

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化 ..... 祁建华, 武丽婧, 高冬梅, 金川 (801)

基于重庆本地碳成分谱的 PM<sub>2.5</sub> 碳组分来源分析 ..... 张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)

重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究 ..... 徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)

基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析 ..... 王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)

基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价 ..... 刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)

典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析 ..... 徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)

火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究 ..... 王占山, 潘丽波 (853)

国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性 ..... 楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)

稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇 ..... 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)

河口湿地近地面大气 CO<sub>2</sub> 浓度日变化和季节变化 ..... 张林海, 仝川, 曾从盛 (879)

三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量 ..... 李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)

施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 和 NH<sub>3</sub> 排放特征 ..... 万合锋, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 鄢玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)

干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响 ..... 张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)

长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究 ..... 吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)

汾河中下游浮游藻类群落特征及水质分析 ..... 王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)

基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究 ..... 陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)

三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征 ..... 李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)

黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析 ..... 于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)

太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素 ..... 揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小锋, 穆云松 (951)

黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系 ..... 董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)

纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究 ..... 杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)

铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究 ..... 唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)

磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响 ..... 张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)

预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响 ..... 赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)

陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行 ..... 付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)

冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征 ..... 黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)

烷基多苷促进污泥水解产酸的研究 ..... 陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)

高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响 ..... 操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)

兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价 ..... 李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)

珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价 ..... 郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)

海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价 ..... 李飞, 徐敏 (1035)

再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险 ..... 吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)

瓦埠湖流域庄集镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估 ..... 李如忠, 邹阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)

三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评估 ..... 张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)

基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评价 ..... 陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)

干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究 ..... 薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)

缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入 ..... 孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)

三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响 ..... 韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)

黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例 ..... 师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)

天然林土壤有机碳及矿化特征研究 ..... 杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)

不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化 ..... 张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)

硫酸对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响 ..... 杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)

6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应 ..... 山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)

基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究 ..... 张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)

人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究 ..... 吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)

农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析 ..... 陈晓娟, 吴小红, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)

中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态 ..... 宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)

苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析 ..... 周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)

UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响 ..... 刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)

Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响 ..... 张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)

对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究 ..... 宋彩霞, 邓新平, 厉阆, 肖伟 (1176)

克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用 ..... 刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)

铅元素人为循环环境释放物形态分析 ..... 梁静, 毛建素 (1191)

污染排放与环境质量关系模型构建与应用 ..... 李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)

微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展 ..... 闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)

《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)

## 典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析

徐志荣<sup>1</sup>, 王鹏<sup>2</sup>, 王浙明<sup>1</sup>, 许明珠<sup>1</sup>, 吴剑波<sup>2</sup>, 李嫣<sup>3</sup>

(1. 浙江省环境保护科学设计研究院, 杭州 310007; 2. 浙江省环境监测中心, 杭州 310015; 3. 浙江工业大学生物与环境工程学院, 杭州 310014)

**摘要:** 为探究纺织染整定型过程中产生挥发性有机物(VOCs)的排放特征及潜在环境危害. 通过选取浙江省 5 家典型印染企业为监测对象, 分析定型机废气中 12 种 VOCs(如苯系物、甲醛、甲醇等)的实际排放情况, 以此为基础初步估算全省定型机废气 VOCs 的排放量; 并通过臭氧产生潜力分析初步评估其对环境产生危害. 结果表明, 定型机废气中 VOCs 浓度虽低, 但含有 1 类致癌物苯和甲醛, 且最高检出浓度可分别达到  $1.53 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $15.4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 可能产生较为严重的环境和人体健康危害; 浙江全省每年由定型机排放的 VOCs 量介于  $200.9 \sim 2\,239.37 \text{ t}$ , 并且以甲醛为主, 约占总量的 50%; 排放的 VOCs 可产生臭氧量介于  $860.4 \sim 16\,715.5 \text{ t}$  之间, 年均值为  $7\,729.6 \text{ t}$ , 主要源于废气中二甲苯、甲醛和甲苯这 3 种物质, 合计可占总量的 90% 以上. 另外, 通过简单的估算, 行业集聚区绍兴县定型机排放的 VOCs 产生的  $\text{O}_3$  能够对环境空气质量产生较大的影响, 最小贡献率为 3.1%.

**关键词:** 纺织染整; 定型机; 潜在环境危害; 臭氧生成潜势; 挥发性有机物

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-0847-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.03.006

## Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise

XU Zhi-rong<sup>1</sup>, WANG Peng<sup>2</sup>, WANG Zhe-ming<sup>1</sup>, XU Ming-zhu<sup>1</sup>, WU Jian-bo<sup>2</sup>, LI Yan<sup>3</sup>

(1. Environmental Science Research and Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China; 2. Zhejiang Province Environmental monitoring, Hangzhou 310015, China; 3. Department of Environmental Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** To explore the emission characteristics and potential environment hazards of volatile organic compounds (VOCs) released from the heat-setting machine of the textile dyeing and finishing process, this paper selected five typical printing and dyeing enterprises in Zhejiang province as the monitoring subjects, and analyzed the actual emissions of 12 kinds of VOCs from the heat-setting machine (such as benzene methanol, formaldehyde, etc.), and then preliminarily estimated the emissions of VOCs from heat-setting machines of the whole province. Through analysis of the ozone generating potential, this paper preliminarily evaluated its harm to the environment. The results showed that although the concentration of VOCs was low, it contained benzene and formaldehyde, and the highest detection concentration could reach  $1.53 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  and  $15.4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , which might cause serious environmental and human health hazards. Moreover, the VOCs emission from heat-setting machines in Zhejiang province was between  $200.9 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$  and  $2\,239.3 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ , which was dominated by formaldehyde, accounting for about 50%. The  $\text{O}_3$  yield generated from VOCs was between  $860.4 \text{ t}$  and  $16\,715.5 \text{ t}$ , with the average of  $7\,729.6 \text{ t}$ . The main contribution of VOCs was xylene, toluene and formaldehyde, which could account for more than 90%. Furthermore, the VOCs emission from heat-setting machines in Shaoxing industry agglomeration area could have great influence on the ambient air quality, especially for the  $\text{O}_3$  concentration and the minimum contribution rate was 3.1%.

**Key words:** dyeing and finishing; heat-setting machine; potential environment hazards; ozone formation potentials (OFP); volatile organic compounds (VOCs)

作为纺织染整行业大省,浙江省从 2007 ~ 2012 年间,年布产量均位居全国第一,超江苏、广东、福建和山东 4 省产量总和. 其中,2011 年布产量高达 362.46 亿 m, 占全国总产量的 61.12%<sup>[1-4]</sup>. 染整行业作为浙江省的传统支柱产业,在给浙江省创造经济效益的同时,也带来了严重的环境污染. 据 2010 年浙江省污普数据统计,染整行业废水排放量约占全省工业废水排放量的 26%, COD 排放量约占全省的 30%, 氨氮排放量占全省的 35% 以上, 是浙江省

水污染控制重点行业. 近年来,随着浙江省对大气污染防治的日益重视,对染整行业定型机废气的治理工作逐步提上日程. 定型机废气中夹带着大量的油烟颗粒和恶臭气味<sup>[5]</sup>, 未经治理的废气大量排放, 直接或间接地影响周边居民的日常生活, 甚至会影

收稿日期: 2013-07-08; 修订日期: 2013-09-23

基金项目: 浙江省环境保护厅科技计划项目(2011A13)

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

响到地区的环境空气质量,成为居民投诉的大气污染重点问题之一。

目前,浙江省已经开展了一系列关于定型机废气的整治工作,如《浙江省清洁空气行动方案》要求全省于 2012 年底所有的定型机必须安装废气净化设施<sup>[6]</sup>。省内相关科研单位也根据定型机废气的特点提出了一些治理技术和监测分析方法<sup>[7-9]</sup>。但因暂无该行业的大气污染物排放标准,当前浙江省主要援用《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)和《饮食业油烟排放标准(试行)》(GB 18483-2001)两项标准,对颗粒物和油烟两项指标的去除率进行简单的控制,并作为监管和判别染整企业整治是否达标的依据,其中对颗粒物去除效率要求为不得低于 80%,对油烟去除效率的要求为不得低于 75%。然而根据美国环保局的相关资料统计,染整过程中会产生 30 余种 VOCs,如苯、甲苯、二甲苯、甲醛、甲醇等物质,且大多数为有毒有害气体

体<sup>[10-12]</sup>。另外,为配合新空气质量标准的实施,2012 年环保部将纺织印染工业大气污染物排放标准列为 2013 年度国家环境保护标准工作计划,且作为 VOCs 控制的行业<sup>[13]</sup>。由此可见,染整行业中产生的 VOCs 排放不容忽视。为此,本研究通过筛选浙江省内 5 家典型的染整企业,着重对其定型机废气中的 VOCs 进行监测,了解其排放特征,估算其排放总量;并通过对废气中 VOCs 产生的臭氧潜力进行测算,初步分析其潜在环境危害。

## 1 材料与方法

### 1.1 监测对象和监测指标

依据浙江省印染行业特色(棉纺、化纤为主)并结合当前主流的定型机废气处理技术(水喷淋、静电技术),选取了印染企业高度集聚区绍兴的 5 家典型、先进的企业作为监测对象。企业的基本概况如表 1 所示。

表 1 监测对象的基本概况

Table 1 Profile of monitoring company

企业名称	主要产品	处理工艺	采集次数	标干风量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
A	摇粒绒、罗马布、平板布、毛巾布等	水喷淋处理	10	$6.04 \times 10^3$
B	棉、化纤、TC 布加工	静电处理	8	$8.56 \times 10^3$
C	面料遮光、柔软度涂层(水性发泡)加工	水喷淋处理	10	$7.56 \times 10^3$
D	针织经编布染色(珊瑚绒、化纤针织四面弹、T/R 针织四面弹)	水喷淋+静电处理	6	$8.99 \times 10^3$
E	针织面料、混纺、交织类面料、化纤面料、里料	水喷淋处理	6	$1.47 \times 10^4$

根据前期对印染定型机排放废气成分的文献调研,结合相关国外对印染行业废气排放标准和报告<sup>[11,14-17]</sup>,筛选了非甲烷总烃、苯系物(苯、甲苯、二甲苯)、苯乙烯、联苯、三氯苯、三乙胺、四氯乙烯、甲醇、丙烯酸乙酯、甲醛等 12 项指标进行分析。其中,苯系物、苯乙烯、甲醇和四氯乙烯的分析方法参考文献<sup>[18]</sup>,其余指标按照国家已发布分析监测标准测定。

### 1.2 样品采集与分析

采样点均布置在 5 家印染企业废气处理系统总排放口,每隔 15 min 采集一次,依据工况连续采集 6~10 次。样品采集和监测分析均委托于浙江省环境监测中心。样品采集过程除非甲烷总烃(non-methane hydrocarbon, NMHC)指标采用现场袋采样外,其余有机污染物指标项目均采用有机溶剂吸收或活性炭管捕集的方式采集,以减少离线分析过程中样品的损失。

### 1.3 臭氧产生潜力分析

目前,评估 VOCs 对臭氧产生的贡献情况常用丙烯等效浓度(propy-equiv concentration, PE)和最

大反应活性因子(maximum incremental reactivity, MIR)。其中,PE 直接反映出某种 VOCs 对臭氧产生的贡献大小,MIR 则反映出某种 VOCs 能产生的最大臭氧浓度<sup>[19-23]</sup>。两者的计算方法分别如下公式所示。

#### (1) 丙烯等效浓度

$$c_j^{\text{PE}} = c_j \times k_{\text{OH}}(j) / k_{\text{OH}}(\text{C}_3\text{H}_6) \quad (1)$$

$$\text{OFP}_{\text{PE}} = \sum c_j^{\text{PE}} \quad (2)$$

式中, $c_j^{\text{PE}}$ 为某种 VOCs 丙烯等效浓度; $j$ 为某种 VOCs; $c_j$ 为某种 VOCs 的质量浓度( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ); $k_{\text{OH}}(j)$ 和 $k_{\text{OH}}(\text{C}_3\text{H}_6)$ 分别表示某种 VOCs 和丙烯与羟基自由基反应的化学反应速率常数,取值参考文献<sup>[24]</sup>; $\text{OFP}_{\text{PE}}$ 为总 VOCs 丙烯等效浓度。

#### (2) 最大反应活性因子

$$c_j^{\text{MIR}} = \text{MIR} \times c_j \times M_j / M_{\text{Ozone}} \quad (3)$$

$$\text{OFP}_{\text{MIR}} = \sum c_j^{\text{MIR}} \quad (4)$$

式中, $c_j^{\text{MIR}}$ 为某种 VOCs 能够产生的最大臭氧浓度;MIR 为某种 VOCs 的最大反应活性因子 [ $\text{g}(\text{O}_3) / \text{g}(j)$ ],取值参考文献<sup>[25]</sup>;  $c_j$ 为某种 VOCs 的质量

浓度( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ );  $M_j$  和  $M_{\text{ozone}}$  分别表示某种 VOCs 和臭氧的相对分子质量,  $\text{OFP}_{\text{MIR}}$  为总 VOCs 能产生的最大臭氧浓度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 印染企业定型机 VOCs 排放特征

5 家典型印染企业定型机 VOCs 排放种类及浓度情况如表 2 所示. 从中可知, 5 企业中均能检出苯和甲苯, 均不能检出四氯乙烯. 其余污染物会因生产工艺、原辅料等的差异而有所不同, 如二甲苯除 A 企业外, 其余企业均检出; 甲醛除 B 和 C 企业外, 其余企业均检出等. 从 VOCs 排放浓度来看 (不计 NMHC), 定型机排放的 VOCs 介于  $1.68 \sim 12.58 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  之间, 以甲醛、二甲苯、甲醇和苯为主. 另

外, 从对人体健康危害角度来看, 定型机排放 VOCs 中能检出 2 种 1 类致癌物, 2 种 2B 类致癌物以及 2 种 3 类致癌物, 其中 1 类致癌物苯和甲醛检出最高浓度分别可达  $1.53 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$  和  $15.4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . 但仍远低于《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996) 中对苯 ( $12 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 和甲醛 ( $25 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) 排放浓度限值要求; 其余 GB 16297-1996 标准中已作规定的指标项目, 均远低于该标准排放浓度限值要求, 如甲苯, 检出最高浓度仅为  $0.531 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 而标准限值要求为  $40 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . 上述结果也表明了定型机废气中 VOCs 排放浓度较低, 能完全符合当前 GB 16297-1996 标准的要求; 但也从侧面反映出亟需出台具有针对性的行业标准, 以对苯和甲醛等 1 类致癌物进行加严控制.

表 2 印染定型机废气监测浓度和相关因子<sup>1)</sup>/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 Concentration of exhaust gas from setter process and their evaluation factors/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$

指标	IARC	MIR	$K_{\text{OH}}$ $\times 10^{12}$	A 企业		B 企业		C 企业		D 企业		E 企业	
				范围	均值*	范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值
苯	1	0.72	1.22	0.06~0.081	0.071	0.951~1.01	0.97	<0.159~0.281	0.11	0.059~1.340	0.453	0.034~1.53	0.389
甲苯	3	4.00	5.58	0.082~0.347	0.179	0.281~0.531	0.408	<0.159~0.322	0.196	0.073~0.520	0.269	0.1~0.511	0.241
二甲苯	3	7.76	17.0	<0.179	0.09	6.7~6.9	6.788	<0.158~0.837	0.225	0.086~0.194	0.129	0.096~0.333	0.180
甲醛	1	9.46	8.47	<0.43~0.624	0.284	<0.672	0.336	<0.684	0.342	7.33~15.4	9.750	2.25~6.29	3.628
四氯乙烯	2A	0.031	0.171	<0.149	0.075	<0.075	0.038	<0.162	0.081	<0.150	0.075	<0.148	0.074
丙烯酸乙酯	2B	7.77	30.1	<0.076	0.038	0.196~0.253	0.231	<0.159	0.08	<0.150	0.075	<0.148	0.074
苯乙烯	2B	1.73	58	<0.152	0.076	<0.063	0.032	<0.161	0.081	<0.03~0.045	0.02	<0.030	0.015
三乙胺		3.84	55.7	0.194~0.262	0.215	<0.157	0.079	<0.158	0.079	<0.150	0.075	<0.148	0.074
甲醇		0.67	0.902	<0.766~1.47	0.545	<0.781	0.391	<0.801~3.027	1.05	0.953~2.270	1.568	<0.741	0.371
联苯	—	—	—	<0.061	0.031	<0.093	0.032	<0.161	0.081	0.22~0.329	0.091	0.019~0.052	0.031
三氯苯	—	—	—	<0.152	0.076	<0.063	0.032	<0.162	0.081	<0.150	0.075	<0.148	0.074
非甲烷总烃	—	—	—	<0.1~0.27	0.199	0.22~0.97	0.504	0.94~2.61	1.765	11.6~13.2	12.18	0.31~0.42	0.367
VOCs <sup>#</sup>	—	—	—	—	1.68	—	9.34	—	2.41	—	12.58	—	5.15

1) IARC: 国际癌症研究中心; 1 类: 对人类致癌; 2B 类: 可能对人体致癌; 3 类: 对人体致癌性尚未归类的物质或混合物; MIR: 最大增量活性因子 (以  $\text{O}_3/\text{VOCs}$  计), 单位  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ;  $K_{\text{OH}}$ : 一个标准大气压下 300K 时  $\cdot\text{OH}$  的反应常数 [ $\text{cm}^3\cdot(\text{molecule}\cdot\text{s})^{-1}$ ]; 二甲苯的 MIR 和  $K_{\text{OH}}$  为 3 种同分异构的平均值; \*: 低于检测限计算均值时按 50% 计算; #: VOCs 以均值计算, 不含非甲烷总烃指标; 方框内数值表示所有监测次数过程中均未检出

### 2.2 印染企业定型机 VOCs 排放量估算

虽然浙江省从 2006 年便开始了对染整定型机废气进行整治, 但并未在全省展开, 仅限于绍兴县<sup>[26]</sup>. 因此, 未对全省的定型机数量进行统计. 随着《重点区域大气污染防治“十二五”规划》和《浙江省大气符合污染物防治实施方案》等相关大气污染防治政策的实施, 全省逐步重视印染定型机废气的治理工作. 根据文献[27], 2012 年全省完成了 2 554 台印染行业定型机废气治理, 即全省至少拥有 2 554 台定型机, 另外也意味着全省 2 554 台定型机都安装了废气处理设施, 初步实现了水喷淋处理或静电处理, 符合颗粒物和油烟去除效率的监管要求, 同时也符合浙江省对有机废气收集率大于 90% 的要求. 此

外, 根据浙江省印染协会提供的数据, 浙江全省约有 3 000 台定型机, 其中绍兴县将近有 1 500 台.

鉴于未有明确的定型机数量统计数据, 本研究中浙江省的定型机数量以 3 000 台计算, 其中绍兴县以 1 500 台计算. 另外, 虽然不同企业间的生产产品、生产规模、生产工艺等存在一定的差异, 但是基本上采用了类似的处理方法, 达到了一定的处理效率, 均符合浙江省对定型机废气的整治要求. 此外, 基于 VOCs 排放数据的可得性, 本研究以监测的 5 家企业实际 VOCs 排放量为基础, 初步估算和统计浙江全省定型机 VOCs 排放总量及范围, 其中, 5 家企业定型机风量如表 1 所示. 对于工作时间方面, 参照实际企业的运行状况, 按全年工作 300 d, 每天工作 20 h 计算.

另外,对于废气的无组织排放按照 VOCs 估算值的 10% 取值计算. 根据以上所设定的条件,初步估算浙江全省定型机不同 VOCs 排放总量如图 1 所示.

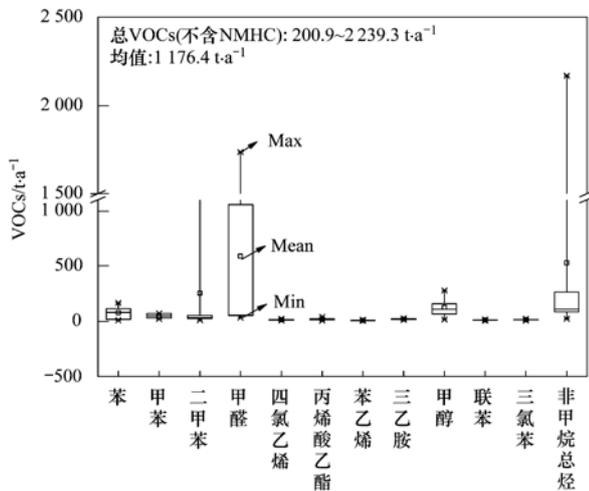


图 1 浙江省印染定型机不同 VOCs 排放量估算  
Fig. 1 Preliminary estimation of VOCs emissions from heat-setting machine

图 1 中可知,根据本文监测数据计算的全省定型机 VOCs (不含 NMHC) 排放量介于 200.9 ~ 2239.3 t·a<sup>-1</sup>,均值为 1176.4 t·a<sup>-1</sup>,主要来自二甲苯、甲醛、甲醇三类物质,分别占总排放量的 21.60%、49.87% 和 11.49%. 另外, NMHC 的排放量介于 23.8 ~ 2168.6 t·a<sup>-1</sup>之间,均值约为 529.8 t·a<sup>-1</sup>; 致癌物苯的排放量介于 8.5 ~ 164.4 t·a<sup>-1</sup>之间,年均排放量约为 76.6 t. 此外,以上 VOCs 排放量为保守估计. 一方面,本研究仅以 11 项 VOCs 作为统计,实际排放 VOCs 种类成分更为复杂,尤其是油烟中含有的各类酮、醛等污染物<sup>[28]</sup>; 另一方面,上述监测的企业为省内较为先进的生产企业,其对

定型机废气的治理比较规范. 因此,印染定型机废气的 VOCs 实际排放量会远高于此,会成为行业聚集区大气复合型污染的重要贡献源.

### 2.3 印染企业定型机 VOCs 臭氧产生潜力分析

图 2 为 5 家印染企业定型机排放 VOCs 产生的 OFP 情况. 从中可知,按 PE 计算得出的 OFP 值要远低于按 MIR 法计算得出,且两者相差接近一个数量级; 但是所结果反映出来的企业之间的差异规律是基本相同的, B、D 和 E 企业的 OFP 值要远高于 A 和 C 企业. 从 OFP 值来看,按 MIR 法计算值介于 7.19 ~ 98.62 mg·m<sup>-3</sup>之间,均值约为 42.0 mg·m<sup>-3</sup>,以 B 企业最高值, A 企业最低值; 按 PE 法计算值则介于 0.75 ~ 4.45 mg·m<sup>-3</sup>之间,均值约为 2.3 mg·m<sup>-3</sup>,以 B 企业为最高值, C 企业为最低值.

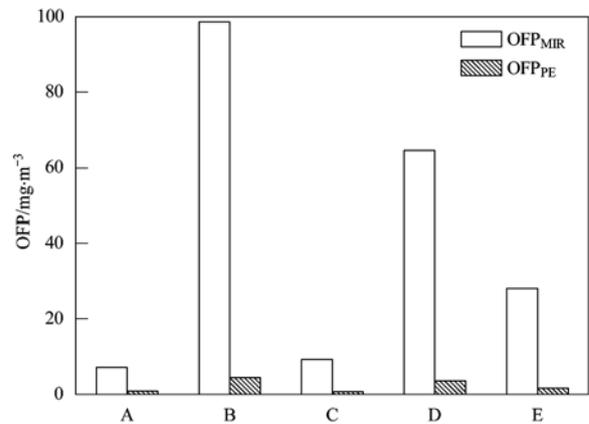


图 2 不同印染企业定型机 VOCs 产生的 OFP 情况  
Fig. 2 Variation of OFP of 5 dyeing and finishing companies in Zhejiang

表 3 反映了不同 VOCs 对 OFP 计算的贡献率排名前 4 位的 VOCs. 其结果表明,虽然两种计算方法在排序上的结果有些差异,但在物质种类上较为相

表 3 印染定型机废气 OFP 贡献排名前四的物质<sup>1)</sup>

Table 3 Top 4 VOCs species in heat-setting machine based on PE and MIR scales

企业	MIR 排名				PE 排名			
A	三乙胺 (24.2%)	甲醛 (23.4%)	甲苯 (19.1%)	二甲苯 (16.2%)	三乙胺 (52.5%)	苯乙烯 (19.3%)	甲醛 (10.5%)	二甲苯 (5.6%)
B	二甲苯 (88.9%)	丙烯酸乙酯 (3.8%)	甲苯 (3.2%)	甲醛 (2.0%)	二甲苯 (83.0%)	丙烯酸乙酯 (5.9%)	三乙胺 (3.8%)	甲醛 (2.4%)
C	二甲苯 (31.3%)	甲醛 (21.8%)	甲苯 (16.2%)	丙烯酸乙酯 (14.0%)	苯乙烯 (23.7%)	三乙胺 (22.2%)	二甲苯 (16.2%)	甲醛 (14.6%)
D	甲醛 (89.4%)	甲苯 (3.2%)	二甲苯 (2.6%)	丙烯酸乙酯 (1.9%)	甲醛 (86.5%)	三乙胺 (4.4%)	丙烯酸乙酯 (2.4%)	二甲苯 (1.9%)
E	甲醛 (76.3%)	二甲苯 (8.3%)	甲苯 (6.6%)	丙烯酸乙酯 (4.3%)	甲醛 (72.0%)	三乙胺 (9.7%)	二甲苯 (6.0%)	丙烯酸乙酯 (5.2%)

1) 方框内表示 5 家企业 MIR 或 PE 排名过程中均含有污染物项目

似. 按 MIR 计算的主要物质为甲苯、二甲苯、甲醛、丙烯酸乙酯和三乙胺; 而按 PE 计算的主要物质为三乙胺、甲醛、二甲苯、丙烯酸乙酯、苯乙烯, 其中三乙胺、丙烯酸乙酯、苯乙烯这 3 种物质排放浓度虽低, 但其对 OFP 的贡献率却不可忽视. 综合 VOCs 的排放浓度与其对 OFP 贡献度, 可初步确定印染企业定型机 VOCs 排放的主要污染物为甲醛、二甲苯、甲苯三种物质.

另外, 根据 OFP 的计算值可估算全省印染企业定型机不同 VOCs 排放产生的臭氧量, 如图 3 所示. 基于 MIR 法计算印染定型机排放的 VOCs 每年可产生的臭氧量介于 860.4 ~ 16 715.5 t, 年均产生总量为 7 729.6 t; 且主要来源于二甲苯和甲醛两种 VOCs, 如此大量的臭氧产生也可能使得浙江部分地区大气  $O_3$  浓度成为影响空气质量的主要污染物<sup>[29]</sup>. 其中, 二甲苯可产生的年臭氧量介于 139.0 ~ 14 861.2 t, 年均产生量为 3 281.7 t, 可占年均产生总量的 42.5%; 甲醛可产生的年臭氧量介于 201.0 ~ 10 271.5 t, 年均产生量为 3 472.4 t, 可占年均产生总量的 44.9%. 另外, 其余 7 种 VOCs 中以甲苯产生量为最高, 年均产生量为 365.4 t, 占年均产生总量的 4.72%. 甲苯、二甲苯和甲醛这 3 种 VOCs 合计可占年均产生总量的 92% 以上, 可认定为主要臭氧产生源.

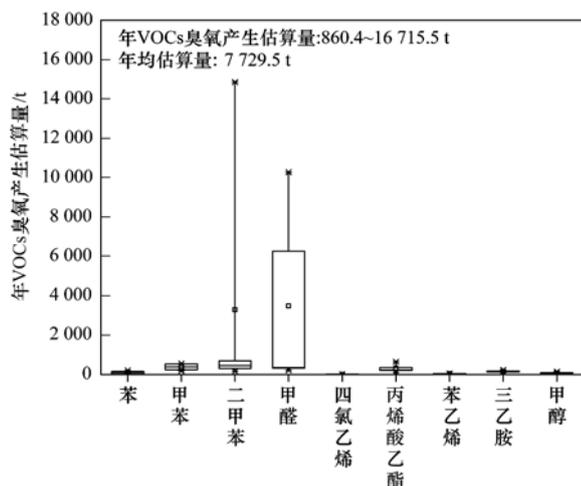


图 3 基于 MIR 法估算不同 VOCs 年产臭氧量

Fig. 3 Variation of  $O_3$  yields of VOCs based on MIR calculation

## 2.4 定型机废气对区域环境空气质量的影响

以浙江印染高度集中区绍兴县为例, 对定型机排放 VOCs 产生的臭氧量对环境空气质量中  $O_3$  浓度的影响作简单完全混合估算. 以近地面大气混合层为上边界, 地表面为下边界, 县域面积为四周边界 (县域面积为 1 130  $km^2$ ), 构建箱体, 且  $O_3$  在箱体

均匀分布. 此外, 绍兴县定型机数量按 1 500 台计算,  $O_3$  浓度按《环境空气质量标准》(GB 3095-2012) 中一级浓度日最大 8 h 均值  $100 \mu g \cdot m^{-3}$  计算, 混合层高度按一般中低纬地区 1 000 ~ 2 000 m 取值计算<sup>[30,31]</sup>, 其中夏季取最高值 2 000 m 计算, 冬季取最低值的一半 500 m 计算. 由此可估算出, 绍兴县箱体夏季含初始  $O_3$  总量为 226 t, 冬季为 56.5 t. 而每天因定型机排放 VOCs 产生的臭氧量均值为 12.9 t (以 MIR 法计算和 20 h 计算), 换算成 8 h 值为 5.15 t, 分别约占夏季和冬季初始  $O_3$  总量计算值的 2.3% 和 9.1%. 即每天因定型机 VOCs 产生的臭氧量可使绍兴县夏天  $O_3$  日最大 8 h 平均值平均增加  $2.3 \mu g \cdot m^{-3}$ , 冬季增加  $9.1 \mu g \cdot m^{-3}$ . 另外, 分别以 2013 年 1 月和 5 月份绍兴实际  $O_3$  最大 8 h 月平均值 ( $37.0 \mu g \cdot m^{-3}$  和  $72.6 \mu g \cdot m^{-3}$ ) 为基准, 可估算定型机 VOCs 对冬夏两季的臭氧的贡献率约为 24.6% 和 3.1%.

## 3 结论

(1) 在监测的印染定型机 VOCs 废气中, 虽然 VOCs 其检出浓度较低, 但存在苯和甲醛 1 类致癌物质, 且最高检出浓度分别达到  $1.53 mg \cdot m^{-3}$  和  $15.4 mg \cdot m^{-3}$ ; 通过对 OFP 贡献率排序分析及检出浓度确定定型机废气产生 OFP 主要来自甲醛、二甲苯和甲苯这 3 种物质.

(2) 基于监测结果的初步估算, 浙江省每年由定型机排放的 VOCs 介于 200.9 ~ 2 239.3 t, 且以甲醛为主, 约占 50%; 年非甲烷总烃排放量介于 23.8 ~ 2 168.6 t, 两者合计的年排放总量介于 224.7 ~ 4 407.9 t, 年平均值为 1 706.2 t. 经 OFP 计算, 定型机废气每年平均产生臭氧量为 7 729.6 t, 以二甲苯、甲醛和甲苯为主, 三者合计占总量的 90% 以上. 以绍兴县为例, 可初步估算出因定型机废气排放的 VOCs 可促使区域内环境空气质量中  $O_3$  日最大 8 h 最低增加  $2.3 \mu g \cdot m^{-3}$ .

(3) 建议在制订纺织染整行业大气污染物排放标准时, 应纳入苯、甲醛、甲苯、二甲苯等 VOCs 指标并且要严加控制.

## 参考文献:

- [1] 林琳. 2007/2008 中国印染行业发展报告[J]. 印染, 2008, (6): 46-50.
- [2] 林琳, 陈志华. 2009/2010 中国印染行业发展报告[J]. 印染, 2010, (8): 46-50.
- [3] 陈志华, 林琳. 2010/2011 中国印染行业发展报告[J]. 印染, 2011, (8): 51-54.

- [ 4 ] 林琳, 刘高峰. 2011/2012 中国印染行业发展报告[J]. 印染, 2012, (8): 48-51.
- [ 5 ] 高华生, 陈和平, 徐继荣. 染整定型机废气治理技术进展[J]. 染整技术, 2011, 33(7): 34-38.
- [ 6 ] 浙江省人民政府办公厅. 关于印发浙江省大气复合污染防治实施方案的通知[EB/OL]. 2012. [http://www.zj.gov.cn/art/2012/8/20/art\\_12461\\_50991.html](http://www.zj.gov.cn/art/2012/8/20/art_12461_50991.html), 2012-08-20.
- [ 7 ] 顾震宇, 邵振华, 陈德全. 冷却-高压静电一体化技术在高温定型机油烟废气净化中的应用[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(9): 85-87.
- [ 8 ] 姜辉, 高华生, 李小明, 等. 循环水净化染整定型机废气的初步研究[J]. 环境污染与防治, 2008, 30(1): 41-43.
- [ 9 ] 牟永铭, 金鑫, 张海明. 定型机废气中油烟监测方法探讨[J]. 中国环境监测, 2007, 23(6): 25-27.
- [ 10 ] U. S. Environmental Protection Agency. Preliminary industry characterization: fabric printing, coating, and dyeing[EB/OL]. <http://www.epa.gov/ttn/atw/coat/fabric/pic-fabr.pdf>, 1998-09-30.
- [ 11 ] U. S. Environmental Protection Agency. Manual of best management practices for pollution prevention in the textile industry[R]. USA, 1996.
- [ 12 ] U. S. Environmental Protection Agency. National emission standards for hazardous air pollutants: printing, coating, and dyeing of fabrics and other textiles[S]. Washington DC: U. S. EPA, 2003.
- [ 13 ] 环境保护部办公函. 关于征集 2013 年国家环保标准制修订项目承担单位的通知[EB/OL]. [http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201209/t20120910\\_235933.htm](http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgth/201209/t20120910_235933.htm), 2012-09-04.
- [ 14 ] World Bank Group. Environmental, health, and safety guidelines for textile manufacturing[R]. Washington: International Finance Corporation, 2007. 1-20.
- [ 15 ] European Commission. Integrated pollution prevention and control (IPPC) reference document on best available techniques for the textiles industry[R]. IPPC, 2003. 1-22.
- [ 16 ] 国际环保纺织协会. 国际生态纺织品标准 100 通用与特别技术条件[S]. 苏黎世: 国际环保纺织协会, 2008.
- [ 17 ] 陈红梅, 王胜鹏, 俞建芳. 纺织品及纺织化学品中的高关注度物质(SVHC)[J]. 现代纺织技术, 2012, (5): 48-55.
- [ 18 ] 国家环境保护总局. 空气和废气监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2003.
- [ 19 ] Carter W P L. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds [J]. Journal of the Air and Waste Management Association, 1994, 44(7): 881-899.
- [ 20 ] Chameides W L, Fehsenfeld F, Rodgers M O, et al. Ozone precursor relationships in the ambient atmosphere[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 1992, 97(D5): 6037-6055.
- [ 21 ] 吴方堃, 王跃思, 安俊琳, 等. 北京奥运时段 VOCs 浓度变化、臭氧产生潜势及来源分析研究[J]. 环境科学, 2010, 31(1): 10-16.
- [ 22 ] 卢学强, 韩萌, 冉靓, 等. 天津中心城区夏季非甲烷有机物组成特征及其臭氧产生潜力分析[J]. 环境科学学报, 2011, 31(2): 373-380.
- [ 23 ] 徐志荣, 王浙明, 许明珠, 等. 浙江省制药行业典型挥发性有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评估[J]. 环境科学, 2013, 34(5): 1864-1870.
- [ 24 ] Carter W L P. Development of the SAPRC- 07 Chemical Mechanism and Updated Ozone Reactivity Scales[R]. Reported to California Air Resources Board Contract 07-339. 2010.
- [ 25 ] Carter W L P. Updated maximum incremental reactivity scale and hydrocarbon bin reactivities for regulatory applications [R]. Reported to California Air Resources Board Contract 07- 339. 2009.
- [ 26 ] 骆尚木, 赵建兴, 陈国红. 千台定型机戴上大“口罩”, 绍兴县“蓝天行动”还蓝天清白[N]. 绍兴日报, 2007 年 1 月 22 日(第 1 版).
- [ 27 ] 浙江省环保厅. 2012 年浙江省环境状况公报(002482429/2013-05027) [EB/OL]. [http://www.zjepb.gov.cn/root14/xxgk/hjzl/hjzkgb/201306/t20130605\\_285810.html](http://www.zjepb.gov.cn/root14/xxgk/hjzl/hjzkgb/201306/t20130605_285810.html), 2013-06-05.
- [ 28 ] 程海军, 张应军, 方少明, 等. 气相色谱-质谱联用分析锦纶纺丝油烟废气中油类物质化学成分[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2006, 21(4): 16-17.
- [ 29 ] 张秋蕾. 环境保护部发布 5 月份重点区域和 74 个城市空气质量状况[N]. 中国环境报, 2013 年 6 月 20 日(第一版). <http://www.cenews.com.cn/xwzx/bzpdf/yb/201306/P020130619559258274284.pdf>.
- [ 30 ] 范绍佳, 王安宇, 樊琦, 等. 珠江三角洲大气边界层概念模型的建立及其应用[J]. 热带气象学报, 2005, 21(3): 286-292.
- [ 31 ] 朱彬, 苏继峰, 韩志伟, 等. 秸秆焚烧导致南京及周边地区一次严重空气污染过程的分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(5): 585-592.

## CONTENTS

Concentration and Community Diversity of Microbes in Bioaerosols in the Qingdao Coastal Region .....	QI Jian-hua, WU Li-jing, GAO Dong-mei, <i>et al.</i> ( 801 )
Carbon Source Apportionment of PM <sub>2.5</sub> in Chongqing Based on Local Carbon Profiles .....	ZHANG Can, ZHOU Zhi-en, ZHAI Chong-zhi, <i>et al.</i> ( 810 )
Observation of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Beibei District, Chongqing .....	XU Peng, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> ( 820 )
A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties .....	WANG Yuan, DENG Jun-ying, SHI Lan-hong, <i>et al.</i> ( 830 )
Analysis and Assessment of Atmospheric Pollution Based on Accumulation Characterization of Heavy Metals in <i>Platanus acerifolia</i> Leaves .....	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> ( 839 )
Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise .....	XU Zhi-rong, WANG Peng, WANG Zhe-ming, <i>et al.</i> ( 847 )
Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants; a Numerical Simulation .....	WANG Zhan-shan, PAN Li-bo ( 853 )
On Road Particle Emission Characteristics of a Chinese Phase IV Natural Gas Bus .....	LOU Di-ming, CHENG Wei, FENG Qian ( 864 )
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanols in Smoke from Rice and Maize Straw Combustion .....	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> ( 870 )
Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO <sub>2</sub> Concentration in the River Estuarine Marsh .....	ZHANG Lin-hai, TONG Chuan, ZENG Cong-sheng ( 879 )
Partial Pressure and Diffusion Flux of Dissolved Carbon Dioxide in the Mainstream and Tributary of the Central Three Gorges Reservoir in Summer .....	LI Shuang, WANG Yu-chun, CAO Man, <i>et al.</i> ( 885 )
Emission of CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O and NH <sub>3</sub> from Vegetable Field Applied with Animal Manure Composts .....	WAN He-feng, ZHAO Chen-yang, ZHONG Jia, <i>et al.</i> ( 892 )
Effects of Different Iron Oxides on Methane Emission in Paddy Soil as Related to Drying/Wetting Cycles .....	ZHANG Tian-jiao, TANG Jia, ZHUANG Li, <i>et al.</i> ( 901 )
Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea .....	WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, <i>et al.</i> ( 908 )
Phytoplankton Community Structure and Assessment of Water Quality in the Middle and Lower Reaches of Fenhe River .....	WANG Ai-ai, FENG Jia, XIE Shu-lian ( 915 )
Lake Algae Chemotaxonomy Technology Based on Fluorescence Excitation Emission Matrix and Parallel Factor Analysis .....	CHEN Xiao-na, HAN Xiu-rong, SU Rong-guo, <i>et al.</i> ( 924 )
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas .....	LI Lu-lu, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> ( 933 )
Distribution of Phosphorus in Surface Sediments from the Yellow River Estuary Wetland .....	YU Zi-yang, DU Jun-tao, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> ( 942 )
Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun .....	CHUAI Xiao-ming, YANG Liu-yan, CHENG Shu-bo, <i>et al.</i> ( 951 )
Linking Optical Properties of Dissolved Organic Matter with NDMA Formation Potential in the Huangpu River .....	DONG Qian-qian, ZHANG Ai, LI Yong-mei, <i>et al.</i> ( 958 )
Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Aquifer by Nano Zero-valent Iron: Debromination Kinetics and Pathway .....	YANG Yu-han, XU Wei-wei, PENG Si-kan, <i>et al.</i> ( 964 )
Influencing Factors and Reaction Mechanism of Chloroacetic Acid Reduction by Cast Iron .....	TANG Shun, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> ( 972 )
Effect of Phosphorus Recovery on Phosphorous Bioaccumulation/Harvesting in an Alternating Anaerobic/Aerobic Biofilter System .....	ZHANG Shun, TIAN Qing, TANG Man-lin, <i>et al.</i> ( 979 )
Effects of Pretreatment Methods on Corncob as Carbon Source for Denitrification .....	ZHAO Wen-li, HAO Rui-xia, LI Bin, <i>et al.</i> ( 987 )
Start-Up by Inoculation and Operation of a CANON Reactor with Haydite as the Carrier .....	FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, QIU Fu-guo ( 995 )
Diversity of Operation Performance and Microbial Community Structures in MBRs and CAS Processes at Low Temperature .....	HUANG Fei, MEI Xiao-jie, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> ( 1002 )
Enhanced Hydrolysis and Acidification of Waste Activated Sludge by Alkyl Polyglycosides .....	CHEN Can, SUN Xiu-yun, HUANG Cheng, <i>et al.</i> ( 1009 )
Effect of Substrate Concentration on Pathogen Indicators Inactivation During Thermophilic Anaerobic Digestion .....	CAO Hong-qing, ZHANG Fei-fei, LI Jian, <i>et al.</i> ( 1016 )
Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Lanzhou .....	LI Ping, XUE Su-yin, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> ( 1021 )
Ecological Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Aquatic Ecosystems of Pearl River Estuary .....	GUO Qiang, TIAN Hui, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> ( 1029 )
Source Characteristics and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Surface Sediments of Haizhou Bay .....	LI Fei, XU Min ( 1035 )
Health Risk Induced by Estrogens During Unplanned Indirect Potable Reuse of Reclaimed Water from Domestic Wastewater .....	WU Qian-yuan, SHAO Yi-ru, WANG Chao, <i>et al.</i> ( 1041 )
Distribution Characteristics and Erosion Risk of Nitrogen and Phosphorus in Soils of Zhuangnu Town in Lake Wabuhu Basin .....	LI Ru-zhong, ZOU Yang, XU Jing-jing, <i>et al.</i> ( 1051 )
Distribution and Risk Assessment of Mercury Species in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir .....	ZHANG Cheng, CHEN Hong, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> ( 1060 )
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Residential Communities Built on Brownfields .....	CHEN Xing, MA Jian-hua, LI Xin-ning, <i>et al.</i> ( 1068 )
Study on Ecological Risk Assessment Technology of Fluoride Pollution from Arid Oasis Soil .....	XUE Su-yin, LI Ping, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> ( 1075 )
Rainfall Process and Nitrogen Input in Three Typical Forests of Jinyun Mountain .....	SUN Su-qi, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> ( 1081 )
Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China .....	HAN Li-yang, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> ( 1091 )
Changes and Influencing Factors of the Soil Organic Carbon in Farmland in the Last 30 Years on Hilly Loess Plateau; A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province .....	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie, <i>et al.</i> ( 1098 )
Organic Carbon and Carbon Mineralization Characteristics in Nature Forestry Soil .....	YANG Tian, DAI Wei, AN Xiao-juan, <i>et al.</i> ( 1105 )
Dynamic Change of Phosphorus Leaching of Neutral Purple Soil at Different Re-wetting Rate .....	ZHANG Si-lan, SHI Xiao-jun, GUO Tao ( 1111 )
Effects of Thiourea on pH and Availability of Metal Ions in Acid Red Soil .....	YANG Bo, WANG Wen, ZENG Qing-ru, <i>et al.</i> ( 1119 )
Growth Responses of Six Leguminous Plants Adaptable in Northern Shaanxi to Petroleum Contaminated Soil .....	SHAN Bao-qin, ZHANG Xiong-tao, CAO Qiao-ling, <i>et al.</i> ( 1125 )
Plant N Status in the Alpine Grassland of the Qinghai-Tibet Plateau; Base on the N:P Stoichiometry .....	ZHANG Ren-yi, XU Dang-hui, CHEN Ling-yun, <i>et al.</i> ( 1131 )
Development and Succession of Artificial Biological Soil Crusts and Water Holding Characteristics of Topsoil .....	WU Li, CHEN Xiao-guo, ZHANG Gao-ke, <i>et al.</i> ( 1138 )
Carbon Dioxide Assimilation Potential, Functional Gene Amount and RubisCO Activity of Autotrophic Microorganisms in Agricultural Soils .....	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, JIAN Yan, <i>et al.</i> ( 1144 )
Dynamics of Microbes and Enzyme Activities During Litter Decomposition of <i>Pinus massoniana</i> Forest in Mid-subtropical Area .....	SONG Ying, GU Xi-rong, YAN Hai-yuan, <i>et al.</i> ( 1151 )
Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Camphor ( <i>Cinnamomum camphora</i> ) Tree Bark from Southern Jiangsu, China .....	ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, <i>et al.</i> ( 1159 )
Combined Stress of Enhanced UV-B Radiation and 1,2,4-Trichlorobenzene Contamination on the Growth of Green Vegetable .....	LIU Cui-ying, FAN Jian-ling, XU Xiang-hua ( 1164 )
Effect of Ectomycorrhizae on Heavy Metals Sequestration by Thermostable Protein in Rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Under Cu and Cd Stress .....	ZHANG Ying-wei, CHAI Li-wei, WANG Dong-wei, <i>et al.</i> ( 1169 )
Isolation and Characterization of a Halotolerant <i>p</i> -nitroaniline Degrading Strain S8 .....	SONG Cai-xia, DENG Xin-ping, LI Tian, <i>et al.</i> ( 1176 )
Optimized Cultivation of a Bioflocculant M-C11 Produced by <i>Klebsiella pneumoniae</i> and Its Application in Sludge Dewatering .....	LIU Jie-wei, MA Jun-wei, LIU Yan-zhong, <i>et al.</i> ( 1183 )
Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China .....	LIANG Jing, MAO Jian-su ( 1191 )
Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model .....	LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> ( 1198 )
Advances in the Pathway and Molecular Mechanism for the Biodegradation of Microcystins .....	YAN Hai, WANG Hua-sheng, LIU Xiao-lu, <i>et al.</i> ( 1205 )

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 15, 2014

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行