

# 帷幕灌浆技术在水库工程水闸防渗处理中的应用研究

李丽红

(南雄市水利水电技术与水土保持监测中心, 广东 韶关 512000)

**摘要** 帷幕灌浆技术是水库工程水闸防渗处理中极为关键的技术。本文对帷幕灌浆技术的基本原理进行了简要阐述, 并结合工程案例, 对帷幕灌浆技术在水库工程水闸防渗中的应用实践展开具体分析, 通过案例实践验证了帷幕灌浆技术所具有的防渗效果。研究结果表明: 运用帷幕灌浆技术能够明显地减少水库的渗漏量, 有力地提升水闸的防渗能力, 进而保障水库工程安全、稳定地运行。

**关键词** 水库工程; 帷幕灌浆; 水闸防渗; 渗透坡降

中图分类号: TV66

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.22.020

## 0 引言

水库工程是水利基础设施中极为关键的核心构成部分, 它在水资源分配调控、防洪抗旱、水电能源开发以及助力农业生产等诸多方面, 对推动经济发展和维护社会稳定具有重要意义。然而, 伴随水库工程运行年限持续增长, 水闸防渗问题越来越突出, 这给水库安全稳定运行带来了严峻的威胁。面对这样的难题, 帷幕灌浆技术成为水闸防渗的重要解决途径, 它能够精确地把浆液灌注到岩体或者土层所存在的裂隙之中, 进而形成一道具备连续性的防水屏障。

## 1 帷幕灌浆技术概述

### 1.1 帷幕灌浆技术基本原理

帷幕灌浆技术属于一种工程工艺方法, 其关键就在于要把浆液灌注到岩体或者土层所存在的裂隙或孔隙里面, 以此形成连续不断的阻水帷幕。这样的阻水帷幕能够在很大程度上降低渗流量, 同时还能对渗透压力起到明显的缓解作用。帷幕的顶部是和混凝土闸底板或者坝体紧紧连接在一起的, 而其底部则会延伸到相对来说不透水的岩层当中, 如此便形成了一道极为坚固、难以被破坏的防水屏障, 进而能够有效地将地下水在地基中的渗透隔绝开来或者使其有所减少。除此之外, 水库帷幕和下游的排水系统相结合, 可使得渗透水流对闸坝所产生的扬压力得以降低, 从整体上提升工程的安全性能<sup>[1]</sup>。

### 1.2 帷幕灌浆技术的分类

依照防渗帷幕的灌浆孔具体排数, 帷幕灌浆技术主要分为两排孔帷幕和多排孔帷幕两种类型。当面临

地质状况颇为复杂并且水头比较高的情形时, 一般会选用三排或者更多排孔的帷幕, 以此来强化防渗效果。除此之外, 针对灌浆孔底部能否深入不透水的岩层中, 这项技术可以进一步细分出封闭式止水帷幕与悬挂式止水帷幕。对于封闭式止水帷幕而言, 它的灌浆孔底部会深入不透水岩层中, 进而构建完整且高效的防渗体系; 而悬挂式止水帷幕的灌浆孔底部却不会深入不透水岩层当中, 形成一种呈悬挂式的防渗屏障, 主要适用于某些特定的地质环境以及工程建设要求。

### 1.3 帷幕灌浆技术的材料选择

水泥是帷幕灌浆技术中最关键的胶凝材料。在一些特殊应用场景中, 也会采用高分子化学溶液。例如: 砂砾石灌浆更多地会选用水泥粘土浆液, 通过这种方式来让灌浆的效果得以增强。所选用的水泥品质必须符合相关标准, 比如《通用硅酸盐水泥》(GB 175-2023) 标准, 只有这样才能保证灌浆材料在质量以及性能方面都能够达到最为理想的状态。另外, 灌浆时所用到的砂应是质地坚硬的天然砂, 如果采用人工砂, 砂的粒径、细度模数等这些关键参数全部都要满足特定的技术要求, 以此来确保灌浆工程整体质量, 能够实现预期设定的目标<sup>[2]</sup>。

## 2 水闸防渗处理的特点

首先, 水闸所处的地质条件以及水文条件存在着各种差异, 在制定防渗处理方案的时候要根据工程实际情况, 在设计阶段开展详细的地质勘察工作以及水文分析工作, 确保所采取措施既能有效又具有针对性。其次, 水闸防渗处理包含了水平防渗、垂直防渗这两

类主要的技术手段。水平防渗大多是依靠铺设高效的防渗材料得以实现的，而垂直防渗则涉及灌浆作业、建造防渗墙等诸多不同的方法。在挑选这些技术的时候，要综合考虑工程的实际情况以及防渗的具体需求。最后，水闸防渗处理施工必须严格依照设计规范以及技术标准来进行。在施工期间，需要施行严格的质量控制措施与监测措施，这样能及时发现并妥善处置潜在的风险，从而保证防渗效果符合预期。此外，维护管理的重要性也不可忽视<sup>[3]</sup>。

### 3 帷幕灌浆技术在水闸防渗处理中的应用

#### 3.1 工程概况

某水库工程地处山区，主要发挥着灌溉、防洪以及发电等诸多功能。随着运行年限的不断增长，水库大坝出现了严重的渗漏问题。为了妥善解决大坝所存在的渗漏问题，确定采用帷幕灌浆技术来开展水闸防渗处理工作。此水库大坝的坝基是花岗岩，其颜色呈现出灰白、灰绿直至灰黑色等不同色调，具有中至粗粒的结构特征，其地质条件复杂，这对帷幕灌浆施工提出了较高要求。

#### 3.2 水闸防渗设计

##### 3.2.1 水平防渗设计

针对特定的地质条件，在闸室上游所处的河床区段规划设计出了一段长度达到 15 米、厚度为 0.6 米的钢筋混凝土铺盖。为了提升结构的整体稳定性，在铺盖的上游端以及下游端均修筑了坚固的齿墙。除此之外，在铺盖和闸室底板相互连接的部位，设置了效能

颇高的止水构件，并且细致地布置了纵向分缝，从而可以较为灵活地去应对可能会出现的结构变形情况。闸室自身顺着水流方向的长度达到了 12.5 米，而其总宽度则是 50.5 米。闸室的底板运用的是厚度为 1.4 米的钢筋混凝土结构形式，并且在其上游端与下游端均设置了齿墙，以此让整体的稳固程度得以进一步提升。与此同时，在闸室前段的底部还额外增设了灌浆帷幕，该帷幕深入到了弱风化泥质粉砂岩层当中。防渗的纵向布置情况可参照图 1 所示。

##### 3.2.2 闸基防渗设计方案

该帷幕是沿着闸轴线进行布局的，而且还朝着闸室的两端分别延伸出去了 10 米，这样能在很大程度上降低绕闸渗流量。帷幕轴线的总长度达到了 96 米，很好地满足了防渗方面的需求。左岸帷幕深度处于 0.5 米至 1.0 米这个范围；闸室段以及电站厂房段帷幕深入地下 1.0 米至 6 米处；右岸帷幕深度被设定成 2.0 米至 2.5 米。同时，灌浆帷幕的厚度也受到了严格把控，将其限定在 30 厘米，以此来保障其具备良好的防渗效能。在此次工程当中，运用了单排灌浆孔的布置形式，把孔间距合理设定为 1.5 米，并且依照三序原则来开展布置以及后续的加密操作，从而让灌浆效果能够达到预期<sup>[4]</sup>。

##### 3.2.3 闸肩防渗设计方案

水闸的两岸闸肩自上往下由素填土、砂卵石层以及强风化泥质粉砂岩共同组成。素填土所具有的渗透系数为  $3.28 \times 10^{-3}$  厘米 / 秒，而砂卵石层的渗透系数则达到了  $2.60 \times 10^{-3}$  厘米 / 秒，让防渗面临极大

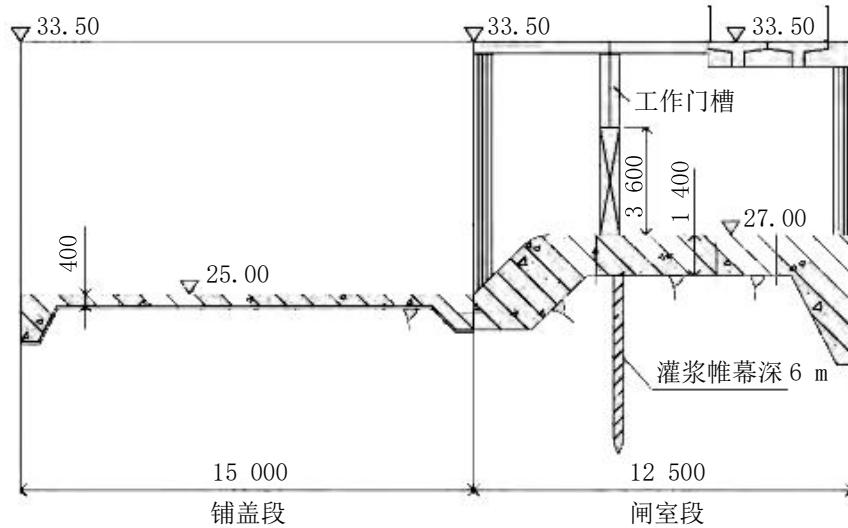


图 1 水闸防渗纵向布置

的挑战。为了能够切实有效地减少闸肩出现的渗流情况，运用黏土来进行回填操作。与此同时，在左岸闸肩所在的区域还实施了充填灌浆方面的处理，其施工的范围精准地处在闸轴线桩号0~010米至0~020米这个区间之内。在该区域中，设置了两排呈梅花形分布的灌浆孔，将排距和孔距限定在1米的范围，目的就是要确保灌浆作业完成之后所具备的密实程度以及防渗的实际效果。每一排灌浆孔在施工的时候都需严格遵循两序的原则，这样是为了让灌浆的质量能够达到最佳的状态。所采用的充填灌浆材料主要就是黏土，并且还掺入了占比为10%的水泥，通过这种方式来强化它的防渗性能。最后，左右岸的截渗堤高程都达到了30.8米的高度，长度为9.2米。

### 3.3 帷幕灌浆施工方案

依照工程实际状况以及设计规范方面的要求，制定了帷幕灌浆施工的具体方案。将灌浆孔精准地布置在大坝上游的坝坡区域，将孔间距设定成2米，所有的孔径一律为91毫米，并且孔的深度必须穿透坝体，一直延伸到坝基基岩之下合适的深度位置。为了让孔洞的精度以及深度都能够符合标准，运用了高效能的回转式钻机来开展钻孔作业。在钻孔作业完成之后，对钻孔以及存在的裂隙进行全方位的冲洗操作，以此来保障后续灌浆作业能够达到应有的效果。灌浆材料优先选用了质量良好的普通硅酸盐水泥和天然砂。制浆环节，针对配料比例以及搅拌质量都进行了极为严格的把控，从而确保灌浆材料具备优异的性能。在灌浆工艺方面，采用的是自下而上的分段灌浆方法，同时对灌浆过程的压力与速度都进行了精细的调控，以此来保证灌浆能够达到均匀且密实的程度<sup>[5]</sup>。

### 3.4 防渗效果分析

#### 3.4.1 改进阻力系数法

在水闸抗渗稳定计算方面，采用了改进阻力系数法。该方法的突出优势在于它能够把极为复杂的地下轮廓区域较为精准地划分成多个相对而言较为简单的段落。针对每一个细分出来的段落，都是凭借流体力学当中已有的精确解，来确切地确定其阻力系数。最后，对各个分段的阻力系数进行科学合理的整合，从而得出高精确性的计算结果。

#### 3.4.2 计算流程及结果剖析

执行计算任务期间，针对灌浆帷幕和齿墙，都进行了较为合理的简化处理，并且依据科学的方式把闸

基轮廓细致地划分成了14个段落。这些段落大体上能够归纳为三种比较典型的形态，也就是进出口段、内部呈现垂直状态的段落以及水平走向的段落。选取了水闸处于正常运行的工况当作此次研究重点，同时还较为精确地对各个分段所产生的水头损失情况以及角隅位置对应的水头值展开了细致的计算工作。

#### 1. 闸底板水平段渗透坡降：

$$J_x = \frac{h_o}{L} = \frac{0.47}{7.216} = 0.065 \quad (1)$$

#### 2. 出口渗透坡降：

$$J = \frac{h_o}{S} = \frac{0.71}{2.1} = 0.338 \quad (2)$$

设计当中极为关键的一点在于要精准无误地调控闸底板水平段的渗透坡降，确保其数值能够稳稳地维持在0.065至0.091这一理想的区间范围之内；同时，要保证出口段的渗透坡降也能保持在0.325至0.390的合理范围内。经过全面计算以及严谨分析后，最终所呈现出来的结果表明，闸底板水平段以及出口段的渗透坡降都十分完美地符合既定的规范标准。所以，该水闸的设计符合相关规定要求，具备较高的防渗性能，能够切实有效地规避渗透变形这类问题的产生。

### 4 结语

帷幕灌浆技术在水库工程水闸防渗处理领域具有显著优势。通过采用科学的施工工艺和严格的质量控制措施，该技术能够构筑一道连续且致密的防渗屏障，大幅度削减渗流量，并有效减轻渗透压力。帷幕灌浆技术之所以受到广泛推崇，归因于其出色的适应性、显著的防渗效果、灵活的施工方式以及卓越的耐久性，这些特性为水库工程的安全稳定运行提供了坚实的保障。

### 参考文献：

- [1] 宋志华. 水利水电工程施工帷幕灌浆施工技术应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(03): 33-36.
- [2] 于鹏新, 于潇霖. 水库大坝基础渗漏处帷幕灌浆施工技术处理 [J]. 黑龙江科学, 2024, 15(24): 149-151, 155.
- [3] 陈济美. 帷幕灌浆施工技术在水库大坝除险加固工程的应用研究 [J]. 水上安全, 2024(24): 157-159.
- [4] 胡玉豪. 水库工程施工中的灌浆技术分析 [J]. 科技资讯, 2024, 22(21): 156-158.
- [5] 李龙. 水库除险加固工程大坝帷幕灌浆施工技术问题与解决方案的研究 [J]. 水上安全, 2024(22): 148-150.