

废旧材料再生利用的公路路基勘察设计一体化研究

吕昌衡

新乡市公路勘察设计院有限责任公司 河南 新乡 453000

摘要：随着资源环境约束加剧，废旧材料再生利用成为公路建设绿色发展的关键路径。将废旧材料用于公路路基，需突破勘察设计环节的技术壁垒，实现一体化协同。研究通过分析废旧材料特性，优化设计阶段材料配置，协同施工工艺与质量控制，构建全生命周期性能评估体系。针对材料性能变异、长期性能预测及协同效率等问题，提出标准化评估、多尺度研究与数字化平台等策略，为废旧材料在公路路基工程中的广泛应用提供技术支撑。

关键词：废旧材料再生利用；公路路基；勘察设计；一体化

引言

在“双碳”目标驱动下，公路建设领域亟需探索资源高效利用与低碳发展模式。废旧材料再生利用作为绿色建造技术，为公路路基工程提供了新方向。然而，废旧材料成分复杂、性能波动大，其在路基工程中的应用需兼顾勘察、设计、施工等多环节协同。本文围绕废旧材料再生利用的公路路基勘察设计一体化展开研究，剖析应用要点，探讨关键挑战与应对策略，旨在推动废旧材料在公路工程中的规范化、高效化应用。

1 废旧材料再生利用用于公路路基概述

随着公路建设规模持续扩大，对路基填筑材料的需求与日俱增，而传统天然筑路材料的过度开采已引发资源短缺和生态环境破坏等问题，在此背景下，废旧材料再生利用用于公路路基工程成为实现可持续发展的重要途径。废旧材料种类繁多，涵盖建筑拆除产生的废弃混凝土块、砖渣，工业生产遗留的矿渣、煤矸石，以及交通运输领域淘汰的废旧轮胎等，这些材料经过科学加工处理后，可有效转化为路基填筑材料，实现资源的循环利用。废弃混凝土块和砖渣经破碎、筛分后，其粒径分布符合路基填料要求，具有良好的颗粒级配，能够形成紧密堆积结构，为路基提供稳定的力学支撑。矿渣、煤矸石等工业固体废弃物，在具备适宜的物理力学性能前提下，通过掺加适量的固化剂进行改性处理，可显著提升其强度和水稳定性，使其满足公路路基对填料强度和耐久性的严格要求。废旧轮胎经切割、破碎制成的橡胶颗粒，与其他集料混合后用于路基填筑，能够有效缓解路基的冻胀和融沉问题，提升路基的抗变形能力和减震性能。从工程实践角度看，废旧材料再生利用用于公路路基需充分考虑材料的物理力学特性和环境适应性。通过系统的室内试验和现场试验段研究，深入分析废旧材料的压实特性、承载能力、变形规律等关键指标，建立科学

合理的材料设计和施工工艺标准。结合不同地区的气候条件、地质状况，优化废旧材料的配比和使用方式，确保再生材料路基在长期荷载和复杂环境作用下的稳定性和可靠性。将废旧材料再生利用用于公路路基工程，不仅能够有效缓解资源压力和环境问题，还能为公路建设提供性能优良、成本可控的新型筑路材料，是推动公路工程绿色低碳发展的重要技术方向。

2 废旧材料再生利用在公路路基勘察设计一体化中的应用分析

2.1 勘察阶段的材料特性分析

(1) 废旧材料在公路路基应用前，需通过多维度检测手段系统分析其物理力学特性。采用颗粒分析试验测定废旧材料粒径分布，获取级配曲线，明确其骨架密实结构形成潜力，为后续设计提供基础数据。开展密度试验，精确测定堆积密度、表观密度等参数，结合孔隙率计算，评估材料的密实程度与填充性能，确定其在路基结构中的适用性。(2) 化学特性检测是勘察阶段的关键环节。运用X射线荧光光谱分析(XRF)和红外光谱分析(FTIR)技术，识别废旧材料中的化学成分与矿物组成，判断材料的化学稳定性。着重关注活性成分对路基长期性能的影响，例如废旧混凝土中残留的碱性物质可能引发碱-骨料反应，需在勘察阶段提前预判并制定应对措施。(3) 通过力学性能试验模拟实际工况下废旧材料的承载能力。采用三轴压缩试验测定材料的抗剪强度指标，获取内摩擦角和粘聚力，为路基稳定性分析提供关键力学参数。进行回弹模量测试，评估材料在重复荷载作用下的变形特性，结合现场原位测试数据，建立废旧材料力学性能数据库，为后续设计阶段的材料选型与结构设计提供可靠依据^[1]。

2.2 设计阶段的材料优化配置

(1) 基于勘察阶段获取的材料特性数据，构建材料

性能-结构需求匹配模型。综合考虑公路等级、交通荷载、环境条件等因素,确定废旧材料在路基结构中的合理掺配比例。针对重载交通路段,通过优化废旧材料与天然集料的混合比例,提升路基的抗变形能力与承载能力;在季节性冰冻地区,调整材料级配改善冻胀敏感性,确保路基结构的耐久性。(2)采用数值模拟技术对不同材料配置方案进行比选。运用有限元分析软件,模拟路基在不同工况下的力学响应,分析应力、应变分布规律,评估材料配置方案的合理性。通过参数化设计,系统研究材料弹性模量、泊松比等参数对路基性能的影响,筛选出最优材料组合方案,实现材料性能与结构功能的最佳匹配。(3)在材料优化配置过程中,注重经济性与环保性的平衡。建立成本-性能分析模型,综合计算材料采购、运输、加工等成本,结合废旧材料的再生利用效益,评估不同配置方案的经济可行性。量化分析废旧材料再生利用对资源节约和环境影响的贡献,在满足路基性能要求的前提下,最大化提高废旧材料的利用率,实现公路建设的可持续发展目标。

2.3 施工工艺与质量控制协同设计

(1)针对废旧材料的特性,优化施工工艺参数。根据材料的颗粒级配和含水率,确定合理的压实机械类型、压实遍数和压实速度。对于细粒含量较高的废旧材料,采用振动压实工艺增强密实度;对于粗颗粒为主的材料,结合静压工艺确保表面平整度,通过现场试验段施工,验证并优化施工工艺参数,形成标准化施工流程。(2)构建全过程质量控制体系,将质量控制点融入施工工艺设计。在材料进场环节,严格执行质量抽检制度,检测材料的颗粒组成、强度等指标,确保材料符合设计要求。在施工过程中,利用智能化监测技术实时监控压实度、含水量等关键参数,通过物联网设备将数据传输至管理平台,实现质量问题的及时预警与处理,保障施工质量的稳定性。(3)设计施工工艺与质量控制的协同机制。建立施工工艺参数与质量指标的关联模型,分析不同施工工艺对质量指标的影响规律。当质量检测数据出现波动时,可依据模型快速追溯施工工艺环节的问题,及时调整施工参数,实现施工工艺与质量控制的动态协同,确保路基工程质量达到设计标准^[2]。

2.4 全生命周期性能评估与设计优化

(1)建立基于多源数据的全生命周期性能评估模型。该模型全面整合勘察设计阶段的材料特性数据、施工过程中的质量监测数据以及运营阶段的路基性能检测数据,借助大数据分析的强大处理能力与机器学习算法的深度挖掘特性,构建精准的路基性能演变预测模型。

通过模拟不同使用年限下路基的力学性能、变形特征等指标变化,评估废旧材料在路基全生命周期内的性能表现。(2)开展多因素敏感性分析,识别影响路基长期性能的关键因素。综合考虑交通荷载、环境温湿度、材料老化等因素,分析各因素对路基性能的影响程度与作用机制。针对敏感性较高的因素,提出针对性的设计优化措施,如在易受水侵害路段加强排水设计,在高温地区选用抗老化性能好的废旧材料,提高路基结构的长期稳定性。(3)基于性能评估结果进行设计优化迭代。将全生命周期性能评估反馈至勘察设计阶段,对材料选型、结构设计、施工工艺等进行优化调整。通过建立设计-施工-运营的闭环反馈机制,不断完善废旧材料在公路路基工程中的应用技术体系,实现路基工程全生命周期性能的持续提升与优化。

3 废旧材料再生利用在公路路基勘察设计一体化中面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 材料性能变异性大

废旧材料来源广泛且成分复杂,其物理力学性能呈现显著变异性。以废旧混凝土骨料为例,不同来源的混凝土在配合比、使用年限、受荷状况等方面存在差异,导致再生骨料的粒径分布、压碎值、针片状颗粒含量等指标波动明显。即使是同一种废旧材料,在不同的加工处理方式下,性能也会发生变化。这种变异性使得材料难以满足公路路基工程对稳定性和均质性的严格要求,增加了设计阶段材料选择和参数确定的难度。在实际工程中,若直接将性能不稳定的再生材料应用于路基填筑,可能导致路基局部沉降不均,影响路面平整度,缩短公路使用寿命。

3.1.2 长期性能预测困难

公路路基服役周期长达数十年,而废旧再生材料在复杂环境和荷载作用下的长期性能研究数据匮乏。再生材料在水、温度、车辆动荷载等因素耦合作用下,内部微观结构会发生复杂变化,其强度、耐久性等性能的衰减规律难以准确把握。例如,废旧塑料改性沥青混合料在长期紫外线照射和高温环境下,可能出现老化、性能劣化现象;再生工业废渣在潮湿环境中,其化学活性可能引发体积膨胀,破坏路基结构。由于缺乏足够的长期性能监测数据和有效的预测模型,设计人员难以科学评估采用再生材料的路基在全寿命周期内的安全性和可靠性,限制了废旧材料在公路路基工程中的大规模应用^[3]。

3.1.3 勘察设计协同效率低

公路路基勘察设计一体化要求勘察与设计环节紧密

配合、信息实时共享。在废旧材料再生利用项目中，勘察单位获取的再生材料相关数据与设计单位的需求存在衔接不畅的问题。勘察工作侧重于材料的现场采集和基本物理指标测试，而设计工作需要更全面的力学性能参数及工程适用性分析结果。传统的工作模式下，勘察数据以纸质报告或非标准化电子文档形式传递，设计人员需重新整理分析，导致信息传递效率低下，容易出现数据误差和理解偏差。这种协同效率的低下使得设计方案无法及时根据勘察结果进行优化调整，延长了项目周期，增加了工程成本，也不利于再生材料特性在路基设计中的充分发挥。

3.2 应对策略

3.2.1 建立材料性能标准化评估体系

针对废旧材料性能的变异性，需构建涵盖材料采集、加工、检测等环节的标准化评估体系。在材料采集阶段，明确不同类型废旧材料的适用范围和质量要求，规范采集流程和样本选取方法。加工环节制定统一的处理工艺标准，确保再生材料性能的一致性和稳定性。检测方面，建立全面的性能指标体系，除常规物理力学指标外，增加针对再生材料特性的特殊检测项目，如再生骨料的微裂缝含量、再生沥青的老化性能等。通过标准化的检测方法和评价标准，实现对再生材料性能的准确量化评估，为设计阶段提供可靠的材料参数依据，使设计方案更贴合实际工程需求，保障路基工程质量。

3.2.2 开展多尺度性能研究与预测

为解决废旧再生材料长期性能预测难题，需开展从微观到宏观的多尺度性能研究。微观层面，运用先进的材料表征技术，如扫描电子显微镜、X射线衍射等，研究再生材料在复杂环境作用下的微观结构演变规律，揭示性能衰减的本质机理。宏观层面，通过室内加速老化试验、长期性能监测等手段，模拟材料在实际工程中的服役环境，积累大量试验数据和现场监测数据。在此基础上，结合数值模拟方法，构建基于多尺度分析的性能预测模型，综合考虑材料成分、环境因素、荷载条件等影响，实现对再生材料长期性能的精准预测。这些预测结

果可为设计阶段确定合理的设计参数和维护方案提供有力支持，保障公路路基的长期稳定性和耐久性。

3.2.3 构建数字化协同工作平台

为提升勘察设计协同效率，应构建基于数字化技术的协同工作平台。该平台整合勘察数据采集、分析处理、设计方案编制等功能模块，实现勘察与设计环节的数据实时共享和交互。勘察人员可通过平台将采集的再生材料数据以标准化格式直接上传，利用平台内置的数据分析工具自动生成初步报告。设计人员能够实时获取勘察数据，并基于平台的设计模块快速开展方案设计，同时将设计需求反馈给勘察人员。平台利用三维建模、虚拟现实等技术，直观展示路基设计方案与再生材料应用效果，便于双方及时沟通和优化调整。通过数字化协同工作平台，打破信息壁垒，提高工作效率，确保勘察设计一体化进程中再生材料相关信息的准确性和时效性，推动废旧材料再生利用在公路路基工程中的高效应用^[4]。

结语

综上所述，废旧材料再生利用应用于公路路基勘察设计一体化研究，对推动公路建设绿色转型意义重大。通过勘察阶段材料特性分析、设计阶段优化配置、施工工艺协同设计及全生命周期性能评估，有效解决了废旧材料应用难题。针对面临的挑战，提出的标准化评估、多尺度研究及数字化协同策略，为工程实践提供了可靠保障，有望促进废旧材料在公路路基工程中实现更大规模、更高质量的应用。

参考文献

- [1]裴勇,武士钧.公路改扩建工程废旧材料再生利用技术建议[J].城镇建设,2021(10):149-150.
- [2]赵廷新.高速公路改扩建工程废旧道路材料再生利用技术[J].建筑工程技术与设计,2020(26):1519.
- [3]李春生.公路项目路基排水一体化设计方法研究[J].运输经理世界,2024(19):34-36.
- [4]陈宝林.公路项目路基排水一体化设计方法探讨[J].交通世界,2023(27):52-54.