



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12.5" GUIHUA JIAOCAI

爆破工程

张云鹏 编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

爆 破 工 程

张云鹏 编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2011

内 容 提 要

本书共分8章:第1章为绪论,概述了爆炸与爆破的基本概念、爆破工程的分类及炸药与爆破工程的发展历史和趋势;第2章介绍了炸药及其化学反应、炸药的起爆与感度、炸药的爆轰理论、炸药的热化学以及炸药的爆炸作用等基本理论;第3章介绍了常用的铵油炸药、含水炸药等工业炸药的组成、技术性能、制造工艺等;第4章对起爆器材和起爆方法做了全面的介绍;第5章为岩石爆破理论,阐述了岩石的物理力学性质、岩石的分级、岩石爆破破碎机理、装药量计算原理、岩石爆破作用基本原理等;第6章详细地介绍了岩土爆破技术,包括露天深孔爆破、井巷与隧道掘进爆破、地下采场爆破、光面爆破和预裂爆破、挤压爆破;第7章简要介绍硐室爆破设计的原理和方法;第8章阐述了爆破安全技术与安全管理知识。

本书可作为采矿工程专业及相关专业本科教材,也可供从事爆破设计、施工等工程技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

爆破工程/张云鹏编. —北京:冶金工业出版社, 2011. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5630-6

I. ①爆… II. ①张… III. ①爆破技术—高等学校—教材
IV. ①TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011) 第 159893 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 王之光 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5630-6

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011 年 8 月第 1 版, 2011 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13.5 印张; 327 千字; 205 页

27.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

随着国民经济的发展,我国的工程爆破技术有了长足的发展,爆破技术已广泛应用于露天与地下开采、铁路、公路、水利水电建设的基坑开挖、平整场地、隧道掘进等工程。在硐室爆破、深孔爆破、地下采掘爆破、城镇建(构)筑物拆除爆破、水下工程爆破等方面,积累了丰富的经验。

本书是依据采矿工程专业本科培养方案编写的课程教材。按照“知识是载体,能力培养是目的”的现代教育理念,在编写本书时遵循了以下原则:

(1) 突出人才培养目标。以专业人才培养目标为核心,围绕工程实践能力、有效思维能力、创新能力等的培养,设计教材的主要内容。

(2) 突出工程实践能力的培养。在学习爆炸和爆破基本知识的基础上,重点对岩土爆破技术进行阐述,同时增加爆破设计、爆破施工的内容和工程实例,增加爆破工程设计的训练,提高学生的工程设计能力。

(3) 突出安全知识。以《爆破安全规程》、《民用爆炸物品安全管理条例》为依据,学习爆破安全技术及安全管理方面的知识,增强安全意识,培养安全管理能力。

(4) 注重引入先进的爆破工程技术及现行的国家技术标准和规范,内容具有先进性和实用性,符合国家标准和规范的要求。

通过本书的学习,希望达到以下目标:

(1) 掌握炸药、爆炸及爆破工程的基本理论和基本方法,培养发现问题、分析问题和解决问题的能力。

(2) 掌握岩土爆破技术,培养爆破工程的设计能力、爆破施工管理和组织能力。

(3) 掌握爆破安全技术及安全管理知识,熟悉炸药及爆破安全等方面的法律、法规 and 国家标准,培养安全管理能力。

本书以岩土爆破技术为主要内容,系统地介绍了炸药爆炸与岩石爆破的基

本理论、方法和技术。全书共分8章,包括绪论,炸药爆炸的基本理论,工业炸药,起爆器材与起爆方法,岩石爆破理论,岩土爆破技术,硐室爆破,爆破安全技术与管理。本书具有较强的实用性,可作为采矿工程专业及相关专业的本科教材,也可供从事爆破设计、施工等工程技术人员、管理人员参考。

在本书编写过程中参考了大量的相关文献,许多文献未能列入参考文献中,在此向所有文献的作者致谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处,真诚欢迎读者批评指正。

编 者

2011年4月

目 录

1 绪论	1
1.1 爆炸现象	1
1.2 爆破工程与技术	1
1.2.1 爆破工程分类	2
1.2.2 爆破技术分类	3
1.3 炸药与爆破技术的发展	3
1.3.1 炸药与起爆器材的发展	3
1.3.2 爆破技术的发展	5
1.3.3 爆破工程发展趋势	5
2 炸药爆炸的基本理论	7
2.1 炸药简介	7
2.1.1 炸药的分类	7
2.1.2 起爆药	8
2.1.3 单质猛炸药	9
2.2 炸药的化学反应形式与爆炸特征	11
2.2.1 炸药化学反应的形式	11
2.2.2 炸药爆炸的特征	12
2.3 炸药的起爆与感度	13
2.3.1 起爆与起爆能	13
2.3.2 起爆机理	14
2.3.3 炸药的感度	15
2.3.4 影响炸药感度的因素	18
2.4 炸药的爆轰理论	18
2.4.1 冲击波的基本概念	19
2.4.2 冲击波基本方程	20
2.4.3 爆轰波结构	21
2.4.4 爆轰波基本方程	21
2.4.5 爆轰波参数	22
2.4.6 爆轰反应机理	23
2.4.7 稳定爆轰的影响因素	24
2.4.8 爆速测定方法	27

2.5 炸药的热化学性能	28
2.5.1 炸药的爆炸反应	28
2.5.2 爆热	31
2.6 炸药的爆炸作用	35
2.6.1 炸药的理论爆炸功	35
2.6.2 炸药做功能力试验——铅埭法	36
2.6.3 炸药猛度试验——铅柱压缩法	37
2.6.4 爆破漏斗试验	37
3 工业炸药	39
3.1 工业炸药分类	39
3.2 铵油炸药	40
3.2.1 粉状铵油炸药	40
3.2.2 多孔粒状铵油炸药	42
3.2.3 膨化硝铵炸药	43
3.2.4 乳化铵油炸药	44
3.2.5 铵松蜡炸药	45
3.3 含水炸药	46
3.3.1 浆状炸药	46
3.3.2 水胶炸药	47
3.3.3 乳化炸药	48
3.3.4 粉状乳化炸药	50
3.4 铵梯类炸药	50
3.4.1 铵梯炸药	50
3.4.2 铵梯油炸药	52
3.5 硝化甘油炸药	53
3.6 煤矿许用炸药	54
3.6.1 煤矿瓦斯与煤尘	54
3.6.2 煤矿许用炸药的特点	55
3.6.3 煤矿许用炸药的品种与分级	55
4 起爆器材与起爆方法	56
4.1 工业火雷管与工业导火索	56
4.1.1 工业火雷管	56
4.1.2 工业导火索	57
4.2 电雷管	58
4.2.1 电雷管的结构	58
4.2.2 电雷管的主要参数	63
4.3 导爆管与导爆管雷管	64

4.3.1 导爆管	65
4.3.2 导爆管雷管	65
4.4 导爆索与继爆管	66
4.4.1 导爆索	66
4.4.2 继爆管	67
4.5 起爆方法	67
4.5.1 电力起爆法	67
4.5.2 导爆管起爆法	71
4.5.3 导爆索起爆法	73
5 岩石爆破理论	75
5.1 岩石的工程地质特征	75
5.1.1 岩石的矿物成分及组织特征	75
5.1.2 岩体结构特征	76
5.2 岩石的物理性质	77
5.2.1 岩石的孔隙度	77
5.2.2 岩石的密度和容重	77
5.2.3 岩石的碎胀性	78
5.3 岩石的力学性质	79
5.3.1 岩石的变形特征	79
5.3.2 岩石的强度特征	81
5.3.3 岩石的硬度与磨蚀性	82
5.3.4 爆炸应力波	82
5.3.5 应力波在介质交界面的反射与透射	86
5.4 岩石的分级	87
5.4.1 普氏分级	87
5.4.2 工程岩体分级	88
5.5 岩石爆破破碎机理	91
5.5.1 爆炸应力波作用破坏理论	91
5.5.2 爆轰气体膨胀作用破坏理论	91
5.5.3 爆轰气体膨胀与爆炸应力波共同作用理论	91
5.5.4 岩石爆破的损伤力学理论	92
5.6 爆破作用分析	92
5.6.1 爆破的内部作用	92
5.6.2 爆破的外部作用	94
5.6.3 爆破漏斗	96
5.6.4 利文斯顿爆破漏斗理论	98
5.6.5 多药包的齐发爆破作用	99
5.7 装药量计算原理	100

5.7.1	相似法则与体积公式	100
5.7.2	漏斗爆破药量计算	101
5.7.3	台阶爆破药量计算	101
5.7.4	单位炸药消耗量的确定	102
5.7.5	兰格福斯药量计算公式	102
5.8	岩石爆破作用原理	102
5.8.1	最小抵抗线原理	102
5.8.2	多向爆破作用控制原理	103
5.8.3	群药包共同作用原理	104
5.8.4	重力作用原理	104
5.9	爆破参数与工艺对爆破作用的影响	104
5.9.1	爆炸能量利用率	104
5.9.2	炮孔直径与孔网参数对爆破作用的影响	105
5.9.3	装药结构	105
5.9.4	填塞对爆破作用的影响	107
5.9.5	起爆顺序对爆破作用的影响	107
5.9.6	起爆药包的位置对爆破作用的影响	108
6	岩土爆破技术	109
6.1	露天深孔爆破	109
6.1.1	深孔布置形式	109
6.1.2	爆破参数	110
6.1.3	炮孔排列与起爆顺序	114
6.1.4	延期时间	114
6.1.5	装药结构	115
6.1.6	露天深孔爆破质量控制	115
6.1.7	露天深孔爆破设计	116
6.2	井巷与隧道掘进爆破	118
6.2.1	井巷掘进爆破的特点与炮孔分类	118
6.2.2	掏槽方式与掏槽孔布置	119
6.2.3	辅助孔与周边孔布置	123
6.2.4	井巷掘进爆破参数的确定	123
6.2.5	井巷掘进爆破说明书	126
6.2.6	天井掘进深孔分段爆破	128
6.2.7	隧道掘进爆破	130
6.3	地下采场浅孔爆破	132
6.3.1	炮孔布置	133
6.3.2	爆破参数	134
6.4	地下采场深孔爆破	134

6.4.1	深孔布置形式	134
6.4.2	爆破参数	136
6.4.3	爆破方案	138
6.4.4	布孔设计	138
6.4.5	深孔施工与验收	139
6.4.6	某金矿矿柱开采深孔爆破设计实例	139
6.4.7	VCR 采矿法深孔爆破	142
6.5	光面爆破与预裂爆破	142
6.5.1	光面爆破、预裂爆破的特点	143
6.5.2	光面爆破、预裂爆破原理	144
6.5.3	光面爆破、预裂爆破参数的确定	145
6.5.4	光面爆破、预裂爆破设计与施工	148
6.5.5	光面爆破、预裂爆破效果评价	149
6.5.6	隧道掘进光面爆破工程实例	150
6.5.7	露天矿边坡预裂爆破工程实例	151
6.6	挤压爆破	152
6.6.1	挤压爆破原理	152
6.6.2	地下深孔挤压爆破	152
6.6.3	露天深孔挤压爆破	153
7	硐室爆破	154
7.1	硐室爆破的特点及适用条件	154
7.2	硐室爆破设计的主要内容	155
7.2.1	设计所需要的基础资料	155
7.2.2	硐室爆破设计的主要内容	155
7.3	爆破方案与布药设计	156
7.3.1	爆破类型的确定	156
7.3.2	爆破范围的确定	157
7.3.3	装药形式选择	157
7.3.4	药包布置规划	158
7.3.5	爆破参数计算与选择	158
7.3.6	装药量计算	160
7.3.7	药包布置原则及方法	162
7.4	装药、填塞和起爆网路设计	164
7.4.1	药室与导硐设计	164
7.4.2	装药设计	165
7.4.3	填塞设计	165
7.4.4	起爆网路设计	165
7.5	爆破漏斗地形线绘制	166

7.5.1 抛体、坍塌体及爆落体的概念	166
7.5.2 爆破漏斗地形线绘制原理与方法	167
7.6 爆堆尺寸估算	168
7.6.1 台阶地形爆堆尺寸估算	168
7.6.2 山脊地形爆破堆尺寸估算	169
7.6.3 平坦地形爆堆尺寸的估算	169
7.6.4 斜坡地形单侧抛掷爆破爆堆尺寸估算	170
8 爆破安全技术与管理	173
8.1 爆破有害效应与安全距离	173
8.1.1 爆破地震效应	173
8.1.2 空气冲击波	176
8.1.3 个别飞散物	179
8.1.4 爆破有害气体及噪声	181
8.2 爆破事故及预防	182
8.2.1 早爆及其预防	182
8.2.2 迟爆及其预防	183
8.2.3 盲炮及其处理	184
8.3 爆破安全管理	185
8.3.1 安全生产法律法规与技术标准	185
8.3.2 安全管理制度	186
8.3.3 爆破作业许可证制度	189
8.3.4 爆破器材管理	189
8.4 爆破设计	192
8.4.1 爆破设计的依据	192
8.4.2 爆破设计的原则与设计程序	192
8.4.3 爆破设计的主要内容	193
8.5 爆破施工组织与管理	193
8.5.1 爆破施工作业的环境要求	193
8.5.2 爆破施工组织设计	194
8.5.3 爆破施工前的准备工作	194
8.5.4 爆破施工作业的有关规定	196
参考文献	204

1 绪 论

1.1 爆 炸 现 象

爆炸是在有限的空间和极短的时间内，系统内部的能量迅速释放或急剧转化的过程，其本质是能量的急剧释放。自然界中存在着各种各样的爆炸现象。例如轮胎放炮、蒸汽锅炉爆炸、煤矿瓦斯爆炸等。这些爆炸现象一般同时伴有声、光、热效应等。爆炸的一个重要特征是在爆炸点周围的介质中发生急剧的压力突变，而这种压力突变是爆炸破坏作用的直接原因。

根据爆炸过程释放能量的不同以及爆炸反应前后物质的变化情况，可将爆炸现象分为三类：

(1) 物理爆炸。物理爆炸是系统的内能迅速转化为机械能的过程，一般而言，爆炸前后，只发生物态的转变，物质的化学成分并不改变。例如蒸汽锅炉爆炸，由于容器内部蒸汽的压力超过了容器的强度，使容器发生破坏，高压气体迅速释放，但气体成分并未改变；强火花放电（闪电）或高压电流通过细金属丝所引起的爆炸现象，也是一种物理爆炸，这时释放的能量是电能；另外，火山喷发、陨石撞击地面等物体的高速撞击都属于物理爆炸现象。

(2) 化学爆炸。化学爆炸是化学能迅速转化为机械能的过程。凡由于物质内部发生化学反应而迅速释放出来大量能量的过程，都属于化学爆炸，化学爆炸前后物质的成分发生了变化。例如：氢气和氧气按一定比例混合后，点火就会爆炸而生成水；井下煤矿细煤粉悬浮于空气中达到一定浓度或瓦斯（甲烷）达到一定浓度时遇火会发生的爆炸，以及炸药的爆炸都属于化学爆炸现象。炸药爆炸反应速度可达每秒数千米到万米，所形成的温度约为 $3000 \sim 5000^{\circ}\text{C}$ ，压力高达数十万个大气压，因而能迅速膨胀并对介质做功。

(3) 核爆炸。核爆炸是由核裂变（ U^{235} 的裂变）和核聚变（氘、氚和锂核的聚变）释放出巨大的能量而引起的爆炸现象，能量来源于物质内部的核能。核爆炸释放出的能量比炸药爆炸释放出的化学能要大得多，温度可达数百万到数千万摄氏度，爆炸中心区的压力高达几百万个大气压，同时还有很强的光和热的辐射以及各种粒子的贯穿辐射，其能量相当于几万吨到几千万吨梯恩梯（TNT）当量，因此具有巨大的破坏力。

1.2 爆破工程与技术

利用爆炸释放的能量对介质做功的过程称为爆破。以预定的工程目标为目的的爆破作业称为爆破工程。在爆破工程中所采取的具体的施工作业方法称为爆破技术。

爆破技术已广泛应用于国民经济各个行业之中。除了矿山开采外，在水利工程建设

中,爆破技术用于开凿河渠,清理河道,修筑堤坝;在公路和铁路建设中,用于开凿隧道,开挖路堑;在城市建设中,用于开挖岩石基础、拆除废旧建筑物等。

1.2.1 爆破工程分类

根据爆破对象和爆破作业环境的不同,爆破工程可以分为以下几类:

(1) 岩土爆破。岩土爆破是指以破碎和抛掷岩土为目的的爆破作业,如矿山开采爆破、路基开挖爆破、巷(隧)道掘进爆破等。岩土爆破是最普通的爆破技术。

(2) 拆除爆破。拆除爆破是指采取控制有害效应的措施,以拆除地面和地下建筑物、构筑物为目的的爆破作业,如爆破拆除混凝土基础,烟囱、水塔等高耸构筑物,楼房、厂房等建筑物等。拆除爆破的特点是爆区环境复杂,爆破对象复杂,起爆技术复杂。要求爆破作业必须有效地控制有害效应,有效地控制被拆建(构)筑物的坍塌方向、堆积范围、破坏范围和破碎程度等。

(3) 金属爆破。金属爆破是指爆破破碎、切割金属的爆破作业。与岩石相比,金属具有密度大、波阻抗高、抗拉强度高特点,给爆破作业带来很大的困难和危险因素,因此金属爆破必须具备更可靠的安全条件。

(4) 爆炸加工。爆炸加工是指利用炸药爆炸的瞬态高温和高压作用,使物料高速变形、切断、相互复合(焊接)或物质结构相变的加工方法,包括爆炸成型、焊接、复合、合成金刚石、硬化与强化、烧结、消除焊接残余应力、爆炸切割金属等。

(5) 地震勘探爆破。地震勘探爆破是利用埋在地下的炸药爆炸释放出的能量在地壳中产生的地震波来探测地质构造和矿产资源的一种物探方法。炸药在地下爆炸后在地壳中产生地震波,当地震波在岩石中传播过程中遇到岩层的分界面时便产生反射波或折射波,利用仪器将返回地面的地震波记录下来,根据波的传播路线和时间,确定发生反射波或折射波的岩层界面的埋藏深度和产状,从而分析地质构造及矿产资源情况。

(6) 油气井爆破。钻完井后,经过测井,确定地下含油气层的准确深度和厚度,在井中下钢套管,将水泥注入套管与井壁之间的环形空间,使环形空间全部封堵死,防止井壁坍塌,不同的油气层和水层之间也不会互相窜流。为了使地层中油气流到井中,在套管、水泥环及地层之间形成通道,需要进行射孔爆破。一般条件下应用聚能射孔弹进行射孔,起爆时,金属壳在锥形中轴线上形成高速金属粒子流,速度可达 $6000 \sim 7000 \text{ m/s}$,具有强大的穿透力,能将套管、水泥环射透并射进地层一定深度,形成通道,使地层中的油气流到井中。

(7) 高温爆破。高温爆破是指高温热凝结构爆破,在金属冶炼作业中,由于某种原因,常常会在炉壁或底部产生炉瘤和凝结物,如果不及时清理,将会大大缩小炉膛的容积,影响冶炼正常生产。用爆破法处理高温热凝结构时,由于冶炼停火后热凝结构温度依然很高,可达 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$,必须采用耐高温的爆破材料,采用普通爆破材料时,必须做好隔热和降温措施。爆破时还应保护炉体等,对爆破产生的振动、空气冲击波和飞散物进行有效控制。

(8) 水下爆破。凡爆源置于水域制约区内与水体介质相互作用的爆破统称为水下爆破,包括近水面爆破、浅水爆破、深水爆破、水底裸露爆破、水底钻孔爆破、水下硐室爆破及挡水体爆破等。由于水下爆破的水介质特性和水域环境与地面爆破条件不同,因此爆

破作用特性、爆破物理现象、爆破安全条件和爆破施工方法等与地面爆破有很大差异。水下爆破技术广泛用于航道疏通、港口建设、水利水电建设等诸多领域。

(9) 其他爆破。其他爆破包括农林爆破、人体内结石爆破、森林灭火爆破等。

1.2.2 爆破技术分类

按装药方式的不同, 爆破技术分为以下几种:

(1) 浅孔爆破。浅孔爆破又称炮孔爆破, 将炸药装入直径小于 50mm、深度小于 5m 的炮孔中所进行的一种爆破作业, 常用于小规模岩土爆破、巷(隧)道掘进爆破、拆除爆破等。

(2) 深孔爆破。深孔爆破是指将炸药装入直径大于 50mm 的炮孔中进行的一种爆破作业。一些大规模的岩土爆破均采用深孔爆破, 如露天台阶深孔爆破, 地下采场深孔爆破, 基坑、路堑开挖深孔爆破等。

(3) 硐室爆破。硐室爆破是指在山体中开挖巷道或硐室装入大量炸药的爆破作业。硐室爆破广泛应用于露天矿山剥离, 基坑、路基开挖, 筑坝、筑堤, 移山填海等爆破工程中。具有工期短、使用机械设备少、爆破量大等优点。

(4) 蛇穴爆破。蛇穴爆破是指在断面小于 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 、长度不大于 5m 的巷道或硐室中装入炸药的爆破作业。

(5) 药壶爆破。药壶爆破是指在炮孔底部先装少量炸药将其爆破成壶状(扩壶), 再装药进行爆破的作业。

(6) 裸露爆破。裸露爆破不需要炮孔, 是指炸药直接覆在岩石表面进行的爆破作业。

(7) 聚能爆破。聚能爆破是指采用聚能装药方法进行的爆破作业, 如爆炸切割、油气井穿孔爆破等。

1.3 炸药与爆破技术的发展

爆破工程是随着采矿工程和技术的发展而发展起来的, 自 1627 年首次应用黑火药进行爆破破碎岩石以来, 爆破技术已成为采矿工业不可缺少的破碎岩石的方法。爆破技术除用于矿山开采外, 还应用于诸如道路工程、水利工程、基础开挖等的岩石破碎和建筑物拆除、金属爆炸加工等其他领域。

1.3.1 炸药与起爆器材的发展

炸药是爆破技术的核心, 在一定条件下, 能够发生爆炸反应、放出能量、生成大量气体产物、显示爆炸效应的化合物或混合物均可称为炸药。

早在公元前 220 年, 我国劳动人民就初具黑火药的知识。一般认为, 我国在公元 6~7 世纪发明了黑火药, 当时只用于娱乐。到南宋时, 黑火药才用于军事上。13 世纪黑火药传入欧洲。1627 年, 在匈牙利首次将黑火药用于破碎岩石, 开创了矿山爆破技术。此后, 黑火药在欧洲和美国矿山上得到广泛应用, 被认为是矿山开采的唯一炸药, 直至 19 世纪 60 年代硝化甘油炸药的出现。

1845 年, 意大利化学家索贝雷罗 (Ascanio Sobrero) 发现了硝化甘油。1867 年, 诺贝

尔获得了硝化甘油和硅藻土混合物的专利权,并取名为“诺贝尔安全炸药”,即最初的代拿买特(Dynamite)炸药。后来诺贝尔又发明了以硝酸钠和木屑为吸收剂的代拿买特炸药和以硝化棉为吸收剂的胶质代拿买特炸药等。从此,这种以硝化甘油为主要成分的代拿买特炸药取代了黑火药,广泛应用于采矿工程、道路工程和水利工程等的岩石破碎上。

1935年杜邦公司生产了Nitramon炸药,它将硝酸铵和燃料装入罐中,仔细密封,防止水的侵入。其主要成分是硝酸铵、二硝基甲苯、石蜡等。

1955年诞生了铵油炸药(ANFO)。铵油炸药是硝酸铵和柴油的混合物,1955年克利夫兰-克利夫矿业公司(Cleveland-Cliffs Mining Co.)在密萨比(Mesabi)和密歇根(Michigan)铁矿区进行了首次使用粒状铵油炸药的大规模爆破。1958年在加拿大铁矿公司(IOCC)和加拿大工业有限公司(CIL)最先使用了铵油炸药现场混制和装填,1960年研制成功Amerind混装车,实现了铵油炸药现场混制和机械化装药。铵油炸药的缺点是不能用于有水的炮孔中。

1956年犹他大学M. A库克(Cook)和加拿大铁矿公司H. E. 法南姆(Farnam)将水加入到铵油炸药的混合物中然后使其胶凝,发明了浆状炸药(Slurry),并申请了专利。1963年IRECO公司发明了现场混装浆状炸药。浆状炸药克服了铵油炸药不能用于有水炮孔的缺点,而且由于密度高,易于沉入有水炮孔底部。浆状炸药和铵油炸药由于其成本非常低,容易制备和实现机械化装药,很快得到了推广和应用。

1969年,美国杜邦公司生产了一种以硝酸甲胺(MMAN)为敏化剂的浆状炸药,被称为水胶炸药(water gel)。

1969年H. F. 布卢姆(Blvbm)发明了乳化炸药。乳化炸药是一类新型的水基硝酸铵类炸药,它以硝酸铵水溶液的微粒为分散相,悬浮于似油类物质构成的连续介质中,形成一种特殊的油包水型乳化体系。

使炸药安全起爆的器材称为起爆器材。

用黑火药爆破岩石,起爆过程非常危险,因为黑火药非常容易燃烧。英国人威廉·比克福特(W. Bickford)意识到这种起爆方法的危险性,于1831年研制出“矿用导火索”并获得专利,但它无法直接引爆代拿买特炸药。诺贝尔于1867年发明了雷管,更可靠地解决了起爆的问题。诺贝尔雷管的出现,被认为是现代爆破工程发展中的重要一步。

19世纪70年代,朱丽叶斯·史密斯成功地采用桥丝引爆雷管,并研制出一种轻便的发电机式起爆器。1895年,又发明了由导火索作延期装置的延期电雷管。

1937年,发明了导爆索。

20世纪70年代,发明了导爆管。

我国虽然是黑火药的发源地,但一直没有在采矿工业中应用。直到新中国成立后,炸药工业和采矿工业才得到了突飞猛进的发展。1959年开始研制浆状炸药,20世纪60年代有了定型产品并在矿山爆破中推广应用。20世纪70年代末开始研制并生产乳化炸药。我国的工业炸药品种已由建国初期的黑火药、硝酸铵炸药、硝化甘油炸药发展到铵梯炸药、铵油炸药、浆状炸药、乳化炸药、水胶炸药、高威力液体炸药等多个品种,工业炸药的质量也不断提高。

起爆器材和起爆技术发展也很快,已形成了由火雷管、电雷管、导爆索、导爆管等组成的完善的起爆体系,发展了高精度30段和60段的毫秒延期雷管,研制成功并生产了超

高精度的电子延期雷管。

为了提高爆破作业的安全性,保障社会公共安全,降低炸药对环境的污染,国家于2008年1月1日在全国范围内停止了导火索、火雷管和铵梯炸药的生产。

1.3.2 爆破技术的发展

我国的工程爆破技术,随着国民经济的发展也有了很大发展变化。在硐室爆破、深孔爆破、地下采掘爆破、城镇建筑物拆除爆破、水下工程爆破等方面,通过不断的实践与应用,积累了丰富的经验。硐室爆破的应用范围与规模不断扩大,规模最大的广东珠海炮台山的移山填海大爆破工程,炸药装填总量近1.2万吨,采用多层、多排、大抵抗线、条形药包、毫秒延期爆破,一次性爆落破碎和抛掷的岩土总方量达1085万立方米,抛掷率51.36%。定向爆破筑坝技术已得到广泛应用,全国已爆破筑坝60余座。深孔爆破技术已广泛应用于露天与地下开采、铁路、公路、水利水电建设的基坑开挖和平整场地等工程。矿山深孔爆破发展了微差爆破、挤压爆破、预裂爆破、光面爆破等爆破技术,露天矿大区多排微差爆破已获得广泛应用,对孔网参数、装药结构、填塞方法、起爆顺序、微差间隔时间等进行了深入研究,显著提高了爆破质量与技术经济指标,爆破规模最大的南芬露天矿一次微差爆破达100余段,500余个深孔,预装药量近300t,矿岩爆破量超过80万吨。建筑物拆除爆破技术的发展也非常迅速,爆破拆除废旧楼房、厂房及构筑物日益增多,拆除爆破技术水平不断提高。比如地处北京王府井闹市区的华侨大厦旧楼拆除工程,总拆除工程量13000余平方米,主楼8层高34m、两侧楼7层高28m,外部环境条件恶劣,共钻凿6000余个炮孔,装药600多千克,分9段毫秒顺序起爆,整个楼房均按预定方向与范围倒塌,保证了安全,达到了设计的爆破效果。1999年2月28日爆破拆除的上海长征医院旧病房大楼,位于上海市南京西路和成都北路交界处,周围环境复杂,爆破有可能危及居民楼、高压线、高架桥和锅炉房。爆破设计总体方案是向南倒塌,分为东西两个爆区、16个爆段,采用三维立体延期(前后、左右、上下),每段之间的时间间隔为0.5s,总时间为4s,从起爆到楼房全部倒塌着地历时8.4s,达到设计预定目标,周围建筑及设施安然无损。水下工程爆破技术,主要是应用于水库水下岩塞爆破、挡水围堰拆除爆破以及港湾、航道疏浚炸礁等,20世纪70年代以来不断地获得发展,广州黄埔大濠洲2km航道50万立方米水下炸礁成功,创造了国际先进水平的水下爆破作业施工方法。

1.3.3 爆破工程发展趋势

爆破工程是一门发展中的学科,还有许多未知的领域有待于去研究和探索,目前爆破工程的发展方向主要在以下几个方面:

(1) 爆破理论研究和模拟技术。理论来源于实践,又指导实践。目前的爆破理论研究工作还远远落后于工程实践,现有的一些爆破设计方法和安全评估分析大都是采用经验和半经验法,缺乏足够的理论依据。因此应加强爆破理论研究和数值模拟研究,在总结分析大量实践资料的基础上,在理论上有所突破,用于指导工程实践。

(2) 爆炸能量控制技术。爆炸能量转化过程的精密控制和能量转化效率问题是提高爆炸能量利用率,降低爆破材料消耗的关键问题。目前,岩土爆破的爆炸能量转化为破碎岩石的能量只有11%~13%,有很大的潜力可挖,需要通过深入研究,精心设计和施工,选

择合理的分段和起爆顺序来提高炸药能量利用率,降低能量转化过程中的损失。同时要开发新的利用领域,利用爆炸加工新型材料,处理各种废料,改变气候和环境条件,为人类社会作出新的贡献。

(3) 爆破器材要向高质量、多品种、低成本方向发展。爆破器材的好坏直接影响工程爆破技术的发展。应根据我国现有基础条件,应用新技术、新工艺改造传统的老工艺、老设备,提高机械化、自动化和连续化水平,提高产品质量,发展新产品。在工业炸药方面,应重点发展乳化炸药,研究改进乳化炸药的生产工艺,提高装备水平,发展连续式全自动化生产工艺。积极发展和推广现场混装车的生产技术,提高装药机械化水平;在起爆器材方面,发展高精度多段无起爆药非电雷管及电雷管和超高精度的电子延期雷管。

(4) 爆破安全技术。加强爆破器材和爆破施工的安全管理,进行爆破安全评价。在爆破器材方面要继续发展高质量、低成本和安全性好的新产品;爆炸理论及控制技术的研究方面,除提高炸药能量利用率以外,还要研究降低爆破有害效应,包括爆破地震、空气冲击波、水下冲击波、噪声、个别飞散物、粉尘、有毒有害气体、边坡滑落及地压变化等危害,开展爆破有害效应的监测工作,研制新的测试仪器,提高监测水平,使有害效应降到最低程度。