

水利水电项目的建设进度与成本控制研究

苟彬 杜红昌

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710000

摘要：水利水电项目建设周期长、影响因素多，进度与成本控制至关重要。本文剖析进度控制与成本控制内涵，指出传统管理方法在进度成本协同上的局限。分析内外部影响因素，借助风险矩阵与蒙特卡洛模拟量化风险。构建涵盖多目标优化与动态适应性的协同优化模型，并通过案例验证。从管理机制、技术手段、风险应对三方面提出对策，为项目高效推进与成本合理管控提供参考。

关键词：水利水电项目；建设进度；成本控制

引言：水利水电工程作为国家基础设施建设的核心部分，对经济发展、民生保障意义重大。其项目建设规模庞大、周期漫长且施工环境复杂，易受自然条件、政策法规、市场波动等诸多因素干扰。在此背景下，建设进度与成本控制成为项目管理的关键挑战。合理的进度安排能保障工程按时投用，有效的成本控制可确保资源高效利用。深入探究二者关系及管控策略，对提升项目效益、推动行业健康发展具有迫切性与重要性。

1 水利水电项目进度与成本控制的理论基础

1.1 基本概念界定

(1) 进度控制：在水利水电项目中，进度控制是基于项目全周期时间维度的动态管理，需结合工程地形条件、水文季节特性等，合理分配人力、设备、材料等资源，对关键节点（如导流工程、坝体浇筑、机组安装、）进行精准管控，确保项目按计划推进，避免因季节因素（如汛期）导致工期延误。(2) 成本控制：覆盖水利水电项目全生命周期，从规划阶段的投资估算，到设计阶段的概预算编制，再到施工阶段的成本动态监控（如建材价格波动、施工方案优化成本），以及运维阶段的养护费用管理，通过全流程管控实现项目成本在预算范围内的高效利用。

1.2 传统管理方法的局限性

(1) 甘特图虽能直观展示项目进度，但水利水电项目工期长、受自然环境影响大，其静态呈现方式无法实时反映施工中突发状况（如地质灾害、设备故障）对进度的影响；网络计划法多以工期为单一目标，难以兼顾水利工程中成本与进度的协同，易出现为追赶工期忽视成本管控的问题。(2) 传统管理中成本与进度割裂，施工阶段若仅追求进度，可能导致“赶工成本”激增（如夜间施工加班费、额外设备租赁费）；若进度管控不当造成窝工，又会产生人工闲置成本、机械停滞费用，双

重损失严重影响项目经济效益。

1.3 协同管理理论框架

(1) 从系统论视角出发，将水利水电项目视为有机整体，进度、成本与质量构成三角约束关系。需在满足工程质量（如坝体强度、防洪标准）的前提下，协调进度计划与成本预算，避免单一维度优化导致整体失衡，确保项目综合目标实现。(2) 基于动态平衡理论，依托水利水电项目实时监测数据（如施工进度日报、材料消耗台账、设备运行记录），建立反馈调整机制。当出现进度滞后或成本超支时，通过优化施工方案（如调整浇筑顺序）、管控资源消耗（如控制建材浪费），动态平衡进度与成本，保障项目平稳推进。

2 水利水电项目进度与成本的影响因素分析

2.1 内部因素

(1) 设计变更：水利水电项目多建于复杂地质环境（如山区峡谷），前期勘察易受技术手段、勘察范围限制，难以完全掌握地质条件。施工中若发现实际地质与勘察报告不符（如存在断层、溶洞、软弱夹层），需紧急调整设计方案（如修改坝体基础处理方式、变更导流洞线路），不仅会导致已施工部分返工，还会延误工期，同时增加设计修改费、材料损耗费等额外成本。

(2) 资源冲突：项目建设需大量人力（如专业技术人员、施工班组）、专用设备（如盾构机、混凝土搅拌站）及特殊材料（如高强度钢筋、防渗土工膜）。若资源规划不合理，易出现供需矛盾：如汛期施工关键阶段缺少防汛设备，会导致进度停滞；建材供应不及时，可能引发窝工，增加人工闲置成本；而资源过度储备又会造成资金占用，提升成本压力。(3) 管理水平：水利水电项目涉及参建单位多（业主、施工、监理、设计）、施工环节复杂，若组织协调效率低，易出现工序衔接不畅（如土建与机电安装工序衔接不畅）；信息传递失真

(如施工指令传达偏差、成本数据统计错误)会导致决策滞后,既影响进度推进,又可能因误判成本状况造成资金浪费^[1]。

2.2 外部因素

(1) 自然环境:项目建设受自然环境制约显著,汛期洪水可能冲毁施工临时设施(如围堰、施工便道),导致施工中断;地震、滑坡、泥石流等地质灾害会破坏已建工程结构,需投入大量人力物力修复,严重延误工期并大幅增加成本;此外,极端天气(如高温、严寒)还会影响施工效率,间接延长工期。(2) 政策法规:水利水电项目与生态环保、土地利用密切相关,若项目推进中环保政策收紧(如提高流域水质排放标准、要求新增生态修复工程),需追加环保设施投入,增加成本;征地补偿标准调整会提高土地征用费用,若补偿协商耗时长,还会延误项目开工或施工进度。(3) 市场波动:项目建设周期长(通常数年),建材价格(如水泥、砂石、钢材)受市场供需、原材料价格影响易出现大幅波动,若价格上涨,会直接推高材料采购成本;劳动力成本随地区用工需求变化而调整,若当地用工紧张导致工资上涨,将增加人工成本,进而影响项目总预算。

2.3 风险识别与量化

(1) 风险矩阵法:针对水利水电项目进度与成本风险,从“概率”(风险发生可能性,如汛期洪水发生概率)和“影响”(风险对进度/成本的破坏程度,如洪水导致工期延误时长、成本增加金额)双维度构建矩阵。将风险划分为高、中、低三个等级,例如“地质灾害导致设计变更”属于高概率、高影响风险,“市场短期小幅波动”属于低概率、低影响风险,为风险管控优先级划分提供依据。(2) 蒙特卡洛模拟:通过建立数学模型,输入水利水电项目进度(如各工序工期)、成本(如材料单价、人工费用)的不确定性参数(如工期波动范围、成本变化概率),进行数千次随机模拟运算,得出进度延误概率分布(如工期延误1个月的概率为30%)、成本超支概率分布(如成本超支5%的概率为25%),为项目风险预判和应对策略制定提供量化支撑,降低风险对进度与成本的冲击。

3 水利水电项目建设进度与成本协同优化模型构建

3.1 模型设计原则

(1) 多目标优化:模型以水利水电项目核心需求为导向,同步实现“最小化工期、最小化成本、最大化质量”三大目标。在工期优化上,聚焦关键线路(如大坝混凝土浇筑、发电机组安装)的工期压缩,避免非关键工序过度消耗资源;成本优化需覆盖全周期费用(如材

料采购、设备租赁、人工薪酬),在预算范围内实现资源高效配置;质量优化则以工程标准为底线(如坝体抗渗等级、结构强度),通过质量管控减少返工成本与工期延误,形成“工期-成本-质量”相互制衡又协同提升的优化体系。(2) 动态适应性:针对水利水电项目中自然环境变化、设计变更等不确定性因素,模型需具备实时调整能力。通过嵌入实时数据接口(如施工进度监测系统、成本核算平台),当出现汛期延误、材料价格上涨等情况时,自动触发参数更新,重新计算最优方案,避免静态模型与实际工况脱节,保障优化策略的时效性与可行性^[2]。

3.2 关键技术方法

(1) 挣值管理(EVM):引入进度偏差($SV = \text{已完成工作预算费用} - \text{计划工作预算费用}$)、成本偏差($CV = \text{已完成工作预算费用} - \text{已完成工作实际费用}$)核心指标,动态量化项目进展。例如某水电站大坝浇筑阶段,若SV为负,表明进度滞后,需分析是否因设备不足导致;若CV为负,说明成本超支,可追溯建材浪费或人工效率问题,为进度与成本协同调整提供数据支撑。(2) 系统动力学模型:梳理水利水电项目中“进度-成本”相关变量(如施工效率、材料价格、管理投入),构建因果回路图。例如“材料价格上涨→采购成本增加→成本超支→压缩非关键工序资源→进度滞后”的反馈回路,通过模拟变量间动态关系,识别影响项目目标的关键节点,为优化策略制定提供逻辑依据。(3) 遗传算法:针对多目标优化问题,通过编码、选择、交叉、变异等运算,求解帕累托前沿(即无法在不牺牲一个目标的前提下改进另一个目标的最优解集合)。例如在某水利枢纽项目中,算法可输出“工期缩短15天+成本增加3%”“工期不变+成本降低5%”等多组优化方案,供决策者根据项目优先级(如赶工需求、成本控制目标)选择适配方案^[3]。

3.3 模型验证与灵敏度分析

(1) 案例数据代入:选取某大型水电站工程(如总工期6年、总投资80亿元)作为验证案例,收集其施工进度计划(如各季度浇筑量)、成本数据(如建材单价),代入模型进行模拟。若模型输出的优化工期与实际可压缩空间相符,且优化成本在预算浮动范围内,证明模型具备实际应用价值。(2) 参数调整测试:通过调整关键参数验证模型灵敏度:模拟“设计变更导致工序增加30%”,观察模型是否能快速延长对应工期并核算额外成本;模拟“钢材价格上涨15%”,检验模型是否能及时调整采购方案、优化成本分配。若模型对参数变化响应迅速且输出结果合理,说明其具备应对不确定性因素

的能力。

4 水利水电项目进度与成本控制的对策建议

4.1 管理机制优化

(1) 推行BIM+数字孪生技术：依托BIM技术构建水利水电项目三维模型，整合地形地貌、结构设计、施工工序等数据，同步关联成本信息（如构件材料单价、施工机械费用），实现进度与成本的可视化联动。例如在大坝浇筑过程中，通过数字孪生系统实时映射浇筑进度，对比计划工期与实际工期偏差，同时自动核算对应阶段成本消耗，若出现超支预警，可快速定位问题环节（如混凝土浪费、机械闲置），及时调整施工方案，避免进度延误与成本失控叠加。(2) 建立动态数据库：收集不同类型水利水电项目（如水库、水电站、引水工程）的历史数据，涵盖工期指标（各工序耗时、关键线路周期）、成本构成（材料采购价、人工成本、设备租赁费）、风险事件（设计变更频次、自然灾害影响程度）等信息，构建标准化数据库。通过数据挖掘分析（如识别“汛期施工成本波动规律”“地质复杂区域设计变更概率”），为新项目决策模型提供训练数据，提升进度计划编制的精准度与成本预算的合理性，减少因经验决策导致的偏差。

4.2 技术手段创新

(1) 智能化监控系统：针对水利水电项目施工范围广、地形复杂的特点，部署无人机巡检系统，定期勘察坝体浇筑进度、边坡稳定性，替代传统人工巡检，提升数据采集效率与准确性；在关键施工区域（如大坝浇筑、发电机组安装现场）安装物联网传感器，实时采集施工设备运行状态（如搅拌站产能、起重机作业频次）、环境参数（如水位、降雨量），数据同步传输至管控平台，一旦出现进度滞后（如设备故障导致浇筑中断）或成本异常（如能耗超标），立即触发预警，助力管理人员快速响应。(2) 模块化施工：将水利水电项目中标准化程度高的构件（如管道、预制混凝土块）进行工厂预制生产，通过标准化设计减少现场加工环节。例如在泵站建设中，提前在工厂完成水泵机组模块、管道连接模块的生产组装，运输至现场后直接吊装拼接，大幅缩短现场作业时间（如将传统现场施工周期缩短30%以

上），同时降低因现场施工环境复杂导致的质量问题与返工成本，实现进度与成本的双重优化^[4]。

4.3 风险应对策略

(1) 合同条款设计：在项目承包合同中明确进度与成本管控奖惩机制，例如约定“若承包商提前完成关键节点（如大坝封顶），按节省工期天数给予一定比例奖金；若因承包商原因导致工期延误，每逾期一天扣除相应履约保证金”；同时细化成本管控条款，明确材料价格波动分担方式（如当钢材价格涨幅超过5%时，超出部分由业主承担），通过合同约定规范承包商履约行为，减少因责任不清导致的进度争议与成本纠纷。(2) 应急储备管理：结合水利水电项目风险评估结果，在项目预算中预留足额不可预见费（通常占总投资的5%-10%），专项用于应对极端天气、地质灾害等突发情况。例如提前储备防汛物资（沙袋、抽水设备），若汛期遭遇超标洪水，可快速启用应急资金组织抢险，减少洪水对施工进度的影响；同时针对建材价格大幅波动风险，预留资金用于临时调整采购计划，避免因材料短缺导致工期停滞，保障项目平稳推进。

结束语

水利水电项目建设进度与成本控制的科学管理，是保障工程效益的核心环节。本文系统剖析了影响进度与成本的内外因素，构建了协同优化模型并提出针对性策略。未来实践中，需持续强化动态监控技术应用、完善风险预警机制，推动管理向精细化、智能化方向发展。唯有统筹兼顾进度、成本与质量，方能实现水利水电工程的社会价值与经济价值的最大化。

参考文献

- [1]李志浩.水利水电工程项目成本造价分析与控制管理[J].珠江水运,2025,(06):59-61.
- [2]张泽锋,谢尚奎.浅析水利水电工程施工进度控制[J].治淮,2024,(11):96-97.
- [3]杨连信.水利水电施工管理的创新探讨[J].中国住宅设施,2024,(06):79-81.
- [4]寇治国,杨娇.水利水电工程进度控制及其优化研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(08):105-106.