

道路桥梁工程全生命周期造价预测与管控体系构建

吴国华

中交三公局华东建设工程有限公司 浙江 杭州 311100

摘要：传统道路桥梁工程造价管理重建设、轻后期运营维护，使项目整体效益难最大化。全生命周期造价（LCC）管理将项目视为完整生命过程，追求总成本最小化和价值最大化。本文剖析了当前造价管理存在的割裂、短视及数据孤岛等问题，阐述了LCC的构成与核心原则。重点构建融合BIM、大数据、AI的动态预测模型，提出覆盖决策、设计、施工、运维四大阶段的闭环协同管控体系。该体系建立统一数据平台，明确各阶段管控要点，强化组织协同与制度保障，解决传统模式弊端。经理论分析，其在提升投资决策科学性、优化方案、控制成本及降低运维费用等方面效益显著，为基础设施管理转型升级提供理论与路径支持。

关键词：道路桥梁工程；全生命周期造价；预测模型；管控体系

引言

道路与桥梁是国民经济发展的动脉，其建设规模与质量关乎区域经济、社会民生和国家战略安全。我国道路桥梁建设成就显著，但造价管理粗放、超概算、后期维护成本高等问题突出。根源在于传统造价管理模式存在“阶段割裂”和“目光短浅”问题，各方主体高度关注建设期初始投资，却忽视运营维护成本，导致总成本非理性攀升。随着新发展理念深入人心，从全生命周期视角预测和控制工程总成本成为关注焦点。全生命周期造价（LCC）管理打破传统壁垒，纳入项目所有成本，追求长期最优。但其落地面临成本数据海量不确定、各阶段主体利益博弈、缺乏技术工具支撑等挑战。构建科学、可操作且能与现代信息技术融合的全生命周期造价预测与管控体系，具有重大理论价值和现实意义，本文旨在提供一套道路桥梁工程精细化、智能化管理的完整方案。

1 道路桥梁工程全生命周期造价管理现状与问题

1.1 传统造价管理模式的局限性

当前，我国大部分道路桥梁项目的造价管理仍沿着以建设阶段为核心的模式。在这一模式下，可行性研究阶段的投资估算、初步设计阶段的设计概算以及施工图设计阶段的施工图预算，构成了造价控制的主要链条。这种模式虽然在一定程度上保证了建设资金的计划性和可控性，但其固有的局限性不容忽视。首先，它人为地将项目生命周期割裂开来，导致前期决策与后期运维脱节。例如，为了降低初期投资，可能会选用价格低廉但寿命较短的路面材料或桥梁支座，这无疑会大幅增加未来几十年的养护、维修甚至提前大修的频率和费用。其次，该模式缺乏对隐性成本的有效考量，如因施

工质量缺陷导致的后期维修成本、因交通中断造成的社会经济损失、以及项目对环境产生的负面影响等，这些成本虽不直接体现在财务报表上，却真实地构成了项目的社会总成本。

1.2 实施全生命周期造价管理的主要障碍

尽管LCC理念已被广泛认可，但在实践中全面推行仍面临重重障碍。首要障碍是数据壁垒与信息孤岛。项目各阶段由不同参与方负责，所产生的成本、技术、运维等数据分散在各个独立的系统中，格式不一、标准各异，难以进行有效整合与共享，使得构建统一的LCC数据库成为奢望。其次是评价标准与激励机制的缺失。现行的招投标制度、绩效考核体系以及合同范本，大多未将全生命周期成本作为核心评价指标，导致设计、施工单位缺乏主动优化长期成本的动力^[1]。再次是预测模型的复杂性与不确定性。LCC预测涉及大量未来变量，如材料价格波动、交通量增长、灾害发生概率、技术更新迭代等，如何建立一个既能反映客观规律又具备足够鲁棒性的预测模型，是技术上的巨大挑战。最后，跨阶段协同机制的缺位也是关键瓶颈。从规划到运维，涉及众多专业和部门，若没有强有力的顶层设计和协同平台，LCC管理很容易流于形式。

2 全生命周期造价的构成与原则

2.1 全生命周期成本的详细构成

道路桥梁工程的LCC主要由以下几部分构成：（1）初始建设成本：这是最显性的成本，包括土地征用、勘察设计、建筑安装工程费、设备购置费、工程建设其他费用等。（2）运营成本：指项目投入使用后维持其基本功能所需的费用，如道路照明、收费系统运行、交通管理、日常保洁等。（3）维护与维修成本：这是LCC中

占比极高且变异性最大的部分，涵盖了从日常小修保养（如路面坑槽修补、伸缩缝清理）到周期性中修、大修（如桥面铺装更换、结构加固）直至可能的改造重建等所有费用。（4）用户成本：指因项目建设或运营给道路使用者带来的额外支出，包括因绕行或拥堵增加的燃油费、时间成本、车辆磨损以及交通事故风险成本等。

（5）残值与处置成本：项目寿命终结时，其剩余资产（如可回收的钢材、混凝土）的价值，以及拆除、清理场地等所需费用。（6）环境与社会成本：项目在整个生命周期内对生态环境造成的负面影响（如碳排放、噪音污染）以及对社会产生的正面或负面效应（如促进就业、影响社区景观）的货币化估值。

2.2 全生命周期造价管理的核心原则

为有效实施LCC管理，必须遵循以下核心原则：

（1）系统性原则：将项目视为一个有机整体，统筹考虑各阶段、各要素之间的相互关联与影响。（2）前瞻性原则：在早期决策和设计阶段就充分预见并评估未来可能发生的成本，做到防患于未然。（3）价值导向原则：追求的是全生命周期内的价值最大化，而非单一成本的最小化。这意味着在必要时可以接受较高的初始投资，以换取更低的长期运维成本和更高的使用性能。（4）动态性原则：LCC并非一成不变，应根据项目进展、市场变化和技术进步等因素进行动态调整和更新。

3 全生命周期造价动态预测模型构建

精准的预测是有效管控的前提。针对LCC预测的复杂性与不确定性，本文提出构建一个基于“BIM+大数据+AI”的融合型动态预测模型。该模型以建筑信息模型（BIM）为数据载体和可视化平台。在项目设计阶段，BIM模型不仅包含了精确的几何信息，还集成了丰富的非几何属性，如构件材料、规格、供应商信息、预期寿命、维护要求等。这为后续的成本计算提供了结构化的数据基础。进入施工和运维阶段，BIM模型可与物联网（IoT）传感器、无人机巡检、移动终端等采集的现场实时数据进行联动，不断更新模型状态，使其成为反映项目物理实体真实状况的“数字孪生体”。在此基础上，利用大数据技术构建LCC历史案例库和知识库。通过收集和清洗国内外同类项目的全生命周期成本数据，形成涵盖不同地域、不同结构形式、不同交通荷载条件下的成本数据库。这个数据库是模型进行类比分析和参数校准的重要依据^[2]。最后，引入人工智能（AI）算法，特别是机器学习中的回归分析、神经网络或支持向量机等，来处理海量、高维、非线性的成本数据。模型能够学习历史数据中成本与各类影响因素（如材料价格指数、交

通增长率、气候条件、地质状况等）之间的复杂映射关系。当输入一个新项目的设计方案和边界条件时，模型即可输出其全生命周期成本的预测值及其概率分布。更重要的是，该模型具备动态更新能力。随着项目推进，新的实际成本数据和环境变量被持续输入，模型能够自动进行在线学习和参数优化，使预测结果越来越精准，从而为各阶段的决策提供可靠的量化支持。

4 全生命周期造价协同管控体系构建

仅有精准的预测模型是不够的，必须配套建立一个高效的协同管控体系，确保LCC理念贯穿于项目始终。

4.1 管控体系的总体架构

该体系采用“一个平台、四大阶段、多方协同”的总体架构。“一个平台”即基于云技术的LCC协同管理平台，它是整个体系的中枢神经，集成BIM模型、成本数据库、预测模型、工作流引擎和沟通协作工具，打破信息孤岛，实现数据的实时共享与业务的在线协同。“四大阶段”明确了LCC管控的关键着力点，每个阶段都有其特定的管控目标和任务。“多方协同”则强调业主、设计、施工、监理、运维等所有参与方必须在统一的规则和目标下紧密合作。

4.2 各阶段核心管控策略

4.2.1 决策与规划阶段

此阶段应充分利用前文构建的LCC动态预测模型，对多个备选的路线走向、技术标准（如设计速度、车道数）、结构形式（如桥梁的梁式、拱式或斜拉桥）乃至投融资模式进行全方位的全生命周期成本效益分析（Life Cycle Cost-Benefit Analysis, LCCA）。分析不仅要计算各方案的总成本现值，还需评估其带来的社会效益（如时间节约、事故减少、环境改善等），最终选择综合净效益最大化的方案^[3]。更为重要的是，经过论证确定的LCC目标值不应仅仅是一个参考数字，而必须作为一项硬性的、具有约束力的指标，向下传递并指导后续的设计工作，为整个项目的成本控制设定清晰的上限和方向。

4.2.2 设计与建造阶段

这一阶段是平衡初始投资与长期效益的关键窗口期，应大力推行并制度化价值工程（Value Engineering, VE）分析。VE团队需由业主、设计师、成本工程师、未来运维代表甚至材料供应商等多方组成，打破专业壁垒。他们通过系统化的功能分析，深入探讨“这个构件/系统必须做什么？”以及“是否有更经济有效的方式来实现相同或更好的功能？”。例如，在桥梁设计中，采用高性能混凝土或耐候钢虽然会增加初期材料成本，

但能极大提升结构的耐久性和抗腐蚀能力，从而在未来几十年内显著减少维修加固的频率和费用，其全生命周期总成本反而更低。因此，设计文件不仅要有详细的几何图纸，更应包含明确的材料性能规格、预期使用寿命及推荐的维护策略，这些信息是连接设计意图与未来运维实践的桥梁。在招标采购环节，应积极探索和推广“LCC评标法”，改变唯低价中标的做法，将投标方案所承诺的全生命周期成本及其可靠性作为核心评审因素，从根本上激励承包商从长远角度优化其技术和管理方案。

4.2.3 施工阶段

施工阶段的管控则聚焦于质量保障与过程追溯，因为卓越的施工质量是实现设计预期、降低未来隐性成本的基石。任何偷工减料或工艺缺陷都将在漫长的运营期内以高昂的维修代价显现出来。因此，必须利用BIM平台的强大功能，进行4D（3D+时间）/5D（4D+成本）施工模拟，提前发现潜在的工序冲突和资源浪费，优化工序安排。同时，通过严格的现场材料进场检验、隐蔽工程验收和工艺标准控制，确保工程实体质量完全符合设计要求^[4]。此外，施工过程中不可避免会发生工程变更和现场签证，这些事件对成本的影响必须被精确记录，并实时同步更新至LCC协同管理平台，形成完整、可追溯的成本变动链条，为后期的成本复盘和模型校准提供宝贵的一手数据。

4.2.4 运营与维护阶段

管控的目标是实现资产价值的最大化和成本支出的最优化。这需要建立一个以BIM为核心的智慧设施资产管理（Facility Management, FM）系统。该系统能够集成来自桥梁健康监测系统（SHM）、定期检测报告、日常巡检记录等多源数据，对结构的健康状况进行实时、动态的评估。基于LCC预测模型的输出，管理者可以制定科学、前瞻性的预防性养护和预测性养护计划。这意味着不再是等问题出现后再被动抢修，而是根据模型预警，在最佳时机投入最少的资源进行干预，有效防止小

病拖成大病，平抑整个生命周期内的维护成本曲线，从而真正实现从“粗放式维修”向“精细化管理”的根本转变。

4.3 组织与制度保障

为确保上述管控策略落地，必须有强有力的组织与制度保障。业主单位应设立专门的LCC管理小组，负责统筹协调和监督执行。在合同体系中，应明确各方在LCC管理中的权责利，例如，可与设计单位签订包含LCC优化目标的绩效合同。同时，建立健全LCC数据采集、存储、分析和应用的标准规范，为体系的长期稳定运行奠定基础。

5 结语

本文针对传统道路桥梁工程造价管理模式的不足，系统构建了一套以“精准预测”和“协同管控”为核心的全生命周期造价管理体系。该体系通过创新性地融合BIM、大数据、AI等前沿信息技术，有效解决了LCC数据整合难、预测不准的痛点；并通过建立覆盖项目全周期的闭环管控流程和多方协同机制，确保了LCC理念能够真正融入到每一个决策环节。实践表明，实施全生命周期造价管理，不仅能显著提升重大基础设施项目的投资决策科学性和经济合理性，更能从根本上保障工程的长期服役性能和安全，最终实现经济效益、社会效益与环境效益的和谐统一。展望未来，随着数字技术的持续演进和行业认知的不断深化，全生命周期造价管理必将成为我国基础设施建设迈向高质量发展的标配和基石。

参考文献

- [1]李暉.道路桥梁工程造价全过程控制策略研究[J].中国招标,2025,(S2):48-50.
- [2]廖玉婷.道路桥梁造价成本预算风险成因及对策[J].汽车周刊,2025,(10):146-148.
- [3]罗雨森.道路桥梁工程造价控制技术要点分析[J].建材发展导向,2025,23(17):40-42.
- [4]李宇炜.道路桥梁工程造价全过程控制与管理措施[J].运输经理世界,2024,(31):82-84.