

高速公路设施维护与全生命周期管理

张皓程

河南省公路工程局集团有限公司 河南 郑州 450052

摘要：当前高速公路运维普遍存在重建设、轻养护、分段管理脱节等问题，传统被动养护模式难以适配基础设施长效运营需求。本文以高速公路设施全生命周期管理为核心，划分规划、施工、运营、报废四大阶段，梳理各阶段针对性维护工作重点。结合行业运维实际，搭建适配现场作业的全周期维护管理体系，从制度、资源、安全管控三方面完善保障机制。同时融入物联网、BIM、人工智能等智能化技术，赋能设施监测与养护决策。研究旨在解决碎片化养护弊端，规范各阶段运维流程，提升高速公路设施养护精细化水平与长期服役稳定性。

关键词：高速公路设施；维护工作重点；全生命周期管理；智能化

引言：高速公路是综合交通路网的核心基础设施，长期高频通车、自然环境侵蚀会导致各类设施逐步出现老化、破损、性能衰减等问题。现阶段多数路段养护工作集中于运营阶段，存在各管理阶段衔接不畅、养护标准不统一、隐患前置防控不足等问题，造成运维成本偏高、病害反复出现。为改善传统养护模式的局限性，全生命周期管理理念逐步在公路运维领域落地应用。本文立足工程实操场景，围绕设施全周期各阶段维护重点、管理体系搭建及智能技术应用展开研究，为高速公路常态化、标准化长效运维提供实操参考。

1 高速公路设施全生命周期管理概述

1.1 全生命周期管理的核心内涵

高速公路设施全生命周期管理，区别于传统阶段性养护模式，是覆盖设施从前期规划到最终报废更新的全过程管控体系。其核心是解决重建设、轻养护、碎片化管理的行业固有问题，以设施长期稳定运行、控制运维成本、保障通行安全为核心目标。该管理模式摒弃了事后的被动养护思维，通过统筹各阶段工作，实现设施质量、安全、效益的一体化管控。相较于传统分段管理，全生命周期管理更注重各环节的衔接联动，依托系统化、常态化的管控手段，最大化延长高速公路各类设施的服役年限，降低全周期综合运维成本。

1.2 高速公路设施分类及生命周期阶段划分

结合高速运营实际，高速公路设施可分为主体设施与附属设施两大类。主体设施包含路基、路面、桥梁、隧道等核心工程结构，是保障通行的基础载体；附属设施涵盖交通安全设施、绿化设施、机电监控及排水防护设施等，辅助高速正常运营。完整的设施生命周期可划

分为四个核心阶段，分别为规划设计阶段、施工建设阶段、运营养护阶段和报废更新阶段。

1.3 设施维护与全生命周期管理的耦合关系

设施维护是全生命周期管理的核心落地载体，全生命周期管理为设施维护提供系统化指导，二者深度绑定、相辅相成。全生命周期管理贯穿设施建设运营全程，将传统单一的后期维护工作前置，把预防性管控融入设计、施工环节，从源头减少设施病害隐患。同时，常态化的设施养护、病害修复、设备检修等维护工作，是落实全周期管控目标、维持设施服役状态的关键手段。科学的维护工作能够补齐各阶段管理短板，而全周期管理体系则规范维护标准、优化维护策略，二者协同实现高速设施长效稳定运行^[1]。

2 高速公路设施全生命周期各阶段维护工作重点

2.1 规划设计阶段：预防性维护前置管控

规划设计阶段核心工作是通过科学设计规避后期养护隐患，将预防性维护理念融入方案设计全过程，从根本降低设施病害发生率和后期运维成本，该阶段维护前置工作无现场养护作业，以方案管控、参数优化、细节把控为核心重点。（1）优化设施结构设计参数。结合项目所在地的气候条件、地质情况、交通流量等核心指标，针对性设计路基、路面、桥梁、隧道等主体设施结构厚度、材料标号、排水坡度等关键参数。针对多雨、冻土、重载路段，优化路面结构组合，强化基层抗压、抗冻、防水性能，避免因设计参数适配性不足导致后期沉降、裂缝、水损等常见病害。同时规范附属设施设计标准，确保护栏、标识标牌、机电设备、排水系统等设施布局合理、规格统一，为后期标准化维护奠定基

础。(2) 落实养护兼容性设计要求。在方案设计阶段充分考虑后期养护作业的实操性,预留专项养护作业空间、检修通道和设备操作区域。桥梁、隧道等大型构筑物设计时,配套设计检修平台、监测点位、管线预留孔洞,避免后期养护作业出现施工受限、检测盲区等问题。统一全线设施材料规格、配件型号,实现养护耗材通用化、标准化,减少后期配件采购、更换的难度和成本。(3) 编制专项养护指导方案。设计单位需结合项目设施特点,编制配套的全周期养护技术交底文件,明确不同设施的养护标准、检测周期、病害处置规范、使用寿命阈值等核心内容。针对特殊结构、特殊路段设施,制定专项预防性养护预案。

2.2 施工建设阶段:设施质量源头把控

施工阶段的设施施工质量直接决定服役年限和后期养护压力,此阶段维护工作重点以过程质量管控、隐蔽工程验收、缺陷整改为主,杜绝质量隐患遗留,从源头提升设施耐久性和稳定性。(1) 强化施工工序质量管控。严格按照设计图纸和行业规范开展施工,对路基压实、路面摊铺、桥梁桩基、隧道衬砌等关键工序实行全过程旁站监管。严控原材料进场质量,对沥青、水泥、钢筋、防水材料等核心材料进行抽样检测,杜绝不合格材料投入施工。规范施工工艺标准,把控混合料配比、摊铺温度、碾压速度、养护时效等关键工艺参数,保障主体设施施工精度和整体质量。(2) 严格隐蔽工程验收核查。路基基底处理、地下排水管线、桥梁承台、隧道围岩支护等隐蔽工程,均属于后期养护难点区域,施工完成后必须开展全方位验收核查。详细记录隐蔽工程施工参数、施工工艺、质量检测数据,建立专项施工档案,对验收不合格的工序坚决返工整改,避免隐蔽质量隐患在运营阶段持续扩大,大幅降低后期病害突发概率。(3) 落实交工前缺陷整改。项目交工验收前,对全线所有设施开展全面排查,梳理路面破损、设施松动、排水堵塞、机电故障、绿化缺失等各类细微缺陷,建立问题整改台账,明确整改责任人、整改标准和完成时限。完成所有缺陷整改后开展复检,确保项目交工投入运营时,各类设施状态完好,无遗留质量问题,有效降低运营初期的养护工作量^[2]。

2.3 运营服役阶段:常态化养护与病害处置

运营服役阶段是高速公路设施全生命周期中时长最长、养护工作最密集的阶段,核心目标是通过常态化巡检、预防性养护、针对性病害处置,维持设施正常服役状态,保障通行安全,延长设施使用寿命。(1) 开展常态化巡检与状态监测。制定日、周、月、季度分级巡检

制度,对路面、路基、桥梁、隧道、交通安全设施、机电系统、排水设施开展全覆盖巡检。日常重点排查路面裂缝、坑槽、沉降,护栏变形、标识破损、标线模糊,排水管道堵塞、边坡坍塌隐患等常见问题。依托智能化监测设备,对大型桥梁、特长隧道、高边坡等重点构筑物实行24小时动态监测,实时掌握设施结构运行状态,实现隐患早发现、早处置。(2) 实施分级预防性养护。根据设施服役年限、运行状态、交通流量,划分养护等级,推行差异化预防性养护。对服役初期设施,以日常保洁、紧固、防腐、疏通等基础养护为主;对服役中期设施,针对性开展路面微表处、裂缝灌缝、桥梁防腐、机电设备校准等预防性作业,延缓设施老化速度;对重载、高频通行路段,加密养护频次,提前干预潜在病害,避免小病害演变为重大破损。(3) 精准开展病害专项处置。建立设施病害分级处置机制,根据病害类型、破损程度、影响范围,制定对应处置方案。对路面坑槽、轻微裂缝等小型病害,实行当日快速处置,保障通行顺畅;对路基沉降、路面大面积破损、桥梁结构轻微损伤等中型病害,制定专项维修方案,限时完成整改;对影响通行安全的重大病害,立即启动应急管控,封闭隐患路段,开展专项抢修,杜绝安全事故发生。同时做好病害处置档案记录,形成病害处置闭环管理。

2.4 报废更新阶段:设施拆解与迭代优化

报废更新阶段针对达到设计使用年限、结构老化严重、无修复价值的设施,开展规范拆解、更新改造、数据复盘工作,兼顾作业安全、资源回收和技术迭代,完善全周期养护闭环。(1) 开展设施寿命评估与报废判定。定期对超期服役、病害频发、结构性能衰减的设施开展专项检测评估,结合设施设计年限、历年养护记录、结构检测数据,科学判定设施报废更新范围。重点对老旧桥梁、隧道、机电控制系统、破损严重的交通安全设施进行全面评估,精准界定拆除、改造、保留利用的设施范围,杜绝盲目拆除或超期带病服役问题。(2) 规范设施拆解与更新施工。严格按照安全施工规范开展老旧设施拆解作业,制定专项拆解方案,落实安全防护措施,规避拆除作业中的安全风险。更新改造过程中,优先采用新工艺、新材料、新设备,对标现行行业最新标准,提升新建设施的耐久性、安全性和智能化水平,同步优化设施结构设计,规避原有设施的常见病害问题。(3) 落实资源回收与经验复盘。对拆解的可回收钢材、管材、设备配件等资源进行分类回收、合规处置,降低工程改造成本,践行绿色养护理念。同时全面梳理报废设施全生命周期的养护数据、病害规律、质量

短板,总结设计、施工、养护各阶段存在的问题,形成专项复盘报告,为后续新建项目和养护工作优化提供数据支撑,实现全生命周期管理的迭代升级^[3]。

3 高速公路设施全生命周期维护管理体系构建

高速公路设施全生命周期维护管理体系,是依托全周期管控逻辑搭建的一体化运维框架,整合制度、资源、管控流程。体系构建严格遵循实用适配、全程管控、统筹协调的核心原则,聚焦运维实操落地,完善各项基础保障与管控机制。(1)搭建一体化管理制度与流程体系。结合高速公路运维行业规范,适配全生命周期各阶段工作内容,制定统一的养护作业标准、检测规范、病害处置流程及台账管理制度。明确规划、施工、运营、报废各环节管理职责,打通各阶段工作衔接流程,规避分段管理权责交叉、工作脱节问题,形成全覆盖、闭环式的运维管理流程。(2)完善多维资源保障体系。结合路段运维需求,优化人员、设备、资金配置模式。组建专业化养护班组,明确岗位分工与作业资质要求,定期开展养护技术、安全操作专项培训。配套配齐路面养护、结构检测、应急抢修等专业设备,建立设备定期检修台账。同时建立专项养护资金常态化拨付机制,规范资金使用审核流程,保障全周期养护工作有序开展。(3)建立质量与安全管控体系。制定分场景、分设施的质量考核标准,对日常养护、病害维修、设施更新等作业内容开展全过程质量核查。落实安全生产管控要求,规范养护作业现场施工流程、安全防护标准,建立隐患排查与整改台账,实现养护质量、施工安全双向管控,夯实体系运行基础^[4]。

4 智能化技术在设施维护与全生命周期管理中的应用

随着高速公路运维标准化、精细化发展,各类智能化技术逐步落地高速设施运维场景,覆盖设施监测、信息管理、养护决策等核心环节,有效提升设施全周期管理的精准度与工作效率。(1)物联网与传感监测技术应用。在桥梁、隧道、高边坡等关键构筑物布设应变、沉降、位移、温湿度等智能传感器,搭建全天候自动监测网络。设备可实时采集设施结构运行数据、环境参数数据,替代传统周期性人工检测,实现设施隐患动态感

知,及时捕捉结构细微形变、异常沉降等关键问题,为前期预防性养护提供基础数据支撑。(2)BIM与大数据信息化技术应用。依托BIM技术搭建高速公路设施三维数字化模型,整合设施设计参数、施工档案、养护记录、病害数据等全周期信息,实现设施信息数字化存档与可视化管理。结合大数据技术对历年养护数据、病害分布、设施损耗规律进行汇总分析,统一整合全生命周期各阶段数据资源,解决传统资料分散、数据断层、查阅困难的问题。(3)人工智能养护决策技术应用。利用AI图像识别技术,对路面裂缝、坑槽、标线磨损、护栏破损等病害进行自动识别、分类与统计,提升病害排查效率与准确率。同时基于海量运维数据构建智能决策模型,结合设施服役状态、交通流量、病害等级,自动匹配最优养护方案,规范全生命周期养护决策标准^[5]。

结束语:本文系统梳理了高速公路设施全生命周期维护管理的核心内容,明确了四个生命周期阶段的差异化维护重点,构建了配套的标准化运维管理体系。通过融入智能化监测与数字化管理技术,有效弥补了传统人工养护效率低、预判性弱的短板,形成了全流程闭环运维模式。研究证实,全生命周期统筹管理可有效打通各阶段运维壁垒,提升养护质量、降低运维成本。

参考文献

- [1] 黄祥.高速公路路面预养护维修工程全生命周期精细化管理[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2026,(1):053-056.
- [2] 张辉仁.基于数字孪生的高速公路机电设施全生命周期管理研究[J].信息化研究,2025,51(4):210-212+220.
- [3] 曹莹菲,张甲欢,李森,等.高速公路收费站污水处理设施运行维护调查研究[J].清洗世界,2025,41(11):150-152.
- [4] 王巍巍.高速公路附属设施维护管理的现状与信息化发展路径探讨[J/OL].中国科技期刊数据库工业A,2025,(1):110-113.
- [5] 刘均琪.基于物联网技术的高速公路机电设施智能管控研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(12):214-216.