

全国煤矿安全培训统编教材

爆破安全

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

B 类

中国矿业大学出版社

全国煤矿安全培训统编教材

爆 破 安 全

(B类)

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

编写 张汉东

审定 刘过兵 金科学

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书较全面地阐述了安全爆破、爆破材料及器具、爆破作业、爆破事故预防及处理方面的知识和技术。

本书是煤炭企业通风区队长、掘进、通风班组长、安全检查员、爆破工、瓦斯检查员、采煤机司机、掘进工、通防工和矿山救护队员等有关特种作业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

爆破安全/张汉东编. —徐州:中国矿业大学出版社,
2002.6

全国煤矿安全培训统编教材

ISBN 7-81070-503-2

I. 爆... II. 张... III. 煤矿开采—爆破安全—
技术培训—教材 IV. TD235.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第029784号

书 名 爆破安全

编 写 张汉东

责任编辑 刘社育

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 北京京科印刷有限公司

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 3.625 字数 89 千字

版次印次 2002年6月第1版 2003年3月第2次印刷

印 数 5001~10000册

两册定价 21.00元(本册定价 6.00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。

本书由张汉东编写，由刘过兵、金科学审定。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002 年 2 月

目 录

第一章 安全爆破基础知识	(1)
第一节 岩石(煤)与爆破的基础知识	(1)
第二节 炸药与爆炸知识	(4)
思考题	(24)
第二章 爆破材料及爆破器具	(26)
第一节 矿用炸药的种类和使用范围	(26)
第二节 矿用炸药的性能	(34)
第三节 起爆材料及其性能	(41)
第四节 煤矿许用导爆索和继爆管	(51)
第五节 发爆器及检测仪器	(55)
思考题	(59)
第三章 爆破作业	(60)
第一节 爆破工	(60)
第二节 井下运送爆破材料	(60)
第三节 装配引药	(62)
第四节 装药	(63)
第五节 炮泥和封泥	(70)
第六节 连线	(73)
第七节 爆破	(77)
第八节 爆破质量	(86)
第九节 特殊情况下的爆破	(87)
思考题	(93)
第四章 爆破事故预防及处理	(95)
第一节 爆破前突然发生爆炸的原因及预防	(95)

第二节	拒爆的原因、预防及处理	(95)
第三节	杂散电流的产生及对爆破工作的危害和预防	(97)
第四节	丢炮的原因、预防及处理	(98)
第五节	炮烟熏人的原因及预防	(99)
第六节	瞎炮产生的原因和预防办法	(100)
第七节	处理瞎炮必须遵守的有关规定	(100)
第八节	发生残爆和爆燃的原因及预防	(101)
第九节	放空炮的原因及预防	(102)
第十节	爆破崩人的原因及预防	(102)
第十一节	爆破崩倒支架的原因及预防	(103)
第十二节	爆破造成冒顶的原因及预防	(104)
思考题		(105)
参考文献		(106)

第一章 安全爆破基础知识

第一节 岩石（煤）与爆破的基础知识

一、岩石的性质

岩石（煤）是煤矿爆破作业的主要对象。它的物理状态和物理性质对凿岩和爆破有很大的影响，了解这些影响有利于在实际工作中合理地确定爆破参数和选用炸药。

对凿岩和爆破有明显影响的岩石物理状态有：粒度、风化程度、层理和节理；岩石的物理性质，主要有：粘性、硬度、弹性、脆性、孔隙率、含水性和含气性等。

岩石的粒度是指组成岩石的颗粒大小。粒度越细，岩石越硬，越难爆破。

岩石的风化程度是指受空气、水和气温作用而破坏的程度。风化后的岩石容易钻孔和爆破。

层理是指构成岩（煤）层的各个层面。顺着层面最容易使岩石分裂成块。层理发达的采掘工作面，顶板容易离层，造成来压和维护困难。爆破时，应控制顶眼的装药量，减少震动。

节理是指岩（煤）层中的纵向裂缝。节理使岩（煤）容易裂开成块，当岩石中节理与炮眼方向重合时，容易夹钎，泄漏爆炸气体，降低爆破效率。在有瓦斯和煤尘爆炸危险的采掘工作面，炮眼泄漏出爆炸后的灼热气体，容易引爆瓦斯和煤尘。当回采工作面方向与煤层节理方向平行时，工作面煤壁容易片帮伤人。当回采工作面方向与煤层顶板岩石节理方向平行或近似平行时，容易造成大面积冒顶。

岩石的粘性说明岩石块抵抗与岩体分离的能力。一般岩石顺着层理的粘结性较小，垂直层理的粘结性较大。岩石的粘性越大，炸药的消耗量就越大。

岩石的硬度说明岩石抵抗打眼工具钻进的能力。硬度越大的岩石，钻眼与爆破的难度也就越大。

岩石的弹性是指作用在岩石上的外力消除后，岩石恢复原来形状和体积的能力。岩石弹性越大，越难凿眼。

岩石的脆性，是岩石受到冲击或爆破时碎裂成块的性质，越脆的岩石越易破碎。

岩石的含水性，是指岩石中含水的情况和暴露后渗出水的能力。含水的岩层应使用抗水炸药。

岩石（煤）的含气性，是指岩（煤）层内含有某些气体，在采掘暴露后排出的气体（在煤矿中主要指瓦斯）的能力。在这样的煤、岩层中进行采掘工作时，所采用的炸药和雷管的种类、装药和爆破工艺等在《煤矿安全规程》（以下简称《规程》）中都有严格的规定，不得违反，以防发生瓦斯和煤尘爆炸事故。

二、岩石的分级

我国大部分矿山，都是按岩石的坚固性进行岩石分级的。岩石的坚固性是指岩石的爆破和凿岩的难易程度。分级指标 f 称坚固性系数，其具体分级见表 1—1。

表 1—1 岩石坚固性分级表

级别	坚固性程度	岩 石	坚固性系数 f
I	最坚固岩石	最坚固、最致密的石英岩及玄武岩，其他最坚固的岩石	20
II	很坚固岩石	很坚固的花岗岩类：石英斑岩，很坚固的花岗岩，硅质片岩；坚固程度较 I 级岩石稍差的石英岩；最坚固的砂岩及灰岩	15

续表 1—1

级别	坚固性程度	岩石	坚固性系数 f
Ⅲ	坚固的岩石	致密的花岗岩及花岗岩类岩石, 很坚固的砂岩及石灰岩, 石英质矿脉, 坚固的砾岩, 很坚固的铁矿石	10
Ⅲ _a	坚固的岩石	坚固的石灰岩, 不坚固的花岗岩, 坚固的砂岩, 坚固的大理岩、白云岩、黄铁矿	8
Ⅳ	相当坚固的岩石	一般的砂岩, 铁矿石	6
Ⅳ _a	相当坚固的岩石	砂页岩, 泥质砂岩	5
V	坚固性中等的岩石	坚固的页岩, 不坚固的砂岩及石灰岩, 软的砾岩	4
V _a	坚固性中等的岩石	各种不坚固的页岩, 致密的泥灰岩	3
Ⅵ	相当软的岩石	软的页岩, 很软的石灰岩, 白垩, 岩盐, 石膏, 冻土, 无烟煤, 普通泥灰岩, 破碎的砂岩, 胶结的卵石及粗砾岩, 多石块的土	2
Ⅵ _a	相当软的岩石	碎石土, 破碎的页岩, 结块的卵石及碎石, 坚硬的烟煤, 硬化的粘土	1.5
Ⅶ	软岩	致密的粘土, 软的烟煤, 坚固的表土层	1.0
Ⅶ _a	软岩	微砂质粘土, 黄土, 细砾石	0.8
Ⅷ	土质岩石	腐植土, 泥煤, 微砂质粘土, 湿砂	0.6
Ⅷ _a	松散岩石	砂, 细砾, 松土, 采下的煤	0.5
X	流砂状岩石	流砂, 沼泽土壤, 饱含水的黄土及饱含水的土壤	0.3

我国煤炭系统按岩石坚固性将煤、岩分类为:

软煤 $f=1\sim1.5$

硬煤 $f=2\sim3$

软岩 $f=2\sim3$

中硬岩 $f=4\sim6$

硬岩 $f=8\sim10$

坚硬岩石 $f=12\sim14$

最坚硬岩石 $f=15\sim20$

三、伪顶、直接顶和老顶

根据顶板垮落难易和煤层的相对位置的不同,一般把顶板分为伪顶、直接顶和老顶。

(1) 伪顶:直接位于煤层上面,是极易脱落的岩层,厚度不大,一般为 $0.2\text{ m}\sim0.5\text{ m}$ 。在大多数情况下,伪顶随着落煤同时冒落。伪顶一般为炭质页岩。

(2) 直接顶:位于伪顶或煤层上面,由一层或几层岩石组成,有厚有薄,一般在回柱或移动支架后就会垮落。直接顶多为页岩、砂质页岩或砂岩等。

(3) 老顶:由位于直接顶上面的厚而坚硬的岩层组成。老顶可能维持很大的悬顶面积不垮落,回柱后一般不随直接顶一起垮落。老顶多为砂岩、砾岩、石灰岩等。

四、最大控顶距和最小控顶距

掘进工作面爆破后,支架到工作面的最大距离叫最大控顶距;爆破前,支架到工作面的最大距离叫最小控顶距。

回采工作面中煤壁至末排支柱的顶梁后端,或至放顶柱之间的最大距离叫最大控顶距;其最小距离叫最小控顶距。

第二节 炸药与爆炸知识

炸药是在外界能量作用下,自身进行高速的化学反应,同时产生大量的高温高压气体和热量的物质。

一、炸药的特征

(1) 具有相对稳定性和化学爆炸性。当炸药未受外界能量作用时,在常温下处于相对稳定状态,故能保证在加工、运输、储存和使用时的安全。但炸药的物质结构属化学不稳定体系,一旦受到外界的能量作用,就打破了原来的平衡结构,经化学反应转化为爆炸,故具有化学爆炸性。

(2) 在微小的体积中蕴藏有大量能量。单位质量的炸药爆炸时放出的热量要比单位质量的普通燃料燃烧时放出的热量要小,但单位容积的炸药比单位容积的普通燃料放出的热量要大数百倍,即炸药具有很高的能量密度。

(3) 能够依靠自身的氧化实现爆炸反应。炸药主要是由碳、氢、氧、氮4种元素组成的。碳和氢为可燃元素,氧为助燃元素。炸药在爆炸时与普通燃料燃烧时不同,它不需要外界供氧,只靠自身的氧就可以进行化学反应。

炸药受外界能量作用后,炸药的成分经化学反应急剧分解,在瞬间产生大量的热和气体,并急剧膨胀,形成高压,对周围的煤、岩等介质起破坏作用。

二、炸药的爆炸反应三要素

炸药爆炸反应三要素,即反应过程的放热性、快速性和生成气体。三者相互关联,缺一不可。

(1) 反应过程中放出大量的热。炸药在爆炸过程中释放出大量的热能,是它对周围介质做机械功的物质基础,是化学爆炸进行所必需的首要条件,否则就不能维持反应的继续进行。如果热能不足或是吸热反应,则必须从外部补充能量才能维持反应的继续进行,爆炸过程就不可能发生。依靠化学反应放出大量的热,能使爆炸生成的气体被加热到数千度($^{\circ}\text{C}$),压力可达数千兆帕(MPa)。爆炸反应的热能和速度越大,则爆炸做功的能量也就越大。单位质量炸药在爆炸反应过程中放出的热量称为爆热。因此,爆炸反应热量的大小,是衡量炸药做功能力大小的标志。工业常用炸药的热量为 $262.6 \times 10^4 \text{ J/kg} \sim 627 \times 10^4 \text{ J/kg}$,铵梯炸

药的热量约为 $420 \times 10^4 \text{ J/kg}$ 。

(2) 炸药反应速度快。仅有反应过程大量放热的条件还不足以形成爆炸, 如 1 kg 的无烟煤在空气中燃烧可放出 $9\,200 \text{ kJ}$ 热量, 比 1 kg 炸药爆炸时放出的热量多, 然而却不能形成爆炸。炸药与一般可燃物相比, 虽然它的总能量不高, 但由于炸药爆炸速度高达 $1\,500 \text{ m/s} \sim 8\,500 \text{ m/s}$, 反应时间仅为十万分之一到百万分之一秒。如 1 kg 铵梯炸药爆炸时, 约在十万分之三秒时间内完成化学反应。 1 kg 普通炸药爆炸释放的能量仅相当于 1 kW 电机工作一个多小时的能量, 但爆炸瞬间其功率可以达到 $(5 \sim 6) \times 10^6 \text{ kW}$ 。反应速度快是形成爆炸的必要条件, 也是爆炸反应的特点之一。炸药对外界所做的功, 随其反应速度增高而加大。所以爆炸反应速度是衡量炸药威力的重要因素。

(3) 能生成大量的气体产物。炸药爆炸后生成的大量气体, 有二氧化碳、氮气和水蒸气, 还产生一些有毒有害气体如一氧化碳和氮的氧化物等。这些气体在膨胀过程中, 能对周围介质造成破坏, 把炸药的能量转化为机械功。如果只有高速和放热化学反应, 没有生成大量的气体产物, 是不会产生化学爆炸现象的。工业常用炸药生成的气体体积为 $700 \text{ L/kg} \sim 1\,000 \text{ L/kg}$, 铵梯炸药爆炸生成的气体体积比原来增大了 $850 \sim 920$ 倍。

总之, 炸药爆炸必须同时具备三个要素, 三者又是互相联系的。放热性给爆炸反应提供了能源, 而快速性使爆炸能量高度集中, 反应生成气体则是能量转换的工作介质。所以, 高温、高压、高速是炸药爆炸的重要特点。

三、炸药的反应形式

由于炸药的反应速度、激发条件、炸药性质和其他因素不同, 反应的形式也不相同, 一般可分为以下三种形式:

(1) 热分解。热分解是炸药缓慢发生的化学变化, 是在整个炸药内全面发生的。分解速度与环境温度有关。炸药在常温常压下也可以分解, 但反应过程中不产生火、光和声响, 不易被察觉, 对外界没有破坏作用。温度越高, 分解越显著。炸药在储存

期间，热分解不仅使炸药变质，而且分解过程还要放出热量。如果这些热量不能及时散失，将促使温度不断升高，分解速度加快。当温度升高到爆发点时，热分解就会转化为燃烧或爆炸。因此，在炸药储存期间，必须采取措施，控制温度、湿度和压力，防止发生自燃和自爆事故。

(2) 燃烧。有些炸药在热源和火焰作用下会燃烧。炸药燃烧时不需要外界供氧，它不是全部同时参与反应，而是局限于极小的范围。反应释放出来的热量靠热传导来传递，并激起化学反应，其速度可达每秒数厘米或数米，甚至数百米。因此，炸药在保存期间要注意改善通风条件，防止炸药在密闭条件下燃烧。一旦炸药着火，切不可用砂土掩埋，因为炸药本身含有氧化剂，不需要外界供氧，密闭反而会导致压力升高，使燃烧加速，甚至引起爆炸。

(3) 爆炸。爆炸与燃烧的化学反应虽然相同，但爆炸反应区能形成压缩冲击波，使反应区内外的温度、压力和密度状态产生剧烈变化。反应能量的传递和反应区的传播靠压缩冲击波来进行，反应极为迅速，速度高达每秒数千米，能放出更多的热量和产生更高的温度，并产生极高的压力。

四、爆轰

爆炸反应存在稳定爆炸和不稳定爆炸两种情况。反应速度高而且保持恒定的爆炸称为稳定爆炸，也称为爆轰。反应速度较低且变化不定的爆炸称为不稳定爆炸，简称爆炸，其爆速不仅低于爆轰，而且容易衰减，甚至熄爆，使炸药不能全部反应，以致产生半爆、爆燃或拒爆等现象，给爆破作业带来不安全因素。

五、自由面和最小抵抗线

被爆破的岩体或煤体与空气接触的界面叫自由面。从装药中心到自由面的最短距离称为最小抵抗线。自由面和最小抵抗线是爆破工作中的两个重要概念。

装药爆破时，其爆破作用的表现形式与埋置药量和深度有关(图 1-1)。装药量相同的装药埋置在岩体内部不同深度时，其

作用结果也不相同(用 W 表示深度, $W_1 > W_2 > W_3 > W_4$)。当埋置(W)超过某一数值(W_L)时,在自由面上就看不到装药爆炸的爆破作用迹象,爆破作用只发生在岩体内部,这种爆破作用称为内部爆破作用(图 1—1a)。当埋置(W)小于某一数值(W_L)时,爆破作用就显露在自由面上,这种爆破作用称为外部爆破作用(图 1—1c、d)。所确定的数值(爆破抵抗线)就叫临界抵抗线。可见,这个数值与装药的数量和岩石的性质有关。

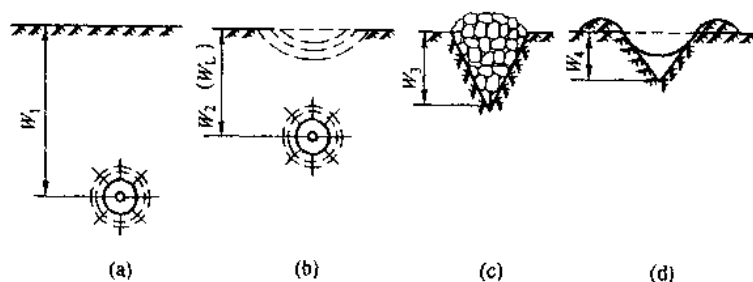


图 1—1 爆破作用形式

a—内部爆破作用; b—临界爆破作用; c、d—外部爆破作用

当药包在岩体中产生内部作用时,由于爆炸生成的气体和在岩石中形成的应力波作用,以药包为中心岩石由里向外遭到不同程度破坏。除在装药处形成扩大的空腔外,还形成压缩区、裂隙区和震动区三个区(图 1—2)。

(1) 压缩区: 此处岩石受高压作用,结构完全破坏而被强烈压碎。

(2) 裂隙区: 因压力下降,岩石不再被压碎,面拉伸应力起作用,形成径向裂缝和环行裂缝交错的区域。

(3) 震动区: 岩石的结构未受破坏,只发生震动,其强度随距爆炸中心的距离增大而逐渐衰减,以致完全消失。

炸药在接近自由面的岩石中爆破产生外部作用,除在装药周围处形成压缩、裂隙和震动区外,还将破碎岩石向自由面方向抛出形成一个漏斗形的爆破坑,这个爆破坑称为爆破漏斗。爆破漏

斗的几何要素见图 1—3。

当采掘工作面只有一个自由面时，一般采用爆破漏斗的方法，以增加自由面，提高爆破效率。

爆破漏斗半径 r 与最小抵抗线 W 之比称为爆破作用指数 n ，即：

$$n = r / W$$

由于炮眼的装药量不同，爆破后产生的爆破漏斗半径和爆破作用指数也不同。根据爆破作用指数 n 的不同，爆破形式分为以下几种：

(1) 松动爆破。当 $0 < n < 0.75$ 、 $0^\circ < \alpha < 73^\circ$ 时，爆破后不形成显著的爆破漏斗，漏斗内的岩石也没有抛掷现象，只发生松动和隆起。产生这种作用的装药称为松动装药，由其形成的爆破漏斗称为松动漏斗，形成松动漏斗的爆破称为松动爆破（图 1—4）。

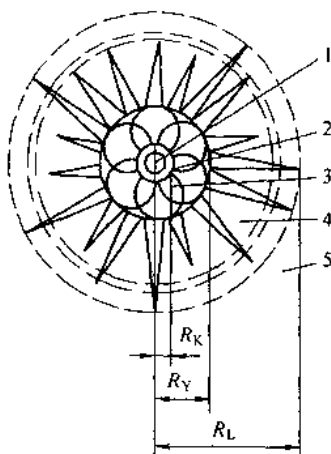


图 1—2 装药爆破的内部作用

1—装药；2—扩大空腔；

3—压缩区；4—裂隙区；

5—震动区

R_K —空腔半径；

R_Y —压缩区半径；

R_L —裂隙区半径

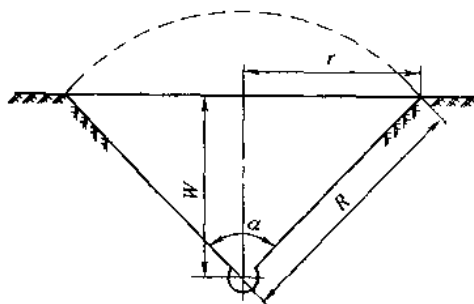


图 1—3 爆破漏斗

r —爆破漏斗半径； W —最小抵抗线；

R —爆破作用半径； α —爆破漏斗顶角