

Xiandai Gongcheng Baopo Lilun Yu Jishu

现代工程爆破 理论与技术

主 编 颜事龙
副主编 胡坤伦
徐 颖

XIANDAI GONGCHENG BAOPO
LILUN YU JISHU

LILUN YU JISHU

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

主 编 颜事龙
副主编 胡坤伦 徐 颖

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书针对工程爆破的特点,系统阐述了爆破工程技术人员应该掌握和了解的基本知识,全面介绍了近年来工程爆破理论和应用技术。主要内容包括爆破工程的基本特点及发展趋势、应力波特点及传播特性、岩石破碎机理及爆破参数的计算、爆破工程地质、起爆原理和起爆方法、露天深孔爆破、井巷掘进爆破、硐室爆破、水下爆破、其他爆破方法和爆破安全技术。

本书为普通高等院校弹药与爆炸技术专业、土木工程专业的工程爆破课程教材,可作为含能材料、火工烟火、爆炸应用类专业本科生和研究生的选修课教材,也可供煤炭、冶金、铁道、军工和城建等系统从事工程爆破设计、科研、施工和生产等相关专业工程技术人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代工程爆破理论与技术/颜事龙主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2007.6

ISBN 978-7-81107-713-1

I. 现… II. 颜… III. ①爆破—理论②爆破技术 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 158494 号

书 名 现代工程爆破理论与技术

主 编 颜事龙

责任编辑 褚建萍

责任校对 何晓惠

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)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092¹ 1/16 印张 18 字数 449 千字

版次印次 2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

工程爆破技术广泛应用于冶金、煤炭、建材、化工、核工业、水利水电、交通、农业基本

建设、城市建设以及国防工程等经济建设中各个领域,其特点是爆破方式种类繁多,爆破规

模从一万多吨的大规模爆破,到几毫克的模型实验。半个多世纪以来,我国爆破工作者在不

前言

目次

前 言

工程爆破技术广泛地应用于冶金、煤炭、建材、化工、核工业、水利水电、交通、农业基本建设、城市建设以及国防工程等经济建设中各个领域,其特点是爆破方式种类繁多,爆破规模从一万多吨的大规模爆破,到几毫克的模型实验。半个多世纪以来,我国爆破工作者在不断借鉴国外先进技术成果的基础上,经过不懈的努力,不断创新,在工程爆破的各个领域取得了长足的进步。

工程爆破是利用炸药的爆炸能量对介质做功,以达到工程目标的瞬间作业,是一门实践性较强的技术。从事工程爆破的技术人员,不仅要掌握爆破技术的基本理论,还要会应用爆破理论指导工程实践。为帮助爆破工作者掌握爆破技术各方面的知识,我们组织编写了这本教材。

本书与其他爆破类的教材有所不同,在本书中对爆破器材和炸药的爆炸理论未作介绍,常见的爆破器材性能安排在附录里。本书在介绍爆破和应力波理论的基础上,针对不同爆破类型的原理和应用技术进行了详细的介绍。全书共分 11 章,内容包括:第 1 章概述了爆破工程的基本特点及发展趋势。第 2 章介绍了应力波特点及传播特性。第 3 章介绍了岩石破碎机理及爆破参数的计算。第 4 章介绍了爆破工程地质的有关概念、岩石的物理力学性质、岩石地质对爆破的影响、爆破引起的工程地质问题。第 5 章介绍了各种起爆方法特点和使用范围,火花起爆方法、导爆索起爆方法、电力起爆网路的设计原则和网路参数的计算、非电导爆管起爆网路的连接方法、网路设计原则及确保网路准爆的途径、网路敷设过程中的注意事项。第 6 章介绍了井巷掘进爆破井巷掘进施工方法、掏槽爆破井巷掘进钻孔爆破参数、光面爆破技术、井巷工作面炮孔布置、井巷掘进爆破说明书和爆破作业图表。第 7 章介绍了露天深孔爆破参数的物理意义、参数的选择、设计原则和步骤、炸药的选用和装药结构、露天爆破施工工艺、毫秒微差爆破技术、预裂爆破技术、井下深孔爆破、留渣挤压爆破。第 8 章介绍了硐室爆破的优缺点、设计原理和内容、药室布置原则、装药量计算及爆破参数选择、爆破土岩方量及爆堆参数的计算、硐室爆破施工工艺。第 9 章介绍了水下爆破器材的要求、爆破参数的选择、水下岩塞爆破、设计和施工方法。第 10 章介绍了其他爆破方法如浅孔爆破、药壶爆破、裸露爆破。第 11 章介绍了爆破地震波强度、空气冲击波强度的计算、飞石距离的估算、爆破安全距离的估算、安全性评价、安全措施。

本书由颜事龙任主编,胡坤伦、徐颖任副主编。具体编写分工如下:第 1 章、第 2 章、第 8 章由颜事龙编写;第 3 章、第 5 章、第 7 章、第 9 章由胡坤伦编写;第 6 章、第 11 章由徐颖编写;第 4 章由李洪伟编写;第 10 章由刘锋编写。全书由颜事龙统一定稿。

本书是安徽省示范本科专业弹药工程与爆炸技术专业用教材,也可供煤炭、冶金、铁道、

军工和城建等系统院校有关本科生、研究生以及从事设计、科研、施工和生产等相关专业工作的工程技术人员参考。

由于作者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

前 言

作者

2007年7月

本书共分五章,第一章为绪论,第二章为爆破工程概述,第三章为爆破工程的基本原理,第四章为爆破工程的设计,第五章为爆破工程的施工。本书可作为高等院校相关专业教材,也可供从事爆破工程工作的工程技术人员参考。

本书在编写过程中,参考了国内外有关文献,并征求了有关专家的意见。本书的出版得到了有关领导的支持,在此表示衷心的感谢。

本书共分五章,第一章为绪论,第二章为爆破工程概述,第三章为爆破工程的基本原理,第四章为爆破工程的设计,第五章为爆破工程的施工。本书可作为高等院校相关专业教材,也可供从事爆破工程工作的工程技术人员参考。

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 工程爆破发展简史	1
1.2 我国工程爆破现状	3
1.3 今后研究与发展方向	7
第 2 章 应力波理论	12
2.1 热力学的基本概念	12
2.2 液体和气体中的应力波	16
2.3 应力波	26
2.4 岩体内的爆炸应力波	30
2.5 弹性波的波动方程	32
2.6 平面、球面和柱面的弹性波	34
2.7 纵波在两种岩石界面的反射和折射	38
2.8 应力波的干涉	41
第 3 章 爆破破岩机理	48
3.1 岩石爆破机理假设	48
3.2 爆破内部作用	49
3.3 装药的外部作用及药量计算	52
3.4 爆破计算参数选择	57
3.5 爆破效果影响因素	62
第 4 章 爆破工程地质	65
4.1 岩石和岩体的物理概念	65
4.2 岩石的一般性质	66
4.3 岩石的力学性质	70
4.4 岩石的分级	75
4.5 爆破与工程地质的关系	78
4.6 地质条件对爆破作用的影响	79
4.7 爆破所引起的工程地质问题	84

第 5 章 起爆方法	86
5.1 概述	86
5.2 火花起爆(火雷管起爆)	86
5.3 导爆索起爆	88
5.4 电力起爆	91
5.5 非电导爆管起爆网路	102
5.6 其他起爆方法	110
第 6 章 井巷掘进爆破	114
6.1 概述	114
6.2 掏槽爆破	115
6.3 钻眼爆破参数	121
6.4 光面爆破和预裂爆破	128
6.5 井巷工作面的炮眼布置	138
6.6 钻眼爆破说明书和爆破作业图表	140
第 7 章 露天深孔爆破	142
7.1 概述	142
7.2 深孔爆破参数符号及定义	142
7.3 露天深孔爆破炮孔参数	143
7.4 露天深孔爆破设计	149
7.5 炸药选用与装药结构	149
7.6 露天深孔爆破施工	151
7.7 微差爆破	153
7.8 挤压爆破	156
第 8 章 硐室爆破	161
8.1 概述	161
8.2 硐室爆破法设计原则与内容	162
8.3 硐室布置原则	164
8.4 装药量计算及爆破参数选择	173
8.5 长条硐室大爆破装药量及有关参数确定	182
8.6 土岩爆破方量计算	184
8.7 定向爆破筑坝设计	185
8.8 施工技术	204
第 9 章 水下爆破	211
9.1 概述	211
9.2 水下爆炸的基本理论	214

9.3 水底药包爆破法	219
9.4 水下钻孔爆破	223
9.5 水下硐室爆破法	226
9.6 水下岩塞爆破	229
第 10 章 其他爆破方法	235
10.1 药壶爆破	235
10.2 浅孔爆破	242
10.3 裸露爆破	247
第 11 章 爆破安全技术	251
11.1 外来电流的危害与预防	251
11.2 拒爆的预防与处理	258
11.3 爆破地震效应及其控制	260
11.4 爆破空气冲击波及其安全距离	267
11.5 飞石距的计算及预设	271
11.6 爆破有毒气体及防护	273
附录	275
参考文献	277

第1章 概 论

工程爆破技术是指使用炸药作为爆破材料来完成工程目的的专门技术。该技术安全、经济、快速,而且日益广泛地应用于冶金、煤炭、建材、化工、核工业、水利水电、交通、农业基本建设以及国防工程爆破。

工程爆破技术对我国经济建设的发展起着至关重要的作用,例如,冶金系统目前每年爆破开采矿石5亿多吨,我国煤炭现在年开采量为20多亿吨,近期完成的三峡工程的土石方爆破量达1亿多立方米。据统计,从1995年10月到2004年9月,全国共培训工程爆破人员1.5万人,发放爆破工程技术人员安全作业证共1.31万本,为实现持证上岗创造了条件,全国从事爆破专业的人数几百万人,他们参与着国家许多重大的工程建设项目,在国民经济建设中发挥着巨大的作用。

1.1 工程爆破发展简史

火药作为炸药的一类,是一种特殊的物质,蕴藏着巨大的势能,在外界冲击、摩擦和热能作用下,可以迅速地发生化学反应,释放出巨大的能量,对外做功,破坏介质。

火药的发明和应用对人类社会的文明与发展起到了十分重要的作用,使得人们可以大量利用火药改造自然,为人类创造财富。也正是火药的发明给现代炸药理论与现代工程爆破技术理论和实践相结合开辟了发展道路。

据考证,早在9世纪,中国就发明了比较完备的黑火药的配方。在唐人小说和杂记中可以找到有关利用火药为官家和民间做烟火玩乐的记载,说明那时黑火药已经被人们利用,为人们服务了。11世纪北宋年间的《武经总要》中出现了世界上最早的黑火药的配方。

我国自发明了黑火药后,很早就将它使用在战争中,作为战争中消灭敌人的一种有效的武器。1322年,成吉思汗军队包围金都汴京,攻城时,遭到守军反抗,守军就曾以铁绳悬震天雷,倾城而下,至掘处发火,人与牛皮皆碎无迹。

中国的黑火药直到13世纪才经阿拉伯辗转至欧洲。最初欧洲人仅仅使用黑火药作为火炮、火箭等武器的药剂,还谈不上工程爆破问题。使用炸药破坏某种介质达到一定工程目的的爆破,在文献中能找到的正式记载是1552年俄国人利用地雷爆破,炸毁喀山城。1548年至1572年,俄国人开辟聂曼河航道,为世界上第一次将工程爆破用于经济建设的正式记录。

17世纪后火药开始在矿山爆破中应用,用于开采煤炭和各种有用的矿石。之后,火药逐渐应用于以和平建设为目的的工程爆破中。由于黑火药化学反应速度慢,容易发生燃烧,因此在矿山爆破中,特别是煤矿爆破中,易引起瓦斯和矿尘的爆炸,增加了矿山爆破的危险性。19世纪随着化学工业发展,先后出现了一些新品种的炸药,加快了工程爆破技术为经济建设服务的进程,为工程爆破的发展开辟了广阔的前景。1868年和1875年,瑞典人发明

了硝化甘油炸药、雷管、硝化棉和以后许多新品种的工业炸药,进一步推动了爆破技术向生产建设领域发展。

1823~1830年间,英国在修建利物浦至曼彻斯特铁路干线时,工程师斯第芬设计了通过奥里弗山长约3.2 km、最大挖深30 m、土石方总量达36万 m^3 的双线铁路路堑开挖的爆破工程,这是铁路史上第一次大规模地应用爆破技术。1931年2月在奥克河开挖120 km渠道爆破,开创了苏联水利史上采用大爆破方法施工的先河。

20世纪由于受到钻孔设备的限制,英、美等国家基本上采用药量达几十吨或几百吨的药室大爆破。苏联在20世纪第一、第二个五年计划期间,广泛地应用了大爆破技术,其中有的爆破装药量达1 000 t以上。

随着钻孔机械的发展,出现了钢丝绳冲击钻机,从而推动了欧洲采矿业的发展,促进了爆破技术的进步。在一个炮孔中装药几百千克,进行一次多个钻孔爆破,爆破方量数万吨,形成了深孔爆破技术。深孔爆破技术改善了矿岩爆破块度。

20世纪40年代,为进一步改善矿山岩石爆破质量,减少爆破矿石的大块率和爆破振动,产生了微差爆破技术。50年代和60年代,随着对环境保护的要求与对建筑物和构筑物质量要求的提高,先后发明创造了预裂爆破和光面爆破等控制爆破技术,改善了爆破的质量,有效地限制了爆破作业对周围建筑物与构筑物和环境产生的破坏效应。同时爆破技术进入了机械加工行业,爆炸成型、爆炸焊接等技术不断涌现,使爆破技术广泛地应用于国民经济建设中。

70年代和80年代,随着城市建设和工厂、矿山的改建扩建,出现了城市控制爆破技术,使工程爆破从在人烟稀少的地区施工进入到城市人口密集的地区或建筑物附近施工,并能够做到安全爆破。

综上所述,爆破技术可以广泛地应用在生产建设的以下几个领域:

(1) 金属和非金属矿山爆破

- ① 开挖导坑、竖井、平硐、斜井、矿仓等地下构筑物;
- ② 揭开露天矿覆盖层,为露天采矿创造条件;
- ③ 露天矿和地下开采金属和非金属矿石;
- ④ 恢复矿场、修筑尾砂坝、回填采空后的矿仓;
- ⑤ 开挖为矿山采矿用的探井,进行地震探矿爆破。

(2) 土建工程爆破

- ① 定向筑坝;
- ② 开挖路堑、输水渠道、改移河道等;
- ③ 开挖隧道、修筑其他地下建筑物和构筑物;
- ④ 水下炸礁、清理河道;
- ⑤ 软土地基加固、爆炸挤淤、爆夯及爆扩桩;
- ⑥ 城市拆除爆破。

(3) 农业爆破

- ① 深翻土地、松土施肥、换土、开荒造田;
 - ② 打井取水、修建水利。
- (4) 电力和机械加工与拆除。

- ① 爆炸拆除旧机械和船体;
- ② 爆炸成型、爆炸硬化、爆炸焊接。

(5) 其他方面

- ① 油井的钻孔爆破和射孔,处理卡钻事故;
- ② 爆破冻土、炸冰;
- ③ 爆炸炼钢高炉的出钢口,加快出铁、出钢速度;
- ④ 抢险救灾、扑灭森林火灾。

1.2 我国工程爆破现状

工程爆破在我国大量应用是建国以后才开始的,经过几十年的发展,爆破技术愈来愈广泛地应用在我国国民经济建设的各个部门,在国民经济建设中发挥了巨大的作用。近年来,我国工程爆破技术在爆破理论与实践、控制爆破技术、岩石的分级与可爆性、爆破优化、爆炸量测技术、爆炸安全技术以及新型爆破器材研究、生产、制造技术等方面都取得了显著的进步与发展。

1.2.1 硐室大爆破技术

硐室大爆破就是按照预定的爆破方案设计要求,在爆区的岩体内挖掘通往药室的导硐,将大量的炸药集中埋置在药室之中,并用岩土堵塞后,利用雷管引爆炸药,将大量岩石破碎、疏松乃至抛塌于指定的范围内,达到剥离、开挖和堆存、填筑等各种工程目的。它具有效率高、投资省、工期短和施工简单等优点,适用于地形复杂、交通不便的山区土石方开挖。在冶金、铁道、化工、建材等部门的应用已有四十多年历史。

据不完全统计,我国进行万吨级炸药的爆破三次,千吨级的十余次,百吨级的数百次。在硐室大爆破的工程中积累了大量的经验,已经形成了一系列完善的集中药包和条形药包的药包布置、药量计算、抛掷体积计算、爆破安全分析的设计方法。近年来,人们正在借助计算机来完成硐室大爆破的设计。

早在1956年,白银厂露天矿覆盖层剥离爆破,3个药室共装药15 573 t,爆破900万 m^3 的岩土,其中227万 m^3 的岩土被抛出矿区以外,在当时这是世界上最大的一次爆破。采用松动爆破使矿区比原计划提前两年投入生产。1971年5月,狮子山铁矿露天松动爆破总装药量10 162.22 t,铵油炸药9 172.605 t,起爆药包总数586个,其中12个条形药包,松动岩土体积1 140万 m^3 。这次硐室大爆破解决了大规模硐室爆破起爆网路、起爆时间间隔等许多复杂的爆破技术难题。1993年12月28日,广东省三灶机场进行了12 000 t级抛掷爆破,爆破药包抵抗线10~40 m,分40段微差,50%的岩土抛入海中,爆破土石1 000万 m^3 。这次爆破解决了一次大爆破起爆段数多的大区微差网路的敷设、减震的技术难题,取得了成功。

铁道部门在建设宝成、鹰厦铁路新线时,进行了数以千计次不同规模的硐室大爆破。建材部门在水泥厂所属的石灰石矿及采石场进行过30多次的装药量在200 t以上的硐室大爆破。露天煤矿也有过几次硐室大爆破。

但随硐室大爆破的实施而生的有害效应需要加以控制。目前硐室大爆破的布药形式由

最早采用单个或多个集中药包逐渐发展为分集药室、条形药包和平面作用药包等形式,以适应各种复杂的地质地形和周围环境安全要求与限制,实现安全有序的定时、定向控制爆破,减少爆破地震对周围环境的有害影响,达到预期的爆破效果。

1.2.2 定向爆破筑坝

定向爆破筑坝在我国水利水电、冶金、铁道、公路及农田基本建设方面的应用已有四十多年的历史,它的应用标志着我国爆破技术发展到了比较高的水平。自1958年以来,我国已用定向爆破方法筑坝60余座,取得了丰富的经验。1960年12月,广东南水水电站使用定向爆破方法筑成一座较大规模的堆石坝,爆破药量1394 t,爆破方量105万 m^3 ,坝体平均堆积高度62.3 m,与设计的65 m相比,准确率达96%,经过四十多年的运转,坝体仍然质量完好,被树为定向爆破筑坝的样板工程。1973年5月,陕西省石砭峪水库进行了一次定向筑坝,装药量1575 t,抛掷上坝土石方136万 m^3 ,坝体堆积高度55 m,与设计高度54 m相比,准确率高达98%。

近年来采用定向爆破筑矿山尾矿坝已有7座,其中金厂峪尾矿坝是在不利的地形条件下取得成功的一例,节约劳动力90%,建设工期提前9个月,节省投资28万元,运行十多年来,坝体稳定性良好。这次实践证明,采用高低程布置药包、两岸爆破、等量对称药包或条形药包等措施,可以进一步扩大定向爆破的应用范围。

目前,我国已成为世界上采用定向爆破筑坝数量最多的国家,并在定向爆破药包布置、参数选择与堆积体积计算方面形成了一套自己的设计体系。我国西北、西南地区有着丰富的水资源,许多坝段处于交通不便的深山峡谷中,因此就地取材的定向爆破筑坝技术有着广阔的应用前景。

1.2.3 深孔爆破

深孔爆破在土石方爆破中占有重要的位置,广泛应用于露天和地下开采、水电站基坑开挖、工业场地平整、地下大硐室开挖以及铁路、公路路堑爆破等方面。冶金矿山梯段深孔爆破普遍采用多排微差爆破,一次爆破量10万至20万t矿石,有些矿山高达50万t。露天深孔爆破梯段高度一般为10~15 m,钻孔直径为150~310 mm,爆破抵抗线为钻孔直径的30~40倍,炸药单耗0.10~0.30 kg/t。例如南芬铁矿深孔爆破,最多一次爆破钻孔505个,一次爆破使用炸药量800 t,分104段起爆,爆破矿石81万 m^3 ,炸药单耗0.9 kg/ m^3 ,大块率0.035%,每米炮孔爆破矿岩108.5 t,取得了良好的经济效益。

近年来,在露天深孔爆破中推广了大区多排深孔爆破、留渣挤压爆破、小抵抗线宽孔距爆破、预裂、光面和缓冲爆破、地下深孔挤压爆破和地下大孔径等爆破技术。许多矿山为提高露天矿边坡的稳定性采用了预裂爆破及缓冲爆破技术,成功降低了爆破对边坡的破坏作用。铁路新线建设和其他重要的水利、电力工程已经推广了光面爆破与预裂爆破技术,对提高边坡的稳定性起到了良好的效果。

在复杂的环境条件下,在露天爆破技术安全方面也取得了重要突破。青岛市环胶州高速公路K30+747.1~K31+250段,开挖的路堑离建筑物最近的距离仅10~15 m,长470 m的开挖路堑钻孔孔数3080个,共203排,每段起爆药量11~15 kg,爆破总持续时间为4.770 ms。整个爆破过程对周围的建筑物和构筑物没有造成损坏。

许多爆破工作者和工程爆破技术人员对深孔爆破中的孔网参数、布孔方式、装药结构、装填比例、炸药与岩石性质的匹配、起爆顺序和微差间隔等技术方面问题进行了综合研究,全面改善了深孔爆破质量,提高了经济效益。

深孔爆破今后的发展方向是进一步改善爆破质量,控制爆破岩石的块度;研究岩石性质、炸药爆炸参数与爆破参数三者之间的最优组合关系,从而获得最佳的爆破效果;加强深孔爆破的数值模拟的研究,提供成套的爆破设计方案,供爆破工作者选择。在深孔爆破方面还应研究控制爆破块度组成与堆积形状、控制爆破作用的范围和有害效应,以便满足各种复杂环境条件下的深孔爆破要求。

1.2.4 水下爆破

改革开放以来,随着对外经济贸易的增长,港口、码头和航道日益增加,近几十年来我国在水下爆破领域取得了新的进展。水下爆破可分为水中、水底及水下岩体内深孔和硐室爆破。目前以发展水下钻孔爆破为主。国内港口建设及内河道疏浚均应用水下爆破技术,如长江三峡自古号称天险,滩险流急,水底暗礁密布,几十年来,川江航道工程技术人员炸除了数以百万计的水下礁石。广东黄浦港采用黄浦水下爆破施工法,在水深7~11.5 m的红砂岩中钻孔直径96 mm,孔深4~6 m,采用开挖定向槽为排孔创造自由面,水下爆破岩石50多万立方米,并利用低压气泡帷幕防止水下爆破冲击波对海岸构筑物的破坏,对水中冲击波的衰减规律进行了观察与研究。

水下爆夯和软基夯实爆破在水中建筑物的基槽中得到应用,并在实践中取得了比较成功的经验。

水下爆破要适合工程的要求和发展,应该加强研究深水爆破的特点、爆破参数、起爆方法、安全措施与防止水下冲击波和震动公害问题。

1.2.5 拆除爆破

建筑物拆除控制技术近年来有了较大的发展。在复杂的城市环境中应用爆破方法拆除各种类型的废弃建筑物是一种安全、快速、经济的施工方法,并可控制爆破的危害对附近环境的影响。国内已经成功地拆除了许多工业建筑物、构筑物、民用建筑物、烟囱、水塔、桥梁墩台、混凝土和钢筋混凝土地坪、碉堡以及厂房内的设备基础等。一次爆破装药量从几十克到几百千克。

拆除爆破在布孔方式、装药量计算、合理确定爆炸部位及起爆顺序与延时时间、安全措施与安全技术等方面都取得了许多成功经验。此外,对有条件密闭的建筑物,如碉堡、水塔、钢筋混凝土容器可以应用水压爆破进行拆除,它是将药包置于水中,用水作传压介质,无需钻孔,是一种高效安全的拆除爆破方法。

在大量的拆除爆破工程中,建筑物的倒塌方向和倒塌范围都可以精确控制。如石景山电厂,被拆除的建筑物20 000 m²,拆除建筑物总体积5 000 m³,建筑物高度27~34 m,全部为钢筋混凝土建筑,离被拆除建筑物10 m处为厂区道路和住宅区,整个爆破拆除工期提前41天,节约人民币350万元,取得了良好的经济效益。

北京华侨大厦拆除爆破是在比较复杂的环境下施工的,华侨大厦坐落在闹市区并与重要的交通要道相邻,大厦主楼高34 m,共8层,副楼高28 m,高7层,爆破工程量3 000 m³,

钻孔 6 000 多个。爆破药量 600 kg,分 9 段起爆,整个爆破工程安全、可靠、迅速。

随着经济建设的发展,拆除爆破规模和难度也会更大,应研究各种材料与结构形式拆除爆破的布孔方法、装药量计算、堵塞方式、起爆顺序与防护措施;研究各种建筑结构拆除爆破的失稳条件,在重力作用下的受力分析,精确控制倒塌顺序、范围与方向;同时还要着重研究爆破的危害作用,特别是在城市拆除爆破作业中要解决爆破烟尘的危害,保护环境。

1.2.6 爆破器材

爆破器材的品种及质量直接影响爆破效果。我国的工业炸药品种已由建国初期的黑火药、硝铵炸药、硝化甘油炸药发展到能生产粉状铵梯炸药、铵油炸药、铵松蜡炸药、重铵油炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药、膨化硝铵炸药、硝化甘油炸药等多个工业炸药品种。工业炸药的质量也得到不断提高。这些炸药品种不仅解决了硝铵类炸药吸潮结块的难题,还减少了 TNT 含量,或是不含 TNT。无梯炸药降低了炸药生产成本,改善了炸药生产的环境条件。新发展起来的乳化炸药不仅具有良好的爆炸性能和抗水性能,而且具有原料来源广、加工简单、生产成本低的优点。随着对乳化炸药的改进,发展了乳化炸药的现场混制装药车装药施工方法,提高了爆破作业的机械化水平和爆破效果。2006 年,民用爆破器材生产企业工业炸药生产总量 261.57 万 t,工业炸药销售总量 188.99 万 t。在所有的炸药品种中,粉状铵梯炸药的使用量逐年减少,铵油炸药的使用量仍然占居首位。特别是多孔粒状铵油炸药因制造成本低、工艺简单、便于机械化装药,故在大型露天矿中的使用量比较大。

我国乳化炸药生产技术还向瑞典、俄罗斯、蒙古和越南等国家出口转让或建厂。

2006 年,我国工业雷管生产总量 31.90 亿发,工业索类火工品生产总量 29.20 亿 m;工业雷管销售 24.62 亿发,工业索类火工品销售 12.48 亿 m。近年来非电导爆管雷管起爆系统在工程爆破中大量推广应用,并在实践中有许多创新,拓展了非电导爆管雷管的使用,其使用量不断增加。高精度、等间隔、多段数非电导爆管雷管及电雷管、无起爆药雷管、充气起爆系统、低能导爆索的研制和生产从根本上改变了建国初期大量使用导火索点火起爆的落后状态,起爆技术更为安全、准确和可靠,进一步提高了工程爆破的安全可靠性和爆破质量。

今后发展趋势是:爆破器材的品种系列化、配套化,以满足不同岩石特性与爆破工艺的要求;大力发展和改善多孔粒状铵油炸药、膨化硝铵炸药,以适应干孔与中硬岩石的爆破;研制具有一定防水能力的高能铵油炸药;大力推广非电导爆管雷管起爆系统,提高爆破工程技术含量。

1.2.7 爆破安全技术

安全工作在工程爆破中占有重要地位,爆破安全技术包括从事爆破作业人员的自身安全、其他人员的安全以及爆破有害效应对周围环境影响的安全问题。

建国 50 多年以来,随着国民经济的快速发展,工程爆破技术的进步,爆破安全技术及管理水平的提高。多年来,我国爆破工程技术人员十分重视爆破有害效应的观测和研究,各有关部门对防止杂散电流、静电、雷电、射频电引起爆破器材早爆,对爆破振动、爆破冲击波、噪声、飞石和有毒气体等涉及爆破安全问题进行了大规模的系统观测研究,研制出一批具有先进水平的安全监测仪器和仪表,从重大事故分析中得出有效的安全预防方法与措施,这些研究成果和防护措施不仅预防和减少了各种爆破事故,而且有效地控制爆破有害

效应对周围环境的影响,改变人们对爆破场景的可怕恐怖心理。城市建筑物拆除爆破技术的广泛成功应用,既保证了安全,又避免了机械施工长时间的干扰,加快了建设速度,得到社会的认可,产生了良好的社会效益与经济效益。

为了使爆破安全技术管理科学化和法制化,确保工程爆破安全,在大量生产实践和试验观测的基础上,参照国外的爆破工程,国家先后制定并颁布实施了《爆破安全规程》、《大爆破安全规程》、《拆除爆破安全规程》及《民用爆炸物品管理条例》等国家标准和规范。这些标准的颁布实施对加强爆破安全管理、预防爆破事故、保障人民生命财产安全、促进生产发展起到重要作用。

近几年来,为提高从事工程爆破人员的素质,加强爆破人员队伍的管理,由公安部主持、中国工程爆破协会协助,对全国工程爆破技术人员进行爆破安全技术培训考核发证,实行持证上岗;为适应市场经济发展,加强竞争机制,择优汰劣,对爆破公司实施等级管理制;对重大爆破工程的设计施工进行安全评估,逐步推行爆破工程监理制度;这些制度的实施将使我国工程爆破安全技术的管理更加有序和规范化。

国家经济建设的发展需要,对工程爆破提出了较高的要求,促进了爆破理论研究工作的深入进行。我国工程爆破者在大量爆破工程实践的基础上,针对不同类型的工程爆破,已有了相应的设计计算方法,这些计算方法主要来源于大量工程经验的积累。爆破是一类实践性很强的技术,我们要十分重视实践经验的积累,尊重有实践经验工程师的认知。同时我们看到,经验的东西是有局限性的,爆破技术的深入发展需要爆破理论研究的深化。多年来,我国不少科研单位和高等院校结合国家大型工程项目的立项到实施,结合硕士研究生、博士研究生的培养进行了广泛的研究,在爆破作用机理、爆破应力波传播、炸药的能量分配、爆破鼓包运动、抛掷堆积形状、预裂爆破成缝机理、岩石破碎机理、爆破工程地质、岩石爆破性分级以及爆破振动效应等研究方面,取得了一大批理论研究成果。结合工程爆破应用技术的研究,在深孔台阶爆破及其参数优化、光面预裂爆破、井巷与隧道掘进爆破、硐室爆破、定向爆破、拆除爆破、水下爆破、切割爆破以及爆炸加工等方面获得了100多项研究成果,大大提高了爆破理论和设计技术水平,指导了工程实践,有力地促进了我国工程爆破技术的发展。据粗略统计,在各类学术会议及学术期刊上发表的有关工程爆破的学术论文和研究报告总计7 000余篇。《大量爆破设计与施工》、《岩石破碎力学》、《矿山爆破工程》、《露天大爆破》、《乳化炸药》、《工程爆破实用手册》等专著的出版展现了我国爆破理论研究和实践的深化和提高;同时,它们的出版对我国工程爆破技术人员提高技术水平起到了推动作用。我国爆破事业的发展历程证明爆破技术的进步离不开国民经济的发展和国家基础设施建设的需要。爆破技术的创新必须依靠科学技术,只有紧密结合工程实践,不断创新,才有爆破技术的进步。

1.3 今后研究与发展方向

今后要进一步研究爆炸作用机理、爆炸能量传递方式与能量分布、介质在爆炸作用下的变形和破坏机制,获得完整的定性定量关系。在爆破参数方面的研究主要涉及爆破布孔方法、装药量计算、堵塞方式、起爆顺序和起爆网路的计算,爆破漏斗参数的计算,爆破介质飞行规律的研究,抛掷方向的控制与爆破堆积体积的计算,同时还要研究对于起爆顺序、起

爆间隔、地形、地质条件、岩石性能和炸药性能相耦合等因素综合效应对爆破效果的影响。应用先进的测量技术为工程爆破服务,并结合数值模拟技术不断总结和分析爆破规律,为改善爆破质量和控制爆破安全提供可靠的保障。

当前,世界各国的工程爆破正在日益现代化,新的科学技术在工程爆破中得到广泛的应用,工程爆破正在由传统手工匠方式走向科学化。工程爆破技术的科学化主要表现在现代量测技术和数值模拟技术的广泛应用,以及施工过程的机械化和爆破过程的精密控制。爆破的动态过程不再是不可知,而是可以精确地测量,可以计算,可以模拟控制,可以预测,可以根据理论与实践进行工程爆破设计的优化,使工程爆破在安全、质量和经济等方面获得最佳效果。

进入 21 世纪,中国工程爆破行业将面临更为艰巨的任务。国家西部大开发的发展战略,新的能源开发、交通建设、矿山资源开采、城市建设等将有更多的爆破工程任务期待我们去完成。可以预见,21 世纪,爆破技术的应用将在推动人类文明进步、促进社会经济发展等方面继续发挥更大的作用。

1.3.1 在西部大开发重大工程建设中充分发挥爆破技术的作用

进入 21 世纪,西部大开发是我国经济发展的重大战略决策,西部大开发的重点是交通、能源等基础设施的建设。21 世纪中叶,中国铁路每年计划修建 1 000 km 新线,面对西部地区的地质情况复杂、自然灾害较多的横断山脉或是高原冻土地地区,在未来铁路建设和线路技术改造、水电大坝和大型矿山建设中,将面临更为复杂的爆破工程,土石方工程的规模将会超过以往,爆破工程实施的难度更大。

在西部大开发建设中,十分强调资源开发的有效利用和环境保护。如何进一步提高炸药能量利用率,保证工程质量和施工安全,避免造成地质灾害和环境影响,要求我们在爆破理论和技术上不断创新,要加强研究低耗高效无害的控制爆破技术,以适应在西部地区修建铁路、高等级公路、大型矿山、水电枢纽工程、长距离引(调)水工程建设施工的要求。例如,深埋长隧道及群硐快速爆破掘进问题;恶劣地形地质条件下深路堑控制爆破技术问题;大量筑坝石料颗粒级配开采爆破问题;特殊复杂环境下爆破要求的低噪声、弱震无损伤问题等。西部建设提出的要求是对爆破工作者的挑战,也为我国工程爆破技术的发展提供了新的机遇。

1.3.2 探索控制爆炸能量的新思想、新技术

研究炸药能量转化过程的精密控制技术、提高炸药能量的利用率、降低爆破有害效应是工程爆破新世纪的发展战略。我国著名科学家钱学森指出:“爆破可以产生极强的脉冲电流,爆破可以产生极强的脉冲磁场,爆炸可以产生极高的压力,而这些都是现代科学研究所要求的。这有能量的转换的问题,而对研究来说,特别要求转化过程的精密控制。”钱学森先生的话告诉我们爆破作用是现代科学技术研究的重要内容之一,要精密控制炸药爆炸的能量是十分困难的。半个多世纪以来,我们在爆破作用的控制技术研究方面已取得一定的进展,爆破技术已广泛用于岩土介质的破碎、压实、疏松、排淤和切割物体的作业,如在特殊环境(闹市区的建筑物的拆除、人体内胆结石破碎)、特殊条件(高温、高压)、特殊要求(金属加工、爆破合成金刚石、地震勘探)情况下的爆破工程。从小至 0.3 mg 炸药的人体内胆结石

破碎到万吨级炸药的硐室大爆破,这些都反映了炸药能量控制技术的发展。但是研究工作说明炸药能量的利用率还很低,对炸药的控制能力有限,因此必须深入研究和创新,要通过对各种介质在爆炸强冲击动载荷作用下的本构关系、选择与介质匹配的炸药、不耦合装药、控制边界条件、起爆分段顺序等方面的研究,寻找提高炸药能量利用率的新工艺或措施,尽量降低能量转化过程中的损失,控制其对周围环境的影响。利用爆破时的脉冲电磁场、高温和高压,开发炸药应用的新领域是诱人的设想,是爆破技术创新的增长点。炸药爆炸的能量或爆破技术还可以用于加工业,已有研究表明爆炸膨化可以提高原材料的利用率。

1.3.3 加强爆破理论和模拟技术的研究,指导爆破工程实践

理论来源于实践,又指导实践。半个世纪以来,我国的工程爆破技术在大量的实践基础上已有长足的进步和发展,但爆破的理论研究工作落后于工程实践。现有的一些爆破工程设计方法和安全评估分析大都基于经验和半经验法,缺乏足够的理论依据。

爆炸是一个高速过程,爆破作用又是强冲击载荷作用于难于准确描述的岩土介质的效应,爆破理论研究的问题远比经典的固体力学和流体力学要复杂和困难。但是爆炸过程和爆破作用毕竟都是可以用力学描述的现象。随着现代电子技术的飞速发展提供的现代试验观测手段和计算机模拟技术,我们已能较精确地观测爆炸的物理过程,用各种数学物理模型去探讨岩石动态力学特性。近十多年来,一些新思想、新的研究方法进入爆破理论的研究。例如,把爆破过程视为复杂的系统工程,利用信息论、控制论、耗能结构基础论、突变论、分形理论、损伤理论和非线性理论,通过计算机模拟爆破,提高并深化爆破理论研究成果。

1.3.4 提高爆破施工作业的机械化和自动化水平

我国现有大中型露天矿的深孔爆破的钻孔、装药、填塞工序的机械化水平较高,但仍需要配套推广、提高自动化程度。国外一些主要矿山采用计算机辅助设计,利用钻孔采集的地质资料,调整设计参数和装药结构,预测爆破块度和爆破有害效应的影响。要研究国外大型矿山爆破生产的先进技术装备,加强矿山机械设备运行的数据采集、计算机处理,以优化爆破方案设计,改进爆破效果。同时要加强对爆破作业机械的技术更新改造,研究并发展国产机械设备。可以预计,随着国产机具占有率的提高,一定会大大加速我国爆破行业的技术进步和安全技术管理水平。

我国工程爆破技术应大力提高爆破施工的机械化和自动化水平,其钻孔、装药、填塞各工序不仅要求机械化水平程度高,而且要配套,要广泛地推广预装药爆破技术,即在钻机钻孔的同时,利用装药车装填已钻好的炮孔,边钻孔边装填炸药和起爆器材。对一些特种爆破,还要采用机械手、机器人和遥控等技术,以满足高空、高温、低温,地下、水下和有毒气环境下进行爆破施工作业的要求,以改变我国爆破施工装备技术落后的状况。

1.3.5 爆破器材要向高质量、多品种、低成本和安全生产工艺连续化发展

爆破器材的质量与品种直接影响工程爆破技术的发展,半个世纪以来,国内外在爆破器材的品种、质量上有长足的进步,而且必将生产出更多高质量、多品种、低成本的新型炸药。

在工业炸药方面,应进行粉状铵梯炸药生产技术改造,要发展少梯和无梯粉状炸药,逐步取代现有的铵梯炸药。国家民爆器材主管部门已规划在5~10年内彻底淘汰铵梯炸药。