

多边界石方爆破工程

Duobianjie Shifang Baopo Gongcheng

王鸿渠 编著

人民交通出版社

出版说明

公路石方爆破,建国初期,由于我国尚无成熟的经验,只得采用原苏联包列柯夫斯基的石方爆破理论及药量计算公式。但在我国公路建设实践中发现,它不能适用多种地形。王鸿渠教授与我国公路建设部门合作,经过 30 多年的潜心研究,建立了具有独创性的多边界石方爆破体系。该项技术在公路建设部门,甚至在水利、矿山部门应用均获成功。它具有很高的社会效益(提高工程质量、增强生产安全、加快施工进度)和经济效益(节约大量资金、节省炸药用量)。

该项技术曾获 1978 年全国科学大会重大贡献奖,此后的一系列研究成果又获北京市优秀贡献奖。

为适应交通建设需要,我社特约请王教授撰写本书。

本书系统地介绍多边界石方爆破理论及设计施工方法,此外,对当前国内外石方爆破理论和爆破技术也作了简要介绍。书中还附有众多的实例,因而本书不但是一本具有较高学术价值的专著,同时也是一本好的实用技术书籍。本书介绍的爆破理论和爆破技术受到美国爆破工程学会的重视,1991 年本书作者应邀访美,并在美国爆破工程学会宣读论文。因而本书的出版不仅对我国公路建设,尤其是对山区公路建设将起重要作用,且对国际间石方爆破技术的交流也将起促进作用。

(京)新登字 091 号

内 容 提 要

本书介绍的多边界石方爆破体系，曾获1978年全国科学大会重大贡献奖。全书共五篇，其内容包括：多边界石方爆破工程的理论基础；多边界洞室爆破工程的设计与施工；提高炸药爆炸能量有效利用率的爆破理论与爆破方法；综合爆破方法；炸药和爆破器材等。书中还附有众多的设计、施工实例，理论联系实际，因而本书不仅是一本具有较高学术价值的专著，也是一本好的实用科技图书。

责任编辑 武崇理 封面设计 彭小秋

多边界石方爆破工程

王鸿渠 编著

插图设计：汪萍 正文设计 崔凤莲 责任校对 梁秀清

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京北方印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：39.75 插页：2 字数：1000 千

1994 年10月 第1版

1994 年 10 月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2400 册 定价：40 元

ISBN 7-114-01901-7

U · 01261

目 录

第一篇 多边界石方爆破工程的发展与理论基础

第一章 多边界石方工程爆破技术的发展	1
第一节 我国工程爆破技术发展现状与国外发展趋势.....	1
第二节 工程爆破基础理论的发展方向.....	4
第三节 爆破器材及其他.....	4
第四节 综合爆破方法的种类与选用原则.....	5
第二章 药包对周围介质的爆破作用	11
第一节 药包及药包的种类.....	11
第二节 药包在无限介质内的爆破作用.....	12
第三节 药包在有限介质内的爆破作用与爆破漏斗.....	13
第四节 鉴定爆破效果的标准.....	14
第五节 影响爆破作用的主要因素.....	15
第三章 多边界条件下爆破作用的规律、特性及物理过程	18
第一节 多边界条件下爆破作用特性及边界条件的划分.....	18
第二节 水平边界条件的爆破特性.....	19
第三节 倾斜边界条件爆破漏斗形成的物理过程及体积计算公式.....	30
第四节 多面临空(凸型)边界条件爆破漏斗形成的物理过程与体积计算公式.....	54
第五节 垭口地形(凹型)边界条件.....	68
第六节 多边界条件下爆破作用的规律与特性.....	71
第四章 多边界爆破药量计算公式及药包性质的变化	82
第一节 药包在多边界条件下的主要作用.....	82
第二节 多边界爆破体系抛掷、抛坍量的变化规律与形成机理.....	94
第三节 多边界爆破药量计算公式的量纲分析及推导.....	101
第四节 不同药包性质的药量计算公式.....	113
第五节 多边界爆破药量计算公式与国内外主要药量计算公式的比较.....	116

第二篇 多边界洞室爆破工程的设计与施工

第一章 洞室爆破设计的主要内容及设计参数的选择	122
第一节 标准抛掷爆破单位耗药量 K_{st} 值的选择方法.....	122
第二节 炸药换算系数 e 值和填(堵)塞系数 d 值.....	125
第三节 自然地面坡度 α 角的量取方法.....	126

第四节	爆破休止角、临界倾角及王氏边坡稳定性判别图	127
第五节	斜坡地形抛掷爆破和抛坍爆破的选用原则	128
第六节	抛掷(坍)率的计算公式与最佳、最大抛掷率的选择	129
第七节	爆破作用指数 n 值	140
第八节	压缩圈半径 ρ	142
第九节	最大可见爆破漏斗深度 P 值	144
第十节	爆破漏斗的破坏作用半径	146
第十一节	药包间距 a	157
第十二节	不逸出半径的临界值	158
第十三节	药包顶点介质的破坏状态及其对爆破后果的影响	160
第十四节	多边界条件下堆积形状计算	162
第二章	斜坡地形的抛坍爆破	167
第一节	概述	167
第二节	抛坍爆破的依据及基本假定	167
第三节	工程试验结果分析	169
第四节	药量计算公式及各主要计算公式的统计分析	172
第五节	抛坍爆破的主要指标及应用范围	179
第六节	抛坍爆破的设计方法	179
第七节	抛坍爆破设计计算示例	188
第三章	多面临空爆破系列方法	196
第一节	多面临空爆破的爆破效果	196
第二节	能量分配系数和影响爆破作用的主要因素	200
第三节	药量计算公式与设计参数的选择	209
第四节	在公路爆破工程中的测量工作	215
第五节	不对称小山包多面临空爆破设计方法及设计实例	219
第六节	短山包多面临空爆破的设计方法及设计示例	241
第七节	长山包多面临空爆破的设计方法及设计示例	257
第八节	深山包多面临空爆破的设计——“三多爆破法”及设计示例	266
第九节	矿山揭顶或炸毁山脊多面临空爆破的设计	300
第四章	定向爆破	303
第一节	定向爆破的基本原理	303
第二节	定向爆破的分类	304
第三节	公路路基填方的特点与定向爆破的关系	308
第四节	定向爆破设计的基本原则	310
第五节	定向爆破的设计步骤与设计参数的选择	318
第六节	多边界条件下,抛掷爆破、抛坍爆破的堆积形状,抛坍叠加堆积体的 设计方法	323
第七节	近距离定向爆破填筑堤坝的设计方法	345
第八节	公路工程中三个一般定向爆破实例	357
第九节	鸡爪地形多面临空移挖作填定向爆破实例	367

第五章 爆破区安全距离的确定	380
第一节 爆破振动效应及安全距离的确定.....	380
第二节 爆破冲击波安全距离的确定.....	387
第三节 个别飞石安全距离的确定.....	389
第四节 其它主要安全规定及计算公式.....	391
第六章 洞室爆破的施工	394
第一节 导洞与药室的设计.....	394
第二节 导洞药室的测量定位.....	396
第三节 导洞的掘进.....	399
第四节 通风及出碴.....	407
第五节 导洞的支护.....	403
第六节 装药、填(堵)塞、爆破.....	411

第三篇 提高炸药爆炸能量有效利用率的爆破理论与爆破方法

第一章 分集药包爆破的理论与方法	413
第一节 概述.....	413
第二节 分集药包爆破的理论与设计参数.....	414
第三节 分集药包爆破的抛掷作用及土石堆积分布.....	425
第四节 成群分集药包使用特性与范围.....	433
第五节 设计实例.....	443
第二章 分条药包爆破方法	448
第一节 概述.....	448
第二节 短长分条药包与集中药包爆破在试验场的对比试验.....	449
第三节 分条药包爆破效果的分析.....	451
第四节 分条药包爆破的设计参数.....	453
第三章 条形药包爆破	454
第一节 概述.....	454
第二节 条形药包与集中药包爆破对比试验.....	454
第四章 四种不同类型药包爆破对比试验结果的分析	457
第一节 概述.....	457
第二节 爆破漏斗和速度分布特征.....	457
第三节 四种药包爆破效果的对比分析.....	460
第五章 空室爆破方法	465
第一节 空室爆破的效应.....	465
第二节 空室爆破的应用.....	465

第四篇 石方综合爆破方法

第一章 浅孔爆破(钢钎小炮)	469
-----------------------------	-----

第一节	炮孔(眼)位置的选择	469
第二节	炸药用量的计算	478
第三节	排炮的应用	478
第四节	钻孔(打炮眼)	479
第五节	钻孔机类型及技术特性	484
第六节	装药及填塞	486
第七节	爆破(放炮)及瞎炮处理	487
第二章	深孔爆破	489
第一节	台阶几何要素及国产钻机主要性能	489
第二节	深孔爆破参数的选择	490
第三节	微差爆破(毫秒爆破)	494
第四节	预裂爆破和光面爆破	501
第三章	药壶炮(烘膛炮)	509
第一节	概述	509
第二节	药量计算公式及参数	510
第三节	炮孔位置的选择	511
第四节	钻(打)孔和烘膛	512
第五节	装药、填塞、放炮	515
第六节	注意事项	515
第四章	猫洞炮(蛇穴炮)	516
第一节	计算公式、设计参数与药包位置	516
第二节	炮洞掘进方法	519
第三节	装药、填塞和爆破	520
第五章	裸露炮和缝子炮	521
第一节	裸露炮	521
第二节	缝子炮	522
第三节	天然巨石钻孔爆破	523
第六章	控制爆破	525
第一节	概述	525
第二节	拆除爆破设计参数的选择	525
第三节	拆除爆破的炮孔布置	533
第四节	房屋或框架建筑物拆除爆破的倾倒方案与堆积范围	541
第五节	膨胀破裂法	547
第六节	水压拆除爆破	549

第五篇 炸药和爆破器材

第一章	工业炸药	553
第一节	爆炸与炸药	553
第二节	氧平衡及其作用	553

第三节	起爆能及其作用	554
第四节	工业炸药的主要性能	555
第五节	炸药分类	561
第六节	硝铵类炸药	561
第二章	起爆材料	575
第一节	起爆炸药	575
第二节	工业雷管	576
第三节	导火索	579
第四节	导爆索	580
第五节	塑料导爆管	580
第三章	起爆方法	585
第一节	火花起爆法	585
第二节	电力起爆法	587
第三节	导爆索起爆法	605
第四节	导爆管起爆法	603
附录一	经验的药包性质指数 $F(E, \alpha)$ 表	615
附录二	爆破效果、药量、边界条件三者的函数关系 $[E(\%) - F_\phi(E, \alpha) - \alpha]$ 表	616
附录三	多边界爆破作用指数 n 值表	622
附录四	岩石密度(单位体积质量) $\rho_{\text{石}}$ 的测定方法	623
主要参考文献		624
编后记		625

第一篇 多边界石方爆破工程的发展与理论基础

第一章 多边界石方工程爆破技术的发展

第一节 我国工程爆破技术发展现状与国外发展趋势

工程爆破技术在我国国民经济和国防建设中的应用与研究已有较长历史。它广泛应用于公路、铁路、水利、矿山、城市建筑物拆除,军事工程以及其它建设部门,对加速社会主义的建设起着重要的作用。30多年来,各个生产、设计部门通过大量岩土爆破工程实践,积累了丰富的经验,使我国工程爆破技术取得了显著的进步与发展。在爆破理论、药量计算公式、开挖爆破、定向爆破、拆除爆破、爆破工程地质、爆破计算机辅助设计、优化,爆破安全技术和量测技术以及新型爆破器材等方面均取得了可喜的成果。爆破工程的机械化施工水平,特别是钻孔机械化有了较大的发展。山区爆破工程实践、城市拆除爆破,推动了该项技术的发展。如多边界爆破理论,与各类地形边界条件匹配的专用工程爆破方法,万吨级的矿山爆破,千吨以上的定向爆破,葛州坝大规模的预裂爆破,城市大型建筑物的拆除爆破,以及提高炸药爆能有效利用率的分集条药包爆破等。

1. 深孔爆破在矿山、水电、煤炭、铁道等部门得到了进一步发展和提高,一批深孔爆破新技术,如大区多排孔微差(毫秒)爆破,小抵抗线宽孔距爆破,露天和地下井巷爆破,隧道中、深孔爆破,中深孔光面、预裂和缓冲爆破等,提高了我国石方和井巷施工的机械化水平。

我国铁道部门于1973年在基建工程单位广泛建立了石方机械施工队伍,并大力推广采用深孔爆破技术,劳动生产率最高每工日达到 70m^3 。

美国、瑞典深孔爆破一直处于领先地位,全面实现了钻、爆、挖、装运的综合机械化施工。在矿山,正走向自动化钻孔。劳动生产率高,平均每工日可达 50m^3 以上。用药量为 $0.4\sim 0.7\text{kg}/\text{m}^3$ (比抛掷爆破多,与多面临空爆破相当)。爆破后工程质量好,采用光面和预裂爆破,允许提高开挖边坡的陡度,在一般情况下,可减少边坡开挖工程量 $10\%\sim 25\%$ 。据统计,原苏联筑路爆破工程中,深孔爆破1957年占 10% ,1972年发展到 81.1% ;1960年开挖路堑的工程费用占筑路工程总费用的 $20\%\sim 30\%$,应用深孔爆破后,1972年便降低到只占工程总费用的 $4\%\sim 5\%$ 。因此,采用深孔爆破可降低工程成本,提高劳动生产率和保证工程质量。但是,深孔爆破需专门机械化施工队伍,且由于孔深、眼大,机械设备比较笨重,施工准备工作复杂。若采用潜孔钻,便道宽度不得小于 3m 。即使采用轻型设备,便道有效宽度也不得小于 1.5m 。所以,在地形复杂的山区,特别是斜坡和陡坡地形以及较分散的石方工程(万方或十万方以下)中,使用受到限制。由于深孔爆破的经济效益是显著的,关键在钻孔,因此必须引进或研制适合山区使用、移动方便的轻型灵巧、钻孔直径在 80cm 以上的潜孔钻机,保证发展深孔爆破中一系列的相应技术。

2. 浅孔炮在我国公路工程和田水利程中使用较普遍,多用人工打眼,体力劳动繁重,占用劳动力多(约占土石方总劳动力的 50%~60%)劳动生产率很低,平均每工日仅 1~3m³。在国外,综合机械化施工时,浅孔炮已很少采用。如波兰,1960 年浅孔炮占 84.5%,到 1973 年则下降到 12.3%;原苏联至 1972 年已降至 5%。劳动生产率,浅孔炮比深孔炮低 3~3.5 倍,在石方集中条件下,低 10~20 倍。因此,为节省劳动力,在大量开挖工程中,浅孔小炮不宜采用,仅可作为一种辅助性爆破。人力打眼、凿岩应尽可能避免。

3. 光面、预裂爆破,我国已大量推广。葛州坝水利工程,曾用预裂爆破做成了 8 万多 m² 顺直、光洁的开挖边坡坡面。铁路新线边坡、露天矿边坡都成功地采用了预裂爆破。水电部门已探索性地用于减少基坑底保护层开挖;公路部门也成功地将中深孔控制爆破、光面预裂等控制爆破技术用于处于村镇中间大量石方的开挖,如北京密古二级公路北台村中 5 万余立方米的深挖路堑工程。国外,早在 60 年代中期已将其使用于公路工程。原苏联主要用于需要准确限制结构物尺寸的路堑边坡和基坑开挖工程,其次,还用其来处理防止爆破破坏作用而预留的保护层岩体。

4. 小抵抗线宽孔距爆破,是瑞典 70 年代中期通过试验而创造的,它是改善岩石破碎程度的有效技术。我国近几年在中深孔、深孔中已普遍使用该项技术。

5. 药壶炮历来在土建工程中都运用得较普遍,有省药、爆能利用率高等优点。但是,操作复杂,我国除个别省外(如福建省),已用得不多。原苏联在筑路工程中已很少用,1972 年使用量已不超过 8.7%。

6. 蛇穴炮,又称猫洞炮,在我国云南、四川、北京等省市使用较普遍。由于潜孔钻机的采用,掘孔已由原来用小炮扩孔挖掘,发展到直接用钻机钻水平中深孔,使蛇穴炮工效迅速提高,较适用于旧路加宽。在原苏联,这一爆破方法仅限于筑路工程范围内采用。

7. 控制爆破可分为拆除爆破和开挖工程严格受到环境制约、有特殊安全技术要求的开挖爆破两种。两者共同的特点是应与周围环境匹配,确保环境安全,即安全与爆破效果同时应满足。我国 70 年代对控制爆破技术才引起重视,近几年得到迅速的发展。该项技术在复杂条件下成功地拆除了整体框架和高大建筑物,如工业与民用建筑物,水塔、桥梁墩台、碉堡、厂房内设备基础等,并根据拆除环境条件,采用原地重力塌落、折叠倒塌或定向倒塌。控制爆破,在公路通过村镇的新线,公路铁路的改建、复线,如长邯公路、密古公路、衡广复线等工程中都得到成功地运用,保证了交通畅通与村镇的安全。浅孔炮在这一领域中,得到广泛的应用。

国外,控制爆破早在 40 年代已采用,60 年代日本大量用于拆除房屋、桥墩,控制隧道的周边开挖,公路改建等工程中。现正向应用其拆除高大建筑物与精密控制的方向发展。

8. 洞室爆破,主要用于山区石方集中、地势陡峻、沟谷相间等复杂地形,是一种爆破威力大,效率高、投资省、速度快、所用机械设备简单的爆破技术。缺点是导洞掘进工作条件差,对周围环境和建筑物影响大。

我国解放后,在土建和采矿工程中均大量使用该项爆破技术,并对其进行了研究,故在爆破理论与方法上都有所创新与发展。为减小洞室爆破药量多而集中对山体 and 开挖边坡稳定性的影响,我国公路部门创建了“爆破工程地质”这一边缘学科,并引起原联邦德国、荷兰等国注意。我国公路部门已建立了一批与地形边界条件匹配并专用的新方法。如陡坡地形的“抛坍爆破”;沿溪线或坡脚堆填路堤的“近距离定向爆破”;鸡爪地形发育地段开挖路堑的“不对称山型多面临空爆破系列”;“石方开挖的控制爆破”以及“公路石方综合爆破技术”等。大规模试验场的试验如倾斜边界、多面临空边界、亚平面药包;生产性试验则更为广泛,1700t 的亚平面药包

已在生产中首次使用。目前,洞室爆破正在发展与地形匹配或为某种工程特殊要求的专门爆破技术,如为改善爆破后边坡质量,采用洞室与深孔光面、预裂的综合性爆破技术;不利地形(缓坡)、不利条件(缺少方量)下新的定向爆破技术;开挖控制爆破等。

有利地形及条件的定向爆破技术,已在土建工程中如水电、铁道、采矿、公路等部门得到普遍采用,在药包布置、参数选择和堆积计算方面形成一套自己的爆破设计方法,并成功地应用该项爆破技术建成 60m 高坝两座,一次用药量达 1 600t。目前我国已成为世界上应用定向爆破筑坝数量最多的国家。

多面临空爆破系列的理论依据,形成机理;小、短、长、深四类设计方法,是我国公路部门和北京工业大学共同提出的。四类设计方法是专门用来开挖山包、山梁、短垭口路基、削平山峰、山脊的一套与地形匹配的有效的爆破设计方法,已成功地应用其将长 10~90m、深 7~40m,石方量达数千到数万方的山包、山梁和垭口路堑一次爆破成型,并大面积(260m×60m)削平高 20~46m 山峰。爆破后边坡稳定,采矿平台理想,工效比浅孔炮高 6~20 倍,抛掷率达到 60%~80%,炸药单耗一般为 0.2~0.8kg/m³。但是,不利地形和借方量不足的沟谷定向爆破技术,还有待进一步研究。

近距离定向爆破,是在坍塌原理基础上建立起来的一套在陡坡地形坡脚和沟谷内填筑堤、坝的爆破方法。在沿溪线中运用,不但可坍塌成路堤,还可部分代替挡墙、护坡和路线缺口处的旱桥、栈桥,节省大量砌石和基础工程,大幅度降低工程造价。在湖南向家溪公路上,成功地填筑 10 万余方石方,形成了长 687m 四段路堤,节省了挡墙或护坡 1.2 万余 m³。另外,在京源、康藏南线,北京市郊区等公路上均成功地应用了该项技术。

原苏联在洞室爆破的实践和科学研究方面,都处于领先地位,使用最多的有扬弃爆破和下向抛掷爆破,生产率很高。前者主要用于开挖运河,后者近 10 年来主要用于定向爆破筑坝和修筑公路。为修筑山区公路路基,原苏联 1980 年已出专著推广这项技术,并认为“下向抛掷爆破可以大量用来修筑山区公路。在将线路改弯取直和抛掷当地材料形成路基时,无论是在施工或是运营期间都是经济有效的。”原苏联爆破的研究,正向平面药包和抵抗线为 100~200m 的大型爆破方向发展。

美国 50 年代中期利文斯顿提出的爆破漏斗理论,迅速在加拿大、西班牙、澳大利亚、瑞典和印度等国推广应用,药量由 1g(克)到 30t(吨)。美国国防部、土建工程委员会,根据上述理论进行过单排大爆破施工与试验,并提出用该项爆破技术来修筑山区、丘陵地带公路、铁路明堑路基,结论是:总的钻爆成本低廉。由于爆破中的抛掷作用,土石方装运费大为降低,破、装、运所用总人力也大为减少,并把球状集中药包理论应用到柱状药包的露天和井下爆破中。

提高炸药爆能有效利用率,是爆破业需集中突破的课题。我国公路部门和作者在 60 年代初发明了分集药包,引进了空室(腔)爆破,提高炸药爆能利用率 5%,有效功提高 20%~25%;爆破体积增加 30%,抛掷体积增加了 14%~20%;抛掷单耗降低 4%~16.7%,但平地其抛掷率降低 8%,抛掷堆积异常集中,几乎无边缘效应。为改善施工工艺,正与分条药包组成分集条药包爆破,在生产中使用。原苏联早在 50 年代发明了空室爆破,现正大规模使用水平条形药包。条形药包经对比试验,其抛掷单耗比集中药包多 20% 左右,但在施工工艺上有较大的优点,故原苏联和我国都仍在采用。药包正由集中药包向水平条形、分集条药包和多层、多排、亚平面、平面药包方向发展,集中药包将逐渐减少。

爆破工程地质,是我国近十年形成的一门边缘科学,它是研究严格控制岩体破坏机理、力学参数,特别是洞室爆破的工程质量的科学。从定量方面控制地质条件、岩石物理力学性质对

爆破效果的影响,爆破对山体或边坡稳定性的作用,现正向岩石动力学、爆破岩体动力学等基础理论纵深发展。不考虑岩性和岩石物理力学性质、岩体结构面的爆破设计是不宜施工的。

任何一种爆破方法的产生和发展,都具有一定的最佳使用条件,只有全面掌握工程爆破的理论与各种爆破方法,才能有效地解决工程爆破中提出的复杂问题。因此,今后石方爆破技术的发展方向应是,研制因地制宜,能满足工程特殊要求的专用爆破方法和综合的运用技术,以及石方施工全面机械化。公路部门的石方综合爆破技术的指导思想,对工程爆破的发展具有重要意义。

第二节 工程爆破基础理论的发展方向

近 30 年来,围绕着药量计算公式,爆破破岩机理,岩土抛掷理论、堆积规律等,对工程爆破基本理论进行了较全面的研究。至今,各国都建立了供本国使用的一些经验公式,如原苏联“包列斯柯夫公式”,美国“利文斯顿”爆破漏斗理论等。随着数学、力学的发展,又先后建立了一系列物理力学模型,如流体、弹性体、塑性体、弹塑性体、变模量模型等。但是,由于工程爆破的复杂性,某些模型所提出的理论公式,用于实践还有一段相当大的距离。可以说,结合实际的爆破理论,是目前尚未解决的课题。

近百年来,各种工程爆破都是以经验公式为指导,至今还没有公认的、因地制宜的爆破理论和相应的爆破方法,仍处于借用平坦地形爆破经验的水平。国外的研究,无论基础理论或实践,均停滞在水平边界条件下,与工程实践脱节。在斜坡地形,原苏联包氏公式计算的药量,一般比实际的多 20%~40%,陡坡地形要多 60% 以上。大量富余爆能,对山体稳定和周围环境十分不利。它在理论上,因几何边界条件固定,而有严重的局限性。只考虑了炸药提供的动能做功,而未考虑岩体潜在位能,因此,对工程爆破效果和对周围环境影响的预报,准确性差。近 20 年来,国内外专家均企图对其作斜坡化修正。如在包氏公式后接一尾项,原苏联有波克罗夫斯基的修正公式;我国 60 年代初至 70 年代末,有公路、水利、铁道等部门的修正公式,但都不能获得满意的效果。美国至今仍在完善其水平边界的爆破经验与应用。我国公路部门和有关高等学校提出了“多边界爆破理论”,早在 60 年代中期,已提出了可供生产上使用的“多边界药量计算经验公式”,在此理论指导下,先后建立了上述数种因地制宜的爆破设计方法,并在理论上向前发展了一步。多边界爆破理论是公路石方综合爆破的理论基础。因此,工程爆破的理论基础的发展方向是,由目前简单、单一水平边界条件,向多边界条件发展。我国作为黑火药发明的国家,应建立具有我国特色(山区面积占 60% 以上)的工程爆破理论体系和药量计算公式,吸收国内外水平边界条件的经验,限制原苏联包氏药量计算公式在非平坦地形使用,使我国工程爆破理论达到世界先进水平。此外,在基础理论方面,还应包括抛掷爆破的理论,岩体的动力性能,应力波在土岩介质中的传播,爆破空腔的发展及鼓包运动,岩体爆破破碎机理等。

第三节 爆破器材及其他

近五年来,我国炸药和起爆器材发展很快,并取得了新成果,EL●系列和 RJ●系列乳

● EL 系列, RJ 系列详见第四篇。

化炸药获得国家发明二等奖;廉价、安全的铵油炸药已在生产中普及。在较短时间内,引进了国外塑料导爆管及非电起爆系统,并在技术上有所创新,在生产中得到较快推广应用。

国外,铵油炸药 1970 年在工业炸药用量上已占突出的地位,如美国占 70%,加拿大、法国、瑞士占 50% 以上,日本占 44.4%。近年来用量仍在不断增长,美国 1976 年达 82%、日本上升到 60%。乳化油炸药,是美国 70 年代发展起来的一种抗水工业炸药,目前已取代胶质“代那迈特”(硝化甘油类炸药)。铵油和乳化炸药已成为美国主要的工业炸药。工地拌制的铵油炸药,若能将敏感度提高到工业雷管直接起爆的水平,则其运输安全、经济效益均大为提高。

爆破地震效应及工程安全等方面,也取得了一定的进展;工程设计方面已开始用计算机辅助设计。爆破测试技术也有了新的发展,并得到较广泛的应用,因而促进了爆破理论的研究。

但是,我国公路部门近 10 年来,除云南省公路局和个别高校还保存一点爆破研究力量外,其他各地已不存在,观测仪表、测试技术都很不全,甚至没有。石方爆破技术队伍等也很薄弱,石方机械化施工水平也很低。因此,今后要适应我国公路事业的大发展,大量山区石方工程任务和环境对爆破技术的要求是很困难的。为此,笔者建议应恢复充实石方爆破专业科研队伍,加紧研究,在生产中大力推广先进爆破技术,以促进山区公路工程建设。

第四节 综合爆破方法的种类与选用原则

一、综合爆破的内容及特性

综合爆破是以多边界条件爆破的理论和体系为基础,是根据石方的集中程度,地质、地形条件,公路路基断面的形状,结合各种工程爆破方法的最佳使用特性,因地制宜,综合配套使用的一种比较先进的爆破方法。一般包括小炮和洞室炮两大类。小炮主要包括:浅孔炮、深孔炮、药壶炮和猫洞炮以及最近发展起来的毫秒微差爆破、宽孔距爆破,光面、预裂爆破,拆除爆破,石方开挖控制爆破等。洞室炮则随药包性质、断面形状和微地形的变化而不同。用药量 1t 以上为大炮,1t 以下为中小炮。现将几种爆破方法在综合爆破中的作用与特性分述如下:

(一) 浅孔炮(钢钎小炮)

在路基工程中,浅孔炮通常指炮孔直径小于 7cm 和深度小于 5m 的爆破方法。一般情况下,单独使用浅孔炮爆破石方是不大经济的,其原因是:(1)炮眼浅,用药少,每次爆破的石方不多,并全靠人工清除,所以工效低。(2)不利于爆破能量的利用。由于眼浅,爆破时爆炸气体很容易冲出,变成不做功的声波,以致响声大而炸下的石方不多,个别石块飞得很远。因此,在路基工程中,应尽可能少用这种炮型。但是,由于它比较灵活,因而又是一种不可缺少的炮型。在地形艰险及爆破量较小地段(如打水沟,开挖便道、基坑等)仍属必须;在综合爆破中是一种改造地形,为其它炮型服务的辅助炮型,并广泛运用于拆除城市建筑物和石料开采。

(二) 深孔爆破

深孔爆破就是孔径大于 75mm、深度在 5m 以上,采用延长药包的一种爆破方法。炮孔需用大型的潜孔凿岩机或穿孔机钻孔。如用挖运机械清方可以实现石方施工全面机械化,是大量石方(万方以上)快速施工的发展方向之一。其优点是劳动生产率高,一次爆破的石方量多,施工进度快,爆破时对路基边坡的影响比大炮小。若配合预裂或光面爆破,则边坡平整稳定,爆破效果易控制,爆破时比较安全。但由于需要用大型机械,故转移工地、开辟场地、修筑便道等准备工作都较复杂,且爆破后仍有一定的大石块需经第二次爆破。

深孔爆破除需正确选用设计参数和布孔外,对装药、堵塞等操作技术要求也比较严格。随着石方施工机械化程度的提高,深孔爆破已开始在石方集中、地形较平缓的垭口或深路堑中使用,并获得较好的效果。单位耗药量为 $0.45\sim 0.75\text{kg}/\text{m}^3$,平均每米钻孔爆落岩石 $11\sim 20\text{m}^3$ 。因此,在有条件时,应尽可能采用这种爆破方法。

(三) 微差爆破

两相邻药包或前后排药包以毫秒的时间间隔(一般为 $15\sim 75\text{ms}$)依次起爆,称为微差爆破。

多发一次爆破最好采用毫秒雷管。其优点是:当装药量相等时,可减震;前发药包为后发药包开创了临空面,从而加强了岩石的破碎效果;降低多排孔一次爆破的堆积高度,有利于挖掘机作业;由于逐发或逐排依次爆破,减少了岩石夹制力,可节省炸药 20%,并可增大孔距,提高每米钻孔的炸落方量。炮孔排列和起爆顺序根据断面形状有如下几种(图 1-1-4-1)。多排孔微差爆破是浅孔深孔爆破发展的方向。

(四) 光面爆破和预裂爆破

光面爆破是在开挖限界的周边,适当排列一定间隔的炮孔,在有侧向临空面的情况下,用控制抵抗线和药量的方法进行爆破,使之形成一个光滑平整的边坡。

预裂爆破是在开挖限界处适当间隔排列炮孔,在没有侧向临空面和最小抵抗线的情况下,用控制药量的方法,预先炸出一条裂缝,使拟爆体与

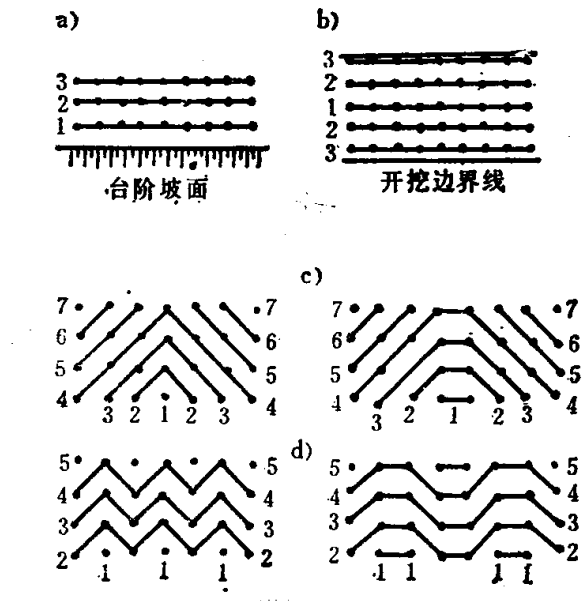


图 1-1-4-1 微差爆破各种起爆网路图(图中数字为起爆顺序)

a) 直排依次顺序起爆法; b) 直排中心掏槽起爆法; c) “V”形起爆网路; d) 波形起爆网路

山体分开,作为隔震减震带,起保护和减弱开挖限界以外山体或建筑物的地震破坏作用。光面与预裂爆破后,在边坡壁上通常均留下半个炮孔的痕迹。

(五) 药壶炮(烘膛炮)

药壶炮是指在深 $2.5\sim 3.0\text{m}$ 以上的炮孔底部用少量炸药经一次或多次烘膛,使孔底成葫芦形,将炸药集中装入药壶中进行爆破,如图 1-1-4-2。此法主要用于露天爆破,其使用条件是:岩石应在 XI 级以下,不含水分,阶梯高度(H)小于 $10\sim 12\text{m}$,自然地面坡度在 70° 左右。如果自然地面坡度较缓,一般先用浅孔炮切脚,炸出台阶后再使用。经验证明,药壶炮最好用于 VII~IX 级岩石,中心挖深 $4\sim 6\text{m}$,阶梯高度在 7m 以下。装药量可根据药壶体积而定,一般介于 $10\sim 60\text{kg}$ 之间,最多可达一百余 kg 。每次可炸岩石数十方至数百方,是小炮中最省工、省药的一种方法。

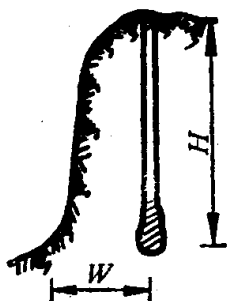


图 1-1-4-2 药壶炮

(六) 猫洞炮(蛇穴炮)

猫洞炮系指炮洞直径为 $0.2\sim 0.5\text{m}$,洞穴成水平或略有倾斜(台眼)、深度小于 5m ,用集中药包在炮洞中进行爆炸的一种方法,如图 1-1-4-3。其特点是充分利用岩体本身的崩塌作用,能用较浅的炮眼爆破较高的岩体,一般爆破可炸松 $15\sim 150\text{m}^3$ 。其最佳使用条件是:岩石等级一般为 IX 级以下,最好是 V~VII 级;阶梯高度最少应大于孔深的两倍,自然地面坡度不小于 50° ,最好在 70° 左右。由于炮孔直径较大,爆能利用率甚差,故炮孔

深度应大于 $1.5 \sim 2.0\text{m}$, 不能放孤炮。猫洞炮工效一般可达 $4 \sim 10\text{m}^3$, 单位耗药量在 $0.13 \sim 0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 之间。在有裂缝的软石和坚石中, 阶梯高度大于 4m , 药壶炮药壶不易形成时采用这种爆破方法, 可以获得好的爆破效果。

(七) 多边界综合洞室炮

为使爆破设计断面内的岩体大量抛掷(抛坍)出路基, 减少爆破后的清方工作量, 保证路基的稳定性, 可根据地形和路基断面形式, 采用以下不同性质的洞室炮爆破方法。

1. 抛掷爆破

1) 平坦地形的抛掷爆破(亦称扬弃爆破)。自然地面坡角 $\alpha < 15^\circ$, 路基设计断面为拉沟路堑, 石质大多是软石时, 为使石方大量扬弃到路基两侧, 通常采用稳定的加强抛掷爆破。抛掷率为 $55\% \sim 98\%$ ($n = 1.5 \sim 2.2$), 一般在 80% 左右。

根据铁道兵经验, 当 $n = 2$ 时($E = 83\%$)抛掷一方岩石的耗药量为 $1.4 \sim 2.2\text{kg}$, 炸药费用一般占总工程造价的 80% 左右, 且爆后对路堑边坡的稳定性影响很大, 故在公路工程中很少采用。

2) 斜坡地形路堑的抛掷爆破。自然地面坡度 α 在 $15 \sim 50^\circ$ 之间, 岩石也较松软时, 可采用抛掷爆破。抛掷率一般设计在 60% 左右, 根据地面坡度的不同, 爆破作用指数在 $1 \sim 1.5$ 之间。单位耗药量大于 $1\text{kg}/\text{m}^3$, 炸药费用占整个工程造价的 60% 以上, 对路堑边坡的稳定性有较大的影响。

2. 斜坡地形半路堑的抛坍爆破。自然地面坡度大于 30° , 地形地质条件均较复杂, 临空面大时, 宜采用这种爆破方法。在陡坡地段, 岩石只要充分被破碎, 就可以利用岩石本身的自重坍滑出路基, 提高爆破效果。

抛坍爆破的抛坍率一般为 $45\% \sim 85\%$, 单位耗药量为 $0.1 \sim 0.42\text{kg}/\text{m}^3$, 炸药费用不到总造价的 40% , 而工效可达 $6 \sim 15\text{m}^3/\text{工日}$, 比小炮工效高 $2 \sim 4$ 倍, 总的路基工程造价可降低 16% 以上, 爆后路堑边坡稳定。

3. 多面临空地形的爆破。路线通过波浪起伏的峡谷或鸡爪地形地段, 横切山包或山嘴, 完整的临空面较多, 此种地形有利于爆破。由于山包或山嘴的地质, 一般较周围岩体坚固完整, 因此爆破后可获得较陡的稳定边坡。多面临空地形的爆破抛掷率(抛坍率)约为 $60\% \sim 80\%$, 单位耗药量为 $0.2 \sim 0.8\text{kg}/\text{m}^3$, 工效为 $10 \sim 70\text{m}^3/\text{工日}$, 最高可达 $70\text{m}^3/\text{工日}$, 比小炮高 15 倍或更多, 但工程造价由于炸药量比小炮要多用 $1 \sim 2$ 倍, 所以只比小炮减少约 5% 。目前已形成一个多面临空爆破的系列, 即小、短、长、深和削平山脊山峰开挖路堑和采准平台的专用爆破方法, 其生产效率和经济效益是十分显著的。

4. 定向爆破。这是利用爆能将大量土石方按照指定方向, 搬移到一定的位置并堆积成路堤的一种爆破施工方法。它减少了挖、装、运、夯等工序, 生产率极高。在公路工程中用于以借为填或移挖作填地段, 特别是在深挖高填相间、工程量大的鸡爪形地区, 采用定向爆破, 一次可形成百米以至数百米路基。

根据对抛掷距离远近的要求, 微地形条件的变化, 路堑和路堤间的关系将定向爆破分为三大类:

1) 根据抛坍(抛掷)距离的远近分

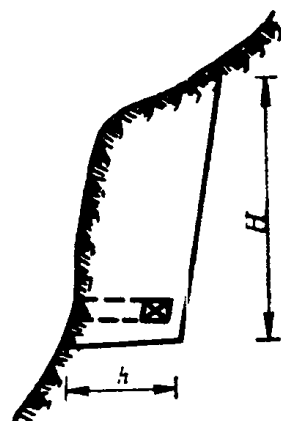


图 1-1-4-3 猫洞炮

(1) 近距离的定向爆破

当地形十分有利,填方距爆破点甚近时, 仅需利用岩体本身的位能,由坍滑作用达到移挖作填的目的。一般用在半挖半填或借石在坡脚形成路基的地方,如图 1-1-4-4。

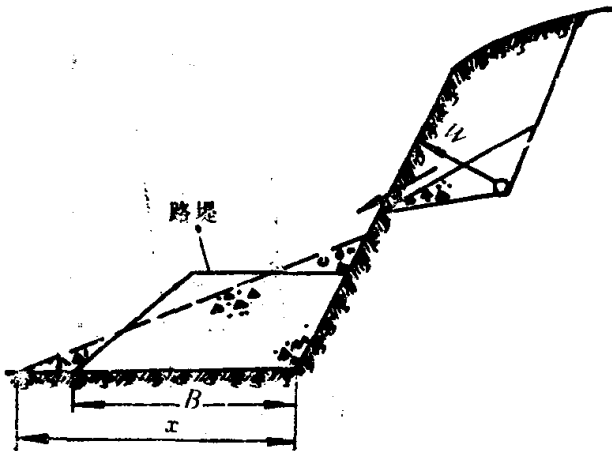


图 1-1-4-4 近距离定向爆破示意图

(2) 远距离定向爆破

填方距爆破点有一定距离,不能利用坍滑作用时,则必须用抛掷药包、平面药包将破碎岩块抛送到填方位置。但在生产中亦难截然分开,有时同一工点,两者都要同时使用。

2) 根据微地形的变化分

(1) 平坦地形的定向爆破,如图 1-1-4-5。

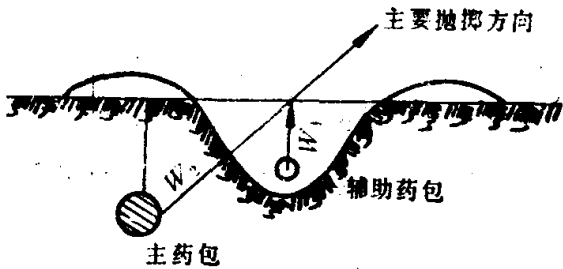


图 1-1-4-5 平坦地形的定向爆破(用辅助药包控制抛掷方向)

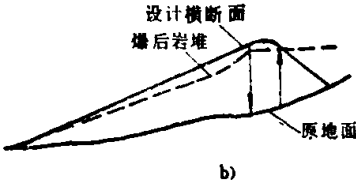


图 1-1-4-6 倾斜地形的定向爆破
a) 60t 双侧定向爆破中心剖面图; b) 沟中心剖面图

(3) 多面临空地地形定向爆破,又可分为等量 and 不等量双向定向爆破(图 1-1-4-7)和多面临空地地形单向定向爆破(图 1-1-4-8)。

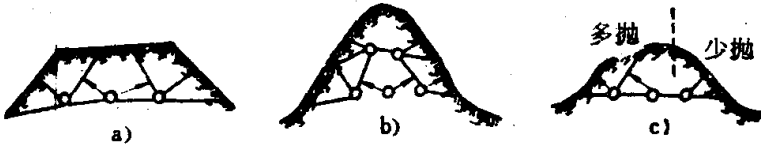


图 1-1-4-7 多面临空地地形双向定向爆破剖面示意图
a)、b) 等量定向爆破; c) 不等量定向爆破

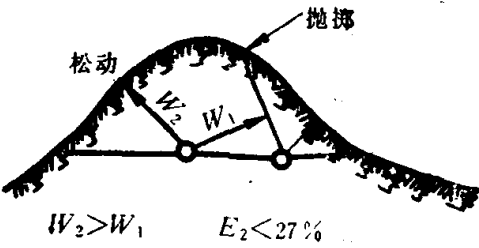


图 1-1-4-8 多面临空地地形单向定向爆破(一头抛掷一头松动爆破)示意图

3) 根据工程要求分

(1) 以挖方为主的定向爆破。这种情况一般是路基设计的挖方多于或等于填方。因为在路基设计时已充分考虑了移挖作填的经济运距和挖填平衡的要求。一般辅助药包是为了创造有效的定向坑,可以适当的超炸,而主药包则应严格按挖方断面的要求,尽可能避免超炸。按此要求,一般可使 30%~50% 的挖方抛至填方,其余方量则需运到填方地点。

(2) 以填方为主的定向爆破。若填方所需方量多于挖方量或运距过远,而填方附近又有可供定向爆破特别是可供近距离定向爆破的有利的高山,则可采用以填方为主的定向爆破。此时,应以填方量为标准,主、辅药包的爆破方量和规模不受挖方断面和方量所限,必要时可以借