

公路工程施工中绿色建材应用的性能评估与环境影响研究

杨 凯 鹿先刚

陕西交通控股集团有限公司西禹分公司 陕西 渭南 710018

摘要：在全球生态环境问题日益突出的当下，可持续发展理念已深深融入各行各业。本文聚焦公路工程施工，深入研究绿色建材的应用。通过对绿色建材的性能评估与环境影响分析，探讨其在公路工程中的实际应用价值。性能评估涵盖力学性能、耐久性和功能性，包括抗压、抗拉强度，抗老化、抗渗等性能指标；环境影响分析涉及资源消耗、能源消耗和污染物排放等方面。研究发现绿色建材虽具备一定优势，但在技术、成本和市场接受度等方面面临挑战。据此提出加强技术研发、优化成本控制和提高市场认知等对策，旨在推动绿色建材在公路工程施工中的广泛应用与可持续发展。

关键词：公路工程施工；绿色建材应用；性能评估；环境影响研究

引言：随着公路建设规模的不断扩大，传统建材带来的资源浪费与环境污染问题日益凸显。绿色建材凭借其环保、节能、可持续等特性，逐渐成为公路工程施工领域的关注焦点。开展绿色建材在公路工程施工中的性能评估与环境影响研究，有助于深入了解其实际应用效果，为行业选择合适的绿色建材提供科学依据。本文通过系统分析绿色建材的性能与环境影响，剖析应用过程中的挑战并提出对策，旨在推动公路工程施工的绿色化转型，实现公路建设与生态环境的协调发展。

1 绿色建材概述

绿色建材，又称生态建材、环保建材，是指在原料采用、生产制造、使用过程以及废弃处理等环节中，最大限度减少对自然资源的消耗，降低对生态环境的影响，并具备良好使用性能与可循环再生性的建筑材料。在生产环节，绿色建材多利用工业废料、农业废弃物等可再生资源为原料，减少原生矿石等不可再生资源的开采；制造过程中采用清洁生产技术，降低能耗与污染物排放。于公路工程而言，绿色建材的应用契合行业可持续发展需求，其不仅能提升公路工程质量，保障结构的安全性与耐久性，还能在使用周期内降低维护成本，减少资源浪费^[1]。

2 绿色建材在公路工程中的性能评估

2.1 力学性能评估

2.1.1 抗压强度

在公路工程建设中，路面结构长期承受车辆荷载、自然环境压力等多重作用，绿色建材的抗压强度是保障公路质量与使用寿命的核心指标。以绿色混凝土为例，通过掺入工业固废如粉煤灰、矿渣微粉等作为辅助胶凝材料，不仅减少了水泥用量，还能优化混凝土内部结

构，使其抗压强度得到显著提升。部分新型绿色混凝土的抗压强度可达60MPa以上，甚至超过传统混凝土。在实际应用场景中，高抗压强度的绿色建材能够有效分散车辆荷载压力，降低路面变形、沉降风险，确保公路在长期使用过程中保持良好的平整度与稳定性，减少频繁维修带来的经济成本与交通影响。

2.1.2 抗拉强度与抗折强度

公路路面在温度变化、车辆行驶产生的动荷载等因素影响下，极易出现开裂现象，因此绿色建材的抗拉强度与抗折强度同样不可或缺。抗拉强度可有效抵御因路面收缩、膨胀产生的拉应力，防止纵向裂缝扩展；抗折强度则能提升路面抵抗弯曲变形的能力，避免横向断裂。近年来，在绿色沥青混合料中添加玄武岩纤维、聚酯纤维等增强材料，成为提升抗拉与抗折性能的有效手段。这些纤维材料均匀分布于混合料中，如同“加筋网”一般，增强了材料内部的粘结力与韧性。经测试，添加纤维的绿色沥青混合料抗拉强度提升约20%-30%，抗折强度提高15%-25%，大幅降低路面开裂风险，有效延长公路使用寿命，提升公路的整体服务性能。

2.2 耐久性评估

2.2.1 抗老化性能

公路长期暴露于自然环境中，受紫外线、风雨侵蚀、温度波动等因素影响，绿色建材的抗老化性能直接关系到公路使用寿命。以绿色沥青材料为例，通过添加抗老化剂、纳米材料等改性手段，可有效延缓沥青的氧化、硬化和龟裂过程。研究表明，采用纳米二氧化钛改性的绿色沥青，其抗紫外线老化能力显著提升，经模拟老化试验后，沥青的针入度、延度等关键指标下降幅度较传统沥青减少30%以上。此外，部分绿色混凝土通过优

化配合比，掺入硅灰、偏高岭土等活性掺合料，改善了材料的微观结构，增强了抵抗环境侵蚀的能力，有效延缓材料老化进程，确保公路在长期使用中保持良好的性能状态，降低全生命周期维护成本。

2.2.2 抗渗性与抗冻性

公路路面若抗渗性差，水分易渗入基层，在冻融循环作用下引发冻胀、翻浆等病害，严重威胁公路结构安全。绿色建材通过特殊的材料设计和工艺优化，有效提升抗渗与抗冻性能。例如，在绿色混凝土中添加膨胀剂、减水剂等外加剂，可细化混凝土内部孔隙结构，降低孔隙率，使其抗渗等级达到P8以上，有效阻隔水分侵入。同时，引入引气剂可在混凝土内部形成均匀微小气泡，缓解冻融时的体积膨胀应力，提升抗冻性能。经试验验证，采用引气工艺的绿色混凝土，其抗冻标号可达F300，相比普通混凝土抗冻能力提升显著。

2.3 功能性评估

2.3.1 降噪性能

在交通流量日益增长的背景下，公路噪音污染成为亟待解决的问题。绿色建材的降噪性能为改善交通环境提供了有效途径。以多孔沥青混合料为例，其内部连通的孔隙结构能够吸收和消散车辆行驶产生的噪音，通过声波在孔隙中的多次反射、折射与摩擦，将声能转化为热能，从而降低噪音传播强度。研究表明，铺设多孔沥青路面的公路，相比普通沥青路面，可降低噪音5-8分贝。此外，一些新型绿色混凝土也通过优化骨料级配、引入轻质多孔材料等方式，增强吸音效果。

2.3.2 透水性能

传统不透水路面易导致城市内涝、地下水位下降等问题，绿色建材的透水性能为缓解此类问题提供了解决方案。透水混凝土和透水沥青是典型的高透水绿色建材，它们通过特殊的级配设计，形成蜂窝状或骨架空隙结构，使雨水能够迅速渗透至地下。透水混凝土的孔隙率可达15%-25%，透水系数通常在0.5-2.0mm/s之间，远超普通混凝土。在公路工程中应用透水绿色建材，能有效减少地表径流，补充地下水资源，缓解城市热岛效应，同时降低路面积水导致的打滑风险，提升行车安全性。

3 绿色建材应用的环境影响分析

3.1 资源消耗分析

3.1.1 原材料获取阶段

在原材料获取阶段，绿色建材展现出显著的资源节约优势。传统建材生产多依赖天然砂石、黏土等不可再生资源，过度开采易引发生态破坏与资源枯竭问题。而绿色建材注重对工业废渣、农业废弃物等再生资源的利

用，如粉煤灰、矿渣、秸秆等。以矿渣为例，作为钢铁冶炼的副产品，将其磨细后作为混凝土掺合料，可替代部分水泥，减少对石灰石等原生矿产的依赖。据统计，每利用1吨粉煤灰，相当于减少0.7吨二氧化碳排放，并节约0.3吨标煤的能源消耗^[2]。

3.1.2 生产加工阶段

在生产加工阶段，绿色建材通过技术创新与工艺优化，降低资源消耗。传统建材生产过程中，高温煅烧等工序往往需要消耗大量能源与水资源。绿色建材生产则采用低温合成、微波烧结等新型技术，减少能源消耗。同时，生产过程注重水资源的循环利用，通过建立废水处理与回用系统，提高水资源重复利用率。部分绿色建材企业还通过优化生产流程，减少原材料的浪费，提高资源转化率。如在预制绿色混凝土构件生产中，采用精准计量与自动化搅拌技术，可将原材料损耗率降低至2%以下，相比传统生产方式大幅减少资源浪费，实现生产加工阶段的绿色化转型。

3.2 能源消耗分析

3.2.1 生产过程能耗

在绿色建材生产过程中，通过工艺革新与技术升级显著降低能源消耗。传统建材生产如水泥烧制需经历高温煅烧，能耗巨大。而绿色建材生产采用新型节能技术，例如在水泥生产中引入矿化剂，可降低熟料烧成温度50-100°C，减少燃料消耗约5%-10%。部分绿色墙体材料生产企业采用自动化生产线和智能化控制系统，精准调控生产流程，避免能源浪费，相比传统生产模式能耗降低15%-20%。此外，利用工业余热、太阳能等清洁能源替代传统化石能源用于建材生产，也是降低能耗的重要途径。

3.2.2 运输与施工过程能耗

在运输方面，优化运输路线规划和车辆调度，采用大型化、专业化运输设备，提高单次运输量，降低单位运输能耗。同时，部分企业推行区域化生产与配送模式，在项目周边建立生产基地，减少建材运输里程，降低燃油消耗。在施工过程中，绿色建材的应用结合新型施工技术，提升施工效率并减少能耗。

3.3 污染物排放分析

3.3.1 大气污染物排放

在绿色建材生产与使用过程中，大气污染物排放得到有效控制。传统建材生产如水泥、沥青制造，会释放大量二氧化硫、氮氧化物、粉尘等污染物。绿色建材通过优化工艺和采用清洁生产技术减少排放。在沥青路面施工中，温拌沥青技术的应用将沥青混合料拌和温度降

低20-30°C，减少了沥青加热过程中苯并芘、挥发性有机物（VOCs）等有害气体的排放。

3.3.2 固体废弃物与废水排放

绿色建材在固体废弃物与废水排放控制上成效显著。生产环节中，绿色建材大量消纳工业废渣、建筑垃圾等固体废弃物，变废为宝，减少废弃物堆积占地与环境污染。在废水排放方面，绿色建材企业建立完善的废水处理系统，通过沉淀、过滤、净化等工艺，实现废水的循环利用。部分企业将处理后的废水用于生产搅拌、场地降尘等环节，使废水回用率达90%以上。

4 绿色建材在公路工程施工中的挑战与对策

4.1 挑战分析

4.1.1 技术挑战

绿色建材生产工艺复杂，部分关键技术尚未成熟。如高性能透水混凝土的孔隙结构与强度平衡技术仍待突破，长期使用下易出现孔隙堵塞、强度衰减问题。在材料适配性方面，不同绿色建材与公路施工设备、传统工艺的兼容性差，缺乏标准化施工技术规范，导致施工过程中质量控制难度大，难以保障工程整体性能。

4.1.2 成本控制

绿色建材研发投入大，生产所需的新型设备、环保工艺及优质原材料增加了前期成本。同时，由于生产规模较小，难以形成规模效应，单位产品成本居高不下。运输过程中，部分绿色建材因特性需特殊运输方式，进一步推高成本，使得绿色建材在价格上较传统建材缺乏竞争力，限制了其在公路工程中的广泛应用。

4.1.3 市场认知与接受度

市场对绿色建材的认知存在偏差，部分从业者对其性能、环保优势了解不足，认为绿色建材质量不稳定、耐久性差。加之缺乏有效的宣传推广和案例示范，公路工程建设单位、业主方出于风险和成本考量，更倾向选择传统建材，导致绿色建材市场认可度低，市场推广面临较大阻力。

4.2 对策建议

4.2.1 加强技术研发与创新

企业可联合高校、科研机构组建产学研联盟，聚焦绿色建材核心技术难题，共同投入资源研发。例如，针对透水混凝土强度与透水性能难以平衡的问题，联合开

展材料配比优化研究，开发新型增强材料。同时，行业内企业间应加强技术交流，共享施工技术经验，共同制定绿色建材施工技术指南，探索绿色建材与现有施工设备、工艺的融合方案。

4.2.2 优化成本控制

企业可通过扩大生产规模实现成本降低，采用先进生产设备与自动化生产线，提高生产效率，减少人工成本与能源消耗。在原材料采购上，与供应商建立长期稳定合作关系，争取更优惠的价格，提高资源利用率，降低原材料损耗。运输环节，企业可与物流企业合作，优化运输路线，采用拼载运输、循环取货等模式，降低运输成本。

4.2.3 提高市场认知与接受度

企业可通过打造绿色建材应用示范工程，直观展示产品在公路工程中的性能优势与实际效果，吸引潜在客户关注。利用短视频、行业论坛等新媒体渠道，开展绿色建材知识科普，分享工程案例与技术成果，纠正市场对绿色建材的误解。企业还可与行业协会合作，举办产品推介会、技术研讨会，邀请建设单位、业主方参与，加强沟通交流，建立信任关系，逐步提高绿色建材在公路工程市场的认可度与市场份额^[3]。

结束语

绿色建材凭借优异的力学性能、良好的耐久性与独特功能性，为公路工程质量提升筑牢根基；在资源能源利用及污染物减排方面的优势，更是契合可持续发展需求。然而，技术难题、成本压力与市场认知不足，成为其推广应用的阻碍。产学研协同创新攻克技术瓶颈，精细化成本管理提升竞争力，多渠道宣传推广改善市场认知，将助力绿色建材突破发展困境。

参考文献

[1]王华,李明等.纳米改性绿色混凝土在公路基层中的性能提升与环境影响研究[J].新型建筑材料,2025,52(3):115-119.

[2]赵强,孙悦等.基于生命周期评价的公路工程绿色沥青路面环境效益分析[J].交通环保,2025,46(2):34-40.

[3]陈辉,周丽等.绿色建筑材料在桥梁附属工程中的应用与性能评价——以某绿色公路桥梁为例[J].桥梁建设,2024,54(6):102-108.