

长江水利委员会
大中型水利水电工程技术丛书

水工岩石力学

主 编 董学晟
副主编 田 野 邬爱清



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

长江水利委员会
大中型水利水电工程技术丛书

水 工 岩 石 力 学

主 编 董学晟
副主编 田 野 邬爱清



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

我国自 20 世纪 50 年代开始的岩石力学研究,在水利水电工程中已得到广泛应用,半个世纪以来取得了很大的发展。通过上百座大中型水利水电枢纽的应用和开发,具有鲜明特点的水工岩石力学已经形成。本书以长江水利委员会设计的三峡、丹江口、葛洲坝、隔河岩及水布垭等工程中的岩石力学研究和应用实践为主,系统地总结了在大中型水利水电工程中认识岩体、加固岩体、利用岩体的经验,勾画了水工岩石力学的轮廓。

本书主要内容有:水利水电工程中岩石力学研究的特点、任务和地位;岩体的基本力学性质和试验技术;岩体初始应力场和渗流场研究;工程岩体的质量评价;工程岩体的模拟和加固技术;岩体性状监测技术;用岩石力学研究解决岩石坝基、地下洞室及岩石边坡等各类工程问题的实际经验。

本书可供从事水利水电工程勘测、设计、科研、施工人员、岩石力学和岩石工程工作者以及大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水工岩石力学/董学晟主编. —北京:中国水利水电出版社, 2004.8

(长江水利委员会大中型水利水电工程技术丛书)

ISBN 7 - 5084 - 2172 - 8

I. 水 ... II. 董 ... III. 水利工程—岩石力学
IV. TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 054905 号

书 名	长江水利委员会大中型水利水电工程技术丛书 水工岩石力学
作 者	主编 董学晟 副主编 田野 邹爱清
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 33.25 印张 788 千字
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	86.00 元



凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

大中型水利水电工程技术丛书

编辑委员会

主 任 文伏波

副主任 郑守仁 傅秀堂 洪庆余

委 员 潘天达 王忠法 陈雪英 成昆煌 刘一是
 季昌华 郑允中 张继良 马建华 杨 淳
 夏仲平 李常发 赵纯厚 钮新强 岳中明
 郭熙灵 郭 玉 翁立达 袁达夫 徐麟祥
 宋维邦 程卫民 董学晟 季学武 陈德基
 周少林 杨甫生 魏山忠 胡甲均 史光前

秘书长 赵纯厚

秘 书 廖志丹 刘国利 龚国文

本书编著者名单

主 编 董学晟

副主编 田 野 邬爱清

篇 章	作 者
第 1 章	董学晟
第 2 章	董学晟 周火明
第 3 章	夏熙伦 韩军
第 4 章	李迪 (4.1、4.2) 周火明 (4.3) 聂运钧 (4.4)
第 5 章	刘允芳 (5.1) 张家发 (5.2)
第 6 章	董学晟 (6.1) 柳赋铮 (6.2) 蔡斌 (6.3、6.4)
第 7 章	董学晟 (7.1) 盛谦 (7.2) 邬爱清 丁秀丽 林绍忠 (7.3) 韩世浩 (7.4)
第 8 章	董学晟 (8.1) 陈旭荣 (8.2) 丁秀丽 张启舟 朱杰兵 (8.3)
第 9 章	田野 (9.1、9.2、9.5) 董学晟 (9.3、9.4)
第 10 章	邬爱清 (10.1、10.2、10.3、10.6) 曾亚武 (10.4、10.5)
第 11 章	李迪 马水山 (11.1~11.4) 董学晟 (11.5)
第 12 章	李迪 张保军 张漫 (12.1、12.3、12.4) 李迪 董学晟 (12.2)
全书统稿	董学晟 田野

总序

长江水利委员会（简称长江委）是长江流域水资源和水行政主管部门，也是我国水利水电方面一个有影响的科研设计部门。50年来，它编制和定期修订长江流域综合利用规划和长江防洪规划等专业规划，设计了三峡、丹江口、葛洲坝、乌江渡、万安、隔河岩和南水北调等大中型水利水电工程，并参与了工程施工、工程监测和调度运行管理。通过这些工程实践，长江委科技人员不仅理论联系实际地解决了许多复杂的技术难题，还积累了丰富的经验，造就了一批专家。有感于这些经验目前处于分散无系统的状态，为了使专家们的经验和智慧能集中起来，并使之系统化，力求升华为理论，使这笔知识财富长久保存持续利用，我们在长江委领导和中国水利水电出版社的积极支持下，组织编写了这套“大中型水利水电工程技术丛书”。

本丛书是以系统总结长江委治理开发长江水资源的
工作为目的，随着治江事业的持续发展，将不定期分阶
段出版。作为丛书第一批共有16本，其内容是：长江流
域综合利用规划研究、工程水文与水资源评价、长江河
道演变与治理、长江水利枢纽工程泥沙研究、水利水电
枢纽施工技术、导截流及围堰工程、水工混凝土温控与
防裂、水工岩石力学、水库移民工程、通航建筑物、水

工金属结构、水利枢纽工程质量标准及监控、水文气候预测基础理论与应用技术、长江流域水利水电工程地质、高坝缓倾角软弱夹层地质、三峡工程与可持续发展等。这些方面是长江委多年反复研究实践的重点，且最富成果和创见的领域。本丛书将分册陆续出版，各册合在一起是一套系统的技术丛书，分开来又各自独立成书，以便从事水利水电工程技术的人士参考使用。

长江委在科研设计工作中一贯重视学习他人的经验，积极收集和研究国内外科技信息。借本丛书出版之机，特将世界江河与大坝的有关资料整理出版，作为一本综合性的工具书以飨读者。

本丛书为应用技术类图书，它是实践经验的系统总结，是理论与实践结合的结晶。它既不同于教科书，也不同于论文集。我们希望这套丛书有助于促进我国大中型水利水电工程技术的发展。本丛书可作为从事水利水电工程的科技工作者的工具书，也可作为年轻的水利水电工作者和学生的学习参考书，以帮助新一代水利水电科技专家的成长。

在我们几十年的实践中，不断学习和融会了国内许多专家的智慧和经验。在成书之际，谨对他们致以敬意和谢意！

长江水利委员会技术委员会

2003年10月

前言

岩石力学是用力学的概念和方法来研究天然岩体和受人工扰动后的工程岩体的学科，与传统的土力学、结构力学等相比，岩石力学相对比较年轻，还不很成熟。为满足三峡等工程建设的需要，我国自 20 世纪 50 年代后期开始了岩石力学研究。近半个世纪以来，随着我国水利水电、采矿、铁道、国防、石油、建筑工程建设的蓬勃发展，岩石力学在这些领域都获得了广泛、深入的应用，并在此基础上迅速成长起来。特别是在水利水电工程中，岩石力学应用最广、要求最高，因而也得到了最大的发展。通过在上百座大中型水利水电枢纽中的应用和开发，一门具有鲜明特点的水工岩石力学已经逐渐成型了。

长江水利委员会在所设计的（包括已经施工建设和开展了前期工作的，以及参与建设的）水利水电工程中，一贯十分重视岩石力学的应用和研究。以长江科学院为主力，50 年来在长江流域为主的三峡、丹江口、葛洲坝、乌江渡、偏窗子、虎跳峡、宝珠寺、彭水、江口、隔河岩、高坝洲、水布垭、构皮滩、万安、王甫洲、以礼河等几十座大中型水利水电工程中，投入了巨大的人力物力，开展了大量岩石力学试验研究工作，为这些工程的岩石工程建设做出了基础性的贡献，取得了丰富的经验，

从试验技术、到计算分析和理论综合等各方面推动、发展了岩石力学学科。

本书试图从水利水电岩石工程的实际问题出发,系统地总结岩石力学在研究解决这些问题中认识岩体、加固岩体、利用岩体的经验,其中主要是长江流域各工程中所作的开发和贡献。力图将具体工程中得到的感性认识,概括为规律性的理性认识,勾画出岩石力学重要分支——水工岩石力学的轮廓,为国家西部水利水电大开发略尽绵薄。

全书分为12章,大致按照认识岩体、加固岩体、利用岩体三个环节展开。在试验技术和计算分析技术方面,主要突出技术的发展和贡献,不求系统的完整和全面;在工程应用方面,以实际工程问题为主线,重点介绍重大工程的研究实例。

第1章总论,在综述岩石力学在我国的发展应用之后,阐述了岩石工程和水利水电工程中岩石力学研究的特点、任务,阐明了岩石力学研究在水利水电工程建设中的地位,探讨了岩石力学对环境保护和生态平衡可能起的作用,在三峡等工程实践经验的基础上提出了岩石力学研究在大型水利水电工程建设各阶段具体任务的建议。

第2章岩体的基本力学性质,在强调指出认识岩体基本力学性质的重要性之后,先阐述了岩体不同于其他力学介质的基本特点及其与力学性质的关系,分变形性质、强度性质、结构面的力学性质、流变性质等几个方面介绍了重点研究成果,分析了影响岩体力学性质的主要因素。

第3章岩块力学性质的室内试验、第4章岩体力学性质的现场试验,都是认识岩体的基本手段,前者除常规试验外还包括岩石应力—应变全过程的试验研究及岩石的断裂与流变试验研究;后者包括岩体变形试验、强度试验和弹性波测试三部分。两章中主要阐述了试验的关键技术问题和研究取得的突破,介绍了重点应用成果。这些经验都是编制现行岩石试验规程的基础。

第5章岩体的初始应力场和渗流场,两者都是天然岩体赋存的基本环境和条件,也是认识岩体的重要内容。几十年来天然岩体初始应力场的研究和应用在我国取得了引人瞩目的成就,形成了系列的测试、分析方法,本章在全面系统介绍的基础上,突出了比较成熟的套钻孔应力解除法和水压致裂法。岩体地下水渗流场的研究我们起步相对较晚,本章主要介绍初步取得的一些研究成果。

第6章工程岩体质量评价,在通过试验研究取得岩体力学性质的基础上,

从工程应用的需要出发,给出岩体质量的概念,阐述由此确定设计选用参数的方法,以及为综合评价岩体质量的工程岩体分级方法,这方面最重要的成果形成了国家标准 GB50218—94《工程岩体分级标准》的基础。这一章是认识岩体和利用岩体之间不可少的连接环节。

第7章工程岩体的模拟,阐述模拟工程岩体力学性状变化的技术,包括数值模拟和物理模拟两部分,数值模拟又分为连续介质力学方法和非连续介质力学方法两部分,后者以块体理论、非连续变形分析和数值流形法为代表,是数值模拟技术发展的前沿。通过模拟分析研究,评价岩体的承载能力,为水利水电工程建设中正确利用岩体服务。

第8章工程岩体的加固,介绍对稳定性不够的工程岩体补强加固的技术,包括灌浆加固和锚喷支护两类。前者我们进行的研究和工程实践经验较多,本章作了比较系统地总结。锚喷支护技术我们研究起步较晚,书中介绍的主要是一些关于锚固机理和效果的测试及分析研究。

第9章至第11章三章是利用岩体的实际做法,分别阐述了岩石坝基、洞室围岩、岩石边坡三类工程岩体的岩石力学研究经验,在分析各类工程岩体变形破坏机理的基础上,分别举出了三类岩体在实际工程中经常遇到的主要岩石力学问题,并以典型工程的实际做法为例阐明解决这些问题的方法。

第9章主要介绍了长江委实践经验最为丰富的重力坝坝基问题研究,三峡大坝坝基抗滑稳定性是在坚硬完整基岩上这类问题的代表,葛洲坝二江泄水闸闸基稳定性问题是具贯穿性软弱夹层岩石坝基问题的典型,首次出现的三峡工程左厂房坝段具断续缓倾角节理岩石坝基问题的解决,给坝工技术作出了重要的贡献。

第10章根据水工地下洞室的特点,对工程中常见的几类问题:大跨度高边墙地下洞室群围岩稳定性、不利围岩的稳定性和加固处理、水工隧洞的岩石力学问题、高初始应力条件下地下洞室稳定性等的研究进行了专题分析总结,并用工程实例说明。

第11章分水库库岸岩石滑坡、库岸危岩、削坡边坡和深切山体边坡四类,分别总结了长江委岩石边坡工程中岩石力学研究的经验(主要是隔河岩和三峡的经验)。三峡双线五级船闸高边坡问题,是深切山体形成的特殊形式的高边坡,开创了这类边坡的先河,其研究经验对于今后这类边坡工程具有深远的影响。

第12章按坝基、洞室围岩和边坡三类岩体，比较系统地总结了长江委在隔河岩、三峡等工程中积累的工程岩体性状监测的经验。岩体性状（包括施工扰动后的性状）监测既是认识岩体的最直接、最可靠的手段，也是验证岩体模拟的正确性的唯一办法，岩体加固是否有效、各种工程措施是否正确，也都依靠监测数据来检验。在施工过程中，岩体性状监测数据有助于检验和及时调整、修改设计和施工方法、保证施工安全。

本书承文伏波院士，洪庆余设计大师及潘天达、刘一是、赵纯厚、陈济生、司兆乐、林伟平、柳赋铮、罗淦堂、范中原、吴昌瑜、王德厚、任放、陈进、李贻祖、徐一心、陈霖灿、郑允中、方镇国、成昆煌等专家审查，并提出了许多宝贵的修改补充意见，在此特致以衷心感谢和崇高敬意。

编著者虽然致力于写好本书，殚精竭虑，历时数载，但由于水平和经验有限，疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

2004年7月

• 目录

总 序

前 言

1 总论	1
1.1 岩石工程的特点	2
1.2 水工岩石力学研究的特点和任务	5
1.3 岩石力学研究在水利水电工程建设中的地位	7
1.4 岩石力学与环境保护	9
1.5 大型水利水电工程建设各阶段中的岩石力学研究	13
1.6 三峡工程各建设阶段的岩石力学试验研究	16
1.7 本书主要内容	21
参考文献	28
2 岩体的基本力学性质	29
2.1 概述	29
2.2 岩体的基本特点及其与力学性质的关系	30
2.3 岩体的变形性质研究	33
2.4 岩体的强度性质研究	40
2.5 岩体结构面的力学性质研究	46
2.6 岩体的流变性质研究	52
2.7 影响岩体力学性质的主要因素	57
2.8 认识岩体力学性质的途径	64
参考文献	65
3 岩块力学性质的室内试验	66
3.1 概述	66
3.2 试件采取、制备与尺寸选择	67
3.3 室内试验方法及关键测试技术	70
3.4 岩石应力—应变全过程的试验研究	83
3.5 岩石的断裂与流变试验研究	88
3.6 室内试验重大设备的研制	94
参考文献	98
4 岩体力学性质的现场试验	99
4.1 概述	99
4.2 现场岩体变形试验	102

4.3 现场岩体强度试验	114
4.4 现场岩体弹性波（声波）测试	124
参考文献	144
5 岩体的初始应力场和渗流场	145
5.1 岩体初始应力场的测量和分析研究	145
5.2 岩体地下水渗流场的研究	176
参考文献	191
6 工程岩体质量评价	194
6.1 概述	194
6.2 岩石力学试验参数和宏观力学参数的研究	196
6.3 工程岩体分级	205
6.4 国标《工程岩体分级标准》及其应用	211
参考文献	222
7 工程岩体的模拟	223
7.1 概述	223
7.2 工程岩体的数值模拟——连续介质力学方法	226
7.3 工程岩体的数值模拟——非连续介质力学方法	238
7.4 工程岩体的物理模拟	264
参考文献	281
8 工程岩体的加固	283
8.1 概述	283
8.2 工程岩体灌浆	285
8.3 工程岩体锚固	320
参考文献	350
9 岩石坝基工程	352
9.1 概述	352
9.2 坝基破坏机理和安全准则	353
9.3 坚硬完整基岩坝基	359
9.4 具断续缓倾角节理岩石坝基	363
9.5 具贯穿性软弱夹层的岩石坝基	381
参考文献	389
10 地下洞室工程	390
10.1 概述	390
10.2 大跨度高边墙地下洞室群围岩稳定性研究	393
10.3 不利围岩的稳定性和加固处理	400
10.4 水工隧洞工程的岩石力学研究	409
10.5 高初始应力条件下地下洞室稳定性研究	418
10.6 地下洞室围岩实际变形和破坏特征分析	425

参考文献 432

11 岩石边坡工程..... 434

11.1 概述 434

11.2 水库库岸岩石滑坡稳定性研究和治理 437

11.3 水库库岸危岩稳定性研究和整治 449

11.4 削坡形成的高边坡稳定性研究和加固处理..... 458

11.5 深切山体形成的高边坡的稳定性研究 465

参考文献 477

12 工程岩体性状监测..... 479

12.1 概述 479

12.2 坝基岩体性状监测 484

12.3 地下洞室围岩性状监测 492

12.4 边坡岩体性状监测 505

参考文献 517

总 论

岩石力学是一门新兴的学科,20 世纪中叶才开始在欧洲出现。20 世纪 50 年代以前,我国没有一个岩石力学试验室,只是把岩石看成是建筑材料,与混凝土一同划归在材料试验室,简单地测定岩块的一般物理力学指标。50 年代以后,随着我国国民经济建设的蓬勃发展,尤其是在坝基、隧洞和边坡的开挖中遇到的岩石力学问题越来越多,岩石力学首先在水工建设中引起了重视。水利部水利水电科学研究院和长江水利水电科学研究院(现名长江科学院)组建岩石组,开始投入人力物力,结合水利水电工程,从国外引进一些试验技术,进行岩块力学性质的室内试验研究和一些现场岩体力学性质试验,如承压板法岩体变形试验、岩体单位抗力系数试验等,为工程提供了一般的物理力学指标。开始起草了《岩石力学(实验室)试验操作规程》(初稿)。

20 世纪 50 年代末,许多大型水利水电工程,特别是三峡枢纽研究工作大规模开展,提出了一系列重大的岩基研究课题,要高水平地解决这些问题,单纯地做几项岩块试验,提供一些力学参数已远远不够。必须从这些课题出发,运用岩石力学的理论、观点和方法进行全面的分析研究。在此形势下,1958 年 10 月国家科委批准组建了“三峡岩基专题研究组”,集合全国 18 个单位的力量,在陈宗基教授指导下,针对三峡工程有关问题开始了全面、系统的岩石力学试验研究工作。从 20 世纪 60 年代起,中国科学院成立了武汉岩土力学研究所,长江水利委员会组建了长江科学院岩基研究室,冶金、铁道等行业的许多单位也分别成立了岩石力学和岩基试验研究机构,培养了一批岩石力学试验研究的专业人才,学习并发展了奥地利学派关于岩体的观点和理论,开展岩体力学性质试验的理论基础的研究,解决试验中出现的种种技术问题(如:试验环境温度变化影响、承压板刚度影响、岩体应力测试技术的探索等),着手研制试验专用仪器和设备,先后研究解决了压力钢枕技术,研制成功长江 500 型大型岩石三轴仪、岩石扭转流变仪等。为解决三峡、丹江口、乌江渡、以礼河、龚嘴、碧口、大冶铁矿露天采场等坝基和边坡实际工程问题广泛地开展了各项岩体力学性质试验研究。岩石力学逐渐以独立学科的面貌出现,我国岩石力学也在许多方面逐渐接近或赶上了国际水平。

从 20 世纪 70 年代开始,为解决葛洲坝水利枢纽等工程在软弱、复杂岩基上建坝的一系列难题,全国许多单位将室内岩块力学性质试验与现场岩石力学性质试验紧密结合、相互补充,密切联系工程实际,开展了大规模的岩石力学室内和现场试验研究和稳定性分析

探讨,深入研究了软岩和软弱夹层的物理力学性质、软弱坝基抗力等问题。葛洲坝工程的岩石力学试验研究成为全国科研为工程建设服务的成功范例,大大地促进了我国岩石力学试验技术和理论研究水平的提高。水利电力部于1977年着手组织编制、并于1981年2月颁布执行了全国第一部DLJ 204—81,SLJ 2—81《水利水电工程岩石试验规程》,成立了水利水电岩石力学情报网,出版了网刊《岩石力学》。后来迅速发展成为全国采用的规程和跨行业的岩石力学学术交流组织。1979年我国正式加入国际岩石力学学会,成立了该学会的国家小组,1985年中国岩石力学与工程学会成立,陈宗基教授任首届理事长。

20世纪80年代以后,随着国家基本建设蓬勃发展,岩石工程中遇到的问题也愈来愈复杂。例如长江三峡工程重新论证中,提出了双线五级船闸大规模深挖岩石高边坡的稳定性问题,三峡工程开工后揭露出局部坝基(向下游)缓倾角节理对高坝坝段稳定性的影响问题;黄河龙羊峡拱坝坝肩岩体稳定性问题;雅砻江二滩水电站高地应力场对大跨度地下厂房和坝基影响问题;黄河小浪底工程在较单薄的软弱层状岩体中开挖洞室群、漫湾左岸滑坡研究及金川镍矿深埋井巷洞室稳定问题等,这些世界性的难题向中国岩石力学界提出了挑战。还有白山、鲁布革、隔河岩、天生桥等一大批大、中型水利水电工程的岩石工程,都提出了大量的、丰富多彩的岩石力学研究课题,成百上千科技人员集中攻关,为解决这些难题获得了大量科研成果,使我国岩石力学研究迅速提高到国际水平。

纵观几十年来我国岩石力学的发展,可以看到:岩石力学学科在中国是因工程建设的需要而产生、受工程建设的推动而发展起来的。特别是水利水电工程建设,对岩石力学的开创和发展,发挥了主力军的作用。由于水利水电工程本身的特点,由此发展起来的岩石力学不论是方法、途径还是测试技术都有很多自己的特色,可以说,水利水电工程中的岩石力学研究已经形成了岩石力学学科的一个重要分支——水工岩石力学。

1.1 岩石工程的特点

研究岩石力学在水利水电岩石工程中的应用问题,要明确岩石工程的特点,包括一般岩石工程的特点和水利水电岩石工程的特点。与其他各种类型工程(如:混凝土、金属结构、机电安装等)相比,岩石工程的一个显著特点就是不确定性,即工程建设中有许多因素不易认识清楚、不易确定。

1.1.1 岩石工程中的不确定性

1.1.1.1 不确定性(uncertainty)的含义

为了满足岩石工程建设前期的工程规划与设计需要,应进行地质勘探以搞清楚岩体的地质条件(岩性、构造、层理、断裂、岩溶等),开展岩石力学试验工作以查明岩体的力学特性及其赋存的条件(岩体应力状态、地下水运行状态等),进行各种专题研究,了解工程岩体的应力、变形状态,评估工程岩体的稳定性。根据这些资料、数据和结果,进行岩石工程设计,决定建筑物的轮廓、尺寸及各种支护加固办法,选用合理的开挖方法和程序。通过这种前期工作把一切情况在开工前都弄清楚,以便开工后就按照既定的要求和程序进行施工,达到工程既经济又安全且效率又高。所以设计就相当于工程建设中的规章、规程,必须严格执行。然而在工程实践中,开工后总会遇到这样那样没有预见到的情况和问题,以致不得不修改设计,改变原来设想的做法。例如:原来以为勘探查明了地质缺

陷,开挖后又发生变化或出现新的问题,试验和测试确定了的岩石力学参数和性质,因出现了新的地质特征后又可能大幅度变化,设计的加固方式和参数也不那么合适了。就是说,在前期工作中原以为认识清楚了、确定了的东西其实有些并未搞清楚或发生了变化,还不很清楚、不很确定,有时甚至是很不确定。当然,这种情况其他工程(比如混凝土工程)也会发生,但是岩石工程中更为突出、常见,几乎成了一般规律。

1.1.1.2 岩石工程中不确定性的来源

一般来说,工程中遇到以下3方面条件的变化要修改设计:其一是地质条件、岩体性状的变化;其二是施工条件的变化(包括器材供应、施工技术掌握的不均一、质量控制等人为因素);其三是洪水、地震、气候等环境条件的异常变化。后两方面情况对于其他工程也是可能导致修改设计的因素,而对于岩石工程来说,地质条件、岩体性状的变化是导致修改设计的主要因素。也就是说,岩石工程中的不确定性,主要来源于地质条件、岩体性状的不确定性。这是因为天然岩体在历经了复杂的成岩过程和后期亿万年构造运动的改造后,其性状和赋存条件千差万别,可以说,每一处工程场址的岩体、不同工程部位的岩体都是不相同的(参见本书2.2)。并且工程岩体一般都深埋地下,其性状与裸露于表面的岩体有时差别很大,隐蔽性突出。相比之下,工程前期勘探工作量总有限,不可能将所有节理裂隙等地质特征和变异都揭露出来,一般只能通过坑槽、钻孔、平硐获得的局部资料,进行统计分析获得平均的和优势的分布概念。施工开挖后,揭露出没有预见到的意外现象(如某种地质缺陷)是难以避免的。在这种情况下,为研究天然岩体的力学性状而进行的试验、测试和计算分析也会遇到同样的问题,前期试验研究得到的力学参数、曲线、应力、位移分布等也具有相应的不确定性。例如,三峡工程从20世纪50年代开始,对大坝基岩进行了十分详尽、数量巨大的地质勘探和试验研究工作,取得了丰富的资料,特别是对影响稳定的缓倾角节理问题进行了专题研究。然而,开工后开挖揭露出的情况与原先分析的有很大差别,不得不在施工期间针对特殊地段补充进行了集中的地质勘探工作和一系列专题研究,修改了设计(详见本书9.5),是岩石工程中不确定性的突出事例。

1.1.1.3 不确定性给岩石工程带来的影响

地质条件和岩体力学性状的这种不确定性,是岩石力学研究中的主要困难,试验研究成果(即使是现场岩体力学试验)代表的只是与试验点条件相似的天然岩体,通过大量试验可以得到该试验地段岩体力学性质的平均概念和可能变化的范围,但仍然不能对较大范围工程岩体的力学性状给出确定的数值来。地质条件和岩体力学性状的这种不确定性,也给岩石工程建设带来一系列消极影响:一方面,施工开挖后如果没有及时揭露原先没有发现的缺陷,就会给工程留下安全隐患,有时会引起施工期岩体失稳,事后处理延误工期;另一方面,为了对付这种不确定性,设计中不得不采用偏于保守的参数和条件、保留过大的安全裕度,不必要地增加工程量和投资。这种地质条件上的不确定性,也给岩石力学研究带来了以下特点:其一,对天然岩体力学性状的认识是随着地质条件不断揭露而逐渐深入的,也就是说,对岩体的认识具有阶段性;其二,试验研究可以获得岩体性状(力学参数、应力—位移分布、强度和承载能力等)的可能变化范围,也可以力求减小这个变化范围,却总难以针对一定规模的岩体给出十分准确的数据。