

高职高专规划教材

KUANGSHAN BAOPU

矿山爆破

张敢生 戚文革 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高职高专规划教材

矿山爆破

主 编	张敢生	戚文革
副主编	韩延清	何晓光

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2009

内 容 提 要

本书系统地介绍了工程爆破的基本知识、基本理论和基本技能,并以金属矿山为重点,介绍了近年来爆破工程中出现的新工艺、新技术及其在矿山爆破中的应用。主要内容包括岩石性质及其分级、钻孔机具与使用、炸药与爆破作用的基本知识与原理、常用爆破器材、常用起爆方法、岩石爆破基本原理、露天矿台阶爆破、地下矿爆破、硐室爆破、爆破危害控制与安全。

本书是高职高专金属矿开采技术专业的学生专用教材,也可作为矿山工程和工程爆破技术人员、管理人员的培训教材和应用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

矿山爆破/张敢生,戚文革主编. —北京:冶金工业出版社,
2009.6

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5024-4945-2

I. 矿… II. ①张… ②戚… III. 矿山开采—爆破技术—
高等学校:技术学校—教材 IV. TD235.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 094168 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 马文欢 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4945-2

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 6 月第 1 版,2009 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 13.5 印张; 360 千字; 205 页;1-2500 册

29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

随着采矿业的迅速发展,矿山爆破工艺和技术水平等都有很大的提高,为了适应这种发展趋势,根据冶金行业“十一五”教材建设规划,编写了本教材。

本教材以满足金属矿开采技术专业高职教学的需要为出发点,系统地介绍了工程爆破的基本知识、基本理论和基本技能;以金属矿山为重点,侧重于工程实践知识和技术,力求理论联系实际,介绍了近年来爆破工程中出现的新工艺、新技术,特别是这些新工艺、新技术在矿山爆破中的应用。

参加本教材编写工作的有辽宁科技学院张敢生、韩延清、何晓光、孔祥雷,吉林电子信息职业技术学院戚文革,本钢南芬露天铁矿高毓山。其中,绪论、第1章由韩延清编写,第2章由孔祥雷编写,第3章由张敢生、韩延清编写,第4章、第5章由张敢生、高毓山编写,第6章~第8章由张敢生编写,第9章由戚文革编写,第10章由何晓光编写。全书由张敢生、戚文革担任主编,韩延清、何晓光担任副主编。

编者在编写本教材时参阅了大量的图书专著、教材和学术期刊文章,并且得到了许多同行、矿山工程技术人员的支持和帮助,在此向文献作者及同行表示诚挚的谢意!

受编者水平所限,教材中难免有疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者
2009年2月

目 录

绪论	1
1 岩石性质及其分级	4
1.1 岩石基本性质	4
1.1.1 岩石的主要物理性质	4
1.1.2 岩石的主要力学性质	5
1.2 岩石分级	6
1.2.1 岩石坚固性分级(普氏分级)	6
1.2.2 爆破工程预算定额的岩石分类	9
1.2.3 岩石可钻性分级	9
1.2.4 岩石可爆性分级	9
本章小结	10
复习思考题	10
2 钻孔机具与使用	11
2.1 凿岩机	11
2.1.1 风动凿岩机	11
2.1.2 液压凿岩机	15
2.1.3 内燃凿岩机	15
2.1.4 凿岩钎具	16
2.2 潜孔钻机	18
2.2.1 露天潜孔钻机	19
2.2.2 地下潜孔钻机	20
2.2.3 潜孔凿岩钻具	21
2.3 牙轮钻机	22
本章小结	23
复习思考题	24
3 炸药与爆破作用的基本知识	25
3.1 基本概念	25
3.1.1 爆炸及其分类	25
3.1.2 化学爆炸的基本条件	25
3.1.3 炸药化学变化的基本形式	27

3.1.4 炸药的起爆与起爆能	29
3.1.5 炸药的起爆机理	29
3.1.6 炸药的传爆	30
3.2 炸药的氧平衡与热化学参数	35
3.2.1 炸药的氧平衡	35
3.2.2 炸药的热化学参数	38
3.3 炸药的爆炸性能指标	39
3.3.1 爆速	39
3.3.2 威力	41
3.3.3 猛度	43
3.3.4 殉爆	43
3.3.5 炸药感度	44
3.3.6 聚能效应	46
本章小结	48
复习思考题	49
4 常用爆破器材	50
4.1 工业炸药	50
4.1.1 炸药的定义与分类	50
4.1.2 工程爆破对工业炸药的基本要求	51
4.1.3 铵梯炸药	51
4.1.4 铵油炸药	54
4.1.5 乳化炸药等含水炸药	55
4.1.6 煤矿许用炸药	58
4.1.7 其他工业炸药	59
4.2 起爆器材	61
4.2.1 工业雷管	61
4.2.2 导火索及点火材料	71
4.2.3 导爆索与继爆管	72
4.2.4 起爆药柱	74
4.3 爆破器材的贮存与运输	74
4.3.1 爆破器材的贮存	74
4.3.2 爆破器材的运输	77
4.4 爆破器材的检验与销毁	79
4.4.1 爆破器材的检验	79
4.4.2 爆破器材的销毁	80
本章小结	83
复习思考题	83

5 常用起爆方法	84
5.1 火雷管起爆法	84
5.2 电力起爆法	85
5.2.1 电雷管的性能参数	85
5.2.2 电雷管的性能试验	86
5.2.3 起爆电源	86
5.2.4 电爆网路	87
5.2.5 电力起爆法的特点	88
5.3 导爆索起爆法	89
5.3.1 导爆索连接方式	89
5.3.2 导爆索与炸药连接	90
5.3.3 导爆索的引爆	90
5.3.4 导爆索起爆网路	90
5.3.5 导爆索起爆法的特点	91
5.4 塑料导爆管起爆系统	91
5.4.1 导爆管起爆系统组成	91
5.4.2 导爆管起爆网路基本形式	92
5.4.3 敷设导爆管爆破网路时应注意的问题	95
5.4.4 导爆管起爆系统的特点	95
5.5 新型起爆方法	95
5.5.1 高精度高强度导爆管起爆系统	96
5.5.2 数码雷管起爆系统	96
5.6 混合网路起爆法	98
本章小结	98
复习思考题	99
6 岩石爆破基本原理	100
6.1 岩石爆破破坏基本理论	100
6.2 单个药包爆破作用	102
6.2.1 爆破的内部作用	102
6.2.2 爆破漏斗	103
6.3 装药量计算原理	104
6.3.1 体积公式的计算原理	104
6.3.2 集中药包装药量计算	105
6.3.3 延长药包药量计算	106
6.3.4 单位炸药消耗量	106
6.4 影响爆破作用的主要因素	107
6.4.1 炸药性能对爆效的影响	107

6.4.2 地质条件对爆效的影响	107
6.4.3 炸药与岩石匹配关系对爆效的影响	108
6.4.4 施工方法对爆效的影响	108
本章小结	110
复习思考题	110
7 露天矿台阶爆破	111
7.1 露天矿深孔台阶爆破	111
7.1.1 台阶要素	111
7.1.2 钻孔形式	111
7.1.3 布孔方式	111
7.1.4 爆破参数的确定	112
7.1.5 装药结构	116
7.1.6 起爆顺序	117
7.1.7 大区多排孔毫秒爆破技术	119
7.1.8 宽孔距、小抵抗线毫秒爆破技术	120
7.1.9 深孔台阶爆破的技术设计	121
7.1.10 降低深孔台阶爆破大块率和根底率的措施	122
7.1.11 施工技术	123
7.2 露天矿浅孔台阶爆破	125
7.2.1 炮孔排列	125
7.2.2 爆破参数	125
7.3 药壶爆破及二次爆破	126
7.3.1 药壶爆破	126
7.3.2 二次爆破	129
7.4 预裂爆破和光面爆破	131
7.4.1 预裂爆破	131
7.4.2 光面爆破	137
本章小结	140
复习思考题	140
8 地下矿爆破	141
8.1 井巷掘进爆破	141
8.1.1 平巷掘进爆破	141
8.1.2 井筒掘进爆破	148
8.2 地下采场深孔爆破	154
8.2.1 深孔布置	154
8.2.2 爆破参数	156
8.2.3 VCR 法	159

8.3 地下采场浅眼爆破	161
8.3.1 炮眼排列	161
8.3.2 爆破参数	161
8.4 地下深孔挤压爆破	162
本章小结	163
复习思考题	164
9 硐室爆破	165
9.1 基本概念	165
9.1.1 分类与分级标准	165
9.1.2 硐室爆破药包的形式	166
9.1.3 用途	167
9.2 设计依据与基本内容	167
9.2.1 设计依据	167
9.2.2 设计程序	167
9.2.3 爆破方案规划设计	167
9.2.4 技术设计的基本内容	168
9.3 药包布置方法	168
9.3.1 单个集中药包布置法	169
9.3.2 并列集中药包布置法	169
9.3.3 双层单排延期药包布置法	169
9.3.4 单排并列群药包侧向抛掷爆破药包布置法	170
9.3.5 露天矿剥离爆破药包布置法	170
9.3.6 硐室爆破与预裂孔配合布置法	173
9.4 药包参数选择与装药量计算	173
9.4.1 药包参数选择	173
9.4.2 装药量计算	174
9.4.3 药包压缩圈半径计算	175
9.4.4 药包间距计算	176
9.4.5 爆破抛掷率分析	176
9.5 爆破施工与管理	177
9.5.1 导硐、药室布置与施工	177
9.5.2 起爆网路设计与测试	180
9.5.3 装药结构与填塞	181
9.5.4 起爆准备工作	182
9.5.5 爆破后现场检查与处理工作	183
本章小结	183
复习思考题	184

10 爆破危害控制与安全	185
10.1 爆破地震安全距离	185
10.1.1 爆破地震强度与安全距离计算	185
10.1.2 爆破振动安全允许标准	186
10.1.3 爆破地震效应的影响因素和降振措施	187
10.2 爆炸冲击波安全距离	189
10.2.1 冲击波安全距离计算	189
10.2.2 降低爆炸空气冲击波主要措施	191
10.3 爆破堆积体与个别飞散物计算	191
10.3.1 爆破堆积范围计算	191
10.3.2 爆破个别飞散物安全允许距离	192
10.3.3 爆破个别飞散物控制和防护	194
10.4 爆破粉尘产生与预防	194
10.4.1 爆破粉尘理化特性	194
10.4.2 影响爆破粉尘因素	195
10.4.3 降低爆破粉尘一般措施	195
10.5 爆炸有害气体扩散安全距离	195
10.5.1 爆炸产生有害气体	195
10.5.2 爆炸有害气体对人体的危害	196
10.5.3 爆破有害气体允许浓度及预防措施	197
10.6 爆破噪声及其控制	198
10.7 早爆、拒爆事故预防与处理	199
10.7.1 早爆、拒爆事故分类	199
10.7.2 早爆事故预防	200
10.7.3 拒爆事故处理	200
10.8 爆破环境调查与有害效应监测	202
10.8.1 爆破区域周围环境的宏观调查	202
10.8.2 爆破对周围建筑物安全影响细观调查	202
10.8.3 爆破有害效应监测	203
10.8.4 爆破安全分析和总结	203
本章小结	204
复习思考题	204
参考文献	205

绪 论

采矿业是现代工业的基础产业,它为现代工业生产提供原材料,在国民经济发展中占有极其重要的地位。目前我国有铁矿山 1830 余处,有色金属矿山 3350 余处,合计全国共有金属矿山约 5180 处。近几十年来,我国在矿业方面获得了前所未有的大发展,已经成为矿产资源开发利用体系完整的世界矿业大国。

矿山开采的主要技术手段是穿孔爆破工作,工程爆破在矿山生产中起着关键的作用。

作为工程爆破能源的炸药,其前身是黑火药。远在公元前 220 年,我国劳动人民就初具黑火药的知识,到 9 世纪的唐代,则有了完整的黑火药的配方,它是我国对人类文明做出贡献的四大发明之一。16 世纪俄国人使用黑火药开辟聂曼河航路,17 世纪黑火药开始用于矿山爆破,这是工程爆破最早的记载。直至 19 世纪初叶,由于化学工业的发展,雷酸汞、硝化甘油、硝化棉、梯恩梯(TNT)、达纳迈特(Dynamite)相继被发明和付诸实际应用,特别是成本低廉、生产与使用安全的硝酸铵类炸药以及工业雷管、各种索状起爆材料与起爆器具的相继问世,有力地推动了爆破技术在矿山、筑路、水利工程中的应用,并在生产实践中形成了工程爆破的设计与施工理论。

近 50 年来,随着铵油炸药、浆状炸药、水胶炸药和乳化炸药的研制成功,形成了性能 and 安全性更适合工程爆破要求的多品种、多系列的工业炸药;非电导爆管及毫秒微差起爆技术的诞生以及钻孔与施工机械、机具的发展,使工程爆破技术不断地扩大应用范围,深入到工程应用的各个方面,成为工程领域不可缺少的一种施工方法,与此同时,理论研究的不断深入,推动了爆破技术的迅速提高。

据统计,我国“九五”计划期间每年耗用工业炸药 120 万 t 左右,工业雷管 21 亿发。平均年采煤约 13 亿 t,其中除少量使用水力或机械开采外,绝大部分都是用爆破方法开采的;冶金矿山按年产钢 1 亿 t,10 种有色金属近 700 万 t 计算,合计消耗矿石量约 9 亿 t;非金属矿山按年产水泥 5 亿 t 计算,消耗石灰石在 6 亿 t 以上;铁道交通部门每年修建新线铁路约 1000km,公路逾 10 万 km,新建隧洞约 200km,以及港口、机场、水利电力、农林建设工程等,都要采用爆破方法作为施工手段。除此以外,在市政建设和厂矿技术改造中,有大量的废弃建(构)筑物采用爆破拆除。由此可见,工程爆破在我国国民经济建设中的重要地位和作用。

特别是近 10 年来,我国的工程爆破技术取得了令人瞩目的进步和发展成就,如硐室爆破、中深孔爆破、地下采掘爆破、建(构)筑物拆除爆破、水下工程爆破、特种爆破等,不仅完成了一批重大爆破工程项目,而且通过长期的实践和应用,积累了丰富的经验。

20 世纪 50~70 年代,在铁道新线建设中推广应用了硐室爆破方法,在宝成、鹰厦、成昆等 20 余条新线中进行了 1000 余处硐室爆破,大大提高了石方路堑的开挖工效;水利水电及冶金矿山部门,采用定向爆破技术堆筑了 40 多座水库用挡水堆石坝、泥石流防护坝及尾矿坝。广东南水水利枢纽工程的挡水坝由一次定向爆破筑成,坝高后经加高达 81m,至今它仍是采用定向爆破法筑成大坝工程中规模较大、效益较好的工程。在广泛采用硐室大爆破的过程中,我国老一代爆破工程技术人员总结工程实践经验,发展了大爆破设计理论,完善了爆破设计计算参数,提出了一套完整的定向爆破设计计算经验公式。在对条形药包的爆破漏斗特性、爆破设计计算方法进行

系统研究后,在铁路路堑爆破施工中首先采用了条形药包硐室爆破技术,近10多年来,其应用领域和规模逐渐扩大,在矿山、水电、公路、建材等部门先后成功进行了数十次大型条形药包硐室爆破工程,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t炸药的移山填海大爆破工程,一次爆破总石方量达1085万 m^3 ,抛掷率达51.8%。近年来,在一些采用硐室爆破开挖的石方路堑高边坡中,成功地实现了预裂、光面爆破,半孔率达95%以上,做到了边面稳定、规整、美观。

深孔爆破是冶金矿山生产的基本手段,铁路、公路路堑,大型水利枢纽工程及基础开挖工程一般也都采用深孔爆破。我国一些大型冶金矿山已采用大孔径钻机,实现了大区多排微差深孔爆破,预装药量300t,爆破矿岩方量超过80万t,爆破技术的改进大大提高了矿山生产的综合生产效率。1994年12月,在环胶州湾高速公路路堑开挖工程中,采用导爆管毫秒延时爆破,一次起爆雷管1.34万发,共分594段,在复杂的环境中,实现深孔爆破一次开挖成形长470m的全路堑,爆破总石方量11.5万 m^3 。在三峡工程中,采用直立边坡成形、闸槽底部保护层开挖、合理施工管理的综合爆破技术,安全、高质量地完成永久船闸闸室爆破,开挖石方1000万 m^3 ,百米高的边坡稳定,效果良好。

据不完全统计,目前我国大陆铁路隧道总数达5300余座,总长度逾3000km,其中5km以上隧道就有28座。钻爆法是隧道开挖工程的基本施工方法。西康铁路秦岭Ⅱ线隧道,长18.5km,对硬岩全断面进行深孔爆破,创下了月进尺最高达456m、平均为264m的纪录,创造了在特硬岩、特长隧道爆破掘进的快速施工技术。在矿山井巷、输水隧道、地下工程及城市地铁施工中,爆破技术也得到了广泛的应用。

建(构)筑物拆除爆破技术自20世纪70年代以来得到了迅速的发展,基于不同建(构)筑物在爆破作用下构件破碎过程和失稳、解体、倒塌机理的研究,提出了在不同环境条件下对不同结构采用原地倒塌、定向倾倒、折叠倒塌爆破拆除方案,或是采用水压爆破拆除方案。近20多年来,国内许多城市都有一批建筑物是采用爆破技术进行拆除的,其中包括北京、上海、武汉、深圳、福州等城市二十几座十几层高的高层建筑、十几座高百米以上的钢筋混凝土烟囱及许多一次拆除总面积数万 m^2 以上的单体和群体建(构)筑物。由于有能力采取控制有害效应的措施,爆破施工方法即使在复杂环境中也得到了越来越广泛的应用,例如在衡(阳)广(州)复线、宝(鸡)成(都)电气化铁路增建第二线,株(洲)六(盘水)电气化铁路既有线扩堑工程中,距运营铁路线50m以内计500余处、近600万 m^3 的集中石方地段,均采用控制爆破方法,在不间断铁路正常运营的前提下安全迅速地破碎清除。

水下工程爆破技术主要应用于加深、整治航道港口、挡水围堰或岩坎拆除爆破、水库水下岩塞爆破、破冰爆破和冰下炸礁、海上救助和沉船处理爆破以及淤泥和饱和砂土地基的爆炸加固处理等。近30年来,由于采用先进的爆破技术,保证了一些国家重点工程项目的顺利完成。应当特别的是提到中国科学院力学研究所与连云港及交通部有关单位提出的淤泥软基爆炸处理新技术,10年来应用该技术已完成筑堤总长超过50km,为沿海港口及其他工程建设做出了贡献。

在机电工程中,爆炸加工技术发展迅速,例如爆炸成形和爆炸复合、爆炸硬化和爆炸压实、爆炸压接和爆炸焊接等;利用爆炸能,可以人工合成金刚石。在石油地质部门,爆破用于坑探、掘进、地震勘探、油井和气井爆破等。采用爆破方法破碎金属、金属结构及高温热凝结构具有快速、安全的优点。除此以外,国内外工程爆破史上还有不少特殊爆破的记载和资料,如森林灭火、油井灭火、疏通被冰凌或木材填塞的河道等。总之,随着现代爆破技术的发展,完全有可能利用炸药的爆炸能量,去完成一些工程项目,包括一些人力或机械难以完成的工作。

面向21世纪,爆破技术的应用将在推动人类文明进步、促进社会经济发展等方面继续发挥

更大的作用。中国工程爆破协会在关于工程爆破技术创新的发展战略中明确提出:研究炸药能量转化过程的精密控制技术,提高炸药能量利用率,降低爆破有害效应是工程爆破新世纪的发展战略;要加强爆破理论和模拟技术的研究,用以指导爆破工程实践;要进一步发展工程爆破施工装备技术,提高爆破施工机械化和自动化水平;爆破器材要向高质量、多品种、低成本和安全生产工艺连续化发展;爆破安全技术要进一步创新和发展。在“全面建设小康社会,开创中国特色社会主义事业新局面”的宏伟目标指引下,我国在矿业、铁路、交通、水利、电力、建材、市政工程等建设领域都要大发展,特别是实施西部大开发的发展战略,加速中西部地区的建设,将有更多的爆破工程任务和新的爆破工程领域,期待我们去开拓,去完成。创新是工程爆破技术发展的不竭动力。20 世纪后期,在世界范围内掀起的科技进步大潮,带动了爆破器材及爆破理论的飞速进步。21 世纪科学技术的新发展,将推动新的工业革命,工程爆破技术也必将随之产生新的飞跃。

1 岩石性质及其分级

爆破工程的主要对象是岩石,因此只有在充分了解岩石类别、熟悉岩石的主要物理力学性质及其动力学特性的基础上,才能取得良好的爆破效果。为切实掌握岩石钻孔、爆破的难易程度,在大量生产实践和试验研究的资料积累中,也可用一定的指标把岩石划分成若干等级,作为工程投标、承包单价、选择施工方法及确定钻孔爆破器材消耗和劳动生产定额的依据,指导爆破设计与施工。

1.1 岩石基本性质

1.1.1 岩石的主要物理性质

1.1.1.1 密度

密度 ρ_s 为岩石的颗粒质量与所占体积之比。一般常见岩石的密度为 $1400 \sim 3000 \text{kg/m}^3$ 。

1.1.1.2 容重

容重 γ 为包括孔隙和水分在内的岩土总质量与总体积之比,也即单位体积岩石质量。密度与容重相关,密度大的岩石其容重也大。随着容重的增加,岩石的强度和抵抗爆破作用的能力也增强,破碎岩石和移动岩石所耗费的能量也增加。所以,在工程实践中常用公式 $K_b = 0.4 + (\gamma/2450)^2 (\text{kg/m}^3)$ 来估算标准抛掷爆破的单位用药量值。

1.1.1.3 孔隙率

孔隙率为岩土中孔隙体积(气相、液相所占体积)与岩石的总体积之比,也称孔隙度。常见岩石的孔隙率一般为 $0.1\% \sim 30\%$ 。随着孔隙率的增加,岩石中冲击波和应力波的传播速度降低。

1.1.1.4 岩石波阻抗

岩石波阻抗为岩石中纵波波速(C)与岩石密度(ρ_s)的乘积。岩石的这一性质与炸药爆炸后传给岩石的总能量及这一能量传递给岩石的效率有直接关系。通常认为选用的炸药波阻抗若与岩石波阻抗相匹配(接近一致),则能取得较好的爆破效果。铁路系统在新建西安—安康线上的秦岭隧道时,遇到深埋地下强度超过 250MPa 的特硬岩,其波阻抗达 $15 \times 10^6 \text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,为此委托山西兴安化工厂研制生产爆速达 4500m/s 以上、装药密度为 1260kg/m^3 的专用水胶炸药,替代原先采用的乳化炸药,才获得良好的爆破掘进效果。甚至也有的研究认为,岩体的爆破鼓包运动速度和形态、抛掷堆积效果也取决于炸药性质与岩石特征之间的匹配关系。表1-1中列出部分岩石的密度、容重、孔隙率、纵波速度和波阻抗。

表 1-1 常见岩石的物理性质

岩石名称	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	容重/ $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	孔隙率/%	纵波速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	波阻抗 / $\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$
花岗岩	2.6~2.7	2.56~2.67	0.5~1.5	4000~6800	800~1900
玄武岩	2.8~3.0	2.75~2.9	0.1~0.2	4500~7000	1400~2000
辉绿岩	2.85~3.0	2.80~2.9	0.6~1.2	4700~7500	1800~2300

续表 1-1

岩石名称	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	容重/ $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	孔隙率/%	纵波速度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	波阻抗 / $\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$
石灰岩	2.71~2.85	2.46~2.65	5.0~20	3200~5500	700~1900
白云岩	2.5~2.6	2.3~2.4	1.0~5.0	5200~6700	1200~1900
砂岩	2.58~2.69	2.47~2.56	5.0~25	3000~4600	600~1300
页岩	2.2~2.4	2.0~2.3	10~30	1830~3970	430~930
板岩	2.3~2.7	2.1~2.57	0.1~0.5	2500~6000	575~1620
片麻岩	2.9~3.0	2.65~2.85	0.5~1.5	5500~6000	1400~1700
大理岩	2.6~2.7	2.45~2.55	0.5~2.0	4400~5900	1200~1700
石英岩	2.65~2.9	2.54~2.85	0.1~0.8	5000~6500	1100~1900

1.1.1.5 岩石的风化程度

岩石的风化程度是指岩石在地质内力和外力的作用下发生破坏疏松的程度。一般来说,随着风化程度的增大,岩石的孔隙率和变形性增大,其强度和弹性性能降低。所以,同一种岩石常常由于风化程度的不同,其物理力学性质差异很大。岩石的风化程度根据《工程岩体分级标准》(GB50218—1994)分为未风化、微风化、弱风化、强风化和全风化,见表 1-2。

表 1-2 岩石风化程度的划分

名 称	风 化 特 征
未风化	结构构造未变,岩质新鲜
微风化	结构构造、矿物色泽基本未变,部分裂隙面有铁锰质渲染
弱风化	结构构造部分破坏,矿物色泽较明显变化,裂隙面出现风化矿物或存在风化夹层
强风化	结构构造大部分破坏,矿物色泽明显变化,长石、云母等多风化成次生矿物
全风化	结构构造全部破坏,矿物成分除石英外,大部分风化成土状

1.1.2 岩石的主要力学性质

岩石的力学性质可视为其在一定力场作用下性态的反映。岩石在外力作用下将发生变形,这种变形因外力的大小、岩石物理力学性质的不同会呈现弹性、塑性、脆性性质。当外力继续增大至某一值时,岩石便开始破坏。当外力继续增大至某一值岩石开始破坏时的强度称为岩石的极限强度。因受力方式的不同而有抗拉、抗剪、抗压等强度极限。岩石与爆破有关的主要力学性质如下所述。

1.1.2.1 岩石变形特性

(1) 弹性:岩石受力后发生变形,当外力解除后恢复原状的性能。

(2) 塑性:当岩石所受外力解除后,岩石没能恢复原状而留有一定残余变形的性能。

(3) 脆性:岩石在外力作用下,不经显著的残余变形就发生破坏的性能。

岩石因其成分、结晶、结构等的特殊性,不像一般固体材料那样有明显的屈服点,脆性是坚硬岩石的固有特性。

1.1.2.2 岩石强度特性

岩石强度是指岩石在受外力作用发生破坏前所能承受的最大应力,是衡量岩石力学性质的主要指标。

(1)单轴抗压强度:岩石试件在单轴压力下发生破坏时的极限强度。

(2)单轴抗拉强度:岩石试件在单轴拉力下发生破坏时的极限强度。

(3)抗剪强度:岩石抵抗剪切破坏的最大能力。抗剪强度 τ 用发生剪断时剪切面上的极限应力表示,它与对试件施加的压应力 σ 、岩石的内聚力 c 和内摩擦角 ϕ 有关,即:

$$\tau = \sigma \tan \phi + c \tag{1-1}$$

矿物的组成、颗粒间连接力、密度以及孔隙率是决定岩石强度的内在因素。试验表明,岩石具有较高的抗压强度、较小的抗拉和抗剪强度,一般抗拉强度比抗压强度小 90% ~ 98%,抗剪强度比抗压强度小 87% ~ 92%。

1.2 岩石分级

理想的岩石分级方法是制定不同的生产定额,选用合适的设备和器材,选择正确的凿岩参数和工艺方法等的重要依据。

岩石的分级,通常是根据凿岩爆破工程的实际应用需要来进行的。半个多世纪以来,世界各国的爆破工作者就岩石的科学分级进行了大量的实验和研究工作。我国自建国初期引入前苏联的岩石分级方法以来,各工业部门也曾制定有自己特色的岩石分级法。但至今还没有一个能为世界各国公认的普遍都适用的岩石分级法。

合理、简便、明了的具有实用价值的岩石分级法,应当根据具体的工程目的,采用一个或几个指标或判据来划分。

1.2.1 岩石坚固性分级(普氏分级)

1926 年苏联学者普洛托吉亚柯诺夫提出按岩石坚固性来分级的方法。岩石的坚固性是指岩石在各种外力的作用下,其抵抗破碎的难易程度趋于一致的性质。

岩石的坚固性系数(普氏系数) f 可用式(1-2)计算:

$$f = R/10 \tag{1-2}$$

式中 R ——岩石单轴抗压强度,MPa。

根据 f 的大小,将岩石分级, $f=0.5 \sim 25$ (见表 1-3)。

对普氏分级的评价为:

(1)优点:方法简单易行,用途广泛。

(2)缺点:不够完善,有一定片面性。

表 1-3 土壤及岩石(普氏)分类表

定额 分类	普氏 分类	土壤及岩石名称	天然湿度 下平均容 重/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	极限压碎 强度/MPa	用轻型钻 孔机钻进 1m 耗时/min	开挖方法 及工具	坚固性系数 f
一、 二类土壤	I	砂	1500			用尖锹开挖	0.5 ~ 0.6
		砂壤土	1600				
		腐殖土	1200				
		泥炭	600				
	II	轻壤土和黄土类土	1600			用锹开挖并 少数用镐开 挖	0.6 ~ 0.8
		潮湿而松散的黄土,软的盐渍土和碱土	1600				
		平均粒径 15mm 以内的松散而软的砾石	1700				

续表 1-3

定额分类	普氏分类	土壤及岩石名称	天然湿度下平均容重/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	极限压碎强度/MPa	用轻型钻孔机钻进1m耗时/min	开挖方法及工具	坚固性系数 f
一、二类土壤	II	含有草根的密实腐殖土	1400			用锹开挖并少数用镐开挖	0.6~0.8
		含有直径在30mm以内根类的泥炭和腐殖土	1100				
		掺有卵石、碎石和石屑的砂和腐殖土	1650				
		含有卵石或碎石杂质的胶结成块的填土	1750				
		含有卵石、碎石和建筑碎料杂质的砂壤土	1900				
三类土壤	III	肥黏土,其中包括石炭纪、侏罗纪的黏土和冰黏土	1800			用尖锹并同时用镐开挖(30%)	0.8~1.0
		重壤土、粗砾石,粒径为15~40mm的碎石和卵石	1750				
		干黄土和掺有碎石或卵石的自然含水量黄土	1790				
		含有直径大于30mm根类的腐殖土或泥炭	1400				
		掺有碎石或卵石和建筑碎料的土壤	1900				
四类土壤	IV	含碎石重黏土,其中包括侏罗纪和石炭纪的硬黏土	1950			用尖锹并同时用镐和撬棍开挖(30%)	1.0~1.5
		含有碎石、卵石、建筑碎料和重达25kg以内的顽石(总体积10%以内)等杂质的硬黏土和重壤土	1950				
		冰碛黏土,含有质量在50kg以内的巨砾,其含量为总体积10%以内	2000				
		泥板岩	2000				
		不含或含有重达10kg的顽石	1950				
松石	V	含有质量在50kg以内的巨砾(占体积10%以上)的冰碛石	2100			部分用手凿工具,部分用爆破方法开挖	1.5~2.0
		硅藻岩和软白垩岩	1800				
		胶结力弱的砾岩	1900				
		各种不坚实的片岩	2600				
		石膏	2200				
次坚石	VI	凝灰岩和浮石	1100			用风镐和爆破方法开挖	2~4
		松软多孔和裂隙严重的石灰岩和泥质石灰岩	1200				
		中等硬度的片岩	2700				
		中等硬度的泥灰岩	2300				
	VII	石灰质胶结的带有卵石和沉积岩的砾石	2200			用爆破方法开挖	4~6
		风化的和有裂缝的黏土质砂岩	2000				
		坚实的泥板岩	2800				
		坚实的泥灰岩	2500				