



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

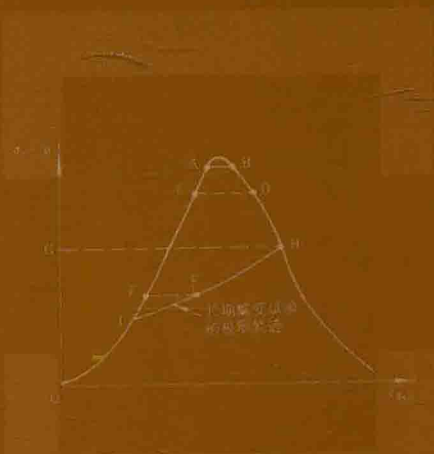
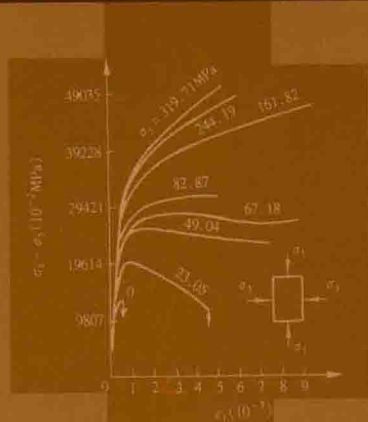
# 岩体力学

YANTILIXUE

沈明荣 陈建峰 编著

(第二版)

SHENMINGRONG CHENJIANFENG BIANZHU



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

岩体  
力学  
YANTILIXUE  
(第二版)

ISBN 978-7-5608-5903-3



9 787560 859033 >

定价: 36.00 元



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 岩体力学

(第二版)

沈明荣 陈建峰 编著



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

## 内 容 提 要

本书共分 10 章,主要介绍岩石的基本物理力学性质、岩体的动力学性质、岩体的基本力学性质、工程岩体分类、岩体的初始应力状态,以及岩体力学在洞室工程、边坡工程和岩基工程中的应用、岩体力学数值分析方法及研究展望等内容;附录部分为岩体力学室内试验指导书。

本书在 2006 版本的基础上进行了修订,增加了近年来岩体力学研究的新成果。本书侧重于岩体力学的基本理论和方法,其内容由浅入深、推理严谨、层次清晰,并附有相关的思考题和习题,也便于读者自学。

本书可作为高等院校土木工程、地质工程、采矿工程、水利工程、交通工程等专业本科生的专业基础课教材,也可作为相关专业教师、研究生和工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

岩体力学/沈明荣,陈建峰编著.--2 版.--上海:  
同济大学出版社,2015.8  
ISBN 978-7-5608-5903-3

I. 岩… II. ①沈… ②陈… III. 岩体力学—高等学校—教材 IV. TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 172964 号

---

---

## 岩体力学(第二版)

沈明荣 陈建峰 编著

责任编辑 高晓辉 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)  
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏句容排印厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 17.25

印 数 1—2100

字 数 430000

版 次 2015 年 8 月第 2 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5903-3

---

定 价 36.00 元

# 前 言

岩体力学是一门介于工程地质学与力学两门学科的边缘学科,在土木工程、地质工程、采矿工程、水利工程、交通工程等领域中都得到了广泛的应用。几十年来,随着国内外岩体工程建设项目不断增多,以及工程规模和复杂程度的不断加大,岩体力学的研究工作得到了飞速发展,取得了丰硕的实践经验和显著的理论成果。这些研究成果为本书的编写提供了丰富的素材,同时也为本书中所叙述的相关理论提供了重要依据。

本书是在同济大学多年教学实践和 2006 年编写的版本基础上加以修订的。本书系统介绍了岩体力学的基本理论以及相应的试验方法,阐述了岩体力学在洞室工程、边坡工程和岩基工程中的应用理论和分析方法。全书共有 10 章和 1 个附录,主要内容分为三大部分:第一部分主要介绍岩石和岩体的基本概念、岩石和岩体的基本物理力学性质(第 1—4 章);第二部分主要介绍工程岩体的分类和岩体的初始应力状态(第 5,6 章);第三部分主要介绍岩体力学在洞室工程、边坡工程和岩基工程中的应用、岩体力学数值分析方法及研究展望(第 7—10 章)。本次修订的主要原则是增加近几年来岩体力学研究的新成果,重新梳理本书内容,使其叙述更为简洁明了。为使学生加深对岩体力学基本理论的认识和理解,与理论课程配套同时开展一系列岩体力学室内试验。附录为岩体力学室内试验指导书。

本书由同济大学沈明荣教授、陈建峰教授编写。第 1,2,4,5,7 章由沈明荣执笔;第 3,6,8,9,10 章和附录由陈建峰执笔。全书由陈建峰统稿。

在此衷心感谢同济大学孔宪立教授和程鸿鑫教授对本书编写所给予的支持和帮助,并同时感谢对本书提出宝贵意见的兄弟院校的老师 and 同学们。

限于作者水平,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评、指正。

编者

2015 年 7 月

# 第一版前言

岩体力学是一门介于地学与力学两门学科之间的边缘学科,在土木工程、地质工程、采矿工程、水利工程、交通工程等领域中得到了广泛应用。几十年来,随着国内外岩体工程的不断增多,以及工程规模和复杂程度的不断加大,使岩体力学的研究工作得到了飞速的发展,取得了丰富的实践经验和显著的理论成果。这些成就为本书的编写提供了丰富的材料。

本书是在同济大学多年来的教学实践和原有教材的基础上编写的。本书系统地阐述了岩体力学的基本理论和方法,叙述了岩体力学在洞室工程、边坡工程和岩基工程中的应用理论和分析方法。本书主要分为三大部分:第一部分介绍了岩石与岩体的基本概念、岩石的基本物理力学性质(第一、二章);第二部分介绍了岩体动力学性质、岩体的基本力学性质、工程岩体的分类、岩体的初始应力状态(第三、四、五、六章);第三部分介绍了岩体力学在洞室工程、边坡工程和岩基工程中的应用、岩体力学数值分析方法及研究展望(第七、八、九、十章);为使学生加深对岩体力学基本理论的认识和理解,需做一系列岩体力学室内试验,故附录部分为岩体力学室内试验指导书。

本书由同济大学沈明荣教授、陈建峰副教授编著。第一、二、四、五、七章由沈明荣执笔;第三、六、八、九、十章和附录由陈建峰执笔。全书由沈明荣统稿。

作者衷心地感谢同济大学孔宪立教授和程鸿鑫教授对本书编写所给予的支持和帮助,同时感谢对本书提出宝贵意见的兄弟院校的教师和学生。

限于作者水平,书中如有错误和不妥之处,恳请读者批评、指正。

编者

2006年3月

## 符号说明

各种符号都在其出现时加以定义,各符号的单位标注在其定义后的括号里。以下列出了本书常用的符号。

$A$ ——截面面积。

$a, b$ ——分别为基础的长度和宽度。

$BQ$ ——岩体基本质量指标。

$c, \phi$ ——分别表示岩石的内聚力和内摩擦角。

$c_j, \phi_j$ ——分别表示结构面的内聚力和内摩擦角。

$E, E_d$ ——分别表示岩石的静态弹性模量和动态弹性模量。

$E_{50}$ ——相当于岩石单轴抗压强度 50% 时的应力值对应的割线弹性模量。

$e_1, e_2$ ——梯形分布的侧向围岩压力。

$e$ ——孔隙比。

$f$ ——摩擦系数;或岩石的坚固系数。

$G, G_d$ ——分别表示洞室的岩石的静态剪切模量和动态剪切模量。

$H$ ——洞室的埋深;或边坡的坡高。

$h$ ——洞室的高度;有时也表示水头高度。

$I_{d2}$ ——岩石(二次循环)耐崩解性指数。

$I_s, I_{s(50)}$ ——分别为未经修正的岩石点荷载强度和经尺寸修正后的岩石点荷载强度。

$J_v$ ——岩体的体积裂隙数。

$JRC$ ——结构面的粗糙度系数。

$JCS$ ——结构面的面壁强度。

$K$ ——边坡或岩基的稳定性系数;有时也用于表示各类修正系数和渗透系数。

$K_v$ ——岩体的完整性指数。

$k$ ——刚度系数。

$m, m_s$ ——分别为岩石和岩石固体的质量。

$N$ ——承载力系数。

$p_0$ ——岩体的初始应力。

$q$ ——作用于洞室顶部的围岩压力。

$R_c, R_t$ ——分别表示岩石的单轴抗压强度和抗拉强度。

$R_w, R_d$ ——分别表示岩石饱和和烘干状态下的单轴抗压强度。

$RQD$ ——岩石的质量指标。

$r$ ——岩体中任意一点离洞室中心轴的距离。

$r_a$ ——洞室的开挖半径。

$s$ ——基础的沉降量。

$u, v$ ——分别表示洞室围岩的径向位移和切向位移。

$v_p, v_s$ ——分别表示纵波波速和横波波速。

$V, V_s, V_v$ ——分别表示岩石的体积、岩石中固体的体积和孔隙的体积。

$V_H, V_D, V_{HP}$ ——分别表示岩石轴向自由膨胀率、径向自由膨胀率和侧向约束膨胀率。

$w, w_a, w_{sa}$ ——分别为岩石的含水率、吸水率和饱和吸水率。

$\beta$ ——结构面与最大主应力作用面的夹角;或破坏面与最大主应力作用面的夹角。

$\rho, \rho_d, \rho_{sa}$ ——分别表示岩石的天然密度、干密度和饱和密度。

$\rho_w$ ——水的密度。

$\rho_{WT}$ ——与试验温度同温度的试液密度。

$\delta$ ——结构面的法向位移。

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ ——分别表示最大主应变、中主应变和最小主应变。

$\epsilon_V$ ——体积应变。

$\dot{\epsilon}$ ——应变速率。

$\eta$ ——岩石的黏滞系数;有时也用于表示岩石的软化系数。

$\theta$ ——方位角;有时也用于表示体积应变。

$\lambda$ ——侧压力系数;有时也用于表示拉梅常数。

$\mu, \mu_d$ ——分别表示岩石的静态和动态泊松比。

$\mu_{50}$ ——相当于岩石单轴抗压强度 50% 时的应力值对应的泊松比。

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——分别表示最大主应力、中主应力和最小主应力。

$\sigma_c, \sigma_t$ ——分别表示岩石单轴抗压强度和抗拉强度。

$\sigma_n, \tau_n$ ——分别表示正应力和剪应力。



# 目 录

前言	
第一版前言	
符号说明	
第 1 章 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 岩体力学的研究任务与内容	(3)
1.2.1 岩体的力学特征	(3)
1.2.2 岩体力学的研究任务	(3)
1.2.3 岩体力学的研究内容	(4)
1.3 岩体力学的研究方法	(5)
1.4 岩体力学在其他学科中的地位	(6)
1.4.1 地质学科在岩体力学中的作用	(6)
1.4.2 力学学科在岩体力学中的作用	(6)
1.5 岩体力学的发展简史	(7)
思考题及习题	(8)
第 2 章 岩石的基本物理力学性质	(9)
2.1 概述	(9)
2.2 岩石的基本物理性质	(9)
2.2.1 岩石的质量指标	(10)
2.2.2 岩石的孔隙性	(11)
2.2.3 岩石的水理性质	(12)
2.2.4 岩石的抗风化指标	(13)
2.2.5 岩石的其他特性	(16)
2.3 岩石的强度特性	(16)
2.3.1 岩石的单轴抗压强度	(17)
2.3.2 岩石的抗拉强度	(20)
2.3.3 岩石的抗剪强度	(23)
2.3.4 岩石在三向压缩应力作用下的强度	(24)
2.4 岩石的变形特性	(27)
2.4.1 岩石在单向压缩应力作用下的变形特性	(27)
2.4.2 岩石在三向压缩应力作用下的变形特性	(31)
2.4.3 岩石弹、塑性变形机理的微观分析	(33)
2.4.4 岩石的流变特性	(35)
2.4.5 岩石介质力学模型	(39)
2.5 岩石的强度理论	(43)

2.5.1	一点的应力状态	(43)
2.5.2	经典强度理论	(45)
2.5.3	莫尔强度理论	(45)
2.5.4	格里菲斯强度理论	(47)
2.5.5	经验强度判据	(49)
2.5.6	屈服准则	(50)
	思考题及习题	(51)
<b>第3章</b>	<b>岩体的动力学性质</b>	<b>(53)</b>
3.1	概述	(53)
3.2	岩体中应力波类型及传播	(53)
3.2.1	岩体中应力波类型	(53)
3.2.2	岩体中弹性波的传播	(54)
3.2.3	岩体弹性波速度的测试	(56)
3.3	影响岩体弹性波速度的因素	(59)
3.3.1	岩石种类、密度及其生成年代	(59)
3.3.2	岩体中裂隙或夹层	(60)
3.3.3	岩体的有效孔隙率及吸水率	(61)
3.3.4	岩体的各向异性	(61)
3.3.5	岩体的受力状态	(63)
	思考题及习题	(65)
<b>第4章</b>	<b>岩体的基本力学性能</b>	<b>(66)</b>
4.1	概述	(66)
4.2	岩体结构面的分析	(66)
4.2.1	描述结构面特征的基本参数	(66)
4.2.2	结构面的分类	(68)
4.2.3	岩体破碎程度的分类	(70)
4.3	结构面的变形特性	(72)
4.3.1	结构面的法向变形特性	(72)
4.3.2	结构面的剪切位移特性	(75)
4.4	结构面的剪切强度特性	(78)
4.4.1	结构面的面摩擦效应	(78)
4.4.2	结构面的楔效应摩擦	(79)
4.4.3	结构面的转动摩擦效应	(83)
4.4.4	结构面的滚动摩擦效应	(86)
4.4.5	结构面强度的尺寸效应	(86)
4.5	结构面的力学效应	(88)
4.5.1	单节理的力学效应	(88)
4.5.2	多节理的力学效应	(90)
4.6	碎块岩体的破坏	(91)
4.6.1	沿节理面产生的破坏	(91)

4.6.2	岩块-节理破坏 .....	(94)
4.7	岩体的应力-应变分析 .....	(95)
4.7.1	岩体的应力-应变曲线 .....	(95)
4.7.2	岩体的变形模量 .....	(96)
4.8	岩体力学性能的现场测试 .....	(98)
4.8.1	岩体的变形试验 .....	(99)
4.8.2	现场岩体直剪试验 .....	(103)
4.8.3	现场岩体三轴强度试验 .....	(105)
	思考题及习题 .....	(106)
<b>第5章</b>	<b>工程岩体分类</b> .....	(109)
5.1	概述 .....	(109)
5.2	工程岩体分类的目的与原则 .....	(109)
5.2.1	工程岩体分类的目的 .....	(109)
5.2.2	工程岩体分类的原则 .....	(110)
5.2.3	工程岩体分类的独立因素分析 .....	(110)
5.3	工程岩体代表性分类简介 .....	(111)
5.3.1	按岩石的单轴抗压强度分类 .....	(112)
5.3.2	按巷道岩石稳定性分类 .....	(113)
5.3.3	按岩体完整性分类 .....	(114)
5.3.4	按岩体综合指标分类 .....	(115)
5.4	我国工程岩体分级标准 .....	(120)
5.4.1	工程岩体分级的基本方法 .....	(120)
5.4.2	工程岩体分级标准的应用 .....	(126)
	思考题及习题 .....	(128)
<b>第6章</b>	<b>岩体的初始应力状态</b> .....	(129)
6.1	概述 .....	(129)
6.2	岩体初始应力场及其影响因素 .....	(129)
6.2.1	岩体自重应力场 .....	(129)
6.2.2	岩体构造应力场 .....	(130)
6.2.3	影响岩体初始应力状态的因素 .....	(132)
6.3	岩体初始应力场的分布规律 .....	(133)
6.4	岩体初始应力的测量方法 .....	(136)
6.4.1	水压致裂法 .....	(137)
6.4.2	应力解除法 .....	(139)
6.4.3	声发射法 .....	(143)
6.4.4	应力恢复法 .....	(144)
6.5	高地应力地区主要岩体力学问题 .....	(146)
6.5.1	研究高地应力问题的必要性 .....	(146)
6.5.2	高地应力现象和判别准则 .....	(146)
6.5.3	岩爆及其防治措施 .....	(148)

思考题及习题	151
<b>第 7 章 岩体力学在洞室工程中的应用</b>	152
7.1 概述	152
7.2 深埋圆形洞室弹性分布的二次应力状态	153
7.2.1 $\lambda=1$ 时深埋圆形洞室的二次应力状态	153
7.2.2 $\lambda \neq 1$ 时深埋圆形洞室的二次应力状态	158
7.2.3 深埋椭圆形洞室的二次应力状态	160
7.2.4 深埋矩形洞室的二次应力状态	162
7.3 深埋圆形洞室弹塑性分布的二次应力状态	163
7.3.1 塑性区内的应力计算	163
7.3.2 塑性区半径的计算	165
7.3.3 塑性圈半径处的应力计算	166
7.3.4 塑性区的位移	166
7.3.5 弹性区的应力和位移计算	168
7.3.6 深埋圆形洞室弹塑性分布二次应力状态小结	169
7.4 节理岩体中深埋圆形洞室的剪裂区及应力分析	169
7.4.1 剪裂区分析的基本假设条件	170
7.4.2 剪裂区内的应力计算	170
7.4.3 剪裂区范围的计算	171
7.5 围岩压力	173
7.5.1 围岩压力的基本概念	173
7.5.2 水平洞室围岩的主要破坏形式	173
7.5.3 围岩压力分类	176
7.5.4 影响围岩压力的因素	178
7.6 围岩的松动压力计算	180
7.6.1 浅埋洞室围岩松动压力计算	180
7.6.2 深埋洞室围岩松动压力计算	186
7.6.3 塑性松动压力的计算	188
7.7 围岩的塑性变形压力计算	190
7.7.1 芬纳公式	190
7.7.2 卡斯特纳尔公式	191
7.8 新奥法简介	192
思考题及习题	194
<b>第 8 章 岩体力学在边坡工程中的应用</b>	196
8.1 概述	196
8.2 边坡岩体中应力分布特征	197
8.2.1 应力分布特征	197
8.2.2 影响边坡应力分布的因素	198
8.3 边坡岩体的变形与破坏	199
8.3.1 边坡岩体的变形	199

8.3.2	边坡岩体的破坏 .....	(200)
8.4	边坡稳定性分析 .....	(202)
8.4.1	单一平面滑动法 .....	(203)
8.4.2	折线滑动法 .....	(205)
8.4.3	萨马法 .....	(206)
8.4.4	简布法 .....	(208)
8.4.5	三维楔形体法 .....	(209)
8.5	岩质边坡的加固措施 .....	(210)
8.5.1	排水措施 .....	(210)
8.5.2	刷方减重 .....	(211)
8.5.3	支挡措施 .....	(212)
	思考题及习题 .....	(213)
<b>第9章</b>	<b>岩体力学在岩基工程中的应用 .....</b>	<b>(214)</b>
9.1	概述 .....	(214)
9.2	岩基上的基础形式 .....	(214)
9.2.1	直接利用岩基 .....	(214)
9.2.2	锚杆基础 .....	(215)
9.2.3	嵌岩桩基础 .....	(215)
9.3	岩基上基础的沉降 .....	(216)
9.3.1	圆形基础的沉降 .....	(216)
9.3.2	矩形基础的沉降 .....	(217)
9.4	岩基的承载力 .....	(218)
9.4.1	岩基破坏模式 .....	(218)
9.4.2	岩基承载力确定 .....	(219)
9.5	坝基岩体的抗滑稳定性 .....	(223)
9.5.1	坝基岩体承受的荷载分析 .....	(223)
9.5.2	坝基岩体的破坏模式 .....	(224)
9.5.3	坝基岩体抗滑稳定性计算 .....	(226)
9.6	岩基的加固措施 .....	(229)
	思考题及习题 .....	(230)
<b>第10章</b>	<b>岩体力学数值分析方法及研究展望 .....</b>	<b>(232)</b>
10.1	岩体力学数值分析方法 .....	(232)
10.1.1	有限元法 .....	(232)
10.1.2	边界元法 .....	(235)
10.1.3	有限差分法 .....	(236)
10.1.4	离散元法 .....	(237)
10.1.5	数值流形方法 .....	(237)
10.1.6	位移反分析法 .....	(238)
10.2	岩体力学研究展望 .....	(239)
10.2.1	岩体非线性本构理论 .....	(239)

10.2.2	细观岩体力学	(240)
10.2.3	岩体计算力学	(240)
10.2.4	耦合岩体力学	(241)
10.2.5	非连续岩体力学	(241)
10.2.6	深部开采的岩体力学研究	(241)
10.2.7	岩体力学与环境	(242)
10.2.8	核废料处理	(242)
<b>附录</b>	<b>岩体力学室内试验指导书</b>	(244)
试验一	块体密度试验	(244)
试验二	单轴抗压强度试验	(247)
试验三	抗拉强度试验	(249)
试验四	单轴压缩变形试验	(251)
试验五	三轴压缩强度试验	(254)
试验六	结构面直剪试验	(256)
试验七	岩块声波试验	(259)
<b>参考文献</b>		(262)

# 第 1 章 绪 论

岩体力学(Rock Mass Mechanics)是研究岩石和岩体力学性能的理论及其应用的科学,是探讨岩石和岩体在其周围物理环境(应力场、温度场、地下水等)发生变化后,做出响应的一门力学分支。这是 20 世纪六七十年代给出的有关岩体力学的定义。从该定义可知,作为一门专业基础力学学科,岩体力学具有以下的特点:岩体力学研究的对象不仅是岩石,还有更为复杂的含有结构面的岩体;由于岩石与岩体存在于自然界中,将受到应力场、温度场、地下水等地质赋存条件所给予的影响,进一步加大了其研究的难度;而岩体力学所研究的对象又与岩石工程的建设有着紧密的联系,正是由于岩石工程的开挖改变了岩体的应力和应变状态,影响了工程岩体的稳定性;此外,岩石工程建设中将会遇到各种新问题,这将成为岩体力学发展的原动力。岩体力学的原名是岩石力学(Rock Mechanics),由于科学技术的发展,岩石与岩体已有严格的区分,因而将岩石力学改为岩体力学更切合实际。但是,岩石力学这个名词沿用已久,且使用很普遍,在许多研究岩体力学问题的著作中,都称其为“岩石力学”,包括世界各国研究岩体力学的协会也采用岩石力学这个名词。因而岩石力学一词又可理解为“广义的‘岩石力学’”,但其实质应该称为“岩体力学”。

## 1.1 概述

地球体的表层称为地壳,它的上部最基本的物质是由岩石所构成,人类的一切生活和生产实践活动,都局限在这地壳的最表层范围内,因而岩石和由岩石派生出来的土构成了人类生存的物质基础以及生活和生产实践活动的环境。

岩石是由矿物或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、结构与构造特征。所谓矿物,是指存在于地壳中的具有一定化学成分和物理性质的自然元素和化合物,其中构成岩石的矿物称其为造岩矿物,如常见的石英( $\text{SiO}_2$ )、正长石( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )、方解石( $\text{CaCO}_3$ )等,它们绝大部分是结晶质的。所谓岩石的结构,是指组成岩石最主要的物质成分、颗粒大小和形状以及其相互结合的情况。例如,沉积岩内存在有碎屑结构、泥质结构和生物结构等结构特征。所谓岩石的构造,是指组成岩石的成分在空间分布及其相互间的排列关系。例如,作为代表性构造的有沉积岩的层理构造和变质岩中的片理构造等。岩石中的矿物成分和性质、结构、构造等的存在和变化,都会对岩石的物理力学性质发生影响。

按岩石的成因可将其分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

岩浆岩是岩浆冷凝而形成的岩石。绝大多数的岩浆岩是由结晶矿物所组成,由非结晶矿物组成的岩石是很少的。由于组成岩浆岩的各种矿物的化学成分和物理性质较为稳定,它们之间的联结是牢固的,因此,岩浆岩通常具有较高的力学强度和均质性。

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,组成沉积岩的主要物质成分为颗粒和胶结物。颗粒包括各种不同形状及大小的岩屑及某些矿物。胶结物常见的成分为钙质、硅质、铁质以及

泥质等。沉积岩的物理力学特性不仅与矿物和岩屑的成分有关,而且与胶结物的性质也有很大的关系,例如硅质、钙质胶结的沉积岩胶结强度较大,而泥质胶结的沉积岩和一些黏土岩强度就较小。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不同的力学性能。

变质岩是由岩浆岩、沉积岩和变质岩在地壳中受到高温、高压及化学活动性流体的影响下发生变质而形成的岩石。它在矿物成分、结构构造上具有变质过程中所产生的特征,也常常残留有原岩的某些特点。因此,变质岩的物理力学性能不仅与原岩的性质有关,而且与变质作用的性质及变质程度有关。

岩石的物理力学性能的指标是在试验室里用一定规格的试件进行试验而测定的。这种岩石试件是在钻孔中获取的岩心或是在工程中用爆破以及其他方法所获得的岩块经加工而制成的。用这种方法所采集的标本仅仅是自然地质体中间的岩石小块,称为岩块。岩块就成了相应岩石的代表。我们平时所称的岩石,在一定程度上都是指的岩块,因此,这两个概念也就不必严格地加以区分了。因为岩块的体积相对比较较小,一般不包含有显著结构面,所以在力学分析时通常都把它作为连续介质及均质体来处理。

在地壳的自然地质体中,除了岩石块为主要组成部分外,还含有各种节理、裂隙、孔隙、孔洞等,这些自然地质体经历了漫长的地质历史过程,经受过各种地质作用。在地质赋存条件的长期作用下,地质体内部保留了各种各样的永久变形的现象和地质构造形迹,使地质体内部存在着各种各样的地质界面,如不整合、褶皱、断层、层理、片理、劈理和节理等。因而自然地质体中所包含的内容比原岩石块要广泛得多。在岩体力学中,通常将在一定工程范围内的自然地质体称为岩体。这就是说,岩体的概念是与工程联系起来的。岩体内存在各种各样的节理裂隙称为结构面。所谓结构面,在岩体力学中通常是指具有极低的或没有抗拉强度的不连续面,包括一切地质分离面。结构面的定义突出其在力学上的特征,很明确地描述了它的特征,使得人们对它的认识有着鲜明的特点。被结构面切割成的岩块称为结构体,结构面与结构体组成岩体的结构单元。结构面的存在使岩体具有不连续性,因而,这类岩体被称为不连续岩体,也被称为节理岩体。从力学特性方面分析,结构面是岩体中相对比较软弱的面,由于它的存在,增加了岩体中应力分布及受力变形的复杂性。同时,还降低了岩体的力学强度和稳定性能。由此可见,岩体是由岩石块和各种各样的结构面共同组成的综合体。对岩体的强度和稳定性能起作用的不仅是岩块,而是岩块与结构面的综合体,在大多数情况下,结构面所起的作用更大。许多工程实践表明,在某些岩石强度很高的洞室工程、岩基或岩质边坡工程中,发生大规模的变形破坏,甚至崩塌、滑坡,分析其原因,往往不是岩石强度不够,而是岩体中结构面的存在大大地削弱了岩体整体强度,导致稳定性的降低,在很多情况下将沿着结构面发生破坏,使得结构面的力学特性控制着岩体的稳定性。可见岩石与岩体是既有联系又有区别的两个概念。

结构面是岩体内的主要组成单元,岩体的好坏,与结构面的分布特征、结构面形成的性质和其力学特性有着密切关系。特别是结构面的产状、发育程度、延展性、粗糙度、胶结程度、充填物的性质等,都是评定岩体强度和稳定性能的重要依据。

岩体结构是指结构面的发育程度及其组合关系,或者是指结构体的规模、形态及其排列形式所表现的空间形态。岩体结构的两大要素是结构体和结构面。岩体结构通常采用定性的方法描述其基本特征。中科院地质研究所在 20 世纪 60 年代提出了他们的研究成果:岩体结构分类。该研究成果是从工程地质学的观点出发,描述了岩体被结构面切割后



的形态特征,是对岩体完整性的一种定性的评价,是一种工程岩体的分类的应用,该成果为我国岩体分类提供了强有力的支持。岩体结构分类将岩体结构分成六大类型:块状结构(节理少,层厚);镶嵌结构(结构面较多,有斜交结构面);碎裂结构(碎块状);层状结构(板状);层状碎裂结构(小碎块体);散体结构(颗粒状,碎屑状)。详见第5章工程岩体分类中的相关内容。

## 1.2 岩体力学的研究任务与内容

### 1.2.1 岩体的力学特征

岩体力学的研究对象是岩体,它包括岩石和结构面。因此,在力学性质上,岩体具有以下特征:

(1) 不连续性。岩体的不连续性主要受结构面对岩体结构的隔断性质所控制,因而岩体多数是属不连续介质,而岩石本身从其几何尺度上分析,则可作为连续介质看待。

(2) 各向异性。由于岩体中结构面有优先位向排列的趋势,随着受力岩体的结构取向不同,其力学性质也各异。实验表明,岩体的强度和变形都是与岩体结构的方向性有关。因此,岩体力学的性质通常具有各向异性的特征,层状岩体是最突出的实例。

(3) 不均匀性。岩体中结构面的方向、分布、密度及被结构面切割成的岩石块单元体(结构体)的大小、形状和镶嵌情况等各部位都很不一致,造成许多岩体具有不均匀性的特征。此外,岩石性质的不同也是不均匀特征的主要表现。

(4) 赋存地质因子特性。岩体处于一定的地质环境中,其赋存有不同于自重应力场的构造应力场、水、气、温度以及地质遗留的形迹等。这些赋存地质因子都将影响岩体的工程性质。

(5) 残余强度特性。在前期的地质构造作用下,岩体中产生了褶皱、断层、软弱夹层、剪切节理等,这些都是岩体遭受一次或者多次破坏后遗留下的构造形迹,因此,可以说岩体的强度本质上是一个残余强度。

### 1.2.2 岩体力学的研究任务

岩体力学的研究任务主要有以下四个方面:

(1) 基本原理方面。包括岩石和岩体的地质力学模型和本构规律,岩石和岩体的连续介质和不连续介质力学原理,岩石和岩体的破坏、断裂、蠕变、损伤的机理及其力学原理,岩石和岩体计算力学。随着经济建设不断地发展,深部岩体工程的开发和利用日趋增加,要求按照深部岩体的力学规律研究相关的基本原理,这是近几年来新的研究课题。

(2) 试验方面。包括室内和现场的岩石和岩体的力学试验原理、内容和方法;岩体工程的模型试验;动静荷载作用下的岩石和岩体力学性能响应,各项岩石和岩体物理力学性质指标的统计和分析;试验设备与技术的改进等。

(3) 实际工程应用方面。包括地下工程、采矿工程、地基工程、斜坡工程、岩石破碎和爆破工程、地震工程、地学、岩体加固等方面的应用。

(4) 监测方面。在室内或工程现场量测岩石、岩体应力和变形变化、蠕变、断裂、岩石和岩体的损伤及其各自随时间变化的特性,以便评价岩体的承载能力和稳定性,或者反演预测各项