

基于固体回收燃料技术的城市固体废物特性分析

张邦超 刘杰

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 城市固体废物来源广泛,各种固体废物物理组成和化学成分差异较大。准确的废物产生源调查分析,为固废处理的规划、收运和综合利用提供基础的依据。固体回收燃料可真正实现固体废物的减量化和循环利用。本文以代表性城市固体废物为例,结合目前蓬勃发展的国内外固体回收燃料技术,调查不同源头固废,深入分析其总量、组分、含水率和热值等特性,进而为固废分类和制取固体回收燃料产品提供原始的分析。

[关键词] 城市固体废物;分类处理;源头调查;热值分析;垃圾处置

[中图分类号] X799.3 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 2097-2423(2023)05-0073-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.05.014

0 前言

城市固体废物来源广泛,种类繁多,我国的固体废物主要由城市人口产生的生活垃圾组成,同时包括园林垃圾、工业废料、餐饮垃圾、建筑垃圾等。随着经济的快速发展和人口的增长,固体废物的产生量、种类、收集方式等也在快速变化。固体废物的收运和无害化处置是一个综合性强的工作,在环卫行业的综合管理系统中,城市固废的生命周期包括产生、收集、运输中转、处理、处置等五大部分^[1]。固体废物管理在观念上应注重源头减量和分类处理,而固体废物源头的科学调查和特性分析,可提供基础的数据,逐步成为城市废物综合管理系统科学管理、精细规划的基础工作。

除了填埋和焚烧等传统处置方式,目前以固体废物为原料的燃料制备项目在中国也快速发展。北京、上海、广东、浙江、江苏等地都有代表性工程,其他国家如泰国、韩国、巴西、新加坡等也开始推动固体燃料产业的发展。这些项目参考欧洲的技术和装备,结合本地的需求,优先发展固体燃料技术和装备。发展中国家目前缺乏固体燃料产品的国家或行业标准,我国部分行业也刚起草各自的团体标准,固体燃料不仅缺乏统一的市场标准,对废物的来源和

品质也缺乏具体要求和定义。很多固体燃料制备项目由于原料和产品界定不清晰,以及生产工艺和装备不成熟,工程投产后陷入停滞,未能达到项目立项和建设目标。

本文以典型的城市固体废物为例,结合目前蓬勃发展的国内外固体燃料技术,深入分析废物特性、分类处理和制取等关键技术细节,对废物来源的工艺数据进行定性和定量分析,从而阐述废物不同来源和特性与制取固体燃料产品的内在联系。

1 固体回收燃料及技术要求

固体燃料定义为固体回收燃料(SRF)或垃圾衍生燃料(RDF)。垃圾衍生燃料(RDF)是指固体废物经过破碎、筛选出不燃物后得到的可燃废弃物,或是由这些废弃物经过进一步破碎、分选、干燥,最后压制成型的固体燃料^[2]。如生活垃圾去除金属、玻璃、砂土等杂质后,经干燥、破碎、压缩成型而制成RDF,制成的RDF按具体的用途和运输条件制备为粒状、柱状及块状。

固体回收燃料(SRF)作为RDF的主流分支,是利用非危险废物来源的固体废物制备而成,符合ISO标准化分类或各个国家行业标准的固体燃料。SRF主要原材料为城市固体废物、商业和工业废物、建筑和拆迁废物等,一般由生活垃圾和其他废物经处理后制备而成。根据国际标准化组织ISO 21640—2021标准分类,SRF原料主要来源于农业、园艺、林业、造纸、工业、包装和生活垃圾等。产品标准和指标以热值、氯含量和汞含量来划分,其中最低

[收稿日期] 2023-04-20

[作者简介] 张邦超(1974—),男,安徽六安人,本科,高级工程师,研究方向:固废处理和市政工程。

[引用格式] 张邦超,刘杰.基于固体回收燃料技术的城市固体废物特性分析[J].绿色矿冶,2023,39(5):73-77.

的5级产品要求热值达到3 MJ/kg,最高的1级产品要求热值达到25 MJ/kg。为达到上述标准,SRF制备工艺通常包括分类、生物处理、破碎、磁选、筛分、成型等。生活垃圾、陈腐垃圾和其他城市固体废物除去金属、玻璃、砂土等后,经干燥、破碎、压缩成型等工序制成固体燃料。例如亚洲一典型工业废物制取固体燃料项目,其产品主要参数要求:热值3 000~5 000 kcal/kg,水分10%~34%,氯含量0.78%~1.2%,灰分21%~33%。产品作为辅助燃料外送其他生活垃圾焚烧厂、火力发电厂或水泥厂协同处理。根据循环流化床锅炉或水泥窑进料要求,将高热值工业废物制备成散料、细料、棒状或块状等。

混合型固体废物在收集处置点的产生量、成分、水分、灰分和热值等特性,直接决定了固体燃料制取的工艺和产品品质。源头调查和特性分析的目的是了解在产生、收运和终端处置各环节中物料的产生量和组成变化,尤其关注终端处置时的物理成分、化学成分、生化特性等,与要求的固体燃料等产品参数进行对照分析,从而确定最佳的燃料制取方案。

本文对某座代表性城市的固体废物开展源头调查,重点对废物特性和制备燃料可行性等进行研究。

2 固体废物产生量、源头和组成分析

采用统计调查分析法,抽样调查了不同阶段的固废总量变化情况。这些阶段包括源头点(各源头产生处)、丢弃点(各源头丢弃处)和处置点(露天堆放和填埋场)。三个阶段数据见表1。

与其他发展中国家数据对比,表1中反映出固体废物收运步骤基本一致,来源主要包括商业机构、行政事业单位、医疗卫生单位、建筑业、工业、交通运输业、广场道路、居民家庭和农业等九大方面。同时调查也发现,在收集、回收、转运、压缩和终端处置各个环节中,废物的总量和成分也发生各种变化,特别是高热值成分如纸张、塑料和金属类的比例在收运中会减少。这些因素会对终端燃料制作的规模 and 产品质量产生影响。

同时采用分层法调查固废的成分,根据来源进行分组调查统计,以突显固废产生源的数据差异,深入分析不同源头固废成分变化和原因。来源分为居民区来源、机构区来源、商业区来源和工业区来源四类。其中,机构区主要指政府机关、学校、医院、医院、诊所、公共交通等;商业区主要指商场、市场、购

表1 城市固体废物成分总量变化 t

垃圾类型	垃圾成分	源头点	丢弃点	处置点
有机物/有机质	餐厨/餐余垃圾	9 685	8 563	8 492
	园艺垃圾	1 252	1 240	1 445
	废弃木材	88	88	92
	谷壳类	206	217	248
纸张类	废纸	310	286	273
	印刷期刊	677	475	360
	纸箱	841	697	567
塑料	高密度聚乙烯	774	610	604
	聚氯乙烯	107	92	90
	低密度聚乙烯	832	782	717
	聚丙烯	290	263	188
	聚苯乙烯	293	293	299
	其他塑料	16	16	33
玻璃	玻璃瓶	707	528	521
	碎玻璃	12	30	59
金属	黑色金属	383	336	211
	铝	197	160	85
危险废物	其他有色金属	15	15	16
	电池	23	22	22
	荧光灯	56	48	48
	电子废物	30	52	52
	油漆桶	20	20	20
	包装物	343	308	282
其他	尿布	2 625	2 625	2 625
	橡胶	309	309	399
	织物	661	660	660
	皮革	84	85	99
	陶瓷、石块	93	95	289

物中心、酒店、餐馆、早市、商业中心等;工业区主要指食品和饮料厂、制衣厂、化工厂、炼油厂、塑料厂、电气和电子厂、冶炼厂、造纸厂、木材厂等。不同源头的固废数据对比见表2。

在现有处置点(露天堆放和填埋场)对混合后的固废进行成分分析,结果见表3。

从表2和表3可知,居民区产生的废物与其他区(机构区、商业区、工业区)相比,水分较大,而低位热值较低。作为固体燃料的原料来说,居民区固体废物不具备优势。以上数据反映了该城市固废整体现状和特征,也代表了亚洲(包括中国)、非洲、南美洲和其他发展中国家的固废来源的显著特点。

表2 城市固体废物不同来源成分对比 %

固废类别	居民区	机构区	商业区	工业区
餐厨/餐余垃圾	44.5	32.3	40.4	5.8
塑料	13.2	21.8	23.2	39.1
纸张	8.5	18.1	16.3	35.1
尿布	12.1	1.6	0.7	0.0
园艺垃圾	5.8	6.0	1.7	1.1
玻璃	3.3	3.5	3.9	1.0
金属	2.7	4.6	4.1	7.7
织物	3.1	3.2	1.7	1.9
包装	1.6	2.9	3.6	1.4
橡胶	1.8	2.6	1.5	0.6
皮革	0.4	0.6	0.4	0.5
木材	1.4	0.9	0.8	4.5
危险废物	1.3	1.2	1.0	1.2
其他	0.5	0.8	0.8	0.0

表3 不同来源固体废物成分混合后对比

固废特性	居民区	机构区	商业区	工业区
水分/%	59.45	50.49	54.19	47.02
碳/%	17.36	24.49	23.09	26.26
氢/%	5.89	5.30	4.72	5.31
氧/%	5.89	9.33	8.68	9.83
氮/%	1.05	1.39	1.29	1.54
硫/%	3.35	0.12	0.05	0.09
氯/%	0.04	0.07	0.05	0.10
挥发分/%	20.79	27.74	25.10	28.84
固定碳/%	11.10	13.07	12.91	14.60
灰分/%	8.65	8.70	7.80	9.55
容重/kg·m ⁻³	0.202	0.137	0.145	0.101
高位热值/kJ·kg ⁻¹	21 185	21 192	20 542	20 765
低位热值/kJ·kg ⁻¹	6 325	8 165	7 121	8 755

3 固体废物可燃成分分析

虽然目前发展中国家尚缺乏明确的固体燃料标准,作为中间产品或协同送焚烧时,需对燃料的低位热值和高位热值需进行规范的检验和统计分析。固体废物可燃成分的构成和热值是决定固体燃料热值的关键工艺参数。

在去除不可燃成分后,对上述抽样固体废物可燃成分分析见表4。

表4 固体废物可燃成分分析

固废类别	水分/ %	挥发 分/% 湿基	固定 碳/% 湿基	灰分/ %	高位热值/ kJ·kg ⁻¹	低位热值/ kJ·kg ⁻¹
餐厨/餐余	82.00	14.30	1.54	2.16	12 427	229
塑料 PVC	7.29	79.78	3.77	9.17	32 143	29 607
纸张	54.57	34.51	3.70	7.22	20 536	7 988
尿布	76.69	19.91	1.72	1.68	25 434	4 049
园艺垃圾	30.85	50.46	11.14	7.55	17 522	11 356
织物	53.8	37.86	7.31	1.03	18 185	7 079
包装	14.70	71.20	7.33	6.78	14 884	12 323
橡胶	2.96	87.76	0.92	8.36	23 092	22 323
皮革	4.66	81.54	4.86	8.95	26 337	24 977
木材	15.92	72.07	10.89	1.11	20 092	16 488

由表4可知,混合型废物各成分差异很大,其水分和热值等关键燃料参数与固废类别直接相关。常见的餐厨和餐余水分偏多,但热量占比很低。工业废物如橡胶、皮革、塑料的热值最高,是适合制作固体燃料的最佳原料。

为甄别各组分对热值的影响,找出关键因素,用排列图法定量分析居民区固废各组分影响比例,结果见表5。

表5 固体废物可燃成分分析

固废类别	水分/ %	重量比 例/%	低位热值/ kJ·kg ⁻¹	热值比 例/%	累计比 例/%	影响 类别
塑料	7.29	13.2	29 607	55.26	55.26	A
纸张	54.57	8.5	7 988	9.60	64.86	A
园艺垃圾	30.85	5.8	11 356	9.31	74.17	A
尿布	76.69	12.1	4 049	6.93	81.10	B
橡胶	2.96	1.8	22 323	5.68	86.78	B
木材	15.92	1.4	16 488	3.26	90.04	C
织物	53.80	3.1	7 079	3.10	93.14	C
包装	14.70	1.6	12 323	2.79	95.93	C
餐厨/餐余	82.00	44.5	229	2.66	98.59	C
皮革	4.66	0.40	24 977	1.41	100	C

排列图累计比例80%以内的为主要因素(A),其他为次要因素(B)和其他因素(C)。由表5可知,对混合型固废热值影响较大的为塑料、纸张和园艺垃圾,影响较小的为织物、包装垃圾和餐厨餐余垃圾等。

4 固体废物水分和热值分析

固废的水分来自源头废物中的水分和收集运输

过程中的雨水等,主要影响因素为城市居民的饮食结构和当地气候等。水分不仅影响废物的总量,而且在终端处置中致使有机成分发酵,产生二次污染,降低废物的低位热值,在中转和贮存中产生渗滤液等高浓度废水。生活垃圾作为主要的固体废物成分,其含水除结晶水外,还包括外在水分和内在水分。外在水分即垃圾各组分表面保留的水分,内在水分即垃圾各组分内部毛细孔中的水分^[3]。

随着居民生活水平的提高和工商业体系的健全,城市固废中可燃物成分含量逐步提高,不可燃成分和惰性物质含量逐步下降,有机物成分含量进一步增加,整体热值也在缓慢上升,更有利于生物质燃料的制作或焚烧回收热量。各种废物在终端汇合和混合后,含水量为40%~60%。

根据《生活垃圾采样和分析方法》(CJ/T 313—2009),废物含水率对热值的影响可参照式(1)计算。

$$Q_2 = \frac{(Q_1 + 6W_1)(100 - W_2)}{100 - W_1} - 6W_2 \quad (1)$$

式中: Q_2 为含水率降低后的热值,kJ/kg; Q_1 为原状废物热值,kJ/kg; W_1 为原状废物含水率,%; W_2 为降低后的废物含水率,%。

假设在收运中转过程中固废含水率降低15%,贮存中滤除15%的水分,对应的热值变化见表6。

表6 混合后固体废物热值随含水率的变化

固废特性	居民区	机构区	商业区	工业区
原状废物水分/%	59.45	50.49	54.19	47.02
低位热值/kJ·kg ⁻¹	6 325	8 165	7 121	8 755
收运中转后废物水分/%	44.45	35.49	39.49	32.02
低位热值/kJ·kg ⁻¹	8 887	10 821	9 599	11 404
贮存滤除后废物水分/%	29.45	20.49	24.49	17.02
低位热值/kJ·kg ⁻¹	11 449	13 477	12 127	14 053

由表6可看出,废物含水率每降低1%,低位热值会提高160~180 kJ/kg(原状废物低位热值的2%~2.6%),因此,含水率对废物热值的影响明显。

综合分析城市不同区域和不同种类固体废物,可推断水分主要来自餐厨餐余类废物,居民区来源的固体废物虽然热值较低,但仍然可作为SRF制作的主要原料之一。塑料、橡胶、纸张、木材、园艺垃圾

等工农业废物虽然比例不高,但单位热值较高,有机成分少,非常有利于后期的燃料制作。金属、玻璃、危险废物和其他不燃类废弃物,均不利于固体燃料制作所需的热值要求,同时带来有害的金属成分和增大原料的硬度等不利因素,在固废收集和原料准备阶段应尽量避免。

5 结束语

城市固体废物处理规划、分区分类收集、收运中转和制取燃料,应坚持科学严谨的态度,源头调查和特性分析是所有工作的基础和依据,更是制作SRF产品和综合利用回收的关键。固体废物在产生源头、收集点、处置点等不同环节,其总量、组分、物理化学和生物特性均有变化。在来料收集和制备项目的决策和准备阶段,应做有代表性的调查和取样,鉴别出收运过程中固体废物的真实状况和特性变化趋势。本文推荐的方法和实践,可应用指导固废从产生到终端处置的整个生命循环过程,如源头分类、收集压缩、规划运输、综合回收、燃料制取和外售等。

在众多城市固废处置方案中,固体燃料制备具有投资低、占地少、经济效果好、处理工艺灵活等特点,但是对废物来源的组分、水分和热值等也提出更高的要求。对不同的废物,在源头和终端处置中应采取针对性处理方法,以燃料制备或综合利用取代简单的填埋或焚烧等,才能真正实现固体废物的减量化和循环利用。在处置混合型固废时,如何减少含水量大的餐厨餐余垃圾,避免不易破碎的大件垃圾,以及无热值的玻璃、渣土和含重金属成分的危险废物等,也是燃料制备项目的关键研究课题。

[参考文献]

- [1] 杨建设. 固体废物处理处置与资源化工程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [2] 刘海威, 王欢. 我国县级地区生活垃圾低碳环保处理的最佳技术路径——制备固体回收燃料[J]. 绿色矿冶, 2023, 39(1): 90-94, 100.
- [3] 张明武, 宋敏英, 刘意立, 等. 厨余垃圾源头沥水对生活垃圾的减量提质效应研究[J]. 环境科学研究, 2017, 37(3): 1032-1037.

Analysis of Municipal Solid Waste Characteristics Based on Solid Recovered Fuel Technology

ZHANG Bangchao, LIU Jie

Abstract: Municipal solid waste has a wide range of sources, and the physical composition and chemical composition of various solid waste are quite different. Accurate investigation and analysis of waste sources provide a basis for the planning, collection, transportation and comprehensive utilization of solid waste treatment. Solid recovered fuel can truly realize the reduction and recycling of solid waste. In this paper, taking the representative urban solid waste as an example, combined with the current vigorous development of solid recovered fuel technology at home and abroad, investigated solid waste from different sources, deeply analyzed its total amount, composition, moisture content and calorific value and other characteristics, so as to provide the original analysis for the classification of solid waste and the preparation of solid recovered fuel products to.

Key words: municipal solid waste (MSW); sorting treatment; source investigation; thermal analysis; waste treatment

(上接第 52 页)

Optimization of Comprehensive Recovery Process of Nelson Gravity Concentrate in Sifang Gold Mine

FU Yuanfei, CAO Feng

Abstract: With the increase of mining depth in Baguamiao mining area, the properties of raw ore have changed, especially the gold content of each particle size of raw ore has changed, and the original concentrate treatment process has been unable to meet the on-site production. Based on the analysis and comparison of the mineral composition, natural gold output form, shape and particle size of the upper ore and the deep ore, this paper put forward the reconstruction scheme of Nelson ore machine process gravity separation. Aiming at the comprehensive recovery and utilization of Nelson concentrate, the optimal treatment method was determined by comparing the schemes of leaching, flotation and regrinding. After the traditional shaking table separation of Nielsen gold concentrate, the grade of medium tailings is high. Through the automatic control system, the multi-batch and small-batch return to the production system for regrinding and re-separation can not only maintain a high recovery rate, but also eliminate the impact of high-grade tailings on the production system. Compared with the leaching and flotation recovery methods, the existing processes and equipment are better utilized, the cost of beneficiation is reduced, and better economic benefits are achieved.

Key words: Nielsen gravity separator; comprehensive recovery; optimization and transformation; gold mine