

GROUTING IN
DAM'S ROCK
FOUNDATION

大坝 基岩灌浆

孙 钊 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

大坝 基岩灌浆

孙 钊 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

大坝基岩灌浆/孙钊编著. —北京: 中国水利水电出版社, 2004

ISBN 7-5084-1919-7

I. 大... I. 孙... II. 大坝—基岩—灌浆
IV. TV543

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 007305 号

书 名	大坝基岩灌浆
作 者	孙 钊 编著
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 19.25 印张 456 千字
版 次	2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	50.00 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



灌浆技术是水工建筑物地基处理常用的和重要的工程措施。

当前,我国正处在一个水利水电建设的新高潮,有许多规模宏大的水利枢纽和水电站正在开工兴建,有许多原有的工程需要扩建和改建,还有一批病险水库需要整修加固。在这些工程中有很多都需要应用灌浆技术对地基进行加固或防渗处理。

灌浆技术的发展尽管已有 200 多年的历史,但理论方面至今还在继续进行探索,灌浆设计和施工在某些方面更需凭借实践经验,包括吸取同类工程的经验。

孙钊同志是我国较早从事水利水电建设灌浆工作的技术专家之一。50 多年里,他多次参加有关大坝地基处理和水工建筑物各种灌浆的设计、施工和技术管理等项工作,掌握了大量的科技资料,积累了丰富的实践经验。

1976 年,他和李茂芳同志合作,出版了《大坝基础灌浆》一书,这是我国第一本系统阐述水工建筑物地基灌浆技术的专著,该书于 1987 年再版。两版均受到读者的欢迎。现在孙钊同志又以原书为基础,增删改进,重新编撰,形成此书,这是值得庆贺的。本书具有如下特点:

一、内容全面。书中对灌浆工程的有关理论问题、设计问题和施工技术都进行了比较详细的阐述。书中既有传统的经验,又有我国近 20 年科技攻关的成果和工程实践中取得的新成就,也有近十几年从国外引进的新技术。

二、资料翔实。书中列举了 20 多个具有典型意义的工程实例。用实例阐述道理,借鉴实例指导设计、施工。本书主要特点是技术含量高、实用性强。

三、立论准确。书中讨论了一些理论问题,但更重视理论与实践结合,理论对工程的使用价值。凡是作者肯定的结论都是经过实践检验过的和行之有

效的。

四、辅导规范。1980年以后作者曾先后三次参加过《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》的编制工作，为了更好地贯彻执行技术规范，作者有意识地在书中对技术规范中重要的条文作了进一步的解释、阐述和补充。本书也可作为该类技术规范的辅导材料。

总之本书是全面系统地阐述我国水利水电工程灌浆技术的理论、方法和施工技术的专著。它的出版对提高我国水工建筑物灌浆工程的设计和施工水平，提高灌浆工程的质量，必将发挥重要的作用。

陈敏

2003年12月

前 言

QIAN YAN

《大坝基础灌浆》一书于1976年初版,1987年再版时对初版内容作了多处更新,两版均很受读者欢迎,在水利水电行业有较大影响。第二版曾于1992年荣获水利部全国优秀水利科技图书二等奖。

进入21世纪后,又迎来了水利水电建设的新高潮,新建大坝很多,除长江三峡大坝继续施工外,新建和拟建的有小湾、水布垭、洪家渡、龙潭、公伯峡、冶勒、百色、紫坪铺、溪洛渡、向家坝、下坂地等十多座高坝大型工程。大坝基岩灌浆技术又有了新的跃进和大的发展,较多的在以前认为非常难以解决的大坝坝基处理问题,现在均已较为顺利地解决了。

编著者于1949年参加工作,在长期工作中主要是参加大坝坝基处理和水工建筑物各类灌浆工作。自1980年以来,编著者又多次参加了很多大、中型水利水电工程的大坝坝基灌浆处理方面的技术指导、技术咨询、设计审查、科研课题技术鉴定、蓄水或竣工前安全鉴定以及工程验收等项工作,搜集了很多新的科技资料,并先后三次参加了SL62—1994和DL/T5148—2001《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》的编制工作。

为了适应工程建设迅速发展的需要,推动灌浆技术进一步提高,编著者参阅了国内外资料,结合个人50多年的实践经验,利用业余之暇,编写了《大坝基岩灌浆》一书。

《大坝基岩灌浆》是在《大坝基础灌浆》第二版的基础上进行修改和补充的。从某种意义上讲,《大坝基岩灌浆》也可认为是《大坝基础灌浆》的第三版。但在编写过程中,为了便于专题阐述,删除了原书中有关砂砾石层灌浆和化学灌浆的内容,着重补充了一些新的内容,主要有:①水泥基质浆液室内试验应进行的项目、试验方法及应用;②细水泥浆液、稳定浆液、膏状浆液的应用及工程实例;③高坝固结灌浆、帷幕灌浆现场试验的策划及实施;④固结灌浆和帷幕灌浆质量标准的确定;⑤高压灌浆压力的选用;⑥岩溶发育地区高坝基岩帷幕灌浆新技术应用及工程实例;⑦GIN法施工及工程实例;⑧混凝土面板堆石

坝趾板基岩灌浆的设计、施工及工程实例；⑨弱透水基岩帷幕设计等。

《大坝基础灌浆》原编著者之一李茂芳先生由于长期患病，未能参加本书的编写工作，他不幸于2003年在京逝世，在此谨表沉重哀悼。

大坝基岩灌浆是一门实践性很强的实用科学技术，有些课题可以用理论说明或通过计算解决，但还有相当一部分课题尚需要依靠现场试验和室内试验以及凭借实践经验，包括吸取同类工程的灌浆经验来解决。本书的特点是技术含量较高，实用性强，书中所阐述的内容多以实用为主。在书中分门别类列举了20多个新的工程实例，以便进行类比。

本书特邀中国水利水电基础工程局原副局长兼总工程师夏可凤同志审阅，他提出了很多好的意见和建议，在此表示谢意。

本书的出版得到中国水利水电基础工程局、北京振冲工程股份有限公司、中国葛洲坝集团基础工程有限公司的大力支持与资助，在此一并表示衷心感谢。

本书在编写中引用了一些灌浆试验报告、科技成果鉴定报告、安全鉴定报告以及工程验收报告等资料，在此谨对上述报告的编撰者表示谢意。

由于编者水平有限，书中不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

孙 钊

2003年12月

目录

序

前言

第一章 概述	1
第二章 灌浆材料	6
第一节 概述	6
第二节 水泥	7
第三节 磨细水泥及超细水泥	14
第四节 砂	16
第五节 粉煤灰	17
第六节 粘土和膨润土	18
第七节 水	21
第八节 外加剂	22
第三章 灌浆浆液	24
第一节 浆液的选择	24
第二节 浆液性能试验	25
第三节 水泥浆液	30
第四节 细水泥浆液及改性磨细水泥浆液	36
第五节 稳定浆液	43
第六节 水泥砂浆及水泥粘土砂浆	45
第七节 水泥粉煤灰浆液	46
第八节 水泥粘土浆液	49
第九节 膏状浆液	52
第十节 水泥-水玻璃浆液	52
第十一节 浆液配料用量计算	56
第四章 大坝基岩固结灌浆试验和帷幕灌浆试验及工程实例	58
第一节 灌浆试验的任务与灌浆试验地段的选择	58
第二节 灌浆试验前应做的调查研究工作	60
第三节 灌浆试验孔的布置形式	61
第四节 灌浆试验施工	65

第五节	灌浆压力的初步选定	67
第六节	灌浆试验效果检查与试验报告的编写	70
第七节	几个大型工程坝基灌浆试验目的与要求	73
第八节	乌江渡大坝坝基帷幕灌浆试验	75
第九节	故县大坝河床坝段坝基固结灌浆试验	83
第五章	大坝基岩固结灌浆及工程实例	90
第一节	固结灌浆设计	90
第二节	固结灌浆施工	93
第三节	固结灌浆效果检查	97
第四节	朱庄水库大坝河床第 8、9、10 坝段深孔固结灌浆	105
第五节	二滩水电站大坝坝基固结灌浆	114
第六节	田子仓大坝坝基固结灌浆 (日本)	118
第六章	大坝基岩防渗帷幕设计	121
第一节	灌浆帷幕设计应考虑的问题	121
第二节	灌浆帷幕设计的特点	123
第三节	灌浆帷幕的位置	123
第四节	灌浆帷幕防渗标准和灌浆压力	127
第五节	灌浆帷幕的形式和深度	128
第六节	灌浆帷幕的厚度和长度	131
第七节	微弱透水岩石坝基防渗帷幕设计	135
第八节	灌浆帷幕结构的验算	136
第九节	帷幕的防渗效率	139
第十节	排水设计与施工	141
第七章	大坝基岩帷幕灌浆钻孔、冲洗及压水试验	145
第一节	钻孔	145
第二节	冲洗	153
第三节	压水试验	157
第八章	大坝基岩帷幕灌浆施工	169
第一节	灌浆的施工次序与施工方法	169
第二节	灌浆压力的控制与使用	176
第三节	灌浆浆液的使用及其配比变换	177
第四节	灌浆结束的条件与封孔	181
第五节	灌浆过程中特殊情况的预防和处理	183
第六节	廊道内和其他一些情况下的灌浆施工	187
第七节	高压灌浆施工	192

第九章 GIN 法灌浆施工及工程实例	194
第一节 概述	194
第二节 GIN 灌浆法设计与施工	195
第三节 GIN 灌浆法在我国的应用	196
第四节 几个问题的讨论与建议	199
第十章 帷幕灌浆资料整理与灌浆效果检查及单元工程质量评定	201
第一节 灌浆资料的整理	201
第二节 灌浆资料的检查与分析	214
第三节 灌浆效果的检查	215
第四节 单元工程质量评定	218
第十一章 非岩溶地区大坝基岩帷幕灌浆工程实例	221
第一节 潘家口水库大坝基岩帷幕灌浆	221
第二节 红枫水电站堆石坝体帷幕灌浆	225
第三节 大黑汀水库坝基改性干磨细水泥补强灌浆设计与施工	227
第四节 长江三峡工程左岸厂房坝段与泄洪坝段坝基帷幕设计与施工	233
第五节 奈川渡大坝坝基帷幕灌浆 (日本)	243
第十二章 岩溶地区大坝基岩帷幕灌浆及工程实例	248
第一节 岩溶地区防渗处理的重要性与建坝的地质勘测工作	249
第二节 岩溶地区防渗帷幕灌浆的特点	251
第三节 岩溶地区设置防渗帷幕应遵循的原则	254
第四节 岩溶地区帷幕灌浆施工技术 with 特殊地段的处理	256
第五节 乌江渡水电站大坝帷幕灌浆实例	260
第六节 东风水电站大坝帷幕灌浆实例	263
第七节 五里冲水库防渗帷幕及防渗墙实例	268
第八节 国内外其他岩溶地区大坝坝基帷幕灌浆实例	271
第十三章 混凝土面板堆石坝趾板基岩灌浆及工程实例	276
第一节 趾板	276
第二节 趾板基岩灌浆	277
第三节 工程实例	279
附录	290
一、地质年代表	290
二、岩石的分类	291
三、岩体完整程度分类	292
四、岩体结构分类	292
五、岩体风化带分类	292

六、坝基岩体工程地质分类..... 292

七、岩石的湿抗压强度..... 295

八、岩石的弹性波速..... 295

九、岩石的弹性模量和变形模量..... 295

十、岩石的物理性质和水理性质..... 297

概 述

修建大坝，拦水造库，这是人类征服自然和改造自然，使其为人类造福的一个重要措施。建造大坝，一定要确保大坝的安全，否则，大坝一旦失事，将会导致巨大的灾难。

为了使大坝能够长期、安全地正常运行，自勘测阶段起，经过设计、施工，直至大坝竣工后水库的管理和运用，均需全面地、慎重地考虑，认真地做好工作。

当开始修建大坝时，首先应做好坝基处理工作。实践经验证明，坝基处理好后，大坝的兴建就比较容易了，大坝的安全也才有了保证。反之，坝基处理若没有做好，则会留下隐患，大坝建成蓄水后，很难补救，有时常需限制水位运行，待坝基处理好后，才允许正常运行，我国是有这样实例的，例如陈村、凤滩水电站就是如此。

作为大坝地基，不论是岩石或砂砾石层，均需具有可靠的防渗性、足够的耐压性和一定程度的均质性。但一般天然岩石或砂砾石层很少具备这些条件，所以，常常需要进行处理，改善它的各项性能。如果遇到软弱、破碎、多裂隙、节理发育、渗透性大等地质条件较差的大坝地基岩石，则更需要进行处理，使之适应筑坝工程的需要。

根据技术文献记载，在 20 世纪以前，没有正式进行过大坝坝基灌浆。以后，由于筑坝工程的需要和发展，在大坝坝基处理方面才开始采用灌浆的方法，其主要优点是：效果较好，适用性较广，施工工艺比较简单，也比较经济。于是在建坝的过程中，使用灌浆技术愈来愈多，逐渐发展成为一种专门性的技术科学。

随着水利水电建设的发展，国内修建的大坝愈来愈多，地质条件良好的坝址，多已尽先开工修建。约自 20 世纪 60 年代开始，国内在一些地质条件复杂的，例如岩溶发育，冲积层深厚，渗透性大的地区，也逐渐修建大坝，甚至有很多是 100m 以上的高坝。故而，大坝坝基灌浆工作也就随之由易到难，由一般性施工至特殊处理，我国的地基处理灌浆技术有了很大的发展和提高。目前我们可以坦言表态，即使是地质条件非常复杂的坝址，经过详细的地质勘察和灌浆试验，广泛地采用新科学理论、新工艺、新技术，均能妥善处理好。

一、灌浆的含意

什么叫做“灌浆”，简单地说，灌浆就是将具有胶凝性的浆液或化学溶液，按照规定的配比或浓度，借用机械（或灌浆自重）对之施加压力，通过钻孔或其他设施，压送到需要灌浆的部位（例如：大坝坝基岩石裂隙或砂砾石地基的孔隙，隧洞周围岩石的裂隙，隧洞衬砌与围岩之间的空隙，混凝土大坝坝体接缝，以及水工建筑物混凝土缺陷中的孔洞或裂

缝等)中的一种施工技术。

灌浆的实质就是充填这些节理裂隙、孔隙、空隙、孔洞和裂缝之处,形成结石,从而起到固结、粘合、防渗,提高承载强度和抗变形能力以及传递应力等作用。

二、大坝坝基灌浆的作用

大坝坝基原始地质条件经常会存在一些这样或那样的缺陷,例如存在大的顺河断层,严重漏水,承载能力不足等,不能满足筑坝工程的需要,故而必须进行处理。如果对坝基不做处理或处理不当,必然会造成损失。轻者水库漏水,不能发挥应有效益;严重者会招致大坝失事,造成灾难,国际上不乏先例。

大坝坝基灌浆的作用就在于通过采用灌浆技术处理坝基岩石或砂砾石层,使之满足筑坝工程的需要,确保大坝地基稳定、安全,水库正常运行,发挥应有效益。

由于坝基地质条件、建坝目的和大坝类型的不同,坝基灌浆处理的方法和施工技术的繁简程度也不一样。地质条件比较好的,灌浆工作就简单些,容易些;地质条件复杂的,则灌浆工作量就要大些,施工也要艰难些。对于高坝,坝基处理一定要严格,因为在高水头长期作用下,大坝基岩地质条件易遭受冲蚀或其他损害。

三、大坝坝基灌浆的分类

大坝地基灌浆可按下述标准进行分类:

- (1) 按照大坝坝基岩类构成,可分为岩石灌浆和砂砾石层灌浆。
- (2) 按照灌浆的作用,可分为固结灌浆、帷幕灌浆、回填灌浆和接触灌浆等。
- (3) 按照灌注材料,可分为水泥灌浆、水泥砂浆灌浆、水泥粘土灌浆以及化学灌浆等。
- (4) 按照灌浆压力,可分为高压灌浆(3MPa以上)、中压灌浆(0.5~3MPa)和低压灌浆(0.5MPa以下),后两类也可称为常规压力灌浆。
- (5) 按照灌浆机理,可分为渗入性灌浆和张裂式灌浆。

四、大坝基岩水泥灌浆机制

大坝基岩水泥灌浆的主要目的是加固和防渗,所以要求水泥浆在裂隙中必须能凝结和硬化,并且形成的结石应具有足够的强度和抗渗能力。

水泥水化所需用的水量很少,约为水泥重量的25%左右,依照水泥种类的不同而稍有差异。而我们在进行水泥灌浆时,配制的水泥浆经常是比较稀的。一般情况下,水灰比(W/C)多在5.0~1.0之间。使用这么多的水量并非水泥水化所需要,而是为了稀释浆液,使其具有较小的粘度,便于灌入岩石裂隙里去。但当把这样较稀的浆液灌入到岩石裂隙里去以后,其中很大的一部分便失去了实用价值而成为多余的了。这些大量的多余的水必须充分地排除掉,否则将会严重地影响水泥结石的密度、强度和抗渗性能。有时析水不能排净,待其干涸后,会留有小的孔隙,成为渗水的通路。

水泥浆排水机制是一个很重要的理论问题,对于这个问题应怎样来认识,将会影响到在灌浆施工时需要采取什么样的措施方为最好。例如:灌浆压力是大一些好,还是小一些为宜;浆液的稠度以何种水灰比值为好,可否使用高水灰比的稀浆,等等。然而水泥浆排水机制又是一个很复杂的问题,看法不一,各有各的观点,至今尚难结论。

宏观地看,对能不能排除多余的水和怎样将水排除的问题,有两种认识:一种认识认为水泥浆中多余的水,在使用中等灌浆压力情况下,不易被充分排除干净,因而主张采用

较小水灰比的水泥浆进行灌注。澳大利亚专家 A·C·霍尔斯贝 (Houlsby) 即持这种观点, 他提出灌浆刚开始, 就需采用最优浓度的水泥浆进行灌浆的意见。他认为, 水灰比 (W/C) 为 2:1 (体积比) 的水泥浆是最优的浓度, 在使用中等压力灌浆的情况下, 大多数坝的岩石基础都适于采用 2:1 作为初始灌浆试用的水灰比。如果裂隙较细 (小于 0.75mm), 初始灌浆用的水灰比可以提高, 改用 3:1; 裂隙较宽 (1.5~2.5mm) 时, 初始灌浆用的水灰比可以采用 1:1。他不主张使用水灰比为 5:1 (体积比) 或更稀的水泥浆进行帷幕灌浆, 因为其耐久性差。另外一种认识认为浆体中多余的水可以被排除掉, 但对排水方式的解释有所不同, 当前存在的主要有以下几种学说。

(1) 固结说。这种学说认为当浆液充满裂隙后, 继续加大灌浆压力, 多余的水便能穿过浆体本身而排除掉。它将整个灌浆过程分为“填满”和“饱和”两个阶段。灌浆刚开始, 新鲜的水泥浆液迅速地向岩石裂隙中流动和扩散, 经过一段时间后, 逐渐将裂隙填满, 此为第一阶段。大多数灌入的浆量是在此“填满”阶段中灌进去的, 因之注入量大。后一阶段仅是在最大灌浆压力下灌入少量浆液, 浆体中多余的水主要是在此“饱和”阶段中被排走的, 其排水机理类似太沙基的固结理论。按照这种学说, 灌浆压力和浆液浓度便成为影响浆体排水程度的重要因素。德国的 C·库兹纳尔 (Kutzner) 对这一理论阐述的最为详细。美国的克拉克等也在不同程度上支持这种观点。

(2) 沉积说。这种学说认为水泥浆液中的多余水主要是靠重力沉积析水而排除掉的。灌浆刚开始, 新鲜的水泥浆通过钻孔沿着孔壁上的裂隙, 按照“径向辐射型”向四周流动。距钻孔中心愈远, 浆液通过的环形断面积愈大。当压力保持不变时, 进浆率也为定量。在这种状况下, 浆液通过的环形断面积愈大, 浆液的流速就愈小, 当浆液行至某一距离, 其相应流速达到临界流速后, 水泥颗粒即在彼处开始发生沉积 (例如日本的奈川渡拱坝, 通过试验求出当水泥的平均粒径 D_{50} 为 0.028mm 时, 临界流速 (v_c) 约为 1cm/s。另外有资料介绍, 水泥的有效粒径 (D_{10}) 为 2~3 μ m 时, 相应的临界流速约为 0.8cm/s^①), 此后, 水泥颗粒便从浆体中陆续地被分离出来, 从而不断地对这一段岩缝进行充填, 逐渐缩小岩缝的宽度, 并且逐步向钻孔方向沉积, 最后将整个岩缝填满, 形成比较致密的结石。美国 C·F·格隆迪即持此类观点, 他认为不管水泥浆的水灰比为 100:1 或 1:1, 灌浆结石的质量都很少有差别。法国 H·康贝福特 (Cambefort) 支持这种观点。按照这一学说, 灌浆压力和浆液稠度全是无关紧要的, 并且灌浆施工可以采用较高水灰比的稀浆。

(3) 三要素论。这种观点认为地质因素、灌浆压力和“重复灌浆”是使水泥浆在裂隙中充分排水、填充密实的三个要素, 本书编著者倾向这种观点。

地质条件是客观存在, 有些地质条件能为浆液提供良好的排水条件, 例如存在有陡倾角的裂隙, 而有些地质条件则不利于浆液排水。实际上天然岩层中的裂隙构造往往是由方向、宽度和长度等都不相同的裂隙网组成, 各部位裂隙的密度也不一样。天然岩层中裂隙的特性是三向排水, 这与在实验室内采用两块混凝土板或两块钢板模拟岩石裂隙的情况绝非一样, 故而浆液在进入裂隙后便开始了排水过程。当裂隙两侧岩体的透水性很小时, 浆液的多余水只能在沉积后沿径向排除, 这种排水条件与沉积说基本相符。若裂隙两侧岩体

① 第十五次大坝会议文件 Q58R24。

的透水性很大,则排水条件又与固结说相近。实际上,大多数裂隙两侧岩体的透水性多介于上述两者之间,所以大部分裂隙的排水机制可以认为是混合型的,两种作用对其均有影响。在地质条件不利于排水的情况下,高的灌浆压力有助于使浆液充分排水和固结。当地质条件不利于排水而又不允许施加高的灌浆压力时,采用重复灌浆的办法(有条件时可以逐渐提高灌浆压力)也能收到一定的灌浆效果。如果上述三要素都同时具备,当可获得极好的灌浆效果。例如乌江渡大坝的帷幕灌浆和龙羊峡大坝深部断层的固结灌浆处理,都采用了“小口径钻孔、孔口封闭、自上而下、重复灌浆”的灌浆方法,最大灌浆压力为6MPa,水泥浆的水灰比从8:1开始,逐级变浓到0.8:1~0.6:1(重量比)。通过直径为1m的大口径钻孔内的实地观察,不管是岩石的水平节理,还是垂直裂隙;也不管是溶洞泥,还是溶洞砂,水泥浆均能很好地渗入或挤穿,并且都充填得饱满和密实,说明浆液在裂隙中获得了充分地排水,其中高压的作用将是主要的。

关于排水机制的分析,是一个非常复杂的问题,故而不要采取简单的分析方法,也不要吧结论说得绝对。地质条件千变万化,是否还有更重要的排水机制控制着水泥结石的形成过程,尚有待于我们深入地进一步研究、探索。总之,搞清浆体在岩石裂隙中排水的机制和凝结硬化的机理的问题对水泥灌浆工艺的发展是很有实际意义的。

关于水泥浆的浓度问题,编著者的意见是在任何情况下,均不需采用重量比(W/C)大于5:1的稀浆进行灌注。

五、大坝坝基灌浆的特点

大坝坝基灌浆的主要特点有二:一是隐蔽性工程,灌入的浆液在坝基中充填的情况,无法直观评定,施工质量也难于直观判断。为此施工单位一定要做好资料整理与分析工作,而做好这项工作的前提是要求原始记录必须填写得准确、详细、清楚,并应配备有专职的资料整理人员。二是灌浆工程设计由于未知因数较多,例如:各地区地质条件多不相同,施工工艺也多种多样,难于用数学方法或数学公式准确地计算。为了使灌浆设计更符合实际情况,布置更为合理,常常需要在设计以前,先在工地进行灌浆试验,以灌浆试验所得的成果结合已取得的地质、勘探、压水和其他各项试验等有关资料做为进行坝基灌浆设计和编写施工技术要求的主要参考资料,细心研究,尽量消除或减少重大的意外情况。即使是这样,在灌浆施工过程中,根据施工实践和已灌孔灌浆资料的分析而对灌浆设计做部分修改或少量修改的情况仍会发生,例如:在某些地段需要增补,或者可能减少几个灌浆孔或一排灌浆孔;某些灌浆孔的深度可能需要加深或是可以减少;某些地段施工工艺略有改变等等,所以在设计上做或多或少的变更是正常现象,而一成不变却是少见的。多数工程实践证明,设计、施工与监理三方密切合作,相互协商,共同研究,实事求是地解决有关问题,是保证坝基灌浆工程优质、快速和经济的重要关键。

六、大坝基岩灌浆取得的主要成绩

(1) 经过大量工程实践形成了我国特有的一种帷幕灌浆施工方法,即“孔口封闭、孔内循环、自上而下、分段灌浆法”(简称“孔口封闭、孔内循环灌浆法”)。这种施工方法于1975年首次在岩溶发育地区乌江渡水电站帷幕灌浆中采用,灌浆压力6MPa。(详见后第十二章第五节)。它主要适用于4MPa及其以上的高压灌浆。经乌江渡工程之后,相继在岩溶发育地区修建的隔河岩、东风、观音阁以及五里冲无坝水库防渗帷幕灌浆中应用,均取得

了良好的灌浆效果。自 20 世纪 80 年代初开始, 这种灌浆方法逐渐扩大使用范围, 现已广泛应用于各类地基、高度不同的大坝坝基帷幕灌浆。为此, SL62—94《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》中 3.7 条对这种灌浆方法专门作出规定。

(2) 推广了高压灌浆技术。非岩溶地区高坝坝基帷幕灌浆, 高水头引水隧洞的围岩灌浆也常采用上述高压灌浆技术。例如龙羊峡水电站坝基帷幕灌浆和处理断层、天生桥二级水电站引水隧洞不良地质段固结灌浆处理, 使用的灌浆压力为 5~6MPa; 广州和天荒坪两个抽水蓄能电站引水隧洞下平段围岩固结灌浆最大灌浆压力分别达到 6.5MPa 和 9.0MPa; 铜街子水电站对坝基层间软弱夹层 C_5 的处理, 先采用 30MPa 高压水旋喷冲洗, 而后使用 3MPa 压力进行水泥固结灌浆, 都获得了满意的灌浆效果。

(3) 灌注浆液多样化。根据不同的地质条件和灌浆目的采用了水泥浆液、细水泥浆液、稳定浆液、各类水泥基质混合浆液以及膏状浆液等不同类型的浆液。例如: 克孜尔水库主坝右坝肩岩体的固结灌浆和黄河小浪底大坝基岩固结灌浆均采用了稳定浆液; 新安江水电站大坝二号、三号坝段坝基帷幕补强灌浆采用了干磨和湿磨细水泥浆液; 五强溪水电站部分坝段坝基帷幕灌浆、长江三峡大部分坝段坝基帷幕和固结灌浆均采用了细水泥浆液; 二滩水电站右坝肩固结灌浆采用了超细水泥浆液; 红枫水电站堆石坝体帷幕灌浆采用了膏状浆液等。

(4) 化学灌浆发展很快并取得了很好的效果。当水泥灌浆效果很小或无效时, 常常采用化学灌浆。例如丹江口水利枢纽、故县水库、陈村、凤滩、龙羊峡水电站等大坝坝基防渗帷幕或补强灌浆, 根据不同要求相继使用了化学灌浆, 均达到了预期目的。有些大坝例如长江三峡大坝、江垭大坝对坝基中的断层、层间溶蚀带的处理采用了细水泥和化学灌浆复合灌浆的方法, 效果良好, 值得推广。

(5) 研制成功了适合我国孔内循环灌浆方法可记录灌浆压力、注入率、浆液密度等参数的自动记录仪, 同时又配套开发了灌浆资料整理分析应用软件系统, 使灌浆施工与内业整理向自动化迈进了一大步, 提高了灌浆工作效率, 保证了灌浆质量, 已在国内各大中型工程中使用。

(6) 我国分别于 1963 年、1983 年、1994 年和 2002 年适时修订和发布了《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》, 对各个时期大坝基岩灌浆施工起到了促进和指导作用。

第二章

DI ER ZHANG

灌 浆 材 料

第一节 概 述

灌浆材料主要可分为两类：一类是固粒浆材，即固体颗粒的灌浆材料，如水泥、粘土、砂等；另一类是呈真溶液的化学浆材。

一、固粒灌浆材料

固粒灌浆材料有许多种，应根据灌浆的目的和坝基地质条件而选择适用的灌浆材料。一般来讲，作为灌浆用的材料，应具有下述的特性：

(1) 颗粒细。作为灌浆材料的首要条件是要求颗粒细，即具有一定的细度，以便能灌入到岩层的裂隙、孔洞中去，这是实现灌浆的前提。如果材料的颗粒粗，不能进入受灌的裂隙或孔洞，则灌浆就失去了作用。一般来讲，浆材的粒径需小于裂隙宽度的 $1/3 \sim 1/5$ ，灌浆才易奏效。

(2) 稳定性好。固粒材料与水混合后，所制成的浆液，其颗粒在一定的时间内和一定的条件下（如搅拌、流动）在浆液中应能保持呈均匀分散的悬浮状态，使其成为均质的浆液，并具有稳定性好，流动性强的性能。这样，才有利于灌注工作，才能保证获得良好的灌浆质量。

(3) 粘结性强。用固粒材料制成的浆液，灌入到岩层的裂隙或空洞中，经过一定时间，应能逐渐凝结而成为坚硬的结石，起到填充、固结或防渗的作用。

(4) 结石的强度高，并具有良好的耐久性。由浆液凝结而形成的结石，须具有一定的强度、粘结力和抵抗地下水侵蚀的能力，以保证灌浆的效果及耐久性。

二、化学灌浆材料

从近期的发展来看，化学灌浆材料的应用逐渐增多。由于灌浆的目的和坝基地质条件的不同，采用的化学灌浆材料也随之而异。作为化学灌浆材料，一般应具有如下条件：

(1) 粘度低，流动性好，能顺利地灌入细微裂隙。

(2) 聚合的时间能根据实际的需要准确地控制。

(3) 凝胶体具有一定的密实性、防渗性和抗挤力。如果是为了加固的目的，还须有一定的抗压和抗拉强度。若用于混凝土裂缝处理，则需有良好的粘结强度。