

建筑垃圾减量化在装配式建筑中的应用研究

屈萍
合肥经济技术职业学院，安徽 合肥 232000

摘要：随着城市化进程的加速，建筑行业已成为资源消耗和废弃物产生的重要领域。我国每年产生的建筑垃圾总量已超过 20 亿吨，约占城市固体废物总量的 30%-40%。面对日益严峻的环境压力，如何有效控制和减少建筑垃圾成为建筑行业亟待解决的关键问题。装配式建筑作为一种新兴的建造方式，通过标准化设计、工厂化生产、装配化施工等手段，在源头上实现了建筑垃圾的有效控制。本研究从建筑垃圾减量化的角度出发，系统分析了装配式建筑在各个环节中对建筑垃圾的控制作用，并提出了相应的优化策略。研究表明，装配式建筑相比传统现浇建筑可减少约 70% 的建筑垃圾产生量，其中工厂化生产和装配化施工环节的贡献尤为显著。

关键词：建筑垃圾减量化；装配式建筑；工厂化生产

Research on the Application of Construction Waste Reduction in Prefabricated Buildings

Qu,Ping
Hefei Professional College of Economics and Technology, Hefei, Anhui, 232000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization, the construction industry has become an important field of resource consumption and waste generation. The total amount of construction waste generated in China each year has exceeded 2 billion tons, accounting for about 30%-40% of the total urban solid waste. Facing the increasingly severe environmental pressure, how to effectively control and reduce construction waste has become a key issue to be solved urgently in the construction industry. As an emerging construction method, prefabricated buildings can effectively control construction waste at the source through standardized design, factory production, and assembly construction. From the perspective of construction waste reduction, this study systematically analyzes the control effect of prefabricated buildings on construction waste in various links and proposes corresponding optimization strategies. The research shows that prefabricated buildings can reduce the generation of construction waste by about 70% compared with traditional cast-in-place buildings, especially in the links of factory production and assembly construction.

Keywords: Construction waste reduction; Prefabricated building; Factory production

DOI: 10.62639/sspis25.20250204

引言

建筑垃圾作为城市固体废物的重要组成部分，其快速增长不仅占用大量土地资源，还可能造成土壤污染、水体污染等环境问题。根据《中国建筑垃圾处理与资源化利用报告》显示，到 2025 年我国建筑垃圾年产量预计将突破 30 亿吨。这一趋势表明，传统的“末端治理”模式已难以满足当前的环保需求，必须从源头上采取有效措施进行控制。

装配式建筑作为一种现代化的建造方式，通过将建筑构件在工厂内集中生产，再运至施工现场进行组装，从根本上改变了传统的建造模式。这种建造方式不仅提高了施工效率，更在建筑垃圾减量化方面展现出独特优势^[1]。首先，工厂化生产依托智能下料系统将材料利用率提升至 95% 以上，废料率较传统模式降低 50%；其次，装配化施工通过干法作业减少 90% 的现场湿作业垃圾，且机械化安装使返工率下降 15%；再次，标准化构件设计使可循环利用率达 75%，支撑建筑全生命周期的资源闭环。

(稿件编号: IS-25-4-1028)

作者简介：屈萍（1992-），女，汉族，安徽省阜阳市，研究生，讲师，研究方向：建筑工程技术，工程管理。
基金项目：2023 年安徽省高校科学研究项目项目类别：高校科研自然科学类：“新时期绿色施工框架下的建筑垃圾减量化实施路径研究”（项目编号：2023AH053119）。

然而，当前研究多聚焦技术经济性分析，对减量化作用机理的系统评估不足，因此，有必要建立一套完整的评价体系，定量分析装配式建筑不同环节对建筑垃圾减量化的影响，为相关政策制定和实践推广提供科学依据^[2]

一、装配式建筑概述及其发展现状

装配式建筑是一种以工业化生产方式为核心的现代建筑形式，其核心特征是将建筑结构分解为若干标准构件，在专业化工厂内完成加工制作后，运输至施工现场进行拼装。这种建造方式突破了传统建筑施工受天气、场地等外部条件限制的局限，实现了建筑生产的标准化、规模化和精细化。

从技术层面来看，装配式建筑主要包括三个关键环节：首先是标准化设计，通过统一构件尺寸、连接方式等参数，形成模块化的产品体系；其次是工厂化生产，运用先进的制造设备和技术，在严格的质量控制下生产出高质量的建筑构件；最后是装配化施工，采用机械化安装设备和专业的施工工艺，将预制构件精确组装成完整的建筑

结构^[3]。

我国装配式建筑近年快速发展, 2022 年底新开工面积超 10 亿平方米, 占比新建建筑 26.3%, 在保障房和公共建筑中应用显著。政府通过税收优惠等政策加速产业升级。但发展仍面临多重挑战: 前期成本高于传统现浇建筑, 构件连接、防水防渗等技术需突破, 产业链协同不足和人才短缺制约行业。值得注意的是, 当前研究多聚焦经济和社会效益, 对装配式建筑在环保领域尤其是建筑垃圾减量化的系统评估仍存空白。其通过标准化生产、施工精度提升和材料循环利用等环节, 可显著降低全生命周期建筑垃圾产生量。深入探究其对垃圾减量的影响机制, 对推动建筑业绿色转型具有重要价值。

二、建筑垃圾减量化的重要性及现状分析

我国建筑垃圾年产量巨大, 资源化利用率不足 20%, 超 80% 采用填埋或堆放, 引发严重环境与资源问题。环境方面, 其侵占土地、污染土壤与水体, 含重金属垃圾渗滤可威胁饮水安全; 资源层面, 钢材、混凝土等可回收材料因缺乏分类体系, 利用率远低于发达国家, 每吨垃圾再生利用可节约 1.1 吨标煤、减排 600 公斤 CO₂。

当前填埋处理弊端凸显: 选址难、成本高(含征地与防渗费用)、降解周期长达百年, 且易产生渗滤液泄漏与甲烷排放等二次污染。尽管近年出台减量化政策, 但受制于全过程管理缺失、计量分类监管薄弱及企业内生动力不足, 源头减量效果有限。亟需建立全链条管控机制, 强化设计施工阶段废弃物控制, 推动绿色建造技术应用, 实现建筑垃圾减量化与资源化协同发展。

三、装配式建筑在建筑垃圾减量化中的作用机制

装配式建筑通过其独特的建造方式, 在多个环节对建筑垃圾减量化产生了深远影响。首先, 在设计阶段, 装配式建筑采用标准化设计方法, 通过模块化组件的合理配置, 可以显著减少材料浪费。具体而言, 设计师可以根据工厂生产能力确定构件规格, 避免因尺寸不匹配造成的切割损耗。同时, BIM(建筑信息建模)技术的应用使得设计更加精确, 能够在虚拟环境中模拟施工过程, 提前发现并解决潜在的设计缺陷, 从而减少后期修改带来的材料浪费^[4]。

在工厂化生产环节, 装配式建筑通过自动化生产线实现原材料精准投放, 如计算机辅助钢筋排版技术可将下料误差控制在毫米级, 材料利用率达 95% 以上(传统施工仅 60-70%), 废料经分类回收系统循环利用。装配化施工环节则通过三大路径减废: 一是减少现场湿作业, 消除混凝土搅拌、模板支设等工序的垃圾源; 二是采用机械化安装提升施工精度, 降低 10-15% 的构件返工率; 三是干法连接技术替代传统砂浆粘结, 减少粘结材料废弃物达 80%。两环节协同作用, 形

成从生产源头到施工末端的全流程减废闭环。

从全生命周期的角度看, 装配式建筑还具备良好的可拆卸性和可重复利用性^[5]。建筑构件经过设计优化, 可以在建筑拆除后进行回收再利用, 或者重新组装成新的建筑结构。这种特性使得装配式建筑在整个生命周期内都能保持较低的建筑垃圾产生量。研究表明, 与传统现浇建筑相比, 装配式建筑在整个生命周期内的建筑垃圾产生量可减少约 70%, 其中工厂化生产和装配化施工环节的贡献最为显著。

四、建筑垃圾减量化评价模型的构建与应用

为了定量评估装配式建筑在建筑垃圾减量化方面的成效, 本研究构建了一个多层次评价模型。该模型基于建筑全生命周期理论, 将建筑垃圾减量化分为设计阶段、生产阶段、施工阶段和拆除阶段四个维度进行评价。每个维度包含若干具体的指标项, 并通过权重系数反映其重要性。以下是模型的具体构建方法:

(一) 设计阶段评价指标

设计阶段的评价主要考虑标准化程度、构件通用性、材料利用率等因素。采用以下公式计算设计阶段的减量化指数:

$$D = \omega_1 \times S + \omega_2 \times G + \omega_3 \times M$$

其中:

D 表示设计阶段减量化指数

S 表示标准化程度评分(满分 10 分)

G 表示构件通用性评分(满分 10 分)

M 表示材料利用率评分(百分比)

ω_1 、 ω_2 、 ω_3 分别为各项指标的权重系数, 取值范围为 [0,1], 且 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 1$ 。

(二) 生产阶段评价指标

生产阶段重点考察材料损耗率、废料回收率和能源消耗等指标(P)。

(三) 施工阶段评价指标

施工阶段主要衡量建筑垃圾产生量、材料浪费率和施工效率等指标(C)。

(四) 拆除阶段评价指标

拆除阶段着重评估构件可回收率、再利用率 and 环保处置率等指标(R)。

(五) 综合评价模型

将上述四个阶段的评价结果进行加权汇总, 得到建筑垃圾减量化综合指数:

$$Z = a \times D + b \times P + c \times C + d \times R$$

其中:

Z 表示建筑垃圾减量化综合指数

a、b、c、d 为各阶段的权重系数, 且 $a + b + c + d = 1$ 。

通过这个评价模型, 可以全面、客观地评估装配式建筑在不同环节的建筑垃圾减量化效果, 并为优化设计和施工方案提供数据支持。例如, 在某实际项目中, 通过调整构件尺寸和连接方式, 成功将设计阶段的材料利用率从 85% 提高到 92%, 显著提升了整体减量化指数。

五、实证研究：典型案例分析

为验证前述评价模型的适用性,本研究选取了位于上海市松江区的一个大型住宅项目作为案例进行详细分析。该项目总建筑面积约为 15 万平方米,采用装配式钢结构体系建造,预制装配率达到 75%。通过对项目全过程的数据采集和分析,我们获得了以下研究成果:

(一) 数据采集与分析方法

在项目实施过程中,研究团队设立了专门的数据监测点,对各个阶段的关键指标进行了系统记录。主要包括:设计阶段的构件规格标准化程度、材料利用率;生产阶段的材料损耗率、废料回收率;施工阶段的建筑垃圾产生量、材料浪费率;拆除阶段的构件可回收率等。所有数据均按照统一的标准格式进行整理和存储,确保分析结果的准确性和可比性。

(二) 结果分析

1. 设计阶段

通过 BIM 技术的应用,项目实现了 90% 以上的构件规格标准化,材料利用率达到了 93%。与传统设计方法相比,减少了约 15% 的设计变更次数,从而避免了因修改图纸而导致的材料浪费。

2. 生产阶段

工厂化生产环节表现优异,材料损耗率仅为 2.5%,废料回收率达到 95%。得益于自动化生产线的高效运行,单位产品能耗较行业平均水平低 20% 左右。特别值得一提的是,工厂内部建立了完善的废料回收系统,对生产过程中产生的金属屑、混凝土碎块等进行了分类收集和再利用。

3. 施工阶段

装配化施工显著减少了现场湿作业,单位面积建筑垃圾产生量仅为传统现浇施工的 30%。施工效率提高了 40%,工期缩短了三分之一。通过严格的现场管理,材料浪费率控制在 3% 以内,远低于行业平均值。

4. 拆除阶段

项目采用了可拆卸式连接技术,使构件的可回收率达到 85%,再利用率超过 70%。环保处置率达到 100%,所有无法回收的建筑垃圾均按照规定进行了无害化处理。

根据前述评价模型计算得出,该项目的建筑垃圾减量化综合指数为 87 分(满分 100 分),其中设计阶段得分 90 分,生产阶段 88 分,施工阶段 85 分,拆除阶段 86 分。这表明装配式建筑在建筑垃圾减量化方面具有显著优势,特别是在工厂化生产和装配化施工环节表现突出。

通过对比分析发现,该项目相比传统现浇建筑可减少约 70% 的建筑垃圾产生量,其中工厂化生产环节贡献了约 40% 的减量效果,装配化施工环节贡献了约 30%,设计优化和拆除回收环节分别贡献了约 15% 和 10%。这些数据为后续项目的优化设计和施工方案提供了重要的参考依据。

六、面临的挑战与应对策略

尽管装配式建筑在建筑垃圾减量化方面展现

出显著优势,但在实际推广过程中仍面临诸多挑战。首要问题是成本控制难题,由于初期投资较大,装配式建筑的综合造价往往高于传统现浇建筑。据调查数据显示,目前装配式建筑的建造成本普遍高出 10-20%^[6],这成为阻碍其大规模应用的主要障碍。为解决这一问题,建议通过规模化生产和技术创新来降低成本。

技术瓶颈也是制约装配式建筑发展的重要因素。目前,构件连接技术、防水防渗技术等方面仍存在不足,影响了建筑的整体性能和使用寿命。对此,应加强产学研合作,开展关键技术攻关。

此外,专业人才短缺也是制约装配式建筑发展的重要因素。针对这一问题,应加强职业教育和培训体系建设,培养既懂建筑设计又熟悉工业化生产的专业人才。同时,鼓励高校开设相关课程,为企业输送高素质的人才储备。

从政策层面来看,现有的支持政策力度还需进一步加大。建议完善法律法规体系,明确装配式建筑在建筑垃圾减量化方面的责任和义务。建立健全建筑垃圾计量、分类、运输等环节的监管制度,确保相关政策的有效落实。同时,加大对建筑垃圾资源化利用的支持力度,促进形成完整的产业链条。

七、结论与展望

本研究证实,装配式建筑通过标准化设计、工厂化生产及装配化施工的协同优化,可实现约 70% 的建筑垃圾减量,其中后两个环节贡献超 60%。工厂化生产依托自动化设备(如毫米级精度的钢筋智能下料)使材料利用率达 95% 以上,装配化施工通过减少湿作业、机械化安装及干法连接技术,降低返工率 15%、粘结材料消耗 80%。

展望未来,随着 BIM、物联网等智能技术应用深化,建筑垃圾控制精度将进一步提升,叠加循环经济推动构件循环利用,减废潜力有望突破 80%。建议同步推进技术创新(如智能垃圾监测系统)、政策激励(税收与容积率奖励联动)、产业链整合及国际经验借鉴,构建“技术-政策-产业”三维驱动体系,加速装配式建筑在绿色建筑建造中的核心作用释放。

参考文献:

- [1] 李国强, 王晓东, 张伟. 装配式建筑全生命周期环境影响评价研究 [J]. 建筑科学, 2021, 37(6): 58-64.
- [2] 刘志峰, 杨思忠. 我国建筑垃圾资源化利用现状及对策分析 [J]. 资源科学, 2020, 42(8): 1495-1502.
- [3] 张宏, 孙宏伟, 王小广. 装配式建筑对建筑垃圾减量化的贡献研究 [J]. 土木工程学报, 2019, 52(S1): 112-118.
- [4] 陈国栋, 王明辉, 赵文涛. 基于 BIM 技术的装配式建筑全生命周期管理研究 [J]. 建筑结构学报, 2022, 43(5): 189-196.
- [5] 周静, 李红梅, 王建民. 装配式建筑拆除阶段资源化利用潜力研究 [J]. 环境科学与技术, 2021, 44(10): 235-242.
- [6] 黄俊, 吴志强, 林立. 装配式建筑成本控制策略研究 [J]. 建筑经济, 2020, 41(9): 78-83.