

水库大坝除险加固混凝土防渗墙施工技术探析

董宏宇

摘要: 目前, 混凝土防渗墙已广泛用于水库大坝防渗加固项目中。针对库坝的渗漏问题, 利用“抓取法”与“钻抓法”协同开挖成槽的工艺方案, 并在此基础上进行现场应用, 有着较为优异的表现。本文立足于水库大坝除险加固工程, 简述分析混凝土防渗墙施工技术的概念与施工方法, 梳理混凝土防渗墙施工技术的实施要点, 由此对多种水利工程病害作出多维把控, 进一步维持大坝运行环节的平稳性能。

关键词: 水库大坝; 除险加固; 混凝土防渗; 施工技术

引言

水库除险加固项目中防渗措施的引入, 使得其渗漏频次得到全方位控制。根据工程的具体条件, 对相关施工方法作出改进, 以全面显现整个工程的施工效果。利用混凝土防渗墙施工工艺, 切实解决水库普遍存在的渗漏症结, 显现水库的综合整治能力。

一、水库大坝混凝土防渗墙施工技术概述

(一) 混凝土防渗墙施工技术概念

混凝土防渗墙技术凭借其广谱适用性、简捷施工流程、长效结构稳定性及高效止水性能, 在病险闸坝整治领域获得广泛推广^[1]。混凝土防渗墙是用来对土石坝进行加固的方法, 其利用钻机、抓斗、水力劈槽等工艺, 在库坝地基预设槽孔, 并灌注混凝土浆液, 由此构成防渗墙结构。混凝土防渗墙可以适用于各种类型的地基基础和不同材质的堤坝, 经由嵌入基岩内部, 并且两侧可以与坝肩岸坡基岩或者其他防渗设施相连, 以完全切断坝体及其基础的渗漏通道。在防渗墙材料选取上, 需要基于实际工程现状和建设需求的考量, 针对各项地质、水文要素作出多维分析, 由此确立效用更佳、防渗能力突出的施工材料。同时, 在工艺选取上, 也应应以工程适用性为首要考量要素, 规划和设计整体工程的工艺方案, 并在细部处理上加以强化, 维持较为有序的施工现场操作规程。

(二) 施工方法选择

1. 钻劈法

钻劈法基于钻孔设备在岩层中钻设多组孔隙, 并在

预设深度区域形成互联孔洞体系, 从而为浆液渗透现象的防治创造有利条件。该工艺通过构建地下空腔网络优化介质灌注路径, 其核心机理在于利用人工改造的岩体结构提升浆液扩散效率。钻机在钻孔中作回转运动, 持续钻进地层, 并与之形成的转动摩擦及冲击力, 将岩体劈开, 并扩大孔口; 在孔洞带成型后, 用注浆管向孔内注水泥浆, 填充孔劈裂后的空隙, 从而构成一堵牢固的混凝土防渗墙。钻劈法适合于岩性坚硬的地层, 能对硬岩进行高效劈裂, 形成牢固的混凝土防渗墙, 并且由于可按要求选用不同的钻杆, 故可在较大深度内进行施工。

2. 抓取法

抓取法可用于主孔深度比抓斗最大张开度小、副孔深度比主孔小的施工场景。在此之中, 主孔挖掘以机械方式进行, 需着重关注孔径、孔深等参数控制, 开挖时要对孔壁的平直度、垂直度等进行着重关注, 以保证随后的施工效果; 当主孔开挖完毕后, 再进行次孔开挖工序, 次孔深度应低于主孔, 一般为主孔的一半或者处在更浅位置, 经由分段错层作业的实施, 减轻孔壁工作面的实际负荷; 在主孔、次孔开挖完毕后, 为保证孔壁不发生垮塌, 一般采用防渗墙施工中常用的支护材料, 例如混凝土支架或其他支撑结构, 完成支护作业^[2]。

3. 钻抓法

钻抓法在防渗操作层面较为常用, 利用冲击钻机及抓斗机, 对主、次孔进行开挖, 有着较高的作业效率, 该方法可用于混凝土防渗墙的建设工序, 尤其当副孔深度要求较为严苛时, 应在品质把控上增加关注。在防渗结构的主孔开挖环节, 可选择冲击钻孔方式, 结合实际注浆需求设定开挖孔径, 并选取对应尺寸的冲击钻孔装置, 在开挖主孔时, 要保证孔壁平直状态, 为后续工程建设做好准备; 当主孔开挖完毕后, 利用抓斗机进行次

作者简介: 董宏宇, 1973年07月, 男, 汉, 河南省驻马店地区遂平县, 单位: 墨玉县水利局, 本科, 副高, 水利工程、水资源、水土保持。

孔开挖，次孔深度要根据抓斗机的最大开度进行控制，保证在开挖时对钻孔深度的准确控制，由此降低孔壁支承作业的难度。

二、水库大坝除险加固混凝土防渗墙施工的技术要点

(一) 导墙施工

在进行防渗墙施工之前，要对防渗墙进行注浆，其主要功能是钻孔导向、保护槽孔、维持泥浆压力、防止泥浆及污水回流槽孔等。因此，要满足挖槽机、接头管吊装设备等对工程荷载的需求，就必须做好地基处理，保证施工强度与精度指标符合相应建设规范。一般而言，在坝体混凝土防渗墙的施工导墙面，顶宽、高依次设定为1.00m、1.20m，沟内净宽则应控制在0.65m。导墙采用钢混构造，呈“ \neg ”型式。导墙顶部要比地基高出10~15cm，拆除模板后，导墙内侧每1.5m设一支木托，以防向导墙发生变形^[3]。

(二) 成槽施工

成槽施工工艺在库坝工程防渗处理环节极为关键，抓取法是水库大坝混凝土防渗墙施工中的重点工艺，抓土时，要把槽壁对齐，并按照从两侧到中间的顺序设置抓取工序。在开挖成槽时，要注意对槽壁垂直度、变形情况、泥浆液面等作出观察和控制，并设定较为适宜的抓取速度，规避槽壁出现垮塌的情形。槽沟开挖至既定标高时，应对槽孔各项参数进行多维检测。

在开挖和成槽之前，必须对成槽机的定位进行调节，使其主钢索与槽沟中心对齐。在成槽机开挖过程中，需要对操作精度作出控制，保证长槽坡口倾斜度不大于0.4%。在成孔施工中，利用测斜仪进行纠偏，出现偏差则需及时修正，当遇到不规则的“L”字槽沟时，可以采取冲凿、成槽机补沟等方法，或在特定区域内调整隔离墙的厚度。在槽孔制备阶段，应持续灌注新浆液，浆液面应控制在导墙顶部以下位置，同时也应高于地下水位。如出现槽内稀泥、泥面下降等情况，应立即采取有针对性的处理措施。

(三) 泥浆制备

在防渗墙槽孔施工环节，护壁浆液体系通过抑制槽壁塌孔与渗流现象、维持颗粒悬浮状态并裹挟岩屑排出、净化孔腔沉积物、降低钻具温度等多重作用，直接影响防渗体系的结构稳定性及服役寿命。泥浆制备阶段采用高效制浆设备进行混合作业，经浆液配制池、沉淀池和存储池三级处理后投入工程应用。防渗墙槽孔施工配置有200m³容量的储浆设施。成槽作业采用负压抽吸与逆

流循环系统，通过循环池向槽内输送浆体，经沉淀池完成固液分离后重新注入循环系统^[4]。混凝土浇筑阶段表层浆体导流至沉淀池，同时清除顶部2m范围浆体并转运至废弃池。

(四) 墙体混凝土施工技术控制

1. 技术参数要求

混凝土防渗墙体采用低弹模塑性材料，设计强度等级多为C10，抗渗等级W6，渗透系数不超过 1×10^{-6} cm/s，弹性模量则高于17.5GPa。墙体浇筑作业需重点把控以下关键施工环节：

(1) 导管间距应限制在3.5m范围内，槽孔端部导管悬垂长度需保持在1.0~1.5m区间，所有槽段施工必须配置双导管系统。若槽底高差超过0.25m，需将导管置于设计最低标高处，并选用直径50mm的导管材料。管底埋至1~5m，管底离沟底15~25cm。

(2) 在浇筑混凝土的过程中，要保持整个槽体的表面高度一致，并且每段的高差不超过50cm。注浆作业期间，槽孔混凝土液面需每30分钟检测一次，导管内部混凝土面则每两小时测定一次。混凝土采用连续浇筑的方式，槽孔中的混凝土表面抬升速率要超过2m/h，并要不断提升至设计标高。

(3) 施工过程中，必须对施工现场进行检查，避免管道内埋、管道堵塞、混浆、渗漏等情形发生。

2. 墙体连接方式选择

防渗墙与墙体的节点处理采用“钻凿接头孔法”与“接头管法”。“钻凿接头孔法”是在I段槽孔内浇筑混凝土后，用冲孔机在槽孔的每端进行钻孔作业的方法。这种方法的特点是操作简便、方便现场布置。“接头管法”是一种在I段槽孔内浇筑混凝土之前，于槽孔两侧布设螺纹的钢管（管材直径比槽孔稍小），在浇筑工序中将接头位置管段进行松动处理，在混凝土凝固后拔出连接管而制成接头孔的方法。此法在多个施工场合下均能适用，而且处理简便、材料耗用少、成孔效率高。在具体项目建设环节，“接头管法”的采用频次较多，而针对操作不变、施工空间狭小等情形，则可引入“钻凿接头孔法”。依照工程实际情况，在水库大坝防渗墙成孔中，“接头管法”的采用更为普遍。

(五) 特殊情况处理

1. 防渗墙施工中碰到块石或大块漂石时，适用普通成槽法难以达到预期效果，此时，应以孔壁安全状态监测为基础，采用冲击钻孔作业方法；如孔壁渗水严重，或浆液注入速度超过既定标准，应对浆液配比作出调节，

减慢成槽速率,使之达到预期的成槽效果^[5]。

2.在成孔施工中,如遇塌孔,应优先使用高密度泥浆,如果还存在塌陷的情况,可对泥浆配比作出调整,以此使得固壁措施的效果最大化,再用一定数量的渣土填充,使孔壁受到的土体压力分散,或通过向钻孔中掺入水泥或粘土完成加固措施,以确保槽孔的稳定状态。在导墙基地垮塌、墙身存在较大变形时,应对浆液作出调整,并修改导墙受损部位。

3.在浇筑工序中,如果导管脱落、堵塞或漏浆,应将所有的导管拔出,清渣处理后再次下入。管道内的污泥清理干净后方可继续作业。在后续浇筑之前,必须对导管长度和混凝土面的标高进行检查,确保导管的埋设深度契合相关设计规范。

(六) 清孔要求

防渗墙槽段施工完毕后,应进行全面检查,检查合格后方可进行清孔和换浆。清孔换浆可以采取置换法,即在槽段清孔完毕后1小时内,确保槽底沉渣厚度在100mm以内。在采用黏性泥浆的情况下,要求泥浆的密度不超过1.30g/,同时对含沙量作出有效管控。

三、水库大坝除险加固混凝土防渗墙施工观测与质量控制

(一) 观测仪器安装与埋设

在埋设混凝土防渗墙的应力和应变仪等观测设备之前,需要对防渗墙的状态和槽孔进行检测,注浆完毕后进行清孔,采取“重块竖直吊装”和“导架下放”两种埋设方式。“重块竖直吊装”即用4股特殊材质绳索,用来吊起一定重量的铁块或用钢筋加固的水泥块体,以便将其置于槽孔中,在下入的过程中,在绳索中间位置,需按照设计标高把应变仪或无应力仪固定,目标是对仪表位置进行调整。“导向下设法”是利用预先装配和焊接而成的浇筑框架,采用吊装的方式分段下入,各段节点需要进行稳固,按设计标高将仪表绑扎在浇筑架上的横撑上。在浇筑混凝土时,经由对常用仪表进行检查,并做好过程数据的记录。在浇筑混凝土之后,将仪表电缆用防水材料包裹起来,埋入预先设定的保护槽中。设备安装完毕后进行验收,并进行初次资料的收集。

(二) 质量检查与控制

在施工过程中,要对各种测试结果进行综合评估,对施工过程和墙体质量进行检验,以确保其与既定规程保持一致^[6]。在工程开始之前,应设计完善的品质保证系统,具体内容有:成立质量检验组织,配置质量检验人员,制订质量检验体系与实施办法等。在工程建设过

程中,由质量检验员负责对各主要施工过程的质量进行检测和控制。防渗墙成墙30天后,应对其结构进行质量检验。检测的内容主要是墙体平整度、墙体连接的稳固性、墙体质量缺陷等。采用钻孔采样和其他非破坏性测试手段完成相关质量检测。各分项工程的竣工验收资料必须完备。整合各槽孔的竣工档案、质量检测记录与工序验收凭证、坝体安全监测数据、防渗墙材料及浆液配比试验报告、墙体质量检测孔成果文件等技术文档。从工程实测数据和检测成果出发,对坝体混凝土防渗墙的施工质量作出多维的控制,使得墙体的各项物理、力学性能均达到设计规程。

结语

近年来,在库坝和坝基渗漏修复工程中,采用了大量的混凝土防渗墙施工工艺。常规库坝工程中,多采用“抓取法”与“钻抓法”结合的开挖成槽法,即将基坑分为2个槽段,每个槽段长度为6m。经由对导墙施工、成槽、泥浆配制、墙体混凝土施工工艺控制、特殊条件处理和清孔要求进行细致分析和总结,在隔离墙施工过程中的观测设备埋设、质量检测及控制等维度作出阐述。采用混凝土防渗墙对坝体进行补强,使其防渗性能得到显著强化。

参考文献

- [1]郭玉涛,李洪泉,陈志皓.复合土工膜-防渗墙联合防渗在导流围堰中的应用——以汉江雅口航运枢纽一期围堰为例[J].中国水能及电气化,2025,(02):65-70.
- [2]黄维,雷显阳,陆雪妮,等.沥青混凝土面板与土工膜防渗连接方式研究——以江苏句容抽水蓄能电站为例[J].人民长江,2024,55(11):67-73.
- [3]马伟峰.BIM技术在建筑施工组织设计中的应用——以南京市江宁区汽车综合性能检测站东善分站工程为例[J].房地产世界,2024,(04):146-148.
- [4]王本科.建筑地下结构渗漏原因与控制措施探讨——以西安高新创汇社区B区建安工程A标段项目为例[J].工程技术研究,2023,8(04):63-65.
- [5]沈利伟.既有大型复杂建筑主体结构安全性检测与鉴定技术——以嘉兴湘家荡绿地铂瑞酒店为例[J].建筑安全,2022,37(01):36-41.
- [6]赵卫,黄宁,梁幸.多标高涉水房间混凝土楼面防渗漏技术研究——以桥林街道中心城区保障房项目为例[J].绿色科技,2020,(08):165-166.