

公路工程施工及公路养护技术探析

高 涛

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：随着我国经济社会的持续发展和交通需求的不断增长，公路基础设施建设与维护已成为保障国家经济运行效率和人民出行安全的重要支撑。本文围绕公路工程施工与公路养护两大核心环节，系统梳理了当前主流施工技术体系，深入分析了现代公路养护理念与关键技术，并结合“双碳”目标、智能交通等新趋势，探讨了未来发展方向。文章指出，高质量的公路工程不仅依赖于科学合理的施工组织与先进工艺，更离不开全生命周期视角下的精细化养护管理。通过强化技术创新、完善标准体系、推动智能化与绿色化转型，可有效提升公路基础设施的服务水平与可持续发展能力。

关键词：公路工程；施工技术；养护技术；全生命周期；智能化；绿色低碳

引言

公路作为交通运输体系中最基础、最广泛使用的基础设施，其建设质量与服役性能直接关系到区域经济发展、物流效率及公共安全。近年来，我国高速公路总里程已稳居世界第一，普通国省干线及农村公路网络亦日趋完善。然而，在大规模建设的同时，早期建成的大量公路已进入集中老化期，加之重载交通、极端气候等因素影响，路面病害频发，养护压力剧增。在此背景下，如何在保障新建工程质量的同时，高效、科学地开展既有公路养护工作，成为行业亟需解决的关键问题。本文旨在系统梳理公路工程施工与养护领域的关键技术进展，分析当前面临的挑战，并提出面向未来的优化路径，以期为提升我国公路基础设施韧性与可持续性提供理论参考与实践指导。

1 公路工程施工技术体系

1.1 路基施工技术

在实际施工中，路基工程需充分考虑地质条件、水文特征及交通荷载等因素，采取科学合理的施工方法。当前，土石方工程普遍采用高精度数字化控制手段，如GPS/RTK定位系统与激光平地仪的联合应用，显著提升了高程与横坡的控制精度，有效避免因压实不均或填筑偏差导致的后期沉降问题。同时，对填料的级配、含水率及压实工艺进行全过程监控，确保达到规范要求的压实度指标。对于软土地基等特殊地质条件，传统换填法已难以满足高等级公路的沉降控制要求。因此，水泥搅拌桩、CFG桩、塑料排水板结合堆载预压以及真空预压等复合地基处理技术被广泛应用。这些方法通过改善土体物理力学性质或加速固结过程，有效抑制工后沉降，尤其适用于沿海、湖区等软基分布广泛的区域。此外，

随着生态文明建设理念的深入，边坡防护也逐步由传统的浆砌片石向生态友好型技术转型。植生袋、三维土工网垫配合喷播绿化等措施不仅增强了边坡稳定性，还实现了工程结构与自然环境的有机融合，体现了绿色公路建设的发展方向。

1.2 路面施工技术

1.2.1 沥青混凝土路面

目前，我国高等级公路主要采用沥青混凝土路面，其施工强调“高温、快铺、快压”的作业原则，以最大限度减少温度离析与压实不足等问题。在拌合环节，间歇式沥青拌和楼通过精确计量系统控制集料级配、沥青用量及拌和温度（通常维持在150-170℃），并广泛引入SBS改性沥青以提升混合料的高温抗车辙能力和低温抗裂性能。摊铺过程中，大功率高精度摊铺机保持连续匀速作业，避免停机造成的横向接缝与材料离析；在长距离施工中，双机联铺技术被普遍采用，以减少纵向冷接缝，提高路面整体性^[1]。现代压实作业遵循“紧跟、慢压、高频、低幅”的操作准则，通常配置钢轮压路机与胶轮压路机组合碾压，前者用于初压定型，后者通过揉搓作用消除表面微裂缝并提升密实度。近年来，智能压实系统逐步推广，该系统基于GPS定位与振动传感器，实时记录压实遍数、速度及能量分布，实现压实过程的可视化与可追溯，显著提升了施工质量的一致性。

1.2.2 水泥混凝土路面

相比之下，水泥混凝土路面虽在高速公路中占比下降，但在重载货运通道、机场跑道等特殊场景仍具不可替代的优势。滑模摊铺技术作为其主流施工方式，集布料、振捣、整平于一体，施工效率高且平整度优异。接缝处理是水泥路面成败的关键，传力杆自动插入装置

(DBI)的应用确保了板块间荷载的有效传递,防止错台病害;而切缝时机与深度的精准控制,则能引导收缩裂缝沿预定位置规则开展,避免无序开裂。此外,科学的养生措施——如覆盖土工布配合定时洒水或喷洒成膜养护剂——对保障混凝土早期强度发展、防止塑性收缩裂缝至关重要。

1.3 智能化与绿色施工技术

在“双碳”战略引领下,公路施工正加速向绿色化、智能化方向演进。温拌沥青技术通过添加有机添加剂或采用泡沫沥青工艺,将拌和与摊铺温度降低20~40℃,不仅大幅减少燃料消耗与温室气体排放,还改善了施工环境,降低了沥青老化风险。与此同时,废旧路面材料的再生利用技术日益成熟。厂拌热再生(RAP)通过将铣刨旧料按比例掺入新混合料,在保证性能的前提下实现资源循环;就地冷再生(CIR)则可在原位完成破碎、添加结合料与重新摊铺,适用于基层修复,具有施工便捷、扰民少的优点。数字化技术的深度融合进一步推动施工管理升级。BIM(建筑信息模型)与GIS(地理信息系统)协同平台的构建,使得设计、施工、监测数据在统一空间框架下集成,实现进度模拟、碰撞检查与质量追溯的全过程可视化管控^[2]。更前沿的是,无人化施工装备开始进入工程实践,如具备自动驾驶功能的智能压路机与摊铺机,通过高精度定位与路径规划,可实现24小时连续作业,不仅提升施工精度,还显著降低人员安全风险。这些技术的集成应用,标志着公路施工正从经验驱动迈向数据驱动的新阶段。

2 公路养护技术体系

养护是延长公路使用寿命、维持服务水平的核心手段。现代养护理念已从“被动修复”转向“主动预防”,强调全生命周期成本最优,注重以数据为依据的科学决策。

2.1 养护分类与策略

公路养护根据干预时机与目的可分为日常养护、预防性养护、矫正性养护和应急养护四类。日常养护包括路面清扫、排水系统疏通、交通标志标线维护等常规性工作,是保障基本通行条件的基础。预防性养护则是在路面结构尚未发生结构性破坏但已出现轻微功能性退化时实施的干预措施,其核心在于“治未病”,以较低成本延缓病害发展,延长中修周期。矫正性养护针对已出现明显结构性损坏的路段,如基层失稳、严重车辙或大面积网裂,需通过铣刨重铺、基层注浆等方式进行修复。应急养护则聚焦于应对突发自然灾害或交通事故导致的通行中断,如山体滑坡、水毁路基或冰雪封道,强

调快速响应与临时保通。科学的养护策略应建立在系统化的路况检测与评估基础上。当前,各地普遍依托路面管理系统(PMS),整合自动化检测数据、历史维修记录与交通量信息,通过多指标综合评价模型对路段进行优先级排序,从而制定年度养护计划,实现从“经验判断”向“数据决策”的转变。

2.2 主要养护技术

2.2.1 预防性养护技术

在预防性养护领域,微表处技术因其施工快捷、开放交通迅速、成本低廉而被广泛应用。该技术采用聚合物改性乳化沥青、细集料、填料及添加剂组成的稀浆混合料,可有效封闭表面微裂缝、恢复抗滑性能,适用于轻度老化但结构完好的路段。超薄磨耗层(如Novachip)则通过专用粘结界与高粘改性沥青混合料形成1.5~2.5cm的功能层,兼具优异的防水、抗滑、降噪与耐久性能,多用于高等级公路的预防性罩面^[3]。雾封层作为一种更为经济的表层处理方式,通过喷洒稀释乳化沥青渗透至路面孔隙,延缓沥青氧化老化过程,适用于早期轻微衰变路段。

2.2.2 结构性修复技术

当路面病害已发展至结构性层面,需采用更深层次的修复技术。就地热再生(HIR)通过加热机组将旧路面表层加热软化,经耙松、添加再生剂与新沥青后重新摊铺压实,实现100%原位材料利用,施工效率高且对交通干扰小。厂拌热再生(RAP)则将铣刨料运回拌和站,经筛分后按设计比例掺入新集料与沥青,其混合料性能更易控制,再生比例可达30%以上,适用于大规模中修工程。对于基层承载力不足但面层尚可的情况,非开挖注浆加固技术展现出独特优势。通过钻孔将高聚物或水泥基浆液注入病害基层,可在不破坏面层的前提下提升整体结构强度,有效解决唧泥、脱空等问题。

2.2.3 特殊环境养护技术

在特殊环境条件下,养护技术亦需针对性调整。例如,在北方寒区或高海拔地区,抗凝冰技术成为冬季养护重点。部分路段尝试铺设导电沥青混凝土或嵌入发热电缆,通过电能主动融雪化冰;另一些地区则采用环保型融雪剂(如醋酸钙镁)替代传统氯盐类产品,以减少对桥梁钢筋和生态环境的腐蚀损害。在沙漠或戈壁地带,强风沙侵蚀对路面构成威胁,此时采用高粘改性沥青或纤维增强混凝土可显著提升材料的抗剥落与抗风蚀能力。

2.3 养护检测与评估技术

精准养护的前提是全面、客观、高效的路况数据采集

与分析。现代公路检测已高度自动化,多功能路况检测车可同步获取国际平整度指数(IRI)、车辙深度、裂缝率、构造深度及横向力系数(SFC)等多项关键指标,为养护决策提供量化依据。对于边坡、桥梁墩台等人工巡检难以覆盖的区域,三维激光扫描与无人机倾斜摄影技术提供了高效解决方案,可生成高精度点云模型,用于形变监测与风险预警。人工智能技术的引入进一步提升了数据处理效率。基于深度学习的图像识别算法能够自动从海量路面图像中识别裂缝类型、走向、宽度及严重程度,大幅减少人工判读误差与时间成本。在结构性能评估方面,落锤式弯沉仪(FWD)通过模拟标准轴载冲击,测量路面各结构层的弯沉盆,反演基层模量与层间接触状态,为是否需要结构性修复提供科学依据^[4]。这些先进技术的综合应用,使得养护工作从“粗放式”走向“精细化”,从“事后补救”迈向“事前预测”。

3 当前面临的主要挑战

尽管技术不断进步,公路工程在施工与养护环节仍面临多重挑战。优质筑路材料如高硬度碎石、特定标号石油沥青等资源日益紧张,价格波动剧烈,制约了高性能路面的大规模应用;同时,再生材料虽具环保优势,但其长期性能稳定性、与新料的兼容性问题尚未完全解决,相关技术标准与验收规范仍需完善。气候变化带来的极端天气事件频发,如持续高温加剧车辙、暴雨引发水损害、冻融循环加速开裂,现有路面结构与材料体系在极端环境下的适应性明显不足。在管理机制层面,“重建设、轻养护”的惯性思维尚未彻底扭转,部分地区养护资金投入长期不足,导致小病害演变为大问题,反而增加全生命周期成本。养护市场化改革推进缓慢,专业化养护企业数量有限,技术力量薄弱,难以支撑高质量养护需求。此外,尽管BIM、物联网、大数据等智能化技术已在部分示范项目中应用,但普遍存在“信息孤岛”现象,缺乏统一的数据接口标准与跨平台集成能力,难以形成从感知、分析到决策、执行的闭环管理体系。

4 未来发展趋势与对策建议

4.1 推动全生命周期设计理念

首先,应全面推行全生命周期设计理念,将设计、施工、养护、拆除各阶段统筹考虑,建立全生命周期成本分析(LCCA)模型,在方案比选中优先选择初期投资略高但长期维护成本低、耐久性强的技术路径。

4.2 加快绿色低碳技术普及

加快绿色低碳技术的规模化应用。除推广温拌沥青、橡胶沥青外,可探索生物基沥青、光伏路面等前沿材料;同时,应制定强制性废旧路面材料回收利用标准,推动再生利用率提升至80%以上,构建循环经济模式。第三,深化智能养护体系建设,整合卫星遥感、无人机、车载传感器等多源数据,构建“空—天—地”一体化监测网络,并开发基于数字孪生的养护决策平台,实现病害自动识别、演化预测、方案生成与效果评估的全流程智能化。

4.3 深化智能养护体系建设

在制度层面,亟需修订《公路沥青路面施工技术规范》《公路养护技术规范》等核心标准,将智能化、绿色化要求纳入强制条款;建立养护绩效与财政拨款挂钩的激励机制,倒逼地方政府加大投入;鼓励采用PPP、EPC+F等创新模式,吸引社会资本参与养护运营。最后,加强人才与科研支撑,支持高校设立智能建造、道路养护等交叉学科方向,推动企业与科研院所联合攻关长寿命路面、自修复材料、低碳胶凝体系等关键技术,并积极开展国际技术合作,吸收借鉴欧美日等发达国家在预防性养护与资产管理方面的先进经验。

5 结语

公路工程施工与养护是保障国家交通动脉畅通的“一体两翼”。面对新时代高质量发展的要求,必须摒弃粗放式建设与被动式维修的传统路径,转向以科技创新为驱动、以全生命周期管理为核心、以绿色智能为特征的现代化公路工程体系。唯有如此,才能构建安全、耐久、高效、低碳的现代化公路网络,为交通强国建设奠定坚实基础。

参考文献

- [1]李修建.公路工程施工与养护技术分析[J].科技资讯,2025,23(18):141-143.
- [2]张先瑞.基于公路工程施工及养护技术分析[J].汽车周刊,2024,(06):58-60.
- [3]罗兵.公路工程施工技术、养护管理与病害防治措施分析[J].运输经理世界,2025,(18):133-135.
- [4]马强.公路工程施工技术管理及养护方法研究[J].汽车周刊,2025,(06):70-71.