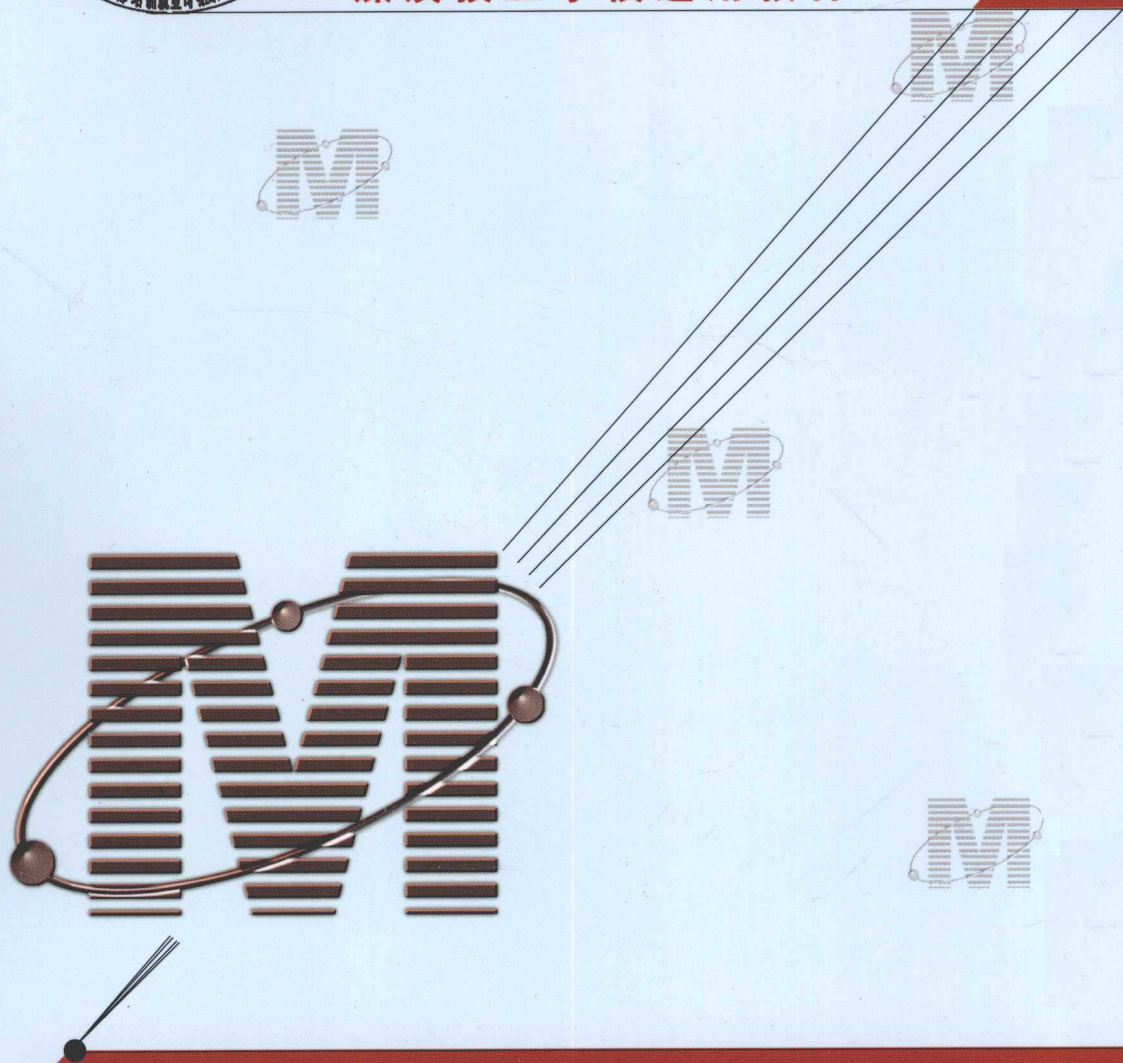




煤炭技工学校通用教材



综采工艺

煤炭工业出版社

煤炭技工学校通用教材

综 采 工 艺

全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会 编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书共九章,介绍了回采工作面矿山压力的基本概念,综采设备配套与综采生产系统,综采工作面的顶板控制,液压支架的使用,综采工作面生产工艺,特殊条件下的综采工艺,综采工作面设备的安装与撤除,综采工作面的通风与瓦斯的综合防治,综采工作面的生产组织管理等内容。

本书可作为煤炭技工学校综采专业教材,也可用于工人在职培训及就业前培训。

煤炭技工学校通用教材

综 采 工 艺

全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会 编

*

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 12³/₄

字数 300 千字 印数 25,001—30,000

2004 年 7 月第 1 版 2009 年 9 月第 6 次印刷

ISBN 978-7-5020-2400-0/TD82

社内编号 5171

定价 22.00 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

全国职业培训教学工作指导委员会

煤炭专业委员会

主任委员 刘 富

副主任委员 仵自连 刘同良 张贵金 韩文东 范洪春 刘荣林

雷家鹏 曾宪周 夏金平 张瑞清

委 员 (按姓氏笔画为序)

于锡昌 牛麦屯 牛宪民 王亚平 王自学 王朗辉

甘志国 石丕应 仵自连 任秀志 刘同良 刘荣林

刘振涛 刘 富 刘 鉴 刘鹤鸣 吕军昌 孙东翔

孙兆鹏 邢树生 齐福全 严世杰 吴庆丰 张久援

张 君 张祖文 张贵金 张瑞清 李 玉 李庆柱

李祖益 李家新 杨 华 辛洪波 陈家林 周锡祥

范洪春 赵国富 赵建平 赵新社 夏金平 高志华

龚立谦 储可奎 曾宪周 程光玲 程建业 程彦涛

韩文东 雷家鹏 樊玉亭

前 言

为了加快煤炭技工学校的教学改革步伐，不断适应社会主义市场经济发展和劳动者就业的需要，加速煤炭工业技能型人才的培养，促进煤炭工业现代化建设的发展和科学技术的进步，在全国职业培训教学工作指导委员会的指导下，全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会，以全国煤炭技工学校“八五”教材建设规划为基础，研究制定了全国煤炭技工学校新时期教材建设规划，并列入了国家劳动和社会保障部制定的全国技工学校教材建设规划，劳动和社会保障部以《关于印发 1999 年度全国职业培训教材修订开发计划的通知》（劳社培就司函（1999）第 15 号）下发全国。这套教材 59 种，其中技术基础课教材 43 种，实习课教材 16 种，目前正在陆续出版发行当中。

这套教材主要适用于煤炭技工学校教学，工人在职培训、就业前培训，也适合具有初中文化程度的工人自学和工程技术人员参考。

《综采工艺》是这套教材中的一种，是根据经劳动和社会保障部批准的全国煤炭技工学校统一教学计划、教学大纲的规定编写的，经全国职业培训教学工作指导委员会煤炭专业委员会审定，并于 2000 年被劳动和社会保障部认定为合格教材，是全国煤炭技工学校教学，工人在职培训、就业前培训的必备的统一教材。

本教材由淮南矿业高级技工学校贾启明编写第一、三、九章，姚向荣编写第二、八章，张玉东编写第四、五、六、七章。在编写过程中淮南矿业高级技工学校朱云辉、宋永斌老师提出了宝贵意见，夏金平副校长对全书进行了审核。在此，对本教材成书过程中提供帮助的同志表示感谢。

由于时间仓促，书中难免有不当之处，恳请广大读者批评指正。

全国职业培训教学工作指导委员会
煤 炭 专 业 委 员 会
2004 年 2 月

目 录

第一章 回采工作面矿山压力的基本概念	1
第一节 矿山岩石的基本性质	1
第二节 矿山压力	10
第三节 回采工作面矿山压力显现形式及其观测方法	27
第二章 综采设备选型配套与综采生产系统	41
第一节 综采设备概述	41
第二节 采煤机选型	43
第三节 液压支架选型	50
第四节 刮板输送机选型	60
第五节 乳化液泵站选型	63
第六节 综采工作面主要采煤设备配套	64
第七节 综采工作面巷道布置与生产系统	67
第三章 综采工作面支护及顶板控制	73
第一节 综采工作面的支护	73
第二节 综采工作面顶板控制	82
第三节 综采工作面防止片帮及来压期间的顶板控制	91
第四章 液压支架的使用	93
第一节 液压支架使用的基本要求	93
第二节 液压支架和输送机防滑及其下滑后的处理	94
第三节 液压支架下陷后的处理	96
第四节 液压支架倾倒的预防及处理	98
第五节 液压支架压架事故的预防及处理	100
第六节 液压支架间距的调整	101
第五章 综采工作面生产工艺	104
第一节 缓倾斜走向长壁综采生产工艺	104
第二节 倾斜煤层走向长壁综采生产工艺特点	117
第三节 倾斜长壁综采生产工艺特点	120
第四节 急倾斜厚煤层综采放顶煤生产工艺	123
第六章 特殊条件下的综采工艺	126
第一节 综采工作面过断层	126
第二节 综采工作面过其他地质构造	130
第三节 综采工作面过空巷	132
第四节 综采工作面调斜及旋转	134

第七章 综采工作面设备的安装与撤除	136
第一节 综采工作面安装前的准备.....	136
第二节 综采设备的安装.....	141
第三节 综采工作面设备的撤除.....	147
第四节 综采工作面快速搬迁.....	154
第八章 综采工作面的通风与瓦斯的综合治理	160
第一节 综采工作面的通风方式.....	160
第二节 综采工作面的瓦斯涌出规律.....	162
第三节 综采工作面瓦斯的治理.....	169
第九章 综采工作面的生产组织管理	175
第一节 综采工作面生产过程的组织.....	175
第二节 综采区队生产管理制度.....	182
第三节 安全质量管理.....	187
第四节 综采设备使用管理.....	190
参考文献	197

第一章 回采工作面矿山压力的基本概念

第一节 矿山岩石的基本性质

一、岩石类型

岩石是组成地壳的基本物质，它由各种造岩矿物或岩屑在地质作用下按一定规律（通过结晶联结或借助于胶结物粘结）组合而成。按不同的岩石特征，岩石可分为以下几种类型。

1. 按固体矿物颗粒间的结合特征划分

自然状态下的岩石，按其固体矿物颗粒之间的结合特征，可以分为固结性岩石、粘结性岩石、散粒状岩石、流动性岩石（如流砂）等。所谓固结性岩石是指造岩矿物的固体颗粒之间成刚性联系，破碎后可以保持其一定形状的岩石。在煤矿中遇到的大多是固结性岩石，常见的有砂岩、石灰岩、砂质页岩、泥质页岩、泥岩、粉砂岩等，比较少见的有砾岩、泥灰岩等。

2. 按照岩石的力学强度划分

按照岩石的力学强度和坚实性，常把矿山岩石分为坚硬岩石和松软岩石。一般将饱水状态下单向抗压强度大于 5 MPa 的岩石叫做坚硬岩石，而把低于该值的胶结岩石（如泥岩、泥质页岩、泥灰岩、硅化粘土等）称为松软岩石（实践中又往往把单向抗压强度小于 10 MPa 的岩石看作是松软岩石）。松软岩石具有结构疏松、视密度小、孔隙率大、强度低、遇水易于膨胀及有明显流变性等特点。

3. 按照岩石的变形特征划分

按照岩石的不同变形特征，可将其分为脆性岩石、塑性岩石和弹塑性岩石 3 类。它们的岩石特征见本节之“三”。

4. 按照岩石的结构特征划分

岩石的结构是指决定岩石组织的各种特征的总合，通常是指岩石中矿物颗粒的结晶程度，矿物或岩石碎屑颗粒的形状和大小，颗粒之间相互联结的状况，以及胶结物的胶结类型等特征。

组成岩石的物质颗粒大小差异程度，决定着岩石的非均质性。颗粒愈均匀，岩石的力学性质也愈均匀。颗粒大小也影响到岩石的力学性质，一般来说，组成岩石的物质颗粒愈小，则该岩石的强度愈大。

对于煤矿中常见的碎屑沉积岩来说，根据岩石结构可分为以下 4 种岩石类型。

(1) 砾状结构岩石 指由粒径大于 2 mm 的岩石碎屑胶结而成的碎屑结构岩石类型，如砾岩。

(2) 砂质结构岩石 指粒径变化在 2~0.05 mm 之间的碎屑结构岩石类型，如砂岩。

(3) 粉砂质结构岩石 指粒径变化在 0.05~0.005 mm 之间的碎屑结构岩石类型，如

粉砂岩、页岩等。

(4) 泥质结构岩石 指粒径小于 0.005 mm 的碎屑结构岩石类型, 如泥岩、粘土岩等。

5. 按岩石构造划分

岩石的构造是指岩石中矿物颗粒集合体之间, 以及它与其他组成部分之间的排列方式和充填方式。从矿山岩石力学观点来看, 最重要的是具有以下几种构造的岩石。

(1) 整体构造岩石 岩石的颗粒互相严密地紧贴在一起, 没有固定的排列方向。

(2) 多孔状构造岩石 岩石颗粒彼此相接并不严密, 颗粒之间有许多小空隙(微孔)。

(3) 层状构造岩石 岩石颗粒互相交替, 表现出层次叠置现象(层理)。

岩石的构造特征对其力学性质有明显影响, 如层状结构岩石具有明显的各向异性, 在垂直于层理面的方向上, 岩石承受拉力的性能很差, 沿层理面, 岩石的抗剪能力也很弱; 受压时, 则随加载方向与层理面交角的不同, 岩石的强度有较大差别。

二、岩石的物理性质

1. 岩石的密度

岩石的(真)密度是指单位体积的岩石(不包括空隙)的质量, 可表示为

$$\rho = \frac{M_{\text{实}}}{V}$$

式中 ρ ——岩石的密度, kg/m^3 ;

$M_{\text{实}}$ ——岩石实体的质量, kg ;

V ——岩石实体的体积, m^3 。

岩石密度的大小取决于组成岩石的矿物密度, 而与岩石的空隙和吸水多少无关。一般来说, 岩石的密度接近于岩石矿物成分的密度。例如, 硅质胶结的石英砂岩的密度接近于石英(SiO_2)的密度, 而石灰岩的密度接近于方解石(CaCO_3)的密度。所以矿物的密度愈大, 则岩石的密度也愈大。岩石的密度一般在 $2.7 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 左右, 煤矿中常见岩石的密度见表 1-1。

表 1-1 煤矿中常见岩石的密度和视密度

岩石种类	密度 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	视密度 / ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
砂岩	$(2.6 \sim 2.75) \times 10^3$	$(2 \sim 2.6) \times 10^3$
页岩	$(2.57 \sim 2.77) \times 10^3$	$(2 \sim 2.4) \times 10^3$
石灰岩	$(2.48 \sim 2.85) \times 10^3$	$(2.2 \sim 2.6) \times 10^3$
煤		$(1.2 \sim 1.4) \times 10^3$
		一般 $(1.3 \sim 1.35) \times 10^3$

2. 岩石的视密度

岩石的视密度是指单位体积的岩石(包括空隙)的质量, 可表示为

$$\rho' = \frac{M}{V}$$

式中 ρ' ——岩石的视密度, kg/m^3 ;

M ——岩石的质量, kg ;

V ——岩石的体积, m^3 。

岩石的视密度除与组成岩石的矿物密度有关外, 还与岩石的空隙和吸水多少有关。根据岩石试样含水状态的不同, 岩石的视密度可分为 3 种: 天然视密度, 是指岩石在天然含水状态下的视密度; 干视密度 (ρ'_d), 是指岩石在 $105\sim 110\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下干燥 24 h 后的视密度; 饱和视密度 (ρ'_{sat}) 是指岩石在吸水饱和状态下的视密度。当岩石中能进入水的空隙不多时, 岩石的三种视密度之间差值很小。实验室测定一般只提供干视密度指标, 而且如果不说明含水状态时, 通常即指干视密度。

岩石的视密度是研究矿压问题常用的指标, 根据岩石的密度和视密度, 可计算出岩石的孔隙度和孔隙比。煤矿常见岩石的视密度见表 1-1。

应当指出, 长期以来, 在岩石力学文献中广泛地应用了岩石的容重这个术语, 并常以符号 γ 表示。所谓岩石的容重应指单位体积 (包括空隙体积) 内岩石的质量所受的重力 (kN/m^3)。在工程实用中, 为便于计算, 可根据岩石的视密度换算出岩石的容重。例如, 一般砂岩的视密度 $\rho' = 2\,500\text{ kg}/\text{m}^3$, 换算成容重则为 $\gamma = 25\text{ kN}/\text{m}^3$ 。

3. 岩石的孔隙性

岩石的孔隙性是指岩石中孔洞和裂隙的发育程度, 常用孔隙度表示。所谓孔隙度是岩石中各种孔洞、裂隙体积的总和与岩石总体积之比, 常用百分数表示, 故也称为孔隙率, 可表示为

$$n = \frac{V_0}{V} \times 100\%$$

式中 n ——岩石的孔隙率, %;

V_0 ——岩石中孔隙的总体积, cm^3 ;

V ——岩石的总体积, cm^3 。

岩石的孔隙率通常根据岩石的密度和干视密度经计算而求得, 其关系式为

$$n = \left(1 - \frac{\rho'_d}{\rho} \right) \times 100\%$$

式中 ρ'_d ——岩石的干视密度;

ρ ——岩石的密度。

有时, 岩石的孔隙性也用孔隙比表示。孔隙比是指岩石中各种孔洞和裂隙体积的总和与岩石内固体部分实体积之比, 可表示为

$$e = \frac{V_0}{V_c}$$

式中 e ——岩石的孔隙比;

V_0 ——岩石内各种孔洞和裂隙体积的总和;

V_c ——岩石内固体部分实体积。

孔隙比与孔隙率之间有如下关系:

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

岩石的孔隙性对岩石的其他性质也有显著影响。一般来说,孔隙率增大可使岩石的视密度和强度降低,同时使塑性变形和透水性增大。煤矿中常见岩石的孔隙率和孔隙比见表1-2。

表1-2 煤矿中常见岩石的孔隙率和孔隙比

岩石种类	$n/\%$	e
板岩	0.1~1.0	0.001~0.010 1
石灰岩	5~20	0.053~0.25
砂岩	3~30	0.031~0.429
页岩	10~35	0.111~0.538

4. 岩石的碎胀性和压实性

岩石破碎以后的体积将比整体状态下增大,这种性质称为岩石的碎胀性。岩石的碎胀性可用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来表示,该值称为碎胀系数,即

$$K_p = \frac{V'}{V}$$

式中 K_p ——岩石的碎胀系数;

V' ——岩石破碎膨胀后的体积;

V ——岩石处于整体状态下的体积。

岩石的碎胀系数对矿压控制,尤其是对回采工作面的顶板控制有重要意义。碎胀系数与岩石的物理性质、破碎后块度的大小及其排列状态等因素有关。例如坚硬岩石破碎后块度较大且排列整齐时,碎胀系数较小;反之,如破碎后块度较小且排列较杂乱,则碎胀系数较大。煤矿中常见的岩石碎胀系数见表1-3。

表1-3 煤矿中常见岩石的碎胀系数值

岩石名称	K_p	K'_p
砂	1.06~1.15	1.01~1.03
粘土	<1.20	1.03~1.07
碎煤	<1.20	1.05
粘土页岩	1.40	1.10
砂质页岩	1.60~1.80	1.10~1.15
硬砂岩	1.50~1.80	—

岩石破碎后,在其自重和外加载荷的作用下会逐渐压实,体积随之减少,碎胀系数比初始破碎时相应地变小。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,常以 K'_p 表示,其值见表1-3。破碎岩石被压实的程度与岩石本身的物理力学性质、外加载荷大小及破碎后经历的时间长短有关。

5. 岩石的吸水性

岩石的吸水性是指遇水不崩解的岩石在一定的试验条件下（规定的试样尺寸和试验压力）吸入水分的能力，通常以岩石的自然吸水率和强制吸水率表示。岩石的自然吸水率是试件在大气压力作用下吸入水分的质量与试件的干质量之比。岩石的强制吸水率是试件在真空或加压（一般为 15 MPa）条件下吸入水分的质量与试件的干质量之比，它也称为饱和吸水率。如果不专门指明，则岩石的吸水率即指自然吸水率。岩石的两种吸水率可表示为

$$\omega = \frac{M_w}{M_d} \times 100\%$$

$$\omega_{\text{sat}} = \frac{M_{w.s}}{M_d} \times 100\%$$

式中 ω 、 ω_{sat} ——岩石的自然吸水率和强制吸水率，%；

M_w ——岩石试件在大气压力下吸入水分的质量，g；

$M_{w.s}$ ——岩石试件强制吸水后的质量，g；

M_d ——岩石试件烘干后的质量，g。

岩石吸水率的大小，取决于岩石所含孔洞、裂隙的数量、大小及其张开程度，同时也受吸水率试验方法和时间因素的影响。一般随着试验时间增加，吸水率也会有所增大。在工程上往往用吸水率的大小来评价岩石的抗冻性能。当吸水率小于 0.5% 时，一般认为该岩石是耐冻的。由于吸水率能有效地反映岩石中孔隙的发育程度，因此它是评定岩石性质的一个重要指标。有关几种岩石的吸水率见表 1-4。

表 1-4 几种岩石的吸水率

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

6. 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连通的，因而在一定的压力作用下，地下水可以在岩石中通过（渗透）。这种岩石能被水透过的性能称为岩石的透水性。岩石透水性的除了与地下水水头和岩体内的应力状态有关外，主要与岩石的孔隙率、孔隙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，其单位与速度相同。渗透系数一般是通过在钻孔中进行抽水试验或压水试验来测定。

不同岩石的透水性差别极大，对于某些岩石来说，即使是同一种类型的岩石，其透水性也可以在很大范围内变化。

7. 岩石的软化性

岩石浸水后其强度明显降低，通常用软化系数来表示水分对岩石强度的影响程度。所

谓软化系数是指水饱和岩石试件的单向抗压强度与干燥岩石试件单向抗压强度之比，可表示为

$$\eta_c = \frac{R_{c.w}}{R_c} \leq 1$$

式中 η_c ——岩石的软化系数；

$R_{c.w}$ ——水饱和岩石试件的单向抗压强度，MPa；

R_c ——干燥岩石试件的单向抗压强度，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，空隙发育的情况，水的化学成分，以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愈多，开口空隙愈发育，则岩石浸水后强度降低程度愈大。此外，岩石浸水时间愈长，其强度降低程度也愈大，如某些砂岩浸水 3 d 后单向抗压强度降低 32%~35%，而浸水 9 d 后降低 51%~59%。

8. 岩石的膨胀性和崩解性

膨胀性和崩解性主要是松软岩石所表现的特征。前者是指软岩浸水后体积增大和相应地引起压力增大的性能，后者是指软岩浸水后发生的解体现象。岩石的膨胀和崩解作用往往对地下工程的施工和巷道稳定性带来不良影响。

岩石的膨胀性和崩解性主要取决于其胶结程度及造岩矿物的亲水性，一般含有大量粘土矿物（如蒙脱石、高岭土和水云母等）的软岩遇水后极易产生膨胀和崩解。

岩石的膨胀性可用膨胀应力和膨胀率来表示。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要的压力称为岩石的膨胀应力，而增大后的体积与原体积的比率称为岩石的膨胀率。

三、岩石的变形性质

岩石的变形性质是岩石的主要力学性质。岩石受载时首先发生变形，当载荷增大到超过某一数值（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载荷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

岩石的弹性是指卸载后岩石变形能完全恢复的性质。岩石的塑性是指卸载后岩石变形不能完全恢复而发现残余变形的性质。

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有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。

根据岩石的不同变形特征，可将其分为脆性岩石、塑性岩石和弹塑性岩石三类。

(1) 脆性岩石 通常把在外力作用下破坏前总应变小于 3% 的岩石叫做脆性岩石。它的特点是，在单向静外力的作用下，岩石在破坏前没有明显的塑性变形，只产生很小的弹性变形。当外力达到岩石的强度极限时，岩石突然发生破坏，且伴有巨大声响，同时岩石碎块强烈弹出。属于这类岩石的有坚固的沉积岩、岩浆岩和变质岩。

(2) 塑性岩石 通常把外力作用下破坏前总应变大于 5% 的岩石叫做塑性岩石。它的特点是，岩石在破坏前产生较大的塑性变形。岩石破坏时既不发出声响，也不出现岩石碎

块向四周崩射的现象。这类岩石有各种含水粘土、松软的泥质页岩等。

(3) 弹塑性岩石 介于脆性与塑性两种岩石之间的岩石叫做弹塑性岩石。岩石受力后也会发生一定程度的塑性变形，然后由渐进式至跳跃式地突然破坏。这类岩石有一般砂岩、坚固的页岩、泥质页岩等。

岩石的脆性与塑性是相对的，它们常受外力施加的快慢和湿度等因素的影响而变化。例如，当外力作用迅速时，岩石呈脆性变形；当外力作用缓慢时，岩石却呈塑性变形。

2. 岩石的流变性质

通常，把岩石在长期静载荷作用下应力应变随时间加长而变化的性质称为岩石的流变性，而把与时间因素有关的应力应变现象称为流变。它包括蠕变、弹性后效和松弛等现象。

(1) 蠕变 岩石在不变载荷的长期作用下，其变形随时间的增长而缓慢地增长的现象称为蠕变。

(2) 松弛 当岩石应变（单位长度内的变形）不变时，岩石的应力随时间的增长而逐渐降低的现象称为松弛。

(3) 弹性后效 指岩石卸载后需经过一定时间才能恢复的变形。

3. 岩石在单向压缩下的变形性质

在单向压缩下，岩石变形，表现为横向变形和体积变化。

(1) 横向变形 岩石受单向压缩载荷时，试件在轴向缩短的同时会产生横向膨胀，其横向应变与轴向应变的比值称为泊松比，也称横向变形系数，按照定义

$$\mu = -\frac{\epsilon_3}{\epsilon_1}$$

式中 μ ——岩石的泊松比；

ϵ_3 、 ϵ_1 ——分别为横向应变和轴向应变。

严格地说，岩石的泊松比 μ 仅在岩石的弹性范围适用，而对塑性部分是不适用的。因此在岩石力学中，常取应力应变曲线中的直线段（图 1-1），按下式计算泊松比

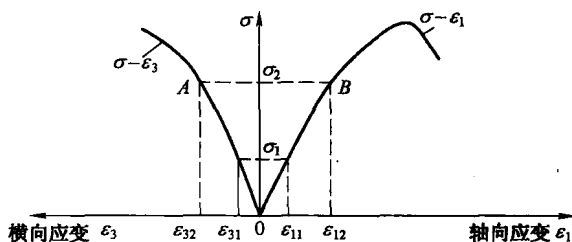


图 1-1 岩石的轴向 ($\sigma - \epsilon_1$) 和横向 ($\sigma - \epsilon_3$) 应力应变曲线

$$\mu = -\frac{\epsilon_{32} - \epsilon_{31}}{\epsilon_{12} - \epsilon_{11}}$$

式中 ϵ_{11} 、 ϵ_{31} ——轴向应力为 σ_1 时的轴向应变和横向应变；

ϵ_{12} 、 ϵ_{32} ——轴向应力为 σ_2 时的轴向应变和横向应变。

泊松比也是反映岩石变形特性的一个重要参数，其值与岩石的矿物组成、结构构造、风化程度、孔隙性、含水量、软弱面相对于加载方向的关系等许多因素有关。因此岩石的泊松比变化也较大，而且往往具有各向异性的特征。岩石的泊松比通常变化在 0.1~0.4 之间，平均为 0.25~0.3。

(2) 体积变化 岩石受单轴压缩时，始终伴随有体积变化，其一般规律是在弹性阶段体积减小，而在塑性阶段体积膨胀。通常将体积改变量 ΔV 与原体积 V 的比值称为体积应变，也称体积改变率。体积应变与三个主应变之间的关系为

$$\frac{\Delta V}{V} = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$$

或

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1-2\mu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

相对于试件原体积而言，体积由减小到增加的转折点大约在 $\sigma = \frac{1}{2} R_c$ 附近（图 1-2）， R_c 为岩石单轴抗压强度。

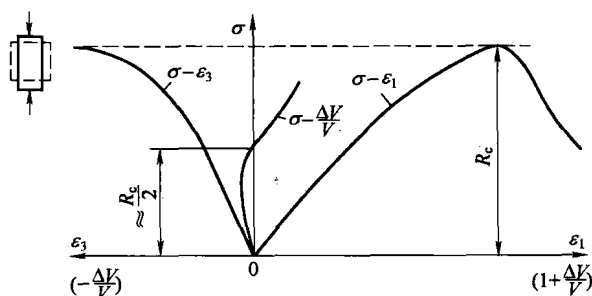


图 1-2 单轴压缩时岩石试件的体积变化

岩石在塑性阶段的体积膨胀称为扩容现象，它主要是由于变形引起裂隙发展和张开而造成的，这对于研究巷道变形和围岩对支护造成的压力等问题有重要意义。

四、岩石的强度性质

岩石的强度性质也是岩石的主要力学性质。

在载荷的作用下，岩石变形达到一定程度就会破坏。岩石发生破坏时所能承受的最大载荷叫做极限载荷，用单位面积表示则称为极限强度。在不同应力条件下岩石有不同的极限强度，下面对主要的几种极限强度加以说明。

1. 岩石的单向抗压强度

岩石试件在单向压缩时所能承受的最大压应力值，称为岩石的单向抗压强度。它是目前地下工程中使用最广的岩石力学性质参数，在煤矿中研究岩石分类、确定破坏准则以及表达围岩的坚硬程度时常采用这个指标。计算岩石试件单向抗压强度（单位：MPa）的公式为

$$R_c = \frac{P}{A} \times 10$$

式中 P —— 试件破坏时施加的载荷，kN；

A ——试件初始截面积, cm^2 。

岩石的抗压强度受岩石性质、试件形状和大小以及测试方法等影响。通常, 岩石中含强度高的矿物多, 矿物颗粒间联结力大, 空隙度小, 则岩石抗压强度大。此外, 在一定的变化范围内, 试件尺寸愈小, 加载速度愈快, 则抗压强度愈大。煤矿中几种常见的岩石单向抗压强度试验数据见表 1-5。

表 1-5 我国部分煤田顶底板岩石强度值

岩石种类		单向抗压强度/MPa	单向抗拉强度/MPa	抗剪强度/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	6~14	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	7~28.8
	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
灰岩类	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

2. 岩石的单向抗拉强度

岩石试件在单向拉伸时能承受的最大拉应力值, 称为单向抗拉强度。它也是岩石力学性质中的重要指标。由于岩石的抗拉强度远小于抗压强度, 在受载不大时就可能出现拉伸破坏, 因此它对研究井下巷洞失稳等问题有重要意义。计算圆盘形岩石试件单向抗拉强度(单位: MPa)公式为

$$R_t = \frac{2P}{\pi Dt} \times 10$$

式中 P ——试件裂开破坏时的竖向总载荷, 也称劈裂载荷, kN;

D, t ——圆盘形试件的直径和厚度, cm。

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, 颗粒之间的连接力强, 且其空隙不发育, 则其抗拉强度高。一般说, 岩石的抗拉强度约为抗压强度的 3%~30%。煤矿中几种常见岩石的抗拉强度值见表 1-5。

3. 岩石的抗剪强度

岩石试件受到剪断时, 剪切面上的切向应力值, 即试件剪断时的极限强度, 称为岩石的抗剪强度, 它是岩石力学性质中最重要的指标之一, 一般通过专门的剪切试验确定。根据剪切试验时加载方式的不同, 岩石的抗剪强度分为以下几种:

(1) 抗切强度 剪切面上不加法向载荷 ($P=0$) 时岩石的抗剪强度, 通常称为抗切强度。

(2) 抗剪强度 剪切面上加法向载荷的剪切试验称为压剪试验, 这种试验得出的强度指标, 即在某一法向压应力作用下试件能抵抗的最大剪应力, 称为抗剪断强度, 常称为抗

剪强度。

(3) 摩擦强度 是指岩石试件内已有断裂面时在某一法向压应力下能抵抗的最大剪应力。由于岩石试件已剪断而失去粘结力, 这时得出的抗剪强度仅仅是由于内摩擦力所造成, 故称之为摩擦强度, 又称残余抗剪强度。

实验证明, 岩石在单向受力时, 抗压、抗拉、抗剪、抗弯强度的关系是 $R_{\text{压}} > R_{\text{剪}} > R_{\text{弯}} > R_{\text{拉}}$, 并且 $R_{\text{剪}}$ 和 $R_{\text{拉}}$ 只有 $R_{\text{压}}$ 的 $1/10 \sim 1/20$ 。岩石试件在单向受压时, 绝大多数都不是直接被压碎的, 而是由于压应力转化为转向自由面的拉应力或剪应力而造成破坏。脆性岩石的抗拉强度最小, 在外力作用下, 一般都由抗拉应力破碎; 塑性岩石抗剪强度最小, 一般由剪切应力破坏。采用机械方式破煤时, 最理想的是使煤体处于受拉伸或受剪切的状态。

4. 岩石的三轴抗压强度

岩石试件在三轴压应力作用下所能抵抗的最大轴向应力 (或称最大主应力), 称为岩石的三轴抗压强度。

试件在某种围压下的三轴抗压强度计算公式为

$$R_{3c} = \frac{P}{A} \times 10$$

式中 R_{3c} ——在一定围压作用下的岩石三轴抗压强度, MPa;

P ——试件破坏时的纵向载荷, kN;

A ——试件的初始横截面积, cm^2 。

试验表明, 岩石的三轴抗压强度随围压的加大而增加, 但不成线性关系, 而且随岩石类型而有所不同, 某些岩石随围压增长其强度增长率一直较大, 而另一些岩石, 在围压较小时强度增长显著, 在围压增大时其强度增长则减小。

煤矿中几种常见煤、岩的三轴抗压强度见表 1-6。

表 1-6 煤矿中常见煤岩的三轴抗压强度

岩石种类	不同围压 (MPa) 作用下的三轴抗压强度/MPa												
	0	9.8	19.6	24.5	27.4	29.4	39.2	49.0	53.9	58.8	73.5	78.4	151.9
石灰岩	156.8		274.4				372.4					558.6	
石英砂岩	158.5	218.9	210.8			251	305.3	354.7					
砂岩	67.6				227.3				307.2				475.3
砂页岩	58.8									377.3		406.7	
硬煤	19.6			49				166.6			189.1		

第二节 矿山压力

一、基本概念

1. 矿山压力与矿山压力显现

矿山压力简称矿压, 是由于矿山开采所引起的岩层压力, 一般定义为存在于采掘空间围岩内的力。矿山压力的作用, 必将引起岩体的变形、破坏、塌落以及支撑物的变形、破