

公路养护技术在道路建设中的应用研究

柯毅

苍溪县交通工程建设事务中心 四川 广元 628000

摘要:我国交通基础设施网络持续完善,公路养护从“被动修复”向“主动预防、科学决策、全生命周期管理”的现代化模式转型。本文系统探讨公路养护技术在道路建设全过程中的核心地位与创新应用。先阐述现代公路养护理念演进及对道路建设的新要求;接着梳理分析预防性、矫正性、应急性三大养护关键技术体系,聚焦微表处等前沿技术的原理、适用条件与效益;再剖析智能检测等信息化、智能化技术对养护决策的赋能作用;最后结合行业挑战展望未来趋势,提出强化全生命周期成本理念等策略建议。研究表明,将先进养护技术融入道路全链条,是提升道路基础设施耐久性等的关键,对构建现代化公路交通体系意义重大。

关键词:公路养护;道路建设;预防性养护;再生技术;智能检测

引言

公路是国民经济大动脉与民生保障重要载体,其运行关乎国家发展活力与人民幸福指数。我国建成全球规模最大的高速公路网与领先的公路基础设施体系,但路网扩张、交通荷载增长,加上极端气候、重载超载等因素,公路路面病害多样复杂且加速发展。传统被动式养护模式成本高、干扰交通,难以保障道路服务质量与寿命。在此背景下,现代公路养护理念根本性转变,养护被提升至与规划设计、施工建造同等重要的战略高度,成为贯穿道路“全生命周期”的核心环节。“建养一体化”通过在建设源头考虑养护需求,融入先进技术、材料和管理理念,能延长道路寿命、降低成本、提升性能并减少影响。研究公路养护技术在道路建设中的应用,是解决养护困境、推动交通基础设施高质量发展的必然,本文将从理念革新、技术体系、智能赋能及未来展望四个维度,系统探讨这一课题,以期对相关领域的理论研究与工程实践提供有益参考。

1 现代公路养护理念的演进及其对道路建设的新要求

1.1 从被动修复到主动预防的范式转移

现代养护理念则强调“预防为主,防治结合”,其核心思想是在路面结构性能尚未发生显著衰减、病害尚处于萌芽或轻微阶段时,就采取经济有效的技术措施进行干预。预防性养护犹如给道路“打疫苗”,通过延缓病害的发生和发展,可以成倍地延长路面的大修周期,其投入产出比远高于矫正性养护。这一理念的转变对道路建设提出了全新的要求。首先,在规划设计阶段,必须摒弃“重主体、轻附属”、“重强度、轻耐久”的旧有思维。设计者需充分考虑未来可能采用的预防性养护技术对路面结构的要求。例如,为便于实施微表处或雾

封层等表面处治技术,新建路面应具备良好的平整度和密实度;若规划未来采用就地热再生技术,则基层应具备足够的强度和稳定性以承受再生设备的荷载^[1]。其次,在材料选择上,应优先选用具有良好抗老化、抗水损害、抗疲劳性能的高性能沥青混合料,如SBS改性沥青、橡胶沥青等,为后续的预防性养护奠定坚实的材料基础。最后,在施工质量控制方面,必须确保压实度、厚度、平整度等关键指标达到甚至超过规范要求,因为高质量的初始状态是预防性养护发挥最大效益的前提。

1.2 全生命周期成本(LCC)管理理念的深化

全生命周期成本管理是现代工程管理的核心思想之一,它要求将项目从规划、设计、施工、运营、养护直至最终废弃拆除的所有成本纳入统一考量。在道路建设领域,这意味着不能仅仅追求初期建设投资的最小化,而应着眼于整个使用周期内总成本的最优化。研究表明,道路在其长达数十年的寿命周期中,养护和大修费用通常远超初期建设成本。一个在建设阶段多投入10%资金用于提升材料品质和施工精度的项目,可能在未来20年内节省更多的养护费用。因此,LCC理念要求建设单位与养护单位打破壁垒,建立协同工作机制。在项目可行性研究和初步设计阶段,就应引入养护部门的专业意见,共同评估不同设计方案、材料组合和施工工艺在未来养护阶段的成本差异,从而做出全局最优的决策。这种基于LCC的决策模式,从根本上改变了道路建设的价值导向,使其更加注重长期效益和可持续性。

1.3 绿色低碳与可持续发展的时代诉求

在全球应对气候变化和我国“双碳”战略目标的引领下,公路建设与养护的绿色低碳转型已成为不可逆转的趋势。这要求在道路建设中,不仅要关注工程本身

的性能,还要评估其全生命周期的环境足迹。养护技术作为其中的关键一环,其绿色化水平直接影响着整个项目的可持续性。因此,道路建设必须前瞻性地为绿色养护技术的应用创造条件。例如,在设计阶段就应考虑废旧路面材料的再生利用路径,预留再生料的存储和加工场地;在选材时,优先考虑可再生、可降解或能耗较低的环保型材料;在结构设计上,采用便于未来进行冷再生或温拌再生的柔性基层。通过在建设源头植入绿色基因,可以极大地促进资源循环利用,减少建筑垃圾,降低能源消耗和碳排放,实现经济效益、社会效益与生态效益的有机统一。

2 公路养护核心技术体系及其在建设中的融合应用

2.1 预防性养护技术及其前置化应用

预防性养护技术种类繁多,主要包括裂缝填封、雾封层、微表处、稀浆封层、超薄磨耗层(NovaChip, UTFC)等。这些技术的核心在于形成一层保护膜或功能性表层,隔绝水、空气和紫外线对路面的侵蚀,同时改善路面的抗滑、防水和美观性能。(1)微表处与超薄磨耗层:这两种技术是高等级公路预防性养护的主流选择。它们都采用改性乳化沥青作为粘结料,但超薄磨耗层使用热拌热铺工艺,骨料嵌挤更紧密,耐久性更优。在道路建设中,可以将其设计理念融入到上面层的设计中。例如,在新建高速公路的上面层施工完成后,立即或短期内加铺一层超薄磨耗层,不仅可以快速开放交通,还能为下面层提供即时保护,有效抵御早期水损害和氧化老化,显著延长路面的整体寿命。这种“建设即养护”的模式,实现了建设与养护的无缝衔接^[2]。(2)设计理念的融合:在进行新建道路的路面结构设计时,工程师可以将未来5-8年内计划实施的预防性养护措施视为结构的一部分进行验算。例如,设计时可以适当降低对上面层单一结构层的性能要求,转而依靠后续的预防性养护层来共同承担行车荷载和环境作用。这种动态设计理念,能够优化材料配比,降低成本,同时保证整体性能。

2.2 矫正性养护中的再生技术与循环经济

当路面病害发展到一定程度,仅靠预防性养护已无法满足使用要求时,就需要进行矫正性养护。其中,沥青路面再生技术因其卓越的经济和环保效益,已成为矫正性养护的首选。(1)就地热再生(HIR):该技术利用专用设备在现场对旧沥青路面进行加热、翻松、添加再生剂和新沥青混合料,然后重新摊铺压实。其最大优势在于100%利用原路面材料,施工速度快,对交通干扰小。为了便于未来实施HIR,新建道路在基层设计时就必

须确保其有足够的承载能力,以支撑重型再生设备的通行而不产生过大变形。此外,上面层的沥青胶结料应选择老化后仍具有一定活性的类型,以便于再生剂能有效激活其性能。(2)厂拌热再生(RAP):该技术将回收的旧沥青路面材料(RAP)运回拌合站,破碎筛分后,按一定比例掺入新集料、新沥青和再生剂,重新拌制成合格的混合料。厂拌热再生技术成熟,质量可控,RAP掺配比例可达30%-50%甚至更高。在道路建设中,项目规划之初就应建立完善的RAP回收、储存和管理体系。例如,在服务区或沿线合适位置规划RAP临时堆放场,并在招标文件中明确要求施工单位对铣刨废料进行分类回收,为未来的厂拌再生提供原料保障。这种从建设源头就规划好“废弃物”出路的做法,是循环经济在公路工程中的生动体现。(3)冷再生技术:包括就地冷再生和厂拌冷再生,适用于基层或底基层损坏严重的路段。它使用乳化沥青、泡沫沥青或水泥作为再生结合料,在常温下完成再生。冷再生技术能耗低,适用于交通量较小的国省干线。在新建低等级公路时,可以直接采用冷再生技术修建底基层,既节约了新材料,又处理了建筑废弃物,一举两得。

3 智能化与信息化技术赋能养护决策与建设协同

信息技术的飞速发展正在深刻重塑公路养护与建设的管理模式,使其迈向数字化、网络化和智能化。

3.1 智能检测与状态感知

传统的路况调查依赖人工目测和钻芯取样,效率低、代表性差。如今,多功能路况快速检测车(CiCS)、三维探地雷达(3D-GPR)、激光断面仪、红外热像仪等智能装备,可以在正常车速下连续、无损、高精度地采集路面平整度、车辙、裂缝、构造深度、路面内部结构状况等海量数据。这些数据构成了道路“健康档案”的基础。在道路建设阶段,这些智能检测技术同样大有用武之地^[3]。例如,在施工过程中,可以利用探地雷达实时监测各结构层的厚度和均匀性,确保施工质量;在交工验收时,进行全面的智能检测,建立精确的初始状态数据库。这个高质量的“出生证明”,为未来几十年的养护决策提供了无可替代的基准参照。没有准确的初始数据,任何基于性能衰减模型的预测都将失去根基。

3.2 大数据分析科学与决策支持

海量的检测数据只有通过先进的分析手段才能转化为有价值的决策信息。基于机器学习和人工智能算法的路面性能预测模型(PMS),能够根据历史数据、交通量、气候条件、材料特性等多维因素,精准预测未来

不同时间点的路面状况指数 (PCI)、国际平整度指数 (IRI) 等关键指标。这种预测能力对道路建设具有指导意义。在规划设计阶段, PMS模型可以模拟不同设计方案在未来几十年内的性能演变和养护需求, 帮助设计师选择最优方案。在项目后评价阶段, 可以将实际运营数据与模型预测进行对比, 反向验证设计和施工的合理性, 为后续项目积累宝贵经验。养护决策不再是凭经验“拍脑袋”, 而是基于数据驱动的科学推演。

3.3 BIM+GIS平台实现全寿命周期集成管理

建筑信息模型 (BIM) 与地理信息系统 (GIS) 的深度融合, 为实现道路基础设施的全寿命周期管理提供了强大的数字底座。在建设阶段, BIM模型详细记录了道路的几何信息、材料信息、施工工艺、质检报告等所有“基因”数据。项目竣工后, 这个BIM模型无缝移交至养护管理系统, 并与GIS平台整合, 形成一个包含空间位置和属性信息的“数字孪生”体。养护人员可以通过这个平台, 直观地查看任意一段道路的历史、现状和未来预测, 并精确定位病害位置, 调取相关的建设档案。当需要制定养护方案时, 系统可以自动推荐最适合该路段结构特点和病害类型的养护技术, 并模拟不同方案的预期效果和成本^[4]。这种从“建设”到“养护”的信息贯通, 彻底打破了数据孤岛, 实现了真正的建养一体化协同。

4 挑战、展望与策略建议

尽管公路养护技术在道路建设中取得显著进展, 却仍面临诸多挑战, 如建设与养护单位职责分离、先进技术成本高、新型路面材料长期性能数据库不完善、智能化系统数据标准不统一等。面向未来, 公路养护技术将呈现诸多发展趋势, 材料与工艺持续创新, 开发智能、功能性材料并融入新建道路; 养护机器人与自动化施工将减少对交通干扰、提高施工精度; “云-边-端”协同的智能养护生态可实现路况实时感知、即时决策和快速

响应; 碳足迹核算与绿色认证体系将建立碳排放核算方法, 以绿色养护技术作为项目评优认证指标。为推动养护技术深度应用, 需强化顶层设计与制度保障, 出台政策法规明确全寿命周期养护成本等要求; 推广LCC评价方法, 引导追求长期价值最优; 构建产学研用协同创新平台, 加速新技术等研发推广; 加快数据标准与共享机制建设, 打破信息壁垒构建开放共享的行业数据生态。

5 结语

公路养护技术已超越“善后”范畴, 成为贯穿道路“规划-设计-施工-运营”全寿命周期的战略先导环节。把先进预防性养护理念、高效再生利用技术、智能化决策支持系统深度融合入道路建设各阶段, 是交通基础设施高质量、可持续发展的必由路径。在规划设计阶段前瞻养护需求, 材料与工艺为养护提供便利, 项目交付时建立数字资产档案, 依托智能平台实现建养信息流转与协同决策, 可构建韧性、智慧、绿色的现代化公路网络。这既能提升道路服务水平与寿命、降低社会总成本, 又能助力“交通强国”和“双碳”战略。未来道路建设, 必是与先进养护技术深度融合、面向全寿命周期的系统工程。

参考文献

- [1] 欧阳玲. 养护技术应用对公路使用性能提升的作用分析[C]//中国国土经济学会. 2026智慧城市建设和创新发展研讨会论文集. 清远市清城区公路事务中心, 2025: 206-208.
- [2] 张柏. 预防性公路养护技术在现代公路养护中的应用[J]. 工程建设与设计, 2026, (04): 157-159.
- [3] 王琰莉. 公路养护安全技术应用与发展趋势[J]. 产品可靠性报告, 2025, (11): 241-242.
- [4] 钟信. 公路路面养护技术及新型材料应用研究[J]. 运输经理世界, 2025, (31): 144-146.