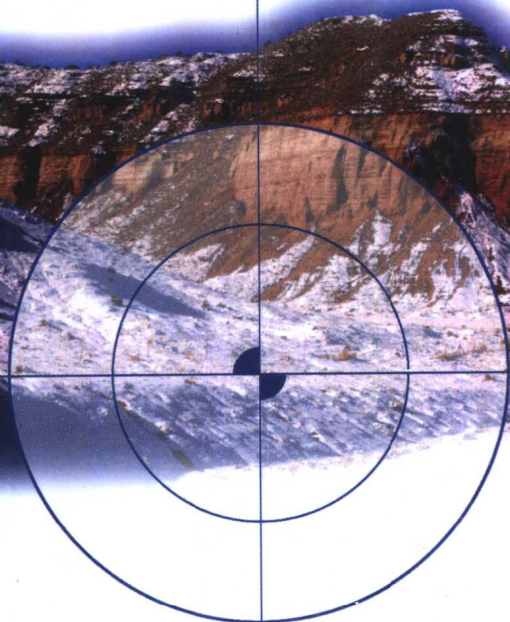


JIAOTONGTUJIAN
GONGCHENG
BAOPOGONGCHENGSHI
SHOUCE

交通土建工程 爆破工程师手册

■ 张志毅 王中黔 主编
■ 冯叔瑜 主审



人民交通出版社

Jiaotong Tujian Gongcheng Baopo Gongchengshi Shouce

交通土建工程爆破 工程師手冊

张志毅 王中黔 主编
冯叔瑜 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本手册介绍了工程爆破基础理论和土建类工程的爆破技术。

该书共分 12 章,内容涉及爆破工程地质,爆破器材,起爆方法,路基土石方爆破,地下工程爆破,市政工程爆破,爆破安全,以及爆破工程招投标与项目管理和爆破工程施工监理等。

本手册是作者多年来工程实践经验和研究成果的总结,极具系统性、实用性。

该手册可供有关专业的工程技术人员学习和使用,也可作为有关院校师生的教学参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

交通土建工程爆破工程师手册 / 张志毅,王中黔主编.
北京:人民交通出版社, 2002.12

ISBN 7-114-04436-4

I. 交... II. ①张...②王... III. 道路工程: 土木工程—爆破施工 IV. U415

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 066198 号

交通土建工程爆破工程师手册

张志毅 王中黔 主编

冯叔瑜 主审

正文设计:孙立宁 责任校对:张莹 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:31.25 字数:769 千

2002 年 10 月 第 1 版

2002 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—4000 册 定价:56.00 元

ISBN 7-114-04436-4

U·03274

编委会成员

主 编 张志毅 王中黔

主 审 冯叔瑜

编写人员(按姓氏笔画排列)

邓志勇 戈鹤川 史光华

史雅语 刘 慧 刘书伦

刘运通 刘宏刚 齐景岳

杨年华 张 旭 张翠兵

郭 峰 顾毅成

前 言

建国以来,工程爆破在我国铁路、交通、土建、水利、水电、矿山以及其他国民经济建设部门发挥了相当大的作用。特别是改革开放以后,为适应我国国民经济的高速发展,交通土建部门在完善全国路网建设以及城市、工厂、港口、码头、机场等设施的基建中承担了更为艰巨的任务,从而为工程爆破提供了广阔的应用市场和发展前景。为此,人民交通出版社委托铁道科学研究院爆破室组织编写了本手册,供交通土建类爆破工程师在实际工作中参考。

本手册编写以实用为原则,在系统叙述有关爆破基础知识之后,重点围绕交通土建类工程中经常实施的路基土石方开挖、隧道工程、市政工程建设以及航道整治等方面详细论述了其爆破设计计算方法、施工工艺和安全保障技术。考虑到近年来爆破工程已进入市场范畴,为与国内外工程市场接轨,本手册首次编写了爆破工程招投标与项目管理、爆破工程施工监理两章内容,以期达到抛砖引玉的作用。

在编写过程中,作者总结了多年来自身的工程实践经验和试验研究成果,同时也参考和引述了大量爆破同仁们的论述和著作,在此深表敬意和感谢。手册中谬误和不当之处,敬请读者批评指正。

手册的编写和分工如下:第1章(刘慧、郭峰),第2章(杨年华),第3、4章(郭峰),第5章(史雅语、刘运通、杨年华、刘宏刚、邓志勇、顾毅成),第6章(齐景岳),第7章(刘书伦、史光华、张翠兵),第8章(史雅语),第9章(顾毅成),第10章(郭峰、戈鹤川、史雅语),第11章(张旭、郭峰),第12章(郭峰、刘慧)。另外,赵超群、刘舍宁、杨立荣、傅天杰和傅洪贤做了大量文整工作,谨此表示谢意。

编 者
2002年6月

目 录

1 爆破基本知识	1
1.1 爆破的基本概念	1
1.1.1 爆破	1
1.1.2 爆破破碎机理	3
1.1.3 爆破时介质中的应力状态	4
1.2 爆破漏斗	8
1.2.1 爆破的内部作用	9
1.2.2 集中药包的爆破漏斗	10
1.2.3 条形药包的爆破漏斗	11
1.2.4 利文斯顿爆破漏斗理论	13
1.2.5 台阶爆破的爆破漏斗	16
1.2.6 掘沟爆破的爆破漏斗	17
1.3 相似理论在工程爆破中的应用	18
1.3.1 量纲分析	18
1.3.2 爆炸相似律	20
1.3.3 经验公式形式	21
1.3.4 模型试验	22
2 爆破工程地质	25
2.1 岩石的基本性质及分级	25
2.1.1 岩石分类	25
2.1.2 岩石基本性质	28
2.1.3 岩石分级	30
2.1.4 炸药与岩石的匹配	34
2.2 地质条件对爆破的影响	35
2.2.1 结构面对爆破的影响	35
2.2.2 地形对爆破的影响	38
2.2.3 特殊地质条件对爆破的影响	39
2.3 爆破对工程地质条件的改变	40
2.3.1 爆破对保留岩体的破坏	40
2.3.2 爆破对边坡稳定性影响	42
2.3.3 爆破对水文地质条件的改变	44
2.4 爆破工程地质勘察	44
2.4.1 爆破对工程地质勘察的基本要求	44
2.4.2 爆破工程地质勘察中应注意的问题	45
2.4.3 勘察工作的内容及方法	45

2.4.4 编写工程地质报告书	47
3 爆破器材	49
3.1 工业炸药	49
3.1.1 炸药的基本概念	49
3.1.2 硝铵类炸药	52
3.1.3 含水炸药	54
3.1.4 专用炸药	56
3.1.5 国内主要炸药生产厂	61
3.1.6 炸药的检验	62
3.2 起爆器材	71
3.2.1 火雷管	71
3.2.2 电雷管	73
3.2.3 非电导爆管雷管	77
3.2.4 导爆索	80
3.3 爆破仪表	82
3.3.1 起爆器	82
3.3.2 爆破电表	83
4 起爆方法	85
4.1 火花起爆法	85
4.2 电力起爆法	86
4.2.1 电力起爆理论	86
4.2.2 成组电雷管的准爆条件	86
4.2.3 起爆网路形式及特点	87
4.2.4 网路设计计算	88
4.2.5 施工中应注意的问题	89
4.3 导爆索起爆法	90
4.3.1 网路特性	91
4.3.2 联接方式	91
4.3.3 网路形式	92
4.4 导爆管起爆法	93
4.4.1 网路特性	93
4.4.2 网路形式	93
4.5 综合起爆法	96
4.5.1 电力-导爆索起爆网路	96
4.5.2 电力-导爆管起爆网路	97
4.5.3 导爆索-导爆管起爆网路	98
4.5.4 起爆网路设计原则和注意事项	99
5 路基土石方爆破	100
5.1 硐室爆破	100
5.1.1 硐室爆破的分类及适用条件	100

5.1.2 硐室爆破的设计原则与步骤	103
5.1.3 硐室爆破的药包布置原则	105
5.1.4 集中药包设计计算	109
5.1.5 条形药包设计计算	125
5.1.6 公路石方硐室爆破	137
5.1.7 分集药包	150
5.1.8 蛇穴爆破的简单计算	151
5.1.9 硐室爆破的施工与管理	151
工程实例	156
5.2 深孔台阶爆破	167
5.2.1 基本概念	167
5.2.2 爆破参数选择	169
5.2.3 爆破装药量计算	175
5.2.4 起爆方法与微差爆破	175
5.2.5 爆破效果分析	178
5.2.6 合理排数和作业面宽度	181
5.2.7 深孔爆破技术经济分析	186
5.3 浅孔小台阶爆破	188
5.3.1 炮孔布置方法	188
5.3.2 台阶高度与炮孔直径	188
5.3.3 爆破参数设计计算	188
5.4 药壶爆破	189
5.4.1 主要形式和适用条件	190
5.4.2 药壶胀扩工艺	190
5.4.3 爆破参数设计计算	191
5.5 大块岩石(孤石)二次破碎	192
5.5.1 爆破破碎法	193
5.5.2 机械破碎法	194
5.6 光面爆破、预裂爆破	194
5.6.1 光面爆破	194
5.6.2 预裂爆破	198
5.6.3 光面、预裂爆破施工工艺	203
5.6.4 光面、预裂爆破质量评价	207
5.6.5 准光面、准预裂爆破	207
5.7 路堑开挖综合爆破一次成型技术	208
5.7.1 概述	208
5.7.2 硐室加预裂一次成型爆破	208
5.7.3 深孔与光面、预裂综合爆破	213
5.8 铁路复线工程石方控制爆破	215
5.8.1 铁路复线工程石方控制爆破的特点与分类	215

5.8.2 复线石方爆破工程主要施工方案	217
5.8.3 复线石方爆破工程主要钻爆参数	221
5.8.4 铁路复线石方控制爆破的安全防护	227
5.8.5 施工安全管理	231
6 地下工程爆破	233
6.1 隧道爆破	233
6.1.1 隧道爆破的基本概念	233
6.1.2 常用术语及各部位炮眼名称	234
6.1.3 隧道爆破设计	234
6.1.4 小断面导坑爆破设计	245
6.1.5 软岩隧道爆破设计	250
6.1.6 中硬岩、硬岩隧道爆破设计	254
6.1.7 隧道光面爆破、预裂爆破	260
6.2 特殊条件下的隧道爆破	267
6.2.1 软弱围岩隧道大断面开挖爆破	267
6.2.2 瓦斯隧道爆破	272
6.2.3 微振动爆破	274
6.3 爆破对隧道围岩的扰动破坏	275
6.3.1 扰动破坏的主要特征	275
6.3.2 不同爆破方法对隧道围岩的扰动影响	275
6.4 隧道爆破质量检验标准	277
6.4.1 影响隧道爆破质量的因素	277
6.4.2 隧道爆破质量检验标准	279
6.4.3 关于质量标准的解释	280
6.5 竖井开挖	280
6.5.1 竖井施工特点	280
6.5.2 竖井爆破设计	280
6.5.3 竖井爆破施工	283
6.6 大型地下洞库开挖	283
6.6.1 洞库开挖方法	283
6.6.2 地下洞库爆破	284
7 水下爆破	286
7.1 水下钻孔爆破	286
7.1.1 施工特点及其施工方法	286
7.1.2 钻爆参数	287
7.1.3 爆破工艺	290
7.1.4 起爆方法	291
7.1.5 水下微差爆破	291
7.2 水下预裂爆破	292
7.2.1 爆破效果及其影响因素	292

7.2.2 爆破参数选择	293
工程实例	294
7.3 水下裸露爆破	295
7.3.1 应用范围	295
7.3.2 施工方法	295
7.3.3 药量计算和药包加工	296
7.4 水下硐室爆破	297
7.4.1 水下硐室爆破适用范围	298
7.4.2 导硐与药室布置	298
7.4.3 药量计算和参数选择	299
工程实例	300
7.5 水下清渣	301
7.5.1 作业方式	301
7.5.2 注意事项	302
7.6 爆炸挤淤筑堤	303
7.6.1 淤泥中爆炸的一些特点	303
7.6.2 爆炸法处理水下淤泥软基的几种方法	303
工程实例	304
7.7 水下砂基爆破密实	307
7.7.1 作用原理	307
7.7.2 水下爆夯法	308
7.7.3 钻孔爆炸挤密法	309
8 市政工程爆破	310
8.1 道路配套管线系统的沟槽爆破	310
8.1.1 基本特点和开挖方法	310
8.1.2 炮孔布置与起爆顺序	311
8.1.3 沟槽爆破参数设计	311
8.1.4 起爆网路	315
8.1.5 采用预裂和光面爆破法的沟槽爆破	315
工程实例	315
8.2 桥梁拆除爆破	317
8.2.1 主要类型及设计原则	317
8.2.2 桥面和桥墩拆除爆破	318
8.2.3 混凝土桥梁的拆除	319
8.2.4 石拱桥的拆除	320
8.3 建筑物拆除爆破	320
8.3.1 概述	320
8.3.2 楼房的拆除爆破	323
8.3.3 厂房的拆除爆破	327
工程实例	331

8.4 高耸构筑物的爆破拆除	334
8.4.1 烟囱、水塔拆除爆破的一般原则	335
8.4.2 烟囱、水塔拆除爆破技术设计	335
8.4.3 烟囱、水塔拆除爆破的施工要点	337
工程实例	338
8.5 容器状建、构筑物的水压爆破拆除	340
8.5.1 水压爆破的原理和特点	340
8.5.2 水压爆破药量计算公式	341
8.5.3 水压爆破设计	343
8.5.4 施工注意事项	344
工程实例	345
8.6 大型块体和基础的爆破解体和切割	349
8.6.1 设计原则	350
8.6.2 爆破参数选择	350
8.6.3 块体控制爆破施工技术	358
8.7 地坪破碎	359
8.7.1 爆破破碎法	359
8.7.2 静态龟裂法	362
8.7.3 机械破碎法	364
9 爆破安全	365
9.1 早爆及其预防	365
9.1.1 雷电引起的早爆及其预防	365
9.1.2 电磁波、高压电及射频电对电雷管的安全影响	366
9.1.3 静电引起早爆的预防	367
9.1.4 杂散电流及其预防	368
9.2 拒爆及其处理	368
9.2.1 由于炸药因素造成的拒爆	369
9.2.2 由于起爆网路和操作不当引起的拒爆	370
9.2.3 拒爆的处理	372
9.3 爆破振动	374
9.3.1 爆破地震波的产生及其主要特征	374
9.3.2 爆破地震波的强度预报	375
9.3.3 爆破地震的破坏判据及安全允许距离	377
9.3.4 爆破振动效应的控制	381
9.3.5 拆除爆破建(构)筑物塌落的振动	382
9.4 爆破冲击波	383
9.4.1 爆破冲击波的产生及传播	383
9.4.2 爆破冲击波的破坏判据及安全距离	384
9.4.3 水下爆破产生的冲击波及其安全距离	387
9.4.4 降低爆破冲击波的主要措施	389

9.5 爆破堆积体与个别飞散物	389
9.5.1 爆破大量堆积范围的预测	389
9.5.2 爆破飞散物安全允许距离的计算	391
9.5.3 爆破个别飞散物的控制与防护	392
9.5.4 涌浪	393
9.6 爆破有毒气体	393
9.6.1 炸药爆炸产生的有毒气体	394
9.6.2 爆破有毒气体对人体的危害	395
9.6.3 爆破有毒气体的允许浓度及预防措施	396
9.7 爆破对岩体的破坏	397
9.7.1 爆破对岩体破坏区域标准的划分与观测	397
9.7.2 爆破对岩体破坏范围的计算	399
9.7.3 减少爆破对岩体破坏的措施	401
9.7.4 关于爆破振动液化	401
9.8 爆破对环境保护的影响	402
9.8.1 爆破噪声	402
9.8.2 爆破粉尘	404
9.8.3 水中爆破对生态的保护	405
10 施工机械	407
10.1 钻孔机械	407
10.1.1 凿岩机	408
10.1.2 露天钻孔机械	412
10.1.3 地下钻孔机械	418
10.1.4 水下钻孔设施	421
10.2 装药机械	425
10.2.1 露天装药机械	425
10.2.2 井下装药设备	427
10.2.3 水下装药机械	428
10.3 破碎机械	431
10.3.1 风镐	431
10.3.2 手持式破碎机	432
10.3.3 碎石锤	433
10.3.4 破碎机	433
10.4 装载机械	436
10.4.1 铲运机械的主要类型	436
10.4.2 挖掘机	438
10.4.3 装载效率及提高途径	438
10.5 机械化作业工艺流程及机械配置	440
10.5.1 露天爆破	440
10.5.2 地下工程	441

11 爆破工程招投标与项目管理	442
11.1 招标	442
11.1.1 招标的准备工作	442
11.1.2 招标工作	444
11.1.3 评标和签约	444
11.2 投标	446
11.2.1 投标程序	446
11.2.2 编制投标文件	448
11.2.3 中标、签约	449
11.3 概、预算	450
11.3.1 定额概述	450
11.3.2 概、预算的编制依据	452
11.4 施工组织	453
11.4.1 施工组织设计	453
11.4.2 施工方案的编制	454
11.4.3 施工进度计划的编制	455
11.4.4 施工平面图的设计	455
11.5 施工项目管理	456
11.5.1 施工项目管理要求	456
11.5.2 安全保证	458
11.5.3 合同管理	458
11.5.4 质量控制	459
11.5.5 施工项目成本	460
11.5.6 进度控制	461
11.6 计量支付	463
11.6.1 计量	463
11.6.2 支付	464
11.6.3 工程索赔	465
11.7 竣工验收	465
11.7.1 竣工验收的规定	465
11.7.2 竣工验收的程序	466
12 爆破工程施工监理	467
12.1 监理工作内容	467
12.2 质量控制要点	468
12.2.1 爆破设计审查的主要内容	468
12.2.2 施工过程的中间检查	468
12.2.3 工序验收要点	468
12.3 爆破工程监理实施细则	469
12.3.1 工程概况	469
12.3.2 监理工作目标和工作范围	469

12.3.3 监理依据	470
12.3.4 监理组织	470
12.3.5 工程质量监理程序	471
12.3.6 工程进度监理	476
12.3.7 工程投资控制	477
12.4 专用监理表格	478
参考文献	480

1 爆破基本知识

炸药是一种特种能源,在一定条件下可以发生高速化学反应,并释放出巨大能量。据研究资料表明,在通常的爆炸条件下,其爆轰波波阵面单位面积强度可达 $10^{13}\text{W}/\text{m}^2$ 数量级。因此,自炸药和相应的起爆器材发明以来,炸药已成为人类在生产建设活动中可予充分利用的能源。

生产实践中,利用炸药的爆炸能量对介质做功,以达到预定工程目标的作业称之为爆破。

1.1 爆破的基本概念

在交通土建工程领域,爆破、爆破破碎机理、爆破在介质中的应力状态等是爆破工程师需要了解和经常用到的几个概念,也是在具体的爆破设计和施工以及在技术上有所创新的理论依据。

1.1.1 爆破

工程爆破,是指采用工业炸药对岩土、混凝土、建(构)筑物、钢铁等进行破碎、压实、疏松、拆除、切割等的作业。它是以工程建设为目的的爆破技术,作为工程施工的一种手段,以破坏的形式达到新的建设目的,直接为经济建设服务。

一、工程爆破类别

工程爆破在铁道、交通、矿山、建筑、水电及国防工程等部门获得广泛应用,根据爆破的性质和用途,主要有:

(1)露天工程爆破

在市政、交通工程中往往需要完成大量的土石方开挖任务,如矿山的开拓剥离,厂房基础开挖,公路、铁路路堑开挖,定向爆破筑坝以及平整场地等均可采用此类工程爆破方法来完成。

(2)地下工程爆破

包括各类地下矿山开采、公路铁路隧道、水工隧洞、城市地铁、地下库房、国防工程等,特点是空间狭小,作业条件艰难。

(3)水下爆破

主要用于航道疏浚、港口建设、爆炸挤淤、桥梁建设中炸礁石、软弱地基夯实等工作。多采用水下钻孔爆破、水下裸露药包爆破以及聚能爆破等方法。此外,在天然湖泊和人工水库开发过程中,常采用水下岩塞爆破的方法来贯通泄水隧道。

(4)拆除爆破

多用于城市、工厂改建、扩建及拆除。它的基本方法是用少量炸药布置在建筑物基础及墙体、梁、柱等结构承重部位,在爆破作用下,造成结构失稳并控制其倒塌的方向和范围,以确保邻近建筑物免遭破坏。它与其他拆除方法相比较具有成本低、工期短、效率高等优点。

(5)爆炸加工

爆炸加工是以炸药为能源代替传统机械加工的一种加工方法。我国从 1958 年开始研究

和应用爆炸加工技术,目前已有很大的发展,如爆炸成型、爆炸切割、爆炸冲孔、爆炸复合、爆炸焊接、爆炸铆接、爆炸硬化、爆炸雕刻等爆炸加工方法已广泛用于各种工业部门。

(6)特殊工程爆破

如石油钻井的压裂爆破,地震勘探中的人工激振爆破和高原冻土爆破等。

随着现代工业的迅速发展,爆破技术的进步,工程爆破的类别与用途将不断扩大和创新。

二、药包形状

工程爆破的目的是在破坏中求建设,是为了特定的工程目的而进行的,爆破的结果应满足该工程的设计要求,同时还必须保证其周围环境的安全。这意味着爆破工程师除了能使用一般的爆破方法去进行爆破施工外,还能根据实际情况采用合理的药包形状(即炸药包的爆炸作用及特性)以达到工程目的。按药包形状可分为四类:

(1)集中药包

这种药包的形状理论上应是球体,起爆点在球体的中心,爆轰波以球面波向外传播,爆炸作用以均匀的分布形态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,长方体的最长边不超过最短边的4倍。

(2)延长药包

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,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。延长药包以柱面波向四周传播并作用到周围介质上。在实际应用中,深孔法、炮眼法和硃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

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于达到,所以理想的平面药包实际上是以等效的硃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。爆破时这种平面装药法每个药包的压缩波在一定的距离内叠加成一个波,继而,这个波平行于药包布置呈平面传播,并且使介质产生与理想平面药包爆破作用下相同的规律运动。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,通常用于剥离工作、爆破法筑坝(堤)、开挖运河和其他水利工程。

(4)特定形状药包

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它军事目标,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。

三、装药方法

按装药方法与装药空间形状的不同又可分为四种爆破方法。

(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。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)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。该法属于集中药包类,适用于中等硬度的岩石爆破,能在工程量不大、钻孔机具不足的施工条件下,以较少的炮孔爆破,获得较多的土石方量。随着现代土石方爆破机械化水平的提高,药壶爆破的运用面有所缩小,但仍在某些特殊工程中采用。

(3)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眼法爆破。从装药结构看,这属于延长药包一类,是目前工程爆破中应用最广、数量最大的一种爆破方法。其中深孔爆破,如果采用先进的钻孔机械和装药车,可全面提高土石方施工的机械化水平。

(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简单覆盖。这种方法对于清除危险物、交通障碍以及破碎大块石的二次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,使用的机会较少。

四、评价工程爆破的技术经济指标

评价工程爆破作业的技术经济效果,常用以下指标。

(1)炸药单耗

指爆破 1m^3 或 1t 岩矿所消耗的炸药用量,单位为 kg/m^3 或 kg/t 。

(2)延米爆破量

指 1m 炮孔所能崩落的岩石(或矿石)的平均体积或质量,单位为 m^3/m 或 t/m 。

(3)炮孔利用率

一般用于地下井巷和隧道掘进爆破,指一次爆破循环的进尺与炮孔平均深度之比,单位为 %。

(4)大块率

指一次爆破后所产生的不合格大块在总爆破岩石量中所占的比率,单位为 %。

(5)爆破成本

是指爆破 1m^3 岩石所消耗的与爆破作业有关的材料、人工、设备及管理等方面的费用,单位为元/ m^3 。

随着系统工程学科及计算机在爆破工程中的应用,国内外均在研究爆破优化问题,以实现包括钻孔、爆破、装载、运输及破碎在内的最低综合成本。

除了上述指标外,还广泛采用岩石松动、抛掷堆积效果,保留边坡、围岩的稳定性,爆破对周围环境的安全影响等来评价爆破的技术效果。

1.1.2 爆破破碎机理

由于炸药爆炸过程是一个高温、高压、高速的瞬时过程,被爆岩石的性质和爆破条件复杂多变,且岩石的爆破破坏过程又是一个历时极为短暂的过程,因此给直接观测和研究岩石的破坏机理造成了极大的困难。目前人们对岩石的爆破作用过程仍然了解得不够透彻,尚不能形成一套完整而系统的爆破理论作为理论分析和定量计算的依据。

尽管如此,随着长期实践经验的积累和近几十年来现代科学技术的迅猛发展,借助先进的测试技术和方法以及模拟爆破实验,对岩石中爆破作用原理的研究也取得了一定的进展,提出