

公路工程建设质量控制与养护策略研究

柯毅

苍溪县交通工程建设事务中心 四川 广元 628000

摘要:随着我国经济社会的持续高速发展,公路交通作为国民经济的大动脉,其重要性日益凸显。公路工程不仅关乎区域经济的互联互通,更直接影响着人民群众的出行安全与效率。然而,当前公路建设与运营过程中,仍面临着工程质量隐患、早期病害频发、养护成本高昂等一系列挑战。本文旨在系统性地探讨公路工程建设全生命周期内的质量控制关键环节,并深入研究与之相匹配的科学化、精细化养护策略。文章首先剖析了公路工程质量控制的核心要素,涵盖设计、材料、施工及验收等阶段;其次,针对公路投入运营后常见的病害类型及其成因进行了归纳分析;在此基础上,提出了一套融合预防性养护、数字化技术应用和全寿命周期成本管理理念的现代化养护策略体系。研究表明,唯有将高质量的建设标准与前瞻性的养护理念深度融合,构建“建养一体化”的协同管理模式,方能有效延长公路使用寿命,保障路网安全畅通,实现公路基础设施的可持续发展。

关键词:公路工程;质量控制;预防性养护;全寿命周期;数字化技术

引言

公路是支撑国家发展战略、促进区域协调发展、服务民生改善的重要基础设施。经过数十年的跨越式发展,我国已建成全球规模最大的高速公路网和高等级公路网络。然而,“重建设、轻养护”的传统观念在部分地区依然存在,导致部分新建公路在投入使用后不久便出现车辙、裂缝、坑槽等早期病害,不仅缩短了公路的实际使用寿命,也造成了巨大的社会资源浪费和安全隐患。公路工程的质量并非仅由建设期的施工水平决定,而是贯穿于从规划、设计、施工到后期运营养护的全寿命周期之中。一个高质量的公路项目,必然是建设质量过硬与养护管理科学的统一体。因此,深入研究公路工程建设阶段的质量控制要点,并在此基础上构建一套与之相适应、具有前瞻性和系统性的养护策略,对于提升我国公路基础设施的整体服役性能、降低全寿命周期成本、保障国家路网的安全高效运行具有重大的理论价值和现实意义。本文将围绕这一核心议题展开论述。

1 公路工程建设阶段的质量控制体系

公路工程的质量控制是一个复杂的系统工程,需要在项目的各个阶段实施全过程、全方位的精细化管理。任何一个环节的疏忽都可能为日后的运营埋下隐患。

1.1 设计阶段:质量控制的源头

设计是工程建设的灵魂,其质量直接决定了工程的先天优劣。高质量的设计应具备前瞻性、科学性和可实施性。(1) 强化地质勘察与环境调查:设计前必须进行详尽的工程地质、水文地质勘察以及沿线生态环境调查。精准的数据是确定合理路线走向、路基处理方案、桥涵结

构形式及排水系统的基础。忽视地质条件,可能导致路基沉降、边坡失稳等严重问题^[1]。(2) 优化路线与结构设计:设计应充分考虑地形地貌、交通量预测、车辆荷载谱等因素,采用先进的设计理念和方法(如BIM技术),对平纵线形、横断面、路面结构层进行多方案比选和优化。例如,在重载交通路段,应适当增加基层厚度或采用高性能材料,以提高结构承载能力。(3) 注重细节设计:路面排水系统、伸缩缝、护栏等细节部位往往是病害的高发区。精细化的细节设计,如确保排水坡度顺畅、选用耐久性好的伸缩缝装置、设置合理的安全防护等级,能有效预防早期病害的发生。

1.2 材料阶段:质量控制的基石

“材料是基础”,原材料的质量是决定最终工程质量的根本。(1) 严格供应商准入与评价:建立合格供应商名录,对沥青、水泥、钢材、集料等主要材料供应商进行资质审查和履约能力评估,从源头上把控材料品质。(2) 全过程材料检验与追溯:实行“进场必检、过程抽检、不合格清退”的原则。对每一批次进场的材料,必须按照规范要求物理、化学性能检测。同时,建立完善材料信息追溯系统,确保一旦发现问题,能够迅速定位并召回相关批次产品。(3) 推广高性能材料应用:在关键部位或特殊路段,积极推广应用改性沥青、温拌沥青、高强混凝土、纤维增强复合材料等高性能、长寿命的新材料,从本质上提升工程的耐久性和抗灾能力。

1.3 施工阶段:质量控制的核

施工是将设计蓝图转化为实体工程的关键环节,也是质量控制最复杂、最动态的阶段。(1) 推行标准化与

精细化施工：严格执行施工技术规范 and 操作规程，对路基压实、路面摊铺、桥梁浇筑等关键工序实行标准化作业流程（SOP）。通过首件工程认可制，统一施工工艺和技术标准。（2）强化过程监控与动态调整：广泛应用智能压实系统、无人摊铺机、远程视频监控等信息化手段，对施工过程中的温度、速度、厚度、密实度等关键参数进行实时监测和反馈。一旦发现偏差，立即进行动态调整，确保施工质量始终处于受控状态。（3）落实质量责任终身制：明确建设、设计、施工、监理等各方主体的质量责任，建立健全质量责任档案。通过合同约束和信用评价体系，倒逼各参建单位自觉履行质量主体责任。

1.4 验收阶段：质量控制的闭环

竣工验收是检验工程质量是否符合设计和规范要求的最后一道关口。（1）完善验收标准与方法：验收标准应不仅关注外观和几何尺寸，更要重视内在质量和长期性能指标，如路面弯沉、平整度、抗滑性能、结构层完整性（可通过探地雷达等无损检测技术评估）。（2）引入第三方检测机构：由独立、公正的第三方检测机构承担主要的实体质量检测任务，确保验收结果的客观性和权威性，避免“既当运动员又当裁判员”的弊端。（3）建立质量后评估机制：在工程通车运营一段时间后（如1-2年），组织对工程质量进行后评估，重点考察是否存在早期病害，并将评估结果与参建单位的信用评价挂钩，形成质量管理的完整闭环。

2 公路运营期常见病害及成因分析

即使建设质量优良，公路长期服役中受交通荷载、自然环境、材料老化等因素影响，仍会出现各种病害，准确识别并分析成因是制定有效养护策略的前提。路面病

害中，裂缝类如横向裂缝多因低温收缩或反射裂缝，纵向裂缝由路基不均沉降等导致，网状裂缝是结构强度不足表现；变形类如车辙与高温稳定性不足有关，拥包、波浪多在车辆频繁启停区域出现；松散类如坑槽是水损害典型表现^[2]。路基与边坡病害方面，路基沉降与翻浆在特定地区易发生，边坡失稳威胁行车安全。桥隧构造物病害也会影响结构安全和通行能力。这些病害往往是内因（材料老化等）与外因（超载等）共同作用的结果，其中水和超载是两大主要外部诱因，水加速材料老化，超载放大破坏效应。

3 基于全寿命周期的公路养护策略体系构建

传统的“坏了才修”的被动式养护模式已无法满足现代公路管理的需求。必须转向以“预防为主、防治结合”为核心，以延长使用寿命、降低全寿命周期成本为目标的主动式、科学化养护策略。

3.1 确立预防性养护的核心地位

预防性养护是指在公路结构尚未发生明显损坏或刚刚出现轻微病害时，有计划地采取一系列经济有效的措施，以防止病害进一步恶化，延缓大中修周期。（1）核心理念：“花小钱，省大钱”。研究表明，在路面状况良好时投入1元进行预防性养护，可以节省4-10元的大中修费用。（2）常用技术：包括雾封层、微表处、稀浆封层、超薄磨耗层（NovaChip）、碎石封层等。这些技术各有适用条件，需根据路况、交通量、气候等因素进行科学选择。（3）实施时机：关键在于把握最佳养护时机（Treatment Window）。这需要依托科学的路况检测与评价体系，对路面性能指数（如PCI、RQI、RDI等）进行持续跟踪，一旦指标进入预设阈值范围，即启动预防性养护程序。

表1：常见预防性养护技术性能对比表

养护技术	适用路况条件	主要优点	主要缺点
雾封层	路面轻微老化、渗水，无结构性病害，PCI ≥ 85	成本低、施工快、封闭微裂缝、延缓老化	抗滑性能短期下降，不适用于车辙或严重裂缝路段
微表处	轻-中度裂缝、车辙（< 15mm），抗滑不足，PCI70-85	快速开放交通、改善抗滑、封水效果好、可修复轻微车辙	噪音略大、初期平整度略差
稀浆封层	路面老化、轻微松散、抗滑不足，PCI75-90	成本适中、施工便捷、改善表面功能	强度较低，不适用于重载或渠化交通路段
超薄磨耗层	中-重度车辙（15-25mm）、抗滑严重不足、轻微网裂，PCI60-80	高性能、高抗滑、高耐久、降噪、可修复中等车辙	成本较高、对施工设备和工艺要求高
碎石封层（含同步）	路面老化、渗水严重、轻度裂缝，适用于低-中等交通量道路，PCI70-85	封水效果极佳、成本较低、施工灵活	表面粗糙、初期需扫除多余碎石、噪音较大
就地热再生	面层老化、车辙、网裂等病害集中于上层（3-5cm），无基层损坏，PCI50-75	100%旧料利用、环保、恢复路面结构、减少交通干扰	设备投资大、对病害类型有严格限制

3.2 构建科学化的路况检测与决策支持系统

精准的路况数据是制定科学养护决策的基础。(1) 常态化、自动化检测: 利用多功能路况快速检测车(CiCS)、无人机、激光雷达等先进装备, 对路面平整度、车辙、破损、抗滑性能等指标进行高频次、全覆盖的自动化采集。(2) 大数据与AI分析: 将历年积累的海量路况数据、交通量数据、气象数据等整合到统一的资产管理平台。运用大数据分析和人工智能算法, 不仅可以精准诊断现有病害, 更能预测未来路况衰变趋势, 为养护规划提供前瞻性依据^[3]。(3) 养护决策模型: 建立基于全寿命周期成本分析(LCCA)的养护决策模型。该模型综合考虑不同养护方案的初始投资、未来维护成本、用户延误成本、残值等因素, 通过量化比较, 选出经济最优的养护方案组合。

3.3 推进养护工程的精细化与绿色化

(1) 精细化管理: 养护作业应像外科手术一样精准。通过精准的病害定位、精确的材料配比、精细的施工工艺, 最大限度地减少对交通的干扰, 提升养护效果。(2) 绿色养护技术: 积极推广厂拌热再生、就地热再生、冷再生等旧路面材料循环利用技术。这不仅能大幅减少新材料消耗和废料排放, 降低工程造价, 还能有效解决废弃沥青混合料的环境污染问题, 符合可持续发展的要求。

3.4 强化路域环境与附属设施的协同养护

公路养护不应局限于路面本身, 还应包括路基、边坡、排水系统、交通安全设施、绿化等在内的整个路域环境。(1) 排水系统养护: 定期清理边沟、排水沟、雨水井, 确保排水畅通, 是从根本上防治水损害的关键。(2) 交安设施维护: 及时修复或更换破损的护栏、标志标线, 确保其反光性能和结构完整性, 是保障行车安全的重要屏障^[4]。(3) 生态边坡防护: 采用植草、三维植被网、生态袋等柔性防护技术, 既能稳固边坡, 又能美化路容路貌, 实现工程与生态的和谐统一。

4 “建养一体化”协同管理模式的探索

要真正实现公路基础设施的长寿命、低消耗、高效益, 必须打破建设与养护之间的壁垒, 推动二者深度融合, 形成“建养一体化”的协同管理新格局。(1) 信息共享机制: 建立覆盖全寿命周期的公路工程信息模型(CIM)。

建设期的BIM模型、材料信息、施工日志、检测报告等数据, 在项目移交时应完整、无缝地传递给养护管理单位, 为后续的精准养护提供宝贵的历史依据。(2) 绩效导向的合同模式: 探索采用“设计-施工-养护”总承包(DBFMO)或基于性能的合同(Performance-Based Contract, PBC)等新型合同模式。在这种模式下, 承包商的收益与其所建公路在未来若干年内的实际使用性能挂钩, 从而激励其在建设期就采用更高标准的材料和工艺, 从源头上保证工程质量, 减少后期养护负担。(3) 统一的技术标准与评价体系: 制定贯通建设与养护阶段的统一技术标准和评价体系。例如, 将预防性养护的理念融入到路面结构设计中, 要求设计寿命内必须包含若干次预防性养护周期, 并据此优化结构层设计。

5 结语

公路工程的质量与寿命, 是建设与养护共同作用的结果。本文通过对公路工程建设各阶段质量控制要点的梳理, 以及对运营期病害成因的深入剖析, 论证了构建一套以预防性养护为核心、以数字化技术为支撑、以全寿命周期成本最优为目标的现代化养护策略体系的必要性和紧迫性。未来的公路管理, 必将是“建养并重、深度融合”的时代。通过强化设计源头把控、严控材料与施工质量、建立科学的路况评价与决策系统、大力推广预防性养护和绿色养护技术, 并积极探索“建养一体化”的协同管理模式, 我们才能有效破解当前面临的质量与养护困境, 打造出更多“百年品质”的公路工程, 为国家经济社会的高质量发展和人民美好出行提供坚实、可靠、高效的交通保障。

参考文献

- [1] 胥中良. 公路建设养护管理及质量提升研究[J]. 运输经理世界, 2024, (06): 124-126.
- [2] 刘惠莉. 以高速公路运营期养护专项处治的角度谈建设期质量控制的重要性[J]. 汽车周刊, 2025, (10): 24-25.
- [3] 李会文. 绿色低碳理念下的公路工程建设与养护新技术[J]. 汽车周刊, 2026, (04): 23-25.
- [4] 赵殿郡. 公路桥梁养护管理策略研究[J]. 运输经理世界, 2025, (19): 124-126.