

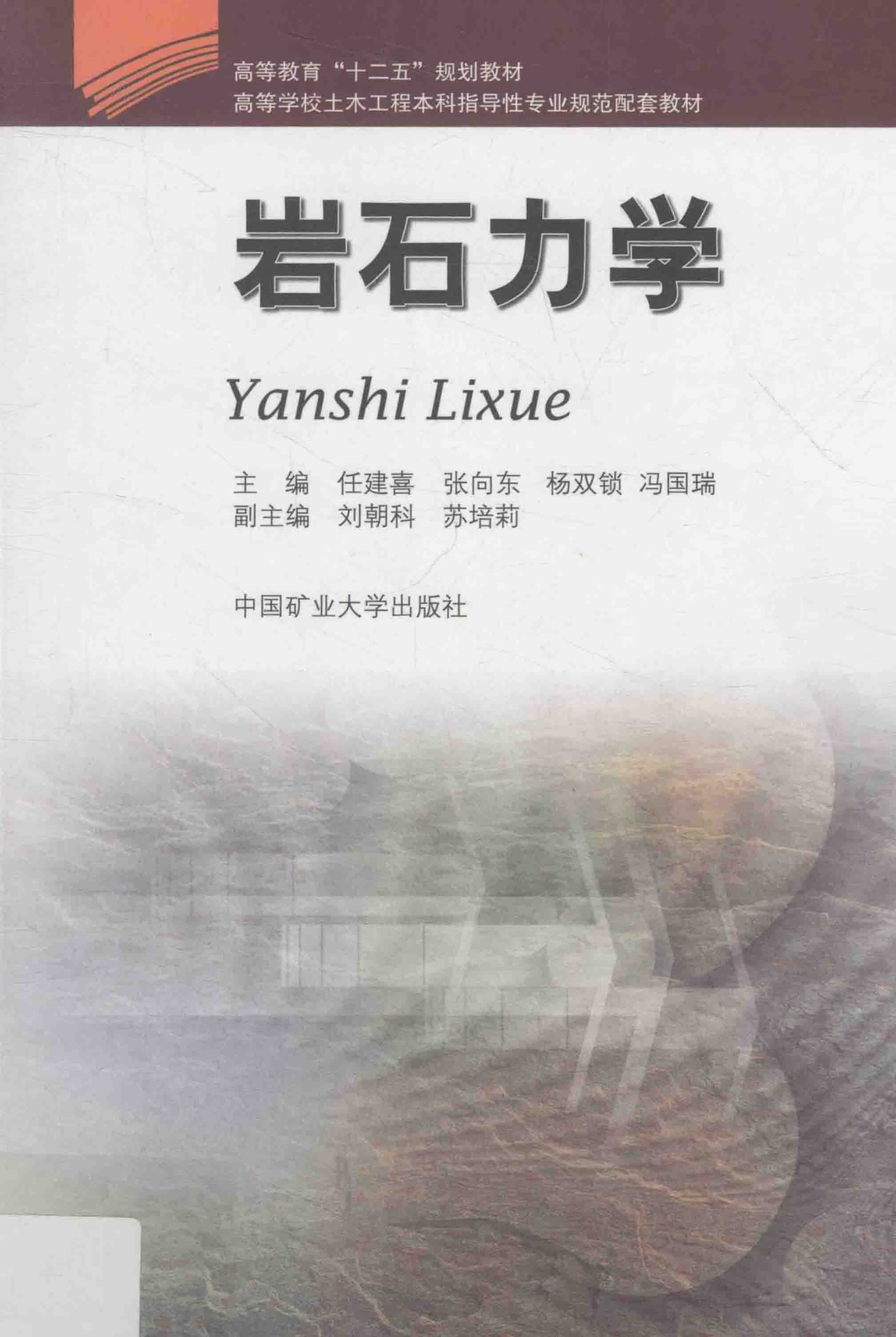
高等教育“十二五”规划教材
高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材

岩石力学

Yanshi Lixue

主 编 任建喜 张向东 杨双锁 冯国瑞
副主编 刘朝科 苏培莉

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套教材

岩石力学

主 编 任建喜 张向东 杨双锁 冯国瑞
副主编 刘朝科 苏培莉

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是为土木工程专业地下工程方向的学生编写的,主要包括:绪论、岩石的物理力学性质与强度理论、岩体的力学性质、天然岩体中的应力状态、地下洞室围岩压力计算理论与支护技术、岩石边坡、岩石地基和岩石力学数值分析方法介绍。

本书可作为土木工程(地下工程方向、岩土工程方向、矿井建设方向、隧道工程方向)、地质工程、工程力学等专业学生的教材,也可供从事有关岩体工程勘察设计、施工、监理、监测等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩石力学/任建喜等主编. —徐州:中国矿业大学

出版社,2013.6

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1854- 4

I. ①岩… II. ①任… 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(2013)第 067874 号

书 名 岩石力学
主 编 任建喜 张向东 杨双锁 冯国瑞
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 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 14.5 字数 362 千字
版次印次 2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷
定 价 22.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

岩石力学是一门研究岩石的物理、化学、力学性质和岩体在环境条件下及荷载作用下应力、变形和稳定性的学科,是固体力学的一个分支。岩石力学是土木工程专业岩土工程方向、地下工程方向、隧道工程方向、矿井建设方向学生必修的专业基础课,属于力学原理与方法类的课程。本书参考 2011 年国家住房和城乡建设部制定的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》中有关岩石力学课程的推荐教学大纲进行编写。

作为本科教学,岩石力学的教学内容包括岩石力学的基本理论、岩石力学解决岩石(岩体)工程问题的基本方法两个方面的内容。本书的主要内容包括绪论、岩石的物理力学性质与强度理论、岩体的力学性质、天然岩体中的应力状态、地下硐室围岩压力计算理论与支护技术、岩石边坡、岩石地基和岩石力学数值分析方法介绍。本书的内容包含了国内外岩石力学理论及其应用获得的最新成果,融入了作者在岩石力学方面的部分科研成果。

岩石力学是一门实践性很强的基本力学原理课程,为了配合本课程的教学,建议使用本教材进行教学时参考有关岩石力学实验教材进行室内岩石力学实验教学,有条件的学校应该借助生产实习、毕业实习、科研实践等实践环节让学生通过有关岩体隧道和地下工程开挖支护工程、岩体边坡加固处理工程、岩体路基处理工程、矿山巷道开挖支护与变形控制工程等工程实践,提高学生的工程应用能力,培养创新精神。

本书的参考理论学时为 48 学时,强调理论与实践的结合,为便于学生复习巩固所学知识,提高学习效率,每章最后附有练习题。

本书共分 8 章,第 1、2、6 章由西安科技大学任建喜编写,第 3 章由辽宁工程技术大学张向东编写,第 5 章由太原理工大学杨双锁编写,第 4 章的第 4.1 节、第 4.2 节、第 4.3 节和第 7 章由太原理工大学冯国瑞编写,第 4.4 节由西安科技大学刘朝科编写,第 8 章由西安科技大学苏培莉编写。全书由任建喜统稿,任建喜、张向东、杨双锁、冯国瑞任主编,刘朝科、苏培莉任副主编。

本书参考了大量的教材、论文、专著、网络信息等资料,作者向所有列出和未列出的参考资料的作者致以衷心的感谢。限于作者水平,本书存在的缺点和不足敬请读者批评指正。

作 者
2013 年 4 月

目 录	
1 绪论	1
1.1 岩石力学的研究内容和研究方法	1
1.1.1 研究内容	1
1.1.2 研究方法	1
1.2 岩石力学发展简史	2
1.3 我国岩石力学取得的成就	3
1.3.1 基础理论研究进展	3
1.3.2 测试和试验方法及技术的研究进展	4
1.3.3 岩石力学的工程实践	5
1.4 岩石力学的发展方向	5
1.4.1 岩石力学理论研究	5
1.4.2 岩石力学方法研究	6
1.4.3 岩石力学应用研究	6
练习题	7
2 岩石的物理力学性质与强度理论	8
2.1 岩石的物理性质	8
2.1.1 岩石的非均质性与各向异性	8
2.1.2 岩石真密度	9
2.1.3 岩石块体密度指标	9
2.1.4 岩石的孔隙性	10
2.1.5 岩石的水理性	11
2.1.6 岩石的热理性	13
2.2 岩石的力学性质	14
2.2.1 岩石单轴压缩条件下的力学特性	14
2.2.2 岩石单轴拉伸条件下的力学特性	18
2.2.3 岩石剪切条件下的力学特性	21
2.2.4 岩石三轴压缩条件下的力学特性	24
2.2.5 岩石的流变特性	27
2.2.6 影响岩石力学性质的主要因素	35

2.3 岩石的强度理论	38
2.3.1 最大正应变理论	39
2.3.2 莫尔强度理论	40
2.3.3 剪应变能强度理论和八面体应力理论	44
2.3.4 格里菲斯(Grifrith)强度理论	48
2.3.5 霍克—布朗岩石破坏经验判据	55
练习题	57
3 岩体的力学性质	58
3.1 概述	58
3.2 岩体结构的基本类型	58
3.2.1 结构体特征	58
3.2.2 岩体结构的类型	59
3.3 结构面的特性	60
3.3.1 结构面的几何特征	60
3.3.2 结构面的分类	64
3.3.3 结构面的分级	66
3.3.4 结构面的试验方法	66
3.3.5 结构面的变形性质	69
3.3.6 结构面的抗剪强度	72
3.3.7 影响结构面力学性质的因素	76
3.4 岩体的力学性质	76
3.4.1 一般概念	76
3.4.2 岩体试验方法	77
3.4.3 岩体的变形特征	82
3.4.4 岩体的强度	84
3.5 岩体的工程分级	86
3.5.1 《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GB 50086—2001)分级法	87
3.5.2 《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2005)分级法	91
3.5.3 《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)分级法	94
练习题	98
4 天然岩体中的应力状态	100
4.1 地应力概述	100
4.2 三维地应力状态	100
4.3 岩体地应力的现场量测	103
4.3.1 水压致裂法	104

4.3.2	应力解除法	106
4.3.3	应力恢复法	109
4.3.4	声发射法	111
4.4	三维地应力 BWSRM 测量新方法及其测井机器人在工程中的应用	113
4.4.1	BWSRM 地应力测量原理	113
4.4.2	BWSRM 地应力测量基本理论	114
4.4.3	BWSRM 地应力测量的具体实施	118
4.4.4	基于 BWSRM 的地应力测井机器人研制	119
4.4.5	在四川锦屏 II 级水电站工程中的初步应用	121
	练习题	124
5	地下硐室围岩压力计算理论与支护技术	125
5.1	概述	125
5.1.1	基本定义	125
5.1.2	地下硐室力学问题的特点	126
5.2	无支护硐室围岩应力与变形	126
5.2.1	硐室围岩的弹性状态分析	127
5.2.2	硐室围岩的弹塑性状态分析	135
5.3	支护与围岩的相互作用	139
5.3.1	支护与围岩相互作用的基本概念	139
5.3.2	支护与围岩相互作用原理	140
5.4	围岩压力计算	144
5.4.1	概念	144
5.4.2	围岩压力计算方法	145
5.5	松散围岩压力计算	146
5.5.1	古典围岩压力理论	146
5.5.2	考虑深度影响的硐室围岩压力估算公式	149
5.5.3	我国公(铁)路部门推荐的围岩压力计算方法	149
5.5.4	山坡下浅埋硐室围岩压力的计算方法	150
5.5.5	塑性松动压力的计算方法	152
5.6	软岩及膨胀围岩的压力	153
5.6.1	软岩的定义	153
5.6.2	软岩的工程特征和力学属性	153
5.6.3	软岩硐室围岩变形特征	154
5.6.4	膨胀性软岩硐室变形破坏的特点	154
5.7	硐室围岩稳定性的评价	155
5.7.1	基本概念	155

5.7.2	洞室围岩稳定性分析	155
5.8	地下洞室支护	158
5.8.1	锚杆的分类及其作用力	158
5.8.2	锚杆对岩体作用的力学本质	160
5.8.3	锚杆支护作用原理	163
5.8.4	锚杆支护参数的确定	166
5.8.5	地下洞室锚喷支护	172
	练习题	173
6	岩石边坡	174
6.1	概述	174
6.2	岩石边坡破坏	174
6.2.1	岩石边坡的破坏类型	174
6.2.2	影响岩石边坡稳定的主要因素	176
6.3	岩石边坡稳定性分析	177
6.3.1	圆弧法岩石边坡稳定性分析	177
6.3.2	平面滑动岩石边坡稳定性分析	179
6.3.3	双平面滑动岩石边坡稳定性分析	182
6.3.4	力多边形法岩石边坡稳定性分析	182
	练习题	184
7	岩石地基	185
7.1	概述	185
7.2	地基承载力的确定	186
7.2.1	规范方法	186
7.2.2	破碎岩体的地基承载力	187
7.2.3	具有埋深的基础下岩石地基的承载力	188
7.2.4	承载力系数	189
7.2.5	边坡岩石地基的承载力	189
7.2.6	缓倾结构面岩石地基的承载力	190
7.2.7	双层岩石地基的承载力	191
7.2.8	岩溶地基的承载力	193
7.3	建筑物岩石地基	194
7.3.1	岩石地基中的应力分布	194
7.3.2	岩石地基的变形和沉降	196
7.4	水工构筑物的岩石地基	201
7.4.1	岩石地基的抗滑稳定性	201

7.4.2 岩石地基的加固措施	208
练习题	208
8 岩石力学数值分析方法介绍	210
8.1 数值分析方法	210
8.2 岩石力学有限元法	211
8.2.1 有限元的计算思路	211
8.2.2 岩石工程问题有限元分析实例	212
8.3 有限差分法(FLAC)及应用	213
8.3.1 有限差分法的基本原理	213
8.3.2 FLAC 程序简介	216
8.3.3 有限差分法(FLAC)的应用	216
8.4 数值方法新进展	217
8.4.1 非连续变形分析方法	217
8.4.2 数值流形方法	218
8.4.3 无单元类方法	218
练习题	218
参考文献	219

1 绪 论

岩石力学(rockmass mechanics)是运用力学原理和方法来研究岩石的力学性能以及与力学有关现象的一门新兴交叉科学。它既是力学的一门应用性分支,又是力学和地学相结合的一个基础学科。它不仅与国家基础设施的工程建设有密切联系,而且也是资源开发、环境保护、减灾防灾等事业的支柱,具有重要的工程应用价值。

岩石力学的定义:岩石力学是一门研究岩石的物理、化学、力学性质和岩体在环境条件下及荷载作用下应力、变形和稳定性的学科,是固体力学的一个分支。

岩石力学服务的工程领域广泛,如水利水电工程、采矿工程、铁道工程、土木工程、公路工程、地下工程、国防工程、海洋工程、核废料储存以及地震地质学、地球物理学和构造地质学等学科。岩石力学是上述工程领域的理论基础;同时,上述工程领域的岩石力学实践促使了岩石力学的快速发展。

1.1 岩石力学的研究内容和研究方法

岩石力学服务的对象非常广泛,涉及国民经济的许多领域。不同的服务对象,对岩石力学的要求不相同,其研究的内容也不同。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,是一种天然材料。对于这样一种复杂的介质,其研究内容非常复杂,研究方法和手段多样。

1.1.1 研究内容

岩石力学研究的内容可归纳为如下几个方面:

- ① 岩块、岩体地质特征的研究。
- ② 岩块的基本物理力学性质的研究。
- ③ 结构面基本力学性质的研究。
- ④ 岩体中天然应力分布规律及其量测理论与方法的研究。
- ⑤ 岩体力学性质的研究。
- ⑥ 边坡岩体、地基岩体及地下硐室围岩等工程岩体的稳定性评价及加固技术研究。
- ⑦ 岩体物理模拟试验及原位监测技术研究。
- ⑧ 各种新技术、新方法与新理论在岩体力学中的应用研究。

1.1.2 研究方法

① 工程地质研究法。目的是研究岩块和岩体的地质与结构特征,为岩石力学的进一步研究提供地质模型和地质资料。如用岩矿鉴定方法,了解岩体的岩石类型、矿物组成及结构构造特征;用地层学方法、构造地质学方法及工程勘察方法等,了解岩体的成因、空间分布及

岩体中各种结构面的发育情况等;用水文地质学方法了解赋存于岩体中地下水的形成与运移规律,等等。

② 试验法。科学试验是岩石力学研究中一种非常重要的方法,是岩石力学发展的基础,包括岩块力学性质的室内实验、岩体力学性质的原位试验、天然应力量测、模型模拟试验及原位岩体监测等方面。其目的主要是为岩体变形和稳定性分析计算提供必要的物理力学参数。同时,还可以用某些试验成果(如模拟试验及原位监测成果等)直接评价岩体的变形和稳定性,以及探讨某些岩体力学理论问题。因此应当高度重视并大力开展岩石力学试验研究。

③ 数学力学分析法。数学力学分析是岩石力学研究中的一个重要环节。它是通过建立岩石力学模型和利用适当的分析方法,预测岩石在各种力场作用下的变形与稳定性,为设计和施工提供定量依据。其中建立符合实际的力学模型和选择适当的分析方法是数学力学分析中的关键。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、断裂力学模型和损伤力学模型及流变模型等。常用的分析方法有块体极限平衡法,有限元、边界元和离散元法,模糊聚类和概率分析法等。随着科学技术的发展,运用系统论、信息论、人工智能专家系统、灰色系统等软科学方法来解决岩石力学问题的研究受到重视。

④ 综合分析法。综合分析法是岩石力学研究中极其重要的一套工作方法。由于岩石力学工作中每一环节都是多因素的,且信息量大,因此必须采用多种方法考虑各种因素(包括工程的、地质的及施工的等)进行综合分析和评价,才能得出符合实际情况的正确结论,而综合分析判断是该阶段常用的方法。

以上几种方法紧密结合并且相互促进、相辅相成、缺一不可。

1.2 岩石力学发展简史

岩石力学是伴随着采矿、土木、水利、交通等岩体工程的建设 and 数学、力学等学科的进步而逐渐发展形成的一门新兴学科。

早期的岩石力学研究只是零星的,多是基于实用并借用土力学成果。1907年普罗托季亚科诺夫(М. М. Протождьяконов)提出了普氏岩石坚固性系数及计算围岩压力的压力拱理论。1912年海姆(A. Heim)提出了原岩应力状态的静水压力理论,该理论认为地下岩石处于一种静水压力状态。1942年太沙基(K. Terzaghi)提出了计算隧洞顶部压力的公式,即“太沙基公式”。这些理论和公式都曾被认可和应用。

20世纪50年代以后,鲁滨涅特(К. В. Руппененит)运用连续介质理论写出了求解岩石力学领域问题的著作。同期,开始有人用弹塑性理论研究围岩的稳定问题,导出著名的芬纳(Fenner)—塔罗勃(J. Talobre)公式和卡斯特纳(H. Kastner)公式。塞拉塔(S. Serata)用流变模型进行了隧洞围岩的黏弹性分析。但是,上述连续介质理论的计算方法只适用于圆形巷道等个别情况,而对普通的开挖空间却无能为力,因为没有现成的弹性或弹塑性理论解析解可供应用。

20世纪60至70年代,运用早期的有限差分法和有限元法等数值分析方法求解岩石力学问题得到长足的发展。出现了考虑实际开挖空间和岩体节理、裂隙的围岩和支护共同作用的弹性或弹塑性计算方法,使运用围岩和支护共同作用原理进行实际岩体工程的计算分

析和设计变得普遍起来。

在采用共同作用理论解决实际问题时,必须以原岩应力(地应力)作为前提条件进行理论分析,才能把围岩和支护的共同变形与支护的作用力、支护设置时间、支护刚度等关系正确地联系起来。否则,使用假设的外荷载条件计算,就失去它的真实性和实际应用价值。这一认识促进了中国早期的地应力测量工作的开展。

1962年10月,在第13届地质力学讨论会上成立了国际岩石力学学会,米勒(Müller)担任第一任主席,这是岩石力学发展史上的重要事件。

1979年9月,以陈宗基先生为团长的中国10人代表团参加了在瑞士蒙特勒(Montreux)召开的第4届国际岩石力学大会。陈宗基先生分别在国际岩石力学学会理事会及学术大会上做了介绍中国岩石力学学科发展的报告,在国际上产生了广泛的影响。

在陈宗基先生倡导下,1982年成立了中国岩石力学与工程学会等备委员会。经过三年多的不懈努力,1985年成立了全国性一级学会——中国岩石力学与工程学会。在学会历届理事长陈宗基、潘家铮、孙钧、王思敬、钱七虎的努力推动下学会工作得到很大发展。

我国在水利、水电、煤炭、铁道、建筑、冶金等部门根据行业特点建立了各自的岩石力学专业委员会,并对若干重大工程项目开展了广泛的科技咨询和技术支持。这支队伍为解决国家重大项目,如三峡、葛洲坝、小浪底、二滩、南水北调等水利水电工程,大冶、攀枝花、金川等矿山工程,成昆、南昆、京九、青藏等铁路工程,抚顺、大同、两淮、兖州等煤矿工程,大庆、胜利、克拉玛依等石油工程,秦山、大亚湾、岭澳等核电工程以及成千上万个中、小型工程建设中所遇到的岩石力学难题,开展了大量的研究工作,取得了丰硕的成果。

20世纪60年代至今,是岩石力学理论和实践的新进展阶段,其主要特点是:用更为复杂的多种多样的力学模型来分析岩石力学问题,把力学、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了岩石力学。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。

20世纪80年代和90年代,岩体工程三维信息系统、人工智能、神经网络、专家系统、工程决策支持系统等迅速发展起来,并得到普遍的重视和应用。

20世纪80年代以来,三峡工程等重大岩体工程的修建使得中国成为世界上重要的岩石力学研究地区,中国的岩石力学理论和实践研究取得了许多开创性成果。2011年10月18日,第十二届国际岩石力学大会在北京国家会议中心隆重开幕,中国科学院武汉岩土力学研究所冯夏庭研究员出任国际岩石力学学会主席,这是我国岩石力学发展水平受到国际认可的重要标志。

随着科学技术的飞速发展,各门学科协同创新,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。

1.3 我国岩石力学取得的成就

1.3.1 基础理论研究进展

通过大量的工程实践,我国岩石力学界充分认识到岩体和岩石在工程意义上的本质区别,并理解工程岩体的复杂性,包括多元结构性以及由此而形成的不均一性,不连续性和各

向异性等。我国学者不仅深入地研究了岩石基本的力学特性,而且重点对现场工程岩体的力学行为进行了全面而系统的研究,从而对岩石力学的基本问题取得了若干的理论认识。

岩石和岩体的基本特性及其复杂性主要赋存于结构性之中。中国科学院地质研究所谷德振等开展了围绕岩体结构为中心的系统研究,创建了岩体工程地质力学理论。在对岩体的不均一和不连续结构进行了地质演化研究和地质力学分析,以及在对工程岩体变形、破坏机理研究的基础上,王思敬、孙玉科、李兴唐等论述了地下工程、边坡工程、大坝工程和区域地壳稳定性的工程地质力学分析。孙广忠研究了岩体结构的力学效应,提出了岩体介质的划分和岩体结构力学理论,所有这些无疑为我国岩石力学研究和工程实践植入了坚固的基石。

岩石和岩体的内在特性和力学行为的时效性是岩石力学研究和工程预测中的基本理论问题。陈宗基等提出并率先开展了岩石流变学的研究。岩石力学的时效性包括蠕变、应力松弛、长期强度等,均获得了深入的研究,尤其是软弱结构面的流变特性研究有重要的实用价值。在孙钧等推动下,岩石流变学从试验工作、理论模型到分析原理皆得到系统的发展和突破。我国学者在岩体力学本构和力学模型理论方面有很多的研究,如弹塑性、刚塑性、黏弹塑性模型,断裂蠕变、蠕变损伤等,葛修润、周维垣、朱维申等做出了若干卓有成效的研究。俞茂宏等在双剪强度理论、郑颖人等在岩土塑性力学方面均取得了创新性成果。潘家铮在岩土特性及水电岩石工程稳定性理论上有所建树。刘宝深在矿山岩石力学领域研究并发展了随机散粒介质力学模型和理论。张友天等则对岩体水力学做了重要的创新性研究。有限元法等数值方法成为解决复杂岩石力学问题的重要手段,刘怀恒是我国岩石力学有限元法的开拓者。

岩体受多组结构面切割,往往具有很强的不连续性,在变形、破坏过程中常表现为块体位移或运动。因此,我国学者一向重视块体力学的研究,从单块体到多块体,从极限平衡到刚塑性块体等数值模型。岩体力学的统计模型、可靠度模型、人工智能模型以及非线性系统理论等受到广泛研究,系统工程和综合集成研究取得了重要的进展。

1.3.2 测试和试验方法及技术的研究进展

我国岩石力学的大规模现场试验工作是从20世纪70年代葛洲坝和三峡等工程开始的,到20世纪80年代初在二滩工程及金力、镍矿等处也做了系统的试验研究工作。大量工程中的试验工作为我国岩石力学的发展提供了坚实的基础。

实验室研究是岩石力学理论发展的基础性工作。陈宗基在中国科学院岩土力学研究所建设了岩石力学实验室,开展了岩石流变学及岩石基本物理力学特性的试验研究,之后葛修润研究了岩石脆性破裂和损伤问题。董学晨等则开展了不同应力条件下的岩石力学试验取得了新的进展。孙钧等对岩石流变和岩石力学进行了卓有成效的实验研究。我国地应力研究颇具特色,不仅发展了各类测试技术,而且在地应力的地质力学分析和三维反演等方面也卓有成效。

岩石力学的物理模拟试验在我国得到广泛的应用。周维垣等开展了大坝地质力学模型研究,陈祖煜开展了岩石工程的离心机模拟试验,李仲奎完成了大型地下厂房岩石开挖的地质力学模拟试验等,这些工作得到重要的理论认识和工程应用,研究成果既充实了岩石力学理论,又解决了许多工程难题。

1.3.3 岩石力学的工程实践

大规模工程实践是岩石力学之源。工程的难题促进了科研工作。例如,通过对葛洲坝坝基的研究工作,软弱泥化夹层成因及力学性能得以深入研究;通过金川矿山、二滩工程等地研究,发展了地应力量测技术和地应力反演分析方法;通过大量工程的工作,发展了岩体质量评价方法及岩体分类系统,并制定了国家标准;发展了岩体监测技术及反分析原理,如杨志法等研究的位移反分析方法得到工程的实际应用;信息化岩石工程施工原理和技术在三峡等许多重大工程得以实施。

一批地质条件复杂、规模巨大的工程和矿山的实际问题在岩石力学原理的指导下和岩石力学方法和技术的帮助下得以解决,如三峡工程永久船闸高陡边坡的锚固和排水系统的设置及变形的控制,天生桥、李家峡、隔河岩等高边坡的加固,二滩工程在高地应力条件下的大跨度地下洞室群的建设,二滩工程高拱坝坝基建基面的优化,金川高地应力条件下的无矿柱充填法深部采矿,西部富水基岩冻结立井施工冻结壁稳定性评价及井壁结构设计问题的解决以及秦岭等深埋长隧道的建设等。

应该指出,在西部大开发和实现“中国梦”的战略指引下,基础工程建设及资源开发项目和规模剧增,岩石力学与工程的理论研究和工程实践得以前所未有的蓬勃发展,出现许多创新研究成果和突破性进展,学科领域有所扩展,研究工作进一步深入,研究水平有很大提高,我国岩石力学与工程学界正在向世界学科前沿努力迈进。

1.4 岩石力学的发展方向

我国岩石力学的研究在水利水电工程建设、铁路和交通工程建设、深部采矿工程、可列入地下洞室的卡斯特溶洞及各种人工石窟的安全保护问题、洁净能源和资源的开发、防灾减灾工程、地下空间利用、与岩石力学有关的环保工程、地下和军事工程、石质文物遗址的研究和保护等领域将不断得到发展。这是重点叙述岩石力学理论研究、岩石力学方法研究、岩石力学应用研究等三个大的方面的发展方向。

1.4.1 岩石力学理论研究

① 多场耦合的裂隙岩体应力—应变关系研究是一个重要的研究方向。多场耦合研究在解决寒区岩体工程稳定性评价和安全生产方面、深部岩体工程支护技术、核废料地下储存技术、石油和天然气地下储存技术等方面具有重要价值。

② 动、静状态下微观、细观和宏观等不同尺度下三相(多相)介质变形破坏规律研究值得重视,这些研究对岩体工程稳定性评价、合理支护技术的确定以及岩体工程破坏准则的建立具有重要价值。

③ 从地质演化角度开展岩体工程灾害的中长期预报研究非常重要,这些研究有助于解决岩体工程长期稳定性研究。

④ 岩石力学的非线性研究。作为天然的地质体,非线性是其基本的性质,开展岩石力学非线性研究对于解决复杂的岩体力学稳定性分析问题具有重要意义。

1.4.2 岩石力学方法研究

(1) 综合集成方法论

以岩石力学、工程地质和系统科学的结合为中心的岩石工程信息综合集方法论和相应配套技术研究。

(2) 新的数值方法

随着电子计算机科学的迅猛发展,作为岩石力学分析的重要内容的数值方法,新世纪的进展必将神速。功能越来越强的数值方法将不断出现。

(3) 岩体统计力学

岩体统计方法仍将受到关注。由于岩体力学性质的非均匀性和各向异性,统计方法在解决复杂岩体工程稳定性评价方面的研究将得到重视。

(4) 岩体结构精细描述和力学精细分析方法

目前,有限单元法、有限差分法、离散元法等先进的数值模拟技术在解决岩体力学问题时遇到的重要困难之一是计算模型与实际有偏差,因此如何精细化描述岩体真实结构急需研究。采用力学精细分析方法解决岩体力学重大问题的方法也急需解决。

1.4.3 岩石力学应用研究

(1) 岩体工程的工程地质勘察新技术

随着电子技术的发展,岩石力学所依赖的工程地质勘察技术将有长足进步,各种宏观尺度、细观尺度和微观尺度的多功能勘测技术将逐步提出来,为岩石力学与岩体工程研究服务。比如,需要研制一种高性能的遥感式仪器,不仅能测到地表或地表附近的地质结构并判断岩土介质的力学性能,而且还可感应到地表以下相当深度的地下地质结构并提供相应的岩体力学参数。

(2) 岩体工程的监测技术

电子技术的发展还将促使监测朝着范围广、精度高、信息传输远、方便经济的方向发展。如岩体边坡变形远程自动化监测系统、矿山开挖引起的地表变形自动化监测系统等工作急需开展。

(3) 新的物理力学试验技术

大型室内和现场物理力学实验是研究岩体力学问题的重要手段,基于各种原理的新的物理、力学试验新技术将得到充分发展,这些技术将具有高精度、高可靠度、自动分析处理和远距离传输试验结果的功能。

(4) 岩体工程的加固技术

在加固技术方面,需要研制高强而不锈钢的预应力锚索,目的是彻底解决目前预应力锚索所存在的诸如容易发生应力腐蚀等问题。需要研究新的注浆技术,解决弱渗地层难注浆的困难。

(5) 信息系统

岩体工程的信息系统必然包含岩石力学与岩体工程的内容,而岩石力学的发展也极大地促进岩石力学研究信息化和数字化的发展。如基于互联网的岩体工程安全施工预测预报系统急需研究。

练 习 题

1. 岩石力学的定义是什么？岩石力学研究的内容有哪些？
2. 我国岩石力学取得的成就有哪些？
3. 岩石力学的发展方向是什么？

2 岩石的物理力学性质与强度理论

2.1 岩石的物理性质

岩石的物理性质是指由岩石固有的物理组成和结构特征所决定的密度、孔隙性、水理性、热理性等基本属性。

2.1.1 岩石的非均质性与各向异性

岩石的结构和构造特征决定了岩石的非均匀性、各向异性和裂隙性,岩石的非均匀性、各向异性和裂隙性是岩石材料区别于其他力学材料的最突出的结构特征。

2.1.1.1 非均质性

岩石的非均质性是表征岩石的物理、力学等性质随空间变化而变化的一种性质。岩石组成物理粒度、圆度等性质的非均质性决定了岩石的非均质性。岩浆岩中的晶体颗粒,有的小到显微镜也难观察,有的直径大到数十厘米;沉积岩中,有的小到肉眼不能看见,像石灰岩、泥岩和粉砂岩中的微细颗粒,也有的粒度达数十厘米,如砾岩中的粗大颗粒。同一地点同一种岩石,矿物或岩屑颗粒的尺寸也相差很大。一般地说,在其他条件相同的条件下,岩石组成的颗粒越细小,岩石越致密,颗粒大小越均匀、一致,则其力学性质越均匀。

岩石的非均质性可用试验数据的偏差系数 ζ 进行估计,即:

$$\zeta = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \quad (2-1)$$

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2-2)$$

式中 \bar{X} ——各观测值的算术平均值;

X_i ——第 i 个观测值;

n ——试件个数。

某学者通过对砂岩弹性模量(垂直于层理)进行试验后,得到了用于试验的不同砂岩的弹性模量的偏差系数——粗砂岩 17.0、中砂岩 17.8、细砂岩 4.4。由试验结果可以看出,随着砂岩颗粒尺寸的减小,砂岩弹性模量的偏差系数减小,砂岩的力学性质变得越均匀。

2.1.1.2 各向异性

岩石的各向异性是由其生成条件所决定的。岩浆在运移、冷凝成岩的过程中,会使成片、板状、柱状矿物做定向排列,形成典型的流纹结构、流线结构和流层结构等。岩石在变质作用过程中,会使原岩中那些本来没有明显方向性排列的片状、板状、柱状矿物,重新做定向排列,或新产生一些变质矿物定向发育。从不同角度分析,有两种情况:一种