

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第7期

Vol.35 No.7

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

区域污染对本底地区气溶胶光学特性及辐射强迫影响的地基和卫星遥感观测研究	张小玲, 夏祥鳌, 车慧正, 汤洁, 唐宜西, 孟伟, 董瑶 (2439)
北京上甸子区域大气本底站甲基氯仿在线观测研究	姚波, 周凌晔, 刘钊, 张根, 夏玲君 (2449)
浙江临安大气本底站 CO 浓度及变化特征	方双喜, 周凌晔, 栾天, 马千里, 王红阳 (2454)
南京北郊夏季大气颗粒物中有机碳和元素碳的污染特征	段卿, 安俊琳, 王红磊, 缪青 (2460)
西安冬季非灰霾天与灰霾天 PM _{2.5} 中水溶性有机氮污染特征比较	程玉婷, 王格慧, 孙涛, 成春雷, 孟静静, 任艳芹, 李建军 (2468)
沙尘天气对兰州市 PM ₁₀ 中主要水溶性离子的影响	王芳, 陈强, 张文煜, 郭勇涛, 赵连彪 (2477)
上海大气降水中细菌气溶胶的多样性研究	梁宗敏, 杜睿, 杜鹏瑞, 王亚玲, 李梓铭 (2483)
重庆主城区降水中重金属的分布特征及其沉降量	彭玉龙, 王永敏, 覃蔡清, 王定勇 (2490)
宁波人为源 VOC 清单及重点工业行业贡献分析	李璇, 王雪松, 刘中, 吴梁, 翁燕波, 胡杰 (2497)
包装印刷行业挥发性有机物控制技术评估与筛选	王海林, 王俊慧, 祝春蕾, 聂磊, 郝郑平 (2503)
氨水混合吸收剂脱除 CO ₂ 实验研究	夏芝香, 项群扬, 周旭萍, 方梦祥 (2508)
焦炉烟气中二噁英类物质排放水平研究	孙鹏程, 李晓璐, 成钢, 陆勇, 吴昌敏, 罗锦洪 (2515)
2012 年夏季长江口颗粒有机碳、氮分布特征及其来源	邢建伟, 钱薇微, 绳秀珍 (2520)
千岛湖水体悬浮颗粒物吸收特性及其典型季节差异	王明珠, 张运林, 施坤, 高冀, 刘刚, 蒋浩 (2528)
千岛湖溶解氧的动态分布特征及其影响因素分析	殷燕, 吴志旭, 刘明亮, 何剑波, 虞左明 (2539)
太湖夏季水体中尿素的来源探析	韩晓霞, 朱广伟, 许海, Steven W. Wilhelm, 秦伯强, 李兆富 (2547)
鄱阳湖阻隔湖泊浮游植物群落结构演化特征: 以军山湖为例	刘霞, 钱奎梅, 谭国良, 邢久生, 李梅, 陈宇炜 (2557)
不同营养湖泊沉积物中 ²¹⁰ Pb _{ex} 和营养盐垂向分布特征及相关性分析	王小雷, 杨浩, 顾祝军, 张明礼 (2565)
地下水硝酸盐污染抽出处理优化方法模拟研究	姜烈, 何江涛, 姜永海, 刘菲 (2572)
预压力混凝沉淀除藻工艺中 DOC 变化规律研究	陈雯婧, 丛海兵, 徐亚军, 王巍, 蒋新跃, 刘玉娇 (2579)
类水滑石 Mg/Zn/Al 焙烧产物对高氯酸盐的吸附	王红宇, 刘艳 (2585)
粉煤灰对阴离子水溶性混合染料的吸附动力学	孙德帅, 郑强强, 张晓东, 方龙 (2590)
SDS 对两性修饰膨润土吸附 Cd ²⁺ 的影响	王建涛, 孟昭福, 杨亚提, 杨淑英, 李彬, 马麟莉, 许绍娥 (2596)
老化的生物质炭性质变化及对非吸持的影响	唐伟, 郭悦, 吴景贵, 黄兆琴, 代静玉 (2604)
TiO ₂ 光催化降解 PFOA 的反应动力学及机制研究	李明洁, 喻泽斌, 陈颖, 王莉, 刘晴, 刘钰鑫, 何丽丽 (2612)
荧光猝灭法研究洛克沙肿与腐殖酸的相互作用	朱江鹏, 梅婷, 彭云, 葛思怡, 李时银, 王国祥 (2620)
改性活性炭纤维电芬顿降解苯酚废水性能研究	马楠, 田耀金, 杨广平, 谢鑫源 (2627)
催化铁强化低碳废水生物反硝化过程的探讨	王梦月, 马鲁铭 (2633)
聚丁二酸丁二醇酯 (PBS) 为反硝化固体碳源的脱氮特性研究	刘佳, 沈志强, 周岳溪, 曹蓉, 李元志 (2639)
某造纸厂废水中二噁英含量及其电子束辐照降解	青宪, 黄锦琼, 余小巍, 张素坤, 杨艳艳, 任明忠, 温玉龙 (2645)
嘉兴市规模化养猪场沼液水质调查研究	卫丹, 万梅, 刘锐, 王根荣, 张讯达, 文晓刚, 赵远, 陈吕军 (2650)
提高污泥碱性发酵挥发酸积累的新方法	李晓玲, 彭永臻, 柴同志, 朱建平, 王淑莹 (2658)
滴水湖及其水体交换区沉积物和土壤中 PAHs 的分布及生态风险评价	郭雪, 毕春娟, 陈振楼, 王薛平 (2664)
舟山近海水体和沉积物中多环芳烃分布特征	江敏, Le Huy Tuan, 梅卫平, 阮慧慧, 吴昊 (2672)
青藏高原湖泊流域土壤与牧草中多环芳烃和有机氯农药的污染特征与来源解析	谢婷, 张淑娟, 杨瑞强 (2680)
福建鹭峰山脉土壤有机氯农药分布特征及健康风险评价	黄焕芳, 祁士华, 瞿程凯, 李绘, 陈文文, 张莉, 胡婷, 石燎 (2691)
不同功能区表层土中全氟化合物污染指纹及其来源解析	张鸿, 赵亮, 何龙, 柴之芳, 沈金灿, 杨波 (2698)
桑沟湾溶解态无机砷的分布、季节变化及影响因素	李磊, 任景玲, 刘素美, 蒋增杰, 杜金洲, 方建光 (2705)
引黄灌区不同尺度农田土壤重金属空间分布及污染评价: 以银川市兴庆区为例	王幼奇, 白一茹, 王建宇 (2714)
三峡水库消落区土壤、植物汞释放及其在斑马鱼体的富集特征	李楚娴, 孙荣国, 王定勇, 赵铮, 张金洋, 马明, 张成 (2721)
广东典型海水养殖区沉积物及鱼体中磺胺类药物的残留及其对人体的健康风险评价	何秀婷, 王奇, 聂湘平, 杨永涛, 程章 (2728)
青岛市区大气降尘重金属对人体健康风险的评价	张春荣, 吴正龙, 姚春卉, 高宗军 (2736)
焦炉排放多环芳烃与人体健康风险评价研究	伯鑫, 王刚, 温柔, 赵春丽, 吴铁, 李时蓓 (2742)
Cd、Cu 和 Pb 复合污染对蚯蚓抗氧化酶活性的影响	王辉, 谢鑫源 (2748)
3 种氯酚对嗜热四膜虫的毒性效应	李雅洁, 崔益斌, 蒋丽娟, 窦静, 李梅 (2755)
施硅方式对稻米镉阻隔潜力研究	陈喆, 铁柏清, 雷鸣, 刘孝利, 叶长城, 罗梅梅, 毛懿德 (2762)
保护性耕作对茬冬小麦土壤 CO ₂ 和 N ₂ O 排放的影响	潘莹, 胡正华, 吴杨周, 孙银银, 盛露, 陈书涛, 肖启涛 (2771)
渭北生草果园土壤有机碳矿化及其与土壤酶活性的关系	贾曼莉, 郭宏, 李会科 (2777)
蒸汽-空气混合注射修复 TCE 污染的二维土箱实验研究	王宁, 彭胜, 陈家军 (2785)
铜离子对双室微生物燃料电池电能输出的影响研究	牟姝君, 李秀芬, 任月萍, 王新华 (2791)
连续流强制通风槽式污泥堆肥工艺的温室气体和氨气排放特征	赵晨阳, 魏源送, 葛振, 钟佳, 才兴, 张媛丽, 李洪枚 (2798)
冬季猪粪固体堆放过程中 NH ₃ 、N ₂ O 和 NO 排放特征研究	丁钢强, 韩圣慧, 袁玉玲, 罗琳, 王立刚, 李虎, 李萍 (2807)
填埋场渗滤液腐殖酸随填埋龄的变化特性及模型研究	黄友福, 许心雅, 范良鑫, 方艺民 (2816)
渗滤液反渗透浓缩液回灌出水水质变化规律的研究	王东梅, 刘丹, 刘庆梅, 陶丽霞, 刘颖 (2822)
中国铅流变化的定量分析	马兰, 毛建素 (2829)
半短程亚硝化与厌氧氨氧化联合脱氮工艺微生物特征研究进展	赵志瑞, 侯彦林 (2834)
《环境科学》征稿简则 (2679)	
《环境科学》征订启事 (2735)	
信息 (2476, 2556, 2713, 2770)	

浙江临安大气本底站 CO 浓度及变化特征

方双喜¹, 周凌晞¹, 栾天¹, 马千里², 王红阳¹

(1. 中国气象科学研究院中国气象局大气化学重点开放实验室, 北京 100081; 2. 临安区域大气本底站, 浙江临安 311307)

摘要: 利用基于光腔衰荡光谱(CRDS)技术自组装的大气 CO 在线观测系统, 于 2010 年 9 月~2012 年 2 月在浙江省临安大气本底站对大气 CO 进行了在线观测. 结果表明临安站四季 CO 日变化明显受人为活动影响, 分别在每日 07:00~10:00 和 19:00~20:00 出现峰值, 夏季 CO 日平均浓度和振幅均最低, 分别为 $314.3 \times 10^{-9} \pm 7.6 \times 10^{-9}$ (摩尔分数, 下同) 和 $50.1 \times 10^{-9} \pm 47.9 \times 10^{-9}$. 该站全年大气 CO 浓度呈现冬春季高、夏季低的趋势, 与北半球瑞士 Jungfraujoch 站、青海瓦里关等站基本一致, 但平均浓度明显高于其他国际站点, 全年 CO 月均值振幅约为 $286.8 \times 10^{-9} \pm 19.2 \times 10^{-9}$. 后向轨迹聚类 and 地面风结果分析表明, 临安站非本底 CO 浓度主要来自于 N-NNE-ENE 扇区内城市及工业等人为排放所引起. 春、夏和冬季最大的浓度抬升均出现在 ENE 风向, 冬季抬升值最大, 约为 $106.3 \times 10^{-9} \pm 58.0 \times 10^{-9}$.

关键词: 本底站; 大气 CO; 浓度; 筛分; 变化; 后向轨迹

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)07-2454-06 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.07.003

Distribution of CO at Lin'an Station in Zhejiang Province

FANG Shuang-xi¹, ZHOU Ling-xi¹, LUAN Tian¹, MA Qian-li², WANG Hong-yang¹

(1. Key Laboratory for Atmospheric Chemistry, Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 2. Lin'an Regional Background Station, Zhejiang Lin'an 311307, China)

Abstract: Background CO mole fractions were continuously measured at Lin'an background station in Zhejiang province from September, 2010 to February, 2012 using Cavity Ring Down Spectroscopy (CRDS) system. The diurnal variation of CO was strongly influenced by anthropogenic activities with two peaks occurring at 07:00-10:00 and 19:00-20:00 (local time). The average daily mole fraction and amplitude in summer were the lowest among four seasons with values of $314.3 \times 10^{-9} \pm 7.6 \times 10^{-9}$ (mole fraction, the same below) and $50.1 \times 10^{-9} \pm 47.9 \times 10^{-9}$, respectively. The seasonal variations displayed peak values during winter-spring period and valley in summer, which roughly consisted with those observed variations at other sites located at northern hemisphere such as Jungfraujoch in Switzerland and Waliguan in China. However, the average mole fractions were much higher than those from other stations. The amplitude of monthly CO mole fractions was $286.8 \times 10^{-9} \pm 19.2 \times 10^{-9}$. The cluster analysis of backward trajectories and surface wind influence might suggest that the non-background CO mole fractions at Lin'an station were mainly affected by the emissions from the megacities and industrial area on the N-NNE-ENE sectors. The maximum enhancements in spring, summer and winter all occurred on ENE sector, with a maximum value of $106.3 \times 10^{-9} \pm 58.0 \times 10^{-9}$ in winter.

Key words: background station; atmospheric CO; concentration; data flag; variation; backward trajectory

一氧化碳(CO)是对流层大气中主要且排放量最大的大气污染物^[1], 大气中 CO 进入人体后会和血液中的血红蛋白结合, 进而使血红蛋白不能与氧气结合导致组织缺氧, 对人体健康存在直接影响, 国家环境空气质量标准规定二类区域日平均浓度为 $4 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[2]. 在污染大气中, 其可通过光化学反应生成臭氧(O₃), 形成二次污染物, 进一步造成大气状况恶化. 大气中 CO 与羟基自由基(·OH)反应^[3]是其主要的汇, 而·OH是大气中最主要的氧化基团, 因而大气中 CO 浓度的变化能间接影响多种关键物种的大气化学平衡和浓度^[4]. 例如大气中甲烷(CH₄)和 CO 均与·OH反应, 因此大气中 CO 浓度的升高可能间接减少 CH₄ 损耗, 所以 CO 亦被世界气象组织/全球大气观测网络(WMO/GAW)认定为一种重要的间接温室气体^[5].

大气中 CO 主要包含人为源(化石燃料燃烧、生物燃料如生物柴油和生物乙醇燃烧、人为的生物燃烧等)和自然源(CH₄ 和非甲烷烃 NMHC 的氧化、自然因素作用的生物燃烧等), 其中人为源排放占总排放量 50% 以上^[6]. 通过连续而精确的本底观测资料来研究大尺度源、汇及长距离输送是认识全球 CO 收支情况的重要手段之一. 世界发达国家已开展多年本底大气 CO 浓度观测研究, 并初步估算其全球收支情况^[7], 但因目前观测网络覆盖度严重

收稿日期: 2013-11-05; 修订日期: 2013-12-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB950601); 国家自然科学基金项目(41175116); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(2012Y004); 中国气象局气候变化专项项目(CCSF201345)

作者简介: 方双喜(1979~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为温室气体及相关微量成分时空变化, E-mail: fangsx@cma.gov.cn

不足,尤其在排放量日益增大的东亚地区,从而限制了对全球大气 CO 循环的认识以及排放总量的估算^[8,9]. 我国本底区域大气 CO 高精度观测起步较晚^[10~12],已有的研究主要集中在城市等高浓度区域观测^[13~16]. 为了弥补观测资料的不足,近年来中国气象局陆续在几个主要的大气本底站补充建设 CO 高精度在线观测系统. 长江三角洲区域是我国经济最发达的区域之一,掌握该区域大气本底 CO 浓度及变化情况,可对认识该区域 CO 源汇总量及变化提供有力支持.

浙江临安站位于长三角中心区域,该站自 2010 年开始大气 CO 高精度在线观测. 本研究基于 2010 年 9 月~2012 年 2 月该站大气 CO 观测数据,初步分析该站大气 CO 浓度特征及影响因素.

1 材料与方法

采样点位于浙江临安大气本底站(东经 119°44',北纬 30°18',海拔 138.6 m),在浙江省杭州市以西约 50 km. 该站点为中国气象局目前 4 个主要站点之一(青海瓦里关、北京上甸子、浙江临安、黑龙江龙凤山),也是 WMO/GAW 在中国的 3 个区域本底站之一. 气候类型为典型的亚热带季风气候,下垫面主要植被类型为农田和灌木.

观测系统的主机为采用基于波长扫描光腔衰荡技术(Wavelength Scan Cavity Ring Down Spectroscopy, WS-CRDS)的 G1302 型高精度 CO 分析仪(美国 Picarro 公司). 采样口架设于室外 50 m 采样塔顶端. 室外样气经压力、流量控制后,经过超低温冷阱(美国 FTS,工作温度: -75℃)去除大部分水分,为保证玻璃冷阱管内气体处于流动状态以减少死体积的影响,在玻璃冷阱管后部再安装一个小型二级压力释放器并设置流量为 200 mL·min⁻¹,样气最终进入系统阀箱. 该阀箱配置了 8 口样品选择阀(8 进口 1 出口),同时连接样气和不同浓度的工作气,系统工作时 8 口样品选择阀自动旋转选择分析空气或标气. 为了保证系统分析不同的样气流量严格一致,在阀箱内部安装质量流量控制器以控制进气流量,系统的连接方式详见之前报道描述^[17~19].

在分析大气样品时,采用 2 瓶工作标气定量(高浓度标气/低浓度标气,WH/WL),每瓶标气每次进样 5 min,计算时采用 5 min 内数据点的平均. 样品浓度由相邻 WH 和 WL 的仪器输出值和标称浓度线性拟合定值. 为了进一步监测系统分析质量,

采用 1 瓶已知浓度的标气(目标气,T)接入系统分析,通过系统定值浓度与标称浓度比较,判别系统的定值精度情况. 系统使用的 WH、WL 和 T 均以干燥空气为底气,存贮于 0.029 m³ 铝合金钢瓶中(美国 Scott-Marrin 公司),在使用前经实验室一级标气多轮标定,可溯源至 WMO/GAW 一级标准.

2 数据处理

观测结果可分为本底数据和非本底数据,所谓本底数据指排除了局地条件和人为活动的直接影响、已混合均匀的大气组成特征,其能更好地代表区域混合均匀的大气状况,因此需对观测数据进行本底和非本底筛分. 研究表明,对于 CO 利用局部近似回归原理可以很好地获取观测数据的本底/非本底信息^[20,21],该方法算法基于稳健局部回归^[22,23],先计算 67 d 内观测数据的标准偏差(σ),将与均值差异大于 3σ 的数据剔除,完毕后再计算剩余数据的 σ ,再将与均值差异大于 3σ 的数据剔除,直至剩余数与均值差异全部小于 3σ 为止,剩余的数据即为本底数据,被滤出的数据被认为受局地或区域源汇影响的非本底情况. 本研究所有的不确定度均为在 95% 置信区间下的结果.

3 结果与讨论

3.1 日变化

图 1 是临安站春、夏、秋、冬季 CO 浓度平均日变化. 总体而言,该站大气 CO 浓度在四季的午后 12:00~16:00 均达到最低水平,主要因此时边界层较高,大气垂直扩散混合较快. 此外,相对于其它时刻,午后大气中·OH 浓度较高,因而进一步消耗了环境中 CO. 夏季 15:00 左右大气 CO 浓度在四季中最低,约为 $283.1 \times 10^{-9} \pm 40.5 \times 10^{-9}$ (摩尔分数,下同). 之后大气中 CO 浓度急速攀升,在晚间 19:00~20:00 出现峰值,与北京、天津、南京等城市观测趋势类似^[14,16,24]. 在此峰值之后 CO 浓度逐渐降低(夏季除外),在早晨出现谷值之后又逐渐上升,四季均在 07:00~10:00 点出现另一个峰值,晚间 19:00~20:00 峰值和早间峰值均与城市早晚高峰机动车排放一致,表明临安站观测的 CO 浓度可能受长江三角洲地区城市排放影响. CO 的日变化是由地面排放源,大气传输(水平、垂直),以及大气边界层的日变化共同影响的^[14]. 夏季晚间由机动车排放等导致 20:00 出现 CO 高峰后,因此时边界层高度相对大于其他

3 个季节,且大气垂直传输依然强烈,CO 浓度短时出现下降之后便又继续上升,直至晚间 00:00 左右达到最高,此时边界层高度最低. 春、夏、秋、冬季大气 CO 浓度最高值的时间分别在 08:00、00:00、18:00、20:00,除夏季外,出现峰值的时间与早、晚机动车排放高峰期吻合. 春、夏、秋、冬四季 CO 日平均浓度分别为: $474.0 \times 10^{-9} \pm 6.6 \times 10^{-9}$ 、 $314.3 \times 10^{-9} \pm 7.6 \times 10^{-9}$ 、 $434.2 \times 10^{-9} \pm 5.9 \times 10^{-9}$ 和 $601.8 \times 10^{-9} \pm 8.4 \times 10^{-9}$; 日平均浓

度振幅分别为 $75.7 \times 10^{-9} \pm 62.1 \times 10^{-9}$ 、 $50.1 \times 10^{-9} \pm 47.9 \times 10^{-9}$ 、 $87.4 \times 10^{-9} \pm 54.6 \times 10^{-9}$ 和 $60.9 \times 10^{-9} \pm 55.0 \times 10^{-9}$. 总体而言,夏季 CO 日平均浓度和振幅均最低,主要因夏季大气中 CO 与 ·OH 消耗强烈,且夏季大气边界层扩散相对较快,有利于 CO 混合^[25]. 相反在秋冬季节,由于季节性的气候变化,大气稳定度高,地面排放的 CO 很容易出现累积,此外因冬季光照较弱导致大气中 CO 消耗也减少,因而冬季 CO 浓度最高^[26].

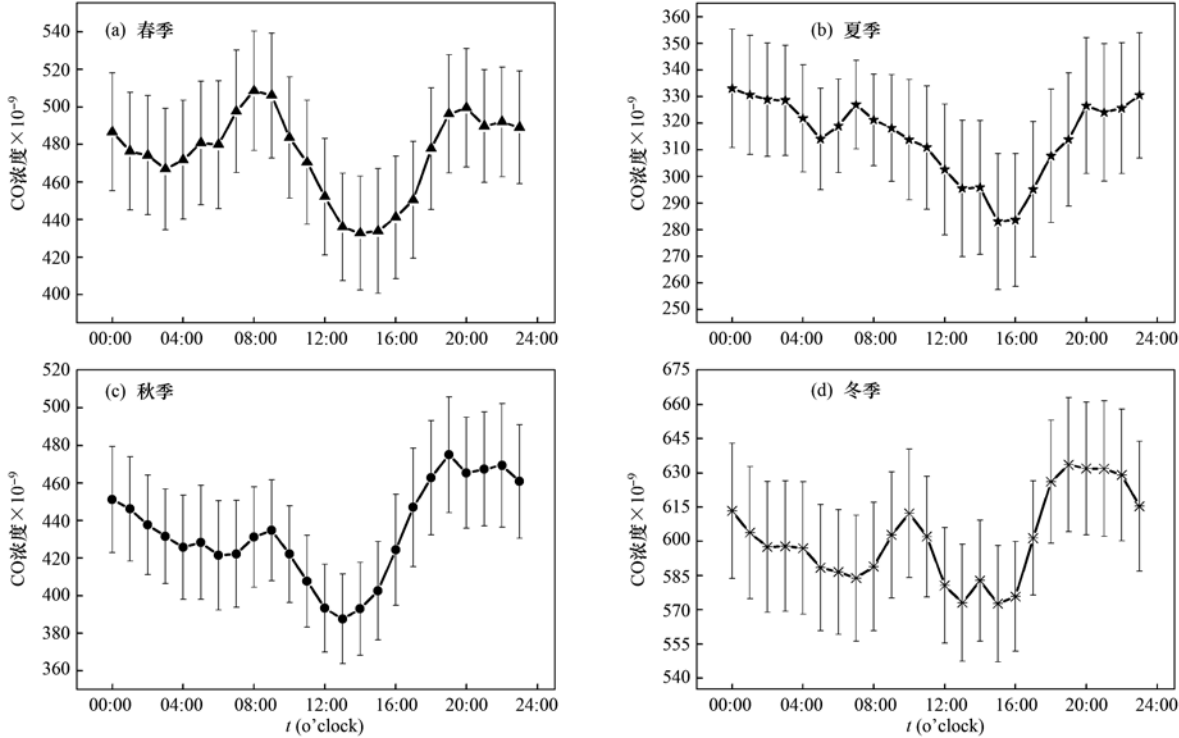
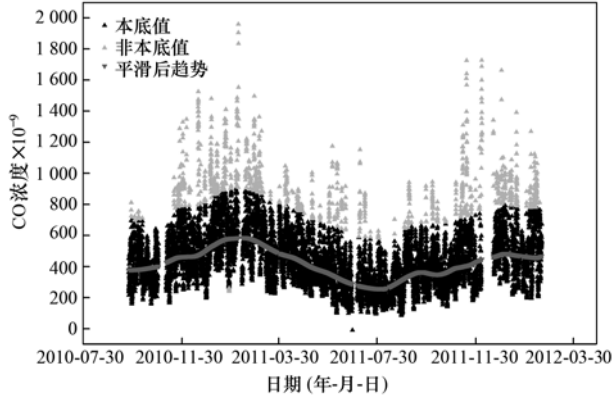


图 1 临安站四季 CO 浓度平均日变化

Fig. 1 Average diurnal variations of atmospheric CO at Lin'an station in four seasons

3.2 季节变化

观测期间临安站 CO 浓度变化如图 2 所示. 观测期内有效的小时数据共 11 464 条,筛分后获得的本底数据 10 407 条,占总观测数据的 90.1%. 结果表明,临安站本底 CO 浓度明显高于我国青海瓦里关(浓度变化范围 $80 \times 10^{-9} \sim 160 \times 10^{-9}$)^[10] 以及美国 Barrow、瑞士 Jungfraujoch 等站点同期观测浓度水平(表 1)^[5,21],略高于东北地区的黑龙江龙凤山等站的观测结果(年平均值大约 266×10^{-9})^[11]. 之前在临安站观测的 CO₂ 和 CH₄ 也明显高于我国青海瓦里关、黑龙江龙凤山等站的浓度水平^[18,19,27],主要因该站位于长三角经济发达区域,存在较强的 CO₂/CH₄/CO 排放源. 近地面大气中



图中黑色点表示筛分后的本底浓度,浅灰色点为非本底浓度,深灰色点为对本底值平滑后的 CO 长期变化

图 2 临安站 CO 浓度季节变化

Fig. 2 Seasonal variations of atmospheric CO at Lin'an station

CO 浓度季节变化主要受·OH浓度、源排放情况以及气团输送综合作用,而其中·OH浓度是主要的决定性因素^[28]. WMO/GAW 网络全球温室气体数据中心(WDCGG)根据观测网络所有观测站点的 CO 浓度数据的融合计算表明^[28]:北半球站点大气 CO 浓度一般在 3~4 月达到全年最高水平,在 7~8 月最低,如瑞士 Jungfraujoch 站和我国的青海瓦里关站等^[10,12]. 临安站本底 CO 浓度在 2 月达到 1 a 中最大值,略早于北半球峰值出现时间,最低值出现时间与北半球吻

合. 观测期间临安站月均 CO 浓度振幅 $286.8 \times 10^{-9} \pm 19.2 \times 10^{-9}$,远高于北半球大气 CO 月平均值振幅($\sim 78 \times 10^{-9}$),可能还是因该区域源汇活动较为剧烈,如 3.1 节所述,在秋冬季节排放的 CO 在冬季累积达到最大,加之不利的扩散条件,以及较弱的大气 CO 汇,大气 CO 浓度很高;反之在夏季,临安站近地面 O₃ 浓度很高(最高值可达 250×10^{-9}),由此导致大气中·OH浓度较高,大气 CO 消耗强烈,加之较强的大气扩散速度,导致 CO 浓度最低.

表 1 2010 年 9 月~2012 年 2 月浙江临安站本底 CO 浓度季平均以及与国际本底站点对比情况¹⁾

站点	春季 $\times 10^{-9}$	夏季 $\times 10^{-9}$	秋季 $\times 10^{-9}$	冬季 $\times 10^{-9}$
浙江临安	469.2 ± 6.0	301.1 ± 4.9	405.9 ± 4.2	521.1 ± 5.1
美国 Barrow 站 ^[5]	145.2 ± 4.3	88.6 ± 2.5	108 ± 2.2	139.7 ± 2.8
瑞士 Jungfraujoch 站 ^[21]	119.3 ± 3.5	89.7 ± 1.8	100.3 ± 3.1	125.9 ± 3.0

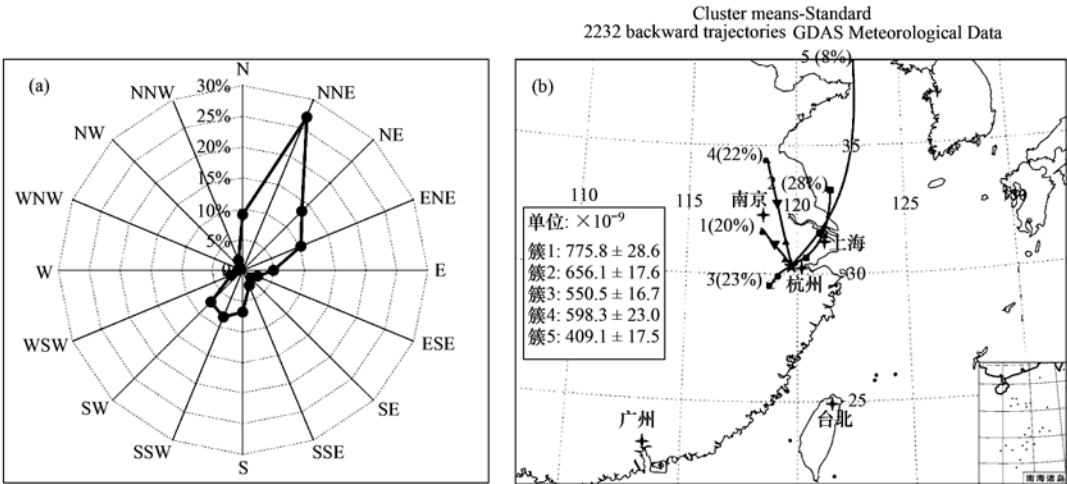
1) 国际站点数据下载于世界温室气体数据库(World Data Centre for Greenhouse Gases)

冬季(12~2 月)非本底 CO 数据明显多于其他季节,其占全部非本底数据的 54%. 图 3(a)是冬季临安站 16 风向出现非本底数据的比例,冬季该站污染数据主要来源于 N-NNE-ENE 扇区,占冬季全部非本底数据的 60%,主要因该扇区来向的气团经过上海、南京等大型城市及工业区,存在强烈的 CO 排放源. 图 3(b)是观测期间冬季临安站所有整点(00:00、01:00、02:00、…)时刻的 72 h 后向轨迹聚类情况,为了便于研究,分别计算 5 条轨迹上对应的平均 CO 浓度. 临安站冬季气团主要分 5 簇,除簇 5 外,其余各簇对应 CO 浓度均较高,与之前研究的 CO₂ 等要素规律类似^[17],簇 1、2、4、5 均经过上海、南京等区域,其中簇 1 和簇 2 移动速度相对较

慢,对应的 CO 分别为 $775.8 \times 10^{-9} \pm 28.6 \times 10^{-9}$ 和 $656.1 \times 10^{-9} \pm 17.6 \times 10^{-9}$,明显高于冬季 CO 平均值($603.4 \times 10^{-9} \pm 8.2 \times 10^{-9}$),而簇 5 虽然也经过该地区,但移动速度较快,对应平均浓度则低于冬季平均值,可见临安站冬季较高的 CO 浓度可能是区域源排放与气团扩散综合作用的结果. 簇 3 的气团主要来自于西南方向,占有轨迹的 23%,该方向主要为长三角稻田区域,CO 源强度较弱,虽然该方向簇运动速度也较为缓慢,但 CO 浓度也相对较低.

3.3 地面风对观测 CO 浓度的影响

为了进一步研究局地源汇对观测结果的影响,将观测期内小时 CO 浓度与地面风风向(16 风向)对应,将数据分为春季 3~5 月、夏季 6~8 月、



(a) 冬季临安站非本底浓度在 16 个不同风向上出现的比率; (b) 冬季所有整点 72 h 后向轨迹聚类结果以及各簇平均 CO 浓度

图 3 冬季临安站 CO 浓度特征分析

Fig. 3 Analysis of CO mole fractions in winter at Lin'an station

秋季 9~11 月、冬季 12~2 月,由此绘制临安站四季 CO 浓度风玫瑰图(图 4)。临安站东边半球来向的地面风可能会抬升观测的 CO 浓度,在春季来向为 NNE-NE-ENE 的地面风能够明显抬升观测 CO 浓度,最大抬升来自于 ENE 风向,相对于春季平均浓度($494.5 \times 10^{-9} \pm 6.7 \times 10^{-9}$)提升约 $57.2 \times 10^{-9} \pm 49.1 \times 10^{-9}$ (F 检验, $P < 0.02$, 下同)。夏季与春季情况类似,最大的抬升也来自 ENE 风向,相对夏季平均浓度($327.1 \times 10^{-9} \pm 3.2 \times 10^{-9}$)抬升约 $58.2 \times 10^{-9} \pm 53.4 \times 10^{-9}$ ($P < 0.01$),结果也表明临安站春、夏季节高浓度的 CO 可能主要因东北方向的上海、南京等城市排放输送所引起。冬季临安站 16 风向对应的 CO 浓度变化情况与春、夏季类似,ENE 风向最高抬升为 $106.3 \times 10^{-9} \pm 58.0 \times 10^{-9}$ ($P < 0.02$),与 3.2 节研究结果一致。不同于其他季节,秋季 CO 分别在 WSW 风向和 SE 风向出现峰值,最高值出现在 SE 风向,相对秋季平均值($436.5 \times 10^{-9} \pm 5.8 \times 10^{-9}$)抬升大约

$84.8 \times 10^{-9} \pm 68.0 \times 10^{-9}$ ($P < 0.01$),主要可能因秋季农田秸秆燃烧所引起。因临安站所处的长三角区域也是一个重要的水稻产区,而该站 SE 方向和 W-WSW-SW 方向存在大片农田(如大坞、潘山村等地),秋季农田燃烧是当地处理秸秆的主要方式,而农田秸秆燃烧可能排放大量 CO。比较而言,临安站春、夏、冬这 3 个季节,SW-WSW-W-WNW-NW 风向的 CO 浓度较低,因该方向主要对应浙西的森林等,缺少明显的人为排放源,该方向的 CO 浓度可能更多对应的是混合均匀的本底情况。根据蒲氏风级定义方法,将观测期内小时平均风级对应的 CO 浓度进行算术平均,结果表明随着地面风级增大,临安站观测 CO 浓度逐渐降低。在静风条件下,CO 浓度为 $497.7 \times 10^{-9} \pm 24.0 \times 10^{-9}$,而在风力为 4 级时,观测浓度为 $426.7 \times 10^{-9} \pm 34.1 \times 10^{-9}$,也就是说随着风速的增大,逐渐稀释了区域或局地排放的影响,进一步表明临安站近地面 CO 浓度主要受局地源汇的影响。

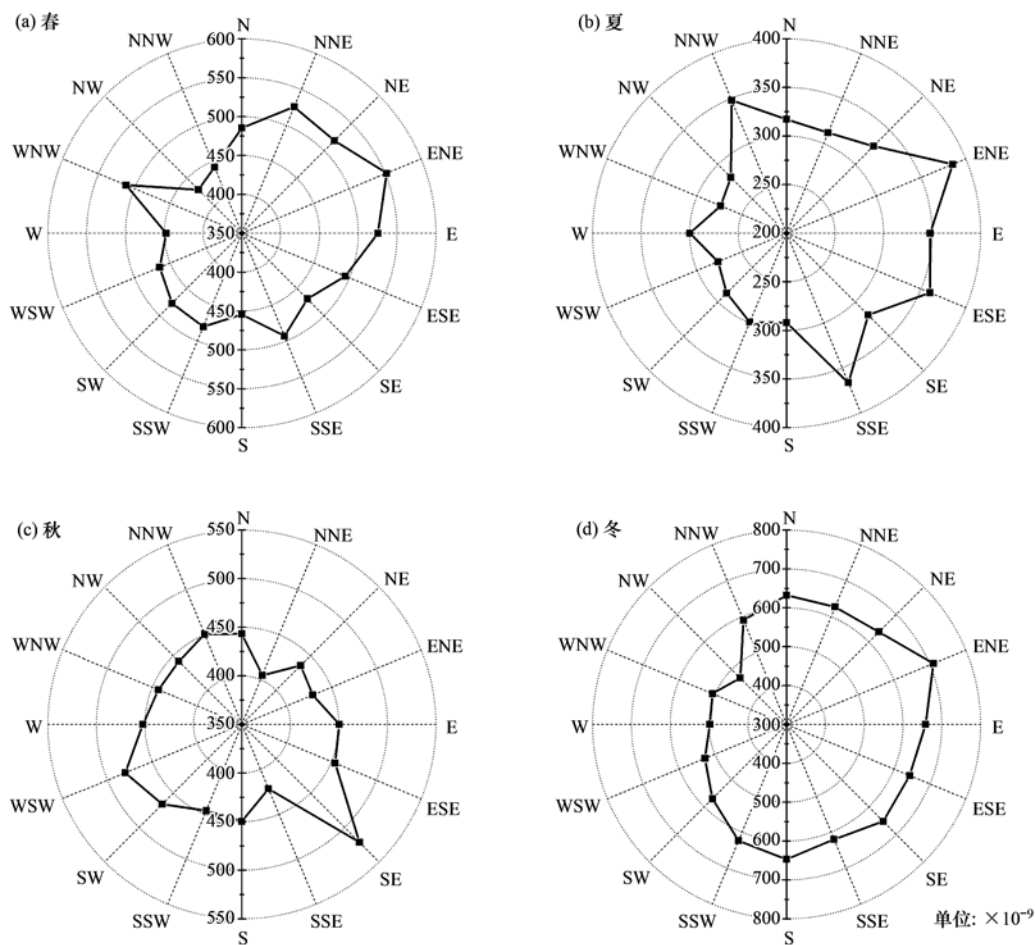


图 4 临安站四季 16 风向平均浓度风玫瑰图

Fig. 4 Wind-rose distribution pattern of average CO mole fractions on 16 sectors at Lin'an station

4 结论

(1) 临安站 CO 浓度日变化明显受到人为活动影响, 4 个季节日变化均出现两个峰值, 午后浓度达到 1 d 中最低水平。

(2) 临安站 CO 浓度代表长江三角洲地区浓度水平, 明显高于国内和国际上同类站点, 全年变化趋势与北半球基本吻合, 在冬春季节达到 1 a 中最高值, 夏季最低。

(3) 该站较多的非本底数据主要由东、北部城市区域排放所引起。地面风分析结果亦表明, 除秋季外, ENE 来向的地面风能够显著抬升观测 CO 浓度。

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. 63-67.
- [2] GB 3095-2012, 环境空气质量标准[S].
- [3] Thompson A M. The oxidizing capacity of the Earth's atmosphere-probable past and future changes [J]. *Science*, 1992, **256** (5060): 1157-1165.
- [4] Daniel J S, Solomon S. On the climate forcing of carbon monoxide [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998, **103** (D11): 13249-13260.
- [5] Petrenko V V, Martinier P, Novelli P, *et al.* A 60 yr record of atmospheric carbon monoxide reconstructed from Greenland firn air [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**: 7567-7585.
- [6] Duncan B N, Logan J A, Bey I, *et al.* Global budget of CO, 1988-1997: Source estimates and validation with a global model [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112** (D22): D22301.
- [7] Novelli P C, Masarie K A, Lang P M. Distributions and recent changes of carbon monoxide in the lower troposphere [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998, **103** (D5): 19015-19033.
- [8] Martinier P, Brasseur G P, Granier C. The chemical composition of ancient atmospheres-a model study constrained by ice core data [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, **100** (D7): 14291-14304.
- [9] Thompson A M, Chappellaz J A, Fung I Y, *et al.* The atmospheric CH₄ increase since the last glacial maximum. 2. Interactions with oxidants [J]. *Tellus B*, 1993, **45** (3): 242-257.
- [10] Zhang F, Zhou L X, Novelli P C, *et al.* Evaluation of in situ measurements of atmospheric carbon monoxide at Mount Waliguan, China [J]. *Atmospheric Chemistry Physics*, 2011, **11** (11): 5195-5206.
- [11] 吴艳玲, 徐宏辉, 于大江. 龙凤山区域大气本底站一氧化碳浓度的变化特征 [J]. *环境化学*, 2008, **27** (6): 847-848.
- [12] 周凌晞, 温玉璞, 李金龙, 等. 瓦里关山大气 CO 本底变化 [J]. *环境科学学报*, 2004, **24** (4): 637-642.
- [13] 凌宏, 王迎红, 胡波, 等. 2007 年夏季北京大气 CO 监测分析 [J]. *环境化学*, 2009, **28** (4): 567-570.
- [14] 薛敏, 王跃思, 孙扬, 等. 北京市大气中 CO 的浓度变化监测分析 [J]. *环境科学*, 2006, **27** (2): 200-206.
- [15] 张凌, 付朝阳, 郑习健, 等. 广州市区大气污染特征与影响因子分析 [J]. *生态环境*, 2007, **16** (2): 305-308.
- [16] 杨继东, 刘佳泓, 杨光辉, 等. 天津市环境空气中一氧化碳污染特征及变化趋势研究 [J]. *环境科学与管理*, 2012, **37** (6): 89-104.
- [17] 方双喜, 周凌晞, 臧昆鹏, 等. 光腔衰荡光谱 (CRDS) 法观测我国 4 个本底站大气 CO₂ 浓度 [J]. *环境科学学报*, 2011, **31** (3): 624-629.
- [18] 方双喜, 周凌晞, 许林, 等. 我国 4 个 WMO/GAW 本底站大气 CH₄ 浓度变化特征 [J]. *环境科学*, 2012, **33** (9): 2917-2923.
- [19] 浦静娇, 徐宏辉, 顾骏强, 等. 长江三角洲背景地区 CO₂ 浓度变化特征研究 [J]. *中国环境科学*, 2012, **33** (6): 973-979.
- [20] Ruckstuhl A F, Henne S, Reimann S, *et al.* Robust extraction of baseline signal of atmospheric trace species using local regression [J]. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2012, **5** (11): 2613-2624.
- [21] Ruckstuhl A F, Jacobson M P, Field R W, *et al.* Baseline subtraction using robust local regression estimation [J]. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 2001, **68** (2): 179-193.
- [22] Robert A M, Joseph M H. R for Stata Users: Statistics and Computing [M]. New York: Springer Sciences + Business Media, 2010. 19-30.
- [23] Balzani Lööv J M, Henne S, Legreid G, *et al.* Estimation of background concentrations of trace gases at the Swiss Alpine site Jungfrauoch (3580 m asl) [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, **113** (D22): doi: 10.1029/2007JD009751.
- [24] 李用宇, 朱彬, 安俊琳, 等. 南京北郊秋季 VOCs 及其光化学特征观测研究 [J]. *环境科学*, 2013, **34** (8): 2933-2942.
- [25] Tsutsumi Y, Mori K, Ikegami M, *et al.* Long-term trends of greenhouses gases in regional and background events observed during 1998-2004 at Yonagunijima located to the east of the Asian continent [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40** (30): 5868-5879.
- [26] 刘诚, 白广文, 张鹏, 等. 基于卫星平台的全球大气一氧化碳柱浓度反演方法及结果分析 [J]. *物理学报*, 2013, **62** (3): 307041-307047.
- [27] Fang S X, Zhou L X, Masarie K A, *et al.* Study of atmospheric CH₄ mole fractions at three WMO/GAW stations in China [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2013, **118**: 4874-4886.
- [28] WMO WDCGG data summary. Volume IV -Greenhouse gases and other atmospheric gases [R]. Japan Meteorological Agency, 2012. 35-40.

CONTENTS

Observation Study on Aerosol Optical Properties and Radiative Forcing Using the Ground-based and Satellite Remote Sensing at Background Station During the Regional Pollution Episodes	ZHANG Xiao-ling, XIA Xiang-ao, CHE Hui-zheng, <i>et al.</i>	(2439)
<i>In-situ</i> Measurement of Atmospheric Methyl Chloroform at the Shangdianzi GAW Regional Background Station	YAO Bo, ZHOU Ling-xi, LIU Zhao, <i>et al.</i>	(2449)
Distribution of CO at Lin'an Station in Zhejiang Province	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, LUAN Tian, <i>et al.</i>	(2454)
Pollution Characteristics of Organic and Elemental Carbon in Atmospheric Particles in Nanjing Northern Suburb in Summer	DUAN Qing, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i>	(2460)
Characteristics of Water-soluble Organic Nitrogen of PM _{2.5} in Xi'an During Wintertime Non-haze and Haze Periods	CHENG Yu-ting, WANG Ge-hui, SUN Tao, <i>et al.</i>	(2468)
Effect of Sand Dust Weather on Major Water-soluble Ions in PM ₁₀ in Lanzhou, China	WANG Fang, CHEN Qiang, ZHANG Wen-yu, <i>et al.</i>	(2477)
Diversity of Bacterial Areasols in Precipitation of Shanghai Area	LIANG Zong-min, DU Rui, DU Peng-rui, <i>et al.</i>	(2483)
Concentrations and Deposition Fluxes of Heavy Metals in Precipitation in Core Urban Areas, Chongqing	PENG Yu-long, WANG Yong-min, QIN Cai-qing, <i>et al.</i>	(2490)
Anthropogenic VOC Emission Inventory and Contribution from Industrial Sources in Ningbo	LI Xuan, WANG Xue-song, LIU Zhong, <i>et al.</i>	(2497)
Evaluation and Selection of VOCs Treatment Technologies in Packaging and Printing Industry	WANG Hai-lin, WANG Jun-hui, ZHU Chun-lei, <i>et al.</i>	(2503)
Experimental Study on CO ₂ Absorption by Aqueous Ammonia-based Blended Absorbent	XIA Zhi-xiang, XIANG Qun-yang, ZHOU Xu-ping, <i>et al.</i>	(2508)
Preliminary Investigation on Emission of PCDD/Fs and DL-PCBs Through Flue Gas from Coke Plants in China	SUN Peng-cheng, LI Xiao-lu, CHENG Gang, <i>et al.</i>	(2515)
Distribution and Source of Particulate Organic Carbon and Particulate Nitrogen in the Yangtze River Estuary in Summer 2012	XING Jian-wei, XIAN Wei-wei, SHENG Xiu-zhen, <i>et al.</i>	(2520)
Characteristics of Optical Absorption Coefficients and Their Differences in Typical Seasons in Lake Qiandaohu	WANG Ming-zhu, ZHANG Yun-lin, SHI Kun, <i>et al.</i>	(2528)
Dynamic Distributions of Dissolved Oxygen in Lake Qiandaohu and Its Environmental Influence Factors	YIN Yan, WU Zhi-xu, LIU Ming-liang, <i>et al.</i>	(2539)
Source Analysis of Urea-N in Lake Taihu During Summer	HAN Xiao-xia, ZHU Guang-wei, XU Hai, <i>et al.</i>	(2547)
Phytoplankton Community Structure and Its Succession in Isolated Lakes of Poyang-Junshan Lake	LIU Xia, QIAN Kui-mei, TAN Guo-liang, <i>et al.</i>	(2557)
Vertical Distribution and Relationship Between ²¹⁰ Pb _{ex} Activities and Nutrients in Sediment Cores of Two Different Eutrophication Level Lakes	WANG Xiao-lei, YANG Hao, GU Zhu-jun, <i>et al.</i>	(2565)
Simulation of Nitrate Pollution in Groundwater Using Pump-and-treat Optimization Method	JIANG Lie, HE Jiang-tao, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i>	(2572)
Variation of Water DOC During the Process of Pre-pressure and Coagulation Sedimentation Treatment	CHEN Wen-jing, CONG Hai-bing, XU Ya-jun, <i>et al.</i>	(2579)
Adsorption of Perchlorate by Calcined Mg/Zn/Al Layered Double Hydroxides	WANG Hong-yu, LIU Yan, <i>et al.</i>	(2585)
Adsorption Kinetic Mechanism of Ionic Soluble Dye Mixture on Fly Ash	SUN De-shuai, ZHENG Qiang-qiang, ZHANG Xiao-dong, <i>et al.</i>	(2590)
Effect of SDS on the Adsorption of Cd ²⁺ onto Amphoteric Modified Bentonites	WANG Jian-tao, MENG Zhao-fu, YANG Ya-ti, <i>et al.</i>	(2596)
Structural Changes of Aged Biochar and the Influence on Phenanthrene Adsorption	TANG Wei, GUO Yue, WU Jing-gui, <i>et al.</i>	(2604)
Photocatalytic Degradation Kinetics of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) in TiO ₂ Dispersion and Its Mechanism	LI Ming-jie, YU Ze-bin, CHEN Ying, <i>et al.</i>	(2612)
Characterizing the Interaction Between Roxarsone and Humic Acid by Fluorescence Quenching Experiment	ZHU Jiang-peng, MEI Ting, PENG Yun, <i>et al.</i>	(2620)
Modification of Activated Carbon Fiber for Electro-Fenton Degradation of Phenol	MA Nan, TIAN Yao-jin, YANG Guang-ping, <i>et al.</i>	(2627)
Investigation of Enhanced Low Carbon Wastewater Denitrification by Catalytic Iron	WANG Meng-yue, MA Lu-ming, <i>et al.</i>	(2633)
Denitrification Performance of PBS as a Solid Carbon Source of Denitrification	LIU Jia, SHEN Zhi-qiang, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i>	(2639)
Concentrations, Distribution Characteristics and Electron Beam Radiolysis Degradation of PCDD/Fs in Waste Water from a Paper Mill	QING Xian, HUANG Jin-qiong, YU Xiao-wei, <i>et al.</i>	(2645)
Study on the Quality of Digested Piggery Wastewater in Large-Scale Farms in Jiaxing	WEI Dan, WAN Mei, LIU Rui, <i>et al.</i>	(2650)
New Ways to Improve Volatile Fatty Acids Accumulation in Sludge Alkaline Fermentation System	LI Xiao-ling, PENG Yong-zhen, CHAI Tong-zhi, <i>et al.</i>	(2658)
Distribution and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments and Soils from Dishui Lake and Its Water Exchange Areas	GUO Xue, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i>	(2664)
Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and Sediment from Zhoushan Coastal Area, China	JIANG Min, Le Huy Tuan, MEI Wei-ping, <i>et al.</i>	(2672)
Contamination Levels and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Soils and Grasses from Lake Catchments in the Tibetan Plateau	XIE Ting, ZHANG Shu-juan, YANG Rui-qiang, <i>et al.</i>	(2680)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Soil from Jiufeng Mountain Range in Fujian, China	HUANG Huan-fang, QI Shi-hua, QU Cheng-kai, <i>et al.</i>	(2691)
Pollution Fingerprints and Sources of Perfluorinated Compounds in Surface Soil of Different Functional Areas	ZHANG Hong, ZHAO Liang, HE Long, <i>et al.</i>	(2698)
Distribution, Seasonal Variation and Influence Factors of Dissolved Inorganic Arsenic in the Sanggou Bay	LI Lei, REN Jing-ling, LIU Su-hui, <i>et al.</i>	(2705)
Distribution of Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation on the Different Sampling Scales in Farmland on Yellow River Irrigation Area of Ningxia; A Case Study in Xingqing County of Yinchuan City	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu, <i>et al.</i>	(2714)
Release of Mercury from Soil and Plant in Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area and Its Accumulation in Zebrafish	LI Chu-xian, SUN Rong-guo, WANG Ding-yong, <i>et al.</i>	(2721)
Residues and Health Risk Assessment of Sulfonamides in Sediment and Fish from Typical Marine Aquaculture Regions of Guangdong Province, China	HE Xiu-ting, WANG Qi, NIE Xiang-ping, <i>et al.</i>	(2728)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric Dust of Qingdao City	ZHANG Chun-rong, WU Zheng-long, YAO Chun-hui, <i>et al.</i>	(2736)
Health Risk Assessment of Coke Oven PAHs Emissions	BO Xin, WANG Gang, WEN Rou, <i>et al.</i>	(2742)
Effects of Combined Pollution of Cd, Cu and Pb on Antioxidant Enzyme Activities of Earthworm in Soils	WANG Hui, XIE Xin-yuan, <i>et al.</i>	(2748)
Toxicity of Three Chlorophenols to Protozoa <i>Tetrahymena thermophila</i>	LI Ya-jie, CUI Yi-Bin, JIANG Li-juan, <i>et al.</i>	(2755)
Phytoexclusion Potential Studies of Si Fertilization Modes on Rice Cadmium	CHEN Zhe, TIE Bo-qing, LEI Ming, <i>et al.</i>	(2762)
Effects of Conservation Tillage on Soil CO ₂ and N ₂ O Emission During the Following Winter-Wheat Season	PAN Ying, HU Zheng-hua, WU Yang-zhou, <i>et al.</i>	(2771)
Mineralization of Soil Organic Carbon and Its Relationship with Soil Enzyme Activities in Apple Orchard in Weibei	JIA Man-li, GUO Hong, LI Hui-ke, <i>et al.</i>	(2777)
Steam and Air Co-injection in Removing TCE in 2D-Sand Box	WANG Ning, PENG Sheng, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i>	(2785)
Effect of Cu ²⁺ on the Power Output of Dual-chamber Microbial Fuel Cell	MU Shu-jun, LI Xiu-fen, REN Yue-ping, <i>et al.</i>	(2791)
Emissions of Greenhouse Gas and Ammonia from Sewage Sludge Composting by Continuous Aerated Turning Pile	ZHAO Chen-yang, WEI Yuan-song, GE Zhen, <i>et al.</i>	(2798)
Emissions of NH ₃ , N ₂ O, and NO from Swine Manure Solid Storage in Winter	DING Gang-qiang, HAN Sheng-hui, YUAN Yu-ling, <i>et al.</i>	(2807)
Variation Characteristics and Mathematical Model of Humic Substances in Landfill Leachates with Different Landfill Ages	HUANG You-fu, XU Xin-ya, FAN Liang-xin, <i>et al.</i>	(2816)
Research on the Variation Regularity of Effluent from the Leachate Reverse Osmosis Concentrate Recirculation	WANG Dong-mei, LIU Dan, LIU Qing-mei, <i>et al.</i>	(2822)
Quantitative Analysis on the Changes in Anthropogenic Lead Flows of China	MA Lan, MAO Jian-su, <i>et al.</i>	(2829)
Research Progress in Microbiological Characteristics in Combined N ₂ Removal Process by Partial Nitrification and Anaerobic Ammonium Oxidation	ZHAO Zhi-rui, HOU Yan-lin, <i>et al.</i>	(2834)

《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7月15日 第35卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 7 Jul. 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