

目录

周卫健 我国城市大气化石源 CO ₂ 的 ¹⁴ C 示踪研究.....	1
陈立奇 海洋大气化学进展及其观测系统工程技术平台.....	2
刘 鹏 瓦里关温室气体全球本底监测	3
姜亦飞 中国近海海洋大气温室气体监测	4
宋庆利 龙凤山区域大气本底站	5
魏 崇 上海市温室气体 (CO ₂ 和 CH ₄) 的特征、来源和传输路径研究	6
徐宏辉 杭州地区大气 CO ₂ 浓度城郊差异分析	7
丁 平 杭州地区大气 CO ₂ 浓度城郊差异分析	8
徐家平 基于城市大气 ¹³ CO ₂ / ¹² CO ₂ 观测的 CO ₂ 来源解析	9
杨 强 冀东城市群飞机温室气体观测	11
江 飞 我国陆地碳汇反演估算	12
麦博儒 珠江三角洲区域高分辨率碳源汇模式评估技术研发.....	13
常 征 碳排放清单核算及碳排放监测卫星数据应用——基于上海市松江区的案例研究.....	15
胡 凝 中国城市天然气的甲烷排放研究	16
崔 夺 中国工业过程的非化石燃料二氧化碳排放 (2003-2018)	17
赵 舫 Comparing a global high-resolution downscaled fossil fuel CO ₂ emission dataset to local inventory-based estimates over 14 global cities	18
杨 洋 河北省中南部对流层 CH ₄ 时空分布特征的飞机探测研究.....	29
臧昆鹏 2016 年夏季大连湾污染海域含甲烷气泡释放研究.....	20
张 永 渤海油气泄露显著提升海气甲烷通量	21
孙万启 Mobile real-time measurement of methane in Beijing: methodology development and application	22
梁 苗 本底大气氧化亚氮在线观测技术; Aircore 垂直廓线采样技术在我国温室气体观测中的应 用	23
詹力扬 A fully automatic system for underway N ₂ O measurements based on cavity ring down spectroscopy	24
吴电明 土壤气态亚硝酸 (HONO) 排放及监测	25
谢文琪 我国 11 种 HFCs 浓度水平研究.....	26
李婷婷 气候变化背景下的陆地生态系统 温室气体排放模型的应用.....	27

郭香会 南海 CO ₂ 分压和海气 CO ₂ 通量: 18 年数据集成分析.....	28
肖 薇 内陆水体温室气体和水汽同位素通量的综合观测研究.....	29
潘月鹏 减少有机碳氧化为二氧化碳的大气干湿沉降研究.....	31
王 军 土壤水分对陆气碳通量年际变率的调控作用研究	32
刘冬伟 增温对我国东北针阔混交林土壤温室气体排放的影响.....	33
韩鹏飞 微型传感器温室气体观测和应用	34
涂倩思 地基碳柱浓度观测合作网络(COCCON) -- 便携式傅里叶光谱仪 EM27/SUN 在北方地区 温室气体观测中的应用	35
刘 豪 大气 CO ₂ 水平柱浓度的探测激光雷达	36
陈家金 用于大气温室气体通量的调制吸收光谱技术研究.....	37
陈小强 水环境中温室气体调查与研究	38
高晓明 大气温室气体立体监测技术及应用	39
高众勇 近二十年南北极海区海-气 CO ₂ 通量及其年际年代际变化	40
胡 雪 二氧化碳监测数据的应用: 排放清单	42
黄烯茜 关于开展城市碳排放量在线监测的探讨	43
李 想 基于吸收光谱的水中溶解 CO ₂ 高精度测量方法研究.....	45
栗冰涵 青岛近海浒苔爆发期间海水碳酸盐体系的变化及海-气界面二氧化碳通量的研究.....	46
鹿 凡 增温、氮、磷添加及其交互作用对长白山哈泥泥炭地温室气体排放的影响.....	47
秦 凯 基于涡度相关技术的徐州郊区 CO ₂ 通量和浓度特征.....	48
史天奇 地基差分吸收激光雷达观测实验总结	49
谈 图 便携式高光谱分辨率大气温室气体垂直廓线及柱总量红外激光外差光谱仪.....	50
田向军 基于 NLS-4DVar 的碳循环数据同化与反演	51
王坤阳 基于离轴腔增强吸收光谱技术的本底温室气体测量研究.....	52
王 鹏 基于 CO ₂ 浓度、 $\Delta^{14}\text{C}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 观测的西安市大气 CO ₂ 来源排放特征研究	53
王淑敏 山西省五台山站大气 CO ₂ 浓度及变化特征	54
夏玲君 江西景德镇站大气 CO ₂ 及 CO 浓度变化特征研究.....	56
熊晓虎 西安市区大气化石燃料 CO ₂ 的空间分布研究	57
徐 浩 结合 WRF 和 AERMOD 模型对武汉强点来源估算二氧化碳排放通量的可行性研究	58
伊博力 长白山区哈泥泥炭地氧化亚氮排放研究	59

于大江 龙凤山区域大气本底站	60
翟惟东 中国近海温室气体 CO ₂ 和 CH ₄ 海气交换通量监测：东黄海实践与初步结果	61
张逢生 山西省温室气体观测	62
张军晓 冬季三亚鹿回头珊瑚礁区海水 pCO ₂ 和海气通量十年变化	64

我国城市大气化石源 CO₂ 的 ¹⁴C 示踪研究

周卫健^{1,2,3}

1 中国科学院地球环境研究所, 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安, 71061

2 中国科学院第四纪科学与全球变化卓越创新中心, 西安, 710061

3 陕西省加速器质谱技术及应用重点实验室, 西安, 710061

作为大气中最重要的温室气体, CO₂ 在全球气候变化中扮演着十分重要的角色。全球化石源 CO₂ (CO₂ff) 排放中, 城市区域因排放占比 70% 以上, 成为研究的热点区域 (Duren and Miller, 2012)。中国作为排放大国, 当前面临着碳减排与减缓空气污染的双重问题。如何科学、有效、准确评估节能减排工作的成效, 需要科学的手段和方法对大气 CO₂ff 浓度随时间的变化进行准确估算。传统的化石燃料碳排放量是根据统计的不同化石燃料消费量和排放因子计算得到。由于统计的不完整性和排放因子的非均一性, 使这种方法存在一定的不确定性 (Liu et al., 2015; Ciais et al., 2010; Gregg et al., 2008)。大气 $\Delta^{14}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 观测为获得 CO₂ff 浓度提供了一个独立的、客观的方法。这是因为, 化石燃料燃烧生成的 CO₂ 不含放射性碳 (¹⁴C), 1 ppm CO₂ff 排放到大气中, 能使大气 $\Delta^{14}\text{C}$ 下降 2.8% (Turnbull et al., 2006), 因此测定大气 CO₂ 的 $\Delta^{14}\text{C}$ 水平可以定量计算化石燃料对大气 CO₂ 的贡献量。我们自 2001 年开始在西安开展利用 ¹⁴CO₂ 示踪 CO₂ff 的研究, 结果显示 2014–2016 年 CO₂ff 浓度相对于 2011–2013 年下降了 21%。数值模拟和 CO₂ff 来源解析发现西安 CO₂ff 主要来自当地排放, 且以燃煤排放为主 (64 ± 7%)。2014–2016 年将利用 ¹⁴C 示踪 CO₂ff 的研究扩展至中国 15 个城市, 观测期内大部分城市 CO₂ff 浓度出现不同程度下降。这与当地政府的减排努力密不可分。冬季北方城市 CO₂ff 浓度高于南方城市, 夏季南北方城市 CO₂ff 浓度差别不大; 冬季 CO₂ff 浓度普遍高于夏季。北方内陆城市冬季 CO₂ff 高值主要来自居民取暖使用大量的化石燃料和逆温、静风等不利扩散条件影响。我们发现 CO₂ff 浓度和细颗粒物 (PM_{2.5}) 浓度之间具有很好的线性关系, 可为认识和治理城市 PM_{2.5} 污染提供新思路。我们的研究表明, 在采取严格减排措施的城市, 大气 CO₂ff 浓度已开始下降。中国城市减排的重点在于控制冬季燃煤的使用。对大气 CO₂ff 浓度的持续观测, 能够为当地政府评估节能减排政策提供科学参考。

海洋大气化学进展及其观测系统工程技术平台

陈立奇

自然资源部海洋-大气化学与全球变化重点实验室

海洋大气化学是一门海洋化学与大气化学交叉的新学科，是研究海洋上覆大气化学物种（Chemical Species）含量、迁移变化、来源及海气交换通量，判别和预估人为和自然影响对全球气候变化和区域海洋生态系统影响的科学。突出碳、氮、硫、铁、氧、卤素等气候敏感要素的上层海洋和底层大气循环观测研究和评估成为了海洋大气化学研究的重要内容。30年来我国在南大洋和北冰洋的海洋大气化学探索研究中取得了一系列国际关注的新认知。构建岸基、浮标、船载、机载和遥感的立体观测体系，开展观测方法标准化、国际互校，实现从点到线观测再到面的时空评估。利用海洋局的岸基站、中国南极长城站和中山站以及北极黄河站、中国“雪龙”号极地破冰船和“向阳红”系列科考船，我国在海洋大气化学观测系统工程技术平台的建设中取得了重要进展，包括：大气陆源化学物种入海通量岸基观测系统，上层海洋-低层大气系统监测研究集成平台，低层大气航空探测综合平台，海气交换相关参数遥感观测和反演等，为海洋大气化学的假设验证和理论创新所需的高质量原位数据库提供了坚实的观测技术保障。

瓦里关温室气体全球本底监测

刘鹏

中国大气本底基准观象台

中国大气本底基准观象台(简称本底台)位于青海省海南藏族自治州共和县境内的瓦里关山(北纬 $36^{\circ}18'$ 、东经 $100^{\circ}55'$),海拔高度3816米。该站于1994年9月17日正式投入运行,是中国气象局严格按照世界气象组织(WMO)确定的基准观测站站址条件而建设的全球大气本底站,目前是世界气象组织/全球大气观测(WMO/GAW)的31个全球大气本底观测站之一,也是目前欧亚大陆腹地唯一的大陆型全球本底站和全球海拔最高的本底站。

本底台开展的观测项目包括温室气体、气溶胶、反应性气体、酸雨/降水化学、辐射、臭氧总量、气象七大类28个观测要素,瓦里关监测基地远离人类活动和社会发展的、大气环境高度清洁的地区,全年有超过60%的观测资料具有全球代表性。

长期、稳定、连续地获取代表混合均匀的全球大气本底监测数据,为研究全球和区域性气候及环境变化提供了可靠的基础资料,也为中国可持续发展和环境外交等政策的制定提供了科学依据,具有不可替代的重要作用。2003年被中华人民共和国科学技术部选定为国家重点野外台站。2018年入选中国气象局首批野外科学试验基地。瓦里关全球本底台有一套严格的质量控制和质量保证措施,其观测数据的可靠性和国际可比性已得到国内外公认。多年来高质量的运行和规范的管理,以及依托瓦里关全球本底台取得的科研和业务成果,为我国大气成分本底观测赢得了声誉。

中国近海海洋大气温室气体监测

姜亦飞

国家海洋环境预报中心

CO₂和CH₄是大气中最重要两种温室气体。依托三沙、宁德、嵊山海洋环境监测中心站，参考世界气象组织全球大气监测网(WMO/GAW)的相应观测规范，国家海洋环境预报中心先后在西沙永兴岛、宁德北礮岛、舟山嵊山岛和南沙永暑礁布设了海洋大气温室气体监测系统，实现了大气中二氧化碳(CO₂)和甲烷(CH₄)浓度高精度连续观测，初步形成从南海南部至东海海洋上空温室气体的监测网，为未来建成全国海洋大气温室气体立体监测网打下了坚实基础。

布设的温室气体监测系统使用GGA温室气体分析仪(Greenhouse Gas Analyzer of Los Gatos Research)，设置的监测频率为1赫兹，使用的标准气体为中国气象科学研究院提供的可溯源至WMO国际标准的标气，CO₂的测量精度为50ppb，CH₄的测量精度为0.3ppb，每天校准一次。各监测站点的气象和水文数据均为当地海洋环境监测中心站业务化观测数据。

本研究通过数据筛分(逐步趋近回归法)获取了各站点海洋大气CO₂和CH₄的本底浓度，结合实时气象资料和HYSPLIT-4模型及TrajStat插件，分析了各站点浓度的时空变化规律，并探讨了浓度变化的主控影响因子。结果显示：各站点大气CO₂和CH₄的本底浓度季节变化规律相似，均表现为夏季低、冬季高的单峰特征；西沙站大气CO₂浓度的年平均增长率约为4.15ppm/a，近年来有加速增长的趋势，而其他站点CO₂的年增长率与全球平均状况较为接近(约2-3ppm/a)。以时间序列较长的西沙站为例，西沙大气CO₂区域本底浓度日变化主要受本区域日照和温度控制，季节变化主要控制因素有南海季风、大气环流、南海北部海域初级生产力变化和海洋对大气CO₂的源/汇调节作用；西沙海域大气CH₄浓度近年来总体呈上升趋势，时间空间上主要受季风和人类活动的影响，在个别年份，受气团后向轨迹差异的影响，西沙海域大气甲烷浓度略有下降。此外，受陆源因子及区域位置差异的影响，西沙站大气CO₂和CH₄的季振幅相对较小，北礮和嵊山站的季振幅相对较大。

龙凤山区域大气本底站

宋庆利

龙凤山区域大气本底站

龙凤山区域大气本底站 2005 年成为中华人民共和国科学技术部第一批野外台站，命名为黑龙江龙凤山大气成分本底国家野外科学观测研究站（以下简称龙凤山站）。是中国政府与联合国世界气象组织、全球环境基金以及其他有关机构合作，开展对中尺度大气本底污染浓度进行监测的国际合作项目，并纳入全球大气监测网（WMO/GAW）的业务观测体系，也是中国气象局在全国最早建设的三个区域本底站之一，连续观测近 30 年，观测数据及研究成果对地球大气成分变化起着监测和早期预警的作用。

主要从事大气成分本底、生态环境气象、农业生态环境、林业生态环境、湿地生态环境、水资源生态环境观测以及分析方法研究。进行数据汇集、处理、加工、质量控制和分析。逐步建立、健全相应的观测指标体系、标准体系和科技支撑体系，建立与国际接轨、适用于国家需求的大气成分本底观测数据共享平台。不断提高我国大气成分本底观测网的运行能力，提高观测质量和国际可比性，逐步构建开放、共享和示范研究的野外观测平台。

龙凤山站代表东北森林与松嫩平原生态综合观测区，该站大气状况主要受东北平原地区的输送气流影响，观测数据能够代表东北平原大气成分本底及其变化，在中国气象局大气本底观测网占据重要位置，也是全球大气监测网（WMO/GAW）固定站点（Fixed Station），是东北亚区域为数不多的关键代表站点之一。龙凤山站的建立也是中国作为全球大国履行国际义务的重要体现。

目前，龙凤山站已经开展了 7 大类、近 100 种要素的观测，龙凤山 2004 年陆续开展温室气体瓶采样观测，2009 年开始陆续开展 CO₂、CH₄、SF₆、N₂O 的在线观测。同时开展卤代温室气体的瓶采样观测。全站形成瓶采样和在线采样同时运行的格局，温室气体观测种类比较齐全，基本覆盖了京都议定书要求的种类。目前已经接近或达到国际先进水平，将为我省和我国研究温室气体以及气候变化提供重要的基础数据。

上海市温室气体 (CO₂ 和 CH₄) 的特征、来源和传输路径研究

魏崇

中科院上海高研院

2017年6月至2018年5月在上海市高研院观测站开展了为期一年的大气温室气体 (CO₂ 和 CH₄) 的连续监测。高浓度的 CO₂ 主要出现在冬季, 高浓度的 CH₄ 主要出现在夏季。CO₂ 和 CH₄ 均表现有明显的日内变化, 由于受上海及长三角排放源和植物光合作用的变化的影响, 仅 CO₂ 表现有明显的季节变化。CO₂ 与燃烧排放相关的大气污染物显著相关表明他们具有相似的排放来源且共同传输至观测站点。使用 CO₂-CO 线性相关的斜率和截距估算出上海市 CO₂ 的背景浓度高于全球背景值, 但是低于附近的区域背景站临安的浓度。CH₄ 与燃烧排放的大气污染物也强烈相关表明除了垃圾填埋场、湿地、水稻田和养殖场外, 人为燃烧来源的排放如燃气泄漏等对城市大气 CH₄ 的贡献也不容忽视。CO₂ 和 CH₄ 均在静稳天气下由本地排放并累积, 而在较高风速时来自于远距离传输。气团经过观测站点北方和南方的一些超级排放源如火电厂时, 贡献了较多的高于年均值的温室气体浓度。CO₂ 和 CH₄ 均来源于含碳物质的燃烧和利用, 但是 CH₄ 也能与大气 OH 自由基反应并在 NO_x 存在时生成 O₃。同时减排大气污染物和温室气体 (CO₂ 和 CH₄) 有利于上海市及周边地区的应对气候变化和改善空气质量。

杭州地区大气 CO₂ 浓度城郊差异分析

徐宏辉

浙江省气象科学研究所

选取 2015 年 8 月至 2016 年 9 月杭州城区、临安区域大气本底站在线观测 CO₂ 浓度，分析杭州地区 CO₂ 浓度的城郊差异，并结合风向、CO₂ 浓度周末效应、G20 峰会期间 CO₂ 浓度变化过程分析，探讨杭州城市排放对 CO₂ 浓度的影响程度。结果显示，杭州城区、远郊地区 CO₂ 浓度的日变化分布以单峰型形态为主，植物光合作用/呼吸作用和大气输送条件的日变化是主要的影响因素；CO₂ 城郊浓度差值表现为双峰形态，人为排放对城郊 CO₂ 浓度差值的日变化分布存在重要影响。CO₂ 浓度日变化幅度在春夏季节远郊地区大于城区，秋季则反之。杭州城区、远郊地区 CO₂ 浓度的季节变化趋势基本一致，均表现为冬、春季高，夏季低；CO₂ 城郊浓度差值冬季最高，夏季最低。杭州地区 CO₂ 浓度高值的输送方向与周边城市区域的分布方向一致。杭州城区、远郊地区 CO₂ 浓度均呈现周末效应，尤其在城区，机动车排放对工作日-周末 CO₂ 浓度的日变化分布存在影响。杭州城区 CO₂ 平均浓度比远郊地区高 9.3×10^{-6} (摩尔分数，下同)，G20 峰会期间人为源排放的减少有效地降低了大气 CO₂ 浓度，尤其对市区的削减效果更为明显。

2012-2016 年长三角大气中化石源 CO₂ 的浓度变化

丁平

中国科学院广州地球化学研究所

宁波大气环境监测站位于宁波市鄞州区横溪镇大梅山吴都头 (121° 33' 54" E, 29° 37' 55" N), 海拔 550 masl。该站作为长三角城市群大气环境背景站建立, 于 2012 年开始对该区域大气温室气体排放及颗粒污染物进行连续监测。中科院广州地球化学研究所联合中国气象科学研究院按照 NOAA 大气采样的标准进行了大气温室气体排放监测的采样, 并利用碳同位素 ($\delta^{13}\text{C}$ & $\Delta^{14}\text{C}$) 示踪技术对区域大气中化石源 CO₂ 的贡献进行了估算。结果如下: 2012-2016 年, 该区域月平均大气浓度从 ~390 ppm 上升至 ~420 ppm, 受夏季季风及植被光合作用影响, 夏季低, 冬季高。大气 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化集中在 -8‰ — -10‰ 之间, $\Delta^{14}\text{C}$ 值集中在 -40‰ — 30‰ 之间, 两者与大气 CO₂ 浓度呈显著的负相关关系, 这表明化石源 CO₂ 气体对大气 CO₂ 浓度逐年增加有显著的贡献。局地短时期的人类活动对大气 CO₂ 浓度的影响也十分显著。根据大气 CO₂ 的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值估算, 2012-2016 年该区域大气中化石源 CO₂ 年平均浓度从 ~10ppm 上升至 ~23ppm, 且呈逐年加快上升的趋势, 这与当地的能源消耗量和经济总量 (GDP) 的年际变化趋势明显不符, 这很可能与全球大气中化石源 CO₂ 的快速上升有关。

基于城市大气 $^{13}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ 观测的 CO_2 来源解析

徐家平

江苏省气象科学研究所

近红外同位素比值光谱仪 (IRIS) 的发展为在城市冠层开展原位、高频、长期的大气 CO_2 及其 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值 (表示为 $\delta^{13}\text{C}$) 观测提供了新的契机。然而, 至今仅有少数个城市基于 IRIS 技术开展了超过 10 天的连续大气观测, 城市间的对比观测更为鲜见。原位标定技术、碳源拆分方法在城市冠层下的适用性, 以及城市站点本底站的选择、区域主要自然和人为排放源的同位素特征值的缺乏是开展这类研究的重要难点。

城市冠层大气 CO_2 摩尔分数 (表示为 CO_2) 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的观测能为量化局地 and 区域碳循环中人为及自然源的源汇贡献提供约束条件, 有助于进一步理解城市碳循环, 解析人为排放源对城市大气 CO_2 时空变化机制; 对了解与应对局地乃至全球环境与气候变化、制定各层面的节能减排政策也有一定作用。

本研究于 2013 年 2 月至 2014 年 3 月在北京和南京城市地区开展了观测, 旨在建立一套大气 CO_2 及其 $\delta^{13}\text{C}$ 高频原位观测及标定系统, 从日尺度、季节尺度及年际尺度上报道城市大气 CO_2 及其 $\delta^{13}\text{C}$ 的时间变化特征; 评估 Keeling 图解法和 Miller-Tans 方法在城市冠层指示大气 CO_2 排放来源混合同位素比值 (δS) 的表现; 尝试将稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 作为限制因子, 结合传统 IPCC 的能源排放清单, 量化南京净地表 CO_2 通量和植被 CO_2 通量, 并评估其不确定性; 并通过对比南京和北京同期大气观测, 探讨典型城市间由于城市特性、气候、能源结构、生态环境等的因子差异, 对大气 CO_2 及其 $\delta^{13}\text{C}$ 的可能影响。主要结论如下:

(1) 在 2013 年 3 月至 2015 年 8 月, 南京城市大气 CO_2 和 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值 (\pm 一倍标准差) 分别为 $(439.7 \pm 7.5) \mu\text{mol mol}^{-1}$ 和 $(-8.48 \pm 0.56)\%$ 。其中, $\delta^{13}\text{C}$ 的月平均最大值出现在 2013 年 7 月, 为 -7.44% , 高于瓦里关本底站 0.74% 。大气 CO_2 的季节性变化并不明显 (7 月与 1 月平均值的差值为 $15.6 \mu\text{mol mol}^{-1}$)。大气 $\delta^{13}\text{C}$ 的时间变化遵循人为及植被 CO_2 排放源的季节性变化, 呈现冬季贫化夏季富集的趋势。其中, 南京城市大气 $\delta^{13}\text{C}$ 值在夏季显著高于本底大气, 水泥生产过程排放 ($\delta^{13}\text{C}$ 为 0%) 是大气 $\delta^{13}\text{C}$ 值高于本底站的主要人为因素。

Miller-Tans 方法更适合于表征具有复杂排放源下垫面的 δS 值。本研究应

用改写后的 Miller-Tans 方法, 允许截距存在, 并采用 CarbonTracker 的对流层 CO_2 作为本底。结果表明, 南京的 δS 值为 $(-25.58 \pm 0.44)\%$ 。通过结合能源排放清单, 2014 年的平均通量为 $(0.04 \pm 0.12) \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。

(2) 北京和南京大气 CO_2 平均值略高于北京 ($0.6 \mu\text{mol mol}^{-1}$), 季节性振幅基本一致。城市大气 CO_2 受局地及区域的人为排放及其排放强度的季节性变化控制; 而能源消费结构是导致两地区域大气 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异的主要人为因素。基于冬季夜间的人为源 CO_2 来源拆分, 天然气可占北京冬季人为排放量的 7.8% 至 16.0%。北京主要自然和人为排放源的 δS 值并不适用于南京地区。

冀东城市群飞机温室气体观测

杨强

河北省人工影响天气办公室

对河北省人工影响天气办公室冀东飞机增雨分中心运十二型增雨飞机 3766 进行适用于温室气体观测的特殊改装，包括加装进样口，改造机载电源，固定观测仪器，并实际测定了进气到观测的滞留时间。对冬季低温导致仪器不能运行提出了解决方案。分析 2019 年 3 月 13 日飞行数据，CRDS 观测仪器在运十二飞机上工作时，采集数据时间分辨率 2^4 秒，在飞行速度 300 公里/小时下相当于空间分辨率 83 米，观测精度 0.7ppm，满足城市群飞机碳排放观测试验要求。在 2018 年 11 月至 2019 年 3 月期间，对唐山城区、迁安城区、乐亭城区以及渤海湾等地开展探测飞行 9 架次，共计 45 小时，初步了解了冀东城市二氧化碳三维空间分布。

我国陆地碳汇反演估算

江飞

南京大学

采用嵌套式大气反演方法对我国的陆地生态系统碳汇的时空分布开展了反演估算研究。由于在全球 CO₂ 数据集中，中国区域的 CO₂ 观测数据非常缺乏，通过与国家气象局以及日本气象厅的合作，获得了国家气象局在上甸子、临安以及龙凤山和日本气象厅在民航飞机上的 CO₂ 观测数据，研究结果显示，①我国东部以及东北地区为明显的碳汇，②2000-2009 年我国陆地碳汇呈明显的增加趋势；③当我国及周边地区观测数据增多时，反演的我国陆地碳汇会明显增加，并且不同的反演系统都表现相同的趋势。为了验证这个增加是否合理，进一步考虑了反应性碳（一氧化碳）的化学转换和全球输送以及国际贸易导致的碳转移，也通过自下而上方法重新核算了 2000 年代我国森林、草地、农田的植被和土壤的固碳速率，并考虑了因水土流失而沉降到河底湖底或被河流输送到大海中的碳以及因森林砍伐而累积在木材产品当中的碳，从而实现了自下而上和自上而下两套方法对我国陆地碳汇的闭合估算。

珠江三角洲区域高分辨率碳源汇模式评估技术研发

麦博儒

中国气象局广州热带海洋气象研究所

有效评估陆地生态系统净碳通量水平及其时空分布特征,将有助于深入了解区域大气温室气体增长量中 CO_2 人为源和自然汇的相对贡献,同时也对预测未来 CO_2 增长率及其对气候变化的影响具有重要意义。目前,珠三角区域已经开展大气 CO_2 浓度和通量的长期观测,掌握了区域 CO_2 监测、标校、评估技术方法流程,掌握了本底、非本底筛分技术以及卫星遥感 CO_2 浓度柱浓度技术方法。在此基础上,引进研发了 NOAA 的 CarbonTracker-2010 (CT-2010) 碳源汇反演模式系统。利用能分别代表珠江三角洲草地、城市绿地及地带性森林植被生态系统的番禺站、东莞站和鼎湖山站 CO_2 净通量资料对 CT-2010 进行了验证,并利用该模式初步分析了区域净碳通量的时空分布及不同生态系统的碳汇特征。结果表明:CT-2010 模式模拟的珠三角城市绿地、地带性植被、以及草地生态系统碳通量与站点观测结果具有较好的一致性,其拟合相关系数 (r) 高于 0.60 ($P < 0.01$),小时、逐日、日变化的残差均值低于 $2.0 \mu \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;模式一定程度上能反映 3 种生态系统碳通量的季节分布特征,但各月的模拟值均高于观测值,其中对城市绿地生态系统的模拟最接近,残差年均值为 $0.964 \mu \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,对草地和地带性森林植被生态系统的模拟效果相当,残差年均值分别为 2.056 , $2.100 \mu \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;2004~2005 年期间珠三角地区近地层净碳通量为 $3.43 \mu \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其中冬季最强,为 $1.4 \mu \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,春季次之,为 $1.35 \mu \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,秋季和夏季最低,分别为 0.51 和 $0.18 \mu \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;在冬、春两季,珠江三角洲区域为强的碳源区,而在夏、秋季,粤北和粤东大部分地区为较弱碳汇区;2004~2005 年期间珠三角地区陆地生态系统的碳汇为 $-6.5 \times 10^{-3} \text{PgC}$,其中农作物,草地/灌木,常绿针叶/阔叶混合林是吸收 CO_2 的主要生态系统,其净通量占陆地生态系统的比率分别为 42.01%, 31.46% 和 26.53%。

然而,由于空间分辨率的限制,CT-2010 不能准确反映中小尺度天气过程(如风场)等对 CO_2 时空分布的影响,其结果用于碳源汇反演时存在较大误差,因而无法满足区域高时空分辨率 CO_2 定量评估的迫切需求。利用中尺度天气模式与温室气体模式进行耦合,可以全面考虑各种人为源排放、植被吸收、边界层湍流扩散及输送等过程,模拟大气中 CO_2 的时空演变及不同源的贡献。该方法已成为反演中小尺度区域高时空分辨率 CO_2 分布并揭示其驱动机制的重要发展趋势。本研

究利用中尺度天气模式（WRF）与植被光合呼吸模式（VPRM）进行耦合，构建了三维天气-温室气体耦合模式系统（WRF-GHG）。将 CT-2010 模式的 CO₂ 排放源作为 WRF-GHG 模式的背景输入场，开展珠三角区域 CO₂ 浓度分布个例模拟。计算了珠三角区域 4km 空间分辨率的 CO₂ 浓度分布，分析不同浓度组分的时空特征，掌握了区域 8 种植被高达 500m 空间分辨率增强植被指数（EVI）和地表水分指数（LSWI）。结果表明，WRF-GHG 能反映区域大气 CO₂ 浓度的变化特征，模拟值和观测值的拟合复相关系数 $R^2=0.42$ 。模拟和观测的 CO₂ 浓度日变化趋势一致，均为单峰结构，峰值值出现在早晨 6:00 点，谷值在 16:00-17:00。然而，WRF-GHG 模式高估了大约 10 $\mu\text{mol/mol}$ ，需要进一步优化模式中的植被光合、呼吸等参数。

碳排放清单核算及碳排放监测卫星数据应用——基于上海市松江区的案例研究

常征

中国科学院上海高等研究院

碳排放核算是区域低碳发展的基础性工作，在摸清家底、制定目标、辅助低碳发展规划以及服务碳排放交易等方面发挥着重要作用。为满足松江区碳排放核算的紧迫需求，研究在：1) 区县层面清单编制方法学；2) 松江区高分辨率空间网格碳排放；3) 与网格碳排放清单相结合的碳排放监测卫星数据应用，三个方面开展了系统的实践与科学研究相结合的工作。基于松江区经济、能源、社会发展数据，在无法获得完整的地区能源平衡表的情况下，采用基于宏观能源统计的“自上而下”方法对松江区碳排放进行核算。基于“全面推进低碳松江建设”和“实现节能降碳考核指标”的不同研究目标，研究对核算的能源消费数据与上海市下达指标数据开展对标分析，使核算结果的应用更有针对性。采用国际主流空间化方法，核算了松江区高空间分辨率（1km*1km）网格碳排放，开展碳排放热点地区的识别、空间变化趋势分析，为松江区碳减排提供精细化管理基础。针对基于清单方法碳排放核算的不确定性和时滞性，研究系统获取碳排放监测卫星对松江区碳排放的监测数据，汇集碳排放“天”、“地”数据，开展多源互补、互为支撑的松江区天地一体化高空间分辨率碳排放核算研究，为松江区低碳发展政策制定提供多元视角的数据支撑。

结果显示，2015年松江区碳排放总量为821万吨，其中电力间接排放占84.0%，成为影响松江区碳排放总量的决定因素；工业和第三产业建筑碳排放占比分别为43.6%、32.5%，是松江区碳排放的主要贡献者。扣除土地利用变化和林业领域碳吸收汇72万吨，2015年松江区净碳排放量为749万吨。研究结果表明，电力、工业、第三产业建筑是影响松江区节能降碳考核目标能否达成的关键领域。基于松江区高空间分辨率网格碳排放结果，研究发现工业网格碳排放对松江区网格碳排放的空间分布影响最大，第三产业建筑、居民和交通的网格碳排放影响较小。基于2014-2018年碳排放监测卫星对松江区域352个有效观测数据的分析，松江区域的CO₂柱浓度正在缓慢上升，反映出松江区大气CO₂浓度与全球变化一致的总体趋势。

中国城市天然气车的甲烷排放研究

胡凝

南京信息工程大学

近年来,发展中国家的城市越来越依赖天然气作为一种清洁能源来减少空气污染。在本研究中,选择了8个城市(成都、乌鲁木齐、济南、南京、兰州、哈尔滨、广州),这些城市天然气车的规模是不同的。我们利用便携式气体分析仪在街道上流动测量大气 CH_4 和 CO_2 浓度,通过 CH_4 与 CO_2 浓度的线性回归来确定交通 $\text{CH}_4:\text{CO}_2$ 排放比 (TER),将 TER 值与天然气车在道路交通中的比值建立关系,得到天然气车的 CH_4 排放系数,量化中国天然气车的 CH_4 排放。结果表明:TER 随着天然气车比例的增大而增大,随着车流速度的增大而减小。总体来看,上述城市天然气车的 CH_4 排放系数为 $0.022 \pm 0.0033 \text{ kg m}^{-3}$,约为 IPCC 默认排放系数的 8 倍,高于文献中天然气车的尾气排放系数均值的 100%以上,即天然气车总的 CH_4 排放系数远大于尾气排放系数,这意味着天然气车的燃气泄漏是一个普遍存在的问题。如果一切照旧,那么到 2030 年天然气车可能会排放 $1.23 \text{ Tg CH}_4 \text{ y}^{-1}$,约占中国目前人为排放总量的 3%。我们的研究表明,控制这一领域的排放应该成为减缓气候变化措施的优先事项。

中国工业过程的非化石燃料二氧化碳排放（2003-2018）

崔夺

清华大学

中国是全球二氧化碳排放量的最大贡献国，迄今为止，全球二氧化碳排放总量的四分之一来自中国。众所周知，化石燃料燃烧和水泥生产是主要的排放源，但是针对“非化石燃料二氧化碳排放”（水泥生产排放除外）的研究则很少。随着中国成为全球制造业的中心，了解中国非化石燃料二氧化碳排放的规模和动态对提出有效的减排政策至关重要。在这里，我们对2003 - 2018年中国的非化石燃料二氧化碳排放进行了全面调查，我们收集了各种工业过程二氧化碳排放的数据，并根据现有数据计算了石灰，平板玻璃，合成氨，电石，纯碱，乙烯，铁合金，氧化铝，铅和锌生产过程排放的二氧化碳。我们发现，2016年中国这十个工业过程的二氧化碳排放量达到4.66亿吨，相当于中国化石燃料燃烧和水泥生产过程中二氧化碳排放总量（9000万吨二氧化碳）的5%。466万吨二氧化碳也高于世界排名前十二的二氧化碳排放国巴西的化石燃料二氧化碳总排放量。这十个工业生产过程的二氧化碳排放量在2014年之前显示出快速增长，但是在2014 - 2018年期间显示出平稳波动。鉴于中国非化石燃料二氧化碳排放的重要规模和近期动态，量化此类排放对于了解全球碳预算和制定合适的气候政策至关重要。

Comparing a global high-resolution downscaled fossil fuel CO₂ emission dataset to local inventory-based estimates over 14 global cities

赵航

华东师范大学

Accurately keeping track of CO₂ emissions changes from large cities is a crucial task for the successful implementation of the Paris Climate Agreement, and it imposes new challenge to emission reporting based on compilation of emission inventories (EIs). Some cities have started to compile inventory emission estimates, however such estimates rarely correspond to direct emission within cities comparable with carbon satellite observations through inversion method. Recently a few global gridded carbon emission dataset has emerged, potentially enabling emission estimations within any city boundaries, but their downscaling accuracy has not been assessed at city level on a global scale. This paper aims to first estimate total CO₂ emissions from fossil fuel combustion directly occurred within the city boundaries of 14 world's major cities, based on reported inventory city emissions. These estimates are then compared with the global fossil fuel CO₂ emission dataset ODIAC which is based on national level emissions downscaled to a 1x1 km resolution using night lights satellite data and point source data. Despite of their distinct approaches in city emission estimates, the two methods reach good consistency (within 30% difference in total emission) in half of the cities examined, with very close numbers (<10% difference) in Shanghai and Delhi. The ODIAC dataset exhibits a much higher emission compared to inventory estimates in Cape Town (+148%), Sao Paulo (+43%) and Beijing (+40%). On the other hand, ODIAC shows lower estimates in Manhattan (-62%), New York City (-45%), Washington D.C. (-42%) and Toronto (-33%), all located in North America. Our comparison framework provides a first multi-approach quantification of city-scale fossil fuel CO₂ emission and identifies the magnitude of uncertainties to be expected in various cities across the globe, essential towards establishing a global database of city carbon emissions and contributing to efforts of monitoring the effectiveness of emission reduction measures.

河北省中南部对流层 CH₄ 时空分布特征的飞机探测研究

杨洋

河北省人工影响天气办公室

为研究河北省中南部对流层内 CH₄ 时空分布特征，2018年6-7月利用空中国王 350 飞机搭载高精度 CH₄ 分析仪和相关辅助设备，对河北中南部城市上空（600 m-5500 m）CH₄ 浓度进行飞机探测。探测期间共飞行 4 架次，取得 7 组 CH₄ 浓度垂直廓线数据，在国内尚属首次。研究结果表明：探测期间 CH₄ 浓度最小值为 1884×10^{-9} ，最大值为 2038×10^{-9} ，多架次垂直方向上平均浓度为 $1915 \pm 90 \times 10^{-9}$ 。不同探测架次 CH₄ 浓度随高度变化趋势有较好的一致性，随高度增加，均出现先增大后减小，后稳定不变的趋势，且在混合层顶位置（约 1500 m）存在明显分界线。1500 m 以下，同高度层 CH₄ 浓度变化较大，不同架次间浓度相差最大值达 124×10^{-9} ，同一架次 CH₄ 浓度的垂直梯度变化受大气层结影响明显，位温垂直梯度接近零时，CH₄ 浓度的垂直梯度变化不明显。1500 m 以上，CH₄ 浓度垂直随高度增加呈指数减小，同高度层 CH₄ 浓度变化较小，变化偏差在平均值的 5% 以内，4000 m 以上，同高度层 CH₄ 浓度振幅最小，差值 $< 15 \times 10^{-9}$ ，此时浓度可代表该区域背景大气的平均浓度。石家庄上空同高度层 CH₄ 浓度白天整体大于夜间，随高度降低差值变大，说明石家庄白天 CH₄ 排放源强度大于夜间。

2016年夏季大连湾污染海域含甲烷气泡释放研究

臧昆鹏

国家海洋环境监测中心

2016年夏季,本研究采用倒置漏斗型气泡采集器等设备,在大连湾近岸污染海域开展了含甲烷(CH_4)气泡主要组分、释放通量及其对局地大气 CH_4 分布特征影响的现场观测和实验室测定工作。结果发现,气泡样品中主要成分包括 CH_4 , CO_2 , N_2O 和水汽等。气泡释放速率主要受大连湾潮汐调控,即涨潮和落潮通过压力和稀释效应来抑制和利于气泡释放。而在季节尺度上,气泡释放速率还可能受沉积物和水环境温度的影响。温度越高, CH_4 等组分产生速率越快,气泡形成和释放速率越快。2016年夏季气泡样品中 CH_4 混合比高达37.8%,其 CH_4 释放通量高达 $73.5 \text{ mmol/m}^2/\text{d}$,是观测点溶解态 CH_4 扩散通量的14.8倍,是相邻北黄海夏季海气 CH_4 交换通量的约10000倍。含 CH_4 气泡的直接释放导致局地大气 CH_4 混合比呈由海表向上垂直递减的梯度分布特征,且明显高于相邻的北黄海海表大气 CH_4 混合比。因此,大连湾近岸污染海域含 CH_4 气泡释放区是大气 CH_4 的重要热点源,且与本地长期人为污染活动直接相关。本研究对近岸污染海湾开展类似观测研究和生态环境其气候变化评估等工作具有一定参考价值。

渤海油气泄露显著提升海气甲烷通量

张永

山东大学

渤海蓬莱 19-3 溢油事件发生后，我们于 2011 年 11 月，2012 年 5 月、7 月和 8 月对渤海水体中的溶解甲烷开展调查。走航观测的结果表明，表层海水中存在许多甲烷浓度极大值的热点区域，在这些热点区域，温跃层被破坏，水体垂向混匀，甲烷含量高出背景区域 1.2-4.7 倍，海气通量高出背景区域 1.3 倍-14.6 倍。调查结果证明，浅海海底泄露的甲烷会穿透水体进入大气，显著提升海气甲烷通量。鉴于目前海洋油气和甲烷水合物的开采都集中在近海，并且偶发性的甲烷泄露导致难以捕捉，所以近海海气甲烷排放可能被低估。

Mobile real-time measurement of methane in Beijing: methodology development and application

孙万启

中国气象局气象探测中心

A fuel switching policy, converting coal to natural gas, has been put into effect across China in recent years. Fugitive emissions associated with this switch may greatly influence emissions of the whole city. A mobile platform observation of car, consisting of a power supply, an instrument, a GPS receiver and a data acquisition device, was set up and used to online monitor the atmosphere CH₄ in Beijing. The observation result shows that: the CH₄ concentration distribution of the urban is uniform; that of the rural-urban fringe is obvious influenced by the wind; that of the rural is mainly influenced by point sources. Meanwhile, some fugitive emission source, such as LNG the running power plant and leaking natural gas pipeline, were identified in the rural measurement. The CH₄ emission comparison for heating and un-heating period shows that the methane leakage from municipal facilities is probably greatly contributed to the whole emission of the city. This methodology has enough temporal and spatial resolution to survey point and non-point sources of methane and the in urban and this observation is probably greatly help to understand the whole emission of the city.

本底大气氧化亚氮在线观测技术；Aircore 垂直廓线采样技术在我国温室气体观测中的应用

梁苗

中国气象局气象探测中心

氧化亚氮 (N_2O) 是大气中第三重要的温室气体，也是平流层中消耗臭氧层物质。中国气象局自 1994 年起在青海瓦里关全球大气本底站开始 N_2O 采样观测，2008 年开始在 4 个区域大气本底站（北京上甸子，黑龙江龙凤山站，浙江临安站，云南香格里拉站）开始此项观测，样品分析方法为带有电子捕获检测器的气相色谱仪 (GC-ECD)，重复进样 (200 次) 的相对标准偏差为 0.07%。通过对 2000 年至 2014 年瓦里关站 N_2O 数据进行本底筛分和曲线拟合，得到本底 N_2O 含量的年平均增长率为 $0.8 \pm 0.1 \text{ ppb yr}^{-1}$ ，呈增长趋势，且年际变化与区域土壤水分含量具有一定相关性 ($P < 0.01$)。季节变化呈现夏季低春季高的特征，可能受青藏高原平流层输送作用影响，振幅为 0.38 ppb。后向轨迹分析结果显示，气团主要来自中亚的干旱/半干旱地区，轨迹覆盖区域的 N_2O 排放源较少，结果可代表中亚内陆地区的 N_2O 本底特征。为提高连续观测时间分辨率，采用离轴积分腔输出光谱法 (OA-ICOS) 进行 N_2O 在线观测测试。结果显示，OA-ICOS 检出限小于 40 ppt，精度优于 $0.3 \text{ ppb Hz}^{-1/2}$ ，一周内漂移小于 0.1%，与 GC-ECD 平行比对观测结果偏差小于 0.09%。

Aircore 垂直廓线采样技术在我国温室气体观测中的应用

本研究开发了一套基于直接采样技术的温室气体垂直廓线采样分析系统，可获得近地面至 25km 高空 CO_2 和 CH_4 浓度的垂直分布。采样器利用长度 150 米、一端开放一端关闭的细长不锈钢管在下降过程的压差作用进行被动式采样，落地后遥控关闭采样口。研发系统利用 CRDS 高精度分析技术对不同高度样品进行定量分析，结合大气样品的气压和温度，以及分析流量的精准控制，通过换算公式，可计算出采样区域 CO_2/CH_4 浓度廓线。实验室测试显示， CO_2 分析准确度优于 0.06 ppm，精度优于 0.08 ppm， CH_4 分析准确度和精度均优于 0.1 ppb。利用此系统先后在内蒙古成功进行了四次外场观测试验。考虑不同高度样品扩散作用，研发系统在 10km 高度垂直分辨率优于 650m，在 20km 高度垂直分辨率优于 2.1km。外场实验表明：研发系统可搭载在合适探空平台上进行温室气体垂直观测，获取浓度廓线，可为传输模式提供数据，并为碳卫星遥感数据提供实测数据校验。

A fully automatic system for underway N₂O measurements based on cavity ring down spectroscopy

詹力扬

自然资源部第三海洋研究所

N₂O is one of the most important greenhouse and ozone-depleting gasses and has been the source of considerable concern in recent years. The oceans account for $\sim 1/4$ of the global N₂O emission budget; however, the oceanic N₂O source/sink characteristics are not well understood. To enhance the study of oceanic N₂O source/sink characteristics, our laboratory developed a fully automatic underway system for surface water N₂O concentration and atmospheric N₂O mole fraction measurements consisting of a cavity ring-down spectroscopy (CRDS) instrument and an upstream device. The developed device can be programmed to switch the CRDS measurements from the equilibrator headspace to the atmospheric sample and the reference gas sample. The surface water N₂O concentration is calculated from the equilibrium headspace N₂O mole fraction in the equilibrator. The response time of this equilibrator is ~ 3.4 min, and the estimated precision of this method for surface water N₂O measurements is better than 0.5% (relative standard deviation, RSD), which is one order of magnitude better than that of traditional gas chromatographic methods and can be further optimized. Data are acquired every 20 seconds, and the calibration frequency requirement of this system is approximately 7-10 days. This labor-saving underway system is a powerful tool for high-precision and high-resolution measurements of atmospheric and oceanic N₂O and can significantly improve the study of the characteristics of oceanic N₂O sources/sinks and their response to climate change.

土壤气态亚硝酸（HONO）排放及监测

吴电明

华东师范大学

土壤是气态亚硝酸（HONO）的重要来源。然而，目前尚没有土壤 HONO 排放测定统一方法及标准，本报告综述了当前国际上大气 HONO 浓度、土壤排放通量及同位素标记等测定方法，以期为土壤 HONO 排放和监测的研究提供科学依据和思路。

我国 11 种 HFCs 浓度水平研究

谢文琪

南昌县气象局

在北京上甸子区域大气本底站利用 GC-MS 系统开展对大气中 11 种 HFCs 开展在线观测研究。2018 年 1 月至 12 月期间, HFC-23、HFC-32、HFC-125、HFC-134a、HFC-143a、HFC-152a、HFC-227ea、HFC-236fa、HFC-245fa、HFC-365mfc、HFC-4310mee 本底浓度分别为: 31.9 ± 0.37 、 22.3 ± 1.74 、 29.3 ± 1.28 、 110.5 ± 2.95 、 24.0 ± 0.32 、 10.3 ± 0.65 、 1.6 ± 0.05 、 0.2 ± 0.01 、 3.3 ± 0.08 、 1.3 ± 0.03 、 0.3 ± 0.01 ppt; 本底数据出现频率分别为: 34.5%、25.0%、22.5%、26.6%、24.5%、42.5%、27.3%、46.4%、38.3%、68.1%、77.9%; 非本底浓度分别为: 39.2 ± 11.13 、 47.9 ± 21.82 、 38.6 ± 8.68 、 138.0 ± 21.56 、 26.1 ± 2.22 、 15.9 ± 7.03 、 2.8 ± 2.25 、 0.3 ± 0.06 、 4.1 ± 0.96 、 1.3 ± 0.06 、 0.3 ± 0.01 ppt。HFC-32、HFC-134a、HFC-152a、HFC-227ea、HFC-236fa、HFC-365mfc 本底浓度存在较为明显的季节变化, 而 HFC-23、HFC-125、HFC-143a、HFC-245fa 本底浓度呈上升趋势, 年增长率分别为: 1.0、3.8、1.0、0.2 ppt/yr。利用 CO 比值相关法, 估算 HFC-23、HFC-32、HFC-125、HFC-236fa、HFC-245fa 排放量分别为: 5.9 ± 2.4 、 12.3 ± 4.9 、 9.2 ± 3.7 、 0.06 ± 0.02 、 1.1 ± 0.5 kt/yr。

气候变化背景下的陆地生态系统 温室气体排放模型的应用

李婷婷

大气物理研究所

According to the world resources institute, China is the top one greenhouse gases (GHGs) emitters across the world. Evaluating GHGs exchange from ecosystems is important to the policymakers for making effective decision regarding mitigation. We focus on the development and application of the ecosystem GHGs models. CH₄MOD is a semi-empirical process-based model in simulating CH₄ production, oxidation and emission processes from the rice paddies and natural wetlands. Agro-C model is a biogeophysical model for simulating carbon budget of agroecosystems. We also established a statistical model for simulating CH₄ uptake from forests and grassland based on a dataset of situ observations of CH₄ consumption in forest and grassland soils as well as the corresponding meteorological and soil data. Based on the above models, we evaluated the historical and future GHGs emissions from Chinese croplands. We also simulate CH₄ exchanges from wetlands, forests and grasslands from China and the world.

南海 CO₂ 分压和海气 CO₂ 通量：18 年数据集成分析

郭香会

厦门大学

基于 2000-2018 年实施的 47 和航次（航段）的现场调查数据，集成分析了西北太平洋最大的边缘海（南海）表层海水 CO₂ 分压 (pCO₂) 和海气 CO₂ 交换通量的时空变化。根据物理和生物地球化学特征把南海分成 5 个区域，分别为南海北部陆架 (A)、北部陆坡 (B)、南海海盆 (C)、吕宋海峡西侧的冬季上升流区 (D) 和南海西部 (E)。除了冬季 pCO₂ 在较小范围波动 (300-360 atm, 低于大气)，其他季节的 pCO₂ 和 CO₂ 通量的时空变化都非常大。总的来看，南海北部 pCO₂ 的季节变化很大 (区域 A、B、D)，pCO₂ 冬季低，夏季高。但珠江口外和吕宋海峡以西海域是两个例外的区域。夏季珠江口外 pCO₂ 的范围为 200-500 atm；吕宋海峡以西海域 pCO₂ 为 370-390 atm (与大气平衡或高于大气)。在南海海盆和南海西部，海表 pCO₂ 高于大气水平，为 380-420 atm。分析还发现，南海北部在季风转换期的季节内变化非常大，春季从大气 CO₂ 的汇变成源 (3 月是汇，4 月是转换期，5 月是源)，秋季从源变成汇 (9 月是源，10 月是转换期，11 月是汇)。南海冬、春、夏、秋四个季节的平均 CO₂ 通量为 $-1.1 \pm 2.2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、 $0.9 \pm 0.9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 、 $2.5 \pm 1.4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 和 $1.9 \pm 1.1 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。南海的面积加权平均 CO₂ 通量为 $1.2 \pm 1.7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ，南海主体每年向大气释放 $13.3 \times 10^{12} \text{ gC}$ 的 CO₂。研究还发现，南海北部冬季的碳汇在增强。

内陆水体温室气体和水汽同位素通量的综合观测研究

肖薇

南京信息工程大学

内陆水体仅占非冰川陆地表面面积 2.2-3.7%，其交换的碳量却与陆地净生产力及海洋吸收的碳量相当。对于大型内陆水体，受观测条件所限，采用涡度相关法等微气象学方法开展长期（5年以上）连续监测和针对不同生态类型功能分区开展多站点同步观测的研究尚不多见。对于小型内陆水体，由于其个体面积较小，即使其总面积与大型水体的总面积相当，温室气体排放强度更高，但是却往往被忽略。本项目组自 2010 年开始在太湖（中国第三大浅水湖泊）建立太湖中尺度涡度通量网（包括 6 个水上平台和 1 个陆地平台），自 2015 年开始在安徽全椒典型养殖鱼塘区建立通量观测站，以涡度相关方法为基础，结合通量梯度法、箱式法、水平衡法和倒置漏斗法等多种观测手段，观测内陆水体与大气之间的 CH_4 、 CO_2 、 N_2O 和 H_2O 通量。旨在解决以下科学问题：

- 建立适用于浅水湖泊的湖气交换参数化方案；
- 蓝藻爆发会对太湖的湖气交换产生怎样的影响？
- 富营养化湖泊是大气的 CO_2 源还是汇？
- 蓝藻及沉水植物的腐烂分解是否会使促使太湖 CH_4 的排放？
- 长期的湖泊蒸发受什么控制？
- 小型内陆水体是否具有更高的温室气体排放强度？排放途径有何不同？

目前，得到了如下主要的研究结果：

(1) 蓝藻水华严重的富营养化湖区的年均 CH_4 通量为 $1.8 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ ，与全球内陆水体通量的中位数 ($1.6 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ year}^{-1}$) 接近。

(2) 水生植物生长比较旺盛的湖区年均 CH_4 排放量为 $6.12 \pm 0.11 \text{ gCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

(3) 促进湖泊蒸发年际变化的主要因子是太阳短波辐射和大气逆辐射，地面长波辐射反馈会削弱蒸发强度，而温度并非主要控制因子。

(4) 传统湖泊研究使用的蒸发过程中稳定同位素动力学分馏系数并未充分考虑空气湍流对稳定同位素分馏的削弱作用，并不适用于实际情况。

(5) 养殖鱼塘排放 CH_4 的强度远远高于其他小型水体，而温度是主控因子。

(6) 冒泡是养殖鱼塘排放 CH_4 的主要途径。

未来，我们将继续开展上述观测，积累更多的数据，为解决更多的科学问题提供数据支持。

减少有机碳氧化为二氧化碳的大气干湿沉降研究

潘月鹏

中国科学院大气物理研究所

现有的碳循环模式主要考虑无机碳，而对有机碳的研究较为薄弱。大气有机碳在氧化过程中会产生二氧化碳，如果能够截断这个过程，将会减少有机碳向二氧化碳的转化，干湿沉降具有个阻隔功能。在全球尺度上，被降水清除的有机碳库约 0.5Gt，在数量上相当于“碳失汇”的 1/3，但长期以来缺乏亚洲观测数据的支持。基于华北大气沉降研究网络的观测发现：除了有机碳，降水中还含有无机颗粒碳（40%），这说明只关注有机碳的“全球降水碳库”存在显著低估。华北碳的湿沉降量（ $3 \text{ gCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ），相当于华北陆地生态系统碳汇（ $37 \text{ gCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ）的 9%、人为源二氧化碳排放量（ $14 \text{ gCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ）的 22%，是全球和区域碳循环模式中不可忽视的环节。

土壤水分对陆气碳通量年际变率的调控作用研究

王军

南京大学

陆地土壤水分对陆地碳循环年际变率具有重要的作用。本研究基于多源大气反演、多模型历史模拟、大气 CO₂ 增长率及 GRACE 等数据，分析了年际尺度上陆气碳通量与土壤水分的关系。研究发现多模型模拟的陆气碳通量年际变率与大气反演结果十分一致，均以热带为主。模型模拟的土壤水分变化也与 GRACE 资料具有较高的相关系数。反演及多模型模拟结果均表现出陆气碳通量年际变化与土壤水分具有十分显著的相关系数 ($p < 0.001$)。另外，多模型模拟结果中在热带地区偏高了温度的作用。

增温对我国东北针阔混交林土壤温室气体排放的影响

刘冬伟

中国科学院沈阳应用生态研究所

本增温实验在中国科学院清原森林生态系统观测研究站开展,该站点位于辽宁省抚顺市清原县,地处典型温带森林地区。实验设置增温和对照2个处理,每个处理3个小区重复,每个小区108 m²。采用电子辐射红外加热器对土壤进行增温,并借助自动温控系统使得矿质土壤5 cm深度升高2℃。增温时间为每年的4-11月份(即冰雪融化前至冬季降雪开始)。该平台配备两套温室气体(CO₂、N₂O和CH₄)和NO释放速率自动监测系统,每套系统包括16个呼吸室。2018年9月-11月短期实验发现增温对土壤温室气体和NO通量影响较小。尽管如此,随增温时间的延长,土壤呼吸通量可能表现出增加的趋势,增温还可能促进土壤对甲烷的吸收。

微型传感器温室气体观测和应用

韩鹏飞

中国科学院大气物理研究所

低成本传感器在气象、环保、农业等监测方面得到越来越广泛的应用。二氧化碳是人类排放的最主要温室气体。联合国规定温室气体减排必须可测量、可报告、可核实 (Monitoring, Reporting, Verification, MRV, 三可原则)。中国的碳交易等减排措施, 急需第三方认证和精细化信息。全球超过 70% 的碳排放来源于城市, 特别是超大城市群。现有的碳排放清单一般是做到省市级别, 精细化管理和网格化减排等客观需求, 要求监测做到区县一级。

一方面, 二氧化碳时空变异巨大, 城市和郊区、农村差异可达几十到上百 ppm (parts per million, 百万分之一)。另一方面, 现有高精度观测体系很稀疏, 只能到大陆尺度。且高精度仪器价格非常昂贵, 难以进行高密度布点。随着科技的发展, 低成本的工业用非色散红外 (Nondispersive infrared sensor, NDIR sensor) 传感器越来越受到关注。虽然在应用中存在很大的挑战, 例如: 监测结果受到环境因素 (如温度、湿度、气压) 影响明显, 传感器的长期漂移仍然存在不确定性等。但是经过降噪、环境因素矫正、定标后, 可从原始的几十个 ppm 的低精度, 达到几个 ppm 的中精度。结合物联网技术, 进行数据实时传输, 为这类传感器的高密度组网监测应用提供了可能。

本研究展示了低成本二氧化碳传感器校准的结果, 并在一次野外移动观测中, 与高精度仪器观测结果进行了对比, 校准后的均方根误差可达 5 ppm。

地基碳柱浓度观测合作网络(COCCON) -- 便携式傅里叶光谱仪 EM27/SUN 在北方地区温室气体观测中的应用

涂倩思

卡尔斯鲁厄理工学院

卡尔斯鲁厄理工学院(KIT)在2011年与布鲁克公司共同研发了一款新型的可便携傅里叶光谱仪(EM27/SUN)。该仪器可用于观测大气中二氧化碳,甲烷和水的柱浓度。2016年时新增的第二个通道可用于观测大气中一氧化碳的柱浓度。

现如今,40多台的EM27/SUN光谱仪被不同的研究组应用于温室气体的研究中。这些位于世界各地的光谱仪形成了一个地基碳柱浓度观测合作网络(COCCON)。该仪器的便携性,史无前例的优异表现和稳定性已经在相关研究中得到很好的验证。它的优异表现也为柱总碳观测网络(TCCON)提供了仪器支持。

除此之外,EM27/SUN光谱仪的便携性使之非常适用于外场实验。通过在排放源(如垃圾填埋厂,火电厂,丛林大火,煤矿,城市等)的周围分散放置几台EM27/SUN,可用于排放源的定量观测。相关的几次外场实验的数据结果已经在期刊上发表。

2017年起,KIT参与了欧洲航天局主持的位于芬兰的温室气体的地基校准观测实验项目。该项目的主要目的在于对比不同的便携性仪器在观测大气中温室气体含量的表现情况。相较于其他仪器,EM27/SUN表现突出,展现出了高稳定性和高精度性。

大气 CO₂ 水平柱浓度的探测激光雷达

刘豪

中国科学院上海技术物理研究所

水平柱浓度探测差分吸收激光雷达中的关键技术有：1) 系统中差分激光波长的参数选择及依据；2) 数据处理方法研究，包括窗函数选择和频谱校正算法；3) 系统误差分析、误差传递原理分析、累积平均分析和大气影响因子分析。对探测系统各个单元进行实验验证，具体包括链路实验，外场实验和对比实验。

最终搭建了稳定可靠的探测二氧化碳柱浓度的差分吸收激光雷达系统，并且在上海和北京市区进行连续多天的实验观测，得到了由二氧化碳点探测器验证的二氧化碳柱浓度变化趋势数据。

用于大气温室气体通量的调制吸收光谱技术研究

陈家金

中国科学院合肥物质科学研究院

发展高灵敏度、高精度的大气温室气体通量在线探测技术，对于环境监测、生态系统排放和吸收、地球气候变化等研究有着重要的意义。基于可调谐二极管激光吸收光谱(TDLAS)技术的高灵敏度、高选择性及快速响应等优势，开展了波长调制光谱和光学多通长光程吸收池技术相结合的高灵敏度痕量探测研究，以用于大气温室气体通量的在线监测。

水环境中温室气体调查与研究

陈小强

大连理工大学

河流、湖泊及水库中的温室气体也是重要的排放源。通过现场调查分析，考察不同水环境条件下温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的排放水平及产生机制，探究不同环境条件各水环境的温室气体释放通量。尤其是我国北方水库具有长冰封期的特点，研究在冰封条件下温室气体的产生机制及累积效应。

大气温室气体立体监测技术及应用

高晓明

中国科学院安徽光学精密机械研究所

重点介绍中科院安徽光机所研究团队在国家重点研发计划和国家基金委重点项目的支持下,研发的系列化大气温室气体立体监测技术及设备的最新研究进展,内容包括:(1)研发了基于离轴积分腔吸收光谱的大气本底值站的温室气体分析仪,实现了对 CH_4 3.8 ppbv 和 CO_2 1.0 ppmv 的长期测量稳定度。(2)研发了便携式超高光谱分辨率的大气温室气体 CO_2 和 CH_4 垂直廓线光谱分析仪,光谱分辨率达到 0.003cm^{-1} ,整层大气 CO_2 和 CH_4 外差光谱信噪比达到 932 和 212.6。(3)研发了基于 TDLAS 技术的 CH_4 、 CO_2 和 H_2O 一体化温室气体通量分析仪,并与 LI7500 进行了对比研究。

近二十年南北极海区海-气 CO₂ 通量及其年际年代际变化

高众勇

自然资源部第三海洋研究所

利用自 1999 年中国首次北极科学考察以及 1999 年中国第 16 次南极科学考察以来,近二十年南北极海区海气 CO₂ 走航观测数据集成分析,探讨南北极海区海-气 CO₂ 分压年际及年代际变化规律,同时分析南北极海区碳吸收通量变化的异同。数据分析表明,南北极海区碳吸收通量模式差异显著。年际及年代际变化也差异显著。结合气候变化因素,温,盐,营养盐/叶绿素及碳酸盐体系等各参数进行了详细的机制探讨。

在北冰洋,由于楚科奇海夏季的高生产力,其在夏季基本保持了很强的碳吸收能力,受生物泵作用主控,虽然表层海水 pCO₂ 受水交换影响有着剧烈的波动,但总体的碳吸收能力则基本维持不变。在高纬度的中心海盆区,其吸收能力基本稳定。

而南大洋海冰区海水 pCO₂ 的年际变化则最为复杂。整个南大洋海水 pCO₂ 总体平均,12 月份海水 pCO₂ 增长超过大气 pCO₂ 增长,而 1 月份则保持了基本同步的趋势,详细分析认为,南大洋碳吸收受全球变化影响显著,有着不同的响应与反馈,从而产生显著的季节变化,在 12 月份,受全球变化以及大气 CO₂ 增长带来的海洋酸化效应影响,海水 pCO₂ 增长超过大气 pCO₂ 增长,而在 1 月份,由于生物高生产力影响,这种趋势被有效地阻止了。pCO₂ 降低显著,与大气 CO₂ 的增长看上去基本持平了。换言之,有 1 月份,南大洋碳吸收的年际变化由于生物吸收作用的增强,其对全球变化的响应与反馈作用基本抵消。

相比之下,而在白令海 BR 断面,近 20 年间,白令海盆区海水 pCO₂ 增长与大气 pCO₂ 增长相当,几乎没有大的变化,但在白令陆坡流区域,其碳汇强度与气候变化密切相关,显示出对气候变化的响应。

极区大气 CO₂ 分压在正常的大气浓度升高范围内相对稳定,其年际变化均呈现线性增长变化,但是其表层海水二氧化碳分压 (pCO₂) 对全球变化以及人为源 CO₂ 的大量排放的响应各不相同,并且差异显著。在南极普里兹湾湾内区域,由于其夏季高生产力,显示出了负反馈。这充分显示出了全球区域响应的复杂性,其响应机制与变化机理值得进一步深入研究。

与台湾海峡完全相反，南极普里兹湾，2009年南半球夏季（1—2月份）较之2000年之时其夏季汇的能力显著增强；从其73° E的P3断面的研究结果上看，其湾内与湾外也截然不同，湾外几乎没有变化，而湾内却在十年间汇的作用显著增强。最直接的推测与估计，就是全球变化的反馈作用使其生物泵作用的增强，而导致了CO₂的强吸收。

二氧化碳监测数据的应用：排放清单

胡雪

上海交通大学

中国是世界最大的温室气体排放国，排放量约占世界总排放量的 1/4。温室气体（二氧化碳为主）的大量排放会产生巨大的负面影响，主要包括冰川消融、海平面上升、粮食减产和物种灭绝等。2015 年，在巴黎气候变化大会通过的《巴黎协定》，首次正式将占全球碳排放总量近 90%的 195 个缔约国纳入全球减排框架体系之内，具有里程碑的意义。2015 年 9 月，习近平主席与来访的美国总统奥巴马举行会谈并发表《中美气候变化联合声明》，中国承诺到 2030 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%-65%，截至 2017 年底，我国碳排放强度已经下降 46%，已提前 3 年落实《巴黎协定》部分承诺。

二氧化碳的减排依赖于准确的碳排放监测体系。在全球层面上，准确可核实的碳排放数据可直观反映碳减排进度，是审核各国是否完成减排任务的重要依据；在政府层面上，客观、准确的碳排放监测数据是环境立法和污染源排放限制政策的数据基础，是政府碳控排目标设立和考核的依据；在碳交易市场层面上，可信的碳排放数据是碳交易市场有关各方建立互信、进行碳交易的前提和保障；在企业层面上，准确的碳排放数据可以帮助技术人员明确温室气体排放量和排放位置，是企业减排措施制定和碳资产管理的基石。

此外，《京都议定书》要求世界各国提供所有温室气体的源和汇的国家清单。大气污染物排放清单是了解各地区大气污染物排放及其时空分布的重要资料，也是精确模拟大气环境和空气质量的瓶颈难题。国内外对大气污染物排放清单的研究始于 20 世纪 70 年代，美国国家环保署还发展了一套比较完整的排放系数 AP-42，对源排放清单的建立工作具有重要的指导意义。欧洲排放清单的工作开展较美国晚，在实施欧洲监测和评估计划的前提下，编制了一套以完整、一致、透明为目标的排放清单手册，为欧洲区域污染排放控制计划的提出提供了科学依据。

在碳排放监测领域，我国起步较晚，当前远不如西方发达国家。现有大气污染物排放清单的粗时空分辨率，极大地限制了空气质量数值预报的准确性。随着环境监管精细化管理要求的不断提高，在应对重污染天气过程中，对大气污染物排放清单的编制提出了更高的要求。所以收集二氧化碳在线监测数据，编制排放清单，对于提高空气质量数值预报、重污染应急、重大活动保障有重大意义。

关于开展城市碳排放量在线监测的探讨

黄烯茜

上海交通大学

随着人类活动和社会生产的加剧，能源消耗产业持续发展，地球表面温室气体浓度不断升高，进而引发全球气候变暖、冰山融化和海平面上升等气候问题。积极应对气候变化，加快推进低碳发展，已经成为国际社会的普遍共识。2015年12月，《联合国气候变化框架公约》近200个缔约方在巴黎气候变化大会上达成《巴黎协定》，2016年11月，《巴黎协定》正式生效，世界各国都将在《巴黎协定》的约束和指引下，开展持续的温室气体减排工作。我国是全球温室气体排放第一大国，总排放量占全球总量近30%，中国政府向全世界作出承诺：到2030年左右达到碳排放峰值，并在2030年前将非化石能源占一次能源消耗的比重提高到20%。截至2017年底，我国碳排放强度已经下降46%，森林蓄积量已经增加21亿立方米，可再生能源占一次能源消费比重达12.8%，已提前3年落实《巴黎协定》部分承诺。

城市作为人口、建筑、交通、工业、物流的集中地和能源消耗的高强度地区，排放的温室气体占全球人类活动温室气体排放的80%，城市成为温室气体减排最具潜力的领域，因此低碳城市建设成为全球气候变化背景下的重要发展战略，而温室气体排放清单则是实现低碳城市的基石和标尺，清单方法的科学性和准确性对城市低碳政策和碳减排效果的评价及城市低碳目标的实现具有重要意义。为配合全球低碳城市这一热题，英国标准协会（BSI）也于2012年发布全球唯一的基于城市的温室气体评价规范：PAS 2070:2012《Specification for the assessment of consumption-based greenhouse gas emissions of a city》，使用DPSC(Direct plus supply chain)和CB(Consumption-based)两种方法，将城市作为独立整体，按照居民、商业和工业消耗物的种类分别进行碳足迹的分析和评价。但是城市清单中范围3的标准化和可操作性问题，及城市交通分配方法的统一和规范是近期城市清单研究的重点和难点。城市碳排放量在线监测将会成为城市清单的重要支撑，因为监测数据提供了独立于传统基于物料平衡清单方法的数据源，非常有利于城市清单的可测量、可报告、可核查(MRV)，同时直接监测数据时效性强并且能提供时间序列数据，对于评价城市能源和碳减排政策的效果和影响，例如能源替换、道路交通管制等具有非常重要的意义。目前，欧盟碳排放交易MRV体系测量方法包括样本法和连续监测法，美国强制性温室气体报告制度监测是在

线排放监测体系；国内也已经推行开展重点污染源企业必须安装污染源在线监测系统的工作。大部分企业都安装了 CEMS 烟气分析系统，监测分析 CO、SO₂ 和 NO_x 等气体，监测数据与政府环境保护部门进行实时联网。列入碳排放核查的企业，可以通过 CEMS 监测 CO₂ 的排放量，既达到监测目的，又减少企业和政府的管理成本。

基于吸收光谱的水中溶解 CO₂ 高精度测量方法研究

李想

中国科学院合肥物质科学研究院

研究水域的碳循环过程在明确区域和全球变化响应及模式环节中起着重要作用。作为最主要的生源要素——碳，以埋藏的有机物和无机物形式的二氧化碳 (CO₂) 在大气和水界面传输。而传统离散采样瓶测量方法已不能满足时空变化下水中溶解 CO₂ 浓度的测量需求，需采用高灵敏、原位、快速的分析方法。可调谐半导体激光吸收光谱 (TDLAS) 技术是一种灵敏度高、时间响应快、非侵入式的气体检测技术，在温室气体的检测方面具有广阔的应用前景。介绍了基于可调谐半导体激光器的直接吸收光谱检测技术，和膜脱气分离样品水中溶解气体的方法，研究了实时快速反演水中溶解 CO₂ 浓度的方法，并进行了相关的验证实验。本文利用疏水多孔的中空纤维膜和抽气泵连接，将水中溶解的 CO₂ 气体分离、干燥并送至吸收光谱系统测量，提出采用低压 (≤ 0.7 atm) 非完全平衡分离方案。利用膜内水-气相分压梯度恒定、流量恒定的稳态环境下测量，来提高膜脱气测量的响应时间。通过选用 CO₂ 位于 2004.02nm 处的 R(16), u₁+u₃ 吸收谱线，搭建了一套 20 m 长光程的 CO₂ 气体探测实验系统，以高灵敏度和快速时间响应 (2Hz) 测量分离出的溶解 CO₂ 气相浓度。同时和离散采样瓶测量 CO₂ 水中分压的方法对比，定量分析系统的分离 CO₂ 效率。实验通过切换式抽取高低两种溶解不同浓度 CO₂ 的样品水，得到系统对 CO₂ 溶解浓度的响应时间 τ 低于 90 s，验证了实验系统和实验方法的可行性，为实现水中溶解 CO₂ 气体实时定量观测奠定了基础。

青岛近海浒苔爆发期间海水碳酸盐体系的变化及海-气界面二氧化碳通量的研究

栗冰涵

中国海洋大学

摘要：自 2007 年以来，浒苔绿潮每年均在青岛近海海域爆发。根据 2018 年 6 月、7 月以及 9 月在青岛近海海域进行的三个航次观测，测定得到 pH、溶解无机碳 (DIC)、总碱度 (TA) 以及根据以上参数计算得到的表层海水二氧化碳分压 ($p\text{CO}_2$) 数据，结合温度、盐度等相关参数，剖析了青岛近海在浒苔爆发阶段的碳酸盐体系各参数的分布特征和影响因素。同时，探讨了该海域在浒苔爆发期、爆发末期及爆发结束期三个典型阶段的海—气界面二氧化碳通量的变化规律。结果表明：青岛近海在浒苔爆发期、爆发末期及结束期三个阶段的 pH 的平均值分别为： 8.15 ± 0.03 、 8.09 ± 0.02 和 8.15 ± 0.06 ；DIC 的平均值分别为： $2139 \pm 21 \mu\text{mol/kg}$ 、 $2079 \pm 21 \mu\text{mol/kg}$ 和 $2134 \pm 66 \mu\text{mol/kg}$ ；TA 的平均值分别为： $2368 \pm 6 \mu\text{mol/kg}$ 、 $2361 \pm 35 \mu\text{mol/kg}$ 和 $2416 \pm 20 \mu\text{mol/kg}$ ； $p\text{CO}_2$ 的平均值分别为： $448 \pm 27 \mu\text{atm}$ 、 $545 \pm 22 \mu\text{atm}$ 和 $494 \pm 99 \mu\text{atm}$ ，以上参数的分布均呈现明显的时空变化。此外，青岛近海浒苔爆发期、爆发末期及结束期的海—气界面二氧化碳通量分别为： $1.59 \pm 0.41 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ， $2.08 \pm 1.23 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 和 $3.17 \pm 1.91 \text{ mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，于爆发期和爆发末期分别输出碳通量 1.64 t C/d 和 1.02 t C/d 。由于在短时间内发生较为剧烈的生物活动，青岛近海在经历从浒苔爆发至结束的两个半月时间内，表现为大气 CO_2 的弱源。

关键词：青岛近海；浒苔；碳酸盐体系；二氧化碳通量

增温、氮、磷添加及其交互作用对长白山哈泥泥炭地温室气体排放的影响

鹿凡

东北师范大学

摘要:北方泥炭地储存了约 500PgC, 占全球土壤碳的 30%, 是全球重要的碳汇, 同时又是重要的 CH₄源。全球气候变化可能会促进泥炭地温室气体的排放, 从而削弱泥炭地的碳汇功能。为了研究泥炭地温室气体排放对全球气候变化的响应, 在中国长白山的哈泥泥炭地设置了长达 11 年的模拟气候变化的析因实验, 我们在 2018 年整个生长季监测了增温、氮沉降以及磷添加对泥炭地生态系统呼吸、生态系统净交换和 CH₄排放的影响。结果表明, 氮沉降的增加促进了泥炭地 CO₂ 和 CH₄的排放, 尤其在生长季前期和中期(5月到7月), 影响尤其显著; 增温和磷添加也同样促进了 CO₂的排放, 但对 CH₄释放的影响不显著; N 沉降的增加和增温对生态系统呼吸有显著的交互作用, 当 N 的浓度达到一定水平, 增温对生态系统呼吸的影响就消失了, N 的影响起到了主导作用。CO₂的排放与 5-10cm 的土壤温度有显著的相关关系, CH₄排放通量与土壤温度相关性关系不显著, 地表水位是影响 CH₄排放的主要因素。研究发现随着氮沉降浓度的增加, 地表水位下降了, 这可能是由于氮沉降的增加加速了泥炭的分解速度, 从而促进了泥炭地的碳排放, N 沉降的增加促进了 CH₄的排放可能也是由于 N 沉降增加促使地表水位下降导致的。

基于涡度相关技术的徐州郊区 CO₂ 通量和浓度特征

秦凯

中国矿业大学环境与测绘学院

城市是人口和交通集中区，是 CO₂ 等温室气体的主要来源。由于利用涡度相关技术开展城市碳通量观测的时间比较有限，目前获得长时间序列的 CO₂ 通量监测资料的站点还较少。已有研究表明，城市系统总体表现为碳源，CO₂ 通量明显高于自然生态系统，而不同城市之间，由于土地覆盖分布、交通情况以及其他人类活动的差异性，碳排放状况存在较大差异。而在国内，相关研究更少。

本文使用 2014/03/28 至 2014/12/03 的涡度相关系统的通量观测资料来探讨徐州市郊区二氧化碳通量和浓度变化特征。涡度相关系统安置于江苏徐州的中国矿业大学南湖校区的西北角，是典型的城市郊区类型。本文在 CO₂ 原始通量数据进行分割、处理，以及质量控制的基础上，采用适合城市的 Hsieh 模型计算本观测塔的源区范围，确定了本文采用的源区范围是以观测点为中心，半径为 1500 米的圆形区域。在此基础上本文继续探讨了徐州市郊区二氧化碳通量和浓度变化的主要影响因子和时间变化特征，结果表明：

夜间碳通量以正值为主，呼吸作用占主导地位而且不断累积。白天碳通量以负值为主，植被光合作用占主导地位。从 3 至 9 月 CO₂ 通量的最小值逐渐减小，最低达到了 $-13\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右，从 9-12 月，最小值逐渐增大。特别是 12 月份，CO₂ 通量只有在正中午有负值。本文观测站点附近的 CO₂ 通量主要受到交通和植被两大因素的影响，而在冬季，供暖措施显著导致 CO₂ 通量增加，而植被的光合作用较弱。从 3 月至 7 月，CO₂ 浓度逐渐下降，7 月至 12 月，CO₂ 浓度逐渐升高。夏季的各天浓度均值最低，而标准差最大，说明一天内的浓度变化幅度越大。本文分别计算了不同方位的 CO₂ 通量分布特征，结果发现：①在东北方向，CO₂ 通量一直较高，因为位于矿大北门的公交车站、大学路和南三环的十字交叉路口，交通比较拥挤。在清晨和下午有明显的高峰时段，因为受到了交通的早晚高峰的影响；②在西南和西北方向，植被是比较茂盛，却出现了另一个高峰，主要原因是这个方位有两个很近的大型建筑工地，由此可以看出工地施工的影响较大，而植被的影响相比较小。

地基差分吸收激光雷达观测实验总结

史天奇

武汉大学

边界层上下的 CO_2 交换是碳循环中重要的一部分，该效应称为整流效 (rectifier effect)，它会影响 CO_2 的垂直分布进而间接影响全球 CO_2 分布。目前直接测量该效应的强度是比较困难的。 CO_2 DIAL 可间接的对其进行观测，因为它可以精确地测量边界层高，又能测量 CO_2 廓线浓度。基于此，我们使用自己研制的 CO_2 DIAL 在淮南进行长期观测数据对其 rectifier 效应进行分析。详细针对夏天和冬天两个案例进行讨论，通过合理的反演算法得到了 CO_2 廓线浓度，平均浓度，边界层高度和整流效应强度。实验结果证明，初夏夜间 CO_2 的廓线浓度低于冬天夜间的 CO_2 廓线浓度。夏天的 CO_2 平均浓度在夜间逐渐增加，而冬季夜晚的 CO_2 平均浓度在夜间增加速度较为缓慢，冬天的 CO_2 平均浓度比夏天高约 9ppm。夏季案例中的边界层高度整体高于冬天。在这两案例，边界层高度与整流效应均存在负相关关系。在夏天案例中，两者具有 0.61 的负相关性；在冬天的观测实验中，两者之间的负相关性为 0.47。

便携式高光谱分辨率大气温室气体垂直廓线及柱总量红外激光外差光谱仪

谈图

中国科学院合肥物质科学研究院

本文报道了用于大气温室气体 (CO_2 和 CH_4) 垂直廓线及柱总量测量的便携式高光谱分辨率红外激光外差光谱仪。装置的核心部件是一套近红外全光纤式激光外差光谱仪, 本文利用全光纤器件实现了激光外差系统中光学耦合和调制模块, 并使用光纤光开关实现了激光外差光谱的双波长同时探测。光纤器件的使用, 提高了激光外差系统的可靠性、稳定性并极大地减少了仪器体积从而实现了装置的便携化。激光外差光谱仪的仪器性能通过实验室和外场实际测量进行了验证: 其光谱分辨率可以达到 0.003cm^{-1} , 整层大气 CO_2 和 CH_4 的外差吸收光谱信号信噪比达到了 932 和 213。分析表明, 该仪器可以为整层大气 CO_2 和 CH_4 气体分子的柱浓度和垂直廓线反演提供可靠的数据来源。

基于 NLS-4DVar 的碳循环数据同化与反演

田向军、韩 锐、金 哲

中国科学院大气物理研究所

本报告将着重介绍我们课题组近年来在碳循环数据同化与反演方面所进行的一些主要研究工作：

- 1) 适合高维观测同时快速同化的非线性最小二乘集合四维变分同化方法 NLS-4DVar 的发展, 尤其是其非线性迭代策略及快速局地化方案的提出与发展;
- 2) 中国碳卫星数据同化系统 Tan-Tracker 的发展;
- 3) 基于 NLS-4DVar 的碳卫星柱浓度 XCO_2 反演。

基于离轴腔增强吸收光谱技术的本底温室气体测量研究

王坤阳

中国科学院合肥物质科学研究院

甲烷(CH₄)和二氧化碳(CO₂)作为空气的主要组成部分,能够吸收地表的红外辐射,再释放回空间中产生温室效应,并会对气候产生强烈影响。离轴腔增强吸收光谱技术(OA-CEAS)作为吸收光谱技术中的一种高灵敏度、高稳定性的探测技术,可以对大气中CH₄和CO₂浓度进行精确测量,并对分析和量化温室气体排放等方面有着重要贡献。本文基于OA-CEAS并利用近红外可调谐半导体激光器作为光源,以CH₄位于6046cm⁻¹、CO₂位于6240cm⁻¹处的吸收线作为待测吸收线,并通过测量透射光来反演CH₄和CO₂的浓度,搭建了一套腔增强实验原理样机。在45℃温度(温度波动幅值0.002℃)和45torr压力(压力波动幅值0.02Torr)下,该实验样机对标准CH₄(1.89ppm)和标准CO₂(439ppm)进行测量,其中,CH₄浓度的标准偏差为0.6ppb,CO₂浓度的标准偏差为0.08ppm。稳定性方面,12小时内CH₄浓度的长期漂移为3ppb,CO₂浓度长期漂移为0.4ppm。

基于 CO₂ 浓度、 $\Delta^{14}\text{C}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 观测的西安市大气 CO₂ 来源排放特征研究

王鹏

中国科学院地球环境研究所

人类活动排放的大量化石源 CO₂ 是目前大气 CO₂ 浓度上升的主要原因，其中约 70% 的化石源 CO₂ 排放发生在城市，因此对城市化化石源 CO₂ 排放特征的认识，能为碳减排政策的制定、减排效果评估以及服务低碳经济发展提供关键的科学依据。通过在西安市不同区域进行大气 CO₂ 长期连续观测并首次结合 $\Delta^{14}\text{C}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 两种碳同位素示踪方法揭示城市化化石源 CO₂ 的区域和季节的源汇变化特征及规律。研究发现，西安市冬季化石源 CO₂ 的排放对新增大气 CO₂（总浓度扣除背景浓度）的平均贡献在城区和郊区分别为 $61.8 \pm 10.6\%$ 和 $57.4 \pm 9.7\%$ ，其中燃煤是主要的排放源；而在夏季由于受到土壤呼吸、植物光合作用等源汇因素的影响，使得化石源 CO₂ 的平均贡献高于冬季，且表现出和冬季相反的区域变化规律，即郊区（ $90.0 \pm 24.8\%$ ）大于城区（ $82.5 \pm 23.8\%$ ）。这一结果表明减少燃煤消耗仍是目前降低城市碳排放的重要途径，同时生物排放也是不可忽略的因素，因为生物质燃烧以及有机质分解等过程使其在冬季对大气 CO₂ 的贡献可达 40%，而在夏季由于植物光合作用强度增加导致生物活动可以在城市碳循环中扮演碳汇作用，因此在今后的碳减排政策的制定中也应充分考虑生物排放对城市大气 CO₂ 的贡献。

山西省五台山站大气 CO₂ 浓度及变化特征

王淑敏、朱凌云、汪文雅、高兴艾、张逢生、闫世明

山西省气象科学研究所, 太原, 030002

基于山西省温室气体观测站网五台山站大气 CO₂ 在线观测数据 (Picarro-G2301), 对该站 2017 年 3 月-2018 年 2 月的大气 CO₂ 进行了初步研究。使用 R 筛分法对该站研究时段的 CO₂ 有效小时数据进行筛分, 获得 81.63% 的本底浓度值。利用筛分后的数据分析了该站本底大气 CO₂ 浓度变化特征; 利用观测数据分析了 CO₂ 区域源汇和短期输送等多种因素的影响。

CO₂ 本底浓度变化基本特征如下: (1) CO₂ 浓度年变化较为明显, 整体呈“V”形变化, 高值出现在冬季和春季, 低值出现在夏季。研究期间年均浓度为 $(411.90 \pm 8.98) \times 10^{-6}$ (物质的量之比, 下同), 筛分后的本底年均浓度为 $(410.31 \pm 6.57) \times 10^{-6}$ 。(2) 研究期间 4 季 CO₂ 本底季均值分别为: 412.93×10^{-6} 、 401.48×10^{-6} 、 409.13×10^{-6} 和 415.26×10^{-6} 。(3) 就月均本底值而言, 研究期间 CO₂ 变化趋势符合陆地生态系统光合/呼吸作用基本规律, 即从 3 月开始随着日照时数增加, 气温升高, 植物光合作用不断增强, 使得 CO₂ 浓度不断降低, 在 8 月达到全年最低值为 398.29×10^{-6} , 而后随着气候变化, CO₂ 浓度又不断上升, 在次年 2 月达到峰值为 416.26×10^{-6} 。(4) 研究期间 CO₂ 浓度分布在 410×10^{-6} - 415×10^{-6} 区间的频率占比最大为 41.64%; 在 420×10^{-6} - 425×10^{-6} 的 CO₂ 高浓度区间频率占比最小为 2.31%; 在 390×10^{-6} - 405×10^{-6} 的 CO₂ 低浓度区间频率总占比为 21.03%。(5) 观测期间各季节 CO₂ 浓度日变化较为平缓。但整体而言, 除夏季外, 其余 3 季日变化最高值出现在夜间 23:00 至次日 02:00 期间, 最低值出现在白天 08:00 至 13:00 期间; 4 季日变化幅度分别为: 1.40×10^{-6} 、 2.39×10^{-6} 、 2.03×10^{-6} 和 1.72×10^{-6} 。

为探究不同季节气团传输对 CO₂ 观测结果的影响, 采用 HYSPLIT 后向轨迹模式, 结合 NCEP /NCAR 气象资料, 进行 72 h 后向轨迹聚类, 计算各簇内轨迹对应 CO₂ 小时浓度平均, 得出如下结论: (1) 春季轨迹占比 27.8% 的远距离气团 (俄罗斯-蒙古-内蒙) 浓度载荷比该季平均值 (414.47×10^{-6}) 略低为 412.29×10^{-6} , 轨迹占比 22.9% 的近距离气团 (宁夏北-内蒙-陕西北) 浓度载荷比该季平均值略高为 415.43×10^{-6} ; 夏季轨迹占比 17.7% 的远距离气团 (俄罗斯-蒙古-内蒙) 浓度载荷比该季平均值 (402.37×10^{-6}) 略低为 399.23×10^{-6} , 轨迹占比 59.5% 的近

距离气团（山西境内西南风向）浓度载荷与该季平均值接近为 402.96×10^{-6} ；秋季来自西北风向远距离气团其浓度载荷比该季平均值（ 412.06×10^{-6} ）略低或接近，轨迹占比 23.3%的近距离气团（山西境内西南风向）浓度载荷与该季平均值接近为 412.59×10^{-6} ；冬季 4 簇均为西北风向气团，其中轨迹占比 39.9%的较近距离气团浓度载荷与该季平均值（ 417.39×10^{-6} ）略高为 420.43×10^{-6} 。（2）总之，该站来自于北风-西北风-西风（俄罗斯、哈萨克斯坦和蒙古国）的远距离气团，其浓度载荷通常比该站季均值低，但其并不能很好地降低该站 CO_2 浓度。相反地，来自省内或周边省份的近距离气团（周边省份），对该站 CO_2 浓度影响较大，使其对应时段季均值升高或降低。

江西景德镇站大气 CO₂ 及 CO 浓度变化特征研究

夏玲君

江西省生态气象中心

基于江西省景德镇站 2017 年 12 月~2018 年 11 月大气 CO₂ 和 CO 在线连续小时观测数据,利用地面风以及统计学方法筛分获得具有区域代表性的本底数据和受局地或区域污染的污染数据。2017 年 12 月~2018 年 11 月景德镇站大气 CO₂ 和 CO 本底浓度分别为 416.2 ppm 及 313.8 ppb,其污染平均浓度分别为 433.8 ppm 及 633.8 ppb。大气 CO₂ 月均本底浓度最低值 (408.8 ppm) 出现在 8 月,最高值 (424.5 ppm) 出现在 1 月。大气 CO 月均本底最低及最高浓度分别出现在 7 月 (198.3 ppb) 和 1 月 (432.6 ppb)。结合后向轨迹聚类模型评估分析大气输送对 CO₂ 本底和污染浓度的影响,结果表明:春季,58.2%的本底气团轨迹穿越江西境内到达景德镇站携带清洁大气对 CO₂ 本底浓度作出贡献,而更高的大气 CO₂ 和 CO 污染浓度则主要对应途径江苏境内、起源于福建的污染气团轨迹以及景德镇周边地区短距离输送污染气团;夏季,影响大气 CO₂ 本底浓度的气团轨迹主要途径长三角地区 (48.5%),江西境内 (34.3%),安徽地区 (17.2%);约有 40.7%和 48.8% 污染气团轨迹分别途径长三角地区及江西地区携带局地或区域污染源排放信息影响大气 CO₂ 污染浓度变化;秋季,起源于黄海和太平洋的气团轨迹携带清洁大气对应更低的大气 CO₂ 和 CO 本底浓度,而起源于中部地区途径湖南、安徽等地的轨迹则携带污染气团导致更高的大气 CO₂ 和 CO 污染浓度;冬季,携带大气 CO₂ 本底信息的气团轨迹 (占比约 47%) 主要途径中部地区到达景德镇站,而起源于西北方向的污染气团轨迹 (占比 50%以上) 经过长距离输送影响景德镇站大气 CO₂ 浓度变化。此外,通过扣减本底平滑拟合曲线计算了大气 CO₂ 和 CO 污染抬升浓度 (ΔCO_2 和 ΔCO),相较于其他季节,冬季 ΔCO_2 和 ΔCO 表现出较强的相关性 ($R=0.862$),其 $\Delta\text{CO}/\Delta\text{CO}_2$ 排放比为 (11.93 ± 0.26) ppb/ppm。

西安市区大气化石燃料 CO₂ 的空间分布研究

熊晓虎

中国科学院地球环境研究所

CO₂是最主要的长寿命温室气体之一，1990年到2015年间长寿命温室气体导致的辐射强迫增加了37%，而其中CO₂的贡献高达80%。目前大气中CO₂的浓度相对于工业革命前大幅增长了约40%，已超过407ppm，主要是人类使用大量化石燃料所致。大气中CO₂到底有多少是来自于化石燃料的燃烧？这是碳循环研究和碳减排措施实施过程中一个不可回避的问题。由于化石燃料CO₂ (CO₂ff) 几乎不含¹⁴C，与其他来源的CO₂差异明显，使得¹⁴C成为了一种理想的CO₂ff“示踪剂”。而植物中的¹⁴C含量（常用 $\Delta^{14}\text{C}$ 表示）可以反映其生长期白天大气¹⁴C的平均状况，常用于区域大气CO₂ff的空间分布特征研究。由于全球超过70%的CO₂ff排放集中在城市区域，因而城市是CO₂ff排放研究的热点。本文利用2013年和2014年西安市区不同区域26个采样点的狗尾草 (*Setaria viridis* (L.) Beauv.) 样品研究了西安市区大气CO₂ff的空间分布特征，并探讨了其影响因素。结果表明：(1) 2013年和2014年西安市区4-9月CO₂ff平均浓度分别为20.5±2.4 ppm、23.5±5.6 ppm；(2) 城内、环城路-二环及二环-绕城高速三个区域内CO₂ff平均水平没有明显差异；(3) 城区东北郊CO₂ff浓度相对较低；(4) 2013年和2014年西安城区大气CO₂ff的空间分布特征差别明显。通过对比2013年和2014年CO₂ff空间分布及气象数据、并结合市区人口密度分布，发现市区主要排放点源-热电厂对CO₂ff浓度空间分布的影响较机动车尾气和居民生活排放小。另一方面，由于区域机动车尾气排放强度易受到区域内主干道交通通畅情况的影响，因此相对于居民生活排放，其空间和时间变异性较大。风向的变化由于会影响大气扩散和传输，会对CO₂ff浓度产生一定影响，特别是市郊区域。风向对CO₂ff浓度的影响与上风区的CO₂ff排放强度有关。本研究结果可以为当地政府部门碳减排政策的制定及调整提供参考。

结合 WRF 和 AERMOD 模型对武汉强点来源估算二氧化碳排放通量的可行性研究

徐浩

武汉大学

自工业革命以来,二氧化碳排放量的增加已成为影响全球气候变化的最重要因素,但是目前尚缺乏有效的工具和手段用于精确量化二氧化碳排放量。对强点源碳排放的低成本评估将可为城市二氧化碳排放的监测提供有效手段。本文提出了一种基于高斯羽流扩散模型(AERMOD模型)的方法来量化中国武汉最大的钢铁厂的CO₂排放。AERMOD模型利用气象和地形数据,计算出CO₂浓度在空间分布规律。AERMOD所需的行星边界层和气象参数是使用由国家大气研究中心(NCAR)开发的天气研究和预报(WRF)模型获得的,在该方法中同时引入最优估计方法来改进模型预测。结合位于武钢厂附近三个敏感站点的观测数据来改进预测结果,并通过连续迭代计算优化扩散模型的参数。该方法适用于平坦的地形和稳定的大气条件。利用现场观测气象资料验证了WRF模拟的气象数据,包括对扩散模型影响精度影响最大的温度和风速风向等气象参数,WRF模型模拟值与气象站点观测值之间的误差在10%以内,WRF模型的结果可提供比大气扩散模型精度需求更高的气象参数。根据武汉钢铁厂过去三年每年的钢铁产量计算,预计2019年的平均钢产量为1100万吨,结合国家统计年鉴和世界钢铁协会和中国钢铁协会给出的排放因子,武汉钢铁厂作为全国最大最先进的钢铁生产基地,均吨钢CO₂排放量为2.0t,因此估算二氧化碳排放量约为2200万吨。利用AERMOD扩散模型计算该钢厂的平均排放强度为608.3Kg/s,其排放通量为1918.4万吨。结合位于钢铁厂附近观测到的CO₂浓度值和模拟的CO₂浓度对比表明,该大气模型通常低估了钢铁厂周围的二氧化碳浓度,因此低估了二氧化碳排放量。实验结果表明,大气扩散模拟的准确率约为87.2%。结合WRF模型的大气扩散模型的研究表明,这是估算CO₂排放和CO₂通量的一种低成本高效的潜在工具。同时,最优估计方法增强了大气扩散模型数据的可靠性。

长白山区哈泥泥炭地氧化亚氮排放研究

伊博力

东北师范大学

氧化亚氮 (N_2O) 是一种重要的温室气体, 它的增温潜势是二氧化碳 (CO_2) 的 300 多倍, 在大气中的寿命长达 150 年, 对全球变暖有着深远的影响。本研究以长白山区哈泥泥炭地为研究区, 通过施氮、磷肥的方式模拟大气氮沉降, 于 2018 年 5 月~9 月, 利用静态箱-气相色谱法研究了氧化亚氮气体通量相关特征。结果表明, 氧化亚氮排放通量与施氮水平显著相关, 且施氮水平越高, 气体排放通量越高。气体排放强度具有季节性变化规律, 夏季排放强度较高, 5 月及 9 月排放强度较低。值得注意的是, 在生长季内, 夏季由于多雨, 氧化亚氮排放呈现出吸收和延迟排放现象, 此时湿地整体上表现为氧化亚氮的汇, 而其他时间则表现为源。长白山区哈泥泥炭地特有的环境条件和温室气体排放规律为今后的相关研究提供了科学的基础和依据。

龙凤山区域大气本底站

于大江

龙凤山区域大气本底站

龙凤山区域大气本底站 2005 年成为中华人民共和国科学技术部第一批野外台站，命名为黑龙江龙凤山大气成分本底国家野外科学观测研究站（以下简称龙凤山站）。是中国政府与联合国世界气象组织、全球环境基金以及其他有关机构合作，开展对中尺度大气本底污染浓度进行监测的国际合作项目，并纳入全球大气监测网（WMO/GAW）的业务观测体系，也是中国气象局在全国最早建设的三个区域本底站之一，连续观测近 30 年，观测数据及研究成果对地球大气成分变化起着监测和早期预警的作用。

主要从事大气成分本底、生态环境气象、农业生态环境、林业生态环境、湿地生态环境、水资源生态环境观测以及分析方法研究。进行数据汇集、处理、加工、质量控制和分析。逐步建立、健全相应的观测指标体系、标准体系和科技支撑体系，建立与国际接轨、适用于国家需求的大气成分本底观测数据共享平台。不断提高我国大气成分本底观测网的运行能力，提高观测质量和国际可比性，逐步构建开放、共享和示范研究的野外观测平台。

龙凤山站代表东北森林与松嫩平原生态综合观测区，该站大气状况主要受东北平原地区的输送气流影响，观测数据能够代表东北平原大气成分本底及其变化，在中国气象局大气本底观测网占据重要位置，也是全球大气监测网（WMO/GAW）固定站点（Fixed Station），是东北亚区域为数不多的关键代表站点之一。龙凤山站的建立也是中国作为全球大国履行国际义务的重要体现。

目前，龙凤山站已经开展了 7 大类、近 100 种要素的观测，龙凤山 2004 年陆续开展温室气体瓶采样观测，2009 年开始陆续开展 CO₂、CH₄、SF₆、N₂O 的在线观测。同时开展卤代温室气体的瓶采样观测。全站形成瓶采样和在线采样同时运行的格局，温室气体观测种类比较齐全，基本覆盖了京都议定书要求的种类。目前已经接近或达到国际先进水平，将为我省和我国研究温室气体以及气候变化提供重要的基础数据。

中国近海温室气体 CO₂ 和 CH₄ 海气交换通量监测：东黄海实践与初步结果

翟惟东

山东大学

海洋每年从大气吸收的 CO₂ 相当于 20 多亿吨碳，相当于目前每年人为排放 CO₂ 量的 25%；而海洋相对于大气 CH₄ 则总体上是一个弱的源，每年向大气排放的 CH₄ 相当于 0.15 亿吨碳，占 CH₄ 全部自然源的 6%~10%。迄今海洋的温室气体收支研究仍存在诸多不确定性，包括海洋上层 CH₄ 的分布和来源，及影响温室气体源汇效应的生物地球化学过程和机制。此外，海洋吸收 CO₂ 的同时又释放 CH₄，综合起来对大气辐射强迫的净效应如何，也是亟待研究的重大科学问题。

目前我们对全球海洋海-气 CH₄ 通量的区域分布尚不清楚，迄今尚不能给出一幅像 CO₂ 和 N₂O 那样哪怕很粗略的分布图。究其原因，过去我们获取海水 CH₄ 分布的可靠技术手段仅限于气相色谱法，该方法费时费力，难以实现高时空分辨率的走航在线观测。目前，基于光腔衰荡技术的 CH₄/CO₂ 高精度高频同步观测使得这一状况得以改观，海-气 CH₄ 通量评估可望因观测技术的进步和数据时空覆盖度的增加而取得突破性进展。

2011 年以来，我们利用走航泵水-光腔衰荡高精度高频同步观测 CH₄ 和 CO₂ 的技术在东黄海开展了系列观测，初步结果表明，南黄海和东海的主体海域对大气 CO₂ 表现为年度汇区，对大气 CH₄ 则源汇作用不明显，而黄海和东海的西侧近岸浅水海域则表现为大气 CO₂ 和 CH₄ 的净源。与溶解氧的耦合分析显示近岸海域的 CO₂ 和 CH₄ 的来源过程不同。

本研究为我国近海温室气体通量准确计量问题准备了技术手段和实践经验。

山西省温室气体观测

张逢生, 朱凌云*, 闫世明, 高兴艾, 王淑敏

山西省气象科学研究所, 太原 030002

山西省建有太原、大同、临汾、晋城、朔州和五台山 6 个温室气体观测站, 均使用美国 Picarro 公司研发的基于波长扫描光腔衰荡技术 (WS-CRDS) 的 G2301 型高精度 CO₂ 分析仪, 标气为中国气象局大气成分观测与服务标制的混合标气, 定值结果可溯源至世界气象组织中心标校实验室维持的国际一级标气, 目前已有最长 6 年的观测资料。

将 2013 至 2018 年山西省 6 个温室气体观测站 CO₂ 月平均浓度数据对比分析可看出, 各站 CO₂ 月均浓度都表现为冬半年高、夏半年低的变化特点, 年变化幅度晋城站较大, 五台山站较小。

山西 6 个站点近三年 CO₂ 年平均浓度变化情况各不相同: 太原站 2017 年 CO₂ 平均浓度最高, 2016 年最低; 大同站 2018 年 CO₂ 平均浓度较 2017 年增长 2.3 ppm; 临汾站近三年 CO₂ 平均浓度变化不大; 晋城站 2018 年 CO₂ 平均浓度最高, 2017 年最低; 朔州站近三年 CO₂ 平均浓度逐年增长。五台山站 2018 年平均浓度较 2017 年增长 3.4 ppm。

为进一步详细了解单个站点 CO₂ 变化特征, 将近三年太原站 CO₂ 逐日变化特征分春、夏、秋、冬四季及年讨论。太原站四季及年 CO₂ 逐日变化为“单峰单谷”型, 傍晚, 由于大气垂直输送过程的减弱及植物呼吸作用的影响, 大气 CO₂ 浓度逐渐累积升高, 在 07:00 前后出现峰值, 此后, 日出导致光合作用逐渐增强以及大气垂直运动增强, CO₂ 浓度逐渐降低, 在 16:00 前后达到最低值。

为了探究不同季节气团传输对 CO₂ 观测结果的影响, 对太原站四季气团后向轨迹进行研究。结果显示: 春季气团近距离输送影响占比较大, 1、4、5 类型轨迹占比 67.21%, 其中来自西南方向的气流对应的 CO₂ 浓度最高, 为 443.84 ppb, 第二类轨迹对应的 CO₂ 小时浓度最低为 431.14 ppb, 占比 9.87%。夏季来自南边的气团影响占比较大, 1、3 类轨迹占比 55.71%。来自东北方向的气团对应的 CO₂ 小时浓度最低, 为 423.36 ppb, 4 类轨迹对应得 CO₂ 小时浓度最高, 为 437.79 ppb, 该类轨迹主要表现在本地源的传输。秋季来自西北的气团影响占比较大, 3、4、

5类轨迹占比54.73%。5类轨迹对应的CO₂小时浓度最低，为440.16 ppb，2类轨迹对应的CO₂小时浓度最高，为467.69 ppb。冬季来自西北的气团影响占比较大，1、2、3类轨迹占比65.12%。1、6类轨迹对应的CO₂小时浓度均较高，分别为475.95 ppb和475.07 ppb，主要因为冬季站点局地陆地植被生态系统排放减少，气团传输对CO₂浓度影响较大。4类轨迹对应的CO₂小时浓度最低，为427.94 ppb。

冬季三亚鹿回头珊瑚礁区海水 $p\text{CO}_2$ 和海气通量十年变化

张军晓^{1,2,3,4}, 黄晖^{2,4}, 陈际雨¹, 张伟杰¹

1. 国家海洋局南海调查技术中心, 广州, 510300
2. 中国科学院南海海洋研究所, 中国科学院热带海洋生物资源与生态重点实验室, 广州 510301
3. 中国科学院大学, 北京 100049
4. 中国科学院海南热带海洋生物实验站, 海南三亚 572000

珊瑚礁生态系统受气候变化影响最严重的生态系统之一, 全球珊瑚礁严重退化。三亚鹿回头珊瑚礁受气候变化和人类活动共同影响也退化严重, 生物群落结构发生变化。2019年1月中旬, 在三亚鹿回头礁坪观测显示, 冬季鹿回头珊瑚礁坪区马尾藻占绝对优势, 海水 $p\text{CO}_2$ 变化范围非常大 ($490 \pm 336 \mu\text{atm}$)。对比十年间数据发现, 显著高于张成龙在2009年12月和严宏强在2011年2月的观测结果 (分别是 $420 \pm 62 \mu\text{atm}$ 和 $428 \pm 48 \mu\text{atm}$), 但与王桂芝在2012年2月的观测结果类似 ($589 \pm 299 \mu\text{atm}$), 变化范围更大。初步推测是持续的陆源营养盐输入, 2012年开始马尾藻大量繁殖, 生物群落发生改变引起。冬季鹿回头珊瑚礁坪区整体表现为大气 CO_2 的源, 十年间海气差异有增强趋势。