

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第11期

Vol.37 No.11

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

承德市大气污染源排放清单及典型行业对 PM _{2.5} 的影响	陈国磊, 周颖, 程水源, 杨孝文, 王晓琦 (4069)
浙江省木制品行业挥发性有机物排放特征及排放系数	姚轶, 王浙明, 何志桥, 徐志荣, 顾震宇 (4080)
山西省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献	闫雨龙, 彭林 (4086)
某化工区典型高污染过程 VOCs 污染特征及来源解析	高松, 崔虎雄, 伏晴艳, 高爽, 田新愿, 方方, 衣学文 (4094)
加油 VOCs 排放因子测试方法研究与应用	黄玉虎, 常耀卿, 任碧琪, 秦建平, 胡玮, 刘明宇 (4103)
北京市生活垃圾填埋场氨排放特征研究	崔彤, 李金香, 杨妍研, 程刚 (4110)
西安市人为源大气氨排放清单及特征	苏航, 闫东杰, 黄学敏, 宋文斌, 王惠琴, 宋雪娟 (4117)
佛山市冬夏季非甲烷烃污染特征研究	周雪明, 项萍, 段菁春, 贺克斌, 马永亮, 邓思欣, 司徒淑婷, 谭吉华 (4124)
天津市道路环境大气颗粒物水溶性无机离子分析	赵梦雪, 吴琳, 方小珍, 杨志文, 李凤华, 毛洪钧 (4133)
戴云山国家级自然保护区大气氮沉降特点	袁磊, 李文周, 陈文伟, 张金波, 蔡祖聪 (4142)
青岛近海冬季大气生物气溶胶中微生物活性研究	孟祥斌, 李孟哲, 李鸿涛, 高冬梅, 祁建华 (4147)
玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸的分子与碳同位素组成	刘刚, 孙丽娜, 徐慧, 李久海, 李中平, 李立武 (4156)
极低风速条件下水-气界面甲烷气体传输速率分析	张成, 吕新彪, 龙丽, 张军伟, 穆晓辉, 李迎晨, 王圣瑞, 张文丽, 肖尚斌 (4162)
典型水库型湖泊中 CDOM 吸收及荧光光谱变化特征: 基于沿岸生态系统分析	陈雪霜, 江韬, 卢松, 白薇扬, 张成, 王定勇, 魏世强 (4168)
西苕溪支流河口水体营养盐的特征及源贡献分析	陈诗文, 袁旭音, 金晶, 李正阳, 许海燕 (4179)
周村水库主库区热分层初期氮素降低的驱动因子分析	张春华, 黄廷林, 方开凯, 周石磊, 夏超 (4187)
太湖湖泛易发区沉积物中有机磷形态分布特征	董丹萍, 章婷曦, 张丁予, 王巧云, 李德芳, 王国祥 (4194)
多重扰动对湖泊内源磷迁移转化的影响	蔡顺智, 李大鹏, 王忍, 刘焱见, 徐垚, 于胜楠, 黄勇 (4203)
丹江口库区覆膜耕作土壤氮素淋失随夏玉米生长期的变化	王伟, 于兴修, 汉强, 刘航, 徐苗苗, 任瑞, 张家鹏 (4212)
营养盐恢复对氮磷饥饿铜绿微囊藻生长的影响	岳冬梅, 李洁, 肖琳 (4220)
氯灭活地下水源中 3 种优势真菌的效能与机制	文刚, 朱红, 黄廷林, 赵建超, 任崑, 徐向前 (4228)
净水工艺对饮用水中微生物多重耐药性的影响与分析	马晓琳, 陆洋, 王钰, 侯誉, 白晓慧 (4235)
单过硫酸氢钾复合粉在饮用水消毒过程中的副产物生成特性及遗传毒性变化	敖秀玮, 李豪杰, 刘文君, 余京儒 (4241)
三维有序介孔 Co ₃ O ₄ 非均相活化单过硫酸氢钾降解罗丹明 B	冯善方, 邓思萍, 杜嘉雯, 马晓雁, 卢遇安, 高乃云, 邓靖 (4247)
调控絮体形态强化电絮凝减缓膜污染	赵凯, 杨春风, 孙境求, 李静, 胡承志 (4255)
初始 pH 值对序批式 CANON 工艺脱氮效果和 N ₂ O 释放的影响	付昆明, 王会芳, 苏雪莹, 周厚田 (4261)
3DBER-S-Fe 同步脱氮除磷及去除邻苯二甲酸酯的工艺特性	张娅, 郝瑞霞, 徐鹏程, 徐忠强 (4268)
基于反硝化脱氮的硫铁复合填料除磷机制	范军辉, 郝瑞霞, 李萌, 朱晚霞, 万京京 (4275)
基于 ABR-MBR 组合工艺优化反硝化除磷性能的研究	程朝阳, 赵诗惠, 吕亮, 吴鹏, 沈耀良 (4282)
中常温变化对 PN-ANAMMOX 联合工艺脱氮效果的影响	袁硯, 朱亮 (4289)
生物活性炭对不同 C/N 比废水同步硝化反硝化脱氮效果的影响	崔延瑞, 邱鑫, 张庆荣, 王琦, 吴青, 孙剑辉 (4296)
ANAMMOX 菌利用零价铁还原硝酸盐脱氮研究	周健, 完颜德卿, 黄勇, 刘忻, 袁怡, 李祥, 姚鹏程, 杨朋兵, 薛鹏程 (4302)
间歇曝气 SBR 与传统 SBR 处理养猪沼液的比较研究	董宝刚, 宋小燕, 刘锐, 川岸朋树, 张永明, 陈吕军 (4309)
应用解蛋白菌生物预水解剩余污泥	何晶晶, 王颖, 胡洁, 吕凡, 邵立明 (4317)
应用环境多介质逸度模型研究废旧电器拆解区多溴联苯醚的迁移及归趋	薛南冬, 陈宣宇, 杨兵, 秦普丰, 龙雨 (4326)
南宁市多环境介质中多环芳烃分布特征	苗迎, 孔祥胜 (4333)
杭州城区室内灰尘中多溴联苯醚的含量及人体暴露水平	金漫彤, 滕丹丹, 郑艳霞, 胡张璇, 沈学优, 金赞芳 (4341)
应用线性自由能关系估算药用活性化合物的生物碳质-水吸附系数	王佳怡, 毕二平 (4349)
表流湿地细菌群落结构特征	魏佳明, 崔丽娟, 李伟, 雷茵茹, 于菁菁, 秦鹏, 穆泳林, 梁钊瑞 (4357)
城市污水中硝化菌群落结构与性能分析	于莉芳, 杜倩倩, 傅学焘, 张茹, 李文江, 彭党聪 (4366)
DNA 和 cDNA 水平对比研究施肥对稻田土壤细菌多样性的影响	王聪, 吴讷, 侯海军, 汤亚芳, 沈健林, 秦红灵 (4372)
培养条件下双酚 A 对稻田土壤微生物群落特征的影响	刘畅, 黄雅丹, 张莹, 靳振江, 梁月明, 宋昂, 王腾, 郭佳怡, 李强 (4380)
1 株兼具好、厌氧汞甲基化能力细菌的分离鉴定	陶兰兰, 向玉萍, 王定勇, 黄曼琳, 申鸿 (4389)
北京地区菜田土壤抗生素抗性基因的分布特征	张兰河, 王佳佳, 哈雪姣, 邱孟超, 高敏, 仇天雷, 王旭明 (4395)
梅花鹿养殖场抗生素抗性基因分布特征	黄福义, 安新丽, 陈青林, 任红云, 苏建强 (4402)
几种高硅质矿物细颗粒的 A549 细胞毒性对比	霍婷婷, 董发勤, 邓建军, 张青碧, 贺小春, 孙东平 (4410)
添加复合吸附剂对土壤吸附菲和 Cr(VI) 的影响	李文斌, 孟昭福, 吴琼, 许绍娥, 刘泽 (4419)
生物炭对西北黄土吸附壬基酚的影响	张振国, 蒋煜峰, 慕仲锋, 孙航, 周琦, 展惠英 (4428)
集雨种植下不同沟垄比对土壤呼吸的影响及其对水热因子的响应	王昌江, 施成晓, 冯帆, 陈婷, 张磊, 吕晓康, 吴伟, 廖允成 (4437)
秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响	黄容, 高明, 万毅林, 田冬, 陶睿, 王芳丽 (4446)
《环境科学》征稿简则 (4161)	《环境科学》征订启事 (4365)
信息 (4123, 4132, 4409)	

北京市生活垃圾填埋场氨排放特征研究

崔彤^{1,2}, 李金香^{1,2}, 杨妍妍^{1,2}, 程刚^{1,2}

(1. 北京市环境保护监测中心, 北京 100048; 2. 大气颗粒物监测技术北京市重点实验室, 北京 100048)

摘要: 氨是生活垃圾填埋场产生的主要恶臭物质之一, 同时也是 $\text{PM}_{2.5}$ 的重要前体物。依据环境空气氨测定和无组织废气监测方法, 研究了北京市两家垃圾填埋场的工艺关键点和厂界的氨浓度水平。结果表明填埋作业面、污泥处理车间和渗滤液调节池等工艺关键点的氨浓度为 $0.078 \sim 0.341 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。工艺关键点的氨浓度呈现日间高、夜间低的特点, 温度和湿度是主要气象影响因素, 阴雨天气时监测结果明显偏低。氨浓度在厂界外有明显下降趋势, 厂界下风向 100 m 处平均下降 60.00%, 300 m 处平均下降 69.90%。研究为北京市垃圾填埋场氨排放水平本地化和氨排放监测管理提供科研支持。

关键词: 垃圾填埋场; 氨; 排放特征; 工艺关键点; 日变化

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)11-4110-07 DOI: 10.13227/j.hjks.201603121

NH_3 Emission Characteristics in Landfill Sites in Beijing

CUI Tong^{1,2}, LI Jin-xiang^{1,2}, YANG Yan-yan^{1,2}, CHENG Gang^{1,2}

(1. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China; 2. Beijing Key Laboratory of Airborne Particulate Matter Monitoring Technology, Beijing 100048, China)

Abstract: NH_3 is one of the main odors produced from landfill sites. It is also an important precursor of $\text{PM}_{2.5}$. According to the NH_3 of ambient air and non-organizational waste gas monitoring method, the research studied NH_3 emission characteristics of two landfill sites in Beijing. The results showed that the NH_3 concentrations in waste pit, sludge treatment workshop and leachate equalization basin were $0.078 \sim 0.341 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. The NH_3 concentration of key processes was rising in daytime and decreasing in night. Temperature and relative humidity were main meteorological influencing factors, and NH_3 concentration was low in rainy weather. The NH_3 concentration declined significantly along downwind directions, by 60.00% at 100m out of boundary and 69.90% at 300 m. This research provides scientific support for further study on localization of NH_3 emission characteristics and NH_3 emission monitoring management.

Key words: landfill sites; NH_3 ; emission characteristics; key processes; daily variation

随着城镇化进程的加快和城市垃圾产生量的不断增加, 多数城市垃圾填埋场处于超负荷运行状态, 恶臭污染事件频发, 对周围居民的生活质量和城市经济发展产生巨大影响。氨 (NH_3) 是生活垃圾填埋场产生的主要恶臭物质之一, 其排放特点为产生量大、影响面广、持续时间长等, 属于典型的无组织排放面源污染^[1~3]。同时, NH_3 是 $\text{PM}_{2.5}$ 的重要前体物, 环境空气中的 NH_3 与其他一次前体物经过复杂反应形成硫酸铵和硝酸铵等铵盐^[4]。目前北京市每年大约有 5 万 t NH_3 进入大气环境, 具体的减排措施尚未明确。因此, 研究典型城市生活垃圾填埋场的 NH_3 排放特征和扩散特征具有重要意义, 可为垃圾场氨排放水平本地化研究提供基础数据支持, 为 NH_3 监测方法和管理措施提出相关建议。

通过调研发现, 北京市的垃圾填埋场 NH_3 浓度低于国内平均水平。Ding 等^[5]、王俊君等^[6]和李元元等^[7]研究了杭州市、西安市等地垃圾填埋场的 NH_3 环境空气浓度, 结果显示填埋作业面的 NH_3 浓度为 $1.27 \sim 5.95 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 渗滤液调节池的 NH_3 浓

度为 $4.02 \sim 7.8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 厂界处的 NH_3 浓度为 $0.512 \sim 2.02 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。刘杰云等^[8]和张晶^[9]对北京市某垃圾填埋场进行采样检测, 渗滤液调节池的 NH_3 浓度为 $0.137 \sim 6.581 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 污泥脱水车间的 NH_3 浓度为 $0.039 \sim 0.538 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 厂界处的 NH_3 浓度为 $0.076 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

与国内其他城市相比, 北京市垃圾填埋场的填埋工艺和管理措施更加规范先进, NH_3 浓度明显偏低, 符合《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93) 的浓度限值。但由于北京市土地资源紧张, 人口居住密集, 环境空气质量改善压力大, 需要根据本地化的 NH_3 排放特征, 提出适用于北京本地区垃圾填埋场的监测管理建议, 同时也可应用于同等工艺管理水平或其他垃圾填埋场。

收稿日期: 2016-03-15; 修订日期: 2016-06-16

基金项目: 北京市科技计划项目(Z131100001113029); 环境保护公益行业科研专项(201409005)

作者简介: 崔彤(1990~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染物控制, E-mail: cuitong_hj@163.com

1 材料与方法

1.1 布点监测

本研究选择了阿苏卫垃圾填埋场和田各庄垃圾填埋场(图 1 和图 2),前者接收昌平区和部分中心城

区的生活垃圾,有机成分较高,后者接收房山区城区和周边农村垃圾。阿苏卫垃圾填埋场属于大型、正规垃圾填埋场,管理措施完善,填埋作业面覆膜及时;田各庄垃圾填埋场属于小型、非正规填埋场,处理设施比较落后,管理粗放。表 1 为垃圾填埋场概况。

表 1 垃圾填埋场概况
Table 1 Profile of the landfills

位置	建成年份	填埋工艺	设计容量/万 m ³	已填容量/万 m ³	2015 年填埋量/万 t
阿苏卫垃圾填埋场	2006	全密闭填埋工艺	1 200	972	145.34
田各庄垃圾填埋场	2009	堆存-覆盖填埋-覆膜工艺	49	36	21.9

监测期为 2015 年 6~12 月,选择有系统性气象条件的日期,监测时间为当日 15:00 和 20:00 左右。监测 24 h NH₃ 浓度规律时,当日进行逐小时采样监测。监测布点选取垃圾填埋场工艺关键点(填埋作业面、渗滤液调节池和污泥处理车间),以及厂界下风向和厂界外 30~300 m 处。根据文献[11],在厂界和厂界外扇形布点,另设置上风向厂界外对照采样点^[10~13]。同时测量并记录采样点经纬度、气温、气压、风向、风速、湿度等数据。

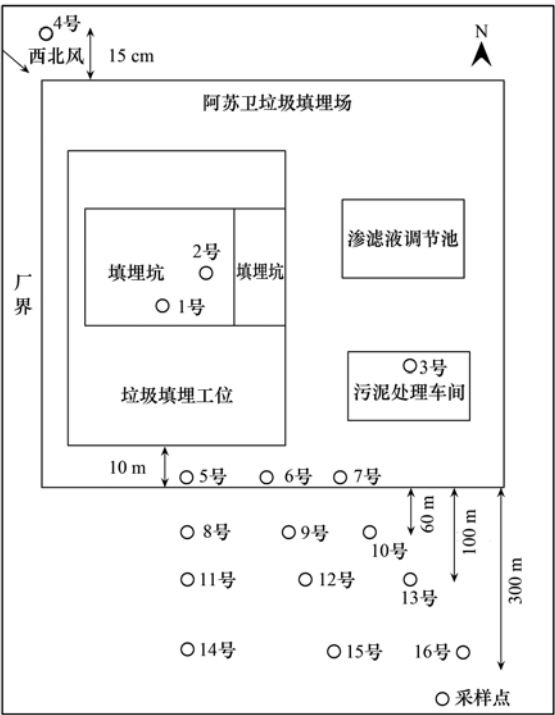


图 1 阿苏卫垃圾填埋场采样点位示意
Fig. 1 Location of sampling sites in Asuwei Landfill

1.2 样品分析

样品采集依据《环境空气氨的测定次氯酸钠-水杨酸分光光度法》(HJ 534-2009),配备 0.005 mol·L⁻¹的吸收液,使用气体采样泵,设定采样流量

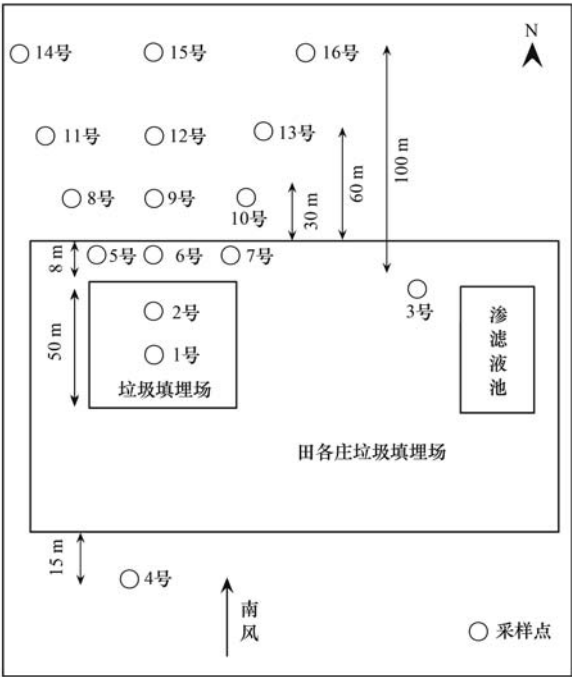


图 2 田各庄垃圾填埋场采样示意
Fig. 2 Location of sampling sites in Tiangezhuang Landfill

为 0.5 L·min⁻¹,采样时间为 60 min^[14]。经实验室处理后,用紫外可见分光光度计(普析 T6 新世纪)在波长 697 nm 处测定吸光度。气象参数测试仪器采用便携式数字综合气象仪(上海双旭 FY-A)。

2 结果与讨论

2.1 工艺关键点 NH₃ 排放浓度水平

在填埋作业面上选取两个采样点,同时采集污泥处理车间或是渗滤液调节池附近的环境空气样品。以上采样点定义为垃圾填埋场的工艺关键点,是垃圾填埋场 NH₃ 的主要排放源。两个垃圾填埋场均进行 10 次采样,每个垃圾场获得 30 个有效数据。工艺关键点的监测时间为 2015 年下半年,表 2 为采样日气象条件。采样期间气温 -2~34℃,基本涵盖北京市全年气象温度变化范围。两家垃圾填埋场

表 2 采样日气象条件

Table 2 Weather condition of sampling days

垃圾填埋场	采样时间	06-18 T15:00	06-18 T20:00	07-31 T11:00	07-31 T20:00	09-19 T15:00	09-19 T20:00	10-28 T15:00	10-28 T20:00	12-16 T15:00	12-16 T20:00
阿苏卫	天气	阴	阵雨	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
	气温/℃	32	29	28	28	29	18	15	8	1	-2
	风速/m·s ⁻¹	4	5	1	2	2	1	8	3	10	7
垃圾填埋场	采样时间 (月-日-T)	06-03 T14:00	06-03 T20:00	07-09 T16:00	07-09 T22:00	08-13 T16:00	08-13 T20:00	10-23 T15:00	10-23 T20:00	12-17 T15:00	12-17 T20:00
田各庄	天气	晴	晴	阴	阴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
	气温/℃	33	28	33	26	34	30	19	13	3	1
	风速/m·s ⁻¹	5	4	4	2	4	4	3	2	3	2

采样期间均有一天阴雨天气.

2.1.1 填埋作业面

两个垃圾填埋场的填埋作业面 NH₃ 浓度比较接近(图 3),浓度范围在 0.078~0.341 mg·m⁻³,阴雨天气时 NH₃ 浓度偏低 50% 以上. 阴雨天气对垃圾场 NH₃ 监测有较大影响,监测时应避开类似天气. 天气晴好时,阿苏卫垃圾填埋场作业面的 NH₃ 平均浓度为 0.276 mg·m⁻³,田各庄为 0.259 mg·m⁻³.

根据张玉红等^[15]的研究,厨余垃圾堆肥的第 7~30 d 是 NH₃ 产生量的高峰期. 垃圾堆体中随着氧的消耗,转变为厌氧环境,厌氧微生物将碳水化合物、蛋白质、脂肪水解为糖,并进一步分解为 CO₂、H₂、NH₃ 和有机酸. 微生物酶法水解蛋白质生成相应的氨基酸,然后发酵生成 CO₂、NH₃ 和挥发性脂肪酸. 发酵后的氨基酸通过耦合反应,部分氨基酸作为电子给体和电子受体,生成 NH₃ 和 CO₂. 以丙氨酸和甘氨酸的耦合反应为例: CH₃CHNH₂COOH + 2CH₂NH₂COOH → 3NH₃ + CH₃COOH + CO₂. 因此垃圾中蛋白质含量直接影响 NH₃ 产生量^[16,17].

阿苏卫填埋场采样点附近为填埋时间在 1 周内的垃圾,但从垃圾产生计算,经过转运、填埋等步骤,所监测作业面的垃圾基本在 1 周左右. 田各庄垃圾填埋场的垃圾暴露时间在一个月左右,垃圾腐败较为严重. 研究对象均处于 NH₃ 产生的高峰期. 从垃圾组分分析,阿苏卫垃圾填埋场接收的是城区生活垃圾,蛋白质含量高于田各庄. 因此,阿苏卫垃圾填埋场的 NH₃ 产生强度应略高于田各庄.

阿苏卫垃圾填埋场敞露作业面小,其余作业区均覆膜封包;田各庄垃圾填埋场管理较粗放,垃圾填埋作业覆盖不及时,垃圾暴露面积比阿苏卫垃圾填埋场大. 但是阿苏卫垃圾填埋场的日处理垃圾量约是田各庄的 6 倍. 在上述因素的共同作用下,两者填埋作业面上的 NH₃ 环境浓度接近,阿苏卫稍

高,监测结果可代表北京市管理规范的大型生活垃圾填埋场,以及管理粗放的小型生活垃圾填埋场的本地化平均 NH₃ 排放水平.

2.1.2 污泥处理车间

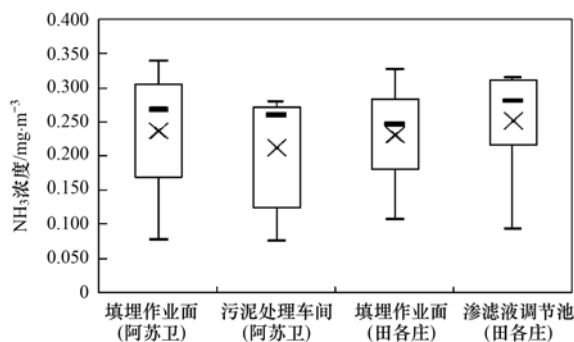
污泥处理车间也是垃圾填埋场恶臭的重要源头,污泥在车间内停留和污泥发酵产生的恶臭强度较大. 在污泥烘干的过程中,随着温度的升高,会挥发出大量恶臭气体^[18,19]. 研究监测的是阿苏卫垃圾填埋场内的污泥处理车间,该污泥处理车间另设置有排气筒,将车间内部分无组织逸散废气转化为有组织排放. 天气晴好时,污泥处理车间附近环境空气中 NH₃ 浓度平均为 0.246 mg·m⁻³,比填埋作业面低 12.01%. 排气筒废气中的废气流量很小,但是 NH₃ 浓度高达 36.6 mg·m⁻³,是污泥处理车间的 148.63 倍,也远高于填埋作业区等其他工艺关键点. 针对这种情况,运营单位应安装相应净化设施处理废气,监管部门也应将监测该排气筒废气纳入到例行监管中.

2.1.3 渗滤液调节池

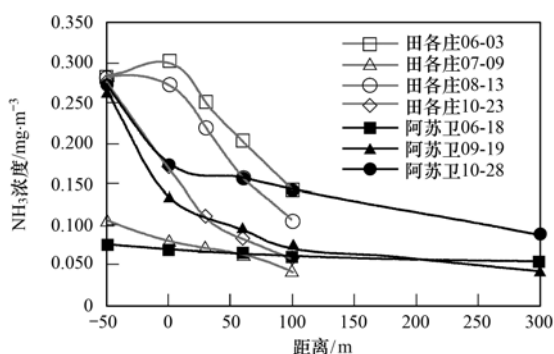
天气晴好时,渗滤液调节池监测点 NH₃ 平均浓度为 0.290 mg·m⁻³,略高于填埋作业面. 渗滤液调节池的 NH₃ 除了源于池内存留的渗滤液挥发外,在渗滤液调节池工作时,内置的潜水泵将填埋场渗滤出的渗滤液抽取至调节池中,在此过程中渗滤液剧烈搅动,促进了 NH₃ 在水相内和气液两相界面的扩散和传质^[20,21]. 因此,渗滤液调节池处 NH₃ 浓度与调节池潜水泵是否工作有很大关系,同时受渗滤液调节池构筑物密封程度影响. 几次采样期间调节池潜水泵均未工作,且调节池上方仅有简陋遮阳棚、四周为开放状态,因此测试浓度水平仅代表粗放管理模式下渗滤液调节池 NH₃ 排放水平.

2.2 下风向 NH₃ 浓度特征分析

研究在监测工艺关键点的同时,在垃圾填埋场

图3 工艺关键点 NH_3 排放浓度水平Fig. 3 NH_3 emission level of key processes

厂界下风向和厂界外扇形布点,每层布置3个采样点.两个垃圾填埋场的每层采样点 RSD 均小于 14.21% 和 7.92%,平行性较好.为方便表示,填埋作业面的横坐标均以 -50 表示.6月18日和7月9日两次阴雨天气,监测数据偏低.结果如图4所示.

图4 阿苏卫垃圾填埋场和田各庄垃圾填埋场
 NH_3 浓度扩散水平Fig. 4 NH_3 concentration diffusion level in Asuwei Landfill and Tianghezhuang Landfill

2.2.1 阿苏卫垃圾填埋场

厂界处与填埋作业面 NH_3 浓度相比下降较为明显,下降比率超过 38.83%.阿苏卫垃圾填埋场规模较大,研究期内垃圾填埋作业面与厂界下风向采样点距离较远,填埋作业面至厂界监测点 NH_3 浓度下降较快,厂界至 100 m 监测点的 NH_3 浓度下降速率变缓.厂界外 100 m 处与填埋作业面相比 NH_3 浓度平均下降 55.34%,300 m 处平均下降 69.90%.

由于采样日的填埋作业面 NH_3 浓度和气象扩散条件不同,垃圾填埋场 NH_3 浓度扩散曲线有一定差异,厂界外 300 m 处浓度趋于一致,范围在 0.041~0.096 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.阴雨天气时 NH_3 浓度也在此范围内,不受工艺关键点和厂界浓度偏低影响.根据北京市环境保护监测中心数据,2015 年北京市城市

环境大气中 NH_3 平均浓度为 0.020 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.厂界外 300 m 处浓度高于北京市平均值 1~4 倍.

2.2.2 田各庄垃圾填埋场

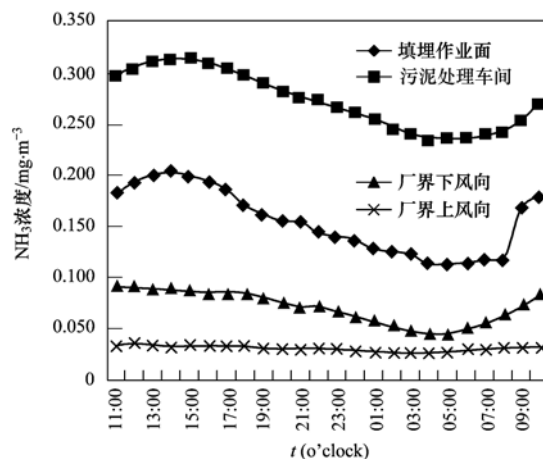
田各庄垃圾填埋场厂界处 NH_3 浓度有高于填埋作业面浓度或是下降不明显的情况,下降比例为 13.39%.在厂界外 100 m 处 NH_3 浓度平均下降到 0.088 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$,与填埋作业面浓度相比平均降低了 62.50%.

田各庄垃圾填埋场作业面距离厂界较近,厂界建有围墙,污染物受围墙影响形成累积,在厂区内可以闻到明显的臭味.厂界外下垫面为开阔农田,扩散条件良好, NH_3 浓度衰减迅速.厂界外扩散条件良好和场区内的构筑物布局恰当有利于减轻垃圾填埋场 NH_3 排放造成的影响.

两个垃圾填埋场在厂界外 100 m 处 NH_3 平均浓度接近,说明两个垃圾填埋场对周边环境的影响程度相当.应根据下垫面实际情况,布点监测厂界外一定距离的污染物浓度,进一步评价垃圾填埋场产生的气态污染物在环境空气中的扩散衰减情况和对周边环境的影响程度.由文献[22],环境空气中氨的嗅觉阈值为 0.114 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.除两次阴雨天气外,厂界处的 NH_3 浓度均高于这一限值,至厂界外 300 m 处 NH_3 浓度衰减至嗅觉阈值以下.

2.3 日变化规律

2015 年 12 月 16~18 日分别对阿苏卫垃圾填埋场和田各庄垃圾填埋场的工艺关键点、厂界上风向和厂界下风向的 NH_3 环境空气浓度进行逐小时采样监测(图5和图6),记录气象数据,研究 NH_3 环境空气浓度的 24 h 变化规律,探究其气象影响因素.

图5 阿苏卫垃圾填埋场 NH_3 浓度日变化Fig. 5 Daily variation of NH_3 concentration in Asuwei Landfill

2.3.1 工艺关键点和厂界 NH₃ 浓度 24 h 变化

两个垃圾填埋场的工艺关键点 NH₃ 浓度呈现日间高,夜间低的特点. 14:00~16:00 NH₃ 浓度处于峰值,04:00~06:00 NH₃ 浓度处于谷值. 填埋作业在 22:00~次日 07:00 停止,污泥处理车间为 24 h 连续工作,因此由于工况不同,污泥处理车间 NH₃ 浓度变化率小于填埋作业面,浓度变化曲线相对平稳. 填埋作业面上两个采样点的 NH₃ 浓度在 09:00 后有较大抬升. 一方面由于此时温度升高速率高于其他时段,垃圾的 NH₃ 产生量增加;另一方面此时垃圾的填埋作业量处于较高水平,垃圾转运站运送来的垃圾在卸载、翻动和填埋等操作下,加速了待填埋垃圾和垃圾填埋层中 NH₃ 的逸散.

垃圾填埋场厂界下风向 NH₃ 浓度受填埋场内工艺关键点的影响,同样具有日间浓度高于夜间的特点. NH₃ 浓度的峰值和谷值分别出现在 14:00 和 04:00 时左右,峰谷值浓度如表 3 所示. 日间 07:00 后 NH₃ 浓度上升较快,14:00 左右到达峰值,之后缓慢下降. 因此环保部门对垃圾填埋场厂界浓度监测执法时应选择 14:00 左右采样,方能最大程度地反映其对周边环境的影响程度.

本研究还对厂界外上风向位置的 NH₃ 浓度进行 24 h 逐小时采样检测,结果显示上风向处日间夜

间 NH₃ 浓度变化不大,受填埋场内部工艺关键点影响较小. 日平均浓度波动小于 0.010 mg·m⁻³.

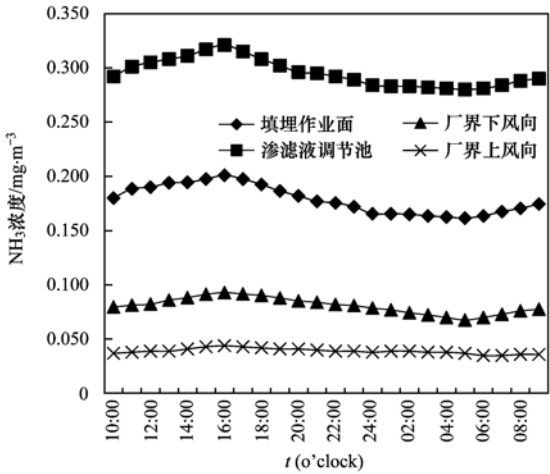


图 6 田各庄垃圾填埋场 NH₃ 浓度日变化
Fig. 6 Daily variation of NH₃ concentration in Tiangezhuang Landfill

阿苏卫垃圾填埋场作业面浓度昼夜差高于田各庄垃圾填埋场. 阿苏卫垃圾填埋场采样日风速较大,扩散条件优于田各庄垃圾填埋场采样日,厂界下风向浓度受填埋作业面影响较大,两个垃圾填埋场均显示作业面和厂界下风向的 NH₃ 浓度下降率比较接近.

表 3 垃圾填埋场的 24 h NH₃ 浓度峰谷值

Table 3 Maximum and minimum of NH ₃ concentration in 24 h in landfills								
采样点	NH ₃ 浓度/mg·m ⁻³	填埋作业面	污泥处理车间	厂界下风向	厂界上风向	温度/℃	风速/m·s ⁻¹	天气
阿苏卫	峰值	0.204	0.313	0.092	0.037	2	10	晴
	谷值	0.113	0.235	0.046	0.027	-7	1	
	下降率/%	45.10	24.92	50.00	27.03	—	—	
		填埋作业面	渗滤液调节池	厂界下风向	厂界上风向	温度/℃	风速/m·s ⁻¹	天气
田各庄	峰值	0.201	0.321	0.093	0.044	4	4	晴
	谷值	0.162	0.28	0.068	0.035	-7	1	
	下降率/%	19.40	12.77	26.88	20.45	—	—	

2.3.2 工艺关键点、厂界 NH₃ 浓度与气象因素关系

本文研究工艺关键点附近 NH₃ 浓度与温度、湿度的关系(表 4). 用 SPSS 软件做 Pearson 相关性分析,判断影响工艺关键点 NH₃ 浓度的主要气象因素.

采样时间为 12 月中旬,采样日气温为 -7~4℃. 随着地表温度的上升,微生物的反应活性增加,垃圾中有机物的发酵反应速率增加,NH₄⁺-N 转化生成 NH₃ 的速率增加,同时温度的升高还对 NH₃ 挥发逸散起到积极作用^[23~25].

相对湿度的变化主要是由于太阳辐射减少,地

表温度下降,水汽无法经蒸腾进入大气层,而滞留在近地面的空气中. 由于 NH₃ 极易溶于水的性质和化学平衡规律,认为相对湿度较高时可能不利于 NH₃ 的挥发. 从相关性角度分析,填埋作业面和污泥处理车间的 NH₃ 浓度与相对湿度存在负相关关系.

温度与工艺关键点的 NH₃ 浓度水平呈显著正相关,湿度与工艺关键点的 NH₃ 浓度水平呈显著负相关,是其主要气象影响因素,张晶^[9]的研究也呈现相似规律. 天气晴好时,太阳辐射使地表温度升高,相对湿度受太阳辐射和温度影响,与温度呈显著

负相关。6月18日和7月9日两次阴雨天气时,相对湿度增加而温度仍保持较高水平,NH₃浓度监测

结果明显偏低,表明温度和相对湿度均是影响垃圾填埋场工艺关键点的主要影响因素。

表4 Pearson相关性分析

Table 4 Pearson correlation analysis

项目	温度		相对湿度	
	<i>P</i>	Sig.	<i>P</i>	Sig.
阿苏卫工艺关键点 NH ₃ 浓度	0.977	0.000	-0.951	0.000
田各庄工艺关键点 NH ₃ 浓度	0.929	0.000	-0.939	0.000

3 结论

(1)天气晴好的条件下,垃圾填埋场填埋作业面浓度平均为 0.268 mg·m⁻³,污泥处理车间为 0.246 mg·m⁻³,渗滤液调节池为 0.290 mg·m⁻³,可代表北京市生活垃圾填埋场的 NH₃ 排放水平。

(2)垃圾填埋场厂界 NH₃ 浓度和厂界外 NH₃ 扩散衰减速率受工艺关键点浓度和扩散条件影响。两家垃圾填埋场的厂界下风向 NH₃ 平均浓度为 0.172 mg·m⁻³,厂界外 100 m 处为 0.090 mg·m⁻³。在厂界外 300 m 处 NH₃ 浓度趋于一致,关键点浓度和气象条件影响减少。

(3)工艺关键点 NH₃ 浓度呈现日间高,夜间低的特点,分别在 14:00~16:00 和 04:00~06:00 达到峰值和谷值。厂界外下风向监测点受此影响表现出相似规律。

(4)温度和相对湿度是影响垃圾填埋场工艺关键点的主要气象影响因素,阴雨天气时监测结果明显偏低。

4 建议

(1)阴雨天气对垃圾场填埋场的 NH₃ 浓度水平有较大影响,数值偏低 50% 以上,监测时应避开类似天气。

(2)垃圾填埋场监测时应当选择 14:00~16:00 采样,方能最大程度代表 NH₃ 排放情况和对周边环境的影响程度。

(3)污泥处理车间的废气有组织排放虽然流量小,但 NH₃ 浓度远高于其他工艺关键点,监管部门应增加对该排气筒的废气监测,督促运营单位安装废气处理设施。

(4)垃圾填埋场的规模和堆体高度不同、下垫面扩散条件不同,在监测过程中,仅由厂界下风向 NH₃ 环境浓度不能完全代表该垃圾填埋场的对周边环境的影响程度,应根据实际情况适当增加厂界外 100 m 或 300 m 等监测点位,完善垃圾填埋场 NH₃

对周边环境影响的监测评估。

参考文献:

[1] 贾子利. 北京市生活垃圾分类及处置方式研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.

[2] 张倩, 刘茂. 垃圾填埋场恶臭气体的扩散规律研究[J]. 安全与环境学报, 2010, 10(6): 133-136.

Zhang Q, Liu M. Research on the diffusion law of odor from landfill site[J]. Journal of Safety and Environment, 2010, 10(6): 133-136.

[3] 胡斌. 垃圾填埋场恶臭污染解析与控制技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

[4] 邓利群, 李红, 柴发合, 等. 北京东北部城区大气细粒子与相关气体污染特征研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(7): 1064-1070.

Deng L Q, Li H, Chai F H, et al. The pollution characteristics of the atmospheric fine particles and related gaseous pollutants in the northeastern urban area of Beijing[J]. China Environmental Science, 2011, 31(7): 1064-1070.

[5] 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[J]. Waste Management, 2012, 32(2): 317-326.

[6] 王俊君, 赵卫锋. 生活垃圾填埋场中恶臭气体的季节变化特点[J]. 广东化工, 2014, 42(19): 127-129.

Wang J J, Zhao W F. The seasonal variation characteristics of odor gas in domestic waste landfill sites [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2014, 42(19): 127-129.

[7] 李元元, 吴健萍, 齐长青, 等. 垃圾填埋场恶臭气体排放影响因素的研究[J]. 环境卫生工程, 2010, 18(3): 7-9.

Li Y Y, Wu J P, Qi C Q, et al. Influencing factors of odor emission in waste landfill sites [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2010, 18(3): 7-9.

[8] 刘杰云, 况福虹, 唐傲寒, 等. 不同排放源周边大气环境中 NH₃ 浓度动态[J]. 生态学报, 2013, 33(23): 7537-7544.

Liu J Y, Kuang F H, Tang A H, et al. Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7537-7544.

[9] 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.

[10] GB 14554-1993, 恶臭污染物排放标准[S].

[11] HJ/T 55-2000, 大气污染物无组织排放监测技术导则[S].

[12] 奚旦立, 孙裕生. 环境监测[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.

[13] 强娟, 都国标, 韩靖, 等. 恶臭源厂界空气中恶臭物质监测技术要点及结果分析探讨——以西安市某大型垃圾填埋场为例[J]. 中国环境监测, 2012, 28(1): 81-84.

Qiang J, Du G B, Han J, et al. A study on the key monitoring

- techniques and the analysis of the results in odor source boundry air taking a large scale garbage landfill in Xi'an for example[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2012, **28**(1): 81-84.
- [14] HJ 534-2009, 环境空气 氨的测定 次氯酸钠-水杨酸分光光度法[S].
- [15] 张红玉, 邹克华, 杨金兵, 等. 厨余垃圾堆肥过程中恶臭物质分析[J]. *环境科学*, 2012, **33**(8): 2563-2568.
Zhang H Y, Zou K H, Yang J B, *et al.* Analysis of odor pollutants in kitchen waste composting [J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(8): 2563-2568.
- [16] Burton S A Q, Watson-Craik I A. Ammonia and nitrogen fluxes in landfill sites: applicability to sustainable landfilling [J]. *Waste Management & Research*, 1998, **16**(1): 41-53.
- [17] 贺琪, 李国学, 张亚宁, 等. 高温堆肥过程中的氮素损失及其变化规律[J]. *农业环境科学学报*, 2005, **24**(1): 169-173.
He Q, Li G X, Zhang Y N, *et al.* N loss and its characteristics during high temperature composting [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, **24**(1): 169-173.
- [18] 邓特刚. 污泥脱水机房恶臭扩散分布规律及控制研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.
- [19] 刘瓚. 污泥干燥处理中典型恶臭的释放特点[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [20] 席劲瑛, 胡洪营, 罗彬, 等. 城市污水处理厂主要恶臭源的排放规律研究[J]. *中国给排水*, 2006, **22**(21): 99-103.
Xi J Y, Hu H Y, Luo B, *et al.* Odorants emission characteristics in a municipal wastewater treatment plant[J]. *China Water & Wastewater*, 2006, **22**(21): 99-103.
- [21] 肖峰. 浅谈垃圾填埋场渗滤液处理工艺和方式[J]. *环境科学与管理*, 2008, **33**(8): 187-191.
Xiao F. Preliminary discussion on the treatment arts and method of landfill leachate[J]. *Environmental Science and Management*, 2008, **33**(8): 187-191.
- [22] 加藤龙夫, 石黑智彦, 重田芳广, 著. 董福来, 荆治严, 李桂琴, 译. 恶臭的仪器分析[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
- [23] 李海玲. 我国典型城市生活垃圾填埋场温室气体甲烷排放特征研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [24] 周渭. 垃圾填埋场温室气体甲烷排放量观测与预测[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [25] 刘鸿霆. 某垃圾填埋场甲烷释放速率研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.

CONTENTS

Air Pollutant Emission Inventory and Impact of Typical Industries on PM _{2.5} in Chengde	CHEN Guo-lei, ZHOU Ying, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (4069)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Woodwork-making Industry in Zhejiang Province	YAO Yi, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (4080)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Shanxi Province	YAN Yu-long, PENG Lin (4086)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of High Pollution Process at Chemical Industrial Area in Winter of China	GAO Song, CUI Hu-xiong, FU Qing-yan, <i>et al.</i> (4094)
Study and Application of Test Method for VOCs Emission Factor of Refueling in Service Station	HUANG Yu-hu, CHANG Yao-qing, REN Bi-qi, <i>et al.</i> (4103)
NH ₃ Emission Characteristics in Landfill Sites in Beijing	CUI Tong, LI Jin-xiang, YANG Yan-yan, <i>et al.</i> (4110)
Inventory and Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emission in Xi'an	SU Hang, YAN Dong-jie, HUANG Xue-min, <i>et al.</i> (4117)
Pollution Characteristics of Non-methane Hydrocarbons During Winter and Summer in Foshan City	ZHOU Xue-ming, XIANG Ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (4124)
Water-soluble Inorganic Ions in the Road Ambient Atmospheric Particles of Tianjin	ZHAO Meng-xue, WU Lin, FANG Xiao-zhen, <i>et al.</i> (4133)
Characteristics of Nitrogen Deposition in Daiyun Mountain National Nature Reserve	YUAN Lei, LI Wen-zhou, CHEN Wen-wei, <i>et al.</i> (4142)
Microbial Activity in Bioaerosols in Winter at the Coastal Region of Qingdao	MENG Xiang-bin, LI Meng-zhe, LI Hong-tao, <i>et al.</i> (4147)
Molecular and Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Smoke from Maize Straw Combustion	LIU Gang, SUN Li-na, XU Hui, <i>et al.</i> (4156)
Gas Transfer Velocity of CH ₄ at Extremely Low Wind Speeds	ZHANG Cheng, LÜ Xin-biao, LONG Li, <i>et al.</i> (4162)
Spectral Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (DOM) from a Typical Reservoir Lake from Inland of Three Gorges Reservoir Areas: In the View of Riparian Ecosystem Analysis	CHEN Xue-shuang, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (4168)
Characteristics and Pollution Source Analysis of Nutrients in Tributary Outlets of Xitaoxi Watershed	CHEN Shi-wen, YUAN Xu-yin, JIN Jing, <i>et al.</i> (4179)
Analysis of Driving Factors on the Nitrogen Decrease in the Early Stage of the Thermal Stratification in Main Area of Zhoucun Reservoir	ZHANG Chun-hua, HUANG Ting-lin, FANG Kai-kai, <i>et al.</i> (4187)
Characteristics of Organic Phosphorus Fractions in the Sediments of the Black Water Aggregation in Lake Taihu	DONG Dan-ping, ZHANG Ting-xi, ZHANG Ding-yu, <i>et al.</i> (4194)
Impacts of Multiple Disturbance on Migration and Transformation of Endogenous Phosphorus in Lake	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, WANG Ren, <i>et al.</i> (4203)
Change of Soil Nitrogen Leaching with Summer Maize Growing Periods Under Plastic Film Mulched Cultivation in Danjiangkou Reservoir Area, China	WANG Wei, YU Xing-xiu, HAN Qiang, <i>et al.</i> (4212)
Nutrients Recovery on the Growth of Nitrogen and Phosphorus Starved <i>Microcystis aeruginosa</i>	YUE Dong-mei, LI Jie, XIAO Lin (4220)
Inactivation Efficiency and Mechanism of Three Dominant Fungal Spores in Drinking Groundwater by Chlorine	WEN Gang, ZHU Hong, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (4228)
Effect of Water Treatment Process on the Bacterial Multidrug Resistance in Drinking Water	MA Xiao-lin, LU Yang, WANG Yu, <i>et al.</i> (4235)
Characteristics of Disinfection By-products and Genotoxicity During Drinking Water Disinfection with Potassium Monopersulfate Compound Powder	AO Xiu-wei, LI Hao-jie, LIU Wen-jun, <i>et al.</i> (4241)
Heterogeneous Activation of Peroxymonosulfate with Three-dimensional Ordered Mesoporous Co ₃ O ₄ for the Degradation of Rhodamine B	FENG Shan-fang, DENG Si-ping, DU Jia-wen, <i>et al.</i> (4247)
Enhanced Mitigation of Membrane Fouling by Regulations on Floc Morphology in Electrocoagulation	ZHAO Kai, YANG Chun-feng, SUN Jing-qiu, <i>et al.</i> (4255)
Effect of Initial pH on Nitrogen Removal Performance and N ₂ O Emission of a Sequencing Batch CANON Reactor	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, SU Xue-ying, <i>et al.</i> (4261)
Operational Characteristics of the Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal and Removal of Phthalate Esters by Three-dimensional Biofilm-electrode Coupled with Iron/Sulfur Reactor	ZHANG Ya, HAO Rui-xia, XU Peng-cheng, <i>et al.</i> (4268)
Phosphorus Removal Mechanism of Sulfur/Sponge Iron Composite Fillers Based on Denitrification	FAN Jun-hui, HAO Rui-xia, LI Meng, <i>et al.</i> (4275)
Optimization of Denitrifying Phosphorus Removal Performance Based on ABR-MBR Combined Process	CHENG Chao-yang, ZHAO Shi-hui, LÜ Liang, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Moderate and Room Temperature on Nitrogen Removal in PN-ANAMMOX Process	YUAN Yan, ZHU Liang (4289)
Influence of Biological Activated Carbon on Simultaneous Nitrification and Denitrification in Inflow with Different C/N Ratios	CUI Yan-ni, QIU Xin, ZHANG Qing-rong, <i>et al.</i> (4296)
Biotransformation of Nitrate to Nitrogen Gas Driven by ANAMMOX Microbes via Zero-valent Iron Under Anaerobic Conditions	ZHOU Jian, WANYAN De-qing, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4302)
A Comparative Study on Performance of an Intermittent Aeration SBR and a Traditional SBR for Treatment of Digested Piggery Wastewater	DONG Bao-gang, SONG Xiao-yan, LIU Rui, <i>et al.</i> (4309)
Biological Pre-treatment of Surplus Sludge Using the Protease-secreting Bacteria	HE Pin-jing, WANG Ying, HU Jie, <i>et al.</i> (4317)
Transfer and Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers in an Electrical Equipment Dismantling Area Using a Multimedia Fugacity Model	XUE Nan-dong, CHEN Xuan-yu, YANG Bing, <i>et al.</i> (4326)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Environmental Media in Nanning City	MIAO Ying, KONG Xiang-sheng (4333)
PBDEs Levels in House Dust and Human Exposure to PBDEs via Dust Ingestion in Hangzhou	JIN Man-tong, TENG Dan-dan, ZHENG Yan-xia, <i>et al.</i> (4341)
Evaluating Biochar-Water Sorption Coefficients of Pharmaceutically Active Compounds by Using a Linear Free Energy Relationship	WANG Jia-yi, BI Er-ping (4349)
Characteristics of Bacterial Communities in Surface-flow Constructed Wetlands	WEI Jia-ming, CUI Li-juan, LI Wei, <i>et al.</i> (4357)
Community Structure and Activity Analysis of the Nitrifiers in Raw Sewage of Wastewater Treatment Plants	YU Li-fang, DU Qian-qian, FU Xue-tao, <i>et al.</i> (4366)
Effects of Fertilization on Soil Microbial Abundance and Community Structure at DNA and cDNA Levels in Paddy Soils	WANG Cong, WU Ne, HOU Hai-jun, <i>et al.</i> (4372)
Effects of Bisphenol A on Characteristics of Paddy Soil Microbial Community Under Different Cultural Conditions	LIU Chang, HUANG Ya-dan, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (4380)
Identification of a Facultative Bacterium Strain with the Ability to Methylate Mercury Under Both Aerobic and Anaerobic Conditions	TAO Lan-lan, XIANG Yu-ping, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4389)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Vegetable Soils in Beijing	ZHANG Lan-he, WANG Jia-jia, HA Xue-jiao, <i>et al.</i> (4395)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Sika Deer Farm	HUANG Fu-yi, AN Xin-li, CHEN Qing-lin, <i>et al.</i> (4402)
Comparison of Toxic Effect of Siliceous Mineral Dusts on Lung Epithelial A549 Cells	HUO Ting-ting, DONG Fa-qin, DENG Jian-jun, <i>et al.</i> (4410)
Effect of Adding Compound Adsorbent on Phenanthrene and Cr(VI) Absorption by Lou Soil	LI Wen-bin, MENG Zhao-fu, WU Qiong, <i>et al.</i> (4419)
Effect of Biochar on Adsorption Behavior of Nonylphenol onto Loess Soil in Northwest China	ZHANG Zhen-guo, JIANG Yu-feng, MU Zhong-feng, <i>et al.</i> (4428)
Soil Respiration in Response to Different Ridge/Furrow Ratios and Its Relationship with Soil Moisture and Temperature Under Ridge-Furrow Planting Patterns	WANG Chang-jiang, SHI Cheng-xiao, FENG Fan, <i>et al.</i> (4437)
Effects of Straw in Combination with Reducing Fertilization Rate on Soil Nutrients and Enzyme Activity in the Paddy-Vegetable Rotation Soils	HUANG Rong, GAO Ming, WAN Yi-lin, <i>et al.</i> (4446)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

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 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 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)

2016年11月15日 第37卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 11 Nov. 15, 2016

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	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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	中国国际图书贸易集团有限公司 (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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行