

# 试析水利水电工程防渗墙施工技术及其质量控制

蔡 辉<sup>1</sup> 鲍锦维<sup>2</sup> 刘 澳<sup>2</sup>

1. 湖北水总水利水电建设股份有限公司 湖北 武汉 430000

2. 长委工程建设监理(宜昌)有限公司 湖北 宜昌 431900

**摘要:** 水利水电工程防渗墙施工是确保工程安全运行的关键环节。防渗墙通过特定工艺构筑,具备优异的防渗性能。施工技术包括高压喷射灌浆、多头深层搅拌防渗墙、塑性混凝土防渗墙等,需根据地质条件灵活选用。施工质量控制涉及施工前准备、过程监控、人员培训及施工后检测与评估。通过优化泥浆配比、控制施工参数、强化现场检测等手段,确保防渗墙施工质量。针对塌槽、浆液渗漏等问题,采取有效预防措施,保障水利水电工程长期稳定运行。

**关键词:** 水利水电工程; 防渗墙施工技术; 质量控制

## 引言

水利水电工程作为国民经济发展的基础支撑,其稳定性和安全性至关重要。防渗墙作为水利水电工程的核心防护结构,承担着阻挡水流渗透、加固地基、隔离不良地质体等多重功能。随着技术的不断进步,防渗墙施工技术日益多样化,但施工质量控制始终是确保工程质量的关键。本文旨在深入分析水利水电工程防渗墙的主要施工技术及其质量控制措施,探讨如何通过科学管理和技术创新,提升防渗墙的施工质量和工程整体的安全性、稳定性。

## 1 水利水电工程防渗墙施工技术概述

### 1.1 防渗墙的定义与功能

(1) 防渗墙的基本概念。防渗墙是水利水电工程中,通过特定施工工艺在地基或坝体中构筑的、具有连续封闭性的竖向或倾斜墙体结构。其核心特征是具备优异的防渗性能,能有效阻挡水流渗透,通常由混凝土、水泥土、灌浆体等防渗材料构成,可适应不同地质条件(如砂土、卵石层、岩层等),是保障工程抗渗稳定性的关键防护结构。(2) 防渗墙在水利水电工程中的主要作用。主要作用包括三点:一是阻挡渗透水流,减少坝体或地基的渗漏量,避免因渗漏导致的工程沉降、管涌等病害;二是加固地基,增强地基整体承载能力,提升工程结构稳定性;三是隔离不良地质体,切断软弱夹层、透水层等对工程的不利影响,保障水库、堤坝等核心设施长期安全运行。

### 1.2 防渗墙施工技术的分类

(1) 灌浆技术。以高压喷射灌浆和帷幕灌浆为代表。高压喷射灌浆通过高压设备将水泥浆液喷射到地层,冲击切割土体并与其混合,形成连续防渗体,适用

于砂性土、黏性土地层;帷幕灌浆则沿工程轴线钻设孔群,向孔内灌注水泥浆或化学浆液,形成地下防渗帷幕,常用于岩基或深层透水地基防渗。(2) 防渗墙技术。包含多头深层搅拌防渗墙、锯槽法防渗墙、塑性混凝土防渗墙等。多头深层搅拌防渗墙利用多轴搅拌机,将水泥浆与土体强制搅拌形成防渗墙,适用于软土地基;锯槽法通过锯槽机开挖沟槽,浇筑混凝土形成防渗墙,适用于中细砂地层;塑性混凝土防渗墙采用低弹性模量的塑性混凝土浇筑,兼具防渗性与抗裂性,适用于变形较大的工程场景<sup>[1]</sup>。

## 2 水利水电工程防渗墙施工技术分析

### 2.1 高压喷射灌浆技术

(1) 技术原理与施工流程。技术原理是利用高压泵将水泥浆液或其他化学浆液以20-40MPa的高压喷射而出,冲击切割地层土体,同时钻杆带动喷头旋转或提升,使浆液与破碎土体充分混合,凝固后形成连续的防渗桩体或防渗墙。施工流程分为五步:测量放线定孔位→钻孔至设计深度→安装喷射装置→高压喷射注浆(按定喷、摆喷或旋喷工艺施工)→注浆完成后拔管、封孔。(2) 适用范围与优缺点分析。适用范围涵盖砂性土、黏性土、碎石土等多种地层,尤其适用于深度5-30m的中浅层防渗工程。优点是施工设备轻便、对周边环境扰动小、防渗效果显著;缺点是对砾石含量高的地层适应性差、施工效率受地质条件影响较大。(3) 实际应用案例与效果评估。在某小型水库除险加固工程中,采用高压喷射灌浆技术构筑防渗墙,墙深12m、厚度0.8m。工程完工后经检测,渗漏量由加固前的35m<sup>3</sup>/d降至5m<sup>3</sup>/d以下,防渗效率达85%以上,且墙体强度满足设计要求,运行3年未出现渗漏问题,应用效果良好。

## 2.2 多头深层搅拌防渗墙技术

(1) 技术特点与施工要点。技术特点是通过多组搅拌叶片同步旋转,将水泥浆与土体强制搅拌均匀,形成连续完整的防渗墙,具有墙体整体性好、防渗性能稳定、施工成本低等优势。施工要点包括:严格控制搅拌桩的垂直度(偏差 $\leq 0.5\%$ )、确保水泥浆水灰比(通常为0.5-0.6)符合设计要求、控制搅拌提升速度(0.8-1.2m/min),保证土体与浆液充分混合。(2) 搅拌设备与材料的选择。搅拌设备宜选用多头深层搅拌桩机(如SJB-II型双轴搅拌桩机),配备自动供浆系统,确保注浆量均匀稳定。材料方面,水泥选用32.5级普通硅酸盐水泥,掺合料可根据需求添加粉煤灰(掺量 $\leq 30\%$ ),以改善浆液和易性,降低工程成本;严禁使用受潮结块的水泥,避免影响墙体强度。(3) 施工过程中的质量控制方法。质量控制需做好三点:一是施工前进行工艺性试桩,确定最佳施工参数;二是施工中采用“全程旁站”监督,记录每根桩的注浆量、搅拌时间、提升速度等数据;三是施工后通过取芯检测(检测频率 $\geq 1\%$ )和渗透试验,检查墙体强度(抗压强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ )和防渗性能(渗透系数 $\leq 1\times 10^{-6}\text{cm/s}$ ),不合格部位及时补桩处理<sup>[2]</sup>。

## 2.3 塑性混凝土防渗墙技术

(1) 塑性混凝土的性能与特点。塑性混凝土以膨润土、水泥、砂石为主要原料,具有低弹性模量(1000-3000MPa)、高塑性(极限应变 $\geq 2\%$ )、低渗透性(渗透系数 $\leq 1\times 10^{-7}\text{cm/s}$ )的特点。其优势在于能适应地基不均匀沉降,减少墙体开裂风险,且水化热低,可避免因温度应力导致的结构损坏,同时施工难度低,与常规混凝土相比更易浇筑成型。(2) 防渗墙的设计与施工流程。双王城水库防渗墙设计深度28m、厚度0.8m,墙体采用塑性混凝土(配合比:水泥300kg/m<sup>3</sup>、膨润土80kg/m<sup>3</sup>、砂750kg/m<sup>3</sup>、碎石1100kg/m<sup>3</sup>、水220kg/m<sup>3</sup>)。施工流程为:测量放线→导墙施工(采用C20混凝土,高度1.2m)→槽段开挖(使用液压抓斗成槽机,槽段长度6-8m)→清槽换浆(确保槽底沉渣厚度 $\leq 10\text{cm}$ )→钢筋笼安装→塑性混凝土浇筑(采用导管法浇筑,浇筑速度 $\geq 2\text{m/h}$ )→墙体养护(养护期 $\geq 14\text{d}$ )。(3) 施工中的关键技术问题与解决方案。关键问题一:槽壁坍塌。解决方案是优化泥浆性能(选用膨润土泥浆,黏度 $\geq 25\text{s}$ 、密度1.05-1.15g/cm<sup>3</sup>),控制开挖速度,对松散地层采用跳槽开挖工艺。关键问题二:混凝土浇筑时导管堵塞。解决方案是严格控制骨料粒径(最大粒径 $\leq 40\text{mm}$ ),浇筑前检查导管密封性,确保混凝土坍落度(18-22cm)符合要求,浇筑过程中避免导管拔出混凝土面。关键问

题三:墙体接缝渗漏。解决方案是在槽段接缝处设置钢板止水带,浇筑前清理接缝处浮浆,确保接缝密实<sup>[3]</sup>。

## 3 水利水电工程防渗墙施工质量控制

### 3.1 施工前的准备工作

(1) 地质勘察与水文分析。需组织专业勘察团队,采用钻探、物探等手段,查明施工区域地层分布(如砂土、卵石层、岩层厚度及埋深)、岩土物理力学性质(含水率、压实度、渗透系数);同步分析水文条件,包括地下水位标高、水流速度、水质成分(如是否含腐蚀性离子),形成详细勘察报告,为防渗墙类型选择、深度设计及施工工艺优化提供依据,避免因地质误判导致施工隐患。(2) 施工图纸与方案的审核。由设计、施工、监理三方共同审核施工图纸,重点核查防渗墙尺寸(厚度、深度)、材料参数(混凝土强度等级、浆液配比)与地质条件的匹配性;审核施工方案时,需确认工艺流程(如成槽、注浆顺序)、应急预案(如槽壁坍塌处理措施)的合理性,对图纸矛盾、方案漏洞及时提出修改意见,确保技术文件符合工程规范及现场实际需求。(3) 施工设备与材料的准备与检查。设备方面,提前调试成槽机、注浆泵、搅拌桩机等核心设备,检查仪表精度(如压力表、流量计)、机械运行状态,备用易损部件(如钻头、导管);材料方面,对水泥、膨润土、砂石等进行抽样送检,检测水泥强度、膨润土防渗性能、砂石级配,严禁使用不合格材料,同时按设计配比预拌浆液或混凝土,验证其和易性、流动性是否达标。

### 3.2 施工过程中的质量控制

(1) 施工工艺参数的监控与调整。安排专业技术人员实时监控关键参数,如高压喷射灌浆的压力(20-40MPa)、提升速度(0.8-1.2m/min),多头深层搅拌的水灰比(0.5-0.6)、搅拌时间;若发现参数偏离设计值(如压力骤降、浆液漏失),立即暂停施工,排查原因(如管路堵塞、地层透水)并调整参数,确保每道工序均符合质量标准。(2) 施工人员的培训与管理。施工前对操作人员进行技术培训,讲解工艺要点(如导管浇筑高度控制)、安全规范(如高空作业防护),考核合格后方可上岗;现场实行分区责任制,明确质检员、安全员、施工员职责,要求做好施工记录(如每槽段施工时间、材料用量),杜绝违规操作(如擅自简化搅拌流程)。(3) 施工质量的现场检测与验收。采用“随工检测”模式,成槽后检测槽壁垂直度(偏差 $\leq 0.5\%$ )、槽底沉渣厚度( $\leq 10\text{cm}$ ),注浆过程中抽样检测浆液浓度;每完成一段防渗墙,及时进行隐蔽工程验收,通过超声波检测墙体完整性,渗透试验检测防渗性能,验收合格后方

可进入下一道工序,不合格部位立即返工处理<sup>[4]</sup>。

### 3.3 施工后的质量评估与维护

(1) 防渗墙性能的检测与评估方法。完工后采用多种检测手段综合评估,如钻孔取芯检测墙体强度(抗压强度 $\geq 0.8\text{MPa}$ )、连续性,压水试验检测渗透系数( $\leq 1\times 10^{-7}\text{cm/s}$ ),雷达探测墙体内部缺陷;结合检测数据生成质量评估报告,判定防渗墙是否满足设计要求(如渗漏量 $\leq 5\text{m}^3/\text{d}$ ),明确是否需进一步处理。(2) 防渗墙缺陷的修复与维护措施。针对检测发现的缺陷(如裂缝、渗漏点),制定专项修复方案:小裂缝采用压力注浆(水泥浆或环氧树脂浆液)封堵,渗漏严重区域补做防渗墙段,墙体表面破损处采用聚合物砂浆修补;修复后再次检测,确保缺陷彻底解决,同时定期清理防渗墙周边杂物,防止外力撞击损坏墙体。(3) 长期监测与数据分析在质量控制中的应用。建立长期监测系统,布设渗压计、沉降观测点,实时采集地下水位变化、墙体沉降数据,定期(每月1次)分析数据趋势;若发现异常(如沉降速率加快、渗压值骤升),及时排查原因(如地基不均匀沉降、墙体开裂),采取加固措施(如增设锚杆),通过动态监测保障防渗墙长期稳定运行。

## 4 水利水电工程防渗墙施工中的常见问题与对策

### 4.1 塌槽问题及其处理方法

(1) 塌槽现象的原因分析。塌槽主要源于四方面:一是地质条件差,如松散砂土、粉土地层,土体自稳能力弱;二是泥浆性能不达标,黏度低( $< 20\text{s}$ )、密度小( $< 1.05\text{g}/\text{cm}^3$ ),无法有效支撑槽壁;三是施工操作不当,成槽速度过快( $> 1.5\text{m}/\text{h}$ ),或相邻槽段同时开挖;四是外部扰动,如施工机械振动、地下水位骤降。(2) 塌槽问题的预防措施与处理方法。预防需控制三点:优化泥浆配比(膨润土掺量 $\geq 8\%$ ),确保黏度 $25\text{-}30\text{s}$ 、密度 $1.05\text{-}1.15\text{g}/\text{cm}^3$ ;采用跳槽开挖工艺,相邻槽段施工间隔 $\geq 24\text{h}$ ;缓慢成槽(速度 $\leq 1\text{m}/\text{h}$ ),避免机械剧烈振动。若发生塌槽,立即停止开挖,向槽内回填黏土或砂

石,待土体稳定后,重新调制泥浆,采用小直径钻头分段扫孔,恢复施工。

### 4.2 浆液渗漏与窜槽问题及其解决方案

(1) 浆液渗漏与窜槽现象的描述。浆液渗漏表现为注浆时浆液消耗过快,注浆压力持续偏低( $< 5\text{MPa}$ );窜槽则是浆液从相邻已施工槽段、地层裂隙或钻孔溢出,导致墙体出现空洞、断桩,影响防渗连续性,常见于透水地层或墙体接缝处理不当的场景。(2) 渗漏与窜槽问题的诊断与处理方法。诊断可通过注浆量监测(若单次注浆量超出设计值 $30\%$ )、压力变化曲线分析判定。处理时,渗漏部位可掺入水泥用量 $5\%$ 的速凝剂,加快浆液凝固;窜槽区域需先封堵窜浆通道(如注入双液浆),待封堵材料凝固后( $\geq 12\text{h}$ ),重新注浆;施工中预留注浆管,对疑似渗漏段进行二次补浆,确保密实。

### 结束语

综上所述,水利水电工程防渗墙的施工技术与质量控制是保障工程安全与稳定的重要环节。通过合理选择与应用高压喷射灌浆、多头深层搅拌防渗墙、塑性混凝土防渗墙等先进技术,结合严谨的施工前准备、精细的过程监控、严格的质量检测与评估,可以有效提升防渗墙的施工质量和防渗性能。未来,随着材料科学与施工技术的不断革新,防渗墙的施工将更加高效、环保,为水利水电工程的长期安全运行提供更加坚实的保障。

### 参考文献

- [1]郑付超.水利水电工程混凝土防渗墙施工技术[J].价值工程,2021,(11):127-129.
- [2]王忠义.水利水电工程混凝土防渗墙施工技术[J].砖瓦世界,2021,(16):142-143.
- [3]秦发盛.水利水电工程防渗墙施工技术及其质量控制初探[J].数码精品世界,2023,(14):123-124.
- [4]欧新文.水利水电工程建筑中混凝土防渗墙施工技术的实践研究[J].中国地名,2024,(13):187-189.