

# 面向全生命周期的高速公路养护成本控制机制与优化模型研究

陈辰 曹显

湖北中交咸通高速公路有限公司, 中国·湖北 咸宁 437000

**摘要:** 伴随着中国高速公路的不断增长, 公路养护管理工作的内容正在不断扩展, 采用传统方式进行成本控制的方式已经远远不能应对目前日益复杂的养护管理工作的展开及经济效益需要。论文提出基于全生命周期, 从公路在各生命周期期间养护的成本、变化状况进行全方位的分析, 实现基于预算为核心, 同时囊括实时监测、性能分析等关键点的成本控制系统的制定思路的方案。并以信息化技术为基础对公路养护管控方法的展开进行探究, 提出将管控方法纳入管理平台中。

**关键词:** 高速公路养护; 全生命周期; 成本控制; 优化模型; 决策支持

## Research on the Cost Control Mechanism and Optimization Model of Expressway Maintenance for the Whole Life Cycle

Chen Chen Xian Cao

Hubei Zhongjiao Xiantong Expressway Co., Ltd., Xianning, Hubei, 437000, China

**Abstract:** With the continuous increase of highways in China, the content of highway maintenance and management work is constantly expanding. The traditional method of cost control is no longer able to cope with the increasingly complex development and economic benefits of maintenance and management work. This paper proposes a comprehensive analysis of the maintenance costs and changes of highways during each lifecycle, based on the entire lifecycle. The plan aims to develop a cost control system that is centered around budgeting and includes key points such as real-time monitoring and performance analysis. And explore the development of highway maintenance and control methods based on information technology, proposing to incorporate control methods into the management platform.

**Keywords:** highway maintenance; full lifecycle; cost control; optimize the model; decision support

### 0 前言

随着社会经济的快速发展, 高速公路作为交通运输的重要组成部分, 其养护管理的有效性直接影响到交通安全、运输效率和经济发展。全生命周期养护成本控制不仅涉及初始建设费用的管理, 更包括运营和养护阶段的持续投入。近年来, 养护管理的理念逐渐从被动修复向主动预防和绩效导向转变, 如何科学合理地控制养护成本成为亟待解决的问题。面对越来越严重的路网问题、越来越多的车辆及资金有限等, 单一阶段的养护投入已难以满足系统性管理需求。因此, 运用引入全生命周期管理理念, 建立成本控制机制以及实现智能化的优化模型, 对养护决策具有更高的效率性以及促进公路长期发展, 更好地使用财政资金。

## 1 高速公路全生命周期养护成本控制的理论基础

### 1.1 高速公路全生命周期的管理要点

高速公路全生命期管理是对高速公路从计划到结束的各个阶段进行整体监控与管理的整个过程, 其主要强调的是

在各个阶段合理分配使用资源并处理投资问题, 追求长周期的收益最大化。在全生命周期上考虑的不只是建成后的使用性能和养护反应, 而是前期设计的准确性和建成质量对于后期养护费用的重要影响。其主要实施要点包括, 确定各阶段的职能目标、建设跨阶段的数据通讯线路、完善阶段间动态平衡的经济效益优化策略等。全生命周期管理能够有效避免反复建设, 减缓道路结构的损耗、降低养护长期养护成本, 进而提升高速公路路网资产总价值、提高利用效率, 同时也是减少养护成本的先决条件。

### 1.2 养护成本构成及其随生命周期演化的变化特征

对于高速公路养护的成本构成而言, 其包含预防性养护、周期性修复、大中修项目、突发事件抢救、提升技术水平等内容。不同构成比例和结构因公路使用年限长短差异显著。在公路刚被使用的阶段, 其主要是对局部进行维修和保护的小修小补的工作, 因此支出费用较少。待过了相当长时间后路面不断受到磨损, 加上交通流量的上升, 维修的工作就会越来越多, 因而所支出的费用也就越来越大, 尤其是在后期会面临一些根本性或者大规模的巩固、重建工作, 因此

成本就会增加较多。除上述内容外,环境因素、交通量变化、施工质量等问题都会对最终成本带来一定程度的影响。准确把握整个生命周期内的成本波动情况可以有效确保前期的投资得到有效地管控,制定合理预算。

### 1.3 生命周期成本控制的理论依据

生命周期成本控制理论(LCC, Life Cycle Costing)是一种控制设备全部生命周期使用总成本的全面估算管理理念,考虑的是如何从系统的视角进行资源的分配及经济效益的。LCC认为,项目早期决策对后期养护及经营成本具有较大的影响作用,应该在整个生命期内进行成本效益分析,实现成本的最小化。LCC强调成本的控制不能局限于一个阶段或环节,贯穿于计划、设计、施工、使用及回收的全过程,形成跨越所有环节的成本分析体系。在公路养护管理中,在LCC的基础上可以使用数据分析、实时预测和危害分析的手段来评估各种保养活动的经济价值和优化选择策略,作为建立合理且有效的成本控制基础,也可以为模式改进的设计实施提供一定的依据。

## 2 面向全生命周期的高速公路养护成本控制机制构建路径

### 2.1 构建涵盖全周期的成本预算与投入机制

全生命周期养护成本控制的首要环节是建立科学、合理的预算与投入机制,包括各阶段从规划设计到设备的淘汰更新,财务管理的财务整合和成本均衡等环节问题。可以采用根据各阶段可能出现的不同维修类别的频率和可能受路况、车流量、天气等因素影响出现频率制作的预测模型,即科学合理地进行动态比例分配,在提前避免投资不足和后期出现大规模修复导致成本增加的同时,具有一定程度的应对偶发意外事件的能力,以提高财政资金使用的效率。例如,江苏高速公路在建设阶段,尝试以“设计—建造—运营一体化(DBO)”的方式,由运营方提前规划10年内分阶段投入计划。经实践效果验证,10年期间中的大型和中等维修数量显著减少,年平均每公里养护成本减少15%以上,有效地进行事前成本控制与综合优化。

### 2.2 建立动态监测与信息化成本跟踪机制

动态监测与信息化成本跟踪机制是实现养护投入与实际成效匹配的关键。建立包括建构筑物状况、交通量大小、天气状况等数据的采集和传送到信息平台,实现实时动态养护现状监测和养护活动及其相应成本等信息输入信息平台进行“事件—投入—结果”全过程的跟踪,作为后期研究整改的基础数据支持。信息化系统应具备预警和分析功能,自动发现成本超支较大,材料浪费的修理过程和修复费用。例如,广东省某高速公路利用BIM+互联网技术,在桥梁上加装路面压力感应器实时监测桥梁疲劳状况,将相应数据通过网络平台共享给工程施工队伍,当他们发现某路段承重情况出现异常时,系统自动预警且记录修复成本和后续变化,根

据他们的建议调减今后的清养频率和费用,从而使得每年养护投入量差异不超过10%,大大提升了财务运作的可靠性和透明度。

### 2.3 完善决策支持与绩效反馈闭环机制

建设有效的养护成本控制机制,需要确立“规划—实施—分析—反馈”的管理循环框架,提高决策的准确度和快速调整的能力。这个框架应以信息技术整合相关数据为基础,利用大数据分析对不同维修策略的经济性进行比较,得到最适合客观结果的选择。同时将绩效评价的数据纳入下次计划预算和计划调整的重要参考依据,才能形成真正的“以成果决定决策”这种正向激励和纠偏机制。例如,山东省境内的一家高速公路经营公司,建立了“项目支出—绩效数据库”的“项目支出—绩效数据库”,为每一项维修工作制定了成本和成果两个维度的标准,成本主要用于使用年限、行驶舒适性改善等,到工作完成后,由第三方评价机构进行详细的评审并做综合报告,然后再与最初计划预测的结果进行比较,这样承包商也会有动力和意向来对他们的计划进行改进以控制成本,做到了高效的投资与绩效的统一。

### 2.4 推动成本控制机制与技术平台协同集成

随着信息技术与数字技术的不断发展,融合成本控制机制和相关技术构建效率管理的有机体成为重中之重。通过融合BIM、GIS、IoT、AI等技术形成覆盖全生命周期的成本管理平台,保障全生命周期内如规划、施工、验收、修正环节的数据衔接与数据共享保持一致性。该平台具有估计成本、数据可视化、智能调度与监测的功能,从而提升管理的高效性和准确性。例如,浙江省交通集团设计的“智慧养护一体化平台”,将该平台项目预算系统、工程调度系统以及BIM的三维展示系统全部集成在一个平台上,使得由病害检测到资金安排、进程查询,全过程中都能实行全数字化管理。在一个隧道漏雨的维修工程中,该平台根据建筑物健康状态给出维修措施,在该平台成本库的基础上给出最优的材料组合和时间表,最终,该项目花费控制到了预算额的95%,节约了60万元,可见平台协作在降低施工成本的重要性。

## 3 面向全生命周期的高速公路养护成本控制的优化模型实施策略

### 3.1 明确模型目标与约束条件的设定策略

其科学程度取决于目标函数和约束条件的科学制定,在公路养护成本控制方面,模型的目标应为保证道路服务和结构安全性的情况下,使全生命周期总成本最小化,同时考虑到技术的应用和安全、财务、工时和交通等限制因素,同时根据不同的管理阶段修正这些限制条件,另外一些模型的控制还应考虑环境因素作为非经济指标,以实现节能环保效果,如北京某环路高速公路的养护计划模型就使用了多种模型,制订了“在10年期间,所有的养护总成本不能超出计

划的金额”“主路的无阻塞时间大于或等于 90%”等严苛的条件以及“道路全路面完整性必须超过 95%”等较为灵活的要求。并且实施计划主张分段和局部强化维修计划以保证路面优质的同时也能保证总费用在原计划成本 92% 以内,取得了很好地控制成本的效果。

### 3.2 选择适配全生命周期管理的数据输入方案

优化模型运行的基础是高质量、全维度的数据输入体系。对于养护成本控制的全生命周期模型来说,其需要整合多个不同来源、具有不同特性的数据输入,包含道路几何数据、历史养护记录、交通流量数据、气象数据、原材料特性数据库、价格数据等等。其数据应当覆盖到设计阶段的每个环节,可以具有时效性和地域性,以期能够定位出影响成本变化趋势的因素和风险点。例如,四川省某山区高速公路在形成其优化模型时采取的是“层次化+定时段”的数据输入法,包含路面检测指标( IRI 和 PCI)、桥梁荷载检测数据、历史保养花费数据、3 年气象数据,然后将所得数据接入 BIM 和 GIS 平台,再导入优化模型系统,可实现数据的自动化导入和更新。这种方式极大地提高了模型预测的准确性,并且按照模型产生的优化后的保养计划实施 1 年后每公里平均保养费用节约了 12%,验证了数据驱动在成本控制中的关键作用。

### 3.3 制定模型仿真运行与调整优化的技术流程

有效的模型改进在于它的静态结构,也和模型的动态仿真以及其参数调整系统的合理设置息息相关。仿真操作程序应有以下几部分,输入初始量,追加目的性、约束性,启动计算方式以取得解答,呈现输出解答并检验,按照这些信息做出反向优化的过程。通用的计算手段有遗传算法(GA)、群体智能搜索算法(PSO)、蚂蚁搜索算法等,具体选用还是要看问题的复杂度以及数据量大小。在仿真过程应当实施多次的比较分析仿真与场景仿真,从而使得结果持续得到改善。例如,湖北省的高速公路运营公司就采用 PSO 优化模型制定出三个养护策略(防止控制策略、周期性保养策略、紧急应对策略),进行 5 年、10 年、15 年的仿真,经过了若干轮的仿真之后,发现从长期考虑,“预防+周期”组合的经济效果最优,随即交通运营公司参照这些仿真结果调整年度预算投入比例,60% 投入在了预防控制方面,从而节约了成本并且使路面寿命大幅提高,取得了有效的优化效果。

### 3.4 推动模型结果在养护决策中的落地与应用

模型最主要的是把模型成果作用在实际工作中,发挥

实际作用。具体需要如下,把模型成果与预算连接起来,连接到系统的预算环节。从模型优化结果中取得全年建设进度计划。方案评价成果作出方案效益评价,再作为方案改进的依据。还应建立“模型执行—方案选择—执行控制—成效评估”这样一种循环过程,来促进建立数据驱动业务决策的新潮流。例如,山东省某高速集团已经把模型优化成果运行于 OA 办公系统和预算系统中,每年均可根据实际情况重新运行一遍模型,得到最优的各路段养护方案,然后把养护方案通过电子邮件告诉相关人员。例如,2023 年第 2 季度,根据该模型,提前 6 个月启动某互通的路面维修工程,避免了冬季出现结冰之后带来重大的交通事故和高额的养护维修成本。

## 4 结语

要实现公路长期可持续的高效运营,就必须实现整个生命过程的高速公路养护成本的有效控制。论文主要从构建及改进成本控制体系入手,深入研究了其管理重点与成本管理现状、相关理论的经济假设,并提出了预算为重要环节、实时监控、决策反馈与技术的综合应用等多种控制手段以及相关优化模型的具体实施安排。理论分析证明,以全生命周期为视角的综合科技、管理和信息等资源手段能够切实增强养护决策的科学性和经济性,未来应侧重对信息化平台的搭建和模型运用的研究,促进养护成本控制系统的标准化、智慧化发展,为高速公路养护管理工作提供持续性、理论化的动因和手段。

### 参考文献:

- [1] 杨晶,王丽园,刘兴东,等.高速公路全生命周期智慧巡养管理系统设计与实现[J].公路,2021(11):66.
- [2] 罗如意,张鹏,彭俊霞.高速公路智慧梁场全生命周期生产探究[J].中国交通信息化,2023(S1):85-88.
- [3] 李涛.高速公路数字化基础设施全生命周期成本管控分析[J].品牌研究,2023(31):242-244.
- [4] 刘凯崧.高速公路机电设施全生命周期管理的关键技术探讨[J].建筑工程技术与设计,2022(14):10-12.
- [5] 刘育贝.BIM在高速公路机电工程全生命周期管理的应用[J].工程技术发展,2021,2(1):39-40.

作者简介:陈辰(1989-),男,中国安徽淮南人,本科,中级,从事高速公路养护运营研究。