甘油之混合物，同時舉行硝化。

二硝酸氯甘油沸點 190°C.，略起分解，易為雷汞起爆，然對於衝擊之感度則殊小。以二公斤重之落錘，自二公尺之高處打擊之，仍不爆發，此物最難結凍，在 -30°C. 之溫度仍保持液態。

製造不凍硝化甘油，亦可取甘油與二甘油 ( $(\text{CH}_2\text{OH}\cdot\text{CHOH}\cdot\text{CH}_2)_2\text{O}$ ) 之混合物舉行硝化。二甘油係用甘油加熱至  $290^\circ\text{C}$ ., 以微量之鹼觸媒 (S.S. 1906, 231; E.P. 9572<sup>b</sup>), 或不用觸媒, 均可製成。又在某種惰性氣體中, 在  $250^\circ\text{C}$ . 加熱, 亦可製得二甘油 (E.P. 24,608<sup>10</sup>).

Dinitroacetylglycerine 及 dinitroformin 均可用爲防凍劑, 見 D.R.P. 209,943

此外尚有一種防凍劑, 名二硝酸乙二醇 (dinitroglycol), 爲法國所盛用。其爆炸力較硝化甘油爲大, 其價格有人謂在硝化甘油之下 (P.S., 16,72). 在  $-20^\circ\text{C}$ . 之溫度以上, 不結凍。

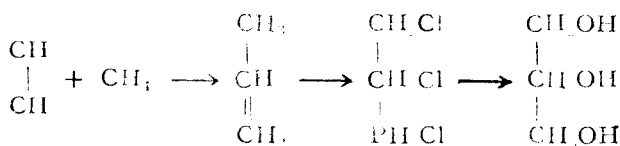
研究硝化甘油在濃度不同之硫酸或硫硝混酸中之溶解度, 可得有趣結論, 考其溶解之原因有二: 一爲真正之溶解作用; 一爲由於硝化甘油之分解。如純係硫酸, 則其溶解度隨硫酸濃度之升高而略有增加, 至硫酸濃度高至 50% 以上, 溶解度之增加, 漸變迅速。在  $\text{H}_2\text{SO}_4=97\%$  附近, 溶解曲線幾爲垂直的。在 50—90% 之間, 硝化甘油甚不安定, 易起無法制止之自動分解。爲此之故, 當製造硝化甘油時, 務須避免與此種濃度之硫酸相接觸, 是爲至要。

硫酸中摻有水分及硝酸, 當其比例爲 1:1.1 時, 情況略異。此時硝化甘油最不安定之機會, 係當硝酸含硫酸 60% 以下之時, 亦即當混酸中含濃度 52% 之硝酸多於 40% 以上之時機。

濃度不同之硫酸所能吸收硝化甘油總量之曲線, 以當  $\text{H}_2\text{SO}_4=50\%$  時, 曲線上表示一顯著之轉度點。繼當  $\text{H}_2\text{SO}_4=80\%$  以上時, 曲線幾變成垂直的。硝化甘油之真正溶解於酸中者, 亦以  $\text{H}_2\text{SO}_4$

=80%時 增加最速 然在  $H_2SO_4 = 50\%$  之轉變點左近，真正溶解度之增高尙徐緩，可知硝化甘油之溶於酸液，其主要原因爲分解作用。此項研究結果 甚屬重要，非但指示良好混酸之配法，以增高得率。抑且宣示吾人以避免與某種濃度之酸液接觸，以免因分解劇烈而生爆炸災害。

甘油既得自天然來源，其原料爲油脂，乃肥皂工業之副產物。世界甘油產量之 5% 以上，皆用於製造火藥，其餘則用於醫藥，甘油之化學構造式雖甚簡單，但時至今日，仍無法由人工以大量合成，亦奇事也。有人謂可用下述法合成甘油 即取乙炔與甲炔，於適當觸媒處理下，先生成丙炔 (propylene)，再以氫氮鹼處理 則生甘油。

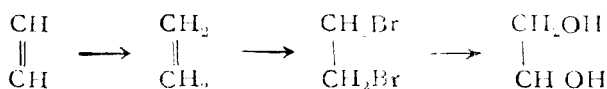


但此反應並不如是簡單，事實上尙未成功。

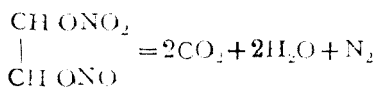
以酵母使糖發酵，能得甘油爲副產物，考其原因，大概係酵母細胞起自我消化 (auto-digestion) 所致。由發酵法製造甘油，非不可能。美國政府宣稱美人已實驗此法成功，並稱已證明此法可以大規模採用，其詳情未經宣佈，僅知協約國方面業已接到通知云。

歐戰前「炸藥用甘油」之價格，變化不定，約爲每噸 100 金磅左右，約合每磅 10 便士，其供給增多，售價當可減低，無論如何，人工合成甘油法苟得成功，則利益必大，蓋甘油之需要與日俱增故也。

將來甘油或有爲乙二醇代替其一部分之可能，因乙二醇可用合成法製造，其法較爲簡單故也。



以溴處理，結果最佳，得率幾等理論值，但開辦費甚大，且因使用價格昂貴之溴為原料，各部工作所生不可避免的機械損失，必不為小。是故苟採此法製造乙二醇，須設法改用氯氣，較為妥當，氯之原子量較溴為輕，最後舉行水解時，可節省鹼量。二硝酸乙二醇頗宜於用作火藥。在法國業經政府認可採用，所含之氧，恰敷完全氧化之用。



### 硝化纖維 (nitrocellulose)

纖維素之分子式為  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ ，其分子量不明，所知者僅其分子構造甚為複雜而已。分子構造亦所不知。然由其能達到含氮 13.96% 之硝酸酯一點觀之，可假定在其最簡單分子式  $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$  上，可能有三個氮氧基存在，因其三硝酸酯之氮量應為 14.14% 也。高氮量之硝酸酯，性不安定，實際上無大價值。凡氮量較 13.1% 太高者，其硝酸酯多欠安定。（譯者按：近年來已有氮量 13.4% 之高級硝化棉，性質相當安定）。

有人主張依纖維素之假定分子式  $\text{C}_{14}\text{A}_4\text{O}_{26}$  為根據，而將硝化纖維分類。然現今已知纖維之酯類為複雜化合物，故以由其氮量高低與醇醚（醇一體積，醚二體積）溶解度大小分類為較科學化。據英國

官方定義 凡硝化棉之氮量在 12.3% 以上，在醇醚溶劑中之溶解度小於 15% 時，稱爲強棉 (guncotton)。凡氮量在 12.3% 以下，在醇醚溶劑中幾全溶解者，謂之弱棉 (collodion or pyroxylin)。在工廠中稱強棉爲 G.C.，稱弱棉爲 C.C.，總稱一般硝化棉爲 N.C.。

因吾人不明纖維之分子構造，是故所有製造硝化纖維之一切理論與實際，均以實驗爲基礎，一切纖維素之組成均爲膠體，固無疑義，但所謂纖維，其純淨化合物之構造，究竟如何，則尙無法測定。大概其形式不止一種，惜因吾人今日之知識，尙不足以悉其真確情形，只不過爲一種猜想而已。製造硝化纖維之主要原料爲棉紗頭 (cotton waste)，主要用途爲製造棉火藥、假漆及賽璐珞，次爲廢棉 (cotton wadding)，用製爆破藥需所之弱棉。再次爲紙，用製各種賽璐珞。此外又有木纖維或木漿，可用製某種無烟火藥。歐戰時，德國海口爲協約國封鎖，棉之來源斷絕，爲供軍用計，遂不得不改用木纖維。由德國之實際經驗，當必有相當成就，惜吾人不知其詳耳。

製造棉火藥所用之棉紗須舉行硝化前，必先經數種精製法處理後，始可應用。精製法包括用溶劑浸漬，用鹼液煮沸，去其油脂；用清水洗滌 以及漂白等手續。此等棉預備工作，一般多由棉商經營，而非火藥廠之正常工作。火藥廠購入之精製棉，含水分在 8% 以下，含油脂不得多於 0.4%。以手接觸，不可生粗糙堅硬感覺，亦不可脆弱（漂白過度），加非林氏試藥 (Fehling's solution) 煮之，僅許可輕微之還原作用（含氧化纖維，oxycellulose）。先用手工揀選，除其一切棉頭、鐵釘、等夾雜物。而復用撕棉機 (teasing machine) 鬆解之，使呈疏鬆狀態。在撕棉機中，同時以風扇吹去所含灰塵。最後舉行烘



乾，使水分降至 1% 以下，可舉行硝化矣。

**強棉** 英國製造強棉（氮量 13%）所用混酸之成分如下：

HNO <sub>3</sub>	23
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	70
H <sub>2</sub> O	7

**舊式「阿貝爾硝化法」** (Abel process)，每次取棉 14 磅浸於鑄鐵槽中之混酸內，五分鐘後取出，置鐵格子架上壓榨之，而後移入於陶罐內。陶罐放於水槽中，周圍循環冷水，如是硝化 12 小時後，用離心式除酸機盡量去除殘酸。於是急將所餘強棉投於大量冷水中，此種硝化法嗣經改良，而變為「直浸式硝化法」(direct dipping process)。該法係直接浸棉於混酸中，約 8—14 小時之久，溫度保持 20°C。硝化器為水冷式鐵罐，酸量與棉之比例為 28:1。此二法均耗酸過多，且酸烟彌漫，有害工人衛生，現在歐洲大陸上尚有採用者，在英國只有數家弱棉工廠用之，又二法需人工甚多，硝化物時易遭受燃燒損失。用阿貝爾硝化法，當在陶器中舉行硝化之際，即一滴汗液之微，苟墜落於硝化棉上，亦有引起燃燒之可能。為補救此缺陷，於是由拿散與湯姆遜 (Nahon and Thomson, E.P. 8278<sup>U</sup>, A.E. 1 0,617) 諸氏發明「置換式硝化法」(displacement process)。此法原料與人工均極經濟，酸烟不至彌漫，所得成品之品質亦較為優良。自此法發明，英國各火藥廠普遍採用。即歐陸與美國，亦漸漸盛用之。迄 1919 止，該法甚少用以製弱棉，然苟選用適宜成分之混酸，改製弱棉，當無不可之理。大戰時供給軍用而設立之多數強棉工廠，平時大應改造弱棉，藉供醫藥、照相術、人造絲、玻璃漆、假漆、航空機塗料等之

用。

硝化器如圖 12 所示，係一陶器製淺盤。直徑三呎六吋，邊緣高十吋，中央出酸活栓處深十二吋，具有由數塊併成之陶製多孔覆底。

放出栓與貯混酸槽，貯殘酸槽，及廢液溝等相連接。一般每四個硝化器併為一組，成為一個單位。硝化時，每個硝化器中各放入混酸 650 磅，乃用手將棉紗頭 20 磅逐漸加入其中，立用鋸叉壓棉浸酸液內。在加棉期間，硝化器

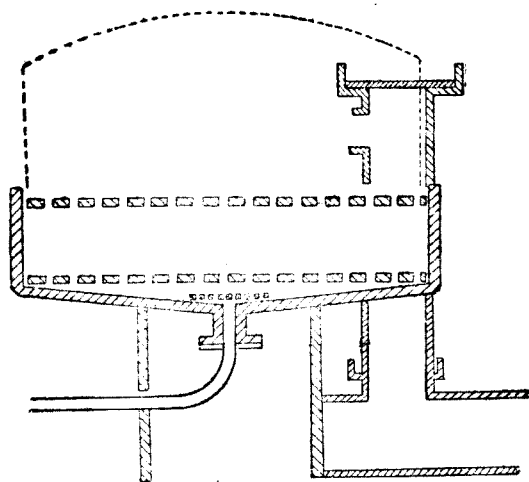


圖 棉硝化器(圓盤式硝化法)

之上部，臨時罩以輕巧之烟罩，便與酸烟管接通，以吸收酸烟。加棉畢，用多孔陶板輕輕壓置棉上，而後在陶板上面，徐徐注加溫度  $5^{\circ}\text{C}$ . 之冷水一層。藉水之作用，能將硝化物封閉器內，阻止酸烟外逸。硝化時間約  $2\frac{1}{2}$  小時。使用此法，硝化物發生燃燒現象者，幾無所聞。硝化畢，自器底徐徐放出殘酸。其放出速率，每分鐘約為一加侖。同時並以同一速度在器頂部之多孔板上輸加冷水。因水之比重遠較殘酸為小，二種液體分界處之分界線尚相當顯明，計可收回堪以補強再用之殘酸約 500 磅。此殘酸經補加硝酸與發烟硫酸後，可反覆繼續使用。其成分如下：

$\text{HNO}_3$	18
$\text{H}_2\text{SO}_4$	72.7
$\text{H}_2\text{O}$	9.3

除此以外，所剩之稀殘酸成分爲：

$\text{HNO}_3$	18
$\text{H}_2\text{SO}_4$	61
$\text{H}_2\text{O}$	21

該稀殘酸可經脫硝，濃縮，以行收回。用水舉行置換，需時三小時。酸之損失，僅爲所得強棉量之1%。強棉得率爲170%。迄至最近，置換硝化法所用硝化器之尺寸，概如前述，而無變動。蓋因較此爲大之陶器，價格特昂，使用上亦欠便利故也。然硝化器何以不用內包耐酸陶器之鑄鐵製成，又何以不用搪瓷或矽鐵合金製成，殊無充足理由，足資解釋。鑄鐵或鉛，如不加包襯，則決不能使用。二者僅能抵抗硝化時之強酸。而不能抵抗加水置換時之稀酸，將大受腐蝕也。

「離心式硝化法」(centrifugal nitrating process) 廣用於德國，在英國亦頗有採用者，尤以製造爆破藥用之弱棉爲最價用。此法硝化器之構造，係一特製之離心機。由於機內旋轉篩之迴轉作用，酸液得反覆經過棉花而起循環作用。最簡單形式如第圖 13 所示。圖中以箭頭表示酸液循環之路線。由圖知垂直機軸藉一高居酸液面上之圓筒穿通機壳錐形部之中央，而與多孔旋轉篩之頂部相連接。當硝化進行時，旋轉篩徐徐旋轉。待硝化畢，放去多餘之殘酸，乃開快車，以旋除附着於硝化器上之殘酸。然旋除殘酸，切不可過度。否則有起燃燒危險。凡一切利用離心機除酸之操作，皆應注意此點。根據經驗，

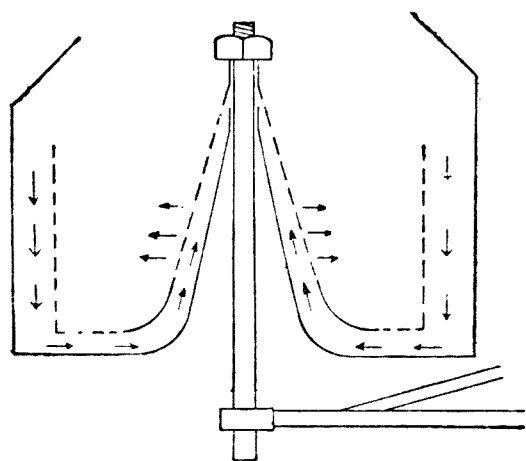


圖 13 離心式硝化機

在用水沖洗前，最後硝化棉所含之殘酸量，未有低於 50—60% 者。離心硝化機每次入棉 15—25 磅，需混酸 750—1250 磅。（譯者按：新式大號離心硝化機有一次能加棉 2 公斤者）。

弱棉 製造弱棉所需混酸之成分，

依硝化時間、硝化溫度、硝化手續，以及出品種類之不同而異。弱棉溶液之黏度，與硝化溫度大有關係，如係用製爆破藥者，則其黏度須大，多在常溫時硝化之，其混酸成分如下：

$\text{HNO}_3$	25.0
$\text{H}_2\text{SO}_4$	57.5
$\text{H}_2\text{O}$	17.5

用此混酸製成之弱棉，氮量為 12%。

如係用製無烟藥，黏度大小，關係次要，而以氮量高低為最重要，因其能左右藥之品質也。

製造獵用無烟藥所需混酸成分，尚無可靠記載。美國軍用無烟藥所用混酸之成分，為：

$\text{HNO}_3$	21.5
----------------	------

$\text{H}_2\text{SO}_4$	63.5
$\text{H}_2\text{O}$	15.0

硝化法爲置換硝化式，硝化溫度爲  $30^\circ\text{C}$ ，硝化時間爲 1—2 小時。每次加酸 700 磅，加棉 20 磅。所得硝化棉之氮量爲 12.7%，幾全部能溶於醇醚合劑。硝化得率爲 155%，（譯者按：法國所用軍用無烟藥，向爲 N 型無烟藥，係由強棉與弱棉混合而成，與美國所用者迥然不同。又現今美國所用硝化器，除離心硝化機外，尚有他種新式硝化機使用）。如係供製假漆及軟片，則黏度宜小，硝化溫度須高，因而得率隨之降低。使用下述混酸，能製成良好之低氮量弱棉。

$\text{HNO}_3$	17
$\text{H}_2\text{SO}_4$	55
$\text{H}_2\text{O}$	28

硝化溫度  $45^\circ - 55^\circ\text{C}$ ，硝化時間 15 分鐘，混酸量爲棉量之 50 倍。成品之氮量爲 12.4%，得率爲 130%。

洗漿 先行預洗，除去大部分之殘酸。而後將硝化棉用水蒸餾若干次。蒸餾工作在松木桶中舉行。桶有多孔假底，假底下面設有放水活栓，於桶內直接通蒸汽，以行加熱。蒸餾次數與時間，各廠不同。但採用下之程序，能得良好結果。即先蒸餾二次，每次十二小時；繼再蒸餾五次，每次四小時；最後再蒸餾三次，每次二小時。先用長時間蒸餾之目的，在使不安定酯類發生水解。製造爆破藥用之弱棉藥，不可經多次劇烈蒸餾，因蒸餾對於弱棉與硝化甘油結合成爲膠體之黏度，大有損害也。一般只用將近沸騰之熱水洗滌數次，即可應用。然僅憑蒸餾，不能使硝化棉安定。浸入中空纖維內部之酸分，實

無法將其煮出。唯一驅除酸性方法，爲阿貝爾氏所發明之「磨漿法」(pulping)。蒸煮之後，將硝化棉入磨漿機，使硝化棉循環經過迅速迴轉之刀刃間，至變成細漿爲止。磨漿機如圖 14 所示，如係爆破用弱棉，磨漿程度不可太甚，否則將影響其膠化力，磨漿需多量之水。磨漿畢，用唧筒揚藥漿至頂部貯槽。再

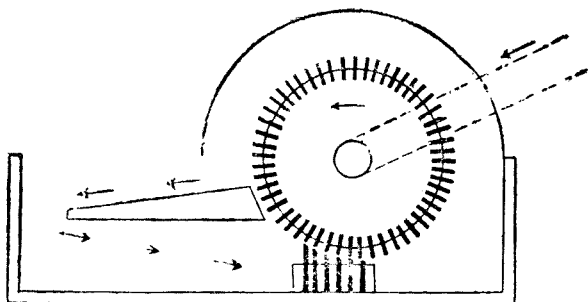


圖 14 硝化棉磨漿機

經內襯毛氈之木製長凹槽。絨毛氈停集大部分之夾雜物。凹槽中並裝有電磁石，以捕集一切之鐵屑。於是送藥漿至大木桶中，桶名漂洗機 (poacher)，裝有木製攪拌器。靜置之，使藥漿澄清。吸去上層澄清乳色液，另加清水，攪拌後而靜置之。如法舉行漂洗三次，將藥粉用離心機盡量旋除水分。除水後之硝化棉，含水分 25—35%。在此種潮濕狀態下，可無危險。硝化棉烘乾工作，最易引火。其一切操作，必在危險室內舉行。烘乾房由輕木架築成，四周圍土壘，室內設可移動之藥盤，備盛硝化棉之用。藥框爲輕巧木框，鋪帆布底，如能用細銅絲網或鉸皮爲底更佳。框深約二吋。因乾硝化棉極易荷電，故所有藥盤均須接通大地。自室外送入熱空氣於室內，以爲加熱之用。室內溫度不可超過 40°C。有數工廠，爲防止粉狀硝化棉之吹飛，於烘藥前，用水壓機將濕硝化棉壓成板狀而移烘乾之。經壓縮後，再行烘乾，時間雖較久，但利益甚多。在壓製棉藥時，壓力不可太大，乾後方能

易於打碎。溫暖之硝化棉，性極危險，不論在何情況下，在烘藥機溫度未降落前，切不可出藥。

如所製硝化棉係供造無烟藥而以醇醚合劑舉行膠化，或用酒精為溶劑以製溶液時，則可不必舉行烘乾。只須將硝化棉堆置圓筒中，強使酒精自上方向下方通過。最先壓出者為水分，次為稀酒精，可用蒸餾法收回，最後壓出者為較濃酒精，可供下次驅水之前部置換用。此工作原理，與置換硝化法同，一般稱曰「酒精驅水」(alcoholizing)英國三家政府工廠，製強棉(氮量 13%)成本，在 1918 年一月至六月間，平均每大噸為 137.8 金磅，約合每磅一先令三便士。其分配情形為：棉紗頭 50.6 金磅，硝酸 44.5 金磅，人工及其他 36.6 金磅，硫酸 6.1 金磅(C. T. J. 1919, p. 139)。

## 芳香族硝基化合物 (nitroaromatic compounds)

**二硝基苯**(dinitrobenzole) 苯之一硝基化合物，不能因衝擊或雷汞雷管起爆。但其二硝基化合物，則不如此鈍感，而可因上述原因發生爆炸，只係略有困難，而非不可能。將二硝基苯禁鋼於二個烽火鋼面間，以重二公斤之錘自 200 cm. 之落高處打擊之，即能爆炸。其製法係以硝酸硝化一硝基苯，硝化溫度為 100 C. 詳情見“Industrial Series 中之 Coal Tar Dyes and Intermediates——Barnett”書。純淨之二硝基苯，熔點為 91 C., 商品者熔點為 80—85 C..

**二硝基甲苯與三硝基甲苯** (dinitrotoluol and trinitrotoluol) 該二物俱廣用為火藥，而尤以後者為最。三硝基甲苯(即梯思梯，T.

N. T.)以重二公斤之錘自 108 cm. 之落高打擊之，能爆炸。用雷汞起爆，相當容易。其純淨者軍事上用裝水魚雷及各式砲彈。然其主要用途，為與硝酸鹽，尤其是硝酸銨相混合，而用為砲彈裝藥（即鉛錫炸藥 amatol），並用為爆破火藥。由甲苯製造梯恩梯，採一段硝化法，固無不可，但耗酸過鉅。一般多採二段硝化法或三段硝化法以製造之。要視所需成品之品質及同時是否尚製他種物品為轉移，作戰時梯恩梯銷耗量，雖極龐大，然和平時代採用梯恩梯是否能合乎經濟原則，則不無疑問。蓋硫酸缺乏，價格高昂，致使製造商不得不求硫酸與發烟硫酸之經濟，至於工費高低，尚居次要。在 1919 年，每磅甲苯，只能製出梯恩梯二磅，此得率約為理論數之 77%，苟發烟硫酸供給增多，最後一次硝化使用較濃混酸，及較低溫度，則因得率提高，或可較為經濟也。

二段硝化法：先將甲苯硝化為一硝基甲苯（mononitrotoluol, M.N.T.）（詳情見 Barnett “Coal Tar Dyes and Inertmediates, p.16），而後再硝化為梯恩梯。最後硝化所需混酸，視所用發烟硫酸濃度不同而略異。下述二種成分，均可使用。但後者需少量發烟硫酸，始可配成。

$\text{HNO}_3$	16	15
$\text{H}_2\text{SO}_4$	78	78
$\text{H}_2\text{O}$	6	4

所需混酸量，為每硝化 M.N.T. 一磅，需含硝酸 1 磅之混酸。每次硝化多少，各廠互異。用混酸 12,000 磅，約可得梯恩梯 2000 磅。硝化器之容積約 1000 加侖，即可處理裕如。硝化器為鑄鐵製，內部



裝鉛裝蛇管，備加熱或冷卻用，並備有効力強大之機械攪拌器（圖15），工作時，先入混酸，次加M.N.T.，加M.N.T.期間內，器內溫度不可超過 $50^{\circ}\text{C}$ ，待M.N.T.加畢，乃以每二分鐘升高 $1^{\circ}\text{C}$ 之速率，使溫度上升，俟達 $70^{\circ}\text{C}$ 左近，反應本身發生大量之熱，此時務須注意，調節蛇管中之冷水流行速率，以防止過熱，普通在 $100^{\circ}\text{C}$ 之溫度加熱一小時後，繼再徐徐升其溫度至 $120^{\circ}\text{C}$ ，以後即保持此溫度至硝化完畢為止，計需時約半小時，可取出試樣，測驗其凝固點以決定之。於是降低溫度至 $85^{\circ}\text{C}$ ，加水其中，對於每100磅之混酸，注加約 $\frac{1}{2}$ 加侖之水，加水之目的，在減低梯恩梯在殘酸中之溶解度(D.R.P. 254, 754)。加水時，因加水生熱量，必須小心調節，不可使溫度升至

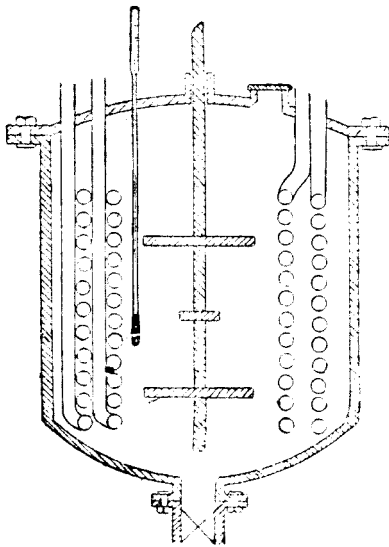


圖15 芳香族硝基化合物硝化器

$100^{\circ}\text{C}$ ，以上。乃再降低溫度至 $85^{\circ}\text{C}$ ，停止攪拌，靜置一小時，以便硝化物分離。放出下層殘酸，又將液態梯恩梯放入於沸水槽內，舉行洗滌，至酸性全失為止。然洗滌切不可用鹼水，因鹼類能與梯恩梯起化學作用，性變敏感故也，普通洗滌四次，即可盡去其酸分，而後加熱至 $105^{\circ}\text{C}$ ，將其烘乾，乃將其鑄於淺盤內或凝固於內裝冷水之鼓桶表面上，而製為小片狀。硝化後如不加水，而代以得自硫酸濃縮所剩之

稀硫酸，亦稱便利

第三級硝化所剩殘酸，其中溶解梯恩梯甚多。欲行收回，可於 8 °C. 時使與 M.N.T. 相混合，而用為下次硝化之原料。如此則其附着之少量硝酸亦得以利用，可生成少許之二硝基甲苯。最後所剩殘酸只含亞硝酸約 3%，可舉行脫硝及濃縮，而後再供應用。有數家工廠，在梯恩梯殘酸中補加硝酸，而用為製造 M.N.T. 之混酸。如是製成之梯恩梯，其凝固點約為 76 °C.。

三段硝化法之操作，更為複雜。然製造 m-toluylenediamine 之工廠，仍多採用之。其製法先將甲苯製為 M.N.T.，次用下述成分之混酸舉行硝化，使變為 D.N.T.。

HNO <sub>3</sub>	30
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	64
H <sub>2</sub> O	6

硝化溫度為 60 °C.，最後並在 80 °C. 加熱。如是所得之二硝基甲苯，或直接硝化為梯恩梯，或粗分為高凝固點與低凝固點二種 D.N.T.，分離方法，係將 D.N.T. 置於金屬細篩上，保持溫度在其熔點附近，則大部分之低熔點 D.N.T. 流於篩下，其一小部分則附着於高熔點部分之上。置離心機中旋去可也，所得高熔點之 D.N.T. 將其舉行硝化，即得凝固點 8 °C. 之梯恩梯。熔點低之部分，為油狀物，亦可施行硝化。所需混酸，埃斯卡來斯 (Escales) 提議如下：

HNO <sub>3</sub>	10.2
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	82.2
H <sub>2</sub> O	7.6

混酸量與二硝化物之比例為 2.8 : 1. 由是製成之梯恩梯, 凝固點為  $72^{\circ}\text{--}70^{\circ}\text{C}$ . 該項低凝固點之梯恩梯, 顯由數種 T.N.T. 之異性體以及少量二硝基甲苯混合而成.

製爆破藥用之梯恩梯, 凝固點高低, 關係並不重要. 但用製傳爆管或供他種軍事用途者, 不與硝酸鹽混合而單獨使用時, 則必須採用近乎純淨之對稱式三硝基甲苯 (M.P.  $81.9^{\circ}\text{C}$ .), 以期其爆炸完全. 欲達此目的, 須將粗製梯恩梯舉行再結晶, 以精製之. 所用溶劑為含苯 20% 之酒精, 或為鄰位. 硝基甲苯 (E.P. 17,003<sup>14</sup>), 或為 100% 之濃硫酸 (D.R.P. 237,738). 為增高梯恩梯之凝固點, 亦可用酒精或沸騰之亞硫酸鈉溶液舉行洗滌. 此外置粗製梯恩梯於金屬細篩上, 保持溫度在其凝固點附近, 則低凝點硝化物亦可漸漸滲出.

用有機溶劑舉行精製, 蒸餾時所剩殘渣為二硝基甲苯與三硝基甲苯之混合物. 將此混合物舉行硝化, 所得硝化物在常溫時為液體, 製造爆破藥用之甚多, 而尤以製造不凍膠質爆炸應用最廣, 以其甚易與硝化甘油混合故也. 此種液態硝基化合物最初係 J.W. Leitch and Co., of Huddersfield 所製出, 商品名稱為「液態梯恩梯」(liquid trinitrotoluol), 其製法為商業上之秘密. 其他工廠雖亦有製造者, 但不能長久保持液體狀態. 存放稍久, 即有變為半固體之弊. 梯恩梯一如其他一切硝基化合物, 對於人體有毒害作用. 最初病狀, 全為臀部發疹. 隨後有變為黃疸病之可能, 曾有因此致死者. 此種毒害作用, 以夏季為最盛. 各人對於毒害作用之抵抗力不同. 對於毒害作用特別敏感之人, 應即停止其工作. 凡有發疹症狀之人, 應立即調作他種工作, 待疹病退後再行調回. 在英國曾頒有明令, 凡梯恩梯工廠必設

浴室，特種工作衣，及橡皮手套，以備運用梯恩梯及其類似品之用。依著書人（指 Barnett）經驗，帶用橡皮手套，實害多利少。蓋當除去手套時，手上因曾發汗之故，皮膚對於梯恩梯之吸收力，特別劇烈故也。密織棉手套或羚羊皮手套，較橡皮手套為佳。必要時，每日散工時可加以洗滌。然最良好之禦防法首推良好通風，避免粉塵吹散，天熱時工作室內應設法施行人工冷卻。可能時廠內工人，每隔一定時間應互調其工作。依照工廠條例，各廠工人應隨時施以健康檢查。

三硝基甲苯之商品名稱甚多。如 trotyl, tritol, triolite 等是。而以 T.N.T. 為最常用，係取其字頭之三字母也。英國迄 1919 年止，經樞密院根據火藥法規特別下令，T.N.T. 可不以火藥看待。然因歐戰時發生多次災害，此令因而取銷。自此以後，製造 T.N.T. 必須依照「危險」情況舉行。粗製 T.N.T.（凝固點  $76^{\circ}-78^{\circ}\text{C}.$ ）之製造成本，依據六家政府工廠之統計，在 1918 年一月至六月間，平均每噸為 100 金磅。製造 T.N.T. 一噸，約需 0.491 噸之甲苯。但此數字，未便輕信。因甲苯酸，及硝酸鹽諸原料，係以大噸（2240 磅）計算，而 T.N.T. 究以大噸或小噸（2000 磅）計算，則未說明。按英國一般計量火藥，概用小噸（C.T.J., 1919, p. 117）。

苦味酸或黃色炸藥 (picric acid)

（三硝基苯酚，三硝基酚，三硝酚，trinitrophenol）

苦味酸俗稱 lyddite, melinite 等名稱。多年來各列強均用為標準砲彈炸藥。歐戰後，因感於梯恩梯價廉、安全、又運用便利。故其大部分已為後者所代替，苦味酸最大缺點為具酸性。易生成極敏感之

鹽類，尤以與重金屬所生成者為最，就中尤以其鉛鹽為最危險。苦味酸不可與硝酸鉍等硝酸鹽類相混合，因其強酸性，受潮後發生游離硝酸，甚不安定也。苦味酸之用途，多限於軍事方面，近年來已大半為梯恩梯所代替。

往昔製造苦味酸，係直接硝化苯酚。但近年來此法早經廢棄。1900年有一註冊專利：係在石蠟中將苯酚硝化，並稱結果良好云。(E.P. 16,628<sup>00</sup>)。通常所用之法，係先將苯酚磺酸化，變為一磺酸苯酚或二磺酸苯酚，而後再行硝化。同時其磺酸根亦為硝酸根所置換。舉行磺酸化，需濃度 98% 之濃硫酸四分，溫度為 100°—105°C.，然後另取硫酸四分，追加其中。乃將所得硫酸溶液流入硝化器中，放冷至 20°C.。硝化器普通係生鐵製成。然以搪瓷鐵器製者為最佳。硝化時，所用混酸，由濃硫酸與等量之硝酸（濃度 61%）配成。將混酸徐徐注入磺酸液中。硝化溫度，最初保持在 40°C. 以下，迨混酸加過半量後，可漸升高溫度至 70°—80°C.，乃將其移入於一列之陶罏中，加等量冷水稀釋之放冷後，苦味酸之結晶析出。經過濾、洗滌、旋除水分，最後在低溫度（通常 35°C.）烘乾。

新式製法，不用苯酚，而由氯苯（chlorbenzole 為出發點。將氯苯硝化為二硝基氯苯，加鹼煮之，則生成二硝基苯酚（詳情見 Barnett "Coal Tar Dyes and Intermediates, p. 18, 66），再經硝化，則變為苦味酸。此係最佳製法，如將來仍繼續使用苦味酸為火藥時，則此法頗有取舊法而代之之可能。1918年一月至六月間在英國 Greetland 地方 H.M. 工廠中，製造苦味酸之成本，每大噸為 184.7 金磅，約合每磅一先令八便士。當時所用製法，係硝化磺酸苯酚法。

(C. T. J. 1909, p. 162)。

苦味酸之熔點為 122.6°C。

#### 四硝基苯胺 (tetranitroaniline)

此物係 Fluersheim 氏 1910 年硝化間硝基苯胺 *m*-nitroaniline 之某種簡單衍生物所製成 (E. P. 3224<sup>10</sup>)。註冊專利上載 硝基苯胺之硝化法如下：「取間位硝基苯胺一分，溶解於 36 分之濃硫酸中（濃硫酸或 100% 硫酸或發烟硫酸），溫度為常溫或人工冷卻均可。隨復加以 2½ 分之硝酸鈉，將所得混合物在常溫或低溫或稍高溫度放置數日即得。」Fluersheim 氏謂硝化溫度可增至 70°C，最後硝化將畢時，並可增至 100°C。云。由此知製造此物需多量硫酸。欲求成本不過高，必須設法利用其殘酸。四硝基苯胺曾用為雷管裝藥，然對於此項用途不及特出兒適宜。

特出兒 (tetryl, 或四硝基甲苯胺 tetra-nitro-methyl-aniline)

此物實為 三硝基甲·苯基·硝基胺 (trinit. omethyl phenylnitramine)，化學式為  $\text{CH}_3\text{N} \begin{matrix} \diagup \text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3 \\ \diagdown \text{NO}_2 \end{matrix}$ ，通常稱曰特出兒 (tetryl 或特出里忒 (tetralite))，係將二甲基苯胺 (dimethyl aniline) 舉行硝化而得，其中之一個甲基被氧化，其製法 Escales 氏 (“Nitrosprengstoffe”) 記述如下：

取二甲基苯胺 100 公斤，徐徐加於 1000 公斤之濃硫酸中 硫酸須預加冷卻，其濃度為 97-98%。因而製得淡棕褐色液體。其色不可太暗，須保持透明。該液體隨時間延長漸起分解，故應及早硝化之 硝化法：將此硫酸溶液徐徐注入於 530 公斤之硝酸中，硝酸須預熱至 40°C，其濃度為 87% 按硝酸濃度大小，甚關重要。濃度較此

爲大，則硝化物之結晶大，難於洗滌。注加硫酸溶液時，最初溫度不可超過  $44^{\circ}\text{C}$ ., 迨已加入三分之二後，可升高至  $55^{\circ}\text{C}$ ., 最後全部加入畢，即在該溫度繼續煮二小時。然後將其放冷，擱置過夜。於是硝化物結晶析出，大部分之殘酸，可放出之。殘酸成分如下：

$\text{HNO}_3$	11.05
$\text{H}_2\text{SO}_4$	74.04
$\text{H}_2\text{O}$	12.09
$\text{NO}_2$	2.58
硝基化合物	0.24

舉行過濾，收集硝化物於濾器上。先用稀硫酸洗滌，次用水洗，最後烘乾之即得。得率以粗製品計，爲 210 公斤。粗製品不安定，須從速用苯舉行再結晶。而後用蒸餾法自廢液中將苯收回。爲防止殘渣爆炸，蒸餾前最好加以多量之水，即可避免，所得殘渣，毫無用途，可棄之。

特出兒熔點  $129^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{C}$ ., 性甚毒。迄現今止，其用途僅限於雷管或砲彈等之信管之用。然亦有人主張用爲砲彈炸藥或爆破藥之成分者。1918 年一月至六月間英國 Queensferry 地方 H. M. 工廠共製成特出兒 145.6 噸。平均成本每(小?)噸爲 297.4 金鎊。每製特出兒一(小?)噸，需二甲基苯胺 0.546 (大?)噸。(C. T. J., 1919, p. 162)。

二硝基甲·苯胺 (pentanitromethyl aniline 卽 tetranitromethylphenyl nitramine) 曾有人製成之 (E. P. 3907<sup>10</sup>)，但似並未有何用途。

## 其他硝基化合物

下述各化合物有人倡議用爲火藥，或用爲製造火藥之半成品，雖其用途不廣，爲備日後發展計，尙有一述之必要。

### 硝基甲烷 (nitromethane, $\text{CH}_3\text{NO}_2$ )

此物爲液體，性安定，沸點  $101^\circ\text{C}$ ，在此溫度不起分解，係以亞硝酸鈉與氯醋酸作用而製成。因其分子量小，似可用爲硝化甘油之減凍劑，然因成本高，迄未實用。據著者（指 Barnett）實驗結果，其得率大可提高。

### 四硝基甲烷 (tetranitromethane, $\text{C}(\text{NO}_2)_4$ )

此物在  $13^\circ\text{C}$  凍結，沸點  $126^\circ\text{C}$ ，在此溫度不起分解。因其含氧極多，似可用爲最有效之火藥成分。製法有多種：例如以硝酸或硝酞作用於醋酞 (D. R. P. 211, 198; 211, 199, 224, 057) 或如苦味酸類之芳香族硝基化合物 (D. R. P. 184, 229)，皆可得之。然製法雖多，而能否爲工業所採用，尙成疑問，又此物毒性甚大。

**硝化糖類 (nitrosugars)** 硝化糖類曾經研究過，以求用於雷管。因能溶解於水，故其分離操作甚爲困難，精製法可用酒精舉行再結晶。此物性極敏感，又不安定，不便應用 (B., 1898, 68—90)

**硝化甘露蜜醇 (nitromannitol)** 甘露蜜醇可製爲六硝酸酯。不溶於水，可用酒精舉行結晶，溶點爲  $113^\circ\text{C}$ ，性質相當安定。曾有人試用爲雷管裝藥，但迄未成功。然無論如何，此物大有研究價值。

**硝化澱粉 (nitrostarch)** 使用硝化澱粉爲混合火藥之成分。迭經試驗。澱粉易於結塊，因而硝化困難。較爲適宜之製法，先將澱



粉溶於硝酸，再將硝酸溶液噴於硫酸或混酸，可製成之。迄至目前，大規模製造硝化澱粉，欲其性質安定，殊成問題。實驗室中以有機溶劑精密提煉，可製成含氮量 14.04% 之安定硝化澱粉。因而可斷定硝化澱粉所以不安定者，全係雜質之影響。硝化澱粉能溶於硝化甘油，但不能使後者變成膠體。欲知其詳，請參閱 S. S. 1910, 82; 1930, 273—278; 1933, 306—310, 350—354, 378—381; 1934, 14—16, 16—17。

**六硝基二苯胺** (hexanitrodiphenylamine) 德國曾用此物為浮雷炸藥。其製法係由二苯胺硝化或將二硝基氯苯與苯胺合成為二硝基二苯胺，再經硝化即得。其缺點為帶酸性，毒性甚大，致其用途大受限制 (S. S. 1910, 15; 1913, 205, 231; D. R. P. 86, 295)。

**硫化六硝基二苯** (hexanitrodiphenyl sulphide, picryl sulphide) 此物可由硫代硫酸鈉作用於 picryl chloride 得之 (E. P. 18, 353<sup>13</sup>)。性甚安定 (無毒性)，亦無黃色染料之作用。其爆炸力確較苦味酸為強，較梯恩梯約強 10%。曾有人倡議用於裝雷管及砲彈。關於第二用途，由於德人之使用毒氣，其在註冊簿上 (Carl Hartmann, Schlebusch 之專利) 之聲明，殊饒興趣。其言曰：「裝用此炸藥之砲彈，藥炸時所生烟雲中之游離亞硫酸，能使在封閉處所如掩蔽下之砲臺、砲塔等無法繼續防守」(E. P. 18, 354<sup>13</sup>)。然此物成本太高，因 picryl chloride 只可使用大量酸液，由氯苯之硝化製出之一途故也。得自三硝化之殘酸，經補強後，以備一硝化或二硝化之用，可稍經濟。與此物相當之磺 (sulphone)，可由硝酸舉行氧化製成之 (D. R. P. 269, 826)。

**氧化六硝基二苯** (hexanitrodiphenyl sulphide) 對稱氧化六硝基二苯 (即 picryl anhydride) 未有記載。僅有：對稱氧化六硝基二苯業經製成。係凝縮 1-氯 2, 4-二硝基苯 (1-chlor-2, 4-dinitrobenzole) 與間硝基酚 (*m*-nitro-phenol) 再行硝化而成 (D. R. P. 281, 053)。此物性安定，爆炸力約與苦味酸相等。

**六硝基乙雙醯氨苯** (hexanitro-oxanilide) 此物可將乙雙醯氨苯 (oxanilide) 硝化得之 (F. P. 39, 109)。性安定，熔點為 295—300°C，爆炸力約與梯恩梯相等，爆溫特低，大可用為煤礦安全爆藥之成分。

**六硝基二苯** (hexanitrodiphenyl) 此物性安定，可用銅粉作用於 picryl chloride 製得之。成本甚高，雖未能供一般之用。但用製雷管似乎可能 (F. P. 18, 333<sup>11</sup>)。

### 殘酸 (spent acids)

關於硝酸與硫酸之製法與濃縮，請參閱 Partington: "The Alkali Industry" 書。收回殘酸之法，與此類相似，但究竟尚有困難。主因由於殘酸中含有有機殘渣。製造脂肪族硝酸酯所剩殘酸之收回，法較簡便，因其所含有機物易於硝化也。得自硝化棉之殘酸，濃度最大之部分，經補充硫酸與硝酸後，可繼續使用。所剩濃度較小之部分，須用蒸餾法收回其中之硝酸。最後殘餘之硫酸，尚含亞硝酸 2—3% 無法蒸出，可藉蒸汽脫硝法將亞硝酸驅至吸收塔，使變為硝酸而收回之。收回亞硝酸，絕對必要。除為經濟打算計，並可減少濃縮用鉛器上之種種困難。脫硝後之殘酸，最後舉行濃縮。在英國，雖

然至少有一家大公司採用 Gaillard tower 法，並有採用 Cascade 法者，然以採用 Kessler 法者為大多數。

得自硝化甘油之殘酸，不舉行蒸餾。只用蒸汽脫硝，即行濃縮其法之簡便，一如處置得自硝化纖維之殘酸然。濃縮多採 Kessler 法。

得自芳香族化合物硝化後之殘酸，其中含有性甚安定之有機雜質，致其處理大感困難。又因硝基化合物分離緩慢，常需時數日甚或數週之久，而所析出之硝化物為量不多，無收回價值。此種殘酸，一般含硝酸甚少，有時且完全不含硝酸，而只含 3—4% 之亞硝酸。故須用蒸汽舉行脫硝，脫硝時，難免有一部分之有機物隨之蒸發。隨即又被硝化，凝固點因而增高，致使凝縮器與吸收塔內部，發生極大困難。最優良之補救辦法，為使用大容積之凝縮器，其靠近吸收塔之部分，保持溫度 50°—60°C，並須設有掃除固體物質之設備，及通蒸汽設備，以便發生阻塞故障時得使全部裝置加熱。脫硝後之殘酸，仍含相當量之有機物。因此時酸液變稀薄，分離有機物較前容易，須附適宜設備，收集析出之有機化合物。否則，舉行濃縮時，有發火危險。但無論如何，在舉行濃縮時，總有一大部分揮發。是故各酸期管，各洗滌塔務須保持相當溫度，以防其閉塞。為盡量減少此種困難計，舉行脫硝，常使用約 500°C 之高溫度過熱蒸汽加熱。此法最佳，其高溫度不僅能除去酸中之揮發物，及減除濃縮困難，且因減少有機物關係，能使濃縮工作容易。

因硫酸中所含有機物性甚安定，故其濃縮所需溫度遠較得自硝化甘油與硝化纖維者為高。故以 Cascade 濃縮法最受費用。此法通

常裝設鑄鐵發盤。此盤以及其他諸發盤可用同一火爐加熱，然以使用另一火爐加熱為佳。由此盤放出之酸烟，溫度甚高，可供 feed acid 脫硝之用。

脫硝溫度如高，則所得之酸含有機物少，可用 Kessler plant 舉行濃縮。然因所生之多量殘渣沉集濃縮器底部，易使其閉塞，故宜改用改良式 Kessler 裝置（例如 A.G.D. 式濃縮器），結果或可較佳。

酸中殘渣主為硫酸鐵，係由鐵製硝化器或殘酸貯槽得來。此物殊甚討厭，易沉集於器之各部分，發生閉塞作用；又能沉集於 Cascade 酸盤中，而使後者有炸裂之虞。此係不可避免之事，只可以鉛器代替鐵器，以期減少損害，而尤以處理殘酸時為然。使用鉛器雖能生成硫酸鉛，然為量較少，處理亦較容易。

## 文 獻

### 硝化甘油

舊式製法見 “Manufacture of Explosives,” O. Guttmann, London, 1905。新式製法見 A. E., 1906, p. 90; J. S. C. I., 1908, 1933。

以往製造硝化甘油，發生災害甚多，參考下列各「特別報告書」：  
—— S. R., 150, 156, 161, 162, 164, 167, 180, 200。

### 硝化纖維

“The Nitrocellulose Industry,” by E. C. Worden, 2 vols, London, 1911。此書關於硝化纖維之火藥上的以及其他工業上的

用途，所載甚詳

置換式硝化法詳載於 A. E., 1906, p. 77; 離心式硝化法詳載於 S. S., 1910, pp. 352, 413, 434, 458, 478, 並附插圖甚詳。

阿貝爾硝化法詳載於 “Journal of the Society of Chemical Industry, 1909, 180。” 下列「特別報告書」載有發生災害之情形: S. R., 166, 169, 206, 207。

### 梯 恩 梯

關於梯恩梯之安定性, 火藥上之用途, 及毒性參閱: A. E., 1914, 68; S. S., 1912, 425; 1913, 97, 213; 1914, 239, 378, 405, 432; P. S., XVI., 40, 97, 213。

歐戰時因梯恩梯而發生之多數災害, 尚無報告。但下述者亦頗有興趣: S. S., 1907, 333, 413, 416; 1908, 298; 1909, 213; A. R., 1903, 26。

### 苦 味 酸

苦味酸製法之最佳記載見 “Metallurgical and Chemical Engineering,” 1915, p. 686。

因苦味酸而生之災害見 S. R., 81, 139。

### 四硝基苯胺及特出兒

A. E., 21, 21, 36; 24, 137, 144; 25, 38。

S. S., 1913, 185。

## 第五章 無烟藥

### 具來福線兵器用發射藥

具來福線兵器用發射藥，其性質與滑膛兵器所用者不同。前者用緩燃性火藥，對於彈丸呈「推動」之作用，而屬於後者之獵槍藥則需要速燃性火藥，對於彈丸呈「衝擊」之作用。具來福線兵器所用彈丸與砲身之來福線彼此相密切緊接，使彈丸未離砲口前火藥氣體不至逃逸。鋼質彈丸上之銅帶（“氣體緊閉帶 gas checks”或“導帶 driving bands”）即負此種作用。如使用速燃性火藥，當彈丸在砲膛中進行不遠時，火藥即已燃燒完畢，因而有生呈絕大高壓之危險。此膛壓雖高，但減低甚速，故結果所得之初速（muzzle velocity，即砲口速度）仍甚小。反之，如採用適當之緩燃性火藥，則在砲彈經過砲膛之整個過程中，始終生呈沉着均勻之膛壓（steady pressure），膛壓既不致過高，而初速又大。在砲膛中維持均勻之膛壓直至彈丸離開砲膛之頃，一般就機械上講，認為不可能。此蓋因所有槍砲，欲使砲身自砲尾至砲口具同一厚度，乃不可能之事也。砲身愈長，所用發射藥之性質，燃燒必須愈緩慢。具來福線兵器之最大膛壓，普通約為 15 噸平方吋（合 2400 公斤/平方公分）。獵槍之最大膛壓僅約 2—4 噸（合 520—640 公斤/平方公分）（譯者按：新式步槍或機關槍，最大膛壓達 3000—4000 公斤/平方公分）。

無烟藥未發明前，欲火藥燃燒緩慢，須用模造黑藥。大粒者長達1½吋，模造火藥表面積減少，故其燃速大為緩慢，因燃燒作用僅起於表面也。藥粒隨燃燒而漸變小，其燃燒表面當亦隨而減少。為補救此缺點，以期得到沉着均勻之膛壓起見，凡模造火藥皆具一個或數個之穿孔。此種火藥，當其燃燒時，外部表面積雖漸減小，但其穿孔內之表面積則反形增加。是故選取適當數目之穿孔模造火藥，可得燃速沉着均勻之燃燒，現時已不用模造火藥，然其燃燒理論仍適用於無烟藥，即火藥之燃燒速率隨藥粒大小而變化是也。

理想中之無烟藥，須具下述諸性能：

(1) 彈道規則 欲求彈道規則，必須火藥燃速規則，為此緣故。藥粒不可太脆，以致搬運或燃燒時發生破裂，亦不可質地疏鬆，以致燃燒進行不沿表面進行而突然傳播於藥之全體。對於管狀藥或穿孔藥因管孔內部之氣壓較其外部之氣壓為大，如藥質脆弱，則管孔將破裂。故此種形狀之火藥，必具有相當強之機械抵抗力。對於片狀火藥，因各藥片彼此為面與面的接觸，致其有效表面積減少。有數種片狀藥之所以具皺紋或節瘤者，即為防止此弊而設。此外，火藥所含之揮發性物質，為最務求其少，可能時最好完全不含之。蓋當貯存時，揮發物易於逃逸，致使火藥成分發生變動。又須不受氣候影響，亦不可生凍結現象。

(2) 安定性 軍用火藥有時須貯存數年之久，方有使用機會，故安定性問題，殊為重要。最安定之火藥，其質地常最緻密。欠緻密之火藥，即係疏鬆多孔之火藥，易起氧化作用，其安定性當然較劣。此外性質緻密之火藥，吸溼性亦小。

(3) 不污膛面 火藥燃燒後，遺於膛面之污穢務須極少。縱然有之，亦須易於清除。其燃燒生成物，對於砲膛不可生腐蝕作用。

(4) 無烟 火藥之燃燒生成物，在常溫時須為氣體，不可生烟。各種火藥，燃燒時均生成水汽，天寒時，此水分常凝結成霧，凡含有硝酸鹽之火藥，燃燒後生有固體殘渣，故多少呈烟之現象。硝酸銨為硝酸鹽中唯一只生氣體分解物之物質，然因吸溼性大而不能應用。

(5) 無毒烟 火藥燃燒生成物中不可含有毒氣體。一氧化碳雖常發生，但在發射藥使用情況下，尚不至發生危險。含硝化甘油之無烟藥，其出砲口氣體之中常含此氣體。砲手之常發生“放砲頭痛 gun headache”者，即為此故，此尤以大口徑砲為然。

(6) 無腐蝕性 腐蝕之原因有二：即固體小粒之沖刷作用與砲膛內壁所受之高溫影響是也。黑藥所呈腐蝕作用，幾全由於固體爆發生成物之沖刷所致。但無煙藥之腐蝕作用，乃因金屬膛面為高熱所熔化，隨後又受火藥氣體之衝擊而形成。故欲防止腐蝕，必須減低火藥之爆溫。

(7) 無砲尾焰 如火藥爆發生成物中含有多量一氧化碳，則當打開砲門後，能發生燃燒，因而形成砲尾焰。此現象對於重砲最為危險。因砲尾焰引燃同一砲塔內之其他裝藥致發生災患者，屢有所聞。防止之法 須在火藥成分中，使含大量之氧，使全部碳素，均得化為二氧化碳。

(8) 無砲口焰 夜間舉行射擊，砲口焰易使己方砲位為敵發現。是故軍用火藥忌生砲口焰，添加中性鹽類，雖可補救此弊，然因是於白晝發射時又有增多砲口烟之弊。



(9) 威力與密度務求其大 火藥威力 (power) 愈大，對於同一效力所需之藥量亦愈少。此點對於軍事上殊重要。以其能減輕運輸之累，又能減少士兵負擔之重量也。火藥之密度大，則貯藏處所之容積可減小。對於海軍軍艦上彈藥艙位之地位欠大者最為需要。

(10) 對於衝擊須鈍感 軍用者較獵用者尤需鈍感。軍用火藥，務須鈍感，例如受到如槍彈之射擊時，不可發生爆炸。

(11) 火焰敏感性須大 良好無烟藥，用適宜之火帽與傳火管點火，須能及時引燃，不可呈遲鈍現象。

具來福線兵器用無烟發射藥可分為二大類：一係兼含硝化甘油與硝化棉之無烟藥，不論是否含有少量之他種添加物如安定劑或其他添加物均屬之。一係不含硝化甘油而只由硝化棉製成之無烟藥，不論其是否摻有安定劑、添加劑或硝酸鹽均屬之。二類雖然俱含硝化纖維，但後者統稱為純硝化纖維無烟藥，而前者則稱為含硝化甘油無烟藥。安定劑能吸收火藥之分解生成物，使火藥本身保持中性狀態，以防止自身接觸作用 (autocatalysis) 之進行。碳酸鎂或碳酸鈣堪資利用，尤以硝化棉之穩定用之較多。穩定時用硬水蒸氣，即所以添加碳酸鈣者。有機物中 往昔曾用樟腦為安定劑，然因其易於揮發，經相當時期後，樟腦火藥之彈道性常生變化，是故現今多代以二苯胺或礦物膠（即粗凡士林）。此外如二苯脲、脲素等亦均可用（譯者按 無烟藥中添加樟腦之主要目的，在於舉行表面膠化，利用樟腦為安定劑，尚非其原來本意）。

含硝化甘油無烟藥與純硝化纖維無烟藥，二者俱為膠化硝化棉之膠體，用壓藥機壓成帶狀、桿狀、管狀或長片狀，如供手携兵器用

者，可再切爲小方片狀。關於該二類火藥之孰優孰劣，曾引起不少爭辯，迄今未能十分決定。含硝化甘油無烟藥之缺點爲：未經燃燒之含硝化甘油蒸汽能引起砲手之強烈頭痛，尤以重砲爲甚；溫度太低時有凍結之虞。所生較高爆溫，對於砲膛之腐蝕過大。最後一種現象，曾由 Vieille 氏舉行定量實驗。氏將火藥爆發於密閉鋼筒中，筒上裝有具一公厘直徑小孔之移動活塞一個，爆發生成氣體即經此小孔逃逸，此活塞在試驗前後各稱量一次。所損失重量之多寡，即表示腐蝕性之大小。Vieille 氏測得柯達藥之腐蝕性遠較 B 火藥爲大。嗣由諾貝爾氏 (Sir Alfred Nobel) 用含硝化甘油 10—60% 之各種特製柯達藥舉行試驗，結果證明在此限度內，腐蝕性增大至 600% 之多。他方面，含硝化甘油遠少於 Mk. I 柯達藥之 M. D. 柯達藥，其所呈腐蝕性，較一般純硝化纖維無烟藥所差無幾，超出不多。

含硝化甘油無烟藥之優點，爲成本低，彈道性均勻，較純硝化纖維無烟藥少生砲尾焰，保存期間變化小，不易變疏鬆，所含溶劑可驅至極少量。但純硝化纖維無烟藥則較易失其膠體性，而易呈疏鬆質現象。不論如何延長製藥時間，其所含溶劑無法驅除盡淨。是故通常此類火藥，其中多留存 2—4% 之揮發分，該項揮發分隨時間而漸揮發，揮發物減少，則火藥之彈道性當然發生變化。此外含硝化甘油無烟藥較純硝化纖維無烟藥之威力爲大，密度亦較高，故其運輸與貯藏俱可節省空間，對於軍事上裨益非淺。

可注意者，世界第一等強國中只有英意二國，不論陸軍或海軍，亦不論何種兵器，概採用含硝化甘油無烟藥。其他諸列強，或單採用純硝化纖維無烟藥，如法、俄、美，或視兵器種類不同而兼採含硝化

甘油無烟藥與純硝化纖維無烟藥之二種火藥，例如德國是（日本亦如此）。試驗發射藥最佳方法，為長時期實地使用。故戰爭對於二大類無烟藥之優劣，可供給若干有用之數據。

## 含硝化甘油無烟藥

**蓓蕾無烟藥** 此類無烟藥中最初出現者為 1887 年諾貝爾氏發明之蓓蕾無烟藥 (ballistite)。當初製法，係用苯以膠化弱棉與硝化甘油。但不久即加改良，在熱水中以壓縮空氣使硝化甘油與弱棉互相膠合。將所得藥膠用溫度  $50^{\circ}-60^{\circ} \text{C}$ . 之熱輥子反覆碾壓，直至得到完全均一之膠片為止。而後切成片狀，有時並光以一層石墨。如是製成之蓓蕾無烟藥，平均約含等量之硝化甘油與弱棉，有時亦含 1% 以內之二苯胺為安定劑。蓓蕾無烟藥，因其爆溫高，故腐蝕性極大，早已大部分為柯達無烟藥及含較少量硝化甘油之類似火藥所代替。

**柯達無烟藥** (Cordite) 柯達無烟藥於 1889 年訂為英國制式發射藥。最初之成分為硝化甘油、強棉及礮膠(即粗凡士林)。其比率如下：

硝化甘油	58
強棉	37
礮膠	5

礮膠雖有冷卻之作用，但砲膛之腐蝕仍甚大，而不得不改變其成分。今日廣用之柯達藥，其成分如次：

硝化甘油	30
強棉	65
礦膠	5

此新火藥稱曰 M. D. 柯達藥，以與舊式柯達藥（即 Mark 1 柯達藥）相區別。對於某種用途，仍有使用 Mark 1 柯達藥者。

製柯達藥所用強棉，係由棉紗頭用置換式硝化法所製成。其氮量為 13%，不溶於醇醚合劑者 85%。所用礦膠之發火點，不可低於 40 F. (204.5°C.)，30 C. 以內不可全部熔化。須不帶酸性，不含礦物雜質。38°C. 時之比重不可小於 0.87。

英國製造柯達無烟藥，方法如下。他種含硝化甘油無烟藥之製法與此亦相類似。當強棉烘乾放冷後，即在烘藥室內將其稱入橡皮袋，每袋容量約 25 磅，所用砵碼係鉛製，外包皮革或橡皮。移此袋至硝化甘油部，量取定量之硝化甘油傾入袋中。量取硝化甘油或用固定式鉛製量器，或用活動式樹膠 (gutta-percha) 壺。乃移袋至手工混合室，將其傾出，用雙手混合，再通過半吋篩眼之篩，將其篩於另一袋內。此種「手工混合物」(“hand mixings”) 較單獨之硝化甘油或硝化棉俱為安全。大多數工廠中，為求工作周轉靈活，多以此狀態經常貯存相當量之柯達藥膠。第二步手續為用溶劑將此藥膠舉行膠化，以使硝化棉成膠。溶劑以丙酮為最合用，亦最常用。緊急時可代以醇醚合劑，歐戰期間，曾大量採用之。膠化工作，採用 Werner-Pfleiderer 式拌藥機 (圖 6)，需時七小時。每機平均容量為 150—250 磅，每次當未加藥膠前，須先用丙酮潤溼機之內部，而後始可放入藥膠及其餘丙酮。於是開機轉動，迨進行時間過半，即當開始後

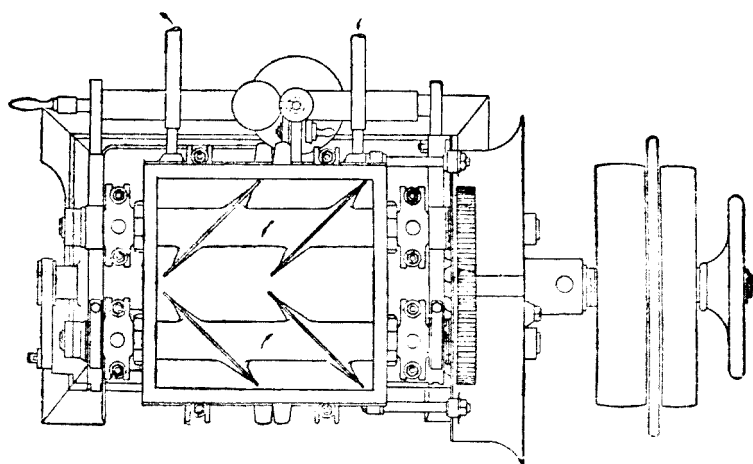


圖 16 Werner &amp; Pfeilerei 式拌藥機

3½ 小時之際，始將磺膠加入。拌藥時 僵硬藥膠之溫度，漸漸上升，但不得超出 40°C. 以上，須調節拌藥機夾套中之水流以節制之。為減少丙酮之不必要損失。機上覆以輕巧木蓋。機之傳動皮帶，易於荷電，萬一發生火花，有使丙酮蒸汽發生爆發之危險。為補救此弊，所有拌藥機，均須接通大地，所通皮帶均須浸以甘油與水之混和液。

膠化畢，用袋移藥膠至壓藥室，將其裝於砲鋼製圓筒中，用水壓加壓桿填緊，再以水壓機加壓，使通過藥模子而壓成各種尺寸之桿狀 (cord, cordite 一字即以此得名) 或管狀。藥模子上面，置有砲鋼製 100 篩眼之鋼一塊，藉以濾除藥膠中之夾雜物。如壓管狀藥，須用中心具有一針之模子。管小者，因局部發生真空，藥管易於破裂，困難頗多。為免此困難，將中心針製為中空之針，而與機外之空氣接通 (E. P. 27, 7. 0<sup>10</sup>)

藥桿之粗細依其所用火砲之大小而異，最粗者直徑幾達半吋。無論何種柯達藥，其所用模子之尺寸，恆較成品藥所應具之直徑大約  $\frac{2}{100} \sim \frac{3}{100}$  吋，蓋所以補償烘乾時之收縮也。小型柯達藥自壓藥機壓出後，纏於捲軸上；大型者則平舖臺上，再刀切為適宜長度。烘藥溫度為 40 C.，烘藥時間由數日以至二三月不等，視藥桿直徑之大小而不同。Mark I 柯達藥遠較 M. D. 柯達藥為易於烘乾。☞

烘藥畢，取數批之柯達藥，加以勻和，以期彈道性均一。纏於捲軸上之小型柯達藥，如步槍用柯達藥，勻和法甚簡便，將數個捲軸上之藥條同時重新捲於另一個捲軸上即能勻和。在此工作之工人，因乾柯達藥經過人手荷電甚強，務須謹慎與大地為電氣的接通。對於大型柯達藥，將數批藥之藥箱排成一行，用手工自每箱各取一把而盛入另一新箱中，即可勻和。藥條每長一時重量之多少，普通即據此數目為勻和工作之標準。勻和前，先細心檢查，凡藥條之變形太甚或雜有斑點者，均揀出之。斑點之生成，其主因由於壓藥時盛藥膠圓筒與黃銅導板摩擦生成黃銅粉所促成，殊難避免。此種藥條，經在裝箱室揀出後，送回拌藥室，加丙酮重施膠化再行使用。

英國政府所用柯達藥，係用一分數表示其尺寸。分數之分子表示以一時之百分之一為單位之藥條直徑，分母表示以吋為單位之藥條長。例如  $\frac{45}{25}$  號柯達藥，乃指該柯達藥之尺寸：直徑為 0.45 吋，長為 25 吋。

柯達無烟藥為棕黃色之角質物，用手彎曲之，小型者性柔曲，大型者易折斷。Mark I 柯達藥遠較 M. D. 柯達藥為柔曲。柯達無烟藥對於震動甚鈍感。在不十分密閉容器中燃燒雖猛烈，但並不爆炸。

1918 年一月至六月間，柯達無烟藥之製造成本每小(?)噸約為 225 金鎊 (C. T. J., 1919, p. 189)。

製造柯達無烟藥，強棉每 100 磅，需丙酮 56 磅，為經濟起見，必須盡量收回丙酮。將出自烘藥室之空氣加以適當處理可達收回目的。其方法之一種，係將含有丙酮蒸汽之空氣強迫通之於水。水盛於密閉桶中，各桶排列為高低斜列，水自上下流，空氣自下上行，二者方向相反。於是空氣中之丙酮為水所吸收，經用適當分餾器舉行蒸餾即得丙酮。然最常用之收回法，係利用丙酮與酸性亞硫酸鈉結合成加合物  $(\text{CH}_3)_2\text{C} \begin{matrix} \text{OH} \\ \text{SO}_3\text{Na} \end{matrix}$  之原理舉行。其法係將出自烘藥室之空氣向上通至鋪鉛皮之塔中，塔內部有架，架上有羊毛編成之交叉網 (E. P. 25, 994<sup>11</sup>)。同時自塔頂灑以酸式亞硫酸鈉之濃溶液，一般將數塔連接成列，自一塔底部流出之溶液用唧筒打至另一塔之頂部，因而溶液與空氣得依逆流原理彼此相接觸，能使吸收作用益趨完全。自最後一塔流出之溶液，加以少量碳酸鈉後，舉行蒸餾，將所得丙酮再舉行分餾，以行精製。

各種溶劑收回法，概須預防二種危險。其一，不論任何一烘藥室失火，則其他各烘藥室因與收回室有管相通關係，有遭同一厄運可能。於管中裝金屬細網，使具有如 Davy 式煤礦安全燈之作用，可防止之。再於管之各處，裝設易為爆波突破之脆弱部分，亦可協助預防。其二，烘藥時柯達無烟藥放出相當之硝化甘油，尤以烘藥至後半期為甚，因而管中有凝結硝化甘油之虞。預防之法，可在管之一處或數處，裝設聚油箱，以便安全的取出所凝聚之硝化甘油。有數家工廠，在聚油箱中盛以少量中等黏度之石蠟油（例如中級機械油），以

緩和硝化甘油之爆性。

大型柯達無烟藥，常烘至後半期時，放出溶劑為量極少，有得不償失之概，尤以 M.D. 柯達藥為最。是故對於大型藥，通常當其所含大部分溶劑揮發後，多將其移至不收回溶劑之烘藥室烘乾之。

茲將歐洲各列強軍用含硝化甘油無烟藥之名稱、成分及形狀列表如下，其他之列強係採用純硝化纖維無烟藥。

國 別	無 烟 藥	N.G.	N.C.	M.I.	形 狀	附 註
英 國	Mark I 柯達藥	58	17	5	細管狀	N.C. 含 2% N
英 國	M.D. 柯達藥	50	65	5		
意 大 利	White	70	29	—	桿 狀	含 1% Ph <sub>2</sub> NH
意 大 利	col nite	33	64	3		N.C. 含 12.5% N
德 國	散 狀 藥	50	50	—	散 子 狀	含 有 Ph <sub>2</sub> NH
德 國	管 狀 藥	25	64	3	管 狀	

柯達無烟藥亦多用為獵槍藥，除此以外，英國尚製有一二種含硝化甘油無烟藥專供獵槍之用。其中以「阿克西忒」(axite) 與「毛狄忒」(moddite) 為最著名。前者實為 M.D. 柯達藥，所異者只多含 2% 之硝酸鉀而已，後者含硝化甘油稍多，其成分據 Marshall "Explosives" 記載之分析結果如下：—

硝化甘油	38.7
硝化棉	56.8
礦膠	4.3
揮發物	0.2



## 純硝化纖維無烟藥

此類無烟藥由硝化棉加溶劑膠化爲膠體，再壓成桿狀、管狀或帶狀。工作方法酷似柯達無烟藥。丙酮可用爲膠化溶劑，然用丙酮製成之膠體，質地甚脆，且隨時間延長而愈形脆弱，故普通幾全以醇醚合劑爲溶劑。因醇醚合劑不能膠化高氮量硝化棉，故須用醇醚全能溶解之弱棉。否則不能膠化之纖維有使藥膠變爲疏鬆多孔之弊。疏鬆多孔之無烟藥由於氧化作用之盛行，安定性不佳。又因其燃燒不僅限於表面而係立體的，非表面的，致使火藥彈道性不規則，易生成過大膛壓。

具來福線兵器用之純硝化纖維無烟藥，普通除略含安定劑與短時間內不能烘乾之少量殘留溶劑外，一般只含有硝化棉，有時亦含少許之硝酸鉀。含硝酸鹽之無烟藥，多用爲獵槍藥，來福槍用者甚少，製法不同，後當另述之。所有純硝化纖維無烟藥幾全由醇醚合劑膠化而成。溼硝化棉中之水分，可藉酒精置換法驅除之，如此可免除烘硝化棉之危險。

採用純硝化纖維無烟藥爲軍用火藥之國家，爲數甚多。茲述美國軍用無烟藥之製法於下，以爲一般製法之例。

美國軍用無烟藥 所用硝化棉，係用棉紗頭以置換式硝化法或離心式硝化法製成（譯者按，近年來美國製造硝化棉，又採用一種新式硝化器，器內設機械攪拌器以行攪動）。含氮量約 12.7%。在醇醚溶劑中幾全溶解。經磨粉、洗滌、旋乾諸手續後，稱取含水約 80% 之溼硝化棉 40 磅，置入圓筒中，加酒精置換其中水分。迨所驅出之水

達半加侖以上，乃以每平方吋 200 磅之壓力壓榨之，最後且加高壓力至 3,000 磅。如是所得棉藥塊，亦稱爲 'cheese,' 重約 38 磅，其成分爲：

硝化棉	73 %
酒精	2 %
水分	4 %

用木槌將棉藥塊略加打碎，放入 Werner & Pfleiderer 式拌藥機中（圖 16）攪拌 15 分鐘，將其充分粉碎。每機裝棉藥塊三個，相當於純硝化棉約 82 磅。硝化棉完全粉碎後，始加乙醚 48½ 磅，其中預溶二苯胺六噸，於是舉行拌藥 45 分鐘。隨後將其移入水壓機中，以每平方吋 3500 磅之壓力加壓，即得富於彈性之角質藥膠塊，每塊約重 40 磅。當壓藥時絕無溶劑壓出。爲除去如木片及其他硬物等夾雜物起見，特用架於帶孔厚鋼板（孔徑  $\frac{1}{16}$  吋）上具 30 篩眼之網舉行過濾。所謂過濾，係以 3500 磅每平方吋之壓力加壓，壓出之藥成爲繩狀。其次將該藥繩再以 3500 磅每平方吋之壓力壓成藥塊，而後將此藥塊用水壓機壓成多孔管狀之藥繩。藥繩之直徑與孔數（由 1—7 個），依其用途而異。壓出之多孔管狀藥繩，立爲旋轉刀切成藥管，經烘乾後即得。壓多孔管狀藥繩時，發生大量之熱。是故所用藥模必流通冷水以低降其溫度。然亦不可冷卻過甚，要以溫度保持 30°C. 爲最宜。在此溫度時切藥效力爲最大。

壓藥切藥畢，火藥含溶劑約 48%，半數以上爲乙醚，因乙醚揮發性大，又不易與他物形成加成物，故其收回法遠較收回丙酮爲困難。在經濟許可範圍內，至多只能收回其 40%，係用冷鹽水冷卻冷

凝器所得。冷卻器之溫度，不可太低，否則與乙醚蒸汽同時過來之水蒸汽有凍結而發生阻礙之弊。所收回之乙醚，其中混有多量酒精，最好處置法，係送至乙醚廠提鍊。最後所得成品藥，視藥體大小，約含殘留溶劑 3—7%（譯者按：成品槍藥所含殘留溶劑可至 1% 以內）。

**B 型無烟藥** (poudre B) 此即法國軍用無烟藥。係取可溶性與不溶性二種硝化棉之混合物，以醇醚合劑為膠化劑。另加二苯胺及戊醇所製成。戊醇能長期存留於藥中，較醇或乙醚難於揮發。拌藥畢，將所得藥膠用溫度 70°C. 之熱輥子碾成藥片，再切為帶狀或小方片狀，否則或選用水壓藥經藥模子壓為帶狀亦可。在 50°C. 烘乾後，再用溫水浸洗，以減除其中之溶劑。

此種無烟藥質地較為疏松多孔，曾因發生自然燃燒而造成數次之爆炸災害。907 年 *Pena* 號戰艦及 1911 年 *Liberté* 號戰艦之炸毀，即此種災害中之最著者。

## 滑膛兵器用無烟藥

(獵槍用無烟藥)

滑膛兵器用發射藥，較之具來福線兵器所用者，必須燃燒甚迅速。為求能得良好之散布面，當彈丸離開砲口之頃，膛壓須力求其低。

所有滑膛兵器用無烟藥，大半皆屬純硝化纖維無烟藥，並照例含有硝酸鉀或硝酸鎂。約可分為緊性獵槍藥 (condensed powder) 與鬆性獵槍藥 (bulk powder) 二大類。緊性者為膠化完全之火藥，其製法與具來福線兵器用者極為相似。所以燃速較大者，在於藥片極

薄，形狀極小。Munroe氏描述其美國製法如下：

在直立式夾層釜中盛濃度 5% 之硝酸鋇與濃度 2% 之硝酸鉀水溶液。取已經粉碎之溼硝化棉加於釜中，而用機械攪拌器舉行攪拌，另取醋酸戊酯與硝酸鋇硝酸鉀之水溶液製成乳漿，倒入釜中，即在常溫時經過若干分鐘，使成藥粒。而後打開夾層中之蒸汽管，繼續攪拌加熱共 5—6 小時，在此期間，大部分之醋酸戊酯以及一部分之水分揮發逸去，可凝縮之。於是移出釜外，濾取藥粒，烘乾後，過篩，將過大過小之藥粒和於下次釜中，對於每 450 磅之新硝化棉僅加 250 磅之舊藥。

另有一種美國製獵槍藥，名「因杜銳忒」(indurite)，係由強棉製成。將強棉中之可溶部分用甲醇提出，取其不溶部分，加硝基苯舉行膠化，最後再用熱水除去硝基苯即製成。

緊性獵槍藥之最大缺點，為體積小，需特製藥莢。裝製藥莢，係以容積量取藥量，藥之密度愈大，因少許容量上差異所引起之重量誤差愈甚。是故普通以鬆性獵槍藥較受賞用。鬆性獵槍藥係硝化棉製成之小粒，有時尚含少量之其他物質。藥粒僅其表面受到膠化。一般稱呼鬆性獵槍藥為 42 格令獵槍藥 (42-grain powder) 或 33 格令獵槍藥 (33-grain powder) 者，意指第十二號獵槍 (12-bore gun) 所用之裝藥重，前者為 42 格令，後者為 33 格令，而此等裝藥量所占之容積適與標準黑藥裝藥量三打蘭 (drams) 之容積完全相等。此外尚有 30 格令獵槍藥，因其膠化近乎完全，似以屬於緊性獵槍藥為宜。

大多數之獵槍藥，皆含有硝酸鋇或硝酸鉀或二者之混合物。當

製造時，常須較成品藥所需者多加若干，嗣後用水再將其溶去，結果最佳。使用此法，能製成更疏鬆之火藥，能使定容積內之裝藥量易於準確。

獵槍無烟藥所用硝化棉，通常含氮量約 12.0—12.8%，但製自硝化木纖維之獵槍藥，氮量常較此為低。

製造鬆性獵槍藥之第一步，為硝化棉之造粒。其法計有數種：例如將溼硝化棉用輪研機壓和，或用內盛瘡瘡木（*lignum vitae*）木球之球磨機壓和均可。舉行壓和時，其他成分如硝酸鹽等，即於此時加入其中。如是繼續壓和，至混合均勻，藥粒大小適宜為止。於是約略加以篩分，在較低之溫度將其烘乾。乾後，篩除粉塵，即可舉行膠化。可用迴轉鼓桶舉行表面膠化，鼓桶內部具有背脊，以便火藥隨桶迴轉。所用溶劑係漸漸加入，而非一次傾入，否則難期分配均勻而易發生未經膠化、膠化過甚、甚至藥粒相結成塊之弊。噴溶劑畢，混合均勻後，確信溶劑已經均勻分配，乃靜置數小時，而後舉行烘乾。烘乾工作最好分二次舉行，當第二次烘藥時，溶劑甚少，無收回價值。為求盡量收回溶劑起見，第一次烘藥宜於迴轉真空鼓桶中舉行。鼓桶之空心軸藉冰冷鹽水浴卻之銅製蛇管冷凝器與真空抽氣機相連接。鼓桶與冷凝器間，設有細網，藉防粉塵通過。為防止因冷凝器結凍或濾器阻塞而引起之鼓桶高壓起見，鼓桶裝藥口之蓋，僅藉真空作用關蓋。萬一真空失效，則桶蓋自行脫落，桶中壓力自動下降。當溶劑盡量收回後，移藥至烘藥室，將藥移置淺盤上，鋪成薄層以完成烘乾工作。此時並無收回溶劑之必要，因其揮發甚慢而少故也。烘藥畢，再行篩分，將過大過小之藥粒除去，而後存放約六週之久以行

「涼藥」(aging)。涼藥之目的，在使火藥自空中吸收相當量之水分，使達適宜之分量。各批火藥經分別施行彈道性試驗後，將各批舉行勻和，以期得到具有標準性能之火藥。同一種火藥，分數批製成，欲其使用效力相同，以此勻和工作最為重要。製造 30 格令獵槍藥須用高氮量硝化棉，因須以較少藥量發生同一程度之威力故也。為求減低其燃速起見，膠化作用必須完全。同時，該火藥之體積，必須保持在其 30 格令之裝藥，占據三打蘭之標準獵槍彈裝藥之容積。為達此目的，須將硝化棉與重約數倍之硝酸鉍或硝酸鉀相混合後，始可舉行烘乾及膠化。由是裝得之藥膠，其壓藥法與緊性獵槍藥路同。烘乾後，用溫水浸漬，使所含硝酸鹽幾全部溶去。製造 33 格令獵槍藥方法同此，所異者只膠化作用不需如此透徹耳。

製造鬆性獵槍藥所用溶劑，因丙酮造成之藥膠質地脆弱，故不宜單獨使用丙酮。一般與酒精混合使用。醇醚合劑不愧為優良之溶劑，但有不易收回之缺點。醋酸乙酯或醋酸戊酯亦多採用，或係單獨採用或與其他溶劑合用皆無不可。此外尚有人主張用苯為溶劑者。有時為促進膠化作用起見，可在溶劑中摻加芳香族硝基碳氫化合物，如二硝基苯、二硝基甲苯或三硝基甲苯等是。此種物質即存留藥中。凡採用之者，須另加以足量之硝酸鹽，以求其燃燒完全。為改善藥之外觀計，普通多於溶劑中加以少量之有機染料，aurine 即其一例。又有加羧棉膠液 (collodion) 於藥粒表面使形成一層被覆物，以防溼汽之侵入，並有減低燃速之功效。為求減低燃速，亦可採用石墨光藥法。茲將英國最常用獵槍藥之成分列如下表：

	Imperial Schultze	As berite	F.C.	Schultze	Kynoch's smokeless	Spor in ballistite
N. G.	—	—	—	—	—	37.6
N. C.	—	71	79	62.1	52.1	62.3
Nitro-lignine	80.1	—	—	—	—	—
D.N.T.	—	—	—	—	19.5	—
KNO <sub>3</sub>	—	1.2	4.5	1.8	1.4	—
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	10.2	18.6	7.5	26.1	22.2	—
樟 腦	—	—	4.1	—	—	—
W. M.	—	1.4	3.8	—	2.7	—
M. J.	7.9	5.8	—	4.9	—	—
澱 粉	—	—	—	3.5	—	—
炭 粉	—	—	—	—	—	—
灰 分	—	—	—	—	0.9	—
揮 發 分	1.8	2	1.1	1.6	1.2	—

83 格令獵槍藥中，在英國最受賞用者為「無烟金剛石」(smokeless diamond)，係由硝化纖維與硝酸鉍製成，藥粒表面光有石墨。

蘇采獵槍藥 (Schultze powder) 為發明最早獵槍無烟藥之一種，係由木纖維製成，即硝化癒瘡木火藥是也。其製法，先將木材妥慎精製，盡量除去其中之生果膠 (pectose) 及非纖維物質，而後舉行膠化。經洗滌後，用硝酸鉍溶液將硝化木纖維之表面塗浸，再用酒精或他種適宜溶劑舉行表面膠化。此種滑膛獵槍藥，最受狩獵界賞用，然迄今仍不能用為來福槍藥。大戰時，德國棉花來源為協約國所封鎖，已相當採用硝化木纖維為軍用火藥。

蘇采殼狀獵槍藥 (Schultze cube powder) 爲膠化完全之 30 格令獵槍藥，可由棉或木纖維製成。法國火藥工業爲官方經營，所製獵槍藥有下列諸種：——

	poudre S	poudre J	poudre M	poudre T
N.C.	65	83	71	100
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	29	—	20	—
KNO <sub>3</sub>	6	—	5	—
Am <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	—	14	—	—
K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	—	3	—	—
樟 腦	—	—	3	—
Glycose	—	—	1	—
每公分重大藥之藥粒數	1500	250—300	3500	2500
對於16-calibre gun 及 3 g. No. 6 shot 所需裝藥量	2.4	2.8	2.1	1.9
密 度	0.500	0.750	0.475	0.56
平均膛壓 K <sub>3</sub> /cm <sub>2</sub>	445	350	500	470

Poudre T bis 與 poudre T 甚相類似，所異者僅其燃燒速度較速而已。

製造 poudre S，將各成分就其潮溼狀態用精巧之輪研機舉行混和。烘乾後，用酒精捏和。將所得藥膠使其通過篩子，以行造粒。此火藥對於槍膛遺留污物甚多。

製造 poudre J，係將硝化棉與醇醚合劑及粉狀重鉻酸鹽相混合，而後壓成片狀即成。

製造 poudre M 與製 poudre S 略同。所異者 poudre M 之藥粒，



最後須用溶有樟腦及弱棉膠之醇醚合劑舉行膠化。此火藥常有生呈不規則高膛壓之弊。

Poudre T 不含硝酸鹽或重鉻酸鹽。係用醋酸乙酯與丙酮之混合液舉行膠化。

比國製獵槍藥，最著者有二種。一為全不含無機鹽之「木來銳忒」(mullerite)，一為由硝化纖維與硝酸鋁硝酸鉀製成之「克來芬尼忒」(clemonite)。

德國製獵槍藥，有數種頗負盛名。如「乏散」(fasan) 與「蒂哥」(tiger)，二者俱可稱為 42 格令獵槍藥。「繞忒外魯」(rothweil) 與「鷹牌」(adler-marke) 二者為 30 格令獵槍藥，其製法與相類似之英國獵槍藥大致相同。又有「瓦爾斯繞德」(walsrode) 火藥，係用醋酸乙酯為膠化劑。

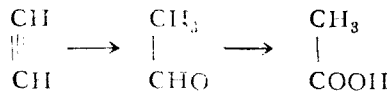
## 脂肪族溶劑

製成無烟藥需用價昂之溶劑，製造成本因而大為增高。酒精向由糖類或澱粉類之發酵製成，主要原料為糖漿、馬鈴薯及玉蜀黍。近年來，得自造紙工業之鋸屑與亞硫酸廢液，加酸舉行水解，可將纖維質之廢物變成可發酵的糖類。大規模工業化，雖多困難，但已逐漸消除，以美國研究最力，此外另有一種純人工合成酒精，係將乙炔變為乙醚，再經還原作用使成酒精，此法在繼續發展中。

乙醚向由硫酸與酒精製成。但將來藉觸媒作用以使酒精脫水之方法，似較經濟，有厚望焉。

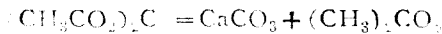
醋酸為製造醋酸乙酯及丙酮之原料。普通為木材乾餾工業之副

產品。所惜松柏科木材不易變生此物，其他質地較硬之木料，得率亦甚低。因而引起人工合成法之研究，並已有相當成功。其法係以乙炔為出發點，將乙炔用硫酸處理，以硫酸汞為觸媒，則與水結合生成乙醛，再經氧化則變為醋酸。



此法本甚舊，但迄至歐戰末期始實驗成功。究其將來能發展至何程度，尚難斷言也（譯者按：近年來德國已實行使用此法合成醋酸）乙醛能使含樹脂物質起聚合作用，為其最大困難之一種。

丙酮向由醋酸鈣乾餾而成。將醋酸鈣加熱至 300 C.，則分解為碳酸鈣與丙酮。



當澱粉發酵時，亦生成丙酮。其中夾雜有雜醇油類。海藻與七葉樹 (horse-chestnut) 似亦可供此用途。1912 年英國曾設立一公司，從事製造。其原始目的在於製取雜醇油，從而間接製造人造橡皮。此後半部計畫似未實現，但該公司確已利用其法製成丙酮供給軍用。美國 Hercules 火藥公司在太平洋沿岸設有大規模之工廠，辦理海藻發酵工業，而以鉀鹽為主要副產物。英國 Cornwall Penzance 地方亦早開始是項研究。此項工業提取有價值成品後所剩殘渣，尚可供發生氣燒爐之用。即以其燃燒所生熱量作為該廠之動力源。設法收回其中所含之碘與溴，可成為副產物。但苟欲如此，則須自深海底部採取海藻而後可。因被水沖至沿岸水淺處之水藻，含碘溴甚少故也。

## 文 獻

柯達無烟藥之製法詳載於“Treatise on Service Explosives,” 1907, 係由政府所發表。New Explosives Company 柯達無烟藥廠之情形, 載於“Arms and Explosives,” 1898, p. 242, 並附有插圖。

關於柯達無烟藥專利權之爭訟情形見 A.E., 1897, pp. 89, 106, 116, 172。

美國軍用無烟藥之製法詳見 E.C. Worden, “Nitrocellulose Industry,” Vol. ii, 1911; 及 Journal of the United States Artillery, 1910, p. 140。

促進膠化作用使用硝基甲烷見 F.P. 394, 992。爲減低爆溫而添加 Nitroguanidine 見 U.S.P. 899, 855。又採用酒石酸鹽類爲減溫劑見 E.P. 15, 565<sup>15</sup>。

爲防止藥片彼此面與面接觸而特製之帶皺紋或帶節瘤片狀火藥見 E.P. 12, 892<sup>5</sup>, 21, 779<sup>15</sup>。

關於 B 型無烟藥之安定性試驗及欠安定試驗見 P.S., XV., 1; S.S., 1910, pp. 345, 369, 389; 1911, pp. 303, 327, 441, 464。

Vielle 氏舉行之火藥腐蝕性試驗見 P.S. XI, 157。

關於無烟藥之一般論述見 S.S., 1913, pp. 126, 285, 307, 330, 352, 關於含硝化甘油無烟藥與純硝化纖維無烟藥之優劣比較見 S.S., 1913, pp. 368, 393。

無烟藥燃燒時之情狀。爲量自一噸至十噸之試驗, 見 S.S., 1914, pp. 187, 217, 並附插圖多幅。

關於砲內彈道學與砲外彈道學之著作, 時有出版, 其中類皆屬於數理方面。茲介紹數種如下:

J. M. Ingalls, “Interior Ballistics,” New York, 1912。

C. Cranz, “Lehrbuch der Ballistik,” 4 vols., Berlin, 1910 - 1934。

P. Charbonniere, “Ballistique Interieure,” Paris, 1908。

A.C. Crehore and G.O. Squier, “Polarizing Photo-Chronograph,” New York, 1897。

## 第六章 爆破藥

爆破堅硬巖石所需之火藥，務求其威力猛度俱大 (powerful and brisant)，尤以開鑿隧道爲然，因其目的不在取得大石塊故也。所用火藥，因堅硬巖石鑽孔極費，故其密度宜大。反之，對於質地較軟之礦質，則以使用作用較和緩之火藥爲尚，否則軟質礦物受炸過甚，或生過多粉塵，亦所不利。爲此緣故，益以價格低廉，故時迄今日，採石業仍廣用黑藥。在煤礦中，宜用性質和緩之火藥採煤，以免煤塊之炸碎。至於炸除巖石，則適用炸力強大之火藥，同時所用之火藥務須不至引然坑氣，亦不可引起炭粉爆發。英國稱煤礦火藥爲「准用爆藥」(permitted explosives)，容下章另述之。

欲求火藥適合潮溼情況之用，除包有防水包皮外，火藥自身尚須具有相當耐水性。又因使用爆藥者多係知識淺陋之工人，故火藥性狀，務求其簡，雖愚人亦易了解。含硝化甘油之爆藥，有凍結可能，凍結者不易起爆。法律明文規定：已凍結之硝化甘油爆藥，使用前，只可用良好溫水釜舉行融消。雖然，每年因礦工用明火融消凍結爆藥而至引起災害者仍時有所聞。溫水釜構造甚簡單，係一包有絨套之夾層錫皮盒。將爆藥放置盒內，加溫水於夾層中。使用此盒，可保安全融消凍結爆藥。然因其需時較久，工人常急不及待，致有改用明火舉行融消之事。

坑外舉行爆炸，除非裝藥量過大，一般並無顯著毒烟影響。然在坑內或地下舉行爆炸，則情況迥異，由爆藥爆炸所生毒烟爲一氧化碳。所以生成之原因，半由含氧不足，半由藥包紙包皮之作用。混合火藥之含氧不足者，多加氧化劑，可資補救。然當裝置藥包送入鑽孔之際，臨時將包皮除去，則殊覺其欠安全。金屬箔裝成之包皮雖可代替紙包皮，但除鋁箔與錫箔外，其他諸金屬之氧化物自身，即有妨害，故此法與前法無甚優異。而惟一滿意之安全辦法，端賴於良好通風。凡含鋁鹽或鉛鹽之火藥，因發生該等金屬鹽類而生呈毒烟。此外過氯酸鉍火藥中，如未含充分鹼金屬之硝酸鹽，供給十足鹼類以固定其氯氣時，則亦生一氯氣毒烟。又凡含有芳香族硝基化合物之火藥，遇因含氧不足或因雷管太弱而致爆炸不完全時，亦有生呈毒烟之可能。

一切混合爆藥皆含氧化劑與可燃體。氧化劑或可燃體之自身，可爲火藥，亦可爲非火藥。例如黑藥，其中硫黃與木炭爲可燃體，硝石爲氧化劑，三者單獨均非爆發物。又如爆炸膠，係以硝化棉爲可燃體，以硝化甘油爲氧化劑，二者又俱爲爆發物。又如「解里尼忒」(gelignite)，含有可爆發與不爆發二種氧化劑(硝化甘油與硝酸鉀)，並含有可爆發與不爆發二種可燃體(硝化棉與木粉)。

茲將工業上可資大量採用之主要氧化劑名稱，及其每重 100 g. 所能放出之有效氧 (available oxygen) 之最大值列如下表：

N.G.	3.5	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	24(PbO)	$\text{NaClO}_4$	52
$\text{KNO}_3$	40	$\text{Pb}_2(\text{NO}_3)_2$	29(Pb)	$\text{AmClO}_4$	27
$\text{NaNO}_3$	47	$\text{KClO}_3$	37	$\text{Eu}(\text{ClO}_4)_2$	28
$\text{AmNO}_3$	20	$\text{NaClO}_3$	45		
$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$	39	$\text{KClO}_4$	46		

其中值得注意者爲硝化甘油、硝酸銨、以及過氧酸銨，三者均能爆發，就中以硝酸銨最難爆炸。各氯酸鹽因係吸熱化合物，亦應能爆炸。過去因氯酸鹽發生爆發，曾生成一二次之災害云。

堪以採用之可燃體，爲數甚多，茲列其最要者如下：

硝化棉  
二硝基苯  
二硝基甲苯及三硝基甲苯  
一硝基萘二硝基萘及三硝基萘  
木粉  
木炭

此外用量較少者有澱粉、麵粉、馬鈴薯粉、及與此類似之物品亦均可用。此等物質兼可用爲混合爆發之膠合劑。蓖麻子油 (castor oil) 有使爆破藥對於震動變呈鈍感之性質。氯酸鹽火藥多攙用之。

最後，不實際參與爆發作用之物質 (inert substance)，如砂、礫土、砂石、雲母石等，常用爲猛爆藥中硝化甘油之吸收劑。又如中性鹽類之氯化鈉，常用爲准用爆藥之「減溫劑」(cooler)。

爆破藥之中，除黑藥外，其餘可粗分爲四大類：(1) 猛爆藥及其類似爆藥；(2) 膠質火藥；(3) 氯酸鹽火藥；(4) 硝酸銨火藥。此種分類方法雖不能謂爲十分明顯清爽，但尚稱便利云。

### 猛爆藥及其類似爆藥

諾貝爾最初採用硝化甘油爲爆破藥係就其液體狀態使用之。爲盡量減少危險起見，多使其結凍再行運輸。雖多方謹慎，仍不時發生災害。因而爲時不久，凡液化甘油之運輸，不論液體狀態或結凍狀

態，概遭禁止。於是諾貝爾從事於研究能吸收硝化甘油之非爆發物質，以利運用，同時且不至影響其爆發性。諾氏首先發現矽藻土為最適宜。該物係一種含矽質土，產於德、奧、挪威、澳大利亞及蘇格蘭等地。良好者能吸收三倍於其本身重之硝化甘油，而仍保持乾燥狀態。此外，諾氏專利註冊中，尚有磚粉、乾石膏粉等其他物質。如是製成之爆藥，諾氏命名曰「猛爆藥」(dynamite)

矽藻土 (kiesselguhr) 俗稱「矽土」(guhr)，品質不一。其吸收力甚小或含矽過多者均不適製造猛爆藥之用。所含有機物亦各不同，自 4—5% 以至高達 35—40% 不等。蘇格蘭產者，有數種即係如此。不論何種使用前必先加以充分焙燒，去其有機物，並須通過三十篩眼之篩，以去所含之砂。舉行過篩，甚屬重要。蓋因砂粒能增加製藥包時之過度摩擦，足以引起爆發災害故也。焙燒後之矽藻土，因含氧化鐵，一般多具粉紅色，但亦有作白色者。遇有白色矽藻土時，大多數之製造商，為求成品猛爆藥保持特有之紅棕色起見，多摻加少量之紅赭土以改變其顏色。

過篩後之矽藻土，將其稱量於木箱或橡皮袋中。送至硝化甘油部，量取適量之硝化甘油加於其中。乃送至混和室，傾於鉛槽內充分加以混和。混合之法，用手使疎鬆之猛爆藥反覆通過一粗篩（每吋約八篩眼），或先略施手工混和後，再移至 Werner & Pfleiderer 式拌藥機中舉行機械混和。最後所得之火藥，不可太潤溼，同時亦不可太乾燥。否則在猛爆藥打包機 (dynamite pump) 中不易膠結，使用時亦不易爆炸。如覺太溼，可追加矽藻土。如覺太乾，可多加硝化甘油。或另加以 0.5—1.0% 之硫酸鋇，以減低矽藻土之吸收力。稍具經

驗，對於該火藥之是否乾溼得宜，不難決定。混和猛爆藥之工作，對於未習慣之工人，殊不愜意。粉狀火藥飛入口鼻內，能使人發生劇烈頭痛。常川繼續作此工作之人，因習慣關係一般尚可忍受。然如工作為間斷的而非連續的，則工人所受痛苦甚大。此種情形實際上常有之。即使慣於作膠質硝化甘油之工人，當換做猛爆藥時，最初數日，亦患頭痛。

將鬆散之猛爆藥製為藥包 (cartridge)，普通多採用 Guttman 式猛爆藥製包機 (dynamite pump) (圖 17)。此機係由上下活動於二疏鬆導板間之春子構成，藉水平槓桿使其上下動作。春子下端鑲木頭，可出入於與成品藥包具同一直徑之黃銅筒中。春與筒間留有十足空隙，使無摩擦發生。筒上端固定於黃銅板上，普通板面包以皮革。另有圓錐形布袋或薄革袋，袋底即連接於板面皮革上。圓錐袋上部，用繩三根使與春子上之凸節相連。當春子每次向上移動時，能予袋以一種拉扯作用，袋上部春子上設有倒懸之鐘，藉以防止火藥帶入導板。

裝藥包時，先用木杓將疏散之猛爆藥裝於袋內，而後用手上下移動春子。當春子向上移動時，由於袋之拉扯作用，得移火藥於黃銅筒。次當春子向下移動時，則火藥受壓縮變為相當黏着之物質，由筒底壓出而成圓柱狀。將此藥柱不時截下，用羊皮紙包裹之即得。猛爆藥藥包之直徑最常用者為 2 吋與 3 吋二種。最常用之藥包重量為二磅。最普通之猛爆藥含硝化甘油 75%，矽藻土 25%，以及少量赭土染料與微量之安定劑碳酸鈣或碳酸鎂。此種猛爆藥，在歐洲稱曰一號猛爆藥 (dynamite No. 1)，以與昔日所用爆炸力較弱之其他猛



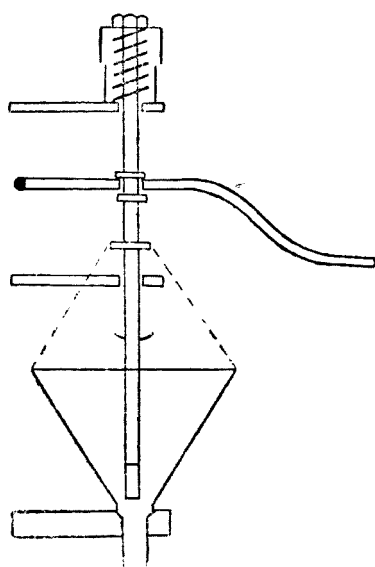


圖 17 猛爆藥製包機

爆藥相區別。例如二號猛爆藥 (dynamite No. 2) 含硝化甘油 18%，炭粉 10%，硝石 72%；又三號猛爆藥 (dynamite No. 3) 含硝化甘油 37.5%，砂礫土 12.5%，木粉、硝石各 25%。然在美國，統稱砂土猛爆藥為「大火藥」(giant powder)。而所謂猛爆藥 (dynamite) 者，則專指含硝化甘油、木粉、及硝酸鈉之混合物而言。

在法國，除砂土猛爆藥外，尚有一種由 randanite 土製成之猛爆藥。該土成分為分化後之長石粉。

此種火藥，可加以砂土吸收劑，後者天然所產或由氟化矽與水作用製成者均可使用，亦可完全不加，例如 Vosges 地方某政府工廠之出品，即有下列諸種：

	NO. 1	NO. 2	NO. 3	特 號
N. G.	75	59	29	90
Randanite	20.8	—	—	1
砂土	3.8	48	65	8
MgCO <sub>3</sub>	0.4	—	—	1
CaCC <sub>3</sub>	—	1.2	1	—
粘土	—	0.5	5	—
熔渣	—	—	4	—

在西班牙，亦有採用雲母石爲吸收劑者。由此製成之猛爆藥，含硝化甘油 42%。

矽土猛爆藥發明之初，曾風行一時。近年來使用較少，其大部分爲膠質火藥所代替。雖然，今日之猛爆藥，仍有其相當市場。此種爆破藥，較純硝化甘油易於結凍，其已結凍者不易起爆，爆炸力甚猛，遇水則硝化甘油爲水置換，乃其最大缺點也。

爲利用硝化甘油所含之過剩氧起見，曾使用活性吸收劑 (combustible absorbent) 代替矽藻土以製猛爆藥。製自軟木 (cork) 之木炭，具強大吸收力。過去曾有所謂「木炭猛爆藥」者 (carbodynamite)，即係由 90% 硝化甘油與 10% 軟木炭所製成。然因此種猛爆藥對於大多數之用途，皆覺炸力太猛，且太不經濟，是故常用者以木粉 (wood meal) 爲普遍。例如「阿忒拉斯火藥」(Atlas powder)，主要成分爲硝化甘油 75% 又木粉 21%，而以白堊土 (chalk) 補足其餘之百分數。有時亦含少量之硝酸鈉。

此種木粉猛爆藥缺乏氧氣，須加硝酸鹽補足之，以在美國最爲風行。美國所製爆破藥，由硝化甘油、木粉、硝酸鈉、或硝酸銨諸成分製成者爲數甚多。採用硝酸鈉較用硝酸鉀爲普遍，取其價廉也。然因硝酸鈉具吸溼性，硝酸銨尤甚，是故此類火藥甚易吸收水分，而有析出硝化甘油之弊。英國所以不採用此種火藥者，即係此故。

茲將美國製「混合猛爆藥」(straight dynamite) 之成分，舉例如下表。然須注意，所給數字係平均數。有時出入甚大。

猛 藥	70%	60%	50%	40%	30%
N. G.	70	60	50	40	30
W. M.	20	16.5	14	12	10
$\text{NaNO}_3$	7	22.5	35	47	59
$\text{NaCO}_3$	3	1	1	1	1
$\text{MgCO}_3$					
$\text{CaCO}_3$					

其中以「40%猛爆藥」爲最常用，亦稱爲「活骷髏爆藥」(Hercules powder)。

屬於此類之其他美國製著名猛爆藥，有：——

	卡榜尼忒 (carbonite)	安全硝基 (safety nitro)	斯通尼忒 (stonite)
N. G.	25	70	68
W. M.	40.5	12.6	4
$\text{NaNO}_3$	34	17.4	—
$\text{K}_2\text{O}_3$	—	—	8
矽藻土	—	—	20
磷酸鹽	0.5	—	—

在南非洲常用之一種猛爆藥，屬於此類。名曰「里格丁」(ligdyn)，成分如下：

N. G.	40
W. M.	13
$\text{NaNO}_3$	45
麥粉	2

研究該火藥之成分，可發現與美國製 40% 猛爆藥或活骷髏爆藥極相近似。在美國又有與此類似之爆破藥，其中半數之硝化甘油代以硝酸銨，特名之曰「硝銨猛爆藥」(ammonia dynamite)，製品種類甚多。例如所謂 40% 硝銨猛爆藥，其成分為硝化甘油約 20%。硝酸銨亦約 20%，而以硝酸鈉與木粉補足其餘之百分數。

此外，美國慣用一種火藥，係以粗製黑藥為主體而摻加硝化甘油所製成。該種粗製黑藥，由硫黃硝酸鈉與炭粉製成，即以煤粉代替木炭。有時為協助對於硝化甘油之吸收力起見亦添加木粉於其中。茲將此種火藥之重要者列如下表。

	加德遜火藥 (Judson powder)	瓦魯坎火藥 (Vulcan powder)	斯德木十火藥 (stump powder)	低火藥 (low powder)
N. G.	5	30	10	5
NaNO <sub>3</sub>	64	52.5	50	70
S	16	7	5	7
木炭	—	15	—	—
煤粉	15	—	20	18
W. M.	—	—	5	—

### 膠質爆藥

1875 年諾貝爾發現弱棉能溶解於硝化甘油而形成一種膠體。此項新發現，原出於無意。當時諾氏在舉行某項硝化甘油試驗前，割傷一指，用弱棉膠(collodion)封傷口。因此巧合，遂使火藥工業大放光明。蓋此發明不僅為一切膠質爆藥之始祖，抑亦為含硝化甘油無煙藥之起始也。

膠質爆藥較砂土猛爆藥有數種優點。第一，此種爆藥不含任何

非爆發性物質，爆藥之全體皆能參與爆發作用，故其威力較大。膠質爆藥對於水分，遠較砂土猛爆藥為鈍感。能與水接觸相當時間而不至析出硝化甘油。同時對於震動之感覺，亦較遲鈍而安全。此外，製造藥包所需人工，亦遠較製砂土猛爆藥時為少。又因其不用危險性較多之猛爆藥製包機，故工作較為安全。

迄至目前，所有膠質爆藥，均含有硝化甘油。將弱棉與某種芳香族硝基碳氫化合物如所謂液態三硝基甲苯者共熱之，雖亦能製得膠體，但有不易起爆、膠質不甚僵硬 (stiff) 諸缺點，故不能用。將來再加研究，設法消除此種弊點，或能製成全不含硝化甘油之膠質爆藥亦未可知。

製造膠質爆藥，先稱取乾弱棉裝於袋內，送至硝化甘油部，量取定量硝化甘油，加於弱棉中，用手舉行混和。而後用帶薄木蓋之樹膠 (gutta-percha) 桶裝此稀薄液體至混和室，將其傾於裝有夾層水套之鉛槽內。夾套中水之溫度約為  $50^{\circ}\text{C}$ ., 然槽內火藥之溫度不可超過  $40-45^{\circ}\text{C}$ ., 加熱數小時，通常多使其經過一夜，使起膠化作用。於是移入混和機中，用機械舉行混合一小時，一切添加料如木粉與硝酸鉀等，即於此時加入其中。混合機最好裝有熱水夾套，以防止膠體變至太僵。一般採用者，為圖 16 所示之 Werner 與 Pfeleiderer 式拌藥機。然為避免硝化甘油進入軸承之一切機會與可能起見，以改用如圖 18 及 19 所示之 McRoberts 式混合機較為適宜。該混合機之混合槽位於可上下移動之底板上，當其下降時，能使攪拌器作用於槽之頂部，並能使槽退出。裝藥時，抽出混合槽，加藥膠其中。推至原處，升高底板，板之上升，有一定限度，設有制止器制止之，免致迴轉攪

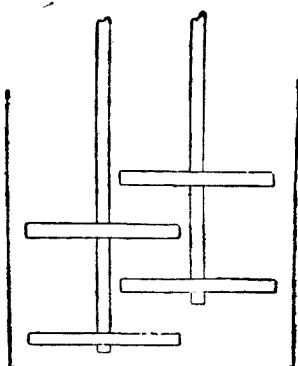
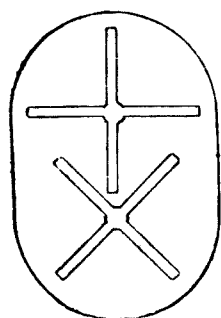


圖 18 McRoberts 式混合機(平面圖)

圖 19 McRoberts 式混合機(剖視圖)

拌蓋觸及槽底。上述二種混合機，孰優孰劣，意見不一。然似以 Werner 與 Pfeleiderer 式者為較佳，危險性並不較 McRoberts 式者為多。其專供製造膠質爆藥用者，設有特殊裝置，使火藥不至進入軸承。McRoberts 式混合機之優點，在於膠化與拌藥諸工作可在同一器內舉行，如是可省去由膠化槽移藥於拌藥槽之操作。但他方面，用該種混合機，必須移動重槽，亦屬不便。拌藥畢，將藥膠裝木箱，送往製包室，用「灌腸機」(sausage machine) 製成藥柱，以雙刃黃銅刀切斷，再用羊皮紙包裹之。

「灌腸機」(圖 20 及圖 21) 係用砲銅製成。所有軸承皆居機外部，使火藥無進入軸承之機會。機軸進入藥筒處，留有充分空隙，免生摩擦。軸上裝有脊梭，使藥不至只受迴轉作用。操作概用人力。圓錐式者，圖 20 為老式，新式者為圓筒狀(圖 21)，近年來普通多採用之，取其火藥受壓較小也。對於普通尺寸之藥包，即  $\frac{3}{4}$  吋與  $\frac{5}{8}$  吋者，每機備出藥口二個。如藥膠性甚僵硬如爆炸膠者，則只用一個出藥口。

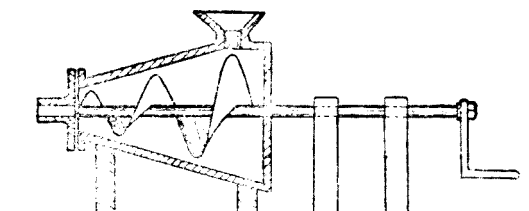


圖 20 膠質爆藥用迴轉機

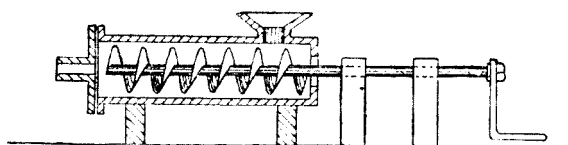


圖 21 膠質爆藥用迴轉機

膠質爆藥，一如其他一切含硝化甘油火藥，有結凍傾向，已結凍者難於起爆。因爆藥結凍而起之災害，時有所聞。例如鑽孔中未曾爆炸之藥包與炸裂礦石和在一起，即其一例。勸導礦工使用溫水盆融消結凍猛爆藥，殊多困難。因而由於用明火或他種不正當方法融消結凍火藥而起之災害，亦屢屢有之。據實驗室試驗結果，已結凍之火藥，較未結凍火藥，對於震動尚為鈍感。但此結果因試樣為量不多，每易引人誤會。蓋根據實際經驗所得，證明已結凍之火藥確較敏感。礦工企圖在已結凍之藥包上製備雷管孔因而演成災害者，為例甚多云。

為此之故，乃有添加某種物質於硝化甘油中，以減低其冰點，使在常遇溫度時保持液體狀態。硝化甘油之冰點係數雖為  $70.5$ ，然 Raoult 氏定律僅只適用於極稀薄之溶液，在工業上無重要性。

最初製造不凍火藥，係於硝化甘油中混加硝基苯或硝基甲苯

然此等減凍劑大減火藥爆炸力，且使火藥起爆困難。其後改用三硝基甲苯，通常多使用液態梯恩梯，取其較固體者易於混和也。

在英國，因氣候並不太冷，所用減凍劑分量約為硝化甘油量之5~10%。然在美國及歐陸，則須用至20—25%之多。

德國之不凍火藥係由硝化甘油與二硝酸甘油，四硝酸二甘油或二硝酸氮甘油所製成，在法國則多用二硝酸乙二醇。此等減凍劑，由於其分子量小，故較芳香族硝基化合物之效力為大。所惜者大多數分子量低而具減低冰點作用之物質，其揮發性皆甚大。硝化甘油中攙加10%之硝基甲烷 (B. P. 101°C.)，能降低其冰點至 -15°C.，惜因價昂而不切實用。

有人倡議使用乙醯二硝酸甘油 (dinitroacetin) 或甲醯二硝酸甘油 (dinitroformin) (D. R. P. 209, 943)。後者最易製造，取甘油與其半量重之草酸混合，加熱至 100°C.，再升高溫度至 150°C.，而後舉行硝化。所得油狀物為含有甲醯二硝酸甘油 33% 之硝化甘油，最難結凍。

英國採用三種標準膠質爆藥，即「爆炸膠」、「膠質猛爆藥」與「解里尼忒」是，(blasting gelatine, gelatine dynamite, gelignite)。其成分如下：

	N. G.	N. C.	W. M.	KNO <sub>3</sub>
爆炸膠	92	8	—	—
膠質猛爆藥	75	5	5	15
解里尼忒	60	4	8	28

三者中尤以「解里尼忒」應用最廣，事實上可認為標準高級炸藥。



爆炸膠爲僵硬之透明膠體。除用於堅硬巖石外，對於大多數之用途，覺其炸性太猛，爲市場上爆炸力最大之爆破藥，此物具有數大缺點：第一，當其保存期間，質地硬化，因而性變鈍感，非使用特號強大雷管不能起爆。其次，爆炸膠析離硝化甘油之傾向甚大，尤以結凍後經過多次融消者爲最烈，有時析油 (sweating) 之多，在藥箱外部即可見之。此時之爆炸膠，當然危險殊甚。因析油而引起之困難，對於運往澳洲之爆藥，最宜注意。且似因途經熱帶地方而加重其析油作用。在澳大利亞，每年因析油而被禁止使用之爆藥，常達數百噸之多。欲製成良好之爆炸膠，使無析油性，大非容易。其主要關鍵，似繫於所用弱棉之品質。弱棉之氮量應爲12%上下，硝化溫度宜低，只可用熱水洗滌而不可蒸煮。磨粉工作，亦不可太過度，否則與蒸煮受同一影響，而大減其膠化能力。其他之膠質爆藥，如膠質猛爆藥與「解里尼忒」，雖亦具析油傾向，然因所含木粉能吸收硝化甘油之關係，困難較少。

1914年歐戰爆發，鉀鹽供給困難，製造膠質猛爆藥與「解里尼忒」改用硝酸鈉代替硝酸鉀。

多數之爆藥，其所含硝化甘油，一般皆略使變成稀薄膠質液而使用之，但實際上並不限定製成膠體，如是可減小其受水置換之趨勢。

在美國，製有多種之膠質爆藥 (gelatin) 或膠質猛爆藥，其中有數種係用麵粉與硫黃代替一部分之木粉，普通並含碳酸鈣 1%，又硝化甘油 20—60%。

在法國，稱呼膠質爆藥爲「膏母」(gomme), dynamite gélatiné,

或簡稱爲 gélatinée, 出品種類甚多, 硝酸鉀與硝酸鈉並用。茲將其較著者, 舉例示如下表: ——

	N. G.	C. C.	KNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	W. M.
Gomme extra forte	92	8	—	—	—
Gomme B	86	5	4	—	5
Gomme G	83	5	—	10	2
Gomme 2B	74	6	15.5	—	4.5
Gélatinée 1B	64	3	—	24	8
Géignite	60	3	27	—	10
Dynamite gélatinée 2C	43	2	41	—	4

另有 dynamite No. 4 與 dynamite No. 5, 二者俱爲含硝酸鈉之膠體。前者含硝化甘油 59%, 後者含硝化甘油 43%。

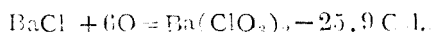
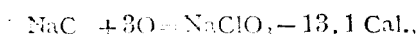
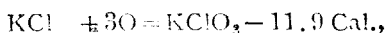
比國製之「福西忒」(forcite), 頗相類似: ——

	N. G.	C. C.	KNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	W. M.	CaCO <sub>3</sub>
Forcite extra	74	6	14	—	5	1
Forcite supérieure	64	3	—	24	8	1
Forcite No. 1	49	2	—	35	13	—

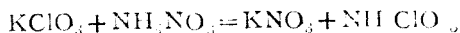
比國製「福西忒」, 中有數種含有硝酸銨

### 氯酸鹽火藥與過氯酸鹽火藥

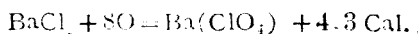
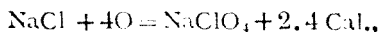
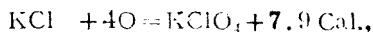
由金屬氯化物與氯作用生成氯酸鹽爲吸熱反應, 故氯酸鹽本身能爆發。



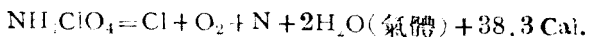
氯酸鹽之爆發，可由熱或熱與激動所引起。其爆炸雖不猛烈，但在過去曾發生數次之嚴重災害。因氯酸鹽性不安定，故所有氯酸鹽混合物皆甚敏感。多數國家均禁止使用氯酸鹽與硫黃之混合物。在英國得到允准使用唯一無二之氯酸鹽火藥為瑟伏忒 (cheddite)。此火藥中之氯酸鹽，有油類將其包裹，性質變為鈍感。在其他國家亦准予使用申式爆藥 (Sprengel explosive)。該火藥僅在臨行使用之頃，始使氯酸鹽與可燃體相接觸。氯酸鹽切忌混合銨鹽使用，例如硝酸銨。二者苟相遇，則易起複分解作用，生成易於自然爆發性質極不安定之氯酸銨，



另一方面，當氯化物與氧相作用生成過氯酸鹽時，為發熱反應。故過氯酸鹽較氯酸鹽大為安定。



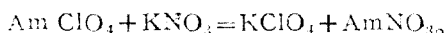
即係過氯酸銨，性質亦安定。此物雖有爆發性，但相當困難。其爆發反應為



此物對於打擊之感度約同苦味酸，但其爆發常有不能徧及全部之虞。

氯酸鹽概由電解氯化物製成。繼續電解，則進而變成過氯酸鹽。爲此之故，商品過氯酸鹽中常易夾雜氯酸鹽，因而時有不適於製造火藥之用。此情形以過氯酸銨爲最尖銳，蓋因苟有氯酸鈉或氯酸鉀夾雜其間，則因複分解之作用，有生成氯酸銨之虞。

氯酸鹽中以氯酸鉀使用最廣。鈉鹽易溶於水，吸溼性大，難於製得純品。但法國製之瑟狄特有採用氯酸鈉者。至於氯酸銨則常用爲製造烟火之原料。過氯酸鹽中，以最難溶解之鉀鹽使用最多。銨鹽之純淨者，價格雖尙公道，然其應用終較鉀鹽爲少（1918年過氯酸銨之成本爲每噸99金磅，硝酸銨每噸只45金磅，C.T.J. 1919, p.162）。過氯酸銨在英國未曾引起其應得之注意，歐戰後因軍用關係，大有受人重視之可能。此物最大優點爲爆發生成物全係氣體，惜因其中含有氯氣，每引爲美中不足。欲免除游離氯，可添加足量鹼金屬硝酸鹽類，以供給鹽基根使與氯相結合。但此種混合物，常因起複分解之作用，生成硝酸銨與過氯酸鹼類，而有增高其吸溼性之弊，



如係用製煤礦安全爆藥，則鹽基根可由兼充滅溼劑之草酸鹽供給。不然，或用有機鹽供給亦可，並可以其有機根充作可燃體之用。

**史式爆藥**（Sprengel explosives）此係氯酸鹽之藥包（cartridge）於臨行使用之頃，浸以液態可燃體而成爲火藥。因據英國火藥法規，認爲浸藥工作必經邀准後始能依照危險條例舉行。故英國未用此爆藥，因未經政府批准也。然在歐陸及美國則使用頗多。此種爆藥之缺點，爲液態可燃體之吸收，殊難均勻。致其結果，隨而不甚可靠。在法國多採用“explosif O3”或“prométhée”，係將藥包內含

80、90 或 95% 氯酸鉀與 20、10 或 5% 二氧化錳之混合物，浸於內含硝基苯 50% 與松節油或石腦油，或二者之混合物 50% 所製成。美國有一種爆藥名曰「破巖火藥」(rack-a-rock)，與此正相類似。

**液體空氣爆藥**(liquid air explosives) 或稱「液氧爆藥」(oxyliquid)，雖並不含氯酸鹽，然因與史式爆藥情形相似，故得於此時一述之。此種爆藥係取固體有機吸收劑如軟木粉等，在臨用之頃，浸以液體氧氣或液體空氣而製成。當修築 Simplon 大隧道時，曾使用之。德國在歐戰期間，曾廣用此爆藥為一般爆破之用。按液體空氣其明顯之弊點與不便，將來似難普遍採用。又此種爆藥之比重類皆甚小，故穿鑿鑽孔之費用亦極大。然無論如何，以液體空氣價格之低廉，對於開礦大有發展處，而需用大量火藥之情況下，此點尤屬重要。考其最大優點，似在於此火藥並無因不爆發或爆發不完全而引起災害之危險。使用普通火藥，常因發生不爆發現象，需要取去製藥或另裝雷管而引起之災害，時有所聞。又因爆發不完全，一部分裝藥留存於碎石堆中，嗣因鐵槌或鐵鏟之碰擊而釀成災害者亦有之。但如使用液體空氣爆藥，則此種危機，根本不存在，蓋因空氣能迅速揮發而逸去故也。為與氯酸鹽史式爆藥同一原因，此火藥在英國亦未經批准。

**瑟狄忒**(cheddite) 此係斯吹忒氏(Street) 所發明。因法國瑟德嶺(Chedde) 產氯酸鹽著名而得名。普通係由氯酸鉀與脂肪油類混合製成。一般多採用蓖麻子油(castor oil)並於其中溶解芳香族硝基化合物以增其黏度。法國製者，亦有製自石腦者。常用硝基化合物為一硝基萘與二硝基甲苯之混合物。原始之瑟狄忒含有 2% 之苦味酸，但不久即為二硝基甲苯所代替。其製法，先將硝基化合物加於

溫度70°C.之油中,使其溶解。次徐徐將充分粉碎之乾燥氯酸鹽投於其中。而後先就熱狀,再就半冷半熱狀,以手舉行充分之混合。過篩後,用木製模子緊壓為藥包。欲求得到優良滿意之火藥,必須小心調節其加壓緊縮度。尤以瑟伏忒一般較易壓縮為重要。如其密度太小,則不能充分發揮其爆炸力;如其密度太大,則爆炸大感困難,或全不可能。是故裝製藥包工作,大需注意。按瑟伏忒甚易壓縮,以製自氯酸鈉者為尤易。茲將密度不同之三種瑟伏忒之爆速示如下表,試驗時用直徑22 mm.之銅管。各該火藥之成分如下

	Type 604	P.	S.
KClO <sub>3</sub>	75	90	—
NaClO <sub>3</sub>	—	—	80
M. N. N.	10	—	—
D. N. T.	15	—	—
石臘	—	10	11

Type 604

溫度	密度	爆速,公尺/秒
30°-1°C.	0.81	2457
	1.39	2645
	1.48	3156
	1.51	3099
	1.62	2820

Explosif P

溫度	密度	爆速,公尺/秒
3°C.	0.62	2137
	1.00	3044
	1.05	3185
	1.36	3621
	1.48	3,75
	1.54	爆炸不完全

15°C.	0.99	2940
	1.24	3457
	1.45	3565
	1.59	爆炸不完全

## Explosif S

溫度	密度	爆速, 公尺/秒
17°C.	0.81	2191
	0.92	2475
	1.33	2936
	1.45	2940
	1.51	2388
	1.56	爆炸不完全

同一種火藥, 以各種不同之壓力加壓, 所得到之密度示如下表, 所示之壓力以  $\text{Kg/cm}^2$  計算。

Type 604		Explosif P		Explosif S	
壓力	密度	壓力	密度	壓力	密度
0.7	1.25	0.7	0.9	0.92	0.92
1.4	1.31	1.6	0.99	0.3	1.29
1.6	1.33	5.9	1.21	0.6	1.33
2.1	1.40	8.6	1.29	0.7	1.39
3.2	1.46	20.0	1.37	1.4	1.47
4.8	1.51	58.0	1.50	3.2	1.54

茲將法國製主要瑟伏忒之成分列如下表:

	KClO <sub>3</sub>	NaClO <sub>3</sub>	蓖麻子油	M. N. N.	D. N. T.	石 臘
Type 60	80	—	6	12	2	—
Type 41	80	—	8	12	—	—
O <sub>3</sub>	79	—	5	1	15	—
O <sub>4</sub>	90	—	—	—	—	15
O <sub>5</sub>	—	79	5	—	15	—

其中以 O<sub>3</sub> 爲最猛，以 O<sub>5</sub> 爲最弱。

瑟伏忒在英國准予使用，惟需要不大。例如 1910 年所耗一切爆破藥總計 15,000 噸，而瑟伏忒只占 60 噸耳。

在德國，製自氯酸鹽與樹脂之混合火藥，相當盛用。例如「四號西來西亞」(Silesia No. 4) 含氯酸鉀 80% 與樹脂 20%。歐戰前英國亦擬採用與此類似之火藥，名曰「斯蒂里忒」(steelite)，係由氯酸鉀與經硝酸氧化後之樹脂混合而成，但其用途從未普遍化。「煤礦斯蒂里忒」(colliery steelite) 雖經列入舊有「准用爆藥冊」(Permitted List)，但對於「繞台哈木試驗」(Rotherham) 却不能及格，其成分爲：——

KClO <sub>3</sub>	72.5—75.5
氧化樹脂	23.5—26.5
蓖麻子油	0.5~ 1
水分	0~ 1

曾有人倡議用過氯酸鹽代替黑藥中之硝石，然用量不多。數年前英國有一種火藥名曰「跑拉銳忒」者 (polarite) 用以代替「解里尼忒」考其成分，似爲含有梯恩梯之不凍「解里尼忒」，而以過氯酸



鉀代替其中之硝石製成 德國火藥有「頗莽尼忒」者(permenite)。載於英國舊有「准用爆藥冊」，但對於「繞台哈木試驗」並不能及格。其成分為：

KClO <sub>4</sub>	31 — 34
N. G.	3 — 4
C. C.	0.5 — 1
AmNO <sub>3</sub>	39 — 43
T. N. T.	11 — 13
澱粉	5 — 9
W. M.	1.5 — 3.5
甘油 膠	1.5 — 3.5

法國政府曾以過氯酸鉍試製二種瑟伏忒 其下述之成分：—

	NO. 1.	NO. 2.
AmClO <sub>4</sub>	85	50
D. N. T.	13	5
NaNO <sub>2</sub>	—	30
蓖麻子油	5	5

但該二種火藥較已有之瑟伏忒並無若何優點，故未認可採用。因過氯酸鹽與氯酸鹽不同，對於摩擦並不敏感，故含有過氯酸鹽之火藥，似無攪加蓖麻子油之必要。

比國製「羊欺忒」(yonckites)屬於過氯酸鉍火藥，用於煤礦，其成分為過氯酸鉍，硝酸鈉，硝酸鉍，梯恩梯及氯化鈉。

瑞典製「卜拉斯亭」(Blasline)含有過氯酸鉍，硝酸鈉，D. N. T. 及石臘。歐戰前英國允准採用一種火藥，名曰「頗尼出爾」

(pernitral), 但並未從事製造。其成分為

AmClO <sub>4</sub>	40
NaNO <sub>3</sub>	30
固體 T. N. T.	10
液體 T. N. T.	10
鉛粉	10

據著者(指 Barnett)試驗結果, 此火藥之威力似較爆炸膠尤大。然為充分發揮其威力起見, 必須採用八號雷管起爆。

### 硝酸銨火藥

(ammonium nitrate explosives)

含硝酸銨與可燃體之火藥, 最初於1885年由乏末侯氏(Favier)發明, 所需可燃體最好採用芳香族硝基碳氫化合物。此類火藥具有價廉、製造安全、運用安全諸優點。然其吸溼性極大, 乃其最嚴重之缺點。縱使製成慎密塗膠之藥包, 仍易吸收水分, 經過數週, 即有不適於用之虞。此火藥之爆溫極低, 大半用為煤礦爆藥(見第七章), 然一般之爆破工程仍賞用之。因其製造成本低, 使用於一般爆破工程者大有漸形推廣之勢。此類火藥之較著者, 英國製者將於下章述之, 茲將德國盛用者舉例如下:

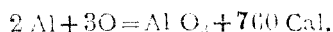
	阿斯出里忒 (atralit)	富門尼忒 (fulmenit)
AmNO <sub>3</sub>	81	82.5
T. N. T.	11	11
石臘油	1	1
穀粉 (meal)	2	—

炭粉	1	—
N. G.	4	—
木炭	—	1.5
強棉	—	4

煤礦用「外斯乏里忒」  
(Westfalt fuer Kohle)

AmNO <sub>3</sub>	91
KNO <sub>3</sub>	4
樹脂	5

對於一般爆破工程，為增大硝酸銨火藥之威力起見，曾有人倡議摻加鋁粉，按鋁之燃燒甚高：



此種火藥中之最著名者稱曰「阿莽拿」(ammonal)。普通爆破用者含鋁粉約 25%，其餘為硝酸銨與梯恩梯。此外尚有含鋁粉甚少之「阿莽拿」，例如：——

AmNO <sub>3</sub>	94	93	88	81
Al	3	3	8	15
C	3	—	4	4
T. N. T.	—	4	—	—

「解斯坦·外斯乏里忒」(Gesteins-Westfalit)含二硝基甲苯，其成分為：——

AmNO <sub>3</sub>	84.5
Al	3.5
D. N. T.	12.0

屬於本類之一切火藥，所用之鋁皆為鋁粉。然如鋁粉太細，反為

不妥，因極細之鋁粉在空氣中易受氧化故也。普通採用商品「鋁砂」，係先將金屬鋁壓成極薄鋁片，次切為鋁帶而磨碎之。

尚有一種火藥，與此極相類似。係以矽化鈣 (calcium silicide) 代替鉛粉而製成。例如「沙補里忒」(sabalite) 即其一例。此外尚有採用矽化鐵者 (ferrosilicon) (A.P. 1, 277, 043)，惟用者不多。

將硝酸鉍火藥製成藥包，其法有二：手工法，將包皮紙捲於大小適宜之木桿上，摺其一端而封閉之。如是製成之紙筒，使其底部向下插於固定木塊上之鋁筒中。用鋁漏斗裝加火藥，而以木桿或鋁桿施以適度緊壓。此法設備最簡單，只需數個先令即可開辦，但殊非可取。比較滿意之方法係採用一種螺旋製藥機，其構造與膠質爆藥製包用「灌腸機」極相似。該機設有適度之抵抗力，能使火藥之裝填，既勻且緊。手搖式之簡單製包機如圖 22 所示。火藥自漏斗送入。紙筒藉繩與重物之作用

套於出藥口上。當裝藥進行時期，紙筒受壓漸向後退，特設有可調節之制退器以指示裝藥已

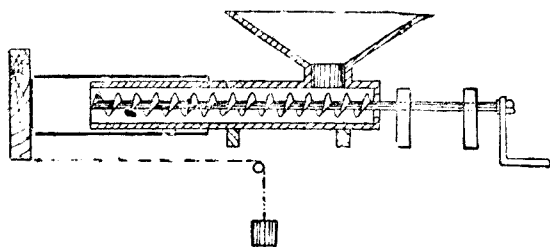


圖 22 硝酸鉍火藥用製包機

否完畢。加減重物之重量，可隨意調節裝藥之密度。在德國係使用發動機拖帶，此時製包機一般統為直立式。

### 通尼忒 (Tonite)

此火藥往昔曾盛用為爆破藥。係由含 25—40% 硝酸鹽之強棉

藥加壓縮製成，其硝酸鹽多用硝酸鋇或硝酸鉀。此種火藥在今日業已成為歷史上之過去。

## 文 獻

### 猛 爆 藥

製造猛爆藥時曾發生二次饒有興趣之災害，參閱 S. R., 145, 184.

### 膠 質 火 藥

發生災害之記錄，見 S. R., 151, 201。

爆炸膠析出硝化甘油之記載見 A. E., 1914.

### 氯 酸 鹽 火 藥

關於「瑟狄忒」之性質，下列各文獻所載甚多：—— P. S., XI, 22; XII, 123; XIII, 29, 144, 282; XIV, 26, 33, 192; XV, 135, 212, 247; XVI, 66.

英國曾發生二次災害，見 S. R. 135, 185.

### 硝 酸 鉍 火 藥

E. P. 2139<sup>83</sup>; 16. 277<sup>00</sup>; A. P. 1. 277, 043.

### 爆 破

O. Guttman, "Blasting," London, 1906.

## 第七章 煤礦安全爆藥

**爆焰時間** 使用火藥於煤礦，時有引燃坑氣與炭粉之危險。此種引燃作用多少由於爆發激動所形成之震動而起。然其最大危機則係由於局部溫度之增高，乃係因爆焰 (flame of explosion) 或爆發所生氣體之斷熱壓縮 (adiabatic compression) 所致。例如空氣，施以  $60 \text{ Kg cm}^{-2}$  之斷熱壓縮，其溫度能升高至  $670^\circ\text{C}$ .；如壓力為  $100 \text{ Kg cm}^{-2}$ ，則溫度升至  $820^\circ\text{C}$ .；如壓力至  $200 \text{ Kg cm}^{-2}$ ，則溫度可升至  $1060^\circ\text{C}$ . 之高。空氣與坑氣之混合物，發火點原為  $650^\circ\text{C}$ .，但需要約 10 秒鐘之誘導時間，而此誘導時間隨溫度之升高而遞減。在礦坑中之實際情況下，固有擴散作用，故局部溫度雖遠超過發火點以上，然幸因過熱氣體之擴散，在誘導時間未滿以前，使溫度降低，故不至發生爆發。然此溫度亦自有其限度，苟超過此極限溫度以上，則誘導時間變為極短，在時間不予擴散作用低減溫度至發火點以下前，即已發火矣。為安全計，是故必須適當選擇火藥與爆破情況，使其局部溫度之高漲，不至太高，此問題頗難解決，蓋實際礦坑情況變化多端，而主要危機又多起於非常情形中，例如「爆吹現象」(blown outshot) 即其一例，故各試驗雖盡量模擬實際工作情況，但究係實驗性質。是以通常多就礦坑中可能的最惡劣之情況舉行試驗。

如開兌此問題並規定含坑氣礦坑中之爆破規則起見，所有產煤

工業旺盛之文明國家，幾皆指定委員會研究之。最初成立者為1877年之法國委員會。二年後英國委員會亦成立，1881年普魯士亦設立之。至於比奧二國之委員會，其成立均較遲。根據委員會研究之結果，而設立試驗坑道(testing gallery)，坑道內散布混合氣體或含有炭粉之空氣或坑氣，而在其中舉行火藥試驗。此外並限制可用火藥之成分，每次爆發允許使用之火藥量，以及施行爆破之情況等等。

Bichel 氏曾測驗火藥之爆焰時間(duration of flame)，其法於黑夜中使火藥爆發，經過一石英透鏡而將爆焰之影攝於迴轉膠片上，Bichel 氏試驗結果謂不論情況如何，爆焰時間始終較爆炸時間長，特稱此「爆炸時間:爆焰時間」之比為「後焰比」(after-flame ratio)。並發覺安全爆藥須具極小之爆焰時間，故其後焰比甚大。下表即示此種數值。表中爆速單位為公尺/秒，爆焰時間單位為千分之一秒，爆焰長單位為公厘。試驗時用試樣100 g. 裝成直徑30 mm. 之藥柱而用與官方試驗坑道中所用同樣之砲爆發之。

火	藥	密 度	爆 速	爆焰長	爆焰時間	後焰比	
G. P.	KNO <sub>3</sub>	75	1.04	200—300	110	77	1 : 330
	C	12					
	S	13					
B. G.	N. G.	92	1.63	7700	224	9.72	1 : 883
	C. C.	8					
Dynamite	N. G.	75	1.58	6818	228	8.31	1 : 620
	Guhr	25					
Gelignite	N. G.	63.5	1.67	6210	150	1.23	1 : 101
	C. C.	1.5					
	NaNO <sub>3</sub>	27					
	W. M.	8					

Picarite	AmNO <sub>3</sub>	80	1.31	3930 4137 (密閉)	69	0.40	1:15
	N.G.	3.8					
	C.C.	.2					
	T.N.T.	12.0					
	麵粉	4.0					
Ammon-- carborite	Am NO <sub>3</sub>	80.3	1.11	1753 3195 (密閉)	51	0.52	1:7.4
	KNO <sub>3</sub>	5.0					
	N.G.	4.0					
	C.C.	.2					
	炭粉	6.0					
	澱粉	4.5					
Thunderite	AmNO <sub>3</sub>	92	1.07	2137 2674 (密閉)	—	0.33	—
	T.N.T.	4					
	麵粉	4					

美國 Pittsburg 試驗處曾檢驗數種火藥。取 200 g. 之藥樣，將其爆焰攝影，並測定其爆熱量，而得下列之有趣數字。爆熱量之單位為大卡公斤，爆焰長之單位為千分之一秒。

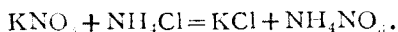
火 藥 成 分		火藥 100g. 所爆發生成物中 用之包皮重	CO 之 %	爆 熱 量	爆 焰 時 間
{ D.N.T. M.N.N. 蓖麻子油 KClO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O	17.85	5	41	1065	0.126
	1.30				
	5.32				
	75.23				
	0.17				
{ N.G. M.N.T. 蓖麻子油 N.C. AmNO <sub>3</sub> W.M. H <sub>2</sub> O	8.13	6.5	5.9	1169	0.279
	3.57				
	0.81				
	0.53				
	2.11				
	4.30				
	0.52				
{ KNO <sub>3</sub> C. S. 石蠟 澱粉	65.51	無	40	622.7	103
	19.52				
	2.93				
	3.35				
	8.73				



最後一種火藥似即「包并尼忒」(bobbinite)。因其爆焰時間大，其不能通過 Rotherham test 者不為無因。

Will 氏亦曾用攝影術研究爆焰時間。氏係攝影於圓筒上，筒外蒙以銳敏之感光膠片，膠片上覆以不透明之遮光片，片上刻有等距離之隙縫若干個。此全部裝置在一固定孔後迅速回轉。用此法能製成整套之活動攝影。因而發覺缺乏氧氣之火藥，其爆焰消失甚快，但消失後隨即又形復活，而此第二焰 (secondary flame) 之時間則遠較第一焰 (primary flame) 之時間為長。此第二焰之所由來，係因自鑽空中放出之一氧化碳，與空中氧氣相遇而發生燃燒所致。此可藉添加鹼金屬鹽類若干以之避免之。鹼金屬鹽類較鹵素金屬鹽類或鉛鹽大為有效。

設法減低爆溫使煤礦用火藥使用安全，最初係由 MacNab 發明。氏於 1873 年提議在鑽孔裝藥之正前方安置盛水小筒 (cartridge of water)。此提議不久即為他人所採用，並進而代以溼潤之草苔或含水 90% 之膠體，以代替諸多不便之水筒。然因礦工每每忽略使用，或因爆破後所得煤塊太大，碎度不足，故皆未十分成功。其後第二步進而利用含結晶水之鹽類，如硫酸鎂。此種鹽類能與火藥本身預為混合。近代新式安全爆藥雖什九採用鈉、鉀或銨之氯化物為「減溫劑」(cooler)，藉其吸熱發生揮發，並藉其多少所引起之熱分解而得以降低爆溫，然迄今仍有採用老法者，氯化銨有損及火藥爆發之弊，並須與至少等當量之鹼金屬硝酸鹽聯合使用，以供給鹽基，使與爆發生成物中之游離氯相結合，此外且增大火藥之吸溼性，發生複分解，而生成硝酸銨。



含結晶水之鹽類亦不可與硝酸銨聯合使用，因鹽類中之水分易為硝酸銨所剝奪而變為溶液也。

在英國統稱煤礦用火藥曰「准用爆藥」(permitted explosives)，在美國稱曰“permissible explosives,” 在法國稱曰“explosifs de surete” 或 “explosifs anti-grisontenses,” 在比國稱曰“explosifs S. G. P.” (sure grison poussières), 而在德國則稱爲“Wetter- 或 Wettersichere Sprengstoffe”。

**試驗坑道** 德國坑道設在 Gelsenkirchen Schalke, 計長 35 公尺。橫斷面作橢圓形 斷面積二平方公尺。縱軸係直立, 長 1.8 公尺, 橫軸係水平, 長 1.35 公尺。火藥爆發於徑 4 公分深 70 公分之砲筒內。安置砲筒之爆發室 (explosion chamber) 長 5 公尺, 藉紙膜與坑道隔開 砲筒具相當傾斜度, 裝藥不加填塞。煤礦中必須使用「安全火藥」, 律有明文規定。但何種火藥為安全, 則可由礦主自由選擇。此外又有私家坑道, 以在 Neubabelsberg 地方者為最著名。

奧國坑道長 293 公尺, 乃係一已廢棄礦坑之一部分。火藥係懸掛於坑內。而非裝於砲筒, 蓋藉以模擬火藥未裝入鑽孔前偶而失慎發生爆發之情況也。

比國 Mons 附近 Frameries 地方之坑道與上述德國坑道相類似。但長度為 85 公尺。火藥用砲筒發射, 不加填塞。砲口徑為 5.5 公分, 深 46 公分, 砲筒傾斜相當角度。爆發性氣體為含坑氣 8% 之空氣, 溫度預熱至 25°C。火藥威力, 另用特氏大鉛塊測定, 並與 dynamite No. 1 相比較。每次用與 175 g. dynamite 威力相等之藥量舉

行試驗，共試十次，十次皆不得引燃混合氣體，亦不得引燃炭粉，方能及格。滿足此情況之最大裝藥量名曰「極限藥量」(charge limite)，亦即每次爆破所能使用火藥之最大量

法國坑道建於 Liévin，其一長 15 公尺，橫斷面為 2 平方公尺，其二長 300 公尺，橫斷面 2.8 平方公尺，二者之橫斷面俱作圓形，內部均充天然氣體 (natural gas)。然法國之規定，並不根據實驗結果，而多係依據理論上之推算。煤礦用火藥，爆炸時不得發生如一氧化碳之可燃性爆發生成物。用於巖石爆破者 (explosif roche)，火藥之理論爆溫不得超過 1900°C，用於直接炸裂煤塊之火藥 (explosif conche) 則不得超過 1500°C。此種計算所得之爆溫，係根據火藥成分之燃燒熱及爆發生成物之比熱而得來，其詳參閱第十章。

美國之坑道設於 Pittsburg，長 100 呎，直徑 6 呎 4 吋，係由鍋爐用鐵板製成，其一端用三合土封閉。坑道上面，裝保險天窗數個，以防止坑道內發生過高氣壓。坑道之兩旁有架，坑內盛炭粉，炭粉係用烟煤磨碎，經過 100 篩眼之篩所製得。

火藥藉直徑 24 吋長 36 吋之砲筒舉行爆發，不加填塞。砲腔直徑 2½ 吋，深 21½ 吋。用天然氣體（約為等量之甲烷與乙烷）。天然氣體與空氣之混合物預熱至 77°F。火藥威力用彈道擺 (ballistic pendulum，見第十章) 測定，並須與美國製 40% 混合猛爆藥 (straight dynamite) 相比較，該藥成分為：——

N. G.	40
Na NO <sub>3</sub>	44
W. M.	15
CaCO <sub>3</sub>	1

欲求此試驗及格，並為求列入「准用爆藥」册 (permissible explosives list) 起見，各火藥必須滿足下述條件：——

(1) 取威力相當於  $\frac{1}{2}$  磅標準 40% 猛爆藥之藥量，在含天然氣體 8% 之空氣中舉行爆發，共舉行十次，十次皆不得引起氣體爆發。

(2) 取與上等重之藥量，在含天然氣體 4% 又含炭粉 20 磅之空氣中爆發，共舉行十次，十次皆不得引起氣體爆發。

(3) 取與上等重之藥量，在含炭粉 40 磅之空氣中爆發，共舉行十次，十次皆不得引起氣體爆發。

決定極限藥量之方法，係在天然氣體 4% 又含炭粉 20 磅之空氣中使火藥爆發，每次增加藥量 25 g，依次遞加，直至爆發十次皆不能引起氣體爆發之最大藥量，即以此時之最大裝藥量為其極限藥量。其火藥之成分未公佈。

英國之第一個坑道建於 Woolwich，長僅 27 呎 6 吋，直徑 2 呎 6 吋，火藥藉砲膛深 30 吋徑 1  $\frac{1}{2}$  吋之砲筒發射，並用定量之乾黏土加以填塞。所用爆發性氣體為含煤氣 15% 之空氣，此坑道自 1912 年起停止使用。同年開始使用 Rotherham 坑道。此新坑道長 50 呎直徑 5 呎，係用  $\frac{1}{2}$  吋軟鋼板釘成，其爆發室長 18 呎，與坑道其餘部分藉紙膜隔開。其一端以  $\frac{1}{2}$  吋鋼板封閉，板上留一孔，備插入砲筒之用。一切裝置均接合嚴密，使不漏氣。爆發室且設窗三個，係由  $\frac{1}{2}$  吋厚玻璃裝成，每個各為六吋之正方形，坑道頂部共裝九個氣體調節瓣。

氣體用氣體槽量入，用風扇吹動使與爆發室中之空氣相混和，約需三分鐘可混和均勻。所用混和氣體，含天然氣體 13.4%。

砲筒係鋼製(纏鋼絲砲身) 砲膛直徑 55 公厘 深 120 公分。

下所述者為舉行此試驗時所必須具備之情況，係由 A. R. 1912 年擇錄而來：——

各火藥必須為駐冊簿上已經登記者。政府大臣得隨時命令准用冊上之任何一種火藥，重新正式舉行復試。此種正式復試，須通知火藥製造人。

試驗時須供給下述之藥量及藥包尺寸。

33 磅	1 7/8" × 8	幅
10 ..	1 3/8" × 4	..
5 ..	1 3/4" × 2	..
2 ..	1 3/4" × 4	..

政府大臣對於舉行正式官方試驗之一切火藥，在試驗前有權貯存至少三十天之久

每試一種火藥，取費如下：——

新發明火藥之試驗	50 金鎊
改造後之火藥之試驗	30 ..
預備爆發試驗每次	1 ..

預備爆發試驗並無正式重要性，僅不過為製藥廠家便利起見，在付出較大金錢請求正式官方試驗前，先對於該火藥是否有及格可能，得一概念而已。

正式官方試驗依下法舉行之。(根據官方方法)

[在天然氣體與空氣之混合氣體中，使火藥爆發，至得到能使混合氣體不引燃之最大裝藥量為止。乃用此裝藥量為起點，繼續試驗，如發生引燃，則減少裝藥量。直至同一重量之裝藥繼續爆發五次而

不發生引燃爲止。於是用如是測定之裝藥量再使其爆發於炭粉中，如前舉行試驗，直至同一重量之裝藥繼續爆發五次而不發生引燃爲止。如此所測定之較低之裝藥量稱曰「最大裝藥量」。試驗時裝藥量之增減不可小於二兩。

「裝火藥入砲筒須裝至砲膛底部（入藥之前，先插入黏土塞子，以保護砲底），不加填塞。所用炭粉之細度，其能通過每吋 150 篩眼之篩者，須在 90% 以上」。

「除上述各次爆發外，另須用彈道擺舉行試驗，而記錄擺動儀上所得之擺動度數。由此所得之平均擺度，與含硝化甘油 60% 之“解里尼忒”（gelignite）比較而公佈之」。

「各次爆發均以電氣方法發火。如係高級炸藥而需用雷管時，雷管大小可由製造人或鑑定人推薦，經內務部批准後，即可採用」。

「各次爆發所用火藥，皆就其實際應用時所特具之筒、包皮、或其他被覆物而使用之」。

「合乎下列條件之火藥，可認爲及格——

- (1) 如法測定之“最大裝藥量”在八兩以上。
- (2) 在彈道擺中舉行爆發後，所餘未起爆發之殘藥爲量不多。
- (3) 如該火藥在坑道中不加填塞，其爆發情形經執行試驗之長官認爲滿意者」。

「試驗砲筒可能施放之最大裝藥量爲 2<sup>1</sup> 磅」

茲將管理「准用爆藥」裝箱及用法之主要條例擇錄如下，（1913 年 9 月 1 日英國樞密院命令公布之煤礦條例，Coal Mines Act）：—

「鑽孔所用鑽子之直徑，較擬用藥包之直徑，至少須有  $\frac{1}{8}$  吋之空隙」。

「各次爆發之裝藥，必加充分填塞。又每次爆發，只許採用一種火藥」。

「一切煤礦，凡前三月內曾發現存有可燃性氣體為量足以表示危險可能者，除“准用爆藥”外，不得使用任何其他火藥」。

「一切煤礦，如非全礦天然溼潤者，則在礦內任何道路或任何乾燥而多灰塵之部分，除“准用爆藥”外，不得使用任何其他種火藥」。

關於打包及標記，除 1875 年火藥法規所規定者外，尚須遵守下述章程：——

每個藥箱之外部表面上，必須具下列字樣：「准用爆藥，切勿使用“某”號以下之雷管」，（“Permitted Explosives, to be used only with not less than No. ——detonator”）雷管之號數，須為准用爆藥冊上註明者。並須具有爆藥名稱、製造廠名、製造地點及日期。以及曾在准用爆藥冊上所登記之成分、性質及比例。

各藥包上必須蓋印，印之形式為一皇冠，中央加一 P 字。並須印有下列字樣：「每個鑽孔中，裝藥量不得超過 \_\_\_\_ 噸」噸數係經「官方試驗」所決定之最大裝藥量。

在准用火藥冊中，各火藥概須註明其成分，並須載有每種成分之最大量與最小量，以補救製造上之出入。此項成分之伸縮，經製造廠擬定並經內務部批准，其值往往非常之大。例如「二號蘇頗一侯克賽里忒」（super-excellite No. 2），註明含硝化甘油不得多於 6%，亦不得少於 4%。製造時，如每次製 500 磅而取其平均數 5%

時，計需硝化甘油 25 磅，但此數上下可差至 5 磅之多，而不至超出規定以外。25 中差 5，此大的差誤，自為不十分合理。對於其吸溼性之物質，如硝酸銨，給予一種自由伸縮固較需要，然亦覺未免太高，此種差誤上之高度伸縮性，足使製造廠可用種種成分配成爆藥，其交政府舉行正式官方試驗者，可含非爆發性物多而爆發性物少。一經試驗後，製造者又大可反其道而行之，使其所售出之火藥，含最少量之非爆發性物及含最多量之爆發性物，而此實際之所使用之爆藥，苟施諸正式試驗，不一定能及格也。

准用爆藥冊中亦載有製造廠名，工廠地址，起爆所能使用之最小雷管號數，以及每次爆發所能採用之最大裝藥量。並註明包皮之性質，如羊皮紙、錫鉛合金等，如係防水藥包，則尚須註明防水料性質，例如石蠟 (paraffin wax)、Carnauba 蠟、其他種蠟及樹脂等等。包皮之比較重量，雖甚重要，以藥包不大，及當包皮可以燃燒而能形成火藥之一部分者為尤然，但並未加任何限制。包皮之重量，頗難規定，隨尺寸不同，變化甚大。他方面，其重要性似乎亦並不如想像之大。例如，「一號阿峇尼忒」與「五號阿峇尼忒」(ammonite No. 1, ammonite No. 5) 皆具下之成分：——

$\text{AmNO}_3$	73—77
T. N. T	4—6
$\text{NaCl}$	19.5—21.5
$\text{H}_2\text{O}$	0—1

五號者用浸蠟紙製藥包，但一號者則係用「鉛錫合金製成之小筒，以純淨石蠟施以充分防水」。前者之彈道擺試驗結果得 2.41 吋之擺



動，最大裝藥量為 26 呎，後者之擺動為 2.42 吋，最大裝藥量為 24 呎。此等數字雖甚接近，然須注意二者俱沒有蠟，且「阿芬尼忒」爆藥所含之氧，較三硝基苯完全燃燒所需者為過剩。對於含氧僅足起完全燃燒之爆藥，則情形可能大不相同。因浸蠟之包皮將使生成較多量之一氧化碳故也。

比國坑道，曾舉行二種試驗，以研究包皮之影響。第一種試驗所用爆藥為「巖石格銳蘇尼忒」(grisounite roche)。此火藥含大量之過剩氧(excess of oxygen)，其成分為

$\text{AmNO}_3$	91.5
D. N. T.	8.5

爆發後，測定其爆發生成物中之可燃性氣體，而得下述之驚人結果：——

包 皮	可燃性氣體之%
無包皮	2.4
石棉紙	4.0
浸石蠟紙	20.0
鉛皮或錫箔	2.0
浸石蠟紙附加炭粉 20 g.	57.5
錫箔附加炭粉 20 g.	55.6

最後一個數字過於特殊，殊難解答其究竟。

第二種試驗係取數種比國製煤礦爆藥，用各種不同之包皮包裹，在坑道中舉行爆發，而測定其極限裝藥量。每次凡用浸石蠟紙代替未浸石蠟紙者，極限裝藥量皆減少甚多，有時且減少 85% 之多。此情形不論在可燃性氣體中或在炭粉中皆得同一結果。如用金屬箔

亦能減少極限裝藥量。惟減少程度較小。此時所以減少之原因，一部分或係由於金屬燃燒熱較大所致。反之，如改用石棉紙代替普通紙，則可增高極限裝藥量達 50% 之多。由此觀之，包皮之影響甚大。但包皮對於大小不同，各種尺寸藥包之影響，並無記載，在英國似亦並未從事研究之。

舉行坑道試驗，所用砲筒中砲膛之直徑與長度對於試驗結果大有影響。此種關係德國曾從事研究。係採用砲筒二個，其一砲膛直徑 55 mm，長 57.5 cm；其二砲膛直徑 40 mm，長 70 cm。試驗結果，證明用 55 mm 砲筒爆發時，直徑 35 mm 之藥包較直徑 55 mm 之藥包。當在可燃性氣體中舉行時，裝藥量可以加多，毫無問題。但如在炭粉中舉行時，則二種藥包之誤差甚小。他方面，用 40 mm 砲筒爆發時，不論在可燃性氣體中或在炭粉中舉行，直徑 35 mm 之藥包較直徑 40 mm 藥包。裝藥量可稍稍增高。

砲膛長度，影響亦不小。砲膛愈長，則最大裝藥量亦愈大。此或係由於金屬散熱面積增加之故。坑道橫斷面積之影響，亦曾加研究。其橫斷面小者，極限裝藥量亦小，然所得結果甚不一致。有時在可燃性氣體中舉行，裝藥量減少最大，有時又以在炭粉中舉行裝藥量減少為較大。

坑道試驗，不能謂為足以表示礦坑中之真實情況。然所有坑道試驗，差誤相同，均取實際較礦坑中所能存在之更惡劣之情況，以求安全可靠。填塞之影響亦不小。坑道試驗，不加填塞，致其結果大為可慮。事實上，真正礦坑中舉行爆破時，所有裝藥固皆具有填塞也。

英國之試驗，坑道之爆發室中，溫度通常雖相當溫暖，但氣體之

正確溫度則未加規定，此所以與比，美二國不同也。又關於大氣壓力 (barometric pressure) 之高低，似亦完全忽視。有時礦坑深達數千呎以下，位置每降低 100 呎，則氣壓之升高，以  $\frac{1}{10}$  吋計算，在此深長坑道內，大氣壓力之增高，當然未可忽視。在英國地面上大氣壓力之變化，照例未有超出一吋以上者，相當於 1000 呎之地面升降。在慎重舉行試驗前，將可燃性氣體之壓力與溫度，一併記載於准用爆藥冊中，當非無益。如因氣壓變化不大，似無記錄價值，然要知記錄工作原最簡單，並不費事，則又何妨一記以備查考乎？由上可知，關於有可燃性氣體與炭粉之處，使用火藥，尚需多加試驗。在英國，除官方為檢定製造商之火藥而舉行試驗外，似並無其他任何研究。為其費用大，私人或公司難於舉辦。且因此為國家大事，必由政府從事研究。Rotherham 試驗處，迄 1919 年止，已成立六年之久，然竟毫無任何研究！今日認為特別值得研究者，有下列數問題：(1) 藥包包皮之影響；(2) 氣壓之影響；(3) 各種「減溫劑」之相對效率；(4) 爆溫；(5) 爆焰時間；(6) 爆速；及(7) 藥包直徑之大小。

**英國准用爆藥** 英國准用爆藥冊中所登記之火藥數目，迄 1919 年止，計有 77 種。此種火藥，其無吸溼性者，均以羊皮紙包裹；其具吸溼性者，除一二例外，均於包紙後，再以蠟類如石蠟、carnauba 或 ceresin-wax，或蠟與樹脂混合物充分加以防水處理。其例外者如「斯坦福德爆藥」(stanford powder)，「一號阿莽尼忒」(ammnite No. 1) 及「四號阿莽尼忒」(ammonite No. 4)，皆係裝於鉛錫合金製之金屬筒中，外面用蠟充分施以防水處理。「四號阿白里忒」(abalite No. 4) 係裝於浸蠟紙筒內，有時尚多加一層錫箔包皮，有

時則無之。有一種德國式火藥，名「二號土陶魯」(tutol No. 2) 歐戰前，經英國准用爆藥册登記，係先用無防水力之羊皮紙包裹，而後再於其外部加包一層防水紙。此外層包皮，在裝藥人鑽孔時先將其除去。此辦法顯係為避免包皮之影響而然。歐戰後，此火藥雖經取消其登記，然仍可記其成分於下，以資參考。即：

N. G.	24	—26
NaNO <sub>3</sub>	28	—30
NaCl	3.5—10.5	
W. M.	31	—34
NaHCO <sub>3</sub>	0	— 0.5
H <sub>2</sub> O	2.5— 5	

用彈道擺試驗，此火藥之擺度為 2.11 吋。同一重量含 60% 硝化甘油之「解里尼忒」之擺度為 3.27 吋。「二號土陶魯」之最大裝藥量為 22 磅

煤礦用安全爆藥，殊難分類。約略分之，得三大類：即(1)不含硝化甘油，但含有芳香族硝基碳氫化合物與硝酸銨，有時亦含有硝酸鈉或硝酸鉀，有時亦不含之。(2)含有硝化甘油及可燃體與硝酸鹽。(3)含有過氯酸鉀。

有須加注意者：僅含有硝化甘油甚多(20—30%)且全不含芳香族硝基化合物之火藥，始可含硝酸銨；又除「桑德銳忒」(sunderite)含硝化甘油僅 8—10 份外，其餘一切過氯酸鹽火藥，亦均含多量之硝化甘油(20—40%)。

各種「減溫劑」：鈉、鉀及銨之氯化物均可採用，而其中以鉀鹽似

最有效。氯化銨有減損爆炸之趨勢。使用時必須與硝酸鈉或硝酸鉀聯合使用，以供給固定鹼類，使放出之遊離氯得以結合。草酸銨亦可用作「減溫劑」，然迄至今日止，此物僅可於含硝化甘油之火藥中採用。所有過氯酸鹽火藥，除「二號沙木遜尼忒」(samsonite No. 2)外，皆含有大量草酸銨，約達 25-40%。

准用爆藥冊登記火藥中之威力最大者為「未克陀爆藥」(victor powder) 含硝化甘油約 9%，彈道擺試驗達 2.96 吋。次為「一號南崙南里忒」(nationalite No. 1)，所含爆發性成分僅有 T. N. T. 及硝酸銨，其彈道擺試驗成績為 2.91 吋。

准用爆藥冊上所有之各種火藥，自無一一述敘必要，然為比較計，茲將其主要者列如下表。各火藥「擺度」(swing) 係由藥量 4 磅用彈道擺所測定，並與同一重量之含 60% 硝化甘油之「解里尼忒」相比較，其成績為 3.27 吋。

各火藥之成分，係依據准用爆藥冊中所載，取其最大值與最小值之平均數。

不含 N. G. 之准用爆藥

爆 藥	T.N.T.	P.N.B.	AmNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>	CaNO <sub>2</sub>	KCl	NaCl	NH <sub>4</sub> Cl	H <sub>2</sub> O	擺 度	最大裝量(磅)
Bellite NO. 2	—	12	61	—	—	—	27	—	.3	2.41	32*
Bellite NO. 4	—	13	68.5	—	—	—	18	—	.76	2.72	12
Abellite NO. 1	6.7	7	68	—	—	—	17.5	—	.5	2.8	14
Nationalite NO. 1	15	—	66	—	—	—	19.5	—	.5	2.92	12
Bellite NO. 1**	15	—	63.5	—	—	—	16.5	—	—	2.74	20

Nationalite NO. 2	15	—	63.5	—	—	21	—	—	.75	2.63	20
Beharite NO. 4	16.5	—	61.5	—	—	—	22.5	—	.75	2.83	18
Kentite	15	—	34	33.5	—	—	—	17	1	2.64	18
Anchorite	12	—	34	—	33	—	—	20	.75	2.73	14
Expedite	12	—	31.5	3	—	—	—	20	.75	2.52	22
Danaby Powder	13	—	34	32.7	—	—	—	19.6	.75	2.74	18
Super-Curtisite	10	—	34.5	19	—	—	—	22	1	2.71	16

\* 此為砲筒所能容納之最大裝藥量。

\* 尚含有 3.5—5.5 分之澱粉。

試觀上表，可得下述之有趣比較：「四號白里忒」(bellite No. 4) 與「一號阿白里忒」(abelite No. 1) 二種火藥之成分幾相同，所異者只不過後者所含 D. N. B. 之半量為等量之 T. N. T. 所代替而已。然已足使火藥威力增大，同時且升高最大裝藥量二噸。「一號南甚南里忒」(nationalite No. 1) 全以 T. N. T. 代替 D. N. B.；其結果火藥威力更形增加，惟因此其最大裝藥量則回降至 12 噸。故「一號白里忒」與「一號南甚南里忒」所不同者，為其含較少量之鹽類及較少量之硝酸銨，然其結果，殊出人意料，威力反為減少，最大裝藥量因而大增。其原因或係受包皮影響，或較此更可能者為受混合成分方法之不同所致。「安考銳忒」與「埃克司拍欣忒」(anchorite, expedite) 成分極相類似，然二者之最大裝藥量則相差甚多。

下列各火藥皆不含硝化甘油，但各火藥所含之氧，皆遠過於其所含可燃體完全燃燒之所需。

## 不含 N.G. 但含多量過剩氧之准用爆藥

爆 藥	T.N.T	D.N.N	T.N.N	AmNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>	NaCl	KCl	AmCl	H <sub>2</sub> O	擺 度	最 大 裝 藥 量 (磅)
Dreadnaught Powder	4	—	—	75	15.5	—	—	—	5	.5	2.07	32
W.istalite NO. 3	5	—	—	50.5	—	14	—	—	21	.5	2.57	12
Ammonite	—	5.5	—	73	—	—	21	—	—	.5	2.44	18
Ammonite NO. 4	—	4	—	66.6	10	—	—	20	—	.5	1.76	30
Ammonite NO. 5	—	—	5	75	—	—	20.5	—	—	.5	1.41	23
Ammonite NO. 1	—	—	5	75	—	—	20.5	—	—	.5	2.42	24

上表最饒興趣者為「無畏爆藥」(dreadnaught powder)，該火藥含減溫劑甚少，但最大裝藥量却甚高。「阿芬尼忒」與「五號阿芬尼忒」之成分相差雖無幾，然二者最大裝藥量則大異，出乎吾人之意料。「一號阿芬尼忒」與「五號阿芬尼忒」，二者成分之所以不同者，僅為包皮而已，後者用浸蠟紙，而前者則係金屬小筒。

## 略含 N. G. 之准用爆藥

爆 藥	N.G.	W.M.	AmNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	NaCl	KCl	AmCl	AmOx	H <sub>2</sub> O	擺 度	最 大 裝 藥 量 (磅)
Super-Excellite	4.2	3	75.2	7.2	—	—	—	—	19	.75	2.79	10
Super-Excellite NO. 2	5	—	50	20	—	—	—	5	15	.75	2.72	14
A <sub>1</sub> Monobel	10	—	30	—	—	—	20	—	—	1	2.78	28
A <sub>2</sub> M nobel *	10	9	59	—	—	—	20	—	—	1	2.44	22
Tham s Powder NO. 2	10	9	58.5	—	—	21	—	—	—	1	2.59	22

Viking Powder NO. 1*	10	9	9	—	—	19.5	—	—	—	1	2.41	26	
Viking Powder NO. 2	8.5	8	37	—	—	15	—	—	—	1	2.59	18	
Rex Powder	12	7.7	59.5	—	—	19.5	—	—	—	1.2	2.61	20	
Stomonal NO. 1	10	—	56	—	6	19.5	—	—	—	1	2.68	20	
Stomonal NO. 2	10	6	31	—	—	17	—	—	6	1	2.57	30	
Monobel NO. 1	8.5	8	38	—	—	15	—	—	—	1	2.81	10	
Victor Powder	8.7	8	38	—	—	15	—	—	—	1	2.96	18	
Victor Powder NO. 2*	8.7	8	36.5	—	—	15	—	—	—	1	2.63	16	
Du Pont Permissible NO. 1	9.7	7.7	37.5	—	—	15	—	—	—	—	2.75	2.82	18

\* 尚含  $MgCO_3$  0.5—1.5。

\* 尚含  $MgCO_3$  9—2。

上表中  $A_2$  monobel 與 stomonal No. 1 二者俱含多量之過剩氧。至於  $A_2$  monobel 則添加木粉以補足利用之。

$A_2$  monobel 與 viking powder No. 1 之成分，除後者以氯化鈉代替氯化鉀外，餘幾全同。結果，以同一之威力而後者之最大裝藥量增高，竟超出想像之外。（比較 monobel No. 1 與 victor powder 二藥）。他方面，thames powder No. 2 與 viking powder No. 1 之成分，幾全相同，前者威力較大，然其最大裝藥量則小於後者。此種火藥，因其製造廠家為數甚多，所以發生差異者，或係由於混合方法之不同或由於包皮上浸蠟之多寡所致。

victor powder 與 victor powder No. 2 成分甚相近似。所異者為後者含有 0—2% 之碳酸鎂而已。然二火藥之威力相差甚鉅。依據官方規定，二火藥俱含硝化甘油 7.5—9.5，氯化鉀 14—16，又木粉 7—9。victor powder 含硝酸銨 66.5—69.5，victor powder No. 2 則



含 65—68，另含礬酸鎂 0—2，故在不超出規定範圍以內，得使二種火藥之成分完全相同。可見准用爆藥冊上所規定製造上差誤之伸縮為數太大，由此而得以證明。杜榜工司(Du Pont)製之 permissible No. 1 為美國製煤礦安全爆藥登記於英國准用冊上唯一之火藥。該火藥與 viking powder No. 2 甚相近似

「三號地諾貝爾」與「四號地諾貝爾」(dynobel No. 3 與 No. 4) 之成分，含硝化甘油之多少，介乎上述略含硝化甘油火藥與含硝化甘油甚多火藥之間，其成分如下：

	dynobel NO. 3	dynobel NO. 4
N. G.	14 — 16	14 — 16
C. C.	.25 — .75	.25 — .76
D. N. B.	2.5 — 5	2 — 4
D. N. T.		
T. N. T.		
AmNO <sub>3</sub>	51 — 54	44 — 47
W. M.	4 — 6	4 — 6
NaCl	24 — 26	23 — 24
MgCO <sub>3</sub>	0 — 1	0 — 1
H <sub>2</sub> O	0 — 3	0 — 2
擺度	2.50	2.35
最大裝藥量	18 磅	3) 磅

「二號地諾貝爾」(dynobel No. 2) 與此相似，但含有較多之硝化甘油，即 18.5—20.5 份。

## 含 N.G. 甚多之准用爆藥

爆藥	N. G.	C. G.	W. M.	澱粉	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	NaNO <sub>2</sub>	KNO <sub>3</sub>	NaCl	AmOx	H <sub>2</sub> O	擺度	最大裝藥量 (噸)
Britonite NO. 2	24	—	37	—	—	—	37.5	—	8	3.2	2.26	24
Pitite NO. 2	24	—	34.5	—	—	—	29.5	—	8	3.7	2.15	32
Super-Ko'ax	25.5	—	27	7	—	—	25.5	—	7	3	2.10	30
Super-Ko'ax NO. 2	23.7	1	28	8.5	5	—	15.5	—	9.5	3.5	2.21	35*
Cambrite	23	—	33.5	—	3.7	—	27.5	—	8	4.7	1.95	30
Kynarkite	25	—	35	—	3	—	23	—	5	3.7	2.21	20
Britonite NO. 3	24.5	—	32	—	—	—	38	12	—	3	2.59	22

\* 此數為能裝入砲筒之最大藥量。

其中有值得注意者，為「二號卜銳通尼忒」與「二號皮蒂忒」(britonite No. 2. 與 pitite No. 2) 成分甚相近似，在不超出官方規定範圍以內，得使該二火藥之成分完全相同。然其最大裝藥量竟相差至 8 噸之鉅。

尚有堪以注意者，表中一切火藥，均含大量之木粉，用以吸收硝化甘油，又除「三號卜銳通尼忒」外，皆不含潮解性鹽類。此蓋為避免火藥因吸收水分而析出硝化甘油故也。

試比較 duxite 與 arkite No. 2 二種火藥，可證明火藥成分稍加改動，則其最大裝藥量可以發生甚大變化。duxite 為 1914 年登記於英國准用冊上之德國製火藥，嗣後又取消其登記。arkite 係 Kynoch-Arklow, Ltd. 之出品，亦於 1914 年登記於英國准用冊，迄今仍屬有效。該火藥之官方規定者如下：

	duxite	arkite NO. 2
N. G.	31 — 33	31 — 33
C. C.	.71— 1.5	.5— 1.
$N_2NO_3$	27 — 29	—
$KNO_3$	—	26 — 28
W. M.	8 — 10	8 — 10
$AmOx.$	28 — 31	29 — 31
$H_2O$	0 — 2.5	0 — 2
擺度	2.45	2.41
最大裝藥量	12 噸	40 噸*

( \* 此為能裝於砲筒中之最大藥量 )

由上觀之，該二種火藥，除 duxite 以硝酸鈉代替硝酸鉀外，其餘成分幾全相同。二者最大裝藥量之所以懸殊，或係由於包皮不同之故歟？arkite No. 2 係用羊皮紙包裹，而 duxite 則除紙包皮外，尚浸石蠟藉以防水，

英國准用爆藥中，真正成膠體之唯一火藥為 super-ripite. 據官方規定，其成分為：——

N. G.	51—55
C. C.	24
$KNO_3$	13.5—15.5
矽砂 (100°C. 烘乾)	15.5—17.5
KCl	7—9
$H_2O$ (全水分)	5—6
擺度	2.53
最大裝藥量	18 噸

此火藥只用羊皮紙包裹，而不具防水塗料 samsonite No. 2 與 samsonite No. 3 頗多相似之處，僅前者含過氯酸鉀 10-12 份，是為不同耳。

下列含過氯酸鉀之火藥，已登記於准用爆藥冊中。

含過氯酸鉀之准用爆藥

爆藥	N.G	C.C	I.N.T 及 D.N.T	澱粉	W.M	KClO <sub>4</sub>	AmOx.	H <sub>2</sub> O	擺度	最大裝藥量(噸)
Swale Powder	19	1	4	—	9	37.5	28	1	2.50	20
Ajax Powder	22.5	.75	3	—	10.5	37.5	25	.75	2.59	12
Neonal	21	1	.2	—	15	37	25	1	2.56	16
Dynobel	32.5	.75	—	—	9.5	27	29.5	.75	2.61	22
Herculite	33	1	—	—	9	27	29	1	2.72	16
Neonal NO. 1	40	2	—	—	4.5	14	39.5	.5	2.81	30

上表中值得注意之火藥為 dynobel 與 herculite。二者成分幾全相同，在不超出其官方規定以內，可以製成完全相同之同樣火藥。然二者之最大裝藥量事實上竟相差 6 噸之多，此只可歸咎於製造時混合方法之不同。按二火藥非一家公司所出，dynobel 為 Nobel's Explosives Co. Ltd. 之出品，而 herculite 則係英國火藥聯合企業公司 (British Explosives Syndicate) 所製造。

「包并尼忒」(bobbinite) 為屬於黑藥型之非爆炸性火藥 (non-detonating explosive of the gunpowder type)，當初對於 Rotherham 不能及格，迄 1919 年 12 月 31 日始在某種條件下准予用於煤礦。此火藥原有二種成分，其中又以第二種為最普通。

	第一種	第二種
$KNO_3$	62 — 55	53 — 58
C	17 — 19.5	18.5 — 20.5
S	1.5 — 2.5	1.5 — 2.5
硫酸銨 } 硫酸銅 }	13 — 13	—
石蠟	—	7 — 9
米澱粉或玉蜀黍澱粉	—	2.5 — 3.5
水分	0 — 2.5	0 — 3
密度(不可超過此限)	1.42	1.48

此火藥之每個小藥柱 (pellet) 皆塗有熔點  $120^\circ F.$  以上之石蠟，並須用棕色紙包皮包裹。最大裝藥量並無限制。

使用此火藥必備之情況如下：——此火藥僅可用以「炸取煤塊 (裝藥或在煤層之內或在緊接煤層上下部之地層中皆可)；只可用於不至驟然發生坑氣之煤礦；僅可用於礦中所含坑氣之壓力在危險程度以內；僅可用於礦中灰粉大部分無可燃性，不至發生危險或業經用人為方法處理過不至再生危險之處。

此火藥之點火，只可用含黑藥 5 格令之電引火管 (electric fuse) 或其他足以引燃火藥而具同等效力之方法，但不可用雷管或電雷管。

德國煤礦爆藥 德國煤礦用「煤礦安全爆藥」 (“wettersichere sprengstoffe”)，種類甚多，茲將其各型式記載於下，藉得概念。

Neu wertfalit		wetter-fulmenit	
D. N. T.	10.9	T. N. T.	7.6
$AmNO_3$	70.3	G. C.	4.1

麵粉	2.0	AmNO <sub>3</sub>	75.5
NaCl	15.8	C	1.5
最大裝藥量	540 g.	石蠟油	2.5
		NaCl	10.0

## dahmenit

萘	6.5
AmNO <sub>3</sub>	91.3
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	2.2

## dorfit I.

## dorfit II.

T. N, T.	6	15
AmNO <sub>3</sub>	61	65
KNO <sub>3</sub>	5	5
麵粉	4	4
NaCl	20	15
最大裝藥量	532 g.	300 g.

## tremonite S. II.

## gelatin-carbonit

二硝酸甘油	33	N. G.	25.5
C. C.	1	C. C.	.7
穀粉(meal)	12	AmNO <sub>3</sub>	41.5
T. N, T.	2.5	甘油與膠	7.0
AmNO <sub>3</sub>	16.5	NaCl	25.3
NaCl	25		

## gelatin-wetterastralit I.

二硝酸氣甘油	16	W, M.	.5
N. G.	4	AmNO <sub>3</sub>	40
C. C.	.5	NaNO <sub>3</sub>	7.5

M. N. T.	1	Am.Ox.	2.5
D, N, T.	2	NaCl	14.0
馬鈴薯粉	8	油	2

此最後之一種火藥，開火藥成分複雜之記錄。

**奧國煤礦爆藥** 奧國煤礦不多，製造火藥為政府專營事業。煤礦用爆藥只製有二種，一為「地拿莽」(dynammon) 一為「煤礦·地拿莽」(wetter-dynammon)，二者成分如下：

	dynammon	wetter-dynammon
AmNO <sub>3</sub>	87	94
KNO <sub>3</sub>	—	2
C	13	4

**比國煤礦爆藥** 比國 S. G. P. 爆藥册登記之火藥，為數頗多，茲擇其較著者列下：——

	dynamite antigrisen'euse II.	grisoutite
M. G.	44	44
W. M.	12	12
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	44	—
Mg SO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	—	44
極限裝藥量	650 g.	300 g.

	kohlen carbonite	minite
N. G.	25	25
KNO <sub>3</sub>	34	35
Ba (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1	—
麵粉	38.5	39.5
Tan Meal	1	—
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	.5	.5
極限裝藥量	900 g.	750 g.

	permonite S. G. P.	yonkite 10 bis
N. G.	6	—
T. N. T.	7	15
KClO <sub>1</sub>	24.5	—
AmClO <sub>1</sub>	—	25
AmNO <sub>3</sub>	29.5	30
NaNO <sub>3</sub>	—	15
麵粉	4	—
Glycerine Gelatine	3	—
W. M.	3	—
NaCl	24.5	20
極限裝藥量	500 g.	

比國 S. G. P. 爆藥冊上尚登記多數之硝酸銨火藥。茲舉例如下：

爆 藥	T.N.T.	D.N.N.	AmNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>2</sub>	AmOx.	AmCl	極限裝藥量 (公分)
Densite 4	19	—	18	45.5	—	—	17.5	850
Densite 3	4	—	74	—	22	—	—	700
Favier 2 bis	—	2.4	77.6	—	—	—	20	500
Fractorite B	—	2.5	75	—	—	2.2	20	450

在同一爆藥冊上，尚有一種矽化鈣火藥，名曰 *sabulite antigri-souteuse*。其成分為——

T. N. T.	6
AmNO <sub>3</sub>	54
KNO <sub>3</sub>	22
Ca <sub>2</sub> Si	5
AmCl	13



法國煤礦爆藥 法國煤礦爆藥 (explosifs de su rete 或 explosifs antigrisonteuses) 係由計算爆溫法所決定。可分為二大類。即「煤礦巖石火藥」(grisonnites roches), 爆溫 1500°C. — 1900°C. 者屬之, 僅可用以爆破煤礦中之巖石; 又「煤礦炸煤火藥」(grisonnites couches), 爆溫在 1500°C. 以下者屬之, 可用以炸裂煤塊。茲舉例如下:

Explosif	M. N. N.	D. N. N.	T. N. N.	AmNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>
N <sub>1</sub> a bis, couche	—	—	5	95	—	—
N <sub>1</sub> couche	—	—	5	90	—	5
N <sub>1</sub> b bis, roche	—	8.5	—	91.5	—	—
N <sub>1</sub> c bis, roche	—	12.6	—	87.4	—	—
N <sub>2</sub> roche	20	—	—	—	80	—
N <sub>3</sub> roche	—	—	27	35	58	—

## 文 獻

### 委 員 會

最初指派各委員會研究煤礦用火藥之報告綜述見“Revue Universelle des Mines,” 2<sup>nd</sup> Series, vols. 18 及 19 (Liege, 1886)。英國方面之報告以官方文書發表為“Final Report of H. M. Commissioners Appointed to Inquire into Accidents in Mines” (1886)。法國方面之報告見“Annales des Mines,” (1888), 及“Congres International des Mines,” (1889)。

## 爆 焰

C. E. Bichel, "Testing Explosives," 英譯本爲 A. Larsen, London, 1905.

J. S. C. I., 1899, p. 7.

S. S., 1908, p. 408; 1909, pp. 323, 343.

P. S., 1910, p. 164.

Bulletin of the U. S. Bureau of Mines, No. 66

爆焰攝影。在 A. Marshall, "Explosives," London, 1917, 載有轉載像片。

## 試 驗 坑 道

美國坑道詳載於 Bulletin of the Bureau of Mines, No. 15. 該文內載關於「准用爆藥」之有趣記載甚多，尚有 Bulletin No. 66，二者爲關心美國情況者所必讀。惟文中並未註明火藥之成分足爲憾事。

英國 Rotherham 坑道載於 A. R., 1919, p. 53, 並附有插圖。

歐陸各國之坑道參閱 A. Marshall, "Explosives," 及 P. F. Chaions "Les Explosifs Modernes."

Turbulence 對於混合氣體引火之影響見 Soc., 1919, p. 87.

## 藥 包 包 皮

"VIII. International Congress of applied Chemistry," vol. IV. p. 138.

## 鑽孔大小與坑道

S. S., 1910, pp. 221, 225; 1911, pp. 321, 344 371.

## 准用爆藥

英國准用爆藥冊上所載各火藥之成分見下列 “Explosives in Coal Mines Orders:” ——

September 1st, 1913.	February 3rd, 1916.
February 10th, 1914.	April 14th, 1916.
April 7th, 1914.	April 26th, 1916.
May 13th, 1914.	September 21th, 1916.
June 22th, 1914.	November 21th, 1916.
August 29th, 1914.	May 9th, 1917.
January 15th, 1915.	November 5th, 1917.
January 28th, 1915.	May 30th, 1918.
April 1st, 1915.	August 2nd, 1918.
July 3rd, 1915.	November 28th, 1918.
August 6th, 1915.	January 25th, 1919.

歐陸各國所用火藥之成分，A. Marshall, “Explosives,” London, 1917. 所載甚多。

## 第八章 火帽,雷管,及導火索

### 火帽及雷管

爆炸 (detonation) 之真正機能 (mechanism) 尚未明瞭。大概或係一種極迅速之壓縮波 (wave of compression), 使火藥逐層之溫度, 為局部之增升; 或係一種分子之激動 (vibration of molecules), 使火藥分解為較安定之物質。在一切情況下, 當大多數之火藥燃燒時, 其燃速 (rate of burning) 漸漸增加, 以至變成爆炸。此後則其爆速 (velocity of detonation) 事實上保持不變。

適於用作起爆藥之火藥, 其燃燒加速率必須極為迅速, 由燃燒進為爆炸所需之時間, 必須極短。此外, 尚須便於保存; 對於某種用途有時雖需其對震動感度良好, 然亦不可過於敏感, 以免製造及運用時發生無意之危險。

迄今未有任何化合物能完全滿足上述條件。已經發明之起爆藥中, 實用者僅二種, 即雷汞與氮化鉛是。雷汞具相當大之加速率, 運用時予以相當注意, 普通不至發生意外危險。然此物價格較昂, 難於保存, 爆發時所生汞烟對於黃銅彈殼有不良影響。此外, 一如其他汞化合物, 性甚毒, 工作者必須慎防吸入其灰塵。製造上所餘廢棄物如洗滌廢水等等, 其中有含微量汞之可能, 須加特別處理。如製造廠位

於河邊，而河中又蓄有魚時，此項處理尤感需要。

他方面，氮化鉛具良好之加速率，亦易於保存。結晶小時，較雷汞為鈍感而安全。然此物與雷汞異，易生成大結晶，而此大結晶之氮化鉛性極敏感，縱使浸於水中，苟略施觸動，亦能爆炸。氮化鉛較雷汞價格為低，毒性亦較小。然製造設備則需費頗昂。

(譯者按：以單價言，每公斤之氮化鉛實較每公斤之雷汞價格為高。然因氮化鉛之起爆力，約十倍大於雷汞，即對於各種火藥起爆所需之起爆藥量，氮化鉛僅及雷汞之十分之一，故因其需用分量少，可稱為價格較廉。)

迄目前止，雷汞仍為使用最多之起爆藥。然氮化鉛之使用已漸行推廣，將來或可能代替大部分之雷汞也。起爆藥所需性能，多有視其使用情況而參差者。爆破藥普通係用導火索或電流點火，具熱敏感性之起爆藥即可使用，而無需求其震動敏感。另一方面，如非爆炸性火藥除黑藥外，對於其他各種火藥，皆需要起爆，非僅點火可以辦到。是故爆破用雷管，必須威力強大，否則裝藥僅能引燃，即或不然，爆炸亦恐難臻完全。

反之，發射藥並不需要起爆，而只需要點火。是故僅需威力較弱之起爆藥點火於傳火藥或發焰劑 (flaming mixture)，再進而傳火於發射藥。發焰劑最易引火。普通採用微粒狀黑藥或硫化銻與氧化物之混合物。對於手攜兵器，因其撞針擊發力不大，故需採用衝擊感度相當銳敏之起爆藥。對於速射砲，因具有較強大之擊發力，對於重砲，其所具擊發力更大，故無需乎大敏感度。其所需之起爆藥，嚴格言之，幾非火藥，而實係一種火柴類似劑而已。海軍砲與要塞砲多用電力發火，僅需熱敏感之起爆藥。

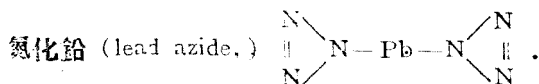
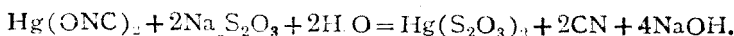
雷汞 (mercury fulminate)  $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ 。雷汞係吸熱化合物，生成熱為  $-62.9$  卡路里 (calorie)。一般製法，係用乙醇作用於汞之硝酸溶液，製造時反應頗激烈。為得較好得率起見，實際上須以實驗室型的小規模製造法舉行，每次約可製造三磅。原料配合法雖有多種，但均相差無幾。下所述者堪為優良製法之概要。

製造設備有容量約 50 公升之玻璃瓶數個，每瓶皆連有陶器製或石英製之蛇形冷凝器與磚製回收塔。須備強力抽風裝置，以抽取毒性甚大之烟霧。烟霧成分，主為亞硝酸鏷，硝酸乙酯，亞硝酸乙酯以及未曾變化之酒精，均易引火。製造時，取汞 500 公分溶解於 4500 公分之硝酸中 ( $D=1.400$ )。如是所得硝酸汞溶液，加熱或冷卻，使溫度為  $25^\circ\text{C}$ ，而加以濃度 94% 之酒精 5 公升。約 15 分鐘後，反應開始。約可持續三刻鐘之久。設如硝酸汞液之溫度遠在  $25^\circ\text{C}$  以下，則須略為加熱，以促起反應；如其溫度高於  $25^\circ\text{C}$  以上，則反應過趨激烈，有難於控制之虞。當反應進行時，溶液本身之溫度，自動升高約至  $85^\circ\text{C}$ ，同時且有多量液體蒸餾而出。即將其冷凝之。此蒸餾液價值不大，只可用以代替下次製造時所需酒精之一部分。反應畢，放冷，約加以一公升之水，將此全部液體傾於瓷皿中，而用水充分舉行洗滌。先用傾析法 (decantation) 洗滌，次在洋紗濾器上再洗之。收集洗滌廢水，加石灰使變鹼性，使汞沉澱，過濾而收回之。用此法約可收回所用汞量之 10%。待沉澱出之汞濾過後，所得濾液便可安全流棄。為萬全計，此濾液尚須加以處理，以防其滲入飲水或有魚之河。

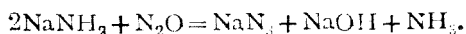
由上所得之雷汞，在溼狀保存時甚為安全。臨用前始將其烘乾。烘乾法係鋪於紙製藥盤上，放於溫度  $35^\circ\text{C}$  之烘櫃中烘之，烘櫃一

般能容 100 磅。烘畢，在雷汞未完全放冷以前，切不可取動。蓋因溫熱之雷汞，性極敏感也。如是所得之雷汞作灰色。由 500 公分之汞約可得雷汞 650 公分，其得率約合理論數之 90%。如製造時在加酒精前，先以少量之銅與鹽酸加於硝酸汞溶液內，則所得成品，幾全部作白色。然實際上此白色雷汞較灰色雷汞猶為不純潔。

雷汞之比重約為 4.4，100c.c. 之水，在 13°C. 時能溶解 0.07 公分，在 49°C. 時能溶解 0.17 公分，在 100°C. 時能溶解 0.8 公分。此物可用硫代硫酸鹽滴定法定量：——



製造氮化鉛，先將金屬鈉加熱至 35°C. 充分通以乾燥氮氣，使成為氨基鈉 (sodamide)  $\text{NaNH}_2$ 。當反應進行時，發生大量之熱。適度調節氮氣之氣流大小，可不藉外部熱力，即可保持其所必需之溫度。分析出氣口之氣體成分，不難控制之。氣體中氮之驟形減少，即表示全部之鈉業已用完。由是製成之氨基鈉，將其在一氧化二氮（即笑氣）之氣流中加熱至 150—250°C.，則變成氮化鈉——



將氮化鈉溶於水中，加醋酸鉛使起複分解作用，即生成氮化鉛。係白色結晶細粉。冷水中幾不溶解，即在熱水中溶解度亦不大。此物具有形成大結晶之傾向。大結晶之氮化鉛，縱在水中亦能自行爆發。其結晶不大及結晶小者對於衝擊與熱較雷汞為鈍感。因其加速率極大，用為起爆藥，效力最優。例如起爆梯恩梯，需雷汞 0.25 g.，同一

情況下，需氮化鉛僅 0.05 g. 氮化鉛主要用途為與特出兒或梯恩梯聯合使用，以製造複式雷管。

其他敏感性化合物，如 diazobenzene nitrate, nitrodiazobenzene nitrate, lead picrate, 及 nitrogen sulphide 等，皆曾有用作起爆藥之議，然皆未成功，因其加速率俱皆較小故也。

火帽 (caps) 手攜兵器用火帽劑 (cap composition) 通常為一種混合物，係由雷汞、氯酸鉀、硫化銻及其他可燃體混合而成，並常加玻璃粉，以增其感度。對於大砲，因其撞針衝擊力強大，一般多省略雷汞不用。有時為使各種成分膠黏起見，並加膠或阿拉伯膠。但除採用溼法混合外，並無加膠必要。

茲將英國及奧國所用火帽劑，列舉數例如下：——

	英國 S.M. (柯達無烟藥)	英國 (柯達無烟藥)	英國 O.F. (柯達無烟藥)	奧國 步槍用	奧國 機槍用	奧國 摩擦管用
雷汞	8	19	—	13.7	33.9	—
KClO <sub>3</sub>	14	33.3	12	41.5	21.6	66.2
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	18	42.9	18	33.4	—	33.1
粉狀黑燻	1	2.4	1	—	—	—
S	1	2.4	1	—	—	—
玻璃粉	—	—	1	10.7	43.2	—
膠 (gum)	—	—	—	—	—	.7
膠 (gelatine)	—	—	—	.7	1.3	—

Herz 氏曾倡議用硫代硫酸銻銅 (係由硫代硫酸鈉與硫酸銻銅作用製成) 硫代硫酸鉛，及氯酸鉀聯合使用，以下述比例配合，據謂



結果良好，但尚未正式採用。

KClO <sub>3</sub>	57.3	54.5	51.5	53
Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.7	40.5	37.1	27.5
PbS <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	7.4	5.5
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	—	—	—	11.0
玻璃粉	—	4.0	4.0	3.0

配製火帽劑時，先將各種粉狀成分分別過篩，而後或用溼法或用乾法舉行混和。英法兩國，多採乾法，德奧則喜用溼法。用溼法時，必需添加膠或其他種黏膠料，以防止各成分彼此分離，所用之水，加膠溶解後，必須加足，以使藥劑變為泥狀，然亦不可過量，否則一部分之氯酸鉀將被水溶去，即藥劑之造粒亦將受其影響，反之，如水分過少，則混合又感危險。無論如何，必須特別注意，務不可使藥劑附於混合盤邊緣上，致變乾燥。為避免因水溶解所損失之氯酸鉀，有時摻加酒精，以減低氯酸鉀之溶解度。混合畢，使混和物通過馬尼篩或絲篩，以行造粒，再經烘乾，過篩即得。往昔有一時期，將混合所得之溼狀火帽劑裝入火帽後，再行烘乾，此法殊無可取，因藥劑變為堅硬之塊，性極敏感也。採溼法混合時，所用雷汞無須烘乾，含水分15%之溼狀雷汞即可使用。採乾法混合，先將雷汞以外之其他各成分混合，而後再加雷汞舉行混合。其目的蓋在未加危險品雷汞前，先儘量舉行充分混合。配製火帽劑，工作甚為危險。每次僅可混和少量，一般為半磅至二磅。所需設備甚簡單，或用手搖紙鼓桶（papier maché），或用布製或柔革製之「柔質袋」（jelly bag）。如採鼓桶法，未加雷汞前之預和，可加軟橡皮球以促進混合作用，使紙鼓桶同時具一種似球磨之作用，然在加入雷汞時，則須先將橡皮球除去。

「柔質袋」可認為最佳而最常用之混合機，如第廿三圖所示。其構造大概，係一布製或柔革製之圓錐袋，上部寬大部分固定於架上。袋頂內部繫有一繩，經滑車而達於工作者之手。工人位於安全距離外保險板之背後。拉動此繩，則袋底上翻。得以翻動內容物而使其混合。板上裝有可移動之制楔，藉防繩移動過度，免致內容物外溢，當放鬆繩時，則袋因自身重量關係或藉附加之重物關係而恢復其正常位置。有時在袋內加掛橡皮環，以增其混合效率。混合期間，袋下面置一盛水槽，以捕集無意中溢出之藥劑。混合畢，除去水槽，代以紙盒。於是工人退至保險板背後，除去制楔，拉動繩子使袋翻轉，則內容物經由圍繞於袋外之圓錐漏斗而漏於紙盒中。按此法頗安全，當混合時，即使發生爆炸，工人因係位於保險板背後，得無恙。為使工人易於窺察袋之情況起見，可在保險板上開一縫隙，如能裝以 triplex 保險玻璃則更佳。此種裝置，曾經官方試驗，結果甚佳。茲將發表於 A.R. 1917 上之試驗情形述之如下：

〔取  $2\frac{1}{2}$  吋厚之 triplex 保險玻璃一塊，用  $\frac{1}{2}$  吋角鐵確實固定於 3 吋厚之木板上。取雷汞 4500 哩（約合 292 g）緊覆於玻璃下面而爆炸之。爆炸後，木板炸碎，碎木之大者遠飛至 150—200 呎

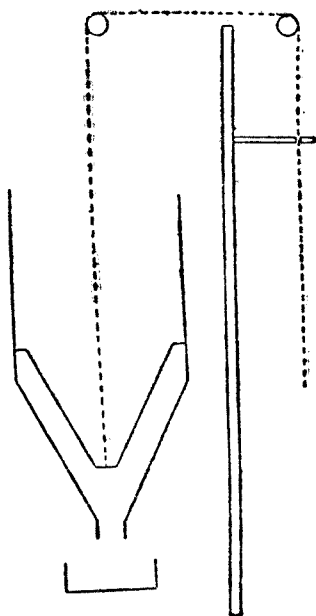


圖 23 火帽劑及雷管裝藥用柔質袋混合器

之高。而 triplex 保險玻璃則僅向四圍顯呈裂痕，但並不破碎，而仍為一整塊。——此足證明施行雷管工作時，triplex 玻璃對於工作者保護効力之大。」

金屬製火帽壳係由紫銅皮舂成，亦有用黃銅者，惟較少耳。內部皆塗假漆。裝火帽劑之方法如下：先放置火帽壳於一青銅板上之凹孔內，該板稱曰“hand.” 通常每板能容 1000 個。另取板一塊，普通係硬橡皮製成，平放於“hand”上面。硬橡皮板上有穿孔，孔之數目與排列適與“hand”上之凹孔相對應。安置橡皮板之位置，使其穿孔行列適位於“hand”上凹孔行列之間。（圖 24）橡皮板之厚度，

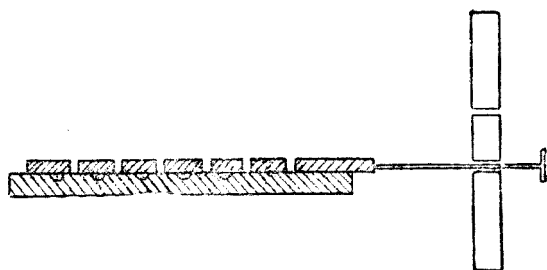


圖 24 火帽裝藥機

以使填滿穿孔所需藥量，適為每個火帽所需之藥量為準。先取較 1000 個火帽所需為多之火帽劑，加於橡皮板上，

用軟刷刷之，使將各穿孔填滿，餘剩者則刷去之。於是工作者退避於保險板背後，拉動上面之板，使其穿孔適與下板之凹孔相對，則藥劑降落於火帽中，而後除去上板，移下板於水壓機或機械壓力機上。壓機具多數舂子，每一舂子配一火帽。所施壓力，每火帽一個，為 200—250 磅。通常壓機所具舂子，足以同時加壓於一行或二行之火帽。加壓後，向前移動“hand”，而再壓於次行之火帽。加壓完畢，扇去所有之疏松藥劑，在各火帽上點以一滴之蟲膠酒精溶液。塗膠後，

在低溫度烘去酒精。設如火帽需要運輸，則每個火帽皆須加蓋錫箔。此手續一般未可省略。加蓋錫箔亦用壓機，所用壓機與壓藥劑者同。加蓋錫箔後，再塗假漆。

每個火帽含藥劑僅約 0.5~0.6 喱(約合 0.04 g.)，每個“hand”容火帽 1000 個所需之總藥劑量，最多不過 50 g. 是故設法保護工作者安全，尚無困難。採用 triplex 保險玻璃，除足以保衛工人安全外，同時尚可隨時觀察工作進行之情形。

據官方規定，火帽含藥劑，不可多於半喱，又如其所含雷汞少於 25% 時，亦可多至 0.6 格令。過此以上，則須作為雷管論。檢驗火帽之最簡方法，使火帽起燃在相當距離外安置白紙一張，燃燒後審查白紙上所生之烟痕。較精確之方法，為採用測壓計(crusher gauge)之變形儀。此外尚有精細測驗法，可測知火焰長度與時間，並用電高溫計測其爆溫。詳細測法，參閱本章所附之文獻。

汞與銻對於黃銅具不良影響，故含汞及含銻物質不宜用於黃銅彈壳。然迄至今日，尚未能發現更滿意之代替品。又氯酸鹽生成之氯化物，亦易使金屬生銹，是故苟能發明完全只含有機物之起爆藥，必甚可貴。惜迄未能實現耳。

雷管 (detonators) 雷管之目的在於起爆，而非引燃，故其威力遠較火帽為大。歐戰前，雷管之主要裝藥，除法國有純用雷汞者外，其餘多用雷汞 80% 與氯酸鉀 20% 之混合物，係裝於紫銅管。歐戰後多改用複式雷管，先將梯恩梯，最好用持出兒，壓入管中，而後再壓入雷汞氯酸鉀混合起爆藥或氮化鉛起爆藥於其上部。此種雷管，實兼有雷管與傳爆管 (primer) 之二種作用。係先由雷汞或氮

化鉛起爆梯恩梯或特出兒，再由梯恩梯或特出兒起爆裝藥。其優點：較非複式雷管價廉，所用較危險之雷汞為量甚少。然因雷汞量少，敗壞作用大為顯著，為其缺點。雷汞保存性不良，如為量極少，如複式雷管所用者，則發生不規則效能之機會亦較多。如複式雷管改用氯化鉛代替雷汞，則可免此弊。

雷管之大小，萬國同一標準。茲將其尺寸、裝藥量（雷汞 80%，氯酸鉀 20%）、以及起爆力相等之複式雷管之裝藥量，列表如下：

號 數	外部尺寸 (公厘)		裝 藥 量 (公 分)		
	長	直 徑	雷 汞	梯 恩 梯 或 特 出 兒	雷 汞
1.	13	6.0	0.3	—	—
2.	22	6.0	0.4	—	—
3.	26	6.0	0.54	—	—
4.	28	6.0	0.65	—	—
5.	30—32	6.5	0.8	0.3	0.3
6.	35	6.5	1.0	0.4	0.4
7.	40—45	6.5	1.5	0.75	0.5
8.	50—55	7.0	2.0	0.9	0.5

其中六號與七號多用於硝化甘油火藥，八號者用於硝酸鉍火藥，使用較實需號數較大之雷管，結果似較良好，但普通八號以上者使用數量究不多。

法國製複式雷管有含苦味酸者，性能殊不確實。苦味酸與銅接觸，亦殊覺不妥。製雷管用銅管係由紫銅皮卷成，因雷管尺寸精細，必須採用最上等紫銅而後可。裝藥工作與裝填火帽情形極相類似。

硬橡皮板上有穿孔，各孔鑲以黃銅，防其變形，將雷管空壳放入孔內。孔之大小以適能容放雷管壳爲度，不可過緊，普通每次裝雷管 100 個。各雷管所需之裝藥，係藉滑動板上之穿孔量入，其工作與裝填火帽之情形完全相同。裝藥後用壓機加壓，壓機具春頭 100 個。各春頭與雷管並不嚴密接觸，免致發生摩擦。所施壓力爲  $250 \text{ Kg/cm}^2$ ，相當於每個雷管受壓力 60 Kg。壓縮後，裝藥之密度約升至 2.2。如用較大壓力，密度固可增高，然因而雷管之效力亦大爲減低。壓畢，用木屑處理，除去一切疏鬆藥粉，而後裝箱。

英國雷管裝箱規則規定，凡雷管必須裝以錫盒，盒內襯絨布或紙，雷管上下兩端須襯絨墊，空隙處加添木屑將其填滿。聚合數個錫盒盛以大盒。如大盒所容雷管量多於 1000 枚，則須用夾層大盒，夾層中之空隙須在三吋以上。設如每箱容量在 5000 枚以上時，則箱上必須備有搬運把手，使其便於提舉，每箱最大容量，不可超過雷管 10,000 枚。

一端開口之雷管，可用緩燃導火索點火。將導火索之一端插入空內，使與雷管裝藥相接觸，用小鉗將雷管口加壓收緊。近年來電氣點火法甚爲盛行，此種雷管稱曰電雷管 (electric detonator) 計分高壓式 (high tension) 與低壓式 (low tension) 二種。高壓式者藉二電極間所生之火花點火於發火劑而引燃之。此種雷管，因在一般使用情況下，所需高壓電易生短路，臨用前又無法舉行試驗，故使用者甚少。低壓雷管係藉細白金線因通電而生灼熱以行引火，所需電壓甚小(約 2--3 伏特)，使用前可用惠士頓電橋測其電阻，只需一個靈敏之電流計及一極微弱之電流，即可舉行試驗。將白金絲包藏於

雷管劑中，固無不可，但此法殊不可靠。因當壓藥時白金絲有壓斷之虞也。此外，因露於外面之導電線移動之關係，且有發生摩擦之危險。最常使用之方法，係將細白金絲銲接於導電線上，再用硫黃或瀝清將此導電線牢實膠固於雷管口上。在膠固封閉之前，在白金絲上先熔加發火劑藥珠。此藥劑係由硫化銻與氯酸鉀混合而成。通電時，白金絲灼熱，引火於發火劑，因而亦即點火於雷汞等。所需電源，普通用小發電機 (dynamo)，其電動子藉柱桿與齒輪之機構連接，當柱桿下降到底時，線路始能與雷管相接通。是故電動子之迴轉速度，亦即電壓之增升，得以達其最大值，以使發火確實。

雷管之試驗法甚多。鉛塊試驗：將雷管裝入鉛塊內而爆炸之。所用鉛塊與特氏大鉛塊極相類似，所異者具體而微耳。又有鉛板試法：係用半吋鉛板，置雷管板上而爆炸之。炸後比較其炸痕大小。此外又

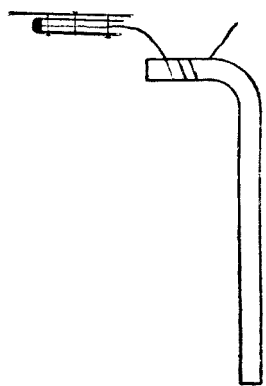


圖25 屈釘試驗

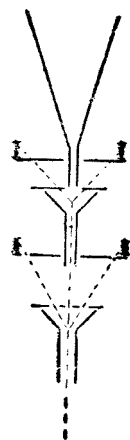


圖 26 導火索製機

有屈釘試驗 (nail test)。屈釘試驗為各種試法中之最優良者。其試法：用銅絲將雷管中央縛於四吋鐵釘上。又在雷管兩端用直徑 0.025 吋 (23 B.W.G.) 之銅絲各纏一圈，使與鐵釘不相接觸。雷管之底指向釘之頭部，相隔 1 $\frac{1}{2}$  吋。藉導電線將其懸掛，使鐵釘在上，雷管在下，而爆炸之。(第廿四圖)。但須注意，切勿使鐵釘碰於任何堅硬物體上。事後測量鐵釘彎屈之角度，即可代表雷管爆炸力之大小。

## 導 火 索

緩燃導火索 (safety fuse) 使用緩燃導火索之目的，係當點火於導火索後，經過相當時間，使點火人避入安全距離以外，雷管始得爆炸。所用導火索必須可靠，不得中途熄滅。舉行水下爆破時須能繼續照常燃燒，燃速必須規則，當點火人避入安全地帶前，裝藥不可爆炸。一切緩燃導火索之構造，皆以小粒狀黑藥為脊髓，外纏麻包皮，包皮表面，依導火索用途之不同，塗以防水塗料多少不等。為防止包皮餘燼之灼燒 (smouldering) 起見，多將麻料塗磷酸銨或其他適宜之中性鹽類。新式緩燃導火索，燃速甚均勻，每分鐘約為二呎。

「纏製」(spinning) 導火索所需設備如第廿五圖所示。設有容盛黑藥之漏斗，漏斗下端有小口。另有一架，迴轉於漏斗下方。架上裝麻紗 7—10 捲。將各麻紗頭下引至漏斗下端。當黑藥下降時，由迴轉麻紗捲所放下之麻紗將其裹住，而成為疏鬆螺旋狀線繩，再經由細筒下降。當其自細筒下部降出時，另有迴轉方向與前相反之麻紗捲於線繩外部形成二次之包裹。於是將索纏於捲軸上，即可舉行防水處理等工作。為維持黑藥自漏斗均勻下降不斷，常用一線通過漏斗。



因此線之移動作用，得使漏斗下口不至閉塞，因而黑藥下降更為均勻。

通常用於潮溼地帶之導火索，須施以充分防水處理。其法將導火索通過煤焦油漿，再纏以細帶，使帶層層相壓接，而後再塗煤焦油。如係真正水下用者，則導火索須先塗以 Stockholm 產之煤焦油與次等樹膠液 (gutta-percha)，最後並純用樹膠液加以塗裹。為避免機械摩損計，一般多採用塗有煤焦油之紗線纏裹之。

**速燃導火索 (instantaneous fuse)** 此係燃燒迅速之導火索，目的在使數個裝藥同時發火。其構造係一黏有粉狀黑藥之脊線為心臟，外表用麻紗纏裹，燃速約為 300 呎/秒。此種導火索，近已甚少使用，而大半為電雷管或爆炸導火索所代替。

**速燃火繩 (quick match)** 速燃火繩與速燃導火索甚相類似，但外表不加纏裹，故其燃燒大為緩慢，每分鐘僅約 15 呎。多用於烟火，如引燃火箭頭上之爆炸藥，即其一例。

**緩燃火繩 (slow match)** 緩燃火繩為疏鬆絞成之麻繩，略浸有硝酸鉀，俾能徐徐灼燒。主要用途為與打火合金 (pyrophoric alloy) 聯合使用於紙烟打火機，用以代替舊式「火石與鋼」中之火絨，軍事上亦嘗使用於延期地雷中。

**爆炸導火索 (detonating fuse)** 此種導火索實為金屬細管狀之高級炸藥包。最常用之炸藥為梯恩梯與特出兒。普通直徑為四公厘，每捲長約 50 呎或 50 呎以上。昔時法國曾製有一種強棉爆炸導火索，係將乾燥粉狀強棉裝填於鉛管中，管外徑 15.5 mm.，內徑 12 mm. 封閉管之兩端，使其依次通過拉絲板 (draw-plate) 上之孔列

其操作與抽拉鋼絲或鉛絲相同。各孔直徑逐漸減小，自 15.5 mm. 至 5 mm. 間每次減小 0.5 mm.，自 5 mm. 至 4 mm. 間每次減小 0.2 mm.。此種爆炸導火索，據云結果良好。但迄未普遍採用。歐戰後已為梯恩梯爆炸導火索所代替，乃係藉真空之力，將熔蝕梯恩梯吸入於浸在熱水槽中之鉛管內，放冷後，用拉絲板抽細。因吸入液體物較裝填如強棉之固體物可使用較細管子，故可減省抽拉次數。此種爆炸導火索之爆速甚為均勻，約 5000 m./sec.。測量火藥爆速時多採用之。（見第十章）。此外亦用以同時爆破數個裝藥。軍事上又曾試用之以為破壞鐵絲網之用。發火須用雷管起爆。最宜注意者，當製造時務採用純淨之梯恩梯。否則，粗製梯恩梯冷後有變為可塑體損及爆炸之虞。

製自金屬管之爆炸導火索，尚有內裝苦味酸者。惟苦味酸忌與鉛接觸，故此時須改用錫管。其爆速較梯恩梯製者略高。法國慣用之。

英國陸軍使用一種異樣之爆炸導火索，係將含 20% 石蠟鈍感劑之雷汞膠着於線繩上所製成。用適宜雷管起爆，爆速達 6000 m./sec.。但如僅只點火，則除非溫度升高至石蠟融化流去而析出雷汞外，只能平靜燃燒。

譯者按：近年來德國新製或含磷帶兒（pentyl）之新式爆炸導火索，不用金屬管，只纏裹線紗，外觀一如普通之緩燃導火索。較含梯恩梯者既為便利，較含雷汞者又為安全。且爆速異常高大，可達 7000 m./sec. 以上。在今日，磷帶兒爆炸導火索，已漸推廣矣。）

砲彈信管（shell fuses）信管分二種：一為時間信管（time fuse），一為碰炸信管（percussion fuse）。前者當砲彈飛行相當時間後，即在空中爆炸。而後者則係當接觸目標後始行爆炸。其備時用

信管之砲彈，通常亦同時裝有碰炸信管，以備萬一時間信管失效時砲彈得因碰撞而爆炸。又碰炸信管亦常與極小型之時間信管聯合使用，使砲彈在碰觸目標經過極短時間後，砲彈得以侵轍目標內部，再行爆炸。此種信管稱曰延期信管(delayed action fuse)，多用於破甲彈以及掩蔽體等之轟擊。對於此類目標，如用普通碰炸信管，則在目標表面上即行爆炸，效力較弱。

時間信管裝於砲彈頂部。信管內設有一圈或數圈之緩燃黑藥盤，而與爆炸裝藥相連通。藉發射藥所生之震動，使簡單火帽發火，於是信管開始作用。黑藥盤可以轉動，能隨意變更火帽與爆炸裝藥間之黑藥柱長度。藥盤上刻有砲彈射程之距離，未裝入砲身前，先按照預計之射程調節之。

碰炸信管可裝於彈頂，亦可裝於彈底。當砲彈碰觸目標時，因運動驟形停止之故，撞針打擊火帽面發火。為防止發射時之震動影響於撞針，須藉強力之彈簧保持撞針，非砲彈頂部受到猛烈衝擊時，不至發生作用；或藉保險栓之作用，非受到砲彈之旋轉作用時，保險不能打開。碰炸信管常附有小型時間信管，使砲彈相當侵轍目標後再行爆炸，前已言之矣。

## 文 獻

雷 汞

“Das Knallquecksilber und Aehnliche Sprengstoffe,” R. Knoll, Vienna, 1908.

S.S., 1911, pp. 4, 28, 44.

## 氮化鉛

Z. ang., 1911, p. 2089; 1914, p. 335. B. 25, p. 2084.  
S.S., 1911, p. 417. 1914, p. 242.

## 火帽

Hagen 氏詳述溼狀混合法，載於 S. S., 1911. pp. 201 224, 243, 265, 283, 308, 又關於火帽之裝填，以及設備計劃等見 S.S., 1912, pp. 277, 297, 322, 343, 367, 388, 411, 431, 449。

Herz 氏詳述含有硫氰化物之火帽劑於 S.S., 1912, p. 284。

試驗火帽之方法見 J.S.C.I., 1905 p. 381; 1906, p. 241。

英國海陸軍所用摩擦發火管之藥劑成分與發焰劑見官方出版物 "Treatise on Ammunition" (陸軍用) 及 "Handbook on Ammunition" (海軍用)。

## 雷管

S.S., 1907, pp. 4, 245; 1913, pp. 167, 190, 209.

P.S., XII, P. 134.

上列參考，只述雷汞、雷管、及複式雷汞雷管。

氮化鉛雷管見 Z. ang., 1911, 2098; S.S., 1911, P. 417; 1913, pp. 209, 210; 1914, p. 242; D.R.P. 196, 824, 238, 942.

各種雷管試驗法之有趣而有鑑定性的審檢見 "Bulletin of the American Bureau of mines, No. 59 在此出版物中載有各種試法之詳細敘述。

## 緩燃導火索

關於緩燃導火索之製造以及所需設備之圖解等等詳載於 S.S.,

1910, pp. 87, 107, 130, 148; 1913, pp. 145, 167.

藉 X 光檢查緩燃導火索裝藥柱之是否連續之議，見 J. S. C. I., 1903, 1224。

### 爆炸導火索

S.S., 1907, p. 173; 1910, p. 169; 1913, p. 312.

Chalons, "Les Explosifs Modernes," Paris, 1911, p. 424.

### 砲彈信管

下列二種官方出版物中載有詳盡之敘述及圖解: "Treatise on Ammunition" 及 "Handbook on Ammunition."

R. Willie, "Mechanische Zeitzuender," Berlin, 1911, D. T  
Hamilton, "Shrapnel Shell Manufacture," New York, 1915.

### 災 害

歐戰前後，英國因製造雷汞及雷管等而起之災害見 S. R., 186, 188, 196, 199。

## 第九章 火柴,打火合金,及烟火

### 火 柴

1805年前,除用光學方法藉透鏡引火外,發火之唯一機械方法爲使用火石與鋼鐵相打擊,使生火花,而引燃火絨(tinder)。說來奇怪,在現時代下,此種發火方法又以其變形狀態出而問世,乃係以特種打火合金代替火石,並以緩燃火繩或沒有汽油之燈心充爲火絨。迄1805年,Chancel氏發明以砂糖,氯酸鉀混合物膠於小木桿之一端,另取石棉墊浸濃硫酸,將小木桿與硫酸接觸,則木桿發火。此法雖有不少缺點,但延用頗久,至1844年始廢棄。摩擦火柴最初約於1866年發明,其中含磷,然尙未實際成功,迄1827年經改良後始漸可用。此種火柴劑爲氯酸鉀與硫化銻之混合物。將其迅速摩擦於夾持於姆食二指間之玻璃砂紙,即能發火。

近代火柴工業爲大工業之一。1910年,英國曾製造火柴17,250,000盒,每盒平均裝火柴60支,然此數僅可代表消耗量之半數,其餘半數係自外國輸入。美國每年火柴消耗量約爲250,000,000,000支,相當於每人每日消耗火柴9支,與英國每人之消耗量適相接近。

就廣義言,火柴得分爲非安全,或隨處擦發火柴與安全火柴二

種。後者僅當摩擦於特製表面上始能發火。事實上，如將其急劇在導熱性甚小之平滑表面上擦動，有時亦可發火，例如玻璃或紙是。

火柴頭之成分包含五種藥劑：(1)可燃體，(2)氧化劑，(3)砂狀物(增加摩擦用)，(4)染料及(5)膠合劑。安全火柴之摩擦面，通常只含可燃體，如增加摩擦用之砂狀物，則可有可無。

可燃體中，往昔採用黃磷，然因其具有毒性，易引起工人磷毒性顎骨疽(phosy-jaw)，現今各國幾皆禁止採用，而代以硫化磷、硫化銻、硫化鋅及赤磷或該數物之混合物。硫化磷， $P_4S_3$ ，多用製非安全火柴。一小部分之非安全火柴，亦用赤磷製造。此外硫氰化鉛、錫及銅等，亦曾倡議使用。但安全火柴則一律採用硫化銻  $Sb_2S_3$ 。

各種氧化劑中，不論何種火柴頭，無不採用氯酸鉀為氧化劑。重鉻酸鉀、二氧化錳及二氧化鉛等雖亦可使用，但為量較少。

砂狀物一般多用玻璃粉，使用顏料如赭土，ultramarine 等之目的，在改善外觀。為使火柴劑膠着於小木桿起見，須加膠合劑，普通採用阿拉伯膠或糊精。

製造摩擦面，普通用硫化銻與赤磷加阿拉伯膠或糊精塗於火柴盒表面上即成。

如係蠟製火柴(wax matches)，火柴頭所生火焰，足以引燃木桿。然如係木桿火柴，為使木桿能以引火起見，木桿上必塗引火劑，一般當未塗火柴劑前，先浸以熔融石蠟一層。在法國，多用硫黃代替石蠟，美國亦多少採用之。此種火柴，燃燒伊始，呈藍色火焰，發生二氧化硫，實際上不生火光，故有「等一分鐘火柴」(wait-a-minute-matches)<sup>3</sup>之稱。

多數新式木桿火柴，爲防止火焰消滅後木桿灼燒起見，多用無機鹽將其塗浸。此種鹽類以錫酸鈉爲最有效，價格亦最昂。普通則多改用磷酸銨或磷酸鈉。又硫酸鋅、硫酸鎂、明礬及磷酸亦均可使用。

木桿火柴所需木料有多種：松 (pine)、楊柳 (aspen)、虎尾樅 (spruce) 等皆可用。裝盛火柴所需木盒之木料亦同此。

配裝火柴劑，分別將各成分就乾狀磨碎，而後在溼狀下舉行混合。一般慣例，將可燃體與一部分之砂狀物以及一部分之膠水相混和，另將氧化劑及其餘砂狀物與膠水相混和。如此配成二種混合物，將其混合一起，使成爲膏狀物即可供使用。採此混合法，可燃體與氧化劑係各別舉行混合，直至二者俱充分潤溼後，始兩相接觸，故發火危險可減至極小。

浸蘸火柴頭，完全爲機械操作。設計機械使任此項工作，以期盡量減少人工，曾煞費苦思。本書因篇幅關係，關於機械構造未便詳述。僅可略述其機構原理之大概。製造方形火柴，普通多使用另一機器剖製木桿。然如係圓形或凹溝形 (grooved) 火柴，則其木桿通常即在點劑機上剖製。蠟製火柴之木桿當由另機製造，切成適宜尺寸後，始能送入點劑機。除此以外，製造蠟製火柴之操作法與製造木桿火柴相同，所異者只不過不塗蠟而已。在火柴機中，將火柴桿裝入漏斗，使自漏斗漏至鐵板上之凹槽內，各火柴桿均係夾持於溝內。各鐵板連接於無端帶上。裝置漏斗，務使當火柴桿夾於溝內後，無端帶經過滑車前進，而使火柴露於外部之一端指向下方。夾有火柴桿之鐵板，自塗料液槽中經過，使火柴桿塗浸料劑，其次再經過熔融石蠟槽，使火柴之一端塗浸石蠟。所用石蠟之熔點，一般爲  $39^{\circ}\text{C}$ 。使用時



須用蒸汽夾層釜加熱至  $100^{\circ}$ — $105^{\circ}\text{C}$ . 塗浸石蠟後，火柴桿繼續前進，經過內盛藥劑之第三浴槽。火柴劑須保持適當之黏度，以使其在火柴桿之一端形成相當大之「小泡」，是為火柴頭。通過此槽後，無端帶前進，反向上面，通於室之上部，最好經過屋頂通至樓上。在該處使經過一系列之輓子，以行烘乾，並加通熱空氣以促進之。於是無端帶又回至漏斗附近，將火柴自鐵板上取下，用機械裝入火柴盒，繼更用機械打製為容量 12 盒之火柴包。最後再用手工製成容盛一羅（即 144 盒）之火柴箱。

新式火柴機甚大，其無端帶長達 700 呎，每迴轉一週需一小時之久。此種機器每機每日可製成火柴 1000 箱，約合火柴 9,000,000 支，僅需女工八人，即可管理之。

火柴頭之成分 通用者計有數種。舊式黃磷非安全火柴頭之成分如下：

黃磷	2.5 Kg	0.2 Kg
二氧化鉛	— ..	21 ..
三氧化二鐵	0.5 ..	—
玻璃粉	2.0 ..	—
膠	2.0 ..	—
糊精	—	6 ..
水	4.5 公升	4 公升

但因現今各國禁用黃磷，新式之隨處擦發火柴多由硫化磷製成。亦間有極少數製自赤磷，舉例如下：

$P_4S_3$	6	—
赤磷	—	10
$KClO_3$	24	45
$ZnS$	6	—
粘土	6	—
$CaCO_3$	—	2
$CaSO_4$	—	5
玻璃粉	6	22
膠	18	10
水	24	45

其中前者為法國配方，每公斤之溼狀藥劑足敷 100,000 支火柴之用。此種火柴頭藥劑有一弊點，在溼空氣中能敗壞而生硫化氫。在火柴頭表面塗蟲膠或弱棉液，可略資補救。然配製非安全火柴頭藥劑，曾有數種配方，完全不採用硫化磷。將黃磷與三溴化磷共煮之，所得之赤磷，可用以製造非安全火柴，業如前述。此物市上雖然有售，然未普遍採用。在德國曾採用硫代亞磷酸鹽，係將金屬硫化物如  $ZnS$ ， $Sb_2S_3$  或  $Cu_2S$  與赤磷在  $450^\circ C.$  之二氧化碳氣籠罩下加熱製成。據稱用下述成分可得良好結果：——

硫代亞磷酸鋅	30
$KClO_3$	60
$ZnO$	5
$CaSO_4$	8
$CaCO_3$	5
玻璃粉	10

硫代硫酸銅鋇  $BaCuS_2O_6$ ，係由一分子氯化銅與一分子氫

化鎂作用於二分子之硫代硫酸鈉沉澱而成，亦用以製造火柴藥劑。採用此物，可製成全不含磷質之隨處擦發火柴。下列成分大可推許：——

$\text{BaCu}_{1/2}\text{O}_3$	13
$\text{KClO}_3$	58
$\text{CaSO}_4$	10
S	3.7
鐵屑	4.3
膠 (gelatine)	11

安全火柴，照例以硫化銻製成。將其摩擦於含硫化銻與赤磷之面上，即可發火。藥劑配合，配方甚多，茲舉其代表如下：——

火 柴 頭		摩 擦 面	
$\text{Sb}_2\text{S}_3$	24	赤磷	1
$\text{KClO}_3$	32	$\text{Sb}_2\text{S}_3$	0.25
$\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_7$	12	炭粉	0.50
$\text{PbO}_2$	24	精糊	0.30
玻璃粉	2		
阿拉伯膠	4		

各工廠所採用之成分，彼此大不相同，有時尚摻加硫黃，二氧化錳及氧化鐵。

## 打 火 合 金

古時有一種發火方法，係以火石與鋼鐵相打擊，使生火花，再由此火花引燃如火絨 ( tinder ) 類之易燃物質。嗣因火柴發明，遂使此

種費事而粗魯之方法廢棄不用。然至 1903 年，因有含鈹 (cerium) 打火合金之發明，於是該法又形復活。近代新式「火石與鋼」(flint and steel)，或稱爲“briquet.” 已成爲火柴之勁敵。在以火柴工業爲政府專營企業之國家，或在以火柴稅爲國家固定收入之國家，對於打火機均苛重稅。歐戰之時，打火合金曾大受歡迎。軍隊中寧願使用“briquet”而不願用火柴。此蓋因其不受潮溼影響，所需少量汽油亦易自汽車運輸隊得到故也。同時，一般居民因火柴稀少，亦逐漸採用“briquet”。

含鈹合金所以能發火之原因，論說不一。鈹族金屬，其純者發火點雖低，但其打火性則極小。有人主張鈹合金之發火性能，係因合金硬度增高，得以放出極細微之粉狀物於空中，藉摩擦所生之熱以及顯露於空中氧氣之廣大表面而起打火作用。然如設想合金能促進生高度易燃性之亞氧化物 (suboxide)，則似更爲可能。

製造打火合金，不必使用純淨之鈹。通常多利用製造灼熱煤氣燈罩時自磷酸鈹砂礦中提去鈹 (thorium) 後所餘廢物中之稀土金屬粗製品以製造之。使此物變爲金屬鈹，其法不一。有鈣還原法，亦有電解法。後法工業上多採用之。乃係將熔融狀氟化鈹中所含之氧化物舉行電解而製成。實驗室試製，結果甚良好。惜因氟化物熔點太高，約在  $1000^{\circ}\text{C}$ . 以上，故工業上無法採用。是以一般工業製法，多係電解氯化鈹與鹼土族金屬氯化物之混合物以行製造。欲得優良結果，所用氯化鈹必需乾燥，並須不含氧化物及氯氧化物 (oxychloride)。氯化物能溶於酒精，氧化物與氯氧化物不能溶解，故可藉酒精爲溶劑使其彼此分開。然最優良方法，係將粗製氯化鈹與氯化鉍

混合加熱，可得純淨而乾燥之氯化物。

電解須用石墨坩鍋，以鐵器為陰極。因銻有作細微粉狀物或作膠質狀態懸浮於電解液中之傾向，故操作時尚多困難。

關於使用適宜電解液，已有數種建議。有主張採用二分子氯化銻與一分子氯化鈣之混合物者，亦有主張採用氯化鈣，氟化鈣與氟化鋇之混合物者。例如有一種製法，係用電爐熔化三分氯化鋇與三分氟化鈣及八分氯化鈣。再加以十分之氟化銻而成。據謂結果甚為優良。

由電解法製得之銻，通常鑄為重約 2—20 磅之金屬塊，含銻約 80%，其餘 20% 主為他種稀有金屬。此物尚難合打火合金之用。優良之打火合金，須具充分硬度，俾易生火花，但亦不可過硬。同時且必須十分堅韌，不易破碎，方稱上品。欲達此目的，普通於粗製金屬銻中，加約 30% 之鐵，製成合金，並加以少量之鋅，以增其硬度。有時亦添加少許之銅，以增其韌性。製造合金用石墨坩鍋加熱鐵粉。鐵粉上面覆易熔鹽類一層。乃將銻徐徐加入其中，使其熔化，則鐵粉漸為所溶解。覆蓋易熔鹽類之目的，當然在於隔絕空氣，俾便保護合金。然仍有氧化作用發生，故損失甚大。一磅之銻，製成合金，仍不過一磅之數。當全部鐵粉熔化後，將熔漿鑄為整個鑄塊，事後再切成小塊而發售之。或即鑄成細棒亦無不可。有所謂“Auer metal No. 2”者，製法略異。係將合金鑄為大塊後，磨成細粉，再用模子壓成小塊，加熱使其膠着一起。此法之目的，在其所得成品小塊，覆有低級氧化物。據謂用此法能得較佳之發火性。

## 烟 火

烟火製造術起始甚早。火藥最初之使用，即係用製烟火「烟火」(fireworks) 一詞色括二類物品。即(1)發光物體，或為游藝用，如 Bengal fire, display rocket, Roman candle 等是；或為軍用或救命用，如“star” shell, Holme’s buoys 等是；或為信號用，如 Verey star, marine rocket 等是。(2)發聲物體，或為游藝用，如 Cracker 是；或用為信號，如 fog signal, maroons 等是。製造烟火用之火藥或可燃物，約可分為三大種。即緩燃藥，供發光用，如 golden rain, colored fire, stars 等是；快燃藥，供給發射用，如 rocket, catherine wheel 等是；以及速燃藥，用為火箭之爆裂藥及發生聲響之用。有時亦採用強棉為發生聲響之用。除此以外，烟火所用一切可燃物，不論緩性速性，皆屬於黑藥類。加添金屬屑，使生火花，又添加鋇、銅或鎳等鹽類以改變火光之色。因氯酸鹽較硝酸鹽能生更明亮之火光，故凡游藝用之烟火，多使用氯酸鹽。其原因，大半由於燃燒生成之氯化物揮發性甚大所致。但在英國，禁用含硫黃之氯酸鹽混合物。按氯酸鹽——硫黃混合物性極危險，一部分硫黃受氯化變為硫酸，而硫酸能促進混合物之分解速度，遂使該混合物轉成自身觸媒，(autocatalytic reaction)。

除有色火光外，一切烟火劑之基本物質幾全為一種微粒狀之黑藥，特稱曰「粉狀黑藥」(meal powder)。而另以硫黃、硝石或木炭，或同時添加其二種或三種，以減小其燃燒速率。

一切烟火幾全用紙殼包裹，係以手工將多層之紙膠黏而成。

rockets, squibs, crackers 等皆由此法製成。即用白陶發放之「砲彈」，以顯呈有色之星為目的者，直徑雖大至二呎，仍係以紙製成。製造此種砲彈，先撕紙成條，將紙條逐層黏貼於半球形模子之內部，至其厚度達  $\frac{1}{2}$ —1 吋為止。取下紙質半球，放乾後，用車床車光其邊緣，再將二個紙半球黏着一起使成一球形。所用紙之品質，關係重要。隨用途不同，其品質亦異。照例此種紙須不含任何礦物質，並須具極強大之機械抗力。

**有色火 (colored fire, Bengal fire)** 此為烟火中之最簡單者。係由燃燒相當迅速之混合物與發生焰色之適當鹽類所製成。欲發紅光，加鎊鹽或鈣鹽，欲發綠光，加鋁鹽或銅鹽。混合物配法甚多，茲列其著者如下：

紅	光	黃	光	綠	光	藍	光
KClO <sub>3</sub>	78	NaNO <sub>3</sub>	70	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	66	KClO <sub>3</sub>	45
SrCO <sub>3</sub>	15	S	20	砂糖	33	C	5
蟲膠	7	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	7	蟲膠	1	CuCO <sub>3</sub>	10
		炭粉	3			HgCl	35
						蟲膠	5

**火星 (stars)** 火星與上相似，但係包在火箭或砲彈以內。當火箭或砲彈升達其最大高度處，火星始散出而發火。約可分為“naked”或“pumped”與“pill-box”二種。第一種者為由炭粉、硫黃、粉狀黑藥、以及發光之硝酸鹽加蟲膠混和而成。混合後用模子壓為藥餅，切成立方體，烘去溶劑，即將所得之「火星」直接裝於火箭或砲彈中。“naked”火星只可用於最小型烟火，因其極易破碎也。無論如何，

爲防其破碎起見，採用蟲膠或其他能全溶解之膠合劑，爲必不可少。所需溶劑，通常採用含甲醇之酒精(methylated spirit)。普通“naked star”之點火並無特殊裝置。一般方法即藉爆裂藥引起。故此種火星照例均含硝酸鹽，此蓋因硝酸鹽混合物較氯酸鹽混合物爲易於引火故也。但不論如何，含氯酸鹽之“naked star”不得與粉狀黑藥共用，以免氯酸鹽與硫黃接觸。有時型造黑藥餅上備有穿孔，孔內插有速燃火繩以助其引燃。

第二種之“pill-box 火星”遠較“naked”火星爲確實，概用紙盒包裹，藉速燃火繩引火，普通多爲氯酸鹽之混合物。舉例如下：

紅 光			藍 光		
KClO <sub>3</sub>	47	56	KClO <sub>3</sub>	40	37
砂糖	21	23	砂糖	25	23
SrCO <sub>3</sub>	22	10	Cu <sub>2</sub> S	15	—
H <sub>2</sub> Cl	—	11	Cu	—	6
			H <sub>2</sub> Cl	20	32
綠 光			黃 光		
KClO <sub>3</sub>		25	KClO <sub>3</sub>		59
砂糖		22	Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>		17
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		30	蟲膠		24
H <sub>2</sub> Cl		22			

有時爲增加火光之強度起見，亦含鎂粉或鋁粉。

帶傘火星 (floating star) 帶傘火星與上甚相近似，但連有絲製或柔紙製之傘，燃燒甚緩。常將所含藥餅做成數層，各層成分不同，使燃燒時逐層變換顏色。



軍用帶星砲彈 (star shell) 軍用帶星砲彈含有硝酸鉍、硝酸鉀、鎂粉、石蠟及煮過之亞麻仁油。英國陸軍所用者具下列之成分：

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	1 磅	11 磅
$\text{KNO}_3$	1 磅	2 磅
$\text{Mg}$	1 磅	3 磅
石蠟		5 磅
煮過之亞麻仁油	3 磅	

含鎂粉照明火箭之成分如下：

$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	1 磅	8 磅
$\text{KClO}_3$	1 磅	2 磅
$\text{Mg}$	1 磅	3 磅
煮過之亞麻仁油	3 磅	

所用發射藥為粉狀黑藥

爆筒 (squibs) 爆筒由紙筒製成。一端裝有少許爆裂藥，爆裂藥上部裝有厚層緩燃藥劑，乃係由粉狀黑藥與硫黃或硫黃與木炭所配成。該藥劑以少量之黑藥起燃。燃着後，先猛烈燃燒，隨後當燃及筒端之黑藥時則爆炸。

盤花 (catherine wheels) 盤花為長而細之紙筒，內盛粉狀黑藥(二分)、硝酸鉀(一分)及硫黃(一分)之混合物。再包繞於圓木盤之周圍，盤中央穿針為軸。將紙筒一端點火，則圓盤因火藥氣體之洩逸而旋轉。

羅馬燭 (Roman Candles) 羅馬燭亦係紙包製成，內盛有色火星而以燃燒殊迅速之藥劑將其分隔。藥劑由粉狀黑藥、硝石、硫黃及木炭混和製成。例如

粉狀黑藥	3	4	8
KNO <sub>3</sub>	4	5	2
S	1	4	2
C	2	1	3

該藥劑燃燒猛烈，並生無數火花。所含之火星即由燃燒氣體射出，一般使用“naked stars.”所含藥劑，不可壓縮太緊，以免壓碎火星。

**鳴笛筒 (whistling fireworks)** 鳴笛筒為紙筒狀，內盛三分苦酸鉀與二分硝酸鉀之混合物。筒之一端開口，他端封閉。自開口一端所放出之氣體形成響亮之鳴笛聲，此物通常多用為火箭或砲彈之修飾品。

**火箭 (rockets)** 火箭之構造可分為含發射藥之箭身與含修飾品之箭頭二部分。所謂箭身係一紙筒，下端緊縮，緊縮之法，或先壓縮再縛以繩或以泥土塞閉均可。為裝藥起見，經過收緊之筒口插入一圓錐漏斗，並使其向上。乃將發射藥逐漸裝入其中而充分槌緊之。此工作頗需相當技巧。欲得良好結果，裝藥必須十分均勻。發射藥裝畢，用穿孔泥塞封閉筒頂，穿孔中插入速燃火繩，以備傳火於箭頭之用，乃除去漏斗。箭頭為另一紙筒，內盛黑色爆烈藥與火星，帶傘火星以及聲響烟火等修飾品，而用膠黏着其上。於是將箭頭連接於箭身上，使在距箭底一吋處支持之，兩端恰成平衡為標準。在火箭底點火，則火箭開始燃燒。自箭底洩出之燃燒氣體使火箭向上升起，至升達最大高度時，藉速燃火繩之作用，而使爆裂藥爆炸，因而其所含一切修飾品得以放出。所用發射藥之成分有多數，舉數例如下：

粉狀黑藥	2	1	3
KNO <sub>3</sub>	4	20	16
C	2	12	8
S	1	2	4

有時爲生呈美麗之火光列起見，亦有摻加鐵屑者。

**救生火箭** (life-saving rockets) 救生火箭除不含任何修飾品外，一切均與上相似。其目的在自水岸上拖拽一繩使通至出險之船隻上。所用發射藥通常如下：

KNO <sub>3</sub>	7 磅
C	2½ 磅
S	2 磅

亦有附以與箭身極相類似之箭頭者，使當原來箭身燃畢後，得因箭頭之作用能以繼續前進。

**引火紙** (Touch paper) 引火紙廣用於各種烟火之燃點。係於紙之一面，塗硝酸鉀溶液（每加侖水加硝酸鹽半磅），乾後即成，普通多用藍色紙。烟火業所用緩燃火繩之製法，係用硝酸鉛溶液（每加侖水含硝酸鉛 2½ 磅）浸漬吸墨紙，乾後，將其數層黏成一厚張，普通聚集六層而黏着之。用於烟火之速燃火繩則不同，乃係點燈用之棉質燈心，塗以澱粉漿與粉狀黑藥之均勻膏漿，再粉以乾燥之黑藥粉而成。如覺普通速燃火繩燃燒太慢，可用紙管將其包裹，得因紙管之禁鋼而燃速大增。此種火繩管，特稱曰點火管 (leader)。烟火各部分要求同時發火時採用之。

**霧信號彈** (fog signals) 港口燈塔遇霧所施放之霧信號彈。通常由「通尼忒火藥」(tonite) 製成。係由強棉與硝酸鉀或硝酸銀混合而成。將其壓成藥餅，乾後即成。須用雷管起爆。

**攝影閃光** (photographic flash light) 攝影閃光所放之光須富於化學光線，故大多數之閃光劑皆以鎂粉爲原料。原始閃光劑構

造甚簡單。係一黏土製烟斗，斗中裝以少許鎂粉。另取棉絲浸火酒輕覆斗上，點火於火酒，復自烟斗嘴部吹氣，則鎂粉吹入火酒焰中而發閃光。現今多改用鎂粉與氧化劑如氯酸鉀、過氯酸鉀或氯酸鋇之混合物。氯酸鋇較氯酸鉀混合物為安全。此外，亦有利用稀土族金屬氧化物灼熱時發生之強光（c.f. 白熱煤氣罩）而製成含鎂粉與硝酸鈹或硝酸鋅之閃光粉應世者。所用氧化物亦可採用過氧化鋇，又膠棉液亦可作為閃光劑之成分。

新式閃光粉多用價格較廉之鋁粉代替一部分之鎂粉。下列成分據云結果良好：

Al	50
Mg	100
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30
CuCO <sub>3</sub>	30
MgSO <sub>4</sub>	5

可知該種閃光粉所需之氧，係由氧化鐵供給，是故此粉劑之性質與熱莫敵（Thermit）極相近似。其中所以含無水硫酸鎂者，目的在用作「控止劑」（deterrent）以防燃燒過猛。

浩爾木氏救生浮標（Holme's life-buoy）此為普通救生浮標連以內盛磷化鈣之鐵罐而成。罐上銲接以塞將其封閉。使用時將塞拔去，而投浮標於海。海水與磷化鈣接觸，發生自燃性之易燃磷化氫，此物燃燒所生火焰，夜晚遠處可見。每個浮標可繼續燃燒半小時之久。

## 文 獻

## 火 柴

Freitag, "Zuendwarenfabrikation," Vienna, 1907

Jettel, "Zuendwarenfabrikation," Berlin, 1897.

又請參閱 Thorp, "Dictionary of Applied Chemistry," vol. III

及 Dammer, "Chemische Technologie der Neuzeit," vol. I.

下述各註冊專利頗有興趣：——

D. R. P. 101,737; 105,061; 153,188; 157,424; 165,090;  
197,865; 又 Z. ang. 1900, 976; 1906, 2080; B. 35, 351; 36, 979  
4202. 後二者專述赤磷。

## 打火合金

H. Kellermann, "Die Cerimetalle und ihre pyrophoren Legierungen," Halle, 1912.

C. R. Bohm, "Die Verwendung der seltenen Erden" Leipzig, 1913.

O. Dammer, "Chemische Technologie der Neuzeit," vol. 1.

R. Ullmann, "Enzyklopaedie der technischen Chemie," vol. 11.

下述之註冊專利及參考亦有相當興趣：

D. R. P. 154,807; 172,529; 263,301; 268,827.

Chem. Ind., 1913, pp. 195, 235.

Armalen der Chemie, 320, 231; 331; 1, 45; 355, 116.

## 烟 火

關於烟火之書籍不多。A. Bujard, "Leitfaden der Pyrotechnik," Stuttgart, 1889. 又 Thorpe, "Dictionary of Applied Chemistry" 亦有之, 惟參考時須慎審其中所示成分之真偽。

又 Ullmann, 'Enzyklopaedie der technischen Chemie,' vol, V. 亦可供參考。

## 第十章 火藥之爆發性

對於火藥，除化學分析外，更須舉行別種試驗以測定其性能。一般可相分為決定火藥特性 (nature) 試驗與測量安定性試驗二大類。前者包括之試驗有威力 (power)、猛度 (violence)、爆速 (velocity of detonation)、壓力 (pressure)、爆熱量 (heat of explosion)、爆溫 (temperature of explosion) 及爆焰 (flame) 等項。後者包括一切化學安定性試驗，其中尤以阿貝爾耐熱試驗 (Abel heat test) 為最重要。此外尚有對熱感度及對機械震動諸試驗。如係發射藥，尚須加試其初速及膛壓。此二種試驗須就其使用之兵器舉行之。對於煤礦用火藥，尚須加試其在坑氣與炭粉中爆發之安全性。後數種試法及其爆焰之測定，在前第七章業已述過。

### 威力與猛度

所謂火藥之威力 (power or strength) 係指火藥能做有效工作之能力而言，切不可與猛度 (violence or brisance) 相混錯。因猛度乃係指火藥做工作之速率或其所呈之激動效果者也。欲用固定單位，如呎磅，以測量火藥之威力，事實上為不可能。普通僅可藉某種試驗以求各火藥相互之比較威力而已。為比較起見，亦僅能將同種類之火藥相比，非同種類之猛性火藥與非猛性火藥則無法相互比較。

各試法雖均有用，然吾人須知火藥之最佳試法為其實際使用情況下所顯呈之效果，惜吾人無法模擬此真實情況！常用威力試法有三：即特氏鉛塊試驗、臼砲試驗與彈道擺試驗是。其中以鉛塊試驗最為簡便，亦為歐陸上最受僱用之試法，但似不及彈道擺試法之精確優良。然以彈道擺設備昂貴，事實上使用者甚少。僅英國准用火藥舉行官方試驗以及美國准用火藥舉行試驗時始採用之。

特氏鉛塊試驗 (Trauzl lead block test) 試驗原理，依據定量火藥在大塊純鉛鑽孔內爆發時所生漲大孔之容積大小而定。為求優良結果俾資比較，必須絕對在標準情況下舉行試驗。此情況經國際應用化學大會指派委員會議定如下 (V. Congress, 1903, vol. II, p. 256)。

鉛塊斷面作圓形，徑與高各為 20 cm.，係用純淨化學軟鉛鑄成。鑽孔深 125 mm.，徑 25 mm.，位於正中央，採用適宜鑄模鑄成之。未試前須先放置數日。所需火藥量為 10 g.，用寬 70 mm.，二長邊長 120 mm. 與 150 mm. 之錫箔包裹，製為直徑 25 mm. 之藥包。錫箔厚度以每平方公尺重 80—100 g. 為度。藥包中插有八號雷管。用木槌緊壓將藥包送入於鑽孔之底部。雷管之導電線須保持直立於正中央。乃用潔淨而乾燥之石英砂填滿以行填塞。石英砂之細度以能通過每平方公分 144 篩眼之篩者為合用。篩絲之直徑為 0.35 mm. 於是通電爆發之。爆後掃去鑽孔中一切殘渣。加水於漲大孔中，由充滿全孔所需水之容積減去原鑽孔之容積，所得之差即為火藥威力之數值。每種火藥至少須試三次。取其平均數而與爆速不相上下之標準火藥試驗三次所得平均值比較之。試驗時溫度為 15—20 C. 只由雷管所生



呈之鑽孔擴大，可依同法測之。此數值本應亦行減去，但普通因該項試驗原係比較性質，故如標準火藥所用雷管與此相同時，此雷管值可省去不計。圖 27 與圖 28 表示特氏鉛壩試驗前後之剖視圖。

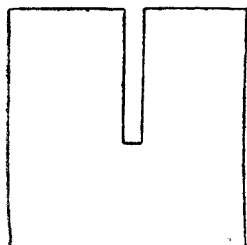


圖 27 特氏鉛壩 (試驗前)

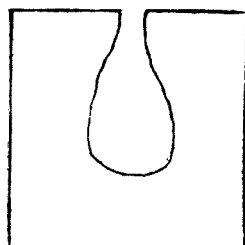


圖 28 特氏鉛壩 (試驗後)

特氏鉛壩試驗法甚簡便，然亦具數種缺點。第一，此試驗不適用於非爆炸性火藥，因此種火藥生呈爆發壓力甚緩慢，能將填塞料吹飛也。第二，此試驗受鉛品質及填塞砂之影響。是故所用鉛壩須儘量製自同一鍋熔鉛，並須常貯大量之砂備用。對於含鉛火藥以及他種爆溫甚高之火藥，每因侵蝕作用盛行而發生較高結果。又對於含氧過剩之火藥，則錫箔能參加反應，此時必須將所試標準火藥亦使含有等量之過剩氧而後可。包皮之重約為 1 g.，相當火藥重量之 10%。茲將數種火藥之鉛壩試驗結果表列如下：

N.G.	540 c. c.
B.G.	530 c. c.
Dynamite NO. 1	397 c. c.
Gelignite	420 c. c.
65 N.G.	
27 NaNO <sub>3</sub>	
8 W.M.	

P.A.	315 c. c.
T.N.T.	290 c. c.
Tetryl	375 c. c.
G.C. (N: 1%, 乾)	375 c. c.

**臼砲試驗 (mortar test)** 本試驗所用臼砲如圖 29 所示，取火藥

10 g. 用此臼砲發射，而測量其彈丸拋射之距離。將火藥稱裝於外徑 30 mm. 深 60 mm. 之木殼中，連殼裝於臼砲之藥室內。另取裝有雷管之緩燃導火索使通過彈丸中央之穿孔，將彈丸安置於固定位置，並將雷管小心插入火藥之內部。彈丸為圓柱形，重 15 Kg. 與砲身之接觸務須良好，不可太緊，該臼

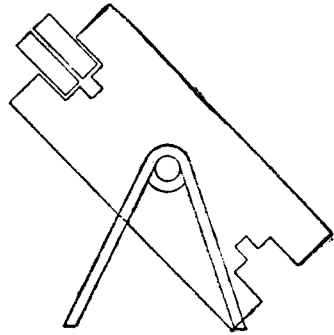


圖 29 臼 砲

砲堅牢固定於三合土砲台上，普通砲軸具有  $45^\circ$  之仰角，爆發後測量彈丸拋射之距離，而與同一種類重量相等之標準火藥結果相比較。臼砲他端之鑽孔，係當砲之一端損壞後，可以反轉使用他端。

此試驗法似粗魯，然其結果之均勻則遠出一般預料之外。凡試驗新發明之混合火藥類最宜採用此法。欲得可靠結果，至少須試三次。在正式試驗前，最好先發一砲或二砲之預備射擊，以除去砲內之鏽。新裝彈丸，常因爆發之震動而呈直徑漲大之傾向，因而結果亦欠正確。但經過數次發射後，即可停止，不再擴大。為求其接合嚴密起見，彈丸插入砲身之前，必先充分塗以滑油。茲將數種標準火藥之平均拋射距離列如下表 所用彈丸重 15 Kg. 砲之仰角為  $45^\circ$ 。

爆炸膠 (blasting gelatine) 240 m.

膠質猛爆藥 (gelatine dynamite)	188 m.
「解里尼忒」 (gelignite)	168 m.
一號猛爆藥 (dynamite No. 1.)	132 m.

英國准用火藥冊上所登記各火藥之臼砲試驗成績，概在 80 — 120 m. 之間。

為免除每次試驗後檢取彈丸之煩起見，常將臼砲裝置如擺狀，並使彈丸拋擲於遠僅數呎之砂堆上。此時不測量彈丸拋射距離，而係測量臼砲後坐之大小。此種裝置與下述之彈道擺甚相類似。

彈道擺試驗 (ballistic pendulum test) 此係英美二國測驗煤礦爆藥威力之官方試法。二者分述於下。此試驗之最大優點，為能使用相當多量之火藥。美國用  $\frac{1}{2}$  磅，英國用  $\frac{1}{4}$  磅。且係就原藥包原包皮一同爆發，故可省略包皮之影響。因試驗時包皮之影響正與實際爆破時之影響完全相同故也。

美國 Pittsburg 地方試驗處所備之彈道擺為一美國陸軍軍用臼砲，口徑 12.2 吋，重 31,600 磅，用長 89 $\frac{1}{4}$  吋之 1 $\frac{1}{2}$  吋鋼桿懸掛，而吊於支持在鑲鋼架之鑲鋼刀上。鋼架裝於堅固三合土支柱上。將火藥裝於另一鋼砲內，加黏土一磅以行填塞。該鋼砲可在一 30 吋寬之鐵軌上前後移動。如係緩燃性非爆炸火藥類如黑藥時，則須加填塞料二磅。試驗前移鋼砲使接近臼砲擺，使二者相距  $\frac{1}{16}$  吋。

標準火藥為 40% 美國製混合猛爆藥，裝藥量為 8 噸。該藥成分為：

N. G.	40
NaN <sub>2</sub> O	44
W. M.	16
CaCO <sub>3</sub>	1

此火藥擺動值為 2.7—3.1 吋。舉行試驗時增減所試火藥之裝藥量，至其所生擺動值適與 8 噸標準火藥所生者相等。即以此裝藥量繼續放射三次，而後依下列公式計算其確實比數，即

$$S_x : S_D = W : \frac{1}{8}$$

式中  $S_x$  = 所試火藥 W 磅所呈之擺動值，

$S_D$  = 標準火藥  $\frac{1}{8}$  磅所呈之擺動值，

英國 Rotherham 試驗處所用之彈道擺較美國用者為小。擺之本身係一重量 5 噸之白砲，用鋼鉸懸於一軸上。軸承為轆子式。裝火藥之鋼砲，其鑽孔長 30 吋，直徑  $1\frac{1}{2}$  吋。砲與白砲擺二者相距二吋。每次裝藥量為 4 噸，並以二磅重之捏透乾黏土為填塞料。試驗時記，錄白砲擺動之擺動值，而與重四噸含硝化甘油 60% 之「解里尼忒」(gelignite) 所呈之擺動值相比較。「解里尼忒」之擺動值為 3.27 吋。英國准用爆藥冊上所載各較著火藥之擺動值已於前第七章中述及。

## 猛度試驗

所謂火藥之猛度係指其爆發時所呈之激動效力 (shattering effect) 而言。乃係一種假擬之數值，值之大小除依據於火藥威力外，尚有賴於火藥所呈之最大壓力，而此最大壓力則又依火藥之爆速為轉移。曾有人建議用數學方法計算猛度。Bichel 氏採用之公式為  $\frac{1}{2} MV^2$ ，式中 M 為氣體爆發生成物之質量，V 為火藥之爆速。然此公式以及其他之類似公式，計算出之數值殊難滿意，因而遂有改用實驗方法以測猛度之議。由實驗所得之結果，固不能認為十分滿意，然已足以表示各火藥間相對猛度之大小，各種試法，皆以壓縮

計 (crusher gauge) 原理為根據，而測量某種軟質金屬柱之變形程度為標準，常用者為銅及鉛。猛度儀之最著稱者為 Kast 式猛度儀 (brisance meter)，如第三十圖所示。係一中空鋼筒，下有厚鋼板座。

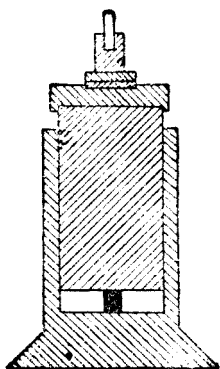


圖 30 猛度儀

取小銅柱一個直立於鋼座中央，再於銅柱上壓以重質之鋼傳壓體，傳壓體與鋼筒內部兩相密接。傳壓體頂上覆有厚 20 mm. 重 320 g. 之鎳鋼墊，鋼墊上再加厚 4 mm. 之圓鉛板二塊，以保護鋼墊，每次試驗另換新片。將火藥柱直立於鉛板上而爆炸之。炸後測量銅柱之壓縮量，即表示火藥猛度之大小。如是所得之數字，因藥包直徑與長度而不同，就中似以藥包長度為直徑四倍時之壓縮量為最大。此外，壓縮量因火藥密度大小而變化，乃意中事，蓋因密度能左右火藥之爆速故也。此試驗火藥並不禁銅，與實際爆破（指工業上之爆破）情況甚少相似之處。茲將數種火藥之壓縮量列表如下。每次藥量為 15 g. 藥包直徑為 21 mm.（譯者按：近年來舉行 Kast 式猛度試驗，所用銅柱直徑 7 mm. 高 10.5 mm.；藥包直徑為 21 mm.，藥包之長規定為 80 mm.，只可增減藥量以升降火藥密度，但藥包長度則為定數。與本書所述之藥量為定數者不同）。

火 藥	密 度	爆 速	猛 度
Tetryl	1.42	—	3.57
	1.53	7145	3.91
	1.59	7130	3.94

Picric acid		1.34	6160	2.81
		1.40	6700	3.34
		1.53	7050	3.55
		1.60	7160	3.88
T.N.T.		1.34	5940	2.80
		1.45	6400	2.93
		1.59	6590	3.13
		1.69	6680	3.13
D.N.B.		0.93	—	1.31
T.N.T.	30	2.65	4600	2.52
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	70	2.75	4700	2.86

## 爆 速

所謂火藥之爆速係指火藥一經起爆後，爆炸作用在火藥體中傳播之速率而言。測定法有絕對測法與比較測法二種。前者實際測量爆炸所需之時間，後者係以另一種已知爆速之火藥測驗所欲測量之火藥爆速。

火藥爆速甚大，常高至 6000—8000 m/sec. 之多。故絕對測法之問題在於測量極瞬間之時間。例如有長十公尺之爆炸膠藥包列一列，自一端起爆後，迄爆炸傳至藥列他端所需之時間僅約 0.0013 秒。如此極微之時間，欲為精確之測量，最好方法為利用已知直徑而迴轉速度固定之鼓筒。由迴轉速度與筒徑，可以簡捷算出筒面上任何一點之直線爆速。因而距離二點間所經過之時間得以求出。麥氏

(Mettegang)測速儀即本此原理而裝成。用此儀可測量小至  $1 \times 10^{-7}$  秒之極微時間。其裝置如圖31所示。通過火藥柱兩端嵌以細金屬絲二

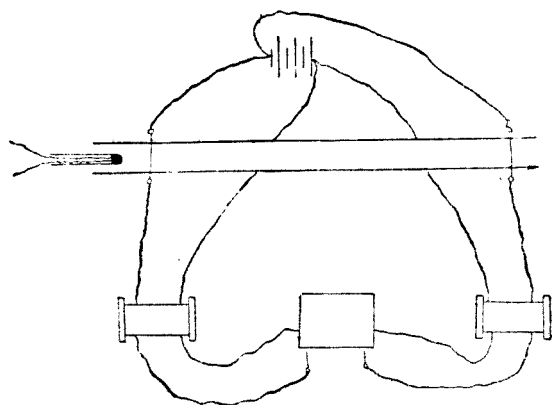


圖 31 測速法(麥氏直接測法)

根，二線相距適宜距離，一般約 2—4 公尺。各金屬絲即為各個感應圈 (induction coil) 中第一線路之一部分。各感應圈上第二線路之一端與鼓桶之軸相連接，他端

則與白金針尖相連接。白金針尖與鼓筒塗油烟之表面幾相接觸，但並不真正接觸，鼓筒藉電馬達推動迴轉，迴轉速度以其直線速度適為每秒鐘 100 m. 為度。爆炸之際，當爆炸波及第一金屬絲時，第一感應圈上之第一線路為其破壞，因而在第二線路上所感應之電流便與其相當之白金針尖與鼓筒間發生電火花。此電火花即在塗油烟筒面上留一痕跡。測量二痕跡間相距之距離，則在二金屬絲間傳播爆炸所需之時間可以算出。用移動式顯微鏡及一可讀至 0.01 mm. 之游尺。可測量二痕跡間之距離。假設鼓筒直線速度為 100 m. sec., 則游尺上之 0.01 mm. 正相當於  $1 \times 10^{-7}$  秒。苟加用較多之金屬絲，並使各絲皆與一獨立之感應圈及白金針尖相連接，則一長列火藥柱上各點間之爆速均可測定，因而可知其爆速之是否均勻不變，及其增減

之情況。

在第一線路破壞以至第二線路發生感應電流造成電火花之間，常需要一定之時間，為免除此種差誤起見，各第一線路中之電流強度必須相等，各感應圈之構造必須完全相同，電阻亦各一致，又各感應圈中之電流方向亦必相同。

另有間接測法，火藥之爆速係以另一火藥之已知爆速所誘出。一般均用爆炸導火索為比較標準，因其使用便利，爆速固定也。其爆速通常約為 5000 m. sec 此試驗甚簡單，所需設備如圖 32 所示。在

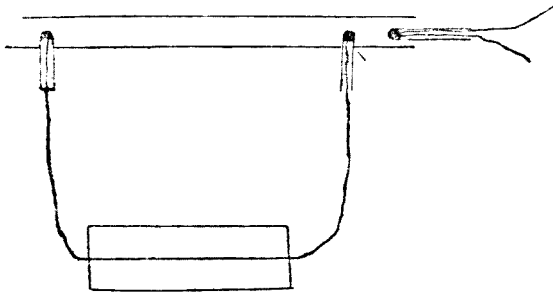


圖 32 測爆速法(獨氏間接測法)

火藥柱上相隔一定距離之二點，通常為 30 cm.，各插入雷管一枚。各雷管分別與爆炸導火索之二端相連接。爆

炸導火索之中央舖於鉛板上。鉛板上相當於索之中央點之位置作一記號。用藥包一端所附之電雷管起爆。當爆炸波及第一雷管時，爆炸導火索之一端開始爆炸。繼當爆炸波及第二雷管時，爆炸導火索之他端亦開始爆炸。此經由導火索相向而行之二個爆炸波相遇於一點，即在鉛板上留一痕跡，故可推知此點與導火索中央點間之距離，即所以表示一個爆炸波較另一爆炸波發動在先，可藉爆炸導火索之爆速算出所試火藥之爆速

火藥之爆速多少受其藥柱直徑之影響，直徑大者爆速亦高。然



普通此增加數有一定限度，在此限度以上，縱使直徑再大，爆速亦保持不變。對於純芳香族硝基化合物，藥柱直徑達 10 mm，即能達最大爆速。然對於其他火藥，則所需直徑較大，約需 30 mm。如係硝酸鉍火藥，則直徑有時需達 50 mm。以上。試觀下表：

火 藥	藥柱直徑 (mm.)	爆速 (m./sec.)	
鑄製純淨 T.N.T.	21	6700	
D=1.58	75	6595	
..	220	6675	
..	300	6710	
Aldofit { D=1.1 {	AmNO <sub>3</sub> 81	23	4100
	T.N.T. 17		
	裸麥粉 2		

雷管之起爆力苟已足用，則其號數大小影響殊少。但有時最初試驗時常得不規則之結果，有時高有時低。對於大多數火藥，其爆速時而增時而減，至達其正常數值後始保持不變。但性質鈍感之硝酸鉍火藥則反是，其爆速漸形減小。推其原因似由於鈍感性而起。蓋當火藥受壓縮後密度增高時，此影響最為顯著，而此時起爆極為困難也。另一方面，溫度降低並無若何影響。即使溫度降至液體空氣之溫度時（-180°C.），火藥之爆速仍可保持不變。

壓縮火藥使其密度增高，影響於爆速者甚大。由實驗結果，證明火藥之爆速為其密度之一次函數。對於瑟狄忒 (cheddite) 以及數種其他火藥，如密度超越某限度以上，則爆速減小，事誠有之。然此只可歸咎於火藥感度減小，不易引起充分爆炸波所致。試舉苦味酸為例。將苦味酸製為直徑 20 mm. 之藥柱，用紙包裹，以含雷汞 0.5 g.

之雷管起爆，並以含 25 g. 之一號猛爆藥為傳爆藥。所得結果如下所示：——

密度	爆速
0.93	5035
1.31	6255
1.43	6988
1.57	7277
1.71	5045
1.74	無結果(未炸)

增加傳爆藥分量，採用 80 g. 之猛爆藥，則苦味酸之試驗結果如下：

密度	爆速
1.62	7300
1.72	7490
1.73	7645
1.74	7645

可知增加起爆力，仍可使火藥起爆，其爆速且可繼續升高。

試驗梯恩梯，所得結果甚為相似。結果見下：

密度	雷管	傳爆藥	爆速
0.84	0.5 g. 雷汞	無	3822
0.91	..	..	4087
0.92	..	..	4170
0.90	..	25 g. 一號猛爆藥	4170
0.91	..	..	4170
1.32	..	..	6217
1.43	..	..	6675
1.53	..	..	6880
1.59	..	..	7056
1.60	..	..	7140
1.605	..	..	無結果
1.61	..	80 g. 一號猛爆藥	6243
1.61	..	..	7800

表中最後一行數字，係將梯恩梯裝於銅管試驗所得。其餘概係用紙包裹。

敏感性火藥之具大爆速者，受禁銅程度之影響甚小。但如係鈍感性火藥如硝酸銨火藥者，則此關係殊不可輕視。證明此種說法之數字見後述之爆速表。

硝化甘油具有二種爆速，殊為奇怪。一為 1300—1500 m. sec.，一為 7000—9000 m. sec. 究其將依何種爆速爆發，大半受藥柱直徑大小與雷管及爆藥之強度諸種影響。觀下列數字自明。

雷管	傳爆藥	藥包直徑	爆速
1.6 g.	—	6 mm (玻璃管)	無結果
1.6 ..	—	9 .. ( .. )	634
1.6 ..	—	25 .. (鐵管)	1441 與 7690
1.6 ..	—	38 .. ( .. )	8527
0.8 ..	—	?	1776
—	爆炸導火索	38 .. ( .. )	7234

有數種美國製猛爆藥與膠質火藥，曾得與上類似之有趣結果。後者如只用雷管起爆，其爆速僅約 2300 m sec.，且此數值幾不因火藥所含硝化甘油成分之增減而變動。但如使用美國製混合猛爆藥為傳爆藥而引爆時，則爆速大增，且能因硝化甘油含量之加多而增高其爆速。當硝化甘油含量為 40% 爆速為 5100 m. sec.，含硝化甘油 60% 之「解里尼忒」(gelignite)，爆速為 6600 m. sec.，對於 75% 之膠質猛爆藥 爆速為 7000 m. sec.；對於混合猛爆藥，其爆速恆依硝化甘油含量之加多而為有規律之增高。如所用雷管起爆力充足，且可不受傳爆藥之影響。

## 美國製猛爆藥

%	N. G.	混合猛爆藥 可加傳爆藥，亦可不 加傳爆藥	膠質猛爆藥	
			只用雷管	用雷管及傳爆藥
5		1294	—	—
10		2103	—	—
15		3095	—	—
20		3197	—	—
25		3296	—	—
30		4172	2484	—
35		4605	2278	—
40		4648	2230	5122
45		5032	2279	5544
50		5348	2355	5562
60		5973	2104	6636
75		6265	2165	6999

對於硝銨猛爆藥，因其中硝化甘油之半量為硝酸銨所代替，其爆速自 10% 級藥為 2100 起，至 45% 級藥為約 4400 間始終漸漸增加。此後則又漸形減低，其 60% 級藥之爆速僅只 3000 而已。此類猛爆藥並非膠體，使用傳爆藥並不能大增其爆速。可知自 10% 級藥遞增至 45% 級藥間，其爆速之所以逐漸增加者，顯由於硝化甘油含量之漸次增多所致。其次，在 45% 級藥以上，硝酸銨變為主要成分，硝酸銨火藥之爆速原本低小。

液體硝化甘油與膠質火藥之所以表現二重爆速者，多係因其具

有二種彈性所致。當激動輕微時，則作用為液體；當激動較大時，則又作用為固體。按音之傳播速度依媒介物之彈性係數而變化。其式如下：

$$v = \sqrt{\frac{\mu}{d}}$$

式中  $\mu$  代表 Yung's Modulus,  $d$  代表密度。由此聯想到爆速之作用亦得依據同一律推算。惜因尚未見有此項彈性係數之任何記錄耳。火藥密度增大，則爆速自必增高而不會降低。然在未研究密度增大對於彈性所生之影響前，尚不能由此得到任何論斷。蓋因設如彈性係數較密度之增加遠為迅速時，則依上式火藥之爆速亦必隨之而增高。茲將數種著名火藥之爆速 (m. sec.) 列如下表。其中結果之不規則者，取其較合理之結果之平均數。

火 藥	密 度	爆 速	附 註
Mercury fulminate	—	3920	直徑 6.45 mm.
Detonating fuse	—	5000—6000	膠着之雷汞
..	1.5	4800—5000	T.N.T. 直徑 4 mm.
Guncotton dry	0.9	3900	—
..	1.2	4300	—
..	1.4	4800—6100	—
Guncotton, wet (15 % H <sub>2</sub> O)	—	5500—5800	直徑 23 mm.
Nit. omannitol	1.5	7000	.. 4 mm.
..	1.9	7700	.. 4 mm.
Nit. oglycerine	—	1440及7690	.. 25 mm.
Tet. yl	1.53—1.63	7200	.. 21 mm.

Picric acid			1.34	6160	..
..			1.43	6700	..
..			1.53	7000	..
..			1.60	7100	..
Trinitrochlor benzole			1.56	6800	..
Hexanitrodiphenylamine			1.58—1.67	7125	..
Trinitroresol			1.52	6620	..
..			1.62	6850	..
Trinitrobenzole (1,3,5)			1.53	6850	..
Trinitroethanol (2,4,6)			1.34	5940	..
..			1.45	6100	..
..			1.50	6590	..
..			1.60	6880	..
Dinitrobenzole (1,3)			1.50	6000	..
Macarite	TNT 30		2.73	4695	..
	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 70		2.89	4860	..
Tetryl	63	壓製	1.58	6965	.. 7150*
D.N.B	37				
T.N.T	90	壓製	1.56	6725	直徑 21 mm, 6680*
D.N.T	10				
T.N.T	90	鑄製	1.57	6565	.. , 6680*
D.N.T	10				
T.N.T	50	壓製	1.53	6230	.. , 60*
D.N.T	50				
T.N.T	50	鑄製	1.51	1480	..
D.N.T	50			(不完全)	
T.N.T	50	鑄製	1.53	1910	..
D.N.T	50			(不完全)	
T.N.T	99.5	壓製	1.30	無結果	直徑 26 mm.
軟蠟	0.5		1.33	5510	.. , 92*

Dynamite No. 1	N.G.	75	0.63	1990	直徑 20 mm.
	guhr	25	0.85	2560	..
..			1.34	3870	..
..			1.54	5230	..
..			1.62	6800	..
Blasting gelatine	N.G.	92	1.63	7700	直徑 30 mm.
	C.C.	8			
G lignite	N.G.	62	1.59	2055	直徑 26 mm.
	NaNO <sub>3</sub>	27	1.67	7000	直徑 30 mm.
	W.M.	8			
	C.C.	3			
Dynamite 50 %	N.G.	50	1.56	4610	直徑 26 mm.
	guhr	7			
	KNO <sub>3</sub>	33.1			
	W.M.	9.7			
	CaCO <sub>3</sub>	0.2			
Dynamite 40 %	N.G.	40	1.56	4440	..
	NaNO <sub>3</sub>	42			
	W.M.	16.7			
	CaCO <sub>3</sub>	1.2			
Extracarbonite	N.G.	35	1.13	3970	..
	C.C.	0.3	1.20	4070	..
	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4			
	KNO <sub>3</sub>	25.5			
	Tan meal	34.8			
	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.5			
Carbonite No. II	N.G.	30	1.05	3720	直徑 26 mm.
	NaNO <sub>3</sub>	24.5	1.10	3850	..
	麵粉	40.5			
	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	5			
Wetter-Dynamite No. I	N.G.	30	1.16	3900	..
	NaNO <sub>3</sub>	31			
	麵粉	30			
	W.M.	6			
	茶	2			
	明礬	1			
Donarite	N.G.	3.8	0.89	3700	直徑 26 mm. 禁鋼
	C.C.	0.2			
	AmNO <sub>3</sub>	80	1.31	4140	直徑 30 mm. 禁鋼
	T.N.T	12			
	麵粉	4	1.31	3930	直徑 30 mm 不禁鋼

Ammon-Carbonite	N.G.	4	1.03	5335	直徑 40 mm.
	AmNO <sub>3</sub>	82	1.23	3315	直徑 26 mm.
	KNO <sub>3</sub>	10	1.19	1650	直徑 30 mm 不禁鋼
	麵粉	4	1.19	3100	直徑 30 mm 禁鋼
Aldorfit	AmNO <sub>3</sub>	81	1.1	4825	直徑 40 mm. 禁鋼
	T.N.T	17	1.14	4410	26 ..
	粉	2	1.16	4925	40 ..
			1.17	4960	50 ..
Gesteins-Dorfit	AmNO <sub>3</sub>	65	1.10	3940	26 ..
	T.N.T	15	1.11	4420	40 ..
	KNO <sub>3</sub>	5	1.15	4945	26 ..
	NaCl	10	1.15	4505	40 ..
	粉	5	1.17	4605	50 ..
Thunderite	AmNO <sub>3</sub>	92	1.07	5650	30 ..
	T.N.T	4	1.07	2137	30 不禁鋼
	麵粉	4			
Permonie	AmNO <sub>3</sub>	42.5	1.05	3690	直徑 40 mm,
	T.N.T	10	1.13	3780	..
	KClO <sub>4</sub>	32.5			
	澱粉	12			
	W.M.	3			
Ammonal	AmNO <sub>3</sub>	44.9	1.68	4850	直徑 21 mm
	T.N.T	31			
	Al	24.1			

\* 此記號表示該數字為該混合火藥中主要成分在同密度時所具之爆速。  
 急狀式之爆速見前第六章。

## 爆發壓力

爆發時生呈之極端高壓，欲精密測量甚感困難。估計此種壓力之第一個器械為 Rodman gauge. 係利用壓力推動淬過火之鋼刃，使刻入軟銅板中，以刻痕之深淺而比較壓力之大小。此設計後經 Nobel 氏改良。Nobel 氏用銅柱夾於二活塞之中間，該二活塞一係固定，一可活動。爆發生成氣體作用於活動活塞之底，因而得以壓縮



銅柱。由銅柱之壓縮量可求出氣壓之大小。此種式樣之器械，由其作用之方式命名爲壓縮儀 (Crusher gauge)，乃測量火器中發射藥所生最大膛壓之標準方法也。使用時或在火器藥室旁鑽孔將壓縮儀旋入，或即將壓縮儀裝於藥莢底部，使藥莢之底與活動活塞相接觸。此點殊重要，否則藥莢之運動量有引起不規則的高壓之可能。同理，活動活塞亦必與銅柱相密切接觸。如壓縮儀係旋於火器上時，則氣體所作用之活塞頭子，或通常裝於活塞前面之氣體防逸圈，均須與活塞所活動之套筒相平齊。否則，氣體之運動量將促成不規則之壓縮。

具來福線兵器之最大膛壓約爲每平方吋 15 噸，普通均採用銅柱測之。滑膛槍之膛壓甚低，每方吋僅約 3 噸，故常代以鉛柱而測量之。按壓縮儀之用途，當然不只限於發射藥，即在密閉爆發器中研究爆炸火藥用之亦無不可。此法具有價廉便利之優點。然亦自有其缺點，蓋此儀僅能測量最大氣壓，而對於壓力發展之速率則無法利用。

爆發時壓力之增漲速率，極爲迅速。欲記錄其發展之情況，殊爲不易。雖已有數種方法可資利用，但其爲用究有限度，所得結果亦未可十分重視。普通最認爲滿意之一種測驗法爲 Bichel Recorder。此儀係一笨重之大鋼筒，內部尺寸爲直徑 20 cm. 深 48 cm. 容積 15 公升。試樣重 10—200 g. 爆發所生壓力藉支持於強力彈簧上之活動活塞而記錄於一迅速迴轉之鼓筒上。由此所得曲線之形狀，可以表示壓力發展速率之概況。然其所示之最大壓力則因各活動零件之運動量之影響而大爲過高。將此最大值省略不計，另將曲線以推論法向反對方向延長之，至與爆發瞬間之坐標縱軸相交，可求出更近似更合理之最大壓力。

試驗時因裝填密度甚小，故筒壁之冷卻影響甚大，於是 Bichel 氏復利用二個密閉爆發器，以免除此弊。其容積一為 20 公升，一為 15 公升。在較大之爆發器中裝以各種尺寸之金屬圓筒，能就同一 15 公升之容積得到 3600, 6600 及 7600  $\text{cm}^2$  之數種表面積。

Bichel 氏就上述三種情況舉行爆發試驗，將所得最大壓力值就表面積繪下，證明三壓力值均在同一直線之上。延長此線至表面積 = 0 之點上，則除去表面積後之壓力可以讀出。其後 Peteval 氏改良氣壓記錄儀，儀中具有極堅強之彈簧。活塞移動甚微，藉反光鏡將其移動情形反射於迅速迴轉之感光紙帶上而放大之。此記錄儀可用以測驗無烟藥，但不能測驗高級炸藥。

譯者按：近年來新發明有「壓電測壓儀」(Piezo apparatus for gas pressure testing)，根據石英結晶體因受壓力不同而導電性發生強弱之原理，將火藥氣體壓力發展之情況以及最大壓力攝影於感光紙上。既可測量最大壓力，兼可得知氣壓進行之過程。

## 爆熱量

測驗火藥爆發所生爆熱量之儀器，與一般測熱所用之儀器相似。僅為耐受爆發高壓起見略施改造而製成。普通所用爆發器有二種：一為小型爆發器式，具有甚厚之壁以耐受所生之高壓，一為大型爆發器式，以其具有較大容積，故所受最大壓力亦較低，因而所需之機械阻力亦較小。Berthelot 與 Sarrau 二氏均用輕小之爆發器，因其機械阻力不大，故只可裝藥數公分。Nobel 與 Abel 二氏則採用容積為 32 c.c. 及 119 c.c. 之二種爆發器，前者可裝黑藥 12 g. 後者

可裝黑藥 26 g. 又 Nobel 氏曾用極笨重之爆發器，一次可爆發黑藥 500 g. 於其中，爆發器之容積尚不及 500 c.c. 但欲製造合乎近代新式高級炸藥大裝藥量所需之爆發器，極為困難。現僅在德國 Netzbabelsberg 試驗處曾使用容積 45 c.c. 之鎳鋼爆發器，每次可裝藥 20 g. 據稱結果良好云。

測量火藥之爆發熱以用大量火藥為佳。如此可減少因除去雷管影響之不定修正，得減少錯誤之機會。此修正量因雷管爆熱量依四周大氣是否富於氧氣為轉移之故，難於確定。苟氧氣充足，則不僅雷管爆發所生之一氧化碳得以變成二氧化碳，即雷管之銅壳亦將氧化為氧化銅，又導電線等因燃燒亦能發生熱量。凡試驗時概用雷管，例如三號雷管爆發於無氧氣之大氣中時，只發生 0.116 cal. 之熱量。但如在含氧之大氣中爆發則增至 0.791 cal.，此數值隨雷管號數之增加而變大。欲製成具充分機械阻力足以耐受大量高級炸藥之爆發壓力，同時壁厚又須不至十分太厚，則該爆發器之容積勢必加大。Bichel 及 Mettegang 二氏曾製成容積 30 公升之瓶狀爆發器，其壁厚約為 13 mm. 重約 70 公斤。通常高級炸藥之裝藥量為 10 g. 如係黑藥則可增至二倍以上而不至發生危險。一般測熱量所應注意之處，均適用於此。用以觀察溫度上升之溫度表須能讀至  $0.001^{\circ}\text{C}$ . 因金屬吸收熱量甚多，故周圍之水之溫度，其上升僅約  $1^{\circ}\text{C}$ . 左右。

由上所得之數值係火藥爆發後火藥氣體冷至常溫時所發生之熱量，故其中尚包含有二次反應所生之熱在內。例如大部分爆發生成水汽之凝結，以及鹼金屬或鹼土金屬之氧化物與爆發生成二氧化碳相結合變為重碳酸鹽所生之熱量等皆屬之。故欲求得實際使用情

況下真正所能放出之爆熱量，必須加以修正而後可。茲將數種著名火藥之爆熱量列如下表。表中熱單位為每公斤火藥所發生之大卡數。

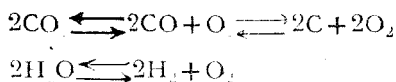
名稱	成分	爆熱量
Dynamite No. 1.	N.G. 75 gnhr 25	1170
Blasting gelatine	N.G. 92 C.C. 8	1422
Gelignite	N.G. 62.5 C.C. 1.5 NaNO <sub>3</sub> 27.0 W.M. 3.0	1321
Donarite	N.G. 3.8 C.C. 0.2 T.N.T 12.0 AmNO <sub>3</sub> 80.0 麵粉 4.0	836
Thunderite	T.N.T 4 AmNO <sub>3</sub> 92 麵粉 4	777
Carbonite	N.G. 25 KNO <sub>3</sub> 30.5 Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4.0 W.M. 40.0 Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 0.5	576
黑藥	KNO <sub>3</sub> 75 C 13 S 12	574
硝化甘油	—	1471
硝發液	—	365
雷汞	—	407

試驗爆熱量時，兼可同時測量爆發生成氣體之體積，可用直接計量法求得之。然因其為量甚多，致使直接計量大感不便。變通之辦法係於放去氣體以前及以後，各將測熱儀稱量一次，而由其重量及

密度以計算其體積。較此更普遍之方法，係常溫度變為固定時，測量器中之氣壓，而後再依 Boyle 與 Charles 定律計算其在 N.T.P. 時（即標準溫度氣壓）之氣體體積。

## 爆 溫

吾人對於爆發時所呈之溫度所知甚少，亦未嘗從事直接測量。惟利用光學高溫計測量爆溫，雖不無困難，但並非絕對不可能，且事實上業已用以測驗火帽之爆溫矣。（見前第八章）。藉理論方法由總爆熱量及爆發生成物之比熱與揮發潛熱可將爆溫算出。但有二個因子足以防害此計算之精度。第一，對於爆發生成物之平衡情形，就化學的力學觀點言，吾人完全未曾明瞭其真況。在爆發時之高溫下，吾人已知大部分之二氧化碳與水俱分解為元素——



其中分子狀之氧與氫甚或繼續多少分解為單原子狀態。在所述各情況下，因有高壓作用，該反應式之平衡有向式之左方移動之趨勢。但在該時期或適當爆發過後該平衡系統中之成分究為若何，吾人不知也。又對於其他副作用，例如臨時發生甲烷等，亦有同樣遺憾。此種副作用或連續反應雖不至影響爆發之總熱量，但確能因延緩爆發反應之關係而波及於爆溫之高低。換言之，一切副作用及連續反應皆能促生較低之爆溫，但其在此低溫所持續之時間因而亦較長，故所生之爆熱量，與爆發反應一次完成時之爆熱量多少相等。

其次，氣體之比熱，非但不為常數，且亦非近似常數，隨溫度之

高漲而增大。欲在爆發高溫下測定氣體之比熱，姑不論爆溫亦係未知數，事實上乃為不可能。Mallard 及 Le Chatelier 二氏曾從事研究，求得溫度  $t^{\circ}\text{C}$ . 時定容氣體之分子熱(小卡)如下：——

永久氣體，如 $\text{N}_2, \text{O}_2, \text{H}_2$ 及 $\text{CO}$	$4.80 + 0.0006 t$
易凝結氣體，如 $\text{CO}_2$ 及 $\text{SO}_2$	$6.26 + 0.0037 t$
水蒸汽	$5.61 + 0.0033 t$

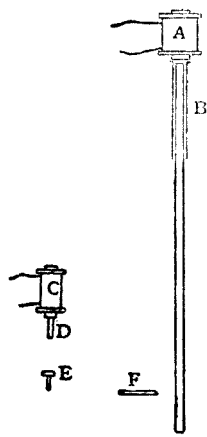
其他研究者所得之數字，亦與此相近似。此等數字之精度究可至何程度，甚難論定。但似覺當在  $1500^{\circ}\text{C}$ . 以上恐難保確實，而大多數之火藥爆溫則多在  $3000^{\circ}\text{C}$ . 附近！雖然，但法國政府向係採用 Mallard 與 Le Chatelier 數值為計算煤礦安全爆藥之爆溫之用。該項計算雖似煩亂，但頗相當嚴格。直接炸煤用火藥之爆溫規定不可超過  $100^{\circ}\text{C}$ .，用以炸裂煤礦岩石所用火藥之爆溫，不可超過  $1900^{\circ}\text{C}$ .。由計算所得之結果尚相當準確，至少對於炸煤之火藥為如此。

### 測時術 (chronography)

使用發射藥時，其所給予彈丸之飛行速度甚為重要。彈道各點上彈丸之飛行速度，在射擊術上極關重要。當彈丸離開槍砲口後，發射藥之影響終止。故火藥製造家所認為重要者，只為火藥之平均初速(即槍砲口之速度)，通常縮寫為 M.M.V. (mean muzzle velocity)。彈道學 (ballistics) 一詞係指研究彈丸飛行之學科。砲內彈道學研究彈丸在槍砲膛內進行之情況，砲外彈道學則研究自槍砲口至目標間之飛行情況。彈道學大半為數學問題，本書僅能將實際測驗初速所根據之一般原理略加敘述而已。

測定彈丸飛行速度之儀器，稱曰測時儀 (chronograph)。普通可分為二種：第一種者藉另一物體運動所需之時間測量所欲知之時間。如利用重物自由降落相當距離即其一例。第二種者為直接測時法。因近代新式高速度具來福線兵器，其彈丸之初速，一般高至每秒 200—2500 呎之多，欲測量其時間，必需能測驗極微小之時間而後可，欲測量彈丸經過某一空間時之飛行速度，可預先裝置細而脆之銅絲於其彈道上，當彈丸通過時，銅絲破壞，因而電流亦斷，即可設法記錄其電流斷絕之時間。

圖 33 表示卜朗西測速儀之略圖 (Le Bonlange's chronograph)



當第一金屬線為彈丸所毀時，電磁鐵 A 之電流為其所斷絕，遂使重錘 B 下落。此重錘作管狀，能自由滑動於直立桿上，以使其自由垂直下降，而不至顛倒。為免除管與桿發生任何摩擦機會起見，常將桿省去不用。但因而重錘之下落是否正直，則殊困難。復次，當第二金屬線又為彈丸所毀時，則電磁鐵 C 之電流亦斷絕，因而重錘 D 下降，落於制機 E 上。制機連有板機與彈簧（圖中未繪出），當其被重物 D 打擊時，則放出刀刃 F。刀刃 F 又因彈簧之作用而衝擊於重錘 B 上，

圖 33 卜朗西測速儀

因而得在重錘表面之軟金屬被殺物上刻成刀痕。持 B 使其刀痕與 F 相接觸，而後測量自 B 下端至電磁鐵 A 之底間之距離。由此求出重錘 B 下落之高度，因而即可算出其所經過之時間。但由此所得之數字，當然亦有其差誤在，必須加以修正。第一

二磁鐵各有其去磁性之遲滯性 (hysteresis)，二者可以相同，亦可以不相同。其次， $D$  作用於  $B$  需要時間，又  $F$  躍向前進亦需要相當時間。此等差誤最好先決定其零點以謀補正。將其二個之電流同時切斷，即可試出之。由此所求出之  $B$  之落高，即為因電遲滯與機械遲滯所生之時間差誤量，當計算速度時，即據此而修正之。

此儀器用法簡便，距離短小時，結果甚良好。但如用以測量較長之時間，則實驗差誤反變大。此蓋因當物體以定加速率下落時，此時為重力加速率，其所經過之空間為時間之二乘方故也。

$$S = \frac{1}{2} f t^2$$

設  $f$  值為 32 呎 — 秒單位，則

$$t = \frac{\sqrt{S}}{4}$$

故當  $S$  值小時，較小之實驗差誤尚不至過於影響  $t$  值。然如  $S$  值增大，實驗差誤亦大時，則  $t$  值將大受影響也。

為避免此困難，Le Boulange 氏發明另一器械名曰 Klepsydra，係根據沙漏時計 (sand-glass) 原理所製成。其構造為一 T 形器皿，內盛水銀。T 之下端設有針孔小活塞，活塞藉電力啓閉。稱量活塞啓閉間流出之水銀量，可以求出其相隔之時間。其零點之測定，亦係將二個電路同時切斷可求得之。

Bashforth chronograph 係根據另一原理製成。係藉擺之擺動而測量時間。其構造為一迴轉鼓筒，筒面覆油煙紙，並與一板相連。當鼓筒迴轉時，則該板垂直下降，板上附有針尖二枚，各藉電磁鐵之作用使與油煙紙面相隔開。當各電磁鐵之電流相繼為彈丸所切斷



時，則各針尖相繼前躍而在鼓筒上之油煙紙面上留其痕跡。另以類似裝置使擺亦在油煙紙上作成時間痕跡，即可迅速測量二電流被切斷間所經過之時間矣。

此儀器之電遲滯與機械遲滯可將二線路之電流同時切斷加以修正，其法與 Le Boulange 式測速儀相同。

Schultze-Marcel-Dieprez chronograph 之構造與前相似。當二電磁鐵之電流被切斷時，趨使針尖留痕跡於迴轉鼓筒所覆之油煙紙上。所不同者，乃係利用具固定音節之音叉，使時間同時作正弦曲線繪出。音叉之一臂連有針尖，且與迴轉鼓筒之表面相接觸。按音叉為記錄微瞬時間最便利之一種方法，物理學各部門上應用甚廣。為方便計，可藉電力控制之。

Mahieu chronograph 與上極相類似。所異者其鼓筒除有迴轉運動外，尚有直線運動。各針尖與紙面彼此始終相接觸，但連有彈簧，當電磁鐵之電流被切斷時，則針尖跳向一邊，於是其所繪之線痕方向發生短期的驟然變化。鼓筒之相對直線運動與迴轉運動，藉適宜控制裝置可以變動，因而可以同一儀器測量高速度與低速度，且可測量飛行時間長與飛行時間短之二種時間。

照理，各種測速儀只須裝置多數之針尖，則不論為 Bashforth 式，Schultze 式或 Mahieu 式皆可用以測量彈道各點上彈丸所具之飛行速度。然就中要以 Mahieu 式者最為適於此項工作之用。

## 文 獻

關於火藥之一般試法見 U.S. Bureau of Mine, Technical

Paper No. 186. 敘述甚佳。

又見 Berl-Lunge, "Chemisch-technische Untersuchungsmethoden," vol. III pp. 1159—1301.

### 威 力

舉行特氏鉛壩試法時所需之情況見 "Report of the Fifth International Congress of Applied Chemistry," 1903, vol. II, p. 286.

又見 C.r., 1907, 1032; S.S., 1907, p. 313; Z. ang., 1911, 2234.

Bulletin of the U.S Bureau of Mines No. 15, p. 79. 詳載美國彈道擺之情形, 該書內並載有其他各種試法。英國 Rotherham 地方之彈道擺載於 A.K. 1912, p. 83.

又見 S.S., 1913, P. 265. "VIII. Congress of Applied Chemistry," vol. 25, P. 209.

### 猛 度

Kast, "Spreng-und Zuendstoffe," 1031 S.S.. 1906, p. 151; 1913, p. 89.

### 爆 速

C.E. Bichel, "Testing Explosives," 由 A. Larnsen 譯為英文本, London, 1905。

Kast, "Spreng-und Zuendstoffe," 1025.

"V. Congress of Applied Chemistry," vol. II, p. 327.

"VIII. Congress of Applied Chemistry," vol. III, b, p. 28.

Bulletin of the U.S. Bureau of mines, No. 15, p. 92.

C.r., 143, (41. P.S., XVI. 27; XVII. 154. S.S., 1908.  
p. 403; 1913, pp. 65, 88, 90, 133, 155, 172.

### 壓 力

S.A. Noble, "Artillery and Explosives."

C.E. Bichel "Testing Explosives."

Phil. Trans., 1905 p. 357. S.S., 1908, p. 366.

### 爆 熱 量

C.E. Bichel, "Testing Explosives."

S.S., 1907, pp. 281, 306; 1908, p. 496.

Bulletin of U.S. Bureau of Mines, No. 15, p. 111.

### 爆 溫

C.r., 1881, 1614.

Z. el. ch., 1909, 536; 1910, 897.

S.S., 1907, P. 306; 1909, pp. 281, 305, 388; 1910, pp.  
205, 248, 266, 291, 310, 376, 399, 452, 474.

Bulletin of U.S. Bureau of Mines, No. 15.

### 測時術及彈道學

F. Bashforth, "Experiments made with the Bashforth Chronograph," Cambridge, 1890—1900.

B. Glatzel, "Elektrische Methoden der Momentanphotographie," Brunswick, 1915.

J.M. Ingalls, "Interior Ballistics," New York, 1912.

P. Charbonniere, "Balistique Interieure," Paris, 19 8.

C. Cranz, "Lehrbuch der Ballistik," 4 vo s.,

A.C. Crehore and G.O. Squier, "Polarizing Photo-Chronograph," New York, 1897

T. Kozak, "Einfuehrung in die aeussere Ballistik," Vienna, 1911.

彈丸對於空氣之激動情形之照片見 S.S., 1911, pp. 261, 330,

## 第十一章 感度及安定性

### (物理安定性及化學安定性)

欲求火藥適用，其感度及安定性必合乎相當條件。除用於底火或雷管之起爆藥外，凡一切火藥，對於機械激動不可過於敏感。否則，運用與搬移難保安全。同時對於爆炸必相當敏感，當位於附近但不相接觸之同類火藥之另一藥包爆炸時，應易於殉爆。火藥之殉爆感度，必求其相當靈敏。蓋實際爆破時，鑽孔內之藥包，恆不止一個，而各藥包間又每因填塞欠妥，留有空隙，或因裝藥時灰土落於孔內，致時有藥包彼此不相接觸之情形。裝雷管之藥包原只一個，設如火藥之殉爆性不良，則一部分藥包將不爆炸，事後能因鋤或鏟之無意碰擊而有發生意外之可能。

火藥之合乎實用者，其安定性必亦甚佳，蓋當貯存期內，苟引起化學分解作用，則易因失去爆發性不再爆炸，例如雷汞，或因性變非常敏感甚至發生自然爆發，例如硫黃與氯酸鉀之混合物是。凡有機硝酸酯類，常溫時概具自然分解而生成硝酸之傾向。此反應有時甚緩慢。但能因酸類之接觸作用而大形變速。因酸質係分解作用自身所生成，該變化為自身接觸反應。故試驗一切火藥發生酸質之相對速率，實為極重要之事。阿貝爾耐熱試驗 (Abel heat test) 即係為

此目的而設。其法缺點雖多，但仍能予安定性以滿意結果，氯酸鹽與硫黃所以發生危險，乃因空中氧氣將極微量之硫黃氧化為硫酸，而此硫酸進而促成高過危險性之氯酸也。

除化學安定性外，物理安定性亦屬重要。例如多數猛爆藥皆易析出硝化甘油，因硝化甘油對於衝擊極為敏感，故火藥雖未起化學分解，而其感度則已大為增高。爆炸膠最易析出硝化甘油。「解里尼忒」與膠質猛爆藥情形稍好，其中所含之木屑能以防止液態硝化甘油之析出。潮解性亦為物理安定性之一種。凡含有吸溼性物質如硝酸銨之火藥，極易吸收水分，短時間內可變至完全不能再用。火藥對於熱之作用，關係亦不小。例如點火之變化即其一例。吾人所需要之熱性，就安全觀點言，點火後只能平靜燃燒而不可爆發。最後對於粉狀混合火藥，尚須檢驗其混合勻緻性。如其混合不勻，則所含各成分，因震動關係有相互分離之虞。例如搬運時之震動即其一因。成分失勻之火藥，使用時之結果常不規則。

## 機械激動

機械激動可分為摩擦激動與打擊激動二種。測量兩種火藥對於摩擦相對感度之比較試法，因摩擦之標準難於決定而大感困難。一般僅可藉種種方法得其概念。例如在盡量相似之情況下將各藥樣用研钵研摩，用手或最好用擺之裝置予以側逸方向之衝擊等是。

直接打擊之作用，最易舉行。普通概採用落錘試驗（falling weight test）。此器械為一圍有圓筒之鋼砧，筒中插有能上下移動而不能橫行運動之活塞。將火藥平舖於鋼砧上，次將活塞插入筒內，使

其底壓着火藥。乃自一定高度處降落一定重量之重錘，使打擊於活塞頂部。逐漸增加落高，至發生爆炸為止。重錘沿直立導桿自由下落，使為真正之打擊作用而非為側逸之打擊。本器械之構造如圖 34 所示。

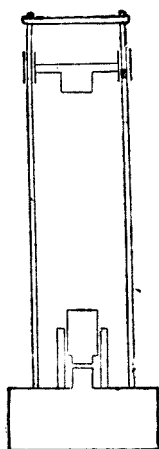


圖 34 落錘試驗器

依據理論，打擊之力，係以錘重與打擊時之速度之乘積計算。即  $F = M \times \sqrt{2gS}$  或  $F = 8 M \sqrt{S}$ 。式中  $M$  為重錘之質量， $S$  為重錘之落高， $g$  為重力加速率。換言之，打擊之力，應與錘重與落高平方根之乘積成比例。但實際並非如此。試驗之結果，不及數學上的理論值之正確。此試驗之結果，依藥層之厚薄，火藥之物理性（密度，粒狀，大小等之），火藥接觸表面之性質，以及溫度等等而不同。是故欲得可以互相比較之結果，當舉行試驗時，必須在嚴格的標準情況下舉行之。萬國會議曾規定其試法如下：

鋼砧與活塞俱用淬火鋼料製成。鋼砧裝於堅固基台之上。二者之橫斷面積各為  $127 \text{ mm}^2$ （即直徑為  $1.27 \text{ cm}$ 。），每次用火藥  $0.05 - 0.1 \text{ g}$ 。藥量增減之標準，似以當火藥均勻舖於鋼砧上時藥層之厚度合乎標準規定為準。火藥臨用前，須先置於氯化鈣乾燥器中將其乾燥，每次試驗，皆須用未曾用過之新藥樣。試驗溫度以  $18^\circ - 20^\circ \text{ C}$ 。為標準。所用重錘之重量為  $2 \text{ Kg}$ 。

上所述者雖係「官方」所規定，但似並未普遍採用。大多數之已知結果多係就種種不同之情況試驗所得。下列數字示其大概，乃係在第六屆應用化學大會時 Will 氏所發表，Will 氏在  $40^\circ \text{ C}$  將火

藥烘乾，試樣重 0.1 g. 將試樣禁錮於二個鋼質表面之間，而以重 2 Kg. 之落錘打擊之。

Mercury fulminate (雷汞)	2 cm.
Nitroglycerine, dry (硝化甘油)	4
Lead picrate (苦味酸鉛)	5
Dinitroglycerine (二硝酸甘油)	7
Dynamite NO. 1. (一號猛爆藥)	7
Dynamite NO. 1. frozen (一號猛爆藥, 結凍)	25
Blasting gelatine (爆炸膠)	12
Blasting gelatine, frozen (爆炸藥, 結凍)	12—15
Gelatine dynamite (膠質猛爆藥)	17
Gun powder, sporting (黑藥, 獵槍用)	70
Gun powder, blasting (黑藥, 爆破用)	85
Cheddite, type 60 (瑟狄忒, 60 號級)	32
Cheddite, type 41 (瑟狄忒, 41 號級)	36
Tetry (特出兒)	40—35
Hexanitrodiphenylamine (六硝基二苯胺)	40
T.B.T. (梯恩梯)	57—180
Dinitrobenzene (二硝基苯)	120
Trinitroaphthalene (三硝基萘)	175
Ammonium picrate (苦味酸銨)	89
Picric acid (苦味酸)	35—95
Guncotton (15% H <sub>2</sub> O) (強棉 含水 15%)	85
Collodion (15% H <sub>2</sub> O) (弱棉 含水 15%)	100
Nitrocellulose propellants (硝化纖維無烟藥)	30—54
Astrite (阿斯出里忒)	110



Donarite (到拿銳忒)	110
Guncotto (30% H <sub>2</sub> O)(強棉, 含水20%)	185 以上
Collodion (2% H <sub>2</sub> O)(弱棉, 含水20%)	185 以上

下表示以用各種錘重試驗之結果, 每次皆用藥量 0.1 g. 用錫箔包裹, 落高以公分計。

火 藥	成 分	0.1 Kg	0.5 Kg	1 Kg	2 Kg	5 Kg
Guncotto.1	乾燥	3—40	5—10	5—10	5—10	—
Guncotton	含水分 15%	—	15—20	10—15	10—15	5—10
Picric acid	結晶	—	—	100—200	100—110	50—50
Picric acid	壓縮後	—	—	—	140—150	80—90
T.N.T	結晶	—	—	150—190	90—100	50—50
T.N.T	壓縮後	—	—	—	150—160	80—90
Carbonite NO. 2	N.G. 90 NaNO <sub>3</sub> 24.5 錳粉 40.5 K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 7.0	60—70	10—20	10—20	10—20	—
Donarite	N.G. 8.8 C.C. 0.2 AmNO <sub>3</sub> 80.0 T.N.T 12.0 麵粉 4.0	—	—	120—130	60—70	15—20

美國礦務局 (Bureau of Mines) 採用一甚大之器械, 每次可用較大量之火藥 (20 g.), 落錘計重 200 Kg. 據稱由此所得結果, 因與實際應用情況較為接近, 故其價值自亦較大。用此大機所得結果與用小機所得者殊不一致。

## 爆 炸 (detonation)

火藥之爆炸感度, 多依其物理性狀為轉移。密度增加, 則其爆炸

感度隨之減低。大多數之火藥，在大密度時，性極鈍感，至使其或者完全不能爆炸，或者即使勉強起爆亦不能全炸。溫度降低，感度亦減小。反之，如溫度升高，則感度自亦加大。

爆炸之難易，可由極簡便方法測之。用強度不同之各號雷管試驗火藥之起爆性，求出在試驗情況下能使該火藥完全爆炸所需最弱之雷管，即可知之，對於需用感度略大之火藥為傳爆藥始能完全爆炸之鈍感性火藥，其所需傳爆藥之最小限度，亦可藉同一方法測知之。

### 殉 爆 (influence)

一種火藥，其一個藥包所能引爆與其本身距有空氣隙之另一藥包之能力，有賴於火藥之感度及爆速，因而亦有賴於其物理性狀。此外，尚有賴於藥包所居位置之表面性質。當藥包空懸於空中時，爆波僅能藉空氣傳播，故殉爆力最小。但如藥包放於堅硬之固體上面（如鋼鐵）時，則大部分之爆波經固體物質而傳播，故其殉爆力最大。測定殉爆距離，可用逐次試放法測之。將藥包與藥包相隔之距離漸次增大，至其不發生殉爆為止。如是所得結果，多依火藥而異。其數值自不及一時起以迄於數呎止，此外，亦有賴於火藥之分量。例如當發生災害時大量火藥之爆發，其所能使他處火藥殉爆之距離有時甚大也。

依此原理，曾用以測驗空氣中爆波之進行速度。此可用爆炸導火索試之，其法與試驗爆速相似。（見前第十章）。取藥包二個，使其具雷管孔之一端彼此正相對直，而懸之於空中。各插雷管一枚而用

爆炸導火索使其連接，乃用另外獨立之雷管將一個藥包起爆，於是通過空氣之爆波速度可藉爆炸導火索之變化求得之。據試驗，得知經過空氣而開始前進時之爆波，與在藥包本身內部進行之爆波，二者速度約略相等，所不同者，每通過空氣一公分，則其空中速度每秒鐘約減少 50 m.

### 熱與點火 (heat and ignition)

火藥發火或爆發之溫度，依加熱時溫度增升之快慢為轉移。並非如純淨化學物質之熔點一樣，而係一不定之數值。其性狀與未達熔點前即已開始分解之化合物之熔點，頗相類似。蓋如加熱徐緩，殊難得其確數，反之，苟加熱迅速，則分解作用不盛，影響極微時，該化合物即能熔化，此時方能得到相當正確之熔點。故常測驗火藥發火點時，須先舉行預備試驗，以較緩之加熱求其近似熔點，而後再作正確之試驗。在將火藥插入熔器之前，須先將其預熱至該溫度附近再行試驗。用此方法，試得硝化甘油之發火點約為 170°C，硝化棉之發火點較此約高 10°—20°C。

由安全觀點言，凡火藥偶經無意之點火，務求其只能平靜燃燒而不至爆發。然事實上當時火藥之變化情狀多視其點火方法而不同，如火藥之密閉程度及其為量多寡均是。故由實驗室所得之結果，價值不大。僅可藉各種不同方法點火於小量火藥，以得一二比較有用之指針而已，例如用火柴點火，用緩燃導火索點火，以及投擲小量火藥於灼熱皿內皆是。照例，如為量較小時，硝化甘油火藥只猛烈燃燒，不至爆發。然苟其為量甚多，則能爆炸。另一方面，以硝酸鉍為主

要成分而另加少量芳香族硝基化合物裝成之火藥，幾無可燃性。然如其爲量甚大而加以高熱時，則亦能發生爆炸。

### 勻緻性 (incorporation)

黑藥及其他只含固體成分之火藥如硝酸銨火藥者，苟其混合不勻，當受搬運震動時，各成分有發生分離之現象，因而或至全不能爆炸，或者發生不規則之結果。測量火藥是否混合勻緻，可取火藥置於搖振儀內將其振盪數小時，最好使盛有火藥之器皿藉歪心輪與槓桿之作用，起反覆上升與下落於金屬座之運動，如是經過相當時間之振盪後，分別收集上下各層之火藥而分析其成分。

### 吸溼性或潮解性 (deliquescence)

火藥吸收空中水汽之多少甚關重要。尤以對於含有強吸溼性鹽類如硝酸銨或硝酸鈉時，最爲緊要。蓋如吸收潮溼至達某種程度後，則該火藥不復再能爆炸也。又如係硝化甘油火藥，則因吸收水分之關係而致析出硝化甘油而引起危險。火藥吸溼性之主要原因，有賴於其所含成分之性質，但其混合方法之不同，自亦不無影響。不是吸溼性成分之火藥，如芳香族硝基化合物，如用熱法舉行混合，可有防水作用之妙。因吸溼性係一種表面作用，故當然亦有賴於火藥粒狀之大小與孔性之多寡。檢驗火藥之吸溼性，以與他種火藥在同一情況下比較其吸收水分之程度爲最佳方法。稱取定量之火藥，置錶面皿上，放於空氣中。經過相當鐘點後測驗其所增加之重量。按空氣溼度，日有不同，是故最好將火藥放置於密閉器內，保持一定溫度。並

用盛水或盛鹽類飽和溶液之淺皿，維持器內空氣溼度，使其固定不變。

## 滲出性 (exudation)

英國內務部規定測驗火藥滲出性之章程如下：於藥包上切取長度約等於藥包直徑之藥柱，使其兩端齊平，邊緣銳利。乃用針通過藥柱縱軸而將其刺於一平面上。除去包皮，置於 85—90 F. (29.4°—32.2°C.) 之溫度，繼續 144 小時之久。然後檢查其頂端表面，必須仍保持齊平，其邊緣必須仍保持銳利。其高度之減小，不可多於 25%。美國製混合猛爆藥，極易因吸收水分而析出硝化甘油。故在美國須舉行三種試驗。其一，將火藥柱夾於棉墊間，以每方吋 80 磅之壓力加壓一分鐘，其所損失之重量不可超過 3%。其二，用棉墊包裹，加以離心力，其損失量不可大於 3%。其三，就其直立狀態，在 40°C. 之溫度加烘六日。

## 萬國會議

西曆 1912 年舉行之萬國會議，為確定火藥搬運時之安全起見，關於火藥試驗，曾規定下列數種試法：——

### I. 預備試驗

同一種火藥，取未經乾燥之 10 g. 試樣二個，放入直徑 35 mm. 高 50 mm. 之稱瓶內，加蓋封閉。在 75°C. 之溫度烘四小時後，火藥不得發生分解，其外觀不得發生變化，亦不得發生任何氣味。

## II. 機械激動

將藥樣烘乾粉碎，稱取 0.05—0.1 g.，舖於直徑 1.27 cm. 之鋼砧上，而舉行落錘試驗。該火藥之感度，決不可較同樣情況下同重量之純淨乾燥粉狀苦味酸為大。

## III. 磨 擦

將藥樣置於未塗釉之磁研钵中研磨之，溫度為 25°—30°C.，使與同樣處理下之苦味酸相比較。

## IV. 火

(a) 取藥着 3g. 裝於試管底部，用緩燃導火索試其可燃性。如其能以點火，則該火藥須歸於爆燃與易燃火藥類中。

(b) 將直徑 12 cm. 之半球形鐵盤燒至灼熱，投藥樣其中。最初投以 0.5 g. 之藥樣，設如無爆炸與爆燃發生，則須逐漸加多其藥量至 5 g. 為止。

(c) 稱取藥樣 100 g. 置於石棉板上，用燒至櫻桃紅熱(約 900 C.) 直徑 15 mm. 之鐵棒接觸之，則火藥只應徐徐燃燒而不可發生爆炸。當灼熱鐵棒移開後，火藥之燃燒應立即停止。

萬國會議將其議決文用法英二種文字付印。然因英譯文頗多費解處，故上述者係根據法譯文擇譯而得。

## 耐熱試驗

耐熱試驗係阿白爾氏 (Abel) 所發明。最初用以試驗強棉之安定性。其原理，係將火藥在規定情況下加熱，而測驗其能使澱粉碘化鉀試紙變色所需之時間。舉行該試驗之確實情況，曾數經改動，嗣於

1909年英國政府指定一特別委員會專門研究此問題，規定檢驗各種火藥所需之標準情況。其第一次報告於1914年發表。在英國，即以耐熱試驗為一切火藥安定性之標準檢驗法。不論任何火藥，苟不能合乎此試驗者，則不得發售，亦不得搬運。因該章程規定耐熱試驗之如是其重要，關於舉行試驗時之情況，不得不詳加敘述之。

凡舉行耐熱試驗時，必須時刻想到該試驗之異常靈敏性，必須絕對求其嚴格精潔。試驗室係專用，地板與壁須時常洗滌。除本試驗所需之試藥外，室內不得存有任何他種藥品。該室距製酸廠之距離務求其遠。出入該室之人員，須力求其少。工作者須時常洗潔其手，並須用蒸餾水沖洗之。直接陽光不得射入室內。

大多數之工廠，皆向 Waltham Abbey 地方之皇家火藥廠 (Royal Gunpowder Factory) 購置試紙，尤以與政府訂有合同之工廠為然。試紙製法，官方規定如下：

取市上購來之最純碘化鉀，臨用前以加蒸餾水  $\frac{1}{20}$  稀薄後之純淨乙醇舉行三度再結晶。結晶體務求其小，須置於潔淨濾紙上在暗處乾燥之，濾紙則放於玻璃板上。乾後，移於鉑坩鍋之底部使形成薄層，而用以純乙醇為燃料之酒精燈加熱燒至暗紅色計一分鐘。

所用澱粉為玉蜀黍澱粉。臨用前用新製成之蒸餾水洗滌六次，而後置於未塗釉瓷板上，放於黑暗而溫暖之屋中舉行乾燥。

配製溶液，取澱粉 3 g. 攪拌於 30 c.c. 之蒸餾水中。將此乳狀液傾於 220 c.c. 之煮沸新製蒸餾水內，蒸餾水盛於耶拿玻璃瓶之中。乃用以純乙醇為燃料之酒精燈加熱五分鐘。使其徐徐沸騰，並不時搖盪之。如此所得之溶液，將其傾於含碘化鉀 1 g. 之 250 c.c. 蒸餾水中。

充分混合後，置暗室內放置過夜。次日，用虹吸管吸取上部澄清溶液，立即用以舉行浸漬。將該溶液移於特製磁盤中，將帶狀濾紙，除去帶之兩端各留 3 cm. 外，其餘全部通過溶液表面以下者一次，乃藉濾紙乾燥之一端懸掛空中，而以潔玻棒自濾紙兩邊括下，去其多餘之溶液。事後置於溫暖暗室中涼乾。乾後，裁去未浸溶液之兩端，又沿兩邊各 0.5 cm. 處亦裁去之。裁下之累帶無用，棄之可也。於是將其餘之大部分試紙剪成長 2 cm. 寬 1 cm. 之長方形紙條，裝入棕色玻璃瓶中貯存。剪製試紙，工作者須帶用潔淨棉手套，配製試紙工作須在特設專室內舉行。室中在不妨害工作可能內，須力求其黑暗。該委員會所發行之小冊上，載有檢查試紙敏感性之試法。

所用濾紙品質之良窳，甚關重要，該委員會迄未能予以確實之規定，僅不過提有下列之數條件而已：——

(1) 須純由標準棉纖維製成，強度須大。須不含任何夾雜料或填充料。

(2) 表面須平滑潔白，紙之二面須力求其相似。

(3) 濾紙纖維之平均長度為  $2 \pm 0.5$  m $\mu$ .

(4) 厚度須為  $0.18 \pm 0.2$  mm. (用 Ciceri Smith 式註冊定壓測微儀)。

(5) 製造濾紙之最後手續，須用蒸餾水充分洗滌，再置於潔淨之空中涼乾。

(6) 不得含任何雜質，尤以酸類、鹵、及過氧化物為不可。

(7) 以濃度 3% 之苛性鈉液煮一小時後，所損失之重量不可大於 7.5%。



(8) 與加等量沸水後之斐林液 (Fehling solution) 在  $100^{\circ}\text{C}$ . 煮沸 15 分鐘後, 所生成之一氧化銅, 爲量不得超過其本身重量之 1.25 %.

(9) 濾紙尺寸, 每張長 50 cm, 寬 15 cm, 須裝於氣密錫筒中, 每筒容紙 100 張。

配製標準色紙, 取極細黃赭土 (yellow ochre) 0.48 g., 生琥珀 (raw umber) 0.2 g., 又阿拉拍膠 (gum arabic) 5 g. 用瑪瑙研砵將其各別充分磨細, 用冷水 100 c.c. 處理之, 至阿拉拍膠溶解爲止。放置一小時後, 用尖筆自試液中央蘸取試液在濾紙上畫成寬度 0.5—1.0 mm. 之直線備用。

由上法所製標準色紙, 並不十分滿意。蓋因商品之顏料, 品質極爲參差也。但在英國內務部, 始終保存有一嚴密封閉之標準色紙, 可資比較。

舉行耐熱試驗所需儀器爲一固定水平面之銅製水浴器。器蓋上設有平均分布之圓孔七個, 其中央一個圓孔, 插入溫度表, 其餘六個圓孔則供插入裝藥樣之試管用。浴器內水之深度, 保持在器蓋下 1 吋深。試管長 5 吋, 自管底起, 計在 3 吋, 3 吋, 及 5 吋三處共刻痕三條。最下方之刻痕, 指示試管插入浴器之深度, 卽以此刻痕與器蓋相齊平爲標準; 中間之刻痕, 指示試紙乾溼二部分交界處之位置; 最上方之刻痕, 則指示橡皮塞下端所至之深度。試驗時如下法預備試樣而裝入試管內。取試紙一塊, 懸於熔接在玻棒上之白金絲鈎上, 玻棒插入橡皮塞內。用由等容積蒸餾水與純甘油 (B.P. 規格) 之混合液將濾紙上端潤溼。乃將橡皮塞插入試管, 再將試管插於浴器蓋之

圍孔內，覆以不透光之紙帽以隔絕光亮。水浴器之溫度，依所試火藥種類之不同，或為 160° F. 或為 170° F. 注意觀察試紙乾溼交界處淡棕色線之出現，至其色澤強度約與標準色紙之色相同，而記錄其所需之時間。

(譯者按：現今德國舉行耐熱試驗之水浴器溫度為 80°C.，約合 176°F. 我國亦採此溫度)

做此試驗，必須絕對清潔。切不可用手直接接觸試紙，必要時只可用小鑷子夾持之。

預備試驗用藥樣時，藥包或藥柱之兩端部分通常切去不用。茲將各種火藥之耐熱試法略述如下：——

I. 猛爆藥以及其他便於用水提出硝化甘油之含硝化甘油火藥

取直徑  $5\frac{1}{2}$  cm. 玻璃漏斗一個，上置濾紙。稱取藥樣 13 g. 裝於濾紙上，用玻棒壓之使平。移漏斗於耐熱試驗用試管上，加水漏斗中，於是藥樣中之硝化甘油為水所置換，量取其 2 c.c. 而用之。所用試管係專用，其下端與 2 c.c. 容積相當之位置具有刻痕。苟有水分與硝化甘油同時漏下，則須另取新試樣再另提取。

11. 「卡榜尼忒」(carbonite) 以及所含硝化甘油不便於用水提出之脆性類似火藥

稱取試樣 3.2 g. 移入試管，用平頂玻棒壓縮之，使其高度為 3 cm.

111. 柯達無烟藥以及其他屬於 class 3, division 1 之發射藥  
如火藥係桿狀或管狀 先用濾紙拭淨，切棄其兩端，將所餘部分

切成  $\frac{1}{2}$  吋長之小粒而施磨碎並篩分之。委員會曾規定有標準磨藥機及標準藥篩。每次試驗，需磨碎篩過之藥樣 1.6 g.，藥樣裝入試管後，彈動試管使藥樣均勻即可使用。而無須加壓。苟火藥原係小粒狀，可不必磨細與過篩。帶狀或管狀之純硝化纖維無烟藥試法同此。

#### IV. 硝化棉漿 (N.C. Pulp).

取藥樣夾於六層濾紙中而壓縮之。稱取壓過後之硝化棉粉 5 g. 盛於鋁盤上，在 48.9 C. 之溫度加烘 15 分鐘。乃在標準情況下將已乾藥樣過篩，再涼置空中者四小時，稱取其 1.3 g. 裝於耐熱試管，壓縮之使其高為 3 cm.

小粒狀之純硝化纖維無烟藥，其耐熱試法與強棉漿同。但無須過篩，又先前用濾紙壓除水分之手續當然亦省去。

#### V. 壓縮狀強棉。

自硝化棉壓縮體之中央用角匙括取藥樣，加冷蒸餾水攪拌 15 分鐘，傾去水分，加水再洗，而後依照強棉漿之試法試之。

#### VI. 「白里忒」(bellite) 及其類似火藥。

試樣重 1.3 g. 彈動試管使藥樣落於管底。

#### VII. 膠質火藥。

稱取試樣 3.2 g. 置於木研砵中（研砵用 wedgwood 製成），加法國白堊土 (French chalk) 6.5 g.，用木研砵錘（亦由 wedgwood 製成）研磨之。先將其研壓，再運用研砵錘作旋轉動作而舉行研磨。此研壓工作，爆炸膠需  $1\frac{1}{2}$  分鐘，膠質猛爆藥需 1 分鐘，「解里尼忒」需  $\frac{1}{2}$  分鐘。至於旋轉研磨工作，則一律為  $\frac{1}{2}$  分鐘。經研磨後，該混合物須具勻緻之外觀。乃裝入耐熱試管中，輕壓之使其高度為 5 cm.

該委員會發覺品質不同之法國白堊土，用於耐熱試驗能發生相異之結果。雖然如此，但亦無他種更適宜之代替品可尋，亦不能確定其規格。僅能限制下述之範圍：——

(1) 所含水分須在 0.5% 以內。

(2) 假比重：當其容積為 50 c.c. 不加壓縮或彈動時之重量，須為  $23.5 \pm 1$  g.

(3) 對於篩絲直徑 0.075 mm. 每平方公分 6400 篩眼之篩，不加任何摩擦，須能通過之。

(4) 所含可溶性鹼質，以  $\text{CaCO}_3$  計，應在 0.1% 以內。

(5) 加鹽酸共熱時，所放出之  $\text{CO}_2$ ，至少應為 0.25%，至多不可超出 1%。

(6) 在 100 C. 烘乾後 曝露於 15—20 C. 飽和水汽之大氣中，經過 24 小時後，所吸收之水分量不可超過 0.5%。

臨用前用蒸餾水洗滌，在 65—70 C. 烘乾。再在飽和水汽之大氣中放置 24 小時。此限制雖難稱令人滿意，但為尋求適於耐熱試驗用之確實化合物已不難得到矣。

下表露布各種火藥之試驗溫度及試藥重量，以及其應能耐熱之最少分鐘數。

火 藥	試 藥 量	試驗溫度	耐熱時間
由猛爆藥抽出之硝化甘油	2 c.c.	160° F.	15
脆性硝化甘油火藥	3.2 g.	160° F.	7
膠質火藥	3.2 g. + 6.5 g. 之 法國白堊土	160° F.	10

柯達無烟藥及其他含硝化甘油無烟藥	1.3 g.	165°F.	10
硝化棉, 水漿或壓縮體	1.3 g.	170°F.	10
純硝化纖維無烟藥	1.3 g.	170°F.	10
「白里忒」及其類似火藥	1.3 g.	170°F.	10
Mk. 1 柯達藥及 MD 柯達藥(英政府合同規定)	1.6 g.	180°F.	30

多數國家皆單獨採用耐熱試驗或與他種安定試驗連合用為檢驗火藥安定性之標準試法。但其詳細試法常與英國所用者不無差異之處。苟能規定國際統一試法，各國概行採用，則便利良多。按耐熱試驗之缺點為太靈敏，易為微量之某種化學藥品所矇蔽。例如氯化汞即其一例。乙醇及醋酸乙酯能延長此試驗之耐熱時間。是故凡用此等溶劑膠化製成之純硝化纖維無烟藥，只憑此一試驗，難得正確結果。反之，如有極微量之臭氧或過氧化物存在時，則耐熱時間大為減小。草酸亦具同樣之性質，惟尚不至實際影響火藥之安定性而已。

將耐熱試驗作為火藥製造人之依據標準，自甚合用，但如引為決定安定性之保證，則似信賴過甚。蓋因苟非同時細心舉行火藥分析，則實際不安定之火藥可能合乎耐熱試驗之規格；反之，真正安定之火藥反有不能及格之可能。此試驗確太銳敏，僅需  $135 \times 10^{-6}$  mg. 之過氧化氫即足以變色如標準色紙之程度。另用較此更為可靠之試法，亦不無他種困難。計有下列之數種試法。按一切安定試驗，可別為三大類，即與阿爾耐熱試驗性質相同之試法，藉鑒定極微量之氧化氮以為標準；將火藥在高溫加熱，藉發生可視烟雲，或自身溫度升高，或發生爆發等以為標準；以及藉測定氧化氮之真實分量為標準之定量試法。關於痕跡試驗 (trace test)，茲略述 Guttrann,

Spica 及 Moir 三法如次：Guttman 試法所用試紙，塗有二苯胺之稀硫酸溶液，以該試紙之變色時間為標準。此法不至為氯化汞、乙醇或醋酸乙酯等所朦蔽，有數國家採用之，但其精確程度亦有問題，Spica 試法與此相似，所異者為採用 *m*-phenylenediamine 與蔗糖為試藥，此法性太敏感。另一方面，Moir 試法係用  $\alpha$ -naphthylamine, sulphanilic acid 及 acetic acid 之混合物為試藥。此法敏感性更大。

Vieille 試法係用高溫加熱火藥，並採用相當鈍感之石蕊試紙。其法將火藥在 110 C. 逐日每天加熱八小時，至石蕊試紙變色合乎標準色澤為止，逐日如法試驗，直至試紙在一小時內發生變色為止。將所經過之時間之總數據為決定火藥安定性之標準。此試驗為法國官方所採用，但終覺其有過於粗魯之感。

德國方法與此相似，但較優良。其法係將藥樣在規定情況下以 135 C. 之溫度加熱（保持此溫度可用 xylol，或改用水與甘油之混合液）。觀察（1）藍色石蕊試紙變生紅色之時間；（2）發生棕烟之時間；（3）發生爆發之時間。如同時舉行多數試驗，因發生爆發之關係，覺有太麻煩之缺點。

另有一種以發生棕烟為標準之安定試法，供檢驗 MK. 1 柯達無烟藥之用。有一批柯達藥貯存已久，其耐熱試驗之時間，在 160 F. 之溫度降至 4—8 分鐘。此項安定試法，稱取已磨碎之柯達無烟藥 50 g. 裝於具真空夾套內部鍍銀之玻璃內，放置水浴器中，在 80 C. 加熱。瓶內插有銳敏之溫度表使與藥樣相接觸。玻璃瓶頸上附有側管。觀察下述各階段間所經過之時間：（1）側管內發現棕烟；（7）藥樣

之溫度開始自動升高；(3)藥樣溫度自動升高至達 82 C. 此種試法名曰銀瓶試驗 (Waltham Abbey silvered vessel test)。

定量試法之中，以 Will 式者最著稱。其法將藥樣在純淨二氧化碳之氣流中，以 35 C. 之溫度加熱。氣流之速度每小時為 100—1500 c.c.。將二氧化碳及火藥分解所生氣體通過灼熱之氧化銅與金屬銅，使一切有機質起氧化作用，同時並使氧化氮還原為氮氣。最後在濃度 40% 之苛性鉀溶液上捕集氮氣，而去其中之二氧化碳。由此所得之氮氣體積，當舉行試驗時，不時記錄之。如是所得數字，可測知火藥分解之速度。

與此類似之他種試法尚有多種，但各法較 Will 法，均無特殊優點。

## 文 獻

### 機 械 激 動

美國所採用之一種摩擦感度試驗載於 Bulletin of the U.S. Bureau of Mines, NO. 63, pp. 15 及 20。

下列各出版物中均有落錘試試驗記載：——

“VI. International Congress of Applied Chemistry,” vol. 2, p. 522.

“VII. International Congress of Applied Chemistry,” Section III, p. 23.

S.S., 1906, pp. 14, 209. Bulletin of the U.S. Bureau of Mines, NO. 66, pp. 17, 287. Marine-Rundschau 1905, 1345.

## 爆炸及殉爆

Z. ang. 1904, 546.

P.S., 1913 p. 145.

“VII. International Congress of Applied Chemistry,” vol. III. b, p. 30.

Bulletin of the U.S. Bureau of Mines. NO. 15.

## 滲出性

U.S. Bureau of Explosives Reports, Nos. 2 及 4.

S.S. 1910, p. 213. A.E., 1914, pp. 150, 162.

## 萬國會議

“VIII. Interngtional Congress of Applied Chemistry,” vol. 25, pp. 261, 305.

## 安定性試驗

“First Report of the Departmental Committee on the Heat Test as Applied to Explosives,” 英國政府出版，London, 1914, 該報告中載有耐熱試驗之應用及操作法甚為詳盡。附有該試驗所需儀器之詳細圖樣。美國方法見 A. Marshall. “Explosives,” vol. 11, London, 1917, 及 E.C. Worden, “Nitrocellulose Industry” vol. 11, London 1911.

關於耐熱試驗之研究，記載甚多。而以載於 J.S.C.I., 1910, 103 者為最有興趣。

Guttman 安定試驗由其本人記述於 J.S.C.I., 1897, 293. 又見 S.S., 19 2. p. 153.



Moir 安定試驗及 Egerton 改良後之 Moir 試驗俱見 J.S.C.I., 1913 331, 及 1914, 113.

關於 Vieille 安定試驗見 R. Escales, "Schliessbaumwolle," p. 184, 及 E.C. Worden, "Nitrocellulose Industry," vol. II. p. 969.

關於 135 C. 德國式安定試驗以下列二書記載最佳: R. Escales, "Schliessbaumwolle" p. 183, 及 E.C. Worden, "Nitrocellulose Industry," p. 971. 此外 A. Marshall, "Explosives," vol. II, p. 662 亦有記載。

關於 Waltham Abbey 銀瓶安定試驗見 "Regulations for Army Ordnance Services" 由英政府出版 (1908)。

Will 式安定試驗曾經 Robertson 氏研究, 載於 J.S.C.I., 1902, 319 及 Soc., 1907, 761. 關於此試法之其他參攷見下: ——

R. Escales, "Schliessbaumwolle," p. 186.

E. C. Worden, "Nitrocellulose Industry," P. 974.

下列各參攷書載有各種試法: ——

Z. ang., 1904 982; J.S.C.I. 1905, 347; 1912, 161.

J. Am. Chem. Soc., 30, 271; Soc., 1907, 764 S.S., 1905, p. 29, 1910, p. 121. P.S., XIV. p. 42. A.R., 1903 26; 1904, 28; 1905, 28. "VIII. Congress of Applied Chemistry," vol. III. b, pp. 147, 157. 又 R. Escales, "Schliessbaumwolle," p.p. 77—198; E.C. Worden, "Nitrocellulose Industry, pp. 968—984

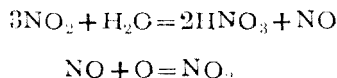
## 第十二章 結論

試一查現今適於製造火藥之各種成分，堪以實用之氧化劑，爲數之少，足使吾人驚訝不置。有機化合物中，其含氧量較其本身完全燃燒所需爲過剩者，只有硝化甘油一種。間有一二種物質。如四硝基甲烷，確含有過剩之氧，然因其不易得到，即使能以得到，亦有非常缺點，其劇毒性卽一例。此外，硝化甘露蜜醇含有過剩之氧，但價格高昂，不能普遍採用。其他物質如二硝化酒石酸，性質又極不安定。一切芳香族硝基化合物，欲使其含氧過剩，理論上原不可能。尙屬未知物之六硝基苯理論上之含氧量，亦不過僅足供其自身完全氧化之需，故欲得到一種適用之有機氧化劑，希望尙遠。實用氧化劑之屬於無機物者，最要者有三大類：卽硝酸鹽、氯酸鹽及過氯酸鹽是。至於重鉻酸鹽則爲用甚少矣。

其中以硝酸鹽價格最廉。所惜其中最適於應用之硝酸銨，吸溼性太大，爲其缺點。雖然，硝酸銨之用途仍極廣。近年來因哈伯法 (Haber) 能合成廉價之氮氣，再藉氧化法將此物氧化爲廉價之硝酸，此外硝酸並可藉電力直接自空中合成。故硝酸銨之爲用，將益爲推廣。爲防止此種火藥吸收水分，皆將藥包表面塗蠟。此外雖亦有用錫鉛合金製小筒包裝之藥包，但爲數究甚少。然後者亦有弊端：蓋當用於地下爆破時，因生成氧化鉛而有毒性。鋁箔之氧化物不具毒性，大

有使用可能；且因鉛有大量之燃燒熱，得以因之增高火藥爆炸力。試觀諸種無機氧化劑，除過氯酸鉍外，其不生固體爆發生成物者，只有硝酸鉍一種。此點亦殊值注意。

其他硝酸鹽，以硝酸鈉價格最廉，但與硝酸鉍有同樣缺點（吸溼性），惟程度略小。硝酸鉀雖無此弊，但價格昂貴，硝酸鋇與硝酸鉛俱無吸溼性，但皆有劇毒。是故該二者俱不能用為地下爆破火藥之成分。硝酸鉛除具毒性外，並能大減火藥之爆速，硝酸鹽堪稱為火藥成分中氧化劑之領袖，尤以其鉍鹽、鈉鹽及鉀鹽為然。吾人述及此處，可附帶指明者為現今人工合成硝酸工業，以製造硝酸鹽較製造硝酸為適宜。不論何種合成法，所合成者為二氧化氮而非硝酸。二氧化氮與水及空氣作用雖能變生硝酸：——



現今惟有良好之吸收塔列，可行此種成酸工作，氣體向一個方向前進，同時液體則依逆流原理自一塔之底部揚至次塔之頂部，以行吸收作用。用唧筒壓揚硝酸，原本困難，雖有矽鐵合金製之唧筒或玻璃製或硬陶製之空氣揚酸器可資使用，但前者價格過昂，後者效力又小，為憾事耳。無論如何，塔內造成之酸，其濃度不能超過 60% 以上，而此濃度之硝酸，對於大多數之硝化工作，皆因太淡，非事先加硝酸，硝酸鈣或其他之適宜脫水劑藉蒸餾法舉行濃縮後，不能使用。硝酸濃縮法雖可改良，但同時所得之稀酸，則最宜於製造硝酸鹽之用。只需加鹼類以使之舉行中和，再施行蒸發，即得其鹽類。如是製成之硝酸鹽，用以製造火藥者為數尚不甚多，大部分係用於農業上。圖

於硝酸之人工合成製法，因合成之硝酸與製自智利硝石者不同，其中不含氯，腐蝕性極微，故將來之研究，將趨向於合成工廠中化學工程方面之簡單化，必將大有發展餘地。鉻鋼本易為製自智利硝石之商品硝酸所腐蝕，但如用以處理合成硝酸，或能合用，亦未可知。

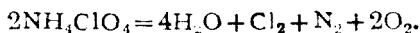
各種氯酸鹽，僅其鉀鹽使用較廣。其鈉鹽吸溼性太大，銨鹽則性不安定。其鉀鹽本以製造火柴為主，用以製造火藥者為量不鉅。因氯酸鹽火藥之感度不太大者，或貯存期內不至漸變敏感者，只有瑟狄狄一種故也。

過氯酸鹽係由電解氯酸鹽製成。性質遠較氯酸鹽為安定，含氧量亦較多。歐戰前，過氯酸鹽應用日廣，大工廠之設立，大量出產以供戰時之需，皆足以增廣其用途。試比較硝酸鹽、氯酸鹽及過氯酸鹽三者之價格，可得有趣結論。下列數字中之鉀鹽價格，為1910年之市價。表中之價格，為各鹽類每100磅之先令數，及其所含有有效氧每一磅之先令數。

鹽類	每100磅之價格	含有效氧之%	有效氧每一磅之價格
$KNO_3$	47	40	1.17
$KClO_3$	63	39.3	1.68
$KClO_4$	80	6.3	1.73

就每單位重量之有效氧 (available oxygen) 比較，過氯酸鹽之價格略較氯酸鹽為高。故過氯酸鹽雖較安全，仍係得不償失。對於一般用途，過氯酸鹽是否有與硝酸鹽競爭之機會，乃一疑問。此問題尤以最近將來硝酸可以廉價製造時為然。對於特種用途，過氯酸鹽自有其推廣之餘地。過氯酸銨，一如硝酸銨，分解後不生固體生成

物，但能發生氯氣，須與鹼金屬或鹼土金屬之硝酸鹽或有機鹽聯合使用，以供給能以固定氯氣之鹽基，此物無吸溼性，其價格（歐戰前）每磅約值 5 $\frac{1}{2}$  便士，相當於每磅有氯之價格為 3.8 先令。此價格不能與上列鉀鹽之價目比較，因此物本身即為火藥也。



使用強力雷管或傳爆管，則過氯酸鉞可能促進混合火藥之傳播，故其雖有發生氯質之缺點，其用途仍將推廣。

關於可燃體，主要者多為芳香族之硝基碳氫化合物。欲得到真正優良之火藥，凡可燃體最好須求其能以單獨爆發。現今最常用者為苯與甲苯之硝基化合物，次為萘之硝基化合物。萘之為物一如所有聯苯核化合物，其所能代入之硝基根數目，與其所含碳原子數目之比例，較非聯苯核化合物之比例為小，為其缺點。為此之故，諸如 fluo.ene, acenaphthene, pyrene 等物質之衍生物，雖可能用於染料工業，雖其能以廉價製造，但在火藥工業上，仍難採用。此種情形，試參閱下表即可知之。下表繙列化合物各分子所另需之氧原子數，以及化合物每 100 g. 起完全氧化時所需之氧之公分數：—

化 合 物	分 子 量	所需外加氧氣之數量	
		每分子之原子數	每 100 g. 之公分數
二硝基苯	168	10	94.4
三硝基苯	213	7 $\frac{1}{2}$	56.4
二硝基甲苯	182	13	114
三硝基甲苯	227	10 $\frac{1}{2}$	74
一硝基萘	253	16 $\frac{1}{2}$	160
四硝基萘	308	16	83.1

其中以三硝基苯情形最佳，但其成本太高。迄至今日尚未有能促進硝化作用之觸媒，此點殊堪注意。苟能發明硝化用觸媒，則其價值必甚大，而足使全部火藥工業發生極大之影響。

對於一般用途，欲求新可燃體之利用，希望似覺不大。舉行高級硝化雖能製成如特出兒等之高級硝化物，可用為特種用途如雷管、傳爆管等，但對於一般爆破工程則為價太昂，難於採用。歐戰時設立之多數梯恩梯工廠與其製造上所得之經驗，有促成梯恩梯為標準可燃體之趨勢。為軍用而貯存之大量梯恩梯，苟因「為量過剩」而欲設法處理時，則用以製造爆破火藥，足敷相當時期之使用。

迄現今止，向以「解里尼忒」(gelignite) 為一般爆破工程之標準高級炸藥（英國）。含硝化甘油火藥亦盛用於煤礦，但是否能長久保持此情形則為一疑問。以廉價製成硝酸銨與梯恩梯，對於含有該種成分之混合火藥，將發生極大鼓勵，且因其製造便宜而且安全，極少爆發災害諸關係，而發售價廉之硝酸銨火藥，使其用途更形推廣，例如使用於農業上等等，實為極可能之事。當時（1919年）事實上統制全英國火藥業之Merger公司（即火藥台組貿易有限公司，Explosives Traders, Ltd.）是否願如此做，尚不得知。設非然者，則各大煤礦主將大有自行設廠製造火藥之可能，而尤以在大煤礦公司之附有回收副產物之煉焦爐裝置者為然。此種公司勢將為開創合成氮氣工廠之先趨。用梯恩梯與硝酸銨製成之混合火藥，其威力可與「解里尼忒」相等。苟再加以鋁粉，即可製成爆炸力極大之「阿莽拿」火藥（ammonal）。硝酸銨火藥之吸溼性，雖多不便之處，然新式塗蠟紙包皮尚稱滿意合用，並可繼續加以改良。何況採用鋁箔包皮並

非不可能之事乎？

雷管之進步，業已廢棄雷汞氯酸鉀雷管不用，而漸改用內裝氯化鉛之複式雷管。將來之研究，或能有更完善之起爆藥發明，亦未可知。

關於發射藥之製造，雖可能發生局部之小改進，但其將來發展之情形，殊難預測。在未有新的性質合用的無烟氧化劑發明前，則將來之無烟藥，其成分較今日現行之成分，不至發生若何大變化。目下具有使用可能之二種無烟氧化劑中，硝酸鉍吸溼性太大，過氯酸鉍則腐蝕槍砲膛太甚，俱難採用。是故除非發明新的氧化劑，則無烟藥成分欲其較現今通用者起大革命，只有一途：即發明相當之「可燃體」，其物含氧充足，爆發時不生烟雲，換言之即須含充分之氧，使氫變為水，碳變為一氧化碳。按三硝基苯與特出兒似可合乎此條件，略加以少量之硝酸鉀，可製成幾乎無烟的發射藥。但不幸此等混合物猛性太大，故不能用為發射藥，迄至今日，尚無法調節其燃燒速率也。用純淨確定之化合物以製發射藥，較用不定混合物之硝化棉製成者，優點甚多，惜迄今在此方面尚無若何成功！硝化澱粉在商業上雖可能成功，但此物與硝化棉原有類似之不確定性。

近年來關於安定劑之新發明專利，為數頗不少。在此方面尚有進步。吾人所需之安定劑，須能不影響發射藥之彈道性能，同時並須不至矇蔽其安定性試驗，以免發生錯覺的差誤，免致發生安定性上之錯誤觀念。

根據歐戰經驗，發明染料工業，火藥工業以及肥料工業，彼此所有之連帶關係，非常之大。此關係自合成硝酸法實行後，更趨密切。

此外，另有一事大堪注目：即世界上最大火藥工廠之一之美國「杜邦」公司（E.A. du Pont de Nemours, U.S.A.）若干年來曾集中力量於合成染料事業。英國之「諾貝爾公司」（Nobel's Explosives Company, Ltd.）在歐戰後歸併於「火藥合組貿易公司」，曾經自染料托拉斯分得大批利潤。將各種商業集中為托拉斯之趨向，對於各股東雖然有利，然對於消費者究否為有利，則尚是問題。





# 附 錄

## 火 藥 譯 名

Acetylene copper	乙炔銅
Acetylene silver	乙炔銀
Acid mixed	混酸
Acid nitric	硝酸
Acid sulphuric	硫酸
Acid waste, acid spent	廢酸
Aerial bomb	飛機炸彈
After-flame ratio	後焰比(煤礦藥)
After separation	後分離(硝化甘油)
Aging of powder	涼藥(無煙藥)
Alcoholizing	酒精驅水(無煙藥)
Alusining explosive	含鋁火藥
Amatol	鉍梯炸藥
Amatol 40/60	四六鉍梯炸藥
Amatol 80/20	八二鉍梯炸藥
Amilol	阿米老
Ammonal	鉍鋁火藥
Ammonium nitrate explosive	硝酸鉍火藥
Ammonpulver	硝酸無煙藥
Ammunition	軍火, 彈藥
Aniline	苯胺
Azide	氮化物

Back flash	砲尾焰
Ballistic mortar test	彈道臼砲試驗
Ballistic pendulum test	彈道擺試驗
Ballistite	倍雷無烟藥
Beater	磨粉機(硝化棉)
Bichel bomb test	比氏密閉爆發器試驗
Bickford (time) fuse	緩燃導火索
Binal	二硝(基)苯(德)
Black powder	黑藥
Blank cartridge	空響彈
Blank charge	空響裝藥
Blank powder	空響藥
Blasting cap	雷管(美)
Blasting gelatine	爆炸膠
Blending	勻和
Bohrpatrone	圓形爆破藥包(德)
Boiling	蒸煮(硝化棉)
Bomb	炸彈
Booster	傳爆管
Bpowder	B型無烟藥
Brisance	猛度
Brisance meter	猛度儀
Brisance value	猛度值
Brown powder	褐色藥
Bullet	彈頭
Bullet test	槍彈射擊試驗
Cap	火帽, 底火
Celluloid	賽璐珞
Cellulose	纖維
Dead-cellulose	生纖維
Hydro-cellulose	氫氧纖維

Oxy-cellulose	氧化纖維
Wood-cellulose	木纖維
Centralite I. (Diethyldiphenylurea)	一號中定劑(二乙基二苯基脲)
Centralite II. (Dimethyldiphenylurea)	二號中定劑(二甲基二苯基脲)
Charge	裝藥
Charcoal	木炭
Cheddite	瑟狄忒
Chemical shell	化學彈
Chemicals in war	化學戰劑
Chili saltpeter	智利硝, 納翁
Chlorate explosive	氯酸鹽火藥
Coal tar	煤焦
Cocoa powder	褐色藥 (同 brown powder)
Collodion	膠棉液
Collodion cotton	弱棉
Concrete test	水泥試驗 (威力)
Copper acetylide	乙炔銅
Cordite	柯達無烟藥
Cordite MD (modified)	MD 柯達無烟藥
Cordite Mk. I. (mark I.)	Mk. I 柯達無烟藥
Cordite RDB (Research Department "E")	RDB 柯達無烟藥
Corning	透紋(黑藥)
Cotton	棉
Cotton waste	紗頭
Co-volume	餘容
Crusher gauge	測壓計
Cut powder	切造黑藥
Dynamite	猛爆藥
Kieselguhr dynamite	矽土猛爆藥
Straight dynamite	混合猛爆藥
Ammonia dynamite	硝成猛爆藥

Gelatine dynamite	膠質猛爆藥
Safety dynamite	安全猛爆藥
Dautrich method for velocity of detonation test	獨氏測爆速法
Deflagration	爆燃
Delay pellet	延期黑藥柱
Demolition	爆破
Denitration	脫硝
Density	密度
Cubic density, gravimetric density	假比重
Loading density	裝填比重
Absolute density	絕對比重
Specific gravity	比重, 真比重
Detonation	爆炸
Detonation by influence, Detonation by transmission	殉爆
Detonator	雷管
Electric detonator	電雷管
Low tension electric detonator	低壓電雷管
High tension electric detonator	高壓電雷管
Composite detonator	複式雷管
Reinforced detonator	補強雷管
Reinforced composite detonator	補強複式雷管
Dichlorhydric	二氯丙醇
Dinal	二氯(基)苯(德)
Dinitroacetin (Acetyl dinitroglycerine)	乙醯二硝酸甘油
Dinitrochlorhydric	二硝酸氯甘油 二硝酸一氯丙醇
Dinitroformin	甲醯二硝酸甘油
Dinitroglycerine	二硝酸甘油
Dinitroglycol	二硝酸乙二醇
Dinitronaphthalene (DNN)	二硝(基)萘
Dinitrophenol	二硝(基)苯酚
Dinitrotoluene	二硝(基)甲苯

Dibethylamine	二苯胺
Drop hammer test	落錘試驗
Duration of flame	燃燄時間
Dusting	除粉(黑藥)
Dynamite glycerine	炸藥(用)甘油
Explosion	爆發
Explosive	火藥(一切火藥之總稱)
Explosive mixture	混合火藥
Explosive compound	化合火藥
Low explosive	緩性火藥(低級火藥)
High explosive	猛性火藥(高級炸藥)
Propellant explosive (Propellant)	發射藥
Bursting explosive (Buster)	炸藥
Blasting explosive (Blaster)	爆(破)藥
Booster explosive (Booster charge)	傳爆藥
Initiating explosive (Initiator)	起爆藥
Military explosive	軍用火藥
Industrial explosive, Commercial explosive	工用火藥
Explosive D (Ammonium picrate)	D炸藥(苦酸鈉)
Safety explosive	煤礦安全爆藥
Coal mine explosive	煤礦(安全)火藥
Permissible explosive	准用爆藥(美)
Permitted explosive	准用爆藥(英)
Explosif S.G.P.	煤礦安全爆藥(比)
Explosif anigrouteux	煤礦安全爆藥(法)
Schlagwettersichere Sprengstoff	煤礦安全爆藥(德)
Earth test	炸地試驗
E.C.Powder (Explosive Company powder)	E.C.無烟藥
Electric igniter	電火管
Erosion	腐蝕
Ether-alcohol	醇醚合劑
Explosion point	發火點

Exudation	滲出性(猛爆藥)
Falling weight test	落錘試驗
Favier explosives	乏未俟火藥
Fire damp	沼氣
Fire-works	烟火
FNH Powder (Flashless non-hygroscopic powder)	FNH 無烟藥(無談弗潮無烟藥)
Force of explosive	火藥之比壓
Fragmentation test	破片試驗
Fuse	信管
Percussion use	碰炸信管
Time fuse	時間信管
Combination fuse	雙用信管
Mechanical fuse	機械信管
Full charge	滿裝藥
Fuellpulver 02	02 式炸藥, 梯恩梯 (德)
Fuell, pulver 20/80 = Amatol 80/20	八二按梯炸藥 (德)
Fulminate	雷酸鹽
Fulminating sugar	硝酸糖
Gas pressure	膛壓(槍砲)
Gas shell	毒氣彈
Glazing	光藥(黑藥)
Granatfuellung 88	八八式炸藥, 苦味酸 (德)
Granulating	造粒
Greek fire	希臘火
Gun cotton	強棉
Gun powder	黑藥
12-bore gun	十二號獵槍
16-bore gun	十六號獵槍
Heat of formation	生成熱

H at of explosion	爆熱量
H at test	耐熱試驗
H is test	海氏猛度試驗
Hexanitroethane	六硝(基)乙烷
Hexogen (Cyclotrimethylen trinitramine)	海掃更
H xyl (Hexanitrodiphenylamine)	海希爾(六硝二苯胺)
H. E. shell (High explosive shell)	開花彈
High explosive shrapnel	開花子母彈
Horizontal test	平臥試驗(雷管)
Hygroscopicity	吸溼性
Ignition temperature	發火點
Illuminating shell	照明彈
Incendiary mixture	縱火劑
Test for initiating power	起爆力試驗
Incorporating	壓和(黑藥)
Incorporating machine	壓機和(黑藥), 拌藥機(無烟藥)
Incorporation	拌藥, 膠化(無烟藥)
Iron crucible test	鐵坩堝試驗(猛度)
Kast brisance test	卡氏猛度試驗
Kneading	拌藥, 膠化(無烟藥)
Kneading machine	拌藥機(無烟藥)
Labile	不安定的
Labyrinth	沈澱曲道
Lead azide	氮化鉛
Le Boulanges chronograph	卜朗西測速儀
Lead plate test	鉛板試驗(猛度)
Lead styphnat (Lead trinitrate sorbate)	斯蒂酸鉛
Lintels	短花
Lyddite	里帶特(苦味酸)(英)



Match, slow	緩燃引線
Match, quick	速燃引線
Match, instantaneous	瞬燃引線
Melinite	賈里尼忒(苦味酸)(澆)
Melting point	熔點
Mercury fulminate	雷汞
Metteng method for velocity of detonation test	麥氏測爆速法
Milling	壓和(黑藥)
Mineral jelly	礦膠, 凡士林
Miner's squib	礦用引線
Mortar	白砲
Mortar test	白砲試驗(威力)
Moulded powder	模造黑藥
Muzzle flame	砲口焰
Muzzle velocity	初速
Nail test	釘試驗(雷管)
Nitration	硝化
Abel nitrating process	阿貝爾硝化法
Direct dipping nitrating process	直浸式硝化法
Ce trifugal nitrating process	離心式硝化法
Displacement nitrating process	置換式硝化法
Nitrator	硝化器
Nitrator-separator	硝化分離器(硝化甘油)
Nitric ester	硝酸酯
Nitrogen content	氮量
Nitrocellulose	硝化纖維, 硝酸纖維
Nitro-compound	硝基化合物
Nitroglycerine	硝化甘油, 硝酸甘油
Nitromannite, nitromannitol	硝化甘露糖醇
Nitrosta ch	硝化澱粉, 硝酸澱粉
Nitrostarch explosive	硝化澱粉火藥

Nitrosugar	硝化糖 硝酸糖
Nitrous acid	亞硝酸
Oleum	發烟硫酸
Ordnance	兵器, 槍砲, 兵器學
Oxyliquit	液氧爆藥
Pendulum friction test	振擺摩擦試驗
Pentyl (Penterythrite tetranitrate)	碰梯兒(四硝酸肆羥甲基甲燒酯)
Perchlorate explosive	過氯酸鹽火藥
Picking	揀選(硝化棉)
Picric acid (trinitrophenol, lyddite, melinite, schimose)	苦味酸
Poaching	漂洗(硝化棉)
Porcelain mortar test	磁砵研藥試驗
Potential of explosive	火藥比壓
Potat 1	鉀梯炸藥
Potatol 40/60	四六鉀梯炸藥
Powder	低級火藥, 無烟藥
Bulk powder	鬆性獵槍藥
Condensed powder	緊性獵槍藥
Nitrocellulose (smokeless) powder	純硝化纖維無烟藥
Nitroglycerine (smokeless) powder	含硝化甘油無烟火藥
NCP Nitrocellulose powder	純硝化纖維無烟藥
NGP Nitroglycerine powder	含硝化甘油無烟藥
Single base smokeless powder	單基無烟藥(即 NCP)
Double base smokeless powder	雙基無烟藥(即 NGP)
Pyro-collodion powder	仲棉無烟藥
82-grain powder	82-喱獵槍藥
42-grain powder	42-喱獵槍藥
Power	威力
Products of explosion	爆發生成物

Projectile	彈丸
Property	
Physical property	物理性
Chemical property	化學性
Explosive property	爆發性
Stability	安定性
Ballistic property	彈道性
Pressing	
Pre-washing	預洗
Primer	傳火管, 傳爆管
Prismatic powder	六稜火藥(黑藥)
Proof round	
Pulping	磨漿(硝化棉)
Pyro-collodion	仲棉
Pyroxylin	硝棉
Quill	引線
Quick burning smokeless powder	速燃無烟藥
Ray pellet	傳火黑藥柱
Rifle powder	來福槍藥
Rocket	火箭
Safety explosives	煤礦安全爆藥
Safety fuse	緩燃導火索
Salpeter, salpetre	硝石, 鉀硝
Sand test	碎砂試驗(雷管)
Saw dust	木屑
Schultze smokeless powder	蘇采無烟藥
Schultze-Niemann test	蘇提武測氮量法
Sensitiveness to impact	衝擊感度
Sensitiveness to friction	摩擦感度

Sensitiveness to flame	火藥感度
Sensitiveness to heat	加熱感度
Sensitiveness to blow	打擊感度
Sensitiveness to detonation	起爆感度
Sensitiveness to moisture	吸潮感度
Setting point, Solidification point	凝固點
Shaking test	搖振試驗
Shell	
Shot gun powder	獵槍藥
Shrapnel	子母彈
Silver fulminate	雷銀
Sliver	
Slow burning smokeless powder	緩燃無烟藥
Smokeless powder	無烟藥
Sodatol	鈉梯炸藥
Solventless smokeless powder	無溶劑無烟藥
Specific force, Specific pressure	比壓
Specific heat	比熱
Specific volume	比容
Sport gun, shot gun	獵槍
Sprengel explosive	史式爆藥(臨時爆藥)
Sprengkoerper	方形爆破藥包
Sprengpatrone	爆發罐
Sprengsalpeter	爆硝藥, 鈉黑藥
Stable	耐定的
Stability test	安定性試驗
Abel (heat) test	阿貝爾耐熱試驗
Zinc iodide test	碘化鋅耐熱試驗
Guttman test	古忒曼耐熱試驗
Spica test	斯皮卡耐熱試驗
Hoitsema test	浩賽馬耐熱試驗
German test	德式安定試驗

Met'yl violet paper test	甲基紫安定試驗
Bergmann-Junk test	伯永式安定試驗
Weight loss test	減量試驗
Sy test	賽氏安定試驗
Storage test	貯存試驗
Surveillance test	貯存試驗, 監視試驗
Thomas test	陶馬氏安定試驗
Vieille test	未侯意安定試驗
Will test	維爾氏安定試驗
Obermüller test	奧氏安定試驗
Silvered vessel test	銀瓶試驗
Free acid test	遊離酸試驗
Ion concentration test	鉍離子安定試驗
Stabilizer, Stabilizing agent	安定劑
Steel plate test	鋼板試驗(硬度)
Stemming	填塞
Strength (Power)	威力(度)
Sulphonation	磺酸化
Sulphur	硫黃
Surface treatment	表面處理(無烟藥)
Teasing	撻髮(棉)
Temperature of explosion	爆溫
Testing gallery	試驗坑道(煤礦爆藥)
Tetranitroaniline	四硝(基)苯胺
Tetranitronaphthalene	四硝(基)萘
Tetranitrodiglycerine	四硝酸二甘油
Tetranitromethane	四硝(基)甲烷
Tetranitromethylaniline	四硝基甲基苯胺
Tetryl (Tetranitromethylaniline, Trinitrophenylmethylnitramine)	特出兒
Time fuse	導火索 緩燃導火索

Slow (time) fuse	緩燃導火索
Quick (time) fuse	速燃導火索
Detonating fuse	爆炸導火索
Cordeau	爆炸導火索 (美)
Thawing	解凍(猛爆藥)
Thaw-house	解凍室(猛爆藥)
TNA (Tetranitroamine)	四硝(基)苯胺
TNT (Trinitrotoluene, trotyl, tolite, tritol, triton, tillite, tritol)	梯恩梯
Tonite	通尼忒
Trauz lead block test	特氏鉛塊試驗
Trinal (Trinitronaphthalene)	三硝(基)萘(德)
Trinitroanisol	三硝(基)苯甲醚
Trinitrobenzene	三硝(基)苯
Trinitrochlorobenzene	三硝(基)氯(化)苯
Trinitrocresol	三硝(基)甲酚
Trinitronaphthalene	三硝(基)萘
Trinitrophenylmethylnitramine	三硝基苯基甲硝胺
Trinitroxylylene	三硝(基)二甲萘
Trinitrotoluene, compressed	壓製梯恩梯
Trinitrotoluene, cast	鑄製梯恩梯
Trinitrotoluene, loose	散裝梯恩梯
Trinitrotoluene, semi-cast	混凝梯恩梯
Urea	脲
Urethane, (Ethyl carbamat)	烏來唐(氨基甲酸乙酯)
Vaseline	凡士林
Velocity of detonation	爆速
War chemicals	化學戰劑
Water-rying	浸藥、無烟藥

---

Weathering	涼藥 (無烟藥), 風晒 (黑藥)
Wall thickness	壁厚 (藥粒最小之厚度)
Wood pulp	木漿, 木粉

