

炸药与爆破

〔日〕须藤秀治、大久保三郎、田中一三 著

丁

陆

国防工业出版社

内 容 简 介

本书是把有关工业炸药的基本知识和有关工程爆破的基本知识结合起来的书。书的前半部分介绍了炸药的爆炸原理、爆轰波的性质、炸药试验方法,以及工业炸药及有关起爆器材(如工程雷管、导火索、导爆索等)的品种、性能和制造方法。书的后半部分介绍了常用的工程爆破方法、爆破公害及其有关问题。

本书可供从事爆破器材生产和使用的部门的广大工人和技术人员参考,也可供有关院校的师生参阅。

火 药 と 爆 破

須, 藤 秀 治

大久保正八郎 共著

田 中 一 三

オ一ム 社 1971.11.

*

炸 药 与 爆 破

丁瑞生、黄世衡 译

陆庆武、张金城 校

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可証出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 7 147千字

1976年7月第一版 1976年7月第一次印刷 印数: 00,001—12,000册

统一书号: 15034·1455 定价: 0.74元

译 校 说 明

本书是丁瑞生同志和黄世衡同志根据须藤秀治等人著的“火薬と発破”一书翻译的，由陆庆武同志和张金城同志校对整理。

在译校过程中对已发现的原书中的技术错误做了改正，并对原书中参考价值不大的内容进行了删节。

由于译校者的水平所限，难免有错误和不足之处，请读者批评指正。

目 录

第一章 炸药的概念	7
§ 1-1 炸药与一般燃料的区别	7
§ 1-2 炸药的定义	9
§ 1-3 炸药的组成	10
§ 1-4 炸药的分类	14
第二章 炸药的反应	16
§ 2-1 概论	16
§ 2-2 燃烧和爆轰	16
§ 2-3 炸药的氧平衡	17
§ 2-4 爆炸能	19
§ 2-5 爆炸压力	22
练习题	24
第三章 冲击波和爆轰波	26
§ 3-1 概论	26
§ 3-2 冲击波的性质	26
§ 3-3 线性冲击波	27
§ 3-4 黑格纽特 (Hugoniot) 曲线	29
§ 3-5 物质速度、稀疏波 (膨胀波)	31
§ 3-6 固体中的冲击波	32
§ 3-7 爆轰波的结构	36
§ 3-8 爆轰理论	37
§ 3-9 爆轰压力	39
§ 3-10 稳定爆速、理想爆速	41
练习题	43
第四章 试验方法	44
§ 4-1 火药	44
§ 4-2 猛炸药	49

§ 4-3 煤矿炸药	64
§ 4-4 火工品	66
练习题	71
第五章 猛炸药	73
§ 5-1 黑火药	73
§ 5-2 液氧炸药	79
§ 5-3 高氯酸盐炸药 (卡里特炸药)	81
§ 5-4 氯酸盐炸药	84
§ 5-5 铵油炸药	85
§ 5-6 浆状炸药	87
§ 5-7 工业炸药的原料和爆炸性物质	90
§ 5-8 起爆药	106
§ 5-9 单质炸药作为爆炸中心的工业用混合炸药	111
第六章 发射药、推进剂及火工品	131
§ 6-1 发射药及推进剂	131
§ 6-2 火工品	134
练习题	150
第七章 爆破	151
§ 7-1 爆破概论	151
§ 7-2 巷道掘进	165
§ 7-3 扩底爆破 (药壶式爆破)	171
§ 7-4 阶梯爆破	171
§ 7-5 巷道式大爆破	173
§ 7-6 扇形打眼大爆破	174
§ 7-7 二次爆破	175
§ 7-8 拔根爆破	176
§ 7-9 混凝土墙的切断	177
§ 7-10 钢材的切断	177
§ 7-11 城市爆破	178
§ 7-12 水下爆破	178
第八章 爆破作业	181
§ 8-1 必需的器材	181
§ 8-2 猛炸药的选择	185
§ 8-3 火工品的选择	186

§8-4 爆破作业	188
第九章 爆炸公害	200
§9-1 概论	200
§9-2 爆炸气浪的影响	200
§9-3 相似法则	202
§9-4 爆炸气浪压力的计算	203
§9-5 爆炸气浪造成的灾害	206
§9-6 爆破的地震效应	209
练习题	211
第十章 炸药的利用	212
§10-1 概论	212
§10-2 发射药	212
§10-3 推进剂	214
§10-4 爆炸加工	216
§10-5 聚能效应(诺尔曼效应)、平面爆轰波	219
练习题	222
习题解答	222

第一章 炸药[●]的概念

§ 1-1 炸药与一般燃料的区别

从炸药发展的历史来看，炸药的始祖是燃料。现在让我们来研究一下燃料与炸药的区别。一般使用的大部分燃料，是由碳、氢元素为主的成分构成的。在燃烧时，这两种元素被氧化，生成二氧化碳和水蒸汽，并产生热量。这种热量是燃料所以具有威力的原因。炸药爆炸时，也同样生成二氧化碳和水蒸汽，并产生热量。少量炸药破碎岩石时，这种热量就成为使岩石飞散的那种巨大威力的因素之一。

煤作为燃料已被使用了 500 年，作为动力能源已有 200 年；石油被作为内燃机的燃料，已有 100 年。埋藏于地球中的煤和石油已被大量地开采了大约有 200 年的时间，其热量被用于工业和家庭，而同样能发生热量的炸药，虽已有两千年的漫长历史，但却没有作为工业燃料来使用。

物质发生化学反应时产生的热能用热量（单位是卡、千卡）来表示。将 1 公斤具有代表性的燃料和炸药所产生的热能进行比较，如表 1-1 的 A 栏所示。由此看出，炸药的能量只有氢的二十分之一。但是炸药在即使没有氧的条件下也可以燃烧，并放出热量，而一般燃料如果没有氧就不能燃烧。往燃料中加入所需要量的氧，求其热量时，得出 B 栏的值。

● 日文中火药有时可译作炸药或火药，本书根据书中含义分别译为 炸药或火药。——译注

表1-1 燃料和炸药产生的热能

物 质	A		B		C	
	千卡/ 公斤	比	千卡/ (物质+需要的氧)公斤	比	千卡/ (物质+需要的氧)升	比
氢	9100	1	3230	1	1.6	1
汽油	13000	0.45	2900	0.90	4.7	2.93
碳	7900	0.28	2100	0.65	4.1	2.56
碳(用液 氧燃烧 时)	7900	0.28	2100	0.65	2700	1690
炸 药						
硝化甘 油	1520	0.05	1520	0.47	2430	1620
梯恩梯	950	0.03	950	0.29	1570	950

与A栏相比,所产生的热量虽然较小,而比炸药所产生的热量要大两倍以上。由于燃料燃烧所需要的氧是从空气中取得的,如不考虑压力通风机的折旧和电费的话,是非常经济的。

炸药中所含的氧并非空气中的氧,而是用一定的手续把它制成化合物。所以炸药与一般燃料相比,由于热能小、成本高,而不能当作工业燃料来使用。

现以采石场的爆破为例来看。点燃伸入细长炮眼底部的导火索,使其中装填的炸药爆炸,此时炮眼内装药空间的容积很小,一公斤硝化甘油所占容积只有0.63升,而如果用一公斤氢氧混合气体来代替炸药,则它的容积却非常大,达1860升。一升燃料和完全燃烧所需要的氧共存时,其燃烧热与一升炸药所发生的热量比较,可在C栏中看出,炸药的热量非常大。

这一事实说明:对于燃料,必须把完全燃烧所需要气体

氧的容积计算在内，而炸药中所需要的氧可认为是固体或液体炸药本身所含有的。如将液体氧用于碳的燃烧，就成为液氧炸药，它如表 1-1 所示，一公斤当量的热量虽然没有不同，而一升当量的热量就非常大，比硝化甘油还大。

使燃料与氧以液体或固体状态形成一体的硝化甘油、梯恩梯或液氧炸药，它们在分解时都能以惊人的速度放出能量。例如一升的球形液氧炸药，如果从中心开始分解，则在十万分之一秒的时间内就能产生 2700 千卡的热量。换一句话说来讲，为产生表 1-1 A 栏中所列出的能量，氢和氧需要 16800 升，碳和氧需要 2000 升，但是反应前后的容积却没有多大变化；而炸药的体积大约只有 0.6 升，但在爆炸后气体产物就能成为原容积的 1000 倍左右。这种现象就是炸药与一般燃料的区别。

§ 1-2 炸药的定义

炸药的定义虽有各种说法，但一般可说成：

“炸药是稍受外力就容易引起高速化学反应，并且产生大量气体和热量的物质”。

这个定义的前半部分，说明炸药在本质上是不稳定的物质。然而这种不稳定性也有各种各样的，如从用鸟的羽毛扫集时就可引起爆炸的起爆药，到比较钝感的梯恩梯等，更进一步的还有用普通雷管起爆时也不爆炸的铍油炸药。近代的炸药研究，特别是对猛炸药的研究，可以说价廉可靠起爆方法的应用、怎样制造不敏感的炸药、怎样使原有的炸药钝化等，要算是最重要的课题了。

因此，今天一般实际应用的炸药，要求是比较稳定的和

处理上是安全的。对一些特别不稳定的炸药,则根据其特征,多用于其它炸药的点火或起爆。这种炸药叫做初级炸药,或起爆药,而被起爆的炸药叫做次级炸药,或猛炸药。

炸药定义的后半部,说明由于反应而放出热量和气体。然而化学反应的结果,放出热量和气体的,也不一定只限于炸药,如前节所说明的燃料就是如此。

其次,炸药的反应不一定是氧化反应。在一些起爆药中还有不含氧的物质。但就一般次级炸药而言,有机化合物的氧化反应是主要反应。

§ 1-3 炸药的组成

炸药的定义如前节所述,但可再进一步补充说成:“炸药是一种能把它所集中的能量在瞬间释放出来的物质”。

炸药的能量,主要是由其中所含的碳、氢等可燃物与助燃物质氧相化合而产生的。为了产生集中能,这些炸药的状态必须是液体或固体。而其组成是:

(1) 由可燃元素和氧以及其它物质所组成,而且是易于分解的化合物;

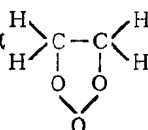
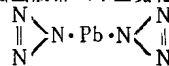
(2) 必须是可燃物与容易释放大量的氧化剂的混合物。

也就是说,炸药有单质炸药和混合炸药两种。

单质炸药的分子内含有容易释放氧的特殊基如 $\text{O}-\text{O}$ 、 $\text{N}-\text{O}$ 等。

在所有爆炸性化合物中不一定都含有氧。在这种情况下,一般认为在原子结构中要有表 1-2 那样的特殊基才具有爆炸性。

表1-2 爆炸性化合物的特殊基

特殊基	种 类	爆 炸 性 化 合 物 举 例
O-O	臭氧化合物	乙烯臭氧 
	过氧化物	过氧化二苯 $\text{H}_5\text{C}_6\cdot\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})\cdot\text{C}_6\text{H}_5$
N-O	硝酸酯	硝化乙二醇 CH_2ONO_2 CH_2ONO_2
	硝基化合物	苦味酸 $\text{HO}\cdot\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3$
N = C	雷酸盐	雷酸银 $\text{Ag}\cdot\text{O}\cdot\text{N}=\text{C}$
N≡C	氰化物	氰 $(\text{C}\equiv\text{N})_2$ 氰氧化汞 $\text{Hg}(\text{CN})_2\cdot\text{HgO}$
N = N	重氮化合物	硝酸重氮苯 $\text{H}_5\text{C}_6\cdot\text{N}=\text{NONO}_2$
	氮氢酸盐	氮氢酸铅 (即叠氮化铅——译注) 
N-Cl		氯化氮 NCl_3
N-I		碘化氮 NI_3 或 $\text{I}_3\text{N}\cdot\text{NH}_3$
N-S		硫化氮 S_4N_4
N-金属	氮化物	氮化银 Ag_3N 或 AgNH_2 氮化汞 Hg_3N_2
		雷金 $\text{Au}(\text{NH})\text{NH}_2$
C≡C	乙炔化物	乙炔银 $\text{AgC}\equiv\text{CAg}$

混合炸药中采用的氧化剂有表 1-3 中所示的那些物质。

现在使用较多的两类工业炸药是：

(1) 前述含义的混合炸药；

(2) 可燃物与氧化剂的混合物，其中包括含有作为爆
炸中心使用的单质炸药的混合炸药 (化合混合炸药)。

当炸药中可燃物完全燃烧时，爆炸生成的能量最大。

表1-3 氧化剂

氧化剂	分解反应式	生成物的重量〔克/克〕			生成物的容积〔厘米 ³ /克〕				
		氧	氮	其它气体	固体	氧	氮	其它气体	
硝酸钾	$4\text{KNO}_3 = 2\text{K}_2\text{O} + 2\text{N}_2 + 5\text{O}_2$	0.396	0.138		0.466	227	110		
硝酸钠	$4\text{NaNO}_3 = 2\text{Na}_2\text{O} + 2\text{N}_2 + 5\text{O}_2$	0.471	0.165		0.365	330	132		
硝酸钡	$2\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{BaO} + 2\text{N}_2 + 5\text{O}_2$	0.306	0.107		0.587	214	86		
硝酸铵	$2\text{NH}_4\text{NO}_3 = 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{N}_2 + \text{O}_2$	0.200	0.350	水蒸汽	0.450	0.0	140	280	水蒸汽 560
氯酸钾	$2\text{KClO}_3 = 2\text{KCl} + 3\text{O}_2$	0.392			0.608	274			
高氯酸钾	$\text{KClO}_4 = \text{KCl} + 2\text{O}_2$	0.463			0.537	324			
高氯酸铵	$4\text{NH}_4\text{ClO}_4 = 6\text{H}_2\text{O} + 4\text{HCl} + 2\text{N}_2 + 5\text{O}_2$	0.341	0.119	{ 水蒸汽 0.230 氯化氢 0.310 }	0.0	239	95	{ 水蒸汽 286 氯化氢 190 }	
液氧	O_2	1.000			0.0	700			

1克组成为 $C_xH_yN_zO_z$ 的炸药分解时，如碳、氢完全氧化，而氮不氧化，氧的过剩与不足量（叫做氧平衡O.B.）用下式表示：

$$O.B. = \frac{16[z - 2w - (x/2)]}{\text{分子量}} [\text{克/克}] \bullet$$

O.B.值越接近于零，爆炸力就越大。O.B.值到-1左右时虽可发生爆炸，但其威力变弱。O.B.值成负数时，产生非常有毒的一氧化碳。然而如氧过剩太多，则氮被氧化而产生有害的 NO_2 。一般将工业炸药的O.B.值配合成零的左右。关于氧平衡，将在第二章中详细讲述。

炸药在爆炸时所产生的气体称为爆炸气体。爆炸气体中，由于炸药的组成、爆炸条件等不同有的含有有毒气体。有毒气体的危险浓度见表1-4。

表1-4 有毒气体的危险浓度

气体的种类	吸入 5~10分钟 的致死浓度 〔%〕	吸入0.5~1小时 的致死浓度 〔百万分之一〕	吸入0.5~1小时 的致重病浓度 〔百万分之一〕
二氧化碳 CO_2	20	50000~67000	33500~26000
一氧化碳 CO	0.5	1800~2600	1800~2600
二氧化氮 NO_2	0.05	320~530	105~210
二氧化硫 SO_2	0.05	530~650	150~190
硫化氢 H_2S	0.08~0.1	420~600	360~500
氨 NH_3	0.5	2150~3900	3690~6500
氯化氢 HCl	0.3	1250~1750	100~1350
氯气 Cl_2	0.09	35~50	14~21
氢氰酸 HCN	0.027	110~135	100

● 氧平衡的单位应为〔克/克〕，或用%表示。原书此处为〔克〕，是不对的。——译者

§ 1-4 炸药的分类

根据性能区分炸药时，可视其反应形式是燃烧还是爆轰分为火药和猛炸药两大类：

1. 火药（也叫低级炸药）：利用其燃烧，主要目的是起推进作用。

2. 猛炸药（也叫高级炸药）：利用其爆轰（爆震），主要目的是起破坏作用。

这里所说的爆轰，可以简单理解为爆炸的意思。

炸药按组成分类，可归纳成表 1-5。

表1-5 炸药按组成分类

单质炸药类	{	硝酸的衍生物	{	硝基化合物（梯恩梯，黑索金，苦味酸）
		硝酸酯	{	硝化甘油，硝化纤维素，泰安
		其它（雷汞，叠氮化铅，二硝基重氮酚）		
混合炸药类	{	混合火药	{	硝化纤维素类（无烟火药，推进剂）
				高氯酸盐（复合推进剂）
				硝酸盐类（黑火药，火工品）
				其它（烟火剂，火工品）
	{	混合猛炸药	{	硝化甘油类（代那迈特炸药）
				高氯酸盐类（卡里特炸药）
				硝酸铵类（硝酸铵炸药，铵油炸药，浆状炸药）
				军用猛炸药〔喷特里特（泰安、梯恩梯的混合炸药）、阿莫拿尔炸药（含铝猛炸药）〕
				爆粉（各种起爆药）
				其它（液氧炸药）

此外，炸药按法规分类如表 1-6，这是考虑到使用的危险程度而这样划分的。这对识别什么样的物质是炸药或许有着重要意义。其中火工品是指用纸、布或金属将火药或猛炸药包装加工成符合使用要求的产品。

表1-6 炸药按法规分类

火 药	黑火药，其它以硝酸盐为主的火药
	无烟火药，其它以硝酸酯为主的火药
	其它（以高氯酸盐为主的火药等）
猛炸药	雷汞，叠氮化铅，二硝基重氮酚，其它起爆药
	硝酸铵炸药，氯酸钾炸药，高氯酸盐炸药，其它硝酸盐、氯酸盐或以高氯酸盐为主的炸药
	硝化甘油，硝化乙二醇和供爆破用的其它硝酸酯
	代那迈特炸药，其它以硝酸酯为主的炸药
	供炸药用的三硝基苯，三硝基甲苯，苦味酸，三硝基氯苯，特屈儿，三硝基苯甲醛，六硝基二苯胺，环三亚甲基三硝胺，含三个硝基以上的硝基化合物及以此为主要的猛炸药
	液氧炸药，其它液体炸药
	其它（供爆破用的硝酸脲及以此为主要的猛炸药，含二硝基重氮酚，并含硅酸酐75%以上的猛炸药）
火工品	火雷管，电雷管，底火帽及信号弹底火帽
	实弹及空包弹
	点火管及传火管
	导爆索，导火索及电引火装置
	信号烟火管及信号火箭
	烟火具，其它

第二章 炸药的反应

§ 2-1 概 论

炸药反应在化学上称为连锁放热反应,其速度异常迅速。对主要的炸药而言,其放热反应主要是氧化反应。

然而炸药反应的形式有燃烧和爆轰两种形态。在化学方面虽然认为两者是一样的,但其反应的传播速度则有显著不同。

本章就燃烧和爆轰的区别以及炸药具有的能量等加以说明。

§ 2-2 燃烧和爆轰

把氢和氧的混合气体充满于一个长管内,如果从一端点火时,火焰的传播速度有很大差别,是每秒数米或者每秒数千米两种,并不是在此两者之间。究竟是哪一种,要取决于开始的点火能。前者的状态称为燃烧或爆燃,后者称为爆轰。有时火焰在传播的过程中能够由燃烧转变为爆轰,但这种变化是突跃式的。

这种情形在炸药也同样存在。具有代表性的单质炸药硝化甘油,虽然稍受冲击时就可爆轰,但由于点火方法不同,也可使其以燃烧而告终。反之,硝化纤维素虽然通常主要利用其燃烧,但也可因条件不同而爆轰。因此,以燃烧为目的的火药和以爆轰为目的的猛炸药之间的区别只是一般用途上的

差别，而不是物质固有的性质。

爆轰反应的重要论点是一定要同时发生冲击波。因此也可以说：“所谓爆轰是同时发生冲击波的燃烧形式”。传播于炸药内部的爆轰反应是在冲击波到达后，紧接着发生化学反应。将这个整体总的叫做爆轰波。关于冲击波，将在后面第三章中说明，它是比在介质中固有的音速更快的传播波。所以爆轰波的速度总比炸药中传播的音速还要快，通常每秒达数千米。一般称此为该炸药的爆速。

与此相反，燃烧反应的未反应层由于得到反应区的热传导和热辐射所给予的能量不多，所以传播速度比爆轰时小得很多。

用于燃烧的火药与用于爆破的猛炸药在其用途上的区别，可视其有无冲击波。冲击波的明显特性是所到之处使物体变形，毁坏物体。

使用火药的目的只是利用其反应生成气体的能量以抛射物体，如火箭推进剂和枪炮发射药就是这样。与此相对应的，在爆破岩石时使用炸药，首先由于冲击波的作用使岩石破碎，其后由于气体的膨胀所产生的能量把破碎了的岩石抛掷出去。

由冲击波形成的破坏作用称为猛炸药的动作用；由生成的气体膨胀时所产生的抛掷作用称为猛炸药的静作用。猛炸药的特征是具有这样的动和静的两种作用。而火药只具有静作用。

§ 2-3 炸药的氧平衡

炸药的成分中要含有在其本身发生氧化反应时所需要的氧，所以为使反应最有效地进行，就需要恰当地供给氧，这