

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第10期

Vol.39 No.10

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国典型城市环境大气挥发性有机物特征比值	王鸣, 陈文泰, 陆思华, 邵敏 (4393)
2015年北京大气 VOCs 时空分布及反应活性特征	张博韬, 安欣欣, 王琴, 闫贺, 刘保献, 张大伟 (4400)
北京市建筑类涂料 VOCs 排放清单编制技术方法及应用	邓子钰, 高美平, 王庆玮, 聂磊 (4408)
基于实测的建筑类涂料挥发性有机物 (VOCs) 含量水平及组分特征	高美平, 邓子钰, 聂磊, 邵霞, 安小栓 (4414)
2014~2016年京津冀沿山城市空气质量首要污染物特征分析	王晓彦, 王帅, 朱莉莉, 许荣, 李健军 (4422)
北京市大气环境 PM _{2.5} 和 PM ₁ 及其碳质组分季节变化特征及来源分析	樊啸辰, 郎建奎, 程水源, 王晓琦, 吕喆 (4430)
南京春季北郊地区大气 PM _{2.5} 中主要化学组分及碳同位素特征	周一鸣, 韩珣, 王瑾瑾, 陈善莉, 沈潇雨, 章炎麟, 朱彬, 郭照冰 (4439)
热脱附法快速分析大气细颗粒物中非极性有机物	马英歌, 吴霞, 彭梦梦, 冯加良, 郁建珍, 乔利平, 周敏, 朱书慧, 李莉 (4446)
杭州市空气细颗粒物浓度与哮喘就诊人次的关系	王安旭, 陈曦, 宋从波, 应颂敏, 李倩, 吴琳, 毛洪钧 (4457)
基于远程通讯技术的混动公交车 SCR 系统运行及 NO _x 排放特征	杨强, 胡馨遥, 黄成, 陈昀, 刘佳栋, 李莉, 熊忠亮, 唐伟 (4463)
基于环境风险排序的流域优先污染物筛选	李奇峰, 吕永龙, 王佩, 张悦清 (4472)
重庆远郊丰都雪玉洞流域大气无机氮湿沉降变化特征与来源分析	段世辉, 蒋勇军, 张远瞩, 胡刘婵, 曾泽, 吕现福 (4479)
黑龙江凉水国家级自然保护区大气氮沉降特征	宋蕾, 田鹏, 张金波, 金光泽 (4490)
脱甲河水系 N ₂ O 关键产生过程及氮素来源探讨	赵强, 吕成文, 秦晓波, 吴红宝, 万运帆, 廖育林, 鲁艳红, 李健陵 (4497)
生物炭添加对曝气人工湿地脱氮及氧化亚氮释放的影响	王宁, 黄磊, 罗星, 梁岩, 王燕, 陈玉成 (4505)
黑麦草对水体中镉-壬基酚复合污染的生理响应及修复	史广宇, 李中义, 张路, 程媛媛, 陈宏伟, 施维林 (4512)
城市黑臭水体的吸收特性分析	丁潇蕾, 李云梅, 吕恒, 朱利, 温爽, 雷少华 (4519)
岷江上游水体中 DOM 光谱特征的季节变化	范诗雨, 秦纪洪, 刘堰杨, 孙辉 (4530)
防渗型生物滞留中试系统降雨径流水质与三维荧光特征	林修咏, 王书敏, 李强, 谢云成 (4539)
基于δ ¹⁵ N和δ ¹⁸ O的农业区地下河硝酸盐污染来源	盛婷, 杨平恒, 谢国文, 洪爱花, 曹聪, 谢世友, 时伟宇 (4547)
垃圾填埋场地下水溶解性有机物光谱特征	彭莉, 虞敏达, 何小松, 刘思佳, 张鹏 (4556)
铅负载颗粒沸石改良底泥对水中磷酸盐的吸附行为	梁舒静, 林建伟, 詹艳慧, 汪振华, 李雅灵, 何思琪, 陈海洋, 唐凤霞, 李志强 (4565)
基于紫外光谱分析的腐殖质混凝控制	张北辰, 张晓蕾, 秦兰兰, 黄海鸥 (4576)
AAO 工艺联合臭氧削减污水中微量有机污染物及遗传毒性	李默, 汪震哲, 陈志强, 温沁雪 (4584)
抗生素抗性基因在两级废水处理系统中的分布和去除	李奥林, 陈吕军, 张衍, 代天娇, 田金平, 刘锐, 温东辉 (4593)
磁性壳聚糖凝胶球固定厌氧铁氨氧化菌对废水氨氮去除的影响	刘志文, 陈琛, 彭晓春, 谢武明, 黄镇扬, 韩庆吉 (4601)
海藻糖强化厌氧氨氧化耦合反硝化工艺处理高盐废水的脱氮除碳效能	杨振琳, 于德爽, 李津, 王晓霞, 冯莉 (4612)
低温下 A ² /O-BAF 反硝化除磷脱氮特性	黄剑明, 赵智超, 郑隆举, 邵兆伟, 安芳娇, 陈永志 (4621)
O ₃ -BAC 深度处理石化废水厂尾水的特性及菌群结构分析	张超, 单明皓, 许丹宁, 古明哲, 代蓓蓓, 纪轩, 孙井梅 (4628)
基于 MBR 不同种泥短程硝化启动的微生物群落结构分析	吴鹏, 陈亚, 张婷, 沈耀良, 徐乐中 (4636)
3 种不同工艺切换下活性污泥菌群结构及代谢产物对污泥沉降性能的影响	温丹丹, 袁林江, 陈希, 王洋, 申童童, 刘小博 (4644)
硫酸盐还原菌活性污泥胞外聚合物对环丙沙星的吸附机制	张会群, 贾妍艳, 方荷婷, 阴琳婉, 吕慧 (4653)
包埋活性污泥反硝化性能的快速提高及群落分析	杨宏, 徐富, 孟琛, 苏姗, 袁星 (4661)
中国粮食主产区耕地土壤重金属时空变化与污染源分析	尚二萍, 许尔琪, 张红旗, 黄彩红 (4670)
典型区土壤重金属空间插值方法与污染评价	马宏宏, 余涛, 杨忠芳, 侯青叶, 曾庆良, 王锐 (4684)
秸秆与化肥减量配施对菜地土壤温室气体排放的影响	黄容, 高明, 黎嘉成, 徐国鑫, 吕盛, 罗梅 (4694)
不同肥料施用对设施蔬菜地 NH ₃ 挥发和 N ₂ O 排放的影响	山楠, 韩圣慧, 刘继培, 陈清, 袁玉玲, 王立刚, 李虎 (4705)
施肥类型和水热变化对农田土壤氮素矿化及可溶性有机氮动态变化的影响	田飞飞, 纪鸿飞, 王乐云, 郑西来, 辛佳, 能惠 (4717)
长期不同施肥量对全程氨氧化细菌丰度的影响	王梅, 王智慧, 石孝均, 蒋先军 (4727)
典型绿洲不同土壤类型有机碳含量及其稳定碳同位素分布特征	陈新, 贡璐, 李杨梅, 安申群, 赵晶晶 (4735)
凹凸棒石及其改性材料对土壤镉生物有效性的影响与机制	陈展祥, 陈传胜, 陈卫平, 焦文涛 (4744)
天然有机物活化过硫酸盐降解土壤有机污染物效果	刘琼枝, 廖晓勇, 李尤, 龚雪刚, 曹红英, 罗俊鹏 (4752)
水分管理和外源硒对水稻吸收累积铅的影响	万亚男, 刘哲, Aboubacar Younoussa Camara, 余垚, 王琪, 李花粉 (4759)
窖水中微生物降解污染物的关键细菌	杨浩, 杨晓妮, 张国珍, 王宝山, 张翔, 李健 (4766)
砷氧化菌对胡敏酸络合 As(Ⅲ) 的氧化作用	李泽姣, 崔岩山, 尹乃毅, 蔡晓琳, 都慧丽, 王鹏飞 (4778)
海域高温油田 1 株耐高温耐盐硫酸盐还原菌的筛选与生理特性及活性抑制	杨春璐, 苑美玉, 史荣久, 闫鹏举, 赵峰, 韩斯琴, 张颖 (4783)
1 株耐盐异养硝化-好氧反硝化菌 <i>Zobellella</i> sp. B307 的分离及脱氮特性	白洁, 陈琳, 黄潇, 胡春辉, 赵阳国, 李岍然 (4793)
1 株镰刀菌属 KY123915 的分离及其对 17β-雌二醇的降解特性	吴蔓莉, 祝长成, 祁燕云, 时艺馨, 徐会宁, 杨瑾如 (4802)
氟喹诺酮对垂直流人工湿地性能及微生物群落的影响	李新慧, 郑权, 李静, 王晓慧, 海热提 (4809)
林可霉素菌渣堆肥微生物群落多样性分析	任省涛, 郭夏丽, 芦阿度, 张倩倩, 郭笑盈, 王岩, 王连忠, 张宝宝 (4817)
DEP 对蚯蚓抗氧化酶系的影响及 DNA 损伤	平令文, 李现旭, 张翠, 宋佩佩, 王金花, 朱鲁生, 王军 (4825)
生活垃圾焚烧灰灰矿物学特性及重金属分布	李建陶, 曾鸣 (4834)
《环境科学》征订启事 (4429) 《环境科学》征稿简则 (4471) 信息 (4529, 4777, 4816)	

北京市建筑类涂料 VOCs 排放清单编制技术方法及应用

邓子钰^{1,2}, 高美平², 王庆玮³, 聂磊^{2*}

(1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2. 北京市环境保护科学研究院, 城市大气挥发性有机物污染防治技术与应用北京市重点实验室, 北京 100037; 3. 北京市顺义区环境保护局, 北京 101300)

摘要: 掌握建筑类涂料挥发性有机物 (VOCs) 的排放特征是环境管理部门制定控制策略的前提。本研究基于实测获得建筑内外墙及防水涂料本地化排放因子, 基于行业调研确定该类涂料活动水平获取途径, 结合北京市建筑竣工面积, 提出建筑类涂料 VOCs 排放清单编制方法, 据此估算 2015 年北京市建筑内外墙及防水涂料的 VOCs 排放量, 并分析其空间分布特征。结果表明: ①北京市 2015 年建筑内外墙及防水涂料共排放 VOCs 约 $6\,914.2\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 其中墙面涂料和防水涂料排放量分别为 $2\,394.9\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $4\,519.3\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 分别占 34.6% 和 65.4%; ②在空间分布上, VOCs 排放主要集中在城市发展新城区及朝阳区, 其中通州区最大, 约占 13.2%, 昌平区、朝阳区次之, 分别占 11.8% 和 10.5%; ③实施《室内装饰装修材料-内墙涂料中有害物质限量》(GB 18582-2008) 及《建筑用外墙涂料中有害物质限量》(GB 24408-2009) 等国家标准的管控情景下, 2015 年北京市建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放量相比于未管控情景下减少了 $8\,954.2\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$; ④建筑类涂料 VOCs 含量限值进行管控能够有效控制 VOCs 的排放量, 建议各地环境管理部门综合考虑行业技术发展水平和空气质量改善需求, 适时制修订标准。

关键词: 建筑涂料; 挥发性有机物; 排放因子; 排放清单; 编制方法

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)10-4408-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201801087

Research and Application of the Technical Method for the Compilation of VOCs Emission Inventories from Architectural Coatings in Beijing

DENG Zi-yu^{1,2}, GAO Mei-ping², WANG Qing-wei³, NIE Lei^{2*}

(1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. Beijing Key Laboratory of Urban Atmospheric Volatile Organic Compounds Pollution Control and Application, Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 3. Beijing Shunyi District Environmental Protection Bureau, Beijing 101300, China)

Abstract: VOCs (volatile organic compounds) are important precursors of ozone and secondary organic aerosols in the atmosphere, which increase atmospheric oxidation, creating pollutants such as photochemical smog, fine particulate matter and so on. This study documented information about architectural coating VOC emission characteristics to facilitate formulation of control strategies by environmental management departments. This research was based on measured data for architectural wall and waterproof coatings to identify localized emission factors, used industry research to compile additional information, and was combined with the Beijing completed building inventory, to develop a compilation method for VOC emissions from architectural coatings. According to the above research to estimate VOC emissions of the interior wall, exterior wall and waterproof coatings in 2015, analysis of the spatial distribution of VOCs was performed and VOC emissions were estimated under two conditions regarding whether to limit the content of hazardous substances in architectural coatings from 2002-2015. The results show that ①VOC emissions from the Beijing architectural wall and waterproof coating was about $6\,914.2\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ in 2015. The emissions from wall paint and waterproof coating were $2\,394.9\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ and $4\,519.3\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, accounting for 34.6% and 65.4%, respectively. ②The spatial distribution of VOC emissions showed that emissions were mainly concentrated around the new cities being developed in the Chaoyang and Tongzhou districts. The district with the highest VOC emission is Tongzhou District, where the proportion of emission is about 13.2%. Following it are the Changping and Chaoyang districts, respectively, at 11.8% and 10.5%. ③In 2015, because of implementation of the standards < Indoor decorating and refurbishing materials-Limit of harmful substances of interior architectural coatings > (GB 18582-2008) and < Limit of harmful substances of exterior wall coatings > (GB 24408-2009), compared to the no control scenario, the VOCs emissions under control scenario was one where VOCs emissions were reduced by $8\,954.2\text{ t}$. ④It follows that environmental management and control of the hazardous substance contents of architectural coatings can effectively control the VOC emission in China.

Key words: building coating; volatile organic compounds (VOCs); emission factors; emission inventory; compilation method

收稿日期: 2018-01-09; 修订日期: 2018-04-01

基金项目: 环境保护部公益性行业科研专项(201509006)

作者简介: 邓子钰(1993~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气挥发性有机污染物, E-mail: zydeng0412@sina.com

* 通信作者, E-mail: nielei@cee.cn

挥发性有机物 (volatile organic compounds, VOCs) 在大气化学反应过程中扮演着重要的角色, 是臭氧和二次有机气溶胶 (SOA) 的重要前体物^[1-5]。同时, 部分 VOCs 具有毒性及致癌性, 在室内环境中, 会对人体产生一定的危害, 影响人体健康^[6]。

随着我国城市化进程的不断加快和建筑业的迅速发展, 我国建筑类涂料产量和消费量均有较大幅度增长, 我国目前已成为世界第一大涂料消费国^[7]。行业统计结果表明, 我国建筑类涂料的产量由 2000 年的 56.3 万 t 增加到 2015 年的 538 万 t, 15 年间增长了 9.6 倍^[8,9]。国内外研究经验表明, 建筑类涂料使用过程中产生的 VOCs 是城市 VOCs 的主要排放源之一, 并且随着工业源的深度治理和移动源强化管控的实施, 建筑类涂料使用过程中产生的 VOCs 在城市 VOCs 排放源中所占比重会进一步增加。

掌握污染源排放特征与建立污染源排放清单是制定大气复合污染控制措施的基础。很多学者针对溶剂使用行业或涂料生产行业 VOCs 排放清单进行过研究^[10], 但是对于建筑类涂料使用过程的 VOCs 排放清单的研究还不够系统。魏巍等^[11]采用排放因子法估算 2005 年中国涂料应用过程 VOC 排放量, 其中建筑涂料分为建筑内墙涂料和建筑其他涂料, 建筑内墙涂料的排放因子为 $180 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 建筑其他涂料的排放因子为 $590 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。目前对于建筑类涂料 VOCs 清单编制的排放因子环保部推荐为水

性涂料 $120 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 溶剂型涂料内墙为 $360 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 外墙及其他涂料为 $450 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。但是根据笔者的行业调研及抽样实测可知, 建筑类涂料的 VOCs 含量普遍低于《大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南》中推荐的排放因子, 据此排放因子估算的建筑涂料 VOCs 排放量会有较大偏差。因此, 本文采用自下而上的方式, 基于实测建筑涂料 VOCs 含量, 采用物料衡算法获得本地化排放因子; 基于建筑涂装面积, 确定行业活动水平获取方法, 提出北京市建筑类涂料 VOCs 排放清单编制方法, 并估算了 2015 年北京市建筑类涂料 VOCs 排放量。同时根据 2002 ~ 2015 年间建筑类涂料使用量及管控政策变化分析了建筑类涂料 VOCs 的变化趋势, 据此评估北京市建筑类涂料管控对策对 VOCs 排放变化趋势的影响。据行业调研可知, 目前市面上建筑类涂料中建筑内外墙涂料及防水涂料消费量占比最高, 因此本研究仅对此三类建筑涂料进行 VOCs 排放量的估算。

1 材料与方法

1.1 样品采集

在北京市进行建筑内外墙涂料及防水涂料的抽样检测, 抽样原则为: 选取北京市内建材超市、建材市场及个人销售点这 3 种档次的销售地点进行涂料的抽样, 在 3 种不同档次的销售地点分别购买不同档次、不同品牌、不同类型及不同功能的建筑涂料进行抽样检测。抽检涂料数量如表 1。

表 1 建筑涂料抽样种类及数量

Table 1 Sampling type and number of architectural coatings

建筑涂料种类	建筑内墙涂料			建筑外墙涂料	建筑防水涂料	
	内墙底漆	内墙面漆	底层处理		水性防水涂料	反应型防水涂料
抽样数量	82	143	91	76	208	121

1.2 样品分析

本研究中内墙涂料检测方法按照《室内装饰装修材料-内墙涂料中有害物质限量》(GB 18582-2008) 中推荐方法进行挥发性有机化合物的检测, 外墙涂料检测方法按照《建筑用外墙涂料中有害物质限量》(GB 24408-2009) 中推荐方法进行挥发性有机化合物的检测, 防水涂料检测方法按照《建筑防水涂料中有害物质限量》(JC 1066-2008) 中推荐方法进行挥发性有机化合物的检测。

1.3 计算方法

本研究采用“排放因子”法计算建筑涂料应用

过程 VOCs 的排放, 如公式(1):

$$E = \sum A_j \times e_j \quad (1)$$

式中, E 为北京市建筑类涂料 VOCs 年排放量, $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$; e_j 为 j 类建筑的排放因子, 即单位建筑面积上建筑涂料释放 VOCs 的量, $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$; A_j 为北京市 j 类建筑年涂装面积, m^2 , 通过北京市统计局数据计算得到。

1.4 活动水平

在我国现有的统计年鉴中, 建筑类涂料的消费量信息未被纳入统计口径, 因此本文将北京市年度建筑涂装面积作为建筑类涂料 VOCs 排放量的估算

的活动水平^[12]。根据北京市统计局的统计年鉴,将建筑类型进行分类,基于对典型建筑的现场调研及专业施工技术人员访谈,确定建筑房屋各类型涂料涂装面积计算公式见表 2。

表 2 各类型建筑房屋涂装面积计算公式

Table 2 Formulae to determine the painted area of various types of building	
建筑房屋涂装类型	涂装面积公式
内墙 ^[13]	各类型建筑房屋内墙涂装面积 = $3 \times$ 建筑竣工面积 $\times k \times v \times g$ 式中, k 为建筑面积的实际利用率, 取 80%; v 为建筑房屋使用内墙涂料的面积占比, 取 84%; g 为内墙涂装市场涂料的份额, 取 80%
外墙 ^[13]	各类型建筑房屋外墙涂装面积 = 年度竣工工程的建筑体积 $\times T_x$ - 屋面面积 式中, T_x 为建筑物形体系数, 取 0.32 年度竣工工程的建筑体积 = 建筑竣工面积 $\times h$ 式中, h 为房屋单层高度, 取 2.6 m 屋面面积 = 建筑竣工面积 / r 式中, r 为容积率, 取 2.5
防水 ^[13]	各类型建筑房屋防水涂装面积 = $n \times$ 建筑竣工面积 $\times q$ + 屋面面积 式中, n 为内墙面积与建筑竣工面积的比值, 取 3.4; q 为建筑房屋室内防水地面面积占比, 取 16%

(1) 各类型建筑房屋内墙涂装面积 本研究假设所有当年竣工房屋不分类型均进行内部装修, 并且根据市场调研数据, 内墙涂装市场涂料的份额为八成左右^[14]。

(2) 各类型建筑房屋外墙涂装面积 根据市场分析数据及行业调研数据, 公寓、别墅、办公楼、商业、非公益用房等建筑房屋的外墙墙面多数采用玻璃幕墙及墙砖装饰, 因此建筑房屋外墙涂装面积仅包括非商品房及商品房住宅中的经济适用房及其他, 并且假设所有建筑房屋屋面均进行防水处理, 因此, 外墙涂料涂装面积不包含屋面面积。

(3) 各类型建筑房屋防水涂装面积 《住宅室内防水工程技术规程》(JGJ 298-2013) 规定所有建筑房屋的卫生间、厨房、设有生活用水点的封闭阳台等均应进行防水设计^[15], 因此本研究假设所有建筑房屋的卫生间、厨房、阳台及屋面均进行防水施工, 并结合已竣工户型图分析, 可知建筑房屋室内防水地面面积占建筑竣工的面积 16% 左右, 并且根据行业专家评估及市场调研数据可知, 水性防水涂料: 反应型防水涂料 = 6: 4。

1.5 排放因子

根据抽样检测数据可知, 目前市面上的建筑涂料 VOCs 含量远小于 GB 18582-2008《室内装饰装修材料-内墙涂料中有害物质限量》中规定的限值, 也远小于环保部《大气挥发性有机物源排放清单编制

技术指南(试行)》中推荐的排放因子^[16], 因此本研究采用“物料衡算法”核算建筑类涂料的排放因子, 将排放因子本地化, 抽检样品 VOCs 含量如图 1 所示。

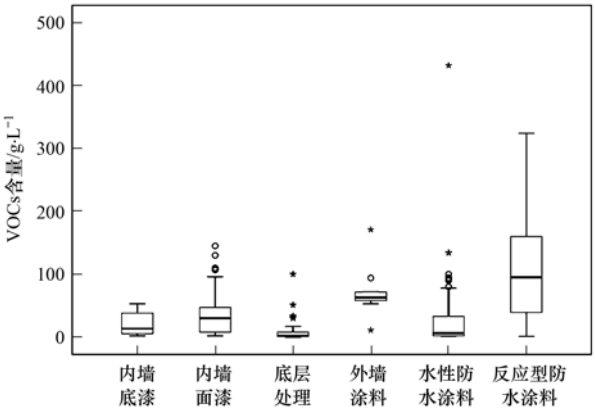


图 1 建筑内外墙及防水涂料 VOCs 含量水平

Fig. 1 VOCs content of various interior and exterior wall and waterproofing coatings

由图 1 可知建筑内外墙涂料及防水涂料 VOCs 含量水平, 其中反应型防水涂料 VOCs 含量水平的变化范围较大, 而且含量水平较高, 而底层处理与外墙涂料的含量水平变化范围较小。根据实测所得各类涂料 VOCs 含量, 结合涂料包装桶上用量建议及经验数据, 可知每平方米所需涂料用量, 计算可得建筑内外墙及防水涂料的排放因子, 如表 3 所示。

表 3 建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放因子

Table 3 VOCs emission factors from various interior and exterior wall and waterproofing coatings						
建筑涂料种类	建筑内墙涂料		建筑外墙涂料	底层处理	建筑防水涂料	
	内墙底漆	内墙面漆			水性防水涂料	反应型防水涂料
VOCs 排放因子/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	1.48	4.24	14.35	23.10	37.42	209.77

2 结果与讨论

2.1 建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放清单

根据上文计算所得排放因子及活动水平数据计算可得 2015 年北京市建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放清单,见图 2。从中可以看出,2015 年北京市建筑内外墙及防水涂料共排放 VOCs 约 6 914.2 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,其中防水涂料贡献值最大,占 65%,防水涂料中反应型防水涂料贡献值最大,占 52%,超过总排放量的一半。目前北京市建筑内外墙涂料已经全面水性化,因此其 VOCs 含量已经相对较低。结合图 1 和图 2 可知,底层处理涂料的 VOCs 含量为所有涂料中最低,但由于底层处理的单位面积涂料用量相比其他涂料为最高,由图可知其在北京市建筑内外墙及防水涂料的 VOCs 排放量中贡献值仅次于反应型防水涂料。

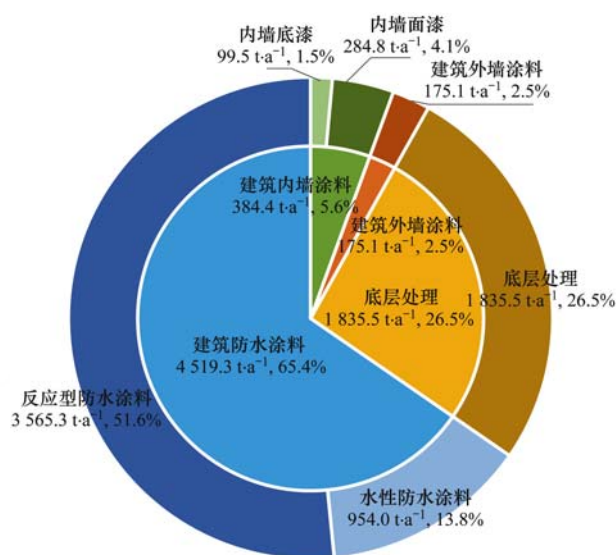


图2 2015年北京市建筑内、外墙及防水涂料 VOCs 排放量

Fig. 2 VOCs emission estimates for interior, exterior walls and waterproofing coatings in Beijing 2015

2.2 空间分布特征

本研究以 2015 年北京市统计年鉴中各区县全社会房屋建筑竣工面积作为分配系数对北京市 2015 年建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放量进行分配,各区县 VOCs 排放量如图 3 所示,建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放主要集中在朝阳区和城市发展新区即房山区、通州区、顺义区、昌平区和大兴区,其中通州区最大,约占 13.2%,昌平区、朝阳区次之,分别占 11.8% 和 10.5%,表明这些区域住宅需求较大,房屋建筑开发体量较大, VOCs 排放量大。

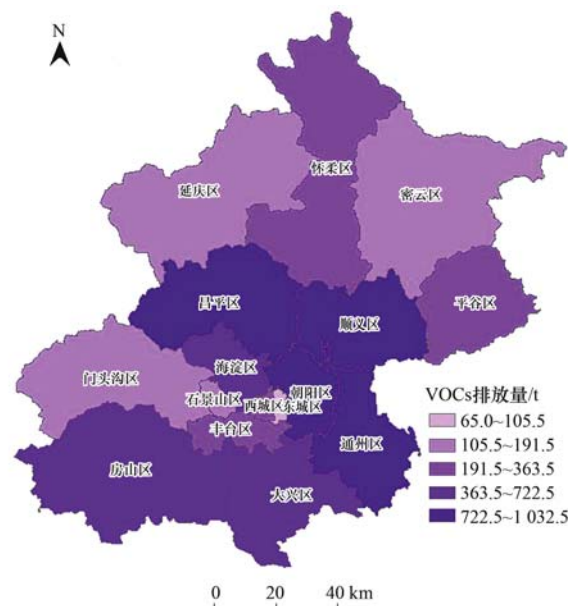


图3 2015年北京市建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of VOCs emission from exterior and interior walls and waterproofing coatings, Beijing 2015

2.3 建筑涂料 VOCs 排放趋势

2001 年发布国标《室内装饰装修材料内墙涂料中有害物质限量》(GB 18582-2001),其中水性内墙涂料 VOCs 含量不得超过 $200 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ [17]; 2002 年发布《环境标志产品认证技术 水性涂料》(HBC 12-2002),其中水性内墙涂料、水性外墙涂料及水性防水涂料等产品的 TVOC 含量分别不得超过 100、200 和 $250 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ [18]; 2005 年发布《环境标志产品认证技术 水性涂料》(HJ/T 201-2005)替代 2002 版本,进一步加严水性内、外墙涂料 VOCs 含量限值至 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $150 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,墙体用底漆不得超过 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,腻子不得超过 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ [19]; 2008 年发布《建筑防水涂料中有害物质限量》(JC 1066-2008)对防水涂料 VOCs 含量进行了限定,水性防水涂料 A 类、B 类 VOCs 含量分别不得超过 $80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $120 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,反应型建筑防水涂料 A 类、B 类 VOCs 含量分别不得超过 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $200 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ [20]; 2014 年发布《环境标志产品认证技术 水性涂料》(HJ 2537-2014)替代 2005 版本,更进一步降低墙底漆、低墙面漆、外墙底漆和外墙面漆含量限值至 50、80、80 和 $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ [21]。

本研究讨论 2002 ~ 2015 年建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放量,但由于无法获得这期间建筑涂料样品 VOCs 含量实测值来计算排放因子,因此本研究基于 2001 ~ 2014 年发布标准中 VOCs 限值来计算每年的排放因子,进一步估算 VOCs 排放量,

并且假设国家未对建筑内外墙及防水涂料的有害物质 VOCs 含量提出限值的情景下对 VOCs 排放量进行估算,将是否有限值要求的两种情景下 VOCs 排放量进行对比,如图 4 所示。

由图 4 可知,若国家未对建筑类涂料的有害物质含量提出限值,北京市建筑类涂料 VOCs 的排放量随着涂料的用量呈现线性增长的趋势,2002 ~ 2015 年的 14 年间,建筑涂料的用量增长了 9.48 万 t,2002 年建筑类涂料 VOCs 排放量为 $17\,467.6\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,2015 年在未管控情景下 VOCs 排放量将增加到 $24\,267.8\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,但在限值管控的情景下,VOCs 排放量减少至 $15\,313.6\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,可见,国家对于建筑类涂料的有害物质含量限值的管控可以有效控制 VOCs 的排放量。

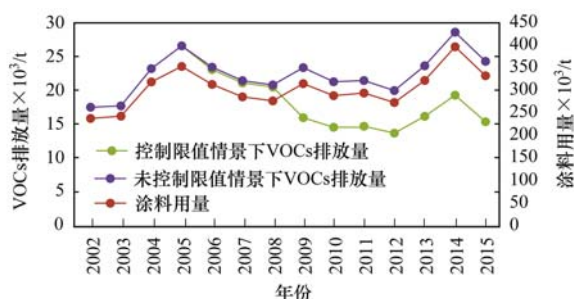


图 4 2002 ~ 2015 年建筑内外墙及防水涂料用量及两种情景下的 VOCs 排放量

Fig. 4 Estimated internal and external wall and waterproof coating dosage for 2002-2015 and two scenarios for VOCs emissions

随着建筑类涂料行业的水性化发展,从行业调研及涂料实测数据可知建筑内外墙及防水涂料 VOCs 含量已远小于标准限值,从本研究根据本土化排放因子计算所得 2015 年建筑类涂料 VOCs 排放量为 $6\,914.2\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,可知建筑类涂料的 VOCs 实际排放量小于建筑类涂料进行 VOCs 含量限值管控情况下的 VOCs 排放量,也远小于根据《大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南》中推荐的排放因子计算所得的 VOCs 排放量,因此应对建筑类涂料 VOCs 排放量计算进行本地化。

2.4 不确定性分析

基于实测的排放因子及活动水平获得的排放清单及空间分布对于了解排放状况具有重要的作用,但是排放因子和活动水平均具有一定的不确定性^[22~25]。对于活动水平数据,是根据建筑竣工面积并结合建筑装修论坛等经验公式进行估算,在实际中会存在一定偏差;对于建筑外墙涂料随着玻璃幕墙及墙砖应用的日益增加,对建筑外墙涂料的用

量会有影响;对于建筑防水涂料,本研究假设仅室内卫生间、厨房、阳台以及建筑屋顶的涂装建筑防水涂料,在实际施工中还会有地下室、泳池等部位使用建筑防水涂料进行防水工程,因此此处对建筑防水面积的估算会存在一定偏差。

对于排放因子,虽然本文的排放因子是根据大量实测数据计算所得的经验系数,但是市面销售使用的建筑内外墙及防水涂料种类繁多,不能一一进行检测,并且很多工程用涂料为点对点供应,无法进行抽样检测,因此建筑内外墙涂料及防水涂料的 VOCs 含量会存在偏差,并且本研究假设 2002 年至今均使用水性涂料,实际上,时至今日仍有少量溶剂型建筑内外墙及防水涂料的应用,因此这会导致估算结果偏低。

实际上建筑类涂料种类繁多,但由于本研究内容有限,本文仅对建筑内外墙涂料、底层处理及防水涂料进行了研究,未对建筑类涂料中的其他涂料进行研究,包括地坪涂料和功能性涂料,而且目前市面上这几类涂料中溶剂型占比较高,因此本研究不能表征市面上的所有建筑涂料的 VOCs 排放。

3 结论

(1) 鉴于编制城市 VOCs 排放清单时,无法直接获取区域建筑类涂料使用量。本研究基于行业调研和统计年鉴,将建筑类型进行分类,基于典型建筑的现场调研及专业施工技术人员访谈,探讨了利用建筑竣工面积核算建筑涂装面积的方法。在此基础上建立了建筑竣工面积作为活动水平数据的排放清单编制方法并将其应用于北京市排放清单的编制。

(2) 北京市建筑内外墙及防水涂料中,建筑防水涂料的 VOCs 排放因子均大于建筑内外墙涂料的 VOCs 排放因子,其中反应型防水涂料的 VOCs 排放因子最大,为 $209.77\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,其次是水性防水涂料,为 $37.42\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

(3) 2002 ~ 2015 年 14 年间,北京市建筑涂料的用量增长了 9.48 万 t,2002 年建筑类涂料 VOCs 排放量为 $17\,467.6\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,在未管控情景下 2015 年的建筑类涂料 VOCs 排放量将增加到 $24\,267.8\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,理论上在限值管控的情景下,VOCs 排放量减少至 $15\,313.6\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,而实际由于建筑类涂料水性化技术的进步,水性化发展远远超过限制管控标准,2015 年北京市建筑内外墙及防水涂料排放 VOCs 约 $6\,914.2\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,由此可知国家对于建筑类

涂料有害物质 VOCs 含量限值的管控能够有效控制 VOCs 的排放量。

(4)2015 年北京市墙面涂料和防水涂料排放量分别为 $2\,394.9\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $4\,519.3\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, 分别占 34.6% 和 65.4%, 防水涂料中反应型防水涂料贡献值最大, 占 52%, 其次为底层处理, 占 27%。

(5)2015 年北京市建筑内外墙及防水涂料 VOCs 排放量主要集中在朝阳区和城市发展新区即房山区、通州区、顺义区、昌平区和大兴区, 其中通州区最大, 约占 13.2%, 昌平区、朝阳区次之, 分别占 11.8% 和 10.5%, 建筑类涂料 VOCs 排放量主要受区域建筑开发体量大小的影响。

(6)北京市应加强对反应型防水涂料的管控, 鼓励涂料企业生产研发低 VOCs 含量的防水涂料, 并且加强建筑类涂料生产、销售、使用全过程监管, 确保北京市在生产、销售和使用的建筑类涂料均符合包装标志的要求。

参考文献:

- [1] 谢旻, 王体健, 江飞, 等. NO_x 和 VOC 自然源排放及其对中国地区对流层光化学特性影响的数值模拟研究[J]. 环境科学, 2007, 28(1): 32-40.
- Xie M, Wang T J, Jiang F, *et al.* Modeling of natural NO_x and VOC emissions and their effects on tropospheric photochemistry in China[J]. Environmental Science, 2007, 28(1): 32-40.
- [2] 邵敏, 董东. 我国大气挥发性有机物污染与控制[J]. 环境保护, 2013, 41(5): 25-28.
- [3] Seinfeld J H, Pankow J F. Organic atmospheric particulate material[J]. Annual Review of Physical Chemistry, 2003, 54: 121-140.
- [4] 尤翔宇, 罗达通, 刘湛, 等. 长株潭城市群人为源 VOCs 排放清单及其对环境的影响[J]. 环境科学, 2017, 38(2): 461-468.
- You X Y, Luo D T, Liu Z, *et al.* Inventory and environmental impact of VOCs emission from anthropogenic source in Chang-Zhu-Tan region[J]. Environmental Science, 2017, 38(2): 461-468.
- [5] 刘芮伶, 李礼, 余家燕, 等. 重庆市夏秋季 VOCs 对臭氧和二次有机气溶胶生成潜势的估算[J]. 环境科学研究, 2017, 30(8): 1193-1200.
- Liu R L, Li L, Yu J Y, *et al.* Estimation of the formation potential of ozone and secondary organic aerosols in summer and autumn in Chongqing[J]. Research of Environmental Sciences, 2017, 30(8): 1193-1200.
- [6] Celebi U B, Vardar N. Investigation of VOC emissions from indoor and outdoor painting processes in shipyards[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(22): 5685-5695.
- [7] 中国环境保护产业协会废气净化委员会, 中国环保产业挥发性有机污染物(VOCs)减排与控制技术创新联盟. 我国建筑涂料行业 VOCs 控制现状调研报告[EB/OL]. <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20151013/671142.shtml>, 2015-10-13.
- [8] 林宜益. 2016 年建筑涂料现状和 2017 年发展趋势[J]. 中国涂料, 2017, 32(3): 27-30.
- [9] 中国涂料工业协会. 2012 年中国涂料工业年鉴[M]. 北京: 中国涂料工业协会, 2013.
- [10] 余宇帆, 卢清, 郑君瑜, 等. 珠江三角洲地区重点 VOC 排放行业的排放清单[J]. 中国环境科学, 2011, 31(2): 195-201.
- Yu Y F, Lu Q, Zheng J Y, *et al.* VOC emission inventory and its uncertainty from the key VOC-related industries in the Pearl River Delta Region[J]. China Environmental Science, 2011, 31(2): 195-201.
- [11] 魏巍, 王书肖, 郝吉明. 中国涂料应用过程挥发性有机物的排放计算及未来发展趋势预测[J]. 环境科学, 2009, 30(10): 2809-2815.
- Wei W, Wang S X, Hao J M. Estimation and forecast of volatile organic compounds emitted from paint uses in China[J]. Environmental Science, 2009, 30(10): 2809-2815.
- [12] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2016.
- [13] 土巴兔论坛装修攻略. 建筑墙面涂装面积[EB/OL]. <http://bbs.to8to.com/forum-81-1.html?fitment/>.
- [14] 2017 中国无纺壁纸原纸市场发展空间分析[EB/OL]. <http://www.chyxx.com/industry/201703/500654.html>, 2017-03-04.
- [15] JGJ 298-2013, 住宅室内防水工程技术规范[S].
- [16] 中国环保部. 大气挥发性有机物源排放清单编制技术指南(试行)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- [17] GB 18582-2001, 室内装饰装修材料内墙涂料中有害物质限量[S].
- [18] HBC 12-2002, 环境标志产品认证技术要求 水性涂料[S].
- [19] HJ/T 201-2005, 环境标志产品技术要求 水性涂料[S].
- [20] JC 1066-2008, 建筑防水涂料中有害物质限量[S].
- [21] HJ 2537-2014, 环境标志产品技术要求 水性涂料[S].
- [22] Tian H Z, Cheng K, Wang Y, *et al.* Temporal and spatial variation characteristics of atmospheric emissions of Cd, Cr, and Pb from coal in China[J]. Atmospheric Environment, 2012, 50: 157-163.
- [23] Tian H Z, Wang Y, Xue Z G, *et al.* Trend and characteristics of atmospheric emissions of Hg, As, and Se from coal combustion in China, 1980-2007[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2010, 10(23): 11905-11919.
- [24] 魏巍, 王书肖, 郝吉明. 中国人为源 VOC 排放清单不确定性研究[J]. 环境科学, 2011, 32(2): 305-312.
- Wei W, Wang S X, Hao J M. Uncertainty analysis of emission inventory for volatile organic compounds from anthropogenic sources in China[J]. Environmental Science, 2011, 32(2): 305-312.
- [25] 薛亦峰, 周震, 钟连红, 等. 北京市混凝土搅拌站颗粒物排放特征研究[J]. 环境科学, 2016, 37(1): 88-93.
- Xue Y F, Zhou Z, Zhong L H, *et al.* Characteristic of particulate emissions from concrete batching in Beijing[J]. Environmental Science, 2016, 37(1): 88-93.

CONTENTS

Ratios of Volatile Organic Compounds in Ambient Air of Various Cities of China	WANG Ming, CHEN Wen-tai, LU Si-hua, <i>et al.</i> (4393)
Temporal Variation, Spatial Distribution, and Reactivity Characteristics of Air VOCs in Beijing 2015	ZHANG Bo-tao, AN Xin-xin, WANG Qin, <i>et al.</i> (4400)
Research and Application of the Technical Method for the Compilation of VOCs Emission Inventories from Architectural Coatings in Beijing	DENG Zi-yu, GAO Mei-ping, WANG Qing-wei, <i>et al.</i> (4408)
Content Levels and Compositions Characteristics of Volatile Organic Compounds(VOCs) Emission from Architectural Coatings Based on Actual Measurement	GAO Mei-ping, DENG Zi-yu, NIE Lei, <i>et al.</i> (4414)
Characteristics of Primary Pollutants of Air Quality in Cities Along the Taihang Mountains in Beijing-Tianjin-Hebei Region During 2014-2016	WANG Xiao-yan, WANG Shuai, ZHU Li-li, <i>et al.</i> (4422)
Seasonal Variation and Source Analysis for PM _{2.5} , PM ₁ and Their Carbonaceous Components in Beijing	FAN Xiao-chen, LANG Jian-lei, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (4430)
Chemical Constitution and Carbon Isotopic Compositions of PM _{2.5} in the Northern Suburb of Nanjing in Spring	ZHOU Yi-ming, HAN Xun, WANG Jin-jin, <i>et al.</i> (4439)
Analysis of Non-polar Organic Compounds in PM _{2.5} by Rapid Thermo-desorption Method Coupled with GC/MS	MA Ying-ge, WU Xia, PENG Meng-meng, <i>et al.</i> (4446)
Association Between Fine Particulate Matter and Asthma Hospital Outpatient Visits in Hangzhou	WANG An-xu, CHEN Xi, SONG Cong-bo, <i>et al.</i> (4457)
Hybrid Electric Bus SCR System Operation and NO _x Emission Characteristics Based on Remote Communication Technology	YANG Qiang, HU Qing-yao, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (4463)
Selection of Priority Contaminants in a Watershed Using Risk Ranking Methodology	LI Qi-feng, LÜ Yong-long, WANG Pei, <i>et al.</i> (4472)
Characteristics and Sources of Atmospheric Inorganic Nitrogen Wet Deposition in Xueyu Cave Watershed, Outer Suburbs of Chongqing City	DUAN Shi-hui, JIANG Yong-jun, ZHANG Yuan-zhu, <i>et al.</i> (4479)
Characteristics of Nitrogen Deposition in Heilongjiang Liangshui National Nature Reserve	SONG Lei, TIAN Peng, ZHANG Jin-bo, <i>et al.</i> (4490)
Key Production Process of Nitrous Oxide and Nitrogen Sources in Tuojia River	ZHAO Qiang, LÜ Cheng-wen, QIN Xiao-bo, <i>et al.</i> (4497)
Impact of Biochar on Nitrogen Removal and Nitrous Oxide Emission in Aerated Vertical Flow Constructed Wetland	WANG Ning, HUANG Lei, LUO Xing, <i>et al.</i> (4505)
Physiological Responses of Ryegrass in Cadmium-Nonylphenol Co-contaminated Water and the Phytoremediation Effects	SHI Guang-yu, LI Zhong-yi, ZHANG Lu, <i>et al.</i> (4512)
Analysis of Absorption Characteristics of Urban Black-odor Water	DING Xiao-lei, LI Yun-mei, LÜ Heng, <i>et al.</i> (4519)
Seasonal Variations of DOM Spectral Characteristics in the Surface Water of the Upstream Minjiang River	FAN Shi-yu, QIN Ji-hong, LIU Yan-yang, <i>et al.</i> (4530)
Water Quality and Three-Dimensional Fluorescence of Stormwater Runoff from Lined Bioretention Field Cells	LIN Xiu-yong, WANG Shu-min, LI Qiang, <i>et al.</i> (4539)
Nitrate-Nitrogen Pollution Sources of an Underground River in Karst Agricultural Area Using ¹⁵ N and ¹⁸ O Isotope Technique	SHENG Ting, YANG Ping-heng, XIE Guo-wen, <i>et al.</i> (4547)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter in Landfill Groundwater	PENG Li, YU Min-da, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (4556)
Adsorption Behavior of Phosphate from Water on Zirconium-loaded Granular Zeolite-amended Sediment	LIANG Shu-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (4565)
Control of Coagulant Dosing for Humic Substances Based on Ultraviolet Spectrum Analysis	ZHANG Bei-chen, ZHANG Xiao-lei, QIN Lan-lan, <i>et al.</i> (4576)
Reduction of Wastewater Organic Micro-pollutants and Genotoxicity in a Hybrid Process Involving Anaerobic-anoxic-oxic and Ozonation Treatments	LI Mo, WANG Zhen-zhe, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (4584)
Distribution and Removal of Antibiotic Resistance Genes in Two Sequential Wastewater Treatment Plants	LI Ao-lin, CHEN Li-jun, ZHANG Yan, <i>et al.</i> (4593)
Effect of Magnetic Chitosan Hydrogel Beads with Immobilized Feamnox Bacteria on the Removal of Ammonium from Wastewater	LIU Zhi-wen, CHEN Chen, PENG Xiao-chun, <i>et al.</i> (4601)
Enhanced Nitrogen and Carbon Removal Performance of Simultaneous ANAMMOX and Denitrification (SAD) with Trehalose Addition Treating Saline Wastewater	YANG Zhen-lin, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (4612)
Characteristics of Denitrifying Phosphorus Removal by A ² /O-BAF at Low Temperatures	HUANG Jian-ming, ZHAO Zhi-chao, ZHENG Long-ju, <i>et al.</i> (4621)
Characteristics of Advanced Treatment of Treated Petrochemical Water by O ₃ -BAC and Analysis of Consortium Structure	ZHANG Chao, SHAN Ming-hao, XU Dan-ning, <i>et al.</i> (4628)
Microbial Community Characteristics of Shortcut Nitrification Start-up in Different MBR-Inoculated Sludges	WU Peng, CHEN Ya, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (4636)
Effect of Microbial Community Structure and Metabolites on Sludge Settling Ability Under Three Different Switching Condition Processes	WEN Dan-dan, YUAN Lin-jiang, CHEN Xi, <i>et al.</i> (4644)
Adsorption Mechanisms of Ciprofloxacin by Extracellular Polymeric Substances of Sulfate-reducing Bacteria Sludge	ZHANG Hui-qun, JIA Yan-yan, FANG He-ting, <i>et al.</i> (4653)
Rapid Improvement of Denitrification Performance of Embedded Activated Sludge and Community Analysis	YANG Hong, XU Fu, MENG Chen, <i>et al.</i> (4661)
Spatial-Temporal Trends and Pollution Source Analysis for Heavy Metal Contamination of Cultivated Soils in Five Major Grain Producing Regions of China	SHANG Er-ping, XU Er-qi, ZHANG Hong-qi, <i>et al.</i> (4670)
Spatial Interpolation Methods and Pollution Assessment of Heavy Metals of Soil in Typical Areas	MA Hong-hong, YU Tao, YANG Zhong-fang, <i>et al.</i> (4684)
Effect of Straw Residues in Combination with Reduced Fertilization Rate on Greenhouse Gas Emissions from a Vegetable Field	HUANG Rong, GAO Ming, LI Jia-cheng, <i>et al.</i> (4694)
Emission of NH ₃ and N ₂ O from Spinach Field Treated with Different Fertilizers	SHAN Nan, HAN Sheng-hui, LIU Ji-pei, <i>et al.</i> (4705)
Effects of Various Combinations of Fertilizer, Soil Moisture, and Temperature on Nitrogen Mineralization and Soluble Organic Nitrogen in Agricultural Soil	TIAN Fei-fei, JI Hong-fei, WANG Le-yun, <i>et al.</i> (4717)
Long-term Fertilization Effects on the Abundance of Complete Ammonia Oxidizing Bacteria(Comammox <i>Nitrospira</i>) in a Neutral Paddy Soil	WANG Mei, WANG Zhi-hui, SHI Xiao-jun, <i>et al.</i> (4727)
Spatial Variation of Soil Organic Carbon and Stable Isotopes in Different Soil Types of a Typical Oasis	CHEN Xin, GONG Lu, LI Yang-mei, <i>et al.</i> (4735)
Effect and Mechanism of Attapulgite and Its Modified Materials on Bioavailability of Cadmium in Soil	CHEN Zhan-xiang, CHEN Chuan-sheng, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (4744)
Persulfate Oxidation Effect of Soil Organic Pollutants by Natural Organic Matters	LIU Qiong-zhi, LIAO Xiao-yong, LI You, <i>et al.</i> (4752)
Lead Uptake and Accumulation in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) with Water Management and Selenite Fertilization	WAN Ya-nan, LIU Zhe, Aboubacar Younoussa Camara, <i>et al.</i> (4759)
Key Bacteria for the Microbial Degradation of Pollutants in Cellar Water	YANG Hao, YANG Xiao-ni, ZHANG Guo-zhen, <i>et al.</i> (4766)
Oxidation of Humic Acid Complexing As(III) by As(III)-Oxidizing Bacteria	LI Ze-jiao, CUI Yan-shan, YIN Nai-yi, <i>et al.</i> (4778)
A Thermotolerant and Halotolerant Sulfate-reducing Bacterium in Produced Water from an Offshore High-temperature Oilfield in Bohai Bay, China: Isolation, Phenotypic Characterization, and Inhibition	YANG Chun-lu, YUAN Mei-yu, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (4783)
Isolation and Nitrogen Removal Characteristics of Salt-tolerant Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacteria <i>Zobellella</i> sp. B307	BAI Jie, CHEN Lin, HUANG Xiao, <i>et al.</i> (4793)
Isolation, Identification and Degradation Characteristics of a 17 β -estradiol Degrading Strain <i>Fusarium</i> sp. KY123915	WU Man-li, ZHU Chang-cheng, QI Yan-yun, <i>et al.</i> (4802)
Effect of Fluoroquinolones on Performance and Microbial Community of a Vertical Flow Constructed Wetland	LI Xin-hui, ZHENG Quan, LI Jing, <i>et al.</i> (4809)
Microbial Community Diversity Analysis During Lincomycin Mycelia Dreg with Manure	REN Sheng-tao, GUO Xia-li, LU A-qian, <i>et al.</i> (4817)
Oxidative Stress and DNA Damage Induced by DEP Exposure in Earthworms	PING Ling-wen, LI Xian-xu, ZHANG Cui, <i>et al.</i> (4825)
Mineralogy Characteristics and Heavy Metal Distribution of MSWI Fly Ash	LI Jian-tao, ZENG Ming (4834)