

高等学校岩土工程（本科）规划教材

岩石力学

刘汉东 姜彤 主编

YANSHI LIXUE

 黄河水利出版社

普通高等学校岩土工程(本科)规划教材

岩石力学

主编 刘汉东 姜 彤

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书对岩石力学的基本概念和理论进行了详细阐述,并就岩石力学在坝基工程、地下洞室及岩石边坡工程中的应用做了重点论述,考虑到岩石力学的实践运用,本书还对岩体加固技术及岩体力学数值计算方法进行了讨论,为读者进一步深入学习相关专业课程奠定了理论基础。

本书取材注重工程实践,力求使读者在掌握岩石力学的基本概念和理论的基础上,熟悉解决工程实际问题的思路和方法,以提高解决工程实际问题的能力。

本书可作为普通高等学校岩土工程专业的教学用书,可供岩土工程、地质工程、水利水电工程、土木工程等相关专业使用,也可供从事岩石力学工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩石力学/刘汉东,姜彤主编. —郑州:黄河水利出版社,2012.5

普通高等学校岩土工程(本科)规划教材

ISBN 978-7-5509-0243-5

I. ①岩… II. ①刘… ②姜… III. ①岩石力学—高等学校—教材 IV. ①TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 085132 号

策划编辑:王志宽 电话:0371-66024331 E-mail:wangzhikuan83@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hlslchs@126.com

承印单位:郑州海华印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:15

字数:347 千字

版次:2012 年 6 月第 1 版

印数:1—3 100

印次:2012 年 6 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

普通高等学校岩土工程(本科)规划教材

编审委员会

主 任	刘汉东			
副主任	王复明	肖昭然	勾攀峰	杨小林
委 员	李广慧	祝彦知	郭院成	乐金朝
	黄志全	姜宝良	孙文怀	闫富有
	李化敏	姜 彤	孔德志	

前 言

岩石力学作为随着近代经济与社会发展需求而出现的一门新兴边缘学科,其应用范围涉及水利水电、土木建筑、采矿、铁路、公路等众多与岩石相关的工程领域。随着经济建设的不断发展,岩石工程的规模也在不断扩大,复杂的岩石工程也越来越多,由此带来的岩石力学问题也越来越突出。众多学者对岩石力学展开了卓有成效的研究,取得了大量的具有实用价值的成果。国内外有关岩石力学的教材、专著较多,其内容与深度因读者对象不同而各不相同。

本教材是河南省岩石力学与工程学会确定的普通高等学校岩土工程(本科)规划教材,主要为普通高等学校岩土工程及地质工程专业学生学习岩石力学课程而编写。教材编写中考虑到相关专业的适用性,将岩石力学的应用部分分开编写,重点阐述坝基工程、岩石边坡工程和地下洞室工程的岩石力学应用,着力体现本科教学的针对性、实用性、实践性和前瞻性。在内容选择上,兼顾基本知识、理论和岩石力学的实践应用,力求使读者在掌握岩石力学的基本概念和理论的基础上,熟悉解决工程实际问题的思路和方法,以提高解决工程实际问题的能力。本教材涉及岩石力学的各个方面,在实际教学中,教师可根据不同专业的要求进行内容的取舍。

本教材以刘汉东教授多年从事岩石力学教学的教案和讲稿为蓝本,在内容上做了更新、补充和修改。具体编写分工如下:第一章由刘汉东编写;第二章第一、二节,第三章、第七章、第九章由王四巍编写;第二章第三、四、五、六节由李玉琴编写;第四章、第五章由张昕编写;第六章由郝小红编写;第八章由姜彤编写。

全书由刘汉东教授、姜彤教授担任主编。

由于作者水平有限,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2012 年 3 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 岩石力学的研究对象与基本概念	(1)
第二节 岩石力学的研究内容和方法	(2)
第三节 岩石力学与其他学科的关系及学习方法	(5)
第四节 岩石力学发展简史	(6)
第二章 岩石的物性指标和工程分类	(8)
第一节 岩石力学、岩石和岩体的概念	(8)
第二节 岩石的基本构成	(9)
第三节 岩石的物理性质指标	(11)
第四节 岩石的热学和电学性质	(23)
第五节 岩体结构	(25)
第六节 岩体工程分类	(31)
思考题	(46)
习 题	(47)
第三章 岩石的强度和变形	(48)
第一节 概 述	(48)
第二节 岩石的强度	(49)
第三节 岩石的变形	(54)
第四节 岩石的强度理论	(60)
第五节 岩石的流变	(64)
思考题	(70)
习 题	(70)
第四章 岩体应力及量测	(72)
第一节 概 述	(72)
第二节 岩体初始应力	(73)
第三节 岩体初始应力测量方法简介	(80)
思考题	(91)
习 题	(91)
第五章 地基岩体应力及稳定性分析	(92)
第一节 概 述	(92)
第二节 地基岩体的应力分布特征	(92)
第三节 地基岩体基础沉降分析	(97)

第四节 地基岩体承载力	(101)
第五节 坝基岩体应力及稳定性分析	(106)
思考题	(123)
习 题	(124)
第六章 地下洞室围岩中的应力	(125)
第一节 概 述	(125)
第二节 地下洞室围岩中的应力状态	(126)
第三节 地下洞室围岩的变形破坏	(147)
第四节 围岩压力	(157)
第五节 围岩压力计算	(162)
第六节 新奥法简介	(179)
思考题	(190)
习 题	(190)
第七章 岩石边坡工程	(192)
第一节 概 述	(192)
第二节 岩石边坡破坏及影响因素	(192)
第三节 圆弧法岩坡稳定性分析	(197)
第四节 平面滑动岩坡稳定性分析	(200)
第五节 Sarma 法原理	(202)
思考题	(205)
习 题	(205)
第八章 岩体的加固	(206)
第一节 岩体锚固技术	(206)
第二节 喷射混凝土支护	(210)
第三节 抗滑桩加固技术	(211)
第四节 注浆加固技术	(213)
思考题	(215)
第九章 岩石力学数值计算方法	(216)
第一节 岩石力学数值计算常用方法及软件	(216)
第二节 岩石力学数值计算方法的发展趋势	(217)
第三节 有限单元法基本原理	(220)
第四节 岩石力学数值法分析原理与应注意的问题	(224)
参考文献	(231)

第一章 绪 论

第一节 岩石力学的研究对象与基本概念

岩石力学是固体力学的一个分支,顾名思义,岩石力学的研究对象是与人类生活息息相关的岩石(体),它是研究岩石(体)在力的作用下表现出的各种反应的一门科学,具体而言,它包括岩石力学性态的理论和应用,探讨岩石对其周围物理环境的力场响应。

岩石力学作为随着近代经济与社会发展需求而出现的一门新兴边缘学科,其应用范围涉及水利水电、土木建筑、采矿、铁道、公路、地震、石油、国防、海洋等众多与岩石相关的工程领域。随着社会经济的发展与进步,岩石工程建设的规模也在不断扩大,高坝、深矿、深埋长大隧洞等复杂岩石工程越来越多,由此带来的岩石力学问题也越来越突出。岩石力学作为工程建设的理论基础,一方面,理论指导实践,运用现有的岩石力学理论指导工程建设;另一方面,每一次针对复杂岩石工程问题的解决,都会带动和促进岩石力学自身的发展。因此,岩石力学是一门应用性和实践性很强的科学,岩石力学的一切设想、假定和理论,都必须拿到工程实践中去检验,而岩石力学自身又必须紧密结合工程实践,才能使岩石力学得到更好的发展。

学习岩石力学,必须弄清以下几个基本概念。

一、岩石和岩体的区别与联系

地壳的绝大部分都是由岩石构成的,它是经过地质作用而天然形成的(一种或多种)矿物集合体,按照其成因,岩石可分为三类,即岩浆岩、沉积岩和变质岩。

岩体是指在一定地质条件下,含有诸如裂隙、节理、层理、断层等不连续的结构面组成的现场岩石,它是复杂的地质体。

从岩石力学的研究对象来看,其研究内容不仅涉及不同成因类型的岩石的物理力学性质,而且要研究岩体及其结构对力场的响应。对于工程应用领域而言,由于岩石力学中很多研究对象是岩体,所以岩石力学也称为岩体力学。

二、岩石(体)与其他材料的区别

由于岩石(体)赋存环境及其自身材料的复杂性,加之地质结构的作用,岩石(体)在力学响应上表现出区别于自然界中任何一种材料的特性,具体表现在:①不连续性。岩石(体)由于裂隙、节理、层理、断层等不连续结构面的存在,使其成为一种典型的不连续介质。②在内、外地质营力的作用下,岩体中存在地应力,在岩石工程中,不但要考虑建筑物荷载对岩石(体)的作用,而且要对岩体中已经存在的地应力予以高度重视,防止由于地应力释放造成岩石工程的变形与破坏。正是由于岩石(体)力学特征的复杂性与特殊性,

使岩石力学的研究方法虽借鉴于材料力学和结构力学,但又与它们有质的区别,不能简单地把“岩石”看成固体力学的一种材料。

三、岩石(体)的不确定性

岩石(体)的不确定性是指由于岩石自身及其赋存环境的复杂性,从而表现出来的随机性、模糊性和灰色性。岩石力学中的不确定性无处不在,无论是在物理力学性质方面,还是在荷载方面,均表现出明显的随机和模糊。传统的以固体力学为基础的研究方法在精度和可靠性方面常常不能满足工程设计的要求。因此,必须改变传统的固体力学的不确定性研究方法,从岩石(体)的不确定性出发,发展新的研究方法和手段。目前已经发展了诸如可靠性分析法、系统论法等多种方法。

第二节 岩石力学的研究内容和方法

一、岩石力学的研究内容

由于岩石力学适用的工程领域极其广泛,除一些岩石力学的基本性质外,针对每一工程领域都有各具特色的研究内容,本书不可能全面概括,因此这里仅列出对于每一工程领域均需研究的内容,也是本书的主要内容。

(一)岩石的物理、水理性质

岩石的物理、水理性质指标如下:

(1)岩石的容重、密度、比重、孔隙率、孔隙指数、吸水率、饱水率和饱水系数、抗冻系数、质量损失率;

(2)岩石的渗透性、膨胀性与崩解性等。

(二)岩石的物质组成与岩体结构特征

岩石的物质组成与岩体结构特征如下:

(1)组成岩石的矿物成分、晶体结构及岩体结构面特征;

(2)岩体结构面及结构体的力学特征;

(3)按照不同行业标准对岩体进行工程分类。

(三)岩石(体)的强度与变形

(1)岩块在各种力学作用下(加载条件、温度、湿度等)的强度和变形特征以及力学参数;

(2)测定岩块强度和变形参数的试验方法;

(3)岩石的强度理论及破坏判据;

(4)岩石流变模型、本构关系及流变系数室内外测定方法;

(5)结构面的变形、剪切强度特征及测试技术。

(四)原岩应力(地应力)分布规律及其测量理论与方法

(1)地应力测试;

(2)工程岩体应力及变形观测。

(五) 工程岩体的稳定性分析

- (1) 工程岩体(坝基、洞室、边坡)的应力、位移分布特征;
- (2) 工程岩体(坝基、洞室、边坡)的变形破坏特征;
- (3) 工程岩体(坝基、洞室、边坡)的稳定性分析与评价等。

(六) 工程岩体的模型、模拟试验及原位监测技术

- (1) 数值模型模拟;
- (2) 物理模型模拟。

(七) 岩石工程稳定性维护技术

- (1) 岩体性质的改善;
- (2) 岩石工程加固技术。

二、岩石力学的研究方法

岩石及其赋存环境的复杂多样性决定了其研究方法的多样性,岩石及其赋存环境的多样性主要表现在以下几个方面:

(1) 材料多样性。组成岩石的矿物成分千变万化,矿物成分的变化对岩石的物理力学性能具有决定性的影响,从而导致岩石在力学上表现为弹性、塑性和黏性。

(2) 结构多样性。岩石在其形成过程中受到内、外地质营力的作用,将其切割成具有多组结构面的复杂结构体,因此岩体属于典型的非连续介质,虽然可从宏观上统计出结构面的发育规律,但由于岩体结构的复杂多样性,传统针对连续介质的力学研究方法均须针对岩体材料进行调整。

(3) 环境多样性。岩石的赋存环境非常复杂,而地应力、温度、围压及地下水等均对岩石的力学性能构成强烈影响。

从以上三点可以看出,岩石(体)的复杂多样决定了岩石力学的研究方法不同于其他连续介质力学,而是在传统力学研究方法的基础上发展,具有自身特色和专门的研究手段。岩石力学的研究方法可大致归纳为以下5种。

(一) 工程地质分析法

运用地层学、构造地质学、水文地质学及工程勘察手段,研究岩体的地质特征,包括岩石(体)的矿物组成、岩石类型、地质构造、结构面发育情况、软弱结构面、地应力、地下水、地热等情况,构建基于工程地质分析的地质力学模型。

(二) 室内试验与原位测试

岩石力学室内试验与原位测试是岩石力学研究的重要方法和手段,它包括室内岩石物理力学参数测定、现场原位测试及监测。室内岩石力学参数测定是岩石力学的基础研究内容,通过试验获得的参数可以为岩体变形和稳定性分析计算提供支撑;现场原位测试及监测是采用多种技术手段在现场获得岩石(体)的工程力学性质、变形、位移、破坏及稳定性等方面的指标值及地应力、地下水、地热及围压相关数据。随着科学技术的发展,目前用于原位测试的方法也越来越多,除传统的地球物理勘探方法外,声发射、地震层析成像、CT、遥感、微震等新技术也逐渐在岩石工程中发挥作用。

(三) 力学解析分析法

在地质研究及试验与测试的基础上,可以进行岩体变形、破坏及稳定性等方面的力学分析。首先,由地质模型抽象出物理及力学模型,主要通过岩体结构分析来完成。其次,依据力学模型进行数学力学分析,利用平衡条件、本构方程、变形条件、强度判据及边界条件等求出应力、应变及破坏条件等。在对岩体进行力学分析时,可以结合应用数值分析(有限元法、差分法、边界元法及结构单元法等)、概率分析、随机分析、模糊分析、趋势分析及光弹模拟分析等方法。

目前,常用的力学模型有刚体力学模型、弹性及弹塑性力学模型、流变模型、断裂力学模型、损伤力学模型、渗透网络模型、拓扑模型等。常用的分析方法有:①数值分析,包括有限差分法、有限元法、边界元法、离散元法、无界元法、流形元法、不连续变形分析法、块体力学和反演分析法等;②模糊聚类和概率分析,包括随机分析、可靠度分析、灵敏度分析、趋势分析、时间序列分析和灰色系统理论等;③模拟分析,包括光弹应力分析、相似材料模型试验、离心模型试验等,在边坡研究中,还普遍采用极限平衡的分析方法。

(四) 模型试验与数值模拟

模型试验与数值模拟是通过物理模拟及计算机仿真分析方法,在室内或现场获得的力学参数的基础上,模拟工程现场情况,从而获得岩体应力、应变及变形的分析方法。

模型试验是采用相似材料对岩石及其结构、受力进行模拟,将地质模型转换为可控、可测的物理模型。

数值模拟则是将地质力学模型转换为数学模型,通过计算机模拟岩石现场受力情况,从而获得岩石(体)的应力和位移,为岩石工程设计和施工提供定量依据。

近年来,随着模型试验测试手段和加载技术的提高,无论是相似材料的配方,还是加载测试方法,均取得了长足的进步,一些新技术,如离心机、激光散斑、光学粒子成像技术及光纤测试技术等,也在模型试验上发挥越来越重要的作用。而在数值分析方面,有限差分法、有限元法、边界元法、离散元法、无界元法、流形元法、不连续变形分析法、块体力学和反演分析法等均在岩石力学研究中获得广泛运用。

(五) 系统分析

岩体的力学性质受岩性、岩体结构、岩石赋存环境的强烈影响,影响因素多且复杂,从力学角度分析,很多影响因素都是不确定的,且具有较为明显的随机性。因此,有必要将岩体及其赋存环境看做一个系统,从系统论的概念出发,采用多因素、多方法进行综合分析及评价,才能得出可靠并且具有实用价值的正确结论。

与传统的固体力学、结构力学的确定性分析方法相对应,岩体力学的系统分析是基于不确定性理论进行的,它是将系统论、非线性、随机理论、灰色系统、模糊数学、人工智能等不确定分析方法引入岩石力学,解决工程中存在的各种不确定性因素,使研究和分析结果更符合实际,且更可靠、实用。

第三节 岩石力学与其他学科的关系及学习方法

一、岩石力学与其他学科关系

岩石及其赋存环境的多样性决定了其研究手段的多样性,研究手段的变化必然涉及多学科综合分析,因此岩石力学是以地质学为基础学科,借鉴弹性力学、结构力学、材料力学、固体力学、塑性力学、理论力学、断裂力学、损伤力学等传统固体力学的研究方法,引入现代数学及非线性理论等新技术对岩石(体)的工程应用开展综合研究的一门学科。可见,岩石力学是一门综合性极强的学科,与其他许多学科的关系相当密切。

(一)地质学是岩石力学的基础学科

岩石的物理力学性质与岩石的矿物组成、岩体结构、大地构造特征以及地应力、地下水及温度等密切相关,特别是结构面及结构体的力学特征对其物理力学性质影响非常大。因此,建立在岩石(体)上的工程均须在建设之前通过各种工程地质勘探手段弄清岩石(体)的物理力学特性及其赋存环境条件,从而深入了解和掌握各种地质因素对岩石(体)物理力学特性的影响程度,为工程建设提供设计依据。因此,地质学科中的矿物学、岩石学、构造地质学、地貌学是岩石力学的基础学科,另外涉及勘探手段和方法的遥感、物探、测量、地震地质学也是岩石力学的基础学科。

(二)固体力学研究方法是岩石力学研究的重要技术手段

众所周知,自然界中分布着种类繁多的各种岩石,从力学角度分析,这些岩石材料表现出弹性、塑性和黏性,其力学表现几乎覆盖了所有固体力学的研究领域,因此理论力学、材料力学、弹性力学、塑性力学、弹塑性力学及流变理论的研究方法均为岩石力学吸收借鉴,并根据岩石材料的自身特点对研究方法和理论进行修正和发展。

另外,岩体中均广泛发育不同成因、不同规模(尺度)、不同类型、不同特征的各种裂隙(节理和断层),这些不同力学性质的裂隙(结构面)将岩体切割成独特的块裂结构(凌贤长和蔡德所,2002),因此岩石材料也就成为不同于其他连续介质的不连续介质。研究岩体的宏观力学行为,必须从岩体结构的力学效应和非连续特征出发,借鉴结构力学、断裂力学、损伤力学的理论与方法开展研究。因此,传统固体力学的研究方法是岩石力学研究的重要手段。

(三)数学与力学的结合是定量解决岩石力学问题的重要方法

求解岩体力学问题的一个重要的手段就是要将抽象的地质模型通过数学(包括几何学)方法转换为数学模型,然后结合工程及地质条件,选择不同的计算方法,对岩石力学的问题进行推导解答。

该类问题的求解方法主要有以下两种:

(1)解析法。该方法依靠数学公式进行推导,对于简单、介质单一的问题常常可以获得比较精确的计算结果,但由于目前对于岩体介质的理论研究还未进一步深入,在推导理论公式的过程中存在很多假设条件,所以计算结果往往只对理想状态下的岩体介质有效,对工程缺乏实际意义。因此,该方法仅适合于求解介质力学性质、边界条件、几何形状及

作用荷载简单的工程问题。

(2)数值分析方法。该方法通过对介质材料、边界条件、荷载的数学模型的模拟,采用有限差分、有限单元、离散单元及不连续变形分析等方法,依靠计算机技术对复杂力学性质及边界条件的工程问题进行数值仿真分析。

(四)新技术、新方法是岩石力学研究的发展方向

近年来,耗散结构理论、协同论、突变论、混沌理论及分形几何等与非线性行为或过程有关的新理论、新观点、新方法已不同程度地渗透到节理裂隙岩体研究中。尤其是分形几何可能成为解决岩体力学实际问题和开创岩体力学研究新局面的一个突破。目前,神经网络方法与损伤力学相结合已逐渐应用到岩体爆破效应及滑坡预测预报等研究中。

岩体力学的不少研究资料均来自于各种岩石或岩体的现场原位及室内试验,所以研究岩体力学还需要与试验岩石学等有关学科很好结合,不断改进试验仪器设备及试验技术,努力提高试验精度及试验成果资料在工程上的可用性。

二、学习岩石力学的方法

学习岩石力学就是要认识岩石(体)的物理力学性质及变形规律,并以理论为基础,紧密联系实际工程,充分利用和使用岩石(体),为工程建设服务。因此,要学好岩石力学,读者应把握以下原则:

(1)认识岩石(体)的基本物理力学性质及变形规律,掌握解决岩石力学工程问题的基本分析方法。

(2)紧密结合工程实际,注意工程中的岩石力学问题,观察岩石(体)的变形规律,通过学科交叉,发展新的理论和方法。

(3)积极引入新理论、新技术和新方法,懂得应用现代技术手段对岩石(体)的变形规律进行模拟,掌握常用的数值模拟和物理模拟手段,并通过对试验现象的分析,发展解决以岩石力学工程为题的新技术。

(4)密切结合水利水电、道路桥梁、结构工程等工程实际,懂得理论联系实际,将工程勘察、室内外试验以及工程类比综合运用,有效解决工程当中的实际问题。

第四节 岩石力学发展简史

岩石力学的产生、发展来源于工程实践,人类很早就懂得利用岩石作为建筑材料,如古埃及的金字塔、中国的万里长城和都江堰水利工程等,都是闻名于世的“奇迹”工程,这说明古代劳动人民在岩石工程和使用岩石上已有悠久的历史。

岩石力学的理论研究起始于19世纪末到20世纪初,当时主要为了解决岩体开挖的力学计算问题,在这之后,随着各项复杂工程的修建,对岩石力学提出了新的要求,由此产生一些关于岩石力学计算的基本理论和方法,其中著名的海姆(A. Heim)假说以及朗肯(Rankine)理论均出自这一时期,但在这一时期,由于科技水平的限制,人们对岩石的认识还局限于岩块,即将岩体假定为连续体,用岩块的力学性质代替整个岩体的力学效应,然后直接运用经典力学的知识来解决岩体工程的实际问题。

在岩石力学的初始阶段,人们虽然认识到岩体中普遍存在断层、节理等不连续面,但对其力学作用没有足够的认识。在这之后,结构面对岩体力学性质的影响受到重视,岩石力学工作者逐步认识到了岩体结构的重要性,并对其开展研究,推动了岩石力学的发展。弹性力学和塑性力学相继被引入岩石力学,确立了一些经典的理论、试验方法、计算公式及施工方法,大量岩体工程技术问题得到解决,同时大量有关岩石力学的论文和专著相继出版,由此岩石力学已经成为一门独立的学科。这一时期形成的很多经典理论和代表理论至今仍然作为工程建设的主要指导理论,如著名的芬纳(R. Fenner)公式和卡斯特纳(H. Kastner)公式以及米勒等提出的支护与围岩相互作用,利用围岩自身强度维持岩石工程的稳定性,并在岩石工程施工方面,提出了著名的“新奥法”,该方法特别符合现代岩石力学理论,至今仍被国内外广泛采用。1974年,米勒主编的《岩石力学》一书总结了这一阶段的研究方法、方向和基本成果,是这一时期岩石力学发展的代表作。

现代岩石力学的发展以经典岩石力学理论作为基础,充分考虑了裂隙和被裂隙切割的岩体的力学效应,并由此提出了“岩体结构”理论和“结构控制论”思想。岩体结构理论认为:岩体是由断层、节理等不连续面构成的结构面和被它们所切割成的岩石块体组成,属地质体的一部分,并处于一定的地质环境中;岩土体的力学效应实际上就是岩体结构对外界环境发生改变的一种反应,即结构效应。现代岩石力学的各个部分,包括理论、计算、现场试验及模型试验均给予岩体结构以高度重视,岩石力学的这个特点充分体现了与其他固体力学之间的差异和区别。

岩石力学发展至今,已经完成了从简单的岩石材料分析到复杂的岩体结构分析之间的飞跃。岩石力学的最新进展已经用更为复杂、多样的力学模型来分析岩石力学问题,通过多学科交叉、融合,将力学、物理学、系统工程、现代数理科学、现代信息技术等的最新成果引入岩石力学。而电子计算机的广泛应用为流变学、断裂力学、非连续介质力学、数值方法、灰色理论、人工智能、非线性理论等在岩石力学与工程中的应用提供了可能。

第二章 岩石的物性指标和工程分类

第一节 岩石力学、岩石和岩体的概念

岩石力学是研究岩体的力学性质的理论和应用的科学,是研究岩石或岩体在外力作用下的应力应变和强度规律等力学性质的学科,它是解决所有与岩石有关的工程技术问题的理论基础。岩石力学准确的说应该叫岩体力学,因为岩石与岩体是有明确的区别的,应该将岩石力学改为岩体力学更合适,但是岩石力学这一名词延续已久,且普遍使用,因此目前在实际使用中,岩体力学与岩石力学没有明确的区分开。

美国科学院岩石力学委员会 1966 年给岩石力学的定义是:岩石力学是研究岩石力学性能的理论 and 应用的科学,是探讨岩石对其周围物理环境中力场的反应的力学分支。这样定义的含义是相当广泛的。岩石属于固体,所以岩石力学应当属于固体力学的范畴。

岩石是经过自然地质作用而形成的(一种或多种)矿物集合体,地壳的绝大部分都是由岩石构成的。它在一定的地质环境中生成,具有一定的结构和构造特征。通常按照其成因可分为三大类岩石:岩浆岩、沉积岩和变质岩。

岩浆岩是由地壳内部上升的岩浆侵入地壳或喷出地表冷凝而形成的,又称为火成岩。绝大多数的岩浆岩是由结晶矿物组成的,由非结晶矿物组成的很少。由于组成岩浆岩的各种矿物的化学成分和物理性质都比较稳定,岩浆岩通常具有较高的力学强度和较好的均匀性。

沉积岩是由母岩(岩浆岩、变质岩和早已形成的沉积岩)在地表经风化剥蚀而产生的物质,通过搬运、沉积和硬结成岩作用而形成的岩石。沉积岩的主要物质成分为颗粒和胶结物,颗粒又包括大小不同、性状各异的各种岩屑及某些矿物,常见的胶结物成分有钙质、硅质、铁质以及泥质等。沉积岩的物理力学性质不仅与矿物和岩屑的成分有关,而且与胶结物的性质有很大的关系。一般硅质、钙质胶结的沉积岩强度较大,而泥质胶结的沉积岩和一些黏土岩强度就比较小。另外,由于沉积环境的影响,沉积岩具有层理构造,这就使得沉积岩沿不同方向表现出来的力学性能不同。

变质岩是岩浆岩或沉积岩在变质作用下形成的一类新岩石,和岩浆岩、沉积岩主要区别是:变质岩属重结晶的岩石,颗粒较粗,不含玻璃质和有机质的残体。

由于形成变质岩的原岩不同、变质作用中各种性状的化学活动性流体的影响不同,变质岩的化学成分变化范围往往也较大。变质岩的矿物成分按成因可分为:稳定矿物,即在一定变质条件下稳定平衡的矿物;不稳定矿物(残余矿物),即在一定变质条件下,由于反应不彻底而部分残留下来的非稳定矿物。不稳定矿物和稳定矿物之间常具有明显的置换关系。由于变质岩在矿物成分、结构构造上具有变质过程中产生的特征,也常常残留有原岩的一些特点,它的物理性质不仅与原岩有关,而且与变质作用的性质及变质程度有关。

各种变质岩的存在条件跟它们的变质作用的类型有密切关系。

变质岩的岩性特征,一方面受原岩的控制,具有一定的继承性;另一方面,由于经受了不同的变质作用,在矿物成分和结构构造上具有其特征性,如含有变质矿物和定向构造等。

岩体则是指一定工程范围内的自然地质体。它经历了漫长的自然历史过程,经受了各种地质作用,并在地应力的长期作用下,在其内部保留了各种永久变形和各种各样的地质构造形迹,如断层、节理、劈裂、不整合、层理、褶皱等不连续面。由这些结构面所切割和包围的岩块体称为结构体或者岩石。而岩体就是由结构面和结构体所组成的地质体。

岩体经常是工程建筑的地基和环境,它是由地质结构面和形状各异、大小不同的岩石块体聚合而形成的,并具有多种结构类型。由于岩体不但有微观的裂隙,而且有层理、片理、节理以至于断层等宏观不连续面,因此岩体为不连续介质。此外,岩体还往往表现为各向异性或非均质。

第二节 岩石的基本构成

岩石是构成岩体的基本单元,相对于岩体而言,岩石可以看做是连续的、致密的、均质的、各向同性的介质。但实际上,岩石中确实存在着微小的矿物节理、微裂隙、粒间孔隙、晶格缺陷、晶格边界等内部缺陷,统称为结构面。因此,从微观上看,自然界中的岩石是非均质、非连续的材料。岩石的基本构成是由组成岩石的物质成分和结构两大方面来决定的。

一、岩石的主要物质成分

岩石中主要的造岩矿物有石英、正长石、斜长石、辉石、角闪石、黑云母、白云母、橄榄石、白云石、方解石、高岭石、赤铁矿等。它们的含量因不同成因的岩石而异,岩石中矿物成分会影响岩石的抗风化能力、物理性质和强度特性。

岩石的抗风化能力受矿物成分的相对稳定性影响,各矿物的相对稳定性主要取决于其化学成分、结晶特征及形成条件。基性岩石的主要矿物成分为闪角石、辉石、橄榄石。超基性岩石主要由橄榄石、辉石以及它们的蚀变产物,如蛇纹石、绿泥石、滑石等组成。而橄榄石、辉石及基性斜长石是易于风化的,故基性岩石和超基性岩石非常容易风化。而酸性岩石主要由石英、钾长石、酸性斜长石和白云母及少量黑云母、角闪石组成。钾长石、石英、酸性斜长石和白云母都是较难风化的,故酸性岩石的抗风化能力比同样结构的基性岩石要高。中性岩的抗风化能力居于两者之间,变质岩的风化性状同岩浆岩相似。沉积岩主要由风化产物组成,大多数为原来岩石中较难风化的碎屑物质或是在化学风化过程中新生成的化学沉积物,因此它们在风化作用中的稳定性一般都较高。影响岩石抗风化能力的不仅是矿物成分,还有岩石的结构和构造特征。所以,岩石的抗风化性不等同于矿物抗风化的稳定性。

一般将造岩矿物的抗风化能力分为非常稳定、稳定、较稳定和不稳定四类,其稳定性见表 2-1。

表 2-1 矿物抗风化相对稳定性

抗风化 稳定性	非常稳定			稳定		较稳定				不稳定			
矿物名称	石英	锆长石	白云母	正长石	钠长石	黑云母	辉石	酸性斜长石	角闪石	基性斜长石	霞石	橄榄石	黄铁矿

新鲜岩石的力学性质主要取决于岩石的矿物成分和颗粒之间的连接。矿物成分对于具有结晶连接的岩石影响要大一点。岩石中矿物的坚硬强度和岩石的强度之间是两个既有联系又有差异的概念。例如,即使组成岩石的矿物都是坚硬的,岩石的强度也不一定高,因为矿物之间的连接可能较弱。岩石中某些易溶物、黏土矿物、特殊矿物的存在,常使岩石物理力学性质复杂化。石膏、芒硝、岩盐、钾盐等在水的作用下易被溶蚀,使岩石的孔隙度增大,结构变松,强度降低,而黏土岩中的蒙脱石遇水膨胀且强度降低。

岩石的结构是组成岩石的矿物的结晶程度、颗粒大小、形态以及晶粒之间或晶粒与玻璃质之间的相互关系及岩石中的微结构面。结构连接和岩石中的微结构面对岩石工程性质起主要影响。

二、常见的岩石结构类型

岩石的结构连接类型主要有胶结连接和结晶连接两种。

(一) 胶结连接

胶结连接指颗粒与颗粒之间通过胶结物连接在一起,如沉积碎屑岩、部分黏土岩。这种连接的岩石,其强度主要取决于胶结物及胶结类型。从胶结物质来看,硅质、铁质胶结的岩石强度较高,钙质次之,泥质胶结的岩石强度最低。

(二) 结晶连接

岩石中的矿物颗粒通过结晶互相嵌合在一起,这种连接使晶体颗粒之间紧密接触,故岩石强度一般较大,但也随结构的不同而有一定的差异。在岩浆岩和变质岩中,等粒结晶结构一般比非等粒结晶结构的强度大,抗风化能力强。在等粒结构中,细粒结晶结构比粗粒结晶结构的强度高。在斑状结构中,细粒基质比玻璃基质的强度高。总之,晶粒越细、越均匀,玻璃质越少,则强度越高。

(三) 岩石中的微结构面

岩石中的微结构面是指存在于颗粒内部或者矿物颗粒集合体之间的微小的软弱面及孔隙,它包括矿物的节理、晶格缺陷、晶粒边界、微裂隙和晶粒孔隙等。通常,岩石中的微结构面很小,但是它们对岩石工程性质的影响却很大。首先,微结构面的存在大大降低岩石的强度,这是由于这些缺陷的存在,容易造成裂隙末端的应力集中,导致裂隙沿末端继续扩展,使岩石的强度降低;其次,缺陷能够增大岩石的变形(仅限于围压较低时),当围压较高时,微裂隙等缺陷将会受压闭合,其影响相对减弱。