

高等学校教材

爆破工程

BAOPO GONGCHENG

王玉杰 编

梁开水 审

武汉理工大学出版社

高等学校教材

爆破工程

王玉杰 编
梁开水 审

武汉理工大学出版社

• 武汉 •

内 容 提 要

本书内容共分 10 章,系统介绍了炸药爆炸基本理论、工业炸药、起爆器材与起爆方法、爆破工程地质、岩石爆破理论、预裂爆破与光面爆破、井巷掘进爆破、一般岩土爆破、硐室爆破、爆破危害控制与安全。

本书可作为采矿工程、资源工程专业的本科教材,也可作为土木工程、交通土建工程、水电工程、城市地下工程的本科生教材,或研究生参考书。同时,可供相关工程技术人员作为培训教材和应用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

爆破工程/王玉杰编. —武汉:武汉理工大学出版社,2007.9

ISBN 978-7-5629-2551-4

I. 爆…

II. 王…

III. 爆破技术

IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 143126 号

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

<http://www.techbook.com.cn>

印 刷 者:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

经 销 者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:21.0

字 数:540 千字

版 次:2007 年 9 月第 1 版

印 次:2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1—2000 册

定 价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

前 言

为了满足教学的需要,作者根据二十多年的教学、科研和工程实践经验,编写了本书。本书以满足采矿工程或资源工程专业本科教学为出发点,同时兼顾土木工程、交通土建、水电工程等专业教学的需要,亦能为相关工程技术人员作为培训教材和应用参考书。

本书在以下几个方面体现创新特色。

1. 基本概念明确,理论基础充实。本书系统地介绍了炸药爆炸基本理论和岩石爆破理论,注重了基本概念和定义的准确性,专业术语和专业设计的规范性。

2. 归整更新内容,改革教学思路。本书将各种装药量计算理论和法则融入到能量平衡原理中,把单位岩石炸药消耗量、最小抵抗线原理、毫秒爆破作用理论归整到岩石破碎理论章节,使读者学习起来更系统完整;把近年爆破工程的科学研究和技术进展中出现的新工艺、新设备、新成果、新知识编进了教材,使学生有更扎实的基础和更前瞻的知识面。

3. 侧重实验、实践知识,加强工程和创新能力的培养。本书在后4章重点介绍了各类爆破工程技术以及设计、施工和安全技术,旨在让学生在前面章节理论学习的基础上,结合实验教学和实践教学,学习并掌握爆破工程设计与施工的基本技能,也使本书能成为相关工程技术人员的培训教材和应用参考书。

4. 本书内容丰富,明了易懂。使用者可根据各教学大纲的具体情况选讲或安排学生自学。

本书编写过程中,陈宝心教授对《炸药爆轰理论》一节提出了重要的修改意见。书中所附的《常用爆破术语汉英对照》由美国纽约科学院院士、博士生导师龚文琪教授和《武汉理工大学学报》(英文版)陈银洲执行主编共同审校。在读研究生黄栋、李本伟、陶明、任少峰、曲燕、胡东涛为本书的资料查阅收集、文稿打印校对付出了辛勤的劳动,在此表示感谢。

《爆破》杂志主编、博士生导师梁开水教授对本书进行了全面审阅,就内容的取舍和编排,以及名词、文字、图表等的规范,都提出了许多宝贵意见,在此深表感谢。

武汉理工大学爆破工程专业课程自1959年开设以来已有近50年历史,历经了几代人的传承和发展。本书的编写和出版凝聚了前辈们的辛勤劳动、研究成果和教学成果。

本书编写过程中参阅和引用了大量的图书专著、教材和学术期刊文章,仅将主要参考文献附后。在此谨向文献作者一并致谢。

由于水平有限,书中难免存在缺点和不妥之处,欢迎读者,尤其是主讲教师们批评指正。

编 者

2007年7月7日

编者邮箱: yjwwhut@163.com

目 录

1 炸药爆炸基本理论	(1)
1.1 基本概念	(1)
1.1.1 爆炸及其分类	(1)
1.1.2 化学爆炸三要素	(1)
1.2 炸药化学反应基本形式	(3)
1.2.1 缓慢分解	(3)
1.2.2 燃烧与爆燃	(4)
1.2.3 爆炸与爆轰	(4)
1.2.4 爆炸与缓慢分解和燃烧之间的关系	(5)
1.2.5 炸药不同化学反应形式转化	(5)
1.3 炸药氧平衡与反应产物	(6)
1.3.1 炸药氧平衡	(6)
1.3.2 炸药爆炸反应方程式	(9)
1.3.3 爆轰产物与有毒气体	(10)
1.4 炸药热化学参数	(11)
1.4.1 爆容	(11)
1.4.2 爆热	(11)
1.4.3 爆温	(15)
1.4.4 爆炸压力	(17)
1.5 炸药感度	(18)
1.5.1 炸药感度一般概念	(18)
1.5.2 炸药热感度	(18)
1.5.3 炸药机械感度	(19)
1.5.4 起爆感度与殉爆距离	(19)
1.5.5 炸药物理状态和装药条件对感度影响	(22)
1.6 炸药起爆	(22)
1.6.1 热点起爆理论	(23)
1.6.2 爆炸物直接作用于炸药起爆机理	(23)
1.7 炸药爆轰理论	(24)
1.7.1 介质中的波与冲击波	(24)
1.7.2 炸药爆轰	(28)
1.8 炸药爆炸性能	(34)
1.8.1 爆速	(34)
1.8.2 威力	(41)

1.8.3	猛度	(44)
1.8.4	聚能效应	(44)
	本章小结	(46)
	复习题	(47)
2	工业炸药	(48)
2.1	基本概念	(48)
2.1.1	按炸药组成分类	(48)
2.1.2	按炸药作用特性分类	(48)
2.1.3	按工业炸药主要化学成分分类	(49)
2.1.4	按工业炸药使用条件分类	(49)
2.1.5	按联合国危险物品运输规定分类	(49)
2.1.6	炸药的安定性	(51)
2.1.7	工程爆破对工业炸药的基本要求	(51)
2.2	单质起爆药与猛炸药	(51)
2.2.1	单质起爆药	(51)
2.2.2	单质猛炸药	(52)
2.3	硝酸铵类炸药	(53)
2.3.1	硝酸铵	(53)
2.3.2	铵梯炸药	(54)
2.3.3	铵油炸药	(56)
2.3.4	乳化炸药等含水炸药	(59)
2.4	煤矿许用炸药	(63)
2.4.1	煤矿瓦斯、煤尘爆炸机理	(63)
2.4.2	煤矿许用炸药特点	(64)
2.4.3	煤矿许用炸药品种、分级与检验方法	(64)
2.5	其他工业炸药	(66)
2.5.1	黑火药	(66)
2.5.2	胶质炸药	(67)
2.5.3	液体炸药	(67)
2.5.4	低爆速炸药	(68)
2.6	爆破器材销毁方法简介	(69)
	本章小结	(69)
	复习题	(70)
3	起爆器材与起爆方法	(71)
3.1	基本概念	(71)
3.1.1	起爆器材种类与工业雷管	(71)
3.1.2	起爆方法分类	(72)
3.2	火雷管起爆法	(73)
3.2.1	火雷管	(73)

3.2.2	导火索	(74)
3.2.3	点火材料	(75)
3.2.4	火雷管起爆法施工工艺	(76)
3.2.5	火雷管起爆法适用范围	(77)
3.3	导爆索起爆法	(77)
3.3.1	导爆索	(78)
3.3.2	继爆管	(79)
3.3.3	导爆索起爆网路	(80)
3.3.4	导爆索起爆网路施工技术	(81)
3.3.5	导爆索起爆网路应用	(82)
3.4	导爆管雷管起爆法	(83)
3.4.1	塑料导爆管	(84)
3.4.2	导爆管雷管	(84)
3.4.3	导爆管连接元件	(85)
3.4.4	导爆管击发元件	(87)
3.4.5	导爆管起爆法网路连接形式	(88)
3.4.6	导爆管毫秒爆破网路	(88)
3.4.7	导爆管起爆网路施工技术	(90)
3.5	电力起爆法	(92)
3.5.1	电雷管及其性能参数	(92)
3.5.2	导线	(97)
3.5.3	起爆电源	(98)
3.5.4	电爆网路检测及仪器	(100)
3.5.5	电爆网路及计算	(100)
3.5.6	电爆网路施工技术	(103)
3.5.7	电力起爆中早爆事故及预防	(104)
	本章小结	(110)
	复习题	(110)
4	爆破工程地质	(111)
4.1	岩石基本性质	(111)
4.1.1	岩石主要物理性质	(111)
4.1.2	岩石主要力学性质	(112)
4.2	岩石中应力波	(114)
4.2.1	冲击载荷和波	(114)
4.2.2	波动方程	(115)
4.2.3	应力波叠加	(116)
4.2.4	应力波反射和透射	(116)
4.2.5	表面波和地震波	(119)
4.2.6	岩石动力学特性	(121)

4.3 岩石分级	(123)
4.3.1 土壤及岩石分类	(123)
4.3.2 岩石可钻性分级	(125)
4.3.3 岩石可爆性分级	(126)
4.4 地质条件对爆破影响	(128)
4.4.1 结构面对爆破影响	(128)
4.4.2 地形对爆破影响	(131)
4.4.3 特殊地质条件对爆破影响	(132)
4.5 爆破对工程地质条件影响	(134)
4.5.1 爆破对保留岩体破坏	(134)
4.5.2 爆破对边坡稳定性影响	(135)
4.5.3 爆破对水文地质条件影响	(137)
4.6 爆破工程地质勘察	(138)
4.6.1 爆破对工程地质勘察基本要求	(138)
4.6.2 勘测工作内容及方法	(139)
4.6.3 编写工程地质报告书	(140)
本章小结	(141)
复习题	(141)
5 岩石爆破理论	(142)
5.1 岩石爆破破坏基本理论	(142)
5.2 单个药包爆破作用	(144)
5.2.1 内部作用	(144)
5.2.2 外部作用	(146)
5.2.3 炸药在岩石中爆破破坏过程与破坏模式	(149)
5.2.4 爆破漏斗	(150)
5.3 延长装药爆破作用	(151)
5.4 成组药包爆破时岩石破坏特征	(152)
5.4.1 单排成组药包齐发爆破	(152)
5.4.2 多排成组药包齐发爆破	(154)
5.5 能量平衡原理与装药量计算	(154)
5.5.1 相似法则	(154)
5.5.2 体积法则	(155)
5.5.3 利文斯顿爆破漏斗理论	(156)
5.5.4 装药量计算	(159)
5.5.5 单位岩石炸药消耗量	(161)
5.5.6 最小抵抗线原理	(163)
5.5.7 毫秒爆破作用理论	(164)
5.6 影响爆破作用的主要因素	(168)
5.6.1 炸药性能影响	(168)

5.6.2 岩石特性对爆破作用的影响	(170)
5.6.3 炸药与岩石匹配关系对爆破作用的影响	(171)
5.6.4 爆破工艺对爆破作用的影响	(174)
本章小结	(178)
复习题	(178)
6 预裂爆破与光面爆破	(180)
6.1 预裂爆破	(180)
6.1.1 预裂爆破成缝机理	(180)
6.1.2 预裂爆破装药量确定	(182)
6.1.3 预裂爆破施工	(184)
6.1.4 预裂爆破实施中的一些问题	(185)
6.2 光面爆破	(188)
6.2.1 光面爆破作用机理	(189)
6.2.2 光面爆破设计	(189)
6.2.3 光面爆破施工	(191)
6.3 光面爆破与预裂爆破应用条件	(191)
6.4 预裂、光面爆破工程应用	(192)
6.4.1 建立破碎带	(192)
6.4.2 预裂-光面爆破法	(192)
6.4.3 施工预裂爆破或光面爆破	(192)
6.5 定向断裂爆破新技术简介	(193)
本章小结	(195)
复习题	(195)
7 井巷掘进爆破	(196)
7.1 平巷掘进爆破	(196)
7.1.1 工作面和炮眼布置	(196)
7.1.2 爆破参数确定	(201)
7.1.3 平行空眼直线掏槽爆破有关问题	(203)
7.2 井筒掘进爆破	(204)
7.2.1 竖(立)井工作面炮眼布置	(204)
7.2.2 竖井爆破参数确定	(205)
7.2.3 竖井爆破的起爆网路	(208)
7.2.4 斜井掘进爆破	(208)
7.2.5 天井反向掘进爆破	(208)
7.3 地下大跨度硐库开挖爆破	(211)
7.3.1 概述	(211)
7.3.2 施工方案	(212)
7.3.3 施工方法	(212)
7.3.4 地下硐库开挖爆破对围岩的影响	(216)

本章小结	(217)
复习题	(217)
8 一般岩土爆破	(218)
8.1 露天深孔台阶爆破	(218)
8.1.1 台阶要素	(218)
8.1.2 钻孔形式	(218)
8.1.3 布孔方式	(218)
8.1.4 爆破参数	(220)
8.1.5 装药结构	(225)
8.1.6 起爆顺序	(226)
8.1.7 技术设计	(227)
8.1.8 施工工艺	(228)
8.1.9 降低大块产出率和根底率措施	(228)
8.1.10 大区多排孔毫秒爆破技术	(229)
8.1.11 宽孔距、小抵抗线毫秒爆破技术	(229)
8.2 露天浅眼台阶爆破	(231)
8.2.1 炮孔排列	(231)
8.2.2 爆破参数	(231)
8.3 地下采场深孔爆破	(232)
8.3.1 深孔布置	(232)
8.3.2 爆破参数	(233)
8.3.3 VCR 法	(237)
8.4 地下采场浅眼爆破	(238)
8.4.1 炮眼排列	(238)
8.4.2 爆破参数	(239)
8.5 挤压爆破	(240)
8.5.1 挤压爆破原理	(240)
8.5.2 地下深孔挤压爆破	(242)
8.5.3 露天台阶挤压爆破	(243)
8.6 药壶爆破及二次爆破	(244)
8.6.1 药壶爆破	(244)
8.6.2 二次浅眼爆破	(246)
8.6.3 裸露爆破法	(246)
8.7 炮孔装药机械化	(251)
8.7.1 炮孔装药机械化优点	(251)
8.7.2 露天炮孔装药机械	(251)
8.7.3 地下炮孔装药机械	(254)
本章小结	(257)
复习题	(257)

9 硐室爆破	(258)
9.1 基本概念	(258)
9.1.1 作用原理	(258)
9.1.2 分类及用途	(258)
9.2 设计依据与基本内容	(260)
9.3 药包布置方法	(262)
9.3.1 单个集中药包布置法	(262)
9.3.2 并列集中药包布置法	(263)
9.3.3 双层单排延期药包布置法	(263)
9.3.4 单排并列群药包侧向抛掷爆破药包布置法	(263)
9.3.5 露天矿剥离爆破药包布置法	(264)
9.3.6 硐室爆破与预裂孔配合布置法	(267)
9.4 药包参数选择与装药量计算	(267)
9.4.1 药包参数选择	(267)
9.4.2 装药量计算	(268)
9.4.3 药包压缩圈半径计算	(269)
9.4.4 药包间距计算	(270)
9.4.5 爆破抛掷率分析	(271)
9.5 药包爆破漏斗图绘制原理和方法	(271)
9.5.1 斜坡爆破漏斗剖面图绘制方法和步骤	(271)
9.5.2 爆破漏斗地形图绘制原理和方法	(272)
9.5.3 爆破漏斗地形图图解绘制法	(273)
9.5.4 组合药包布置方式	(273)
9.6 定向爆破抛掷堆积计算	(274)
9.6.1 经验估算法	(275)
9.6.2 体积平衡法	(276)
9.6.3 弹道理论法	(277)
9.6.4 整体弹道法	(279)
9.7 爆破影响安全校核	(279)
9.8 爆破施工与管理	(279)
9.8.1 导硐药室布置与施工	(279)
9.8.2 起爆网路设计与测试	(280)
9.8.3 装药结构与堵塞	(281)
9.8.4 起爆准备工作	(283)
9.8.5 爆破后现场检查与处理工作	(283)
本章小结	(284)
复习题	(284)
10 爆破危害控制与安全	(285)
10.1 爆破地震安全距离	(285)

10.1.1 爆破地震强度与安全距离计算·····	(285)
10.1.2 爆破振动安全允许标准·····	(286)
10.1.3 爆破地震效应的影响因素和降震措施·····	(287)
10.2 爆炸冲击波安全距离·····	(289)
10.2.1 冲击波安全距离计算·····	(289)
10.2.2 降低爆炸空气冲击波主要措施·····	(291)
10.3 爆破堆积体与个别飞散物计算·····	(292)
10.3.1 爆破堆积范围计算·····	(292)
10.3.2 爆破个别飞散物安全允许距离·····	(293)
10.3.3 爆破个别飞散物控制和防护·····	(295)
10.4 爆破粉尘产生与预防·····	(295)
10.4.1 爆破粉尘理化特性·····	(295)
10.4.2 影响爆破粉尘因素·····	(296)
10.4.3 降低爆破粉尘一般措施·····	(296)
10.5 爆炸有害气体扩散安全距离·····	(297)
10.5.1 爆炸产生有害气体·····	(297)
10.5.2 爆炸有害气体对人体危害·····	(297)
10.5.3 爆破有害气体允许浓度及预防措施·····	(298)
10.6 爆破噪声及其控制·····	(299)
10.7 早爆、拒爆事故预防与处理·····	(300)
10.7.1 早爆、拒爆事故分类·····	(300)
10.7.2 早爆事故预防·····	(301)
10.7.3 拒爆事故处理·····	(302)
10.8 爆破环境调查与有害效应监测·····	(304)
10.8.1 爆破区域周围环境的宏观调查·····	(304)
10.8.2 爆破对周围建筑物安全影响细观调查·····	(304)
10.8.3 爆破有害效应监测·····	(305)
10.8.4 爆破安全分析和总结·····	(305)
本章小结·····	(306)
复习题·····	(306)
参考文献·····	(307)
常用爆破术语汉英对照·····	(309)

1 炸药爆炸基本理论

1.1 基本概念

1.1.1 爆炸及其分类

自然界有各种各样的爆炸现象,如自行车爆胎、燃放鞭炮、锅炉爆炸、原子弹爆炸等。爆炸时,往往伴有强烈的发光、声响和破坏效应。从广义的角度来看,爆炸是指物质的物理形态或化学性质发生急剧变化,在变化过程中伴随有能量的快速转化,内能转化为机械压缩能,且使原来的物质或其变化产物及周围介质产生运动,进而产生巨大的机械破坏效应。

按引起爆炸的原因不同,可将爆炸区分为物理爆炸、核爆炸和化学爆炸三类。

(1) 物理爆炸

这是由物理原因造成的爆炸,爆炸不发生化学变化。例如锅炉爆炸、氧气瓶爆炸、轮胎爆胎等都是物理爆炸。在实际生产中,除了煤矿利用内装压缩空气或二氧化碳的爆破筒落煤外,很少应用物理爆炸。

(2) 核爆炸

这是由核裂变或核聚变引起的爆炸。核爆炸放出的能量极大,相当于数万吨至数千万吨三硝基甲苯(TNT,俗称“梯恩梯”)爆炸释放的能量,爆炸中心区温度可达数百万至数千万摄氏度,压力可达数十万兆帕以上,并辐射出各种很强的射线。目前,在岩石工程中,核爆炸的应用范围和条件仍十分有限。

(3) 化学爆炸

这是由化学变化造成的爆炸。炸药爆炸、井下瓦斯或煤尘与空气混合物的爆炸、汽油与空气混合物的爆炸以及其他混合爆鸣气体的爆炸等,都是化学爆炸。与物理爆炸不同,化学爆炸后有新的物质生成。岩石的爆破过程是炸药发生化学爆炸做机械功、破坏岩石的过程。因此,化学爆炸将是我们研究的重点。

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,主要由碳、氢、氮、氧四种元素组成。炸药既是安定的又是不安定的。在平常条件下,炸药是比较安定的物质。除起爆药外,炸药的活化能值是相当大的,但当局部炸药分子被活化达到足够数目时,就会失去稳定性,引起炸药爆炸。以鞭炮中装填的黑火药为例,当点燃时,黑火药迅速燃烧,产生化学反应,并放出热量和气体产物,同时发出声响和闪光,完成爆炸过程。

1.1.2 化学爆炸三要素

炸药是在一定的条件下,能发生急剧的化学反应,在有限的空间和极短的时间内迅速释放大量的热量和生成大量气体,并显示爆炸效应的化合物或混合物。实践表明,炸药爆炸必须具

备 3 个基本条件。

(1) 反应的放热性

放热是炸药爆炸必需的条件之一。爆炸反应只有在炸药自身提供能量的条件下才能自动进行。没有这个条件,爆炸过程就根本不能发生;没有这个条件,反应也就不能自行延续,因而也不可能出现爆炸过程的反应传播。依靠外界供给能量来维持其分解的物质,不可能具有爆炸的性质。草酸盐的分解反应便是典型例子:



第一种反应是吸热反应,只有在外界不断加热的条件下才能进行,因而不具有爆炸性质;第二种反应具有爆炸性,但因放出的热量不大,爆炸性不强;第三种反应具有显著的爆炸性质。爆炸反应所放的热量是爆炸产生破坏作用的能源。

(2) 反应过程的高速度

反应过程的高速度是爆炸反应区别一般化学反应的重要标志。炸药爆炸反应时间大约是 $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ s}$ 量级。虽然炸药的能储量并不比一般燃料大,但由于反应的高速度,使炸药爆炸时能够达到一般化学反应所无法比拟的高得多的能量密度。石油、煤和几种炸药的放热量和能量密度数据如表 1-1 所示。

表 1-1 石油、煤和几种炸药的放热量和能量密度

物质名称	单位质量物质的放热量 (MJ/kg)	单位体积炸药或燃料空气混合物的 能量密度(kJ/L)
煤	32.66	3.60
石油	41.87	3.68
黑火药	2.93	2805
梯恩梯	4.19	6700
黑索金	5.86	10467

1 kg 煤块燃烧可以放出 32.66 MJ 的热量,这个热量比 1 kg 梯恩梯炸药爆炸放出的热量要多几倍,可是这块煤燃烧完成的时间大约需要几分钟到几十分钟,在这段时间内放出的热量不断以热传导和辐射的形式传送出去,因而虽然煤的放热量很多,但是单位时间的放热量并不多。同时还要注意到煤的燃烧是与空气中的氧进行化学反应完成的,1 kg 的煤的完全反应就需要 2.67 kg 的氧,这样多的氧必须由 9 m^3 的空气才能提供,因而作为燃烧原料的煤和空气的混合物,单位体积所放出的热量也只有 3.6 kJ/L,能量密度很低。

爆炸反应就完全相反。炸药反应一般都是以 $(5 \sim 8) \times 10^3 \text{ m/s}$ 的速度进行。一块 10 cm 见方的炸药爆炸反应完毕只需要 $10 \mu\text{s}$ 的时间。由于反应速度极快,虽然总放热量不是太大,但在这样短暂时间内的放热量却比一般燃料燃烧时在同样时间内放出的热量高出上千万倍。同时,由于爆炸反应无需空气中的氧参加,在反应所进行的短暂时间内放出的热量来不及散出,以致可以认为全部热量都聚集在炸药爆炸前所占据的体积内,这样炸药单位体积所具有的热量就达到 1 MJ/L 以上,比一般燃料燃烧要高数千倍。

由于反应过程的高速度使炸药所具有的能量在极短时间内放出,达到极高的能量密度,所以炸药爆炸具有巨大的做功功率和强烈的破坏作用。

(3) 反应中生成大量气体产物

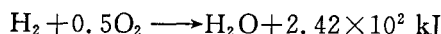
反应过程中生成大量气体产物,是炸药爆炸对外做功的媒介。爆炸瞬间炸药定容地转化为气体产物,其密度要比正常条件下气体的密度大几百倍到几千倍。也就是说,正常情况下这样多体积的气体被强烈压缩在炸药爆炸前所占据的体积内,从而造成 $10^9 \sim 10^{10}$ Pa 以上的高压。同时,由于反应的放热性,这样处于高温、高压的气体产物必然急剧膨胀,把炸药的位能变成气体运动的动能,对周围介质做功。在这个过程中,气体产物既是造成高压的原因,又是对外界做功的介质。某些炸药爆炸气体产物在标准条件下的体积如表 1-2 所示。

表 1-2 某些炸药爆炸气体产物在标准条件下的体积

炸 药	1 kg 炸药放出的气体产物(L)	1 L 炸药放出的气体产物(L)
梯恩梯	740	1180
特屈儿	760	1290
太 安	790	1320
黑索金	908	1630
奥克托金	908	1720

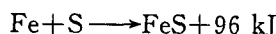
可见,1 kg 猛炸药爆炸生成的气体换算到标准状态(1.0133×10^5 Pa, 273 K)下的气体体积为 700~1000 L,为炸药爆炸前所占体积的 1200~1700 倍。

当气体爆炸时,体积一般不会增大,例如氢、氧混合爆炸

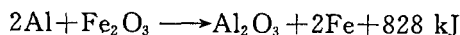


爆炸产物体积在标准状态下比爆炸前减少了 $\frac{1}{3}$ 。但是由于反应速度很快,而且放出大量热量和热反应产物,使其压力提高到 10^6 Pa 以上,仍能迅速向外膨胀做功。

又例如金属硫化物的生成反应



或铝热剂反应



尽管反应非常迅速,且放出很多的热量,后一个反应放出的热量足以把反应产物加热到 3000 K,但终究由于没有气体产物生成,没有把热能转变为机械能的媒介,无法对外做功,所以不具有爆炸性。

因此,对于爆炸来说,放热性、高速度、生成大量的气体产物是缺一不可的,只有在这三个要素同时具备时,化学反应才能具有爆炸的特性。

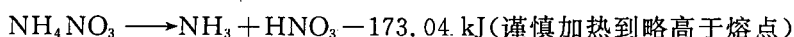
1.2 炸药化学反应基本形式

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:缓慢分解、燃烧和爆炸。这三种形式进行的速度不同,产生的产物和热效应也不同。

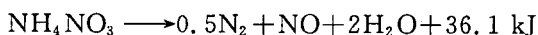
1.2.1 缓慢分解

炸药在常温下会缓慢分解,温度愈高,分解愈显著。这种变化的特点是:炸药内各点温度

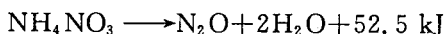
相同,在全部炸药中反应同时展开,没有集中的反应区;分解时,既可以吸收热量,也可以放出热量,这取决炸药类型和环境温度。但是,当温度较高时,所有炸药的分解反应都伴随有热量放出。例如,硝酸铵在常温或温度低于 150 °C 时,其分解反应为吸热反应,反应方程为



当加热至 200 °C 左右,分解时将放出热量,反应方程为



或



分解反应为放热反应时,如果放出热量不能及时散失,炸药温度就会不断升高,促使反应速度不断加快和放出更多的热量,最终就会引起炸药的燃烧和爆炸。因此,在储存、加工、运输和使用炸药时要注意采取通风等措施,防止由于炸药分解产生热积累而导致意外爆炸事故的发生。炸药的缓慢分解反映炸药的化学安定性。在炸药储存、加工、运输和使用过程中,都需要了解炸药的化学安定性。这是研究炸药缓慢分解意义之所在。

1.2.2 燃烧与爆燃

炸药在热源(例如火焰)作用下会燃烧。但与其他可燃物不同,炸药燃烧时不需要外界供给氧。当炸药的燃烧速度较快,达到数百米每秒时,称为爆燃。

进行燃烧的区域称作燃烧区,又称作反应区。开始发生燃烧的面称作焰面。焰面和反应区沿炸药柱一层层地传下去,其传播速度即单位时间内传播的距离称为燃烧线速度。线速度与炸药密度的乘积,即单位时间内单位截面上燃烧的炸药质量,称为燃烧质量速度。通常所说的燃烧速度系指线速度。

炸药在燃烧过程中,若燃烧速度保持定值,就称为稳定燃烧;否则称为不稳定燃烧。炸药是否能够稳定燃烧,取决于燃烧过程中的热平衡情况。如果热量能够平衡,即反应区中放出的热量与经传导向炸药邻层和周围介质散失的热量相等,燃烧就能稳定,否则就不能稳定。不稳定燃烧可导致燃烧的熄灭、震荡或转变为爆炸。

要使燃烧过程中热量达到平衡或燃烧稳定,必须具备一定的条件。该条件由下列因素所决定:炸药的物理化学性质和物理结构,药柱的密度、直径和外壳材料,环境温度和压力等。炸药在一定的环境温度和压力条件下,只有当药柱直径超过某一数值量,才能稳定燃烧,而且燃烧速度与药柱直径无关。能稳定燃烧的最小直径称为燃烧临界直径。环境温度和压力越高,燃烧临界直径越小;反之,当药柱直径固定时,药柱稳定燃烧必有其对应的最小温度和压力,称作燃烧临界温度和临界压力,而且燃烧速度随温度和压力的增高而增大。

了解炸药燃烧的稳定性、燃烧特性及其规律,对爆炸材料的安全生产、加工、运输、保管、使用以及过期或变质炸药的销毁都是很必要的。

1.2.3 爆炸与爆轰

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。爆炸速度增长到稳定爆速的最大值时就转化为爆轰;另一方面,由于衰减它也可以转化为爆燃或燃烧。

爆轰是指炸药以每秒数千米的最大稳定速度进行的反应过程。特定的炸药在特定条件下的爆轰速度为常数。

有些学者认为,广义的爆炸应把爆炸和爆轰都包含在内。

1.2.4 爆炸与缓慢分解和燃烧之间的关系

(1) 爆炸与缓慢分解的主要区别

1) 缓慢分解是在整个炸药中展开的,没有集中的反应区域;而爆炸是在炸药局部发生的,并以波的形式在炸药中传播。

2) 缓慢分解在不受外界任何特殊条件作用时,一直不断地自动进行;而爆炸要在外界特殊条件作用下才能发生。

3) 缓慢分解与环境温度关系很大,随着温度的升高,缓慢分解速度将按指数规律迅速增加;而爆炸与环境温度无关。

(2) 燃烧与爆炸的主要区别

1) 燃烧与爆炸传播速度截然不同,燃烧的速度为几毫米每秒到几百米每秒,大大低于原始炸药中的声速;而爆轰的速度通常达几千米每秒,一般大于原始炸药中的声速。

2) 从传播连续进行的机理来看,燃烧时化学反应区放出的能量是通过热传导、辐射和气体产物的扩散传入下一层炸药,激起未反应的炸药产生化学反应,使燃烧连续进行;而在爆炸时,化学反应区放出的能量以压缩波的形式提供给前沿冲击波,维持前沿冲击波的强度,然后前沿冲击波冲击压缩激起下一层炸药进行化学反应,使爆轰连续进行。

3) 从反应产物的压力来看,燃烧产物的压力通常很低,对外界显示不出力的作用;而爆炸时产物压力可以达到 10^{10} MPa 以上,有强烈的力效应。

4) 从反应产物质点运动方向来看,燃烧产物质点运动方向与燃烧传播的方向相反;而爆炸产物质点运动方向与爆炸传播的方向相同。

5) 从炸药本身条件来看,随着装药密度的增加,炸药颗粒间的孔隙度减小,燃烧速度下降;而爆轰随着装药密度的增加,单位体积物质化学反应时放出的能量增加,使之对于下一层的炸药的冲压加强,因而爆轰速度增加。

6) 从外界条件影响来看,燃烧易受外界压力和初温的影响。当外界压力低时,燃烧速度很慢;随着外界压力的提高,燃烧速度加快,当外界压力过高时,燃烧变得不稳定,以致转变成爆炸;爆炸基本上不受外界条件的影响。

此外,爆炸与爆轰是两个不同的概念。一般来说,具有爆炸三个要素的化学反应皆称为爆炸,爆炸传播的速度可能是变化的;爆轰除了要具备爆炸的三个要素之外,还要求传播的速度是恒定的。因而,爆炸一般笼统定义为具有三大要素的化学反应,而爆轰专门定义为以恒定速度稳定传播的爆炸过程。

1.2.5 炸药不同化学反应形式转化

炸药三种化学反应形式可以相互转化。在某些条件下,爆炸可以衰减为燃烧,某些工业炸药常常出现这样的转化;反之,缓慢分解也能转化为燃烧,燃烧也可以转化为爆炸。这些转化的条件与环境、炸药的物理化学性质有关。三种化学反应变化形式之间的转化关系可表示如下:

