

# 水利水电工程管理及施工质量控制

王 帅

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300221

**摘要：**水利水电工程管理涵盖进度、成本、安全等核心要素，通过PERT/CPM、全生命周期成本模型及风险矩阵等技术实现精准管控。施工质量控制需聚焦4M1E模型，强化隐蔽工程与特殊工序管理，结合ISO9001标准与国内规程构建体系。信息化手段如BIM、IoT可提升协同效率与监测精度。实证研究表明，标准化流程、第三方检测及技能培训等措施可显著降低质量事故率，实现进度、成本与质量的联动优化，保障工程安全与效益。

**关键词：**水利水电；；工程管理；施工质量控制

引言：水利水电工程作为国家重大基础设施，在保障水资源安全、促进经济社会发展中发挥着不可替代的作用。然而，受地质条件复杂、施工周期长、多专业交叉作业等因素影响，工程管理与质量控制面临诸多挑战，如进度延误、成本超支、质量缺陷等。本文聚焦水利水电工程管理的核心要素与施工质量控制的关键环节，结合典型案例与技术创新，探讨优化策略，以期为提升工程管理水平、保障施工质量提供参考。

## 1 水利水电工程管理核心要素分析

### 1.1 工程管理的理论框架

(1) 进度管理：PERT/CPM网络计划技术，PERT技术通过加权平均计算工序工期，适用于复杂工程不确定性分析，CPM聚焦关键路径优化。如犬木塘水库借助CPM识别“隧洞衬砌”等关键工序，通过非关键工序错峰施工，实现一期围堰合龙提前47天，有效化解多班组交叉作业延误风险。(2) 成本管理：全生命周期成本优化模型，覆盖设计、施工至运维全阶段，犬木塘工程运用该模型优化顶管施工方案，较原开挖方案节约征地成本1.2亿元；雅下水电站通过“铁公水”联运体系设计，降低大件设备运输隐性成本，契合全周期成本管控需求。(3) 安全管理：风险矩阵与应急预案设计，按风险发生概率与影响程度分级管控，雅下水电站针对高原运输设三级风险矩阵，对冻土路段运输设特级响应预案；犬木塘工程针对隧洞涌水风险，制定“监测-预警-抢险”三级预案，提升风险处置效率<sup>[1]</sup>。

### 1.2 施工组织设计要点

(1) 资源配置与动态调度策略。实行“需求预判-精准投放-动态调整”模式，犬木塘工程根据混凝土浇筑高峰提前增配搅拌设备，避免停工待料；雅下水电站采用模块化运输技术，实现盾构机拆解转运与现场组装高效衔接。(2) 施工平面布置与物流优化。遵循“功能分区-

路径最短-环保合规”原则，犬木塘按灌区分布划分施工区域，缩短材料运输距离；雅下水电站构建“三段式”联运体系，通过铁路干线运输与公路末端配送结合，破解高原物流难题。

### 1.3 信息化管理技术应用

(1) BIM技术在工程协同中的实践。构建三维协同平台，犬木塘工程借助BIM提前解决28处设计矛盾，使机电与土建施工冲突率降低60%，减少返工损失超8000万元，实现多专业数据实时共享。(2) 物联网(IoT)在实时监控中的应用。部署多类型传感器实现全域监测，犬木塘安装320余个IoT设备，实时采集围岩变形、混凝土温度数据，将预警响应时间从4小时压缩至15分钟，筑牢施工安全防线。

## 2 水利水电工程施工质量控制体系构建

### 2.1 质量影响因素识别

(1) 人、机、料、法、环(4M1E)模型。“人”需重点管控特种作业人员资质，如焊工持证上岗率需达100%，某水电站通过岗前实操考核淘汰不合格人员，焊接合格率提升至98%；“机”要关注设备精度校准，混凝土搅拌站需每月校验计量系统，避免配合比偏差；“料”需强化原材料抽检，钢筋力学性能检测频率按批次严格执行，某项目因未达标钢筋退场避免结构隐患；“法”需规范施工工艺，如混凝土浇筑分层厚度需符合设计要求；“环”需应对极端天气，汛期施工需制定防雨措施，防止骨料含水率波动影响强度<sup>[2]</sup>。(2) 隐蔽工程与特殊工序质量控制难点。隐蔽工程如地基处理，需全程影像记录，某水库坝基灌浆施工中，通过钻孔取芯验证灌浆密实度，杜绝空洞隐患；特殊工序如大体积混凝土温控，需实时监测内部温度，某重力坝采用预埋测温元件，将内外温差控制在25℃内，避免裂缝产生；另外，水下混凝土浇筑需控制坍落度损失，某导流洞封堵

通过优化外加剂掺量,保障浇筑质量。

## 2.2 质量管理体系标准

(1) ISO9001与水利水电工程适配性分析。ISO9001的“过程方法”可适配工程全周期,某项目将质量管理要素融入招投标、施工等环节,实现质量目标分解;其“持续改进”要求可通过质量事故复盘机制落实,某工程结合ISO9001建立纠正预防系统,同类质量问题发生率下降60%;但需结合工程特点调整,如针对水利工程季节性强的特性,优化资源调配条款。(2)国内《水利水电工程施工质量检验与评定规程》解读。规程明确单元工程、分部工程等评定层级,某泵站工程严格按规程划分120个单元工程,合格率100%;规定原材料检验频次,如水泥每200t为一检验批,某项目超量未检被责令整改;强调外观质量评定,混凝土结构表面平整度偏差需 $\leq 5\text{mm}$ ,通过规程执行,工程优良率提升至85%。

## 2.3 质量控制技术方法

(1)统计过程控制(SPC)与六西格玛管理。SPC通过控制图监测工序波动,某混凝土生产中,利用X-R图监控抗压强度,异常波动预警及时调整配合比;六西格玛管理聚焦质量改进,某水电站通过DMAIC流程,将闸门安装偏差从 $\pm 3\text{mm}$ 降至 $\pm 1\text{mm}$ ,满足高精度要求,减少返工成本300万元。(2)无损检测技术。超声波探伤可检测金属结构焊缝缺陷,某压力钢管施工中,检出20处未焊透缺陷并返修;红外热成像用于混凝土裂缝检测,某坝体通过该技术发现5条深层裂缝,及时灌浆处理;此外,地质雷达可探测地基密实度,某堤防工程借此优化压实参数,压实度达标率提升至96%<sup>[3]</sup>。

## 3 水利水电工程管理与质量控制的实证研究

### 3.1 案例选择与背景介绍

(1)犬木塘水库工程概况。该工程位于湖南省,是国家172项节水供水重大水利工程之一,涵盖水库枢纽、电站厂房、渠首泵站及120余公里灌区渠道等子项,总投资超70亿元。工程主要功能为灌溉、供水及防洪,可保障300万亩农田灌溉用水,解决沿线100万居民饮水问题,同时承担区域防洪调蓄任务,2023年纳入国家重点水利工程建设计划。(2)工程特点与施工难点分析。特点体现为“多专业集成、长战线施工”,涉及隧洞爆破、渡槽移动模架、顶管施工等10余种复杂工艺,其中隧洞段占灌区总长的35%。难点集中在三方面:一是地质条件复杂,隧洞穿越粉质黏土与砂层交替带,涌水风险高;二是环境约束严格,灌区途经5处生态保护区,施工降噪、扬尘控制要求严苛;三是工序协同难度大,需协调土建、机电、金结安装等20余个参建班组,交叉作业

频繁。

## 3.2 管理措施实施效果

(1)进度-成本-质量三控联动机制。建立“关键路径锁定+动态成本预警+质量一票否决”体系:通过PERT网络计划识别“隧洞衬砌”“渡槽浇筑”为关键工序,采用非关键工序错峰施工减少资源冲突;结合全生命周期成本模型,优化顶管施工方案,较原开挖方案节约征地成本1.2亿元;实行“首件验收制”,关键工序首件不合格不得大面积施工,实现进度提前与质量达标双重目标。最终一期枯期围堰合龙提前47天,左岸二期工程完工提前9个月,成本较概算节约3.5%。(2)信息化平台对管理效率的提升数据。搭建数字孪生智慧管理平台,整合BIM建模与IoT监测功能:BIM技术应用使机电安装与土建施工冲突率降低60%,提前解决28处设计矛盾,减少返工损失超8000万元;部署320余个传感器实时采集隧洞围岩变形、混凝土温度等数据,预警响应时间从4小时缩短至15分钟;通过平台实现“日沟通、周例会”线上协同,问题处置效率提升40%,文书流转周期从3天压缩至8小时。

## 3.3 质量控制成效分析

(1)关键工序质量达标率统计。实施“三级验收+举牌验收”制度,关键工序质量数据显著提升:隧洞二次衬砌强度合格率从初期92%升至98%,其中I类衬砌占比达95%;渡槽移动模架施工外观质量评分均超90分,平整度偏差控制在3mm/m以内;高压旋喷桩防渗墙成桩质量检测中,I类桩占比95%,无III/IV类桩出现。全工程12497个单元工程一次性验收合格率100%,优良率达95%。(2)质量事故率对比与改进措施。施工初期因混凝土配合比不合理、衬砌振捣不规范,质量问题发生率为3.2%。针对性实施三项改进:一是优化混凝土配比,掺入20%粉煤灰并加入聚丙烯纤维,早期收缩率降低15%;二是推行“可视化技术交底”,以三维模型展示缺陷案例,工序返工率下降30%;三是隐蔽工程实行100%影像记录与钻芯验证,地基处理隐患检出率提升至100%。改进后质量事故率降至0.5%,未发生重大质量隐患。

## 4 水利水电工程管理与质量控制常见问题与对策建议

### 4.1 典型问题剖析

(1)施工组织混乱导致的工期延误根源在于关键工序规划缺失与资源调度无序,部分项目未按规范开展工序逻辑梳理,如广州市鱼珠湾水闸工程将廊道顶拱与高支模施工方案混编,且擅自更改模板支撑工艺,导致工序衔接断裂。资源配置失衡加剧延误风险,某灌区工程因未预判混凝土浇筑高峰,出现搅拌设备缺口,单工序

停工达7天。此外,动态调整机制缺位普遍,地质条件突变时无法快速优化施工计划,隧洞施工中遇涌水未及时调整开挖顺序,造成工期滞后2个月。(2)材料质量不达标引发的结构隐患主要表现为原材料抽检缺位与工艺控制疏漏,个别项目为压缩成本使用不合格材料,如某水库防渗墙施工中采用强度不足的水泥,导致墙体渗透系数超标3倍。中间产品质量管控薄弱更具隐蔽性,混凝土浇筑时未按配比掺加外加剂,28天抗压强度仅达设计值的82%,埋下结构开裂隐患。材料存储环节失管同样常见,钢筋露天堆放锈蚀,力学性能下降15%,直接影响结构承载能力。(3)监理单位履职不到位问题突出表现为验收流于形式与风险预判不足,鱼珠湾水闸工程监理对支撑体系与方案重大偏差未予制止,且未核实深基坑支护措施便同意施工,导致重大隐患滋生。人员配置缺陷加剧履职困境,部分监理单位未按要求配备专业人员,对隧洞衬砌等关键工序的质量控制点识别不全。此外,监理指令执行监督缺位,对施工单位擅自更改方案的行为未采取停工整改措施,形成“整改-反弹”恶性循环。

#### 4.2 改进策略与建议

(1)推行标准化施工流程与验收规范制定分专业施工流程手册,明确“方案论证-技术交底-过程监测-验收归档”全环节标准,参考犬木塘水库经验建立关键工序首件验收制。针对危大工程细化专项方案模板,强制要求深基坑、高支模等方案经专家论证并留存痕迹。统一验收标准体系,将单元工程合格率、隐蔽工程影像资料等纳入强制核验项,未达标不得进入下一工序。(2)建立第三方质量检测与信用评价机制引入具备资质的第三方机构开展平行检测,对钢筋、水泥等主要原材料实行“双检”制度,检测覆盖率不低于30%。构建参建单位

信用档案,将材料质量合格率、方案执行度等指标纳入评价,与招投标挂钩,对失信企业限制市场准入。搭建质量信息公示平台,实时公开检测数据与信用评级,接受社会监督<sup>[4]</sup>。(3)加强从业人员技能培训与考核实施“分层分类+实操导向”培训,对施工人员开展工艺标准化培训,对监理人员强化危大工程风险辨识训练。建立“理论考核+现场实操”双评价体系,特种作业人员必须持证上岗,定期开展技能复核。借鉴智慧管理经验,通过BIM模型开展可视化培训,提升人员对复杂工序的把控能力,同时将培训效果与薪酬绩效直接关联。

#### 结束语

水利水电工程管理及施工质量控制是保障工程安全、效益与可持续性的关键。通过构建进度-成本-质量协同管控体系,融合BIM、IoT等信息化技术,可显著提升管理效率与风险应对能力。实践表明,标准化施工流程、第三方质量检测及从业人员技能强化等措施,能有效降低质量事故率,实现工程全生命周期价值最大化。未来需持续创新管理方法,推动智能建造与绿色施工深度融合,为水利水电工程高质量发展提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]寇治国,杨娇.水利水电工程施工质量控制的要点分析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(07):202-204.
- [2]赵金龙.水利水电工程施工质量控制分析[J].水上安全,2023,(13):134-136.
- [3]李佩南.信息化背景下水利水电工程管理及施工质量控制[J].东北水利水电,2023,41(04):49-51.
- [4]张亚鹏.水利水电工程施工质量控制的要点分析[J].工程与建设,2022,36(06):174-176.