

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第8期

Vol.35 No.8

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

2012年春季京津冀地区一次沙尘暴天气过程中颗粒物的污染特征分析	刘庆阳, 刘艳菊, 赵强, 张婷婷, 张美根, 王存美 (2843)
杭州灰霾天气超细颗粒浓度分布特征	陈秋方, 孙在, 谢小芳 (2851)
气象因素对广州市大气中二噁英污染特征的影响	杜国勇, 苏原, 任明忠, 张素坤, 青宪 (2857)
龙凤山本底站大气 CO ₂ 数据筛分及浓度特征研究	栾天, 周凌晔, 方双喜, 姚波, 王红阳, 刘钊 (2864)
区域传输对华东森林及高山背景点位大气污染物浓度的影响	苏彬彬, 许榕洋, 张若宇, 纪贤鑫 (2871)
天津市夏季蜂窝状溶蚀器涂层溶液浓度确定的实验研究	张诗建, 姬亚芹, 张雷波, 赵雪艳, 朱振宇, 杨文 (2878)
铅锌冶炼厂不同工艺铅元素粒径分布特征	梁俊宁, 李文慧, 葛毅, 陈洁, 宋丽娜, 刘杰 (2883)
KI 改性黏土脱除烟气中单质汞的研究	沈伯雄, 陈建宏, 蔡记, 何川, 李卓 (2890)
污泥直接干化产生的恶臭及挥发性有机物特征研究	陈文和, 邓明佳, 罗辉, 张婧赢, 丁文杰, 刘俊新, 李琳 (2897)
基于风险管理的区域(流域)地下水污染预警方法研究	白利平, 王业耀, 郭永丽, 周友亚, 刘俐, 颜增光, 李发生 (2903)
1980~2010年浙江某典型河流硝态氮通量对净人类活动氮输入的动态响应	张柏发, 陈丁江 (2911)
南京仙林新市区土地利用结构与格局对湿地水环境氮、磷影响研究	蔡春晓, 刘红玉, 李玉凤, 王聪, 侯明行 (2920)
三江平原典型沼泽湿地养分累积与沉积特征	李瑞利, 柴民伟, 邱国玉, 石福臣, Sasa Kaichiro (2928)
岩溶地下河流域表层土壤多环芳烃污染特征及来源分析	蓝家程, 孙玉川, 师阳, 徐昕, 袁道先, 胡宁 (2937)
亚热带典型岩溶区地表溪流水文地球化学昼夜变化及其影响因素研究	张陶, 蒲俊兵, 袁道先, 章程, 何师意, 于爽, 刘文, 莫雪, 周建超, 杨会, 唐伟 (2944)
藏南干旱区湖泊及地热水体氢氧同位素研究	肖可, 沈立成, 王鹏 (2952)
广西五里峡水库夏季溶解无机碳行为的初步研究	刘文, 蒲俊兵, 于爽, 章程, 区绎如, 袁道先, 杨会, 唐伟 (2959)
铜陵相思河流域重金属分布特征研究	陈莉薇, 徐晓春, 王军, 陈芳 (2967)
不同压力作用下太湖蓝藻气囊体积分数及上浮特性研究	王巍, 丛海兵, 徐亚军, 陈雯婧, 徐思涛, 吴军, 蒋新跃 (2974)
酸性条件下Ti(IV)催化 O ₃ /H ₂ O ₂ 降解邻苯二甲酸二甲酯	高燕, 沈佟栋, 陈尧, 周慧华, 童少平 (2980)
无机离子与胡敏酸对零价铁去除水中Pb(II)、Hg(II)的影响	施秋伶, 周欣, 张进忠, 邱昕凯 (2985)
羟基磷灰石-四氧化三铁-沸石复合材料制备及去除水中刚果红研究	方巧, 林建伟, 詹艳艳, 杨孟娟, 郑雯婧 (2992)
不锈钢 201、304 和 316L 在模拟污水管道反应器中的腐蚀	鲍国栋, 左剑恶, 王雅娟, 千里里 (3002)
微滤过程中腐殖酸与膜表面黏附特性的试验研究	王磊, 王磊, 黄丹曦, 王旭东 (3007)
不同类型 LDHs 对垂直流人工湿地无烟煤基质的覆膜改性及其脱氮效果研究	张翔凌, 郭露, 陈俊杰, 刘小婷, 徐璐, 陈巧珍, 王晓晓 (3012)
SPG 膜曝气-基因工程菌生物膜反应器处理阿特拉津废水研究	刘春, 龚鹏飞, 肖太民, 张明, 年永嘉, 杨景亮, 张晶 (3018)
SPG 膜微气泡曝气生物膜反应器运行性能影响因素研究	张磊, 张明, 刘春, 张静, 刘俊良 (3024)
曝气膜生物反应器运行过程中污泥活性特征变化及其对膜污染的影响	陈烜, 汤兵, 张姿, 宾丽英, 黄绍松, 付丰连, 邱兵 (3031)
限量曝气进水时间对硝化颗粒污泥的影响特性研究	刘文如, 阴芳芳, 王建芳, 沈耀良 (3038)
UASBB 厌氧氨氧化反应器处理污泥脱水液的影响因素研究	李亚峰, 马晨曦, 张驰 (3044)
开封周边地区地表灰尘中汞背景值及其应用	陈彦芳, 马建华, 董运武, 刘德新, 陈星 (3052)
北京市幼儿园地面尘中有毒金属浓度及其健康风险	段恒轶, 吴亚涛, 王珏, 刘兆荣 (3060)
珠三角电子垃圾和城市地区家庭灰尘中多氯联苯的来源及暴露风险	朱智成, 陈社军, 丁南, 王璟, 罗孝俊, 麦碧娴 (3066)
温带典型草原土壤总有机碳及溶解性有机碳对模拟氮沉降的响应	齐玉春, 彭琴, 董云社, 肖胜生, 孙良杰, 刘欣超, 何亚婷, 贾军强, 曹丛丛 (3073)
不同肥料种类对稻田红壤碳氮淋失的影响	刘希玉, 邹敬东, 徐丽丽, 张心昱, 杨风亭, 戴晓琴, 王忠强, 孙晓敏 (3083)
低分子有机酸对土壤中 Cu 化学形态的影响	黄国勇, 付庆灵, 朱俊, 万田英, 胡红青 (3091)
EDTA 与柠檬酸复配洗涤修复多重金属污染土壤效果研究	尹雪, 陈家军, 蔡文敏 (3096)
不同生态系统土壤生化特征及其与土壤呼吸和 N ₂ O 排放的关系	陈玲, 范会, 蒋静艳 (3102)
黄河口不同恢复阶段湿地土壤 N ₂ O 产生的不同过程及贡献	孙文广, 孙志高, 甘卓亭, 孙万龙, 王伟 (3110)
猪粪化肥配施对双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放及其全球增温潜势的影响	王聪, 沈健林, 郑亮, 刘杰云, 秦红灵, 李勇, 吴金水 (3120)
我国北方两地区环境臭氧浓度对矮菜豆生长的影响	袁相洋, 张巍巍, 孙敬松, 胡恩柱, 张玉龙, 张红星, 田媛, 冯兆忠 (3128)
丛枝菌根影响纳米 ZnO 对玉米的生物效应	王卫中, 王发园, 李帅, 刘雪琴 (3135)
丛枝菌根对翅荚木生长及吸收累积重金属的影响	李霞, 彭霞薇, 伍松林, 李志茹, 冯红梅, 江泽平 (3142)
含磷物质对水稻吸收土壤砷的影响	雷鸣, 曾敏, 廖柏寒, 胡立琼, 周航, 龙水波 (3149)
重金属铬(VI)的生态毒性及其土壤环境基准	王晓南, 刘征涛, 王婉华, 张聪, 陈丽红 (3155)
维生素 B ₁₂ 对脱氮功能蓝藻降解 2,4,4'-三氯联苯的促进作用研究	刘嘉裕, 肖文丰, 鲁莉萍, 张杭君 (3162)
己烯雌酚降解菌株沙雷氏菌的分离鉴定及其降解特性	徐冉芳, 孙敏霞, 刘娟, 汪泓, 李欣, 朱雪竹, 凌婉婷 (3169)
多溴联苯醚在市場鲫鱼体内分布和食鱼暴露量	王俊霞, 王春艳, 刘莉莉, 周啸宇, 刘洋成, 林匡飞 (3175)
稀有鮐鲫 HMGR 基因全长克隆及雄鱼经五氯酚暴露基因表达的分析	邓川, 毛思予, 熊力, 张晓峰, 李伟, 高香, 刘秋萍, 陈韵, 刘堰 (3183)
藻细胞和高岭土的存在对病毒 MS2 存活的影响	何强, 吴庆庆, 马红芳, 周真明, 苑宝玲 (3192)
多胺功能化介孔炭对 Pb(II) 的吸附动力学与机制	李坤权, 王艳锦, 杨美蓉, 朱志强, 郑正 (3198)
生物活性炭投加量对垃圾渗滤液处理效果的影响	崔延瑞, 郭焱, 吴青, 马罗丹, 孙剑辉, 崔凤灵 (3206)
经济结构调整的污染减排效应: 以 COD 减排为例	李名升, 周磊, 陈远航, 李茜, 张建辉 (3212)
中国铅流改变原因分析	马兰, 毛建素 (3219)
放牧阉牦牛提前出栏甲烷排放强度减排潜力探讨	汪诗平, Andreas Wilkes, 汪亚运, 白玲 (3225)
中国水体硝酸盐氮氧双稳定同位素溯源研究进展	徐志伟, 张心昱, 于贵瑞, 孙晓敏, 温学发 (3230)
《环境科学》征稿简则 (2936) 《环境科学》征订启事 (3051) 信息 (2882, 2927, 3059, 3218)	

区域传输对华东森林及高山背景点位大气污染物浓度的影响

苏彬彬, 许榕洋, 张若宇, 纪贤鑫

(福建省武夷山大气背景值监测站, 武夷山 354302)

摘要: 利用 HYSPLIT4.8 轨迹模式和 2011 年 6 月~2012 年 5 月 NCEP 气象再分析资料计算每日抵达华东森林及高山背景区域的后向气流轨迹并进行聚类, 探讨该区域的大气污染物传输特征。同时结合国家大气背景监测福建武夷山站同期大气污染物监测数据, 进一步分析不同气团的污染特征及高污染气团的主要来源。结果表明, 有 65% 的轨迹输送污染气块, 主要来自我国东部高污染负荷区、江西省以及西北部沙漠地区的高空, 有 35% 的海洋性气团对站点污染物起清除作用, 且各气团在各季节对污染物浓度的贡献有一定差异; SO_2 较高浓度主要受北方城市冬季采暖期燃煤影响, CO 较高浓度主要受安徽省煤炭生产和消费过程中的污染物排放影响, NO_x 、 O_3 、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 较高浓度主要受我国东部高污染负荷区影响。

关键词: 高山背景站; 大气污染; 区域输送; 后向轨迹; 聚类分析

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)08-2871-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.08.005

Influence of Atmospheric Transport on Air Pollutant Levels at a Mountain Background Site of East China

SU Bin-bin, XU Ju-yang, ZHANG Ruo-yu, JI Xian-xin

(Atmospheric Background Monitoring Station in Wuyishan of Fujian Province, Wuyishan 354302, China)

Abstract: Transport characteristics of air pollutants transported to the background atmosphere of East China were investigated using HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory) 4.8 model driven by NCEP reanalysis data during June 2011 to May 2012. Based on the air pollutants monitoring data collected at the National atmospheric background monitoring station (Wuyishan station) in Fujian Province, characteristics of different clustered air masses as well as the origins of highly polluted air masses were further examined. The results showed that 65% of all the trajectories, in which air masses mainly passed over highly polluted area of East China, Jiangxi province and upper air in desert areas of Northwest China, carried polluted air to the station, while the rest of trajectories (35%) with air masses originated from ocean could effectively remove air pollutants at the Wuyishan station. However, the impact on the air pollutants for each air mass group varied with seasons. Elevated SO_2 concentrations observed at the background station were mainly influenced by coal burning activities in Northern China during heating season. The high CO concentrations were likely associated with the pollutants emission in the process of coal production and consumption in Anhui province. The elevated NO_x , O_3 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ concentrations were mostly impacted by East China with high levels of air pollutants.

Key words: high mountain background site; air pollution; regional transportation; backward trajectory; cluster analysis

随着世界经济的发展, 环境污染已经成为一个全球性的问题。区域经济的发展也使大气污染呈现明显的区域化特征。由于大气的流动性, 一个地区的大气环境污染不仅与本地的排放有关, 外地污染物的输送对污染形成也有一定贡献^[1,2]。颜鹏等^[3]对临安地区地面 SO_2 浓度的变化规律和来源进行分析, 发现该地区的 SO_2 主要来源于浙江、江苏省的排放。肖辉等^[4]的研究表明, 陆上物质的远距离输送对西太平洋热带海域雨水的酸度和化学组成有很大影响。可见, 研究一个区域的大气污染物来源要同时考虑本地污染源的排放和周边地区以及远距离输送的影响。对于空气清洁、局地污染源较少的背景区域, 远距离输送的影响尤为明显。

研究某地大气污染状况与周围地区的关系通常

有两种方法: 一种是欧拉方法, 另外一种为拉格朗日方法^[5]。HYSPLIT 轨迹模式是一种欧拉方法和拉格朗日方法相结合的混合计算模式, 其后向轨迹模式在许多研究中被用来分析气团来向, 研究不同来源气团对区域污染的作用^[5~11]。聚类分析则将得到的单个轨迹按照空间相似性程度聚类, 得到具有代表性的轨迹簇, 判断气团来源和途经区域^[12~17]。这些研究中, 也包括对清洁区域的探讨^[8,12], 但未见对华东森林及高山背景区域大气污染物传输特征的全面分析报道。

收稿日期: 2013-12-10; 修订日期: 2014-02-25

基金项目: 2008 年中央财政主要污染物减排专项; 环境保护公益性行业科研专项(200709054)

作者简介: 苏彬彬(1980~), 女, 工程师, 主要研究方向为大气背景监测, E-mail: binwys@163.com

为了解华东森林及高山背景区域的大气污染源,评估远距离输送的影响,本研究利用 HYSPLIT4.8 模式和 NCEP 气象再分析资料,计算在 2011 年 6 月~2012 年 5 月期间到达华东森林及高山背景区域的后向气流轨迹,采用聚类方法对这些轨迹进行统计分析,并结合武夷山背景点同期大气污染物监测数据,分析不同类型气团的化学特性及高污染性气团的主要来源。

1 材料与方法

1.1 后向气流轨迹计算

本研究用于轨迹计算的模式是由美国海洋与大气研究中心 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 环境空气资源实验室 ARL (Air Resources Laboratory) 开发的混合单粒子拉格朗日积分传输、扩散模式 HYSPLIT4.8 (2008 年 2 月更新);模式计算所采用的气象资料是美国国家环境预报中心 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 的 FNL 全球再分析资料;垂直运动的计算方法采用模式所默认的气象模式垂直运动场,采用地形追随坐标系;聚类分析采用的是 HYSPLIT4.8 模式中的聚类工具。

1.2 监测点位

国家大气背景监测福建武夷山站由中国环境监测总站建立,是我国目前 14 个大气背景监测站之一。监测点位于武夷山自然保护区摩天岭顶峰,东经 $117^{\circ}43'$,北纬 $27^{\circ}35'$,海拔高度 1 139 m。站点周边视野开阔,近距离内没有影响气流的障碍物,且周围 50 km 范围内无显著人为污染源,受到局地排放源的影响很小,因此采集的大气样品能反映华东森林及高山区域大气成分的背景特征,可用于研究大气的区域性污染特征和污染物的远距离输送。

1.3 大气污染物数据采集

武夷山背景站采用自动监测仪器对 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 O_3 、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 等指标进行长期观测。 SO_2 采用 43iTLE 紫外荧光法气体分析仪 (Thermo Fisher Scientific, 美国), NO_x 采用 42iTLE 化学发光法气体分析仪 (Thermo Fisher Scientific, 美国), CO 采用 48iTLE 气体滤光相关法气体分析仪 (Thermo Fisher Scientific, 美国), O_3 采用 49i 紫外光度法气体分析仪 (Thermo Fisher Scientific, 美国), PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 观测采用 TEOM1405A 环境颗粒物监测仪 (Thermo Fisher Scientific, 美国),进行 24 h 连续在线监测,数据采集频率为 5 min。2011 年 6 月~2012 年 5 月期

间共监测 366 d, SO_2 、 NO_x 、 CO 和 O_3 的有效监测天数为 362 d, PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的有效监测天数分别为 310 d 和 316 d。

2 结果与讨论

2.1 后向轨迹聚类分析及不同气团的化学特征

为探讨华东森林及高山背景区域大气污染物的可能来源,分析输送对武夷山背景点各大气污染物浓度的影响,利用 HYSPLIT4.8 模式和 NCEP 气象资料,计算在 2011 年 6 月~2012 年 5 月期间每日到达华东森林及高山背景区域的后向气流轨迹,即对 27.59、117.73、1 149 m (背景点坐标和采样点高程)进行后向 48 h 气流轨迹追踪,共获得 366 条后向气流轨迹。应用 HYSPLIT4.8 模式中的聚类功能对这些轨迹进行统计分析,因有 1 d 的气流轨迹无法实现聚类,故只有 365 d 气流轨迹参与聚类,得到抵达武夷山背景点的 5 类不同气流轨迹,对应于 5 种不同的典型气团,分布如图 1 所示。每一类气团包含很多条性质相近的轨迹,每一条轨迹对应一组相应时刻武夷山背景点测得的大气污染物浓度[在本研究中采用世界时 (UTC) 前一日 16:00 的后向轨迹资料,对应北京时间当日 00:00~次日 00:00 的监测数据日均值],将同类轨迹对应的大气污染物浓度求算术平均,即得到不同轨迹簇所对应的平均浓度,该浓度反映了不同类型气团的化学特征。由图 1、表 1 可见,1 类气团来自西南偏西方向,出现的次数较多,占总轨迹数的 25%;起源于江西省,移动高度较低,且移动速度极慢,沿途难免夹带一些大

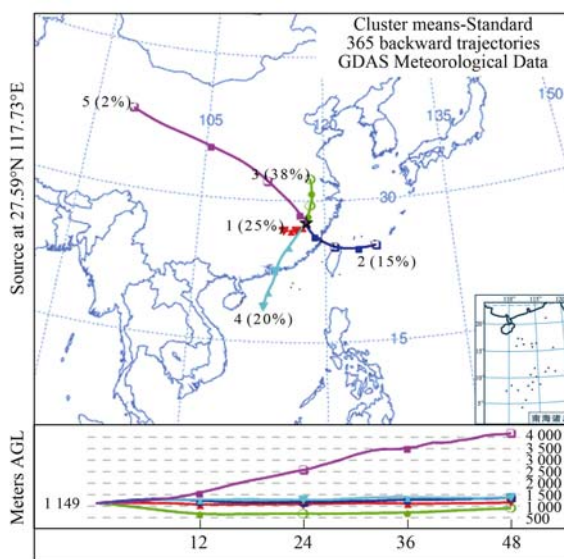


图 1 武夷山背景点平均后向轨迹分布示意

Fig. 1 Mean trajectories at Wuyishan background station

气污染物到达武夷山背景点,对点位污染物浓度造成一定影响. 2 类气团起源于东海,移动高度较高且移动速度较快,因此类轨迹起源于海洋上空,较为清洁,对污染物的输送作用相对较弱,所对应的污染物浓度最低. 3 类气团来自东北偏北象限,出现的次数最多,占总轨迹数的 38%;起源于江苏省,移动高度最低,移动速度较慢,容易沿途夹带东部高污染城市群产生的污染物到达武夷山背景点,对武夷山背景点各污染物浓度的影响最大. 4 类气团起源于南海,移动高度较高且移动速度较快,经由深圳市、

惠州市、河源市等到达武夷山背景点;海洋性气团相对比较清洁,但因为沿途经过广东省,相比 2 类轨迹所夹带的污染物浓度高一些. 5 类气团来自西北方向,起源于我国西北部的沙漠地区,移动速度极快,容易夹带沙尘颗粒快速到达武夷山背景点,且轨迹运行高度最高,起始高度高达 4 000 m,在高空中经过的时间也较长,所以容易同时夹带较高浓度的 O_3 ^[18];虽然此类轨迹全年仅出现 9 次,但所对应的污染物平均浓度较高,特别是对 PM_{10} 浓度的影响较大.

表 1 武夷山背景点各类轨迹统计结果

Table 1 Statistics of different clusters of trajectories at Wuyishan background station												
轨迹类别	出现次数	各季节出现比例/%				轨迹平均高度 /m	平均浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$					
		春	夏	秋	冬		SO ₂	NO _x	CO	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
1	90	31.1	26.7	17.8	24.4	1 137.6	2.2	4.2	420.5	85.6	23.9	19.0
2	54	11.1	27.8	44.4	16.7	1 267.0	1.0	2.7	272.4	71.0	15.6	11.4
3	139	23.7	10.1	34.5	31.7	793.6	5.2	6.3	450.0	86.6	28.4	22.4
4	73	28.8	53.4	2.7	15.1	1 326.3	1.0	3.3	338.7	79.7	17.5	14.7
5	9	33.3	0	11.1	55.6	2 627.7	3.9	5.1	459.3	86.1	34.7	19.1

2.2 不同气团的 季节贡献特征

表 1 中每类轨迹对应气体浓度的平均值是在整个观测期间特定气团来源背景下的地面污染物浓度的平均水平,其相互差异包含污染物的季节变化影响. 从中可见,不同类型的气团轨迹在各季节出现的比例有一定差异,相应污染物浓度受污染物固有的季节性特征的影响较大,不便于解释不同气团来源对站点污染物浓度水平的相对影响,而且通过统计各季节相应轨迹平均浓度也发现各类气团在不同季节对污染物浓度的贡献是不一样的. 为更清楚地解释不同气团轨迹的影响,在本研究中采用统计各季节不同气团对应的平均浓度,减去相应季节的季平均值,从而获得各季节各类轨迹对应的污染物浓度差值,用以代表各季节各类轨迹对污染物浓度变化的贡献,结果如图 2 所示. 从中可见,在春季,轨迹 1 对 CO 的贡献是正的,对 O₃ 的贡献是负的,对其它污染因子的影响相对较小;轨迹 2 和轨迹 4 对所有污染因子的贡献都是负的;轨迹 3 和轨迹 5 除对 CO 的贡献为负的外,对其它污染因子的贡献均是正的,特别是轨迹 5,除了 CO 外,对各污染因子的贡献最大,对 O₃ 和颗粒物的贡献尤为明显. 在夏季,各类轨迹对 SO₂、NO_x 的影响均很小;轨迹 1 和轨迹 3 对 CO、O₃、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的贡献为正,轨迹 2 和轨迹 4 则正好相反,特别是轨迹 2,对污染物的清除作用明显;未出现轨迹 5. 在秋季,轨迹 1 和轨迹 3 对污染物的贡献是正的,轨迹 2 仍然有

明显的清除作用,轨迹 4 和轨迹 5 因在秋季仅出现 1 ~ 2 d,所测得的污染物浓度代表性较差,故暂不讨论. 在冬季,轨迹 1 和轨迹 2 除对 O₃ 的贡献为正外,对其它污染因子的贡献均为负;轨迹 3 除对 O₃ 的贡献为负外,对其它污染因子的贡献较大;轨迹 4 和轨迹 5 对各污染因子的贡献均为负. 即在春季,SO₂、NO_x、O₃、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 主要来自轨迹 5,CO 主要来自轨迹 1;在夏季,CO、O₃、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 主要来自轨迹 1 和轨迹 3;在秋季,各污染因子主要来源于轨迹 1 和轨迹 3;在冬季,SO₂、NO_x、CO、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 主要来自轨迹 3,O₃ 主要来自轨迹 2. 可见,各轨迹在各季节对污染物浓度的贡献是有一定差异的,特别是轨迹 1 和轨迹 5,轨迹 1 仅在夏季和秋季对污染物浓度的影响较大,而轨迹 5,在表 1 中所对应的污染物浓度较高,但仅在春季对污染物浓度有较大影响.

2.3 高污染性气团的主要来源

为探讨高污染性气团的可能来源,分离出从 2011 年 6 月 ~ 2012 年 5 月 SO₂、NO_x、CO、O₃、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 监测日均值中各污染物浓度的相对高值所对应的后向气流轨迹,再进行聚类分析.

2.3.1 SO₂

监测期间共有 30 d 的 SO₂ 日均值浓度 > 10.0 $\mu g \cdot m^{-3}$,主要出现在冬季,所占比例为 66.7%. 利用聚类分析工具,对这 30 d 的 SO₂ 相对高值日后向气流轨迹进行聚类分析,得到造成武夷山背景点较

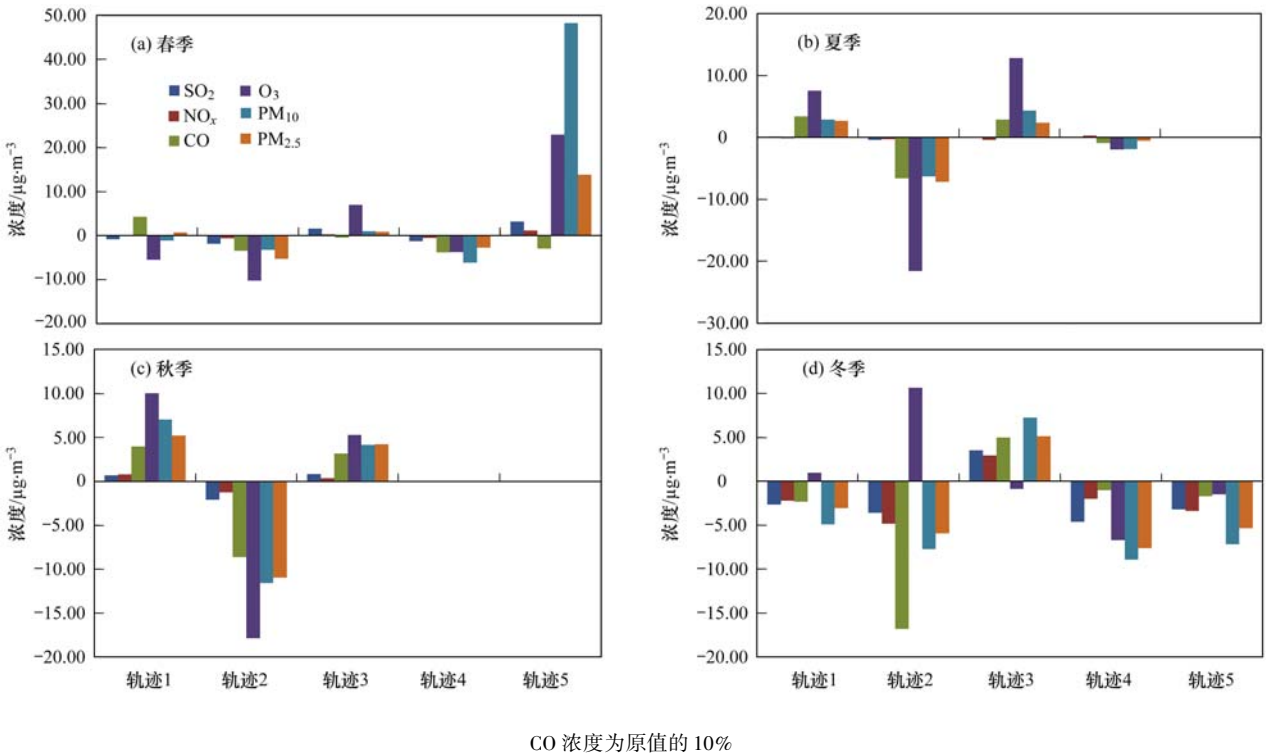


图 2 武夷山背景点各季节各类轨迹对应污染物浓度差值

Fig. 2 Discrepancy of air pollutants concentrations corresponding to different clusters of trajectories at Wuyishan background station in different seasons

高 SO_2 浓度的 3 类典型气团,分布如图 3 所示. 可见,造成较高 SO_2 浓度的气团主要来自东北偏北象限和西北偏北象限. SO_2 主要是燃煤所致^[19],冬季北方城市采暖,受燃煤影响北方城市冬季 SO_2 浓度较高^[20~22],因此来自偏北象限的轨迹 1 和轨迹 3 夹带的 SO_2 较多,到达武夷山背景点时使背景点 SO_2

浓度明显上升,且轨迹 1 移动高度较低,移动速度较慢,受地面污染物的影响更大. 轨迹 1 和轨迹 3 占总轨迹数的比例分别为 60% 和 30%,受此影响武夷山背景点 SO_2 平均浓度为 $17.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $15.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 轨迹 2 对应的平均浓度为 $12.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

2.3.2 NO_x

监测期间共有 31 d 的 NO_x 日均值浓度 $> 10.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,主要出现在冬季,所占比例高达 80.6%. 利用聚类分析工具,对这 31 d NO_x 相对高值日后向气流轨迹进行聚类分析,得到造成武夷山背景点较高 NO_x 浓度的 6 类典型气团,分布如图 4 所示. 造成较高 NO_x 浓度的气团主要来自东北偏北象限和西北偏北象限,其中对武夷山背景点造成明显影响的气团是轨迹 1 和轨迹 3,因为这两类气团移动高度很低,移动速度较慢,尤其是轨迹 1,移动高度最低且移动速度慢,又源自我国东部经济发达、人口密集的高污染区,难免夹带长三角地区城市群产生的 NO_x 到达武夷山背景点,且 1 类轨迹出现频率最高,达 45%,对应的武夷山背景点 NO_x 平均浓度最高,达 $17.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,轨迹 3 所对应的 NO_x 平均浓度为 $17.5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 轨迹 4 出现的频率也较高,但对应的平均浓度相对较低,为 $13.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 其它轨迹出

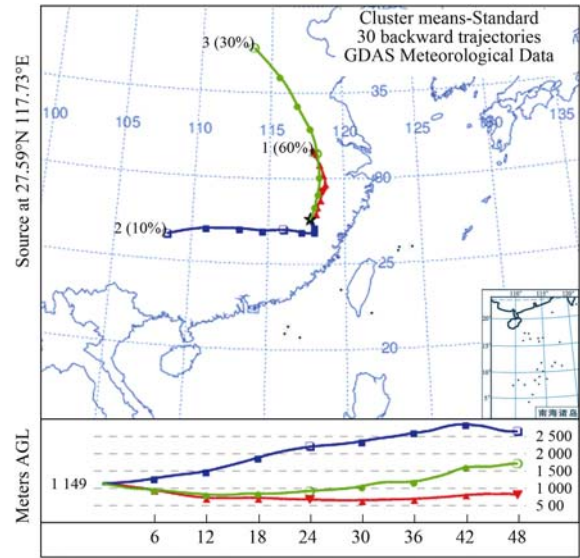


图 3 武夷山背景点 SO_2 污染期间平均后向轨迹分布示意

Fig. 3 Mean trajectories at Wuyishan background station during SO_2 pollution episodes

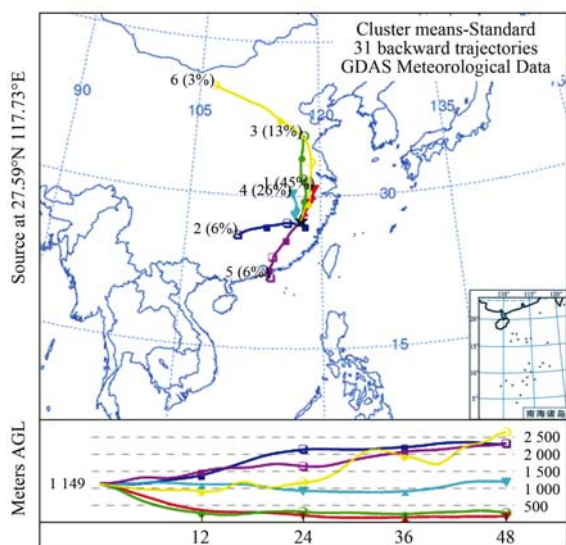


图4 武夷山背景点 NO_x 污染期间平均后向轨迹分布示意

Fig. 4 Mean trajectories at Wuyishan background station during NO_x pollution episodes

现的频率较低,对应的平均浓度也较低.

2.3.3 CO

监测期间共有 59 d CO 日均值浓度 $> 550.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 其中有 57 d 出现在春季或冬季, 主要出现在冬季, 所占比例为 66.1%. 利用聚类分析工具, 对这 59 d CO 相对高值日后向气流轨迹进行聚类分析, 因有 1 d 的气流轨迹无法实现聚类, 故仅有 58 d 气流轨迹参与聚类, 得到造成武夷山背景点较高 CO 浓度的 5 类典型气团, 分布如图 5 所示. CO 主要来源于燃煤、生物质燃烧^[19]、机动车尾气排放^[23], 煤

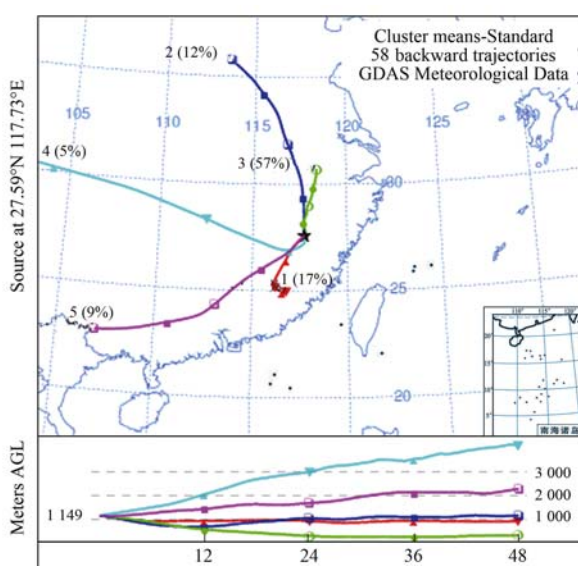


图5 武夷山背景点 CO 污染期间平均后向轨迹分布示意

Fig. 5 Mean trajectories at Wuyishan background station during CO pollution episodes

炭开采过程中也会产生大量的 CO ^[24]. 对武夷山背景点 CO 浓度有较大影响的气团主要来自东北偏北象限的轨迹 3, 这类轨迹出现频率最高, 达 57%, 移动高度很低且移动速度较慢, 起源于产煤大省安徽, 可能夹带了煤炭生产和消费过程中产生的 CO 到达武夷山背景点, 对应武夷山背景点 CO 平均浓度为 $707.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 轨迹 1 来自西南象限, 出现的频率虽然不高, 但对 CO 浓度的影响较大, 对应武夷山背景点 CO 平均浓度为 $716.2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 可能与途经我省的重要煤炭产区龙岩市以及沿途城市的机动车尾气排放有关. 轨迹 2 对应的 CO 平均浓度最高, 达 $743.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 不仅因为受北方采暖季燃煤影响, 还因为 12 月 8 日气团受到生物质燃烧影响, CO 浓度出现极大值^[25]. 轨迹 4 和轨迹 5 出现的频率较低, 对应的平均浓度也较低.

2.3.4 O_3

笔者在文献[26]中对 2012 年 2 月 ~ 2013 年 3 月期间日均值 $> 120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的 57 d O_3 高值日进行了聚类分析, 这些 O_3 高值日主要出现在春季, 来自高空、长三角地区、珠三角地区气团的输送会导致武夷山背景点 O_3 浓度出现极大值, 其中, 来自东北象限长三角区域的气团, 出现次数最多, 占总轨迹数的 39%, 受此影响武夷山背景点 O_3 平均浓度达 $150.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 在此不重复讨论.

2.3.5 PM_{10}

监测期间共有 32 d PM_{10} 日均值浓度 $> 45.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 春季、秋季和冬季均有出现, 各季节出现频次较为平均. 利用聚类分析工具, 对这 32 d PM_{10} 相对高值日后向气流轨迹进行聚类分析, 得到造成武夷山背景点较高 PM_{10} 浓度的 9 类典型气团, 分布如图 6 所示. 对武夷山背景点 PM_{10} 浓度有较大影响的气团主要来自东北象限的轨迹 2, 这类轨迹出现频率最高, 达 50%, 移动高度最低且移动速度最慢, 源自我国东部高污染负荷区, 对应武夷山背景点 PM_{10} 平均浓度为 $57.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 另外, 仅在春季出现的轨迹 7, 虽然出现的频率不高, 但因源自我国西北部的沙漠地区, 该地区在春季常常暴发沙尘暴, 气团容易夹带大量颗粒物到达武夷山背景点, 对 PM_{10} 浓度的影响较大, 对应武夷山背景点 PM_{10} 平均浓度为 $83.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 其它轨迹出现的频率较低, 对应的平均浓度也较低.

2.3.6 $\text{PM}_{2.5}$

监测期间共有 30 d $\text{PM}_{2.5}$ 日均值浓度 $> 35.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 各季节均有出现, 秋季较为频繁, 出现比例

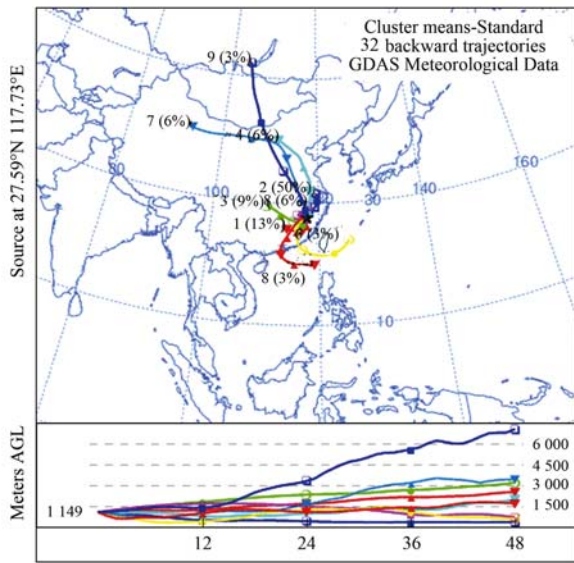


图6 武夷山背景点 PM_{10} 污染期间平均后向轨迹分布示意

Fig. 6 Mean trajectories at Wuyishan background station during PM_{10} pollution episodes

为41.9%。利用聚类分析工具,对这30 d $\text{PM}_{2.5}$ 相对高值日后向气流轨迹进行聚类分析,得到造成武夷山背景点较高 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的9类典型气团,分布如图7所示。对武夷山背景点 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度有较大影响的气团主要来自东北象限的轨迹2,这类轨迹出现频率最高,达43%,移动高度最低且移动速度较慢,受我国东部高污染负荷区影响,对应武夷山背景点 $\text{PM}_{2.5}$ 平均浓度为 $44.9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。3类轨迹更直接地受到我国东部高污染负荷区的影响,运行高度也相对较低,速度较慢,对 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的影响更大,对应武夷山

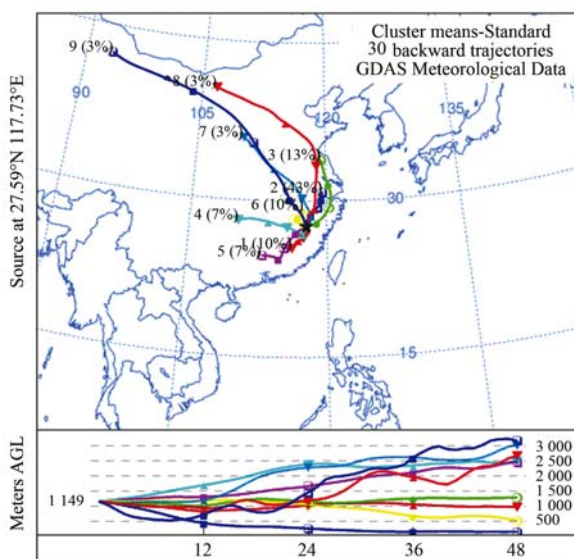


图7 武夷山背景点 $\text{PM}_{2.5}$ 污染期间平均后向轨迹分布示意

Fig. 7 Mean trajectories at Wuyishan background station during $\text{PM}_{2.5}$ pollution episodes

背景点 $\text{PM}_{2.5}$ 平均浓度为 $48.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。其它轨迹出现的频率较低,对应的平均浓度也较低。

3 结论

(1) 对武夷山背景点污染物浓度有较大影响的典型气团来自我国东部高污染负荷区;来自江西方向的慢速气团也夹带了一定的地面污染物对武夷山背景点污染物浓度造成一定影响;来自我国西北部沙漠地区的高空气团对 O_3 和 PM_{10} 浓度有较大贡献;两类海洋性气团对武夷山背景点污染物起清除作用;且各气团在各季节对污染物浓度的贡献有一定差异。

(2) SO_2 较高浓度与北方城市冬季采暖燃煤有关,CO 较高浓度主要来自安徽省的煤炭生产和消费过程, NO_x 、 O_3 、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 较高浓度主要受我国东部高污染负荷区影响。

致谢:感谢中国环境监测总站王帅博士对文中后向轨迹聚类分析提供的帮助和指导,感谢环境保护部华南环境科学研究所陶俊副研究员、张智胜博士对本文写作给予的帮助。

参考文献:

- [1] Man C K, Shin M Y. Identification of sources of PM_{10} aerosols in Hong Kong by wind trajectory analysis [J]. *Aerosol Science*, 2001, **32**(10): 1213-1223.
- [2] 蔡旭晖, 张睿, 宋宇, 等. 北京地区大气 PM_{10} 和 SO_2 的背景浓度分析[J]. *气候与环境研究*, 2004, **9**(3): 445-453.
- [3] 颜鹏, 房秀梅, 李兴生. 临安地区地面 SO_2 变化规律及其源地分析[J]. *应用气象学报*, 1999, **10**(3): 267-275.
- [4] 肖辉, 沈志来, 黄美元. 陆上物质的远距离输送对西太平洋热带海域降水化学组成的影响[J]. *环境科学学报*, 1995, **15**(1): 16-22.
- [5] 王艳, 柴发合, 王永红, 等. 长江三角洲地区大气污染物输送规律研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(5): 1430-1435.
- [6] Lam K S, Wang T J, Chan L Y, et al. Flow patterns influencing the seasonal behavior of surface ozone and carbon monoxide at a coastal site near Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(18): 3121-3135.
- [7] Wang T J, Lam K S, Tsang C W, et al. On the variability and correlation of surface ozone and carbon monoxide observed in Hong Kong using trajectory and regression analyses [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, **21**(1): 141-152.
- [8] 林伟立, 徐晓斌, 孙俊英, 等. 金沙大气本底站反应性气体本底浓度及长距离输送的影响[J]. *中国科学(D辑): 地球科学*, 2011, **41**(4): 573-582.
- [9] 吴莹, 吉东生, 宋涛, 等. 夏秋季北京及河北三城市的大气污染联合观测研究[J]. *环境科学*, 2011, **32**(9): 2741-2749.
- [10] 王飞, 朱彬, 康汉清, 等. 影响南京地区的两次典型空气污

- 染过程分析[J]. 环境科学, 2012, **33**(10): 3647-3655.
- [11] 王红丽, 陈长虹, 黄海英, 等. 世博会期间上海市大气挥发性有机物排放强度及污染来源研究[J]. 环境科学, 2012, **33**(12): 4151-4158.
- [12] 徐晓斌, 刘希文, 林伟立. 输送对区域本底站痕量气体浓度的影响[J]. 应用气象学报, 2009, **20**(6): 656-664.
- [13] 赵恒, 王体健, 江飞, 等. 利用后向轨迹模式研究 TRACE-P 期间香港大气污染物的来源[J]. 热带气象学报, 2009, **25**(2): 181-186.
- [14] 沈毅, 王体健, 韩永, 等. 南京近郊主要大气污染物的观测分析研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2009, **45**(6): 746-756.
- [15] 王芳, 陈东升, 程水源, 等. 基于气流轨迹聚类的大气污染输送影响[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(6): 637-642.
- [16] 刘世玺, 安俊琳, 朱彬, 等. 远距离输送作用对南京大气污染的影响[J]. 生态环境学报, 2010, **19**(11): 2629-2635.
- [17] 王茜. 利用轨迹模式研究上海大气污染的输送来源[J]. 环境科学研究, 2013, **26**(4): 357-363.
- [18] 郑向东, 陈尊裕, 崔宏, 等. 长江三角洲地区春季低空大气臭氧垂直分布特征[J]. 中国科学 D 辑, 2004, **34**(12): 1184-1192.
- [19] 曹国良, 安心琴, 周春红, 等. 中国区域反应性气体排放源清单[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(7): 900-906.
- [20] 刘洁, 张小玲, 徐晓峰, 等. 北京地区 SO_2 、 NO_x 、 O_3 和 $\text{PM}_{2.5}$ 变化特征的城郊对比分析[J]. 环境科学, 2008, **29**(4): 1059-1065.
- [21] 吉东生, 王跃思, 孙扬, 等. 北京大气中 SO_2 浓度变化特征[J]. 气候与环境研究, 2009, **14**(1): 69-76.
- [22] 马雁军, 刘宁微, 王扬锋, 等. 沈阳及周边城市大气细粒子的分布特征及其对空气质量的影响[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(6): 1168-1174.
- [23] 王丽涛, 张强, 郝吉明, 等. 中国大陆 CO 人为源排放清单[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(12): 1580-1585.
- [24] 王颖, 郭惟嘉. 煤炭开采对环境的影响及对策[J]. 煤炭技术, 2007, **26**(5): 3-4.
- [25] 苏彬彬, 刘心东, 陶俊. 华东森林及高山背景区域 SO_2 、 NO_x 、CO 本底特征[J]. 中国环境监测, 2013, **29**(6): 15-21.
- [26] 苏彬彬. 华东森林及高山背景区域臭氧变化特征及影响因素[J]. 环境科学, 2013, **34**(7): 2519-2525.

CONTENTS

Chemical Characteristics in Airborne Particulate Matter (PM ₁₀) During a High Pollution Spring Dust Storm Episode in Beijing, Tianjin and Zhangjiakou, China	LIU Qing-yang, LIU Yan-ju, ZHAO Qiang, <i>et al.</i> (2843)
Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles During Haze Weather in Hangzhou	CHEN Qiu-fang, SUN Zai, XIE Xiao-fang (2851)
Effect of Meteorological Factors on Characteristics of PCDD/F Pollution in Guangzhou	DU Guo-yong, SU Yuan, REN Ming-zhong, <i>et al.</i> (2857)
Atmospheric CO ₂ Data Filtering Method and Characteristics of the Molar Fractions at the Longfengshan WMO/GAW Regional Station in China	LUAN Tian, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (2864)
Influence of Atmospheric Transport on Air Pollutant Levels at a Mountain Background Site of East China	SU Bin-bin, XU Ju-yang, ZHANG Ruo-yu, <i>et al.</i> (2871)
Determining the Concentration of Coating Solution Attaching to Honeycomb Denuder in Summer in Tianjin	ZHANG Shi-jian, JI Ya-qin, ZHANG Lei-bo, <i>et al.</i> (2878)
Characterization of Lead Size Distributions with Different Process in Lead-Zinc Smelter	LIANG Jun-ning, LI Wen-hui, GE Yi, <i>et al.</i> (2883)
Effect of KI Modified Clay on Elemental Mercury Removal Efficiency	SHEN Bo-xiong, CHEN Jian-hong, CAI Ji, <i>et al.</i> (2890)
Characteristics of Odors and VOCs from Sludge Direct Drying Process	CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, LUO Hui, <i>et al.</i> (2897)
Research of Early-warning Method for Regional Groundwater Pollution Based on Risk Management	BAI Li-ping, WANG Ye-yao, GUO Yong-li, <i>et al.</i> (2903)
Dynamic Response of Riverine Nitrate Flux to Net Anthropogenic Nitrogen Inputs in A Typical River in Zhejiang Province over the 1980-2010 Period	ZHANG Bai-fa, CHEN Ding-jiang (2911)
Research on the Influence of Urban Land Use Structure and Pattern on Nitrogen, Phosphorus of Wetland Water Environment in Xianlin New Town of Nanjing	CAI Chun-xiao, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (2920)
Profile Nutrient Distribution and Sedimentary Characteristics in Typical Marshes of Sanjiang Plain	LI Rui-li, CHAI Min-wei, QIU Guo-yu, <i>et al.</i> (2928)
Source and Contamination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil in Karst Underground River Basin	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, SHI Yang, <i>et al.</i> (2937)
Diel Variations of Hydrochemistry and Influencing Factors in a Surface Stream in Subtropical Karst Area, SW China	ZHANG Tao, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2944)
Hydrogen and Oxygen Isotopes of Lake Water and Geothermal Spring Water in Arid Area of South Tibet	XIAO Ke, SHEN Li-cheng, WANG Peng (2952)
Preliminary Research on the Feature of Dissolved Inorganic Carbon in Wulixia Reservoir in Summer, Guangxi, China	LIU Wen, PU Jun-bing, YU Shi, <i>et al.</i> (2959)
Distribution of Heavy Metals in Xiangsi River Valley of Tongling, China	CHEN Li-wei, XU Xiao-chun, WANG Jun, <i>et al.</i> (2967)
Volume Fraction of Gas Vesicle and Floating Characteristics of Cyanobacteria in Taihu Lake Under Different Pressures	WANG Wei, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i> (2974)
Degradation of Dimethyl Phthalate by Ti(IV)-catalyzed O ₃ /H ₂ O ₂ Under Acidic Conditions	GAO Yan, SHEN Tong-dong, CHEN Yao, <i>et al.</i> (2980)
Influence of Inorganic Ions and Humic Acid on the Removal of Pb(II) and Hg(II) in Water by Zero-Valent Iron	SHI Qiu-ling, ZHOU Xin, ZHANG Jin-zhong, <i>et al.</i> (2985)
Synthesis of Hydroxyapatite/Magnetite/Zeolite Composite for Congo Red Removal from Aqueous Solution	FANG Qiao, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2992)
Corrosion of Stainless Steel 201, 304 and 316L in the Simulated Sewage Pipes Reactor	BAO Guo-dong, ZUO Jian-e, WANG Ya-jiao, <i>et al.</i> (3002)
Experimental Study of Adhesion Properties Between Membrane Surface and Humic Acid During Microfiltration	WANG Lei, WANG Lei, HUANG Dan-xi, <i>et al.</i> (3007)
Coating Modification of Anthracite Substrates in Vertical-flow Constructed Wetlands by LDHs Synthesized from Different Metal Compounds and the Nitrogen Removal Efficiencies	ZHANG Xiang-ling, GUO Lu, CHEN Jun-jie, <i>et al.</i> (3012)
Atrazine Wastewater Treatment in a SPC Membrane-Aerated Genetically Engineered Microorganism Biofilm Reactor	LIU Chun, GONG Peng-fei, XIAO Tai-min, <i>et al.</i> (3018)
Influencing Factors for Operational Performance of a Biofilm Reactor with Microbubble Aeration Using SPG Membrane	ZHANG Lei, ZHANG Ming, LIU Chun, <i>et al.</i> (3024)
Variations in the Active Characteristics of Sludge During the Operation of an Aerobic Membrane Bioreactor and Their Effects on Membrane Fouling	CHEN Xuan, TANG Bing, ZHANG Zi, <i>et al.</i> (3031)
Effects of Anaerobic Feeding Period on Nitrifying Granular	LIU Wen-ru, YIN Fang-fang, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (3038)
Influencing Factors of Sludge Liquor Treatment in UASBB	LI Ya-feng, MA Chen-xi, ZHANG Chi (3044)
Background Values of As and Hg in Surface Dusts in the Vicinity of Kaifeng City and Their Application	CHEN Yan-fang, MA Jian-hua, DONG Yun-wu, <i>et al.</i> (3052)
Concentrations and Health Risks of Toxic Metals in Surface Dust in Kindergartens of Beijing	DUAN Heng-yi, WU Ya-tao, WANG Jue, <i>et al.</i> (3060)
Polychlorinated Biphenyls in House Dust at an E-waste Site and Urban Site in the Pearl River Delta, Southern China; Sources and Human Exposure and Health Risks	ZHU Zhi-cheng, CHEN She-jun, DING Nan, <i>et al.</i> (3066)
Responses of Soil Total Organic Carbon and Dissolved Organic Carbon to Simulated Nitrogen Deposition in Temperate Typical Steppe in Inner Mongolia, China	QI Yu-chun, PENG Qin, DONG Yun-she, <i>et al.</i> (3073)
Effects of Different Fertilizer Species on Carbon and Nitrogen Leaching in a Reddish Paddy Soil	LIU Xi-yu, ZOU Jing-dong, XU Li-li, <i>et al.</i> (3083)
Effects of Low Molecular Weight Organic Acids on Speciation of Exogenous Cu in an Acid Soil	HUANG Guo-yong, FU Qing-ling, ZHU Jun, <i>et al.</i> (3091)
Evaluation of Compounding EDTA and Citric Acid on Remediation of Heavy Metals Contaminated Soil	YIN Xue, CHEN Jia-jun, CAI Wen-min (3096)
Soil Biochemical Characteristics in Different Ecological Systems and Their Relationships with Soil Respiration and N ₂ O Emission	CHEN Ling, FAN Hui, JIANG Jing-yang (3102)
Contribution of Different Processes in Wetland Soil N ₂ O Production in Different Restoration Phases of the Yellow River Estuary, China	SUN Wen-guang, SUN Zhi-gao, GAN Zhuo-ting, <i>et al.</i> (3110)
Effects of Combined Applications of Pig Manure and Chemical Fertilizers on CH ₄ and N ₂ O Emissions and Their Global Warming Potentials in Paddy Fields with Double-Rice Cropping	WANG Cong, SHEN Jian-lin, ZHENG Liang, <i>et al.</i> (3120)
Influence of Ozone on Snap Bean Under Ambient Air in Two Sites of Northern China	YUAN Xiang-yang, ZHANG Wei-wei, SUN Jing-song, <i>et al.</i> (3128)
Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Influences the Biological Effects of Nano-ZnO on Maize	WANG Wei-zhong, WANG Fa-yuan, LI Shuai, <i>et al.</i> (3135)
Effect of Arbuscular Mycorrhizae on Growth, Heavy Metal Uptake and Accumulation of <i>Zenia insignis</i> Chun Seedlings	LI Xia, PENG Xia-wei, WU Song-lin, <i>et al.</i> (3142)
Effects of Phosphorus-containing Substances on Arsenic Uptake by Rice	LEI Ming, ZENG min, LIAO Bo-han, <i>et al.</i> (3149)
Ecotoxicological Effect and Soil Environmental Criteria of the Heavy Metal Chromium(VI)	WANG Xiao-nan, LIU Zheng-tao, WANG Wan-hua, <i>et al.</i> (3155)
Promotion Effects of Vitamin B ₁₂ on the Degradation of 2,4,4'-Trichlorobiphenyl by <i>Nostoc</i> PD-2	LIU Jia-yu, XIAO Wen-feng, LU Li-ping, <i>et al.</i> (3162)
Isolation, Identification and Characterization of a Diethylstilbestrol-degrading Bacterial Strain <i>Serratia</i> sp.	XU Ran-fang, SUN Min-xia, LIU Juan, <i>et al.</i> (3169)
Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Wild Crucian Carp and Exposure Estimation of Dietary Intake	WANG Jun-xia, WANG Chun-yan, LIU Li-li, <i>et al.</i> (3175)
Cloning of Full-length cDNA of HMGR from <i>Gobiocypris rarus</i> and Analysis of Its Expression Profiles in Male Exposed to Pentachlorophenol	DENG Chuan, MAO Si-yu, XIONG Li, <i>et al.</i> (3183)
Effects of Algae and Kaolinite Particles on the Survival of Bacteriophage MS2	HE Qiang, WU Qing-qing, MA Hong-fang, <i>et al.</i> (3192)
Adsorption Kinetics and Mechanism of Lead(II) on Polyamine-Functionalized Mesoporous Activated Carbon	LI Kun-quan, WANG Yan-jin, YANG Mei-rong, <i>et al.</i> (3198)
Influence of Biological Activated Carbon Dosage on Landfill Leachate Treatment	CUI Yan-rui, GUO Yan, WU Qing, <i>et al.</i> (3206)
Effect of Economic Structure Adjustment on Pollution Emission: A Case Study of COD	LI Ming-sheng, ZHOU Lei, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (3212)
Reasons for the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su (3219)
Discussion on Reduction Potential of CH ₄ Emission Intensity for Early Off-take Practice of Grazing Yak	WANG Shi-ping, Andreas Wilkes, WANG Ya-yun, <i>et al.</i> (3225)
Review of Dual Stable Isotope Technique for Nitrate Source Identification in Surface- and Groundwater in China	XU Zhi-wei, ZHANG Xin-yu, YU Gui-rui, <i>et al.</i> (3230)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年8月15日 第35卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 8 Aug. 15, 2014

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行