



我国生活垃圾填埋场恶臭污染控制相关标准的思考和建议

王玉婧¹, 吕凡^{1,2}, 康心悦¹, 章骅^{1,2}, 何品晶^{1,2*}

1. 同济大学环境科学与工程学院, 上海 200092;

2. 上海污染控制与生态安全研究院, 上海 200092

* 联系人, E-mail: solidwaste@tongji.edu.cn

填埋是全球垃圾处理处置的主要方式之一^[1]. 在我国, 随着生活垃圾分类制度的实施, 原生垃圾填埋占比逐渐降低, 但在部分地区, 填埋仍是生活垃圾无害化处理的主要方式. 2021年全国城市生活垃圾卫生填埋量约占无害化处理量的21%, 西部和东北部分地区的占比高于40%^[2], 县城生活垃圾卫生填埋量的占比则高达57%^[3]. 此外, 存量填埋设施是我国生态环境新的风险点.

生活垃圾填埋场恶臭污染是最受公众关注的环境污染问题之一. 规范垃圾填埋处理设施建设和完善全过程监测监管能力建设, 均是“十四五”城镇生活垃圾分类和处理设施发展的十项主要任务中的重要内容, 而恶臭污染防治正是这两项任务的重点环节(<https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202105/P020210513624038179527.pdf>). 《国家标准化发展纲要》(https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/202112/t20211201_1306575.html)要求进一步完善污染防治标准, 恶臭污染控制相关标准是环境执法和管理的重要依据, 引领了相关技术的发展方向, 具有促进技术进步和可持续发展的重要意义. 《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)要求生活垃圾填埋场周围环境敏感点方位的场界恶臭污染物质量浓度应符合《恶臭污染物排放标准》(GB 14554)的规定. 但是, 不同行业排放的恶臭污染物种类、浓度和速率以及需要重点控制的恶臭污染物存在差异, 而GB 14554作为通用型恶臭污染物排放标准, 无法针对各行业恶臭污染物排放特征规定相应物质的排放限值. 由此可能导致生活垃圾填埋场恶臭污染物管控项目的缺失, 需要补充完善相关标准, 引导发展高效低耗的除臭技术, 降低生活垃圾填埋场恶臭污染对周边环境和人民生活的影响.

本文通过梳理国内外生活垃圾填埋场的恶臭污染研究进展和相关控制标准, 指出了目前生活垃圾填埋场恶臭污染控制相关标准存在的问题与挑战, 提出了相应建议, 以期制定或者修订生活垃圾填埋场恶臭污染控制相关标准提供参考.



王玉婧 同济大学博士研究生, 主要从事生活垃圾衍生气相污染研究工作.



何品晶 同济大学教授, 主要从事固体废物处理处置与资源化利用研究工作.

1 生活垃圾填埋场恶臭污染研究进展和相关排放标准

1.1 恶臭污染研究进展

国内外已有大量的生活垃圾填埋场恶臭污染相关研究, 研究对象包括: 垃圾倾倒地^[4-7]、填埋作业区域^[5,8,9]、覆膜区域^[5,6,9]、导气井^[4]、渗滤液处理区域^[4,6,7]、火炬^[10]、场界^[6,7]和周边敏感点^[5]等. 近几年, 生活垃圾填埋场恶臭污染源的监测、识别和臭气影响评价等方面取得了新的进展: 臭气在线监测设备^[6]和机器学习^[11]已应用于生活垃圾填埋场恶

臭污染监测和溯源;研究识别出了生活垃圾填埋场新的恶臭释放源,如覆膜区域膜搭接缝隙是臭气释放的热点^[9];填埋气的不完全燃烧导致火炬成为恶臭污染源^[10];空气扩散模型,如CALPUFF也被用于评价生活垃圾填埋场对周边敏感点的臭气影响,考虑的因素包括填埋体高度和面积,以及周边敏感点楼层高度等^[5]。生活垃圾填埋场检测出的恶臭污染物种类包括含硫化物、含氮化合物、含氧化合物、芳香烃、脂肪烃、卤素化合物和萜烯等^[12]。主要致臭物质的识别方法分为:(1)物质浓度法,即物质浓度越高,对臭气的贡献越大^[7]。(2)理论臭气浓度法,理论臭气浓度为物质浓度与嗅阈值的比值,嗅阈值是能引起人嗅觉刺激的最低物质浓度。物质的理论臭气浓度越高,对臭气的贡献越大^[13]。(3)气相色谱-嗅辨分析联用法,从色谱柱流出的气流以一定的分流比进入检测器和嗅辨口,同时获得物质的化学信息和嗅觉信息(气味特点、稀释倍数和强度)^[14]。相比于物质浓度法,理论臭气浓度法和气相色谱-嗅辨分析联用法结合了化学分析和嗅觉分析,评价更为全面。理论臭气浓度法在生活垃圾填埋场主要致臭物质识别领域的应用更为广泛^[4,14-16]。已有的研究识别出硫化氢^[4,6,9,16-19]、甲硫醇^[4,9,17,19,20]、丙硫醇^[9,17,20]、甲硫醚^[4,16-19]、二甲二硫^[4,17,19]、三甲胺^[16,18]、氨^[21]、苯乙烯^[6]和二硫化碳^[17]等是生活垃圾填埋场的主要致臭物质。

1.2 国内外相关排放标准

欧美国家一般规定臭气浓度作为综合排放指标。例如,美国科罗拉多州法规“5 CCR 1001-4”规定了场界臭气浓度限值(8 ou_E/m³);英国法规“H4 Odour Management”规定填埋场属于最难闻的恶臭源(most offensive odours),场界的臭气浓度排放限值为1.5 ou_E/m³;日本法规“The Offensive Odor Control Law”规定了22种恶臭污染物和臭气指数的排放限值^[22]。我国尚未专门针对生活垃圾填埋场恶臭污染控制制定国家或者行业标准。《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)要求生活垃圾填埋场周围环境敏感点方位的场界恶臭污染物质量浓度应符合《恶臭污染物排放标准》(GB 14554)的规定。《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)及其征求意见稿(2018年)(<https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/201812/W020181207572096786740.pdf>)规定了8种恶臭污染物(氨、三甲胺、硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫、二硫化碳、苯乙烯)和臭气浓度的排放限值。此外,部分地区制定了恶臭污染物地方排放标准。例如,河北省制定了《生活垃圾填埋场恶臭污染物排放标准》(DB 13/2697-2018)。该标准周界监控点恶臭污染物控制项目包括氨、硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫和臭气浓度,有组织排放源的控制项目仅为臭气浓度,控制项目比GB 14554-93少,排放限值普遍收严。上海市地方标准《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB 31/1025-2016)和天津市地方标准《恶臭污染物排放标准》(DB 12/059-2018)分别规定了22和16种恶臭污染

物以及臭气浓度排放限值。相比于GB 14554-93,这两项地方标准的控制项目大幅增加,排放限值更加严格。

2 存在的问题与挑战

2.1 缺乏针对性排放标准

我国生活垃圾填埋场恶臭污染物排放限值执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554)的规定。GB 14554是通用型标准,其控制项目虽然已覆盖了生活垃圾填埋场的多种主要致臭物质,但是没有涵盖部分重要的致臭物质,例如丙硫醇。DB 13/2697-2018的制定基于河北省部分生活垃圾填埋场调研结果,其恶臭污染物控制项目,尤其是有组织排放的控制项目少于GB 14554-93,也未包含丙硫醇。不同地区生活垃圾填埋场填埋物、渗滤液成分和运行情况等差异将导致场界和排气筒主要致臭物质的差异,该标准在全国的普适性有待考证。丙硫醇是我国生活垃圾填埋场的主要致臭物质之一^[9,20]。英国环境部(Environment Agency)也将丙硫醇列为生活垃圾填埋场第五重要的恶臭污染物^[17]。丙硫醇主要产生于蛋白质厌氧生物降解过程,它不仅嗅阈值极低(0.013 ppb_v, ppb_v和kg/m³的换算方法如式(1)所示)^[23],还可能造成头痛、头晕和恶心,刺激眼、皮肤和呼吸道等健康危害^[24]。生活垃圾填埋场填埋气体检出的丙硫醇浓度为5.4~4860 ppb_v,对应理论臭气浓度为415~373846^[10,17,25-29],作业区域空气中丙硫醇浓度高达19050 ppb_v,对应理论臭气浓度为1465385^[30]。国内对生活垃圾填埋场中丙硫醇释放规律的研究报道较少,主要是因为:(1)丙硫醇不是现有恶臭污染物排放标准的控制项目,关注度较低;(2)用于检测丙硫醇的硫化学发光检测器和脉冲火焰光度检测器的价格较为昂贵^[31],导致对丙硫醇的测试能力不足;(3)丙硫醇嗅阈值极低,现有分析方法的检测限高于其嗅阈值。

$$C_v(\text{ppb}_v) = \frac{C_m(\text{kg/m}^3) \times 22.4(\text{L/mol}) \times 298.15(\text{K}) \times 10^9}{M_w(\text{g/mol}) \times 273.15(\text{K})} \quad (1)$$

式中, C_v : 体积浓度; C_m : 质量浓度; M_w : 摩尔质量。

2.2 缺乏检测低浓度恶臭污染物方法

生活垃圾填埋场部分重要的恶臭污染物尚未制定排放标准,其原因之一是缺乏检测低浓度恶臭污染物方法,现有检测方法的检出限高于致臭物质嗅阈值。《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)及其征求意见稿(<https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202203/W020220301373658068795.pdf>)规定:恶臭污染物监测应按照GB/T 14675和GB/T 14678规定的方法进行测定。值得注意的是,现行的GB/T 14678-93规定了硫化氢、甲硫醇、甲硫醚和二甲二硫的检测方法,已有30年未修订;此外,这两项标准的检测项目未全面覆盖生活垃圾填埋场的主要致臭物质(丙硫

醇、三甲胺、氨、苯乙烯和二硫化碳)。硫化学发光气相色谱法是丙硫醇的标准检测方法(GB/T 33318-2016、SCAQMD METHOD 307-91和ASTM D5504-20),检出限大于等于30 ppb_v。Fisher等人^[32]报道硫化学发光气相色谱法对丙硫醇的检出限大于0.96 ppb_v。Wang等人^[10]将气体样品预浓缩后,采用气相色谱-脉冲火焰光度法检测丙硫醇,检出限大于0.04 ppb_v。丙硫醇的嗅阈值为0.013 ppb_v^[23],低于上述检测方法的检出限。当丙硫醇能被以上方法检出时,其理论臭气浓度甚至已高达2462。最新的检测氨和三甲胺的标准方法为《环境空气 氨、甲胺、二甲胺和三甲胺的测定 离子色谱法》(HJ 1076-2019),三甲胺的检测限为3 ppb_v,高于其嗅阈值(0.9^[33]和0.032 ppb_v^[23]),当三甲胺未被检出时,也可能引起嗅觉不适。可见,现行恶臭污染物排放标准所执行的标准检测方法可能已经无法满足仪器不断更新和检测低浓度恶臭污染物的需求,有待修订。缺乏检测低浓度恶臭污染物方法可能导致恶臭污染物对臭气的贡献被低估,制定恶臭污染物排放限值缺乏可操作性,进而导致恶臭污染物相关排放标准控制项目的缺失。

2.3 缺乏场界和排气筒恶臭污染物数据

《生活垃圾卫生填埋场运行维护技术规程》(CJJ 93-2011)规定生活垃圾填埋场场界恶臭污染物的检测项目为硫化氢、氨和臭气浓度,未规定排气筒的恶臭污染物检测项目。虽然场界有定期检测数据,但是检测项目极为有限,排气筒的恶臭污染物检测数据可能更为缺乏。部分生活垃圾填埋场恶臭污染研究聚焦于填埋作业面等填埋场内区域,未检测场界和排气筒恶臭污染物^[4,9,19]。其他研究虽然检测了生活垃圾填埋场场界恶臭污染物,但可能受限于检测方法,检测项目未全面覆盖生活垃圾填埋场主要致臭物质,如丙硫醇^[6,16,18]。生活垃圾填埋场场界和排气筒恶臭污染物浓度数据的缺乏,不利于识别主要致臭物质,进而导致制定生活垃圾填埋场恶臭污染控制标准的控制项目时缺乏科学依据。

2.4 主要致臭物质存在不确定性

恶臭污染物的产生与填埋垃圾的物质组成和量等因素有关,例如,硫化物主要来源于蛋白质和蔬菜类物质的生物降解^[4]。根据《城镇生活垃圾分类和处理设施补短板强弱项实施方案》(<https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-08/08/5533296/files/9812d6d995ad4680ba83434f1fc20350.pdf>),生活垃圾日清运量超过300 t的地区,到2023年基本实现原生生活垃圾“零填埋”。生活垃圾填埋场的功能发生转变,成为生活垃圾处理的兜底设施,例如用于垃圾焚烧飞灰最终处置,以及临时存放无法及时资源化利用或者不符合资源化利用要求的沼渣和堆肥产物等。因此,我国绝大部分地区的原生生活垃圾,尤其是易腐垃圾填埋量将逐渐减少,硫化物等恶臭污染物的释放速率可能相应降低,尤其是生活垃圾填埋场封场后。虽然大量研究表明硫化物是生活垃圾填埋场的主要

致臭物质^[4,6,9,16-20],但是最近有研究发现,垃圾分类制度实施后,生活垃圾填埋场下风向的理论臭气浓度小于1,芳香烃和含氧化合物的臭气贡献大于含硫化物^[34]。然而,也有研究指出,某生活垃圾填埋场2020年封场,2021和2022年采集其膜下收集的填埋气,其中丙硫醇浓度为270~4860 ppb_v^[10],对应理论臭气浓度为20769~373846,说明虽然生活垃圾分类减少了原生垃圾的填埋量,但填埋场的存量垃圾在封场后仍将产生恶臭污染物。此外,垃圾处理衍生产品的填埋可能会带来新的恶臭污染。例如,有研究发现飞灰螯合剂在20~40°C条件下会释放甲醛、乙醛、苯、甲硫醇和乙硫醇等恶臭污染物^[35],沼渣和堆肥产物在堆放的过程中可能产生挥发性硫化物等恶臭污染物^[36]。如果覆盖等恶臭污染控制措施存在问题,生活垃圾填埋场仍将是恶臭污染源。生活垃圾填埋场功能转变对主要致臭物质造成的影响有待进一步研究。

此外,识别主要致臭物质的重要方法——理论臭气浓度法尚存在缺陷,例如,嗅阈值的不确定性显著影响理论臭气浓度计算结果。部分恶臭污染物的嗅阈值缺乏研究,或者在不同文献报道中甚至存在数量级的差异^[31],导致其理论臭气浓度存在极大的不确定性。国家环境保护恶臭污染控制重点实验室采用三点比较式臭袋法测试了40种恶臭污染物嗅阈值^[33],部分物质的嗅阈值与国际上常用的数值^[23]存在显著差异,例如,三甲胺的嗅阈值分别为0.9^[33]和0.032 ppb_v^[23],而部分物质缺乏嗅阈值数据,如丙硫醇。嗅阈值受地域的影响^[37],国外的嗅阈值不一定适用于我国。而我国嗅阈值数据尚不完整,部分物质的嗅阈值只能采用国外的数据。为了保持嗅阈值测试条件的一致性,这种情况下所有恶臭污染物的嗅阈值通常统一采用国外的数据,可能造成主要致臭物质的误判。因此,生活垃圾填埋场的功能转变和嗅阈值的不确定性导致生活垃圾填埋场主要致臭物质存在不确定性。

3 思考和建议

3.1 更新和完善恶臭污染物标准检测方法

缺乏检测低浓度恶臭污染物方法是导致生活垃圾填埋场部分恶臭污染物的臭气贡献被低估、恶臭污染物相关排放标准控制项目遗漏的重要原因之一,因此有必要更新和完善恶臭污染物标准检测方法。生活垃圾填埋场部分主要致臭物质的标准检测方法已得到更新。比如,甲硫醇、甲硫醚、二甲二硫、二硫化碳和苯乙烯的检测可以执行《环境空气 挥发性有机物的测定 罐采样/气相色谱-质谱法》(HJ 759-2015)。值得注意的是,HJ 759-2015将于2023年8月1日被HJ 759-2023替代,HJ 759-2023删除了目标化合物中甲硫醇和甲硫醚。甲硫醇、甲硫醚、二硫化碳、二甲二硫的检测可以执行《固定污染源废气 甲硫醇等8种含硫有机化合物的测定 气袋采样-预浓缩/气相色谱-质谱法》(HJ 1078-2019)。氨和三甲胺的检测可以执行《环境空气 氨、甲胺、二甲胺和三

甲胺的测定 离子色谱法》(HJ 1076-2019)。臭气浓度的检测执行《环境空气和废气 臭气的测定 三点比较式臭袋法》(HJ 1262-2022)。生活垃圾填埋场恶臭污染控制相关标准应体现标准检测方法的更新。部分恶臭污染物的标准检测方法有待进一步更新和完善,例如硫化氢、丙硫醇和三甲胺。现行的GB/T 14678-93采用气相色谱-火焰光度法检测硫化氢,GB/T 33318-2016采用硫化学发光气相色谱法检测硫化氢和丙硫醇,丙硫醇的检出限高于嗅阈值;HJ 1076-2019规定的标准方法对三甲胺的检出限高于其嗅阈值。由于分析技术在不断发展,建议对相关标准检测方法进行修订,评估分析方法(仪器和分析参数)标准化的可行性,从而进一步提高检测水平。此外,建议在制定或者修订标准检测方法的过程中,通过优化采样方法、进样量和预处理方法,降低检出限,同时考虑检测器的灵敏度、选择性和价格。

3.2 加强恶臭污染物数据积累和分析

生活垃圾填埋场场界和排气筒恶臭污染物数据是制定排放标准和控制恶臭污染的基础,需掌握生活垃圾分类后,生活垃圾填埋场在不同阶段(封场前和封场后)的恶臭污染物特征。因此,建议生活垃圾填埋场恶臭污染相关研究的采样点包括场界和排气筒(如果有),采样时间包括封场前和封场后,检测以及运行监测项目不宜限于硫化氢、氨和臭气浓度,还应包括其他主要致臭物质。此外,建议进一步完善恶臭污染物嗅阈值数据,为识别主要致臭物质提供依据;建立生活垃圾填埋场场界和排气筒恶臭污染物大数据平台,将生活垃圾填埋场的定期或者在线监测数据以及研究数据上传至该平台,利用大数据和人工智能识别不同功能和时期的生活垃

圾填埋场场界和排气筒主要致臭物质的种类、浓度范围 and 变化规律等,为制定或者修订生活垃圾填埋场恶臭污染控制相关标准提供依据。

3.3 制定/修订恶臭污染物排放标准

基于大数据识别出的生活垃圾填埋场场界和排气筒主要致臭物质,确定排放控制项目。确定控制项目后,建议参考《恶臭污染物排放标准》(2018年征求意见稿)制定恶臭污染物排放限值的方法(<https://big5.mee.gov.cn/gate/big5/www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk06/201812/W020181207572097309590.pdf>),建立控制项目物质浓度与臭气强度的关系,获得刚好能嗅到臭气(臭气强度1级)的物质浓度后,综合考虑健康风险确定恶臭污染物场界标准限值,进而利用大气扩散模型确定排气筒排放限值。

4 结语

生活垃圾填埋场恶臭污染是全社会关注的热点问题,其控制效果影响周边居民的生活环境 and 健康。生活垃圾填埋场恶臭污染控制相关标准为设计恶臭污染控制方案和评判恶臭污染控制效果提供依据,具有重要的意义。目前,我国生活垃圾填埋场主要致臭物质存在不确定性,恶臭污染控制相关标准的控制项目不健全,缺乏有效的检测方法和恶臭污染物数据。因此,制定或者修订生活垃圾填埋场恶臭污染控制相关标准同时存在必要性和挑战性,需要完善恶臭污染物标准检测方法和嗅阈值数据,加强生活垃圾填埋场场界和排气筒恶臭污染物数据积累,以及大数据和人工智能的应用。

致谢 感谢上海市国资委企业创新发展和能级提升项目(2022028)资助。

推荐阅读文献

- 1 Kaza S, Yao L C, Bhada-Tata P, et al. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington DC: World Bank, 2018
- 2 National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook 2022 (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2022 [国家统计局. 中国统计年鉴 2022年. 北京: 中国统计出版社, 2022]
- 3 Ministry of Housing and Urban-Rural Development. China Urban-Rural Construction Statistical Yearbook 2021 (in Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2022 [住房和城乡建设部. 中国城乡建设统计年鉴(2021). 北京: 中国统计出版社, 2022]
- 4 Fang J J, Yang N, Cen D Y, et al. Odor compounds from different sources of landfill: Characterization and source identification. *Waste Manage*, 2012, 32: 1401-1410
- 5 Zhang Y, Ning X, Li Y, et al. Impact assessment of odor nuisance, health risk and variation originating from the landfill surface. *Waste Manage*, 2021, 126: 771-780
- 6 Wang Y, Li L, Qiu Z, et al. Trace volatile compounds in the air of domestic waste landfill site: Identification, olfactory effect and cancer risk. *Chemosphere*, 2021, 272: 129582
- 7 Ding Y, Cai C Y, Hu B, et al. Characterization and control of odorous gases at a landfill site: A case study in Hangzhou, China. *Waste Manage*, 2012, 32: 317-326
- 8 Liu Y, Lu W, Wang H, et al. Odor impact assessment of trace sulfur compounds from working faces of landfills in Beijing, China. *J Environ Manage*, 2018, 220: 136-141

- 9 Du W, Lü F, Zhang H, et al. Odor emission rate of a municipal solid waste sanitary landfill during different operation stages before final closure. *Sci Total Environ*, 2023, 856: 159111
- 10 Wang Y, Zhang H, Zhang H, et al. Flare exhaust: An underestimated pollution source in municipal solid waste landfills. *Chemosphere*, 2023, 325: 138327
- 11 Choi Y, Kim K, Kim S, et al. Identification of odor emission sources in urban areas using machine learning-based classification models. *Atmos Environ-X*, 2022, 13: 100156
- 12 Duan Z, Scheutz C, Kjeldsen P. Trace gas emissions from municipal solid waste landfills: A review. *Waste Manage*, 2021, 119: 39–62
- 13 Fisher R M, Le-Minh N, Alvarez-Gaitan J P, et al. Emissions of volatile sulfur compounds (VSCs) throughout wastewater biosolids processing. *Sci Total Environ*, 2018, 616-617: 622–631
- 14 Bax C, Sironi S, Capelli L. How can odors be measured? An overview of methods and their applications. *Atmosphere*, 2020, 11: 92
- 15 Fang W, Huang Y, Ding Y, et al. Health risks of odorous compounds during the whole process of municipal solid waste collection and treatment in China. *Environ Int*, 2021, 158: 106951
- 16 Wu C, Liu J, Liu S, et al. Assessment of the health risks and odor concentration of volatile compounds from a municipal solid waste landfill in China. *Chemosphere*, 2018, 202: 1–8
- 17 Parker T, Dottridge J, Kelly S. Investigation of the Composition and Emissions of Trace Components in Landfill Gas. Technical Report, Environment Agency. 2002
- 18 Wu C, Liu J, Zhao P, et al. Evaluation of the chemical composition and correlation between the calculated and measured odour concentration of odorous gases from a landfill in Beijing, China. *Atmos Environ*, 2017, 164: 337–347
- 19 Lu W J, Duan Z H, Li D, et al. Characterization of odor emission on the working face of landfill and establishing of odorous compounds index. *Waste Manage*, 2015, 42: 74–81
- 20 He P J, Li J C, Lü F, et al. Temporal and spatial variation in odor pollution and membrane barrier effect in municipal solid waste landfill (in Chinese). *Environ Sci*, 2022, 43: 4506–4512 [何晶晶, 李健晨, 吕凡, 等. 生活垃圾填埋场恶臭污染的时空变化与膜阻隔效果. *环境科学*, 2022, 43: 4506–4512]
- 21 Lim J H, Cha J S, Kong B J, et al. Characterization of odorous gases at landfill site and in surrounding areas. *J Environ Manage*, 2018, 206: 291–303
- 22 Bokowa A, Diaz C, Koziel J A, et al. Summary and overview of the odour regulations worldwide. *Atmosphere*, 2021, 12: 206
- 23 Nagata Y. Measurement of odor threshold by triangle odor bag method. In: *Odor Measurement Review*. Tokyo: Japan Ministry of the Environment, 2003. 118–127
- 24 Chen D Z, Sun Y M, Han L M, et al. A newly isolated *Pseudomonas putida* S-1 strain for batch-mode-propanethiol degradation and continuous treatment of propanethiol-containing waste gas. *J Hazard Mater*, 2016, 302: 232–240
- 25 Rey M D, Font R, Aracil I. Biogas from MSW landfill: Composition and determination of chlorine content with the AOX (adsorbable organically bound halogens) technique. *Energy*, 2013, 63: 161–167
- 26 McKendry P, Looney J, McKenzie A. Managing Odour Risk at Landfill Sites: Main Report. Technical Report, MSE Ltd & Viridis. 2002
- 27 Pecorini I, Rossi E, Iannelli R. Mitigation of methane, NMVOCs and odor emissions in active and passive biofiltration systems at municipal solid waste landfills. *Sustainability*, 2020, 12: 3203
- 28 U.S. EPA. Background Information Document for Updating AP42 Section 2.4 for Estimating Emissions from Municipal Solid Waste Landfills. 2008
- 29 Mariné S, Pedrouzo M, Maria Marcé R, et al. Comparison between sampling and analytical methods in characterization of pollutants in biogas. *Talanta*, 2012, 100: 145–152
- 30 Zhao P, Liu J, Wang L, et al. Novel multi-sorbent for sampling and determination of trace volatile organic sulfur compounds in ambient air. *Int J Environ Anal Chem*, 2013, 93: 48–60
- 31 Wang Y, Shao L, Kang X, et al. A critical review on odor measurement and prediction. *J Environ Manage*, 2023, 336: 117651
- 32 Fisher R M, Barczak R J, Suffet I H, et al. Framework for the use of odour wheels to manage odours throughout wastewater biosolids processing. *Sci Total Environ*, 2018, 634: 214–223
- 33 Wang G, Zhai Z X, Geng J, et al. Testing and determination of the olfactory thresholds of the 40 kinds of typical malodorous substances (in Chinese). *J Saf Environ*, 2015, 15: 348–351 [王亘, 翟增秀, 耿静, 等. 40种典型恶臭物质嗅阈值测定. *安全与环境学报*, 2015, 15: 348–351]
- 34 Li M, Shao Z, Zheng G. Management of classified municipal solid waste should focus on odor pollution and ozone formation potential caused by VOCs. *Atmos Environ*, 2023, 295: 119542
- 35 Zhang H, Zeng J W, Lü F, et al. Release of volatile pollutants from four chelating agents used for stabilization of fly ash (in Chinese). *China Environ Sci*, 2019, 39: 5182–5190 [章骅, 曾佳玮, 吕凡, 等. 飞灰螯合剂中挥发性污染物的释放. *中国环境科学*, 2019, 39: 5182–5190]
- 36 Rincón C A, De Guardia A, Couvert A, et al. Odor concentration (OC) prediction based on odor activity values (OAVs) during composting of solid wastes and digestates. *Atmos Environ*, 2019, 201: 1–12
- 37 Oleszkiewicz A, Alizadeh R, Altundag A, et al. Global study of variability in olfactory sensitivity. *Behav Neurosci*, 2020, 134: 394–406

Summary for “我国生活垃圾填埋场恶臭污染控制相关标准的思考和建议”

Standards for odor pollution control in municipal solid waste landfills in China: Thoughts and suggestions

Yujing Wang¹, Fan Lü^{1,2}, Xinyue Kang¹, Hua Zhang^{1,2} & Pinjing He^{1,2*}

¹ College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

² Shanghai Institute of Pollution Control and Ecological Security, Shanghai 200092, China

* Corresponding author, E-mail: solidwaste@tongji.edu.cn

Landfilling is one of the major disposal methods for municipal solid waste (MSW) in China. Odor pollution from MSW landfills has been a social issue causing considerable public complaints. Standards related to odor pollution control are important bases of the environmental law-enforcement and management, which leads the development of related technologies, and has great significance in sustainable development. Characterization of odor emissions is the basis of establishing standards for odor pollution control in MSW landfills. There have been a large number of studies on the odor emissions in MSW landfills, and several odorants have been identified as the dominant odor contributors. In China, standards related to odor pollution control in MSW landfills, such as “Standard for pollution control on municipal solid waste landfill (GB 16889-2008)”, have been established. However, there are problems and challenges for the standards. Firstly, most of the existing emission standards for odorants are universal, not specific for MSW landfills, leading to the incomplete control indexes. For example, propanethiol has been identified as a dominant odor contributor in landfills, but it is not a control index in the standards. Secondly, the lack of measurement methods for odorants with low concentrations also contributes to the incompleteness of the standards. The detection limits of existing measurement methods could be higher than the odor detection thresholds (ODTs) of odorants, resulting in the underestimation of several odorants and the lack of operability in setting emission limits. Thirdly, the odor emission data of the MSW landfill boundary and stack are insufficient, and usually limited to hydrogen sulfide, ammonia, and odor concentration, which could not effectively support for establishing the emission standard for the MSW landfill. Finally, there are uncertainties in the major odor contributors in MSW landfills, due to the changes in the function of MSW landfills and the differences in the ODTs. With the promotion of zero landfilling of raw MSW, the waste compositions in MSW landfills are changing, whose influence on odor emissions is not yet clear. In addition, the ODT data are not complete in China, and the application of foreign data could result in the misidentification of the major odor contributors. To solve these problems, several suggestions are provided. It is necessary to establish or revise the standards for measuring odorants in MSW landfills, particularly the odorants with low ODTs. The accumulation of odor emission data of the MSW landfill boundary and stack should be enhanced by extending the measuring periods (before and after the final closure) and odorants (not limited to hydrogen sulfide, ammonia, and odor concentration). The ODT data, especially for the identified dominant odor contributors, are needed to be measured by Chinese panel. Moreover, it is suggested to establish a big data platform for odorants in MSW landfills. With the monitoring data uploaded to the platform and the application of artificial intelligence, odor emission characteristics, such as the dominant odor contributors, in the MSW landfill boundary and stack could be understood, providing the basis for establishing or revising odor pollution control standards. Finally, the emission standards for odorants in the MSW landfill boundary and stack could be established or revised based on the odor intensity and health risks of the identified major odor contributors.

municipal solid waste, landfill, odor pollution, standard

doi: [10.1360/TB-2023-0405](https://doi.org/10.1360/TB-2023-0405)