

水利水电工程中混凝土防渗墙 施工技术的应用管理探讨

翟伟

(四川能投巴中燃气发电有限公司, 四川 巴中 636700)

摘要 混凝土防渗墙作为水利水电工程挡水、防渗的核心结构, 其施工质量直接决定了工程运行安全与寿命。本文结合《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》(SL 174-2014), 系统梳理混凝土防渗墙施工全流程的核心技术要点, 从质量、进度、安全、成本四个维度构建应用管理体系, 并以某水库除险加固工程为实证案例, 通过数据分析验证管理成效。结果显示: 采用技术参数精准控制+全流程管理闭环模式后, 墙体垂直度偏差从规范允许的 $\leq 0.3\%$ 降至 0.15% , 混凝土浇筑合格率从 82% 提升至 98.5% , 渗漏量从 $35\text{ m}^3/\text{d}$ 降至 $2\text{ m}^3/\text{d}$ 以下, 工期较计划缩短 7 天, 成本节约 6.2% 。研究表明, 技术与管理的深度融合可显著提升混凝土防渗墙施工质量与效率, 为水利水电工程防渗体系建设提供实践参考。

关键词 水利水电工程; 混凝土防渗墙; 质量管理; 进度管理; 安全管理

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.34.033

0 引言

水利水电工程作为水资源调控、能源供应的关键基础设施, 防渗性能是保障工程安全运行的核心指标。混凝土防渗墙因防渗效果好、适应地层广、耐久性强等优势, 被广泛应用于坝堤加固、水库扩容、水电站厂房基础防渗等场景。据《2024 年中国水利工程建设报告》数据, 我国近年新建水利工程中, 混凝土防渗墙的应用占比达 68% , 在深厚覆盖层地层中的防渗贡献率超 90% ^[1]。然而, 混凝土防渗墙施工受地质条件复杂、施工工艺特殊、环境因素影响大等因素制约, 易出现成槽垂直度超标、墙体蜂窝麻面、接缝渗漏等质量问题^[2]。某省水利工程质量抽检数据显示, 2023 年混凝土防渗墙施工中, 成槽偏差超标率达 18% , 接缝渗漏投诉占比 32% , 工期延误率超 20% 。传统重技术实施、轻过程管理的模式已无法适配复杂水利工程需求, 亟需构建技术参数可控、管理流程闭环的应用管理体系^[3]。基于此, 本文以混凝土防渗墙施工技术为核心, 结合规范要求与工程实践, 明确各工序技术要点, 建立全维度管理策略, 并通过具体案例的数据分析验证成效, 为水利水电工程混凝土防渗墙施工提供技术+管理双重保障方案。

1 混凝土防渗墙施工核心技术要点

混凝土防渗墙施工需遵循地层适配、参数精准、工序衔接原则, 核心技术覆盖前期准备—成槽施工—

墙体浇筑—接缝处理四大环节, 各环节技术参数控制直接影响防渗效果。

1.1 前期准备阶段

地质勘察与方案设计, 需通过钻探、物探明确施工区域地层分布、地下水位、透水率等参数, 为成槽工艺选择提供依据。例如: 黏土层优先选用抓斗式成槽机, 砂卵石层需采用冲击式+液压铣槽联合工艺; 同时, 根据防渗要求设计墙体参数, 常见设计指标为: 厚度 $0.6\sim 1.2\text{ m}$, 深度 $15\sim 50\text{ m}$, 视覆盖层厚度而定, 混凝土设计强度 $C20\sim C30$, 抗渗等级 $W6\sim W8$, 《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》(SL 174-2014) 规范要求^[4]。原材料技术控制, 混凝土采用商品混凝土, 配合比需满足高抗渗、低收缩、易泵送要求, 水胶比 ≤ 0.55 , 坍落度 $180\sim 220\text{ mm}$, 砂率 $35\%\sim 45\%$, 掺加引气剂含气量 $3\%\sim 5\%$ 提升抗冻性; 泥浆成槽护壁用泥浆需控制黏度 $18\sim 25\text{ s}$ (马氏漏斗法)、密度 $1.05\sim 1.15\text{ g/cm}^3$ 、含砂量 $\leq 4\%$, 砂卵石地层需适当提高密度至 $1.15\sim 1.20\text{ g/cm}^3$, 防止塌槽; 接缝材料采用橡胶止水带, 拉伸强度 $\geq 15\text{ MPa}$ 或水泥基渗透结晶型防水涂料, 抗渗压力 $\geq 1.5\text{ MPa}$ 。

1.2 成槽施工阶段

成槽是防渗墙施工的关键工序, 需重点控制垂直度、槽段尺寸与护壁稳定性, 常见工艺及技术要点如表 1 所示。

表1 常见工艺及技术要点

成槽工艺	适用地层	技术参数控制	效率指标
抓斗式	黏土层、粉质黏土	垂直度偏差 $\leq 0.3\%$ ，槽段长度6~8 m	成槽效率8~12 m/d
冲击式	砂层、卵石层	冲程1.5~3.0 m，垂直度偏差 $\leq 0.5\%$	成槽效率3~5 m/d
液压铣槽式	复杂地层（岩溶、大卵石）	铣轮转速8~15 r/min，垂直度偏差 $\leq 0.15\%$	成槽效率10~15 m/d

施工中需通过实时监测+动态调整保障精度：采用超声波测壁仪每3~5 m检测一次垂直度，发现偏差超限时，通过调整抓斗倾斜角度或冲击锤落点校正；砂卵石地层施工时，每槽段设置2~3个泥浆循环孔，及时清除槽底沉渣，沉渣厚度 ≤ 10 cm，否则影响混凝土与基岩结合。

1.3 墙体浇筑阶段

墙体采用水下导管法浇筑，核心技术要点为连续浇筑、均匀上升：（1）导管布设：导管直径200~300 mm，间距 ≤ 3.5 m，距槽段端部 ≤ 1.5 m，导管底口距槽底20~30 cm；浇筑前需做导管水密性试验，压力0.6~1.0 MPa，保持15 min无渗漏；（2）浇筑控制：首批混凝土浇筑量需满足导管埋深 ≥ 1.0 m，后续浇筑过程中导管埋深控制在2~6 m，严禁拔空导管；混凝土上升速度 ≥ 2 m/h，相邻导管混凝土面高差 ≤ 0.5 m，防止冷缝；（3）质量检测：浇筑完成后7天，采用取芯法检测混凝土强度，芯样抗压强度 \geq 设计值的90%，28天采用超声波检测墙体完整性，声波速度 ≥ 3.5 km/s，无明显缺陷。

1.4 接缝处理阶段

接缝是防渗墙的薄弱环节，需采用物理止水+材料密封双重措施：刚性接缝采用接头管法，浇筑后插入直径比槽段厚度小50 mm的钢接头管，浇筑后按2~4 m/h速度拔管，形成企口缝；后续槽段浇筑前，用钢丝刷清除接缝面浮浆，涂刷水泥净浆（水灰比0.4~0.5）；柔性接缝在槽段间设置橡胶止水带，止水带需固定牢固（偏差 ≤ 5 mm），浇筑时避免混凝土冲击导致移位；岩溶地层接缝需额外填充微膨胀混凝土，膨胀率0.02%~0.05%，防止裂隙渗漏。

2 混凝土防渗墙施工应用管理体系构建

基于技术要点，从质量、进度、安全、成本四个维度建立管理体系，形成全流程闭环管控。

2.1 质量管理，构建三级管控机制

（1）事前控制：编制《防渗墙专项施工方案》，经监理、设计单位审批后实施；对施工人员开展技术交底，重点培训成槽垂直度控制、导管浇筑流程，特殊工种）需持证上岗。（2）事中控制：实行班组自检、项

目部复检、监理抽检三级检测。原材料：每批次混凝土取3组试块，28天强度检测，泥浆性能每2小时检测1次；过程参数：成槽垂直度每槽段检测3次，浇筑时每30分钟记录一次混凝土面高程、导管理深；隐蔽工程：槽底沉渣、接缝处理需经监理验收合格后，方可进入下一道工序。（3）事后控制：完工后采用无损检测+现场试验评估质量：超声波检测墙体完整性，检测比例100%，钻孔压水试验检测防渗性能，透水率 ≤ 1.0 Lu，规范要求 ≤ 5 Lu。

2.2 进度管理，优化工序衔接

关键路径规划：以成槽—浇筑为关键线路，制定工期计划。以某水库防渗墙（长度1200 m，厚度0.8 m）为例，总工期60天，其中成槽35天，分150个槽段、浇筑15天、接缝处理10天；资源调度：根据地层变化动态调整设备，黏土层施工配置2台抓斗式成槽机，砂卵石地层增加1台冲击式成槽机；混凝土供应采用2~3辆罐车循环运输，确保浇筑连续，中断时间 ≤ 30 min，否则需按施工缝处理；应急措施：汛期施工需提前储备沙袋、抽水泵等防汛物资，遇暴雨时暂停成槽，加强泥浆循环，防止雨水入槽稀释泥浆；设备故障时，备用铣槽机需在4小时内到场替换^[5]。

2.3 安全与成本管理，保障施工效率

安全管理，重点防范塌槽、触电、机械伤害：成槽区域设置1.2 m高防护栏，夜间挂警示灯；用电设备采用三级配电、两级保护，泥浆池周边设置防滑坡；定期检查铣槽机钢丝绳磨损情况，磨损量超10%立即更换；通过工艺优化+损耗控制降本，采用液压铣槽式替代冲击+抓斗联合工艺，在复杂地层可降低机械租赁费30%；泥浆循环利用，经除砂器处理后重复使用，减少新浆用量40%；混凝土浇筑时控制坍落度波动范围（ ± 20 mm），避免因坍落度过大导致浪费，损耗率从8%降至3%^[6]。

3 实证案例——以某水库除险加固工程防渗墙施工为例

3.1 项目概况

某省东风水库为中型水利工程，总库容1.2亿 m^3 ，因运行30年出现坝基渗漏（渗漏量35 m^3/d ），需新

建混凝土防渗墙加固：（1）防渗墙设计参数：长度 1 200 m，厚度 0.8 m，深度 35 m，穿透 25 m 覆盖层至基岩，混凝土强度 C25，抗渗等级 W8。（2）地层条件：0~10 m 为黏土层，10~25 m 为砂卵石层，含粒径 50~200 mm 卵石，25 m 以下为中风化砂岩。

施工难点为砂卵石层成槽易塌槽，基岩面起伏大，高差 2~3 m，需保障墙体与基岩结合度^[7]。

3.2 技术与管理应用

技术方案：采用抓斗式（黏土层）+ 液压铣槽式（砂卵石层）联合成槽，泥浆密度 1.15~1.20 g/cm³，接缝采用接头管+水泥基渗透结晶涂料。

管理措施：（1）质量：监理全程旁站成槽与浇筑，采用超声波测壁仪实时监控垂直度，沉渣厚度用测绳检测，每槽段验收。（2）进度：划分 20 个施工段，每

段 60 m，配置 2 台液压铣槽机、4 辆混凝土罐车，实行两班倒连续施工。（3）成本：泥浆循环利用，经除砂器处理后重复使用 3 次，混凝土损耗控制在 3% 以内。

3.3 数据分析与成效

通过技术与管理的协同应用，项目施工成效显著，施工关键指标对比见表 2。

项目完工后，经钻孔压水试验检测，墙体透水率均≤0.5 Lu，远低于规范要求的≤5 Lu，渗流量稳定在 2 m³/d 以下，达到设计防渗目标，获评省级水利工程优质奖。

4 讨论与展望

当前混凝土防渗墙施工管理仍面临三大挑战：一是复杂地层成槽技术成熟度不足，部分项目仍存在塌槽风险，发生率约 8%；二是智能化监测技术应用率低，

表 2 施工关键指标对比表

指标	规范要求	实施前（行业均值）	本项目实施值	提升幅度
成槽垂直度偏差	≤ 0.3%	0.45%	0.15%	66.7%
混凝土浇筑合格率	≥ 85%	82%	98.5%	20.1%
接缝渗漏率	≤ 5%	12%	1.2%	89.2%
施工工期	计划 60 天	延期至 70 天	53 天	提前 11.7%
单位成本	—	850 元/m ³	800 元/m ³	节约 5.9%

仅 25% 的项目采用实时垂直度监测系统，人工检测效率低且误差大；三是绿色施工水平待提升，传统泥浆废弃率达 30%，易造成环境污染。

未来发展方向可聚焦三方面：（1）技术创新：研发智能铣槽机，集成 AI 垂直度校正系统，偏差控制≤0.1%；自修复混凝土，掺入微生物菌剂，裂缝宽度≤0.5 mm 时可自主修复。（2）管理升级：推广 BIM 技术全流程应用，实现地质勘察—成槽—浇筑的可视化；建立水利工程防渗墙质量数据库，共享优质项目的技术参数与管理经验。（3）绿色转型：采用泥浆干化处理技术，废弃泥浆减量化率≥80%；太阳能供电的现场监测设备，降低施工对环境的影响。

5 结束语

混凝土防渗墙作为水利水电工程的防渗屏障，其施工质量与管理水平直接关系到工程安全与效益。本文通过梳理核心技术要点、构建全维度管理体系，并结合某水库案例验证，表明技术参数精准控制+全流程管理闭环是提升施工质量、效率与经济性的关键路径。未来，水利水电工程建设需进一步推动技术创新与管理优化的深度融合，针对复杂地层施工难题研发

适配技术，推广智能化监测与绿色施工理念，使混凝土防渗墙在水资源安全、防洪减灾等领域发挥更大作用，助力水利工程高质量发展。

参考文献：

- [1] 苑平. 水利水电工程中混凝土防渗墙施工技术的应用[J]. 数字化用户, 2024(48):87-88.
- [2] 谢进学. 水利水电工程中混凝土防渗墙施工技术的应用探讨[J]. 水利电力技术与应用, 2024,06(06):22-24.
- [3] 潘德雄, 厉旭龙. 水利水电工程中超深塑性混凝土防渗墙施工技术研究[J]. 建筑技术开发, 2024,51(08):36-39.
- [4] 钟健. 水利水电工程中混凝土防渗墙施工技术的应用管理探讨[J]. 地产, 2023(22):211-213.
- [5] 夏玉磊. 水利水电工程建设中混凝土防渗墙施工技术的应用分析[J]. 数字化用户, 2024(46):115-116.
- [6] 闫大杰. 水利水电建筑中塑性混凝土防渗墙施工技术研究[J]. 北方建筑, 2024,09(05):74-78.
- [7] 邓子谦, 郑涛, 董爽, 等. 超深混凝土防渗墙施工工效研究[J]. 建筑经济, 2024,45(Z1):573-576.