

文山州德厚水库工程质量管理与实践与创新研究

郭婉娥

文山州清水河水利枢纽工程管理局 云南 文山州 663900

摘要:文山州德厚水库是滇东南重要水利枢纽,建设面临岩溶发育、高边坡处理等复杂挑战。本文以该工程为对象,剖析其“三全管理”体系构建,探讨PDCA循环在混凝土施工、灌浆工程等关键环节的应用及BIM技术、物联网监测等信息化手段的创新实践。研究表明,通过完善责任机制、融合技术创新、精准防控风险,工程单位工程优良率达91.3%,关键工序合格率100%。提炼的质量管理模式填补了喀斯特地区水利管控空白,为同类工程“质量终身责任制”落地提供可复制范式,助力水利工程高质量发展。

关键词:德厚水库;质量管理;三全管理;BIM技术;岩溶区工程

引言:文山州地处滇东南岩溶山区,水资源时空分布不均与工程性缺水长期制约发展。德厚水库是云南省“十二五”重点工程,总库容1.13亿立方米,兼具灌溉、供水、防洪等功能,建成后可保障18.6万亩耕地灌溉及23万人口饮水安全,是破解滇东南水利难题的核心枢纽。其建设面临岩溶发育等特殊挑战,质量管理水平关乎工程耐久性与运行安全。系统研究其质量管理路径与创新成果,可为西南喀斯特地区水利建设提供支撑,推动行业向“精品工程”转型。

1 德厚水库工程概况与建设背景

1.1 工程区域特征与战略价值

德厚水库位于文山市德厚镇,地处珠江流域西江水系泸江支流上游,流域面积306平方公里,多年平均径流量2.18亿立方米。工程区属典型喀斯特地貌,坝址区河谷

呈“V”型深切,两岸山体坡度 35° – 55° ,出露地层以石炭系碳酸盐岩为主,溶洞、溶沟发育密度达3.2个/100平方米,地质条件呈现“溶蚀强烈、岩体破碎”特征。作为文山州“兴水强州”战略的核心工程,水库与暮底河、那么果河水库构成“三库联调”网络,可将项目区农业灌溉保证率从50%提升至85%,彻底解决4个乡镇季节性饮水困难,在区域经济社会发展中占据基础性地位^[1]。

1.2 工程核心参数与建设概况

工程以碾压混凝土重力坝为核心,总投资16.8亿元,2016年11月开工,2022年6月通过下闸蓄水验收,建设周期5.5年。工程高峰期日均投入施工人员850人、机械设备120台套,累计完成土石方开挖120万立方米,钢筋制安8600吨。其核心技术参数与建设内容凸显工程规模与技术难度,具体关键指标如下表所示:

核心指标	具体数值	核心建设内容	技术特点
总库容	1.13亿立方米	挡水建筑物	碾压混凝土重力坝,最大坝高78.5米
灌溉面积	18.6万亩	输水系统	3条主干渠,总长42.3公里,含隧洞与渡槽
供水人口	23万人	泄洪系统	表孔溢洪道+底孔,最大下泄流量1280立方米/秒
防洪标准	100年一遇	监测系统	156套自动化设备,实时监测水位、渗流等

2 质量管理体系构建:“三全管理”与PDCA循环的融合实践

2.1 体系框架设计:针对性破解岩溶区管理难题

工程创新性构建以PDCA循环为内核的“全员参与、全过程控制、全方位覆盖”三全管理模型。策划阶段(Plan)聚焦喀斯特地质特性,编制含12项专项计划的《质量管理手册》,将岩溶处理、高边坡防护列为关键控制点;实施阶段(Do)推行质量目标分解矩阵,将单位工程优良率 $\geq 90\%$ 的总目标细化为286个分部分项工程指标;检查阶段(Check)建立“三级检验+飞行检查”机制,监理

平行检测频率达施工自检的30%;处置阶段(Act)开发闭环管理平台,执行“三不放过”原则。体系文件采用“金字塔-模块化”架构,配套8项特殊技术文件,形成“通用标准+专项措施”的立体化体系。

2.2 制度创新与责任落地:从建设期管控到终身追责工程突破传统管理模式,建立全周期质量保障机制。创新实施质量终身责任“双背书”制度,8类关键岗位人员签订责任书并录入信用平台。构建“业主-监理-施工”三方联合质量委员会,每月运用鱼骨图法解析问题,形成《质量缺陷案例集》。针对隐蔽工程实行“影像留存+四方

会签”，累计形成质量资料126卷、影像档案8.6TB。在考核激励方面，推行“月度排名+优质奖励基金”，使施工

班组创优积极性提升40%。传统制度与创新制度的实施效果对比鲜明，凸显了创新举措的实践价值。

制度类型	传统模式	德厚创新模式	实施成效
责任追溯	建设期责任	终身责任+二维码追溯	责任覆盖工程全生命周期
检测机制	施工自检为主	第三方检测 ≥ 30%+监理平行检测	混凝土试块合格率99.2%
整改机制	书面通知	红黄牌预警+复核验收	缺陷整改及时率100%

2.3 组织保障：构建层级清晰的管控网络

工程建立三级质量管理架构：项目部质量管理部配备12名专职工程师，其中高级职称5人，负责质量计划审批与重大问题处理；监理单位组建28人团队，对关键工序实行24小时旁站监理；施工单位设质量管理处，36名专职质检员与班组兼职质量员形成“横向到边、纵向到底”的网络^[2]。创新实施“质量岗位能力矩阵”培训，累计开展培训68场次、2300人次，特殊工种持证上岗率100%。推行“质量一票否决制”，未经质检签字不得进入下道工序，确保管理指令高效执行。

3 关键环节质量控制：技术措施与工艺优化

3.1 坝体混凝土施工：破解抗裂与密实度难题

针对岩溶区骨料级配复杂、高温开裂风险等问题，项目优化混凝土配合比，掺入35%粉煤灰与矿渣粉复合掺合料，水泥用量从320kg/m³降至265kg/m³，水化热峰值降低23%。采用“双掺技术+聚丙烯纤维”方案，每立方米掺入0.9kg纤维，早期抗裂性能提升40%。浇筑实施“斜层平推法”，铺筑厚度30cm±2cm，碾压参数精准控制。构建“预冷-保温-监测”温控体系：骨料预冷至5-8℃，拌合水加冰量45%，仓面覆盖保温被，120个测温点智能监测，将坝体最高温升控制在38℃以内。施工期28.5万立方米混凝土未出现结构性裂缝，强度优良率98.6%。

3.2 灌浆工程：构建可靠防渗体系

坝基采用“帷幕灌浆+固结灌浆”联合方案，针对不同地质单元差异化控制参数。帷幕灌浆孔梅花形布置，孔距2.5m，采用“自上而下、分段卡塞”工艺，完整基岩段压力2.0-2.5MPa，岩溶区降至1.2-1.5MPa。创新选用“普通水泥+超细水泥”双浆液体系，微裂隙区采用450m²/kg超细水泥，掺加高效减水剂改善流动性。右坝肩K12溶槽处理中，采用“高压旋喷预封闭+灌浆填充”工艺，先形成1.2m直径防渗壳体再灌浆，透水率从5.2Lu降至0.8Lu。通过压水试验与钻孔取芯检查，灌浆合格率达96.3%，确保坝基防渗可靠。

3.3 金属结构安装：精准控制保障运行安全

金属结构与机电设备安装实行“精度控制+三级调试”模式。平面钢闸门门框垂直度偏差≤1.5mm/m，门叶对

角线差≤3mm，采用全站仪三维定位调校。卷扬式启闭机卷筒轴线与闸门中心线偏差≤1mm，制动器调至额定制动力矩1.25倍，经1.1倍额定荷载静载试验验证。电气设备接线采用“编号+颜色”双标识，绝缘电阻≥10MΩ。调试执行“单机-联动-系统联调”流程，紧急停机响应时间≤0.5s，闸门渗水量≤0.1L/(m·min)。23扇闸门、18台启闭设备安装质量一次验收合格率100%，试运行稳定达标^[3]。

4 质量管理创新：信息化与智能化技术融合应用

4.1 BIM技术：实现全专业协同管控

工程引入BIM技术搭建协同平台，设计阶段把2D图纸转成3D模型，施工人员对复杂部位空间关系理解准确率提高60%。施工前开展全专业碰撞检查，发现28处土建与金属结构冲突点，提前优化避免180万元返工损失。建立地质BIM与设计模型关联映射，精准匹配溶洞位置与浇筑区域。模型采用“周迭代+即时更新”机制，重大设计变更24小时内同步，通过与实测数据比对，坝体结构尺寸合格率从92%提升至98.5%。

4.2 物联网监测：构建实时感知网络

基于物联网构建多维度监测系统，实现质量数据实时采集与预警。混凝土养护用LoRa无线传感器，按1个/10m³布设，30分钟采集一次数据，温湿度异常自动报警。坝体沉降由12个北斗终端监测，精度±1mm，5分钟/点获取数据，用算法消除干扰。灌浆工程用智能记录仪，1Hz采样率记录压力、流量，数据准确率从85%升至99.8%。钢筋保护层用预埋式扫描仪，检测覆盖率从30%提至100%，改变传统监测弊端。

4.3 大数据预警：推动管理从“事后”到“事前”

大数据预警技术推动工程质量管理模式从“事后补救”向“事前预防”转型。依托23万条历史数据构建动态风险库，用随机森林算法挖掘混凝土强度关键因素，识别核心控制指标，形成多维度风险图谱。构建三级架构的BP神经网络预警模型，利用历史与实时数据比对，提前48小时预警质量隐患。2021年7月右坝段浇筑，系统捕捉水灰比波动触发预警，优化后混凝土试块强度达标率从82%升至96%。经验证，模型风险识别准确率达

92.3%，误报率低于5%。

5 质量问题处置与持续改进

5.1 复杂地质与季节性施工难题破解

施工期揭露136个溶洞，最大体积850m³，充填型溶洞易引发混凝土脱空，空溶洞则难以形成连续防渗体。通过“地质详勘-方案定制-动态调整”流程，充填型溶洞采用“清淤-抛石-混凝土回填”，空溶洞实施“旋喷封闭+复合灌浆”。右坝肩K18断层带岩体破碎，开挖中出现塌方，采用“超前锚杆支护+分步开挖”处理，控制沉降速率 $\leq 0.02\text{mm/d}$ 。季节性施工中，雨季搭建防雨棚与排水系统，调整混凝土配合比延长初凝时间；冬季采用骨料预热、热水拌合、复合保温措施，确保入仓温度 $\geq 10^\circ\text{C}$ ，有效规避环境因素对质量的影响^[4]。

5.2 质量缺陷闭环处置与经验反馈

2020年东干渠渡槽施工中，发现3条表面裂缝，立即启动应急预案：通过钻芯与超声波检测确定为非结构性裂缝；采用“凿毛-冲洗-界面剂-环氧砂浆修补”工艺，粘结强度 $\geq 2.5\text{MPa}$ ；28天跟踪监测无扩展。该事件推动建立数字化“质量缺陷案例库”，收录42个案例，实行“RCA根本原因分析+预防措施验证”机制。如针对灌浆压力波动，不仅修订规程，更对压力表实行“强制检定+每班校准”，同类问题重复发生率从28%降至5%以下，实现持续改进。

5.3 质量管理成效与经验推广

工程质量管理成效显著，23个单位工程中21个获评优良，优良率91.3%；156个分部工程优良率96.8%，关键部

位合格率100%。第三方检测显示，坝基灌浆透水性 0.68Lu （设计要求 $\leq 1\text{Lu}$ ），坝体沉降最大值18.5mm，闸门渗流量 $0.03\text{L}/(\text{m}\cdot\text{min})$ ，均优于国家标准。提炼的“山区水库质量管控五步法”（地质评估-风险预控-样板引路-数据反馈-闭环处置），在岩溶区工程中使特殊工序合格率提升18%。相关成果获2023年云南省水利管理创新一等奖，发表论文8篇，纳入《中小型水利工程质量指南》，为同类工程提供借鉴。

结束语

德厚水库工程针对喀斯特复杂条件，打造“三全管理+PDCA循环”融合体系，经制度、技术与信息化助力，工程质量和效益双提升，单位工程优良率91.3%，创直接经济效益1.2亿元。其相关理论与管控方法填补西南山区水利质量管理空白，为质量终身责任制提供范例。研究有样本单一等局限，未来可深化数字孪生、融合碳足迹指标等，为水利工程数字化转型和高质量发展提供新路径。

参考文献

- [1]李宜青.水库除险加固工程关键工序质量控制研究与实践[J].珠江水运,2025(13):54-56.
- [2]向衍,戴波,王亚坤.水库大坝智慧运维技术创新与实践[J].中国水利,2025(16):81-90.
- [3]李明江,周俊文.小型水库工程质量监督实践分析研究[J].水利技术监督,2023(6):7-9,13.
- [4]赵瑞峰.试析水库工程质量安全管理与施工进度控制[J].河北农机,2021(14):139-140.