

# 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O<sub>3</sub>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NO<sub>2</sub>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(H<sub>2</sub>)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pCO<sub>2</sub>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)

# 近10年海南岛大气NO<sub>2</sub>的时空变化及污染物来源解析

符传博<sup>1,2,3</sup>, 陈有龙<sup>1,3</sup>, 丹利<sup>2</sup>, 唐家翔<sup>1,3</sup>

(1. 海南省气象台,海口 570203; 2. 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室,北京 100029; 3. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室,海口 570203)

**摘要:** 利用 OMI 卫星反演的 NO<sub>2</sub> 柱浓度数据,分析了近 10 年海南岛对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度 (TroNO<sub>2</sub>) 和总 NO<sub>2</sub> 柱浓度 (TotNO<sub>2</sub>) 的时空变化,同时结合地面风向、SO<sub>2</sub> 排放资料,以及 HYSPLIT 模式等探究其大气污染物来源。结果表明,海南岛地区大气 NO<sub>2</sub> 呈北半部高于南半部、中部山区低于四周沿海的分布特征,其季节变化表现为冬季高、夏季低的特点,其中夏季浓度偏低和雨水的冲刷作用有关,而冬季浓度偏高与珠江三角洲地区的外源输送作用有密切联系。近 10 年海南岛大气 NO<sub>2</sub> 冬夏季有相反的变化趋势,冬季逐年下降,夏季则有弱的上升趋势。其原因可能是夏季大气污染物以本地排放为主,冬季外源输送起主要贡献作用。海口市 TroNO<sub>2</sub> 与珠江三角洲地区的有利风向日数相关系数为 0.84,通过了 99% 的信度检验。后向轨迹分析表明,2013 年 12 月影响海口市的 3 条气流移动路径,均不同程度的经过珠江三角洲地区,进一步表明海南岛冬季大气污染物主要以珠江三角洲地区的外源输送为主。

**关键词:** 对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度; 总 NO<sub>2</sub> 柱浓度; PM<sub>2.5</sub>; HYSPLIT 模型; 海南

**中图分类号:** X511 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2015)01-0018-07 **DOI:** 10.13227/j.hjxx.2015.01.003

## Temporal and Spatial Characteristics of Atmospheric NO<sub>2</sub> over Hainan Island and the Pollutant Sources in Recent 10 Years

FU Chuan-bo<sup>1,2,3</sup>, CHEN You-long<sup>1,3</sup>, DAN Li<sup>2</sup>, TANG Jia-xiang<sup>1,3</sup>

(1. Hainan Meteorological Observatory, Haikou 570203, China; 2. Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou 570203, China)

**Abstract:** The temporal-spatial characteristics of the tropospheric column NO<sub>2</sub> (TroNO<sub>2</sub>) and total column NO<sub>2</sub> (TotNO<sub>2</sub>) over Hainan Island are analyzed using remote sensing data derived from OMI sensor, and also combining surface wind, SO<sub>2</sub>, HYSPLIT model to research the source of atmospheric pollutants over Hainan Island. The results show that: The value of NO<sub>2</sub> in northern area is higher than that in southern area, and the value of NO<sub>2</sub> in central mountainous area is lower than those other places. In addition, the seasonal variation of NO<sub>2</sub> indicates that NO<sub>2</sub> is higher in winter and lower in summer, which can be attributed to precipitation in summer and external transport of atmospheric pollutants in winter. Long-term changes of NO<sub>2</sub> in Hainan Island appear opposite trends during winter and summer, which is declining in winter and has a weak increase in summer. The reasonable explanation is that local emissions of pollutants play an important role in summer, but external transport is the main resource of pollutants over Hainan Island. The TroNO<sub>2</sub> in Haikou City has a good relationship with favorable delivered days in PRD, the correlation coefficient is 0.84 with 99% confidence level. Moreover, there are 3 transport paths in Dec. 2013 which can impact Haikou City from backward trajectory analysis, but all of them pass through the PRD, which can further prove that atmospheric pollutants of Hainan Island in winter are mainly delivery from PRD region.

**Key words:** TroNO<sub>2</sub>; TotNO<sub>2</sub>; PM<sub>2.5</sub>; HYSPLIT model; Hainan

近年来随着经济发展的加快和城市扩大化,特别是以煤炭为主要能源消费量的不断增加,经济高速发展地区的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)污染问题已经得到社会的关注和成为国家研究的热点<sup>[1-5]</sup>。大气中 NO<sub>x</sub> 浓度的不断上升对生态环境、人体健康和气候变化等都有很大的影响。NO<sub>2</sub> 不仅是形成硝酸性酸雨、酸雾的主要污染物,而且是臭氧及其它光化学二次污染物最重要的前体物<sup>[6-8]</sup>,同时 NO<sub>2</sub> 产生的硝酸盐气溶胶存在着相当大辐射强迫,而且有增大的趋势,NO<sub>2</sub> 已经成为气候变化的一个重要影响因

子<sup>[9]</sup>。目前,国内外学者关注的重点主要集中在我国东部经济高速发展地区<sup>[10-13]</sup>,Richter 等<sup>[14]</sup>发现中国东部以及香港地区 1996~2004 年对流层 NO<sub>2</sub> 增长显著,而且增长速度高于其他主要 NO<sub>2</sub> 的高值区。文献<sup>[15]</sup>的研究也有类似的发现。张兴赢

**收稿日期:** 2014-05-01; **修订日期:** 2014-07-28

**基金项目:** 海南省气象局科研项目(HNQXMS201402);公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306009);海南省气象局科技创新项目(HN2013MS02)

**作者简介:** 符传博(1985~),男,硕士,工程师,主要研究方向为大气环境与气候模拟,E-mail:hfnfuchuanbo@163.com

等<sup>[16]</sup>利用卫星遥感资料研究了我国近 10 年来对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度,结果表明我国对流层 NO<sub>2</sub> 污染最严重的地区在经济较为发达的京津冀地区、四川盆地、长三角和珠三角地区。肖钟湧等<sup>[17]</sup>利用 OMI 卫星资料分析发现中国区域总 NO<sub>2</sub> 柱浓度和对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度均呈现上升趋势,而且它们有明显的相关性。

人类活动强烈的区域,对流层 NO<sub>2</sub> 柱浓度增加趋势日益明显<sup>[16,17]</sup>。海南岛地处热带,属于热带季风气候,并具有明显的海洋性特点<sup>[18]</sup>。目前海南岛是我国环境空气质量最好的地区之一<sup>[19]</sup>,然而随着海南省经济的发展和城市规模的扩大,特别是近几年海南国际旅游岛建设项目的日趋完善,岛内经济增长、人为活动增加,向大气中排放了大量污染气体,包括 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 等,致使海南岛的空气质量也有所下降<sup>[20]</sup>,然而对于海南岛大气污染物来源问题一直没有得到科学的论证,在冬季风背景下,海南岛可能受到珠江三角洲(以下简称珠三角)地区大气污染物输送的影响<sup>[21]</sup>。因此研究海南岛大气 NO<sub>2</sub> 的时空变化特征和污染物来源,对当地政府制定切实可行的环境管理政策和气象部门的预报服务工作等均具有十分重要的意义。本研究主要对近 10 年来海南岛大气 NO<sub>2</sub> 的时空变化和污染物影响路径进行分析,以期为环境保护和气象部门制定相关措施提供科学依据。

## 1 资料及方法

### 1.1 资料

OMI(ozone monitoring instrument)探测仪,是搭载在 EOS AURA 卫星上的紫外光纤光谱仪。AURA 卫星于 2004 年 7 月发射升空,大约在当地时间 13:45 通过赤道。OMI 覆盖全球只需 1 d 时间,星下点空间分辨率可达 24 km × 13 km。总的来看,与其他探测器相比,OMI 具有较高的空间分辨率和更低的监测干扰,而且海南岛纬度较低,离星下点较近,资料的可靠性更高。NO<sub>2</sub> 总柱浓度(TotNO<sub>2</sub>)和对流层 NO<sub>2</sub>(TroNO<sub>2</sub>)柱浓度的反演运算法则详见文献[11,17]。此外,本研究分析中还用到了珠三角地区 9 个站点<sup>[22]</sup>近 10 年逐日风向观测资料,资料来自中国气象局国家气象信息中心。近 10 年广东省和海南省 SO<sub>2</sub> 排放资料,资料来自国家统计局。还有海南省气象局气象档案馆提供的 2013 年 12 月至 2014 年 2 月 PM<sub>2.5</sub> 资料和降水量逐日资料。

### 1.2 HYSPLIT 模型与簇分析方法

HYSPLIT 模型是由美国国家海洋和大气管理局(NOAA)与空气资源实验室(ARL)联合研发的一种用于计算和分析大气污染物输送、扩散轨迹的专业模型。该模型具有处理多种气象要素输入场、多种物理过程和不同类型污染物排放源功能的较为完整的输送、扩散和沉降模式,已经被广泛地应用于环境大气污染输送的研究中<sup>[23~25]</sup>。HYSPLIT 模型所用数据主要来源于美国国家环保中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP),数据齐全并不断更新,准确度也相对提高,可以在线或单机使用。本研究采用其最新版本(版本号为 4.9)来分析 2013/2014 年冬季影响海南岛地区大气气溶胶粒子的来源地。

簇分析方法假设有 N 条轨迹,定义每个簇的空间方差为簇内每条轨迹与簇平均轨迹对应点的距离平方和;每条轨迹在起始时刻分别定义空间方差为零,且各自独立的一个簇。算出所有可能组合的两个簇的空间方差,选择两个簇合并为一个新簇,以使得合并后所有簇的空间方差之和比合并前增加最小,这种过程一直进行到所有轨迹合并成为一个簇。在最初几步空间方差之和迅速增加,然后缓慢增加,但分成一定数量的簇后,再进一步合并,则又迅速增加,说明此时将要合并的两个簇已经很不相似。把空间方差之和再次迅速增大的点作为分簇过程的结束点,在空间方差之和迅速增大之前分出的各个簇即为所得到的最终簇,算出这几个簇的平均轨迹,其代表了该采样点在这一时期的集中主要气流类型<sup>[26,27]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 海南岛地区大气 NO<sub>2</sub> 的空间分布

图 1(a)和 1(b)分别给出了近 10 年平均的华南地区 TotNO<sub>2</sub> 和 TroNO<sub>2</sub> 的空间分布。从中可以看出,珠三角地区的 TotNO<sub>2</sub> 和 TroNO<sub>2</sub> 均为华南地区的高值中心,其最大值分别为  $180 \times 10^{14} \text{ molec} \cdot \text{cm}^{-2}$  和  $150 \times 10^{14} \text{ molec} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,人为因素的影响最为显著。而海南岛地区人为排放影响也起到一定的作用,其陆地上 TotNO<sub>2</sub> 和 TroNO<sub>2</sub> 的空间分布也比同一纬度的海洋偏高。相比而言,海南岛均表现为北半部高于南半部、中部山区低于四周沿海的特征, TotNO<sub>2</sub> 和 TroNO<sub>2</sub> 存在明显的正相关关系。TotNO<sub>2</sub> 最大值出现在海南岛北部沿海,为  $49 \times 10^{14} \text{ molec} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,中部山区最低,为  $37 \times 10^{14} \text{ molec} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,TroNO<sub>2</sub> 北部沿海最高为  $21 \times 10^{14}$

$\text{molec} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 中部山区只为  $10 \times 10^{14} \text{ molec} \cdot \text{cm}^{-2}$ . 海南岛地区大气  $\text{NO}_2$  的空间分布与人口分布、经济水平基本一致, 北部沿海有海南省的省会城市海口市, 其作为海南省的政治和经济中心, 工业排放和交通排放等都是全省最高的, 而且在海口市和澄迈县之间有一火电厂存在(华能海南中海发电股份有限公司马村电厂), 其火电发电的燃烧排放对对流层  $\text{NO}_2$  的贡献不容忽视. 中部山区是五指山山脉, 人口稀少, 工农业活动水平低, 大气  $\text{NO}_2$  分布较低, 可见人为活动与岛上  $\text{NO}_2$  的分布有密切关系.

人为排放的  $\text{NO}_2$  主要停留在对流层<sup>[8]</sup>, 而平流层中  $\text{NO}_x$  主要来源是  $\text{N}_2\text{O}$  和 20 km 高处飞行的超音速飞机的直接排放<sup>[28]</sup>, 其浓度相对稳定. 所以  $\text{TroNO}_2$  与  $\text{TotNO}_2$  的比率一定程度上能反映出人为排放的影响. 图 1(c) 为海南岛地区  $\text{NO}_2$  比率的空间分布, 特征与图 1(a) 和 1(b) 基本一致, 大值区出

现在北半部, 北部沿海可达 0.42, 最低值出现在中部山区, 为 0.26. 位于岛南部的三亚市也出现一个高值中心(0.3), 三亚市是海南省第二大城市, 同时也是国内外有名的旅游胜地, 特别是在冬季由于气候暖和, 游客多选择冬季在三亚旅游, 加大了三亚市的大气污染物排放, 而且三亚市也有一个火电发电厂(华能海南中海发电股份有限公司南山电厂), 对该地区  $\text{TroNO}_2$  浓度的增加有利. 图 1(d) 还给出了  $\text{TroNO}_2$  和  $\text{TotNO}_2$  的相关系数, 相关系数是通过每个像元逐月的值求出. 从空间分布上看与比率[图 1(c)]略有不同, 相关系数表现为东北地区高, 西南地区低的分布特征. 东北地区相关系数高达 0.95, 说明人为排放的  $\text{NO}_2$  是该地区的主要贡献者. 另外在岛西北地区还有一个高值中心(相关系数达 0.95), 比率在 0.4 以上, 目前该地区正在建设的昌江核电站值得关注<sup>[29]</sup>.

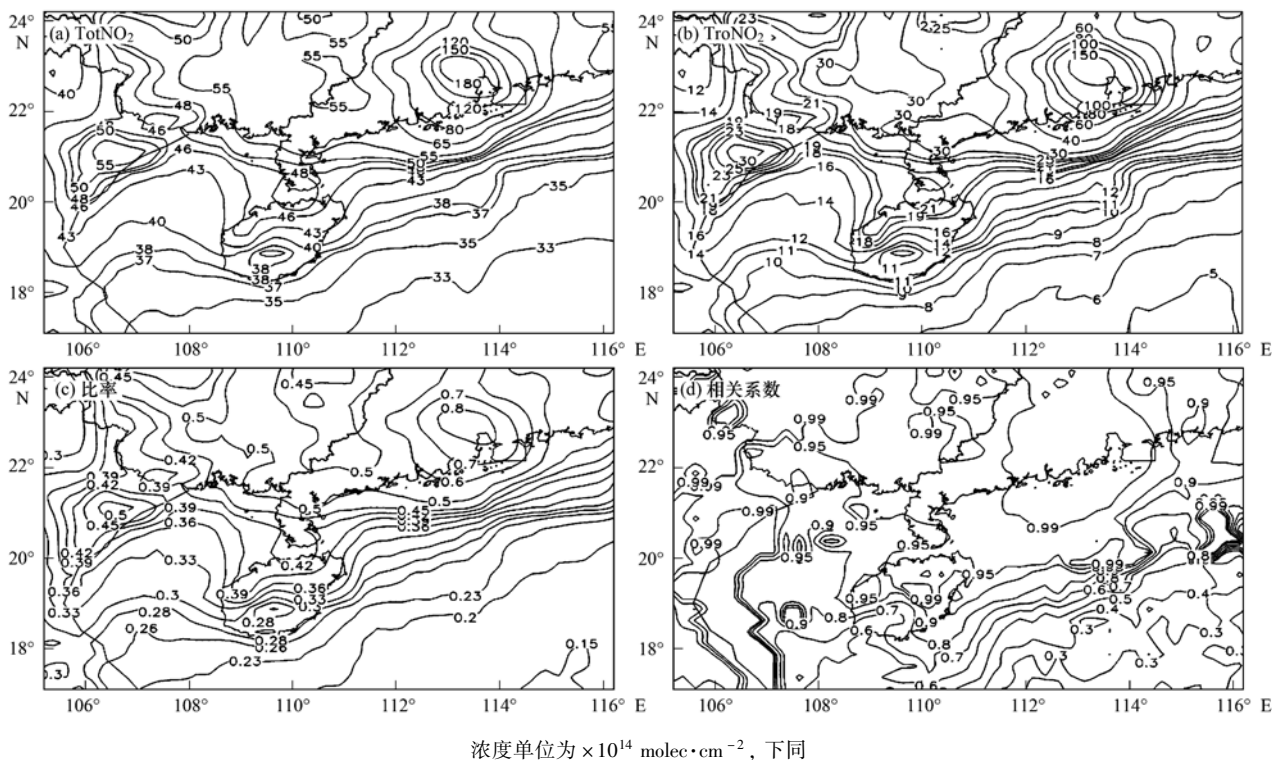


图 1 华南地区近 10 年  $\text{TotNO}_2$  柱浓度、 $\text{TroNO}_2$  柱浓度、 $\text{TroNO}_2$  与  $\text{TotNO}_2$  比率以及  $\text{TroNO}_2$  与  $\text{TotNO}_2$  相关系数的空间分布

Fig. 1 Spatial characteristics of 10 years average  $\text{TotNO}_2$ ,  $\text{TroNO}_2$ ,  $\text{TroNO}_2/\text{TotNO}_2$  and their correlation coefficients

## 2.2 海南岛地区大气 $\text{NO}_2$ 的季节变化

大气中  $\text{NO}_2$  由于受到气象条件、太阳辐射和人为排放的季节性影响, 所以表现出明显的季节变化. 图 2(a) 和 2(b) 分别给出了海南岛和海口市  $\text{TroNO}_2$ 、 $\text{TotNO}_2$  以及比率的月变化. 从图 2(a) 可以看出, 海南岛  $\text{TroNO}_2$  和  $\text{TotNO}_2$  浓度均表现为冬季高、夏季低的变化特点, 而且  $\text{TroNO}_2$  的变化幅度

比  $\text{TotNO}_2$  明显. 比率最高出现在 12 月为 0.51, 6 月最低为 0.21. 相比而言, 海口市的  $\text{TroNO}_2$  和  $\text{TotNO}_2$  浓度偏高于海南岛平均, 而且季节特征更为显著. 夏季是海南岛最主要的降水季节, 雨水的冲刷作用不利于大气  $\text{NO}_2$  浓度的升高, 而且夏季海南岛低层多为偏南风风场, 南边是广阔的南海, 没有明显的外源污染物输送作用. 冬季一方面海南岛旅游

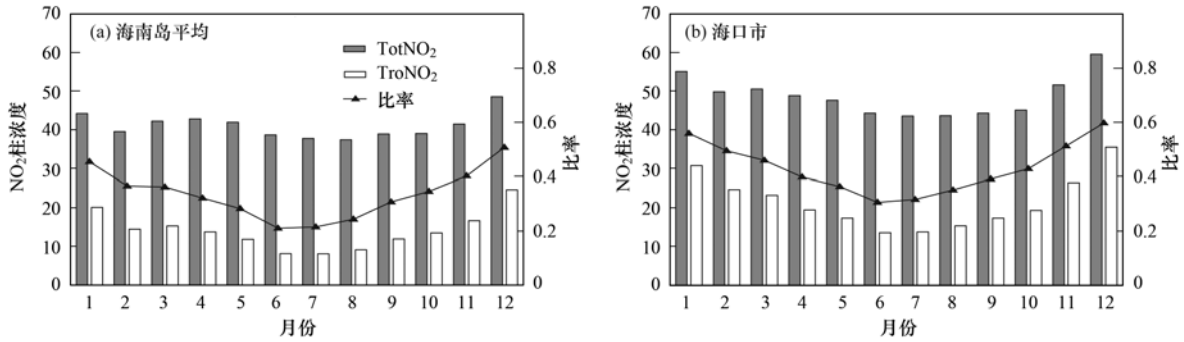


图 2 TroNO<sub>2</sub>、TotNO<sub>2</sub> 柱浓度及比率的月变化

Fig. 2 Monthly variation of TroNO<sub>2</sub>, TotNO<sub>2</sub> and TroNO<sub>2</sub>/TotNO<sub>2</sub>

人口增多,加重本地污染物排放;另一方面在冬季风作用下,海南岛低层多为东北风场控制,海南岛东北方向有国内著名,经济高度发展的珠江三角洲地区,大气污染物在东北风的作用下,有利于向海南岛方向输送,而且受到五指山的阻挡作用,海南岛北半部地区大气 NO<sub>2</sub> 浓度会明显升高,这和前面海南岛 NO<sub>2</sub> 空间分布的分析一致。

为了研究海南岛地区 NO<sub>2</sub> 的时间变化特征,图 3(a)和 3(b)分别给出了近 10 年海南岛 (108.5° ~ 111.2°E, 18.1° ~ 20.2°N) 和海口市月平均的 TroNO<sub>2</sub> 和 TotNO<sub>2</sub> 的变化。海南岛 TroNO<sub>2</sub> 和 TotNO<sub>2</sub> 有明显季节性变化,冬季为峰值,夏季为谷值,这和前面的分析一致,而且 TroNO<sub>2</sub> 的变化和 TotNO<sub>2</sub> 的变化基本相同。从长时间的变化上看,海南岛大气 NO<sub>2</sub> 冬季(峰值)有逐年下降的趋势,特别是 TroNO<sub>2</sub>

冬季下降的趋势更为明显。2005 年 12 月 TroNO<sub>2</sub> 为  $31.68 \times 10^{14} \text{ molec} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 2012 年 12 月只为  $18.25 \times 10^{14} \text{ molec} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 下降了  $13.43 \times 10^{14} \text{ molec} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 而夏季(谷值)逐年有弱的上升趋势。这种冬夏季相反的变化趋势从比率[图 3(c)]上看得更为明显。海南岛比率在 0.2 ~ 0.6 之间,海口市比率偏高一些,在 0.3 ~ 0.7 之间浮动。但是冬季均出现了显著的下降,而夏季则为相反的上升趋势。表 1 进一步给出了海南岛和海口市冬夏季比率变化对比,海口市冬季气候趋势系数为 -0.439,下降较为明显,海南岛也有 -0.273 的下降,而夏季均表现为上升的趋势。这种冬夏季相反的变化趋势自然就引出一个重要的问题,海南岛大气污染物是以本地排放为主还是外源输送为主? 海南省在经济高速发展的背景下,大气污染物本地排放增加,夏季海南岛低层风向

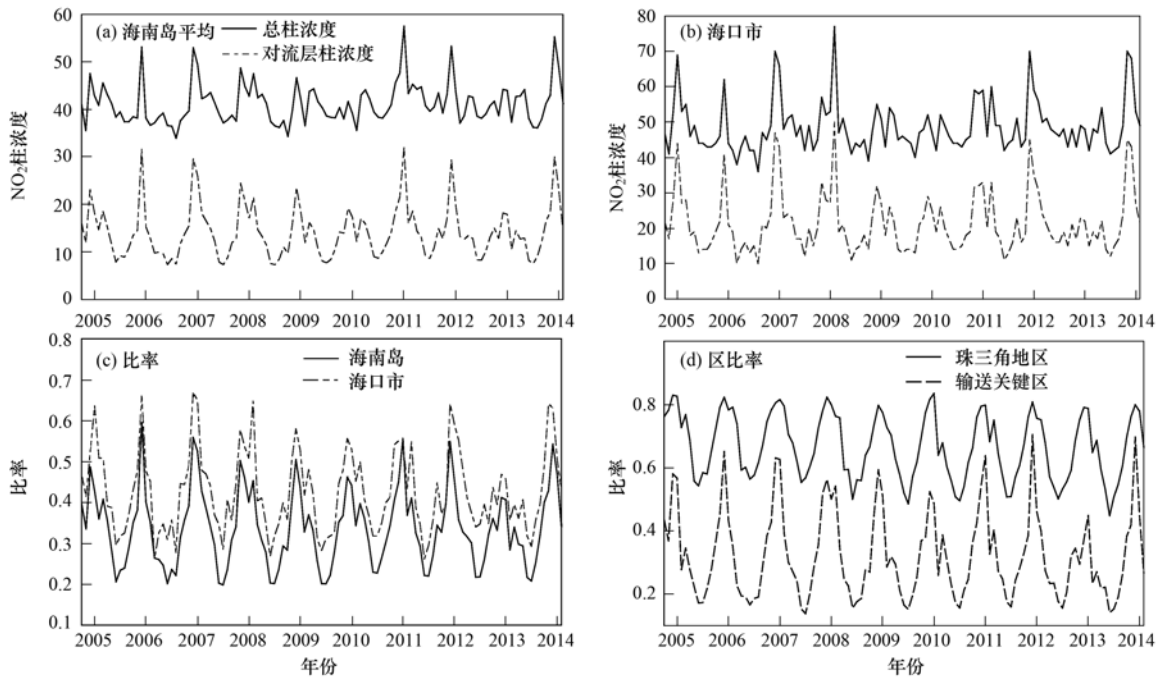


图 3 TroNO<sub>2</sub>、TotNO<sub>2</sub> 柱浓度及比率的变化

Fig. 3 Variation of TroNO<sub>2</sub>, TotNO<sub>2</sub> and the TroNO<sub>2</sub>/TotNO<sub>2</sub>

以偏南风为主,不利于污染物的输送,所以夏季大气污染物以本地排放为主,NO<sub>2</sub> 浓度缓慢上升. 冬季海南岛地区低层在东北风场控制下,有利于大气污染物从珠三角地区向海南岛输送,海南岛大气污染物为本地排放与外源输送之和. 如果冬季海南岛大气污染物以外源输送为主,则其变化特征与输送源地和输送关键区有关. 图 3(d)为珠三角地区(112°~115.5°E,

21.5°~24°N)和输送关键区(111.5°~113°E,19.5°~21°N)NO<sub>2</sub> 比率的变化,从中可以发现珠三角地区NO<sub>2</sub> 比率近 10 年表现为明显的下降趋势,与海南岛冬季 NO<sub>2</sub> 比率一致,而且输送关键区冬季 NO<sub>2</sub> 比率的变化与海南岛极为相似,也主要表现为逐年下降的趋势,这也进一步说明冬季海南岛大气污染物与珠三角地区的外源输送有密切关系.

表 1 海南岛和海口市冬夏季比率变化对比

Table 1 Seasonal variation trend of ratios in Hainan Island and Haikou City

地区	季节	平均值	均方差	回归系数/a <sup>-1</sup>	气候趋势系数
海南岛	冬季	0.439	0.036	-0.003	-0.273
	夏季	0.224	0.011	0.002	0.440
海口市	冬季	0.534	0.048	-0.007	-0.439
	夏季	0.323	0.018	0.002	0.255

### 2.3 冬季珠三角地区大气污染物对海南岛的外源输送

为进一步验证冬季珠三角地区对海南岛大气污染物的外源输送,笔者首先分析海南省和广东省近 10 年本地废气中主要污染物排放量的变化. 图 4 为 2004~2012 年 SO<sub>2</sub> 排放的逐年变化,资料来自国家统计局. 从中可以明显发现,近 10 年来海南省 SO<sub>2</sub> 的排放量主要呈上升趋势,2012 年达 3.41 万 t,而广东省则呈现逐年下降的变化趋势,2005 年 SO<sub>2</sub> 的排放量在 120 万 t 以上,2012 年下降至 80 万 t 以下,这和前人的研究一致<sup>[16]</sup>,说明广东省废气排放控制工作取得显著的成效,但总量上还是远远超过海南省的废气排放. 从以上分析可以看出,海南省本地废气排放并不是海南岛大气污染物下降的主要原因,外源的输送作用占有很大的贡献. 如果珠三角地区的废气排放作为海南岛大气污染物的主要输送外源,则源地污染物的下降趋势必然能造成海南岛大气污染物总量的下降.

大气污染物的输送作用主要取决于合理的风向,

而根据海南岛和珠三角地区的地理位置分布,本研究进一步挑选出位于珠三角地区,资料相对完整的 9 个观测站点的近 10 年日最大风向资料,分别为广州(站号 59287)、增城(站号 59294)、惠阳(站号 59298)、台山(站号 59478)、深圳(站号 59493)和上川岛(站号 59673),定义日平均风向方位角为 2(22.5°~45°)或者 3(45°~67.5°)的为一个有利输送日,图 5 为 2004~2012 年冬季海南岛地区 TroNO<sub>2</sub> 与珠三角地区 9 个站点平均的有利输送天数对比. 其中表明,冬季海南岛地区的 TroNO<sub>2</sub> 与珠三角地区有利输送天数呈明显的正相关关系,其相关系数为 0.52,超过了 90% 的信度检验,而且海口市的相关系数为 0.84,达到了 99% 的信度,说明在有利的风向作用下,珠三角地区污染物的输送主要影响海南岛北半部地区,这和前面的分析一致,基本可以证明冬季海南岛的大气污染物主要以珠三角地区外源输送为主.

### 2.4 2013/2014 年冬季海南岛气溶胶粒子外源输送路径分析

2013/2014 年冬季海南岛出现了几次较为严重

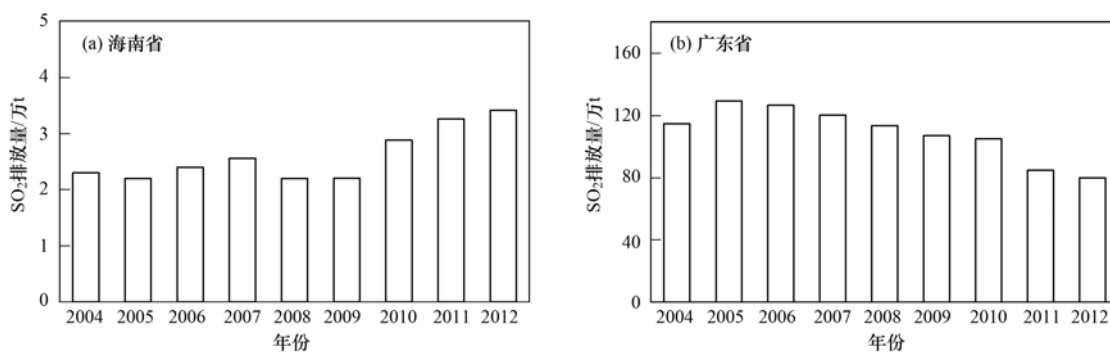


图 4 2004~2012 年 SO<sub>2</sub> 排放总量

Fig. 4 Annual variation of SO<sub>2</sub> from 2004 to 2012

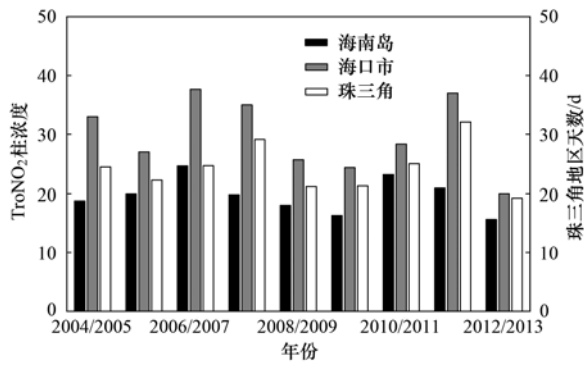


图5 2004~2012年冬季 TroNO<sub>2</sub> 柱浓度与珠三角地区有利输送天数对比

Fig. 5 Annual variation of TroNO<sub>2</sub> and favorable delivered days in PRD from 2004 winter to 2012 winter

的气溶胶粒子污染事件,已引起社会广泛关注<sup>[21]</sup>. 本节主要结合 HYSPLIT 模型进行海南岛大气污染物路径分析. 图6给出了海口市 2013/2014 年冬季海口市 TroNO<sub>2</sub> 柱浓度、PM<sub>2.5</sub> 浓度以及降水量逐日变化. 其中表明 2013/2014 年冬季海口市有 3 个时段 PM<sub>2.5</sub> 的浓度超过了国家环境空气质量二级标准限值(75 μg·m<sup>-3</sup>),分别是 2013 年 12 月上旬、下旬到 2014 年 1 月初,以及 1 月中旬,其中 12 月中旬 PM<sub>2.5</sub> 浓度低值可能与降水天气的出现有关. 海口市 PM<sub>2.5</sub> 浓度与 TroNO<sub>2</sub> 有较好的正相关关系,图7为 2013/2014 年冬季海口市 PM<sub>2.5</sub> 浓度与 TroNO<sub>2</sub> 之间的相关散点图,其一阶拟合方程为  $y = 0.32x + 16.5$ ,  $R^2 = 0.29$ .

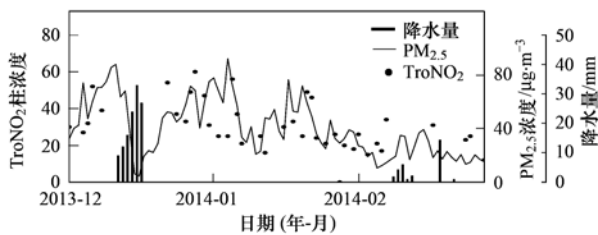


图6 2013/2014年冬季海口市 TroNO<sub>2</sub> 柱浓度、PM<sub>2.5</sub> 浓度以及降水量逐日变化

Fig. 6 Daily average TroNO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> and precipitation at Haikou City in winter 2013/2014

采用 HYSPLIT 轨迹模式,对污染较重的 2013 年 12 月海口市大气污染物进行反向轨迹分析,以进一步解释海南岛地区气溶胶的区域传输来源. 研究的“起点”设为海口市 (20.0°N, 110.17°E), 500 m 高度,采用反向轨迹算法分析过去 72 h 内气流移动轨迹变化,并用簇方法进行分析,得到海口市气溶胶粒子的 3 条主要传输路径和该路径占总路径的比

例. 从图8可知,2013年12月影响海口市气溶胶粒子最主要的外部输送路径为来自安徽、江西和广东地区,比例高达68%. 第2条路径从长江三角洲沿我国东南沿海一直南下影响海南岛,第3条从贵州向东南移动至珠三角地区西部,再折向海南岛,其原因可能与地形有关,第2和第3条路径各占16%. 从路径的分布上看,3条路径均不同程度地经过珠三角地区. 气流在经过大气污染严重的珠三角地区时,气溶胶粒子浓度在一定程度上得到增大,进而将气溶胶粒子输送至海南岛地区. 后向轨迹分析也验证了海南岛冬季大气污染物主要来自珠三角地区的外源输送.

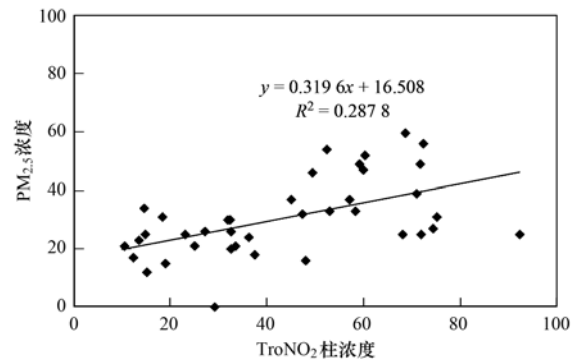


图7 2013/2014年冬季海口市 TroNO<sub>2</sub> 柱浓度与 PM<sub>2.5</sub> 浓度的相关性

Fig. 7 Relationship between TroNO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> during Dec. 2013 to Feb. 2014

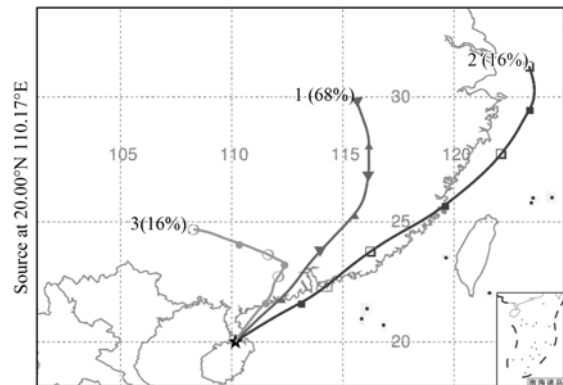


图8 2013年12月冬季海口市大气污染物后向气流轨迹

Fig. 8 Backward trajectories of atmospheric pollution in Dec. 2013, Haikou City

### 3 结论

(1)海南岛地区大气 NO<sub>2</sub> 表现为北半部高于南半部、中部山区低于四周沿海的分布特征,与海南省人口分布、经济发展水平基本一致,人为活动与岛上 NO<sub>2</sub> 的分布有密切联系.



(2)海南岛大气 NO<sub>2</sub> 浓度表现为冬季高、夏季低的变化特点,其中夏季浓度低和雨水的冲刷作用有关,而冬季浓度偏大与外源输送作用有关。

(3)长时间变化研究表明,近 10 年海南岛大气 NO<sub>2</sub> 冬夏季有相反的变化趋势,冬季逐年下降,夏季则有弱的上升趋势。其原因可能是夏季大气污染物以本地排放为主,冬季外源输送起主要贡献作用。海口市 TroNO<sub>2</sub> 与珠三角地区的有利风向日数相关系数为 0.84,通过了 99% 的信度检验。

(4) HYSPLIT 模式模拟的 2013 年 12 月海口市大气污染物后向轨迹分析表明,影响海南岛的 3 条气流移动路径,均不同程度地经过珠三角地区,进一步验证了海南岛冬季大气污染物主要来自珠三角地区的外源输送。

#### 参考文献:

- [1] 石玉珍,徐永福,王庚辰,等.北京市夏季 O<sub>3</sub>、NO<sub>x</sub> 等污染物“周末效应”研究[J].环境科学,2009,30(10):2832-2838.
- [2] 余环,王普才,宗雪梅,等.奥运期间北京地区卫星监测 NO<sub>2</sub> 柱浓度的变化[J].科学通报,2009,54(3):299-304.
- [3] 田贺忠,王艳,赵丹,等.中国太行山东麓 NO<sub>x</sub> 重污染成因分析[J].科学通报,2011,56(18):1464-1469.
- [4] 王英,李令军,刘阳.京津冀与长三角区域大气 NO<sub>2</sub> 污染特征[J].环境科学,2012,33(11):3685-3692.
- [5] 沈利娟,李莉,吕升,等.2013 年夏季嘉兴市一次光化学事件的观测分析[J].环境科学,2014,35(5):1662-1670.
- [6] Crutzen P J. The role of NO and NO<sub>2</sub> in the chemistry of the stratosphere and troposphere [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1979, 7: 443-472.
- [7] Crutzen P J, Schmailzl U. Chemical budgets of the stratosphere [J]. Planetary and Space Science, 1983, 31(9):1009-1032.
- [8] Lee D S, Köhler I, Grobler E, et al. Estimations of global NO<sub>x</sub> emissions and their uncertainties [J]. Atmospheric Environment, 1997, 31(12):1735-1749.
- [9] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Cambridge, U K and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [10] 陶金花,王子峰,韩冬,等.华北地区秸秆焚烧前后的 NO<sub>2</sub> 卫星遥感监测分析[J].中国环境科学,2009,29(10):1016-1020.
- [11] 肖钟湧,江洪.四川盆地大气 NO<sub>2</sub> 特征研究[J].中国环境科学,2011,31(11):1782-1788.
- [12] 赵阳,邵敏,王琛,等.被动采样监测珠江三角洲 NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub> 和 O<sub>3</sub> 的空间分布特征[J].环境科学,2011,32(2):324-329.
- [13] 苏继峰,朱彬,康汉青,等.长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用[J].环境科学,2012,32(5):1418-1424.
- [14] Richter A, Burrows J P, Nüß H, et al. Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space [J]. Nature, 2005, 473(7055):129-132.
- [15] van der A R J, Peters D H M U, Eskes H, et al. Detection of the trend and seasonal variation in tropospheric NO<sub>2</sub> over China [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2006, 111(D12), doi: 10.1029/2005JD006594.
- [16] 张兴赢,张鹏,张艳,等.近 10 年中国对流层 NO<sub>2</sub> 的变化趋势、时空分布特征及其来源解析[J].中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(10):1409-1416.
- [17] 肖钟湧,江洪,程苗苗.利用 OMI 遥感数据研究中国区域大气 NO<sub>2</sub> [J].环境科学学报,2011,31(10):2080-2090.
- [18] 高素华,黄增明,张统钦,等.海南岛气候[M].北京:气象出版社,1998.1-189.
- [19] 马社霞,张啸,陈来国,等.海南五指山背景点 PM<sub>2.5</sub> 中多环芳烃的污染特征[J].中国环境科学,2013,33(S1):103-107.
- [20] 吴兑,吴晓京,李菲,等.1951-2005 年中国大陆霾的时空变化[J].气象学报,2010,68(5):680-688.
- [21] 冯文,李天富,吴春娃,等.海南岛北部地区酸雨的天气影响因素及污染源分析[J].环境科学研究,2009,22(6):643-649.
- [22] Fu C B, Dan L. Trends in the different grades of precipitation over South China during 1960-2010 and the possible link with anthropogenic aerosols [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2014, 31(2):480-491.
- [23] 霍庆,蔡旭晖,宋宇,等.全国大气扩散输送模态与区划研究[J].环境科学学报,2012,32(2):360-366.
- [24] 高健,张岳狮,柴发合,等.北京 2011 年 10 月连续重污染过程气团光化学性质研究[J].中国环境科学,2013,33(9):1539-1545.
- [25] 刘鲁宁,申雨璇,辛金元,等.秦皇岛大气污染物浓度变化特征[J].环境科学,2013,34(6):2089-2097.
- [26] Wesely M L. Parameterization of surface resistances to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models [J]. Atmospheric Environment, 1989, 23(6):1293-1304.
- [27] Draxler R R. Trajectory optimization for balloon flight planning [J]. Weather and Forecasting, 1996, 11(1):111-114.
- [28] Velders G J M, Granier C, Portmann R W, et al. Global tropospheric NO<sub>2</sub> column distributions: Comparing three-dimensional model calculations with GOME measurements [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, 106(D12):12643-12660.
- [29] 张振州,蔡旭晖,康凌,等.海南岛地区大气输送和扩散特征的数值模拟[J].环境科学学报,2014,34(2):281-289.

## 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> ) in the Atmosphere	LUAN Tian, FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i>	( 34 )
Partial Pressure of CO <sub>2</sub> and CO <sub>2</sub> 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. sciencecp. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencecp. 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