

水利工程技术管理中常见问题及有效对策探析

刘晨

山东省德州市平原县前曹镇人民政府

DOI:10.32629/hwr.v10i3.6910

[摘要] 针对某Ⅲ等中型水库除险加固中设计变更协同弱、质量数据追溯链断裂与监测阈值静态化等问题,构建基于BIM与GIS的Web-GL一体化平台,叠加二维码与RFID的双标签与联盟链存证,建立与蓄水位耦合的沉降动态阈值模型,形成设计、施工、监测闭环管理路径。工程实证表明,设计变更签认闭环时间由6.8t降至1.9t,追加投资占比由9.4%降至3.1%,合同内节余348万元,占比4.6%,关键线路提前21t;质量方面,一次验收合格率提升至99%,单元工程优良率96.2%,返工率下降2.8%,档案完整性校验通过率100%;安全方面,动态阈值在蓄水位34m,时较静态阈值提前10t触发预警,模型与实测偏差控制在5%以内。结果验证了流程协同与数据闭环对投资、工期、质量与安全的综合增益。

[关键词] 除险加固; 设计变更协同; 质量追溯; 动态预警阈值; 一体化平台

中图分类号: TV223.2+2 **文献标识码:** A

Analysis of Common Problems and Effective Countermeasures in Technical Management of Water Conservancy Engineering

Chen Liu

Qiancao Town People's Government, Pingyuan County, Dezhou City, Shandong Province

[Abstract] In response to the problems of weak coordination of design changes, broken quality data traceability chain, and static monitoring threshold in the reinforcement of a medium-sized reservoir of Class III, a Web GL integrated platform based on BIM and GIS is constructed. The platform combines dual tags of QR code and RFID with alliance chain storage to establish a settlement dynamic threshold model coupled with the water storage level, forming a closed-loop management path for design, construction, and monitoring. Engineering verification shows that the closed-loop time for design change approval has been reduced from 6.8 tons to 1.9 tons, the proportion of additional investment has been reduced from 9.4% to 3.1%, and the contract has saved 3.48 million yuan, accounting for 4.6%. The critical path has been advanced by 21 tons. In terms of quality, the first acceptance pass rate has increased to 99%, the excellent rate of unit engineering is 96.2%, the rework rate has decreased by 2.8%, and the pass rate of archive integrity verification is 100%; In terms of safety, when the dynamic threshold is at the water level of 34m, it triggers a warning 10t earlier than the static threshold, and the deviation between the model and the actual measurement is controlled within 5%. The results validated the comprehensive benefits of process collaboration and data closed-loop on investment, schedule, quality, and safety.

[Key words] risk elimination and reinforcement; Design change collaboration; Quality traceability; Dynamic warning threshold; integrated platform

引言

随着运行年限延长和极端暴雨增多,土石坝老化、渗控薄弱及设施适配不足问题持续显现,又受山区施工窗口狭窄与度汛约束影响,除险加固管理更易出现变更更多、信息散和风险叠加。传统纸质流转与事后核验方式已难以支撑设计、施工、监测的高效协同,质量数据在采集、传输、归档中也容易断链,静态阈

值还难以反映蓄水、渗流与固结徐变的联动变化,进而诱发费用波动、停窝工和预警滞后。基于此,本文以某Ⅲ等中型水库为对象,构建轻量化一体化平台、可追溯质量档案及动态阈值机制,推动投资、工期、质量与安全协同优化。

1 工程概况

本研究以某Ⅲ等中型水库除险加固工程为对象,坝址位于

侵蚀切割明显的山间河谷,坝体均质土坝,最大坝高38.5m,流域多年平均径流约1.8亿m³,短时强降雨频发,对施工组织与度汛安排形成叠加约束。原枢纽由均质土坝、开敞式溢洪道及坝后式电站构成,老化与渗控短板并存。工程将防渗墙与帷幕灌浆整合为渗控单元,溢洪道闸室重建并优化消能作为泄洪单元,同时升级安全监测系统为状态感知单元,构建设计施工协同与监测闭环反馈路径。总工期2021年9月至2023年4月,共19个月,关键节点包括开工导流、防渗墙完成、帷幕灌浆收束、闸室封顶、监测系统联调及竣工验收。技术管理边界聚焦设计变更协同、质量数据全生命周期归集及监测阈值动态应用。

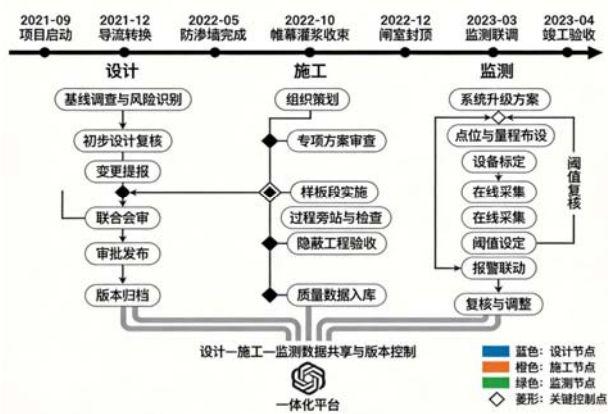


图1 除险加固技术管理总流程图

2 技术管理常见问题剖析

2.1 设计变更与现场签证协同不足

在III等中型水库除险加固中,复杂地形与短历时暴雨叠加作用下,设计变更和现场签证往往呈多节点串联,信息回传一旦滞后,费用风险就会被迅速放大。统计期内共形成设计变更47份,其中31份由坝基第3层淤泥质粉质黏土厚度由2.1m增至4.7m所触发。审批与签证响应时间延长后,直接导致额外投资增加,直接费上浮9.4%。在纸质流转和碎片化沟通并存条件下,停工、工序重排及材料二次采购进一步加大了波动^[1]。为把决策压缩在施工窗口内,本文提出以BIM与GIS融合的轻量化平台作为协同底座,推动现场、设计与业主24h闭环签证,并行完成模型校核、位置锚定和费用测算,预计可将投资增量控制在3%以内。

$$\Delta C = 0.42T + 1.3 \quad (1)$$

其中,T表示变更响应时间(单位:d),ΔC表示额外投资增量(单位:万元)。

表1 设计变更分类及费用影响统计表

分类	数量	T d	ΔC 万元
地质突变类	31	18	8.9
方案优化类	9	10	5.5
设备监测适配类	7	8	4.7

统计结果与线性模型相互印证,凸显地质突变情形对费用的敏感性最高,成为协同短板暴露的主因。

2.2 施工质量数据追溯链断裂

在均质土坝防渗墙施工中,质量数据贯通存在时间与对象双维度缺口。全长68槽段中,原有抽检仅记录7日试件强度,28日龄期未形成全检闭环,样本覆盖率与跨批次一致性难以互证,墙段完整性评价置信度仅82%。车次、槽段与试件标识不统一,手工台账分散,拌合站出机记录、导管工序日志及无损检测结果无法逐项对应,导致缺陷定位滞后与复核成本上升^[2]。针对问题,研究构建二维码与RFID双标签体系,为每车混凝土及每槽段赋唯一标识,并在拌合出机、车辆入场、槽段开灌、试件成型及超声检测等关键工序嵌入采集节点。设置坍落度、导管埋深、出机温度、水胶比、连续灌注时长及泥浆指标等6项在线工艺控制指标,扫码后实时写入联盟链账本,通过区块式存证锚定批次、位置与时间,形成可追溯数据库,实现超声回波异常快速锁定具体车次与工序时段,把复核和纠偏前移至灌注窗口内,支撑施工质量闭环管理。

2.3 安全监测预警阈值静态化

于均质土坝在阶段性蓄水过程中存在固结—徐变的非线性叠加响应,原静态单值沉降预警阈值15mm难以刻画水位上升速率、渗流压力路径以及坝体结构性刚度调整对沉降序列的共同影响,导致预警触发滞后且处置窗口压缩。为把预警阈值与调度工况进行动态耦合,本研究把阶段蓄水位H当作驱动变量来构建沉降阈值的指数型函数,并使其可在监测平台端进行实时更新与闭环应用,形成与导流、灌浆、围堰维护等作业窗口相匹配的告警策略体系。

$$S_{max} = 7.2e^{0.008H} \quad (2)$$

其中,S_{max}表示坝体沉降的动态预警上限(单位:mm),H为阶段蓄水位(单位:m)。

结合坝基黏土层压缩模量与历史渗流—沉降耦合曲线的标定结果,上式参数被固定在可解释范围内,并把阈值分级规则嵌入状态感知单元的阈值引擎。需重点关注的是,当H取34m时,动态阈值S_{max}为9.8mm,相比静态15mm的设定更早给出黄色预警窗口,把帷幕灌浆与伸缩缝封闭等补强作业的准备期前移约10d,从而降低高水位并发工序与材料滞后叠加放大的风险。由此推导,阈值应随H逐步抬升但增幅受限,以避免在快速抬水阶段过度放宽许可区间,维持对异常沉降加速度的敏感捕获。

本研究立足2022年10月至2023年3月的典型调度区间,把动态阈值与沉降基线共同下发至自动化采集端,依靠采集频率1h与数据清洗规则的联动,把瞬时水位、沉降增量以及时间窗内的滑动统计量进行同源化处理^[3]。平台在每个监测断面的时序上计算S_{max}与实测值的偏离程度,驱动绿色、黄色与橙色分级响应,并把处置建议以工作包的形式推送至施工与运行双线,模型与实测的吻合度在该运行区间内维持在5%以内,体现出对非稳态工况的适配性与可操作性。

表2 监测数据与动态阈值对比样本表

日期	H (m)	S _{max} (mm)	S _{obs} (mm)	阈值状态	预警等级	处置提前量 d
2022-10-15	26.0	8.9	8.3	正常	绿色	-
2022-11-12	30.0	9.1	8.8	正常	绿色	-
2022-12-20	34.0	9.8	9.6	接近	黄色	10
2023-01-30	36.5	10.0	9.7	接近	黄色	6
2023-03-10	38.0	10.1	9.8	正常	绿色	-

3 有效对策及实施效果评估

3.1 构建“设计—施工—监测”一体化平台

在除险加固工程高频信息交互与窄施工窗口并存的条件下，本研究部署基于浏览器的Web-GL轻量化平台，把模型、工序与监测三条数据链在同一坐标系内汇聚整合。平台构建构件级字典与作业工序模板，实现726个构件与214支传感器的精细映射，并以消息总线为指令通道，把设计变更单与现场签证组装成任务流下发至移动终端，使模型校核、位置锚定及费用测算并行推进，将签证、复核与回传融入施工节奏，实现跨部门信息时序对齐与一致性约束落地。平台在模型视图侧生成与工序绑定的质量验收表单，字段与构件属性联动写入，规则引擎自动校核必填项、限值项与证据项，人工录入工作量大幅下降，异常字段在采集端高亮提示，促使复核动作前移至灌注和浇筑窗口。消息总线将变更闭环路由由纸质流转转为在线协同，闭环时间由6.8d缩短至1.9d，减少停窝工及工序重排对成本的影响。全过程数据与合同计量单元联通后，设计变更引起的追加投资由9.4%降至3.1%，关键线路工期节约21d，显示计量边界、签证证据与施工计划逻辑耦合得到有效梳理^[4]。为适应暴雨调度期网络波动，平台在边缘网关配置缓存与断点续传机制，同时把权限控制与操作留痕纳入统一审计规则。

3.2 强化全过程质量数字档案

针对防渗墙与帷幕灌浆等关键工序的证据链连续性要求，本研究以“一单元一档”策略实现质量归档，每单元对应槽段、仓段及绑定车次批次，并将二维码与RFID采集的位置信息、时间和对象数据写入档案元数据，确保跨设备、跨时段可检索。为适应高频核验，边缘网关设置自动归档触发点，将拌合出机、入场复核、开灌确认、试件成型与超声检测5类节点串联为固定流程，完成节点即生成增量记录并汇入轻量化PDF模板，形成含原材料质保书、设备参数曲线及关键监测波形的单元档案。同时写入SHA-256哈希指纹并绑定联盟链存证，实现完整性校验与追溯，统计期内完整性校验通过率100%。归档与计量、签证及监测链路纳入同坐标体系，存证可与合同计量条目自动关联，第三方飞检显示一次验收合格率由92%升至99%，返工率下降2.8%。

3.3 效果量化评估

本研究对除险加固全周期数据构建投资、工期、质量、安

全四维可比评价矩阵，并以传统管理模式为对照，实现数据在统计口径、时间窗及计量单位上的对齐。投资维度显示合同内资金占用及变更费用节余348万元，占合同价4.6%，反映流程压缩对成本缓释作用；工期维度通过签认闭环压降，关键线路提前21d，避免汛期调度叠加风险；质量维度以单元工程优良率为核心，达到96.2%，高于行业平均88%，与数字档案证据链一致；安全维度零事故，阈值引擎触发工序化风险响应。多指标经熵权-TOPSIS综合计算，得分0.847，对照组0.612，差异体现流程协同与数据闭环作用，指标对比结果见表3。

表3 对策实施前后综合指标对比表

维度	指标	实施前	实施后	变动
投资	合同内节余	0万元	348万元	+348万元
工期	关键线路提前量	0d	21d	+21d
质量	单元工程优良率	88.0%	96.2%	+8.2%
安全	施工期事故数	0起	0起	0起
综合	熵权-TOPSIS综合得分	0.612	0.847	+0.235

评价结果在四维维度上方向一致，说明对策把投资、进度、质量与安全的约束耦合为同一决策空间，具备跨项目推广的可行性。

4 结语

本文面向除险加固的高频协同与窄窗口场景，构建设计施工监测一体化平台，打通模型、工序与监测数据链；以二维码与RFID双标签配合联盟链存证，形成一单元一档的全过程质量数字档案；以蓄水位驱动的动态阈值引擎实现分级预警与工序化处置。工程应用获得显著成效，包括投资节余与变更占比双降、关键线路提前、优良率与一次验收合格率提升以及预警前移与零事故目标达成。研究表明，通过流程在线化、证据可追溯与阈值动态化的协同，可将风险由事后纠偏转化为过程控制。后续可在不同地质与调度情境扩展验证，并结合多源感知与参数在线标定，持续提升模型自适应与推广普适性。

[参考文献]

- [1]刘素敏.水利工程监理投标技术管理研究[J].低碳世界,2026,16(03):93-95.
- [2]涂桂华.浅析水利工程技术资料管理问题及治理方法[J].建设监理,2026,(01):63-66+77.
- [3]卢继超,冯雨飞.水利工程施工中水文水资源标准化管理对策[J].大众标准化,2025,(24):96-98.
- [4]朱波.中小型水利工程技术与管理措施研究[J].农业灾害研究,2025,15(12):166-168.

作者简介:

刘晨(1989—),男,汉族,山东平原人,本科,水利工程初级,研究方向:水利工程。