

# 城市固体废弃物资源化利用环境工程方案

费雨萌

常州市新橙环境科技有限公司

DOI:10.12238/eep.v8i7.2749

**[摘要]** 随着城市化进程加速,城市固体废弃物(以下简称“城市固废”)产生量持续攀升,传统填埋、焚烧处理方式不仅占用大量土地资源,还易引发土壤污染、大气污染等环境问题,严重制约城市可持续发展。本方案以“减量化、无害化、资源化”为核心原则,针对某中等规模城市(常住人口80万-100万)的城市固废处理需求,结合当地固废成分特征(可回收物占比约25%、厨余垃圾占比约40%、其他废弃物占比约35%),设计涵盖固废分类收集、集中转运、资源化处理及环保监测的一体化环境工程方案。方案重点采用“分类回收+厨余垃圾厌氧发酵产沼+焚烧发电+残渣填埋”的组合处理工艺,通过优化技术路线与设备配置,实现城市固废资源化利用率提升至80%以上,碳排放较传统处理方式降低40%,同时构建完善的环境风险防控体系,为城市固废处理提供高效、环保、可持续的工程解决方案。

**[关键词]** 城市固体废弃物; 资源化利用; 厌氧发酵; 焚烧发电; 环境风险防控

中图分类号: F062.1 文献标识码: A

## Environmental Engineering Scheme for Resource Utilization of Urban Solid Waste

Yumeng Fei

Changzhou Xincheng Environmental Technology Co., Ltd.

**[Abstract]** With the acceleration of urbanization, the amount of urban solid waste (hereinafter referred to as "urban solid waste") continues to rise. Traditional landfill and incineration methods not only occupy a large amount of land resources, but also easily cause environmental problems such as soil pollution and air pollution, seriously restricting the sustainable development of cities. This plan is based on the core principles of "reduction, harmlessness, and resource utilization", targeting the urban solid waste treatment needs of a medium-sized city (with a permanent population of 800000 to 1 million), and taking into account the local solid waste composition characteristics (recyclables account for about 25%, kitchen waste accounts for about 40%, and other waste accounts for about 35%), a comprehensive environmental engineering plan covering solid waste classification and collection, centralized transportation, resource utilization, and environmental monitoring is designed. The plan focuses on the combination of "classified recycling+anaerobic fermentation of kitchen waste to produce biogas+incineration power generation+residue landfill" treatment process. By optimizing the technical route and equipment configuration, the utilization rate of urban solid waste resources is increased to over 80%, carbon emissions are reduced by 40% compared to traditional treatment methods, and a sound environmental risk prevention and control system is constructed to provide efficient, environmentally friendly, and sustainable engineering solutions for urban solid waste treatment.

**[Key words]** urban solid waste; Resource utilization; Anaerobic fermentation; Incineration power generation; Environmental risk prevention and control

### 引言

当前,我国城市化率已突破65%,城市人口聚集带来的固废处理压力日益凸显。据统计,2023年全国城市固废年产量超2.4亿吨,其中仅约50%实现规范处理,其余部分通过简易填埋、随意堆放等方式处置,导致土壤重金属超标、地下水污染、温室气体

排放等问题。以目标城市为例,2023年城市固废年产量达120万吨,现有填埋场库容仅剩2年使用年限,且焚烧设施处理能力不足,资源化利用仅停留在简单回收层面,亟需通过系统性工程方案破解固废处理困境。

### 1 方案目标

# Ecological Environment and Protection

资源化目标: 构建“分类-回收-转化”全链条利用体系, 实现可回收物(纸类、塑料、金属等)回收率 $\geq 90\%$ , 厨余垃圾厌氧发酵产沼率 $\geq 60\text{m}^3/\text{吨}$ , 焚烧发电效率 $\geq 350\text{kWh}/\text{吨}$ , 整体资源化利用率达到80%以上。

环保目标: 处理过程中废气排放符合《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485-2014), 渗滤液处理后达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准, 噪声控制在厂界昼间 $\leq 60\text{dB}$ 、夜间 $\leq 50\text{dB}$ , 无二次污染风险。

## 2 工程选址与总体布局

### 2.1 选址原则与位置

遵循“远离居民区、交通便利、靠近资源消纳地”原则, 项目选址位于城市东南部工业园区边缘, 距离主城区15公里, 周边500米范围内无集中居民区, 且临近市政污水管网与天然气输送管道, 便于渗滤液处理后排放及沼气输送。选址地块面积约120亩, 地形平坦, 地质条件稳定, 符合《生活垃圾处理场建设项目选址指南》要求。

### 2.2 总体布局

项目采用“分区作业、集中管控”布局, 划分为五大功能区:

分类收集转运区: 占地面积20亩, 设置6个分类收集大棚(分别对应可回收物、厨余垃圾、有害垃圾、其他垃圾), 配备15辆密闭式分类转运车, 实现“日产日清”;

资源化处理区: 占地面积40亩, 包含可回收物分拣中心、厨余垃圾厌氧发酵车间、沼气净化与发电站, 是资源化利用的核心区域;

焚烧处理区: 占地面积30亩, 建设1条日处理能力300吨的机械炉排焚烧线, 配套烟气净化系统与汽轮发电机组;

残渣填埋区: 占地面积25亩, 采用卫生填埋技术, 设置防渗层(HDPE膜+膨润土防渗毯)与渗滤液导排系统, 仅用于填埋焚烧残渣与不可回收废弃物;

办公与监测区: 占地面积5亩, 建设综合楼、环保监测站与应急指挥中心, 实现对全流程的实时监控与管理。

## 3 核心处理技术与工艺设计

### 3.1 分类收集与转运工艺

3.1.1 前端分类收集。在城市范围内布设500个智能分类垃圾站, 每个垃圾站配备“四分类”垃圾桶(可回收物、厨余垃圾、有害垃圾、其他垃圾), 并安装红外感应开门、称重计量与积分奖励系统, 引导居民规范分类。同时, 针对餐饮企业、商场等产生大量厨余垃圾的场所, 采用“定时上门收集”模式, 配备专用厨余垃圾收集桶(带温度与重量传感器), 确保源头分类准确率 $\geq 85\%$ 。

3.1.2 集中转运。分类收集后的固废通过密闭式转运车运输至项目基地, 其中可回收物直接送分拣中心, 厨余垃圾采用保温转运车(温度控制在 $5\text{--}10^\circ\text{C}$ , 防止腐败变质), 其他垃圾与有害垃圾分别采用专用密封车辆转运。转运过程中, 车辆配备GPS定位与视频监控系统, 确保运输路线优化、无泄漏。

### 3.2 可回收物资源化工艺

可回收物分拣中心采用“人工分拣+机械分选”结合模式, 工艺流程如下:

(1) 初步分拣: 人工剔除混入可回收物中的大块杂质(如建筑垃圾、有害垃圾); (2) 机械分选: 通过滚筒筛(分离纸类与塑料)、磁选机(分离金属)、风选机(分离轻质塑料与重质物料)实现不同类别可回收物的精准分离; (3) 压缩打包: 将分拣后的纸类、塑料、金属分别压缩打包, 送往再生资源企业(如造纸厂、塑料再生厂)进行深加工, 年可回收再生资源约3万吨, 创造直接经济收益约0.3亿元。

### 3.3 厨余垃圾厌氧发酵产沼工艺

厨余垃圾处理采用“预处理-厌氧发酵-沼气利用”工艺路线, 具体设计如下:

3.3.1 预处理阶段。厨余垃圾进入车间后, 先通过分拣机去除杂质(如塑料袋、骨头), 再经破碎机破碎至粒径 $\leq 10\text{mm}$ , 随后通过螺旋压榨机脱水(含水率降至80%以下), 产生的污水送入渗滤液处理系统。

3.3.2 厌氧发酵阶段。预处理后的厨余垃圾进入3座容积为 $5000\text{m}^3$ 的CSTR厌氧发酵罐(中温发酵, 温度控制在 $35\text{--}38^\circ\text{C}$ ), 投加厌氧微生物菌种, 发酵周期为20天。发酵过程中产生的沼气(甲烷含量约60%–65%)通过管道输送至沼气净化系统, 去除硫化氢(采用干法脱硫, 脱硫效率 $\geq 98\%$ )、水分与杂质。

3.3.3 沼气利用。净化后的沼气一部分用于厌氧发酵罐加热(维持发酵温度), 另一部分送入沼气发电站(配备2台500kW发电机组), 年发电量约400万kWh, 其中30%用于项目自身用电, 70%并入市政电网。此外, 发酵产生的沼渣经脱水后(含水率 $\leq 60\%$ ), 送往有机肥厂加工成生物有机肥, 年产能约0.8万吨, 实现厨余垃圾“变废为肥”。

### 3.4 其他垃圾焚烧发电工艺

其他垃圾(约40万吨/年)采用机械炉排焚烧技术, 具体工艺如下:

3.4.1 焚烧系统。垃圾经料斗进入机械炉排焚烧炉, 炉排分为干燥段(温度 $400\text{--}500^\circ\text{C}$ )、燃烧段(温度 $850\text{--}1000^\circ\text{C}$ )、燃尽段(温度 $800\text{--}900^\circ\text{C}$ ), 确保垃圾充分燃烧(焚烧效率 $\geq 99.9\%$ ), 烟气在炉膛内停留时间 $\geq 2\text{s}$ , 防止二噁英生成。

3.4.2 烟气净化系统。采用“半干法脱酸+活性炭吸附+袋式除尘+选择性非催化还原(SNCR)脱硝”组合工艺:

半干法脱酸: 通过向烟气中喷射石灰浆, 去除二氧化硫、氯化氢等酸性气体(脱酸效率 $\geq 90\%$ );

活性炭吸附: 喷入活性炭粉末, 吸附二噁英与重金属(二噁英去除率 $\geq 99.9\%$ );

袋式除尘: 去除烟气中的颗粒物(除尘效率 $\geq 99.9\%$ );

SNCR脱硝: 在炉膛内喷射氨水, 将氮氧化物还原为氮气(脱硝效率 $\geq 80\%$ ), 最终烟气排放浓度满足GB18485-2014标准要求。

3.4.3 发电系统。焚烧产生的高温烟气加热锅炉产生蒸汽(参数:  $4.0\text{MPa}$ 、 $400^\circ\text{C}$ ), 推动汽轮发电机组发电, 年发电量约1.2亿kWh, 除项目自用外, 其余约1亿kWh并入电网, 年收益约0.3亿元。

### 3.5 残渣与渗滤液处理工艺

3.5.1 焚烧残渣处理。焚烧产生的炉渣(约6万吨/年)经水淬冷却后,送残渣分拣车间,通过磁选机回收金属(回收率 $\geq 95\%$ ),剩余炉渣送填埋区卫生填埋;飞灰(约0.8万吨/年)属于危险废物,采用“螯合稳定化+水泥固化”处理后,送专用危险废物填埋场处置。

3.5.2 渗滤液处理。项目产生的渗滤液(主要来自厨余垃圾预处理与填埋区,约150吨/天)采用“UASB厌氧反应器+MBR膜生物反应器+NF纳滤+RO反渗透”处理工艺:

(1)UASB厌氧反应器:去除渗滤液中60%以上的COD;(2)MBR膜生物反应器:通过生物降解与膜过滤,进一步去除COD、BOD5与悬浮物;(3)NF纳滤与RO反渗透:深度去除污染物,确保出水水质达到GB18918-2002一级A标准,处理后的水一部分用于项目绿化灌溉,其余排入市政污水管网。

## 4 环境风险防控与监测体系

### 4.1 环境风险防控措施

4.1.1 大气污染防治。除焚烧烟气净化系统外,分类收集转运区、厌氧发酵车间均设置负压抽风系统,收集的恶臭气体(主要含硫化氢、氨气)送生物滤池处理(除臭效率 $\geq 95\%$ )后排放;填埋区覆盖HDPE膜,减少甲烷与恶臭气体释放,同时设置甲烷收集管道,将填埋气导入沼气发电站利用。

4.1.2 水污染防控。填埋区采用“双层HDPE膜+膨润土防渗毯+压实黏土”的复合防渗系统,防渗层渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ;渗滤液导排系统采用HDPE穿孔管,确保渗滤液及时收集处理,避免渗入土壤与地下水;项目区设置地下水监测井(共5口,分别位于项目上游1口、下游3口、侧面1口),定期监测地下水水质。

4.1.3 噪声与固废污染防控。设备选型优先采用低噪声设备(如静音风机、减震电机),并在设备基础设置减震垫、在厂房墙体安装隔音材料;运输车辆夜间(22:00-6:00)禁止通行。

### 4.2 环境监测体系

建设环保监测站,配备气相色谱仪(监测二噁英、甲烷)、离子色谱仪(监测烟气酸性气体)、COD检测仪(监测渗滤液水质)等设备,实现以下监测内容:

实时在线监测:焚烧烟气排放(颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、二噁英)、渗滤液处理出水水质(COD、氨氮、悬浮物)、厂界噪声,数据实时上传至当地生态环境部门监管平台;

定期监测:地下水水质(每月1次)、土壤质量(每季度1次)、恶臭气体(每季度1次),编制监测报告,及时调整防控措施。

## 5 项目实施与效益分析

### 5.1 项目实施计划

项目分三期实施,总工期2年:

一期(0-6个月):完成选址、环评、设计与招标,启动分类收集转运区、办公与监测区建设;

二期(7-18个月):建设资源化处理区(分拣中心、厌氧发酵车间、沼气发电站)与焚烧处理区,同步安装核心设备并调试;

三期(19-24个月):建设残渣填埋区与渗滤液处理系统,完成全流程联动调试,通过环保验收后正式运营。

### 5.2 效益分析

5.2.1 环境效益。项目运营后,每年可减少城市固废填埋量约80万吨,节约土地资源约100亩;通过沼气发电与焚烧发电,年替代标准煤约4万吨,减少二氧化碳排放约10万吨;渗滤液与烟气达标排放,有效改善区域土壤、水体与大气环境质量,助力城市实现“双碳”目标。

5.2.2 经济效益。项目年收益主要来自三部分:再生资源销售(0.3亿元)、电力销售(0.6亿元,含沼气发电与焚烧发电)、政府补贴(0.1亿元,固废处理补贴),年总收益约1.0亿元;年运营成本(人工、设备维护、药剂消耗等)约0.4亿元,年净利润约0.6亿元,投资回收期约9.7年,经济效益显著。

5.2.3 社会效益。项目可提供就业岗位约150个(含分拣、运维、监测等),缓解当地就业压力;通过前端分类收集宣传与积分奖励,提升居民环保意识,推动城市文明建设;同时,项目为同类城市固废资源化利用提供可复制的工程经验,具有示范意义。

## 6 保障措施

### 6.1 政策保障

积极争取国家与地方关于固废资源化利用的政策支持,如申请专项建设基金、享受税收减免(企业所得税“三免三减半”)、纳入城市基础设施重点项目,确保项目顺利实施。

### 6.2 技术保障

与高校(如环境工程专业院校)、科研机构合作,建立技术研发中心,针对厨余垃圾发酵效率提升、焚烧烟气二噁英控制等关键技术开展攻关;同时,组建专业运维团队,定期开展技术培训,确保设备稳定运行。

## 7 结论

本方案针对城市固废处理的痛点,通过“分类收集-资源化利用-焚烧发电-残渣安全处置”的一体化工艺,实现了城市固废的高效资源化与无害化处理。方案技术路线成熟可靠,环境风险可控,兼顾经济、环境与社会效益,能够有效解决目标城市的固废处理难题,为城市可持续发展提供有力支撑。后续可根据运营过程中的实际情况,进一步优化工艺参数与管理模式,提升项目综合效益。

### [参考文献]

[1]向劲遥,杨彬钧,胡世磊,等.城市生活垃圾绝氧热解技术的应用现状与展望[J].环境保护与循环经济,2024,44(05):24-30.

[2]李苹,高丽娟,周靖茹.城市固体废弃物处理及资源化利用路径[J].智慧中国,2023,(09):76-77.

[3]李大明.城市固体废弃物处理及资源化利用途径研究[J].造纸装备及材料,2023,52(06):173-175.

### 作者简介:

费雨萌(1997--),女,汉族,江苏省兴化市人,硕士研究生,职称:助理工程师,研究方向:危废收集处理,环境监测与评价。