

学轰爆药炸猛



国防工业出版社

猛炸药爆轰学

〔美〕C.H. 约翰逊 P.A. 珀森 著

《猛炸药爆轰学》译校组 译校

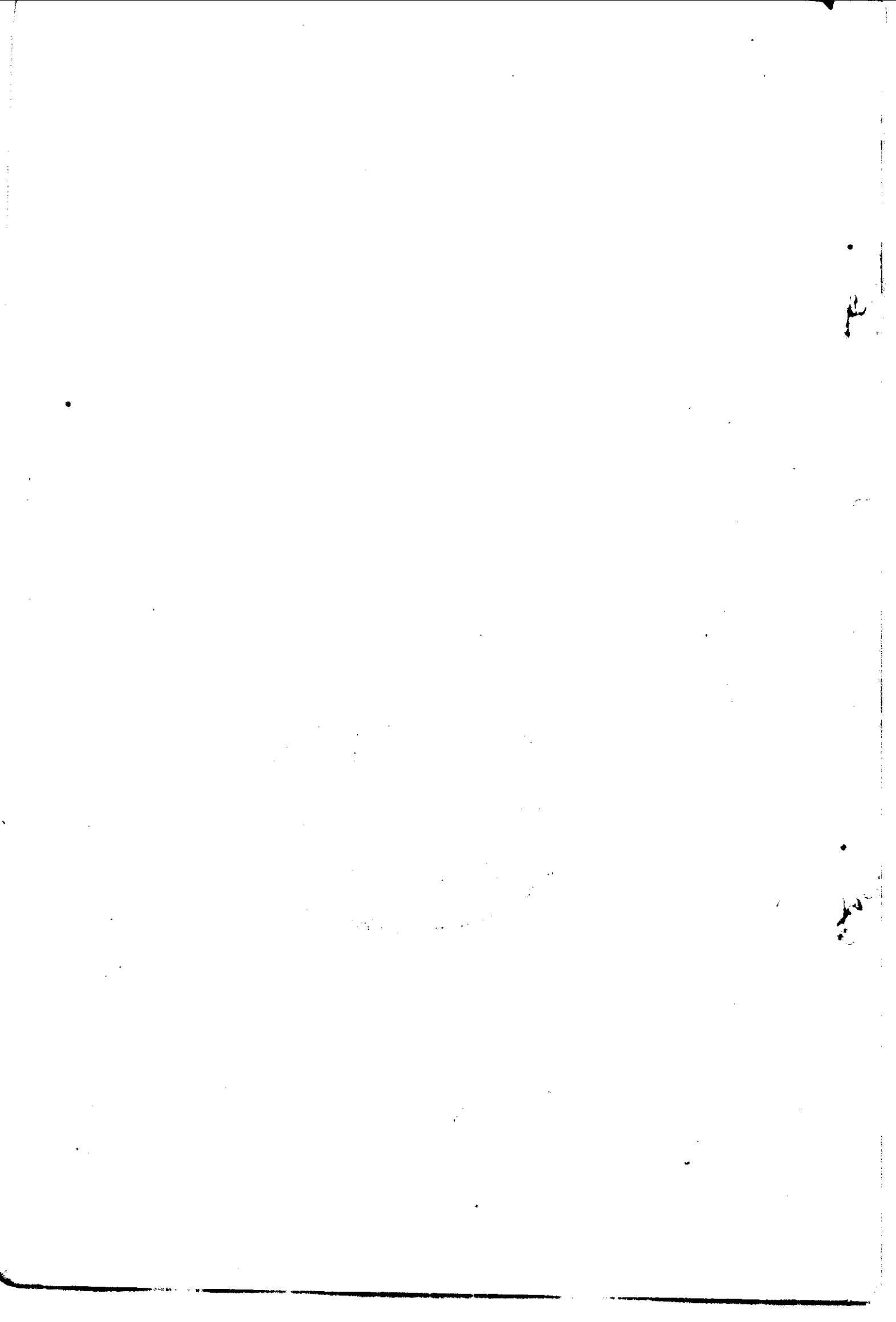
国防工业出版社

毛主席语录

古为今用，洋为中用。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。



译 序

这是一本关于猛炸药爆炸原理方面的综述性的书籍，作者除了扼要地对近二、三十年来爆炸物理方面的研究进展和理论成果作了系统地介绍和综合评述外，还对低速爆轰、沟槽效应、冲击波起爆、岩石爆破和冲击波在凝聚物质中的传播等作了较深入的讨论。此外，书中还收集了比较多的图表、数据、经验公式和实验方法。因此对研究爆炸物理学的科学工作者、工程技术人员及相应专业的大专院校师生以及其他有关方面的工作人员都有参考价值。

在译校中我们对原书中的个别章节作了删改，但仍难免有夸大或宣扬资本主义的地方，请读者在阅读时持批判的态度，本着毛主席关于“洋为中用”的指示精神，取其精华，去其糟粕，使它为我国社会主义建设服务。

本书的译校是集体完成的，特别是兄弟单位的同志对原译稿进行过认真细致的校阅，提出了许多宝贵意见，为此我们向所有支持和参加本书译校的同志们表示衷心地感谢。

目 录

第一章 爆轰	7
§ 1.1 猛炸药	7
a. 引言	7
b. 历史概述	7
c. 爆炸物	10
d. 安全问题	13
§ 1.2 爆轰过程	24
a. 爆轰过程	25
b. 爆轰气体的状态方程	30
§ 1.3 反应区的结构	34
§ 1.4 爆速和状态参数与密度的关系	37
§ 1.5 装药直径的影响：临界直径和临界密度	45
§ 1.6 代那迈特及其它非均质炸药中的低爆速和高爆速	56
§ 1.7 爆轰气体的膨胀	70
§ 1.8 沟槽效应	73
a. 内沟槽	73
b. 外沟槽	79
第二章 强冲击波起爆	87
§ 2.1 冲击波压力低于爆轰压力	88
a. 无气泡的液体炸药和单晶体	88
b. 非均质炸药	95
§ 2.2 冲击波压力大于爆轰压力	101
§ 2.3 圆柱形装药之间的爆轰传递	111
§ 2.4 抛射体撞击起爆	115
§ 2.5 抛射体撞击和隔板试验之间的比较	120
§ 2.6 雷管的起爆特性	124
§ 2.7 在空气中装药之间的爆轰传递	130
第三章 低速的机械撞击起爆	133

§ 3.1	布登的热点概念	133
§ 3.2	摩擦起爆	141
§ 3.3	落锤试验的力学	146
§ 3.4	管状容器中液体炸药的冲击起爆	153
§ 3.5	液体炸药中的低速爆轰	157
第四章	热作用	167
§ 4.1	燃烧热和燃烧速度	167
§ 4.2	蒸气压、沸点和蒸发热	170
§ 4.3	灼热线点火	176
§ 4.4	热起爆	182
第五章	爆轰时的发光	187
§ 5.1	引言	187
§ 5.2	爆轰气体的发光	187
§ 5.3	气体的冲击压缩	196
§ 5.4	周围气体的发光	198
第六章	在周围介质中的机械效应	209
§ 6.1	裸露装药的空气冲击波	209
§ 6.2	弹性固体中的应力波和冲击波	213
§ 6.3	封闭装药所作的功	218
a.	引言	218
b.	水中冲击波和气球	220
c.	铅棒中的流动和塑性变形	228
d.	岩石破裂的模型	233
e.	弹道臼炮	242
§ 6.4	在炮眼附近的岩石中冲击波和应力场的数值计算	255
§ 6.5	岩石材料的强度	260
§ 6.6	裂缝的传播	268
§ 6.7	岩石爆破的机理	275
a.	均质岩石	277
b.	非均质岩石	279
§ 6.8	岩石爆破的装药计算	280
§ 6.9	炸药的岩石爆破能力	283
第七章	高压物理学和凝聚物质中的冲击波	287

§ 7.1	实验的压力-温度范围	287
§ 7.2	冲击波和冲击波关系式	289
§ 7.3	冲击波实验	294
a.	引言	294
b.	接触法	299
c.	碰撞法	301
d.	一些实验的冲击绝热线的数据	303
§ 7.4	高压下凝聚物质的状态方程	304
§ 7.5	冲击波中的相变	306
§ 7.6	弹、塑性材料中的冲击波	308

第一章 爆 轰

§ 1.1 猛 炸 药

a. 引言

猛炸药和爆破技术的进展是现代科学研究和工业发展所创造的奇迹中很重要的一部分。

在矿山中开采矿石和煤炭，采石场生产石灰石和碎石，建筑公路、铁路、机场、运河和港口，兴建城市地下系统和水力发电站及水坝地下机器房和隧道等，猛炸药都是不可缺少的。

猛炸药确实是很有效的能源。一公斤猛炸药爆轰时释放的能量相当于一千瓦的电动机运转一小时以上所发出的能量。当一公斤代那迈特炸药在一米深的炮眼中爆轰时，其平均效率大约是5000兆瓦。这种装药可以装在小于1升的容积中。它可以放在指定的地方，长期勿需照料，用时只要按一按起爆按钮就可以发生作用。

现在事先估计和计算炸药的效率和作用的能力有很大的进展。我们正迅速地接近这样一个阶段，即当需要高压力或速度时，例如岩石的松动爆破或金属的高速加工时，把炸药作为一种准确工具而加以广泛应用，以便得到确定的、有限制的和预先计算好的效应。

本书的目的是提供充实的实验资料，它是计算的基础，甚至是考虑炸药生产和使用时安全问题的基础。虽然从军事研究和发展中得到的重要成果是宝贵的资料来源，但涉及到应用时主要注意力则集中在岩石爆破方面。

b. 历史概述

硝化甘油的发现在炸药工业中开始了一个新纪元。曾经统治

了许多世纪的黑火药现在可以被猛炸药接替了。

由于液体炸药反常的起爆行为，致使硝化甘油在使用时发生过一些严重事故。甚至直到现在只能用定性的方法来解释而还未找到准确的定量方法。虽然缺乏满意的基础理论，但A. 诺贝尔还是通过他的实践，一步一步地改进了安全性。在1867年他提出了用硅藻土吸收硝化甘油的方法，并在1875年用将硝化甘油与硝化棉制成凝胶的办法作成了爆胶。加入硝酸铵(AN)和可燃物(F)制成了强度不同的塑性或半塑性的代那迈特。后又有人用硝化乙二醇代替部分或全部的硝化甘油制造代那迈特以降低冰冻点提高了安全性。

后来又逐步改进了硝化的生产技术。在硝化车间里把硝化甘油和硝化乙二醇的量从约1000公斤减少到50至60公斤。这方面的一个更重要的步骤是采用与连续离心分离结合起来的喷射硝化过程。

连续硝化过程发生在被酸所驱动的喷嘴中的迅速强烈扰动的液流中。酸液是由泵供给的。被酸吸进喷嘴中的甘油/乙二醇的混合物由液流调节阀供应。由于酸和甘油/乙二醇的混合物迅速混合，在通过喷嘴的非常短的时间内硝化就完成了，硝化过程很接近绝热过程。因此温度的升高或进出的温差可以在一个简单的、自动的远距离控制的阀门系统中作为输入变量，此阀门系统是用来调节向喷嘴供给甘油/乙二醇混合物的速率的。于是为了稳定和安全所必需的过量酸就可以保持不变。酸和硝化甘油/硝化乙二醇的乳剂的连续流通过短管直接通到冷却器并由此通到离心分离器以除去酸。用苏打溶液洗涤以后进行另一次离心分离。

由于有喷射器和两个离心分离器，工厂中炸药的总量保持在最小值。这就可以使所有的硝化、分离和洗涤的设备安全地安装在一个单独的钢筋混凝土建筑物内。这种方法的另一个好处是：如果甘油/乙二醇的供应停止或减少，硝化室内的喷射器、冷却器和导管中小量的硝化甘油/硝化乙二醇也能在很短的时间内除

去，则留在室内的液体炸药很少，而且设备可以自动地用硝酸冲洗。

液体炸药被保持为乳状液，并且在代那迈特工厂的工房之间用水驱动的喷射器输送。这样，能够传播爆轰的液体炸药量就保持在最小值并阻止爆轰从一个工房向另一工房传播。现在世界上大多数新硝化甘油工厂都采用喷射硝化法。

后来采用了含有硝酸铵和燃料加上少量猛炸药如硝化甘油或梯恩梯的粉末状炸药。这些炸药主要是以纸卷成圆柱形药卷的形式使用。这种药卷用填塞棒装在炮眼中。从1950年开始，使用了气动药卷装填器，与用填塞棒比较它使深炮眼中的装填密度提高了50%，并且使炮眼的体积有可能相应地减少。

1950年底开始应用不做成药卷的粉末状铵油炸药（ANFO）（硝酸铵+燃料油）。的确，这种炸药早在1867年就有了，但是由于硝酸铵颗粒的吸湿结块而使这种炸药不能长期贮存。后来采用了肥料工业中发展起来的方法来防止结块，并通常把炸药做成颗粒状以便能够被压缩空气吹到炮眼中去。炸药工业中各种方法不断发展，以致用表面活性剂处理而使硝酸铵结晶的粉末保持自身的流动性。最后，出现了由硝酸铵、水、猛炸药（例如梯恩梯）和胶凝剂组成的浆状炸药。它们主要用于向下垂直的大孔中的爆破。同时还出现了同类型的浆状物和用泵把它装入炮眼的方法。为了得到对雷管敏感的浆状物，研制成了一种新的猛炸药——二硝基乙烯脲，其性质与泰安相似。不含猛炸药的成分，例如铝-硝酸铵浆状炸药可以认为是浆状炸药中的重大发展。

为了军用的目的，在1880年采用了苦味酸，而在本世纪初采用了梯恩梯。在第一次世界大战期间大量地使用梯恩梯、特屈儿和黑喜儿，在第二次世界大战期间除梯恩梯外，还有泰安和黑索金。这些猛炸药被加工为鳞片状、小结晶或颗粒状。为了得到高密度而采用了压装药。压装过程要求昂贵的压药设备以及庞大的安全装置，它的主要用途是生产大量形状简单和尺寸合适的装药。

一千巴左右的压力可以使装药密度达到结晶密度的 90~95%。压药时升高温度或加少许溶剂可以得到更高的密度。

固体猛炸药一般不能注装。它们的熔点通常很接近迅速分解的温度范围，以致注装时

或注装后有爆炸的危险。

熔点为 81°C 的梯恩梯是一个例外。注装梯恩梯的密

度几乎与结晶密度相等，

但是这种注装的炸药是很

钝感的。为了起爆注装梯

恩梯需要使用由比较容易

起爆的猛炸药做成的强力

传爆药。梯恩梯和泰安、

黑索金、奥托金、特屈

儿、黑喜儿或硝酸铵的混

合物在梯恩梯的含量低到 15~25% 时仍然能够注装。这些二元系

具有比梯恩梯熔点更低的共熔温度（见图 1.1.1），从而改进了

流动性能。除了梯恩梯-硝酸铵二元系以外，它们比注装梯恩梯

更敏感，一般不用传爆药而直接由雷管起爆。

c. 爆炸物

对于本书中最频繁地用到的一些术语，如燃烧、爆轰、爆炸和炸药，首先进行一些讨论或许是有益的。

凝聚物质的燃烧被视为一种放热的表面反应，这种反应是由

气态反应产物的热传导维持的。通常，燃烧意味着燃料和大气中

的空气之间的反应。而在本书中，大气中的空气很难参与反应。

因此凝聚炸药的燃烧意味着一种放热的表面分解反应或各组分之

间的反应，这种反应是由气态反应产物的传热支持的。把这个定

义再专门细分是很难弄清楚的，例如爆燃，它有时用来表示炸

药的缓慢分解，有时又用来表示和爆轰的快速反应不同的其它

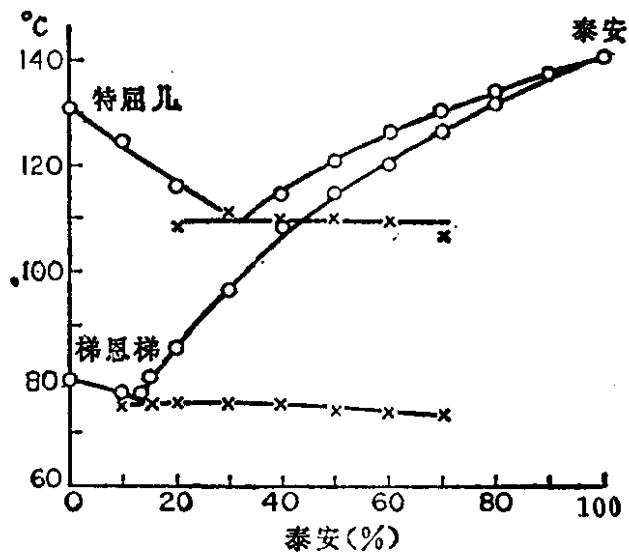


图1.1.1 泰安-特屈儿和泰安-梯恩梯的固液平衡

反应。

爆轰是放热反应的一种特殊类型，它通常是与冲击波相联系的。在爆轰时，化学反应由冲击压缩时的加热引起，并且进行得如此迅速，以至在任何可感觉的膨胀发生以前释放出来的能量就足以支持冲击波。可见，和燃烧不同，爆轰时反应产物最初具有比未反应物质更高的密度，并且其运动方向和反应阵面的运动方向相同。从反应物到未反应物质的能量传递，是靠压缩波而不是像燃烧那样靠热传导。

爆炸基本上是物质的一种快速膨胀，由原来容积膨胀到大得很多的容积。于是爆炸就包括迅速的燃烧与爆轰以及像装有压缩气体的气瓶爆裂那样的纯物理过程，有时也包括随后的效应。在本书中不使用广义的爆炸定义，我们将主要讨论各种物质和混合物的快速化学反应所引起的爆炸的物理现象。爆炸物这一概念的广义定义有某些便利，但是，在下面我们只限于讨论没有大气中的空气参与时能够燃烧或爆轰的炸药。

我们有意不把用于爆轰装药的炸药和用于火箭与枪炮的推进剂加以区别。这样是方便的，因为许多推进剂甚至以它们的正常形式使用时如果给它足够的激发能也能够爆轰。其它推进剂虽然在它们正常的密实状态下不爆轰，但在细粉末状态很容易爆轰，这是设计工艺过程时必须注意的一个重要事实。这样的推进剂甚至在做成很大的火箭装药时也能爆轰。

这类炸药有时被称为“内在的爆炸物质”。这种说法是有意义的，因为它提到这样一个重要事实：许多从前不认为是危险的化合物和混合物，在一定的刺激、尺寸和外壳的条件下确实具有炸药的特性。一系列大规模的灾难性爆炸，包括硝酸铵的爆炸，就是一个严肃的例证。

硝酸铵虽然符合上述内在的爆炸物质的定义，但少量时被看作是很钝感的氧化剂。在数量足够时，特别是加入可燃物如碳、木粉或其它碳氢化合物而配成氧平衡时，由于大量物质本身的封

闭作用，可以由燃烧转为爆轰。

当把炸药对某种特定冲量的起爆感度以递降的次序来排列时，可以得到一种几乎是连续的分级顺序。这种顺序用以区分炸药的三种主要类型，第一类称为初发炸药或起爆药，第二类称为次发炸药或猛炸药。第三种，也就是被称为“第三类炸药”的包括如硝酸铵这类物质，并且排列在感度序列的末端。

W. 泰勒(Wilfrid Taylor) 在 1959 年的著作《现代炸药》中，对这三类炸药的特性作了清楚的描述。

他说：初发炸药或起爆药在本质上是危险的物质，在处理它们时必须十分小心，因为它们的感度如此之大，以致轻微的冲击或者任何火焰或火花都能够使之起爆，而这起爆必定引起整个物质的猛烈爆轰。但是，当起爆药被压缩到薄壁的金属壳或盂中，像民用雷管中那样，则安全性达到惊人的程度。即使这样，如果粗心地处理或针刺其组成时，也容易引起爆炸。虽然雷管一般只含有一克炸药，但在手中爆炸时也必定造成严重的伤残。所以制造起爆药应在专门的和标准的条件下进行，完全隔离操作，以免发生意外。当一种物质作为起爆剂应用时，它必须能够在几毫米的距离内由火焰点燃并发展成完全爆轰。很明显，对于起爆剂来说，化学稳定性和感度的范围是特别狭窄的。因此只有很少几种化合物能够满足实际使用的严格要求。雷汞自从它第一次被应用以来就作为传统的起爆药，但是把叠氮化铅作为现代起爆药的主要代表则更好一些。

次发炸药或猛炸药比较难引爆，在制造中比起爆药的危险性小，但这个优点被下面两个事实所抵销：即它通常被处理的量很大，另外其中最重要的一种即硝化甘油是液体，特别是由于它的状态而带来更多的危险性。因此制造猛炸药时要求与制造起爆药略有不同的专门化的技术和安全防护。许多猛炸药能被机械撞击起爆，例如由于坚硬的金属表面之间剪切而使放在其中的炸药起爆，并且反应的传播可能导致整块炸药爆轰。这一类中最典型的

固体炸药或许是梯恩梯。

最后，以硝酸铵为代表的第三类炸药，由于很难起爆而危险性大大减少。只要遵守一定的条件，例如不与可燃物或敏化剂混合，它们确实是作为非炸药的。然而某些重大事故，例如1921年阿培的爆炸和1947年德克萨斯城的爆炸，说明硝酸铵在很大量或极强的起爆条件下能够产生破坏性的爆轰。

表1.1.1列出了某些单质炸药的成分和性质，并尽可能按照感度下降的顺序划分为三类。指导原则是要包含那些已经大量生产的或者由于某些原因已经研究过、或者它们的一些重要数据是有用的炸药。表1.1.2给出了一些含有两种或两种以上化学物质的军用炸药，这些化学物质本身或者是炸药，或者是惰性物质。

爆速、爆压和速度微商是实验值，而且只列出有广泛实验基础并且能够外推到无限大直径的值。

表1.1.3和表1.1.4列出了在法国、德国、英国、瑞典和美国普遍使用的一些工业炸药的成分和性质。

d. 安全问题

安全问题始终是炸药工作中头等重要的问题。我们常常应用许多机械的和热的实验结果来鉴别各种炸药可以受到什么程度的激发而不致发生意外的爆炸危险。如用于工业炸药的机械试验是落锤试验 (§ 3.3)，抛射体碰撞试验 (§ 2.5)和花岗岩沟槽摩擦试验 (§ 3.2)。隔板试验或板-间隙试验 (§ 2.3)产生和抛射体碰撞试验非常相似的冲量，并经常用来表示军用炸药的冲击波感度。类似的试验被用来作为估计工业炸药在炮眼中从一个药卷到另一药卷或仓库中大量炸药之间传递爆轰的能力的标准试验。

热试验用以判断与偶然着火或长期贮存稳定性有关的危险性。把炸药放在一个有排气喷嘴的钢筒中，迅速加热时容器机械破坏的程度（变形，破裂或破碎）是喷嘴直径的函数。早先德国铁路局规定了一种加热试验，即将炸药放满在一个边长8厘米的薄壁金属盒里加热。此试验的缺点是当盒子破裂时由于压力的迅

表1.1.1.1 一些单质炸药

名	称	符	号	组	成	分	子	量	ρ_{\max} (克/厘米 ³)	D_i (千米/秒)		$\frac{\Delta D_i}{\Delta P}$	P_i (千巴)	Q_e (千焦耳/克)	V_i (厘米 ³ /克)
										(1克/厘米 ³)	ρ_{\max}				
初发炸药															
叠氮化铜				$\text{Cu}(\text{N}_3)_2$		147.6									
氮氢酸				HN_3		43.0									
雷汞				$\text{HgC}_2\text{N}_2\text{O}_2$		284.7		4.42	5.05	5.4	0.89		1.79	315	
斯蒂酚酸铅				$\text{PbC}_6\text{HO}_2(\text{NO}_2)_3$		468.3		3.10	5.2	5.2			1.54	407	
叠氮化铅*				PbN_6		291.3		4.71	5.1	5.6	0.56		1.53	308	
叠氮化银				AgN_3		149.9									
四氮烯(胍基亚硝基胺)				$\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_{10}\text{O}$		188.2									
二硝基偶氮酚			DDNP	$\text{C}_6\text{H}_2\text{N}_2\text{O}(\text{NO}_2)_2$		210.1									
次发炸药															
液体															
硝酸甲酯				CH_3NO_3		77.0									
硝化甘油(甘油三硝酸酯)			NG	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_3$		227.1		1.60	7.58	7.58			~220	6.30	715
硝化乙二醇			EGDN	$\text{C}_3\text{H}_4(\text{NO}_3)_2$		152.1		1.48						6.83	737
四硝基甲烷			TNM	$\text{C}(\text{NO}_2)_4$		196.0		1.65					159		686

硝仿(三硝基甲烷)	CH(NO ₂) ₃	151.0	1.60							
二硝基甲烷	CH ₂ (NO ₂) ₂	106.1								
硝基甲烷	CH ₃ NO ₂	61.0	1.13	6.29	141	6.4				723
乙烯二硝酸酯	C ₂ H ₆ N ₂ (NO ₂) ₂	150.1	1.5	7.61						
硝化异丙基 固体	C ₃ H ₇ NO ₃	105.1	1.04	5.4	85					
甘露醇六硝酸酯(硝化甘露醇)	C ₆ H ₈ (NO ₃) ₆	452.2								
三硝基叠氮苯	C ₆ H ₂ N ₃ (NO ₂) ₃	254.1								
硝化棉	C ₂₄ H _{40-x} O _{20-x} (NO ₃) _x	1188.6	1.66			10.60				
季戊四醇四硝酸酯	C ₅ H ₈ (NO ₃) ₄	316.2	1.67	5.55	300	6.12				780
双三硝基乙基脲	C ₆ H ₆ N ₂ O(NO ₂) ₆	386.2	1.79	7.98						
三硝基苯甲硝酸酯(特屈儿)	C ₇ H ₅ N(NO ₂) ₄	287.2	1.70	5.60		3.22				
硝化淀粉(季戊炸药)	C ₁₂ H ₁₅ O ₅ (NO ₃) ₅	549.2								
硝酸胍	H ₅ N ₂ NO ₃	95.1	1.63	8.69						
环三次甲基三硝酸胺(黑索金)	C ₃ H ₆ N ₃ (NO ₂) ₃	222.1	1.80	6.08	347	3.59	5.46			908
环四次甲基四硝酸胺(奥托金)	C ₄ H ₈ N ₄ (NO ₂) ₄	296.2	1.90	9.10	393	5.46				908
双胺三硝基苯	C ₆ H ₆ N ₂ (NO ₂) ₃	243.2	1.79	7.52	259					
三胺三硝基苯	C ₆ H ₆ N ₃ (NO ₂) ₃	258.2	1.90	7.9						