

公路养护维修工程及智能化养护研讨

马文杰

宁夏新积通建设工程有限公司 宁夏 吴忠 751100

摘要：随着公路交通网络的持续扩展与运输需求的增长，公路养护维修工程及智能化养护成为保障道路安全与使用寿命的核心议题。本文系统阐述了公路养护维修工程的关键技术体系，涵盖路面病害检测、高性能材料应用及新型施工工艺，并构建了以物联网、大数据、人工智能及智能设备为核心的智能化养护技术框架。研究分析了当前面临的资金短缺、技术创新不足、数据安全等挑战，提出拓宽资金渠道、加强技术研发与人才培养、完善数据安全体系等对策，为公路养护的高效化、智能化发展提供理论与实践参考。

关键词：公路养护；维修工程；智能化养护；研讨

引言：公路作为交通基础设施的重要组成部分，其运行状况直接关系到经济发展与人民生活。随着公路里程的不断增加和使用年限的延长，公路养护维修工程的重要性日益凸显。传统养护方式已难以满足日益增长的公路养护需求，智能化养护成为必然趋势。智能化养护不仅能提高养护效率和质量，还能降低养护成本。因此，深入研究公路养护维修工程及智能化养护，对于保障公路的安全畅通、延长公路使用寿命、推动公路养护行业的技术进步具有重要意义。

1 公路养护维修工程及智能化养护的概述

公路养护维修工程是保障公路正常使用、延长公路使用寿命的关键举措。公路在长期使用过程中，会受到车辆荷载、自然环境等多种因素影响，出现路面裂缝、坑槽、车辙等病害，若不及时养护维修，不仅会影响行车舒适性和安全性，还可能导致病害扩大，增加后期养护成本。公路养护维修工程涵盖了对路面、路基、桥梁、隧道等设施的检测、评估、修复和加固等一系列工作，旨在恢复公路的使用性能，提升公路的服务水平。智能化养护则是公路养护领域的新兴发展方向，它借助物联网、大数据、云计算、人工智能等先进技术，实现对公路状况的实时监测、数据分析与智能决策。通过智能化手段，养护人员能够更精准地掌握公路病害信息，提前制定养护计划，合理安排养护资源，提高养护工作的针对性和时效性^[1]。

2 公路养护维修工程关键技术

2.1 路面病害检测技术

2.1.1 基于图像识别的检测技术

基于图像识别的检测技术通过车载摄像头、无人机等设备采集路面图像，结合计算机视觉算法（如卷积神经网络CNN）对裂缝、坑槽、车辙等病害进行自动识别

与分类。该技术具有非接触、高效、可追溯等优势，可实现长距离路面病害的快速普查。例如，无人机搭载高清摄像头可对山区公路复杂路段进行多角度拍摄，通过图像拼接与特征提取，精准定位细微裂缝；车载激光扫描系统则可在高速行驶中同步完成路面图像采集与三维建模，实时生成病害分布地图。此外，结合深度学习技术，该方法可不断优化算法模型，提升对复杂病害（如网状裂缝、剥落）的识别准确率，为养护决策提供直观的可视化数据。

2.1.2 探地雷达检测技术

探地雷达（GPR）检测技术利用高频电磁波在介质中的传播特性，对路面结构层厚度、脱空、水损害等隐蔽病害进行无损检测。其工作原理为：发射天线向路面发射宽频电磁波，接收天线捕获经不同介质界面反射的回波信号，通过分析信号的时间、振幅及相位特征，推断内部缺陷位置与规模。该技术具有探测速度快、分辨率高、可穿透多层结构等特点，尤其适用于检测沥青路面层间结合状态、水泥混凝土板底脱空等隐蔽问题。例如，在高速公路预防性养护中，探地雷达可快速定位基层含水率异常区域，避免因水损害导致的结构性破坏；在旧路改造工程中，通过雷达数据反演结构层参数，为再生利用方案提供力学性能依据。与传统钻芯检测相比，该技术可大幅减少人工成本与检测时间，且检测结果具有连续性与空间分布特征。

2.2 养护维修材料技术

2.2.1 高性能沥青材料

高性能沥青材料通过优化沥青组分或添加改性剂，显著提升路面的抗车辙、抗水损害及抗老化性能。例如，SBS（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物）改性沥青，通过物理交联作用增强沥青弹性，有效抑制高温车

辙变形；橡胶粉改性沥青则将废旧轮胎胶粉掺入基质沥青，不仅提高材料柔韧性及抗裂性，还实现资源循环利用。此外，温拌沥青技术通过添加特殊添加剂降低沥青施工温度，减少能耗与有害气体排放，适用于城市道路夜间养护。纳米材料改性沥青也是研究热点，纳米二氧化硅、石墨烯等材料的加入，可细化沥青微观结构，提升其力学强度与耐久性，延长路面使用寿命。

2.2.2 水泥基复合材料

水泥基复合材料在公路基层修复、混凝土路面快速修补等场景中发挥重要作用。超高性能混凝土（UHPC）以高活性粉末材料、钢纤维增强，具备超高强度、高韧性及优异耐久性，常用于桥梁伸缩缝、重载道路路面的快速修复。自修复水泥基材料则通过掺入微生物、胶囊或膨胀剂等，实现裂缝的自主愈合，降低维护成本。此外，纤维增强水泥基复合材料通过添加聚丙烯纤维、碳纤维等，有效改善材料抗裂性能与韧性，减少路面早期开裂。在旧路改造中，水泥稳定再生骨料基层材料将废弃混凝土破碎后重新利用，既降低资源消耗，又保证基层承载能力，契合绿色养护理念。

2.3 养护维修施工技术

2.3.1 微表处技术

微表处技术是一种采用专用机械设备将聚合物改性乳化沥青、集料、填料、水和添加剂等按照设计配比拌合成稀浆混合料，及时摊铺到原路面上形成的薄封层技术。该技术具有施工速度快、开放交通早的优势，通常施工后1-2小时即可通车，适用于城市道路、高速公路的预防性养护。微表处形成的封层能够有效填补路面微小裂缝，封闭表面空隙，防止雨水下渗，提升路面抗滑性能与平整度，延长路面使用寿命。此外，相较于传统罩面技术，微表处施工无需大型加热设备，能耗低、污染小，符合绿色养护要求。在处理车辙病害时，聚合物改性稀浆混合料还可填充车辙槽，恢复路面平整，是一种经济高效的路面养护手段。

2.3.2 就地热再生技术

就地热再生技术是对旧沥青路面加热软化后，就地耙松，添加必要的再生剂、新沥青、新集料等，经拌和、摊铺、碾压等工序，一次性实现旧路面修复的技术。该技术最大的优势在于实现了旧路面材料的100%循环利用，大幅减少新材料消耗，降低养护成本。施工过程中，通过专用加热设备对路面进行均匀加热，避免了传统铣刨工艺造成的材料浪费与环境污染。同时，就地热再生可根据路面病害程度灵活调整再生深度，对轻度病害进行表层修复，对严重病害则进行多层处理，有效

恢复路面结构强度与使用性能。该技术常用于交通量大路段的维修，施工期间可半幅通行，减少对交通的影响，是公路养护可持续发展的重要技术支撑^[2]。

3 公路智能化养护技术体系

3.1 物联网技术在公路养护中的应用

物联网技术通过部署在公路沿线的传感器、监测设备等，构建起全方位感知网络，实现对公路基础设施状态的实时监测。在路面监测方面，应变传感器、温湿度传感器可实时采集路面结构受力、温度变化等数据，及时预警路面开裂、冻融等潜在病害；桥梁健康监测系统利用位移传感器、振动传感器，对桥梁结构的振动频率、位移变形进行动态监测，评估桥梁承载能力与安全性。此外，物联网技术还可应用于养护车辆调度与物资管理，通过车载GPS与RFID技术，实现养护设备的定位追踪、作业轨迹记录，优化资源调配效率。同时，借助无线通信网络，各类监测数据可实时上传至管理平台，为养护决策提供及时、准确的信息依据，推动养护模式从被动响应向主动预防转变。

3.2 大数据与云计算技术在公路养护中的应用

大数据与云计算技术为海量公路养护数据的存储、分析与挖掘提供了强大工具。通过整合路面病害检测数据、养护施工记录、交通流量信息等多源异构数据，构建公路养护数据库，利用云计算强大的计算能力，可实现数据的高效处理与分析。一方面，通过数据挖掘算法，可分析病害发生的规律与影响因素，预测路面病害发展趋势，提前制定养护计划；另一方面，利用大数据技术对历史养护方案与实施效果进行评估，总结最优养护策略，为新的养护决策提供参考。

3.3 人工智能技术在公路养护中的应用

人工智能技术在公路养护领域的应用，显著提升了养护作业的智能化水平。在病害识别方面，深度学习算法可对海量路面图像进行训练，实现裂缝、坑槽等病害的自动识别与分类，其准确率与效率远超人工检测；在养护决策支持方面，基于强化学习的智能决策模型，可根据实时监测数据与历史养护经验，动态生成最优养护方案，避免过度养护或养护不足。此外，自然语言处理技术可对养护报告、文献资料等非结构化数据进行分析，提取关键信息，辅助养护管理。

3.4 智能养护设备的研发与应用

智能养护设备的研发与应用是实现公路智能化养护的重要保障。在路面病害检测领域，搭载激光雷达、高清摄像头的智能检测车，可在高速行驶过程中完成路面三维扫描与图像采集，结合AI算法实时输出病害检测结

果;在养护施工环节,自动化摊铺设备配备高精度定位与自动找平系统,可实现沥青摊铺厚度、平整度的精准控制;智能压实机械通过安装传感器与控制系统,实时监测压实度,避免过压或欠压,提高压实质量与效率。此外,无人机、机器人等设备也广泛应用于公路养护,无人机可对山区公路、桥梁进行高空巡检,快速发现人工难以抵达区域的安全隐患;小型作业机器人则可用于裂缝修补、标识线喷涂等精细化作业,降低人工劳动强度与安全风险^[3]。

4 公路养护维修工程及智能化养护面临的挑战与对策

4.1 面临的挑战

4.1.1 资金短缺问题

公路养护维修工程及智能化养护所需资金量大、周期长。传统养护依赖政府财政拨款,但随着公路里程持续增长、养护标准提升,财政资金难以满足需求。智能化养护技术研发、设备购置及系统建设成本高昂,且短期内难以产生直接经济效益,导致社会资本参与意愿低,资金缺口不断扩大,制约了新技术推广和养护工作的可持续开展。

4.1.2 技术创新与人才短缺

公路养护智能化技术更新迭代快,需持续投入研发。然而,当前产学研协同不足,技术成果转化率,关键核心技术对外依存度高。同时,行业缺乏既懂公路养护又掌握物联网、人工智能等技术的复合型人才,现有从业人员技术水平参差不齐,难以适应智能化养护需求,阻碍了新技术的落地与应用。

4.1.3 数据安全与隐私保护

公路智能化养护系统集成大量交通流量、地理信息及基础设施状态数据,数据传输、存储与处理过程中存在泄露、篡改风险。部分老旧监测设备安全防护能力薄弱,易受网络攻击;数据共享机制不完善,跨部门、跨平台数据交互时隐私保护难度大,一旦发生数据安全事件,可能影响公路运营安全与公众利益。

4.2 应对对策

4.2.1 拓宽资金筹集渠道

为解决资金难题,可通过多元化合作引入社会资源。探索与金融机构合作,利用绿色信贷、融资租赁等金融工具,降低养护设备采购与技术升级的资金压力;与行业上下游企业共建养护项目,通过资源置换、收益

共享实现互利共赢。此外,积极对接社会公益基金、环保组织,争取专项支持;同时挖掘公路养护的衍生价值,如利用路域广告、服务区商业开发等增加收益,反哺养护资金缺口。

4.2.2 加强技术研发与人才培养

建立行业内技术创新联盟,整合企业、高校与科研机构资源,针对智能化养护关键技术开展联合攻关,加速成果转化。鼓励企业加大研发投入,设立内部技术创新奖励机制,激发员工创新积极性。在人才培养上,推行“校企合作”模式,定制化培养复合型人才;企业内部搭建技术培训平台,定期组织智能化技术培训与交流活动,提升现有人员专业能力,打造适应智能化养护需求的人才梯队。

4.2.3 完善数据安全保障体系

从技术与管理双维度构建数据安全防护网。在技术层面,采用端到端加密、数据脱敏等技术,保障数据传输与存储安全;引入AI驱动的安全监测系统,实时识别异常访问与攻击行为。管理上,建立数据分级授权机制,明确不同岗位数据使用权限;定期开展数据安全评估与漏洞扫描,模拟数据泄露场景进行应急演练,提升数据安全防护能力,确保公路智能化养护系统稳定运行^[4]。

结束语

公路养护维修工程及智能化养护是推动交通基础设施高质量发展的关键路径。从传统养护技术到智能化技术体系的革新,不仅提升了养护效率与质量,更顺应了绿色、可持续发展的时代需求。尽管当前面临资金、技术、人才及数据安全等挑战,但通过多元化合作、技术协同创新与安全体系完善,公路养护正逐步迈向智能化、精细化。

参考文献

- [1]任广丽,董元帅,辛光涛.数字化驱动的新一代公路综合智慧养护管理体系构建[J].交通科技与管理,2024,5(4):159-161+77.
- [2]石通全.大数据时代公路养护管理应用研究[J].运输经理世界,2021(32):125-127.
- [3]王军.高速公路养护维修工程施工安全探究[J].智慧城市,2021,7(07):197-198.
- [4]郭莉莉.公路养护维修工程中试验检测工作的重要性[J].科技创新与应用,2020,(13):193-194.