

小海岛固体废弃物产生特点与处置模式研究

董瑞程, 丁志斌, 郭浩男, 连小莹, 赵小兰

(陆军工程大学 国防工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要: 为探求小海岛固体废弃物合理的处理方式, 通过文献资料查阅及对我国南海海岛的实地调查, 总结出国内外小海岛固废的产生特点为夏秋季节总产量高于冬春季节、日人均产量高于大陆地区、组分以有机垃圾和可燃垃圾为主, 处理方式以全部岛内填埋、全部岛外处理和岛内外协同处理为主。针对小海岛的环境特点, 探讨出近距离小海岛“岛内生+岛外焚烧、回收利用”和中远距离海岛“岛内生+岛内焚烧”的固废处置模式, 以期为我国小海岛合理开发治理提供参考。

关键词: 海岛; 固体废弃物; 处置方式; 资源化

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2019)08-0117-06

DOI: 10.11759/hyxx20181124001

全球总共有 20 多万个海岛, 总面积 996.35 万 km², 占陆地总面积的 6.6%^[1]。海岛一般具有独特的生态资源和旅游资源, 是沿海经济发展、国防建设、生态建设的重要基点。联合国教科文组织将面积在 10 000 km² 以下、人口不足 50 万人的岛屿定义为小海岛。小海岛在发展和建设中会产生大量固体废弃物(简称固废)。由于地理位置偏远、交通运输不方便, 小海岛固废处置较为困难。目前许多小海岛固废处置方法落后, 堆放在海滩, 严重污染了海岛土壤和水体^[2]。国内关于固废的研究主要集中于内陆农村地区, 海岛地区相关资料非常匮乏。本文结合文献以及课题组对南海部分海岛的实地调查资料, 对小海岛固废产生特点、处置现状作简要概述, 在此基础上提出“岛内生+岛外焚烧、回收利用”和“岛内生+岛内焚烧”两种小海岛固废处置模式, 以期为我国小海岛合理开发治理提供参考。

1 小海岛固废特征

1.1 小海岛固废人均产量

小海岛地域狭小、人口数量少, 因此固废总产量一般较小。海岛产业类型比较单调, 以种植业、渔业和旅游业发展为主, 固废种类以生活垃圾和农业垃圾为主, 基本没有工业垃圾。由于海岛游客数量以及瓜果蔬菜消费量季节性变化, 小海岛固废产量也呈现季节性差异, 总体表现为夏秋季节产量高、冬春季节产量低。如西班牙梅诺卡岛 8 月份固废产量是冬季平均值的 2 倍^[3]; 爱沙尼亚群岛固废产量主要集中在

在 5—9 月份。课题组对我国珠江口外伶仃岛和东澳岛 2017 年各月份固废产量统计结果如图 1 所示, 也呈现出相似的季节性变化。旅游旺季(7—9 月份)固废产量最高可达到 5 t/d, 而旅游淡季(11—4 月份)只有 2 t/d。

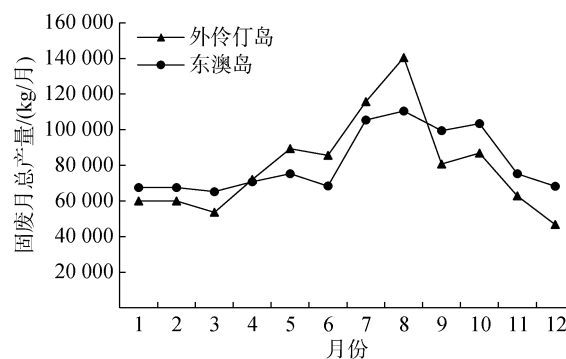


图 1 海岛固废总产量月变化

Fig. 1 Monthly production of solid waste in islands

相对于大陆地区, 小海岛固废人均产量普遍较高。如加那利群岛(西班牙)固废人均产量为 1.86 kg/d, 而西班牙人均产量只有 1.37 kg/d^[4]; 波多黎各岛(美国)固废人均产量为 2.45 kg/d, 而全美固废人均产量为 2.04 kg/d^[5]。课题组调研统计得到外伶仃岛和东澳岛固废人均产量分别为 1.147 kg/d 和 1.093 kg/d, 高

收稿日期: 2018-11-24; 修回日期: 2019-01-03

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0506304)

[Foundation: National Key R&D Program of China, No. 2017YFC0506304]

作者简介: 董瑞程(1994-), 男, 陕西铜川人, 硕士研究生, 主要从事海岛固体废弃物处置研究, 手机: 17551072002, E-mail: njdongrc@163.com

于广东农村地区人均固废产量(0.31~0.82 kg/d)^[6]。海岛固废人均产量较高的主要原因是: (1)海岛养殖业和种植业产生的副产品垃圾较多,如南日岛许多农户散养禽畜和种植海产品,固废中粪便、藻渣和贝壳含量分别占到17.2%、12.7%和11.7%^[7]; (2)生活物资基本靠外运,商品包装产生大量纸、塑料垃圾,如克里特岛塑料包装盒就占到塑料总含量37%^[8]。 (3)海岛旅游业的发展增加了固废产量。如台湾省绿岛每年游客达到35万人次/a,平均每个游客可产生垃圾3.91 kg^[9]。此外,固废人均产量与经济水平表现出正相关性,Mohee^[10]对加勒比海、大西洋、印度洋、地中海、太平洋地区海岛固废产量和经济水平研究结果如表1所示。可以看出,人类发展指数(HDI)和人均国内生产总值(人均GDP)越高的地区人均固废产量越高。

表1 海岛固废人均产量与经济水平
Tab. 1 Island solid waste per-capita output and economic level

海岛区域	人均垃圾产量/(kg/d)	HDI	人均GDP/美元
加勒比海	1.61	0.70	13 853
大西洋、印度洋、地中海、中国南海	1.56	0.69	11 732
太平洋	0.82	0.63	9 076

1.2 小海岛固废组分含量

固废按照来源、物理化学特性可分为有机垃圾、塑料、纸、玻璃、金属等组分,每种组分占总固废的质量百分比称为固废组分含量。固废组分含量是选择何种固废处理方式的一个关键参数,通过文献查

表2 国内外部分海岛固废组分含量
Tab. 2 Composition of solid waste in some islands

海岛	固废组分含量/%							
	有机垃圾	纸	塑料	金属	玻璃	橡胶-皮革-织物	贝壳	其他
绿岛 ^[9]	39	27	5	2	6	20	—	—
克里特岛 ^[8]	39.15	19.94	16.85	4.95	5.33	5.24	—	8.54
兰卡威岛 ^[11]	41.68	18.15	33.45	3.7	2	1.02	—	—
外伶仃岛	45.4	12.75	13.01	4.34	2.11	5.06	9.48	7.85
东澳岛	42.29	18.53	12.9	3.93	3.05	3.31	6.81	9.17

注:“—”表示没有该组分。

此外,发展种植业和养殖业的海岛固废中含有较多的植物秸秆和禽畜粪便,其固废一般采用生化

处理。日本宫古岛利用厨余、粪便和甘蔗渣堆肥,妥善解决了固废处理问题,产生的肥料又可回馈农家,处理。日本宫古岛利用厨余、粪便和甘蔗渣堆肥,妥善解决了固废处理问题,产生的肥料又可回馈农家,处理。日本宫古岛利用厨余、粪便和甘蔗渣堆肥,妥善解决了固废处理问题,产生的肥料又可回馈农家,处理。

2 小海岛固废处理现状

由于地理位置、面积大小、经济水平、产业结构以及社会政策的不同,目前小海岛固废处理方式主要有以下3种。

2.1 岛内处理

岛内处理主要采用填埋、焚烧、堆肥及其组合工艺。长久以来人类对海岛保护的重视程度不够,填埋处理一直是海岛固废的主要处理方式。巴林岛每年产生659 847 t/a固废,全部填埋于岛上唯一的填埋场—麦纳麦填埋场。然而随着城市化发展、人口数量急剧增加,填埋场超负荷使用,暴露出许多问题,如臭气弥漫、水土污染、鸟类数量减少^[12]。上川、下川岛位于我国广东台山海域,面积分别为156.7 km²和98.6 km²,固废处理方式为简易填埋,如图2所示,严重破坏了海岛土壤环境。小海岛一般面积狭小、环境脆弱,简易填埋不仅占用本就稀缺的土地资源,产生的大量渗滤液也会污染地下水,同时填埋场滋生蚊虫病菌,威胁海岛居民健康。

处理。日本宫古岛利用厨余、粪便和甘蔗渣堆肥,妥善解决了固废处理问题,产生的肥料又可回馈农家,处理。日本宫古岛利用厨余、粪便和甘蔗渣堆肥,妥善解决了固废处理问题,产生的肥料又可回馈农家,处理。

提升农产品产量和质量^[13]。固废岛内填埋处理占用大量的稀缺土地资源, 填埋场对海岛环境污染严重, 应逐渐取消; 可生物降解固废生化处理对环境影响小, 产物如有机肥料和沼气还可利用, 是海岛固废较为理想的处理方式。



图2 上川、下川岛垃圾简易填埋场

Fig. 2 Landfills of Shangchuan and Xiachuan islands

2.2 岛外处理

许多小海岛固废产量一般小且季节变化幅度大, 岛上建造垃圾处理厂成本高、运行稳定性差。基于此, 部分小海岛将固废全部外运处理, 基本流程如图3所示。岛外处理的主要优点是管理简单、对海岛

表3 海岛基本情况及固废运输成本

Tab. 3 Basic condition of the islands and solid waste transportation cost

区域	海岛	面积/km ²	离大陆距离/km	居民人数/人	游客人数/人	固废年产量/(t/a)	运费成本
爱沙尼亚群岛 ^[14]	Naissar	18.6	19	2	15 000	22	214 欧元/t
	Aegna	3	14	2	8 000	6.6	409 欧元/t
	Prangli	6.4	30	100	10 000	12.6	714 欧元/t
	Ruhnu	11.9	96	64	5 000	5	2 400 欧元/t
万山群岛	万山岛	8.2	40	880	192 200	953.8	2 000 元/t
	桂山岛	10	32	1 750	108 000	823	1 500 元/t
	东澳岛	4.7	30	1 548	175 700	977	1 500 元/t

2.3 岛内外协同处理

岛内外协同处理是将易于岛内处理的固废就地处理, 剩余岛上难处理固废运至大陆处理。较为典型的是我国外伶仃岛, 其全年固废产量954 t, 约有65 t 纸皮、泡沫、瓶罐回收利用, 350 t 岛内焚烧处理, 剩下外运至大陆填埋处理。岛内焚烧采用的是一种小型机械焚烧炉, 每台配备有烟气处理系统, 焚烧处理后灰分和建筑垃圾混合后于岛上填埋。外伶仃岛固废目前为混合收集, 环卫工人在转运站进行简单分拣。由表2可以看出外伶仃岛可燃组分和可回收组分(纸、塑料、金属、织物)含量较高。若从源头进行分类收集, 其回收比例和焚烧比例可进一步提高, 从而减少外运处理量, 降低处理费用。

环境影响小。采用该处理方式的有爱沙尼亚群岛^[14], 我国珠江口万山岛、桂山岛和东澳岛等。

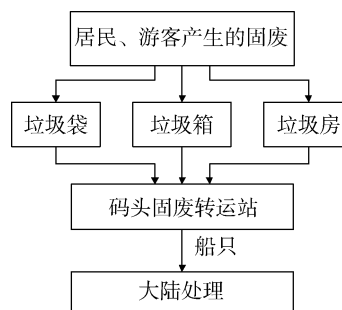


图3 海岛固废外运流程

Fig. 3 External transport process of island solid waste

岛外处理需要用船舶运输, 部分小海岛固废外运费如表3所示。可以看出, 海岛离大陆距离越远, 固废外运费越高。因此, 距大陆较远的小海岛固废外运处置成本高, 固废外运处理对于经济基础薄弱的海岛压力大。距离大陆较近小海岛, 可采取外运固废外运处理; 另外, 固废源头减量化可以有效降低固废外运量, 从而降低处置总成本。

为了避免焚烧控制不当可能对海岛生态环境带来影响, 我国台湾省5个海岛(澎湖、琉球、金門、马祖、绿岛)将可燃固废运回台湾岛焚烧处理, 其他组分岛内回收、填埋和堆肥处理, 每种固废处理方式所占比例(各处理方式处理量占总固废处理量的百分比)如表4所示^[15]。

岛内外协同处理的成效取决于海岛固废处理能力和垃圾分类收集的实行。将海岛可消纳处理和不可消纳处理的固废分开收集, 协同处理才能发挥其最大效益。

3 小海岛固废处理指导原则

与我国大陆城市及农村地区相比, 小海岛固废管理的不利因素主要有: (1)土地资源匮乏, 难题提

表 4 台湾省附近海岛各固废处理方式所占比例^[16]

Tab. 4 Proportion of island solid waste treatment methods near Taiwan province

海岛	各固废处理方式所占比例/%			
	岛外处理	岛内处理		
	焚烧	回收	填埋	堆肥
澎湖	44.5	38.3	5.5	11.7
琉球	62.8	32.2	0	5.0
金门	45.8	39.4	7.3	7.5
马祖	31.3	33.1	5.9	29.7
绿岛	53.0	28.5	16.7	1.8

供较多的土地用于固废处置; (2)四面环海、地理位置隔绝, 固废外运费用高; (3)生态环境脆弱, 一旦受到破坏, 难以恢复原状; (4)固废季节变化幅度大, 处理条件不稳定; (5)建议填埋和焚烧处置对海岛生态环境影响较大; (6)混合收集增加海岛固废终端处理难度。海岛固废处理的发展方向是: 减量化、资源化和无害化。海岛固废实现三化的核心是做好分类收集。

3.1 减量化

源头减量化、回收利用减量化和终端处理减量化是减少海岛固废污染的主要措施。源头减量化是从固废产生来源进行消减, 如可采取净菜进岛措施, 选择可重复利用的包装箱, 鼓励岛民改变商品购买习惯, 少买少存; 减少一次性商品的使用, 海岛建筑施工中避免浪费材料; 杜绝海岛居民随意堆放垃圾以及游客乱扔垃圾的现象, 加强海岛固废存储、收运设施建设, 外运处理的垃圾预先压缩、破碎。回收处理减量化是将固废中利用价值较高的物质收集后作为生产材料, 从而降低固废处理量。海岛固废中可回收物质包括纸板、塑料瓶罐、金属、织物等, 这部分固废可单独收集再利用。终端处理减量化要求处理厂采用清洁、减重或减容大的工艺方法, 比如焚烧、热解。

3.2 资源化

固废资源化是将固体废物经过一定的处理或加工, 可使其中所含的有用物质提取出来, 继续在生产活动中发挥作用。固废资源化可以妥善消纳海岛固废, 同时产物又能够缓解海岛资源匮乏问题, 适合海岛特殊地理环境。例如可将固废中塑料用于再生造粒, 纸箱、木料用于造纸, 有机物如餐厨垃圾、庭院垃圾经过生物降解后产生肥料, 回馈给农家使用; 回收价值低的可燃物如餐纸、破塑料袋、织物和

橡胶用于焚烧发电或制成 RDF(垃圾衍生燃料)。

3.3 无害化

海岛由于四面环海、地势狭小, 生态环境较为脆弱, 岛上固废必须进行无害化处理。首先, 杜绝海岛生活垃圾简易填埋, 逐步将岛上旧垃圾填埋场进行封场处置。其次, 采用先进的焚烧工艺设备, 降低焚烧过程中二噁英等有害气体的产生。岛内处理成本较高和生态环境保护级别较高的海岛, 产生的固废宜外运至大陆进行处理。

3.4 分类收集

分类收集是指根据不同处置要求, 在源头将固废分成几种类别存放、收集和运输的过程。垃圾分类收集是减少垃圾产量、利用垃圾资源性、进行垃圾综合整治的第一步, 也是关键环节。我国部分城市地区在垃圾分类方面进展突出, 上海、广州、深圳、南京和杭州已针对垃圾分类单独立法, 将生活垃圾分为餐厨垃圾、可回收物、有害垃圾和其他垃圾 4 类; 同时各个城市根据自身情况采取一些独特条例, 如深圳“定时定点投放”, 杭州“禁止生产和销售不可降解餐具”, 广州则对未按规定分类行为设置了罚则^[16]。小海岛垃圾分类收集方法在借鉴大陆城市及农村经验的基础上, 还要根据海岛垃圾处置的途径、工艺等进行优化, 制定合适的政策来推行固废分类收集。第一, 要根据固废特征确定好分类种类, 能够与终端处理方式匹配, 海岛可分为餐厨垃圾、废品和其他垃圾等; 第二, 采取合适的分类收集措施, 例如垃圾箱定点分类投放, 不同颜色塑料袋分装不同组分垃圾等; 最后, 要通过各种宣传手段提升海岛居民分类收集意识和积极性, 适当采取财政奖励激励回收行为, 必要时对不按规定分类投放行为采取惩治措施。

4 建立小海岛固废独特处置模式

小海岛固废处置要考虑海岛固废组分特点、经济因素和环境影响, 易腐垃圾(厨余、植物垃圾)和可燃垃圾(塑胶、纸、织物等)为小海岛固废主要组分, 因而生化处理和焚烧处理是目前最适合的小海岛固废处理方式。基于海岛距离远近提出两种小海岛的固废处置模式。

4.1 近距离海岛固废处置模式

近距离海岛固废采用“岛内生+岛外焚烧、回

收利用”处置模式。有机固废处置污染小，外运处置意义不大，而且产生的渗滤液会污染腐蚀船只，岛内生生化处置(好氧堆肥、厌氧产沼)无害化效果明显，且能够充分发挥固废资源效能。将海岛的厨余、农作物秸秆，混合人畜粪便堆肥，获得的优质肥料，回馈海岛农家，改善土壤肥力；同时降解过程中产生的高温可杀死垃圾中的病菌、虫卵，达到无害化目标。也可利用厌氧生物发酵技术，将易腐垃圾中有机物质转化为沼气(主要成分为甲烷)，代替燃料使用，弥补海岛资源匮乏劣势。纸箱、泡沫箱、塑料瓶、玻璃瓶等废品回收利用。由于海岛难以形成废品再利用的市场规模，建议将其运回大陆售卖。剩余的固废为不可回收的塑料袋、餐纸、橡胶等可燃垃圾，焚烧处置效果好。小海岛固废日产量一般较小，常规焚烧厂直接引入到小海岛，设备电能消耗大、持续燃烧运行困难。考虑到经济水平，近距离海岛可考虑将这部分固废运回大陆，混入城市垃圾用于焚烧发电。“岛内生生化+岛外焚烧、再利用”处置需要对海岛固废进行分类收集，可按照易腐垃圾(厨余、庭院垃圾、农作物秸秆)、可回收垃圾(纸箱、塑料瓶、金属制品)和不可回收垃圾投放，分别用绿黄红3种颜色加以区分，并用文字标识；绿色垃圾桶收集的垃圾运至岛内固废处理厂进行生化处理，黄、红垃圾桶固废分别运至码头，打包后运至大陆处理。

4.2 中远距离海岛固废处置模式

中远距离小海岛固废运回大陆处置费用昂贵，适宜于全部岛内处理，采取“岛内生生化+岛内焚烧”处置模式。可将固废可分为易腐垃圾和可燃垃圾两类收集，易腐垃圾就地生化处置(堆肥、产沼)，可燃垃圾岛上焚烧处置。由于小海岛固废日产量相对较少，小型生化反应器和焚烧处理装置为小海岛堆肥和焚烧设备的研制目标。小型焚烧处理装置要考虑垃圾烘干和粉碎前处理，热值较低可添加辅助燃料，使炉腔内垃圾焚烧温度达到850℃以上，确保塑料垃圾焚烧过程不会产生二噁英等有机污染物。中远距离小海岛有机垃圾和可燃垃圾收运后，分别投放至到岛上生化和焚烧装置处理。

5 小结

小海岛固废产量受季节和经济水平影响较大，固废主要组分为厨余、植物垃圾、纸和塑料。目前国内小海岛固废处置模式有全部岛内填埋或焚

烧、全部离岛处置和岛内外协同处置3种模式。分类收集基础上减量化、无害化、资源化是海岛固废处置的主要发展方向。近距离小海岛固废宜将易腐固废就地生化处理，废品和剩余不可回收固废运回大陆再利用和焚烧处置；中远距离小海岛固废宜全部岛内生化和焚烧处理，小型生化反应器及焚烧设备是其固废处理装置发展目标。

参考文献:

- [1] 刘锡清. 关于海洋岛屿的成因类型问题[J]. 海洋地质前沿, 2000, 16(8): 1-4.
Liu Xiqing. The question on the genetic type of ocean islands[J]. Marine Geology Frontiers, 2000, 16(8): 1-4.
- [2] Skordilis A. Modelling of integrated solid waste management systems in an island[J]. Resources Conservation & Recycling, 2004, 41(3): 243-254.
- [3] Mateu-Sbert J, Ricci-Cabello I, Villalonga-Olives E, et al. The impact of tourism on municipal solid waste generation: The case of Menorca Island (Spain)[J]. Waste Management, 2013, 33(12): 2589-2593.
- [4] Santamarta J C, Rodríguez-Martín J, Arraiza M P, et al. Waste problem and management in insular and isolated systems. case study in the Canary Islands (Spain)[J]. Ieri Procedia, 2014, 9(9): 162-167.
- [5] Miranda M L, Hale B. Paradise recovered: energy production and waste management[J]. Energy Policy, 2005, 33(13): 1691-1702.
- [6] 高海硕, 陈桂葵, 黎华寿, 等. 广东省农村垃圾产生特征及处理方式的调查分析[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1445-1452.
Gao haishuo, Chen Guikui, Li Huashou, et al. Composition of solid waste and its disposition methods in rural area of Guangdong Province, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(7): 1445-1452.
- [7] 陈金华, 陈春梅. 海峡西岸小海岛生活垃圾分类处理实证研究: 以福建南日岛为例[J]. 海洋开发与管理, 2010, 27(3): 59-63.
Chen Jinhua, Chen Chunmei. The study on the household garbage classification of small islands on west side of Taiwan straits[J]. Ocean Development and Management, 2010, 27(3): 59-63.
- [8] Gidaracos E, Havas G, Ntzamilis P. Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete[J]. Waste Management, 2006, 26(6): 668-679.
- [9] Chen M C, Ruij A, Wessler J. Solid waste management on small islands: The case of Green Island, Taiwan[J]. Resources Conservation & Recycling, 2005, 45(1): 31-47.
- [10] Mohee R, Mauthoor S, Bundhoo Z M. Current status of

- solid waste management in small island developing states: A review[J]. *Waste Management*, 2015, 43: 539-549.
- [11] Shamshiry E, Mokhtar M B, Abdulai A M, et al. Using the analytic hierarchy process to enhance sustainable solid waste management: case study of Langkawi Island, Malaysia[J]. *Environmental Quality Management*, 2015, 24(4): 51-64.
- [12] Ansari M S A. Municipal solid waste management systems in the Kingdom of Bahrain[J]. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2012, 4(5): 150-161.
- [13] 钱宏林, 谢健, 娄全胜. 广东省海岛保护与开发管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2017.
- Qian Honglin, Xie Jian, Lou Quansheng. *Island Protection and Development Management in Guangdong Province*[M]. Beijing: China Ocean Press, 2017.
- [14] Vilms M, Voronova V. Non-deposit system option for waste management on small islands[J]. *Waste Management & Research*, 2016, 34(8): 748-754.
- [15] Chen Yingchu. Evaluation of greenhouse gas emissions from waste management approaches in the islands[J]. *Waste Management & Research*, 2017, 35(7): 1-9.
- [16] 戴迎春. 我国城市生活垃圾分类现状[J]. *环境工程*, 2016, 24(6): 1-4.
- Dai Yingchun. Current status of MSW source separated collection in China[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2016, 24(6): 1-4.

Characteristics of solid waste generation and disposal method in small islands

DONG Rui-cheng, DING Zhi-bin, GUO Hao-nan, LIAN Xiao-ying, ZHAO Xiao-lan
(Defense Engineering College, Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, China)

Received: Nov. 24, 2018

Key words: island; solid waste; disposal method; recycling

Abstract: This study explores the treatment of solid waste in small islands. Findings show that the characteristics of total waste production in summer and autumn were higher than those in spring and winter. Daily output per head was higher in the island than that in the mainland, and the components were mainly organic and combustible wastes. The current disposal method mainly includes landfills within the island. Through a literature review and field investigation of the South China Sea islands, this paper summarizes the method of out-of-island and internal and external collaborative processing of solid waste in China and other countries. Based on the environmental characteristics of small islands, the solid waste disposal methods of in-island biochemical treatment combined with out-of-island incineration and recycling in small islands near a landmass were examined. Furthermore, in-island biochemical methods combined with in-island incineration in remote small islands are discussed to provide a reference for the rational development and management of small islands in China.

(本文编辑: 刘珊珊)