

Research on key issues of whole life cycle management of large-scale water diversion projects

Jinlin Li

Shaanxi Province Han River to Wei River Project Construction Co., Ltd., Xi 'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

As a major national water conservancy infrastructure, large-scale water diversion projects are characterized by long construction cycles, massive investment, and extensive regional involvement. The level of full life-cycle management directly determines the efficiency of project performance and resource utilization. At present, some water diversion projects in China still face issues such as fragmented management, information asymmetry, and insufficient ecological protection during the planning, construction, and operation stages, which affect overall project performance. Based on the concept of life-cycle management, this paper systematically analyzes key issues across the stages of planning and design, construction implementation, operation and maintenance, and post-evaluation. It proposes optimization paths including the development of an intelligent scheduling system, enhancement of risk control mechanisms, improvement of ecological compensation measures, and refinement of performance evaluation models.

Keywords

water diversion project; life-cycle management; intelligent scheduling; risk control; ecological compensation

大型引调水工程全生命周期管理关键问题研究

李金霖

陕西省引汉济渭工程建设有限公司，中国·陕西 西安 710000

摘要

大型引调水工程作为国家重大水利基础设施，具有建设周期长、投资规模大、涉及区域广等特点，其全生命周期管理水平直接关系到工程效益与资源利用效率。当前我国部分引调水工程在规划、建设及运行阶段仍存在管理分散、信息不对称、生态保护不足等问题，影响工程整体绩效。本文基于全生命周期管理理念，系统分析了规划设计、建设实施、运行维护及后评价等阶段的关键问题，提出了包括智能化调度系统建设、风险管控体系优化、生态补偿机制完善及绩效评价模型改进等路径。

关键词

引调水工程；全生命周期管理；智能调度；风险管理；生态补偿

1 引言

大型引调水工程是我国优化水资源时空分布、保障区域经济社会可持续发展的关键性工程类型，承担着防洪、供水、生态修复等多重任务。随着工程规模不断扩大和建设周期延长，传统的阶段性管理模式已难以满足复杂系统的协同要求，工程在规划、设计、建设、运行等环节常出现资源浪费、信息割裂及管理响应滞后等问题，导致效益发挥受限。全生命周期管理理念的引入，为引调水工程提供了系统化、科学化、可追溯的管理框架。通过对工程从决策到退役全过程进行动态管控，能够有效提升投资效益、延长设施寿命并降低环境风险。本文旨在从理论与实践两个层面探讨大型引

调水工程全生命周期管理的关键问题与优化路径，为未来水利工程建设与管理的制度创新提供科学依据与技术支撑。

2 大型引调水工程全生命周期管理的内涵与意义

2.1 全生命周期管理的概念与发展历程

全生命周期管理源于工程系统管理理论，强调对工程从立项、设计、建设、运行到退役全过程的动态统筹与科学决策。其核心在于实现工程质量、成本、进度、环境与风险等要素的综合平衡。20世纪80年代欧美发达国家率先将该理念引入大型基础设施建设领域，逐步形成以信息化、系统化为支撑的管理体系。我国在21世纪初开始推广应用全生命周期理念于重大水利与交通工程，通过全过程监控和数据共享，提升了建设的规范化与经济性。该管理模式在理念与技术层面不断完善，已成为现代大型水利工程实现可持续运

【作者简介】李金霖（1984—），中国陕西西安人，本科，工程师，从事大型水利工程研究。

行的重要支撑路径[1]。

2.2 引调水工程建设的复杂性与系统性特征

大型引调水工程涉及流域调度、生态保护、跨区域供水及社会安置等多领域要素，其建设过程具有显著的系统性和耦合性。工程往往跨越多个行政区域，涉及地质、水文、生态等多类复杂条件，项目实施周期较长，环节衔接度要求极高。工程系统中各子项间存在强关联性，任何环节失衡都可能导致整体运行风险加剧。管理需兼顾水资源配置的科学性与工程安全的长期性，协调技术经济与社会环境之间的矛盾。引调水工程的复杂性决定了必须采用多学科融合与全过程监控的系统管理思路，才能确保工程建设与运行达到预期目标。

3 规划设计阶段的关键问题与改进对策

3.1 规划阶段生态与经济协调不足的改进路径

大型引调水工程在规划阶段容易出现经济目标优先、生态约束被弱化的倾向，导致水资源利用效率下降和生态系统破坏。改进路径应以系统思维为指导，构建生态约束与经济效益并重的规划评价体系。通过水资源承载力分析、生态敏感区识别与环境容量测算，优化水源地与输水线路布局，实现水资源合理调度与生态用水保障的平衡。引入生态补偿机制，将生态价值量化纳入项目投资决策，建立动态监测与反馈机制，确保工程在满足区域发展需求的同时，维持流域生态系统的稳定性与可持续性。

3.2 设计阶段风险识别与技术优化的提升方法

引调水工程设计阶段面临地质、水文及结构安全等多维风险，风险识别不足会造成后期调整代价高昂。为提升设计科学性，应建立基于风险矩阵的多源数据分析模型，强化地质勘测精度与水文模拟可靠性。通过参数敏感性分析，识别关键风险因素并进行技术优化，采用分阶段设计校核与专家评审制度，减少设计偏差。结合BIM与GIS技术，实现设计数据的动态可视化与信息共享，提高方案比选的准确性和透明度。优化后的设计不仅能提升施工可行性，还能为运行阶段提供精准的技术基础。

3.3 勘测设计中数据标准不统一的整合策略

在勘测设计环节，不同单位和阶段形成的数据格式、精度标准及编码体系存在差异，导致信息割裂和重复劳动。为实现数据贯通，应建立覆盖地形、水文、地质、结构等要素的统一数据标准与共享平台。通过制定元数据规范与坐标基准统一标准，实现数据的互操作性与时空一致性。推广BIM-GIS一体化技术应用，整合设计成果与监测数据，构建多维数据库支撑系统。建立信息质量审查机制与更新制度，确保数据的真实性和可追溯性。数据标准的统一能显著提高设计协同效率，为后续建设和运维提供可靠的基础信息保障。

4 建设实施阶段的关键问题与优化措施

4.1 进度与投资控制薄弱的改进机制

引调水工程建设周期长、工序复杂，进度滞后和投资

超支常成为主要风险。为加强控制，应建立以目标分解和节点考核为核心的动态管控机制，利用净值管理方法进行进度与成本同步跟踪。通过施工数据实时采集系统，掌握工程现场实际进展，实现与计划偏差的快速识别与纠偏。完善投资估算模型，引入全过程造价监审机制，严格变更管理与合同执行。推进信息化管理平台建设，构建“计划—执行—反馈—优化”的闭环体系，从根本上提高建设执行力和资金使用效率。

4.2 施工质量与安全管理的体系优化

施工阶段的质量与安全直接决定工程的可靠性和使用寿命。当前部分项目存在质量标准执行不严、施工监管不到位等问题。优化体系应以全过程质量控制为核心，建立分级验收与责任追溯机制。引入第三方检测机构参与关键工序验收，确保施工质量透明化。实施安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制，推广智能监测设备和视频巡查系统。通过培训与考核制度强化施工人员安全意识，形成“标准化施工、信息化监控、责任化管理”的质量安全保障体系，提升工程整体安全水平[2]。

4.3 施工期生态保护与水环境风险防控的强化路径

施工期对生态系统和水环境的扰动较为突出，主要表现为水土流失、植被破坏和泥沙淤积。为降低影响，应在施工组织设计中嵌入生态防护理念，合理规划弃土场与取土区，实施分区防护与分段恢复。建立施工废水收集与回用系统，减少污染物排放，推广清洁施工技术和低影响开发措施。对重要生态敏感区设立动态监测点，开展水质与生物指标监控，及时预警潜在风险。通过完善生态补偿机制和环境责任追溯制度，保障施工期生态环境安全，为工程后期稳定运行创造良好基础。

5 运行维护阶段的关键问题与提升策略

5.1 调度运行智能化水平不足的建设方案

大型引调水工程在运行阶段面临调度环节复杂、信息反馈滞后、系统响应缓慢等问题，制约了资源配置效率和调度科学性。为提升智能化水平，应构建集数据采集、智能分析、决策支持于一体的智慧调度平台。通过布设高精度传感器网络与遥感监测系统，实时掌握水量、水质、流速等关键参数，建立多维数据模型，实现动态预测与优化调度。应用数字孪生技术构建虚拟流域仿真环境，借助算法模型实现多目标调度决策，使调水计划更符合生态需水与用水安全要求。系统应具备自学习与自适应功能，能在异常情形下快速生成最优调度方案，确保工程运行的安全、经济与可持续。

5.2 设备维护体系不完善的优化方向

运行阶段设备老化、维护滞后及检修制度不完善导致运行可靠性下降。为提高维护效率，应建立基于状态监测的预防性维护体系，通过振动、温度、电流等实时监测技术获取设备运行状态数据，采用大数据分析判断潜在故障趋势。建立全寿命周期设备档案与维护数据库，实现设备履历的动

态管理。引入模块化检修技术，优化检修工序与备品备件供应链，提高维修时效性与资源利用率。完善人员培训机制，强化技术标准与作业规范执行。通过数字化平台对维护活动全过程记录与反馈，实现从被动修复向主动保养转变，延长设备寿命，保障运行连续性。

5.3 运行风险防控与应急响应的完善措施

引调水工程在长期运行中面临自然灾害、设备故障、突发污染等多重风险，需要建立系统化防控体系。完善的风险防控应以风险识别、评估、监测、响应为核心环节，构建动态风险数据库和等级分区管理制度。通过地质监测、水情预警、结构应变监测等多源数据融合，形成实时风险感知网络。建立应急响应指挥系统，设置分级响应机制与资源配置方案，确保突发事件中指令传达和处置高效。优化应急演练制度，提升人员应变能力和跨部门协同水平。通过风险防控标准化、应急响应信息化、管理责任明晰化，构筑安全高效的运行防护体系，确保工程在复杂环境下的长期稳定运行 [3]。

6 后评价与持续改进阶段的关键问题与优化机制

6.1 工程绩效评估体系单一的改进路径

目前大型引调水工程后评价多聚焦于经济和工期指标，忽视生态效益与社会影响的综合考量，导致绩效反馈的系统性不足。改进路径应建立多维度绩效评估体系，将工程安全、经济、生态、社会、管理五个维度纳入统一指标框架。采用层次分析法与模糊综合评价法，提升指标权重分配的科学性。引入动态监测数据，实现实时绩效分析与阶段性对比，形成“过程评估—结果反馈—再改进”的闭环。建立第三方独立评估机制，确保结果客观公正。绩效评估体系的完善有助于实现工程管理透明化与决策科学化，为后续工程规划提供量化参考依据。

6.2 环境与社会效益反馈不足的完善机制

引调水工程的社会与生态影响具有长期性和区域联动性，但现有管理体系对环境与社会反馈机制重视不够。应建立环境与社会效益双向反馈系统，将水质改善率、生态恢复度、居民满意度、经济拉动效益等指标纳入评估模型。通过生态监测、社会问卷与经济统计相结合的多源数据采集方式，获取动态反馈信息。设立生态补偿与社会回馈基金，对

受影响地区开展补偿性建设与就业支持。建立公众参与与信息公开机制，提高社会监督水平。该机制能有效反映工程外部性影响，促进环境与社会目标协同发展，实现水资源工程的全面可持续价值。

6.3 经验复盘与管理体系持续优化的实践策略

大型引调水工程周期长、环节多，缺乏系统性经验总结与知识传承，导致管理经验难以积累复用。应构建经验复盘与持续改进的体系化框架，将项目全过程的关键节点、问题与对策形成知识档案。建立数字化工程知识库与标准作业流程序库，实现经验可追溯与可共享。通过定期复盘会议与案例分析，提炼可推广的管理模式与技术成果 [4]。引入PDCA（计划—执行—检查—改进）循环机制，形成动态优化路径。将绩效评估结果与管理制度修订相结合，促进标准持续迭代与体系自我完善。该策略能够强化组织学习能力，为未来工程提供成熟的管理模板与决策支持。

7 结语

大型引调水工程全生命周期管理是实现工程高质量建设与可持续运行的重要途径。通过对规划设计、建设实施、运行维护及后评价阶段的系统分析，可以发现管理模式从静态管控向动态协同转变是必然趋势。建立以信息化、标准化、智能化为核心的全生命周期管理体系，能够有效提升工程的安全性、经济性与生态协调性。各阶段的衔接与反馈机制应形成闭环，以实现数据贯通、风险可控、责任清晰的综合治理格局。未来需在制度创新、技术集成和人才培养等方面持续发力，使引调水工程真正成为资源优化配置、生态安全保障与社会可持续发展的战略支撑工程。

参考文献

- [1] 李敏,朱振亚,郭镒维,邝文俊,梁书睿,郝好鑫.西南大型引调水工程弃渣场施工期生态恢复研究[J].亚热带水土保持,2025,37(02):28-33.
- [2] 张海南,杨庆华.大型引调水工程输水管道管材管径优选分析[J].海河水利,2025,(06):105-108.
- [3] 苏霞,魏凯,郝泽嘉,李少龙,崔皓东.大型引调水工程典型渠道衬砌失稳成因及防控措施[J].长江科学院院报,2025,42(02):188-193.
- [4] 姜来,周武,吴宇宙,黄滨,脱友才.大型引调水工程对寒区冰封水库热状态影响研究[J].环境影响评价,2025,47(01):49-55.