

杭州市农村生活垃圾分类减量资源化 模式经济性分析*

徐 钢¹ 李相儒² 屠 翰¹ 毕 峰² 韩泽东² 吴伟祥^{2#}

(1.杭州市人民政府农村能源办公室,浙江 杭州 310020;2.浙江大学环境与资源学院,浙江 杭州 310058)

摘要 以杭州市为例,探索了中国两种主要的农村生活垃圾处理模式,对比分析了传统全集中模式(CTP)和分类减量资源化模式(SCTP)的经济性。结果表明:CTP垃圾平均处理成本为369.17元/t,SCTP垃圾平均处理成本488.14元/t。不考虑资源化产品(有机肥料)经济价值的前提下,SCTP垃圾处理成本高于CTP。考虑到其环境、社会效益和资源化产品的经济价值,适度集中、适当规模化建设与运行,SCTP应具有经济可行性和现实可操作性。综合源头分类质量、垃圾处理经济性、资源化效益等因素,农村生活垃圾SCTP最佳组合应为门前投放+上门收集+机械堆肥。

关键词 农村生活垃圾 处理模式 经济性分析

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2019.02.022

Economic analysis of source classified waste treatment pattern in Hangzhou countryside XU Gang¹, LI Xiangru², TU Han¹, BI Feng², HAN Zedong², WU Weixiang². (1. Rural Energy Office of Hangzhou City, Hangzhou Zhejiang 310020; 2. College of Environmental and Resource Science of Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310058)

Abstract: This paper studied two main rural domestic waste treatment patterns - conventional treatment pattern (CTP) and source classified waste treatment pattern (SCTP) in Hangzhou. Results showed that the average cost of rural domestic waste treatment in CTP and in SCTP was 369.17 yuan per ton and 488.14 yuan per ton, respectively. The rural domestic waste treatment cost of SCTP was higher than that of CTP. However, considering the economic value of the fertilizer characterization, environmental and social benefits, SCTP was economically acceptable. Besides, moderate centralization and scale-up could make SCTP more economical and practical. Considering the quality of source separation, the cost of treatment, the benefit of resource, etc., the optimal pattern was a combination of household separation, door-to-door collection, and mechanical composting.

Keywords: rural domestic waste; treatment patterns; economic analysis

农村生活垃圾治理是我国农村环境综合整治的重要内容,也是美丽乡村建设的重要任务之一^[1]。目前,我国农村地区生活垃圾年产生量达3亿t^[2],农村生活垃圾分类收集与处理基础设施明显落后于城市,管理体系很不健全。根据住房和城乡建设部统计^[3],2016年我国建制镇、乡的生活垃圾无害化处理率仅分别为44.99%、15.82%,只有62.20%的行政村对生活垃圾进行处理,农村生活垃圾有效收集与无害化处理问题亟待解决。

现阶段,我国经济相对发达地区农村生活垃圾的收运与处理主要以“村收集、镇转运、县处理”的传统全集中模式(CTP)为主^[4]。浙江省于2014年在全国范围内率先开展了农村生活垃圾分类减量资源化处理试点,经过3年的努力成功打造了“金东模式”,即基于“二分法”(易腐垃圾与其他垃圾)基础上

的生活垃圾分类减量资源化处理新模式,并进行了广泛的推广应用,成效显著,引起全国广泛关注。然而,目前有关农村垃圾治理经济性分析的研究主要针对CTP^[5],对分类减量资源化模式(SCTP)研究仅停留在理论和小规模示范层面。例如,李再兴等^[6]从理论上构建了垃圾分置、分类收集、分类处理的农村生活垃圾分类回收与处理系统,从操作、管理、技术与经济方面论证了该系统的可行性。张静等^[7]在海南省琼海市某村建立了农村生活垃圾收集处理示范工程,构建了“混合收集、人工分拣、可腐垃圾就地堆肥、惰性垃圾集中处置”的垃圾分类处理模式,经计算,示范工程垃圾处理成本为304.5元/t。刘永德等^[8]在太湖地区洋渚村和湍渚村建立了农村生活垃圾源头分拣废品回收和堆肥化的处理系统,其中,源头分拣废品回收费用3.4元/(户·月),堆

第一作者:徐 钢,男,1979年生,本科,高级工程师,主要从事农村能源生态建设和可再生能源技术研究。* 通讯作者。

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项(No.2014ZX07101-012);杭州市人民政府委托项目。

肥化处理成本 455 元/t(以农肥产品计)。由此可知,农村生活垃圾的 Sctp 运行维护费用可能高于 Ctp。因此,在全国广泛应用基于“二分法”基础上的生活垃圾 Sctp 前,有必要开展对该模式的经济性分析研究,以科学评估该模式的可复制推广性。

鉴于此,本研究以浙江省开展了近 3 年生活垃圾分类减量资源化处理工作的杭州市 7 县(市、区)的涉农乡镇为研究对象,经实地调研、问卷调查和查阅档案等方法,从分类投放、分类收集、分类运输和分类处理等 4 个环节,系统分析基于“二分法”的农村生活垃圾 Sctp 的运行费用,并与 Ctp 的经济性进行了比较。研究结果可为该模式在全国范围内的推广应用提供依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

杭州市位于我国东部,是我国经济最发达的城市之一^[9],2016 年全市生产总值达到 11 313.72 万元。截至 2016 年末,杭州市占地面积 16 596 km²,共辖 190 个街道、乡镇,其中涉农街道、乡镇达 137 个^[10]。2014 年,杭州市在全国范围内率先开展了农村生活垃圾分类与减量化资源化处理试点工作。目前,75%以上的涉农街道与乡镇建立了农村生活垃圾分类减量资源化处理系统。

1.2 选 点

本次调研随机抽样调查了杭州市 7 个县(区、市)共计 10 个乡镇的垃圾收运与处理现状,具体点位如图 1 所示。10 个选点在 2014 年 1 月至 2017 年

5 月之间均由垃圾收运处理 Ctp 过渡到基于“二分法”(易腐垃圾与其他垃圾)基础上的 Sctp。因此,本研究重点对照研究 10 个选点前后两种生活垃圾收运处理模式及其经济性。

2 数据来源与研究方法

调研工作于 2017 年 7 月至 2017 年 10 月期间进行。各地区 Sctp 运行现状及其相关经济指标数据资料主要通过实地调研、问卷调查和查阅各地相关主管部门档案获取,各地区 Ctp 的处理费用主要从主管部门生活垃圾清运处理费用统计资料中获取。

2.1 处理成本计算

生活垃圾处理成本通过垃圾收运与处理各环节涉及到的固定资产折旧费用、人工投入、动力消耗费用(水、电)、维修费用以及部分材料费用(辅料)与相应的生活垃圾处理量来计算。其中,Sctp 考虑了垃圾分类引起的垃圾量分流因素,对调研区域生活垃圾资源化处理费用与焚烧或填埋等无害化处理费用进行了加权平均。

Ctp 处理成本为村收集、镇转运、县处理环节成本之和。

Sctp 处理成本计算公式^[11]如下:

$$C_{SCTP} = C_{c\text{-throwing}} + C_{c\text{-collection}} + C_{c\text{-transportation}} + C_{c\text{-disposal}} \quad (1)$$

式中: C_{SCTP} 为 Sctp 生活垃圾处理成本,元/t; $C_{c\text{-throwing}}$ 为分类投放成本,元/t; $C_{c\text{-collection}}$ 为分类收集成本,元/t; $C_{c\text{-transportation}}$ 为分类运输成本,元/t; $C_{c\text{-disposal}}$ 为分类处理成本,元/t。

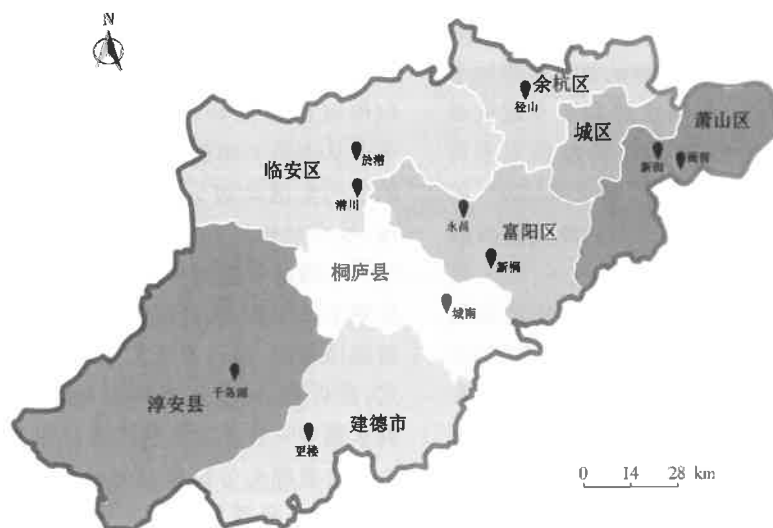


图 1 调研选点分布

Fig.1 Distribution of survey points

来源:作者提供 <http://www.zjzpc.com>

分类投放成本计算方式如下:

$$C_{c\text{-throwing}} = (R + \sum p_i n_i (1 - SV)/t + S_s)/W \quad (2)$$

式中: R 为分类投放环节宣传、奖励成本, 元/a; p_i 为 i 类收集设施购置成本, 元; n_i 为 i 类收集设施数量, 个; SV 为固定资产折旧残值, %; t 为固定资产折旧年限, a; S_s 为督导员人工劳务, 元/a; W 为垃圾量, t/a。

分类收集成本计算方式如下:

$$C_{c\text{-collection}} = (M(1 - SV)/t + E_c + S_c)/W \quad (3)$$

式中: M 为收集车辆购置费用, 元; E_c 为收集车辆能耗费用, 元/a; S_c 为收集人员人工劳务, 元/a。

分类运输成本计算方式如下:

$$C_{c\text{-transportation}} = \omega_p C_{t\text{-transportation}} + (1 - \omega_p) C_{m\text{-transportation}} \quad (4)$$

式中: ω_p 为生活垃圾中易腐垃圾所占比例, %; $C_{t\text{-transportation}}$ 为易腐垃圾运输费用, 元/t; $C_{m\text{-transportation}}$ 为分类后其他垃圾的运输费用, 元/t, 等同于 CTP 镇转运费用。

分类处理成本计算方式如下:

$$C_{c\text{-disposal}} = \omega_p \times \frac{(10\ 000D(1 - SV)/t + E_d + S_d + X + F)}{W_t} + (1 - \omega_p) C_{m\text{-disposal}} \quad (5)$$

式中: D 为易腐垃圾资源化设施或设备的一次性投入, 万元; E_d 为资源化设施或设备的运行能耗, 元/a; S_d 为运行维护人员人工劳务, 元/a; X 为资源化设施或设备维修费用, 元/a; F 为易腐垃圾资源化过程中添加辅料(菌剂、木屑、谷糠等)的费用, 元/a; W_t 为经资源化处理的易腐垃圾量, t/a; $C_{m\text{-disposal}}$ 为分类后其他垃圾的处理费用(填埋、焚烧), 元/t, 等同于 CTP 县处理费用。

2.2 数据统计与分析

采用 SPSS 22.0 对不同投放、收集方式数据之间进行单因素方差分析。

3 结果与分析

3.1 调研区域农村生活垃圾处理模式

3.1.1 CTP

CTP 指农户家中产生的生活垃圾由村级收运人员运输至镇级中转站, 经过压缩脱水后再由镇级运输人员转运至该区域内的县级处理终端。农村生活垃圾 CTP 具有操作简单、管理方便等特点, 但收集和运输成本高昂, 普遍高于城市。

3.1.2 SCTP

杭州市农村地区普遍推行生活垃圾“二分法”, 其中, “二”指易腐垃圾和其他垃圾。图 2 详细梳理了杭州市现代农村生活垃圾 SCTP。

现代农村生活垃圾 SCTP 由垃圾的分类投放、分类收集、分类运输和分类处理 4 个主要环节组成:

(1) 分类投放

分类投放有 3 种形式: 门前投放, 指直接在自家门口分类投放; 集中投放, 指定时分类投放至本区域内设定的集中投放点; 门前+集中投放方式, 则需将易腐垃圾投放至门前小型分类垃圾桶, 而其他垃圾需投放至集中投放点。

(2) 分类收集

与分类投放方式相对应, 分类收集同样有 3 种方式: 上门收集方式, 需要收运人员挨家挨户上门收集分类垃圾; 定点收集, 指收运人员收集集中点的分类垃圾; 上门+定点收集, 指上门收集易腐垃圾, 定点收集其他垃圾。易腐垃圾量多, 易腐臭, 日产日清, 其他垃圾干燥且量相对较少, 集中投放, 两天一收。

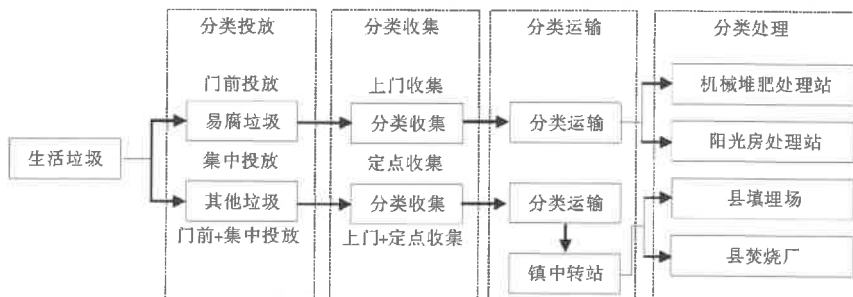


图 2 SCTP 流程图

Fig.2 Flow diagram of SCTP

表 1 SCTP 具体操作方法
Table 1 Detailed operating methods of SCTP

序号	地点	分类投放、分类收集、分类运输	分类处理	说明
1	新桐	门前投放、上门收集、分类运输	机器成肥	每户两个小垃圾桶、不设置集中点,240 L 垃圾桶,配置两辆收集车分别上门收集易腐垃圾与其他垃圾
2	潜川		机器成肥	
3	城南		机器成肥	
4	於潜		太阳能静态堆肥	
5	径山	集中投放、定点收集、分类运输	太阳能静态堆肥	每 10~20 户设置集中投放点(240 L 垃圾桶两只),每村两辆收集车定点收集易腐垃圾与其他垃圾
6	永昌		机器成肥	
7	千岛湖		机器成肥	
8	衙前		机器成肥	
9	更楼		机器成肥	
10	新街	门前+集中投放、上门+定点收集、分类运输	机器成肥	每户一个易腐垃圾小桶,每 10~20 户设置其他垃圾集中投放点,每村两辆收集车分别上门收集易腐垃圾,定点收集其他垃圾

(3) 分类运输

村级收运人员将易腐垃圾运输至临近的资源化处理站,其他垃圾运至镇级垃圾中转站后再由镇级清运人员转运至县级焚烧厂或填埋场。

(4) 分类处理

分类收运后的易腐垃圾主要通过太阳能静态堆肥或机器成肥技术进行资源化处理,其他垃圾主要通过焚烧或卫生填埋两种方式进行无害化处理。

根据上述 4 个环节的介绍,表 1 总结了 10 个选点地区不同分类投放、分类收集、分类运输和分类处理方式的组合情况。不同方式的组合意味着基础设施配置、人员配置、车辆运输距离及末端处理成本的不同,这也是各地区 SCTP 之间经济性差异的主要原因。

3.2 经济性比较

3.2.1 CTP 经济性

CTP 垃圾处理成本计算结果见表 2。CTP 平均处理成本为 369.17 元/t,其中,村收集环节平均

成本 119.60 元/t,镇转运环节平均成本 110.18 元/t,县处理环节采用焚烧方式,平均成本 145.29 元/t,采用填埋方式平均成本 62.94 元/t。垃圾处理成本中,收集与运输成本超过 60%,是主要的经济投入。其中,径山由于与现有的焚烧厂运输距离较远,转运成本高达 270.00 元/t(其中路桥费约占 190.00 元/t),而大部分运距规划合理的乡镇,平均镇转运成本仅约 66.20 元/t。考虑生活垃圾处理量的条件下,经过计算,各乡镇生活垃圾 CTP 处理费用约为 249.72 万元/a。

3.2.2 SCTP 经济性

SCTP 垃圾处理成本的计算结果见表 3。SCTP 平均处理成本为 488.14 元/t,其中,分类投放环节平均成本为 76.53 元/t,分类收集和分类运输环节平均成本 207.80 元/t,分类处理环节平均成本 203.81 元/t。同样,在考虑到生活垃圾处理量的情况下,各乡镇生活垃圾 SCTP 处理费用约为 313.92

表 2 CTP 综合成本分析
Table 2 Comprehensive cost analysis of CTP

序号	项目	村收集 /(元·t ⁻¹)	镇转运 /(元·t ⁻¹)	县处理 /(元·t ⁻¹)	CTP 处理成本 /(元·t ⁻¹)	CTP 处理费用 /(万元·a ⁻¹)
1	衙前	110.00	60.00	167.00	337.00	241.09
2	新街	110.00	60.00	167.00	337.00	327.19
3	径山	116.70	270.00	110.00	496.70	725.18
4	新桐	126.44	64.00	150.00	340.44	78.28
5	永昌	131.51	64.00	150.00	345.51	97.11
6	潜川	304.41 ¹⁾		60.88 ²⁾	365.29	214.66
7	於潜	121.20	68.00	120.00	309.20	339.70
8	城南	266.72 ¹⁾		160.00	426.72	181.21
9	千岛湖	114.16	170.28	160.00	444.44	161.34
10	更楼	117.21	75.00	65.00 ²⁾	257.21	131.41
11	平均	119.60	110.18	126.99	369.17	249.72

注: ¹⁾ 潜川、城南所收集数据为村收集、镇转运合计费用; ²⁾ 处理方式为填埋,其余为焚烧。

来源: 徐钢等, 2014。http://www.31epc.com

表 3 SCTP 综合成本分析
Table 3 Comprehensive cost analysis of SCTP

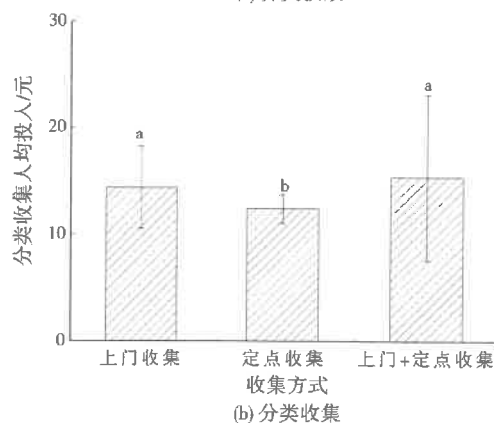
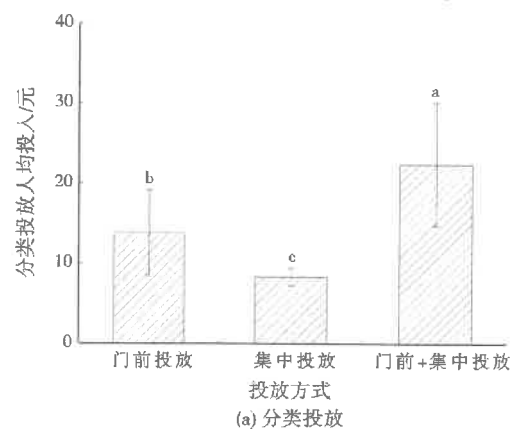
序号	项目	分类投放 (元·t ⁻¹)	分类收集和分类运输 (元·t ⁻¹)	分类处理 (元·t ⁻¹)	SCTP 处理成本 (元·t ⁻¹)	SCTP 处理费用 (万元·a ⁻¹)
1	衙前	36.34	183.07	229.62	449.03	321.24
2	新街	78.54	193.31	232.81	504.66	489.97
3	径山	41.27	207.80	89.77	338.84	494.71
4	新桐	37.36	191.76	178.47	407.59	93.73
5	永昌	54.36	230.21	176.92	461.49	129.70
6	潜川	96.48	206.66	99.83	402.98	236.81
7	於潜	146.35	243.31	192.77	582.43	639.89
8	城南	72.48	202.97	301.22	576.67	244.89
9	千岛湖	51.65	235.60	411.03	698.28	253.49
10	更楼	150.51	183.28	125.65	459.44	234.74
11	平均	76.53	207.80	203.81	488.14	313.92

万元/a,较 CTP 超出 25.71%。各地区处理成本的差异主要在分类投放与分类处理环节,而分类投放的成本差别取决于投放方式选择、政府重视程度及宣传力度的差异,分类处理环节的成本差别取决于资源化处理技术先进性差异。

3.3 模式优选

如图 3(a)所示,分类投放环节中,门前+集中投放方式人均投入明显高于门前投放方式,门前投放方式明显高于集中投放方式;如图 3(b)所示,分类收集环节中,上门+定点收集方式稍高于上门收集方式,明显高于定点收集方式。上述两环节中不同方式间产生差异的主要原因是基础设施数量的不同与收集方式的不同。此外,现场调查分析表明,集中投放、定点收集方式虽然成本最低,但是无法保证和追溯垃圾源头分类质量,分类正确率明显低于其他方式(集中投放、定点收集方式垃圾分类正确率 51.26%,其他两种分别为 90.34%和 82.88%);分类处理环节中,易腐垃圾单位处理成本从 69.53 元/t到 662.05 元/t不等(见图 4)。总体上,机器成肥技术处理成本明显高于太阳能静态堆肥技术(径山与於潜)。不过,机器成肥技术具有资源化效率高、占地小、肥料品质高等优势,而太阳能静态堆肥技术的应用也因二次污染严重及占地面积大等问题受到了限制。调研选点中机器成肥设备处理规模从 0.5~3.0 t/d 不等,从图 5 可以看出,运行成本随处理规模增大而减小,设备购置成本则随处理规模的增大而逐渐增大。此外,对于机器成肥设备运营来说,规模越大,单位处理能力所需的人员配置费用和土建投资费用就越低。因此,适度集中、规模适中的资源化站房建设及机器成肥设备选择更具经济可行性。综上所述,通过易腐垃圾资源化处理经济性、高

效性和先进性的分析,农村生活垃圾 SCTP 最佳组合方式应为门前投放+上门收集+机器成肥。



注:不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图 3 分类投放与分类收集环节的人均投入

Fig.3 Per capita input of solid waste collection and delivery

3.4 模式经济性分析

总体上,不考虑资源化产品(有机肥料)经济价值的前提下,SCTP 垃圾处理成本比 CTP 高(约 118.97 元/t),主要的原因是分类投放与收集基础设施的完善配套和资源化处理运行成本较高。若考虑其经济价值,按照易腐垃圾堆肥减重率为 54.36%~

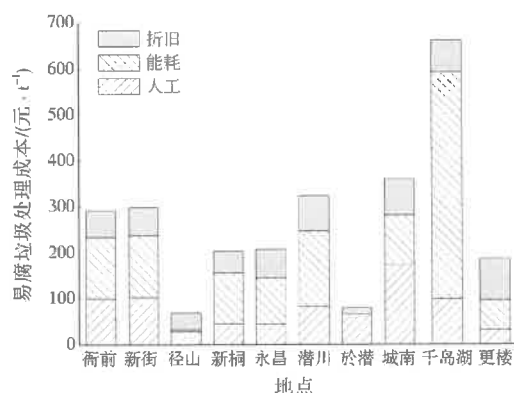


图4 易腐垃圾处理成本组成

Fig.4 Operation cost composition of biodegradable waste treatment

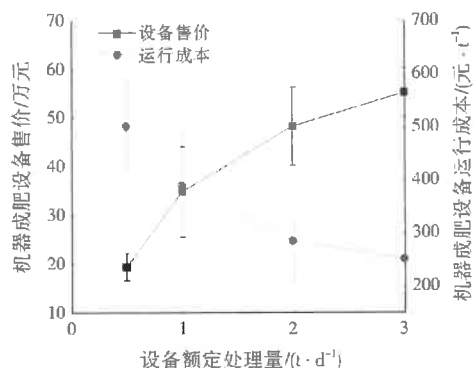


图5 机器成肥设备售价与运行成本

Fig.5 Price and operation cost of mechanical composting machine

64.89%^[12]与有机肥料售价^[38]进行估算,SCTP垃圾处理成本与CTP基本持平,处理费用会明显降低。因此,SCTP的良好运行还有赖于政府政策支持(如建立资源化产品的绿色回购计划等)。其次,结合表2、表3和图6可以看出,CTP中,垃圾收集、运输环节平均成本229.78元/t,占总成本64.40%,而SCTP中,分类收集和分类运输成本仅为207.80元/t,占总成本的42.57%。原因是SCTP实现了易腐垃圾就地资源化,大幅减少了农村生活垃圾的外运量,进而减少了运输成本。CTP中,垃圾末端处理平均成本为126.99元/t,SCTP中垃圾处理平均成本(机器成肥与焚烧或填埋加权平均)为203.81元/t,后者成本高主要是由于现行易腐垃圾资源化处理技术,尤其是机器成肥设备运行成本高昂所致。随着资源化处理技术的节能降耗提标改造、处理规模的适度集中以及政府对资源化产品的绿色回购,SCTP的总费用会逐渐下降,其经济可行性将会进一步提高。

除了经济效益以外,SCTP较之CTP更具良好

的社会效益和环境效益,不仅有助于健全农村生活垃圾分类与处理体系和提高农户分类意识与知晓率,还补齐了农村基础设施短板,从根本上改善了农村人居环境。

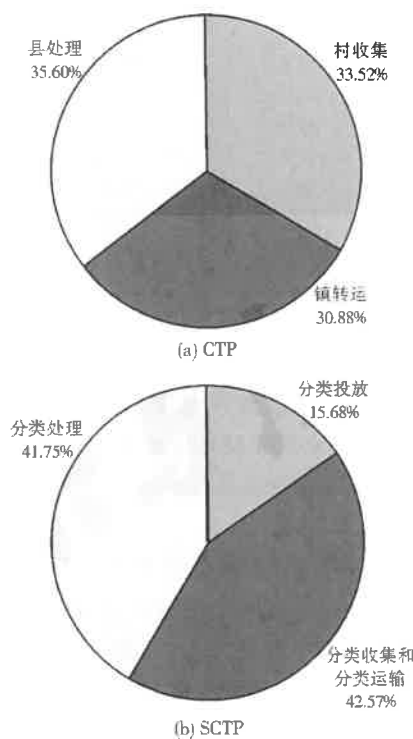


图6 CTP与SCTP处理成本组成

Fig.6 Cost compositions of CTP and SCTP

4 结论与建议

在不考虑资源化产品经济价值的前提下,农村生活垃圾SCTP垃圾处理成本明显高于CTP。其次,适度集中、适当规模化的资源化站点建设与运行以及资源化产品的绿色回购,将有助于提高SCTP的经济可行性。此外,随着SCTP长期持续推广,有助于健全农村生活垃圾分类与处理体系,补齐基础设施短板,提升农户分类意识与知晓率,改善了农村人居环境,具有良好的社会效益和环境效益。

综合源头分类质量、垃圾处理经济性、资源化效益等因素,农村生活垃圾SCTP最佳组合应为门前投放+上门收集+机器成肥。因此,科学合理地选择分类投放、分类收集方式、资源化站房布点与规模,因地制宜地建立资源化产品政府绿色回购计划,形成兼具经济、高效、环保优势且可复制可推广的SCTP,对浙江省乃至全国农村地区生活垃圾的综合治理和美丽乡村建设具有重要现实意义。

除了经济效益以外,SCTP较之CTP更具良好 (下转第251页)