



工业和信息化部“十二五”规划教材

现代爆破理论与技术

Xiandai Baopo Lilun Yu Jishu

刘天生 王凤英 张晋红 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

现代爆破理论与技术

刘天生 王凤英 张晋红 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍接触爆炸理论、爆破原理和爆破技术。主要内容包括:爆炸的直接作用;爆破工程地质;常用的起爆器材及起爆方法;定向与硐室爆破、深孔爆破、拆除爆破、水下爆破、金属爆炸加工、地质勘探与油井爆破等常用的爆破技术;爆破的模拟仿真与爆破安全技术、常用爆破器材性能测试技术、国内及欧洲常用民用爆破器材的性能测试方法等。

本书可作为高等院校兵器工业、民用爆破、土木工程、安全类有关专业的教材或教学参考书,也可供相关专业、科研院校、企业及施工单位的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代爆破理论与技术 / 刘天生,王凤英,张晋红编
著. —北京:北京航空航天大学出版社,2015.11
ISBN 978-7-5124-1934-6

I. ①现… II. ①刘… ②王… ③张… III. ①爆破技
术 IV. ①TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 265596 号

版权所有,侵权必究。

现代爆破理论与技术

刘天生 王凤英 张晋红 编著
责任编辑 刘晓明 田 露

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:27.25 字数:698 千字

2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978-7-5124-1934-6 定价:58.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

爆破技术有几百年的历史,近年来随着科技、工业、农业等现代化技术的发展,高强度和高精度的爆破技术不断发展创新,各种爆破新技术层出不穷,如聚能爆破、爆炸合成超导材料等。这些技术广泛应用于工业、农业、交通、国防等现代化建设中,对人类社会的发展起到了十分重要的作用,极大地推动了我国现代化建设的进程。当前,我国高等工科院校中已有多个专业设有“爆破技术”课程,为了适应教学需求,培养现代化建设的高级专业人才,根据工信部“十二五”教材编写规划,作者特编写了《现代爆破理论与技术》一书。

本书是在《近代爆破技术》一书的基础上,以基础理论、专业理论为主题,将先进的爆破理论基础知识、设计思想、工程方法、技术手段和研究成果与工程实践相结合,并吸收了国内外近年来有关文献资料编写而成的。全书共分13章,第1章介绍现代爆破技术的发展现状,主要对爆破技术在国民经济建设中的作用、爆破技术发展情况等方面做了简要的概述;第2章介绍爆炸的直接作用以及岩石中的爆炸作用原理;第3章介绍爆破工程地质;第4章介绍常用的爆破器材与起爆方法;第5、6、7、8章分别介绍了硐室及定向爆破、深孔爆破、拆除爆破、水下爆破等常用爆破技术的设计理论与方法,并结合实例进行了分析;第9、10章分别介绍了金属爆炸加工、地质勘探与油气井爆破等新型爆破技术;第11章介绍了常用爆破模拟仿真的基础知识;第12章从爆破的安全技术方面重点讲述了爆破中的安全知识;第13章介绍了常用爆破器材的性能测试技术,主要针对国内及欧洲标准化委员制定的常用测试方法进行了详细的讲述。

本书由刘天生教授主编,王凤英、张晋红、李如江、刘迎彬、胡晓艳、高永宏、王海芳、张清爽等参编,其中第1、5章由刘天生编写,第2章由王凤英编写,第3章由胡晓艳编写,第4、13章由张晋红编写,第6章由王海芳编写,第7章由张清爽编写,第8、11章由李如江编写,第9、10章由刘迎彬编写,第12章由高永宏编写。全书由王凤英、张晋红统稿。

本书由中国科学技术大学沈兆武教授和中北大学刘玉存教授审阅并提出了宝贵意见,编者谨向他们表示衷心的感谢。另外,本书收集了国内外相关的文献资料,在此向相关文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评和指正。

作 者

2015年3月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 爆破技术在国民经济建设中的作用和意义	1
1.2 工程爆破技术	2
1.3 爆破技术的发展	4
1.3.1 工业炸药技术的发展	5
1.3.2 爆破器材技术的发展	6
1.3.3 施工机具的发展	7
1.3.4 爆破技术的研究及应用	10
复习题	11
第2章 爆炸的直接作用	12
2.1 气体一维等熵流动微分方程式的解	12
2.2 凝聚态炸药爆轰波参数的计算	14
2.3 接触爆炸时的压力和冲量计算	17
2.4 聚能爆炸作用	22
2.4.1 聚能爆炸作用的基本现象	22
2.4.2 杵体和金属流参数计算概述	25
2.5 岩石中的爆破作用原理	26
2.5.1 概 述	26
2.5.2 冲击载荷的特征和应力波	28
2.5.3 爆破时岩体中的应力状态	32
2.5.4 单个药包的爆破作用	36
2.5.5 成组药包的爆破作用	41
复习题	43
第3章 爆破工程地质	44
3.1 概 述	44
3.2 岩石的性质及工程分级	44
3.2.1 岩石的成因分类及其特征	44
3.2.2 岩石的主要物理性质	45
3.2.3 岩石的力学性质	47
3.2.4 岩石的工程分级	54
3.3 地质构造	56



3.3.1 概 述	56
3.3.2 岩体结构面类型	56
3.4 地质条件对爆破作用的影响	58
3.4.1 地形条件对爆破作用的影响	58
3.4.2 岩体性质对爆破使用的影响	60
3.4.3 岩体中各种地质结构面对爆破作用的影响	61
3.4.4 特殊地质条件下的爆破问题	67
3.4.5 地表水及地下水对爆破作用的影响	68
3.4.6 延长药包(深孔及浅孔)爆破与地质条件有关的问题	68
3.5 爆破作用引起的工程地质问题	70
复习题	71
第4章 常用爆破器材与起爆方法	72
4.1 工业炸药	72
4.1.1 工业炸药的分类	72
4.1.2 工程爆破对工业炸药的基本要求	72
4.1.3 硝酸铵	73
4.2 硝酸铵类炸药	76
4.2.1 铵梯炸药	76
4.2.2 铵油炸药	77
4.2.3 铵松蜡与铵沥蜡炸药	79
4.2.4 含水炸药	81
4.3 硝化甘油类炸药与其他类炸药	85
4.3.1 硝化甘油类炸药	85
4.3.2 黑火药	86
4.4 工业雷管	87
4.4.1 工业雷管的要求	87
4.4.2 火雷管	87
4.4.3 电雷管	89
4.4.4 非电毫秒雷管	95
4.4.5 油井电雷管	96
4.5 索状起爆材料	97
4.5.1 导火索及点火材料	97
4.5.2 导爆索与继爆管	99
4.5.3 塑料导爆管及导爆管的连通器具	101
4.5.4 起爆药柱(或起爆弹)	104
4.6 非电起爆法	106
4.6.1 火雷管起爆法	106
4.6.2 导爆索起爆法	108



4.6.3 导爆管起爆法	110
4.7 电起爆法	112
4.7.1 电雷管的灼热原理和主要参数	112
4.7.2 电爆网路的设计和计算	114
4.7.3 电爆网路各组成部分的选择	117
4.7.4 电爆网路计算实例	123
4.7.5 电起爆法的操作工艺	124
4.7.6 电起爆法的特点和适用条件	126
4.8 其他起爆法	127
4.8.1 电磁波起爆法	127
4.8.2 水下声波起爆法	127
4.8.3 高能电磁感应起爆法	128
4.9 爆轰波波形控制	129
4.9.1 线状波	129
4.9.2 平面波	131
复习题	133
第5章 硐室与定向爆破	135
5.1 爆破基本理论	135
5.2 硐室爆破设计	136
5.2.1 设计原则和基本要求	136
5.2.2 设计基础资料	136
5.2.3 爆破方案	137
5.2.4 设计程序	138
5.2.5 设计工作的内容	139
5.3 硐室爆破的药包布置	140
5.3.1 药包布置	140
5.3.2 药包布置对边坡的影响	144
5.3.3 爆破参数选择和设计计算	145
5.3.4 爆破漏斗计算	148
5.3.5 堆积计算	152
5.4 定向爆破及其原理	154
5.4.1 定向爆破及其原理	154
5.4.2 药包计算原理	155
5.5 定向爆破的设计	165
5.5.1 爆破方案的选择	165
5.5.2 爆破参数的选择与药包计算	166
5.5.3 抛掷堆积计算	169
5.5.4 爆破安全计算	171



复习题	177
第6章 深孔爆破	178
6.1 概述	178
6.2 露天深孔爆破法	179
6.2.1 台阶要素、钻孔形式与布孔方式	179
6.2.2 露天深孔爆破参数	182
6.2.3 微差爆破	186
6.2.4 露天深孔爆破工艺	188
6.3 深孔定向控制爆破技术	191
6.3.1 深孔定向控制爆破的含义	191
6.3.2 深孔定向爆破技术措施	192
6.4 工程实例	192
6.4.1 实例1——太原至旧关高速公路寿阳至西郊段深孔爆破	192
6.4.2 实例2——明利铁矿地下深孔爆破	199
复习题	201
第7章 拆除爆破	203
7.1 概述	203
7.2 拆除爆破设计原理和方法	204
7.2.1 设计原理	204
7.2.2 设计方法	205
7.3 拆除爆破设计参数的选择	206
7.3.1 最小抵抗线 W	206
7.3.2 炮眼间距 a 和排距 b	207
7.3.3 炮眼直径 d 和炮眼深度 L	208
7.3.4 单位用药量 q	208
7.4 炮眼布置与分层装药	209
7.4.1 炮眼布置	209
7.4.2 分层装药	209
7.5 拆除爆破的装药量计算	211
7.6 拆除爆破的施工及安全防护	215
7.6.1 施工组织安排	216
7.6.2 钻眼爆破施工与安全防护	217
7.7 工程实例	220
7.7.1 工程概况	220
7.7.2 方案设计思想	220
7.7.3 技术方案	220
7.8 水压拆除爆破	223



7.8.1 水压爆破原理及药量计算公式	223
7.8.2 水压拆除爆破设计与施工	226
7.8.3 工程实例	229
复习题	232
第 8 章 水下爆破	233
8.1 水下爆炸的理论基础	234
8.1.1 水下爆炸的物理现象	234
8.1.2 水下爆炸冲击波理论	235
8.1.3 水下爆炸类别及冲击波特性	239
8.1.4 有限水域中爆炸时冲击波的传播及压力场计算	240
8.2 水下爆破设计与施工	241
8.2.1 水下钻孔爆破法	242
8.2.2 水底裸露药包爆破法	245
8.2.3 水下硐室爆破法	248
8.2.4 水下爆炸压密法	251
复习题	254
第 9 章 金属爆炸加工	255
9.1 爆炸成形	256
9.1.1 爆炸拉深成形法	256
9.1.2 爆炸胀形成形法	260
9.2 爆炸复合	262
9.2.1 爆炸焊接	262
9.2.2 爆炸压接	270
9.3 爆炸硬化	273
9.3.1 爆炸硬化原理	274
9.3.2 影响爆炸硬化效果的因素	275
9.4 爆炸压实	277
9.4.1 爆炸压实 TiAl	277
9.4.2 SiC 粉末的冲击压实	279
9.5 爆炸合成新材料	279
9.5.1 爆炸合成金刚石	280
9.5.2 爆炸合成致密相氮化硼	284
复习题	285
第 10 章 地震勘探与油气井爆破	286
10.1 地震勘探爆破激震基础	286
10.1.1 作业过程	286



10.1.2 爆破激震方式选择·····	288
10.1.3 激发条件对激震效果的影响·····	289
10.2 爆破激震设计·····	290
10.2.1 爆破器材选择·····	290
10.2.2 装药量确定与炮井布置·····	292
10.2.3 炸药包安置·····	293
10.2.4 地震测线布置·····	294
10.2.5 爆炸激发·····	294
10.2.6 地震波的接收·····	294
10.2.7 钻井施工·····	295
10.3 油气井射孔技术·····	297
10.3.1 油气井井身结构及爆破特点·····	297
10.3.2 射孔弹的技术指标·····	298
10.3.3 射孔弹的设计·····	299
10.3.4 射流直径、穿孔孔径及穿孔深度的计算方法·····	306
10.4 复合射孔技术·····	309
10.4.1 复合射孔技术原理·····	309
10.4.2 火药装药燃气峰值压力的设计计算·····	310
10.4.3 复合射孔器的应用特点·····	311
10.4.4 多脉冲复合射孔压裂技术·····	312
复习题·····	313
第 11 章 工程爆破数值模拟 ·····	314
11.1 爆破计算模型·····	314
11.1.1 爆破破碎模型·····	314
11.1.2 爆破效果预测模型·····	316
11.1.3 常用爆破设计软件和数值模拟软件·····	317
11.2 有限元法理论基础·····	319
11.2.1 有限元法基本方程·····	320
11.2.2 沙漏粘性与人工体积粘性控制·····	323
11.2.3 应力计算·····	324
11.2.4 时间积分和时步长控制·····	325
11.3 状态方程和本构关系·····	326
11.3.1 状态方程·····	326
11.3.2 本构关系·····	328
11.4 实例分析·····	333
11.4.1 台阶爆破数值模拟·····	333
11.4.2 聚能装药数值模拟·····	334
复习题·····	337



第 12 章 爆破安全技术	338
12.1 外来电流的危害与预防	338
12.1.1 电 暴	338
12.1.2 杂散电流	340
12.1.3 感应电流	343
12.1.4 静 电	344
12.1.5 射频电	346
12.1.6 化学电	350
12.2 爆破地震效应	350
12.2.1 概 述	350
12.2.2 地面质点振动参数的估算	351
12.2.3 爆破地震效应的观测	352
12.2.4 爆破振动弱度和安全参数的估算	356
12.2.5 爆破振动的破坏判据和降低爆破振动的措施	357
12.3 爆破冲击波	357
12.3.1 空气冲击波	357
12.3.2 水中冲击波	362
12.4 塌落振动	366
12.4.1 建筑物爆破拆除时的爆破振动	366
12.4.2 建筑物塌落振动的产生及危害	368
12.4.3 塌落振动的传播规律及振动速度计算	368
12.4.4 塌落振动的安全控制标准和评价方法	370
12.4.5 拆除爆破降低塌落振动的技术措施	371
12.5 飞石、粉尘、有毒气体	372
12.5.1 飞 石	372
12.5.2 炮烟中毒的预防	373
12.5.3 爆破粉尘	374
12.6 盲炮的预防及处理	375
12.6.1 盲炮产生的原因	375
12.6.2 盲炮的预防	376
12.6.3 盲炮的处理方法	376
复习题	377
第 13 章 常用爆破器材性能测试	379
13.1 炸药性能测试	379
13.1.1 炸药爆速测定	379
13.1.2 炸药威力测定	381
13.1.3 炸药猛度测定	383



13.1.4	炸药密度测定	384
13.1.5	炸药撞击感度测定	385
13.1.6	粉状炸药摩擦感度测定	387
13.2	雷管性能测试	389
13.2.1	输出性能测试	390
13.2.2	雷管感度测试	393
13.2.3	电雷管抗静电能力测试	395
13.2.4	火焰雷管感度测量	397
13.2.5	抗弯性能测试	398
13.2.6	等效起爆能力测试	400
13.2.7	电雷管串联发火电流测试(EN13857-1:2003-1)	403
13.2.8	电雷管发火冲量测试(EN13857-1:2003-1)	404
13.2.9	电雷管总电阻值测定	405
13.2.10	电雷管击穿电压测定	406
13.3	导爆索性能测试	406
13.3.1	爆速测试	407
13.3.2	起爆性能测试	408
13.3.3	导爆索之间传爆性能测试	409
13.3.4	耐温性能测试	411
13.3.5	热稳定性测定	411
13.3.6	浸水性能试验	412
13.3.7	感度试验	413
13.3.8	抗拉试验	414
13.3.9	起爆可靠性测定	415
13.4	导爆管性能测试	416
13.4.1	爆速测试	416
13.4.2	起爆感度测试	418
13.4.3	传爆可靠性能测试	419
13.4.4	抗拉试验	419
13.4.5	振动性能测试	420
13.4.6	反射压力测试	420
13.4.7	抗电性能测试	421
13.4.8	抗冲击性能测试	421
	复习题	421
	参考文献	422

第 1 章 绪 论

现代爆破技术(modern blasting technology)是以工程建设和爆炸加工为目的的一项科学技术,它作为工程施工的一种手段,利用炸药爆炸产生高温高压快速改变物质状态,从而直接为国民经济建设服务。它已被广泛应用于能源开发、交通建设、矿山开采、地质勘探和农田水利治理等方面,涉及煤炭、冶金、石油、化工、交通、铁路、水利、电力、农业、林业、建材、核工业、机械加工和城市建设等重要领域。

现代爆破技术发展标志着爆破理论与技术的与时俱进,爆破器材生产、运输,爆破工程设计和施工信息化、自动化等的迅速发展也具有鲜明的时代特征。

1.1 爆破技术在国民经济建设中的作用和意义

作为爆破技术能源的工业炸药(industrial explosive),其前身是黑火药(black powder),远在 9 世纪的唐代就出现了完整的黑火药配方。因此,黑火药是世界公认的我国对人类文明具有重大贡献的四大发明之一。虽然 17 世纪就有了利用黑火药开采矿石的记载,其后又有了许多专家学者研究爆破技术的著作和设计计算的公式,然而爆破技术的大发展和推广应用却是在 19 世纪末,随着许多新品种工业炸药的发明才兴旺起来的。我国的爆破技术则是随着新中国的建立而迅速发展起来的,新中国成立以来,我国进行装药量在万吨以上的土石方大爆破三次,千吨级以上的爆破十多次,百吨级的爆破数达千次之多;用定向爆破技术筑成的水利坝、尾矿坝、拦灰坝和交通路堤有五六十座,其中千吨级的大坝有两座;创造出许多爆破新技术和新工艺,解决了许多工程建设中的技术难题,为社会主义建设做出了新的贡献。20 世纪 70 年代,我国开展了轰轰烈烈的基本建设,省、市、地、县、社、村逐级培训爆炸技术人员,开展硝木、铵油炸药的制造,可谓“村村都造炸药,村村都爆破”。昔阳大寨人又把爆破技术应用在山区农田的基本建设上,进行了搬山造田,定向爆破造平原,取得了丰硕的成果。

“八五”以来许多工厂企业进行了改建、扩建和拆迁,许多城市也在进行改建和扩建,控制爆破的技术应用得到了空前的发展。一段时间内,各地爆破公司如雨后春笋般地蓬勃发展起来,这也足以说明爆破技术受到欢迎和重视的程度。现代爆破技术不仅已深入应用到我国国民经济生产的各个部门,而且在爆破实践中不断创造出了许多新技术、新工艺和新方法,提高了生产效率。诸如矿山开采的大孔距、小抵抗线、大区延时爆破;地下巷道掘进的光面爆破;水利部门用以筑坝的定向爆破和打开水库引水隧洞的岩塞爆破;铁道交通部门的路堑爆破,填筑路堤和软土、冻土地带的爆破;石油化工部门埋设地下管道和过江管道以及处理油井卡钻事故的特殊爆破;还有水下炸礁、疏浚河道和为压实软土的水下码头、堤坝地基处理的水下爆破等,不仅解决了工程建设和生产实际中的技术难题,同时也发展和丰富了现代爆破技术。

随着国民经济建设的深入发展,许多城市也在进行改建和扩建,城市控制爆破技术得到了空前的发展。城市控制爆破技术的发展,不仅把过去危险性大的爆破作业由野外推进到了人口密集的城镇,更重要的是将爆破技术与安全和环保问题结合了起来。考虑建筑物和围岩稳定的控制爆破技术,配合爆破测试手段监测爆破引起的周围环境影响,不仅改进了爆破工艺,



还使得在城市复杂环境中可以从容地进行爆破工程施工。跨入 21 世纪,大型机械设备的普及、高新技术产品的不断涌现,以及环保意识的增强,无不给爆破技术的提高带来了新的机遇。

此外,利用炸药爆炸原理在机械工业部门加工处理机械零部件的爆炸加工方法,为表面硬化的金属淬火处理和不同材质的金属爆炸焊接等新技术在理论和实践方面都提供了很大的支持。爆炸合成新材料技术,在人工合成金刚石及超硬材料方面近年来也取得了重要进展,地震勘探和油气井增效射孔也得到了长足发展。

1.2 工程爆破技术

爆破技术作为一项科学技术是随着社会生产实践的发展而出现的。爆破技术的目的是在破坏中求建设,是为了特定的工程项目而进行的,爆破的结果必须满足该工程的设计要求,同时还必须保证其周围的人和物的安全。

常用的爆破技术主要有以下几种:

① 硐室爆破(chamber blasting) 将大量炸药装入硐室和巷道中进行爆破的方法。由于一次爆破的装药量和爆落方量较大,故常称为“大爆破”。我国是进行硐室爆破最多的国家之一,积累了丰富的经验。

硐室爆破具有以下特点:a. 可以在短期内完成大量土石方的挖运工程,有利于加快工程施工速度;b. 与其他爆破方法比较,其凿岩工程量少,相应的设备、工具、材料和动力消耗也少;c. 所需的机具简单、轻便,一些小工程甚至可以全用人工完成,工效高,可以节省大量劳动力,适用于交通不便的山区;d. 工作条件较艰苦,劳动强度高;e. 与其他爆破方法相比,大块率较高,二次爆破量大;f. 一次爆破药量较多,安全问题比较复杂,在工业区、居民区、重要设施、文物古迹附近进行硐室爆破需要十分慎重;g. 大型硐室爆破工程施工组织工作比较复杂,需要有熟练的、经验丰富的技术力量才能保证安全的前提下顺利完成任务。

上述特点决定了硐室爆破的应用范围。下列条件适宜采用硐室爆破:a. 在山区,山势较陡,土石方工程量较大,机械设备上山有困难时,适宜采用硐室爆破;b. 在峡谷、河床两侧有较陡山地可取得大量土石方量时,可采用硐室爆破修筑堤坝;c. 在工程建设初期,如果地形有利而又有足够的土石方量,则适宜采用硐室爆破来剥离土岩和平整场地,以缩短建设工期;d. 在山区修筑铁道和公路时,宜用硐室爆破修筑路堑和平整场地。

② 定向爆破(direction blasting) 使爆破后土石方碎块按预定的方向飞散、抛掷和堆积,或者使被爆破的建筑物按设计方向倒塌和堆积,都属于定向爆破的范畴。土石方的定向抛掷要求药包的最小抵抗线或经过改造后的临空面形成的最小抵抗线的方向指向所需抛掷、堆积的方向。建筑物的定向倒塌则需利用力学原理布置药包,以求达到设计目的。

定向爆破的技术关键是要准确地控制爆破时所破坏的范围以及抛掷和堆积的方向与位置,有时还要求堆积成待建构筑物的雏形(如定向爆破筑坝),以便大大减少工程费用和加快建设进度。对大量土石方的定向爆破通常采用药室法或条形药室法;对于建筑物拆除的定向倒塌爆破,除了合理布置炮孔位置外,还必须从力学原理上考虑爆破时各部位的起爆时差、受力状态以及对旁侧建筑物的危害程度等一系列复杂的问题。



③ 预裂、光面爆破(presplitting smooth blasting) 常常把预裂和光面两种爆破技术并提,这是由于两者的爆破作用机理极其相似的缘故,光面、预裂爆破的目的都在于爆破后获得光洁的岩面,以保护围岩不受到破坏。二者的不同在于,预裂爆破是要在完整的岩体内,在爆破开挖前施行预先的爆破,使沿着开挖部分和不需要开挖的保留部分的分界线裂开一道缝隙,用以隔断爆破作用对保留岩体的破坏,并可在工程完毕后出现新的光滑面。光面爆破则是当爆破接近开挖边界线时,预留一圈保护层(又叫光面层),然后对此保护层进行密集钻孔和弱装药的爆破,以求得到光滑平整的坡面和轮廓面。

④ 微差爆破(short delay blasting) 微差爆破是一种巧妙地安排各炮孔起爆次序与合理时差的爆破技术,正确地应用微差爆破能减少爆破后出现的大块率,减轻地震波的强度,减轻空气冲击波的强度,缩短碎块的飞散距离,得到良好的、便于清挖的堆积体。

微差爆破技术的关键是时间间隔的选择,合理的时差能保证良好的爆破效果,反之就造成不良后果,达不到设计目的,甚至出现拒爆、增大地震波等危害事故。近几年来我国制造出了非电毫秒雷管结合非电导爆管的起爆网路,可以在通常出厂的15段或20段毫秒系列非电雷管的基础上组合成更多段的微差起爆网路。1986年葛洲坝围堰爆破,创造了将3000多炮孔分为300多段起爆的成功经验。

微差爆破技术目前在露天及地下开挖和城市控制爆破中已被普遍采用,大型药室法爆破的定向爆破筑坝也开始应用微差爆破技术。着眼将来,这种技术还有更为广阔的发展前景。

⑤ 控制爆破(controlled blasting) 近年来我国爆破界突起一支新的技术队伍,各地成立了许多专业的爆破公司。这些公司大多数专营城市拆除爆破业务,是为了满足许多新老企业新建、改建、拆迁的需要应运而生的。

城市拆除爆破只是控制爆破领域内的一个组成部分。严格地说,凡属爆破技术都是有控制的爆破,但是我们这里所指的控制爆破范围要狭小得多,甚至比国外习惯把光面、预裂爆破归入这类的范围还要小。我们认为,控制爆破只对爆破的方向、倒塌范围、破坏范围、碎块飞散距离、地震波、空气冲击波等有要求。

实现控制爆破的关键在于控制爆破的规模、药包重量的计算与炮孔位置的安排,以及有效的安全防护手段。进行控制爆破不一定只用炸药作为唯一的手段,因此,近些年来社会上出现的燃烧剂、静态膨胀破碎剂以及水压爆破,都可以归纳入控制爆破范围之内,使用时可以根据爆破的规模、安全要求和被爆破对象的具体条件选择合理有效的爆破方法。

⑥ 聚能爆破(shaped charge blasting) 多少年来炸药爆炸的聚能原理和它所产生的效应,只是被用作穿甲弹这一军事目的,近年来才逐渐转为民用,逐渐被列入爆破技术的范畴之内。例如利用聚能效应在冻土内穿孔,为炼钢平炉的出钢口射孔,为石油井内射孔或排除钻孔故障以及切割钢板等。

聚能爆破与一般的爆破有所不同,它只能将炸药爆炸能量的一部分按照物理学的聚焦原理聚集在某一点或线上,从而在局部产生超过常规爆破的能量,击穿或切断需要加工的工作对象,完成工程任务。由于这种原因,聚能爆破不能提高炸药的能量利用率,而且需要高能的炸药才能显示聚能效应。因此,目前聚能爆破由于经济原因,在工程上还没能普遍推广应用。

聚能爆破技术的使用要比一般的爆破技术要求严格,必须按一定的几何形状设计和加工聚能穴或槽的外壳,并且要使用高威力的炸药。

⑦ 水下爆破(submarine blasting) 水下爆破是爆破工程中的一个重要分支,它与水上



(即陆上)爆破的区分是以水面作为标志的。凡是在水面以上进行的爆破作业叫做水上爆破,也就是陆上爆破;凡是在水面以下进行的爆破作业叫做水下爆破。

随着我国国民经济建设的发展,需要兴建和改造大量的港口码头,建筑各种水利、电力设施,对旧的航道要进行疏浚和加深。上述这些工程都要求在水下的岩层中进行大量的开挖工作,只有采用水下爆破方法才能有效、高速地完成生产建设任务。

⑧ 爆炸加工(explosion working) 爆炸加工是以炸药为能源,利用其爆炸瞬间产生的高温高压对金属材料进行加工的技术。与常规的机械加工相比,爆炸加工具有设备简单、能加工常规方法不易加工的材料、产品质量较好和有利于采用综合工艺等特点。目前,爆炸加工在一些领域得到了广泛的应用。

⑨ 地震勘探和油气井爆破(seismic explosion and oil-gas well blasting) 地震勘探采用人工的方法(使用炸药或其他能源)在岩体中激发弹性波(地震波),沿侧线的不同位置用地震勘探仪器检测大地的震动。把检测数据以数字形式记录在磁带上,通过计算机处理来提取有价值的信息。最终以地震解释的形式显示其勘探的结果。不少油气井由于地应力变化、地层和井内微生物腐蚀、井中套管在高温高压下疲劳受载等因素的作用,会出现输油地层油路不畅或堵塞等问题,严重影响了石油和天然气的正常开采。为此,可采用聚能射孔、复合射孔等油气井爆破技术进行相应的整治,达到恢复油气井正常生产、提高产能的目的。

⑩ 其他特殊条件下的爆破技术 爆破工作者有时会遇到某些不常见的特殊问题,用常规施工方法难以解决,或因时间紧迫以及工作条件恶劣而不能进行正常施工,这时需要我们根据自己所掌握的爆破作用原理与爆破技术的基础知识,大胆地设想采用新的爆破方案,仔细地进行设计计算,有条件时还可以进行必要的试验研究,按照精心设计、精心施工的精神组织工程施工,解决当前的工程难题。之所以提出这样的要求,是因为爆破工程与其他工程有所不同,效果在 $1\sim 2\text{ s}$ 之内就能显现;而不恰当的爆破,会造成很严重的影响,甚至难以采取补救措施。

国内外爆破技术史有不少特殊爆破的记载和资料,其中较多的是抢险救灾,如森林灭火、油井灭火、抢堵洪水和泥石流等;其次为疏通被冰凌或木材堵塞的河道,水底炸礁或清除沉积的障碍物,处理软土地基或液化地基,切除桩头、水下压缩淤泥地基,排除悬石、危石以及炸除烧结块或炉瘤等。

总之,现代爆破技术的发展,完全有可能利用炸药的爆炸能量去代替大量机械或人力所难以完成的工作,甚至超越人工所能去为社会主义建设服务。

1.3 爆破技术的发展

一项技术的发展是与时代的需要和当时其他工业领域的发展水平密切相关的,爆破技术的发展也不例外。我国工业爆破在建国以来所走过的历程很能说明这个问题。

20世纪50年代初期,炸药品种比较单一,施工机械比较缺少,机械化施工的程度不高而又有大量的土石方工程需要完成,因而药室法大爆破差不多成了解决土石方数量较为集中的开挖工作的唯一手段。此后,随着国民经济建设的需要和科学技术的发展,深孔爆破和其他爆



破技术得到了蓬勃的发展。近年来,由于厂矿和城市建设的需要,城市拆除的控制爆破应运而生,当今控制爆破技术的应用越来越广泛。

1.3.1 工业炸药技术的发展

新中国成立前,我国仅有的两座硝铵炸药工厂是日本帝国主义为掠夺我国矿产资源而开办的。抗日战争时期,解放区人民发明和使用由硝酸铵和液体可燃物组成的炸药,这可以说是铵油炸药的雏形。新中国成立后,我国才真正有了自己的炸药工厂,随着国民经济的迅速发展,我国的炸药工业也有了很大的发展,建立起了一个比较完整的生产体系。目前有146个生产厂家,品种达到数十种之多,如铵油炸药(包括铵松蜡炸药、铵沥蜡炸药、多孔粒状铵油炸药、膨化硝铵炸药、如花铵油炸药、分装铵油炸药)、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药、粉状乳化炸药、太乳炸药、粒状粘性炸药、液体炸药、铵梯炸药和铵梯油炸药等,基本满足了国民经济发展的需要。据不完全统计,工业炸药产量从1953年的2万多吨,到2010年已增加到351万多吨,60年来增长了175.5倍。

从20世纪50年代起,我国就对铵油炸药做了充分的研究,到1963年后铵油炸药已得到了全面推广。70年代中期,冶金矿山铵油炸药使用量已占炸药总消耗量的70%左右,期间又研制应用了铵沥蜡炸药和铵松蜡炸药。

1958年我国开始研制浆状炸药,60年代中期在矿山爆破作业中获得应用,其代表性品种是4号浆状炸药。70年代初期,随着胶凝剂(田菁胶、槐豆胶)和交联技术获得重要突破,我国胶状炸药品种不断增加,浆状炸药装药车与可泵送浆状炸药的出现,更好地满足了露天爆破作业的需要。80年代中期,原煤炭部淮北910厂引进了美国杜邦公司水胶炸药的生产技术与设备,目前国内仅有少数单位仍在生产、销售水胶炸药。

20世纪70年代后期我国开始研制乳化炸药,1981年研制成功。由于乳化炸药具有良好的抗水性、爆炸性能以及生产成本低廉等一系列优点,受到国家、企业和科研单位的高度重视,进行了不断的技术改进。乳化炸药技术,不仅采用连续化、自动化生产工艺技术和设备,生产岩石型、煤矿许可型品种,而且利用减阻技术发展了地下小直径乳化炸药装药车。乳化炸药生产技术和装药车不仅满足了国内的需要,而且出口到瑞典、蒙古、俄罗斯、越南、赞比亚等国家。目前我国已研制开发了多品种乳化炸药、粉状乳化炸药和乳化粒状铵油炸药的计算机控制连续化生产线。

“十一五”期间,全国有工业炸药生产企业91家,2010年工业炸药产量达到351.1万吨,到了2013年,产量达到450万吨,近几年的产量分布如图1-1所示。

此外,我国已从2008年1月1日起停止生产铵梯炸药,2008年6月30日起停止使用铵梯炸药,这标志着我国工业炸药生产在安全、绿色、协调、可持续发展观的指导下,进入了一个依靠技术进步、全面提升民用爆破器材产品安全质量的新阶段。目前,我国工业炸药向安全、高效、系列化方向发展,着力发展乳化炸药和多孔粒状铵油炸药,大力发展现场混装和散装型产品,力争主要产品性能指标达到国际先进水平。从工业炸药品种结构图可以明显看出近些年的变化。图1-2、图1-3、图1-4分别给出了1997年、2005年、2013年工业炸药产品品种结构图。