

ROCK MECHANICS

岩体力学

凌贤长 蔡德所 编著

哈尔滨工业大学出版社

岩体力学

ROCK MECHANICS

凌贤长 蔡德所 编著

哈尔滨工业大学出版社

·哈尔滨·

内 容 提 要

本书以岩体工程为应用背景,在系统归纳岩体力学基本理论和基本概念基础上,详细阐述了近 30 年来岩体力学在工程中应用研究的主要成果及其工作方法。具体内容包括岩石物理性质、岩体形成、岩体结构、岩石变形特性、岩体变形与强度、岩体强度理论、地下硐室围岩力学计算与稳定性分析、斜坡危岩体稳定性分析及坝基岩体应力计算与稳定性分析等。

本书内容覆盖了土木与水利的诸多学科及工程应用领域,既可以作为岩土工程、地下(隧道)工程、交通土建工程、边坡工程、国防与人防工程、地震与防护工程、水利水电工程及矿山建筑与采矿工程等科技人员的技术参考书,也可以作为高等院校相关专业研究生的教学参考书和本科生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

岩体力学/凌贤长编著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2002.6

ISBN 7-5603-1623-9

I. 岩… II. 凌… III. 岩体力学 IV. TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 013363 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006
传 真 0451—6414749
印 刷 地矿部黑龙江测绘印制中心印刷厂
开 本 787×960 1/16 印张 24 字数 470 千字
版 次 2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-1623-9/TU·24
印 数 1~3 000
定 价 29.00 元

前 言

在工程岩土力学中,岩体力学虽然只有半个多世纪的发展历史,但是其研究工作一直十分活跃,尤其近 30 年来岩体力学在工程中的应用研究倍受国内外学术界的重视,在各种岩体工程领域中的应用日臻广泛与深入,并已取得了长足的进展。本书以岩体工程作为应用背景,在系统归纳岩体的结构、变形及强度等方面的基本理论和基本概念基础上,详细阐述了近 30 年来岩体力学在工程中应用研究的主要成果及其工作方法,并适当介绍了岩石物理性质、岩体形成及学科研究现状与发展趋势。

全书共分十章。第一章为绪论,第二章为岩石物理性质,第三章为岩体形成,第四章为岩体结构,第五章为岩石变形特性,第六章为岩体变形及强度,第七章为岩体强度理论,第八章为地下硐室围岩力学计算及稳定性分析,第九章为斜坡危岩体稳定性分析,第十章为坝基岩体应力计算及稳定性分析。此外,考虑教学特点及自学需要,本书编写十分注重行文的逻辑性及处理问题的思路,图文并茂,大部分公式均有较详细的推导过程,内容及章节安排独成体系。本书既可以作为岩土工程、地下(隧道)工程、交通土建工程、边坡工程、国防与人防工程、地震与防护工程、水利水电工程及矿山建筑与采矿工程等技术人员的技术参考书,也可以作为高等院校相关专业研究生的教学参考书和本科生的教材。

在本书编写过程中,参阅了国内外相关专业的大量文献资料,在此谨向所有论著的作者表示由衷的感谢。

由于水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正!

作 者

2002 年元月于哈尔滨

目 录

第一章 绪论

§ 1.1 岩体力学与工程实践	(1)
§ 1.2 岩体力学研究历史回顾	(2)
1.2.1 连续介质岩石力学阶段	(2)
1.2.2 裂隙岩体力学阶段	(2)
1.2.3 岩体结构力学阶段	(3)
1.2.4 地质工程岩体力学阶段	(3)
§ 1.3 岩体力学研究未来动向	(4)
§ 1.4 岩体力学研究内容	(5)
1.4.1 岩体地质属性	(5)
1.4.2 连续介质岩石材料变形特征	(6)
1.4.3 岩体变形及强度理论	(6)
1.4.4 岩体力学在工程中的应用	(6)
1.4.5 地应力研究在岩体工程中实践和应用	(7)
1.4.6 关于岩体力学的工程地质研究	(7)
1.4.7 岩石或岩体试验研究	(7)
1.4.8 岩体力学研究中的数值方法	(7)
§ 1.5 岩体力学研究方法	(7)
1.5.1 地质研究	(8)
1.5.2 试验与测试	(8)
1.5.3 力学分析	(8)
1.5.4 综合探讨	(8)
§ 1.6 岩体力学与其他学科关系	(9)

第二章 岩石物理性质

§ 2.1 岩石基本物理性质指标	(11)
2.1.1 容 重	(11)
2.1.2 密 度	(11)
2.1.3 比 重	(12)
2.1.4 空隙率	(12)

2.1.5	空隙指数	(13)
2.1.6	吸水率、饱水率及饱水系数	(14)
2.1.7	抗冻系数及质量损失率	(15)
§ 2.2	岩石水理性	(17)
2.2.1	渗透性	(17)
2.2.2	膨胀性及崩解性	(19)
2.2.3	软化性	(20)
§ 2.3	岩石热理性	(20)
2.3.1	体胀系数及线胀系数	(20)
2.3.2	热导率	(21)
2.3.3	地温梯度	(21)
2.3.4	热流密度	(21)
§ 2.4	岩石导电性及磁性	(22)
2.4.1	导电性	(22)
2.4.2	磁性	(23)
第三章 岩体形成		
§ 3.1	岩体形成建造过程	(24)
§ 3.2	岩体形成改造过程	(24)
§ 3.3	岩体赋存环境条件	(26)
3.3.1	地应力	(26)
3.3.2	地下水	(35)
3.3.3	地 热	(42)
第四章 岩体结构		
§ 4.1	结构面	(45)
4.1.1	结构面成因类型	(45)
4.1.2	软弱夹层	(46)
4.1.3	层间滑动面及其成因机制	(47)
4.1.4	结构面等级划分	(47)
4.1.5	结构面统计分析	(49)
§ 4.2	结构体	(52)
§ 4.3	岩体结构类型	(56)
4.3.1	整体块状结构	(56)
4.3.2	层状结构	(56)
4.3.3	碎裂结构	(57)
4.3.4	散体结构	(57)

§ 4.4 岩体地质模型	(57)
4.4.1 水平层状岩体	(58)
4.4.2 倾斜层状岩体	(58)
4.4.3 直立层状岩体	(58)
4.4.4 弯曲层状岩体	(58)
4.4.5 完整岩体	(59)
4.4.6 块状岩体	(59)
4.4.7 碎裂岩体	(59)
4.4.8 岩溶岩体	(59)
4.4.9 糜棱状岩体	(59)
第五章 岩石变形特性	
§ 5.1 岩石变形性质及破坏形式	(60)
5.1.1 岩石变形性质	(60)
5.1.2 岩石破坏形式	(62)
§ 5.2 岩石抗压强度	(63)
§ 5.3 岩石抗拉强度	(65)
§ 5.4 岩石抗剪强度	(67)
5.4.1 抗剪断强度	(68)
5.4.2 抗剪强度	(68)
5.4.3 抗切强度	(68)
§ 5.5 岩石在单轴压力作用下变形特征	(69)
5.5.1 变形阶段及特征应力	(69)
5.5.2 变形曲线基本型式、变形机制及变形模量	(71)
5.5.3 加荷条件对岩石变形及强度影响	(75)
§ 5.6 岩石在单轴拉力作用下的变形特征	(78)
§ 5.7 岩石在三轴应力作用下变形及强度	(81)
5.7.1 岩石在三轴等围压条件下变形及强度	(81)
5.7.2 岩石在三轴不等应力条件下变形及强度	(83)
5.7.3 应力途径对岩石变形及强度影响	(84)
5.7.4 温度对岩石变形及强度影响	(85)
§ 5.8 岩石变形时间效应	(85)
5.8.1 岩石蠕变及流动	(87)
5.8.2 岩石长期强度	(91)
5.8.3 岩石流变模型	(93)

第六章 岩体变形及强度

§ 6.1 岩体破坏形式	(107)
§ 6.2 岩体变形特征	(109)
6.2.1 岩体变形曲线及变形指标	(109)
6.2.2 岩体变形曲线类型及成因解释	(111)
6.2.3 岩体变形结构效应	(115)
6.2.4 岩体变形时间效应及变形本构方程	(124)
§ 6.3 结构面力学性质	(131)
6.3.1 结构面力学性质基本特点	(131)
6.3.2 平直光滑无充填物硬性结构面力学性质	(134)
6.3.3 起伏粗糙无充填物硬性结构面力学性质	(134)
6.3.4 断续结构面力学性质	(138)
6.3.5 具有充填物软弱结构面力学性质	(139)
6.3.6 结构面粘滑振荡	(141)
§ 6.4 岩体强度	(142)
6.4.1 均质岩体强度	(143)
6.4.2 非均质岩体强度	(144)
6.4.3 结构面产状强度效应	(148)
6.4.4 结构面密度强度效应	(154)
6.4.5 试件尺寸强度效应	(155)
6.4.6 环境围压力强度效应	(156)
6.4.7 孔隙水压力强度效应	(159)
§ 6.5 岩体力学性质综合分析	(162)
§ 6.6 岩体工程分类	(164)
6.6.1 岩石材料工程分类	(164)
6.6.2 岩体工程分类方案	(166)

第七章 岩体强度理论

§ 7.1 最大正应力强度理论	(169)
§ 7.2 最大正应变强度理论	(169)
§ 7.3 最大剪应力强度理论	(170)
§ 7.4 剪应变能强度理论	(171)
7.4.1 三向应力状态下形变能	(171)
7.4.2 单向受力条件下形变能	(172)
7.4.3 强度条件	(172)
§ 7.5 八面体应力强度理论	(173)

7.5.1 八面体剪应力	(173)
7.5.2 强度条件	(174)
7.5.3 强度条件几何意义	(175)
§ 7.6 莫尔强度理论	(176)
7.6.1 莫尔应力圆	(177)
7.6.2 莫尔强度准则	(178)
§ 7.7 格里菲斯强度理论	(181)
7.7.1 裂隙扩展能量准则	(181)
7.7.2 裂隙扩展应力准则	(182)
7.7.3 修正的格里菲斯强度理论	(187)
§ 7.8 霍克-布朗岩石破坏经验判据	(189)
§ 7.9 伦特堡岩石破坏经验判据	(190)
§ 7.10 库伦-纳维叶岩石破坏经验准则	(191)
习 题	(193)
第八章 地下硐室围岩力学计算及稳定性分析	
§ 8.1 岩体中初始地应力状态	(195)
8.1.1 自重应力	(195)
8.1.2 构造应力	(198)
8.1.3 初始地应力分布规律	(198)
§ 8.2 弹性岩体中水平圆形硐室围岩应力计算	(202)
8.2.1 三种初始地应力状态	(202)
8.2.2 静水压力式初始地应力条件下围岩应力计算	(203)
8.2.3 非均匀分布初始地应力条件下围岩应力计算	(205)
§ 8.3 弹性岩体中水平椭圆形硐室围岩应力计算	(208)
§ 8.4 弹性岩体中水平矩形硐室围岩应力分布	(210)
§ 8.5 弹性岩体中水平复式硐室围岩应力计算	(212)
§ 8.6 粘弹性岩体中水平圆形硐室围岩应力计算及变形特征	(214)
§ 8.7 有压隧硐围岩应力计算及稳定性分析	(220)
8.7.1 隧硐围岩及衬砌应力计算	(221)
8.7.2 围岩弹性抗力系数意义及其应用	(225)
8.7.3 围岩渗水条件下应力计算	(228)
8.7.4 隧硐围岩蠕变计算	(233)
8.7.5 隧硐围岩最小覆盖层厚度及稳定性分析	(235)
8.7.6 斜坡岩体中有压隧硐稳定性分析	(247)
§ 8.8 竖井围岩应力计算	(249)

§ 8.9 地下硐室围岩压力成因及影响因素	(253)
8.9.1 围岩压力成因	(253)
8.9.2 围岩压力影响因素	(255)
§ 8.10 地下硐室围岩压力及稳定性验算	(258)
8.10.1 完整而坚硬围岩压力及稳定性验算	(258)
8.10.2 水平层状围岩压力及稳定性验算	(259)
8.10.3 倾斜层状围岩压力及稳定性验算	(262)
§ 8.11 弹塑性理论计算围岩压力	(267)
8.11.1 围岩塑性变形区应力分析	(267)
8.11.2 芬纳公式	(270)
8.11.3 卡柯公式	(276)
§ 8.12 压力拱理论计算围岩压力	(279)
8.12.1 拱形及拱高	(279)
8.12.2 硐顶围岩压力	(281)
8.12.3 侧壁围岩压力	(282)
8.12.4 硐底围岩压力	(283)
8.12.5 压力拱承载力验算	(286)
8.12.6 压力拱理论评述	(288)
§ 8.13 太沙基理论计算围岩压力	(289)
§ 8.14 刚体平衡理论计算围岩压力	(291)
§ 8.15 应力传递原理计算浅埋硐室围岩压力	(296)
§ 8.16 粘弹性岩体强度时间效应	(298)
8.16.1 硐室围岩为线弹性体时强度特征	(300)
8.16.2 硐室围岩为粘弹性体时强度特征	(301)
8.16.3 围岩为粘弹性体时硐壁位移计算式子	(302)
习 题	(303)
第九章 斜坡危岩体稳定性分析	
§ 9.1 斜坡岩体中地应力特征	(306)
§ 9.2 斜坡岩体变形及破坏类型	(308)
9.2.1 岩体变形形式	(308)
9.2.2 岩体破坏类型	(308)
§ 9.3 平面问题斜坡危岩体稳定性分析	(311)
9.3.1 单一滑动面稳定性分析	(312)
9.3.2 双平面滑动稳定性分析	(318)
9.3.3 多结构面滑动稳定性分析	(325)

9.3.4 斜坡危岩体稳定性简易验算	(327)
§ 9.4 空间问题斜坡危岩体稳定性分析	(331)
习 题	(335)
第十章 坝基岩体应力计算及稳定性分析	
§ 10.1 坝基岩体中附加应力分布基本规律	(337)
10.1.1 竖向分布三角形荷载	(337)
10.1.2 水平分布三角形荷载	(338)
10.1.3 附加应力系数曲线	(338)
§ 10.2 坝基岩体承载力验算	(341)
10.2.1 倾斜荷载条件下承载力验算	(342)
10.2.2 竖向荷载条件下承载力验算	(344)
10.2.3 经验方法估算承载力	(345)
§ 10.3 坝基岩体抗滑稳定性分析	(345)
10.3.1 表层滑动稳定性分析	(345)
10.3.2 深层滑动稳定性分析	(348)
10.3.3 混合滑动稳定性分析	(353)
§ 10.4 拱坝坝肩岩体抗滑稳定性分析	(355)
10.4.1 坝肩岩体受力分析	(355)
10.4.2 坝肩岩体中存在竖向及水平软弱结构面抗滑稳定性分析	(356)
10.4.3 坝肩岩体中存在倾斜软弱结构面抗滑稳定性分析	(358)
10.4.4 拱梁法分析坝肩岩体抗滑稳定性	(360)
习 题	(362)
参考文献	(364)

第一章 绪 论

§ 1.1 岩体力学与工程实践

岩体力学是研究岩体在各种外荷载作用下的变形、破坏及稳定性等规律的应用基础学科。从广义上来说,岩体力学涉及许多学科及生产领域。例如,水利水电工程、矿山建筑与开发工程、交通土建工程、国防与人防工程、核电工程、地震与防护工程及地质构造等,各种学科研究及生产实践对岩体力学的需求及侧重点是不同的。可以归纳出两个方面,其一,是为各类建筑工程、采矿工程及地震防护工程等服务的岩体力学,称之为工程岩体力学,重点研究工程活动引起岩体中地应力场重分布,以及在这种重分布应力场作用下岩石地基、边坡及洞室的变形与稳定性,包括岩石的动力学特征;其二,是为构造地质学(含大地构造学)研究服务的岩体力学,重点探讨岩石圈运动、地壳变形与构造应力场关系,需要研究高温高压条件下岩石变形与破坏规律,以及与时间效应有关的岩石流变特性。

岩体力学是因工程实践的需要而发展起来的。早先,由于工程数量少、规模小、结构简单及场地条件好等,加之受限于当时的测试技术水平及较落后的经济状况,一般仅凭经验来解决岩体工程技术问题。所以,岩体力学的产生与发展远较土力学晚。后来,随着经济的不断加速发展,各种岩体工程规模越来越大、结构越来越复杂,所遇到的场地条件也越来越差,加之不少重大岩体工程事故经常发生,例如,美国圣弗朗西斯重力坝、中国青海关角铁路隧道、意大利瓦依昂大坝、加拿大亚当贝克水电站压力管道及日本关门铁路隧道等工程失败或失事的惨痛教训,使人们深刻意识到,为了选择良好场地及合理的设计方案和施工技术,防止重大事故发生,便于顺利施工,确保工程日后安全运营,必须加强有关工程方面的岩体力学理论及实验研究,把握岩体在外荷载作用下的变形、破坏及稳定性等发展规律。尤其是近 30 年来,岩体力学作为当今研究相当活跃的岩土工程三大基础学科(岩体力学、土力学及基础工程学)之一,取得了长足的进展。一些世纪性的大型或特大型工程,例如英吉利海底隧道、日本青函海底隧道、美国赫尔姆斯水电站地下厂房和鲍尔德水库重力大坝、巴西伊太普水电站、加拿大与美国边界上尼亚加拉水电站,以及中国葛州坝水利工程、新丰江水库、二滩水电站、三峡水利工程和小浪底水利工程等相继兴建,提出了许多岩体力学方面的棘手问题,而在工程的设计与施工中,这些岩体力学问题又往往具有决定性的作用。正是因为工程实践的需要为岩体力学的发展赋予了巨大的推动力,

目前其发展速度之快完全可以用“突飞猛进”来称道,国内外每年都举办为数众多的国际性、地区性、综合性、专题性的学术交流讨论会。据不完全统计,世界上每年公开发表的有关岩体力学方面的论著 3 500 多篇(部),探讨问题的深度和广度不断有新突破,资料及成果与日俱增。从所接触的大量文献资料来看,研究者对岩体力学的视野、认识及考虑问题侧重点不同,所采用的技术路线及学术思想便不同。当然,各人所取得的成果也就有异。也正是这样,丰富的研究成果、百家争鸣的学术氛围、广泛的解决问题途径及多样而不断改进的实验技术等促使该学科的发展更完善、更深入、更切合工程实际,并已发展成为一门独立的分支学科,且有其独立的理论体系、专项课题、实验手段,以及研究技术路线和方法。

§ 1.2 岩体力学研究历史回顾

岩体力学脱胎于工程地质学,是因岩体工程实践需要而产生与发展起来的。此外,岩体力学的发展尚受控于相关学科理论及实验技术水平,也与政府经济投入关系密切。纵观研究历史,岩体力学的发展可以归纳出四个阶段,即:①连续介质岩石力学阶段;②裂隙岩体力学阶段;③岩体结构力学阶段;④地质工程岩体力学阶段。值得一提的是,尽管岩体力学确实存在这四个发展阶段,但是作为一门学科的发展过程,则往往又很难从时间上对其阶段进行明确划分。

1.2.1 连续介质岩石力学阶段

二次世界大战之前至 20 世纪 60 年代为岩体力学的产生与早期发展阶段。在此阶段,人们仅简单地将岩体看作一种连续介质材料,利用固体力学理论进行岩体的力学特性分析,将岩体力学等同于材料力学,处理实际问题主要靠的是经验,往往效果较差。

1.2.2 裂隙岩体力学阶段

事实上,即使是在二次世界大战之后的早些时候,随着岩体工程建筑的不断发展,人们已开始意识到不少实际工程问题是不能用材料力学理论与方法来解决的。尤其是像马尔帕塞坝失事之类的惨痛教训,促使人们开始重视岩体中广泛发育的裂隙对岩体力学性质及变形、破坏与稳定性所产生的强烈影响,从而较注意对裂隙岩体力学特性的研究。大约在 20 世纪 60~70 年代,国际上正式将裂隙岩体的力学性质研究作为岩体力学的一个中心课题,并且提出了裂隙(碎裂)岩体力学概念,将岩体力学研究推向一个崭新的阶段,即裂隙岩体力学阶段,强调研究岩体力学特性时必须注意节理及断层等各种裂隙的影响,同时还得考虑地下水的作用(赋存于岩体裂隙中的地下水)。在这一阶段内,奥地利的 Sa lzburg 学派做了许多卓有成效的推动工作,L. Müller(1974)主编的《Rock Mechanics》文集基本汇集了这一阶段的主要研究课题、研究方法与技术路线。诚然,这个阶段的岩体力学研

究在力学方法上仍然没有摆脱连续介质力学方法,只不过是岩体的力学性质研究方面更重视尺寸效应(孙广忠,1988)。

1.2.3 岩体结构力学阶段

20 世纪 60 年代末,人们提出了“岩体结构”的概念,及至 70 年代中期“岩体结构”便在岩体力学研究中起指导作用,并且由此诞生了“岩体结构的力学效应”这一具有划时代意义的科研命题。众多实验结果及实际工程问题均揭示,岩体的工程力学性质及其变形、破坏和稳定性等均严格受控于岩体结构,存在多种地质模型和力学模型,岩体是由多种力学介质组成的复杂力学体系,并且认为结构力学的理论和方法是研究岩体力学的有效工具,所以可以用岩体结构力学来概括岩体力学(孙广忠,1982 ~ 1985)。岩体力学也因此进入了岩体结构力学发展阶段,“岩体结构控制论”是这一阶段岩体力学的理论基础。

1.2.4 地质工程岩体力学阶段

尽管岩体力学的近期发展速度越来越快(表现出加速发展趋势),但是仍然满足不了岩体工程实践的需求。随着各种大型或特大型岩体工程的兴建,例如大跨度高边坡地下硐室建筑、复杂场地条件下的隧道工程、500 m 以上的高边坡、超过 300 m 的高坝及跨海大桥或其他高架工程等,它们的规模、形状、分布及组合等变化很大,往往引出不少岩体力学问题,而要解决这些问题又涉及到很多地质问题,有时可能关系到面积超过十平方公里、深达几公里的地质体。所以说,而今的岩体力学必须密切地质研究工作,必须是多学科协同操作,方能有所作为。因此,使得岩体力学的发展进入地质工程岩体力学阶段,从而形成了较完整的岩体力学理论体系,并且有自己独到的科研思想方法、技术路线及实验手段等。

岩体力学研究在各国的发展很不平衡。欧洲一些国家,例如英国、奥地利、德国、法国及葡萄牙等国研究岩体力学起步很早、发展也很快。此外,意大利、瑞典及挪威等国也是研究岩体力学较多的国家,主要工作集中在 20 世纪 60 年代前后。其他东欧国家,例如前苏联、波兰及南斯拉夫等国于 50 ~ 70 年代在岩体力学方面做了很多研究工作,对岩体力学的发展做出了重要贡献。前苏联早期的岩体力学研究(借用连续介质力学理论)主要为矿山开采与建筑服务。美国、加拿大、澳大利亚等国均十分重视岩体力学研究,虽然它们的起步较早,但是主要工作还是集中在 60 ~ 80 年代。其中,美国早期的岩体力学研究均是集中在采矿方面。在南非,由于发达的矿业促使其在岩体力学方面做了许多很有成效的研究工作。日本在 60 ~ 70 年代结合土木建筑、交通工程、矿山开采、地震防护及建筑材料等方面做了大量的岩体力学研究,尤其是在岩石流变性能方面取得了不少成绩。印度也主要是在 60 ~ 70 年代结合水利工程对岩体力学做了不少富有成效的研究工作。中国在解放后至 1966 年之前,只有少数科研院所及产业部门比较重视岩体力学研究,工作主要集中在地质、水利水电及采矿等领域;十年动乱之后,尤其是进入 80 年代以

来,中国的岩体力学研究进入一个飞速发展的新时期,在数个领域,例如地质、水利水电、核电、交通、建筑、地震与其他灾害防护、环境及人防等方面均相继开展了多方位的岩体力学研究工作,取得了不少可喜的成绩。

§ 1.3 岩体力学研究未来动向

迄今为止,岩体力学有 60 多年的发展历史,然而尚属于一门较年青的、处于初级阶段的、百家争鸣状态的学科,虽然在不少方面已经取得了很大成就,但是仍然存在许多问题有待于进一步探究。只有占据学科前沿、把握学科动向、抓住学科重点开展研究,才能将岩体力学推向更深层次,使之走向成熟化。基于理论和实践两个方面考虑,并且注意到国内外学者所热衷关心的问题可以归纳出,岩体力学研究的未来动向集中表现于两个方面,即基本理论课题和技术开发课题。

基本理论课题中有许多方面需要深入探讨与研究,例如:①岩体力学性质、变形、强度及破坏等的结构效应;②关于岩体力学的水力学(岩体水力学);③岩体或岩石变形的流变学问题(岩石变形的时间效应);④考虑岩体的结构、赋存条件、工程类型与荷载性质、非连续性、加载方式与速率等研究岩体力学模型(本构关系);⑤研究岩石地基或围岩与构筑物及建筑物的相互作用,等等。技术开发课题主要包括各种条件下的岩体或岩石的测试技术、数据处理技术、施工技术、加固与改造技术等方面的开发研究,密切结合理论发展水平、工程实际需要及相关科技进程等。十多年前即已形成的以变形监测及观察反分析与岩体改造相结合的综合性岩体力学工作无疑仍将是未来的研究动向,可以称之为实用岩体力学的蕴酿。

岩体力学是因岩体工程实践需要而发展起来的应用力学的一个独立分支,具有很强的应用性。当今,岩体工程中的各种课题不断涌现,往往是老问题没有解决,新问题又接踵而至,例如大跨度高边墙的地下硐室或隧道建筑、300 m 以上的高坝构筑、近 1 000 m 的高边坡、特大型高架桥,以及高大油气储罐和矿山工程中的岩体力学问题。目前,岩体力学在工程上应用的重点已转向各种地下岩体工程。人们为进一步拓宽生存空间,尤其是现代城市向大规模集约化方向发展,纷纷发展许多地下岩体工程,在岩体中开挖地下硐室或利用天然溶洞修建地下工厂、储库、电站、商业网点、娱乐场所、交通干线及停车场等建筑已成为现今世界基本建设的发展时尚。这些地下隐蔽工程的规模、形状、分布及组合等变化多样,尤其是埋深较大的地下多层建筑的荷载之大也是空前的,可能使围岩中地应力场发生十分复杂的变化。在工程选址、设计、施工及运营等方面有许多问题亟待通过岩体力学研究来解决。所以,无论是解决岩体工程中的问题,还是学科自身发展的需要,今天和未来都应强调岩体力学在工程上的应用研究。然而,岩体力学研究成果在工程上应用又具有较大的风险性,要求不断总结以往工程应用的经验,探索前进。因此,人们越来越注意到这样的事实,岩体力学的发展与完善必须重视对众多已建岩体工程实例的分析与

归纳总结,加强现场判断研究,并且逐步建立便于推广应用的切合实际的专家系统。这样,岩体力学在工程上应用的经验总结及专家系统建立则是本学科一个重要的未来研究方向。

最后值得指出的是,长期以来,对岩体力学的研究绝大多数是从加载角度进行的(称之为“加载岩体力学”),而很少有人对岩体的力学性质做卸荷研究工作,所以有关这方面的文献资料十分缺乏。事实上,岩体工程的开挖虽然主要属于卸荷过程,但是局部地段(例如“角”部位)仍为加载过程,而岩体在加载与卸荷过程中所表现出的力学性质有本质区别。许多工程事例表明,现有加载岩体力学的研究成果与工程实测资料往往差别很大,甚至导致工程事故。这说明岩体的加载力学模型不能简单套搬用于岩体的卸荷过程研究。为此,哈秋龄(1998)建议,应该根据岩体工程中不同的应力动态及加载或卸荷的力学状态,分别应用加载岩体力学或卸荷岩体力学,方可取得较好的成果。所以,岩体工程实践已赋予了卸荷岩体力学较大的未来发展潜力。

§ 1.4 岩体力学研究内容

岩体力学的广泛应用性决定其研究内容是复杂多样的。但是,基于工程角度考虑,可以将岩体力学的研究内容总结与归纳为以下几个方面。

1.4.1 岩体地质属性

岩体是产于一定自然环境中的地质作用产物,岩体的成因、组成、结构、构造、生成时代、演化过程及其所赋存的环境条件等均强烈影响其工程力学性质,使之具有鲜明的地质属性,因此对岩体地质属性的认识是岩体力学研究的基础及前提。研究内容主要有:

- (1) 地质作用(包括建造及改造作用)与岩石形成。
- (2) 岩石组成物质成分。
- (3) 岩体结构。主要包括:
 - ① 结构面类型及成因;
 - ② 结构体特征;
 - ③ 岩体结构类型;
 - ④ 岩体结构对岩体变形类型、破坏机制及稳定性的影响。
- (4) 岩体地质模型建立。
- (5) 岩体赋存环境分析。主要包括:
 - ① 地质构造背景(变形体系、变形期次及变形演化等);
 - ② 地应力场;
 - ③ 环境温度及围压力;

④ 地下水(岩体水力学);

⑤ 地质环境对岩体工程力学性质的影响。

(6) 归纳岩体在自然条件下的变形规律及破坏特征,并且预测预报岩体在工程力作用下的变形、破坏及稳定性等。

1.4.2 连续介质岩石材料变形特征

从材料力学(固体力学)角度出发,将岩石作为连续介质分析其变形特征,这是岩体力学研究的重要基础之一,主要依靠岩石力学实验进行。研究内容主要有:

- (1) 岩石在单轴受压条件下变形性状;
- (2) 岩石在单轴受拉条件下变形性状;
- (3) 岩石在三轴应力条件下变形性状;
- (4) 岩石直剪变形性状;
- (5) 岩石的流变特征(变形的时间效应);
- (6) 环境温度、围压及流体对岩石变形与强度的影响。

1.4.3 岩体变形及强度理论

岩体变形特征是岩体力学研究的根本基础,岩体在外力作用下的变形与强度远比连续介质岩石材料复杂得多,原因在于岩石的变形及强度一方面取决于受力条件(包括荷载类型、加载方式、加载速率及受力面积等),另一方面还受岩体自身的结构特征及赋存环境条件较大影响。因此说,岩体变形及强度理论已成为岩体力学研究的核心,关系到本学科的发展及其应用于工程实践的前景。这方面的研究内容比较多,主要有:

- (1) 岩体变形特征;
- (2) 岩体变形结构效应;
- (3) 岩体变形本构方程;
- (4) 岩体结构面力学性质;
- (5) 岩体破坏机制与强度理论;
- (6) 环境温度、围压及流体等对岩体变形与强度的影响。

1.4.4 岩体力学在工程中的应用

岩体力学在工程中的应用是工程岩体力学研究的最终目的,工程实践的需要更是促使岩体力学向前发展的强大动力。但是,目前看来,岩体力学在工程中的应用研究并不很成熟,在不少方面仍然处于探索之中。研究内容主要有:

- (1) 地下硐室围岩应力、变形及稳定性分析;
- (2) 地下硐室围岩压力分析;