

岩土工程爆破技术

YANTU GONGCHENG BAOPO JISHU

■ 徐建军 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

岩土工程爆破技术

徐建军 著



北京
冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

本书简要介绍了爆炸与炸药基本理论、爆破器材与起爆方法及工程爆破原理,辅以大量工程实例重点介绍了地下工程爆破、露天工程爆破以及拆除爆破的理论与技术、设计与施工,以及安全技术和测试技术。

本书可供工程爆破技术人员和从事工程爆破施工的相关专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程爆破技术/徐建军著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-5024-6941-2

I. ①岩… II. ①徐… III. ①岩土工程—爆破技术 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 151773 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6941-2

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2015 年 7 月第 1 版, 2015 年 7 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 15.25 印张; 364 千字; 231 页

55.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

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

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

工程爆破是用炸药爆破矿岩或拆除建（构）筑物的一种工程施工手段。它在国民经济的许多领域，如矿山、交通、煤炭、化工、建材、石油勘探、水利水电等行业的土石方开挖和建筑物拆除工作中得到广泛应用。

随着国民经济建设的发展，我国对矿物原材料的需求日益增加，基础设施建设投资力度也剧增，西部地区的水电开发和大型土木工程项目建设更是如火如荼。爆破作为土石方开挖的常用手段得到了前所未有的应用，极大地促进了工程爆破事业的长足发展，在完成了一批重大工程和科研项目的时候，也提高了理论和技术水平，积累了丰富的经验。这些新技术、新成果的推广应用必将进一步推动工程爆破向新的领域和高度发展。

随着爆破技术的发展和爆破工程质量的提高，涉及的技术领域虽更为广泛，但炸药爆炸能的合理利用和有效控制仍是核心问题。几十年来，借助于计算机技术，结合现代新技术和新方法、新理论的发展，爆破理论研究向纵深和精细方向发展，但是关于爆破技术的研究的基本层面仍然主要集中在以下几个方面：矿岩物理力学性质与岩体结构特性对爆破的影响和爆破破碎特性，炸药在介质中的能量转换过程及分配规律，岩石参数与炸药参数的匹配关系，爆破方法与爆破参数，起爆顺序和合理间隔时间，爆破材料与工艺设备，以及安全技术等。

在一次工程爆破成功实施后，一位同事曾经问我，为什么我总是不假思索地指导工人钻孔、装药、连线、起爆，而且每次爆破效果都很好。实际上，每次工程爆破前我都会进行复杂的理论计算，再加上经过长期的工程实践，爆破理论和技术早已成竹在胸。只有熟悉掌握爆破理论，才能在爆破实施操作过程中得心应手、游刃有余。

本书是总结我在爆破行业几十年的工作经验之上，结合国内工程爆破发展现状编写而成的。本书系统地介绍了工程爆破的主要应用领域——地下工程爆破、露天工程爆破和拆除爆破的理论和技术。全书共分八章，主要阐述工程爆

破的理论基础和工程爆破方法在各种工程条件下的应用,根据内容需要,书中列举了有代表性的工程实例,有助于读者加深对爆破工程理论的理解和应用。

在编写过程中,我参阅了许多专家学者发表的专著和论文,引用了其观点和方法,书中对于引用的观点和方法的理解未必精准,如有必要读者可参阅原文。引用的论著在书中未能一一列举,但都列在参考文献中,在此对文献作者深表谢意。同时,也向给予我无私帮助的家人表示感谢。

我虽然力求反映现代工程爆破技术的先进性和代表性,但因工程爆破范围广泛,理论精深,又有很强的实践性,限于水平,书中难免有遗漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

徐建军

2015年3月

目 录

1 绪论	1
1.1 工业炸药和工程爆破的历史与现状	1
1.1.1 工业炸药的历史与现状	1
1.1.2 工程爆破的历史与现状	2
1.2 工程爆破的基本特点	4
1.3 岩土爆破方法和技术	4
1.3.1 岩土爆破方法	4
1.3.2 岩土爆破技术	6
1.4 工程爆破的发展方向	7
1.4.1 概述	7
1.4.2 工业炸药的发展方向	9
1.4.3 起爆方法的发展方向	15
1.4.4 露天台阶爆破的发展方向	20
1.4.5 精细爆破	26
2 爆炸与炸药基本理论	29
2.1 基本概念	29
2.1.1 爆炸和炸药的基本概念	29
2.1.2 炸药爆炸的三个基本特征	29
2.1.3 炸药化学反应的基本形式	29
2.2 炸药的起爆和感度	30
2.2.1 炸药的起爆与起爆能	30
2.2.2 炸药起爆机理	31
2.2.3 炸药的感度	31
2.2.4 影响炸药感度的主要因素	33
2.3 炸药的爆轰理论	33
2.3.1 冲击波理论	33
2.3.2 爆轰波理论	34
2.3.3 爆轰波稳定传播的条件	36
2.4 炸药的氧平衡与热化学参数	37
2.4.1 炸药的氧平衡	37
2.4.2 炸药爆炸反应方程式与爆炸产物	39
2.4.3 炸药的热化学参数	40

2.5 炸药的爆炸性能	40
2.5.1 爆速	41
2.5.2 威力	41
2.5.3 猛度	41
2.5.4 殉爆	41
2.5.5 管道效应	42
2.5.6 聚能效应	42
3 爆破器材与起爆方法	43
3.1 爆破器材	43
3.1.1 常用工业炸药	43
3.1.2 起爆器材	50
3.2 起爆方法	54
3.2.1 电力起爆方法	54
3.2.2 导爆索起爆方法	57
3.2.3 导爆管起爆方法	58
3.2.4 混合网路起爆法	60
4 工程爆破原理	61
4.1 岩石的基本性质及分级	61
4.1.1 岩石的基本性质	61
4.1.2 岩石分级	63
4.2 工程地质条件对爆破的影响	65
4.2.1 结构面对爆破的影响	65
4.2.2 地形对爆破的影响	66
4.3 爆破对工程地质条件的影响	66
4.3.1 爆破对保留岩体的破坏	66
4.3.2 爆破对边坡稳定性的影响	67
4.3.3 爆破对水文地质条件的影响	68
4.4 爆破工程地质勘察	68
4.4.1 爆破工程地质勘察的基本要求	68
4.4.2 爆破工程地质勘察的主要内容及方法	69
4.4.3 编写工程地质报告书	70
4.5 岩石爆破理论	71
4.5.1 岩体中的爆炸冲击波和应力波	71
4.5.2 岩石中的爆炸生成气体应力场	72
4.6 装药量计算原理	73
4.6.1 体积公式	73
4.6.2 标准爆破漏斗的装药量计算	74

4.6.3 利文斯顿理论装药量计算	74
4.7 影响爆破作用的因素	74
4.7.1 爆破条件和工艺对爆破作用的影响	75
4.7.2 炸药与岩石的匹配及对爆破作用的影响	77
4.8 爆破过程的数值模拟	78
4.8.1 概述	78
4.8.2 数值模拟的步骤	79
4.8.3 典型的爆破模型介绍	82
5 地下工程爆破	84
5.1 炮孔爆破	84
5.1.1 巷道掘进爆破	85
5.1.2 竖井掘进爆破	92
5.1.3 隧道掘进爆破	96
5.2 地下硐室开挖爆破	104
5.2.1 概述	104
5.2.2 开挖方法	104
5.2.3 地下厂房分层开挖	105
5.2.4 岩锚梁开挖爆破技术	107
5.3 光面爆破	110
5.3.1 光面爆破参数	110
5.3.2 光面爆破的施工和质量检验标准	113
5.3.3 影响光面爆破效果的因素	114
5.4 微差爆破	116
5.4.1 微差爆破间隔时间	116
5.4.2 微差爆破的安全性	117
6 露天工程爆破	118
6.1 露天台阶预裂爆破	118
6.1.1 预裂爆破参数设计计算	118
6.1.2 预裂爆破效果的评价标准	123
6.2 露天台阶爆破	123
6.2.1 微差爆破技术	123
6.2.2 宽孔距小抵抗线爆破技术	127
6.2.3 逐孔起爆技术	127
6.3 深孔台阶爆破施工技术	136
6.3.1 深孔凿岩方法与机具	136
6.3.2 施工组织设计	138
6.4 高边坡深孔爆破技术	141

6.4.1	确定边坡开挖施工程序的原则	141
6.4.2	边坡开挖爆破的基本方法及控制爆破技术	142
6.4.3	边坡开挖爆破的危害及其控制	142
6.4.4	确保边坡稳定的爆破允许标准	143
6.4.5	边坡开挖爆破安全监测	143
6.4.6	影响边坡爆破效果的主要因素	145
6.5	露天硐室爆破	148
6.5.1	硐室爆破的分类及其适用条件	148
6.5.2	硐室爆破设计原则与设计内容	149
6.5.3	爆破参数的选择和设计计算	155
6.5.4	起爆系统	160
6.5.5	施工技术	161
7	拆除爆破	164
7.1	概述	164
7.1.1	拆除爆破的要求	164
7.1.2	拆除爆破现状	165
7.1.3	拆除爆破的特点	166
7.1.4	拆除爆破工程的程序	166
7.2	拆除爆破的技术原理	167
7.2.1	拆除爆破的基本原理	167
7.2.2	拆除爆破的设计原则和方法	169
7.2.3	爆破参数	169
7.3	高耸圆筒形构筑物的爆破拆除	173
7.3.1	烟囱和水塔爆破拆除方案	173
7.3.2	爆破拆除工程设计	174
7.3.3	爆破施工安全措施	177
7.3.4	工程实例	178
7.4	厂房和楼房的爆破拆除	183
7.4.1	爆破拆除方案	183
7.4.2	钢筋混凝土框架结构倾倒或坍塌的条件	185
7.4.3	爆破参数设计	186
7.4.4	爆破施工及安全技术	188
7.4.5	工程实例	189
7.5	基础和薄壁混凝土的爆破拆除	196
7.5.1	基础的爆破拆除	197
7.5.2	薄壁混凝土的爆破拆除	198
7.6	水压爆破拆除	199
7.6.1	水压爆破机理	200

7.6.2	装药量计算	202
7.6.3	药包布置	204
7.6.4	水压爆破施工技术	205
7.6.5	工程实例	206
8	爆破安全技术和测试技术	211
8.1	爆破地震效应	211
8.1.1	爆破震动强度和安全参数的估算	212
8.1.2	爆破震动的破坏判据和降低爆破震动的措施	213
8.2	瓦斯和煤尘工作面的爆破安全技术	217
8.2.1	炸药爆炸引起瓦斯和煤尘爆炸的原因	217
8.2.2	瓦斯工作面的爆破安全技术	218
8.3	爆破测试技术	219
8.3.1	爆破测量内容与测试系统	219
8.3.2	爆破应力波与地震波参数测量	221
8.3.3	爆破空气冲击波参数测量	224
8.3.4	高速摄影测量	225
8.3.5	测量数据处理与分析	227
	参考文献	230

1 绪 论

1.1 工业炸药和工程爆破的历史与现状

1.1.1 工业炸药的历史与现状

众所周知,黑火药是我国四大发明之一,曾经享誉全球,延续了数百年之久。17 世纪前,火药主要用于战争;欧洲产业革命之后,开始应用于矿石开采。1865 年,瑞典化学家 Nitro Nobel 发明以硝化甘油炸药为主要组分的 Dynamite 炸药,工业炸药进入了多品种时代。随后奥尔森 (Olsson) 和诺宾 (Norrbein) 于 1867 年发明了硝酸铵和各种燃料制成的混合炸药,奠定了硝铵类炸药和硝甘类炸药相互竞争发展的基础。

20 世纪 50 年代中期,工业炸药进入了以廉价硝酸铵为主体的硝铵类炸药新的发展阶段,其主要标志是铵梯炸药、铵油炸药和浆状炸药的出现,并在工业上得到迅速的发展与推广应用,而硝化甘油炸药的生产及使用量日趋减少。继浆状炸药后,在 70 年代,水胶炸药和乳化炸药相继出现,形成含水炸药体系,其中乳化炸药是最具有发展前途的工业炸药品种。

1957 年,我国长沙矿山研究院等单位研究了粉状铵油炸药,1963 年以后铵油炸药得到了全面推广,70 年代中期铵油炸药在我国冶金矿山使用量已占炸药总消耗量的 70% 左右。在推广铵油炸药的过程中,科技工作者根据流化造粒技术研制生产了吸油率高的多孔粒状硝酸铵,而且制造应用了多种气动装药设备,例如,YC-2 型铵油炸药装药车和 FZY-1 型风动装药器。其后又研制应用了铵沥蜡炸药和铵松蜡炸药。我国从 1959 年开始研制浆状炸药,60 年代中期开始在矿山爆破作业中获得应用。70 年代我国开始大量使用浆状炸药,配合浆状炸药装药车与可泵送浆状炸药满足了露天爆破作业的需求。70 年代后期我国开始研制乳化炸药,不仅生产岩石型和煤矿许用型乳化炸药,而且独创了粉状乳化炸药;不仅有了露天型乳化炸药混装车,而且利用水环减阻技术发展了地下小直径乳化炸药装药车。研制开发了多品种乳化炸药、粉状乳化炸药、多孔粒状铵油炸药计算机控制连续化生产线。

粉状铵梯炸药是我国应用时间最长、用量最多的炸药品种,它的优点是比硝甘炸药安全性好,原料来源广,组成简单,成本低,使用方便,爆炸威力适中,可用于硬与中硬岩石的露天和地下开挖爆破。缺点是硝酸铵易吸湿结块,降低炸药的爆炸性能,其敏化剂对人体的生理机能会有严重影响,在炸药加工过程中,长期接触人员容易发生慢性中毒。2008 年我国已停止使用铵梯炸药,为了产品更新换代,经过从事硝铵炸药研究的科技工作者的不懈努力,逐渐形成了几种无梯的改良铵油炸药如膨化硝酸铵 (AN) 炸药、改性硝酸铵炸药、粉状乳化炸药以及乳化炸药等。

新中国成立初期我国只能生产导火索、火雷管和瞬发电雷管,经过科技工作者的努

力,很快就生产和应用了毫秒和秒延期电雷管。20世纪70年代我国又研制成功塑料导爆管及其配套的非电毫秒雷管,并在工程爆破中获得广泛应用。80年代中期我国根据电磁感应原理研制生产了磁电雷管,这种雷管在油、气井爆破作业中获得应用。近些年来,30段等间隔(25ms)毫秒延期电雷管已研制成功投入使用,低能导爆索(3.0g/m、1.5g/m)、高能导爆索(34g/m及其以上)、普通导爆索和安全导爆索已形成配套产品。油气井燃烧爆破、地震勘探爆破和许多特种爆破需用的爆破器材已形成产品系列。

2008年我国正式停止了工业火雷管和工业导火索的生产,同时停止了工业火雷管爆破系统在实际工程爆破中的应用,在全国爆破工程现场推广应用导爆管雷管爆破系统和电雷管爆破系统。30多年来,我国爆破器材取得了长足发展,其主要标志是:多孔粒状铵油炸药、含水浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药等新型工业炸药的发明及露天炮孔装药机械化;1~30段毫秒延时电雷管、塑料导爆管和毫秒延时非电雷管、电子雷管、低能导爆索和起爆药柱等新型起爆器材的出现。但与国外相比,除了部分产品达到或超过国际水平外,其余大部分都处在向国外产品学习、引进吸收和推广应用阶段,有待于进一步提高产品质量和精度,在工程实践中大力推广应用。

数码电子雷管是一种根据实际需要可任意设定延期时间并精确实现发火延期的新型电能起爆器材,具有使用安全可靠、延期时间精确度高、设定灵活等特点。目前我国的北方邦杰、京煤化工、山西壶化、久联集团、213所等单位均推出了各自的电子雷管产品,并已在爆破工程中获得初步应用。可以说数码电子雷管为推进我国爆破器材行业的技术进步和促进工程爆破行业的技术进步提供了有效的装备和手段。

就工业炸药来说,目前主要用于各类矿山开采,煤矿、非金属矿、金属矿炸药需求量占比为78.0%,其中煤矿开采用量最大,占炸药需求量的29.4%;其次是非金属矿和金属矿山,占比分别为24.9%、23.7%;用于铁路道路、水利水电等基础设施方面的炸药占比分别为6.4%、2.4%。

据2013年统计资料,我国生产各类工业炸药437.1万吨,各种工业雷管17.74亿发,各种工业索类火工品32.1亿米。每年爆破工程行业产值1300亿~1500亿元,已成为世界上工业炸药和爆破器材生产和使用的大国,并建立了比较完整的爆破器材生产、流通和使用体系,实现工业炸药、雷管的产品生产信息标识和对爆炸物品从生产、销售、储存、运输到使用的全过程动态跟踪管理,很多技术已经达到了世界先进水平,有些技术还处于领先地位。

1.1.2 工程爆破的历史与现状

从第一个五年计划开始,由于矿山铁道、水利水电工程等基础建设的迫切需要,我国研制出一批爆破工程设备和器材,逐步具备了独立从事大规模爆破设计和施工能力。例如,1956年的我国甘肃省白银露天矿建设的剥离硐室爆破,其炸药用量达15640t,爆破方量为907.7万立方米,这次大爆破为我国首次万吨级硐室大爆破,它的成功实施标志着我国在硐室爆破等大规模爆破领域达到了较高的技术水平。从此以后,硐室爆破在我国矿山、铁路、水利水电、公路等建设工程中获得了广泛应用。炸药用量小到几百公斤,大到几百吨,条形药室的容量可大到几千吨,甚至超过万吨。我国硐室爆破技术已处于世界领先地位,我国进行过三次万吨级硐室爆破,百次以上千吨级硐室爆破,千次以上百吨级硐

室爆破。其中采用条形药包进行硐室爆破规模最大的一次是 1992 年底在广东珠海炮台山实施的 1.2 万吨炸药的移山填海爆破工程,一次爆破的总方量达 1085 万立方米,抛掷率达 51.8%。在总结实践经验的基础上,研制出独具特色的 D-K-R 硐室爆破计算机设计系统,整理出一整套先进的施工工艺规范并纳入了国家标准。尽管近年来机械施工有取代大型硐室爆破的趋势,硐室爆破也由于爆破震动、噪声、冲击波影响和影响公众安全问题,对地质环境和生态影响也不容小觑,在国家对环境保护的要求越来越严格的形势下,爆破行业对硐室爆破项目的审批越来越严,但作为一种优势技术,在边远山区,仍可有所作为。

中深孔爆破技术已广泛应用于我国露天与地下矿山、铁路公路、水利水电建设的基坑路堑开挖工程,采石场、工业场地平整和大型长隧道的掘进等爆破作业中。矿山深孔爆破根据工程需要发展了毫秒爆破、挤压爆破、预裂爆破、光面爆破等。随着新器材、新设备的研发与推广,露天深孔爆破已迅速向大孔径、大规模、高台阶、高精度方向发展。例如,三峡工程永久船闸约 $1 \times 10^7 \text{ m}^3$ 深闸室开挖百米高稳定边坡控制爆破技术;京广复线大瑶山隧道 5m 深孔掘进爆破技术;南芬铁矿台阶爆破规模最大的一次毫秒爆破段数达 100 余段,炮孔超过 500 个,预装药量达 300t,矿岩爆破量超过 81 万吨,该矿还实现了 18m 高台阶深孔爆破技术的应用性试验,使我国的矿山深孔爆破技术提高到一个新的水平。近几年来,准格尔、安太堡等露天煤矿采用逐孔毫秒深孔爆破技术一次爆破规模达到上千吨炸药量;黑岱沟露天矿采用高台阶抛掷爆破技术,一次爆破炸药用量达 1500t,有效抛掷量为 $3.583 \times 10^7 \text{ m}^3$,单坑原煤产量由 $1.2 \times 10^7 \text{ t/a}$ 提高到 $3.1 \times 10^7 \text{ t/a}$,创造了该工艺单坑产量的世界纪录,工效每工由 92t 提高到 204t。

在城镇建筑物、构筑物和水工建筑的拆除爆破以及复杂环境深孔爆破中,控制爆破技术得到了空前的发展。实现了在城镇和复杂环境条件下深基坑开挖和高层楼房、高耸钢筋混凝土构筑物的爆破拆除,创造了许多新技术、新工艺和新方法,积累了经验。目前,在复杂环境中采用定向倒塌、双向折叠、三向折叠等控制爆破技术已成功拆除了近百座高 100m 以上的钢筋混凝土烟囱和数十座高 60m 以上的大型冷却塔。在高大建筑物方面,典型工程如中山石岐山顶花园(高 104.1m)楼房爆破拆除、大连金马大厦(高 94.3m)爆破拆除以及上海长征医院综合楼爆破拆除等工程,沈阳五里河体育馆(建筑面积 40000m²),爆破拆除工程一次准确起爆超过 1.2 万个炮孔。

爆破安全是工程爆破的重中之重,因此爆破安全的研究也备受重视。在进行工程施工时,除对爆破震动及降震技术进行研究外,许多重要或复杂环境下的爆破工程普遍进行了安全监测。在安全技术上也有不少开发性的成果,例如干扰降震技术、城市拆除爆破的粉尘控制与噪声控制技术等,努力减少爆破对生态环境的破坏。

在工程爆破管理方面,1986 年以来先后制定并颁布实施了《爆破安全规程》等国家标准,在最近十年中我国进行了两次《爆破安全规程》的修编,把安全管理提升了一个新的高度。为了提高工程爆破技术人员的技术水平,提升爆破队伍的整体素质,加强爆破行业的安全管理,自 1996 年以来,中国工程爆破协会协助公安部先后对近 4 万名爆破工程技术人员进行培训考核,并实行持证上岗制度。为适应市场经济发展需要,对爆破企业、爆破项目、爆破技术人员实行分级管理,对重大爆破工程的设计施工进行安全评估,逐步推行爆破工程安全监理制度。这些制度的实施使爆破安全管理更加规范化,有力地推

动了工程爆破的健康发展。

1.2 工程爆破的基本特点

工程爆破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。爆破工作者除了应用一般的爆破方法去进行爆破施工外,还应掌握一定的技术手段才能达到工程实施的目的。

工程爆破主要包括岩土爆破、拆除爆破、特种爆破以及在特种工作条件下进行的爆破技术,如地震勘探爆破、油气井燃烧爆破及爆炸加工技术等,还包括为爆破工作配套的钻孔机械设备、装药设备和计算机辅助设计技术。本书主要涉及岩土爆破和拆除爆破方面的内容,关于其他特种爆破技术请参考相关的专业书籍。

工程爆破涉及的领域极其广泛,内容丰富,方法手段繁多,且作业环境条件极其复杂,决定了工程爆破具有以下基本特点:

(1) 工程爆破是一种高危险的特殊行业。工程爆破必须使用炸药和雷管等爆炸物品,工程爆破施工中购买、运输、存储、使用炸药等是必不可少的工作环节,爆破工作中设计、钻孔、装药与网路连接环节较多,爆炸是在瞬间完成的,爆破的效果取决于前期所有的工作细节,工作过程一直伴随爆炸物品,充满风险且极具特殊性。

(2) 爆破工作环境复杂。工程爆破一般都是在特定环境条件下实施的,且大部分环境要求苛刻。要求爆破工作者工作胆大心细,熟悉爆破器材特性,而且使用先进的爆破器材提高爆破的精度和效果。特别是在城市拆除爆破工程中,受环境限制要控制爆破噪声、飞石和爆破粉尘,在爆破设计、防护、环保等方面要措施得当,精心设计倒塌方式和严格控制药量,降低爆破对环境的影响。

(3) 对爆破器材有特定的要求。不同工程爆破使用的爆破器材品种有所不同,但是对爆破器材的质量、性能的要求是一致的。例如对雷管的准爆率、延期精度及炸药的爆炸性能的可靠性都会有严格要求。

(4) 工程爆破施工环节多而复杂。工程爆破首先要熟悉爆破对象的特性及爆破要求,收集有关资料;然后进行爆破设计,设计包括技术设计、施工图设计、设计审查和安全评估;施工阶段包括钻孔、装药、爆破网路的连接、起爆、警戒、震动检测等诸多环节。每一个环节都必须认真对待才能达到爆破目的和安全效果。

(5) 爆破从业人员必须经过培训考核,并持证上岗,遵守《中华人民共和国民用爆炸物品管理条例》和《爆破安全规程》。

1.3 岩土爆破方法和技术

在工程爆破中岩土爆破是最基本的类型,它的方法和技术是其他各类爆破技术的基础。

1.3.1 岩土爆破方法

爆破方法的分类通常按药包形状和装药方式与装药空间形状的不同分为两大类。

1.3.1.1 按药包形状分类

按药包形状分类即按药包的爆炸作用及其特性进行分类,可分为以下四种爆破方法:

(1) 集中药包法。这种药包的形状理论上应是球体,起爆点在球体的中心,爆轰波以辐射状球面波形式向外传播,爆炸作用均匀地分布作用到周围的介质上,在工程实际中通常把药包做成正方体或长方体形状,长方体的最长边不超过最短边的4倍。通常把集中药包的爆破叫做药室法和药壶法。

(2) 延长药包法。根据施工条件将药包做成长条形,可以是圆柱状也可以是方柱状,从爆炸作用上看,延长药包的爆轰波是以柱面波向四周传播并作用到周围介质上。通常把药包长度大于最短边或其换算直径4倍的药包叫做延长药包。但实践表明,真正起延长爆破作用的药包,其长度要大于最短边或换算直径的20倍。在实际应用中,浅孔法、深孔法和硐室爆破中的条形药包爆破法都属于延长药包法。

(3) 平面药包法。理想的平面药包一般理解为药包的长度和宽度比厚度要大得多。这样的药包布置在实际工程操作中往往难以实现,所以理想的平面药包实际上是以等效的硐室或炮孔装药法代替,这些药包布置在同一平面上的距离不超过某一极限值。平面装药法的主要优点在于平面药包爆破时,岩石将沿着岩体临空面的法线方向运动,能显著地提高抛掷的定向性和密集性,通常用于矿山剥离工作、爆破法筑坝(堤)及其他爆破工程中。

(4) 异形药包法。将炸药做成特定形状的药包,用以达到特定的爆破作用。应用最广的是聚能爆破法,把药包外壳的一端加工成圆锥形或抛物面形的凹穴,使爆轰波按圆锥或抛物线形凹穴的表面聚集在它的焦点或轴线上,形成高能高速射流,击穿与它接触的介质的某一特定部位。这种药包在军事上用作破甲弹以穿透坦克的外壳或其他军事目标,在工程上用来切割金属板材、大块的二次破碎以及在冻土中穿孔等。

1.3.1.2 按装药方式与装药空间形状分类

按装药方式与装药空间形状分为以下四种爆破方法:

(1) 药室法。药室法爆破根据在岩体内开挖药室体积的大小,分为方形药室法、分集药室法和条形药室法三种,每个药室装入的炸药的容量,小到几百公斤,大到几百吨,条形药室的容量可大到几千吨。这是大量土石方挖掘工程中常用的爆破方法。由于这种方法所需要的施工机具比较简单,不受地形和气候条件的限制,工程量越大其功效也越高。

(2) 炮孔法。通常根据钻孔孔径和深度的不同,把深度大于5m、孔径大于50mm的炮孔爆破叫做深孔爆破,反之称为浅孔爆破或炮孔法爆破。从装药结构看,属于延长药包一类,是工程爆破中应用最广、数量最大的一种爆破方法。在矿山上广泛使用深孔爆破,配合先进的钻孔机械和现场装药系统,可使岩土爆破作业效率大大提高。

(3) 药壶法。该法是在普通炮孔的底部,根据设计要求分次装入少量炸药进行不堵塞的爆破,使孔底逐步扩大成圆壶形,以求达到装入较多药量的爆破方法。随着现代土石方爆破机械化水平的提高,药壶爆破的运用领域有所减小,只在某些特殊工程中应用。

(4) 裸露药包法。该法不需钻孔,直接将炸药敷设在被爆物体表面并加以简单覆盖。这种方法对于清除危险物、交通障碍以及大块石的二次破碎爆破是简便而有效的。由于该法炸药爆炸能量利用率低,噪声较大且易产生飞石等缺点,使用的机会越来越少。

对于爆破工作者来说,掌握上述几种爆破方法并不困难,但要灵活运用这些方法去解决爆破工程中的各种复杂的工程问题,却并不容易。熟练地掌握各种爆破技术,既要具有一定的工程力学、物理、化学和工程地质知识,还要有一定的施工工艺经验的积累。一个

合格的爆破工程师,首先应熟悉各种爆破器材的性能和参数、被爆介质的物理力学性质、爆破作用原理、爆破方法、起爆方法、爆破参数计算原理、施工工艺方面的知识,同时还要熟悉爆破时所产生的地震波、空气冲击波、碎块飞散和破坏范围等爆破作用规律,以及相应的安全防护知识。

1.3.2 岩土爆破技术

1.3.2.1 定向爆破

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与堆积的方向和位置,有时还要求堆积成待建(构)筑物的锥形(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,还要从力学原理上考虑爆破时各部位的起爆时差、受力状态以及对周围建筑物的危害程度等一系列复杂的问题。

1.3.2.2 预裂爆破、光面爆破

通常把预裂和光面两种爆破技术相提并论,这是由于两者的爆破作用机理极其相似,光面、预裂爆破的目的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,在爆破开挖前实行预先的爆破,使沿着开挖部分和不需要开挖的保留部分的分界线爆开一道缝隙,用以隔断爆破作用对保留岩体的破坏,并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。

1.3.2.3 微差爆破

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,减少地震波、空气冲击波的强度和碎块的飞散距离,得到良好的便于清挖的堆积体。

掌握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;反之可能造成不良后果,达不到设计目的,甚至出现拒爆、增大地震波的危害等事故。非电毫秒雷管,结合非电导爆管可组成多段别的起爆网路,数码电子雷管和磁电雷管的应用,为微差爆破实现精确时间控制提供了物质基础。

1.3.2.4 控制爆破

狭义的控制爆破的含义只要求它满足控制爆破的方向、倒塌范围、破坏范围、碎块飞散距离和地震波、空气冲击波等条件。城市拆除爆破只是控制爆破领域内的一个组成部分。

实现控制爆破的关键在于控制爆破规模和药包质量的计算与炮孔位置的安排,以及有效的安全防护手段。进行控制爆破炸药不是唯一的方法,燃烧剂、静态膨胀破碎剂以及水压爆破,都可以归纳为控制爆破之中,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。

1.3.2.5 聚能爆破

炸药爆炸的聚能原理及其所产生的效应,开始是用于穿甲弹等军事目的,后来用于特种工程爆破中。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,它只能将炸药爆炸的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呈现聚能效应。聚能爆破技术的使用要比一般的工程爆破要求严格,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。

1.3.2.6 其他特殊条件下的爆破技术

爆破工作者有时会遇到某种不常见的特殊问题,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,这时需要根据掌握的爆破作用原理与工程爆破的基础知识,大胆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、精心施工的原则组织工程施工,解决工程难题。因为爆破工程与其他工程有所不同,在1~2s之内爆破效果就能显现,方法不恰当的爆破,会造成很严重的后果,爆破过程不可逆转性,即使采取补救措施也无济于事。

1.4 工程爆破的发展方向

1.4.1 概述

长时间的研究与应用实践表明,工程爆破正在向自动化、科学化和数字化方向发展。

(1) 爆破工程施工机械装备的机械化和自动化。我国现有大中型露天矿深孔爆破的钻孔、装药、填塞、铲装、运输工序已实现了机械化作业,但仍需要迅速发展卫星定位系统、测量新技术,实现配套推广,提高自动化程度。国外一些主要矿山已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。大力发展炸药现场混装车,进一步提高装药、填塞机械化水平。

一般来说,露天混装系统包括多孔粒状铵油炸药混装车、乳化炸药混制装药车、重铵油炸药装药车。其混制装药设备与技术已经比较成熟,应用范围也比较广泛。但是,近年来随着乳胶基质视作硝酸铵水溶液,允许作为非炸药类危险品在公路上运输,乳胶远程配送系统与重铵油炸药装药车,已成为一个重要发展方向,其应用范围越来越广泛。

在地下矿山采掘和隧道掘进爆破作业中,炮孔直径通常为32~60mm。由于高黏度乳胶基质在小直径软管中输送阻力过大和小直径炮孔内快速敏化技术的限制,使得乳化炸药散装装药技术在地下爆破作业中难以实现。近年来,水环减阻技术和小直径软管快速渗混敏化技术的突破,为乳化炸药地下散装系统成功应用提供了可靠的技术条件,澳大利亚Orica公司和我国北京矿冶研究总院各自独立地推出了乳化炸药地下装药车系统,并在地下矿山和隧道掘进中获得了推广应用。

(2) 爆破器材向高质量、多品种和生产工艺连续化发展。就工业炸药而言,要发展完善铵油炸药、重铵油炸药、乳化炸药、粉状乳化炸药和膨化硝铵炸药,使其在密度威