

公路工程中再生材料在基层施工中的应用可行性分析

涂亚玲

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：随着公路工程建设规模扩大，天然集料资源短缺与固废堆积问题日益突出，再生材料在基层施工中的应用成为破解矛盾的重要路径。本文明确了再生材料按来源分为路面结构回收类、工业固废衍生类及建筑垃圾转化类，并分析其物理、力学与化学特性；阐述了公路基层对材料承载能力、抗裂性、级配稳定性等核心技术要求；进而从技术适配、力学性能、经济成本、环境效益四维度论证可行性，同时梳理施工前预处理、核心工艺实施及术后检测养护等关键节点。研究表明，经合理工艺调控，再生材料可满足基层施工要求，兼具经济与环境效益，为公路基层材料资源化应用提供依据。

关键词：公路工程；再生材料；基层施工；应用可行性分析

引言：当前公路基层施工对材料性能有明确要求，而再生材料特性与应用适配性尚未形成系统论证。本文通过分析再生材料种类与特性、基层技术指标要求，从多维度评估其应用可行性，并明确施工关键节点，旨在为再生材料在公路基层的推广应用提供理论与实践支撑，助力公路工程绿色化与资源循环利用。

1 公路工程常用再生材料的种类与特性

1.1 公路工程常用再生材料的主要种类

公路工程中应用的再生材料，按来源与加工属性可分为以下三大类。（1）路面结构回收类，主要源于公路养护、改扩建过程中产生的废旧路面材料，经破碎、筛分等基础工艺处理后形成，成分以集料为主体，可能伴随残留的胶结料成分。（2）工业固废衍生类，来自工业生产过程中产生的固体废弃物，需经过针对性处理（如除杂、改性等），使其满足公路基层材料的基本使用条件，这类材料通常具有特定的物理与化学属性。（3）建筑垃圾转化类，取自建筑拆除、新建过程中产生的废弃建筑构件与材料，通过分选、破碎、级配调整等工艺，去除杂质并优化颗粒组成，使其适配公路基层的施工与使用需求。

1.2 公路工程常用再生材料的特性

再生材料的特性主要体现在物理、力学与化学稳定性三方面。（1）物理特性上，颗粒形态多样，棱角性、圆润度因来源与加工工艺不同存在差异，直接影响材料的级配稳定性；级配情况需通过工艺调控实现合理区间，密实度通常低于天然集料，孔隙率相对较高；表观密度受成分与内部结构影响，普遍低于天然砂石类材料。（2）力学特性方面，抗压强度表现为部分材料可达到传统基层材料的80%-95%，但整体存在波动；抗剪强

度受内部颗粒结合状态影响，部分材料需通过工艺优化提升；弹性模量因成分与密实度差异，数值范围较广，对基层的整体刚度有直接影响。（3）化学稳定性上，不同材料对环境作用的耐受度不同，在水、温度变化及外界化学介质作用下，部分材料可能出现性能衰减，如存在潜在的碱骨料反应风险，或因胶结料残留导致的抗老化性能差异，进而影响长期使用性能^[1]。

2 公路基层施工对材料的核心技术指标要求

2.1 基层材料的承载能力与抗压强度要求

实际施工中，承载能力需满足车辆通行时的瞬时荷载与长期累积荷载需求，避免因荷载过大导致基层出现局部沉降或结构变形。抗压强度要保证材料在压力作用下不发生碎裂或塑性变形，且强度需保持稳定一致性，若强度波动过大，易造成基层受力不均，进而引发上部路面开裂或破损，影响道路整体通行安全性和使用寿命。

2.2 基层材料的抗裂性与耐久性要求

基层材料的抗裂性直接关系到路面结构的完整性，实际使用中，材料会因温度变化、湿度波动产生收缩或膨胀，若抗裂性不足，易出现横向或纵向裂缝，裂缝会进一步传导至面层，加剧路面损坏。耐久性需满足长期使用需求，材料需抵抗雨水浸泡、冻融循环、大气侵蚀等环境因素影响，避免因长期环境作用出现强度衰减、结构松散等问题，确保基层在设计使用周期内保持稳定的力学性能与结构形态。

2.3 基层材料的级配稳定性与施工和易性要求

级配稳定性是基层材料施工质量的基础，材料颗粒大小的搭配需保持均匀稳定，若级配波动过大，会导致施工后基层密实度不均，出现局部空隙过大或过于致密的情况，影响整体承载能力与排水性能。施工和易性则

需适配现场施工工艺,材料需具备适宜的湿度与颗粒结合状态,便于摊铺时均匀分布,同时在压实过程中能快速达到设计密实度,避免因和易性差导致施工效率降低或出现压实不实等质量隐患^[2]。

3 再生材料在公路基层应用中的多维度可行性分析

3.1 再生材料满足基层施工技术要求的适配性分析

再生材料与公路基层施工技术的适配性,要从以下施工全流程的技术适配性展开分析。(1)在材料预处理环节,再生材料要通过破碎、筛分、除杂等工艺,调整颗粒形态与级配范围,使其能适配基层摊铺前的材料状态要求——若再生材料颗粒不均或含杂质过多,会直接影响后续施工质量,因此预处理工艺需与基层施工对材料初始状态的要求匹配,确保材料颗粒分布符合摊铺均匀性的基础条件。(2)从施工工艺适配性来看,再生材料的物理特性要与基层摊铺、压实工艺参数适配。摊铺环节中,材料需具备适宜的流动性与抗离析能力,避免摊铺过程中出现颗粒分层;压实环节则需材料能在合理压实次数与压实功率下达到设计密实度,若再生材料压实性过差,需调整压实参数,但调整幅度需在基层施工技术规范允许范围内,确保不会因参数调整引发施工效率大幅下降或压实质量不达标问题。(3)再生材料与基层施工后的养护工艺也要适配。部分再生材料吸水性或保水性与传统材料存在差异,养护阶段需根据材料特性调整洒水频率、覆盖方式与养护时长,避免因养护不当导致材料强度发展受阻,确保基层能在规定养护周期内达到设计强度,这也是判断再生材料技术适配性的关键环节。

3.2 再生材料在公路基层施工应用中的力学性能可行性分析

再生材料在公路基层应用中的力学性能可行性,要围绕以下基层核心力学需求展开评估。(1)从承载能力来看,基层需承受车辆荷载与上部结构重量的传递,再生材料需通过自身力学性能抵抗荷载作用下的结构变形。实际分析中,要关注再生材料经工艺优化(如级配调整、添加稳定剂)后的抗压强度能否达到基层承载要求——即使再生材料原生强度低于传统材料,通过合理的改性处理,若其强度能稳定维持在满足基层长期承载的阈值内,且强度衰减速率缓慢,则可判定承载能力具备可行性。(2)抗变形能力是力学性能可行性的另一核心维度。基层在长期使用中会因荷载反复作用产生塑性变形,再生材料需具备足够的弹性模量与抗疲劳性能,避免出现过量永久变形导致路面平整度下降。分析时需考虑再生材料颗粒间的结合强度,若颗粒间黏结力不足,

易在荷载作用下出现颗粒滑移,导致抗变形能力不足;但通过添加黏结剂或优化级配,若能提升颗粒间咬合作用,使再生材料的抗变形能力达到基层使用要求,即可满足力学可行性条件。(3)力学性能稳定性同样影响可行性判断。再生材料来源多样,不同批次材料的力学性能可能存在波动,需评估这种波动是否在可控范围内——若波动幅度较小,通过施工前的性能检测与工艺微调可实现力学性能的均匀性控制,则不会影响基层整体力学稳定性;若波动过大且难以通过工艺调整改善,会导致基层力学性能不均,增加路面损坏风险,此时需重新评估其力学可行性。

3.3 再生材料在公路基层施工中的经济可行性分析

再生材料应用的经济可行性要从以下全流程成本角度展开,(1)材料获取与加工成本。再生材料的获取成本与回收半径、回收量相关——若回收点距离施工场地较近,可降低运输成本;再生材料加工需投入破碎、筛分、改性等设备与人力成本,需对比传统天然材料的采购与运输成本:若再生材料的“获取+加工”总成本低于天然材料的“采购+运输”成本,且成本差值能覆盖加工环节的额外投入,则在材料成本层面具备可行性。(2)施工阶段的成本差异。若再生材料需特殊施工工艺(如调整压实参数、增加预处理环节),可能导致施工时间延长或设备投入增加,产生额外施工成本;再生材料若能提升施工效率(如因材料特性适配性好,减少摊铺返工率),则可降低施工成本。需综合测算施工阶段的总成本变化:若再生材料应用导致的施工成本增加幅度小于材料成本降低幅度,或能实现施工总成本下降,则施工阶段的经济可行性成立。(3)全生命周期成本分析。基层的全生命周期涵盖施工、运营、养护阶段,再生材料需评估其在运营阶段的养护成本——若再生材料基层因力学性能稳定,减少了后期养护次数(如减少裂缝修补、局部翻修),则可降低全生命周期养护成本。

3.4 再生材料应用的环境效益评估

再生材料在公路基层应用的环境效益评估有:(1)固废减量化与资源化层面。再生材料多源于工业固废、建筑垃圾或废旧路面材料,这类材料若不加以利用,需通过填埋、堆放等方式处置,会占用土地资源并可能引发环境污染(如固废渗滤液污染土壤)。再生材料应用可直接减少此类固废的处置量,提升固废资源化利用率——通过测算再生材料的用量与对应的固废消耗量,可量化减少的固废填埋体积与土地占用面积,这是环境效益的核心体现,符合“无废城市”建设与资源循环利用的环境目标。(2)能源与资源节约效益。传统基层

材料（如天然砂石）的开采、加工、运输需消耗大量能源，且天然砂石属于不可再生资源，过度开采会破坏生态环境（如河道采砂导致河床破坏）。再生材料的加工过程（如破碎、筛分）能耗通常低于天然材料的开采加工能耗，且无需消耗新的天然资源，可减少能源消耗量与天然资源开采量。通过对比再生材料与传统材料的能源消耗强度与资源消耗类型，可量化能源节约量与资源保护效果，体现环境效益的可持续性。（3）生态环境负荷降低。天然材料开采会导致植被破坏、水土流失等生态问题，传统材料生产加工过程中还会产生粉尘、噪声污染；再生材料应用可减少天然材料开采量，进而降低开采环节的生态破坏，同时再生材料加工过程若控制得当（如采用封闭破碎设备、安装除尘装置），可减少粉尘与噪声污染^[3]。

4 再生材料在公路基层施工中的应用的关键节点

4.1 施工前再生材料的预处理与适配调控

再生材料应用的首要环节是针对性预处理与性能调控。（1）先按料源、规格分类回收，通过冷铣刨或机械开挖获取材料时，控制铣刨速度与深度以减少性能波动，不同类型材料需分段分层处理避免混掺。预处理阶段需对超标粒径颗粒进行破碎，根据再生工艺类型选择筛网尺寸，将材料分档筛分以优化级配。（2）存储环节要分仓堆放并设立标识，沥青类再生料应存放于硬化封闭厂房，堆高不超过3米且及时使用以防结块；无机类再生料需做好防潮防雨措施。同时依据基层设计强度，通过配合比试验确定再生剂、稳定剂掺量，对建筑垃圾类再生料还需人工分拣去除大块杂物，确保材料性能能满足施工适配要求。

4.2 再生材料基层的核心施工工艺实施

摊铺拌和阶段要根据材料特性调整工艺参数。（1）就地再生时，通过移动破碎设备分阶段破碎旧路面材料，控制转子转速与行进速度确保级配达标，必要时添加新集料调整合成级配。拌和过程中利用电子阀精确控制含水量，通常维持在8%~10%，再生机行进速度控制在4~6m/min以保证拌和均匀。（2）压实环节要匹配材料压实特性，采用大吨位设备组合施工，初压选用羊足碾强震3遍，终压采用单钢轮与胶轮压路机组合碾压，通过套轮1/2~1/3的方式避免漏压。对于厂拌再生材料，摊铺时需控制厚度与平整度，根据颗粒级配调整摊铺速度，防止离析现象发生。

实特性，采用大吨位设备组合施工，初压选用羊足碾强震3遍，终压采用单钢轮与胶轮压路机组合碾压，通过套轮1/2~1/3的方式避免漏压。对于厂拌再生材料，摊铺时需控制厚度与平整度，根据颗粒级配调整摊铺速度，防止离析现象发生。

4.3 施工后质量检测与养护保障措施

施工后质量检测与养护保障措施有：（1）压实完成后需立即开展质量检测，采用核子密度仪法或灌砂法检测密实度，确保达到设计标准，同时跟踪7天无侧限抗压强度与弯沉值等关键指标。养护阶段需根据材料吸水性差异调整方案，沥青再生基层需做好保湿覆盖，水泥稳定类再生基层养生期需保持湿润，通常3~4天龄期即可达到基本强度要求。（2）后期要建立常态化检测机制，重点监测基层裂缝与松散情况，结合检测结果优化养护频率。对于就地再生基层，需在通车前确认强度达标，通过阶段性检测评估材料长期稳定性，为后续面层施工提供质量保障^[4]。

结束语：本文系统研究了再生材料在公路基层施工中的应用可行性，明确其种类特性与基层技术要求的适配性，通过多维度分析证实其在力学性能上达标、经济成本上可控、环境效益显著，且施工关键节点的把控可保障应用质量。再生材料的应用不仅能缓解资源与固废压力，还能推动公路工程绿色转型。

参考文献

- [1]王岭辉.再生混凝土材料在公路基层施工中的强度特性与耐久性协同优化研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(10):028-031.
- [2]冼文杰.再生材料在市政道路基层修复中的应用成本效益分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(9):099-102.
- [3]王腾骏.公路养护工程中废旧路面材料再生利用技术的应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(10):039-042.
- [4]刘静静,刘鹏飞,蔡婷婷.再生材料在道路工程中的应用研究[J].再生资源与循环经济,2025,18(5):24-26.