

# 温室气体浓度和排放监测 及相关过程

王庚辰 温玉璞 主编



中国环境科学出版社

# 温室气体浓度和排放监测 及相关过程

王庚辰 温玉璞 主编

8504/06

中国环境科学出版社

·北 京·

---

**图书在版编目 (CIP) 数据**

温室气体浓度和排放监测及相关过程/王庚辰等主编.  
北京: 中国环境科学出版社, 1996. 4

ISBN 7-80093-939-1

I. 温… II. 王… III. 空气污染监测 IV. X831  
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 03869 号

**温室气体浓度和排放监测及相关过程**

王庚辰 温玉璞 主编

责任编辑 丁枚

\*

中国环境科学出版社出版发行

(100062 北京崇文区北岗子街 8 号)

煤炭工业出版社印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

1996 年 5 月第 一 版 开本 787×1092 1/16

1996 年 5 月第一次印刷 印张 27 1/4

印数 1—1500 字数 660 千字

ISBN 7-80093-939-1/X · 1037

定价: 45.00 元

---

## 前 言

当前,十几年来至上百年尺度的全球变化是摆在各国政府部门和有关科学家们面前的一个非常紧迫的科学问题。这一时间尺度范围内,自然变化对人类的生活乃至生存有着重要影响,同时,人类的社会和生产活动对全球变化过程也有明显的影响。在这一时段内,对全球变化有支配作用的过程主要有两个,即物理气候系统,它包括大气物理学、天气动力学、海洋动力学及地球表面能量平衡等各个子系统,以及生物地球化学循环,后者包括海洋生物地球化学、地球生态系统以及对流层化学等各个子系统,国际科学界对这一重大科学问题的认识已有了共识。因此,早在 80 年代中期国际科联就批准了国际地圈-生物圈计划 (IGBP) 的执行。该计划的目的在于“描述和认识对整个地球系统起调节作用的相互作用着的物理、化学和生物过程,地球为生命提供的独特环境,发生在该系统中的变化以及人类活动对这些变化的影响。”

物理气候系统与生物地球化学循环间的相互作用以及人类活动对全球变化的物理、化学和生物环境的影响等是当前旨在研究全球气候和环境变化的众多科学计划中的核心内容,大气中的微量气体是碳、氮、氧、硫等元素生物地球化学循环的重要组成部分,大气中的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{O}_3$  以及气溶胶在日地辐射传输中起着重要的作用,是与物理气候联结的纽带。人们已经认识到,人类本身的社会和生产活动使得向大气中排放的温室气体的增加已成为导致全球气候和环境变化的主要原因之一。因此,监测大气中主要温室气体浓度的变化,研究其源、汇和输送规律,制定主要温室气体排放的限控政策等已是当今全球气候变化研究中科学家们所关注的焦点问题之一。

观测事实表明,大气中主要温室气体 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ , CFCs 等) 的浓度都在不断的增加。专家们认为如果这些气体保持目前的增长速度,到 2030 年左右,全球地表平均温度将上升  $1^\circ\text{C}$  左右。

全球气候变暖会给人类生存环境带来严重的后果,为适应这一变化人类将付出巨大代价,为此,联合国已组织开展了一系列的国际活动,其中包括在全世界范围内设立了不同类型的监测站网,以对大气中主要温室气体的浓度及其变化进行系统的长期监测,对主要温室气体的排放及相关过程进行研究。制定了有关协议书和国际公约,这样,减缓主要温室气体的排放,以防止人类生存环境的进一步恶化。并为此,联合国专门成立了政府间气候变化专业委员会 (IPCC),在科学预测、影响评价和对策措施三个方面开展了广泛的研究工作。

我国正处于经济高速发展时期,随着工农业生产和国民经济的发展,对能源的需求和使用将进一步增加。毫无疑问,作为一个占世界人口  $1/4$  的大国,中国在温室气体排放方面将占有重要的地位,因此,我们有必要对中国境内主要温室气体浓度的现状、变化趋势以及对国民经济发展的影响和应采取的战略对策进行研究,为寻求解决全球环境问题的有效途径做出积极贡献。

我国政府已签署了《气候变化框架公约》;我国专家已直接参与了 IPCC 的工作,在

中国大陆地区建立温室气体规范化的监测和影响评价系统，客观估计中国大陆地区主要温室气体浓度和排放现状及其变化趋势不仅对中国的社会和经济的发展具有重要战略意义，而且是当前客观评价全球温室气体的迫切需求，这一举措无疑对全球气候环境变化研究做出更大贡献。

自 80 年代起，我国有关科技人员就对大气中有关温室气体的源、汇以及在大气中的循环、输送过程等问题开始了部分研究工作，并对某些温室气体在大气中的浓度进行了监测。90 年代以来，为适应国内外对全球气候变化和环境变化研究的需求，我国在大气温室气体研究方面，进一步加强了对主要温室气体大气本底浓度和排放通量的监测和有关对策研究。

我国政府和科学界已认识到温室气体在气候和环境变化过程中的重要地位。为强化这一研究工作，“八五”期间组织了“全球气候变化预测、影响和对策研究”攻关项目。这一项目的主要内容包括：

1. 温室气体浓度和排放监测及有关过程研究；
2. 气候变化预测研究；
3. 气候变化对社会经济、自然环境的影响和适应对策研究；
4. 减缓温室气体排放的对策研究；
5. 温室气体排放控制技术研究。

温室气体浓度和排放监测及有关过程研究是这一研究项目的第一课题，其主要任务是基本准确地测定我国代表地区大气中重要温室气体 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , CFCs 和  $\text{O}_3$ ) 的浓度及其变化，确定我国  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  的排放源、排放系数和全国年排放总量。定量研究森林植被、海洋作为  $\text{CO}_2$  汇的功能与作用。根据这一任务要求，课题下设五个专题，分别是：

1. 主要温室气体 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , CFCs 和  $\text{O}_3$ ) 的大气背景浓度监测；
2. 非工业源（森林、海洋）二氧化碳排放通量的测定和预测；
3. 非工业源甲烷排放通量测定，总量估算及预测；
4. 氧化亚氮主要排放通量测定，总量估算及预测；
5. 甲烷光化学过程汇及气溶胶对温室效应影响的研究。

通过上述专题的实施，在我国大陆地区建设了主要温室气体大气背景浓度及排放的监测网点，初步获得了这些气体大气背景浓度值的资料，获得了  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  等气体非工业源排放的资料，同时对影响这些气体大气浓度和非工业源排放等的某些物理、化学和生物过程有了新的认识，进而使我国温室气体的研究工作前进了一大步，为评价我国境内主要温室气体的大气浓度及排放现状等提供了科学依据。

为较系统地反映近些年来我国科学工作者在温室气体研究方面所取得的进展，同时也为这一工作的继续开展提供借鉴，我们编辑了这本书，编入本书的论文大部分是本攻关课题实施过程中所完成的内容，考虑到内容的完整性，对部分已发表的论文也编入本书。

本书共分八部分，第一部分是研究进展综述，概括介绍了近年来我国在温室气体研究的几个主要方面所取得的一些重要研究成果；第二部分主要介绍了我国主要温室气体大气浓度值监测网点的建设情况和我国代表性区域主要温室气体大气背景浓度值监测的

初步结果；第三部分的内容反映了我国陆地生态系统（主要是森林） $\text{CO}_2$  收支的某些研究结果和新发展的我国典型森林生态系统的碳循环模式；第四部分介绍了海洋  $\text{CO}_2$  观测资料库，介绍几个海—气交换的模式并给出了海—气间  $\text{CO}_2$  交换的区域分布图；第五部分详细介绍了我国不同类型稻田甲烷排放的监测技术和监测结果并结合对反刍动物、农村堆肥、城市垃圾等甲烷排放的调查，给出了我国非工业源甲烷排放总量的估算和趋势预测；第六部分根据我国已公布的有关资料和部分现场监测资料估算了我国主要工业源  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量及趋势预测；第七部分详细介绍了我国不同土壤—气候带主要自然生态系统排放  $\text{N}_2\text{O}$  的监测技术和监测结果；第八部分评价了大气对流层中  $\text{CH}_4$  大气光化学反应汇的变化过程及可能导致的对甲烷排放量的削减作用，给出了平流层气溶胶的物理、化学特性的现场测量结果。

参加本书编辑的主要人员有：王庚辰、温玉璞、方精云、杨景飞、王明星、陈冠雄、赵瑞兰、陈宗良、吕位秀、魏民等。全书由王庚辰、魏民两位同志负责组织编审。

本书编辑过程中得到了全体撰稿人员的大力支持，编者仅表示衷心感谢，并借此机会对本攻关课题的组织和主管部门的有关领导白先宏、吕学都、陈泮勤、徐飞亚等先生以及对在本课题组织、实施过程中付出辛勤劳动的所有人员表示衷心感谢。

限于编者水平，错、漏之处难免，敬祈读者赐教。

编 者

# 目 录

## 第一部分 研究进展综述

我国温室气体研究的主要进展 ..... 王庚辰 (1)

## 第二部分 主要温室气体 ( $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ , $\text{N}_2\text{O}$ , CFCs, $\text{O}_3$ ) 的大气背景浓度监测

引言 ..... 王庚辰 魏民 (15)

我国温室气体大气背景浓度监测站的建设 ..... 王庚辰 温玉璞等 (16)

标准气体的准确度和一致性 ..... 王林珍 (24)

温室气体监测用标准气体的制备——称量法 ..... 章恭菲 韩桥 (32)

我国主要温室气体大气背景浓度的初步监测结果 ..... 熊效振 王庚辰等 (39)

OBSERVATION AND INVESTIGATION OF VARIABILITIES OF BASELINE

$\text{CO}_2$  CONCENTRATION OVER WALIGUAN MOUNTAIN IN QINGHAI

PROVINCE OF CHINA ... Wen Yupu (温玉璞), Shao Zhiqing (邵志清) 等 (45)

我国部分清洁地区大气中  $\text{N}_2\text{O}$  的浓度 ..... 王木林 程红兵等 (53)

瓦里关地区地面臭氧的测量及初步分析 ..... 张晓春 温玉璞等 (61)

华北兴隆地区地面  $\text{O}_3$  浓度及其变化特征 ..... 孔琴心 刘广仁等 (66)

大气中氯氟烃及其替代物分析方法研究 ..... 王跃思 王明星 (72)

## 第三部分 陆地生态系统碳循环研究

引言 ..... 方精云 魏民 (81)

森林群落呼吸量的研究方法 & 北京山地三种温带林呼吸量的比较 ..... 方精云 (83)

北京小龙门油松人工林群落呼吸量的研究 ..... 方精云 刘国华等 (93)

热带山地雨林生态系统的碳库和  $\text{CO}_2$  排放量 ..... 李意德 吴仲民等 (100)

中国陆地生态系统的碳库 ..... 方精云 刘国华等 (109)

中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义 ..... 方精云 刘国华等 (129)

北京地区辽东栎呼吸量的测定 ..... 方精云 王效科等 (140)

## 第四部分 海洋对大气中二氧化碳含量的调制作用

引言 ..... 杨景飞 魏民 (149)

海洋吸收  $\text{CO}_2$  模式估算和季节变化 ..... 杨景飞 陈满春等 (150)

全球碳循环露头扩散模式的研究 ..... 陈满春 杨景飞等 (158)

二维全球大洋的  $\text{CO}_2$  吸收模式 ..... 叶津津 杨景飞等 (167)

一个改进的全球碳循环模式及未来大气  $\text{CO}_2$  浓度预测 ..... 杨景飞 叶津津等 (176)

世界大洋海气  $\text{CO}_2$  含量差异正负区域分布的研究 ..... 叶津津 杨景飞等 (187)

热带西太平洋西北部海水中  $\text{CO}_2$  的分布变化及对 ENSO 的响应 ..... 马黎明 乔然等 (191)

## 第五部分 非工业源甲烷排放通量的测定、总量估算及趋势预测

引言 ..... 王明星 魏民 (201)

中国  $\text{CH}_4$  排放量的估算 ..... 王明星 戴爱国等 (203)

稻田  $\text{CH}_4$  的传输 ..... 上官行健 王明星等 (215)

|                                         |                 |
|-----------------------------------------|-----------------|
| 稻田 $\text{CH}_4$ 的排放规律 .....            | 上官行健 王明星等 (223) |
| 稻田土壤中的 $\text{CH}_4$ 产生 .....           | 上官行健 王明星等 (238) |
| 稻田 $\text{CH}_4$ 排放和土壤、大气条件的关系 .....    | 陈德章 王明星 (250)   |
| 温度对稻田 $\text{CH}_4$ 排放日变化及季节变化的影响 ..... | 上官行健 王明星等 (259) |
| 广州地区稻田甲烷排放及中国稻田甲烷排放的空间变化 .....          | 沈壬兴 上官行健等 (270) |
| 我国华中地区稻田甲烷排放特征 .....                    | 上官行健 王明星等 (275) |
| 我国西南地区的稻田 $\text{CH}_4$ 排放 .....        | 陈德章 王明星等 (282)  |
| 中国反刍动物甲烷排放量的初步估算及减缓技术 .....             | 董红敏 林而达等 (289)  |

## 第六部分 氧化亚氮主要工业源排放通量的测定、总量估算及预测

|                                                 |                |
|-------------------------------------------------|----------------|
| 引言 .....                                        | 魏民 赵瑞兰 (294)   |
| 中国氧化亚氮主要排放源排放总量估算及趋势预测 .....                    | 于克伟 黄斌等 (295)  |
| 中国地区氧化亚氮排放量及其变化的估算 .....                        | 王少彬 苏维瀚 (303)  |
| 中国燃煤 $\text{N}_2\text{O}$ 的排放 .....             | 赵瑞兰 赵海涛等 (310) |
| 固定燃烧源排放 $\text{N}_2\text{O}$ 的采样、分析方法及其监测 ..... | 赵瑞兰 赵海涛等 (315) |
| 生物质燃烧释放 $\text{N}_2\text{O}$ 的测定及其分布 .....      | 曹美秋 庄亚辉 (320)  |

## 第七部分 不同自然生态系统释放氧化亚氮的研究

|                                                                      |                |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引言 .....                                                             | 王少彬 陈冠雄 (326)  |
| 中国大气中氧化亚氮浓度及土壤排放通量的测定 .....                                          | 王少彬 宋文质等 (327) |
| 农田土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 生成与排放研究 .....                              | 曾江海 王智平 (333)  |
| 冬小麦田氧化亚氮的排放 .....                                                    | 王少彬 曾江海等 (339) |
| 稻田 $\text{N}_2\text{O}$ 和 $\text{CH}_4$ 通量测定及总量估算 .....              | 陈冠雄 黄斌等 (343)  |
| 东北旱田生态系统 $\text{N}_2\text{O}$ 排放通量测定及总量估算 .....                      | 黄国宏 陈冠雄等 (351) |
| 长白山主要森林生态系统土壤—大气间 $\text{N}_2\text{O}$ 和 $\text{CH}_4$ 气体交换的研究 ..... | 徐慧 黄斌等 (358)   |
| 羊草草原和大针茅草原 $\text{N}_2\text{O}$ 和 $\text{CH}_4$ 排放通量的初步研究 .....      | 杜睿 陈冠雄等 (374)  |
| 植物释放 $\text{N}_2\text{O}$ 速率及施肥的影响 .....                             | 李楠 陈冠雄 (379)   |

## 第八部分 大气中甲烷的光化学汇和大气气溶胶对温室效应的调制

|                                                         |                |
|---------------------------------------------------------|----------------|
| 引言 .....                                                | 陈宗良 吕位秀 (385)  |
| 平流层气溶胶探测系统 .....                                        | 张文 王秀玲等 (386)  |
| Pinatubo 火山爆发对平流层气溶胶的影响 .....                           | 雷文方 任丽新等 (391) |
| 平流层气溶胶研究进展 .....                                        | 任丽新 雷文方等 (398) |
| 甲烷在大气中的清除过程的模式计算 .....                                  | 刘瑜 姚亨等 (406)   |
| 甲烷清除反应活性中间体的 UPS 谱及其活性的测定 .....                         | 江澎 黄星原等 (416)  |
| 利用长光程 FTIR 光化学烟雾箱测定 OH 自由基和 $\text{CH}_4$ 的反应速度常数 ..... | 姚亨 陈宗良 (422)   |

# 第一部分 研究进展综述

## 我国温室气体研究的主要进展

王庚辰

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100029)

### 1 引言

自工业革命以来,由于人类本身的生产和社会活动(主要是化石燃料的大量消费,森林的大面积砍伐,化学肥料和含氯氟烃类气体的大量使用等)使得向大气中排放的温室气体正在急剧增加,进而成为导致全球气候变暖的重要原因。

这一观点基本上已被世界舆论所公认,因此,众多国家的政府部门、科学团体都先后制定了相应的国内和国际合作计划,专门研究主要温室气体的浓度排放量及变化趋势,研究温室气体增加对全球和区域性气候的影响,研究由此引起的气候变化对社会经济发展的可能影响以及相应的对策等。许多国际性的大研究计划(如 IGBP 等)也将温室气体监测和排放列为重要研究内容,此外,一些国家和国际机构正在致力于将全球气候变暖这一共识深入到普及教育中去。

由于温室气体的全球性及其所涉及到的全世界范围内的社会 and 经济发展问题,因此在有关全球环境和社会发展的国际活动和国际谈判中,均涉及到对大气中温室气体的研究以及对全球温室气体的减排措施,一些发达国家甚至把中国的温室气体排放也列入了自己的研究计划。

为了维护我国的经济利益和取得国际发言权,有必要通过自己的工作对我国温室气体的现状和变化趋势作出相应的回答。因此研究温室气体的排放及其在大气中的时空变化具有战略性的现实意义。

我国幅员辽阔,人口众多,工农业生产发展迅速,因此,客观而正确地估计我国境内温室气体浓度排放总量及其变化趋势对我国社会经济建设的战略决策有重要意义,而且这也是世界科学界和有关决策部门所关心的科学问题。

作为一个国土和人口大国,我国有关政府和科学部门已经清醒地认识到,我国已是温室气体排放的大国,同时又是因温室气体增加引起气候变化而导致灾难的重要受害国。因此,最近几年来,温室气体研究工作在国内受到了重视。我国学者一方面积极参与有关温室气体、气候变暖的国际活动,另一方面努力创造条件在国内开展了有关温室气体的预研究工作。我国已建立一些温室气体的观测站,已进行了有关气体的排放测量等初步工作,某些研究成果已为我国有关政策的确定提供了依据。

国内对温室气体的研究工作起步较晚,已经开展的有关工作也比较零散。因此,根据当前国内外需求,国家科委在“八五”国家科技攻关计划中列了“全球气候变化预测、影响和对策研究”项目,“温室气体浓度和排放监测及有关过程研究”是这一项目中的第一课题。这一课题的主要目的在于在我国代表性的地区监测大气中主要温室气体( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ 和CFCs)的浓度及其变化,通过测量和模式计算给出我国境内 $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ 等主要温室气体非工业源的年排放总量及其变化趋势,对影响大气中温室气体浓度变化的某些过程进行研究,为我国有关部门采取相应的决策和对策提供科学依据。

攻关课题的实施使我国温室气体的研究工作前进了一大步。本文概述了近几年来我国温室气体研究工作取得的主要进展。

## 2 主要温室气体大气背景浓度的监测、分析

为了判断和评价人类活动对全球气候和环境的影响,世界气象组织(WMO)、世界卫生组织(WHO)和联合国环境计划署等国际性组织和机构于70年代初发起和组织了“大气本底污染监测网”(Background Air Pollution Monitoring Network,简称BAPMoN),对大气本底及污染状况进行长期的全球性监测<sup>[1-5]</sup>。目前世界各地属于BAPMoN的台站有200多个,涉及到60多个国家和地区。按照区域代表性的不同,整个网络台站可分为三大类,即基准站、区域站和扩大区域站,三类站的功能、监测项目和监测要求略有不同。其中基准站约20余个,主要由美国、前苏联、日本、加拿大、澳大利亚等国操作。 $\text{N}_2\text{O}$ —6个站, CFC—5个站,  $\text{O}_3$ —22个站(地面)。

我国自1980年开始分别在河北省香河和云南省昆明开始了对大气中臭氧总量的系统观测,观测结果已编入世界气象组织的臭氧资料中心出版的资料集中<sup>[6]</sup>。1985年,我国与美国合作在我国甘肃民勤干净地点开始了大气采样和分析工作,以获得干净地区大气中 $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , F-11和F-12等温室气体浓度的资料<sup>[7]</sup>。1990年在WMO支持下在我国青海省瓦里关山筹建了全球基准大气本底观测站,并于1991年5月开始对大气中的 $\text{CO}_2$ 等温室气体进行采样分析<sup>[8]</sup>。在1991~1992年间,根据国家科技攻关项目的实施计划,完善了瓦里关山的大气采样、分析工作,并在我国大陆的代表性地区先后建立了长白山、兴隆、鼎湖山等温室气体区域背景浓度监测点。于此同时,较系统地开展了与温室气体大气背景浓度监测相关的设备研制和研究工作,这些工作主要包括:

(1) 为各采样、观测点统一配置了规范的大气采样装置和观测仪器设备(包括采样气瓶,采样泵,大气臭氧分析仪等)。

(2) 组织编写了大气主要温室气体本底浓度观测和分析规范,供各采样、观测点使用。

(3) 完成了高准确度标准气体( $\text{CO}_2$ -Air,  $\text{CH}_4$ -Air)的研制和1%准确度标准气体 $\text{N}_2\text{O}$ -Air的实验研究。

(4) 完成了大气采样四升不锈钢气瓶的研制及其技术性能的国内、国际间的考核对比工作。

(5) 完成了 $\text{CO}_2$ -Air,  $\text{CH}_4$ -Air,  $\text{N}_2\text{O}$ -Air等标准气体的国内外对比工作。

(6) 建立主要温室气体的室内分析系统及有关分析方法,并开展了对所采大气样品

的日常分析工作。

(7) 对主要温室气体的观测分析资料进行了初步整理、分析。

在建立、健全我国主要温室气体大气背景浓度监测系统和保证这一工作的规范化实施方面,近些年来所取得的主要进展表现在下述五个方面:

## 2.1 温室气体监测点的选择及其代表性评价

对主要温室气体大气背景浓度进行监测中,选择采样、观测点是一项最基本的工作,关系到所获资料的代表性问题,为此,我们对候选站的有关资料进行了详细研究,并在全中国23个已建站中进行了筛选,最后按照国际有关选址标准选出了9个候选站(其中一个大陆本底站和8个区域站)。在此基础上,专门召开了专家会议进行了选址论证,初步确定了在我国已建成的青海瓦里关山站进行温室气体大陆本底浓度采样分析、观测,在长白山、兴隆、鼎湖山、贡嘎山、临安等站进行温室气体区域背景浓度的采样、分析、观测,在此基础上,为确信拟开展的有关监测工作能够长期运行下去,又对有关站进行了实地考察。同时考虑到采样、观测设备的具体配置情况,最后确定了代表大陆本底和区域背景值的采样、观测点,并对每一个采样观测点的代表性进行了评价。

目前正在运行的温室气体大气浓度监测点的位置和所代表的区域如下:

| 监测点位置 | 海拔高度 (m) | 所代表区域 | 目前监测内容                                                               |
|-------|----------|-------|----------------------------------------------------------------------|
| 瓦里关山  | 3816     | 大陆本底  | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, O <sub>3</sub> |
| 长白山   | 2691     | 东北区域  | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, O <sub>3</sub> |
| 兴隆    | 940      | 华北区域  | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, O <sub>3</sub> |
| 鼎湖山   | 1000     | 华南区域  | CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, O <sub>3</sub> |

## 2.2 统一采样和观测设备

统一大气采样装置和观测设备是保证监测质量的关键技术措施之一。为此,我们专门设计研制了四升不锈钢瓶并对其技术性能进行了严格的国内外考核比对。对所研制采样气瓶的气密性和稳定性所进行的考核结果表明,气瓶的气密性在三个月内平均不超过万分之五,而其稳定性在同期内对于CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O则分别为0.08%, 0.03%和0.07%,这表明在三个月的储气时间内,完全能满足CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O等气体的采样分析要求。

同时,根据国外一些大气本底监测站多年的工作经验,从德国购进了无油无污染直流电源压缩机供野外大气采样使用。为监测大气中臭氧含量及其变化,从美国热电子公司购进了目前全球大气监测站通用的紫外臭氧分析仪。这些技术措施为保证所获资料进行国际比对提供了最基本的条件。

## 2.3 统一操作规范

制定了大气采样、分析和观测规范,以便使各观测点的采样、分析、观测等工作按统一的操作规程进行。规范共分十章,即:总则,观测组织工作,二氧化碳和近地面臭氧的连续观测,温室气体样品的采集,温室气体浓度的实验室分析,气体样品的运输与保存,环境要素的观测,观测和分析数据的整理与上报,观测和分析质量控制,以及人员培训与考核等。

目前,“主要温室气体大气背景浓度观测和分析方法规范”(第二稿)一书已提交各观测点使用。

## 2.4 研制了高准确度的标准气体

统一标准气体是保证监测和分析质量的最关键的环节。为此,中科院和国家标准物质研究中心合作,通过专门立项研制,获得了高精确度的  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  标准气体,获得了  $\text{N}_2\text{O}$  标准气体,这些标气分别与澳大利亚 CSIRO 大气本底监测站提供的标气以及 WMO 提供的标气进行了比对,并已提供分析使用。

## 2.5 获得了我国主要温室气体大陆本底值和区域背景值的初步资料

我国在温室气体大气背景浓度的监测和研究方面的工作很少而且十分零散。1985年中科院大气所与美国俄勒冈研究生院合作在我国西北甘肃民勤沙漠地区对大气中  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  等气体进行了三年的连续采样监测。1992年 NOAA/CMDL 与国家气象局合作开始在我国西北瓦里关山采样监测  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  等主要温室气体大气本底浓度。根据在民勤和瓦里关山已获得的资料推算出我国大陆地区  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  的大气本底浓度的年均增长率分别为 0.3% 和 0.5%,  $\text{CH}_4$  的年均增长率明显低于相应的全球平均值。“八五”期间,又分别在华南鼎湖山,华北兴隆和东北长白山设立了大气采样点,开始了对主要温室气体  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{O}_3$  的大气背景浓度进行规范化监测。初步监测结果表明,华南地区  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  浓度值分别比西北地区高出 6.5% 和 5.8%, 华北地区  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  浓度值分别比西北地区高出 0.9% 和 2.1%, 显示出人类活动对温室气体大气背景浓度的显著影响。初步监测结果还表明,  $\text{N}_2\text{O}$  浓度的季节变化和空间变化均较小,目前我国大陆地区  $\text{N}_2\text{O}$  的大气背景浓度值在 312~322ppb 范围内<sup>[9~10]</sup>。

## 2.6 大气中 $\text{CO}_2$ 浓度的变化及预测

在对现有全球碳循环模式进行调查、比对之后,为估计实际大气中  $\text{CO}_2$  浓度的变化,改进了一个现有的一维全球碳循环模式(详见下文),并用这一模式在选定的工业源和非工业源  $\text{CO}_2$  释放速率情况下,对近百年来大气中  $\text{CO}_2$  浓度的变化进行了模拟计算。计算结果与 Wigley 拟合公式结果进行了比较,二者最大偏差在 1.0ppm 之内,同时与 Mauna Loa 实际观测资料(1958年之后)进行了比较,最大偏差为 0.3ppm<sup>[11]</sup>。在此基础上,选择了 IPCC 报告 IS92a 和 IS92c 作为控制全球总碳排放量的上、下限(上限曲线 1990 年碳释放率为 7.0GtC/a,到 2040 年上升到 13.6GtC/a,2100 年为 20.2GtC/a;下限为:1990 年至 2025 年碳释放率增加到 8.5GtC/a,2025 年后,碳释放率缓慢下降,2075 年后下降缓慢,到 2100 年碳释放率降低为 5.0GtC/a)对未来大气中  $\text{CO}_2$  浓度变化进行了预测,其结果为:

| 年 份                    | 2000 | 2025 | 2050 | 2075 | 2100 |
|------------------------|------|------|------|------|------|
| $\text{CO}_2$ (ppm) 下限 | 366  | 395  | 419  | 436  | 453  |
| 上限                     | 368  | 409  | 464  | 527  | 607  |

本预测结果较国内外同行的相应预测值偏低,其主要原因是对海洋“生物泵”的作用比原来估计要大,因而增加了海洋吸收  $\text{CO}_2$  的量。

### 3 大气中主要温室气体的排放研究

#### 3.1 非工业源甲烷排放通量的测定、总量估算及趋势预测

甲烷产生于厌氧微生物活动,其增长与世界人口的增长有非常密切的关系。在200~2000年前,大约为0.8ppmv,100年前增加到0.9ppmv。太阳红外光谱分析表明,近40年增加了30%。从1978年开始有正式观测,测得浓度为1.51ppmv。现在已达到1.72ppmv,即大气含有4900TgCH<sub>4</sub>(每Tg=10<sup>12</sup>克,即百万吨)。年增量在0.014~0.017ppmv之间,也就是每年向大气中排放40~48TgCH<sub>4</sub>,年增长率为0.8%~1.0%<sup>[12]</sup>。

CH<sub>4</sub>的主要来源是沼泽、稻田、牲口反刍等,其甲烷排放分别约占大气甲烷总来源的22%,21%和15%。稻田是大气CH<sub>4</sub>的主要人为源之一,稻田CH<sub>4</sub>排放源约占人为源的30%,水稻产量与世界人口增长和社会经济的发展有特别密切的关系,因此,稻田甲烷排放被认为是使大气CH<sub>4</sub>含量不断增加的重要原因之一<sup>[13]</sup>。

稻田甲烷排放具有很大的时空变化,这种变化是全国各地稻田土壤类型、气候等地理条件、水稻品种及农业操作等多种因素综合作用的结果,因此较精确的全球稻田CH<sub>4</sub>排放的估算必须建立在对全球主要水稻生态区相当了解的基础上<sup>[14]</sup>。

近些年来,我国在非工业源甲烷排放测定及总量估算等研究方面取得的进展主要表现在下述几方面<sup>[15~22]</sup>:

##### (1) 稻田甲烷排放。

根据不同生物气候带、地貌特征以及耕作制度,通常将我国水稻田划分为五大区,即华南水稻区、华中水稻区、西南水稻区、长江中下游水稻区和北方水稻区。对稻田甲烷排放研究取得的明显进展有:

A. 建立了稻田甲烷自动采集分析测量系统。这一系统包括电路系统、气路系统、色谱仪以及相应的软件。这一系统可将置于稻田中采样箱中的气样连续采集、自动分析、实时存储,保证了数据的可靠性和连续性。

B. 获得了我国各水稻产区稻田甲烷排放通量观测值。自1987年以来,我国科研人员通过国际合作,先后对我国五大水稻区的稻田甲烷排放通量进行了实地观测,获得了相应的甲烷排放通量结果。

C. 建立了稻田甲烷排放的初步模式。初步建立了一个区域尺度稻田CH<sub>4</sub>排放的生物物理过程模式,模式中考虑到了水稻的生长过程,土壤的有机物含量及自然条件对稻田CH<sub>4</sub>排放率的影响。

所建初级模式基本上正确地反映了实际稻田甲烷排放的季节性变化规律,对甲烷平均排放量的估计偏差在10%左右。水稻生长期中甲烷的排放是温度、日照、降水等天气要素和土壤肥力等条件共同作用的结果,温度决定了甲烷排放的变化趋势,而土壤有机质含量决定了稻田甲烷排放的平均量。但是,模式中对气泡的形成及传输过程作了简化处理,还有一些土壤因子未能考虑,因此,还需要有更深入的实验配合,进一步完善模式。

##### (2) 反刍动物甲烷排放。

在反刍动物体内,瘤胃犹如一个稳恒的连续发酵器,连续不断地消化动物食入的饲

料。一般在采食后，反刍动物胃中的气体约有30%~40%是甲烷，这约占整个消化道甲烷产量的87%，而且这些甲烷气几乎全部由反刍时排出。据初步估计，排放到大气中的甲烷总量的15%左右来自食草反刍动物。

对反刍动物甲烷排放的研究在我国起步较晚，近些年来的主要进展是：

A. 建立了反刍动物甲烷排放自动监测系统。在传统的“开放式反刍动物甲烷测定箱”基础上，配置了自动监测系统，利用该系统可以自动监测甲烷测定箱内的温度、湿度，排出箱体的空气流量及甲烷浓度。

B. 分析了影响我国反刍动物甲烷排放的主要因子。以黄牛、奶牛和羊为对象，利用甲烷测定箱对其甲烷排放做了试验测定，结果表明，反刍动物甲烷排放量主要受动物种类、体重、采食水平等因素的影响，其中采食水平是最重要的因子。

C. 初步建立了计算反刍动物甲烷排放的数学模型。这一数学模型基于对各种反刍动物饲养量的统计分析和动物采食量的计算，结合国内外现有资料对反刍动物甲烷排放通量进行了估算，结果表明，1990年中国反刍动物甲烷排放量约为5.806Tg，约占全球动物甲烷排放量的7.2%。

### (3) 城市固废中甲烷排放。

据初步估计，城市垃圾所产生的甲烷排放约占全球甲烷排放的6%~18%。我国城市垃圾多以堆埋场和填埋场予以处理。近些年来，对我国城市生活垃圾的堆埋和填埋以及处理厂进行了初步调查，并根据国际通用估算方法，对我国46个主要城市生活垃圾中的甲烷排放做了估算，结果表明，目前我国城市中万人平均垃圾分担量约为3672t，万人平均甲烷分担量约为118t。

### (4) 非工业源甲烷排放总量估算及趋势预测。

根据近些年来所做工作的已有结果，我国主要非工业源甲烷排放总量及趋势预测如下：

| 排放源   | 1990年排放量 (Tg) | 2000年排放量 (Tg) |
|-------|---------------|---------------|
| 稻田    | 11.5          | 11.5          |
| 家畜    | 5.8           | 6.9~13.9      |
| 动物废弃物 | 1.2           | 1.4~2.8       |
| 城市固废  | 2.8           | 3.6           |
| 农村堆肥  | 0.01          | 0.01          |
| 合计    | 20.11         | 22~29         |

## 3.2 氧化亚氮主要排放源排放通量、总量估算和预测

大气中的  $N_2O$  主要来自生物源，这是目前多数人对  $N_2O$  排放源的基本看法，无疑海洋也是  $N_2O$  排放的一个重要源，其主要排放发生在海水的涌升区。曾经认为，化石燃料燃烧是向大气排放  $N_2O$  的一个重要的源，现在看来，对燃烧矿物燃料及生物质所产生的  $N_2O$  过去估计过高。近来，IPCC 报告指出，大气中的  $N_2O$  约90%来自生物排放源。我国近些年来的研究表明，我国  $N_2O$  排放约84%来自于生物源。但无论如何，考虑到目前大气中  $N_2O$  的实际浓度，其净增率以及大气平流层氮的光分解等，尚需要对  $N_2O$  的排放源及其

排放量做进一步的研究。近些年来我国在  $\text{N}_2\text{O}$  排放研究方面的主要进展有<sup>[22~27]</sup>：

### (1) 生物源的 $\text{N}_2\text{O}$ 排放。

对我国主要陆地生态系统（农田、森林、草原等）的  $\text{N}_2\text{O}$  排放进行了理论和试验研究，并在不同类型的农田（如水稻、小麦、玉米、大豆等），森林（如阔叶林、针叶林、高山长桦林、高山台原等），草地（如羊草、大针茅等）中设立了代表不同土壤—气候带的定位观测点以进行较系统地观测。结果表明：我国农田、森林和草地的  $\text{N}_2\text{O}$  排放量分别约占我国  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量的35%、22%和27%。

### (2) 非生物源的 $\text{N}_2\text{O}$ 排放。

化石燃料的燃烧无疑是  $\text{N}_2\text{O}$  的一个重要排放源，但研究表明，燃烧矿物燃料排放的  $\text{N}_2\text{O}$  要比海洋或土壤向大气中排放的  $\text{N}_2\text{O}$  小得多。同样对燃烧生物质所产生的  $\text{N}_2\text{O}$  过去也估计过高。对己二酸生产过程中  $\text{N}_2\text{O}$  的排放过去未引起人们的注意，1991年科学杂志首次报导，每年全球尼龙前体己二酸生产过程中排放的  $\text{N}_2\text{O}$  约占大气中  $\text{N}_2\text{O}$  增量的10%。

在我国一次性能源的消费中，煤炭一直占有主导地位（约占75%），其次是石油（约占15%）。近些年来，对我国电站锅炉、工业锅炉、工业窑炉、加热锅炉、民用炉灶进行较详细的考察，并对这些炉灶在所燃烧过程中的煤炭消费量和产生的  $\text{N}_2\text{O}$  进行了估算。结果表明，我国煤炭和石油燃烧过程中  $\text{N}_2\text{O}$  的年排放量约为38.4GgN，约占我国  $\text{N}_2\text{O}$  排放量的9.4%。

我国己二酸的产量近些年来有所增加，据初步估计年产量约为4.7万t，年排放  $\text{N}_2\text{O}$  总量约为7.4GgN。

生物物质燃烧也是一个重要的非生物  $\text{N}_2\text{O}$  排放源，但是目前对生物物质燃烧释放  $\text{N}_2\text{O}$  的排放因子还没有可靠的数据。按我国各种生物质年燃烧量为470Tg，按生物质平均全N含量为0.6%，生物质燃烧排放的  $\text{N}_2\text{O}$ -N 占生物质全N的0.7%计，则我国每年生物质燃烧排放的  $\text{N}_2\text{O}$  总量约为 $19.7 \pm 8.5\text{GgN}$ 。

这样，我国  $\text{N}_2\text{O}$  非生物源排放量约占我国  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量的16%。

### (3) 我国 $\text{N}_2\text{O}$ 排放总量估算及趋势预测。

近些年来，我国  $\text{N}_2\text{O}$  主要排放源的排放量的定位监测工作得到了加强，较系统地开展了我国主要农田、森林和草原生态系统  $\text{N}_2\text{O}$  的排放监测，开展了对我国不同燃烧设备的燃煤  $\text{N}_2\text{O}$  排放测量，开展了对我国不同燃烧设备的燃油（主要是重油、机油和柴油） $\text{N}_2\text{O}$  排放的测量，首次对我国主要己二酸生产基地  $\text{N}_2\text{O}$  排放进行了测量等。这些较系统定位测量的结果不仅使我们对我国的  $\text{N}_2\text{O}$  主要排放源排放量的估算更趋真实，而且使我们对我国主要  $\text{N}_2\text{O}$  自然源与人为源及其对  $\text{N}_2\text{O}$  排放的相对贡献有了新的认识。

在较全面地估算了我国  $\text{N}_2\text{O}$  主要排放源的排放量的基础上，对我国  $\text{N}_2\text{O}$  的排放总量进行了估算，并考虑到我国主要  $\text{N}_2\text{O}$  自然源和人工源在未来的可能变化趋势，对  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量的变化趋势进行了预测，其结果如下：

| 排放源    | 1993年    |            | 2000年   |            |
|--------|----------|------------|---------|------------|
|        | 排放量 (Gg) | 占总量的百分比(%) | 排放量(Gg) | 占总量的百分比(%) |
| 森林     | 89.50    | 21.81      | 96.20   | 20.38      |
| 草原     | 112.13   | 27.32      | 105.00  | 22.25      |
| 农田     | 143.33   | 34.92      | 180.54  | 38.25      |
| 化石燃料燃烧 | 38.40    | 9.37       | 55.05   | 11.66      |
| 生物质燃烧  | 19.70    | 4.80       | 23.20   | 4.92       |
| 己二酸生产  | 7.31     | 1.78       | 11.98   | 2.54       |
| 合计     | 410.36   | 100        | 471.97  | 100.00     |

## 4 影响大气中主要温室气体浓度变化的相关过程研究

主要温室气体  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  等在大气中的实际浓度及其年净增长率无疑主要取决于各自的源汇变化以及影响它们全球或区域循环的某些物理、化学过程。因此,分析大气温室气体的主要源汇功能并开展某些相关过程的研究对正确评价这些气体在大气中的浓度变化就显得十分重要。当然,这是一项难度相当大的科学问题,其难度首先在于目前我们对这些温室气体的某些重要源、汇功能还缺乏了解,尤其对某些重要源的排放量估算还有较大的不确定性,对其在地球—植被—大气圈中的循环特征及其某些重要影响因子和重要影响过程还缺乏定量描述。正是由于这一原因,尽管众多科学工作者付出了相当大的努力,但是至今为止,人们仍然还没有找到一个比较可靠地预测大气中主要温室气体浓度未来变化的模型。从这一点上讲,目前关于温室效应增加、全球变暖,乃至温室效应可能导致的种种影响等研究中所有定量化的估算都显得有一定的盲目性。最近一些年来,大气中主要温室气体浓度的戏剧性变化使人们开始怀疑或放弃那种认为大气中温室气体浓度遵循简单的单调变化趋势的想法,更坚定了人们坚持对大气中温室气体浓度进行长期规范化监测的信心,提醒了人们应该加强对温室气体源汇功能以及对大气中温室气体浓度起调节作用的某些过程的研究工作。在这方面,近些年来我国科学工作者的研究工作取得了明显的进展。

### 4.1 森林对大气中 $\text{CO}_2$ 浓度的调节作用

陆地生态系统在全球碳循环中的源汇功能仍然是当前预测大气中  $\text{CO}_2$  浓度变化趋势研究中的首要问题之一,但是由于问题本身的复杂性使得其研究进展比较缓慢。当前,人们所公认的一种观点是,同燃烧矿物燃料一样,陆地生态系统的破坏(如,森林砍伐,草原的退化,耕地的盐碱威胁和沙漠化等)会使更多的碳进入大气层。但是,一个较长时间一直困扰人们的问题是,人们对  $\text{CO}_2$  源汇功能的估计与实际观测的大气中碳的年积累量之间存在着明显差异,即大约有 0.7Gt 的碳去向不明!于是科学家们提出了一系列的问题,试图合理解释大气中实际观测到的碳存储量及其年积累量。这些问题包括:对海洋的

碳吸收能力是否估计偏低?对热带森林砍伐造成的碳释放量是否估计过高?对陆地生态系统的碳汇功能是否估计过低?是否存在另外的碳丢失汇未被考虑等等。可见,目前在碳循环问题上,人们虽然已经有了一个量的概念,但在碳的源汇功能估计上仍有较大的不确定性。

在陆地生态系统中,森林对大气中 $\text{CO}_2$ 浓度的调制作用一直受到人们的重视。其研究工作集中在两个方面,其一是客观估计由于森林破坏所可能导致的大气中 $\text{CO}_2$ 浓度的增长量,其二是如何利用森林的生态净化和调节吸收作用来减缓大气中 $\text{CO}_2$ 含量的增加。无疑二者都是难度很大的问题。

近些年来,我国科学工作者在研究森林对大气中 $\text{CO}_2$ 浓度的调节作用方面取得了明显的进展<sup>[28~32]</sup>,其表现如下:

### (1) 我国典型森林生态系统中植被—土壤—大气 $\text{CO}_2$ 交换过程的定位观测。

自1992年以来,开展了我国典型森林生态系统碳排放通量的定位观测。作为典型森林生态系统,选择了北京山地温带森林(由桦木林、辽东栎林和油松林等三种类型组成)作为典型暖温带林代表和海南岛尖峰山地热带雨林作为热带森林类型代表,较系统地进行了定位观测和调查。观测项目包括:生物量及生长量测定,群落呼吸量测定,土壤呼吸速率测定,土壤碳库及相关因子调查,凋落物量的测定,凋落物分解速率测定,枯木及倒木调查以及环境要素测定。通过这些定位观测和调查,获得了相应的结果,并为建立典型的森林生态系统的碳循环模式提供了所需要的参数。

根据大量观测数据,考虑到树木形态特征和森林群落的结构特点,较系统地提出了森林群落呼吸量的计算方法,这包括木本植物器官的呼吸率与其直径之间的关系,建立非同化器官的直径分布系数,推导单株非同化器官呼吸速率的计算方法和建立群落呼吸率的计算方法。

对森林土壤呼吸进行的观测结果表明,土壤呼吸速率与地下5cm处的土壤温度之间呈良好的指数关系,同时还发现了大气中 $\text{CO}_2$ 浓度升高显著抑制土壤呼吸的现象。这一发现具有重要科学价值,它可能使人们对大气中 $\text{CO}_2$ 浓度增加后土壤圈在全球碳库中的作用产生新的认识。

### (2) 我国森林生物量和生物生产力的模式计算。

准确估计森林的总生物量是评价森林对大气中 $\text{CO}_2$ 浓度变化调节作用的基础。考虑到在推算某一森林类型的总生物量时,采用平均生物量法具有明显地缺陷,我们提出了较为合理的计算方法,这就是根据我国森林资源清查资料(这一资料是根据全国25万多个样地的调查结果统计、整理出来的)和文献调研资料,首先为全国各种森林类型(37个树种)建立林分生物量与林分树干蓄积量之间的关系式,然后据此关系式,由森林资源清查资料的蓄积量数据推算林分生物量值。应当特别指出的是,因为林分蓄积量包括了森林类型、年龄、立地条件和林分密度等诸多因素,故利用它与林分生物量间的关系推算生物量就消除了这些因素的影响,因此是合理的。

此外,近些年来还建立了我国农作物、草地等植被类型的生物量计算方法。计算结果分别为( $10^9\text{tC}$ ):森林9.10,疏林及灌木0.79,草地2.27,作物0.89,荒漠0.03,湿地0.40,其它0.08。这样,得到了我国陆地植被的总生物量约为 $13.55 \times 10^9\text{tC}$ 。

### (3) 我国陆地生态系统 $\text{CO}_2$ 源汇功能的评估。