

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	杨阳, 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)	

不同源汇信息提取方法对区域 CO₂ 源汇估算及其季节变化的影响评估

张芳^{1,2}, 周凌晞^{3*}, 王玉诏⁴

(1. 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875; 2. 全球变化研究协同中心, 北京 100875; 3. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 4. 北京空间机电研究院, 北京 100094)

摘要: 从大气二氧化碳 (CO₂) 浓度观测资料中准确提取源汇或本底信息对区域及全球碳源汇及大气 CO₂ 浓度长期变化趋势的定量估计至关重要. 本研究以瓦里关大气 CO₂ 浓度观测资料为例, 探讨了同期地面风和同期一氧化碳 (CO) 浓度观测资料作为源汇信息提取或本底值筛选因子的有效性. 结果表明, 地面风和同期 CO 浓度在冬季可作为筛选因子, 但是夏季将其作为筛选因子不是十分有效. 采用局部近似回归法 (robust estimation of background signal, REBS)、傅里叶变换法 (Fourier transform algorithm, FTA) 和新发展的平均移动过滤法 (moving average filtering, MAF) 进行大气 CO₂ 浓度源汇及本底信息提取. 结果表明, MAF 法因其以每 2 周为一个拟合窗口, 采用不断变化和调整的过滤标准, 避免了在局部将抬升浓度或吸收浓度百分比过高或者过低估计, 优于另外两种方法. 3 种方法对因区域排放源导致的大气 CO₂ 的抬升量的结果无显著差异, 但对因区域吸收汇导致的大气 CO₂ 降低量差异明显. 结果表明, 3 种方法均可以对受到人类活动排放源影响的 CO₂ 抬升浓度合理地筛分, 但只有 MAF 法可对夏季吸收浓度较好地判别. MAF 法获得的 1995~2008 年瓦里关大气 CO₂ 多年平均季振幅为约 10.3×10^{-6} (摩尔分数, 下同), 与前期观测结果一致; 而 REBS 法得到的大气 CO₂ 逐年季振幅约为 9.1×10^{-6} , 将会导致低估区域或全球 CO₂ 通量值.

关键词: 大气; 二氧化碳 (CO₂); 筛分因子; 源汇; 平滑拟合

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)07-2405-09 DOI: 10.13227/j.hj.kx.2015.07.011

Evaluation on the Impacts of Different Background Determination Methods on CO₂ Sources and Sinks Estimation and Seasonal Variations

ZHANG Fang^{1,2}, ZHOU Ling-xi^{3*}, WANG Yu-zhao⁴

(1. College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Joint Center for Global Change Studies, Beijing 100875, China; 3. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; 4. Beijing Space Electromechanical Research Institute, Beijing 100094, China)

Abstract: To accurately determine background conditions or extract sources and sinks information from the observed atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentration is crucial for quantitative estimation of regional and global carbon budget and future trends of atmospheric CO₂. In this study, the synchronized observed surface winds and carbon monoxide (CO) concentration have been examined to test their effectiveness as filter factors to determine CO₂ background conditions at Waliguan site. The results show that the surface winds and CO concentrations can be used as filter factor in winter, but they are not very effective in summer. Three statistical methods, robust estimation of background signal (REBS), Fourier transform algorithm (FTA) and a new developed moving average filtering (MAF), are applied to atmospheric CO₂ background selection. The result suggested that our new developed MAF method, which can well estimate the elevated and sequestered CO₂ concentrations due to using changing and adjusting filter criteria at every two-week fitting window, is thus better than the other two statistical methods. A good consistency is indicated by the three methods for estimating the elevated CO₂ caused by local or regional emissions, but it showed large discrepancies when determining the sequestered CO₂. The result suggested that the three methods can reasonable extract those anthropogenic influenced episodes, but only MAF method would well identify those episodes due to terrestrial CO₂ fluxes. Mean seasonal amplitude of atmospheric CO₂ at Waliguan during 1995-2008 is 10.3×10^{-6} estimated by MAF method, which is in good agreement with previous studies. Whereas, the seasonal amplitudes derived by REBS method are much lower, only with a value of $\sim 9.1 \times 10^{-6}$ during 1995-2008, which will result in an underestimation of regional or global CO₂ fluxes.

Key words: atmosphere; carbon dioxide (CO₂); filter factors; sources and sinks; smooth and fitting

收稿日期: 2014-11-25; 修订日期: 2015-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41303052, 41175116); 中央高校自主创新基金项目 (2013YB35); 中国气象局气候变化专项 (CCSF201331); 国家国际科技合作专项 (2011DFA21090)

作者简介: 张芳 (1981~), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为温室气体源汇及大气气溶胶及全球气候变化, E-mail: fang.zhang@bnu.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: zhoulx@cma.cma.gov.cn

二氧化碳(CO_2)是最重要的温室气体,对全球总辐射强迫的贡献为 63.5%. 自 1750 年以来,因化石燃料燃烧、森林砍伐及土地利用的变化等导致大气 CO_2 浓度增加了 38%,相当于所排放的总 CO_2 量的约 55%,其余部分经大气圈-陆地生物圈、大气圈-海洋的相互作用被消除^[1]. 目前国际相关领域的研究学者对碳源和汇趋势、强度及其区域分布的研究结果差异显著,不确定性较大^[2~4]. 而对大气 CO_2 浓度观测资料源汇或本底信息提取的欠准确将会引起大气 CO_2 源汇定量估算以及大气 CO_2 长期变化趋势的较大不确定性. 目前,中国已成为世界上最大的 CO_2 排放国,加之我国人口众多、经济发展迅速,中国温室气体排放和碳收支问题受到广泛关注^[5,6]. 基于大气 CO_2 浓度长期连续观测资料所提取的源汇信息,可实时反映区域源汇的动态变化,结合大气反演模型可更准确估算区域尺度上碳源汇大小^[7,8],还可反映更大空间尺度的年际变化趋势及年际间波动气候因子的影响^[9~13],将对全面理解与预测未来全球变化、温室效应尺度及其对社会经济的影响意义重大.

目前,国际上关于对高分辨率温室气体观测数据的本底值筛分及源汇信息提取已有很多探讨,并发展了一系列方法^[9,14~20]. 通常,本底值为假设大气均匀混合状态的值,是大气环境中可能的最低值,因此任何源的因素只会增大本底值,不会有不规则变动的情况发生. 通常利用气象条件因子研究空气团的输送和来源以判断其是否收到区域源汇的影响进行筛选;此外,数学统计方法也常常被用于噪音(源或汇)信息提取和本底值的筛分中,一般基于实际观测值进行平滑拟合,然后确定某些观测值与该平滑曲线的残差来进行区分和诊断其是否受到了区域或局地影响. 该方法的优势在于不受观测站点的限制.

我国自 20 世纪 80 年代以来,也开展了大气 CO_2 浓度的长期、定点观测研究,取得了长足进展^[21~25]. 在城市区域,也已开展了一系列大气 CO_2 观测研究^[26~32],但上述研究多为非连续的短期资料,未见有关大气 CO_2 源汇信息或本底值筛分等方面的报道. 我国青海瓦里关自 20 世纪 90 年代起开始对大气 CO_2 浓度的长期在线观测研究^[33~38],已取得了到目前为止中国内陆唯一观测时间最长的大气 CO_2 浓度资料,其时间分辨率为 1 min,并利用地面风资料(风速和风向)进行了大气 CO_2 浓度的本底值筛分研究^[36]. 随着经济发展,瓦里关受到周边

排放源和吸收汇的影响可能发生变化,以往本底值筛分方法也许已不再适用和有效,需要研究建立新的更科学合理的方法. 最近作者已将局部近似回归本底值估计法^[20]应用到大气 CH_4 和 CO 时间序列的本底值筛分^[39,40]以及大气氟氯烃类气体在线观测资料的筛分研究中^[41,42]. 本研究将首先对同期地面风和同期 CO 浓度观测资料是否可作为有效的筛选因子进行诊断研究,然后再采用多种统计拟合平滑方法(局部近似回归法、傅里叶变换法和平均移动平滑法)对大气 CO_2 浓度进行源汇信息提取和本底值筛分,并比较、评估和研究各种筛选方法对区域源汇及多年季节变化的影响,提出一种最优的适用于大气 CO_2 浓度源汇信息提取方法,对区域及全球碳源汇及大气 CO_2 浓度长期变化趋势的定量估计至关重要.

1 资料及站点信息

本研究所使用的资料包括青海瓦里关大气 CO_2 浓度在线观测资料、同期大气 CO 浓度在线观测资料以及同期地面风资料(80 m 水平风向),其时间分辨率均为 h. 关于这些资料的采集、处理、观测仪器介绍等参阅文献[34]. 瓦里关全球本底站(东经 $100^\circ 55'$,北纬 $36^\circ 17'$,海拔高度 3 816 m)是全球大气观测站网 27 个全球本底站之一^[43],也是目前欧亚大陆腹地唯一的大陆型全球本底站,观测资料可反映出欧亚大陆重要的源汇信息^[37,38]. 瓦里关山及周围地区自然环境以高原草甸和沙洲居多,全区以牧业为主. 冬季主导风向为西南,夏季为东北、东南风^[36].

2 研究方法

本研究首先选取了将同期地面风(水平风向)资料和同期 CO 资料作为区分大气 CO_2 本底浓度和非本底浓度的因子,对其是否可作为筛分依据和标准进行了分析和探讨. 此外,利用 3 种数学平滑拟合方法对资料进行了平滑拟合和筛分. 数学统计方法虽有其局限性,可能会忽略数据本身代表的物理意义,但是它往往是一种更有效的数据处理手段. 本文将比较几种数学统计拟合法对筛分结果的影响并探讨其适用性. 应用数学统计方法的前提一般假设大气均匀混合时,本底值是大气环境中可能的最低值,且其短期波动很小(即 CO_2 浓度无明显抬升或降低),因此任何源或汇的因素只会增大或降低本底值,不会有不规则变动的情况发生. 在此基础

上,对在一段较短时间内对观测值进行估计,考虑其长期或短期的微小变化,进行统计学的平滑、拟合和回归。

采用的 3 种统计拟合平滑方法如下。

(1) 局部近似回归法 (robust estimation of background signal, REBS):该方法借助 R 数值统计软件中的 IDP-Misc 程序包,将其应用到大气痕量气体的本底值筛分研究中,该方法已与国际观测网络 AGAGE 和美国 NOAA 所采用的方法进行了对比^[20],证实可用于长期观测的 CO 及其他痕量气体(如氟利昂类气体)浓度数据的本底值筛分。该方法的主旨是对在一段较短时间内对观测值进行估计,并且考虑其浓度长期或短期的微小变化(日变化和季节变化),逐步逼近回归拟合,因此长期趋势、季节变动、循环变动等与时间序列关系密切的变量对时点值不会产生影响^[44]。其原理是将观测的实际浓度值定义为 $Y(t)$, $Y(t) = g(t) + m(t) + E$,式中, $g(t)$ 是本底值浓度, $m(t)$ 是 t 时刻的局部污染气团所产生的影响。测量误差 E 独立且符合期望为 0,方差为 σ^2 的高斯分布。该方法需严格选定邻域宽度(即以多长时间的数据为一次拟合),本研究拟使用 3 个月的观测数据进行试验。有关该方法的详细介绍可参考文献[20]。

(2) 傅立叶变换法 (Fourier transform algorithm, FTA):该方法是建立在已经知道大气 CO₂ 季节周期波动的基础上的一种平滑方法,有学者利用该方法对大气 CO₂ 本底浓度进行傅立叶拟合分析,建立本底长期变化数学模型,实现对缺测资料的内插、外延^[45],本研究根据瓦里关实测资料及长期趋势,拟采用以下方程进行拟合: $F(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3\sin(2\pi t) + a_4\cos(2\pi t) + a_5\sin(4\pi t) + a_6\cos(4\pi t) + a_7\sin(6\pi t) + a_8\cos(6\pi t) + a_9\sin(8\pi t) + a_{10}\cos(8\pi t)$,式中, t 是以小数年表示的观测时间; $a_0 \sim a_{10}$ 为拟合系数;公式二次多项式“ $a_0 + a_1t + a_2t^2$ ”为变化趋势;三角函数部分则表示周期性的变化(季节变化)。拟合之后将获得拟合曲线,然后将观测值与拟合值差值大于或小于 1 倍 σ 值的实测值筛选为非本底值,落在 1 倍 σ 值以内的实测值判别为本底值。

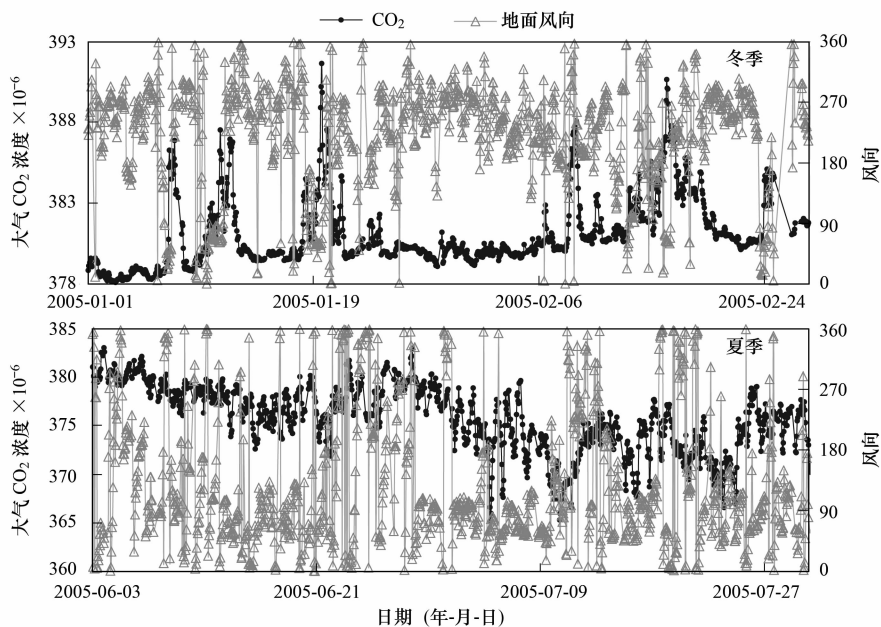
(3) 平均移动过滤法 (moving average filtering, MAF):该方法为人们新发展了一种用于分析时间序列数据的方法,可对数据的短期波动进行平滑,反映出长期趋势或周期。该方法也需严格选定邻域宽度,研究拟选择 2 周或者 1 个月的数据进行试验,得

到更能反映真实变化的平滑曲线。在进行平滑拟合前,先对连续 2 h 观测到的 CO₂ 差值进行诊断,如果其差值大于 0.3×10^{-6} ,那么认为受到局地源汇的影响从而被筛选为非本底值。但是,因实际观测到的大气 CO₂ 浓度的抬升或降低往往伴随着天气过程,可持续几小时到几天,一些受到区域污染气团影响的值仅采用判断连续 2 h 观测值差值是否大于 0.3×10^{-6} 并不能识别出是否为真正的本底值。因此为了不影响平滑结果,该方法在进行移动平均平滑法之前,首先把统计为高值或低值的约 30% 的数据点暂时不进行移动平滑拟合。然后以 2 周时间(336 h)的数据点作为一个平滑窗口,采用移动平均拟合法进行拟合。将该窗口的第一个小时的值与拟合的值比较,若其差值大于或小于 2 倍的该以 2 周为窗口拟合曲线的标准偏差(σ),则将其标记为污染值或受到吸收汇影响的值,若其在 2 倍的 σ 值之内,则将其筛选为本底值。接着,再将该拟合过程移动到第 2 h 为起点的下一个 2 周的窗口。同时,那些开始未参与平滑拟合的 30% 的数据点如果在每个 2 周窗口内与拟合线的残差在 2 倍 σ 值之内的将被重新识别为本底值。

3 结果与讨论

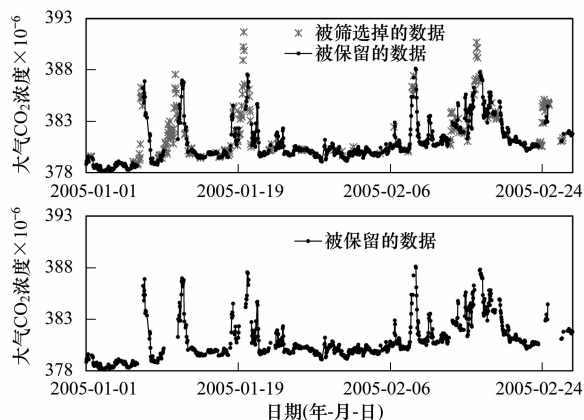
3.1 同期地面风资料作为筛选因子

局地环流和各种尺度的天气过程会引起瓦里关近地层 CO₂ 浓度的短期变化,使观测资料不可避免地包含有某些局地(local)或区域(regional)特征。通过利用同期地面风资料与大气 CO₂ 浓度关系的分析,可以获得站点周边局地源汇对大气 CO₂ 浓度的影响,然后从大气 CO₂ 时间序列提取出这些受到局地源汇影响的信息。本研究通过同期地面风与大气 CO₂ 的关系探讨地面风是否可作为本底值筛选的有效因子。如果大气 CO₂ 浓度高值或低值可以很好地与来自某一固定来向的地面风相对应,即二者呈现较好的相关性,那么往往可通过判断风向对大气 CO₂ 浓度资料进行本底值或源汇信息的筛选和提取。如图 1 所示,以 2005 年大气 CO₂ 冬季和夏季观测资料为例,冬季,大气 CO₂ 浓度高值与西北偏北或东北偏北的风向($0 \sim 60^\circ$ 和 $315^\circ \sim 360^\circ$) 有较好的对应关系,因此当地面风来向在此区间时,可考虑将 CO₂ 浓度诊断为非本底浓度。而夏季,并未发现地面风与大气 CO₂ 浓度有明显的相关关系。那么,在进行大气 CO₂ 浓度本底值筛选时,地面风作为筛选因子并不适用在夏季使用,冬季则可以进一

图1 2005年冬季和夏季大气CO₂浓度与同期地面风向的时间序列Fig. 1 Ambient CO₂ and synchronal surface horizontal wind direction in winter (top) and summer (bottom) of 2005

步尝试与试验.

因此,对冬季大气CO₂浓度采用地面风因子进行了筛选,将西北偏北或东北偏北的风向(0~60°和315°~360°)作为非本地浓度的风向,把对应的大气CO₂浓度值进行了标记,见图2.虽然部分高值确实被作为非本底值标记出,但是有部分明显的非本底抬升浓度值却不能被筛选出来,可见,即使是冬季,采用地面风作为过滤因子也有一定的局限.而夏季大气CO₂由于受到陆地生态系统吸收汇的影响,地面风作为筛选或过滤因子将并不十分有效.

图2 将同期地面风向作为CO₂本底值筛选因子的结果Fig. 2 Selected result derived by using synchronal surface horizontal winds as a CO₂ background filter

3.2 同期CO示踪作为筛选因子

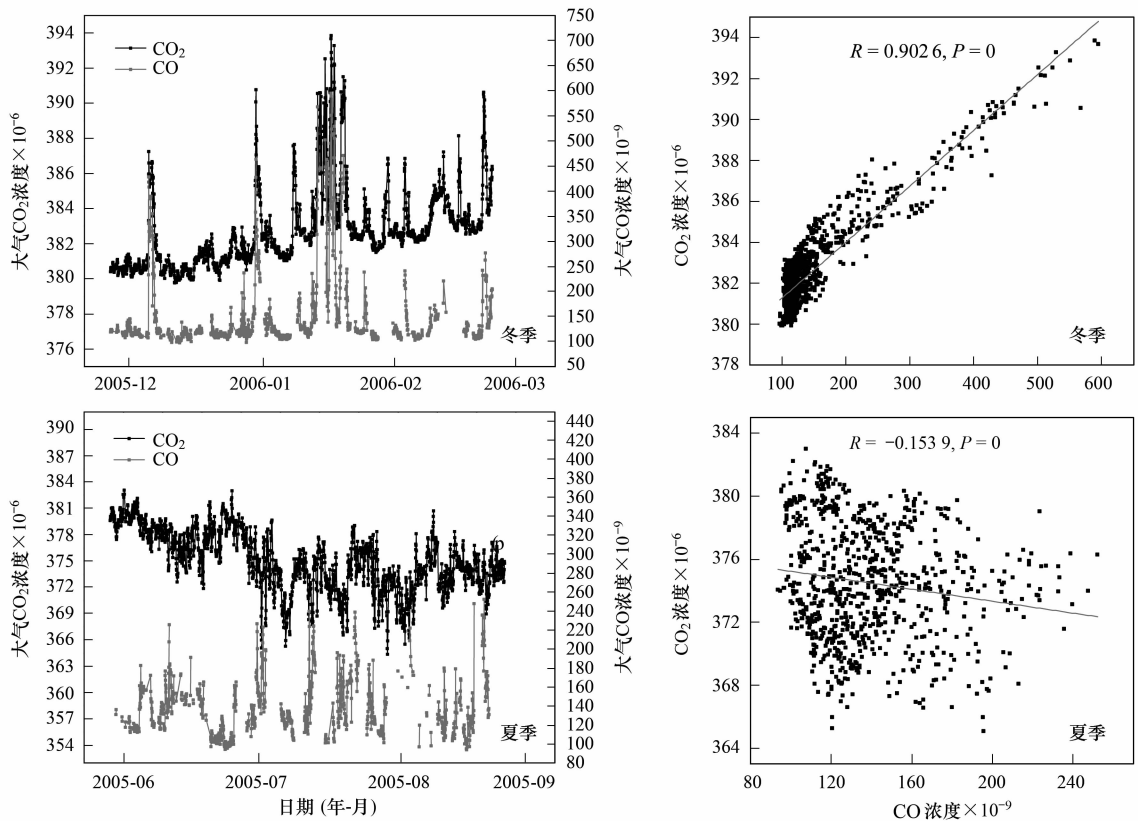
大气CO₂和CO浓度的时空变化与其源汇、大气输送及其自身的化学作用密切相关,大气中CO₂

和CO的高值或低值往往具有典型的污染源背景场及其抑制大气污染物扩散的边界层动力、热力结构特征,因此大气边界层风场、温度场等要素的变化将在不同空间尺度上制约着大气CO₂和CO的时空变化.其相关性可描述不同季节不同排放源和吸收汇因素及其气象条件差异的影响效应.

前期研究发现^[46](图3),夏季,大气中CO₂和CO相关性很差,说明二者夏季源汇强弱及相互作用的机制完全不同.由于夏季温度高,光合作用强,陆地生态系统植物对CO₂的吸收作用及海洋的交换通量增强,而夏季大气·OH浓度最高,·OH作为CO的汇(CO与·OH发生光化学反应),会降低大气中的CO,但是却生成更多的CO₂;另外,夏季瓦里关主要受到来自人口密集、工业发达的东南部地区(如西宁市,兰州及其他城市区)气团的影响,CO₂和CO来源较为复杂.而冬季,大气中CO₂和CO呈显著正相关关系($R > 0.90$, $P < 0.01$),主要为化石燃料或生物质的燃烧或寒冷季节北方取暖时CO₂和CO的排放.因冬季瓦里关太阳辐射降低,光化学作用减弱,植物对大气CO₂的吸收作用减弱,在排放源相对稳定的条件下,CO₂和CO浓度主要随着气象条件的周期性变化而发生“同位相”或同步变化的规律.可依据此判断冬季大气CO₂浓度是否也受到排放源的影响(可能的筛选因子).

3.3 统计平滑方法的筛分结果

图4为利用MAF、FTA和REBS这3种统计拟



(a) 2005 年 12 月 1 日至 2006 年 2 月 28 以及 (b) 2005 年 6 月 1 日至 8 月 31 日

图 3 大气 CO₂ 和 CO 浓度时间序列^[46]

Fig. 3 Time series of ambient CO₂ and CO

合平滑方法所得到的大气 CO₂ 筛分结果. 总体上, 3 种方法都可有效筛分出大气 CO₂ 本底浓度、受到排放源影响的抬升浓度以及受到吸收汇影响的吸收浓度, 其大体季节变化趋势和轮廓比较类似. 在短期内 (比如一个月), 非本底的大气 CO₂ 浓度波动大, 达到了约 10×10^{-6} ; 本底的大气 CO₂ 浓度波动小 ($< 1 \times 10^{-6}$), 反映了瓦里关大气 CO₂ 浓度受到区域源汇的较大影响. 但是, 由图 4 可以看出, 采用 FTA 和 REBS 法所获得的结果有明显失真 (本底值与非本底值似乎被强迫切分), 原因在于这两种方法在筛选时, 采用固定不变的一个 σ 作为过滤标准. 而 MAF 法因以每 2 周为一个拟合窗口, 采用不断变化和调节的过滤标准 (即 σ 值), 避免了在局部将抬升浓度或吸收浓度百分比过高或者过低估计. 另外, FTA 和 REBS 法导致在夏季有更多的值被诊断为非本底浓度, 从而导致季节变化幅度减弱 (具体将在 3.5 节讨论). 因大气 CO₂ 的微小波动都可能影响其长期年际增长趋势, 导致利用数值模式估算 CO₂ 源汇通量极大的不确定性^[47], 因此在采用统计学方法进行大气 CO₂ 筛分的时候需十分谨慎.

图 5 是利用 3 种统计拟合平滑方法获得的不同季节大气 CO₂ 本底浓度、抬升浓度和吸收浓度百分比. 对于本底浓度来说, REBS 法筛分出的不同季节大气 CO₂ 抬升浓度百分比的结果与 MAF 法接近, 分别为 71% 和 72%, 与前期研究结果较为一致^[36]. FTA 法所获得的本底浓度偏低, 平均 $< 50\%$. 对于抬升浓度, FTA 法所获得的百分比明显大于 MAF 和 REBS 法, 尤其是夏季和冬季, FTA 法所获得的 CO₂ 抬升浓度被筛选出的百分比分别达到了 51% 和 44%; 而 MAF 法与 REBS 法的结果较为接近. 前期研究表明^[20, 41], REBS 方法适用于在大气中长寿源的源汇并不复杂的痕量气体的筛分, 比如 CO 和只有人为排放源的氟氯烃类长寿命气体. 因此, REBS 法在进行大气 CO₂ 源汇及本底信息提取时也只对受到人类活动排放源影响的抬升浓度能够较好地进行筛分. 但该方法导致夏季吸收浓度的百分比偏高, 其百分比达到了近 40%, 即过多的数据点被识别为受到陆地生态系统吸收汇影响. 综上所述, 3 种方法中 MAF 法可实现从大气 CO₂ 浓度资料中提取源汇及本底信息.

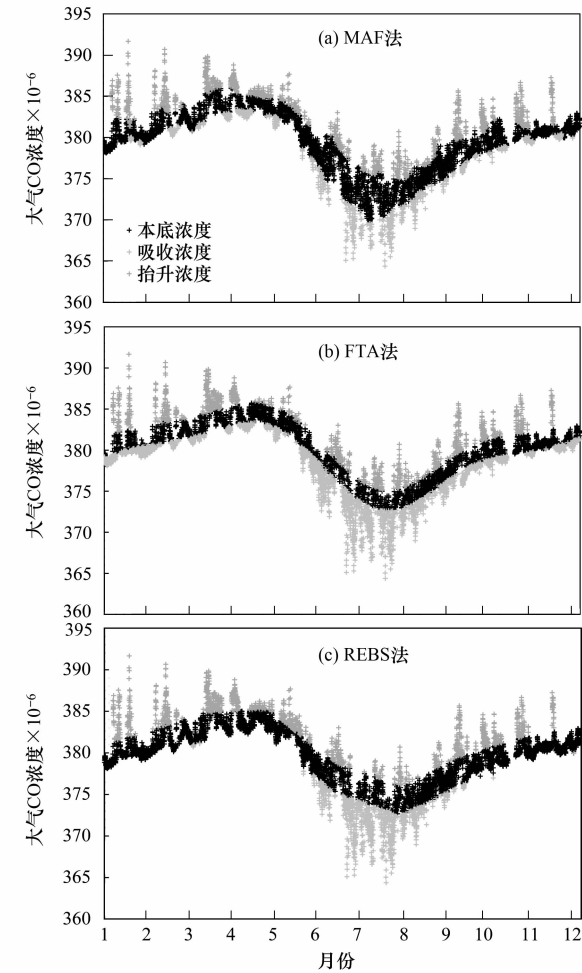


图4 利用MAF、FTA和REBS法获得的大气CO₂筛分结果

Fig. 4 Selected results of ambient CO₂ based on MAF, FTA and REBS methods

3.4 不同筛分方法对区域源汇的影响评估

图6为基于3种筛分方法(MAF、REBS和FTA)估算的因区域源汇导致的不同季节大气CO₂的抬升量和降低量. 因某个瞬时观测到的大气CO₂抬升或降低量并不能真正反映某一段时期(例如某个季节)因源汇引起的总排放量或吸收量, 比如在某一时刻大气CO₂浓度被抬升很高, 但是这种抬升在这个季节出现的频次并不多, 其排放量并不大, 因此, 本研究计算了权重的CO₂抬升量和吸收量, 用以更好地表征和反映大气CO₂的真实排放和吸收. 即采用某月瞬时大气CO₂平均抬升量或降低量(月平均污染浓度与月平均本底浓度之差)与当月抬升值或降低值出现的频次百分比(即污染浓度或吸收浓度数据占总数据量的百分比)的乘积计算得到当月权重的大气CO₂抬升量或降低量. 春季的抬升量或降低量为3、4和5月抬升量或降低量之和; 夏季为6、7和8月之和; 秋季为9、10和11月之和; 冬

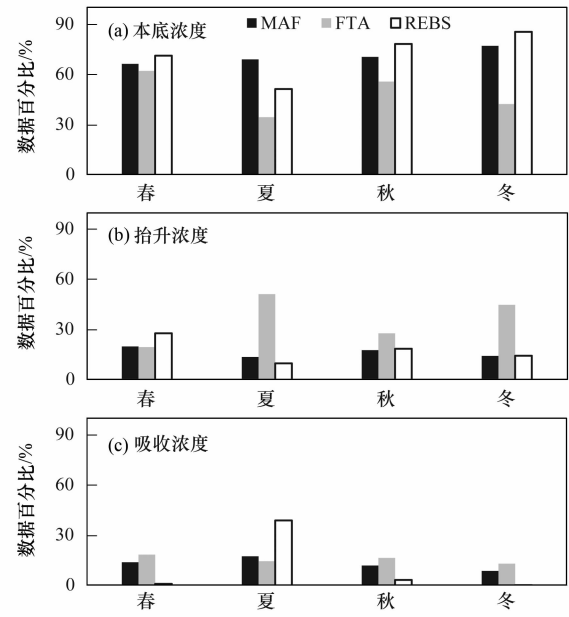


图5 利用MAF、FTA和REBS法获得的不同季节大气CO₂本底浓度、抬升浓度和吸收浓度百分比

Fig. 5 Percentages of background, elevated and uptake CO₂ concentrations in different seasons derived based on MAF, FTA and REBS methods

季为12、1和2月之和. 由图6可见, 由3种方法得到的因区域排放源导致的大气CO₂抬升量均在夏季最低(约 $0.7 \times 10^{-6} \sim 1.2 \times 10^{-6}$); 其他季节CO₂的抬升量约为 $1.5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$. 可以看出, 夏季, REBS方法获得的CO₂抬升量比MAF和FTA法低, 其他季节则略显偏高. 但总体上, 3种方法对于大气CO₂的抬升量的结果无显著差异. 对于由4种方法得到的因区域吸收汇导致的大气CO₂降低量来说, FTA法在春夏秋冬这4个季节均明显高估了大气CO₂的降低量; 采用该方法估计的夏季大气CO₂降低量达到了近 5×10^{-6} , 而冬季也超过了 1.5×10^{-6} . 而实际上研究表明, 由于冬季植物不再生长, 太阳辐射减弱, 北半球陆地生态系统的大气CO₂的吸收汇几乎消失^[48], 可见, 采用该方法获得的表征大气CO₂吸收汇的信息与实际不符. REBS法也高估了夏季因吸收汇导致的CO₂降低量. 3种方法中MAF法所得到的大气CO₂降低量与实际较为符合, 其估计的因区域吸收汇导致的夏季大气CO₂降低量约为 2.0×10^{-6} , 能够比较真实地反映瓦里关地区陆地生态系统吸收汇的强度.

3.5 不同筛分方法对季节变化的影响

大气CO₂的微小波动都可能影响其长期季节变化及年际增长趋势, 导致利用数值模式估算CO₂

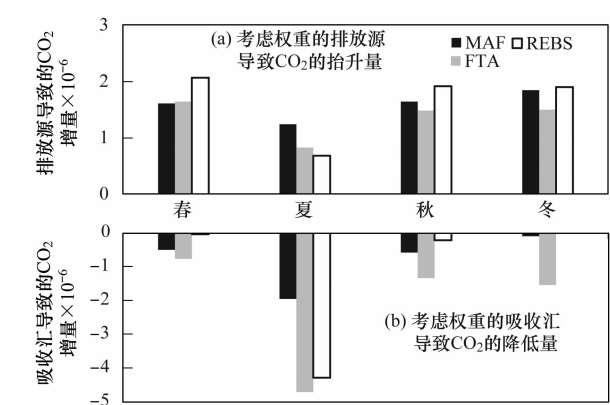


图6 基于MAF、REBS和FTA法估算的因区域源汇导致的不同季节大气CO₂的抬升量和降低量

Fig. 6 Elevations and decreases of ambient CO₂ due to local or regional emissions or sinks in different seasons based on MAF, FTA and REBS methods

源汇通量极大的不确定性^[47]. 此外,大气CO₂的微小波动往往与气候变化信号(比如厄尔尼诺和拉尼娜现象)紧密关联^[49-51]. 因此,本研究评估了几种不同源汇信息提取方法对大气CO₂多年平均季节变化的影响. 图7为基于3种方法(MAF、REBS和FTA)获得的1995~2008年大气CO₂多年平均季节变化以及文献[9]报道的方法比较. 图8为基于MAF、REBS和FTA以及文献[9]的方法获得的1995~2008年逐年大气CO₂季振幅. 由图7可见,采用MAF和FTA法得到的多年大气CO₂平均季节变化与文献[9]的方法所得到的结果很接近. 而REBS法则使夏季大气CO₂的低值幅度比其他几种方法均偏正. 从逐年季振幅的比较(图8)可以看出,REBS法得到的季振幅均偏小($\sim 9.1 \times 10^{-6}$),平均低了约 1.2×10^{-6} . 而对于全球碳循环研究,要求极高的大气CO₂观测精度(0.1×10^{-6})才能准确研究由于人为活动或自然因素引起的对全球碳源汇的扰动^[52]. 比如南北半球大气CO₂浓度产生的 0.5×10^{-6} 梯度差异就可表明由人类排放(如化石燃料燃烧)的CO₂量为 $2 \text{ Pg} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[53]. 可见,若将大气CO₂季振幅低估 1.2×10^{-6} ,将会对模式采用观测资料估算全球碳源汇引起很大的误差. 因此,REBS法应用于大气CO₂浓度源汇信息提取并不合适. 由MAF法得到的逐年季振幅与文献[9]的方法最接近. 采用该方法获得的1995~2008年大气CO₂多年平均季振幅约为 10.3×10^{-6} ,与前期研究^[36]及瓶采样观测结果^[25]较为一致. 可见,采用MAF法可较好地估计逐年大气CO₂的真实季节变化轮廓.

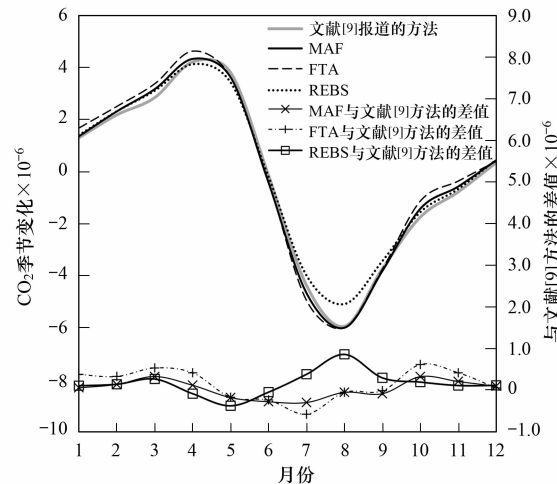


图7 基于3种筛分方法(MAF、REBS和FTA)获得的1995~2008年大气CO₂多年平均季节变化以及文献[9]的方法的比较

Fig. 7 Seasonal cycles of ambient CO₂ during 1995-2008 derived based on MAF, FTA and REBS methods as well as obtained by the method reported in the literature [9]

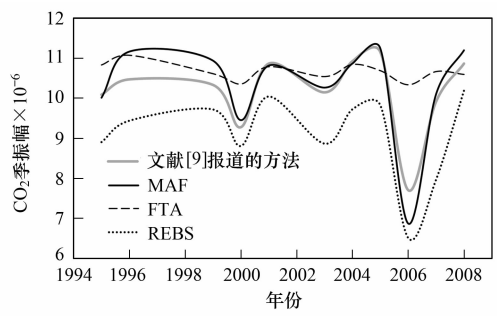


图8 基于MAF、REBS和FTA法以及文献[9]的方法获得的1995~2008年大气CO₂逐年季振幅

Fig. 8 Seasonal amplitude of ambient CO₂ during 1995-2008 based on MAF, FTA and REBS methods as well as obtained by the method reported in the literature [9]

4 结论

(1)以瓦里关大气CO₂浓度观测资料为例,探讨了同期地面风和同期CO浓度观测资料作为源汇信息提取或本底值筛选因子的有效性,结果表明,冬季,可考虑采用地面风和同期CO浓度进行大气CO₂的源汇或本底信息提取,但在夏季则不是很有效.

(2)本研究发展了一种新的大气CO₂源汇及本底信息提取方法——平均移动过滤法(MAF),通过与局部近似回归法(REBS)和傅里叶变换法(FTA)比较,表明新方法可实现大气CO₂源汇及本底信息的有效准确提取.

(3) FTA、REBS 和 MAF 法对于因排放源导致的大气 CO₂ 的抬升量的结果无显著差异. 而因区域吸收汇导致的大气 CO₂ 降低量差异显著, 表明 MAF 法能够比较真实地反映区域吸收汇的强度. 由 REBS 法得到的 1995 ~ 2008 年大气 CO₂ 逐年季振幅均比其他方法偏小, 平均低了约 1.2×10^{-6} .

致谢: 感谢瓦里关全球大气本底站提供了本研究涉及的有关观测资料.

参考文献:

[1] IPCC. Climate Change 2013: the physical science basis [R]. Cambridge: Cambridge University Press.

[2] Stephens B B, Gurney K, Tans P P, *et al.* Weak northern and strong tropical land carbon uptake from vertical profiles of atmospheric CO₂ [J]. Science, 2007, **316**(5832): 1732-1735.

[3] Le Quere C, Raupach M R, Canadell J G, *et al.* Trends in the sources and sinks of carbon dioxide [J]. Nature Geosciences, 2009, **2**(12): 831-836.

[4] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, *et al.* The carbon balance of terrestrial ecosystems in China [J]. Nature, 2009, **458**(7241): 1009-1013.

[5] 方精云, 王少鹏, 岳超, 等. “八国集团” 2009 意大利峰会减排目标下的全球碳排放情景分析 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, **39**(10): 1339-1346.

[6] 丁仲礼, 段晓男, 葛全胜, 等. 2050 年大气 CO₂ 浓度控制: 各国排放权计算 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, **39**(8): 1009-1027.

[7] Prinn R G, Weiss R F, Fraser P G, *et al.* A history of chemically and radiatively important gases in air deduced from ALE/GAGE/AGAGE [J]. Journal of Geophysical Research, 2000, **105**(D14): 17751-17792.

[8] Reimann S, Manning A J, Simmonds P G, *et al.* Low European methyl chloroform emissions inferred from long-term atmospheric measurements [J]. Nature, 2005, **433**(7025): 506-508.

[9] Thoning K W, Tans P P, Komhyr W D. Atmospheric carbon dioxide at Mauna Loa Observatory: 2. analysis of the NOAA GMCC data, 1974-1985 [J]. Journal of Geophysical Research, 1989, **94**(D6): 8549-8565.

[10] 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**(D15): 19015-19033.

[11] Schuepbach E, Friedli T K, Zanis P, *et al.* State space analysis of changing seasonal ozone cycles (1988-1997) at Jungfraujoch (3580m above sea level) in Switzerland [J]. Journal of Geophysical Research, 2001, **106**(D17): 20413-20427.

[12] Novelli P C, Masarie K A, Lang P M, *et al.* Reanalysis of tropospheric CO trends: effect of the 1997-1998 wildfires [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, **108**(D15): 4464, doi: 10.1029/2002JD003031.

[13] Zellweger C, Hü glin C, Klausen J, *et al.* Intercomparison of four different carbon monoxide measurement techniques and

evaluation of the long-term carbon monoxide time series of Jungfraujoch [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2009, **9**(11): 3491-3503.

[14] Gillcue D A, Komhyr W D, Waterman L S, *et al.* The NOAA/GMCC continuous CO₂ record at the south pole, 1975-1982 [J]. Journal of Geophysical Research, 1987, **92**(D4): 4231-4240.

[15] Derwent R G, Simmonds P G, O'Doherty S, *et al.* European source strengths and Northern Hemisphere baseline concentrations of radiatively active trace gases at Mace Head, Ireland [J]. Atmospheric Environment, 1998, **32**(21): 3703-3715.

[16] Zellweger C, Forrer J, Hofer P, *et al.* Partitioning of reactive nitrogen (NO_y) and dependence on meteorological conditions in the lower free troposphere [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2003, **3**: 779-796.

[17] Henne S, Furger M, Prevot A S H. Climatology of mountain venting-induced elevated moisture layers in the lee of the Alps [J]. Journal of Applied Meteorology, 2005, **44**(5): 620-633.

[18] Zanis P, Ganser A, Zellweger C, *et al.* Seasonal variability of measured ozone production efficiencies in the lower free troposphere of Central Europe [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007, **7**: 223-236.

[19] Balzani Lööv J M, Henne S, Legreid G, *et al.* Estimation of background concentrations of trace gases at the Swiss Alpine site Jungfraujoch (3580m a. s. l.) [J]. Journal of Geophysical Research, 2008, **113**(D22): D22305, doi: 10.1029/2007JD009751.

[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 Discussion, 2012, **5**: 2613-52624.

[21] 温玉璞, 汤洁, 邵志清, 等. 瓦里关山大气二氧化碳浓度变化及地表排放影响的研究 [J]. 应用气象学报, 1997, **8**(2): 129-136.

[22] 王庚辰, 温玉璞, 孔琴心, 等. 中国大陆上空 CO₂ 的本底浓度及其变化 [J]. 科学通报, 2002, **47**(10): 780-783.

[23] 程红兵, 王木林, 温玉璞, 等. 我国瓦里关山、兴隆温室气体 CO₂、CH₄ 和 N₂O 的背景浓度 [J]. 应用气象学报, 2003, **14**(4): 402-409.

[24] Zhang D Q, Tang J, Shi G Y, *et al.* Temporal and spatial variations of the atmospheric CO₂ concentration in China [J]. Geophysical Research Letters, 2008, **35**(3): L03801, doi: 10.1029/2007GL032531.

[25] Liu L X, Zhou L X, Zhang X C, *et al.* The characteristics of atmospheric CO₂ concentration variation about four national background stations in China [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2009, **52**(11): 1857-1863.

[26] 王跃思, 王长科, 郭雪清, 等. 北京大气 CO₂ 浓度日变化, 季变化及长期趋势 [J]. 科学通报, 2002, **47**(14): 1108-1112.

[27] 蒋高明, 黄银晓, 韩兴国. 城市与山地森林地区夏秋季大气 CO₂ 浓度变化初探 [J]. 环境科学学报, 1998, **18**(1): 108-111.

[28] 刘强, 王跃思, 王明星. 北京地区大气主要温室气体的季节

- 变化[J]. 地球科学进展, 2004, **19**(5):817-823.
- [29] 李晶, 王跃思, 刘强, 等. 北京市两种主要温室气体浓度的日变化[J]. 气候与环境研究, 2006, **11**(1):49-56.
- [30] 魏秀丽, 陆亦怀, 高闽光, 等. FTIR 遥测大气中 CO₂ 浓度变化及研究其影响因素[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, **27**(3): 452-455.
- [31] 尹起范, 盛振环, 魏科霞, 等. 淮安市大气 CO₂ 浓度变化规律及影响因素的探索[J]. 环境科学与技术, 2009, **32**(4): 54-57.
- [32] 孔少飞, 陆炳, 韩斌, 等. 天津近海大气中 CH₄, N₂O 和 CO₂ 季节变化分析 [J]. 中国科学(地球科学), 2010, **40**(5): 666-676.
- [33] 周凌晞, 汤洁, 张晓春, 等. 气相色谱法观测本底大气中的甲烷和二氧化碳[J]. 环境科学学报, 1998, **18**(4):356-361.
- [34] 周凌晞, 汤洁, 温玉璞, 等. 地面风对瓦里关山大气 CO₂ 本底浓度的影响分析[J]. 环境科学学报, 2002, **22**(2): 135-139.
- [35] 周凌晞, 李金龙, 温玉璞, 等. 瓦里关山大气 CO₂ 及其 $\delta^{13}\text{C}$ 本底变化[J], 环境科学学报, 2003, **23**(3): 295-300.
- [36] Zhou L X, Tang J, Wen Y P, *et al.* The impact of local winds and long-range transport on the continuous carbon dioxide record at Mount Waliguan, China [J]. Tellus Series B, 2003, **55**(2): 145-158.
- [37] Zhou L X, Conway T J, White J W C, *et al.* Long-term record of atmospheric CO₂ and stable isotopic ratios at Waliguan Observatory: background features and possible drivers, 1991-2002 [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2005, **19**(3): GB3021, doi: 10.1029/2004GB002430.
- [38] Zhou L X, White J W C, Conway T J, *et al.* Long-term record of atmospheric CO₂ and stable isotopic ratios at Waliguan Observatory: Seasonally averaged 1991- 2002 source/sink signals, and a comparison of 1998-2002 record to the 11 selected sites in the Northern Hemisphere [J]. Global Biogeochemical Cycles, 2006, **20**(2):GB2001, doi: 10.1029/2004GB002431.
- [39] 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 and Physics, 2011, **11**:5195-5206.
- [40] Zhang F, Zhou L X, Xu L. Temporal variation of atmospheric CH₄ and the potential source regions at Waliguan, China [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2013, **56**(5):727-736.
- [41] Zhang F, Zhou L X, Yao B, *et al.* Analysis of 3-year observations of CFC-11, CFC-12 and CFC-113 from a semi-rural site in China [J]. Atmospheric Environment, 2010, **44**(35): 4454-4462.
- [42] Zhang F, Zhou L X, Yao B, *et al.* In-situ measurement of atmospheric CFC-11 at Shangdianzi global atmosphere watch (GAW) regional station [J]. Science China Earth Sciences. 2011b, **54**(2): 298-304.
- [43] WDCGG. World Data Center for Greenhouse Gases (WDCGG), Data Summary [R], WMO WDCGG 33, Japan: Tokyo, 2011, **33**: 1-105.
- [44] Ruckstuhl A F, Jacobson M P, Field R W, *et al.* Baseline subtraction using robust local regression estimation [J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2001, **68**(2):179-193.
- [45] Masarie K A, Tans P P. Extension and integration of atmospheric carbon dioxide data into a globally consistent measurement record [J]. Journal of Geophysical Research, 1995, **100**(D6):11593-11610.
- [46] Zhang F, Zhou L X, Conway T J, *et al.* Short-term variations of atmospheric CO₂ and dominant causes: analysis of 14-year continuous observational data at Waliguan, China [J]. Atmospheric Environment, 2013, **77**(7):140-148.
- [47] Tans P P, Bakwin P S, Guenther D W. A feasible global carbon cycle observing system: a plan to decipher today's carbon cycle based on observations[J]. Global Change Biology, 1996, **2**(3): 309-318.
- [48] Tans P P, Fung I Y, Takahashi T. Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget [J]. Science, 1990, **247**(4949):1431-1438.
- [49] Bacastow R B, Keeling C D. Atmospheric carbon dioxide concentration and the observed airborne fraction [R]. Carbon Cycle Modelling (SCOPE 16). New York: John Wiley & Sons, 1981. 100-112.
- [50] Lintner B R. Characterizing global CO₂ interannual variability with empirical orthogonal function/principal component (EOF/PC) analysis [J]. Geophysical Research Letters, 2002, **29**(19):27-30, doi: 10.1029/2001GL014419.
- [51] Denman K L, Brasseur G, Chidthaisong A, *et al.* Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry [A]. In: Solomon S, Qin D, Manning M, *et al.* (eds.), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C]. Cambridge: Cambridge University Press.
- [52] WMO. Guidelines for the measurement of atmospheric carbon monoxide [R]. GAW Report No.192, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2010.
- [53] Jrancey F R, Trudinger C M, Ven Der Schoot M, *et al.* Atmospheric verification of anthropogenic CO₂ emission trends [J]. Natural Climate Change, 2013, **3**(5):520-524.

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