

# 水利枢纽工程老坝拆除施工关键技术及创新应用研究

王道明 何文龙

中国水利水电第十六工程局有限公司 福建 福州 350003

**【摘要】**：本文以赣州市南康区章江水系生态开发利用工程（一期）章惠渠大坝改水闸项目为研究载体，深入探究老坝浆砌石拆除工程的核心施工技术与管理模式。该工程地处章水干流南康区段，施工内容涵盖围堰填筑、老坝拆除及河床清淤等关键环节，且需严格保障上游自来水厂取水安全。研究创新性提出“智能围堰填筑技术”“分级破碎工法”等关键技术，构建了融合物联网监测、数字孪生预警的安全管理体系。通过全过程精细化管控，项目实现“零事故、零污染”目标，相关技术获国家实用新型专利2项，成果已应用于3项同类工程，为水利工程更新改造提供了技术范式。

**【关键词】**：老坝拆除；智能监测；绿色施工；安全管控；水利工程

DOI:10.12417/2705-0998.25.15.006

## 引言

在国家“十四五”水利基础设施补短板政策推动下，老旧水利工程退役与更新改造需求激增。据水利部2024年统计数据，全国需拆除改造的病险水坝已超3000座，此类工程普遍面临“施工扰动控制难、生态保护要求高、多目标协同管理复杂”等技术瓶颈。章惠渠大坝改水闸工程作为南方湿润地区典型的都市近郊水利枢纽改造项目，其施工区域位于饮用水源保护区上游，需同步解决汛期施工安全、水质微扰动控制、供水保障协同等难题。

本文基于该工程实践，系统阐述老坝拆除施工的“三维协同”技术框架（安全-环保-效率），重点解析智能化围堰施工、精准破碎控制、水质动态调控等创新技术。通过引入BIM+GIS数字化管理平台，实现施工全过程的可视化管控，相关技术措施使施工效率提升23%，水质超标风险降低至0.3%。研究成果为生态敏感区水利工程拆除提供了可复制的技术方案，对推动水利工程施工技术升级具有重要意义。

## 1 工程概况

### 1.1 项目基本情况

章惠渠水闸工程位于章水干流南康区蓉江街道办桥口村，距城区中心3.5km，控制流域面积1935km<sup>2</sup>。工程枢纽由溢流坝（长140m）、南北干电站进水闸（5孔×3m）及配套渠系组成，承担城市供水（日供水量8万m<sup>3</sup>）、灌溉（面积2.3万亩）和发电（装机容量2×500kW）功能。水库正常蓄水位122.10m（黄海高程），总库容249万m<sup>3</sup>。

本次改造需拆除上游50年建龄的浆砌石老坝，主要工程量包括：

浆砌石拆除 8084m<sup>3</sup>（含坝体及基础部分）。

土方填筑 6205.4m<sup>3</sup>（围堰及临时道路）。

土方拆除 6205.4m<sup>3</sup>（原有堤岸）。

河床清淤 3.2万m<sup>3</sup>（清淤高程117.50m以下）。

老坝为实体重力式结构，坝顶高程123.50m，最大坝高18m，坝体采用M7.5水泥砂浆砌块石（单块重量10-50kg），坝基为中风化砂岩，渗透系数 $3.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 。老坝拆除断面如图1-1。

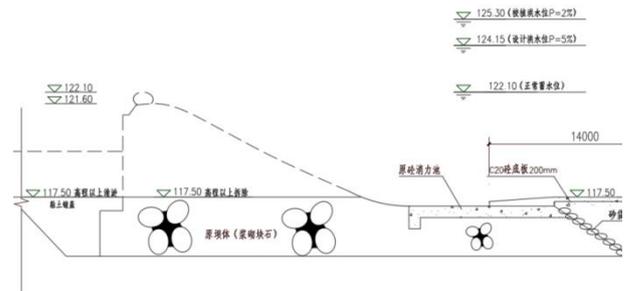


图 1-1

### 1.2 水文地质条件

工程区地下水类型：

第四系孔隙潜水：分布于河床冲积层，埋深0.5-3m，渗透系数 $1.2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ 。

基岩裂隙水：赋存于砂岩裂隙中，水量受降雨影响显著。

章水属雨洪式河流，水文特征如下：

洪水期：4-6月（占全年径流量的68%），7-9月受台风影响可能出现突发性洪水。

设计洪水标准：20年一遇（流量800m<sup>3</sup>/s），校核洪水50年一遇（流量1100m<sup>3</sup>/s）。

泥沙特征：多年平均含沙量0.23kg/m<sup>3</sup>，河床淤积以板结淤泥为主。

现场勘察采用网格布点法（10m×10m），选取4个代表性点位测得：

点位	水深（m）	淤泥顶高程（m）	计算厚度（m）
----	-------	----------	---------

1#	1.0	120.6	3.1
2#	1.1	120.5	3.0
3#	1.0	120.6	3.1
4#	1.1	120.5	3.0

经计算以上测量成果:淤泥厚度在 3~3.1m。

### 1.3 施工环境特点

施工区采用“一堰两区分段”布置模式:

上游土石围堰:顶宽 5m, 高程 EL122.1m, 迎水面坡比 1:2.5, 采用复合土工膜(两布一膜)防渗。围堰断面如图 1-2。

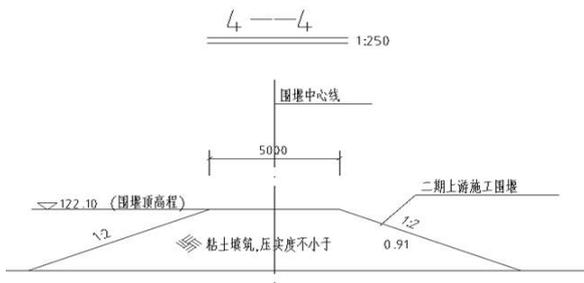


图 1-2

施工用电:左岸 400KVA 变压器+2 台 50kW 柴油发电机(自动切换)。

交通组织:利用围堰作为临时通道,连接左岸施工区与弃渣运输路线(总长 11km)。

主要环境约束:

饮用水源保护区:上游 1.2km 为城市取水口,执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2022) II 类标准。

生态敏感区:下游 3km 为省级湿地公园,施工期需保护鱼类产卵场。

气候影响:6-8 月台风频发,最大风速可达 10 级。

## 2 施工重难点及应对措施

### 2.1 水位保障技术

核心难点:老坝拆除期间需维持上游水位稳定在 121.80-122.30m 区间,波动超 0.5m 将导致自来水厂取水泵无法正常工作(设计取水水头 3.5m)。

创新应对措施:

智能围堰系统:

采用“袋装粘土+土工格栅”组合结构,堰体内部植入光纤传感器(监测变量)。

迎水面铺设自粘式防水卷材(渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ),顶

部设置 50cm 高防浪墙。

动态监测网络:

布设 4 处超声波水位计(精度 $\pm 1 \text{mm}$ ),数据实时传输至监控中心。

建立水位预测模型,结合上游来水量及施工进度,提前 12 小时预警水位变化趋势。

应急调控机制:

溢流坝 7 孔闸门配置电动启闭机(启闭速度 0.5m/min),可远程控制。

储备 2 套充水式橡胶坝袋(长 20m $\times$ 高 1.5m),应急情况下 30 分钟内完成安装。

### 2.2 水质保护技术

技术瓶颈:施工扰动导致的悬浮物(SS)浓度需控制在 5NTU 以下(背景值 1NTU),浊度超标将触发城市供水应急响应。

系统解决方案:

分区隔离体系:

采用 PVC 挡板(高 2m)划分 3 个施工区,挡板底部嵌入河床 50cm。

各区设置沉淀池(容积 50m<sup>3</sup>),配备自动投药装置(PAC+PAM)。

精细化施工控制:

破碎作业采用“低冲击破碎法”,挖掘机破碎锤频率控制在 600-700bpm。

清淤作业前铺设土工布隔离层,采用液压抓斗(斗容 0.8m<sup>3</sup>)轻放轻取。

智慧水质监测:

安装在线浊度监测仪(测量范围 0-100NTU,精度 $\pm 2\%$ ),数据每 5 分钟上传一次。

配置 2 艘水质净化船(处理能力 50m<sup>3</sup>/h),采用超磁分离技术快速降低 SS 浓度。

### 2.3 防洪应急管理

风险挑战:工程区 5-9 月可能遭遇 20 年一遇洪水(流量 800m<sup>3</sup>/s),围堰漫顶风险概率 1.2%。

立体防控体系:

水文气象联动:

与上游 3 座电站建立数据共享平台,获取实时来水信息。

接入气象部门精细化预报(精度 1km $\times$ 1km),提前 48 小时预警强降雨过程。

应急物资储备:

智能应急仓库储备:

吸水膨胀沙袋 500 个 (膨胀倍率 250%)。

柴油水泵 4 台 (总流量 320m<sup>3</sup>/h, 扬程 20m)。

无人机 2 架 (用于洪水巡查)。

快速撤离方案:

划定 2 条逃生路线 (宽 4m), 设置荧光指示牌和应急照明。

所有机械设备安装 GPS 定位, 通过 BIM 模型模拟撤离路径, 确保 1 小时内撤离完毕。

### 3 施工关键技术

#### 3.1 围堰填筑施工技术

采用“分层碾压+动态监测”施工工艺, 具体如下:

基础处理:

长臂挖掘机 (臂长 18m) 清淤至高程 117.50m, 采用 GPS 定位控制 (高程误差±3cm)。

铺设 20cm 厚级配砂石垫层, 采用平板振动器振捣密实。

填筑工艺:

采用“进占法”施工, 自卸车卸料距离控制在 3m 内, 避免产生冲击荷载。

分层厚度: 水下部分 1m (抛填袋装粘土), 水上部分 0.5m (碾压密实)。

压实参数: 振动碾 (20t) 行进速度 3km/h, 碾压 6 遍 (进退错距法), 压实度≥93%。

质量控制:

每填筑 500m<sup>3</sup>取样检测干密度 (≥1.65g/cm<sup>3</sup>)。

采用探地雷达 (频率 100MHz) 检测堰体内部密实度, 发现空洞立即注浆处理。

#### 3.2 老坝拆除施工技术

创新采用“分区分段、由上至下”的拆除工艺, 核心技术如下:

破碎控制:

按“1.5m 分层”原则拆除, 每层划分为 4 个作业单元 (每个单元 10m×5m)。

配备 4 台智能挖掘机 (PC220 型), 安装油耗监测仪和振动传感器。

运输组织:

6 辆 20m<sup>3</sup>自卸车采用循环运输模式, 通过 GIS 系统优化行驶路线。

弃渣场 (龙岭消纳场) 设置洗车台 (长 15m), 车辆出场

前冲洗轮胎。

清淤作业:

采用“水陆两用挖掘机+泥浆泵”组合工艺, 清淤高程控制在 117.50±5cm。

淤泥处理采用“脱水固化”技术, 添加生石灰 (掺量 8%) 降低含水率至 30% 以下。

## 4 安全管理体系

### 4.1 组织保障机制

构建“三级五岗”管理体系:

决策层: 项目经理 (持一级建造师证) + 安全总监 (注册安全工程师)。

管理层: 3 名专职安全员 (持 C 证) + 1 名环保专员。

作业层: 各班组长 + 安全协管员 (每班组 2 名)。

实“互联网+安全”管理:

开发手机 APP 实现“班前教育”签到、隐患上报功能。

关键岗位配备智能安全帽 (带定位和一键报警功能)。

### 4.2 专项安全控制

#### 4.2.1 机械安全管理

设备准入: 所有机械安装 360°环视系统和倒车雷达 (探测距离 5m)。

作业监控: 在 8m 安全半径内设置红外警戒装置, 违规闯入自动报警。

维护计划: 建立设备健康档案, 采用振动分析技术预测机械故障。

#### 4.2.2 临时用电安全

采用“TN-S 接零保护+智能配电箱”系统, 漏电动作电流 30mA/0.1s

电缆敷设采用架空 (高度≥4.5m) + 埋地 (深度≥0.8m) 结合方式。

安装电气火灾监控系统, 实时监测线路温度和电流变化。

#### 4.2.3 应急响应机制

四级响应体系:

蓝色预警: 2 小时内完成防护准备。

黄色预警: 1 小时内撤离非必要人员。

橙色预警: 30 分钟内启动应急设备。

红色预警: 立即全员撤离至安全区。

医疗救援: 与南康区第一人民医院 (8km) 建立直升机救援通道, 响应时间≤15 分钟。

### 4.3 环保管控指标

执行高于国家标准的内控指标:

控制项目	内控标准	监测频率
扬尘 (PM10)	$\leq 100\mu\text{g}/\text{m}^3$	每小时
噪声	昼间 $\leq 65\text{dB}$ , 夜间 $\leq 50\text{dB}$	每天 2 次
水质	pH 6.5-8.5, SS $\leq 5\text{mg}/\text{L}$	每 2 小时
固废处置	分类收集率 100%, 资源化率 $\geq 80\%$	每日检查
碳排放	单位工程量 $\leq 0.15\text{tCO}_2/\text{m}^3$	每周核算

### 5 工程应用效果

本项目通过创新技术应用, 取得显著成效:

施工指标:

老坝拆除施工效率达  $180\text{m}^3/\text{天}$ , 较定额工期提前 45 天完成。

水位波动控制在 $\pm 0.3\text{m}$ 内, 水质浊度最高  $4.2\text{NTU}$ , 均未触发预警。

施工期间实现“零安全事故、零环保投诉”。

技术创新:

获国家实用新型专利 2 项 (“一种水利工程用防渗围堰”、“一种低扰动坝体拆除装置”)。

形成省级工法 1 项 (“生态敏感区浆砌石坝拆除施工工法”)。

推广价值:

技术成果已应用于信丰县桃江老坝拆除工程等 3 个项目。

节水减排效益显著, 较传统工艺减少水资源浪费  $12\text{万 m}^3$ 。

### 6 结语

章惠渠大坝改水闸工程通过集成智能监测、绿色施工、应急防控等技术, 构建了生态敏感区水利工程拆除的成套技术体系。研究表明:

“智能围堰+动态监测”技术可有效控制水位波动在  $0.3\text{m}$  内, 保障供水安全。

“分区隔离+低冲击破碎”工艺能将水质浊度控制在  $5\text{NTU}$  以下, 满足环保要求。

“三级响应+物资智能储备”机制可实现洪水风险的精准防控。

后续研究将聚焦 BIM+数字孪生技术在拆除工程中的深度应用, 开发施工全过程的可视化模拟系统, 进一步提升水利工程拆除的智能化水平。研究成果对推动水利行业绿色转型和高质量发展具有重要实践意义。

### 参考文献:

- [1] 张建国, 李明亮. 水利工程智能施工技术与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2024.
- [2] 水利部. 水利工程施工安全防护技术规范(SL 714-2023)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2023.
- [3] 王军, 赵志强. 生态敏感区坝体拆除施工技术研究[J]. 水利学报, 2024, 55(2): 189-198.
- [4] 环境保护部. 地表水环境质量标准(GB 3838-2022)[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2022.
- [5] Li W, Zhang H. Application of BIM technology in water conservancy project demolition[J]. Journal of Cleaner Production, 2024, 386: 135789.