

公路养护技术在延长道路使用寿命中的应用分析

文 / 郭 鹏 徐州市铜山区公路管理站

摘要: 在道路使用, 寿命延长的过程中, 公路养护技术发挥着至关重要的作用。通过深入研究现有的养护手段与创新方法, 新技术的应用显著提升了养护效率, 有效降低了成本, 并显著延长了道路的使用寿命。对智能养护、材料创新、信息化技术等新兴技术进行深入剖析, 通过案例分析, 揭示了其在实际养护领域的显著成效与巨大潜力。针对公路养护领域, 提出深化技术革新的策略, 旨在为公路管理部门提供科学理论及实用技术依据。

关键词: 公路养护; 道路使用寿命; 新技术; 智能养护; 材料创新

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.064

引言

公路交通量的攀升与气候变化的双重作用下, 道路养护与维修任务承受着沉重的压力。公路管理领域, 如何提升养护效率并有效延长道路使用寿命, 已成为亟待解决的关键议题。随着交通需求日益繁杂及环境条件愈发严峻, 传统养护手段的不足逐渐凸显。科技的飞速发展催生了诸多新技术的诞生, 而这些技术已广泛应用于公路养护领域。探讨新技术在道路使用寿命延长方面所展现的成效, 同时展望其未来发展趋势。

一、公路养护技术概述

(一) 公路养护的基本概念与发展历程

定期实施公路维护, 针对道路设施采取一系列检查、修复与保养等行动, 以保证其在设计使用年限内持续维持优良的使用状况。目的在于通过适时进行道路的保养与修缮, 有效延长道路使用寿命, 确保交通安全, 同时降低事故发生的概率。在公路养护领域, 存在日常养护、定期养护以及大修养护等多样化的养护方式。

历史维度下, 公路养护起初多采纳人工手段及传统施工技术。在交通量持续攀升的背景下, 传统的养护手段显露出了诸如效率低下、成本高昂、难以应对复杂多变环境等种种难题。20世纪中叶, 机械化与自动化技术普及应用, 公路养护作业逐步走向科学化与精细化之路。公路养护技术因信息技术的融入与智能化养护手段的应用而实现飞跃, 智能养护系统与无人机巡检等新兴技术正逐步取代传统的人工养护模式。

(二) 公路养护面临的挑战与需求

面对现代道路的维护, 所遭遇的难题层出不穷。交通量持续攀升与自然气候的变迁, 导致道路老化严重, 结构受损, 路面裂缝与坑洼频现。常规修补手段难以根除此类问题, 传统养护技术其效率低下, 维修周期较长, 并且对路面造成较大破坏, 难以满足高频养护的需求。日益严格的环保法规之下, 传统养护手段的环保性议题亦愈发凸显其重要性。针对老旧公路而言, 如何在资金紧张的情况下实现高效养护, 这一难题亟待破解。

在应对挑战的过程中, 公路养护领域亟须提升技术能力, 并对养护策略进行革新, 以期在保障经济性、环境亲和度及社会贡献方面实现显著进步。

(三) 技术创新在公路养护中的重要性

公路养护领域因新技术的应用而获得关键助力, 以应对所遭遇的多重挑战。在公路养护领域, 信息技术与

大数据的运用, 助力实现了管理上的精细化。运用数据分析手段, 对公路健康状况进行实时监控, 精确判别路面损伤及易损部位, 从而实施精确策略, 有效防止资源闲置。

在养护领域, 智能化技术的广泛运用显著提升了作业效率。无人机搭载的智能巡检系统, 全天候对路面进行监测, 传感器实时捕捉异常, 快速响应定位, 显著降低人工巡检的时间和开销。基于智能养护车辆与机器人的协同作用, 路面状况得以实时监控, 进而实现养护作业方式的智能调整, 大幅提升养护作业的效率和质量。

公路养护技术的提升, 不可或缺地依赖于材料创新, 此举措成为技术发展的关键一环。研究的新型环保材料, 不仅能增强道路的耐久性能, 亦能降低养护阶段对环境的污染及不利影响。运用自修复材料与高性能沥青的复合技术, 显著提升了路面的使用寿命, 大幅降低了维修的频次。

二、智能化养护技术的应用

(一) 智能监测技术

采用智能监测技术, 借助道路表面及结构安装的传感器等设备, 实时搜集道路运行相关数据, 随后通过无线网络将这些数据传输至数据中心, 以便进行深入分析处理。实时监控的道路使用状况、温度变动、交通流量以及路面损伤等诸般信息, 由这些监测设备负责捕捉, 它们能在第一时间发现问题并发出预警。在道路养护管理领域, 智能监测技术已得到广泛运用, 尤其在保障道路安全与结构健康方面, 其重要性日益凸显。

在道路表面、桥梁及隧道等关键设施上, 裂缝监测、沉降监测以及应力应变监测等智能监测技术得以运用, 实现对这些重要设施状态的实时监控。路面传感器得以对裂缝扩张状况进行实时监控, 一旦裂缝尺寸触及特定阈值, 系统即刻启动警报机制, 有效预防了因早期隐患未及时察觉而引发的更大规模损害。路面温度的微妙波动, 被智能传感器敏锐捕捉, 进而对冬季冻胀与高温气候对道路结构的潜在损害进行预测, 有力支撑着养护策略的精确规划。

(二) 无人机与机器人技术

在公路养护领域, 无人机与机器人技术的运用日渐广泛, 特别是在执行道路巡查、桥梁及设施检测等任务时, 其展现出了非凡的效能与精确度。检查任务中, 无人机凭借其快速、高效、低成本等优势, 不受天气和地

形限制，实时采集海量影像资料，在难以触及的领域展现出其不可替代的价值。

搭载高清摄像头与红外线热成像仪的无人机，在空中巡检及路面状况评估中发挥着关键作用。借助高分辨率图像与视频的细致解析，道路上的裂痕、损毁及侵蚀状况得以直观呈现，此举为养护人员迅速获取养护情报提供了有力支持。运用无人机进行常规检查，显著减少了传统耗时，并显著提升了数据搜集的精确度与全面性。

在公路养护领域，机器人技术的应用尤为显著，尤其在道路修复与桥梁清洗等关键环节发挥着重要作用。路面裂缝的修复、管道清洁及高压水枪清洗作业，皆能由高性能养护机器人自主完成，此举大幅降低了人工操作风险，同时显著提升了作业效率。操作简便的机器人在恶劣的工作环境中脱颖而出，尤其在交通繁忙的地带，它们能在确保交通流畅的前提下，高效完成作业。如图1所示。

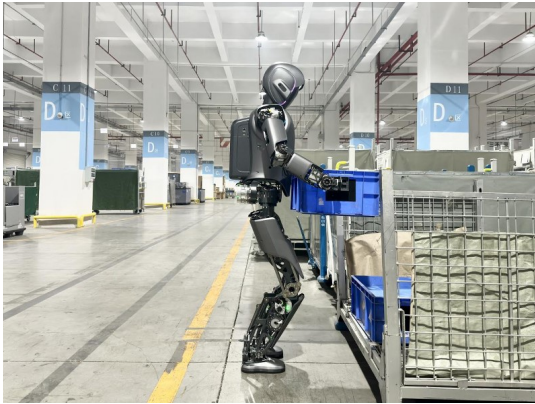


图 1 机器人使用

（三）智能决策系统与大数据分析

公路养护领域因智能决策系统与大数据分析的融

合，其科学性和精确度得到了显著增强。对道路养护过程中的庞大资源（诸如交通流量、气候变迁、路况资讯等）实施人工智能算法的深度分析与前瞻性预测，以此，养护管理部门得以对道路状况进行精确评估，并据此科学地编制养护策略。

在养护工作中，大数据分析技术能高效地挖掘出潜在问题，助力管理者依据实时数据动态优化养护方案。运用交通流量与气候两项数据，智能决策系统得以预判道路磨损，进而为各路量身定制养护措施。此系统依托于历史养护数据，能准确预测特定道路的维修周期与施工时机，从而为养护资源分配提供有效支撑。

调度与优化养护工作，智能决策系统得以发挥辅助作用。该系统通过整合各类养护信息——包括但不限于人员配置、设备使用状况及施工进度——确保养护作业的高效有序执行。人工智能技术的不断精进，预示着公路养护领域将逐渐倚重于智能决策系统和大数据分析，构建起一个更高效、精确、自动化的养护体系。

三、材料创新与路面修复技术

（一）随着公路交通量持续攀升及道路使用环境日益恶化，传统路面材料在现代化养护领域渐显乏力，迫切需要新型路面材料的研发与广泛运用。道路养护效率的提升与道路使用寿命的延长，离不开新型路面材料的研发与应用，路面工程领域得益于聚合物改性沥青、橡胶沥青、超高性能混凝土等材料的问世，实现了技术层面的重大进展。

在传统沥青中掺入聚合物改性剂，此法显著增强了聚合物改性沥青的耐高温性能、抗老化能力以及抗裂缝扩展的能力。在应用聚合物改性沥青的过程中，相较于传统沥青，其性能的耐久性显著增强，增幅超过20%。尤其适合于高流量车辆或高温条件下的道路建设。以废旧轮胎为原料，橡胶沥青的改性不仅增强了沥青的抗疲劳性能，而且显著降低了废弃物的产生，实现了环保目的。如表1所示。

表 1 不同类型材料对比

材料类型	优势	适用范围
聚合物改性沥青	提高耐高温性、抗裂性、抗老化性，延长路面使用寿命	高交通量、高温地区道路
橡胶改性沥青	提高抗疲劳性，改善路面质量，利用废旧轮胎橡胶环保	高速公路、城市主干道
超高性能混凝土（UHPC）	强度高，耐久性好，抗冻融、抗磨损性能强	桥梁、隧道等高承载要求设施

（二）近年来，自愈合材料成为研究焦点，其在道路养护领域的应用潜力巨大，前景光明。路面材料，借助内置自愈合微胶囊或细胞结构，于道路裂痕显现之际，自发释放修补成分，进而修补裂痕，复原材料性能，以此拓展路面寿命。路面裂缝的生成可因自愈合材料而显著降低，同时，养护工作的频率与成本亦将大幅削减。

在众多试验项目中，自愈合沥青材料展现了其良好的应用成效，相关研究表明，自愈合沥青在裂缝修复领域展现出卓越的效能，其修复效果高达90%以上，且修复过程能够迅速完成。道路养护的效率得以显著提升，

得益于该技术的广泛应用，同时大幅降低了传统养护方法所造成的资源浪费。如表2所示。

（三）随着新型材料在道路修复技术领域的广泛应用，公路养护领域的修复技术亦持续实现创新突破。路面修复技术如裂缝灌注与路面铣刨虽对道路寿命有所延展，但其修复成效与效率仍需提升空间。创新技术如激光修复与热再生在近年广泛应用，有效弥补了传统修复手段在效率与品质方面的不足。

采用激光修复技术，路面裂缝得以通过激光的高能精准加热消除，进而实现路面的平整性恢复。所采用的技术显著降低了在传统修复作业中所需的机械操作环

表2 自愈合材料类型修复率

自愈合材料类型	修复效率 (%)	适用场景	研发进展
微胶囊自愈合材料	>90%	高交通量道路、频繁损伤区段	已在部分公路试用
自愈合沥青	>90%	高温、高湿环境下的道路	试验阶段, 未广泛应用

节,大幅削减了对道路使用造成的干扰。沥青路面在经历老化过程后,通过高温处理运用热再生技术得以加热软化,进而重新生成性能一致的路面材料。该技术兼具环保属性,同时显著减少修复作业的经济负担。

四、信息化与绿色养护技术的结合信息化管理与养护计划的制定

(一) 信息化管理与养护计划的制定

在现代公路养护领域,信息化管理至关重要。传统养护管理依赖人工记录和经验判断,缺乏实时数据支持,影响养护效果。随着信息技术的进步,公路养护领域逐渐采纳大数据、云计算和物联网技术,这些技术使得养护计划更加精准科学,工作效率显著提高。

依托信息化管理系统,实时监控道路状况,可以高效采集、存储和处理养护数据,分析道路损坏程度和交通量变化等关键因素,为管理部门提供科学决策支持。大数据分析帮助预知路面病害的病变周期与趋势,从而实现提前维修和养护,避免养护工作过度或不足。在信息化管理机制下,养护资源得以高效配置,显著减少人工操作依赖,降低养护成本。

集成化信息管理平台使得公路管理部门能够实时监控各路段的物理状态,结合历史与实时数据,实施精准的养护规划。该系统能根据路面状况灵活调整养护优先级和资金配置。智能化管理模式提升了养护决策的科学性,同时大幅减少了人力和物力消耗。

(二) 绿色养护技术与可持续发展

在环保意识日益增强的当下,绿色养护技术在公路养护领域显得尤为关键,环保材料与低碳技术共同构筑的绿色养护技术,在节能手段的应用下,旨在降低养护活动对环境的负面影响,并极大提升资源使用效率。

以实现持续发展为终极追求,绿色养护技术以其核心理念占据着至关重要的地位。绿色养护进程中,废旧材料的回收与再利用已成为关键导向,对拆除的旧沥青路面实施再生加工,此项技术显著降低沥青生产过程中的能源消耗与废弃物排放,从而实现成本削减与道路资源循环利用率提升,废旧沥青路面再生技术显著提升了旧路面的回收利用率,将之提升至80%以上,有效缓解了填埋废弃沥青所带来的环境压力。

在绿色养护领域,采纳透水性路面材料的应用技术,具有显著影响。城市内涝问题得以有效缓解,路面排水状况得以改善,透水性路面亦能降低地面温度波动,从而助力减轻热岛效应,广泛运用具有透水性的沥青与混凝土,不仅能够有效提升道路的交通安全水平,同时亦对生态环境的持续发展贡献显著。

(三) 案例分析:智能养护技术的成功应用

智能养护技术在多个国家和地区已展示出显著成效,特别是在加利福尼亚州,高速公路养护与管理通过智能化养护系统得到提升。该系统通过集成技术手段,实时监测路面状况,并利用无人机巡检,借助数据分析与决策支持,迅速识别路面裂缝、沉降等潜在问题。数据解析技术帮助系统精准预判道路病害的演化趋势,从而编排出高效的养护方案,有效实现资源利用和成本削减。

加州某段关键高速公路采纳智能养护技术,显著提高了养护作业效率,并大幅降低了养护频率和费用。与人工巡检需耗时数周相比,无人机巡检只需数小时就能完成相同的工作量,减少了人力投入并提高了巡检精度。大数据分析的应用使得养护计划能够根据实时路况灵活调整,从而延长了道路的使用寿命。

智能养护技术的成功应用,不仅提高了养护作业效率,还有效降低了养护费用,减少了人工依赖,并提高了作业质量。采用该技术,公路养护管理迎来革新,提升了资源配置效率,同时实现了对道路潜在损坏的预判,降低了维修频次。随着技术的不断发展,智能养护模式将成为公路养护的主导趋势。

结语

在新技术不断迭代的推动下,公路养护领域正经历一场革命性的变革。智能化、信息化以及绿色技术的运用在延长道路使用周期和提高养护效能上展现出卓越的成效。运用创新材料及先进养护技术,成功克服了传统养护难题,显著降低了养护成本,并极大提升了公路整体经济效益。技术的不断进步与应用推广,使得公路养护趋向智能化与绿色化,为交通系统的持续发展奠定了坚实基础。公路养护技术的进步,离不开对技术研发的强化与行业合作的深化。

参考文献

- [1]孙万雨.大数据时代公路养护管理应用探究[J].智能建筑与智慧城市,2024(11):182-184.
- [2]包瑞鑫.公路养护机械设备精细化管理研究[J].运输经理世界,2024(29):128-130.
- [3]白建良.预防性公路养护技术在现代公路养护中的应用[J].科技与创新,2024(19):170-172.
- [4]王杰天.TPM管理法在公路养护机械设备管理中的应用[J].内蒙古科技与经济,2024(17):34-37.
- [5]赵军.“四好农村路”背景下的农村公路养护信息化建设策略[J].工程技术研究,2024,9(16):114-116.

作者简介:郭鹏,男,江苏省徐州市,1987年4月,本科,中级职称,研究方向:交通工程—公路桥梁。