



矿山爆破安全技术

主编 杨小林 焦绪文

河南科学技术出版社

KUANG SHAN BAO PO AN QUAN JI SHU

矿山爆破安全技术

主编 杨小林 焦绪文

河南科学技术出版社

豫新登字 02 号

矿山爆破安全技术

主编 杨小林 焦绪文

编委(按姓氏笔划为序)

王连海 王国际 宋建成 杨小林

胡德进 唐宝尧 焦绪文

责任编辑 冯英

河南科学技术出版社出版发行

(郑州市农业路 73 号)

河南焦作矿业学院印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 8.5 印张 184 千字

1993 年 10 月第 1 版 1993 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1-1,500 册

ISBN7-5349-1459-0/T·290

定 价: 6.00 元

前 言

爆破技术在我国煤炭、冶金、水利、铁道、化工等许多部门得到了广泛的应用。但是,爆破也带来了许多危害,特别是当煤矿井下存在着瓦斯、煤尘、水、火、顶板等隐患时,如果爆破的安全技术、安全管理搞不好,就会造成重大事故,就会危害国家财产和人民生命安全。因此,矿山爆破安全在矿山安全工程、爆破工程及采掘生产中占有十分重要的地位。鉴于此因,我们编写了本书。

本书以国家现行的有关条例、规范、规程为依据,针对矿山采掘爆破生产的特点,介绍了炸药爆炸的理论基础,爆破器材的使用及安全管理、矿山采掘爆破技术、井下爆破安全技术、爆破事故的预防和处理,以及防止井下爆破作业引起瓦斯、煤尘、水、火、顶板事故的措施,书中还列举了爆破事故实例,并对其进行了分析。

本书第一章由杨小林、王国际编写,第二、三章由焦绪文、唐宝尧编写,第四章由王连海、胡德进编写,第五、六章由杨小林编写,第七章由宋建成、胡德进编写、第八章由王国际、王连海编写。全书由杨小林和焦绪文统稿。

河南省煤炭厅安检局李尚宽付局长审校了本书全稿,焦作矿业学院陈权、董至达、胡卫民、张克树副教授为本书提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促。本书难免存在错误、缺点、热诚希望读者、同仁给予批评指正。

作者

1993年1月

目 录

第一章 炸药的爆炸性能和感度	(1)
第一节 炸药及爆炸的一般特征	(1)
第二节 炸药爆炸的性能参数	(5)
第三节 炸药的爆轰及稳定传爆	(9)
第四节 炸药的爆炸作用	(21)
第五节 炸药的感度与安全	(25)
第二章 矿用炸药与安全炸药理论	(35)
第一节 矿用非安全炸药	(35)
第二节 露天炸药	(42)
第三节 煤矿安全炸药理论	(45)
第四节 煤矿许用炸药	(51)
第五节 矿用炸药的检验	(57)
第三章 起爆器材和起爆技术	(64)
第一节 电雷管及其性能参数	(64)
第二节 电力起爆方法和安全起爆技术	(74)
第三节 非电起爆方法	(90)
第四节 起爆器材的检验和爆破专用仪表	(95)
第四章 爆破作业的组织管理与爆破材料的安全管理	(103)
第一节 爆破作业的组织管理	(103)
第二节 爆破材料的安全贮存与保管	(107)
第三节 爆破材料的运输	(115)

第四节	爆破材料的销毁技术·····	(118)
第五章	爆破理论与技术·····	(122)
第一节	岩石物理力学性质·····	(122)
第二节	岩石爆破作用原理·····	(129)
第三节	井巷掘进爆破·····	(140)
第四节	光面爆破·····	(151)
第五节	微差爆破·····	(155)
第六节	炮采工作面的爆破技术·····	(158)
第六章	井下爆破安全技术·····	(165)
第一节	爆破作业与矿井环境·····	(165)
第二节	爆破危害及安全防护措施·····	(170)
第三节	井下爆破作业的安全技术·····	(180)
第四节	煤与瓦斯突出工作面的爆破技术与安全·····	(187)
第五节	特殊施工条件下的爆破安全·····	(197)
第七章	井下爆破事故的预防及处理·····	(206)
第一节	早爆的防治·····	(206)
第二节	瞎炮的预防与处理·····	(215)
第三节	残爆、爆燃和缓爆的预防·····	(218)
第四节	放空炮、放糊炮的防治·····	(220)
第五节	放炮崩倒支架和崩坏输送机的防治·····	(221)
第六节	炮烟熏人的预防·····	(223)
第七节	井下爆破事故分析·····	(224)
第八章	爆破作业与顶板管理·····	(229)
第一节	回采工作面矿山压力显现的一般规律·····	(229)

第二节 爆破作业对回采工作面矿山压力显现的影响 …	
.....	(242)
第三节 爆破作业与冒顶.....	(248)
第四节 坚硬难冒顶的爆破法处理.....	(252)
第五节 防治冲击地压的卸载爆破.....	(256)
主要参考文献.....	(261)

第一章 炸药的爆炸性能和感度

第一节 炸药及爆炸的一般特征

一、爆炸及炸药的定义与分类

1、爆炸的定义与分类

爆炸是物质系统的一种极迅速的物理或化学变化。在变化过程中,伴有物质能量的快速转变,并对周围介质做功。

按引起爆炸的原因可将爆炸分为三类:

(1)物理爆炸:由物理变化引起的爆炸,爆炸过程不发生化学变化。如,锅炉爆炸、轮胎放炮、闪电等。

(2)核爆炸:由核裂变或核聚变引起的爆炸。核爆炸放出能量极大,相当于数万吨至数千万吨梯恩梯,并辐射出很强的各种射线。

(3)化学爆炸:由化学变化引起的爆炸。爆炸过程中,爆炸物质迅速发生化学反应,产生新的爆炸产物。例如:炸药爆炸、瓦斯爆炸等。

2、炸药的定义与分类:

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。就化学组成而言,炸药是由氧化剂和燃料组成的,氧化剂是含氧的基团或氧化剂分子,燃料则是分子中含碳、氢的基团或可燃剂分子。

炸药按其用途可分为三类:

(1)起爆药:这种炸药十分敏感,受到很小的外界作用就

能发生爆炸反应,但炸药威力不大。用来制做起爆器材,如雷管、信管等。常用的起爆药有:叠氮化铅 $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$ 、雷汞 $\text{Hg}(\text{ONC})_2$ 和二硝基重氮酚 $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{N}_2\text{O}$ 等。

(2)猛炸药:这类炸药威力较高,一般不十分敏感,是制造工业和军事爆破器材的主要成分。常用的猛炸药有:梯恩梯 $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$ 、特屈儿 $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_4\text{NCH}_3$ 、黑索金 $[\text{CH}_2\text{N}-\text{NO}_2]_3$ 、奥克托金 $[\text{CH}_2\text{N}-\text{NO}_2]_4$ 、泰安 $\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$ 等。

(3)火药(发射药):火药能产生快速燃烧反应,军事上用做发射药,工业中用做导火索药芯及雷管的延期药。常见的火药有:黑火药和无烟火药等。

炸药按组分可分为两类:一类是化合炸药,是一种单一的爆炸化合物,多为有机合成炸药;另一类是混合炸药,是由两种或两种以上的化合炸药及非爆炸性的各种成分组成。工业炸药多为混合炸药,采矿中多用硝酸类炸药。

二、化学爆炸的特点

炸药是化学性爆炸物质,但并非所有能发生化学反应的物质都有爆炸性,化学性爆炸物质必须具备以下三个基本条件:

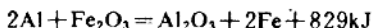
1、反应过程放热量大

炸药爆炸过程中放出的大量热能是对周围介质做功的能量源,放热量小或吸热反应的物质,都不能使反应自动传播下去。这是化学爆炸的首要条件。工业炸药的反应热一般在 $2920 \sim 6250\text{kJ/kg}$ 之间,并足以使反应物加热到 $2000 \sim 3000^\circ\text{C}$ 以上。

2、生成大量气体产物

炸药爆炸反应时,生成大量气体,在高温作用下气体迅速

膨胀,对外界做功,因此气体是化学性爆炸时对外界做功的介质。物质在化学反应时不能生成大量气体亦不能产生爆炸。如铝热剂的化学反应,虽能放出大量热量,足以将产物加热到3000℃,但没有气体产物,不爆炸。



一般炸药在爆炸时,可以产生1000L/kg左右的气体产物,其压力可达数万兆帕。

3、反应的快速性

化学反应的快速性,是爆炸反应区别于普通化学反应的重要标志。爆炸反应一般可在1~10μs的时间内完成,爆炸速度可达每秒数千米,因此,炸药能够在很短的时间内释放出大量能量。

就化学热效应而言,1kg燃料燃烧时放出的热量比1kg炸药爆炸时放出热量大,例如:1kg煤燃烧放热量为 $9.2 \times 10^3\text{kJ}$,而1kgTNT炸药爆炸反应放热量为 $4 \times 10^3\text{kJ}$,但煤的燃烧速度很慢,大部分能量由于热传导和辐射而损失,因此不能达到很高的能量密度。

当化学反应具备上述三个条件时,反应产物就能处于高温、高压、高速状态,对周围介质有巨大的做功能力和破坏作用。

反应的放热性、产生大量气体和反应的快速性是炸药爆炸必须具备的三个条件,缺一不可,因此常被称为炸药爆炸的三要素。

三、炸药化学变化的形式和安全

爆炸并不是炸药唯一的化学变化形式,由于环境和引起化学变化的条件不同,一种炸药可能有三种不同形式的化学

变化。

1、缓慢分解

炸药的缓慢分解一般在常温下进行,反应速度很慢,分解反应在全部炸药中同时进行,没有一定的反应区。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。

分解反应的速度取决于环境温度及压力,温度越高、分解越快。当分解反应为放热反应时,热量不能及时散发,反应会自动加速,最终引起炸药的燃烧和爆炸。不同的炸药,热分解速度不同,炸药分解反应的快慢,反映出炸药的热安定性。

炸药在生产、运输和贮存时,要特别注意控制环境温度、湿度和压力等条件。如地面和井下炸药库,要控制其温度,保证通风良好,防止由于热量的积聚而导致炸药自燃、自爆。

2、炸药的燃烧

炸药的燃烧是在热源和火焰作用下引起的一种化学变化形式。燃烧是在炸药的局部进行,并在炸药内部扩展,存在有集中的燃烧反应区,反应速度较快,燃烧传播速度一般为 $10^{-3} \sim 10^2 \text{m/s}$;燃烧时有火、光产生,对外界不产生强烈的破坏作用。炸药的燃烧速度受外界环境的影响,特别是压力和温度影响较大。

炸药一旦着火,切不可用砂土掩盖,因为炸药本身含有氧化剂和可燃剂,不需要空气中的氧就能进行燃烧,密闭反而会导致压力升高、温度增加,使燃烧加速,甚至导致爆炸。因此,炸药在生产、运输和贮存过程中,应杜绝火源和热源,防止摩擦、静电等产生的热量和火花,并注意改善通风条件。

3、炸药的爆轰

炸药的爆轰过程与燃烧过程相类似。化学反应也只是在

局部区域内进行,并在炸药内传播。爆炸与燃烧的区别在于:燃烧靠热传导来传递能量和激起化学反应,而爆炸则是靠冲击波的作用来传递能量和激起化学反应,燃烧受环境条件影响较大,而爆炸基本上不受环境条件影响;爆炸反应比燃烧反应更为激烈,爆炸产生的压力很高。

反应区在炸药中的传播速度称为爆炸速度。爆炸时反应速度是变化的,而爆轰时反应速度是恒定的。爆轰是炸药化学变化的最高形式。

炸药的上述三种化学变化形式,在一定条件下能够相互转化。缓慢分解可发展为燃烧、爆炸,导致自燃、自爆事故;炸药受潮变质又可能由爆炸转变为燃烧、缓慢分解,此时会产生大量的有毒气体,且易引起瓦斯、煤尘爆炸事故,因此,应采取措施防止此类事故发生。

第二节 炸药爆炸的性能参数

一、爆炸产物及氧平衡

1、爆炸产物与有毒气体

炸药主要由 C、H、O、N 四种元素组成。炸药爆炸是一种氧化反应,它与其它化学反应的不同点在于氧化剂是由炸药本身提供的。爆炸反应的过程,实质上就是炸药中所含 C、H、O、N 等元素在爆炸瞬间发生高速化学反应的过程,反应的结果是生成较为稳定的化合物,即爆炸产物。爆炸产物中主要有 CO_2 、 H_2O 、 CO 、 NO_2 、 NO 、 C 、 O_2 、 N_2 、 H_2 等,其中有毒气体主要有 CO 、 NO 和 NO_2 等氮氧化物,在含硫矿床中爆破作业时,还会出现 H_2S 和 SO_2 等。

有毒气体不仅对人体有害,而且氧化氮对煤矿井下瓦斯

起催爆作用,CO 易引起二次火焰。因此,对井下使用的炸药的有毒气体生成量应有严格限制。我国规定,炸药爆炸生成的有毒气体量,以 CO 计算,不得超进 80L/kg(氧化氮毒性高,折算成 CO 时应乘以 6.5 的系数),矿井内空气中 CO 浓度按体积不得超过 0.0024%,NO₂ 浓度不得超过 0.00025%。

2. 氧平衡

氧平衡是炸药中含氧量与可燃元素 C、H 充分氧化所需氧量之比例关系。氧平衡值用每克炸药中保证可燃元素充分氧化时多余或欠缺的氧量表示,单位为 g/g。

若将炸药通式写为 CaHbOcNd , 化合炸药以 1mol 写出,混合炸药以 1kg 写出,则炸药的氧平衡值 K 为:

化合炸药:

$$K = \frac{16[C - (2a + b/2)]}{M}, \text{g/g} \quad (1-1)$$

式中 M —— 炸药的摩尔质量, g。

混合炸药按通式计算:

$$K = \frac{16[C - (2a + b/2)]}{1000}, \text{g/g} \quad (1-2)$$

混合炸药按各组分的重量百分比计算:

$$K = m_1 k_1 + m_2 k_2 + \cdots + m_n k_n \quad (1-3)$$

式中 $m_1, m_2, \cdots, m_n$ —— 混合炸药中各组分重量百分比;

k_1, k_2, k_n —— 混合炸药中各组分的氧平衡值。

炸药的氧平衡有以下三种情况:

(1) 正氧平衡($K > 0$): 炸药中含氧量足以使可燃元素充分氧化,并有剩余。此时,爆炸产物中会出现 NO、NO₂ 等有毒气体,且生成氮氧化物是吸热反应,降低爆炸反应的放热量。

(2) 负氧平衡($K < 0$): 炸药中含氧量不足以将可燃元素

充分氧化。此时,爆炸产物中会出现 CO 、 H_2 等气体,甚至出现固体碳,使爆炸反应不能放出最大热量。 CO 有毒, CO 和 H_2 还可能产生二次火焰,易引起瓦斯、煤尘爆炸。

(3) 零氧平衡($K=0$): 炸药中含氧量刚好能够将可燃元素充分氧化。此时,放出热量最大,也不生成有毒气体。

混合炸药的氧平衡可由其组成和配比来调节,一般情况下,应使炸药的氧平衡值接近于零氧平衡。部分炸药及其成分的氧平衡值列于表 1-1。

表 1-1

部分炸药及成分的氧平衡值

物 质 名 称	分 子 式	氧平衡, g/g
三硝基甲苯 (梯恩梯TNT)	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$	-0.740
环三次三硝胺 (黑索金RDX)	$\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_3(\text{NO}_2)_3$	-0.216
三硝酸丙三脂 (硝化甘油NG)	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$	+0.035
四硝化戊四醇 (泰安PETN)	$\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$	-0.101
二硝基重氮酚 (DDNP)	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_2\text{N}_2\text{O}$	-0.580
二硝化乙二醇	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2$	0
硝酸铵	NH_4NO_3	+0.200
硝酸钠	NaNO_3	+0.470
轻柴油		-3.420
木 粉		-1.380
沥 青		-2.760
石 蜡		-3.460
铝 粉	Al	-0.870
纸		-1.300
煤	含80% C	-2.559
氯化钠	NaCl	0
氯化钾	KCl	0
2号岩石炸药		+0.0334
2号煤矿炸药		+0.0131
铵油炸药		-0.0016

二、炸药爆炸的性能参数

1、爆容

炸药爆炸产物的体积称为爆容。一般以 1kg 炸药生成的气体产物在标准状态下的体积表示,单位为 L/kg。

爆容是评价炸药做功能力的一个参数,爆容愈大的炸药其做功能力愈强。一般矿用炸药的爆容为 600~1000L/kg。

2、爆热

炸药爆炸反应生成的热量称为爆热。爆热是炸药爆炸对外界做功的能源,是决定炸药爆炸性能的重要参数之一。爆热常以 1kg 炸药爆炸所产生的热量为计算单位,以 kJ/kg 表示。

影响炸药爆热的因素有:炸药的氧平衡,零氧平衡炸药爆热最高;装药密度增大,爆炸反应放热量增大,这对负氧平衡炸药影响较明显;炸药中加入铝、镁粉等金属粉末,可生成金属氧化物,为放热量大的反应,可增大爆热;装药外壳可防止爆炸产物的侧向飞散,从而增大爆热。

爆热愈大,表示炸药对外作功的能力愈大。一般工业炸药的爆热为 2500~5500kJ/kg。

3、爆温

炸药爆炸时放出的热量将爆炸产物加热到的最高温度称为爆温。炸药的爆温取决于炸药的爆热和爆炸产物的热容。

从提高炸药做功能力角度出发,炸药的爆温愈高,气体产物的压力愈大,则对外作功能力愈强。提高爆温的途径是提高爆热和减少爆炸产物的热容量。

为避免在煤矿井下爆破时因爆温过高引起瓦斯、煤尘爆炸事故,对煤矿炸药的爆温应有一定限制,通常加入消焰剂如

食盐等以降低爆温。

一般矿用炸药的爆温为 $2000\sim 2500^{\circ}\text{C}$ 。

4. 爆压

爆炸产物在爆炸瞬间的压力称为爆压,单位为 MPa。爆压是衡量炸药做功能力的一个指标。

爆轰过程中,爆炸产物内的压力分布是不断变化的,爆压是指爆轰结束时,爆炸产物在炸药初始体积内达到热平衡后的流体静压值,与后一节讲的爆轰压不同。

第三节 炸药的爆轰及稳定传爆

研究炸药爆轰原理和爆轰过程,以及影响炸药稳定传爆的因素,对合理使用炸药,提高炸药能量利用率,发展新品种炸药,保证安全生产,有着重要的意义。在爆破作业中,炸药的爆炸首先是雷管爆炸激起局部炸药爆炸,然后再由爆轰波的作用使整个炸药爆炸。能否保证炸药完全爆轰,是保证爆破效果和作业安全的关键。因此,不仅要研究炸药的起爆过程和原理,对起爆以后爆轰传播过程的实质及有关参数的研究也是十分必要的。

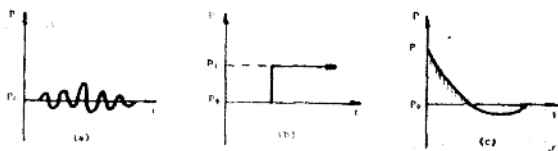
爆轰是炸药爆炸的一种最充分的形式,它是个复杂的物理、化学和流体动力学问题。研究起来困难。已建立的以流体动力学为基础的爆轰理论,阐明了爆轰传播的规律和实质,正确地解释了爆轰过程的特点。其基本观点是:炸药的爆轰是冲击波在炸药中传播引起的;炸药在溃击波作用下的快速化学反应所释放的能量又支持了冲击波的传播,使其波速保持恒定而不衰减;爆轰参数是以流体动力学为基础计算的。

一、冲击波

在外力作用下,介质的状态参数(如压力、密度、速度)发生局部变化的现象称为扰动,扰动在介质中的传播称为波。扰动区与非扰动区之间的界面叫做波阵面或波头,波阵面的传播速度称为波速。

按波内质点运动方向和波传播方向之间的关系,波可分为纵波和横波,纵波使介质受到压缩或膨胀,横波在介质中引起切变。按波阵面形状不同,波可分为平面波、柱面波和球面波。

冲击波是在介质中以密度、压力、质点运动速度突然升高的形式,并以超音速向前传播的一种压缩波。冲击波具有两个明显的特点,一是具有无限陡峭的波头,波阵面上介质的状态参数(如压力、密度、温度等)产生突跃变化,二是传播速度是超音速的。



(a) 音波 (b) 理想冲击波 (c) 实测空气冲击波

图 1-1 音波及冲击波波形

图 1-1(a)表示音波的压力变化状况,它是由几个波构成的,其频率决定了声音的高低,压力大小决定了声音的强度。图 1-1(b)表示理想的冲击波形,它是由单一的波构成的,压力由 P_0 突变到 P_1 , $P_1 - P_0$ 一般称为冲击波的超压,它决定了冲击波压力的强弱,图 1-1(c)表示冲击波的实测波形,由于冲击