

水利水电工程混凝土防渗墙的施工技术分析

吴志平

浙江鸿翔水利建设有限公司 浙江 嘉兴 314400

【摘要】：混凝土防渗墙作为水利水电工程防渗治理核心结构，施工技术直接关联工程安全与耐久。本文聚焦槽段划分与成槽、防渗混凝土配合比及水下浇筑、墙段接缝与缺陷修复三项核心技术展开分析，构建检测方法、指标体系、数据优化、运行监测一体的质量控制与效果评价框架。规范工序管控与严格质量检测可有效提升防渗墙整体性与抗渗性，为同类工程施工提供技术参考。

【关键词】：水利水电工程；混凝土防渗墙；施工技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.083

引言

水利水电工程长期受地基与坝体渗漏困扰，严重威胁结构稳定和运行安全。混凝土防渗墙凭借防渗可靠、强度较高、耐久性好等优势，在土石坝、围堰等工程中广泛应用。其施工涉及成槽、泥浆护壁、水下浇筑、接头处理等多道工序，技术管控难度大。本文系统分析关键施工工艺与质量控制要点，旨在提升防渗墙施工质量，保障水利水电工程长效稳定运行。

1 工程概况

水利水电工程运行时，地基与坝体渗漏会威胁结构稳定、造成水资源损耗，松散透水地层、土石坝及围堰的渗漏治理，需高效防渗技术保障工程安全。混凝土防渗墙是水利水电工程核心防渗结构，核心工艺为泥浆护壁成槽、水下浇筑混凝土，在坝基防渗、围堰止水等场景应用广泛，施工质量直接决定工程防渗效果与耐久性能。工程实践中，防渗墙依据地质条件与工况分为桩柱式、槽板式、板桩灌注三类，槽板式常用5至9米标准槽段，适配多数水利水电工程地质条件。防渗墙设计需结合工程规模确定参数，常规墙厚0.6至0.8米，成槽深度25至40米，混凝土强度等级C20至C25，抗渗等级W6至W8。施工需应对软土塌孔、砂砾石层漏浆、卵砾石地层成槽困难等问题，依靠造孔、清槽、泥浆管控、混凝土浇筑、接头处理等工序闭环管控，把控槽孔精度、泥浆性能、浇筑连续性，实现防渗墙连续完整、抗渗达标，为水利水电工程构筑稳固防渗体系。

2 水利水电工程混凝土防渗墙施工关键技术

2.1 防渗墙槽段划分与成槽施工工艺

防渗墙槽段划分统筹工程地质条件、成槽设备能力及施工顺序，一期槽与二期槽划分兼顾施工效率与墙体整体性，软土地层槽段长度控制在6m以内，硬岩地层可放宽至8m，划分时避开断层破碎带、砂层

透镜体等薄弱地层，减少接头渗漏风险。成槽工艺按地层特性选用，松散土层与砂层优先采用液压抓斗成槽，卵砾石层与基岩地层采用冲击钻或铣槽机施工。见图1。

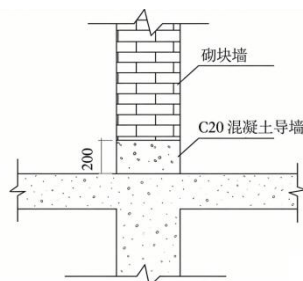


图1 混凝土防渗墙导墙构造示意图

成槽前完成泥浆制备，依据《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》SL174-2014，采用优质膨润土制备泥浆，比重1.05至1.20，黏度18至25s，失水量不超过30mL/30min，胶体率不低于96%，含砂量不大于4%，泥浆池设置沉淀池与循环池，通过多级沉淀去除砂粒与沉渣，避免泥浆性能下降影响护壁效果。成槽过程中持续补充泥浆，保持槽内泥浆面高于地下水位1.0至1.5m，防止地下水涌入引发槽壁坍塌。成槽工艺按地层特性选择，松散土层与砂层优先用液压抓斗成槽，卵砾石层与基岩地层采用冲击钻或铣槽机；冲击钻适用于粒径大于200mm的卵砾石层，通过冲击破碎地层形成槽孔，施工中控制冲击频率，避免过度冲击导致槽壁坍塌；铣槽机适用于硬岩地层，施工精度高，槽壁垂直度偏差可控制在0.2%以内，适配防渗要求较高的工程。

实际施工可根据地层组合采用钻孔劈裂法、二钻一抓法、抓取法组合施工，提升成槽效率与质量。抓斗成槽遵循“主孔先行、副孔跟进”顺序，每槽段分2至3个主孔与副孔依次施工，成槽时每5m用超声波测斜仪检测槽壁垂直度，控制偏差在0.4%以内，偏差超出限值需及时调整抓斗姿态或回填黏土重新成

槽,避免槽壁倾斜影响后续工序。成槽完成后采用换浆法清槽,以比重 1.05 至 1.10 的新鲜泥浆置换槽内沉渣与劣质泥浆,清槽后由专人检测槽底沉渣厚度,需不大于 10cm,槽底泥浆比重不超过 1.15,黏度不大于 28s,检测合格后方可进入下道工序,防止沉渣混入混凝土影响墙体强度与防渗性能。施工中做好槽壁稳定控制,遇砂层塌孔立即停止成槽,向槽内注入高比重泥浆,必要时回填黏土或水泥浆,待地层稳定后再施工;雨季施工搭建防雨棚,避免雨水稀释泥浆降低护壁性能,同时加强泥浆循环管理,定期检测指标,及时补充膨润土与外加剂,保障泥浆性能稳定。施工全过程安排专人记录成槽速度、泥浆消耗、地层变化等数据,实时反馈并动态调整施工参数,保障成槽作业连续稳定、高效推进。

2.2 防渗混凝土配合比设计与水下浇筑控制

防渗混凝土配合比设计需满足抗渗等级、和易性与强度要求,依据《水工混凝土施工规范》SL677-2014,抗渗等级不低于 W6,坍落度 18 至 22cm,扩展度 400 至 500mm,适配水下浇筑的连续性与均匀性。针对深槽、长距离浇筑工况,可适当优化胶凝材料用量,提升混凝土保坍性能。原材料选择严格把控,水泥采用 P.O42.5 普通硅酸盐水泥,掺加 20%至 30%Ⅰ级粉煤灰,改善和易性、降低水化热,减少温度裂缝风险;骨料选用连续级配碎石,粒径不大于 40mm、含泥量不大于 1%;砂采用中粗砂、含泥量不大于 3%;外加剂选用高效减水剂与引气剂,减水剂掺量 0.5%至 1.0%,引气剂 0.01%至 0.03%,混凝土含气量 3%至 5%,提升抗渗性能与耐久性。混凝土拌合严格控制时间,强制式搅拌机拌合时长不低于 90s,确保物料混合均匀。配合比试配结合现场砂石含水率调整施工配合比,检测坍落度、扩展度、凝结时间与抗渗性能,确保初凝不小于 6h、终凝不大于 12h,满足水下浇筑施工周期;试配合格后按现场施工条件微调,避免气温变化、运输距离等因素影响混凝土性能。夏季施工采用遮阳布覆盖运输罐车,冬季施工对骨料进行预热处理,维持混凝土入槽温度稳定。水下浇筑采用导管法,导管直径 200 至 250mm、间距不大于 3m,浇筑前做水密性试验,试验压力不小于 0.6MPa,防止导管漏水导致泥浆混入;导管底部距槽底 30 至 50cm,浇筑前注入隔水球,将导管内泥浆置换为混凝土;浇筑中控制导管埋深 1 至 6m,随混凝土面上升缓慢提升,提升时测量高程、计算埋深,确保处于控制范围;混凝土面上升速度不均时调整浇筑速度,避免埋深过大或过小,严禁拔漏导管引发夹泥缺陷;混凝土上升速度不小于

2m/h,浇筑连续作业、中断不超过 30min,防止冷缝影响墙体整体性。浇筑中每 100m³混凝土取样一组试块,检测强度与抗渗性能;浇筑至墙顶设计高程以上 0.5 至 1.0m,混凝土初凝后凿除顶部浮浆层,保证顶部质量;施工中做好常见问题处理,堵管时用钢筋捅捣或小幅提升导管再插入疏通,提升高度不超过 0.5m,避免泥浆混入;混凝土离析时调整配合比、适当增加减水剂掺量、控制浇筑速度,保障均匀性。浇筑完成后及时开展养护工作,采用洒水保湿养护,养护周期不少于 28 天,确保混凝土强度与抗渗性能稳步提升。

2.3 墙段接缝处理与施工缺陷修复技术

墙段接缝为防渗墙薄弱环节,需可靠处理工艺保障抗渗性能,不同地质与防渗要求匹配对应接头工艺,提升接缝适配性。一期槽浇筑完成后,采用接头管法施工时,应在浇筑后 2 至 4h 混凝土初凝前转动接头管,避免混凝土粘管,终凝前缓慢拔出形成光滑接头面;二期槽施工时,用钢丝刷或高压水凿毛接头面,清除浮渣与泥浆,露出新鲜混凝土面后浇筑二期混凝土,形成整体接缝。高精度要求工程采用铣接法,铣槽机直接铣削一期混凝土形成锯齿状接头,接缝面粗糙度不小于 5mm,提升抗渗性能与整体性。接缝施工完成后,通过超声波检测或注水试验检测质量,依据《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》SL174-2014,透水率需不大于 1Lu。施工中易出现蜂窝、孔洞、夹泥、裂缝等缺陷,按类型针对性修复:深度小于 0.5m 的蜂窝与孔洞,采用环氧树脂或水泥浆注浆修补,注浆压力 0.2 至 0.3MPa,养护 7d 后进行压水试验检测效果;深度大于 0.5m 的夹泥与孔洞,钻机钻孔后高压喷射注浆处理,钻孔间距 0.5 至 1.0m,注浆压力 10 至 20MPa,形成固结体封堵缺陷;接缝渗漏或墙体裂缝渗漏等渗漏缺陷,采用双液注浆处理,水灰比 0.8 至 1.0,水玻璃掺量 10%至 20%,注浆压力 0.3 至 0.5MPa,封堵渗漏通道,处理后压水试验确保透水率达标。缺陷修复后需重新开展超声波检测与压水试验,确认缺陷完全封堵、透水率满足设计要求方可进入下一道工序。缺陷预防贯穿施工全过程,施工单位落实工序旁站与交接验收制度,成槽后及时浇筑混凝土,缩短槽壁暴露时间防止坍塌夹泥;浇筑中严格控制导管埋深,避免导管提漏导致泥浆混入;接头施工时控制接头管拔出时间,防范接头渗漏;夏季施工做好混凝土降温,冬季采取保温措施,减少温度裂缝产生。施工完成后通过超声波检测与取芯检测全面排查墙体质量,及时处置缺陷以保障防渗墙整体性能,同时建

立施工质量台账,记录各工序施工参数与检测数据,为后续工程维护提供依据。

3 施工质量控制与应用效果评价

(1) 防渗墙施工质量检测方法 with 评价指标体系: 防渗墙施工质量检测覆盖全工序环节,采用现场实测与专项试验相结合的方式开展,形成完整检测与评价体系。槽孔成型质量检测以仪器测量为核心,采用高精度测量设备复核孔位偏差,确保控制在规范允许范围内;通过钻杆长度测算与测绳测量双重校验孔深,保障误差符合设计要求;借助超声波测斜仪全程监测槽孔垂直度,不同深度槽孔执行对应偏差控制标准,从源头保障墙体成型精度。泥浆质量检测实行定时检测制度,施工中定期检测密度、黏度等关键指标,每日核含砂量与失水量,结合振动筛、旋流器净化处理后的泥浆性能复测,判定是否满足护壁要求。混凝土质量检测以原材料检验与浇筑过程监测为主,留置标准试块开展强度与抗渗性能试验,浇筑全程监测混凝土面高度与导管埋深,保障水下浇筑连续性。墙体成型后采用超声波检测完整性,判断是否存在夹泥、孔洞等缺陷,辅以压水试验检测抗渗性能,以透水率作为核心评价指标。整套检测体系以施工规范为依据,将槽孔精度、泥浆性能、混凝土性能、墙体完整性、抗渗能力作为关键评价指标,实现施工质量全方位量化判定。

(2) 施工质量数据分析与技术优化要点: 通过对防渗墙施工全过程质量数据进行统计分析,可定位施工薄弱环节并制定针对性优化方案。槽孔施工数据显示,松散地层与卵砾石地层易出现垂直度偏差超标与槽壁坍塌问题,结合数据规律优化成槽工艺: 软土层优先采用抓取法施工,卵砾石层经冲击钻预处理后再抓槽成槽,同步调整钻进参数与泥浆比重,减少槽壁变形。泥浆性能数据反映渗漏地层易出现泥浆漏失与指标衰减问题,据此优化泥浆制备工艺,砂砾石地层中提高泥浆黏度并适量添加堵漏剂,强化泥浆循环净化效率,定期清理泥浆池与沉淀池,维持性能稳定。

参考文献:

- [1] 阮锦欢.水利水电工程混凝土防渗墙施工技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(24):4-6.
- [2] 李静波.水利工程施工的混凝土防渗墙施工技术分析[J].中国水泥,2024,(08):99-101.
- [3] 苏金海.水利水电工程中混凝土防渗墙施工技术的运用[J].治淮,2023,(07):66-67.
- [4] 马爱平.浅谈水利水电工程混凝土防渗墙施工技术与管理[J].四川水利,2023,44(03):89-91.
- [5] 郭广善.混凝土防渗墙施工技术在水利水电工程中的应用[J].中国新技术新产品,2021,(08):117-119.

混凝土浇筑数据体现导管埋深控制不当、浇筑中断易引发墙体缺陷,基于此优化浇筑管控流程,明确混凝土上升速度与导管提升频次,制定堵管、埋管等突发情况处置流程,缩短工序衔接时间。墙段接缝施工数据表明接头处理不到位是渗漏高发点,优化接头管起拔时间与二期槽接头清理工艺,采用专用工具彻底清除接头面浮渣,提升接缝结合质量。数据驱动的技术优化,可有效解决成槽精度不足、泥浆管控失效、浇筑连续性差等共性问题,提升整体施工质量水平。

(3) 工程运行监测与技术应用效益分析: 防渗墙完工后开展长期运行监测,监测内容涵盖坝基渗流量、墙体周边水位变化、墙体位移等指标,持续监测数据验证施工技术实际应用效果。监测数据显示,合格混凝土防渗墙显著降低坝基与围堰渗漏量,阻断透水地层渗流通道,构筑物渗透稳定性满足安全运行要求,墙体位移与沉降数据均在限值内,保障水利水电工程主体结构长期稳定。技术应用效益层面,成槽、浇筑、接缝等施工技术合理选用,缩短工期,适配水利工程汛期时间要求,减少后期渗漏处理与维护成本,提升工程经济效益。防渗墙耐久性能延长工程使用寿命,降低水资源浪费与周边环境破坏风险,兼具生态与社会效益。结合工程实践,桩柱式、槽板式等技术形式适配对应地质条件,满足防渗功能需求,兼顾施工可行性与经济性,印证混凝土防渗墙在水利水电工程防渗治理中的显著应用价值。成熟施工工艺与严格质量管控协同,实现防渗效果、结构安全与工程效益同步提升。

4 结语

水利水电工程混凝土防渗墙施工为系统性强、精度要求高的技术工作。槽段成槽、混凝土浇筑、接缝处理是决定防渗效果的核心环节,全过程质量检测与数据优化是保障工程达标落地的重要手段。实践证明,科学选用施工工艺、严格执行规范标准、完善监测评价体系,可有效解决渗漏问题,提升工程安全与经济效益,为水利水电工程建设提供可靠技术支撑。