

高速公路养护施工全生命周期成本管控分析

子秦华

云南交投集团云岭建设有限公司 云南 昆明 650000

摘要：随着我国高速公路网络的日益完善和运营年限的增长，养护工作已从“以建为主”全面转向“建养并重”乃至“以养为主”的新阶段。传统的、基于年度预算和事后核算的养护成本管理模式，因其割裂了决策、设计、施工、运维等环节，难以实现资源的最优配置和长期效益的最大化。本文引入全生命周期成本（Life Cycle Cost, LCC）理念，系统性地分析了高速公路养护施工从前期决策到后期评估的全过程成本构成，并深入探讨了在各个关键阶段实施成本管控的有效措施。研究表明，通过建立科学的 LCC 评价体系、强化预防性养护、推广绿色低碳技术、深化信息化与智能化应用以及完善绩效考核机制，能够有效打破部门壁垒，优化资源配置，显著降低高速公路养护的长期综合成本，提升基础设施资产的可持续价值，为推动公路养护事业高质量发展提供理论支撑与实践路径。

关键词：高速公路；养护施工；全生命周期成本；成本管控；信息化管理

引言：我国高速公路总里程居世界第一，在支撑经济社会发展的同时，养护挑战日益严峻。早期建设的高速公路集中出现老化、损伤等问题，公众对出行要求提高，“双碳”战略也提出更高标准，在此背景下，如何科学高效使用有限养护资金成核心问题。长期以来，我国高速公路养护成本管理存在“重建设、轻养护”等倾向，养护决策多基于年度财政拨款，采取被动式维修策略，虽能短期解决表面问题，但忽视不同养护方案长期成本差异，传统成本管理模式已无法适应新时代高质量发展要求。全生命周期成本（LCC）理论提供了新视角和方法论，其强调将项目全周期成本纳入统一分析框架，通过系统性预测、比较和优化选择最优方案。将 LCC 理念应用于高速公路养护施工领域，是革新也是必然选择。本文将系统梳理高速公路养护施工的 LCC 构成，剖析成本驱动因素，提出管控措施，为行业实践提供参考。

1 全生命周期成本（LCC）理论及其在高速公路养护中的适用性

1.1 LCC 理论概述

全生命周期成本（LCC）概念最早源于 20 世纪 60 年代美国国防部，用于评估武器装备系统总拥有成本，其核心是一个项目的真正成本不应只局限于初始投资，而应涵盖整个预期寿命内所有相关可量化支出。LCC 通常包含多个部分：初始成本是项目启动阶段如规划、采购等产生的费用；运营成本是项目投入使用后维持基本功能所需费用，如能源消耗等；维护成本是为保持或恢复项目性能进行保养等活动产生的费用，是变

动最大、最具管理潜力的部分；失效成本是因项目性能不足或故障导致的损失；残值是项目寿命终结时剩余资产带来的收益，通常作负成本处理。LCC 计算公式可简化为 $LCC = C_{initial} + \sum (C_{maintenance_i} / (1 + r)^i) + \sum (C_{failure_i} / (1 + r)^i) - C_{residual}$ ，引入贴现率可将未来成本折算为现值以便公平比较。

1.2 LCC 在高速公路养护中的适用性分析

将 LCC 理论应用于高速公路养护，有着极强的现实意义与内在逻辑契合度。高速公路作为典型基础设施，设计使用年限长达数十年，养护决策影响深远，LCC 方法能捕捉和量化长期效应，规避短视行为，契合其长周期特性。养护需在不同方案间抉择，各方案初始投入与未来维护需求差异大，LCC 作为客观、量化的决策工具，可助管理者选“性价比”最高方案，突出养护决策核心地位。现代养护要考量多维度成本，LCC 框架包容性强，能将交通延误、环境影响等社会成本内部化，实现全面效益评估^[1]。此外，交通运输部倡导“全寿命周期养护”理念，推广应用 LCC 是落实国家政策、推动行业转型升级的具体行动。

2 高速公路养护施工全生命周期成本构成分析

2.1 前期决策与规划阶段成本

此阶段的成本虽占 LCC 比重较小，但对后续所有成本具有决定性影响，堪称“四两拨千斤”。（1）路况检测与评估成本：包括定期开展的路面、桥梁、隧道、交安设施等专项检测费用，以及利用大数据、AI 等技术进行路况智能诊断与预测的投入。（2）养护需求分析

与方案比选成本：基于检测数据，组织专家进行养护需求分析、制定多个备选方案并进行 LCC 初步测算的费用。（3）规划编制成本：编制中长期养护规划、年度养护计划等文件的人力和咨询成本。

2.2 设计与准备阶段成本

该阶段将决策意图转化为可执行的技术方案，是成本控制的关键源头。（1）养护工程设计费：包括方案设计、施工图设计、预算编制等费用。设计方案的合理性、材料选择的经济性、工艺的先进性直接影响施工及后期维护成本。（2）招投标与合同管理成本：组织招标、评标、定标以及合同谈判、签订等行政管理费用。（3）前期准备成本：如临时占地、交通组织方案设计、环保水保措施设计等。

2.3 施工实施阶段成本

这是成本发生最集中、最显性的阶段，也是传统成本管理的重点。（1）直接工程费：包括人工费、材料费（如沥青、水泥、钢材）、机械使用费等。（2）措施项目费：为完成工程施工，发生在施工前和施工过程中的非工程实体项目费用，如安全文明施工费、临时设施费、交通疏导费等。（3）间接费与企业管理费：施工企业的管理、财务等费用。（4）不可预见费：应对施工过程中可能出现的地质条件变化、极端天气等风险的预备金。

2.4 运营与维护阶段成本

这是 LCC 中持续时间最长、累计金额最大的部分，也是 LCC 管理的核心着力点。（1）日常养护成本：包括保洁、绿化、小修保养等常规性、周期性工作的费用。（2）定期/专项养护成本：按计划或根据特定需求进行的预防性养护（如雾封层、微表处）、功能性修复（如坑槽修补、裂缝处理）等费用^[2]。（3）大中修及改造成本：当路况严重恶化或技术标准提升时，进行大规模结构性修复或升级改造的费用。（4）交通运营管理成本：因养护施工导致的交通管制、信息发布、绕行引导等产生的额外管理成本。（5）用户延误成本：养护施工造成的车辆通行时间增加、油耗上升等社会成本，这部分成本虽不由业主直接支付，但应纳入 LCC 的社会效益评估范畴。

2.5 后期评估与反馈阶段成本

此阶段通过对养护效果的跟踪评价，为下一轮 LCC 决策提供数据支持，形成闭环管理。（1）后评估成本：对已完成养护工程的质量、耐久性、实际使用寿命、成本效益等进行跟踪监测和综合评价的费用。（2）数据归集与知识管理成本：将项目全过程的成本、技术、管理

数据进行标准化归档，构建养护知识库和案例库的投入。

3 高速公路养护施工全生命周期成本管控的关键措施

3.1 强化前期决策的科学性，奠定 LCC 管控基石

（1）构建精细化的路况资产数据库：利用自动化快速检测车、无人机巡检、物联网传感器等技术，建立覆盖全路网、全要素（路面、桥隧、交安、机电等）的数字化资产档案。确保决策基于全面、准确、实时的数据。（2）推行基于 LCC 的养护需求分析与方案比选：改变以往仅依据 PCI（路面状况指数）等单一指标下达养护任务的做法。在制定养护计划时，针对每个路段、每类病害，提出 2-3 个技术可行的备选方案（如不同材料、不同工艺），并运用 LCC 模型对各方案在未来 10 年、20 年甚至更长时间内的总成本进行预测和比较，选择 LCC 最优方案。（3）加强中长期养护规划的战略引领作用：将 LCC 理念融入五年或十年养护规划中，统筹考虑资金、技术、人力资源的长期平衡，避免年度计划的碎片化和随意性，确保养护投入的连续性和前瞻性。

3.2 优化设计与准备阶段，严控成本源头

（1）推行全寿命周期设计理念：设计师在选材、选型、结构设计时，不仅要满足当前规范和功能要求，更要充分考虑材料的耐久性、可维护性、可回收性以及未来的养护便捷度和成本。例如，优先选用高性能沥青混合料、耐腐蚀钢材等，虽然初期成本略高，但能大幅延长使用寿命，降低后期维护频率和成本。（2）推广标准化、模块化设计：对于常见的养护工程类型（如伸缩缝更换、护栏升级），制定标准化的设计图集和施工工艺指南，减少重复设计工作，提高设计效率和质量，也为规模化采购和施工创造条件，降低成本^[3]。（3）完善招投标与合同管理机制：在招标文件中明确 LCC 目标和要求，鼓励投标人提供创新的、能降低 LCC 的解决方案。探索采用“基于绩效的合同”（Performance-Based Contracting, PBC），将承包商的部分报酬与其养护工程在约定年限内的实际性能表现（如平整度衰减速率、病害复发率）挂钩，激励其关注长期质量而非短期利润。

3.3 精细化管理施工过程，保障成本执行

（1）深化 BIM+GIS 技术应用：在复杂养护工程（如枢纽互通、特长隧道）中应用建筑信息模型（BIM）和地理信息系统（GIS），进行施工模拟、碰撞检查、进度管理和资源优化，提前发现并解决潜在问题，减少返工和浪费。（2）强化材料与供应链管理：建立区域性养护材料集采平台，通过规模效应降低采购成本。严格把控进场材料质量，杜绝因材料不合格导致的工程质量隐患

和后期高额维修成本。(3)精准管控交通组织成本:科学制定交通组织方案,利用智能交通系统(ITS)动态发布施工信息,引导车流,最大限度减少施工对交通的干扰,从而降低用户延误这一隐性社会成本。

3.4 聚焦运营维护阶段,挖掘 LCC 管控核心潜力

(1)坚定不移地推行预防性养护:这是 LCC 管控最有效的手段。大量研究和实践证明,“花小钱、防大病”的预防性养护策略,能以 1 元的投入节省 4-10 元的未来大修费用。应建立科学的预防性养护决策阈值(如 IRI、RQI 等指标),确保在最佳时机实施最合适的预防性措施。(2)建立动态的养护后评估与反馈机制:对每项养护工程建立“健康档案”,利用自动化检测设备定期回访,跟踪其性能衰变曲线。将实际使用寿命、维护频率、成本等数据与 LCC 预测模型进行比对,不断修正和完善模型参数,使其预测更加精准,形成“实践-反馈-优化”的良性循环^[4]。(3)探索绿色低碳养护技术:积极应用厂拌热再生、就地热再生、温拌沥青等节能环保技术。这些技术不仅能减少新材料消耗和碳排放,其再生混合料的路用性能也日益成熟,从 LCC 角度看,往往具有显著的经济和环境双重优势。

3.5 构建 LCC 信息化管理平台,赋能全过程协同

打破各部门、各阶段的信息孤岛,是实现 LCC 有效管控的技术保障。应着力构建一个集成了资产数据、检测数据、设计数据、施工数据、成本数据、绩效数据于一体的 LCC 信息化管理平台。该平台应具备以下功能:(1)数据集成中心:自动汇集来自不同业务系统的数据,形成统一的资产视图。(2)LCC 智能测算引擎:内置多种 LCC 计算模型和参数库,支持快速、批量地对不同养护

方案进行 LCC 比选。(3)可视化决策支持:通过图表、地图等形式直观展示路网资产状况、养护需求分布、LCC 优化结果等,辅助管理者进行科学决策。(4)全过程追溯与预警:对养护项目的全过程进行数字化记录,并对成本超支、工期延误等风险进行预警。

4 结语

高速公路养护施工的全生命周期成本管控,是从追求“最低初始成本”向“最低综合成本”“最高长期价值”的战略转型。将 LCC 理念深度融入养护管理各环节,以科学决策为引领、精细设计为源头、高效施工为保障、前瞻维护为核心,并借助强大信息化平台支撑,可打破传统成本管理局限。未来,人工智能、大数据、物联网等新一代信息技术深度融合,会让 LCC 管理更智能、精准、高效。构建以 LCC 为核心、数据驱动、协同共享的现代化养护管理体系,能提升公共财政资金使用效益,保障国家交通大动脉安全畅通、绿色智慧运行,为构建现代化高质量国家综合立体交通网筑牢养护根基,这既是行业高质量发展要求,也是时代赋予的使命。

参考文献

- [1]唐德伟.透视高速公路养护经济账:成本构成解析与优化方案出炉[J].中国商界,2025,(24):150-152.
- [2]史洋.高速公路运营期养护成本动态预测方法研究[J].中国科技投资,2025,(24):104-106.
- [3]赵建峰.高速公路养护工程施工成本控制研究[J].运输经理世界,2023,(35):75-77.
- [4]王丹丹.高速公路全寿命周期养护成本控制分析[J].价值工程,2025,44(08):48-51.