

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,李迎春,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 Co₃O₄ 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 N₂O 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)

中温变化对 PN-ANAMMOX 联合工艺脱氮效果的影响 袁砚,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非和 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,王伟,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)

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¹, 王浙明², 何志桥¹, 徐志荣^{2*}, 顾震宇²

(1. 浙江工业大学环境学院, 杭州 310014; 2. 浙江省环境保护科学设计研究院, 杭州 310007)

摘要: 以 2015 年 310 家木制品企业调查数据为基础, 分析当前浙江木制品行业 VOCs 污染治理情况, 并筛选出 213 家重点企业, 分析木制品行业污染特征并计算 VOCs 排放系数。结果表明, 浙江 94% 以上的木制品企业未能有效处理 VOCs, 且大部分企业仍使用溶剂型原辅材料, 主要污染因子为二甲苯、乙酸丁酯、乙酸乙酯、甲苯、甲醛等 9 种 VOCs。全省木制品行业 VOCs 排放系数为 $9.34 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$, 其中胶粘工艺排放系数为 $0.95 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$, 涂装工艺为 $9.36 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$; 涂装为主要污染工段, 其中水性(UV) 涂料使用企业排放系数为 $3.10 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$, 溶剂型涂料企业中, 木质家具生产企业排放系数高达 $16.85 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。

关键词: 木制品; 挥发性有机物; 排放系数; 排放特征; 物料衡算; 涂装工艺; 胶粘工艺

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)11-4080-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201604080

Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Woodwork-making Industry in Zhejiang Province

YAO Yi¹, WANG Zhe-ming², HE Zhi-qiao¹, XU Zhi-rong^{2*}, GU Zhen-yu²

(1. College of Environment, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. Zhejiang Province Academy of Environmental Science, Hangzhou 310007, China)

Abstract: To explore the pollution characteristics and emission coefficient of volatile organic compound (VOCs) released from the woodwork-making industry in Zhejiang province, this paper used the survey data of 310 woodwork enterprises obtained in 2015 to analyze the current VOCs treatment status of woodwork-making industry, and further screened 213 key enterprises to study the emission coefficient of woodwork-making industry. The results showed that more than 94% of woodwork enterprises failed to effectively dispose VOCs since most woodwork enterprises did not have treatment facilities. Moreover, solvent-based materials such as adhesive and paint were still commonly used in woodwork-making industry. Meanwhile, the main pollutants of VOCs in woodwork-making industry were dimethyl benzene, butyl acetate, ethyl acetate, toluene and formaldehyde. Furthermore, the VOCs emission coefficient of woodwork-making industry in Zhejiang was $93.4 \text{ g} \cdot (\text{million Yuan})^{-1}$, while it was affected by the production processes, and the VOCs emission coefficient of enterprises using the coating techniques was higher than that using the adhesive techniques, being $93.6 \text{ g} \cdot (\text{million Yuan})^{-1}$ and $9.5 \text{ g} \cdot (\text{million Yuan})^{-1}$, respectively. Furthermore, the major polluting stage of woodwork-making industry was coating stage, and the VOCs emission coefficient was $31.0 \text{ g} \cdot (\text{million Yuan})^{-1}$ when waterborne and UV coating was used. The highest VOCs emission coefficient was from wooden furniture manufacturers, which could reach $168.5 \text{ g} \cdot (\text{million Yuan})^{-1}$ when solvent-based coatings were used.

Key words: woodwork; volatile organic compounds (VOCs); emissions coefficient; emission characteristics; material balance; adhesion process; coating process

浙江省是我国木制品行业高度聚集区,也是长三角地区木质家具的主要产区^[1],其木制品种类繁多,除木质家具外还包括地板门窗、竹制品、木质工艺品及玩具等,因其在生产过程中使用含大量挥发性有机物(VOCs)的涂料、胶粘剂等原辅材料,使其成为 VOCs 排放的重点工业源之一,大量 VOCs 的排放不仅直接影响着员工的身体健康,而且也造成了环境污染^[2],甚至危害居民的人体健康^[3-6]。

为此,建立准确的行业排放清单、制定针对性的标准迫在眉睫。尽管我国已有《室内装饰装修材料溶剂型木器涂料中有害物质限量》(GB 18581-2009)一项强制性标准^[7],以及《室内装饰装修用溶

剂型木器涂料》(HJ/T 414-2007)^[8]、《胶粘剂》(HJ/T 220-2005)^[9]、《水性涂料》(HJ 2537-2014)^[10]、《人造板及其制品》(HJ 571-2010)^[11]、《木质门和钢质门》(HJ 459-2009)^[12]、《木制玩具》(HJ 566-2010)^[13]以及《家具》(HJ/T 303-2006)^[14]等环境标志产品技术要求,对缓解木制品行业大气污染起了一定的积极作用。但仍然缺乏具有针对性的大气排放标准,只能暂援《大气污染物综合排放标准》

收稿日期: 2016-04-11; 修订日期: 2016-05-28

基金项目: 工业企业 VOCs 排放标准研究项目(2013A003); 木制品行业大气污染物排放标准前期研究项目(201601)

作者简介: 姚轶(1992~),男,硕士研究生,主要研究方向为环境政策与标准, E-mail: 360801181@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: zhirong_x@gmail.com

(GB 16297-1996)^[15]. 部分省市针对家具行业出台了相应的地方排放标准,如北京发布了《木质家具制造业大气污染物排放标准》(DB 11/1202-2015)^[16],广东出台了《家具制造行业 VOCs 排放标准》(DB 44/814-2010)^[17]并确定了本省的排放系数,天津市在《工业企业 VOCs 排放控制标准》(DB 12/524-2014)^[18]中对家具制造业进行了规范,另外长三角的江苏省也即将发布家具制造 VOCs 排放标准^[19].

浙江省也开始对木制品行业的 VOCs 进行整治^[20],但仍缺乏对本省木制品行业的大气污染物排放标准和排放系数的研究. 本文正是以浙江省木制品生产企业作为研究对象,基于 2015 浙江省木制品企业调查的基础数据并结合调研获取企业的生产工艺水平,原辅料的使用情况,末端收集处理情况,分析 VOCs 的排放特征,通过物料衡算法计算浙江省木制品行业的 VOCs 排放系数,以期为后期地方标准制定

及相关监管工作的展开提供衡量判断的客观依据.

1 浙江省木制品行业概况

浙江省木制品生产企业数量众多但规模较小,企业的管理和技术水平普遍比较落后,生产中主要以手工为主. 木制品行业 VOCs 的排放主要集中在涂装和胶粘工艺(如图 1),不同的企业在生产过程中可能涉及一个或两个工艺,另外根据产品要求涂装工艺涂布次数也有差异,如家具生产中通常需要经历底涂、中涂、面涂三道涂布工序. VOCs 的排放量不仅与原辅材料中 VOCs 含量密切相关,而且与原辅材料的利用率有关,利用率越高,涂料使用量越少,VOCs 排放量越低. 涂料利用率取决于涂装技术和木制品形状^[21],如辊涂、静电喷涂、刷涂的涂料利用率高于空气喷涂,木地板门窗等形状较规则的木制品涂料利用率较高.

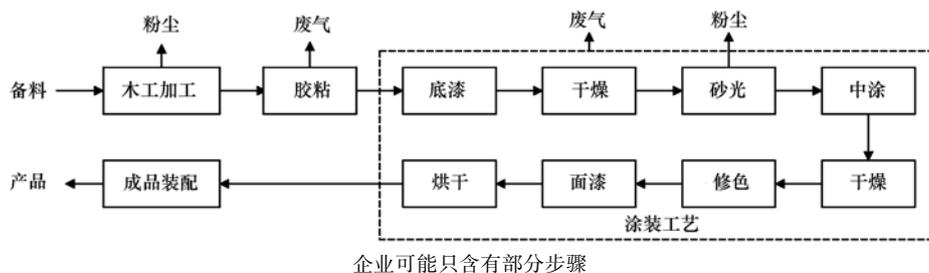


图 1 浙江省木制品生产工艺流程示意

Fig. 1 Process flow chart of woodwork-making in Zhejiang

2 研究对象与数据来源

基于浙江省 2015 年重点行业 VOCs 调查基础数据,共收集了 310 家木制品企业 2014 年全年的基本情况,主要包括产品类型、原辅材料使用情况、废气治理情况、生产总值等,以此分析浙江省木制品行业污染治理情况基本情况. 其中,木质家具生产企业 164 家,地板及门窗生产企业 61 家,竹制品生产企业 36 家,木质玩具及工艺品等生产企业 49 家,涉及使用的原辅材料包括溶剂型涂料,水性涂料,UV 涂料及胶粘剂等,废气治理措施包括水帘吸收,活性炭吸附,低温等离子净化,燃烧处理等. 并从中筛选出重点企业 213 家,以此分析浙江省木制品行业 VOCs 污染特征(原辅材料物质成分)以及初步核算浙江省木制品行业的 VOCs 排放系数.

3 结果与分析

3.1 浙江省木制品行业 VOCs 治理现状

浙江省木制品行业对 VOCs 治理情况如图 2 所

示. 50% 以上的木制品企业无任何收集治理设施, VOCs 以直排或无组织排放的形式进入环境中. 具有治理设施的企业中主要采用水帘吸收和活性炭吸附作为处理手段. 水帘吸收主要用于去除漆雾,但由于绝大部分漆雾中 VOCs 为非水溶性 VOCs,难以被水吸收,因此水帘吸收大部分情况下作用和过滤棉类似,仅适用于作为前处理去除漆雾中的树脂部分,不能有效去除 VOCs,并且水帘吸收中的循环水

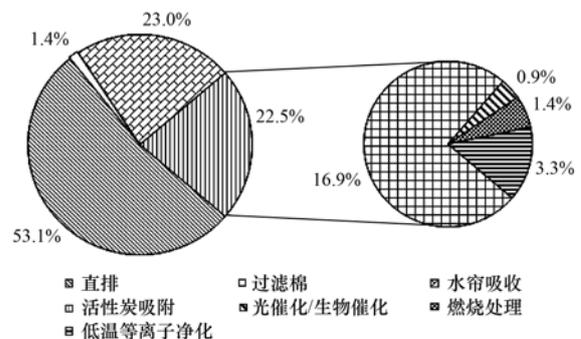


图 2 浙江省木制品行业 VOCs 治理情况

Fig. 2 VOCs treatment status of woodwork-making industry in Zhejiang

在过饱和后也成为了 VOCs 重要排放源. 活性炭初期投入成本较低,但是在吸附饱和后丧失脱除作用需要及时更换,同时废活性炭作为危险废物需要交予有资质单位处理,这就导致了设施的后期成本较高. 企业在安装活性炭吸附设备后不及时更换活性炭,疏于管理,使得治理设施形同虚设^[22-24]. 剩余 5.6% 企业采取了低温等离子净化、催化、燃烧处理等技术,但同样存在设备不运行以及收集措施不到位造成废气无组织排放的现象,因此目前浙江省木制品行业中只有极个别企业对废气进行了较好的收集与治理.

3.2 原辅材料及 VOCs 主要成分

胶粘工艺使用的胶粘剂和涂装工艺使用的涂料以及相应的稀释剂、固化剂是木制品生产中 VOCs 的来源,不同种类原辅材料的 VOCs 含量差异较大. 如水性涂料 VOCs 含量比溶剂型涂料低,根据《水性涂料》(HJ 2537-2014)中对水性涂料 VOC 的限量要求,其 VOCs 含量通常在 10% 左右. 另外,UV 涂料和水性涂料 VOCs 含量相当,因此将二者归为一类涂料,文中以水性(UV)涂料表示. 根据 VOCs(或溶剂)的占比情况,可将木制品行业使用的各类原辅材料做以下划分,如表 1 所示.

表 1 浙江木制品行业各类原辅材料 VOCs 含量情况/%
Table 1 Content of VOCs in the raw materials of woodwork-making industry in Zhejiang/%

原辅材料类别	各类原辅材料中 VOCs 占比					总计
	[0,10%]	(10%,20%]	(20%,50%]	(50%,85%]	(85%,100%]	
胶粘剂	36.59	22.76	21.95	18.70	0.00	100.00
涂料	20.00	13.33	49.57	17.10	0.00	100.00
固化剂	4.07	28.46	52.85	14.63	0.00	100.00
稀释剂	0.00	2.83	4.72	4.72	87.74	100.00

表 1 中,胶粘剂的 VOCs 含量普遍较低,近 60% 的胶粘剂 VOCs 含量在 20% 以下,胶粘剂的种类主要以脲醛树脂胶和白乳胶为主. 涂料的 VOCs 含量普遍高于胶粘剂,VOCs 含量 20% 以上的涂料占了近 70%,这其中主要为溶剂型涂料; VOCs 含量 20% 以下的主要为水性(UV)涂料. 固化剂和稀释剂主要在使用溶剂型涂料时添加,VOCs 含量较高. 约 70% 固化剂的 VOCs 含量在 20% 以上,而约 90% 的稀释剂 VOCs 含量超过了 85% 甚至达到了 100%. 可见,溶剂型涂料及其添加的固化剂、稀释剂是木制品行业 VOCs 的主要来源.

浙江省木制品行业胶粘剂以及各类型涂料的使用情况如图 3. 其中,约 70% 的企业完全使用了溶剂型涂料; 剩余的企业全部或部分使用水性(UV)涂料,其中完全使用水性涂料的企业仅有 3 家. 约 49% 的企业同时使用了胶粘剂和涂料,约 45% 完全使用涂料,仅有 6.10% 全部使用胶粘剂(主要为竹制品企业). 综合表 1 可以发现,大部分企业仍然在使用高 VOCs 含量的原辅材料.

另外,上述原辅材料中所含的物质也十分多样化,包括了酯、醇、酮、醛、苯系物、卤代烃、炔类等 115 种物质. 其中主要以二甲苯、乙酸丁酯、乙酸乙酯、甲苯、甲醛、环己酮、苯乙烯、乙醇、丙二醇这 9 种物质为主,出现频次占总数($N=2131$)的 81% (如图 4); 其中以二甲苯出现频次最高,约占

23.2%,乙酸丁酯和乙酸乙酯分别占 18.2% 和 12.3%,甲苯约占 9.1%. 二甲苯和甲苯主要源于溶剂型涂料的稀释剂; 乙酸丁酯、乙酸乙酯、丙二醇等是目前溶剂型涂料的主要成分,苯已经基本被替代出现频次仅为 0.66%; 乙醇主要少量作为 UV 涂料的稀释剂来使用.

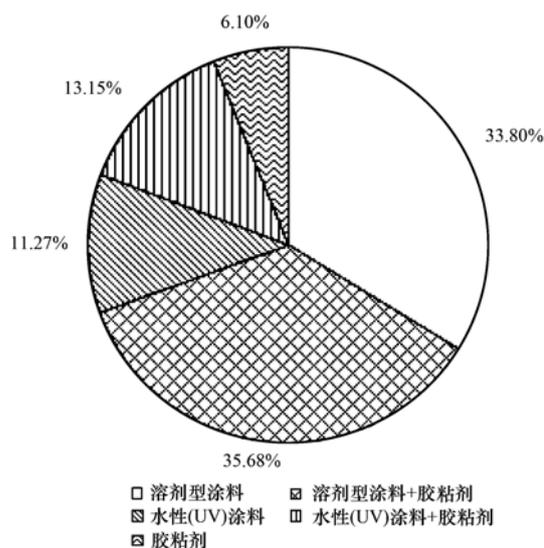


图 3 浙江省木制品行业原辅材料使用情况

Fig. 3 Raw materials of woodwork-making industry in Zhejiang

3.3 木制品行业 VOCs 排放系数

3.3.1 行业 VOCs 排放系数

根据 VOCs 总输入量等于总输出量建立物料衡

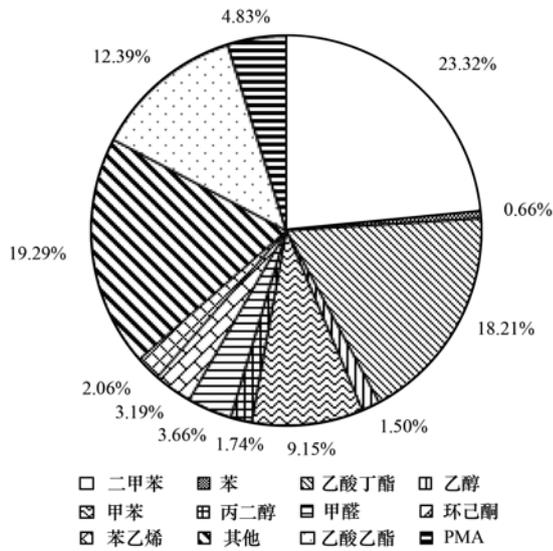


图4 浙江省木制品行业主要污染物出现频次

Fig. 4 Main pollutants of woodwork-making industry in Zhejiang

算关系^[25],计算公式如下:

$$G = P \quad (1)$$

$$G = \sum m_i \times \omega_i \quad (2)$$

式中, G 为VOCs的总输入量(kg), m_i 为油漆、稀释剂、固化剂、胶粘剂等原辅材料的用量(kg), ω_i 为油漆、稀释剂、固化剂、胶粘剂等原辅材料中的VOCs质量分数(%). P 为VOCs的总输出量(kg),即: $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$,其中, P_1 为涂料调配、使用过程中进入大气环境中的VOCs(kg); P_2 为进入水体的VOCs(kg,考虑到水帘难以吸收非水溶性VOCs,且浙江省木制品企业中使用水性涂料的企业较少,水性涂料漆雾的去除量对该类企业排放系数影响较低,因此暂不考虑水性涂料企业的去除率,综上, $P_2 = 0$); P_3 为进入固废的VOCs(kg,指少量调配后未及时使用完的涂料或胶粘剂以及喷漆漆雾形成的固废,由于密封措施在固化过程中VOCs进入

环境中,在固体中的部分可忽略不计, $P_3 = 0$), P_4 为产品残留量(kg,大部分VOCs在烘干过程中大量挥发,只有极少部分在产品运输和销售过程缓慢挥发,因此不计入排放系数计算, $P_4 = 0$).

综合分析可知,输入的VOCs全部进入大气,则 $G = P_1$.若企业安装收集治理设施,则需要考虑收集措施的收集率和治理设施的处理效率,经处理后排入空气中VOCs量按公式(3)计算:

$$G' = G(1 - \eta\theta) \quad (3)$$

式中, θ 为废气收集效率, η 为废气去除设施治理效率(%),若无治理设施或治理设施无效,则 $\eta = 0$.根据浙江省木制品行业的治理现状(如图2),绝大部分的企业无有效的废气治理设施,因此本文计算木制品行业VOCs排放系数时暂不考虑治理设施的影响.

考虑到浙江省木制品行业产品种类繁多,不同种类的木制品大小形状区别较大,造成了涂料和胶粘剂使用量差异较大,不适用以单位产量来给出排放系数,同时由于统计各个产品的表面积较为困难,难以用单位面积来计算.本文将参考文献[27],以产值 α 表示企业的活动水平,用单位产值计算排放系数 f ($\text{kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$),计算公式如下:

$$f = G/\alpha \quad (4)$$

根据上述公式计算,结合相关的重点企业的调查数据,可初步获得浙江木制品行业VOCs排放系数和使用不同类别原辅材料的企业排放系数,如图5(a).同时根据生产工艺区别,也初步确定了胶粘工艺、涂装工艺的VOCs排放系数,如图5(b).

由图5(a)可知,共计213家浙江省木制品工业VOCs的排放系数均值为 $9.34 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$,最高达到 $102 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$.从使用原辅材料方面看,仅使用胶粘剂的企业排放系数均值为 $1.08 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$,仅使用涂料的企业排放系数均值为

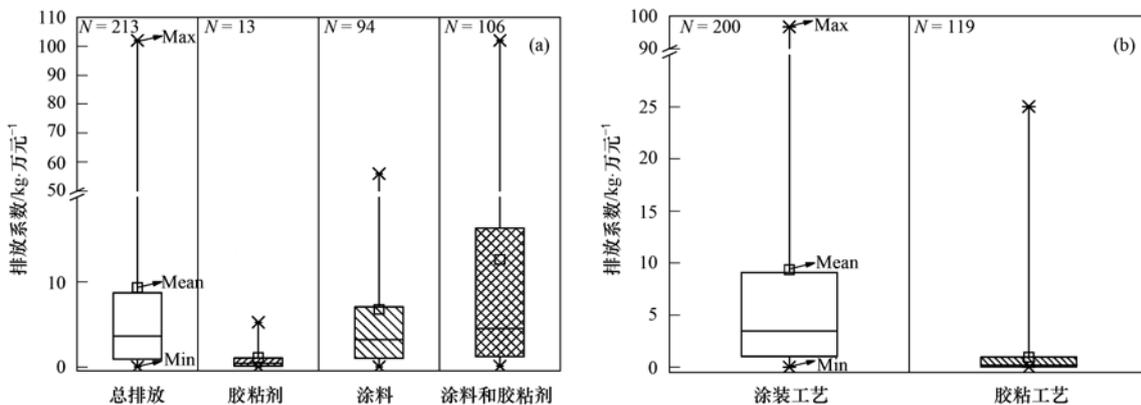


图5 浙江省木制品行业VOCs排放系数情况

Fig. 5 Emission factor of woodwork-making industry in Zhejiang

6.76 kg·(万元)⁻¹,而涂料和胶粘剂同时使用的企业平均排放系数高达 12.64 kg·(万元)⁻¹.由图 5(b)可知,涂装工艺的 VOCs 排放系数均值为 9.36 kg·(万元)⁻¹,最大为 96.7 kg·(万元)⁻¹,胶粘工艺的 VOCs 排放系数均值为 0.95 kg·(万元)⁻¹,最大为 25 kg·(万元)⁻¹.综合图 5 可以发现,涂装工艺是木制品行业 VOCs 的主要来源,其排放量远高于胶粘工艺的 VOCs 排放量,这一方面是由于涂装工艺使用的涂料 VOCs 含量普遍较胶粘剂高,另一方

面是由于涂装过程中为保证涂层厚度需多次涂布.

3.3.2 涂装工艺 VOCs 排放系数

根据图 3 和表 1 可知,溶剂型涂料 VOCs 含量远比水性(UV)涂料高,故分别计算溶剂性和水性(UV)涂料使用企业排放系数,如图 6(a)所示.考虑到浙江省木制品企业以使用溶剂型涂料为主,故进一步将溶剂型涂料使用企业分为木质家具,地板门窗及竹制品,木质玩具及工艺品三类计算排放系数,如图 6(b)所示.

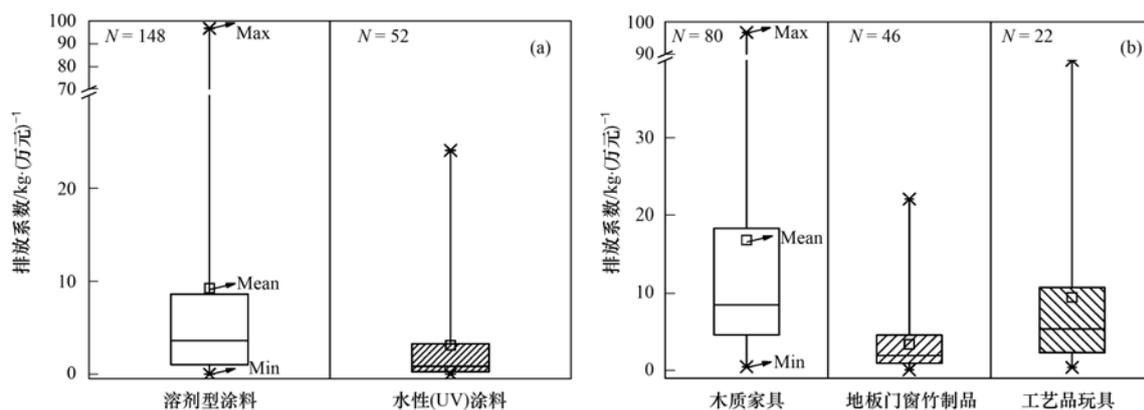


图 6 浙江省木制品行业涂装工艺 VOCs 排放系数情况

Fig. 6 Emission factor of woodwork-coating process in Zhejiang

图 6(a)中,溶剂型涂料使用企业共 148 家排放系数均值为 9.26 kg·(万元)⁻¹,水性(UV)涂料使用企业共 52 家排放系数均值为 3.10 kg·(万元)⁻¹,溶剂型涂料使用企业无论是数量还是 VOCs 排放上都远高于水性(UV)涂料使用企业,尽管水性(UV)涂料使用企业多数只是部分替代了溶剂型涂料,但 VOCs 排放量已得到了有效的削减.由图 6(b)可知,148 家溶剂型涂料使用企业中,木质家具企业数量众多并且其排放系数也是最高的,均值高达 16.85 kg·(万元)⁻¹,这与广东使用溶剂型涂料的木质家具企业 VOCs 排放系数基本相当.而木制玩具及工艺品和地板门窗竹制品的 VOCs 排放较低,排放系数均值分别为 9.44 kg·(万元)⁻¹和 3.40 kg·(万元)⁻¹.综上所述可以发现,使用溶剂型涂料的木质家具企业是浙江省木制品行业 VOCs 的主要排放源.造成该现象的原因如下:①家具多为异形件并且喷涂技术以空气喷涂为主,而地板门窗由于具有大平直的表面可以使用辊涂、淋涂等涂料利用率较高的技术,工艺品等小件木制品则可以采用静电喷涂等技术;②木制玩具(HJ 566-2010)中对木制玩具的 VOCs 释放量做了要求间接限制了生产中涂料的使用量;③竹制品等涂布次数较少,涂料用量少.

另外,虽然本研究未对木制品企业进行相关监测,但从大量调查数据也能较真实地反映当前浙江木制品行业 VOCs 污染状况,也能为后续相关地方标准的制定和排放系数的确定提供理论依据.今后随着浙江木制品行业污染整治的深入开展,木制品行业 VOCs 排放系数将会得到不断的修正与完善.

4 结论

目前浙江省木制品行业 VOCs 基本处于未治理状态,大部分企业以使用溶剂型原辅材料为主;木制品行业 VOCs 主要污染因子为二甲苯、乙酸丁酯、乙酸乙酯、甲苯、甲醛等 9 种物质;浙江木制品行业平均 VOCs 排放系数为 9.34 kg·(万元)⁻¹,其中涂装工艺为 9.36 kg·(万元)⁻¹,胶粘工艺为 0.95 kg·(万元)⁻¹;涂装工艺中水性涂料使用企业排放系数为 3.10 kg·(万元)⁻¹,溶剂型涂料排放系数为 9.26 kg·(万元)⁻¹,其中木质家具生产企业为多且平均排放系数高达 16.85 kg·(万元)⁻¹,是浙江省木制品行业 VOCs 的主要来源.

参考文献:

- [1] 蒋仲义. 浙江省木家具产业概况及产品质量分析[J]. 木材工业, 2011, 25(2): 18-21.
Jiang Z Y. Production and product quality analysis of wood

- furniture made in Zhejiang Province [J]. *China Wood Industry*, 2011, **25**(2): 18-21.
- [2] 王倩, 陈长虹, 王红丽, 等. 上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(2): 424-433.
Wang Q, Chen C H, Wang H L, et al. Forming potential of secondary organic aerosols and sources apportionment of VOCs in autumn of Shanghai, China [J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(2): 424-433.
- [3] Sekizawa I, Ohtawa H, Yamamoto H, et al. Evaluation of human health risks from exposures to four air pollutants in the indoor and the outdoor environments in tokushima, and communication of the outcomes to the local people [J]. *Journal of Risk Research*, 2007, **10**(6): 841-851.
- [4] Jensen L K, Larsen A, Møllhave L, et al. Health evaluation of volatile organic compound (VOC) emissions from wood and wood-based materials [J]. *Archives of Environmental Health*, 2001, **56**(5): 419-432.
- [5] 李雷, 李红, 王学中, 等. 广州市中心城区环境空气中挥发性有机物的污染特征与健康风险评价[J]. *环境科学*, 2013, **34**(12): 4558-4564.
Li L, Li H, Wang X Z, et al. Pollution characteristics and health risk assessment of atmospheric VOCs in the downtown area of Guangzhou, China [J]. *Environmental Science*, 2013, **34**(12): 4558-4564.
- [6] 谢元博, 陈娟, 李巍. 雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM_{2.5}持续暴露的健康风险及其损害价值评估[J]. *环境科学*, 2014, **35**(1): 1-8.
Xie Y B, Chen J, Li W. An assessment of PM_{2.5} related health risks and impaired values of Beijing residents in a consecutive high-level exposure during heavy haze days [J]. *Environmental Science*, 2014, **35**(1): 1-8.
- [7] GB 18581-2009, 室内装饰装修材料 溶剂型木器涂料中有害物质限量[S].
- [8] HJ/T 414-2007, 环境标志产品技术要求 室内装饰装修用溶剂型木器涂料[S].
- [9] HJ/T 220-2005, 环境标志产品技术要求 粘合剂[S].
- [10] HJ 2537-2014, 环境标志产品技术要求 水性涂料[S].
- [11] HJ 571-2010, 环境标志产品技术要求 人造板及其制品[S].
- [12] HJ 459-2009, 环境标志产品技术要求 木质门和钢质门[S].
- [13] HJ 566-2010, 环境标志产品技术要求 木质玩具[S].
- [14] HJ/T 303-2006, 环境标志产品技术要求 家具[S].
- [15] GB 16297-1996, 大气污染物综合排放标准[S].
- [16] DB11/1202-2015, 木质家具制造业大气污染物排放标准[S].
- [17] DB44/814-2010, 家具制造行业挥发性有机化合物排放标准[S].
- [18] DB12/524-2014, 工业企业挥发性有机物排放控制标准[S].
- [19] 江苏省环境保互厅. 关于征求江苏省地方环境保护标准《家具制造行业挥发性有机物排放标准》(征求意见稿)意见的通知[EB/OL]. (2015-01-13). http://www.jshb.gov.cn/jshbw/gsgg/ggtz/201501/t20150113_293344.html.
- [20] 浙江省环境保护厅. 关于印发《浙江省挥发性有机物污染整治方案》的通知(浙环发(2013)54号)[EB/OL]. (2013-11-04). http://www.zjepb.gov.cn/hbtmhwhz/sylm/zxdt/201311/t20131108_312206.htm.
- [21] 罗超, 蔡慧华, 刘玲英. 木质家具制造行业挥发性有机化合物排放现状研究[J]. *广东化工*, 2012, **39**(5): 347-348, 350.
Luo C, Cai H H, Liu L Y. Study on emission pattern of volatile organic compounds from wood furniture manufacturing industry [J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2012, **39**(5): 347-348, 350.
- [22] 栾志强, 郝郑平, 王喜芹. 工业固定源 VOCs 治理技术分析评估[J]. *环境科学*, 2011, **32**(12): 3476-3486.
Luan Z Q, Hao Z P, Wang X Q. Evaluation of treatment technology of volatile organic compounds for fixed industrial resources [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(12): 3476-3486.
- [23] 王海林, 张国宁, 聂磊, 等. 我国工业 VOCs 减排控制与管理对策研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(12): 3462-3468.
Wang H L, Zhang G N, Nie L, et al. Study on control and management for industrial volatile organic compounds (VOCs) in China [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(12): 3462-3468.
- [24] 高宗江, 李成, 郑君瑜, 等. 工业源 VOCs 治理技术效果实测评估[J]. *环境科学研究*, 2015, **28**(6): 994-1000.
Gao Z J, Li C, Zheng J Y, et al. Evaluation of industrial VOCs treatment techniques by field measurement [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, **28**(6): 994-1000.
- [25] 吴洪杰, 刘玲英, 蔡慧华, 等. 珠江三角洲制鞋行业挥发性有机化合物排放系数研究[J]. *中国环境监测*, 2013, **29**(4): 74-78.
Wu H J, Liu L Y, Cai H H, et al. Study on the emission coefficient of VOCs from shoe-making industry in the Pearl River Delta Region [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2013, **29**(4): 74-78.
- [26] 江梅, 张国宁, 魏玉霞, 等. 工业挥发性有机物排放控制的有效途径研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(12): 3487-3490.
Jiang M, Zhang G N, Wei Y X, et al. Emission control way of volatile organic compounds in industry [J]. *Environmental Science*, 2011, **32**(12): 3487-3490.
- [27] 广东省环境保护厅. 关于印发木质家具制造和制鞋行业挥发性有机化合物排放系数使用指南的通知[EB/OL]. http://www.gdep.gov.cn/zwxw_1/zfgw/shbtwj/201311/t20131129_162023.html. 粤环函(2013)944号.

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	LU 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-rui, 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 Piggyery 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