

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第5期

Vol.35 No.5

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角地区秸秆燃烧排放因子与颗粒物成分谱研究	唐喜斌, 黄成, 楼晟荣, 乔利平, 王红丽, 周敏, 陈明华, 陈长虹, 王倩, 李贵玲, 李莉, 黄海英, 张钢锋 (1623)
南京市大气颗粒物中水溶性离子的粒径分布和来源解析	薛国强, 朱彬, 王红磊 (1633)
2011年春季沙尘天气影响下上海大气颗粒物及其化学组分的变化特征	李贵玲, 周敏, 陈长虹, 王红丽, 王倩, 楼晟荣, 乔利平, 唐喜斌, 李莉, 黄海英, 陈明华, 黄成, 张钢锋 (1644)
结合外场观测分析珠三角二次有机气溶胶的数值模拟	郭晓霜, 司徒淑婷, 王雪梅, 丁翔, 王新明, 闫才青, 李小滢, 郑玫 (1654)
2013年夏季嘉兴市一次光化学事件的观测分析	沈利娟, 李莉, 吕升, 张孝寒, 吴博, 章国骏, 王翥 (1662)
移动监测法测量厦门春秋季节近地面 CO ₂ 的时空分布	李燕丽, 邢振雨, 穆超, 杜可 (1671)
秸秆烟尘和灰烬中元素碳的稳定同位素组成	刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹, 刘艳 (1680)
连续测量大气·OH的化学电离飞行时间质谱仪的研制	窦健, 花磊, 侯可勇, 蒋蕾, 谢园园, 赵无垠, 陈平, 王卫国, 田地, 李海洋 (1688)
我国重点城市水源及水厂出水中乙草胺的残留水平	于志勇, 金芬, 李红岩, 安伟, 杨敏 (1694)
巢湖水体组分垂向分布特征及其对水下光场的影响	马孟泉, 张玉超, 钱新, 马荣华, 段洪涛 (1698)
京杭大运河(杭州段)典型断面水生植物多样性调查及其与水环境相关性研究	陆胤, 许晓路, 张德勇, 王莉, 朱旭妮, 冯凤, 周巧君, 谢鹏 (1708)
合肥市典型景观水体氮磷污染特征及富营养化评价	李如忠, 刘科峰, 钱靖, 杨继伟, 张翩翩 (1718)
重庆园博园龙景湖新建初期内源氮磷分布特征及扩散通量估算	潘延安, 雷沛, 张洪, 单保庆, 李杰 (1727)
千岛湖库区及其主要入库河流水中有机氯农药残留污染特征及健康风险评价	唐访良, 张明, 徐建芬, 阮东德, 陈峰, 吴志旭, 程新良 (1735)
九龙江流域潜在病原菌污染分析	侯丽媛, 胡安谊, 马英, 于昌平 (1742)
江湖关系变化对鄱阳湖沉积物重金属分布及生态风险影响	刘婉清, 倪兆奎, 吴志强, 王圣瑞, 曾清如 (1750)
鄱阳湖-乐安河湿地水土环境中重金属污染的时空分布特征	简敏菲, 李玲玉, 徐鹏飞, 陈朴青, 熊建秋, 周雪玲 (1759)
典型岩溶水系统中溶解性有机质的运移特征	姚昕, 邹胜章, 夏日元, 许丹丹, 姚敏 (1766)
基于扰动分析方法的 AnnAGNPS 模型水文水质参数敏感性分析	席庆, 李兆富, 罗川 (1773)
混合胁迫条件下蓝藻运动特性研究	孙秀秀, 丛海兵, 高郑娟, 崔朝杰, 曹倩倩 (1781)
不同波长和强度光照对水体汞还原的影响	李希嘉, 钟紫旋, 孙荣国, 杨鲲, 王定勇 (1788)
地下水中常见离子对纳米零价铁除 Se(IV) 动力学的影响	杨文君, 郭迎庆, 杜尔登 (1793)
溴氧化铋可见光催化降解高效氯氟酯的研究	彭一荣, 赵小蓉, 贾漫珂, 周薇, 黄应平 (1798)
石墨烯基磁性复合材料吸附水中亚甲基蓝的研究	常青, 江国栋, 胡梦璇, 黄佳, 唐和清 (1804)
电化学氧化 PFOA 阳极材料筛选及其机制研究	卓琼芳, 邓述波, 许振成, 余刚 (1810)
典型抗生素在中国西南地区某污水处理厂中的行为和归趋	甘秀梅, 严清, 高旭, 张怡昕, 訾成方, 彭绪亚, 郭劲松 (1817)
颗粒状大孔阴树脂去除有机物以及缓解膜污染的效果与机制	何欢, 董秉直, 许光红, 闫昭辉 (1824)
石墨-活性炭纤维复合电极电吸附处理含盐废水的研究	周贵忠, 王兆丰, 王珣, 李文倩, 李少香 (1832)
酞基甲基化聚苯乙烯的制备及废水生化处理应用	张华雨, 许晴, 牛春梅, 王亚君, 侯正浩, 李绍英, 陈延明, 廉静, 吴士彬, 郭建博 (1838)
FePMo ₁₂ 催化电化学反应降解染料废水的研究	王栗, 岳琳, 郭建博, 杨景亮, 廉静, 罗晓, 王开红 (1843)
实际污水培养好氧颗粒污泥及其特性研究	杨淑芳, 张健君, 邹高龙, 杜至力 (1850)
SFBR 中好氧颗粒污泥的培养及特性研究	龙焙, 杨昌柱, 濮文虹, 杨家宽, 白俊, 王晶, 周玄月, 蒋国盛, 李春阳, 刘福标 (1857)
不同好/厌氧区容积负荷对生物膜/颗粒污泥耦合工艺脱氮除磷的影响	尹航, 刘畅, 高辉, 高大文 (1866)
黄原酸化废弃污泥吸附 Cu ²⁺ 研究	岑艳, 全向春, 姜晓满 (1871)
轮叶黑藻和穗花狐尾藻对铜的吸收机制研究	薛培英, 李国新, 赵全利 (1878)
不同烧制温度下玉米秸秆生物炭的性质及对苯的吸附性能	黄华, 王雅雄, 唐景春, 朱文英 (1884)
北京常见绿化树种叶片富集重金属能力研究	李少宁, 孔令伟, 鲁绍伟, 陈波, 高琛, 石媛 (1891)
泰州市区重金属污染的薛袋法与路生法评价研究	陈勤, 方炎明, 颜赞, 陈步金 (1901)
放牧对呼伦贝尔草甸草原土壤呼吸温度敏感性的影响	王旭, 闫瑞瑞, 邓钰, 闫玉春, 辛晓平 (1909)
苹果园土壤呼吸的变化及生物和非生物因素的影响	王蕊, 郭胜利, 刘庆芳, 张彦军, 姜继超, 郭慧敏, 李如剑 (1915)
重庆铁山坪森林土壤汞释放通量的影响因子研究	王琼, 罗遥, 杜宝玉, 叶芝祥, 段雷 (1922)
上海市郊区养殖场周边环境砷含量特征	奚功芳, 周守标, 丁海城, 姚春霞, 孔娟娟 (1928)
不同施氮量下水稻分蘖期光合碳向土壤碳库的输入及其分配的量化研究: ¹³ C 连续标记法	谭立敏, 吴昊, 李卉, 周萍, 李科林, 王久荣, 葛体达, 袁红朝, 吴金水 (1933)
污灌区盐分累积对土壤汞吸附行为影响的模拟研究	郑顺安, 李晓华, 徐志宇 (1939)
石灰干化污泥稳定后土壤中 Pb、Cd 和 Zn 浸出行为的研究	李翔, 宋云, 刘永兵 (1946)
大连市海产品中短链氯化石蜡的含量与分布研究	虞俊超, 王宝盛, 王亚韩, 孟梅, 陈茹, 江桂斌 (1955)
应用生物配体模型(BLM)研究辽河与太湖水体中铜对大型溞的急性毒性	周腾耀, 曹莹, 覃璐玫, 张亚辉, 曾鸿鸣, 闫振广, 刘征涛 (1962)
氧化铜纳米颗粒对水稻幼苗根系代谢毒性的研究	王淑玲, 张玉喜, 刘汉柱, 辛华 (1968)
吐温 80 对苏云金芽孢杆菌降解三苯基锡的促进机制	黄捷, 叶锦韶, 尹华, 彭辉, 马嘉雯, 唐立椿, 王惜若 (1974)
牛粪混合液微生物燃料电池长期运行稳定性研究	焦燕, 张国栋, 赵庆良 (1981)
针铁矿对城市生活垃圾有机组分厌氧发酵的影响	杨露露, 岳正波, 陈天虎, 王进 (1988)
城市生活垃圾集装箱转运过程中污染物产生状况研究	王晓媛, 刘殷华, 汪飞, 黄长缨, 陆峰, 谢冰 (1994)
铈插层黏土负载铁催化剂在 H ₂ S 选择性催化氧化过程中催化性能的研究	孙超, 张鑫, 郝郑平, 窦广玉, 孙春宝 (2002)
脱硫酸类水滑石衍生复合氧化物不同方法的制备与表征	祝春蕾, 王海林, 孙春宝 (2010)
固定污染源排气中 PM _{2.5} 采样方法综述	蒋靖坤, 邓建国, 李振, 李兴华, 段雷, 郝吉明 (2018)
产甲烷微生物研究概况	李煜珊, 李耀明, 欧阳志云 (2025)
《环境科学》征稿简则(1961) 《环境科学》征订启事(1967) 信息(1643, 1687, 1803, 1837)	

城市生活垃圾集装箱转运过程中污染物产生状况研究

王晓媛¹, 刘殷华¹, 汪飞¹, 黄长缨², 陆峰², 谢冰^{1*}

(1. 华东师范大学环境科学系, 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241; 2. 上海环境物流有限公司, 上海 200063)

摘要: 以上海市某生活垃圾中转站垃圾集装箱为研究对象, 分析了 1 a 不同季节中转站集装箱内垃圾二次污染物的产生和变化规律. 结果表明, 集装箱内产生的主要气体指标中, H_2S 的变化范围为 $0.3 \sim 10.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$; CH_4 的变化范围为 $0.02\% \sim 2.97\%$; NH_3 的变化范围为 $0.7 \sim 4.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 浓度峰值都出现在夏季. 产生的渗滤液水质指标中, pH 值在 $5.4 \sim 6.3$ 之间变化, 呈现酸性; SS 在 $9120 \sim 32475 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间变化, 波动较大; 有机物 COD 的变化范围为 $41633 \sim 84060 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, BOD_5 在 $18116 \sim 34130 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间变化, 呈现出冬季高于夏季的特点; 氨氮和总磷的变化范围分别为 $537 \sim 1222 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $17.98 \sim 296 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 季节变化不明显. 极端温度特别是夏季高温对箱体内气体污染物的产生影响明显, 警示夏季要谨防在高温暴露和过长的停留时间, 以防止易燃易爆气体和其他污染物的大量产生.

关键词: 城市生活垃圾; 集装箱; 转运; 污染气体; 渗滤液

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)05-1994-08 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.05.052

Pollutants Produced in Municipal Refuse Container During Transfer Process

WANG Xiao-yuan¹, LIU Yin-hua¹, WANG Fei¹, HUANG Chang-ying², LU Feng², XIE Bing¹

(1. Key Laboratory of Urbanization and Ecological Restoration of Shanghai, Department of Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Shanghai Environment Logistics Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: The generation and variation of the secondary pollutants in containers during seasons of a year were investigated in a municipal refuse transfer station of Shanghai. The results showed that the primary odors, the concentration of H_2S was in a range of $0.3 \sim 10.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, CH_4 was in a range of $0.02\% \sim 2.97\%$ and NH_3 was in a range of $0.7 \sim 4.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, and their concentrations all reached the peak in the summer. The pH of the leachate was in a range of $5.4 \sim 6.3$, COD was $41633 \sim 84060 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, and BOD_5 was $18116 \sim 34130 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, the concentration of pollutants were all higher in winter than that in summer. The ammonia concentration of leachate was in a range of $537 \sim 1222 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, while the TP fluctuated acutely in a range of $17.98 \sim 296 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, exhibiting the relationship with seasonal variation. Extreme temperatures especially the high temperature in summer significantly affected air pollution producing, which indicated that containers should be kept against high temperature exposure and long residence time in order to prevent flammable gases and other pollutants generated largely.

Key words: municipal refuse; container; transport; polluted gases; leachate

近年来城市生活垃圾的处理已经成为城市发展中的重要环境问题, 而垃圾的转运过程是其中不可或缺的一环, 在城市垃圾处置系统中扮演重要角色^[1,2]. 生活垃圾集装化运输可以使水陆运输成本降低, 节约宝贵的建设用地, 发挥内河航运优势, 减少运输过程的二次污染, 将成为城市生活垃圾转运的新模式^[3~6].

目前上海的集装化水上中转运就是采取“依托老港, 集中处理”的模式, 即将上海市内不同区域内的生活垃圾集装化, 通过集装箱船水上运输到老港进行最终处置, 这个过程通常需要数天时间. 在集装箱密闭的环境下, 垃圾中的有机物会在微生物的作用下转化生成 CH_4 、 H_2S 和 VOC 等污染气体和垃圾渗滤液, 气体污染物可能在极端条件下具有易燃易爆性^[1,7], 而后者则会造成箱体腐蚀性、散发恶

臭的气味^[8~11], 因此对这些污染气体和渗滤液的产生和变化进行研究显得尤为重要. 但目前尚无集装箱转运生活垃圾中箱体内的污染物产生方面系统的研究, 数据的缺乏对垃圾中转站的污染控制和运行管理会带来困难.

本研究将通过上海某垃圾中转站集装箱内压缩垃圾产生污染情况的调研, 监测分析 1 a 不同季节中转站臭气气体和垃圾污水相关指标, 探讨污染物产生的状况和规律, 分析污染物的产生与环境条件(温度、湿度等)和运行条件(垃圾量)之间的关

收稿日期: 2013-09-03; 修订日期: 2013-11-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(31370510); 上海市科委项目(13520720600); 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室开放基金项目

作者简介: 王晓媛(1981~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为水污染控制工程, E-mail: exp1981@126.com

* 通讯联系人, E-mail: bxie@des.ecnu.edu.cn

系,通过对污染因子的识别和污染物关系的分析,摸清箱体内污染的状况和季节性变化规律及环境因子的相关性,以期为管理者优化上海垃圾中转站运行条件和实现污染的预防控制提供建议,同时也为国内城市垃圾中转过程污染的控制提供借鉴和参考.

1 材料与方法

1.1 实验装置设计

实验在上海市北部某垃圾中转站进行. 该垃圾中转站日处理量约为1 700 t,全部实行集装箱转运. 实验用集装箱箱体重量约 4.8 t,其有效长、宽和高分别为 5.7、2 和 2 m,如图 1. 垃圾通过压实机从箱体右侧水平压入. 集装箱在中转站装入压缩垃圾后,放置于中转站码头上进行实验,右侧关门处密封条为非完全密封. 右侧顶部设有排气口,用于采集气体样品. 集装箱左侧箱底部有出水口,用于采集渗滤液样品. 同时为了了解箱体内污水液位的变化情况,在箱体一侧设两个液位计(图 1 中椭圆部分所指).



图 1 实验用集装箱箱体
Fig. 1 Experimental container

1.2 采样时间及方法

从 2011 年 8 月~2012 年 7 月,对集装箱共进行了 7 次采样,分别在 8、9、10、12、3、6、7 月进行,每次采样持续 4~7 d. 每次采样的箱体内垃圾重量,箱体外温度和湿度的平均值如表 1 所示.

表 1 不同采样月份的垃圾量及平均温湿度
Table 1 Amount of refuse and average temperature and humidity in different month

项目	月份						
	8	9	10	12	3	6	7
质量/t	13.9	13.8	15.6	13.4	14.4	13.5	14.7
温度/℃	31.9	32.5	22.9	18.9	27.1	27.1	35.8
湿度/%	76.6	43.2	45.6	46.5	42.6	75.5	43.1

每日的采样时间从 09:00 左右至 16:00 左右,

每隔 1~2 h 通过仪器监测箱体内气体污染指标,并读取实时的箱体内外温湿度;每日采样结束后通过集装箱底部排水口取适量渗滤液带回实验室分析;通过液位的高度来估算箱体内的水量变化.

1.3 样品分析方法

气样中的 H₂S、CH₄ 和 VOC 使用六合一气体检测仪(MAX6 IBIRD,美国产)在采气口进行现场测定;NH₃ 使用室内空气现场氨测定仪(中国产 GDYK-301S)通过采气口采集 10 L 箱体内气体,带回实验室分析.

渗滤液水样分析的指标有 pH、悬浮物 SS、COD、BOD₅、氨氮和总磷 TP. 水质测定均参照文献 [12,13].

1.4 数据分析

利用 PASW Statistics 18.0 统计分析软件,采用主成分分析(PCA)方法,选取 H₂S、VOC、CH₄ 和 NH₃ 这 4 项气体指标的月平均值,pH、SS、COD、BOD₅、氨氮和总磷 6 项水质指标的月平均值,再结合箱体内外温度、湿度和垃圾量的月平均值来进行主成分分析,对这些指标提取相互独立的主成分,根据各指标在成分图中的分布来研究它们之间的相关关系^[1].

2 结果与讨论

2.1 季节变化对集装箱箱体内污染物产生状况的影响

为了研究季节变化对箱体内污染物产生的影响,对 2011 年 8 月~12 年 7 月期间不同月份所有采集的数据进行分析.

2.1.1 气体指标的变化情况

集装箱箱体内气体 H₂S、VOC、CH₄ 和 NH₃ 的在采样期间变化如图 2 所示.

从全年变化来看,各气体指标随季节变化的规律明显,H₂S、CH₄ 和 NH₃ 的峰值都出现在夏季,并且呈现出夏季高,冬季低的趋势,而 VOC 的变化趋势和它们相反.

图 2(a)显示 H₂S 在 9 月最高,值为 10.3 mg·m⁻³±3.7 mg·m⁻³,3 月份达到最低,值为 0.3 mg·m⁻³±0.5 mg·m⁻³. 图 2(c)显示 CH₄ 百分含量在 7 月最高,值为 2.97%±1.02%,3 月最低,值为 0.02%±0.4%,可见 H₂S 和 CH₄ 高峰值的产生一样都是在夏季,这是因为高温对微生物活动释放 H₂S 和 CH₄ 具有明显的促进作用^[14]. 同时两者浓度的变化范围也随温度增高而增大,表明了夏季对

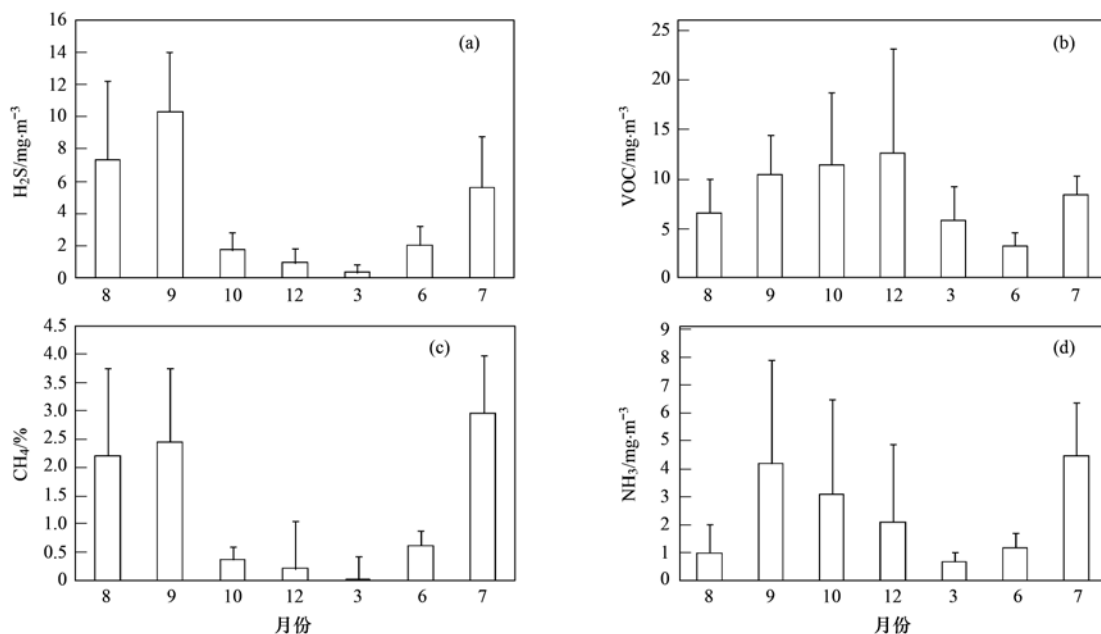


图2 集装箱中产生主要气体指标月份变化

Fig. 2 Monthly change of the gases indexes in container

其浓度变化的影响。

图2(b)显示了VOC的浓度在10、12月等相对低温月份比7、8月等高温月份要高的变化,冬季12月最高,值为 $12.7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,6月最低,值为 $3.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。其原因是VOC主要是垃圾中的易挥发有机物,由于装置为非密闭性,夏季高温季节有利于气体的挥发,VOC物质容易逃逸到大气中,所以测定值较低;而冬季温度较低,VOC物质挥发较慢,易于在箱体内累积^[15~17]。

如图2(d), NH_3 的浓度7月最高,均值达到 $4.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,3月最低,均值为 $0.7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。随着温度降低, NH_3 浓度降低,与 H_2S 和 CH_4 的变化趋势相仿。

2.1.2 水质指标的变化情况

在采样期内,集装箱箱体内存滤液的水质指标pH、COD、 BOD_5 、氨氮、总磷和SS的数据变化趋势如图3所示。

从图3(a)可见,渗滤液的pH值在5.4~6.3之间变化,呈酸性,夏季的pH低,冬季的pH最高,接近中性,这主要由于垃圾中的有机物质在微生物作用下发酵产生有机酸导致,夏季微生物作用强烈,夏季酸化程度高,冬季反之。

图3(b)和3(c)显示了有机物的变化,其中COD的变化范围为 $41\,633 \sim 84\,060 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, BOD_5 在 $18\,116 \sim 34\,130 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间变化,最低值出现在6月,峰值出现在冬季12月。通过对液位计监测记

录,集装箱内液位高度的变化在40~60 cm,由于不同季节下的垃圾组成成分有很大的不同,通常夏季垃圾中瓜果蔬菜较多,其水分含量高,因此夏季的液位普遍高于冬季,而冬季垃圾中的水分相对较少,导致了冬季产水量小,污水中有机物冬季COD和 BOD_5 较夏季高。

如图3(d),氨氮的变化范围是 $537 \sim 1\,222 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,全年大部分月份在 $900 \sim 1\,200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间变化,波动幅度不大,均值为 $1\,000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右,氨氮的产生是含氮有机物分解的结果,最高值出现在8月,这可能是由于夏天细菌活性较高,分解了大量的有机氮所致。而冬季的12月氨氮也达到了 $1\,197 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,这可能是水量较小,所以浓度较高所致。相比较COD和氨氮,总磷的浓度不高,但其波动范围较大[图3(e)],在 $17.98 \sim 296 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,除了夏季较低以外,其他月份浓度都在 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上,这可能与垃圾组分的影响有较大关系。

污水中悬浮物SS的变化如图3(f),SS的最小值出现在10月,为 $9\,120 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,最大值在7月,均值为 $32\,475 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,是最小值的3.5倍,SS的波动大,而且没有明显的季节规律,实验过程中发现降水对悬浮固体的浓度有较大影响。

综上,在整个采样周期内,渗滤液中pH、COD和 BOD_5 都呈现出冬高夏低的变化趋势;总磷变化范围较大;氨氮和SS在全年没有明显的季节变化规律;这反映了不同垃圾组成,季节变化等因数对

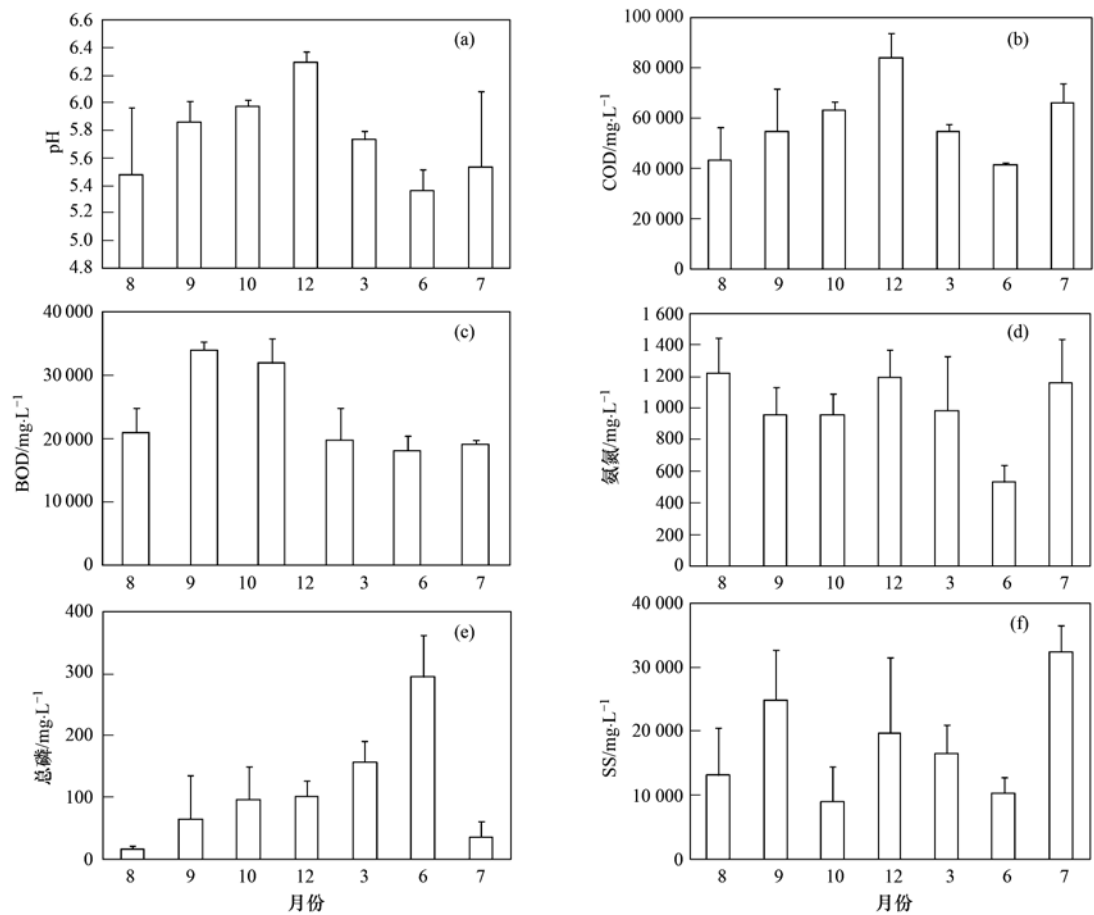


图3 集装箱中产渗滤液主要水质指标月份变化

Fig. 3 Monthly changes of the leachate parameters in container

污水中污染物浓度会产生较大的影响。

2.2 极端温度对箱体内污染物产生状况的影响

为了研究极端温度对污染物产生的影响,选取温度最高的7月和温度最低的12月作为两个极端温度条件与年平均情况进行对比研究。

2.2.1 气体指标的变化情况

7月、12月和年平均箱体内气体指标H₂S、VOC、CH₄和NH₃的数据对比如表2所示。

表2 7月、12月和年平均气体指标的平均值(平均值±方差)

Table 2 Averages gas concentration in July and December (average ± S. D.)

项目	H ₂ S /mg·m ⁻³	VOC /mg·m ⁻³	CH ₄ /%	NH ₃ /mg·m ⁻³
7月	5.6 ± 3.2	8.4 ± 2	2.97 ± 1	4.5 ± 1.9
12月	0.9 ± 0.9	12.7 ± 10.5	0.2 ± 0.8	2.1 ± 2.8
年平均	4 ± 3.4	8.4 ± 3.4	1.26 ± 1.23	2.4 ± 1.6

极端气候条件对箱体内气体污染指标的影响很明显,从表2中可见,7月的H₂S、CH₄和NH₃都要远高于12月,也要高于年平均值,其中CH₄和NH₃要高出年平均一倍左右。由于极端高温天气对微生物

生长有促进作用,因此会产生比平时更多的气体污染物,其中CH₄是易燃易爆气体,空气中5%的含量会引起爆炸^[18]。可见在高温下要注意防范集装箱内产生的可能导致易燃易爆的污染气体。

2.2.2 水质指标的变化情况

7月、12月和年平均箱体内渗滤液的水质指标pH、COD、BOD、氨氮、总磷和SS的数据对比如表3所示。

由表3可以看出,pH在夏季最低,酸性较强,冬季较弱;有机物COD和BOD₅都是在冬季达到最大,高于夏季和年平均值;而氨氮在极高和极低温度的条件下的数据和年平均差别不大;总磷在夏季远低于冬季和年平均值;悬浮物SS的变化波动较大,并没有在极端温度下表现出明显差异。

2.3 堆放时间对集装箱箱体内污染物产生状况的影响

2.3.1 气体指标的变化情况

8、10和12月箱体内产生气体指标H₂S、VOC、CH₄和NH₃的数据日变化如图4所示。

表3 7月、12月水质指标(平均值±方差)

Table 3 Leachate parameters of July and December (average ± S. D.)						
项目	pH	COD /mg·L ⁻¹	BOD ₅ /mg·L ⁻¹	氨氮 /mg·L ⁻¹	总磷 /mg·L ⁻¹	SS /mg·L ⁻¹
7月	5.5 ± 0.55	66 460 ± 7 331	19 150 ± 629	1 162 ± 275	36.07 ± 24.75	32 475 ± 4 216
12月	6.3 ± 0.07	84 060 ± 9 797	32 070 ± 3 872	1 197 ± 176	102.05 ± 25.3	19 744 ± 11 839
年平均	5.8 ± 0.32	58 378 ± 14 581	24 667 ± 7 102	1 003 ± 235	110.12 ± 94.03	18 066 ± 8 405.26

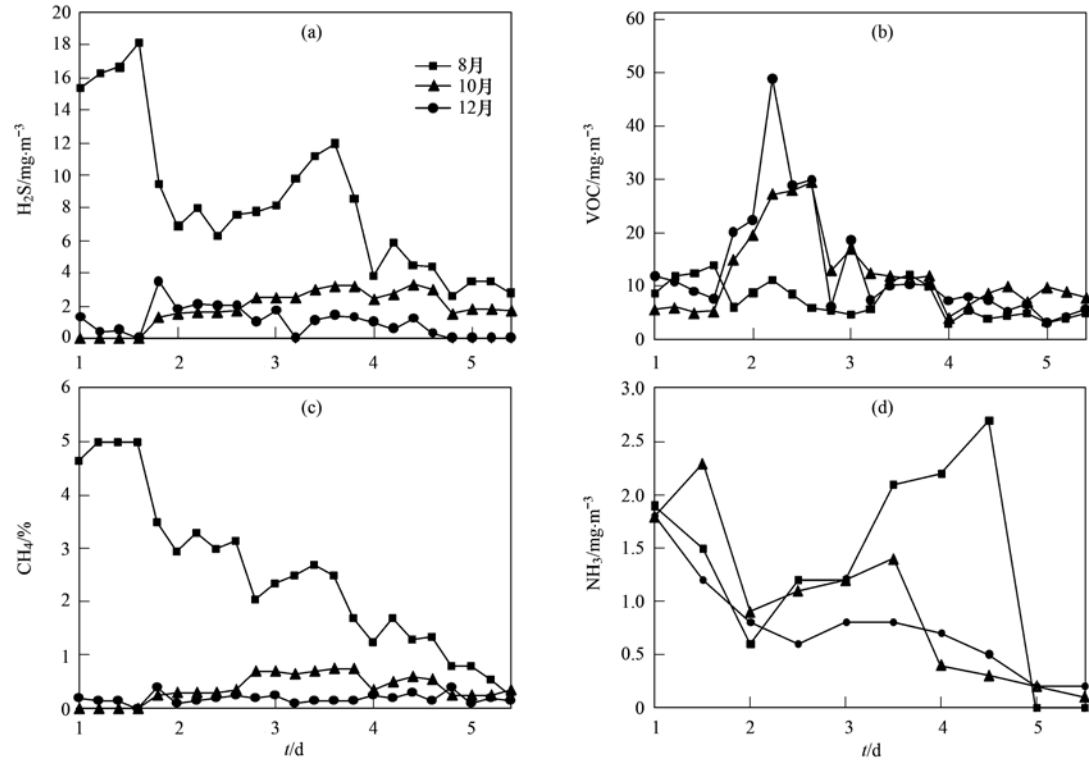


图4 主要气体污染物指标日变化

Fig. 4 Daily variation of gas pollutant indexes

图4所示分别为H₂S、VOC、CH₄和NH₃的数据日变化,可见各月份的主要气体污染物指标在整个采样周期内都随着堆放时间在1~2 d内达到峰值,然后逐渐减小,4~5 d后趋于稳定.所有气体污染物浓度的降低原因是箱体为非严格密封,产生的气体外溢,所测得的数据是气体产生和逃逸的瞬时平衡浓度,而非集装箱气体产生累积浓度.当污染气体的产生速率降低从而小于其逃逸到箱体外的速率,箱体内所测得的实时浓度逐渐降低,最后趋于稳定.

由于是露天堆放,气温对集装箱放置过程中气体的产生浓度影响较大,除VOC指标,其他的气体指标都呈现8月明显高于10月和12月的变化,H₂S和CH₄指标中8月的浓度更是高出其他月份数倍.各污染指标在每日内的变化趋势和温度变化基本一致,都是先高后低,在每日的午后达到最高;其中H₂S在8月第1 d的午后达到最高的18.2 mg·m⁻³,

VOC在12月的第2 d达到最高的49 mg·m⁻³,CH₄在8月第1 d的午后就达到了临近爆炸极限的5%.不同月份的气体指标中,10月和12月的气体指标比较接近,这可能是和这两个月接近的温度有关(表1).有些指标的异常变化也和温度有关,如8月的H₂S在第3 d出现了第二峰值,当天的数据也要普遍高于第2 d,其原因是第2 d全天中到大雨,气温普遍低于采样周期内的平均值所致.而8月的NH₃在第5 d值陡然下降,其原因可能有样品采集操作失误造成.

在极端温度下集装箱在露天停放的最初2 d是气体污染物浓度的峰值,特别是午后高温,气体产生量大,来不及逃逸,会导致CH₄达到危险的浓度,所以减少箱体在码头的停放时间,避免高温暴露,是管理者在转运操作安排中应当重视的重要问题.建议在生产操作中,可以通过遮阳和喷水等措施对集装

箱体降温,减少污染气体的排放,同时排气口避免明火作业,防止意外事故。

2.3.2 水质指标的变化情况

8、10 和 12 月箱体内渗滤液的水质指标 pH、COD、BOD₅、氨氮、总磷和 SS 的数据变化趋势如图 5 所示。

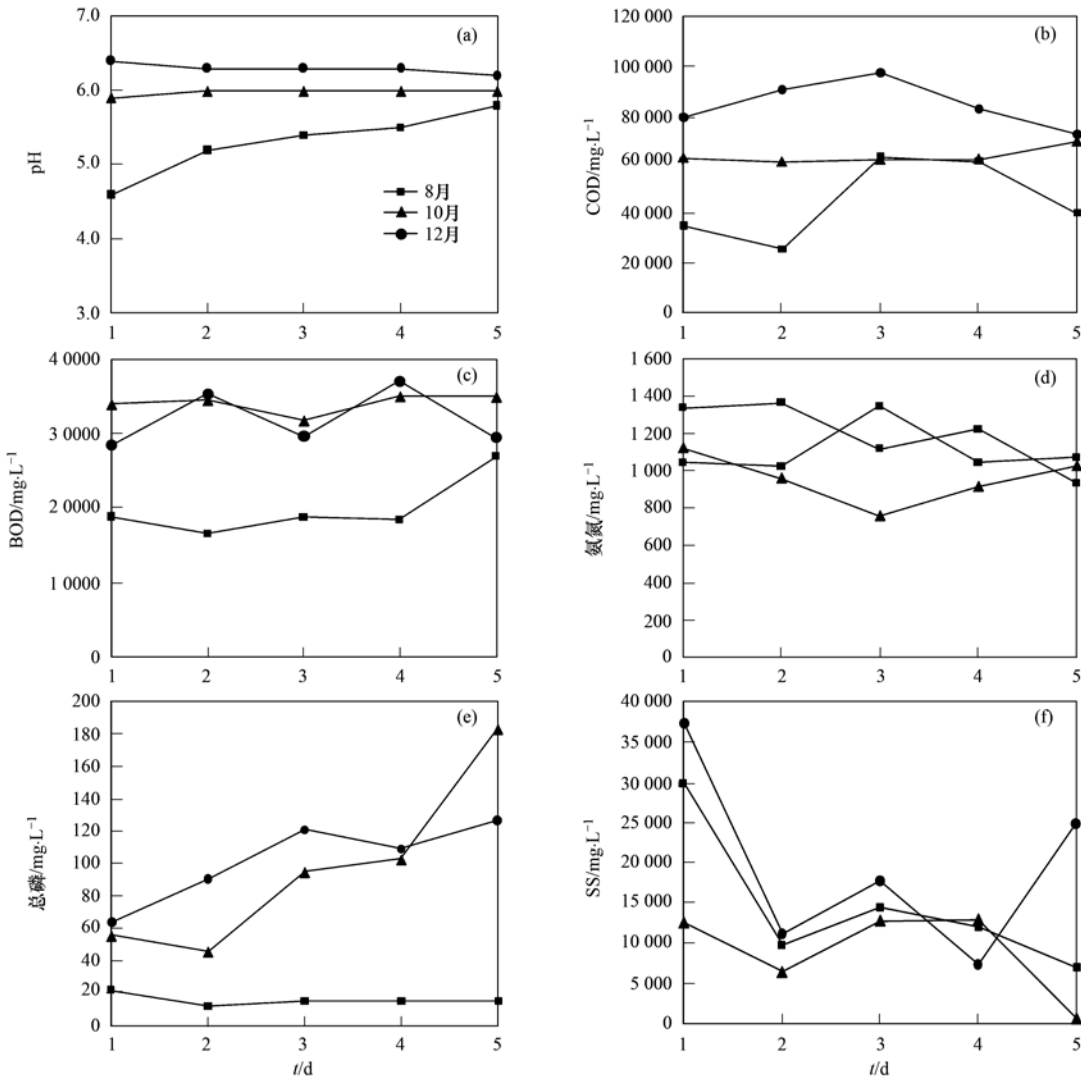


图 5 渗滤液中主要水质指标日变化

Fig. 5 Daily variation of leachate pollutant indexes

由图 5 可知,pH 在 8 月偏低,在采样周期内从 4.6 开始略有上升,其他月份在 6 左右变化不大;主要水质指标中 COD、BOD₅ 和氨氮在采样周期内虽然都略有波动,但总体来说有机物呈现升高、氨氮呈现下降趋势;10 月和 12 月的总磷随堆放时间表现出明显的上升趋势,而 8 月的数据变化则非常稳定;悬浮物 SS 的波动相对其他指标最为明显,这可能是由于集装箱内渗滤液的流质不均匀造成的。COD、BOD₅、氨氮和总磷在各月份间的差异同之前季节影响分析时的结果一样,都是冬季的 12 月要高于夏季的 8 月,而 10 月和 12 月的数据较为接近。

夏季产生的污水 pH 较低,有一定的腐蚀性,对

设备防腐有一定的要求。

3 箱体内污染物指标与环境因子的相关性分析

利用 PASW Statistics 18.0 统计分析软件,对采样期间所选各污染指标及环境指标进行了主成分分析,所得成分图如图 6 所示。

图 6 所示为各指标在以主成分 1 和主成分 2 为坐标系建立的二维坐标系中的分布,其中,主成分 1 提取总体 39.7% 的信息,主成分 2 提取总体 34.2% 的信息,其中 4 个指标(箱体内温度、箱体外温度、CH₄ 和 H₂S)在坐标系中位置比较靠近,表现出较高的相关性;垃圾量、NH₃ 和氨氮,VOC 和 COD 以及

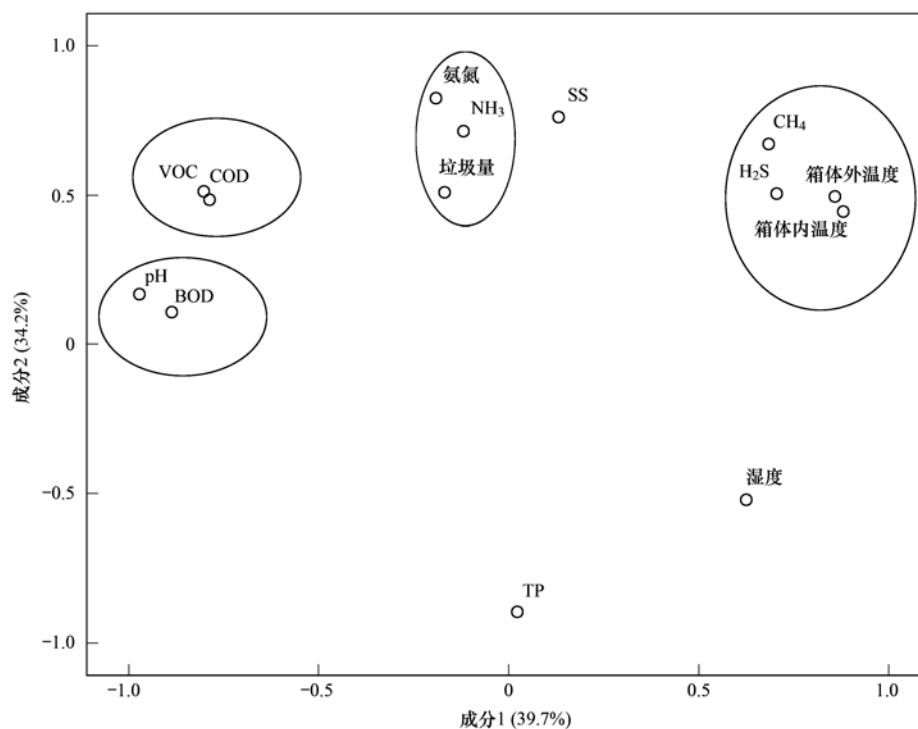


图6 箱体内污染指标 PCA 成分

Fig. 6 PCA composition diagram of pollution parameters in container

pH 和 BOD_5 的相关性也较高;以上结果表明,温度与主要气体指标 H_2S 和 CH_4 表现出较高的相关性;同时水质指标和气体指标也存在一定相关性.而总磷,SS 和湿度等指标相关性不明显.

由此可见,气体污染物中 CH_4 和 H_2S 与温度的关系较为密切,水质指标中的 pH 和 BOD_5 关系较密切,气体指标中的 NH_3 和水质指标中的氨氮以及垃圾量关系密切,气体指标中的 VOC 和水质指标中的 COD 关系密切.这说明高温是主要气体污染物产生的主要原因,避免高温是减少气体污染物产生的重要手段,同时降低污水中的氨氮和有机物等污染物也有利于减少空气中的 NH_3 和 VOC 浓度.

本实验是首次针对垃圾转运过程中集装箱体内污染物产生规律所进行的研究调查,所得的数据和结论可为垃圾中转和转运的管理者优化工作条件提供参考和理论依据.

4 结论

(1)集装箱内垃圾产生气体指标中 H_2S 的变化范围为 $0.3 \sim 10.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$; CH_4 和 NH_3 的峰值都出现在夏季,而 VOC 的峰值出现在 12 月.渗滤液水质指标中,pH 值在 $5.4 \sim 6.3$ 之间变化;COD 和 BOD_5 呈现出冬季高于夏季的特点;氨氮和总磷的

变化范围分别为 $537 \sim 1222 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $17.98 \sim 296 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间.悬浮物波动较大,和季节之间的变化规律不明显.

(2)极端温度对箱体内气体污染指标的影响很明显,夏季高温下的 H_2S 、 CH_4 和 NH_3 都要远高于极端低温,也要高于年平均值,但是 VOC 要低于冬季箱体内的浓度,与年平均值大小接近.渗滤液在夏季呈现较强的酸性,对设备防腐有一定要求.

(3)集装箱中垃圾在停放初期排放气体污染物浓度达到峰值,特别是午后高温时浓度最大,会导致 CH_4 达到危险的浓度.所以在极端温度下转运应减少箱体的停放时间,避免高温暴露.

(4)PCA 相关性分析表明:箱体内外温度与 CH_4 和 H_2S 气体指标之间表现出较高的相关性,这说明温度是影响气体污染物产生的主要原因,避免高温是减少气体污染物产生的重要手段,同时减少污水中的氨氮和有机物等污染物也有利于减少空气中 NH_3 和 VOC 的浓度.

参考文献:

- [1] 王文婷,黄皇,谢冰,等.上海市某生活垃圾中转站污染特征[J].城市环境与城市生态,2012,25(3):31-35.
- [2] 浣勇.长沙市垃圾综合处理中转站的绿色管理模式研究[D].长沙:湖南大学,2008.
- [3] 黄智婷,陆峰,黄长缨,等.上海城市生活垃圾转运现状

- [J]. 环境卫生工程, 2013, **S2**(2): 149-150.
- [4] 陈长太, 曾扬. 城市垃圾填埋场渗滤液水质特性及其处理[J]. 环境保护, 2001, (9): 19-21.
- [5] 张淑娟, 范瑞. 垃圾压缩转运站压滤液污染及处理技术探讨[J]. 环境卫生工程, 2006, **7**(6): 32-33.
- [6] 李海生, 刘光辉, 刘亮, 等. 城市垃圾填埋场渗滤液处理研究进展[J]. 环境科学研究, 2004, **17**(1): 77-80.
- [7] Burgess J E, Parsons S A, Stuetz R M. Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review [J]. *Biotechnology Advance*, 2001, **19**(1): 35-63.
- [8] 席俊清, 蒋火华, 汪志国, 等. 我国城市生活垃圾处理现状及存在问题分析[J]. 中国环境监测, 2003, **19**(1): 21-23.
- [9] 龙焰, 沈东升, 劳慧敏, 等. 填埋场中垃圾降解微生物机理研究进展[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2006, **32**(1): 9-13.
- [10] 陈海滨, 邓成. 城镇垃圾转运系统布局研究[J]. 中国环保产业, 2006, (9): 32-35.
- [11] Eshet T, Baron M G, Shechter M, *et al.* Measuring externalities of waste transfer stations in Israel using hedonic pricing [J]. *Waste Management*, 2007, **27**(5): 614-625.
- [12] 蒋展鹏. 环境工程学[M]. (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2005. 19-20.
- [13] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 102-281.
- [14] 廖利, 陈朱蕾, 李道圣, 等. 垃圾填埋气体横向迁移测试研究[J]. 武汉城市建设学院学报, 1999, **16**(2): 15-19.
- [15] 孙丽娜, 刘刚. 环境空气中挥发性有机污染物的研究现状[J]. 环境与健康杂志, 2011, **28**(10): 930-932.
- [16] Hsieh C C, Tsai J H. VOC concentration characteristics in Southern Taiwan[J]. *Chemosphere*, 2003, **50**(4): 545-556.
- [17] 吴方堃, 王跃思, 安俊琳, 等. 北京奥运时段 VOCs 浓度变化、臭氧产生潜势及来源分析研究[J]. 环境科学, 2010, **31**(1): 10-16.
- [18] 刘殷华, 黄皇, 谢冰, 等. 上海市区生活垃圾中转站臭气污染状况[J]. 城市环境与城市生态, 2012, **25**(4): 1-4.

CONTENTS

Emission Factors and PM Chemical Composition Study of Biomass Burning in the Yangtze River Delta Region	TANG Xi-bin, HUANG Cheng, LOU Sheng-rong, <i>et al.</i> (1623)
Size Distributions and Source Apportionment of Soluble Ions in Aerosol in Nanjing	XUE Guo-qiang, ZHU Bin, WANG Hong-lei (1633)
Characteristics of Particulate Matters and Its Chemical Compositions During the Dust Episodes in Shanghai in Spring, 2011	LI Gui-ling, ZHOU Min, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (1644)
Numerical Modeling Analysis of Secondary Organic Aerosol (SOA) Combined with the Ground-based Measurements in the Pearl River Delta Region	GUO Xiao-shuang, SITU Shu-ping, WANG Xue-mei, <i>et al.</i> (1654)
Observation of a Photochemical Event in Jiaying During Summer 2013	SHEN Li-juan, LI Li, LÜ Sheng, <i>et al.</i> (1662)
Spatial and Temporal Variations of Near Surface Atmospheric CO ₂ with Mobile Measurements in Fall and Spring in Xiamen, China	LI Yan-li, XING Zhen-yu, MU Chao, <i>et al.</i> (1671)
Isotope Compositions of Elemental Carbon in the Smoke and Ash from Crop Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (1680)
Development of a Chemical Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometer for Continuous Measurements of Atmospheric Hydroxyl Radical	DOU Jian, HUA Lei, HOU Ke-yong, <i>et al.</i> (1688)
Residual Levels of Acetochlor in Source Water and Drinking Water of China's Major Cities	YU Zhi-yong, JIN Fen, LI Hong-yan, <i>et al.</i> (1694)
Vertical Distribution of Water Quality and Its Influence on Underwater Light Field in Lake Chaohu	MA Meng-xiao, ZHANG Yu-chao, QIAN Xin, <i>et al.</i> (1698)
Correlation Between Aquatic Plant Diversity and Water Environment in the Typical Sites of Hangzhou Section of the Beijing-Hangzhou Grand Canal	LU Yin, XU Xiao-lu, ZHANG De-yong, <i>et al.</i> (1708)
Nitrogen and Phosphate Pollution Characteristics and Eutrophication Evaluation for Typical Urban Landscape Waters in Hefei City	LI Ru-zhong, LIU Ke-feng, QIAN Jing, <i>et al.</i> (1718)
Distribution of Nitrogen and Phosphorus in the Sediments and Estimation of the Nutrients Fluxes in Longjing Lake, Chongqing City, During the Initial Impoundment Period	PAN Yan-an, LEI Pei, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1727)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides (OCPs) in the Water of Lake Qiandao and Its Major Input Rivers	TANG Fang-liang, ZHANG Ming, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (1735)
Distribution of Potential Pathogenic Bacteria in the Jiulong River Watershed	HOU Li-yuan, HU An-yi, MA Ying, <i>et al.</i> (1742)
Influence of the River-lake Relation Change on the Distribution of Heavy Metal and Ecological Risk Assessment in the Surface Sediment of Poyang Lake	LIU Wan-qing, NI Zhao-kui, WU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1750)
Spatiotemporal Variation Characteristics of Heavy Metals Pollution in the Water, Soil and Sediments Environment of the Lean River-Poyang Lake Wetland	JIAN Min-fei, LI Ling-yu, XU Peng-fei, <i>et al.</i> (1759)
Dissolved Organic Matter (DOM) Dynamics in Karst Aquifer Systems	YAO Xin, ZOU Sheng-zhang, XIA Ri-yuan, <i>et al.</i> (1766)
Sensitivity Analysis of AnnAGNPS Model's Hydrology and Water Quality Parameters Based on the Perturbation Analysis Method	XI Qing, LI Zhao-fu, LUO Chuan (1773)
Movement Characteristics of <i>Cyanobacteria</i> Under Stress of Water-Lifting Aeration	SUN Xiu-xiu, CONG Hai-bing, GAO Zheng-juan, <i>et al.</i> (1781)
Influence of Light Wavelength and Intensity on the Reduction of Divalent Mercury in Aquatic System	LI Xi-jia, ZHONG Zi-xuan, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (1788)
Dynamic Effects of Commonly Co-Existing Anions on the Removal of Selenite from Groundwater by Nanoscale Zero-Valent Iron	YANG Wen-jun, GUO Ying-qing, DU Er-deng (1793)
BiOBr Promoted the Photocatalytic Degradation of Beta-cypermethrin Under Visible Light	PENG Yi-zhu, ZHAO Xiao-rong, JIA Man-ke, <i>et al.</i> (1798)
Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto Magnetic Fe ₃ O ₄ /Graphene Oxide Nanoparticles	CHANG Qing, JIANG Guo-dong, HU Meng-xuan, <i>et al.</i> (1804)
Selection of Electrochemical Anodic Materials for PFOA Degradation and Its Mechanism	ZHUO Qiong-fang, DENG Shu-bo, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (1810)
Occurrence and Fate of Typical Antibiotics in a Wastewater Treatment Plant in Southwest China	GAN Xiu-mei, YAN Qing, GAO Xu, <i>et al.</i> (1817)
Effects and Mechanism on Removing Organics and Reduction of Membrane Fouling Using Granular Macro-Porous Anion Exchange Resin in Drinking Water Treatment	HE Huan, DONG Bing-zhi, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (1824)
Research on Treatment of High Salt Wastewater by the Graphite and Activated Carbon Fiber Composite Electrodes	ZHOU Gui-zhong, WANG Zhao-feng, WANG Xuan, <i>et al.</i> (1832)
Preparation and Application of the Quinonyl Chloromethylation Polystyrene in Biological Treatment of Wastewater	ZHANG Hua-yu, XU Qing, NIU Chun-mei, <i>et al.</i> (1838)
Enhanced Electro-Catalytic Oxidation of Dye Wastewater with FeMo ₁₂ Adopted Catalyst	WANG Li, YUE Lin, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (1843)
Formation and Characterization of Aerobic Granules in a Pilot-scale Reactor for Real Wastewater Treatment	YANG Shu-fang, ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, <i>et al.</i> (1850)
Research on Cultivation of Aerobic Granular Sludge and Its Characteristics in Sequencing Fed Batch Reactor	LONG Bei, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1857)
Effect of Different Volume Loading of Aerobic/Anaerobic Zone on Nitrogen and Phosphorus Removal by Biofilm and Granular Sludge Coupling Process	YIN Hang, LIU Chang, GAO Hui, <i>et al.</i> (1866)
Adsorption of Cu ²⁺ by Xanthate-Functionalized Waste Sludge	CEN Yan, QUAN Xiang-chun, JIANG Xiao-man (1871)
Mechanisms of Copper Uptake by Submerged Plant <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle and <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	XUE Pei-ying, LI Guo-xin, ZHAO Quan-li (1878)
Properties of Maize Stalk Biochar Produced Under Different Pyrolysis Temperatures and Its Sorption Capability to Naphthalene	HUANG Hua, WANG Ya-xiong, TANG Jing-chun, <i>et al.</i> (1884)
Beijing Common Green Tree Leaves' Accumulation Capacity for Heavy Metals	LI Shao-ming, KONG Ling-wei, LU Shao-wei, <i>et al.</i> (1891)
Assessment of Heavy Metal Contamination by Moss-bag Method and Road-dust Method for Taizhou Urban Area	CHEN Qin, FANG Yan-ming, YAN Yun, <i>et al.</i> (1901)
Effect of Grazing on the Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Rui-rui, DENG Yu, <i>et al.</i> (1909)
Variation Characteristic in Soil Respiration of Apple Orchard and Its Biotic and Abiotic Influencing Factors	WANG Rui, GUO Sheng-li, LIU Qing-fang, <i>et al.</i> (1915)
Influencing Factors of Mercury Emission Flux from Forest Soil at Tieshanping, Chongqing	WANG Qiong, LUO Yao, DU Bao-yu, <i>et al.</i> (1922)
Characteristics of Arsenic Content in the Livestock Farms' Surrounding Environment in Shanghai Suburbs	XI Gong-fang, ZHOU Shou-biao, DING Hai-cheng, <i>et al.</i> (1928)
Input and Distribution of Rice Photosynthesized Carbon in the Tillering Stage Under Different Nitrogen Application Following Continuous ¹³ C Labeling	TAN Li-min, WU Hao, LI Hui, <i>et al.</i> (1933)
Simulation Study on the Effect of Salinity on the Adsorption Behavior of Mercury in Wastewater-Irrigated Area	ZHENG Shun-an, LI Xiao-hua, XU Zhi-yu (1939)
Leaching Behavior of Pb, Cd and Zn from Soil Stabilized by Lime Stabilized Sludge	LI Xiang, SONG Yun, LIU Yong-bing (1946)
Levels and Distribution of Short Chain Chlorinated Paraffins in Seaford from Dalian, China	YU Jun-chao, WANG Thanh, WANG Ya-wei, <i>et al.</i> (1955)
Application of Biotic Ligand Model for the Acute Toxicity of Copper to <i>Daphnia magna</i> in Water of Liaohe River and Taihu Lake	ZHOU Teng-yao, CAO ying, QIN Lu-mei, <i>et al.</i> (1962)
Phytotoxicity of Copper Oxide Nanoparticles to Metabolic Activity in the Roots of Rice	WANG Shu-ling, ZHANG Yu-xi, LIU Han-zhu, <i>et al.</i> (1968)
Enhancing Effect of Tween 80 on Degradation of Triphenyltin by <i>Bacillus thuringiensis</i>	HUANG Jie, YE Jin-shao, YIN Hua, <i>et al.</i> (1974)
Long-term Performance of Microbial Fuel Cell Using Manure as Substrate	JIAO Yan, ZHANG Guo-dong, ZHAO Qing-liang (1981)
Influence of Goethite on Anaerobic Fermentation of Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW)	YANG Lu-lu, YUE Zheng-bo, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (1988)
Pollutants Produced in Municipal Refuse Container During Transfer Process	WANG Xiao-yuan, LIU Yin-hua, WANG Fei, <i>et al.</i> (1994)
Selective Catalytic Oxidation of H ₂ S over Supported Fe Catalysts on CeO ₂ -Intercalated Laponite Clay	SUN Chao, ZHANG Xin, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (2002)
Preparation by Different Methods and Characterization of Desulfurization Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites	ZHU Chun-lei, WANG Hai-lin, SUN Chun-bao (2010)
Sampling Methods for PM _{2.5} from Stationary Sources: a Review	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2018)
A Research Overview of Methanogens	LI Yu-shan, LI Yao-ming, OUYANG Zhi-yun (2025)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年5月15日 35卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 5 May 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行