

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第2期

Vol.39 No.2

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

特别策划:挥发性有机污染物(VOCs)排放特征、减排控制、环境政策研究专辑(III)

序	郝郑平(477)
我国机动车排放 VOCs 及其大气环境影响	陈天增,葛艳丽,刘永春,贺泓(478)
基于 PMF 量化工业排放对大气挥发性有机物(VOCs)的影响:以南京市江北工业区为例	胡崑,王鸣,郑军,王红丽,卢兴东,景盛翱,陈超(493)
南京工业源挥发性有机物来源解析及其对臭氧贡献评估	张玉欣,安俊琳,王俊秀,师远哲,刘静达,梁静舒(502)
某工业园区 VOCs 臭氧生成潜势及优控物种	武蕾丹,王秀艳,杨文,郭风艳,刘锦(511)
某石化工业园区秋季 VOCs 污染特征及来源解析	胡天鹏,李刚,毛瑶,郑煌,秦世斌,闵洋,张家泉,邢新丽,祁士华(517)
某典型石油工业园区冬季大气中 VOCs 污染特征	毛瑶,李刚,胡天鹏,郑煌,安艺伟,闵洋,邢新丽,祁士华(525)
杭州市工业源 VOCs 排放清单及排放特征	卢滨,黄成,卢清,杨强,井宝莉,夏阳,唐伟,顾泽平(533)
秦皇岛市工业行业挥发性有机物排放特征	虎啸宇,刘航,王乃玉,王灿,揣莹(543)
浙江省汽摩配行业挥发性有机物排放特征及排放系数	杨忠平,王浙明,何志桥,徐志荣,滕富华,张华岳(551)
汽车制造企业恶臭来源及影响分析	石田立,张伟霞,陈小方,张嘉妮,梁小明,范丽雅,叶代启(557)
典型酿造业厂界无组织排放 VOCs 污染特征与风险评价	高占啟,胡冠九,王荃,朱冰清,陈素兰(567)
成都市大气环境 VOCs 污染特征及其健康风险评价	李友平,唐娅,范忠雨,蒲敏,章金莲,杨铮铮,吴大磊(576)
上海市住宅区儿童卧室中甲醛和苯系物浓度的现场检测分析	蒋巧云,刘平平,王雪颖,路荣春,刘炜,周华元,龚莹莹,周亚欣,黄晨(585)
江苏省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献	夏思佳,刘倩,赵秋月(592)
江门市人为源挥发性有机物排放清单	陈小方,张伟霞,陈柄旭,张嘉妮,范丽雅,叶代启(600)
长江三角洲 2014 年天然源 BVOCs 排放、组成及时空分布	刘岩,李莉,安静宇,张伟,严茹莎,黄凌,黄成,王红丽,王卿,王敏(608)
北京城市副中心(通州区)加油站 VOCs 排放清单	黄玉虎,胡玮,李贝贝,纪旋,肖宇,任碧琪,秦建平(618)
公交车使用废食用油制生物柴油的污染物排放及 VOCs 成分谱	胡志远,林骝骑,黄成,王红丽,景盛翱,楼狄明(626)
生物滴滤塔净化甲基叔丁基醚废气的研究	褚其英,姚露露,吕雄标,叶杰旭,叶虹霓,潘梁柱,陈建孟,陈东之(633)
低温等离子体-生物耦合系统对复合 CVOCs 的降解	郭海倩,缪晶晶,姜理英,张迪(640)
水质异味期间钱塘江杭州段表层水体中挥发性和半挥发性有机物污染特征及健康风险评价	陈峰,唐访良,徐建芬,王奕奕,阮东德,张伟,周姗(648)
城市自来水管网中挥发性有机物的空间分布特征	许美佳,王海亮,李春梅,徐雄,王东红(655)
不同通勤模式暴露于 VOCs 的健康风险评价	佟瑞鹏,张磊(663)
家具制造过程中 VOCs 的来源分析及环境健康风险评价	佟瑞鹏,张磊,杨校毅,朱旭波,任传耕(672)
北京市 PM _{2.5} 时空分布特征及其与 PM ₁₀ 关系的时空变异特征	杨文涛,姚诗琪,邓敏,王艳军(684)
小型池塘水-气界面 CH ₄ 冒泡通量的观测	张秀芳,肖薇,张弥,王伟,赵佳玉,胡勇博,谢成玉,张圳,谢燕红,黄文晶(691)
中国七大流域全氟烷基酸污染水平与饮水暴露风险	王鑫璇,张鸿,王艳萍,罗骥(703)
铁岭市河流氮素时空分布及源解析	杨丽标,雷坤,乔飞,孟伟(711)
基于三维荧光及平行因子分析的川西高原河流水体 CDOM 特征	刘堰杨,秦纪洪,刘琛,孙辉,唐翔宇,范诗雨(720)
宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价	徐美娟,鲍波,陈春燕,王永川,高夫燕,虞效益(729)
巢湖水体可溶态重金属时空分布及污染评价	吴蕾,刘桂建,周春财,刘荣琼(738)
广西龙江沉积物重金属污染现状及生物有效性	蓝小龙,宁增平,肖青相,黄正玉,刘意章,肖唐付,赵彦龙,吴世良(748)
内电解人工湿地冬季低温尾水强化脱氮机制	郑晓英,朱星,王菊,周翔,徐亚东,韦诚,高雅洁,周敏(758)
河道型水库支流库湾营养盐动态补给过程	徐雅倩,徐飘,杨正健,刘德富,马骏(765)
降雨对蓝藻水华消退影响及其机制分析	刘心愿,宋林旭,纪道斌,刘德富,崔玉洁,黄佳维,赵冲,唐咏春,平明明(774)
城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系	梁晓东,余杨,张敏,段龙飞,彭文启(783)
三峡库区兰陵溪流域径流氮磷输出及其降雨径流过程特征	张林,黄志霖,肖文发,曾立雄,宋文梅(792)
基于污染评价的地下水中优控污染物筛选	赵鹏,何江涛,王曼丽,黄德亮,王磊,梁雨(800)
硫和石英砂比对自养填充床反应器去除高浓度高氯酸盐的影响	陶华强,邵冬海,张超,宋圆圆,逯彩彩,郭建博(811)
活性炭/高分子复合水凝胶对水中亚甲基蓝和 Cu(II) 的去除性能	孔岩,庄媛,石宝友,韩志勇,郝昊天,韩昆,于建伟(819)
三维网状 HZO@SGH 对水中氟离子的吸附作用和机制	马福臻,周少奇,刘泽琚,支亮亮,周璇(828)
MgO/活性炭催化臭氧氧化降解有机物的作用机制	许珊珊,林存旺,丁亚磊,童少平(838)
污水厂二级出水中难凝有机物的臭氧化特性	侯瑞,金鑫,金鹏康,苟邦耀,王晓昌(844)
染料探针技术对二级出水中优势污染物的定量检测	孟晓荣,王穗桢,王磊,王旭东,乔茹凯,任婷婷,唐卫婷(852)
污水处理厂厌氧氨氧化工艺小试	李冬,赵世勋,王俊安,朱金凤,关宏泽,张杰(859)
间歇曝气模式下曝气量对短程硝化恢复的影响	刘宏,南彦斌,李慧,王翔,彭永臻,陈永志(865)
好氧/除磷颗粒对亚硝化颗粒污泥启动的影响	李冬,郭跃洲,曹美忠,张泽文,李帅,张杰(872)
处理垃圾渗滤液的 SBR 中微生物种群与污泥比阻	蔡丽云,黄泽彬,须子唯,江志斌,林莉莉,黄宇(880)
基于城镇化进程表层土壤多环芳烃来源解析及风险评价	姚宏,张士超,刘明丽,王静,鲁根涛,于晓华(889)
西江流域土壤砷含量空间变异与污染评价	刘畅,宋波,张云霞,雷梅,田美玲,余元元,庞瑞(899)
开封城市土壤磷素组成特征及流失风险	白秀玲,马建华,孙艳丽,刘德新(909)
电子垃圾拆解区土壤-水稻系统重金属分布特征及健康风险评价	尹伊梦,赵委托,黄庭,程胜高,赵珍丽,余葱葱(916)
上海市稻米中有机氯农药残留水平及健康风险评价	孟媛,刘翠翠,仇雁翎,周轶慧,朱志良(927)
四环素类抗生素对不同蔬菜生长的影响及其富集转运特征	迟荪琳,王卫中,徐卫红,李桃,李彦华,张春来(935)
硅肥耦合水分管理对复合污染稻田土壤 As-Cd 生物有效性及稻米累积阻控	李园星露,叶长城,刘玉玲,李丹阳,刘寿涛,罗海艳,刘孝利,铁柏清,孙健(944)
电子垃圾拆解工人的肝功能和肾功能健康状况及影响因素分析:以清远市龙塘镇为例	严晓,李淑圆,王美欢,许榕发,郑晶,任明忠(953)

浙江省汽摩配行业挥发性有机物排放特征及排放系数

杨忠平¹, 王浙明², 何志桥¹, 徐志荣^{2*}, 滕富华², 张华岳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: 为探明当前浙江省汽摩配行业挥发性有机物的整体排放与治理情况, 以 2015 年浙江省范围内的 70 家汽摩配企业的 VOCs 调查数据为基础, 展开了前期研究工作. 通过分析全部 70 家汽摩配企业的调查数据, 了解了行业的 VOCs 污染治理现状; 通过深入研究筛选出的 56 家典型企业的调查数据, 探究了行业的 VOCs 污染基本特征、以及初步计算了其 VOCs 排放系数. 结果表明, 虽然省内约三分之二的企业配有废气收集处理设施, 但多数设施在运行维护方面存在着一定的问题; 行业内使用的原辅材料以溶剂型为主, 废气中 VOCs 的主要污染因子为二甲苯、乙酸丁酯、环己酮、乙酸乙酯、甲苯等物质; 全省汽摩配行业的 VOCs 排放系数均值为 $4.14 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$, 其中汽配企业为 $2.94 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$, 摩配及通用型配件企业为 $7.15 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$.

关键词: 汽摩配; 挥发性有机物; 排放系数; 排放特征; 物料衡算; 涂装

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)02-0551-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.201701187

Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Auto/motorcycle Parts & Accessories Manufacturing in Zhejiang Province

YANG Zhong-ping¹, WANG Zhe-ming², HE Zhi-qiao¹, XU Zhi-rong^{2*}, TENG Fu-hua², ZHANG Hua-yue²

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

Abstract: The status of volatile organic compound (VOC) treatment in auto/motorcycle parts & accessories manufacturing in Zhejiang province was analyzed based on data from a survey investigating 70 concerned enterprises conducted in 2015. The pollution characteristics were further explored and the emission coefficient of VOCs released from this industry was preliminarily calculated by analyzing the survey data of 56 of the typical enterprises that had been screened further. The results showed that about two thirds of the enterprises had been equipped with collection and treatment facilities, but most of those facilities were running abnormally. Solvent-based materials were used commonly in this industry, and the main VOCs pollutants were xylene, butyl acetate, cyclohexanone, acetic ether, and toluene. The VOCs emission coefficient of auto/motorcycle parts & accessories manufacturing in Zhejiang was $414 \text{ g} \cdot (\text{thousand yuan})^{-1}$, whereas the emission coefficient of the enterprises producing parts & accessories for only auto was $294 \text{ g} \cdot (\text{thousand yuan})^{-1}$. As for the enterprises producing parts & accessories for only motorcycle and for both auto and motorcycle, the emission coefficient reached $715 \text{ g} \cdot (\text{thousand yuan})^{-1}$.

Key words: auto/motorcycle parts & accessories; volatile organic compounds (VOCs); emission characteristics; emission coefficient; material balance; painting

汽摩配行业是浙江省工业的重要组成部分. 其产品无论是在国内市场, 还是在海外市场均有较高的声誉及影响力. 目前, 省内已形成萧山、杭州湾、温岭、玉环、瑞安、路桥、永康等 7 个产业集群和多个出口基地, 其中又以瑞安市最为出名, 早于 2003 年就被中国机械工业联合会授予“中国汽摩配之都”的称号.

浙江省的挥发性有机物 (VOCs) 排放总量较大, 亟需加强 VOCs 治理^[1-3]. 汽摩配行业正是浙江省 VOCs 排放的重点工业源之一^[4]. 随着行业的发展, 大量含有 VOCs 的油漆、稀释剂、固化剂等原辅材料被投入到生产过程中, 再加上部分企业不妥当的收集、处理方式, 整个行业的大气污染物排放问题

日益严重. 大量 VOCs 的排放不仅会对生产线上员工的身体造成不良影响, 也会导致严重的环境污染问题^[5-12]. 鉴于 VOCs 对大气污染的突出贡献, 研究 VOCs 的排放特征、建立准确的行业排放清单并制定有效的行业政策与标准是十分必要的.

当前国家已出台的《汽车涂料中有害物质限量》(GB 24409-2009)^[13]、《环境标志产品技术要求水性涂料》(HJ 2537-2014)^[14]等涂料成分限量文

收稿日期: 2017-01-22; 修订日期: 2017-04-23

基金项目: 浙江省环保科研项目(2016A020); 浙江省科技计划项目(2015F10008)

作者简介: 杨忠平(1993~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为环境政策与标准, E-mail: 362534872@qq.com

* 通信作者, E-mail: zhirong.x@gmail.com

件,虽然能在源头上减少行业的涂装 VOCs 排放量.但就浙江省的情况而言,由于企业数量较多,规模普遍较小,仍需通过制定汽摩配行业 VOCs 排放标准来管控行业的 VOCs 污染.另外,作为汽摩配重点产业地之一的重庆市,已经率先制定并发布了《摩托车及汽车配件制造表面涂装大气污染物排放标准》(DB 50/660-2016)^[15],在为我省提供宝贵的参考与借鉴经验的同时,这也促使我省加快推进了相关标准制定工作.

为给浙江省汽摩配行业 VOCs 排放的综合整治和后期浙江省汽摩配行业 VOCs 排放的地方标准制定提供理论支撑,本研究以浙江省 2015 年重点行业 VOCs 调查基础数据中相关企业的调查数据为基础,分析了浙江省汽摩配行业的污染治理基本情况、VOCs 污染特征,并且以物料衡算法初步计算了浙江省汽摩配行业的 VOCs 排放系数.

1 行业概况

浙江省的汽摩配企业数量众多,产品有轮毂、减震器、后视镜等,种类丰富,不胜枚举.但不足的是,企业的规模普遍偏小,其管理模式和技术水平也是参差不齐,多数较为落后.

调查发现各企业、各产品在涂装工段上的差异主要体现在以下几个方面:①从涂料的类型来看,除电泳底漆是水性涂料外,其余的多为溶剂型涂料;②从涂料的成分来看,不同企业、不同配件有着不同的要求,如车架、车轮等零部件由于使用条件较为恶劣,多使用高防腐性能的涂料,而发动机盖板、刹车盘等零部件的涂装仅使用普通防腐性能的涂料;③从涂装工艺来看,因不同配件的材料属性、形貌特征差异较大,采用的涂装方式也有所不同,涉及电泳涂装、静电涂装、粉末涂装、手工涂装等,但是主要的涂装工序如图 1 所示.综上所述,在分析汽摩配行业的 VOCs 排放时需根据具体产品的类型分类统计.

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 70 家汽摩配企业 2014 年全年的基本生产情况,主要包括生产总值、原辅材料类型、有机溶剂使用量、溶剂成分及占比、废气治理情况、产品类型等参数,用于分析浙江省汽摩配行业的 VOCs 污染治理现状.并从中筛选出重点企业 56 家,以此来深入探究浙江省汽摩配行业的 VOCs 污

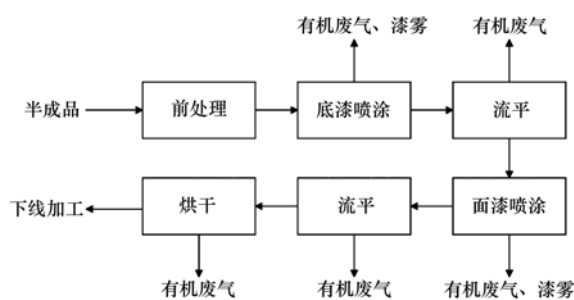


图 1 浙江省汽摩配行业典型涂装工艺流程示意

Fig. 1 Typical process flow chart of auto/motorcycle parts & accessories manufacturing in Zhejiang

染特征(原辅材料物质成分)和计算浙江省汽摩配行业的 VOCs 排放系数.

3 结果与讨论

3.1 浙江省汽摩配行业 VOCs 治理现状

70 家样本企业的 VOCs 治理情况统计结果如图 2 所示.从中可知浙江省汽摩配行业 VOCs 的配套治理设施安装普及率在 68% 左右.企业普遍采用活性炭吸附、喷淋、低温等离子等工艺或者其组合工艺,且处理对象以烘干废气为主.另外,各类处理工艺中以活性炭吸附法最为常见,约占 20%,当然也有部分企业采用了焚烧处理技术.虽然上述治理工艺在一定程度上能减少 VOCs 的排放^[16],但是实际效果仍是差强人意,这主要取决于处理工艺的合理性和运维管理的规范性.如有些企业未能在活性炭吸附之前对废气进行降温^[17]、除湿干燥等预处理,降低了活性炭的吸附效果;大多数企业仅对烘干车间的废气进行收集和处理,不能覆盖全部产生 VOCs 的工段;有些企业仅仅采用喷淋工艺,而这只能去除废气中少部分 VOCs;另外,大部分采用吸附法处理 VOCs 的企业考虑到成本问题,没有定期更换已经饱和的活性炭、喷淋废水和柴油, VOCs

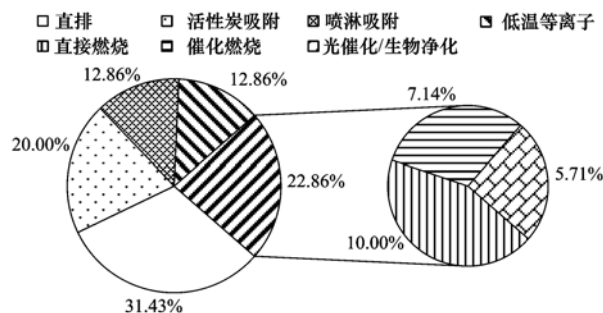


图 2 浙江省汽摩配行业 VOCs 治理情况

Fig. 2 VOC treatment status of auto/motorcycle parts & accessories manufacturing in Zhejiang

近乎于直排；还有些企业的治理设施运行时间短，有的甚至间断运行。只有少数大企业的治理设施是正常稳定运行的。由此可见，我省汽摩配行业的 VOCs 治理现状不容乐观，急需改善。

3.2 浙江省汽摩配行业 VOCs 排放特征

汽摩配行业的 VOCs 污染物主要源于生产过

程中用到的各种油漆及相应的稀释剂、固化剂。不同企业，不同配件所用的涂料成分各异，VOCs 的含量也是大不相同。根据调查企业的原辅材料信息，将浙江汽摩配行业的油漆、稀释剂、固化剂等原辅材料做以下划分，如表 1 所示。

表 1 浙江省汽摩配行业油漆、稀释剂、固化剂等原辅材料 VOCs 含量情况/%

Table 1 Content of VOCs in the raw materials of auto/motorcycle parts & accessories manufacturing in Zhejiang/%						
有机溶剂含量占比	[0,10%]	(10% ,20%]	(20% ,40%]	(40% ,70%]	(70% ,95%]	(95% ,100%]
原辅料用量分布/%	7.40	13.95	19.34	15.49	17.42	26.40
原辅料中 VOCs 分布/%	0.26	5.68	10.30	10.77	22.84	50.14

表 1 中的数据显示，有机溶剂含量在 10% 及以下的原辅材料用量仅为总用量的 7.40%，这部分材料中的 VOCs 含量也仅占了所有材料所含 VOCs 总量的 0.26%，从中可初步推断出目前浙江省汽摩配行业所用的原辅材料以溶剂型为主，水基型的用量较少；另外有机溶剂含量在 70% 以上的却占了 43.82%，这部分原辅材料主要为各种类型的有机稀释剂，且其所含的 VOCs 占了所有材料所含

VOCs 总量的 72.98%，对行业 VOCs 排放的贡献较大，是行业 VOCs 的主要来源。

此外，在对上述原辅材料进行深入调查整理后发现，除了各种溶剂油、树脂等混合物或聚合物、无机盐以及不易挥发的有机物外，原辅材料中所含的 VOCs 成分复杂，总共包含了酯类、醇类、酮类、苯系物、卤代烃、烷烃类等共计 42 种 VOCs，详见表 2。

表 2 浙江汽摩配行业污染特征

Table 2 VOC emission characteristics of auto/motorcycle parts & accessories manufacturing in Zhejiang	
类型	物质名称
烷烃	环己烷
酸类	乙酸
醚类	乙二醇单丁醚、乙二醇己醚、丙二醇甲醚、丙二醇苯醚、乙二醇乙醚、乙烯基乙二醇醚
酮类	环己酮、甲基异丁基酮、丙酮、甲乙酮
酯类	乙酸丁酯、乙酸乙酯、丙二醇甲醚醋酸酯、乙酸丁氧基乙酯、2-乙氧基乙酸乙酯、六亚甲基二异氰酸酯、3-乙氧基丙酸乙酯、甲苯二异氰酸酯、乙酸甲酯、丙二醇甲醚丙酸酯、甲酸乙酯、甲氧基乙酸乙酯、乙酸丙酯
醇类	正丁醇、乙醇、异丙醇、甲醇、异丁醇、乙二醇、甲基戊醇醇
苯系物	二甲苯、甲苯、乙苯、三甲苯、苯、苯乙烯、异丙基苯
卤代烃	三氯乙烯
其他	二乙烯三胺、N,N-二甲基乙酰胺

在这 42 种 VOCs 中，出现频次最多的 10 种物质依次为：二甲苯、乙酸丁酯、环己酮、乙酸乙酯、甲苯、乙苯、正丁醇、乙二醇单丁醚、乙醇和乙烯基乙二醇醚，这不仅与重庆市的调查结果相类似^[18]，还与汽车表面涂装时产生的 VOCs 相类似^[19~22]。这 10 种 VOCs 出现频次约为总数 (N = 403) 的 77.92% (如图 3)。其中又以中等毒性且光化学反应活性较强的二甲苯的出现频次为最高，占了 25.81%，二甲苯常用作聚氨酯树脂涂料、氨基树脂涂料和丙烯酸树脂涂料的有机溶剂^[18]；次之为乙酸丁酯，常用作聚氨酯树脂涂料的有机溶剂^[18]，其占比为 13.40%；而经常用作水性涂料有机溶剂的，如乙二醇单丁醚、丙二醇甲醚等乙二醇

醚及其酯类和丙二醇醚及其酯类^[18]，其出现频次仅为总数的 4.47% 和 2.48%，这也体现了我省汽摩配行业中水性涂料使用情况不普及的现状。

3.3 汽摩配行业 VOCs 排放系数

根据 VOCs 总输入量等于总输出量，并参考文献[23]，可建立如下物料衡算关系式：

$$G = P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \tag{1}$$

$$G = \sum m_i \times w_i \tag{2}$$

式中，G 为 VOCs 的总输入量 (kg)， m_i 为油漆、稀释剂、固化剂等原辅材料的用量 (kg)， w_i 为油漆、稀释剂、固化剂等原辅材料中的 VOCs 质量分数 (%)。P 为 VOCs 的总输出量 (kg)， P_1 为废气处理前进入大气环境中的 VOCs 量 (kg)； P_2 为进入水体

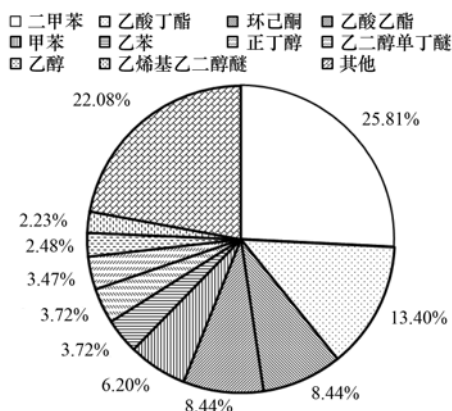


图3 浙江省汽摩配行业主要污染物出现频次

Fig. 3 Main pollutants of auto/motorcycle parts & accessories manufacturing in Zhejiang

的 VOCs 量 (kg); P_3 为进入到固废中的 VOCs 量 (kg); P_4 为残留在产品中的 VOCs 的量 (kg).

根据浙江省汽摩配行业的实际生产情况,并结合该行业本身的特点,现对相关参数做如下调整: ① $P_2=0$, 虽然部分产品在生产中会以阴极电泳的方式涂装底漆,但是考虑到电泳时所采用的多为水性涂料,有机溶剂含量低且涂料利用率高,和 P_1 相比,这部分水体中的 VOCs 含量太低,暂且忽略不计. 另外,虽有部分企业的末端治理中包含水喷淋、湿法除漆雾等工艺,但考虑到部分企业在喷淋、除雾用水饱和之后,依旧循环使用,所以这部分水体中吸收的 VOCs 含量也忽略不计. ② $P_3=0$, 少量调配后未及时用完的涂料由于保存不当,以及在去除喷漆漆雾等过程中可能产生固废,但是考虑到这部分固废的产生量较少,且固化的过程中也会释放出 VOCs,故在计算排放系数时,固废中的 VOCs 含量可忽略不计. ③ $P_4=0$, 汽摩配产品在涂装之后一般都会进行流平和烘干处理,在此过程中,产品中大部分的 VOCs 会被去除,只有极少部分会残留在产品中,而这残留的部分也会在后续的整理、包装、运输和销售过程中进一步挥发排放,因此忽略不计. 综上所述,输入的 VOCs 可视为全部都被排放到了周围的空气之中,即 $G=P_1$. 若企业安装了收集治理设施,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 量可按公式(3)计算:

$$P_k = P_1 \times (1 - \eta\theta) = G \times (1 - \eta\theta) \quad (3)$$

式中, P_k 为经过处理后实际排入到环境大气中的 VOCs 量 (kg), θ 为废气收集效率 (%), η 为废气治理设施处理效率 (%), 即 VOCs 去除率 (%), 参数的具体取值需根据企业的现场生产情况、收集治理

设施、处理工艺等因素确定,若无治理设施或治理设施无效,则 $\eta=0$. 根据浙江省汽摩配行业的治理现状(图2),虽然大部分企业配备有 VOCs 治理设施,但考虑到多数企业也只是对烘干段的废气进行了收集处理,其他如调漆、喷涂等工段无组织排放的废气基本没经过有效处理就直接排放到了大气环境中去,另外考虑到汽摩配行业与汽车整车制造行业在表面涂装时所用原料与工艺上的相似性,本文参考文献[24],认为进入烘干段的 VOCs 占比为 20%, 即 $\theta=20\%$. 关于各种废气处理技术的 VOCs 去除率 η , 本文将参考文献[25]进行选取,即认为:直排企业的 $\eta=0$; 采用活性炭吸附法的企业, $\eta=73\%$; 采用喷淋和柴油吸附的企业, $\eta=50\%$; 采用等离子体法的企业, $\eta=65\%$; 采用直接燃烧的企业,一般认为 $\eta=99\%$; 采用催化燃烧的企业, $\eta=88\%$; 采用光催化的企业, $\eta=64\%$; 采用生物净化法的企业, $\eta=33\%$.

由于汽摩配产品的种类多、产量大,不同配件在涂装工艺与涂料种类的选择上有着不同的要求,而且不同的产品在体积形态上也有着较大的差异,导致了不同产品的 VOCs 排放量差异较大,因此该行业不适用以单位产品的 VOCs 排放量来计算排放系数. 同时考虑到该行业的产品形状各异,各个产品的涂装面积计算统计起来较为困难,因此也不适用以产品单位面积的 VOCs 排放量来计算排放系数. 所以,本文参考文献[26],以产值 α (万元)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:

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

结合筛选出来的 56 家重点企业调查数据,并根据上述公式,可初步计算出浙江省汽摩配整个行业的 VOCs 排放系数和行业中只生产汽配、只生产摩配及同时生产汽配与摩配企业(通用型)的 VOCs 排放系数,如图 4(a)所示(由于生产通用型配件的企业数量较少,并入摩配企业计算);根据文献[18],本文又将调查企业生产的汽摩配产品按功能分为发动机配件、制动系配件、转向系配件、行走系配件和车身附件这 5 种类型,并分别计算了生产这几种类型产品的企业的排放系数,如图 4(b)所示(除车身附件和行走系配件外,生产其余几种配件的企业数量较少,统称为其他附件);最后,本文又分别计算了统计企业中出现频率较高的轮毂和减震器这两种典型汽摩配产品的 VOCs 排放系数,如图 4(c)所示.

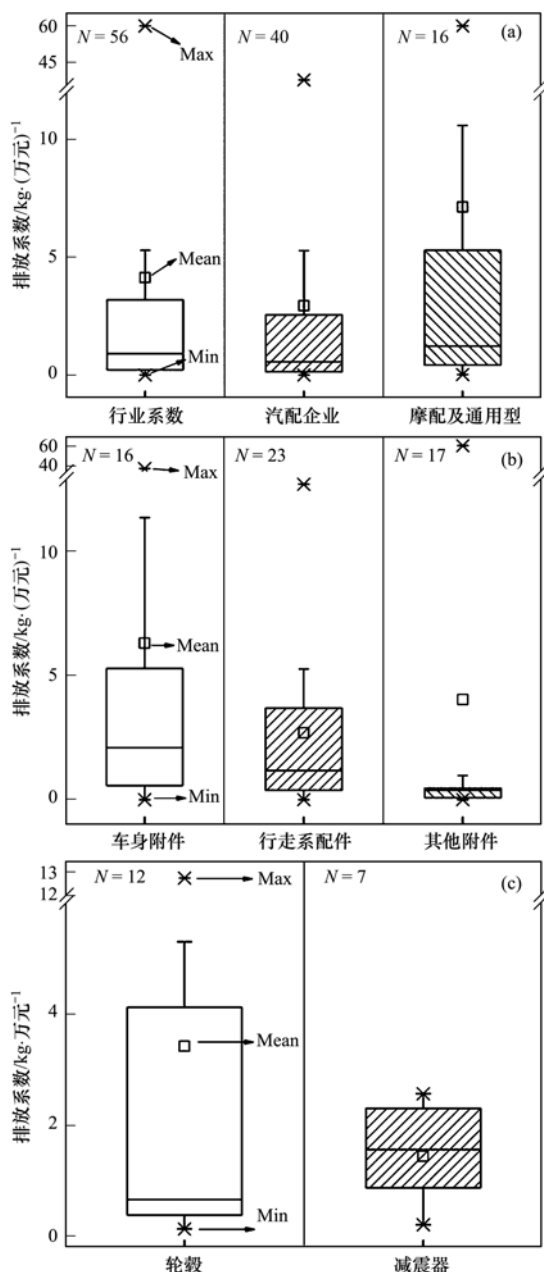


图4 浙江省汽摩配行业 VOCs 排放系数

Fig. 4 Emission coefficient of auto/motorcycle parts & accessories manufacturing in Zhejiang

如图4(a)所示,浙江省汽摩配行业的VOCs行业排放系数介于 $0.004 \sim 60.34 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 之间,均值为 $4.14 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。其中,汽配企业的VOCs排放系数介于 $0.004 \sim 37.63 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 之间,均值为 $2.94 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$;摩配及通用型配件企业的VOCs排放系数介于 $0.027 \sim 60.34 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 之间,均值为 $7.15 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。从中可以看出摩配及通用型配件企业的排放系数要大于汽配企业的,可能的原因有:①摩配企业的工业总产值相对偏小,导致以单位产值VOCs排放量来

计算的排放系数偏大;②调查的企业中,汽配企业的收集处理设施安装普及率相对较高,达到了80%,而摩配及通用型企业的仅为56.25%。

如图4(b)所示,生产车身附件类型企业的排放系数介于 $0.005 \sim 37.63 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 之间,均值为 $6.31 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。生产行走系配件的企业排放系数介于 $0.004 \sim 12.75 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 之间,均值为 $2.71 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。生产其他附件的企业排放系数介于 $0.004 \sim 60.34 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 之间,均值为 $4.05 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。不难发现,这几个排放系数的大小关系为:车身附件>其他附件>行走系配件。这可能与配件的形状及涂装方式有关。在行走系配件中,轮毂占多数,而轮毂的表面较为规则平整,多采用静电粉末喷涂的方式进行涂装^[27],涂料的利用率高,在一定程度上降低了涂料的用量。而车身附件的品种较多较杂,如仪表盘、雨刮臂、门拉手、后视镜等,形状不是很规则,多采用手工喷涂的方式进行涂装,且车身附件中还有许多塑料件,不适合采用静电粉末喷涂等涂装方式,导致涂料利用率低、涂料中的有机物含量高,从而增加了VOCs的排放量。

从图4(c)中可以看出轮毂的排放系数均值为 $3.41 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$,减震器的排放系数均值为 $1.44 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。造成两者差异较大的原因可能是轮毂的表面积较大,导致了其涂料使用量要远大于减震器的。

此外,虽然本文未对相关企业进行实地监测,但上述的调查统计数据也能较真实地反映出浙江省汽摩配行业VOCs排放的现状,希望本文能为后续的相关地方标准制定和排放系数的确定提供理论依据。今后随着浙江省汽摩配行业污染整治的深入开展,汽摩配行业的VOCs排放系数将会得到不断地修正与完善。

4 结论

(1)浙江省约三分之一的汽摩配企业的VOCs处于直排状态,多数企业的废气处理设施处于失效或者不正常运行状态。

(2)浙江省汽摩配行业所用的多为溶剂型原辅材料,VOCs的主要污染因子为二甲苯、乙酸丁酯、环己酮等物质。

(3)浙江省汽摩配行业的VOCs行业排放系数为 $4.14 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$,其中汽配企业的为 $2.94 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$,摩配及通用型配件企业的为 7.15

$\text{kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。另外, 轮毂的排放系数均值为 $3.41 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$, 减震器的排放系数均值为 $1.44 \text{ kg} \cdot (\text{万元})^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
Wang T Y, Li Q F, Lv Y L. Characteristics and countermeasures of volatile organic compounds (VOCs) emission in China [J]. Environmental Science, 2013, **34**(12): 4756-4763.
- [3] 莫梓伟, 牛贺, 陆思华, 等. 长江三角洲地区基于喷涂工艺的溶剂源 VOCs 排放特征[J]. 环境科学, 2015, **36**(6): 1944-1951.
Mo Z W, Niu H, Lu S H, *et al.* Process-based emission characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from paint industry in the Yangtze River Delta, China [J]. Environmental Science, 2015, **36**(6): 1944-1951.
- [4] 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/hbthmwz/sylm/zxdt/201311/t20131108_312206.htm, 2013-11-04.
- [5] Wang H L, Nie L, Li J, *et al.* Characterization and assessment of volatile organic compounds (VOCs) emissions from typical industries [J]. Chinese Science Bulletin, 2013, **58**(7): 724-730.
- [6] Geng F H, Tie X X, Xu J M, *et al.* Characterizations of ozone, NO_x , and VOCs measured in Shanghai, China [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(29): 6873-6883.
- [7] Shao M, Zhang Y H, Zeng L M, *et al.* Ground-level ozone in the Pearl River Delta and the roles of VOC and NO_x in its production [J]. Journal of Environmental Management, 2009, **90**(1): 512-518.
- [8] Sekizawa J, 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.
- [9] 高宗江. 典型工业涂装行业 VOCs 排放特征研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [10] 李用宇, 朱彬, 安俊琳, 等. 南京北郊秋季 VOCs 及其光化学特征观测研究[J]. 环境科学, 2013, **34**(8): 2933-2942.
Li Y Y, Zhu B, An J L, *et al.* Characteristics of VOCs and their photochemical reactivity in autumn in Nanjing northern suburb [J]. Environmental Science, 2013, **34**(8): 2933-2942.
- [11] 曾培源, 李建军, 廖东奇, 等. 汽车涂料生产环节 VOCs 的排放特征及安全评价[J]. 环境科学, 2013, **34**(12): 4592-4598.
Zeng P Y, Li J J, Liao D Q, *et al.* Emission characteristics and safety evaluation of volatile organic compounds in manufacturing processes of automotive coatings [J]. Environmental Science, 2013, **34**(12): 4592-4598.
- [12] 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.
- [13] GB 24409-2009, 汽车涂料中有害物质限量[S].
- [14] HJ 2537-2014, 环境标志产品技术要求 水性涂料[S].
- [15] DB 50/660-2016, 摩托车及汽车配件制造表面涂装大气污染物排放标准[S].
- [16] 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.
- [17] 李泽清, 罗福坤. 烘房 VOCs 废气治理技术路线探析[J]. 环境科学, 2011, **32**(12): 3685-3688.
Li Z Q, Luo F K. Analysis of the treatment technology pathway of VOCs released from oven [J]. Environmental Science, 2011, **32**(12): 3685-3688.
- [18] 重庆市环保局. 关于征求《重庆市摩托车及汽车配件制造表面涂装大气污染物排放标准(征求意见稿)》意见的函(渝环函[2015]540号)[EB/OL]. <http://www.cepb.gov.cn/doc/2015/08/11/103274.shtml>, 2015-08-11.
- [19] 上海市环保局. 关于征求《表面涂装(汽车制造业)大气污染物排放标准(征求意见稿)》意见的函(沪环保函[2014]114号)[EB/OL]. <http://www.sepb.gov.cn/fa/cms/shhj/shhj2024/shhj2038/2014/07/87043.htm>, 2014-07-14.
- [20] 北京市环境保护局. 关于征求北京市地方标准《汽车制造业(表面涂装)挥发性有机物排放标准》(征求意见稿)意见的函(京环函[2014]580号)[EB/OL]. <http://www.bjepb.gov.cn/bjhrb/xxgk/gwj/qtwj/hbjfw/603596/index.html>, 2014-11-03.
- [21] DB 44/816-2010, 表面涂装(汽车制造业)挥发性有机化合物排放标准[S].
- [22] DB 32/2862-2016, 表面涂装(汽车制造业)挥发性有机物排放标准[S].
- [23] 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.
- [24] DB 50/577-2015, 汽车整车制造表面涂装大气污染物排放标准[S].
- [25] 苏伟健, 徐绮坤, 黎碧霞, 等. 工业源重点行业 VOCs 治理技术处理效果的研究[J]. 环境工程, 2016, **34**(S1): 518-522.
Su W J, Xu Q K, Li B X, *et al.* Research on effects of key industrial VOCs treatment methods [J]. Environmental Engineering, 2016, **34**(S1): 518-522.
- [26] 姚轶, 王浙明, 何志桥, 等. 浙江省木制品行业挥发性有机物排放特征及排放系数[J]. 环境科学, 2016, **37**(11): 4080-4085.
Yao Y, Wang Z M, He Z Q, *et al.* Pollution characteristics and emission coefficient of volatile organic compounds from woodwork-making industry in Zhejiang Province [J]. Environmental Science, 2016, **37**(11): 4080-4085.
- [27] 门连通, 苏关新. 汽车铝合金轮毂涂装线的工艺及设备简介[J]. 材料保护, 2000, **33**(8): 36-37.
Men L T, Su G X. Painting production line of aluminum alloy wheels boss of automobile [J]. Materials Protection, 2000, **33**(8): 36-37.

CONTENTS

Preface	HAO Zheng-ping (477)
VOCs Emission from Motor Vehicles in China and Its Impact on the Atmospheric Environment	CHEN Tian-zeng, GE Yan-li, LIU Yong-chun, <i>et al.</i> (478)
Quantification of the Influence of Industrial Emissions on Volatile Organic Compounds (VOCs) Using PMF Model; A Case Study of Jiangbei Industrial Zone in Nanjing	 HU Kun, WANG Ming, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (493)
Source Analysis of Volatile Organic Compounds in the Nanjing Industrial Area and Evaluation of Their Contribution to Ozone	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, WANG Jun-xiu, <i>et al.</i> (502)
Ozone Formation Potential and Priority Species of VOCs in an Industrial Park	WU Lei-dan, WANG Xiu-yan, YANG Wen, <i>et al.</i> (511)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of a Petrochemical Industrial Park During Autumn in China	HU Tian-peng, LI Gang, MAO Yao, <i>et al.</i> (517)
Characteristics of VOCs Pollution in the Winter Atmosphere of a Typical Petrochemical Industry Park	MAO Yao, LI Gang, HU Tian-peng, <i>et al.</i> (525)
Emission Inventory and Pollution Characteristics of Industrial VOCs in Hangzhou, China	LU Bin, HUANG Cheng, LU Qing, <i>et al.</i> (533)
Industrial VOCs Emission in Qinhuangdao	HU Xiao-yu, LIU Hang, WANG Nai-yu, <i>et al.</i> (543)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Auto/motorcycle Parts & Accessories Manufacturing in Zhejiang Province	 YANG Zhong-ping, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (551)
Stench Sources and Impact Analysis in Automobile Making	SHI Tian-li, ZHANG Wei-xia, CHEN Xiao-fang, <i>et al.</i> (557)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of VOCs Fugitively Emitted from Typical Brewers	GAO Zhan-qi, HU Guan-ju, WANG Hui, <i>et al.</i> (567)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Atmospheric VOCs in Chengdu	LI You-ping, TANG Ya, FAN Zhong-yu, <i>et al.</i> (576)
Indoor Formaldehyde and Benzene Series in Shanghai Residences and Their Associations with Building Characteristics and Lifestyle Behaviors	 JIANG Qiao-yun, LIU Ping-ping, WANG Xue-ying, <i>et al.</i> (585)
Emission Inventory of Anthropogenically Sourced VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Jiangsu Province	XIA Si-jia, LIU Qian, ZHAO Qiu-yue (592)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs in Jiangmen City	CHEN Xiao-fang, ZHANG Wei-xia, CHEN Bing-xu, <i>et al.</i> (600)
Emissions, Chemical Composition, and Spatial and Temporal Allocation of the BVOCs in the Yangtze River Delta Region in 2014	LIU Yan, LI Li, AN Jing-yu, <i>et al.</i> (608)
VOCs Emission Inventory of Service Stations in a Subcenter (Tongzhou District) of the City of Beijing	HUANG Yu-hu, HU Wei, LI Bei-bei, <i>et al.</i> (618)
Pollutant Emissions from Diesel Buses Fueled with Waste Cooking Oil Based Biodiesel	HU Zhi-yuan, LIN Biao-qi, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (626)
Treatment of the Waste Gas Containing Methyl <i>tert</i> -Butyl Ether via a Biotrickling Filter	CHU Qi-ying, YAO Lu-lu, LÜ Xiong-biao, <i>et al.</i> (633)
Composite CVOCs Removal in a Combined System of Nonthermal Plasma and a Biotrickling Filter	GUO Hai-qian, MIAO Jing-jing, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> (640)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds (VOCs) and Semi-volatile Organic Compounds (SVOCs) in Qiantang River's Hangzhou Section During a Water Odor Pollution Event	CHEN Feng, TANG Fang-liang, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (648)
Occurrence and Spatial Distribution of Volatile Organic Compounds in Urban Drinking Water Distribution Systems	XU Mei-jia, WANG Hai-liang, LI Chun-mei, <i>et al.</i> (655)
Health Risk Assessment of Volatile Organic Compounds for Different Commuting Modes	 TONG Rui-peng, ZHANG Lei (663)
Source Analysis and Environmental Health Risk Assessment of VOCs in Furniture Manufacturing	TONG Rui-peng, ZHANG Lei, YANG Xiao-yi, <i>et al.</i> (672)
Spatio-temporal Distribution Characteristics of PM _{2.5} and Spatio-temporal Variation Characteristics of the Relationship Between PM _{2.5} and PM ₁₀ in Beijing	 YANG Wen-tao, YAO Shi-qi, DENG Min, <i>et al.</i> (684)
Quantification of Methane Ebullition Flux from Small Ponds Using the Inverted-Funnel Method	ZHANG Xiu-fang, XIAO Wei, ZHANG Mi, <i>et al.</i> (691)
Contamination Levels and Exposure Risk via Drinking Water from Perfluoroalkyl Acids in Seven Major Drainage Basins of China	 WANG Xin-xuan, ZHANG Hong, WANG Yan-ping, <i>et al.</i> (703)
Spatio-temporal Distribution and Source Apportionment of Nitrogen in Rivers of Tieling	YANG Li-biao, LEI Kun, QIAO Fei, <i>et al.</i> (711)
Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Rivers of Western Sichuan Plateau Based on EEM-PARAFAC Analysis	 LIU Yan-yang, QIN Ji-hong, LIU Chen, <i>et al.</i> (720)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risk of Surface Waters in the City of Ningbo, China	XU Mei-juan, BAO Bo, CHEN Chun-yan, <i>et al.</i> (729)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Dissolved Heavy Metals in Chaohu Lake	WU Lei, LIU Gui-jian, ZHOU Chun-cai, <i>et al.</i> (738)
Spatial Distribution, Sources and Bioavailability of Heavy Metals in the Surface Sediments of Longjiang River, Southern China	 LAN Xiao-long, NING Zeng-ping, XIAO Qing-xiang, <i>et al.</i> (748)
Mechanism on Enhanced Nitrogen Removal in Municipal Secondary Effluent via Internal-Electrolysis Constructed Wetlands at Low Temperature in Winter	 ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, WANG Ju, <i>et al.</i> (758)
Dynamic Replenishment Process of Nutrients in Tributary of Channel Reservoir	XU Ya-qian, XU Piao, YANG Zheng-jian, <i>et al.</i> (765)
Effect of the Rainfall on Extinction of Cyanobacteria Bloom and Its Mechanism Analysis	LIU Xin-yuan, SONG Lin-xu, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (774)
Relationship Between Macrophyte Communities and Macroinvertebrate Communities in an Urban Stream	QU Xiao-dong, YU Yang, ZHANG Min, <i>et al.</i> (783)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Output in Runoff and Rainfall Runoff in Lanlingxi Watershed, Three Gorges Reservoir Area	 ZHANG Lin, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (792)
Screening Method of Priority Control Pollutants in Groundwater Based on Contamination Assessment	ZHAO Peng, HE Jiang-tao, WANG Man-li, <i>et al.</i> (800)
Effect of Sulfur to Quartz Sand Ratios on the Removal of High-Concentration Perchlorate in Packed-Bed Reactors	TAO Hua-qiang, SHAO Dong-hai, ZHANG Chao, <i>et al.</i> (811)
Adsorption of Methylene Blue and Cu(II) by Activated Carbon/Macromolecule Composite Hydrogel	KONG Yan, ZHUANG Yuan, SHI Bao-you, <i>et al.</i> (819)
Adsorption Performance and Mechanism of HZO@SGH for the Removal of Fluoride from Aqueous Solution	MA Fu-zhen, ZHOU Shao-qi, LIU Ze-jun, <i>et al.</i> (828)
Mechanism of MgO/GAC Catalyzed Ozonation of Organic Compounds	XU Shan-shan, LIN Cun-wang, DING Ya-lei, <i>et al.</i> (838)
Ozonation Characteristics of Low Coagulability Organic Matter from the Secondary Effluent of WWTPs	HOU Rui, JIN Xin, JIN Peng-kang, <i>et al.</i> (844)
Quantitative Analysis of Dominant Pollutants in Secondary Effluent via Dye Probe Technology	MENG Xiao-rong, WANG Cong-hui, WANG Lei, <i>et al.</i> (852)
Lab-scale ANAMMOX Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (859)
Effect of Aeration Rate on Shortcut Nitrification Recovery in Intermittent Aeration Mode	LIU Hong, NAN Yan-bin, LI Hui, <i>et al.</i> (865)
Effect of Aerobic/Phosphorus Granules on Start-up of Partial Nitrification Granular Sludge	LI Dong, GUO Yue-zhou, CAO Mei-zhong, <i>et al.</i> (872)
Microbial Communities and Sludge Specific Resistance in Two SBRs Treating Leachate	CAI Li-yun, HUANG Ze-bin, XU Zi-wei, <i>et al.</i> (880)
Sources and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from the Urbanization Process of Topsoil	YAO Hong, ZHANG Shi-chao, LIU Ming-li, <i>et al.</i> (889)
Spatial Variability and Contamination of Arsenic in Soils of Xijiang River Basin	LIU Chang, SONG Bo, ZHANG Yun-xia, <i>et al.</i> (899)
Characterization of Phosphorus in Urban Surface Soils in Kaifeng City and Its Risk of Loss	BAI Xiu-ling, MA Jian-hua, SUN Yan-Li, <i>et al.</i> (909)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in a Soil-Rice System in an E-waste Dismantling Area	YIN Yi-meng, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i> (916)
Residue Levels and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Rice from Shanghai	MENG Yuan, LIU Cui-cui, QIU Yan-ling, <i>et al.</i> (927)
Effects of Tetracycline Antibiotics on Growth and Characteristics of Enrichment and Transformation in Two Vegetables	CHI Sun-lin, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong, <i>et al.</i> (935)
Bioavailability of Silicon Fertilizer Coupled Water Management on Soil Bioavailability and Cumulative Control of Rice in Compound Contaminated Paddy Soils	 LI Yuan-xing-lu, YE Chang-cheng, LIU Yu-ling, <i>et al.</i> (944)
Liver and Kidney Function of E-waste Dismantling Workers and Potential Influencing Factors	YAN Xiao, LI Shu-yuan, WANG Mei-huan, <i>et al.</i> (953)