



高等学校“十一五”规划教材

岩石力学

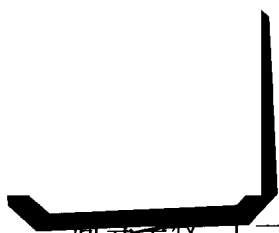
Yanshi Lixue

王渭明 杨更社 张向东 叶洪东 编著

842

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press



“十二五”规划教材

岩石力学

王渭明 杨更社 张向东 叶洪东 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书介绍了岩石的基本物理力学性质、热学性质和室内实验方法,岩体结构面的几何特征和力学特性,岩体的变形和水力学性质,工程岩体的分类,原岩应力状态和测试技术;岩石力学在地下工程、边坡工程、基础工程中的应用;概略介绍了岩石力学数值方法、反问题、断裂与损伤力学在岩体工程中的应用,以及块体力学。每章均附有思考题和习题,便于读者思考与练习。

本书主要作为高等院校地下建筑工程、矿山建筑工程、土木工程、水利水电工程、交通工程等本科专业教材,也可以作为从事岩石力学与工程相关工作的教师、研究生和工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

岩石力学/王渭明等编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2010.2

ISBN 978 - 7 - 5646 - 0604 - 6

I. ①岩… II. ①王… 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(2010)第 027953 号

书 名 岩石力学

编 著 王渭明 杨更社 张向东 叶洪东

责任编辑 杨传良 潘俊成

责任校对 何晓惠 杨 洋

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 17.5 字数 429 千字

版次印次 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

岩石力学是研究岩石在不同物理环境中力学效应的学科。因此,“岩石力学”是矿山建筑工程、地下建筑工程、土木工程、水利水电工程、交通工程等专业的一门专业基础课程。本着“厚基础、宽口径,培养创新型人才”的原则,本书全面、系统地介绍了岩石力学的基本知识、基本理论及其在地下工程、边坡工程、基础工程中的应用,概略展示了岩石力学的新理论、新方法和发展动态,使读者能够扎实掌握岩石力学基础知识和较全面的应用技能,了解学科的发展动态,为从事岩石力学研究和工程建设工作打下良好的基础。

本书共分10章,其中第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第10章由山东科技大学王渭明编写;第7章由西安科技大学杨更社和刘慧编写;第6章、第9章由辽宁工程技术大学张向东编写;第8章由河北工程大学叶洪东编写。全书由王渭明统稿。

本书在编写过程中参考了大量文献,这些著作、论文和研究成果为本书顺利成稿奠定了良好的基础。在此对这些文献作者表示衷心的感谢!

感谢山东科技大学、西安科技大学、辽宁工程技术大学、河北工程大学、中国矿业大学和河南理工大学等高等院校的同行对本书给予的支持、建议和宝贵意见!感谢路林海、王磊、俞永贤、张晓燕等为本书资料整理所做的大量工作!

由于时间仓促、水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者指正。

作 者

2009年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 岩石力学的定义	1
1.2 岩石与岩体	1
1.3 岩石力学特征和研究内容	3
1.4 岩石力学的研究方法	6
1.5 岩石力学相关学科	6
1.6 岩石力学的发展简史	7
1.7 岩石力学专业的主要组织与期刊	9
思考题和习题	10
第 2 章 岩石的基本物理性质	11
2.1 岩石的容重和相对密度	11
2.2 岩石的孔隙性	13
2.3 岩石的水理性质	14
2.4 岩石的热学性质	18
思考题和习题	21
第 3 章 岩石的基本力学性质	22
3.1 概述	22
3.2 岩石的强度性质	23
3.3 岩石的变形性质	36
3.4 岩石的流变性质	45
3.5 岩石的强度准则	58
思考题和习题	66
第 4 章 岩体的基本力学性质	68
4.1 结构面的几何特征	68
4.2 岩体结构面分类	73
4.3 结构面迹线测试方法	76
4.4 岩体结构面的变形特性	78
4.5 结构面的强度条件	85
4.6 结构面对岩体强度的影响	91
4.7 岩体强度特征	96

4.8 岩体的变形特性	99
4.9 岩体水力学性质	109
思考题和习题	112
第5章 工程岩体分类	114
5.1 概述	114
5.2 工程岩体单因素分类	116
5.3 工程岩体多因素综合分类	119
思考题和习题	130
第6章 岩体的初始应力状态	131
6.1 初始应力状态的概念与意义	131
6.2 组成岩体初始应力状态的各种应力场	131
6.3 岩体初始应力状态的现场测量方法	135
6.4 岩体初始应力分布的主要规律	142
6.5 高地应力地区的主要岩石力学问题	146
思考题和习题	149
第7章 岩石力学在地下工程中的应用	150
7.1 岩体二次应力状态的基本概念	150
7.2 深埋圆形硐室围岩应力的弹性解	150
7.3 深埋非圆形硐室围岩应力的弹性解	158
7.4 深埋圆形硐室围岩应力的弹塑性分析	163
7.5 围岩压力的概念与分类	168
7.6 塑性变形压力的计算	171
7.7 松散岩体围岩压力的计算	172
7.8 地下工程支护设计	184
思考题和习题	202
第8章 岩石力学在边坡工程中的应用	203
8.1 岩质边坡的应力分布特征	203
8.2 岩质边坡变形与破坏类型	207
8.3 影响边坡稳定性的因素	213
8.4 岩质边坡稳定性分析	214
8.5 岩质边坡加固简介	226
思考题和习题	229
第9章 岩石力学在基础工程中的应用	231
9.1 岩基的类型	231

9.2 岩基变形与沉降计算	232
9.3 岩基的承载能力确定	236
9.4 岩基的抗滑稳定分析	241
9.5 岩基的加固简介	249
思考题和习题	250
第 10 章 岩石力学进展	251
10.1 岩石力学数值分析	251
10.2 岩石力学反问题研究	256
10.3 断裂力学在岩体工程中的应用	259
10.4 损伤力学在岩体工程中的应用	262
10.5 岩石块体力学	264
10.6 岩体力学新问题	266
参考文献	268

第1章 绪 论

1.1 岩石力学的定义

岩石力学的诞生是以解决岩石工程稳定性问题和研究岩石的破碎条件为目的而诞生的。其研究介质不仅非常复杂,而且存在许多力学性质不稳定性或不确定性因素,这就使得本学科独立的、完善的、系统的基础理论难以建立。岩石力学的发展始终引用和发展固体力学、土力学、工程地质学等学科的基本理论和研究成果,或者引用这些相关学科的研究成果来解决岩石工程中的问题。因此,偏重不同行业应用的岩石力学往往有不同的定义,迄今岩石力学也没有统一的定义。

本书推荐美国地质协会岩石力学委员会于1964年提出的岩石力学定义:岩石力学是研究岩石力学性状的一门理论和应用科学,是力学的一个分支,是研究岩石在不同物理环境的力场中产生各种力学效应的学科。该定义概括了岩石破碎和稳定两方面的主题,也概括了岩石在不同物理环境中各种应力状态下的变形、破坏规律。这是一个较广义、较严密并得到广泛认可的定义。

岩石力学又称为岩体力学。但随着科学技术的发展,岩石与岩体已有严格的区分,因此有人认为应将岩石力学改为岩体力学更切合本学科的研究主题。但是,岩石力学这一名词沿用已久且使用普遍,所以岩石力学和岩体力学是同一学科。

1.2 岩石与岩体

岩石力学的研究对象主要是岩石工程和采矿中遇到的有关岩体,通常称其为易于接近的岩体。强风化带以上的地层属于土力学范畴,采矿和钻探影响不到的深度则属于构造地质力学范畴。易于接近的岩体最重要的特性在于它被节理和断层所切割,而岩体的力学效应和工程稳定性往往受切割面的影响。因此,掌握岩体的构成及其组构关系是十分重要的。

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、结构和构造。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为造岩矿物。如常见的石英、正长石、方解石等,它们绝大部分是结晶质。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、形状以及相互结合的情况,如沉积岩内存在碎屑结构、泥质结构及生物结构等结构特征。所谓岩石的构造,是指组成成分的空间分布及其相互之间的排列关系。作为代表性结构的有沉积岩的层理构造和变质岩中的片理构造等。

岩石按成因可分为三大类:岩浆岩、沉积岩和变质岩。

岩浆岩是岩浆冷凝而形成的岩石,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、变质岩和更早形成的沉积岩)在地表经风化剥蚀后而产生的

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。由于沉积环境的影响,沉积岩具有层理构造,这使得沉积岩沿不同的方向表现出不同的力学性能。

变质岩是由岩浆岩、沉积岩或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。变质岩的物理力学性质不仅与原岩的性质有关,而且与变质作用的性质和变质程度有关。

由于地壳在形成过程中赋存应力,之后又经历多次地质构造运动,应力场变得复杂,破坏了岩体的完整性和连续性,产生许多裂隙、节理和断层。裂隙、节理、断层、层理等称为地质中的结构面、力学中的不连续面和弱面。通常把岩体定义为由结构面和被其切割的岩块组成的集合体(图 1-1)。

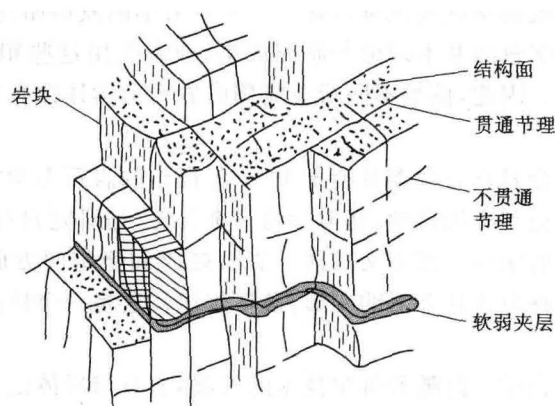


图 1-1 岩体结构示意图

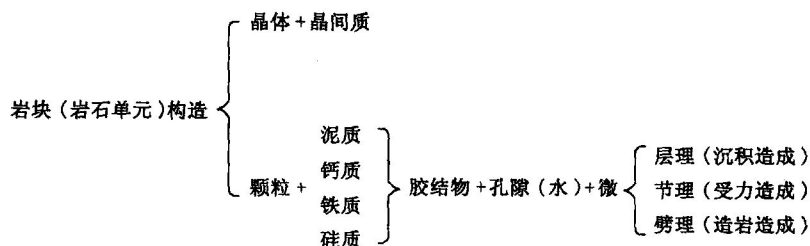
结构面是岩体中的软弱面,结构面的存在破坏了岩体的完整性、降低了岩体的强度,岩体质量的好坏与结构面的分布、性质和力学特性有密切关系。特别是结构面的产状、切割密度、粗糙度、起伏度、延展性和黏结力以及充填物的性质等都是评定岩体强度和稳定性能的重要依据。

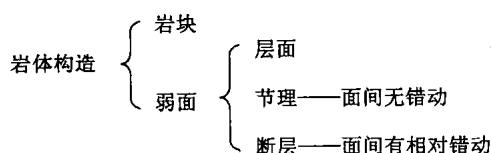
岩石、岩体及其组构关系可概括如下:

岩石:由矿物或岩屑在地质作用下按一定规律聚集而形成的自然物体。

岩体:岩块(岩石单元)和结构面构成的集合体,又称地质体。

岩体=岩块+结构面(又称为弱面、不连续面,包括节理、裂隙、断层面、岩层面等)





1.3 岩石力学特征和研究内容

1.3.1 岩石力学特征

岩石力学是近代发展起来的一门新兴学科和边缘学科,它与传统固体力学相比具有显著特点。

(1) “岩体”的力学性质

作为岩石力学研究的主要介质,“岩体”具有如下力学性质:

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,因而岩体多数是不连续介质,但岩石块本身则可作为连续介质看待。

② 各向异性。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。

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、形状和镶嵌情况等在各部位都很不一致,造成岩体的不均匀性。

④ 岩石块单元体的可移动性。岩体是由具有不同连结程度的岩石块单元体所镶嵌排列组成。岩体的变形破坏往往取决于组成岩体的岩石块单元体的移动,它与岩石块本身的变形破坏共同组成岩体的变形破坏。

⑤ 岩体赋存条件影响其力学性质。岩体处于一定的地质环境中,岩体赋存有不同于自重应力场的地应力场、水、气、温度以及地质历史遗留的形迹等。

(2) 岩石力学的特点

从岩石工程结构来看,岩石力学具有如下特点:

① “卸载”和“加载”同时存在于同一结构体系中。岩体在开挖或工程结构施工前,承受着初始应力;开挖后,开挖面周围的岩体应力重新分布,有的单元岩体应力降低表现出所谓的“荷载释放”,即表现为“卸载”特征,有的单元岩体应力升高则表现为“加载”特征。

② 先有“荷载”后有“结构”。地上工程结构都是先制作结构,再施加荷载;而岩体工程是在已承受初始应力场的岩体中构造“结构”,工程周围的岩体既是作用在“结构”上的荷载,又是承担荷载的“结构”。

③ 岩体的性质存在不确定性。岩体中的结构面是岩体的组成部分,是影响岩体强度和质量的重要因素。而结构面又是漫长的地质历史遗留的形迹,它在岩体中分布的规律和力学性质都难以用确定的参数来描述。

④ 基础理论具有多元性,工程应用带有行业性。这一方面是因为岩体组成的复杂性、多样性,不便于用统一的力学模型或理论来描述这些不同性质的岩体,所以许多力学理论和应用方法在岩石力学中得到应用和发展。另一方面是因为岩石力学是与工程实践密切相关的学科,应用的范围广泛,它涉及采矿、土木建筑、水利水电、铁道、公路、地质、地震、石油、海

洋工程等众多与岩石工程相关的工程领域。各领域在应用基本理论解决各自的工程问题的同时,还提出了一些带有行业特色的应用理论和方法(包括经验公式),使得岩石力学在工程应用方面带有行业性。

1.3.2 岩石力学的研究内容

岩石力学的研究对象复杂,应用范围广泛,研究内容非常丰富,大致可归纳为如下几个方面。

(1) 岩石与岩体的物理力学性质

这是岩石与岩体的力学性质的基础研究,岩石与岩体的物理力学性质指标是评价岩体工程稳定性的最重要依据。通过室内和现场试验获取各项物理力学性质数据,研究各种试验的方法和技术。基本内容包括:

- ① 岩石的物质组成和结构特征;
- ② 岩石的物理、水理性质;
- ③ 岩块在不同状态应力作用下的变形和强度特征;
- ④ 结构面的变形特征和强度参数的确定;
- ⑤ 岩体的变形与强度特征。

(2) 岩石和岩体的本构关系(应力—应变关系)

岩石和岩体种类多,物理力学性质差别大,各类岩石和岩体的力学响应不同,所以对岩石和岩体的本构关系的研究一直是本学科的难点和重点。其基本内容包括:

- ① 岩石(岩块)的本构关系;
- ② 岩体结构面分类和典型结构面的本构关系;
- ③ 岩体的本构关系。

(3) 工程岩体的应力、变形和强度理论

分析工程影响范围内岩体中的应力、变形规律及其强度特征计算围岩压力,为工程安全评价、稳定性维护提供理论依据和基本参数。基本内容包括:

- ① 岩体初始应力测量及其分布规律;
- ② 工程岩体中的应力、应变、位移计算;
- ③ 岩体破坏机理、强度理论和工程稳定维护与评价。

(4) 岩石(岩块)室内实验

室内实验主要是确定岩石(块)的基本物理力学性质、参数。

(5) 岩体测试和工程稳定监测

岩体测试和工程稳定监测的基本内容包括:

- ① 岩体原位力学试验原理和方法;
- ② 工程岩体结构面分布规律的测试和统计;
- ③ 工程岩体的应力、应变、位移监测方法及其测试数据的分析、利用;
- ④ 工程稳定准则和安全预测理论与方法。

1.3.3 应用领域中的岩石力学问题

岩石力学在工程中的应用可概括为:对工程岩体进行系统的岩体力学试验及理论研究,

评价岩体质量及其稳定性,为工程设计(包括施工、加固)提供理论依据和有关参数;对工程实施监测,分析测试数据,反馈安全信息,预防重大岩体工程事故,确保施工顺利及工程可靠安全。

岩石力学研究的问题很多,应用的工程领域非常广泛,大致归纳如下:

(1) 采矿工程中的岩石力学问题

① 露天采矿的边坡稳定性。它主要包括:边坡的应力分布、变形和破坏,边坡岩体的失稳与加固等理论。

② 井下开采中的井筒、巷道围岩稳定性。它主要包括:开挖引起的应力重分布、围岩变形、围岩压力以及围岩加固等理论。

③ 采场顶板管理与稳定性控制。

④ 井巷工程、采场围岩监测,信息反馈,灾害预报及处理。

⑤ 岩爆、煤与瓦斯突出预测及预处理。

⑥ 采空区处理及地面沉降问题。

⑦ 岩石破碎问题。

(2) 水利水电工程中的岩石力学问题

① 坝基及坝肩稳定性分析、防渗和加固。

② 有压和无压引水隧道围岩稳定性分析与加固。

③ 大跨度高边墙地下厂房围岩稳定性分析与加固。

④ 高速水流冲刷的岩石力学问题。

⑤ 水库诱发地震的预报问题。

⑥ 库岸边坡稳定性分析及加固。

(3) 铁道和公路建设中的岩石力学问题

① 线路边坡稳定性。

② 隧道围岩稳定性。

③ 隧道施工中的地质超前预报及处理。

④ 高地应力区的岩爆预测及处理。

⑤ 隧道入口施工技术及洞脸边坡角的确定与加固。

⑥ 地铁工程围岩稳定性分析与加固。

(4) 土木建筑工程中的岩石力学问题

① 岩基的稳定性研究。包括在自然力和工程力作用下,岩基中的应力、变形、承载力和稳定性分析与加固。

② 地下建筑空间围岩稳定性分析与加固。

③ 山城或山坡及临坡建筑物基础稳定性和滑坡监测预报与防治。

(5) 石油工程中的岩石力学问题

① 岩石应力与岩石渗透性。

② 岩石力学与地球物理勘探综合研究。

③ 钻探技术与井壁稳定性。

④ 岩石力学与采油技术(水压致裂、水平钻孔)。

⑤ 油层压缩及地表沉陷。

- ⑥ 石油、天然气运输、储存工程及环境影响。
- (6) 海洋勘探与开发工程中的岩石力学问题
- (7) 核废料处理中的岩石力学问题
- (8) 地层热能资源开发中的岩石力学问题
- (9) 地震预报中的岩石力学问题

1.4 岩石力学的研究方法

岩石力学的研究方法是采用科学实验、理论分析与工程紧密结合的方法。

首先,对现场的地质条件和工程环境进行调查分析,掌握工程岩体的组构规律和地质环境,然后进行室内外的物理力学性质试验、模型试验或原型试验,作为建立岩石力学的概念、模型和分析理论的基础。

然后,按地质和工程环境的特点分别采用弹性理论、塑性理论、流变理论以及断裂、损伤等力学理论进行计算分析。

采用适当的力学理论来研究岩石力学问题是非常重要的,否则将会导致理论与实际相脱离。当然,理论的假设条件与岩体实况之间存在着一定的差距,应尽量缩小差距。目前,尚有许多岩石力学问题,运用现有的理论和知识仍然得不到完善的解答。因此,紧密地结合工程实际、重视实践中得来的经验,将其发展上升为理论并充实该理论,这是岩石力学理论和技术发展的基本方法。

计算机技术已广泛地应用于岩石力学的计算中,这不仅解决了一些复杂的岩石力学分析、计算问题,而且促进了岩石力学理论的发展,使得许多非线性理论在岩石力学中得到运用和发展。有限元、离散元、边界元等数值方法,在岩石力学中已经得到普遍应用。

岩石力学研究的一般步骤可用图 1-2 表示,图中的内容和步骤视实际工程岩体特点和工程需求,可进行调整。

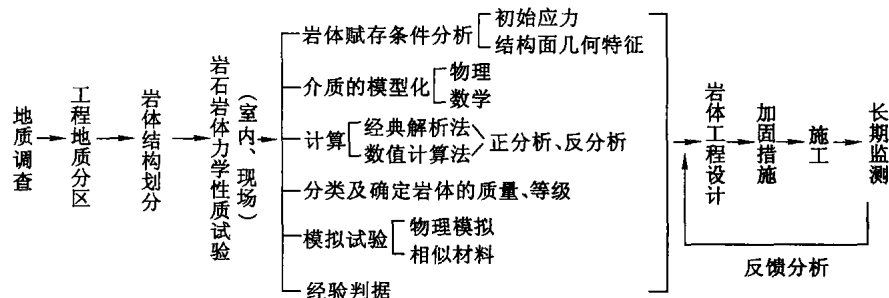


图 1-2 岩石力学研究步骤示意图

1.5 岩石力学相关学科

岩石力学涉及两大学科:地质学科和力学学科。

首先利用工程地质学、历史地质学、构造地质学、岩石学、地球物理学等地质学科的理论

和方法研究结构面、地应力、水、气等地质作用因素在工程岩体中的分布规律,及其对岩体的力学性质和稳定性的影响。

然后,对完整致密的或比较完整致密的岩体,利用弹性力学、塑性力学和流变力学等力学的基本理论研究岩石和工程岩体的应力、变形和强度等力学响应。

对完整性较差的裂隙岩体,利用非连续、非均质和各向异性体力学理论来研究岩体的力学响应,对含水、气(有压气体)的裂隙岩体还应考虑多相耦合的力学问题。

某些风化严重的岩石、岩性特别软弱或胶结能力很差的沉积岩,使用土力学的理论和方法往往会得到更为接近实际的结果。

1.6 岩石力学的发展简史

1.6.1 国际岩石力学发展简史

人类与岩石的接触由来已久,原始人利用岩石制成简陋的工具和兵器。人类进化后,又挖洞、采矿石,利用岩石作为建筑材料,建筑房屋、水坝、防御工事等。但是岩石力学学科的形成大约始于20世纪初期,至今按其发展进程大致可划分为四个阶段。

(1) 材料力学阶段

岩石力学的形成和发展早期受土力学的影响很大,早期岩石力学把孤立的一块岩石作为研究对象,按照评价材料质量优劣的标准,简单地测量它的密度、容重、孔隙度、含水量等物理性质及简单地测定它的抗压、抗拉、抗切等力学性质。在评价工程建筑遇到的地基、边坡及地下硐室稳定性时把岩体看做岩石材料,把材料力学研究中发展起来的连续介质力学理论直接加以引用。

为了解决地下硐室支护设计问题,提出了所谓传统的地压(又称为围岩压力)计算公式,最具代表性的是由普罗托吉雅柯诺夫(1907)提出的自然平衡拱理论和太沙基(K. Terzaghi, 1925)提出的岩柱应力传递理论。普氏理论认为,地下洞室开挖后,周围岩体自然塌落成抛物线拱形,作用在支架上的压力等于冒落拱内岩石的重量。太沙基理论认为,作用在支架上的压力与同硐室等宽度的岩柱所传递的应力相等。这两个理论由于其概念清晰、计算简单,至今仍在某些埋深较浅的地下硐室中应用。

(2) 两大学派(地质力学的岩石力学学派、工程岩石力学学派)争鸣阶段

从20世纪50年代开始,科学技术人员已感到直接引用材料力学理论来解决岩体力学问题的严重不足,并注重岩体地质特性的研究和探索更加适应岩体特性的理论。在这一过程中出现了地质力学的岩石力学学派和工程岩石力学学派。

地质力学的岩石力学学派称奥地利学派(又称为萨尔茨堡学派),这个学派是由缪勒(L. Muller)和斯蒂尼(J. Stini)所开创的。此学派偏重于地质力学方面,认为岩体不是一块岩石所能表征的,岩体是地质体的一部分,它处于一定的地质环境中,在断层、节理等不连续面切割下形成的结构地质体,认识到岩体是结构地质体,是岩体力学发展史上的一次重大突破。该学派主张岩石块与岩体要严格区分;岩体的变形不是岩石块本身的变形,而是岩石块移动导致岩体的变形;否认小岩石块试件的力学试验,主张通过现场(原位)力学测定才能有效地获取岩体力学的真实性。这个学派创立了新奥地利隧道掘进法(新奥法),是为地下工

程技术做出了巨大贡献的一项重要的技术革新,促进了岩体力学的发展。

工程岩石力学派以法国塔洛布尔(J. Talober)为代表,该学派以工程观点来研究岩石力学,偏重于岩石的工程特性方面,注重弹塑性理论方面的研究,将岩体的不均匀性转化为均质的连续介质,小岩块试件的力学试验与原位力学测试并举。塔洛布尔 1951 年出版《岩石力学》一书,这是该学派最早的代表著作。之后,英国的耶格(J. C. Jaeger)于 1969 年按此观点又出版《岩石力学基础》一书,这是一本在国际上较为著名的著作,为连续介质力学理论在岩石力学中的应用和发展奠定了深厚的基础。

(3) 岩体结构力学阶段

在两大学派争鸣和发展的过程中,科技人员在接受其学说主流的同时,又感到地质力学学派过分强调整理、裂隙的作用,过分依赖经验,而忽视理论的指导作用和反对把岩体作为连续介质看待,有碍于现代数学力学理论和数值计算方法在岩石工程中的应用。虽然岩体中存在结构面,但从大范围、大尺度看,对完整性相对较好的岩体仍可将其视为连续介质。“连续”和“不连续”是一个相对的概念。

工程岩石力学学派,以连续介质理论为基础,注重对岩石“材料”的研究,追求准确的“本构关系”。但是由于岩体组成和结构的复杂性、多变性,要想把岩体的材料性质和本构关系完全弄清楚是不太可能的,且仅凭连续介质理论不能完全解决岩石工程问题。

理论研究和工程实践表明,只有两大学派共存、兼容、共同发展才有利于工程岩石力学问题的解决。在这种共识中迎来了岩石力学发展的第三阶段,即岩体结构力学阶段。

岩体结构力学的基本观点认为:岩体变形是由结构体(岩体的实体部分)变形和岩体结构面变形两部分组成的,岩体结构面控制着岩体的变形。结构体变形包括弹性变形和黏性变形;结构面变形包括闭合变形和错动变形。根据岩体地质特征,归纳出连续介质、碎裂介质、块裂介质和板裂介质四种岩体介质。将岩体结构力学效应概括为:爬坡角效应、尺寸效应和各向异性效应。岩体结构力学是建立在结构分析和工程地质分析的基础上的,是上述提及的两大学派的交叉,为完整的岩体力学理论体系的建立作出了重要贡献。

(4) 现代发展阶段

20 世纪 60 年代以来,计算机技术的迅速发展带来了岩土工程数值方法的广泛应用和迅速发展,人们在进行岩体行为分析时能够采用复杂的本构模型,力求揭示岩体结构在非均匀性、非规则性、非线性、非确定性等非理想因素下的力学响应和变形特性。岩石力学与工程方面的新理论、新方法、新成果不断涌现。近几十年来,非线性弹塑性理论、流变学、断裂力学、损伤力学、各向异性体力学、块体理论等力学理论先后引用到岩体本构模型中,在岩体力学分析中还先后引用了随机理论、灰色理论、人工智能、分形、分叉和混沌理论等现代数理科学、现代信息技术和非线性理论;有限元、边界元、离散元、流形元及其混合数值计算方法得到了广泛应用,成为岩石力学分析计算的重要手段。

岩石力学是一门处于发展中的年轻学科,又是与岩石工程密切相关的学科。随着经济建设的发展,工程的规模不断增大,开挖与维护的难度不断增大,工程要求越来越高,新的岩石力学问题也会接踵而来。为了适应工程的发展,更好地解决工程中的岩石力学问题,岩石力学中的新理论、新方法还会不断提出。同时,已有的理论和方法,特别是近几十年来涌现出来的理论和方法还要在实践中进行检验、修正和完善。

岩石力学各个发展阶段并没有严格的时间界限,往往是重叠或交叉的。各阶段提出的

理论和方法也没有互相否定和取代之说,在初始阶段提出的某些经验公式,现在仍在使用。各阶段的理论和方法主要是针对当时的重要工程提出的,带有一定的时代特色,在应用这些理论和方法时,一定要具体工程具体分析,绝不要盲目采用。

1.6.2 我国岩石力学发展简史

在我国,岩石力学作为一门专门的学科起步较晚。尽管我们的祖先曾修建过闻名世界的工程,如都江堰、自贡深达数百米的盐井、万里长城等,但是由于我国经济 and 工业长期落后,限制了岩石工程的发展。在新中国成立后,大规模的采矿、交通、国防、水利等基本建设的兴起,对岩体力学的发展起了巨大的推动作用。我国岩石力学的发展历程大体上与国际同步,也可划分为三个阶段:

第一阶段,20世纪50年代至60年代中期。这时期的理论和实验研究与国外相似,是运用材料力学、土力学、弹塑性理论等作为基础来开展的。1958年三峡岩基组成立,开始了岩体力学研究的系统规划和实施。

第二阶段,20世纪60年代中期至70年代中期。由于大部分工程停建和缓建,岩体力学发展非常缓慢,成为我国自建国以来岩体力学发展的低谷。

第三阶段,20世纪70年代后期至90年代。在各项大规模工程的建设过程中,提出了许多岩体力学的新课题,使岩体力学进入了一个全面的蓬勃发展新阶段。结合我国的重大工程,提高了岩体力学的理论水平和测试技术,开展了大规模的室内和原位测试研究工作,总结了一系列成功经验与失败教训。不仅成功地解决了葛洲坝和三峡坝区、湖北大冶和江西德兴的露天矿场、秦山核电站岩基与高边坡、煤矿的千米深立井以及铁道交通长隧洞工程等一系列岩石工程问题,而且在岩体力学理论研究方面(如岩体结构、岩石流变、多场耦合的裂隙岩体应力—应变关系以及高岩坡和大型洞室围岩稳定性研究等)均取得重大成就。这些成就在国际上占有重要的地位,顺应了国际岩石力学的发展趋势,使我国的岩石力学顺利地进入了现代发展阶段(第四阶段)。

1.7 岩石力学专业的主要组织与期刊

近几十年来,各种国际岩石力学组织相继成立,如1952年成立的国际岩石力学学会(International Society for Rock Mechanics,简称ISRM)及随后成立的世界采矿大会国际岩石力学局(International Bureau of Rock Mechanics,简称IBRM)。有定期的国际会议,如1954年起,美国一些大学轮流主办,每一或两年召开一次岩石力学学术讨论会;1972年起,欧洲岩石力学局每一或两年召开一次岩石力学学术讨论会;1966年起,国际岩石力学学会每四年举行一次国际岩石力学大会。此外,加拿大也每一或两年召开一次岩石力学学术讨论会。以上各种大会都出会刊。还有一些国际岩石力学期刊,主要有以下三种:

① 在英国伦敦出版的《国际岩石力学与采矿科学杂志及岩土力学文摘》(International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts),1963年创刊,每年4~6期。

② 奥地利出版的《岩石力学》(Rock Mechanics),1969年创刊,月刊。

③ 在英国出版的《国际岩土力学数值及分析方法杂志》(International Journal for

Numerical and Analytical Methods in Geomechanics), 1976 年创刊, 季刊。

自 1978 年以来, 我国陆续成立了分属各有关学会的岩石力学专业组织, 如中国水利学会岩土力学专业委员会、中国力学学会土力学专业委员会、中国煤炭学会岩石力学专业委员会等。水利水电岩石力学情报网创办了《岩石力学》期刊。1985 年, 我国正式成立了中国岩石力学与工程学会, 创办了《岩石力学与工程学报》、《岩土工程学报》等期刊。

思考题和习题

1. 说明岩石、岩体及二者的区别与联系。
2. 简述岩石力学的研究内容与方法。
3. 按地质成因, 自然界中的岩石可以分为几大类? 各大类岩石有何特点?
4. 试阐述岩石力学各发展阶段的特点。