

基于全生命周期视角的高速公路运营期工程项目管理探讨

孙松夫, 冯明江

浙江嘉绍跨江大桥投资发展有限公司, 浙江 绍兴 312000

DOI: 10.61369/VDE.2025280044

摘 要 : 随着我国高速公路网络的逐趋完善, 高速公路发展的重点正由大规模建设朝着高质量运营与维护深度转变, 运营期在高速公路全生命周期里占据极大比重, 其期间开展的养护、维修以及更新等工程项目, 是保证路网安全、畅通以及服务品质的关键。本文依据全生命周期理论, 把运营期日常维护、机电系统维修等工程活动放在资产长期价值最优的架构中给予系统性研究。本研究要为高速公路运营公司推动管理转型、达成资产全生命周期成本效益的最大化提供理论依据以及实践途径, 同时可为高校工程项目管理相关课程提供教学参考与案例支撑。

关 键 词 : 全生命周期; 运营管理; 工程项目管理; 日常维护; 机电维修; 数字化; 教学应用

Discussion on Project Management of Expressway Operations during the Entire Lifecycle Perspective

Sun Songfu, Feng Mingjiang

Zhejiang Jiashao Cross-River Bridge Investment Development Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang 312000

Abstract : With the gradual improvement of China's expressway network, the focus of expressway development is shifting from large-scale construction to high-quality operation and maintenance. The operation period accounts for a significant proportion of the expressway's entire life cycle, and the maintenance, repairs, and renewal projects carried out during this period are key to ensuring the safety, smooth operation, and service quality of the network. Based on the whole life cycle theory, this paper systematically studies engineering activities such as daily maintenance during the operation period and electromechanical system repairs within the framework of optimizing long-term asset value. This study aims to provide theoretical support and practical approaches for expressway operating companies to promote management transformation and maximize asset life cycle cost-effectiveness, while also serving as a teaching reference and case support for university courses related to engineering project management.

Keywords : full life cycle; operation management; project management; daily maintenance; mechanical and electrical repair; digitalization; teaching application

引言

“十四五”时期, 我国建成了全球最大的高速公路网, 33 条国家高速公路主线基本贯通, 高速公路里程达 19.1 万公里, 覆盖了 99% 的 20 万以上人口城市, 全国已有 22 个省份实现“县县通高速”, 这一庞大的基础设施网络已成为国民经济循环的动脉。随着建设高峰期渐入尾声, 行业管理的战略重心已明确转向“存量交通基础设施更新提质增效”。运营阶段通常占据高速公路数十年全生命周期的 95% 以上, 期间持续产生的各类工程项目, 其管理效能直接关乎“人享其行、物畅其流”美好愿景的实现。传统的“重建设、轻养护”、“应急式维修”管理模式已难以为继, 它不仅无法适应公众对出行品质日益增长的要求, 更可能导致设施寿命折损和全生命周期总成本的失控。因此, 在国家加快建设交通强国、强调交通运输“智慧化升级”与“绿色化转型”的宏观背景下, 引入全生命周期视角, 对运营期工程项目进行系统性、前瞻性与经济性的管理变革, 对于保障国家战略通道安全可靠、推动行业高质量发展具有极其紧迫的现实意义^[1-2]。本文研究内容也契合高校交通工程、工程管理专业的教学导向与实践需求。

一、全生命周期理论与运营期工程项目管理的内涵延伸

全生命周期理论的核心要义在于, 将一项资产从最初的规划设计, 历经建设施工、运营维护, 直至最终报废回收的整个时间

跨度, 视为一个不可分割的有机整体。该理论强调, 早期阶段的科学决策对于优化整个周期的总成本与综合效益具有决定性作用。将这一理论应用于高速公路领域, 意味着运营期的工程项目管理必须摆脱传统观念中“头痛医头、脚痛医脚”的被动修补模式, 转而成为主动调控资产长期性能、维系并提升其核心服务价

值的战略环节。

具体而言，全生命周期视角下高速公路运营期工程项目管理内涵在三个维度上得到了显著深化与扩展^[3]。首先，在目标维度上，项目管理的追求从单纯完成单项维修任务，升至追求路网整体长期性能与经济效益的最优平衡。其次，在对象维度上，管理的视野从孤立的路面、桥梁、隧道或机电设备，扩展至这些要素相互关联、共同作用的复杂资产系统。最后，在决策依据上，项目立项从依赖经验判断和短期预算限制，转变为基于设施性能长期衰减模型预测和不同干预方案全生命周期成本效益的精细量化对比。这一理论体系也是高校工程项目管理课程中的核心教学知识点。

二、当前运营期工程项目管理的现状

尽管我国高速公路运营管理已建立起基本制度，但在全生命周期视角的审视下，当前管理模式仍面临系统性挑战。

首先，工程项目管理碎片化问题突出。日常养护、机电维修、专项工程等常由不同部门分管，资源与信息难以统筹，无法从资产组合层面进行整体优化。其次，项目决策的科学性与经济性支撑不足。许多项目的启动仍依赖于定期巡查或事后响应，缺乏对设施长期性能的模拟预测。国家层面已明确将“基础设施长期性能观测与评估”列为交通强国试点方向，正反映了对这一短板的关注与补强要求。

其次，项目决策的科学性与经济性支撑严重不足。目前，大量工程项目的启动仍依赖于定期的路况巡查或突发的病害响应，属于典型的“被动式”管理。这种模式缺乏对设施性能长期演变趋势的模拟预测能力，导致决策往往滞后于病害发展，错失了“预防性养护”的最佳时机。这一问题在高校教学中常被作为“传统管理模式弊端”的典型案例进行讲解。

再次，信息断层严重制约了管理精度与决策质量。高速公路建设期产生的大量宝贵数据，如地质勘察资料、隐蔽工程施工记录、原材料性能参数等，往往随着工程竣工而尘封于档案室，未能有效传递至运营管理阶段。这种建设与运营之间的“信息孤岛”现象，使得运维管理者在面对病害成因分析、结构承载力评估时，缺乏关键的历史数据根基，不得不进行大量重复的检测与勘探，既增加了成本，也降低了管理效率^[4-5]。

最后，管理闭环尚未形成。项目验收多关注即时完工质量，缺乏对维修措施耐久性、成本节约长期效果的跟踪与反馈，宝贵的管理经验无法沉淀。以广泛应用的 PPP 模式为例，其在引入社会资本进行快速化改造或运营时，虽缓解了财政压力，但也面临融资稳定性、技术适应性及全周期风险分配等复杂挑战，亟需更精细的协同管理机制。该类问题可作为高校工程项目管理课堂上的典型讨论议题。

三、构建面向全生命周期的运营期工程项目一体化管理体系

基于全生命周期理论的运营期工程项目管理，其本质在于建立一套以资产长期价值为导向的、贯穿项目“规划 - 决策 - 设计

- 采购 - 施工 - 运营 - 后评价”全链条的系统性方法论。旨在从根本上转变传统养护管理中“头痛医头、脚痛医脚”的被动局面，通过将远期运营成本与维修效益前置纳入决策核心，构建一个能够持续自我优化的闭环管理体系。其终极目标是实现高速公路基础设施在全寿命周期内综合成本（包括初始建安成本、运营维护成本、用户成本及残值）的最小化，以及资产服务性能与社会经济效益的最大化。该体系框架可直接用于高校构建全生命周期管理教学模块^[6-7]。

（一）项目规划与决策阶段：以全生命周期成本分析为核心依据

在规划与决策的初始阶段，全生命周期管理的实践体现为将全生命周期成本分析作为项目立项与方案比选的强制性经济评价工具。这意味着，对于任何一项专项养护工程或大型维修项目，决策依据必须从比较一次性建设投资的传统模式，转变为系统量化项目在完整分析期内所有相关成本与效益的净现值或等额年值。分析框架需全面涵盖直接成本（如材料、人工、机械费用）、间接成本（如交通管制导致的用户时间延误、车辆运营成本增加、环境影响），以及难以货币化但至关重要的绩效收益（如安全水平提升、通行可靠性改善）。以高速公路的桥面铺装大修项目决策为例，管理方不仅评估了不同铺装方案（如浇注式沥青 GA、环氧沥青 EA）的当期造价，同时又通过建立预测模型，模拟了各方案在 20 年分析期内的性能衰减规律、预计的维修干预次数与时机、每次维修产生的直接费用与封桥造成的巨大社会成本，最终选择全生命周期净现值最低的方案。该案例适合在高校课堂中开展经济性分析教学演示。

（二）设计阶段：贯彻可施工性、可维护性与可扩展性原则

设计阶段是将全生命周期成本分析结论转化为具体技术方案的物理载体，是决定未来数十年运维难易与成本高低的关键。此阶段的核心要求是贯彻面向可施工性与可维护性的设计理念。具体而言，在主体结构设计上，需优先采用便于检测、监测与更换的构造。例如，对于类似跨海大桥这样的缆索承重桥梁，其锚固区、索夹等关键部件的设计，必须为未来可能的无损检测、健康监测传感器布设乃至换索操作预留充分的空间与条件^[8]。在材料与工艺选择上，应基于全生命周期分析结果，优先选用在特定环境荷载谱下耐久性已验证的材料体系，即使其初始成本较高。在机电系统设计中，则需强调模块化、标准化与接口开放性，以适应未来技术的快速迭代。例如，收费系统的升级设计，应确保新旧设备兼容，减少“推倒重来”式的改造。这一理念是高校“面向运维的设计”教学重点内容。

（三）采购与合同管理阶段：建立基于长期绩效的激励机制

采购与合同模式是实现全生命周期管理目标的关键制度保障。为打破传统“最低价中标”导致的“质量 - 成本”博弈困境，必须创新采购策略，推行基于绩效的合同或全生命周期总承包模式。在长期养护合同中（如 5-10 年的日常养护与小修承包），可将合同总价的 30%-50% 与一系列关键绩效指标挂钩支付，例如路面行驶质量指数的年度保持率、桥梁主要构件技术状况等级的稳定程度、突发事件的应急响应达标率等。对于大型专项工程，

则可借鉴“设计-施工-养护”一体化总承包模式，要求承包商不仅负责工程建设，还需承担为期5年或更长的养护保修责任，并将其报酬与养护期内的资产性能表现直接关联。相关内容可作为高校工程招投标与合同管理课程的教学素材。

（四）施工与过程控制阶段：实施以长期质量为导向的精细化管控

施工阶段是将全生命周期设计理念和合同要求物化为实体工程的核心环节，其管控重心必须从传统的“符合性验收”转向以保障长期性能为目的的精细化过程控制。这要求建立一套以设计文件明确的耐久性指标为基准的质量控制体系。例如，在高速公路大桥钢桥面铺装施工中，管控重点不仅在于铺装层的厚度与平整度，更在于对环氧沥青的储存时间、混合料拌和与摊铺的精确温度区间、压实遍数与时序等直接影响材料长期粘结性能与疲劳寿命的关键工艺参数进行全过程、可追溯的严格监控与记录。该过程管控思路可用于施工质量管理课程教学。

（五）运营维护与后评价阶段：形成“监测-评估-反馈”的持续改进闭环

运营维护阶段是全生命周期管理周期最长、数据价值生成最密集的阶段，而后评价则是实现管理体系、自我学习与持续改进的闭环枢纽。运营单位必须建立系统化的资产性能监测与定期评估制度，利用自动化检测、传感器网络等技术手段，持续采集资产状况数据，并与项目决策阶段所做的全生命周期成本效益预测模型进行动态比对。当出现显著偏差

时（如某段路面实际损坏速度远超预测，或某项维修措施的实际寿命远低于设计预期），即触发专题后评价程序。后评价需深入剖析偏差根源，例如，是原预测模型参数不准、材料现场性能与实验室数据不符、施工工艺存在未被发现的缺陷，还是运营环境发生了重大变化。更重要的是，评价结论必须被强制、结构化地反馈至管理前端^[9-10]。该闭环模式与高校教学中PDCA持续改进理论高度契合，可作为典型教学应用。

四、结论与展望

从全生命周期视角重构高速公路运营期工程项目管理，是行业从“规模扩张”转向“品质效益”发展的内在要求。它要求管理者超越年度预算和单项工程的局限，以资产数十年的服役周期为考量，通过前端科学决策优化资源配置，通过过程智慧管控保障实施效能，并通过后端知识反馈实现持续改进。当前，以数字化转型为核心的技术革命为这一管理变革提供了强大支撑。无论是国家部署的超过6万公里交通基础设施数字化转型升级示范通道，还是各地探索的“智慧扩容”、无人收费、预约通行等场景，都预示着“人工智能+交通运输”的深度融合将彻底改变运维管理的形态。未来，随着数据要素价值的充分释放与管理体系的完善，高速公路运营公司将能够更精准地洞察资产健康、更前瞻地安排干预措施、更高效地配置资金与人力，最终在保障社会公共服务优质供给的同时，实现国有资产价值的长期稳定与增值，真正践行交通强国战略下基础设施高质量发展的核心要义。

参考文献

- [1] Wubuli A., Li F., Cao S., et al. Timing of Preventive Highway Maintenance: A Study from the Whole Life Cycle Perspective[J]. Sustainability, 2025, 17(3): 1009.
- [2] 交通运输部. 交通运输部办公厅关于印发《交通强国建设试点申报方向指引（2025年）》的通知 [EB/OL]. 2025.
- [3] 国务院新闻办公室. “十四五”时期加快建设交通强国成效新闻发布会图文实录 [EB/OL]. 2025.
- [4] 广东省交通运输厅. 我国完成超500公里公路干线通道智慧扩容 [EB/OL]. 2025.
- [5] 成楠. 基于利益相关者理论的PPP公路快速化改造项目风险管理研究——以T市公路快速化改造项目为例 [J]. 房地产导刊, 2025(11).
- [6] 中国交通运输部. 以科技示范工程树起“樟吉”美绿高速“新标杆” [EB/OL]. 2025.
- [7] 青海省人民政府. 【辉煌“十四五”改革谱新篇】青海高速公路通行效率提升10% [EB/OL]. 2025.
- [8] 巴彦淖尔市交通运输局. 市交通运输局2025年1-8月份重点项目进展情况 [EB/OL]. 2025.
- [9] 高楠. 关于高速公路项目全生命周期投资控制的探讨 [J]. 环渤海经济瞭望, 2024(4): 107-109.
- [10] 路博雯. 政府和社会资本合作模式下J高速公路项目风险管理研究 [D]. 北方民族大学, 2024.