塑性混凝土防渗墙在小型水库除险加固中的应用研究

郑丽存

（广东省惠州仲恺高新技术产业开发区农林水综合服务中心，广东 惠州 516003）

摘 要 本文以小型水库除险加固中坝体及坝肩渗漏治理为研究对象，结合石鼓水库长期运行、多次加固后仍存在高水位绕坝渗水，围堰填筑土料渗透系数偏大，左坝肩强风化岩体裂隙发育等实际工程问题。采用资料梳理、渗漏成因剖析、工程地质条件评价、施工全过程复盘总结等方法，系统分析塑性混凝土防渗墙在该类场景下的应用原则。结果表明，塑性混凝土防渗墙的工程应用需紧扣病险水库的渗漏特征，重点构建封闭式防渗止水体系，将渗漏精准探查、防渗墙轴线科学布设、塑性混凝土配合比优化及成墙全过程质量管控作为核心关键环节，全面提升小型水库防渗加固工程质量，保障水库长期安全稳定运行。

关键词 塑性混凝土防渗墙；小型水库；除险加固；渗漏治理

中图分类号：TV543.8；TV698.23 **文献标志码**：A DOI：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.020

0 引言

小型水库多建于早期水利建设阶段，受施工条件、填筑质量、地质差异和运行维护水平影响，进入长期服役期后易出现坝体渗漏、坝基渗漏或者坝肩绕渗等问题。石鼓水库为小（1）型水利工程，承担灌溉、供水、防洪等功能，安全鉴定中渗流安全评价级别为C级，综合评定为三类坝，除险加固任务已由简单修补升级为综合治理。现有研究对塑性混凝土防渗墙的材料性能、钻探工艺及防渗效果已有较多讨论，但对小型水库复杂渗流通道识别，防渗墙位置确定、选材参数适配以及成墙质量管控之间的关联分析仍不充分。基于工程实践展开研究，有助于明确塑性混凝土防渗墙在小型水库除险加固中的适用范围、主要问题及控制要点，为同类工程防渗体系构建提供参考。

1 塑性混凝土防渗墙应用原则

1.1 契合水库病险特征

塑性混凝土防渗墙应用应以水库病险特征为基础，避免单纯套用一般防渗处理模式[1]。小型水库运行时间较长，坝体填筑质量、坝基透水带、坝肩岩石裂隙及既有加固遗留问题差异较大，防渗墙设计需围绕重要渗漏通道及薄弱部位展开。石鼓水库坝体填料呈中等透水性，左坝肩条形山体存在破碎强风化基岩，水位条件下仍有绕坝渗水现象，说明坝体防渗不仅限于中线，还应关注坝基与坝肩的水工连通，塑性混凝土防渗墙施工过程中，应结合安全性评价结果、勘探资料、过程观测成果及历史加固资料，明确渗透类型、规模和发展趋向，避免墙体深度、厚度、轴线位置等隐患。

1.2 统筹防渗加固需求

防渗加固需求具有系统性，塑性混凝土防渗墙布设应纳入坝体、坝基、坝肩及排水设施共同构成的防渗安全格局。石鼓水库除险加固方案中，大坝上游护坡维修、防浪墙加高处理、下游排水改善、排水棱体清理及量水堰重建均与防渗治理相关。坝体采用塑性混凝土防渗墙、坝基及左坝肩条状山体采用帷幕灌浆，体现出垂直截渗、基础处治和渗流监测相结合的综合性加固措施。小型水库防渗处理既要减除坝体的渗透危害，还要兼顾坝肩环渗、坝基渗流和下游排导通畅。

1.3 贯穿施工质量控制

施工质量控制决定塑性混凝土防渗墙的连续性、完整性和耐久性，贯穿测量放样、槽壁开挖、拌制、浇筑、接头施工以及检测验收各环节。小型水库除险加固多在既有坝体上实施，其作业面受坝顶宽、库内水位、排水系统及既有构造物限制，任何环节失控都会导致墙体夹泥、裂隙、压缩或接缝渗漏。石鼓水库除险加固施工应按照枯期时段、施工期过流控制及坝体防渗处理要求组织实施。质量管理应前移至事前准备阶段

作者简介：郑丽存（1993-），女，本科，助理工程师，研究方向：水利技术管理。

和过程监控位置，塑性混凝土防渗墙施工中，需重点关注沟槽倾角、混凝土性能、浇筑连续性、底部入土深度及墙段搭接质量，确保防渗墙真正发挥截渗加固作用。

2 塑性混凝土防渗墙在小型水库除险加固应用中存在的问题

2.1 渗漏成因判断偏差

渗流异常具有隐蔽性和复合性，若仅依据坝坡浸润点、排水支管出流位置或单次高水位现象判断渗漏来源，容易将坝体渗漏、坝基渗漏、绕坝渗漏及涵管接触渗漏混为一类。石鼓水库经多次加固后仍存在高水位状态下的绕坝渗流现象，左坝肩条形山体存在破碎强风化基岩，渗漏通道与库区水力联系密切，总长约在 50 m～130 m之间，填筑土石坝材料的渗透性适中，坝基下卧强风化粗面岩同样满足渗透条件。若渗漏成因判读停留在表层出水点识别，塑性混凝土防渗墙轴线、入射深度及封闭半径很可能偏离主渗漏通道，造成局部截水设施失效。

2.2 地层条件识别受限

塑性混凝土防渗墙设计施工中，地层识别精度直接影响墙底嵌入层位、钻进稳定性和截渗闭合效果[2]。小型水库坝基多由填筑土、残积土、全风化岩及强风化岩等介质组成，表层波状起伏、风化差异和裂隙发育较为明显。受早期建造条件、长期渗流作用及反复修缮作业等因素影响，库内可能存在局部松散区、脆弱夹层、新旧处理界面。若地质探查间距过大、物探解释粗略，或勘探成果未及时反馈至施工控制，容易误判透水层分布和相对防水层位置，导致墙根入土过浅、墙角封闭区域不足，在坝肩、坝基交接部位形成渗流绕行空间。

2.3 材料性能适配偏离

材料性能适配偏离主要表现为抗渗性、变形协调性、耐久性与施工和易性之间的指标失衡。塑性混凝土防渗墙对均质土坝除险加固时，材料不宜单纯追求较高强度，还需具备较低弹性模量及良好延展性，以适应坝体沉降、侧挤位移和承受水压的变化，减少墙体开裂风险。小型水库防渗墙所处的水文地质条件一般比较复杂，墙体需长期承受库水渗透压力、地下水侵蚀和坝体沉陷侧挤。若材料配比未充分考虑渗透系数变化、墙体接触条件、施工成槽深度和周围介质风化程度的影响，容易出现抗渗能力减弱、缩合裂缝增多、墙土间不协调变形等问题。

2.4 施工衔接管控失衡

工序组织一旦脱节，塑性混凝土防渗墙容易在槽段连接、防渗墙底座、墙体连续性和成槽后滤水环节形成质量风险[3]。石鼓水库除险加固方案涉及塑性混凝土防渗墙、坝基及左坝肩帷幕灌浆、下游排水设施加固改造等工程。若成槽施工、墙体构筑、注浆封堵、排水设施恢复等工作缺少统一管控，易造成防渗墙端部闭合不严、施工冷缝处理不当、墙后渗流排导不畅等问题。施工衔接失衡还会影响质量资料闭合，使隐蔽工程质量检测、复核确认及运维监测难以形成完整证据链。

3 塑性混凝土防渗墙在小型水库除险加固中的应用要点

3.1 渗漏探查技术

渗漏探查的关键在于还原库水入渗、坝体传递和下泄出逸之间的水力联系，将历史险情、水位变化、坝面异常、地质勘探与监测资料进行综合校核。小型水库经历多次维修加固后，坝体新旧填土界面、风化基部、坝肩开裂、管周结合缝容易共同构成渗漏通道，单一出水点难以准确反映渗漏源区。以石鼓水库为例，运行记录显示，1972 年石鼓水库左岸坝体高程 80.92 m以下的外坡出现约 40 m^2 的“牛皮涨”，2010 年涵管集中漏水并伴有坝脚排水棱体集中出水，2012 年灌浆后高水位 96.0 m以上仍出现绕坝渗水，表明渗漏路径并非单一坝体渗流问题。

塑性混凝土防渗墙施工前应采用钻探取样、压水试验、注水试验、渗透系数判定、岩体裂隙调查等方式查明坝体填筑土料、基础风化带及左岸坝肩条形山体渗漏区。探查阶段还应对水位、降水量、测压管、量水堰及巡坝检查记录进行比对分析，确定水库蓄水高程与出水量、浸润线位置与渗水点的对应关系。相关成果可作为防渗墙轴线选择、墙体底端入土深度、墙端封闭范围、局部加厚尺寸设计的依据。

3.2 墙线布设技术

墙线布设技术的核心在于把防渗墙轴线嵌入坝体—坝基—坝肩连续截渗体系[4]。小型水库土坝常存在新旧填土结合界面、坝基风化带、坝肩裂隙带及涵洞接触面等多类渗漏边界，墙体定位应根据主渗漏方向、地层渗透性及施工可行性综合确定。石鼓水库大坝为均质碾压土坝，长 300 m，最大高程为 32.8 m，正常蓄水位为 97.36 m，校核洪水位为 100.31 m。根据工程资料显示，此坝体材料的渗透系数一般，坝基处由强风化粗面岩构成，具有一定的透水性。左坝肩条形

山体在高水位条件下仍存在绕渗现象。墙线布设不宜只覆盖坝体渗漏段，还需考虑与坝基、坝肩防渗措施的衔接关系，保证整体防渗体系的平面闭合性。

结合石鼓水库除险加固方案，坝体选用塑性混凝土防渗墙，坝基及左坝肩条形山体采用帷幕灌浆，墙线布设应以坝体主截渗轴线为控制线，向两边伸展至稳固的河岸或是灌浆帷幕连接部位，避免墙端形成绕流通道。墙底高程应根据残坡积土露头、全风化粗面岩及强烈风化粗面岩分布确定，穿过坝体填筑土和强透水带部位后，嵌入相对隔水层或弱透水带一定深度。该工程防渗墙承受的最大水头差约12 m，按允许水力梯度40计算，理论墙厚0.3 m，考虑液压反铲及冲抓式成槽机的工作条件，取防渗墙厚度0.6 m。墙线布设不仅要解决平面定位问题，还要与墙体厚度、入岩深度、墙底封堵和相邻帷幕共同形成可施工、可检测、可评价的防渗体系。

3.3 配合比优化技术

配比优化应立足于防渗墙柔性截渗功能，不能简单采用常规混凝土“高强度、低水胶比”的单一控制思路。塑性混凝土防渗墙埋置于坝体和坝基内部，长期受库水压力作用、坝体变形和地基差异沉陷的影响，材料性能应在强度、弹性模量、防渗透能力和流动性之间取得平衡。石鼓水库坝体由风化残积土填筑，主要包含沙质黏土，夹杂少量强风化的岩石片状物，上部掺杂砾石土，总体压实程度不高。坝基粉质砂土层渗透系数为5.0×10^{-3} cm/s，其防渗墙最大深度为50.40 m。此类深槽防渗结构若材料模量偏大，墙体与周边土层变形难以协调，易产生应力集中和开裂隐患。

结合石鼓水库除险加固设计，塑性混凝土配合比应以低弹模、高抗渗、适宜流动性为主要控制目标。设计指标可控制为R28抗压强度1.0 MPa～5.0 MPa、弹性模量≤2 000 MPa、弹强比200～500、水胶比0.85～1.20、坍落度180 mm～220 mm、扩散度340 mm～400 mm、渗透系数≤10^{-6} cm/s、渗透破坏比降≥300。初拟配合比中，水泥110 kg/m^3、水380 kg/m^3、膨润土60 kg/m^3、黏土170 kg/m^3、砂700 kg/m^3、碎石700 kg/m^3、减水剂按水泥用量0.25%掺入。施工阶段仍需通过室内试配、现场试拌和成墙取样检测复核指标，使材料性能适应深槽浇筑、泥浆置换、墙段连接和长期截渗要求。

3.4 成墙质量控制

成墙质量控制应落在槽口导向、槽孔成形、清孔换浆、导管浇筑和接头处理等关键节点，重点保证墙体连续、槽孔稳定和墙底可靠嵌固[5]。石鼓水库大坝采用塑性混凝土做防渗帷幕。施工流程包括施工准备、钻机成孔、清碴和混凝土浇筑。导槽作为锁定槽口、防止坍塌和确保墙面稳定性的导向工具，应采用钢筋混凝土结构，导槽中线应与防渗墙轴线重合，平面轴线允许偏差控制在±15 mm，导墙顶高程允许偏差控制在±20 mm，并且施工工作台宽度不能低于8 m，成槽阶段应检测孔深、槽孔中心偏离、倾斜度、槽宽、槽形及嵌入基岩深度，防止墙身扭曲、内收和墙底悬空。

浇筑环节直接关系到防渗墙完整性，应在清孔验收合格后4 h内开始灌注混凝土，并采用垂直导管法由下而上连续成墙。浇筑过程中需对塌落度、扩散半径及流动性实施动态监控，并控制好导管位置、埋深以及混凝土面提升速度，终浇混凝土面应高于设计面0.5 m，减少顶面土堆及高差过大问题。槽段连接宜采用钻槽法，一期槽孔灌注24 h后开始实施接口孔施工，二期槽段造孔时对一期墙体套抓30 cm，并在清理替换浆料过程中刷洗接口孔。质量检查应包括打孔、终孔、清孔、衔接操作以及混凝土浇筑全过程，上道工序合格后方可进入下一道工序，成墙后应重点关注混合浆液、泥沙堆积、缺口、孔洞等缺陷。

4 结束语

石鼓水库除险加固实践表明，塑性混凝土防渗墙在小型水库坝体防渗工程中具有良好的适用性，其应用成效取决于病险特征识别、系统设计及施工质量控制的协调程度。针对渗源复杂、地层条件多变、性能要求高等问题，应将渗流监测、坝体布置、配比优化设计以及成墙质量控制贯穿工程全过程，形成坝体、坝基、坝肩相互衔接的连续截渗体系。未来，小型水库除险加固可进一步加强监测数据分析、施工过程信息化管理和运行期效果评价，提升防渗墙长期服役稳定性。

参考文献：

[1] 黄斌,郭先强,曹登超.塑性混凝土防渗墙施工技术研究与应用[J].人民黄河,2024,46(S01):157-158.
[2] 姬云辰,苏龙,闫炜,等.塑性混凝土防渗墙在水库除险加固工程中的应用[J].内蒙古水利,2025(05):13-14.
[3] 李小龙,陈小丹,李远辉,等.塑性混凝土防渗墙结合充填灌浆在某水库除险加固中的应用[J].广东水利水电,2025(10):69-74.
[4] 吴立彬,郭云波,刘映炯.塑性混凝土防渗墙在石碌水库除险加固中的应用[J].水利建设与管理,2025,45(03):43-48.
[5] 戴瑞景.低弹模塑性混凝土防渗墙在水库大坝防渗加固工程中的应用[J].黑龙江水利科技,2025,53(09):118-121.