

書叢小學工

藥

火

著 楨 守 徐

行 發 館 書 印 務 商

中華民國二十三年四月初版

(一一五六三)

工學叢書
火藥一冊

每冊定價大洋貳角

外埠酌加運費匯費

著者 徐守楨

發行人 王雲五
上海河南路

印刷所 商務印書館
上海河南路

發行所 商務印書館
上海及各埠

* 版 翻 *
* 權 印 *
* 所 必 *
* 有 究 *

目錄

第一章	總論	一
第一節	火藥之定義及爆炸現象	一
第二節	火藥之沿革	五
第二章	製造火藥之原料	一一
第一節	供氮體	一一
第二節	可燃體	一三
第三節	炭氫化物及其衍化物	一四
第三章	爆炸合劑	一七

第一節 木炭火藥……………一七

第二節 硝酸鹽炸藥……………二二

第三節 氯酸鹽炸藥……………二七

第四章 硝酸鹽……………三〇

第一節 火棉及膠棉……………三〇

第二節 硝化甘油……………三四

第三節 猛炸藥……………三六

第四節 炸膠……………三九

第五章 芳族硝基炸藥……………四二

第一節 三硝基甲炔……………四三

第二節 苦味酸……………四五

第三節 其他芳族硝基化合物……………四七

第六章 雷炸劑……………五〇

第一節 起爆作用……………五〇

第二節 雷汞及三氯化鉛……………五一

第七章 火藥之存儲……………五四

第一節 火藥庫之建築……………五四

第二節 火藥庫之通風……………五六

第八章 火藥之應用……………五九

第一節 軍事上之使用……………五九

第二節 工程上之使用……………六二

火藥

第一章 總論

第一節 火藥之定義及爆炸現象

液體或固體之物質，以受熱、電、撞擊等影響，驟變為氣體與蒸氣，且其所占空間，能增至極大者，謂之火藥，亦稱炸藥。可爆炸之物質或混合體，為數極多，然火藥一名詞，祇指固體或液體之能在需要時爆炸者為限。實際上，無論任何能燃燒之物質，或能以化學變化而發熱量之混合體，設在封閉之空間其燃燒或變化，果能十分迅速，相當完全，都可發生爆炸。反之，有多種物質，通常歸入火藥之類，而在固定封閉之空間發生爆炸時，可成巨大災害；但在露天燃燒，頗寧靜平穩，或着火極為困難。例如麥粉在普通狀況之下，不易燃燒，然當其極乾燥而成為極細粉末，散佈在屋內空氣中時，則可

爆炸，致成恐怖結果。又煤礦中含有極細微煤屑，或其類似之可燃氣，往往可以引起爆炸，損害生命。此種不幸事件，為吾人所熟知。反之，三硝基甲烴 (Trinitro toluene) 係在歐戰時常用之一種猛烈炸藥，其小塊頗難着火，或取少量，投之於火，亦可無重大影響。同樣，乾燥之火棉 (gun-cotton) 當在封閉空間受壓而轟發 (detonated) 時，為最猛烈炸藥之一種，若置諸露天燃燒，則一無危險，且壓成小餅，尤不易着火。

爆炸現象，可分為三種：

1、普通爆炸 Explosion proper (低度爆炸 Explosion of low order 遞進爆炸 Progressive explosion 燃燒 Combustion) 係以累進的時間，為其控制之因素。其反應所需之時間，隨物理的性質而不同，實屬於通常燃燒之一種。當其一點着火，逐漸延燒表面，達於內部，至全體消失為止。燃燒能發熱，且生氣體；其溫度壓力二者，與所起反應之空間有關。在限定之空間，如槍、砲藥腔內，溫度及氣壓，可增至極高。此極高之溫度，能引起離解 (Dissociation) 現象，而離解之結果，又能減低溫度；在槍、砲內彈丸之運動，既擴大其容積，其壓力及溫度，因之降低，故有某一時期，再起化合作用，而所

發之熱，乃將壓力增高。如是，熱可分解物質，若溫度降低時，仍可化合，此現象謂之離解；其不再化合者，謂之分解 (decomposition)。此種作用，不祇限於化合物，即元素之分子，並非例外；換言之，多原子的分子 (multi-atom molecules) 因受熱之作用，可分成爲各箇之原子也。

1. 轟炸 Detonation (高度爆炸 Explosion of high order) 不僅限於暴露之表面，似由爆發之起點，循各方向延佈全體。以極大速率，從其起點各分子，進而達於其隣近諸分子，再分別進而達於各該分子之隣近分子，因而及於全部。其起點之分子能 (molecular energy) 或衝擊，破壞該處分子之原子結合 (atomic bonds) 是項分子破壞力，以波狀作用，即所謂爆炸波 (Explosive wave) 者，由分子傳至分子，以及於全體，於是初發原子 (nascent atoms) 陸續不斷產生，復藉其新有親和力 (affinity) 互相化合，成爲氣體。該種氣體之生成，必令極快，超過尋常，其容積及壓力，乃大增加。由實驗測得火棉之爆炸波速率，爲每秒一七〇〇〇呎，乃至二一〇〇〇呎。至離解與化合二現象，亦可發生。故炸發較雷酸鹽 (fulminates) 爲延長也。

三、雷炸 Fulmination 亦因擾動作用，致起點分子受衝擊之毀損影響而破裂；此破壞力，由

分子間遞傳，及於全體，惟不生離解作用，爲其特徵。所發出之氣體，至爲簡單，幾無離解之可言，而新有之親和力，亦不能惹起化學的結合，因之爆炸不延長而較猛銳。此猛銳之特性，與其熱之集中於着火點，足可資以導起前述之一二兩種爆炸，故雷管 (caps) 及導火管 (primers) 多用之。

今就爆炸現象，可分火藥爲三大類：

一、遞進炸藥或拋射炸藥 (progressive or propelling explosives)，木炭火藥 (charcoal powders) 及硝酸纖維火藥 (nitro-cellulose powders) 屬之。

二、轟炸藥或破裂炸藥 (Detonating or disruptive explosives)，火棉 (gun-cotton)，硝化甘油 (nitro-glycerine)，猛炸藥 (dynamites)，炸膠 (blasting gelatin)，氯酸鹽 (chlorates)，苦味酸衍化物 (picric-acid derivatives)，三硝基甲烴 (trinitro toluene) 等屬之。

三、雷炸藥或起爆劑 (Detonators or exploders)，雷汞 (fulminate of mercury) 等屬之。火藥亦有根據其組成成分而分類者，試述之如下：

一、爆炸合劑 (Explosive mixtures)，如木炭火藥，氯酸鹽炸藥 (chlorate explosives) 等是。

二、硝酸鹽 (nitric esters) 如火棉、硝化甘油、猛炸藥、炸膠等是。

三、芳族硝基炸藥 (Aromatic nitro-explosives) 如三硝基甲炔、三硝基炔醇 (trinitro-phenol) (即苦味酸) 等是。

四、雷炸藥，如雷汞等是。

邇來火藥之製，層出不窮，配合比例，千差萬別，其用途亦復極懸殊，故欲為合理的分類，頗屬不易。為便於討論起見，則以成分分類法，較為適當也。

第二節 火藥之沿革

火藥肇始何時，創製何地，聚訟紛紜，莫衷一是，然其為中國發明物，頗足徵信。歐洲古時用於弩箭之猛烈燃劑 (wild fire) 與吾國三國時火箭相類似。希臘燃劑亦曰海洋燃劑 (sea-fire)，七世紀中，八世紀初，阿拉伯人屢為所厄。其成分以守祕密，無從測知，然其含有石腦油 (naphtha)，當無疑義，則可知其非現時之火藥也。或有謂當西曆紀元初，吾國即有火藥者，其說悠渺莫可考證。隋煬帝時 (七世紀初)，火藥雜戲雖流行，然其應用於兵器，亦未之著。宋理宗紹定五年 (一一三二)

年，卞京之役，以鐵罐裝藥，名震天雷；史稱其力穿堅甲，聲達百里，以意察之，非有爆炸，其力其聲，固不能如是之巨與猛也。至一二五七年，尼布拉 (Niëbla) 之圍，摩爾人 (Moors) 始採取轟雷式之火器，以爲攻戰之用。

火藥之重要組成分，爲硝石。西人馬可孛羅 (Marco Polo) 曾於元初（一二七四年至一二九一年）游歷遠東，歸述河北省某城製鹽之法，其所得鹽，必富於硝石，且其地正產硝石極豐之區，可知當時火藥已大用矣。英人洛澤培根 (Roger Bacon) 歿於一二九四年之著作，關於火藥之記載，曾謂火藥爲硝石、木炭與硫磺所組成，且有爆炸破毀性。但其用途之推廣與發展，則尙有待於火器之新發明。德僧士發茲 (Berthold Schwartz) 世以製砲始祖稱之。其製造實在年月，殆不可考，或云一三五四年，或云一三八〇年。然一二二六年威尼斯共和國 (Republic of Venice) 命備砲與鐵彈以防敵；一二三一年亞利干的 (Alicant) 之役，摩爾人用砲以爲戰具；愛德華三世 (Edward III) 時，曾有採購硝石、硫磺，修理砲銃之舉；一二四六年克累西之戰 (Battle of Crécy)，英人亦用砲攻。自是厥後，火藥之用，乃愈益重要矣。雖然，五百年來，火藥之爲物，經幾許之研究與改

良，迄無相當之新發明。降及十九世紀，化學智識，突飛猛進，於是化合物及混合物之炸力較優於木炭火藥者，乃迭有創製。其最初之重要發現，為硝化物。一八三二年布刺孔諾 (Braconnot of Nancy) 以澱粉、木纖維及其他類似物，與濃硝酸相作用，即得劇烈燃燒之粉末，稱為木質火藥 (xyloidin)。由是引起種種試驗，而製成今日各種猛烈炸藥。一八三七年，裴羅 (Pelouze) 將纖維素如麻、棉、紙等，浸入硝酸中，即行取出，可得一種極易燃燒而一擊即炸之物質，當時亦稱之為木質火藥，實即火棉也。一八四六年貝爾 (Bale) 化學家席翁拜 (Schonbein) 試得纖維素之硝化，若用硝酸與硫酸之混合體，其作用較容易而較完全。是年波脫革 (Böttger) 亦有同樣之發見。當時製得之火棉，不甚純粹，苦無提淨之法，故乏安定性 (stability)，放置稍久，即不能無變化。在一八四七年及一八四八年間，歐洲大陸與英國火棉廠炸毀之後，奧人林克 (Von Lenk) 發明一種製法，可得安定而均一之火棉。但其提淨之法，尚不甚完備。至一八六五年，英國化學家阿柏爾 (Abel) 取得火棉提淨法之專利權，而後火棉在製造上及用途上，方得視為安全炸藥之一也。

斯時意大利化學家索布勒洛 (Sobrero) 作種種有系統之試驗，而於一八四六年，發見甘油

爲適合硝化之物體。其製得之品，稱爲火甘油 (Pyro-glycerine)，有爆炸性，初祇爲醫藥之用，不甚重視。一八六三年瑞典人諾貝爾 (Nobel) 發見火甘油，可用少量木炭火藥，以引起其爆炸。諾氏稱之爲硝化甘油，但以其爲液體，運輸極爲危險。經種種試驗，諾貝爾竟得解決此困難問題，將矽藻土 (Kieselgur) 與硝化甘油相混和，即成頗柔軟而易吸收之物體，名之爲猛炸藥。一八七八年，諾貝爾又發明所謂炸膠 (blasting gelatine) 者，係以二硝酸纖維素 (dinitro cellulose) 與硝化甘油相化合而成。其炸力遠勝於猛炸藥。

一八七一年，斯勃林給爾 (Sprengel) 以爲爆炸僅爲瞬息的燃燒，因將易於燃燒之物質，與有極大氯化力之物質，以適當比例相混合，而製成一種炸藥。此類組成物質，在分離時，並無爆炸性，一經混和，則發生爆炸，故祇可在用炸藥之地點相配合。同年，斯氏又試得苦味酸，可用雷酸鹽引起爆炸。先是，波力聶托 (Borlinetto) 曾於一八六七年，發見苦味酸與硝酸鈉、鉻酸鉀所成之混合物，甚合於炸藥之用。至一八八五年，忒品 (Turpin) 宣示苦味酸可用以裝入彈中，頗爲安定徐緩，且極有力量。法政府採用之，名爲美力奈脫 (Melinite)。英人則稱爲呂戴脫 (Lyddite)，以在呂德

(Lydd) 曾舉行種種試驗也。

第一成功之無烟火藥，爲普人叔耳茲 (Schultze) 所發明。叔氏曾於一八六四年，將純粹木纖維硝化後，再提淨之，卽成所謂叔爾茲火藥 (Schultze powder) 極爲游獵家所樂用。一八八二年，黎德 (Reid) 將硝酸纖維素，使成爲顆粒，浸入醇與醚中，俾表面膠化，因又製得所謂E. C. 火藥 (E. C. powder) (卽炸藥公司 Explosive Company 火藥之簡稱，因在該公司發明也。) 者。至一八八六年，法人尾拉 (Viella) 始發明鎗用無烟火藥，係以火棉溶解於醚醇而得，稱之爲B 火藥 (Powder B)，因紀念軍政部長布郎熱將軍 (General Boulanger) 也。一八八八年，諾貝爾以爲炸膠中之火棉成分，若令增加，以減低其燃燒速率，庶可適合於軍用，因發明一種無烟火藥，名之爲巴李斯泰脫 (Ballistite)。一八八九年，阿柏爾與雕厄 (Dewar) 共同研究，將高度硝化的纖維素與硝化甘油之混合物，溶解於酮中，製成繩狀炸藥 (Cordite)。

南非戰爭之際，及其後數年中，列強均以苦酸味爲主要猛烈炸藥，迄二十世紀之初年，歐洲大陸各國，乃競用三硝基甲燐以代之。三硝基甲燐爲赫普 (Hepp) 所發明，時在一八八〇年。霍塞曼

(Häusermann)於一八九一年，開始從事製造。一九〇二年，德人選取為裝彈之用，一九〇七年，意人繼之，其他各國亦先後採用焉。

第二章 製造火藥之原料

第一節 供氮體

硝酸鉀 (KNO_3) 又名硝石，天然產生於熱地，係含氮之有機物質，經過化學變化而成，亦可將動植物質堆積，用人工製造。其用為製造火藥之原料者，須經提淨，不應含有氯化物，以其有吸濕性也。硝石對於火藥之價值，為能供氮於可燃體，其含氮既較空氣為濃，因之所得溫度，自較普通燃燒為高。製火藥用之硝石，大都係由硝酸鈉與氯化鉀相互作用而成。

硝酸鈉 ($NaNO_3$) 亦名智利硝石 (Chile saltpetre)，產於智利沿太平洋岸沙漠諸區，為乾海鳥糞經過極長時期所變成。年產數十萬噸，輸入美國及歐洲，平日多作為肥料之用。歐戰時，所有智利硝石，盡以製造硝酸，農業乃大受影響。智利硝石與硫酸相互作用，即得硝酸，為製造火藥之重要原料。歐戰方烈之際，德奧之智利硝石來源，幾完全斷絕。德人乃將氫氮三原素綜合，製成為硝酸，

不用智利硝石製硝酸之法，當時已有數種。雷雨之際，空氣中之氮與氧，以閃電作用而化合，因有濕氣之存在，即成爲硝酸。此天然製法，在斯干的那維亞 (Scandinavia) 曾已大規模仿效之。該處多瀑布，用以發生電力，令氮氯化合，一如閃電然。電流成爲數呎長之大弧，以磁場之作用，令其循不同方向而轉動；將空氣急驅過此發焰弧 (Flaming arc)，所成氯化低氮氣，在大塔中爲水所吸收，因製得稀硝酸。此種直接或電弧製法 (direct or arc method)，成本甚高，若非有大量可利用之電力，尤不可率爾採用。其他最有把握者，爲德人所採用之製法，當歐戰時，已產出數十萬噸。德化學家奧斯瓦特 (Ostwald) 發見，銨在細粉狀之鉑中，可燃燒成爲氯化氮，如有空氣及水氣之存在，即轉變爲硝酸。德化學家哈柏 (Haber) 復能用氮氫二原素，製成爲銨。世人稱爲哈柏奧斯瓦特之製法 (Haber-Ostwald process) 云。

硝酸銨 (NH_4NO_3) 之性質，與硝酸鉀，硝酸鈉相類似。曩日以其爆炸時所發生者，爲氣體而非固體，多視爲極佳之供氮體，但其吸濕性甚大，是一弱點，故祇可用以製特種火藥。歐戰發生時，英國每星期約產五〇〇〇噸，其數量之巨，亦頗可驚。

氯酸鹽亦爲供氧體，氯化極易，且可在低溫度時發生作用。其最常用者，爲氯酸鉀，過氯酸鉀 (potassium chlorate) 與過氯酸銨 (ammonium perchlorate)

第二節 可燃體

硫磺天然產生於火山區域，亦有與金屬化合而成硫化物者；如黃鐵礦 (iron pyrites)，黃銅鐵礦 (copper pyrites)，方鉛礦 (galena)，閃鋅礦 (blende) 等。天然硫磺或由黃鐵礦等所製得之硫磺，均不純粹，須經提鍊，方可合於製火藥之用。硫磺在黑火藥中之價值，以其能在低溫度着火，令全體易於燃燒，兼能與硝石之氮相化合，發生較高溫度，俾燃燒之速率與所成氣體之壓力，皆可增大。硫磺或含硫磺之礦物，在空氣中燃燒，則發生二氧化硫。該氣體若在某種物質中，復能與氮化合，轉變爲三氯化硫，一與水遇，即成硫酸。此種促令二氧化硫與氮相結合之物質，計有二種。一爲氮與氮之化合物名硝煙 (nitrous fumes) 者，將二氧化硫，與空氣中之氮氣相混和，連同硝煙及水蒸氣，驅令通過鉛室中，所成硫酸，乃積聚於室底，此之謂鉛室法 (Chamber process) 該法祇能製稀硫酸，須再使之濃厚，方合於造火藥之用。第二種物質，能助成二氧化硫與氮相化合者，爲細粉狀

之鉑。鉑僅爲接觸作用，並不加入於化學反應，故名爲接觸法 (Contact process)，可任意製得各種濃度之硫酸。

炭爲大多數爆炸合劑之可燃原素，亦與氫相化合，存在於爆炸化合物 (explosive compounds) 中。其功用，在與氯化合，成爲一氯化炭或二氯化炭，並發生熱量。令所生氣體，增大其容積也。黑火藥等所含之炭，大都爲木炭粉末，係將輕木及木質纖維分解蒸餾 (destructive distillation) 而得。若新製之木炭，即行研爲粉末，儲積至二呎之厚，將有自燃 (spontaneous combustion) 之危險。

第三節 炭氫化物及其衍化物

燐 (C₆H₆) 由煤焦油 (coal tar) 蒸餾而得，爲製造苦味酸之主要原料，亦用於綜合的燐醇 (synthetic phenol) 製法中。若與硝酸硫酸之混合液相化合，可得二硝基燐 (dinitrobenzene C₆H₄(N₂O₂)₂)。法德二國，用以製成炸藥，爲量頗大。但二硝基燐係一極毒之物質，且非最有力之火藥，故英國並不大規模製造之。

燐醇 (C₆H₅·HO) 通常稱爲石炭酸，亦係製苦味酸之原料，以苛性鈉與煤焦油相作用，即可

得燐醇。平時用爲防腐劑及製造染料與攝影藥品等，頗感供過於求。及歐戰發生，苦味酸之需要激增，燐醇遂不敷應用，乃採取綜合法，從燐製燐醇，其間曾經過不少困難云。

苦味酸 ($C_6H_2 \cdot HO(NO_2)_3$) 爲燐醇經過硝化作用之產物。其爆炸性，較硝化甘油與火棉略小。若與金屬相接觸，則成一種化合物，一遇撞擊或受摩擦，極易爆炸。故裝實苦味酸之彈，儲存稍久，往往有發生危險之虞。苦味酸爲鮮黃色結晶粉末，其味極苦，能令皮膚變黃，卽由皮膚吸入血中，因之中毒頗劇。

三硝基甲烴 ($C_6H_2(NO_2)_3CH_3$) 簡稱爲 TNT，係將甲烴 (toluene) 硝化而得。甲烴亦爲煤焦油之蒸餾物。歐戰前，英國甲烴產量甚少，每星期不過數噸而已。至一九一七年，需要驟增，年約四〇・〇〇〇噸，乃在大煤氣廠中，將甲烴自煤油中析出，因之煤氣之光力與熱力，頗受影響。此外婆羅洲石油，亦含少量甲烴，輸入英法二國者，達數十萬噸。三硝基甲烴與金屬相接觸，不致產生易於變化之化合物。當轟發時，係一極有力之炸藥。但並不受火焰或撞擊之影響而爆炸。

甘油 ($C_3H_5(OH)_3$) 存在於各動植物油中，而於製造肥皂時分析而出。製造肥皂所用主要之

油，爲棕櫚油、椰子油、棉花子油及其類似之植物油；而鯨油及其他液體動物油，近來亦用以製造肥皂及甘油。甘油須用蒸餾法提淨後，方合於製造炸藥之用。歐戰時，德國海口被封鎖，從英國殖民地等處輸入之棕櫚油及其他植物油，完全斷絕，而動物油亦極感缺乏。肥皂、甘油及人造乳酪，幾不可得。德國化學家，雖曾努力，欲覓得相當代用品，然此困難問題，終未能解決。於是不得不設法，從動物死體，提取脂肪，致有用戰死遺體製造火藥之謠。聯軍賴英國之力，尙勉可敷用，南冰洋捕鯨事業之開拓，尤能取用不匱。每噸純粹甘油，須用動植物油十二噸。歐戰將終之際，英國每年產出硝化甘油 110·000 噸，約需甘油 90·000 噸，即需動植物油 100·000 噸也。

纖維素 ($C_6H_{10}O_5$) 大量產生於植物界；發種木材，均含纖維素甚多。製紙時，木漿、蘆葦草 (Eupato Grass) 等之處理，無非將木中之樹脂質及礦物質，令與纖維素相分離也。製火棉用之纖維素，通常爲棉屑，係一種輕而氈毛的物質，在棉花加工時所分出者。歐戰之末年，德國因海口被封鎖，棉花不能輸入，其所用之纖維素，乃從木材中製得之縐紙，蓋用木漿製上等之紙，德人早有相當之經驗也。

第三章 爆炸合劑

第一節 木炭火藥

木炭火藥(Charcoal powders)係一種機械的混合物，製造時，祇須將其組成分，研磨併和，並無化學作用，其種類有二，即黑火藥(Black powder or gunpowder 與褐火藥 Brown powder)是也。

黑火藥由硫、炭與硝石混和而成。其配合比例，六百年來，變更殊多，初則三種成分，均為等量，繼見炭分過多，徒生無謂之烟煤，乃將硝石逐漸增加，遂成為今日之比例：

硝石 七五

硫磺 一〇

木炭 一五

該成分爲意、法、英、美、俄等國所採用，力可達最大度，而爆炸不十分迅速，不致過分損害藥膛。吾國昔時所製者，含硝石六一·五，木炭二三·〇，及硫磺一五·五，數年前業已更正矣。

遊獵用火藥，應燃燒較速，故含硝石較多，且用上等褐色木炭。近則多採用含硝酸纖維素之無烟火藥以代之。採礦用火藥，須能發生大量氣體，故增加其硫磺（一三至一八）與木炭（一四至二一）量，而減少其硝石（六〇至七二）量。但若硝石之比例太小，則爆炸極緩，一氯化炭發生較多，且其氣體中有一部份，可由裂縫（在未完全爆炸前所成者）間逸出，而有用之效力，因之減少。硬岩須爆炸迅速，但凝灰岩（*pila*）或花崗岩（欲得大塊時），則爆炸又宜較緩也。

製造木炭所用之木材，通常爲水木（*dogwood*），赤楊與柳木，以其易於着火，迅於燃燒，並可減少灰分也。將木段裝入熟鐵圓筒，以蓋封閉之，置於蒸餾器中，俟炭化告成，車送涼卻室（*cooling room*）。當涼卻時，圓筒須密封，否則木炭極熱，易於焚燒。硫磺須經提淨，方可合用。將粗製之硫，在蒸餾器中加熱，使變成蒸氣，經過冷卻管，導入凝集器，所得之硫華，乃再蒸餾之。第三組成分之硝石，在未用前，亦須提淨。硝石可在銅鍋爐內煮沸，迭加冷水，則成浮膜，其雜質因得除去。稍令冷卻，汲送至

濾機，流入結晶淺皿內。所得結晶，須經過數次清洗，俟其乾燥，即可用矣。

在火藥製造中，所視為重要之點者有三：即其組成成分，研磨應細小，混合應密接，及所得之火藥，應具高密度是也。研磨、混和與成餅 (caking) 三者，從前係在一次作業 (operation) 中完成之，但因時有爆炸之危險，今乃分作三次，各別進行。

(一) 研磨 火藥組成成分，可在鼓狀筒或邊轉式磨機 (mill of edge runner type) 中，研為細粉，後者較前者更為通用。

(二) 混和或合併 將材料展布為薄層，以蒸餾水潤濕之，俾免塵屑飛揚。先取炭與硫，或炭與硝石相混和，成為二質混合體 (binary mixture)。再取二質混合體與第三成分相混和，或取兩種二質混合體 (炭與硫及炭與硝石) 相混和，則成三質混合體 (ternary mixture)。所用之混和機，與上述之研磨機相類似。斯時混合體已成為餅狀矣。

(三) 壓擠 在未施壓力以前，須經擊碎。先用木槌分裂為大塊，而後入破碎機中處理之。火藥之性質，與其密度極有關係，應愈密愈佳。欲達此目的，須用極有力之壓機，通常多為水力壓機。

(hydraulic press)。

(四) 成粒 此作業之目的，係避免組成分之分離，減少其吸濕性，兼防阻其太堅實（並非變小其密度）；蓋小粒之燃燒，較速於堅實之細微粉末，而顆粒愈小，燃燒愈速，機械的效力（mechanical effect）愈大也。火藥於成餅之後，再行擊碎，成爲顆粒，用篩篩之，以除去粉屑，且令依大小不同，分爲各類。

(五) 光平 所謂光平 (glazing) 者，並非欲其表面十分光滑，不過擊去其銳角，填充其孔隙，俾更勻齊，更密緻，不易感受空氣之濕氣也。此可於木製鼓狀筒中處理之。

(六) 乾燥 將製得之火藥，裝入木製淺盤，置諸架上，蒸汽管環繞架之下部，乃能熱至最高之適當溫度；或在普通乾燥室乾燥之，亦可。

(七) 去屑 上述各種作業中所成之粉屑，應行除去。此可置於圓筒狀篩中分離之。有時加少許黑鉛，以增加其光澤，而減小其吸濕性。

黑火藥之佳者，應爲深灰色。若其色太黑，非潮濕，即屬木炭太多。設在紙上磨擦，不應留有污斑，

否則可斷定其有粉屑或濕氣之存在。試取火藥少許，在白紙上着火時，應燃燒迅速，而無殘渣存留，或不致令紙燃着。倘留有極黑斑點者，顯係木炭過多；若為黃色，則含硫逾量。當其暴露於空氣時，不應吸收濕氣，超過百分之一。五或百分之二。○若在硬物間撞擊，或接觸熱體及燃燒體之在攝氏表三〇〇度以上者，火藥即可轟發。當其少量在露天着火時，不過燃燒而已；若其量頗大，則爆炸一如在封閉之空間。爆炸後之產物，半為固體，半為氣體，而氣體之容積，約及原來火藥之三百倍。

自無烟火藥發明後，黑火藥之用途，漸形狹小，然亦自有其存在之價值：成本低廉，着火容易，燃燒勻整，不受震動之影響，能在相當高溫度之安定性，以及留在砲中殘點之無腐蝕性，均為其優越之處。惟力量不大，與發烟過多，是其弱點耳。

普法戰爭 (Franco-Prussian War) 以前，各國均以木炭火藥為唯一之爆炸品。自礮術發展，礮身及其彈丸之大小與重量，相繼增大，乃不得不另覓新火藥，俾其力量較易於控制。最初將黑火藥之成分，稍予變更，而成所謂褐火藥者，其配合比例，略如下述：

硝石

七九

木炭

一八

硫磺

三

褐火藥之木炭，從裸麥稈不十分炭化而得，尚含有多量之氮、氫。褐火藥可增大其顆粒，而成爲角柱狀，或刺一孔，或刺七孔。其燃燒較爲遲緩，而在砲統內壓力之進展，因之亦較遲緩，且較勻整；同時，將砲身增長，俾彈達統口時，其壓力適臻最大限度。

第二節 硝酸鹽炸藥

炸藥中有含銨、鉀或鈉之硝酸鹽者，其創製之目的，或欲代替木炭火藥，以減輕成本，或欲得一無烟或無焰之火藥，並以應遊獵及炸裂 (sporting and blasting) 之需要。

叔耳茲火藥係一種著名急燃無烟火藥 (fast-burning smokeless powder)，其成分如下：

硝酸力羅因 (nitro-ligroin)

六二·一

硝酸鉀

一·八

硝酸銀

二六·一

鑛脂

四·九

澱粉

三·五

揮發分

一·〇

硝酸鉀與硝酸銀，能令燃燒速率，較爲勻整。硝酸銀之優點：爲發烟較少，且無吸濕性；所惜者，在膛內留有殘點，不易除去，礦脂可使作用穩和，而澱粉則助其顆粒結合。各成分混和之法，先將軟木材浸溶，而消除其樹脂質與脂肪質，則所存留者，爲純粹細微之纖維素。俟乾燥後，加酸熱之，令其硝化，復提淨而研磨之，再加礦脂，俾能耐水。

E. C. 火藥亦稱鎗用火棉 (rifle gun-cotton)，屬於急燃無烟火藥之一種。其成分如下：

硝酸纖維素

七九·〇

硝酸鉀

四·五

硝酸銀

七·五

樟腦

四·一

乾木漿

三·八

揮發分

一·一

該項火藥可分爲二類：一爲遊獵用火藥 (sporting powder) 以櫻草色精 (aurine) (不能雜有磺酸) 着色，而溶解於醚醇與煥；一爲鎗用火藥 (rifle powder) 以苦味酸 (不能雜有磺酸) 着色，而溶解於上述之溶劑，

多奈脫 (Tonite) 係一種炸裂火藥 (blasting explosive) 由火棉 (百分之五〇至五二) 與硝酸銀 (百分之五〇至五七) 組合而成，可用雷汞管爆炸之，硝酸銀頗富於氮，能令爆炸完全，不致發生毒性氣體。若偶受潮濕，可在日光下或熱空氣中乾燥，而無危險。多用以開掘礦山。

欲避免煤礦中坑氣 (fire-damp) 與煤屑爆炸之危險，應選取在低溫度爆炸之合劑，而硝酸銹之特性，因之大可利用。一八八四年及一八八五年，法末 (P. A. Favier) 以多量硝酸銹與一硝基駢煥 (mono-nitronaphthalene) 或二硝基駢煥 (dinitro-naphthalene) 石臘與樹脂相混合，而製得一種低溫度爆炸合劑，即所謂法末炸藥 (Favier explosive) 者。其製法，先令硝酸銹乾燥，

置於磨機內研磨；其磨機之盤，須用蒸汽或熱水熱之。乃加硝化駢炻，在熱乾室中相和合。俟其冷卻，再行研為粉末，加壓力而成圓筒。此圓筒，用金屬箔或紙包裹，侵入已鎔融之石臘中，俾能耐水，因硝酸銹有吸濕性也。法未炸藥之成分，時有變更；茲將其代表型式，列如左方；

硝酸銹

八八

二硝酸駢炻

一二

其由硝酸銹與三硝基甲炻相合成者，稱為亞馬多 (Amatol)，為歐戰時之一種劇烈炸藥。其成分，歐洲大陸諸國，用硝酸銹不逾百分之四〇，英國所製者，則含硝酸銹高至百分之八〇，三硝基甲炻不過百分之二〇而已。

洛標賴脫 (Roburite) 係一種在封閉空間爆炸而無火焰之炸藥。以其爆炸所生之氣體，不致燃着坑氣或煤氣，故多用於煤礦中。其成分如下：

硝酸銹

八六

二硝基炻氣 (chlorodinitrobenzol)

一四

阿摩納爾 (Ammonal) 係利用鋁之氯化所發之大量熱力，而製得之一種炸藥。其成分如下：

硝酸銦

九三·〇至九五·五

鋁

二·五至三·五

木炭

二·〇至三·〇

其所用之鋁，為防護硝酸銦之受潮，而消除其吸濕性之窒礙點。

硝酸鹽炸藥中，有時含硝化甘油者。硝化甘油係一種液體，通常用吸收劑，使成為固體，方得安全處理。諾貝爾以不活動 (inactive) 之矽藻土，為吸收劑，但近頗有用他種材料以代之者。此種變更之目的，無非欲製成一種炸藥，能完全分解為炭酸及水也。硝化甘油炸藥，易於自然分解，故須特別注意。遇有任何酸烟之痕跡，或任何青綠之色度，應以適當預防法，緊急毀滅之。福斯脫 (Forchte) 為硝化甘油與纖維素之混合體。所用纖維素係在水中加熱，施以壓力，而令膠化。其配合比例，述如下方：

硝化甘油

四九·〇

火棉

1.0

硫磺

1.5

煤焦油

10.0

硝酸鈉

38.0

木漿

0.5

福施脫係以薄炸膠，連同火棉，與已塗敷融硫 (molten sulphur) 之硝酸鈉及木焦油相合併而製成。其木漿用以抵除煤焦油之黏性；而炸膠將為其基 (base) 所漬透，則用煤焦油阻止之。該基之功用，與其謂為吸收劑，毋寧視為遞傳體 (carrier)。福施脫兼有兩種性質：即當封在鑽孔內時能爆炸，及在空氣中祇能燃燒而不爆炸是也。不受水之作用，而硝化甘油與其他物質，相結合極堅，致硫酸醚或醇 (sulphuric ether or alcohol) 不能分離之。

第三節 氯酸鹽炸藥

近來最有效力之炸裂火藥，頗有應用氯酸鉀或銻之強大氯化力製得之。該項火藥，雖較他種

更有力量，且更劇烈，但有更大敏感性。設非依據斯勃林給爾炸藥 (Sprengelexplosives) 之原理 (即氮化體與可燃體完全分離，至爆炸時始和合) 而製造，極為危險。其中有毀岩炸藥 (Brock-rock)，為美國所採用；曾在亞東初築鐵路時，由美人輸入中國及西比利亞。日俄戰爭開始之際，存儲於旅順與大連者頗多，因供炮火之用。該火藥為氯酸鉀之圓筒，封裹於小棉布袋中；此圓筒置入金屬絲籃，懸於彈簧秤。將用之際，乃浸於一硝基輪 (mononitro benzene) 或其他種可燃油中，其適當吸收之量，可視彈簧秤而知之。毀岩炸藥之配合比例，適堪完全轟炸者，述如下方：

氯酸鉀

七九・〇

一硝基輪

一一・〇

於硝基炭氮化物 (nitro-hydrocarbon) 中，加入蓖麻油，令其變濃，即取以塗敷氯酸鉀，則其危險的敏感性，可以減輕。此種炸藥，名為瑟戴脫 (Cheddite)，因在瑟特 (Cheddé) 地方，用電解法製氯酸鉀也。瑟戴脫之成分，約如下列：

氯酸鉀

八〇・〇〇

蓖麻油

五·八〇

一硝基駢烴

一二·一三

該炸藥之製法，係將一硝基駢烴，先溶解於蓖麻油，次加入乾熱之氯酸鉀粉末，用木桿攪動之。乃移至淺盤，在半冷時混和，令作顆粒狀。用篩篩去其過小顆粒，而後壓成圓筒。瑟戴脫係小粒之黃色體，有時亦用人工着色。以其有隨應性，故易於壓縮。

布拉斯廷 (Blastine) 爲近來應用極廣之炸藥，由過氯酸銨、食鹽、二硝基甲烴 (dinitrotoluene) 與石臘組合而成。過氯酸銨含氯極富，頗屬有用，惟爆炸較難，且往往不完全耳。

第四章 硝酸鹽

第一節 火棉及膠棉

自普法戰爭以來，硝酸纖維素及硝化甘油，日漸見用於世，至日俄戰爭，木炭火藥幾全為所淘汰，而在近頃戰爭，則悉用硝化物一類之炸藥。

硝酸纖維素，可視為各種無烟火藥之主基，無烟火藥計分二類：一為緩燃火藥 (slow burning powders) 用於施有腔線之火器 (rifled fire arm)；一為急燃火藥 (fast-burning powders) 用於散彈鎗 (shotgun) 等。前者燃燒速率須勻齊，不必太急，故將硝酸纖維素與溶劑相混和，使成爲勻齊而密緻之膠體。反之，遊獵用之散彈鎗，所需火藥，應燃燒極速；通例，祇有數分膠化爲已足。

硝酸纖維素，含有炭氫，且富於氮，一經爆炸，其自身之組成分，即可互相化合，成爲氣體之氮化炭及水蒸氣，非如木炭火藥之炭、氮、氫三原素，用機械方法配合也。

火棉爲棉花經過硝化作用之最後產物，其成分不一定，約含氮自百分之一三·二至一三·三。但硝化較低之纖維素，亦有用爲炸藥及其他目的者，其中以膠棉爲最普通而最有用，約含氮百分之二·四。在過去五十年中，膠棉實占無烟火藥製造業之重要地位，而火棉之應用，近則大受三硝基甲烴與苦味酸之影響，在陸海軍界爲尤甚。

製造火棉之法，先將棉花通過乾燥機，其水分爲熱空氣流所吸去。已乾燥之棉花，乃用機器梳理剔揀，令與鐵屑木片及其他雜質相分離，並裂散結塊，移除塵屑，俾合於硝化。機器剔揀，往往不甚可靠，因之採用人工剔揀者頗多。通常選取織廠之棉屑爲原料，但用上等棉花者間亦有之。有人建議，木漿狀之纖維素，可用以製造炸藥。歐戰時，德人業已實行，當有相當理由；蓋從木漿製出之紙，其纖維素易於硝化，而棉屑所需之煩冗準備工作，亦可省卻也。由準備工場運來之乾潔棉花，以其極易吸收空氣中之濕氣，須立即與濃硝酸之混合液相作用。其所用之器爲陶製，裝以穿孔之假底，棉花即放置其上，約爲混合酸重量之三分之一。該混合酸，含純硫酸三分及純硝酸一分。冬季加熱，夏季令其涼卻，俾可在均一溫度硝化。棉花既全部浸入混和酸中，另以穿孔板覆蓋之，令薄層之

水，流經該混合液之上面，以吸收硝酸蒸氣及硝煙。該混合液，通常須冷至攝氏五度以下，以避免硝化時所起之危險。硝化既畢，器底之弁瓣開啓，令酸流出，而水由器頂引入，務使器常充滿，此卽所謂移置法 (Displacement Process)。該法可將酸驅除較多。若移置徐緩而周慎，所加之水，不致與酸相混。

昔日製得之火棉，放置稍久，卽行分解。此種分解，常引起爆炸之患；繼經發見，實由於極微量之殘留酸所致。若注意清洗，完全除去其酸，則儲存時所有諸危險，可以不發生。故硝化器所出之產品，須迭用沸水處理多次，其末次之洗滌，往往加白堊，以驅滅最後些微之酸。已洗清之火棉，乃運至打漿機 (beating and poaching machines)，令成爲極勻齊而極疏鬆之物質。且所殘留之些微硬粒，塵屑或其他雜質，悉卽除去。此漿狀態，連水汲入大混合櫃，與先後製得者相互攪和，俾得勻齊均一。再汲至壓機或離心機 (centrifugal machine)，以除去大部份之水。若欲得乾火棉，可分爲小堆。暴露於乾燥天氣中，不與直接日光相接觸，時時秤之，俟其重量固定不變爲止。

在硝化之後，未成漿之前，火棉完全保持其原有外觀，與棉花無異。卽用顯微鏡觀察，亦不能測

知其已否硝化。所稍異者，有粗糙之感觸；置諸指間擦之，有圻裂之聲；且較未製棉花，其重量大增。

乾火棉呈白色至淡黃色，不一，純粹時，則無色無臭無味。若受重擊，則爆炸立起；但以鈍擊或重量下降，祇受擊之部份爆炸，其餘為炸力所驅散，仍未起變化，至濕火棉幾無爆炸之危險，故常帶濕儲存，可經數月，或竟數年，不致損壞。若用含少量乾火棉之雷汞管，濕火棉亦能爆炸。火棉受熱，可引起轟發。若逐漸加熱至攝氏表六〇度時，則分解而發出酸烟 (acid fumes)。通常非達攝氏表一三〇度，不致有爆炸之虞，但有時在較低溫度，亦可爆發。火棉能溶解於酮 (acetone)，而不溶解於醚醇。在乾燥時，有吸濕性，燃時無灰無烟。火棉較木炭火藥，爆炸更快，且可在更低溫度爆炸。其對於震動之敏感性較小，而力量較大。是其優越之點。

膠棉之製法，與火棉極相近似，所用硫硝酸混合液，含硝酸百分之二二至二五，而水分小於百分之二〇時，可製成火棉；若水分逾百分之一〇，至百分之一五或達百分之一八，則得膠棉。製膠棉之棉花，不應用熱或化學品，作劇烈之處理，恐將令纖維素之分子分解，致膠體變軟。同理，所製得之硝化品，亦不能如火棉之沸煮，祇能在沸點下（通常為攝氏表九〇度）用水處理之。膠棉為

多種炸裂火藥之組成分。能溶於醇（一分）醚（二分）混合液中，成爲密緻黏稠之溶液，由此可製人造絲；其他用途亦極繁。

火藥係由火棉（百分之六六至七〇）及膠棉（百分之三〇至三四）混合而成。法人於一八八六年，採取爲軍用炸藥，在歐戰時，意、英、美諸國，尙製造之。其製法，先令硝酸纖維素煮沸，而以適當比例相混拌。其所含水分，不能在爐中乾燥之，祇能用醇移置而排除。將已混和之硝酸纖維素，置於壓機之穿孔板上，驅醇通過之，則水被擠去。其所存之硝酸棉花，則成爲餅狀，而溶解於醚（二分）醇（一分）混合液中。令其膠化，且加二燐煙礪（diphenylamine）以安定之。乃充分攪動，經過揉機，抽成帶狀，懸於桿上，在熱氣流中乾燥之。繼浸於熱水中，以除去最後之醇醚，再令其乾燥，俾其成分，得以安定不變。

第二節 硝化甘油

硝化甘油 $C_3H_5O_3(NO_2)_3$ 爲丙三醇之硝酸醚（nitroether of propenyl alcohol）亦名三硝酸丙烷，實非硝基的化合物也。

硝化甘油之敏感性甚大，製造時須加以最嚴密之預防。甘油應取其純粹者，儲存於橫臥圓筒狀櫃內，用蒸汽管熱之，以免冬季凝結，並以減低其黏度，俾易於流動。酸之濃度，愈大愈佳；其比例，約硝酸一分與硫酸二分，以硫酸徐徐傾入硝酸中，時時攪動而涼卻之，則酸無迸濺之危險，亦無硝烟之發生。硝化器 (nitrator) 係裝有冷卻管之圓筒體，管中有時須用冷鹽水循環其間。先將混合酸注於器內，次以高壓空氣，驅甘油經過注射器口，灑為細滴，進入酸中；如是，各質點可立即與混合酸相作用，俾未變化之甘油，不致集積。甘油注入之速率，應加以調節，務使溫度常在安全之點。設有任何量之甘油，集積於硝化器中，當其作用一經開始，將繼續進行，逐加強烈，即不可控制。許多不幸之爆炸，實因此而起。欲減少危險至最低度，須備有儲水之大淹沒櫃 (drowning tank)。倘遇紅色硝烟發生與溫度升高，其反應有不可控制之勢時，立即開啓硝化器底之活栓，令任何硝化物，悉流入該櫃以淹沒之。當硝化作用完竣後，硝化器中所容各物質，靜不令動，俾得互為分離。硝化甘油輕於已用過之酸，故在上面，自成一層。於是由器底注入上次已用過之酸，而向上浮之硝化甘油，因得自頂端溢出，如是，可免流經活栓或弁瓣之危險，硝化甘油乃流入洗清室，用含碱之水，清洗數次，務期

極微量之酸，悉行移除。

硝化甘油係淡黃色之油狀液體，澄清而質重，味甘而無臭。性極毒，吸入少些，即起眩暈，頭痛諸症。能溶於醚、醇、烴與酮，但對於水之溶度，極屬有限。酸、濕氣及日光，能令其分解，然極純粹時，頗為安定，而能長期儲存。正在分解之硝化甘油，呈現綠色，極易爆炸。硝化甘油約在攝氏表四度凝結。斯時對於震動之敏感性減小，儲存與運輸，因之較為安全。但融化已凝結之硝化甘油，亦頗危險。硝化甘油着火時，並不爆炸，僅發出硝烟，而燃燒作黃色火焰。在液體狀態時，對於衝擊之敏感性極大；通常雖祇實在受擊部分爆炸，其餘不過為所驅散，然用雷汞導火管，則爆發容易而完全，非僅局部而已。

第三節 猛炸藥

當硝化甘油初用為炸藥時，以其為液體，屢次發生危險，歐洲諸國，制定法律，禁其使用。及諾貝爾以矽藻土吸收硝化甘油，而製成一種黏軟之猛炸藥，其禁乃大弛。

矽藻土係淡紅色，雜有有機物質。此等有機物質，在未吸收硝化甘油之前，須先消除之，否則所得之猛炸藥，將不安定，亦不安全。矽藻土又極能吸收濕氣。欲驅除濕氣及有機物質，可先散放於爐

室 (furnace chamber) 以高溫度令其乾燥，而後在反射爐 (reverberatory furnace) 中煅燒之。矽藻土經煅燒後，約含矽百分之九六以上，及少量之礬土、氯化鐵與石灰。乃加百分之一〇之碳酸鈣或碳酸鎂，密相混和，而後用篩篩去其粗粒雜質。盛以銅匣或鉛匣，將硝化甘油傾於其上；矽藻土一分，約需硝化甘油三份。於是用手工搓揉如麵團，再壓成爲圓筒。此卽所謂矽藻土猛炸藥 (Kieselguhr dynamite)，亦名猛炸藥一號 (Dynamite No. 1)，簡稱爲猛炸藥。其成分，約如下述：

硝化甘油

七五·〇

矽藻土

二四·五

鹼

〇·五

猛炸藥之色，自淺黃至紅褐不一。雷汞頗易爆發之。若在露天着火，則燃燒而發劇烈火焰，但有相當大量，亦將爆炸。直接與水相接觸，能令硝化甘油分離。儲存較久，則生酸，但在製備矽藻土時，加少量之鹼質，足以消解之。猛炸藥對於壓力及撞擊之敏感性，遠較硝化甘油爲小。多用於礦山及槍械；以其融化時，有滲濕 (sweating) 之危險，故砲術上極少用之。

矽藻土極不活潑，祇為硝化甘油之吸收體，而不參與其爆炸，因有利用活潑基 (active base) 為吸收體，以增猛炸藥之炸力者。亞特拉斯炸藥 (Atlas Powder) 為其中之一種，係用木漿為吸收體。其成分如下：

硝化甘油	六一·〇
木漿	一四·〇
硝酸鉀	二一·〇
氯化鎂	三·〇
水分	〇·二

該炸藥用於巴拿馬運河 (Panama canal) 工程者極多。一八八三年及一八八四年，斐尼 (Fenians) 之亂，亦曾用之。

此外有所謂農人猛炸藥 (Farmers dynamite) 者，亦稱百分四〇猛炸藥 (40 per cent dynamite)，實即猛炸藥四號 (Dynamite No. 4) 也。農人猛炸藥用以開掘土壤。其成分，約含硝化

甘油百分之三九·五，以百分之〇·七五火棉膠化之，而與硝酸鈉及乾木漿相混和，再加少許炭酸鎂；其乾木漿不能低於百分之一六·五。

第四節 炸膠

炸膠爲最有力之炸藥，係一種膠棉與硝化甘油之混合體，爆炸時，硝化甘油所餘存之氮，可供膠棉之不足，令炭燃燒爲二氯化炭，而非一氯化炭。如是，熱量與容積加大，而爆炸力亦增高。

製炸膠之法，先令膠棉乾燥，分碎極細，用篩篩之。置入闊而淺之銅器內，而後將硝化甘油傾注其上。加熱至攝氏表五〇度，用手搓揉混合，俾膠棉悉溶解，即成勻一而柔軟之糊狀體，再令冷卻變硬。但其變硬作用，能繼續多日方止；以其愈硬，爆發之敏感性愈小，故舊炸膠有不爆發之可能。炸膠較猛炸藥爲安定，且對於水之作用，不受影響。欲令炸膠起爆，其開始震動，須六倍於猛炸藥所需者。其組成成分中之膠棉，可達百分之一二，通常約爲百分之七或八。欲增其安定性，可加百之一或二之炭酸鎂或炭酸鈣。

將炸膠中之硝化纖維素，增加其量，即成巴力斯戴脫 (Ballistite)。通常含膠棉百分之四〇至

五〇，及硝化甘油百分之五〇至六〇，有時加二輪煙礮(diphenylamine)作為安定劑(stabilizer)。其製法，以膠棉置入盛熱水之鉛製圓筒中，用高壓空氣攪動，而由注射器引進硝化甘油，令與膠棉結合，俾無浮游於水中者，其所成之糊狀體，乃通過輾機(roll)，以擠去其水分，而成勻齊之薄片，再分割為方塊。巴力斯戴脫係呈現褐色之物體。實際上，不受濕氣之影響。在一八〇度時，能燃燒而不爆炸。但爆炸時所起之高溫，及熱氣體之摩擦，能令砲身受極劇之腐蝕。

炸爆成本太大，作用又太猛，且為局部的，通常應用不廣。於是加他種物質，使成為較溫和之炸藥；如給力奈脫(gelignite)等是。給力奈脫含硝化甘油百分之六〇至六一，膠棉百分之四至五，木藥百分之九至七及硝酸鉀百分之二七。

爆性猛炸藥 (gelatine dynamite) 與給力奈脫相類似，惟含炸膠較多耳。其成分此下：

硝化甘油 七四·五

膠棉 五·五

乾木藥 四·〇

硝酸鉀

一五·五

碳酸鈣

〇·二

水分

〇·三

繩狀炸藥爲極重要之炸藥，用於軍事者頗廣，以英國爲尤甚。因其製成爲繩狀，故有此名。繩狀炸藥含硝化甘油百分之三〇。火棉百分之六五及礦膠或礦脂百分之五。礦膠係一種半固體之石油產物。其功用有二：一爲降低爆炸溫度，以減輕銃身之浸蝕；同時，增加所發氣體之容積，而不十分減低其炸力。其二功用，則爲增加安定性；當儲存時，逐漸發出之硝烟，可爲礦膠所吸收，以阻其分解速率之增大。

製造繩狀炸藥之法，火棉經過打漿後，令其乾燥，置諸銅製匣內，將硝化甘油傾於其上，而攪拌之，則成所謂繩狀炸藥糊 (cordite paste)。乃運至合併機 (incorporating machine)，加酮爲溶劑，開機旋轉，而後放入礦膠，再行開動，即得所謂繩狀炸藥糰 (cordite dough)。復移至壓機，抽成繩狀，而烘乾之。

繩狀炸藥係淡黃色。不受潮濕之影響，對於震動之敏感性，亦不甚大。性極定安，當着火時，燃燒頗烈，而不爆炸。

第五章 芳族硝基炸藥

第一節 三硝基甲烴

三硝基甲烴爲新出劇烈炸藥之一種。昔時英人簡稱爲T. N. T. 今則以特洛提爾(*trinitol*)呼之，意人名之曰特賴托羅(*tritol*)，法人名之曰多來脫(*tolite*)，西班人名之曰特賴力脫(*trilit*)，此外尚有特賴諾爾(*trinol*)，特賴通(*tritone*)等之稱。

由甲烴硝化至三硝基甲烴，鮮有在一次作業中製出者。當硝硫酸混合液，含水百分之一五，而硝酸量又僅足敷用時，則所製成者，爲一硝基甲烴(*mononitrotoluene*)。若硝酸之比例較高，可得二硝基甲烴(*dinitro-toluene*)。若欲製三硝基甲烴，則混合酸須極強，即含水分極少，而硝酸比較的極高也。每期硝化，均有水產生，而末期則須酸最濃；但經過製造一硝基甲烴及二硝基甲烴之後，酸已變淡，故通常硝化，往往分爲二期或三期，以資經濟。

硝化器係以生鐵製成，裝以攪動設備，並置有水及蒸汽螺管，以調節冷熱。欲製一硝基甲烴，先將甲烴注入器內，漸加所需量之混合酸，用水經過螺管冷卻之。當硝化作用時，發生多量之熱。酸之加入，若不注意，則反應劇烈，器內所容之物質，將起沫發煙。因之攪動頗為重要，俾酸一加入，即起反應，不致蓄積。俟硝化告竣，令其靜止澄清。一硝基甲烴較酸為輕，乃浮於上面而分出。

從一硝基甲烴硝化為二硝基甲烴，或直接為三硝基甲烴，其法與上述相似。惟通常先將酸放置於罐中，而後加入欲硝化之物質。三硝基甲烴，在通常溫度時為固體，故硝化後須加熱，俾三硝基甲烴仍為液體，從混合液中分離而出。乃流入洗清器內，用沸水洗清數次，務使酸盡除去。俟其澄清，汲至乾燥器，加熱而驅出其水分。此種三硝基甲烴，並不絕對純粹。若欲提淨，可溶解於熱烴中，經過濾清而冷卻之。以三硝基甲烴之溶解度，冷時較在沸點為小，乃成細結晶析出，而與雜質相分離。歐戰時需用量頗大，嫌此法太冗煩，乃有亞硫酸鹽提淨法 (Sulphite Purification) 之發明。將固體三硝基甲烴與亞硫酸鈉溶液，相攪拌甚劇；以亞硫酸鈉有溶解諸雜質之性，極佳之三硝基甲烴，乃經過清濾而分出。可照常法，再洗清而乾燥之。

三硝基甲烴之融點，低於苦味酸。對於撞擊之敏感性不大；暴露於空氣中雖久，仍尙安定。在攝氏表三〇〇度，可燃着，但不爆炸；若與苛性鉀混合，雖溫度大低，亦可爆炸。三硝基甲烴略溶於熱水，但能溶解於醚、烴與酮，且有令火棉膠化之力。三硝基甲烴之成本，較苦味酸爲低，亦不甚毒。可用雷汞起爆，但爆炸不及苦味酸之速，而炸力亦較略遜。

第二節 苦味酸

苦味酸亦名三硝基烴醇 (trinitro phenol)。在一百五十年前，雖已早知此物，然都認爲非雜和以其他物質，終屬極不完善之炸藥。故昔時祇用於醫藥及染色界。

製苦味酸之法，係先將烴醇與強硫酸相作用，而溶解之，即得烴醇磺酸 (phenol sulphonic acid)，而後再以弱硝酸處理之。第一步之磺化作用 (sulphonation)，普通取用以鉛襯裏之大櫃，櫃備有攪動裝置 (stirring gear)。斯時，混合液大熱，在未與硝酸處理以前，通常令其冷卻。其第二步之硝化作用，則在陶製罐內；因稱爲罐法 (Pot process)。硝酸須一滴一滴，逐漸加入，因其反應極劇，有大量紅硝煙發生也。昔時硝化作用，都在晚間，俾毒煙散出，適當放工之際。然在戰事，不能採用

此法；非但延緩費時，且其逸入空中之可厭硝煙，實即代表硝酸之重大損失。故當歐戰之際，將硝化罐裝蓋，以管連接之；由此導硝煙入吸收塔 (absorption tower)，仍轉變為硝酸。硝化既畢，繼以冷卻，罐中液體，用吸管排出。此液體，係硫酸雜有少量之硝酸，苦味酸及煳醇磺酸之混合體。歐戰之前，因欲令其變濃，所費既大，且有危險，往往廢棄之。及戰事發生，硫酸缺乏，不得不設法回復此廢酸，使仍為有用。其存留在罐中之苦味酸，俟廢酸移出之後，用木鏟刮起，而浸入以鉛襯裏之水櫃中，經過數次清洗，以除去附着之硫酸。

欲製大量苦味酸，罐法頗多重大窒礙處。於是有強酸法 (strong acid process) 之發明，頗與三硝基甲煳製法相類似。將煳醇磺酸，加入儲有硫硝酸混合液之大鐵罐中；該罐配有攪動裝置及冷卻螺管。因螺管可控制溫度，其作用可極快，而實際上，幾無硝酸之損失，較諸舊法，大為經濟。俟硝化之後，經過清濾，使苦味酸與硫酸相分離。其廢酸可令變濃，而苦味酸仍如前洗清。

用煳製苦味酸之法，可分為四期。最初將煳與氯相作用，而成為氯煳 (Chlorbenzene)。次由氯煳硝化為二硝基氯煳 (dinitro-chlorbenzene)；其硝化作用，仍如通常方法，在盛儲混合酸之鐵器

內行之；該鐵器亦有冷卻及攪動之裝置。第三步將二硝基氯烴與苛性鈉相處理，則轉變爲二硝基烴醇 (dinitro phenol)。最後，復作用於極強之混合酸中，即得三硝基烴醇或苦味酸也。

上述各法製出之苦味酸，須用冷水充分清洗，務使不留些微硫酸，而後施以乾燥。乾燥室用蒸汽管加熱，備有玻璃架，將苦味酸散布於其上。俟水分驅去後，以篩篩去其塊粒。

苦味酸爲劇烈炸藥中最危險之一種。極易受金屬及普通鹼性物質之侵蝕，而成鹽類；該鹽類，設遇撞擊，極易爆炸，尤以鉛爲特甚。其鉛之鹽類，即在硬面間相磨，亦可爆發，故甚危險。苦味酸受強熱，則燃燒頗快，而發濃厚黑烟。在普通狀況之下加熱，並不爆炸，但跌入紅熱管內，則能爆炸；雷汞亦能令其起爆。苦味酸之炸力，較遜於猛炸藥，然以其爲固體，不致凍結，是其優越之點。苦味酸所含之氮，祇及完全燃燒所需量之半，故有時以硝酸鈉或氯酸鉀等氯化物混合之。

第三節 其他芳族硝基化合物

當歐戰時，歐洲大陸諸國，以甲烴與烴醇不足應戰事之需要，乃大規模製造他種硝基化合物。其中最普通者，爲二硝基烴。二硝基烴之製法，係以烴作用於硝酸混合液中；約烴一分，需混合酸

二分。其製造程序，分爲二期：初硝化爲一硝基烴 (mononitro benzene)，繼再硝化爲二硝基烴。其硝化器爲鐵質淺皿，有強固之蓋，並裝以鉛製螺旋，用冷水或蒸汽循環其中。在第二期硝化時，則須加熱。所發出大量之酸及硝化烴煙，則凝結於適當之陶罇及冷卻塔中，否則損失頗大。二硝基烴與廢酸分離後，須用水洗清之。二硝基烴爲淡黃色之長針狀體。在空氣中熱之則融溶；若增高其溫度，將燃燒而發烟。二硝基烴起爆頗難，設與氯化體混和，則成爲炸藥。

忒特力爾 (Tetryl) 亦名四硝基甲烷烴硝 (tetranitro-methylaniline)，實係三硝基烴硝化硃硝 (trinitro phenylnitramine) 也。其製法，以二甲烷烴硝 (dimethylaniline) 溶解於十倍其重量之強硫酸，該溶液逐漸加入強硝酸中。其所用之器，係鐵製而塗珞瑯者。備有攪動裝置及冷水循環之圍套 (jacket)。其反應極猛烈；二甲烷烴硝溶液，須留心徐徐注入，俾得控制其作用。俟硝化既畢，用清濾法，令忒特力爾與廢酸相分離。其濾機係一淺陶器，內裝細石英或粗砂，覆以穿孔鉛板。其酸通過砂石，從器底排出，而固體忒特力爾，則存留於鉛板上。乃輸送至淹沒櫃，繼用沸水洗清數次，務期酸盡除去。於是置入玻底之扁盤，暴露於熱空氣中，而乾燥之。斯時，所得之忒特力爾，尙非

極純粹，應再加以處理。從酮中重行結晶而析出，此一法也。但酮之沸點極低，又極易燃，故頗危險。因之歐戰時有改用他法提淨者。取粗製忒特利爾，令與強硝酸相作用，而將其溶液清濾之，乃逐漸加水，至大部份忒特利爾變成沈澱為止。然後施以清濾。洗清與乾燥，一如常法。不純粹之忒特利爾，多作深黃色，其純粹者，殆呈白色。狀如麵粉，性毒。其炸力，較大於三硝基甲烴與苦味酸，而其敏感性，似亦略大。

赫克息爾 (Hexyl)，亦名六硝基二烴硃硃 (hexanitro-diphenylamine)，可由硝化二烴硃硃 (diphenylamine)，或由二硝基氯烴 (dinitro chlorobenzene) 與烴硃凝結 (condensation) 所生之二硝基二烴硃硃 (dinitro-diphenylamine) 之繼續硝化而得之。赫克息爾為黃色之粉狀結晶體，性酸而毒，與苦味酸相近似，對於撞擊之敏感性，較三硝基甲烴為大。

第六章 雷炸劑

第一節 起爆作用

欲引起一物質之爆炸的反應，可祇將其單獨一點，達到開始分解溫度 (initial decomposition temperature)，即爲已足。在該點之猛急分解，發生新的震動復令隣近諸點，達到其分解溫度，如是繼續進行，以爆炸波 (explosive wave) 傳佈於全體，悉起爆炸。該爆炸波之速率，大於單純燃燒者，竟及數千倍。由是可知起爆藥之重要，不僅發火而已；且着火與衝擊所生之普通爆炸，與起爆藥所引成之爆炸，顯有差別。

爆炸波之傳播於炸藥本體，不僅藉一次震動，但從其體之一點，達於他點，極迅速的引起繼續不斷之一組震動，令其波之全過程中，時時添增動能 (kinetic energy)。故爆炸波與尋常音波不同：後者愈前進，愈變弱；前者則以無數繼續之爆炸，從一點傳至他點，以及於全體，其動能始終勻一。惟

其最後之爆炸，則將其能傳於四周之空氣，與該炸藥所接觸之物質，因不再有新能增加，其距離愈遠，則愈弱也。

近代炸藥之敏感性，通常比較的不大，即不易為直接撞擊所爆發；但在適當狀況之下，對於他種炸藥所起之震動，其敏感性則甚大。各種炸藥，在某環境下，對於一定強度之震動，方能感應；若震動或較小，或有不同，則不受影響也。

第二節 雷汞及三氯化鉛

起爆藥與其他炸藥不同。當其雷炸時，其性質並非氮與其殘基 (residue) 間之燃燒，實係不安定的化學系 (chemical system) 之急劇而完全之分裂。或發生氣體，或不發生氣體。近日最通行者，為雷汞與三氯化鉛 (Lead oxide)。以其對於震動及撞擊之敏感性極大，致製造十分困難。

雷汞 ($\text{ONO})_2\text{Hg}$ 之製法，先將汞置於玻璃皿中，而後注入硝酸，混和攪動，俾盡溶解，成為綠色液體。令其冷卻至攝氏表二〇度，再將醇傾入，不久自行沸騰。該液體逐漸褪色，發出氣體，轉變為淡褐色。旋在器底留有白色粉末，即係雷汞。乃傾於濾機，清洗十餘次，放在空氣中，不與直接日光相

接觸，令其乾燥。若欲其完全乾燥，近用真空乾燥爐 (Vacuum drying oven) 在攝氏表四〇度以下乾燥之。若溶於沸水，再令結晶，可得純粹之雷汞。一切工作所用器具，均須用木製，不能用鐵製，以免危險。

雷汞性毒，能溶於醇。以其爆炸極快，有非常大之破碎力。若受撞擊或迅速摩擦，可起爆炸。當徐徐加熱至攝氏表一五二度時，亦即爆炸。潮濕之雷汞，可無危險，乾燥時，處理須極留意。但當濕雷汞與乾雷汞相接觸時，則濕雷汞仍可爆炸。雷汞單獨用以製雷管時極少，往往和以百分之一五至二〇氣酸鉀及百分之二五硫化銻，有時加厚膠溶液，成爲糊狀，以避免爆炸。

三氯化鉛 PbN_3 頗不易製。由聯亞 ($H_2N \cdot NH_2$, hydrazine) 經過數種化學變化，而成三氯化鈉 (sodium ozide) 再與醋酸鉛 (lead acetate) 相作用，乃得三氯化鉛。俟沈澱後，應極慎重洗清而乾燥之。三氯化鉛現常以代雷汞之用，其細粒之敏感性，遠較雷汞爲小。雷汞當儲存之際，可以變壞，尤以高溫度及濕空氣爲特甚，而三氯化鉛則較有永久性。三氯化化合物之破壞力，不及雷酸鹽之大，然其加速度則頗高。若雷汞加微量三氯化鉛，可令三硝基甲烴起爆，較三氯化鉛本身，更爲有

效。三氮化鉛通常與忒力爾或三硝基甲炔，連合用爲起爆藥。

第七章 火藥之存儲

第一節 火藥庫之建築

火藥庫之建築，各國至不一律。奧、意、法諸國，將火藥分儲諸小庫，且採用輕便的木材結構，一旦設有爆炸，其災害大可輕減。英國以製造系統，及化學的與物理的控制，頗為完備，意外危險，幾可絕迹。

閃電或失火，可以惹起爆炸。為預防計，儲存火藥之房屋，須裝避雷針，並須耐火，不易燃着。建築之式，屋頂與邊緣，選用瓦楞白鐵；其鐵製屋頂桁梁，架在磚砌大柱之上；地面則鋪無粗硬粒之地瀝青。各門均須雙層，中間留有通道，並須強固耐火。

凡火藥儲藏庫，接近他種建築物，有遭受爆炸之可能者，須於其四週，堆築保護土坡。設此種屏障物，不能置備時，則種植深密樹木，以防護隣近之房屋。通例，距離火藥庫二百碼之處，可視為安全

地帶。

英國規定：儲存硝化火藥或猛烈炸藥之倉庫，其建築愈輕便愈佳妙，但須有相當力量，可令穩固，且能抵抗風雨，而閒雜人等，亦可阻其闖入。所用材料，絕不能具有易燃性者。

庫中溫度，應保持在法氏表七〇度以下。若升至一〇〇度之上，硝酸纖維火藥之成分及安定性，即可受影響；若高達一二二度（攝氏表五〇度）以上，雖為時僅數分鐘，所儲之火藥，亦應試驗其安定性。

火藥庫可用蒸汽或熱水溫暖之，以防冰凍。其蒸汽之壓力，不能逾每方吋一五磅。煖管可用鐵製者，但應裝置於地面之上，不能低於離地六呎六吋。凡門窗均應向外開，以銅皮鋪覆之。一切裝具及釘，皆應為銅質。鐵製之裝具，工具或其他用具，概不准攜帶入內。

本非火藥庫之房屋，用以貯存火藥時，應徧加修理與洗刷，務令其乾燥清潔。凡可移動之物件，亦應先遷出。

永久性之火藥庫，通常用電發光。若以燈盞為照明之用，或攜燈盞入庫時，應選取其已經審定

之型式。電燈應設法保護，以免破裂；電輪道各部之絕緣，亦應選用最適當之方式；此均須特別注意者。若在含浮遊火藥粉屑之大氣中，電燈玻璃泡破裂時，其泡內白熾纖維，可令火藥粉屑燃着。故白熾燈，令有強固之玻璃外泡保護之，而此玻璃外泡，又須有強固之銅絲罩圍繞之。玻璃外泡應裝置出入管，令空氣流通其間，俾泡內溫度，不逾法氏表一四〇度以上。導線應裝入金屬管內，以達於燈。線應釘接於導體；在火藥庫內或其附近之導線，不應僅爲接觸接合 (contact joints)。每燈均應有融線開關，位於庫外易檢查之地點，並應均在庫外裝雙動開關 (double-throw switch)，藉可分斷電輪道。

第二節 火藥庫之通風

貯藏木炭火藥之倉庫，對於空氣流通，應加以注意。若此種火藥並不密封，而儲存於潮濕之庫中，將吸收濕氣，而其拋射價值 (ballistic value)，因之減低。若係無烟火藥，倉庫溫度，亦與腔口速率 (muzzle velocity)，大有關係。夏季試驗之藥，用於冬季把靶演習，其速率較低於試驗速率 (test velocity)。冬季試驗之藥，用於夏季打靶演習，其速率則較高。是以空氣濕度與溫度，均須特

別審察

硝化火藥之通風，極爲重要。應設法令空氣自由流通，務使任何包件之任何點，一遇開始分解，其所發之烟，即可直接驅去，以防止壓力與溫度之蓄積，並可藉逸出氣體之臭氣，測知其分解是否進行。

庫內空氣，應常保持在露點之上，以避免凝結，故其問題，係保持空氣之流通，與維持溫度在露點之上。欲達此目的，計有三法：

(一) 用扇風機 (Fan) 或天然通風法。將空氣流經蒸汽管或熱水管之外面。令庫內空氣，保持在露點之上。

(二) 有笠狀覆蓋之通風道如船舶所備置者，可位於向風之處，而導引多量空氣，經過各室及穿廊。當風極微小而天氣潮濕之日，該通風道即行關閉。其所通過之空氣容積，須足敷傳達其溫度於各室及穿廊之表面。

(三) 火藥庫無空氣流通設備者，亦有之；但須將各門窗開啓，俾空氣得時時更換。當其所流

入之空氣，能有乾燥作用時，方可行此法。

火藥庫之潮濕原因，有二：

(一) 庫內空氣之濕氣，凝結於庫壁、天花板、地板及其他表面。在某一定溫度及相對的濕度之外邊空氣，若引入於溫度較低之庫內，以其溫度低降，超越飽和度，而凝成水分。

(二) 水分透過天花板與牆壁。此於用羅森特水泥 (Rosendale cement) 建造，而無鉛板或地瀝青覆被天花板時，尤多遇見。該項水分，一入庫內，積成小水潭，而常令空氣飽和。

火藥庫經開啓後，應極慎重查察，是否關閉嚴密。

吾人所宜注意者，適合於通風之情況，往往為時甚暫，當庫內空氣低於外間時為尤甚。蓋庫門開啓，外間空氣入內，斯時該空氣之溫度，即行低降，而相對的濕度，亦因之增加。在此環境之下，小庫通風，約五分鐘已足。但當庫內溫度高於庫外，而他種條件又滿足時，則外間環境設仍不變，通風儘可繼續，毋須限定時間。

第八章 火藥之應用

第一節 軍事上之使用

火藥之用於軍事者，數百年來，常占最大部份。火器之發彈，隧道之開掘，城門之轟毀，以及鐵道、橋樑、建築物等之破壞，均惟火藥是賴。

黑火藥及其他類似之爆炸合劑，除鬆弱岩石與土壤外，頗不適合於破毀工作；非但炸碎力太低，且須準備裝藥孔穴，與充分搗實，往往爲作戰時機所不許。英國及其他列強，曾採用濕火棉，而以乾火棉爆發之。火棉之敏感性不大，亦不必在封閉空間，方可爆炸。繼歐洲大陸諸國，選取苦味酸，爲破毀工作之用。其爆炸速率與密度，皆較已受壓之火棉爲大。但苦味酸有二大弱點：（一）設與鹽基性物質，或除錫、鋅、鋁外，其餘金屬相接觸，卽成敏感性極大之苦味酸鹽；及（二）若受潮濕，卽失去爆炸力。因此頗有用三硝基甲烴以代之者。三硝基甲烴之爆炸速率，炸力及密度，雖較略小，然實

際上尙無大出入。

地雷所用之炸藥，視其土壤或岩石而異。若其質鬆軟，可用木炭火藥，惟其量須較他種炸藥爲多，且爆炸時發出多量一氟化炭。阿摩納爾有時亦用爲地雷之充填藥者。水雷及魚雷用之炸藥，與陸軍炸裂所用者相同。猛炸藥、炸膠及火棉，頗爲有效。近來多改用三硝基甲烴與六硝基二烴礮藥矣。

手擲炸彈，初係以空鐵球裝黑火藥，在十七世紀與十八世紀，爲短兵相接之利器。至拿破崙戰爭 (Napoleonic Wars) 時，則失其重要地位。日俄戰爭發生，又復採用。奉天一役，俄人之手擲炸彈，係裝用乾火棉。無論任何劇烈炸藥，幾均可爲手擲炸彈之裝填藥，惟敏感性愈小，則作戰愈安全。瑟戴脫與阿摩納爾，亦皆可用。

鎗礮彈之拋射藥，昔時均用木炭火藥，今則盡易以無烟火藥，如英國之繩狀炸藥等是。小口徑火器所裝之繩狀炸藥，每藉擊發雷管而爆炸；在大礮，則常用電氣無烟火藥。傳於彈丸之速率，隨其所含氮之成分而增加；若同一速率，則所發壓力愈低之炸藥，常令銃身磨損愈少，亦最安全。自黑火

藥廢而無烟火藥代興，在戰術上，實爲重大之進步。無烟火藥，既可令砲兵視線，不致模糊，且可使敵人難於測知砲隊之確實地點。但彈離銃口時，由爆炸所生之熱氣體，散布於空中而發焰，仍可測定砲隊之地位，尤以在夜間及用大砲爲特甚。歐戰前數年，德意志、羅馬尼亞（Roumania）諸國，於炸藥中，加入少量二噠礮碯：二噠二甲烷尿（diphenyl-dimethylurea）中和性草酸銣（neutral ammonium oxalate）等質，以消滅火焰，頗見成效。德人之能在數百里外，用大砲轟擊丹刻克（Dunkirk）與巴黎而不爲發見者，殆卽此故也。

砲彈之裝填藥，昔幾盡爲黑火藥；其對於機械誘導（mechanical influence）之敏感性頗小，足以安全耐受發射之震動，卽或在礮內爆炸，亦不生重大災害。現時子母彈（在近代戰術上，步兵築有壕溝，礮兵備有防護物，火器又多發自隱蔽處，子母彈已不及昔日之重要。）仍沿用黑火藥，以其具有大力，能驅小彈自彈殼而出，且其所發之烟，可令礮兵測知其彈爆炸之所在也。自火棉發見後，卽有用爲礮彈之裝填藥者，尤以奧國爲甚，但不見有特優之處。濕火棉極難起爆，倘以乾火棉製雷管，則又有過早爆炸之危險。硝化甘油炸藥，亦無甚成效。奧國會試用含有樟腦之巴利斯戴脫，然

其敏感性仍極大，且不易達到最高爆炸速率。迨法人採用苦味酸，此困難問題始得相當解決。將已融之苦味酸，直接傾入彈中，彈之內壁塗以油漆，以避免酸與金屬相作用，且令其彈預熱至攝氏表一〇〇度，以防止酸之凝結太快。最近則又用三硝基甲烴以代苦味酸。三硝基甲烴與彈殼之金屬不起作用，且對於震動之敏感性不甚大。雖其炸力未能如苦味酸之大，而其成本則較廉。苦味酸爆炸時，有一部份之炭析出，成爲黑烟，而三硝基甲烴則發出更多。此不但減少所成氣體之容積，且減少所發之熱量，其力量自不及炭與氫全氯化之大。故三硝基甲烴有時以氯化劑參和之。

穿甲彈 (armor-piercing shell) 之作用，係穿過戰艦之鋼甲板，而在他一面發生爆炸。所用炸藥，應取其敏感性不大者，俾其彈衝擊甲板所生之震動，並不令其即行爆炸。黑火藥能合此條件，阿摩納爾及他種硝酸銨炸藥，亦均可用。

第二節 工程上之使用

炸裂火藥之選擇，有數主要因素，須加以注意：即炸力、爆發速率、密度與成本是也。其敏感性、安定性及產出物之性質，亦應在考慮之中。若欲炸裂極硬岩石，如含金石英 (gold quartz)，須用破壞

力極大之炸藥；以鑽孔費用之關係，應在最小容積，發出最大力量。炸膠之用極有力爆發管燃着者，能備具此種性質，給力奈脫及其他類似之膠性硝化甘油，亦尚適用。昔時多奈脫極通行，今則多以他種劇烈炸藥代之。其較柔弱之岩石，鑽孔費用較低，其孔自可較大，則炸藥之密度與炸力，不甚重要。用於此種工作之炸藥，在英國以給力奈脫為最普通。但硝酸銹與氯酸鹽炸藥，採用亦頗廣。若土壤柔軟，或開採石鑛而欲得其大塊，則黑火藥尚相宜。

欲炸裂水下之岩石，須用破毀炸藥(Brisant explosive)。設非含有大量膠性硝化甘油，其藥筒應充分耐水。當天氣寒冷之際，藥筒放入水下鑽孔後，硝化甘油有凍結之危險，故須用極強之雷管。炸藥之效用，殊足令人驚異。連接意法間之塞尼山隧道(Monte Cenis tunnel)，在一八五七年，用黑火藥開始其轟炸工作，預計須二十四年，方可告竣。一八六五年後，猛炸藥見用於世，其工作完成，早於預定期間，計達十一年。森潑浪(Simplon)之開道，耗去炸藥一六四〇噸，其大部份，含有百分之九二之硝化甘油。多腦河(Danube)在格賴森斯坦(Greisenstein)境，有岩石阻塞其間，於一九〇五年，用猛炸藥一一七〇〇公斤，以掃除之。

黑火藥、猛炸藥及炸膠，以其易令坑氣發生爆炸，均不能適用於煤礦工作。煤礦用炸藥之安全要素，爲爆炸速率所成氣體之溫度、火焰之長度、火焰之繼續期及每次爆炸所用之炸藥量。每次炸藥用量減少，所發氣體因自減少，則着火之危險亦減少，蓋其極熱氣體膨脹快而變冷，不能令坑氣燃着。強有力之起爆藥，能使爆炸猛銳而迅速，亦頗有利。黑火藥雖幾盡合於安全炸藥諸條件，但其火焰之繼續期太長，仍屬危險。洛標賴脫爆炸時所生氣體之溫度甚低，可不發焰，故開掘煤礦多用之。

歐戰後，各國火藥，儲存極多，均欲設法利用於農業上。堅實而半岩石性之土壤，可用三硝基甲烴與苦味酸破碎之。近來將藥筒埋在菓園土中，於菓實收穫上，頗爲有利，蓋根之四周土壤殆爲所開鬆而透氣也。