

煤矿火工技术丛书

炸药爆炸理论基础

《煤矿火工技术丛书》编写组

煤炭工业出版社



内 容 简 介

本书是《煤矿火工技术丛书》的第一册。主要介绍一般炸药和煤矿炸药的感度、热化学性质、爆炸和爆轰性质及各种爆炸作用等。其中对煤矿炸药的安全原理作了专门讨论。

本书可作为从事爆破材料生产的职工进行专业技术学习的参考书，也可供从事煤矿爆破方面的职工参阅。

煤 矿 火 工 技 术 丛 书

炸 药 爆 炸 理 论 基 础

《煤矿火工技术丛书》编写组

(限 国 内 发 行)

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路15号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

9 开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 6
字数 130 千字 印数 1—16,900
1977年11月第1版 1977年11月第1次印刷
书号15035·2126 定价0.43元

前 言

建国以来，在伟大领袖和导师毛主席的无产阶级革命路线指引下，在建设社会主义总路线的光辉照耀下，我国煤炭火工生产从无到有，由小到大，发展较快。从全国情况来看，布局比较合理、产品趋于标准化和系列化、生产工艺也达到了一定水平；广大干部、工人和工程技术人员高举“鞍钢宪法”旗帜，大力开展“工业学大庆”的群众运动，在生产和科研实践中积累了许多宝贵经验。为了总结二十多年来我国煤炭爆破材料生产、科研和使用等方面的经验，为煤炭火工战线广大职工学习技术提供一套比较系统的参考书，在有关部门组织下，我们编写出版这套《煤矿火工技术丛书》。

这套丛书暂定为四册：《炸药爆炸理论基础》、《矿用炸药》、《矿用起爆材料》和《煤矿爆破技术问答》。

《炸药爆炸理论基础》一书以通俗易懂、深入浅出的形式，从理论上阐明一般炸药和煤矿炸药的各项基本性能和爆炸作用；《矿用炸药》一书介绍硝铵炸药、浆状炸药等各种类型矿用炸药的性能、生产工艺、设备、检验方法和安全技术，并力求在总结生产实践经验的基础上对产品的质量问题分析较为系统的分析；《矿用起爆材料》一书以火雷管、瞬发电雷管、秒延期雷管和毫秒雷管为主，分章介绍各种矿用起爆材料的结构、性能、设计原则、生产工艺和设备、检验方法和安全技术，对各种产品的质量问题的讨论，

《煤矿爆破技术问答》一书以问答的形式，简明概括各种爆破材料在煤矿生产中的合理使用，以求做到既安全可靠又最大限度地发挥爆破材料的效能。

这套丛书在编写过程中，得到有关厂、矿、所、校的领导、广大工人群众和专业人员的指导、帮助和鼓励，在此深表谢意。

由于水平所限，又缺乏编写经验，书中的缺点和错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

《煤矿火工技术丛书》编写组

1977年1月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 工业炸药发展概况	1
第二节 爆炸现象与炸药	5
第三节 炸药的分类	9
一、按物理状态分类	9
二、按炸药组成分类	10
三、按用途分类	13
第二章 炸药的感度	15
第一节 炸药的热感度	17
一、炸药的爆点	17
二、炸药的火焰感度	20
三、炸药的热分解和安定度	21
四、炸药的热爆炸机理	25
第二节 炸药的机械感度	26
一、炸药的撞击感度	27
二、炸药的摩擦感度	29
三、机械作用激发炸药爆炸的机理——热点学说	31
第三节 炸药的起爆感度	33
第四节 炸药的静电感度	34
一、摩擦带电原理和静电电压及静电量的测定	35
二、影响静电电压的因素	36
三、炸药静电感度的测定方法	37
四、消除静电的措施	38
第五节 影响炸药感度的因素	39

一、物态对感度的影响	39
二、炸药的晶形和细度对感度的影响	40
三、温度对感度的影响	40
四、炸药的密度对感度的影响	41
五、附加物对感度的影响	41
第三章 炸药的热化学性质	44
第一节 氧平衡	44
一、氧平衡的基本概念	44
二、氧平衡的计算式	45
三、氧平衡计算举例	46
四、氧平衡在设计炸药配方中的应用	50
第二节 爆炸反应生成物和爆炸反应式的确立	53
一、确立近似爆炸反应式的简单规则	54
二、爆炸产物中的有毒气体	57
第三节 炸药的比容	62
第四节 炸药的爆热	63
一、爆热的测定	63
二、爆热的理论计算	65
第五节 炸药的爆温	69
第四章 炸药的燃烧与爆轰	74
第一节 炸药的燃烧	75
第二节 冲击波	80
一、波的基本知识	80
二、冲击波	83
第三节 爆轰波	98
一、爆轰过程的激发	98
二、爆轰波的结构	100
三、爆轰波的参数	101
第四节 炸药的爆燃	105

一、炸药的爆燃现象及其危害	105
二、引起炸药爆燃的原因	105
三、测定炸药爆燃的方法	107
四、预防炸药爆燃的措施	108
第五章 炸药的爆炸性质和爆炸作用	109
第一节 威力	109
一、炸药的作功能力	109
二、炸药威力的对比测试方法	112
第二节 猛度	116
一、炸药猛度的理论表示方法	116
二、炸药猛度的对比实测方法	118
三、猛度和威力的关系	122
第三节 爆速	123
一、爆速的测量	124
二、影响爆速的因素	129
第四节 殉爆	138
一、炸药的殉爆现象	138
二、殉爆距离的测定	138
三、影响殉爆的因素	139
第五节 空气冲击波的破坏作用和安全距离	145
一、空气冲击波的破坏作用	145
二、安全距离	148
第六节 爆炸波在土石介质中的破坏作用	151
一、炸药在土石介质中的爆炸	151
二、爆炸波	153
三、土石爆破药量计算	153
第七节 聚能效应	155
一、聚能效应现象	155
二、产生聚能效应的原因	156

三、影响聚能效应的因素	158
四、聚能效应的应用	159
第六章 煤矿安全炸药原理	160
第一节 煤矿瓦斯煤尘爆炸机理	161
一、矿井瓦斯与煤尘	161
二、瓦斯的燃烧和爆炸	162
三、煤尘的燃烧和爆炸	168
四、爆破作业引起瓦斯煤尘爆炸的发火条件	170
第二节 煤矿安全炸药概述	175
一、对煤矿安全炸药的基本要求	175
二、安全炸药的消焰剂	177
三、安全炸药的种类与分级	178
第三节 煤矿炸药安全性的检验方法	179
一、我国的巷道和巷道试验方法	181
二、巷道试验的实际意义及其在实践中的应用	182

第一章 绪 论

第一节 工业炸药发展概况

和一切发明创造一样，工业炸药是劳动人民在长期的阶级斗争、生产斗争和科学实验中逐步发展起来的。

世界上应用最早的炸药——黑火药是由我国劳动人民发明创造的。远在公元前220年，我国劳动人民已初具黑火药的知识。在唐代，黑火药已广泛用于制作烟火、花炮，而且还作为火攻武器用到了军事上。到十世纪，我国的黑火药已发展到高度的水平，当时的开封已有相当大的黑火药工厂，有“毒药烟球法”，“蒺藜火球法”和“火炮火药法”三种配药方法。不久，霹雳炮、火炮、纸壳炮弹相继发明，火药的应用已由燃烧性武器发展到爆炸性、射击性武器了。

约在公元十三世纪中叶，火药知识才由南宋传入阿拉伯国家；以后又通过阿拉伯人逐渐西传。欧洲人知道利用黑火药，那是十四世纪初期的事。

黑火药在矿业上的应用，有资料记载的是1627年，那时用的炮眼直径为76毫米，用木塞堵孔，用麦秸、稻草或夹有黑药的草绳来点火引爆黑火药。这与原来的火烧法破裂矿体相比较，爆破效率大大提高了，因此，普遍受到人们的重视。

从1630年到1705年，爆破法相继在西欧和北美一些国家的矿山、筑路、隧道等工程上普遍得到了应用，黑火药作为

独一无二的用于军事和其它工程的爆破材料延续了约数百年，直到现代猛炸药发展起来以后，黑火药在军事上和工程上的地位才不显得那么重要，但至今，它仍然在烟火剂、导火索、礼花等方面被广泛应用着。

现代工业炸药的迅速发展，实际上是从欧洲的工业革命以后开始的，随着资本主义的发展，封建社会逐渐解体，社会生产力得到了解放，这为现代科学技术的发展提供了有利的条件。1658年发现硝酸铵，1799年制成雷汞，1846年硝化棉和硝化甘油合成成功，这些都为现代工业炸药的发展和实际应用奠定了基础。

1862年首先发现强棉能够起爆硝化甘油，过了五年，雷汞雷管发明了，同年，发现硅藻土能很好地吸收硝化甘油，并能用雷管使之爆轰。爆轰现象的发现和雷管的发明是炸药发展史上一个重大的转折点，从此，在矿业上和军事上开创了应用猛炸药的新时代。在此基础上，1875年，用硝化甘油和硝化棉制成了胶质炸药。由于胶质炸药比较昂贵，处理也不安全，大量应用在矿业或其它工程上并不完全理想，因此，人们积极地开展了新炸药品种的研究。1867年，以硝酸铵、煤和碳氢化合物为组分的炸药研究成功，这实际上就是各国至今仍然沿用的各种类型的粉状硝铵炸药。到1872年，国外已有用硝化甘油为敏感剂的确铵炸药投入工业生产。过了12年，固体敏感剂(三硝基萘)开始用于含硝铵的炸药中。梯恩梯是1863年制成的，它的爆炸性能在1891年发现，用它作为硝铵炸药的敏感剂，从1924年才开始。以硝化甘油和梯恩梯为敏感剂的粉状硝铵炸药就这样逐渐发展起来了。

安全炸药是十九世纪末发展起来的。随着采煤工业的发展，煤矿爆炸事故不断发生，这促使一些国家建立了专门机

构，研究防止事故发生的措施，并首先在爆破器材上取得了突破。1880年，建成了世界上第一座检验炸药安全性的试验巷道。1884年，国外已设计出含硝酸铵和硝基萘等组分的安全炸药。1887年，以硝化甘油、硅藻土、硫酸镁、硝酸钾为组分的安全炸药，首次应用于井下。这些炸药的安全性显然是不高的，因为不久在法国的一个矿井，就发生了一起严重的爆炸事故，死亡了1100多名矿工，所以人们不得不对炸药进行更加深入的研究。1914年，国外发明了氟化钠安全被筒炸药，1930年又发明了活性安全被筒炸药。含有食盐的安全炸药和被筒炸药的大量使用，开始于1936年。高安全的离子交换炸药，虽然在1902年就发明了，但它的工业生产和实际应用直到1952年才解决。

炸药的发展史既古老又年轻，黑火药的发明至今虽已有近两千年的历史，但是现代工业炸药的大量应用不过是近一百年的事，而且它仍在不断地发展和改进，还有待人们去进一步探索。一百多年来，工业炸药的品种、数量和质量有了很大的提高和改善，目前，已有种类繁多的工业炸药投入生产和应用。例如，各种威力的粉状炸药、胶质炸药、各种安全度的安全炸药、各种抗水炸药、高比重炸药、酸基炸药、廉价炸药等等。尤其近十多年发展起来的铵油炸药、浆状炸药，由于其加工简单，成本低廉，生产使用安全，便于使用机械化装填，因此，受到人们普遍的重视，产量和用量正与日俱增。

在半封建半殖民地的旧中国，工业炸药生产十分落后，生产厂家寥寥无几，这种落后状态完全是由于帝国主义的侵略、掠夺所造成的。抗日战争时期，解放区的广大军民在党和毛主席的英明领导下，在极端艰苦的条件下，因地制宜，

发明了各种类型的硝铵炸药，有力地打击了日本侵略者。例如，当时的太行山根据地和其它解放区，都有生产粉状硝化甘油炸药和铵油类炸药的工厂，而后者直到五十年代才被资本主义国家用于工业爆破上。

解放后，我国的民用爆破器材工业在“独立自主，自力更生”，“艰苦奋斗，勤俭建国”的方针指引下，从无到有，由小到大，面貌发生了巨大的变化，特别是经过无产阶级文化大革命，更加速了民用爆破器材工业的发展。例如煤炭系统的火工厂，从解放初期的两个已增加到几十个，分布在各个省区的重点矿区。产品的数量、质量、品种都有了很大的提高和增加；新工艺、新技术、新产品、新设备的不断应用，使各厂呈现一片欣欣向荣，旧貌变新颜的大好形势。目前，我国生产的工业爆破器材，除应用于矿业开采外，还广泛用于交通、农田水利、高能成型、爆炸压接、油井射孔爆破等方面。随着生产的提高，爆破技术也大大地发展了。早在一九五六年，我国就能进行装药量高达15545吨的大爆破作业，这在世界上还是罕见的。近年来，毫秒爆破、光面爆破等先进技术也普遍地推广应用了。这些成就的取得，是毛主席革命路线的胜利，是无产阶级文化大革命的丰硕成果。

二十多年来，我国的工业炸药生产面貌发生了巨大变化，取得了很大的成绩，但我们绝不应以此为满足。伟大领袖毛主席教导我们：“中国应当对于人类有较大的贡献”。蓬勃发展的社会主义革命和建设事业，正向我们不断地提出新课题和新任务，我们要以“世上无难事，只要肯登攀”的精神，去攀登工业炸药生产的新高峰，争取更大的胜利！

第二节 爆炸现象与炸药

爆炸现象是我们在日常生活中经常遇到的现象，如轮胎“放炮”、锅炉爆炸、鞭炮爆炸、煤尘瓦斯爆炸、炸药爆炸等。这些爆炸现象实际上是物质的物理或化学能量的迅速释放过程。在此过程中，由于物质状态的变化，爆炸点周围介质的压力和温度急剧增高，发生瞬间气体膨胀和音响，使周围介质遭受破坏。凡此现象，我们通常称之为爆炸。

按物质爆炸变化的性质，可将爆炸现象分为三类：

1. 物理爆炸

这是一种纯物理过程，物态变化时不发生化学反应。水迅速变为过热蒸汽所引起的锅炉爆炸，氧气瓶突然受热膨胀引起的爆炸，高压放电等都属物理爆炸。

2. 原子爆炸

某些物质的原子核发生裂变或聚变的链锁反应时，在瞬间能释放出巨大的能量而产生爆炸效应，称之为原子爆炸，如原子弹和氢弹的爆炸。

3. 化学爆炸

物态变化时能发生极迅速的放热化学反应，生成高温高压的反应产物而引起的爆炸效应称为化学爆炸，如鞭炮的爆炸、爆炸化合物或混合物的爆炸等。

化学爆炸是人们接触最多、应用最广泛、最有实际意义的一种爆炸现象。我们常把能发生化学爆炸的物质称之为炸药。不难看出，炸药能产生爆炸效应是由于它有如下的特点：

1) 反应过程中能放出大量的热 放热反应是爆炸反应得以进行的首要条件，否则反应便不能自发地加速和传播，例如下列反应：



(草酸铵)



(草酸锌)



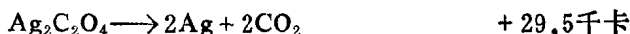
(草酸铅)



(草酸铜)



(草酸汞)



(草酸银)

前三个都是吸热反应，反应过程很平静，不是爆炸反应。第四个虽属放热反应，但由于反应热很小，仍不足以使反应自动加速和传播，因此也不是爆炸反应。而最后两个反应在分解时能够放出大量的热，使反应得以迅速进行，这样的分解变化过程就具有爆炸的性质。

依靠反应时放出的热，气体产物往往能被加热到数千度，压力可达数十万大气压，高温高压反应产物的能量，最后转化为机械功，使周围介质受到压缩或破坏。反应热和反应速度愈大，则爆炸的破坏作用也愈大，因此反应热的大小，往往是衡量炸药作功能力大小的一个重要标志。现代所用的炸药，爆炸时的反应热一般在700~1500千卡/公斤之间。例如，黑索金的爆热为1282千卡/公斤；1号岩石硝铵炸药的爆热为947千卡/公斤；2号煤矿硝铵炸药的爆热为793千卡/公斤。

2) 反应过程的速度很高 爆炸过程有很高的速度，这是它区别于一般化学反应的最显著的特点。爆炸反应一般在 $10^{-5} \sim 10^{-8}$ 秒间完成，它的能量在瞬间释放出来，可以达到

很高的能量密度，这是其它化学反应所不能比拟的。从总能量的观点来看，和一般的可燃物比较，炸药并非高能物质（参看表1-1）。但一般可燃物燃烧过程进行得很缓慢，它的能量大都由于热的传导和辐射而损失了，故不能达到较高的能量密度。相反，炸药的爆炸反应进行极快，瞬间释放出的能量来不及散失而高度集中（参看表1-2）尽管它的总能量并不高，但由于这个缘故，仍具有极大的作功能力。

表 1-1 某些炸药和可燃物的反应热

炸 药、可 燃 物 名 称	反应热 (千卡/公斤)
硝化甘油	1485
黑 索 金	1282
梯 恩 梯	1000
二硝基重氮酚	955
硝 酸 铵	344
1 号岩石硝酸铵炸药	947
碳与氧完全燃烧	2140
氢与氧完全燃烧	3230

表 1-2 某些炸药和可燃物的能量密度

炸药、可燃物名称(密度 克/厘米 ³)	能量密度 (千卡/升)
硝化甘油 (1.6)	2380
黑 索 金 (1.6)	2045
梯 恩 梯 (1.6)	1626
二硝基重氮酚 (1)	955
1 号岩石炸药 (1)	947
硝 酸 铵 (1)	344
碳完全燃烧	4.1
氢完全燃烧	1.7

从表 1-2 可以看出, 炸药的能量密度比一般可燃物大数百到数千倍。没有爆炸反应的高速度, 就不会有高的能量密度。现代应用的各种炸药的爆炸传播速度一般在 2000~9000 米/秒。

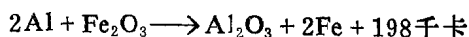
3) 能生成大量的气体产物 炸药发生爆炸反应时能生成大量的气态产物, 在爆炸反应热的作用下, 它处于高温高压状态, 在其膨胀过程中能使周围介质发生破坏, 把炸药的能量转化为机械功。表 1-3 列出了某些炸药的气态生成物体积 (在标准状态下)。

表 1-3 某些炸药的比容 (标准状态)

炸 药 名 称	比 容 (升/公斤)
硝化甘油	716
黑 索 金	908
梯 恩 梯	750
二硝基重氮酚	876
1 号岩石硝铵炸药	911
硝 酸 铵	980

从上表可见, 一公斤炸药在爆炸时能产生 700~1000 升气体, 而在爆炸的瞬间, 这些气体处于定容压缩状态, 压力往往可达数十万大气压, 这种现象在一般化学反应的条件下, 显然是无法实现的。

有的化学反应虽然能放出大量的热, 也有较高的速度, 但是不能生成气态产物, 所以并不具有爆炸的性质。铝热剂的反应就是很典型的例子:



这个反应虽然能达到 3000°C 的高温, 但由于没有气态产

物生成，故不属于爆炸反应。从这里我们不难得出结论，凡炸药必须具备三个条件：反应过程中能放出大量的热，反应速度极快，并能生成气态产物。这三个条件又是相互配合的，缺一不可。当然，这些特性对不同的炸药其表现形式是各不相同的，然而只有它们的综合效果才能使化学变化过程具有爆炸的性质。

第三节 炸药的分类

现代科学技术的发展，使人们发现了大量的爆炸性物质，由于各种原因，实际得到生产和应用的却并不多。目前，有实际应用价值的都是一些生产安全、爆炸性能良好、技术与经济效果较为合理的炸药。

根据它们的物理状态、组成和用途可作如下分类：

一、按物理状态分类

1. 固体炸药 这是一种结晶状的应用最广泛的炸药。如梯恩梯、黑索金、二硝基重氮酚、硝铵炸药等固态的单质炸药或混合炸药。

2. 液体炸药 液态的单质化合物或多种液体混合物。如硝化甘油、硝基乙二醇、多组份的液相酸基炸药等。

3. 气态炸药 这一类都是气态混合物。单位体积能量都很小，使用也不方便，实际上没有什么实用价值。例如矿井瓦斯、爆鸣气等。

4. 多相炸药 这是一种固体与液体、固体与气体或液体与气体所组成的炸药，如含硝化甘油和硝酸铵的胶质与半胶质炸药、铵油炸药、浆状炸药、液氧炸药及可燃粉尘与空气的混合物等，其中以固液体系最有实际意义。