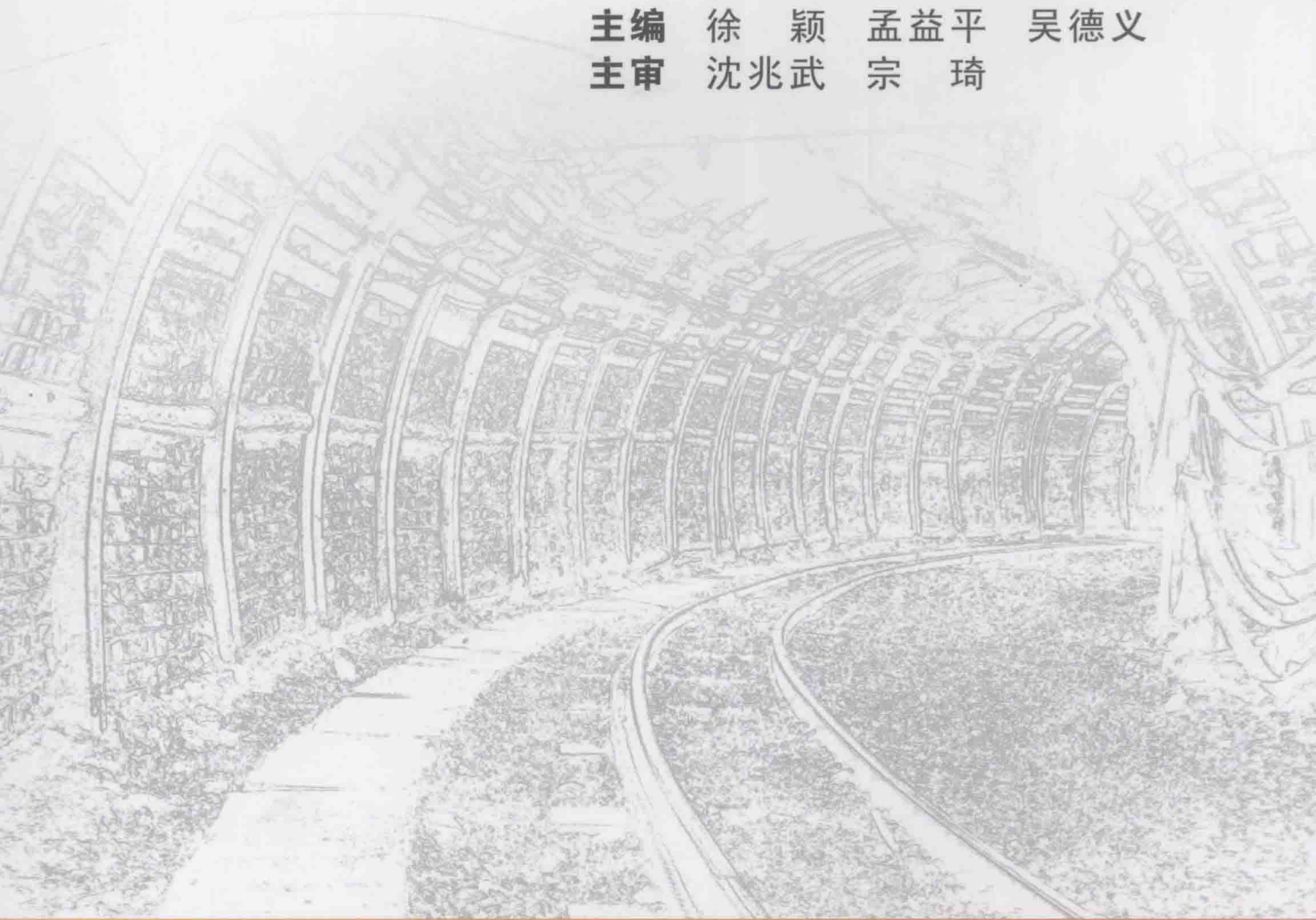




普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

爆破工程

主编 徐颖 孟益平 吴德义
主审 沈兆武 宗琦



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材

爆破工程

主 编 徐 颖 孟益平 吴德义
副主编 汪海波 杨自友 谢华刚
主 审 沈兆武 宗 琦



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

爆破工程/徐颖,孟益平,吴德义主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.6
普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材
ISBN 978-7-307-13238-2

I. 爆… II. ①徐… ②孟… ③吴… III. 爆破技术—高等学校—教材
IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 085707 号

责任编辑:王亚明 孙 丽 责任校对:路亚妮 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉科源印刷设计有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:16.5 字数:441 千字

版次:2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷

ISBN 978-7-307-13238-2 定价:35.00 元



版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等学校土木工程专业精编系列规划教材
编审委员会

(按姓氏笔画排名)

顾问:干洪 朱大勇 任伟新 张伟林 程桦 颜事龙

主任委员:丁克伟 徐颖 高飞

副主任委员:戈海玉 方达宪 孙强 杨智良 陆峰 胡晓军

殷和平 黄伟

委员:马芹永 王睿 王长柏 王佐才 韦璐 方诗圣

白立华 刘运林 关群 苏少卿 李长花 李栋伟

杨兴荣 杨树萍 肖峻峰 何夕平 何芝仙 沈小璞

张洵 张速 张广锋 陈燕 邵艳 林雨

周安 赵青 荣传新 姚传勤 姚直书 袁文华

钱德玲 倪修全 郭建营 黄云峰 彭曙光 雷庆关

总责任编辑:曲生伟

秘书长:蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录www.stmpress.cn下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

前言

本书是按照高等学校土木工程学科专业教学指导委员会颁布的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的教学基本要求,根据土木工程专业卓越工程师培养计划的要求,结合新形势下教学改革趋势和土木工程类院校的教学特点,整合了编者长期从事工程爆破的实践和教学经验,为普通高等院校土木工程专业编写的教材。在内容上,本书紧密结合工程爆破的行业特点和《爆破安全规程》(GB 6722—2003),新实施的国家标准、行业标准及规范等,力求将炸药与爆炸的基本理论、工业炸药、起爆器材与起爆方法、岩石爆破作用原理、隧道爆破、深孔爆破、硐室爆破、拆除爆破、爆破安全技术和钻孔机械等内容和具体工程爆破实践结合起来,内容全面,资料新颖,强调系统性、实用性。书中提供了较多的工程实例和例题,每章前面均列有内容提要 and 能力要求,后面均列有知识归纳、独立思考及参考文献,以便于读者学习。

本书由安徽理工大学徐颖、合肥工业大学孟益平、安徽建筑大学吴德义担任主编,安徽理工大学汪海波、安徽建筑大学杨自友、铜陵学院谢华刚担任副主编。

具体编写分工为:

安徽理工大学,徐颖(前言、第1章);

安徽建筑大学,杨自友(第2章);

安徽理工大学,汪海波(第3章、第6章);

安徽建筑大学,吴德义(第4章);

合肥工业大学,孟益平(第5章、第8章、第9章);

铜陵学院,谢华刚(第7章)。

本书由安徽理工大学徐颖和傅菊根负责统稿和定稿。中国科学技术大学沈兆武和安徽理工大学宗琦担任本书的主审,并提出了许多宝贵的意见,特致敬意。

本书在编写过程中参考了有关书籍,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏、错误之处在所难免,敬请读者指正。

编者

2014年5月

目录

1 绪论	(1)
1.1 爆破工程的现状与发展	(2)
1.2 爆破工程的主要研究内容	(4)
1.3 爆破方法和爆破技术的分类	(6)
1.4 工程爆破技术的发展趋势	(8)
独立思考	(9)
参考文献	(9)
2 炸药爆炸基本理论	(10)
2.1 概述	(11)
2.2 炸药氧平衡和化学参数	(13)
2.3 炸药的起爆与感度	(19)
2.4 炸药的爆轰理论	(24)
2.5 炸药的爆炸性能	(30)
知识归纳	(36)
独立思考	(36)
参考文献	(36)
3 爆破材料和起爆方法	(38)
3.1 工业炸药	(39)
3.2 起爆材料	(49)
3.3 起爆方法	(56)
知识归纳	(70)
独立思考	(70)
参考文献	(70)
4 爆破破岩机理	(71)
4.1 岩石爆破理论发展阶段	(72)
4.2 岩石中的爆炸应力波	(73)
4.3 岩石爆破作用	(78)
4.4 炸药在岩石中的爆破破坏过程	(80)
4.5 爆破漏斗理论	(81)
4.6 光面爆破与预裂爆破	(87)
4.7 微差爆破	(90)
4.8 聚能效应	(92)
4.9 装药量计算原理	(96)
4.10 影响爆破作用的因素	(98)

知识归纳	(105)
独立思考	(105)
参考文献	(106)
5 露天爆破	(107)
5.1 爆破工程地质	(108)
5.2 露天浅孔爆破	(117)
5.3 露天深孔爆破	(119)
5.4 硐室爆破	(133)
知识归纳	(148)
独立思考	(148)
参考文献	(149)
6 地下工程爆破	(150)
6.1 概述	(151)
6.2 井巷掘进爆破	(151)
6.3 隧道掘进爆破	(164)
6.4 地下采矿爆破	(177)
知识归纳	(187)
独立思考	(187)
参考文献	(188)
7 拆除爆破技术	(189)
7.1 拆除爆破原理	(190)
7.2 拆除爆破设计	(191)
7.3 基础类构筑物的拆除爆破	(194)
7.4 高耸构筑物的拆除爆破	(198)
7.5 楼房拆除爆破	(202)
7.6 水压爆破	(208)
知识归纳	(210)
独立思考	(210)
参考文献	(210)
8 爆破安全与管理	(211)
8.1 爆破危害	(212)
8.2 爆破地震及其控制	(212)
8.3 塌落振动及其控制	(215)
8.4 爆破冲击波、噪声及其控制	(216)
8.5 爆破飞石安全距离及其防护	(219)
8.6 爆破有害气体	(221)
8.7 早爆、拒爆及其预防	(222)
8.8 爆破与环境保护	(228)
8.9 爆破安全管理	(229)
8.10 爆破安全法规简介	(236)

知识归纳	(241)
独立思考	(242)
参考文献	(242)
9 凿岩机械	(243)
9.1 机械凿岩原理	(244)
9.2 浅孔与中深孔凿岩机械	(245)
9.3 深孔凿岩机械	(249)
知识归纳	(253)
独立思考	(253)
参考文献	(253)

绪 论

课前导读

□ 内容提要

本章的主要内容包括爆破工程的现状与发展历程，爆破工程的主要内容，爆破方法与爆破技术的分类，工程爆破技术的发展趋势。本章的教学重点及难点为爆破方法与爆破技术的分类。

□ 能力要求

通过本章的学习，学生应了解爆破工程的现状与发展历程、趋势，熟悉爆破工程的主要内容，掌握爆破方法与爆破技术的分类。

1.1 爆破工程的现状与发展

爆破工程技术是一门相当古老的学科,有着悠久、曲折的发展历史。爆破工程技术是利用炸药爆炸能量,使爆破对象发生变形、破碎、移动和抛掷,达到预期目的的一门技术。其理论基础是炸药及其爆炸理论、固体中的应力波理论、固体强度理论、岩石动力学等,内容十分广泛。爆破工程技术不仅在土木工程施工中得到了广泛应用,而且在采矿、水利水电、国防、军事等众多领域中也得到了广泛应用。在未来一定时期内,爆破工程技术仍将是岩石开挖的主要手段,因此,学好本课程具有重要的意义。

1.1.1 工业炸药和爆破器材的历史与现状

人类对爆炸的研究与应用源于我国黑火药的发明和发展。早在公元 803 年的唐代,我国人民就发明了用硫黄、硝石和木炭 3 种成分配制的黑火药。黑火药开始时运用于战场,用其燃烧性攻击对方,后来利用其爆炸性破坏建筑物和杀伤有生力量。公元 1000 年,我国已出现“蒺藜火毯”,铁炮等爆炸性武器(震天雷),南宋抵抗元兵时使用了铁炮,后来黑火药用于攻城战斗。13 世纪中期,黑火药由阿拉伯国家传入欧洲。17 世纪初,西欧、北美一些国家相继用黑火药进行爆破作业;1627 年,匈牙利人第一次把黑火药应用于岩石爆破。与原来的火烧法破裂岩石相比,黑火药爆破岩石的效果大为提高。

现代炸药的合成始于 18 世纪。1771 年,英国的 P. 沃尔夫首先合成苦味酸。它是一种黄色结晶体,最初作为黄色染料使用,黄色炸药的名称便由此而来。1779 年,英国化学家 E. 霍华德发明了雷汞。雷汞是一种起爆药,用于配制火帽击发药和针刺药,也可用于装填爆破用的雷管。1831 年,出现了以黑火药为药芯的毕氏导爆索。1838 年, T. J. 佩卢兹首先发现棉花浸于硝酸后可发生爆炸。1845 年,德国化学家 C. F. 舍恩拜将棉花浸于硝酸和硫酸混合液中,洗掉多余的酸液后,发明了硝化纤维。硝化纤维很不安定,曾多次引起火药库爆炸事故。1846 年,意大利化学家 A. 索布雷把半份甘油滴入一份硝酸和两份浓硫酸混合液中,首次制得了硝化甘油。1859—1862 年,瑞典的 A. B. 诺贝尔和他的父亲、弟弟用“温热法”降服了硝化甘油,使之能够比较安全地成批生产。1863 年,德国人 J. 威尔勃兰德发明了梯恩梯(TNT)。梯恩梯的化学成分为三硝基甲苯,是一种威力强而又安全的炸药,即使被子弹击穿一般也不会发生燃烧和起爆。1866 年, A. B. 诺贝尔发明了以硅藻土为吸收剂的高威力硝化甘油炸药(Dynamite 炸药)。1867 年,瑞典科学家诺贝尔发明了以雷汞为主要原料的火雷管。1867 年,奥尔森(Olsson)和诺宾(Norrbein)发明了由硝酸铵和各种燃料制成的混合炸药之后,工业炸药步入了多品种的时代,并奠定了硝铵类炸药与硝甘类炸药相互竞争发展的基础。1885 年,法国开始将苦味酸用于装填弹药。1887 年,诺贝尔将硝酸铵加入达纳炸药,用于代替部分硝化甘油,制成了更加安全而廉价的“特种达纳炸药”。1919 年出现了以太安 $[C_5H_3(ONO_2)_4]$, 四硝化戊四醇,简称 PETN]为药芯的导爆索;1927 年在瞬发雷管的基础上研制成功了秒延期电雷管;1946 年研制成功了毫秒延期电雷管;1956 年库克发明了浆状炸药,解决了硝铵炸药的防水问题,世界工业炸药进入了以廉价硝酸铵为主体的硝铵类炸药新时期,其主要品种有多孔粒状铵油炸药、含水浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药等,大大推动了我国爆破工程技术的快速发展。1967 年瑞典诺贝尔公司研制的导爆管起爆系统,进一步增进了炸药起爆的安全性。

我国的工业炸药品种已由新中国成立初期的黑火药、硝铵炸药、硝化甘油炸药,发展到了铵梯炸药、铵油炸药、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药等多个工业炸药品种,此外还有新研制的膨化硝铵

炸药和粉状乳化炸药。工业炸药的生产工艺和产品质量也得到了不断提高,乳化炸药及粉状乳化炸药已实现全连续化及连续化生产,达到了国际先进水平。我国成功研制与推广应用了非电导爆管和工业导爆索、无起爆药工业雷管,并向瑞典诺贝尔公司转让了无起爆药工业雷管技术。工业雷管除了火雷管和瞬发雷管外,还发展了毫秒延期电雷管、非电雷管、高精度 30 段和 60 段的毫秒延期雷管,同时成功研制出了超高精度的电子延期雷管,缩短了我国雷管工业与国际先进水平的差距。乳化炸药及其相关技术已出口到瑞典、俄罗斯、德国、蒙古国、哈萨克斯坦、越南、缅甸、赞比亚等国,为国家经济建设作出了重大贡献。

我国是爆破器材生产和消耗大国,已经建立了比较完整的爆破器材生产、流通和使用体系。全国现有爆破器材生产企业 146 家,其中雷管生产企业 55 家。2010 年工业炸药产量达到 351 万吨,工业雷管产量达到 24 亿发,工业索类火工品产量达到 1.5 亿多米,油气井用、地震勘探用及特种爆破的爆破器材也有相当的规模。我国已于 2008 年 1 月 1 日起停止生产导火索、火雷管和铵梯炸药,自 2008 年 6 月 30 日起停止使用。这标志着我国爆破器材在科学发展观的指导下,进入到了一个依靠技术进步、提升民爆产品质量的发展新阶段。

1.1.2 我国爆破工程的现状与发展

我国爆破工程技术的发展与国家经济建设的需要和发展密不可分。新中国成立初期,国家为了恢复经济,发展生产,突出抓交通、矿山和水利工程设施的修复与建设工作。爆破工程技术在成渝铁路施工、大批矿山复产与开工以及治淮工程和荆江分洪水利工程建设中都发挥了巨大作用。然而,当时我国爆破工程技术十分落后,基本上处于以手风钻和钢钎人工打眼、装药放炮为主的阶段,而且爆破器材品种单一、性能低劣,使得爆破作业的工作效率低、劳动强度大、安全可靠性能差。

自 1955 年起,我国爆破工程开始步入新的阶段,主要体现在深孔爆破技术的逐渐推广应用及硐室爆破技术的引进和应用。例如,在矿山建设方面,于 1956 年聘请苏联专家在甘肃省白银厂铜矿采用大抵抗线集中药包实施了万吨级的爆破剥离任务;在铁路建设方面,将硐室爆破应用到了宝成线、广厦线等路堑开挖工程;在水利建设方面,1958 年起定向爆破筑坝技术在东川口水库、石郭溪一级水电站和南水水电站爆破工程中相继成功应用。这些都充分体现了爆破工程技术的蓬勃发展景象,为国家经济建设做出了重大贡献,为硐室爆破技术的发展与推广应用奠定了坚实的基础。但是,由于理论研究和普及工作跟不上形势发展的需要,爆破效果和工程质量不够理想,因此对硐室爆破技术的声誉也造成了一些不利的影晌。

1970 年以后,随着预裂爆破、光面爆破、水下爆破和城市建筑物拆除爆破的研究与应用,以及大爆破技术的日益成熟,爆破工程技术有了进一步的发展。1971 年,四川狮子山矿区露天大爆破是继白银厂大爆破后又一次达到世界水平的万吨级大爆破,总装药量为 10162.22 t,爆破量为 $114 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。1971 年 7 月,我国首次在辽宁清河热电厂供水隧洞进水口进行了岩塞爆破;1979 年 5 月,在丰满进行了国内规模最大的水下岩塞爆破工程,岩塞直径 11 m,装药量 4075.6 kg,爆破土石方 4419 m^3 。

航道疏浚是水下爆破的主要工程项目之一。早在新中国成立初期,为开通水上运输,对长江三峡航道进行了大量水下炸礁工作,经过十多年的努力,终于使三峡航道达到了夜航上水的程度。20 世纪 70 年代初,广州黄埔大濠洲 2km 航道 $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 水下炸礁的成功,创造了水下爆破水面作业国际先进水平的施工方法。

自 1958 年东北工学院(现为东北大学)井巷爆破教研室在国内首次应用定向控制爆破技术拆除钢筋混凝土烟囱之后,拆除爆破技术引起了普遍重视和全面推广。1973 年,北京铁路局采用控

制爆破拆除了旧北京饭店约 2200 m² 钢筋混凝土结构的地下室,并且保证了周围建筑群、交通和人员的安全。1976 年,中国人民解放军工程兵工程学院(现中国人民解放军理工大学)运用控制爆破技术安全地拆除了天安门广场两侧总面积达 1.2×10^4 m² 的三座大楼。这标志着城市拆除控制爆破技术已进入到一个新的阶段。1979 年,铁道部第四勘测设计院应用水压控制爆破,安全拆除了一个长 5.7 m、宽 3.6 m、高 2.7 m 和壁厚 0.5 m 的钢筋混凝土高压滤水罐。

近 20 年来,爆破技术水平有了很大提高,通过各类爆破工程的实践,积累了丰富的经验。例如,1990 年广东惠州港采用定向爆破方法成功进行了移山填海浸淤修筑码头,在这次爆破中采用小平面对形药包达到了缓坡地形的远距离抛掷,使岸、岛之间 230 m 海域实现抛石回填,有效抛掷率为 63%;1992 年 12 月 28 日,广东珠海炮台山的移山填海大爆破工程,总装药量近 1.2×10^4 t,一次爆破总土石方量达 1.085×10^7 m³,抛掷率为 51.36%,控制方向的飞石抛掷距离不超过 300 m,邻近 600 m 的民房没有被破坏,达到了安全要求,并在 90 个有效工作日内完成了设计施工任务。

随着凿岩机具的改进和优质安全爆破器材产品的系列化和配套的日臻完善,中、深孔控制爆破技术的推广应用产生了蓬勃生机,使原有的光面爆破、预裂爆破和微差爆破等爆破技术更为精湛,更为安全可靠,并且得到了更为广泛的推广应用。例如,广西柳桂高速公路超深孔高台阶光面爆破(台阶高达 27 m);青岛市环胶州湾高速公路山角村段一次实施了长 470 m、共 203 排、3080 孔的深孔拉槽控制爆破;大区多排微差爆破技术在大冶、南芬和水厂铁矿的应用,一次微差爆破段数达 100 余段,炮孔数超过 500 个的规模;港深公路梧桐山运营隧道二期工程超小硐距掘进控制爆破施工经验、葛洲坝工程二江电厂基础大面积(19000 m²)开挖深孔预裂爆破成缝防震的应用和长江三峡永久船闸 68 m 深的直立槽开挖的双重预裂(光面)、双重缓冲爆破技术等,都体现了该技术的最新进展和广阔的应用前景。

1980 年 4 月,我国将控制爆破技术应用于人体疾病的治疗,成功地进行了世界首例应用爆破碎石法治疗人体膀胱结石的临床手术。之后,又成功地进行了微爆炸破碎人体肝胆管内结石的临床手术。

在机电工程中,爆炸加工技术发展迅速,如爆炸成形、爆炸焊接、爆炸复合、爆炸切割等;利用爆炸能可以人工合成金刚石;在石油地质部门,爆破用于坑探、掘进、地震勘探、油井和气井爆破等;采用高温爆破法可清除高炉、平炉和炼焦炉中的炉瘤或破碎金属炽热物等。

爆破技术还在平整土地、造田、伐木、驱雹、深耕及森林灭火等方面得到了推广应用。在军事工程方面,爆破技术的应用也非常广泛。

1.2 爆破工程的主要研究内容

目前,爆破工程已从传统的岩土爆破渗透到了国民经济建设的各个领域,在国民经济建设的众多领域发挥了巨大作用,产生了良好的社会、经济效益,甚至已超越了常人对“爆破”的传统理解和认识。现代爆破工程的主要研究内容如图 1-1 所示。

爆破工程作为人类改造自然的有力工具,具有特定的工程对象和质量、安全、工期及主要技术经济指标等目标要求。项目密切结合工程实际,爆破效果要通过实践进行评价和检验。因此,爆破工程的设计和施工要做到技术可行、经济合理和安全可靠。

技术可行是指爆破设计方案所采用的各项技术在施工中是可行的,通过精心设计,能够达到预期的工程目标和各项要求。

经济合理是指爆破工程的设计和施工不仅能够实现工程项目提出的主要技术和质量指标,而且有可能降低爆破成本,避免因爆破不当引起额外和后期工作项目。

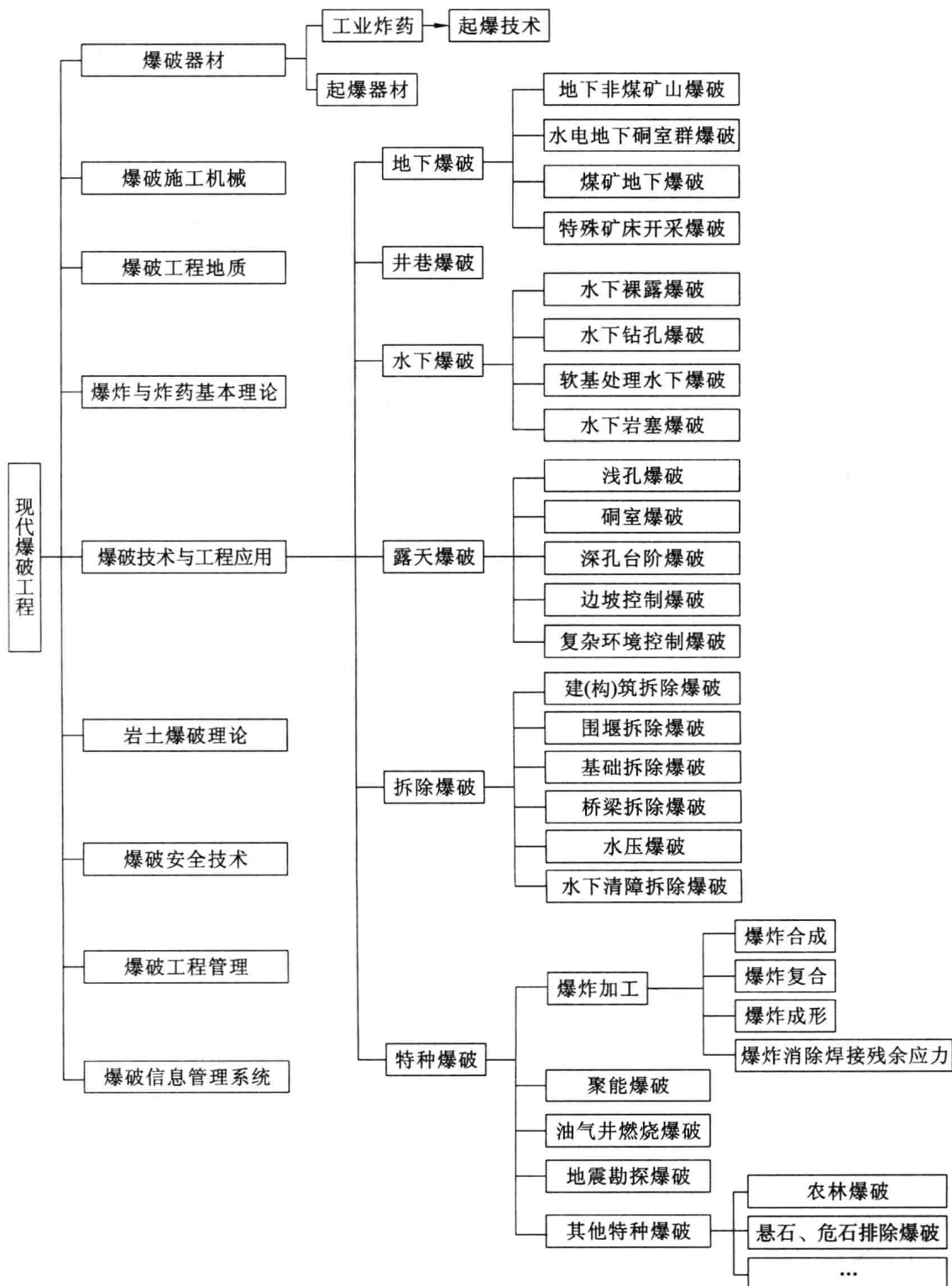


图 1-1 现代爆破工程的主要研究内容

安全可靠是指采取必要的安全防护和监测措施,保证爆破作业与环境安全,把爆破地震、空气冲击波、个别飞散物、有害气体、噪声、粉尘和对生态环境的不良影响等爆破公害限制在允许范围以内,以保证施工与爆破安全。

1.3 爆破方法和爆破技术的分类

爆破方法即爆破作业的步骤,是指先在要爆破的介质中钻出炮孔、开挖药室或在其表面敷设炸药,然后放入起爆雷管引爆。

根据敷设炸药方式的不同,爆破方法主要分为以下三大类。

(1) 炮孔法

在介质内部钻出各种孔径的炮孔,经装药、放入起爆雷管、堵塞孔口、连线等工序起爆的,统称炮孔法爆破。炮孔法是岩土爆破技术的基本形式。

(2) 药室法

它是先在山体内开挖坑道、药室,然后装入大量炸药的爆破方法。其一次能爆下的土石方数量几乎是不受限制的,在每个药室里装入的炸药有多达千吨以上的。药室法爆破广泛应用于露天开挖堑壕、填筑路堤、基坑等工程,特别是在露天矿的剥离工程和筑坝工程中能有效地缩短工期,节省劳动力,而且需用机械设备少,不受季节和地方条件的限制。

(3) 裸露药包法

它是一种不需要钻孔,直接将炸药包贴放在被爆物体表面进行爆破的方法。它在清扫地基的破碎大孤石和对爆下的大块石作二次爆破等工作方面具有独特作用,是常用的有效方法。

按药包空间形状,爆破方法分为以下四种。

(1) 集中药包法

当药包的最长边长不超过最短边长的4倍时,称为集中药包。集中药包法通常应用在药室法爆破和药壶法爆破中。集中药包起爆后产生的冲击波以均匀辐射状作用到周围的介质上。

(2) 延长药包法

当药包的最长边长大于最短边长或直径的4倍时,称为延长药包。实践中通常使用的延长药包,其长度要大于17倍药包直径。延长药包法常常应用于深孔爆破、浅孔爆破和药室中的条形药包爆破中。延长药包起爆后,爆炸冲击波以柱面波的形式向四周传播并作用到周围的介质上。

(3) 平面药包法

当药包的直径大于其厚度3~4倍时,称为平面药包。人们通常预先把炸药做成油毛毡或毛毡形状,使用时将其切割成块,包裹在介质表面,用于机械零件的爆炸加工。平面药包起爆后,大多数能量散失到空气中,只有与炸药接触的介质表面才受到爆炸作用,爆炸冲击波近似为平面波。

(4) 异形药包法

为了达到某种特定的爆破作用,可以将炸药做成特定的形状。其中,应用最广泛的是聚能爆破法。它是将装药的一端加工成圆锥形的凹穴或沟槽,使爆轰波按圆锥形凹穴或沟槽的表面聚焦在它的焦点或轴线上,形成高能射流,击穿与它接触介质的某一部位。这种药包可用于切割金属板材、大块岩体的二次破碎以及在冻土中穿孔等。

在上述爆破方法的基础上,根据各种工程目的和要求采取不同的药包布置形式和起爆方法,形成了许多各具特色的现代爆破技术,主要有以下几种。

(1) 毫秒延期爆破

毫秒延期爆破是20世纪40年代出现的爆破技术。它利用毫秒延期雷管或连接在起爆网路上的延期装置,可以实现延期的时间间隔,一般以13~25 ms为一个间隔时间段。通过不同时差组成的爆破网路,一次起爆后可以按设计要求顺序使各炮孔内的药包依次起爆,从而获得良好的爆破

效果。

毫秒延期爆破的特点是各药包的起爆时间相差很小,被爆破的岩块在移动过程中互相撞击,形成极其复杂的能量再分配,使岩石破碎均匀,缩短抛掷距离,减弱地震波和空气冲击波的强度。其既可改善爆破质量,不致砸坏附近的设施,又能提高作业机械的使用效率,获得较大的经济效益,在采矿和采石工程中有广泛的应用。

(2) 光面爆破和预裂爆破

光面爆破和预裂爆破是 20 世纪 50 年代末期,由于钻孔机械的发展而出现的一种密集钻孔、小装药量的爆破新技术。在露天堑壕、基坑和地下工程的开挖中,采用光面爆破或预裂爆破可使边坡形成比较陡峻的表面,使地下开挖的坑道面形成预计的断面轮廓线,避免超挖和欠挖,并能保持围岩的稳定。

实现周边光面爆破的技术措施有两种:一是开挖至边坡线或轮廓线时,预留一层厚度为炮孔间距 1.2 倍左右的岩层,在炮孔中装入低威力的小药卷,使药卷与孔壁间保持一定的空隙,爆破后能在孔壁上留下半个炮孔的痕迹;另一种方法是先在边坡线或轮廓线上钻凿与壁面平行的密集炮孔,首先起爆以形成一个沿炮孔中心线的破裂面,以阻隔主体爆破时地震波的传播以及应力波对保留面岩体的破坏作用。这两种爆破的效果无论是形成光面或保护围岩稳定,均比普通爆破好,是隧道和地下厂房以及路堑和基坑开挖工程中常用的爆破技术。

(3) 定向爆破

20 世纪 50 年代末期至 20 世纪 60 年代初期,在我国推行过定向爆破筑坝技术,3 年左右时间内用定向爆破技术筑成了 20 多座水坝。其中广东韶关南水大坝(1960 年)一次装药 1394.3 t,爆破土石方 226 万立方米,填成了平均高度为 62.5 m 的大坝,技术上达到了国际先进水平。

定向爆破是利用最小抵抗线在爆破作用中具有方向性的特点,设计时利用天然地形或人工改造后的地形使最小抵抗线指向需要填筑的目标。这种技术已广泛地应用在水利筑坝、矿山尾矿坝和填筑路堤等工程上。它的突出优点是在极短时期内通过一次爆破完成土石方工程挖、装、运、填等多道工序,从而节约了大量的机械和人力,费用省、工效高;缺点是后续工程难以跟上,而且受到某些地形条件的限制。

(4) 拆除控制爆破

它不同于一般的爆破工程,对由爆破作用引起的危害有更加严格的要求,多用于城市或人口稠密、附近建筑物群集的地区拆除房屋、烟囱、水塔、桥梁以及厂房内部各种构筑物基座的爆破,因此又称其为城市拆除爆破。

拆除控制爆破要求控制的内容是:① 控制爆破破坏的范围,只爆破建筑物需要拆除的部位,保留其余部分的完整性;② 控制爆破后建筑物的倾倒方向和坍塌范围;③ 控制爆破时产生的碎块飞出距离、空气冲击波强度和声响的强度;④ 控制爆破所引起的建筑物地基震动及其对附近建筑物的震动影响。

(5) 水下爆破

水下爆破是将炸药装填在海底或水下进行爆破工程的技术,是相对于露天爆破的另一个领域。疏通航道,炸除礁石,拆毁水下沉船、建筑物,开挖港口码头和航道基坑,以及处理码头堤坝的软弱地基等爆破,都属于水下爆破范畴。

水下爆破和露天爆破一样,都是用裸露、钻孔或药室装药等方法实现爆破目的的。不同的是水下施工比较复杂、困难,长期以来多由潜水员在水下进行钻孔和装药等技术作业。其工作范围既受水深的限制,又受潮汐水流的影响,效果欠佳。由于水作为介质的阻力远比空气大,因此计算装药

量时,还必须考虑水的深度影响才能保证爆破效果;同时水介质传播冲击波的能力也远大于空气,故附近若有其他水工建筑物时,多采取气泡帷幕方法作为防护手段,以降低水中冲击波的峰值压力。

20世纪80年代以来,我国成功试验了水下压缩爆破方法,即以水为传播压力的介质,压实水下淤泥等软土地基,用以代替过去用机械船挖除淤泥的清基方法,既经济又方便,有效地扩大了水下爆破的应用范围。

(6) 地下掘进爆破

地下掘进爆破不同于露天和水下爆破,它通常是在一个狭窄的工作面上进行钻爆作业。其特点是装药量少或使用做功能力低的炸药,多炮孔,装药量分散,爆破作用力均匀分布,属于前述松动爆破的情况。为最大限度地减少对围岩的破坏程度,它在技术上要求比较严格。

地下爆破从技术上分为两种:一是起掘进作用的掏槽爆破,在只有一个临空面的条件下,首先在工作面中央形成较小但有足够深度的槽穴,这个槽穴是整个地下坑道、隧道等施工开挖中的先导;二是使地下坑道形成一定横断面形状的成形爆破,爆破的作用力是在两个临空面上均匀分布的。成形爆破时除了要使炸落的岩石块度均匀,便于清碴,抛掷不太远,不致打坏支撑等外,还应保证坑道开挖限界外的围岩受到最小的破坏,以减少超挖的数量。

随着地下工业的发展,为开挖地下飞机场、库房、厂房等大面积空间工程,地下爆破技术正逐渐向大规模的大钻孔爆破技术方向发展,但目前地下大爆破技术经验较少。将光面爆破、预裂爆破技术应用于地下工程,促进了锚杆喷混凝土支护技术的发展,每次爆破的超挖量减少到了最低量,围岩的稳定性大为增加,使得地下工程获得了很好的经济效益。

1.4 工程爆破技术的发展趋势

对工程爆破技术的基本要求是在保证施工过程安全的条件下完成具体的爆破工程。爆破工程的高风险及其社会影响,使得从业技术人员除了要懂得应用一般爆破方法进行爆破设计施工外,还应具备较强的安全环保意识、良好的心理素质和一定的管理协调能力。爆破工程是万无一失的工程,爆破失败往往会造成极其严重的、难以弥补的后果和影响。为了适应社会发展和技术进步的要求,工程爆破技术正向着精确化、科学化和数字化的方向发展。

(1) 爆破技术的精确化

爆破装药的精确化将使药包在空间的分散更为合理,不仅有利于控制爆破效应,还能有效地提高破碎矿岩的质量,从而为后续工序创造了有利条件。

爆破控制的精确化还表现在城市建(构)筑物的拆除爆破中,通过精确设计爆破的药量及装药起爆方式,可以实现对建(构)筑物倾倒方向,倒塌范围,破坏区域,碎块飞散距离和地震波、空气冲击波等的有效控制。

爆破器材的发展进一步促进了起爆技术的精确化。高精度雷管可使对爆破毫秒延时间隔的控制提高到毫秒数量级以内,这对于改善爆破质量和控制爆破地震效应都具有重要意义。电子雷管的推广使用将使起爆精确度和安全性提高到更高的水平。

(2) 爆破技术的科学化

爆破理论落后于爆破技术发展的现状,近年来随着相关科学的进步和爆破理论的发展,尤其是计算机技术的广泛应用而有所改观。固体力学、工程力学等学科新理论的引进,数值计算、设计智能化技术和安全与量测技术等研究工作的进步,为研究岩石爆破的复杂过程提供了新的技术支持。