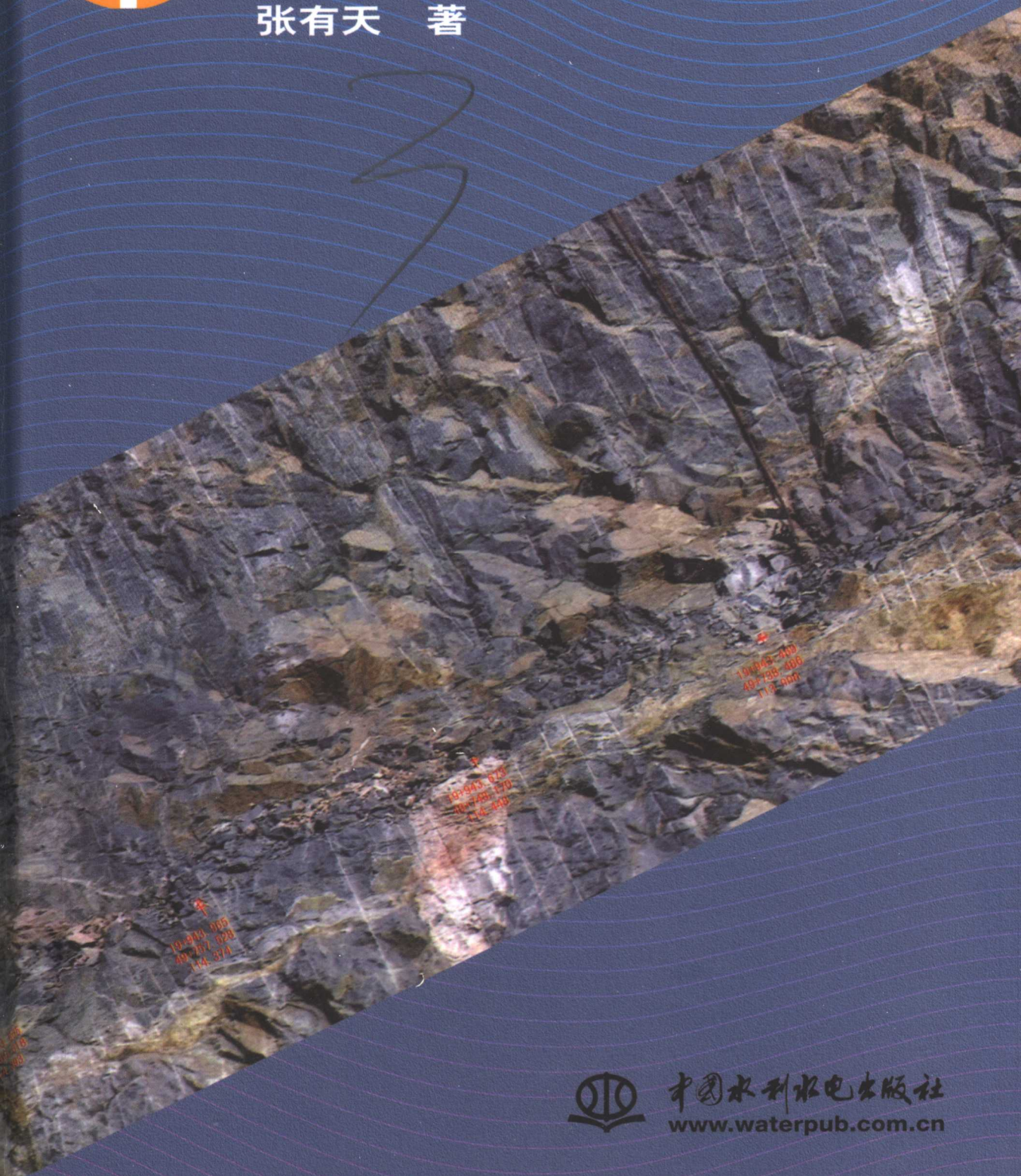




ROCK HYDRAULICS AND ENGINEERING

岩石水力学与工程

张有天 著



19-939 005
49-157 020
144 374

13-943 013
16-495 570
14-309

10-969 409
49-138 406
112 900



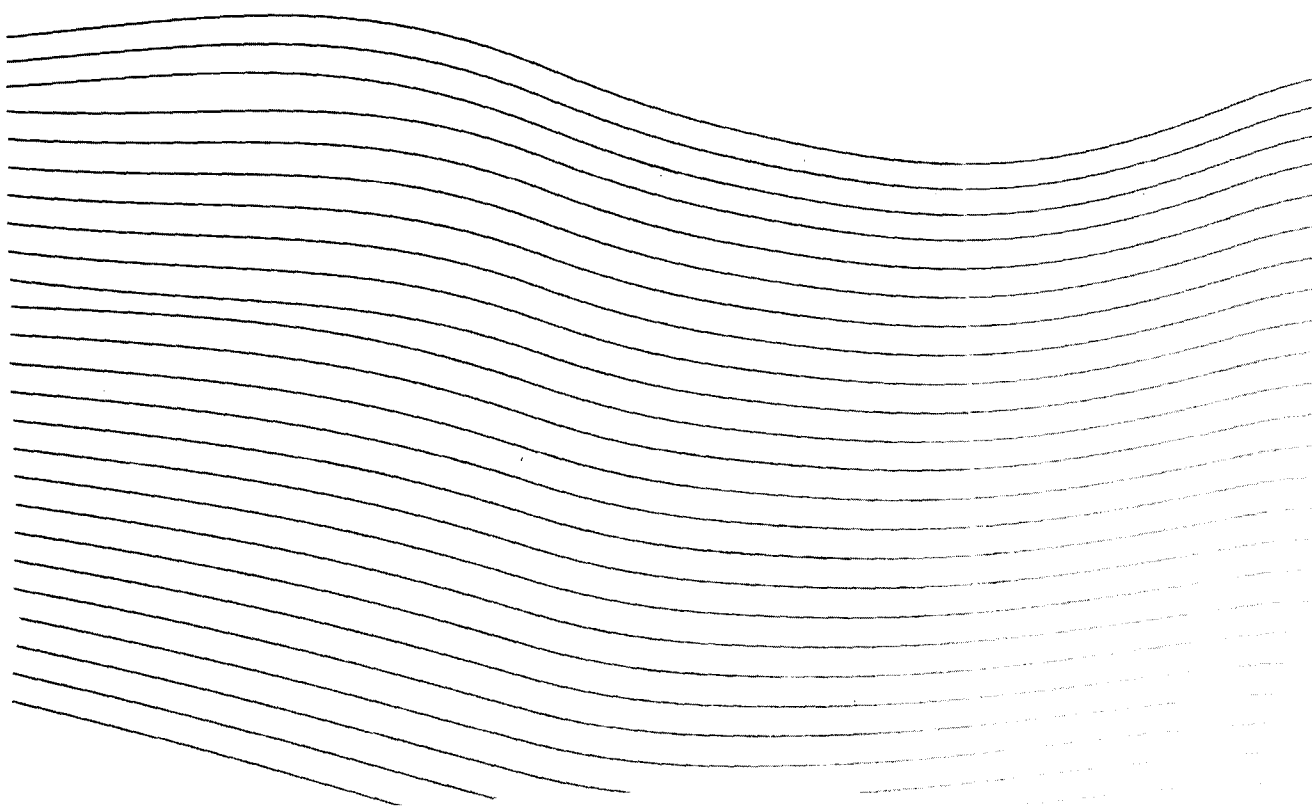
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

ROCK HYDRAULICS AND ENGINEERING

岩石水力学与工程

张有天 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书内容可以概括为五部分。第一部分为岩石水力学与工程前沿概况,包括两章:第一章绪论,第二章岩石水力学与几个重大工程事故;第二部分为岩石水力学的基本理论,包括六章:第三章完整岩石的水力特性,第四章单一裂隙水力特性研究,第五章裂隙测量、统计及裂隙网络的计算机生成,第六章裂隙网络水力学,第七章等效连续介质模型的渗透张量,第八章等效连续介质模型渗流分析若干问题;第三部分为岩石工程中的岩石水力学问题,包括五章:第九章山体中的初始渗流场,第十章大坝、库水与地基的相互作用、第十一章岩石水力学和岩石边坡工程、第十二章岩石中的隧道工程、第十三章大型地下洞室;第四部分为讨论和总结,即第十四章;第五部分为附录,包括张量的指标符号表示法、概率密度函数基本公式、分维几何学简介。为便于读者查阅,书末附有参考文献以及主题索引、作者索引、地名索引。

本书内容翔实,附有大量工程案例,图文并茂。

本书可供水利水电、铁路、公路、矿山及军工等领域的科研人员、工程技术人员及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

岩石水力学与工程/张有天著:—北京:中国水利水电出版社,2005

ISBN 7-5084-2715-7

I. 岩... II. 张... III. 岩石力学:水力学
IV. TU45

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第013769号

书 名	岩石水力学与工程
作 者	张有天 著
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 23印张 545千字
版 次	2005年4月第1版 2005年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	60.00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

自序

从最开始接触岩石水力学问题到本书出版，已经有48个年头了。明知此书有诸多先天不足，但我还是感受到难产后的喜悦和轻松。

那是在1957年，我在中国科学院水工研究室攻读副博士学位。在《水利学报》创刊号上读到导师张光斗先生的论文《混凝土重力坝的渗透压力》，该文全面总结了重力坝扬压力的理论研究和工程经验。读后受益良多，认识到扬压力是工程设计，特别是重力坝设计中的重大问题。这个问题看似简单，其实十分复杂，因为扬压力与岩石地基内水的流动规律密切相关。在该论文的启发下，我进一步学习了泰沙基理论、布拉兹理论以及相关文献，整理出一篇读书报告。在朱可善先生主持下，我在水工研究室结构组作了读书汇报。在讨论中，大家一致认为这是一个值得投入的、在理论和实践上都很有前景的研究课题。

天有不测风云，研究计划还未及制订，噩运却不期而至。不仅研究工作的权利被剥夺，而且还被划为另类，送去劳动，改造思想。我感到仿佛从人间突然跌入地狱。接着就是层层下放，直到一个偏远山区的工地。那里信息闭塞，几乎看不到科技文献。就在那几年，法国 Malpasset 拱坝溃决、意大利 Vajong 水库库岸大滑坡等震惊世界工程界的重大事故相继发生，但我对此竟一无所知，有如桃花源中人，“不知有汉，无论魏晋”。随遇而安，适应环境是人的本能，塞翁失马，也有所得。在工地，我能时时刻刻接触大自然，给我认识和思考各种自然现象提供了客观条件。在山涧，在基坑，到处都有暴露的岩石。岩石裂隙纵横交错，虽杂乱无章，却不乏规律性。一些裂隙有水流，一些湿润，而另一些则干燥，种种现象都有其内在必然规律。这就是感性认识，是种子，一旦条件具备，就会发芽、开花和结出理性的果实。

1966年初夏，史无前例的“文化大革命”风暴呼啸而至，科技刊物被迫纷纷停刊，技术书籍也空前萧条。偶尔进城，总忘不了去逛外文书店，只有在那里还能看到不少科技新书。一次在外文书店，突然发现苏联出版的 Ромм 所著的《裂隙岩石的渗透特性》(Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород) 一书。打开一看，惊喜不已，这是一本关于裂隙岩石水流非常系统的

学术专著，我所思考的问题尽在其中。书的出版日期是1966年，掐指一算，从1957年到1966年足有9个春秋，如果我一直在“人间”的话，自信可以写出几篇论文，或许已经跻身于这一学科先行者的行列之中。

买了书，带回工地，迫不及待想埋头阅读，但考虑再三，还是把它压到箱子的最底层，免得又犯了崇洋、白专等戒律，自讨苦吃。

1973年，邓小平复出，任副总理，1975年，在胡耀邦主持下起草了科学院工作汇报提纲，大地开始复苏了。我被调去设计院参加一个大型工程水工隧道设计，为了解决衬砌外水压力的理论和实际问题，查阅了许多文献。在箱底珍藏的POMM的书也就重见天日，成为我在这一领域的学术和工程意识的启蒙者。1976年“四人帮”被粉碎；1978年我被调回水利水电科学研究院；同年，党的十一届三中全会果断决定把全党工作重点转移到社会主义现代化建设上来；1982年，我的问题得到改正；……。我仿佛一下子到了天堂！阳光来了，温度有了，水分够了，等待多年的种子开始发芽、开花和结果。

重回水科院后的日子真是我的天堂岁月。此前，我连做梦都不敢想有朝一日还能重温旧梦，而且得到的条件好于我的期望。20年来，为解决工程实际问题进行了一系列的科学研究，取得了一批成果，发表了许多论文和几本专著。1995年末退休后，计划写三本书来给生命划上句号。第一本就是《岩石水力学与工程》，为此我付出了毕生的精力；然后写一本关于隧道方面的书；考虑到这两本书的写作过程还可能发表一些论文，打算最后出一本论文集。一生跌宕起伏，我的人生是“人间·地狱·天堂”三步曲。中段的岁月是长知识的黄金年华，对一个知识分子来讲，失去了这段时间是无可弥补的。为写好这三本书，尤其是第一本，还有太多的事情要做。

天堂里除了快乐和兴奋，也有苦闷和烦恼。1998年，作为国家自然科学基金委员会重大项目一个课题的负责人，按计划完成了研究任务，提出了成果，还积累了许多新的思路和观点，因而雄心勃勃，想继续申请项目。不曾想到的是，国家自然科学基金委员会作出了新规定：退休人员不能以负责人身份申请科研项目。几经争取，一无所获。我只能下最大的决心，准备再付出15~20年的艰辛劳动。由于太快乐、太兴奋，以致忘记了自己的年龄和身体，直到近两年，一些同龄的同事相继突然过世，悲哀之余，猛然意识到：下一个很可能就会轮到有心脏病的我。我第一次感到死亡的恐惧：如果我走前一事无成，那对于我真是不能瞑目的永远遗憾。为此调整了战略：①因整理论文工作量相对较小，将论文集提前到第一位。经过努力，《水利情——张有天科技论文选集》一书于2003年7月出版了。即使此时远走，也会少些遗

憾。②根据现有的成果撰写《岩石水力学与工程》一书，将一些尚未完成的新思路写进书里，供同行们讨论和参考。如果上苍慈悲，能容我等到再版，则希望再补充一些新的内容。③继续进行岩石水力学的研究，同时着手整理资料，并写作《隧道科学与技术》一书。

岩石水力学是与工程紧密相连的学科，如果没有工程的需要，研究则难以进行，况且即使进行了研究，学科也不会得到发展。作者所在的课题组得到众多工程单位的支持和委托，从而能真正接触到工程实质问题，得到工程的哺育，使研究工作能有的放矢，保证研究结果不脱离实际。本书得以顺利完成，这是最主要的因素。

本人非常荣幸地得到了国家自然科学基金委员会、中国长江三峡工程开发总公司、能源部以及国家电力公司的科学研究资助。本人及其所领导的科研小组齐心协力，完成了国家自然科学基金重大项目和面上项目、国家科技攻关项目、能源部有关重点项目等的科学研究工作，取得了一批既有理论又有实际的成果。这些研究成果大大提高了本书的技术含量。

记得在大学时代，一位苏联教授在讲课时曾精辟地阐述了科学家和科学的关系，他说：在罗蒙诺索夫时代，科学家很高大，科学则相对较小，少数科学家可以创造科学；但到今天，科学变得很高大，科学家则相对渺小，不依靠集体的努力，就难以取得重大科学成果。本书虽附有400多篇参考文献，但也只是已发表相关文献的很小一部分。如果没有这些文献，没有这些文献作者的贡献，也就不可能有本书的出版。因此，作者首先对本书所引用参考文献的作者们表示敬意和感谢。

这样一本著作不可能靠本人单枪匹马地去完成。为了进行研究，作者先后与许多同事进行过难忘的合作。他们是：张武功、王镭、陈平、苏亦农、刘中、陈重华、李雪春、卢正超、徐昕、窦铁生、陈庆中、陆峰等，在此谨向他们表示诚挚的感谢。

在对本书所论的岩石水力学与工程的20余年研究过程中，许多院士、总工、教授、研究员和专家们曾给予我很多指导、帮助，有的还提供了宝贵的资料；在相关论文评审和研究成果验收、鉴定过程中，他们都提出了宝贵的建议和意见，使作者受益匪浅，在此向他们表示衷心的感谢。

本书的写作得到了潘家铮、朱伯芳、曹楚生三位院士的鼓励和推荐，并得到国家科学技术学术著作出版基金的资助。在此，谨向这三位院士及国家科学技术学术著作出版基金会致谢。

本书和已出版的《水利情——张有天科技论文选集》一书的责任编辑都

是徐青同志。本以为该论文集集中收录的大部分是已发表的文章，应该不会有
多少问题。未曾想到，徐青同志竟然作了大量令人信服的订正和修改。在本书
的编辑出版过程中，徐青同志同样认真负责，投入了大量的辛勤劳动，也
发现并纠正了不少错误，提出了许多宝贵建议，在此一并致谢。

本序一开始就说明，本书有许多先天不足，这是由作者的主观及客观条件
所决定的。作者诚恳地希望广大读者，尤其是这方面的专家们不吝赐教和
批评指正。

作 者

2004年10月

于北京

主要符号表

A :	面积	I_1, I_2, I_3 :	渗透张量第一、二、三不变量
a :	裂隙隙宽	J :	水力梯度
a_c :	毛细隙宽	J_f :	裂隙内的水力梯度
a_h :	等效水力隙宽	J_0 :	初始水力梯度
a_m :	机械隙宽	K_f :	安全系数
a_{max} :	最大机械隙宽	K_n :	裂隙的法向刚度
a_r :	残留隙宽	K_n^0 :	裂隙的初始法向刚度
$[B]$:	几何矩阵	K_t :	裂隙的切向刚度
b :	裂隙间距	k :	渗透系数
c :	凝聚力	k_V :	垂直方向渗透系数
D :	分数维维数	k_H :	水平方向渗透系数
D_e :	覆盖厚度	k_f :	裂隙的水力传导系数
d :	欧氏几何维数	k_R :	围岩的渗透系数
E :	弹性模量	k_C :	衬砌的渗透系数
E_k :	孔隙介质的弹性模量	k_{ij} :	渗透张量
E_R :	岩石的变形模量	k_{in} :	内在渗透系数
E_C :	混凝土的弹性模量	k_a :	α 方向渗透系数
E_s :	孔隙介质骨架的有效模量	k_s :	饱和渗透系数
E_g :	颗粒材料的体积模量	k_u :	非饱和渗透系数
E_w :	水的体积弹性系数	$[K]$:	渗透张量
F :	作用力	l, m, n :	方向余弦
f_1, f_2, f_3 :	裂隙线、面、体频率	M :	质量
G :	重量	M_{dry} :	干燥质量
g :	重力加速度	M_{wet} :	饱和面干质量
h :	水力势(水头)	n_m :	孔隙率
h_c :	毛细水头	n_e :	视孔隙率
h_i :	内水压力水头	N_i :	形函数
h_m :	水头损失	n_v :	空隙比
h_0 :	初始水头	P :	概率
h_w :	外水压力水头	p :	孔隙压力
h_d :	坝高	R_C :	衬砌与围岩的粘结强度
H :	分数布朗运动指数	R_d :	干抗压强度
$[H]$:	水力传导矩阵	R_w :	湿抗压强度
I_v :	空隙指数	Re :	雷诺数

r :	连续率	δ_c :	沉陷量
Q :	流量	ε :	变形
Q_r :	残余流量	θ_d :	裂隙面倾角 (与水平面的夹角)
S :	饱和度	θ_n, φ_n :	裂隙面法线球面坐标的方向角和倾斜角
T :	导水系数	ϕ :	内摩擦角
T_b :	表面张力系数	φ_d :	裂隙面倾向的方位角
q :	单宽流量	ψ :	连通系数
U :	扬压力合力	λ :	阻力系数
u :	水的流速	λ_s :	软化系数
u_c :	等效连续介质中的流速	μ :	粘滞系数
u_f :	裂隙中的流速	μ_C :	混凝土的泊松比
v :	位移	μ_K :	孔隙介质的泊松比
V :	体积	μ_R :	岩石的泊松比
V_e :	水力连通孔隙体积	μ_L :	裂隙迹线均值长度
V_v :	空隙体积	ν :	运动粘滞系数
V_t :	总体积	ξ, η, ζ :	自然坐标系
V_p :	孔隙体积	ρ :	密度
W_i :	权函数	ρ_g :	颗粒密度
w :	权重	ρ_d :	干密度
x, y, z :	总体坐标系	σ :	均方差
α :	扬压力 (孔隙压力) 系数	σ_{ij} :	应力张量
β :	外水压力综合修正系数	σ' :	总应力
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$:	外水压力修正系数	σ'_e :	有效应力
β_w :	水的压缩系数	τ :	剪应力
α_n, β_n :	裂隙面法线的方位角和倾角	ω :	单位吸水率
Γ :	计算域边界	ω' :	含水量
γ :	水的重度		

目 录

自序

主要符号表

第一章 绪论	1
第一节 岩石水力学及其定义	1
第二节 岩石水力学研究的社会需求	1
第三节 岩石水力学的研究方法	2
第四节 岩石水力学的发展现况	3
第五节 本书写作的总体思路和内容简介	4
第二章 岩石水力学与几个重大工程事故	7
第一节 概述	7
第二节 Malpasset 拱坝溃坝	8
第三节 Vajont 拱坝近坝库岸岩体大滑坡	14
第四节 Teton 坝溃决	20
第五节 讨论	25
第三章 完整岩石的水力特性	26
第一节 岩石中的空隙	26
第二节 水的物理力学性质	28
第三节 孔隙介质的渗透系数	30
第四节 初始水力梯度	31
第五节 岩石渗透试验	32
第六节 水对岩石力学性质的影响	34
第四章 单一裂隙水力特性研究	42
第一节 概述	42
第二节 光滑平行板缝隙水力学	43
第三节 考虑裂隙面粗糙度对立方定理的修正	46
第四节 岩石裂隙壁面粗糙度研究	46
第五节 无充填裂隙水力特性的试验研究	50
第六节 有充填裂隙水力特性的试验研究	57
第七节 合成裂隙的计算机生成	63
第八节 合成裂隙水力特性的计算机试验研究	66

第五章 裂隙测量、统计及裂隙网络的计算机生成	70
第一节 岩石裂隙的几何参数	70
第二节 岩石裂隙的调查与测量方法	72
第三节 裂隙面产状的统计方法	75
第四节 裂隙面尺寸统计方法	79
第五节 裂隙密度及频率	84
第六节 裂隙网络样本的计算机生成	85
第六章 裂隙网络水力学	93
第一节 裂隙网络水力学应用范围	93
第二节 交叉裂隙水偏流现象及讨论	95
第三节 裂隙网络水力学恒定流问题	96
第四节 裂隙网络水力学非恒定流问题	97
第五节 裂隙网络水力学分析存在的问题及必要的简化	104
第七章 等效连续介质模型的渗透张量	112
第一节 用等效连续介质模型分析裂隙岩石渗流的必要条件	112
第二节 渗透张量的性质	114
第三节 用裂隙几何参数确定渗透张量	118
第四节 用裂隙网络水力学求解渗透张量	120
第五节 裂隙岩石渗透张量现场测试方法	125
第八章 等效连续介质模型渗流分析若干问题	132
第一节 控制方程式及有限单元法	132
第二节 有自由面渗流问题分析的初流量法	133
第三节 有地面入渗山体渗流场特点	139
第四节 应力场与渗流场耦合分析	142
第五节 增量渗流荷载法	149
第六节 排水孔幕的数值模拟	151
第七节 双重孔隙介质模型分析方法	154
第八节 渗流问题的边界元方法	160
第九章 山体中的初始渗流场	168
第一节 研究初始渗流场的意义及现况	168
第二节 裂隙岩石渗流分析的反问题	168
第三节 山体初始渗流场分析工程案例	170
第四节 几种典型山体渗流场规律及工程案例	181
第十章 大坝、库水与地基的相互作用	189
第一节 拱坝和地基的相互作用	189
第二节 重力坝坝基的扬压力	196

第三节	高碾压混凝土重力坝层面扬压力研究	210
第四节	水库蓄水后大坝、库岸及河岸的位移	215
第五节	水库触发地震	220
第十一章	岩石水力学和岩石边坡工程	227
第一节	地下水与滑坡	227
第二节	地下水对边坡的作用	229
第三节	岩石边坡中的排水体系	231
第四节	降雨与岩石边坡内地下水运动	234
第五节	三峡船闸高边坡降雨过程的渗流场分析	236
第六节	层状岩体高边坡降雨过程的渗流场分析	243
第七节	三峡船闸混凝土边墙极端不利外水压力分析	246
第十二章	岩石中的隧道工程	251
第一节	概述	251
第二节	水荷载作用下隧道静力计算的基本原则	251
第三节	隧道衬砌的外水压力	255
第四节	有压水工隧道最小覆盖厚度	261
第五节	高压水工隧道分岔段混凝土衬砌	267
第六节	埋藏式压力钢管在地下水作用下的失稳问题	270
第七节	隧道掘进过程中的涌水问题	275
第十三章	大型地下洞室	278
第一节	大型地下洞室的岩石水力学问题	278
第二节	地下厂房施工期排水量估算	278
第三节	地下洞室运行期渗水量分析及减渗措施	284
第四节	连续降雨对水电站地下厂房运行安全的影响	293
第十四章	讨论和总结	298
第一节	岩石水力学与土体渗流学的重大差异	298
第二节	岩石水力学的数学模型及其讨论	299
第三节	若干有待深入研究的问题	300
附录 A	张量的指标符号表示法	302
附录 B	概率密度函数基本公式	306
附录 C	分维几何学简介	310
	参考文献	320
	主题索引	336
	作者索引	344
	地名索引	348

Contents

Preface

Notation

Chapter 1 Forward	1
1.1 Rock hydraulics and its definition	1
1.2 Social requirements of rock hydraulics research	1
1.3 Research methods of rock hydraulics	2
1.4 State of the arts of rock hydraulics	3
1.5 General idea and synopsis of the book	4
Chapter 2 Rock hydraulics and serious engineering accidents	7
2.1 Introduction	7
2.2 The failure of Malpasset arch dam	8
2.3 The Vajont rock slide at the reservoir bank near the dam	14
2.4 The failure of Teton dam	20
2.5 Short discussion	25
Chapter 3 Hydraulic behavior of the intact rock	26
3.1 Voids in rock	26
3.2 The physical and mechanical properties of water	28
3.3 The permeability of porous media	30
3.4 Initial hydraulic gradient	31
3.5 Permeability tests of the rock	32
3.6 Affect of water on mechanical properties of the rock	34
Chapter 4 Hydraulic behavior study of a single fracture	42
4.1 Introduction	42
4.2 Hydraulics of fracture with smooth parallel plates	43
4.3 Corrections of the cubic law considering the roughness of fracture surface	46
4.4 Study of roughness of fracture walls	46
4.5 Test study of hydraulic behavior of fracture without fillings	50
4.6 Test study of hydraulic behavior of fracture with fillings	57
4.7 Generation of synthetic fracture by computer	63
4.8 Test study of hydraulic behavior of synthetic fracture using computer	66

Chapter 5 Measures and statistics of fractures and generation of fracture networks by computer	70
5.1 Geometry parameters of rock fracture	70
5.2 Survey and investigation methods for rock fracture	72
5.3 Statistical methods of fracture attitude	75
5.4 Statistical methods of fracture scale	79
5.5 Density and frequency of fractures	84
5.6 Generation samples of fracture networks by computer	85
Chapter 6 Hydraulics of fracture networks	93
6.1 The application limitations of fracture network hydraulics	93
6.2 Deflection flow through the fracture intersection	95
6.3 Steady flow of fracture network hydraulics	96
6.4 Unsteady flow of fracture network hydraulics	97
6.5 The problems in analyzing fracture network hydraulics and necessary simplification	104
Chapter 7 The permeability tensor of equivalent continuous media	112
7.1 Necessary conditions of analyzing flow in fractured rock as an equivalent continuous medium ...	112
7.2 The characters of the permeability tensor	114
7.3 Permeability tensor of fractured rock obtained from geometric parameters of fractures	118
7.4 Permeability tensor of fractured rock obtained from fracture network hydraulics	120
7.5 Permeability tensor of fractured rock obtained by in situ tests	125
Chapter 8 Some problems in seepage analysis of equivalent continuous medium	132
8.1 Governing equations and finite element method	132
8.2 The analysis of flow with free surface by initial flow method	133
8.3 The peculiarities of flow in mountain with surface infiltration	139
8.4 Stress-seepage coupling analysis	142
8.5 Incremental seepage force method	149
8.6 Numerical simulation of bore hole drainage curtain	151
8.7 Analysis method of the dual porous medium model	154
8.8 Boundary element method in flow analysis problem	160
Chapter 9 The initial seepage field in the mountains	168
9.1 The significance and status quo of initial seepage field study	168
9.2 Back analysis of seepage problem for fractured rock	168
9.3 Some case histories of initial seepage field in mountains	170
9.4 Typical initial seepage fields and case histories	181
Chapter 10 Interaction of dam, reservoir water and foundation	189
10.1 Interaction of arch dam and foundation	189
10.2 Uplift at foundation of gravity dam	196

10.3	Uplift in lift layer of roller compacted concrete dam	210
10.4	Deformation of dam and bank of the reservoir after impounding	215
10.5	Reservoir triggered seismicity	220
Chapter 11	Rock hydraulics and rock slope engineering	227
11.1	Ground water and stability of rock slope	227
11.2	Affect of ground water on rock slope	229
11.3	The drainage system in the rock slope	231
11.4	Rain fall and ground water in rock slope	234
11.5	Seepage analysis for rock slopes of Three Gorges shiplock during rain fall	236
11.6	Seepage analysis for layered rock slopes during rain fall	243
11.7	Most adverse groundwater pressure on lining walls of Three Gorges shiplock	246
Chapter 12	Tunnels in the rock	251
12.1	Introduction	251
12.2	Basic principles of tunnel static analysis under the water load	251
12.3	Water pressure acting on the outside surface of lining	255
12.4	The minimum overburden of pressure hydraulic tunnel	261
12.5	The concrete lining of manifold of high pressure hydraulic tunnel	267
12.6	Buckling of embedded high pressure steel tube under groundwater	270
12.7	Water inflow during excavation of tunnel	275
Chapter 13	Large underground excavations	278
13.1	Rock hydraulics in large underground excavations	278
13.2	Estimation of water inflow during excavating of underground powerhouse	278
13.3	Estimation of quantity of water inflow under operation of underground powerhouse and anti-seepage measures	284
13.4	Affect of long time rain on safety of underground powerhouse	293
Chapter 14	Short discussion and summary	298
14.1	The differences between rock hydraulics and seepage in soil and sand	298
14.2	Discussion on mathematic model of rock hydraulics	299
14.3	Some problems to be further studied	300
Appendix A	Contracted notation of tensor	302
Appendix B	Basic formula of probability density function	306
Appendix C	Short introduction of fractal geometry	310
References		320
Subject index		336
Author index		344
Geography index		348

第一章 绪 论

第一节 岩石水力学及其定义

岩石水力学是研究水在裂隙岩石(fractured rock)中运动规律的科学。正如孔隙介质渗流学是土力学的一个分支一样,岩石水力学是岩石力学的一个分支。许多文献用岩石渗流来概化水在裂隙岩石中运动的规律,这表明,不仅工程界至今仍常按土体渗流来处理岩石水力学的问题,学术界也受到同样的束缚。土体渗流学中把土体视为孔隙介质,严格地说是视为连续介质,因为它并不研究水是如何由一个孔隙流向另一个孔隙。连续介质是孔隙介质的抽象,没有这种抽象,就无法建立土体渗流学的基本理论。因此,渗流这个概念是附在连续介质的概念上的。岩石中有许多断层、节理、裂隙,统称为结构面,在岩石水力学中都称之为裂隙。正是这些结构面使岩石力学成为一门科学。水在裂隙中的流动不宜称为渗流,宜称为水力学。完整岩块渗透系数很小,水在岩石中的运动主要是在裂隙中的流动。虽然早在1974年Louis就提出了岩石水力学(Rock Hydraulics)这个名词,但并未被学术界普遍接受,许多作者仍用岩体渗流而讳言岩石水力学。到1995年,我国首次提出岩体水力学这个名词(仵彦卿和张倬元,1995),以取代岩体渗流学,这是前进了一大步。因为岩石是一个广义的概念,以不连续结构面对岩石影响为主要研究内容的“岩石力学”这一名词已被广泛接受,与此相应,“岩石水力学”一词已开始被认同(谢和平和陈忠辉,2004)。

第二节 岩石水力学研究的社会需求

岩石水力学之所以逐渐发展成为岩石力学的一个重要分支,完全是由于社会生产发展的需要。研究岩石水力学的社会需求体现在以下3个方面。

(1) 工程建设的需要。对于岩基上的大坝、地下洞室、岩石边坡等工程,水在裂隙岩石中流动而形成的荷载对工程的安全是至关重要的。这就是我国工程界,尤其是水利水电工程界对岩石水力学的研究高度关注的原因。

(2) 研究水资源问题的需要。地下水是重要的水资源,裂隙岩石中的水资源受到高度重视。这一问题本是水文地质学的范畴,但水文地质多从宏观研究地下水的赋存条件,而岩石水力学则主要研究裂隙水的运移规律。《Water Resources Research》已成为发表有关岩石水力学论文最多的著名期刊,就是最好的说明。

(3) 研究水环境问题的需要。随着社会生产力的发展,一方面,人类对生存环境的质量要求越来越高;而另一方面,工农业生产的发展对环境产生日益严重的污染,因而环境工程越来越受到重视。溶质在裂隙岩石中的传输规律已成为岩石水力学的主要研究内容之

一,特别是核废料的地下贮存技术,防止地下水受到放射性物质污染是发达国家最为关注的问题之一。

第三节 岩石水力学的研究方法

为了满足上述社会需求,岩石水力学的研究方法及手段大体有以下几个方面。

一、试验研究

主要研究水在裂隙岩石中运动的规律及其受环境因素(应力、温度等)的影响。试验研究从单一裂隙或裂隙组的室内试验发展到大规模的裂隙岩石现场试验。如英国环境部为核废料贮存设计提供基础资料的专门地下试验场(Hudson, 1983; Brown and Boodt, 1987);美国内华达州核废料贮存技术 Yucca Mountain 地下试验场(Barton, 1985; Peters, 1988);法国原子能协会在一个铀矿通过试验对裂隙渗流模型进行的研究(Long and Billiaux, 1987; Cacas, 1990);加拿大原子能有限公司的地下试验室(Martin and Simmons, 1992);瑞典核废料贮存技术试验基地 Stripa Mine(Wilson et al., 1983; Nolte et al., 1989);由多国参加的核废料贮存技术研究及试验机构 DECOVALEX(Makurat et al., 1995; Jing et al., 1995)。我国在西部地区也进行了有关核废料贮存技术试验研究。为了水利水电工程建设的需要,我国进行过多次压力水工隧道专门试验洞的压水试验(参见本书第十二章)。试验研究既是岩石水力学的认识源泉和理论基础,同时也是对理论成果的检验。通过试验求得裂隙岩石有关水力学参数,已日益成为试验所关注的重要内容。

二、数学模型研究

任何科学首先都必须把复杂的研究对象进行抽象,数学模型就是其中之一。岩石水力学的数学模型概括起来有以下3类。

1. 等效连续介质模型

把裂隙的透水性按流量等效原则均化到岩石中,得到以渗透张量表示的等效连续介质模型。利用广义达西定律,即可按研究得非常透彻的孔隙介质渗流学来解决问题。这一模型应用方便,相当多的工程问题都可用这一模型进行近似研究。但必须注意,这一模型用于岩石水力学问题有其局限性,在一些特定情况下采用此模型会导致错误的分析结果。

2. 裂隙网络模型

忽略岩石的透水性,认为水只在裂隙网络中流动,即为裂隙网络模型,也称为裂隙网络水力学模型。在理论上这一模型比连续介质模型更接近实际,是岩石水力学的核心。由于岩石中裂隙分布的随机性,需要建立裂隙网络样本。首先需要对典型岩面的裂隙进行产状、尺寸、密度、隙宽等几何参数的测量,然后通过统计分析,求得裂隙各几何参数的统计规律,包括其所服从的分布规律后,用 Monte-Carlo 方法生成计算裂隙网络样本。目前二维裂隙网络水力学相对比较成熟,三维裂隙网络水力学尚待深入研究。

3. 裂隙孔隙介质模型

裂隙孔隙介质(fractured porous media)模型,又称为双重孔隙介质(dual porosity media)模型。这一模型考虑到岩石裂隙与岩石孔隙之间的水交换。显然,这应是更为切合实际的理想模型,但实施的难度比较大。