

上海市区生活垃圾中转站臭气污染状况*

刘殷华¹, 黄 皇¹, 谢 冰¹, 王文婷¹, 崔璐璐¹, 彭 青¹, 黄长缨², 陆 峰²
(1. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062; 2. 上海环境物流有限公司, 上海 200063)

摘要:对上海市区3个不同位置的垃圾中转站运行过程中的臭气产生状况进行了为期一年的监测和分析, 研究了其浓度和变化规律。结果表明, 3个中转站内气体污染物中 H₂S、NH₃ 以及臭气浓度范围分别为 0.005 ~ 0.20 mg/m³, 0.44 ~ 4.67 mg/m³ 以及 16 ~ 40, 大多在春季达到最高, 且与温度和垃圾量没有明显相关性。而挥发性有机物 VOCs 中主要有 1, 2 - 二氯乙烷、苯、甲苯、乙酸乙酯、间二甲苯等污染物, 浓度在 10⁻¹ ~ 10³ μg/m³ 之间变化。分析结果表明, 臭气浓度和 VOCs 的产生量与日垃圾处理量呈正比。

关键词:城市生活垃圾; 中转站; 恶臭气体

中图分类号: X512 **文献标识码:** A **文章编号:** (K)12088(原 1002-1264)(2012)04-0001-04

Investigations of Odors Discharged from Municipal Solid Waste Transfer Stations in Shanghai

LIU Yin-hua¹, HUANG Huang¹, XIE Bing¹, WANG Wen-ting¹, CUI Lu-lu¹,
PENG Qing¹, HUANG Chang-ying², LU Feng²

(1. Department of Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China;
2. Shanghai Environment Logistics Co. LTD, Shanghai 200063, China)

Abstract: The odor generated by three different transfer stations (TSs) in Shanghai was monitored and assayed for a year. The results showed that odor pollutants, such as H₂S, NH₃ and their odor concentration, in these three transfer stations (TSs) ranged from 0.005 to 0.20 mg/m³, 0.44 to 4.67 mg/m³ and 16 to 40 respectively, and most of them were higher in spring, showing no obvious linear correlation with temperature and waste amount. The concentrations of main VOCs pollutants, such as 1, 2 - dichloroethane, benzene, toluene, ethyl acetate and meta - xylene, were within 10⁻¹ ~ 10³ μg/m³. The comprehensive evaluation of the result showed that the odor concentration and the VOCs amount were proportional to the amount of daily waste treatment capacity.

Key words: municipal solid waste (MSW); transfer station (TS); odor

近些年来城市生活垃圾的处理和处置问题已经成为环境领域中不可避免的一大难题。据资料显示, 2009年, 上海市生活垃圾清运总量为 709.9 万 t, 与 2008 年相比增长了 4.66%^[1]。

如此大量的垃圾在送往填埋场进行最终处置前必须要经过生活垃圾中转站 (Transfer Station, TS) 进行压缩处理, 这样做不但可以使得垃圾减量减容, 同时还能减少车辆转运的负担, 提高转运的效率的同时节省了能耗, 经济效益显著提高^[2-5]。

但是垃圾中有机物的腐败分解产生的臭气在中转站会随垃圾的倾倒而释放, 产生臭气污染问题。垃圾产生的臭气成分非常复杂, 据研究臭气物质主要有含硫化物, 如 H₂S、SO₂、硫醇等; 含氮化合物, 如氨气、胺类、吡啶等; 卤素及衍生物, 如氯气、卤代烃等; 烃类及芳香烃, 以及含氧有机物, 如醇、酚、醛、酮等^[6,7]。

上海的城市生活垃圾中转过过程产生的臭气及变化情况目前少有报道^[8]。本文通过对上海市 3 个垃圾中转站进行为期一年的取样调查, 监测分析中转站臭气浓度、NH₃、H₂S 和 VOCs 等相关指标, 探讨臭气产生的状况和规律, 研究臭气的产生与环境条件 (温度) 和生产运行 (垃圾处理量等) 之间的关系, 并与其他城市中转站的恶臭污染情况进行比较, 为管理者优化中转站运行条件和实现污染的预防控制提供参考和建议。

1 实验方法

1.1 采样点设计

选取上海市区的 3 个垃圾中转站分别进行臭气的采集和分析。其中, 样点 A: 位于上海市北部的一个垃圾中转站, 日处理量约为 1700t; 样点 B: 位于上海市西

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20977031); 上海市自然科学基金资助项目(09ZR1409000)
收稿日期: 2012-04-24; 修订日期: 2012-08-07 通信作者: 谢冰, 教授

南的一个垃圾中转站,日处理量约为 1500t;样点 C:位于上海市西区的一个垃圾中转站,日处理量约为 500t。

1.2 采样时间

采样周期跨度从 2010 年 7 月至 2011 年 5 月,其中按季度分别对 3 个中转站进行 1~2 次的现场采样(共进行了 7 次采样,分别在 7、8、9、11、12、3、4 月进行),每次采样连续进行 3d,每个中转站分别采样 1d。各采样期间的温度变化见表 1:

表 1 不同采样时期的平均温度 $^{\circ}\text{C}$

中转站	7 月	8 月	9 月	11 月	12 月	3 月	4 月
A	28	36	35	17	8	12.5	19.6
B	30	34	33	19.6	6	11.3	18.4
C	29.5	37	34.5	17.4	2	10	15.5

每个中转站的采样均分上、下午两个阶段,每阶段采样分别在中转站二楼卸料大厅和一楼垃圾压缩转运车间进行,采样点和频率参照国标 14554-93(恶臭污染物排放标准)。

1.3 采样及分析方法

分别在垃圾中转站的卸料大厅和压缩车间操作点位附近 1m 布设采样点,在该采样点同时进行 H_2S 、 NH_3 和挥发性有机物 VOCs 的采集,而臭气浓度则通过臭气浓度测定仪 XP-329III(日本新宇宙公司,日本)现场测定; H_2S 采样用空气现场硫化氢速测仪 GDYK-101S 采集 40min 后进行测定; NH_3 采样使用室内空气现场氨测定仪 CDYK-301S 采集 10L 后带回实验室进行分析测定;以上 3 个指标每次都检测 3 次,取最大测定值。VOCs 采样使用固体吸附-热脱附-气相色谱/质谱法,采集 1h 后,将样品热脱附并用气相色谱质谱联用仪 7890A/5975C 进行挥发性有机物的测定^[9]。研究期间共进行 3 次 VOCs 采样分析,取有机物出现的频率和最大值来研究该垃圾中转站的挥发性有机物的状况,并运用等标污染负荷法分别计算每种 VOC 的等标污染负荷量,以确定主要污染物。

2 结果与讨论

2.1 硫化氢和氨气等污染物分析

对 3 个中转站的卸料大厅和压缩车间的恶臭气体进行了检测,分析比较 H_2S 、 NH_3 和臭气浓度指标。各中转站的恶臭对比情况见表 2、表 3 和表 4。

表 2 不同时期中转站 H_2S 气体污染物浓度 mg/m^3

采样站点	7 月	8 月	9 月	11 月	12 月	3 月	4 月
A 卸料大厅	0.013	0.015	0.12	0.1	0.15	0.2	0.01
A 压缩车间	0.046	0.01	0.01	0.1	0	0.2	0.005
B 卸料大厅	0.05	0.005	0.075	0.2	0.03	0.2	0.01
B 压缩车间	0.03	0.015	0.01	0.1	0.3	0.2	0.013
C 卸料大厅	0.006	0.03	0.015	0.05	0.01	0.05	0.005
C 压缩车间	0.0001	0.013	0.01	0.05	0	0.3	0.01

表 3 不同时期中转站 NH_3 气体污染物浓度 mg/m^3

采样站点	7 月	8 月	9 月	11 月	12 月	3 月	4 月
A 卸料大厅	0.91	1.41	2.02	0.91	2.18	1.38	1.62
A 压缩车间	0.44	0.61	0.71	1.56	0.62	1.15	1.05
B 卸料大厅	1.85	0.84	1.19	1.15	1.06	2.21	0.59
B 压缩车间	0.64	0.59	1.24	0.7	1.33	1.4	2.05
C 卸料大厅	4.67	1.55	2.82	1.34	1.45	3.88	1.83
C 压缩车间	3.86	1.08	0.38	0.59	1.69	1.44	0.47

表 4 不同时期中转站臭气浓度

采样站点	7 月	8 月	9 月	11 月	12 月	3 月	4 月
A 卸料大厅	24	25	40	28	24	23	24
A 压缩车间	22	24	22	24	26	22	24
B 卸料大厅	17	25	40	26	19	20	22
B 压缩车间	21	25	22	25	22	20	21
C 卸料大厅	21	21	21	21	19	20	19
C 压缩车间	16	16	18	22	18	25	17

从表 2 可以看出,各中转站卸料大厅和压缩车间的 H_2S 浓度在 9 月、11 月和第二年 3 月浓度较高,其中 B 中转站的卸料大厅浓度在 3 月份达到了 $0.3 \text{ mg}/\text{m}^3$;而在其他月浓度较低,最低仅有 $0.005 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。可以发现, H_2S 浓度总体变化比较平稳,与季节温度变化关系不大。虽然在有些时候压缩车间的 H_2S 气体浓度低于卸料大厅内 H_2S 气体的浓度,但统计分析显示,各中转站卸料大厅和压缩车间内的 H_2S 气体浓度均没有明显差异(显著性水平 $P > 0.05$)。

从表 3 可以看出,各中转站卸料大厅和压缩车间的 NH_3 气体在 7 月、9 月和第二年 3 月浓度较高,其中 C 中转站卸料大厅浓度在 7 月份达到了 $4.67 \text{ mg}/\text{m}^3$,而在其他采样月份浓度较低,同样与季节温度变化关系不明显。卸料大厅的 NH_3 浓度普遍高于压缩车间的浓度,统计分析也显示,各中转站卸料大厅和压缩车间内的 NH_3 气体浓度有明显差异($P < 0.05$)。

从表 4 可以看出,与王文婷等对上海某中转站的臭气浓度采样结果一致^[8],除了少数的几次现场测量数据很高(超出仪器测量范围)的情况外,臭气浓度值大多处于 16~26 之间,变化比较平稳。A、B、C 垃圾中转站卸料大厅点臭气浓度平均值分别各为 26.71、24.57 和 20.29,压缩车间点臭气浓度平均值分别为 23.43、22.86、18.86,可见卸料大厅的臭气浓度高于压缩车间。平均臭气浓度表明,日处理量最大的 A 中转站臭气浓度最高,而日处理量最小的 C 臭气浓度最低,表现出和垃圾处理量的正比关系。

通过分析可以发现各个中转站压缩车间和卸料大厅的 NH_3 浓度存在显著差异,而 H_2S 差异很小,其原因可能参与作用的微生物类群及作用条件不同所致。 NH_3 在好氧条件下产生,产生速度较快,而 H_2S 需要在厌氧条件下产生,产生速度较慢^[10],同时卸料区倾倒操作加大了 NH_3 的释放,导致卸料大厅的浓度

比压缩车间要高。

表1、表2和表3表明, H₂S和NH₃浓度在温度最高的8、9月份和温度最低的12月份浓度都很接近,而都在温度适中的3月份有较为明显的上升。污染物浓度与温度的相关性不明显。

与广州和天津的垃圾中转站中的H₂S以及NH₃浓度比较发现,上海A、B、C各中转站的H₂S以及NH₃浓度和广州同样都在温度适中的春季达到最大值,且不少点位都略高于广州和天津的垃圾中转站同期污染浓度^[6,11]。这可能是由于各个城市之间的日垃圾处理量和垃圾成分不同造成的^[12]。本研究的臭气浓度指标与H₂S和NH₃并不一致,表明其他的臭气物质影响着臭气浓度指标。因此我们对空气中的VOCs物质进行了采样分析。

2.2 VOCs分析

为了鉴别各中转站卸料大厅和压缩车间VOCs污

染的主要成分和贡献,选用工作场所有害因素职业接触限值(GBZ2-2002)中规定的时间加权平均容许浓度(PC-TWA)作为标准限制,运用等标污染负荷法,分别计算每种VOC的等标污染负荷量,并由此计算每种VOCs的等标污染负荷比,将等标污染负荷比由大到小依次排列,计算累积等标污染负荷比,当累积等标污染负荷比达到80%以上时,这些污染物即为该区域内的主要污染物。各中转站卸料大厅和压缩车间的主要污染物见表5。各中转站卸料大厅和压缩车间共检测出约50种挥发性有机物,在超过检测限的主要污染物中,烷烃类化合物有3种;芳香烃类14种;烷烃和苯的氯代产物16种;含氧化合物-醇类、醚类各1种;酯类、酮类各2种。

表5 各中转站主要挥发性有机污染物一览表

采样站点	VOCs	浓度(μg/m ³)	等标污染负荷(%)	等标污染负荷比(%)	累积等标污染负荷比(%)
中转站A 卸料大厅	1,2-二氯乙烷	1.28 × 10 ³	78.02	50.97	50.97
	间二甲苯	2.18 × 10 ³	17.72	11.58	62.55
	甲苯	1.64 × 10 ³	17.50	11.41	73.96
	乙酸乙酯	4.56 × 10 ³	12.08	7.89	81.85
中转站A 压缩车间	1,2-二氯乙烷	809	54.33	51.66	51.66
	甲苯	468	10.83	10.30	61.96
	乙酸乙酯	2.00 × 10 ³	9.55	9.08	71.04
	间二甲苯	617	8.32	7.91	78.95
	苯	50.7	4.50	4.28	83.23
中转站B 卸料大厅	1,2-二氯乙烷	1.25 × 10 ³	84.90	39.51	39.51
	苯	382	38.09	17.73	57.24
	乙酸乙酯	5.66 × 10 ³	16.50	7.68	64.92
	间二甲苯	1.55 × 10 ³	15.34	7.14	72.06
	甲苯	1.08 × 10 ³	14.46	6.73	78.79
中转站B 压缩车间	苯乙烯	1.22 × 10 ³	8.84	4.11	82.90
	1,2-二氯乙烷	256	24.48	27.22	27.22
	乙酸乙酯	4.56 × 10 ³	20.67	22.99	50.21
	苯	23.3	7.81	8.69	58.90
	间二甲苯	192	7.73	8.60	67.50
中转站C 卸料大厅	对二甲苯	52.1	5.58	6.19	80.18
	1,2-二氯乙烷	593	54.30	48.60	48.60
	苯	219	21.21	18.98	67.58
	甲苯	1.08 × 10 ³	9.99	8.94	76.52
	乙酸乙酯	3.76 × 10 ³	9.43	8.44	84.96
中转站C 压缩车间	1,2-二氯乙烷	35.7	2.20	25.50	25.50
	苯	8.46	1.37	15.84	41.34
	甲苯	92.8	1.16	13.39	54.73
	乙酸乙酯	402	1.08	12.48	67.21
	间二甲苯	62.3	0.63	7.34	74.55
	乙苯	39.6	0.31	3.57	78.12
	四氯化碳	0.82	0.27	3.16	81.28

从表5可以看出在这些主要污染物中,1,2-二氯乙烷的最高浓度达1.28 × 10³ μg/m³,苯的最高浓度达

382 μg/m³,甲苯的最高浓度达1.64 × 10³ μg/m³,乙酸乙酯的最高浓度达5.66 × 10³ μg/m³,间二甲苯的最高浓度

达 $2.18 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 其中苯和乙酸乙酯的最高浓度出现在 B 中转站的卸料大厅, 而 1,2-二氯乙烷, 甲苯和间二甲苯的最高浓度都出现在 A 中转站的卸料大厅。

从表 5 中的数据可以发现各个中转站卸料大厅所检测到的浓度普遍高于压缩车间, 且存在数量级的差别, 这可能是由于垃圾在经过压缩以后排放水平有所降低和压缩车间的操作环境相对封闭所造成。除了 C 中转站的压缩车间, 乙酸乙酯的浓度都是各个中转站挥发性有机污染物 VOCs 中最高的。同时, 1,2-二氯乙烷、苯、甲苯以及间二甲苯也都是 3 个中转站共有的主要污染物。通过对比可以发现, C 中转站的污染程度最小, A 和 B 中转站的污染程度相近, 这主要体现在主要污染物的浓度上, 其原因可能和它们之间的日处理量或者现场除臭操作不同有关。

将 3 个中转站的 VOCs 与广州某垃圾转运站中挥发性有机污染物测定的结果相比后可以发现, 在恶臭污染物中, 除了含硫化合物以外, 两个城市的主要恶臭挥发性有机物成分都是卤代烃和芳香烃^[13]。从天津市某中转站的测量结果中明显可以发现, 其甲苯的含量较高, 芳香烃类、烷烃和氯代物挥发性有机物种类较多, 而醇类、酮类、醚类以及脂类挥发性有机物的种类较少^[11], 总体上, 上海的中转站 VOCs 在污染物成分以及浓度上与国内其他城市存在着较大的区别。

由于臭气的产生与各地区温湿度以及垃圾停留时间, 甚至垃圾的压实密度等现场操作条件有关, 这些条件都会影响垃圾中的微生物在缺氧或厌氧条件下分解有机物产生低分子脂肪酸的活动过程^[14]。同时经济发展水平和生活习惯的不同则会导致垃圾成分各异, 臭气成分复杂、日处理量的波动等因素, 会给各个城市垃圾中转站之间的检测结果的比较带来不确定性。

3 结论

通过对上海市区 3 个不同地区垃圾中转站气体污染物的分析研究, 得出以下结论:

1) 3 个垃圾中转站内气体污染物中 H_2S 、 NH_3 气体浓度范围分别为 $0.005 \sim 0.20 \text{mg}/\text{m}^3$ 和 $0.44 \sim 4.67 \text{mg}/\text{m}^3$ 。中转站挥发性有机物 VOCs 中包含烷烃类化合物、芳香烃类、烷烃和苯的氯代产物、含氧化合物——醇类、醚类、酯类、酮类, 在主要的 VOCs 中 1,2-二氯乙烷、苯、甲苯、乙酸乙酯、间二甲苯等污染物均在 $10^{-1} \sim 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间变化。

2) 3 个中转站的 H_2S 浓度和 NH_3 浓度, 在 3 月和个别月份较高外, 其他时间段的变化都比较平稳; 各

中转站卸料大厅和压缩车间内的 NH_3 浓度存在显著差异, 而 H_2S 气体浓度差异很小; H_2S 和 NH_3 的浓度与垃圾量和温度不相关, 而臭气浓度和 VOCs 浓度则和垃圾量存在相关性; 3 个中转站挥发性有机物中主要污染物相同, 且卸料大厅所检测到的挥发性有机物浓度普遍高于压缩车间。

3) 通过与其他城市垃圾中转站的污染状况相比较发现, 虽然在恶臭污染物种类上相似, 甲苯等主要污染物的含量也都很高, 但总体上, 上海垃圾中转站 VOCs 在污染物主要成分以及浓度上与国内其他城市存在着较大的区别。

参考文献

- [1] 佚名, 上海市 2009 年固体废物污染环境防治信息 [EB/OL]. <http://www.sepb.gov.cn/fa/cms/shhj/shhj2103/shhj2104/2010/06/15513.htm>, 2010-06-03.
- [2] 杨先海, 吕传毅. 城市生活垃圾压缩站环境污染研究 [J]. 环境污染与防治, 2005, 27(8): 618-620.
- [3] 舒军龙, 潘仲麟. 城市垃圾中转站对周围环境影响调查 [J]. 环境与健康杂志, 1999, 16(3): 132-133.
- [4] Moy P., Krishnan N., Ulloa P., et al. Options for Management of Municipal Solid Waste in New York City: A Preliminary Comparison of Health Risks and Policy Implications [J]. Journal of Environmental Management, 2008, 87(1): 73-79.
- [5] Li C., Li G., Luo Y., et al. Environmental Monitoring and Fuzzy Synthetic Evaluation of Municipal Solid Waste Transfer Stations in Beijing in 2001-2006 [J]. Journal of Environmental Sciences, 2008, 20(8): 998-1005.
- [6] 吕永, 郑曼英, 叶晓玫. 生活垃圾转运站恶臭污染指标初探 [J]. 中国环境监测, 2008, 24(4): 49-53.
- [7] 赵由才. 城市生活垃圾卫生填埋场技术与手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 125-139.
- [8] 王文婷, 黄皇, 谢冰, 等. 上海市某生活垃圾中转站污染现状研究 [J]. 城市环境与城市生态, 2012, 25(3): 31-35.
- [9] 国家环境保护总局《空气和废气监测分析方法》编委会编. 《空气和废气监测分析方法(第四版)》[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2003: 566-572.
- [10] 史家梁, 徐亚同, 张圣章. 环境微生物学 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1993: 129-132.
- [11] 王连生, 王亘, 韩萌, 等. 天津市城市垃圾臭气成分谱 [J]. 城市环境与城市生态, 2009, 22(2): 19-23.
- [12] 陈必鸣, 李丽桃. 广州市中心城区生活垃圾收集与处置方式 [J]. 环境卫生工程, 2005(6): 48-51.
- [13] 郑曼英, 罗海醜. 垃圾转运站空气中挥发性有机化合物分析 [J]. 城市环境与城市生态, 2004, 17(4): 13-14.
- [14] 巫建光, 孙亚敏, 鲁智斌. 城市污水处理厂的恶臭污染控制技术 [J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2001, 24(5): 998-1001.

作者简介: 刘殷华 (1988-), 男, 浙江宁波人, 在读研究生, 研究方向为环境污染及其控制。