Performance Evaluation of Recycled Plastic Modified Asphalt Mixtures and Compatibility Analysis of Warm Mixing Technology in Africa

Jun Yang

Overseas Engineering Branch of China Railway Fifth Bureau Group Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550001, China

Abstract

Against the backdrop of continuous road infrastructure expansion and resource constraints in Africa, recycled plastic modified asphalt mixtures have emerged as a critical approach to enhancing road performance and achieving solid waste resource utilization. Considering local high-temperature climate conditions, complex material sources, and disparities in construction technology levels, this study systematically analyzes the impact of recycled plastic incorporation on mechanical properties and durability of asphalt mixtures. By integrating the technical characteristics of warm mixing technology, we conduct in-depth compatibility assessments. Experimental analyses of different plastic materials, dosage variations, and mixing temperature ranges demonstrate that rational application of recycled plastics significantly improves high-temperature stability and rut resistance of mixtures while maintaining optimal construction performance and compaction effects under warm mixing conditions. Based on African construction environments and technical constraints, we propose optimized process parameters and quality control strategies to provide theoretical foundations and engineering references for promoting recycled plastic asphalt technology.

Keywords

recycled plastics; modified asphalt; warm-mix technology; road performance; african region

非洲地区再生塑料改性沥青混合料性能评价及温拌工艺适配性分析

杨俊

中铁五局集团有限公司海外工程分公司，中国·贵州 贵阳 550001

摘　要

在非洲地区道路基础设施持续扩展与资源约束并存的背景下，再生塑料改性沥青混合料逐渐成为提升路用性能与实现固废资源化利用的重要路径。针对当地高温气候条件、材料来源复杂及施工技术水平差异等特点，围绕再生塑料掺入对沥青混合料力学性能与耐久性能的影响展开系统分析，并结合温拌技术的工艺特征，对其适配性进行深入探讨。通过对不同类型塑料材料、掺量变化及拌和温度区间的试验分析，结果表明，再生塑料的合理应用能够显著改善混合料的高温稳定性与抗车辙能力，同时在温拌条件下保持良好的施工性能与压实效果。进一步结合非洲地区施工环境与技术条件，提出适宜的工艺参数与质量控制要点，为推广再生塑料沥青技术提供理论依据与工程参考。

关键词

再生塑料；改性沥青；温拌技术；路用性能；非洲地区

1 引言

非洲地区交通基础设施建设需求持续增长，道路工程面临高温环境、材料供应不稳定以及建设成本控制等多重挑战。传统沥青混合料在高温荷载作用下易产生车辙变形，影响道路使用寿命。同时，大量塑料废弃物处理压力不断加剧，资源循环利用成为重要议题。在此背景下，将再生塑料引入沥青体系，形成改性沥青混合料，不仅能够提升路用性能，还可实现废弃资源的有效转化。温拌沥青技术因其降低拌和温度、减少能耗及改善施工环境等优势，与再生塑料改性技术存在良好的结合潜力。围绕材料性能与工艺适配展开系统研究，对于提升工程应用价值具有现实意义。

2 非洲地区再生塑料改性沥青材料体系特征分析

2.1 再生塑料类型与物理化学特性

非洲地区再生塑料来源复杂，常见类型包括聚乙烯、

【作者简介】杨俊（1986–），男，中国湖南沅江人，本科，高级工程师，从事公路、桥梁研究。

聚丙烯及聚苯乙烯等，不同材料在分子结构与热性能方面存在显著差异，对沥青改性效果产生直接影响[1]。低密度聚乙烯具有较好的延展性，在沥青体系中易形成连续分散结构，有助于提升材料的韧性与抗裂能力；高密度聚乙烯则表现出较高刚度，能够增强混合料的抗变形性能。聚丙烯熔点较高，对温度条件较为敏感，在拌和过程中需要精确控制加热参数，以保证其充分分散并发挥改性作用。再生塑料在回收与再加工过程中，往往存在老化、杂质混入等问题，对材料稳定性产生不利影响，因此需通过预处理与分级筛选提高其均匀性与可控性。通过对不同塑料类型及其性能的系统分析，可为改性沥青配比设计提供可靠依据。

2.2 改性沥青体系结构演化特征

再生塑料掺入后，沥青体系由原有的均一结构逐步演变为多相复合结构，内部微观形态发生显著变化。在高温拌和条件下，塑料颗粒发生软化甚至部分熔融，与沥青组分形成相互交织的结构网络，使体系的整体黏度与软化点随之提高。随着塑料掺量增加，网状结构逐渐增强，对外部荷载的抵抗能力得到提升，从而改善材料的高温性能。与此同时，结构刚性的增强也可能对低温延展性产生一定影响，使材料在低温条件下更易出现脆性响应[2]。通过对塑料粒径、掺量及拌和工艺的合理控制，可以在增强结构稳定性的同时维持必要的柔性。微观结构演化与宏观性能之间具有紧密联系，对其进行系统分析有助于实现性能调控与优化设计。

2.3 区域气候条件对材料性能的影响

非洲地区气候条件对路面材料性能具有显著影响，高温环境与昼夜温差共同作用，使沥青混合料长期处于复杂应力状态。再生塑料改性沥青在高温条件下表现出较强的抗变形能力，其内部结构稳定性有助于抵抗车辙等病害的产生。在部分区域，季节性降雨对路面耐久性构成挑战，水分渗入会削弱沥青与骨料之间的黏结强度。再生塑料材料具备一定疏水特性，可在一定程度上改善混合料的抗水损能力，提升结构稳定性。长期干热环境还会加速材料老化过程，使性能逐步衰减，合理选择抗老化性能较好的塑料类型并优化配比，有助于延长路面使用寿命。综合考虑气候因素对材料性能的影响，对于提高工程适应性具有重要意义。

3 再生塑料改性沥青混合料路用性能评价

3.1 高温稳定性与抗车辙性能分析

再生塑料的引入对沥青混合料高温性能具有显著增强作用，其机理在于塑料分子链与沥青基质之间形成较为稳定的空间结构，从而提高体系的整体刚度与抗剪切能力。在高温荷载作用下，传统沥青混合料易发生塑性流动，而改性体系能够通过结构约束抑制内部变形。车辙试验结果表明，随着塑料掺量的增加，混合料动态稳定度呈现上升趋势，抗车辙能力得到明显改善。这种性能提升使路面在重载与高温环境下仍能保持较好的形态稳定性[3]。然而，掺量过高可能导致材料刚性过大，影响施工压实效果及长期服役性能，因此需在性能提升与施工适应性之间进行合理平衡。通过优化配比设计，可使材料在满足高温稳定性要求的同时保持良好的综合性能。

3.2 低温抗裂性能与疲劳性能评价

在低温环境条件下，沥青混合料的抗裂能力直接关系到路面结构的耐久性，再生塑料的加入对该性能产生双重影响。一方面，塑料材料的引入提高了体系整体强度，使其在承受荷载时具备较好的抗变形能力；另一方面，过高的塑料含量会增加材料脆性，使其在温度降低时更易产生裂缝。通过间接拉伸试验与疲劳性能测试可以发现，适中掺量的再生塑料能够在保证强度的同时维持必要的延展性，使材料在循环荷载作用下具备较好的抗疲劳能力。针对低温性能不足的问题，可通过选用柔性较好的塑料类型或采用复合改性技术，对材料的结构特性进行调节，从而改善其低温韧性。合理的材料设计有助于实现强度与柔性的协调统一，使混合料在复杂气候条件下保持稳定性能。

3.3 水稳定性与耐久性能研究

在降雨集中且环境湿度较高的地区，水稳定性成为评价沥青混合料性能的重要指标。再生塑料改性体系由于塑料本身具有疏水特性，在一定程度上能够阻碍水分渗入沥青与骨料的界面，从而减缓水损害对结构的破坏。浸水马歇尔试验结果显示，改性混合料的残留稳定度明显优于传统材料，表明其在湿水环境中的抗剥离能力较强[4]。在长期服役过程中，材料的耐久性能同样受到关注，沥青在氧化与温度循环作用下易发生老化，而塑料组分的加入能够在一定程度上延缓这一过程，降低性能衰减速度。通过综合分析水稳定性与抗老化能力，可以看出再生塑料改性沥青在复杂环境条件下具有较好的适应性，为提升道路工程耐久性提供了有效路径。

4 温拌工艺与再生塑料改性体系的协同作用分析

4.1 温拌技术机理与节能特征

温拌沥青技术通过调控材料流变特性，使混合料在较低温度条件下仍具备良好的施工性能，从而实现节能与减排目标。其机理主要体现在发泡效应、表面活性添加剂作用以及黏度调节机制等方面，能够在拌和与摊铺过程中降低沥青的内摩阻力，使骨料与结合料之间形成更为稳定的包裹结构。在再生塑料改性体系中，温拌技术的应用具有更为重要的意义。高温条件下塑料分子结构易发生热降解，影响材料性能，而降低施工温度有助于保持其物理稳定性与改性效果。同时，温拌工艺减少燃料消耗与有害气体排放，对施工环境改善具有积极作用。通过合理控制温度区间与材料配比，可在保证路用性能的前提下实现节能目标，使该技术在绿色道路建设中展现出良好的应用价值。

4.2 再生塑料对温拌施工性能的影响

再生塑料的引入改变了沥青混合料的流变特性，使其在施工过程中表现出更高的黏度与更强的结构稳定性，这对温拌施工提出了新的技术要求。在较低温度条件下，混合料的流动性可能受到一定限制，进而影响摊铺均匀性与压实效果。通过合理选择温拌添加剂类型与掺量，可以在一定程度上改善体系的流动性能，使其在施工过程中保持良好的工作性。试验结果表明，在适宜的温度范围内，再生塑料改性混合料仍能够达到较高的密实度，且压实过程具有较好的稳定性。塑料颗粒在温拌条件下的分散均匀性对性能发挥具有关键作用，需通过优化拌和时间与搅拌强度，使其在沥青基体中形成均匀分布结构。通过对材料特性与施工工艺的协同调控，可有效缓解塑料掺入带来的不利影响。

4.3 工艺参数优化与施工适应性分析

在实际工程应用中，温拌再生塑料改性沥青混合料的施工效果受多种工艺参数影响，需要结合具体环境条件进行系统优化。拌和温度的控制应在降低能耗的同时，确保塑料材料能够充分软化并与沥青形成良好结合，从而保证混合料整体性能。施工阶段需加强对摊铺温度与压实过程的动态监测，通过合理安排压实时间与压实设备组合，使混合料在适宜温度范围内完成密实化过程，避免因温度下降过快导致压实不足。在不同气候条件与施工环境下，应根据设备性能与材料特性制定差异化施工方案，以增强技术适应性。针对非洲地区高温与施工条件差异较大的特点，通过优化工艺参数与施工组织方式，可有效提升工程质量与施工效率，使该技术在多样化环境中具备良好的应用前景。

5 非洲地区工程应用中的关键问题与对策

5.1 材料来源与质量控制

再生塑料作为改性沥青的重要原料，其来源复杂且成分差异明显，直接影响材料性能的稳定性与工程应用效果。不同类型塑料在分子结构、熔融特性及耐久性能方面存在差异，若未经有效分类处理，容易在混合过程中产生相容性问题，进而影响路用性能。因此，在材料使用前需建立统一的分类与处理标准，通过清洗、破碎与筛分等工序去除杂质并控制粒径分布，使再生塑料具备较为稳定的物理性质。在此基础上，应构建系统化的质量检测体系，对其软化点、黏度、拉伸性能及热稳定性等关键指标进行评估，从而为改性配比提供科学依据。通过全过程质量控制，可以有效降低原材料波动带来的不利影响，确保再生塑料改性沥青在工程应用中的可靠性与一致性。

5.2 施工技术水平与设备适配

再生塑料改性沥青及温拌技术的推广应用，对施工技术与设备条件提出了更高要求。在部分地区，传统施工设备在温控精度与搅拌效率方面存在不足，难以满足新型材料对施工工艺的要求，从而制约了技术优势的发挥。针对这一问题，应通过系统化培训提升施工人员对改性材料特性及温拌工艺的理解，使其能够在施工过程中准确控制温度、时间及配比参数，减少人为因素对施工质量的影响。同时，通过对现有设备进行升级或优化配置，提高加热与搅拌系统的适应能力，使设备能够与材料特性相匹配。在工程实施过程中，根据不同气候条件与施工环境合理选择设备类型与施工方案，有助于实现工艺与设备的协同运行，从而提升整体施工质量与效率。

5.3 经济性与环境效益综合评价

再生塑料改性沥青技术在资源循环利用与绿色施工方面展现出较高的应用价值，其经济性与环境效益需通过系统评价加以体现。在材料层面，再生塑料的利用能够降低对传统石油基材料的依赖，减少原材料采购成本，同时缓解废弃塑料处理压力。在施工环节，温拌技术通过降低拌合与摊铺温度，有效减少能源消耗与有害气体排放，对改善施工环境具有积极作用。在全寿命周期视角下，通过综合分析材料费用、施工成本及后期养护支出，可以发现该技术在长期使用中具备较好的成本优势。环境方面，其在降低碳排放与促进资源再利用方面的贡献，使其符合绿色基础设施发展的要求。通过对经济与环境效益的综合考量，该技术在可持续发展背景下具有广阔的推广前景。

6 结语

围绕非洲地区再生塑料改性沥青混合料的性能特征与温拌工艺适配问题展开系统分析，可以看出，两者在材料性能与施工技术层面具有良好的协同关系。再生塑料的合理应用显著提升了混合料的高温稳定性与耐久性能，而温拌技术则在降低能耗与改善施工条件方面发挥重要作用。在复杂气候与多样化施工环境下，通过优化材料选择与工艺参数，能够实现性能与施工效率的平衡。未来研究可进一步结合实际工程数据，对长期服役性能与区域适应性进行持续跟踪，为技术推广提供更加坚实的支撑。

参考文献

[1] 路俊杰.聚合物改性热再生沥青混合料性能评价[J].福建建设科技,2024,(05):64-67.

[2] 房聪,刘钟达,张绍源,等.废旧SMA沥青混合料再生改性剂的研发及性能评价[J].北京建筑大学学报,2022,38(04):32-38.

[3] 余春,陈志荣.基于中法标准的改性沥青混合料性能评价[J].市政技术,2024,42(02):27-34+61.

[4] 陈宝敏.橡胶粉高粘改性沥青及其排水沥青混合料的性能评价指标研究[D].苏州科技大学,2020.