



电力科技专著出版资金资助项目

岩石力学数值计算方法

Numerical Computational Methods
for Rock Mechanics

周维垣 杨强 编著





岩石力学数值计算方法

Numerical Computational Methods
for Rock Mechanics

电力科技专著出版资金资助项目

周维垣 杨强 编著
杨若琼 刘耀儒 林鹏 参编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是清华大学岩石力学研究组近十年来理论研究和工程实践工作的总结,它包含了该研究集体在岩石工程和水利水电高坝工程理论与数值分析方面的研究成果。

本书反映了岩石力学的时代特点,主要针对工程中的前沿课题所需要的数值模型与方法进行了介绍。在岩石力学理论研究的基础上,加入了系统的数值分析方法,如有限元、边界元、离散元、流形元、不连续变形方法(DDA)、界面元方法等,对岩土工程问题进行研究。另外,本书还涉及各种新技术创新成果在岩石力学中的应用,如石油矿山开采、大坝建设、核废料储存等。

本书主要针对工程中前沿课题所需要的数值模型与方法进行介绍,具有实践指导作用,其目的在于提高技术人员的理论水平与计算水平,对当前工程中的疑难问题做系统的分析。

图书在版编目(CIP)数据

岩石力学数值计算方法/周维垣,杨强编著. —北京:
中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-3528-7

I. 岩... II. ①周... ②杨... III. 岩石力学—
数值计算—计算方法 IV. TU45

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 080698 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2005 年 11 月第一版 2005 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 43.75 印张 995 千字

印数 0001—2000 册 定价 84.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

在我国的大规模工程建设中曾经发生一些事故,如水坝的垮坝、桥梁的坍塌、房屋及地面的沉陷、地下洞室和边坡的失稳,泥石流的发生以及岩爆、瓦斯突出、矿山灾害等,带来巨大的经济和生命损失。在调查研究中,常发现很多事故都与地基及围岩有关。为了吸取教训,总结经验,都要求工程师们应用岩石力学的理论和手段,进行更符合实际情况的分析,从而预测灾害的可能并提出解决的措施。

涉及岩石力学范畴的分析,是十分复杂、困难的课题。几十年来,工程师们除了一些简单的经验准则和估算的公式外,几乎没有更好的手段。20世纪50年代以来,随着生产发展和科技进步,尤其是计算机和计算数学的进展,情况才有所改变。当前,国内外岩石力学的发展已进入多学科的综合研究阶段——如力学、自动化、材料、计算数学、动力学、机械学等。计算分析也更接近实际,成为工程师设计和决策中不可或缺的依据。

本书作者们长期从事高拱坝、岩坡和地下洞室的稳定及设计优化研究。他们的工作具有一些特色。一是高屋建瓴,提出或引进岩石力学中的一些基本课题和基础理论,以及现代化分析方法,使岩石力学这门学科能不断创新,跟上时代步伐,这和他们长期承担研究生培养任务是分不开的。二是研究工作紧密结合实际,课题来自实践,成果反馈于生产。例如,他们应用岩石力学新模型研究二滩高拱坝建基面的优化问题,并根据实际变形证实大坝的安全性;为李家峡大坝研究复杂地基对坝体稳定的影响,提出保证安全的措施。铜头拱坝的设计中遇到少见的刚度特低的地基,他们做了详细研究,建议采取锚索加固,现在大坝已安全运行数年。其他如对北溪、紧水滩拱坝稳定的研究以及当前开展的对溪洛渡、小湾特高拱坝的研究,都是研究结合生产的好例子。三是作者们的主攻方向虽为理论分析,但并不迷信计算,常常进行大型、复杂的整体地质力学模型来配合验证。鉴于岩石这种材料的特殊复杂性,这样做无疑是十分必要的。

作者们在20世纪90年代曾出版了《高等岩石力学》一书,深受读者欢迎,现在,又写成了《岩石力学数值计算方法》一书,作者们根据几十年来培养研究生和从事实际工程研究的经验,在书中对当前岩土工程分析与计算理论的新发展作了详细介绍。在基础理论方面,本书归纳出几个重要领域,如宏观与细观力学在岩石力学中的应用,断裂与损伤理论在岩石力学中的拓展与应用,破坏的局部化分岔问题,破坏中的应变、梯度理论,数值方法处理特殊的不连续问题、损伤扩展,岩体稳定分析等。这些理论基础是为了掌握岩石

力学的内涵，了解当前发展与提高业务能力所必须的。在具体数值计算方法方面，本书介绍了多种新近发展起来的新方法，如无单元法、流形元法、有限元的自适应方法、并行大规模算法、高地应力场回归、宏观参数及三维网格的扩展等。这些内容包括不少作者们的贡献，因此，本书也可以说是包括作者们成果在内的我国岩石力学科研和实践的初步总结。我感到本书不仅是一本优秀的研究生教材，也是有关工程技术人员自修提高的优良读物和工作中的参考书。读者们如果能将本书与以往岩石力学教科书对照起来阅读，尤其可以清楚看出岩石力学发展的过程和当前能达到的高度。当前，有心的读者还看出仍未解决的复杂问题和攻关方向。总之，这是一本有深度而且新颖的专著。书将杀青，作者们尚序与我，我粗略阅读一遍，写了以上几句话予以介绍，也可以说是一点读后感吧。是为序。

潘家铮

2004年11月7日

前言

近三十年来我国岩土工程得到了很大的发展,岩土工程建设同时也为岩石力学的发展提出了严峻而崭新的研究课题,这些新课题大大推动了岩石力学的理论与技术向前发展。岩土工程中的诸多难题,如煤系地层、瓦斯突出、高地应力岩爆、高坝岩基失稳、超大型地下洞室开挖、高边坡的稳定预测、泥石流及地震灾害防治、核废料储存、石油开采等,都与人民生命财产或经济发展有着重大的关系,迫切需要在岩石力学理论和技术方面进行重大突破。当今信息时代的最大特点在于计算手段和信息手段的突飞猛进,将这些手段引入岩石力学后,必将为岩土工程问题的研究创造新方法和新途径,从而打开岩石力学发展的崭新局面,这就是新时代的主要特征之一。岩土工程在理论方面也面临着新的挑战,那就是破坏力学的发展。岩土工程不少问题在于研究岩体的破坏状态、破坏机制及破坏的模型,如高坝的开裂破坏、基础的滑移、泥石流的破坏作用、滑坡体的预测等,这是岩体力学所面对的工程难题,又是广泛迫切需要解决的问题。这些难题都涉及到岩体的破坏与非线性、非连续变形,同时要求在岩体工程的断裂力学与损伤力学理论上做出新的发展;同时,为了弄清楚岩体破坏过程与岩体失稳,还要求对岩土材料的稳定局部化分岔模型做出新的探索,这是新时代的技术特点之二。21 世纪岩石力学的特点之三在于,将细观力学引入岩石力学,并探讨岩体宏细观力学特点,对岩石的多维、多相的存在条件及其相互转化状态开展研究,建立高温高压条件下的本构关系。

本书尽可能地反映上述岩石力学的时代特点,以广泛存在的岩土工程中的问题为背景,在岩石力学理论研究的基础上,加入了系统的数值分析方法,如有限元、边界元、离散元、流形元、不连续变形方法(DDA)、界面元方法等,对岩土工程问题进行研究。另外,本书还涉及各种新技术创新成果在岩石力学中的应用,如石油矿山开采、大坝建设、核废料储存等。通过将计算机 CT 扫描、脉冲声波测试技术、勘测新技术的研究成果与岩石力学研究相结合,对岩体构造进行三维数值模拟,对岩体材料力学特性测试,岩体裂隙网络扩展和渗流情况的实时监控,建立岩体多维、多相和高温、高压的耦合分析模型等,就称为岩石力学崭新而有发展前途的研究方向。

本书主要针对工程中的前沿课题所需要的数值模型与方法进行了介绍。其目的在于提高技术人员的理论水平与计算水平,对当前工程中的疑难问题做系统的分析。其次,本书反映了当前的计算机方法,如有限元、边界元、无单元、离散元、流形元、DDA 等方法

的原理与工程应用。国外岩石力学的发展很快, 计算力学及数值方法的引入、数值模拟的可行性已成为当前岩石力学的特点, 但这并不说明理论研究不重要。相反, 理论研究和创新作为学科发展的基础在岩石力学中体现的更为明显, 数值计算方法是现代信息时代岩石力学理论研究的有力武器和最新装备, 没有理论研究的创新, 数值方法的发展将会止步不前, 而不借助数值方法则岩石力学的理论研究和发展的也不会一日千里。因此, 本书就当前的岩石力学理论模型进展也做了一定程度的介绍, 如岩体本构关系的发展, 岩体构造理论、弹塑性理论的发展、损伤概化模型等。再如, 近年来岩体细观力学得到了发展, 岩体概化模型在岩体细观力学与宏观力学间搭起了桥梁, 岩体细观力学的引入使得岩石力学同时向宏细观两个方向展开并将它们联系起来, 对于揭示岩体破坏力学的宏观表象及细观机理具有重要意义。

本书是清华大学岩石力学研究组近十年来理论研究和工程实践工作的总结, 它包含了研究集体在岩石工程和水利高坝理论与数值分析方面的研究成果。参加本书工作的有肖洪天、强天驰、杜广林、赵吉东、刘耀儒、陈新、陈欣、黄岩松、刘元高、胡云进、林鹏等。

岩土工程包罗万象, 工程问题纷繁复杂, 岩石力学既有明确的学科意义, 又有重大的实践指导作用。岩石力学理论发展前进需要和工程实践密切结合, 应该以试验和测试作基础。

本书能对读者有所帮助乃作者的一大心愿, 希望本书能引起同行们的兴趣, 激发热烈的学术讨论, 推动岩石力学的学科发展。但书中难免有错误瑕疵, 敬请读者批评指正。

作者

2002 年 9 月于北京

目 录

序

前言

绪论	1
第一节 岩石力学的研究任务	1
第二节 岩石力学的研究方法	2
第三节 岩石力学工程中要解决的主要岩石工程问题	4
第四节 岩石力学的理论基础	5
第五节 岩石力学的发展和 21 世纪的前景	7
第六节 我国岩石力学的发展	9
第一章 岩石的力学特性	11
第一节 岩石全应力—应变曲线	11
第二节 岩石变形的内在机制	13
第三节 岩石在三轴荷载下的变形	16
第四节 岩石的破坏类型及破坏机制	20
第五节 岩石的断裂力学特性	22
第六节 声波 CT 和微地震技术的应用	25
第七节 岩石工程岩体力学参数研究	28
第八节 高地应力区岩体力学参数的分析	31
参考文献	35
第二章 岩体构造及网络的数值模拟	37
第一节 岩体构造	37
第二节 三维岩体裂隙网络模拟	38
第三节 裂隙岩体网络生成的自适应数值方法	44
第四节 三峡船闸高边坡岩体裂隙处理及岩体力学参数分析	47
第五节 裂隙分布的计算方法——裂隙统计及分组	51
第六节 渗透张量计算	56
参考文献	61

第三章 岩土类材料弹塑性本构模型	62
第一节 岩土塑性力学的基本假设及其特点	63
第二节 特征应力及表述	67
第三节 弹塑性理论基本概念和原理	72
第四节 几种岩土材料常用的屈服面	84
第五节 结构极限分析和稳定分析	87
第六节 奇异屈服面塑性理论	91
第七节 弹塑性问题的数值分析	94
第八节 内时弹塑性理论	98
第九节 扰动态弹塑性理论	101
参考文献	103
第四章 概化数值方法	105
第一节 引言	105
第二节 概化数值计算方法	110
第三节 算例	120
第四节 概化方法在工程岩体力学参数预测中的应用	128
参考文献	133
第五章 有限元方法	137
第一节 有限元的基本原理	137
第二节 节理及不连续面的模拟	142
第三节 无限域单元	149
第四节 弹塑性有限元计算方法	154
第五节 线性方程组的解法	166
第六节 后验误差估计及自适应有限元方法	188
第七节 界面协调方法	194
第八节 并行算法	204
第九节 三维非线性有限元程序简介及工程应用	207
参考文献	214
第六章 边界积分方程——边界元方法	217
第一节 引言	217
第二节 位势问题边界单元法	220
第三节 线弹性静力学问题的边界元法	225
第四节 弹塑性问题的边界元方法	231
第五节 边界元法与有限元法耦合问题	236
第六节 间断位移方法及其应用	237
第七节 近似计算方法——加权余量法建立边界元方程	247

参考文献	254
第七章 岩石流变力学模型及数值方法	255
第一节 概述	255
第二节 裂隙岩体损伤流变断裂力学模型	263
第三节 工程应用	279
参考文献	280
第八章 非连续岩体力学	282
第一节 非连续岩体力学的发展	282
第二节 离散元法	284
第三节 可变体离散元方法	294
第四节 刚体弹簧法	306
第五节 界面元方法	315
参考文献	321
第九章 无单元法及数值流形方法	323
第一节 滑动最小二乘法	324
第二节 无单元法	325
第三节 无单元法与有限元法的耦合	335
第四节 无单元法追踪裂纹扩展	340
第五节 无单元法计算拱坝开裂	356
第六节 数值流形方法	364
参考文献	379
第十章 岩土工程局部化分岔及大变形分析方法	382
第一节 岩土工程中的局部化分岔问题	382
第二节 结构与材料的稳定性和局部化分岔	383
第三节 岩土工程中局部化分岔失稳研究现状和方向	390
第四节 岩土材料的局部化分岔分析	394
第五节 应变局部化的有限元法	412
第六节 大变形分析方法	427
第七节 岩土工程局部化破坏分析实例	438
参考文献	445
第十一章 渗流力学理论及其数值方法	448
第一节 孔隙介质与裂隙介质	448
第二节 达西定律与地下水渗流的数学模型	448
第三节 多相流体渗流理论初步	460
第四节 伽辽金有限元法在渗流计算中的应用	465
第五节 裂隙岩体渗流理论综述	476

第六节 水力压裂初步·····	483
参考文献·····	487
第十二章 连续介质损伤力学及节理岩体损伤模型 ·····	489
第一节 概述·····	489
第二节 脆性材料的模型·····	493
第三节 弹塑性耦合模型·····	497
第四节 岩石类材料各向异性损伤模型·····	501
第五节 各向异性损伤演化律研究·····	510
第六节 节理岩体损伤的基本概念·····	528
第七节 节理岩体的损伤张量定义·····	531
第八节 损伤的发展机理及演化方程·····	539
参考文献·····	542
第十三章 岩体断裂力学的宏细观模型 ·····	549
第一节 概论·····	549
第二节 岩石类材料损伤细观过程区的理论及实验研究·····	555
第三节 断裂过程区的细观扩展模型·····	561
第四节 断裂微裂隙扩展过程区的计算机模拟实验研究·····	569
第五节 断裂过程区的分形几何研究及过程区宏观力学模型·····	572
第六节 岩石的弹脆性断裂损伤模型·····	581
参考文献·····	589
第十四章 岩体工程反分析 ·····	591
第一节 工程反分析概述·····	591
第二节 位移量测方法·····	592
第三节 观测资料分析·····	593
第四节 弹性位移反分析·····	598
第五节 黏弹性位移反分析·····	602
第六节 多参数优化反演分析法·····	606
第七节 非均匀初始地应力场的回归分析·····	609
参考文献·····	613
第十五章 岩石动力稳定 ·····	615
第一节 岩石工程中的动力学问题·····	615
第二节 弹性动力学问题的基本方程·····	619
第三节 直接积分法·····	621
第四节 振型叠加法·····	631
第五节 质量矩阵·····	640
第六节 岩石介质的阻尼效应·····	643

第七节 荷载特性	644
第八节 岩石边坡的稳定性	645
第九节 振型和自振频率的计算	647
第十节 边界处理	649
第十一节 地下工程动力问题简介	650
参考文献	652
第十六章 岩体随机有限元法及可靠度计算	654
第一节 岩体工程的安全系数及可靠度方法	654
第二节 随机有限元方法	661
第三节 基于三维随机有限元的可靠度计算	665
第四节 大型复杂结构条件失效概率及条件可靠度的计算	668
第五节 基于三维弹塑性随机有限元的可靠度计算	670
第六节 用随机有限元法分析重力坝可靠性度的工程实例	676
参考文献	684
后记	685

绪 论

计算岩石力学是岩石力学中的重要部分。它的目的在于用计算手段解决岩石力学与岩石工程中遇到的问题。由于近代计算机技术突飞猛进的发展,应用计算技术解决的岩石力学与工程问题就大量的增长,为岩石力学的工程问题专门编写一本书就显得很有必要。作者在编写完《高等岩石力学》的基础上,希望就岩石力学中的计算部分做比较详细的阐述及由浅入深的推导,从而使读者对岩石力学的近代理论与手段有循序渐进的熟悉通道,为计算者提供便于自学的教材。

第一节 岩石力学的研究任务

岩石与岩体两者代表着不同的内容,但有时两者的定义界限又不十分严格。岩石是经过天然作用而形成的矿物集合体。故岩石在某些状况下表示更为广泛的内涵,如地壳的绝大部分都是由岩石构成的,此处就指岩石为矿物的集合体。岩石按其成因可分为三类:岩浆岩,沉积岩和变质岩。岩石的物理性质首先取决于上述岩性的不同。有时将岩石这一个名词用来表示不含裂隙构造的岩石矿产体,而岩体则具有三种要素,其一为岩性,这里指矿物地质特性;其二为岩体的构造特性,此处构造指裂隙面、不连续面构造、断裂构造等;其三为赋存环境,如地应力作用。岩体在高地应力区具有弹脆性与岩爆的性质,而在低应力区又表现为延性性质,故岩体的物理力学特性与赋存环境有直接的关系。

岩石力学是研究岩石力学形态的理论和应用的学科,是一门近代发展起来的新兴学科,由于涉及的工程面很广,故岩石力学发展很快,它的应用性很强,基础理论性也很广泛。岩石力学的课题越来越具有多学科广义性及学科前沿性,它的理论基础涉及固体力学、流体力学、结构力学、弹塑性力学、流变力学、热力学、工程地质、地球物理和细观力学等。

岩体力学主要研究含有节理、裂隙、构造断层等不连续结构面组成的现场岩石。当前研究的岩体工程问题常常涉及岩体的特性,故岩体力学也称为岩石力学。由于岩石力学研究的对象有着特定的涵义且有较为明确的定义,故决定了岩石力学的学科特性,并成为相对独立的学科分支。近期有人企图用岩石工程代替岩石力学的学科分支特性,取消岩石力学的独立学科分支,自然遭到人们的反对。

岩石力学在近年来随着经济建设的发展而迅速发展起来,从而使工程总的问题不只借助经验和试验,而越来越多地用计算作为工程设计和分析的基础。

第二节 岩石力学的研究方法

岩石力学是一门边缘交叉的学科,它密切结合工程实践而得到发展,同时,随着工程应用近代科学技术、工程技术的发展从而开展自己的道路,并开辟岩石力学的新领域。其中数值计算方法成为岩石力学发展的重要手段,特别是计算机在计算规模、运行速度上的迅速发展使得计算岩石力学得到日益广阔的内容。岩石力学在计算机应用、数值方法、计算信息技术等诸方面极大地丰富了自己的内容。

岩石具有特殊的固体介质力学特性,这个特殊的力学性质反映在它所处的环境中,如天然岩石所处应力状态,一般称为岩体的初始应力状态。在岩石受工程活动扰动后岩体的应力出现了变化,这时岩石的应力状态称为次生应力。此时岩体的地质环境特征也有了很大的变化,包括岩性、组构、成因、断裂构造、风化状态和程度等都有了变化。此时从岩石力学和工程地质相结合是十分重要和必要的方法。对节理岩体,特别需要了解岩体结构面的分布、网络特性、岩体结构类型,并进而做出岩体的数值模拟的方法与途径。

为了进一步了解岩石的力学特征和赋存环境,需要进行大量工程试验和理论研究。

首先岩石工程实践包括勘探、现场原位测试、工程结构监测、岩体构造的测定、地应力测试、岩石力学参数测试、工程开挖、爆破、地下水压抽水试验、岩体网络测定、声波测试等,为了解岩石的基本特征提供了基础性的参数。近年来发展起来的层析技术(Tomograph)为岩体构造的研究提供了先进的手段。

由宏观工程试验发展到细观试验,例如电镜扫描(SEM)、钻孔电视、层析技术,都是进入细观技术的手段。为发展细观构造流变,发展了贴镜技术(Image Screening)。

其次,是岩石构造关系的理论探讨。在岩石细观层次上进行了岩石力学的发展。岩石力学研究中最重要成果之一就是岩石本构模型的提出。本构关系的研究要求理论模型研究并将模型在实验中得到验证。

再次,是将理论分析与工程实践、测试勘测实践结合在一起的整体综合研究方法,这要求从正反两而分析工程实践,这些实践中得出岩石力学的基本知识。

一般言之,岩石力学的研究方法可有如下四大类。

一、地质研究方法

对岩体进行地质方面的研究始终是岩石力学研究的基础,在整个岩石工程的过程中,地质性质的研究应当列在第一位。如:

(1) 岩石岩相、岩层特征的研究,如软弱岩体的成分、可溶岩类、含水蚀变矿物、不抗风化岩石成分以及原生结构。

(2) 岩体结构的地质特性研究,如断续结构而的几何特征、岩体力学特征、软弱面的充填物及地质特性。

(3) 赋存地质环境的研究,如地应力的成因、地下水分布与化学特征以及地质构造对

环境的影响研究。

二、物理力学的研究方法

(1) 岩体结构的探测。应用地球物理方法和技术来探查各种结构面的力学特征和化学特征。

(2) 环境物理量测。如地应力的形成机制及分布、地质环境中热力与水力存在的性状、水化学的分布特征,应用大规模地质构造层析技术,地质雷达探测技术,从而确定岩体构造。

(3) 岩体物理力学性质的测试。如岩块的力学特性的室内试验、原位岩体的力学性质测试、钻孔测试、工程变形监测、位移反分析等。基于震动手段的动态测试,如超声波测试、地震波、电磁波、计算机层析方法(CT)测试。利用岩体的波动特性,以研究岩体的力学特性。

三、力学分析方法

岩石力学的研究,除了以上地质方法、物理方法的研究外,还要进行数学、力学方法研究,从而构成计算岩石力学的基础部分。其中主要有如下几个方面的研究:

(1) 岩石本构关系的研究。对岩石进行宏观到细观阶段的力学特性研究;由线性到非线性关系的发展;由有序到无序的发展;由连续到非连续的发展;由稳定到非稳定的发展。本构关系始终是岩石力学的核心问题。这一过程用于岩石工程中表现为弹性力学到弹塑性力学的发展;损伤力学与断裂力学的结合在岩石宏细观转变中起了重要的作用。

(2) 数值分析方法。由于计算机计算性能的发展,岩石力学中数值分析方法得到了长足的发展。立足于不同的数学模型,得出了不同的数值分析方法,有限元方法由线性到非线性的发展,为岩石力学解决了极大的难题。由岩体连续力学到非连续力学的发展出现了离散元 DEM 和不连续变形分析方法(Discontinuous Deformation Analysis)及流形方法(Manifold Method)的进展,为岩体不连续介质力学的发展做出了很大贡献。边界元法(BEM)、无单元法(EFM)快速拉格朗日法(FAC)的出现又为大变形或有限变形分析做出了贡献。它们在边坡稳定岩石应力变形分析中发挥了突破性的作用。系统分析法和智能方法在专家系统的基础上,使得岩石力学得到了发展和应用。

(3) 模糊像素和随机分析。该研究方法因基于岩体介质的随机分布特性,而在岩石力学中得到较为广泛的应用。可靠度分析灰箱问题也相应得到发展。

(4) 模拟仿真分析。在岩体力学中,对于岩体构造的复杂性,经常采用物理模拟的方法与数值模拟方法研究地下洞室稳定,例如离心模型,三维高坝地质力学破坏模型试验,都是行之有效的物理模拟法,以推求结构破坏安全度。近期发展的虚拟现实技术也是利用数值模拟方法对岩石工程进行仿真分析。

四、整体综合分析法

就整个工程进行多种分析方法,并以系统工程为基础的综合分析。例如反馈分析,就是有效地应用了大量工程稳定性的评价,对大坝和高边坡稳定性进行评价。例如三峡船闸高边坡稳定分析、二滩拱坝破坏仿真分析。运用反馈破坏仿真,可对现在已建工程进行评价。这一方法将数值分析、本构分析、岩石试验、监控技术推向新的高潮。近期发展的多

维多相岩石力学也成为岩石力学发展的一个重要分支,例如温度、压力和固液气相变等,也为石油核废料工业所需要。

第三节 岩石力学工程中要解决的主要岩石工程问题

目前工程建设中,经常遇到属于岩石力学方面的问题,也有些学者称这些问题为岩石工程问题。下面给出它们的具体问题如下。

一、水利水电建设

一般而论,水利水电建设中的岩石问题就其理论和技术要求面言都是比较难以解决的。

(1) 岩基稳定性问题。例如高坝坝基和高拱坝坝肩稳定,这在岩体稳定理论以及工程技术方面都具有很大难度和深度,至今尚缺少成熟的分析方法。

(2) 复杂地基上建坝,大坝的应力稳定设计准则,施工及加固理论技术。

(3) 有压和无压引水渠道设计,施工及加固理论技术,埋深长大隧道的开挖施工及设计理论。

(4) 水电站地下洞室群的优化设计和施工。

(5) 大跨度高地应力地下洞室围岩稳定及加固技术。

(6) 水库岸坡稳定机制,加固方法以及高边坡的开挖稳定问题。

(7) 高坝基础抗震设计岩基动力稳定与强度问题。

(8) 水库诱发地震的机制及预报措施。

二、采矿工程

(1) 露天采矿边坡设计及稳定加固技术。

(2) 井下开采中巷道和采场围岩稳定性问题,特别是软岩巷道和深部开采技术问题。

(3) 矿柱稳定性及采矿结构优化设计问题。

(4) 矿井突水预测、预处理理论和技术。

(5) 煤矿瓦斯突出预测及处理技术。

(6) 岩爆预测及预处理理论和技术。

(7) 采空区处理及地面沉降问题。

(8) 岩石破碎问题。

三、铁道建设工程

(1) 线路边坡稳定性分析。

(2) 隧道设计与施工技术。

(3) 隧道施工中的地质超前预报及处理。

(4) 高地应力的岩爆机制及处理。

(5) 隧道入口高边坡施工技术及加固措施。

四、石油开采的技术问题

石油开采具有极其复杂的岩石力学及信息工程技术,例如:

(1) 石油开采的井筒稳定问题。

- (2) 石油层压水试验, 水力劈裂。
- (3) 石油层中高温、高压水气开裂及填料输油机制。
- (4) 石油微地震机制, 岩层构造探测机制。
- (5) 石油出油裂隙多相介质的相变流体力学问题。
- (6) 石油页岩的勘探技术。

五、核废料的处理问题

这是一项极其复杂的技术, 涉及多种学科。

- (1) 岩体赋存环境的通道网络确定技术。
- (2) 地下渗流、放射质子、热流裂隙通道技术。
- (3) 放射性物质传输状态及穿透性。
- (4) 地下储藏室隔热、减小渗流系数的材料隔渗装置。
- (5) 为保证安全性减少渗透的措施。

六、自然灾害的防治与岩石力学

近年来, 岩石力学的重要课题之一就是自然灾害的防治与环境保护的问题。

(1) 泥石流对土地环境的影响。我国每年都有 2000 万 m^3 的泥石流破坏农田和环境, 每年都有 2800 人因此死亡。

(2) 滑坡灾害。在我国西部一些地区每年都以 6‰ 的面积被滑坡岩体侵害, 水电工程中的人工开挖边坡引起的滑坡与自然库岸塌方也引起巨大的经济损失。

(3) 地震灾害。地震灾害引起的损失也十分令人震惊, 岩石动力学开展的工程防震研究对工程具有重大意义。

(4) 开挖工程。如开矿、采煤地下隧洞掘进, 都会引起重大塌方和人员伤亡并影响工作效率。

(5) 环境保护。如地下储存、垃圾处理也给岩石工程及岩石力学提出了课题。对环境的保护, 面临着极其复杂的岩石力学问题, 如污染对地下水造成的灾害, 如核废料污染、垃圾污染、地下冷库污染都和温度变化、裂隙网络扩展、液气固三相介质作用的四维流动问题。

第四节 岩石力学的理论基础

一般认为岩石力学是固体力学的一个重要分支, 但它又和其他学科相交叉, 如与流体力学、水力学渗流、热力学、化学、相变力学相交叉, 故应指出, 岩石力学是一门多学科相交叉的学科。就本质上讲, 不少人认为岩石工程可能更代表岩石力学的含义。所以在讨论岩石力学的理论基础时, 应当注意到这一多学科交叉的特点。

就本书内容而言, 岩石力学的理论基础包括以下部分:

(1) 弹性介质力学、结构力学、材料力学等, 这是不言面喻的。早期人们一直将岩石看成一种均匀的连续的介质, 从而可以简化岩石力学的计算和分析。

(2) 弹塑性力学, 尤其是岩土工程中弹塑性力学的应用, 为岩石力学开辟了理论方面