



## 中国温室气体排放研究 ——中国科学院战略性先导科技专项 “应对气候变化的碳收支认证及相关问题”之 排放清单任务群研究进展\*

文/ 魏伟<sup>1</sup> 任小波<sup>2</sup> 蔡祖聪<sup>3</sup> 侯泉林<sup>4</sup> 刘毅<sup>5</sup> 李青青<sup>1</sup>

1 中国科学院上海高等研究院 上海 201210

2 中国科学院重大科技任务局 北京 100864

3 南京师范大学 南京 210023

4 中国科学院大学 北京 100049

5 中国科学院大气物理研究所 北京 100029



中国科学院

**【摘要】** 温室气体排放清单一直是气候模型构建、各国减排政策制定及国际谈判与博弈的重要基础。2011年中科院启动战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”，其中设置了“排放清单任务群”4个项目，以建立我国温室气体参数及排放数据库。文章介绍了“排放任务群”中“能源消费与水泥生产过程排放”、“土地利用与畜牧业的甲烷和氧化亚氮排放”、“自然过程碳排放”和“卫星反演的‘净排放’”4个项目的研究进展，结果发现，中国2013年二氧化碳实际排放总量比前期估计值低近15%，该成果近期发表于*Nature*。本文同时针对温室气体排放的需求，提出了今后的发展方向。

**【关键词】** 碳收支，能源消费，土地利用，自然过程，气候变化，碳卫星

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2015.06.018

### 1 研究背景

近年来，全球人为温室气体排放量已达前所未有的最高水平，这“极有可能”是导致不断加剧的气候变化事件的主要原因<sup>[1]</sup>。因此，温室气体排放清单一直是气候模型构建、各国减排政策制定及国际谈判与博弈的

重要基础<sup>[2]</sup>。

1997年在日本京都召开的联合国气候变化框架公约第三次缔约方大会上所通过的《京都议定书》，要求对6种温室气体进行减排，包括：二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟碳

\* 基金项目：中科院战略性先导科技专项(XDA05010000、XDA05020000、XDA05030000、XDA05040000)

修改稿收到日期：2015年11月11日

化物(PFCs)和六氟化硫(SF<sub>6</sub>),其中对全球升温贡献百分比比较大的温室气体主要为前三种。

20世纪70年代以来,西方国家率先开展对大气中CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O等温室气体排放浓度和各国碳排放清单的研究工作<sup>[3-5]</sup>。截至目前,世界范围内对各国碳排放量进行深度研究的机构有近10家。其中,美国橡树岭国家实验室CO<sub>2</sub>信息分析中心(Carbon Dioxide Information Analysis Centre, CDIAC)、欧盟联合研究中心(European Commission's Joint Research Centre, JRC)和荷兰环境评估机构(Netherlands Environmental Assessment Agency, PBL)全球大气研究排放数据库(Emissions Database for Global Atmospheric Research, EDGAR)、国际能源署(International Energy Agency, IEA)、美国能源信息管理局(U.S. Energy Information Administration, EIA)、世界银行、联合国气候变化框架公约(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)数据库和世界资源研究所(World Resources Institute, WRI)等的研究较为权威<sup>[6]</sup>,它们每年发布的全球各个国家的排放数据已经成为全球气候变化谈判与博弈的重要参考。同时,在碳监测卫星方面,日本于2009年、美国于2014年先后发射了全球碳监测卫星<sup>[7]</sup>,大大增加了西方发达国家在国际谈判中的话语权。中国在相关领域的研究起步较晚,无论是学术上还是数据的系统性上与发达国家相比均存在较大的差距,我国在“十二五”期间由科技部部署了中国全球二氧化碳监测科学实验卫星(碳卫星, TanSat)的研制,并初步定于2016年上半年发射升空<sup>[8]</sup>。

近年来,中国的碳排放量因为体量大、增长快受到了全世界的广泛关注,这使中国承受着越来越多的国际压力。目前为止,中国政府以政府间气候变化专业委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)曾发布的1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories和2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories为基础,向联合国提交了1994年份和2005年

份的温室气体清单<sup>[9]</sup>。但自2005年以来,中国的产业不断调整、技术不断更迭,这给温室气体清单的研究带来了更多的不确定性。显然,在对全球变暖、应对气候变化的空前关注和国际谈判的持续推进下,近10年中国碳排放清单的空白,无法使我国决策者及时了解我国碳排放最新状况,从而失去我国在国际气候谈判中的话语权。我国政府近年来高度重视碳排放的统计工作,在《国家中长期科学和技术发展规划纲要》《国民经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要》《中国“十二五”应对气候变化科技发展专项规划》以及《国家应对气候变化规划(2014—2020年)》等中均明确提出,要加强我国气候变化的统计工作,并尽快构建一套科学、完整、统一的应对气候变化的统计指标体系,建立和完善温室气体排放统计制度,客观反映我国应对气候变化的基本情况。建立和完善温室气体排放统计制度既是我国有效履行国际义务的迫切需要,也是我国在应对气候变化国际谈判上赢得主动的重要保障。

2011年中科院启动了战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”(简称“碳专项”),专项设置了5个任务群<sup>[10]</sup>,第一个任务群即为“排放清单任务群”,其中包含了项目1“能源消费与水泥生产过程排放”、项目2“土地利用与畜牧业的甲烷和氧化亚氮排放”、项目3“自然过程碳排放”和项目4“卫星反演的‘净排放’”4个项目,期望科学系统地研究我国在能源消费、土地利用、自然过程等领域的CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O主要3种温室气体的排放,并建立我国的温室气体基础参数及排放数据库。

## 2 排放清单任务群的目标和研究内容

### 2.1 排放清单任务群的目标

基于我国能源、自然过程和土地利用及畜牧业等特点,测算我国特有的排放因子参数,构建我国碳排放核算方法和卫星监测系统,形成国际认可的天地一体化的碳排放核算与监测体系及能力,为我国温室气体排放的科学、系统的统计核算

工作提供科学保障,为不断探索中国可持续发展之路提供战略引导,也为健全中国的碳排放交易试点及建立全国碳排放交易市场提供重要的科学基础。

## 2.2 排放清单任务群的研究内容

(1)项目1“能源消费与水泥生产过程排放”。以中国权威统计数据为基础,通过调研和数据采集,测算出我国能源种类的损失量,进而获得各能源种类的消费量数据;同时,通过大量的数据分析和统计回归,获得我国单位燃料的碳含量以及能源种类发热量;依据我国不同能源一次利用的主要行业,对不同技术、不同规模、不同区域的企业进行抽样数据采集和分析,获得不同行业的碳氧化因子,并得到我国不同行业的能源消费种类、消费量和CO<sub>2</sub>实际排放量;对不同利用行业集成得到我国不同能源种类的消费量和氧化因子,并进一步得到我国不同能源种类的CO<sub>2</sub>排放总量;构建形成我国能源利用和水泥生产的总数据库,并形成可视化的系统。

(2)项目2“土地利用与畜牧业的甲烷和氧化亚氮排放”。制订箱法测定土地利用CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放通量的技术规范和数据质量控制规范,依托生态站,定时采样测定森林(长白山、神农架、西双版纳)、草地(呼伦贝尔、海北、纳木错)、湿地(山东黄河口、江苏滨海、太湖、三峡消落带)和垃圾填埋场(北京阿苏卫、南京轿子山、厦门东部、东孚)的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放通量;结合文献资料,研发我国土地利用CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放的过程和经验模型,为国家编制土地利用的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放清单提供估算模型;根据项目建立的土地利用CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放模型和排放量清单编制指南,设定减排情景,评估各种减排措施的减排潜力;选择奶牛、肉牛、水牛、山羊和绵羊为研究对象,测定反刍动物瘤胃

肠道CH<sub>4</sub>排放量及畜禽排泄物工厂化堆肥过程中CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放量;研究影响反刍动物瘤胃肠道CH<sub>4</sub>排放量和堆肥过程中CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放量的主要因素;结合文献资料,提出我国反刍动物瘤胃肠道CH<sub>4</sub>排放和畜禽排泄物堆肥过程中的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放因子,为国家编制相应的CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放清单提供参数,提出减少畜禽CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放的对策措施。

(3)项目3“自然过程碳排放”。通过对煤炭开发、煤田自燃和石油天然气开发过程所产生的CH<sub>4</sub>和CO<sub>2</sub>等温室气体,以及海洋(近海与海岸带)碳排放和干旱区无机碳汇的全面调研和系统研究,确定科学合理的、能准确反映煤、油气开发和煤田自燃等过程中碳排放量的计算方法,获取我国近海固碳速率,揭示海岸带生态系统碳排放过程,阐明中国广义干旱/盐碱地区无机碳汇强度,最终获得我国自然过程较为准确的碳排放数据,为我国大气碳收支综合评价和外交谈判提供基础数据和科学依据。

(4)项目4“卫星反演的‘净排放’”。针对卫星定量监测全球温室气体排放的需求,完成碳监测卫星短波红外超高光谱载荷的方案设计、掌握载荷研制的关键技术和地基验证仪器的关键技术;建立温室气体卫星遥感正演模拟系统和反演系统,完成卫星资料的地基验证系统和数据同化和资料处理系统。构成天地一体化的大气碳浓度的定量遥感监测系统,基于国内和国际卫星观测数据,结合地基验证资料,运用综合的反演和资料同化方法实现区域尺度卫星遥感大气低层CO<sub>2</sub>平均(500 km×500 km)浓度的精度优于4 ppm。在此基础上,发展综合卫星遥感-大气反演-陆气同化计算碳源汇的理论与方法,阐明我国不同区域主要温室气体排放源分布及强度的时空变异特征。



中国科学院

### 3 排放清单任务群主要研究进展

#### 3.1 项目1“能源消费与水泥生产过程排放”主要研究进展

(1)通过对我国煤炭在运输和洗选过程中的物理损失详细调研,对我国煤炭消费量进行了修正。调研了包含公路、铁路、海运和内河等主要干线,行程2 000多公里,1 500多海里,进行了60多次的现场调研和测算,得到我国煤炭运输过程中的损失量占我国煤炭产量的0.5%—0.6%;同时,调研了全国煤炭洗煤厂138家,采集煤样120组,共279个样品,完成了相关的分析测试,得到了我国煤炭在洗选过程中的损失量占我国煤炭产量的1.8%左右。

(2)系统核算了中国各化石燃料的碳含量。发现中国煤的碳含量比IPCC推荐值低约40%,油品和燃气类的碳含量与IPCC推荐值相近:共采用了4 243个煤矿调查数据以及获取了600余组煤炭样品(样品代表的煤炭产量占我国2011年煤炭产量的96.7%),进行了元素分析、工业分析、发热量

等的测试,获得了中国煤的含碳量远低于发达国家水平及世界平均水平,本研究实测中国煤平均含碳量约为54%,低位发热量为20.6 PJ/Mt(IPCC推荐值为28.2 PJ/Mt);已采集包括进口原油在内的100余组油样品,覆盖了原油产量和进口的95%左右,分析测试发现,我国油品的碳含量与IPCC推荐值相近;针对我国天然气、液化天然气、煤层气和焦炉气,已取得不同地点样品120余组,分析测试发现,总体而言,我国能源气体的碳含量与IPCC推荐值相近。

(3)系统形成了能源利用各行业的碳氧化因子,较IPCC的默认值1存在较大差距。针对我国能源消费的主要行业,包括火电、钢铁、建材(玻璃、砖瓦、石灰、陶瓷)、有色(镁、铝、铅、锌、铜)、传统煤化工、新型煤化工、民用煤、水泥生产、石油炼制、石油终端利用、石油化学品、天然气利用、煤层气利用、焦炉气利用以及液化天然气利用等行业调研和检测企业2 000余家,形成了大量的数据,得到了若干行业的碳氧化因子(表1)。可以看出,

表1 调研测试得到的中国各行业的碳氧化因子或排放系数

调研的主要行业	化石能源的碳氧化因子
火电	氧化因子0.94—0.98之间
钢铁	氧化因子0.94左右
有色	氧化因子0.9左右
建材	氧化因子0.7—0.95
传统煤化工	氧化因子0.1—0.7
新型煤化工	氧化因子0.57—0.88
民用煤	氧化因子0.77—0.95
石油炼制	排放系数0.13—0.3
终端利用	氧化因子0.99
石油化学品	氧化因子0.001—0.1
天然气	氧化因子0.98—1.0
煤层气	氧化因子0.75—0.99
LNG	氧化因子0.98—1.0
焦炉气	氧化因子0.1—0.99
水泥	排放因子低10%—15%

中国化石能源的碳氧化因子与 IPCC 推荐值 1 存在较大的差距。

(4)建立了完备的中国能源利用和水泥生产的可视化数据库系统。针对调研数据和实测数据,集合了原始调研企业、获得的样品、分析科目、分析方法、分析人员、分析数据等多方面,形成了较为完备的数据库,并进行了不同层面的数据处理,构建了可视化数据库系统,为未来数据的可追溯和透明度提供了科学基础。

(5)利用已经取得的关键数据参数,2015年8月20日项目研究团队联合哈佛大学、清华大学等24所国内外科研机构组成的科研团队在 Nature 上发表了题为“中国化石燃料与水泥生产碳排放核算修正”(Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China)的研究论文<sup>[1]</sup>。首次核算了基于实测排放因子的中国碳排放总量,结果表明,中国2013年碳排放总量比先前估计低约15%(图1),重新核算后的中国碳排放在2000—2013年间比国外机构估计少106亿吨CO<sub>2</sub>,是《京都议定书》框架下具有强制减排义务的西方发达国家自1994年以来实际

减排量的近百倍。此修正量大于中国同期陆地总的碳汇吸收总量(95亿吨CO<sub>2</sub>)。

### 3.2 项目2“土地利用与畜牧业的甲烷和氧化亚氮排放”主要研究进展

(1)积累了大量的第一手资料。在3个森林站、3个草地站、6个湿地站、1个农田站和4座垃圾填埋场积累了2—3年的原位连续测定数据,其中10个站点和4座垃圾填埋场的连续测定时间3年;完成了牛、羊等反刍动物瘤胃肠道CH<sub>4</sub>排放及北京、南京和广州畜禽排泄物堆肥化过程中CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放量的测定,建成了相应的数据库,为探讨陆地生态系统CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放空间和时间变化规律,为以实际测定数据为依据,编制我国畜牧业和垃圾填埋场CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放清单奠定了数据基础。

(2)建立了我国农田、森林、草地和湿地CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放模型,并用建立的模型估算了我国农田、森林、草地和湿地CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放量(表2)。

(3)发现了一系列强烈影响我国陆地生态系统CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放的因素。研究表明,草地鼠害不仅降低草地生产力,而且促进土壤有机碳的矿化和N<sub>2</sub>O排放,使草地由温室气体源转变为温室气体汇。温度低并未减少青藏高原草地的CH<sub>4</sub>吸收能力。三峡水库消落带CH<sub>4</sub>排放量均低于同海拔稻田的CH<sub>4</sub>排放量,并未成为温室气体重要排放源。湖泊富营养化而出现的藻华,沉积于湖泊底泥中,为CH<sub>4</sub>的生成提供大量的基质,因而CH<sub>4</sub>排放量显著增加。高标准的垃圾填埋场,由于膜覆盖而极大地减少了堆体的CH<sub>4</sub>排放量,但大量增加了渗滤液中CH<sub>4</sub>浓度,成为垃圾填埋场最主要的CH<sub>4</sub>排放途径。垃圾填埋场渗滤液处理过程中还产

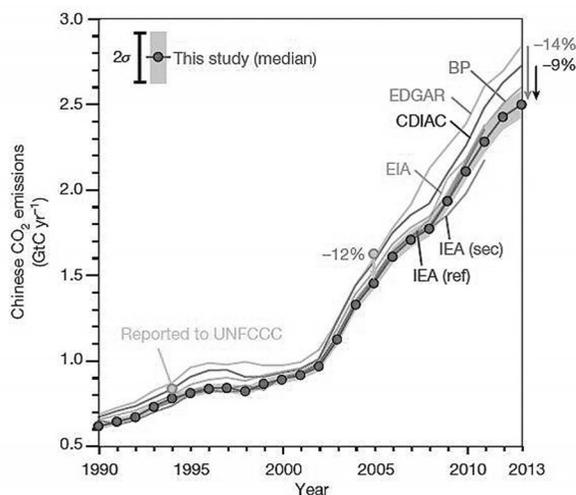


图1 不同研究机构之间公布的中国CO<sub>2</sub>排放量的比较



中国科学院

表2 我国农田、森林、草地和湿地CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O排放量模型估算值

土地类型	CH <sub>4</sub> 排放量(Tg/年)	N <sub>2</sub> O排放量(Tg/年)
农田	6.38	0.78
森林	2.15	--
草地	-0.50	0.51
湿地	-0.85(-0.73)*	(0.075)*

\* 括号中为根据实测数据外推的估算值,负号表示吸收

生大量的N<sub>2</sub>O,是不可忽视的N<sub>2</sub>O排放源。

### 3.3 项目3“自然过程碳排放”主要研究进展

(1)根据我国煤层赋存地质条件和煤炭开发实际情况,对我国煤炭开发碳排放进行了分区计算,创新性地构建了基于煤层瓦斯含量的碳排放计算模型和方法。新方法在充分考虑我国煤和瓦斯含量的不均一性以及瓦斯梯度的特点,同时考虑煤层气地面开发与井下瓦斯抽采情况,对具体的数据参数进行了界定,并制定了详细的数据采取规范和标准。该方法较IPCC推荐的三层次估算方法具有更高的实用性和进一步动态预测功能。

算法:煤炭开发CH<sub>4</sub>排放 = 井工开采CH<sub>4</sub>排放 + 露天开采CH<sub>4</sub>排放;

井工开采CH<sub>4</sub>排放=[采动影响系数×(煤层瓦斯含量 - 煤层残存瓦斯含量) - 井巷残存瓦斯量] × 年产煤量 - 煤层气利用量;

露天开采CH<sub>4</sub>排放=(煤层瓦斯含量-煤层残存瓦斯含量)×年产煤量;

(2)建立了煤田自燃碳排放量计算模型,包括烧失煤量估算法、燃烧面积估算法、煤炭产量估算法。

$$\text{烧失煤量估算法: } C = \sum a_i \times K_i \times M_i$$

式中:  $a_i$ -排放因子,  $K$ -燃烧系数,  $M$ -烧失煤量

$$\text{排放通量估算法: } C = \sum a_i \times F_i \times S_i$$

式中:  $a$ -排放因子,  $F$ -排放系数,  $S$ -火区面积

(3)首次对我国油气开发过程中温室气体排放状况进行了实地检测和计算,建立了适合我国油气开发特点的碳排放计算方法,计算结果比IPCC方法低一个数量级(图2)。

(4)系统获得了中国近海典型海域生物固碳

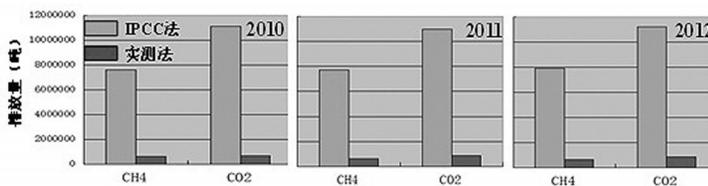


图2 获得的不同年份IPCC排放量与实测排放量的比较

速率和海气界面CO<sub>2</sub>通量以及滨海湿地-大气界面主要温室气体CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>通量及其时空变化特征。发现近年来近海固碳速率呈现升高的趋势,黄东海在全年尺度上整体表现为大气CO<sub>2</sub>的汇,潮滩湿地全年整体表现为CO<sub>2</sub>的源和CH<sub>4</sub>较弱的吸收汇。浮游植物光合特性和营养盐水平,表层海水温度、浮游植物活动和水团的交换混合分别是控制浮游植物固碳速率和海气界面CO<sub>2</sub>源汇变化的关键因素,人为的氮磷输入对不同植被类型湿地CO<sub>2</sub>的累计排放量影响显著。

(5)提出干旱区的确存在一个未被认识的无机碳汇,存在于荒漠区地下咸水层。也就是说,向下的CO<sub>2</sub>通量不在植物中,也不在土壤中,而在其之下的荒漠地下咸水层。干旱区盐碱土改良、盐渍化控制过程本身就是碳汇形成过程。汇集在浩瀚沙漠下形成地下咸水层,储存于其中的CO<sub>2</sub>则形成碳汇,其自身同时也是一个巨大的碳库。初

步估计,这个碳库总量(全球)高达1 000亿吨,是陆地上植物、土壤之外的第3个活动碳库。结果表明,在干旱盐碱土区的确存在一个未被认识的无机碳汇,其结果对重新评估全球碳汇的格局提供了依据。

### 3.4 项目4“卫星反演的‘净排放’”主要研究进展

(1)在星载高光谱探测方面。重点突破精细光谱获取光学技术和自主研发的短波红外面阵探测器技术,研制短波红外高光谱探测原理样机;突破短波红外高灵敏度探测器技术,提高器件响应量子效率及均匀性,完成短波红外焦平面探测器样片的综合测试,经测试探测器暗电流密度由100 nA/cm<sup>2</sup>提高到10 nA/cm<sup>2</sup>的世界先进水平;在地基验证仪器研制方面,研发高灵敏温室气体监测技术设备、开放光路区域温室气体探测和机载CO<sub>2</sub>垂直廓线探测技术与设备,建立地面探测CO<sub>2</sub>的激光技术与监测验证系统,并开展区域碳通量应用示范。

(2)CO<sub>2</sub>卫星遥感反演方算方面取得突破性进展。研发具有自主知识产权的短波红外大气CO<sub>2</sub>浓度反演方法,建立反演系统软件;使用日本GOSAT卫星观测数据进行反演试验并利用地基TOCCN验证资料进行验证,反演精度达到国际先进水平(偏差:1.9 ppm;0.5%);针对中国二氧化碳科学试验卫星(TanSat)的高分辨率光谱仪的关键指标进行了深入论证,提出了光谱分辨率、光谱范围和采样率的最优方案并且应用到光谱仪研制中,为提高观测精度奠定理论基础。

(3)建立了高塔站(北京325米气象塔)、3个地面站(山东禹城、甘肃敦煌、海南琼海)和一个流动观测站组成的碳卫星地面验证观测系统。开展了连续3年的观测试验,获得了包括地面CO<sub>2</sub>浓度、平均风、温、

湿、三维脉动风速/温度、云参数、气溶胶光学参数等观测数据和高塔垂直观测数据,优化了数据反演算法、数据质量控制和检验方法,为将来验证碳卫星奠定数据基础。

(4)在CO<sub>2</sub>浓度和碳源汇同化方面。建立并优化了多源CO<sub>2</sub>数据融合方法,生产了全球连续周步长相关数据集;建立了全球CO<sub>2</sub>同化系统,并对中国区域碳源汇结果做了初步分析;发展了集合卡尔曼滤波(EnKF)的高分辨率区域尺度的CO<sub>2</sub>同化系统。

## 4 研究展望

通过5年近500位科学家的努力,在中科院战略性先导专项“应对气候变化碳收支认证及相关问题”的支持下,已经形成了我国能源、自然过程和土地利用及畜牧业等领域的温室气体排放的基础参数和适合我国国情特点的核算方法,截至目前已经发表科学论文400余篇,为我国科学系统地构建温室气体排放清单提供了坚实的科学基础,并得到了国内外同行的广泛认可。同时,针对我国即将发射的碳卫星,提供了反演算法和同化系统,初步形成了国际认可的天地一体化的碳排放核算和监测体系及能力。

我国目前正处于能源结构和产业转型升级的快速转变时期,上述研究获得的关键基础参数会随着我国产业结构的调整和升级不断的变化,为了准确获得未来我国温室气体的排放数据,建议在目前形成的参数数据库基础上,不断实时检测、监测和更新,将我国温室气体排放清单工作常态化。

在2015年10月份的《中美气候变化联合声明》中,我国政府已经宣布了我国将在2017年全面实施碳交易制度,希望在“碳专项”形成数据库的基础上,尽快形成各种行业和技术类型的碳排放核算标准,为我国碳交易制度的实施提供科学的方法。同时,依据不同区域、不同行业、不同技术的碳排放



中国科学院

状况,尽快分析形成我国产业结构转型和升级的减排潜力和减排成本,为我国节能减排政策的实施提供可靠的科学依据。

此外,碳专项排放清单任务群只关注了二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)和氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)3种温室气体的排放,对于氢氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)及六氟化硫(SF<sub>6</sub>)并未涉及,实际上我国后3种温室气体的排放在全球中占有一定的份额,建议今后要加强这方面的研究。

随着国外嗅碳卫星技术的不断发展,未来嗅碳卫星监测温室气体的排放精度将大幅度提高,近两年来,国际科学界开始尝试将排放源的检测、地面观测站的观测、航飞的监测和碳卫星的监测形成不同尺度和不同层面的天地一体化的温室气体核算网络,特别是2014年,美国国家标准计量局(National Institute of Standards and Technology, NIST)和美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)已经部署了“Megacities Carbon Emissions”(大城市群碳排放)的研发计划,应引起我国的高度重视。

#### 参考文献

1 IPCC. Climate change 2014 synthesis report summary for policy makers. [2015-11-07]. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)

2 马翠梅,徐华清,苏明山. 温室气体清单编制方法研究进展. 地

理科学进展,2013,32(03):400-407.

3 Rotty R M. Commentary on and extension of calculative procedure for CO<sub>2</sub> production. *Tellus*, 1973, 25: 508-517.

4 Marland G, Rotty R M. Carbon dioxide emissions from fossil fuels: A procedure for estimation and results for 1950-1982. *Tellus*, 1984, 36: 232-261.

5 曲建升,曾静静,张志强,等. 国际主要温室气体排放数据集比较分析研究. *地球科学进展*, 2008,23(1):48-49.

6 Zhu S L. Comparison and analysis of CO<sub>2</sub> emissions data for China. *Advances in Climate Change Research*, 2014, 5(1):17-27.

7 新华网. 美国发射“嗅碳”卫星用于监测地球大气二氧化碳水平. [2015-11-07]. [http://news.xinhuanet.com/world/2014-07/02/c\\_1111428717.htm](http://news.xinhuanet.com/world/2014-07/02/c_1111428717.htm)

8 新华网. 中国2016年将发射两颗具备温室气体探测能力卫星. [2015-11-07]. [http://news.xinhuanet.com/tech/2014-09/24/c\\_1112610491.htm](http://news.xinhuanet.com/tech/2014-09/24/c_1112610491.htm)

9 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 国家信息通报. [2015-11-07]. <http://nc.ccchina.gov.cn/web/index.asp>

10 吕达仁,丁仲礼. 应对气候变化的碳收支认证及相关问题. *中国科学院院刊*, 2012,27(3):395-401.

11 Liu Z, Guan D B, Wei W, et al. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China. *Nature*, 2015, 524(7565):335-338.

## Research on China's Greenhouse Gas Emission

### —Progress on emission inventory from the CAS Strategic Priority Research Program

Wei Wei<sup>1</sup> Ren Xiaobo<sup>2</sup> Cai Zucong<sup>3</sup> Hou Quanlin<sup>4</sup> Liu Yi<sup>5</sup> Li Qingqing<sup>1</sup>

(1 Shanghai Advanced Institute, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201210, China;

2 Bureau of Major R&D Programs, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China;

3 Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

5 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract** Emission inventory of greenhouse gases represents an important basis for the defining of climate model, making reduction policy, and international negotiation. In 2011, the Chinese Academy of Sciences launched the “Climate Change: Car-

bon Budget and Relevant Issues” project (Strategic Priority Research Program), where 4 working packages on emission inventory were designed to establish the emission inventory of China and related parameters. Herein, the main research progresses from these working packages, including “Emissions from energy consumption and cement production”, “Methane and Nitrous oxide emissions from animal husbandry and land use”, “Carbon emissions in natural processes”, and “Net emissions’ by satellite inversion”, are detailed. The results which were published recently in the journal Nature indicated that China’s actual CO<sub>2</sub> emission in 2013 is near 15% lower than previously estimated. Future prospective is presented as well according to the necessity of greenhouse gases emissions.

**Keywords** carbon budget, energy consumption, space-ground utilization, natural processes, carbon satellite

**魏伟** 中科院上海高等院温室气体与环境工程中心主任, 院长助理, 研究员, 博士生导师, 1971年8月出生。主要研究领域包括二氧化碳排放核算和战略, 二氧化碳捕获、利用和封存, 绿色化工以及环境催化。目前承担国家科技支撑计划项目“CO<sub>2</sub>化工利用关键技术研发与示范”、中科院战略性先导科技专项A“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”、中科院战略性先导科技专项B“无水压裂页岩气关键技术研究”以及国家“973”项目和国际合作项目等多项科研课题。近5年来, 作为课题负责人, 完成了国家科技支撑计划重大项目、中科院知识创新工程重要方向项目以及多项国际合作和院地合作项目。在国内外重要学术期刊上发表论文300余篇, 已获国家发明专利70余项, 国际发明专利3项。

E-mail: weiwei@sari.ac.cn

**Wei Wei**, born in 1971, professor and director of Center for Greenhouse Gas and Environmental Engineering at Shanghai Advanced Research Institute, Chinese Academy of Sciences. His main research focus includes CO<sub>2</sub> accounting, capture, utilization and storage, green chemistry, and environmental catalysis. He is now the principal investigator of “Key Technologies and Industrial Demonstration of Chemical Utilization of Carbon Dioxide” (Key Projects in the National Science & Technology), “Climate Change: Carbon Budget and Relevant Issues” (Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences-A), “Non-hydraulic Fracturing for Shale Gas Recovery” (Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences-B), and other projects including National “973” Projects and international collaborative programs. In the past 5 years, he served as the principal investigator and completed several projects funded by the National Ministry of Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, and industry partners. More than 300 papers have been published in international peer-reviewed journals, and over 70 Chinese and 3 international patents have been licensed. E-mail: weiwei@sari.ac.cn



中国科学院