

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

我国4个WMO/GAW本底站大气CH ₄ 浓度及变化特征	方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳	(2917)
我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源	李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙	(2924)
2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析	李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海	(2932)
厦门市冬春季灰霾期间大气PM ₁₀ 中多环芳烃的污染特征及来源分析	钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红	(2939)
气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用	王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J	(2946)
松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征	张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超	(2953)
河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究	赵亚娟,龚巍巍,栾胜基	(2960)
印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选	马英歌	(2967)
烹调油烟中挥发性有机物的排放初探	何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕	(2973)
生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究	胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟	(2979)
分期布液生物滴滤床净化H ₂ S废气性能研究	刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪	(2987)
粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究	孟阳,王书肖	(2993)
太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价	刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁	(3000)
巢湖水质与流域农业投入的关联性研究	张燕,高翔,张洪	(3009)
巢湖十五里河水花生生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性	李如忠,李峰,周爱佳	(3014)
巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价	刘恩峰,杜臣昌,羊向东,沈吉	(3024)
巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性	陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼	(3031)
丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究	雷沛,张洪,单保庆	(3038)
水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响	刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤	(3046)
平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究	杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波	(3051)
江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析	刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功	(3057)
太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价	甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩	(3064)
南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究	刘静,路风,杨廷钊,徐娜,王田妮	(3070)
珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系	何洪威,周达诚,王保强,梁艳红	(3076)
东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价	王若师,许秋瑾,张炯,魏群山,颜昌宙	(3083)
深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究	孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉	(3089)
福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响	高文华,杜永芬,王丹丹,高抒	(3097)
渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨	蔡文倩,刘录三,乔飞,林岚璇,周娟	(3104)
地下水污染防治区划体系构建研究	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮	(3110)
北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(3117)
川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO ₃ ⁻ 的存储和运移	杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风	(3124)
改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究	董锡臻,石宝友,解岳,王东升	(3132)
水溶液中臭氧和溴离子的反应研究	俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇	(3139)
HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布	张晗,董秉直	(3144)
不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOSC _s)产生机制研究	卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才	(3152)
不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响	况烨,周琰,王清萍,陈祖亮	(3160)
多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水	李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶	(3167)
三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究	徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮	(3172)
改性花生壳对水中镉的动态吸附研究	龙腾,易筱筠,党志	(3177)
硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能	王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军	(3182)
海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型	罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰	(3189)
营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复	张著,高大文,袁向娟,勾倩倩	(3197)
生物表面活性剂强化污泥水解的研究	易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平	(3202)
厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定	刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波	(3208)
阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究	李绍峰,朱静,李铁晶	(3214)
农业废物堆肥中高产漆酶菌株的分离鉴定及酶学性质研究	任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明	(3220)
糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定	李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云	(3228)
餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析	刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕	(3236)
共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究	吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳	(3241)
<i>Geobacter sulfurreducens</i> 对汞的甲基化及其影响因素研究	邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳	(3247)
单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应	武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷	(3253)
金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价	杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新	(3261)
环境激素氯菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响	董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵	(3266)
地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究	金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳	(3272)
焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯化特征	刘敬勇,孙水裕	(3279)
城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例	于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞	(3288)
NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析	连静,刘俊新	(3295)
《环境科学》征订启事(3037)	《环境科学》征稿简则(3151)	信息(2999,3030,3096,3227)

我国 4 个 WMO/GAW 本底站大气 CH₄ 浓度及变化特征

方双喜, 周凌晞, 许林, 姚波, 刘立新, 夏玲君, 王红阳

(中国气象科学研究院大气成分研究所, 中国气象局大气化学重点开放实验室, 北京 100081)

摘要: 利用基于光腔衰荡光谱(CRDS)技术自组装的大气 CH₄ 在线观测系统, 于 2009 ~ 2010 年在青海瓦里关、浙江临安、北京上甸子和黑龙江龙凤山这 4 个世界气象组织全球大气观测网(WMO/GAW)大气本底站对大气 CH₄ 进行了在线观测. 临安站在所有季节中 CH₄ 浓度都表现出类似的日变化趋势, 即浓度在每日 ~05:00(北京时间)达到最高值, 在 ~14:00 为最低. 夏季龙凤山站 CH₄ 浓度表现出类似的规律, 但其日变化振幅较大, 达到 216.8×10^{-9} (摩尔分数, 下同). 上甸子站春、秋、冬季 CH₄ 浓度呈现类似变化趋势, 但夏季日平均值较高, 在晚间 ~20:00 达到最高值, 瓦里关站四季 CH₄ 浓度日变化均不明显. 3 个区域本底站(临安、上甸子和龙凤山)全年 CH₄ 本底浓度存在明显的变化, 临安站 CH₄ 本底浓度在 7 月达到全年最低水平. 龙凤山站则表现出相反的趋势, 在 8 月达到全年最高值, 其全年浓度表现出“W”型变化. 冬季龙凤山和上甸子站 CH₄ 浓度高于春季和秋季. 瓦里关站全年浓度变化较小, 月平均浓度振幅仅为 11.5×10^{-9} . 临安、上甸子和龙凤山 3 个区域本底站夏季 CH₄ 非本底数据占总数据的比例 >70%. 为分析气团传输的影响, 对 4 站夏季高浓度时刻(瓦里关: CH₄ > 1870×10^{-9} , 龙凤山 CH₄ > 2100×10^{-9} , 临安 CH₄ > 2150×10^{-9} , 上甸子 CH₄ > 2050×10^{-9})对应的气团轨迹进行聚类分析表明, 夏季出现的高浓度 CH₄ 观测数据可能主要由气团传输所引起.

关键词: 大气 CH₄; 本底站; 浓度; 变化; 后向轨迹; 聚类

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-2917-07

CH₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China

FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, YAO Bo, LIU Li-xin, XIA Ling-jun, WANG Hong-yang

(Key Laboratory for Atmospheric Chemistry of China Meteorological Administration, Research Institute of Atmospheric Composition of Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Background CH₄ concentrations were continuously measured at the 4 WMO/GAW stations [Waliguan in Qinghai (WLG), Lin'an in Zhejiang (LAN), Shangdianzi in Beijing (SDZ), and Longfengshan in Heilongjiang (LFS)] by Cavity Ring Down Spectroscopy system. From 2009 to 2010, the diurnal cycle of hourly average CH₄ concentration at LAN was found to be similar in all four seasons, with the highest level detected at 05:00 (Beijing Time) and the lowest at about 14:00. Similar CH₄ diurnal cycles were observed at LFS in the summer time. However, the daily amplitude was much higher than that at LAN and reached 216.8×10^{-9} (molar ratio). For SDZ station, there were similar trends in spring, autumn and winter. The daily average concentration in the summer was much higher than those of the other seasons and reached the highest at about 20:00. No apparent CH₄ diurnal cycle was observed at the WLG station during the whole year. The seasonal variations were obvious at the three regional stations (LAN, SDZ, LFS). The background concentration was the lowest in July at LAN while reached the highest level in August at LFS. The yearly background concentration variation at LFS displayed a “W” pattern. At LFS and SDZ, the wintertime CH₄ concentrations were higher than those in spring and autumn. WLG represented a clean area and its CH₄ value was the lowest among the four stations with the monthly average amplitude to be about 11.5×10^{-9} . At all three regional stations, non-background data accounted for more than 70% of the whole data. Cluster analysis of 3 day backward trajectories corresponding to the high CH₄ concentration (WLG: CH₄ > 1870×10^{-9} , LFS: CH₄ > 2100×10^{-9} , LAN: CH₄ > 2150×10^{-9} , SDZ: CH₄ > 2050×10^{-9}) data points suggested that the high CH₄ level measured in summer might be associated with the air mass transportation.

Key words: atmospheric CH₄; background station; concentration; variation; backward trajectory; cluster analysis

CH₄ 在大气中寿命较短仅为 8 ~ 12 a, 但其对 7.66 μm 的光有强烈的吸收, 研究表明其辐射强度约占所有温室气体的 18.1%^[1], 仅次于 CO₂ (约占所有温室气体的 63%), 因而也是一种重要温室气体. CH₄ 全球平均浓度增长速率在 1999 ~ 2006 年

收稿日期: 2011-11-15; 修订日期: 2011-12-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41175116); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2010CB950601); 科技部国际合作项目(2011DFA21090)

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@cams.cma.gov.cn

间基本维持为0,但从2007年又开始增加^[2].最新一期世界气象组织(WMO)温室气体公报指出,2010年全球大气中CH₄平均浓度为 $1\,808 \times 10^{-9}$ (摩尔分数,下同),较上年增加了 $\sim 5 \times 10^{-9}$ ^[1].其增长原因尚不明确,一般认为可能由微生物活动排放增加引起^[3,4].大气中CH₄来源较多^[5,6],如化石燃料燃烧、反刍动物排放、农业区域排放、垃圾填埋、湿地、海洋等等.其在大气中的汇主要为与·OH反应(88%~98%)^[7].

由于生态环境、经济状况等的不同,大气中CH₄浓度在全球范围存在较大差异.准确掌握不同区域CH₄浓度及源汇变化情况是制定相应的减排政策的基础.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其全球收支情况的重要手段之一.早在1989年WMO开始执行全球大气观测(GAW)计划.目前,全球已有67个国家235个大气本底站开展温室气体观测.1994年,中国开始在青海瓦里关全球大气本底站建设CO₂和CH₄等温室气体的在线观测系统^[8].2008年底,中国气象局的4个主要大气本底站(青海瓦里关、北京上甸子、浙江临安和黑龙江龙凤山)分别建设了1套基于光腔衰荡技术的CH₄在线观测系统,并于2009年1月开始连续高精度观测.本研究对2009~2010年4个本底站CH₄浓度及变化特征进行了分析.

1 材料与方法

1.1 采样点

青海省瓦里关、浙江省临安、北京市上甸子和黑龙江省龙凤山4个国家级大气本底站地理位置分别位于中国西北、东部、华北和东北.其中青海瓦里关站为世界气象组织/全球大气观测网(WMO/GAW)的28个全球大气本底站之一,浙江临安、北

京上甸子和黑龙江龙凤山属于WMO/GAW的区域大气本底站.以上4站代表区域分别为欧亚大陆腹地、长三角经济圈、京津冀经济圈和东北地区.各站气候特征详见文献[9]的描述.系统采样口离地面约10 m,其中瓦里关站进样口架设于离实验室10 m的采样塔上,龙凤山、上甸子和临安站进样口架设于观测台10 m风杆上,观测台离实验室分别为65、35和25 m,以保证进样口气体较少地受到实验室人为活动等的影响.

1.2 系统设计

系统主机采用美国Picarro公司研发的基于波长扫描光腔衰荡技术(WS-CRDS)的G1301型高精度CH₄分析仪.该仪器原理是利用特定波长的激光在光腔内多次反射,使有效光程达到约20 km,反射镜和目标气体均造成入射光能量的衰减,根据空腔和充满样品气时激光光强衰减到0的时间不同,即可定量样品中CH₄浓度^[10,11],该仪器每3 s输出1次分析数据.与传统的气相色谱法(GC-FID)相比,该系统精度较高、分析迅速、无需众多支持气,操作维护非常简便.系统连接如图1所示.

进气管为外径10 mm的Syflex1300内部镀膜专用进气管,管内气体流量约 $6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$.空气进入KNF泵之前经 $7 \mu\text{m}$ 过滤膜去除主要颗粒物.管路中压力释放控制器设置输出压力为 $\sim 103.4 \text{ kPa}$ (15psi).空气进入样品选择阀前经超低温玻璃除水冷阱(-75°C)以冻结其中大部分水分,该冷阱管每24 h更换1次以避免内部结冰过多导致堵塞.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,在其后部再安装1个小型二级压力释放器并设置流量为 $200 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$.8口样品选择阀用于选择分析空气或标气.为了保证系统分析时流量严格稳定,在主机之前安装一个高精度质量流量控制器,系统详细设计见文献[12]的描述.

系统使用的高浓度工作标气(WH)、低浓度工

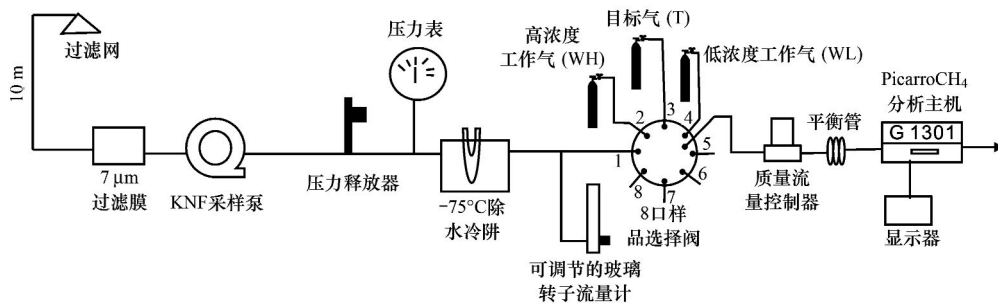


图1 系统连接示意

Fig. 1 Schematic diagram of the system

作标气(WL)和目标气(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 公司生产),在使用前经实验室一级标气多轮标定,可溯源至 WMO/GAW 一级标气序列. 系统运行时每隔 180 min 分析 1 次 WH、WL 或 T,每次分析 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. 目标气(T)是已知浓度的钢瓶标气并在正常运行序列中穿插分析,通过系统分析值与标称值进行比较,进而判定系统定值的准确性并依此对分析数据进行质量控制. 研究表明 Picarro 系统用于本底分析时,水气对 CH₄ 浓度定值有较大影响^[13],本研究的观测数据利用 Picarro 公司公布的校正公式对 CH₄ 浓度进行校正^[14].

1.3 数据处理

利用 R 筛分对观测数据进行筛选,其算法是基于稳健局部回归^[15]. 首先,人工剔除由于系统故障及其它因素导致的明显不合理数据,然后,采用 R 语言对观测数据进行本底非本底筛分:先计算 6 h 内观测数据点的标准偏差 δ ,将与均值差异大于 3δ 的数据剔除,完毕后再计算剩余数据的 δ ,再将与均值差异大于 3δ 的数据剔除,直至剩余数与均值差异全部小于 3δ 为止,剩余的数据即为本底数据. 本底

数据被认为排除了局地条件和人为活动的直接影响,具有已基本混合均匀的大气组成特征,从而能更好地代表区域平均大气状况.

2 结果与讨论

观测期内获得瓦里关、上甸子、临安和龙凤山站有效小时平均数据分别为 6 932、5 790、8 350 和 8 348 个. 经筛分后的本底数据为 3 705、3 120、3 718 和 3 755 个,分别占观测数据的 53.4%、53.9%、44.5% 和 45%,因此,获得的本底数据能够反映本底大气 CH₄ 浓度变化特征. 非本底数据反映了 CH₄ 区域源汇和短期输送等多种因素的影响^[16,17].

2.1 日变化

利用 2 a 的 1、4、7 和 10 月的 CH₄ 小时浓度平均分别代表冬季、春季、夏季和秋季的日变化情况(图 2). 临安站四季 CH₄ 浓度均有比较明显的日变化且趋势接近,即夜晚浓度高于白天,四季的相似性可能反映了临安站纬度较低,年温度和日照变化相对较小,地面及生物源排放变化也不大. 大气中 CH₄ 浓度主要受 3 种因素影响^[18]:①地面源排放的情况;②边界层日变化影响;③大气中 CH₄ 被 $\cdot\text{OH}$ 消耗的速率,而大气中 $\cdot\text{OH}$ 主要受紫外线以及空气湿度的影响^[3]. 如图 2,临安站 CH₄ 浓度日变化在

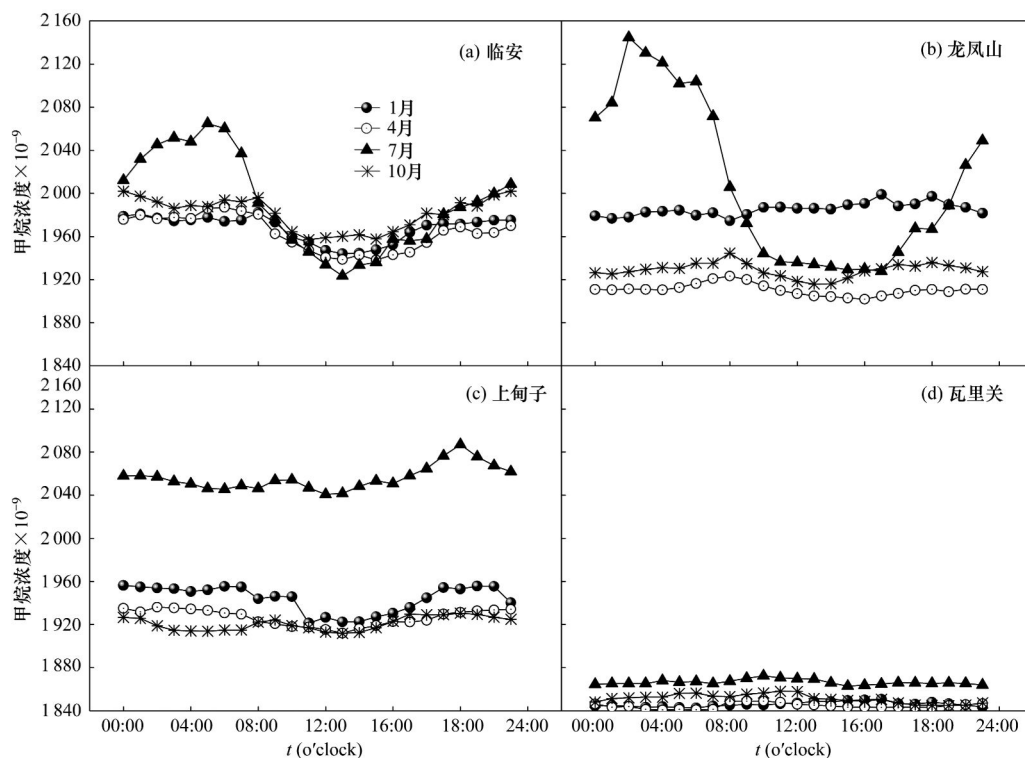


图 2 临安、龙凤山、上甸子和瓦里关站 1、4、7 和 10 月浓度平均变化

Fig. 2 Diurnal variations of hourly average concentration at LAN, LFS, SDZ and WLG stations in Jan., Apr., Jul. and Oct.

夏季更强烈,夏季晚间因辐射逆温发展稳定的边界层不利于大气中 CH_4 扩散,地面源排放出现累积;并且由于光照减弱,大气中的 $\cdot\text{OH}$ 减少导致 CH_4 消耗减缓. 这些因素可能导致了 CH_4 浓度在 $\sim 05:00$ (北京时间,下同)达到较高值. 相反,日出后由于光照增强及温度升高,边界层对流扩散强烈,大气中 $\cdot\text{OH}$ 浓度升高而导致 CH_4 消耗增加,最终导致大气中浓度逐渐降低,其值在下午 $\sim 14:00$ 达到最小. 这些因素在夏季更加重要,图 2 中显示,夏季白天 CH_4 浓度较其他季节更低. 龙凤山夏季也呈现类似日变化规律,其日浓度变化振幅甚至达到 216.8×10^{-9} (图 2),因龙凤山所处的五常市是我国重要的粮食产区,夏季稻田等湿地排放大量 CH_4 . 一般而言湿地地区大气 CH_4 浓度有较大的振幅,如 Worthy 等^[19]对加拿大湿地区域 Fraserdale 的 CH_4 观测发现,夏季日变化振幅可以达到 150×10^{-9} 左右. 龙凤山春、秋季 CH_4 日变化趋势类似且振幅不大,一般在每日 $14:00 \sim 16:00$ 达最低值,上甸子站在春、秋、冬季也呈现类似变化,但夏季浓度日平均值较高,在晚间 $\sim 20:00$ 达到最高值,之后逐渐降低.

瓦里关站四季 CH_4 浓度日变化均不明显,主要因瓦里关属典型的欧亚内陆高山站点,更多反映了较大尺度混合均匀的自由对流层大气季节变化. 其

所在区域气候干燥,全年气温较低,植被以浅草和干旱半干旱荒漠草原及沙洲为主,对大气 CH_4 浓度变化的贡献率较低. 另一方面,该站点相对远离工业区和人口稠密区,其来自中亚、中东及西伯利亚的气流在达到瓦里关之前的数千千米距离内均为人口稀少、经济不发达区域,因而能较少受到人为活动污染源的影响^[8]. 仅在 7 月, CH_4 浓度明显高于其他 3 个季节,与刘立新等^[9]观测结果一致. 通过分析其四季日变化振幅(数据未列),发现最大值出现在 10 月,达到 13.3×10^{-9} ,略低于 Zhou 等^[20]报道的结果(14×10^{-9}).

2.2 季节变化

瓦里关、上甸子、临安和龙凤山站观测数据筛分结果如图 3 所示,黑色和灰色点分别表示筛分后的本底和非本底数据. 其中上甸子站 2009 年 6、12 月以及 2010 年 7~9 月因仪器或进样系统故障数据缺失. 瓦里关站 2010 年 6 月底~9 月因进样系统受到污染数据无法使用.

3 个区域本底站同期观测 CH_4 浓度明显较高,且季节变化明显,尤其在夏季,观察到高浓度时刻明显增多(图 3),主要因 3 个区域本底站代表更小尺度上浓度状况,其地面 CH_4 浓度是多种因素叠加的结果,包括局地尺度和全球尺度浓度综合,其中局地

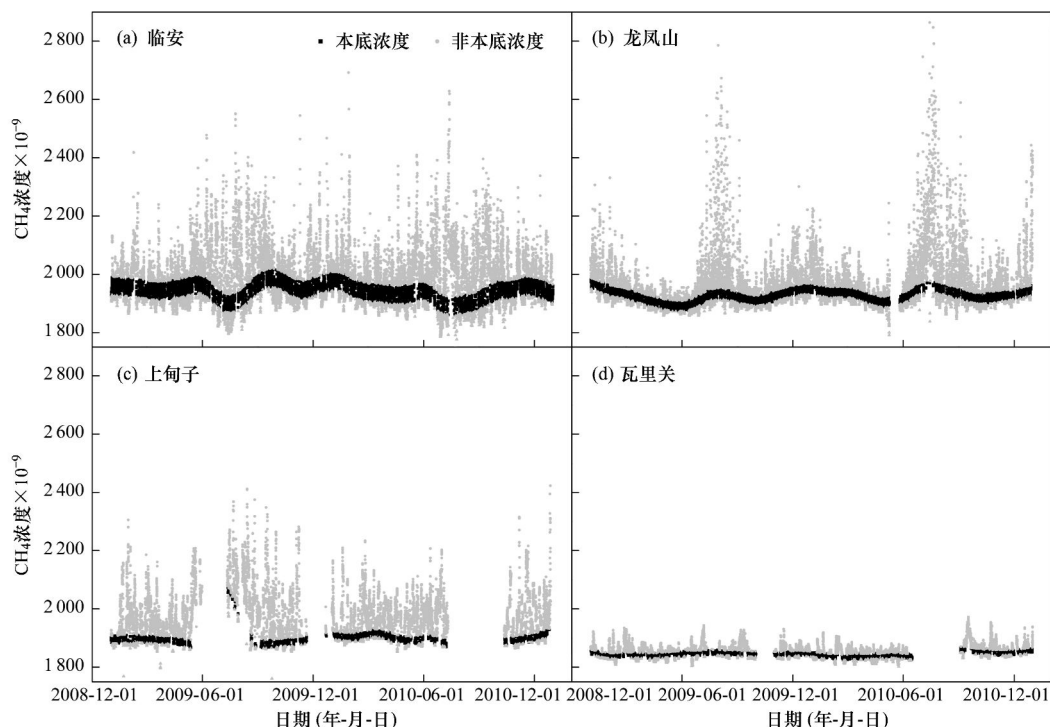


图 3 2009~2010 年临安、龙凤山、上甸子和瓦里关站 CH_4 浓度小时平均值变化

Fig. 3 Variations of hourly CH_4 concentration at the LA, LFS, SDZ and WLG station from 2009 to 2010

源和气象条件影响较大,因此即使全球同纬度站点 CH₄ 也可能呈现出不同的变化趋势^[16,21,22]. 临安站夏季本底浓度明显降低,在 7 月达到全年最低值,总体而言,夏季大气中 CH₄ 的消耗和扩散综合作用可能大于区域源排放累积作用. 龙凤山区域农田等湿地在夏季 CH₄ 排放非常强烈^[23,24],CH₄ 浓度呈现相反趋势,其本底浓度在夏季明显增高,8 月出现峰值,因此该区域地面源排放导致的累积可能占主导作用. 龙凤山站本底浓度全年表现出明显的“W”双底模式,最小值分别出现在 5 月和 10 月. 冬季上甸子和龙凤山站本底浓度明显升高,在 12 月~次年 1 月出现峰值,同期也观测到较多的非本底浓度数据,这可能与北方冬季采用化石燃料集中供暖和秋冬季节农业秸秆露天燃烧有关^[9]. 上甸子站夏季 CH₄ 浓度要远高于其它 3 季,与北京等城区观测浓度变化趋势一致^[25],这间接说明夏季上甸子站 CH₄ 浓度可能受北京等城市排放的影响.

表 1 是 4 站本底浓度季平均及振幅值数据. 瓦里关站全年波动范围较小,其季均值振幅仅为 11.5 × 10⁻⁹,明显小于其它区域本底站. 浙江临安站季振幅最大. 根据从多个本底站点观测结果显

表 1 CH₄ 本底浓度季平均及振幅情况¹⁾ × 10⁻⁹

Table 1 Seasonal average mixing ratios and amplitude of CH₄ in background data sets × 10⁻⁹

季节	青海瓦里关	黑龙江龙凤山	浙江临安	北京上甸子
春(3~5月)	1 838. 8	1 906. 7	1 939. 1	1 893. 7
夏(6~8月)	1 850. 3	1 935. 0	1 899. 7	—
秋(9~11月)	1 849	1 914	1 958. 8	1 886. 5
冬(12~2月)	1 841. 1	1 945. 8	1 963. 5	1 900. 4
月振幅	11. 5	39. 1	63. 8	—

1) 上甸子站因 2009 年夏季数据较少,2010 年夏季数据缺失,暂未参与计算

示^[26,27],中高纬度地区 CH₄ 一般在秋冬季节达到较高值,在夏季降至较低水平. 临安站表现出类似规律,但瓦里关和龙凤山在夏季均出现较高值,对瓦里关过去 10 a 的观测结果也表明夏季本底浓度较高^[20],主要可能因来自于源区的输送导致浓度抬升. 需要说明的是,由于上甸子站和瓦里关站部分观测数据缺失,可能引起季平均值及振幅等分析结果的偏差.

2.3 气团传输及影响

各站不同季节非本底数据比例如表 2 所示. 3 个区域本底站夏季非本底数据比例均大于 70%,明

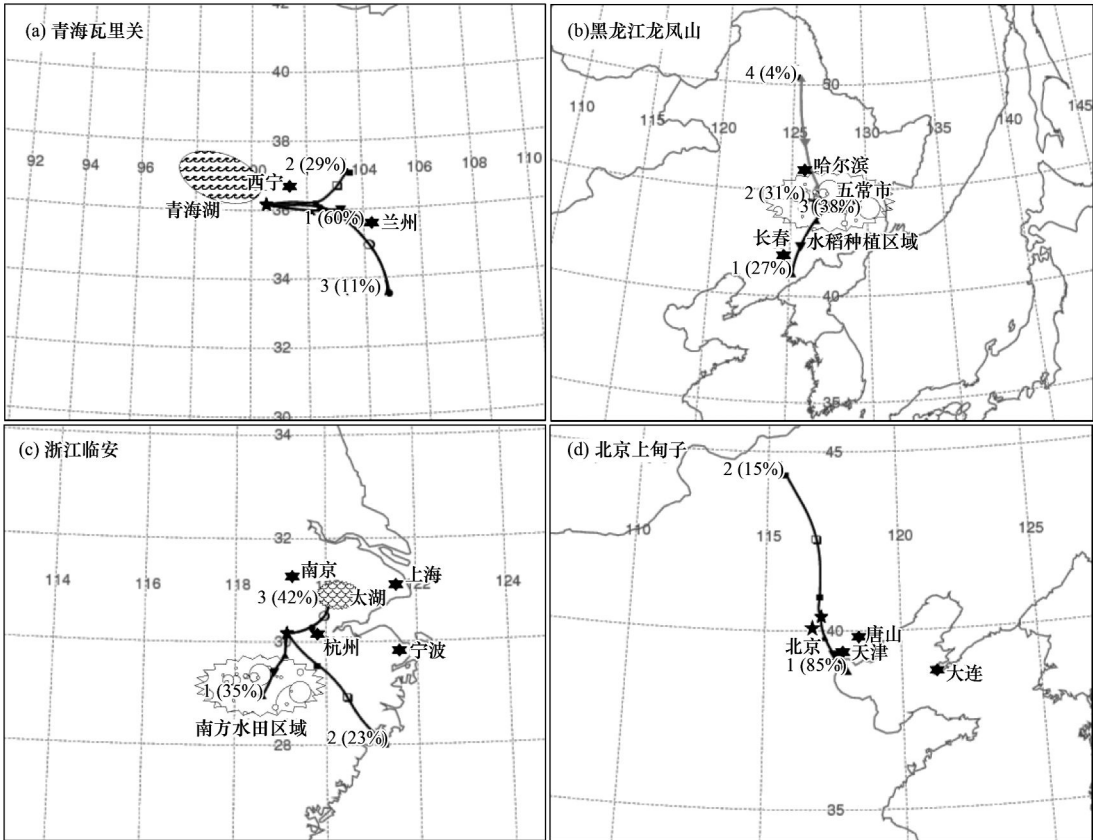


图 4 4 站夏季高浓度时刻 72 h 等焓后向轨迹簇聚类分析

Fig. 4 72 hours backward trajectory cluster analysis at high-concentration time in the four stations

显高于其它季节,这反映了夏季排放及传输对这些区域的影响. 瓦里关站夏季 CH_4 非本底数据比例在 4 个季节中最低,可能因夏季区域或近地面源对观测浓度影响较小. 为了探究夏季气团传输对 4 站观测数据的影响,选取非本底浓度相对较高时刻(瓦里关 $\text{CH}_4 > 1\,870 \times 10^{-9}$,龙凤山 $\text{CH}_4 > 2\,100 \times 10^{-9}$,临安 $\text{CH}_4 > 2\,150 \times 10^{-9}$,上甸子 $\text{CH}_4 > 2\,050 \times 10^{-9}$),采用 NOAA(美国国家海洋大气局)HYSPLIT 后向轨迹模式^[28],结合 NCEP/NCAR 气象资料,计算对应的 72 h 等熵后向轨迹(分别为 198、574、471 和 662 条)并进行簇聚类分析,结果如图 4 所示. 可见,夏季 4 站高浓度时刻的气团大部分均经过城市、农田等 CH_4 强排放区域,如瓦里关站,其气团几乎 100% 来自西宁或兰州方向;龙凤山站气团轨迹平均分 4 个方向,其中簇 1 主要来自于西南方向的长春市,簇 2 和 3 轨迹数占总量的 70%,移动较慢且经过黑龙江五常等主要水稻作物区域,而稻田在夏季 CH_4 排放强烈^[29,30],因而可能大大抬升观测浓度;浙江临安站气团来自东北方向占 42%,主要经过太湖、南京等区域,西南方向占 35%,主要经过长三角稻田区域,此两气团移动速度也较为缓慢;北京上甸子区域高浓度时刻气团轨迹 85% 来源于天津、唐山区域. 可见夏季出现的高浓度 CH_4 观测数据可能主要由气团传输所引起.

表 2 不同季节非本底数据占有有效观测数据的比例/%

Table 2 Proportion of background mixing ratios to the total valid data during the four seasons/%

季节	青海瓦里关	黑龙江龙凤山	浙江临安	北京上甸子
冬(12~2月)	44.6	58.5	51.3	37.1
春(3~5月)	53.9	39.0	54.1	67.6
夏(6~8月)	38.3	72.3	73.2	88.1
秋(9~11月)	56.2	49.5	58.7	65.6

3 结论

(1)对各本底站 CH_4 浓度四季日变化研究结果显示,一般来说,临安站日变化显著且浓度振幅较大;龙凤山站夏季 CH_4 日变化规律与临安站类似;瓦里关站代表我国清洁本底区域,四季 CH_4 浓度日变化振幅相对较小.

(2)4 站观测数据能反映本底值及变化. 临安站夏季 CH_4 本底值较低,其季均值振幅最大. 冬季龙凤山和上甸子站浓度高于夏季,主要可能受冬季采暖等影响. 龙凤山站夏季本底值表现为升高,全年表现出明显的“W”双底模式,瓦里关站浓度及振幅均较小.

(3)对 4 站夏季较高浓度时刻的后向轨迹聚类分析表明,高浓度 CH_4 可能因气团传输所引起.

致谢:美国 Picarro 公司 Aaron Van Pelt 工程师为系统提供技术支持,北京华信空天公司鲍诺巍及相关人员为系统编写数据处理程序,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] WMO Greenhouse Gases Bulletin. The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2010 [R]. Geneva; World Meteorological Organization, 2011. 3.
- [2] Xiong X Z, Barnet C, Maddy E, *et al.* Seven years' observation of Mid-Upper troposphere methane from atmospheric infrared sounder[J]. *Remote Sensing*, 2010, **2**(11): 2509-2530.
- [3] Bousquet P, Ringeval B, Pison I, *et al.* Source attribution of the changes in atmospheric methane for 2006-2008[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**(8): 3689-3700.
- [4] Dlugokencky E J, Bruhwiler L, White J W C, *et al.* Observation constraints on recent increases in the atmospheric CH_4 burden [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, **36**: L18803, doi: 10.1029/2009GL039780.
- [5] Wuebbles D J, Hayhoe K. Atmospheric methane and global change[J]. *Earth-Science Reviews*, 2002, **57**(3-4): 177-210.
- [6] Keppler F, Hamilton J T G, Brass M, *et al.* Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions[J]. *Nature*, **439** (7073): 187-191.
- [7] Vaghjiani G L, Ravishankara A R. New measurement of the rate coefficient for the reaction of OH with methane [J]. *Nature*, 1991, **350**(6317): 406-409.
- [8] 周秀骥. 中国大气本底基准观象台进展总结报告[M]. 北京:气象科学出版社, 2005. 18-19.
- [9] 刘立新,周凌晞,温民,等. 中国 4 个国家级野外站大气 CH_4 本底浓度变化特征[J]. *气候变化研究进展*, 2009, **9** (5): 285-290.
- [10] Crosson E R. A cavity ring-down analyzer for measuring atmospheric levels of methane, carbon dioxide, and water vapor [J]. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 2008, **92**(3): 403-408.
- [11] Chen H, Winderlich J, Gerbig C, *et al.* High-accuracy continuous airborne measurements of greenhouse gases (CO_2 and CH_4) using the cavity ring-down spectroscopy (CRDS) technique[J]. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2010, **3** (2): 375-386.
- [12] 臧昆鹏,周凌晞,方双喜,等. 新型 CO_2 和 CH_4 混合标气标校流程及方法[J]. *环境化学*, 2011, **30**(2): 511-516.
- [13] Chen H, Winderlich J, Gerbig C, *et al.* High-accuracy continuous airborne measurements of greenhouse gases (CO_2 and CH_4) using the cavity ring-down spectroscopy (CRDS) technique[J]. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2010, **3** (2): 375-386.
- [14] Rella C. Accurate greenhouse gas measurements in humid gas streams using the Picarro G1301 carbon dioxide/methane/water

- vapor gas analyzer [EB/OL]. http://www.picarro.com/assets/docs/White_Paper_G1301_Water_Vapor_Correction.pdf, 2010.
- [15] Robert A M, Joseph M H. R for stata users (statistics and computing) [M]. New York: Springer Sciences + Business Media, 2010. 19-30.
- [16] Tohjima Y, Machida T, Utiyama M, *et al.* Analysis and presentation of in situ atmospheric methane measurements from Cape Ochi-ishi and Hateruma Island[J]. Journal of Geophysical Research, 2002, **107**(D12): 4148-4125.
- [17] Warwick N J, Bekki S, Law K S, *et al.* The impact of meteorology on the interannual growth rate of atmospheric methane[J]. Geophysical Research Letters, 2002, **29**(20): 1947, doi: 10.1029/2002GL015282.
- [18] Artuso F, Chamard P, Piacentino S, *et al.* Influence of transport and trends in atmospheric CO₂ at Lampedusa[J]. Atmospheric Environment, 2009, **43**(19): 3044-3051.
- [19] Worthy D E J, Levin I, Trivett N B A, *et al.* Seven years of continuous methane observations at a remote boreal site in Ontario, Canada[J]. Journal of Geophysical Research, 1998, **103**(D13): 15995-16007.
- [20] Zhou L X, Worthy D E J, Lang P M, *et al.* Ten years of atmospheric methane observations at a high elevation site in Western China[J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(40): 7041-7054.
- [21] Frankenberg C, Meirink J F, Bergamaschi P, *et al.* Satellite cartography of atmospheric methane from SCIAMACHY on board ENVISAT: analysis of the years 2003 and 2004[J]. Journal of Geophysical Research, 2006, **111**: D07303, doi: 10.1029/2005JD006235.
- [22] Houweling S, Denter F, Lelieveld J, *et al.* The modeling of tropospheric methane: how well can point measurements be reproduced by a global model? [J]. Journal of Geophysical Research, 2000, **105**(D7): 8981-9002.
- [23] 彭世彰, 李道西, 缴锡云, 等. 节水灌溉模式下稻田甲烷排放的季节变化[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, **35**(5): 546-550.
- [24] 王玲, 谢德体, 刘海隆, 等. 稻田温度与甲烷排放通量关系的研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, **11**(4): 29-31.
- [25] 王长科, 王跃思, 刘广仁, 等. 北京城区大气 CH₄ 浓度及其变化规律[J]. 环境科学研究, 2003, **16**(6): 43-45.
- [26] Globalview-CH₄. Cooperative Atmospheric Data Integration Project-Methane[EB/OL]. http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/globalview/ch4/ch4_description.html#gv_seas, 2001.
- [27] 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.
- [28] Draxler R R, Rolph G D. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website [EB/OL]. <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>, 2010.
- [29] 王毅勇, 郑循华, 宋长春, 等. 三江平原湿地 CH₄、N₂O 的地-气交换特征[J]. 地理研究, 2006, **25**(3): 457-467.
- [30] 王德宣, 吕宪国, 丁维新, 等. 三江平原沼泽湿地与稻田 CH₄ 排放对比研究[J]. 地理科学, 2002, **22**(4): 500-503.

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《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)

2012年9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol.33 No.9 Sep. 15, 2012

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发售