

# 水利枢纽除险加固工程施工技术优化与全过程管理机制研究

张文莉

新疆维吾尔自治区塔里木河流域喀什噶尔河水利管理中心 新疆 喀什 844000

**摘要:** 本文聚焦水利枢纽除险加固工程, 剖析其复杂特殊的工程特点与常见病险问题成因, 指出传统施工技术与管理模式存在局限。针对性地提出坝体、基础、金属结构与机电设备更新改造、施工监测及绿色施工等技术优化策略, 构建涵盖理念框架、各阶段管理、信息化平台建设的全过程管理机制, 旨在提升工程安全性与质量, 为水利枢纽长期稳定运行提供保障。

**关键词:** 水利枢纽; 除险加固; 施工技术优化; 全过程管理; 风险控制

引言: 水利枢纽作为防洪、灌溉、供水等民生保障的核心基础设施, 其安全稳定运行关乎区域经济社会发展与人民生命财产安全。我国大量水利枢纽因建成年代久远、超期服役及自然侵蚀, 病险隐患日益凸显, 传统技术与管理模式难以适配复杂加固需求。

## 1 水利枢纽除险加固工程特点与问题分析

### 1.1 工程特点

水利枢纽除险加固工程复杂特殊。其一, 工程背景多样, 不同年代建成的枢纽在结构、标准、材料性能上差异大, 早期工程设计荷载与现行规范有差距。其二, 施工环境严苛, 多地处偏远, 交通不便致建材运输成本高, 且要兼顾原有功能, 需分阶段施工。其三, 安全要求极高, 涉及多个关键部位, 施工失误或引发重大事故, 精度和质量控制标准高。其四, 工程关联性强, 需协调多主体, 融合多学科技术, 综合管理难度大<sup>[1]</sup>。其五, 时效性突出, 部分枢纽病险隐患紧迫, 要在有限工期完成加固, 保障关键节点安全。

### 1.2 常见病险问题及成因

水利枢纽常见病险集中于坝体、基础、金属结构等。坝体有裂缝、渗漏、滑坡等问题, 裂缝因温度变化或长期受力, 渗漏因防渗层不密实或贯穿性裂缝; 基础有不均匀沉降、管涌和溶蚀, 分别由地基问题、土层颗粒流失、水流侵蚀导致; 金属结构与机电设备有锈蚀、老化、性能衰减等问题, 源于潮湿环境、超期服役、长期负荷运行。问题成因可归为设计标准低、施工质量缺陷、运行维护不当、自然环境侵蚀四类。

### 1.3 传统施工技术与管理模式的局限性

传统施工技术在水利枢纽除险加固中不足明显。坝体加固技术对深层裂缝处理效果差, 难解决结构承载力

问题; 基础处理依赖的灌浆技术精度低, 易出现不密实或材料浪费; 金属结构更新中, 吊装设备在狭窄场地作业差, 焊接工艺自动化程度低。管理模式上, 分段管理致信息沟通不畅, 设计与施工易脱节; 进度管理依赖人工统计, 难及时调整延误; 质量管控以事后检测为主, 难提前发现隐患; 未重视信息化技术, 数据处理效率低, 无法为决策精准支持。

## 2 水利枢纽除险加固工程施工技术优化策略

### 2.1 坝体加固技术优化

坝体加固技术优化重点针对不同坝型和病险类型制定精准方案, 混凝土坝裂缝处理采用超声波检测定位深层裂缝, 随后实施高压喷射灌浆技术, 通过专用设备将水泥基浆液高压喷射至裂缝深处, 形成连续防渗固体, 相比传统技术, 防渗效果提升40%以上。土坝加固采用土工合成材料加筋技术, 铺设高强度土工格栅与坝体土料分层碾压结合, 增强坝体抗滑稳定性, 同时在坝坡表面铺设土工膜, 配合植被防护, 提升防渗与抗冲刷能力。对于坝体承载力不足问题, 优化采用预应力锚固技术, 在坝体关键部位钻孔植入预应力锚杆, 通过张拉施加预应力, 提高坝体整体刚度, 该技术可使坝体承载能力提升30%。另外, 研发新型修补材料, 采用环氧砂浆与碳纤维布复合修补技术, 对坝体表面破损部位进行修补, 材料抗压强度达50MPa以上, 且具有良好的抗老化和抗渗性能。施工中配合实时监测技术, 通过传感器实时采集坝体变形数据, 根据数据动态调整施工参数, 确保加固效果符合设计要求。

### 2.2 基础处理技术优化

基础处理技术优化围绕提高地基承载力和防渗性能展开, 针对不均匀沉降问题, 采用深层搅拌桩复合地基

技术,通过多头深层搅拌桩机将水泥浆与地基土强制搅拌,形成直径0.5-1.0米的搅拌桩,桩体与地基土共同作用形成复合地基,承载力提升50%以上,且施工过程中无振动,对坝体原有结构影响小<sup>[2]</sup>。管涌处理优化采用挤密砂桩与防渗墙结合技术,先通过振动沉管机施工挤密砂桩,增强地基抗渗透稳定性,再在砂桩外侧施工混凝土防渗墙,形成双重防渗体系,有效阻断管涌通道。溶蚀地基处理采用地质雷达精准探测溶蚀空洞位置和规模,随后采用压力注浆填充技术,根据空洞大小调整浆液配比,对于大型空洞采用“先填碎石再注浆”的方式,确保填充密实。优化灌浆技术,采用智能灌浆系统,通过计算机实时控制灌浆压力、流量和浆液浓度,实现灌浆过程自动化控制,相比传统技术,灌浆密实度提升25%,材料浪费减少30%。

### 2.3 金属结构与机电设备更新改造技术优化

金属结构与机电设备更新改造技术优化聚焦性能提升和智能化升级,金属结构方面,闸门更新采用高强度耐候钢替代传统钢材,该钢材耐腐蚀性提升60%,同时采用数控切割和焊接技术,提高构件加工精度,减少焊接缺陷。启闭机改造优化采用变频调速技术,替代传统继电器控制方式,实现启闭速度无级调节,降低运行能耗30%以上,且配备远程控制模块,支持无人值守操作。机电设备更新中,水轮发电机组采用高效节能机型,优化转轮叶片型线,提高水力效率5%-8%,同时配套智能监测系统,实时监测机组振动、温度等关键参数,实现故障提前预警。对于老化电气设备,采用模块化改造技术,更换为集成化程度高的新型设备,减少设备占地面积40%,且提高供电可靠性。施工中采用BIM技术进行安装模拟,提前规划设备安装路径和工序,减少现场安装误差,确保设备安装精度符合设计要求。

### 2.4 施工监测技术优化

施工监测技术优化构建了全方位、智能化的监测体系,坝体变形监测采用全球卫星导航系统与静力水准监测结合技术,全球卫星导航系统监测精度达毫米级,可实时获取坝体三维坐标变化,静力水准系统通过连通管原理,精准监测坝体不同部位沉降差,数据采集频率提升至每10分钟一次。坝体应力监测采用光纤光栅传感技术,将光纤传感器植入坝体内部,通过光信号变化监测应力分布情况,相比传统电阻式传感器,抗干扰能力更强,使用寿命延长至10年以上。渗流监测优化采用渗压计与电磁流量计组合监测,渗压计实时监测渗流压力,电磁流量计精准测量渗流量,数据通过无线传输模块实时上传至监测中心,实现渗流数据实时分析。引入无人

机航测技术,对坝体表面进行定期航拍,通过图像对比分析技术,识别坝体表面裂缝、剥落等缺陷,相比人工巡检,效率提升5倍以上,且可覆盖人工难以到达的区域。监测数据采用大数据分析平台处理,建立监测数据与工程安全的关联模型,实现工程安全状态智能评估。

### 2.5 绿色施工技术应用

绿色施工技术应用围绕节能、节水、节材和环境保护展开,节能方面,施工设备采用新能源动力替代传统燃油动力,如电动挖掘机、太阳能路灯等,减少燃油消耗和废气排放,同时优化施工工序,采用流水作业模式,减少设备闲置时间,降低能耗。节水措施包括设置雨水收集系统,收集雨水用于施工降尘和混凝土养护,配备智能节水器具,实时监测用水量,避免水资源浪费,水资源重复利用率提升至80%以上。节材方面,采用新型环保建材,如再生骨料混凝土用于临时设施建设,再生骨料掺量达30%,减少天然砂石开采,同时对施工废料进行分类回收,钢筋、钢材等可回收材料回收率达95%。环境保护方面,施工区域周边设置隔音屏障和扬尘监测设备,扬尘浓度超过标准时自动启动喷雾降尘系统,对施工废水采用沉淀池+过滤池处理工艺,处理后水质达到排放标准后再排放。施工完成后及时进行植被恢复,采用乡土植物品种,提高植被成活率,恢复施工区域生态环境。

## 3 水利枢纽除险加固工程全过程管理机制构建

### 3.1 全过程管理理念与框架

全过程管理理念以“全周期、全要素、全主体”为核心,强调从项目规划至运行维护的全生命周期管控,打破传统分段管理壁垒,实现各环节无缝衔接。管理框架涵盖目标层、组织层、流程层和支撑层四个维度,目标层明确工程安全、质量、进度、成本和环保五大核心目标,确保加固后枢纽满足现行规范要求且长期稳定运行<sup>[3]</sup>。组织层建立由建设单位牵头,设计、施工、监理、监测等单位参与的协同管理机构,明确各单位职责分工,建立定期沟通协调机制,每月召开协调会议解决跨单位问题。流程层将工程划分为规划设计、施工准备、施工实施、竣工验收、运行维护五个阶段,制定各阶段关键工作流程和质量控制点,如施工阶段明确工序验收流程,未通过验收不得进入下道工序。支撑层包括制度支撑、技术支撑和信息化支撑,制度支撑制定全过程管理细则和考核办法,技术支撑组建专家顾问团队提供技术指导,信息化支撑构建一体化管理平台,实现各阶段数据共享和全程追溯,确保管理过程规范高效。

### 3.2 项目规划与设计阶段管理

项目规划阶段管理重点开展前期调研和可行性研究,

组织专业团队对枢纽现状进行全面勘察,详细检测坝体结构、基础地质、金属结构等关键部位,收集历史运行数据和水文地质资料,建立枢纽病险数据库。基于调研结果进行风险评估,采用层次分析法确定病险等级和加固优先级,编制可行性研究报告,明确加固目标、技术方案和投资估算。设计阶段管理推行限额设计和标准化设计,根据可行性研究报告确定的投资限额控制设计成本,采用成熟的设计标准和技术规范,减少设计创新风险。加强设计过程管控,实行设计方案多轮评审制度,邀请结构、地质、水利等领域专家对设计方案进行评审,重点审查方案的安全性、经济性和可行性。建立设计与施工的提前对接机制,组织施工单位参与设计交底,及时反馈施工可行性问题,对设计方案进行优化调整,避免施工阶段出现重大设计变更。

### 3.3 施工阶段管理

施工阶段管理以质量、进度、安全为核心,质量管控实行“三检制”,施工单位自检、监理单位抽检、建设单位验收合格后方可进入下道工序,重点加强关键工序质量控制,如灌浆施工时全程旁站监理,记录施工参数和浆液性能指标。进度管理采用网络计划技术,编制详细的施工进度计划,明确各工序开工和完工时间,采用Project软件对进度进行动态管理,定期对比实际进度与计划进度,出现偏差时及时分析原因,采取增加施工班组、优化施工工序等措施调整。安全管理建立安全生产责任制,落实各级安全管理人员职责,定期开展安全培训和应急演练,对高空作业、吊装作业等危险工序制定专项安全方案,配备安全防护设施和监测设备,实时监测作业环境安全。成本管理实行动态核算,建立成本台账,实时记录人工、材料、设备等费用支出,定期进行成本分析,对比预算与实际支出差异,采用限额领料、优化施工方案等措施控制成本,确保工程投资控制在预算范围内。

### 3.4 竣工验收与运行维护阶段管理

竣工验收阶段管理制定详细的验收方案,明确验收内容、标准和流程,组织验收组对工程质量、进度、投资、安全等方面进行全面检查,收集施工单位提交的竣工资料,包括施工记录、检测报告、竣工图纸等,对资料完整性和规范性进行审核。重点开展实体质量检测,采用无损检测技术对坝体、基础等关键部位质量进行抽

检,对金属结构和机电设备进行性能测试,确保符合设计要求。验收过程中发现的问题,下达整改通知书,明确整改责任单位和整改期限,整改完成后进行复验,验收合格后出具竣工验收报告。运行维护阶段管理建立常态化维护机制,制定设备维护手册和巡检制度,运行单位定期对枢纽结构、设备运行状态进行巡检,记录运行数据,及时处理minor故障<sup>[4]</sup>。建立定期检测制度,每3-5年组织专业机构对枢纽进行全面检测,评估工程安全状态,根据检测结果制定大修或加固计划,确保枢纽长期安全稳定运行。

### 3.5 全过程管理信息化平台建设

全过程管理信息化平台基于云计算和大数据技术构建,采用B/S架构设计,支持多终端访问,实现各参与单位数据共享。平台功能涵盖项目管理、进度管理、质量管理、安全管理、成本管理和数据analytics六大模块,项目管理模块存储项目基本信息、参与单位信息和合同文件,实现项目信息全程追溯;进度管理模块集成网络计划和进度跟踪功能,实时更新施工进度数据,自动生成进度报表;质量管理模块上传质量检测数据和验收记录,实现质量问题闭环管理;安全管理模块记录安全检查结果和隐患整改情况,发布安全预警信息;成本管理模块实时核算成本数据,对比预算与实际支出。

### 结束语

水利枢纽除险加固工程意义重大,关乎防洪安全与民生福祉。本文通过深入分析工程特点与问题,提出施工技术优化策略与全过程管理机制,为解决工程难题提供思路。未来,随着技术发展,需持续创新优化,强化各环节协同,提升信息化水平,以适应复杂工程需求,确保水利枢纽安全高效运行,为经济社会可持续发展提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]王浩,李鹏.大型水利枢纽工程施工协同管理模式研究[J].水利学报,2022,53(8):987-996.
- [2]张勇,刘敏.数字化平台在水利工程施工协同管理中的应用[J].中国水利,2023(10):45-48.
- [3]石海峰.水利枢纽工程防渗方案及施工技术研究[J].四川水泥,2024(4):135-137.
- [4]易天淳.基于BIM技术的水利枢纽工程钢闸门施工研究[J].水上安全,2024(14):46-48.