



世纪高等教育土木工程系列规划教材

岩体力学

阳生权 阳军生 主编
张家生 主审

Tumen Gongcheng Xilie Guihua Jiaocai



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

岩 体 力 学

主 编 阳生权 阳军生
参 编 祝方才 刘星晔 任建喜
 王 斌 徐望国
主 审 张家生



机械工业出版社

本书依据全国高等学校土木工程专业指导委员会推荐的土木工程专业地下、岩土、矿山类专业课群组核心课程“岩石力学”教学大纲编写。全书共8章,主要内容包括绪论,岩石的物理、水理性质,岩石的力学特性,岩体的力学特性,地应力及其测量,地下岩体工程,岩体边坡工程与岩石地基工程。

本书可作为土木工程、交通运输工程、水利工程、采矿工程、石油工程以及地质工程等专业的本科生教材,也可作为高等院校、科研院所和工程部门的教师、科研人员以及工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

岩体力学/阳生权,阳军生主编. —北京:机械工业出版社,2008.9
(21世纪高等教育土木工程系列规划教材)
ISBN 978-7-111-24922-1

I. 岩… II. ①阳…②阳… III. 岩石力学-高等学校-教材
IV. TU45

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第125372号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:马军平 版式设计:霍永明 责任校对:程俊巧
封面设计:张静 责任印制:邓博
北京京丰印刷厂印刷
2008年9月第1版·第1次印刷
169mm×239mm·15.5印张·301千字
0 001—4 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-24922-1
定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379711
封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变,现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践,组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止,我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位,与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律,它强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动,所以它强调综合,强调实用性,强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才和科学研究型人才的培养实施不同的方案,采用不同的教学模式,使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才的需要而组织编写了本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,结合大土木的专业建设需要,富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是:

- 1) 加强基础,确保后劲。在内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后发展具有较强的后劲。
- 2) 突出特色,强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础

上,挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例;“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容;“广”指在保证本学科教学基本要求前提下,引入与相邻及交叉学科的有关基础知识;“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通,特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点,合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点,做好实践教材的同步建设,做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信,本套系列教材的出版,对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养,必将产生积极作用,为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

江见鲸

前 言

岩体力学是一门十分年轻的、与有关学科相互交叉的工程学科，其形成和发展要比土力学晚得多，需要应用土力学、固体力学、地质学、流体力学、数学等知识，并与这些学科相互渗透，是一门应用型基础学科。岩体力学的研究对象是岩石与岩体，主要研究岩石与岩体在外界因素（如荷载、水、温度变化等）作用下的应力、应变、破坏、稳定性及加固，并服务于各种岩体工程。

本书依据全国高等学校土木工程专业指导委员会推荐的土木工程专业地下、岩土、矿山类专业课群组核心课程“岩石力学”教学大纲编写。全书分为8章，主要内容包括绪论，岩石的物理、水理性质，岩石的力学特性，岩体的力学特性，地应力及其测量，地下岩体工程，岩体边坡工程与岩石地基工程。

本书可作为土木工程、交通运输工程、水利工程、采矿工程、石油工程以及地质工程等专业的本科生教材。也可作为高等院校、科研院所和工程部门的教师、科研人员以及工程技术人员的参考书。

本书由湖南科技大学阳生权教授、中南大学阳军生教授主编，中南大学张家生教授主审，阳生权教授统稿。编写具体分工如下：第1章 绪论（阳生权）；第2章 岩石的物理、水理性质（湖南工业大学祝方才，湖南科技大学刘星晔）；第3章 岩石的力学特性（阳生权，西安科技大学任建喜）；第4章 岩体的力学特性（阳生权，阳军生）；第5章 地应力及其测量技术（阳军生，阳生权）；第6章 地下岩体工程（湖南科技大学王斌，阳生权）；第7章 岩石边坡工程（阳军生，阳生权，湖南科技大学徐望国）；第8章 岩石地基工程（阳生权，刘星晔）；附录 岩体力学室内常规试验指导书（刘星晔，阳生权）。

参加编写工作的还有中南大学王树英、周峰、南康以及湖南科技大学杨期君、吕中玉、周卫等，湖南科技大学高文华教授、钟新谷教授对本书的编写工作给予了大力支持，在此表示衷心感谢！同时，还非常感谢曾提供帮助与支持的湖南科技大学任伯帆教授、陈秋南教授、万文教授等人。在此不能一一列举所有曾提供帮助与支持的同行，深表歉意！

需要特别指出的是，本书编写过程中得到了中国工程院院士刘宝琛教授的关怀和帮助，刘教授提出了宝贵的意见和建议，在此表示衷心感谢！同时，还非常感谢本书所有参考文献与专著的著作者以及工程实例所涉及的相关工程技术人员。

由于时间仓促，加之编者水平所限，书中难免有不当与错漏之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 岩体力学与工程实践	1
1.1.1 岩体力学及其研究对象	1
1.1.2 岩体力学工程实践	2
1.2 岩体力学研究内容与方法	5
1.2.1 研究内容	5
1.2.2 研究方法	6
1.3 岩体力学发展概况与动态	6
1.3.1 岩体力学与岩体工程发展历程简介	6
1.3.2 岩体力学发展的几个阶段	12
1.3.3 岩体力学发展展望	16
思考与练习	17
第2章 岩石的物理、水理性质	18
2.1 概述	18
2.2 岩石的物理性质	19
2.2.1 岩石的密度	19
2.2.2 岩石的空(孔)隙性	21
2.3 岩石的水理性质	22
2.3.1 岩石的吸水性	22
2.3.2 岩石的软化性	24
2.3.3 岩石的崩解性	24
2.3.4 岩石的膨胀性	25
2.3.5 岩石的抗冻性	25
2.3.6 岩石的渗透性	26
思考与练习	27
第3章 岩石的力学特性	28
3.1 岩石单轴压缩条件下的力学特性	28
3.1.1 单轴抗压强度	28
3.1.2 岩石应力-应变全过程曲线及其五个变形阶段	31
3.1.3 峰值前应力-应变曲线	32

3.1.4 岩石峰值后的变形特征	34
3.2 岩石单轴拉伸条件下的力学特性	35
3.2.1 直接拉伸试验法	35
3.2.2 劈裂试验法	36
3.2.3 点载荷试验法	38
3.2.4 抗弯法试验	39
3.3 岩石剪切条件下的力学特性	40
3.4 岩石三轴压缩条件下的力学特性	43
3.4.1 岩石三轴抗压强度	44
3.4.2 常规三轴试验条件下的岩石变形与强度	46
3.4.3 岩石在真三轴试验条件下的力学特征	48
3.5 岩石的流变特性	49
3.5.1 岩石流变	49
3.5.2 岩石流变方程	50
3.6 影响岩石力学性质的主要因素	63
3.7 岩石的强度理论	66
3.7.1 岩石中任一点的应力状态	67
3.7.2 库仑-纳维尔强度理论	69
3.7.3 莫尔强度理论	70
3.7.4 格里菲斯强度理论	72
3.7.5 德鲁克-普拉格强度准则	76
思考与练习	77
第4章 岩体的力学特性	79
4.1 概述	79
4.2 岩体中的结构面与结构体	79
4.2.1 岩体中的结构面及其特征	80
4.2.2 结构面的力学性质	84
4.2.3 岩体中结构体的特征	94
4.2.4 岩体结构基本类型	95
4.3 岩体的变形性质	96
4.3.1 岩体变形曲线及其特征	96
4.3.2 岩体变形试验	100
4.3.3 影响岩体变形性质与试验结果的因素	110
4.4 岩体的强度性质	111
4.4.1 岩体破坏及其方式	111
4.4.2 岩体强度及其测定	113
4.4.3 岩体强度的估算	116
4.4.4 裂隙岩体的强度	119

4.5 岩体的动力学性质	123
4.5.1 岩体中弹性波的传播特性	123
4.5.2 岩体中弹性波的测定	125
4.5.3 岩体的动弹性参数	128
4.6 岩体的水力学性质	129
4.6.1 岩体渗流及其基本概念	129
4.6.2 裂隙岩体的水力特性	130
4.6.3 地下水渗流对岩体力学性质的影响	132
4.7 工程岩体分级与分类	134
4.7.1 概述	134
4.7.2 岩石质量指标 (<i>RQD</i>) 分类	135
4.7.3 巴顿岩体质量 (<i>Q</i>) 分类	135
4.7.4 岩体地质力学分类	137
4.7.5 岩体 <i>BQ</i> 分类	138
思考与练习	141
第5章 地应力及其测量	142
5.1 概述	142
5.2 岩体中的天然应力	144
5.2.1 岩体自重应力	144
5.2.2 岩体构造应力	145
5.2.3 岩体中的天然应力分布规律	146
5.3 岩体中天然应力的测量	149
5.3.1 地应力测量方法	149
5.3.2 直接测量法	150
5.3.3 间接测量法	153
思考与练习	156
第6章 地下岩体工程	157
6.1 概述	157
6.2 地下岩体工程的应力分布	158
6.2.1 地下岩体工程围岩应力重分布	158
6.2.2 弹性条件下地下岩体工程围岩应力分布	159
6.2.3 弹塑性条件下地下岩体工程围岩应力分布	169
6.3 地下岩体工程变形与计算	175
6.3.1 地下岩体工程围岩的弹性位移	176
6.3.2 地下岩体工程围岩的弹塑性位移	178
6.4 地下岩体工程围岩压力	180
6.4.1 围岩压力成因与分类	180
6.4.2 围岩压力计算	182

思考与练习	187
第7章 岩体边坡工程	188
7.1 概述	188
7.2 边坡岩体的应力分布	189
7.3 边坡岩体的变形与破坏	191
7.3.1 边坡岩体的变形特征	191
7.3.2 岩质边坡的破坏类型与基本特征	192
7.4 边坡岩体的稳定性分析与计算	197
7.4.1 边坡岩体稳定性影响因素	197
7.4.2 边坡岩体稳定性分析与计算	199
思考与练习	208
第8章 岩石地基工程	209
8.1 概述	209
8.2 岩石地基中的应力分布特征	210
8.2.1 均质各向同性岩石地基应力分布	210
8.2.2 层状岩石地基应力分布	217
8.3 岩石地基基础沉降	219
8.4 岩石地基承载力	221
8.4.1 岩石地基承载力特征值的确定	221
8.4.2 破碎岩体的地基承载力	223
8.4.3 较为完整的软弱岩体地基承载力	224
思考与练习	225
附录 岩体力学室内常规试验指导书	226
参考文献	237

第 1 章

绪 论

1.1 岩体力学与工程实践

1.1.1 岩体力学及其研究对象

岩体力学 (Rockmass Mechanics), 又称岩石力学 (Rock Mechanics), 属于力学的一个分支。岩体力学是研究岩石与岩体在外界因素 (如荷载、水、温度变化等) 作用下的应力、应变、破坏、稳定性及加固的学科。换句话说, 岩体力学是研究岩石与岩体的力学性能与力学行为的学科, 其研究目的在于, 通过认识岩体、利用岩体、保护岩体以及有效地破碎岩体, 解决水利水电、土木、矿山、能源、交通、国防、海洋等工程中的岩体工程问题。

陈宗基院士对岩石力学曾作过如下定义: “岩石力学是研究岩石过去的历史, 现在的状况, 将来的行为的一门应用性很强的学科。” 过去的历史是指岩石的地质成因和演变, 包括地应力场的变化; 现在的状况是工程建造前和建造过程中对岩石性状改造前后的认识; 将来的行为是预测工程建成以后可能发生的变化, 以便研究预防或加固措施。

美国地质协会 (Geologic Society of America, GSA) 岩石力学委员会对岩石力学也有类似的定义: “岩石力学是关于岩石的力学性态理论和应用的科学, 是与岩石性态对物理环境的力场反应有关的力学分支。”

岩体力学是一门十分年轻的、与有关学科相互交叉的工程学科, 其形成和发展要比土力学晚得多, 需要应用土力学、固体力学、地质学、流体力学、数学等知识, 并与这些学科相互渗透, 是一门应用型基础学科。

岩体力学的研究对象是岩石与岩体。岩石是矿物、岩屑的集合体, 是组成地壳的基本物质, 通常所指的岩石是岩块。岩块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。结构面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。岩块又称为结构体、岩石材料或完整岩石。岩体是在地质历史过程中形成的、由岩块和结构面组成的、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。岩体通常是指一定工程范围内的自然地质体，它具有一定的赋存条件。岩石与岩体的重要区别就是后者包含若干结构面。岩（石）体工程是以岩石与岩体为对象的工程活动的总称，大体上可分为岩石地下工程、岩石边坡工程、岩石基础工程三类。

不同的领域和学科对岩体力学的要求和研究重点不同。人们通常接触最多的是，为道路交通、水利水电、能源、国防工程以及采矿工程等服务的岩体力学，即工程岩体力学，其重点研究工程活动引起的岩体重分布应力及其作用下的工程岩体（如地下工程围岩、边坡岩体、地基岩体等）的变形破坏和稳定性；另一大类则是岩石动力学及其相关技术，主要是研究岩石的切割和破碎理论、岩体力学特性以及深层岩体的变形与断裂机理，涉及地震、岩爆、原岩应力及应力场、岩石爆破、岩石切割与钻孔方面，主要服务于爆破工程、开拓掘进、钻井、探矿、地震预报等。

1.1.2 岩体力学工程实践

人类在岩石上修建工程的历史，可追溯到几千年以前。公元前 2700 年左右，古埃及人修建了金字塔。公元前 6 世纪，巴比伦人在山区修建了“空中花园”。公元前 613 ~ 公元前 591 年，中国人在安徽淝河上修建了历史上第一座拦河坝；公元前 256 ~ 公元前 251 年，在四川岷江修建了都江堰水利工程；公元前 254 年左右开始出现钻探技术；公元前 218 年，在广西开凿了沟通长江和珠江水系的灵渠，筑有砌石分水堰；公元前 221 ~ 公元前 206 年，在中国北部山区修建了万里长城；20 世纪初，中国杰出的土木工程师詹天佑先生主持建成了北京至张家口铁路上一座长约 1km 的八达岭隧道。在修建这些工程的过程中，不可避免地要运用一些岩体力学方面的基本知识。20 世纪 50 年代前后，世界各国正处于二战后的经济恢复时期，大规模的基本建设有力地促进了岩体力学的研究与实践，岩体力学逐渐发展成为一门独立的学科，并日益受到重视。

岩体力学发展初期，受岩体工程数量与规模等方面的限制，人们只能凭经验来解决工程中遇到的岩体力学问题。随着生产力水平及社会经济迅速发展，工程规模与数量不断增大，工程中的岩体力学问题日渐增多，岩体力学作为一门力学分支也日趋成熟。从小规模慢慢发展到大规模甚至超大规模岩体工程，从地面岩体工程到地下岩体工程，从地下浅层岩体工程到地下深层岩体工程，从单一功能岩体工程到大型综合性岩体工程，诸如，高等级公路高陡岩石边坡、大型露天矿边坡、水利水电库岸边坡及船闸、溢洪道等边坡的施工与维护；大型坝基岩体与

拱坝拱座岩体的变形和稳定性问题；地下工程围岩变形及地表沉陷控制；高层建筑、核电站等重大建筑地基岩体的变形和控制；以及岩体性质的改善与岩体加固技术等，对这些问题作出正确分析、评价，将对工程建设、安全与质量、工程全寿命以及后期运营与维护等产生显著影响。

在人类工程活动的历史中，由于岩体变形和失稳造成重大工程事故的工程实例很多。

例如，美国 St. Francis 重力坝溃坝事件 (St. Francis Dam Disaster, on March 12th, 1928, America)，它是继洛杉矶大地震 (San Francisco Earthquake and Fire, 1906) 后弗吉尼亚州的又一大灾难，共造成近 470 人死亡或失踪，直接经济损失五百万美元，间接损失更大。St. Francis 重力坝始建于 1924 年 8 月，建成两个月后即 1926 年 3 月蓄水发电，水库库容 125 亿 UKgal (约 4372 万 m^3)，坝体宽 600ft (约 183m)，高 185ft (约 56.4m)，1928 年 3 月 12 日午夜大坝半个坝体突然溃决，180ft (约 55m) 高水体沿 San Francis Quito 峡谷以 18ft/h (约 29km/h) 的速度倾泻而下，五个半小时后在加利福尼亚州南部的 Ventura 市南部汇入太平洋，事故分析专家组最后分析结果认为，坝溃决是由于坝基软弱、岩层崩解、遭受冲刷和滑动引起的。

法国 Malpasset 拱坝溃决事件 (Malpasset Dam Failure, on December 2nd, 1959, France)，Malpasset 大坝属双曲拱坝，坝高 60m，水库总库容 5100 万 m^3 ，1954 年底大坝建成并蓄水。1959 年 11 月中旬库水位达 95.2m 时，坝址下游 20m 高程 80m 处有水自岩石中流出。1959 年 12 月 2 日因大雨库水位猛增，开闸放水过程中大坝突然溃决，大坝大部分被冲走，仅右岸靠基础部分有残留拱坝，一些坝块被冲到下游 1.5km 处，左岸坝基岩体被冲出深槽。洪水出峡谷后流速仍达 20km/h，下游 12km 处 Frejus 城镇部分被毁，死亡失踪 421 人，财产损失达 300 亿法郎。Malpasset 拱坝溃坝并造成重大灾难震惊了工程界，此前尚未有拱坝溃坝的先例，这一惨痛教训大大促进了岩石力学，特别是岩石水力学的发展。Malpasset 拱坝事故调查委员会通过大坝应力复核和坝拱的独立工作工况校核，最后判断拱坝失事是由坝基岩石引发。大多数专家认为坝基内过大的孔隙水压力是造成失事的主要原因。

意大利 Vajont 拱坝近坝岸库岩体大滑坡 (The Vajont Reservoir Landslide, on December 9th, 1963, Italy)。意大利 Vajont 拱坝坝高 262m，是当时最高的拱坝。1963 年 10 月 9 日夜，Vajont 水库水位高程达 700m，大坝上游近坝库左岸约 2.5 亿 m^3 巨大岩体突然发生高速滑坡，以 25m/s 的速度冲入水库，使 5500 万 m^3 的库水产生巨大涌浪，约 3000 万 m^3 的水翻越坝顶泄入下游，造成 2500 人死亡失踪 (Jaeger, 1979)。由于拱坝设计合理，拱座岩石坚固且经锚索加固，在如此巨大超载 (估计超过设计荷载 8 倍) 作用下，拱坝基本完好。但大滑坡的石碛

掩埋了水库,堆石高度超过坝顶百余米,使大坝和水库完全报废。调查认为,库岸边坡底卧的一条几米厚的滑动带是滑坡的根本原因,滑动带在长期的流变下形成不连续的粘滞-塑性滑动,横切岩层转变为脆性破坏,造成大滑坡。

类似的例子在我国也不少。1980年湖北远安盐池河磷矿大体积山崩,摧毁了矿务局和坑口全部建筑物,死亡280人。经分析,山崩是采矿引起的岩体变形使上部岩体顺着坡向节理被拉开,造成 100万 m^3 左右的岩体迅猛崩落所致。2001年5月1日重庆武隆山体滑坡,发生在武隆县县城江北西段,滑坡体垂直高度46.8m,前沿宽55.2m,后沿宽25~30m,滑坡体约 1.6万 m^3 ,致使一幢建筑面积为 4061m^2 的9层楼房被滑坡体摧毁掩埋,造成79人死亡、7人受伤。经调查认定,这起地质灾害事故的发生,有地质原因,也有诸多人为因素。

对工程地区岩体的力学特性研究不够深入,以及对相关工程岩体的变形和稳定性估计不足,容易造成重大事故。但是,在工程设计中对工程岩体的变形和稳定性评估与判断过于谨慎与估计过分严重,或是盲目加大岩体工程的安全系数,也会使工程建设成本陡增,工程投资随之加大,施工工期延长,造成不应有的浪费。

长江三峡链子崖危岩体治理工程就是一个非常成功的岩体工程。

链子崖位于湖北秭归县境内长江南岸西陵峡的兵书宝剑峡出口,距三峡工程大坝26km。由于链子崖危岩体活动加剧,到20世纪90年代初,岸顶上已出现三十多条大裂缝,长度最长的有170米,宽度在2m左右,深度达数十米,危岩体总方量达 330万 m^3 。如果链子崖一旦失稳崩塌,将直接造成长江断航。1992年,国务院决定由地质矿产部组织实施链子崖危岩体工程治理。危岩体治理的主要目标,是改善和提高其稳定性,防止大规模崩塌和整体滑移入江造成阻航和严重碍航等灾害。

链子崖危岩体整治工程采用锚索锚固,设计与施工均属我国同类工程首例。该工程由两大部分组成,“七千方”锚索工程(1995.11~1996.3),共施工垂直于岩体到母体的锚索33束,实际锁定力单束达1000kN;“五万方”锚索工程(1996.3~1997.9),完成锚索151束,总锚固力达23.1万kN。链子崖危岩体主体锚固是我国目前高陡边坡危岩防治工程中难度最大的地质工程,经过七年多的工程治理和监测,链子崖危岩体已趋于稳定。国土资源部2000年10月组织有关专家对链子崖危岩体防治工程进行了现场验收。专家指出,此项工程达到了防治链子崖危岩体崩、滑、塌的目的,已成为我国重大地质灾害防治的样板工程。这一重大地质灾害险情的排除,消除了三峡库区最严重的安全隐患。

目前,国际上已建和正建的大坝最大高度超过300m,地下洞室的最大开挖跨度超过50m,矿山开采深度超过4000m,边坡垂直高度达1000m,石油开采深度超过9000m,深部核废料处理需要考虑的时间效应至少为1万年,研究

地壳形变涉及的深度达 50 ~ 60km, 温度在 1000℃ 以上, 时间效应为几百万年。今后, 随着能源、交通、环保、国防等事业的发展, 岩体工程规模会越来越大, 所涉及的岩体力学问题也将越来越复杂, 对岩体力学的发展要求也越来越高。在岩体力学面临许多前所未有的问题和挑战的同时, 必须发展和提高岩体力学理论和方法的研究水平, 以适应工程实践的需要, 通过工程岩体变形与稳定性的准确预测、合理的工程设计和良好的施工质量, 保证岩体工程的安全、经济和正常运营。

从岩体力学观点出发, 为合理的工程设计与施工提供科学依据, 是工程岩体力学研究的根本目的和任务。

1.2 岩体力学研究内容与方法

岩体力学涉及到采矿、土木、水利水电、公路铁路、国防等诸多领域, 服务对象非常广泛, 不同的服务对象, 对岩体力学的要求不尽相同, 其研究的内容也不尽相同。

1.2.1 研究内容

岩体力学的研究对象是岩石与岩体, 针对工程岩体力学而言, 主要包括以下研究内容。

1) 岩石的物理性质与力学性质研究。主要涉及描述岩石物理力学性质的相关性能参数与指标, 以及岩石静荷载作用下的变形特性、强度特性与岩石的强度准则等。

2) 岩体的力学性质研究。基于岩石力学性质的研究, 以及结构面的力学性质研究, 展开岩体的力学性质的研究, 主要涉及岩体变形与强度特征、岩体力学特性的原位测试技术与方法、岩体力学性能参数与指标的确定、岩体动力学特性与岩体水力学特性。其中, 还涉及岩体的工程分类。

3) 岩体中天然应力及其量测理论与方法研究。主要研究岩体中初始应力场及其分布规律, 岩体中天然应力的测量理论与方法。

4) 岩体力学的工程应用研究。研究各类工程岩体中的重分布应力及其作用下的变形破坏特征、各类工程岩体的稳定性分析与评价、岩体工程加固等。主要涉及边坡岩体、地下工程围岩以及地基岩体等工程岩体的稳定性、岩体治理工程以及工程岩体的试验与数值分析, 其中还涉及新技术、新方法与新理论在岩体力学中的应用。

1.2.2 研究方法

岩体力学的研究对象与内容决定了岩体力学的研究方法必然有不同于其他连续介质力学之处,主要包括地质研究、试验与测试、数学力学分析以及综合研究四种研究方法,它们相辅相成、相互促进。

1) 工程地质研究。通过岩石和岩体的地质与结构特性研究,掌握与岩体工程性质密切相关的组成成分、结构与构造、结构体与结构面性质等,建立地质模型和提供地质资料。可以采用岩矿鉴定了解岩体的岩石类型、矿物组成及结构构造特征,并通过工程地质勘察了解岩体的成因、空间分布及岩体中各种结构面的发育情况等,通过现场地质描述为岩体工程治理与加固提供第一手水文地质资料等。

2) 试验与测试。试验与测试作为岩体力学研究的重要方法,是岩体力学发展的重要基础。通过室内实验获取岩石物理力学性能参数与指标,通过现场原位试验、原位岩体监测与施工监控量测得到岩体变形与破坏等岩体力学性质方面的相关信息,通过地应力量测掌握岩体天然应力与应力重分布特性,通过模型模拟试验来复核与验证岩体工程稳定性与否以及为岩体稳定性分析与评估、数值分析提供资料等。

3) 数学、力学分析。数学、力学分析就是基于工程地质研究、试验与测试成果,通过建立岩体数学力学模型,采用一定的分析方法,预测与预报各种力场作用下岩体的变形与稳定性,为设计和施工提供参考与依据。数学、力学分析讲究建立切合工程实际的数学、力学模型、选取适当的分析方法。常见力学模型包括刚体力学模型、弹性力学模型、弹塑性力学模型、断裂力学模型、损伤力学模型、流变模型。分析方法如块体极限平衡法,有限元法、边界元法、离散元法,模糊数学和概率分析法,以及系统论、信息论、人工智能专家系统、灰色系统、分形理论等新理论与新方法。

4) 综合研究。岩体工程非常复杂,多环节多因素且信息庞大。综合研究就是结合上述三种研究方法,针对上述研究成果进行综合分析和综合评价,同时结合工程类比的方法,得到符合实际情况的正确结论。

1.3 岩体力学发展概况与动态

1.3.1 岩体力学与岩体工程发展历程简介

岩体力学是在岩石力学的基础上发展起来的,目前国际上仍沿用岩石力学这一名词。如,国际岩石力学学会(International Society for Rock Mechanics, IS-