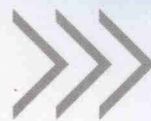


普通高等教育规划教材



岩石力学

YANSHI LIXUE



人民交通出版社
China Communications Press

普通高等教育规划教材

YANSHI LIXUE
岩石力学

赵明阶 主 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了岩石力学的基本原理和分析计算方法;包括绪论、应力与应变分析、岩石的物理性质、岩石的变形与强度特性、岩体的变形与强度特性、岩体天然应力场及其量测技术、工程岩体分级、地下洞室围岩应力及稳定性分析、地下洞室围岩压力分析与计算、岩石边坡的稳定性分析与计算、岩基应力计算与稳定性分析、岩石力学中的模型试验与数值模拟方法简介等共十二章,每章均附有思考题和习题,习题附有参考答案或提示。

本书主要作为高等学校土木工程、道路桥梁与渡河工程、水利水电工程、地质工程专业本科教材,也可供矿山、冶金、国防及环境等工程技术人员和从事相关专业工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩石力学/赵明阶主编. —北京:人民交通出版社, 2011.8
ISBN 978-7-114-09223-7

I. ①岩… II. ①赵… III. ①岩石力学 IV.
①TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 121520 号

普通高等教育规划教材

书 名: 岩石力学
著 作 者: 赵明阶
责任编辑: 张征宇 郭红蕊
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 59757969、59757973
总 经 销: 人民交通出版社发行部
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司
开 本: 787 × 1092 1/16
印 张: 16.5
字 数: 410 千字
版 次: 2011 年 8 月 第 1 版
印 次: 2011 年 8 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-09223-7
印 数: 0001 - 4000 册
定 价: 39.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

《岩石力学》是高等院校土木工程和水利工程等有关专业的一门重要课程,它也是一门理论性和实践性都很强的课程。近年来,随着我国科学技术和工程建设的迅猛发展,许多先进技术被引入到岩石工程设计与计算中,相关国家标准和行业规范也随之不断更新。为了适应岩石工程领域的科技进步和高等教育本科教学的要求,2006 年我们编写了《岩石力学》本科教材,该教材在重庆交通大学土木工程、水利水电工程、地质工程专业连续使用了五年。在使用过程中,先后基于任课教师和学生的意见和建议,对教材进行了三次修编。本次编写以该教材为基础,并对教材知识结构体系作了局部调整。

本教材主要按照土木工程、水利水电工程、地质工程专业的教学大纲编写,学时数在 48 学时左右。为了使本教材能更好地满足本科学生的教学要求,本教材在编写过程中,注重对岩石力学的基本概念、基本理论和基本研究方法的阐述,同时适当介绍岩石力学的最新研究成果和动向,除紧密结合现行规范和最新技术外,还吸收了近年来国内外出版的比较成熟的教科书及有关文献资料。在文字表述方面将力求简明扼要、深入浅出,既便于教学,又便于自学。其目的在于培养学生分析思维和解决岩石力学问题的能力,使学生在掌握岩石力学的基础知识后,能快速提升解决岩石工程问题的能力。本课程以课堂讲授为主,根据大纲要求还应安排相应的实验课。

本书由重庆交通大学赵明阶教授担任主编,参加编写的还有王成、林军志、徐容、黄红元(南昌工程学院)、黄明奎和李洁。各章节编写的分工为:赵明阶编写第一、四、五、六、七、八章,黄红元编写第二章,徐容编写第三章,王成编写第九章,林军志编写第十章,李洁编写第十一章,黄明奎编写第十二章。全书由赵明阶教授统稿。

限于编者的水平,书中缺点和谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 2 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 岩石力学与工程	1
第二节 岩石力学的发展历史与现状	6
第三节 岩石力学的研究内容与研究方法	9
第四节 本课程的主要内容与学习方法	11
思考题	12
第二章 应力与应变分析	13
第一节 概述	13
第二节 应力分析	13
第三节 应变分析	19
思考题	22
习题	22
第三章 岩石的物理性质	24
第一节 概述	24
第二节 岩石的物理性质指标	24
第三节 岩石的热学和电学性质	29
第四节 岩石的水理性	32
思考题	36
习题	36
第四章 岩石的变形与强度特性	37
第一节 概述	37
第二节 岩石的变形特性	38
第三节 岩石的蠕变特性	51
第四节 岩石的强度试验	57
第五节 岩石的强度理论	65
思考题	72
习题	73
第五章 岩体的变形与强度特性	76
第一节 概述	76
第二节 岩体现场试验	76
第三节 结构面变形与强度特性	90
第四节 岩体的变形特性	103
第五节 岩体的强度分析	110
思考题	118
习题	119

第六章 岩体天然应力场及其量测技术	120
第一节 概述	120
第二节 岩体中的自重应力场	121
第三节 岩体中的构造应力场	122
第四节 岩体中的天然应力场的分布规律	124
第五节 岩体应力的现场量测	129
思考题	139
习题	139
第七章 工程岩体分级	141
第一节 概述	141
第二节 岩石分级	143
第三节 工程岩体分级	147
思考题	158
习题	159
第八章 地下洞室围岩应力及稳定性分析	160
第一节 概述	160
第二节 水平洞室围岩应力计算和稳定性分析	161
第三节 有压隧洞围岩应力和稳定性分析	168
第四节 围岩的变形与破坏分析	178
思考题	183
习题	184
第九章 地下洞室围岩压力分析与计算	186
第一节 概述	186
第二节 松动围岩压力分析与计算	188
第三节 变形围岩压力分析与计算	196
思考题	205
习题	206
第十章 岩石边坡的稳定性分析与计算	207
第一节 概述	207
第二节 岩坡的破坏类型	208
第三节 岩坡稳定性分析与计算	211
思考题	219
习题	219
第十一章 岩基应力计算与稳定性分析	221
第一节 概述	221
第二节 岩基的应力计算	221
第三节 岩基的变形分析	224
第四节 岩基的承载力分析	226
第五节 岩基稳定性分析	227
思考题	233

习题..... 234

第十二章 岩石力学中模型试验与数值模拟方法简介..... 235

 第一节 概述..... 235

 第二节 相似原理与相似定律..... 236

 第三节 相似材料与物理模拟试验技术..... 242

 第四节 岩石力学中数值模拟方法简介..... 248

 思考题..... 253

 习题..... 254

主要参考文献..... 255

第一章 绪 论

第一节 岩石力学与工程

一、岩块与岩体

在地质学的大循环中,岩石是由土体在地壳深处的高温高压环境中经过成岩作用转变而成,是自然历史的产物。从广义的角度来说,岩石就是岩块和岩体的总称,岩块和岩体均为岩石物质和岩石材料。因此,岩块力学和岩体力学均属于岩石力学的研究范畴。

1. 岩块(Rock 或 Rock block)

岩块(Rock 或 Rock block)是指不含显著结构面的岩石块体,是构成岩体的最小岩石单元体。这一定义里的“显著”一词是个比较模糊的说法,一般来说,能明显地将岩石切割开来的分界面叫显著结构面,而包含在岩石块体内结合比较牢固的面如微层面、微裂隙等则属于不显著的结构面。在国内外,有些学者把岩块称为结构体(Structural element)、岩石材料(Rock material)及完整岩石(Intact rock)等等。

岩块是由具有一定结构构造的矿物(合结晶和非结晶的)集合体组成的。因此,新鲜岩块的力学性质主要取决于组成岩块的矿物成分及其相对含量。一般来说,含硬度大的粒柱状矿物(如石英、长石、角闪石、辉石等)越多时,岩块强度越高;含硬度小的片状矿物(如云母、绿泥石、蒙脱石和高岭石等)越多时,则岩块强度越低。自然界中的造岩矿物有:含氧盐、氧化物及氢氧化物、卤化物、硫化物和自然元素五大类,其中以含氧盐中的硅酸盐、碳酸盐及氧化物类矿物最为常见,构成了约 99.9% 的完整岩石,而其他矿物的工程地质意义不大。

岩块的矿物组成与岩石的成因及类型密切相关。岩浆岩多以硬度大的铀链状硅酸盐、石英等矿物为主,所以其岩块物理力学性质一般都很好。沉积岩中的粗碎屑岩如砂砾岩等,其碎屑多为硬度大的柱状矿物,岩块的力学性质除与碎屑成分有关外,在很大程度上取决于胶结成分及其类型。细碎屑岩如页岩、泥岩等,矿物成分多以片状的黏土矿物为主,其岩块力学性质很差。变质岩的矿物组成与母岩类型及变质程度有关。浅变质的副变质岩如千枚岩、板岩等多含片状矿物(如绢云母、绿泥石及黏土矿物等),岩块力学性质较差。深变质岩如片麻岩、混合岩及石英岩等,多以粒状矿物(如长石、石英、角闪石等)为主,因而其岩块力学性质好。

岩块的结构是指岩石内矿物颗粒的大小、形状、排列方式及微结构面发育情况等,反映在岩块构成上的特征。岩块的结构特征,尤其是矿物颗粒间联结及微结构面的发育特征对岩块的力学性质影响很大。

微结构面是指存在于矿物颗粒内部或颗粒间的软弱面或缺陷,包括:矿物解理、晶格缺陷、

空隙、微裂隙、微层面及片理面、片麻理面等。它们的存在不仅降低了岩块的强度,还往往导致岩块力学性质具有明显的各向异性。

岩块的构造是指矿物集合体之间及其与其他组分之间的排列组合方式。如岩浆岩中的流线、流面构造,沉积岩中的微层状构造,变质岩中的片状构造及其定向构造等等。这些都可使岩块物理力学性质复杂化。

由上述可知,岩块的结构构造不同,其力学性质及其各向异性和不连续性程度也不同。因此,在研究岩块的力学性质时也要注意其各向异性和不连续性。但是相对岩块而言,岩体的各向异性和不连续性更为显著,因此,在岩体力学研究中,通常又把岩块近似地视为均质、各向同性的连续介质。

众所周知,风化作用可以改变岩石的矿物组成和结构构造,进而改变岩块的物理力学性质。一般来说,随风化程度的加深,岩块的空隙率和变形随之增大,强度降低,渗透性加大。

2. 结构面 (Structure plane)

结构面 (Structure plane) 是指地质历史发展过程中,在岩体内形成的具有一定的延伸方向和长度,厚度相对较小的地质界面或带,它包括物质分界面和不连续面,如层面、不整合面、节理面、断层、片理面等。国内外一些文献中又称为不连续面 (Discontinuities) 或节理 (Joint)。在结构面中,那些规模较大、强度低、易变形的结构面又称为软弱结构面。

结构面对工程岩体的完整性、渗透性、物理力学性质及应力传递等都有显著的影响,是造成岩体非均质、非连续、各向异性和非线性弹性的本质原因之一。因此,全面、深入、细致地研究结构面的特征是岩石力学中的一个重要课题。

结构面根据地质成因的不同可分为原生结构面、构造结构面和次生结构面,如图 1-1 所示。结构面对岩体力学性质的影响是不言而喻的,但其影响程度则主要取决于结构面的发育情况。如岩性完全相同的两种岩体,由于结构面的空间方位、连续性、密度、形态、张开度及其组合关系等的不同,在外力作用下,这两种岩体将呈现出完全不同的力学反应。因此,结构面特征及其力学效应的研究也是岩石力学中的一个重要课题。

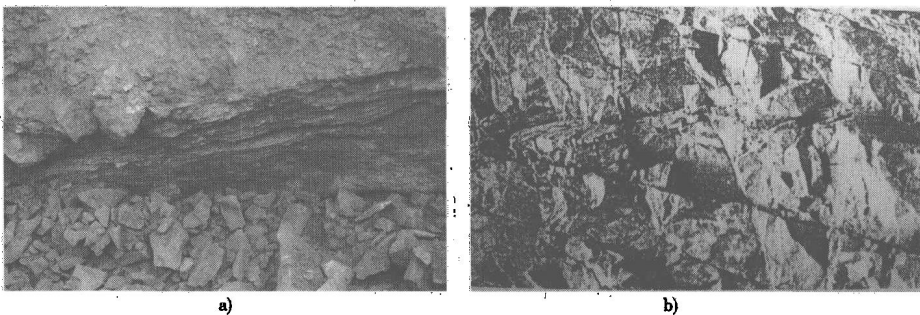


图 1-1 岩体结构面
a) 原生结构面; b) 构造结构面

3. 岩体 (Rock mass)

岩体 (Rock mass) 是指在地质历史过程中形成的,由岩石单元体 (或称岩块) 和结构面网络组成的,具有一定的结构并赋存于一定的天然应力状态和地下水等地质环境中的地质体。国内外一些文献中也有称为岩石的。

岩体是由结构面网络及其所围限的岩石块体组成,如图 1-2 所示。这种岩石块体 (或称岩

石单元体)被称为结构体,它的大小、形态及其活动性取决于结构面的密度、连续性及其组合关系。岩体的组成对岩体的力学性质以及稳定性具有重要的影响。

具有一定的结构是岩体的显著特征之一。岩体在其形成与存在过程中,长期经受着复杂的建造和改造两大地质作用,生成了各种不同类型和规模的结构面,如断层、节理、层理、片理、裂隙等。这些结构面的交切作用使岩体形成一种独特的割裂结构。因此,岩体的力学性质及其力学作用不仅受岩体的岩石类型控制,更主要的是受岩体中结构面以及由此形成的岩体结构所控制。

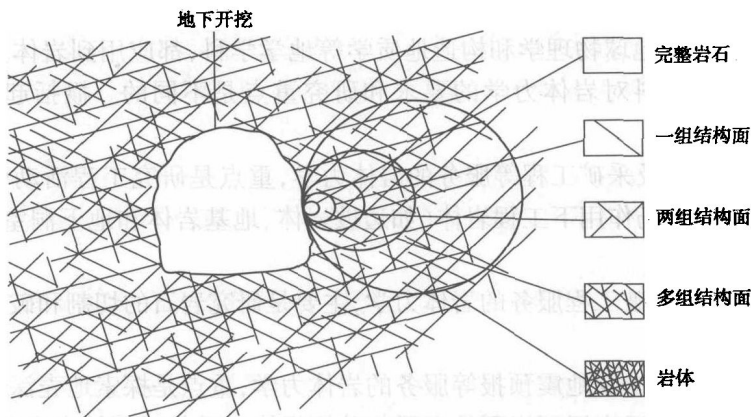


图 1-2 岩体结构

岩体中存在着复杂的天然应力状态和地下水,这是岩体与其他材料的根本区别之一。因此研究岩体在外力作用下的力学习性及其稳定性时,必须充分考虑天然应力,特别是构造应力和水的影响。岩体按成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。各类岩体的工程地质特征也各不相同。

从上述定义可以看出,岩体和岩块的本质区别就在于结构面。传统的工程地质方法往往是按岩石的成因,取小块试件在室内进行矿物成分、结构构造及物理力学性质的测定,以评价其对工程建筑的适宜性。大量的工程实践表明,用岩块性质来代表原位工程岩体的性质是不合适的。因此,自 20 世纪 60 年代起,国内外工程地质和岩石力学工作者都注意到岩体与岩块在性质上有本质的区别,其根本原因之一是岩体中存在有各种各样的结构面及不同于自重应力的天然应力场和地下水。

二、岩石力学

岩石力学(Rock mechanics)是研究岩石或岩体在外力作用下的应力状态、应变状态和破坏条件等力学特性的学科,它是解决岩石工程(即与岩石有关的工程)技术问题的理论基础。岩石属于固体,岩石力学应属于固体力学的范畴。一般从宏观的意义上,习惯把固体看做连续介质。但是,岩体不但有微观的裂隙,而且有层理、片理、节理以至于断层等不连续面。岩体不是连续介质,而且常表现为各向异性或非均质。若岩石中含水,它又表现为两相体。从这些方面来看,岩石力学又是固体力学与地质科学的边缘科学。

美国科学院岩石力学委员会 1966 年曾给岩石力学下过定义。他们认为:“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”。这个定义含意相当广泛,“对其周围物理环境中力场的反应”的措词说明了这一点。应

该注意的是,岩石材料全部赋存于地质环境中,这些材料的自然特征决定于其形成的方式和后来作用于其上的地质作用。遭受多次应力变动的岩体,其性能决定于完整岩石材料的力学性质以及岩体中地质构造的不连续面的数量和性质。在这两类控制岩石力学特性的因素中,每类因素的相对重要程度主要决定于工程的规模与不连续面数量的关系和两者之间的相对方位关系。在一些情况下,岩体不连续面的影响是非常显著的,在某些情况下,岩体的性能就较多地决定于岩石本身的性质。这些都是岩石力学的特点。

岩石力学的研究对象是各类岩体,而服务对象则涉及许多领域和学科。如水利水电工程、采矿工程、道路交通工程、国防工程、海洋工程、重要工厂(如核电站、大型发电厂及大型钢铁厂等)以及地震地质学、地球物理学和构造地质学等地学学科,都应用到岩体力学的理论和方法。但不同的领域和学科对岩体力学的要求和研究重点是不同的。概括起来,可分为三个方面:

①为各类建筑工程及采矿工程等服务的岩体力学,重点是研究工程活动引起的岩体重分布应力以及在这种应力场作用下工程岩体(如边坡岩体、地基岩体和地下洞室围岩等)的变形和稳定性。

②为掘进、钻井及爆破工程服务的岩体力学,主要是研究岩石的切割和破碎理论以及岩体动力学特性。

③为构造地质学、找矿及地震预报等服务的岩体力学,重点是探索地壳深部岩体的变形与断裂机理,为此需研究高温高压下岩石的变形与破坏规律以及与时间效应有关的流变特征。

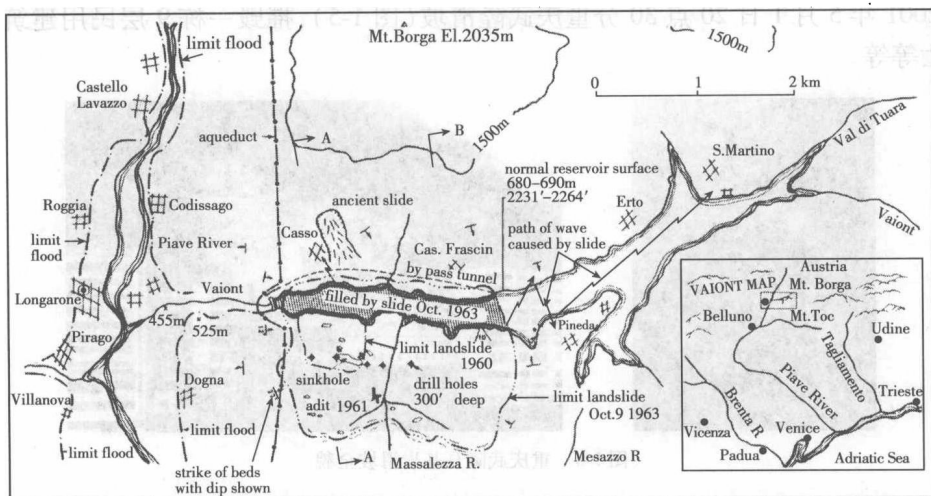
以上三方面的研究虽各有侧重点,但对岩石及岩体基本物理力学性质的研究却是共同的。

在岩体表面或其内部进行任何工程活动,都必须符合安全、经济和正常运营的原则。以露天采矿边坡坡角选择为例。坡角选择过陡,会使边坡不稳定,无法正常采矿作业,坡角选择过缓,又会加大其剥采量,增加其采矿成本。然而,要使岩体工程既安全稳定又经济合理,必须通过准确地预测工程岩体的变形与稳定性、正确的工程设计和良好的施工质量等来保证。其中,准确地预测岩体在各种应力场作用下的变形与稳定性,进而从岩体力学观点出发,选择相对优良的工程场址,防止重大事故,为合理的工程设计提供岩体力学依据,是工程岩体力学研究的根本目的和任务。

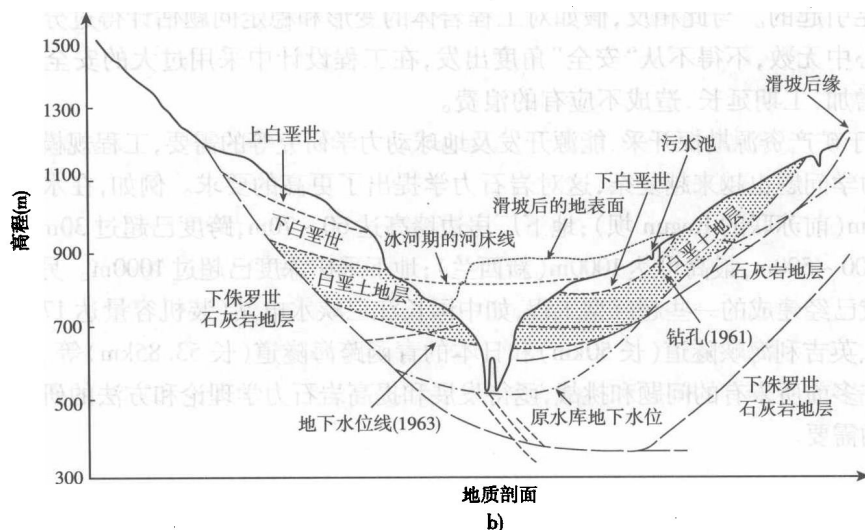
三、岩石力学与工程

岩石力学的发展和人类工程实践分不开的。起初,由于岩石工程数量少,规模也小,人们多凭经验来解决工程中遇到的岩石力学问题。因此,岩石力学的形成和发展要比土力学晚得多。随着生产力水平及土木工程事业的迅速发展,提出了大量的岩石力学问题。诸如高坝坝基岩体及拱坝拱座岩体的变形和稳定性;大型露天采坑边坡、库岸边坡及船闸、溢洪道等边坡的稳定性;地下洞室围岩变形及地表塌陷;高层建筑、重型厂房和核电站等地基岩体的变形和稳定性;岩体性质的改善与加固技术等等。对这些问题能否做出正确的分析和评价,将会对工程建设和生产的安全性与经济产生显著的影响,甚至带来严重的后果。

在人类工程活动的历史中,由于岩体变形和失稳酿成事故的例子是很多的。1928年美国圣·弗朗西斯重力坝失事,是由于坝基软弱,岩层崩解,遭受冲刷和滑动引起的;1959年法国马尔帕塞薄拱坝溃决,则是由于过高的水压力使坝基岩体沿着一个倾斜的软弱结构面滑动所致;1963年意大利瓦依昂水库左岸的大滑坡(图1-3),更是举世震惊, $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的滑动岩体以28m/s的速度下滑,激起250m高的巨大涌浪,溢过坝顶冲向下游,造成2500多人丧生。



a)



b)

图 1-3 意大利瓦依昂水库左岸的大滑坡(据 Kiersch, 1964)

a) 平面图; b) 地质剖面图

类似的例子在国内也不少,1961 年湖南拓溪水电站近坝库岸发生滑坡;1980 年 6 月 3 日 5 点 35 分湖北远安盐池河磷矿发生岩崩(图 1-4),是由于采矿引起岩体变形,使上部岩体中顺坡向节理被拉开,约 $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的岩体急速崩落,摧毁了矿务局和坑口全部建筑物,死亡 284 人。



图 1-4 湖北远安盐池河磷矿发生岩崩后的全貌

又如,盘古山钨矿一次大规模的地压活动引起的塌方就埋掉价值约 200 万元的生产设备,并造成停产三年;新中国成立前湖南锡矿山区洪记矿井大陷落,一次就使 200 多名矿工丧失

了生命;2001年5月1日20点30分重庆武隆滑坡(图1-5),摧毁一栋9层民用建筑物,造成79人死亡等等。



图1-5 重庆武隆县基岩滑坡全貌

以上重大事故的发生,多是由于对工程地区岩体的力学特性研究不够,对岩体的变形和稳定性估计不足引起的。与此相反,假如对工程岩体的变形和稳定问题估计得过分严重,或者由于研究人员心中无数,不得不从“安全”角度出发,在工程设计中采用过大的安全系数,致使工程投资大大增加,工期延长,造成不应有的浪费。

今天,由于矿产资源勘探开采、能源开发及地球动力学研究等的需要,工程规模越来越大,所涉及的岩石力学问题也越来越复杂,这对岩石力学提出了更高的要求。例如,在水电建设中,大坝高度达335m(前苏联的 Rogun 坝);地下厂房边墙高达60~70m,跨度已超过30m;露天采矿边坡高度可达300~500m,最高可达1000m(新西兰);地下采矿深度已超过1000m。另外,当前世界上正在建设或已经建成的一些超巨型工程,如中国长江三峡水电站(装机容量达17680MW,列居世界第一位)、英吉利海峡隧道(长50km)和日本的青函跨海隧道(长53.85km)等。这些都使岩石力学面临许多前所未有的问题和挑战,亟待发展和提高岩石力学理论和方法的研究水平,以适应工程实践的需要。

第二节 岩石力学的发展历史与现状

岩石力学形成于20世纪50年代末,其主要标志是1957年法国的塔罗勃(J. Talobre)所著《岩石力学》的出版,以及1962年国际岩石力学学会(ISRM)的成立。岩石力学作为一门独立的学科至今才50余年的历史,这是很短暂的,但其形成的历史是漫长的,这与当时的生产力水平低,工程建设数量少、规模小有关。对于岩石力学的形成历史,在此不拟详细介绍,这里仅就其形成以后的发展过程与特点作一简要介绍,以便读者了解岩石力学的发展动态。

一、岩石力学发展的初期阶段

1951年由奥地利地质学家J. Stini和岩石力学家缪勒(L. Müller)发起,在奥地利的萨茨堡(Salzburg)创建了第一个与岩石力学有关的学术组织,叫地质力学研究组(Study Group for Geomechanics)。同年,在萨茨堡(Salzburg)举行了第一次岩石力学讨论会,会议的主题是将工程地质和力学相结合。1951年到1957年间共举行了21次讨论会,并创办了《地质与土木工程》(Geology and



L. Müller

Civil Engineering) 杂志,形成了当时最具影响的萨茨堡(Salzburg)学派,其基本观点是岩体的力学作用主要取决于岩体内的结构面及其对岩体的切割特征。1957年,第一本《岩石力学》(J. Talobre 著)专著出版,该书的问世标志着岩石力学作为一门独立的学科问世。

1959年,法国马尔帕塞坝左坝肩岩体沿软弱结构面滑移而溃决,引起了许多岩石力学工作者的关注和研究。1962年在国际地质力学研究组的基础上成立了国际岩石力学学会(ISRM),由奥地利岩石力学家缪勒(L. Müller)担任主席,同时将《地质与土木工程》(Geology and Civil Engineering)杂志更名为《岩石力学》(Rock Mechanics)。当年J. Stini 逝世,L. Müller 到联邦德国 Karlsruhe 大学领导岩石力学研究组从事岩石力学研究。1963年,意大利 Vaiont 水库左岸岩体大滑坡,吸引了许多岩石力学工作者的关注,并开展了大量的研究。1966年,第一届国际岩石力学大会在葡萄牙的里斯本召开,由葡萄牙岩石力学家罗哈(M. Rocha)担任主席,以后每四年召开一次大会。历届国际岩石力学学会主席见表1-1。



M. Rocha

历届国际岩石力学学会主席

表 1-1

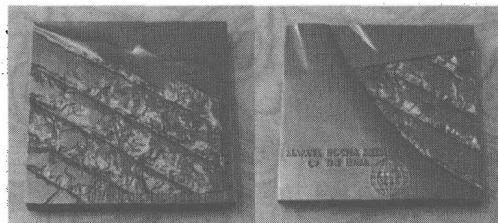
届次	时 间	主 席	学术领域	所在机构	国 籍
1	1962—1966	L. Müller	Engineering Geology and Geomechanics	the University of Karlsruhe	Austria/ Germany
2	1966—1970	M. Rocha	Civil Engineering	the Technical University of Lisbon	Portugal
3	1970—1974	L. Obert	Rock Mechanics and Mining	American Institute of Mining Engineers	USA
4	1974—1979	P. Habib	Soil Mechanics and Rock Mechanics	the Laboratoire de Mécanique des Solides	France
5	1979—1983	W. Wittke	Soil Mechanics and Foundation Engineering	the University of Aachen	Germany
6	1983—1987	E. T. Brown	Rock Mechanics	University of London	UK
7	1987—1991	J. A. Franklin	Rock Mechanics	the University of Waterloo	Canada
8	1991—1995	C. Fairhurst	Rock Mechanics	University of Minnesota	USA
9	1995—1999	S. Sakurai	Rock Mechanics	Kobe University	Japan
10	1999—2003	M. Panet	Rock Mechanics and Rock Engineering	the Company GS Ingénierie	France
11	2003—2007	N. Merwe	Mining Engineering	the University of Pretoria	South Africa
12	2007—2011	John A. Hudson	Rock Mechanics and Rock engineering	Imperial College	UK
13	2011—2015	冯夏庭	智能岩石力学	中国科学院	中国

作为岩石力学的创始人缪勒(L. Müller)教授于1988年去世,他一生中共出版了250余篇学术论文和著作,为了纪念他对岩石力学学科的贡献,1989年国际岩石力学学会决定设立缪勒奖,该奖每四年评选一次,每次评选一人,主要奖励那些在岩石力学和岩石工程中作出突出贡献的学者和科学家。目前已有五位科学家获此殊荣,分别是加拿大的 E. Hoek 教授,美国的 N. Cook 教授、H. Einstein 教授、C. Fairhurst 教授以及澳大利亚的 E. T. Brown 教授。

第一届国际岩石力学大会主席和第二届国际岩石力学学会主席罗哈(M. Rocha)教授于1981年去世,为了纪念他对岩石力学学科的贡献,同年国际岩石力学学会在日本东京召开会议,设立罗哈(M. Rocha)奖,该奖每年评选一次,每次评选一人,主要奖励那些在岩石力学领域成绩突出的年轻学者,评选的依据是其博士学位论文,自1982年以来已有29篇优秀博士学位论文的作者获此殊荣。



The Müller Award (缪勒奖)



The Rocha Medal (罗哈奖)

二、岩石力学深化发展阶段

在岩石力学发展的初期阶段,人们把岩体视为一种地质材料,其研究方法是取小块试件,在室内进行物理力学性质测试,并用以评价其对工程建筑的适宜性。自20世纪60年代起,国内外岩体力学工作者都逐步认识到了被结构面切割的岩体性质与完整的小岩块性质有本质的区别。即如果相对而言可将岩块视为均质、连续和各向同性的弹性介质,而岩体则是非均质、非连续和各向异性的非弹性介质。只有在某些情况下,如裂隙不发育的完整块状岩体等,其力学属性才能近似地看成与岩块相同。在这种认识的前提下,人们开展对岩体的研究,并重视原位试验在确定岩体力学参数中的作用。这一时期内,奥地利学派起了很大的推动作用,缪勒主编的《岩石力学》(1974)代表了这一时期的研究方向和水平。但这一时期人们还是多把岩体视为岩块的砌体来研究,而对结构面在岩体变形、破坏机理中的影响及其重要性的认识还不足,在岩体力学分析计算中未作全面考虑。

到20世纪70年代中后期,岩体力学工作者越来越认识到岩体结构的实质及其在岩体力学作用中的重要性,开展了大量的研究(如奥地利、中国、美国等国家的学者)。如我国从20世纪70年代开始,以谷德振为首的科研群体就开展了对岩体结构与结构面力学效应等理论问题的研究,并应用于解决工程问题,提出了岩体工程地质力学的学说,出版了《岩体工程地质力学基础》(1979)等一系列专著。进而又提出了岩体结构控制论的观点(《岩体结构力学》,孙广忠,1988):认为岩体的变形和稳定性主要受控于岩体结构及结构面的力学性质,因此必须重视对岩体结构和结构面力学性质及其力学效应的研究。

三、新理论、新方法及新技术研究阶段

从20世纪80年代以来,随着科学技术的不断发展,岩石力学的研究领域愈益扩大,并强调在工程中的应用,重视岩体中天然应力的研究,岩体的测试技术和监测技术的大力发展。

从20世纪70年代末开始,块体理论、概率论、模糊数学、断裂力学、损伤力学和分形几何等理论相继引入岩石力学的基础理论与工程稳定性研究中,取得了一系列重大成果。近年来,还有不少学者将系统论、信息论、控制论、人工智能专家系统、灰色系统、突变理论、耗散结构理论及协同论等软科学,引入岩体力学研究中,取得了一系列研究成果。最近又提出了利用神经网络来预测岩体边坡稳定性等等。这些新理论、新方法的引入,大大地促进了岩石力学的发展。

总之,到目前为止,岩石力学工作者从各个方面对岩石力学与工程进行了全面的研究,并

取得了可喜的进展,为国民经济建设与学科发展作出了杰出的贡献。但是,岩石力学还不成熟,还有许多重大问题仍在探索之中,还不能满足工程实际的需要。因此,大力加强岩石力学理论和实际应用的研究,既是岩石力学发展的需要,更是工程实践的客观要求。在开始的室内常规岩块力学参数测试的基础上,逐渐发展了岩石三轴试验、高温高压试验、刚性试验、伺服技术、结构面力学试验、原位岩体力学试验及原位监测技术和模型模拟试验等。另外,岩石微观结构研究等也逐渐应用于岩石力学中。

当前,随着科学技术的飞速发展,各门学科都将以更快的速度向前发展,岩石力学也不例外。而各门学科协同合作,相互渗透,不断引入相关学科的新思想、新理论和新方法是加速岩石力学发展的必要途径。

四、我国岩石力学的发展

1981年我国成立了岩石力学学会筹备组,随后成立了国际岩石力学学会中国小组,并作为会员国参加了国际岩石力学学会。1985年中国岩石力学与工程学会(CSRME)正式成立,中科院学部委员陈宗基教授担任第一届(1985—1989)理事长,第二届(1989—1994)理事长由陈宗基院士和潘家铮院士担任,第三届(1994—1998)理事长兼国家小组组长由孙钧院士担任,第四届(1999—2003)理事长兼国家小组组长由王思敬院士担任,第五届(2003至今)理事长由钱七虎院士担任,国家小组组长为冯夏庭研究员。目前国际岩石力学学会、中国国际会员已达到502人,团体会员13个,是国际岩石力学学会第一大个人会员国。国际岩石力学学会下设9个专业委员会,其中有4个专业委员会由中国学者担任主席,他们是:岩石工程设计方法委员会主席冯夏庭;古遗址保护专业委员会主席李最雄;教育委员会主席蔡美峰;废物地下处置专业委员会主席王驹。

2009年5月18日,国际岩石力学学会(ISRM)召开理事会全体会议,中国科学院武汉岩土力学研究所冯夏庭教授成为国际岩石力学学会自成立以来当选该国际学会主席的中国第一人,同时第十二届国际岩石力学大会将于2011年在中国北京召开,这表明中国岩石力学学术研究在国际组织中占有重要的地位。

随着改革开放的深入进行,我国工程建设蓬勃发展,因而对岩石力学提出了很多新课题。宏大的施工现场为岩石力学工作者提供了施展宏图的场所。各种科研成果纷纷涌现,不但在国际学术界为我国争得了荣誉,而且迅速地把科学技术转换成生产力,进一步推动了我国工程建设向前发展。随着学位制的建立,大批岩石力学和岩石工程的博士和硕士被培养出来。他们学有所长,风华正茂,精力充沛,承担着承上启下、继往开来的任务。随着他们的成长壮大,我国岩石力学的发展必将进入更为繁荣的新阶段。

第三节 岩石力学的研究内容与研究方法

一、岩石力学的研究内容

如前所述,岩石力学服务的对象非常广泛,它涉及国民经济的许多领域(如水利水电、采矿、能源开发、交通、国防和工业与民用建筑等)及地质基础理论研究领域(如地球动力学、构造地质学等)。不同的服务对象,对岩石力学的要求也不尽相同,其研究的内容也不同。例

如,重力坝和拱坝,对坝基和拱座岩体不均匀变形和水平位移限制比较严格;而路堑边坡、露天矿坑边坡等岩体边坡,在保证岩体不致产生滑动失稳的条件下,往往允许发生一定的变形;许多国防工程对岩体动态性能研究要求比较高,而非地震区的一般工程,却常常只需要研究岩体的静态性能等。

岩石力学的研究对象不是一般的人工材料,而是在天然地质作用下形成的地质体。由于岩体中具有天然应力和地下水等,并发育有各种结构面,所以它不仅具有弹性、脆性、塑性和流变性,而且还具有非线性、非连续性、非均质性和各向异性等特征。对于这样一种复杂的介质,不仅研究内容非常复杂,而且其研究方法和手段也应与连续介质力学有所不同。

由于岩石力学服务对象的广泛性和研究对象的复杂性,决定了岩体力学研究的内容也必然是广泛而复杂的。从工程观点出发,大致可归纳为如下几方面的内容。

(1)岩块、岩体地质特征的研究。岩块与岩体的许多性质,都是在其形成的地质历史过程中形成的。因此,岩块与岩体地质特征的研究是岩体力学分析的基础。主要包括:①岩石的物质组成和结构特征;②结构面特征及其对岩体力学性质的影响;③岩体结构及其力学特征;④岩体工程分类。

(2)岩石的物理、水理与热学性质的研究。

(3)岩块的基本力学性质的研究。为了全面了解岩体的力学性质,或者在岩体力学性质接近于岩块力学性质的条件下,可通过岩块力学性质的研究,减少或替代原位岩体力学试验研究。内容包括:①岩块在各种力作用下的变形和强度特征以及力学参数的室内试验技术;②荷载条件、时间等对岩块变形和强度的影响;③岩块的变形破坏机理及其破坏判据。

(4)结构面力学性质的研究。结构面力学性质是岩体力学最重要的研究内容。内容包括:①结构面在法向压应力及剪应力作用下的变形特征及其参数确定;②结构面剪切强度特征及其测试技术与方法。

(5)岩体力学性质的研究。岩体力学性质是岩体力学最基本的研究内容。内容包括:①岩体的变形与强度特征及其原位测试技术与方法;②岩体力学参数的弱化处理与经验估算;③荷载条件、时间等因素对岩体变形与强度的影响;④岩体中地下水的赋存、运移规律及岩体的水力学特征。

(6)岩体中天然应力分布规律及其量测的理论与方法的研究。

(7)边坡岩体、地基岩体及地下洞室围岩等工程岩体的稳定性研究。这是岩体力学实际应用方面的研究,内容包括:①各类工程岩体中重分布应力的大小与分布特征;②各类工程岩体在重分布应力作用下的变形破坏特征;③各类工程岩体的稳定性分析与评价等。

(8)岩体性质的改善与加固技术的研究,包括岩体性质、结构的改善与加固(如地下水、地应力等)的改良等。

(9)各种新技术、新方法与新理论在岩体力学中的应用研究。

(10)工程岩体模型、模拟试验及原位监测技术的研究。模型模拟试验包括:数值模型模拟、物理模型模拟和离心模型模拟试验等,这是解决岩体力学理论和实际问题的一种重要手段。而原位监测,既可以检验岩体变形与稳定性分析成果的正确与否,同时也可及时地发现问题。

二、岩石力学的研究方法

岩石力学的研究内容决定了在岩石力学的研究中必须采用如下几种研究方法。