

村镇生活垃圾处理模式及技术路线探讨

何品晶^{1,2}, 章 骅^{1,2}, 吕 凡^{1,2}, 邵立明^{1,2}

(1. 同济大学固体废物处理与资源化研究所, 上海 200092; 2. 住房和城乡建设部村镇建设司农村生活垃圾处理技术研究与培训中心, 上海 200092)

摘要:我国村镇生活垃圾的年产生量已经超过城市的生活垃圾清运量,但现状处理水平低下。基于国内村镇生活垃圾产生状况的调查结果,分析了村镇生活垃圾的可处理特征,结合对国内外村镇生活垃圾处理模式的综述,重点探讨了我国村镇生活垃圾的处理模式选择。以不同物流(组织)模式下的环境、资源和经济效应比较为依据,认为按村镇生活垃圾产生的面积密度为划分指标,我国村镇生活垃圾分别适合采用“全集中”和“村镇县协同”的处理物流模式。“村镇县协同”模式是协调人口(垃圾产生)低密度区域生活垃圾处理环境和经济效益的有效方式,其实施的适宜技术路线为:收集人员分类,可降解与渣土组分分别就地生物处理和(简易)填埋,其他组分由县以上政区有关部门集中处理,且无需“日产日清”。

关键词: 村镇生活垃圾; 就地处理; 处理方法; 环境影响; 经济成本

中图分类号: X705 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2014)03-0409-06 doi:10.11654/jaes.2014.03.001

Pattern Classification of Methods and Feasible Technology Route for Household Waste Management in Villages and Towns

HE Pin-jing^{1,2}, ZHANG Hua^{1,2}, LÜ Fan^{1,2}, SHAO Li-ming^{1,2}

(1. Institute of Waste Treatment and Reclamation, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Centre for the Technology Research and Training on Household Waste in Small Towns & Rural Area, Ministry of Housing and Urban-Rural Development of P.R. China (MOHURD), Shanghai 200092, China)

Abstract: The annual generation amount of household waste in the villages and towns of China has exceeded that in cities, whereas its treatment level is low by now. Based on the survey about the generation of household waste in domestic villages and towns, the present work analyzed the waste treatability. Combining with the investigation on the typical patterns of their treatment methods in China and in the world, the work focused on how to select appropriate pattern for the treatment of household waste in Chinese villages and town. By comparing the environment, resource and economy of different patterns, the work suggested to separately use the patterns of “completely centralized” and “cooperation among villages, towns and counties”, depending on the area density of their waste generation. The “cooperation” pattern is effective to coordinate the environmental and economic benefits of local household waste treatment in low population or waste generation density areas. The suitable technology route for implementing the “cooperation” pattern is firstly to in-situ sort the household waste by collection personnel, secondly to in-situ treat the biodegradable fraction and in-situ landfill the sand and soil fraction, and at last to transport the rest fractions to counties or cities for centralized treatment.

Keywords: household waste in villages and towns; in-situ treatment; treatment methods; environmental impact; economy cost

村镇是农村区域居民的聚居地,我国现状有大于50%的人口居住于村镇。我国城镇化建设的一条主要途径是“离土不离乡”,相应的人口主要转移趋势是从村庄转入镇区。因此,村镇未来仍将是我国人口的主

要聚居形式。

据住房和城乡建设部的统计(住房和城乡建设部,《2009年村镇建设统计年鉴》,2010),我国目前村镇生活垃圾的年产生量已达约2.1亿t,超过城市(按行政设市政区的中心建成区,及其下辖区的建成区计)生活垃圾的清运量(约1.8亿t·a⁻¹);但是,村镇生活垃圾的处理水平却远低于城市。以全国平均计,我国城市(2013年)生活垃圾以清运量为基准的无害化处理率已超过85%^[1],而镇级建成区的生活垃圾无害化处理率小于30%,村庄生活垃圾无害化处理率不足10%。

收稿日期: 2014-02-21

基金项目: 水体污染控制与治理科技重大专项子课题(2008ZX07101-006); 863 高技术研究发展计划重大项目课题(2004AA601090-3); 国家科技支撑计划重点项目课题(2006BAJ04A06, 2010BAK69B16)

作者简介: 何品晶(1962—),男,博士,教授,主要研究方向为固体废物处理与资源化。E-mail: solidwaste@tongji.edu.cn

村镇生活垃圾的产生量巨大,而处理水平低下,已成为危害我国广大农村区域环境质量,及村镇居民卫生保障条件的重要因素^[2],推进村镇生活垃圾处理是我国当前在生活垃圾污染控制方面面临的主要挑战。本文从分析我国村镇生活垃圾的产生特征入手,以对国内外村镇生活垃圾处理模式的综述为基础,探讨了我国村镇生活垃圾处理的物流模式,及支撑其实施的适宜技术路线。

1 我国村镇生活垃圾产生特征

1.1 产生量及其分布

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 $0.20\sim 1.70\text{ kg}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,全国平均的建制镇人均生活垃圾产生率为 $0.79\text{ kg}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,集镇为 $0.52\text{ kg}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$;村庄人口的人均生活垃圾产生率为 $0.07\sim 2.1\text{ kg}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$,全国平均的村庄人均生活垃圾产生率为 $0.50\text{ kg}\cdot\text{人}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。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产生量分别约为0.5亿、0.07亿 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ 和1.5亿 $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

以上述测算为基础,根据我国大陆各省(区)不同类型村镇居民人口分布^[3],并以其非建成区面积^[4]为基准,得到各省(区)镇(集镇)和村庄生活垃圾产生密度柱状分布图,分别见图1和图2。

由图可见,村镇生活垃圾的产生密度远低于城市建成区(中位值大于 $4000\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$),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)镇(集镇)生活垃圾产生密度低于 $30\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,村庄生活垃圾产生密度低于 $100\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;两者的全国省级政区中位值分别为 $10\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $40\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,村镇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的威胁水平,因此各省级政区村镇生活垃圾产生密度的

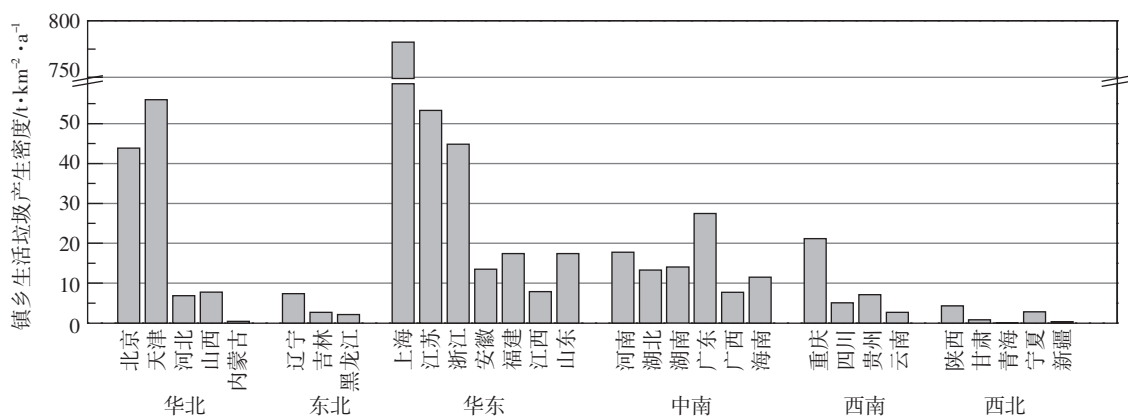


图1 各省(区)镇(集镇)生活垃圾产生密度分布

Figure 1 Density distribution of household waste in the towns from the different provinces of China

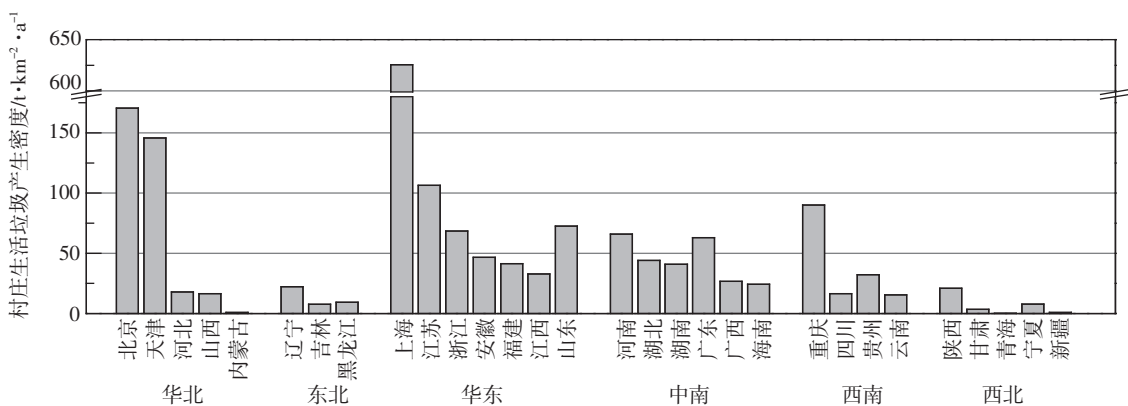


图2 各省(区)村庄生活垃圾产生密度分布

Figure 2 Density distribution of household waste in the villages from the different provinces of China

差异也是其村镇生活垃圾处理迫切性的差异。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、中南区各省;华北、西南次之;西北和东北区的陕西与辽宁与之基本相当。

1.2 村镇生活垃圾的组成特征

表 1 汇总了全国不同大区村镇生活垃圾组成调查的结果。调查对象全部选择已进行生活垃圾收集的村镇,可以反映需处理的村镇生活垃圾实际组成状况。

由表 1 可见,村镇生活垃圾的主要组分可以分为 3 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)。

由表 1 可见,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 35%~80%,平均为 50%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 15%;其他组分一般小于 5%。

2 村镇生活垃圾处理的物流模式

2.1 物流模式的分类

生活垃圾处理物流模式的含义^[4],是生活垃圾从产生源(居住点)至其处理终端的物流途径。国内外现实施的生活垃圾处理物流模式概括于表 2。

表 2 生活垃圾处理物流模式			
Table 2 Material flow models of the household waste treatment			
物流模式	聚居点类型/操作功能		
	村庄	镇(乡)	县或以上政区
全集中	收集-清运	收集-清运-转运	收集-清运-处理
全分散	收集-处理	收集-处理	收集-清运-处理
镇县集中	收集-处理	收集-转运	收集-清运-处理
镇县分别集中	收集-清运	收集-处理	收集-清运-处理
镇县协同	收集-处理	收集-处理-转运	收集-清运-处理
村镇县协同	收集-处理-清运	收集-处理-转运	收集-清运-处理

表列生活垃圾处理物流模式共 6 种,按照分类或混合处理可分为 2 类,表中前 4 种为混合处理,后 2 种为分类处理(即需基于分类收集或分选,按组分处理生活垃圾)。

2.2 不同物流模式在国内外的应用现状与发展趋势

2.2.1 国内现状

国内现状应用的村镇生活垃圾物流模式包含分类和混合处理 2 类,混合处理类主要有全集中和全分散 2 种。

其中,全集中的即被称为“村收集、镇转运、县处理”的模式,其物流特征是以县域(部分地区也有多县合为 1 个处理区,或 1 个县分为几个处理区的情况)为 1 个处理单元区,设置 1 个生活垃圾处理终端,区内所有聚居点产生的生活垃圾通过收集运输网络,汇集至终端集中处理(处置)。这种模式的基础设施质量(含处理能力和处理水平)要求高,目前主要在国内经济水平较高的地区应用。而全分散模式目前主要在经济水平较高的地区应用。

表 1 村镇生活垃圾组成调查汇总										
Table 1 Composition of household wastes in different towns and villages										
调查点	数据性质	组成(重量比)/%								
		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 4 镇	平均	52	15	12	7	2.5	0.5	3.5	0.5	7
	范围	37~60	10~20	8~15	6~10	2~4	0~3	3~5	0~1	0~10
长沙县金井镇	平均		65			30			—	5
琼海市龙江村	平均	45.0	28.0	9.5	6.2	0.6	0.5	2.8	—	7.4
罗江县御营镇	平均	69.1	6.6	2.4	2.0	19.4	0.15	0.41	0.02	—
罗江县白马关镇	平均	47.0	13.9	20.0	14.0	5.0	—	—	0.1	—
仁寿县大化镇	平均	45.0	47		3.0		1	—	—	4
宝鸡张家塬镇	平均	35	25			40			—	—
抚顺南独乐河镇	平均	40	20			30				
抚顺康庄镇	平均	45	15			30				
辽中刘二堡镇	平均	80	10			10				
京郊平谷和延庆	范围		70~90			10~30				

注:表列数据源自实地调查,因调查方式及计量条件差异,数据有效位数和精度有所差异。

济欠发达地区应用,无需建设转运设施,除县城处理设施标准较高外,镇村处理设施基本为堆场,个别还采用小型焚烧炉。另外2种混合处理的物流模式(镇县集中和镇县分别集中)的物流特征介于全集中和全分散之间,国内目前应用此模式的地区大多计划逐步过渡至全集中模式。

基于分类处理的协同处理模式^[5],其国内发展的推动力主要在于改善全分散模式不规范处理的环境影响,同时避免全集中模式成本过高的问题。目前,国内应用此模式的物流特征为:村镇处理渣土、食品和植物残余这2类组分,另集中处理“废品”组分。而表2中2种协同模式的差异,仅在于是否将村庄垃圾中的“废品”组分进行集中处理。

2.2.2 国外现状

目前,发达国家普遍实现了生活垃圾处理的“城乡一体化”^[6-7],其主导物流模式为“全集中”。即使是在部分已实现生活垃圾源头分类(分类收集)处理的区域,分类后的生活垃圾也通过收集运输网络集中至类似我国的县级处理终端进行处理与利用。发达国家形成现行生活垃圾处理模式的推动力主要是需求^[8],其中的关键因素是生活垃圾处理标准的提高和其选址的困难。

标准的提高使处理生活垃圾的技术复杂性增加,处理设施的经济规模相应上升。为维持处理设施的经济性,需要扩大服务范围以增加处理规模。选址困难同样推动扩大处理设施的服务范围,以避免一定区域内多处布点带来的麻烦。

“全集中”模式满足了较高的处理标准,但也带来了收集运输成本等问题,发达国家非城市(Rural)区域的垃圾收集运输成本普遍高于城市(Urban)(图3)^[9]。

面对“全集中”模式存在的诸多问题,发达国家采取的主要措施是依托分类收集,开展可资源化组分回收和可降解组分的分流处理。这一方法符合发达国家

城乡生活垃圾中可资源化组分比例接近50%的背景条件^[10]。根据欧盟和美国的统计^[11-12],2000年以来,发达国家生活垃圾终端处理量均明显下降,最多下降达30%以上。

另一方面,发达国家也在部分地区开展了可降解组分分散(就地)处理的实践,较有代表性的是庭园堆肥^[13],学校和机场等相对独立区域的堆肥也有一定的实践^[14],处理对象主要是食品残余与园林垃圾,产物一般原地利用。

3 我国村镇生活垃圾处理的物流模式选择

3.1 我国村镇生活垃圾的可处理特征

3.1.1 可收集运输特征

收集运输是村镇显著区别于城市的生活垃圾可处理特征^[15],其中的关键因素是人口居住密度所决定的生活垃圾产生面积密度。面积密度越大,单位生活垃圾量的收集运输成本越低。因此,区域的村镇生活垃圾产生面积密度可以决定其是否适合于“全集中”物流模式。参照图1和图2,我国目前较适宜采用“全集中”模式处理村镇生活垃圾的省级行政区,主要是各直辖市,及华东和中南大区的各省。

3.1.2 处理工艺适用性

以表1所示的我国村镇生活垃圾组成为依据,按组分可回收性、可燃性、可生物转化性评价,可得到如下结果。

(1)组分回收价值十分有限。尽管部分村镇的“废品”类组分可达40%,但其中主要组分为回收价值低的塑料、织物、玻璃类,回收价值高的金属类比例很低,纸类主要是卫生纸和包装源废纸,可回收比例也很低^[15]。因此,我国村镇生活垃圾的可回收性较差,可资源化组分回收难以成为其主要的处理途径。

(2)可燃性差异较大,整体可焚烧处理。广义而言,食品和植物残余及大部分的“废品”类组分为可燃物,但对焚烧起关键作用的高热值组分主要存在于“废品”中,一般“废品”类组分比例25%左右的垃圾可满足自持燃烧的要求。以此衡量,表1中80%以上的采样点垃圾达到了焚烧过程自持燃烧的处理要求。

(3)可生物转化组分比例较高,生物处理需以分类(选)为前提。食品和植物残余及大部分的废纸组分具有生物可转化性,表1中极大部分采样点垃圾的可生物转化组分比例大于50%。但是,因为垃圾中对生物处理危害较大的塑料、织物、玻璃类组分比例同样超过了20%。因此,其生物处理需以分类(选)为前提。

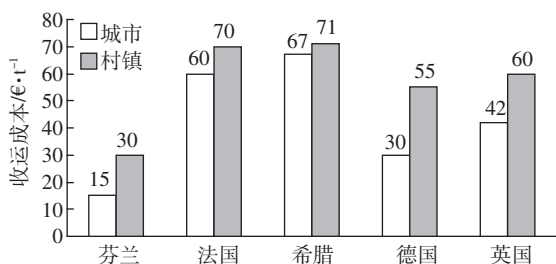


图3 欧洲部分国家非城市和城市区域生活垃圾收运成本比较
Figure 3 Cost comparison of collection and transportation between the urban areas and the rural areas in partial European countries

3.2 物流模式的适用性分析

3.2.1 不同物流模式的环境和资源效应

严格来说,不同的物流模式与其处理村镇生活垃圾的环境效应不应有本质差异。但是,不同的集中处理规模与分散处理设施的单体处理量差异极大,受设施处理规模经济性的限制^[6],采用的环境保护措施一般与其处理规模呈反比。因此,不同集中规模的处理模式,其环境影响排列一般为全集中<镇县集中≈镇县分别集中<全分散;协同处理模式的环境影响排列一般为村镇县协同<镇县协同。集中与协同处理模式的环境影响水平差异,主要决定于协同处理模式中就地处理设施的技术选择和管理水平。

村镇生活垃圾处理的资源效应包含投入和产出两方面,产出由处理工艺决定,与物流模式没有确定的相关性。投入也由两部分组成:收集运输和处理工艺投入。后者也不与物流模式直接相关;前者主要是收集运输过程的投入,与物流模式的集中化程度直接相关。

3.2.2 不同物流模式的经济效应

表3为国内几个政区所辖村镇生活垃圾处理成本的实地调查结果。调查村镇的生活垃圾处理物流模式不同,其成本数据可资分析不同物流模式的经济效应。

表中华东4地均实施了“村收集、镇转运、县处理”的全集中处理模式,可见其运输和转运成本约占总费用的48%;长沙金井镇采用镇县集中模式,因人口(垃圾产生)密度低于华东4地,仅其转运成本比例即相当于华东村镇的运输加转运费用;四川罗江县全境采用镇县协同模式,转运费用比例低于金井镇。海南琼海中洞村和湖南攸县横山乡的村庄均是全分散

处理模式,其中,中洞村是行政村集中处理,因居住分散使收集成本极高^[7],而横山乡村庄采用居民分户自行处理方式,免除了收集的开支。

上述对各项成本调查结果的讨论表明,物流模式与其处理经济效应关系的基本特征是:处理集中水平越高则运输和转运成本比例越大,村庄垃圾收集成本高于镇区;而以分类处理为基础的协同处理模式,可以有效削减运输和转运费用。

3.3 我国村镇生活垃圾处理的适用物流模式

综合发达国家和国内目前的实践经验,我国村镇生活垃圾的可处理性特征,及不同物流模式对处理村镇生活垃圾的环境、资源和经济效应影响,在混合处理的条件下,县级甚至更大政区范围的集中处理有利于控制环境影响,但也带来了运输和转运费用过高的问题;对于人口(垃圾产生)密度或经济承受力较低的区域,这样的高成本必然成为推广村镇生活垃圾处理不可逾越的障碍。

村、镇、县协同模式是协调村镇生活垃圾处理过程环境与经济影响的有效物流模式,存在的问题主要有两方面:一是生活垃圾分类的实施方式;二是就地处理设施的组分选择,及其处理工艺。

4 村镇县协同村镇生活垃圾处理物流模式实施技术路线探讨

由前述的讨论可见,村、镇、县协同是我国村镇生活垃圾处理的最适宜物流模式。但其尚存在可实施性问题,需要优化选择实施的技术路线。

村镇县协同物流模式的实施技术路线,包含垃圾分类、就地处理和集中处理组分运输(转运)3个主要环节。

表3 村镇生活垃圾处理成本调查结果

Table 3 Survey results of the treatment cost of household wastes in towns and villages

区/市	收集		运输		转运		处理		合计/ 元·t ⁻¹
	单位成本/元·t ⁻¹	比例/%	单位成本/元·t ⁻¹	比例/%	单位成本/元·t ⁻¹	比例/%	单位成本/元·t ⁻¹	比例/%	
浙江余杭区	81.9	32.3	34.8	13.7	81.8	32.3	55.0	21.7	253.5
浙江临安市	104.8	37.9	101.9	36.8	50.9	18.4	19.0	6.9	276.6
江苏常熟市	93.0	27.4	101.9	30.0	55.6	16.4	88.0	25.9	339.2
江苏通州区	82.1	23.6	76.6	22.0	107.9	31.0	85.0	24.4	348.0
华东4地平均	90.5	28.3	78.8	24.7	74.1	23.2	76.0*	23.8	319.4
海南琼海中洞村	280	80.5	—	—	—	—	68	19.5	348
湖南攸县横山乡	—	—	—	—	—	—	—	—	约28
四川仁寿大化镇	33.0	29.7	9.5	8.6	—	—	68.5	61.7	111.0
四川罗江县	57	19.5	—	—	100	34.1	136	46.4	293
湖南长沙金井镇	55	18.3	—	—	145	48.2	78	33.5	301

注:* 平均值不包含处理不规范的临安。

生活垃圾分类可选择的方法有:居民分类(分类收集)、收集人员分拣和机械分选3种。从可实施性比较,居民分类 $\approx$ 机械分选 $<$ 收集人员分拣;而经济成本则是,居民分类 $<$ 收集人员分拣 $\approx$ 机械分选。综合比较,现阶段仍宜实施收集人员分拣为主的方法,以实现村镇生活垃圾就地分类。

就地处理可选择的技术方法有:堆放(简易填埋)、标准化(卫生)填埋、生物处理和小型焚烧。从村镇处理规模的可实施性比较,堆放 $>$ 生物处理 $>$ 标准化(卫生)填埋 $\approx$ 小型焚烧;从实际的环境影响比较,堆放 $>$ 小型焚烧 $>$ 标准化(卫生)填埋 $>$ 生物处理;而经济成本排序则为,小型焚烧 $>$ 标准化(卫生)填埋 $>$ 生物处理 $>$ 堆放。显然,综合比较村镇生活垃圾就地处理技术,应优先选择生物处理,堆放(简易填埋)可作为专用于惰性(渣土)组分的处理方法。相应的生活垃圾分类方法应为:可降解类(食品和植物残余,及卫生用纸)、渣土、其他“废品”类和有害垃圾。可降解类垃圾组分生物处理,渣土简易填埋,其他“废品”类和有害垃圾由县或建成区有关部门集中处理。

需集中处理垃圾组分的运输和转运与一般生活垃圾的方法相同。但是,因“废品”类和有害垃圾没有易腐特性,无需“日产日清”,清运的间隔可参照欧美国家延长至1周1次。

致谢:本研究得到住房与城乡建设部村镇建设司的具体指导和大力支持,特此致谢。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 2013 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2014.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Statistical yearbook of China 2013[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014.
- [2] 刘永德, 何品晶, 邵立明. 太湖流域农村生活垃圾面源污染贡献值估算[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1442-1445.
LIU Yong-de, HE Pin-jing, SHAO Li-ming. Calculation of contribution value of non-point source pollution of rural refuse in Tai Lake region[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2008, 27(4): 1442-1445.
- [3] 国务院人口普查办公室, 国家统计局人口和就业统计司. 中国 2010 年人口普查资料[M]. 北京:中国统计出版社, 2012.
Population Census Office of the State Council, National Bureau of Statistics of Population and Employment Statistics Division. Population census data of China 2010[M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.
- [4] He Pin-jing. Municipal solid waste in rural areas of developing country: Do we need special treatment mode?[J]. *Waste Management*, 2012, 32(7): 1289-1290.
- [5] 何品晶, 张春燕, 杨娜, 等. 我国村镇生活垃圾处理现状与技术路线探讨[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(11): 2049-2054.
HE Pin-jing, ZHANG Chun-yan, YANG Na, et al. Present situation and technical treatment route of rural domestic waste treatment in China[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2010, 29(11): 2049-2054.
- [6] Snapp D. County and municipal solid waste programs in Colorado[C]. CO: Solid Waste Association of North America (SWANA), 2008. http://www.Coloradoswana.org/presentation/2008_annual_meeting/.
- [7] Herbert L. Centenary history of waste and waste managers in London and South East England[R]. London: Chartered Institution of Wastes Management (CIWM), 2008.
- [8] Clayton K, McCarl B A. Management of solid waste in systems including nonmetropolitan areas, with emphasis on Resource recovery[J]. *North Central Journal of Agricultural Economics*, 1979, 1(1): 61-72.
- [9] Hogg D. Costs for municipal waste management in the EU[R]. Brussels: Eunomia Research & Consulting, 2005.
- [10] Rotter V S, Kost T, Winkler J, et al. Material flow analysis of RDF-production processes[J]. *Waste Management*, 2004, 24(10): 1005-1021.
- [11] European Environment Agency. Managing municipal solid waste: A review of achievements in 32 European countries[R]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.
- [12] US EPA Solid Waste and Emergency Response Office. Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: Facts and figures for 2010[R]. Washington, DC: US EPA, 2011.
- [13] Pitt C. Denver Compsts. CO: Solid waste association of North America (SWANA), 2008. http://www.Coloradoswana.org/presentation/2008_annual_meeting/.
- [14] Kunugi M. Commercial organic waste diversion at DIA: A pilot study CO: Solid waste association of North America (SWANA), 2009. http://www.Coloradoswana.org/presentation/2009_annual_meeting/.
- [15] 邵立明, 何品晶, 刘永德. 农村生活垃圾源头分流收集效果影响因素分析[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 326-329.
SHAO Li-ming, HE Pin-jing, LIU Yong-de. Factors affecting the separation quality of source-separated collection for rural waste[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2007, 26(1): 326-329.
- [16] 何品晶, 邵立明. 固体废物管理[M]. 北京:高等教育出版社, 2004.
HE Pin-jing, SHAO Li-ming. Solid waste management[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [17] 张静, 仲跻胜, 邵立明, 等. 海南省琼海市农村生活垃圾产生特征及就地处理实践[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2422-2427.
ZHANG Jing, ZHONG Ji-sheng, SHAO Li-ming, et al. Characteristics of rural household solid wastes and in situ treatment: A case study in Qionghai City of Hainan Province[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2009, 28(11): 2422-2427.