

Yanti Lixue

Xuexi Zhidao

岩体力学 学习指导

秦 哲 田忠喜 王 磊 编

中国矿业大学出版社

岩体力学学习指导

秦 哲 田忠喜 王 磊 编

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统总结了原有教材的知识点、难点和重点,并附有适当典型例题分析及课后习题。

主要内容包括以下四部分:① 重点内容讲解:主要是对教材中的重点,基本点进行梳理,这部分知识不仅仅是课本内容的再现,更是课本重点内容的提炼。② 难点解析:对教材中的难点作了重点讲解、理论分析,结合典型实例进行应用分析,目的在于方便读者对岩体力学基本理论及其应用有更深层的认识或掌握。③ 典型例题讲解:精选典型例题,进行分析并列出详解过程,便于读者综合掌握课程的重点、难点内容及其应用。④ 练习题:精选练习题,巩固所学知识,进一步提高读者对岩体力学的理解和运用能力。

本书可供土木工程(岩土工程)、采矿工程、水利工程、交通工程等专业的本科教材,也可供从事相关专业的技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩体力学学习指导 / 秦哲,田忠喜,王磊编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2018.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4074 - 3

I. ①岩… II. ①秦… ②田… ③王… III. ①岩石力学—高等学校—教学参考资料 IV. ①TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第184613号

书 名 岩体力学学习指导

编 者 秦 哲 田忠喜 王 磊

责任编辑 杨 洋

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 8.5 字数 220 千字

版次印次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价 16.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

岩体力学是土木工程(岩土工程)、采矿工程、水利工程、交通工程等专业的专业基础课,学好这门课对后期专业课的学习相当重要。然而在长期的教学实践中学生反映岩体力学学习比较难,这个“难”主要体现在“知识点多而散、总结少”“理论多、实例少”“公式多、推导少”“习题少、例题更少”。正是因为这些问题使得学生学起来有相当大的难度,希望本书的出版对学生学习岩体力学有所帮助。

本书的三位作者在参考原有教材的基础上,针对广大学生在学习过程中出现的困难,系统总结了原有教材的知识点,进行更为详细的梳理和讲解提炼;对重点、难点结合典型实例进行应用分析;附有适当典型例题分析及课后习题。

主要包括以下四部分:

(1) 重点内容讲解:主要是对教材中的重点和基本点进行梳理,这部分知识不仅是课本内容的再现,还是课本重点内容的提炼。

(2) 难点解析:对教材中的难点作了重点讲解、理论分析,结合典型实例进行应用分析,目的在于方便学生对岩体力学基本理论及其应用有更深层的认识或掌握。

(3) 典型例题讲解:精选典型例题,进行分析并列出详解过程,便于学生综合掌握课程的重点内容、难点内容及其应用。

(4) 练习题:精选练习题,巩固所学知识,进一步提高学生对岩体力学的理解和运用能力。

作者

2018年4月

目 录

第一章 绪论.....	1
重点内容讲解.....	1
第二章 岩石的物理力学性质.....	4
重点内容讲解.....	4
第一节 岩石的基本物理性质.....	4
第二节 岩石的强度特性.....	7
第三节 岩石的变形特性.....	9
第四节 岩石的介质力学模型	14
第五节 岩石的强度理论	16
难点解析	19
典型例题讲解	22
练习题	28
第二章练习题答案	29
第三章 岩体结构面力学	32
重点内容讲解	32
第一节 结构面概述	32
第二节 结构面的变形特性	34
第三节 结构面的剪切强度	35
第四节 结构面的力学效应	37
第五节 碎块岩体的破坏分析	38
第六节 岩体力学性质现场测试	40
难点解析	41
典型例题讲解	44
练习题	46
第三章练习题答案	47
第四章 工程岩体分类	48
重点内容讲解	48

第五章 岩体的初始应力状态	51
重点内容讲解	51
难点解析	54
典型例题讲解	54
练习题	55
第五章练习题答案	56
第六章 岩体力学在硐室工程中的应用	59
重点内容讲解	59
第一节 概述	59
第二节 深埋硐室弹性分析的二次应力状态	59
第三节 深埋圆形硐室弹塑性分布的二次应力状态	65
第四节 节理岩体中深埋圆形硐室的剪裂区及应力计算	68
第五节 围岩压力及其计算	69
第六节 围岩支护理论与新奥法	74
难点解析	77
典型例题讲解	78
练习题	90
第六章练习题答案	91
第七章 岩体力学在边坡工程中的应用	94
重点内容讲解	94
第一节 边坡概述	94
第二节 边坡岩体中的应力分布特征	94
第三节 边坡岩体的变形与破坏	95
第四节 边坡稳定性分析	96
第五节 岩质边坡的加固措施	103
难点解析	104
典型例题讲解	106
练习题	109
第七章练习题答案	110
第八章 岩体力学在岩基工程中的应用	111
重点内容讲解	111
第一节 岩基上的基础	111
第二节 坝基抗滑稳定性计算	114
第三节 岩基的加固措施	117
难点解析	117
典型例题讲解	118

目 录

练习题.....	122
第八章练习题答案.....	124
参考文献.....	125

第一章 绪 论

这一章主要介绍什么是岩体力学,进而介绍岩体力学的主要研究内容、岩体力学的研究方法、岩体力学研究的重要意义以及岩体力学的发展简史等,让读者对岩体力学有一个感性的认识。



重点内容讲解

以前岩体力学被称为岩石力学,随着科学技术的发展,发现岩石力学这个名称并不能准确概括这一学科的特点,于是改名为岩体力学。岩体力学(Rock Mass Mechanics)是指探讨岩石和岩体在其周围物理环境(力场、温度场、地下水等)发生变化后作出响应的一门学科。

一、岩体的组成

岩石是岩体的一个重要组成部分,就岩体力学学科研究的特性方面,岩体还应包括各种节理、裂隙、空隙、空洞以及岩石所赋存的水、气等。

1. 岩石

岩石是指由矿物和岩屑在地质作用下按一定的规律聚集而形成的自然物体,岩石有其自身的矿物成分、结构与构造。按岩石的成因可将其分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

① 岩浆岩:是由岩浆冷凝而形成的岩石,绝大多数岩浆岩是由结晶矿物组成的,矿物之间的连接是很牢固的,因此岩浆岩具有较高的力学强度。

② 沉积岩:是由母岩(岩浆岩、变质岩或早已形成的沉积岩)在地表经风化剥蚀产生的物质,后又通过搬运、沉积、硬结等成岩作用形成的岩石,其主要物质成分为颗粒和胶结物,沉积岩的物理力学性质与矿物和岩屑的成分及胶结物的性质有很大关系。另外,一般沉积岩具有层理构造,这就使得沉积岩具有各向异性的性质。

③ 变质岩:是由岩浆岩、沉积岩和一些变质岩在地壳中受到高温、高压及化学活动性流体的作用而发生变质形成的岩石,变质岩的物理力学性质与原岩的性质、变质作用的性质有关。

2. 结构面

许多工程实践表明,在某些岩石强度很高的硐室工程、岩基工程、岩质边坡工程中,仍有大规模的变形破坏发生,究其原因就是岩体的另一个组成部分结构面的影响。

结构面是指具有极低的或者是没有抗拉强度的不连续面,包括一切地质分离面。岩体中结构面的存在,使得岩体具有不连续性,增加了岩体中应力分布及受力变形的复杂性。可以说很多时候岩体的力学性质在很大程度上是受结构面的控制。

因此可以说岩体就等于岩石块+结构面,我们分析岩体的力学性质也是从这两个方面来分析的。

二、岩体的力学特征

岩体力学的研究对象是岩体,在力学性质上,岩体具有以下特征:

- ① 不连续性:结构面的切割作用使得大多数岩体属于不连续介质;
- ② 各向异性:由于岩体中结构面有优先位向排列的趋势,使得岩体的力学性质呈现各向异性的特点;
- ③ 不均匀性:岩体中结构面的方向、分布、密度等的不同,造成岩体的不均匀性;
- ④ 赋存地质因子的特性:岩体都处于一定的地质环境中,使得岩体赋存有不同于自重应力场的地应力场、水、气、温度以及地质历史遗迹等地质因子。

三、岩体力学的主要研究内容

① 岩体的地质力学模型及其特征方面:主要研究岩石和岩体的成分、结构、地质特征和分类;研究结构面的空间分布规律及其他地质概化模型;研究岩体在自重应力、构造应力、工程应力作用下的力学响应及其对岩体的动、静力学特性的影响;研究赋存于岩体中的各类地质因子的耦合作用。

② 岩石与岩体的物理力学性质方面:包括岩石和岩体的物理力学参数的获取,试验方法、技术的改进,探讨岩体动力学的变化规律等。

③ 岩体力学在各类工程中的应用方面:包括岩体力学在硐室工程、水电工程、核废料处理工程、岩基工程等方面的应用。

四、岩体力学的研究方法

目前岩体力学的研究主要是采用科学试验、理论分析和工程实践紧密结合的方法。现代计算机技术的发展与应用为复杂岩体力学问题的解决提供了有效的计算手段。

五、岩体力学的发展史

岩石或者是岩体力学真正作为一门学科是 20 世纪中期以后的事,特别是在第二次世界大战后各国大量兴建岩石工程,促进了岩石力学的发展,并逐步发展为一门独立的学科,在 20 世纪 50 年代以来的发展过程中出现了以地质力学为观点的地质力学岩石力学学派和以工程为观点的工程岩石力学学派,而现在岩体力学则是一门综合发展的学科。

① 地质力学岩石力学学派:这个学派是由缪勒(L.Müller)和斯体尼(J.Stini)所开创的,此学派偏重于地质力学方面,主张岩石块和岩体有严格区别;岩石块的变形不是岩体的变形;否认小岩石块试件的力学试验,提倡现场原位力学试验。

② 工程岩石力学学派:以法国塔洛布尔(J.Talober)为代表,该学派注重岩石力学工程研究,偏重于岩石的工程特性方面,注重弹塑性理论方面的研究,并认为小岩石块力学试验与原位力学测试同样重要。

③ 我国岩体力学的发展:回顾我国岩体力学的发展过程大体上可以分为三个阶段:

- a. 萌芽阶段——20 世纪 50 年代至 60 年代中期,这一时期,我国建设了一些中小型岩体工程,基本上是运用材料力学、土力学、弹塑性理论为基础开展的;
- b. 低谷阶段——60 年代中期至 70 年代中期进入了“文化大革命”时期,大部分工程处于停建、缓建阶段,岩体力学处于发展的低谷时期;
- c. 全面发展的新阶段——70 年代后期至今,在各项大规模岩体工程中的建设中提出了和解决了很多岩体力学问题,使岩体力学进入了一个全面发展的新时期。

值得一提的是,近十多年来岩体力学得到了极大的发展,将断裂力学和损伤力学引入到岩体力学研究中,岩体力学数值模拟技术得到极大发展。

思考:你认为岩石和岩体的区别主要体现在哪些方面?试举例说明一下。

第二章 岩石的物理力学性质

岩石的物理力学性质是岩体力学研究的最基本内容,其性质指标也是岩石力学研究和岩体工程设计的基本参数与依据。学习本章重点掌握以下几点内容:

- ① 掌握岩石的基本物理力学参数的含义;
- ② 掌握岩石的强度特性及各种强度指标的获取方法及变形性质;
- ③ 对岩石的几个常用的强度理论有一个基本的了解。

 重点内容讲解

第一节 岩石的基本物理性质

各类岩石由于其成因、结构构造、成分不同,使得其物理力学性质有很大差异。

一、岩石的密度指标

岩石的密度指标主要有岩石的天然密度、干密度、饱和密度、重密度和颗粒密度指标,其含义和计算公式见表 2-1。

表 2-1 岩石的密度指标一览表

类别	含义	计算公式	测试方法
天然密度	岩石在自然条件下单位体积的质量	$\rho = \frac{m}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	称重法
干密度	将岩石孔隙中的水全部蒸发掉,试件仅有固体和气体的状态下单位体积的质量	$\rho_d = \frac{m_s}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	烘干法
饱和密度	孔隙都被水充填时单位体积的质量	$\rho_{sa} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	48 h 进水法、抽真空法、煮沸法
岩石容重	单位体积岩石的重量	$\gamma = \rho g \text{ (kN/m}^3\text{)}$	称重法
颗粒密度	岩石中固体物质单位体积的质量	$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \text{ (g/cm}^3\text{)}$	比重瓶法

注:其中 m 为岩石试件的总质量; V 为试件的总体积; m_s 为岩石中固体的质量; V_v 为孔隙的体积; ρ_w 为水的密度; V_s 为岩石中固体的体积。

二、岩石的孔隙性

岩石的孔隙性反映了岩石中裂隙的发育程度,描述岩石孔隙性的指标主要有岩石的孔

隙比和岩石的空隙率。

① 岩石的孔隙比:岩石孔隙的体积与固体体积的比值,其计算公式为:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2-1)$$

② 岩石的孔隙率:指孔隙的体积与试件总体积的比值,用百分率表示,计算公式为:

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

还可以通过密度参数分析孔隙率,即:

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \quad (2-3)$$

③ 孔隙率与孔隙比之间的关系:根据孔隙率和孔隙比的含义及其计算公式很容易求得其关系:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{1}{\frac{V}{V_v} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{n} - 1} = \frac{n}{1 - n} \quad (2-4)$$

三、岩石的水理性质

1. 岩石的含水性

① 岩石的含水率:岩石孔隙中水的质量与固体质量之比的百分数:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (2-5)$$

② 岩石的吸水率:指岩石吸入水的质量与试件固体质量的比值,据试验方法的不同分为自由吸水率和饱和吸水率,计算式为:

$$\begin{cases} W_a = \frac{m_0 - m_s}{m_s} \times 100\% \\ W_{sa} = \frac{m_p - m_s}{m_s} \times 100\% \end{cases} \quad (2-6)$$

式中 m_0 ——试件浸水 48 h 的质量;

m_p ——试件经煮沸或真空抽气饱和后的质量。

2. 岩石的渗透性

岩石的渗透性是指岩石在一定的水力梯度作用下水穿透岩石的能力,岩石的渗透性间接反映了岩石中裂隙相互贯通的程度,一般用达西定律来描述:

$$q_x = AK \frac{dh}{dx} \quad (2-7)$$

式中 q_x ——沿 x 方向水的流量;

h ——水头的高度;

A ——垂直于 x 方向的截面面积;

K ——岩石沿 x 方向的渗透系数。

四、岩石的抗风化指标

岩石的抗风化指标主要有岩石的软化系数、岩石的耐崩解性指数和岩石的膨胀性指标。

1. 岩石的软化系数

岩石的软化系数 η 是指岩石饱和单轴抗压强度 R_{cc} 与干燥状态下的单轴抗压强度 R_{cd} 的比值,反映了岩石遇水强度降低的程度,其计算式为:

$$\eta = \frac{R_{cc}}{R_{cd}} \quad (2-8)$$

软化系数 $\eta \geq 1$,该值越小表示岩石受水的影响越大。

2. 岩石的耐崩解性指数

岩石的耐崩解性指数 I_d 是通过对岩石试件进行烘干,浸水循环试验所得的指数,反映了岩石在浸水和温度变化的环境下抵抗风化作用的能力。

试验测定方法:将烘干的试块放入一个带有筛孔的圆筒内,使该圆筒在水槽中以 20 r/min 的速度连续旋转 100 min,然后将留在圆筒内的岩块取出再次烘干称重,反复进行两次,可得计算公式为:

$$I_{d2} = \frac{m_r}{m_s} \times 100\% \quad (2-9)$$

式中 I_{d2} ——经两次循环试验所得的耐崩解性指数;

m_s ——试验前试块的烘干质量;

m_r ——两次循环试验后,残留在圆筒内试块的烘干质量。

3. 岩石的膨胀性

含有黏土矿物的岩石遇水后会发生膨胀的现象称为膨胀性。岩石的膨胀性通常以岩石的自由膨胀率、岩石的侧向约束膨胀率、膨胀压力来描述。

① 岩石的自由膨胀率:是指岩石试件在无任何约束的条件下浸水后所产生的膨胀变形与试件原尺寸的比值,一般可用径向自由膨胀率和轴向自由膨胀率来表示

$$\begin{cases} V_H = \frac{\Delta H}{H} \times 100\% \\ V_D = \frac{\Delta D}{D} \times 100\% \end{cases} \quad (2-10)$$

式中 ΔH 、 ΔD ——浸水后岩石试件的轴向和径向膨胀变形量;

H 、 D ——岩石试件试验前的高度和直径。

② 岩石的侧向约束膨胀率:是指具有侧向约束的岩石试件浸水后所得的膨胀率,其计算式如下:

$$V_{HP} = \frac{\Delta H_{HP}}{H} \times 100\% \quad (2-11)$$

式中 ΔH_{HP} ——侧向约束条件下所测得的轴向膨胀变形量。

③ 膨胀压力:是指将试件浸水后,使试件保持原有体积的最大约束力。

五、岩石的抗冻性指标

描述岩石在冻融条件下的力学特性的指标是岩石的抗冻性系数 K_f ,其计算式为:

$$K_f = \frac{R_f}{R_s} \times 100\% \quad (2-12)$$

式中 R_f ——岩石冻融后的饱和单轴抗压强度；

R_s ——岩石冻融前的饱和单轴抗压强度。

第二节 岩石的强度特性

岩石的强度是指岩石的承载能力大小,由于荷载作用的不同,通常描述岩石强度特性的指标有岩石的单轴抗压强度、抗拉强度、剪切强度、三轴压缩强度等。

一、岩石的单轴抗压强度

1. 定义

岩石的单轴抗压强度是指岩石试件在无侧限条件下受轴向力作用破坏时单位面积上的荷载,即:

$$R_c = \frac{P}{A} \quad (2-13)$$

式中 P ——在无侧限条件下轴向的破坏荷载；

A ——试件与轴向荷载垂直的截面面积。

2. 试验方法

单轴抗压试验是在带有上下承压板的试验机上做的,按工程岩体试验方法标准的要求:

① 试件尺寸要求:试件的直径或边长为 4.8~5.4 cm,高度为直径的 2.0~2.5 倍,试件两端面的平整度不大于 0.05 mm,直径或边长的误差不得大于 0.3 mm,两端面与试件轴线应垂直,最大偏差不得大于 0.25°;② 加载要求:加载速度按 0.5~1.0 MPa/s。

3. 破坏形态

加载条件的不同,破坏形态也不相同,其强度也不同。岩石的破坏形态主要有圆锥形破坏和柱状劈裂破坏。

① 圆锥形破坏,这种破坏形态主要是由于试件两端面与试验机承压板之间的摩擦力增大造成的,由于接触面上摩擦力的存在,使得端面附近出现三角形区域的压应力区,起到了一个箍的作用,中间则由于拉应力的作用自由向外变形破坏。

② 柱状劈裂破坏,由于采取有效方法消除了试件端面与承压板之间的摩擦力,试件呈现劈裂破坏的特性。

4. 单轴抗压强度的影响因素

① 承压板对单轴抗压强度的影响:承压板对单轴抗压的强度影响,除了前面所说的端面摩擦效应外,还有承压板刚度对试件的影响,一般来说应该尽量采用弹性模量与试件相近的承压板。

② 岩石试件尺寸及形状对单轴抗压强度的影响:由于方形试件由于在四角会产生应力集中现象,所以一般采用圆柱形试件;为消除试件的尺寸效应影响,一般取直径为 4.8~5.4 cm 的试件;高径比一般取 2~3 对岩石强度的影响较小。

③ 加载速率的影响:目前按照我国工程岩体试验方法标准中规定的,其加载速率一般控制在 0.5~1.0 MPa/s,这个范围对试件强度的影响是比较小的。

④ 环境的影响:主要表现在含水率的影响和温度的影响,一般来说含水率对软岩的强度有很大影响,温度的影响还有待于进一步研究。

思考:试分析消除岩石试件端摩擦效应的方法有哪些?

二、岩石的抗拉强度

岩石的抗拉强度是比较低的,加上岩石试件具有许多微裂隙,这使得岩石的抗拉试验结果并不是很理想,常用的抗拉试验见表 2-2。

表 2-2 岩石抗拉试验一览表

类别	试验原理	计算公式	缺陷
直接 拉伸 法	将试件加工成棒状,利用试件两端与试验机夹具之间的黏结力或者是摩擦力,施加拉力	$R_t = P/A$ P——试验中试件所能承受的最大拉力; A——试件垂直于拉应力的面积	往往会出现荷载偏心现象致使试验失败,而且试件的加工及加载的控制也比较困难
抗 弯 法	利用结构试验中梁的三点或四点加载法,使梁下产生纯拉应力	$\sigma_t = MC/I$ M——作用在试件截面上的最大弯矩; C——梁的边缘到中性轴的距离; I——梁截面绕中性轴的惯性矩	试验假设拉伸与压缩的应力—应变特性相同这是与实际情况不符的;试件加工比较麻烦
劈 裂 法	使圆柱体承受径向压缩线荷载至破坏,求出抗拉强度,理论依据是 Boussinesq 半无限体作用集中力的解析解的叠加	$R_t = \frac{2P}{Dt\pi}$ P——试件破坏时的极限压力; D——试件的直径; t——试件的厚度	该方法试验简单,加工方便,是目前最常用的抗拉试验方法,但是该方法要求破裂面通过试件的直径
点荷 载法	利用现场任意形状的试块施加点荷载,确定试件的抗拉强度	$I_s = 0.96 \frac{P}{D_e^2}$ P——试验时所施加的极限荷载; D_e——两个加载点之间的距离	要求试验组数比较大,一般为 15 个试件的试验求平均值

三、岩石的抗剪强度

1. 计算原理

岩石的抗剪强度常用莫尔—库仑公式表示:

$$\tau = \sigma \tan \varphi + c \tag{2-14}$$

式中 σ ——作用面上的正应力;
 φ ——岩石的内摩擦角;
 c ——岩石的内聚力。

2. 试验方法

常用的岩石剪切试验有抗剪断试验、抗切试验和弱面剪切强度试验。在抗剪断试验中

(图 2-1),通常采用不同的 α 角(一般为 $30^\circ \sim 70^\circ$) 在单向压缩试验机上求得所施加的极限荷载,从而可按式求得正应力和剪应力:

$$\begin{cases} \sigma = \frac{P}{A}(\cos\alpha + f\sin\alpha) \\ \tau = \frac{P}{A}(\sin\alpha - f\cos\alpha) \end{cases} \quad (2-15)$$

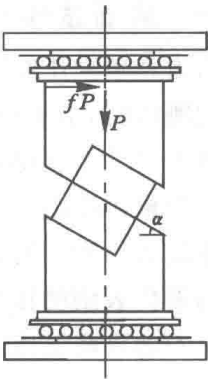


图 2-1 岩石抗剪断试验

四、岩石的三向压缩强度

实际工程中的岩体大多数处于三向应力作用下,因此研究岩体的三向应力作用下强度和变形特性更有实际意义。

1. 三向压缩试验简介

三向压缩试验根据围压的不同,可以分为真三轴试验和假三轴试验。真三轴试验两个水平方向上的围压不同,真三轴试验对试验机的特殊要求高,试验花费大,因此目前很少用;假三轴试验是指两个水平方向的围压值相同,假三轴试验机结构简单,花费少,是目前比较常用的试验方法。

2. 三向压缩状态下破坏类型分析

岩石在三向压缩状态下破坏形态与围压的大小有很大关系,而且呈现明显不同于单向压缩状态下的破坏形式:

- ① 在低围压的情况下,主要表现为劈裂破坏,这时围压的作用并未表现出来;
- ② 在中等围压的作用下主要表现为斜面剪切破坏,破坏面与最大主应力的夹角约为 $45^\circ + \varphi/2$;
- ③ 在高围压的作用下,试件会表现出塑性流动破坏的性质,并不出现宏观上的破裂面而成腰鼓形。

围压的作用使试件的强度提高,随着围压的增大试件的破坏类型也由脆性破坏向塑性流动过渡。

3. 岩石三向压缩强度的影响因素

- ① 侧向压力的影响:一般来说岩石的三向压缩强度是随着侧向压力的增大而增大,而且极限最大主应力的变化率随围压的增大而减小;
- ② 试件尺寸与加载速率的影响:与单轴压缩试验的影响基本相同,所不同的是在高围压作用下,由于径向的限制,试件中微裂缝的影响逐渐减弱;
- ③ 孔隙水压力对岩石三向压缩强度的影响:孔隙水对岩石强度的影响可以用有效应力的原理给以解释,由于岩石中有孔隙水,使得真正作用在岩石上的围压值减小。

思考:试从试验方法、破坏形态、影响因素这三个方面来分析岩石三向压缩强度与单轴压缩强度的不同之处。

第三节 岩石的变形特性

岩石变形特性是岩石的重要力学性质,从某种意义上来说研究岩石的变形特性更有实际意义,随着对变形研究的深入,有人甚至提出用变形表示的破坏判据代替以往的应力强度

判据。

一、岩石试件单向压缩状态下的变形特性

岩石在单向压缩下的变形特性与试验机的刚度有很大关系,当试验机的刚度小于岩石试件的刚度时,不能得到峰值应力后的变形特性,而只有当试验机的刚度大于或等于岩石试件的刚度时才能获得岩石试件的完整的应力应变曲线。

试验机主要由出力系统和金属框架组成,进行压缩试验时,试验机的金属框架承受了与出力系统大小相同的拉力,如图 2-2 所示,岩石试件的刚度为 k_s ,试验机的刚度分别为 k_m 、 k'_m ,前者代表刚度比岩石试件大的试验机,后者代表刚度比岩石试件小的试验机。

岩石达到峰值应力 A 点后,若岩石产生一个微小的应变 $\Delta\epsilon$,此时岩石的应力应变沿 AA' 走,即此时岩石所能承受的应变能为 $S_{\Delta AA'O_1O_2}$,而储存在刚度大的试验机内的能量为 $S_{\Delta ACO_1O_2}$,储存在刚度小的试验机内的能量为 $S_{\Delta ABO_1O_2}$,可以这样认为如果试验机给予岩石的能量正好等于 $S_{\Delta AA'O_1O_2}$,则岩石试件的应力应变沿着 AA' 走,所以:

① 在小刚度试验机上,有 $S_{\Delta ABO_1O_2} > S_{\Delta AA'O_1O_2}$,此时即使出现一个微小的应变也会因为试验机释放给试件的能量大于岩石所能承受的能量而致使试件崩溃破坏,而只能获得峰值应力前的应力应变曲线。

② 在大刚度试验机上,由于 $S_{\Delta ACO_1O_2} \leq S_{\Delta AA'O_1O_2}$,要想使试件继续产生应变,必须依靠试验机的加载做功实现,因此能获得包括峰值应力以后的完整的应力应变曲线,即全应力应变曲线。

二、岩石试件在普通试验机上单向压缩状态下的变形特性

由上述分析可知岩石试件在普通试验机上只能获得峰值应力前的应力应变曲线,如图 2-3 所示。

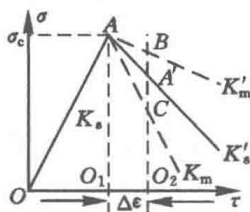


图 2-2 试验机刚度与破坏类型的关系简图

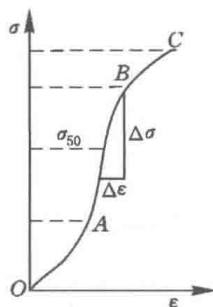


图 2-3 典型应力应变曲线

典型岩石应力应变曲线的可以从变形三阶段、四个变形模量及循环加、卸载的记忆功能这三个方面来掌握。

1. 变形三阶段

根据应力、应变关系的不同特性,可以分为 OA、AB、BC 三个阶段:

① 压密阶段(OA 段):在该阶段岩石的微裂隙在外力作用下发生闭合,应变随应力的增加而增加;

② 弹性阶段(AB 段):在该阶段应力应变呈直线变化关系,在该阶段卸载后变形可以