

煤炭职业教育课程改革规划教材

MEITAN ZHIYE JIAOYU KECHENG GAIGE GUIHUA JIAOCAI

井巷工程

JINGHANG GONGCHENG

主 编 刘马群 冯拥军
副主编 卢广银 高玉龙
张登明 陈书平

煤炭工业出版社

煤炭职业教育课程改革规划教材

井巷工程

主 编 刘马群 冯拥军

副主编 卢广银 高玉龙 张登明 陈书平

煤炭工业出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

井巷工程/刘马群, 冯拥军主编. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2010

煤炭职业教育课程改革规划教材

ISBN 978-7-5020-3618-8

I. ①井… II. ①刘…②冯… III. ①井巷工程-职业教育-教材 IV. ①TD26

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 221569 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京玥实印刷有限公司 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 17

字数 400 千字 印数 1—3,000

2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷

社内编号 6428 定价 30.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

前 言

为满足煤炭工业新形势对煤炭职业教育发展的需要,加快煤炭职业教育教材建设步伐,培养技术应用性专门人才的要求,按照《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》,我们组织有关教师编写了本书。本书在编写过程中注重职业教育的特点,简化了理论体系,以实用、必需、够用为原则,力求使所讲内容尽可能与现场实际相结合。

本书由刘马群、冯拥军任主编,卢广银、高玉龙、张登明、陈书平任副主编。具体编写分工如下:河南工程学院刘马群编写第一章、第五章、第六章,河南理工大学高等职业学院冯拥军、焦作煤业(集团)有限责任公司职工教育培训中心陈书平编写第十章和第十一章,郑州工业安全职业学院卢广银编写第七章,内蒙古乌海职业技术学院高玉龙编写第四章,平顶山工业职业技术学院张登明、王培强编写第八章、第九章和第十三章,河南工程学院陈国祥编写第二章、第三章和第十二章。全书由刘马群负责统稿工作。

在本书的编写过程中,吸取和借鉴了同类教材、书籍的精华,在此谨对各位原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请有关专家和广大读者提出宝贵意见,以便再版修改。

编 者

2009年11月

内 容 提 要

本书系统介绍了岩石性质及分级、井巷地压、矿用建筑材料、钻眼机具、爆破等基础知识,重点介绍了巷道设计理论、巷道施工技术、巷道支护技术、巷道施工组织管理、井筒施工及井筒延深等方面的内容。

本书可作为煤炭职业院校采掘类专业的教学用书或参考书,也可供煤矿采掘工程技术人员和管理人员参考。

目 次

第一章 岩石及分级	1
第一节 概述	1
第二节 岩石的物理性质	2
第三节 岩石的力学性质	6
第四节 岩石分级和围岩分类	8
第二章 井巷地压	14
第一节 概述	14
第二节 用松散体学说估算地压	16
第三节 危岩冒落产生的地压	21
第四节 巷道地压的测量	23
第三章 钻眼机具	27
第一节 冲击式凿岩机械	27
第二节 冲击式凿岩机具	30
第三节 旋转式凿岩机械	31
第四节 旋转式凿岩机具	33
第四章 爆破器材与爆破原理	35
第一节 炸药与爆炸概论	35
第二节 矿用炸药	41
第三节 起爆器材	44
第四节 起爆方法	48
第五节 炸药破碎岩石的理论基础	53
第五章 矿用工程材料	59
第一节 水泥	59
第二节 混凝土	62
第三节 砂浆	65
第四节 其他材料	67
第六章 巷道断面设计	70
第一节 巷道断面形状的选择	70

第二节	巷道断面尺寸的确定	72
第三节	巷道断面内水沟与管缆的布置	89
第四节	巷道断面设计实例	92
第七章	巷道施工	98
第一节	钻眼爆破法破碎岩石	98
第二节	掘进通风与综合防尘	113
第三节	装岩与运输	118
第八章	巷道支护	128
第一节	棚式支架支护	128
第二节	拱形砌碛支护	133
第三节	锚杆支护	137
第四节	喷射混凝土支护	152
第九章	巷道施工组织与管理	159
第一节	施工组织	159
第二节	施工管理	161
第十章	采区巷道及硐室施工	174
第一节	采区巷道掘进时的定向方法	174
第二节	煤巷施工	177
第三节	半煤岩巷道施工	185
第四节	上、下山施工	186
第五节	硐室及交岔点施工	193
第六节	采区煤仓施工	199
第七节	曲线段巷道的施工特点	204
第八节	采区巷道施工的技术安全措施	206
第十一章	特殊条件下的巷道施工	208
第一节	巷道通过松软破碎带的施工方法	208
第二节	巷道通过含水层的施工方法	210
第三节	巷道通过煤与瓦斯突出煤层的施工方法	215
第四节	巷道底鼓的处理	220
第十二章	井筒施工	225
第一节	概述	225
第二节	立井井筒断面设计与提升容器的选择	226
第三节	立井井筒表土施工	231

第四节 立井井筒基岩施工.....	236
第十三章 井筒延深.....	245
第一节 利用辅助水平延深井筒.....	245
第二节 利用梯子间或延深间延深井筒.....	250
第三节 利用反井延深井筒.....	252
第四节 延深井筒的保护措施.....	257
参考文献.....	263

第一章 岩石及分级

井巷工程施工过程中，基本的方法就是将一部分岩石从岩体上破碎下来，形成设计所要求的井筒、巷道及硐室等空间，然后对空间周围岩体加以控制、维护，保证安全正常使用。因此，破碎岩石和维护围岩就成为井巷工程中的一对主要矛盾。在井巷工程中为了有效、合理地进行破岩与井巷维护，就要对岩体（岩石）的物理力学性质进行讨论，并制定出科学的岩石分级和围岩分类方法，以便为设计、施工和成本计算提供依据。

第一节 概 述

一、岩体、岩石、岩块概念

一般认为，岩体是指地下工程周围较大范围的自然地质体；岩块是指从地壳岩层中切取出来的小块体；岩石则是不分岩块和岩体的泛称。

岩体由一种或几种岩石组成，使岩体显示出宏观构造特征，表现在变形、强度等方面各向异性的特点。

岩石是一种或多种矿物的集合体，组成岩石的矿物称造岩矿物，常见的造岩矿物有30余种。矿物是指地壳中由一种或几种元素组合在一起，具有一定化学成分和物理性质的自然物质。岩石的结构不同，其性质也各异。岩石的结构说明岩石的微观组织特征，是指组成岩石的矿物的结晶程度、颗粒大小、形状和颗粒之间的联结状况。

二、岩体（岩石）特征及其对工程的影响

（一）岩体（岩石）特征

1. 岩石的生成

岩石按其成因不同，可分为岩浆岩、沉积岩、变质岩3大类。煤系地层主要由沉积岩组成，如页岩、砂岩、石灰岩等。煤层本身就是由植物遗体演变而成的沉积岩。沉积岩在形成过程中，伴随着地质作用的影响，岩体中往往有明显的地质遗迹。在外力地质作用下，岩石在结构上具有成层、多孔隙的特点，在性质上反映为非均质体和各向异性；在内力地质作用下，形成岩体构造形态，如层理、节理、断裂和褶皱，这些岩体形态的弱面具有强度低、易变形的特点，这些弱面与工程管理的关系极为密切。

2. 岩体的裂隙性

岩石的变形、强度和各向异性等特征，往往取决于岩体本身存在的断裂系统——裂隙性。岩体的裂隙按生成原因，可分为原生裂隙、构造裂隙和次生裂隙3类。

原生裂隙（又称成岩裂隙）是在岩体形成过程中，由于发生温度、湿度或物理化学变化所产生的裂隙。

构造裂隙是岩体形成以后，在地壳运动过程中，在岩体内产生的各种裂隙。

次生裂隙是由于风化、地下水、卸载及人工等作用而形成的裂隙。

总之，岩体总是被这样或那样的裂隙切割成块体，这些块体之间处在既相联系而又被分割的状态。因此，岩体既是断裂的又是连续的，是断裂与连续的统一体。

3. 岩体的各向异性

岩体具有各向异性的基本原因是裂隙与层理构造的存在。由于组成岩石的矿物结晶程度、颗粒大小、形状及胶结物质性质不同，也使岩体具有各向异性的特点。岩体的各向异性表现为岩体变形和强度特性等方面的差异。

(二) 岩体（岩石）特征对工程的影响

(1) 空间周围岩体明显的特征是地压显现剧烈，围岩体自稳时间短，变形量大，来压大，给施工增加难度。因此在井巷工程设计中，对巷道位置、断面形状及支护方式的确定均应考虑岩石特征。

(2) 多孔隙松软围岩体遇水膨胀，底鼓明显，体积膨胀变形加剧而产生很大的胀鼓力，增大空间周围岩体井巷维修工作。

(3) 岩石的孔隙、层理、节理、裂隙和断层破碎带等岩体（岩石）特征，对井巷施工影响甚大。

(4) 瓦斯产生于煤层而又扩散到附近岩体的裂隙或孔隙中，因此在施工中，裂隙发育的围岩体增加了瓦斯的通透能力，应采取相应预防措施，避免瓦斯灾害事故。

第二节 岩石的物理性质

一、岩石的密度

1. 实际密度（简称密度）

实际密度是指岩石在绝对密实状态下单位体积所具有的质量，即

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 ρ ——岩石的实际密度， g/cm^3 ；

m ——岩石在干燥状态下的质量， g ；

V ——岩石在绝对密实状态下的体积， cm^3 。

绝对密实状态下的体积，是指不包括岩石内部孔隙的固体物质体积，一般要求磨细，干燥恒重，常用排液法（密度瓶法）测定其实际体积。

2. 表观密度（视密度）

表观密度是指岩石在自然状态下单位体积所具有的质量，即

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中 ρ_0 ——岩石的表观密度， g/cm^3 或 kg/m^3 ；

m ——岩石在干燥状态下的质量， g 或 kg ；

V_0 ——岩石在自然状态下的体积， cm^3 或 m^3 。

岩石在自然状态下的体积，是指包括固体物质体积和孔隙在内的总体积。对于规则状

岩石，其几何体积即为表观体积。对于不规则散粒状碎石块，可用排水法测定其体积，但在测定前，应先将岩石表面用薄蜡层密封，以免水液浸入碎石块孔隙而影响测定值，这种方法测定的体积为岩石绝对密实体积的近似值（因颗粒内部的自封闭孔隙体积没有排除）。这时所得的表观密度为实际密度的近似密度，又称视密度。

当岩石孔隙内含有水分时，其质量和体积均有所变化，故测定体积密度时，必须注明其含水情况，湿表观密度要注明含水率。一般所指的表观密度（又称干表观密度），是以干燥状态下的质量测定值为准。

3. 堆积密度（松散密度）

堆积密度是指散粒岩石在自然堆积状态下，单位体积（包括散粒内部孔隙及散粒之间的空隙）所具有的质量，即

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

式中 ρ'_0 ——岩石的堆积密度， kg/m^3 ；
 m ——岩石的质量， kg ；
 V'_0 ——岩石的堆积体积， m^3 。

测定散粒状态岩石的堆积密度时，岩石的质量是指填充在一定容积的容器内的岩石质量，其堆积体积是指所用容器的容积，可用容积筒法测定岩石的堆积体积。

煤矿中常见岩石的密度、表观密度和堆积密度见表 1-1。

表 1-1 煤矿中常见岩石的密度、表观密度和堆积密度

岩石名称	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	表观密度 $\rho_0/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	堆积密度 $\rho'_0/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
砂岩	2.60 ~ 2.75	2000 ~ 2600	1450 ~ 1650
页岩	2.57 ~ 2.77	2000 ~ 2400	1600 ~ 1800
石灰岩	2.48 ~ 2.85	2200 ~ 2600	1400 ~ 1700
煤	—	—	1200 ~ 1400

二、岩石的孔隙性

岩石的孔隙性是指岩石的裂隙和孔隙发育程度，通常用孔隙率（曾称孔隙度） P 表示。孔隙率是指岩石（试件）体积内，孔隙体积 V_p 占岩石总体积 V_0 的百分率，因 $V_p = V_0 - V$ ，则孔隙率为

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\%$$

岩石孔隙性对岩石其他性质有显著影响。孔隙率增大，岩石的整体性变差，岩石的密度和强度随之降低、透水性增大；另外，由于孔隙的存在会加快风化速度，从而进一步增大岩石透水性和降低岩石力学强度。

煤矿中常见岩石的孔隙见表 1-2。

表1-2 常见岩石的孔隙率

岩石名称		孔隙率 P/%
岩浆岩	花岗岩	0.04 ~ 0.92
	玄武岩	0.35 ~ 3.00
	凝灰岩	3.00 ~ 4.90
沉积岩	砾岩	0.34 ~ 9.30
	砂岩	1.60 ~ 2.83
	页岩	1.46 ~ 2.59
	石灰岩	0.53 ~ 2.00
变质岩	片麻岩	0.70 ~ 4.20
	片岩	0.70 ~ 2.92
	石英岩	0.50 ~ 0.80
	大理岩	0.22 ~ 1.30

三、岩石的碎胀性

岩石的碎胀性是指岩石破碎后处于松散状态下的体积比岩石破碎前处于整体状态下的体积增大的性质。两种状态下的体积比称为碎胀系数，用 α 表示，即

$$\alpha = \frac{V'_0}{V_0}$$

式中 α ——岩石的碎胀系数；

V'_0 ——岩石破碎膨胀后的体积， m^3 ；

V_0 ——岩石处于整体状态下的体积， m^3 。

碎胀系数反映了岩石破碎后岩块颗粒之间相互填充的致密程度，与岩石的物理性质、破碎后块度大小及其排列状态等因素有关。

岩石破碎后，在其自重和外加荷载的作用下将逐渐压实，体积随之减小，这种压实后的体积与破碎前原始体积之比，称为残余碎胀系数。残余碎胀系数反映了破碎岩石被压实的程度，它与岩石本身的物理力学性质、外加荷载大小及破碎后经历的时间长短有关。

煤矿中常见岩石的碎胀系数和残余碎胀系数见表1-3。

表1-3 煤矿中常见岩石的碎胀系数和残余碎胀系数

岩石名称	碎胀系数	残余碎胀系数	岩石名称	碎胀系数	残余碎胀系数
砂	1.06 ~ 1.15	1.01 ~ 1.03	泥质页岩	1.40	1.10
黏土	<1.20	1.03 ~ 1.07	砂质页岩	1.60 ~ 1.80	1.10 ~ 1.15
碎煤	<1.20	1.05	硬砂岩	1.50 ~ 1.80	—

四、岩石的水理性质

1. 岩石的水胀性和水解性

水胀性和水解性是散软岩石所表现出的特性。岩石的水胀性是指软岩浸水后体积增大和相应地引起压力增大的性能，岩石的水解性是指软岩浸水后发生的解体现象。岩石的水胀性和水解性往往对地下工程的施工和巷道的稳定性带来不良影响。

2. 岩石的溶蚀性

由于水化学作用而将岩石中的某些组成物质带走的现象称之为岩石的溶蚀性。溶蚀作用可使岩石致密程度降低,岩石通透性增大,孔隙增大,形成溶洞和陷落柱,给井巷工程施工带来极大的难度,这种溶蚀现象在石灰岩巷道围岩中是常见的。

3. 岩石的透水性

地下水存在于岩石的孔隙和裂隙中,而且大多数岩石的孔隙和裂隙是互相贯通的,因而在一定的水压力作用下,地下水除了与地下水头和岩体内的应力状态有关外,还与岩石的孔隙率大小及其连通程度有关。

衡量岩石透水性的指标为渗透系数,用 K 表示,其单位与速度相同。渗透系数反映了岩石抵抗水渗透的能力,岩石渗透系数值越大,透水性越强。

不同岩石的透水性差别极大。对于某些岩石来说,即使同种类型的岩石,其透水性也可以在很大的范围内变化,表 1-4 所列为几种岩石的渗透系数指标。

表 1-4 几种岩石的渗透系数 cm/s

岩石类型	渗透系数	岩石类型	渗透系数
泥石	10^{-4}	砂岩或多裂隙页岩	$>10^{-3}$
粉岩石	$10^{-8} \sim 10^{-9}$	致密的石灰岩	$<10^{-10}$
细岩石	2×10^{-7}	有裂隙的石灰岩	$2 \sim 4$

4. 岩石的耐水性

岩石长期在饱和水作用下而不破坏,其强度也不显著降低的性质称为耐水性,用软化系数表示。即用吸水饱和状态下岩石试件的单向抗压强度与干燥岩石试件单向抗压强度的比值来表示水分对岩石强度的影响程度。岩石软化系数的计算式为

$$K_R = \frac{R_b}{R_g} \leq 1$$

式中 K_R ——岩石的软化系数;
 R_b ——吸水饱和状态下岩石试件的单向抗压强度, MPa;
 R_g ——岩石试件在干燥状态下的单向抗压强度, MPa。

软化系数的大小,表明浸水后强度降低的程度。岩石浸水后的软化系数越小,说明岩石吸水饱和后的强度降低越多,其耐水性越差。研究岩石的耐水性对用高压注水软化方法控制坚硬难冒顶板有着重要意义。

岩石浸水后的软化程度,与岩石中亲水性矿物与易溶性矿物的含量、孔隙率、孔隙特征、水的化学成分及岩石浸水时间的长短等因素有关,亲水矿物和易溶矿物含量越多,开口孔隙占孔隙率比值越大,岩石浸水时间越长,则岩石的耐水性越差。

煤矿中常见岩石的软化系数见表 1-5。

表 1-5 煤矿中常见岩石的软化系数

岩石名称	干试件抗压强度/MPa	水饱和试件抗压强度/MPa	软化系数
粉土岩	20.7 ~ 59.0	2.4 ~ 31.8	0.08 ~ 0.87
页岩	57.0 ~ 136.0	13.7 ~ 75.1	0.24 ~ 0.55
砂岩	17.5 ~ 250.8	5.7 ~ 245.5	0.44 ~ 0.97
石灰岩	13.4 ~ 206.7	7.8 ~ 189.2	0.58 ~ 0.94

五、岩石的硬度

岩石的硬度是指岩石表面抵抗其他较硬物体压入或刻划的能力。岩石的硬度常采用刻划法来测定。按刻划法，矿物硬度分为 10 级（莫氏硬度）。一般来说，硬度越大，则其耐磨性越好，钻凿越困难。

第三节 岩石的力学性质

岩石的力学性质是指岩石在荷载作用下所表现出来的性质，岩石的力学性质包括岩石的变形性质和强度性质。岩石的变形性质所表现的是岩石对外力的几何尺寸响应，岩石的强度性质所表现的则是岩石抵抗外力破坏的力学能力。

一、岩石的变形特性

岩石的变形性质主要是研究岩石在荷载作用下，随着应力的增加而发生的应变，所表现出来的应力—应变关系。岩石受到外部荷载时首先发生变形，当荷载增加超过极限强度时，就会导致岩石破坏。所以岩石的变形和破坏是岩石在荷载作用下力学性质变化过程中的两个阶段。

1. 岩石的弹性和塑性

岩石的弹性是指在外力作用下产生变形，当取消外力后，能完全恢复到原来形状的性质。这种完全能恢复的变形，称为弹性变形。弹性变形是可逆的。岩石在弹性变形范围内，其应力与应变的比值是一个常数，这个比值称为岩石的弹性模量，即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

式中 σ ——岩石的应力，MPa；

ε ——岩石的应变；

E ——岩石的弹性模量，MPa。

弹性模量 E 是衡量岩石抵抗变形能力的一个指标，其值越大，则岩石越不易变形。

岩石的塑性是指在外力作用下产生变形，当取消外力后，仍保持变形后的形状和尺寸的性质。这种不能恢复的永久变形，称为塑性变形。塑性变形具有不可逆性。

岩石与一般固体材料不同，它的弹性变形和塑性变形往往是同时出现的。例如，岩石在弹性变形阶段就已伴随或多或少的塑性变形，甚至在刚开始出现弹性变形的时刻，便出现了塑性变形。因此，岩石是兼有弹性和塑性的材料。

2. 岩石的流变性质

岩石的变形特性与岩石类型、加载方式、荷载大小及岩石的物理状态等因素有关。另外，许多岩石的变形并非在一瞬间完成，它与时间因素有密切关系。岩石的流变是指岩石的应力应变随时间因素而变化的特性。岩石的流变性质表现在以下 3 个方面：

(1) 蠕变。在恒定荷载持续作用下，应变随时间变化而增长的现象称为蠕变。蠕变有两种情况：一是当岩石应力较小时，经过一段时间，应变能稳定下来，不再增加，称为稳定蠕变；二是当岩石应力较大时，应变随时间变化而不断增加，直至岩石破碎，称为不

稳定蠕变。其间的临界应力即为岩石长期稳定的必要条件。井下某些含有黏土矿物的岩石，蠕变相当突出，如位于一些软岩中的巷道，可以经过几天甚至几小时以后，就使巷道断面缩小到难以通行的程度。

(2) 后效弹性变形。岩石在弹性变形阶段，卸载以后，有一部分变形立刻恢复，还有一部分变形不能立刻恢复，但是经过一定时间仍能完全恢复。这部分变形，不是塑性变形，这种现象称为后效弹性变形。后效弹性变形的发展很缓慢，而且变形量所占的比重较小，通常只占弹性变形的百分之几，很少超过 10%。尽管如此，后效弹性变形在井下工程中仍有重要意义。

(3) 松弛。在应变保持一定条件下，应力随时间而逐渐减小的现象称为松弛。研究岩石变形的松弛性质可以更合理地选择井下支护形式。

二、岩石的强度特性

在荷载作用下，岩石应变达到一定程度就会破坏，岩石发生破坏时所承受的最大荷载叫做极限荷载，用单位面积表示则称为极限强度，其值是以岩石受力破坏时，单位面积上所承受的力来表示的，即

$$f = \frac{F}{A}$$

式中 f ——岩石强度，MPa；

F ——破坏荷载，N；

A ——受荷载面积，mm²。

研究岩石强度最基本的方法是在实验室以标准方法测定岩石立方体破坏强度的平均值，以边长 70mm 的立方体为标准试件，作单向抗压强度试验破坏时的应力值为岩石强度标准值。同一岩石不同尺寸，其强度值也不同，试件尺寸越小，则抗压强度值越大。

1. 岩石的抗压强度

岩石试件在压缩时所能承受的最大压应力值，称为岩石的抗压强度。它是目前井巷采矿工程中使用最广泛的岩石力学特性参数。

岩石的抗压强度又分为两类：一是岩石试件在单向压缩时所能承受的最大压应力值，称为岩石单向抗压强度；二是岩石试件在三向压应力作用下所能承受的最大轴向应力（或称最大的主应力），称为岩石的三向抗压强度。

通常，岩石中含高强度的矿物多、矿物颗粒间的联结力大、孔隙率小，则岩石抗压强度大；反之，岩石抗压强度小。

2. 岩石的抗拉强度

岩石试件在拉伸时能承受的最大拉应力值称为岩石的抗拉强度。岩石的抗拉强度，主要受其内部因素的影响，如果组成岩石的矿物强度高、颗粒之间的联结力强且孔隙不发育，则其抗拉强度高。

3. 岩石的抗剪强度

岩石的抗剪强度是指岩石抵抗剪切作用的能力，它也是反映岩石力学性质的主要参数之一。

煤矿中常见岩石的单向抗压强度、抗拉强度和抗剪强度值见表 1-6。

表 1-6 煤矿中常见岩石强度值

MPa

岩石名称		抗压强度	抗拉强度	抗剪强度
煤		5 ~ 50	2 ~ 5	1.1 ~ 16.5
砂岩类	细砂岩	106 ~ 146	5.6 ~ 18	17.8 ~ 54.5
	中砂岩	87.5 ~ 136	6.1 ~ 14.3	13.6 ~ 37.2
	粗砂岩	58 ~ 126	5.5 ~ 11.9	12.6 ~ 31
	粉砂岩	37 ~ 56	1.4 ~ 2.5	7 ~ 11.7
砾岩类	砂砾岩	71 ~ 124	2.9 ~ 9.9	7.2 ~ 29.4
	砾岩	82 ~ 96	4.1 ~ 12	6.7 ~ 26.9
页岩类	砂质页岩	49 ~ 92	4 ~ 12.1	21 ~ 30.5
	页岩	19 ~ 40	2.8 ~ 5.5	16 ~ 23.8
灰岩类	石灰岩	54 ~ 161	7.9 ~ 14.1	10 ~ 31

4. 岩石各种强度之间的关系

岩石受力状态不同,其极限强度亦不同。由实验研究可知,岩石在不同应力状态下的各种强度值一般符合下列顺序:三向等压抗压强度 > 三向不等压抗压强度 > 双向抗压强度 > 单向抗压强度 > 抗剪强度 > 抗拉强度。

此外,实验证明,各项强度值有以下数量关系:

$$\frac{\text{抗拉强度}}{\text{单向抗拉强度}} = \frac{1}{38} \sim \frac{1}{5}$$

$$\frac{\text{抗剪强度}}{\text{单向抗拉强度}} = \frac{1}{15} \sim \frac{1}{2}$$

针对岩石强度的特点,在破岩时应使岩石单向或双向受力处于拉伸或剪切的状态,在井巷维护时应使岩石处于受压状态。

第四节 岩石分级和围岩分类

为了满足岩体工程设计、施工和管理工作的需要,对岩石进行分级和对围岩进行分类是十分必要的。由于组成岩体的岩石性质不同,岩体中裂隙发育程度存在差异,岩体力学性质比较复杂,而且因研究目的不同,分类方法也不同。

各种岩石按其成因和矿物成分划分种类,加以质的区别,只能满足地质工作的需要。对于采掘工程来说,则是以破碎岩石和维护围岩稳定为目的的,需要对岩石按其工程性质加以量的区分,即岩石分级和围岩分类。在采掘工程中,为了提高破岩效率,合理地选择钻眼爆破参数,对小范围内的岩石加以量的区分,称为岩石分级;为了判定巷道周围岩体的稳定性并合理选择支护类型,对较大范围内的岩体加以量的区分,称为围岩分类。我国煤矿普遍应用的是以坚固性为基础的普氏岩石分级法和以围岩稳定性为基础的围岩分类法。

一、普氏岩石分级法

1922 年苏联采矿工程师 M. M. 普罗托季亚科诺夫(简称普氏)提出用一个综合性的指标——坚固性系数来划分岩石等级。坚固性系数不同于岩石的硬度、强度、可钻性和可

爆性等指标，它表示岩石在各种采矿作业（如锹、镐、钻机、炸药爆破等）及地压等外力作用下被破坏的相对难易程度。该方法是以岩块强度为基础的，适用于岩石破碎方面的应用。普氏认为，岩石的坚固性在各方面的表现是趋于一致的，难破碎的岩石用各种方法都难于破碎，易破碎的岩石用各种方法都易于破碎。

岩石的坚固性系数表示岩石被破坏的相对难易程度，用 f 表示， f 又称为普氏系数。 f 值的计算，是用岩石的单向抗压强度 R_c （MPa）除以标准岩石的抗压强度10（MPa）来表示的，即

$$f = \frac{R_c}{10}$$

根据 f 值的大小，普氏将岩石分为10级共15种。普氏岩石坚固性系数分类见表1-7。

表1-7 普氏岩石坚固性系数分类

级别	坚固性强度	岩石	普氏系数 f
I	最坚固的岩石	最坚固、最致密的石英岩及玄武岩，其他最坚固的岩石	20
II	很坚固的岩石	很坚固的花岗岩类，石英斑岩，很坚固的花岗岩，硅质片岩，坚固程度较I级岩石稍差的石英岩，最坚固的砂岩及石灰岩	15
III	坚固的岩石	花岗岩（致密的）及花岗岩类岩石，很坚固的岩石及石灰岩，石英质矿脉，坚固的砾石，很坚固的铁矿石	10
III _a	坚固的岩石	坚固的石灰岩，不坚固的花岗岩，坚固的砂岩，坚固的大理岩，白云岩，黄铁矿	8
IV	相当坚固的岩石	一般的砂岩，铁矿石	6
IV _a	相当坚固的岩石	砂质页岩，泥质砂岩	5
V	坚固性中等的岩石	坚固的页岩，不坚固的砂岩及石灰岩，软的砾岩	4
V _a	坚固性中等的岩石	各种不坚固的页岩，致密的泥灰岩	3
VI	相当软的岩石	软的页岩，很软的石灰岩，白垩，岩盐，石膏，冻土，无烟煤，普通泥灰岩，破碎的砂岩，胶结的卵石及粗砂砾，多石块的土	2
VI _a	相当软的岩石	碎石土，破碎的页岩，结块的卵石及碎石，坚硬的烟煤，硬化的黏土	1.5
VII	软土	致密的黏土，软的烟煤，坚固的表土层，黏土质土壤	1.0
VII _a	软土	轻砂质黏土（黄土、细砾石）	0.8
VIII	壤土状土	腐植土，泥炭，轻亚黏土，湿砂	0.6
IX	松散土	砂，小的细砾石，填方土，已采下的煤	0.5
X	流动性土	流砂，沼泽土，含水黄土及其他含水土壤	0.3

- 注：1. 将每一种岩石划分到这种或那种等级时，不仅仅单独地按照其名称，而且必须按照岩石的物理状态，并根据它的坚固性与分级表中列出的诸岩石进行比较。一般来说，风化的、破碎的、经断层挤压过的、接近于地表的岩石，应当划分到比较处于完整状态的同种岩石稍低的等级中。
2. 上述的岩石普氏系数，可以认为是对所有各种不同方面岩石相对坚固性的表征，它在采矿中的意义在于——手工开采时的采掘性，浅眼及深眼孔的凿岩性，应用炸药时的爆破性，在冒落时的稳定性，作用于支架上的压力等。
3. 分级表中的数值，是对某一类岩石中所有岩石而言的（如页岩类、石英岩类、石灰岩类），而不是对此类个别岩石而言的。因而，在特定情况下确定 f 值时，必须十分慎重，并且这一数值在不同情况下是不一样的。