

公路养护维修工程及智能化创新养护措施研讨

王保安

玉溪市新平县地方公路管理段 云南新平 653499

摘要: 随着我国公路网规模持续扩大与交通负荷不断加重,传统养护模式在效率、成本、精准性与安全性等方面的局限日益凸显,因此,需要不断创新养护措施。本文主要阐述了当前公路养护维修工程面临的主要挑战,并着重探讨了大数据、物联网、人工智能等智能技术在养护领域的创新应用。研究表明,智能化养护通过精准诊断、科学决策与高效作业,能够显著提升公路全生命周期性能,是实现公路基础设施可持续发展的关键路径。

关键词: 公路养护; 维修工程; 智能化; 创新措施; 预防性养护; 数字化管理

公路作为国民经济发展的动脉,其服役状态的完好性直接关系到交通安全、运输效率与经济社会发展。长期以来,我国公路养护管理以“修复性养护”和“周期性养护”为主,存在“头痛医头、脚痛医脚”、资源分配不科学、响应滞后等问题。随着路网老化加剧、公众对出行品质要求提高,以及降本增效的行业压力,推动养护模式向“预防性、精准化、高效化”转型势在必行。以新一代信息技术为核心的智能化创新,为破解传统养护难题提供了全新方案。本文主要梳理现状问题,探讨智能化创新养护措施的内涵、应用与价值,以促进公路养护事业的现代化发展。

1. 传统公路养护维修工程面临的挑战

首先,在信息采集环节,传统检测手段严重依赖人工,导致效率与安全性双重低下。绝大多数常规巡检依靠技术人员目测与简单工具测量,这种方法耗时费力且覆盖率有限。面对桥梁下部、高陡边坡等危险结构,检测不仅困难更伴随巨大安全风险。同时,个人经验差异直接影响病害判定标准,不同人员对裂缝宽度、破损程度的评估结果可能相去甚远,这为后续决策埋下了数据失准的隐患。

其次,在决策制定层面,经验主导的模式导致科学性与经济性不足。年度计划与资金分配多基于管理者主观经验,缺乏对历史数据、实时状态与性能衰变规律的深度分析。由于无法精准预测设施性能衰退曲线,养护时机可能失当,或过早造成资源浪费,或过晚导致小病变大患,使得宝贵的养护资金难以实现全生命周期内的最优配置^[1]。

再次,在信息管理维度,数据碎片化严重削弱了协同效能。从设计、建设到养护,各阶段数据常由不同单位掌握,

标准不一且相互孤立,形成了牢固的信息壁垒。这种数据链条的断裂使得决策者难以追溯设施完整履历,无法进行深入的病害成因分析,更难以对性能趋势做出可靠预判,严重阻碍了预防性养护的精细化管理实施。

最后,在公共服务领域,传统模式的响应能力与互动水平存在明显短板。路况信息采集、核实与发布流程冗长,导致公众接收的信息往往滞后且模糊。当遭遇自然灾害或突发事件时,应急响应多依赖层层上报与人工调度,现场信息不全与指挥协同不畅可能延误最佳抢险时机,影响路网快速恢复,并对社会运行产生间接负面影响。

2. 智能化创新养护措施的核心内容与应用

2.1 基于多维感知的智能化检测与监测

传统的点状、间断式人工检测正在被一张空地一体化的立体感知网络所取代。这一网络体系综合运用多种前沿技术手段,实现对公路资产状态的全方位、连续式采集。在宏观层面,高清卫星遥感技术可定期对大范围路网进行扫描,监测地表沉降、边坡位移等宏观地质变化。在中观与微观层面,无人机即无人驾驶航空器,凭借其灵活的机动能力,可搭载高清可见光、红外热成像及激光雷达等多种载荷,快速获取路面、桥梁、边坡的高分辨率影像与三维点云数据。基于人工智能的图像识别算法能够自动从海量影像中精准识别裂缝、坑槽、网裂、车辙等各类路面病害,并对其长度、宽度、面积、深度等指标进行自动化测量与分类统计,效率与一致性远超人眼判断^[2]。同时,装有高性能传感器与摄像头的移动激光扫描车,可沿公路行驶,高效采集沿线设施厘米级精度的三维实景数据,为建立数字化档案提供坚实

基础。

对于结构复杂、安全等级要求高的大型桥梁、特长隧道等关键节点工程，则普遍部署长期在线的结构健康监测系统。这一系统通过在结构关键部位布设光纤光栅传感器、应变计、倾角仪、加速度计、温湿度传感器等智能传感元件，构成一个密集的感知神经末梢网络。这些传感器能够每时每刻持续采集结构的应力应变、位移形变、振动特性、索力变化以及环境荷载等上百个参数。所有数据通过有线或无线传输方式汇聚至数据中心，利用大数据分析技术，可以实时评估结构的整体安全状况，识别异常模式，并通过与历史数据和力学模型的比对，预测其性能退化趋势。这使得养护管理从被动应对可见病害，转变为基于实时数据的预警式主动干预。

2.2 基于数据驱动的智能诊断与决策

海量感知数据的价值在于驱动决策的科学化与精准化，其核心载体是统一的公路资产数字化管理平台及在此基础上构建的数字孪生模型。该平台将分散在不同阶段、不同部门的地理信息数据、原始设计图纸、竣工资料、历年养护维修记录、实时监测数据、交通流数据以及气候环境信息等进行全面汇聚、清洗与融合。基于这些多源异构数据，在数字空间构建起一个与物理公路完全镜像对应、并能实时交互的动态虚拟模型，即数字孪生体。

在此数据基础之上，预测性模型与优化算法成为科学决策的关键工具。利用机器学习与深度学习算法，对积累的历史养护数据与性能数据进行深度挖掘，可以构建出针对不同材料、不同结构、不同交通与环境条件下的路面性能衰变预测模型。该模型能够准确预测未来一段时间内路面平整度、破损率、结构承载力等关键指标的演变轨迹。结合多目标优化算法，系统可以综合考虑当前路况水平、不同养护措施的长期成本效益、施工对交通流造成的干扰影响、设施剩余寿命周期以及年度预算约束等多重复杂因素。通过模拟计算，自动生成未来数年或特定周期内成本效益最优的养护计划序列、科学的资金分配方案以及具体路段的推荐维修策略与技术工艺^[3]。

2.3 基于先进装备的智能化施工与作业

在养护施工现场，自动化与机器人技术正在逐步替代高危、繁重的人工劳动。例如，在路面大中修工程中，无人驾驶摊铺机和压路机开始投入应用。这些设备依托高精度北

斗定位、惯性导航和智能控制系统，能够严格按照预设的3D数字化施工模型进行作业，实现摊铺厚度、温度、碾压遍数与轨迹的精准控制，极大提升了路面摊铺的均匀性与压实质量的稳定性，从源头上保障了长期使用性能。对于日常养护中的裂缝封闭、坑槽修补等工序，专用的路面裂缝自动检测封灌机器人、无人驾驶坑槽修补车等设备也在研发与试用中。它们可以自主识别病害、完成清理、灌缝或填补作业，提高效率的同时，将养护工人从危险的车流环境和飞扬的粉尘中解放出来。隧道壁面清洗、排水沟清理等重复性高危作业，也逐步由特种机器人承担。

施工过程的质量控制也因智能化而变得可追溯、可验证。智能压实技术是其中的典型代表。在压路机上集成多种传感器与控制系统，能够实时监测并记录碾压区域的压实度、表面温度、碾压遍数以及振动频率等关键工艺参数。这些数据通过无线网络实时上传至管理平台，生成覆盖整个作业面的压实质量云图。监理人员可以远程实时监控施工质量，一旦发现局部区域未达到要求，可立即指挥设备进行补充碾压，避免了事后抽检的偶然性和质量隐患。所有施工过程参数均被完整记录，形成不可篡改的数字化施工档案，实现了从材料、工艺到成品的全链条质量可追溯，为公路的长期管养提供了翔实的数据基础^[4]。

2.4 基于协同联动的智能化管理与服务

智能化养护的最终目标是提升整个路网系统的运营效率与公共服务水平。这依赖于一个能够实现人、车、路、物全要素协同联动的智慧管理平台。在日常管理中，平台通过物联网技术，为所有养护作业车辆、巡查人员、重要机具设备及物资仓库安装定位与状态传感器。管理人员可以在电子地图上实时掌握所有资源的位置、状态与空闲情况，实现动态调度与任务精准派发，显著提高日常巡检与维护作业的响应速度和组织效率。

在应急抢险场景下，该系统的协同优势更为凸显。当突发自然灾害或交通事故导致公路中断时，平台可基于事发地点、灾害类型、实时交通状况等信息，一键启动相应的应急预案。系统自动分析最优的救援资源调配路径，调度距离最近、设备最合适的抢险队伍与车辆，并同步向公众发布绕行信息。指挥中心可以借助无人机回传的实时现场画面、路侧传感器数据以及抢险车辆定位信息，全面掌控抢险进度，实现高效、科学的可视化指挥调度，最大限度缩短道路中断

时间。

在公众服务层面，智能化养护系统通过与车载终端、智能手机应用以及路侧可变情报板的深度联动，彻底改变了信息服务的模式。基于实时采集的路况、施工占道、交通事故、气象预警等数据，系统能够通过导航软件、交通广播和政务平台，向出行者提供精准、个性化的信息服务，如实时路况推送、最优路径规划、预计通行时间以及施工路段绕行建议^[5]。

3. 推进智能化养护需关注的问题

首要的挑战在于数据层面的标准缺失与融合困难。当前，感知设备品牌繁杂，数据格式千差万别，历史档案数字化程度低，导致信息难以互通。缺乏权威统一的采集规范、通信协议与语义标准，使得跨平台、跨时期的数据比对与深度融合分析举步维艰。若不着力构建贯穿基础设施全生命周期的标准化数据体系，并开发强大的数据治理能力，海量数据将无法转化为有效知识，决策支撑也就无从谈起。

其次，高昂的初期投资与潜在的长期回报之间需要严谨的经济权衡。采购先进装备、建设云平台、开发专业软件以及进行系统集成，均需数额可观的先期投入。面对有限的养护资金预算，决策者往往踌躇。因此，必须开展科学的全生命周期成本效益分析，通过量化评估其在延长资产寿命、避免灾难性大修、减少养护作业导致的交通中断损失以及提升管理效率等方面产生的长期综合收益，以令人信服的经济性论证来争取持续的资源投入^[6]。

再次，人才结构瓶颈是制约发展的紧迫问题。智能化养护要求团队既精通道路桥梁、材料工程等传统专业，又熟悉物联网、大数据分析与人工智能算法。目前，此类复合型人才极为稀缺。这要求从高等教育源头改革，设置跨学科课程，同时行业内部必须建立系统的在职培训与技能重塑机制，并配套设计新的岗位序列与激励政策，以构筑稳定可靠的人才梯队^[7]。

最后，网络安全与数据隐私已成为不可逾越的红线。随着系统互联程度加深，来自外部的网络攻击、数据窃取或

恶意控制风险陡增。一旦核心系统被入侵或关键数据泄露，不仅可能导致养护决策失灵，更可能危及公共安全乃至国家安全。必须将安全防护视为系统的内生属性，依据相关法律法规，构建覆盖感知层、网络层、平台层和应用层的纵深防御体系，并建立常态化安全监测与应急响应机制，确保关键信息基础设施的绝对稳健与数据全流程的安全可控。

结语：

公路养护智能化是发展趋势，智能化创新养护措施通过深度融合现代信息技术与传统养护业务，为实现公路基础设施的精准感知、科学决策、高效执行和优质服务提供了强大动力。尽管面临标准、成本、人才等方面的挑战，但其在提升路网整体效能、保障寿命周期安全经济、服务人民群众美好出行方面的巨大潜力已十分明晰。未来，应进一步加强技术研发、标准制定、示范应用和机制创新，稳步推动公路养护管理体系的深刻变革，为我国交通强国建设奠定坚实的设施基础。

参考文献：

- [1] 崔箫. 公路养护维修工程及智能化养护研讨 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(3):185-187.
- [2] 陈宇鹏. 探究公路桥梁的智能养护管理与维修加固 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2025(3):179-181.
- [3] 李罕. 高速公路养护机械设备维护管理 [J]. 运输经理世界, 2025(14):145-147.
- [4] 李辉成. 安全智能化综合管理系统在公路养护施工中的应用探究 [J]. 中国标准化, 2023(1):164-168.
- [5] 朱吉. 公路养护管理信息系统在公路养护管理中的应用 [J]. 上海公路, 2021(1):5-10.
- [6] 杨书仁. 公路养护管理科学决策的现状和问题 [J]. 中国公路, 2023(3):18-25.
- [7] 高天, 唐贡辉. 公路养护中的智能化技术应用与发展趋势 [J]. 居业, 2024(3):61-63.

作者简介：王保安（1978—），男，汉族，云南新平人，专科，公路工程工程师，研究方向：公路养护。