



XIANDAI GONGLU GONGCHENG BAOPO

现代公路 工程爆破



刘运通 高文学 刘宏刚 编著



人民交通出版社

China Communications Press

Xiandai Gonglu Gongcheng Baopo
现代公路工程爆破

刘运通 高文学 刘宏刚 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了现代公路工程爆破技术。全书共分 10 章,主要包括深孔爆破、洞室爆破、边坡控制爆破、路堑一次成型爆破、结构物基础爆破,以及工程爆破的基础知识和爆破安全技术等。

本书注重理论联系实际,详细地介绍了不同类型、不同地形地质条件下公路石方爆破的设计方法和施工工艺,并附有大量工程实例,可供从事公路设计与施工的技术人员参考使用。同时,本书也是一本具有较高学术价值的专著,可作为高等院校交通土建工程专业本科生和研究生的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代公路工程爆破/刘运通,高文学,刘宏刚编著.

北京:人民交通出版社,2006.2

ISBN 7-114-05914-0

I. 现... II. ①刘...②高...③刘... III. 道路工程-爆破技术 IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 002972 号

书 名:现代公路工程爆破

著 作 者:刘运通 高文学 刘宏刚

责任编辑:赵 蓬

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)85285656,85285838,85285995

总 经 销:北京中交盛世书刊有限公司

经 销:各地新华书店

印 刷:北京凯通印刷厂

开 本:787×980 1/16

印 张:28.75

字 数:482 千

版 次:2006 年 1 月第 1 版

印 次:2006 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-114-05914-0

印 数:0001-4000 册

定 价:52.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

刘运通

北京工业大学建筑工程学院教授，德国 Karlsruhe 大学土木工程学博士。现任中国公路学会理事，中国公路学会公路规划分会理事，中国力学学会工程爆破专业委员会委员，中国工程爆破协会常务理事，北京工程爆破学会副理事长。

E-mail: liuyuntong@vip.sina.com



高文学

北京工业大学建筑工程学院教授，工学博士。现任中国岩石力学与工程学会岩石动力学专业委员会委员、岩石破碎工程专业委员会委员，北京工程爆破学会理事、副秘书长，《世界地震工程》杂志编委会委员。

E-mail: wxgao@bjut.edu.cn



刘宏刚

中铁三局股份有限公司教授级高工。唐山铁道学院桥梁与隧道工程专业毕业。现任中国力学学会工程爆破专业委员会委员，中国工程爆破协会常务理事，中国铁道学会工程爆破专业委员会副主任。





前言 QIANYAN

工程爆破技术是公路石方开挖的有效手段。半个多世纪以来,我国的爆破工作者在不断借鉴国外先进科技成果的基础上,经过不懈的努力和艰苦的实践,逐步创立了一整套适用于各种地形地质条件和复杂环境条件的公路工程系列爆破技术,其中最具代表性的当数王鸿渠教授创建的多边界石方爆破体系,为我国的公路建设事业作出了重大的贡献。近十年来,随着高等级公路的大规模建设,深孔爆破、预裂爆破和光面爆破技术在公路工程中得到了越来越广泛的应用。近几年,集多种爆破技术之所长,又推出了硐室加预裂一次成型综合爆破方法,进一步丰富和完善了公路石方开挖的技术手段。

根据交通部的规划,今后二三十年,我国的公路基础设施建设仍将处于持续高速发展时期。毫无疑问,这将为公路工程爆破技术的应用提供更加广阔的空间,为其发展创造更加良好的契机。为便于广大公路从业人员了解和掌握工程爆破技术,本书坚持理论与实践相结合并注重实用的原则,系统地阐述了不同类型、不同地形、地质条件的公路石方爆破设计与施工方法,还提供了相应的工程实例,其中绝大部分系作者亲历所为。

全书共分10章。第1章为绪论,回顾我国公路工程爆破的发展历程,展望未来的发展前景;第2章至第4章介绍工程爆破的基础知识,包括爆破器材与起爆方法、岩石爆破理论、爆破工程地质;第5章至第9章是本书的核心部分,系统阐述深孔爆破、硐室爆破、路堑边坡控制爆破、一次成型爆破和结构物基础爆破技术的适用条件、设计原则与方法、施工技术与工艺;最后一章为爆破安全技术。



需要指出的是,本书所介绍的各种爆破技术都是针对露天石方开挖,而未涉及地下工程如公路隧道的掘进爆破。

本书第1章由刘运通撰写;第4章由陈建平撰写;第6章除条形药包硐室爆破外,大部分内容取自王鸿渠教授《多边界石方爆破工程》一书;第8章由刘宏刚撰写;其余各章由高文学撰写。全书由刘运通统稿。

本书在撰写过程中得到了我国工程爆破界广大同仁的鼎力相助。熊代余研究员参与了第2章的审定;刘殿书教授参与了第3章的审定,并为第5章的撰写提出了有益的建议;陈福盛高级工程师参与了第6章的审定;刘殿中教授级高级工程师参与了第7章的审定。另外,廖正环教授为第1章的撰写提供了丰富的历史资料;何广沂教授级高级工程师、李建彬和李建设两位高级工程师还为本书第5章、第9章提供了丰富的工程实例。在此一并致以衷心的感谢。最后,还要感谢为本书的录入付出辛勤劳动的本科生和研究生们。

谨以此书表达对王鸿渠教授诚挚的敬意。

由于水平所限,书中谬误在所难免,恳请读者和专家指正。

作 者

2005年9月于北京



目录MULU

1 绪论	1
1.1 我国公路工程爆破技术的发展历程	1
1.2 岩石爆破技术的新进展	8
1.3 公路工程爆破的基本特点	15
1.4 公路工程爆破技术发展展望	19
2 爆破器材与起爆方法	23
2.1 炸药的基本概念	23
2.1.1 爆炸现象	23
2.1.2 炸药的分类	25
2.1.3 炸药化学变化的基本形式	26
2.1.4 炸药的爆炸性能	28
2.2 工业炸药	34
2.2.1 工业炸药应满足的基本要求	34
2.2.2 硝铵类炸药	34
2.2.3 其它工业炸药	40
2.3 起爆器材和起爆方法	45
2.3.1 导火索起爆法	45
2.3.2 导爆索起爆法	47
2.3.3 电力起爆法	52
2.3.4 导爆管起爆法	61
2.3.5 混合网路起爆法	70
3 岩石爆破理论	72
3.1 岩石的物理力学性质及其分级	72
3.1.1 岩石的主要物理性质	72
3.1.2 岩石的主要力学特性	74
3.1.3 岩石的动力特性	77



3.1.4 岩石的分级	79
3.2 岩石爆破作用原理	88
3.2.1 岩石的爆破破碎机理	88
3.2.2 炸药在岩石中的爆破作用	90
3.3 装药量计算原理	95
3.3.1 体积公式	95
3.3.2 集中药包药量计算公式	96
3.3.3 多边界爆破药量计算公式	97
3.3.4 柱状药包的药量计算	107
3.4 影响爆破作用的主要因素	109
3.4.1 炸药性能的影响	109
3.4.2 装药结构的影响	111
3.4.3 爆破条件的影响	113
3.4.4 工程地质条件的影响	116
3.5 利文斯顿爆破漏斗理论	116
3.5.1 基本观点	116
3.5.2 岩石爆破的破坏形态	117
3.5.3 爆破漏斗特征曲线	119
4 公路石方爆破工程地质	121
4.1 概述	121
4.2 地形边界条件对爆破作用的影响	122
4.2.1 水平地形边界条件下的爆破作用特征	122
4.2.2 倾斜地形边界条件下的爆破作用特征	123
4.2.3 多面临空(凸形)边界条件下爆破作用特征	126
4.2.4 凹形地形边界条件下的爆破作用特征	128
4.3 地质边界条件对爆破作用的影响	129
4.3.1 岩体结构的基本概念	130
4.3.2 岩体爆破的结构面效应	130
4.3.3 岩体爆破结构面效应实例	131
4.3.4 结构面的工程地质分级	134
4.4 爆破岩体分类	136
4.4.1 爆破岩体分类的目的	136
4.4.2 爆破岩体分类的依据	137



4.4.3 爆破岩体分类	137
4.5 爆破工程地质勘察	143
4.5.1 概述	143
4.5.2 爆破工程地质条件的调查、分析与评价	144
4.5.3 编写爆破工程地质勘察报告	157
4.6 爆破边坡稳定性评价	158
4.6.1 岩体结构特征对爆破边坡稳定性的影响	158
4.6.2 爆破裂隙对边坡稳定性的影响	163
5 公路石方深孔爆破	164
5.1 概述	164
5.2 深孔爆破的钻孔布置	165
5.2.1 钻孔形式	165
5.2.2 路堑爆破布孔方式	166
5.3 深孔爆破设计	168
5.3.1 爆破参数的确定	168
5.3.2 药量计算	173
5.3.3 深孔爆破瑞典设计方法	175
5.3.4 深孔爆破的设计程序	178
5.4 深孔爆破施工	179
5.5 深孔毫秒爆破	184
5.5.1 概 述	184
5.5.2 毫秒爆破作用原理	185
5.5.3 毫秒爆破合理间隔时间选择	186
5.5.4 起爆顺序	187
5.6 深孔爆破效果分析	190
5.6.1 深孔爆破效果评价	190
5.6.2 降低大块率的措施	190
5.7 工程实例	192
5.7.1 工程概况	192
5.7.2 爆破区周围环境	193
5.7.3 爆破方案	193
5.7.4 爆破设计	193
5.7.5 装药与堵塞	197



5.7.6 爆破效果及其分析	198
6 公路石方硐室爆破	200
6.1 概述	200
6.2 硐室爆破的分类及其适用性	201
6.2.1 按爆破作用特征分类	201
6.2.2 按药包布置形式分类	202
6.3 硐室爆破的设计原则与步骤	204
6.3.1 设计原则	204
6.3.2 设计步骤	205
6.3.3 设计基本内容	206
6.4 硐室爆破设计参数选择	207
6.4.1 药包参数选择	207
6.4.2 压缩圈半径	208
6.4.3 爆破漏斗的破坏作用半径	209
6.4.4 最大可见爆破漏斗深度	211
6.4.5 药包间距	212
6.4.6 不逸出半径的临界值	214
6.5 斜坡地形的抛坍爆破	215
6.5.1 斜坡地形半路堑爆破特点	215
6.5.2 抛坍爆破参数计算	216
6.5.3 抛坍爆破的主要技术指标	219
6.5.4 抛坍爆破设计步骤	220
6.5.5 抛坍爆破药包布置原则	220
6.5.6 抛坍爆破工程实例	226
6.6 多面临空硐室爆破	229
6.6.1 多面临空爆破的基本类型	230
6.6.2 多面临空爆破能量分配系数	233
6.6.3 爆破设计参数选用原则	234
6.6.4 多面临空爆破药包布置	236
6.6.5 小山包多面临空爆破设计	243
6.6.6 短山包多面临空爆破设计	248
6.6.7 长山包多面临空爆破设计	253
6.6.8 深山包多面临空爆破设计	259



6.7 分集药包和分条药包硐室爆破	269
6.7.1 概述	269
6.7.2 分集药包爆破的设计参数和布药原则	270
6.7.3 分集药包爆堆参数计算	272
6.7.4 分条药包爆破	273
6.7.5 工程实例	275
6.8 条形药包硐室爆破	277
6.8.1 概述	277
6.8.2 条形药包爆破应力场分布特征	278
6.8.3 条形药包爆破漏斗特征	279
6.8.4 条形药包布置	280
6.8.5 条形药包参数选择与装药量计算	283
6.8.6 条形药包端部处理技术	285
6.8.7 条形药包间距计算	287
6.8.8 爆破漏斗参数计算	289
6.8.9 堆积参数计算	290
6.8.10 工程实例	290
6.9 硐室爆破施工	301
6.9.1 导硐及药室施工	301
6.9.2 起爆网路设计与施工	303
6.9.3 装药与堵塞	306
6.9.4 起爆与警戒	308
7 公路边坡控制爆破	310
7.1 概述	310
7.2 预裂爆破	312
7.2.1 基本概念	312
7.2.2 预裂爆破的成缝原理	312
7.2.3 预裂爆破的主要影响因素	315
7.2.4 预裂爆破参数的确定	318
7.2.5 预裂爆破设计原则	322
7.2.6 预裂爆破施工	325
7.3 光面爆破及其作用	327
7.3.1 基本概念	327



7.3.2	光面爆破作用机理	327
7.3.3	光面爆破参数的确定	328
7.3.4	光面爆破新技术	329
7.4	预裂及光面爆破的质量控制和效果评价	332
7.4.1	预裂及光面爆破质量控制	332
7.4.2	预裂及光面爆破效果评价	333
7.5	缓冲爆破	334
7.5.1	基本概念	334
7.5.2	缓冲爆破布孔原则	335
7.5.3	缓冲爆破的适用条件	335
7.6	工程实例	336
7.6.1	复杂环境下全路堑控制爆破	336
7.6.2	柳桂高速公路石质路堑光面爆破	344
8	公路路堑一次成型爆破技术	351
8.1	概述	351
8.2	硐室加预裂一次成型爆破技术	352
8.2.1	硐室加预裂一次成型爆破适用条件	352
8.2.2	台阶高度的确定	353
8.2.3	上层台阶爆破的影响及处理方法	354
8.2.4	下层台阶爆破对上层边坡的影响	355
8.2.5	药包布置及爆破参数的选择	355
8.3	相关问题探讨	358
8.3.1	路堑高边坡的稳定性	358
8.3.2	岩石破碎效果分析	358
8.3.3	地质构造对爆破作用的影响	359
8.3.4	预裂缝宽度对一次爆破成型的影响	361
8.3.5	硐室与预裂起爆间隔时间	361
8.4	硐室加预裂一次成型爆破的钻孔技术	361
8.4.1	钻孔误差	362
8.4.2	钻孔误差的预防	363
8.4.3	潜孔钻机的钻孔技术	364
8.5	工程实例	365
8.5.1	太长高速公路全挖路堑硐室加预裂爆破	365



8.5.2 贵新高速公路洞室加预裂爆破	369
9 公路结构物基础石方爆破	376
9.1 沟槽控制爆破	376
9.1.1 基本特点与开挖方法	376
9.1.2 炮孔布置与起爆顺序	378
9.1.3 沟槽爆破参数设计	379
9.1.4 沟槽爆破的起爆网路	384
9.1.5 工程实例	384
9.2 桩井控制爆破	390
9.2.1 桩基础开挖特点	390
9.2.2 桩井爆破设计	391
9.2.3 桩井爆破施工	393
9.2.4 工程实例	395
9.3 浅基础控制爆破	399
9.3.1 浅基础的常用类型与基本形状	399
9.3.2 浅基础爆破开挖特点	402
9.3.3 爆破设计	403
9.3.4 工程实例	405
10 爆破安全技术	409
10.1 起爆安全及拒爆处理	409
10.1.1 电雷管网路的起爆安全	410
10.1.2 其它网路的起爆安全	413
10.1.3 拒爆及其处理	414
10.2 爆破地震效应	420
10.2.1 概述	420
10.2.2 爆破地震的安全判据和安全距离	422
10.2.3 降低爆破地震效应的措施	424
10.3 爆破冲击波	426
10.3.1 爆破冲击波的产生及传播	426
10.3.2 爆破冲击波的破坏判据和安全距离	427
10.3.3 爆破冲击波的控制与防护	429
10.4 爆破飞散物	430
10.4.1 爆破飞散物的产生和危害	430



10.4.2 爆破飞散物的飞散距离和安全允许距离	431
10.4.3 爆破飞散物的控制与防护	433
10.5 爆破有害气体	434
10.5.1 爆破产生的有害气体	434
10.5.2 爆破有害气体对人体的危害	435
10.5.3 爆破有害气体的允许浓度及预防措施	436
10.6 爆破对岩体的破坏	437
10.6.1 爆破对岩体破坏范围的划分与观测	437
10.6.2 爆破对岩体破坏范围的计算	439
10.6.3 减少爆破对岩体破坏的措施	440
参考文献	442



1 绪 论

1.1 我国公路工程爆破技术的发展历程

工程爆破是利用炸药爆炸产生的巨大能量作为生产手段,为工程建设服务的一种技术。由于爆破技术具有一般人力或机械所不能替代的特殊优势,因而在国民经济建设中有着广泛的用途,已成为公路、铁路、矿山、水利等工业领域中破碎岩石的主要方法。

我国公路石方爆破技术经过了曲折的发展历程。新中国成立之前,我国的公路建设十分落后,不仅规模小,而且等级低,公路石方的开挖主要采用人工打眼,由炮工凭经验装药进行爆破,没有专门的技术人员对爆破进行研究和指导。

新中国成立之后,党和政府开始重视交通基础设施的建设。公路建设步伐的加快,为公路石方爆破技术提供了重要的发展机遇。以王鸿渠教授为代表的公路科技人员,经过几十年的艰苦努力和辛勤耕耘,在总结大量工程爆破经验和教训的基础上,创建了具有我国自主知识产权的“多边界石方爆破理论”。在这一理论的指导下,先后建立了一整套因地制宜的公路石方综合爆破方法,形成了完整的体系。近十几年来,随着高等级公路的大规模建设,深孔爆破、预裂爆破和光面爆破技术在公路工程中得到了越来越广泛的应用,进一步丰富和完善了公路石方开挖的技术手段。

回顾我国公路工程爆破技术的发展历程,大致可划分为如下五个阶段。

1.20 世纪 50 年代初期——萌芽阶段

20 世纪 50 年代初期,前苏联专家将包列斯柯夫(М. М. БоечкоB)爆破理论介绍到我国,公路石方开挖开始采用硐室爆破,并按前苏联的方法进行爆破施工。这一阶段的主要特点是通过工程实践全面学习前苏联的理论。

然而,由于“包氏”理论是建立在水平边界条件基础上的,一般不考虑地形的影响,大量的工程实践表明,当采用包氏公式计算的装药量在斜坡地形



进行爆破时,药量过多,且易造成地质病害。一般情况下,包氏公式计算出的药量偏高 20% ~ 40%,在陡坡地形甚至偏高 60% 以上。因此,在这一阶段的后期,开始改为有条件地采用包氏公式,即根据工程经验针对不同的自然地面坡度对包氏药量计算公式进行修正。

2.20 世纪 50 年代末至 60 年代中期——探索阶段

1959 年,交通部交通科学研究院(下简称“交研院”)道路研究室派专人对公路石方爆破施工进行调研,主要是总结 1958 年全民大修公路的筑路经验。当时调研组仅 2 人,他们深入云南德钦—盐井、湖南向家溪等公路工程现场,发现并总结了抛掷爆破方法,并从 1960 年起开始对此进行系统的试验和研究。

1963 年,交研院道路室成立了爆破研究组,其成员最多时达到 6 人,在北京的三家店—雁翅、延庆白河堡以及四川雅安—荣经等公路工程工地,对抛掷爆破和分集药包开展工程应用性的试验研究和收集资料等工作,为该项技术的工程应用扫清了障碍。

1965 年,结合交通部重点建设工程,北京门头沟经河北涞源和山西繁峙到太原的公路建设,通过示范和举办培训班等形式,大规模推广应用抛掷爆破方法,取得巨大成功,既加快了施工进度,又降低了工程造价。与此同时,结合实际工程,对分集药包开展了进一步的深入研究,并且开始着手对多面临空爆破方法和药量计算公式进行研究。

这一阶段的标志性成果是抛掷爆破方法和分集药包装药方式的建立和完善,集中反映在人民交通出版社于 1966 年内部发行的《公路石方综合爆破方法》一书中。

抛掷爆破最早由交通部公路科学研究所和云南、山西等省交通厅于 1959 年根据斜坡地形公路半路堑的爆破经验和快速施工的要求总结提出,通过对 1959 ~ 1963 年间 400 余次生产性试验结果的分析研究建立起来的以斜坡地形为边界条件的一整套设计和计算方法。它体现出药包布置、爆破效果与地形之间的关系,以及抛掷率随自然地面坡度的增大而增加,耗药量随地面坡度的增大而迅速降低这一重要规律。由于装药量与不同的地形条件相适应,同时考虑了斜坡地形的物理作用,因而耗药量少、爆破效果好,并能获得比较顺直和稳定的边坡。

分集药包是一种新型的能提高炸药能量有效利用率的装药方式。它是将原集中药包的药量分别装在两个相距甚近、中间一般由横向导硐联系的



子药室中,爆破时两子药包必须共同起爆。分集药包最早由我国公路施工部门和王鸿渠教授于20世纪50年代末期首先发明。之后,经过均质土中的标准试验和上百次生产性试验证明,分集药包与集中药包相比,爆破石方量可增加20%~50%,而相应的单位炸药消耗量则降低15%~35%。同时,湖南、山西、云南等省公路工程的实践表明,分集药包不仅适用于抛坍爆破,也适用于抛掷爆破。

1968年,在北京怀柔、密云等公路工程中,应用以抛坍爆破和分集药包为标志的综合爆破技术,为北京市山区公路的建设作出了巨大贡献。

3.20世纪60年代中期至70年代中期——停滞阶段

1966年开始的席卷全国的“文化大革命”运动使本已取得良好开端的公路石方爆破技术的研究被迫中断。

1965年,交通部在重庆成立了西南分院,即现在的交通部重庆公路科学研究所的前身,设立爆破研究组,先后派人深入四川、西藏等地,对公路石方爆破状况进行调查,拟对其进行深入研究,后因“文革”影响未获重大突破。

1969年,交通部科学研究院的爆破研究人员全部下放到“五七”干校,从而使公路石方爆破技术的研究工作全面停止。

4.20世纪70年代中期至90年代初期——成熟阶段

1974年,原交通部科学研究院爆破研究组学术带头人王鸿渠调入北京工业大学,重新组建了研究队伍。此后,公路石方爆破技术研究的中心转移到北京工业大学。

1978年,公路石方爆破技术的部分研究成果获得了当年召开的全国科学大会重大贡献奖。同时,全国科学大会的召开也为公路石方爆破技术的完善和成熟提供了前所未有的发展契机。

1978年10月,北京工业大学招收了第一届公路工程爆破专业硕士研究生,从而使公路石方爆破技术的研究进入理论探讨和形成体系的新阶段。这一阶段的工作主要集中在多边界条件下爆破作用的规律、特性及物理过程的系统研究和多面临空爆破系列方法的应用研究两个方面,标志性成果是建立了多边界石方爆破体系,其完整的论述体现在人民交通出版社1994年出版的《多边界石方爆破工程》一书中。

1978年至1984年间,为了探讨多边界条件下爆破作用的规律与特性,北京工业大学集中做了大量的试验,其中包括有机玻璃爆炸箱内的模拟试