

我国村镇生活垃圾处理现状与技术路线探讨

何品晶, 张春燕, 杨娜, 章骅, 吕凡, 邵立明

(同济大学环境科学与工程学院, 固体废物处理与资源化研究所, 上海 200092)

摘要:通过实地调研和文献综述, 概括了我国村镇生活垃圾的产生与处理现状, 重点根据村镇生活垃圾处理成本和技术进展, 讨论了我国村镇生活垃圾处理的适用技术路线。目前, 我国村镇两级居住社区的人均生活垃圾产生量, 分别为 $0.5\sim 1.0\text{ kg}\cdot(\text{人}\cdot\text{d})^{-1}$ 和 $0.4\sim 0.9\text{ kg}\cdot(\text{人}\cdot\text{d})^{-1}$, 产生量与地域经济发展水平正相关; 垃圾主要组分为易腐有机垃圾, 可回收废品的比例较低。我国的村镇生活垃圾处理水平同样与地域经济水平正相关, 发达地区采用的集中式处理模式, 有利于终端处理的规模效益和无害化, 但运输成本高达总成本的 50% 左右; 而在分类收集的前提下, 易腐有机垃圾就地处理可实现减量化、无害化和资源化。基于我国村镇垃圾组成的特点, 提出了“分类分散处理与集中处置结合”的技术路线, 可在村镇就地处理与利用 60%~80% 的垃圾量, 有效削减处理总成本并提高无害化水平。推进村镇生活垃圾处理技术的规范化, 推广全过程专业化运营模式, 加强垃圾处理过程物流管理等, 是促进我国村镇生活垃圾处理规范化发展的关键措施。

关键词:村镇生活垃圾; 技术路线; 分类收集; 处理成本; 二次污染

中图分类号: X705 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2010)11-2049-06

Present Situation and Technical Treatment Route of Rural Domestic Waste Treatment in China

HE Pin-jing, ZHANG Chun-yan, YANG Na, ZHANG Hua, LV Fan, SHAO Li-ming

(Institute of Solid Waste Treatment & Reclamation, College of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on literature and field survey, the status quo of rural domestic waste (RDW) production and treatment in China was investigated. Based on treatment cost and technology development for RDW, the feasible RDW management strategies were discussed. The results showed that, the current production rates of RDW in residential areas of villages and towns were $0.5\sim 1.0\text{ kg}\cdot(\text{capita}\cdot\text{d})^{-1}$ and $0.4\sim 0.9\text{ kg}\cdot(\text{capita}\cdot\text{d})^{-1}$ respectively, which were positively correlated with the local economic level. The dominant component in RDW was putrescible organic waste, and the ratio of recyclable wastes was relatively low. A positive correlation was also found between the RDW treatment level and local economic development. In relatively developed regions, centralized management strategies were usually adopted, by which the final treatment and disposal could achieve economies of scale, but the high transportation cost could reach to 50% of the total cost. With source separation, the in-situ treatment of putrescible organic waste could realize source reduction, sanitary treatment and resource recovery. Based on the characteristic RDW composition, a technical strategy “sorting and distributed treatment combined with centralized treatment” was proposed in this study, by which 60%~80% of RDW could be processed in situ, thus effectively decreasing the total management cost and enhancing the treatment level. To promote regulated development of RDW management, the key measures included propelling the standardization of key RDW treatment technologies, the wide application of professional integrated RDW management, and strengthening waste flow control.

Keywords: rural domestic waste; technical route; sorting collection; treatment cost; secondary pollution

村镇指的是我国县级政府驻在地(城关镇)以下的居民居住点, 含建制镇、集镇(包括乡政府驻地)、

行政村、自然村等。目前, 村镇是我国超过 60% 人口的居住区域, 其生活垃圾产生与处理对广大农村区域(占国土面积 90%)的环境与公共卫生质量有极大的影响。

“十五”以来, 国家与地方已开始大幅度地增强对村镇生活垃圾处理的投入力度, 全国已出现了多个城乡生活垃圾处理全覆盖的县(市)、镇、村级的生活垃

收稿日期: 2010-07-19

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2008BAJ08B13); 水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-006)

作者简介: 何品晶(1962—), 男, 浙江诸暨人, 博士, 教授, 博导, 主要从事固体废物处理与资源化研究。

E-mail: solidwaste@tongji.edu.cn

垃圾处理实践也有了相当的积累,为进一步地探讨其发展方向提供了基础。

本文以部分实地调查和文献为依据,对我国村镇生活垃圾的产生和处理进展进行了概述;以此为基础,重点探讨了我国村镇生活垃圾处理的适用技术路线问题。

1 数据收集方法

本文引用数据分别来自实地调查和文献。

其中,实地调查的村镇均属杭州市范围,分别为余杭区的径山镇及所辖漕桥村和前溪村,以及临安市的横畈镇、太湖源镇及所辖临目村。调查内容为生活垃圾产生及处理状况。

调查村镇均已建立了生活垃圾收集运输体系,生活垃圾产生量采用实测,或运行人员目测车载量,结合调查人员抽样实际称重核实的方式得到;生活垃圾组成,由调查人员在 2009 年 12 月至 2010 年 5 月间,抽样分类实测得到;生活垃圾处理设施运行数据由相关运行人员提供。

2 村镇生活垃圾产生与处理现状

2.1 建制镇与集镇生活垃圾产生量

根据我国住房和城乡建设部的统计(《2007 年住房与城乡建设部的城乡建设统计年鉴》),我国各大区(建制)镇与集镇的生活垃圾产生状况见表 1。我国镇级社区生活垃圾人均产生量为 $0.5\sim 1.0\text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$,各大区域产生量基本与其经济发展水平一致,华东地区的长江三角洲和中南地区的珠江三角洲拉高了整个区域的生活垃圾人均产生量。

2.2 村庄生活垃圾产生量

本文尚没有查阅到我国村庄生活垃圾产生量的系统统计资料。表 2 汇总了部分公开发表文献和本文自行调查的村庄生活垃圾产生量。

从这些数据看,调查方法对人均产生量有一定的影响,问卷及短期抽样(入户)调查的生活垃圾产生量偏高。冯庆等^[8]认为,这与调查的季节因素有关,北方秋冬季败枝落叶和取暖灰渣进入生活垃圾,人均产生量为 $0.88\text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$,扣除此类季节性组分影响后,全年平均则为 $0.29\text{ kg}\cdot(\text{人}\cdot\text{d})^{-1}$,与南方农村接近。同样,短时抽样还可能受到居民“配合”调查,进行某种程度“清理”的影响。另一方面,已开展城乡一体化生活垃圾处理的地区,实际的生活垃圾收集处理量高于同区域居民调查和小规模示范工程,这与这些地区村镇工业较为发达,而又缺乏生产废物的消纳渠道,使之混入生活垃圾有关。

以实际对生活垃圾处理容量的需求看,我国村庄生活垃圾人均产生量大致在 $0.4\sim 0.9\text{ kg}\cdot(\text{人}\cdot\text{d})^{-1}$ 的范围,沿海经济发达区域和北方取暖区域较高,其他区域则较低。

2.3 村镇生活垃圾组成

根据文献和实地调查得到的村镇生活垃圾组成数据见表 3。

数据显示,我国村镇生活垃圾的最主要组分为厨余/果皮(食品垃圾)及作物秸秆树枝叶等构成的易腐有机垃圾,一般占 40%~50%;其次为灰渣、砖石等组成的无机垃圾,一般占 20%~40%,其中北方明显大于南方。归属于废品类的组分以塑料、纸类、玻璃为主(占废品类的 80%左右),总的比例为 15%~30%,但实际可回收(当地废品市场可交售)的比例相当低,仅占废品类的 5%~10%。

我国东南沿海已实施村镇生活垃圾处理的区域,其废品类组分明显高于未全面实施生活垃圾处理的村镇的调查结果,应与这些区域村镇工业产生的工业垃圾类废物混入生活垃圾有关。

杭州市余杭区和临安市几个镇的镇区与村域生活垃圾组成,总体上没有显著的差异,应是东南沿海

表 1 各大区镇与集镇生活垃圾产生及处理状况(2007 年)

Table 1 Rural domestic waste production and treatment status in 6 regions of China(2007)

大区	华北	东北	华东	中南	西南	西北	全国
镇							
生活垃圾人均产生量/ $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$	0.66	0.64	0.94	0.75	0.68	0.56	0.79
处理率/%	48.0	22.3	87.2	72.0	54.8	35.1	71.7
无害化处理率/%	19.6	2.5	42.1	17.2	6.1	0.6	26.3
集镇							
生活垃圾人均产生量/ $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$	0.39	0.54	0.67	0.52	0.51	0.39	0.52
处理率/%	16.3	17.1	73.8	47.3	42.1	28.2	46.5
无害化处理率/%	0.8	0.2	5.8	1.7	1.8	0.4	2.5

注:(1)各大区均值按各省区镇和集镇人口加权平均计算,处理率和无害化率按垃圾量加权平均计算;(2)西藏没有相应统计数据,未计入。

表 2 村庄生活垃圾产生量调查结果
Table 2 Survey results of rural domestic waste production amount

调查年份	地方	特征	人均产生量/kg·d ⁻¹	调查方法	来源
2005	江苏宜兴	大浦镇各村	0.31	连续运行的小规模示范工程	文献[1]
2006	浙江各地		1.0	问卷与入户调查	文献[2]
	辽宁沈阳	6 个村庄	0.66~2.3(平均值 1.2)	3 d 抽样	文献[3]
2007	江苏南通	3 个村镇	0.69	问卷与入户调查	文献[4]
	浙江长兴		0.25	问卷与入户调查	*
	浙江嘉兴		0.41		
	浙江桐乡		0.47		
	北京密云	一般村	0.29	长期(四季)入户调查	文献[5]
		乡驻地	0.39		
		旅游村	0.41		
2008	海南琼海	中洞村	0.17	连续运行的小规模示范工程	文献[6]
	重庆长寿		0.21	长期(四季)入户调查	文献[7]
	重庆巴南		0.38		
	重庆江津		0.43		
2009	杭州余杭		0.70	连续运行的垃圾转运站	本文实测
	杭州临安		0.60		

注:* 数据来自《太湖流域村镇生活垃圾适宜收运处理体系及技术研究》。

表 3 村镇生活垃圾组成数据
Table 3 Compositions of rural domestic waste

调查年份	地方	厨余/果皮	植物垃圾	无机垃圾	废品类		有害垃圾	来源
					可回收	不可回收		
2005	江苏宜兴大埔镇	50.6	2.8	20.4		25.7	0.5	文献[1]
2006	辽宁沈阳 6 村	30.1	22.8(灰)	40.1		7.0	<0.1	文献[3]
2007	江苏南通	26.6	22.8	29.1		20.3	1.3	文献[4]
	北京密云不老屯镇	49.1	1.1	40.7		9.1	—	文献[5]
2008	海南琼海中洞村	31.0	6.4	27.3	3.8	28.3	0.1	文献[6]
	重庆(长寿、巴南、江津)	低收入	51.0	30.0		19.0	—	文献[7]
		中收入	59.2	24.0		16.8	—	
		高收入	63.2	19.1		17.7	—	
2009	浙江余杭径山镇 2 村	39.0	1.2	7.6	3.0	50.3	0.5	本文实测
	浙江临安太湖源镇	53.1	0.3	19.1	3.2	24.1	0.2	
		35.6	3.4	33.4	3.9	23.5	0.2	
	浙江临安横畈镇	32.2	4.2	24.3	7.2	31.4	0.7	
		26.1	8.6	29.7	3.2	31.9	0.5	

经济发展导致的村域集镇化的体现。

2.4 村镇生活垃圾处理进展

我国镇与集镇生活垃圾处理的现状参见表 1。全国平均的处理率已达约 50%，已处于大范围推广阶段,但处理的无害化水平较低,平均仅约 3%。而我国村庄生活垃圾尚处于起步阶段,按设施覆盖率计的村庄生活垃圾收集和处理率分别为 27%和 10%(《2007 年住房与城乡建设部的城乡建设统计年鉴》)。

目前,村镇生活垃圾处理基本有 2 种模式:集中处理和分散处理。

集中处理模式即所谓的“村收集、镇运输、县处理”^[9],通过收集、运输、转运的网络把县级政区纳入一个统一的生活垃圾处理体系,便于获得处理终端的规模效应,其处理工艺一般为卫生填埋与焚烧,无害化达标率较高。

分散处理又可分为镇域单元和村域单元两种。镇

域单元的处理由收集、村镇间运输和镇的处理构成,极大部分的处理方式为填埋,但受到规模效应的限制,通常难以达到卫生填埋的无害化标准;村域单元的处理,收集和就地处理直接衔接,此种方式目前应用不多,但通过示范性工程证明,采用分类收集与堆肥结合时可以达到无害化的要求^[6,10]。

3 村镇生活垃圾处理技术路线探讨

3.1 村镇生活垃圾处理的成本构成

杭州市的余杭区和临安市(县级)均已实现了村镇生活垃圾处理的全覆盖,表4列出了对两地典型村镇生活垃圾处理成本的调查结果,其换算的单位成本构成见表5。

表4 杭州两市(区)村镇生活垃圾处理成本调查结果
Table 4 The cost of rural domestic waste treatment in Hangzhou

区/市	村/镇	生活垃圾 产量/t·a ⁻¹	费用/万元·a ⁻¹			
			收集	运输	转运	处理
余杭	前溪村	586	4.8	2.04	—	—
	径山镇	984	—	—	80**	54
临安	临目村	206	2.16	—*	—	—
	太湖源镇	7 847	—	80	40***	15

注:*太湖源镇统一为各村运输垃圾至转运站;**转运距离16 km;***转运距离20 km。

由数据可见,村镇生活垃圾收集的单位成本较高,占总成本比例大于30%。这是由于收集支出主要由收集区域的居住社区面积决定,一定面积内垃圾量(产生密度)大,则单位成本低;我国对村镇宅基地面积有严格控制,村镇居住社区垃圾产生密度主要决定于村镇居民的人均垃圾产生量;余杭、临安、琼海3地,人均垃圾产生量分别为0.7、0.65 kg·(人·d)⁻¹和0.17 kg·(人·d)⁻¹,与收集单位成本恰成逆序排列,亦对此作了证明。运输指的是垃圾由村庄向镇转运点集中的物流过程,其成本与村、镇间的交通距离有关,临安太湖源镇的垃圾运输成本远高于余杭径山镇,与前者为山地,后者为平原,山地村、镇间交通距离大于平原有

关。转运成本既是距离的函数,也与转运技术方式有关。太湖源镇的转运距离大于径山镇,但采用压缩后非密闭转运方式,成本低于径山镇的压缩后全密闭转运,单位成本反而更低。处理成本由处理工艺及其无害化水平决定,太湖源镇垃圾采用填埋方式处置,但未达到卫生填埋要求,径山镇垃圾采用焚烧发电处理,已符合现行规范要求。

值得注意的是,琼海中洞村采用以村为单元的分散处理模式,堆肥产物符合无害化标准;处理(垃圾分拣及堆肥)成本为65.5元·t⁻¹,低于县级集中处理模式下的转运加处理成本。

3.2 基于分类处理的村镇生活垃圾处理技术路线

3.1节的分析结果表明,采用生物工艺(堆肥)分散分类处理村镇生活垃圾,具有节省处理总体成本的作用;同时,易腐有机垃圾的分类分流处理还可以削减后续填埋处置80%左右的污染负荷^[11],或提高焚烧垃圾的低位热值1倍左右^[12]。

为此,基于分类处理、分散与集中结合的技术路线(如图1所示),是比现有全集中或全分散更为有效的村镇生活垃圾处理技术路线。

实施此技术路线的关键是生活垃圾的分类,其理想方式是分类收集。但即使分类收集得不到居民支持,村镇相对宽松的用地条件和居住密度,也使得人工分拣分类具有可行性^[13]。易腐有机垃圾生物处理适用好氧堆肥工艺,处理规模较大时,也可采用厌氧产沼工艺^[14],以进一步改善生物处理的资源效益。

基于我国目前的村镇生活垃圾组成特点,实施本技术路线可在村镇就地处理与利用60%~80%的垃圾量,既可削减县级集中处理的容量,更改善了垃圾的可处理性(减少填埋污染和提高焚烧热值),还可以节省转运过程能耗及可能的道路污染。

4 展望与建议

4.1 推进村镇生活垃圾处理关键技术的规范化

基于分类处理的村镇生活垃圾处理技术路线,其

表5 杭州两市(区)及琼海市村镇生活垃圾处理成本构成
Table 5 The cost compositions of rural waste treatment in Hangzhou and Qionghai

区/市	收集		运输		转运			处理		合计/元·t ⁻¹
	单位成本	比例	单位成本	比例	单位成本	单价	比例	单位成本	比例	
余杭	81.9	32.3%	34.8	13.7%	81.8	5.0	32.3%	55.0	21.7%	253.5
临安	104.8	37.9%	101.9	36.8%	50.9	2.5	18.4%	19.0	6.9%	276.6
琼海[6]	239.0	78.5%	—	—	—	—	—	65.5	21.5%	304.5

注:单位成本为元·t⁻¹,转运单价为元/(t·km)⁻¹。

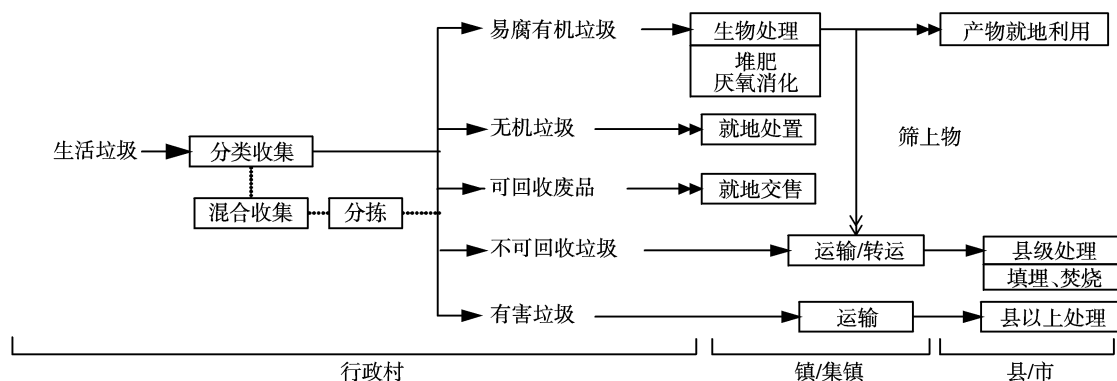


图1 基于分类处理的村镇生活垃圾处理技术路线

Figure 1 Treatment route of rural domestic waste based on sorting collection

关键技术包括有机垃圾堆肥和厌氧消化、可燃垃圾焚烧、筛上物和惰性垃圾填埋等,尽管原理上与城市生活垃圾的同类处理技术相似,但实施技术方法却有较大差异,应在集成示范的基础上进行专项的规范化建设,以形成我国村镇生活垃圾处理的技术支柱。

4.2 村镇生活垃圾处理运营模式

村镇生活垃圾的高效处理有很强的专业性要求,而其节点极其分散的特征,又是达到专业运营要求的阻碍。目前,在收集运输等前端环节中,二次污染等问题普遍存在。为此,有必要建立延伸至收集环节的村镇生活垃圾处理全过程专业化运营体系;应建立以县(市)为单元的专业运营机构,统一设备和设施配置,统一人员管理与培训,成为村镇生活垃圾处理的专业运营骨干,为我国村镇生活垃圾处理提供运营保障。

4.3 村镇生活垃圾处理物流准入管理

目前,在已开展村镇生活垃圾处理的区域,均不同程度地存在村镇工业废弃物及农业生产废物进入生活垃圾收集处理体系的状况。这种状况既存在有害废物通过生活垃圾处理途径而污染环境的风险,也具有同性质废物合并处理的合理性。因此,应建立村镇工业和农业废物与生活垃圾混合处理的管理和技术准则,有效控制村镇生活垃圾处理的衍生污染风险。

参考文献:

- [1] 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-Environment Science*, 2008, 27(4):1442-1445
- [2] 陈容, 单胜道, 吴亚琪. 浙江省生活垃圾区域特征及循环利用对策[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(5):644-649.
CHEN Rong, SHAN Sheng-dao, WU Ya-qi. Regional characteristics of

the domestic waste and its circular use in rural Zhejiang[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(5):644-649.

- [3] 李悦. 沈阳市典型农村生活垃圾状况调查及污染防治研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(12):3626, 3647.
LI Yue. Production survey of typical rural solid waste and research of the pollution prevention in Shenyang[J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2007, 35(12):3626, 3647.
- [4] 顾卫兵, 乔启成, 花海蓉, 等. 南通市农村生活垃圾现状调查与处理模式研究[J]. 江苏农业科学, 2008(3):283-286.
GU Wei-bing, QIAO Qi-cheng, HUA Hai-rong, et al. Research of the rural domestic waste production and treatment model in Nantong[J]. *Journal of Jiangsu Agriculture Science*, 2008(3):283-286.
- [5] 郑玉涛, 王晓燕, 尹洁, 等. 水源保护区不同类型村庄生活垃圾产生特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4):1450-1454.
ZHENG Yu-tao, WANG Xiao-yan, YIN Jie, et al. Feature of rural solid waste from various types villages in sources water protection area[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2008, 27(4):1450-1454.
- [6] 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基地处理实践[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-Environment Science*, 2009, 28(11):2422-2427.
- [7] 魏星, 彭绪亚, 贾传兴, 等. 三峡库区农村生活垃圾污染特征分析[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(16):7610-7612, 7707.
WEI Xing, PENG Xu-ya, JIA Chuan-xing, et al. Analysis on characteristics of rural domestic waste in the Three Gorges reservoir [J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2009, 37(16):7610-7612, 7707.
- [8] 冯庆, 王晓燕, 王连荣. 水源保护区农村生活污染排放特征研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(24):11681-11685.
FENG Qing, WANG Xiao-yan, WANG Lian-rong. Study on the discharged characteristics of rural domestic pollution in water source protection areas[J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2009, 37(24):11681-11685.
- [9] 王妍, 霍维周, 王斯亮. 北京市农村地区环境卫生现状调查及管理[J]. 环境卫生工程, 2008, 16(1):51-53.
WANG Yan, HUO Wei-zhou, WANG Si-liang. Status survey and man-

- agement of environmental sanitation in Beijing rural area [J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2008, 16(1):51-53.
- [10] 张 静, 何晶晶, 邵立明, 等. 分类收集蔬菜垃圾与植物废弃物混合堆肥工艺实例研究[J]. 环境科学学报, 2010, 30(5):1011-1016.
- ZHANG Jing, HE Pin-jing, SHAO Li-ming, et al. Co-composting with sorted vegetable waste and green waste: A case study[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(5):1011-1016.
- [11] SHAO Zheng-hao, HE Pin-jing, ZHANG Dong-qing, et al. Characterization of water-extractable organic matter during the biostabilization of municipal solid waste[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164(2-3):1191-1197.
- [12] ZHANG Dong-qing, HE Pin-jing, SHAO Li-ming. Potential gases emissions from the combustion of municipal solid waste by bio-drying [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 168(2-3):1497-1503.
- [13] 刘永德, 何晶晶, 邵立明, 等. 太湖地区农村生活垃圾管理模式与处理技术方式探讨[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6):1221-1225.
- LIU Yong-de, HE Pin-jing, SHAO Li-ming, et al. Management and treatment of rural refuse in Tailake region [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6):1221-1225.
- [14] ZHU Min, LÜ Fan, HAO Li-ping, et al. Regulating the hydrolysis of organic wastes by micro-aeration and effluent recirculation[J]. *Waste Management*, 2009, 29(7):2042-2050.