

《水利水电施工》
丛书

大坝岩石基础灌浆施工

孙 钊



——《水利水电施工》丛书——

主 编：中国水利学会施工专业委员会 纪云生

副 主 编：中国水利学会施工专业委员会 杨睦九

蒋元驹

朱云祥

葛文辉

责任编辑：李茂芳

科技新书目：164-148

ISBN 7-120-00080-2/TV·61

15143·6543

定价：0.85元

大坝岩石基础灌浆施工

孙 钊

水利电力出版社

内 容 提 要

本书共分为十一章，其中包括了灌浆理论的基本知识、压水试验、灌浆材料、灌浆施工工艺、灌浆常用的机械设备、资料整理和灌浆效果检查，以及编制施工组织设计等。文中并介绍了当前国际上对有关灌浆理论、设计和施工工艺等方面一些问题的不同观点和一些专家学者的具体意见。内容丰富，文字通俗易懂，便于参考使用。

本书适于从事水利水电工程设计和施工的广大技术人员、工人和领导干部学习之用，其它行业从事灌浆工作的人员也可用为参考，并可作为中等技术专科学校和职工技术业务培训教材之用。

《水利水电施工》丛书 大坝岩石基础灌浆施工

孙 钊

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3.5印张 76千字

1987年12月第一版 1987年12月北京第一次印刷

印数0001—4880册

ISBN 7-120-00080-2/TV·61

15143·6543 定价 0.85元

前 言

我国幅员辽阔，河流众多，蕴藏着丰富的水力资源。建国36年来，我国水电建设取得了很大成绩，但是与我国丰富的水能资源相比，开发利用程度还是很低的，按电量计，尚不足可能开发的水能资源的5%。所以，今后水力发电开发的前景远大，大有可为。

目前全国人民积极参加四化建设，为实现到本世纪末使全国工农业的年总产值翻两番的宏伟目标而努力工作。可是四化建设急需电力，在积极发展电力的宏伟计划中，水力发电占有一定比重，而水力资源尚存有巨大的潜力，急待开发，这也为大力开发水力发电提供了有利条件。

水力发电常需建坝，而建坝工程中基础处理工作非常重要，将基础处理好，就可为大坝的安全提供可靠的保证，但是，由于兴建的大坝愈来愈多，地质条件良好的坝址就将愈来愈少，故今后建坝，基础处理的重要性、复杂性和艰巨性也会愈来愈显突出。例如在建的青海省龙羊峡、四川省铜街子、陕西省安康等水电站和计划中要修建的河南省小浪底水库、湖北省隔河岩、四川省彭水和二滩等水电站，大坝基础地质条件均很复杂，基础处理任务艰巨。

在基础处理工作中，灌浆又是一种最常用的技术措施，几乎每一座建立在岩石基础上的比较高的大坝，其基础处理均需进行灌浆。而灌浆本身又是一种比较难于说得十分清楚的施工工艺，无论是在理论上、设计上、还是在施工工艺等方面，目前都存在着争论，意见分歧，难于统一认识。加以

大坝基础地质条件多变，坝型不一，灌浆的目的要求也异，灌浆标准又多不同，所以基础处理灌浆工作几乎是一个大坝工程一个样式，同类相似工程的经验仅可供为参考，而不能完全套用，这也是灌浆工作的主要特点。

鉴于灌浆工作的重要性、多变性和灵活性，在一定程度上有时尚需凭借经验，作者参与灌浆设计和施工工作多年，今仅将个人一些粗浅的体会加以小结，并参阅了国内外有关的资料和论述，编写成此书。书中除介绍了一般有关施工的问题以外，还着重介绍了当前国际上各种学派对某些问题的不同观点和一些专家学者的具体意见，供读者参考。为了便于专题阐述，有的放矢，书中内容仅局限于大坝岩石基础水泥灌浆施工，文字力求简练、通俗易懂，希望能达到普及灌浆知识，并对从事灌浆的工作人员在业务上有所帮助的目的。

本书由水利电力部基础处理公司李德富副总工程师审定，在审定过程中，提出了很多宝贵意见，在此表示谢意。

由于个人水平所限，书中不妥或错误之处，敬请读者指正。

编 著 者

1985年11月

水利科普丛书编审委员会名单

主任委员：史梦熊

副主任委员：董其林

委员（以姓氏笔划为序）：

丁	联	臻	王	万	治	史	梦	熊
田		园	李	文	治	邴	凤	山
杨	启	声	张	宏	全	张	林	祥
沈	埝	卿	陈	祖	安	陈	春	槐
汪	景	琦	郑	连	第	郭	之	章
赵	珂	经	茆		智	陶	芳	轩
谈	国	良	徐	曾	衍	蒋	元	驹
曹	述	互	曹	松	润	董	其	林
颜	振	元						

序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利、开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书。包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提。同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足，书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

一九八四年七月

目 录

序

前言

第一章	概述	1
第二章	灌浆理论的基本知识	8
第三章	灌浆材料和灌注浆液	16
第四章	钻孔和冲洗工作	28
第五章	压水试验	34
第六章	灌浆的施工次序和施工方法	52
第七章	灌浆压力	61
第八章	浆液浓度的变换、灌浆结束和回填封孔	71
第九章	灌浆工程常用的机械设备	79
第十章	资料整理和灌浆效果检查	90
第十一章	编制施工组织设计	100
参考文献		104

第一章 概 述

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，按照规定的浓度，藉用机械（或浆液自重），对之施加压力，通过钻孔或其它设施，压送到需要灌浆的部位（例如：大坝基础岩石裂隙或砂砾石基础的孔隙中，隧洞周围岩石的裂隙内和隧洞衬砌与岩石之间的空隙中，大坝坝体接缝内，以及水工建筑物混凝土裂缝等）中的一种施工工艺。

灌浆的实质就是填充地基中岩石的节理裂隙，砂砾石层中的空隙和结构物混凝土中的孔洞、裂缝等有空隙之处，起到固结、粘合、防渗、提高承载强度和抗变形能力，以及传递应力等的作用。甚至有时在松软的土层中，它也可起到包围固结土粒或穿透和挤压土层的作用，达到提高承载能力，改善变形条件，和加强防渗的目的。

灌浆工作应用范围很广，在煤炭、石油、冶金、铁路、交通、国防、农业等各部门，以及房屋建筑和其他土木建筑等行业均在使用，水利水电工程中应用得更为广泛。例如堤坝基础灌浆、坝体接缝灌浆、混凝土裂缝补强灌浆、土坝坝体裂缝灌浆、隧洞灌浆、隧洞开挖前的超前灌浆、预应力锚筋（索）的填充灌浆、以及预填骨料混凝土灌浆等。

仅就大坝基础灌浆而言，自1949年新中国成立以来，直至今日，已经取得了很大的成绩，积累了相当丰富的宝贵经验，并创造了很多新的施工工艺。

我国自1912年兴建云南螳螂川石龙坝水电站开始，到

1949年止，经历37年，水电装机总容量仅达 16.3万kW，年最高发电量为7.1亿kW·h。

全国解放以后，自1950年起至1983年底止，全国建成25万kW以上大型水电站21座，中型水电站130多座，小型水电站和水库 8 万多座。装机总容量为 2416.5万kW，1983年水力发电的年发电量计863.6亿kW·h，水利水电事业发展迅速，大坝愈建愈多，大坝基础地质条件愈趋复杂，通过多数工程的实践，大坝基础灌浆技术也有了很大提高。

解放以前，大坝基础灌浆技术由于做的工程很少，所以近乎是一个空白点。五十年代初期和中期，我们逐渐熟悉并掌握了在比较良好的地质条件下大坝岩石基础灌浆技术。例如上犹江、佛子岭、新安江等大坝的基础灌浆任务，我们均能很好地予以完成。五十年代中期和后期，我们开始在大坝砂砾石基础中进行灌浆处理，并掌握了这方面的灌浆技术。我国修建的大坝，在砂砾石基础中最先采用防渗帷幕灌浆的是北京市郊区下马岭水电站（混凝土重力坝，坝高32m，基础为第四纪冲积砂砾石层，厚度为37m）。以后，北京市密云水库白河主坝（土坝，坝高66m，砂砾石层厚 44m）砂砾石基础灌浆采用了当时国际上先进的灌浆技术“索列丹斯方法”（我国称为预埋花管法）进行灌浆，取得圆满成功。河北省岳城水库（土坝，坝高51.5m，帷幕穿过厚约10m的砂砾石层，进入第三纪岩层 2 ~ 5 m）基础帷幕灌浆中，采用了施工单位（当时的密云基础处理总队）自行创造的“边钻边灌”（又称循环钻灌）施工方法，取得了满意的效果。六十年代初期，结合水利水电建筑工程的需要，开始研究并采用了化学灌浆技术。化学灌浆最初是应用于处理水工建筑物混凝土中产生的裂缝，而后推广至处理大坝基础中特殊地质条

件的岩层。我国在大坝岩石基础帷幕灌浆中最先采用化学灌浆的是湖北省丹江口水力枢纽，采用丙凝溶液灌注 9~11 坝段基础的构造破碎带。以后，安徽省陈村水电站，湖北省葛洲坝水电站，以及湖南省凤滩水电站等在大坝基础防渗帷幕的修建和补强中，由于各种原因，均采用了化学灌浆，工程量为几千米，最高的达两万米以上，灌浆效果很好，均满足了设计要求。这样大规模的使用化学灌浆进行坝基处理，在世界上是少有的。到了七十年代，为处理贵州省乌江渡大坝岩溶发育的石灰岩基础，帷幕灌浆施工中采用了 $60 \times 10^5 \text{Pa}$ ($1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10^5 \text{Pa}$, Pa 读帕) 高的灌浆压力，获得了超出预想的优异效果。由那时开始，高压灌浆技术引起了人们的重视。实质上讲，乌江渡的高压灌浆已突破了渗入性灌浆理论的界限，而属于张裂式灌浆理论范畴（关于张裂式灌浆的解释请见本书第七章），从而引起了对新的灌浆理论与高压施工工艺的研究和探讨，希望能使用新的灌浆理论和高压施工工艺解决工程上一直存在的技术疑难问题。八十年代初期在龙羊峡水电站大坝基础的断层处理以及在某些大坝基础化学灌浆试验的施工工艺中均已采用了相对为高的灌浆压力，这也是一个新的跃进。但是，科学技术的发展，永无止境，我们应继续努力，开拓前进，再克难关，再攀高峰。

大坝基础灌浆可按下述标准进行分类：

(1) 按照大坝基础岩类的构成，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、帷幕灌浆和接触灌浆。

(3) 按照灌注材料，可分为水泥灌浆、水泥粘土灌浆、水泥砂浆灌浆、以及化学溶液灌浆。

(4) 按照灌浆压力, 可分为高压灌浆、中压灌浆和低压灌浆。

(5) 按照灌浆机理, 可分为渗入性灌浆和张裂式灌浆。

本书专门讲述大坝岩石基础水泥灌浆施工, 以渗入性灌浆理论为主, 重点在于阐述固结灌浆和帷幕灌浆。

一、固 结 灌 浆

固结灌浆一般是在岩石表层钻孔, 经灌浆后, 将岩石固结。灌浆孔的深度一般均较浅, 孔数较多。固结灌浆孔的范围主要是根据大坝基础的地质条件, 岩石破碎情况、坝型, 以及基础岩石应力条件等而定。

对于重力坝, 当基础岩石比较完整、良好和坚硬时, 有的工程仅在坝基内的上游和下游应力大的地区进行固结灌浆(固结灌浆的范围常取为大坝底宽的三分之一), 见图1-1。当大坝比较高而基础岩石地质条件普遍较差时, 则多在坝基内全面布孔, 进行固结灌浆。有的高坝, 除在坝基全面积进行固结灌浆外, 还在坝基以外的一定范围内加做固结灌浆。

对于拱坝, 一般多是整个坝基进行固结灌浆, 特别是两岸受拱坝推力大的坝肩拱座基础, 更需加强固结灌浆工作。

固结灌浆的主要目的是改善岩石的力学性能, 提高岩石的变形模量、承载强度和密实性, 加强岩体的均一性, 减少岩体变形和不均匀沉陷。另外, 对于在帷幕前设置的固结灌浆孔, 有时将其深度设计得深一些, 为的是有助于截断基础表层岩石的渗流, 增强帷幕的防渗性能。

固结灌浆施工最好是在基础岩石表面浇筑有混凝土盖板或有一定厚度混凝土后进行, 但也有的大坝, 由于某些原因而

安排在混凝土浇筑以前进行的。无论是哪种情况，在安排大坝总的施工进度时，均应为固结灌浆工序留有一定的时间，以确保固结灌浆质量。

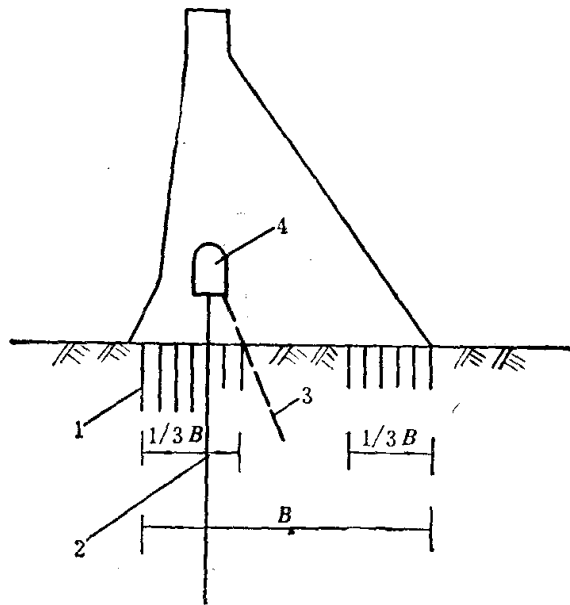


图 1-1 岩石基础灌浆孔位布置图

1—固结灌浆孔； 2—帷幕灌浆孔； 3—排水孔； 4—灌浆廊道；
B—大坝坝底宽度

固结灌浆孔深度小于 6 m 时，可以采用一次灌浆的方法；大于 6 m 时，往往采用分段灌浆的方法。

一般讲，固结灌浆孔也宜于一泵一孔单独进行灌浆，目的在于保证灌浆质量，并且得到的灌浆资料和数据准确，有利于分析和鉴定。但当岩石破碎，灌浆孔相互串通比较严重，或是由于其他一些必要的原因，也允许几个孔同时进行灌浆，但用一台泵同时进行灌浆的孔数不宜多于 4 个，且需采用并联的灌浆型式。

二、帷 幕 灌 浆

帷幕灌浆一般是在坝基内靠近上游处，平行于坝轴线钻一排孔（也有钻两排或三排孔的），有时钻孔尚需向两岸延伸一定距离，进行灌浆，使之在坝基前沿和两岸形成一道渗透性低的岩石条带，主要是起到防渗作用。因其类似帷幕形状，故通称为防渗帷幕，简称为帷幕，见图1-1。

帷幕灌浆的主要目的是：①减少基础渗流，减少水库中水的流失，保证设计水头，满足经济效益；②降低基础扬压力，减小大坝断面，节省工程量；③防止集中渗流，防止在基础岩石中发生冲刷、管涌，减少溶蚀，保证坝基渗透稳定和大坝安全。

帷幕灌浆孔比较深，灌浆施工工艺比较复杂，使用的灌浆压力也较大。

帷幕灌浆结合坝基排水是保证降低基础扬压力的有效措施，所以在接近防渗帷幕的后面，常常设置有一排比较深的排水孔，见图1-1。

岩石基础灌浆的主要特点有二：一为它是隐蔽性工程，灌入的浆液在岩石中充填的情况，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。另一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基础灌浆设计和编写施工技术要求的主要参考资料，细心研究，尽量消除重大的意外情况。即使是这样，在灌浆施工中，根据施工实践和整理好的灌浆资料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几个孔或一排孔，也可能减少几个孔或一排孔；某些灌浆孔的深度需要加深或是可以减少；某些地段施工工艺也可能略有改动等等，所以在设计上做或多或少的变更是正常现象，而一成不变的情况却是少见的。多数工程实践证明，设计与施工双方密切合作，相互协商，共同研究，实事求是地解决有关问题，是保证岩石基础灌浆工程优质、快速和经济的重要关键。

宏观地看，由于存在很多变数和未知条件，截至目前止，灌浆工作尚未完全达到科学的地步，有些自然是一种工艺。作为一个灌浆工作人员不仅应懂得灌浆理论，熟练地掌握各项灌浆施工技术，更重要的是通过实践，丰富业务学识和积累经验。当然，还需具备一个最主要的条件，就是要有很强的责任心，严肃认真，一丝不苟的工作态度。

第二章 灌浆理论的基本知识

关于灌浆理论方面的研究，目前正日益受到国内外灌浆工作者的重视。人们已越来越认识到，灌浆理论对灌浆工艺的发展起着十分重要的作用。

灌浆理论研究的主要课题是浆液在岩石裂隙中流动的规律以及浆液在裂隙中凝结硬化的机理。关于前者，在本章仅是简单地介绍几个常用的技术名词的概念，使读者了解其意义，便于在本书其他章节遇到时，不致陌生。对于后者，在本章中也仅是介绍当前国内外在学术界的几种不同的观点和认识，使读者对此课题有所理解，帮助读者深入思考。

一、层流和紊流

液体在流动时有两种不同的流态，即层流和紊流。

当流速较小时，液体中全部质点是以平行而互不混杂的方式形成流线，有条不紊的运动，这种流态叫做层流。

当流速较大时，液体质点互相混掺，互相碰撞，它们除了沿流向的运动以外，还作其它方向的运动。液体内部在互相混掺，互相碰撞中还会出现大大小小涡体，致使形成杂乱无章的运动，这种流态叫做紊流。

二、牛顿浆体和宾汉浆体

浆液在流动时，具有不同的特性，按其流变性质考虑，可以将浆液分为“牛顿浆体”和“宾汉浆体”两类。

牛顿浆体为纯粘性流体，是一种没有刚度极易流动的液