

全国煤炭高职高专（成人）“十一五”规划教材

矿山压力与岩层控制

蒋金泉 王国际 张登明 代进 主编



Kuangshan Yali Yu Yanceng Kongzhi

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

要 點 容 內

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

矿山压力与岩层控制

主 编 蒋金泉 王国际
张登明 代 进

中国矿业大学出版社

ISBN 978-7-81107-788-9
 中国矿业大学出版社
 地址：江苏省徐州市中国矿业大学内 邮政编码 221008
 网址：<http://www.cump.com> E-mail: cump@vip.sina.com
 印刷：徐州中矿大印务有限公司
 发行：徐州中矿大印务有限公司
 开本：787×1092 1/16 印张 18 字数 475 千字
 版次：2007年11月第1版 2007年11月第1次印刷
 定价：38.00元

内 容 提 要

本书在简要叙述矿山岩石和岩体的基本性质、矿山岩体的原岩应力及其重新分布、采煤工作面上覆岩层活动规律及矿山压力显现规律、巷道矿压显现规律的基础上,较为详细地讲述了采煤工作面顶板控制原理与方法、矿压监测技术、岩层移动与控制技术、巷道维护原理及支护技术、矿山压力观测技术、冲击矿压监测及其防治技术等方面的内容,并简明扼要地讲述了矿山压力监测数据分析及预测方法。

本书可作为高等职业技术教育及技术培训相关专业的教材,亦可供广大采矿工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿山压力与岩层控制 / 蒋金泉等主编. — 徐州:中国矿业大学出版社,2007.11

全国煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7- 81107 - 788 - 9

I. 矿… II. 蒋… III. ①煤矿开采—矿山压力—高等学校:技术学校—教材②煤矿开采—岩层移动—控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TD32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 174262 号

书 名 矿山压力与岩层控制
主 编 蒋金泉 王国际 张登明 代 进
责任编辑 吴学兵 孙建波
责任校对 杜锦芝
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮政编码 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 19 字数 472 千字
版次印次 2007 年 11 月第 1 版 2007 年 11 月第 1 次印刷
定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材 建设委员会成员名单

主任:李增全

副主任:刘咸卫 胡卫民 刘发威 仵自连

委员:(按姓氏笔画为序)

牛耀宏 王廷弼 王自学 王宪军

王春阁 石 兴 刘卫国 刘景山

张 军 张 浩 张贵金 李玉文

李兴业 李式范 李学忠 李维安

杜俊林 陈润叶 周智仁 荆双喜

贺丰年 郝巨才 唐又驰 高丽玲

彭志刚

秘书长:王廷弼 李式范

副秘书长:耿东锋 孙建波

煤炭高职高专(成人)“十一五”规划教材 煤矿开采技术专业编审委员会成员名单

主任:胡卫民

副主任:李学忠 杜俊林

主编
张吉春

委员:(按姓氏笔画为序)

吕建青

张浩

张占斌

张登明

李德忠

杨红涛

胡海峰

赵济荣

姬婧

贾琇明

曾旗

蒋金泉

漆旺生

林剑林

辛丰贤

魏又

林剑林

辛丰贤

魏又

林剑林

辛丰贤

张吉春

张占斌

张登明

张吉春

张占斌

张登明

前 言

《矿山压力与岩层控制》是采矿工程专业的一门主干课程,矿山压力与岩层控制理论及技术是矿井开拓部署、矿山工程设计与施工、开采方法与工艺设计、采煤工作面岩层控制与支护设计、巷道围岩控制与支护设计、矿山压力监测的基础,对于确保矿井生产系统的畅通、保证安全高效生产等方面具有十分重要的作用。我国在矿山压力与岩层控制领域的研究历史长久,取得了丰硕的成果,学科理论与技术得到了快速发展,已经形成了比较完整的理论体系及成套的控制技术,推进了采矿技术的发展。广大采矿工程技术人员多年来一直重视矿山压力与岩层控制的研究与应用,在矿井设计、安全高效生产、矿井绿色开采等方面取得了显著的成效。对于矿井生产各个层次的组织管理人员来说,都应该学习和掌握矿山压力与岩层控制的基本理论、规律、技术及方法。

我国幅员辽阔,煤田地质条件复杂,采用的采煤方法多种多样,在不同地质条件与开采技术条件,矿山压力规律都会呈现出相应的特点。本书教材编写尽量反映了当前最新、最有代表性的基本理论、普遍规律、控制技术及监测方法,如矿山压力分布规律、上覆岩层活动规律、采场顶板控制理论与技术、巷道矿山压力与支护、冲击地压监测与防治、矿山压力监测和预报等基本内容。

本书作为高职高专(成人)“十一五”规划教材,压缩了理论部分内容,加强了基本规律、控制技术、监测方法的有关内容,突出了成人高等教育和高等职业教育的特点,重在培养实际应用能力。

本书可作为高等职业技术教育及技术培训的教材,也可供广大采矿工程技术人员参考。

本书由蒋金泉、王国际、张登明、代进主编,耿献文、王公忠、马全礼、李洪、刘锋珍参编。

编 者

2007年10月

001 第二章
 111 第三章
 128 第四章
 159 第五章
 191 第六章

目 录

第一章 矿山岩石和岩体的基本性质 1

 第一节 岩石的基本物理性质 1

 第二节 岩石的强度和变形特性 4

 第三节 岩石的破坏机理和强度理论 12

 第四节 岩体的基本特征和类型 18

 第五节 岩体的基本力学性能与分级标准 21

 习题 27

第二章 矿山岩体的原岩应力及其重新分布 29

 第一节 岩体中的原岩应力 29

 第二节 岩体中的弹性变形能 34

 第三节 “孔”周围的应力分布 37

 第四节 围岩的极限平衡与支承压力分布 48

 第五节 采场巷道围岩应力分布特征 50

 习题 53

第三章 采煤工作面上覆岩层活动规律 54

 第一节 影响采煤工作面矿压显现的岩层组成 54

 第二节 有关采煤工作面上覆岩层活动规律的假说 55

 第三节 直接顶冒落厚度 59

 第四节 基本顶的初次断裂与断裂步距 61

 第五节 基本顶断裂前后的支承压力显现 75

 习题 80

第四章 采煤工作面矿山压力显现基本规律 81

 第一节 基本顶的初次来压与周期来压 81

 第二节 采煤工作面顶板大面积来压 83

 第三节 顶板压力的估算 89

 第四节 影响工作面矿山压力显现的主要因素 92

 习题 94

第五章 采煤工作面顶板控制原理与方法 95

 第一节 采煤工作面顶板分类与底板比压 95

第二节	采煤工作面支架类型与支架力学特性	100
第三节	采煤工作面支架与围岩相互作用原理	117
第四节	综合机械化采煤工作面支架选型与顶板控制设计	123
第五节	单体液压支柱工作面顶板控制设计	129
习题		135
第六章	采煤工作面矿压监测	136
第一节	采煤工作面矿山压力监测仪器概述	136
第二节	采煤工作面上覆岩层运动监测预报	140
第三节	单体液压支柱工作面矿山压力监测技术	162
第四节	综采工作面矿山压力监测技术	173
习题		181
第七章	采煤工作面岩层移动与控制	182
第一节	岩层移动引起的采动损害概述	182
第二节	岩层控制的关键层理论	183
第三节	采煤工作面上覆岩层移动规律	186
第四节	采煤工作面底板破坏与突水	194
第五节	采煤工作面上覆岩层移动控制技术	197
习题		202
第八章	巷道矿压显现规律	203
第一节	巷道围岩应力及变形规律	203
第二节	受采动影响巷道矿压显现规律	206
第三节	软岩特征与软岩巷道矿压显现规律	210
第四节	巷道围岩控制原理	211
习题		213
第九章	巷道维护原理和支护技术	214
第一节	无煤柱护巷	214
第二节	巷道围岩卸压	220
第三节	巷道支架形式	225
第四节	巷道锚杆支护原理与方法	232
第五节	软岩巷道围岩支护技术	241
习题		247
第十章	巷道矿山压力观测技术	248
第一节	巷道矿山压力观测仪器	248
第二节	巷道围岩应力观测	254

第三节	巷道围岩周边变形与位移监测技术·····	255
第四节	巷道围岩松动圈的测定技术·····	257
第五节	巷道支架变形破坏监测技术·····	261
第六节	巷道支架载荷监测技术·····	262
第七节	锚杆支护质量监测·····	264
	习题·····	266
第十一章	冲击矿压监测及其防治·····	267
第一节	冲击矿压及分类·····	267
第二节	冲击地压的机理·····	267
第三节	冲击矿压发生的影响因素·····	269
第四节	冲击矿压的预测·····	275
第五节	冲击矿压的综合防治·····	280
第十二章	矿山压力监测数据分析及预测方法·····	282
第一节	矿山压力监测数据的多元线性回归分析·····	282
第二节	矿压监测缺失数据的拟补方法·····	284
第三节	矿压观测数据的多元模糊聚类分析·····	287
	参考文献·····	293

第一章 矿山岩石和岩体的基本性质

第一节 岩石的基本物理性质

一、岩石的基本概念

岩石是由一种或几种造岩矿物在地质作用下按一定方式结合而形成的矿物自然集合体,是构成地壳的主要物质。为与自然状态下的岩体有所区别,在许多岩石力学文献中把岩石描述为从岩体中分离出的、尺寸不大的块体物质岩块。

岩石按不同的标准可分为不同类型,常见的分类有:

(1) 按岩石成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类,煤矿绝大多数遇到的是沉积岩。

(2) 按岩石固体矿物颗粒间的结合特征,可分为固结性、粘结性、散粒状和流动性岩石四大类。煤矿中多遇到固结性岩石,即造岩矿物的固体颗粒间为刚性连接、破碎后仍可保持一定形状的岩石,常见的有砂岩、砂质泥岩、砂质页岩、石灰岩、泥岩等。

(3) 按岩石力学强度和坚实性,可分为坚硬岩石和松软岩石。

二、岩石的质量指标

(一) 岩石的密度和体积力

岩石的密度 ρ (kg/m^3) 是指单位体积 V (m^3) 岩石(包括空隙体积)的质量 (kg)。

岩石的密度与组成岩石的矿物密度、空隙和吸水有关。根据岩石试样含水状态不同,可分为天然密度、饱和密度和干密度三种,其中,前两种称为岩石的湿密度。天然密度是指岩石在天然含水状态下的密度;饱和密度 (ρ_s) 指岩石在吸水饱和状态下的密度;干密度 (ρ_d) 是岩石在 $105\text{ }^\circ\text{C}\sim 110\text{ }^\circ\text{C}$ 下干燥 24 h 后的密度。实验室测试一般只提供干密度指标,且通常所说的岩石密度也是指干密度。但对于遇水易膨胀的软岩,其干密度和湿密度的值有很大不同,应严加区分。煤矿中常见的岩石密度见表 1-1。

表 1-1 煤矿中常见岩石的相对密度、密度、孔隙率以及孔隙比

岩石种类	砂岩	页岩	石灰岩	板岩	煤
相对密度 Δ	2.60~2.75	2.57~2.77	2.48~2.85	—	—
密度 $\rho_d/10^3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	2~2.6	2~2.4	2.2~2.6	—	1.2~1.4
孔隙率 $n/\%$	3~30	10~35	5~20	0.1~1.0	—
孔隙比 e	0.031~0.429	0.111~0.538	0.053~0.25	0.001~0.0101	—

岩石的体积力 γ (kN/m^3) 是指单位体积 (包括空隙体积) 内岩石的质量所受的重力 (kN/m^3)。

(二) 岩石的相对密度

岩石的相对密度 Δ 是指岩石固体部分实体积 V_c (不包括空隙体积) 的重量与相同体积的 4°C 时水的重量之比。其表达式为

$$\Delta = \frac{G_d}{V_c \cdot \gamma_w} \quad (1-1)$$

式中 G_d ——绝对干燥时岩石的重量, kN ;

V_c ——岩石固体部分实体积, m^3 ;

γ_w ——水的体积力, 4°C 时为 $10 \text{ kN}/\text{m}^3$ 。

岩石相对密度取决于组成岩石的矿物密度。显然, 矿物的密度越大, 则岩石的密度也越大, 反之, 越小。煤矿中常见的岩石相对密度见表 1-1。

三、岩石的体积指标

(一) 岩石的孔隙度

岩石的孔隙度是指岩石中裂隙和孔隙的发育程度, 其衡量指标为孔隙率或孔隙比。

孔隙率是指岩石中各种孔隙体积总和与岩石总体积之比, 表达式为

$$n = \frac{V_0}{V} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 n ——岩石的孔隙率, %;

V_0 ——岩石中孔隙的总体积, m^3 ;

V ——岩石的总体积, m^3 。

岩石的孔隙比 e 指岩石中各种孔隙体积总和 V_0 与岩石内固体部分实体积 V_c 之比, 即

$$e = \frac{V_0}{V_c} = \frac{V_0}{V - V_0} = \frac{n}{1 - n} \quad (1-3)$$

煤矿中常见岩石的孔隙率和孔隙比见表 1-1。

(二) 岩石的碎胀性

岩石的碎胀性是指岩石破碎后的体积比破碎前的体积增大的性质。常用岩石的碎胀系数 K_b 来表示, 即岩石破碎后处于松散状态下的体积与岩石破碎前处于整体状态下的体积之比。

岩石的碎胀系数是岩石物理性质的重要参数之一, 是采矿工程中经常用的数据。例如掘进工作面装车量的计算; 充填法中充填量的计算; 全部陷落法顶板崩落高度的确定等, 都需要碎胀系数参与计算。但岩石破碎后在其自重作用下又逐渐压实, 因此, 岩石的碎胀系数不是一个固定值, 是随时间而变化的。不能再压密时的碎胀系数称为永久碎胀系数。永久碎胀系数最小, 也称残余碎胀系数。煤矿中常见的岩石的碎胀系数见表 1-2。

四、岩石的水理性质

(一) 岩石的透水性

岩石可以被地下水透过的性能称为岩石的透水性。岩石透水性的大小不仅与孔隙度有

表 1-2 煤矿中常见岩石的碎胀系数和残余碎胀系数

岩石种类	碎胀系数 K_p	残余碎胀系数 K'_p
砂	1.06~1.15	1.01~1.03
粘土	<1.2	1.03~1.07
碎煤	<1.2	1.05
粘土页岩	1.4	1.10
砂质页岩	1.6~1.8	1.1~1.15
硬砂岩	1.5~1.8	

关,还与孔隙大小和贯通程度有关。衡量岩石透水性的指标为渗透系数。渗透系数 $K(m/s)$ 一般通过在钻孔中进行抽水试验或压水试验测定。不同岩石的透水性有很大差别,即使同一种类型岩石,不同条件下其透水性也有很大不同。

(二) 岩石的软化性

岩石的软化性是指岩石浸水后其强度降低的性质,通常用软化系数表示水对岩石强度的影响程度,即水饱和岩石试件的单轴抗压强度与干燥岩石试件单轴抗压强度之比

$$\eta_0 = \frac{R_{c_w}}{R_c} \leq 1 \quad (1-4)$$

式中 η_0 ——岩石的软化系数;

R_{c_w} ——水饱和岩石试件的单轴抗压强度,MPa;

R_c ——干燥岩石试件的单轴抗压强度,MPa。

岩石浸水后的软化程度,与岩石中亲水性矿物和易溶性矿物的含量、孔隙裂隙的发育程度、水的化学成分以及岩石浸水时间等因素有关。研究岩石的软化系数对用高压注水软化煤岩体方法去控制坚硬难冒落顶板(顶煤)有重要意义。一般软化系数越小,岩石受水的影响就越小。

岩石普遍具有软化性,即软化系数一般小于1,且软化系数的变动幅度很大,尤其是强度较小的岩石,其变动幅度更大。煤矿中常见岩石的软化系数见表1-3。

表 1-3 煤矿中常见岩石的软化系数

岩石种类	干试件抗压强度/MPa	水饱和试件抗压强度/MPa	软化系数 η_0
粘土岩	20.3~57.8	2.35~31.2	0.08~0.87
页岩	55.8~133.3	13.4~73.6	0.24~0.55
砂岩	17.1~245.8	5.6~240.6	0.44~0.97
石灰岩	13.1~202.6	7.6~185.4	0.58~0.94

(三) 岩石的膨胀性和崩解性

岩石的膨胀性是指软岩浸水后体积增大的性质,相应地会引起压力的增大。岩石遇水膨胀的特性可用膨胀应力和膨胀率这两个指标来表示。岩石的膨胀应力是指岩石与水进行物理化学反应后,随时间变化会产生体积增大现象,这时使试件体积保持不变所需施加的压力;而增大后的体积与原体积的比率称为岩石的膨胀率。

岩石的崩解性一般是指岩石浸水后造成岩石中颗粒及其集合体分散的解体现象。

(四) 岩石的吸水性

岩石吸收水分的性能称为岩石的吸水性,其吸水量的大小取决于岩石孔隙体积的大小及其敞开或封闭程度。通常以岩石的自然吸水率、饱和吸水率和饱水系数表示。

岩石的自然吸水率 $\omega(\%)$ 是指试件在常温常压下吸入水分的质量 $m_w(\text{kg})$ 与试件干质量 $m_d(\text{kg})$ 之比,如不专门指明,岩石的吸水率即指自然吸水率。

岩石的饱和吸水率 $\omega_s(\%)$ 是试件在真空或加压(一般为 15 MPa)条件下吸入水分的质量 $m_{ws}(\text{kg})$ 与试件的干质量 $m_d(\text{kg})$ 之比,简称饱水率。

饱水系数 J 则是指岩石的吸水率 ω 与饱和吸水率 ω_s 之比,一般 $J=0.5\sim 0.8$ 。有关岩石的吸水率见表 1-4。

表 1-4 几种岩石的吸水率

岩石种类	花岗岩	砂岩	页岩	石灰岩	板岩
吸水率/%	0.1~0.92	0.20~12.19	1.8~3.0	0.10~4.45	0.10~0.95

(五) 岩石的抗冻性

岩石的抗冻性是指岩石抵抗冻融破坏的能力,它是评价岩石抗风化稳定性的重要指标。

岩石经过反复冻结与融解,会使强度降低,甚至引起破坏。其主要原因是由于岩石中所含各种矿物的膨胀系数不同,当温度发生变化时,岩石膨胀与收缩不均而导致岩石结构破坏;另一个原因是岩石中水分冻结所形成的膨胀压力所致。

常用岩石的抗冻系数表示岩石的抗冻性。岩石的抗冻系数 $R_p(\%)$ 指岩石冻融试验后的干抗压强度 $p_c(\text{MPa})$ 与试验前的干抗压强度 $p_{cr}(\text{MPa})$ 之比。

第二节 岩石的强度和变形特性

一、岩石变形性质的类别及其指标

(一) 岩石变形性质的类别

岩石的变形性质是岩石的主要力学性质,是岩石在力的作用下发生形状及体积的变化。按应力—应变—时间关系,可将其变形形状划分为弹性变形、塑性变形和粘性变形三种。

岩石的弹性变形是指卸载后岩石变形能完全恢复到其原始状态的性质,随岩石性质的不同可分为三种不同的弹性特征(图 1-1)。

(1) 线性弹性——应力—应变呈直线关系;

(2) 完全弹性(非线性弹性)——应力—应变不是直线关系,但卸载时应力应变沿原来的曲线返回原点;

(3) 滞弹性——应力—应变为曲线关系,无残余变形,卸载时应力应变沿另一条曲线返回原点。

岩石的塑性变形是指岩石在外力作用下超过其屈服极限应力时仍能发生变形、撤去外力后不能完全恢复其原始状态的性质,亦称残余变形。理想的岩石塑性变形应力—应变关

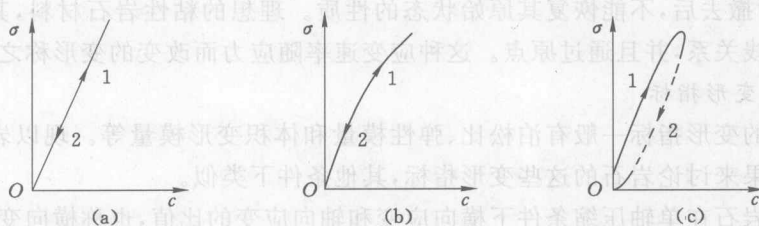


图 1-1 岩石的不同弹性类型

(a) 线弹性; (b) 完全弹性(非线性弹性); (c) 滞弹性
1, 2——加载、卸载过程

系曲线如图 1-2(a)所示。当应力低于屈服极限(屈服应力) σ_y 时,岩石的性质为弹性;有的岩石当应力达到其屈服应力后,应力不增加而变形不断增长,应力—应变曲线为水平线。此时岩石所能承受的最大载荷为其屈服应力。还有一类岩石,当应力超过其屈服应力后,应力和变形都不断增加,应力—应变曲线呈上升变化,此即应变硬化现象[图 1-2(b)],也就是说,即使应力超过屈服应力,但随塑性变形的发展,岩石的承载力也会增长。

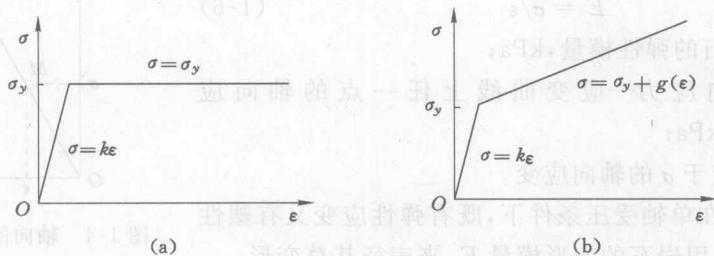


图 1-2 塑性变形应力应变关系曲线

研究表明,岩石的变形特性与其类型、物理性质、加载方式、大小及作用时间等有关,且岩石的弹性和塑性变形往往同时出现。一般加载条件下,岩石只在较小的应力范围内应力—应变关系可看做服从胡克(Hook)定律,但多数并不遵从。图 1-3 为一般岩石的变形曲线,从图中可看出,在外力达到屈服应力时,开始卸载初期,应力—应变曲线比较陡,但当卸载接近结束时则较平缓,甚至当完全除去应力后,还有部分变形恢复,此即弹性后效现象。虽然弹性变形在岩石中传递速度很快,但弹性后效的发展却很缓慢,而且变形量所占的相对密度较小,通常不超过 10% 的弹性变形。因此,岩石的弹性变形可分为瞬时弹性变形(变形卸载后立即恢复)和后效弹性变形(变形卸载后需要经过一定时间才恢复)。

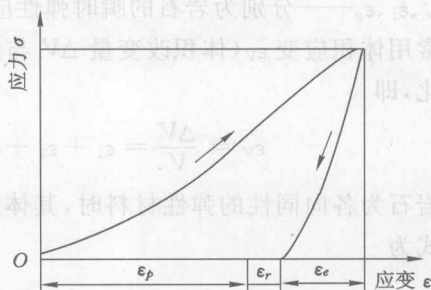


图 1-3 一般岩石的变形曲线

ϵ_e ——瞬时弹性变形; ϵ_r ——后效弹性变形; ϵ_p ——塑性变形

岩石的粘性是指岩石在外力作用下变形不能在瞬间完成,且应变的速率随应力的变化

而改变,当外力撤去后,不能恢复其原始状态的性质。理想的粘性岩石材料,其应力—应变速率曲线呈直线关系,并且通过原点。这种应变速率随应力而改变的变形称之为流变变形。

(二) 岩石变形指标

表征岩石的变形指标一般有泊松比、弹性模量和体积变形模量等。现以岩石试件单轴压缩试验的结果来讨论岩石的这些变形指标,其他条件下类似。

泊松比指岩石在单轴压缩条件下横向应变和轴向应变的比值,也称横向变形系数,其表达式为:

$$\mu = -\frac{\epsilon_c}{\epsilon_a} \quad (1-5)$$

式中 μ ——岩石的泊松比;

ϵ_c, ϵ_a ——岩石试件的横向应变、轴向应变。

岩石受力后既出现弹性变形也出现塑性变形,故必须用岩石的弹性模量和变形模量来表示岩石的弹性变形和其总变形(包括弹性变形和残余变形)。

(1) 当岩石在单向受压条件下,其轴向应力—应变曲线呈直线时(图 1-4),其弹性模量为:

$$E = \sigma / \epsilon \quad (1-6)$$

式中 E ——岩石的弹性模量, kPa;

σ ——轴向应力—应变曲线上任一点的轴向应力, kPa;

ϵ ——对应于 σ 的轴向应变。

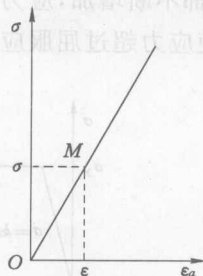


图 1-4 轴向的应力—应变

(2) 当岩石在单轴受压条件下,既有弹性应变又有塑性变形时(图 1-3),用岩石的变形模量 E_e 来表征其总变形:

$$E_e = \frac{\sigma}{\epsilon_e + \epsilon_r + \epsilon_p} \quad (1-7)$$

式中 σ ——应力;

$\epsilon_e, \epsilon_r, \epsilon_p$ ——分别为岩石的瞬时弹性应变、后效弹性应变、塑性应变。

通常用体积应变 ϵ_v (体积改变量 ΔV 与原体积 V 的比值), 又称体积改变率, 来表征体积的变化, 即

$$\epsilon_v = \frac{\Delta V}{V} = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = \frac{1-2\mu}{E}(\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) \quad (1-8)$$

当岩石为各向同性的弹性材料时, 其体积变形特征还可用体积变形模量 (E_v) 来表示, 其表达式为

$$E_v = \frac{E}{3(1-2\mu)} \quad (1-9)$$

煤矿中常见岩石的变形指标值如表 1-5 所列。

二、岩石的抗剪强度

岩石的抗剪强度指岩石抵抗剪切破坏的极限强度(剪切面上的切向应力), 它是岩石力学性质中最重要的指标之一。根据剪切试验时加载方式的不同, 可分为抗切强度、抗剪强度和摩擦强度三种。

表 1-5 煤矿中常见岩石的变形指标

岩石种类	弹性模量 E/GPa			泊松比 μ	
	压缩		拉伸	平行层理	垂直层理
	平行层理	垂直层理	平行层理	平行层理	垂直层理
花岗岩	58.8	58.8	21.6	0.05~0.25	0.05~0.25
石灰岩	26.3	28.4	25.5	0.16~0.27	0.19~0.39
砂岩	36.7	39	36.3	0.12	0.14~0.20
砂质页岩	35.6	23.7	12.7	0.25	0.16
泥质页岩	24.5	14.7	10.8	0.15~0.39	0.1~0.48
粘土	0.3	—	—	—	—
煤	9.8~19.6	—	—	0.1~0.5	0.1~0.5

岩石的抗切强度是指剪切面上不加法向载荷,而只在水平方向施加剪切力直到岩石剪断为止,如图 1-5(a)所示。此时,抗切强度(纯剪强度)等于剪切破坏面上岩石的粘结力 C 。

岩石试样在一法向压应力作用下,并且在水平方向施加一能抗剪切滑动的最大剪应力,这就是岩石的抗剪强度,如图 1-5(b)所示。抗剪强度是一个变量,它与岩石试样破坏时作用在剪切面上的法向压应力有关,而与岩石的内聚力关系不大。

岩石的摩擦强度是指岩石试件内已经有断裂面存在时,在某一法向压应力和水平方向施一剪切力的作用下能够抵抗的最大剪应力,如图 1-5(c)所示。此时由于岩石试件已被剪断(即岩石试件粘结力 $C=0$),仅由于内摩擦力而起抵抗外力的作用,故称为摩擦强度,又称残余抗剪强度。用这种方法得出的强度指标称为重剪强度,如图 1-5(d)所示。

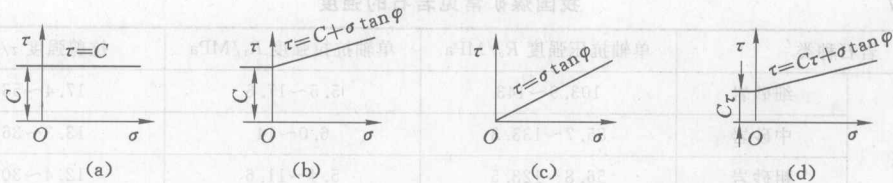
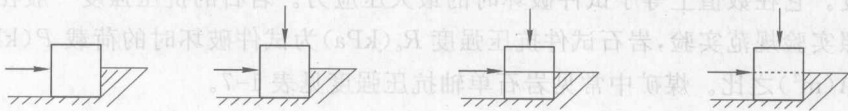


图 1-5 岩石剪切试验不同加载方式及强度特征

(a) 抗切试验; (b) 抗剪试验; (c) 摩擦试验; (d) 重剪试验

测定岩石抗剪强度一般是在实验室采用直接剪切仪进行的直接剪切试验、采用楔形剪切仪进行的楔形剪切试验或采用三轴压力仪进行的三轴压缩试验。

采用楔形剪切仪测定岩石的抗剪强度的楔形剪切试验,又称为倾斜压模法。通过这种方法可得出岩石的内摩擦角 φ 和内聚力 C ,剪切破坏面上的正应力 σ 和剪应力 τ 。可在 $\sigma-\tau$

坐标系上作出反映岩石发生剪切破坏时的 $\sigma-\tau$ 关系曲线(图 1-6)。为便于工程应用,一般将其简化为直线,这样岩石的抗剪强度与压应力 σ 之间就有以下关系

$$\tau = \sigma \tan \varphi + C \quad (1-10)$$

式中 $\tan \varphi$ ——岩石抗剪内摩擦因数;

C ——岩石的粘结力(内聚力)。

粘结力(内聚力) C 和内摩擦角 φ 的值是表达岩石剪断条件的基本参数。煤矿中几种常见岩石的 C 和 φ 值见表 1-6 所列。

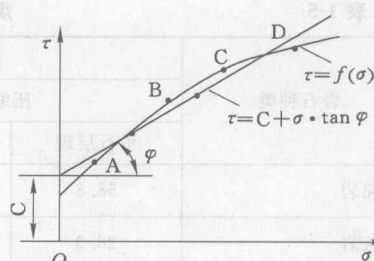


图 1-6 岩石的抗剪应力—应变曲线

表 1-6 煤矿中常见岩石的粘结力(内聚力)和内摩擦角

岩石种类	内聚力 C /MPa	内摩擦角 φ /(°)
花岗岩	13.7~49	40~60
石灰岩	3.4~39.2	35~50
砂岩	7.8~39.2	35~50
砂质页岩	6.8	46
页岩	2.9~29.4	20~35
煤	1.0~9.8	16~40

三、岩石的单轴强度及变形特性

(一) 岩石的单轴抗压强度及变形特征

岩石的单轴抗压强度指岩石试件在单轴受压条件下出现破坏时,试件单位面积所承受的极限强度。它在数值上等于试件破坏时的最大压应力。岩石的抗压强度一般在实验室压力机上按照实验规范实验,岩石试件抗压强度 R_c (kPa) 为试件破坏时的荷载 P (kN) 与其横断面面积 A (m^2) 之比。煤矿中常见岩石单轴抗压强度见表 1-7。

表 1-7 我国煤矿常见岩石的强度

岩石种类		单轴抗压强度 R_c /MPa	单轴抗拉强度 R_t /MPa	抗剪强度 τ /MPa
砂岩类	细砂岩	103.9~143	5.5~17.6	17.4~53.4
	中砂岩	85.7~133.3	6.0~14	13.3~36.5
	粗砂岩	56.8~123.5	5.4~11.6	12.4~30.4
	粉砂岩	36.3~54.9	1.3~2.4	6.86~11.5
砾岩类	砂砾岩	6.9~121.5	2.8~9.7	7.0~28.8
	砾岩	80.4~94	4~11.76	6.6~26.4
页岩类	砂质页岩	39.2~90.2	3.9~11.8	20.6~29.9
	页岩	18.6~39.2	2.7~5.4	15.6~23.3
石灰岩		52.9~157.8	7.7~13.8	9.8~30.4
煤		4.9~49	2~4.9	1.08~16.2