

废旧沥青混合料在高速公路改扩建施工中的再生利用技术及效益分析

刘长峰

德州市公路事业发展中心乐陵市分中心 山东 德州 253600

摘要：公路改扩建工程产生大量废旧沥青混合料，其再生利用意义重大。本文介绍了废旧沥青混合料再生技术分类，包括热、冷及复合再生技术体系，阐述了各体系特点与适用场景。分析该技术在公路改扩建工程中的优势，涵盖资源循环利用、施工效能提升、路用性能保障、环境效益量化及经济效益优化等方面。并从经济效益、环境效益、社会效益三方面进行综合效益量化分析，表明该技术能实现资源高效利用、降低环境影响、提升工程效益，推动公路建设可持续发展。

关键词：废旧沥青混合料；再生技术；公路改扩建工程；效益分析

引言：随着我国公路交通的快速发展，公路改扩建工程日益增多，在此过程中产生了大量废旧沥青混合料。若处理不当，不仅会造成资源浪费，还会对环境产生负面影响。而废旧沥青混合料再生技术应运而生，其涵盖热再生、冷再生及复合再生等多种技术体系，在资源循环、施工效能、路用性能、环境及经济效益等方面优势显著。深入开展其综合效益量化分析，能够为该技术的推广应用提供科学依据，助力公路建设行业可持续发展。

1 废旧沥青混合料再生技术分类

1.1 热再生技术体系

厂拌热再生技术遵循铣刨破碎、筛分分级、再生剂添加、热拌和、运输摊铺的完整工艺流程。该技术的核心在于对废旧混合料进行精准筛分分级，根据旧料性能差异科学添加再生剂，通过热拌和工艺恢复沥青的粘结性能。其旧料掺量处于较高水平，施工过程中需严格把控加热温度与再生剂分子结构的匹配程度，以此保障再生混合料的性能稳定性。该技术适用于高等级公路罩面层铺设及柔性基层修复等对材料性能要求较高的工程场景。就地热再生技术采用原位加热、铣刨翻松、再生剂喷洒、热态复拌、整形碾压的施工流程，无需将废旧混合料运离施工现场。技术特征体现在处理深度有限，以单层处理为主，通过原位加热实现旧料软化，配合再生剂喷洒与热态复拌提升材料性能，能显著增强层间热粘结强度^[1]。该技术针对性较强，主要适用于道路表面功能性病害的修复，可有效解决车辙、泛油等表层问题，实现路面性能的快速恢复，且施工对交通的干扰相对较小。

1.2 冷再生技术体系

厂拌冷再生技术的工艺流程包括旧料破碎、常温拌

和、运输摊铺、压实养生，其中常温拌和阶段需添加乳化沥青或泡沫沥青作为再生结合料。该技术旧料掺量适中，为改善再生混合料的早期强度，通常会在拌和过程中添加适量活性材料。施工过程无需高温加热，能耗较低，施工工艺相对简便。其适用场景主要为公路下面层铺设及基层结构补强工程，能有效提升基层承载能力，满足道路结构的基本性能要求。就地冷再生技术的工艺流程为原位铣刨、常温拌和、分层摊铺、复合碾压，拌和阶段需加入活性填料与再生结合料。该技术具备全深式再生能力，再生深度较深，能对道路结构进行整体修复。施工过程中需重点控制混合料的含水率与压实度，确保再生层的结构稳定性与承载性能。其适用范围集中在结构性病害修复领域，可有效解决道路沉陷、网裂等深层结构问题，实现道路结构性能全面提升。

1.3 复合再生技术

中温拌和技术以微波加热为核心技术原理，通过微波加热方式将施工温度控制在适中范围，实现节能与性能的平衡。相较于传统热再生技术，该技术能耗大幅降低，同时能显著减少碳排放，具备明显的环保优势。其核心在于利用微波加热的高效性与均匀性，在较低温度下实现再生剂与废旧混合料的充分融合，既保障再生混合料的性能达标，又降低施工过程中的能源消耗与环境影响，适配多种中低等级公路的修复与改造工程^[2]。橡胶粉复合改性技术的核心原理是将废旧轮胎橡胶粉与再生沥青进行共混处理，通过橡胶粉的改性作用提升再生沥青的性能。该技术能显著改善再生混合料的高温稳定性与低温抗裂性，大幅提升动稳定度与低温弯曲应变，延长道路的服役寿命。该技术实现了废旧轮胎资源的再利用，进一步提升了整个再生过程的资源循环利用水平，

在对道路性能要求较高且注重资源循环的工程中具有广泛的应用潜力。

2 废旧沥青混合料再生技术在公路改扩建工程中的优势

2.1 资源循环利用优势

原材料节约机制是资源循环利用优势的核心体现,通过废旧沥青混合料的再生利用实现自然资源的高效替代。在砂石料替代方面,依托再生工艺的精准配比,每吨废旧沥青混合料可有效减少大量天然集料的开采,降低对天然砂石资源的依赖程度。在沥青再生效率上,通过科学的再生剂添加与工艺优化,旧沥青回收率处于较高水平,能最大程度挖掘旧沥青的剩余价值,显著减少新沥青的用量,实现沥青资源的循环复用,大幅提升资源利用效率。该再生技术在土地资源保护方面作用显著,核心在于减少废旧混合料堆放对土地的占用。公路改扩建工程会产生大量废旧混合料,若直接堆放需占用大量土地资源,再生利用可彻底避免这一问题,减少土地占用压力^[3]。由于再生利用减少了天然集料的开采需求,能够有效减少矿区开采面积,降低开采活动对地表生态的破坏,助力矿区周边生态环境的修复与保护,实现土地资源的可持续利用。

2.2 施工效能提升优势

工期控制优化得益于施工设备的集成化升级与工艺的连续性提升。设备集成化方面,移动式破碎筛分站的应用实现了废旧混合料的“随铣随用”,无需额外运输与存储环节,大幅缩短了施工准备与物料周转时间,显著提升工期控制效率。工艺连续性上,厂拌再生设备具备较高的产能,能够满足大规模改扩建工程的施工需求,避免因物料供应不足导致的施工中断,保障施工流程的顺畅推进,进一步优化工期安排。再生技术通过优化施工方式与缩短开放交通时间,有效降低了施工对交通的影响。在施工组织上,就地再生技术仅需封闭单幅车道,能够最大程度保留道路通行能力,减少对正常交通流的干扰。在开放交通效率上,不同再生工艺均具备快速成型优势,冷再生工艺的养生期大幅缩短,热再生工艺更是可在短时间内开放交通,显著降低施工期间交通拥堵风险,保障区域交通的顺畅运行。

2.3 路用性能保障优势

再生技术通过科学的材料配比与工艺控制,显著提升了再生路面的结构强度。在抗车辙能力方面,再生混合料经过改性优化,具备优异的高温稳定性,能够有效抵御车辆荷载反复作用下的变形,保障路面平整度。在抗裂性能上,通过改善再生沥青的柔韧性与混合料级

配,大幅提升了路面的低温抗裂能力,减少低温环境下路面开裂病害的发生,增强道路结构的整体性与承载稳定性。再生路面的耐久性在再生技术应用下得到显著增强,主要体现在水稳定性与疲劳寿命两个核心维度^[4]。水稳定性方面,通过优化混合料的级配与粘结性能,提升了路面抵御水分侵蚀的能力,减少冻融循环对路面结构的破坏,延长路面在潮湿环境下的服役周期。在疲劳寿命上,再生混合料具备优异的抗疲劳性能,能够承受长期车辆荷载的反复作用,减少疲劳开裂等病害,大幅延长道路的整体服役寿命。

2.4 环境效益量化优势

碳排放削减是再生技术环境效益的重要体现,覆盖施工生产阶段与道路全生命周期。在生产阶段,热再生工艺相较于传统施工工艺,大幅降低了单位废旧沥青混合料处理过程中的二氧化碳排放量,减少能源消耗带来的碳足迹。从全生命周期来看,结合原材料开采、施工建设及后期维护等全流程,每公里改扩建工程通过再生技术应用可实现显著的碳排放降低,为公路建设领域的低碳发展提供有力支撑。再生技术通过工艺优化与设备升级,有效实现了有害气体的精准控制。在沥青烟减排方面,中温拌和技术大幅降低了沥青加热温度,显著减少了苯并芘等有毒有害物质的排放,降低对大气环境与人体健康的影响。在粉尘控制上,封闭式拌和楼的应用避免了物料拌和过程中粉尘的扩散,使粉尘排放浓度控制在较低水平,有效改善施工区域的空气质量,减少粉尘污染带来的环境压力。

2.5 经济效益优化优势

直接成本节约主要体现在材料成本降低与设备摊销成本下降两个方面。材料成本上,随着废旧沥青混合料掺量的提升,新原材料的采购量大幅减少,综合材料成本显著降低,形成直接的成本节约效应。设备折旧方面,再生设备在改扩建工程中利用率大幅提高,单位施工量对应的设备摊销成本随之下降,通过优化设备资源配置,进一步压缩直接成本空间,提升工程的经济效益。再生技术的应用不仅带来直接成本节约,更实现了间接效益的显著提升。在养护周期上,再生路面具备更优异的性能稳定性,使用寿命较传统工艺明显延长,大幅减少了后期养护维修的频次与费用。从全生命周期成本来看,结合初始建设成本与二十年内的维护费用进行综合评估,再生技术应用下的全生命周期成本显著降低,间接提升了工程的长期经济效益。

3 综合效益量化分析

3.1 经济效益

直接成本节约的核心体现在材料费降低与设备折旧分摊优化两方面。材料费方面,通过废旧沥青混合料的再生利用,大幅减少石料和沥青等新原材料的采购量,形成明确的材料费降低比例,显著压缩直接材料成本支出。设备折旧分摊上,构建科学的分摊模型,结合再生设备的使用频次、施工量等因素合理分摊折旧费用,避免设备成本浪费,进一步提升直接成本的节约效率,强化工程经济优势。间接成本优化依托工期缩短实现多维成本管控。再生技术的应用大幅缩短施工工期,直接减少项目管理过程中的各类管理费用,包括人员薪酬、办公经费等固定管理支出。同时,工期缩短使道路封闭时间减少,降低交通疏导过程中的人力、物力投入,有效削减交通疏导成本。通过这两方面的间接成本管控,进一步优化工程成本结构,提升项目整体经济效益。全生命周期成本分析聚焦初始投资与长期维护费用的综合评估。再生技术应用初期需投入专用设备与再生剂等,形成特定的初始投资规模。通过对比再生技术与传统工艺在二十年内的维护费用,结合净现值评估方法,清晰呈现两者的成本差异。再生路面凭借优异的耐久性减少后期维护频次与费用,使得全生命周期成本显著低于传统工艺,长期经济优势突出。

3.2 环境效益

资源节约效益主要通过天然砂石开采减量实现量化评估。废旧沥青混合料再生利用过程中,每吨再生料可有效替代大量天然砂石,减少天然砂石的开采需求。这种替代效应不仅缓解了天然砂石资源的供需矛盾,降低资源开采压力,还减少了资源开采过程中的能源消耗与环境破坏,实现资源的高效循环利用,为资源可持续发展提供有力支撑。碳排放削减效益在热再生工艺中体现尤为显著。相较于传统施工工艺,热再生工艺通过减少新原材料开采、运输及高温加热环节的能源消耗,大幅降低单位重量再生料的二氧化碳排放量。这种减排效应覆盖施工全流程,不仅降低项目施工阶段的碳足迹,还契合低碳发展理念,为公路建设领域的绿色转型提供可行路径,助力生态环境改善^[5]。生态影响量化评估核心在于减少废料堆放带来的污染风险。废旧沥青混合料若直接堆放,其含有的有害物质可能渗入土壤、污染水体,再生利用可彻底避免这一问题。通过科学评估可知,再

生利用比例越高,废料堆放量越少,对土壤和水体的污染风险越低。这种生态保护效应不仅降低环境治理成本,还能维护区域生态平衡,提升生态环境质量。

3.3 社会效益

施工安全性提升通过降低作业风险概率实现量化效益。传统施工中大量现场加热作业存在较高的火灾和烫伤风险,再生技术的应用可减少甚至避免此类高风险作业。风险概率的降低不仅减少了安全事故发生的可能性,还降低了事故带来的人员伤亡与经济损失,为施工人员营造更安全的作业环境,提升项目施工的安全管理水平。交通影响的社会效益体现在对区域经济活动的正向拉动。再生技术缩短道路封闭施工时间,减少施工对区域交通通行的干扰,保障物资运输、人员流动的顺畅高效。交通的顺畅运行能够降低物流成本,促进区域间的经济往来与贸易合作,带动相关产业发展,形成对区域经济活动的正向推动效应,提升工程的社会价值。技术示范效应聚焦行业技术升级与绿色施工理念普及。

结束语:废旧沥青混合料再生技术在公路改扩建工程中展现出多方面的显著优势与巨大潜力。通过对其技术分类、工程优势及综合效益的深入剖析,我们清晰认识到该技术不仅能实现资源的高效循环利用,降低施工成本与对环境的影响,还能提升路用性能,保障施工安全,促进区域经济发展,推动行业技术升级。未来,应进一步加大该技术的推广应用力度,持续优化技术工艺,让其在公路建设领域发挥更大作用,为我国交通事业的绿色、可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]周智辉.再生材料在公路路基建设中的应用策略及效果分析[J].中国科技期刊数据库工业A.2024(12):136-139
- [2]刘文伟.废旧沥青混合料再生利用技术探讨[J].时代汽车,2025,(13):181-183.
- [3]吴超凡,废旧沥青混合料乳化沥青厂拌冷再生面层技术与工程应用.湖南省,湖南云中再生科技股份有限公司,2021-05-12.
- [4]史云飞,任靖峰,杜素军.废旧沥青路面循环利用新技术展望[J].山西交通科技,2020,(05):38-40.
- [5]沈炜力.废旧SBS改性沥青混合料温拌反应再生技术研究[D].武汉大学,2023.