

爆炸及其作用

Г.И. 鲍克洛夫斯基 著



国防工业出版社

爆炸及其作用

蘇聯技術科學博士
Г·И·鮑克洛夫斯基教授著
李 麟 譯



國防工業出版社

內容介紹

這本小冊子中緊縮而通俗地敘述了爆炸及其作用學說的物理學原理。作者特別著重於敘述現代爆炸學中一個主要的問題——關於爆炸的定向作用，關於爆炸的操縱。文中所引最簡單的公式能使人把爆炸作用研究得深入一些，同時作者也估計到了初學讀者的水平。

Г. И. Покровский
ВЗРЫВ И ЕГО ДЕЙСТВИЕ
Военное Издательство
министерства обороны союза ССР
Москва 1951

本書係根據蘇聯國防部軍事出版社

一九五四年俄文版譯出

*

爆炸及其作用

[蘇] 鮑克洛夫斯基

李麟譯

*

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

*

書號：0027·787×1092耗1/32·13/4印張·35,000字

一九五五年十二月第一版北京第一次印刷

印數：1—3,000册 定價：0.33元

前 言

從事和平創造性勞動的蘇聯人民，在共產黨的領導下正廣泛地建設着工廠、電站、住宅、學校和文化機關。蘇維埃科學和技術的一切成就都服務於這一建設。社會主義工業所創建起來的各式各樣的強大機器和機械裝置，能在最短期間內完成這樣的工作，要用手工方法去實現它們那就要耗費幾十萬人力工作好幾年。

在用以加速和減輕艱苦繁重工作的工具之中，炸藥能在我國廣泛地被採用着。蘇維埃人提出了要使強大的爆炸力服務於共產主義建設，並且學會了掌握它。現在用炸藥可以完成各種不同的工作。例如，在這些情況下，即在建築中或在開採地下礦藏時，須要破碎堅硬的礦岩，這時候，爆炸常常就成為實際解決問題的唯一手段。只有在用爆炸把礦岩破碎以後，才可以用掘土機或其他機器來處理它們。

如果建築或者採礦工作是在鬆軟的土質中進行，譬如在泥土或沙質中進行，那麼爆炸也可以廣泛地使用。利用爆炸幾乎瞬間可以拋起大量的土質，獲得鋪設道路的回牆或建造任何建築物基礎的基坑。

爆炸順利地用於加深和擴寬河流與水渠、炸毀冰阻、疏乾池沼、拔除樹樁、摧倒要拆的大廈和建築、折斷大型的金屬桿子等等。

蘇聯的工程師們順利地利用了爆炸力把土壤拋入河床來建設堤壩，這樣就使得從土壤中可以產生一條預先確定好的一定形式的堤壩。

誰都知道爆炸在軍事技術上的意義。大多數殺傷工具——砲彈、炸彈、地雷、工兵爆破用品——都是以爆炸力殺傷敵人的。

蘇聯學者和工程師們在爆炸業中的工作，提供了愈來愈多的巨大的爆炸能來源，改善了爆炸的戰鬪使用方法，這就增強了保衛蘇聯人民和平勞動的我國武裝部隊的實力。

爆炸在科學研究中也具有重大的意義。例如，利用爆炸可以在地層中引起一種特殊的波，叫做地震爆炸波。這種波能擴展入巨大的礦岩內，並在碰到較硬的岩層後又折回來。折回的波退到地層表面上來，並為一些特殊的儀器所記錄。這樣地質學家就可以研究很深層的礦岩構造，因而在尋求地下礦藏中具有重要的意義。

廣泛採用爆炸來從事各種工作，在我國僅從偉大的十月社會主義革命之後才開始。早在蘇維埃政權的最初幾年，炸藥主要用來拔起樹樁、伐斷樹木，以及用來疏通灌溉的和乾燥的河道。炸藥的使用在恢復時期大大廣泛了。特別值得指出的是在一些電站建設中所進行的大型爆炸工作，尤其是在我國第一座電站——伏爾霍夫列寧水電站的建設中，在賽莫——阿夫恰里水電站、挨里溫第一水電站等建設中。

在五年計劃期間，我國橫亙無邊的土地上展開了工廠、礦山、電站的廣濶建設，那時爆炸就變成了加速與減輕艱苦繁重勞動的有力工具。爆炸工作廣泛用到了第一個五年計劃內最巨大的工程中——在第聶伯，在萊昂、斯維爾及其他電站的建設中，在土耳其斯坦——西伯利亞鐵道幹線的鋪設中。最近幾年來，炸爆在各種建設領域中的應用，更有了較大的規模。

在人烟稀少的邊遠地區建設鐵路時，爆炸工作更有着特別重大的意義。例如，在建設通向蘇干煤產地（遠東）的鐵路線中，曾炸開了阻擋鐵路通行的巴爾哈特山坳。爆炸的準備工作

進行了一個半月。1933年11月15日，257噸炸藥在這裡爆炸了。爆炸力把93 000立方公尺的岩石拋向高空，從而形成了一個長220公尺、深20公尺而寬75公尺的壕坑。那樣巨大的爆炸當時還是舉世從所未聞的。

在所用炸藥量上來講，最為卓著的是1936年所進行的考爾金爆炸。1800噸炸藥（硝酸炸藥）爆炸的結果，形成了長1000公尺、深達22公尺、上部平均寬15公尺的壕溝。這一大規模的爆炸，打開了通向豐富的褐煤產地之路。

1946年在法爾哈德水電站的建設中曾爆炸了570噸炸藥。爆炸把80 000立方公尺以上的土壤拋上了地面。這一工作要是用手工操作那就得化費27 000以上的工作日。

在建築伏爾加——頓河列寧運河時，爲了修好齊姆良海底，就用爆炸拔起了150 000根直徑達3公尺的樹樁。這些樹樁就是用最有力的拖拉機也難以拔起。

蘇聯的學者、工程師和技術員們對於爆炸的理論研究及其實際使用的發展方面，做了許多工作。蘇聯學者們的工作揭開了爆炸及其作用的物理實質，開闢了實際利用爆炸的新的可能。

因此，爆炸及其作用現在已爲蘇聯的學者和工程師們研究和掌握到了這樣的程度，使得爆炸技術所面臨的最困難而複雜的任務，都可以按照我國共產主義建設的利益而順利完滿地得到解決。

目 錄

前 言	5
甚麼是爆炸	1
幾種最主要的炸藥	6
炸藥的爆炸如何發生	7
起 爆	12
爆炸的能和功率	13
爆炸氣體的擴展和衝擊波在藥柱周圍介質中的形成	17
爆炸衝力	24
不同密度介質內的爆炸單位衝力	28
爆炸的破壞力	29
普通拋土爆破工程中藥柱的計算	34
爆炸底定向拋出土壤及礦岩	34
集能作用——獲得極高爆炸能強度的方法	43
結束語	47

甚麼是爆炸

每一個人都會想像，甚麼是爆炸。但是只有一個關於爆炸的概念，並不足以在建設中及軍事上正確地使用爆炸並保證在接觸炸藥時安全。為此首先需要知道爆炸的物理實質。

爆炸就是炸藥在轉變為爆炸氣體時很迅速地放出大量能。

早在1749年，偉大的俄國學者米哈依爾·瓦西里耶維奇·羅蒙諾索夫就曾指出，爆炸是由於很迅速地放出大量熱和巨大的氣體體積所致。氣體在這裡加熱、迅速擴展，並對爆炸點周圍的物質產生強烈的壓力。爆炸作用所引起的破壞和位移即決定於此。

爲了更好地理解甚麼是爆炸，首先就必須介紹一下，在爆炸時怎樣放出能。

大家知道，所謂能，就是指在我們周圍的物體中作工或引起某種變化（例如加熱、磁化、獲得電荷）的能力。

M. B. 羅蒙諾索夫在1748年曾發現了一個基本的自然法則，叫做能量不減定律。根據這一定律，能並不白白產生，也不會消失得無影無踪；它只能在一定的嚴格比例內由一種形式轉變為另一種形式。例如，在強力衝擊時受衝擊物體即發熱。在這種情況下運動的機械能就轉變為熱能。

爆炸時所放出的能也不是憑空產生。爆炸以前能已經呈隱蔽狀態包含於炸藥中。

這樣，炸藥就是大量儲能的體現者。

要說明能在炸藥內如何儲藏，就必須想起，任何物質都是由叫做分子的最小質點組成的。每一個分子又由原子組成。在

自然界和技術性的化學反應中，物質由一種形態轉變為另一種形態，是由於分子結構變化的結果。分子中所含的原子改組，按新的形式結合。這樣，就出現了新的分子，因而物質也就有了變化。例如，燃燒煤時，組成煤主要部分的碳元素即與空氣中的氧化合，於是從煤和氧得到了二氧化碳。這時放出了大量的能，將煤燃燒時所得的二氧化碳強烈加熱。

溫度的變化是由於分子的運動：運動愈快而分子衝撞愈激烈，則溫度愈高。所以，如果分子改組結果放出了能，那末這必然是由於分子運動的力量。

爆炸中的能也是在分子改組時放出。但是與燃燒不同的地方，是炸藥的分子改組時並不與其他任何物質的分子相互作用。

炸藥可以在適當的條件下放出大量的能，是由於炸藥的分子改組而轉變為爆炸氣體的分子。這些分子在其生成時由於炸藥分子中所含儲能的關係，即得到很大的速度；其結果爆炸氣體的壓力和溫度即顯得極大，而氣體迅速擴展。

這樣，在爆炸時由固體炸藥的，而有時也是由液體炸藥的不大運動而彼此緊密相連的分子，得到迅速運動的爆炸氣體分子。

要發生爆炸，就必需對炸藥施以某種作用。作用應當引起炸藥分子變化為爆炸氣體的分子。在大大增高壓力和溫度之下，這種變化可以在炸藥藥柱*的某一部分發生。這種壓力和溫度的增高可以靠衝擊時迅速的壓縮、電火花、用通電的金屬絲加熱以及許多其他方法引起。溫度增高時，炸藥分子開始強烈地運動並互相衝擊。

* 藥柱俄文為 Заряд，係指作成一定形狀而用以爆炸的定量炸藥。舊書通稱為裝藥，似不甚妥而且難懂，故本書通譯為藥柱。——譯者

必須指出，各種炸藥對各種外界作用具有極其不同的敏感度。例如，以金屬絲通電加熱，只能引起叫做起爆藥的、極其敏感的炸藥爆炸，這在以下要詳細點談。

衝擊時炸藥某些分子即變形並被破壞。破壞時即產生爆炸氣體分子；這些分子很迅速地運動，並以本身的衝擊引起周圍的炸藥分子破壞。如果最初的作用包括足夠大的炸藥體積，則這一體積中所放出的爆炸氣體足夠將爆炸作用向下傳，壓縮並加熱其周圍的炸藥。樣這一來，如果裝藥的一定部分發生爆炸，則它將自動不斷地向下擴展，直到整個炸藥藥柱爆炸，也就是說，直到它完全變為爆炸氣體（圖 1, a）。

炸藥受外界作用的影響而引起爆炸叫做起爆，而起爆所用的東西叫起爆用品*。其中包括雷管、電發火管等等。

爆炸波從爆炸點經炸藥質量繼續擴展叫做傳爆（爆轟）。傳爆時每一瞬間在藥柱已變化或正在變化為爆炸

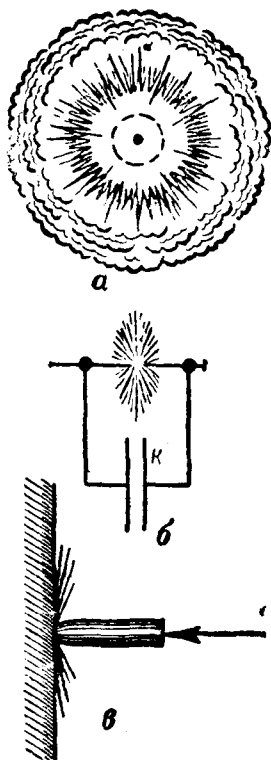


圖 1. 各種爆炸：

a—炸藥爆炸（圖為爆炸氣雲的擴展）；b—蓄電池 K 放電時所放出的強力電火花；B—鉛心槍彈擊中鋼甲時的破壞情況；鉛以很大速度飛向各方。

* 起爆用品中國舊名火工品，該名並不能代表該物含義及用途，故改譯起爆用品，這也與俄文原意恰合。——譯者

氣體的部分和爆炸變化還沒有擴及的部分之間，有一個界線。這個界線叫做爆轟波前鋒。

爆轟波* 的擴展，隨炸藥化學成份和密度不同，每秒速度為2到8仟公尺。這是很大的速度。因此爆轟波擴及整個藥柱只需很短的時間，所以爆炸在許多情況下實際上可以看作是：在高溫和高壓之下，炸藥瞬間變化為爆炸氣體。

炸藥的化學成份和外觀可以是極其多樣的。但是，不管它多麼千形萬態，爆炸變化在任何情況下都是發生於同一個原理，正像我們所研究的那樣。這就使研究爆炸非常容易，並且可以確立決定任何炸藥爆炸力的統一法則。

爆炸的產生不僅是在放出炸藥內所含的能的時候能。大家都知道還有許多其他的情況，就是當足夠迅速地放出一般能時也會引起爆炸。

例如，如果使強大的電流通過很細的金屬絲，那麼金屬絲差不多是在瞬間受了熱，以致金屬絲的發生熔化和蒸發，而所得金屬蒸汽四散飛開。這時即產生聲響，也可以產生相當於少量炸藥爆炸力的破壞作用（圖1,6）。俄國的發明家И.Л. 茜林格早在1812年就利用這種現象提出了以電火花起爆普通炸藥的方法。這就是使炸藥內所產生的小電炸增長為整個藥柱的通常爆轟。這種方法，從十九世紀中葉開始就成功地用於俄國。

* 按蘇聯嚴格定義，爆炸（Собственно взрыв）指的是以迅速增長的變速度擴展的爆炸過程，而爆轟（Детонация）則指的是以不變速度擴展的爆炸過程，二者最大速度相差無幾，不過前者的速度小些。起炸藥的爆炸一般是爆炸過程，但隨條件的轉變也可以是爆轟波，而炸藥的爆炸一般為爆轟波。至於爆炸（Взрыв）一字，則一般是爆炸、爆轟、甚至連火藥燃燒也包括在內的總稱。——譯者

艦隊中以起爆水雷。在西歐，這種方法比俄國採用得晚得多。

普通的閃電就是大型電爆炸的例子。

可以舉出許多其他非炸藥爆炸的例子。譬如，倘若一個迅速運動的物體撞在一個足夠堅固的障礙物上，那麼它即破壞而強烈受熱（圖 1, B）；這時就發生像爆炸一樣的現象。因此，如果從天際飛向地球的流星每秒以幾萬公尺的速度到達地面，那麼它通常即爆炸，而且有時產生很大的破壞力。通古斯卡流星就是這種流星的例子，該星於 1908 年落於西伯利亞的中通古斯卡河附近。這個流星向地球衝來，而飛入大氣的速度達每秒五六萬公尺。流星衝到地面後，隨着產生了強烈的爆炸，炸毀了大片森林。爆炸時流星變成了灰塵和蒸汽。在衝擊地留下了一個坑，其形似大炸藥堆爆炸時所得炸坑一樣。

原子核——位於原子中心的極小的質點——變化時也發生猛力爆炸。例如，化學原素鈾變種之一的原子核破裂時，或用鈾人工製成的鈾原子核破裂時，都放出大量的能。

最後，還可以指出某些星球的巨大爆炸，他們有時在宇宙中可以看到。這時即形成一團紅熱的氣雲，漫延億萬公里。

在地心中也儲藏有能，它們有時也以爆炸的形式放出。在某些情況下，這些爆炸還發生於地面以外。

例如，誰都知道 1883 年在克拉卡陶島的火山爆炸，當時將幾萬立方公尺被破碎的岩石拋向高空，而火山焰塵昇高達八萬公尺。爆炸結果島的大部被破壞，而在破壞地點形成了深達 180 公尺的斷谷。

這樣，爆炸在自然界和技術中都十分普遍。此外，技術中所廣泛利用的許多現象都接近於普通的爆炸，雖然不一定完全與它符合。這些現象中可以包括易燃物與空氣的混合體在內燃發動機中的燃燒（例如，汽車發動機）。

下邊我們將研究一下各種爆炸。只有較詳細地熟識一下普通炸藥的爆炸，才能為研究其它各種爆炸打下基礎。

首先簡單地研究一下，甚麼是炸藥。

幾種最主要的炸藥

炸藥按其化學成份、物理性質和狀態可以極其不同。

已知有許多炸藥是固體。液體炸藥使用不廣，但也種類繁多。

炸藥也可能是氣體，例如，空氣與汽油蒸汽或與易燃氣體的混合物。譬如，假使不能保證礦井內有良好通風，則空氣與甲烷氣體的混合物在礦井中會引起爆炸。

最後，爆炸也可以是混有易燃物微塵的空氣，例如，空氣與煤粉塵、屑粉塵等相混。混有微塵的空氣的爆炸也會引起過巨大的破壞和火災。

使用最廣的炸藥之一是梯恩梯。它通常被製成淡黃色或淡褐色的重 75、200 和 400 克的方形藥柱。將梯恩梯用蒸汽或滾水加熱融化於容器中，可以製造各種藥柱。直接用火來加熱梯恩梯絕不許可，因為這樣有爆炸的危險。粉狀的梯恩梯也可以在足夠大的壓力下壓藥。

梯恩梯用雷管引爆，雷管放於藥柱中特製的雷管孔中。如果是注裝的梯恩梯藥柱，必須要有壓裝的梯恩梯作為輔助藥柱。在水下爆炸時，梯恩梯不喪失其爆炸性能。

廣泛使用的有叫做硝銨炸藥的各種炸藥。這種炸藥就是梯恩梯與硝酸銨或其他附加物的混合物。如果加的是鋁粉，那末所得混合物就叫做阿梅納爾；如果混合物中含有大量梯恩梯，那末混合物就叫做阿梅托，諸如此類。硝銨炸藥爆炸時必須有

梯恩梯輔助藥柱。

所有的硝銨炸藥都要求仔細地防潮，因為它們在潮濕狀態照例不爆炸。

黑索金屬於威猛的炸藥之列，它是一種白色的固體物質。由於黑索金的撞擊敏感度很大，它通常不在純粹狀態下使用，而與梯恩梯熔合使用，其中有時加一些鋁粉。這種熔合炸藥是最威猛的炸藥之一，並主要用以裝填彈藥。

前已談過，要引爆炸藥就必須要有像雷管爆炸那樣的原始作用。在雷管內裝有極其敏感的炸藥，叫做起爆藥。這些炸藥對撞擊和加熱極其敏感，其中包括，例如，雷汞和氮化鉛。

在炸藥生產、保存和使用中具有巨大意義的是安全技術。首先必須排除偶然起爆的可能性。這就需要把起爆藥和主要炸藥分開。一般炸藥在保存時比較安全，因為它們自身不能爆炸。起爆藥却相反，很易受最微小的外界作用而爆炸。因此必須把它們單獨保存並分散為小量。

在強烈加熱之下也可能產生爆炸。這時炸藥首先開始燃燒。如果炸藥量很大，則燃燒迅速加強，並轉變為爆轟。這是因為，炸藥大部質量內的溫度和壓力在燃燒時即迅速增長，這就引起了爆轟波的產生和擴展。

炸藥的保存、轉運和使用均應嚴格遵守專門的規則和守則，破壞這些規則和守則在蘇聯就要依法治罪。

炸藥的爆炸如何發生

所有炸藥，儘管它們的化學成份和物理性質彼此如何顯然不同，而其爆炸實質却完全一樣。爆炸的產生，是由於炸藥一小部分受某種運動物體的撞擊、受電炸或另一藥柱的爆炸而激

烈壓縮的結果。

爆炸或爆轟擴展過程的實質，最初曾為俄國名化學家H. H. 季寧於十九世紀後半期所闡明，並於二十世紀初為莫斯科農業科學院教授B. A. 米海勒遜詳細研究過。

爆轟波在炸藥中的擴展有如下述。起爆時，也就是在引起爆炸時，在藥柱某些部分炸藥發生了強烈壓縮。壓縮的產生，可以靠迅速運動物體的衝擊而引起，例如可以用電流燒化細金屬絲時所得另一種爆炸的爆炸氣體作用而引起。炸藥強烈壓縮時即消耗大量機械能，它們大部轉變為熱。

可以舉出許多由激烈壓縮轉變為加熱的例子。譬如，空氣與易燃物蒸汽的混合物在汽車發動機氣缸中壓縮時，即強烈受熱。在狄賽爾發動機中，這種加熱是如此劇烈，以致於易燃物與這種空氣的混合物不受外來的點燃也自行發火。

在炸藥中也發生類似的情況。由於強烈壓縮，炸藥中的溫度和壓力可以升高到這種限度，使炸藥迅速轉而為爆炸氣體。

爆炸氣體在其生成過程中即放出大量的能。結果氣體的壓力很大，溫度很高。此外，爆炸氣體生成得極其迅速。因此，它急劇衝擊鄰層炸藥。這些層又由於衝擊而壓縮並受熱，於是也變為爆炸氣體。這樣，由於放出爆炸氣體而造成的壓縮，在炸藥藥柱內部一層層迅速傳遞。所以實際上炸藥是同時轉變為爆炸氣體的。

如前所述，爆炸經過炸藥質量的這種傳遞叫做傳爆（爆轟）。

順藥柱移動的爆轟波，幾乎在瞬間就擴及整個藥柱。

爆轟波前面有一個嚴格限定的爆轟波前鋒。在這個前鋒上炸藥的壓力和溫度激烈升高。隨即直接在爆轟波前鋒之後放出了能，並且炸藥變為爆炸氣體（爆轟生成物）。

為了清晰地想像出爆轟波，可在桌上一排放幾個鉛筆、香

烟或其他長形物體（圖2）。在這些東西之間留下不大的空間。這些鉛筆，就是炸藥爆炸前的一幅略圖。

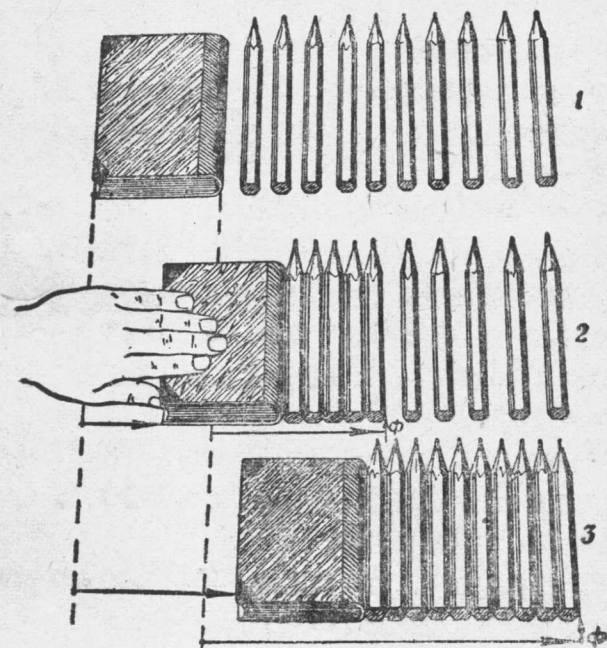


圖2. 爆炸波模型。用一本書推動桌上的鉛筆；這時壓縮波前鋒 ϕ 向右疾速移動，其速度比書本和被推動的鉛筆為快。
1, 2, 3—移動的連續瞬間。

現在根據這個模型來想像一下爆轟的開始。據上所述，爆炸可以由炸藥某一層受壓縮而引起。在我們的模型上爲了實現這種壓縮，可以把某一件物體，譬如說一本書，推向靠邊的鉛筆。如果書本將靠邊鉛筆推動了相等於二鉛筆間空隙那麼寬的距離時，則第二鉛筆也開始移動。經某一時間，第三鉛筆也開始移動，依此類推。如果，比方說，把書本移動的距離等於十

個鉛筆之間的空隙，則十個鉛筆均可以移動。

根據我們所研究的模型可以看出，在書本移動時，鉛筆接觸的那一段將迅速增大。壓縮波前緣順鉛筆質量的移動，要比鉛筆本身的移動快得多。

完全一樣，爆藥壓縮的擴展，要比引起這種壓縮的物體的移動以及處於壓縮圈內，也就是處於爆轟波後的爆炸氣體質點的移動要快得多。

在上述例子中，壓縮是以外力傳與鉛筆。但在爆炸中，壓縮經過炸藥傳遞不是依靠外力，而是由於炸藥變為爆炸氣體時放出能的結果。因此爆轟波是本身向前移動的。

通常爆轟波在一般威力的炸藥中，例如在梯恩梯中的擴展速度每秒約 7 000 公尺。爆炸氣體在爆轟波前鋒之後以每秒 2 仟公尺的速度移動。

在爆轟前鋒之後有某一很薄的層，其內出現爆轟，也就是炸藥分解而放出能。這時所昇高的壓力即將爆轟波向前推進，壓緊新層炸藥，使這層也爆轟。

這樣，爆轟波就不斷地向前運動。因此，只要是藥柱某一部分產生了爆轟波，它便立即擴及了藥柱整個質量。

因而，爆轟波就是在炸藥內運動的壓縮波，它十分強烈，足以引起炸藥分解並相應地放出能。

爆轟波總是服從於同一個簡單的法則在炸藥中移動，而爆炸能放出的情形在任何情況都是一樣，就像我們所研究過的那樣。

這是一種很重要的情況。根據這種情況我們就可以創設一種共同的理論，它們對於任何已知的炸藥或將來可能發明的炸藥都是正確的。爆炸能是由於炸藥分子內部改組而自行放出，並可在壓力和溫度升高下產生——這是唯一的要求。