



# “无废城市”建设策略探讨——以聊城市一般工业固体废物管理为例

牛国帅<sup>1</sup>, 郭玉洁<sup>2</sup>, 许金超<sup>2</sup>, 李金惠<sup>1</sup>, 董庆银<sup>1,✉</sup>

1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 聊城市生态环境局, 聊城 252004

**摘要** 我国“无废城市”建设开始由试点向全国范围推广, 由于长期发展不均衡, 不同地区的经济发展水平和产业结构存在较大差异, 探索不同类型地区的“无废城市”推进策略十分必要。分析了聊城市近年来一般工业固体废物的产生和利用处置现状, 总结聊城市已开展的相关工作及取得的成效, 识别出聊城市一般工业固体废物管理存在合力不足、产废强度大、赤泥利用困难等难题, 进而提出聊城市一般工业固体废物管理策略。建议一是提升精细化管理能力, 进一步加强产生者责任, 制定实施考核标准, 推进信息化建设; 二是推动源头减量, 持续推进工业绿色发展, 优化能源结构, 开展重点行业清洁化改造, 培育引进新兴产业; 三是提升利用处置能力, 加强赤泥技术研发, 积极引进综合利用项目, 鼓励重点企业开展示范项目建设; 四是不断完善配套政策措施, 多渠道加强资金支持, 加强宣传教育, 提升企业一般工业固体废物管理水平。上述措施可为其他处于经济欠发达状态的城市提升一般工业固体废物管理水平和全国次第推进“无废城市”建设提供参考。

**关键词** 无废城市; 一般工业固体废物; 赤泥; 推进策略

“无废城市”建设是实现我国碳达峰、碳中和总体战略的重要举措。在总结“11+5”“无废城市”建设试点经验基础上, 2021 年 12 月 15 日, 生态环境部等 18 部委联合印发《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》, 提出“十四五”时期要推动 100 个左右地级以上城市开展“无废城市”建设<sup>[1]</sup>。2022 年 4 月, 生态环境部印发《关于发布“十四五”时期“无废城市”建设名单的通知》, 明确“十四五”时期在我国 113 个地级及以上城市和 8 个特殊地区开展“无废城市”建设<sup>[2]</sup>, 范围涵盖 31 个省、自治区、直辖市。此外, 浙江、河南、吉林等 19 个省份印发省级方案, 积极推进全域“无废城市”建设<sup>[3]</sup>, 我国“无废城市”建设开始由试点向全国范围推广。

一般工业固体废物在我国固体废物产生量占比最高, 一直是固体废物管理的重点领域<sup>[4]</sup>。随着工业化水平的迅速提高, 我国一般工业固体废物产生量从 2012 年的  $32.9 \times 10^8$  t 增加至 2022 年的  $41.1 \times 10^8$  t<sup>[5]</sup>。由于工业危险废物危害性较强, 国家对危险废物进行严格全面的监管, 但一般工业固废的管理体系还有待进一步完善<sup>[6]</sup>, 非法倾倒、填埋等环境违法行为时有发生。2022 年, 四川省某公司将未经处理的工业压滤污泥转运至重庆市进行非法倾倒和填埋, 造成严重的环境污染<sup>[7]</sup>。此外, 加快工业绿色低碳发展, 降低工业固体废物处置压力是“十四五”时期“无废城市”建设重点任务之一<sup>[1]</sup>。因此, 加强一般工业固体废物管理, 对“无废城市”建设具有重要意义<sup>[8]</sup>。

由于我国长期发展不均衡, 不同地区的经济发展水平、产业结构、资源赋存等方面存在较大差异, 探索不同类型地区的“无废城市”建设策略, 是深化推进“无废城市”建设的必要举措。受资源禀赋、发展基础等因素制约, 聊城市面临人口多、底子薄、经济总量小、产业基础弱等问题, 尚处于属于欠发达状态<sup>[9]</sup>。截至 2023 年末, 聊城市常住人口  $585.93 \times 10^4$  人, 城镇化率 55.8%, 全年实现生产总值  $2926.36 \times 10^8$  元, 位居山东省第 14 位, 经济结构较为传统, 以重化工业为主, 铜、铝及其制品加工业、化工产品以及新能源产业是其支柱产业, 轻重工业之比为 27.8: 72.2。2022 年 4 月, 聊城市入选《“十四五”时期“无废城市”建设名

收稿日期: 2024-05-29 录用日期: 2024-08-21

第一作者: 牛国帅 (1995—), 男, 硕士, 工程师, 398705038@qq.com ✉通信作者: 董庆银 (1984—), 男, 硕士, 高级工程师, dongqingyin@tsinghua.edu.cn

单》，围绕工业、农业、生活等领域开展积极探索，实施多项改革措施并取得初步成效。本文探讨聊城市的一般工业固体废物管理策略，有助于理清固体废物管理思路，推动“无废城市”建设，同时为其他处于欠发达状态城市的“无废城市”建设推进和一般工业固体废物管理提供有益借鉴。

关于“无废城市”建设和一般工业固体废物管理策略，国内外已经开展了一系列研究。国际学者们的研究集中在“无废城市”推进策略<sup>[10-13]</sup>和城市案例方面<sup>[14-22]</sup>，随着我国“无废城市”建设的开始和不断深入，国内学者也围绕“无废城市”建设展开了研究。杜祥琬等<sup>[23]</sup>首先提出了我国建设“无废社会”的意义和战略建议。在此基础上，部分学者通过总结国外“无废城市”建设先进经验和工作亮点，探析我国“无废城市”建设的推进策略和实现路径<sup>[24-30]</sup>。张冰洁等<sup>[8]</sup>通过梳理近年来我国一般工业固体废物的产生和利用现状，识别相应问题，提出在“美丽中国”和“无废城市”背景下一般工业固体废物管理的新策略。王雪雪等<sup>[31]</sup>则提出了“无废城市”建设期间我国工业固体废物管理体系构建原则、方法和主要内容。围绕“无废城市”建设和一般工业固体废物管理，现有研究大都是以我国整体为研究对象，没有考虑到区域发展不均衡对“无废城市”建设的影响。本研究以聊城市为例，通过对比典型城市，分析近 5 年聊城市一般工业固体废物的产生和利用处置情况，梳理已有工作基础，识别聊城市一般工业固体废物管理存在的问题，进而提出聊城市做好一般工业固体废物管理，推进“无废城市”建设的策略，为其他处于欠发达状态城市加强一般工业固体废物管理和推进“无废城市”建设提供重要参考。

## 1 聊城市一般工业固体废物管理现状

### 1.1 产生现状

从一般工业固体废物产生量和产生强度来看(图 1)，2019—2023 年聊城市一般工业固体废物呈波动下降趋势，一般工业固体废物产生量由 2019 年的  $2\,226.21 \times 10^4$  t 下降至 2023 年的  $2\,158.8 \times 10^4$  t，下降幅度为 3.02%。一般工业固体废物产生强度基本呈逐年下降趋势，从 2019 年的  $3.22 \text{ t} \cdot 10^4 \text{ 元}^{-1}$  降至 2023 年的  $2.32 \text{ t} \cdot 10^4 \text{ 元}^{-1}$ ，但仍然处于较高水平，以 2022 年为例，聊城市一般工业固体废物产生强度远高于全国和其他典型地区(表 1)。

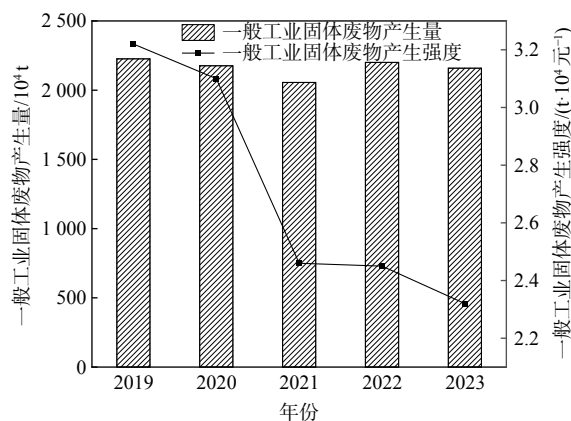
从产生类别来看(图 2)，聊城市能源结构以煤炭为主，非化石能源消费占比仅约 6%<sup>[32]</sup>，产业结构以重化工为主，铜、铝等工业较为发达，固体废物产生类别呈现相应特点。2023 年聊城市一般工业固体废物主要有 5 类，分别为粉煤灰、赤泥、脱硫石膏、电石渣和炉渣，产生量合计为  $1\,767.5 \times 10^4$  t，占一般工业固体废物产生总量的 81.8%。

2023 年聊城市一般工业固体废物产生来源主要集中于电力、热力和生产供应业、有色金属冶炼和压延加工业、化学原料和化学制品制造业，3 大行业一般工业固体废物产生量达  $1\,962.34 \times 10^4$  t，占产生总量的 90.9% (图 3)。

### 1.2 利用处置现状

近 5 年来，聊城市一般工业固体废物综合利用率呈上涨趋势，2023 年聊城市一般工业固体废物综合利用量为  $1\,626.85 \times 10^4$  t，综合利用率为 75.36% (图 4)。

2023 年在聊城市主要一般工业固体废物类别



注：数据来源于2019—2023年度聊城市固体废物污染环境防治信息。

图 1 2019—2023 年聊城市一般工业固体废物产生量及产生强度

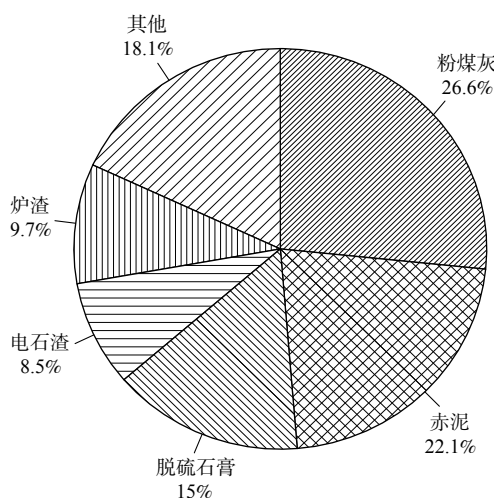
Fig. 1 Generation and intensity of general industrial solid waste in Liaocheng from 2019 to 2023

表 1 2022 年聊城市与典型城市/地区一般工业固体废物产生强度对比

Table 1 Comparison of general industrial solid waste generation intensity in Liaocheng and other cities/regions in 2022

区域	一般工业固体废物产生量/ $10^4$ t	工业增加值/ $10^8$ 元	产生强度/ $(\text{t} \cdot 10^4 \text{ 元}^{-1})$
聊城市	2 200.6	897.07	2.45
青岛市	935.34	3 966.45	0.23
山东省	25 787	29 191.2	0.88
北京市	171.44	5 036.4	0.03
全国	411 371	399 103	1.03

注：数据来源于各省市2022年固体废物污染环境防治信息和国家统计局官网。



注：数据来源于聊城市2023年度固体废物污染防治信息。

图2 2023年聊城市一般工业固体废物产生类别

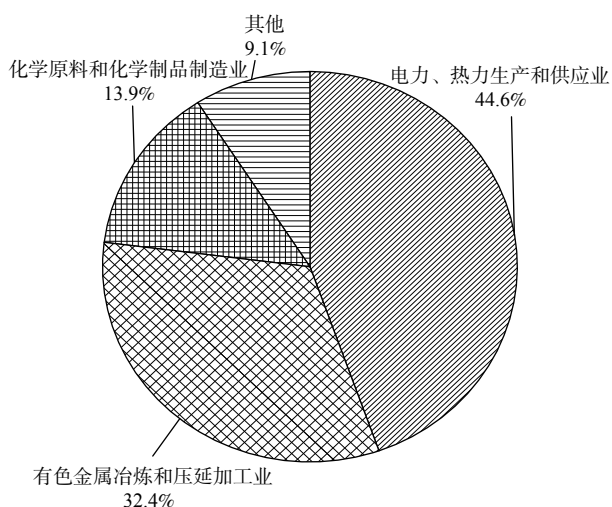
Fig. 2 Generation categories of general industrial solid waste in Liaocheng of 2023

中，粉煤灰、脱硫石膏、电石渣、炉渣的综合利用率均在95%以上，得到充分综合利用。粉煤灰、脱硫石膏、电石渣、炉渣主要用作生产建筑材料，赤泥的回收利用较差，目前尚无有效综合利用途径(表2)。

## 2 聊城市一般工业固体废物管理已开展的工作及成效

1) 加强工作机制建设。聊城市已成立市委书记、市长任双组长的“无废城市”建设工作领导小组，全面统筹协调“无废城市”建设各项工作。组建由市工业和信息化局牵头，生态环境、发改、科技、建筑、商务等多部门共同参与的工业绿色发展专班，初步建立了协同分工机制，加强工业固体废物的全过程管理。

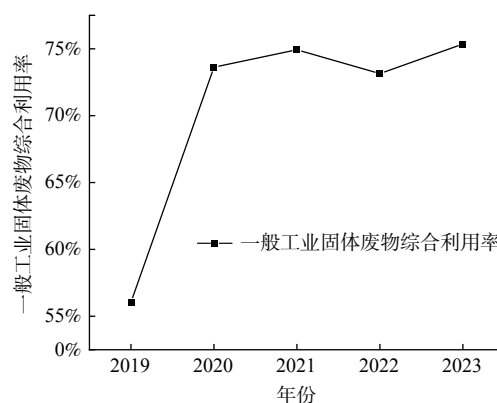
2) 加快产业结构绿色转型。出台年度依法依规推动落后产能退出工作方案，加快淘汰涉固体废物产生的落后产能和落后工艺。实施产业链提升行动，围绕绿色化工、农副产品加工、农机及高端装备等20条重点产业链，精准绘制产业链图谱，推进2023年100个制造业强链延链补链项目，5个产业入选国家和省优质特色产业集群，新增规模以上优质企业317家，规模以上工业增加值增长8.9%<sup>[33]</sup>。持续推进技改升级，制定《聊城市传统产业技改升级行动计划(2023—2025年)》，加快传统产业改造提升，深入推进新旧动能转换，2023年实施500×10<sup>4</sup>元以上工业技改项目795个，技改投资增长10%<sup>[34]</sup>。



注：数据来源于聊城市2023年度固体废物污染防治信息。

图3 2023年聊城市一般工业固体废物产生行业分布

Fig. 3 Distribution of general industrial solid waste generation industries in Liaocheng of 2023



注：数据来源于2019—2023年度聊城市固体废物污染环境防治信息。

图4 2019-2023年聊城市一般工业固体废物综合利用率

Fig. 4 Comprehensive utilization rate of general industrial solid waste in Liaocheng from 2019 to 2023

表2 2023年聊城市主要一般工业固体废物综合利用情况  
Table 2 Comprehensive utilization of major general industrial solid waste in Liaocheng in 2023

废物类别	产生量/ 10 <sup>4</sup> t	综合利用量/ 10 <sup>4</sup> t	综合利用率/ %	处置量/ 10 <sup>4</sup> t
粉煤灰	574.58	569.23	99.06	0.03
赤泥	476.64	0	0	0
脱硫石膏	323.3	319.21	98.73	2.65
炉渣	208.68	201.66	96.63	5.9
电石渣	184.3	184.3	100	0

注：数据来源于聊城市2023年度固体废物污染防治信息。



3) 推进绿色制造体系建设。积极开展工业绿色诊断, 印发《聊城市工业绿色诊断补贴资金管理细则(试行)》, 对符合条件的企业一次性最高补贴资金  $4 \times 10^4$  元、园区  $20 \times 10^4$  元。2023 年组织 3 家园区、21 家企业开展工业绿色诊断, 梳理出 105 个绿色化技术改造项目建设, 挖掘绿色化改造项目 189 个, 项目实施后预计年可节约标煤  $12.43 \times 10^4$  t, 减少碳排放约  $27.11 \times 10^4$  t<sup>[35]</sup>。持续推动绿色化技术改造, 大力推广节能、节水、资源综合利用先进适用技术 120 项, 鼓励企业节能降耗、降本增效、提高资源综合利用率, 2023 年全市实施绿色化技改示范项目 39 个, 完成投资约  $17 \times 10^8$  元<sup>[36]</sup>。

4) 推动工业固体废物综合利用。拓宽一般工业固废利用渠道, 突破造纸污泥制砖的单一途径, 引进制作有机肥、土壤改良剂、新型建材等技术工艺, 推动临清市的山东省阳露新型建材有限公司利用银河公司造纸生产过程中产生的污泥、白泥等工业固体废物, 生产新型纤维增强硅酸钙板材料, 项目投产后可年利用污泥  $2.5 \times 10^4$  t<sup>[37]</sup>。重点推动赤泥综合利用, 引导赤泥综合利用技术交流和招商对接, 信发华宇氧化铝有限公司与四川省川机工程技术有限公司签约赤泥综合利用中试建设项目, 投产后可消纳赤泥  $100 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ <sup>[38]</sup>。

### 3 聊城市一般工业固体废物管理问题识别

#### 3.1 问题识别方法

本文对近年来聊城市一般工业固体废物统计数据进行趋势分析和横向对比, 系统分析了一般工业固体废物的产生和利用处置情况, 结合聊城市围绕一般工业固废开展的工作和成效, 识别出聊城市一般工业固体废物管理存在的问题。同时通过与当地相关部门和企业进行座谈交流, 进一步了解一般工业固体废物管理过程中存在的难点和不足。

#### 3.2 聊城市一般工业固体废物管理存在的问题

1) 一般工业固体废物管理未形成有效合力。聊城市以“无废城市”建设为契机, 初步建立了涉及多部门的一般工业固体废物管理协调机制, 但在机制运行过程中仍存在信息沟通不畅、职责不清等问题, 影响正常工作开展。数字化手段有待加强, 不同部门之间的工作调度信息和相关统计数据以文件和表格形式流转为主, 难以充分发挥监管合力。一般工业固体废物信息化管理处于起步阶段, 全过程环境监管尚存在薄弱环节, 未实现全过程精细化管理。

2) 一般工业固体废物产生强度大。近年来, 聊城市采取多种措施推动一般工业固体废物源头减量, 并取得一定进展。但其一直以来产业结构偏重, 铝等有色金属、钢铁、化工、煤电等传统产业仍占据主导地位, 发展方式较为粗放, 总体耗能强度大、产废强度高, 聊城市一般工业固体废物产生强度远大于山东省和全国水平, 源头减量压力仍然较大。

3) 赤泥综合利用亟待突破。2023 年聊城市赤泥产生量  $476.64 \times 10^4$  t, 占比超过产生总量的 1/5, 粉煤灰、脱硫石膏、电石渣、炉渣等主要一般工业固体废物得到了充分综合利用, 受本身强碱性、低金属和高放射等特点影响, 赤泥利用成本高, 经济效益差, 综合利用尚存在技术瓶颈, 难以实现大规模综合利用。聊城市近年来持续推动赤泥综合利用技术研发和项目建设, 并取得初步进展, 但目前仍以贮存为主, 管理费用较高, 占用大量土地的同时提高了企业生产运营成本, 不利于相关产业的可持续发展。

### 4 聊城市加强一般工业固体废物管理的策略与建议

做好一般工业固体废物全过程管理是“无废城市”建设的重要一环, 作为国家“十四五”时期“无废城市”建设城市, 聊城市政府部门必然将加强对一般工业固体废物管理的重视程度, 这有利于促进政策、资金、技术等要素聚集, 为聊城市全面提升一般工业固体废物管理水平提供了良好契机。同时也应该注意到聊城市经济发展水平较低, 产业结构偏重, 长期以来较为粗放的发展方式尚未根本转变, 产废强度仍然较高, 未来一般工业固体废物管理仍面临较大压力, 基于此提出以下建议:

1) 提高精细化管理水平。“十四五”期间, 依托聊城市“无废城市”建设, 进一步梳理一般工业固体废物产生、利用、处置等环节管理职责, 厘清相关部门责任, 打通管理堵点, 到 2025 年建成管理无漏洞、职责不缺失的一般工业固体废物管理机制。打造工业固体废物信息化管理系统, 明确产生单位申报责任, 加强一般工业固废产生、转运、利用处置数据统计, 切实掌握一般工业固体废物的收集、转运、利用、处置情况, 到 2025 年大宗工业固体废物全部实现网上申报登记。充分运用数字平台实现日常工作调度、数据报送、智

能评估等功能,着力打通各部门之间的信息壁垒和合作障碍,到2030年实现监管“一张网”,切实提升管理效能。发挥考核“指挥棒”作用,制定科学有效的绩效考核标准,建立考核体系运行保障机制,倒逼各相关部门加强责任担当,确保各项政策措施落实。

2) 持续推动工业绿色低碳转型。“十四五”期间,持续实施煤电清洁改造,在确保煤炭兜底作用前提下,淘汰低效落后产能,全面关停不达标燃煤机组,实施技术改造,降低粉煤灰、脱硫石膏等固体废物排放量,到2025年煤炭消费比重降至80%以下。大力发展太阳能光伏、风能、生物质能等清洁能源,逐步扭转聊城市偏煤的能源消耗结构,建成清洁低碳的现代能源体系,到2035年煤炭消费比重下降至60%左右。纵深推进产业结构调整,推动钢铁、地炼、水泥、化工等高耗能高排放行业落后产能逐步淘汰和退出,严格控制新(改、扩)建固体废物产生量大、区域无法实现规模资源化综合利用和安全处置的项目,“十四五”时期末一般工业固体废物产生强度下降至3.0 t每1万元左右。有序推进有色金属冶炼和压延加工、电力、热力生产和供应以及化学原料和化学品制造等重点行业生产流程清洁化、低碳化改造,确保2030年前工业领域绿色低碳发展取得显著成效,实现碳达峰目标。积极培育引进新兴产业,推动本地电解铝、氧化铝、轴承等传统产业向高端化、智能化、绿色化转型,依托本地产业基础,积极引进电子信息制造、软件、人工智能等产业集群,到2035年,产业结构明显优化,初步建成现代化工业体系。

3) 提升利用处置能力。“十四五”期间,积极引进赤泥综合利用相关项目,逐步提升赤泥综合利用水平。推广综合利用先进技术,引导信发集团等产废重点企业开展大宗工业固体废物综合利用示范项目建设,2025年大宗工业固体废物(不包含赤泥)综合利用率达到100%。加强技术研发,支持信发集团等赤泥主要产生企业与高校和科研院所共建研发平台,着力攻克赤泥大规模消纳技术瓶颈,力争2030年突破赤泥大规模资源化利用难题。

4) 加强保障体系建设。依托聊城市“无废城市”建设,不断完善一般工业固体废物源头减量、资源化利用、无害化处置全过程管理政策措施,持续推进一般工业固体废物管理制度体系建设,提升综合管理能力。拓宽资金渠道,积极与上级部门沟通对接,争取省、中央的政策资金支持,支付符合条件的项目申请绿色信贷和发行绿色债券,加强政、银、企信息对接,引导和鼓励社会资本投入力度,确保一般工业固体废物利用和处置项目落地落实。强化宣传教育,深入工业企业宣传相关法律法规和专业知识,帮扶企业提升内部一般工业固体废物管理能力,助力“无废城市”建设。

## 5 结论

一般工业固体废物管理是推进“十四五”时期“无废城市”建设的重要内容,也是实现减污降碳协同增效的关键之一。聊城市目前尚处于欠发达状态,经济基础较为薄弱,能源结构偏煤,主导产业普遍倚重倚能。一般工业固体废物产生量大,产生强度显著高于全国和北京市、山东省、青岛市等典型地区平均水平,管理存在薄弱环节。聊城市应以“无废城市”建设为重要抓手,提升一般工业固体废物管理水平。

要加强一般工业固体废物精细化管理,进一步优化管理机制,明确责任分工。提升数字化水平,促进多部门之间的信息沟通。严格制定落实考核标准,推进各项工作落实;要持续推进工业绿色低碳发展,逐步扭转偏煤的能源结构,构建现代化清洁能源体系。加快产业结构转型,淘汰高排放行业落后产能,对重点行业进行清洁化技术改造。积极培育引进新兴产业,打造现代化高端产业集群;要加强利用处置能力建设,支持重点企业加大技术投入并积极开展项目引进,解决赤泥等一般工业固体废物综合利用难题。引导产废重点企业开展示范项目建设,推广工业固废综合利用典型模式;要提升保障能力,完善相关政策配套体系,提升综合管理能力。多渠道加强资金支持,积极申请上级财政资金,支持符合条件企业申请绿色信贷,引导社会资本加大投入,保障工程项目顺利开展。要通过多种形式开展宣传教育,提升企业一般工业固体废物管理意识和能力。

## 参考文献

- [1] 生态环境部办公厅. 关于印发《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》的通知(环固体〔2021〕114号)[EB/OL]. (2021-12-15). [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202112/t20211215\\_964275.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202112/t20211215_964275.html).2021.
- [2] 生态环境部办公厅. 关于发布“十四五”时期“无废城市”建设名单的通知(环办固体函〔2022〕164号)[EB/OL]. (2022-4-24). [https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202204/t20220425\\_975920.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202204/t20220425_975920.html).2022.

- [3] 郭伊均. 持续深化“无废城市”建设[J]. 时事报告, 2024(7): 30-31.
- [4] 牟思宇, 谢宇斌, 杨箫滢. 我国固体废物利用处置现状与对策研究[J]. 有色金属(冶炼部分), 2023(9): 1-10.
- [5] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [6] 姚婷, 曹霞, 吴朝阳. 一般工业固体废物治理及资源化利用研究[J]. 经济问题, 2019(9): 53-61.
- [7] 光明网. 利剑出鞘!2022 年以来全国共侦办污染环境刑事案件 3100 百余起[EB/OL]. (2023-6-5). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1767836778450601239&wfr=spider&for=pc.2023>.
- [8] 张冰洁, 宋鑫, 王恒广, 等. 基于“无废城市”建设的工业固体废物管理新策略[J]. 环境工程学报, 2022, 16(3): 732-737.
- [9] 聊城市人民政府. 媒体解读: 搭乘鲁西崛起之东风, 推动聊城经济高质量发展[EB/OL]. (2023-8-26). [http://www.liaocheng.gov.cn/channel\\_l\\_lcsrmzfczjd\\_xwfbjd7368/doc\\_658d297d7815d44b4dc01317.html.2023](http://www.liaocheng.gov.cn/channel_l_lcsrmzfczjd_xwfbjd7368/doc_658d297d7815d44b4dc01317.html.2023).
- [10] ZAMAN A U, LEHMAN S. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a ‘zero waste city’[J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 50: 123-132.
- [11] Seyed mohammadali molayzahedi, Mohammad-Ali-Abdoli. A new sustainable approach to integrated solid waste management in Shiraz, Iran[J]. Pollution, 2022, 8(1): 303-314.
- [12] ROMEL M, KABIR G, NG K T W. Analysis of barriers to photovoltaic waste management to achieve net-zero goal of Canada[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(36): 85772-85791.
- [13] HANNON J, ZAMAN A U. Exploring the phenomenon of zero waste and future cities[J]. Urban science, 2018, 2(3): 90-90.
- [14] YAMAN C, ANIL I, ALAGHA O. Potential for greenhouse gas reduction and energy recovery from MSW through different waste management technologies[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 264: 121432.
- [15] WUNSCH C, TSYBINA A. Municipal solid waste management in Russia: potentials of climate change mitigation[J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2021, 19: 27-42.
- [16] MOGHADAM M A, FEIZI R, FARD, M P, et al. Estimating greenhouse emissions from sanitary landfills using Land-GEM and IPCC model based on realistic scenarios of different urban areas: a case study of Iran[J]. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 2021, 19: 819-830.
- [17] CHUENWONG K, WANGJIRANIRAN W, PONGTHANAIASAWAN J, et al. Municipal solid waste management for reaching net-zero emissions in ASEAN tourism twin cities: A case study of Nan and Luang Prabang[J]. Heliyon, 2022, 8: e10295.
- [18] MATETE N, TROIS C. Towards zero waste in emerging countries-A South African experience[J]. Waste Management, 2008, 28(8): 1480-1492.
- [19] COLE C, OSMANI M, QUDDUS M, et al. Towards a zero waste strategy for an English local authority[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2014, 89: 64-75.
- [20] FUJITA K, HILL R C. The zero waste city: Tokyo's quest for a sustainable environment[J]. 2007, 9(4): 405-425. 修改.
- [21] SNYMAN J, VORSTER K. Towards zero waste: a case study in the City of Tshwane[J]. Waste management & research, 2011, 29(5): 512-520.
- [22] PREMALATHA M, TAUSEEF S, ABBASI T, et al. The promise and the performance of the world's first two zero carbon eco-cities[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 25: 660-669.
- [23] 杜祥琬, 刘晓龙, 葛琴, 等. 通过“无废城市”试点推动固体废物资源化利用, 建设“无废社会”战略初探[J]. 中国工程科学, 2017, 19(4): 119-123.
- [24] 陈瑛, 滕婧杰, 赵娜娜, 等. “无废城市”试点建设的内涵、目标和建设路径[J]. 环境保护, 2019, 47(9): 21-25.
- [25] 郭志达, 白远洋. “无废城市”建设模式与实现路径[J]. 环境保护, 2019, 47(11): 29-32.
- [26] 崔佳莹, 董庆银, 李金惠, 等. 美国“无废”建设管理机制与经验研究[J]. 环境污染与防治, 2022, 44(3): 403-408.
- [27] 周宏春. 加强“无废城市”建设的产业链管理[J]. 山东经济战略研究, 2019(7): 48-52.
- [28] 张占仓, 盛广耀, 李金惠, 等. 无废城市建设: 新理念 新模式 新方向[J]. 区域经济评论, 2019(3): 84-95.
- [29] 邱启文, 温雪峰. 赴日本执行“无废城市”建设经验交流任务的调研报告[J]. 环境保护, 2020, 48(Z1): 57-60.
- [30] 齐晔, 朱梦曳, 刘天乐, 等. 落实“无废社会”战略 推进美丽中国建设[J]. 环境保护, 2020, 48(19): 52-56.
- [31] 王雪雪, 祁诗月, 胡俊, 等. “无废城市”建设期间工业固体废物管理体系构建[J]. 环境工程学报, 2023, 17(12): 3811-3816.
- [32] 聊城市发展改革委员会. 《聊城市实施能源结构调整攻坚行动》简明问答[EB/OL]. (2022-9-16). [http://fgw.liaocheng.gov.cn/channel\\_lc\\_sfgwytd8676/doc\\_6448f742391004f8b9ee099b.html.2022](http://fgw.liaocheng.gov.cn/channel_lc_sfgwytd8676/doc_6448f742391004f8b9ee099b.html.2022).
- [33] 闪电新闻. 两会进行时| 2023 年聊城新增省级以上优质企业 317 家, 规模以上工业增加值增长 8.9%[EB/OL]. (2024-1-12). <http://renda.liaocheng.gov.cn/18rdh4/news/2024-01-12/3593.html.2024>.
- [34] 聊城市人民政府. 2024 年聊城市人民政府工作报告[EB/OL]. (2024-1-19). [http://www.liaocheng.gov.cn/channel\\_t\\_156\\_11495/doc\\_65a9ca01a0e7c62501656332.html.2024](http://www.liaocheng.gov.cn/channel_t_156_11495/doc_65a9ca01a0e7c62501656332.html.2024).
- [35] 齐鲁壹点. 聊城市大力构建绿色制造体系, 推动传统产业绿色改造升级[EB/OL]. (2023-12-28). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1786512618946293905&wfr=spider&for=pc.2023>.
- [36] 大众网. 2023 年聊城实施绿色化技改示范项目 39 个, 完成投资约 17 亿元[EB/OL]. (2023-12-28). <https://hb.dzwww.com/p/p4Q8LuLSie.html.2023>.
- [37] 银纸业. 聊城市副市长张建军调研银纸业综合利用造纸固废生产新型纤维增强硅酸钙板项目[EB/OL]. (2023-8-8). <https://www.cctyinhe.com/news/1909.html.2023>.
- [38] 聊城市人民政府. 聊城市“无废城市”建设工作情况[EB/OL]. (2023-12-12). [http://www.liaocheng.gov.cn/channel\\_t\\_156\\_11574/doc\\_65782890d9d4cadde8446a4b.html.2023](http://www.liaocheng.gov.cn/channel_t_156_11574/doc_65782890d9d4cadde8446a4b.html.2023).

(责任编辑: 金曙光)

## Discussion on promotion strategies of “Zero-waste City” construction: A case on general industrial solid waste management in Liaocheng

NIU Guoshuai<sup>1</sup>, GUO Yujie<sup>2</sup>, XU Jinchao<sup>2</sup>, LI Jinhui<sup>1</sup>, DONG Qingyin<sup>1,\*</sup>

1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Liaocheng Ecology and Environment Bureau, Liaocheng 252004, China

\*Corresponding author, E-mail: [dongqingyin@tsinghua.edu.cn](mailto:dongqingyin@tsinghua.edu.cn)

**Abstract** The construction of “Zero-waste City” in China has started to be promoted nationwide from pilot projects. Due to long-term uneven development, there are significant differences in economic development level and industrial structure in different regions, and different strategies for promoting “Zero-waste City” should be adopted. This study analyzed the current situation of the generation, utilization, and disposal of general industrial solid waste in Liaocheng in recent years, summarized the relevant work and achievements that have been carried out in the city, identified the problems of insufficiently coordinated efforts, high intensity of waste generation and difficulties of red mud recycling in general industrial solid waste in Liaocheng. Then the article proposed management strategies for general industrial solid waste in Liaocheng. Firstly, to improve refined management capabilities, further strengthening producers’ responsibilities, formulate and implement assessment standards and propel informationalized construction; Secondly, promote reduction at the source, to promote the green development of industry, optimize the energy structure, gradually build a clean energy system, cultivate and introduce new industries; Thirdly, enhance the utilization and disposal capacity, strengthening technology research and development, introducing red mud comprehensive utilization projects and carrying out the construction of demonstration projects for red mud; Finally, it was necessary to continuously improve supporting policies and measures, strengthen financial support through multiple channels, strengthen publicity and education, and enhance the management level of general industrial solid waste in enterprises. This study can provide reference for improving the management level of general industrial solid waste in other underdeveloped areas and promoting the “Zero-waste City” construction in China.

**Keywords** “Zero-waste City”; general industrial solid waste; red mud; promotion strategies