

水利水电工程灌浆与 地下水排水

马国彦 林秀山 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利水电工程灌浆 与地下水排水

马国彦 林秀山 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 简 介

本书用新思路、新概念、新理论,从以下三个方面系统论述了水利水电工程灌浆与地下水排水工作中必然会遇到的工程区的水文地质条件、问题以及渗控措施:第一篇论述了透水、透浆结构面(主要是裂隙面)的调查方法、分布规律和它们的相对透水性 with 相对可灌性等特性;第二篇分析了如何确定裂隙各向异性渗透张量、最优灌浆与排水钻孔产状、原始的透水率与可灌性以及水泥灌浆参数等;第三篇介绍了灌浆与排水工程的应用实例,并从中总结出可防止浆液劈裂的高压灌浆方法。大量实践证明,新方法可以提高灌浆与排水的质量,成倍地节省投资 and 大幅度地缩短施工时间。

本书是我国水利水电工程灌浆与地下水排水方面的第一本专著,其中关于优选灌浆与排水斜孔产状部分,是目前国内外的最新方法,也是本书最关键的主轴线。本书可供从事岩体加固工作的勘测设计研究部门、施工单位、基础处理公司以及大专院校师生和科研部门的同行们参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程灌浆与地下水排水/马国彦,林秀山著. —北京:中国水利水电出版社, 2001. 1

ISBN 7-5084-0513-7

I. 水… II. ①马…②林… III. ①水利工程-灌浆②水利工程-地基-排水 IV. ①TV543②TV223.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 59704 号

书 名	水利水电工程灌浆与地下水排水
作 者	马国彦 林秀山 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: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部) 全国各地新华书店
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 23.75 印张 562 千字
版 次	2001 年 1 月第一版 2001 年 1 月北京第一次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	68.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

序

水工建筑物，尤其是坝基工程，其渗漏和渗透压力是影响工程运行和安全的重要因素。在水利水电工程建设中，灌浆与地下排水是解决水文地质问题和基础设计、施工的关键技术措施之一。因此，灌浆和地下水排水方法和技术，受到极大的关注，有着重要的工程价值。

20 世纪初叶，在大坝工程发展的初始阶段，有一系列混凝土坝因未设置防渗帷幕和缺乏有效的坝基排水措施肇致溃决失事。后来，灌浆和地下水排水成为大坝设计不可缺少的项目。在理论研究和工程实践的基础上，我国于 1963 年和 1978 年编制并修订了压水试验规程，又于 1983 年编制了 SL62—94《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》，1994 年完成了规范的修订。尽管在这方面已有数十年的工程研究和应用经验。但是仍有一系列问题，如灌浆标准、试验方法和灌浆程序等值得进一步研究，以便提高水平，完善这一重要的方法和技术。

本书作者从事水文地质勘察和设计工作 40 年左右，特别是近 15 年来，带着国内外压水试验和灌浆试验中存在的问题，在广泛收集国内外有关文献资料基础上，结合黄河小浪底水利枢纽工程灌浆与地下水排水的勘察设计实际，进行了全面系统的长时间研究，并在工程后期施工中得到了极为宝贵的观测资料反馈，不断总结，多易其稿，最终成书。因此，本书具有以下四个特点。

一是具有新思路。在充分研究岩体结构的基础上，对不同类型的岩体进行了地质结构面主要是裂隙面宽度等要素的测量。在充分分析不同标号水泥细度的条件下，根据裂隙宽度和水泥颗粒之间的关系，提出了相对的岩体透水性和可灌性，而不是从勘察一开始就大量使用复杂的手段去普遍探查岩体的透水性和可灌性。

二是具有新概念。提出了利用原始透水率新概念去评价岩体的透水性，而不是用现行压水试验的两种方法，即用有可能比原始透水率大许多倍的破坏性岩体透水率概念去评价岩体的透水性。同样也提出了利用原始透浆率新概念去评价岩体的可灌性，而不是用有可能比原始透浆率大许多倍的破坏性岩体透浆率去评价岩体的可灌性。

三是具有新方法。摒弃了国内外都是把钻孔布置成与岩体天然地面或开挖面成垂直方向的传统布孔方法，而是采用了作者自己研制的软件包，计算最优的钻孔方向和倾角。

四是具有新工艺。目前我国仍是用七个比级的水灰比浆液进行灌浆，作者引用并改进了单一水灰比的稳定浆液的配制工艺，发现了使用稳定浆液的岩体可灌性，取决于裂隙宽度、水泥细度及稳定浆液的流动厚度三要素的基本规律。

此外，本书还有一个最突出之点，那就是本书是包括勘察、设计、科研和施工在内的多学科结果。其中特别值得提出的是，本书以丈量裂隙宽度、确定灌浆与排水参数、优选斜孔产状和配制稳定浆液等为主线，来论证各类岩体的透水、透浆条件。也就是说，灌浆与排水是在地质体内进行的，因而本书用了较多篇幅，特别注意查清灌浆与排水的水文地质条件。这正是现行有关规程、规范在编制过程中所忽略的一点。

本书是全面系统地展示我国灌浆与排水理论和方法水平的一本专著，在灌浆与排水方面，尤其在斜孔灌浆、排水设计的优化方法上的精辟论述，为国内外文献所少见，是一本具有国际水平的优秀著作。它对推动水利水电灌浆与排水工程的发展以及开展国际交流，都是一项重要贡献。

事物总是在不断前进，人们对事物的认识也处于不断深化和提高过程中，有些已形成的观点，必然要在实践的反复检验中继续充实、改进和进一步提出新的论点，这样才能使灌浆与地下水排水学不断完善并达到新水平。

国际工程地质与环境学会理事长
中国工程院院士
中国岩石力学与工程学会理事长

王思敬

2000年7月15日

前 言

以坚硬层状岩体为地基的水工建筑物，尤其是坝基工程，大多存在有渗漏或渗透压力问题。为了工程的安全运行，多数是用灌浆与地下水排水措施对地基进行处理的。要不要进行处理，国内外的传统方法是根据把各向异性透水性岩体假定为各向同性岩体，用压水试验求得的单位吸水量 ω 值或透水率 q 值的大小来确定的；如超过某一规定值，几乎全都是用钻孔轴向与岩体天然地面或开挖面成垂直的固定方向进行灌浆或排水。由于岩体的透水性是各向异性的，透水透浆的岩体裂隙也是有方向性的，因此，现行的灌浆与地下水排水方法，存在的最大问题是没有与处理岩体的水文地质条件结合起来考虑。

带着这些问题，我们在黄河小浪底工程的灌浆与地下水排水工作中，历时15年，先后组织了有30余人参加的两个攻关小组，对裂隙岩体各向异性透水性，如何优选灌浆与排水钻孔产状等课题，在室内外进行了大量试验研究，取得了一系列可贵的成果，并直接将其应用到黄河小浪底水利枢纽的六项工程和河南省、山西省以及吉林省的三项工程中，取得了巨大的经济效益。长期的科学研究和生产实践表明，如要普遍提高我国水利水电工程灌浆与地下水排水效果，建立灌浆与地下水排水的基础理论是极为重要的。理论的作用可以指导人们思考、分析问题。为此，我们专著此书，试图提出以优选灌浆与排水钻孔产状为主线，查清被处理岩体的水文地质条件，揭示被灌浆与排水岩体的水文地质问题，制订切合水文地质实际的处理措施，从理论与实践两方面来回答在水利水电工程灌浆与地下水排水过程中可能出现的各类问题，以便与同行们分享新的研究成果。

本书的整体设计和编写由马国彦、林秀山完成。前言由林秀山执笔；绪论、第一、二、三、四、六、九、十二、十五、二十二章、二十三章由马国彦执笔；第五、七、八、十、十一、十三、十四、十六、十七、十八、十九、二十、二十一章分别由崔志芳、李清波、赵全升、刘孔凡、曾鹏九、夏德成、付金锐、廖忠刚、李治明、王积军、段世超、刘海军、史海英与马国彦合写。本书初稿由林秀山审阅修改，最终由马国彦统稿完成。

世界著名专家F. K. 埃瓦特(Friedrich-karl Ewert)到小浪底工地指导过灌浆试验，作者在黄河水利委员会勘测规划设计研究院及河海大学聆听过他的三次有关灌浆的学术报告，受益匪浅。他还提供了大量资料，丰富了本书的内

容，特此表示感谢。

国际工程地质与环境学会理事长、中国工程院院士、中国岩石力学与工程学会理事长王思敬，在百忙中热情为本书作序并提出了许多宝贵意见，增添了本书的光彩，谨向他表示诚挚的谢意。

本书的编写工作及顺利面世，得到了黄河水利委员会勘测规划设计研究院近两届领导以及院科技质量处、地质总队、科学研究所、小浪底设计处、设计一处和计划经营处等单位的大力支持和许多具体帮助。还要指出的是，钱忠柔、潘家铨、高广淳、杨法玉和路新景教授级高级工程师，王喜彦、郑谅臣高级工程师，常建华、刘金勇、雷建国工程师以及周惠玲同志，对本书给予许多帮助，使本书臻于完善，在此对他们谨表衷心感谢！在此还要特别提出的是，我们在推广“斜孔灌浆与地下水排水技术”经验中，得到了中国地质大学唐辉明教授、华北水利水电学院刘汉东教授、国家电力公司成都勘测设计研究院王仁坤教授级高级工程师、吉林省水利水电勘测设计研究院金晶悦教授级高级工程师，以及山西省后河水库指挥部、河南省南阳抽水蓄能电站筹建处的许多领导的帮助，使本书内容更丰富，对此向他们表示由衷的感谢！

由于本书内容涉及许多学科，攻关主题大多是国内外灌浆与地下水排水专家尚未涉足的问题，加之主观和客观上的因素制约，书中难免有不少缺点和疏漏，恳请各方面专家及同行们批评指正。

水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院

马国彦 林秀山

2000年10月

INTRODUCTION

The book sufficiently studies almost all the details of engineering grouting and ground water drainage in the water conservancy and hydroelectric field, by taking the grouting works and ground water drainage practices in Xiaolangdi Multipurpose Dam Project, also by studying the related information collected from both home and abroad. Also the book studies the existing problems in the practice. The following achievements are made: (1) The relative permeability and relative groutability of the rock mass can be judged from the fissures found from natural outcrops, pit or trench exploration wall and rock cores. (2) The original permeability rate and grout takes can be made from water pressure test and grouting test; and the permeability rate and grout takes of the rockmass after hydraulic cracking can also be made. (3) By studying the width and other parameters of the fissures, the optimum orientation of grouting holes and draining holes can be achieved. (4) The method of dozing stable grouting liquid is introduced, which has good flowability and stability, and which has been experimented both in the lab and natural environment. (5) By changing the grouting procedure and the structure of the grouting hole, jet grouting can be carried out without hydraulic cracking. The new technology and new method introduced in the book have been applied in the Xiaolangdi Multipurpose Dam Project, Houhe Reservoir in Yuanqu County of Shaanxi Province, Shanggouhe Dam Project in Dunhua city of Jilin Province, and Pumped Storage Hydroplant in Nanyang City of Henan Province. The practical application in those projects proves that the book is of high applicable value and theoretical significance.

This is a first expertise book in engineering grouting and ground water drainage in the water conservancy and hydropower field, which can be served as reference in reconnaissance, design and research institute, engineering construction bureau, foundation treatment bureau, colleges, and research institute. No doubt the book will be a good guide to the readers.

目 录

序

前 言

绪 言..... 1

第一篇 灌浆与地下水排水水文地质勘察

第一章 裂隙调查方法..... 7

第一节 取样窗内裂隙调查 7

第二节 岩芯裂隙产状调查 15

第三节 斜孔岩芯裂隙宽度调查 18

第二章 岩体强度调查方法 19

第一节 岩体强度分类..... 19

第二节 无侧限单轴抗压强度 21

第三节 点荷载试验 25

第四节 描述岩体试验的方法 27

第三章 天然裂隙分布规律调查 29

第一节 构造应力场的恢复与分析 29

第二节 远离大断层深部岩体裂隙 34

第三节 断层及其影响带内的岩体裂隙..... 42

第四节 风化卸荷带内的岩体裂隙 49

第四章 工程（人为）开挖卸荷裂隙 64

第一节 顺向坡开挖卸荷裂隙..... 64

第二节 顺向坡断层带内的卸荷裂隙 65

第三节 反向坡开挖卸荷裂隙 67

第四节 洞室围岩的卸荷裂隙 70

第五节 卸荷裂隙的成因机制分析 75

第五章 层状岩体的相对透水性与相对可灌性的调查分析 80

第一节 研究岩体透水性可灌性的现状 80

第二节 岩体相对透水性的调查分析方法 81

第三节 岩体透水性可灌性的关系分析 91

第六章 坝址区及临坝库区的水文地质调查 94

第一节 坝基渗漏及其扬压力 94

第二节 岩体的各向异性渗透性对水文地质特征的影响 95

第三节 帷幕深度 96

第四节	灌浆帷幕长度与流线条度的关系	97
第五节	地下水与库水位的相互作用	98
第六节	水文地质调查中应注意的几个问题	99

第二篇 灌浆与地下水排水的试验研究

第七章	野外水力试验确定各向异性渗透张量	101
第一节	三段压水试验	101
第二节	交叉孔压水试验	105
第三节	竖井注水试验	110
第四节	隙宽类比法确定各向异性渗透张量	114
第五节	岩体透水性分区	121
第八章	最优灌浆与排水钻孔的方位和倾角	133
第一节	钻孔方位设计	133
第二节	钻孔间距设计	135
第三节	GJMZ 软件说明	138
第四节	裂隙分组及其迹长模拟计算的概率统计模型 (MZTRACE 软件)	145
第九章	压水试验研究	148
第一节	调查岩体的原始透水率	148
第二节	调查岩体的临界压力	150
第三节	关于不透水岩体的讨论	157
第十章	稳定浆液的试验研究	159
第一节	国外使用稳定浆液的现状	159
第二节	配制稳定浆液的设备及工艺	159
第三节	配制稳定浆液的材料及其性能	160
第四节	稳定浆液的性能指标测试方法	162
第五节	对影响浆液稳定的因素研究	164
第六节	稳定浆液的灌浆效果检查	166
第十一章	倾斜钻孔灌浆与排水的施工工艺及设备	167
第一节	施工机械	167
第二节	斜孔成孔工艺	175
第三节	制浆站的设计与布置	181
第十二章	灌浆试验研究	184
第一节	灌浆钻孔的水文地质特征调查	184
第二节	灌浆钻孔布置及其灌浆顺序	185
第三节	灌浆浆液的水灰比	186
第四节	岩体的可灌性	187
第五节	地质条件对灌浆的影响	191
第十三章	现场斜孔帷幕灌浆试验	195

第一节	试区选择与钻孔布置	195
第二节	现场试验	195
第三节	灌浆成果资料分析	200
第四节	结论与存在问题	202
第十四章	GIN 法帷幕灌浆试验研究	203
第一节	试区地质概况	204
第二节	灌浆孔参数与钻孔布置	204
第三节	现场灌浆试验	205
第四节	灌浆过程监控	209
第五节	灌浆资料整理与分析	210
第六节	灌浆效果检查	215
第七节	直孔、斜孔组灌浆对比分析	216
第八节	常规法、GIN 法的灌浆对比分析	217
	结语	217
第十五章	水泥灌浆参数的研究分析	218
第一节	灌浆钻孔参数研究	218
第二节	水泥细度与裂隙宽度	219
第三节	GIN 法灌浆参数研究	224
第四节	对固结、接触灌浆问题的分析	246

第三篇 灌浆与地下水排水新方法的应用

第十六章	消力墙边坡地下水排水系统	249
第一节	概述	249
第二节	地下水对边坡稳定性影响的敏感性分析	250
第三节	消力塘地区的水文地质条件	250
第四节	排水斜孔参数的研究	255
第五节	排水洞及其排水斜孔设计	257
第十七章	左岸单薄分水岭地下水排水系统	261
第一节	地下水位预测	261
第二节	地下水排水系统布置	266
第三节	排水洞内排水斜孔的产状及其孔距	269
第十八章	地下厂房地下水排水系统	273
第一节	地下厂房布置及其尺寸	273
第二节	岩体的透水性	274
第三节	渗流计算	276
第四节	地下厂房外围地下水排水设计	276
第五节	地下厂房系统围岩地下水排水设计	282
第六节	28 号排水洞和地下厂房的施工水文地质编录	284

第十九章 左岸单薄分水岭防渗帷幕灌浆	287
第一节 设置防渗帷幕的目的	287
第二节 防渗帷幕的平面布置	287
第三节 防渗帷幕纵剖面设计	287
第四节 防渗帷幕灌浆资料分析	291
第二十章 进水塔群地基固结灌浆	300
第一节 概述	300
第二节 塔群地基地质条件	300
第三节 固结灌浆设计	300
第四节 固结灌浆施工	305
第五节 固结灌浆资料分析	310
第二十一章 导流洞环形灌浆	314
第一节 地质概况	314
第二节 灌浆设计	315
第三节 固结灌浆施工	318
第四节 环形固结灌浆资料分析	319
第五节 影响固结灌浆的因素分析	321
第六节 质量检查	324
结语	324
第二十二章 其它工程灌浆和可防止浆力劈裂的高压灌浆	327
第一节 后河坝址的防渗灌浆	327
第二节 回龙抽水蓄能电站的防渗灌浆	330
第三节 上沟水利枢纽的灌浆工程	337
第四节 可防止浆力劈裂的高压灌浆	341
第二十三章 主要研究内容和结论	344
第一节 灌浆与地下水排水水文地质勘察	344
第二节 灌浆与地下水排水的试验研究	347
第三节 灌浆与地下水排水新方法的应用	352
第四节 结论	354
水利水电工程灌浆与排水术语	356
主要参考文献及参考资料	362

CONTENTS

Foreword	
Introduction	
Preface	1

VOLUME1 Hydrogeological Exploration of Grouting and Underground Water Drainage

Chapter1 Methods of Investigation of Joints	7
Section1 Investigation of Joints in Sampling Zone	7
Section2 Investigation of Occurrence of Joints in cores	15
Section3 Investigation of Width of Joints in Inclined Drillholes	18
Chapter2 Investigation of Rockmass Strength	19
Section1 Classification of Rockmass Strength	19
Section2 Unconfined Uniaxial Compressive Strength	21
Section3 Point Load Test	25
Section4 Description of Rockmass Test	27
Chapter3 Investigation of Distribution of Natural Joints	29
Section1 Restoration and Analysis of Tectonic Stress Field	29
Section2 Joints at Depth Far Away from Major Faults	34
Section3 Joints in the Fault and Its Affected Area	42
Section4 Joints in the Weathering-Relaxational Zone	49
Chapter4 Relaxation Joints by Engineering (Artificial) Activity	64
Section1 Relaxation Joints by Excavation along Consequent Slope	64
Section2 Relaxation Joints along Fault Zone in Consequent Slope	65
Section3 Relaxation Joints by Excavation along Reversed Slope	67
Section4 Relaxation Joints in the Surrounding Rockmass of Tunnels	70
Section5 Mechanism of Relaxation Joints	75
Chapter5 Investigation of Relative Permeability and Relative Groutability of Layered Rockmass	80
Section1 Present Study of Permeability and Groutability of Rockmass	80
Section2 Investigation of Relative Permeability of Rockmass	81
Section3 Investigation of Relationship between Permeability and Groutability	91
Chapter6 Hydrogeological Investigation in the Dam Site and Dam-adjacent Reservoir	94
Section1 Seepage along the Dam Foundation and Its uplift	94
Section2 The Effect of Anisotropic Permeability of Rockmass to the Hydrogeological Condition	95

Section3 Grouting Curtain Depth	96
Section4 The Relationship between the Length of Grouting Curtain and the Length of Streamline	97
Section5 Interaction between Ground Water and Reservoir	98
Section6 Problems in the Hydrogeological Investigation	99
 VOLUME2 Test of Grouting and Ground Water Drainage	
Chapter7 Anisotropic Permeability Tensor Determined by Hydraulic Test in Site	101
Section1 3-sections Water Pressure Test	101
Section2 Water Pressure Test in Cross Hole	105
Section3 Water Injection Test in Shaft	110
Section4 Anisotropic Permeability Tensor Determined by Fissure Width Analogy	114
Section5 Zoning of Permeability of Rockmass	121
Chapter8 Orientation and Inclination Angle of Optimum Grouting Hole and Drainage Hole	133
Section1 Design of Orientation of Drillhole	133
Section2 Design of Drillhole Spacing	135
Section3 Instruction of GJMZ Program	138
Section4 Probability Statistics Model of Joint Grouping and Joint Length Simulation	145
Chapter9 Study of Water Pressure Test	148
Section1 Investigation of Original Permeability of Rockmass	148
Section2 Critical Pressure of Rockmass	150
Section3 Discussion of Unpermeable Rockmass	157
Chapter10 Study of Stable Grouting Liquid	159
Section1 Status of Stable Grouting Liquid outside of China	159
Section2 Equipment and Technology of Stable Grouting Liquid Dosing	159
Section3 Material of Dosing Stable Grouting Liquid	160
Section4 Measurement of Data of Stable Grouting Liquid	162
Section5 Factors Affecting Stability of the Grouting liquid	164
Section6 Check of Stable Liquid Grouting	166
Chapter11 Construction Technology and Equipment of Grouting And Drainage in Inclined Drillholes	167
Section1 Construction Machinery	167
Section2 Technology of Inclined Hole Drilling	175
Section3 Design and Arrangement of Grout-making Station	181
Chapter12 Study of Grouting Test	184
Section1 Investigation of Hydrogeological Condition of Grouting Holes	184
Section2 Layout of Grouting Holes and Sequence of Grouting	185
Section3 The Ration of Water to Cement of Grouting Liquid	186
Section4 Groutability of Rockmass	187

Section5 The Effect of Geological Condition to Grouting	191
Chapter13 Study of In-situ Inclined Hole Grouting	195
Section1 Selection of Test Area and Arrangement of Grouting Holes	195
Section2 In-situ Test	195
Section3 Analysis of Grouting Information	200
Section4 Conclusions and Problems	202
Chapter14 Study of GIN Curtain-grouting Test	203
Section1 Geological Condition of Test Area	204
Section2 Parameters of Grouting Holes and Layout of Grouting Holes	204
Section3 In-situ Grouting Test	205
Section4 Monitoring of Grouting Process	209
Section5 Processing and Analysis of Grouting Information	210
Section6 Check of Grouting Test	215
Section7 Contrast of Vertical Grouting Holes and Inclined Grouting Holes	216
Section8 Contrast of Conventional and GIN Grouting	217
Section9 Conclusions	217
Chapter15 Study of Parameters of Cement Grouting	218
Section1 Parameters of Grouting Holes	218
Section2 Cement Fineness and Fissure Width	219
Section3 Study of Parameters of GIN Grouting	224
Section4 Study of Consolidation Grouting and Contact Grouting	246

VOLUME3 Application of New Methods in Grouting and Ground Water Drainage

Chapter16 Drainage System of Ground Water in the Slope behind the Plunge Pool	249
Section1 Introduction	249
Section2 Sensitivity of Ground Water to the Stability of Slope	250
Section3 Hydrogeological Condition in the Plunge Pool Area	250
Section4 Study of Parameters of Inclined Drainage Holes	255
Section5 Design of Drainage Tunnels and Drainage Inclined Holes	257
Chapter17 System of Ground Water Drainage in the Lest Thin Ridge	261
Section1 Prediction of Ground Water Level	261
Section2 Pattern of Ground Water Drainage System	266
Section3 Occurrence and Spacing of Inclined Drainage Holes in Drainage Tunnels	269
Chapter18 Ground Water Drainage System of Underground Powerhouse	273
Section1 Arrangement and Dimensions of Ground Powerhouse	273
Section2 Permeability of Rockmass	274
Section3 Seepage Computation	276
Section4 Design of Ground Water Drainage System in the Outlying Zone of Ground	

Powerhouse	276
Section5 Design of Ground Water Drainage System in the Surrounding Zone of Ground Powerhouse	282
Section6 Hydrogeological Logging during Construction of No. 28 Drainage Tunnel and Ground Powerhouse	284
Chapter19 Antiseepage Curtain Grouting in the Left Thin Ridge	287
Section1 Purpose of Antiseepage Curtain Design	287
Section2 Layout of Antiseepage Curtain	287
Section3 Design of Longitudinal Profile of Antiseepage Curtain	287
Section4 Processing of Information of Antiseepage Curtain Grouting	291
Chapter20 Consolidation Grouting in the Foundation of Intake Towers	300
Section1 Introduction	300
Section2 Geological Condition of Foundation of Intake Towers	300
Section3 Design of Consolidation Grouting	300
Section4 Construction of Consolidation Grouting	305
Section5 Analysis of Information of Consolidation Grouting	310
Chapter21 Circular Grouting of Diversion Tunnels	314
Section1 Introduction	314
Section2 Grouting Design	315
Section3 Construction of Consolidation Grouting	318
Section4 Analysis of Information of Circular Consolidation Grouting	319
Section5 Analysis of Factors Influencing Consolidation Grouting	321
Section6 Quality Check	324
Section7 Conclusions	324
Chapter22 Other Grouting Works and High Pressure Grouting Avoiding Grout-cracking	327
Section1 Antiseepage Grouting in Houhe Reservoir	327
Section2 Antiseepage Grouting in Huilong Power-storage Plant	330
Section3 Grouting Works in the Shanggou Water Conservancy Project	337
Section4 High Pressure Grouting Avoiding Grout-cracking	341
Chapter23 Contents and Conclusions of the Study	344
Section1 Hydrogeological Exploration of Grouting and Ground Water Drainage	344
Section2 Study of Test of Grouting and Ground Water Drainage	347
Section3 Application of New Methods in Grouting and Ground Water Drainage	352
Section4 Conclusions	354
Terms of Water Conservancy and Hydropower Grouting and Engineering Works	356
References	362

绪 言

一、概述

钻孔水泥灌浆一般分为用浆液充填地基中的缝隙而形成阻水帷幕，以降低作用在建筑物底部的渗透压力或减少渗漏量的帷幕灌浆；用浆液加固裂隙的地基以增强其整体承载能力的固结灌浆；用浆液加固建筑物或建筑物与地基或围岩间的结合能力，以提高接触面上的物理力学性能的接触灌浆等几种；此外，还有回填灌浆。

国内外传统灌浆和排水孔的布置以及灌浆方法，大体上不外有四种：一是不论何种灌浆、排水类型，几乎都是用“对分法”按孔口等距离布置钻孔；二是不论岩体裂隙面陡缓及其发育状况，几乎都是把钻孔布置成固定方向，即钻孔轴向与岩体天然地面或开挖面成垂直方向；三是认为无论何种岩体都是可灌的，而且是可以达到预期要求的；四是认为只有稀浆才容易灌入岩体内，其成功率比较高。

当我们全面搜集和研究了国内外现行水工建筑物水泥灌浆施工技术规范以后发现，它们主要是对以下五个方面的灌浆内容进行了具体的规定或要求：

岩体透水性 用铅直钻孔进行压水试验，所求得的岩体透水性 q 值，用以代表岩体的透水性。

灌浆标准 岩体透水性 q 值，若小于 $1 \sim 5 Lu$ 时，可以不进行灌浆，否则，应进行灌浆防渗。

灌浆孔间距 用分期加密方法进行灌浆试验，钻孔加密到孔距 $1.5 \sim 2m$ 仍达不到防渗要求时，则设置多排帷幕。

帷幕灌浆孔排数（帷幕宽度） 决定于被灌岩体允许水头梯度。

灌浆压力 无论是灌浆压力大于 $3MPa$ 的高压灌浆，还是灌浆压力低于 $3MPa$ 的低压灌浆，其压力都是由灌浆试验确定的。

二、四个研究阶段

水利水电工程灌浆与地下水排水工程都是在岩体内进行的，若不详细调查岩体的透水透浆结构面，便不会知道它们具有各向异性的透水透浆特性；或者仅仅用铅直钻孔进行压水试验，用所求得的透水性 q 值代表岩体的透水性，实际上它并不具有代表性，因为裂隙透水性是各向异性的；在前两个前提下所开展的任何灌浆与排水工作都是有问题的。为解决或查清这些问题，我们开展了以下四个阶段的工作：

第一阶段 为了对小浪底水利枢纽左岸单薄分水岭山体的边坡稳定性及渗控工程的合理性进行评价，需要预测水库蓄水后山体中的地下水分布情况，水利部黄河水利委员会（以下简称黄委会）勘测规划设计研究院于1985年，先后与中国地质大学（北京）、黄委会水科所合作，通过野外裂隙测量、水文地质调查和水力试验，研究了岩性、断层和风化卸