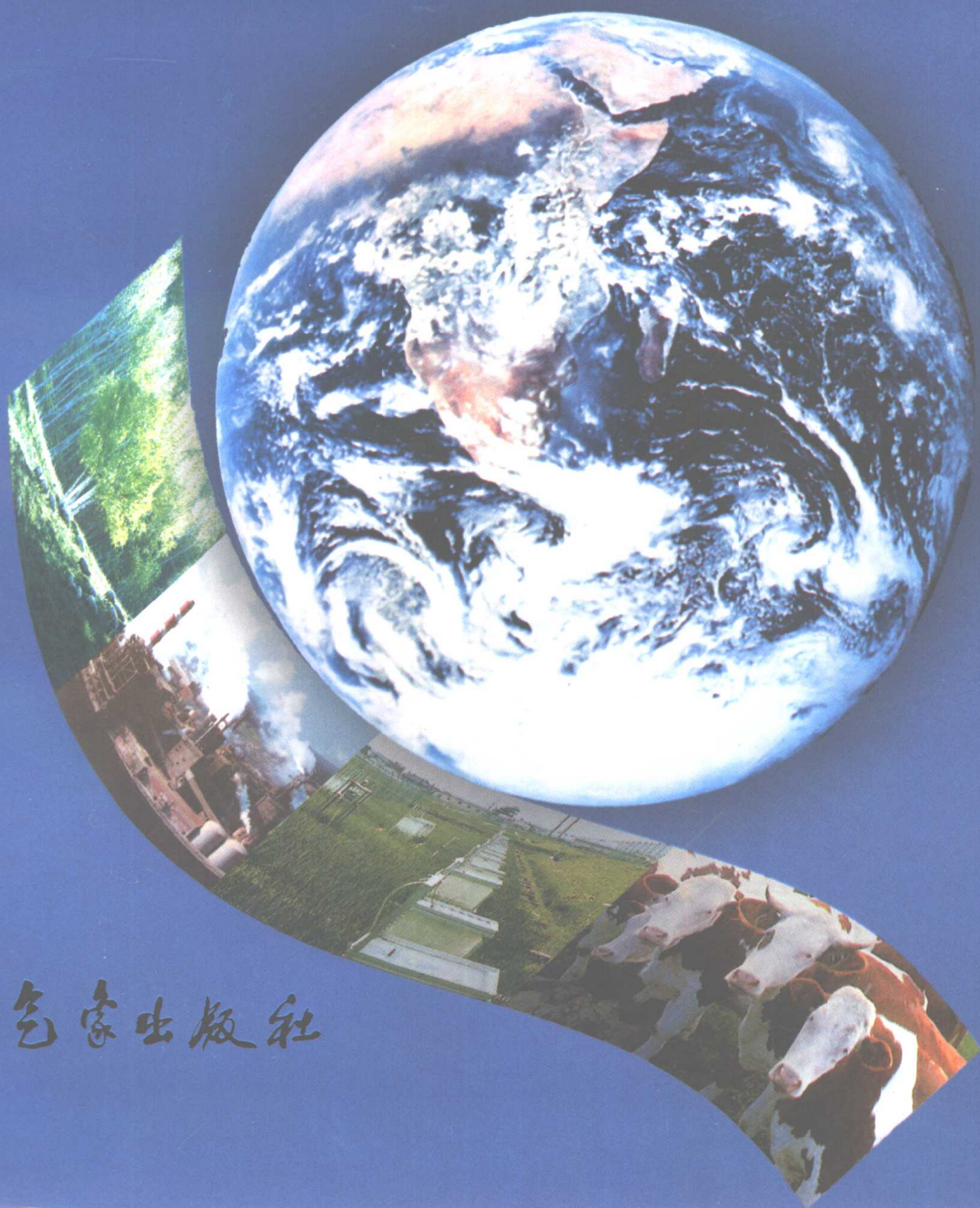


全球气候变化和 温室气体清单编制方法

林而达 李玉娥 编著



气象出版社

全球气候变化和 温室气体清单编制方法

林而达 李玉娥 编著

气象出版社

内 容 简 介

本书介绍了联合国政府间气候变化专业委员会(IPCC)推荐的编制国家温室气体排放清单方法、中国适用的排放清单编制方法以及减缓温室气体排放的对策,涵盖了由于人类活动引起的温室气体主要源和汇。其中包括能源消耗造成的 CO₂ 排放;农业生产过程中 CH₄ 和 N₂O 的排放;林业作为温室气体源和汇的作用。

本书可供从事环境、气候、能源、农业、林业等领域的专业技术人员特别是从事气候变化研究的人员、从事环保工作的各级管理人员以及相关专业的大中专学生、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

全球气候变化和温室气体清单编制方法/林而达,李玉娥编著. - 北京:气象出版社,1997.12

ISBN 7-5029-2402-7

I. 全… II. ①林… ②李… III. 温室效应-气体-气象观测-表格-编制 IV. P416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 23593 号

全球气候变化和 温室气体清单编制方法

林而达 李玉娥 编著

责任编辑:李太宇 终审:周诗健

封面设计:林 李 责任校对:王详国

气象出版社出版

(北京海淀区白石桥路 46 号 100081)

北京市鑫大正印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:11.125 字数:285 千字

1998 年 3 月第一版 1998 年 3 月第一次印刷

印数:1~1000 定价:18.00 元

ISBN 7-5029-2402-7/P.0868

前 言

气候变化是国际社会公认的最主要的全球性环境问题之一。为保护全球气候,自 1992 年 6 月联合国第二次环境与发展大会起,全世界 150 多个国家签署了气候变化框架公约,我国也是缔约方之一。为了为公约谈判提供进一步的科学评价,政府间气候变化专业委员会(IPCC)再次组织了全世界上千名科学家,分温室气体和气候预测、影响和对策评价、气候变化的经济学问题等三方面,开展了广泛的研究工作,并编写了 1995 年的第二次评价报告。该报告指出:在气候自然变化的同时,很可能由于人类活动改变了大气的化学成分,如二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O)分别比工业化前增加了 30%、145%和 15%(1994 年值)。由于这些气体吸收地表红外辐射能力强,而且它们在大气中的留存时间长达上百年,从而改变了地球的辐射平衡。过去 100 年来地球表面的平均温度已经升高了 $0.3\sim 0.6^\circ\text{C}$ 。如果不改变经济发展趋势,即在不改变主要温室气体(CO_2 、 CH_4 及 N_2O)排放趋势的条件下,由于大气中主要温室气体浓度增加,考虑到温室气体和气溶胶的共同作用,今后几十年乃至上百年的时间内,全球平均气温将每十年升高 0.2°C ;下世纪末温度将升高 $1\sim 3.5^\circ\text{C}$,海平面可能升高 $30\sim 100\text{cm}$ 。尽管这种预测还有很大的不确定性,但全球气候变化会给人类带来难以估量的损失,适应气候变化会花费人类巨额代价的观念,已为世界绝大多数国家所接受。

对于大气中二氧化碳等温室气体浓度增加的历史责任,气候变化框架公约中已有定论。在缔约方中的附件一,国家,即发达国家,要承担限期减排温室气体的责任。发展中国家缔约方也要在规定的时间内提交自己的温室气体排放清单。因此准确地估算各种温室气体的排放通量有十分重要的现实意义。科学上,这种估算又是十分困难的,原因之一是实际观测的困难与观测数据的缺乏,之二是排放因子的不确定性。值得欣慰的是我国在这方面掌握了与国际先进水平同步的技术,包括实测技术和模拟估算技术。

尽管在了解气候系统和气候变化的原因方面已经取得了不小的进展,但仍有很大的不确定性。然而,存在不确定性,并不意味着一个国家或社会不能作出努力,来了解温室气体的排放及其对全球气候变化的作用。据目前的估算,全球每年约有 60 亿吨碳是以 CO_2 的形式排放到大气中的,我国约占其中的 $1/10$,其主要排放源是煤、油、气等化石燃料的燃烧。全球每年甲烷的人为排放量约为 3.6 亿吨,其主要排放源是包括种植水稻和饲养反刍动物在内的农业活动。氧化亚氮的主要人为排放也来自农业。尽管根据全球碳、氮收支平衡关系可以估算出全球各主要温室气体的排放总量,但各国各地的温室气体排放量估算仍是一个世界性的课题。为解决这一问题,IPCC 与经济合作发展组织(OECD)分专题组织了几个包括世界各国专家的工作组研究、编写了国家温室气体排放清单方法指南,供各国在编制国家温室气体排放清

单时参考。亚洲开发银行(ADB)也组织了亚洲 12 国进行温室气体清单编制与减少温室气体排放最小成本对策(ALGAS)的研究。作为 ALGAS 项目的一项内容,1996 年 7 月 17~22 日在北京中国农业科学院举办了温室气体排放清单编制方法培训班,由来自中国农业科学院农业气象所、国家计委能源所、中国林业科学研究院森林生态所、中国科学院大气物理所、清华大学核研院的专家向来自全国 25 个省市自治区各有关部门的学员讲授了适合我国实际情况的能源、工业、农业、林业等部门 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放的估算方法。

本书全面地介绍上述的技术细节。作者都是这一领域多年的研究者,也都是培训班的授课者,其中还有 IPCC/OECD 国际专家组的成员。读者不难发现,本书的内容充分考虑了国际同类研究的推荐方法及我国的实际情况和资料的可用性,与其它一些有关气候变化评价的著作相比有很多不同之处。书中绝大部分数据都是第一次发表,特别是一些观点独特的结论,对读者全面了解人类活动怎样影响气候变化这一复杂的问题是会有益处的。

参加本书撰写的主要作者有:第一章,林而达、王明星;第二章,刘学义、徐华清、陈善同、黎云、陈燕燕;第三章,王明星;第四章,董红敏;第五章,李玉娥;第六章,林而达;第七章,徐德应;第八章,方栋、李红。全书统稿由林而达、李玉娥完成。作者衷心感谢国家科委社会发展科技司、农业部能源环保司对本项研究的领导、资助和支持,感谢很多同事们对此项研究和本书的完成所作出的卓越贡献,其中有:清华大学吕应运、韦志洪、刘冰,中国农业科学院丰丽伏等。

作 者

于中国农业科学院农业气象研究所

1997 年 12 月 30 日

目 录

前言

第1章 气候变化与温室气体研究现状	1
1.1 引言	1
1.2 关于温室气体浓度增加及其引起的气候变化的研究现状	1
1.2.1 大气温室气体浓度	1
1.2.2 大气温室气体浓度增加确实会使地表温度升高	2
1.2.3 科学上的不确定性确实非常大	3
1.3 气候变化的影响和对策评价	5
1.3.1 气候变化的影响预测	5
1.3.2 气候变化对策研究	9
参考文献	11
第2章 能源活动引起的温室气体排放清单编制方法	12
2.1 引言	12
2.2 IPCC/OECD 能源活动温室气体排放清单编制方法	14
2.2.1 IPCC/OECD 能源活动温室气体排放量计算方法	14
2.2.2 IPCC/OECD 能源活动温室气体排放量计算步骤	17
2.2.3 IPCC/OECD 能源活动温室气体排放清单编制方法初步评价	21
2.3 我国能源与工业源温室气体排放清单编制方法	22
2.3.1 化石燃料燃烧排放	22
2.3.2 传统生物质燃料燃烧排放	31
2.3.3 燃料工业挥发排放	33
2.3.4 工业生产工艺过程的 CO ₂ 排放	36
2.3.5 溶剂及其它产品使用过程中温室气体的排放	37
2.4 碳平衡案例分析	37
2.4.1 计算中使用的主要单位和缩写符号	37
2.4.2 碳排放计算的一般原理与方法	38
2.4.3 碳平衡案例分析	44
参考文献	47
第3章 稻田甲烷排放清单编制	48

3.1 引言	48
3.2 稻田甲烷排放因子的测量方法	49
3.2.1 箱技术	49
3.2.2 微气象学方法	50
3.3 稻田甲烷排放的特征	53
3.3.1 稻田甲烷排放率的日变化	53
3.3.2 稻田甲烷排放率的逐日变化和季节变化	54
3.3.3 稻田甲烷排放率的年际变化	54
3.3.4 稻田甲烷排放率的空间变化	54
3.3.5 稻田土壤中甲烷产生率的日变化和季节变化	54
3.3.6 稻田生态系统中甲烷的三条输送路径及其输送效率	55
3.3.7 稻田生态系统中甲烷的氧化	55
3.3.8 施肥效应及施肥减排措施	55
3.3.9 水管理措施的作用及可能的减排技术	56
3.4 稻田甲烷排放清单的编制	56
3.4.1 IPCC 推荐的方法	56
3.4.2 中国稻田甲烷排放清单的编制方法和资料来源	57
参考文献	60
第4章 反刍动物甲烷排放清单编制	61
4.1 引言	61
4.2 动物甲烷产生机理及影响因子	61
4.2.1 甲烷排放机理	61
4.2.2 影响甲烷排放的因素	62
4.3 动物甲烷排放测定方法	62
4.3.1 开放式呼吸箱甲烷测定技术	62
4.3.2 六氟化硫(SF ₆)示踪法测定反刍动物甲烷排放的技术	64
4.3.3 间接测定法	66
4.4 IPCC 推荐的动物甲烷排放清单编制方法	66
4.4.1 概论	66
4.4.2 IPCC 1995 推荐的方法 1	67
4.4.3 IPCC 1995 推荐的方法 2	69
4.5 估算中国动物甲烷排放总量可用的方法和排放清单草案(1990年)	72
4.5.1 动物甲烷排放清单编制方法综述	72

4.5.2 中国的动物饲养概况	73
4.5.3 适合估算中国反刍动物甲烷排放系数的初步方案	73
4.5.4 中国动物甲烷排放清单草案(1990年)	76
4.5.5 反刍动物甲烷排放清单估算的不确定性	79
4.6 减少反刍动物甲烷排放技术的评估	80
4.6.1 引言	80
4.6.2 减缓技术初步选择	80
参考文献	82
第5章 动物粪便甲烷排放清单编制	83
5.1 引言	83
5.2 动物粪便甲烷排放机理及影响因子	84
5.2.1 动物粪便甲烷排放机理	84
5.2.2 影响动物粪便甲烷排放的因子	84
5.3 动物废弃物甲烷排放通量测定及计算方法	85
5.3.1 封闭式测定箱	85
5.3.2 开放式测定箱	86
5.3.3 各种箱技术的优点和存在的问题	87
5.4 IPCC 推荐的动物粪便甲烷排放清单编制方法	88
5.4.1 IPCC(1995)推荐的方法1	88
5.4.2 IPCC(1995)推荐的方法2	90
5.5 中国动物粪便甲烷排放清单编制	95
5.5.1 编制中国动物粪便甲烷排放清单采用的方法	95
5.5.2 中国动物粪便甲烷排放清单编制	95
5.6 动物粪便甲烷排放估算的不确定性	99
5.7 减缓动物粪便甲烷排放的技术选择	99
5.7.1 减缓动物粪便甲烷排放的技术选择	99
5.7.2 减缓技术评价	102
参考文献	102
第6章 农业氧化亚氮排放清单编制方法	103
6.1 引言	103
6.2 IPCC/OECD 最新推荐的氧化亚氮国家清单编制方法	104
6.2.1 农田氧化亚氮直接排放(含温室系统耕作,不含放牧牲畜影响)	104
6.2.2 畜牧业生产中直接排放氧化亚氮(排泄物用作粪肥施于土壤之前及	

放牧中的排放)	108
6.2.3 农业用氮的间接 N_2O 排放	113
6.3 工作记录表	120
6.3.1 IPCC/OECD 推荐的农业 N_2O 清单编制方法提要	120
6.3.2 用该方法编制世界农业氧化亚氮排放清单	125
6.4 建议目前我国可采用的农业氧化亚氮清单编制方法	127
参考文献	128
第7章 土地利用方式变化和林业中的温室气体排放	134
7.1 引言	134
7.1.1 森林碳流动通量的基本渠道	135
7.1.2 IPCC 的方法	135
7.1.3 最重要的土地利用方式变化	136
7.2 基本计算方法	137
7.2.1 引论	137
7.2.2 森林皆伐造成的 CO_2 排放	137
7.3 进一步深化的计算方法	146
7.3.1 问题和可用的方法	146
7.3.2 可能的深化计算或外加的部类	146
7.3.3 其它的活动	148
7.4 表格	150
7.5 中国森林碳平衡计算	153
7.5.1 森林碳平衡模型 CARBON 简介	153
7.5.2 森林对大气碳的吸收	153
7.5.3 森林面积和年龄结构的变化	153
7.5.4 木材采伐的碳总量	154
7.5.5 木材利用的碳排放	154
7.5.6 土壤碳排放	155
7.5.7 总净排放量	155
参考文献	155
第8章 温室气体国家清单编制软件使用说明书	158
8.1 引言	158
8.2 运行 GHGLQ, 进入主窗口 1	158
8.3 主窗口 2 (Data of Year)	159

8.3.1 Ok: 确认已选择的年份, 出现确认窗口	159
8.3.2 Add: 增加新的年份, 出现输入窗口	159
8.3.3 Delete: 删除已有年份的数据, 出现提示窗口	160
8.3.4 Exit: 退出 GHGLQ	160
8.4 主菜单	161
8.4.1 System	161
8.4.2 Energy	161
8.4.3 Industry	164
8.4.4 Solvents	164
8.4.5 Agriculture	164
8.4.6 Land Use	165
8.4.7 Waste	168
8.5 其它注意事项	168

第 1 章 气候变化与温室气体研究现状

1.1 引言

大气中的痕量气体浓度变化是全球变化中最最引人注目的变化。大气中的痕量成分尽管其含量甚微,但它们在地球系统中的作用却是举足轻重的。地球系统各圈层之间的相互作用过程中,痕量气体交换是最重要,最值得重视的。各圈层之间的痕量气体交换与能量交换一起将地球系统各圈层紧密联系起来形成一个统一的整体。

大气中的痕量气体因其含量微少,而更容易受到人类活动的冲击。人类活动可以直接向大气排放痕量气体,也可以通过改变其它圈层(岩石圈、水圈、生物圈、冰雪圈)的物理化学状态,而使大气痕量成分浓度发生变化。大气痕量成分变化可以通过对太阳和地气系统辐射过程的影响而引起物理气候系统的变化;大气痕量成分浓度的变化还可以通过影响太阳短波辐射而影响生物圈;某些大气痕量成分还直接与人类和其它生物的健康有关;大气痕量成分的变化还可能改变整个大气的化学行为。因此大气痕量成分的变化是当代最重要的全球环境问题之一。

本世纪 50 年代以来,最引人注目的科学问题应属温室气体浓度变化引起的全球气候变化问题。大量的观测事实已经证明,由于人类活动(主要是大量化石燃料的燃烧)大气中的许多温室效应气体的浓度已发生了全球尺度的变化,其中最重要的是 CO_2 (其全球平均浓度已从工业化前的 280ppm 上升到了 1992 年的 356ppm^①)、 CH_4 (其浓度已从工业化前的 0.7ppm 上升到了 1992 年的 1.72ppm) 和 CFCs (其总浓度已由零迅速上升到 1994 年的约 1ppb^②)。用经典物理和光谱辐射理论可以证明,如果没有温室气体存在,全球平均地表温度将会比现在地表的实际温度低 33℃。一个直接而确定无疑的推论是“大气温室气体浓度增加将会引起全球气候变暖”。全人类都很关注,大气温室气体浓度未来到底会以多快的速度增加,气候以多快的速度变暖。人们普遍担心,大气温室气体浓度变化引起的全球变暖是否会在一定的时候使地球气候系统发生不可逆转的,超出自然系统自我调整的能力范围而对人类生存系统造成毁灭性破坏。由于这种并非毫无道理的担心,过去 30 年里,科学家、政治家及社会公众都以极大的热情关注着“温室气体浓度增加及其引起的全球气候变化和对策”研究。到目前为止,尽管已取得许多重大进展,但仍有许多问题有待解决。

1.2 关于温室气体浓度增加及其引起的气候变化的研究现状

1.2.1 大气温室气体浓度

观测和研究证明,主要大气温室气体浓度确实已经发生了全球尺度的变化,而且正在继续

① 1ppm = 10^{-6} ,下同。

② 1ppb = 10^{-9} ,下同。

增加。表 1.1 列出了综合全球范围的大量观测事实和各种理论研究结果所得到的确定无疑的科学结论。观测和理论研究还证明,表 1.1 所列出的温室气体浓度变化的主要原因是人类活动。人类活动对大气温室气体浓度的影响主要表现为两个方面:一是直接向大气排放温室气体,例如化石燃料燃烧和生物质燃烧直接向大气大量排放 CO_2 、 CH_4 和 N_2O ,工业生产过程向大气排放 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 和 CFCs 等;二是人类活动改变了大气温室气体的源和汇。例如森林砍伐直接减少了 CO_2 的汇,农业活动改变了土地利用状况而增加大气 CH_4 和 N_2O 的源。大气污染排放降低了 CH_4 的汇等。表 1.2 和表 1.3 列出了与人类活动有关的温室气体源和汇的总量及其与相应的自然源的量级比较。很显然,人类活动源汇的量级已经和相应的自然源汇相当,人类活动确实是造成大气温室气体浓度变化的主要原因。

表 1.1 大气主要温室气体浓度变化(IPCC climate change, 1994)

气体	CO_2	CH_4	N_2O	CFC-12	HCFC-22	CF_4
工业化前浓度	280ppm	0.7ppm	0.275ppm	0	0	0
1992 年浓度	356ppm	1.714ppm	0.311ppm	503ppt ^①	105ppt	70ppt
当前的年增加率	1.5ppm	0.013ppm	0.75ppb	18~20ppt	7~8ppt	1.1~1.3ppt
大气寿命(年)	50~200	12~17	120	102	13.3	5000

表 1.2 大气 CO_2 的主要源和汇(GtC/a)

化石燃料燃烧	5.5 ± 0.5
土地利用变化	1.6 ± 1.0
大气 CO_2 增量	3.2 ± 0.2
海洋吸收	2.0 ± 0.8
中纬度森林吸收	0.5 ± 0.5

表 1.3 大气 CH_4 的主要源和汇(Tg/a)

自然源总量	160(110~120)
人为源总量	375(300~450)
化石燃料生产和利用	100(70~120)
生态源	275(200~350)
大气增量	37(35~40)
大气氧化	445(360~530)
向平流层输送	40(32~48)
土壤吸收	30(15~45)

注:括号内的数字表示可能变化的范围

1.2.2 大气温室气体浓度增加确实会使地表温度升高

经典物理和辐射物理能够准确地证明,地球表面如果没有温室气体,全球平均地表温度将

^① 1ppt = 10^{-12} ,下同。

比现在实际测到的全球地表平均温度低 33°C 。一个正确而直接的推理是大气温室气体浓度增加将会使全球地表温度升高,即通常所说的造成全球气候变暖。为了准确计算大气温室气体浓度增加引起的地表升温量,在过去 30 多年里人们已进行了大量的研究,所使用的工具是数值模拟。随着人们对地球物理气候系统认识的逐步深入和计算机的发展,过去 30 年里人们已经发展了许许多多各种各样的气候模式,并利用这些模式研究了温室气体浓度增加引起的气候变化。这些模式包括最简单的一维能量平衡模式,和比较复杂的三维海-气耦合模式。利用这些模式研究温室气体浓度变化引起的气候变化,包括两大类实验,一类是在模式中直接把大气 CO_2 (等效温室气体含量)加倍,比较模式输出与控制模式结果的差别。80 年代前基本上是这类实验;另一类是在模式中比较详细地包括了 CO_2 , CH_4 等主要温室气体的实际浓度。通过逐步增加这些温室气体浓度,来探讨地表温度的变化情况,近年来多用这种方法。综合当今主要模式的结果,可以得到如下的结论:

大气 CO_2 加倍,平衡态气候变化为全球地表平均温度升高 $1.5\sim 3.5^{\circ}\text{C}$,考虑到海洋的巨大作用,如果人类不采取任何控制措施,则下世纪全球地表温度变化速率将是 $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}/10$ 年。

图 1.1 给出了当今世界上几个著名模式模拟的温室气体浓度增加引起的未来气候变化。可以看出,这些模式的结果与上述平衡态气候模拟的结果在量级上是一致的。即下世纪因温室气体浓度增加而引起的全球地面气温上升速率是 $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}/10$ 年。

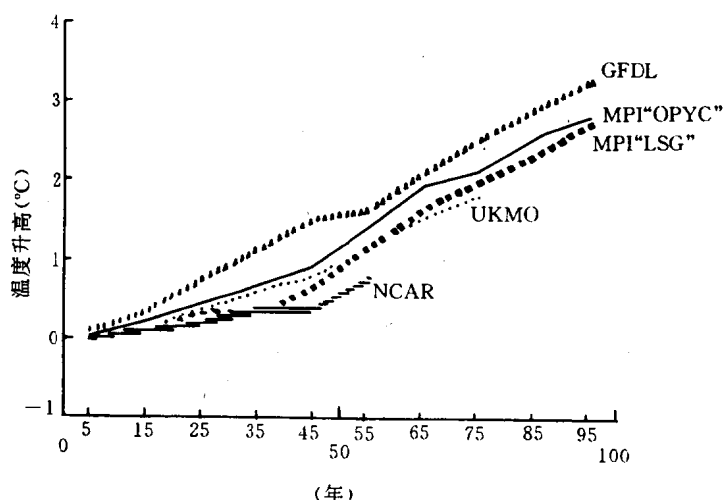


图 1.1 海-气耦合模式模拟的温室气体浓度增加引起的未来 100 年全球地表平均温度变化

最近几年来人们开始注意到,人类活动造成的大气气溶胶(主要是硫酸气溶胶)浓度上升,将会使地表温度降低,部分抵消温室气体增加引起的增温效应。考虑到气溶胶的降温作用,下世纪人类活动造成的气候变化速率可能只有 $0.05\sim 0.2^{\circ}\text{C}/10$ 年。

1.2.3 科学上的不确定性确实非常大

如前所述,人类活动确实已经造成了全球尺度的温室气体浓度增加,而温室气体浓度增加确实会引起全球气候变暖。问题在于在未来几十年到 100 年,温室气体浓度增加及其引起的

气候变化到底有多快,换言之,下世纪末全球地表平均温度到底能上升多少?其它气候变量(特别是降水)怎样变?气候变率会发生明显变化吗?极端气候事件会增加吗?气候变化的区域分布如何?气溶胶浓度增加究竟在多大程度上抵消温室效应增强?气候系统的自然变化与人类活动造成的变化之间的关系如何?很遗憾,现代科学对上述所有问题都无力作出确切的回答。即使是对于已观测到的过去 100 多年的气候变化,我们也还不能肯定是否是 CO_2 增加的影响,更不知道这种影响到底占多大比重。“全球变暖”问题在科学上的不确定性确实非常巨大,而且是多方面的,归纳起来,当前有下面一些问题是迫切需要解决的科学问题。

1.2.3.1 关于未来温室气体浓度变化的预测

对未来温室气体浓度变化的预测是最不确定的。到目前为止,世界上还没有作出关于未来温室气体浓度变化的有严格科学意义的“预测”。全球气候变化研究的依据是“建立在一系列假定条件基础上的对未来温室气体浓度变化的一系列‘推测方案’”。严肃的科学家都强调指出,关于未来温室气体浓度变化的这些推测方案不是关于未来大气温室气体浓度变化的科学预测。当前的作法是,依据假定的未来世界人口、经济、社会发展情景构造未来温室气体排

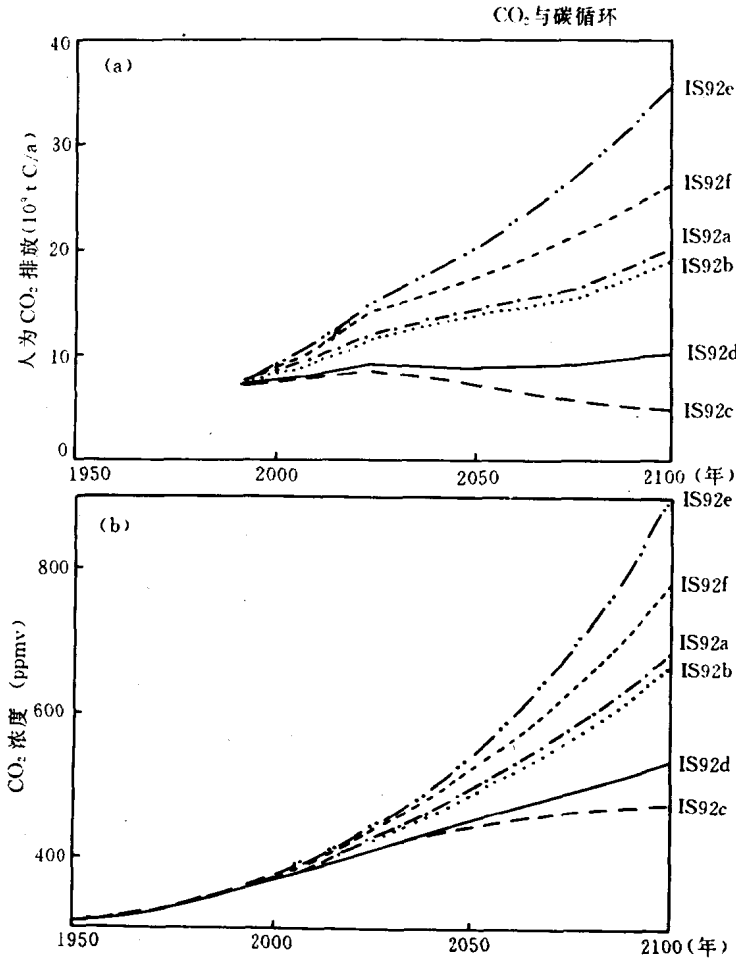


图 1.2 未来人类活动排放的 CO_2 “设想方案”和未来 CO_2 浓度变化

放的“设想方案”,然后利用简单的温室气体浓度变化模式针对每一种设想方案推算未来温室气体浓度变化。图 1.2 给出了 IPCC 采用的关于 CO₂ 排放的 6 种设想方案和相应的 CO₂ 浓度变化。很明显,不同“设想方案”之间的差别远远大于同一方案百年的变化幅度。可想而知,据此去研究未来气候变化会有什么意义。

这里存在两个严重的问题。首先是关于温室气体未来排放的“设想方案”的问题。对于 CO₂,人们对其目前和过去的源和汇大致有了定量的认识,未来排放“设想方案”有一定的依据,这些“设想方案”可以认为都是可能的,但都是不确定的。问题在于这些“设想方案”之间的差别太大了,如果都是可能的,你到底相信哪一个?对于其它温室气体,问题就更严重,科学家对于它们当前的状况尚无定量的认识,关于它们未来排放的设想还会有什么意义呢?第二个问题是温室气体浓度变化模式本身的问题。对于 CO₂,全球碳循环模式已能大体描述过去有记录以来的大气 CO₂ 浓度变化,问题在于人为活动干扰条件下许多碳储库的响应速率还不能正确模拟。对于其它温室气体,因其现在的源和汇尚不能定量描述,发展的相应模式也就没有坚实的科学基础,它们模拟未来变化的能力当然就更值得怀疑。

1.2.3.2 关于未来气候变化的预测

对温室气体浓度变化引起的气候变化的预测主要靠数值模拟。如前所述,现在世界上已经发展了几十个气候模式,特别是最近,已经出现了一些较好地海-气耦合模式,这些模式大都能较好地模拟当代气候。如图 1.1 所示,在给定未来 CO₂ 浓度变化条件下,大多数模式给出的未来全球平均地表温度的变化是大致一致的,是可以接受的。但是如果采用另一种设想方案,则结果完全是另一回事。更严重的问题在于不同模式给出的温度变化的区域分布差别是巨大的,不同模式给出的降水变化之间差别更大,这就不光使人们怀疑模式结果的实用价值,也使人们对当代气候模式的正确性产生怀疑。首先,当代气候模式都没有很好地解决反馈过程,即在地表温度上升后,地面蒸发增加,在高空气温略有下降的情况下,天空云量将随地表蒸发增加而增加,而云量增加将会使地表温度下降;这一过程正确模拟至关重要;其次,当代气候模式对许多引起 10 年以上时间尺度气候变化的因子,如太阳辐射的变化,地球轨道的变化,固体地球的变化,地表状况(包括冰雪圈、生物圈、水圈)的变化等尚未包括在内,或尚未正确描述。模式中对于气溶胶的辐射过程和气溶胶本身的物理化学特性的描述也还远远不够。因此,严格说来,当前关于人为活动引起的全球气候变化的数值模拟结果,只是对气候模式的一种敏感性实验结果,还不能算是对未来气候变化的预测。影响未来气候变化的因子很多,人类活动造成的大气温室气体浓度增加只是诸多因子中的一个,而且现在还不能断言,它是最重要的因子。例如有的模式研究结果表明,到目前为止,人类活动造成的气溶胶浓度增加,引起的地表温度降低可以全部抵消温室气体浓度增加引起的升温效果。人类活动造成的地表状况变化,人类活动直接的热效应的影响都可能与大气温室效应增强的效应有大致相当的量级,而引起长期气候变化的自然因子的变化也有大致相当的效果。

1.3 气候变化的影响和对策评价

1.3.1 气候变化的影响预测

地球的变化在过去的 10000 年中一直是稳定的。在这段时间内,社会在发展着,适应着当

地的主要气候和它的自然变化。但是,近 100 多年来,人类活动已经并正在改变着地球的辐射平衡,社会现在面临着气候变化及其变率的变化。预计区域性的和全球性的温度、降水、土壤湿度和海平面都会有大范围的变化,并对自然和生态的系统、人类健康及社会经济各个部门有潜在的不利的影响。由人类活动引起的气候变化能够影响这一代和未来几代人的经济和生活质量。

尽管在了解气候系统和气候变化的后果方面已经取得了不小的进展,但仍有很大的不确定性。特别是,现在对气候区域性变化的预报能力还很有限,对气候可能变到什么程度也还不大清楚。气候变率的变化和极端天气事件的频率和强度对生态和社会系统有重要的意义。尽管洪水、干旱、火灾和病虫害的发生预计会增加,但对飓风、台风、热冷转换的发生频率和强度是否会有变化仍不大清楚。由于一些重要的生态过程的复杂性,我们对它的认识也还不完全。

不确定性并不意味着一个国家或社会不能调整它的处境,来更好地对付在气候变化条件下大范围的可能的影响。推迟采取预防性的措施,会使一个国家或整个世界不能做好充分的准备,来对付正在发生着的变化,也会增加不可逆或者是必须付出昂贵代价的影响的可能性。

1.3.1.1 气候变化对自然生态系统的影响

物种和生态系统对大气 CO_2 浓度倍增的反应是一个关键的参数。大气中 CO_2 浓度的增加影响植物光合作用和水分利用效率,从而可能增加植物的净初级生产力。这些变化引起不同植物相对竞争力的改变,进而改变物种组成(特别是碳 3 和碳 4 植物)。这种影响在植株和叶的水平上得到了量化,由于物种和它们生存的物理环境之间复杂的相互作用,这种影响在生态系统的水平上没能得到量化。因此,所谓的 CO_2 肥效作用的大小仍有争议。

森林生态系统储存了地上部分碳的 80% 以上、土壤碳的 40%。它们在碳循环中起到非常重要的作用,既作为碳的源(森林砍伐)又作为碳的汇(植树造林以及由于 CO_2 肥效作用引起植物生长量增加)。森林,特别是热带森林,可能拥有世界生物多样性的 2/3,它们通过影响地面温度、蒸散、表面粗糙度、反照率、云的形成及降水,进而对当地乃至洲际气候产生直接影响;它们同样对人类社会有着重要作用,为社会提供生存物质、就业机会和重要的经济产品。但同森林树种生长、繁殖及森林生态系统演替的速度相比,预测的气候变化速度更快。气候变化的初步研究表明,年平均温度仅增加 1°C 便足以改变许多森林树种的生长和更新能力及森林生态系统的组成;世界现存森林的 8%~30% 将从一种平衡植被类型转换到另一植被类型。这种转变将意味着林区特别是发展中国家的林区生活物质的减少和管理措施的改变。

成熟林是巨大的陆地碳库。由于最大碳损失速度可能大于碳净得速度,受气候变化的影响森林生长下降,在更适宜的森林取代原有类型之前,大量的碳释放到大气中。

草原牧场:储存了世界活的和死的生物总碳量的 26%,但 CO_2 增加很可能导致饲草质量下降,从而给畜牧业带来不利影响。

在过去的 20 年中,冻原已从一个 CO_2 净汇转化为向大气释放 CO_2 的净源。

热带森林:温度增加对热带森林的影响较小,但是降雨减少和季节分配的变化十分重要,将引起干旱地区森林的加速损失,即使对常湿森林季节分配的变化也有很大影响,物种多样性迅速减少;温带森林,气候变化对温带森林的影响可能由于大部分温带森林处于发达国家而有所缓和;北方森林,可能遭受最大的影响。

热带草原:除边缘地带一些物种目前因偶然的霜冻限制情况会改变外,温度本身的增加对热带草原不一定产生重大影响,最严重的后果可能是由于降雨变化(季节分配和降雨总量)而

引起;温带草原、稀树草原和灌木群落对气候变化表现出明显的脆弱性。估计在 21 世纪,温度增加 3℃,植物气候边界北移的速度将是 250~300 km。

沙漠化主要不是由于所观测的降雨或温度的波动所引起,而是土地利用管理不当的后果。当然,干旱可能引起或加速沙漠化进程和土地退化。是否存在一个降水量的阈值还没有明确的结论。

山区占陆地表面的 20%,是世界大部分主要水系的重要水源。山地正遭受人类巨大的胁迫。气候变化将会加剧环境和其它社会经济因素间业已存在的矛盾。气候变化可能导致众多发展中国家山地资源(为当地人们提供食物和燃料)的耗竭。

冰雪圈:冰雪圈占地球表面的很大一部分,对气候变化非常敏感。人们预测,下一世纪的气候变化将大大地缩小冰雪圈的范围和体积。尤其是山地冰川、永冻层和季节雪覆盖将有明显的减弱。在下世纪末,整个山冰的 1/3~2/3 很可能消失。

水体系统包括海洋、大湖、湿地和含小岛的海岸地区。这些系统对温度和降水的变化敏感,相应地,这些系统通过影响碳通量而对气候产生重大的反馈作用。

海洋(和大湖)占地球表面的 71%,气候变化可能导致水位、波动态、垂直混合强度及气旋和热带风暴等极端事件发生频率和强度的变化。相应地,这些变化在对气候系统产生重大反馈作用的同时,也可能改变海洋养分有效性、生物生产力和碳储存能力。

来自雪、冰川和河水径流的淡水可能减弱全球热涡动循环,在有可能造成气候系统不稳定的同时,这种循环控制着海洋间和海洋内部热和 CO₂ 的分布。

湿地对降水或温度模式的变化、植被或通过这系统影响水流的其它因子的变化很敏感。由于多种胁迫,在过去的几十年中,海岸湿地以每年 2% 的速率消失。海岸湿地是许多具有重大商业价值的海洋生物的发源地,也是人类免遭风暴袭击的重要缓冲区。许多海水沼泽、红树林生态系统及海岸湿地尤其地脆弱。它们将遭受气候变化、海平面上升和人类发展的共同威胁。

水资源对气候的变化是非常敏感的。这是因为气候变化会影响大气的水分循环。

降水量及其他一些气候特征的变化,将导致蒸散量及土壤湿度的变化,从而影响径流量的变化以及旱、涝发生的频率。无论径流量增加还是减少,对于生态环境脆弱的地区,负面的影响将会加剧,尤其在毁林严重的地区,生态环境将会失去控制。植物和水资源管理的变化、加上在某些地区由于人口的增长以及作物灌溉量的增加,对水分需求的变化,都使得气候变化对水资源潜在影响的评价变得非常复杂。目前比较能被接受的观点认为,气候变化仅会影响局部的水分供需平衡。

1.3.1.2 气候变化对经济与社会部门的影响

两种气候因素容易对农业和林业造成不良影响。这两种气候因素是:①直接影响因素,包括气候变化、水分平衡变化、大气成分变化以及对农作物的产量和质量造成影响的极端气候事件;②间接影响因素,包括土壤的变化以及昆虫、疾病、杂草和其它食肉动物的地理分布的变化。它们对气候变化的敏感度,不仅取决于受影响生物体的生理反应,还取决于社会经济系统对产量波动的适应能力。

农业:近期的研究证实了 1990 年的评价结果——气候变化对全球农业生产的总体影响可能是不大的或缓和的,在低纬度干旱和半干旱地区及那些低收入的农业人口对气候变化特别脆弱。这些处于风险中的人口,很多居住在非洲的次撒哈拉地区、亚洲的东部、南部和东南部、