

# 村镇生活垃圾

## 清洁能源利用技术

CUNZHEN SHENGHUO LAJI  
QINGJIE NENGYUAN LIYONG JISHU

■ 夏训峰 席北斗 王 峰 张军政 赵一德 等 / 编著

# 村镇生活垃圾清洁能源利用技术

夏训峰 席北斗 王峰 张军政 赵一德 等 编著

中国环境出版集团·北京

320千字  
19.5元

2018年4月第1版  
2018年4月第1次印刷

787×1092 1/16

ISBN 978-7-871-17613-6

中国环境出版集团

环境出版社

北京市丰台区右安门内大街16号

100062

http://www.ceep.com.cn

010-67112732

010-67112733

010-67112703

010-67112702

010-67112701

010-67112700

010-67112700

010-67112700

图书在版编目 (CIP) 数据

村镇生活垃圾清洁能源利用技术/夏训峰等编著. —  
北京: 中国环境出版集团, 2018.4  
ISBN 978-7-5111-3434-9

I. ①村… II. ①夏… III. ①农村—生活废物—固  
体—废物利用—研究 IV. ①X799.305

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 304069 号

出版人 武德凯  
责任编辑 黄晓燕 孔 锦  
责任校对 任 丽  
封面设计 宋 瑞



更多信息, 请关注  
中国环境出版集团  
第一分社

出版发行 中国环境出版集团  
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.com.cn>  
电子邮箱: [bjgl@cesp.com.cn](mailto:bjgl@cesp.com.cn)  
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)  
010-67112735 (第一分社)  
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中献拓方科技发展有限公司  
经 销 各地新华书店  
版 次 2018 年 4 月第 1 版  
印 次 2018 年 4 月第 1 次印刷  
开 本 787×1092 1/16  
印 张 13.25  
字 数 280 千字  
定 价 59.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

## 前 言

目前,我国村镇生活垃圾的处理技术和管理模式具有多样性和复杂性。我国村镇生活垃圾具有产生源点多量大、组分复杂、布局分散、不利于收集等特点。与城市生活垃圾相比,我国村镇生活垃圾的灰土含量较高,有机物含量较低,热值较低。同时,由于我国幅员辽阔,地区经济发展、生活习惯、自然地理和气候情况差距较大,不同区域村镇生活垃圾的产生状况与组分也存在较大差异。

本书旨在根据我国村镇生活垃圾分布特点及其经济社会发展水平,开发适合我国村镇生活垃圾清洁能源利用共性技术及设备,重点开展村镇生活垃圾的预处理技术、热解技术、干法厌氧产沼技术、湿法厌氧产沼技术和产品利用技术以及相应设备开发。通过技术研发、系统集成与运行条件优化,突破关键共性技术,建立适合于村镇生活垃圾可持续能源发展战略需求的高值化利用技术模式和综合示范。

本书在国家科技支撑课题“村镇生活垃圾处理与资源化利用关键技术研究及示范”的基础上完成。本书系统地介绍了国内村镇生活垃圾及其预处理技术现状,村镇生活垃圾预处理设备研发,热解技术与设备研发,热解集成技术中试,干法厌氧产沼技术与设备研发,湿法厌氧产沼技术与设备研发等内容。

本书的编写人员及分工为:第1章由夏训峰、王丽君、高生旺编写;第2章由赵一德、夏训峰、王丽君编写;第3章由夏训峰、席北斗、王丽君、韦超编写;第4章由王峰、王丽君、高生旺编写;第5章由张军政、王丽君、高生旺编写;第6章由夏训峰、王丽君、徐善宝编写,本书由夏训峰统稿。作者在编写过程中也参考了许多学者的研究结果,书后附有参考文献,有些引述的内容未能注明出处,在此向这些作者表示歉意,并致以深深的谢意。

由于水平有限,书中的观点和内容尚不完善,不足和疏漏之处在所难免,敬请专家、同行和广大读者批评、指正。

编者

2017年8月

# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 我国村镇地区的生活垃圾现状	1
1.2 村镇生活垃圾污染的基本特征	2
1.3 村镇生活垃圾的产量及其分布	3
1.4 国外生活垃圾处理技术现状	4
1.5 国内生活垃圾处理技术现状	7
第2章 村镇生活垃圾分选及预处理技术	8
2.1 村镇生活垃圾预处理技术的发展及存在的问题	8
2.2 国内村镇生活垃圾情况调研	9
2.3 村镇生活垃圾预处理技术调研	10
2.4 村镇生活垃圾处理工艺的预处理要求	17
2.5 预处理设备与技术分析	22
2.6 破碎机的选择与设计	27
2.7 筛分设备选择与设计	37
2.8 研究结果	42
2.9 小结	46
第3章 高效清洁安全的村镇生活垃圾热解技术与设备研发	47
3.1 研究背景	47
3.2 村镇生活垃圾高效热解技术的研发	48
3.3 热解过程中污染物控制技术的研发	57
3.4 生活垃圾热解产物净化处理及设备的研发	65
3.5 村镇生活垃圾热解集成技术中试	73
3.6 研究结果	77
3.7 小结	78

第4章 村镇生活垃圾序批式干法厌氧产沼技术与设备研发 .....	80
4.1 研究背景 .....	80
4.2 村镇生活垃圾调研和预处理分析研究 .....	81
4.3 干法卧式序批式厌氧产沼工艺及参数优化 .....	84
4.4 干法卧式序批式厌氧产沼反应器的研发 .....	102
4.5 厌氧产沼产物利用技术研究——沼气脱硫及纯化技术 .....	108
4.6 热自持型沼气加热-干法厌氧产沼工艺系统研究 .....	126
4.7 研究结果 .....	131
4.8 小结 .....	133
第5章 村镇生活垃圾湿法厌氧产沼技术与设备研发 .....	135
5.1 研究背景 .....	135
5.2 湿法厌氧产沼系统的快速启动与稳定运行技术 .....	135
5.3 湿法厌氧发酵系统的生物增强技术研究 .....	175
5.4 好氧堆肥技术与厌氧发酵耦合研究 .....	186
5.5 湿法厌氧产沼反应器的研发及运行调控技术 .....	187
5.6 村镇生活垃圾混合物料厌氧发酵产沼中试示范研究 .....	192
5.7 湿法厌氧发酵产物的利用技术 .....	196
5.8 小结 .....	200
第6章 结论与展望 .....	201
6.1 结论 .....	201
6.2 展望 .....	202
参考文献 .....	203

# 第1章 绪论

## 1.1 我国村镇地区的生活垃圾现状

我国村镇生活垃圾具有产生源点多量大、组分复杂、布局分散、不利于收集等特点。与城市生活垃圾相比,村镇生活垃圾的灰土含量较高,有机物含量较低,热值较低。同时,由于我国幅员辽阔,地区经济发展、生活习惯、自然地理和气候情况等差距较大,不同区域村镇生活垃圾的产生状况与组分也存在较大的差异。因此,我国村镇生活垃圾的处理技术和管理模式具有多样性和复杂性。

据《2014年中国环境状况公报》统计显示,2014年,有生活垃圾收集点的行政村为34.6万个,占行政村总量的63.2%;而全国对生活垃圾进行处理的行政村有25.7万个,仅占行政村总量的47.0%。同时,村镇生活垃圾收运设施数量的严重不足,收运过程密闭化和机械化程度低,设施不配套。目前,我国大多村镇没有生活垃圾收运处理设施,生活垃圾处于随处乱堆状态;一些设有生活垃圾收集点的村镇多为露天收集,没有采取任何密封和清洁措施,收集后的生活垃圾没有采取任何防渗措施的简易填埋,对于周边环境的危害较大;少数村镇采用焚烧和堆肥等简化工艺处理生活垃圾。

我国的村镇生活垃圾呈现出三大特点,即数量大、品质差、危害多的污染特点。每年产生的废弃物数以亿计,农业废弃物由于有益成分含量低,即可利用物品位不高,而有害成分含量高,利用中必须进行无害化处理,因此成本提高。目前我国农业废弃物的利用率和前几年相比不仅未提高,反而有所降低,秸秆焚烧和集约化养殖带来的畜禽粪污对环境的污染日趋严重,农民大多不把它作为一种资源利用,随意丢弃或者排放到环境中,使本来的“资源”变为“污染源”,对生态环境造成了很大的影响。

因此,有必要对国内外村镇生活垃圾清洁能源利用现状和发展趋势进行研究分析,找出影响我国村镇生活垃圾清洁能源利用的主要限制因素和技术“瓶颈”,研发适应这一国情的有机废弃物资源化利用模式,突破村镇生活垃圾来源多变、用途多样、自然条件各异的“瓶颈”,解决村镇生活垃圾清洁能源利用过程中毒害污染物的生态与健康风险等问题,真正实现村镇生活垃圾变“废”为“宝”,消除环境污染。这不但是改善环境的需要,还可以实现资源的有效整合和高效利用,也是保护我国饮用水安全、实现村镇主要



污染物减排、改善农产品质量与安全的客观需求，促进村镇建设与城镇化的可持续发展的内在要求。

## 1.2 村镇生活垃圾污染的基本特征

### 1.2.1 垃圾产量大，成分日趋复杂

随着我国农村居民消费水平的提高，以及各种现代工业生产的日用消费品的普及，必然产生大量的生活垃圾。全国有 19 881 个建制镇和 13 281 个乡，58.9 万个行政村，自然村 266.9 万个。2013 年，我国农村产生的生活垃圾约为 1.5 亿 t，其中经过处理的垃圾占 51.2%，但无害化处理率不到 30%。大量生活垃圾无序或露天堆放，对环境造成严重污染，不仅占用土地、破坏景观，而且还传播疾病，严重污染了水环境、土壤和空气以及农村人居环境。农村生活垃圾的急剧上升已成为一个严峻的环境问题，“垃圾围城”或“垃圾向农村发展”等问题所带来的环境困扰已严峻地摆在了人们面前。

农村生活垃圾的构成主要受农民生活水平、能源结构、季节变化和生活习惯等的影响，同时随着工业产品在农民的生活中日益增多，生活垃圾成分和含量也趋向城市化。从表 1-1 中可以看出我国村镇生活垃圾的人均产量在地理位置上分布不均，北方农村许多地方为燃煤区，生活垃圾无机成分含量大，南方地区农村生活垃圾则以易腐蚀有机垃圾厨余和果皮为主。

表 1-1 不同地区农村生活垃圾组分构成

地区	生活垃圾组分构成的平均值/%							
	厨余	渣土	玻璃	金属	纸类	塑料	织物	其他
中国	45.73	26.58	2.45	1.28	7.77	8.78	2.75	4.65
华北	41.73	36.41	1.54	0.81	3.50	7.30	1.34	5.93
东北	30.45	50.98	2.37	2.11	3.40	4.16	1.83	4.81
华东	51.04	20.22	2.53	1.06	8.02	9.54	3.24	4.34
华中	44.36	34.84	1.84	0.93	5.99	8.54	1.88	1.11
华南	56.80	4.85	3.51	0.63	10.90	15.02	4.05	4.14
西南	45.62	22.61	2.33	1.18	11.02	8.89	2.82	5.76
西北	60.25	17.06	1.08	1.53	6.74	8.20	2.21	2.93

### 1.2.2 垃圾分散，随意倾倒，难以收集

农村居民居住分散，地域广，绝大部分农村没有专门的垃圾收集、运输、填埋及处理系统。农村生活垃圾几乎都是在田间村头、道路两旁等随地丢弃。长此以往，道路两旁、



村头空地都成了简易垃圾填埋场，自然低洼地也成了天然垃圾箱。全国农村一年的生活垃圾中，约有 0.6 亿 t 的垃圾被随意堆放或倒入河流湖泊中。垃圾不仅占用了大量土地，而且成为苍蝇、蚊虫、老鼠等病原体滋生的场所。被垃圾污染的河流在不断增多，水体逐渐发黑，水中漂浮的垃圾随处可见，严重污染地表水体。

### 1.2.3 城市垃圾向农村地区输送

一部分城市由于基金或技术的局限，常常把城市垃圾向郊区、农村地区输送，从而加重了农村生态环境压力，影响了农村整体的环境卫生，并且对农村地下水土壤、空气造成严重污染，同时给当地农民的身体健康带来了影响。正是由于城市垃圾运输到农村，加上处理方式不合理，这就造成了农村垃圾处理的难度与日俱增和农村生活垃圾随意堆放的现象，使本来就缺乏保护的农村生态环境日趋恶化。

## 1.3 村镇生活垃圾的产量及其分布

根据《2013 年村镇建设统计年鉴》及住建部 2013 年组织的现场调查结果，我国各省建制镇人口的人均生活垃圾产生率为  $0.6\sim 1.10\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ ，集镇区人口的人均生活垃圾产生率为  $0.4\sim 0.7\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ ，村庄人口的人均生活垃圾产生率为  $0.5\sim 1.0\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ ，全国平均的村庄人均生活垃圾产生率为  $0.70\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 。根据上述不同类型村镇居民的人均生活垃圾产生率，结合 2013 年我国村、乡（集镇）、镇的人口分布调查结果，可推测我国建制镇、集镇和村庄年生活垃圾产生量分别约为 0.59 亿 t、0.38 亿 t 和 0.52 亿 t。

以上述测算为基础，根据我国各省（区、市）不同类型村镇居民人口分布，并以其非建成区面积为基础，得到各省（区、市）镇（集镇）和村庄生活垃圾产生密度分布图（图 1-1 和图 1-2）。

由图 1-1 可见，村镇生活垃圾的产生密度远低于城市建成区[中位值大于  $4\ 000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ]，除建成区面积比例高的直辖市和江苏、浙江等个别省（区）外，其他省（区、市）镇（集镇）生活垃圾产生密度低于  $30\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ，村庄生活垃圾产生密度低于  $100\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ，两者的全国合计的生活垃圾产生密度中位值仅为城市建成区的 1%。

村镇生活垃圾产生密度与城市建成区的巨大差异，明确显示其集中处理的物流成本将显著高于城市；同时，村镇生活垃圾产生密度反映了其对环境威胁水平，因此各省行政区村镇生活垃圾产生密度的差异也是其村镇生活垃圾迫切性的差异。显然，除直辖市外，全国各大区域村镇生活垃圾处理任务最为严峻的是华东、华南区各省；华北、西南次之；西北和东北的陕西与辽宁基本相当。

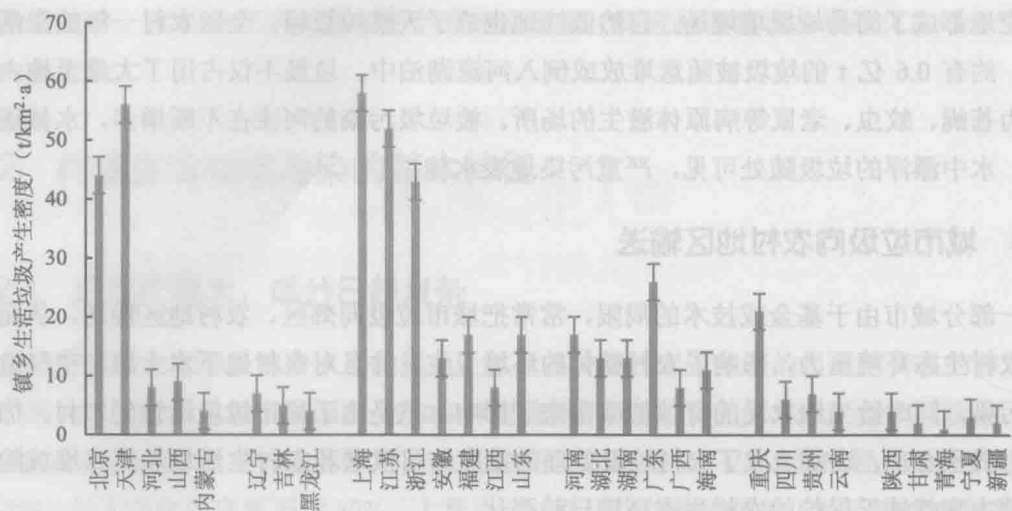


图 1-1 各省(区、市)镇(集镇)生活垃圾产生密度分布

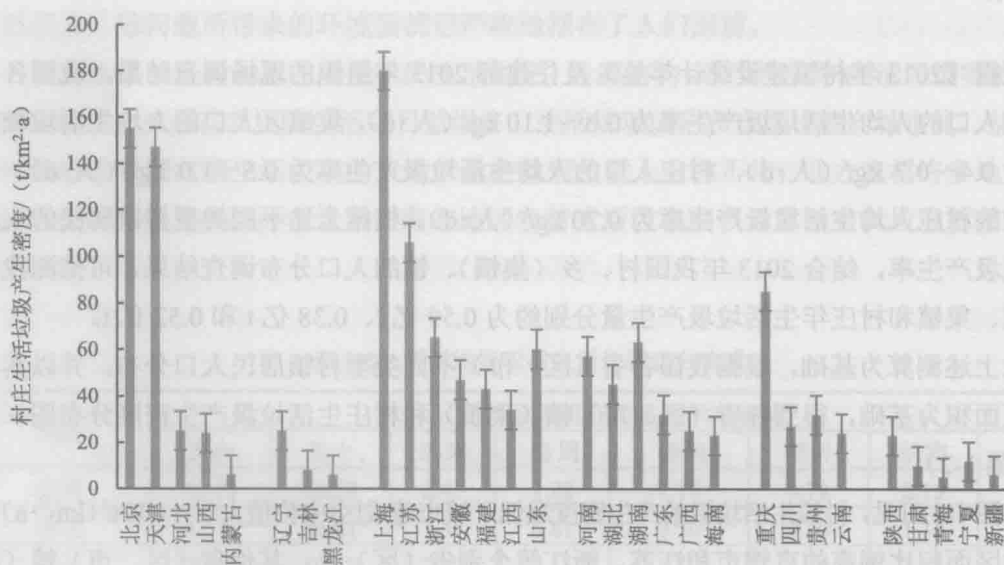


图 1-2 各省(区、市)村庄生活垃圾产生密度分布

## 1.4 国外生活垃圾处理技术现状

1996年以来,奥地利、比利时、加拿大、丹麦、芬兰、法国、德国、意大利、日本、卢森堡、荷兰、挪威、西班牙、瑞典、瑞士、英国、美国和新加坡等一些国家的生活垃圾处理方法以填埋为主。此后,随着经济的发展,越来越多的国家采用焚烧法。目前,日本、瑞士、比利时、丹麦、法国、卢森堡、瑞典、新加坡等国家采用焚烧法处理垃圾的比例都

接近或超过填埋法，而堆肥法在国外已较少使用。对于生活垃圾中可利用物质的回收利用率，在发达国家中平均为 25% 左右，有的高达 50% 以上。

### 1.4.1 填埋技术现状

英国最早于 1930 年，美国于 1940 年开始采用生活垃圾卫生填埋技术——有控制的生活垃圾填埋技术。国外从 20 世纪 80 年代开始在垃圾填埋场防渗处理中使用人工合成材料作为衬底，逐步成为一项成熟的技术得到广泛的应用。通常采用 2 mm 厚的高密度聚乙烯 (HDPE) 作为衬底材料，其渗透系数可达  $10^{-13} \sim 10^{-12}$  cm/s。目前，人工合成衬底材料已经形成了系列产品，并制定了相应的设计和施工标准。

垃圾填埋场作业一般由垃圾推土机和垃圾压实机操作，既可以提高场地利用率，又可以减少雨水对垃圾的冲刷。现代化大型生活垃圾卫生填埋场大多采用单元填埋法，并对垃圾进行分层压实和每日覆盖。

控制填埋沼气的自由转移或扩散是填埋技术的一个组成部分，填埋沼气的主要成分是甲烷和二氧化碳。通常采用的方法是通过石笼等形式将填埋沼气导排；二是通过石笼和收集管将填埋沼气导排并使其安全直燃；三是通过管网系统收集后经净化处理作为能源回收利用。

### 1.4.2 堆肥技术现状

对堆肥技术进行科学研究是始于 20 世纪 20 年代，而高温好氧堆肥技术是从 30 年代开始采用的。根据工艺流程和运行状况，高温好氧堆肥处理技术可分为静态好氧堆肥处理技术、动态好氧堆肥处理技术和间歇式动态好氧堆肥处理技术三种。进入 90 年代以来，动态好氧堆肥处理技术在一部分国家率先得到应用。早在 70—80 年代，许多发达国家曾建设了大批机械化程度较高的垃圾堆肥厂，不少国家还制定了垃圾堆肥产品的技术标准，并依据相关技术标准制定了多种用途的堆肥系列产品，以适用不同作物、不同土壤和不同用肥途径（如家庭养花、庭院苗圃、园林绿化、农业种植等）的需求。同时也在提高垃圾堆肥产品销售和拓展垃圾堆肥产品使用范围等方面做了大量工作，有效地推动了垃圾堆肥技术的推广应用。80 年代后期，发达国家的生活垃圾堆肥技术应用陷入低谷，有不少国家的许多规模较大且机械化程度较高的生活垃圾堆肥厂相继倒闭。但即使在这种情况下，一些国家或城市仍在坚持不断改进垃圾堆肥技术，提高垃圾堆肥产品质量，稳步发展生活垃圾堆肥技术。

目前，国外生活垃圾堆肥厂数量总体呈下降趋势，但垃圾堆肥技术的发展并没有停顿。发展较快的有两种堆肥方式：一是庭院垃圾堆肥；二是制造有机复合肥技术。

### 1.4.3 焚烧技术现状

生活垃圾焚烧技术的发展历史相对较短,大致经历了萌芽阶段、发展阶段和成熟阶段。

萌芽阶段是从 19 世纪 80 年代开始到 20 世纪初期。英国诺丁汉和美国纽约先后采用焚烧方法处理生活垃圾。德国汉堡和法国巴黎也先后建立了世界上最早的生活垃圾焚烧厂。第二次世界大战后,经济发展非常快,居民生活水平进一步提高,垃圾中的可燃物和易燃物迅速上升,促进了垃圾焚烧技术的应用。特别是在 20 世纪 60 年代的电子工业变革后,许多先进技术在垃圾焚烧炉上得到了应用,使垃圾焚烧炉得到了进一步的完善。70—90 年代中期的 20 多年,是垃圾焚烧技术发展最快的时期,几乎所有的发达国家、中等发达国家都建有不同规模、不同数量的垃圾焚烧厂,发展中国家已建有或正在筹建垃圾焚烧厂的也不在少数,垃圾焚烧技术的发展方兴未艾。

垃圾焚烧法是一种比较有效的垃圾处理方法。它的减量化、资源化和无害化效果都比较理想。垃圾焚烧技术经过几十年的发展现在已经比较成熟,机械炉排炉的类型已经基本定型。制约垃圾焚烧技术发展的主要因素是二次污染防治技术。

### 1.4.4 回收及循环利用技术现状

近年来,发达国家把现实生活垃圾资源化提高到社会可持续发展的战略高度,垃圾资源化已经成为各国谋求垃圾治理的目标。发达国家在推进生活垃圾资源化进程中都制定了《关于容器包装废弃物的政府令》,如德国制定了《容器包装政府令》;丹麦制定了《再循环法》;日本制定了《再生资源化利用促进法》和《容器包装再循环法》;奥地利制定了《包装条例》等。除了法律法规的保障外,发达国家还对废弃物循环利用和再生利用予以政策上的支持。同时遵循“谁污染、谁负担”的原则,借助经济手段来保证有关举措的实施,如采取课税制度等。美国纽约州对使用 50% 以上再生原料的企业实行减税制度;加拿大的部分州实行在销售过程中对易于循环的产品课以小额度税金,对不易再循环的产品课以大额度税金。

许多国家对居民实行生活垃圾收费制,不少国家还在商品流通领域实行抵押金制度。如德国规定产品的销售者有义务在一次性容器及包装上加贴标签,并向消费者收取抵押金。挪威规定消费者在购买汽车时要缴纳一定数额的押金,在汽车被回收时连同利息一起返还。另外,还有一些国家实行政府补贴和建立基金等方式来鼓励生活垃圾的资源化。如瑞士 1996 年起向建设和管理生活垃圾焚烧厂的企业增加补助金;英国政府给供电公司发放补贴用以购买生活垃圾焚烧厂生产的电力;法国为推进生活垃圾焚烧发电事业的发展,政府采取资金补贴的方式给予支持。

## 1.5 国内生活垃圾处理技术现状

纵观国内生活垃圾处理技术理论研究和工程实践,成熟且常用的生活垃圾处理技术主要有填埋、堆肥、焚烧三种。回收利用技术目前仅在少数几个城市中进行试点工作,应用实例尚不多。

### 1.5.1 填埋技术现状

填埋技术作为生活垃圾的传统和最终处理方法,目前仍然是解决我国大多数生活垃圾出路最主要的方法,约占总量的95%。根据环保措施(主要有场底防渗、分层压实、每天覆盖、填埋导排气管、渗沥水处理、虫害防治等)是否齐全、环保标准能否满足来判断,我国的生活垃圾填埋场可分为三个等级:简易填埋场(非卫生填埋场)、受控填埋场(准卫生填埋场)、卫生填埋场。严格按照标准建设和运营的卫生填埋场数量较少,经济不发达地区仍然是简易填埋。

### 1.5.2 堆肥技术现状

我国具有传统堆肥技术的悠久历史,但堆肥处理率并不高。目前只有5%左右,在我国常用的生活垃圾堆肥技术可分为两类:简易高温堆肥技术和机械化高温堆肥技术。

### 1.5.3 焚烧技术现状

我国生活垃圾焚烧技术的研究起步于20世纪80年代中期。“八五”期间被列为国家科技攻关项目,目前仅有深圳、上海等少数城市采用了焚烧技术,尚处于起步阶段。

## 第2章 村镇生活垃圾分选及预处理技术

### 2.1 村镇生活垃圾预处理技术的发展及存在的问题

我国村镇生活垃圾成分复杂，并且具有“可回收物质含量和热值较低，垃圾含水率和可生物降解的有机物含量高”的特点，单一方式的垃圾处理系统不仅难以达到处理垃圾资源化、无害化、减量化的要求，而且造成不必要的浪费。对垃圾进行有效的预处理，不仅可以减少垃圾的处理量，还可以回收部分资源性物质。

垃圾预处理技术在国外已实现较成熟的应用。例如，为解决垃圾填埋用地不足的问题，德国从源头上进行预处理分类并控制垃圾量，1996年颁布了《循环经济法》，按物资应在消费和生产中循环使用的原则，强化了废品的分类收集和有效利用，到1998年城市垃圾利用率已达30%，产业废物利用率已达59%。美国的垃圾产量大，且发热值高达12 MJ/kg以上，因此在垃圾焚烧时着重提高热能利用率，将垃圾预处理后，可燃物再粗加工为固形燃料，其发热量可达20 MJ/kg，既便于运输，又可以合理燃烧和减少污染物的排放。目前这种以废物为主的固性燃料已标准化和系列化。加拿大地广人稀，故垃圾焚烧减量不快，近年来，从垃圾环保和生态农业出发，禁止对有毒废物以外的垃圾进行焚烧处理。他们的预处理方法是以尺寸分类，拣出其中的玻璃、塑料、金属、纸、布等可再生部分进行再生利用，对不便再生的可燃部分由锅炉燃烧供热，其余部分粉碎后供堆肥用。日本从节约资源、减少垃圾量出发，分别于1995年和1998年相继颁布了《包装容器再生法》和《家用电器再生法》，通过对这些垃圾进行拆卸、分类等预处理，推进了垃圾的资源化进程。

在分析国内外生活垃圾资源化技术的基础上，结合我国生活垃圾组成的实际情况，制订合适的垃圾处理技术方案。我国生活垃圾中含塑料、纸张、金属等有用物质较多，通过二次分选可以将这些可利用成分进行回收综合处理，其中回收的纸张和金属运往工厂进行再生利用。通过分选后的有机物，去除了垃圾中大部分土渣成分，从而大大提高了垃圾中有机质的含量，提高了堆肥的质量，也减少了垃圾中电池等重金属的有毒化学成分污染，将堆肥的危害降至最低，使垃圾堆肥为我国绿色生态农业的发展做出贡献。分选出的灰土和煤渣及大尺寸的砖瓦等无机物可做建筑材料或直接运往填埋场填埋。对于生活垃圾的资源化，没有一种通用的处理方式可以适用我国各个地区，只有根据各地区垃圾的性质、当



地气候条件,从经济发展的实际出发,选择一种合理的垃圾预处理方式,才能解决垃圾资源化处理中的“瓶颈”,推进垃圾资源化发展的进程。

## 2.2 国内村镇生活垃圾情况调研

### 2.2.1 产生量

总体而言,我国村镇生活垃圾的特点主要是产生源多、量大、组分复杂、布局分散等。根据《2009年村镇建设统计年鉴》及住建部在2011年组织的现场调查结果,我国各省建制镇与集镇(未设镇的乡行政驻地)人口的人均生活垃圾产生率为 $0.20\sim 1.70\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ ,全国平均的建制镇人均生活垃圾产生率为 $0.79\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ ,集镇为 $0.52\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ ;村庄人口的人均生活垃圾产生率为 $0.07\sim 2.1\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ ,全国平均的村庄人均生活垃圾产生率为 $0.50\text{ kg}/(\text{人}\cdot\text{d})$ 。根据上述不同类型村镇居民的人均生活垃圾产生率,结合2012年我国村、乡(集镇)、镇的人口分布调查结果,可测算我国建制镇、集镇和村庄生活垃圾年产生量分别约为0.5亿t、0.07亿t和1.5亿t。

### 2.2.2 垃圾组成

根据全国范围内村镇的实地调查,选择已进行生活垃圾收集的村镇,汇总了我国不同大区村镇生活垃圾组成(表2-1)。由表2-1可见,村镇生活垃圾的主要组分可以分为三大类:①食品和植物残余;②渣土(包括炉灰、砖瓦石等);③“废品”类(主要有塑料、玻璃、金属等包装物残余及织物、纸等非耐用消费品残余)。在相同区域内的村庄与镇建成区生活垃圾的组成差异并不明显;不同大区比较,北方村镇生活垃圾中的渣土类组分稍高于南方村镇,而“废品”类组分的差异并不明显。总体来看,我国村镇生活垃圾中的最重要组分为食品和植物残余,占33.6%左右;其次为“废品”类组分,占5%~40%,平均约30%;渣土类组分平均约占43.38%;其他组分一般小于5%。

表2-1 村镇生活垃圾组成调查汇总

调查点	质量组分/%								
	食品与植物	渣土	塑料	纸类	织物	金属	玻璃	有害垃圾	其他
华东四镇	52.0	15.0	12.0	7.0	2.5	0.5	3.5	0.5	7
长沙县金井镇	—	65	—	—	30	—	—	—	5
琼海市龙江村	45.0	28.0	9.5	6.2	0.6	0.5	2.8	—	7.4
罗江县御营镇	69.1	6.6	2.4	2.0	19.4	0.2	0.4	0.02	—
罗江县白马关镇	47.0	13.9	20.0	14.0	5.0	—	—	0.1	—



调查点	质量组分/%								
	食品与植物	渣土	塑料	纸类	织物	金属	玻璃	有害垃圾	其他
仁寿县大化镇	45.0	47.0	—	3.0	—	1.0	—	—	4
宝鸡张家碾镇	35.0	25.0	—	—	40.0	—	—	—	—
抚顺南独乐河镇	40.0	20.0	—	—	30.0	—	—	—	—
抚顺康庄镇	45.0	15.0	—	—	30.0	—	—	—	—
辽中刘二堡	80.0	10.0	—	—	10.0	—	—	—	—
京郊平谷和延庆	—	70~90	—	—	10~30	—	—	—	—

### 2.2.3 垃圾特性

选取我国东部、中部和西部的几个典型村镇进行垃圾特性研究。研究发现,典型村镇生活垃圾的容重范围是  $142.3\sim 236.7\text{ kg/m}^3$ ,电导率变化范围为  $714\sim 1\,375\ \mu\text{S/cm}$ 。典型村镇生活垃圾的 pH 值在  $8.1\sim 9.1$ ,呈现弱碱性。村镇生活垃圾含水率在  $54.03\%$ ,略高于城市生活垃圾的含水率均值(约  $50\%$ )。典型村镇生活垃圾热值为  $2\,401\sim 4\,556\text{ kJ/kg}$ ,亦显著低于我国城市生活垃圾的热值均值(约  $4\,180\text{ kJ/kg}$ ),原因可能是村镇生活垃圾中的灰土含量高于城市生活垃圾。此外,村镇生活垃圾的有机质含量在  $20.6\%\sim 34.7\%$ 。

## 2.3 村镇生活垃圾预处理技术调研

虽然垃圾预处理会增加一些成本,但它与垃圾资源化产生的经济效益与社会效益相比是微不足道的。通过实践证明,基于垃圾预处理的村镇生活垃圾资源化技术无论在技术上还是从经济效益和社会效益上都是可行的。

### 2.3.1 村镇生活垃圾预处理技术分类

目前主要的预处理技术包括以下三种:

#### (1) 传统预处理技术

传统的垃圾预处理系统一般由破碎、分选及传送三部分组成。根据不同的工作原理,破碎机分为冲击式(适用于石块等脆硬性物质)、压缩式(适用于玻璃等硬性物质)、摩擦式、剪断式(适用于大块物质)等多种类型;分选机可分为筛选(滚筒筛、振动筛、固定筛等)、风选、磁选、手选等。例如,筛选是让垃圾进入滚筒筛等设备,小尺寸的筛出物(一般小于  $20\text{ mm}$ )主要是灰渣,它的热值极低,可堆肥的成分极少,一般用于填埋或做堆肥的添加料;中尺寸的筛出物(一般在  $20\sim 100\text{ mm}$ )可资源化的成分最大,可根据后续的资源化方法进行二次分选;大尺寸的筛出物(一般大于  $100\text{ mm}$ )有用成分很少,可直接用于填埋。而通过磁选和电选可以分离出金属和玻璃,通过光电分选可以将不同的塑料分

离出来。传统的预处理技术作为焚烧、堆肥等处理工艺的前端必要处理工序，通过对垃圾的手选、磁选、机械筛分、浮选和光电分选等垃圾预处理手段，去除垃圾中的大部分渣土等不燃成分，增加垃圾的热值，以提升后续处理工艺效率。

## (2) 机械生物预处理技术

机械生物预处理技术 (Mechanical Biological Treatment, MBT) 是采用机械或其他物理方法与生物工艺相结合，对垃圾中可生物降解组分进行处理和转化，并使之达到稳定化的技术。由于其常作为卫生填埋、焚烧、回收等处理方式的预处理技术，因此也称为机械生物预处理技术 (Mechanical Biological Pretreatment, MBP)。混合垃圾的机械生物预处理技术于 20 世纪 80 年代后期起源于堆肥厂，由管道式堆肥发展而来。然而，垃圾生物预处理完全不同于传统的生物堆肥目的，主要是调整原生混合垃圾特性，以降低含水率，提高垃圾热值，减少垃圾体积，便于后续处理。在机械生物预处理技术中，机械技术主要包括破碎、分选等，生物技术主要包括好氧堆肥和厌氧消化。在该技术的应用过程中，垃圾中的金属和玻璃等材料可以循环利用，高热质的物质如塑料等被用于焚烧来发电和供暖。因此，该技术在垃圾的减量化、资源化和无害化处理中可以起到很大的作用。典型的机械生物预处理设备示意图 2-1。

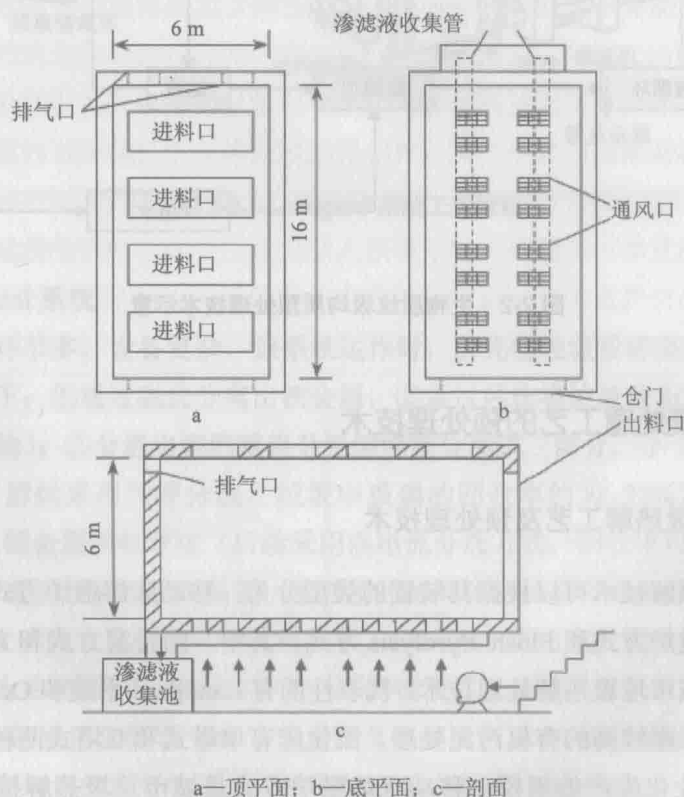


图 2-1 机械生物预处理设备示意