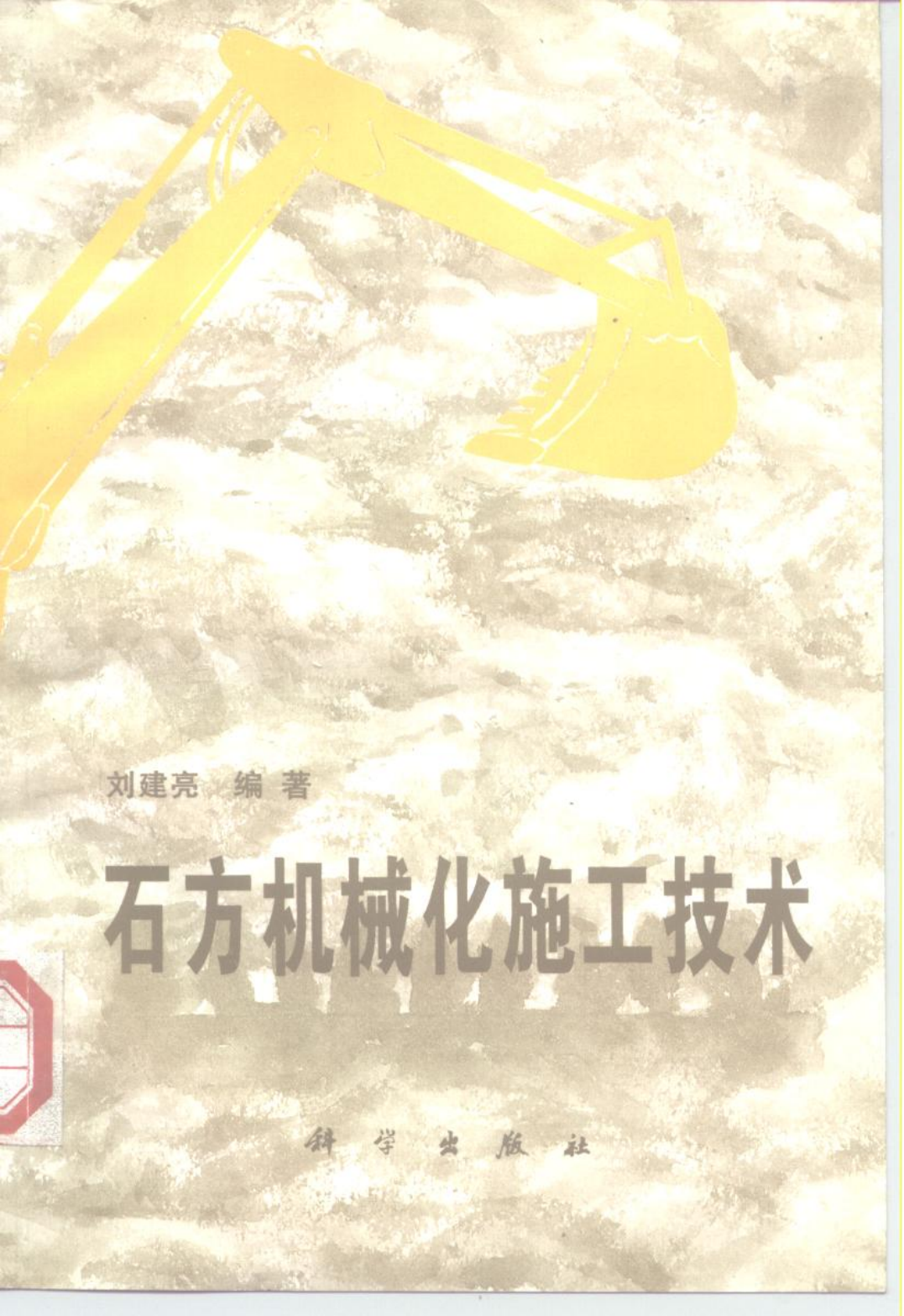




刘建亮 编 著

石方机械化施工技术

科学出版社

70/17
L67

石方机械化施工技术

刘建亮 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

科学出版社

1997

D1130/19

内 容 简 介

本书系统地介绍了露天石方机械化施工技术,主要包括岩石破碎理论、破岩的钻爆方法、改善破岩质量的技术措施、主要施工机械、施工组织设计、施工管理及施工安全。本书从系统论的观点论述了爆破破岩技术及施工机械的各自作用及相互关系,介绍了施工过程的优化管理,面对工程实际,具有较强的实践性和实用性。

本书可供从事石方施工的工程技术人员、管理人员使用,对于大专院校相关专业的师生也有一定的参考价值。

石方机械化施工技术

刘建亮 编著

责任编辑 杨家福

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1997年1月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1997年1月第一次印刷 印张:9 3/4

印数:1—1 100 字数:254 000

定 价:15.00元

前 言

石方机械化施工是指石方工程的各主要环节实现以机械作业为主体的规模生产过程。一般而言,它包括凿岩钻孔、岩石爆破破碎及挖装、运卸几个主要环节。随着石方工程在经济建设中日益增多,石方机械化施工也越来越广泛和深入。目前,岩石破碎的钻爆法在石方施工中仍占有重要地位,但由于环境和安全方面提出了越来越高的要求,特别是施工机械的发展,岩石破碎的非钻爆法发展也很快。各种新型的凿岩机具、炸药装药设备和挖装运卸机械等正在不断出现,正进一步向增加通用性、机动性、多功能方面发展;各种规格、品种的工业炸药不断增多,并向系列化、标准化发展。特别是随着计算机技术的迅速发展,微处理机正进入石方工程的有关环节,如钻孔过程的微机控制、装药过程的微机控制,以及爆破设计的微机应用等,这一切均促进了石方机械化施工技术的发展。

目前,为了进一步提高生产效率,降低成本,满足生产需要及环境和安全方面的要求,人们主要在破岩方式及破岩质量,施工机具的高效、节能,施工组织管理等方面开展工作。在理论研究方面,主要是进一步搞清爆破破岩过程中岩石内的应力分布,爆破方式对炸药能量分布的影响,以及这种能量的不同分布和破岩质量的关系,从而建立相应的数学模型,以实现优化设计。

在我国,石方机械化施工技术近十几年来发展很快,在冶金矿山、水利水电、能源、交通、建材等行业都取得了一系列成果。作者根据多年来的研究成果,结合在石方机械化施工现场的体会,编写了本书。书中介绍了岩石破碎理论、工业爆破器材、炮孔爆破技术、提高岩石破碎质量的技术措施、路堑边坡施工、主要施工机械,以及石方机械化施工的组织管理和施工安全等,并用系统论的观

点论述了爆破破岩及施工机械在石方施工系统中的各自作用和相互关系,以及围绕施工管理的三大目标(成本、工期、质量),还提出了石方施工中应遵循的原则、现场管理中行之有效的网络计划方法、流水施工模式及成本和工期的优化管理模式,并指出了全面提高石方施工生产水平及生产效率的途径。

本书避免过多的数学公式推导和理论描述,着重于工程实践,因此有较强的实践性,对于从事石方施工的广大工程技术人员及管理人员,无疑有一定的参考价值。

在本书的编写过程中,参阅、引用了有关的文献,特在此向有关作者深表谢意。承蒙顾毅成研究员对全书进行了审阅,他提出了不少宝贵意见,在此表示深深的谢意。

书中如有不当之处,敬请读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 岩石破碎概述	1
1.1 岩石的物理力学特性.....	1
1.2 爆破破岩机理	13
1.3 岩石破碎的非钻爆法	23
第二章 凿岩机具	26
2.1 冲击式凿岩机	26
2.2 潜孔钻机	37
2.3 牙轮式钻机	41
2.4 凿岩的动力供应	45
2.5 凿岩施工	50
第三章 工业爆破器材	65
3.1 工业炸药	65
3.2 起爆器材	78
3.3 爆破器材的现场质量检测	85
第四章 炮孔爆破法	92
4.1 概述	92
4.2 技术参数选取	93
4.3 微差爆破.....	105
4.4 炸药在炮孔中的分布.....	121
4.5 炸药装填.....	126
4.6 深孔爆破的爆堆.....	133
4.7 留渣挤压爆破.....	139
第五章 岩石破碎质量	141
5.1 岩石破碎度.....	141
5.2 影响岩石破碎质量的主要因素.....	146
5.3 合理破碎程度的确定.....	155
5.4 二次破碎.....	157

5.5 石材开采及岩石破碎	160
第六章 石方工程的边坡施工	167
6.1 边坡施工的特殊性	167
6.2 预裂爆破参数选取	171
6.3 光面爆破设计	183
6.4 光面爆破、预裂爆破的施工	186
6.5 光面爆破、预裂爆破质量标准	189
6.6 边坡施工的其它方法	191
第七章 挖装运卸施工机械	194
7.1 推土机	194
7.2 铲运机	200
7.3 挖掘機	205
7.4 前端式装载机	215
7.5 运输汽车	222
第八章 施工组织设计	229
8.1 施工管理概述	229
8.2 施工过程的优化管理	237
8.3 石方工程的施工组织设计	246
8.4 几个工程实例	267
第九章 施工安全	274
9.1 施工安全生产管理	274
9.2 爆破振动及安全判据	280
9.3 爆破飞石和爆破安全距离	288
9.4 爆破空气冲击波	291
9.5 外来电引起的早爆	294
9.6 爆破烟尘及有毒气体	300
参考文献	302

第一章 岩石破碎概述

1.1 岩石的物理力学特性

1.1.1 岩石的分类和岩体结构

岩石是由一种或多种矿物组成的集合体,按成因可分为火成岩(岩浆岩)、沉积岩(水成岩)和变质岩。

常见的火成岩有花岗岩、闪长岩、辉绿岩、玄武岩、流纹岩、火山角砾岩。沉积岩有石灰岩、砂岩、页岩、砾岩。变质岩是火成岩或沉积岩经过强烈变化而形成的。变质程度越高、重新结晶越好,则结构越紧密,坚固性越好。由火成岩形成的变质岩,称为正变质岩,如花岗片麻岩。由沉积岩形成的变质岩,称为副变质岩,如大理石、板岩、石英岩、千枚岩。

岩石的性质与它的矿物成分和组织特征有关。组成岩石的矿物晶粒的大小、形状、表面特征和矿物晶粒之间的连接方式等反映了岩石的结构。岩石的结构不同,它的坚固程度也不同。

大范围岩体内的组织特征,表征了岩石的构造,它是地质历史时期中各种内外作用在岩体上留下的结果。它表示矿物晶粒之间总的相互关系、空间排列状况。岩体构造的主要类型有以下几种:

(1)岩层及层理:由两个平行界面所限制且由同一岩性组成的层状岩体,称为岩层。一组互相平行岩层的层间分界面称为层理。相邻两个层理面的垂直距离称为岩层的厚度。

(2)褶皱:它也叫褶曲,是指岩层的某一个弯曲。其基本形态可分为背斜和向斜两种。岩层向上弯曲,称为背斜;岩层向下弯曲,称为向斜。

(3)节理、裂隙:此即自然岩体的开裂或断裂。如果裂缝两侧

的岩体没有沿裂面发生明显的位移或仅有微小的位移,则称为节理。节理裂隙越发育,岩体的工程力学性越差。

(4)断层:断层是指岩体发生断裂且两侧岩石沿断裂面发生较大的移动。断层错开的两个面叫做断层面。处于断层面上方的岩体叫上盘,处在下方的叫下盘,上下盘错开的距离叫断距。

(5)片理、劈理:片理是指岩石可顺片状矿物揭开的结构特征,其延伸不长。劈理则是指一些平行排列的密集裂隙面。劈理与片理共同的特点是岩石被切成细小而又密集的薄片。

构造形体不同的岩体之间的接触面叫做岩体结构面。岩体结构面在空间的位置状态,叫做岩体结构面的产状。产状通常用走向、倾向、倾角三个要素来表示,它们被称为产状三要素。

走向是指倾斜岩层层面与水平面交线的方向。倾向是指岩层层面上与走向线垂直的向下倾斜线的方向。倾角则是指岩层倾斜的角度。产状要素有以下两种表示方法:

1)方位角表示法:以正北(N)为 0° ,顺时针旋转到正东(E)为 90° ,正南(S)为 180° ,正西(W)为 270° ,再转到正北为 360° 。走向与倾向相差 90° 。走向可以是两个方向,它们相差 180° ;倾向只能是一个方向,只要知道倾向,将它加或减 90° 便是走向。但知道走向却不能得到倾向,故一般只记倾向和倾角,表示为“倾向<倾角”。如, $130^\circ<30^\circ$,即为走向 220° 、倾向 130° 、倾角 30° 。

2)象限角表示法:把全方位分成北东(NE)、南东(SE)、北西(NW)和南西(SW)四个象限。如上述 $130^\circ<30^\circ$ 的产状,则记作 $S40^\circ W/30^\circ SE$ 。

1.1.2 岩石的物理性质

(1)密度和容重:岩石的密度用下式定义:

$$\rho = M / (V - V_0) \quad (g/cm^3) \quad (1.1)$$

式中: M 为构成岩石的物质质量; V 为岩石的总体积; V_0 为岩石中各种孔隙的总体积。

岩石重量与岩石总体积之比称为容重,即

$$\gamma = G/V \quad (1.2)$$

式中, G 为岩石重量。

(2)空隙性:岩石空隙性表示岩石具有孔隙和裂隙的特性,通常用孔隙度(n)和孔隙比(e_s)表示:

$$n = (V_s/V) \cdot 100\% \quad (1.3)$$

$$e_s = V_c/V_s \quad (1.4)$$

式中: V_s 为岩体中空隙的总体积; V_c 为岩体中固体矿物所占的体积; V 为岩体的体积。

(3)岩石的风化程度:它表示岩石在内外营力作用下发生破坏疏松的程度。风化程度对岩石性质影响很大。随着风化程度的增大,岩石的孔隙度和变形性增大,强度和弹性性能降低。伊利诺夫提出如下指标公式⁽¹⁾:

$$I_0 = (V_p - V_p')/V_p \quad (1.5)$$

式中: I_0 表示岩石的风化程度; V_p 为新鲜岩石的纵波速度; V_p' 为风化岩石的纵波速度。

(4)岩石的碎胀性:它表示岩石破碎后总体积增大的性质,用碎胀系数 K 表示,

$$K = V_1/V_2 \quad (1.6)$$

式中: V_1 表示岩石破碎后的总体积; V_2 表示原岩破碎前的体积。

(5)岩石的波阻抗:岩石的密度与纵波在岩石中传播速度的乘积,称为岩石的波阻抗,即

$$Z = \rho \cdot C_p \quad (1.7)$$

它表征岩石对应力波传播的阻尼作用。

表 1.1, 1.2, 1.3 给出了几种岩石的孔隙度、密度、容重、碎胀系数、波阻抗。

1.1.3 岩石的力学性质

岩石的力学性质是指岩石抵抗外力作用的性能。在外力作用

表 1.1 几种岩石的孔隙度、密度和容重

岩石名称	孔隙度 (%)	密度 (g/cm^3)	容重 (N/m^3)
花岗岩	0.5~1.5	2.6~2.7	2.56~2.67
玄武岩	0.1~0.2	2.8~3.0	2.75~2.9
辉绿岩	0.6~1.2	2.85~3.0	2.8~2.9
石灰岩	5.0~20	2.71~2.85	2.46~2.65
白云岩	1.0~5.0	2.5~2.6	2.3~2.4
砂 岩	5.0~25	2.58~2.69	2.47~2.56
页 岩	10~30	2.2~2.4	2.0~2.3
板 岩		2.3~2.7	2.1~2.57
片麻岩	0.5~1.5	2.9~3.0	2.65~2.85
大理岩	0.5~2.0	2.6~2.7	2.5
石英岩	0.1~0.8	2.65~2.9	2.54~2.85
粘 土	45	1.6~2.1	1.6~2.0
砂 子	30~50	1.5~1.7	1.4~1.6

表 1.2 几种岩石的碎胀系数

岩石名称	砂、砾石	砂质粘土	中硬岩石	坚硬岩石
碎胀系数 K	1.05~1.20	1.20~1.25	1.30~1.50	1.50~2.50

表 1.3 几种材料的波阻抗值

材料名称	密度 (g/cm^3)	纵波速度 (m/s)	波阻抗 ($\text{kg/cm}^2 \cdot \text{s}$)
钢	7.8	5130	4000
铜	8.4~8.9	3670	3170
铝	2.5~2.9	5090	1370
玻 璃	2.4	5300	1270
橡 胶	1.3	46	6
花岗岩	2.6~3.0	4000~6800	800~1900
玄武岩	2.7~2.86	4500~7000	1400~2000
辉绿岩	2.85~3.05	4700~7500	1800~2300
辉长岩	2.9~3.1	5600~6300	1600~1950
石灰岩	2.3~2.8	3200~5500	700~1900
白云岩	2.3~2.8	5200~6700	1200~1900
砂 岩	2.1~2.9	3000~4600	600~1300
板 岩	2.3~2.7	2500~6000	575~1620
岩 盐	2.0~2.2	4200~5700	900~1200
片麻岩	2.5~2.8	5500~6000	1400~1700
大理岩	2.6~2.8	4400~5900	1200~1700
石英岩	2.65~2.9	5000~6500	1100~1900

下岩石将发生变形,当外力增大到某一值时,岩石则开始破坏。岩石开始破坏时的强度称为岩石的极限强度,因受力方式不同而有抗拉、抗剪和抗压等极限强度。此外,岩石的力学性质还包括弹性、塑性、脆性、韧性、流度、松弛、弹性后效和强化等变形性质。由于岩石的组织成分和结构构造的复杂性,岩石尚有一些特殊的力学性质,如各向异性、不均匀性、非线性变形等。

(1)岩石的强度特征:岩石强度是指在外力作用下岩石发生破坏时所能承受的极限应力。它包括单轴抗压、抗拉和抗剪强度,以及单轴、双轴和三轴压缩强度。

岩石单轴抗压、抗拉强度分别表示为

$$R_c = P_c / A \quad (\text{kPa}) \quad (1.8)$$

$$R_t = P_t / A \quad (\text{kPa}) \quad (1.9)$$

式中: P_c 为试件破坏时的荷载(kN); P_t 为拉伸破坏时的最大拉力(kN); A 为试件截面积(m^2)。

岩石抗剪强度表示为

$$\tau_c = \sigma \tan \phi + C \quad (1.10)$$

式中: σ 为剪断时剪切面上的极限剪应力; ϕ 为岩石内摩擦角; C 为岩石的内聚力。

岩石具有较高的抗压强度,较小的抗拉和抗剪强度,故岩石容易被拉伸、弯曲或剪切所破坏。表 1.4 给出了某些岩石的力学强度值。

表 1.5 给出了几种岩石强度的相对值。

表 1.5 表明,岩石的三轴抗压强度大于单轴抗压强度,单轴抗压强度大于抗剪强度,抗剪强度又大于抗拉强度。

需要指出,岩石的力学强度与岩石密度关系很大,密度增大,力学强度迅速增高。此外,外加荷载的性质也影响岩石的强度。在动载作用下(应变率大于 10^4s^{-1} 的荷载)岩石的强度随加载速度的增加出现增大的趋势。这种特性一般可表示

表 1.4 某些岩石的力学强度值

岩石名称	抗压强度 ($\times 98\text{kPa}$)	抗拉强度 ($\times 98\text{kPa}$)	弹性模量 ($98 \times 10^5\text{kPa}$)	泊松比	内摩擦角 ($^\circ$)	内聚力 ($\times 98\text{kPa}$)
花岗岩	1000~2500	70~250	5~10	0.2~0.3	45~60	140~500
流纹岩	1800~3000	150~300	5~10	0.1~0.25	45~60	100~500
安山岩	1000~2500	100~200	5~12	0.2~0.3	45~50	100~400
辉长岩	1800~3000	150~350	7~15	0.1~0.2	50~55	100~500
玄武岩	1500~3000	100~300	6~12	0.1~0.35	48~55	200~600
砂岩	200~2000	40~250	1~10	0.2~0.3	35~50	80~400
页岩	100~1000	20~100	2~8	0.2~0.4	15~30	30~200
石灰岩	800~2000	50~200	5~10	0.2~0.85	35~50	100~500
白云岩	300~2500	150~250	4~8	0.2~0.35	35~50	200~500
片麻岩	500~2000	50~200	1~10	0.2~0.35	35~50	30~50
大理岩	1000~2500	70~200	1~9	0.2~0.35	35~50	150~300
石英岩	1500~3500	100~300	6~8	0.1~0.25	50~80	200~600
板岩	600~2000	70~150	2~8	0.2~0.3	45~60	20~200

表 1.5 某些岩石强度的相对值

岩石	相对于单轴抗压强度值		
	抗拉强度	抗弯强度	抗剪强度
花岗岩	0.02~0.04	0.08	0.09
砂岩	0.02~0.05	0.06~0.2	0.10~0.11
石灰岩	0.04~0.10	0.08~0.10	0.10

为^[2]

$$S = K_m \lg V_l + S_0$$

$$= \Delta S + S_0 \quad (1.11)$$

式中: S 为动载强度; S_0 为静载强度; K_m 为比例系数; V_l 为加载速率。一些研究^[2]指出, 加载速度只影响抗压强度, 对抗拉强度影响很小; 动抗压强度与动抗拉强度之比非恒定, 随加载速度的提高略有增大, 岩性越差、风化越严重、强度越低, 则受加载速度的影响越明显。表 1.6 给出了几种岩石的动载、静载强度, 表 1.7 给出了几种岩石静弹性模量与动弹性模量的比较, 表 1.8 给出了几种岩石在动载作用下的强度对比(表中加载速率为 10^{10}kPa/s)。从此可看出, 静载强度高的岩石, 在动载作用下强度增量虽高, 但相

对增量却减小。

表 1.6 几种岩石的动、静载强度表

岩石种类	应力波的平均传播速度 (m/s)	抗压强度(MPa)		抗拉强度(MPa)		加载速度 (MPa/s)	载荷持续 时间(ms)
		静 态	动 态	静 态	动 态		
大理岩	4500~6000	90~110	120~200	5~9	20~40	$10^7 \sim 10^8$	10~30
和泉砂岩	3700~4300	100~140	120~200	8~9	50~70	$10^7 \sim 10^8$	20~30
多湖砂岩	1800~3500	15~25	20~50	2~3	10~20	$10^6 \sim 10^7$	50~100
群马砂岩	4100~5700	200~240	350~500	16~23	20~30	$10^7 \sim 10^8$	10~20
辉绿岩	5300~6000	320~350	700~800	22~32	50~60	$10^7 \sim 10^8$	20~50
石英-闪长岩	3700~5900	240~330	300~400	11~19	20~30	$10^7 \sim 10^8$	30~60

表 1.7 岩体静弹性模量 E_{me} 与动弹性模量 E_d 比较

岩体名称	E_{me} (98×10^4 kPa)	E_d (98×10^4 kPa)	E_d/E_{me}
花岗岩	25.0~40.0	33.0~65.0	1.32~1.62
玢岩	14.71	34.7	2.36
砂岩	3.8~7.0	20.6~44.0	5.4~6.3
中粒砂岩	1.0~2.8	2.3~14.0	2.3~5.0
细粒砂岩	1.3~3.6	20.0~36.5	1.6~10.0
石灰岩	3.93~39.6	31.6~54.8	1.12~3.05
页岩	0.66~5.0	6.75~7.14	1.42~3.6
石英片岩	24~47	66.0~89.0	1.89~2.75
片麻岩	12	11.5~35.4	0.96~2.95

表 1.8 动载作用下岩石强度的对比

岩石名称	抗压强度				抗拉强度			
	S_0	K_m	ΔS	$\Delta S/S_0$	S_0	K_m	ΔS	$\Delta S/S_0$
石灰岩	308	69	552	1.79	18	2.7	21.6	1.2
砂岩	1145	88	704	0.61	43	5.3	42.4	0.99
辉长岩	1920	140	1120	0.58	163	18.1	144.8	0.89

(2)岩石变形特性:外力作用下岩石将发生变形,其变形特性与岩石的种类、矿物成分、结构特征、外界温度有关,还与外加荷载的作用性质等因素有关。静载条件下,岩石既不是完全的弹性体,也不是完全的塑性体。但在一定的范围内可以把岩石当作弹性体,其应力应变关系符合虎克定律。在此范围内,岩石的变形特性可以用弹性模量 E 、泊松比 μ 、剪切模量 G 、体积压缩模量 K 表示。

岩石在动载作用下,既产生运动,又产生变形。这种变形不是整体的均匀变形,岩石内质点的运动速度也不是整体一致的,变形和速度都有一个传播的过程,即动载作用下岩石内的变形引起应力和应变,同时引起应力波的传播。冲击载荷作用下岩石的应力-应变关系是复杂的,涉及的因素很多。岩石变形有以下几个方面的特征:1)动态弹性模量比静载作用下的静弹性模量要大;2)岩石的非弹性变形由于加载速度的不同而显著不同;加载速度越快,非弹性变形越小;3)即使冲击荷载的压力峰值相同,如作用时间不同,产生的应变也不同,作用时间长,引起的应变也较大;4)在很高的冲击压力作用下,岩石的压力-体积压缩百分率曲线大致成直线关系。

从能量的观点考虑,岩石在外力作用下,由变形到破坏,是获得能量到释放能量的过程。破碎单位体积(V)岩石所消耗的能量(W),称为比能,表示为

$$a = W/V \quad (1.12)$$

表1.9列出了几种岩石的比能值。从表中可看出,静载比能值比动载的低。这表明,能量相同时,静载破碎的岩石体积大。出现这一现象是由于静载时,应力可分布到岩石较深、较大的范围,变形和裂隙的发展也较充分。

表1.9 几种岩石的比能值

岩石名称	比能(J/cm^3)	
	静 态	动 态
磁铁石英岩	676	1656
暗绿角闪岩	490	1000
黑绿角闪岩	206	627
黑云母片麻岩	108	559
混合岩	392	794
花岗混合岩	304	559

岩石的变形能应等于静载变形能 W_E 与动载变形能 W_K 之和,即

$$W_T = W_E + W_K \quad (1.13)$$

由功能原理及岩石应力-应变关系可得出

$$W_E = \frac{1}{2E}\sigma^2 V \quad W_K = \frac{1}{2E}\sigma^2 V \quad (1.14)$$

从而
$$W_E = W_K \quad (1.15)$$

$$W_T = \frac{1}{E}\sigma^2 V \quad (1.16)$$

式中: σ 为应力; E 为弹性模量; V 为岩石体积。

由此可得出岩石变形过程中的一个重要结论:静载变形能与动载变形能相等,且各等于岩石总变形能的一半,它们与岩石的体积和应力的平方成正比。

应当指出,岩石在加载过程中总有一部分功消耗在岩石内部缺陷的调整、内摩擦损失及岩石质点加热等方面,故上述结论具有一定的近似性,但对于研究岩石破碎是有意义的。

(3)岩石的硬度:岩石表面抵抗工具侵入的能力称为岩石硬度。它包括静压入硬度和冲击硬度。

用一定形态、一定材料的压头以静力压入岩石表面,使岩石产生非弹性变形或破坏时,受压岩石单位接触面积上的压力值称为静压入硬度。用冲锤以一定的速度冲击岩石表面时,冲锤的回弹高度称为冲击硬度。

硬度与抗压强度有联系,但又有区别。对于凿岩,硬度指标更有实际意义,更接近反映凿岩的难易程度。岩石硬度愈高,可钻性愈差。

(3)岩石的磨蚀性:岩石对工具的磨蚀能力称为岩石的磨蚀性。这一性质直接影响着凿岩工具的磨钝速度和损耗率。它和岩石的矿物成分、结构特征、硬度、石英含量有关。

1.1.4 岩石的工程分级

工程上对岩石有几种不同的分级方式。各种分级方法都是针

对着不同类型工程的特点,着重于岩石的某些特性而进行的。目前尚无一种完善而得到普遍应用的分级法。

(1)普氏分级法:它是按岩石坚固性系数来进行分级。现今采用的普氏岩石坚固性系数直接用岩石单轴抗压强度来确定,

$$f = R/100 \quad (1.17)$$

式中: f 为普氏岩石坚固性系数(无量纲); R 为岩石单轴抗压强度(kg/cm^2)。

表 1.10 为普氏岩石分级简表。

表 1.10 普氏岩石分级简表

等级	坚固性程度	典型的岩石	f 值
I	最 坚 固	最坚固、细致和有韧性的石英岩、玄武岩及其它各种特别坚固岩石	20
II	很 坚 固	很坚固的花岗岩、石英斑岩、硅质片岩,较坚固的石英岩,最坚固的砂岩和石灰岩	15
III	坚 固	致密花岗岩,很坚固的砂岩和石灰岩、石英质矿脉,坚固的砾岩,极坚固的铁矿石	10
III α	坚 固	坚固的石灰岩、砂岩、大理岩,不坚固花岗岩、黄铁矿	8
IV	较 坚 固	一般的砂岩、铁矿	6
IV α	较 坚 固	砂质页岩、页岩质砂岩	5
V	中 等	坚固的粘土质岩石,不坚固的砂岩和石灰岩	4
V α	中 等	各种不坚固的页岩,致密的泥灰岩	3
VI	较 软 弱	软弱的页岩,很软的石灰岩、白垩、岩盐、石膏、冻土、无烟煤,普通泥灰岩、破碎砂岩、胶结砾岩、石质土壤	2
VI α	较 软 弱	碎石质土壤,破碎页岩,凝结成块的砾石和碎石,坚固的煤、硬化粘土	1.5
VII	软 弱	致密的粘土,软弱的烟煤,坚固的冲积层、粘土质土壤	1.0
VII α	软 弱	轻砂质粘土、黄土、砾石	0.8
VIII	土 质 岩 石	腐植土、泥煤、轻砂质土壤、湿砂	0.6
IX	松散性岩石	砂、山麓堆积、细砾石、松土、采下的煤	0.5
X	流沙性岩石	流沙、沼泽土壤、含水黄土及其它含水土壤	0.3

(2)按岩石凿岩性和爆破性的分级法:前苏联学者苏哈诺夫(Суханов)提出的“统一岩石分级法”是这种分级方法的代表。它用现场实测数据为依据,以每凿 1m 炮眼磨钝的钢钎或硬质合金