

DOI: 10.7672/sgjs2025230067

陕西地区无废工地建设体系的研究与实践*

鲁官友¹,王春博²,于丽娜³,谢 榭¹,王 伟^{4,5},段华波⁶,张 慧⁷,平 洋⁸,姚 斌^{4,5}

(1. 中建工程产业技术研究院有限公司,北京 101300; 2. 沈阳建筑大学,辽宁 沈阳 110168;
3. 生态环境部固体废物与化学品管理技术中心,北京 100029; 4. 陕西天地建设有限公司,陕西 西安 710199;
5. 陕西省煤田地质集团有限公司,陕西 西安 710021; 6. 华中科技大学,湖北 武汉 430074;
7. 武汉工程大学,湖北 武汉 430205; 8. 中国建筑第二工程局有限公司,北京 100160)

[摘要] 目前国内在建筑垃圾(固体废弃物)资源化利用方面,尚未形成系统化、标准化的无废工地建设体系。在深入调研陕西地区4种类型施工项目的基础上,系统性提出适应实际工程需求的无废工地建设理论和评价体系。其中,该建设体系主要总结、提炼无废公式和无废指数算式。评价体系涵盖源头减量、过程管理和废物处理、最终处置的全过程方案与评价标准,并设计保障体系,确保其可持续性、可操作性。该体系已在陕西地区3个试点项目中应用,并取得初步成效,为无废工地全面推广提供实践依据和理论支持。

[关键词] 建筑垃圾;资源化利用;无废工地;评价体系

[中图分类号] X799.1

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)23-0067-05

Research and Practice on Construction of a Zero-waste Construction Site in Shaanxi Region

LU Guanyou¹, WANG Chunbo², YU Lina³, XIE Xie¹, WANG Wei^{4,5}, DUAN Huabo⁶,
ZHANG Hui⁷, PING Yang⁸, YAO Bin^{4,5}

(1. China State Construction Industrial Engineering and Technology Research Institute Co., Ltd.,
Beijing 101300, China; 2. Shenyang Jianzhu University, Shenyang,
Liaoning 110168, China; 3. Solid Waste and Chemicals Management Center, Ministry of Ecology and Environment,
Beijing 100029, China; 4. Shaanxi Tiandi Construction Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710199, China;
5. Shaanxi Coal Geology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710021, China; 6. Huazhong University of Science and Technology,
Wuhan, Hubei 430074, China; 7. Wuhan Institute of Technology, Wuhan, Hubei 430205, China;
8. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Beijing 100160, China)

Abstract: At present, a systematic and standardized construction waste (solid waste) resource utilization system for zero-waste construction sites has not yet been established in China. Based on in-depth research on four types of construction projects in Shaanxi Province, a theoretical framework and evaluation system for zero-waste construction sites that meet the actual engineering needs have been systematically proposed. The construction system mainly summarizes and refines the zero-waste formula and the zero-waste index calculation formula. The evaluation system covers the entire process from source reduction, process management, waste treatment to final disposal, and includes process plans and evaluation standards. A guarantee system is also designed to ensure its sustainability and operability. This system has been applied in three pilot projects in Shaanxi Province and achieved initial results, providing practical basis and theoretical support for the comprehensive promotion of zero-waste construction sites.

Keywords: construction waste; resource utilization; zero-waste construction site; evaluation system

* 陕西省煤田地质集团有限公司重大科技专项;工程建设建筑垃圾无废化减碳技术及示范应用(SMDZ-2023ZD-19)

[作者简介] 鲁官友,教授级高级工程师,E-mail:294084607@qq.com

[收稿日期] 2025-07-18

0 引言

近年来,随着我国城市化进程快速推进、城市更新速度不断加快,产生了大量建筑垃圾,且随时间持续增加。妥善处理这些建筑垃圾,成为当前亟

待解决的重大问题,并需要实现至2027年全国无废城市建设比例达60%,到2035年全国无废城市建设全覆盖的目标。无废工地是无废城市的核心,其通过建筑垃圾源头减量、综合利用等手段,将其他不可再利用率进行无害化处理,最大程度减少建筑垃圾排放,进而实现减废降碳的目标。

针对施工过程中的建筑垃圾处理,国内专家和学者提出如下利用和控排策略。

1) 建筑垃圾利用

将建筑垃圾加工成再生产品,如将加工后的砖块、水泥、砂浆、混凝土作为骨料,通过合理的配合比将其应用于屋面保温层^[1]。将某棚户区拆迁现场中得到的建筑垃圾制备成再生黏土砖,应用于水泥稳定碎石路面基层中^[2]。将废弃渣土作为原材料,确定水泥、粉煤灰、固化剂等掺料最优配合比后,调配出性能良好的流态固化土^[3]。将从消纳场获得的废砖块、废混凝土进行破碎、筛分、二次破碎后,分成3种尺寸规格的骨料,再加入其他材料制成室外道路中的透水砖^[4]。

2) 建筑垃圾控排

项目开工前,基于可视化、信息化、智慧化手段精准模拟施工过程,避免开工后材料浪费。如利用BIM技术精准模拟建筑构件进场与安装过程,减少构件间的碰撞^[5]。基于BIM+GIS技术实现建筑垃圾全过程实时监测与智能管控,通过划分管理网格单元,对建筑垃圾进行溯源与分类运输,加强建筑垃圾处理管控机制^[6]。基于BIM技术创建建筑垃圾决策管理系统,有效控制源头^[7],精准把控建筑垃圾流向,提升建筑垃圾回收利用率。

结合国内专家学者提出的策略,以陕西地区4个施工项目为试点,开展无废工地建设,通过深入挖掘建筑垃圾固体废弃物的资源化利用方式,借助BIM技术模拟施工阶段的减废策略,最终形成评价体系,并通过了专家团队严格的论证与分析,为全国无废工地建设奠定了坚实基础。

1 政策导向

为推动和规范建筑垃圾处置行业的监管工作,

西安市陆续出台一系列相关政策法规,在综合管理方面提出完善的治理方案,使建筑垃圾处置有法可依;在运输体系方面加强整治清运企业,使其有法必依,并规范处置企业与运输车辆的市场秩序;建立完善的考核测评体系,并提供问责追究办法,做到执法必严、违法必究;提出建筑垃圾资源化利用的远景目标,共同构成建筑垃圾处置初始路径。

针对建筑垃圾资源化利用,西安市政府提出以下建议:①将拆迁垃圾与装饰装修产生的垃圾进行再生产,实现循环利用;②根据景观建设、复耕还田和土壤(地)修复等需要,对工程弃土进行再利用,根据就近原则对其他工程弃土进行调配,以满足土方工程需要。

无废工地建设中最重要的一环是实现源头减废。因此,基于陕西省政策现状,提出建筑垃圾就地利用与综合利用的实施方案,并进行相关试点应用。

2 实地调研

对陕西地区4个代表性工程进行现场调研,挖掘并记录各项目中建筑垃圾的综合利用情况,如表1所示。

4个项目根据施工现场情况采取不同的建筑垃圾资源化利用措施:①利用残余的低强度等级混凝土制作临时过梁,并将切割后的砌块用作临时挡墙,以实现施工区域临时分隔;②将基坑开挖产生的废弃土方制成防汛砂袋,用于地下车库防汛;③分类收集使用后的木模板,进行二次利用;④回收裁剪后的短钢筋,用于定位筋、马镫筋等。围绕就地利用、减少制作外运的整体思路,最大限度减少建筑垃圾的产生、排放。

3 理论体系

1) 无废化的定义和目标

无废化指通过源头减量、资源化利用和安全处置等措施,将固体废物对环境的影响降到最低,推动形成绿色环保的发展方式和生产方式。核心目标是实现固体废物的减量化、资源化、无害化,从而减少填埋量、焚烧量。

表1 代表性建设工程项目信息

Table 1 Information of representative construction projects

项目名称	项目地点	施工工艺	施工面积/m ²
陕煤地质集团草滩生活办公基地1,2号办公楼技改项目	西安市	装饰装修	66 405
渭南假日酒店装修项目	渭南市	装饰装修	27 500
延安金泰未来印项目	延安市	钢筋混凝土现浇+装配式	141 237
神木西山壹号项目	神木市	钢筋混凝土现浇	118 084

2) 减量化的定义和目标

减量化指在生产、流通、消费等过程中通过技术、管理手段减少资源消耗和废物产生,通过源头削减、过程控制和末端治理等措施,最大限度减少固体废物的产生量、排放量。

3) 无废理论体系和无废公式

无废化包括减量化、资源化、无害化方面。基于以上理论,提出无废公式,即无废化(waste-free)=减量化(minimization)+资源化(recycling)+无害化(harmless),计算如下:

$$I_{wf} = \alpha_i I_m + \beta_i I_r + \gamma_i I_h \quad (1)$$

式中: I_{wf} 表示无废指数; I_m 表示减量化指数; I_r 表示资源化指数; I_h 表示无害化指数; $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ 表示不同种类项目的调整系数。该公式及各项指数将随无废工地建设研究的深入、样本量增大,逐步完善。

4 评价体系

对陕西地区4个项目进行实地调研后,基于无废化理论,初步形成国内首套无废工地建设评价体系(包含必选指标、调整系数、得分类别)与施工现场建筑垃圾减量方案(包含源头减废目标与措施、综合利用手段、最终处置方案、保障体系构建及减废效果评估),并将该方案应用于3个实际项目中进行评估。

4.1 必选指标

即建筑垃圾排放量,根据住房和城乡建设部《关于推进建筑垃圾减量化的指导意见》(建质[2020]46号),新建建筑施工现场建筑垃圾(不包括工程渣土、工程泥浆)排放量应 $\leq 300t/万 m^2$,装配式建筑施工现场建筑垃圾(不包括工程渣土、工程泥浆)排放量应 $\leq 200t/万 m^2$ 。

4.2 调整系数

参照《注册建造师执业工程规模标准》(建市[2007]171号),将建筑工程项目和市政工程项目按照建筑规模,分为大型、中型、小型,调整指标分值分别乘以减废难度系数0.9,1.0,1.1。

4.3 得分类别

1) 源头减废措施(20分)

是否有施工现场建筑垃圾减量化专项方案。建筑单位是否明确建筑垃圾减量化的目标及其措施,并纳入招标文件和合同文本,是否将建筑垃圾减量化措施费纳入工程概算。设计文件中是否包含建筑垃圾再生产品设计等内容及其减量化具体措施。

2) 建筑垃圾综合利用(45分)

根据建筑垃圾综合利用率、资源化利用率、就地利用率、就近利用率、现场分类利用和处置率,将

建筑垃圾进行再生,应用于施工现场。

3) 建筑垃圾的排放或处置(15分)

包含无机非金属类、金属类、木材类、塑料类、其他类建筑垃圾固体废弃物的排放处置方式,以及扬尘控制与监测。

4) 施工现场保障能力(5分)

施工单位的管理组织机构、技术管理制度、实施管理制度、监督管理制度和处置管理制度是否完善;施工单位留存的现场垃圾分类、处置和应用的相关记录及影像资料保存是否完好;是否设置建筑垃圾减量宣传。

5) 减废统计情况(15分)

施工单位是否在大门及相关区域分类称重并记录出场建筑垃圾;工地大门是否按消纳合同对建筑垃圾进行公示处置;综合利用率、资源化利用率的相关统计计算资料是否按规定统计并归档;减废统计是否增加云平台、区块链、人工智能等信息和智能手段;施工现场碳排放的核查与统计以及减碳方案是否能取得完整运行数据。

5 试点应用

5.1 试点选取

选取西安市陕煤地质集团草滩生活办公基地1,2号办公楼技改项目(装修装饰工程)、神木西山壹号项目(新建建筑)、西安市鱼化嘉苑项目施工总承包-标段(新建建筑)作为试点项目,并依据该体系进行逐项评分。

5.2 减废手段

采用可周转的临时措施,如临时防护、钢板网等,既能提高周转率,还避免资源浪费。

推行无电化充电工具、移动充电电箱及移动充电焊机,以减少现场临电投入,提高工效。

采用铝合金模板+独立支撑体系作为地上模板支撑架标准层,以减少模板、木方垃圾的产生(见图1)。通过废旧木方接长(见图2),提高木方利用率。框架柱采用可周转的方圆柱箍(见图3)、梁侧采用梁夹具进行紧固,减少废旧螺杆的产生。



图1 模板支撑体系调整

Fig. 1 Adjustment of the formwork support system



图2 废旧木方接长

Fig. 2 Extension of waste wood planks

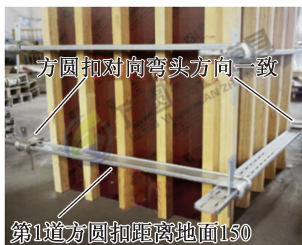


图3 梁柱模板紧固件

Fig. 3 Fasteners for beam and column formwork

将钢筋余料再加工成定位筋、后浇带拦截混凝土网片钢筋及加固钢筋、吊模支撑、架底支撑等。将混凝土余料制成用于地下室外墙后浇带的预制盖板、二次结构中的预制过梁、预制砌体填充墙顶部的三角块等。结合实际情况规划现场,将后开挖且质量合格的素土晾晒后用于肥槽回填。

采取永临结合措施,如将现场临时道路、钢筋加工区场地硬化等用于地下车库永久垫层,将室内临时消防等用于正式消防使用。

5.3 减废效果

试点项目信息与得分情况如表2,3所示。

表2 3个试点项目最终排放量与评价得分

Table 2 Final emissions and evaluation scores of the 3 pilot projects

项目名称	施工工艺	工程面积/m ²	排放量/(t·m ⁻²)	评价星级
陕煤地质集团草滩生活办公基地 1,2号办公楼技改项目	装饰装修	66 404.90	1 100 000	二星级
神木西山壹号项目	钢筋混凝土现浇	118 083.74	2 290 000	一星级
鱼化嘉苑项目	钢筋混凝土现浇+装配式	127 306.13	890 000	二星级

表3 评价体系得分

Table 3 Scores of the evaluation system

项目名称	得分类别					总分 (未加权)	调整 系数	总分
	源头减废 (20%)	综合利用 (45%)	排放处置 (15%)	保障能力 (5%)	减废统计 (15%)			
陕煤地质集团草滩生活办公 基地1,2号办公楼技改项目	20	33.0	14	5	3	75.0	0.9	67.50
神木西山壹号项目	12	39.3	15	5	12	83.3	0.9	74.97
鱼化嘉苑项目	18	33.0	15	4	11	81.0	0.9	72.90

1)神木西山壹号项目包含整个小区的土建工程与水、暖、电安装工程,且基础、主体、屋盖结构全面采用现浇钢筋混凝土。其单位面积建筑垃圾排放量是陕煤地质集团草滩生活办公基地1,2号办公楼技改项目的2.08倍。

2)对比神木西山壹号与鱼化嘉苑试点项目可知,采用装配式施工工艺能大幅减少建筑垃圾排放量。因为装配式结构在构件预制时可精准把控尺寸,缩小误差,有效减少混凝土、钢筋等材料的残余量,且使用预制构件还可减少施工现场模板的使用量。

3)试点项目中,建筑垃圾的综合利用率、资源化利用率与就地利用率得分(三者均为属于综合利用方面)还有待提高,后续需找寻更优的建筑垃圾利用方式,提高建筑垃圾综合利用率。

6 结语

1)建筑垃圾资源化利用不仅局限于再生产品制作,还可用于施工现场,如将钢筋余料用于定位钢筋、马镫筋、其他构造措施钢筋,将混凝土余料用于外墙后浇带预制盖板、顶部三角块等非受力部位,将木方废料进行接长再利用。

2)大量使用可周转措施,可有效避免资源浪费,且提升施工效率。使用钢制梁柱模板、紧固件既可减少木方废料产生,也可通过优化模板支撑体系节约模板用量,且钢制模板使用后还可进行多次周转。

3)采取永临结合方式,如将施工临建道路用作日后行车道(人行道)、临时水电用作日后水电网与正式消防管道。提前安装地下室水泵,可作为排出地下室积水的主要措施。

4)通过对比试点项目可知,提高新建建筑施工中的装配式工艺占比,可有效减少建筑垃圾固体废弃物的产生,且缩短工期、提升效率。

综上所述,无废工地并不是完全没有建筑垃圾的产生,也不是完全利用建筑垃圾,而是充分发挥不同种类建筑垃圾的性能,使其成为可利用的资源,减少建筑垃圾排放量。因此依据试点工作结果来看,该套体系可行性高、适应性强。未来将不断选取更多种类的工程项目进行试点应用,实现施工现场建筑垃圾减量化、资源化、无害化、循环化、系统化、标准化、规范化的“七化合一”。应不断汲取经验完善体系,稳步推进无废工地建设,助力绿色低碳循环发展,为实现无废城市远景目标贡献力量。

参考文献:

[1] 唐俊. 建筑垃圾再生骨料泡沫混凝土屋面保温技术研究[J]. 江西建材, 2023(12):73-75,80.

TANG J. Research on roof insulation technology of construction waste recycled aggregate foamed concrete [J]. Jiangxi building materials, 2023(12):73-75,80.

[2] 易超,农宇. 建筑垃圾再生黏土砖骨料用于水泥稳定碎石路面基层的可行性研究[J]. 西部交通科技, 2023(9):35-37,45.

YI C, NONG Y. Feasibility study on recycled clay brick aggregate from construction waste used in cement stabilized macadam pavement base [J]. Western China communications science & technology, 2023(9):35-37,45.

[3] 朱龙飞,徐云飞,王国宇,等. 建筑垃圾渣土制备流态固化土及其性能研究[J]. 市政技术,2023,41(5):246-250,255.

ZHU L F, XU Y F, WANG G Y, et al. Study on preparation of fluidized solidified soil by construction waste residue and its properties[J]. Journal of municipal technology, 2023, 41(5):246-250, 255.

[4] 唐映红. 利用建筑垃圾制备透水砖的研究[J]. 再生资源与循环经济, 2023, 16(11):48-50.

TANG Y H. Study on preparation of permeable brick from construction waste [J]. Recyclable resources and circular economy, 2023, 16(11):48-50.

[5] 程荣. 基于 BIM 的施工阶段建筑垃圾减量化优化方法研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(3):225-227.

CHENG R. Research on optimization method of construction waste reduction in construction stage based on BIM [J]. Engineering and technological research, 2024, 9(3):225-227.

[6] 王宁,楼岱,陈大庆,等. 基于“BIM+GIS”技术的建筑垃圾精准管控信息管理平台研究初探[J]. 环境工程, 2020, 38(3):46-50.

WANG N, LOU D, CHEN D Q, et al. Preliminary study on integration control platform of construction waste based on “BIM+GIS” technology [J]. Environmental engineering, 2020, 38(3):46-50.

[7] 罗春燕. 基于 BIM 的拟拆除建筑垃圾决策管理系统研究[D]. 重庆:重庆大学, 2015.

LUO C Y. Research on decision-making management system for demolished building waste based on BIM [D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.