

基于全寿命周期的公路工程造价动态控制体系研究

郝文世

河北九门口复线建设发展有限公司 河北 秦皇岛 066000

摘要：本文立足于全寿命周期理论，系统分析了当前公路工程造价管理中存在的阶段性割裂、信息孤岛、风险预判不足等问题，提出构建覆盖规划、设计、施工、运营维护直至报废回收全过程的动态造价控制体系。文章首先界定了全寿命周期造价（LCC）的基本内涵与核心理念；其次，剖析了现行造价管理体系的主要局限；进而从组织机制、技术平台、数据标准、风险预警及绩效评价五个维度，系统构建了动态控制体系的框架；最后，结合BIM、大数据、人工智能等新一代信息技术，提出了体系实施的关键路径与保障措施。研究表明，建立以全寿命周期为导向的动态造价控制体系，不仅有助于实现成本效益最大化，更能提升公路基础设施的综合服务效能与长期经济价值，对推动交通强国战略具有重要意义。

关键词：全寿命周期；公路工程；造价管理；动态控制；BIM；智能建造

引言

公路作为国家重要的基础设施，在促进区域经济发展、保障社会民生、支撑国家战略中发挥着不可替代的作用。近年来，我国公路网规模持续扩大，截至2024年底，全国公路总里程已突破540万公里，其中高速公路超过18万公里，稳居世界第一。然而，在大规模建设的同时，公路工程投资巨大、运维成本高昂、资源消耗严重等问题日益凸显。传统造价管理模式过度聚焦于建设阶段的“一次性投入”，忽视了项目在长达数十年运营期内的维护、养护、更新乃至环境和社会成本，导致“低价中标、高价运维”“重建设、轻养护”等现象频发，严重影响了公共财政资金的使用效率与基础设施的长期服役性能。在此背景下，引入全寿命周期成本（Life Cycle Cost, LCC）理念，构建覆盖项目全生命周期的动态造价控制体系，成为破解当前困境、实现公路工程高质量发展的关键路径。

1 全寿命周期造价管理的理论基础

1.1 全寿命周期成本（LCC）的内涵

全寿命周期成本是指一个产品或系统在其整个生命周期内所发生的全部费用总和。对于公路工程而言，LCC通常包括以下主要组成部分：（1）前期成本：包括规划研究、可行性论证、勘察设计、征地拆迁、环境影响评价等费用；（2）建设成本：即传统意义上的工程造价，涵盖土建、安装、设备购置、监理、管理等直接与间接费用；（3）运营维护成本：包括日常养护、小修保养、大中修、专项工程、交通管理、能源消耗（如照明、监控）、安全应急等；（4）残值与处置成本：项目寿命终结时的资产残值回收或拆除、生态修复等费

用；（5）外部成本（隐性成本）：如交通拥堵、事故损失、环境污染、碳排放等社会成本，虽不直接计入项目账目，但在决策中应予以考量。LCC的核心在于打破“建设期”与“运营期”的壁垒，将后期高昂的运维成本前置到设计与决策阶段进行优化，从而实现整体成本最小化。

1.2 动态控制的核心理念

“动态控制”强调造价管理不是静态的预算编制与事后核算，而是一个贯穿项目始终、随内外部环境变化而持续调整、反馈、优化的闭环过程。其特点包括：（1）全过程性：覆盖项目从构思到终结的所有阶段；（2）实时性：依托信息化手段，实现成本数据的实时采集与分析；（3）预测性：基于历史数据与模型，对未来成本趋势进行预判；（4）协同性：各参与方（业主、设计、施工、运维单位）信息共享、目标一致；（5）适应性：能根据政策调整、市场波动、技术进步等因素灵活响应。

2 现行公路工程造价管理体系的主要问题

2.1 阶段割裂，缺乏系统集成

当前造价管理多按阶段划分，各阶段由不同主体负责，信息传递不畅。例如，设计单位关注技术可行性与概算控制，施工单位追求利润最大化，而运维单位则被动接受建成后的设施状态。这种“铁路警察，各管一段”的模式，导致前期决策未能充分考虑后期运维需求，造成“先天不足、后天难补”。

2.2 成本核算范围狭窄

现行造价体系主要围绕显性、直接的建设成本展开，对隐性成本和长期支出重视不足。在项目审批与招标投标过程中，评审重点往往集中于是否超概算、单价是

否合理等短期指标，而对运营期内可能产生的巨额养护费用、能源消耗或环境治理成本缺乏系统评估^[1]。例如，某些项目为压缩初期投资，选用价格低廉但耐久性差的路面材料或防护结构，虽在建设阶段节省了资金，却因频繁维修、提前大修而导致后期支出剧增，总体LCC反而更高。这种“重显性、轻隐性”“重眼前、轻长远”的核算导向，不仅扭曲了投资决策，也违背了公共财政资金效益最大化的原则。

2.3 数据孤岛与信息滞后

公路工程各阶段产生的大量数据——包括设计参数、施工日志、材料价格、检测报告、养护记录等——分散存储于不同部门、不同系统之中，格式不一、标准各异，难以有效整合与共享。这种“数据孤岛”现象严重制约了全寿命周期成本的追溯、对比与预测能力。管理者往往依赖经验判断或碎片化信息进行决策，缺乏基于完整数据链的科学依据。同时，由于信息传递链条长、人工录入误差多，成本数据更新滞后，无法及时反映市场变化或工程实际进展，导致动态调控机制形同虚设。在数字化转型加速的今天，这一短板已成为制约造价管理现代化的关键瓶颈。

2.4 风险预判与应对能力弱

传统造价管理对不确定性因素的应对多采取被动响应模式，缺乏系统性的风险识别、量化与预警机制。地质条件突变、原材料价格剧烈波动、极端气候事件频发、政策法规调整等外部扰动，常常在项目执行中引发成本失控。然而，现有管理体系既未建立覆盖全周期的风险数据库，也未引入先进的预测模型，难以在风险发生前进行有效干预。即便在问题暴露后，也因缺乏跨阶段协调机制而难以快速制定替代方案或调整预算安排，最终导致工期延误、质量下降或财政超支，损害项目整体效益。

2.5 缺乏有效的绩效评价机制

目前对公路工程的绩效评价多聚焦于建设期的进度、质量与投资控制等短期指标，缺乏对项目全寿命周期经济性、社会价值与环境影响的综合评估。这种评价导向容易诱导各方追求“按时完工、不超概算”的表面合规，而忽视设施的长期服务能力与可持续性。例如，一个项目可能在建设阶段表现优异，但因设计缺陷导致后期养护成本畸高、用户满意度低下，却无法在现有评价体系中得到体现。没有科学的绩效反馈，就难以形成正向激励，也无法为后续项目积累有价值的改进经验，从而陷入“重复建设、重复失误”的恶性循环。

3 基于全寿命周期的公路工程造价动态控制体系构建

3.1 组织机制：建立全寿命周期协同治理架构

要实现全寿命周期造价的有效控制，首先必须打破组织壁垒，构建权责清晰、协同高效的治理架构。建议由项目业主牵头成立全寿命周期成本管理委员会，吸纳设计、施工、监理、运维、财政、审计等关键利益相关方参与，统筹制定LCC目标、审批重大技术经济方案、协调跨阶段争议事项^[2]。同时，应大力推广“设计-施工-运维”一体化（如DBO或PPP）的项目交付模式，通过合同机制将后期运维绩效与前期设计施工质量挂钩，促使承包商在源头就考虑长期成本与功能需求。此外，应在各阶段明确LCC管理责任人，确保成本信息在项目推进过程中无缝传递，形成从规划到报废的闭环管理链条。

3.2 技术平台：打造数字化集成管理平台

技术平台是实现动态控制的核心载体。应构建以BIM（建筑信息模型）为基础，融合GIS（地理信息系统）与IoT（物联网）技术的全寿命周期数字孪生平台。BIM模型不仅承载几何信息，更应集成材料属性、成本数据、维护周期等非几何信息，并随项目进展不断深化更新；GIS则提供宏观空间背景，支持将公路工程置于区域交通、生态、经济系统中进行综合评估；IoT设备可实时采集路面状况、结构健康、交通流量等运维数据，自动触发维护需求与成本估算。通过该平台，可实现概算、预算、结算与运维预算的在线联动，支持多方案比选、成本模拟与动态调整，真正实现“一模到底、数据贯通”。

3.3 数据标准：统一全周期数据编码与接口

数据标准是平台互联互通的前提。亟需制定《公路工程全寿命周期造价数据标准》，统一各阶段的成本科目分类、计量单位、编码规则与数据格式，确保从规划到报废的数据语义一致、结构兼容。在此基础上，应建设国家级或行业级的LCC数据库，系统收录典型工程的历史成本、材料价格指数、养护定额、构件故障率等基础数据，为新项目提供可靠的参考基准。同时，平台应开放标准化API接口，实现与财政支付、税务监管、市场监管等外部系统的安全对接，打通数据流动的“最后一公里”，为动态控制提供坚实的数据底座。

3.4 风险预警：构建动态成本预测与调控模型

风险预警能力是动态控制体系的“神经中枢”。应基于机器学习与大数据分析技术，构建LCC预测模型，利用历史项目数据训练算法，对不同技术方案、材料组合、施工工艺下的全周期成本进行精准模拟。在此基础上，设定关键成本节点的控制阈值，如大宗材料采购价、重大设计变更额度等，一旦实际数据偏离预期即自动触发预警机制^[3]。同时，引入情景分析方法，模拟油价

上涨、极端天气增多、碳税开征等外部冲击对LCC的影响,提前制定应急预案与弹性预算,增强项目抗风险能力,确保成本始终处于可控区间。

3.5 绩效评价:建立全寿命周期综合评价体系

科学的绩效评价是引导行为、优化决策的关键。应摒弃单一的“是否超概算”思维,构建涵盖经济性、功能性与可持续性三大维度的综合评价体系。经济性指标包括单位里程LCC、净现值、投资回收期等;功能性指标关注道路服务水平、通行效率、事故率及用户满意度;可持续性指标则衡量碳排放强度、资源循环利用率、生态修复成效等。评价结果应纳入项目后评估报告,并与相关单位的信用评级、市场准入、奖惩机制挂钩,形成“重长期价值、轻短期利益”的正向激励导向,推动全行业向高质量发展转型。

4 体系实施的关键路径与保障措施

4.1 政策法规保障

制度供给是体系落地的根本保障。建议修订《公路工程基本建设项目概算预算编制办法》,明确要求在可行性研究阶段开展全寿命周期成本分析,并将LCC报告作为项目审批的必备要件。在政府投资管理办法中,应规定对采用LCC优化方案的项目给予优先立项或资金倾斜。同时,出台针对高性能材料、绿色施工工艺、智能运维技术的财税优惠政策,降低创新应用的初始门槛,激发市场主体的积极性。

4.2 技术标准引领

标准体系是规范实践的技术准绳。应加快编制《公路工程全寿命周期造价管理技术指南》《LCC计算规范》等行业标准,明确LCC构成、计算方法、数据要求与评价流程。同时,强化BIM应用标准的强制性,要求大型或重点公路项目必须建立包含LCC信息的BIM模型,并作为竣工移交的核心内容^[4]。通过标准引领,推动LCC理念从试点探索走向规模化应用。

4.3 人才培养与能力建设

人才是体系运行的智力支撑。应在高校土木工程、工程管理、交通运输等专业课程中增设全寿命周期成本管理相关内容,培养具备系统思维与数字技能的复合

型人才。面向在职人员,开展LCC专项培训,提升造价工程师、设计师、项目经理的全周期成本意识与分析能力。同时,鼓励发展第三方LCC咨询服务机构,提供专业化、市场化的技术支持,弥补业主单位能力短板。

4.4 示范工程带动

实践是最好的教科书。应遴选一批新建高速公路、国省干线改造或智慧公路项目作为LCC示范工程,系统应用动态控制体系,积累可复制、可推广的经验。例如,在某山区高速公路项目中,通过LCC分析发现,虽然高性能混凝土路面初期投资较高,但其超长寿命与极低养护需求使其全周期成本显著低于传统沥青方案。此类成功案例不仅能验证体系有效性,更能增强行业信心,加速理念普及。

5 结语

本文系统探讨了基于全寿命周期的公路工程造价动态控制体系的构建逻辑与实施路径。研究表明,传统以建设期为中心的造价管理模式已难以适应高质量发展要求,必须转向全过程、全要素、全参与方的动态协同管理。通过构建“组织-平台-数据-风险-评价”五维一体的控制体系,并依托BIM、大数据、人工智能等数字技术赋能,可有效实现公路工程全寿命周期成本的精细化、智能化管控。未来,随着“双碳”目标的推进与智能交通的发展,全寿命周期造价管理将进一步融合碳足迹核算、韧性评估、用户行为分析等新维度。同时,区块链技术有望解决多方协作中的信任与数据确权问题,使LCC体系更加透明、可信。

参考文献

- [1]周元桥.全寿命周期理念下的公路工程造价管理探究[J].交通科技与管理,2025,6(12):172-174.
- [2]王梓涵.基于全寿命周期理念的公路工程造价管理研究[J].居业,2024,(02):186-188.
- [3]吕佳泽.公路工程项目全寿命周期造价管理[J].交通世界,2022,(10):137-138.
- [4]郑燕茹.公路工程全寿命周期造价管理研究[J].交通世界,2022,(Z1):213-214.