建筑施工建筑垃圾源头减量实施路径探析

吴中明

中国五冶集团有限公司　四川　成都　610000

摘　要：建筑施工活动产生的巨量建筑垃圾已成为制约建筑业绿色可持续发展的突出瓶颈。源头减量作为垃圾治理的最优先层级，其理论内涵在于从施工全过程的决策、设计、采购、作业与管理环节系统性地抑制垃圾产生。本文基于全生命周期理论与循环经济原则，系统解析建筑垃圾源头减量的多维约束，包括制度激励错位、设计施工割裂、计量基准缺失及末端依赖惯性。在此基础上，提出“设计驱动—精细采购—工艺优化—智慧管控—组织协同”五维实施路径，并构建以减量率与资源化率为核心的绩效评价框架。研究表明，建筑垃圾源头减量并非单纯的技术问题，而是需要制度重塑、标准供给与主体行为协同的系统工程，其有效实施依赖于将减量目标从末端治理前移至施工过程的每一环节。

关键词：建筑垃圾；源头减量；施工管理；全生命周期；实施路径

引言

我国城市建筑垃圾年产生量超 20 亿吨，占城市固废 40%，主要依赖填埋堆存，造成严重环境污染。尽管《固废法》修订及“十四五”指导意见提升了资源化战略定位，但因末端设施成本高、再生产品市场认可度低，“产生后治理”模式难以为继。因此，将治理重心前移至施工阶段的源头减量成为关键突破口。源头减量指通过设计优化、施工改进等措施，在垃圾生成前直接减少其数量与危害性，区别于末端处置。针对既有研究缺乏系统性整合、实践面临无据可依等痛点，本文旨在梳理除开工程渣土外的建筑垃圾源头减量的理论逻辑与现实障碍，拟建可操作的实施路径与评价框架，为施工企业和管理部门提供决策参考，推动建筑垃圾治理从末端向源头转变。

1 建筑垃圾源头减量的理论基础与内涵界定

1.1 建筑垃圾的组成特征与关键产生环节

施工建筑垃圾（除工程渣土）并非单一的废弃物料集合，而是由结构施工、装饰装修、设备安装等多工序共同输出的复合性废物流。按其物理形态可分为散落碎料（混凝土碎块、砖瓦）、包装废弃物（木箱、纸袋、塑料薄膜）、剩余材料（砂浆结硬、钢筋头）以及变质材料（过期防水卷材、受潮石膏板）等类别[1]。从时间维度看，建筑垃圾产生的高峰期集中于主体结构浇筑阶段与二次结构砌筑阶段，前者产生大量模板残余和混凝土落地料，后者则伴随砌块切割损耗与粘结材料浪费。此外，设计变更导致的返工拆除、材料进场检验不合格退换以及恶劣天气造成的防护失效，也构成了不可忽视的突发性产废源头。

1.2 源头减量的层级优先原则

依据废物管理层次理论（WasteHierarchy），减量（Reduce）优先于重复使用（Reuse）、循环利用（Recycle）和处置（Disposal）。源头减量处于金字塔顶端，其环境效益与经济性最优。具体到建筑施工领域，源头减量的内涵可分解为三个层次：第一层次为“减量生成”，通过优化设计、采用高精度预制构件、推行标准化模数等方式，从设计源头压缩垃圾产生空间；第二层次为“即时复用”，即在施工现场将余料、废料直接用于非结构部位或临时设施，避免其进入垃圾流，减少余料、废料演变形成垃圾的量；第三层次为“减害排放”，通过工艺改进或原材料替代，降低或杜绝垃圾中的有毒有害物质（如含重金属涂料、石棉等）含量，为后续资源化利用创造便利条件。三者构成递进关系，但第一层次的减量效果最为显著，也是本文重点探讨的方向。

2 建筑施工建筑垃圾源头减量的现实障碍

2.1 制度环境：激励错配与标准缺失

当前建筑垃圾管理的制度框架呈现“重末端、轻源头”的特征。各地征收的建筑垃圾处置费通常按产生量计费，但缺乏对源头减量行为的直接经济激励；而绿色施工评价体系（如《绿色施工导则》）虽提及垃圾减量，却未设定刚性量化指标，使得减量工作流于形式。更关键的是，现行工程计价规范中未单独列支“垃

圾减量措施费”，施工企业投入额外成本进行精细化管控（如 BIM 模拟排布、可重复使用临时设施等）却无法从造价中获得补偿，形成“谁减量、谁吃亏”的逆向激励，不利于“减量”的实施。此外，设计阶段缺乏对建筑垃圾产生量的预测标准和评估工具，设计人员无法预判其方案导致的垃圾产出规模，源头控制的“第一道闸门”难以有效闭合。

2.2 组织界面：设计与施工的割裂惯性

我国工程建设长期采用设计—招标—施工的线性模式，设计单位与施工单位分属不同合同主体，沟通机制松散。设计阶段鲜少征求施工方关于材料规格、施工可行性和余料利用的意见，导致出现大量“设计合理但施工浪费”的情形。例如，结构设计中的柱网尺寸与市场标准模板模数不匹配，迫使现场大量切割模板，产生碎屑废料；装修设计中的非标尺寸吊顶板块，使得每批次均产生边角余料。这种割裂使得源头减量的关键决策点（设计优化）与执行主体（施工方）分离，施工方只能被动应对已经生成的垃圾，而设计方无须承担垃圾产生责任，责任归属的模糊，严重阻碍了减量行动的有效落地。

2.3 技术能力：计量基准与过程监测短板

“无法量化则无法管理”。建筑施工垃圾源头减量的首要技术障碍在于缺乏统一的垃圾产生量核算基准。现有《建筑垃圾处理技术标准》（CJJ/T134）主要针对末端处理设施，对施工过程的垃圾产生系数、分类统计方法、减量率计算公式均未作明确规定。施工现场的垃圾计量多依赖经验估算，磅房记录往往只统计外运总重，不区分垃圾来源和组分，使得减量措施的成效无法精确验证[2]。同时，施工过程缺乏实时监测手段，材料损耗率、余料回收率等关键指标难以动态追踪，管理决策缺乏数据支撑，减量工作陷入“凭感觉、看经验”的粗放状态。

2.4 主体行为：末端依赖惯性与认知偏差

对于施工管理层和一线作业人员而言，将建筑垃圾“一清了之”的传统做法路径依赖强烈。一方面，建筑垃圾外运费用通常占总建安成本比例不足 1%，减量带来的成本节约无法有效对冲精细化施工所增加的管理成本，经济驱动力不足；另一方面，工期压力下，现场管理人员倾向于优先保证进度，而将建筑垃圾管理视为“次要事务”。更为深层的是认知偏差——多数从业者将“建筑垃圾减量”等同于“垃圾分类收集”，混淆了末端分类与源头减量的本质区别，忽视设计优化和工艺改进的关键作用，导致减量措施始终停留在“产生后分拣”的滞后层面。

3 建筑施工建筑垃圾源头减量的实施路径

3.1 设计驱动路径：将减量要求前置于设计阶段

应从三个层面推动设计驱动型减量：其一，推行“面向施工建筑垃圾减量的设计”（DesignforWasteMinimization,DfWM），要求设计方在方案阶段即对建筑模数、构件标准化率、可施工性进行垃圾产出评估，优先选用标准模数和常规规格材料，将非标构件占比控制在15%以内；其二，引入“设计—施工一体化”协同审查机制，在设计审图环节增设垃圾减量专项审核，由施工单位派驻代表参与设计评审，针对材料规格匹配性、施工排布可行性提出优化建议；其三，推广基于建筑信息模型（BIM）的垃圾虚拟预评估，利用 BIM 模型提取各构件材料用量，模拟施工下料过程，预测废料产生区域和数量，从而在设计端调整分割方案和节点构造，将潜在建筑垃圾消灭在图纸层面。

3.2 精细采购路径：从供应链源头控制垃圾输入

具体措施包括：建立“绿色采购清单”，优先选用包装简化、可循环周转、尺寸规格标准化的建材产品，并与供应商签订包装回收协议，从源头减少包装废弃物；推行“按需定量 + 余料回购”采购模式，利用 BIM 工程量精确统计材料净用量，结合施工进度分批次下单，避免一次性过量采购造成的库存积压和过期报废；对于钢材、管材等可定尺供应材料，要求供应商按施工深化图进行预加工配送，减少现场切割产生的边角废料；同时，建立材料供应商的垃圾减量绩效评价机制，将材料损耗率和包装回收率纳入招标评分指标。

3.3 工艺优化路径：以施工技术革新降低过程损耗

可重点推行三项工艺优化策略：第一，推广高精度模板和快拆支撑体系，减少模板切割和修补造成的木质废料，并将定型模板的周转次数提升至设计目标值以上；第二，在混凝土结构施工中采用泵送余料回收装置，将浇筑剩余混凝土即时加工为预制垫块或小型构件，而非凝固后作为废渣处置；第三，在砌筑和抹灰作业中推行预拌砂浆精准配送和薄层施工技术，减少因砂浆稠度不当或涂抹过厚导致的落地灰浪费[3]。此外，对于装饰装修阶段，采用模块化集成吊顶和装配式隔墙工艺，将现场湿作业量减少 50%以上，从工艺根源上压缩废料生成空间。

3.4 智慧管控路径：数据驱动的实时减量管理

构建“感知—分析—响应”的智慧减量管理体系。

首先，在施工现场部署智能地磅和物料跟踪系统，对进场材料、现场余料和外运垃圾进行分项称重和数字化台账，自动生成各类别垃圾产生量时间序列和损耗率曲线；其次，运用施工过程仿真和机器学习算法，基于历史数据预测各工序的垃圾产生趋势，当实际损耗率超出预警阈值时自动触发警报并推送优化建议（如调整下料方案或变更施工顺序）；再次，建立材料余料数字化共享平台，将各施工区段的余料信息（材质、尺寸、数量、位置）实时发布，方便就近调用和调剂使用，以信息化手段消除“信息孤岛”造成的余料浪费。

3.5 组织协同路径：责任重塑与激励兼容

源头减量最终依赖于人的行为改变，必须从组织层面构建责任明确、激励相容的制度环境。核心举措包括：第一，在项目施工合同中明确约定垃圾减量目标值（如单位建筑面积垃圾产生量不超过 XX 吨/万㎡），并将减量绩效与项目管理团队薪酬挂钩；第二，建立“设计—施工—监理—业主”四方联动减量工作小组，制定阶段性减量目标和分工方案，并定期召开减量协调会议，及时解决因设计变更或现场异常导致的增量问题；第三，推行垃圾减量“信用积分”制度，将施工企业减量绩效纳入建筑市场信用评价体系，与招投标资信评分联动，形成长效市场约束；第四，开展一线作业人员减量技能培训和合理化建议奖励活动，将“随手减量”融入日常作业习惯。

4 源头减量效果的绩效评价与持续改进

4.1 评价指标体系构建

为确保源头减量路径的可操作性和可检验性，应建立涵盖过程性指标与结果性指标的二维评价体系。过程性指标包括：材料损耗率（分钢材、混凝土、砌块、砂浆等子类）、设计变更导致的废料增量比率、BIM 应用覆盖率、现场余料直接复用率；结果性指标主要为施工垃圾单位面积产生量（t/万㎡）和综合减量率（相较于基准线或上年同期）[4]。两类指标配合使用，既可诊断减量措施的落实质量，又能客观衡量最终成效。建议将单位面积垃圾产生量作为核心约束性指标，参考同类项目先进值设定分级目标（合格、良好、优秀）。

4.2 减量效果的动态评估与反馈机制

源头减量不是一次性行动，而是需要持续迭代的管理闭环。应建立“月度统计—季度分析—年度总结”的动态评估流程，将评价结果反馈至采购计划调整、工艺参数优化和设计标准更新等环节。例如，若某类材料的损耗率连续两月偏高，则触发供应商更换或下料方案重新审核；若某分部工程的减量率达到优秀水平，则将其工艺做法纳入企业标准工法库予以推广。同时，积累多项目的减量数据，逐步建立企业内部的施工垃圾产生系数数据库，为后续项目的减量目标设定和方案优选提供基准参照，形成“数据积累—目标设定—措施实施—效果验证—标准提升”的正向循环。

4.3 制度保障与持续改进

源头减量的长效推进离不开制度化保障。建议施工企业将建筑垃圾减量管理纳入质量管理体系（ISO9001）和环境管理体系（ISO14001）的整合框架，制定企业级《建筑垃圾源头减量管理规程》，明确各岗位的减量职责、操作流程和考核标准。同时，主动对接政府主管部门的绿色施工监管要求，将建筑垃圾减量绩效数据定期报送，争取获得税收优惠、排污费减免或信用加分等政策红利，实现企业效益与社会效益的统一。

结束语

建筑施工建筑垃圾源头减量是建筑业绿色转型的必由之路，本质是对传统线性施工模式的结构性变革。本文基于全生命周期和循环经济视角，剖析了源头减量的理论基础及制度、组织、技术和行为四维障碍，提出设计驱动、精细采购、工艺优化、智慧管控和组织协同五条路径，并构建绩效评价框架。核心结论指出，源头减量是一场涉及决策机制、利益格局和行为习惯的深层治理革命。其有效性取决于将减量决策前移至设计阶段以打破设计与施工割裂，并将减量绩效内化为经济约束与市场激励。未来需关注边际成本测算、差异化策略及数字化工具融合，推动源头减量从理念倡导转化为制度刚性和技术能力，助力建筑业双碳目标实现。

参考文献

[1] 王雪松, 李明辉. 我国建筑垃圾产生现状及资源化利用困境分析 [J]. 环境工程,2022,40(6):112-118.

[2] 张伟, 赵志刚. 基于全生命周期理论的建筑废弃物减量化管理框架研究 [J]. 建筑经济,2021,42(3):56-62.

[3] 陈立新, 周海涛. 建筑垃圾源头减量的国际经验与中国路径 [J]. 城市发展研究,2023,30(2):89-95.

[4] 刘艳红, 黄强. 绿色施工中建筑垃圾减量化的激励机制与制度设计 [J]. 工程管理学报,2022,36(4):78-84.