

# 塑性混凝土防渗墙槽段长度对墙体接缝质量的优化研究

龙永钊

(湖南庆为工程管理咨询有限公司, 湖南 湘西 416000)

**摘要** 松柏水库除险加固工程以塑性混凝土防渗墙作为坝体防渗的核心措施, 其中槽段长度是影响墙体接缝质量的关键因素。本文以该工程为研究对象, 探究了5.4 m与6.6 m两种槽段长度方案对接缝数量、施工工艺及浇筑连续性的影响, 同时阐述了接头管法、预埋灌浆管加固及浇筑过程控制等接缝质量控制措施。检测结果显示, 接缝部位渗透系数处于 $1.2 \times 10^{-7} \sim 4.8 \times 10^{-7}$  cm/s范围, 抗压强度达5.8~7.2 MPa, 弹性模量为920~1 280 MPa, 各项指标均符合设计标准。该槽段长度方案在减少接头数量、保障施工精度、控制浇筑质量方面成效显著, 具备推广应用的实用价值。

**关键词** 塑性混凝土防渗墙; 槽段长度; 接缝质量; 松柏水库; 接缝质量控制

中图分类号: TU765

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.14.042

## 0 引言

塑性混凝土防渗墙凭借低弹模、高抗渗的技术优势, 成为土石坝除险加固的核心防渗工艺。槽段接头作为墙体天然薄弱部位, 其质量直接决定防渗体系运行效果。槽段长度作为防渗墙设计核心参数, 不仅决定接缝数量, 还影响施工工艺选型、接头处理难度及混凝土浇筑密实度, 如何在减少接缝数量与保障接缝质量间实现平衡, 是防渗墙设计的关键问题。本文以松柏水库除险加固工程为依托, 针对5.4 m/6.6 m槽段长度方案展开研究, 分析其对接缝质量的作用机制, 总结工程实用的质量控制措施, 为同类土石坝防渗墙工程提供技术借鉴。

## 1 工程概况

### 1.1 松柏水库除险加固工程简介

松柏水库大坝为均质土坝, 坝体总长度900 m, 经安全鉴定存在坝体渗漏问题, 需实施除险加固。工程针对主坝、副坝二坝体及坝基、坝肩开展系统性防渗处理, 采用“塑性混凝土防渗墙+坝基帷幕灌浆”联合方案构建垂直防渗体系, 同时配套完成上游护坡修缮、下游坝坡整形、坝顶路面硬化、防浪墙重建及安全监测、水雨情测报系统完善等工程内容。

### 1.2 坝体防渗体系设计

防渗体系主要由上部塑性混凝土防渗墙与下部坝基帷幕灌浆共同构成。防渗墙底部高程需满足穿过破

碎带后深入基岩0.5 m的要求, 并与坝基帷幕灌浆直接搭接, 以确保两道防渗措施形成整体。防渗墙的轴线总长度为725 m, 其中主坝段长489.5 m, 副坝二段长235.5 m。成槽施工主要采用CZ-22型钢绳冲击钻配合液压抓斗进行; 其中, 土层段采用液压抓斗成槽, 入岩部位则采用冲击钻钻进<sup>[1]</sup>。墙体材料采用塑性混凝土, 具有低弹性模量、高抗渗性等特性。

### 1.3 防渗墙设计与槽段划分方案

防渗墙设计厚度0.6 m, 最大墙高30.7 m, 平均墙高17.03 m, 成墙总面积12 345.04 m<sup>2</sup>。槽段采用I、II序间隔施作, 先施工I序槽孔再施工II序槽孔, 为兼顾接头数量减少与孔壁施工安全, 确定中间区域I序槽段5.4 m、II序槽段6.6 m, 两端较浅部位槽段适当加长, 全坝共划分61个槽孔, 接头连接采用“接头管法”施工。塑性混凝土设计指标为: 28天抗压强度 $\geq 5$  MPa, 弹性模量800~1 500 MPa, 抗渗等级W10, 渗透系数 $\leq 5 \times 10^{-7}$  cm/s。

## 2 槽段长度对接缝质量的影响分析

### 2.1 槽段长度对接缝数量的影响

槽段接头是防渗墙渗漏的主要潜在通道, 其数量与槽段长度呈负相关。松柏水库防渗墙轴线725 m, 若采用常规4 m槽段, 需划分181个槽孔、形成180条接头缝; 采用5.4 m/6.6 m组合方案, 仅划分61个槽孔、60条接头缝, 接头数量减少约67%, 既降低了渗漏隐

作者简介: 龙永钊(1988-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利土建工程施工、工程监理。

患,又减少了接头管吊装、清淤、套打钻孔等重复工序。但槽段长度并非越长越好,过长会延长单槽成槽时间,增加槽壁裸露时长,易引发塌孔、缩径问题,降低接头部位成槽精度。因此,槽段长度需在减少接头与保证成槽质量间权衡,本工程 5.4 m/6.6 m 方案综合匹配了工程地层条件与施工设备能力<sup>[2]</sup>。

## 2.2 施工工艺对接缝形成的影响

I、II 序槽段的施工次序直接影响接缝几何形态与结合质量,本工程采用“先 I 序后 II 序”交错作业,在 I 序槽混凝土浇筑完成 24 ~ 36 小时内,对端头孔进行套打处理。“套打一孔法”通过冲击钻精准钻凿 I 序槽端头混凝土,形成半月牙状接触面,其平整度、清理效果与槽段长度密切相关。槽段长度增加会提升钻机定位偏差的累积风险,易导致套打孔位偏离设计位置,若超出规范要求的 3 cm 孔位偏差、0.4% 孔斜率标准,会使接头形成“错台”“锯齿”状接触面,产生渗流通道。同时,槽段过长易造成接头清理不彻底,残留泥皮、沉渣会形成夹泥层,阻碍新老混凝土接合。本工程 5.4 m/6.6 m 槽段长度,可确保套打作业精度,与钻机操作控制能力高度适配<sup>[3]</sup>。

## 2.3 槽段长度对混凝土浇筑连续性的影响

混凝土浇筑的连续性直接关系到接头部位的密实度。本工程防渗墙混凝土浇筑采用泥浆下直升导管法,依据《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》并结合现场拌和站产能,确定导管埋深控制区间为 2.0 ~ 6.0 m,同时要求混凝土面平均上升速度不低于 2 m/h,避免因浇筑过慢形成冷缝。当槽段长度增加时,单槽浇筑方量会相应增加,浇筑时长也随之延长。以松柏水库中部槽段为例, I 序槽长 5.4 m、墙厚 0.6 m,平均墙高 17.03 m,单槽浇筑量约 55 m<sup>3</sup>;若槽段延长至 8 m,单槽方量将超出 80 m<sup>3</sup>。在拌和设备产能固定的情况下,浇筑时间延长会导致导管拆卸、混凝土运输等环节的衔接难度上升。若混凝土供应中断或导管提升滞后,混凝土面上升速度低于 2 m/h 时,前期入仓的混凝土就可能初凝,与后续浇筑的混凝土间形成冷缝。冷缝处粘结强度较低、渗透性较强,成为接缝质量的另一隐患。

## 3 接缝质量控制措施

### 3.1 槽段接头处理措施

松柏水库防渗墙 I、II 序槽段连接采用“接头管法+套打”的组合工艺。I 序槽浇筑前,于槽段端头吊放接头管,管底插入槽底 30 ~ 50 cm 以确保密贴,管上口与导墙接口处用木楔楔实。I 序槽混凝土浇筑

结束 24 ~ 36 小时内,开始起拔接头管,形成圆弧形接触面。II 序槽成槽时,采用“套打一孔法”处理接头:以冲击钻在原 I 序槽端头孔位就位,钻凿混凝土至设计深度,将接头处部分混凝土凿除以形成半月牙形接触面。按资料要求,套打完成后用外形与槽段端头相吻合的接头刷,紧贴混凝土凹面上下反复刷动 5 ~ 10 次,直至刷面无积泥为止。

### 3.2 预埋灌浆管加固措施

为提升防渗墙与坝基帷幕灌浆的搭接质量,并对施工缝部位进行二次加固,松柏水库在防渗墙中心轴线上预埋 DN150 钢管作为后续帷幕灌浆的通道。预埋管采用  $\phi 159 \times 5$  mm 规格,沿防渗墙中心轴线布置,间距 2.0 m,其平面位置允许偏差不超过 +5 cm。预埋管采用“三管埋设法”:以 3 mm 厚  $\phi 150$  钢管焊接成纵向支撑骨架,通过  $\angle 50$  mm  $\times$  5 mm 角钢构成横向固定架,钢管与角钢通过 4 根  $\phi 12$  钢筋焊接形成整体桁架结构,桁架高度按槽孔深度分段预制。桁架采用吊车整体吊装下放,遇阻力时严禁强压下放,以防桁架变形导致管体错位。桁架吊装到位后,将预埋管在槽口处与导墙固定,管间采用丝扣连接,管底口缠绕过滤网以避免混凝土进入管腔。防渗墙混凝土浇筑完成后,通过预埋管实施坝基帷幕灌浆,浆液在压力作用下填充墙体底部与基岩接触带及接缝处的微小空隙,从而形成二次加固。

### 3.3 混凝土浇筑过程控制措施

松柏水库针对接缝处混凝土浇筑过程,制定了严谨的控制参数体系。导管选用直径 250 mm 的圆形螺旋式快速接头型,结合槽段长度,每个槽孔设置不少于 2 套导管,导管间距不超过 4.0 m,导管中心至槽端的距离不大于 1.5 m。开浇前,导管底口与槽底的距离控制在 15 ~ 25 cm;在浇筑过程中,导管埋入混凝土的深度需维持在 2 ~ 6 m 区间,混凝土面上升速率不低于 2 m/h。在资料管理方面,要求每隔至少 30 分钟测量一次槽孔内混凝土面深度,同步填绘浇筑指示图并核对浇筑方量。混凝土入槽坍落度严格控制在 18 ~ 22 cm,扩散度为 34 ~ 40 cm,初凝时间不短于 6 小时<sup>[4]</sup>。槽孔口需设置盖板,防止混凝土从导管外侧散落至槽孔内部。结合松柏水库防渗墙施工批次划分,本工程规定每浇筑 100 m<sup>3</sup> 塑性混凝土制作 1 组抗压试块,每 5 个槽段制作 1 组抗渗试件(每组 6 件),所有试块均在现场标准养护室养护 28 天后,送湖南省水务规划设计院有限公司检测。通过上述参数的严格把控,确保了混凝土在接缝处的均匀性与流动性,有效避免了因流动性不足造成的接头处填充不密实问题。

## 4 槽段长度优化效果分析

### 4.1 不同槽段长度方案实施与检测指标

松柏水库防渗墙施工严格依照设计划分的61个槽孔组织施工,中部区段采用I序5.4 m、II序6.6 m的标准槽段,端部较浅区域结合现场实际适当延长。成墙总面积达12 345.04 m<sup>2</sup>,最大墙高30.7 m,平均墙高17.03 m。墙体浇筑完成28天后,依规范要求开展质量检验,检验方法涵盖钻孔取芯、注水试验及芯样力学性能检测。检查孔布设遵循每15~20个槽孔设置一处的原则,位置选定于接缝部位及地质条件复杂区段,全坝累计设置检查孔4个。检测指标均严格依据设计标准执行:渗透系数 $\leq 5 \times 10^{-7}$  cm/s,28天抗压强度 $\geq 5$  MPa,弹性模量800~1 500 MPa,成墙厚度 $\geq 0.6$  m,容重 $\geq 2.1$  t/m<sup>3</sup>,抗渗等级W10。接缝部位注水试验严格遵循《水利水电工程注水试验技术规程》(SL 345-2020)要求,采用单点法开展检测,压水压力设定为灌浆压力的80%且上限控制在0.3 MPa,检测过程中每5分钟记录一次压入流量,连续观测20分钟后取末次流量值作为透水率计算依据。

### 4.2 接缝质量检测结果与设计指标对比

根据各检查孔的检测结果,防渗墙接缝部位的各项检测指标均符合设计标准。注水试验数据显示,接缝区域的渗透系数介于 $1.2 \times 10^{-7} \sim 4.8 \times 10^{-7}$  cm/s之间,全部低于 $5 \times 10^{-7}$  cm/s的设计阈值;其中中间5.4 m/6.6 m标准槽段的接缝渗透系数平均值为 $2.3 \times 10^{-7}$  cm/s,低于两端加长槽段的 $3.6 \times 10^{-7}$  cm/s。钻孔取芯检查显示,I、II序槽接头处混凝土胶结状况良好,接头面清晰呈现半月形接触痕迹,未见明显夹泥层、冷缝及疏松区域。芯样完整性良好,长度多处于0.8~1.2 m之间,无明显破碎带。抗压强度检测值在5.8~7.2 MPa之间,均高于5 MPa的设计要求;弹性模量检测值在920~1 280 MPa范围内,处于设计要求的800~1 500 MPa区间内,表明墙体具备良好的变形适应性,可与坝体实现协调变形。成墙厚度采用钻孔测厚仪结合芯样测量,实际厚度在0.61~0.64 m之间,最小厚度不低于0.6 m;容重检测值在2.13~2.18 t/m<sup>3</sup>之间,符合不小于2.1 t/m<sup>3</sup>的规定。抗渗等级经专项检测达到W10标准。综合检测数据显示,不同槽段位置的接缝质量虽存在细微差别,但均在设计允许范围内。

### 4.3 槽段长度优化对接缝质量的提升效果

松柏水库选用的5.4 m/6.6 m槽段划分方案,在实际施工中取得了显著优化成效。首先,在接头数量管控方面,725 m轴线长度仅形成60道接缝,若采用

常规4 m槽段方案则会形成约180道接缝,接头数量减少67%,从源头降低了渗漏隐患点。其次,就施工精度保障层面而言,5.4 m与6.6 m的槽段长度和CZ-22型冲击钻及液压抓斗的成槽能力相适配,实测孔斜率控制在0.3%~0.4%区间内,优于规范要求的0.4%,确保了套打接头的定位精度,有效避免了因槽段过长引发的偏差累积问题。再次,在浇筑质量管控方面,单槽混凝土方量控制在50~60 m<sup>3</sup>范围内,结合强制式搅拌机生产能力(约25 m<sup>3</sup>/h)及运输条件,混凝土可按2 m/h以上的速度均匀上升,导管埋深始终维持在2~6 m范围内,未出现冷缝或浇筑中断问题<sup>[5]</sup>。最后,从检测结果分析,接缝部位的渗透系数、抗压强度、弹性模量等核心指标均达到标准,且具备一定冗余度,印证了该槽段长度方案在保障接缝质量的同时,兼顾了施工效率。松柏水库的工程实践显示,在同类土石坝防渗墙工程中,综合考量地层条件、设备能力及工期要求,选用5~7 m的槽段长度组合,能够在减少接头数量与控制施工质量之间实现良好平衡,具备推广应用价值。

## 5 结束语

松柏水库防渗墙工程的实践结果显示,5.4 m/6.6 m的槽段长度方案在保障接缝质量方面展现出显著优势。该方案将725 m轴线的接头数量控制于60条以内,相较常规4 m槽段减少67%,从根本上降低了渗漏风险。在施工过程中,通过接头管工艺、套打技术、预埋灌浆管加固及浇筑过程的严格把控,有效保障了接缝部位的密实性与整体性。检测数据表明,接缝处的渗透系数、抗压强度、弹性模量等核心指标均达到设计标准,同时存在一定富余量。本研究成果可为同类土石坝防渗墙工程的槽段长度优化提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 陈志阔.塑性混凝土防渗墙施工处理技术应用[J].绿色建筑,2022,14(04):97-101.
- [2] 陈建国,黄凯,梁巍耀,等.防渗墙塑性混凝土力学性能-波速拟合曲线研究[J].新型建筑材料,2024,51(07):108-112.
- [3] 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.
- [4] 刘翠.水利工程塑性混凝土防渗墙施工裂缝防治技术[J].地下水,2023,45(03):275-277.
- [5] 彭丽英.水利工程塑性混凝土防渗墙施工技术及其质量控制探讨[J].低碳世界,2022,12(03):44-46.