

水利水电枢纽工程建设与管理

王威威

湖北省碾盘山水利水电枢纽工程建设管理局(筹) 湖北 武汉 430062

摘要: 本文以汉江中下游梯级开发关键工程——湖北省碾盘山水利水电枢纽为研究对象,聚焦工程建设与运行管理前沿技术及实践,解析前期规划、设计选型、施工实施核心环节,构建全生命周期精细化管理体系并核验成效。同时剖析中型水利枢纽规划协同不足、智能运维滞后等共性难题,结合智慧水利发展需求,提出融合 BIM、物联网等数字技术的优化对策,为同类工程高质量建设与可持续运营提供支撑和范本。

关键词: 水利水电枢纽;工程建设;全生命周期管理;智慧水利;生态协同

引言: 水利水电枢纽是守护生态安全、能源安全和粮食安全的关键基础设施,在航运、防洪、水资源配置、清洁能源供给等方面作用突出。随着国家水网建设推进,极端水文事件频发等挑战,对工程管理精细化、智能化、绿色化提出更高要求。碾盘山水利枢纽作为汉江中下游梯级开发重要一环,其建设管理、安全平稳运行关乎汉江生态经济带高质量发展,本文结合该工程实践,探索管理体系构建与优化路径,破解水利水电枢纽工程建设管理瓶颈,助力流域高质量发展。

1 水利水电枢纽工程建设核心环节分析

1.1 工程前期规划与可行性研究

(1) 工程基本情况:湖北省碾盘山水利水电枢纽属Ⅱ等大(2)型水利工程,兼具综合性、系统性、生态性,位于汉江中游荆门钟祥市,总库容 8.77 亿立方米,具备发电、航运、灌溉、供水等综合功能。工程设计与校核洪水标准均为 50.72 米,总装机容量 180MW,多年平均发电量 6.16 亿千瓦时,设计灌溉面积 46.29 万亩,是汉江流域水资源综合利用的重要骨干工程。

(2) 前期规划核心要点:依据工程等级与流域规划,开展水资源精准评估、坝址复核、建设规模校准及功能定位优化,确定船闸、泄水闸等核心设施选址,适配各功能需求。重点勘察汉江中游水文地质条件,研判水资源供需平衡;选址兼顾地质稳定、施工便利与生态敏感,规模贴合实际需求,统筹多重效益,实现布局科学、功能协同^[1]。

(3) 可行性研究关键要点:对标行业前沿,论证 BIM 技术、智能化监测、绿色施工等技术可行性及核心构筑物选型合理性;精准测算投资、运营成本与收益,保障经济合理与财务可持续;严格开展生态、社会稳定及建设风险评估,识别各类风险并制定防控预案与处置

措施。

1.2 工程设计与技术选型

(1) 主体工程设计:涵盖挡水、泄水、发电厂房等核心构筑物,发电厂房采用河床式布置,泄水闸为开敞式,副坝选用均质土坝,导流明渠优化断面适配施工。遵循安全可靠、经济合理、技术先进、生态友好原则,执行最高设计标准,保障各构筑物协同高效运转。

(2) 配套工程设计:包含机电设备选型、输配电、航运、移民安置及生态环保等,船闸配套导航系船设施,厂房配备智能监控系统。优选高效智能机电设备,设计适配输配电系统;统筹移民安置保障权益,配套生态保护设施,实现工程与生态保护同步推进^[2]。

(3) 设计优化策略:融合 BIM 智能化设计技术,针对船闸、发电厂房等核心构筑物,开展结构、材料、工艺多维度优化。采用新型环保建材与节能技术,在保障安全质量的前提下,控制造价、提升效率、降低能耗,强化薄弱环节设计,提升工程耐久性与适应性。

1.3 工程施工组织与实施

(1) 施工组织设计:结合枢纽核心特点与建设目标,编制科学施工组织方案,围绕泄水闸、电站厂房等关键部位制定精准进度计划,优化施工资源配置。引入智慧施工管理平台,实现施工数字化管控、资源动态调配与进度实时监控,保障施工有序推进。

(2) 关键施工工序管控:聚焦船闸土方开挖、泄水闸混凝土浇筑等核心工序,严格遵循相关规程,强化全过程质量抽检与旁站监理,严控施工精度与工艺标准,消除质量隐患,确保工序达标、总工期可控。

(3) 施工安全管理:结合高空、水下作业及大型设备操作特点,运用物联网、大数据技术动态识别与分级

管控安全风险，重点防控高危工序风险并制定防控措施；建立全方位安全监管体系，压实安全责任，强化培训与应急演练，保障人员与工程安全。

2 水利水电枢纽工程管理体系构建与运行

2.1 工程质量管理体系

(1) 质量管理目标：对标Ⅱ等大(2)型水利工程规范标准，明确工程质量验收准则与全过程控制要求，结合碾盘山工程多建筑物特点，推行质量控制首件样板制，打造标杆工程，确保工程达到设计标准与设计使用年限。核心目标：单元工程一次验收合格率100%，分部工程优良率 $\geq 85\%$ ，单位工程验收合格且达到优良标准；工程整体设计使用年限不低于50年，挡水大坝(含左岸连接土坝、土石副坝)等关键构筑物使用年限不低于100年，坚决杜绝重大质量安全事故。

(2) 质量管理流程：构建原材料进场—施工过程—竣工验收全链条质量管控体系，突出首件样板制特色，针对碾盘山泄水闸浇筑、电站厂房施工、船闸闸室施工等关键部位及工序，先打造首件样板，验收合格后明确施工标准、工艺参数，再全面推广施工。原材料进场实行100%抽样检测，钢筋、水泥等核心主材抽检合格率必须达标；施工过程对混凝土浇筑、地基处理等关键工序实施全程旁站监理，每浇筑100立方米混凝土至少留置3组试块检测；竣工验收阶段全面核查外观质量、实体质量、资料完整性，实现质量管控无死角。

(3) 质量管理责任体系：清晰界定建设、设计、施工、监理等各方质量主体责任，将首件样板制落实情况纳入责任考核，建立权责明晰、奖惩分明的责任机制。建设单位负全面管理责任，设计单位对设计质量终身负责，施工单位负施工质量主体责任，监理单位承担监理连带责任；设立质量专项奖惩基金，对首件样板达标、质量创优班组给予工程总造价0.5%—1%奖励，对首件样板不合格、存在质量隐患的单位依规处罚并限期整改。

2.2 工程进度与投资管理

(1) 进度管理：采用智慧进度管理系统，实现进度实时监测、偏差预警与动态调整，落实全周期工期保障措施。建立进度监测台账，每周比对实际进度与计划进度，偏差超5%立即启动预警；结合2021年、2023年、2025年汉江秋汛实际情况，强化施工工期汉江度汛风险管控，提前制定汛期施工预案；针对大坝浇筑等瓶颈工序，增配施工班组、优化作业时长，快速纠偏；通过施工方案优化，统筹汛期施工衔接，确保总工期控制在批复工期内，降低工期成本。

(2) 投资管理：严格依据Ⅱ等工程概算编制精准投

资预算，预算准确率控制在 $\pm 3\%$ 以内；实行资金专款专用、专项核算，每月审核资金使用明细，确保资金拨付与工程进度同步匹配；通过工艺优化、材料优选、精细化管控，严控工程成本，力争投资超支率控制在2%以内，资金使用效率提升10%以上。

2.3 工程安全与运维管理

(1) 运行安全管理：结合Ⅱ等大(2)型工程等级，对标浙江等省份先进管理经验，推行安全管控标准化体系，针对左岸连接土坝、土石副坝、泄水闸、船闸、电站厂房等部位，搭建智能化安全监测系统，实行隐患分级管控与闭环管理。专业人员每日全域巡查，泄水闸闸门、坝体、船闸闸室等重点区域每2小时巡查1次；实时监测坝体沉降、位移及闸室运行状态，精度达0.1mm，每年全面排查隐患，分级分类限期整改，隐患整改率100%。

(2) 设备运维管理：借鉴省外先进运维标准，建立标准化运维管控体系，针对电站厂房机组、泄水闸与船闸启闭机、供水取水口设备等，推行全周期运维模式。落实月度常态化养护、年度系统性检修制度，设备完好率98%以上；每5—10年对左岸连接土坝、混凝土连接坝段等更新改造，保障设施性能稳定，工程年运行率不低于95%。

(3) 应急管理：严格依照Ⅱ等工程安全管理规范，完善标准化应急管理体系，制定10余种专项应急预案，在泄水闸、坝体周边、电站厂房足额储备应急物资；组建专业应急队伍，细化标准化处置流程，确保突发事件30分钟内快速启动响应，有效防范化解风险，降低灾害损失。

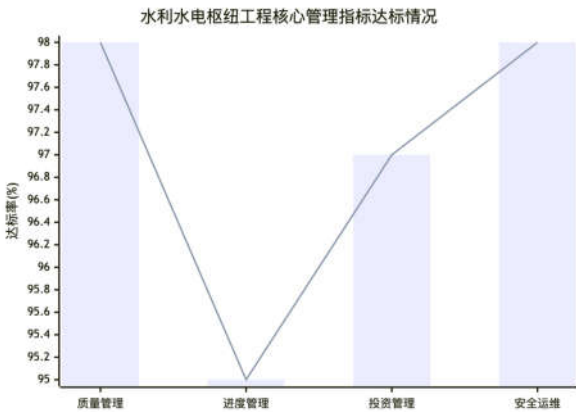


图1 水利水电枢纽工程核心管理指标达标情况

图表说明：该图直观呈现工程管理各核心环节达标

率,其中质量管理、安全运维达标率最高(98%),投资管理达标率97%,进度管理达标率95%,整体管理水平处于行业优良区间。

3 水利水电枢纽工程建设与管理中的问题及优化对策

3.1 当前工程建设与管理中存在的主要问题

(1) 建设阶段问题:结合碾盘山工程坝轴线长、建筑物类型多的特点,数字孪生、信息化建设起步较晚,前期规划与流域统筹衔接不足,前沿技术应用考量欠缺;设计与施工协同不畅,如碾盘山泄水闸、船闸施工中,设计变更管控不规范,易致工期延误、投资增加;施工质​​量管控精细化不足,部分环节未落实规范,存在安全隐患,此类问题在同类枢纽工程中普遍存在。

(2) 管理阶段问题:管理体系协同不足,信息壁垒未破除,责任落实不到位;碾盘山兼顾发电、航运等多重功能,受信息化建设起步较晚制约,智能运维应用浅层化,人工依赖度高,监测预警功能未充分释放;管理人员数字素养不足,难以适配智慧管理;如碾盘山鱼类保护、岸线修复等,生态流量调控精度不足,这也是同类工程的共性短板。

3.2 工程建设环节的优化对策

(1) 完善前期规划与可行性研究:结合碾盘山地处汉江中游、衔接丹江口枢纽的区位特点,强化流域统筹与顶层设计,开展全要素精细化勘察,融合区域发展与生态保护需求优化功能定位;严格落实生态环评,制定生态防控修复方案;建立专家评审与技术论证机制,提升规划科学性,为其他流域枢纽提供参考。

(2) 优化设计与施工管理:借鉴碾盘山多建筑物协同施工经验,推广BIM、智慧施工等数字技术,提升设计精度;建立设计-施工常态化沟通机制,严控设计变更,减少无效变更;落实施工质量全流程管控,强化原材料检验与关键工序监理,建立追溯体系,严肃追责违规行为,此类措施可推广至同类工程。

3.3 工程管理体系的优化完善

(1) 健全管理机制:结合碾盘山一体化管理需求,整合各类管理资源,搭建智慧管理平台,实现信息共享与协同管控;签订责任状,完善奖惩考核机制,定期自查自纠,压实各方责任,为同类多功能枢纽提供借鉴。

(2) 提升运维技术水平:针对碾盘山电站、船闸等多设施运维需求,深化智能监测、自动化运维应用,拓展预警、远程监控功能;推广自动化设备,降低人工依赖,整合各类数据,实现工程运行全流程数字化管控,适配大中型枢纽运维需求。

(3) 加强人才队伍建设:结合碾盘山智慧管理及多专业运维需求,制定数字技术专项培训计划,提升管理人员技术应用能力;建立人才引进与培养机制,优化队伍结构;完善绩效考核,增强人员责任意识,为其他工程人才建设提供参考。

3.4 生态环保与可持续发展优化措施

(1) 施工期生态保护:借鉴碾盘山经验,坚守绿色施工底线,科学划定施工范围,避让生态敏感区;全过程管控扬尘、噪声等污染,强化水土保持;施工后及时开展边坡防护、植被重建等修复工作,恢复生态功能,适用于所有流域枢纽工程。

(2) 运行期生态管控:结合碾盘山为引江济汉工程提供保障的特点,构建水文与生态协同调度机制,保障下游生态基流;建立水文-水质-水生态一体化监测体系,动态跟踪水环境变化;完善生态流量保障与补偿机制,统筹综合效益与生态保护,为同类生态型枢纽提供示范。

结束语

水利水电枢纽工程建设与管理是一项系统性、长期性、复杂性的民生工程,直接关乎区域民生福祉、生态安全与经济社会可持续发展。本文以碾盘山水利水电枢纽工程为实证样本,融合行业前沿成果,系统梳理工程建设核心环节与管理要点,精准剖析现存问题并提出一体化优化对策,明确数智化赋能、生态化协同、精细化管理是未来水利枢纽工程发展的核心方向。为保障国家水安全、推进生态文明建设注入持久动力。

参考文献

- [1] 杨应军,刘涛,包芬芬.东庄水利枢纽工程施工组织设计[J].黑龙江水利科技,2022,50(11):119-123.
- [2] 杨圆,罗显伟,王浩良.石井河拦河枢纽工程施工组织和导流方案比选[J].云南水力发电,2022,38(09):246-249.