

基于预防性养护的交通工程管理策略

樊海超

河南交通投资集团有限公司洛阳分公司 河南 洛阳 471000

摘要: 随着我国交通基础设施网络的日益完善与服役年限的增长,传统的“事后修复”型养护模式已难以满足新时代对交通安全、效率与可持续发展的综合要求。预防性养护作为一种前瞻性、系统性的管理理念,正成为提升交通工程全生命周期价值的关键路径。本文深入探讨了预防性养护的核心内涵与理论基础,系统分析了当前交通工程在向预防性养护转型过程中所面临的技术、资金、机制与认知等多重挑战。在此基础上,从构建科学的路况评价与决策体系、创新多元化资金保障机制、推动养护技术与装备升级、强化全生命周期成本效益分析以及完善法规标准与协同治理框架等五个维度,全面阐述了基于预防性养护的交通工程管理策略。研究表明,实施以预防性养护为核心的管理策略,不仅能有效延缓基础设施性能衰减、降低长期维护成本,更能显著提升路网运行的安全性与可靠性,为建设交通强国提供坚实支撑。

关键词: 预防性养护; 交通工程; 管理策略; 全生命周期

引言

交通乃兴国强国之基,我国已建成全球规模最大的交通网络,现代化综合交通体系骨架基本成型。但庞大基础设施存量带来严峻养护挑战,早期建设的交通设施正进入性能衰减期,路面破损、桥梁老化等问题频发。若继续采用传统被动式养护模式,维修成本将激增,还会干扰交通秩序,甚至引发安全事故。在此背景下,预防性养护理念应运而生,它强调在设施出现明显病害前,通过科学检测、精准诊断和适时干预,采取经济有效措施延缓性能衰减、延长使用寿命、维持良好服务状态。这一理念转变标志着交通工程管理从“以修为主”向“以防为先”变革,关口前移,变被动为主动。实施预防性养护管理策略,是应对养护压力的现实需要,也是实现高质量可持续发展的战略选择,契合全生命周期管理思想。本文将梳理其理论脉络,剖析实践障碍,提出管理策略框架,为交通工程管理现代化转型提供参考指引。

1 预防性养护的内涵、理论基础与核心优势

1.1 预防性养护的概念界定与特征

预防性养护并非一个孤立的技术概念,而是一种贯穿于交通基础设施规划、设计、施工、运营、养护乃至报废全过程的系统性管理哲学。其精确定义可表述为:在交通基础设施结构状况尚好、仅存在轻微功能性或表面性病害时,有计划地采取一系列具有成本效益的、非结构性的维护措施,旨在保护其现有良好状态,防止或延缓未来更严重病害的发生与发展,从而最大化其全生命周期价值。与传统的矫正性养护相比,预防性养护具有鲜明的特征。首先,它具有前瞻性,其决策依据是对

未来性能衰减趋势的科学预测,而非对已发生损坏的被动响应。其次,它具有计划性,养护活动被纳入年度或中长期养护规划,可以提前安排,减少对交通的干扰^[1]。再次,它具有经济性,在病害初期进行干预的成本远低于后期大规模修复的成本,且能有效避免因路况恶化导致的社会成本(如车辆运营成本增加、交通事故损失、时间延误等)。最后,它具有系统性,要求建立从数据采集、状况评估、需求分析、方案比选到效果后评价的完整闭环管理体系。

1.2 理论基础:全生命周期成本效益分析

预防性养护的理论根基深植于全生命周期成本效益分析(Life Cycle Cost-Benefit Analysis, LCCBA)。该理论认为,评价一项交通工程投资或养护决策的优劣,不能仅看其初始建设成本或单次养护费用,而应将其在整个预期服役寿命内所产生的所有相关成本(包括建设、养护、用户、环境、残值等)和效益进行全面核算与比较。LCCBA模型清晰地揭示了预防性养护的巨大优势。一条未经预防性养护的道路,其性能(通常以国际平整度指数IRI、路面状况指数PCI等指标衡量)会随时间呈加速下降趋势,一旦跌破某一阈值,就需要投入巨额资金进行结构性修复或重建。而实施预防性养护的道路,虽然在前期需要投入一定的养护费用,但其性能衰减速率被显著放缓,能够长时间维持在较高的服务水平上,从而推迟了昂贵的大修时间点,并大幅降低了整个生命周期内的总成本。这种“花小钱、省大钱”的经济学逻辑,为预防性养护的推广应用提供了坚实的理论支撑。

2 当前交通工程管理向预防性养护转型的挑战

尽管预防性养护的理念已广为人知，但在实际管理工作中，其全面、深度的落地仍面临诸多障碍。

2.1 技术与数据层面的瓶颈

科学的预防性养护决策高度依赖于准确、及时、全面的路况数据。然而，当前许多地区的路况检测仍存在覆盖面不足、频率偏低、技术手段相对落后等问题。传统的目测或简易设备检测主观性强、精度低，难以满足精细化决策的需求。虽然自动化快速检测车（如激光断面仪、探地雷达、多功能路况检测车）的应用正在普及，但其高昂的购置与运维成本限制了在基层单位的广泛应用^[2]。此外，海量检测数据的有效整合、深度挖掘与智能分析能力普遍不足，尚未建立起能够精准预测病害发展、智能推荐最优养护时机与方案的决策支持系统。

2.2 资金保障与预算机制的制约

预防性养护的成效具有滞后性和隐性特点，其节约的巨额成本体现在未来，而投入却发生在当下。这与许多地方财政“量入为出”、“重建设、轻养护”的惯性思维相冲突。在年度养护预算编制中，有限的资金往往优先用于处理那些已经严重影响行车安全的紧急病害，导致预防性养护项目因“不急迫”而被挤占或削减。缺乏稳定、长效、与路况绩效挂钩的资金保障机制，是制约预防性养护规模化应用的核心瓶颈。

2.3 管理体制与协同机制的缺失

交通工程管理涉及规划、建设、养护、路政、交警等多个部门，条块分割的管理体制容易造成信息壁垒与工作脱节。例如，建设阶段的设计标准、材料选择、施工质量等，直接影响着后期的养护需求与成本，但养护部门往往在项目前期缺乏话语权。同样，路政部门掌握的超载超限数据、交警部门掌握的事故黑点数据，对于精准识别高风险路段、制定针对性的预防性养护策略至关重要，但这些数据的共享与融合机制尚不健全。这种“九龙治水”的局面，阻碍了预防性养护全链条、一体化管理格局的形成。

2.4 从业人员理念与技能的滞后

部分基层管理人员和一线养护人员对预防性养护的理解仍停留在表面，习惯于传统的“头痛医头、脚痛医脚”的工作模式，对其长远的经济效益和社会效益认识不足。同时，预防性养护涉及新材料、新工艺、新技术的应用，对从业人员的专业知识和技能提出了更高要求。现有的培训体系和技术服务体系尚不完善，难以支撑大规模的技术推广与应用。

3 基于预防性养护的交通工程管理优化策略

为有效应对上述挑战，推动预防性养护从理念走向

实践，必须构建一套系统、协同、高效的管理策略体系。

3.1 构建科学化、智能化的路况评价与决策体系

这一体系的建设需从数据采集、整合到智能分析三个层面协同推进。在数据采集端，应逐步淘汰低效的人工巡检，建立以自动化快速检测车为主体，辅以无人机航拍、路侧物联网传感器（如埋入式应变计、温湿度传感器）和众包移动终端数据的立体化监测网络。例如，多功能路况检测车可同步获取路面平整度（IRI）、车辙深度（RD）、横向力系数（SFC）及路面病害图像等多维数据，实现每公里数千个数据点的高密度采集。在数据整合端，亟需打破“信息孤岛”，构建一个统一的省级乃至国家级交通基础设施资产云平台。该平台应能无缝集成来自不同年代、不同设备、不同部门的异构数据，形成涵盖道路几何线形、路面结构层信息、历年养护记录、交通量构成、超载数据及交通事故黑点等在内的全息数字档案^[3]。在此坚实基础上，运用人工智能技术开发智能决策支持系统。该系统的核心是一个基于机器学习（如长短期记忆网络LSTM或图神经网络GNN）的性能衰减预测模型，它能够根据历史路况演变规律、交通荷载谱、气候环境因子（如冻融循环次数、降雨量）等，精准预测未来3-5年内各路段的PCI（路面状况指数）或RQI（路面行驶质量指数）变化趋势，并自动识别出即将进入“最佳干预窗口期”的路段。系统还能内置一个包含数十种预防性养护措施（如微表处、超薄磨耗层、裂缝密封等）的成本-效益数据库，通过多目标优化算法，为管理者推荐在预算约束下能使路网整体性能提升最大化的养护方案组合。

3.2 创新多元化、绩效导向的资金保障机制

必须改变“头痛医头”的短视预算模式。一方面，各级财政应设立预防性养护专项资金，并明确规定其在年度养护总预算中的最低占比（例如不低于40%），确保其投入的稳定性。另一方面，要大力推行“以奖代补、绩效挂钩”的资金分配新机制。具体而言，上级主管部门可制定一套科学的绩效考核指标体系，核心指标包括：预防性养护里程占总养护里程的比例、实施预防性养护后路段的性能衰减速率降低百分比、以及因路况改善而减少的用户车辆运营成本等。年度资金拨付不再简单按照行政区划或历史基数平均分配，而是直接与这些量化绩效指标的完成情况紧密捆绑。对于那些主动作为、成效显著的地区，给予额外奖励；反之，则相应扣减。这种“干得好、奖得多”的强激励机制，能从根本上扭转基层单位“重抢修、轻预防”的惯性思维，将有限的财政资金用在刀刃上。

3.3 推动养护技术与装备的标准化、绿色化升级

首先,应由行业主管部门牵头,系统梳理国内外成熟技术,结合我国东、中、西部不同的地理气候分区和交通荷载特点,编制详尽的《预防性养护技术指南》。该指南不仅要明确各类技术(如针对轻度裂缝的贴缝带与针对网裂的微表处)的适用条件、材料技术要求、施工工艺流程,还应提供典型结构组合的设计示例和预期使用寿命。其次,要大力推广绿色低碳技术。例如,在沥青路面养护中,优先选用温拌沥青混合料(WMA),其拌和与压实温度比传统热拌沥青低30~50℃,可显著减少能耗与温室气体排放;对于铣刨废料,则应强制要求进行厂拌冷再生或就地热再生,实现资源的循环利用^[4]。在装备方面,应鼓励研发和应用小型化、智能化的专用设备,如适用于城市支路夜间作业的车载式灌缝机、能够精确控制洒布量的智能雾封层车等,以降低施工对交通的干扰,提升作业精度。

3.4 强化全生命周期视角下的成本效益分析与应用

LCCBA不应仅停留在理论层面,而应成为项目审批和计划编制的硬性工具。在新建或大修项目立项阶段,必须进行不同设计方案的LCCBA比选。例如,对比采用普通沥青混凝土面层与采用高模量沥青混凝土面层的方案,虽然后者初期投资高出10%~15%,但其卓越的抗车辙和抗疲劳性能可使其大修周期延长5~8年,经LCCBA核算,其在整个30年生命周期内的总成本可能反而更低。在年度养护计划制定时,决策者需超越单次项目的直接成本,全面考量其带来的综合社会经济效益。一个成功的预防性养护项目,不仅能节约未来的修复费用,更能通过提升路面平整度和抗滑性能,每年为过往车辆节省可观的燃油费和轮胎磨损费,并有效降低雨天事故率。将这些隐性的用户效益和安全效益货币化并纳入评估,能清晰地展示预防性养护的巨大价值,从而为科学决策提供无可辩驳的依据。

3.5 完善法规标准体系与跨部门协同治理框架

顶层设计是保障。国家层面应加快修订和完善《公路法》、《公路安全保护条例》等相关法律法规,明确预防性养护的法律地位和各方责任。同时,加快制定覆盖各类交通基础设施的预防性养护技术标准、评价标准和管理规范,为全国范围内的推广应用提供统一遵循。在管理机制上,应着力打破部门壁垒,建立由交通运输主管部门牵头,联合发改、财政、公安、住建等部门的协同工作机制。通过定期会商、信息共享、联合执法等方式,将规划、建设、养护、路政、交管等环节有机衔接起来,形成预防性养护齐抓共管、协同推进的强大合力。

4 结语

从被动修复到主动预防,是交通工程管理迈向现代化、精细化的必然趋势。基于预防性养护的管理策略,不仅是应对当前基础设施老化挑战的治本之策,更是践行新发展理念、推动交通运输高质量发展的内在要求。本文通过系统分析预防性养护的内涵优势、现实挑战,并提出了涵盖技术、资金、机制、人才等多维度的综合管理策略。未来的交通工程管理,必将是以数据驱动、智能决策、全生命周期成本最优为核心特征的新型管理模式。唯有坚定不移地走预防性养护之路,才能确保我国庞大的交通基础设施网络始终处于安全、畅通、高效、绿色的良好状态,为全面建设社会主义现代化国家提供坚强有力的交通保障。

参考文献

- [1]王涛静.智慧交通在高速公路预防性养护中的应用与效果评估[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(30):147-149.
- [2]王金宏.论采取公路预防性养护管理对交通经济发展的重要作用[J].中国乡镇企业会计,2020,(06):179-180.
- [3]逢钊,高丽,李强.交通工程建设与路桥养护[M].辽宁科学技术出版社:2023 12:190.
- [4]唐琳珑.绿色养护理念在交通工程全寿命周期管理中的应用研究[J].汽车周刊,2026,(04):182-184.