

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第1期

Vol.36 No.1

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年夏季典型光化学污染过程中长三角典型城市O₃来源识别 李浩, 李莉, 黄成, 安静宇, 严茹莎, 黄海英, 王杨君, 卢清, 王倩, 楼晟荣, 王红丽, 周敏, 陶士康, 乔利平, 陈明华(1)

厦门冬春季大气VOCs的污染特征及臭氧生成潜势 徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊(11)

近10年海南岛大气NO₂的时空变化及污染物来源解析 符传博, 陈有龙, 丹利, 唐家翔(18)

稻草烟尘中有机碳/元素碳及水溶性离子的组成 洪蕾, 刘刚, 杨孟, 徐慧, 李久海, 陈惠雨, 黄柯, 杨伟宗, 吴丹(25)

气相色谱-脉冲氦离子化检测法(GC-PDHID)分析大气中分子氢(H₂)浓度 栾天, 方双喜, 周凌晔, 王红阳, 张根(34)

小浪底水库影响下的黄河花园口站和小浪底站pCO₂特征及扩散通量 张永领, 杨小林, 张东(40)

夏季中国东海生源有机硫化物的分布及其影响因素研究 李江萍, 张洪海, 杨桂朋(49)

基于Landsat 8影像估算新安江水库总悬浮物浓度 张毅博, 张运林, 查勇, 施坤, 周永强, 王明珠(56)

温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别 马小雪, 王腊春, 廖玲玲(64)

人类活动影响下水化学特征的影响: 以西江中上游流域为例 于爽, 孙平安, 杜文越, 何师意, 李瑞(72)

太湖梅梁湾不同形态磷周年变化规律及藻类响应研究 汪明, 武晓飞, 李大鹏, 李祥, 黄勇(80)

鄱阳湖沉积物可转化态氮分布特征及其对江湖关系变化的响应 沈洪艳, 张绵绵, 倪兆奎, 王圣瑞(87)

影响浑太河流域大型底栖动物群落结构的环境因子分析 李艳利, 李艳粉, 徐宗学(94)

水华生消过程对巢湖沉积物微生物群落结构的影响 刁晓君, 李一葳, 王曙光(107)

蓝藻水华聚集对水葫芦生理生态的影响 吴婷婷, 刘国锋, 韩士群, 周庆, 唐婉莹(114)

汞在小浪底水库的赋存形态及其时空变化 程柳, 毛宇翔, 麻冰涓, 王梅(121)

三峡库区典型农田小流域土壤汞的空间分布特征 王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇, 余亚伟(130)

三峡库区农林畜复合小流域水体汞的时空变化特征 赵铮, 王娅, 木志坚, 王定勇(136)

环境条件对三峡库区消落带土壤中邻苯二甲酸二丁酯向上覆水静态迁移释放的影响 宋娇艳, 木志坚, 王强, 杨志丹, 王法(143)

三峡库区消落带土壤中溶解性有机质(DOM)吸收及荧光光谱特征 高洁, 江韬, 李璐璐, 陈雪霜, 魏世强, 王定勇, 闫金龙, 赵铮(151)

舟山渔场有色溶解有机物(CDOM)的三维荧光-平行因子分析 周倩倩, 苏荣国, 白莹, 张传松, 石晓勇(163)

太原市小店污灌区地下水中多环芳烃与有机氯农药污染特征及分布规律 李佳乐, 张彩香, 王焰新, 廖小平, 姚林林, 刘敏, 徐亮(172)

厦门杏林湾水系表层沉积物中PAHs分析与风险评估 程启明, 黄青, 廖祯妮, 苏丽, 刘兴强, 唐剑锋(179)

两种不同的地下水污染风险评价体系对比分析: 以北京市平原区为例 王红娜, 何江涛, 马文洁, 许真(186)

大冶湖滨岸带重金属水-土迁移特征与风险评价 张家泉, 李秀, 张全发, 李琼, 肖文胜, 王永奎, 张建春, 盖希光(194)

铁盐絮凝法从阳宗海湖水中除砷研究与现场扩大试验 陈景, 张曙, 杨项军, 黄章杰, 王世雄, 王莞, 韦群燕, 张艮林, 肖军(202)

铋银氧化物混合物高效氧化降解四溴双酚A的研究 陈满堂, 宋洲, 王楠, 丁耀彬, 廖海星, 朱丽华(209)

一种纳米级不定形碳对水中四环素的吸附研究 吴亦潇, 李爱民, 汪的华, 张维昊(215)

磁性壳聚糖衍生物对阴离子染料的吸附行为 张聪璐, 胡筱敏, 赵研, 苏雷(221)

腐殖酸-高岭土复合体形成机制及对三氯乙烯的吸附 朱晓婧, 何江涛, 苏思慧(227)

降温过程对ANAMMOX工艺城市污水处理系统中微生物群落的影响 赵志瑞, 苗志加, 李铎, 崔丙健, 万敬敏, 马斌, 白志辉, 张洪勋(237)

FISH-NanoSIMS技术在环境微生物生态学上的应用研究 陈晨, 柏耀辉, 梁金松, 袁林江(244)

微囊藻毒素-LR对恶臭假单胞菌细胞活性和表面特性的影响 邓庭进, 叶锦韶, 彭辉, 刘芷辰, 刘则华, 尹华, 陈烁娜(252)

微生物除臭剂的筛选、复配及其除臭条件的优化 曾苏, 李南华, 盛洪产, 贺琨, 胡子全(259)

舟山青浜岛水体及海产品中有机氯农药的分布和富集特征 张泽洲, 邢新丽, 顾延生, 桂福坤, 祁士华, 黄焕芳, 瞿程凯, 张莉(266)

四川凉山藏彝青少年头发中多氯联苯污染水平的研究 周莹, 孙一鸣, 金军, 雷建容, 秦贵平, 何雪珠, 林尤静(274)

铜、毒死蜱单一与复合暴露对蚯蚓的毒性作用 徐冬梅, 王彦华, 王楠, 饶桂维(280)

外源硒对黄瓜抗性、镉积累及镉化学形态的影响 熊仕娟, 刘俊, 徐卫红, 谢文文, 陈蓉, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(286)

厦门市道路灰尘中铂族元素的污染特征 洪振宇, 洪有为, 尹丽倩, 陈进生, 陈衍婷, 徐玲玲(295)

洋河流域不同土地利用类型土壤硒(Se)分布及影响因素 商靖敏, 罗维, 吴光红, 徐兰, 高佳佳, 孔佩儒, 毕翔, 程志刚(301)

不同钝化剂对重金属污染土壤稳定化效应的研究 吴烈善, 曾东梅, 莫小荣, 吕宏虹, 苏翠翠, 孔德超(309)

畜禽粪便有机肥中Cu、Zn在不同农田土壤中的形态归趋和有效性动态变化 商和平, 李洋, 张涛, 苏德纯(314)

华南某市生活垃圾组成特征分析 张海龙, 李祥平, 齐剑英, 陈永亨, 方建德(325)

生物沥浸耦合类Fenton氧化调理城市污泥 刘昌庚, 张盼月, 蒋娇娇, 曾成华, 黄毅, 徐国印(333)

基于平面波导型荧光免疫传感器的双酚A检测适用性研究 徐玮琦, 张永明, 周小红, 施汉昌(338)

一种新型“Turn-on”荧光探针用于硫化氢可视化检测 刘春霞, 马兴, 魏国华, 杜宇国(343)

典型黄土区油松树干液流变化特征分析 张涵丹, 卫伟, 陈利顶, 于洋, 杨磊, 贾福岩(349)

利用巨藻发酵联产氢气与挥发性有机酸的研究 赵晓娟, 范晓蕾, 郭荣波, 薛志欣, 杨智满, 袁宪正, 邱艳玲(357)

人工纳米颗粒在水体中的行为及其对浮游植物的影响 李曼璐, 姜玥璐(365)

《环境科学》征订启事(251) 《环境科学》征稿简则(294) 信息(236,243,273,300)

厦门冬春季大气 VOCs 的污染特征及臭氧生成潜势

徐慧, 张晗, 邢振雨, 邓君俊*

(中国科学院城市环境研究所, 厦门 361021)

摘要: 2014 年 1~4 月在厦门市城区和郊区开展冬春季大气样品的采集, 采用大气预浓缩系统与 GC/MS 联用技术定量了 48 种大气挥发性有机物(VOCs), 对比分析了冬春季城区和郊区大气 VOCs 的污染特征, 并利用最大增量反应活性(MIR)估算了大气 VOCs 的臭氧生成潜势(OFP). 结果表明, 冬季厦门城区和郊区大气中 VOCs 的平均体积分数分别为 11.13×10^{-9} 和 7.17×10^{-9} , 春季厦门城区和郊区大气中 VOCs 的平均体积分数分别为 24.88×10^{-9} 和 11.27×10^{-9} , 且均表现为烷烃 > 芳香烃 > 烯烃. 通过 B/T 值探讨城区和郊区 VOCs 的来源发现, 机动车和溶剂挥发是城区 VOCs 的主要来源, 郊区 VOCs 除了局地源的贡献外, 还受到外来污染物扩散传输的影响. 城、郊区的主要 VOCs 包括丙烯、正丁烷、异丁烷、正戊烷、异戊烷、正己烷、苯、甲苯、乙苯和间二甲苯, 这 10 种组分对两地 VOCs 的贡献表现为春季(城区和郊区分别为 62.83% 和 53.74%) 高于冬季(城区和郊区分别为 61.57% 和 45.83%). 城、郊区 VOCs 的臭氧生成潜势分析显示, 芳香烃的相对贡献率最大, 其次是烯烃, 烷烃最小. C_3 、 C_4 类烯烃和苯系物是厦门城区和郊区活性较高的物种, 对臭氧的贡献较大. 比较观测期间城区和郊区 VOCs 的平均 MIR 值可知, 郊区 VOCs 的活性高于城区.

关键词: 挥发性有机物; 城区; 郊区; 臭氧生成潜势; 厦门

中图分类号: X511 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)01-0011-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.01.002

Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen

XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, DENG Jun-jun*

(Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China)

Abstract: Air samples were collected at urban and rural sites in Xiamen from January to April 2014. The concentrations of 48 ambient volatile organic compounds(VOC) species were measured by the method of cryogenic pre-concentrator and gas chromatography-mass spectrometry(GC/MS). The ozone formation potential(OFP) of VOCs was also calculated with the method of maximum incremental reactivity(MIR). The results showed that the average mixing ratios of VOCs in winter were 11.13×10^{-9} and 7.17×10^{-9} at urban and rural sites, respectively, and those in spring were 24.88×10^{-9} and 11.27×10^{-9} at urban and rural sites, respectively. At both sites, alkanes contributed the most to VOCs, followed by aromatics and alkenes. The ratios of B/T showed that vehicle and solvent evaporation were the main sources of VOCs at urban site. While at rural site, transport of anthropogenic sources was another important source of VOCs besides local biomass emissions. Ten main components including propene, *n*-butane, *i*-butane, *n*-pentane, *i*-pentane, *n*-hexane, benzene, toluene, ethylbenzene and *m/p*-xylene accounted for 61.57% and 45.83% of total VOCs at urban and rural sites in winter, respectively, and 62.83% and 53.74% at urban and rural sites in spring, respectively. Aromatics contributed the most to total OFP, followed by alkenes. Alkanes contributed the least to OFP with the highest concentration. C_3 , C_4 alkenes and aromatics were found to be the more reactive species with relatively high contributions to ozone formation in Xiamen. Comparing the average MIR of VOCs at the two sites, it was found that the reactivity of VOCs at rural site was higher than that at urban site.

Key words: volatile organic compounds; urban area; rural area; ozone formation potential; Xiamen

大气挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs), 包括各种烷烃、烯烃、芳香烃及其衍生物, 具有化学反应活性, 与环境中的氮氧化物(NO_x), 在紫外线的照射下发生反应, 形成光化学烟雾. 同时, 一些中间反应产物还会促进二次有机气溶胶(SOA)的生成, 对城市和区域大气复合污染有至关重要的影响^[1~3]. 随着经济和城市化发展速度的加快, 光化学烟雾污染在各地出现的频率越来越高, 全年臭氧超标天数呈上升趋势. 1940 年, 在美国洛杉矶首次出现光化学烟雾污染, 之后世界各地相继出现了臭氧浓度超标现象, 因此国外很早开始

了对 VOCs 的研究, 并认为其主要来源是机动车尾气. 近年来, 由于工业化进程的加快, 有机溶剂被大量使用, 成为 VOCs 的重要来源^[1,4~6]. 从 20 世纪 80 年代以来, 在中国的兰州、北京、珠三角以及长三角等地区也出现了区域性光化学烟雾污染^[7]. 相关研究表明, 从 1980 年到 2005 年中国的非甲烷类

收稿日期: 2014-06-13; 修订日期: 2014-08-13

基金项目: 中国科学院重点部署项目(KIZD-EW-TZ-G06-02); 福建省自然科学基金项目(2013J05064); 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目(IUEQN201308)

作者简介: 徐慧(1991~), 女, 硕士研究生, 主要方向为大气环境与大气化学, E-mail: hxu@iue.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: jjdeng@iue.ac.cn

挥发性有机物以每年 10.6% 的速率逐年增加,从 3.91 Tg 增长到 16.49 Tg,高排放区主要集中在我国城市化和工业化快速发展的地区,3/4 的排放量来自中国东南部、中部和北部地区^[8,9]. Guo 等^[10]和翟增秀等^[11]认为相比其他季节,由于混合层高度、温度等气象因素的影响,冬春季大气 VOCs 的污染水平要偏高.

厦门位于台湾海峡西岸地区,是中国东南沿海的一个城市化和经济快速发展的城市. 虽然尚未面临突出的大气污染问题,但随着能源消耗量和人为污染物排放量逐年增长,近年来厦门空气质量呈显著的下降趋势^[12]. 厦门属于亚热带海洋性季风气候,全年日照时间较长,有利于污染物发生光化学反应. 由于区域主导风向、温度、湿度和混合层高度等气象要素以及外来污染物传输的季节变化导致厦门冬春季空气质量较差^[13,14]. 目前,国内学者对大气 VOCs 的研究主要集中在 VOCs 的浓度、组成、时空变化、来源以及对臭氧的贡献等方面,研究区域大多集中在京津、长三角和珠三角等地区^[15~17],对东南沿海地区大气 VOCs 污染特征的研究的比较少^[18]. 因此,本研究于 2014 年冬春季节在厦门市开展了大气 VOCs 的采样监测,分析了厦门城区和郊区大气 VOCs 的污染和组分特征,并估算了 VOCs 的臭氧生成潜势(OFP),以期为控制厦门 VOCs 和臭氧污染提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

2014 年 1~4 月分别在厦门的城区和郊区同步开展大气样品的采集,采样点位置如图 1 所示. 城区站点莲坂位于厦门岛内繁华地区,是商业和居民混合区. 郊区站点坂头位于厦门岛外集美区的后溪镇,周边山体、水库众多,植被覆盖率高,周边无明显的工业源排放. 样品采集使用体积为 3.2 L 的 Summa 罐,每个月采集 5 次样品,采样时间集中在上午 08:00~09:00,采样期间天气均为晴天.

采用美国 EPA TO-15 方法中的低温预浓缩技术,以 Entech7100A 三级预浓缩系统对样品进行富集,消除 N₂、CO₂、O₂、惰性气体和水对样品的影响. 用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS, 日本岛津 QP2010PIUS)分析样品. GC-MS 采用 DB-624 色谱柱(DB-624, 60 m×0.25 mm×1.40 μm, 安捷伦),初始炉温 35℃,保留 1 min; 以 3℃·min⁻¹上升到

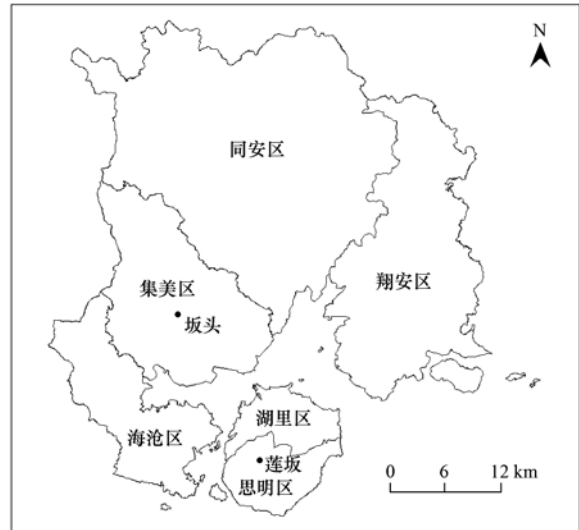


图 1 厦门市大气 VOCs 采样点分布示意

Fig. 1 Location of VOCs sampling sites in Xiamen

50℃、1℃·min⁻¹上升到 55℃、6℃·min⁻¹上升到 180℃、5℃·min⁻¹上升到 200℃保留 1min. 质谱的离子源是 70 eV 的 EI 源,进样口温度 200℃,用选择离子扫描的方式进行数据采集工作. 标准气体采用美国 Spectra Gases 公司生产的 57 组分混合气体,各组分的体积分数为 1×10⁻⁶. 标气在使用前用 Entech4600 动态稀释仪稀释出 5 个浓度梯度,然后绘制标准曲线用于样品定量分析.

采样用的 Summa 罐内壁抛光并经过硅烷化处理,在采样前用 Entech3100 自动清罐仪清洗 3 次,最后抽真空使罐内压力小于 50 mtorr; 样品采集完成后 12 h 之内完成分析工作,分析过程中采用外标法定性和定量,每个月按照 5 个浓度水平的混合标准样品建立标准曲线,并将中间一个浓度与标气理论浓度值对比,各目标物的相对标准偏差均小于 15%,标准曲线的相关性(R²)在 0.996~1.000 之间,同时对每批样品设置实验室空白和各采样点空白,保证整个实验结果的准确性和精密密度.

1.2 OFP 的计算方法

OFP 是衡量大气 VOCs 对臭氧贡献的重要指标,通过对各种成分 OFP 的分析能筛选出大气 VOCs 中形成臭氧的优势成分. OFP 的计算公式为:

$$\text{OFP}_i = \text{MIR}_i \times [\text{VOC}]_i$$

式中, MIR_i 是第 i 种 VOC 在臭氧最大增量反应中的臭氧生成系数,本研究使用文献^[19,20]的 MIR 系数(见表 1), [VOC]_i 是第 i 种 VOC 的环境浓度,单位为 ×10⁻⁹.

2 结果与讨论

2.1 厦门冬春季大气 VOCs 的组成特征

在实验室对厦门城区和郊区采集到的冬春季大气样品(1、2月为冬季,3、4月为春季)进行分析,共检测出48种挥发性有机物,包括 $C_3 \sim C_{12}$ 饱和烷烃、烯烃和芳香烃。表1是冬春季城区和郊区VOCs各组分的统计结果。从季节上分析可知,冬季厦门城区和郊区大气中VOCs的体积分数分别为 11.13×10^{-9} 和 7.17×10^{-9} ,其中城区大气中烯烃、烷烃、芳香烃分别为 1.00×10^{-9} 、 5.64×10^{-9} 、 4.49×10^{-9} ,郊区大气中分别为 0.68×10^{-9} 、 3.77×10^{-9} 、 2.72×10^{-9} ;春季厦门城区和郊区大气中VOCs的体积分数分别为 24.88×10^{-9} 和 11.27×10^{-9} ,其中城区大气中烯烃、烷烃、芳香烃分别为 3.09×10^{-9} 、 10.50×10^{-9} 、 9.07×10^{-9} ,郊区大气中分别为 1.75×10^{-9} 、 5.43×10^{-9} 、 4.07×10^{-9} 。春季各类VOCs的浓度均高于冬季,这可能与污染源排放强度和大气混合层高度变化有关:一方面,春季城区和郊区的气温均高于冬季,气温的升高导致燃料、溶剂、涂料以及植物等的VOCs排放量增加^[21];另一方面,厦门市春季大气混合层高度要低于冬季^[22],混合层高度的降低不利于污染物的扩散,从而使春季VOCs浓度偏高。厦门城区大气VOCs含量高于郊区,这与两地的生活环境与经济水平有密切联系。与郊区相比,城区人口密度较大,周围商业广场、高楼密集,车流量大,交通拥挤,所有这些因素都造成城区VOCs排放量大,并且不利于VOCs扩散,导致污染物逐渐累积,高于郊区。

从表1中还可发现,丙烯、正丁烷、异丁烷、正

戊烷、异戊烷、正己烷、苯、甲苯、乙苯和间对二甲苯都是城区和郊区的主要大气VOCs污染物。在不同季节,上述10种物质的体积分数会有所差异,但甲苯始终最高。10种主要污染物对两地TVOCs的贡献都较大,且春季贡献高于冬季:春季城区和郊区分别为62.83%和53.74%,冬季城区和郊区分别为61.57%和45.83%。虽然在城区这些主要成分贡献率变化并不大,但其体积分数在春季约为冬季的2倍。另外,从城、郊区的10种主要的VOCs相关性分析看(图2),城区主要VOCs的约是郊区的1.5倍,城、郊区主要污染物的相关系数 R^2 达到0.61,说明城区和郊区大气VOCs来源的趋同性。

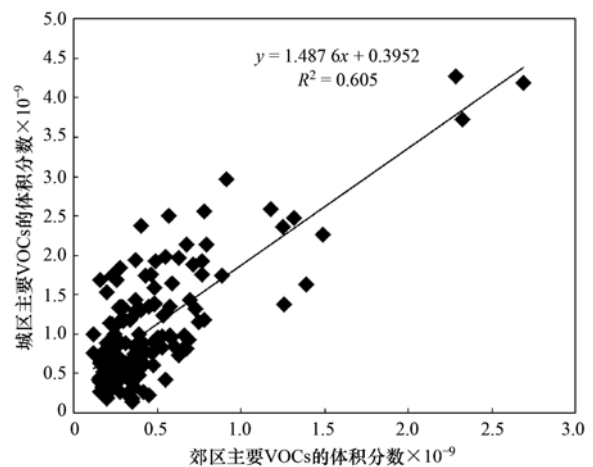


图2 厦门城区与郊区主要VOCs的关系

Fig. 2 Relationship of main VOCs at urban and rural sites in Xiamen

图3比较了厦门与国内外其它站点各类VOCs的体积分数及其比例^[21,23~25]。相较其它站点,厦门城区(莲坂)和郊区(坂头)VOCs的污染水平均较低,烷烃在厦门城、郊区所占比重最高,其次是芳香

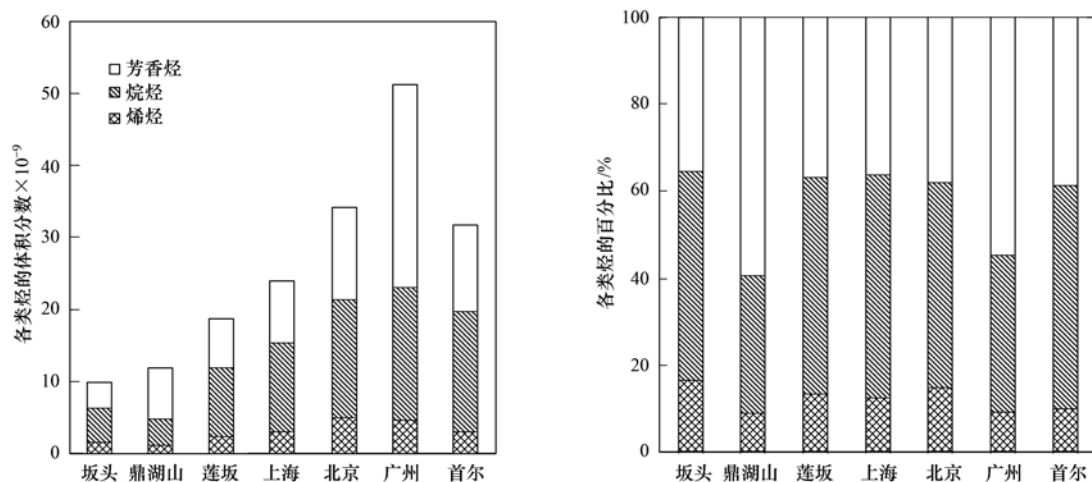


图3 厦门与其它站点VOCs中各类VOCs的体积分数与百分比

Fig. 3 Mixing ratios and contributions of different kinds of VOCs in different cities

表 1 厦门市冬春季城区和郊区大气中 VOCs 的体积分数与臭氧生成潜势

Table 1 Mixing ratios and OFP of ambient VOCs in winter and spring at urban and rural sites of Xiamen

物质	MIR	体积分数 $\times 10^{-9}$				臭氧生成潜势 $\times 10^{-9}$			
		郊区冬季	郊区春季	城区冬季	城区春季	郊区冬季	郊区春季	城区冬季	城区春季
丙烯	9.40	0.30 ± 0.06	0.54 ± 0.42	0.78 ± 0.31	1.26 ± 0.57	2.78 ± 0.58	5.06 ± 3.97	7.35 ± 2.88	11.82 ± 5.33
1-丁烯	8.90	— ¹⁾	0.68 ± 0.26	—	0.55 ± 1.04	—	6.04 ± 2.3	—	4.91 ± 9.21
顺-2-丁烯	10.00	0.12 ± 0.09	0.34 ± 0.60	0.15 ± 0.08	0.41 ± 0.65	1.24 ± 0.92	3.40 ± 6.01	1.48 ± 0.79	4.14 ± 6.49
反-2-丁烯	10.00	0.11 ± 0.08	0.04 ± 0.03	0.12 ± 0.07	0.35 ± 0.47	1.13 ± 0.82	0.42 ± 0.34	1.21 ± 0.71	3.52 ± 4.73
1-戊稀	6.20	0.07 ± 0.05	0.04 ± 0.02	0.08 ± 0.07	0.09 ± 0.07	0.45 ± 0.33	0.25 ± 0.13	0.52 ± 0.42	0.55 ± 0.42
反-2-戊稀	8.80	0.08 ± 0.06	0.03 ± 0.02	0.09 ± 0.06	0.19 ± 0.30	0.72 ± 0.55	0.26 ± 0.15	0.81 ± 0.54	1.63 ± 2.60
顺-2-戊稀	8.80	0.07 ± 0.05	0.01 ± 0.01	0.07 ± 0.06	0.08 ± 0.12	0.59 ± 0.46	0.10 ± 0.08	0.63 ± 0.49	0.70 ± 1.04
己烯	4.40	0.05 ± 0.06	0.14 ± 0.16	0.03 ± 0.05	0.17 ± 0.19	0.24 ± 0.26	0.62 ± 0.71	0.12 ± 0.21	0.73 ± 0.85
总烯烃		0.68 ± 0.42	1.75 ± 0.79	1.00 ± 0.62	3.09 ± 2.81	5.94 ± 3.69	15.53 ± 7.41	9.12 ± 5.74	28.00 ± 26.10
异丁烷	1.21	0.33 ± 0.15	0.65 ± 0.63	0.82 ± 0.20	1.47 ± 0.76	0.40 ± 0.19	0.79 ± 0.76	0.99 ± 0.24	1.78 ± 0.93
正丁烷	1.02	0.45 ± 0.22	0.88 ± 0.73	1.07 ± 0.30	2.06 ± 1.01	0.46 ± 0.22	0.90 ± 0.74	1.09 ± 0.31	2.10 ± 1.03
异戊烷	1.38	0.45 ± 0.41	0.59 ± 0.24	0.66 ± 0.20	2.49 ± 2.79	0.62 ± 0.57	0.81 ± 0.33	0.91 ± 0.27	3.44 ± 3.85
正戊烷	1.04	0.24 ± 0.13	0.38 ± 0.27	0.35 ± 0.15	0.95 ± 0.57	0.25 ± 0.14	0.39 ± 0.28	0.36 ± 0.16	0.98 ± 0.59
2,2-二甲基丁烷	0.82	0.05 ± 0.05	0.04 ± 0.03	0.05 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.04 ± 0.04	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.04	0.05 ± 0.03
2,3-二甲基丁烷	1.07	0.08 ± 0.04	0.07 ± 0.03	0.05 ± 0.01	0.16 ± 0.12	0.08 ± 0.04	0.07 ± 0.03	0.05 ± 0.01	0.18 ± 0.13
2-甲基戊烷	1.50	0.13 ± 0.05	0.25 ± 0.12	0.27 ± 0.12	0.74 ± 0.62	0.20 ± 0.07	0.38 ± 0.18	0.40 ± 0.17	1.11 ± 0.93
环戊烷	2.40	0.08 ± 0.05	0.10 ± 0.06	0.11 ± 0.07	0.20 ± 0.12	0.19 ± 0.12	0.23 ± 0.16	0.26 ± 0.17	0.48 ± 0.28
3-甲基戊烷	1.50	0.12 ± 0.04	0.19 ± 0.10	0.21 ± 0.07	0.48 ± 0.31	0.18 ± 0.07	0.28 ± 0.15	0.31 ± 0.11	0.72 ± 0.47
正己烷	0.98	0.34 ± 0.21	0.29 ± 0.10	0.25 ± 0.08	0.93 ± 1.12	0.33 ± 0.21	0.28 ± 0.10	0.24 ± 0.08	0.91 ± 1.10
2,4-二甲基戊烷	1.50	0.04 ± 0.04	0.05 ± 0.02	0.07 ± 0.06	0.07 ± 0.03	0.06 ± 0.07	0.07 ± 0.04	0.10 ± 0.08	0.10 ± 0.05
甲基环戊烷	2.80	0.10 ± 0.05	0.10 ± 0.09	0.14 ± 0.07	0.26 ± 0.12	0.28 ± 0.14	0.28 ± 0.25	0.39 ± 0.20	0.71 ± 0.34
2-甲基己烷	1.08	0.09 ± 0.05	0.18 ± 0.09	0.18 ± 0.11	0.28 ± 0.13	0.09 ± 0.05	0.19 ± 0.10	0.19 ± 0.12	0.30 ± 0.14
环己烷	1.28	0.10 ± 0.04	0.08 ± 0.05	0.12 ± 0.05	0.16 ± 0.06	0.12 ± 0.05	0.10 ± 0.06	0.16 ± 0.07	0.20 ± 0.08
2,3-二甲基戊烷	1.31	0.08 ± 0.05	0.06 ± 0.03	0.10 ± 0.06	0.11 ± 0.04	0.10 ± 0.06	0.08 ± 0.04	0.13 ± 0.08	0.15 ± 0.05
3-甲基己烷	1.40	0.10 ± 0.05	0.12 ± 0.06	0.15 ± 0.08	0.24 ± 0.09	0.14 ± 0.07	0.17 ± 0.08	0.21 ± 0.11	0.34 ± 0.13
2,2,4-三甲基戊烷	0.93	0.06 ± 0.05	0.05 ± 0.03	0.07 ± 0.06	0.08 ± 0.03	0.06 ± 0.05	0.04 ± 0.03	0.07 ± 0.05	0.07 ± 0.03
正庚烷	0.81	0.08 ± 0.05	0.14 ± 0.13	0.15 ± 0.08	0.20 ± 0.06	0.07 ± 0.04	0.11 ± 0.10	0.12 ± 0.06	0.16 ± 0.05
甲基环己烷	1.80	0.11 ± 0.06	0.19 ± 0.20	0.14 ± 0.07	0.18 ± 0.05	0.19 ± 0.11	0.34 ± 0.36	0.25 ± 0.12	0.32 ± 0.09
2,3,4-三甲基戊烷	1.60	0.07 ± 0.05	0.04 ± 0.03	0.06 ± 0.06	0.07 ± 0.03	0.11 ± 0.08	0.07 ± 0.05	0.10 ± 0.10	0.11 ± 0.05
2-甲基庚烷	0.96	0.06 ± 0.05	0.07 ± 0.06	0.08 ± 0.06	0.10 ± 0.05	0.06 ± 0.05	0.07 ± 0.06	0.08 ± 0.06	0.10 ± 0.05
3-甲基庚烷	0.99	0.07 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.07 ± 0.06	0.10 ± 0.05	0.07 ± 0.05	0.06 ± 0.04	0.07 ± 0.06	0.10 ± 0.05
正辛烷	0.60	0.07 ± 0.05	0.08 ± 0.06	0.09 ± 0.06	0.13 ± 0.07	0.04 ± 0.03	0.05 ± 0.04	0.06 ± 0.04	0.08 ± 0.04
正壬烷	0.54	0.08 ± 0.05	0.11 ± 0.08	0.10 ± 0.06	0.18 ± 0.09	0.04 ± 0.03	0.06 ± 0.05	0.05 ± 0.03	0.10 ± 0.05
癸烷	0.46	0.11 ± 0.05	0.31 ± 0.62	0.15 ± 0.06	0.31 ± 0.25	0.05 ± 0.02	0.14 ± 0.29	0.07 ± 0.03	0.14 ± 0.11
十一烷	0.42	0.18 ± 0.15	0.13 ± 0.11	0.10 ± 0.07	0.27 ± 0.23	0.07 ± 0.06	0.06 ± 0.04	0.04 ± 0.03	0.11 ± 0.09
十二烷	0.38	0.39 ± 0.31	0.38 ± 0.37	0.27 ± 0.09	0.53 ± 0.69	0.15 ± 0.12	0.15 ± 0.14	0.10 ± 0.03	0.20 ± 0.26
总烷烃		3.77 ± 1.50	5.43 ± 2.18	5.64 ± 1.73	10.50 ± 3.35	4.21 ± 1.62	6.07 ± 2.67	6.63 ± 2.20	14.91 ± 9.19
苯	0.42	0.34 ± 0.15	0.52 ± 0.14	0.51 ± 0.15	1.18 ± 0.50	0.14 ± 0.06	0.22 ± 0.06	0.22 ± 0.06	0.50 ± 0.21
甲苯	2.70	0.76 ± 0.64	1.52 ± 0.69	1.57 ± 0.70	3.44 ± 1.18	2.05 ± 1.72	4.11 ± 1.86	4.25 ± 1.90	9.29 ± 3.18
乙苯	2.70	0.24 ± 0.10	0.50 ± 0.36	0.8 ± 0.95	1.10 ± 0.39	0.63 ± 0.28	1.34 ± 0.97	2.15 ± 2.56	2.96 ± 1.05
间对二甲苯	7.40	0.17 ± 0.05	0.32 ± 0.26	0.53 ± 0.59	0.81 ± 0.27	1.23 ± 0.39	2.35 ± 1.91	3.91 ± 4.37	6.03 ± 1.96
邻二甲苯	6.50	0.14 ± 0.05	0.25 ± 0.17	0.34 ± 0.29	0.59 ± 0.21	0.94 ± 0.33	1.63 ± 1.10	2.22 ± 1.90	3.83 ± 1.36
异丙苯	2.20	0.10 ± 0.07	0.13 ± 0.11	0.08 ± 0.05	0.16 ± 0.13	0.21 ± 0.15	0.28 ± 0.24	0.17 ± 0.12	0.36 ± 0.28
正丙苯	2.10	0.12 ± 0.08	0.16 ± 0.09	0.10 ± 0.06	0.29 ± 0.14	0.24 ± 0.17	0.33 ± 0.20	0.22 ± 0.12	0.62 ± 0.29
对乙基甲苯	7.20	0.22 ± 0.13	0.15 ± 0.10	0.20 ± 0.03	0.29 ± 0.14	1.60 ± 0.97	1.09 ± 0.74	1.43 ± 0.24	2.09 ± 1.03
1-乙基-2-甲基苯	7.20	0.12 ± 0.08	0.11 ± 0.08	0.10 ± 0.06	0.19 ± 0.10	0.85 ± 0.61	0.83 ± 0.57	0.73 ± 0.46	1.37 ± 0.75
1,3,5-三甲苯	10.10	0.15 ± 0.10	0.16 ± 0.09	0.18 ± 0.11	0.33 ± 0.15	1.51 ± 0.99	1.63 ± 0.92	1.84 ± 1.09	3.30 ± 1.47
1,2,3-三甲苯	8.90	0.17 ± 0.14	0.09 ± 0.07	0.08 ± 0.06	0.18 ± 0.09	1.52 ± 1.21	0.78 ± 0.58	0.75 ± 0.52	1.63 ± 0.84
1,3-二乙基苯	6.45	0.34 ± 0.26	0.12 ± 0.10	0.10 ± 0.08	0.26 ± 0.21	2.20 ± 1.68	0.77 ± 0.62	0.65 ± 0.50	1.69 ± 1.35
对二乙基苯	6.45	0.15 ± 0.14	0.07 ± 0.07	0.13 ± 0.09	0.23 ± 0.20	0.94 ± 0.89	0.47 ± 0.42	0.84 ± 0.60	1.47 ± 1.31
总芳香烃		2.72 ± 1.06	4.07 ± 1.28	4.49 ± 2.53	9.07 ± 2.56	12.07 ± 5.39	15.67 ± 6.29	17.68 ± 11.37	35.15 ± 11.12
TVOCs		7.17 ± 2.55	11.27 ± 2.98	11.13 ± 4.53	24.88 ± 11.22	22.21 ± 9.09	37.27 ± 10.46	33.43 ± 17.93	78.06 ± 39.05

1) 表示未检出

烃, 烯烃最低. 莲坂各类 VOCs 所占比例与北京、上海及首尔等城区站点相似, 这是因为这些城区站点大气 VOCs 的主要来源都是机动车; 广州的芳香烃所占比例最高, 芳香烃主要来自工业源排放, 而工业排放是广州 VOCs 的重要来源^[25,26]; 坂头 TVOCs 与鼎湖山相当, 但后者芳香烃比例最高, 这是因为作为珠三角地区背景站点的鼎湖山, 除了局地污染源贡献外, 受区域工业源排放的污染物传输的影响也较大.

常用苯与甲苯(B/T)的比值估测 VOCs 的排放源: B/T 值等于 0.5, 说明 VOCs 主要是来自交通源排放; 若 B/T 小于 0.5, 说明除了交通源外, 还有涂料等有机溶剂挥发; 若 B/T 大于 0.5, 说明排放主要来自石油化工业和化石燃料燃烧等^[26]. 本研究中城区冬季和春季 B/T 的值分别为 0.33 和 0.34, 这是因为采样站点位于厦门的商业繁华区, 车流量大, 受交通源的影响较大; 此外, 采样点周边有许多五金店、服装店等, 由此带来有机溶剂的挥发, 成为城区大气 VOCs 的另一来源. 郊区冬季和春季苯与甲苯的比值分别为 0.45 和 0.34. 该采样点位于山上, 在山脚东侧 10 多米处是一条车流量很小的乡村小路, 在采样期间几乎无车辆通过, 周围植被覆盖率高, VOCs 主要来自生物源排放. 但从郊区 B/T 值可以证实外源传输的贡献也很大. Das 等^[27]在监测美国郊区大气中 VOCs 也发现, 虽然这些站点远离城市区域, 但其大气中 VOCs 浓度水平还是受到了明显的人为源的影响. 厦门城区和郊区 VOCs 中 C₃ ~ C₅ 类的烯烃、烷烃所占比例很高, 而研究表明它们主要是机动车尾气和汽油挥发等交通源排放的^[28,29], 这也说明郊区除了局地源所带来的污染外, 还受到周围区域交通源排放的 VOCs 扩散传输的影响.

2.2 厦门冬春季大气 VOCs 的 OFP

从表 1 可以看出, 观测期间, 丙烯、1-丁烯、甲苯、顺-2-丁烯、间对二甲苯、1,3,5-三甲苯、邻二甲苯、1,3-二乙基苯、1,2,3-三甲苯和乙苯是郊区大气中对 OFP 贡献最高的 10 种物质, 约为 TOFP 的 65.65%; 丙烯、甲苯、间对二甲苯、1-丁烯、邻二甲苯、顺-2-丁烯、1,3,5-三甲苯、乙苯、反-2-丁烯和异戊烷是城区大气中对 OFP 贡献最高的 10 种组分, 约为 TOFP 的 67.41%. 图 4 是厦门市不同季节城区和郊区各类 VOCs 所占比例及其对 TOFP 的贡献率. 从中可以看出, 无论是在城区还是在郊区, 各类 VOCs 对臭氧的相对贡献均表现为芳香烃 > 烯烃

> 烷烃, 烷烃所占体积分数在 TVOCs 中虽然最高, 但其光化学活性低, 对 OFP 的贡献最小; 芳香烃在 TVOCs 中的比例范围是 36.17% ~ 40.35%, 对 TOFP 的贡献率为 42.04% ~ 54.33%, 高于烯烃和烷烃, 但是春季郊区芳香烃在 TOFP 所占的比例与烯烃相差不大, 分别是 42.04% 和 41.66%. 这是因为烯烃的沸点相较烷烃和芳香烃低, 而且郊区植被很多, 气温的升高促进烯烃的挥发, 郊区从冬季到春季, 烯烃在 TVOCs 中所占的比例由 9.46% 上升到 15.56%.

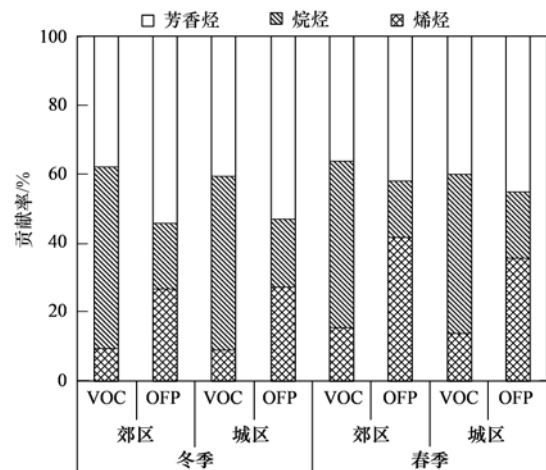


图 4 不同季节城区和郊区大气中各类 VOCs 的比例及其对 OFP 的贡献率

Fig. 4 Mixing ratios of different VOCs and their contributions to OFP in different seasons at urban and rural sites

图 5 是观测期间厦门城区和郊区 TVOCs 和 TOFP 的线性分析. 城区 VOCs 平均最大 O₃ 增量反应活性是 3.08, 郊区是 3.22, 郊区 VOCs 的化学反应活性高于城区; 但城区大气 TVOCs 与 TOFP 的相关性 ($R^2 = 0.93$) 比郊区高 ($R^2 = 0.82$), 说明城区 VOCs 的组成比郊区稳定, 这可能是由于城区 VOCs

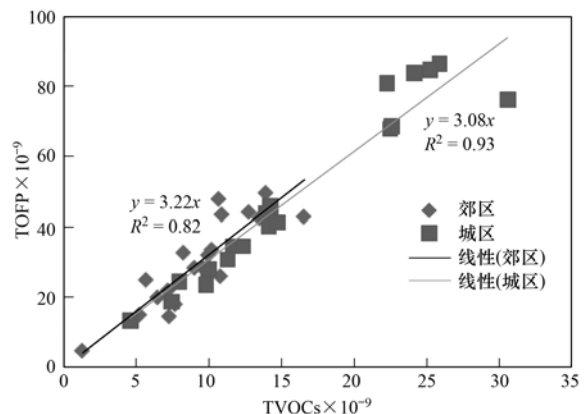


图 5 城区和郊区 TVOCs 与 TOFP 的关系

Fig. 5 Relationship of TVOCs and TOFP in urban and rural sites

主要是交通和溶剂挥发等局地源生成,而郊区 VOCs 主要是植物排放和外源传输贡献,后者排放 VOCs 的不确定性更大。

3 结论

(1) 厦门市城区大气中 VOCs 浓度约是郊区的 2 倍,且都表现为烷烃最高,芳香烃其次,烯烃最低。包括丙烯、正丁烷、异丁烷、正戊烷、异戊烷、正己烷、苯、甲苯、乙苯和间对二甲苯在内的 10 种主要成分对两地 TVOCs 的贡献较大,且春季贡献高于冬季,春季城区和郊区分别为 62.83% 和 53.74%,冬季城区和郊区分别为 61.57% 和 45.83%。从季节上看,春季 TVOCs 浓度高于冬季。城区和郊区 B/T 值均低于 0.5,城区主要是受交通源和溶剂挥发影响较大,郊区则体现在植被等生物源以及外源传输的贡献,且排放源有一定的趋同性。

(2) 厦门市城区和郊区大气 VOCs 中对 O₃ 贡献最高的是芳香烃,烷烃贡献最小。对城区 OFP 最大的 10 种成分是丙烯、甲苯、间对二甲苯、1-丁烯、邻二甲苯、顺-2-丁烯、1,3,5-三甲苯、乙苯、反-2-丁烯和异戊烷,郊区则是丙烯、1-丁烯、甲苯、顺-2-丁烯、间对二甲苯、1,3,5-三甲苯、邻二甲苯、1,3-二乙基苯、1,2,3-三甲苯和乙苯,分别占城区和郊区 TOFP 的 67.41% 和 65.65%。郊区 VOCs 的反应活性高于城区,但城区 VOCs 的组成比郊区稳定。

参考文献:

[1] 唐孝炎,张远航,邵敏. 大气环境化学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.

[2] Zhang Y H, Su H, Zhong L J, *et al.* Regional ozone pollution and observation-based approach for analyzing ozone-precursor relationship during the PRIDE-PRD2004 campaign [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(25): 6203-6218.

[3] Wei W, Wang S X, Chatani S, *et al.* Emission and speciation of non-methane volatile organic compounds from anthropogenic sources in China [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(20): 4976-4988.

[4] Brown S G, Frankel A, Hafner H R. Source apportionment of VOCs in the Los Angeles area using positive matrix factorization [J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(2): 227-237.

[5] Shin H J, Roh S A, Kim J C, *et al.* Temporal variation of volatile organic compounds and their major emission sources in Seoul, Korea [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2013, **20**: 8717-8728.

[6] Ling Z H, Guo H, Cheng H R, *et al.* Sources of ambient volatile organic compounds and their contributions to photochemical ozone formation at a site in the Pearl River Delta, southern China [J]. Environmental Pollution, 2011, **159**(10): 2310-2319.

[7] 张远航,邵可声,唐孝炎,等. 中国城市光化学烟雾污染研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998, **34**(2-3): 392-400.

[8] Bo Y, Cai H, Xie S D. Spatial and temporal variation of historical anthropogenic NMVOCs emission inventories in China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008, **8**(23): 7297-7316.

[9] Cai H, Xie S D. Estimation of vehicular emission inventories in China from 1980 to 2005 [J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(39): 8963-8979.

[10] Guo H, Lee S C, Louie P K K, *et al.* Characterization of hydrocarbons, halocarbons and carbonyls in the atmosphere of Hong Kong [J]. Chemosphere, 2004, **57**(10): 1363-1372.

[11] 翟增秀,邹克华,李伟芳,等. 天津中心城区环境空气挥发性有机物污染特征分析[J]. 环境科学, 2013, **34**(12): 4513-4518.

[12] Deng J J, Du K, Wang K, *et al.* Long-term atmospheric visibility trend in Southeast China, 1973-2010 [J]. Atmospheric Environment, 2012, **59**: 11-21.

[13] 林长城,王宏,陈彬彬,等. 厦门市空气质量时空分布特征及其与气象条件的关系[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2010, **39**(1): 79-83.

[14] Zhang F W, Xu L L, Chen J S, *et al.* Chemical compositions and extinction coefficients of PM_{2.5} in peri-urban of Xiamen, China, during June 2009-May 2010 [J]. Atmospheric Research, 2012, **106**: 150-158.

[15] 陆思华,白郁华,张广华,等. 大气中挥发性有机化合物(VOCs)的人为来源研究[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(5): 757-763.

[16] Huang C, Chen C H, Li L, *et al.* Emission inventory of anthropogenic air pollutants and VOC species in the Yangtze River Delta region, China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2011, **11**(9): 4105-4120.

[17] 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.

[18] Niu Z C, Zhang H, Xu Y, *et al.* Pollution characteristics of volatile organic compounds in the atmosphere of Haicang District in Xiamen City, Southeast China [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2012, **14**(4): 1144-1151.

[19] Carter W P L. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds [J]. Air & Waste, 1994, **44**(7): 881-899.

[20] Duan J C, Tan J H, Yang L, *et al.* Concentration, sources and ozone formation potential of volatile organic compounds (VOCs) during ozone episode in Beijing [J]. Atmospheric Research, 2008, **88**(1): 25-35.

[21] Na K, Kim Y P. Seasonal characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea [J]. Atmospheric Environment, 2001, **35**(15): 2603-2614.

[22] 王晓芙. 厦门市大气稳定性和混合层厚度的统计分析[J]. 厦门科技, 2010, (1): 57-60.

[23] 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.
- [24] 陈长虹, 苏雷燕, 王红丽, 等. 上海市城区 VOCs 的年变化特征及其关键活性组分[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(2): 367-376.
- [25] Tang J H, Chan L Y, Chan C Y, *et al.* Implications of changing urban and rural emissions on non-methane hydrocarbons in the Pearl River Delta region of China [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(16): 3780-3794.
- [26] Barletta B, Meinardi S, Simpson I J, *et al.* Ambient mixing ratios of nonmethane hydrocarbons(NMHCs) in two major urban centers of the Pearl River Delta(PRD) region: Guangzhou and Dongguan [J]. Atmospheric Environment, 2008, **42**(18): 4393-4408.
- [27] Das M, Aneja V P. Regional analysis of nonmethane volatile organic compounds in the lower troposphere of the Southeast United States [J]. Journal of Environmental Engineering, 2003, **129**(12): 1085-1103.
- [28] Qin Y, Walk T, Gary T, *et al.* C₂-C₁₀ nonmethane hydrocarbons measured in Dallas, USA-Seasonal trends and diurnal characteristics [J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(28): 6018-6032.
- [29] Guo H, So K L, Simpson I J, *et al.* C₁-C₈ volatile organic compounds in the atmosphere of Hong Kong: Overview of atmospheric processing and source apportionment [J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**(7): 1456-1472.

CONTENTS

Ozone Source Apportionment at Urban Area during a Typical Photochemical Pollution Episode in the Summer of 2013 in the Yangtze River Delta	LI Hao, LI Li, HUANG Cheng, <i>et al.</i>	(1)
Pollution Characteristics and Ozone Formation Potential of Ambient VOCs in Winter and Spring in Xiamen	XU Hui, ZHANG Han, XING Zhen-yu, <i>et al.</i>	(11)
Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO ₂ over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years	FU Chuan-bo, CHEN You-long, DAN Li, <i>et al.</i>	(18)
Composition of Organic Carbon/Elemental Carbon and Water-soluble Ions in Rice Straw Burning	HONG Lei, LIU Gang, YANG Meng, <i>et al.</i>	(25)
Gas Chromatography with a Pulsed Discharge Helium Ionization Detector for Measurement of Molecular Hydrogen(H ₂) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i>	(34)
Partial Pressure of CO ₂ and CO ₂ Degassing Fluxes of Huayankou and Xiaolangdi Station Affected by Xiaolangdi Reservoir	ZHANG Yong-ling, YANG Xiao-lin, ZHANG Dong	(40)
Distribution of Biogenic Organic Dimethylated Sulfur Compounds and Its Influencing Factors in the East China Sea in Summer	LI Jiang-ping, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng	(49)
Remote Sensing Estimation of Total Suspended Matter Concentration in Xin'anjiang Reservoir Using Landsat 8 Data	ZHANG Yi-bo, ZHANG Yun-lin, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(56)
Spatio-temporal Characteristics and Source Identification of Water Pollutants in Wenritang River Watershed	MA Xiao-xue, WANG La-chun, LIAO Ling-ling	(64)
Effect of Hydrochemistry Characteristics Under Impact of Human Activity: A Case Study in the upper Reaches of the Xijiang River Basin	YU Shi, SUN Ping-an, DU Wen-yue, <i>et al.</i>	(72)
Annual Variation of Different Phosphorus Forms and Response of Algae Growth in Meiliang Bay of Taihu Lake	WANG Ming, WU Xiao-fei, LI Da-peng, <i>et al.</i>	(80)
Distribution of Transferable Nitrogen in Poyang Lake Sediments and Its Response to the Variation of River-Lake Relationship	SHEN Hong-yan, ZHANG Mian-mian, NI Zhao-kui, <i>et al.</i>	(87)
Effect of Environmental Factors on Macroinvertebrate Community Structure in the Huntai River Basin in the Huntai River Basin	LI Yan-li, LI Yan-fen, XU Zong-xue	(94)
Effects of Outbreak and Extinction of Algal Blooms on the Microbial Community Structure in Sediments of Chaohu Lake	DIAO Xiao-jun, LI Yi-wei, WANG Shu-guang	(107)
Impacts of Algal Blooms Accumulation on Physiological Ecology of Water Hyacinth	WU Ting-ting, LIU Guo-feng, HAN Shi-qun, <i>et al.</i>	(114)
Speciation and Spatial-temporal Variation of Mercury in the Xiaolangdi Reservoir	CHENG Liu, MAO Yu-xiang, MA Bing-juan, <i>et al.</i>	(121)
Spatial Distribution of Mercury in Soils of a Typical Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(130)
Temporal and Spatial Variation of Mercury in Water of Agro-forestry and Livestock Compound Watershed in the Three Gorges Reservoir Area	ZHAO Zheng, WANG Ya, MU Zhi-jian, <i>et al.</i>	(136)
Effect of External Condition on the Static Migration and Release of Dibutyl-phthalate in the Soil of the Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir to the Overlying Water	SONG Jiao-yan, MU Zhi-jian, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(143)
Ultraviolet-Visible(UV-Vis) and Fluorescence Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter(DOM) in Soils of Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Region	GAO Jie, JIANG Tao, LI Lu-lu, <i>et al.</i>	(151)
Characterization of Chromophoric Dissolved Organic Matter(CDOM) in Zhoushan Fishery Using Excitation-Emission Matrix Spectroscopy(EEMs) and Parallel Factor Analysis(PARAFAC)	ZHOU Qian-qian, SU Rong-guo, BAI Ying, <i>et al.</i>	(163)
Pollution Characteristics and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Groundwater at Xiaodian Sewage Irrigation Area, Taiyuan City	LI Jia-le, ZHANG Cai-xiang, WANG Yan-xin, <i>et al.</i>	(172)
Risk Assessment and Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Surface Sediments of Xinglin Bay Suburb Rivers of Xiamen	CHENG Qi-ming, HUANG Qing, LIAO Zhen-ni, <i>et al.</i>	(179)
Comparative Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment of Groundwater Pollution: A Case Study in Beijing Plain	WANG Hong-na, HE Jiang-tao, MA Wen-jie, <i>et al.</i>	(186)
Transportation and Risk Assessment of Heavy Metal Pollution in Water-Soil from the Riparian Zone of Daye Lake, China	ZHANG Jia-quan, LI Xiu, ZHANG Quan-fa, <i>et al.</i>	(194)
Arsenic Removal by Coagulation Process and the Field Expanding Experiments for Yangzonghai Lake	CHEN Jing, ZHANG Shu, YANG Xiang-jun, <i>et al.</i>	(202)
Efficient Oxidative Degradation of Tetrabromobisphenol A by Silver Bismuth Oxide	CHEN Man-tang, SONG Zhou, WANG Nan, <i>et al.</i>	(209)
Removal of Tetracycline by a Kind of Nano-Sized Amorphous Carbon	WU Yi-xiao, LI Ai-min, WANG Di-hua, <i>et al.</i>	(215)
Adsorption Behavior of Anionic Dyes onto Magnetic Chitosan Derivatives	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, ZHAO Yan, <i>et al.</i>	(221)
Forming Mechanism of Humic Acid-Kaolin Complexes and the Adsorption of Trichloroethylene	ZHU Xiao-jing, HE Jiang-tao, SU Si-hui	(227)
Impact on the Microbial Community of Municipal Sewage in the ANAMMOX System During the Cooling Process	ZHAO Zhi-rui, MIAO Zhi-jia, LI Duo, <i>et al.</i>	(237)
Application of FISH-NanoSIMS Technique in Environmental Microbial Ecology Study	CHEN Chen, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i>	(244)
Influence of Microcystin-LR on Cell Viability and Surface Characteristics of <i>Pseudomonas putida</i>	DENG Ting-jin, YE Jin-shao, PENG Hui, <i>et al.</i>	(252)
Screening, Combination of Microbial Deodorizer and the Optimization of Its Deodorizing Conditions	ZENG Su, LI Nan-hua, SHENG Hong-chan, <i>et al.</i>	(259)
Distribution and Enrichment Characteristics of Organochlorine Pesticides in Water and Halobios from Qingbang Island in Zhoushan, China	ZHANG Ze-zhou, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i>	(266)
Levels of Polychlorinated Biphenyls in Tibetan and Yi Adolescents' Hair from Liangshan Prefecture, Sichuan Province	ZHOU Ying, SUN Yi-ming, JIN Jun, <i>et al.</i>	(274)
Effects of Single and Co-Exposure of Cu and Chlorpyrifos on the Toxicity of Earthworm	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, WANG Nan, <i>et al.</i>	(280)
Effect of Exogenous Selenium on Accumulation and Chemical Forms of Cadmium in Cucumber(<i>Cucumis sativus</i> L.)	XIONG Shi-juan, LIU Jun, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(286)
Pollution Characteristics of Platinum Group Elements in Road Rust in Xiamen	HONG Zhen-yu, HONG You-wei, YIN Li-qian, <i>et al.</i>	(295)
Spatial Distribution of Se in Soils from Different Land Use Types and Its Influencing Factors Within the Yanghe Watershed, China	SHANG Jing-min, LUO Wei, WU Guang-hong, <i>et al.</i>	(301)
Immobilization Impact of Different Fixatives on Heavy Metals Contaminated Soil	WU Lie-shan, ZENG Dong-mei, MO Xiao-rong, <i>et al.</i>	(309)
Form Tendency and Bio-availability Dynamics of Cu and Zn in Different Farm Soils After Application of Organic Fertilizer of Livestock and Poultry Manures	SHANG He-ping, LI Yang, ZHANG Tao, <i>et al.</i>	(314)
Analysis of Composition Characteristics of Municipal Solid Waste in South China	ZHANG Hai-long, LI Xiang-ping, QI Jian-ying, <i>et al.</i>	(325)
Sewage Sludge Conditioning by Bioleaching Combined with Fenton-like Oxidation	LIU Chang-geng, ZHANG Pan-yue, JIANG Jiao-jiao, <i>et al.</i>	(333)
Applicability of Bisphenol A Detection by a Planar Waveguide Fluorescent Biosensor	XU Wei-qi, ZHANG Yong-ming, ZHOU Xiao-hong, <i>et al.</i>	(338)
A New "Turn-on" Fluorescent Probe for Visual Detection of Hydrogen Sulfide	LIU Chun-xia, MA Xing, WEI Guo-hua, <i>et al.</i>	(343)
Analysis of Sap Flow Characteristics of the Chinese Pine in Typical Loess Plateau Region of China	ZHANG Han-dan, WEI Wei, CHEN Li-ding, <i>et al.</i>	(349)
Simultaneous Production of Hydrogen and Volatile Fatty Acid from <i>Macrocystis pyrifera</i>	ZHAO Xiao-xian, FAN Xiao-lei, GUO Rong-bo, <i>et al.</i>	(357)
Behaviors of Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments and Impacts on Marine Phytoplankton	LI Man-lu, JIANG Yue-lu	(365)

《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)

2015年1月15日 第36卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 1 Jan. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行