

Research Progress in Treatment Technology of Municipal Solid Waste in China

Yaqi Jia, He Li, Zhenhong Wang*

Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effects in Arid Region of the Ministry of Education, School of Water Resources and Environment, Chang'an University, Xi'an Shaanxi
Email: 2534598586@qq.com, *w_zhenhong@126.com

Received: Sep. 17th, 2019; accepted: Oct. 4th, 2019; published: Oct. 11th, 2019

Abstract

With rapid economic growth and massive urbanization, the types and quantities of municipal solid waste continue to increase, and many cities have already faced the situation of "garbage siege". Municipal solid waste not only seriously pollutes soil, water and atmosphere, but also endangers human health, influences urban landscape and damages the image of the city. This paper reviews the current status and classification of municipal solid waste in China, and discusses the solid waste treatment technologies of landfilling, incineration, composting and pyrolysis. Furthermore, the advantages and disadvantages of these treatment technologies applied to some developed countries are evaluated to inspire the innovation of new methods and ideas for solid waste treatment.

Keywords

Municipal Solid Waste, Treatment Technology, Waste Free City

我国城市固体废弃物现状及处理技术研究进展

贾亚琪, 李 赫, 王震洪*

长安大学水利与环境学院, 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安
Email: 2534598586@qq.com, *w_zhenhong@126.com

收稿日期: 2019年9月17日; 录用日期: 2019年10月4日; 发布日期: 2019年10月11日

摘 要

随着我国社会经济的发展 and 城市化, 城市固体废弃物种类和数量不断增加, 许多城市已经面临“垃圾围城”的窘况。城市固体废弃物不仅严重污染土壤、水体和空气, 危害人体健康, 而且影响城市景观, 损

*通讯作者。

害城市形象。本文对我国城市固体废弃物的现状及分类进行综述,阐述了填埋、焚烧、堆肥、热解等固体废物处理技术,并与当前国外一些发达国家的技术相比较,评价其优缺点,为探寻固体废物处理技术提供新思路、新方法。

关键词

固体废物, 处理技术, 无废城市

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球每年产生约 70~100 亿吨固体废物,约 30 亿吨固体废物缺乏有效处置。早在 1996 年,我国城市固体废物年产量就已达到 1 亿吨;2017 年,我国城市固体废物年产量达到了 14 亿吨,并且还以每年 7%~9% 的速度递增。固体废物含有多种有毒有害物质,不经处理直接堆放或处理不当,会污染土壤、地表-地下水、大气,进一步危害人体健康,影响城市景观,损害城市形象。

发达国家对固体废物处理与处置的研究较早,已制定了较为严格的法律法规及管理体系。我国垃圾处理起步较晚,技术方面和法律法规方面尚不完善。2019 年 1 月,国务院办公厅印发了《“无废城市”建设试点工作方案》,“无废城市”即以创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念为引领,探寻城市固体废物处理的新思路,通过推动形成绿色发展方式和生活方式,持续推进固体废物源头减量和资源化利用,最大程度上减少固体废物填埋量,将固体废物对环境的影响及危害降至最低。

2. 城市固体废物概述及分类

固体废物是指人们在生产、消费和经营等其他活动中产生的固体或半固体物质。主要包括报废的器皿器具、建筑垃圾、废渣、剩菜、废弃纸张、塑料、动物尸体、人畜粪便等,这些物质处置不当会严重污染环境。

城市固体废物产生源复杂、产量巨大、成分随地区和季节变化波动大,有些污染物具有毒性、腐蚀性、传染性、燃烧性、爆炸性和放射性,导致固体废物在产生、运输和处理的过程中对生态环境、人体健康造成危害,甚至阻碍城市经济与文化发展。城市固体废物对生态环境的污染包括一次性污染和长久性污染。一次性污染指固体废物随意丢弃、偷排偷运及不恰当的处理处置对土壤、地表-地下水、大气及人体健康造成的一次危害。主要指固体废物随意丢弃侵占农田,有毒物质大量累计导致土壤重金属累积和土壤微生物死亡;固体废物随意倾入河流或地表上随意丢弃的垃圾随雨水进入河流,导致水面减小、水体富营养化,进而危害水生生物和人体健康;粉尘及容器盛装的危险废气散发到空气中,以及焚烧垃圾时产生的废气中含有的有毒有害物质进入大气中,在空气环流的过程中造成大面积污染;人作为食物链的顶端,有害物质如重金属等进入食物链,最终在人体内富集,引起机体免疫力下降,甚至危及生命安全。长久性污染指一部分固体废物很难在自然条件下降解或在自然环境下极易发生化学反应生成有毒有害物质,这些物质一旦进入环境便会造成长久性污染,而大自然的调节能力是有限的,一旦超过大自然的自我调节能力,将造成无法挽回的后果。

城市固体废物可分为一般工业固体废物、工业危险废物、医疗废物和城市生活垃圾[1]。

2.1. 一般工业固体废物

工业是支撑国家发展的重要产业，但工业生产会消耗大量自然资源，产生大量固体废物。一般工业固体废物是指废渣、废弃边料、污泥等，如煤炭、钢铁、石油等重工业企业生产过程中产生的矸石、粉尘、废油；建筑行业施工过程中遗弃的砖瓦块、混凝土块、废弃管道等。

近年来，经济的快速发展和城市化进程的不断加快，一般工业固体废物的年平均增长率达到了10%。其中，电力行业、供热行业、黑色金属加工冶炼行业、有色金属采集行业和黑色有色金属矿采行业产生的废物量占有所有行业固体废弃物的80%。一般工业固体废物对环境毒害作用较小，综合利用率较高。根据《2018年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报》发布的数据，2017年，全国202个大、中城市一般工业固体废物产生量为13.1亿吨，其中综合利用量占利用处置总量的42.5%，处置和贮存量分别占比17.1%和40.3%；贮存量指以综合利用或处置为目的，将固体废物暂时贮存或堆存在专设的贮存设施或专设的集中堆存场所内的数量，有些城市固体废物综合利用量包含了对往年贮存量的利用。一般工业固体废物利用、处置情况见图1。

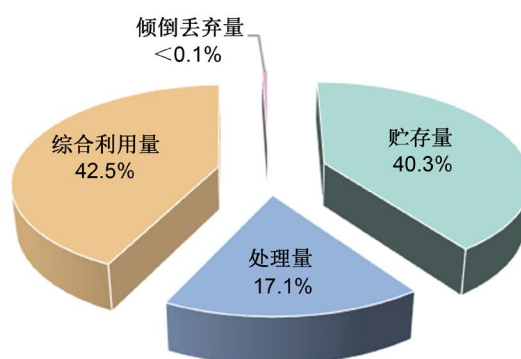


Figure 1. Utilization, disposal, storage and discard of general industrial solid waste in 2017
图 1. 2017 年一般工业固体废物利用、处置、贮存及丢弃情况

2.2. 工业危险废物

工业危险废物是指在工业生产中产生的有毒、易燃、有腐蚀性、感染性或较强化学反应性或其他有害特性的废物[2]，主要来源于冶炼、化工、焚烧残渣、制药等行业。2017年，工业危险废物综合利用量占利用处置总量的48.6%，处置、贮存分别占比40.7%和10.7%。

2.3. 医疗废物

医疗废物是指医疗卫生机构在医疗、卫生预防及其它相关活动中产生的具有感染性、传播性或毒性的废弃物。一般包括接触过病人血液和皮肤的纱布、针管、输液管、棉球等。医疗废物中包含的大量病原体若处理不当极易对人体健康造成损害。2017年，202个大、中城市医疗废物产生量78.1万吨，处置量77.9万吨，处置率高达99.7%，大部分城市的医疗废物都得到了妥善处理。医疗废物产生量较大的城市多为上海、北京、杭州、重庆等经济文化发展水平高、人口密度大的地区，医疗废物产生量排前十位的城市占全国总医疗废物排放量的31.7%。

2.4. 城市生活垃圾

城市生活垃圾是指在城市日常生活中和为城市日常生活提供服务的过程中所产生的固体废物，俗称“垃圾”。主要包括居民生活垃圾、商业活动垃圾、街道垃圾等。据2019年发布的《2018年全国大、

中城市固体废物污染环境防治年报》，2017年全国202个大、中城市生活垃圾产生量20,194.4万吨，处置量20,084.3万吨，处置率达99.5% [3]。

如表1为2011~2017年中国31个省、市、自治区城市生活垃圾的年产量及7年来的平均值。全国城市生活垃圾产生量总体均呈逐年上升的趋势，生活垃圾产生量较多的城市为江苏、浙江、山东等经济较为发达的沿海城市[4]。

Table 1. Domestic garbage yield in various provinces of China (10,000 tons per year)

表 1. 中国各省城市生活垃圾产生量(单位: 万吨/年)

	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	平均
全国	21520.9	20362	19141.9	17860.2	17238.6	17080.9	16395.3	18514.3
北京市	924.8	872.6	790.3	733.8	671.7	648.3	634.4	753.7
天津市	306.9	269	240.7	215.9	200	185.8	189.9	229.7
河北省	699.6	725.2	635.9	614.1	585.3	577.4	584.6	631.7
山西省	479.1	469.4	447	445	394.6	392.4	420	435.4
内蒙古	369.2	345.3	329.1	324.6	350.1	385.9	340	349.2
辽宁省	864.5	933.1	933.2	917.1	927.1	929.9	876	911.6
吉林省	495	534.1	490.3	504.6	485.4	508.6	493	501.6
黑龙江省	553.2	541.9	523	553.4	581.9	710	796.6	608.6
上海市	743.1	629.4	613.2	608.4	735	716	704	678.4
江苏省	1734.7	1562.3	1456.1	1352.4	1202.7	1210.1	1119.8	1376.9
浙江省	1454.6	1433.5	1332.6	1229.1	1123.3	1055	1018.1	1235.2
安徽省	612.2	540	491.9	464.8	455.9	442.1	435.1	491.7
福建省	786.4	657	608.1	598.9	551.8	493.8	433.5	589.9
江西省	451.5	399.5	329.3	308.5	339	327.2	306.6	351.7
山东省	1591.3	1466.3	1377.5	958.5	1007.4	1062.4	959.5	1203.3
河南省	985.6	915.4	891.8	832.8	805.6	795.8	729.5	850.9
湖北省	908	880.1	832.2	739.3	745.8	716.6	736.3	794
湖南省	764.9	681.6	638.2	600.8	616.8	565.4	531.6	628.5
广东省	2644.5	2391	2320.4	2214.2	2092.1	2136.9	1978.8	2254
广西	438.3	411.2	385.5	338.9	302.3	266.2	255.8	342.6
海南省	213.1	188.7	160.1	144.2	125.3	110.2	113.6	150.7
重庆市	529.7	494.1	440	399.4	349.8	335.3	281.6	404.3
四川省	989.9	886.7	823.6	780	750.7	702.8	669	800.4
贵州省	323.5	294	268.3	273.8	248.4	235.7	218.3	266
云南省	409.1	432.1	371	349.5	324.1	306.7	300.2	356.1
西藏	46.5	46.1	32.9	30.8	24.1	25.6	17.3	31.9
陕西省	379.2	532.8	522.7	517.9	437.3	433.1	428.3	464.5
甘肃省	254.6	257.2	262.7	253	272.8	270.5	276.2	263.9
青海省	77.7	82	82.2	77.6	74.1	66.3	83.1	77.6
宁夏	119	112.2	132.2	118.4	106	116.2	120.5	117.8
新疆	371.4	378.7	380	360.6	352.3	352.7	344.5	362.9

由于受城市规模、地理位置、人口密度、燃料结构、经济发展水平和季节变化等多种因素影响，城市生活垃圾的成分及含量也有所不同。随着城市居民增多及城市化进程的加快，居民城市生活垃圾的产量在迅速增加的同时，其结构和组成也发生了很大变化。发达国家的城市生活垃圾以纸张为主，而发展中国家则以厨余垃圾为主。这主要是因为发达国家经济较发达，食品生产产业集中，食品加工程度较高。表 2 收集了部分国家和地区的城市生活垃圾成分及其含量[5]。

Table 2. The percentage of urban household waste composition in some countries and regions (%)

表 2. 部分国家和地区的城市生活垃圾成分组成百分比(%)

区域	有机类					无机类			
	厨余	纸张	塑料	纤维	木草	渣土	玻璃陶瓷	金属	其他
美国	22.00	47.00	4.50	-	-	5.00	9.00	8.00	4.50
英国	28.00	33.00	1.50	3.55	-	19.00	5.00	10.00	-
日本	18.60	46.00	18.30	-	-	6.10	-	-	11.00
北京	56.01	4.20	11.76	2.75	8.56	2.79	3.84	1.60	-
上海	58.55	6.68	11.84	2.26	13.71	2.23	4.05	0.68	-

3. 我国城市固体废弃物处理技术

城市固体废弃物数量庞大、成分复杂。目前，我国城市固体废弃物的处理技术主要有填埋、堆肥和焚烧处理等。从 2013~2017 年我国卫生填埋、堆肥和焚烧的无害化处理厂数(图 2)可看出，我国无害化处理厂数呈逐年递增的趋势。我国城市固体废弃物的主要无害化处理方式为卫生填埋，其次为焚烧，占比最小的是堆肥处理。随着人口增多和城镇化进程加快，堆肥和焚烧处理所占的比重逐年递增。

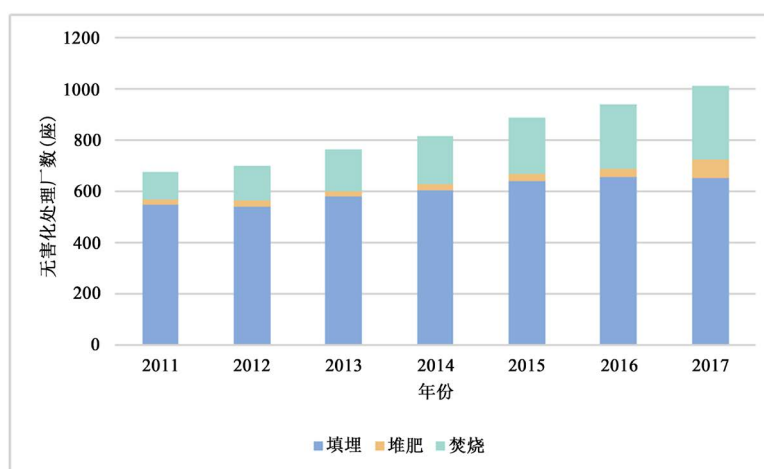


Figure 2. The number of sanitary landfill, composting and incineration treatment plants in China in 2013-2017

图 2. 2013~2017 年我国卫生填埋、堆肥、焚烧无害化处理厂数

3.1. 填埋

固体废弃物填埋技术是一种综合性的工程处置技术，其主要是由传统的堆放和填地处置而发展起来的。填埋处理目前是我国主要的固体废弃物处理方法，有 70% 的垃圾都用填埋法处理。填埋技术分为卫生填埋和直接填埋两种。直接填埋是指不采取环保措施，直接将固体废弃物掩埋并压实的技术；卫生填

埋是指将收集的固体废弃物运送到指定地点, 填埋在有防渗设施、渗滤液收集装置和气体排出装置的场地。直接填埋会对土壤和大气造成严重污染, 目前多采用卫生填埋法对垃圾进行处理。2017年, 我国卫生填埋场无害化处理能力为 360,524 吨/日。

垃圾填埋是提供垃圾最终处理的一种通用解决方案, 适用于大多数类型的固体废弃物处理, 包括焚烧和堆肥过程中产生的灰渣、水处理过程中产生的污泥等。垃圾填埋流程为垃圾卸料-垃圾铺平-垃圾压实-表面覆盖。

垃圾填埋技术成本较低、操作简便, 对垃圾的热值、成分等要求较低, 且操作过程中产生的填埋气体如甲烷可作为清洁能源使用。但由于公众接受度较低和场地限制, 垃圾填埋的场地一般为远离城市生活区的郊外, 处理成本随运输距离的增大而增大; 垃圾填埋不仅侵占了大量农田, 其产生的渗滤液还会污染地下水, 造成地下水富营养化; 作为填埋气体主要成分的甲烷, 其温室效应是二氧化碳的 21 倍, 若不进行处理会严重污染大气[6]; 且填埋场地由于细菌分解作用和微生物的活动, 极易滋生病虫害。

3.2. 焚烧

垃圾焚烧即通过适当的热分解、燃烧、熔融等反应, 使垃圾经过高温氧化过程进行减容, 使其成为残渣或者熔融态固体物质, 并产生二氧化碳和水的过程。我国约有 30% 的垃圾采用焚烧法进行处理。垃圾是一种低热值燃料, 垃圾焚烧关键需解决两个问题: 一是能否在不投油或少投油的情况下稳定燃烧, 二是能否控制二噁英、呋喃等的生成[7]。2017年, 我国垃圾焚烧的处理能力为 298,062 吨/日。

焚烧法适用于处理含水率低、热值高的垃圾。焚烧时, 垃圾车将收集的垃圾称重后卸入垃圾坑中, 垃圾在垃圾坑中经过 2~3 天的堆积发酵脱去水分后, 由抓斗抓取垃圾送入焚烧炉中焚烧, 释放出的热量用于发电或供暖, 焚烧过程中产生的烟气经烟气净化系统和飞灰输送系统脱酸、除尘后排入空气中。

垃圾焚烧技术在世界范围内已有 100 多年的历史。工业革命的发生地英国于 1874 年就建成了第一座垃圾焚烧处理厂。第二次世界大战后, 垃圾焚烧在许多发达国家得到了发展。我国垃圾焚烧处理起步较晚, 自 20 世纪 80 年代才开始发展, 先后自主开发和从国外引进了一些焚烧设备。垃圾焚烧后体积可缩小 50%~80%; 废物所需预处理较少; 相比填埋和堆肥处理周期短、效率较高, 无害化、资源化、减量化程度高; 焚烧要求炉内温度高于 850℃, 可高温消除病原体, 其产生的热量可用于发电和供暖; 此外还有学者将焚烧炉内灰制成新型、绿色、环保建筑材料。但相比填埋来说垃圾焚烧技术要求更高, 维护费用更大; 焚烧对垃圾有一定的最低热值要求, 若含水率过高达不到最低热值要求, 便需添加助燃物[8], 使焚烧处理成本增大; 焚烧产生的烟气主要由飞灰、酸性气体、重金属及二噁英等构成, 其中二噁英具有强大的致癌性和致死作用, 需进行化学处理后再排放[9]。

我国固体废弃物焚烧技术主要在经济发达、人口密度大、土地面积较少的沿海地区得到发展。随着垃圾焚烧技术的发展, 约有 200 多种不同型号的垃圾焚烧炉被制造出来, 其中应用性与代表性较高的约有 4 种, 即机械炉排焚烧炉、流化床焚烧炉、回转窑式焚烧炉、热解气化焚烧炉。表 3 为四种垃圾焚烧炉的技术原理及优缺点。

3.3. 堆肥处理

堆肥法处理固体废弃物是指依靠微生物的生物化学作用, 同时控制一定的水分、碳氮比和通气量, 将生活垃圾中的有机质分解、腐熟、转换成有机肥料的方法。按细菌分解的作用原理, 堆肥可分为低温厌氧堆肥和高温好氧堆肥两种; 按堆肥方法, 分露天堆肥和机械堆肥。

堆肥法分为四步: 第一步是预处理, 将垃圾简单分类, 然后破碎筛分为均匀介质状, 匀质垃圾的最佳含水率为 45%~60%。第二步是细菌分解, 在一定的温度、水分和氧气条件下, 好氧或厌氧微生物迅速繁殖, 垃圾开始分解, 各种有机质转化为腐殖质; 第三步是腐熟, 稳定肥质, 待完全腐熟即可使用; 第四步是贮

存或处置, 根据堆肥质量控制要求, 堆肥产品需要对堆肥杂质含量、粒度、虫卵死亡率、大肠杆菌、有机质、总氮、总磷、pH 值、水分以及重金属含量进行控制, 并将肥料贮存, 废料另作填埋处置[10]。

Table 3. Technical principle, advantages and disadvantages for four kinds of waste incinerators
表 3. 四种垃圾焚烧炉的技术原理及优缺点

比较项目	机械炉排焚烧炉	流化床焚烧炉	回转窑式焚烧炉	热解气化焚烧炉
技术原理	垃圾在炉排上进行层状燃烧, 经干燥、燃烧、燃尽后灰渣排出炉外	依靠炉膛内高温沙介质的均匀传热和高热容量, 使炉膛内的垃圾快速升温着火并均匀燃烧	采用耐火砖或水冷壁炉墙制成的圆柱形滚筒, 将其设置一定的倾斜角度, 通过炉体转动使垃圾均匀混合并充分燃烧	垃圾在厌氧或缺氧的条件下, 产生的热能是垃圾中的化合键发生断裂、异构化和小分子聚合等反应
前处理设备	除大件垃圾外, 不分类破碎	需分类破碎至 5 cm 以下	除大件垃圾外, 不分类破碎	需对垃圾进行分类
优点	1. 技术相对成熟, 有较高的运行可行性和单台处理能力, 适用大容量 2. 烟气排放量和灰渣产量低 3. 无需混煤燃烧, 余热利用率高	1. 结构紧凑、投资低、运行稳定, 适用中容量 2. 燃烧适应性强 3. 氮氧化物生成量少	1. 运行稳定, 可适用中、大容量 2. 燃料适应性好, 可高温安全燃烧	1. 设备结构简单 2. 烟气氮氧化物、二噁英含量低 3. 维护简单
缺点	1. 炉排加工精度和控制要求高 2. 运行费用较高 3. 后期维护检修工作量大	1. 需补充煤炭达到燃烧要求 2. 占地多, 飞灰产量多, 动力消耗大 3. 存在严重的受热面磨损问题	1. 窑深较长, 需设后燃室 2. 炉内的耐火材料易损坏 3. 投资高, 占地面积大	1. 不适合处理含水率高、热值低的垃圾 2. 焚烧炉处理能力低 3. 热量回收率低

国外的一些发达国家, 已经广泛将堆肥技术应用到了固体废弃物的处理与处置中, 且为了提高堆肥效率, 很多国家在实际处理固体废弃物过程中会添加一些相应的填料, 其不仅可以有效地处理污泥问题, 且还能达到消灭病菌的作用。目前我国堆肥处理的应用还不太广泛, 处于初步发展阶段, 大多采用好氧堆肥, 即在氧气充足的条件下, 利用好氧菌, 将有机物氧化为无机物, 同时获得维持自身生命活动所需的能量。堆肥法适用于处理有机物含量高的生物质材料, 固体废弃物中含有大量不可堆肥垃圾, 若不对其进行分选, 会影响堆肥质量, 如表 4 为根据是否可堆肥对垃圾进行的分类[10]。

Table 4. The classification of compostable and non-compostable waste
表 4. 可堆肥垃圾与不可堆肥垃圾分类

分类	内容	
可堆肥垃圾	生活垃圾	厨余垃圾、厨房尾菜、食物残渣、瓜皮、果屑、茶叶等植物性垃圾
	化粪池污泥	人畜粪便三格化粪池污泥、沼气池沼渣沼液等
	公共环境产生的有机垃圾	落叶残枝、杂草等
不可堆肥垃圾	可回收垃圾	废纸、塑料、玻璃、金属、布料、橡胶、人造合成材料包装等
	有害垃圾	过期药品、实验残渣等
	动物性垃圾	畜禽尸体
	建筑垃圾	碎砖、碎瓦、水泥、混凝土、木头等
	其他垃圾	外来入侵物种、砖瓦陶瓷、渣土、卫生间废纸等

固体废弃物堆肥工艺的无害化与资源化程度较高,不会产生二次污染;可将垃圾中的有机质分解为有机肥料;但成本和技术要求高,没有环境和经济优势;与其他垃圾处理技术相比占用空间较多;且相比其他技术来说需要对垃圾进行一定的预处理,如分选和破碎[11];我国对于垃圾的分类还处于初步阶段,使得目前混合收集的固体废弃物生产出来的堆肥产品肥效低、杂质多,可能会造成土壤重金属污染,导致市场需求不佳[12]。

3.4. 垃圾热解

垃圾热解是指将垃圾在无氧或缺氧状态下加热,使之分解为液态焦油、固态生物炭和可燃性气体的过程。垃圾热解操作简便、焚烧过程便于控制;二次污染小,因垃圾热解是在无氧或缺氧环境中进行的,所以排气量少,氮氧化物和二噁英等有害气体产生量少;热分解残渣少,腐败性有机物少,填埋时产生的污染问题小;垃圾热解的产物为液态焦油、固态生物炭和可燃烧气体等,经济效益较高。

生物炭是一种含碳率高、比表面积大、理化性质稳定的多孔性材料,在能源、材料和环境方面具有巨大的应用前景。生物炭作为土壤改良剂施入土壤中,会增加土壤持水量,增加土壤孔隙度,提高土壤pH值,补充土壤养分,有效提高农作物产量[13]。生物炭是一种稳定性碳源,可减缓全球温室效应。有学者将生物炭以不同比例替代水泥制成生物炭混凝土,并将其应用在新增建筑、既有建筑改造及人行道改造中,在满足建筑所需强度要求与环境要求的同时,还可对碳进行永久封存[14]。

4. 固体废弃物处理可行政策

4.1. 建立健全垃圾分类制度

对垃圾进行分类不仅有利于对不同类垃圾进行针对性的预处理,而且可提高垃圾处理的效率。2019年1月31日,上海市十五届人大二次会议表决通过《上海市生活垃圾管理条例》,并将于7月1日正式开始在上海实施,并将逐渐在全国推广。垃圾分类的实施不是一蹴而就的,需要逐步建立公众的环保意识,并在实际应用中不断调整相关政策[15]。

4.2. 用源头治理代替末端治理

在上个世纪至二十一世纪初,我国的垃圾处理主要是被动地产生多少就处理多少,主要采取末端处理的方法,即“先污染,后治理”的策略。随着国民生活水平的提高,一方面,垃圾产生量逐渐增大,超过了垃圾处理厂的负荷量,另一方面,人们的环保意识逐渐增强,意识到末端处理会产生严重的二次污染问题。在探索垃圾处理新途径时,“源头治理”概念被提出,比起末端治理来说,源头治理能更有效控制工业固废的排放。而源头治理最有效的手段就是企业实施清洁生产。清洁生产相对于末端治理优势明显,主要体现在投资少,运行费用低,环境效益好。

4.3. 创新科技技术寻求再生利用新思路

垃圾是放错位置的宝,我们要积极改进传统的固体废弃物处理方法,解决其效率低下和造成的二次污染问题,同时引进先进的处理技术和设备,并根据当前我国不同城市的固体废弃物的产生量与其成分进行改进。不仅如此,我们还应加大科研投资,致力于探寻城市固体废弃物处理的新思路、新方法。提高固体废弃物的利用效率,利用固体废弃物生产清洁的环保产品,促进再生产业的发展。

5. 结语

现阶段,我国正处于城镇化建设的关键阶段,城镇居民的人口数量大量增长,产生了数量庞大、成分复杂的城市固体废弃物。随着政府和公众对于城市固体废弃物危害认识的加深,对固体废弃物处理技

术的改进与多元化探索也在进一步进行。要解决我们当前面临的固体废弃物所引发的环境问题，需遵循减量化、资源化、无害化的处理原则积极探寻新的处理技术，同时需社会各界的共同努力。

基金项目

中央高校基金 “天然河流急流 - 深潭 - 河滩系统生态功能研究(300102299303)”。

参考文献

- [1] 崔开放, 史波芬. 城市固体废弃物处理技术的研究进展[J]. 节能, 2019, 38(4): 165-166.
- [2] 张萍, 杜伟. 我国工业危险废物管理存在问题和对策[J]. 科技信息(科学教研), 2008(24): 659.
- [3] 2018年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报[R].
- [4] 姜丽兰. 江苏省城市生活垃圾产生量的影响因素分析[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(1): 48-50.
- [5] 宋建利, 石伟勇, 倪亮, 王亮. 城市生活垃圾现状与资源化处理技术研究[J]. 河北农业科学, 2009, 13(7): 58-61.
- [6] 肖雄. 生活垃圾卫生填埋场渗滤液的控制及处理方案探讨[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(6): 35-37.
- [7] Ping, W., Yuanan, H. and Hefa, C. (2019) Municipal Solid Waste (MSW) Incineration Fly Ash as an Important Source of Heavy Metal Pollution in China. *Environmental Pollution*, **252**, 461-475. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.082>
- [8] Cheng, H. and Hu, Y. (2010) Municipal Solid Waste (MSW) as a Renewable Source of Energy: Current and Future Practices in China. *Bioresour. Technol.*, **101**, 3816-3824. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.040>
- [9] Nyashina, G.S., Vershinina, K.Yu., Shlegel, N.E. and Strizhak, P.A. (2019) Effective Incineration of Fuel-Waste Slurries from Several Related Industries. *Environmental Research*, **176**, Article ID: 108559. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108559>
- [10] 迟迅, 王宝杰, 孙成军, 徐学东. 农村生活有机垃圾堆肥处理模式研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2017, 48(5): 749-751.
- [11] 郭在培, 孔飞, 黄伟钊. 厨余垃圾快速干化堆肥规模生产工艺的试验研究[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(4): 29-31.
- [12] Yang, W.Q., Zhuo, Q., Chen, Q. and Chen, Z. (2019) Effect of Iron Nanoparticles on Passivation of Cadmium in the Pig Manure Aerobic Composting Process. *The Science of the Total Environment*, **690**, 900-910. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.090>
- [13] Shaukat, M., Samoy-Pascual, K., Maas, E.D.V.L. and Ahmad, A. (2019) Simultaneous Effects of Biochar and Nitrogen Fertilization on Nitrous Oxide and Methane Emissions from Paddy Rice. *Journal of Environmental Management*, **248**, Article ID: 109242. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.07.013>
- [14] 张兴伟. 生物炭混凝土碳封存技术及生态功能研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
- [15] 黎凌. 德国的垃圾分类回收体系[N]. 学习时报, 2019-9-6(2).