

高速公路施工养护质量管控技术实践探究

冯林涛

龙建玉溪工程有限公司, 中国·云南 玉溪 653100

摘要: 高速公路施工养护质量管控, 是保障工程耐久性能以及运营安全的关键所在。传统质量管控手段依靠人工经验开展作业, 辅以事后抽样检测, 面对复杂作业工况以及大规模养护任务时, 会出现协同效率偏低、数据相互割裂、处置响应不及时等问题。本文系统梳理了集中养护组织形式、全流程智能监测平台、“蜂巢式”精细化管理等技术手段, 构建以“过程智能管控”为核心的质量管控转型体系。研究表明, 通过组织集约化、监测实时化、管理网格化的技术融合, 可实现质量管控从“被动整改”向“主动预防”的范式转换, 为高速公路养护高质量发展提供可复制的技术方案。

关键词: 高速公路; 施工养护; 质量管控; 智能监测; 集中养护

An Exploration of Technical Practices for Quality Control in Expressway Construction and Maintenance

Feng Lintao

Longjian Yuxi Engineering Co., Ltd., China Yunnan Yuxi 653100

Abstract: Quality control in highway construction and maintenance is pivotal to ensuring the durability performance and operational safety of highways. Traditional quality control methods rely on manual experience for operations, supplemented by post-event sampling inspections; however, when confronted with complex operational conditions or large-scale maintenance tasks, these approaches often suffer from low coordination efficiency, fragmented data, and delayed response mechanisms. This paper systematically reviews technical approaches—including centralized maintenance organization models, full-process intelligent monitoring platforms, and "hive-style" precision management—thereby constructing a quality control transformation framework centered on "intelligent process control." The study demonstrates that through the integration of techniques such as centralized organization, real-time monitoring, and grid-based management, it is possible to transition quality control from a "passive rectification" paradigm to an "active prevention" paradigm, thereby providing a replicable technical solution for the high-quality development of highway maintenance.

Keywords: Expressways; Construction and maintenance; Quality control; Intelligent monitoring; Centralized maintenance

0 引言

至 2025 年底, 我国高速公路通车总里程突破 19 万公里, 路网规模居全球第一。因为车流量上涨、重载交通等作用影响, 公路病害趋向复杂化, 这就提升了公路施工养护质量管控的难度。同时, 行业对工程耐久标准持续提高, 使得管控能力与发展目标之间的矛盾愈发明显。传统管控体系以施工自检、监理抽检、竣工验收为主要流程, 依靠人工现场巡查、纸质台账记录, 面对大规模、快节奏的养护作业, 显现出处置滞后、数据溯源困难、缺少前置预警机制等不足。物联网、大数据、BIM 等数字化技术逐步落地, 为质量管控数字化变革打下基础。集中养护、智能监测、零缺陷工程等实践模式, 正在改变原有管控范式。本文围绕施工—养护衔接阶段质量管控痛点, 从组织模式、

技术手段、管理机制三个层面剖析行业创新实践与转型路径, 为高速公路质量管控工作提供可借鉴的思路。

1 质量管控的现实困境：传统模式的“三重断裂”

高速公路施工养护质量管控的效能瓶颈, 本质上是传统管理模式在规模化、精细化需求下暴露出的结构性断裂。

第一重断裂：时间维度的事后管控惯性。传统质量管控普遍存在重事后检测、轻前置预防的固有倾向, 管控行为整体偏向被动应对。施工阶段, 路面压实度、平整度、厚度等关键指标, 大多待工序完工后依靠钻芯取样、第三方抽检完成评判。摊铺作业已经结束, 一旦查出压实不足、厚度不达标等隐患, 结构性缺陷已然成型, 返工成本居高不下, 还会干扰工程工期。养护环节也沿用滞后处置思路,

通常要等到裂缝、坑槽、沉陷等病害显露才实施维修。缺少对路面性能衰减过程的动态监测和早期预警,难以在病害萌芽阶段精准干预。这种“损坏再修缮”的被动模式,和公路全寿命周期降本增效、提升耐久性的目标相矛盾,既推高后期养护开支,也会加快道路工况持续恶化。

第二重断裂:空间维度的“信息孤岛”困境。设计、施工、监理、养护单位之间长期存在的信息壁垒,是制约质量管控协同效能的深层根源。各方分属不同管理系统,缺乏统一的数据共享平台,各方数据格式互不兼容,让设计变更、材料检测、隐蔽验收等关键信息多依赖纸质文件线下传递,易出现信息失真与传递滞后。比如说混合料生产,拌合站生产数据、运输车辆轨迹、摊铺现场参数就分属不同系统管理。一旦出现质量波动,追溯工作只能人工手动串联多个数据源,效率低下且易遗漏关键信息,使得“来源可查、去向可追”的质量闭环管理流于形式。

第三重断裂:管理维度的人盯人管控局限。传统质量管控工作十分依靠现场管理人员的实操经验与责任意识,属于典型依靠人力监管的粗放管理模式。面对线路绵延、作业点位分散、多道工序交叉开展的复杂工程场景,管理人员个人精力存在上限,很难做到全流程无死角质量监管,现场巡检不可避免存在疏漏。江苏交控相关调研表明,传统人工现场巡检真实覆盖比例尚不足 30%,不少施工作业环节缺少有效的监管存档资料。一旦运营期发现路面早期破损等质量问题,往往因过程数据缺失而难以逆向追溯至具体责任人和工序时段,质量责任追究缺乏证据支撑,导致问题整改流于表面,同类隐患反复发生。

2 实践突破:三大技术路径的协同创新

针对以上各类现实难题,国内高速公路施工养护行业近些年落地多项具备示范效应的实践举措,其内在逻辑可以总结为组织集约运作、监测实时采集、管理网格落地三者相互融合。

2.1 组织模式创新:集中养护破解“施工与通行”矛盾

车流量较大的高速公路养护工作所要面对的主要矛盾,集中体现为可施工作业时间有限和养护作业体量庞大二者之间的冲突。江苏率先提出的集中养护模式,为化解该矛盾给出一套完整解决思路。该模式并不是将多项养护工程简单堆砌,而是依托统筹规划转变以往各单位独立作业的传统模式,整合同一路段路面、桥梁、交通安全设施等各类养护工程,围绕压缩管制时长、降低交通干扰的目标开展集约化施工作业。在决策层面,建立“一路三方”

(交警、路政、养护单位)协同管理机制,从区域路网层面统筹全年养护计划;在实施层面,采用多工序集约协同施工,原本需要上百天的作业可压缩至 30 天左右完成。截至 2024 年底,江苏已在近 30 个路段成功实践集中养护模式,区域路网运行综合效益提升与施工成本节约累计超 40 亿元。这一实践证明,组织模式的集约化创新同样能够产生显著的质量与效益红利——更短的施工周期意味着更少的质量波动窗口,更系统的工序衔接减少了交叉施工的质量隐患。

2.2 技术手段升级:全过程智能监控实现“数据驱动”

想要把质量管控由事后整改转向施工过程动态纠偏,关键在于对养护施工全流程开展高效、精准的数据采集与智能化分析。G25 淮连高速路面大修作为省内首个“零缺陷工程”试点项目,提供一套可借鉴的技术实施方案。该项目全面部署路面养护质量智能监控平台,依托物联网硬件、云端运算算法与大数据平台深度融合,完成混合料拌合、转运、摊铺、碾压等关键工序的动态全过程跟踪。系统搭建“桩号、时间、车牌”三位一体的数据闭环体系,借助 RFID 技术精准采集拌合站工况、车辆运输、出料-接料时刻、摊铺作业时段等关键信息,建立混合料一车一档电子台账,达成物料来源可溯源、去向可追踪的全周期管理模式。预警层面,系统将现场施工参数和标准阈值实时比对,针对拌合指标超标、运输时长超限、摊铺温度异常、碾压速率偏离标准等各类风险自动发出告警。结合碾压遍数云图统计、摊铺速度监测结果,能够动态优化现场施工方案。工程实践数据表明,这套技术体系使路面平整度提升 33%,施工作业效率提高 30%。

云南华丽高速的工程落地有效延展了智能传感监测技术的落地应用范畴。该工程搭建的沥青路面建造智慧管控总平台整合物联网感知、北斗高精度定位、5G 无线传输多重数字化技术,搭建起实时数据采集—智能风险预警—动态精准调参的闭环管控运行体系。原材料质量管控流程引入傅里叶红外光谱检测技术完成沥青原料组分筛查,相当于为沥青开展分子层面成分溯源检测,仅耗时 5 分钟即可区分不同沥青的组分差异,从材料源头层面阻断不合格建材进场施工作业。

2.3 管理机制重塑:“蜂巢式”网格化与预防性养护

除去硬件技术迭代之外,精细化管理机制同样是质量管控转型升级不可忽视的重要部分。黎霍高速创新推行的“蜂巢式”养护管理模式,为管理体系革新提供全新参考。该模式搭建“蜂王—蜂巢—蜜蜂—蜂孔”四级联动运行架

构：养护职能部门充当决策核心统筹全局工作，养护工区作为资源阵地完成物资储备，养护作业人员作为执行主体落实各项任务；管养路段被划分为总长、路长、桥长、隧长、坡长对应的蜂孔网格，落实一格一责的责任管理制度。同时建立“蜂孔健康指数”，从平整度、裂缝率、车辙深度、抗滑性能、结构强度、排水性能六个维度动态评估道路状况，使养护决策从经验判断转向数据驱动。

广西都安至南宁高速的实践展示了预防性养护的长期效益。该路段通过“五合一（错台平修补、裂缝勤封闭、灌浆治脱空、定期换缩缝、注浆稳路基）”的措施，连续6年获评养护管理示范路。这个经验表明，通过系统化的预防措施延缓和遏制公路病害发展，这远高于“坏了再修”的传统被动模式。

3 质量管控转型的框架与路径

综合上述实践，高速公路施工养护质量管控的数字化转型可归纳为“三层架构、两阶段演进”的框架（见表1）。

表1 质量管控数字化转型的三层架构

架构层级	核心功能	关键技术	实践案例
感知层	实时数据采集	物联网传感器、RFID、北斗定位	智能监控系统采集拌合、运输、摊铺数据
分析层	智能预警与决策支持	大数据分析、云平台、AI算法	碾压遍数云图分析、红外光谱沥青检测
应用层	组织协同与闭环管理	BIM协同平台、网格化管理系统	集中养护“一路三方”机制、“蜂巢式”管理

从发展路径来看，国内行业正处在由信息化辅助手段迈向智能化管控模式的转型窗口期，技术更新与管理制度革新同步开展。短期应当优先补齐感知层建设，破解数据采集有无的基础难题，推动物联网传感器、智能终端在拌合站、摊铺机、运输车辆等设备上普及配置，保障原材料进场、混合料生产、现场作业等关键工序的数据连续精准采集上传，消除数据空白区域。中长期需要破除分析层、应用层之间的数据隔阂，重点破解数据落地应用难题，借助云计算、大数据搭建涵盖检测、评估、决策、实施、验收的全流程闭环管控体系，完成质量数据自动解析、风险智能告警、处置方案辅助生成，最终实现全域感知、智能预警、辅助决策的智慧管控效果。

4 结语

高速公路施工养护质量管控正在发生深层次变革，逐步告别经验主导模式，转向数据驱动，由事后缺陷整改升级为全过程智能管控。该变革并不只是各类技术手段的简单堆砌，而是管理思维、组织流程、技术工具三者协同的

系统性重塑。集中养护模式依靠全局统筹、多方协同以及工序集约化排布，有效调和施工作业和道路通行之间的效率冲突，让质量管控能够在有限作业窗口期精准落地。全过程智能监测体系借助物联网感知手段与大数据运算能力，打通原材料生产直至现场作业的全链条数据采集预警闭环，做到质量隐患早识别、早处置。“蜂巢式”网格化管理把质量责任下沉至最小作业单元，依靠一孔一责的制度安排，保证每一段施工路段、每一道作业工序均落实专人监管、核查与追责。以上三条实践路径共同表明，质量管控不再仅仅是工程末尾独立的检验把关步骤，而是深度贯穿全流程、覆盖全要素的智能管控体系，既能够在作业期间及时修正偏差，也可以从整体层面持续迭代优化，最终达成工程质量可测、可控、可追溯的管理目标。

放眼今后，伴随5G、人工智能、数字孪生等新一代信息技术不断落地融合，质量管控工作有望迈向更高层次的自动化、智能化以及预判能力，完成由实时监测向前置预判、由人工决断向智能辅助决策的转变。但也应当客观看到，技术仅仅属于实现目标的工具，持续筑牢质量意识、动态优化标准规范、培养兼具工程专业功底与数据管理能力的复合型从业者，才是保障本次转型稳步推进、不断深化的根本支撑。只有技术和制度相互配套、人才建设与行业文化协同共进，方能推动质量管控完成从基础有无向品质优劣的实质性跃升。

参考文献：

[1] 朱力波, 李梦茵. 基于微表处的高速公路沥青路面养护施工研究[J]. 工程机械与维修, 2026(6): 76-78.

[2] 肖汉. 泡沫沥青冷再生技术在高速公路养护施工中的应用研究[J]. 中国水运, 2026(14): 122-123+126.

[3] 孙鹏. 桥梁伸缩缝快速维修技术在高速公路养护中的应用[J]. 交通世界, 2026(20): 144-146.

[4] 董雪. 高速公路路面养护施工工艺应用及安全管理[J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2026(16): 157-159.

[5] 秦超. 高速公路桥梁施工混凝土养护工艺优化策略实施方法研究[J]. 时代汽车, 2026(12): 157-159.

[6] 褚志锋, 路鑫, 刘浪涛等. 大流量高速公路养护施工组织优化方法研究[J]. 内蒙古公路与运输, 2026(2): 58-62.

[7] 马德鑫. 智慧建造背景下高速公路项目质量管控创新研究[N]. 陕西科技报, 2026-06-10.

作者简介：冯林涛（1991.02-），男，汉族，云南玉溪人，本科，工程师，研究方向：从事高速公路施工、养护方向的工作和研究。