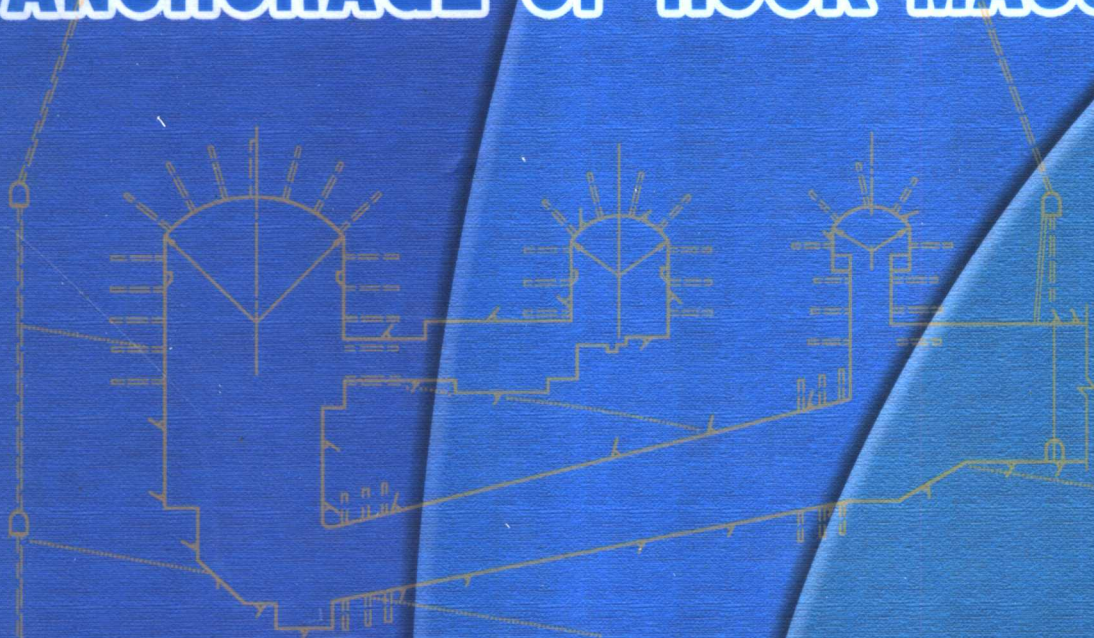


岩体灌浆排水锚固 理论与实践

马国彦 常振华 著

THEORY AND PRACTICE OF
GROUTING DRAINAGE AND
ANCHORAGE OF ROCK MASS

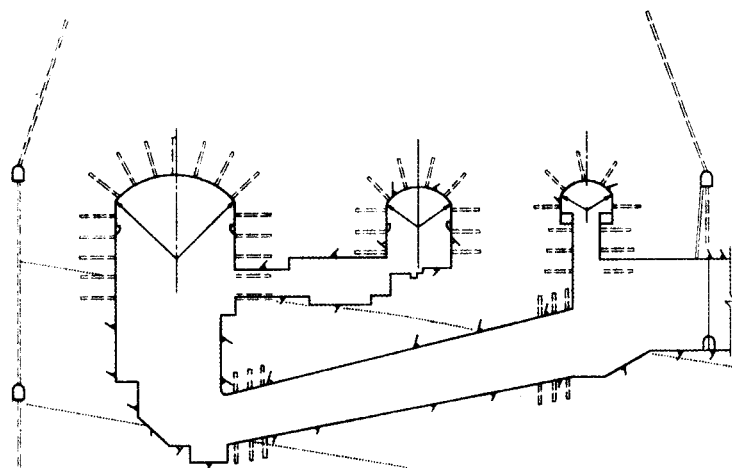


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

岩体灌浆排水锚固 理论与实践

马国彦 常振华 著

THEORY AND PRACTICE OF
GROUTING DRAINAGE AND
ANCHORAGE OF ROCK MASS



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

岩体灌浆排水锚固理论与实践/马国彦等著. - 北京: 中国水利水电出版社, 2003

ISBN 7-5084-1458-6

I. 岩… II. 马… III. ①水利工程-岩体加固②水力发电工程-岩体加固 IV. TV223.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 022090 号

书 名	岩体灌浆排水锚固理论与实践
作 者	马国彦 常振华 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)
经 售	全国各地新华书店
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	787×1092 毫米 16 开本 26.75 印张 628 千字
版 次	2003 年 6 月第一版 2003 年 6 月第一次印刷
印 数	0001—3000 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 一

在水利水电建设中，经常需要加固有地质缺陷的岩体。灌浆、排水和锚固是几种主要加固手段。本书是一本讨论岩体加固问题的专著。引起我兴趣的是：第一，本书所述与常规或习用做法有些差异；第二，本书的作者马国彦同志是一位地质师。

我与作者相识是在 1974 年阿尔巴尼亚菲尔泽水电站工地上，当时他作为中国工程地质专家执行着援外任务。印象中他是位认真负责的年轻同志，长年累月蹲在现场，一丝不苟地编录地质资料。但他的辛勤劳动成果未能在设计中发挥应有作用。这一事实深深地触动了他，从此开始了长期的探索工作。

对作者的困惑和努力，我是理解和有同感的。从高层次上看，数十年来地质师与设计师之间似乎总存在一条鸿沟。地质师的任务就是查明地质条件，提供一些数据，并不参与设计和了解这些资料是否符合设计要求。而设计师不仅对具体参数的重视甚于对实际地质的了解，也不过问资料、参数是如何取得的。为了改变这一情况，我也作过些呼吁和努力，例如在大学中培养取得地质—水工双学位的专家，但收效不大。从具体的岩体加固工程来说，其设计似偏于简单化。为设计一座具体结构，人们可以进行复杂的分析，优化体型，配置钢筋，而对岩体加固，更多是采用经验、习惯和系统加固方法，地质资料所起的作用似乎还不及对施工方便性的考虑。这样做出来的加固设计很难符合地质特性，达到优化目的。

为研究改进岩体加固问题，作者结合实践作了不懈努力。特别是近 20 年来，他组织了三个科研组，深入研究了许多有关课题。他根据岩体加固必须针对地质缺陷进行这一原则和思路，提出了新的设计方法与施工工艺，并到近 20 个大中小型水利水电工地进行调查推广，使之更臻完善，并著成本书问世。我有幸在出版前获见原稿并蒙索序。因为作者的努力符合我的想法，我乐意为之写几句话。

本书主要内容是建议根据软弱面的资料，通过软件计算，优选隧洞和排水洞的洞线走向，优选固结灌浆、帷幕灌浆钻孔和排水孔的方位及倾角以及提出加固边坡和地下洞室围岩的理论和计算软件。目的都是使钻孔穿过更多的结构面，取得更好的加固效果和节约投资。

另外,本书对灌浆问题作了较深的讨论。要进行有效灌浆,不仅需优选钻孔方位与倾角,还要掌握更多情况。作者提出岩石强度和风化卸荷程度决定岩体透水率和可灌性、透水率具有随机性、透水率的各向异性可供利用等观点,提出计算最大灌注量、最大扩散半径、最优岩体灌浆等方法,还分析了一些灌浆效果不好的例子,研究原因,提出改进办法。作者还建议在一些特殊岩体中可以不灌浆或进行孔口不封闭的灌浆,都具有新意。

我欢迎本书的出版并希望能开展讨论,这对推进岩体加固技术有很大好处。我并愿借此机会,提出以下一些看法供作者读者参考:

(1) 本书对常用方法、规范规定乃至国际权威专家倡导的方法,都隐晦或明确地有所批评。如果我们承认作者的建议确更合理,这种批评也就是正确和可接受的,希望读者能从正面予以理解。

(2) 作者在编制软件时,必须考虑岩体中存在多组节理或软弱面的普遍情况。有时,实际岩体中的优势节理面非常明确,当然可以简单地予以确定,并非必须通过优选。总之,既不能将复杂问题简单化,也不必将简单问题复杂化,一切根据实事求是原则而定。

(3) 合理的岩体加固工程需地质、设计、施工各方的协作和共同努力。要纯理论地优化岩体加固设计,钻孔的方位和倾角可能需复杂地变化,有时也不现实。这就是划分相对均质小区并考虑施工条件作出妥善设计和结构优化相似的必要性。

(4) 书中的实例多是作者亲自实践的资料,尤以小浪底工程为主,有待更多工程实践的补充。本书对资料的整理归纳似尚可改进,文字叙述尚可精简严谨,某些提法也可能有待商榷,但这些都不影响本书的特色和优点。我很希望作者在本书出版后能广泛听取读者意见,在再版中予以改进。

总之,我认为本书的出版,有助于人们认识岩体加固工程必须有针对性这一重要原则,对发展和优化岩体加固设计能起促进作用,故乐为之序,希望通过共同努力,使我国岩体加固技术能登上一个新的台阶。

谨以此点寄望于作者和读者。

中国工程院副院长
中国科学院院士
中国工程院院士
国家电力公司顾问

潘家铮

2003年3月

【 序 二 】

我国是山地广泛分布的国家，在城乡建设、水利水电、交通、矿山等各类工程建设中，岩石开挖工程占有举足轻重的位置。

在岩石工程中作为自然历史造物而形成的岩体和人造工程结构成为相互依存和制约的统一系统。岩石结构和人造材料结构的根本不同之处就在于它的自然特性，在发挥其作为工程结构的功能中，不能尽如人意。对影响其功能作用的不连续和不均一性需要加以处理，以使岩石结构加强，并符合整体工程系统的要求。

显然岩石工程的加强和处理必须以工程系统功能为基础，但是又必须充分针对岩体的不连续性和不均一性结构。我国工程地质学家十分重视岩体结构特性对岩体工程特性的制约作用，并进行了持续的研究，发展了工程地质力学理论。

虽然在岩石工程的实践中上述理论和经验在某种程度上已经成为共识，并发展于基于机制的综合处理工程和随机性和定位（定向）性加固的方法，但是总的来讲针对性不强，在排水、灌浆和锚固工程中往往采用等孔距、等孔深、等孔向设计，因而不能充分发挥处理措施的效益，甚至不能达到处理工程的技术目标。

因此，岩石工程的理论和实践有待进一步发展和提高，已有的工程技术的完善尚存在巨大的空间。

马国彦教授用了近 20 年的时间，带领先后由 45 人参加的三个大型科研组，开展了岩体加固的外业调查，室内外计算和现场施工等大量工作，特别是近 5 年来，他又到近 20 个大中小型水利水电工地进行岩体加固工程调查和岩体加固新方法的推广工作。在相互学习的过程中，丰富和补充了他所提出的岩体加固新理论和新方法，并编著了《岩体灌浆排水锚固理论与实践》一书，我有幸阅读了本书初稿，并应邀撰序。

本书的新颖之处表现在不仅考虑了比较确定的断层带，还全面利用不连续面资料，通过研制的软件，可以优选交通、引水隧洞的洞线方向和排水洞线方向；提出了优选岩体加固灌浆和防渗帷幕钻孔产状的计算机软件；提出了

针对基岩边坡变形特点，加固边坡的钻孔产状计算软件；提出了一整套洞室围岩加固新理论和与其配套的计算软件。本书还全面分析了一些效果不好的水泥灌浆与化学灌浆的实例，找出了问题，提出了改进意见，并着重提出了比防渗帷幕渗透性小的拟灌岩体可不灌浆，有易浆力劈裂软弱结构面的被灌岩体可不采用孔口封闭灌浆法等建议，都具有可操作性。

采用本书的新理论设计的灌浆钻孔，能穿过较多的浆径，有较好的岩体可灌性，较大的浆液扩散半径和较大的灌浆孔间距；用排水钻孔能穿过较多的水径，岩体有较好的可排性，较大的排水影响半径和较大的排水孔间距；锚固钻孔，能穿过较多的不连续面，有较好的有效锚固性，较大的锚固影响半径和较大的锚固孔间距。

该书的付梓问世必将推进我国岩石工程理论和设计、施工方法的进展，为我国重大工程建设做出新的贡献。

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

2003年3月

【 前 言 】

1974年~1978年间,我在援建阿尔巴尼亚国菲尔泽水电站时,对大坝岩基和隧洞围岩进行了详细的工程水文地质编录。但在对大坝岩基和隧洞围岩进行加固时,水工设计人员没有使用开挖后编录的工程水文地质资料,仍采用初步设计阶段设计的等孔距、等孔深和等孔向“三个等”的方法对岩基和围岩进行了加固。当我不解其意求教设计人员时,他们反问我:“你让我怎么使用工程水文地质资料!”是啊,当时国内外水工设计者除了对确定的断层进行专门的针对性加固处理外,对大量的软弱结构面还没有针对性处理的先例。当然,当时我也无能为力。

从此以后,我一直在苦苦思索:针对工程水文地质缺陷进行岩体加固设计究竟有哪些难点,用什么办法克服它,才能顺利进行针对性加固设计。同时,我也清楚地知道,这个难点肯定是很大的,甚至有可能是不可克服的,不然的话,为什么世界上竟没有一个人能解决它呢?因此我把克服这个难点作为我一生孜孜以求的目标。

1979年~1995年,我参与了黄河小浪底水利枢纽的工程水文地质勘察工作。当时国内外水利水电工程设计者,仍是用“三个等”的方法加固岩体。实际上,岩体的透水性是各向异性的,那种一律采用与岩体地面或开挖面成垂直的固定方向,进行工程灌浆、地下水排水和岩体锚固的方法是“吃大锅饭”的方法;是非针对岩体的工程水文地质缺陷而进行的非“有的放矢”的系统加固岩体的方法;或者说,需要加固的地方,有可能加固不到,不需要加固的地方,加固钻孔反而破坏了岩体的完整性。

小浪底水利枢纽工程有大量的岩体加固工作,仅地下水排水与工程灌浆就有20万m的进尺。要用“三个等”的非针对性的加固处理方法,我从一个工程地质工作者的职业道德出发,若对这些问题采取熟视无睹的态度是与心不忍的。

带着我年轻时的夙愿,我们在黄河小浪底及其他工程的岩体灌浆排水加固工作中,历时21年,先后组织了45人参加的三个科研攻关组,对裂隙岩体各向异性透水性,对如何优选灌浆、排水和锚固钻孔的方位和倾角等课题,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,取得了显著的经济效益。长期的科学研究和生产实践,使著者认识到,欲要提高水利水电工程灌浆地下水排水和岩体锚固效果,建立与其有关的理论基础是极为重要的。理论的作用可以指导人们思考、分析问题。为此目的,我们于2001年1月,出版发行了《水利水电工程灌浆与地下水排水》专著,全面介绍了对防渗帷幕灌浆与地下水排水的新研究成果,也算是建立岩体加固新理论的尝试吧!

2001年~2003年间,著者收到了国内同行专家对工程灌浆和地下水排水提出的许多很好的补充修改意见。同时著者本着以理论为依据,以工程为纽带,到全国近20个大中

小型水利水电工地进行岩体加固工程调查和推广岩体加固新方法，在大量实践中灵活运用基本理论解决实际问题，在相互学习中又丰富和改进了“针对性加固岩体”的理论。因而又编著了《岩体灌浆排水锚固理论与实践》专著。本书与《水利水电工程灌浆与地下水排水》一书相比，更具有全新性：在第一章至第五章中，阐述了如何搜集、整理与岩体加固有关的基本资料；在第六章中阐述了灌浆地质分析原理；在第七章至第十章中阐述了岩体加固的新理论、新思路、新概念、新方法和新工艺，改进和新增了有关岩体加固的软件包，使岩体加固钻孔方位、倾角优选计算简单化、系统化、自成体系；在第十一章至第十五章中，具体说明了岩体加固新理论在生产实践中如何运用的一系列问题；第十六章，是在前五章内容的基础上，概括说明了怎么发挥工程水文地质人员的分析优势，怎么巧妙应用岩体的各向异性，以提高岩体加固质量，减少岩体加固工程量等问题。第十七章基本总结和概括了本书的研究成果，对目前国内外灌浆界所关注的三个问题，提出了新的研究思路，希望大家在不太长的时间内争取有所突破。

大家知道，为城乡建设，交通、矿山、水利水电建设等，都需要开展岩体工程开挖。任何岩体开挖工程几乎都可能遇到隧洞、巷道、基坑的渗水与不稳定，岩壁、边坡的渗水与变形，水坝坝基坝肩的渗漏与不稳定等问题之一或诸多问题。形成这些问题的原因尽管是多方面的，但主要是由于岩体断层及裂隙等软弱结构面所造成的。国内外工程界，对于尺寸和产状确定的断层，已有一些针对性的岩体加固处理措施，但对于广泛分布的尺寸和产状具有随机性的裂隙，迄今为止尚无针对性加固处理的办法，目前，大都采用非针对性的加固处理措施，因而经常引起以下四方面的问题。

例如，坝基固结灌浆，不管浆径产状，几乎都是用与基岩面垂直的钻孔方向进行固结灌浆，哪怕钻孔与浆径平行，也不改变一个模式地布置钻孔，即一律用“三个等”的方法处之。因而造成浆液扩散半径等于零的结果并不少见。

又如，坝基坝肩的防渗帷幕灌浆，同样不考虑岩体浆径的产状，一律用与基岩面垂直的钻孔进行灌浆，向倾角近 90° 的坝肩宽大风化卸荷裂隙中灌浆，也仍旧用铅直孔进行，因而造成多次需要复灌的工程是屡见不鲜的。

地下厂房的排水钻孔，仍不考虑围岩的透水裂隙产状，几乎都是用与围岩面垂直的钻孔方向进行排水，造成许多滴水不出的干孔，几乎成了“正常”现象。

在变形边坡、不稳定岩壁、待加固的竖井和调压井岩壁上，所施加的锚杆，都是用系统加固的方法。由于锚杆设计和布置不与或不自觉地很少与岩体工程地质条件挂钩，加固了的岩体再发生坍塌的例子是枚不胜举的。

著者经过 21 年的潜心研究和现场调查，特别是近 5 年来到全国近 20 个大中小型水利水电工地进行岩体加固工程调查，取得了大量观测资料，因而创立了“针对性岩体加固理论”，研制了“各类岩体加固钻孔最优方位和倾角的计算软件”。这些研究成果，使多少年来广泛使用的非针对性岩体加固所形成的诸多弊端有可能得到解决。其成果在九个工地上试用和推广，工程的反馈资料表明，新理论和新方法是正确的。

具体来说，该书具有三大特点：

其一，用全新的方法表述全新的理论。

用岩体随机性原始透水率表述岩体透水特性；用岩体可灌系数和岩体透浆率表述各类

岩体的可灌性；用浆液最大扩散半径和最大浆液灌注量，表述岩体的容浆特性；用复灌临界浆液劈裂压力提高率表述用复灌方法提高临界灌浆压力的可能性；用岩体的排水影响半径和排水孔与水径相交几率表述排水钻孔的排水能力；用岩体锚固钻孔的影响半径和锚固孔与软弱结构面相交几率表述杆件的锚固能力等六个方面，都是属于用全新方法表述全新理论的内容。

其二，用全新方法表述全新理论的难度很大。

针对性岩体加固新理论的核心是，任何裂隙岩体都固有裂隙发育最多的矢量，用计算机搜索这个方向并将其作为岩体加固的矢量。这是国内外同行们尚未涉足研究的全新内容。如何表述这些全新内容，一切都得从零作起，一切都得从著者作起。没有前人文献作为参考的原始创造，就连表述新内容的技术术语，也得重新拟定，可谓举步维艰矣！

其三，以针对性岩体加固新理论为指导的岩体加固工程可获得巨大的经济效益。

国内外习用的岩体加固钻孔方位与倾角都不是设计的，而是用一定模式拟定的。如果将非针对性岩体加固钻孔穿裂隙能力的效益系数作为一，那么用针对性岩体加固新理论为指导，优选计算的钻孔穿裂隙能力的效益系数，常常在十以内。用这样方法获得的最佳钻孔方位与倾角，既可以确保岩体加固质量，又可获得巨大的经济效益，在国内外都是前所未有的。

世界著名灌浆专家 F.K. 埃瓦特 (Friedrich - karl Ewert) 到小浪底工地指导过我们的灌浆试验，著者还三次聆听过他的有关灌浆的学术报告，并提供了大量灌浆试验资料，丰富了本书的内容，对著者的有关灌浆的研究成果具有奠基性，特此表示感谢。

我国著名的对工程地质水文地质工作一贯极为重视，且有许多建树的水利水电专家、中国科学院、中国工程院两院院士，中国工程院副院长潘家铮教授，在百忙中抽空为本书作序并提出了对本书具有决策性的许多宝贵意见，并亲自对“岩体加固新方法”一节进行了范例式的修改，使著者颇有拨云见日、豁然开朗的感觉。吃透“意见”后，著者对专著又进行了修改，使本书跃上了新的台阶，为此谨向他表示诚挚由衷的谢意！

我国著名的工程地质、环境地质及岩石力学专家，中国工程院院士王思敬教授，从此书的“打腹稿”阶段始，直到此书脱稿之日，王院士始终给著者以热情的帮助，为本书提出了许多中肯的意见，并为本书作了序，使该书增加了光彩、同时还要说明的是，本书中接受了不少他长期深思熟虑的新思路，为此，特向王院士致以诚挚由衷的感谢！

本书之所以能顺利编写和及时面世，是因为得到了黄河水利委员会李国英主任、薛松贵总工、黄河水利委员会勘测规划设计研究院原沈凤生院长、许人副院长、推广领导小组全体成员（常振华、刘金勇、雷建国等）、李文家总工以及科技质量处、地质总队和计划经营处等单位的大力支持和许多具体帮助；原《水利水电工程灌浆与地下水排水》的各章作者——林秀山、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，院副总工程师路新景教授级高工，以及院出版室的李保芹、周惠玲同志，对本书给予了许多帮助，使本书臻于完善；在著者推广针对性岩体加固理论时，得到了陈德基勘测大师，汪易森、李广诚、薛果夫、王行本、濮声荣、钱忠柔、杨法玉教授级高工以及刘汉东教授的具体帮助、热情推广、反馈应用信息，使本书内容更加丰富；我的工程地质同行、中国水利水电出版社水利水电出版中心王

照瑜编审，对本书出版付出了辛勤的劳动，作了许多有益的工作，在此向他们一并表示由衷的感谢！

最后，还要特别提出的是我的同学、夫人王喜彦高级工程师，在著者“如痴如醉”的研究工作中，是她承担了常人难以承担的重担，使著者健康而顺利地完成了本专著，在此说更多的感谢话也难以尽其意。

由于本书是一本全新的著作，著者一切都要从零做起，一切都要从著者做起，难免有以偏代全、挂一漏十的毛病，恳请各方面专家及同行们不吝赐教！

作 者

2003年3月

目 录

序 一	潘家铮
序 二	王思敬
前 言	

第一篇 针对性岩体加固的勘察试验研究

第一章 地质结构面调查	3
第一节 取样窗内的裂隙调查	3
第二节 岩心裂隙产状调查	12
第三节 斜孔岩心裂隙宽度调查	14
第四节 结构面特性与岩体加固的关系	14
第五节 结构面特征及主要类型	15
第二章 影响岩体结构面发育的因素	17
第一节 地质构造	17
第二节 天然卸荷裂隙	19
第三节 工程开挖卸荷裂隙	24
第四节 岩石强度与裂隙发育程度的关系	31
第三章 岩体透水性的调查试验与分析方法	34
第一节 岩体相对透水性的调查与分析	34
第二节 铅直钻孔压水试验资料分析	44
第三节 “三段”压水试验研究	54
第四节 排水孔距的试验研究	58
第五节 关于不透水岩体性质的讨论	60
第四章 稳定浆液的试验研究	62
第一节 普通水泥多种水灰比浆液特性	62
第二节 稳定浆液的配制及特性	64
第三节 水泥细度与裂隙宽度	71
第四节 岩体的可灌性与水泥细度选择	76
第五章 防渗帷幕灌浆对比试验	78
第一节 斜孔防渗帷幕灌浆试验	78
第二节 GIN 法铅直孔与斜孔的防渗帷幕灌浆试验	86

第三节	防渗帷幕灌浆试验成果及其试验方法讨论	101
第六章	灌浆地质分析原理	103
第一节	灌浆的影响因素	103
第二节	灌浆顺序的决定	106
第三节	灌浆钻孔参数	108
第四节	岩体的可灌性分析	109
第五节	最大容许灌浆压力分析	113
第六节	浆液扩散半径分析	128
第七节	最大容许灌浆容量分析	132
第八节	灌浆强度值的讨论	133
第九节	灌浆试验资料整理	136
第七章	灌浆试验与洞室围岩监测纲要	138
第一节	灌浆区的工程水文地质条件调查纲要	138
第二节	防渗帷幕灌浆试验纲要	141
第三节	固结灌浆试验纲要	145
第四节	面板坝趾板基础固结与防渗帷幕灌浆试验纲要	147
第五节	水工隧洞灌浆试验纲要	151
第六节	隧洞高压灌浆试验纲要	154
第七节	地下洞室原位模型试验及围岩监测纲要	158

第三篇 针对性岩体加固的基本原理

第八章	岩体稳定性分析与加固	165
第一节	三维有限元分析	165
第二节	地质力学模型试验	172
第三节	岩体加固新方法	175
第四节	支护监测资料整理与分析	178
第九章	岩体加固的锚杆产状优选	187
第一节	基岩边坡加固锚杆	187
第二节	洞室围岩加固锚杆	191
第三节	吊车梁与岩壁的加固锚杆	193
第四节	用极射赤平投影法求解岩体的加固方向与倾角	199
第五节	确定锚杆产状	217
第十章	优选岩体加固的三维方向	220
第一节	常规法的岩体加固方向问题	220
第二节	岩体结构面相对均质区的划分	222
第三节	编制软件包的基本原理	227
第四节	裂隙分组及其迹长模拟计算的概率统计模型	235

第五节 软件包的特性分析	238
第六节 软件包总功能	240

第三篇 针对性岩体加固实践

第十一章 火成岩地区灌浆钻孔产状优选	247
第一节 某工程坝基灌浆钻孔产状优选	247
第二节 某水利枢纽灌浆钻孔产状优选	250
第三节 某水库防渗灌浆钻孔产状优选	254
第十二章 石灰岩地区灌浆钻孔产状优选	258
第一节 某水电站的灌浆钻孔产状优选	258
第二节 某坝坝基防渗灌浆钻孔产状优选	261
第三节 某水利枢纽工程灌浆资料分析	265
第十三章 砂页岩地区灌浆钻孔产状优选	274
第一节 地基固结灌浆	274
第二节 隧洞环形灌浆资料分析	283
第三节 砂页岩断层及其影响带常规灌浆资料分析	296
第十四章 地下水排水钻孔产状优选	307
第一节 某工程消力塘后边坡基岩地下水排水钻孔产状优选	307
第二节 某引水建筑物进口高边坡地下水排水钻孔产状优选	318
第三节 某水电站地下水排水钻孔产状优选	321
第四节 某大坝泄洪坝段坝基地下水排水钻孔产状优选	327
第五节 某地下厂房的地下水排水钻孔产状优选	329
第十五章 岩体锚固钻孔产状优选	359
第一节 某进水塔群后高边坡岩体锚固钻孔产状的优选	359
第二节 某水利枢纽泄洪洞出口基岩右侧边坡锚固钻孔产状优选	369
第十六章 岩体渗透性各向异性的分析与利用	375
第一节 压水试验资料的分析与使用	375
第二节 断层带及其影响带透阻水性质的分析与利用	377
第三节 硬软岩互层的透阻水性的分析与利用	379
第四节 利用岩体的各向异性进行岩体加固	382
第十七章 几项特殊灌浆研究	387
第一节 防止浆力劈裂的高压灌浆方法的研究	388
第二节 软岩劈裂固结灌浆方法的研究	391
第三节 风化卸荷带灌浆方法的研究	396
岩体灌浆排水与锚固术语	401
主要参考文献及参考资料	408

CONTENTS

PREFACE

INTRODUCTION

Section 1 Investigation and Test in New Method of Rockmass Reinforcement

Chapter 1 Investigation of the Rockmass Structure	3
1.1 Investigation of Joints in the Sampling Window	3
1.2 Investigation of Occurrence of Joints in the Core	12
1.3 Investigation of Width of Joints in Core in the Inclined Drilling Hole	14
1.4 Relationship between Structural Plane and Reinforcement	14
1.5 Characteristics and Main Classes of Rockmass Structure	15
Chapter 2 Factors Affecting the Development of the Rockmass Structure	17
2.1 Geologic Structure	17
2.2 Natural Relaxation Joints	19
2.3 Relaxation Joints Resulting from Engineering Excavation	24
2.4 Relationship between Rock Strength and Development of Joints	31
Chapter 3 Investigation and Analysis of Rockmass Permeability	34
3.1 Investigation and Analysis of Rockmass Relative Permeability	34
3.2 Analysis of Water Pressure Test Data in Vertical Holes	44
3.3 Study of Water Pressure Test of "Three Test Sections"	54
3.4 Study of Drainage Holes Spacing	58
3.5 Discussion on the Property of Impermeable Rockmass	60
Chapter 4 Study of Stable Grouting Mix	62
4.1 Characteristics of Various Water - to - Cement Ratio of Portland Cement	62
4.2 Making of Stable Mix and Its Characteristics	64
4.3 Cement Fineness and Joint Width	71
4.4 Rockmass Groutability and Selection of Cement Fineness	76
Character 5 Contrast of Antiseepage Curtain Grouting Tests	78
5.1 Test of Antiseepage Curtain Grouting by Inclined Holes	78
5.2 Antiseepage Curtain GIN Grouting by both Vertical Holes and Inclined Holes	86
5.3 Discussion of Antiseepage Curtain Grouting Test Results	101

Chapter 6 Principle of Analysis of Grouting Geology	103
6.1 Factors Affecting the Grouting	103
6.2 Determination of Grouting Sequence	106
6.3 Parameters of Grouting Drilling Holes	108
6.4 Analysis of Groutability of Rockmass	109
6.5 Analysis of Maximum Allowable Grouting Pressure	113
6.6 Analysis of Grouting Mix Dispersion	128
6.7 Analysis of Maximum Allowable Grouting Capacity	132
6.8 Discussion of Grouting Intensity	133
6.9 Processing of Grouting Test Data	136

Chapter 7 Essentials of Grouting Test and Tunneling Rockmass Monitoring	138
7.1 Essentials of Investigation of Hydrogeology and Engineering Geology Condition of Grouting Area	138
7.2 Essentials of Antiseepage Curtain Grouting Test	141
7.3 Essentials of Consolidation Grouting Test	145
7.4 Essentials of Foundation Consolidation Grouting of Face Plate Dam Toe and Antiseepage Curtain Grouting Test	147
7.5 Essentials of Grouting Test of Hydraulic Tunnels	151
7.6 Essentials of High Pressure Grouting of Tunnels	154
7.7 Essentials of In - situ Model Test of Underground Tunnel and Surrounding Rockmass Monitoring	158

Section 2 Basic Principle of the New Rockmass Reinforcement

Chapter 8 Stability Analysis and Reinforcement of Rockmass	165
8.1 3 - D Finite Element Analysis	165
8.2 Geomechanics Model Test	172
8.3 New Method of Rockmass Reinforcement	175
8.4 Processing and Analysis of Monitoring of support	178
Chapter 9 Optimization of Attitude of Bolt	187
9.1 Bolt for Bedrock Slope	187
9.2 Bolt for Tunneling Rockmass	191
9.3 Bolt for Crane Beam and Rockwall	193
9.4 Orientation and Dip of Reinforcement Derived from Stereographic Projection	199
9.5 Determination of Attitude of Bolt	217
Chapter 10 Optimization of 3 - D of Rockmass Reinforcement	220
10.1 Problems of Conventional Rockmass Reinforcement Direction	220
10.2 Divide of Homogeneous Area of Rockmass Structural Planes	222

10.3	Basic Principle of Software Package Development	227
10.4	Grouping of Joints and Probabilistic Statistics Modeling of Its Trace Length Calculation	235
10.5	Analysis of the Characteristics of the Software	238
10.6	General Function of the Software	240

Section 3 Practice of New Method of Rockmass Reinforcement

Chapter 11	Optimization of Attitude of Grouting Holes in Igneous Area	247
11.1	Optimization of Attitude of Grouting Holes in a Dam Foundation	247
11.2	Optimization of Attitude of Inclined Grouting Holes in a Water Conservancy Project	250
11.3	Optimization of Attitude of Antiseepage Grouting Holes in a Reservoir	254
Chapter 12	Optimization of Attitude of Grouting Holes in Limestone Area	258
12.1	Optimization of Attitude of Grouting Holes in a Hydropower Station	258
12.2	Optimization of Attitude of Antiseepage Grouting Holes in a Dam Foundation	261
12.3	Analysis of Grouting Data of a Water Conservancy Project	265
Chapter 13	Optimization of Attitude of Grouting Holes in Sandstone and Shale Area	274
13.1	Consolidation Grouting of Foundation	274
13.2	Analysis of Data of Circular Grouting in Tunnels	283
13.3	Analysis of Conventional Grouting Data in Sandstone and Shale Faults and Their Affecting Area	296
Chapter 14	Optimization of Attitude of Groundwater Drainage Holes	307
14.1	Optimization of Attitude of Groundwater Drainage Holes in the Slope behind the Plunge Pool of a Project	307
14.2	Optimization of Attitude of Groundwater Drainage Holes in the High Intake Slope of a Diversion Work	318
14.3	Optimization of Attitude of Groundwater Drainage Holes in a Hydroelectric Power Station	321
14.4	Optimization of Attitude of Drainage Holes in a Dam Foundation	327
14.5	Optimization of Attitude of Underground Drainage Holes in a Underground Power House	329
Chapter 15	Optimization of Attitude of Rockmass Reinforcement Holes	359
15.1	Optimization of Attitude of Rockmass Reinforcement Holes in the High Slope behind Intake Towers	359
15.2	Optimization of Attitude of Rockmass Reinforcement Holes in the Right Slope of Sluice Tunnel Outlet of a Project	369
Chapter 16	Analysis and Usefulness of Anisotropy of Rockmass Permeability	375
16.1	Analysis and Usefulness of Water Pressure Test	375
16.2	Analysis and Usefulness of Permeable/impermeable Characteristics of Fault and Its	