

有机固体废物处理行业臭气的产生与控制*

朱彦莉，郑国砥，高 定，牛明杰，彭淑婧，陈同斌，刘洪涛

(中国科学院地理科学与资源研究所环境修复中心，北京 100101)

摘 要：针对目前主流的有机固体废物处理处置工艺，总结了各工艺的臭气成分和影响因素。恶臭物质 NH₃ 和 H₂S 在污泥堆肥、污泥干化、餐厨垃圾好氧分解和生活垃圾填埋场中都有产生，但不同处理工艺的主要致臭物质不同。污泥堆肥工艺的主要致臭物质为含硫化合物，污泥干化工艺和垃圾填埋场的主要致臭物质为苯系物和萜烯类，餐厨垃圾好氧分解的主要致臭物质为含氧类化合物。提出了相应的恶臭防控措施。

关键词：有机固体废物；处理；处置；臭气释放；脱臭技术

中图分类号：X512 文献标识码：A 文章编号：1005-8206 (2014) 02-0035-05

Odor Emission and Control of Organic Solid Waste Treatment Industry

Zhu Yanli, Zheng Guodi, Gao Ding, Niu Mingjie, Peng Shujing, Chen Tongbin, Liu Hongtao

(Center for Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Abstract : Aiming at the mainstream treatment and disposal technologies of organic solid waste, the odor compositions and influential factors of those technologies were summarized. Ammonia and hydrogen sulfide are produced in the process of sludge composting, sludge drying, food waste aerobic decomposition and domestic waste landfill, but the main compounds of odors with different technologies are different. Sulphur compounds are the main compounds emitted during sludge composting, while benzenes and terpenes are the major species during sludge drying and waste landfill. The main compounds of food waste aerobic decomposition are oxygen containing compounds. The corresponding odor control ways were proposed.

Key words : organic solid waste ; treatment ; disposal ; odor emission ; deodorization technology

常见的固体废物处理方式有填埋、堆肥、焚烧、沼气化，但由于有机固废的自身特性及处理工艺特点，目前的有机固废处理方式都不可避免地带来臭气污染问题。臭气因其产生的不确定性和成分复杂、具有时段性和区域性，且具有嗅觉阈值低、与人的主观感觉有关等特点而研究难度较大。恶臭污染问题已越来越多的影响到居民的生活，成为继噪声污染的典型环境公害之一^[1]。开展对恶臭气体的产生机理研究和治理技术研发非常迫切。

1 有机固废处理行业常见的臭气物质

臭气是由挥发性无机物 (VICS) 和挥发性有机物 (VOCs) 产生的刺激嗅觉器官而引起不愉快感觉的气味物质^[2]。臭气物质包括含硫化合物 (H₂S、SO₂、硫醇、硫醚等)、含氮化合物 (NH₃、酰胺、吡啶等)、卤素及衍生物 (氯气、卤代烃等)、烃类 (烷烃、烯烃、炔烃、芳香烃等) 和含氧的有机化合物 (醇、酚、有机酸等)。目前GB 14554—1993规定的物质是8种：氨、三甲胺、硫

化氢、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫、二硫化碳和苯乙烯，但被检测出来的致臭物质有100多种。嗅阈值是气味对嗅觉最小的刺激浓度，标准定义为在特定化学浓度下，50%的人能觉察出的气味；感觉阈值是可以感觉到有气味的最小浓度；臭气指数是衡量臭气物质引发恶臭污染严重性的综合指标，常用韦伯-费希纳公式计算。常见的臭气物质的理化性质及其排放限值如表1所示^[2]。

表1 常见臭气物质的理化性质及其排放限值

项目	分子式	臭味	嗅阈值/ (mg/m ³)	感觉阈值/ (μg/g)	沸点/℃	排放限值/ (mg/m ³)
氨气	NH ₃	粪尿臭	0.027 0	0.1	-33.4	4.0
硫化氢	H ₂ S	腐蛋臭	0.000 7	0.000 5	-60.3	0.32
三甲胺	C ₃ H ₉ N	腐鱼臭	0.000 8	0.000 1	2.9	0.45
甲硫醇	CH ₃ SH	烂甘蓝臭	4×10 ⁻⁵	0.000 1	5.9	0.02
甲硫醚	(CH ₃) ₂ S	烂甘蓝臭	0.003 0	0.000 1	37.3	0.55
二甲二硫	(CH ₃) ₂ S ₂	烂甘蓝臭	0.000 1	0.000 5	109.7	0.42
二硫化碳	CS ₂	烂萝卜臭	0.024 0	0.017~0.88	46.2	8.0
苯乙烯	C ₈ H ₈	橡胶味	0.202 0	0.03	145	14

注：排放限值是GB 14554—1993的三级新改扩建项目标准，该标准规定的臭气浓度排放限值为60。

2 有机固废处理过程恶臭的产生和排放

2.1 好氧堆肥工艺

生活垃圾、污泥堆肥过程中恶臭气体在好氧和厌氧的条件下均可产生，但主要的致臭物质来自于厌氧过程。氧气充足时，有机成分在好氧菌的作用下产生刺激性气体NH₃等；在氧气不足时，

* 基金项目：国家科技支撑计划项目 (2012BAC25B03, 2014BAC02B01)；国家环境保护公益性行业科研专项 (201209022)

收稿日期：2014-01-04

厌氧菌不彻底氧化产生 H_2S 、 SO_2 、硫醇类和含氮的化合物如胺类、酰胺类等^[3]。氮化物中的胺类来自于氨基酸脱羧^[4]，硫化物来自于含硫化合物的厌氧降解^[5]。另外，在缺氧环境中有机物不完全降解可以产生挥发性脂肪酸及小部分碳氢化合物和醛类^[6]。

堆肥厂产生的臭气物质主要是 NH_3 、 H_2S 和部分挥发性有机污染物，其中 H_2S 是强致臭物质。刘璐等^[7]的研究表明，堆肥中产生的含氮臭气物质主要有氨、胺、吡啶和粪臭素，氨的产生量最大，但其臭气阈值相对较高，认为其为相对次要的恶臭物质。含硫臭气物质主要为二甲基硫（DMS）、二甲基二硫醚（DMDS）、甲硫醇、甲硫醚，其产生量小于氨，但由于其嗅阈值非常低，因而对总恶臭贡献较大。沈玉君^[2]研究发现堆肥过程中常见臭味物质的臭气指数从高到低依次为乙硫醇、丙硫醇、甲硫醇、丁硫醇、硫化氢、甲醛、乙醛、丙醛、甲硫醚、丁醛、乙醚。但硫醇类物质极易在空气中被氧化，因此认为堆肥最主要的臭气物质为 H_2S 。此外，堆肥过程还会产生苯乙烯、萘、环己烯、甲醛、乙醛、丙醛、丁醛、乙醚等具有不愉快气味的有机污染物质^[8]。

影响好氧堆肥过程臭气产生的主要因素有C/N、含水率、温度、氧气、调理剂种类等。C/N过高，容易导致“氮饥饿”，从而影响微生物的正常繁殖，导致堆肥周期过长；C/N过低，造成碳源不足，从而过量的氮转化为 NH_3 ，导致恶臭量增加，在实际工程中应根据堆肥原料的不同调节C/N，适合的C/N应介于25~50^[9]。含水率过高会使堆体中 O_2 难以扩散到物料内部，容易造成缺氧或厌氧环境，从而厌氧发酵，易形成发臭的中间产物（硫化氢、硫醇、氨等），并会由于硫化物而导致堆料腐败发黑；含水率过低，会使分解速率降低，当含水率低于12%时，微生物的繁殖就会停止，最佳的含水率范围应该是50%~70%^[9]。温度对于微生物的生长和分解有机物的速度都有作用。简保权^[10]的研究发现，堆肥升温期和高温期是臭气产生的主要时期，这是因为易分解有机质的快速分解会消耗大量氧，从而造成局部缺氧。氧气不足是导致污泥堆肥过程 H_2S 产生的主要原因。Chen等^[11]研究表明，维持堆体氧气高于14%，可以有效避免 H_2S 产生。温度的控制可以通过控制通风量实现。但通风量过高，容易造成恶臭气体的总量过大，给治理带来困难。此外，Bernal等^[12]的研

究表明，添加富含可降解碳的调理剂可有效减少恶臭中氨的挥发量。

2.2 污泥干化工艺

污泥干化过程中臭气物质的释放和污泥性质及干化温度有关，既包括原有恶臭物质的挥发释放，也包括污泥受热分解产生的恶臭物质^[13]。干化工艺产生的恶臭物质有 SO_2 、氮氧化物（主要由燃料燃烧产生）、氨（主要是污泥中的碳酸氢铵在35℃以上时分解产生）、 H_2S （污泥局部干燥过度分解产生）、苯系物（在100℃以上污泥中含有的苯系物挥发产生）、苯酚（在350℃时释放最大，后随温度升高而降低）、庚烷（沸点是98.5℃，来源是污泥中大分子有机物的分解）、硫醚、甲硫醇、乙醛、蒽烯、挥发性脂肪酸（污泥中的有机物水解产生）等^[13-18]。直接干化和间接干化，臭气的成分会略有不同。

影响污泥干化过程中臭气释放的因素有污泥含水率、热介质温度、载气的流动速度、污泥的停留时间、干燥系统热介质的气体成分、污泥颗粒尺寸等。一般而言，含水率的作用在于抑制温度的升高和控制升温速度。翁焕新等^[16]的研究表明，污泥含水率在45%~80%时，污泥干化过程中氨的挥发与水的挥发同步进行，污泥氨的单位释放量随含水率减小而明显升高；当含水率低于45%时，氨的挥发不再随含水率减小而增高，这是由于经过较长时间的干化过程后，污泥中大部分的氨已经被释放。污泥干化温度决定了各种物质是否挥发、是否分解和分解的速度。污泥种类和停留时间决定了臭气浓度。无机化合物和低分子量的有机化合物挥发主要发生在污泥干化早期阶段。干化温度越高，臭气成分越复杂，臭气浓度也越大。褚赞等^[17]的研究表明，当污泥干化温度小于200℃时，只有小部分的苯系物（BTEX）释放，当温度在200~250℃时，大量的BTEX挥发；在温度高于250℃时，污泥中少量残余的BTEX释放。

2.3 餐厨垃圾好氧降解

餐厨垃圾因有机物含量高、含水率高和易腐烂降解等特点，产生的恶臭物质不同于污泥和普通生活垃圾。王晓伟^[19]对华中地区一个采用湿热水解-好氧发酵工艺的餐厨垃圾饲料化处理厂的恶臭气体进行检测，硫化物、芳香烃、卤代烃、烷烃、烯烃、含氧类物质、萜烯类物质和氨气均有检出，所占比例较大的依次有含氧类物质、含

硫化物、烷烃和萜烯类。吴婷等^[20]以实验室模拟的方法研究了混合食品垃圾以及橙子、生菜、土豆和西红柿为代表的易降解有机成分在好氧分解过程中释放的恶臭气体,结果表明恶臭的主要成分为有机硫、含氧类化合物和萜烯。此实验共检出93种物质,其中17种为USEPA优先控制污染物,4种为中国环保部规定控制的恶臭污染物质(苯乙烯、二硫化碳、二甲基硫醚和二甲基二硫醚)。此外,吴婷等^[20]的研究还发现混合垃圾排放的恶臭污染物主要为二甲基二硫醚、乙酸乙酯、二甲基硫醚和乙醛,橙子垃圾为乙酸乙酯和乙醛,生菜垃圾为丙醛、乙酸乙酯、丁醛和4-甲基-2-戊酮,土豆垃圾为乙酸乙酯、丙醛和二甲基二硫醚,西红柿垃圾为丙醛、乙酸乙酯和丁醛。Smet等^[21]以蔬菜垃圾、水果垃圾、园林垃圾和废纸垃圾为原料,研究在好氧、厌氧-好氧联用2种工艺条件下产生的臭气,结果在好氧堆肥工艺检测出了2-异丙醇、乙醇、丙酮、柠檬烯、乙酸乙酯,且其占总挥发性有机物总量的82%。缺氧段产生的臭气量远低于好氧段。

3 垃圾填埋场恶臭排放

生活垃圾填埋场中恶臭气体的主要产生源有垃圾倾倒区、填埋作业面和渗沥液调节池,填埋场主要致臭成分为甲苯、乙苯、醚和酮。垃圾降解初期,好氧水解和初步的厌氧水解酸化产生芳烃、有机酸等含氧化合物,垃圾本身含有的卤代物挥发产生卤代物。萜烯类为主要的非生物源,可能来源于家电和空气清新剂等直接扩散。张晶^[22]以北京阿苏卫生活垃圾填埋场为研究对象,对填埋场主要恶臭源(填埋作业面、填埋气导管处)进行检测分析,共检测出63种恶臭化合物,其中含硫化合物主要为硫化氢、二甲二硫、甲硫醇、甲硫醚和乙硫醇,卤代物为氯乙烯、二氯乙烯、四氯乙烯、三氯氟甲烷、三氯乙烯、氯苯,苯系物为苯、甲苯、乙苯、对二甲苯、邻二甲苯。氨、丙烯、乙醇、丁烯、辛烷和萜烯类等物质也有检出。闫凤越等^[23]采用GC-MS技术检测分析,对天津某大型生活垃圾填埋场进行研究,共定量分析出了111种物质,其中垃圾倾倒区的典型恶臭污染物为硫化氢、甲苯、二甲二硫醚、甲硫醚、乙苯;垃圾填埋区的为甲苯、二硫化碳、乙醇、丙酮、乙酸乙酯;填埋气的为甲苯、乙苯、对二甲苯、邻二甲苯和甲硫醚。Zou等^[24]对广州大天山垃圾填埋场监测后认为垃圾填埋场的致臭物质

依次为苯、醛、酮和酯。Dincer等^[25]在详细分析了土耳其某垃圾填埋场的恶臭气体的基础上,用多元逐次回归法分析了恶臭强度与不同化学成分浓度间的关系,发现醛、酮、酯具有较高的恶臭相关度。

影响填埋场臭气产生的因素有填埋物料、垃圾龄、压实度、温度、湿度、气象条件等因素。若填埋垃圾中含有较多的有机垃圾,则生物降解过程越活跃,产生的恶臭气体量越多。填埋场中填埋气体的产生量随着填埋时间的增加而衰减,恶臭量也遵循其规律。填埋初期,恶臭气体的物质成分越复杂,浓度较大,成分主要为多环芳烃,醚和酮主要在填埋时间较久的填埋场中检出。压实度主要影响堆体的孔隙度,孔隙度低于10%时,气孔的间断及扭曲对恶臭气体的扩散有很强的抑制作用。温度和湿度可以促进厌氧发酵,所以夏季臭气的产生量远高于冬季,此外,张晶等^[22]的研究表明,在作业面上各环境因素中气温与硫化氢呈正相关,相对湿度与邻二甲苯和三氟氯甲烷呈较不明显的正相关。

4 恶臭的防控技术

由于环境是一个动态的开放的体系,臭气物质从环境中的去除受气象、水文等参数综合影响,且自然条件下,臭气物质去除过程比较缓慢。在实际中,还需采取工程手段加快其去除过程。有机固废处理工程应本着“少产生,少扩散,多收集”的原则对恶臭进行过程控制,针对不同的固废处理工艺制定合理的过程控制措施。对于堆肥工艺可通过选择合适的粒径、含水率、适量的调理剂,并在生化过程中根据堆体的温度、氧气含量等参数进行反馈控制,通过曝气、匀翻使堆体氧含量、温度处于最佳状态、消除好氧发酵死角的方法来减少恶臭产生^[8]。对于污泥干化工艺可以采取低温间接干化和干料返混的技术减少恶臭产生。一般而言,污泥干化过程产生的臭气中无机化合物组分较少,而无机化合物在水中的溶解度较大,容易去除。但污泥干化排放的臭气温度较高,收集后经过生物处理器之前,需降温处理。另外,通过封闭部分高浓度的恶臭散发区域、定期清洁厂区、设置风幕门、自动卸料门、局部使用掩蔽剂、在厂区铺设廉价的吸附材料等措施可有效控制恶臭的散发。对于有机固废填埋场所,由于工程面积较大,封闭收集恶臭气体措施不可行,一般采取在填埋场建设运行时期铺设竖井和

水平并相结合的方式对填埋气进行收集处理的方式。对大规模的垃圾填埋场,收集后的气体应进行利用,对小规模的垃圾填埋场,收集后的气体燃烧后排放。填埋作业过程中,及时覆盖日覆土、单元覆土和HPDE土工膜,减少垃圾飞洒,确保压实强度,避免垃圾的暴露,渗沥液调节池加盖封闭导气等都可以减少散发到环境中的恶臭气体^[21]。对于达到库容的垃圾填埋场或历史遗留的简易填埋场采用有机材料覆盖(土壤、堆肥)的方法可有效减少臭气排放。这些有机覆盖物中存在大量的好氧性微生物,可促进填埋场内部产生的臭气在散发过程中被分解利用。

恶臭的末端治理技术有物理、化学、生物法、植物提取液法,或是几种方法的组合。常见的物理、化学法具有能耗高、投资大、易产生二次污染的特点,在较大量的有机固废臭气末端控制方面应用较少,但在少气量、除臭要求高的环境中的应用还是比较常见,如活性炭吸附法。比较新型的处理技术有高温等离子体分解法、光催化氧化法、微波催化氧化法、电化学氧化法和电晕法,但由于这类技术处理气量较小且运行成本较高,在有机固废处理行业产生的恶臭气体脱臭方面并不具有优势。目前在有机固废产生的臭气控制技术中常见的是生物法和植物提取液法,见表2。生物法是利用微生物的代谢作用将恶臭物质分解转化为CO₂、H₂O、N₂和硫酸盐等无害或少害物质,工艺有生物过滤法、生物滴滤法、生物洗涤法和曝气式生物法。生物法要求微生物保持较高活性,在处理器中创造微生物生长所必需的pH、温度、氧含量和营养物等条件^[26]。天然植物液法是从植物中提取带有气味的有机物(萜烯类、直链化合物和苯的衍生物),通过控制设备将植物提取液雾化,在微小的液滴表面形成极大的表面能。该表面吸附空气中的臭气分子,使臭气分子立体结构发生改变,变得不稳定。不稳定的臭气分子与溶液提供的有效分子或空气中的氧气发生反应,反应产物为无毒无味的气体^[27]。在实际的工程应用方面,应该根据恶臭的主要致臭物质、施工现场环境条件和经济条件选择合理可行的控制方法,通常也采取组合处理方法。

5 结束语

有机固体废物在运输、预处理、处理处置过程中都有恶臭气体产生,但主要致臭成分因原料物质、操作条件的不同而有很大区别。NH₃和H₂S

表2 有机固废处理行业常见的除臭工艺

脱臭工艺	原理	优点	缺点
生物滤池	将经除尘、增湿或降温后的气体由底部通入,穿过(土壤、堆肥腐熟产品、泥炭等)滤床,在流动过程中与生物膜接触而被降解,净化后的气体由顶部排除	生物相和液相固定,废气在单一反应器中去除,滤料为富含有机成分的多孔渗水材料,设备和操作简单	易堵塞,滤料损耗,对高负荷气体去除率低,水分和pH难控制,适应进气浓度变化慢
生物滴滤塔	由池体、营养循环喷淋系统和参数控制系统组成。喷淋液中含有微生物生长的必需营养物质,喷淋液决定了物质净化效果和代谢产物,老化的生物膜可被及时冲刷去除	填料为惰性无机物质,无需更换填料。压降小,缓冲能力强,可根据恶臭气体成分,预先培养菌种,进行挂膜	不易堵塞,运行操作复杂,废液可造成二次污染
生物洗涤塔	由1个装有填料的吸收塔和1个含有活性污泥的再生池组成,吸收了废气(吸收塔内进行的)的洗涤液进入活性污泥再生池,被活性污泥中的微生物降解,洗涤液再生循环利用	运行稳定,反应条件易控制,占地面积小,不宜堵塞	废气吸收装置与降解装置分离,需配备通风曝气系统,需添加营养物质,有剩余污泥及废液等二次污染物,成本较高
曝气池脱臭	将恶臭物质以曝气形式分散到含活性污泥的混合溶液中,通过悬浮生长的微生物降解臭气	可借鉴污水处理设施,无需新建脱臭装置,对去除含氮、酚、乙醛等物质效果好	受到曝气强度的限制,需控制气液体积比,处理含硫的恶臭物质效果不明显,单独用于除臭成本高
天然植物液除臭	将雾化的天然植物提取液配制成的工作液均匀喷洒到有臭气的环境中,消除空气中的异味	无需安装臭气源密封、收集、输送系统,适宜于低浓度、不宜收集的臭气,适用于各类场所	对处理的废气具有针对性,不宜处理经收集的废气,且需要定期补充工作液,费用较高

在堆肥、干化、餐厨垃圾好氧分解和生活垃圾填埋场中都有产生,常常作为臭气典型检测项目。污泥堆肥工艺的主要致臭物质为含硫化合物,污泥干化工艺和垃圾填埋场的为苯系物和萜烯类,餐厨垃圾好氧分解的为含氧类化合物。由于致臭物质成分含量极低,物质间相互作用复杂,目前的采样方法和监测仪器相对滞后,达不到分析技术要求的灵敏度、准确度和重现性。对臭气的研究不仅要致臭物质进行定性和定量监测,还需对其区域污染状况和动态变化进行实时的连续监测。目前国内许多研究主要集中于个别工艺产生的初级污染物,如硫化氢和氨气的研究,但对不同工艺产生的臭气的全成分分析的研究并不多,需继续开展相关研究。

恶臭的防治应从以下方面考虑:①源头削减。通过优化工艺条件从源头上减少产生,通过覆盖吸收材料和安装收集设备在散发途中控制其散发,最终将收集后的气体进行末端处理。②末端治理。在工程中应用较多的是生物控制技术如生物滤池、

生物涤滤塔、生物洗涤塔、曝气池脱臭和天然植物液除臭技术。各技术都有其自身的优缺点,在实际工程中应综合考虑恶臭成分、处理要求、场地环境等因素后确定最终的治理技术。单一的净化方法对成分复杂的恶臭气体的处理效果不稳定,在实际应用中考虑造价和运行成本的前提下可采用组合除臭工艺,以达到较好的除臭效果。

参考文献

- [1] 冯文庆. 生活垃圾中转站恶臭污染防治对策[J]. 环境卫生工程, 2013, 21 (4): 11-13
- [2] 沈玉君, 陈同斌, 刘洪涛, 等. 堆肥过程中臭气的产生和释放过程研究进展[J]. 中国给水排水, 2011, 27 (11): 104-107.
- [3] 郭小品, 羌宁, 裴冰, 等. 城市生活垃圾堆肥厂臭气的产生及防控技术进展[J]. 环境科学与技术, 2007, 30 (6): 107-112.
- [4] Tsai C J, Chen M L, Ye A D, et al. The relationship of odor concentration and the critical components emitted from food waste composting plants[J]. Atmos Environ, 2008, 42 (35): 8246-8251.
- [5] Higgins M J, Chen Y C, Yarosz D P, et al. Cycling of volatile organic sulfur compounds in anaerobically digested biosolids and its implications for odors[J]. Water Environ Res, 2006, 78 (3): 243-252.
- [6] Bonnin C, Laborie A, Paillard H. Odor nuisances created by sludge treatment: Problems and solutions[J]. Water Sci Technol, 1990, 22 (12): 65-74.
- [7] 刘璐, 陈同斌, 郑国砥, 等. 污泥堆肥厂臭气的产生和处理技术研究进展[J]. 中国给水排水, 2010, 26 (13): 120-124.
- [8] 沈玉君, 高定, 陈同斌, 等. 堆肥过程中挥发性有机物的产生与释放[J]. 中国给水排水, 2011, 27 (11): 101-104.
- [9] 蒋建国. 固体废弃物处置与资源化[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [10] 简保权. 猪粪堆肥过程中 NH_3 和 H_2S 的释放特点及除臭微生物的筛选研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [11] Chen J, Chen T B, Gao D, et al. Reducing H_2S production by O_2 feed-back control during large-scale sewage sludge composting[J]. Waste Manage, 2011, 31 (1): 65-70.
- [12] Bernal M P, Albuquerque J A, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review[J]. Bioresour Technol, 2009, 100 (22): 5444-5453.
- [13] 刘璐. 污泥干燥处理中典型恶臭的释放特点[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [14] 褚赟. 污泥中的苯系物与苯酚及其释放特性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [15] 王飞, 朱小玲, 李博, 等. 污泥干化焚烧过程中污染物排放的研究[J]. 给水排水, 2011, 37 (5): 22-25.
- [16] 翁焕新, 章金骏, 刘璐, 等. 污泥干化过程氨的释放与控制[J]. 中国环境科学, 2013, 31 (7): 1171-1177.
- [17] 褚赟, 翁焕新, 章金骏, 等. 污泥干化过程中苯系物(BTEX)的释放及其致癌风险的评价[J]. 环境科学学报, 2009, 29 (4): 777-785.
- [18] Deng W Y, Yan J H, Li X D, et al. Emission characteristics of volatile compounds during sludges drying process[J]. J Hazard Mater, 2009, 162 (1): 186-192.
- [19] 王晓伟. 餐厨垃圾饲料化工艺恶臭污染物排放特性研究[D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2013.
- [20] 吴婷, 王新明. 食品垃圾好氧降解过程中挥发性有机物的排放特征[J]. 环境科学学报, 2012, 32 (10): 2573-2583.
- [21] Smet E, Van Langenhove H, De Bo I. The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste[J]. Atmos Environ, 1999, 33 (8): 1295-1303.
- [22] 张晶. 典型生活垃圾填埋场恶臭污染特征研究[D]. 北京: 清华大学, 2012.
- [23] 闫凤越, 邹克华, 李佳芳, 等. 垃圾填埋场恶臭气体指纹谱[J]. 环境化学, 2013, 32 (5): 854-859.
- [24] Zou S C, Lee S C, Chan C Y, et al. Characterization of ambient volatile organic compounds at a landfill site in Guangzhou, south China[J]. Chemosphere, 2003, 51 (9): 1015-1022.
- [25] Dincer F, Odabasi M, Muezzinoglu A. Chemical characterization of odorous gases at a landfill site by gas chromatography-mass spectrometry[J]. J Chromatogr A, 2006, 1122 (1): 222-229.
- [26] 吴冰思. 环境卫生设施臭气治理技术[J]. 环境卫生工程, 2003, 11 (1): 20-24.
- [27] 王涛, 王营利. 污泥堆肥工程中除臭技术选择与子系统设计[C]. 2010年中国城镇污泥处理处置技术与应用高级研讨会论文集, 2010.

作者简介: 朱彦莉(1991—), 主要从事固体废物资源化工程研究。

(责任编辑: 刘冬梅)

(上接第34页)

要因素。尤其对于我国垃圾分类处于起步阶段, 合理简单的垃圾分类标准有利于广大民众接受, 进而推动垃圾分类工作进行。

5.3 完善垃圾收运体系建设

确保生活垃圾行业建设、管理、运行一体化, 避免出现衔接不上情况。否则垃圾分类投放至专门垃圾筒中, 但是收运部门却未调派不同的车辆运输不同的垃圾, 最终还是被混合收运, 造成前期的分类成果荡然无存, 严重打击居民垃圾分类的积极性。

5.4 加快行业技术发展

经过分类的垃圾无法在现有的技术条件下成

为资源, 那它们仍然只能还是占用空间、污染环境的废物, 垃圾分类也就失去意义, 实现垃圾的减量化、资源化和无害化更是无从谈起。

参考文献

- [1] 王晓红, 阮星, 邢霏霏. 上海市生活垃圾源头分类的瓶颈及对策思考[J]. 再生资源与循环经济, 2013 (1): 24-27.
- [2] 许碧君. 城市垃圾分类进展概述[J]. 环境卫生工程, 2012, 20 (4): 31-33.
- [3] 张发训. 垃圾分类现状分析[J]. 科技传播, 2013 (1): 77-74.

作者简介: 董晓丹(1980—), 工程师, 主要从事环境污染与防治研究。

E-mail: dxdlane@126.com。

(责任编辑: 张艺)