

低碳环保型改性沥青在市政主干道中的应用性能分析

邹 明

中龙茂林建设集团有限公司 江西 赣州 341000

摘 要：针对传统沥青在市政主干道应用中存在的性能短板与环保问题，本文以低碳环保型改性沥青为研究对象，结合市政主干道交通与环境特征，分析了其制备原理与技术，阐述了施工应用关键技术，建立路用性能与环保性能试验检测及综合评价体系。通过试验验证与现场应用分析，明确该沥青在高温稳定性、低温抗裂性等方面的优势，其环保指标符合现行行业规范，可有效降低施工碳排放。研究表明，低碳环保型改性沥青可适配市政主干道使用需求，为市政道路工程低碳化、高性能化建设提供技术支撑。

关键词：低碳环保；改性沥青；市政主干道；施工技术；应用性能检测与评价

引言：市政主干道作为城市交通核心枢纽，承受重载、大流量等复杂工况，对沥青材料的路用性能与环保性能提出更高要求。传统基质沥青存在高温车辙、低温开裂、环保不达标等问题，难以适配当前市政道路低碳建设需求。随着环保政策推进，低碳环保型改性沥青逐步应用于工程实践。本文结合工程实际，系统研究其制备技术、施工应用及性能评价方法，解决其在市政主干道应用中的技术难点，为该材料的推广应用提供实践依据与技术参考。

1 低碳环保型改性沥青的制备原理与技术

1.1 低碳环保型改性沥青的核心定义与分类

低碳环保型改性沥青是在传统基质沥青基础上，通过添加环保改性剂，优化制备工艺，实现生产、施工及使用全生命周期能耗降低、污染物排放减少，同时满足市政主干道路用性能要求的新型沥青材料。其核心内涵兼具低碳性与环保性，低碳性体现为生产过程能耗降低、碳排放减少，环保性体现为无有害气体、有害物质释放，且材料可回收再利用。根据改性剂类型可分为生物基改性沥青、再生改性沥青、纳米环保改性沥青三类；按低碳实现路径可分为工艺优化型、改性剂节能型两类，两类均以“低能耗、低污染、高性能”为核心目标，适配市政主干道长期使用需求。

1.2 低碳改性剂的选择与性能要求

低碳改性剂的选择需兼顾改性效果与环保性能，优先选用来源广泛、可降解、低能耗的材料。常用类型包括生物基改性剂（如植物沥青、木质素）、再生改性剂（如废旧橡胶粉、废旧沥青再生剂），这类改性剂可减少不可再生资源消耗，降低环境污染。性能方面，需满足与基质沥青的良好相容性，确保改性后沥青力学性能提升；同时具备低挥发性、无有害成分释放的环保要求，且能适配市政主干道高温、低温、重载等复杂使用环境，提

升沥青的抗老化、抗裂等核心性能，避免因改性剂失效影响路面使用寿命。

1.3 低碳环保型改性沥青的制备工艺

制备过程以“节能、环保、高效”为原则，核心流程包括原材料预处理、混合改性、恒温发育三个阶段。原材料需筛选优质基质沥青，对改性剂进行干燥、粉碎处理，去除杂质以保证改性效果。混合改性阶段控制搅拌温度、速度与时间，温度较传统沥青制备降低10~15℃，减少能耗与有害气体排放；搅拌速度与时间根据改性剂类型调整，确保改性剂均匀分散于基质沥青中。恒温发育阶段需控制温度稳定，使改性剂与基质沥青充分反应，提升沥青整体性能。整个工艺无需复杂设备，可依托现有沥青生产设备优化实现，既降低了改造投入，又能有效控制生产过程中的能耗与污染物排放，符合低碳环保理念^[1]。

2 市政主干道对沥青材料的性能要求

2.1 市政主干道的交通与环境特征

市政主干道作为城市交通核心，交通与环境具有显著特殊性：①交通负荷大，日均车流量超2万辆，重载货车占比 $\geq 30\%$ ，车辆频繁启停使路面承受反复冲击；②环境复杂，夏季高温超35℃、冬季低温低于-10℃，温差剧烈；③易受雨雪、扬尘及汽车尾气侵蚀，对沥青抗侵蚀、抗老化能力要求较高。

2.2 市政主干道沥青材料的核心性能要求

结合使用特点，沥青需满足多维度要求：①力学性能，高温车辙深度 $\leq 3\text{mm}$ ，-10℃无开裂，抗疲劳荷载 ≥ 100 万次；②路用性能，表面抗滑系数 ≥ 0.6 ，行车3年无明显磨损，平整度偏差 $\leq 3\text{mm}/3\text{m}$ ，5年无明显龟裂松散；③环保性能，生产施工中VOCs排放符合行业标准，材料可回收利用率 $\geq 80\%$ ，无有害成分释放。

2.3 传统沥青在市政主干道应用中的性能短板

传统基质沥青难以适配需求,短板突出:①高温稳定性不足,夏季易出现车辙,重载路段车辙深度超5mm;②低温抗裂性差,冬季易产生宽度 $\geq 0.5\text{mm}$ 的横向裂缝,引发路面破损;③抗老化、抗侵蚀能力弱,长期使用易松散剥落,寿命缩短2-3年;④环保不达标,能耗高、VOCs排放超标,回收利用率不足50%^[2]。

3 低碳环保型改性沥青在市政主干道的施工应用技术

3.1 混合料配合比设计

基于市政主干道重载、大流量、抗疲劳、抗老化的核心需求,低碳环保型改性沥青混合料配合比设计以“性能达标、低碳节能、施工可行”为原则,重点优化级配与油石比参数:①级配采用骨架密实型连续级配,粗骨料粒径13.2mm-26.5mm、占比 $\geq 60\%$,细骨料粒径0.075mm-4.75mm,填料选用矿粉,保障骨架稳定的同时减少沥青用量,实现低碳目标;②油石比结合改性剂类型调整,生物基改性沥青控制在4.5%-5.0%,再生改性沥青控制在4.8%-5.3%,通过马歇尔试验、车辙试验验证,确保粘结强度达标,避免沥青过量引发车辙和材料浪费;③配合比需结合现场工况,开展高温稳定性、低温抗裂性及水稳定性试验,结果需符合最新版《城市道路路面设计规范》CJJ169及《公路沥青路面施工技术规范》JTG/TF40要求,确保适配施工工艺与现场工况,减少调试过程中的材料损耗。

3.2 关键施工工艺控制

低碳环保型改性沥青市政主干道施工,核心把控摊铺、压实环节,明确参数控制要点,制定标准化流程,兼顾质量与低碳目标:①摊铺控制,摊铺前清理、压实下承层,确保平整度、压实度达标;摊铺温度150℃-160℃,较传统沥青降低5℃-10℃以减少能耗;摊铺速度2.5m/min-3.5m/min,匀速推进,单次摊铺宽度不超过6m以减少纵向接缝,采用自动找平装置,控制摊铺厚度偏差 $\pm 3\text{mm}$ 内、表面平整度偏差 $\leq 3\text{mm}/3\text{m}$ 。②压实控制,分初压、复压、终压三阶段:初压用钢轮压路机,温度140℃-150℃、速度2-3km/h,碾压2遍;复压采用胶轮与钢轮压路机组合,温度120℃-130℃、速度3-4km/h,碾压4-6遍至压实度 $\geq 96\%$;终压用钢轮压路机,温度 $\geq 100\text{℃}$ 、速度2-3km/h,碾压2遍消除轮迹。③接缝处理,纵向采用热接缝,搭接宽度10-15cm、温度 $\geq 130\text{℃}$,重点压实搭接处;横向采用平接缝,切割整齐、清理干净后涂刷粘层油,碾压时向两侧延伸,确保接缝密实,避免后期开裂、松散。

3.3 施工过程的低碳化管理

结合市政主干道施工特点,从设备、能源、现场管理维度构建低碳体系,降低施工碳排放:①设备选型,优先选用节能型搅拌站、摊铺机、压路机,搅拌站配备余热回收系统,回收生产余热降低燃油消耗;摊铺机、压路机选用电动或混合动力型,减少尾气排放;设备进场前检修调试,保障运行效率,避免故障导致的能源浪费。②能源控制,沥青加热采用天然气、电能等清洁能源替代燃油;搅拌站严控加热温度,避免过度加热增加能耗和沥青老化;混合料用保温罐车运输,减少温度损耗,避免二次加热;合理安排工序,减少设备闲置,提高利用率。③现场管理,减少沥青、骨料等原材料损耗,回收利用剩余混合料;设置扬尘控制设施,定期洒水降尘;分类收集施工废弃物,再生利用废旧沥青、骨料,其余按规范处置;对施工人员开展低碳培训,规范操作,杜绝违规施工造成的能源浪费和环境污染,确保施工全过程符合低碳要求^[3]。

4 应用性能的试验检测与评价方法

4.1 路用性能试验方案设计

针对低碳环保型改性沥青路用性能核心指标,制定科学可行的试验方案,明确检测指标、试验标准及操作流程,具体如下:①高温稳定性试验,采用车辙试验方法,参照《公路沥青混合料性能试验规程》JTGE20-2011,试件尺寸为300mm $\times$ 300mm $\times$ 50mm,试验温度控制在60℃,加载速率为42N/s,检测指标为动稳定度,市政主干道要求动稳定度不小于3000次/mm,试验过程中记录车辙深度变化,确保数据真实可靠。②低温抗裂性试验,采用低温弯曲试验,试件尺寸为250mm $\times$ 30mm $\times$ 35mm,试验温度控制在-10℃,加载速率为5mm/min,检测指标为破坏强度、破坏应变及弯曲劲度模量,要求破坏应变不小于2000 $\mu\epsilon$,试验前对试件进行恒温处理,确保温度均匀。③抗水损害性试验,采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,浸水马歇尔试验试件在60℃水中浸泡48h,检测马歇尔稳定度及残留稳定度,要求残留稳定度不小于85%;冻融劈裂试验采用冻融循环方式,先在-18℃冷冻16h,再在60℃水中浸泡24h,检测劈裂强度及冻融劈裂强度比,要求强度比不小于80%。④试验质量控制,所有试件采用现场实际施工的混合料制作,每组试验不少于3个试件,试验仪器定期校准,确保检测数据精准,试验结果需与施工实际工况对应,为性能评价提供可靠依据。

4.2 环保性能评价指标与方法

针对低碳环保型改性沥青的环保特性,建立量化评价指标体系,明确各指标的检测方法及评价标准,实现环保效益的科学评估,具体如下:①碳排放核算指标与

方法,核算范围涵盖沥青制备、混合料拌制、现场施工全环节,指标包括单位面积碳排放总量、单位质量混合料碳排放量,采用物料衡算法结合现场实测法,参照《公路工程碳排放核算规范》JTG/TD86-2022,统计各环节能源消耗、原材料损耗数据,计算碳排放总量,市政主干道施工要求单位面积碳排放较传统沥青降低15%以上。

②改性剂降解性指标与方法,针对生物基、再生类改性剂,检测指标为降解率、降解周期,采用土壤埋置法,将改性剂样品埋置于城市表层土壤中,定期取样检测其质量变化,计算降解率,要求生物基改性剂半年降解率不低于30%,再生改性剂可回收利用率不低于80%,符合《沥青材料环保性能评价标准》DB11/T1953-2023。

③有害物排放指标与方法,检测指标包括挥发性有机化合物(VOCs)、苯并芘排放量,采用气相色谱-质谱法,参照JT/T1539-2025,在混合料拌制、摊铺现场布设检测点,采集气体样品进行检测,要求VOCs排放量不超过10mg/m³,苯并芘排放量不超过0.001mg/m³,无其他有害气体释放^[4]。

4.3 综合性能评价模型构建

整合路用性能与环保性能检测指标,构建多维度综合评价模型,实现对低碳环保型改性沥青应用性能的全面量化分析,具体如下:①评价指标筛选与权重确定,筛选高温稳定性、低温抗裂性、抗水损害性三项核心路用性能指标,碳排放总量、改性剂降解率、有害物排放量三项环保性能指标,采用层次分析法确定各指标权重,其中路用性能权重占60%,环保性能权重占40%,确保评价重点贴合市政主干道使用需求。②评价指标标准化处理,采用极值法对各检测指标进行标准化转换,消除指标量纲差异,将指标检测值转换为0-1之间的标准化值,其中正向指标(如动稳定度、降解率)采用最大值归一化,

负向指标(如碳排放、有害物排放量)采用最小值归一化,确保评价结果具有可比性。③综合评价模型建立与应用,采用模糊综合评价法构建模型,将标准化后的指标值与对应权重相乘,计算综合评价得分,得分 ≥ 85 分为优秀,70-84分为良好,60-69分为合格,<60分为不合格;结合市政主干道施工实际检测数据,代入模型计算综合得分,明确低碳环保型改性沥青应用性能等级,同时针对得分较低的指标,提出针对性优化建议,为后续施工改进提供数据支撑,确保评价模型贴合工程实际、可操作性强^[5]。

结束语: 本文围绕低碳环保型改性沥青在市政主干道的应用性能展开全面研究,明确了其制备原理、施工技术要点及性能评价方法,通过试验检测与综合评价,验证了该沥青在路用性能与环保性能上的优越性,可有效弥补传统沥青的应用短板,满足市政主干道使用要求。结合研究过程,后续可进一步优化改性剂配比与施工工艺,强化长期性能跟踪检测,推动低碳环保型改性沥青在市政道路工程中规模化应用,助力城市道路建设绿色低碳发展。

参考文献:

- [1]杨先伟.USP低温改性沥青混合料路用性能评价与应用[J].交通与运输,2024,40(5):31-36.
- [2]徐婷.环保材料在市政道路设计中的实践与应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(8):214-217.
- [3]范承娟.低碳背景下USP低温改性沥青在路面工程的应用[J].青海交通科技,2025,37(2):1-5.
- [4]罗斌,彭文兵.USP低温环保改性沥青在城市道路的应用研究[J].山西建筑,2022,48(12):93-95.
- [5]石中宝,施恩,王钰潇,纪嘉骏,李俊辉,李清旭,张增平.高黏改性沥青的研究进展及其在道路工程中的应用[J].中国胶粘剂,2025,34(10):1-8.