

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第7期

Vol.36 No.7

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12月中国中东部地区严重灰霾期间上海市颗粒物的输送途径及潜在源区贡献分析	李莉, 蔡蓓琳, 周敏 (2327)
长三角冬季一次霾过程气溶胶及其水溶性离子的区域分布特征	王曼婷, 朱彬, 王红磊, 薛国强, 何俊, 徐宏辉, 曹锦飞 (2337)
北京城区大气 PM _{2.5} 主要化学组分构成研究	刘保献, 杨懂艳, 张大伟, 陈添, 赵红帅, 陈圆圆, 陆皓昀 (2346)
2014年春季山东省 PM _{2.5} 跨界输送研究	贾海鹰, 程念亮, 何友江, 陈云波, 杜晓惠, 单晓丽 (2353)
燃煤电厂产生和排放的 PM _{2.5} 中水溶性离子特征	马子珍, 李振, 蒋靖坤, 叶芝祥, 邓建国, 段雷 (2361)
南京夏季城市冠层大气 CO ₂ 浓度时空分布规律的观测	高韵秋, 刘寿东, 胡凝, 王淑敏, 邓力琛, 于洲, 张圳, 李旭辉 (2367)
北京市机动车尾气排放因子研究	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 曲松 (2374)
北京不同污染地区园林植物对空气颗粒物的滞纳能力	张维康, 王兵, 牛香 (2381)
长三角地区火电行业主要大气污染物排放估算	丁青青, 魏伟, 沈群, 孙予罕 (2389)
基于区域循环模型 IAP-N 的安徽省农用地 N ₂ O 排放量估算	韩云芳, 韩圣慧, 严平 (2395)
不同源汇信息提取方法对区域 CO ₂ 源汇估算及其季节变化的影响评估	张芳, 周凌晔, 王玉诏 (2405)
实测/预测辽河铬(VI)水生生物基准与风险评估	王晓南, 闫振广, 刘征涛, 张聪, 王伟莉 (2414)
博尔塔拉河河水、表层底泥及河岸土壤重金属的污染和潜在危害评价	张兆永, 吉力力·阿不都外力, 姜逢清 (2422)
岩溶泉水化学性质及 δ ¹³ C _{DIC} 影响因素	赵瑞一, 吕现福, 刘子琦, 吕春艳 (2430)
柳江流域柳州断面水化学特征及无机碳汇通量分析	原雅琼, 何师意, 于爽, 孙平安, 王艳雪, 武招云, 李新桂, 谢明鲜, 刘文, 李瑞, 张华生 (2437)
重庆市主城区次级河流总氮总磷污染特征分析及富营养化评价	庆旭瑶, 任玉芬, 吕志强, 王效科, 庞容, 邓睿, 孟龄, 马慧雅 (2446)
三峡库区消落带土壤邻苯二甲酸二丁酯静态释放特征	王法, 王强, 木志坚, 杨志丹, 宋娇艳 (2453)
干湿循环对三峡支流消落带沉积物中可转化态氮及其形态分布的影响	林俊杰, 张帅, 杨振宇, 何立平, 周依, 张倩茹 (2459)
天山天池夏季叶绿素 a 的分布及富营养化特征研究	王斌, 马健, 王银亚, 尹湘江 (2465)
西大海湖沉积物营养盐垂直分布特征变化分析	段木春, 肖海丰, 臧淑英 (2472)
草街水库蓄水后嘉陵江浮游植物群落特征及水质评价	杨敏, 张晟, 刘朔孺 (2480)
宁波三江口水域原核生物群落结构分析	胡安谊, 李姜维, 杨晓永, 王弘杰, 于昌平 (2487)
全氟化合物对表层沉积物中细菌群落结构的影响	孙雅君, 王铁宇, 彭霞薇, 王佩 (2496)
菹草腐解-金鱼藻生长耦合作用对水质及植物生长的影响	马月, 王国祥, 曹勤, 王小云, 马杰 (2504)
生物滞留设施对城市地表径流低浓度磷吸附基质研究	李立青, 龚燕芳, 颜子钦, 单保庆 (2511)
复合填料生物渗滤系统处理城市雨水径流的研究	王晓璐, 左剑恶, 千里里, 邢薇, 缪恒峰, 阮文权 (2518)
3种典型消毒副产物对细菌抗生素抗性的影响	吕露, 张梦露, 王春明, 林惠荣, 于鑫 (2525)
基于透射光法探讨水流流速对 DNAPL 运移分布的影响	高燕维, 郑菲, 施小清, 孙媛媛, 徐红霞, 吴吉春 (2532)
BDD 和 PbO ₂ 电极电化学氧化苯并三氮唑的对比研究	伍娟丽, 张佳维, 王婷, 倪晋仁 (2540)
开放系统下方解石对邻苯二甲酸的吸附	李振炫, 黄利东, 陈艳芳, 缪晔, 刘大刚, 许正文 (2547)
碳纳米管-羟磷灰石对铅的吸附特性研究	张金利, 李宇 (2554)
刚果红分子印迹聚合物纳米微球的合成及吸附性能	常自强, 陈复彬, 张玉, 时作龙, 杨春艳, 章竹君 (2564)
碱热-酸热法合成二氧化钛-钛酸纳米管复合纳米材料对 Cd(II) 和苯酚的同步去除	雷立, 晋银佳, 王婷, 赵泉, 晏友, 刘文 (2573)
固定化菌剂对污水和牛粪中雌二醇和己烯雌酚的去除作用	李欣, 凌婉婷, 刘静娴, 孙敏霞, 高彦征, 刘娟 (2581)
PN-ANAMMOX 一体化反应器处理电子行业 PCB 废水	袁琬, 李祥, 周呈, 陈宗姮 (2591)
Fenton 氧化深度处理石化废水厂二级出水研究	王翼, 吴昌永, 周岳溪, 张雪, 董波, 陈学民 (2597)
制革废水和印染废水的综合毒性评估及鉴别	黄利, 陈文艳, 万玉山, 郑国娟, 赵远, 蔡强 (2604)
不同溶解氧条件下 A/O 系统的除碳脱氮效果和细菌群落结构变化	陈燕, 刘国华, 范强, 汪俊妍, 齐鲁, 王洪臣 (2610)
利用主要缺氧段 ORP 作为连续流单污泥污水脱氮除磷系统调控参数	王晓玲, 宋铁红, 殷宝勇, 李静文, 李紫棋, 余勇 (2617)
连续流态下以实际低基质生活污水培养好氧颗粒污泥及其脱氮性能	姚力, 信欣, 鲁航, 朱辽东, 谢思建 (2626)
广东清远电子垃圾拆解区农田土壤重金属污染评价	张金莲, 丁疆峰, 卢桂宇, 党志, 易筱筠 (2633)
山东省临沂市土壤有机氯农药滴滴涕残留量与空间分布特征	喻超, 王增辉, 王红晋, 代杰瑞, 庞绪贵, 赵西强, 刘华峰 (2641)
金华市萤石矿区土壤氟污染评价	叶群峰, 周小玲 (2648)
土壤碳收支对秸秆与秸秆生物炭还田的响应及其机制	侯亚红, 王磊, 付小花, 乐毅全 (2655)
黄土区果园和刺槐林生态系统土壤有机碳变化及影响因素	李如剑, 王蕊, 李娜娜, 姜继韶, 张彦军, 王志齐, 刘庆芳, 吴得峰, 郭胜利 (2662)
缙云山土地利用方式对土壤轻组及颗粒态有机碳氮的影响	雷利国, 江长胜, 郝庆菊 (2669)
塔里木河上游典型绿洲土壤酶活性与环境因子相关分析	朱美玲, 贡璐, 张龙龙 (2678)
不同部位玉米秸秆对两种质地黑土 CO ₂ 排放和微生物量的影响	刘四义, 梁爱珍, 杨学明, 张晓平, 贾淑霞, 陈学文, 张士秀, 孙冰洁, 陈升龙 (2686)
1株对叔丁基邻苯二酚降解菌的筛选鉴定及响应面法优化其降解	贺强礼, 刘文斌, 杨海君, 彭晓霞, 关向杰, 黄水娥 (2695)
耐高浓度沼液产油小球藻的分离鉴定与特征分析	杨周, 王文国, 马丹炜, 汤晓玉, 胡启春 (2707)
水介质中 C ₆₀ 纳米晶体颗粒与 Cu ²⁺ 对小鼠腹腔巨噬细胞的复合毒性研究	于叶, 卞为林, 张慧敏, 张波, 何义亮 (2713)
地表水体中同时分析 18 种糖皮质激素方法的建立	郭文景, 常红, 孙德智, 吴丰昌, 杨浩 (2719)
《环境科学》征订启事 (2553) 《环境科学》征稿简则 (2640) 信息 (2546, 2609, 2616, 2647)	

南京夏季城市冠层大气 CO₂ 浓度时空分布规律的观测

高韵秋^{1,2}, 刘寿东^{1,2*}, 胡凝¹, 王淑敏¹, 邓力琛¹, 于洲¹, 张圳¹, 李旭辉^{1,2}

(1. 南京信息工程大学大气环境中心, 南京 210044; 2. 南京信息工程大学大气环境与装备技术协同创新中心, 南京 210044)

摘要: 城市是 CO₂ 重要排放源, 直接观测城市中大气 CO₂ 浓度对于研究人类活动对大气温室气体的贡献至关重要, 而在城市中多个站点、多个高度上观测大气 CO₂ 浓度则有助于认识城市 CO₂ 浓度的时空变化规律, 确定其影响机制. 本研究于 2014 年 7 月 18 日至 7 月 25 日在南京主城区东、西、南、北和中共 5 个方位 (100 m 左右高度), 2014 年 8 月 3 日至 2014 年 8 月 9 日在南京主城区中部站点的 3 个高度 (30、65 和 110 m) 观测 CO₂ 浓度. 结果表明: ① 南京主城区垂直方向上 CO₂ 浓度存在明显梯度, 近地面 30 m 处 CO₂ 浓度受人为活动影响明显, 平均值达 427.3×10^{-6} ($\pm 18.2 \times 10^{-6}$) (摩尔分数, 下同), 高层 65 m、110 m 处 CO₂ 浓度混合均匀, 平均值分别为 411.8×10^{-6} ($\pm 15.0 \times 10^{-6}$) 和 410.9×10^{-6} ($\pm 14.6 \times 10^{-6}$). 大气层结越稳定, CO₂ 浓度越高, 垂直梯度越大. ② 南京主城区 CO₂ 浓度的水平分布受风和大气稳定度的控制. 观测期间盛行东北风向, 导致 CO₂ 浓度分布整体呈现西南高, 东北低的格局, 城市主城区上下风向 CO₂ 浓度差为 7.8×10^{-6} . 而且水平风速越大, 越有助于将上风向的 CO₂ 传输至城市的下风向, CO₂ 浓度差就越小. 大气层结越稳定, 整体 CO₂ 浓度越高. ③ 南京主城区 5 个站点 CO₂ 浓度均有明显的日变化, 日最高值出现在交通早高峰期间, 谷值在 17:00 左右, 在 19:00 左右有时会因交通晚高峰而出现次高值.

关键词: 南京市; 主城区; CO₂ 浓度; 盛行风向; 垂直分布

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)07-2367-07 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.07.006

Direct Observation on the Temporal and Spatial Patterns of the CO₂ Concentration in the Atmospheric of Nanjing Urban Canyon in Summer

GAO Yun-qiu^{1,2}, LIU Shou-dong^{1,2*}, HU Ning¹, WANG Shu-min¹, DENG Li-chen¹, YU Zhou¹, ZHANG Zhen¹, LI Xu-hui^{1,2}

(1. Yale-NUIST Center on Atmospheric Environment, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Direct observation of urban atmospheric CO₂ concentration is vital for the research in the contribution of anthropogenic activity to the atmospheric abundance since cities are important CO₂ sources. The observations of the atmospheric CO₂ concentration at multiple sites/heights can help us learn more about the temporal and spatial patterns and influencing mechanisms. In this study, the CO₂ concentration was observed at 5 sites (east, west, south, north and middle) in the main city area of Nanjing from July 18 to 25, 2014, and the vertical profile of atmospheric CO₂ concentration was measured in the middle site at 3 heights (30 m, 65 m and 110 m). The results indicated that: ① An obvious vertical CO₂ gradient was found, with higher CO₂ concentration [molar fraction of 427.3×10^{-6} ($\pm 18.2 \times 10^{-6}$)] in the lower layer due to the strong influences of anthropogenic emissions, and lower CO₂ concentration in the upper layers [411.8×10^{-6} ($\pm 15.0 \times 10^{-6}$) and 410.9×10^{-6} ($\pm 14.6 \times 10^{-6}$) at 65 and 110 m respectively] for the well-mixed condition. The CO₂ concentration was higher and the vertical gradient was larger when the atmosphere was stable. ② The spatial distribution pattern of CO₂ concentration was dominated by wind and atmospheric stability. During the observation, the CO₂ concentration in the southwest was higher than that in the northeast region with the CO₂ concentration difference of 7.8×10^{-6} , because the northwest wind was prevalent. And the CO₂ concentration difference reduced with increasing wind speed since stronger wind diluted CO₂ more efficiently. The more stable the atmosphere was, the higher the CO₂ concentration was. ③ An obvious diurnal variation of CO₂ concentration was shown in the 5 sites. A peak value occurred during the morning rush hours, the valley value occurred around 17:00 (Local time) and another high value occurred around 19:00 because of evening rush hour sometimes.

Key words: Nanjing City; main urban zone; CO₂ concentration; prevailing wind direction; vertical distribution

收稿日期: 2014-12-08; 修订日期: 2015-03-03

基金项目: 教育部长江学者和创新团队发展计划项目 (PCSIRT); 江苏高校优势学科建设工程项目 (PAPD)

作者简介: 高韵秋 (1990 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为大气环境与温室气体, E-mail: gaoyunqiu1106@126.com

* 通讯联系人, E-mail: lsd@nuist.edu.cn

长三角地区是温室气体 CO_2 排放的高强度地区之一,碳排放高达全国总量的 15%^[1]. 南京是该地区第二大城市,也是重要的综合性工业生产基地,碳排放总量仅次于苏州位居江苏省第二位^[2]. 城市是 CO_2 重要排放源,直接观测城市中大气 CO_2 浓度对于研究人类活动对大气温室气体的贡献至关重要.

由于城市下垫面的特殊性和复杂性,研究城市 CO_2 排放规律需根据自身的特点因地制宜,目前主要的试验方法分为流动观测和定点观测. 流动观测是利用便携式气体分析仪,采用车载方式观测城市道路上的 CO_2 浓度. 研究结果显示,道路上的 CO_2 浓度和交通量关系密切,城市中心的 CO_2 浓度高于城市周围,存在明显的“锅盖”现象^[3-5]. 但是受观测高度的限制,观测值极易受地面排放源和非均匀建筑物的影响,空间代表性非常差. 定点观测是在固定观测点的某一高度或者不同高度观测 CO_2 浓度. 研究结果显示, CO_2 通量基本表现为净源^[6-10]. 但是以森林为主的城市下垫面^[11,12],夏季的 CO_2 通量可为负. 因此, CO_2 浓度的分布与城市下垫面状况密不可分^[13]. 对城市 CO_2 垂直观测的最新研究表明, CO_2 垂直分布在 300 m 以下受地面影响强烈,在特定气象条件下可以呈现较大的垂直梯度^[14]. 因此,某个高度或者某一种下垫面的观测结果难以代表城市 CO_2 的分布特征.

基于上述定点观测和流动观测的局限性,在城市中多个站点、多个高度上观测大气 CO_2 浓度更加有助于全面具体地认识城市 CO_2 浓度的时空变化规律. 因此,以南京主城区为研究区域,设立多个同步连续 CO_2 浓度观测点. 在城市的东、西、南、北和中这 5 个方位上,基于非色散红外技术和离轴积分腔输出光谱技术观测城市的 CO_2 浓度,研究其时空变化特征. 同时结合气象资料,分析风向、风速、大气层结稳定度对城市 CO_2 浓度分布的影响,以期在城市碳排放模型的建立提供基础数据,也为政府各类节能减排政策提供科学参考.

1 材料与方法

1.1 观测时间与地点

两次观测试验于 2014 年 7 月和 8 月进行,观测时间各 7 d.

第一次观测于 7 月 18 日 00:00 至 2014 年 7 月 25 日 17:00 (北京时间,下同)进行. 在南京主城区东、西、南、北和中这 5 个方位 100 m 左右高度上

同步连续观测大气 CO_2 浓度,用于研究城市冠层顶 CO_2 水平分布的时空特征(如图 1). 其中,东部为维景国际大酒店(32°02'N, 118°29.4'E, 楼高 120 m),西部为天玺国际公寓楼(32°02'N, 118°25.8'E, 楼高 103 m),南部为海通大厦(31°57'N, 118°27.6'E, 楼高 107 m),北部为玉桥国际公寓(32°05'N, 118°27.6'E, 楼高 102 m),中心为城开大厦(32°02'N, 118°28.2'E, 楼高 110 m). 采样点均设在楼顶,除观测人员外无其他人为活动.

第二次观测于 8 月 3 日 00:00 至 2014 年 8 月 9 日 24:00 进行. 在 110 m (高层建筑的顶层)、65 m (高层建筑物的中部)和 30 m (高层建筑的低层)这 3 个高度上同步连续观测 CO_2 浓度,获取城市 CO_2 浓度的垂直分布,用于进一步分析上述测点的空间代表性. 其中 110 m 和 65 m 采样点位于城开大厦,30 m 采样点位于新澳大厦(32°02'19.11"N, 118°47'5.01"E).

地面气象资料和探空资料源于南京方山气象站.

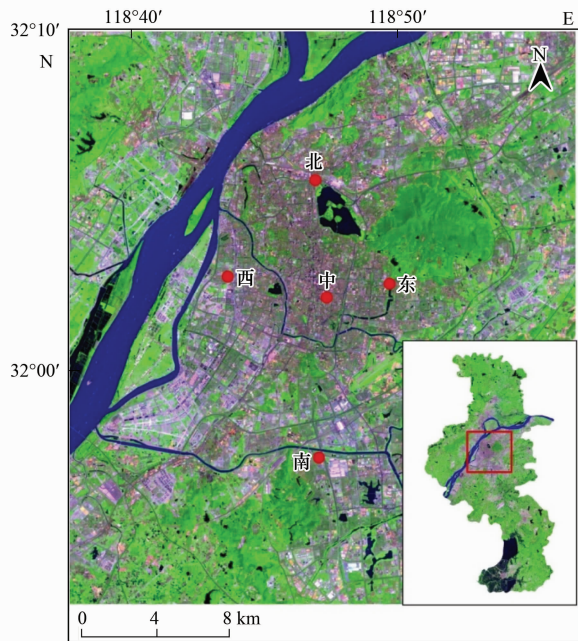


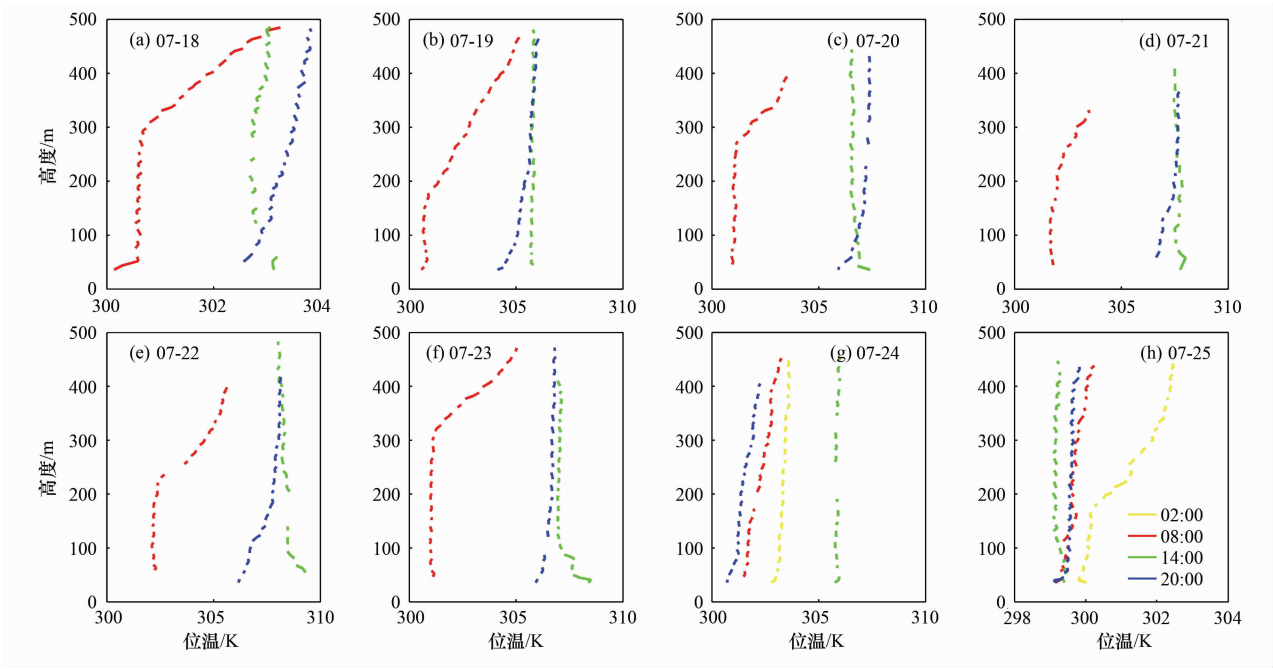
图 1 观测点示意

Fig. 1 Image of the surroundings of the observation sites

1.2 天气背景

观测期间天气炎热,天气以晴好为主,日平均气温达 28℃,盛行东北风.

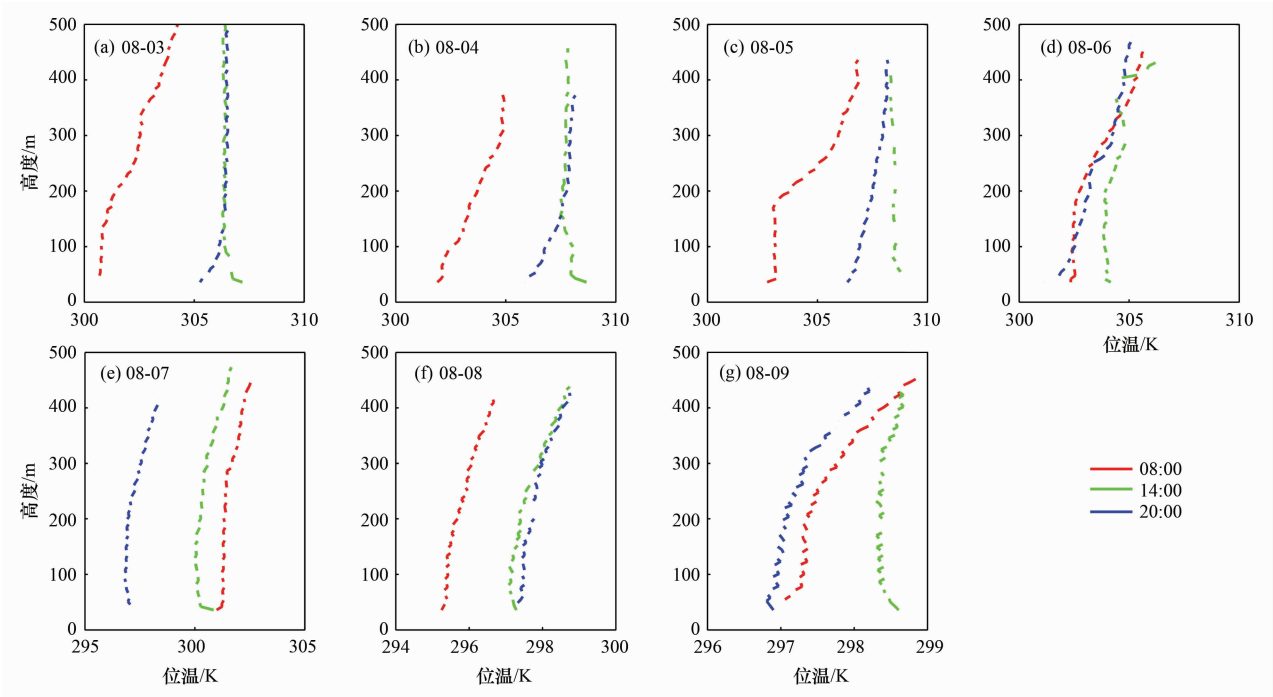
第一次观测期间的位温廓线(I)见图 2,可见除了 7 月 18 日存在较明显的稳定层结外,其他时间以近中性层结为主. 第二次观测期间的位温廓线(II)见图 3,从中可以看出,8 月 3 日至 8 月 6 日大



2014 年 7 月 18 日 00:00 至 2014 年 7 月 25 日 17:00

图 2 位温廓线(I)

Fig. 2 Vertical profiles of virtual potential temperature(I)



2014 年 8 月 3 日至 2014 年 8 月 9 日

图 3 位温廓线(II)

Fig. 3 Vertical profiles of virtual potential temperature(II)

气多以稳定层结和弱稳定层结为主,8 月 7 日至 8 月 9 日期间大气以弱不稳定层结和中性层结为主.

1.3 观测仪器

观测仪器为 3 台基于离轴积分腔输出光谱技术

的便携式 CO₂/CH₄/H₂O 分析仪(型号 915-0011, Los Gatos Research, Mountain View, CA, USA),用于城市主城区中部站点的 3 个高度 CO₂ 浓度垂直梯度观测; 5 台非色散红外 CO₂/H₂O 分析仪(型号

LI-840A, LICOR, Inc. Lincoln, NE, USA),用于5个方位的CO₂浓度水平观测.数据采集频率均为1 Hz.观测仪器采样口均伸出楼外2 m.采气管为内径1/4英寸的特氟龙管,末端连接过滤器(Swagelok, USA)和漏斗,防止颗粒污染物和雨水进入仪器影响观测效果和损坏仪器.

LI-840A型CO₂/H₂O气体分析仪(LI-COR Corporate, USA)是一款非色散红外(NDIR)气体分析仪.它的准确度<1%,总漂移<0.4×10⁻⁶℃⁻¹.温度是决定分析仪测量精度的主要因素,为降低温度变化对观测结果的影响,配合自行设计的恒温系统.此外,为了解决观测结果的漂移问题,对仪器每日进行1次零值校准和490×10⁻⁶的标准值校准.首先利用99.999%的高纯氮气,由LI-840A读取数值,确定仪器的零点漂移值;再利用490×10⁻⁶的国家2级标准气体(干空气中CO₂,南京红健气体有限公司),同样由LI-840A读取数值,确定仪器490×10⁻⁶标准值的漂移度;假设仪器的漂移为线性漂移,结合如下公式进行线性插值校正:

$$c(t) = \frac{c'_{\text{std}} - 0}{c_{\text{std}} - N_{\text{std}}}c(t) - \frac{c'_{\text{std}} - 0}{c_{\text{std}} - N_{\text{std}}}N_{\text{std}} \quad (1)$$

$$c' = c(t_1) + \frac{c(t_2) - c(t_1)}{t_2 - t_1}(t - t_1) \quad (2)$$

式中, t 表示观测时间, t_1 和 t_2 表示标定时间, $t_1 < t < t_2$. c' 代表校正之后的CO₂浓度, c 代表LI-840A型气体分析仪的测量值, c'_{std} 、 N_{std} 和 c_{std} 分别代表CO₂标准气体的实际浓度值、LI-840A型气体分析仪读取的N₂标准气体和CO₂标准气体的浓度值.通过温度控制和校准,仪器间CO₂浓度观测值的艾伦方差24 h内不超过1×10⁻⁶,适用于城市大气CO₂浓度观测^[14].

便携式CO₂/CH₄/H₂O分析仪是一款离轴积分光腔技术气体分析仪,仪器本身可以自行调节温压等参数,测量精度达0.1×10⁻⁶,试验期间无需另外标定.但为了使两种仪器的结果具有可比性,在试验开始前使用国家一级标准气体(干空气中CO₂,标准值490×10⁻⁶,南京红健气体有限公司)对915-0011型和LI-840A型气体分析仪进行标定.

1.4 浓度差计算方法

为了分析风向对CO₂浓度空间分布的影响,根据风向建立直角坐标系.令风向方向为 x 轴方向,沿着风向方向的左侧为 y 轴方向,对CO₂浓度进行向量分解.其中, $c_s \cos\theta$ 、 $c_w \sin\theta$ 、 $c_e \sin\theta$ 、 $c_n \cos\theta$ 为平行于风向的CO₂分量, Δc_{h_down} ($c_s \cos\theta + c_w \sin\theta$)

为下风向的CO₂分量, Δc_{h_up} ($c_e \sin\theta + c_n \cos\theta$)为上风向的CO₂分量; $c_s \sin\theta$ 、 $c_w \cos\theta$ 、 $c_e \cos\theta$ 、 $c_n \sin\theta$ 为垂直于风向的CO₂分量.因此,平行、垂直于风向的CO₂浓度差为:

$$\Delta c_h = c_s \cos\theta + c_w \sin\theta - c_e \sin\theta - c_n \cos\theta \quad (3)$$

$$\Delta c_v = -c_s \sin\theta + c_w \cos\theta - c_e \cos\theta + c_n \sin\theta \quad (4)$$

式中, Δc_h 和 Δc_v 分别代表平行和垂直于风向的CO₂浓度差, θ 代表风向.

2 结果与分析

2.1 CO₂浓度的垂直分布

图4为2014年8月3日00:00至2014年8月9日24:00期间3个高度CO₂浓度变化的时间序列.从中可见,不同高度上的CO₂浓度时间变化趋势一致,但是数值相差较大.其中,低层大气靠近地面CO₂排放源,因此受人为活动影响最大,表现为30 m高度上的CO₂浓度最高,观测期间的平均值为427.3×10⁻⁶(±18.2×10⁻⁶);65 m和110 m高度上,距离地面排放源较远且大气湍流混合作用较强,因此CO₂浓度下降、垂直梯度减小,观测期间的摩尔分数平均值分别为411.8×10⁻⁶(±15.0×10⁻⁶)和410.9×10⁻⁶(±14.6×10⁻⁶).

此外,大气层结越稳定,CO₂浓度会越高同时垂直梯度也越大.以8月4日07:00为例,此时为稳定层结,65 m与100 m高度上的CO₂浓度差为10.2×10⁻⁶.相对地,8月3日10:30,此时为不稳定层结,

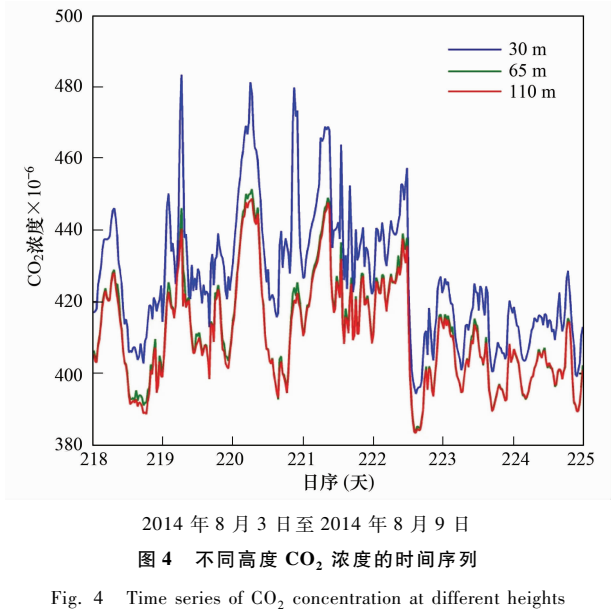


Fig. 4 Time series of CO₂ concentration at different heights

65 m 和 100 m 高度上的 CO₂ 浓度差为 -0.7×10^{-6} 。因此,当大气以弱稳定层结为主时(8 月 3 日至 8 月 6 日),城市冠层内的大气 CO₂ 浓度整体较高且垂直梯度较大。30 m 处 CO₂ 浓度为 433.0×10^{-6} ($\pm 18.2 \times 10^{-6}$),比 65 m 和 110 m 处浓度平均高 17.1×10^{-6} 、 18.4×10^{-6} 。8 月 7 日至 8 月 9 日,大气以弱不稳定层结和中性层结为主时,CO₂ 浓度整体较低且垂直梯度较小。30 m 高度上的 CO₂ 浓度平均值分别为 413.1×10^{-6} ($\pm 7.2 \times 10^{-6}$),比 65 m 和 110 m 处的 CO₂ 浓度仅高 11.4×10^{-6} 和 11.7×10^{-6} 。

2.2 CO₂ 浓度的水平分布

2014 年 7 月 18 日 00:00 至 2014 年 7 月 25 日

表 1 5 个观测点 CO₂ 浓度的统计结果¹⁾

Table 1 CO ₂ concentration statistical results in the five observation sites					
观测点	东	南	西	北	中
平均值 $\pm 1\sigma$ ($\times 10^{-6}$)	412.6 $\pm$ 14.4	422.5 $\pm$ 16.4	418.4 $\pm$ 16.3	411.9 $\pm$ 18.0	414.2 $\pm$ 14.8

1) 统计时间:2014 年 7 月 18 日 00:00 至 2014 年 7 月 25 日 17:00,东、南、西、北和中分别代表 5 个观测点

2.3 CO₂ 与风向、风速的关系

为了进一步分析风向对 CO₂ 浓度空间分布的影响,将上风向的 CO₂ 分量(Δc_{h_up})与下风向的 CO₂ 分量(Δc_{h_down})进行相关分析。结果显示,两者的相关系数高达 0.999 7 ($n = 371$, $P < 0.01$),但是 Δc_{h_down} 比 Δc_{h_up} 高 7.85×10^{-6} ($\pm 8.74 \times 10^{-6}$)。这说明了风的水平输送造成了 CO₂ 空间分布的不均匀。

图 5 是 2014 年 7 月 18 日 00:00 至 2014 年 7 月 25 日 17:00 期间平行、垂直于风向的平均 CO₂ 浓度差和风速的关系。首先,垂直于风向的 CO₂ 浓度差在零值附近摆动,平均值为 -2.2×10^{-6} ($\pm 9.5 \times 10^{-6}$),明显低于平行于风向的 CO₂ 浓度差 $7.8 \times$

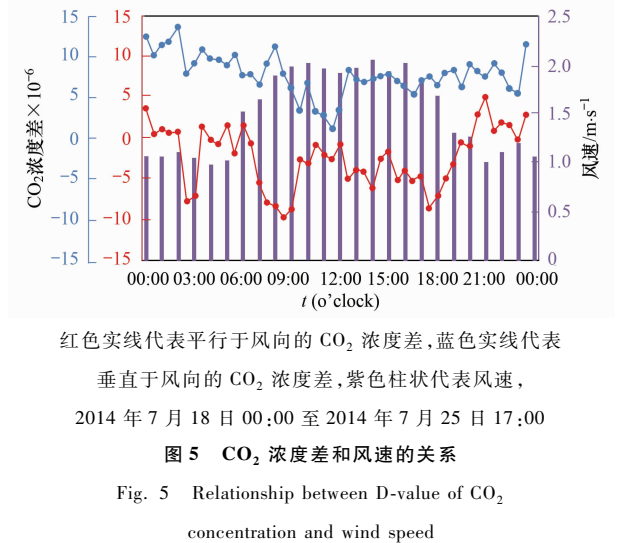
17:00 期间 CO₂ 总体平均浓度的水平分布如表 1 所示。可以看出,主城区大气 CO₂ 浓度的分布呈现西、南高,东、北低,中心介于这两者之间的特征。其中,南面的 CO₂ 浓度最高,比中心 CO₂ 浓度高 8.3×10^{-6} ;其次是西面,比中心浓度高 4.2×10^{-6} ;然后是东面,比中心浓度低 1.6×10^{-6} ;北面最低,比中心浓度低 2.3×10^{-6} 。东与北之间、西与南之间的 CO₂ 浓度差异较小,仅为 0.7×10^{-6} 和 4.1×10^{-6} 。结合风向资料,观测期间盛行东北风,该风向出现频率分别 43.6%。正是由于风向原因,导致城市排放的 CO₂ 被平流输送到下风方向,形成西南高、东北低的 CO₂ 浓度分布格局。

10^{-6} ($\pm 8.7 \times 10^{-6}$)。再一次证明了风向是影响城市 CO₂ 空间分布的决定性因素。除此之外,平行、垂直于风向的 CO₂ 浓度差与风速的相关系数分别为 $-0.572\ 9$ ($n = 24$, $P < 0.01$)、 $-0.630\ 4$ ($n = 24$, $P < 0.01$)。说明 CO₂ 浓度差与风速存在一定的负相关关系,水平风速越大,空气的平流输送作用越强烈,更多的 CO₂ 被转移出城市,因此 CO₂ 浓度差越小。

2.4 CO₂ 浓度的时间变化

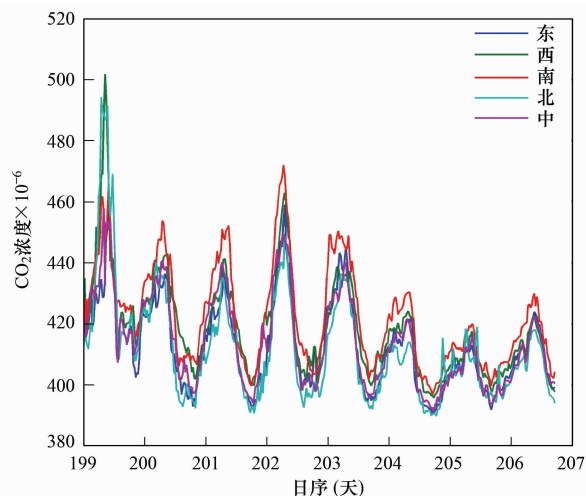
图 6 为 2014 年 7 月 18 日 00:00 至 2014 年 7 月 25 日 17:00 期间 CO₂ 平均浓度的时间序列。从中可以看出,5 个站点的 CO₂ 浓度的变化趋势基本一致。首先,由于 CO₂ 源和汇的周期性变化,CO₂ 浓度呈现明显的日变化特征。CO₂ 浓度的峰值大多出现在 07:00 ~ 09:00,该段时间正是上班早高峰,地面交通的碳排放量增加。早高峰过后,随着植物光合作用的增强,CO₂ 浓度逐渐降低,到 17:00 左右达到最低值,最低至 396×10^{-6} 左右。随着太阳落山,植物光合作用转为呼吸作用,CO₂ 浓度再次逐渐升高。

其次,大气稳定度对 CO₂ 浓度的变化也起着非常重要的作用。大气层结越稳定,CO₂ 浓度越高。19:00 左右正是南京主城区的下班晚高峰。因此,在 7 月 17 ~ 19 日、7 月 21 日、7 月 24 ~ 25 日,该时段 CO₂ 浓度有一个明显次高峰。但是,在 7 月 20 日、7 月 22 ~ 23 日的 19:00,大气为不稳定层结,由于湍流混合作用强烈,这种现象并未出现。也正是由于



大气稳定度的影响,当大气以稳定层结为主时(7月18日),城市冠层内的大气 CO_2 浓度整体偏高;当大气层结向近中性和中性过渡时(7月19~25日), CO_2 浓度逐渐降低。

因此,决定城市大气 CO_2 浓度变化的主要因素,除了 CO_2 源与汇以外,主要是风和大气层结稳定度。



2014年7月18日00:00至2014年7月25日17:00

图6 5个观测点 CO_2 浓度的时间变化

Fig. 6 Time series of CO_2 concentration in the five observation sites

3 讨论

首先, CO_2 浓度的垂直分布与高度有关. 近地层大气的 CO_2 浓度受地面 CO_2 排放源的强烈影响. 高度越低,离排放源越近, CO_2 浓度值越高,空间代表性较差. 随着高度的增加,大气湍流混合作用增强, CO_2 浓度逐渐降低且垂直梯度减小,空间代表性会逐渐改善^[15,16]. 此次观测结果显示,南京主城区30 m高度处 CO_2 浓度明显高于65 m、100 m高度 CO_2 浓度,且65 m和110 m高度 CO_2 浓度值非常接近,空间代表性有明显改善. 因此,选择110 m作为主要观测高度来分析南京市主城区冠层高度的 CO_2 浓度分布特征基本可行. 需要指出的是,尽管南京市主城区多以24 m以内的高层建筑为主^[17],但由于城区100 m以上超高层建筑的不断增加(2011年数据),需要选择更高的观测高度,提高 CO_2 浓度观测的空间代表性。

其次,风和大气稳定度是造成 CO_2 浓度时空变化的重要因素. 由于大气的平流输送运动,上风向的 CO_2 浓度大多低于下风向^[19]. 观测试验期间盛行东北风,因而主城区的 CO_2 浓度分布整体呈现西

南高,东北低的格局. 水平风速越大, CO_2 的平流输送项越大,就有更多的城市 CO_2 被转移,导致城市 CO_2 浓度差就越小. 因此,风在城市 CO_2 收支中占有重要地位^[20]. 且 Li 等^[14] 研究表明,大气层结稳定时, CO_2 浓度较高,反之浓度较低. 观测期间,在大气稳定度较低,大气混合较均匀的情况下,晚间 CO_2 浓度的次高值现象便不存在,与上述结论一致。

最后,试验期间南京市 CO_2 浓度变化有明显的日变化规律,主要体现在早晨的峰值和午后的谷值上,与其他研究结果基本一致^[21~26]. 但是由于城市布局的差异,季节以及人类活动作息时间的不同, CO_2 浓度的峰值和谷值的出现时间以及 CO_2 浓度值的不同. 观测期间南京城区 CO_2 浓度峰值出现时间为07:00~09:00,在 $425 \times 10^{-6} \sim 445 \times 10^{-6}$ 左右,谷值出现在17:00在 395×10^{-6} 左右,并伴有19:00左右的次高值现象. 2010年上海夏季城区 CO_2 浓度峰值出现时间段为08:00~10:00,约 415×10^{-6} 左右,谷值出现在15:00为 405×10^{-6} 左右^[27]; 2010年5~6月美国洛杉矶的 CO_2 浓度峰值出现时间为05:00左右,在 425×10^{-6} 左右,谷值出现在17:00为 410×10^{-6} 左右^[28]. 因此,一个城市的观测结果往往不能直接套用到另一个城市中。

4 结论

(1)南京主城区夏季 CO_2 浓度的垂直分布与高度有关,近地面浓度较高,高层浓度较低,100 m高度处可以代表南京主城区冠层高度的大气 CO_2 浓度水平。

(2)风和大气稳定度是影响南京主城区夏季 CO_2 浓度分布的重要因素,下风向 CO_2 浓度高于上风向,风速越大,上下风向浓度差越小;稳定度越高, CO_2 浓度越高。

(3)南京主城区 CO_2 浓度存在明显的日变化特征且伴有自身的城市特征。

参考文献:

- [1] Shen S, Yang D, Xiao W, et al. Constraining anthropogenic CH_4 emissions in Nanjing and the Yangtze River Delta, China, using atmospheric CO_2 and CH_4 mixing ratios [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2014, **31**(6): 1343-1352.
- [2] 肖翔. 江苏城市15年来碳排放时空格局变化研究[D]. 南京: 南京大学, 2011. 20-33.
- [3] Idso C D, Idso S B, Balling Jr R C. An intensive two-week study of an urban CO_2 dome in Phoenix, Arizona, USA [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(6): 995-1000.
- [4] Gratani L, Varone L. Daily and seasonal variation of CO_2 in the

- city of Rome in relationship with the traffic volume [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(14): 2619-2624.
- [5] Wang H K, Fu L X, Zhou Y, *et al.* Trends in vehicular emissions in China's mega cities from 1995 to 2005 [J]. *Environmental Pollution*, 2010, **158**(2): 394-400.
- [6] Velasco E, Pressley S, Allwine E, *et al.* Measurements of CO₂ fluxes from the Mexico City urban landscape [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(38): 7433-7446.
- [7] Vogt R, Christen A, Rotach M W, *et al.* Temporal dynamics of CO₂ fluxes and profiles over a Central European city [J]. *Theoretical and applied climatology*, 2006, **84**(1-3): 117-126.
- [8] Liu H Z, Feng J W, Järvi L, *et al.* Four-year (2006-2009) eddy covariance measurements of CO₂ flux over an urban area in Beijing [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(17): 7881-7892.
- [9] Song T, Wang Y S. Carbon dioxide fluxes from an urban area in Beijing [J]. *Atmospheric Research*, 2012, **106**(3): 139-149.
- [10] Contini D, Donato A, Elefante C, *et al.* Analysis of particles and carbon dioxide concentrations and fluxes in an urban area: Correlation with traffic rate and local micrometeorology [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **46**(1): 25-35.
- [11] Vesala T, Järvi L, Launiainen S, *et al.* Surface-atmosphere interactions over complex urban terrain in Helsinki, Finland [J]. *Tellus B*, 2008, **60**(2): 188-199.
- [12] Grimmond C S B, Offerle B D, Hom J, *et al.* Observations of local-scale heat, water, momentum and CO₂ fluxes at Cub Hill, Baltimore [C]. Preprints 4th Urban Environment Symposium, American Meteorological Society. 2002: 117-118.
- [13] 郭毅. 西安市大气 CO₂ 时空分布研究 [D]. 西安: 陕西师范大学. 2011.
- [14] Li Y L, Deng J J, Mu C, *et al.* Vertical distribution of CO₂ in the atmospheric boundary layer: characteristics and impact of meteorological variables [J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **91**: 110-117.
- [15] 何新星, 王跃思, 刘广仁, 等. 北京大气 CH₄、CO₂、TOC 日变化规律及垂直分布的自动连续观测 [J]. *中国环境监测*, 2005, **21**(3): 62-66.
- [16] Idso S B, Idso C D, Balling Jr R C. Seasonal and diurnal variations of near-surface atmospheric CO₂ concentration within a residential sector of the urban CO₂ dome of Phoenix, AZ, USA [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(10): 1655-1660.
- [17] 贺文慧, 杨昕, 汤国安, 等. 基于数字高程模型的城市地表开阔度研究——以南京老城区为例 [J]. *地球信息科学学报*, 2012, **14**(1): 94-100.
- [18] 刘红年, 蒋维楣, 孙鉴泞, 等. 南京城市边界层微气象特征观测与分析 [J]. *南京大学学报 (自然科学版)*, 2008, **44**(1): 99-106.
- [19] Lietzke B, Vogt R. Variability of CO₂ concentrations and fluxes in and above an urban street canyon [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **74**(2): 60-72.
- [20] Strong C, Stwertka C, Bowling D R, *et al.* Urban carbon dioxide cycles within the Salt Lake Valley: A multiple-box model validated by observations [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 2011, **116**(D15): 307-319.
- [21] Miyaoka Y, Inoue H Y, Sawa Y, *et al.* Diurnal and seasonal variations in atmospheric CO₂ in Sapporo, Japan: anthropogenic sources and biogenic sinks [J]. *Geochemical Journal*, 2007, **41**(6): 429-436.
- [22] Rigby M, Toumi R, Fisher R, *et al.* First continuous measurements of CO₂ mixing ratio in central London using a compact diffusion probe [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(39): 8943-8953.
- [23] Rice A, Bostrom G. Measurements of carbon dioxide in an Oregon metropolitan region [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, **45**(5): 1138-1144.
- [24] Henninger S, Kuttler W. Near surface carbon dioxide within the urban area of Essen, Germany [J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2010, **35**(1-2): 76-84.
- [25] George K, Ziska L H, Bunce J A, *et al.* Elevated atmospheric CO₂ concentration and temperature across an urban-rural transect [J]. *Atmospheric Environment*, 2007, **41**(35): 7654-7665.
- [26] García M Á, Sánchez M L, Pérez I A. Differences between carbon dioxide levels over suburban and rural sites in Northern Spain [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2012, **19**(2): 432-439.
- [27] 王长科, 王跃思, 刘广仁. 北京城市大气 CO₂ 浓度变化特征及影响因素 [J]. *环境科学*, 2003, **24**(4): 13-17.
- [28] Newman S, Jeong S, Fischer M L, *et al.* Diurnal tracking of anthropogenic CO₂ emissions in the Los Angeles basin megacity during spring 2010 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2012, **12**(2): 5771-5801.

CONTENTS

Potential Source Contribution Analysis of the Particulate Matters in Shanghai During the Heavy Haze Episode in Eastern and Middle China in December, 2013	LI Li, CAI Jun-lin, ZHOU Min (2327)
Composition and Regional Characteristics of Atmosphere Aerosol and Its Water Soluble Ions over the Yangtze River Delta Region in a Winter Haze Period	WANG Man-ting, ZHU Bin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (2337)
Chemical Species of PM _{2.5} in the Urban Area of Beijing	LIU Bao-xian, YANG Dong-yan, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i> (2346)
Numerical Study on the Characteristics of Regional Transport of PM _{2.5} in Shandong Province During Spring in 2014	JIA Hai-ying, CHENG Nian-liang, HE You-jiang, <i>et al.</i> (2353)
Characteristics of Water-Soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} Emitted from Coal-Fired Power Plants	MA Zi-zhen, LI Zhen, JIANG Jing-kun, <i>et al.</i> (2361)
Direct Observation on the Temporal and Spatial Patterns of the CO ₂ Concentration in the Atmospheric of Nanjing Urban Canyon in Summer	GAO Yun-qiu, LIU Shou-dong, HU Ning, <i>et al.</i> (2367)
Emission Factors of Vehicle Exhaust in Beijing	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2374)
Adsorption Capacity of the Air Particulate Matter in Urban Landscape Plants in Different Polluted Regions of Beijing	ZHANG Wei-kang, WANG Bing, NIU Xiang (2381)
Major Air Pollutant Emissions of Coal-Fired Power Plant in Yangtze River Delta	DING Qing-qing, WEI Wei, SHEN Qun, <i>et al.</i> (2389)
Estimation of N ₂ O Emission from Anhui Croplands by Using a Regional Nitrogen Cycling Model IAP-N	HAN Yun-fang, HAN Sheng-hui, YAN Ping (2395)
Evaluation on the Impacts of Different Background Determination Methods on CO ₂ Sources and Sinks Estimation and Seasonal Variations	ZHANG Fang, ZHOU Ling-xi, WANG Yu-zhao (2405)
Measured and Predicted Aquatic Life Criteria and Risk Assessment of Chromium (VI) in Liaohe River	WANG Xiao-nan, YAN Zhen-guang, LIU Zheng-tao, <i>et al.</i> (2414)
Pollution and Potential Ecology Risk Evaluation of Heavy Metals in River Water, Top Sediments on Bed and Soils Along Banks of Bortala River, Northwest China	ZHANG Zhao-yong, Jilili Abuduwalili, JIANG Feng-qing (2422)
Influencing Factors for Hydrochemistry and $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ of Karst Springs	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, LIU Zi-qi, <i>et al.</i> (2430)
Hydrochemical Characteristics and the Dissolved Inorganic Carbon Flux in Liuzhou Section of Liujiang Basin	YUAN Ya-qiong, HE Shi-yi, YU Shi, <i>et al.</i> (2437)
Characteristics of Total Nitrogen and Total Phosphorus Pollution and Eutrophication Assessment of Secondary River in Urban Chongqing	QING Xu-yao, REN Yu-fen, LÜ Zhi-qiang, <i>et al.</i> (2446)
Static Migration and Release of Dibutyl-Phthalate in the Fluctuating Zone of Three Gorges Reservoir	WANG Fa, WANG Qiang, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (2453)
Effect of Drought and Subsequent Re-wetting Cycles on Transferable Nitrogen and Its Form Distribution in the Sediment of Water Level Fluctuating Zone in the Tributary of Three Gorge Reservoir Areas	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, YANG Zhen-yu, <i>et al.</i> (2459)
Distribution of Chlorophyll-a and Eutrophication State in Tianchi Lake of Tianshan Mountains in Summer	WANG Bin, MA Jian, WANG Yin-ya, <i>et al.</i> (2465)
Vertical Distribution Characteristics and Analysis in Sediments of Xidaihai Lake	DUAN Mu-chun, XIAO Hai-feng, ZANG Shu-ying (2472)
Phytoplankton Community Structure and Water Quality Assessment in Jialing River After the Impoundment of Caojie Reservoir	YANG Min, ZHANG Sheng, LIU Shuo-ru (2480)
Analysis of Prokaryotic Community Structure in River Waters of the Ningbo Sanjiang Mouth	HU An-yi, LI Jiang-wei, YANG Xiao-yong, <i>et al.</i> (2487)
Effects of Perfluoroalkyl Substances on the Microbial Community Structure in Surface Sediments of Typical River, China	SUN Ya-jun, WANG Tie-yu, PENG Xia-wei, <i>et al.</i> (2496)
Coupling Effects of Decomposed <i>Potamogeton crispus</i> and Growing <i>Ceratophyllum demersum</i> on Water Quality and Plant Growth	MA Yue, WANG Guo-xiang, CAO Xun, <i>et al.</i> (2504)
Bioretention Media Screening for the Removal of Phosphorus in Urban Stormwater	LI Li-qing, GONG Yan-fang, YAN Zi-qin, <i>et al.</i> (2511)
Treatment of Urban Runoff Pollutants by a Multilayer Biofiltration System	WANG Xiao-lu, ZUO Jian-e, GAN Li-li, <i>et al.</i> (2518)
Effect of Three Typical Disinfection Byproducts on Bacterial Antibiotic Resistance	LÜ Lu, ZHANG Meng-lu, WANG Chun-ming, <i>et al.</i> (2525)
Laboratory Investigation of DNAPL Migration Behavior and Distribution at Varying Flow Velocities Based on Light Transmission Method	GAO Yan-wei, ZHENG Fei, SHI Xiao-qing, <i>et al.</i> (2532)
Comparative Study of Benzotriazole Electrochemical Oxidation at Boron-doped Diamond and PbO ₂ Anodes	WU Juan-li, ZHANG Jia-wei, WANG Ting, <i>et al.</i> (2540)
Sorption of <i>o</i> -Phthalate onto Calcite in Open-System	LI Zhen-xuan, HUANG Li-dong, CHEN Yan-fang, <i>et al.</i> (2547)
Adsorption Behaviors of Lead on Multi-Walled Carbon Nanotube-Hydroxyapatite Composites	ZHANG Jin-li, LI Yu (2554)
Synthesis and Study on Adsorption Property of Congo Red Molecularly Imprinted Polymer Nanospheres	CHANG Zi-qiang, CHEN Fu-bin, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (2564)
Simultaneous Removal of Cd(II) and Phenol by Titanium Dioxide-Titanate Nanotubes Composite Nanomaterial Synthesized Through Alkaline-Acid Hydrothermal Method	LEI Li, JIN Yin-jia, WANG Ting, <i>et al.</i> (2573)
Immobilization of Estrogen-degrading Bacteria to Remove the 17 β -estradiol and Diethylstilbestrol from Polluted Water and Cow Dung	LI Xin, LING Wan-ting, LIU Jing-xian, <i>et al.</i> (2581)
Optoelectronic PCB Wastewater Treatment by Partial Nitrification-ANAMMOX Integrative Reactor	YUAN Yan, LI Xiang, ZHOU Cheng, <i>et al.</i> (2591)
Treatment of Petrochemical Treatment Plant Secondary Effluent by Fenton Oxidation	WANG Yi, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (2597)
Comprehensive Toxicity Evaluation and Toxicity Identification Used in Tannery and Textile Wastewaters	HUANG Li, CHEN Wen-yan, WAN Yu-shan, <i>et al.</i> (2604)
Carbon/nitrogen Removal and Bacterial Community Structure Change in an A/O Activated Sludge System Under Different Dissolved Oxygen Conditions	CHEN Yan, LIU Guo-hua, FAN Qiang, <i>et al.</i> (2610)
ORP in the Main Anoxic Stage as the Control Parameter for Nitrogen and Phosphorus Removal in the Single Sludge System with a Continuous Flow	WANG Xiao-ling, SONG Tie-hong, YIN Bao-yong, <i>et al.</i> (2617)
Cultivation of Aerobic Granular Sludge with Real Low Concentration Domestic Wastewater and Its Denitrification Performances Under the Continuous Flow	YAO Li, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (2626)
Heavy Metal Contamination in Farmland Soils at an E-waste Disassembling Site in Qingyuan, Guangdong, South China	ZHANG Jin-lian, DING Jiang-feng, LU Gui-ning, <i>et al.</i> (2633)
Residues and Spatial Distribution Characteristics of Organochlorine Pesticides DDTs in Soil of Linyi City, Shandong Province	YU Chao, WANG Zeng-hui, WANG Hong-jin, <i>et al.</i> (2641)
Assessment of Soil Fluorine Pollution in Jinhua Fluorite Ore Areas	YE Qun-feng, ZHOU Xiao-ling (2648)
Response of Straw and Straw Biochar Returning to Soil Carbon Budget and Its Mechanism	HOU Ya-hong, WANG Lei, FU Xiao-hua, <i>et al.</i> (2655)
Changes of Soil Organic Carbon and Its Influencing Factors of Apple Orchards and Black Locusts in the Small Watershed of Loess Plateau, China	LI Ru-jian, WANG Rui, LI Na-na, <i>et al.</i> (2662)
Impacts of Land Use Changes on Soil Light Fraction and Particulate Organic Carbon and Nitrogen in Jinyun Mountain	LEI Li-guo, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (2669)
Soil Enzyme Activities and Their Relationships to Environmental Factors in a Typical Oasis in the Upper Reaches of the Tarim River	ZHU Mei-ling, GONG Lu, ZHANG Long-long (2678)
Effects of Different Residue Part Inputs of Corn Straws on CO ₂ Efflux and Microbial Biomass in Clay Loam and Sandy Loam Black Soils	LIU Si-yi, LIANG Ai-zhen, YANG Xue-ming, <i>et al.</i> (2686)
Isolation, Identification of a <i>p</i> - <i>tert</i> -Butylcatechol-Degrading Strains and Optimization for Its Degradation by Response Surface Methodology	HE Qiang-li, LIU Wen-bin, YANG Hai-jun, <i>et al.</i> (2695)
Isolation, Identification and Characteristic Analysis of an Oil-producing <i>Chlorella</i> sp. Tolerant to High-strength Anaerobic Digestion Effluent	YANG Chuang, WANG Wen-guo, MA Dan-wei, <i>et al.</i> (2707)
Coupled Cytotoxicity of C ₆₀ Nano-Crystal Particle with Cu ²⁺ to the Mouse Peritoneal Microphage RAW 264.7	YU Ye, BIAN Wei-lin, ZHANG Hui-min, <i>et al.</i> (2713)
Simultaneous Analysis of 18 Glucocorticoids in Surface Water	GUO Wen-jing, CHANG Hong, SUN De-zhi, <i>et al.</i> (2719)

《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 刘 毅 汤鸿霄 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 7 月 15 日 第 36 卷 第 7 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 7 Jul. 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 国内邮发代号: 2-821
CN 11-1895/X

国 内 定 价: 120.00 元 国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行