

全国煤矿安全培训统编教材

爆 破 工

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

guojia meikuang anquan jianchaju renshi peixunsi zuzhi bianxie

B 类

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

guojia meikuang anquan jianchaju renshi peixunsi zuzhi bianxie

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

中国矿业大学出版社

全国煤矿安全培训统编教材

爆 破 工

(B 类)

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

编写 陈树新 任连贵

审定 刘过兵 周 英 罗坝东

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书较全面地阐述了炸药爆炸的基本理论、矿用炸药、起爆技术与起爆器材、井巷掘进爆破技术、爆破作业、放炮事故的预防与处理等方面的知识和技术。

本书是煤炭企业采煤、掘进和通风区队长、掘进和通风班组长,以及采煤工、掘进工等有关特种工作人员进行安全上岗培训的统编教材,也可作为基层管理干部、有关工程技术人员及煤炭院校师生的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

爆破工/陈树新,任连贵编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2002.5

全国煤矿安全培训统编教材

ISBN 7-81070-505-9

I. 爆... II. ①陈... ②任... III. 煤矿开采—
爆破技术—技术培训—教材 IV. TD235.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 029783 号

书 名 爆破工

编 者 陈树新 任连贵

责任编辑 张乃新

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

印 刷 北京科技印刷厂

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 3.875 字数 89 千字

版次印次 2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷

印 数 5000 册

定 价 7.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

全国煤矿安全培训统编教材编审委员会

总顾问	路德信			
主 任	黄玉治			
副主任	周心权	闫永顺		
委 员	王树鹤	付建华	梁嘉琨	石少华
	李文俊	安里千	段 刚	陈国新
	蔡 卫	徐景德	王金石	王素锋
	瓮立平			

出版说明

搞好煤矿安全生产是保护国家财产和人民群众生命安全的一件大事，它关系到国民经济的发展和社会的稳定。随着我国社会主义市场经济体制的发展，煤炭工业面临着良好的发展机遇，煤炭企业正在向高产、低耗、安全和集约化生产方向发展。但是，煤炭企业安全生产形势仍较为严峻：一方面，煤矿开采水平正在不断加深，生产条件更加复杂化；另一方面，一些煤炭企业仍然存在着盲目追求最大经济效益、不重视安全生产的行为。因此，依法加强对煤矿企业安全生产的监察，通过培训全面提高煤矿企业从业人员的安全素质，是非常必要的。

为了适应我国煤炭工业管理体制改革的需要，国务院于1999年成立了国家煤矿安全监察局，建立了新的煤矿安全监察管理体制。国务院批准的《煤矿安全监察管理体制改革的实施方案》中，赋予国家煤矿安全监察局“组织、指导煤炭企业安全生产技术培训工作，负责煤炭企业主要经营管理者安全资格认证工作”的职能。2000年经国务院批准，又成立了国家安全生产监督管理局，国家煤矿安全监察局与其合署办公。国务院批准的《国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）职能配置、内设机构和人员编制规定》中，赋予国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）“组织、指导本系统安全生产监察人员、煤矿安全监察人员的培训、考核和全国企业安全生产技术培训工作；依法组织、指导并监督特种作业人员的考核工作和企业经营管理者安全资格考核工作”的职能。

为了履行好国务院赋予我们的有关安全培训方面的职能，规范煤矿安全生产技术培训工作，保证培训质量，在总结安全培训工作

经验,借鉴国外发达国家矿山安全培训课程体系的基础上,国家煤矿安全监察局人事培训司组织有关高校、安全技术培训中心和煤炭企业等单位的教授、专家和安全工程技术人员编写了这套模块式“全国煤矿安全培训统编教材”。这套教材不仅反映了传统的煤矿安全生产技术知识,也引进了成熟的煤矿安全生产新知识、新技术,并且针对培训对象的工作类别、专业和文化程度的不同,就其撰写文体、内容深度和广度的差异分为A、B两类。A类教材内容较深,强调内容的科学性、新颖性和实用性,主要适用于国家煤矿安全监察人员、从事煤矿安全培训的教师、煤炭企业主要经营管理者及安全专职管理人员、区(队)长等;B类教材内容较浅,强调内容的实用性,主要适用于班(组)长、各种作业人员(含特种作业人员)、企业安全检查员等。模块式教材避免了不同工种系列的同一课程教材内容的重复,便于选择较合适的作者重点撰写,内容覆盖面广,融科学性、实用性、系统性于一体,是对各类煤矿安全人员进行安全资格培训(复训)和考核的统编教材,也是各类煤矿安全人员上岗后不断巩固、提高安全生产知识的工具书,同时,也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校的师生参考。

本套教材在编审过程中,得到了中国矿业大学(北京校区)、华北科技学院、焦作工学院、黑龙江科技学院,有关省级煤矿安全监察局、煤矿安全技术培训中心、煤炭企业等单位的大力支持。在此,谨向上述单位表示谢意。

本书由陈树新、任连贵编写,刘过兵、周英、罗坝东审核。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002年2月

目 录

第一章 炸药爆炸的基本理论	(1)
第一节 爆炸及炸药爆炸的一般特征	(1)
第二节 炸药爆炸的热力学参数	(4)
第三节 炸药的爆轰、爆速与间隙效应	(5)
第四节 炸药的起爆与感度	(7)
第五节 炸药的猛度、爆力与聚能效应	(9)
第六节 岩体内的爆炸应力波与爆破作用原理	(12)
思考题	(19)
第二章 矿用炸药	(20)
第一节 安全炸药理论	(20)
第二节 矿用炸药的分类	(22)
第三节 煤矿许用炸药分级与选用	(24)
第四节 煤矿许用炸药的组成及适用条件	(25)
思考题	(34)
第三章 起爆技术与起爆器材	(35)
第一节 电力起爆技术	(35)
第二节 发爆器及其检测仪器	(40)
思考题	(45)
第四章 井巷掘进爆破技术	(46)
第一节 概述	(46)
第二节 钻眼爆破参数	(46)
第三节 掏槽爆破	(48)
第四节 毫秒爆破	(56)

第五节	光面爆破	(58)
第六节	定向断裂爆破	(61)
第七节	井巷工作面炮眼布置	(63)
第八节	爆破作业说明书	(67)
思考题		(68)
第五章	爆破作业	(69)
第一节	爆破工的基本职责	(69)
第二节	爆破材料的领退	(70)
第三节	爆破材料的运送	(71)
第四节	装配起爆药卷	(74)
第五节	装药	(76)
第六节	炮泥和封泥	(79)
第七节	联线	(80)
第八节	爆破	(85)
第九节	爆破质量要求	(88)
第十节	特殊情况下的爆破	(90)
思考题		(103)
第六章	放炮事故的预防与处理	(104)
第一节	早爆	(104)
第二节	拒爆	(105)
第三节	杂散电流的危害及预防	(107)
第四节	残爆、爆燃和迟爆	(108)
第五节	放空炮	(109)
第六节	放炮崩人事故	(110)
第七节	放炮崩倒支架及冒顶事故	(110)
第八节	防止炮烟熏人	(112)
思考题		(113)
参考文献		(114)

第一章 炸药爆炸的基本理论

第一节 爆炸及炸药爆炸的一般特征

在人们的日常生活、生产实践和科学试验中往往会遇到爆炸现象。爆炸时，伴随有强烈的发光、声响和破坏效应。爆炸是物质系统的一种极迅速的物理或化学变化，在变化的瞬间放出其含有的能量，借助爆炸物原有的气体或爆炸生成的气体迅速膨胀，并对周围介质做功，使之发生机械破坏作用。

一、爆炸的分类

根据引起爆炸的原因不同，可将爆炸分为物理爆炸、化学爆炸和核爆炸三类。

(1) 物理爆炸。是指由物理原因引起的爆炸，爆炸过程中不发生化学变化。如锅炉爆炸、氧气瓶爆炸等，在生产过程中物理爆炸的应用很少。

(2) 化学爆炸。是由爆炸物在极短的时间内发生化学变化而引起的爆炸。如常用炸药的爆炸，煤矿井下瓦斯或煤尘与空气混合物以及其他混合气体的爆炸等都属于化学爆炸。

(3) 核爆炸。是由核裂变或核聚变引起的爆炸，爆炸过程中放出的能量极大，爆炸中心的温度极高，达到几百万至几千万度，压力可达到几十万个 MPa，并辐射出很强的各种射线，其破坏性也极强。目前，核爆炸的应用范围仍十分有限。

二、炸药的化学变化形式

炸药是在一定条件下，能够发生快速化学反应、放出能量、

生成气体产物，显示爆炸效应的化合物或混合物。炸药的爆炸通常是从局部分子被活化、分解开始的，其反应放出的热量又使周围的炸药分子活化、分解，直至全部炸药分子反应完毕。当炸药发生极速的化学变化时，气体产物不能得到扩散而导致温度和压力急剧升高，其后产物膨胀，将能量传递给周围介质而做功，便形成爆炸。但爆炸并不是炸药惟一的化学变化形式。由于环境和引起化学变化的条件不同，炸药可能有四种不同形式的化学变化，即缓慢分解、燃烧、爆炸和爆轰。这四种化学变化的速度不同，生成的产物和热效应也不相同。

(1) 热分解。炸药在一定的温度时会发生热分解，而且温度越高，分解越快。这种分解是在整个炸药内全面发生的，炸药内各点的温度相同，分解时既可以吸收热量，也可以放出热量，决定于炸药的类型和环境温度。但是，当温度较高时，所有炸药的分解反应都伴随有热量放出。

(2) 燃烧。有些炸药在热源的作用下可以被点燃。因温度、压力环境的不同可进行缓慢的（每秒数毫米）或速燃甚至爆燃（每秒数米至数百米），炸药在密闭空间中燃烧时可能变为爆炸。根据炸药的燃烧特性，可将炸药分为三大类：起爆药、猛炸药和火药。起爆药一旦燃烧，化学反应极快，燃烧速度增长很快，而且燃烧不稳定，极易转变为爆炸；猛炸药一般能够稳定燃烧；燃烧稳定性最好的是火药，稳定燃烧的压力可从 1 000 个大气压到 10 000 个大气压，压力增高时也可转变为爆炸。

(3) 爆炸。在足够的外部能量作用下，炸药以每秒数百米至数千米的高速进行爆炸反应。爆炸与燃烧的主要区别在于：燃烧靠热传导来传递能量和激起化学反应，受环境条件的影响较大，而爆炸则靠压缩冲击波的作用来传递能量和激起化学反应，基本上不受外部环境的影响；爆炸反应比燃烧反应更为强烈，放出热量和形成的温度也更高；燃烧产物的运动方向与反应区的传播方向相反，而爆炸产物的运动方向则与反应区的传播方

向相同，故燃烧产生的压力较低，而爆炸产生的压力则很高；燃烧速度是音速的，而爆炸速度则是超音速的。爆炸同样有稳定爆炸和不稳定爆炸两种。爆炸速度保持不变的称为稳定爆炸，相反则为不稳定爆炸，稳定爆炸也称为爆轰。

(4) 爆轰。爆轰是炸药化学变化的最高形式，是炸药以每秒数千米的最大稳定速度进行的反应过程。一种炸药在特定条件下的爆轰速度为常数。

炸药的上述化学反应形式在一定条件下是可以相互转化的。热分解可发展为燃烧甚至爆炸；反之，爆炸也可以转变为燃烧和热分解。

三、炸药爆炸的一般特征

放出能量、生成气体产物和爆炸过程的高速度是炸药爆炸的一般特征，也是炸药爆炸的必要条件，缺一不可，也称为炸药爆炸三要素。

(1) 放出能量。炸药爆炸就是将蕴藏的大量的化学能以热能的形式快速释放的过程。炸药在能量方面的特点是，较小容积中蕴含较大的能量，即炸药的能量密度比普通燃料（汽油、煤、木材等）的能量密度要高得多。因而爆炸时放出能量也大。

(2) 生成气体产物。炸药的爆炸过程就是炸药进行极速的热化学反应的过程，化学反应中生成气体产物是炸药做功的必要条件。只有借助生成的气体产物才能将爆炸产生的热量转变为气体的压缩能，从而依靠气体的膨胀作用对周围介质产生机械功。如果某物质的反应热很大而没有气体产物的形成，就不会形成爆炸。

(3) 爆炸过程的高速度。爆炸化学反应是由压缩冲击波引起的，因此，反应速度和爆炸速度都很高。在反应区内，炸药爆炸反应的时间只需要几十微秒，甚至不到一微秒；爆炸速度可达每秒几千米。爆炸过程的高速度，决定了炸药能够在极短的时间内放出大量能量，从而有极大的威力。

第二节 炸药爆炸的热力学参数

一、爆热

炸药在爆炸分解时释放出的热量称为爆热。爆热等于炸药的反应热与爆炸产物生成热之差，其单位为千焦耳/千克 (kJ/kg)，工业炸药的爆热一般在 $3\,300\text{ kJ/kg} \sim 5\,900\text{ kJ/kg}$ 之间。爆热可根据爆炸生成气体的种类和数量进行计算，也可用量热器直接测量。

爆热是炸药做功的能源，也是决定炸药爆速的重要因素之一，它与炸药的其他许多性能有着直接或间接的关系。因此，提高爆热和炸药威力对于矿山爆破具有重要的实际意义。

爆热不仅决定于炸药的组成和配方，而且受到装药条件的影响，因此，即使是同一种炸药，装药条件不同，产生的爆热也不相同。

二、爆温

炸药爆炸释放出的热量将爆轰产物加热到最高的温度称为爆温。即爆炸热量尚未耗散、全部赋存于爆炸产物时，爆炸产物所达到的最高温度。常用工业火药、炸药的爆温在 $2\,300\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 4\,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间。

提高炸药的爆温可以增加炸药膨胀做功的能力。提高爆温的途径是增加爆热和减少爆炸产物的热容。但在有瓦斯矿井中使用煤矿许用炸药时，则要求降低炸药的爆温，而且要严格限制。降低爆温与提高爆温的途径正好相反。因此，在安全炸药中，为降低爆温，需要加入消焰剂。常用的消焰剂是食盐（氯化钠）。

三、爆压

炸药在爆炸过程中，产物内的压力分布与温度一样，都是不均匀的，并随时间变化而变化。当爆轰结束时，爆炸产物在

炸药初始体积内达到热平衡后的流体静压值称为爆压。一般工业炸药的爆压在 $(0.22 \sim 2.33) \times 10^4$ MPa 之间。

四、爆容

单位质量的炸药爆炸后生成的气体产物在标准状态下的体积称为爆容，单位是 L/kg。

第三节 炸药的爆轰、爆速与间隙效应

一、爆轰

爆轰是炸药在瞬间发生分解反应的一种特定形式，其实质是爆轰波在炸药中的传播。爆轰波是炸药爆轰时的前阵面，是带冲击波的化学反应区。爆轰波是爆轰作用的激发源。爆轰的特点是：

- (1) 化学反应区很薄，凝聚相炸药的化学反应区厚度在 0.5 mm~2.5 mm 之间；
- (2) 化学反应区以常速传播，该速度大于炸药中的声速；
- (3) 在波阵面上产生很高的温度梯度和压力梯度。

二、爆速

炸药中爆轰波传播的速度称为爆速。常用炸药的爆速在 2 500 m/s~7 000 m/s 之间。影响炸药爆速的因素有：

(1) 药柱直径。爆速随药柱直径增大而增大，当药柱直径增大到一定值后，爆速即可接近理想爆速（药柱为理想封闭，爆轰产物不发生径向流动时即可达到理想爆速）。反之，减少药柱直径，爆速将相应降低。当药柱直径减小到定值后，爆轰波就不再能稳定传播，最终将导致熄爆，这是因为有效能量已减少到不能再支持爆轰波稳定传播。爆轰波能稳定传播的最小药柱直径称为临界直径，临界直径的爆速称为临界爆速。

(2) 炸药密度。对于单质炸药，爆速随密度的增大而增大；对于混合炸药，密度与爆速的关系比较复杂。在一定范围内，

增大密度能提高理想爆速；但超过这个范围继续增大密度，就会导致爆速下降，最终导致熄爆。

(3) 炸药粒度。粒度虽不会影响炸药的理想爆速，但减小粒度一般能提高炸药的反应速度，减小反应时间和反应区厚度，从而减小临界直径，提高爆速。

(4) 药柱外壳。药柱外壳不会影响炸药的理想爆速。但外壳能减小炸药的临界直径，所以当药柱直径较小，爆速距理想爆速相差较大时，增强外壳可提高爆速，其效果与加大药柱直径相同。

三、间隙效应

混合炸药细长连续药柱，通常在空气中都能正常传爆。但在炮眼内，如果药柱与炮眼孔壁间存在间隙，常常会发生爆轰中断或爆轰转变为燃烧的现象。这种现象称为间隙效应（曾叫沟槽效应或管道效应）。它不仅降低了爆破效果，而且在瓦斯矿井中进行爆破时，若炸药发生燃烧，就有引发事故的可能。

间隙效应产生的原因是：当药柱爆轰时，在空气间隙内产生超前于爆轰波传播的空气冲击波。在冲击波压力作用下，炸药内产生自药柱表面向内传播的压缩波，使药柱发生变形，压缩药柱表面形成锥形压缩区（图 1—1）。压缩区可视为惰性层，从而减小了药柱直径，当药柱直径减小到小于临界直径时，即

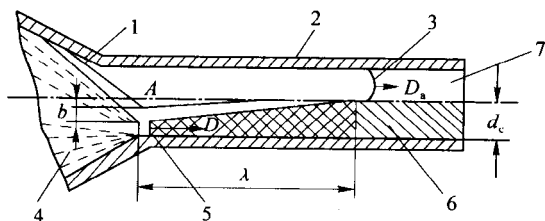


图 1—1 间隙效应使药柱发生的变形

- 1—产物前沿阵面；2—管壁；3—空气冲击波头；4—爆轰产物；
5—爆轰波头；6—未压缩炸药；7—间隙

可导致爆轰中断。另外，当超前爆轰波的空气冲击波过后将产生反向的稀疏波，反向稀疏波将削弱爆轰波的传播。

在爆破工程中，间隙效应不仅影响爆破效果，而且影响安全，特别是在有瓦斯煤尘爆炸危险的矿井中危害更大。因此，在工程实践中应尽可能地消除间隙效应。消除间隙效应的措施有：

(1) 采用耦合散装炸药消除径向间隙，可以从根本上克服间隙效应；

(2) 采用硝酸铵类混合炸药，产生间隙效应的可能性较小；

(3) 在连续药柱上，隔一定距离（或在相临药卷连接端处）套上硬纸板或其他材料做成的隔环，其外径稍小于炮眼直径，将间隙隔断，以阻止间隙内空气冲击波的传播或削弱其强度；

(4) 采用临界直径小，爆轰性能好，对间隙效应抵抗力大的炸药。

第四节 炸药的起爆与感度

一、炸药的起爆

每种炸药都具有相对的稳定性，要使它发生爆炸，必须提供一定的外界作用，供给足够的能量来激活一部分炸药分子。激发炸药爆炸的过程就叫做起爆。使炸药活化发生爆炸反应所需要的活化能称为起爆能。

起爆能主要有热能、机械能和爆炸能三种形式。

起爆能能否起爆炸药，不仅与起爆能的大小有关，而且还取决于能量的集中程度。根据活化能理论，化学反应只是在具有活化能量的活化分子互相接触和碰撞时才能发生。因此，为了使炸药起爆，就必须有足够的外部能量使炸药分子变为活化分子。活化分子的数量越多，爆炸反应的速度也越高。起爆时，外部能量转化为炸药的活化能，造成足够数量的活化分子，并

因它们的互相接触、碰撞而发生爆炸反应。

二、炸药的感度

炸药在外部能量的作用下起爆的难易程度叫做炸药的敏感度（或感度）。炸药感度的高低用激起炸药爆炸反应所需的最小起爆能的多少来衡量。所需的最小起爆能越小，表示炸药的感度越高，反之表示炸药的感度低。

炸药对不同形式的起爆能具有不同的感度。如梯恩梯炸药，对机械作用的感度较低，但对电火花的感度则较高。为研究不同形式起爆能起爆炸药的难易程度，将炸药感度分为：热感度、火焰感度、电火花感度、冲击感度、摩擦感度、射击感度、冲击波感度和爆轰波感度等。这些感度可通过试验进行测定。如果炸药的某种感度过高，就会给生产、贮存、运输和使用带来危险。因此，在炸药生产过程中要设法改变炸药的某些感度。影响炸药感度的主要因素如下：

（一）炸药的化学结构

炸药分子结构结合得越脆弱，其感度越高，反之就越低。混合炸药的感度取决于炸药中结构最脆弱的组分的感度。

（二）炸药的物理性质

（1）炸药的相态。熔融状态的炸药比同类炸药固体状态时的感度高，这是因为炸药从固相转变为液相时要吸收熔化潜热，内能较高。此外，在液态时具有较高的蒸气压，所以很小的外能即可激发炸药爆炸。

（2）炸药的粒度。炸药为猛炸药时，颗粒越细，感度越高，这是因为炸药颗粒表面积越大，接收的冲击波能量越多，容易产生更多的热点而易于起爆。然而对于起爆药，则晶粒越大，感度反而越高，因为较大的晶粒之间空隙也较大，有利于形成热点。

（3）装药密度。粉状炸药的装药密度超过一定值后，随着密度的增大，炸药的感度下降。因为密度增大时，孔隙度减小，

不利于吸收热量。

(4) 微小气泡。炸药中含有的微小气泡在爆炸能作用下发生绝热压缩,是形成热点的重要原因之一。微小气泡的存在可提高炸药的感度。

(5) 掺合物。炸药中掺入一定量的掺合物可使炸药的感度发生显著变化。高熔点、高硬度、导热性差的掺合物,如石英砂、玻璃碎屑等、能使炸药的撞击、摩擦感度提高。而石蜡、石墨等软质掺合物,能在炸药颗粒表面构成包覆薄层,而减弱药层或颗粒间的摩擦作用而使炸药的感度降低。

三、殉爆

一个药包(卷)爆炸后,引起与它不相接触的邻近药包(卷)爆炸的现象,称为殉爆。殉爆在一定程度上反映了炸药对爆轰波的敏感度。首先爆炸的一定量炸药称为主动装药,被诱导爆炸的一定量炸药称为被动装药。主动装药能诱导被动装药爆炸的距离称为殉爆距离。殉爆距离决定于主动装药的炸药性质和药量,被动装药对冲击波的感度,以及装药间的介质性质。

药卷间的殉爆距离一般可通过试验来确定。试验时,将同一种炸药的两个药卷沿轴线隔一定距离平放在坚实的沙土地上,其中一个药卷装有雷管作为主动装药,另一个药卷作为被动装药,然后引爆。根据形成的炸坑以及有无残留的炸药和药卷外壳来判断殉爆情况,通过一系列试验,找出相临药卷能够殉爆的最大距离。

第五节 炸药的猛度、爆力与聚能效应

一、猛度

炸药爆炸产生冲击波或应力波形成的破坏称为炸药爆炸的动作用。炸药动作用的强度称为猛度。用它表示炸药做功功率和爆炸产生冲击波和应力波的强度,是衡量炸药爆炸特性及爆