

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第10期

Vol.37 No.10

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

北京地区空气重污染下雾凇和偏东风对 $PM_{2.5}$ 清除作用	孙兆彬, 廖晓农, 王占山, 李梓铭, 赵秀娟, 花丛 (3679)
降雨对不同粒径气溶胶粒子碰撞清除能力	董群, 赵普生, 陈一娜 (3686)
北京冬季雾霾频发期 VOCs 源解析及健康风险评价	刘丹, 解强, 张鑫, 王海林, 闫志勇, 杨宏伟, 郝郑平 (3693)
浙江省制鞋行业挥发性有机物污染特征及其排放系数	徐志荣, 姚轶, 蔡卫丹, 李嫣, 许明珠, 王浙明 (3702)
2014 年 APEC 期间北京市 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 氧化性损伤能力研究	郭茜, 邵龙义, 王文华, 侯聪, 赵承美, 幸娇萍, 马施民 (3708)
武汉市洪山区夏季 $PM_{2.5}$ 浓度、水溶性离子与 PAHs 成分特征及来源分析	孙焰, 祁士华, 张莉, 邢新丽, 杨丹, 胡天鹏, 瞿程凯 (3714)
基于快速聚类方法分析常州市区 $PM_{2.5}$ 的统计特性	王振, 余益军, 徐圆青, 李艳萍, 夏京, 殷磊 (3723)
$PM_{2.5}$ 在线水溶性离子与滤膜采集-实验室检测的比对分析	杨懂艳, 刘保献, 石爱军, 张大伟, 丁萌萌, 周健楠, 富佳明, 景宽 (3730)
树木模拟燃烧排放烟尘中水溶性离子的组成	刘刚, 黄柯, 李久海, 徐慧 (3737)
轻型汽油车排放颗粒物数浓度和粒径分布特征	樊筱筱, 蒋靖坤, 张强, 李振华, 何立强, 吴烨, 胡京南, 郝吉明 (3743)
基于台架测试的我国船用柴油机废气排放因子	邢辉, 段树林, 黄连忠, 韩志涛, 刘勤安 (3750)
西安城区地表灰尘中邻苯二甲酸酯分布、来源及人群暴露	张文娟, 王利军, 王丽, 史兴民, 卢新卫 (3758)
生活垃圾焚烧厂垃圾的汞含量与汞排放特征研究	段振亚, 苏海涛, 王凤阳, 李智坚, 李韶璞, 王书肖 (3766)
三峡库区消落带土壤中硫酸盐还原菌对汞甲基化作用的影响	陈瑞, 陈华, 王定勇, 向玉萍, 申鸿 (3774)
城市化进程对地下河中溶解态正构烷烃来源的影响	廖昱, 孙玉川, 沈立成, 梁作兵, 王尊波 (3781)
基于 PMF 模型的长江流域水体中多环芳烃来源解析及生态风险评价	王成龙, 邹欣庆, 赵一飞, 李宝杰 (3789)
贡嘎山地区地表水化学特征及水环境质量评价	何晓丽, 吴艳宏, 周俊, 邴海健 (3798)
多元数理统计法研究太子河本溪城市段水体 DOM 紫外光谱特征	钱锋, 吴婕, 于会彬, 宋永会, 张美, 孔令昊, 何孟常 (3806)
地下水中溶解性有机物的垂直分布特征及成因	何小松, 张慧, 黄彩红, 李敏, 高如泰, 李丹, 席北斗 (3813)
昆明市不同功能区排水管道沉积物性质	常海东, 金鹏康, 付博文, 李雪兵, 贾锐珂 (3821)
滇池水生植物分布对沉积物间隙水磷浓度的影响	丁帅, 王圣瑞, 张蕊, 肖焱波, 焦立新, 李乐, 王忠诚, 尹诗诗 (3828)
紫色母岩覆盖层控制底泥磷释放的效果及机制	黄雪娇, 石纹豪, 倪九派, 李振轮 (3835)
排水循环灌溉下稻田磷素时空分布特征	焦平金, 许迪, 朱建强, 于颖多 (3842)
快速高效去除微囊藻的 GO/QPEI 复合纳米材料	李洁, 肖琳 (3850)
一体式生物净化-沉淀池对微污染水体污染物的强化去除性能	王文东, 刘荟, 马翠, 韩雨, 常妮妮 (3858)
生物粉末活性炭-超滤组合工艺对微污染水源水中嗅味物质的去除效能及其微生物特性	宣雍祺, 周丽, 邓慧萍, 蔡宙, 李大鹏, 刘刚 (3864)
聚硅酸对不同形态铝沉积行为的影响	赵园园, 张玥, 李素英, 石宝友, 李贵伟, 孙改清 (3870)
典型南方水源氨基酸浓度变化与去除	刘伟, 蔡广强, 卢小艳, 刘丽君, 张金松, 刘嘉祺, 曲莹 (3877)
O_3 /UV 降解含氮杂环化合物喹啉	陈傲蕾, 常凤民, 汪翠萍, 徐恒, 吴静, 左剑恶, 王凯军 (3884)
蒽醌-2-磺酸钠促进 <i>Klebsiella oxytoca</i> GS-4-08 脱色产氢机制与产能分析	胡金梅, 虞磊, 黄天寅 (3891)
2-丁烯醛生产废水中溶解性有机物的分级解析	孙秀梅, 宋广清, 席宏波, 周岳溪, 牛远方 (3899)
不同缺氧段硝酸盐氮浓度条件下连续流单污泥污水处理系统 PHA、TP 代谢	王晓玲, 员东丹, 白莉, 李紫棋, 余勇, 秦旭东, 张晓旭, 赵可 (3906)
长江口邻近海域沉积物中厌氧氨氧化细菌分布特征研究	付璐璐, 甄毓, 贺惠, 张玉, 米铁柱 (3914)
焦化废水活性污泥细菌菌群结构分析	蒙小俊, 李海波, 曹宏斌, 盛宇星 (3923)
黄土高原不同植被类型下土壤细菌群落特征研究	刘洋, 黄懿梅, 曾全超 (3931)
苯酚对活性污泥活性及微型动物群落结构的影响	胡小兵, 饶强, 唐素兰, 姜晶, 谢瑞桃, 郝文静, 钟梅英 (3939)
城市生活污水和生活垃圾渗滤液抗生素抗性基因污染的比较研究	黄福义, 李虎, 安新丽, 欧阳纬莹, 苏建强 (3949)
菌株 <i>Desulfovibrio</i> sp. CMX 的 DNRA 性能和影响因素	谢柄柯, 张玉, 王晓伟, 孙超越, 周集体 (3955)
生活污水灌溉对麦秸还田稻田氨挥发排放的影响	徐珊珊, 侯朋福, 范立慧, 薛利红, 杨林章, 王绍华, 李刚华 (3963)
模拟氮沉降对重庆缙云山马尾松林土壤呼吸和酶活性的季节性影响	曾清苹, 何丙辉, 李源, 夏力文, 杨龙龙, 邓雪梅, 李川 (3971)
生物炭添加和灌溉对温室番茄地土壤反硝化损失的影响	张文娟, 余冬立, Gamareldawla H. D. Agbna, 夏永秋 (3979)
土壤质地对自养固碳微生物及其同化碳的影响	王群艳, 吴小红, 祝贞科, 袁红朝, 隋方功, 葛体达, 吴金水 (3987)
土壤-作物系统中重金属元素吸收、迁移和积累过程模拟	施亚星, 吴绍华, 周生路, 王春辉, 陈浩 (3996)
组配改良剂对稻田系统 Pb、Cd 和 As 生物有效性的协同调控	王英杰, 邹佳玲, 杨文强, 周航, 廖柏寒 (4004)
几种有机物料对设施菜田土壤 Cd、Pb 生物有效性的影响	周贵宇, 姜慧敏, 杨俊诚, 张建峰, 张水勤, 梁雷 (4011)
蒙脱石对有机物料施入土壤磷形态和有效性的影响	宋贤威, 赵秀兰, 张进忠, 胡梦坤, 徐艳昭, 王明禹 (4020)
不同镉浓度及 pH 条件下纳米沸石对土壤镉形态及大白菜镉吸收的影响	秦余丽, 熊仕娟, 徐卫红, 赵婉伊, 王卫中, 陈永勤, 迟芬琳, 陈序根, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体 (4030)
黑麦草和牵牛花对铬耐受能力和积累效果的指标表征研究	董冰冰, 陈友媛, 惠红霞, 陆维佳, 杨秀卿, 刘逸凡 (4044)
挥发性甲基硅氧烷的体外代谢行为	黎敏丹, 郑国贸, 万伟, 胡建英 (4054)
中药渣与城市污泥好氧共堆肥的效能	宿程远, 郑鹏, 阮祁华, 覃菁菁, 卢宇翔, 李俊兵 (4062)
《环境科学》征订启事 (3827)	《环境科学》征稿简则 (4053)
信息 (3736, 3930, 4043)	

浙江省制鞋行业挥发性有机物污染特征及其排放系数

徐志荣¹, 姚轶², 蔡卫丹³, 李嫣⁴, 许明珠¹, 王浙明¹

(1. 浙江省环境保护科学设计研究院, 杭州 310007; 2. 浙江工业大学生物与环境工程学院, 杭州 310014; 3. 台州市环境科学设计研究院, 台州 318000; 4. 浙江中蓝环境科技有限公司, 温州 325000)

摘要: 为探明浙江省制鞋行业挥发性有机物(VOCs)的治理情况、污染特征及其排放系数。本研究以 2015 年浙江省 490 家制鞋企业调查数据为基础, 分析当前浙江制鞋行业污染治理现状; 并进一步筛选 178 家重点企业, 以分析制鞋行业污染特征并核算制鞋企业及其重点工段的 VOCs 排放系数。结果表明, 当前浙江 95% 以上的制鞋企业并未能有效地处理 VOCs, 且大部分(约 90% 左右)仍使用溶剂型原辅材料; 其主要污染因子为甲乙酮、甲苯、丙酮、环己酮、乙酸乙酯等 10 种 VOCs。另外, 全省制鞋行业 VOCs 平均排放系数为 $29.5 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$, 其中注塑工艺为 $23.8 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$, 胶粘工艺为 $35.9 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$; 污染工段主要为刷胶复底, 其排放系数为 $20.8 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$ 。

关键词: 制鞋; 排放系数; 物料衡算; 污染特征; 挥发性有机物; 胶粘工艺; 注塑工艺

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)10-3702-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.10.004

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

XU Zhi-rong¹, YAO Yi², CAI Wei-dan³, LI Yan⁴, XU Ming-zhu¹, WANG Zhe-ming¹

(1. Environmental Science Research and Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China; 2. College of Biology and Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 3. Taizhou Academy of Environment Science Design Research, Taizhou 318000, China; 4. Zhejiang Zhonglan Environmental Technology Co., Ltd., Wenzhou 325000, China)

Abstract: To explore the pollution characteristics and emission coefficient of volatile organic compounds (VOCs) released from the shoe-making industry in Zhejiang province, this paper used the survey data of 490 shoe enterprises obtained in 2015 to analyze the current VOCs treatment status of shoe-making industry, and further screened 178 key enterprises to study the emission coefficient of shoe-making industry. The results showed that more than 95% of shoe enterprises failed to effectively dispose VOCs, because most shoe enterprises did not have treatment facilities. Moreover, solvent-based materials such as adhesive and primer were still commonly used in approximately 90% of shoe-making industry. Meanwhile, the main pollutants of VOCs in shoe-making industry were 2-butanone, toluene, acetone, cyclohexanone, ethyl acetate, xylene, dichloromethane and cyclohexane. Furthermore, the VOCs emission coefficient of shoe-making industry in Zhejiang was 29.5 g^{-1} , while it was affected by the production processes, and the cemented construction techniques was higher than the injection techniques, which VOCs emission coefficients were 35.9 g^{-1} and 23.8 g^{-1} , respectively. Furthermore, the major polluting stage of shoe-making industry was sole attaching, in which VOCs emission coefficient could reach 20.8 g^{-1} .

Key words: shoe-making; emission coefficient; material balance; pollution characteristics; volatile organic compounds (VOCs); cemented construction techniques; injection techniques

制鞋作为一个综合性的、非传统的“高”环境污染行业, 对其环境污染的研究往往着重在职业卫生、职工健康、车间空气质量、有机溶剂成分等方面^[1-6]; 但随着我国大气环境污染问题的日益突出, 对挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)的研究、分析及探讨也日趋增多^[7-11]。制鞋行业作为溶剂使用源, 其高 VOCs 排放也引起了高度的关注^[12-14], 为此部分学者也开展了相应的排放特征、排放系数、健康风险评估等研究工作^[15-19]; 部分省市甚至针对制鞋行业出台了相关 VOCs 污染排放标准、治理技术指南等, 如广东省《制鞋行业挥

发性有机化合物排放标准》(DB 44/817-2010)、《广东省制鞋行业挥发性有机化合物治理技术指南》、北京《大气污染物综合排放标准》(DB 11/501-2007)等^[20-22]。

作为制鞋四大产业集群之一, 且以生产中档鞋为主的浙江, 虽然企业主要集中在温州、台州等地,

收稿日期: 2016-03-28; 修订日期: 2016-05-10

基金项目: 浙江省环保科研计划项目(2013A003, 2014A001); 环境保护公益性行业科研专项(201409008); 浙江省环科院院选项目(201601)

作者简介: 徐志荣(1983~), 男, 博士, 主要研究方向为环境标准制定, E-mail: zhirong.x@gmail.com

但由于产业的高度集聚化、企业规模较小且数量庞大,其排放 VOCs 的总量亦不可忽视。根据《浙江省挥发性有机物污染整治方案》,该行业被列为浙江省 13 个重点 VOCs 排放行业之一^[23],并于 2015 开展相关的调查工作。虽然第一次污染源普查时也对台州温岭地区制鞋行业的产排污进行研究^[24],但考虑到时间久远,且鞋用胶粘剂也发生了较大变化^[25],该产排污系数已不具备代表性且还存在地域的局限性。为此,本研究基于 2015 浙江省制鞋企业调查的基础数据,统计分析当前浙江省制鞋行业污染治理情况,重点企业原辅材料主要成分,以及基于物料平衡初步核算浙江省典型制鞋工艺以及重点工段 VOCs 排放系数,以期为后续浙江省制鞋行业污染整治、地方排放标准制订、排放系数的确定奠定基础。

1 浙江省制鞋行业基本概况

浙江的制鞋主要起源于温州,并在温州形成了

非常完善的生产配套体系,如各类鞋饰品、鞋底、鞋垫等鞋材企业。之后,部分企业转移至临近的台州温岭和丽水青田,两地也逐步形成了集聚区块,并成为当地的支柱性产业。就生产工艺而言(以鞋面与鞋底结合方式来讲),浙江的制鞋行业以胶粘工艺、注塑工艺以及硫化工艺为主。其中硫化工艺主要用于帆布鞋生产,因其所涉及含 VOCs 原辅材料较少,其 VOCs 的污染也相对较小。因此,本研究着重分析胶粘工艺与注塑工艺的 VOCs 污染。此外,从具体的生产工艺来讲,其 VOCs 的排放主要来源于帮面针车、贴底成型两大过程;除此之外还包括鞋底喷光、商标印刷以及部分鞋底生产过程中的喷漆。相关生产工艺流程图如图 1 所示。

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 490 家制鞋企业(涵盖鞋材生产)2014 年全年的基本情况,主要包括原辅材料类型、

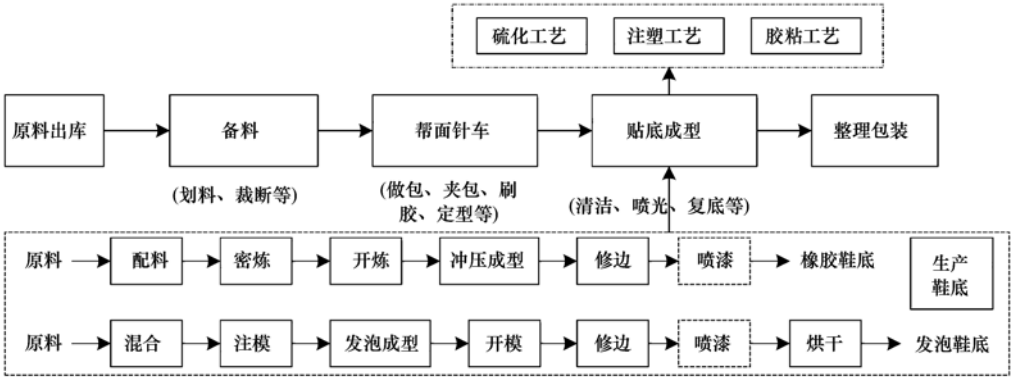


图 1 典型制鞋生产工艺流程示意

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

用量及 VOCs 含量、治理设施情况、全年产品产量等,以此分析浙江省当前制鞋行业污染治理基本情况。并进一步筛选以胶粘、注塑工序为重点企业 178 家,以此分析浙江省制鞋行业污染特征(原辅材料物质成分)以及初步核算浙江省制鞋典型工艺和工段的 VOCs 排放系数。

3 结果与讨论

3.1 浙江省制鞋行业 VOCs 治理现状

图 2 为浙江制鞋企业 VOCs 治理情况。从中可知,75.5% 的制鞋企业并无处理设施,而是以无组织或高空直排的形式排放,剩下 24.5% 的企业则采取了一定的处理措施,主要包括了活性炭吸附、碱吸收、低温等离子、光催化氧化、水喷淋等,其中以活性炭

吸附处理为主,约占所有调查企业的 16.7%,水喷淋约占 2.4%,当然也有少数(仅 3 家)企业采用了活性

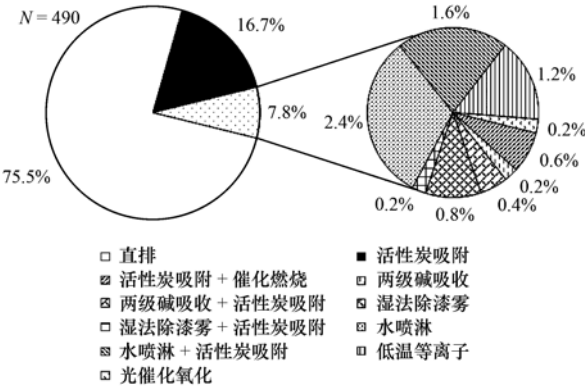


图 2 浙江制鞋行业 VOCs 治理现状

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

炭吸附+催化燃烧处理,但基本未运行.另外,企业主要针对刷胶、烘干、复合、喷漆、硫化等工段设置了处理设施.此外,从图2中也可反映出即便制鞋企业设有末端处理设施,但也存在诸多不规范,如水喷淋+活性炭处理、湿法除漆雾+活性炭吸附等工艺中未设置多级除湿过程,造成活性炭极易饱和而失去活性.除此之外,即便采用了活性炭吸附处理,但实际过程中活性炭往往未进行定期更换,形同虚设.另外,湿法除漆雾中废水也存在未定期更换现象,过度

饱和后反而成为重要的 VOCs 排放源.

3.2 浙江省制鞋行业 VOCs 污染特征

制鞋行业 VOCs 的排放主要源于各类胶粘剂、处理剂、清洗剂等使用.在 178 家重点企业中收集各类胶粘剂、处理剂、清洗剂等共 816 种,根据原辅材料中 VOCs(或溶剂)占比情况以及《鞋和箱包用胶粘剂有害物质限量》(GB 19340-2014)^[26],可将浙江制鞋行业胶粘剂、处理剂、清洗剂等做以下划分,如表 1 所示.

表 1 浙江制鞋行业胶粘剂、处理剂、清洗剂等原辅材料 VOC 所占质量分数/%
Table 1 Content of VOCs in the raw materials of shoe-making industry in Zhejiang/%

项目	胶粘剂、处理剂、清洗剂等 VOCs 占比						
	[0,10%]	(10%,20%]	(20%,50%]	(50%,75%]	(75%,90%]	(90%,95%]	(95%,100%]
分布情况	11.03	3.31	17.77	8.33	25.49	14.34	19.73

表 1 显示,浙江制鞋行业使用 VOCs 质量分数低于 10% 的原辅材料仅占 11.03%,主要为热熔胶.初步可推断,目前浙江制鞋行业水基型原辅材料使用比例较低,仍是以溶剂型原辅材料为主,且存在大量使用高 VOCs 质量分数(>75%)的原辅材料,约占 60%,主要为溶剂型清洁剂、处理剂、包头水及部分胶粘剂;甚至

仍约 20% 的原辅材料 VOCs 含量高于 95%.

另外,除了汽油、多元醇、溶剂油、低烃、石脑油等混合物或聚合物外,上述各类原辅材料中所含的物质种类也十分多样化(合计 1485 项),囊括了烃类、酸、醛、醚、酯、卤代烃、苯系物、呋喃、酰胺类等,共计 60 余种物质,详见表 2.

表 2 浙江制鞋行业污染特征
Table 2 Characteristic of VOCs pollution of shoe-making industry in Zhejiang

类型	物质名称
烃类	丙烷、环氧乙烷、环氧丙烷、正丁烷、正戊烷、异戊烷、甲基环戊烷、正己烷、异己烷、环己烷、甲基环己烷、正庚烷、环庚烷、异庚烷、十二烷
酸类	丙烯酸、乙酸、甲基丙烯酸、三氯异氰酸、邻苯二甲酸
醛类	甲缩醛、甲基乙醛
醚类	丙二醇甲醚、乙二醇单丁醚
酮类	环己酮、丙酮、甲乙酮
酯类	乙酸乙烯酯、乙二醇乙醚乙酸酯、邻苯二甲酸二辛酯、乙酸丁酯、乙酸乙酯、甲苯二异氰酸酯、甲酸丁酯、碳酸二甲酯、异氰酸酯、乙酸甲酯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸丁苄酯、甲基丙烯酸甲酯
醇类	辛醇、1,4-丁二醇、乙醇、甲醇、异丙醇、正丁醇
苯系物	苯、甲苯、二甲苯、三甲苯、苯乙烯、丙苯、丁苯
卤代烃	二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、二氯丙烷、二氟一氯甲烷
其他	N,N-二甲基甲酰胺、N,N-二甲基乙酰胺、乙二胺、四氢呋喃、水合肼

此外,上述各类物质中以甲乙酮(2-丁酮)、甲苯、丙酮、环己酮、乙酸乙酯、二甲苯、二氯甲烷、环己烷、碳酸二甲酯、乙酸乙烯酯等 10 种物质为主,与珠三角地区和浙江早期对胶粘剂的调查结果相类似^[15,27],其出现频次之和约占总数($N=1485$)的 85% 以上(如图 3);其中以甲乙酮为最高,约占 26.2%,甲苯次之,约占 15.8%;丙酮和环己酮分列第三和第四,分别约占 12.8% 和 12.5%,而传统的高毒物质苯的频次仅为 1.1% 左右,意味着当前浙江省制鞋行业所使用的原辅材料较为低毒且企业基本上使用符合环保标准的胶粘剂,与最新的浙江地

区制鞋车间空气中苯系物含量的调查结果也较相一致^[28].

3.3 浙江省制鞋行业 VOCs 排放系数初步估算

3.3.1 制鞋厂 VOCs 排放系数估算

参考文献[15],根据物料平衡关系初步建立浙江制鞋行业胶粘和注塑工艺的 VOCs 排放系数,并根据典型生产工段原辅材料使用情况进一步细化制鞋行业 VOCs 排放系数.相关计算公式如下:

$$G = P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \quad (1)$$

式中, G 为 VOCs 总产生量(kg), P 为 VOCs 的总排放量(kg),其中 P_1 为废气处理前排入空气中的

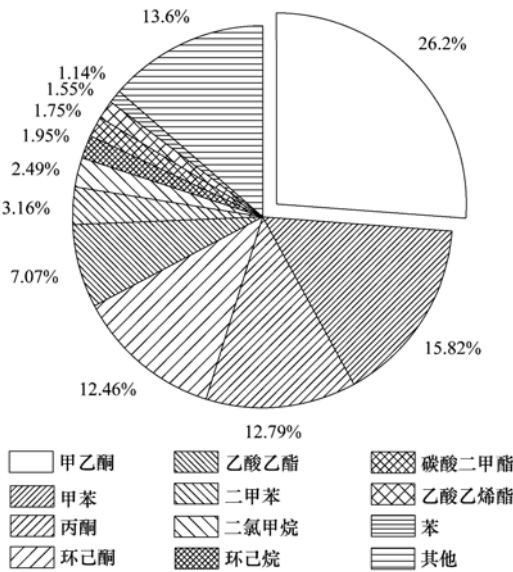


图3 浙江省制鞋行业主要污染物出现频次情况

Fig. 3 Frequencies of main pollutants of shoe-making industry in Zhejiang

VOCs 量(kg), P_2 为排入到水体中的 VOCs 量(kg), P_3 为排入到固废中 VOCs 量(kg), P_4 为产品中 VOCs 的残留量(kg), P_5 为生产过程中的损耗量(kg).

考虑到浙江制鞋行业的情况及行业本身的特殊性,相关参数做以下考虑: ① $P_2 = 0$, 考虑到制鞋行业无水洗环节, 虽然末端治理有采用水喷淋、湿法除漆雾等, 但主要是对 P_1 环节的削减. ② $P_3 = 0$, 一般企业为避免浪费, 胶粘剂等当日调配, 且不使用加盖密封. 部分企业设有喷光(漆)等工序, 过程中除漆雾会产生少量的固废, 对于制鞋厂的排放系数计算时, 此部分可忽略不计. ③ $P_4 = 0$, 成型过程中需要不断加热, 胶粘剂中大部分 VOCs 挥发到空

气中, 后续整理包装过程可能会有部分残留于产品, 但在后续销售和使用过程中进一步挥发排放, 因此可暂忽略产品的残留量. ④ $P_5 = 0$, 生产过程中的损耗, 考虑到胶粘剂、处理剂等均是涂覆在鞋材上, 无洒漏等现象, 但是部分含喷光(漆)的企业, 会有一定的损耗, 但该部分用量相对较少, 对于制鞋厂系数可暂忽略不计.

综上所述, 在对制鞋厂的排放系数计算时, 可认为 VOCs 全部排放到环境空气中, 即 $G = P_1$. 若企业安装处理设施, 则需考虑处理设施的去除效率及废气的收集效率, 经收集处理后排入环境空气的 VOCs 量可根据公式(2)计算.

$$P_k = P_1 \times (1 - \varphi\theta) = G \times (1 - \varphi\theta) \quad (2)$$

式中, θ 为废气收集效率(%), φ 为废气治理设施去除效率(%), 具体可根据企业现场情况、收集设施、处理工艺及相关要求等确定. 考虑到浙江制鞋行业治理设施现状(图2), 直排、治理设施失效、不正常运行等情况(约占95%以上), 因此本研究计算制鞋厂 VOCs 排放系数时默认为企业治理设施去除效率为0, 少量采用合理治理技术且正常运行的企业则以个例对待.

根据制鞋企业的活动生产水平, 可计算制鞋企业 VOCs 排放系数, 如式(3)所示.

$$f_i = \frac{P_{k_i}}{10\alpha_i} = \frac{G_i}{10\alpha_i} \quad (3)$$

式中, f_i 为某制鞋企业 VOCs 排放系数($\text{g} \cdot \text{双}^{-1}$), α_i 为某制鞋企业的活动水平, 即鞋产量(万双).

根据上述公式计算, 结合相关的重点企业的数据, 可初步获得浙江制鞋行业 VOCs 排放系数以及分地区制鞋行业 VOCs 排放系数, 如图4(a)所示. 另外, 根据生产工艺的区别, 也初步确定了胶粘

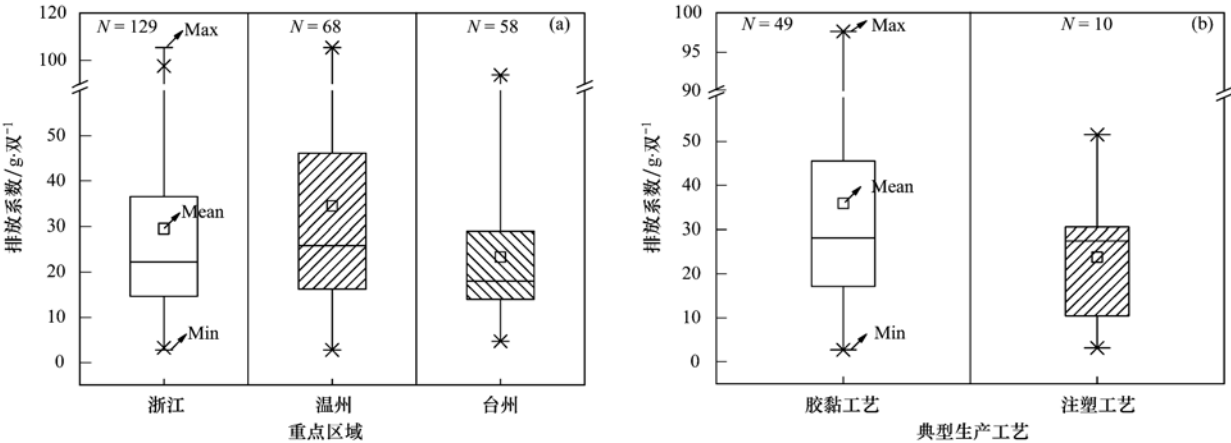


图4 浙江省制鞋行业 VOCs 排放系数情况

Fig. 4 VOCs emission factor of shoe-making industry in Zhejiang

工艺、注塑工艺的 VOCs 排放系数,如表 4(b)所示。

图 4(a)可知,浙江制鞋工业 VOCs 排放系数介于 $2.7 \sim 105.4 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$ 之间,均值为 $29.5 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,与珠三角使用溶剂型胶粘剂的制鞋企业 VOCs 排放系数基本相当^[15],这主要是由于当前浙江的制鞋行业仅有少数企业使用水性胶粘剂,而绝大部分的企业仍是以使用溶剂型胶粘剂为主。另外,该排放系数也超过了欧盟规定的制鞋企业 VOCs 总排放限值 $25 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$ ^[29]。此外,从区域角度来看,温州与台州存在较为明显的差异,其中温州的均值排放系数约为 $34.4 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,高于台州的 $23.3 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,主要是由于两地生产鞋的类型不同而造成的,温州地区以皮鞋为主,而台州地区以运动鞋、休闲鞋为主,也意味着皮鞋生产企业 VOCs 污染相对较高,与欧盟的相关规定较为一致^[30]。对于生产工艺而言[图 4(b)],胶粘工艺的 VOCs 排放系数介于 $2.7 \sim 97.6 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$ 之间,均值约为 $35.9 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,而注塑工艺的生产企业排放系数较低,均值仅为 $23.8 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,这是一方面因为注塑工艺中面底结合过程基本不使用胶粘剂;而另一方面是注塑工艺过程中 VOCs 排放系数难以用注塑原料来计算。

3.3.2 典型生产工段排放系数估算

根据工艺流程图 1,制鞋生产过程中 VOCs 排放主要源于帮面针车、贴底成型等过程,具体生产工段主要为帮面针车的做包和夹包,贴底成型中的刷

胶复底和清洁,根据各个工段原辅材料使用情况,也可计算出主要工段 VOCs 排放系数,如图 5 所示。

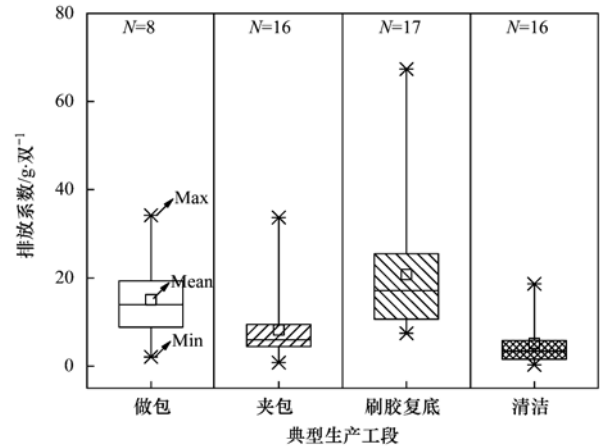


图 5 浙江省制鞋行业典型工段 VOCs 的排放系数

Fig. 5 VOCs emission factors of different working stages in typical shoe-making industry in Zhejiang

由图 5 可知,制鞋工业 VOCs 排放主要源于刷胶复底和做包工段,排放系数均值分别为 $20.8 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$ 和 $15.1 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,最大值分别达到了 $67.4 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$ 和 $34.2 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$ 。其次是夹包工段,排放系数均值约为 $8.2 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,但最大值也可达 $33.7 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$ 。最后清洁工段的排放系数虽最小,均值仅为 $5.1 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,但排放量亦不可忽视。另外,不同企业间不同工段的排放系数也会存在较大差异,详见表 3。

表 3 浙江典型制鞋企业不同工段 VOCs 排放系数¹⁾/ $\text{g} \cdot \text{双}^{-1}$

Table 3 VOCs emission factors of different working stages in typical shoe-making enterprises in Zhejiang/ $\text{g} \cdot \text{double}^{-1}$

企业	工段	面料复合	做包	夹包	喷光	刷胶复底	清洁
A		2)	24.28	/	/	67.35	5.99
B		/	2.10	10.70	/	28.40	1.40
C		/	14.48	6.80	0.87	17.18	0.31
D		/	13.58	33.66	/	22.82	3.36
E		4.75	8.30	4.10	/	25.52	5.39

1) 黑体数值为最大 VOCs 排放工段; 2) 表示无 VOCs 排放

从表 3 来看,一般制鞋企业最大 VOCs 排放工段为刷胶复底,可占总排放系数的 60% 左右;但也会有部分企业为夹包,如企业 D,约占总排放系数的 45%。另外,也有企业夹包不排放 VOCs,主要是因为夹包阶段采用了热熔胶作为胶粘剂。除此之外,制鞋企业 VOCs 排放还涉及面料复合、喷光等工段。

另外,虽然本文未对制鞋企业进行相关监测,但从大量调查数据也能较真实地反映当前浙江制鞋行业 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。今后随着浙江制鞋行业污染整治的深入开展,制鞋行业 VOCs 排放系数将会得到不断的修正与完善。

4 结论

目前浙江省制鞋行业 VOCs 基本处于未治理状态,且仍以使用溶剂型原辅材料为主;制鞋行业 VOCs 主要污染因子为甲乙酮、甲苯、丙酮、环己酮、乙酸乙酯等 10 种物质为主;浙江制鞋行业平均 VOCs 排放系数为 $29.5 \text{ g} \cdot \text{双}^{-1}$,其中注塑工艺为

23.8 g·双⁻¹, 胶粘工艺为 35.9 g·双⁻¹; 制鞋行业 VOCs 主要排放工段为刷胶复底、做包、夹包等, 相应排放系数为 20.8、15.1 和 8.2 g·双⁻¹。

参考文献:

- [1] 李旭东, 苏世标, 邹剑明, 等. 大型制鞋和电子行业有机溶剂职业危害和防护措施分析[J]. 中国卫生工程学, 2014, 13(5): 355-358.
- [2] 徐茗, 付朝晖, 俞文兰. 聚氨酯类胶黏剂制鞋企业空气有毒物质调查[J]. 中国工业医学杂志, 2013, 26(3): 215-216.
- [3] 汪严华, 张振荣, 盛琴琴. 浙江省部分制鞋企业职业卫生现状分析[J]. 中国工业医学杂志, 2005, 18(3): 183.
- [4] 迟美娜, 孙原, 李克勇, 等. 上海市箱包制鞋行业职业病危害作业分级研究[J]. 职业卫生与应急救援, 2014, 32(3): 137-140, 150.
- [5] 罗媛媛, 蔡白雪, 王豪, 等. 重庆市胶黏剂有害物质含量调查分析[J]. 环境卫生学杂志, 2014, 4(1): 9-11.
- [6] 周郁潮, 郑海英, 冯简青, 等. 珠三角某市制鞋行业有机溶剂成分检测分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2015, 33(3): 176-177.
- [7] 江梅, 邹兰, 李晓倩, 等. 我国挥发性有机物定义和控制指标的探讨[J]. 环境科学, 2015, 36(9): 3522-3532.
- [8] 王铁宇, 李奇峰, 吕永龙. 我国 VOCs 的排放特征及控制对策研究[J]. 环境科学, 2013, 34(12): 4756-4763.
- [9] 席劲瑛, 武俊良, 胡洪营, 等. 工业 VOCs 气体处理技术应用状况调查分析[J]. 中国环境科学, 2012, 32(11): 1955-1960.
- [10] 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.
- [11] 王宇飞, 刘昌新, 程杰, 等. 工业 VOCs 经济手段和工程技术减排对比性分析[J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1507-1512.
- [12] 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.
- [13] 余宇帆. 珠江三角洲地区典型工业 VOCs 源排放成分谱研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012. 16-17.
- [14] 陈颖, 叶代启, 刘秀珍, 等. 我国工业源 VOCs 排放的源头追踪和行业特征研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(1): 48-55.
- [15] 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.
- [16] 林瑜, 叶芝祥, 杨怀金. 制鞋工业环境空气中 BTEX 污染特征及健康风险评价[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(6P): 445-448.
- [17] 刘玲英, 蔡慧华, 罗超. 制鞋行业挥发性有机化合物(VOCs)排放特征研究[J]. 广东化工, 2012, 39(6): 288-289, 263.
- [18] 韦柳鑫, 周桂萍, 陈满英, 等. 四大行业挥发性有机化合物固定源污染排放特征研究[J]. 广东化工, 2015, 42(14): 171-172.
- [19] Herva M, Álvarez A, Roca E. Sustainable and safe design of footwear integrating ecological footprint and risk criteria[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 192(3): 1876-1881.
- [20] DB 44/817-2010, 制鞋行业挥发性有机化合物排放标准[S].
- [21] 广东省环保厅. 关于印发《广东省表面涂装(汽车制造业)挥发性有机废气治理技术指南》和《广东省制鞋行业挥发性有机废气治理技术指南》两项技术指南的通知(粤环[2015]4号)[EB/OL]. <http://www.gdcepb.gov.cn/detail/22194>, 2015-02-06.
- [22] DB 11/501-2007, 大气污染物综合排放标准[S].
- [23] 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]. http://www.zjepb.gov.cn/hbtmh wz/sylm/zxdt/201311/t20131108_312206.htm, 2013-11-04.
- [24] 狄凌峰, 颜海波, 吴京达, 等. 温岭市制鞋业产排污系数的核算研究[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(8): 55-59.
- [25] 白佳, 弓太生, 金鑫. 我国鞋用胶黏剂的现状及发展趋势[J]. 中国皮革, 2012, (14): 111-113.
- [26] GB 19340-2014, 鞋和箱包用胶黏剂有害物质限量[S].
- [27] 郑文秀. 台州市鞋用胶黏剂挥发性有机物分析[J]. 浙江化工, 2006, 37(5): 6-7.
- [28] 陈玲夫, 杨幼萍, 李红霞, 等. 温岭市制鞋业苯系物检测及暴露人群血细胞检查结果[J]. 浙江预防医学, 2015, 27(8): 832-834.
- [29] Directive 2010/75/EU, Industrial emissions directive[S].
- [30] European Union Commission 2009/563/EC, Commission Decision 2009/563/EC of 9 July 2009 on establishing the ecological criteria for the award of the Community eco-label for footwear (notified under document number C (2009) 5612) [S].

CONTENTS

Scavenging Effect of Rime and East Wind on PM _{2.5} Under Air Heavy Pollution in Beijing	SUN Zhao-bin, LIAO Xiao-nong, WANG Zhan-shan, <i>et al.</i> (3679)
Impact of Collision Removal of Rainfall on Aerosol Particles of Different Sizes	DONG Qun, ZHAO Pu-sheng, CHEN Yi-na (3686)
Source Apportionment and Health Risk Assessment of VOCs During the Haze Period in the Winter in Beijing	LIU Dan, XIE Qiang, ZHANG Xin, <i>et al.</i> (3693)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Shoe-making Industry in Zhejiang Province	XU Zhi-rong, YAO Yi, CAI Wei-dan, <i>et al.</i> (3702)
Oxidative Capacity of the PM ₁₀ and PM _{2.5} in Beijing During 2014 APEC	GUO Qian, SHAO Long-yi, WANG Wen-hua, <i>et al.</i> (3708)
Concentration, Water-Soluble Ionic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Composition and Sources of PM _{2.5} During Summer in Hongshan District, Wuhan	SUN Yan, QI Shi-hua, ZHANG Li, <i>et al.</i> (3714)
Statistical Characteristics of Urban Changzhou PM _{2.5} Based on <i>k</i> -means Analysis	WANG Zhen, YU Yi-jun, XU Pu-qing, <i>et al.</i> (3723)
Comparison Test Between On-line Monitoring of Water-soluble Ions and Filter-based Manual Methods for PM _{2.5}	YANG Dong-yan, LIU Bao-xian, SHI Ai-jun, <i>et al.</i> (3730)
Chemical Composition of Water-soluble Ions in Smoke Emitted from Tree Branch Combustion	LIU Gang, HUANG Ke, LI Jiu-hai, <i>et al.</i> (3737)
Number Concentration and Size Distribution of Particles Emitted by Light-duty Gasoline Vehicles	FAN Xiao-xiao, JIANG Jing-kun, ZHANG Qiang, <i>et al.</i> (3743)
Testbed-Based Exhaust Emission Factors for Marine Diesel Engines in China	XING Hui, DUAN Shu-lin, HUANG Lian-zhong, <i>et al.</i> (3750)
Distribution, Source and Human Exposure of Phthalic Acid Esters (PAEs) in Surface Dust in Urban Area of Xi'an City, China	ZHANG Wen-juan, WANG Li-jun, WANG Li, <i>et al.</i> (3758)
Mercury Emission Characteristics and Mercury Concentrations of Municipal Solid Waste in Waste Incineration Plants	DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> (3766)
Role of Sulfate-Reducing Bacteria in Mercury Methylation in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area	CHEN Rui, CHEN Hua, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (3774)
Impact of Urbanization on the Sources of Dissolved <i>n</i> -alkane in Underground River	LIAO Yu, SUN Yu-chuan, SHEN Li-cheng, <i>et al.</i> (3781)
Source Apportionment and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water from Yangtze River, China; Based on PMF Model	WANG Cheng-long, ZOU Xin-qing, ZHAO Yi-fei, <i>et al.</i> (3789)
Hydro-chemical Characteristics and Quality Assessment of Surface Water in Gongga Mountain Region	HE Xiao-li, WU Yan-hong, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (3798)
UV-Visible Spectra Properties of DOM from Taizi River in Benxi City Section by Multivariable Analysis	QIAN Feng, WU Jie-yun, YU Hui-bin, <i>et al.</i> (3806)
Vertical Distribution Characteristics of Dissolved Organic Matter in Groundwater and Its Cause	HE Xiao-song, ZHANG Hui, HUANG Cai-hong, <i>et al.</i> (3813)
Sediment Characteristics of Sewer in Different Functional Areas of Kunming	CHANG Hai-dong, JIN Peng-kang, FU Bo-wen, <i>et al.</i> (3821)
Concentration of Phosphorus in Sediments Interstitial Water as Affected by Distribution of Aquatic Plants in Dianchi Lake	DING Shuai, WANG Sheng-rui, ZHANG Rui, <i>et al.</i> (3828)
Efficiency and Mechanism of Capping with Purple Parent Rocks to Control Phosphorus Release from Sediments	HUANG Xue-jiao, SHI Wen-hao, NI Jiu-pai, <i>et al.</i> (3835)
Temporal and Spatial Distribution of Phosphorus in Paddy Fields Under Cyclic Irrigation of Drainage Water	JIAO Ping-jin, XU Di, ZHU Jian-qiang, <i>et al.</i> (3842)
GO/QPEI Nanocomposite for Fast and High-capacity Removal of <i>M. Aeruginosa</i>	LI Jie, XIAO Lin (3850)
Enhanced Pollutant Removal Performance of an Integrated Biological Settling Tank from Micro-polluted Water Bodies	WANG Wen-dong, LIU Hui, MA Cui, <i>et al.</i> (3858)
Odorants Removal and Microbial Characteristics in Treatment of Micro-polluted Source Water with Biological Powdered Activated Carbon-Ultrafiltration Combined Process	XUAN Yong-qi, ZHOU Li, DENG Hui-ping, <i>et al.</i> (3864)
Effect of Polysilicic Acid on the Deposition Behavior of Different Aluminum Species	ZHAO Yuan-yuan, ZHANG Yue, LI Su-ying, <i>et al.</i> (3870)
Concentration Variation and Removal of Amino Acids in Typical Drinking Sources in the South of China	LIU Wei, CAI Guang-qiang, LU Xiao-yan, <i>et al.</i> (3877)
Degradation of the Nitrogenous Heterocyclic Compound Quinoline by O ₃ /UV	CHEN Ao-lei, CHANG Feng-min, WANG Cui-ping, <i>et al.</i> (3884)
Impact of Anthraquinone-2-sulfonic Acid on the MO Decolorization, Hydrogen Production and Energy Creation During Anaerobic Fermentation of <i>Klebsiella oxytoca</i> GS-4-08 with Sucrose	HU Jin-mei, YU Lei, HUANG Tian-yin (3891)
Classification and Analysis of Dissolved Organic Matter in 2-Buternal Manufacture Wastewater	SUN Xiu-mei, SONG Guang-qing, XI Hong-bo, <i>et al.</i> (3899)
Concentration of Nitrate in Main Anoxic Stage and PHA, TP Metabolism for Nitrogen and Phosphorus Removal in Single Sludge System with Continuous Flow	WANG Xiao-ling, YUAN Dong-dan, BAI Li, <i>et al.</i> (3906)
Distribution Characteristics of Anaerobic Ammonia Oxidation Bacteria in Sediments from the Adjacent Seas of Yangtze Estuary	FU Lu-lu, ZHEN Yu, HE Hui, <i>et al.</i> (3914)
Bacterial Community Composition of Activated Sludge from Coking Wastewater	MENG Xiao-jun, LI Hai-bo, CAO Hong-bin, <i>et al.</i> (3923)
Soil Bacterial Communities Under Different Vegetation Types in the Loess Plateau	LIU Yang, HUANG Yi-mei, ZENG Quan-chao (3931)
Effects of Phenol on Activity and Microfauna Community Structure of Activated Sludge	HU Xiao-bing, RAO Qiang, TANG Su-lan, <i>et al.</i> (3939)
Comparative Investigation of Antibiotic Resistance Genes Between Wastewater and Landfill Leachate	HUANG Fu-yi, LI Hu, AN Xin-li, <i>et al.</i> (3949)
Performance and Influencing Factors of Dissimilatory Nitrate Reduction to Ammonium Process by the Strain <i>Desulfonitrospira</i> sp. CMX	XIE Bing-ke, ZHANG Yu, WANG Xiao-wei, <i>et al.</i> (3955)
Effect of Straw Incorporation and Domestic Sewage Irrigation on Ammonia Volatilization from Paddy Fields	XU Shan-shan, HOU Peng-fu, FAN Li-hui, <i>et al.</i> (3963)
Seasonal Effect of Simulated Nitrogen Deposition on Soil Respiration and Soil Enzyme Activity in Masson Pine Forest in Mt. Jinyun, Chongqing, China	ZENG Qing-ping, HE Bing-hui, LI Yuan, <i>et al.</i> (3971)
Effects of Biochar Amendment and Irrigation on Denitrification Losses in Greenhouse Tomato Fields	ZHANG Wen-juan, SHE Dong-li, Gamareldawla H. D. Agbna, <i>et al.</i> (3979)
Effects of Soil Texture on Autotrophic CO ₂ Fixation Bacterial Communities and Their CO ₂ Assimilation Contents	WANG Qun-yan, WU Xiao-hong, ZHU Zhen-ke, <i>et al.</i> (3987)
Simulation of the Absorption, Migration and Accumulation Process of Heavy Metal Elements in Soil-crop System	SHI Ya-xing, WU Shao-hua, ZHOU Sheng-lu, <i>et al.</i> (3996)
Synergetic Control of Bioavailability of Pb, Cd and As in the Rice Paddy System by Combined Amendments	WANG Ying-jie, ZOU Jia-ling, YANG Wen-tao, <i>et al.</i> (4004)
Effects of Different Organic Materials on Bio-availability of Cd, Pb in a Contaminated Greenhouse Soil	ZHOU Gui-yu, JIANG Hui-min, YANG Jun-cheng, <i>et al.</i> (4011)
Effect of Montmorillonite on Fractions and Availability of Phosphorus in Soils Applied with Organic Fertilizer	SONG Xian-wei, ZHAO Xiu-lan, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (4020)
Effect of Nano Zeolite on Chemical Fractions of Cd in Soil and Uptake by Chinese Cabbage at Different Soil pH and Cadmium Levels	QIN Yu-li, XIONG Shi-juan, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (4030)
Characterization of Cr Tolerance and Accumulation in <i>Lolium perenne</i> L. and <i>Pharbitis purpurea</i> (L.) Voigt	DONG Bing-bing, CHEN You-yuan, HUI Hong-xia, <i>et al.</i> (4044)
<i>In vitro</i> Metabolism of Volatile Methyl Siloxanes	LI Min-dan, ZHENG Guo-mao, WAN Yi, <i>et al.</i> (4054)
Efficiency of Aerobic Co-composting of Urban Sludge and Chinese Medicinal Herbal Residues	SU Cheng-yuan, ZHENG Peng, RUAN Qi-hua, <i>et al.</i> (4062)

《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10月15日 第37卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 10 Oct. 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