

水利施工项目全生命周期成本控制与经济效益分析

刘茂魁¹ 李 鹏²

1. 河南黄河河务局开封黄河河务局 河南 开封 475000

2. 开封黄河工程开发有限公司 河南 开封 475000

摘要：本文旨在系统性地探讨水利施工项目全生命周期成本（LifeCycleCost,LCC）控制的理念、方法与实践路径，并在此基础上构建科学的经济效益分析框架。文章首先阐述了全生命周期成本理论的内涵及其在水利工程领域的适用性；其次，详细剖析了水利项目各阶段（决策、设计、施工、运维、报废）的成本构成与控制要点；再次，提出了基于LCC理念的成本控制策略体系，包括组织保障、技术工具（如BIM、大数据）和协同机制；最后，构建了融合LCC的综合经济效益评价模型。研究表明，实施全生命周期成本控制不仅能有效降低项目的总体拥有成本，更能显著提升其长期的经济效益、社会效益和生态效益，为新时代水利高质量发展提供坚实的决策支持和管理依据。

关键词：水利工程；全生命周期成本；成本控制；经济效益分析

引言

水利工程在保障国家水安全、促进区域协调发展等方面作用不可替代。当下我国进入高质量发展阶段，对水利工程要求从“有没有”转向“好不好”“优不优”，如何在确保功能安全前提下实现投资效益最大化成为核心课题。长期以来，我国水利项目成本管理“碎片化”，各方各自为政，成本控制重心在施工阶段，带来设计方案不合理、施工埋隐患、设备选型短视等负面后果，根源在于缺乏全局成本管理视角。全生命周期成本（LCC）理论是破局关键，其将项目全周期成本纳入统一框架，对水利工程而言，因其服役年限长，运营维护等成本可能远超建设成本，采用LCC方法能引导决策者从长远选方案，实现经济性等目标。

1 全生命周期成本（LCC）理论概述

全生命周期成本（LifeCycleCost），又称总拥有成本（TotalCostofOwnership,TCO），是指一个产品、系统或工程项目在其整个生命周期内所发生的全部费用的现值总和。其生命周期通常被划分为五个主要阶段：概念与需求定义（决策）、设计与开发、生产与建造（施工）、使用与维护（运营）、处置与回收（报废）。LCC的计算公式可表示为：

$$LCC = I + OM + R + D - S$$

其中：

I：初始投资成本，包括土地征用、勘察设计、设备材料采购、施工安装等所有一次性投入。

O&M：运营与维护成本，涵盖能源消耗、人工工资、日常保养、定期检修、备品备件更换等周期性支出。

R：更新与改造成本，指为维持或提升工程功能而在

中期进行的大修、技术升级或部分重建的费用。

D：报废处置成本，项目寿命终结时的拆除、清理、环境恢复等费用。

S：残值，项目报废时可回收的资产价值，如废旧金属、土地等，通常作为负成本处理。

LCC理论的核心在于打破传统成本核算的时间壁垒，通过贴现（Discounting）的方法，将发生在不同时间点的成本折算到同一基准点（通常是项目开始时），以便进行公平比较。这要求管理者具备长远的战略眼光，理解“前期多花一块钱，后期可能省十块钱”的经济学原理。

2 水利施工项目全生命周期各阶段成本构成与控制要点

2.1 决策阶段：成本控制的源头

此阶段的成本约占LCC的1%-5%，但却决定了后续80%以上的成本走向。该阶段的成本主要体现为项目建议书、可行性研究、环境影响评价、移民安置规划等前期工作的咨询、勘测、试验费用。其成本控制的核心在于精准的需求定义、科学的方案比选和前瞻的风险评估。决策者必须明确工程的功能定位、规模和技术标准，避免因目标模糊导致后期反复变更。在此基础上，应摒弃仅以初始投资为唯一标准的传统做法，转而基于LCC理念，对不同的工程选址、规模、技术路线进行综合比选^[1]。例如，在泵站设计中，不仅要比较不同水泵型号的购置价，更要计算其在整个寿命周期内的能耗和维护成本。同时，必须充分识别地质、水文、社会、政策等潜在风险，并将其成本影响量化后纳入LCC模型，从而选择抗风险能力更强、长期成本更低的方案，为整个项目的成功奠定坚实基础。

2.2 设计阶段：成本控制的关键

设计阶段是将决策意图转化为具体实施方案的过程，虽然设计费本身占比不高，但设计方案本身却隐含着未来所有的成本。因此，设计阶段的成本控制至关重要。其核心策略是应用价值工程（VE），系统地分析工程功能与成本的关系，寻求以最低的LCC实现必要功能的最佳方案。例如，通过优化混凝土配合比以提高结构耐久性，虽然初期材料成本略有增加，但可大幅延长结构寿命，从而显著减少未来的维修费用。此外，大力推行标准化与模块化设计，不仅可以简化施工、降低采购成本，还能为未来的维护和更换提供极大便利。设计时还必须高度重视可建造性与可维护性，充分考虑施工的便捷性和后期运维的可达性、安全性，例如为机电设备预留足够的检修空间，或设计便于清淤的渠道断面形式。同时，融入绿色低碳设计理念，选用节能环保的材料和设备，能够从源头上降低运营阶段的能源消耗和碳排放成本，实现经济效益与生态效益的双赢。

2.3 施工阶段：成本控制的执行

施工阶段是资金大量投入的时期，此阶段的成本（即传统意义上的建安成本）构成涵盖了人工费、材料费、机械使用费、措施费、企业管理费、利润、规费和税金等。尽管该阶段对总成本的决定性作用不如前两个阶段，但却是LCC控制理念落地执行的关键环节。有效的成本控制依赖于精细化的管理手段，例如运用挣值法（EVM）等工具，对成本、进度、质量进行集成监控，及时发现偏差并采取纠偏措施。同时，通过优化供应链管理，如采用集中采购、与供应商建立战略合作关系等方式，可以有效降低材料和设备的采购成本及物流成本^[2]。积极引入技术创新与工艺改进，例如采用智能碾压、BIM结合无人机巡检等先进技术，不仅能提高工效、保证质量，还能减少返工和浪费。尤为重要的是，必须始终坚持严格的质量与安全管理，因为任何因质量问题导致的返工或安全事故所带来的额外成本，都是对LCC最直接的侵蚀和破坏。

2.4 运维阶段：成本控制的重点与难点

运维阶段是成本持续发生且历时最长的阶段，其成本（O&M）在LCC中占比可达30%-50%，甚至更高，是名副其实的成本控制重点，同时也是难点所在。该阶段的成本主要包括能源费（如泵站电费）、人工费（管理人员、操作人员）、维护修理费（日常保养、定期检修、大修）、备品备件费、保险费、管理费等。控制这一庞大且持续的成本流，需要建立科学的运维管理体系，制定详细的预防性维护计划，努力将“被动抢修”转变为“主

动预防”，从而延长设备寿命，降低故障率。随着技术的发展，智慧化运维成为降低成本的有效途径，通过利用物联网（IoT）、大数据、人工智能（AI）等技术，对工程运行状态进行实时监测、智能诊断和预测性维护，可以优化调度策略，实现显著的节能降耗。同时，建立完善的资产全生命周期管理体系，对资产进行跟踪管理，能为未来的更新改造决策提供坚实的数据支持。此外，探索与专业运维公司签订基于绩效的合同（Performance Contracting），将运维成本与实际效果挂钩，可以有效激励运维方主动降低成本、提升效率。

2.5 报废阶段：成本控制的终点

虽然报废阶段的成本在LCC中占比很小，但它体现了项目开发者对社会和环境的终极责任，也符合循环经济的发展理念。该阶段的成本主要包括拆除费、废弃物处理费、场地恢复费等。有效的成本控制并非始于此时，而应具有前瞻性，在项目设计之初就充分考虑未来拆除的便利性和材料的可回收性。例如，优先选用易于拆解、环境友好的建筑材料。在项目寿命终结时，则应致力于最大化残值回收，对仍有价值的设备、材料进行回收再利用，这不仅能抵消部分处置成本，更能减少对环境的负面影响，完成项目全生命周期的闭环管理。

3 基于LCC的水利项目成本控制策略体系

3.1 组织与制度保障

首先，必须明确项目业主作为LCC管理的第一责任人，并打破内部部门壁垒，建立一个覆盖全生命周期的跨部门协同工作机制，确保各阶段目标一致、信息畅通。其次，需要完善合同体系，大力推广采用DB（设计-建造）、EPC（设计-采购-施工）甚至PPP（政府和社会资本合作）等一体化合同模式^[3]。这类合同模式能够将承包商的利益与项目的长期性能和成本紧密捆绑，从而促使其在设计 and 施工阶段就主动考虑未来的运维成本，从根本上改变“建管分离”的弊端。最后，必须改革现有的考核与激励机制，将LCC指标纳入对项目各参与方的考核体系，对那些通过创新设计和管理有效降低LCC的行为给予奖励，形成正向激励。

3.2 技术与工具赋能

先进的技术与工具是实现LCC精细化管理的核心驱动力。其中，BIM（建筑信息模型）技术堪称实现LCC管理的理想平台。它可以在设计阶段就集成成本、进度、运维等海量信息，进行多方案的LCC模拟与比选；在施工阶段，实现5D（3D+时间+成本）的动态管理；在运维阶段，BIM模型可作为数字孪生体的基础，为智慧运维提供强大的数据支撑。此外，大数据与人工智能技术的

应用也日益重要，通过收集和分析历史工程的LCC数据，可以建立精准的成本预测模型；利用AI算法则能优化运维策略，实现成本的动态、智能管控。为了提高分析效率和准确性，引入或开发专业的LCC分析软件，并内置水利工程特有的成本数据库和贴现模型，也是必不可少的技术支撑。

3.3 协同与信息共享机制

LCC的成功实施离不开高效的协同与信息共享。必须着力构建一条贯穿项目全生命周期的信息流，确保从决策、设计、施工到运维各阶段的信息能够无缝传递和共享。这意味着设计阶段关于可维护性的详细信息必须准确无误地传递给运维团队，而运维阶段积累的故障数据和经验教训也必须及时反馈给设计部门，用于指导未来项目的优化设计。这种双向、动态的信息循环是实现持续改进的关键^[4]。同时，加强知识管理，建立LCC知识库，系统地积累和沉淀成功经验与失败教训，形成宝贵的组织记忆，可以有效避免重复犯错，不断提升整个行业的LCC管理水平。

4 融合LCC的水利项目经济效益分析模型

经济效益分析是项目决策的最终落脚点。传统的财务评价（如净现值NPV、内部收益率IRR）主要关注项目的直接财务现金流，而忽略了LCC所揭示的更全面的成本图景。因此，需要构建一个融合LCC的综合经济效益分析模型。

该模型的核心是将LCC作为项目的总成本，同时全面识别和量化项目的各项效益。

总成本（TC）：即计算得出的LCC。

总效益（TB）：包括：

直接经济效益：如售水收入、发电收入、灌溉增产收益等。

间接经济效益：如因防洪减灾避免的经济损失、因改善供水促进的产业发展等。

社会效益：如保障饮水安全、改善人居环境、促进

就业等。

生态效益：如改善水质、恢复湿地、保护生物多样性等。这部分效益可通过条件价值法（CVM）、旅行成本法（TCM）等方法进行货币化估值。

经济效益评价指标可采用：

经济净现值（ENPV）： $ENPV = \sum(TB_t - TC_t) / (1+r)^t$

经济效益费用比（EBCR）： $EBCR = \sum TB_t / (1+r)^t / \sum TC_t / (1+r)^t$

其中，r为社会折现率，t为时间。

5 结语

本文得出结论：要彻底转变成本管理观念，从“建设成本”转向“生命周期成本”观，将成本控制关口前移；LCC控制是复杂系统工程，需强有力组织保障、先进技术工具赋能及高效协同信息共享机制，这些是成功实施的基石；经济效益分析应基于LCC，以真实全面反映项目综合价值，优化公共资源配置。展望未来，国家对基础设施资产管理要求提高，数字化转型深入，水利项目LCC管理发展空间广阔。一方面要加快建立标准、规范和定额体系，为实践提供依据；另一方面要推动LCC理念在项目各环节深度应用，使其成为行业共识和自觉行动，如此才能让资源发挥最大效益，为人水和谐美丽中国建设奠定基础。

参考文献

- [1]杨国强.水利工程施工成本预算及控制措施研究[J].中国招标,2025,(11):124-126.
- [2]王保杰.农业水利施工项目的成本控制与效益分析[J].农业科技创新,2025,(15):21-23.
- [3]黄萌.水利水电工程施工成本控制与经济效益分析[C]//重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会.智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二).平果市水利建设管理站,2025:439-443.
- [4]彭小丹.水利工程项目施工成本控制与管理的优化探究[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(20):211-213.