

公路工程“无废工地”实践路径研究

牛 恒

上海沪申高速公路建设发展有限公司，上海

收稿日期：2025年12月21日；录用日期：2026年1月12日；发布日期：2026年1月23日

摘 要

随着公路工程建设规模的持续发展，其产生的固体废弃物污染问题日益突出，已成为制约行业可持续发展的关键因素之一。文章以G1503公路和周邓快速路浦东枢纽段工程为研究对象，系统探讨了“无废工地”理念在桥隧结合线性工程中的实践路径。通过项目立项阶段的全过程指标筹划、设计阶段的源头减量优化、施工过程的预制装配与循环利用技术，以及废弃物的精细化分类与资源化处置，构建了完整的“无废工地”管理体系，项目实现了显著的资源节约与环境效益，为同类工程提供了可复制、可推广的“无废工地”建设范式，对推动交通基础设施建设绿色低碳转型具有重要参考价值。

关键词

公路工程，固体废弃物，“无废工地”，绿色低碳

Research on the Practical Pathways for “Zero-Waste Construction Sites” in Highway Engineering

Heng Niu

Shanghai Hushen Expressway Construction and Development Co., Ltd., Shanghai

Received: December 21, 2025; accepted: January 12, 2026; published: January 23, 2026

Abstract

With the continuous development of highway engineering construction, the pollution caused by solid waste is becoming increasingly prominent and has become one of the critical factors constraining the sustainable development of the industry. This paper takes the G1503 highway and the Pudong Hub Section of the Zhou-Deng Expressway project as the research objects to systematically explore the implementation pathways of the “Zero-Waste Construction Sites” concept in linear projects.

involving bridges and tunnels. Through the full-process index planning in the project initiation stage, the source reduction optimization in the design phase, the prefabrication and recycling technologies during construction, the refined classification and resource-based disposal of waste, a comprehensive “Zero-Waste Construction Site” management system was established. The project has achieved remarkable resource conservation and environmental benefits. This research provides a replicable and scalable “Zero-Waste Construction Sites” model for similar projects, which has significant reference value for promoting the green and low-carbon transformation of transportation infrastructure construction.

Keywords

Highway Engineering, Solid Waste, “Zero-Waste Construction Sites”, Green and Low-Carbon

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 引言

建筑业是全球最大的资源消耗行业，其原材料消耗量约占全球的 40%，同时产生的建筑垃圾已成为城市固体废弃物的主要来源。在我国，随着城镇化进程加速，建筑垃圾已占城市垃圾总量的 40% 以上，建筑垃圾年产量已超过 40 亿吨。传统的粗放式建造模式带来的环境压力巨大，向绿色低碳转型已成为行业共识并迫在眉睫。通过系统梳理对比国内外建筑垃圾循环利用现状(见表 1)，发现国内与欧美等发达国家仍存在较大差距，相关政策、技术、评估研究等亟需快速完善和推进。

Table 1. Analysis of current status of construction waste recycling at home and abroad
表 1. 国内外建筑垃圾循环利用现状分析

维度	国外研究现状(以欧美、日本为代表)	国内研究现状
核心理念	构建全生命周期的循环经济体系，追求“零废弃”和“碳中和”。	以“无害化、减量化、资源化”为核心，服务于“无废城市”及“双碳”战略。
政策研究	拥有数十年发展的完备法律体系与精细化政策。	政策体系在快速完善中，市场机制仍在探索。
技术研究	源头减量与设计；高阶循环利用；数字技术深度融合。	大规模高效处置技术；再生建材应用技术；试点项目的经验总结与推广。
评估方法	高度依赖生命周期评价(LCA)；构建涵盖环境、经济、社会的多维度综合评估指标体系。	量化指标以资源化率、减碳量为主；LCA 研究正在增多，但仍处于引入和本土化应用阶段。
资源化利用率	普遍达到 90% 以上。	20% 左右，一线城市可达 85% 以上。

2018 年国务院印发《“无废城市”建设试点工作方案》[1]，旨在最终实现整个城市固体废弃物产生量最小、资源化利用充分、处置安全的目标。2019 年国家生态环境部公布首批 11 个“无废城市”试点，2021 年国家 18 部委联合发布《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》[2]，提出推动 100 个左右的地级及以上城市开展“无废城市”建设。2023 年 2 月上海市人民政府办公厅印发《上海市“无废城市”建设工作方案》[3]，2024 年 6 月《上海市无废城市建设条例》正式施行。“无废工地”是以具体项目为聚焦点响应“无废城市”建设号召，也是推进行业绿色低碳转型的重要实践[4]。其是一种新型先进的工地建设模式[5]，通过源头减量、过程管控、资源化利用系统性的管理和技术手段，最大限度减少建筑垃

圾的产生，并尽可能将其转化为资源加以利用，最终目标是将施工对环境的影响降至最低。

交通基础设施作为行业的重要板块内容，具有线路长、工点分散、周边环境复杂等特点，其废弃物产生的环节多、管理难度大，如何在交通基础设施领域探索“无废工地”建设路径、实现“无废”理念具有重要意义，本文以 G1503 公路和周邓快速路浦东枢纽段工程为例，系统总结“无废工地”建设经验，形成可复制、可推广的标准化“无废工地”建设举措，为同类项目提供积极的实践参考。

2. 项目概况与“无废工地”建设指标体系

G1503 公路和周邓快速路浦东枢纽段工程位于上海市浦东新区，是未来上海站站前的门户通道。工程包含 G1503 高速公路、周邓快速路及地面道路三系统，由明挖隧道、桥梁结构路基结构结合的形式布置，项目地处环境敏感区域，环保要求高，具备开展“无废工地”实践的典型性与必要性。

为实现“无废”目标，项目在立项策划阶段即将“无废”理念贯穿全生命周期，并构建了量化的建设主要指标体系，见表 2。该体系涵盖设计优化、施工工艺、材料管理和废弃物处置等多个维度，为全过程管理提供了明确的行动指南与考核基准。

Table 2. Key indicators for “zero-waste construction sites”
表 2. “无废之地”建设主要指标

序号	具体指标	目标值	关键措施与说明
1	桥梁承台以上构件预制化率	>90%	立柱、盖梁、小箱梁均为预制
2	现场搭设大临集装箱搭拼率	100%	需求 430 个，搭建 430 个
3	施工围挡基座预制装配率	100%	围挡及基座使用长度为 9800 m 均为预制
4	主要构件定型化钢模板使用率	88%	隧道侧墙，预制立柱、盖梁、小箱梁
5	建筑垃圾分类覆盖率	100%	固体类、土方类、钢材类、沥青类等
6	材料损耗率比定额损耗率降低比例	>30%	钢筋集中加工，混凝土拌合站集中采购
7	泥浆化处理率	100%	设置泥浆干化厂，产生 120,145 m ³ ，干化 120,145 m ³
8	路基浜塘就地固化率	100%	产生 28,505 m ² ，固化 28,505 m ²
9	废弃物混凝土资源利用率	100%	产生 70,726 m ³ ，可利用 70,726 m ³
10	沥青铣刨料资源化利用率	100%	产生 15,749 m ³ ，可利用 15,749 m ³

3. “无废工地”建设的关键实施路径

3.1. 设计源头减量

在设计方案阶段，通过精细化设计，在满足交通功能和确保安全质量的前提下，优化设计方案，从源头减量，节约建筑材料，减少建筑垃圾的产生，见表 3。

Table 3. Benefits of source reduction
表 3. 源头减量效益

序号	类别	精细化设计过程	效益
1	断面尺寸	通过优化检修通道、设备空间及结构尺寸等，优化隧道标准段段面宽度：工可 67.3 m→初设 64.7 m→施工图 61.7 m	土方：减少 10 万 m ³ 混凝土：节约 6000 m ³ 钢筋：节约 100 t

续表

2	基坑支撑	通过精细受力计算，扩大基坑支撑结构间距：6 m→8 m	混凝土：节约 7700 m ³ 钢筋：节约 1220 t
3	分坑方案	通过优化分坑筹划，基坑数量：26→21	混凝土：节约 6500 m ³ 钢筋：节约 1100 t
4	基坑围护选型	优化围护结构，充分使用工法桩结构	混凝土：节约 13,000 m ³ 泥浆：减少 39,000 m ³

3.2. 关键技术的比选

1) 桥梁结构预制拼装技术

推广预制拼装技术，桥梁结构承台以上推行预制化拼装工艺，立柱、盖梁、小箱梁、钢梁等构件在工厂集中生产，现场进行拼装，承台以上混凝土总量 105,913 方，预制构件混凝土用量 95,333 方，现浇混凝土用量 10,580 方，桥梁结构总体预制率达 90% 以上。装配式工艺相比传统现浇工艺对于“无废工地”具有显著效益，见表 4。

Table 4. Benefits of prefabricated assembly technology for “zero-waste construction sites”

表 4. 装配式工艺对“无废工地”的效益

序号	类别	传统现浇工艺	预制拼装工艺	无废效益
1	建筑垃圾	垃圾产量大	减少 70%~80%	从源头大幅减量
2	建筑材料	材料损耗高	节约材料 40%	降低资源消耗
3	水资源	养护用水量大，难以回收	节水 40%，生产用水 90% 以上可循环利用	减少水资源消耗和废水产生
4	施工周期	工期长	缩短 50% 以上	快速还路于民，降低施工对环境的长期干扰
5	现场作业	人工密集	节约人工 60%~70%	显著改善施工现场环境

2) 隧道清水混凝土墙体技术

隧道墙体采用免装饰混凝土工艺，在项目立项阶段已将本工艺纳入整体方案考虑，设计阶段对各专业进行统筹，避免二次开墙，施工阶段精细化管理，严控墙体的平整度、外观质量，一次浇筑成型，避免了后期装饰板安装、更换产生的大量垃圾，清水混凝土墙体工艺对“无废工地”的效益，见表 5。

Table 5. Benefits of fair-faced concrete wall for “zero-waste construction sites”

表 5. 清水混凝土墙体对“无废工地”的效益

序号	类别	传统隧道装饰	清水混凝土工艺	效益
1	建筑材料	装饰板装饰	一次浇筑成型，无需装饰	减少装饰板面积约 38,400 平方
2	后期管养	需要定期翻新或更换，产生周期性装修垃圾	几乎无需管养，建筑垃圾产量随时间增加微乎其微	极大减少后期运维工作量，减少运维产生的建筑垃圾

3) 隧道基坑新型钢栈桥板技术

隧道段采用新型装配式钢栈桥取代现浇混凝土板，见图 1。装配式钢栈桥板在重量减轻的同时可承受更高荷载，且安装拆除简单，便于栈桥下挖土、材料运输等。基于钢栈桥板可回收重复利用的特点，现场安装 15,000 m²，减少了 5250 m³ 混凝土废料的产生。



Figure 1. Prefabricated steel trestle
图 1. 装配式钢栈桥

3.3. 施工过程管控

1) 临时设施循环利用

全面采用可重复使用的定型化钢构件，见图 2。桥梁预制构件，隧道墙体均采用定型化钢模板；桥梁承台基坑采用定型化钢围檩；隧道钻孔灌注桩围护结构采用定型化泥浆防溢钢平台。



Figure 2. Standardized steel components
图 2. 定型化钢构件

2) 泥浆全干化处置

现场设置泥浆干化处理工厂，桥梁、隧道钻孔灌注桩，隧道地墙等产生的 12 万方泥浆均采用干化处理，泥浆干化处理率达 100%，见图 3。



Figure 3. Mud drying equipment
图 3. 泥浆干化设备

3) 钢筋集中智能加工

在项目筹划阶段，规划在现场设置钢筋集中加工厂，见图 4，通过利用专业的钢筋翻样软件，配备数控钢筋弯曲剪切中心、数控钢筋滚焊机、全自动钢筋绞丝机等先进的自动化数控化钢筋加工设备，对所

有不同规格的钢筋需求进行统一排版和优化套裁，提高原材的利用率，降低材料加工过程的损耗[6]，本项目目前完成 38,440 t 理论钢筋量加工，实际使用钢材 39,093 t，钢筋损耗率为 0.017，使钢筋材料损耗率比定额损耗率降低了 30%。



Figure 4. Centralized steel bar processing plant
图 4. 钢筋集中加工厂

3.4. 废弃物精细化分类及资源化途径

对已产生的建筑垃圾进行分类收集和资源化利用，是“无废工地”建设的核心环节。这一过程需要通过科学的分类体系和资源化技术[7]，实现建筑垃圾“变废为宝”。本项目翻交的保通高速路基、基层、沥青路面均采用再生材料，现场施工便道均采用再生混凝土浇筑，各类废弃物的具体分类及资源化利用路径见表 6。

Table 6. Classification and utilization paths of construction waste
表 6. 垃圾分类及利用路径

垃圾类别		主要来源	资源化利用途径	
	类别	量	利用路径	量
土方类	泥浆干化土	6 万方	绿化种植土：表层土	6 万方
	表层土	6 万方	土方外运：N1 库区，处理后用做绿化土	168 万方
	基坑开挖土	172 万方	基坑顶板回填：基坑开挖浅层土，就地固化处理	10 万方
混凝土类	混凝土支撑	44,894 方	路基再生碎石、再生水泥稳定碎石	6500 方
	桩头破除、便道、地坪	10,769 方	现场再生混凝土利用	1500 方
	老桥拆除	15,063 方	回收资源再利用	62,726 方
钢材类	废旧钢材	1200 吨	现场措施钢筋	230 吨
	格构柱	1180 吨	回收资源再利用	2150 吨
沥青类	老路翻挖	15,749 方	再生沥青	630 方
			回收资源再利用	15119 方

4. 实践成效

- 环境效益：通过源头减量和资源化利用，大幅减少固体废弃物的产生。
- 经济效益：前期在预制构件、智能化生产设备等方面增加投入，但通过节约材料、节约人力、缩短工期、减少废弃物外运和处置费用等，获得了可观的综合成本节约。
- 社会效益：响应“无废”理念，为“无废城市”建设提供项目层面的支撑，其经验对行业的绿色转型具有示范意义。

5. 面临的问题及解决路径

5.1. 无废体系建设统筹难，强化主导整合资源

项目参建单位多、专业跨度大，统筹建立完整的“无废”实施体系难度较大。通过单位牵头整合资源，建立专项工作体系与推进机制，统一管理要求，编制可操作性强的“无废工地”实施方案，为落实“无废”目标奠定基础。

5.2. 清水混凝土工艺要求高，试验固化标准工艺

项目隧道墙体要求采用高标准的清水混凝土工艺，现场实施难度大[8]。通过开展多次样板与实体试验，固化了关键技术与工艺参数，形成作业指导手册和严格验收标准，最终实现了免装饰的工程效果。

5.3. 再生材料性能不确定，验证优化推动应用

项目计划使用再生沥青、再生路基填料及再生混凝土[9]，但其性能存在不确定性。通过在设计阶段明确检验指标，择优选择生产厂家，并充分验证材料性能，成功将再生材料大量应用于保通道路、施工便道等场景。

6. 结语

本研究通过 G1503 公路和浦东枢纽段工程的实践，系统构建了设计源头减量、施工过程管控、废弃物资源化的“无废工地”指标体系与管理模式。相较于国内研究多侧重于末端资源化技术或单一环节评估，本研究提出了贯穿项目全生命周期的量化指标体系与实施路径，弥补了过程系统性管理的不足；相较于国外成熟的 LCA 评估体系，本研究结合国内工程管理实际，形成了兼具约束性与操作性的关键绩效指标，为评估体系的本土化提供了案例；同时，研究通过桥梁高预制化、泥浆全干化、钢筋智能加工等技术的集成应用，验证了工业化与智慧化协同在复杂线性工程中实现“无废”目标的可行性。综上，本研究不仅验证了全过程系统化管理模式的有效性，也为同类交通基础设施的“无废”建设提供了可复制、可推广的实践范本，对推动行业绿色低碳转型具有积极的参考价值。

参考文献

- [1] 国务院办公厅印发《“无废城市”建设试点工作方案》国办发[2018]128号[Z].
- [2] 《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》环固体[2021]114号[Z].
- [3] 上海市人民政府办公厅关于印发《上海市“无废城市”建设工作方案》的通知(沪府办发[2023]2号)[Z].
- [4] 王璐.“无废工地”的发展现状与实施路径研究[J]. 绿色建造, 2024(10): 35-37+34.
- [5] 张柳春, 刘春丽, 王伟, 等. 无废工地建筑垃圾再生产品应用研究[J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(8): 121-126.
- [6] 韩超, 江志晟, 朱融, 等. 无废工地建设废弃物减量及回收技术研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(23): 98-102+138.
- [7] 黎嘉敏, 张杰, 陈广贤, 等. 基于无废工地理念的施工建筑废料减排实践[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(8): 100-104.
- [8] 罗源兵, 兰聪, 张武宗, 等. 清水混凝土外观质量影响因素及评价方法研究[J]. 新型建筑材料, 2020, 47(7): 38-40+50.
- [9] 《中国公路学报》编辑部. 中国道路工程学术研究综述·2013 [J]. 中国公路学报, 2013, 26(3): 1-36.