

硐室与沟槽爆破

谢飞鸿 万世明 著

CHAMBER AND
TRENCH BLASTING



国防工业出版社

National Defense Industry Press

硐室与沟槽爆破

谢飞鸿 万世明 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是对超大抵抗线硐室大爆破高效开采料石、硐室爆破卸载治理滑坡、沟槽爆破技术的研究与总结。主要内容包括起爆器材及使用方法、硐室爆破的基本方法、超大抵抗线硐室大爆破的工程应用、硐室爆破卸载治理滑坡的技术方法、沟槽爆破的设计与施工方法。本书在介绍爆破器材、硐室爆破方法的基础上,着重介绍抵抗线硐室大爆破、爆破卸载治理滑坡的技术方法、窄沟槽爆破的工程实例。对于类似工程的设计与施工,具有一定的参考和指导价值。

本书可以作为从事爆破工程施工、研究人员选取爆破参数的参考书。对于沟渠、管线的施工工程的设计,具有很好的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

硐室与沟槽爆破/谢飞鸿,万世明著. —北京:

国防工业出版社,2016.2

ISBN 978-7-118-10175-1

I. ①硐… II. ①谢… ②万… III. ①硐室爆破
IV. ①TB41

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第287396号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 7 字数 250 千字

2016年2月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 50.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

由于条形药包硐室爆破具有爆破能量分布均衡、能量利用率高、岩石破碎均匀、松动效果好等特点,近年来应用较为广泛。条形药包爆炸应力波波阵面形状呈轴对称分布,爆破作用力具有很好的定向性,主要集中在药包径向,即条形药包在装药部位的能量是均衡分布的,而条形药包端头的破碎和抛掷作用较弱,这就是通称的条形药包的端头效应。为了改善条形药包端头径向爆炸能量分布,提高药包端头破碎效果,即爆区侧向破碎范围,需对端头的装药形式及装药量作特殊处理。优化设计硐室爆破的计算参数,调整装药结构、装药位置及条形药包的装药量,合理利用已掘进成形的药室形状,采用条形聚能药包进行超大抵抗线硐室大爆破,对于条形药包的端部采用加大条形药室端部药量的措施,采用类哑铃形装药结构,可以实现安全、高效的大抵抗线硐室大爆破工程。

目前国内外在防止和处理滑坡方面,常用的方法:①在滑坡体下部修筑挡土墙;②在滑坡体上打桩加固;③改善滑坡地区介质的物理性质,以预防滑坡,如用化学方法加固松散的滑坡体,以增加坚固性;④削方卸载,即用人工或机械的方法削除产生滑移动力部分的土体,增加抗滑部分土体的重量和长度,以提高抗滑稳定安全系数。但是这些方法都存在一个共同的弱点,即需要时间长、费用高、劳动强度大等。和上面这些方法相比,用定向爆破来处理滑坡相对来说更经济,更有效。定向爆破处理不稳定土体,即将滑坡体上部土体抛掷到坡脚(所谓的削头压脚),用来降低坡体的重心达到治理滑坡的目的。

在爆破药包装药量、爆破作用指数、最小抵抗线等爆破参数的选

择中,采用反分析法,即用条分法对预计爆后土体形状进行稳定性检算,从而确定爆破参数。采用体积平衡法确定爆破后地面堆积线;采用条形药包方案,最大单响药量控制及硐外大间隔等微差起爆等方法,以减弱爆破的振动效应,达到控制爆破的目的。

目前深窄沟槽施工项目多采用沟槽渐进爆破开挖(即梯段分层爆破开挖)、中心掏槽全段面开挖、浅孔台阶爆破开挖、深孔台阶爆破开挖、光面沟槽爆破开挖等方法,这些开挖方法存在着开挖效率低,成槽效果差,飞石较远,爆破振动大,易对周围环境造成危害等缺点。结合具体工程实际,通过现场爆破试验,确定了沟槽底宽度与内部作用药包药量关系公式、沟槽上口宽度与爆破漏斗半径关系公式、孔距与深窄沟槽底部药包爆轰岩石破裂圈半径关系式等多个关系式,及炮孔底部装药长度、底部药柱装药集中度、炮孔上部装药长度、上部药柱装药集中度、孔间等间隔微差起爆时间、个别飞石安全距离等施工参数。

工程爆破在工程建设、灾害处理中应用广泛,本书主要介绍大抵抗线硐室爆破的料石开采,硐室爆破的滑坡治理、窄沟槽开挖爆破的技术研究和工程实践。本书分为6章。内容简介、前言、第1~3章、6.1~6.5节由成都大学万世明成稿;第4章、第5章、6.6节及其余内容由成都大学谢飞鸿成稿。第1章为绪论;第2章主要介绍起爆器材及起爆方法;第3章主要介绍硐室爆破的基本方法;第4章主要介绍超大抵抗线硐室大爆破的工程应用;第5章主要介绍硐室爆破卸载治理滑坡;第6章主要介绍沟槽爆破。

本书详细讲解了起爆器材的使用方法、大抵抗线硐室大爆破、爆破卸载治理滑坡的技术方法、窄沟槽爆破,对爆破工程的研究和工程应用有一定的参考价值。本书可以作为从事爆破工程施工、研究人员选取爆破参数的参考书。

本书在写作过程中得到了中国工程院院士汪旭光教授、北京科技大学于亚伦教授、成都大学寇智勇教授的指导与帮助;本书的出版得到了国防工业出版社和成都大学的大力支持;书中的部分内容和

部分插图得到了朱礼臣、孙伟、刘京学、郭磊、王换强、曹光辉、许绍平、陈蓓等同学的帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2016 年 1 月于成都

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 大抵抗线硐室爆破的工程应用	1
1.2 硐室爆破的滑坡治理	3
1.3 深窄沟槽爆破的工程应用	6
第 2 章 起爆器材及起爆方法	10
2.1 起爆器材	10
2.1.1 火雷管	10
2.1.2 电雷管	12
2.1.3 电子雷管及其起爆系统	24
2.1.4 导火索	28
2.2 起爆方法	32
2.2.1 火雷管起爆法	32
2.2.2 导爆索起爆法	38
2.2.3 导爆管起爆法	44
2.2.4 其他新型起爆方法	58
第 3 章 硐室爆破的基本方法	61
3.1 硐室爆破的特点及应用范围	61
3.2 硐室爆破分类	62
3.3 设计程序	62
3.4 药包布置	67
3.4.1 剥离爆破的药包布置	67
3.4.2 路堑爆破药包布置	75
3.4.3 定向抛掷爆破的药包布置	78

3.4.4 药包布置对边坡的影响	81
3.5 爆破参数选择与计算	82
3.5.1 爆破参数选择及布药计算	82
3.5.2 装药量计算	86
3.5.3 爆破漏斗计算	87
3.5.4 爆破漏斗作用半径	87
3.5.5 可见漏斗深度	89
3.5.6 爆破土岩方量计算	90
3.6 施工设计	91
3.6.1 药室与导洞的设计	92
3.6.2 装药和药包结构	93
3.6.3 填塞设计	94
3.7 装药堵塞	95
3.7.1 装药堵塞分解图的绘制	95
3.7.2 洞内的标定工作	96
3.7.3 起爆体加工	96
3.7.4 准备工作	96
3.7.5 装药堵塞	97
3.7.6 保护线路	97
3.7.7 验收	98
3.8 起爆网路与爆戒	98
3.8.1 网路的形式	98
3.8.2 网路施工	98
3.8.3 起爆电源	99
3.8.4 起爆站	99
3.8.5 警戒与起爆	99
3.9 药壶爆破法	100
3.9.1 药壶爆破法的原理和应用条件	100
3.9.2 扩大药壶的工艺	102

3.9.3 药壶爆破法的设计计算	104
第4章 超大抵抗线硐室大爆破的工程应用	108
4.1 问题的引出	108
4.2 工程概况	109
4.3 主要技术措施	116
4.3.1 根据地形及施工能力优化爆破参数设计	116
4.3.2 条形药室端部处理	117
4.3.3 合理确定起爆顺序	118
4.4 导硐设计	120
4.5 硐室爆破法技术设计	121
4.5.1 硐室、药室断面设计	122
4.5.2 硐室的掘进	122
4.5.3 掘进硐室时的装药结构设计	123
4.5.4 装药堵塞设计	124
4.5.5 安全计算	126
4.5.6 起爆网路	126
4.6 施工组织设计	130
4.6.1 编制依据及编制原则	131
4.6.2 工程概况	131
4.6.3 安全及质量目标	132
4.6.4 主要施工工序	132
4.7 主要施工工序的具体操作办法	134
4.7.1 “三通一平”	134
4.7.2 硐室开挖的劳动组织	136
4.7.3 装药堵塞阶段劳动组织	136
4.7.4 开竣工日期及施工安排	137
4.7.5 本工程人工、材料、机械消耗	137
4.7.6 机械使用及人员配置	139
4.7.7 硐室掘进主要施工工序	143

4.8	安全技术措施	144
4.9	爆破效果分析	153
第5章	硐室爆破卸载治理滑坡	162
5.1	滑坡的危害	162
5.1.1	滑坡及其形态特征	162
5.1.2	滑坡的形成条件及影响因素	163
5.1.3	滑坡分类及稳定分析	164
5.1.4	滑坡防治原则	168
5.2	定向爆破的基本方法	169
5.2.1	基本原理	169
5.2.2	定向爆破的分类	171
5.3	定向爆破治理滑坡的工程实例	177
5.3.1	地质概况	177
5.3.2	滑坡产生的地质条件	179
5.3.3	滑坡稳定分析与检算	179
5.3.4	爆破参数的确定	181
5.3.5	起爆网络设计	184
第6章	沟槽爆破	186
6.1	沟槽爆破的发展现状和应用	186
6.2	爆破试验及爆破参数	194
6.3	个别飞石安全距离检算与控制	201
6.4	爆破震动速度安全检算与控制	201
6.5	爆破参数选择	202
6.6	某深窄沟槽爆破开挖一次成型技术的工程应用	203
参考文献		212

第1章 绪 论

1.1 大抵抗线硐室爆破的工程应用

对大抵抗线硐室爆破的研究,将提高硐室爆破的工程效果、爆破效率,增强爆破施工安全,研究、探索超大抵抗线技术措施在爆破工程的应用,对硐室爆破的进一步发展具有十分重要的现实意义和实用价值。

硐室爆破技术在新中国经济建设中的应用和发展经历了三个阶段。条形药包装药设计标志着中国硐室爆破技术发展已经进入了第三发展阶段。现在的硐室爆破将不再需要很多大型机械设备,集中实施作业的时间也在逐渐地缩短。同时由于硐室爆破一次爆破装药量大,爆破对周围地区的影响控制程度的要求较以往高,其设计精度越来越高,使用范围及装药量也将受到一定的限制。

现阶段中国工程爆破科技发展的特点:

(1) 随着工程爆破技术和理论研究的不断进步、应用和影响范围不断扩大,工程爆破已成为国民经济建设中不可缺少的特种行业。

(2) 爆破器材发展迅速且不断创新,爆破器材品种和质量均能满足中国工程爆破需要,其发展促进了中国工程爆破的发展。

(3) 在行业协会的统一部署和组织下,中国工程爆破的国际交流不断加强,国际影响日益扩大。

(4) 爆破安全技术的管理有了新的提高,爆破安全管理队伍的素质不断得到提高。

(5) 工程爆破技术力量雄厚,从事工程爆破的单位较多,队伍

较大。

随着国民经济持续稳定的发展,特别是中国加入 WTO,中国工程爆破科技将面临如下机遇:国民经济持续、稳定、健康地发展为工程爆破科技的发展创造了宽松的环境;国家宏观战略部署(如实行西部大开发、南水北调等)和中国城市建设步伐的加快给中国工程爆破科技的应用和发展提供了广阔的市场空间。

随着国民经济的快速发展及国家总体战略部署的调整,中国工程爆破科技的发展必须确立新的发展方向。总的来说,中国工程爆破科技应向安全、高效、快捷、低耗、准确、精细、环保、科学化、数字化、系统化的方向发展。本着先进性、关键性、实用性相结合的原则,当前在爆破工程的重要领域中重点发展以下几个方面:

- (1) 发展爆炸能量控制技术,降低炸药能量转化过程中的损失。
- (2) 推进工程爆破安全技术的发展。
- (3) 发展工程爆破基础理论研究和爆破技术研究,特别是工程爆破的计算机模拟研究,并指导或预测工程爆破实践。
- (4) 关注环境及生态保护,降低工程爆破作业的有害效应。

由于条形药包硐室爆破具有爆破能量分布均衡、能量利用率高、岩石破碎均匀、松动效果好等特点,近年来应用较为广泛。因为条形药包爆炸应力波波阵面形状呈轴对称分布,爆破作用力具有很好的定向性,主要集中在药包径向,即条形药包在装药部位的能量是均衡分布的,而条形药包端头的破碎和抛掷作用较弱,这就是通称的条形药包的端头效应。为了改善条形药包端头径向爆炸能量分布,提高药包端头破碎效果,即爆区侧向破碎范围,应对端头的装药形式及装药量作特殊处理。

根据爆区的地形地貌及地质条件,合理选定具体的作业范围。由于各地的地形地貌及地质条件各异,有些施工地点十分复杂,因此在进行施工前首先必须对爆区的地形地貌及地质条件有全面、正确的认识。硐室掘进施工结束后,对各主硐、装药硐室进行准确复测,

必要时要进行震动测试,以校核药室实际抵抗线长度,以便更准确地确定爆破参数,为制定科学、合理的工程方案提供翔实的理论依据。到目前为止,还没有见到 42m 以上抵抗线硐室大爆破研究的公开报道。而我们正在进行的是 50m 以上抵抗线硐室大爆破的工程实践与应用研究。

1.2 硐室爆破的滑坡治理

地质灾害是各种灾害中破坏力较严重的一种。据估计,我国由地质灾害造成的损失占各种灾害总损失的 35%。在地质灾害中,崩塌、滑坡、泥石流及人类工程活动诱发的浅表性地质灾害造成的损失占到 1/2 以上,每年约损失 200 亿元,而且大多集中在我国中西部山区和高原地区,这对我国经济建设重点逐渐向中西部发展的战略有重要的影响,必须予以足够重视。

因此,必须大力加强人类工程活动与地质环境互馈作用机理及对策的研究,不仅研究现有地质环境对于待修工程建筑物的作用,还必须重视研究工程建筑的修建和使用对地质环境的影响和改变,预测这种变化的趋势和结果,从而保证工程建筑物的稳定和正常使用,同时要使地质环境向良好、平衡方向发展,而不致诱发新的地质灾害,使人类工程建设达到可持续发展的目标。

滑坡是一种常见的自然灾害,是指斜坡上的岩、土体在重力的作用下,沿着斜坡内部一定的滑动面(或滑动带)整体下滑,且水平位移大于垂直位移的坡体变形。

滑坡是山区铁路、公路、水库及城市建设中经常遇到的一种地质灾害。例如成昆铁路全长 1085km,先后出现 183 处滑坡。其中属于自然地质灾害的 106 处,约占滑坡总数的 58%;属于工程活动引发的人为地质灾害 77 处。宝成铁路宝鸡—广元段长 247km,发生的主要地质灾害为滑坡和崩塌,自 1957 年交付运营至 1984 年,整治地质灾

害的费用已达 3.85 亿元,几乎等于该线修建时的造价。由此可见地质灾害造成的损失和危害之大。

对滑坡的防治原则应是以防为主、整治为辅;查明影响因素,采取综合整治;一次根治,不留后患。在工程位置选择阶段,必须进行详细的地质勘测工作,对可能产生的新滑坡,采取正确、合理的工程设计,避免新滑坡的产生;对已有的老滑坡要防止其复活;对正在发展的滑坡进行综合治理。整治措施应在查明滑动原因、滑动面位置等主要问题的基础上有针对性地提出。

在对滑坡体的稳定分析中通常有直线滑面法和圆弧法两个大类。①直线滑面法主要是对于均质黏性土或成层的非均质黏性土构成的土坡,滑坡时其滑面接近于平面,在横断面上为一条直线。对于透水土构成的路堤,如砂砾和卵石路堤或其他土坡,或某些透水土虽具有一定的黏聚力,但其抗剪强度主要是由摩擦力部分提供,也可以采用直线滑面法进行稳定系数的检算分析。②圆弧法又分为瑞典圆弧法、毕肖普法、摩擦圆法等。瑞典圆弧法不但可以用来检算简单土坡,也可以用来检算各种复杂情况的土坡(如不均匀的土坡、分层土坡、有渗流的土坡及坡顶有荷载作用的土坡等),它在工程中广为应用。毕肖普法不仅在作用力内考虑了孔隙水压力的作用,而且还考虑了条间水平力的作用,在工程分析中应用较广泛。摩擦圆法系由泰勒(D. W. Taylor)所提出,当土坡为均质土构成的简单土坡,其物理指标 γ 和强度指标 c 、 φ 等可视为常数时,可用此法进行计算。

当前,国内外在防止和处理滑坡方面,常用的方法有以下几种:

- (1) 排水;
- (2) 刷方减载;
- (3) 修建支挡结构(如抗滑桩、挡土墙、锚索框格梁);

(4) 改善滑动面(带)的岩(土)性质,如用化学方法加固松散的滑坡体,以增加其坚固性;

- (5) 削方卸载,即用人工或机械的办法消除产生滑移动力部分

的土体,增加抗滑部分土体的重度和长度,以提高抗滑稳定安全系数。基于削方卸载的基础上用定向爆破改变滑坡的最危险滑弧位置并增大其稳定系数,从而达到治理滑坡的目的。例如,某工程中滑坡体高达 80m,且坡度变化大,使用其他施工方法处理不但耗时、费力,而且作用效果不一定能满足要求。假如采用挡土墙,由于坡体厚度大,坡度陡峻,且坡度变化大,使用挡土墙不但施工条件极差而且可能造成圬工量太大;另外由于土层太厚,造成施工技术困难。因此,不宜采用挡土墙。

定向爆破,是根据具体的地形地质条件和施工要求,利用炸药在岩土中的爆炸最小抵抗线原理,将大量的土壤或岩石按指定的方向,抛掷到一定距离,并堆积成一定形状的一种爆破方法。经验证明,在某些适合的地形地质条件下,抛距不太远时,是很有效的。因此,熟练地掌握这一爆破技术,就可以用最少的机械和劳动力,在短期内造成巨大的土工建筑物,如路堤、移山造田、围堰、拦河坝等。

定向爆破的临空面可以利用天然凹形地形,使最小抵抗线的方向指向工程需要的方向,并将岩石碎块抛向指定的方向和位置。如果没有天然合乎要求的地形条件,可以使用人工改造地形,或在适当的地点设置辅助药包,提前爆炸成所需要的地形条件。为使岩土集中堆积成人工构筑物,通常还采用平面共心圆弧布置药包的原则,即选择岩土集中堆积的地方为圆心“O”(或焦点),称定向中心,以主药包至堆积中心的距离为半径画弧,主药包即在此圆弧线上布置,相应辅助药包已形成最佳定向坑为原则,在类似的弧线上布置。其次,在某些特殊情况下,还可以附加某些加强辅助药包,利用空气冲击波的动力来约束或阻挡主药包向其他方向抛散岩土。

定向爆破应主要考虑以下技术问题:

(1) 正确估计定向坑对爆破的影响,以掌握抛掷(抛坍)岩土的正确方向及其堆积的集中程度,化不利地形为有利条件。

(2) 确定最合理的药包位置,主药包和辅助药包的相互关系。

(3) 选择最适合于工程要求地形地质条件的爆破参数,以正确地计算药包重量。

(4) 选择最合理的爆炸作用间隔时间,药包起爆次序。

(5) 确定抛掷方量和抛掷距离,堆积高度和范围及其规律。

目前,在我国修筑水坝、公路和铁路以及农田水利等设施也大量地成功运用了定向爆破,并将定向爆破技术提高到了新的水平。值得提出的是在 20 世纪 60 年代末期,北京市才首次采用我国自己的爆破理论进行定向爆破并获得成功,为建立新的设计方法打下了有力的基础。

滑坡体用定向爆破处理,关键是要对其爆后堆积形状进行控制和分析,目前通常的抛掷堆积形状计算方法有弹道理论法和体积平衡法。

(1) 弹道理论法。以 Г. И. 波克罗夫斯基为代表提出的弹道理论法的假定前提是:抛掷体的形状为发至药包中心的微分角锥体,各自锥体按辐射方向运动,并获得相同能量,它们的运动互不相干,其质量与至药包中心的地表距离的立方成正比。

(2) 体积平衡法。是一种经验计算方法,基于堆积体来源于爆破有效方量为基础的体积平衡原理。

为了控制爆破振动对滑坡体的影响,主要采用条形药包爆破、控制最大单响药量、塑料导爆管微差起爆网路等方法以减小爆破振动对工程的危害。

1.3 深窄沟槽爆破的工程应用

深窄沟槽爆破开挖在工业与民用建筑、水利工程、道路工程、输水管道工程、油气管道工程及其他工程设计施工中经常应用。在设计施工中经常遇到沟槽穿越地挖深大,场地狭窄,爆破开挖难度大,费用高,工作效率低,开挖工程量大,弃碴难,环境破坏严重,对原地

面及相邻建筑物破坏大等现象。而在钻爆力学性能的提高和炸药品种及起爆材料不断丰富的今天,探索出一些更加经济、实用、安全、环保的深沟沟槽爆破开挖技术是我们从事爆破技术研究和应用工作者的追求。

在施工过程中,为了确保整个工程按期完工,要求沟槽爆破一次爆破量大,以减少穿孔、出碴机械移机次数,增加机械纯作业时间,充分发挥机械效率,达到快速成沟目的。对于挖深较大的地段,随着挖深的不同,岩石的风化程度不同,挖深越大则岩石越硬,爆破难度越大,越易留根底,大块率也随之上升,因此对于中深孔爆破,其参数更应准确掌握,以免造成不必要的损失。深沟开挖爆破工程的特点是:岩石性质不详,施工速度要快,要确保安全,确保质量。目前在岩层中开挖沟槽,一般采用钻眼爆破方法。沟槽爆破具有不同于其他爆破的特征:

(1) 沟槽狭窄,岩石受到的夹制作用大,需较大的炸药消耗和钻孔等,难以控制开挖轮廓;

(2) 爆破区范围大,地质条件变化大,必须不断调整爆破参数;

(3) 爆破区周围常有重要设施需要保护,爆破飞石、震动必须严格控制,同时受爆物质要充分破碎或解体;

(4) 沟槽开挖断面小,爆破一般仅有向上的临空面,为取得理想的效果,常采用微差控制爆破技术,即利用即发爆孔的“掏槽”作用,为后续炮孔的爆破创造自由面及岩石碎胀空间,然后依次微差起爆后续炮孔;

(5) 沟槽爆破作业一般采用手持式风钻钻孔,主要为了便于控制飞石和开挖轮廓,对于较大工程量的沟槽开挖,显然难以满足工期要求。

如何在复杂的地质条件下进行预裂爆破,已成为大家关心的问题。由于沟槽宽度窄,深度又往往比宽度大(当宽度很小时,即使深度不大,爆破也较为困难)。因此岩石沟槽爆破时的夹制作用特别