

国家“十五”重点科技攻关项目
国家“十一五”重点图书

中国气候变化 科学概论

主 编◎丁一汇
副主编◎任国玉

气象出版社

国家“十五”重点科技攻关项目

国家“十一五”重点图书

中国气候变化科学概论

主 编 丁一汇

副主编 任国玉



气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国气候变化科学概论/丁一汇主编. —北京:气象出版社,2008.1

国家“十一五”重点图书

ISBN 978-7-5029-4364-6

I. 中… II. 丁… III. 气候变化-研究-中国 IV. P468.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 138408 号

审图号:GS(2006)2019 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮 编:100081

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

电 话:总编室 010-68407112, 发行部 010-68409198

责任编辑:崔晓军 黄丽荣 章澄昌

终 审:周诗健

封面设计:张建永

责任技编:刘祥玉

责任校对:牛 雷

印 刷 者:北京恒智彩印有限公司

开 本:889 mm×1 194 mm 1/16

印 张:18.5

字 数:560 千字

版 次:2008 年 1 月第 1 版

印 次:2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~1 000

定 价:100.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

编委会名单

(按汉语拼音顺序排列)

主 笔:

戴晓苏	丁一汇	高学杰	宫 鹏
刘洪滨	罗 勇	任国玉	孙 颖
王会军	徐 影	许 黎	翟盘茂
张称意	张德二	张仁健	赵宗慈

主要作者:

陈德亮	郭 军	韩圣慧	胡国权
姜大膀	郎咸梅	任福民	邵雪梅
唐国利	唐红玉	汪 方	王绍武
王小玲	徐 明	徐铭志	张 莉
张 华	周天军	周文艳	邹旭恺

贡献作者:

Chris Potter

陈 晋	陈镜明	初子莹	李庆祥
刘小宁	石广玉	王 颖	张 锦
郑循华			

秘 书:

张 锦

各章撰稿人和贡献者名单

第1章

主 笔：丁一汇 任国玉

贡献作者(按拼音,下同): 胡国权 张 锦

第2章

主 笔：张称意 宫 鹏

主要作者：韩圣慧 徐 明 张 华

贡献作者：郑循华 陈镜明 陈 晋 Chris Potter 石广玉

第3章

主 笔：许 黎 张仁健

主要作者：胡国权 丁一汇 张 莉 张 华

第4章

主 笔：任国玉 刘洪滨

主要作者：唐国利 郭 军 张 莉 徐铭志

贡献作者：刘小宁 李庆祥 王 颖 初子莹

第5章

主 笔：翟盘茂 张德二

主要作者：任福民 王小玲 唐红玉 邹旭恺

第6章

主 笔：赵宗慈 翟盘茂 任国玉

主要作者：王绍武 邵雪梅 高学杰 徐 影

第7章

主 笔：王会军 丁一汇

主要作者：姜大膀 郎咸梅 孙 颖 周天军

第8章

主 笔：丁一汇

主要作者：徐 影 汪 方

第9章

主 笔：高学杰 徐 影

主要作者：陈德亮

第10章

主 笔：罗 勇 孙 颖

主要作者：任国玉 翟盘茂 赵宗慈

许 黎 姜大膀 周文艳

第11章

主 笔：戴晓苏 任国玉

贡献作者：丁一汇 赵宗慈 罗 勇 翟盘茂

张称意 高学杰 刘洪滨 徐 影

附 录

主 笔：丁一汇

主要作者：孙 颖 李巧萍 张 莉 张 锦

前 言

中国政府一直高度重视气候变化工作,自 20 世纪 80 年代以来,中国科技部相继安排了一系列重大气候基础和攻关项目,在多部门和广大科学家的共同努力下,从不同方面对气候变化问题进行了综合研究。本书内容即是在中国科技部“十五”科技攻关项目“全球环境变化对策与支撑技术研究”支持下完成的“全球与中国气候变化的检测和预测”课题成果。这些成果揭示了中国 20 世纪气候变化的科学事实,并根据课题发展和改进的全球和中国的气候模式预测了未来 100 年的气候变化趋势。同时对气候变化的事实进行了归因研究,为人类活动影响中国气候变化的可能性提供了新的证据。

全书由 11 章及附录组成:第 1 章 引论;第 2 章 中国的温室气体排放与吸收;第 3 章 大气气溶胶及其气候效应;第 4 章 近 100 年全球和中国地区观测的气候变化;第 5 章 中国地区极端气候事件的变化;第 6 章 全球及中国气候变化的检测和原因分析;第 7 章 气候变化预估模式的检验与气候敏感性;第 8 章 21 世纪全球和东亚地区气候变化趋势预测;第 9 章 21 世纪中国及分区域气候变化趋势;第 10 章 气候变化检测与预估的不确定性;第 11 章 对气候变化若干科学问题的认识;附录:气候变化有关问题与解答。

同国际上相比,中国关于气候变化问题的研究还存在着一定差距。这包括全球变暖背景下的气候突变和极端气候事件及其影响研究;大气气溶胶的气候效应;碳循环等对气候变化的反馈作用;涉及旱涝发生频率和地区变化的全球与区域能量和水循环问题等。这些问题都有待今后进一步研究。

本书是课题组全体成员共同研究的成果,另外也邀请了一些国内外相关专家参与编写工作,我们对参加本书编写的所有专家表示诚挚的感谢。也感谢国家科学技术部农村与社会发展司的支持和中国气象局科技司、国家气候中心科技处的帮助。

《中国气候变化科学概论》编委会

2007 年 2 月 28 日

目 录

前言

第 1 章 引论	(1)
1.1 IPCC 第三次评估报告主要结果评述	(1)
1.1.1 观测的气候变化	(1)
1.1.2 温室气体浓度变化	(2)
1.1.3 气候变化的检测与原因识别	(2)
1.1.4 气候模式预估	(2)
1.2 中国气候变化研究现状与进展	(3)
1.2.1 中国气候变化研究历史与现状	(3)
1.2.2 中国气候变化检测和预估研究进展	(4)
1.3 有待解决的科学问题	(6)
1.4 本书阐述的科学问题	(8)
1.4.1 科学术语	(8)
1.4.2 基本内容	(8)
1.4.3 与国家科技攻关课题研究的关系	(8)
参考文献	(8)
第 2 章 中国的温室气体排放与吸收	(10)
2.1 碳循环与 CO ₂ 辐射强迫	(10)
2.1.1 引言	(10)
2.1.2 世界碳源汇分布	(11)
2.1.3 CO ₂ 辐射强迫	(15)
2.1.4 中国大气 CO ₂ 浓度	(17)
2.2 中国碳排放的历史与现状	(18)
2.2.1 中国碳排放的总量	(18)
2.2.2 中国的人均碳排放量	(19)
2.2.3 中国近百年的累积碳排放量	(20)
2.2.4 中国碳排放的主要特征与趋势	(20)
2.3 甲烷和其他温室气体排放	(21)
2.3.1 甲烷	(21)
2.3.2 氧化亚氮	(25)
2.4 中国碳源汇分布	(27)
2.5 土地利用与碳通量变化	(29)
2.6 总结与展望	(30)
参考文献	(31)
第 3 章 大气气溶胶及其气候效应	(39)
3.1 大气气溶胶的基本特性	(39)

3.1.1	气溶胶的物理特性	(39)
3.1.2	气溶胶的光学特性	(40)
3.1.3	气溶胶的化学特性	(41)
3.2	大气气溶胶的源和汇	(42)
3.2.1	大气气溶胶的源	(42)
3.2.2	大气气溶胶的汇	(46)
3.3	气溶胶浓度的时空分布	(46)
3.3.1	气溶胶的水平分布和输送	(47)
3.3.2	气溶胶的垂直分布	(48)
3.3.3	气溶胶浓度的时间变化	(48)
3.4	气溶胶的气候效应及其对中国气候的可能影响	(51)
3.4.1	气溶胶气候效应的机理	(51)
3.4.2	气溶胶对地气系统的能量收支影响	(52)
3.4.3	气溶胶对水循环的影响	(52)
3.4.4	气溶胶对中国气候的可能影响	(53)
3.5	近年来有关气溶胶研究的国际计划	(56)
3.5.1	亚洲气溶胶特性实验	(56)
3.5.2	大气棕色云	(57)
3.6	小结	(57)
	参考文献	(58)
第4章	近100年全球和中国地区观测的气候变化	(63)
4.1	近100年全球气候变化	(63)
4.1.1	近100年全球气温变化	(63)
4.1.2	近100年全球降水量变化	(65)
4.2	近100年中国气候变化	(66)
4.2.1	资料与方法	(67)
4.2.2	气温变化	(68)
4.2.3	降水变化	(70)
4.3	近50年中国气温和降水变化	(71)
4.3.1	资料和方法	(71)
4.3.2	气温变化	(72)
4.3.3	降水变化	(76)
4.4	近50年中国其他气候要素变化	(78)
4.4.1	资料和方法	(78)
4.4.2	日照时数	(78)
4.4.3	蒸发量	(79)
4.4.4	积雪深度和面积	(81)
4.4.5	平均风速	(82)
4.5	小结	(83)
	参考文献	(84)
第5章	中国地区极端气候事件的变化	(87)
5.1	引言	(87)
5.2	中国气候极端值的变化	(89)

5.2.1	温度极端值	(89)
5.2.2	降水极端值	(91)
5.3	中国极端事件的变化	(92)
5.3.1	高温和低温事件	(92)
5.3.2	强降水和暴雨频率	(92)
5.3.3	干旱	(93)
5.3.4	沙尘暴	(94)
5.4	历史时期代用资料中反映出来的极端气候事件	(95)
5.4.1	极端寒冷事件和高温事件	(95)
5.4.2	历史干旱、雨涝事件	(96)
5.4.3	沙尘暴	(98)
5.5	小结	(98)
	参考文献	(99)
第6章	全球及中国气候变化的检测和原因分析	(101)
6.1	检测和原因分析的基本理论及主要方法	(101)
6.1.1	检测和原因分析的主要气候变量指标	(101)
6.1.2	检测和原因分析的主要参照物	(102)
6.1.3	检测和原因分析的主要方法	(104)
6.1.4	近百年影响气候变化的可能因子	(106)
6.2	近现代气候变暖的历史透视	(106)
6.2.1	过去气候变化的记录	(106)
6.2.2	过去气候变化的原因	(109)
6.2.3	古气候史上的突变及其意义	(111)
6.3	20世纪全球气候变暖的主要原因	(112)
6.3.1	20世纪全球自然变率的检测	(112)
6.3.2	20世纪太阳活动、火山活动与人类活动作用的对比模拟分析	(113)
6.3.3	20世纪人类活动对全球气候影响多模式模拟集成检测	(116)
6.4	20世纪中国气候变暖的主要原因	(118)
6.4.1	20世纪中国气候变暖的自然贡献检测	(118)
6.4.2	太阳活动和火山活动的影响	(122)
6.4.3	人类活动对中国气候变化的影响	(123)
6.5	检测与原因分析的可靠性评估	(129)
6.5.1	从历史透视分析20世纪气候变暖的可靠性	(129)
6.5.2	20世纪100年时间尺度气候变暖中的自然与人类影响	(129)
6.6	小结	(131)
	参考文献	(132)
第7章	气候变化预估模式的检验与气候敏感性	(137)
7.1	气候模式	(137)
7.1.1	气候模式简介	(137)
7.1.2	气候模式的研究现状	(138)
7.2	气候模式发展的主要计划	(138)
7.2.1	大气环流模式比较计划	(138)
7.2.2	耦合模式比较计划	(140)

7.2.3 古气候模拟比较计划	(144)
7.3 气候模式对中国气候模拟能力的检验	(146)
7.4 气候敏感性问题	(149)
7.4.1 气候敏感性的重要性	(149)
7.4.2 主要敏感性因子的分析	(150)
7.4.3 模式估算的气候敏感性结果分析(基于 IPCC-TAR)	(151)
7.5 小结	(152)
参考文献	(153)
第8章 21世纪全球和东亚地区气候变化趋势预测	(157)
8.1 气候变化预测的主要方法	(157)
8.1.1 气候变化预测考虑的主要因子	(157)
8.1.2 气候模式预测方法	(158)
8.1.3 其他方法	(159)
8.2 IPCC 全球模式预测的主要结果	(160)
8.2.1 IPCC 使用的主要全球气候模式与排放情景	(160)
8.2.2 主要结果	(162)
8.2.3 气候变化的惯性和突变事件	(165)
8.3 东亚气候变化预测的主要结果	(167)
8.3.1 各种排放情景下东亚地区不同时期温度和降水变化	(168)
8.3.2 东亚地区其他气候因子不同时期的变化	(173)
8.4 亚洲季风区未来 100 年气候变化预测	(173)
8.4.1 亚洲夏季风	(174)
8.4.2 亚洲冬季风	(174)
8.5 小结	(176)
参考文献	(176)
第9章 21世纪中国及分区域气候变化趋势	(178)
9.1 引言	(178)
9.1.1 全球环流模式对温室效应的模拟	(178)
9.1.2 降尺度方法和区域气候模式	(179)
9.2 降尺度技术	(180)
9.2.1 基本原理	(180)
9.2.2 预报量	(180)
9.2.3 预报因子	(181)
9.2.4 统计模式	(181)
9.2.5 前景与展望	(182)
9.3 中国区域气候变率的空间尺度和区域划分	(182)
9.4 全球气候模式模拟结果的集成	(183)
9.4.1 资料与模式介绍	(183)
9.4.2 全球模式模拟的中国地表气温的变化	(184)
9.4.3 全球模式模拟的中国降水的变化	(186)
9.4.4 全球模式模拟的中国各地区地表气温和降水的变化	(188)
9.4.5 几个重要地区的变化:西北、青藏铁路沿线、长江中下游地区和黄河流域	(192)
9.5 区域气候模式模拟的中国未来气候情景	(197)

9.5.1	中国地区地面气温的变化	(197)
9.5.2	中国地区降水的变化	(198)
9.5.3	中国各地区气温和降水的变化	(199)
9.5.4	几个重要地区的变化:西北、青藏铁路沿线、长江中下游地区和黄河流域	(201)
9.5.5	极端天气事件的变化	(204)
9.6	统计降尺度技术在中国的应用	(207)
9.6.1	转移函数与环流分型法	(207)
9.6.2	天气发生器及其降水的模拟研究	(207)
9.7	小结和中国未来气候情景的综合集成预估	(212)
参考文献		(213)
第10章 气候变化检测与预估的不确定性		(218)
10.1	不确定性的基本概念及其分类	(218)
10.1.1	不确定性的主要含义	(218)
10.1.2	不确定性的分类	(218)
10.2	代用气候资料分析及其问题	(219)
10.2.1	长温度序列	(219)
10.2.2	末次冰期的热带温度	(220)
10.2.3	过去气候突变研究	(221)
10.2.4	代用资料制图与古气候模拟	(222)
10.3	器测时期观测资料及其问题	(223)
10.3.1	陆面气温	(223)
10.3.2	海面温度	(224)
10.3.3	全球温度	(224)
10.3.4	降水量	(224)
10.3.5	高空温度和湿度	(225)
10.3.6	卫星观测	(225)
10.4	对气候系统过程与反馈认识的不确定性	(226)
10.4.1	大气的作用	(226)
10.4.2	海洋的作用	(226)
10.4.3	植被和土壤的作用	(226)
10.4.4	人类活动	(227)
10.4.5	从气候变化到碳循环的反馈	(227)
10.4.6	碳循环中的不确定性	(227)
10.4.7	温室气体	(228)
10.5	未来排放情景的不确定性	(228)
10.5.1	矿物燃料燃烧所释放 CO ₂ 排放量计算方法中的不确定性	(228)
10.5.2	固定源所排放的 CH ₄ , N ₂ O 的排放量计算方法中的不确定性	(229)
10.5.3	流动源所排放的 CH ₄ , N ₂ O 的排放量计算方法中的不确定性	(229)
10.5.4	政策对温室气体排放量估算所造成的不确定性	(229)
10.5.5	技术进步对温室气体排放量估算所造成的不确定性	(230)
10.5.6	新型能源开发对温室气体排放量估算所造成的不确定性	(230)
10.5.7	未来温室气体排放清单与排放构想中的主要不确定性	(230)
10.6	气候模式的代表性和可靠性	(231)

10.6.1	水蒸气	(231)
10.6.2	平流层	(232)
10.6.3	海洋	(232)
10.6.4	冰冻圈	(232)
10.7	IPCC 评估报告中对不确定性的处理方法	(233)
10.7.1	IPCC 第三次评估报告对不确定性的处理	(233)
10.7.2	IPCC 第四次评估报告对不确定性处理的新考虑	(234)
10.7.3	可能性与信度	(235)
10.7.4	关于不确定性的指导意见	(236)
10.8	小结	(236)
10.8.1	认真采取适应措施,审慎对待减缓行动	(237)
10.8.2	加强气候变化研究,减少科学不确定性	(238)
参考文献		(238)
第 11 章 对气候变化若干科学问题的认识		(243)
11.1	气候变化的检测	(244)
11.2	全球碳循环	(245)
11.3	气溶胶的气候效应	(246)
11.4	气候变化的预估	(247)
11.5	极端气候事件与突变	(248)
11.6	温室气体浓度稳定水平	(249)
11.7	科学研究的不确定性	(250)
11.8	小结	(251)
参考文献		(252)
缩略词表		(253)
附录:气候变化有关问题与解答		(255)

第1章 引 论

主 笔:丁一汇 任国玉

贡献作者:胡国权 张 锦

在过去3个世纪里,地球上的人口增加了近10倍,20世纪内世界上的城市人口增加了近10倍。目前地球上接近一半的陆地表面已经为人类所直接改变和利用。在几代人的时间内,人类将可能消耗完过去上亿年内由于漫长地质作用生成的矿物燃料(Moore 2001)。大气中温室气体浓度已经明显受到人类活动的干扰,而且这种干扰可能已经对全球气候产生了影响,并可能继续改变未来全球气候分布状况(Houghton *et al.* 2001, McCarthy *et al.* 2001)。不难理解,为什么近20年来国际社会如此密切关注地球气候系统变化及其影响。

但是,综观全球气候变化科学的历史和现状,我们不得不承认,虽然总体进步是显著的,但对一些关键科学问题的认识还很不完善,与此同时新的科学问题又不断出现。时至今日,尽管联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告对近100年全球气候变暖的主要原因作出了评价,但科学界仍然存在着一些争议;同时,对未来气候趋势预估的信度与十几年前相比较有一定提高,但还存在着许多不确定性(丁一汇 2002)。

我国的气候变化研究也已经开展很长时间,取得了大量可喜的成果,为今后开展深入研究奠定了基础。尽管我国气候学家对气候变化的若干历史规律有了比较清晰的认识,但是,我们对年代际以上尺度气候变化的原因才刚刚开始了解,远远没有认识清楚,对未来气候变化趋势包括人为引起的可能变化趋势也才开始探讨,距离提供坚实可靠的预估产品还有一段路要走(秦大河等 2005)。值得欣慰的是,我们确实有了一个良好的开端,我们也对尚存在的问题和困难有了比较清醒的认识。相信经过几代科学家长期不懈的努力,气候变化领域若干关键的不确定性将被进一步缩小,气候变化科学将为社会和国家可持续发展做出更大的贡献。

1.1 IPCC 第三次评估报告主要结果评述

近20年来,国际科学界先后发起了世界气候研究计划(WCRP)、国际地圈-生物圈计划(IGBP)和全球环境变化的人类因素国际计划(IHDP)等大型国际研究计划与活动。这些计划的一个核心问题就是全球气候变化,特别是年代到世纪尺度气候变化的物理、化学和生物学过程及其可预测性,气候变化对人类生存环境的影响及其对策。IPCC则负责对全球气候变化的科学现状进行定期评估。IPCC组织了世界上数千名科学家就气候变化的科学问题、气候变化的影响与适应性对策、温室气体减排与经济影响评估等进行了四次评估,系统地评价了气候变化的历史事实、成因和未来趋势,气候变化的影响和适应、减缓气候变化的对策。下面简要介绍IPCC第三次评估报告(TAR)的主要发现和结论。

1.1.1 观测的气候变化

自1860年即最早拥有仪器观测资料以来,全球地表气温增加了 $(0.6 \pm 0.2)^\circ\text{C}$,这比IPCC第二次评估报告(SAR)在1994年的估计值约高 0.15°C 。20世纪大部分的增温发生在两个时段(1910—

1945 年及 1976 年以后)(Houghton *et al.* 2001)。分析表明,北半球在过去的 1 000 年中 20 世纪的增温可能是最明显的一个世纪。20 世纪 90 年代可能是最暖的 10 年,而 1998 年是最暖的年份。自 1950 年以来,陆面夜间的日平均最低温度的增加率是白天日平均最高温度的 2 倍。中高纬度地区的生长期呈增长趋势,雪盖则逐渐减少,20 世纪北半球中高纬度地区江湖结冰期约减少 2 个星期,非极地地区的山地冰川广泛消退。最近几十年间北极夏末至秋初的海冰厚度可能减少了约 40%。近 100 多年来全球平均海平面上升了 0.1~0.2 m。

1.1.2 温室气体浓度变化

自 1750 年以来,大气二氧化碳(CO_2)浓度增加了 1/3,到 2 000 年达到了 368 ppmv*。在过去的 42 万年间,或许在过去的 2 000 万年间从未超出过目前的 CO_2 浓度。至少在过去的 2 万年间 CO_2 浓度未出现过这样的增长速率。大气 CO_2 浓度增长的 2/3 是由矿物燃料造成的,其他则是由土地利用变化尤其是森林砍伐、城市化及水泥生产等造成的。过去 20 年间,大气中 CO_2 浓度也明显增加,而且目前仍保持增长趋势。而大气中甲烷(CH_4)与氧化亚氮(N_2O)的浓度分别增加了 151% 和 17%。自 1750 年以来,由于大气中温室气体含量的增加,使近 200 年的辐射强迫增加了 2.43 W m^{-2} 。因此,当前大气中的温室气体浓度上升是非自然的,温室气体浓度上升引起的辐射强迫增加也是真实的。由于气候系统对大气微量气体辐射强迫的变化是敏感的,因此大气低层温度的增高是不可避免的。

1.1.3 气候变化的检测与原因识别

TAR 进一步证实,近 100 年的全球气候变化主要是由自然因素和人类活动共同造成的。IPCC 第四次评估报告(AR4)主要是增加了上述结论的信度,由 60% 的置信度增加到 90%~95% (IPCC 2007)。并且有更多的证据表明,近 50 年来的增暖主要是人类活动影响造成的。模拟气候对自然强迫的响应,包括对太阳辐射变率和火山喷发的响应,说明自然强迫因子在所观测的 20 世纪前半叶增暖中起到一定作用,但自然因子无法解释 20 世纪后半叶的升温。古气候资料也表明,20 世纪特别是 20 世纪 90 年代以来北半球的明显增暖可能不是自然的,因为这种快速的变暖在过去的 1 000 年内可能没有出现过。

人为增加的温室气体浓度可能已经对观测到的近 50 年的增暖作出了实质性的贡献。然而,对人为增暖幅度估算的准确度,特别是对于各种外部强迫影响程度的估测,仍然受到一些不确定性因子的影响。这些不确定性因子包括内部变率的估算,自然的和人为的辐射因子特别是人为气溶胶强迫,以及气候系统对这些因子的响应等。

1.1.4 气候模式预估

最近的十几年,气候模式研究取得了很大的进展。对于气候过程的理解及其在气候模式中的表达得到了改进,这包括水汽、海冰动力和海洋热量传输。一些最近建立的模式无需对海-气界面的热通量和水通量进行非物理调整就能产生较满意的气候模拟。有几种模式当输入温室气体和气溶胶时,再现出 20 世纪观测到的地球表面温度变暖趋势。这增加了利用模式预测未来数十年全球温度的信度。

对不同的 SRES(the Special Report on Emission Scenario)排放情景,利用 31 个气候模式对全球平均地表气温进行了预测。1990—2100 年的增温范围估计将达 $1.4\sim 5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这个增温幅度在过去的 1 万年内是没有过的。而在 SAR 中,根据 IS 92 情景给出的增温幅度为 $1.0\sim 3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这个变化主要是由于 SRES 情景与 SAR 中用的 IS 92 情景不同,并且减少了对未来的二氧化硫(SO_2)排放

* 此处表示某成分(此处为 CO_2)的体积分数为 10^{-6} ,下同。

的估计值。

全球平均的水汽和降水量预计将增加。北半球中高纬度和南极的冬季降水量将增加。而在低纬度则是降水量增加和降低的地区并存。

对其他一些可能对环境和社会产生重要影响的极端事件,目前尚没有足够的信息进行变化趋势的评估,模式的可信度和科学认识也不足以对其进行可靠的预测。中纬度气旋的强度就是一个很好的例子。

在不同的 SRES 情景下,预计 1990—2100 年海平面将上升 0.14~0.80 m,平均为 0.47 m。这一数值是 20 世纪海平面平均上升速度的 2~4 倍。

1.2 中国气候变化研究现状与进展

1.2.1 中国气候变化研究历史与现状

在气候变化的基础性工作方面,中国已经具备了比较完善的基本大气要素观测网,初步建立了区域大气本底观测及其环境监测试验网络。目前全国有基本气象观测站 577 个、辐射观测站 98 个、高空探测站 124 个、新一代天气雷达站 97 个。瓦里关山大陆全球大气监测(GAW)本底站积累了 10 余年观测资料。对过去 1 000 年或更长时期的古气候重建方面也进行了许多工作,积累了一批有价值的代用气候资料。目前中国的卫星遥感监测系统由风云卫星系列(极轨卫星 FY-1C 和 FY-1D、地球静止卫星 FY-2 等)组成。这些卫星已加入全球大气观测系统之中。国内有几个单位发展了全球和区域气候模式,并用于气候变化的检测和预估研究。目前中国气候系统模式的研制工作也在进行(秦大河,孙鸿烈 2004)。

中国科学家广泛参与了国际气候变化和全球变化研究活动。从“七五”计划开始,国家连续资助了一系列与气候变化有关的重大科技项目,研究领域逐渐拓宽,经费支持力度也不断增强。例如,在近 10 多年时间内,涉及全球气候变化及其影响问题的重大国家科技项目包括:

(1) 国家攻关项目“全球气候变化预测、影响和对策研究”、“全球气候变化与环境政策研究”和“全球环境变化对策与支撑技术研究”等。

(2) 国家攀登计划和 973 项目“我国未来 20~50 年生存环境变化趋势的预测研究”、“我国重大气候和天气灾害形成机理与预测理论研究”和“我国生存环境演变和北方干旱化趋势的预测研究”等。

(3) 国家自然科学基金委员会重大项目“中国气候与海平面变化及其趋势和影响的研究”、“中国陆地生态系统对全球变化反应模式研究”和“中国农业生态系统与全球变化相互作用的机理研究”等。

(4) 中国科学院重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”和西部行动计划课题“西部气候、生态和环境演变分析与评估”等。

通过地球科学相关领域科学家的长期努力,包括上述基础工作和重大科技项目的支持,中国的气候变化基础科学和适应领域研究取得了一系列重要进展,其中包括:

(1) 温室气体排放,特别是水稻田 CH_4 排放检测与分析,以及青藏高原地区 CO_2 、臭氧(O_3)浓度的观测获得了新的结果。

(2) 古气候研究的一些领域,特别是千年到万年时间尺度上的古气候研究,和世界保持同步发展。

(3) 利用仪器记录资料,对近 100 年的气候变化进行了分析,总结了中国气候变化的多方面特征,及其与全球变化的异同点。

(4) 中国的全球与区域耦合气候模式从无到有,正处于发展和改进之中,已为 IPCC 三次评估报告提供了预测结果。

(5) 首次在中国开展了西部气候、生态和环境演变科学评估工作,完成了综合性的评估报告。

此外,自1992年以来,中国政府有关部门和相关研究单位与一些多边组织和国家合作,先后完成了四项有关气候变化方面的国际合作研究,在研究内容上都不同程度地涉及中国温室气体排放量估算、气候模式和气候预测、影响和脆弱性评价工作。这些项目包括:由亚洲开发银行支持的“中国响应全球气候变化的国家战略”;由联合国开发计划署(UNDP)和全球环境基金(GEF)资助的“中国控制温室气体排放的问题与选择”;由美国能源部资助的“中国气候变化国家研究”;由亚洲开发银行资助的“亚洲减排温室气体最小成本战略(ALGAS)”等。

不论是对过去气候变化的检测分析,还是对未来气候变化趋势的预估,中国当前的研究与国际上先进国家相比,都还存在很大差距,研究结果的不确定性也比较大。中国还没有发展自己完善的长期气候变化趋势检测与预估系统,不能根据自己的预估可靠地构建未来气候变化区域情景,这使得中国的气候变化影响研究过分依赖国外气候模式预估结果。产生这些问题的因素很多,但气候系统观测资料的缺乏、对自然气候变化规律的认识不足,对气候系统各种关键的过程和反馈机制还没有充分了解,以及气候模式本身还不很完善等,都是造成目前不确定性的主要因素(任国玉 2002)。这些缺陷是导致目前气候变化领域仍然缺乏具有创新性的科学成果,不能满足日益增长的国民经济发展和国际环境合作需求的基本原因。

1.2.2 中国气候变化检测和预估研究进展

中国科学家对近100年和近50年的气候变化历史进行了系统的分析;对亚洲季风的活动和变异及其与中国旱涝的关系作了比较深入的研究;对历史时期特别是近1000年的气候变化特点进行了研究;中国耦合气候模式从无到有,正处于发展之中,已试验性地用于短期气候预测业务和气候变化预估研究,区域气候模式也已开始用于未来气候预估研究;根据国外气候模式模拟结果,对中国的未来区域气候变化情景进行了初步构建。

通过这些工作,中国气候工作者发现,中国的气候变化与全球变化有相当的一致性,但也存在明显的差别。近50~100年内,中国地表气温呈明显升高趋势,中国20世纪30—40年代的暖期似乎比全球平均明显得多,而20世纪后期的变暖并没有比20世纪30—40年代显著。中国温度变化的季节和地区特征同北半球基本一致(王绍武,董光荣 2002)。关于长期温度变化的分析,一般认为历史上存在着更暖的时期,20世纪的增温可能还不是没有先例的。这也意味着,自然因子对气候变化的影响不能低估。但也有研究表明,中国20世纪的增暖是过去至少1000年内没有的,这也暗示人类活动可能已经对现代的增暖产生了相当的影响(王绍武,董光荣 2002)。

对于器测时期气候变化的原因,现有的研究给出了各种各样的解释。迄今为止,国内气候学界还没有就20世纪或近50年来温度和降水变化的原因达成完全的共识。一般认为,海洋等气候系统内部的多尺度变率可能是重要的影响因子,特别可能是影响降水的主要因子,但温度变化的时空特征又可能与增强的温室效应有联系。

利用多个国外气候模式模拟结果,指出在大气中温室气体继续增加的情况下,中国的气候也将明显变暖,其中北方变暖比南方显著,冬季变暖比夏季显著,内陆变暖比沿海显著;中国的降水也将发生变化(丁一汇 2002)。

在国家“十五”重点科技攻关课题“全球与中国气候变化的检测和预测”的支持下,近年来国内的研究取得了若干重要的新进展。该课题的总体目标和任务是:了解中国气候变化的基本历史事实及其可能原因,评价人为因素对气候变化的影响信号;认识中国地区生态系统演化规律和陆地碳收支动态;提出中国自己的全球和中国区域未来50年、100年的气候情景方案,为影响评估和政策研究提供基础科学信息。为此,需要评估、增补中国近1000年、100年和50年气候变化历史序列;评估人类活动和自然强迫因子的历史变化及其对中国地区气候变化的可能影响;评价中国过去30年土地覆盖变化规律,分析碳、水演变规律;完成复杂的耦合气候模式和区域气候模式预测研究;提出中国自己的全球和中国区域未来50年、100年的气候情景方案。