

市政道路沥青路面耐久性提升技术及质量保障

魏 军 樊继荣

陕西煤业化工建设(集团)有限公司路桥分公司 陕西 西安 710021

摘要:市政道路沥青路面耐久性直接决定通行质量与使用寿命,受材料衰变、结构受力、施工缺陷等多因素影响,易出现开裂、车辙、松散等早期病害。本文分析各影响因素作用机理,从材料改性、结构优化、施工创新三方面提出关键技术,涵盖SBS+CR复合改性、应力吸收层设置等核心措施,同时构建全周期质量管控及预防性养护体系,为提升路面耐久性、降低养护成本、保障市政道路长效稳定服役提供技术支撑。

关键词:市政道路;沥青路面;耐久性;提升技术;质量保障

引言:市政道路作为城市交通枢纽,承载高流量、重荷载通行需求,沥青路面因平整度好、行车舒适等优势被广泛应用,但长期受环境侵蚀与车辆作用,其耐久性不足问题日益突出,缩短使用寿命并增加运维成本。当前我国市政沥青路面实际服役年限常低于设计标准,契合交通强国建设相关要求,亟需系统研究其耐久性影响因素与提升路径,开展相关研究具有重要现实意义。

1 市政道路沥青路面耐久性影响因素分析

1.1 材料性能衰变机理

(1) 沥青老化是材料衰变的核心诱因,主要源于氧化与光热作用的长期叠加。在市政道路服役过程中,沥青暴露于大气环境,氧气与沥青组分发生化学反应,同时阳光照射、温度变化加速分子链断裂,导致沥青粘弹性显著损失,逐渐变得脆硬、易开裂,失去原有柔韧性,无法适应路面变形需求。(2) 集料磨耗与骨料界面剥离直接影响路面结构稳定性。玄武岩集料硬度高、耐磨性强,与沥青粘结性较好,界面剥离现象较少;而石灰岩集料硬度较低,长期受车辆荷载磨耗后易破碎,且与沥青的粘结强度不足,易出现界面脱空、剥离,进而引发路面松散、坑槽。(3) 空隙率与渗水系数呈正相关,二者共同加剧水损害。冻融劈裂试验数据显示,当路面空隙率超过8%时,渗水系数急剧增大,水分易渗入路面内部,经过反复冻融循环,集料与沥青界面粘结力下降,最终导致路面出现剥落、龟裂等病害^[1]。

1.2 结构层受力与破坏模式

(1) 半刚性基层反射裂缝的形成是温度应力与荷载耦合作用的结果。温度变化使基层产生收缩应力,车辆荷载产生的弯拉应力叠加其上,当应力超过基层抗拉强度时,基层出现裂缝,进而向上反射至沥青表面层,形成反射裂缝并逐渐扩展。(2) 渠化交通下,车辆荷载长期集中作用于路面表面层,导致沥青混合料发生塑性变

形累积,形成车辙。初期变形较小,随荷载次数增加,变形逐渐增大并稳定,严重影响路面平整度与通行能力。(3) 层间粘结失效易引发滑移破坏,典型案例为透层油喷洒量不足。透层油喷洒量未达到规范要求时,沥青面层与基层之间的粘结力不足,车辆荷载作用下易出现层间滑移,进而导致面层开裂、推移,缩短路面使用寿命。

1.3 施工工艺缺陷与质量波动

(1) 拌合温度偏差影响SBS改性沥青分散度,显微镜检测显示,当拌合温度偏差过大时,改性沥青颗粒粒径超过5 μm ,其改性效果显著下降,沥青混合料高温稳定性、低温抗裂性均出现不同程度衰减。(2) 摊铺接缝处理不当会引发平整度衰减,对比试验表明,热接缝处理规范时,接缝处平整度较好、整体性强;冷接缝未进行有效压实与粘结处理,易出现接缝开裂、错台,导致路面平整度下降,影响通行体验。(3) 压实度不足会导致孔隙率超标,试验数据表明,压实度每降低1%,沥青混合料动稳定度下降15%~20%,孔隙率增大不仅加剧水损害,还会降低路面承载力,易引发路面早期破损。

2 市政道路沥青路面耐久性提升关键技术

2.1 材料改性技术

(1) 复合改性沥青开发核心是采用SBS+CR(橡胶粉)协同改性工艺,破解单一改性沥青性能短板,实现优势互补。SBS(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物)可显著提升沥青的高温抗车辙性和低温抗裂性,而CR(橡胶粉)能增强沥青的柔韧性和抗疲劳性能,二者按合理比例复配后,经高速剪切、恒温发育等工序制备,可使沥青混合料60 $^{\circ}\text{C}$ 动稳定度提升至8000次/mm以上,远高于普通改性沥青标准,有效抵御市政道路渠化交通带来的长期荷载作用,减少车辙、开裂等早期病害,同时延长沥青的老化周期,适配市政道路复杂的服役环境。(2) 高性能集料选择以玄武岩骨料为核心,严格控制关键性能指标,

为路面结构提供坚实支撑。市政道路沥青路面集料需承受长期车辆磨耗、荷载冲击及环境侵蚀,玄武岩骨料具有硬度高、耐磨性强、与沥青粘结性好的优势,明确要求其磨光值 ≥ 55 ,确保路面抗滑性能达标,保障行车安全;压碎值 $\leq 20\%$,提升集料抗压强度,避免车辆荷载作用下集料破碎,进而防止路面松散、坑槽等病害,相较于石灰岩等其他集料,玄武岩骨料可显著提升路面结构的耐久性和稳定性^[2]。(3)抗剥落剂应用采用消石灰替代传统矿粉,从根源上提升沥青与集料的粘结性能,抵御水损害。市政道路路面易受雨水渗透影响,导致沥青与集料界面剥离,引发路面早期破损,消石灰作为天然抗剥落剂,可与沥青中的酸性组分发生化学反应,形成稳定的化学键,增强沥青与集料的粘附性。经试验验证,采用消石灰替代矿粉后,沥青与集料的水煮法粘附性等级可提升至5级,有效阻断水分侵入导致的界面脱空、剥离,显著提升路面的水稳定性,延长路面使用寿命。

2.2 结构优化设计

(1)层间功能设计重点是设置应力吸收层(SAMI),精准阻断半刚性基层反射裂缝,提升路面疲劳寿命。半刚性基层反射裂缝是市政道路沥青路面的常见病害,主要源于基层收缩应力与车辆荷载应力的耦合作用,应力吸收层(SAMI)采用高弹性、高韧性的沥青混合料铺设于基层与面层之间,可有效吸收、消散基层传递的应力,缓解面层的应力集中现象,阻止基层裂缝向上反射至面层。实践表明,设置应力吸收层后,沥青路面的疲劳寿命可提升3倍以上,大幅减少反射裂缝引发的路面破损,降低养护成本。(2)排水基层设计采用大孔隙沥青稳定碎石(ATPB),构建高效排水体系,减少水损害对路面的影响。市政道路路面渗水若无法及时排出,会长期积聚于路面内部,加剧沥青老化、集料剥离及冻融破坏,大孔隙沥青稳定碎石(ATPB)具有孔隙率高、透水性能优良的特点,明确要求其透水系数 $\geq 1000\text{mL}/15\text{s}$,可快速排出渗入路面的雨水,降低路面内部含水量,避免水分在冻融循环中产生体积膨胀,破坏路面结构,同时减少雨水对层间粘结界面的侵蚀,提升路面整体稳定性和耐久性^[3]。(3)厚度组合优化采用AC-13+AC-20双层沥青面层结构,合理匹配各层性能,保障路面承载能力和抗损性能。AC-13细粒式沥青混合料具有表面平整、抗滑性能好的优势,适用于路面表面层,可提升行车舒适度和安全性;AC-20中粒式沥青混合料具有强度高、承载能力强的特点,适用于路面中面层,可有效传递和分散车辆荷载。明确要求双层结构总厚度 $\geq 15\text{cm}$,混合料动稳定度 $> 6000\text{次}/\text{mm}$,通过合理的厚度匹配和性能搭配,兼顾路

面的平整度、承载能力和抗车辙性能,适应市政道路高流量、重荷载的使用需求。

2.3 施工工艺创新

(1)智能拌合控制引入基于物联网的温度与计量实时监测系统,精准控制沥青混合料拌合质量,减少质量波动。沥青混合料拌合质量直接影响路面耐久性,传统拌合工艺易出现温度偏差、计量不准等问题,物联网监测系统可实时采集拌合过程中的沥青、集料温度及各类原材料计量数据,实现数据实时传输、异常预警和精准调控,确保拌合温度稳定、计量误差 $\leq 0.5\%$ 。同时,系统可留存全程数据记录,实现拌合质量可追溯,有效避免因拌合缺陷导致的沥青混合料性能下降,保障路面施工质量^[4]。(2)非接触式平衡梁摊铺采用激光扫描+GPS定位技术,大幅提升路面摊铺平整度,减少后期破损隐患。市政道路路面平整度直接影响行车体验和路面耐久性,传统摊铺工艺易出现摊铺厚度不均、平整度偏差等问题,非接触式平衡梁通过激光扫描实时检测摊铺表面平整度,结合GPS定位精准控制摊铺高程和厚度,可使路面摊铺平整度 $\sigma \leq 0.8\text{mm}$,显著优于传统摊铺工艺。同时,该技术可减少摊铺过程中对路面基层的扰动,提升面层与基层的粘结整体性,避免因平整度不足导致的车辆荷载集中,延长路面使用寿命。(3)振动压实工艺采用双钢轮振动压路机(激振力 $\geq 300\text{kN}$)+胶轮压路机组合压实方式,确保路面压实度达标,降低孔隙率。压实度不足会导致路面孔隙率超标,加剧水损害和荷载变形,双钢轮振动压路机凭借强大的激振力,可有效压实沥青混合料,打破集料团聚现象,提升混合料密实度;胶轮压路机通过揉搓作用,进一步填补混合料孔隙,增强混合料颗粒间的粘结力。组合压实后,路面压实度可达到 $\geq 98\%$,有效降低路面孔隙率,提升路面承载力、水稳定性和抗车辙性能,从施工环节保障路面耐久性。

3 市政道路沥青路面质量保障体系构建

3.1 全周期质量管控模型

(1)施工前以原材料双控和试验段验证筑牢质量根基。采用“供应商评估+进场复验”双重管控,筛选优质供应商并建立动态考核机制,对沥青、集料等原材料严格按规范检测,不合格材料严禁进场。同时铺设500m标准试验段,通过试拌试铺优化拌合、摊铺、压实等关键参数并固化,为大规模施工提供标准依据,规避参数不合理引发的质量隐患。(2)施工中实施关键工序实时监测与动态调整,确保施工过程可控。采用红外热像仪实时监测沥青混合料摊铺温度,规避温度异常导致的沥青老化或压实不足;用核子密度仪现场检测压实度,实时

反馈质量并调整压路机参数。建立动态调整机制,结合监测数据、天气及现场情况优化工艺,及时纠正偏差,保障各工序符合规范。(3)施工后应用无损检测技术全面评估路面质量,排查隐蔽隐患。通过探地雷达精准检测层间粘结情况,识别层间脱空、滑移等缺陷;利用落锤式弯沉仪评估路面结构强度,判断是否满足设计要求,为后续养护提供数据支撑。该技术无需破坏路面,可实现全路段全覆盖检测,及时发现施工遗留隐患。

3.2 数字化质量追溯系统

(1)集成BIM技术整合施工全流程数据,实现施工过程可视化、可管控。依托BIM技术构建沥青路面施工数字化模型,将拌合、运输、摊铺、碾压等各工序的关键参数(如拌合温度、计量数据、摊铺厚度、压实度等)实时录入模型,实现全流程数据联动与可视化展示。通过BIM模型可直观查看各工序施工进度、质量参数,及时发现施工过程中的数据异常,实现施工质量的精准管控,同时为后续质量追溯、病害排查提供清晰的数据支撑,打破传统施工中数据分散、难以追溯的弊端。(2)应用区块链技术实现质量责任可追溯,明确各环节责任主体。将施工全流程中的关键数据(如原材料检测报告、施工参数记录、操作人员信息、设备运行数据等)上传至区块链平台,利用区块链不可篡改、可追溯的特性,为每一道工序、每一批材料建立唯一的“数字身份证”。一旦出现路面质量问题,可通过区块链平台快速追溯问题根源,明确对应的操作人员、设备、原材料供应商及施工时间,实现“谁施工、谁负责”,强化各责任主体的质量意识,倒逼施工质量提升。

3.3 预防性养护决策支持

(1)构建基于PSSI(路面结构强度指数)的养护时机预测模型,实现精准养护。通过长期监测路面结构强度,计算PSSI指数,结合路面使用年限、交通流量、环

境因素等,建立养护时机预测模型,精准判断路面是否需要进行预防性养护、采用何种养护方式及最佳养护时间。避免过度养护造成的资源浪费,同时防止养护不及时导致路面病害进一步发展,延长路面使用寿命,降低养护成本,实现市政道路沥青路面的精细化管理。(2)推广微表处技术(ES-3型)应用,强化路面预防性养护效果。针对路面早期出现的轻微裂缝、松散、抗滑性能下降等问题,采用ES-3型微表处技术进行养护处理,该技术具有施工便捷、成本较低、养护效果好的优势,明确要求封层厚度控制在8-10mm,养护后路面抗滑值BPN \geq 65,可有效封闭路面裂缝、填补微小坑槽,提升路面抗滑性能和水稳定性,阻断病害进一步发展,延长路面使用寿命,实现“小病早治、防治结合”的预防性养护目标。

结束语

提升市政道路沥青路面耐久性是一项系统性工程,需兼顾技术创新与质量管控,破解材料、结构、施工等多环节瓶颈。本文提出的材料改性、结构优化及施工工艺创新措施,可有效抵御各类病害侵蚀,构建的质量保障体系实现全流程可控。未来需结合工程实际优化技术参数,推动智能化技术应用,完善长效运维机制,助力市政道路建设向高效、耐久、绿色方向发展。

参考文献

- [1]刘星峰.沥青路面耐久性影响因素及改善措施[J].智能建筑与工程机械,2023,5(12):104-106.
- [2]刘兴洋.市政道路沥青路面施工技术与质量控制策略研究[J].建筑技术开发,2021,46(20):75-76.
- [3]陈鑫.市政道路沥青混凝土路面施工技术的运用[J].中国房地产业,2024(23):206-209.
- [4]蓝丹妮.市政道路沥青路面摊铺施工技术优化与质量控制研究[J].散装水泥,2025,(04):70-72.