应对气候变化

主　　编　姜冬梅　张孟衡　陆根法
编著人员　姜冬梅　张孟衡　陆根法
　　杨　勇　陈磊山　黄山枫
　　刘庆强　刘　宁　蔡邦成

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目（CIP）数据

应对气候变化/姜冬梅等主编.－北京：中国环境科学出版社，2007.9
ISBN 978–7–80209–608–0

Ⅰ.应…　Ⅱ.姜…　Ⅲ.气候变化—普及读物　Ⅳ.P467-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 113462 号

责任编辑　杨　洁　刘大澈
责任校对　刘凤霞
封面设计　龙文视觉

出版发行　中国环境科学出版社
（100062　北京崇文区广渠门内大街 16 号）
网　　址：http://www.cesp.cn
联系电话：010-67112765（总编室）
发行热线：010-67125803
印　　刷
经　　销　各地新华书店
版　　次　2007 年 9 月第 1 版
印　　次　2007 年 9 月第 1 次印刷
开　　本　880×1230　1/32
印　　张　8.5
字　　数　220 千字
定　　价　25.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载，侵权必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

需要全本请访问 www.ertongbook.com

《应对气候变化》编写人员名单

主　　编：姜冬梅　张孟衡　陆根法

编著人员：姜冬梅　张孟衡　陆根法
　　杨　勇　陈磊山　黄山枫
　　刘庆强　刘　宁　蔡邦成

各章编著者：

第 1 章　张孟衡　刘庆强　陆根法
第 2 章　陈磊山　刘庆强　刘　宁
第 3 章　姜冬梅　黄山枫　陈磊山
第 4 章　张孟衡　刘庆强　姜冬梅
第 5 章　张孟衡　黄山枫　姜冬梅
第 6 章　陈磊山　黄山枫　蔡邦成
第 7 章　姜冬梅　黄山枫　刘庆强
第 8 章　姜冬梅　杨　勇　张孟衡
第 9 章　姜冬梅　杨　勇　张孟衡
第 10 章　姜冬梅　杨　勇　张孟衡
第 11 章　姜冬梅　杨　勇　张孟衡

目 录

第一篇 气候变化的基本知识

第 1 章 气候变化的科学认识 3
1.1 气候变化的基本事实 4
1.2 气候变化的成因 9
1.3 气候变化趋势的预测及不确定性 18

第 2 章 气候变化的影响 24
2.1 对水资源供求的影响 24
2.2 对生态系统的影响 25
2.3 对各地区社会经济的影响 27
2.4 对农牧业生产的影响 32
2.5 对人类健康的影响 33
2.6 对自然灾害的影响 34
2.7 对沿海地区的影响 35
2.8 气候变化对我国的影响研究 36
2.9 气候变化影响的评估及其不确定性 45

第 3 章 应对气候变化的国际组织和公约 48
3.1 政府间气候变化专业委员会（IPCC） 48
3.2 气候议程机构间委员会（IACCA） 51
3.3 联合国气候变化框架公约（UNFCCC） 53
3.4 京都议定书 56
3.5 UNFCCC 缔约方会议通过的其他重要文件 62

3.6 气候变化谈判 65

第二篇 应对气候变化的行动 1——减缓

第 4 章 不同国家减少温室气体排放的立场与行动 71
4.1 欧盟国家减少温室气体排放的立场与行动 71
4.2 伞型集团减少温室气体排放的立场与行动 75
4.3 “七十七国集团加中国”减少温室气体排放的立场与行动 84
4.4 小岛国联盟减少温室气体排放的立场与行动 88
4.5 石油输出国组织减少温室气体排放的立场与行动 91

第 5 章 清洁发展机制 CDM 92
5.1 概述 92
5.2 CDM 的管理体制框架 97
5.3 CDM 的开发和实施流程 104
5.4 CDM 项目的实施进展 114
5.5 我国的 CDM 发展情况 115

第 6 章 CDM 项目的特点 124
6.1 CDM 的合格性要求 124
6.2 CDM 项目的额外性 126
6.3 CDM 项目方法学 135
6.4 小规模 CDM 项目 145
6.5 造林与再造林 CDM 项目 147

第 7 章 后京都时代的减排方案 151
7.1 背景 151
7.2 以国别为基础的新减排方案 154
7.3 以行业为基础的新减排方案 157

第三篇 应对气候变化的行动 2——适应

第 8 章 构建国家适应战略框架的总体设想 165
8.1 “适应战略开发（评价）”模型的建立和国家适应战略框架构建 165
8.2 我国适应气候变化国家战略的定位与目标确定 170
8.3 我国适应气候变化国家战略的方针和原则拟定 180

第 9 章 适应气候变化战略优先领域的识别 183
9.1 识别优先领域的基本原则 183
9.2 适应气候变化的全国性优先领域和任务 185
9.3 适应气候变化的区域性优先领域和任务 192

第 10 章 实施性适应措施对策矩阵的建立 195
10.1 实施性适应措施的指标体系 195
10.2 全国性优先领域的实施性适应措施 198
10.3 部分区域性优先领域的实施性适应措施 209

第 11 章 促进性适应措施的建议方案 213
11.1 资金机制 213
11.2 技术措施 219
11.3 体制安排 224
11.4 重点政策 228
11.5 能力建设 231
11.6 宣传教育 234
11.7 国际合作 235

参考文献 244

第一篇

气候变化的基本知识

第 1 章　气候变化的科学认识

我们生活的地球正经历着气候变化，其主要特征为温度升高，最近 100 年（1906—2005 年）全球平均地表温度上升了 0.74℃（0.56～0.92℃）。20 世纪后半叶北半球平均温度很可能比近 500 年中任何一个 50 年时段更高，也可能是在过去至少 1 300 年中最高的；而且自 1850 年以来最暖的 12 个年份有 11 个出现在 1995—2006 年。过去 50 年温度每 10 年平均上升 0.13℃，是过去 100 年平均升高量的两倍。

气候变暖还造成了海平面升高、降水变化以及极端气候事件发生频率增加等。海水温度升高已经延伸至 3 000 m 深度，20 世纪全球海平面平均上升约 0.17 m；温度升高和降水的变化，已经造成气候极端事件的增加，2006 年，各种极端事件的发生已经打破了多项历史纪录。

随着对气候变化研究的深入，逐步明确了人类活动是气候变化最主要成因的结论。由于人类活动的影响，全球大气中各种温室气体浓度值都远远超出工业化之前几千年的浓度值，大气中二氧化碳浓度值已经由工业化之前的 280 ppm 增加至目前的 379 ppm；大气中甲烷浓度值已经从工业化前的 715 ppb 增加至 2005 年的 1 774 ppb；大气中氧化亚氮的浓度值已经从工业化之前的 270 ppb 增加至 2005 年的 319 ppb。除此之外，人类活动对土地利用的影响也是气候变化的成因之一。

全球 14 个模式中心和 23 个全球气候系统模式对全球各种温室气体排放和气候变化进行了数值模拟，综合多种模式的预测结果表明，未来全球气候会继续升温、海平面上升速率增加、各种极端气候事件增加等。

虽然如此，由于气候敏感度以及碳循环反馈的不确定性存在，

需要全本请访问 www.ertongbook.com

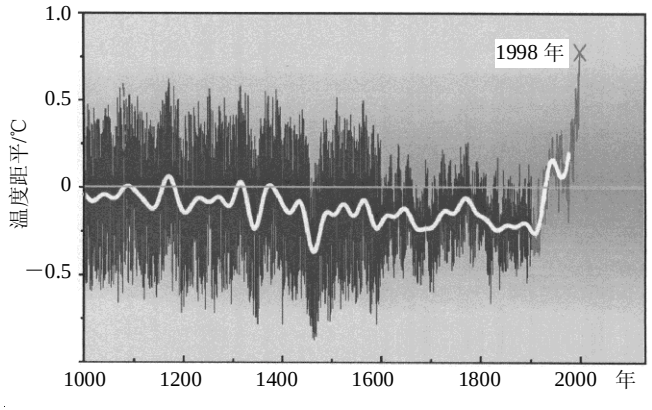
对气候预测还存在一定的不确定性。

1.1 气候变化的基本事实

1.1.1 全球气候变化的基本事实

1.1.1.1 全球温度变化的事实

政府间气候变化专业委员会（IPCC）第三次评估报告中，根据树木年轮、冰芯等气象资料对过去 1 000 年的气候进行模拟重建，得到过去 100 年是过去 1 000 年中地表温度变化最快的结论[1]，如图 1.1 所示。



来源：Houghton J.，Y. Ding，D.J.Griggs et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis.

图1.1　过去1 000年中全球地表温度变化

由于资料的补充、测点的大量增加、分析方法的改进以及树轮、冰芯和珊瑚等代用气候资料的支持，2007 年 IPCC 第四次评估报告的不确定性相对于第三次报告大大减少。第四次评估报告中指出：20

[1] Houghton J.，Y. Ding，D.J.Griggs et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press. 2001.

世纪后半叶北半球平均温度很可能比近 500 年中任何一个 50 年时段更高，也可能是在过去至少 1 300 年中最高的，最近 1 000 多年的北半球平均温度曲线呈现所谓的“曲棍球杆”变化的特点[2]。

1.1.1.2 全球海平面变化的事实

全球气候变暖引起了海洋膨胀和冰盖、冰川融化，导致海平面上升。有仪器监测以来的 150 年中，全球海洋温度和海平面都在持续升高。观测资料表明，全球海洋温度的升高至少延伸至 3 000 m 的深度。20 世纪全球海平面平均上升约 0.17 m。1961—2003 年全球海平面平均上升速率为 1.8 mm/a，卫星观测到的 1993—2003 年的平均变化速率为 3.1 mm/a。近 10 年来卫星观测数据与观潮站的数据精度虽然存在差别，但都可以表明全球海平面具有上升的趋势。IPCC 第四次评估报告还指出了海平面上升的各种影响因子及其不确定性。如表 1.1 所示。

表1.1　海平面上升的各种影响因子

海平面上升的来源	海平面上升率（mm/a）	
	1961—2003年	1993—2003年
热膨胀	0.42±0.12	1.6±0.5
冰河与冰盖	0.50±0.18	0.77±0.22
格陵兰岛冰川	0.05±0.12	0.21±0.07
大西洋冰川	0.14±0.41	0.21±0.35
气候单独对海平面上升的影响	1.1±0.5	2.8±0.7
观测到的总海平面上升	1.8±0.5	3.1±0.7
差异	0.7±0.7	0.3±1.0
注：1993年之前的数据来自潮汐观测，1993年后的数据来自卫星记录。		

来源：IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis.

1.1.1.3 全球降水变化的事实

IPCC 第三次评估报告中指出，气候变化已经造成全球降水的显著变化，北半球大陆在 20 世纪中平均降水增加，大部分中高纬度地区增加了 5%～10%，热带地区增加了 2%～3%，而副热带地区减少

[2] National Research Council of the National Academies. Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 Years [M]. Washington，DC: The National Academies Press，2006:1-141.

了 2%～3%。与北半球相反，南半球不同纬度带没有检测出类似的系统性降水变化，这与没有足够的资料确定降水量的变化趋势有关[3]。

1901—2005 年间，许多地区观测到降水量在发生变化，北美和南美东部、欧洲北部、亚洲北部和中部降水量显著增加，而撒哈拉、地中海、非洲南部、亚洲南部部分地区降水量减少。20 世纪 60 年代以来，南、北半球中纬度西风在加强，观测到的更强、持续时间更长的干旱及强降水事件发生频率在增加[4]。

1.1.1.4 气候极端事件变化的事实

专栏 1.1　什么是气候极端事件

当某地的天气、气候出现不容易发生的“异常”现象，或者说当某地的天气、气候严重偏离其平均状态时，即意味着发生“极端事件”。世界气象组织规定，如果某个（些）气候要素的时、日、月、年值达到 25 a 以上一遇，或者与其相应的 30 a 平均值的“差”超过了二倍均方差时，这个（些）气候要素值就属于“异常”气候值。出现“异常”气候值的事件就是“气候极端事件”。

气候极端事件分为中效尺度和大尺度两类，前者特点为持续时间短、破坏力强；后者特点为覆盖面积广，持续时间长，可能给大范围地区或全球社会经济带来影响。

20世纪，气候极端事件的频率发生了变化：极端低温的出现频率有所下降，极端高温事件增加，北半球中高纬度地区大雨和极端降水事件有增多的趋势，另外一些地区干旱与洪涝发生的频率、强度也增加，如表1.2所示。

[3] Houghton J.，Y. Ding，D.J.Griggs et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press.2001.

[4] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press，2007.

表1.2　20 世纪天气和气候极端事件变化

极端事件	观测到的变化
地表温度日较差	陆地从1950—2000年减少，夜间最低温度增加的速率比白天最高温度快1倍（可能）
热日/高温天气	增加
冷日/霜日	几乎所有陆地在20世纪出现减少现象
大陆降水	北半球在20世纪增加5%～10%，但某些地区出现减少（如北非、西非以及地中海部分地区）
暴雨时间	北半球中高纬度地区增加
干旱频率和强度	在一些地区，夏季变干和发生干旱事件的概率增加。在某些地区最近几十年观测到干旱频率和强度增加
雪盖	从1960年卫星观测以来，观测到全球积雪减少了10%

来源：Houghton J.，Y. Ding，D.J.Griggs et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis.

1.1.2 我国气候变化的事实

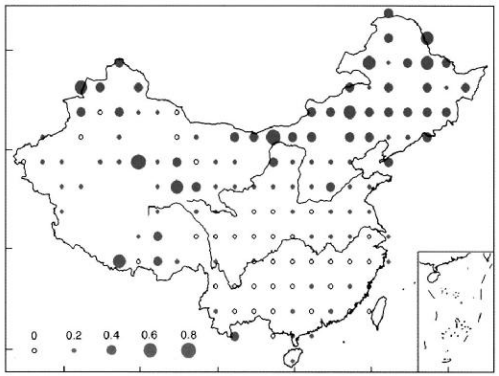
受自然和人类活动因素的影响，我国气候与世界气候一样，也在经历一场以变暖为特征的变化。我国既受到季风的影响，又受到海洋及复杂的大陆地形的影响；同时，我国气候也受到温室气体和气溶胶排放增加、土地利用变化等人类活动的影响。近百年来的仪器观测显示，我国正经历气候变暖，以西北、华北、东北最明显，其中华北地区出现了暖干化趋势。

1.1.2.1 我国温度变化的事实

利用观测资料，对我国过去 50 年的温度变化分析，如图 1.2 所示。

我国气候变化的趋势与全球气候变化的趋势基本一致。近百年来，我国平均气温上升了 0.4～0.6℃，低于全球平均升温 0.6℃的水平；20 世纪 90 年代是百年来最暖的时期，但没有超过 20 世纪 20—40 年代的最暖时期。

从地域分布看，我国气温变化最明显的地区在西北、东北和华北地区，其中西北变暖的强度高于全国平均水平；但是长江以南地区没有出现明显的变化。



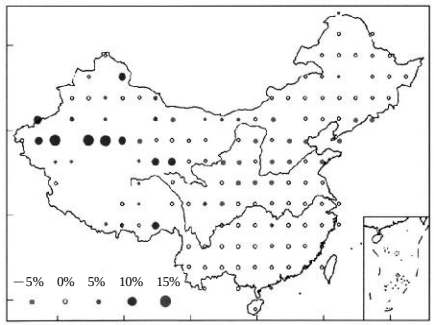
来源：秦大河. 西部环境评估报告（四卷本）[M]. 北京：科学出版社，2002.

图1.2　中国近 50 年的增温速度

据有关资料显示，各季节温度变化中，冬季增温最明显。1985 年以来，全国已经连续出现 16 个大范围的暖冬，其中 1998 年为最暖。

1.1.2.2 我国降水变化的事实

我国过去 50 年降水出现了明显变化，华北大部分地区、西北东部和东北地区，降水明显减少，平均 10 年减少 10～20 mm，而华南与西南地区，降水明显增加；西北地区的西部，降水也有一定程度的增加。如图 1.3 所示。



来源：秦大河. 西部环境评估报告（四卷本）[M]. 北京：科学出版社，2002.

图1.3　中国 50 年来的降水变化

1.1.2.3 我国极端气候变化的事实

由于气候变化的影响，我国极端气候发生的频率和强度也在发生变化。我国有关降水的极端气候事件的变化，如表 1.3 所示。

除降水强度外，其他降水事件发生频率均减小；降水强度有所增加，表明暴雨更为强烈。

另外，我国极端最低温度和平均最低温度都出现了增高的趋势，尤以北方冬季最为突出。同时，寒潮频率趋于降低，低温日数趋于减少，雨日显著减少。

表1.3　中国及分区降水极端事件变化　%/10 a

事件	东北	西北西部	西北东部	华北	华东	西南	华南	西藏	全国
年降水	—	2.3	−0.6	−3.2	0.0	−1.0	0.5	2.1	−0.9
雨日	−5.8	−0.4	−2.5	−5.8	−4.7	−3.1	−3.7	−2.0	−3.9
1 d最大降水	−0.1	1.9	−0.6	−1.5	−0.9	0.5	0.1	−0.9	−0.3
3 d最大降水	−0.6	2.0	−0.7	−1.8	−1.3	0.4	0.3	−1.5	−0.5
＞10 mm/d降水	−1.0	2.9	−0.3	−2.1	0.4	−0.7	0.9	−1.4	−0.4
＞10 mm/d的雨日	−3.3	0.6	−1.1	−1.8	−0.7	−2.2	−1.8	−3.9	−1.7
＞50 mm/d降水	−0.9	—	0.4	−0.9	−0.1	0.4	0.7	—	−0.2
＞50 mm/d的雨日	−4.1	—	−3.9	−3.1	−1.2	−1.4	0.1	—	−2.3
＞100 mm/d降水	−0.4	—	0.7	−1.4	−0.3	1.0	0.2	—	−0.1
＞100 mm/d的雨日	−4.7	—	−1.1	−5.6	−3.4	−2.7	−2.5	—	−3.6
最长连续雨日长度	−4.1	−3.4	−1.7	−3.3	−2.7	−2.8	−1.8	−3.6	−2.9
降水强度	1.5	0.7	−0.3	2.3	3.3	1.0	3.1	−0.8	1.5

来源：翟盘茂，孙安健，任福民，等. 中国极端气候事件研究. 1999.

1.2 气候变化的成因

造成气候变化的原因概括起来可分为自然因素和人为因素两大类。其中，自然因素包括外部强迫因子和气候系统内部变化两种；人为因素包括人类消耗化石燃料以及破坏森林、草地等引起大气中温室气体浓度升高的因素，如图 1.4 所示。

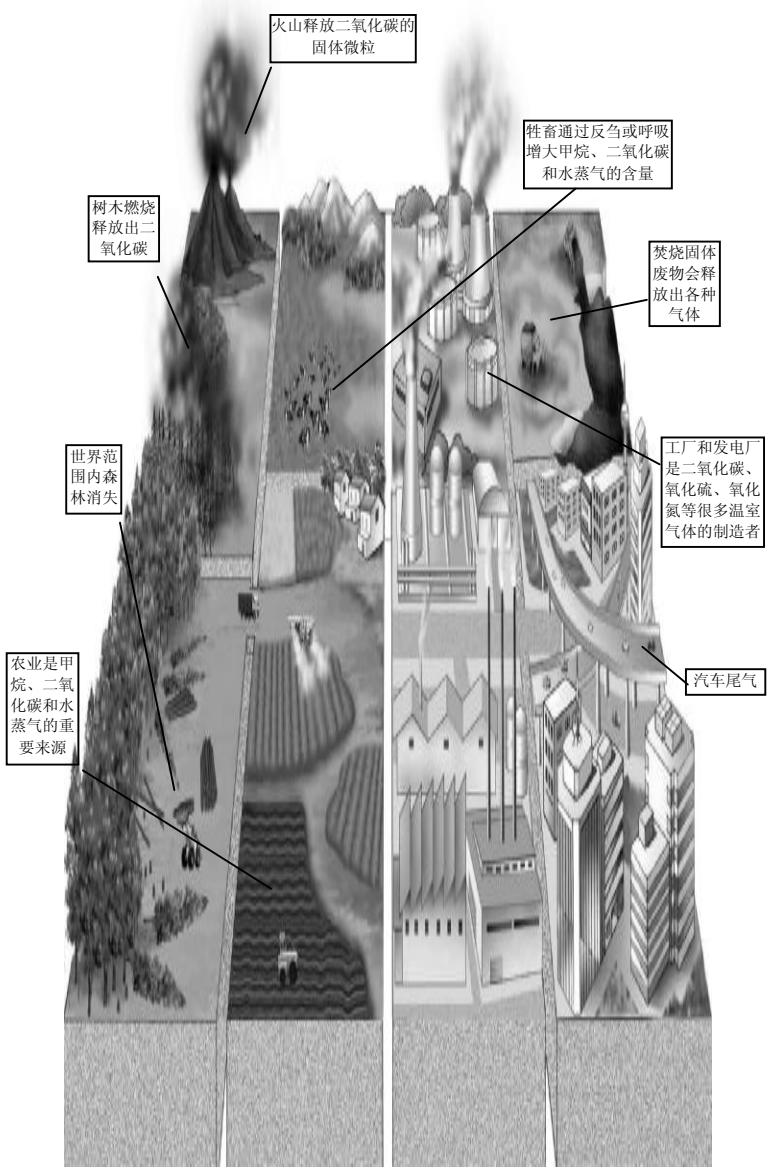


图1.4　影响气候变化的各种因素（绘图：张瑞萍）

专栏 1.2　气候与天气的区别

天气与气候是日常生活中有时会被混淆的两个词，实际上，两个词之间既有区别又有联系。

天气是指一个地方在短时间内的气温、气压、湿度等气象要素及其所引起的风、云、雨等大气现象的综合状况，是时间尺度较短的大气过程。常见的天气现象包括降水、地面凝结和冻结现象、视程障碍现象、大气光象、大气电象以及风暴六大类。

而气候则是指一个地区在太阳辐射、下垫面性质、大气环流和人类活动长时间作用下，在某一时间内天气过程的总和，是时间尺度较长的大气过程。

天气与气候两者的关系为：天气是气候的基础，气候是对天气的概括。一个地方的气象特征是通过该地区各种气象要素（气温、湿度、降水等）的多年平均值及特殊年份的极端值反映出来的。气候与天气相比，具有一定稳定性。

1.2.1 自然因素

1.2.1.1 外部胁迫因子

气候变化的外部胁迫因子是指气候系统以外通过改变气候系统的辐射收支来影响气候的因素，主要包括太阳辐射的变化和火山爆发两类。

太阳辐射变化

气候系统中所有的能量基本都来自太阳，所以太阳能量输出的变化被认为是导致气候变化的一种外部辐射强迫。

引起太阳能量输出变化的原因之一是太阳辐射输出的变化。许多科学家曾试图利用辐射变化来解释气候变化，但是由于缺少精确的测量，太阳能量输出长期被认为是一个常数。直到 20 世纪 70 年代以后，卫星观测显示太阳辐射输出量并不是完全不变的。过去 28 年对太阳辐射的连续监测发现，11 年太阳变化周期的极大和极小活动之间的差值为 0.08%（1.1 W/m^2），1750 年以来由于太阳活动变化引起的直接辐射强迫仅为 0.12 W/m^2，与温室气体变化引起的 2.30 W/m^2 辐射强迫值较小。而且古气候资料显示，过去几千年北半球夏季太阳辐射亦呈减少趋势[5]。所以，太阳辐射变化对当代气候变

[5] 秦大河，陈振林，罗勇. 气候变化科学的最新认识. 气候变化研究进展，2007，3（2）: 63-73.

化的影响不是最主要的因素。

引起太阳辐射变化的另一原因可能是地球轨道的变化[6]。地球绕太阳轨道有三种规律性变化：一是椭圆形地球轨道的偏心率（长轴与短轴之比）以 10 万年的周期变化；二是地球自转轴相对于地球轨道的倾角在 21.6°～24.5°之间变化，周期是 4.1 万年；三是地球最接近太阳的近日点时间的变化，其周期为 2.3 万年。以上参数的变化均可引起地球与太阳相对位置的改变，造成太阳辐射至地球的能量的变化。虽然由此造成的到达地球的太阳辐射变化甚小，但地表辐射随纬度与季节的分布变化较大，利用这种关系可以很好地解释百万年尺度的冰期与暖期之间交替发生的现象。但过去 100 年中，由于地球与太阳相对位置改变而变化的太阳入射辐射远小于 CO_2 浓度增加引起的变化。所以地球轨道变化也不是气候变化的主要原因。

火山爆发

火山爆发是影响气候变化的另一个可能的自然因素。火山爆发后，向空中喷发大量的硫化物气溶胶和尘埃，可以上升到平流层的高空，显著地反射太阳辐射，从而使下层大气降温。因此，火山爆发后数年内一般会出现全球范围的降温，其范围在 0.3～1℃之间。观测表明，近百年来火山活动主要集中在 1880—1920 年和 1960—1991 年间，由于每次火山活动的影响只延续几年时间，与温室气体增加产生的长期作用相比，是一种短时间的影响。因此，火山爆发不会成为造成近百年全球变暖的因子。

因此，外部强迫因子，不管是太阳辐射变化还是火山爆发，都基本确定不是造成气候变化的主要因素。

1.2.1.2 气候系统的内部变化

除太阳辐射变化、火山爆发等外部强迫因子可以造成平均态的气候变化以及气候极端事件外，气候系统内部各部分之间的相互作用，即气候系统内部产生的自然气候变化与变率，也可以造成气候变化。气候系统内部的自然变化中，最重要的方面是大气与海洋环

[6] Houghton J. 全球变暖[M]. 北京：气象出版社，1997：306.

流的变化或脉动。这种环流变化是造成区域尺度各种气候因素变化的主要原因。大气与海洋环流的变化有时可伴随着陆面的变化。

在年际时间尺度上，ENSO 和 NAO 是大气与海洋环流变化的重要例子，它们的变化影响范围大，甚至影响全球尺度的天气与气候变化与异常，是目前气候预测的重要依据。长期以来许多气象学家一直研究这方面的问题，旨在提高全球与区域的气候预测水平。许多研究表明，近几年以来大气与海洋环流十分异常，可能与气候变化有着密切的关联。

世界上有亚洲、非洲、澳洲和美洲等季风区，季风的一个重要特点就是年际变化大，经常造成洪涝、干旱、冷冬和暖冬等；目前，人们关注季风的另一问题是它的长期变化。但现在人们还不清楚季风的变化是否与气候变化有关。

所以气候系统的内部变化也不是造成气候变化的主要因素。

1.2.2 人类活动

IPCC 报告中的气候变化是指气候系统随时间的变化，无论其原因是自然变化还是人类活动的结果。最近几十年，随着气候变化研究的进展和气候的实际变化，尤其是第四次 IPCC 报告，不断加深了人类活动对气候变化影响的认识。大气温室气体和气溶胶含量的变化，及其地气辐射平衡与地表特征的变化，都会改变气候系统的能量平衡，导致气候变化。

1.2.2.1 温室气体浓度的变化

IPCC 第四次报告中指出，1750 年以来，由于人类活动的影响，全球二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）和氧化亚氮（N_2O）浓度都显著升高，目前其浓度已远远超过根据冰芯记录的工业化之前几千年的浓度值[7]。二氧化碳是最主要的温室气体，全球大气中二氧化碳

[7] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press，2007.

专栏 1.3　温室效应与温室气体

温室效应

任何温度在绝对零度（－273℃）以上的物体，都会以电磁波的形式向外传送热量，这种能量传播方式称为辐射。辐射以电磁波的形式向外放散，电磁波是由不同波长的波组成的合成波，波长较短的电磁波相对于波长较长的电磁波含有更高的能量。

一般来说，来自太阳的辐射与来自地球和大气的射向外空的热辐射存在一定的平衡。由于大气中二氧化碳、甲烷等气体浓度升高，它们允许来自太阳的辐射穿过，而捕获来自地面的向外空的热辐射，从而造成地球表面温度升高的现象，即“温室效应”，如图 1.5 所示。



图 1.5　温室效应

现实生活中温室效应的通俗例子较多，如：炙热太阳照晒下，关闭窗户的汽车内闷热的现象、蔬菜大棚内部温度较高等都与温室效应的发生有类似的机理。

温室气体

温室气体指大气中允许太阳辐射通过而吸收射向外空的来自地球表面及大气的辐射、造成地球表面温度升高的气体。

《京都议定书》中规定的 6 种主要温室气体为：CO_2、CH_4、N_2O、PFCs、HCFs 以及 SF_6[8]。各种温室气体对温室效应的贡献，即增温潜能不同。温室气体的增温潜能是向大气释放 1 kg 特定温室气体而带来的全球增温相对于向大气释放 1 kg 二氧化碳所带来的全球增温的比值。各种主要温室气体的增温潜能为：CO_2（1）、CH_4（21）、N_2O（310）、HFC-23（12 000）、SF_6（22 200）[9]。

[8] 《联合国气候变化框架公约》京都议定书. 联合国. 1998. http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpchinese.pdf

[9] IPCC. Climate Change 1995: The Science of Climate Change，table 4，p. 22，Intergovernmental Panel on Climate Change，1996.

浓度已经从工业化之前的 280 ppm 增加至目前的 379 ppm，是过去 65 万年中最高的。化石燃料的使用是导致二氧化碳浓度升高的主要原因。全球大气中甲烷浓度值已经从工业化前的 715 ppb 增加到 2005 年的 1774 ppb，也是 65 万年以来最高的，观测到的甲烷浓度升高很可能源于人类活动，农业和化石燃料的使用是重要来源，对其他来源的定量认识还不足。全球大气中氧化亚氮的浓度值已从工业化之前的 270 ppb 增加至 2005 年的 319 ppb，约 1/3 源于人类活动，农业活动是主要的来源之一。

1.2.2.2　土地利用的变化

土地利用的变化，如植被覆盖的人为破坏、森林砍伐、造林活动和人为引起的草原退化等，也是影响气候的重要方面。一方面，土地利用的变化可以直接或间接地改变温室气体的吸收与排放，影响气候；另一方面，土地利用的改变可以通过改变地表的反照率、粗糙度、土壤湿度与地气感热和潜热来影响气候。大量研究表明，大面积森林破坏会产生感热通量的增加和潜热通量的减少，可使地表温度增加，降水和蒸发减少，从而明显改变区域性气候。

土地利用的变化分为两种类型[10]，一类是由人类活动直接引起的，包括毁林、农业灌溉、城市化以及交通等；另一类是间接变化，即气候的变化或二氧化碳浓度的变化可使生物群落的结构和功能发生变化或造成生物群落的迁移。目前世界各地正利用各种手段连续监测第一类土地利用的变化，这些研究都表明，热带雨林一旦退化或被草原替代，将减少蒸发，升高地表温度。但是对于大范围毁林对水循环的影响仍然不清楚。另外，研究还表明，大范围的开垦和耕种将引起地区性冷却。城市化也是土地利用变化的一种，它通过影响地面粗糙度从而影响地方性风场。城市化现象对于区域气候影响的量级虽然不大，但是会影响监测台站的温度记录，因此应消除城市化的影响。

目前对有关土地利用变化影响的研究表明，大范围土地利用变

[10] 丁一汇，张锦，徐影，宋亚芳，等. 气候系统的演变及其预测[M]. 北京：气象出版社，2003：143.

需要全本请访问 www.ertongbook.com

化都将产生明显的区域气候影响；但科学家也认识到，过去 50～100 年造成的土地利用变化对全球气候变化的作用不可能达到温室气体增加产生的气候变化的量级。

从长期观点看，第二类土地利用变化可能也很重要。如气候变暖造成高纬度地区生长季节延长，从而改变生物密度等，进而改变地面反射率、蒸发和水文等。

1.2.3 气候变化的归因

如上文所述，气候变化是由自然气候波动和人类活动的影响共同造成的，但最近几十年来的气候变化主要是由于人类活动所造成的。IPCC 的多次研究报告都指出，人类活动是气候变化的重要影响因素。如表 1.4 所示。

表1.4　四次 IPCC 报告对气候变化的检测和归因

IPCC评估报告	全球气候变化的检测	全球气候变化的归因
第一次报告（1990）	全球平均地表温度在过去100 a中上升了0.3～0.6℃，这个值大致与考虑温室气体含量增加时气候模式得到的结果一致，但是仍然不能确定观测到的增暖全部或其中一部分可能由增强的温室气体造成	近百年的气候变化可能是自然波动与人类活动共同作用造成的
第二次报告（1995）	在监测人类活动对气候的影响方面取得了相当大的进展。首先，最显著的是气候模式包括了人类活动产生的气溶胶和平流层臭氧变化的作用。其次，通过几百年的模拟实验能够更好地确定气候系统的变率，即强迫因子不发生变化时的气候状态。再次，得到全球平均地表温度比过去上升了0.3～0.6℃，与第一次评估值相同	目前定量确定人类活动对全球气候产生的影响能力是有限的，并且在一些关键因子方面存在不确定性。尽管如此，越来越多的事实表明，人类活动的影响被觉察出来了

IPCC评估报告	全球气候变化的检测	全球气候变化的归因
第三次报告（2001年）	首先，确认了20世纪的变暖是很异常的，重建了过去1 000 a的温度变化序列，并有力地表明过去100 a的温度变化不可能是自然变化造成的，模式的模拟也证明了这一点。其次，20世纪后半叶的增暖与气候系统的自然外部强迫也不一致，因而不能用外部胁迫因子解释过去40 a的气候变化。再次，全球平均地表温度在过去已监测到上升了0.4～0.8℃，比前两次评估值要高，同时也检测出8 km以下的大气出现类似的增温	根据新的和更强有力的事实，并考虑到存在的不确定性，过去50 a大部分观测到的增暖可能由人类活动引起的温室气体浓度的增加造成
第四次报告（2007年）	气候系统变暖，包括地表和自由大气温度，以及所产生的海平面上升均已被检测出来。近100 a（1906—2005年）全球平均地表温度上升了0.74℃。观测到的增温及其随时间变化均已被包含人类活动的气候模式模拟出来了。耦合气候模式对6个大陆中每个大陆上观测到的温度变化的模拟能力，提供了比第三次评估报告关于人类活动影响气候的更强有力的证据	观测到的20世纪中叶以来大部分全球气温的升高，很可能是由于观测到的人为温室气体浓度变化所引起

来源：IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis.

第一次评估报告中（1990 年），认为百年的气候变化可能是由自然波动或人类活动或两者共同造成的。第二次评估报告（1995 年）则明确地指出“越来越多的各种事实表明，人类活动对气候的影响被察觉出来”。但是当时没有得到关于人类活动对气候影响的明确结论。第三次评估报告（2001 年）则得到了近 50 年来气候变化主要是由人类活动引起的重要结论[11] 。

[11] Houghton J., Y.Ding, D.J.Griggs, M.Noguer, P.J.van der Linden., X.Dai, K.Maskell, and C.A.Johnson. Climate Change 2001:The Scientific Basis. Cambridge University Press, 2001.

IPCC 第一工作组 2007 年评估报告中，对各种因素对气候变化的影响进行了定量化分析，更加肯定了人类活动是气候变化的主要因子。

以上评估中，自然因素对气候的影响只占所有影响的 7.5%，其余 92.5%都是由于人类活动造成的，所以，我们可以断定，近百年来的气候变化主要是由人类活动造成的。

1.3 气候变化趋势的预测及不确定性

1.3.1 全球未来气候变化的预测

全球 14 个模式中心和 23 个全球气候系统模式参加了第四次评估报告中有关正因和预测的数值实验，各种复杂模式的对比评估包括了 9 种温室气体排放情景[12]。评估报告给出了各种模式的预测结果，同时给出了各种模拟之间的比较结果，增加了可信度。

1.3.1.1 温度变化的预测

综合多模式、多排放情景的预测结果表明，到 21 世纪末，全球平均气温将上升 1.1～6.4℃。在未来 20 年中，气温大约以 0.2℃/10 a 的速度升高，即使所有温室气体和气溶胶浓度稳定在 2000 年的水平，每 10 a 也将增暖 0.1℃（表 1.5）。如果 21 世纪温室气体的排放速率不低于现在的水平，将导致进一步变暖，某些变化会比 20 世纪更加显著。

第四次报告对变暖的分布和其他区域尺度特征的预测结果较第三次评估更为可信，预计陆地上和北半球高纬度地区增温最显著，而南大洋和北大西洋变暖较弱。

[12] 赵宗慈. 近些年全球气候变化预估研究结果[J]. 气候变化研究进展. 2006，2（2）: 68-70.

表1.5　21世纪全球平均地表增暖和海平面上升的预测

情　景	温 度 变 化		海平面上升
	最佳估算值	可能范围	可能范围
稳定在2000年的浓度水平	0.6	0.3～0.9	无
B1情景	1.8	1.1～2.9	0.18～0.38
A1T情景	2.4	1.4～3.8	0.20～0.45
B2情景	2.4	1.4～3.8	0.20～0.43
A1B情景	2.8	1.7～4.4	0.21～0.48
A2情景	3.4	2.0～5.4	0.23～0.51
A1F1情景	4.0	2.4～6.4	0.26～0.59

来源：IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis.

1.3.1.2 极端天气与气候事件出现的几率增加

IPCC 第四次报告预测，由于气候变化的影响，热浪和强降水等极端天气事件的发生频率很可能持续上升；热带气旋（台风和飓风）的强度可能会更强并伴随着更大的风速和更强的降水。热带以外的风暴路径会向极地方向移动，引起热带以外地区风、降水和温度场的变化。

对气候变化的近期趋势，人类活动对其影响的评估和 20 世纪后期观测到的极端天气事件的变化趋势的预测如表 1.6 所示。

表1.6　气候变化的近期趋势，人类活动对其影响的评估和20 世纪后期观测到的极端天气事件的变化趋势的预估

极端天气事件变化趋势	20世纪后期出现变化趋势的可能性（以1960年之后为准）	认为人类活动对观测到的变化的趋势产生影响的可能性	基于SRES情景的21世纪预估结果，未来存在变化趋势的可能性
多数大陆地区冷昼/冷夜偏少	很可能	可能	几乎确定
多数大陆地区热昼/热夜偏多	很可能	可能（夜）	几乎确定
多数大陆地区暖事件/热浪发生频率增加	可能	多半可能	很可能

极端天气事件变化趋势	20世纪后期出现变化趋势的可能性（以1960年之后为准）	认为人类活动对观测到的变化的趋势产生影响的可能性	基于SRES情景的21世纪预估结果，未来存在变化趋势的可能性
多数地区强降水事件发生频率增加	可能	多半可能	很可能
受干旱影响地区增加	自20世纪70年代以来许多地区可能	多半可能	可能
强热带气旋活动增加	自1970年以来某些地区可能	多半可能	可能
由极高海平面引发的事件增多	可能	多半可能	可能

来源：IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis.

1.3.1.3 海平面将加速上升

随着气候变暖，未来海平面将继续上升[13]。IPCC 第三次报告预测，1990—2100 年海平面将上升 0.09～0.88 m，平均为 0.48 m，是 20 世纪上升速率的 2.2～4.4 倍，即使温室气体稳定在目前的状况下，海平面在几百年以后也可能继续上升。如 IPCC 第一工作组 2007 年预测，其结果也是全球海平面将以不同的速率不同程度地上升。引起海平面上升的因素包括以下方面：

第一个原因是海水膨胀。海洋温度升高，海水就会膨胀，造成海平面升高。海水的膨胀水平随温度不同而不同，各地区的海水膨胀程度存在差异，而且整个海洋不是以相同的速率改变温度，导致海平面上升的计算极为复杂，其计算应该按海洋的模式进行计算。根据 IPCC 预测结果，海平面上升的范围为 0.11～0.77 m，其中热膨胀为 0.11～0.43 m，在 21 世纪上升可能更快。

第二个原因是冰川融化。20 世纪，由于冰川融化，海平面升高 2～5 cm。如果未来南极和格陵兰岛以外的冰川全部融化，海平面将升高 40～60 cm。

第三个原因是极地冰原的消长。极地冰原的消长是一个长期的过程，在成百上千年气候变化的研究中需要考虑该因子，但较短时期的海平面变化可以不考虑这个因素。

[13] McCarthy. J.J. O.F.Canziani，N.A. Leary，D.J.Dokken，and K.S.White，2001: Climate Change 2001:Impacts，Adaptation and Vulnerability. Canbridge University Press.

1.3.1.4 部分地区干旱加剧

IPCC 第四次报告预测，由于气候变化，全球中、低纬度地区降水相对于 20 世纪将明显减少，将给一些地区带来严重的干旱灾害。在温室气体增加而气溶胶不增加的情况下，欧洲中南部地区夏季降水要下降 10%～20%，可能导致降雨日数大大减少，无雨时段加长，有更大的干旱可能性，且较高的温度将增加蒸发。降水减少主要发生在亚热带地区，其中美洲中部和澳大利亚北部最明显，因此这些地区干旱的可能性较大，另外，非洲东部地区也有干旱的可能性。

1.3.2 我国气候变化的预测

我国科学家在 CO_2 浓度继续增高和气溶胶浓度改变的情况下，对我国未来气候变化进行预测。与全球气候变化趋势一样，我国平均气温也将上升，2020—2030 年全国平均气温将上升 1.7℃，到 2050 年可能上升 2.2℃。温度增加的地理范围在我国的分布并不均匀，增加的幅度由南向北增大，西北和东北地区温度上升明显，到 2030 年我国西北地区气温可能上升 1.9～2.3℃，西南可能上升 2℃，青藏高原可能上升 2.2～2.6℃。

气候变化影响下，我国干旱范围和荒漠化程度将加深。如果二氧化碳倍增，温度上升 1.5℃，我国干旱地区将增加 18.8 万 km^2，湿润地区减少 15.7 万 km^2；温度上升 4℃时，干旱、半干旱面积将增加 84.3 km^2，湿润地区减少 59.9 km^2。但这只是在一定假设情况下发生的情况，可能具有较大不确定性。

由于气候变暖，预计我国降水有增加的趋势，各地区中，西北地区降水增加的趋势最明显，一般增幅在 20%以上，平均增幅为 25%；相对于西北而言，西南地区降水增加率较低，平均增幅在 16%左右。总体来说，温室气体增加将使西部地区向暖湿方向发展[14]。

[14] 中国气象局. 气候变化的科学、影响与对策，2003 年 1 月.

我国海平面也具有上升的趋势，预计至 2030 年，我国沿海海平面将上升 1～16 cm，到 2050 年上升幅度将为 6～26 cm，预计 21 世纪末升高幅度将达到 30～70 cm。

1.3.3 气候变化预测的不确定性

1.3.3.1 存在不确定性的原因

目前人类对气候变化的预测还存在不确定性，主要原因如下：

人类对气候变化认识的限制

虽然现在已经提出了多种气候变化的检测与归因的方法，但人们的研究能力还是有限的。气候变化内部变率是一个复杂的过程，目前还没有准确的定量方法能够准确地检测出这些内部变率。而且，自然和人类对气候影响的定量描述，人们也没有找到准确的研究方法。

大气中温室气体浓度预测的不确定性

未来气候变暖的幅度与大气中二氧化碳的浓度有直接关系，只有弄清碳循环过程中的各种“源”与“汇”，尤其是陆地生态系统和海洋物理及生化过程中吸收和排放的二氧化碳的量，才能准确地预测未来大气中二氧化碳的浓度。但目前人们对“源”与“汇”的理解还非常有限。表 1.7 是 IPCC 估算的全球二氧化碳变化一览表：

表1.7　全球二氧化碳年平均收支（Gt/a）

分项	1980—1989	1989—1998
（1）化石燃料燃烧与水泥生产	5.5±0.5	6.3±0.6
（2）大气储存	3.3±0.2	3.3±0.2
（3）海洋吸收	2.0±0.8	2.3±0.8
（4）净陆地吸收=（1）－（2）－（3）	0.2±1.0	0.7±1.0
（5）土地利用排放	1.7±0.8	1.6±0.8
（6）总陆地吸收余项	1.9±1.3	2.3±1.3

来源：Houghton J.，Y. Ding，D.J.Griggs et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis.

从上表可以看出，陆地碳通量的误差范围较大，其次为海洋。

缺乏充分的气候观测资料

目前与气候系统观测有关的观测网基本是围绕天气预报及基本气候条件以及某学科的需要而建立和运行的，但在海洋、高山极地等的台站分布很少，所以，从观测站的布局、观测的内容等方面都不能满足气候系统与气候变化的模拟需要。

气候模式系统不完善

要准确预测未来气候变化的趋势，必须依靠全球复杂的海陆耦合的模式和高分辨率的区域气候模式。但目前气候模式对云、海洋等物理过程还没有完善的描述，还不能处理好云和海洋环流的反馈效应及区域降水等问题。现在描述气候系统模式的气候敏感性范围很大。在 IPCC 第三次评估中，这种敏感性仍然很大。

1.3.3.2 IPCC 报告中对不确定性的描述

IPCC 第四次报告中，使用了一套谨慎定义的术语来表述信度[15]：几乎确定，发生概率＞99%；极可能，发生概率＞95%；很可能，＞90%；可能，＞66%；多半可能，＞50%；多半不可能，＜50%，＞33%；不可能，＜33%；很不可能，＜10%；极不可能，＜5%。第四次报告所给出的结果的不确定性范围，一般在 90%的不确定性区间，即取值高于或低于给定范围可能的 5%。

第四次评估报告关于未来预估的结果给出了明确的描述，特别是对每个情景给出了最佳估算及其可能的范围。对可能范围的最新评估，是根据更多的气候模式结果得出的，这些模式更接近真实情况，同时考虑了碳循环反馈的本质，以及从观测得到的气候相应约束。

[15] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group Ⅰ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press，2007.

第 2 章　气候变化的影响

2.1 对水资源供求的影响

因区域和气候情景的不同，气候变化对河流径流量以及地下水回灌的影响也不同，多数影响预测中较为一致的结论为：至 21 世纪中期，高纬度地区和一些湿热地区年平均径流量和可获得的水源预计增长 10%～40%，而目前已经存在水资源压力的中纬度地区和干热地区，如中亚、地中海、非洲南部和澳洲等水量将减少 10%～30%[16]，但不同模式的预测值存在一定差别；对其他地区的预测尚无一致的结论。

随着气候变化的加剧，缺水地区范围和缺水人口数量将增加。目前全球约 1/3 人口生活在贫水的中亚、非洲南部以及地中海附近等国家和地区。按目前的人口增长趋势预测，2025 年这部分人口将增加至 50 亿。气候变暖可能进一步减少缺水国家的河流径流量和地下水再补充量，但其他一些地区可能会增加。21 世纪，以冰川和雪盖形式存储的水资源将减少，将给以融化水为主要水源的高山地区带来严重影响，这些地区目前居住着约全球 1/6 的人口。

人口增加和经济发展也将增加对水的需求。一些意识到水资源危机的国家和地区已经开始制订适应性措施和风险管理方法，一些国家可能会由于水资源利用效率的提高而降低用水量。相对于对城市和工业用水的影响，气候变化对农业灌溉用水的影响更大，温度

[16] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group Ⅰ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press，2007.

越高，植物蒸腾量越大，这就意味着未来灌溉用水量将要增加。

气候变暖将增加许多地区强降水事件的发生频率，致使洪水发生的频率和规模也将增加，土地利用的变化可能继续导致这些洪水危害的恶化。同时，水温升高以及含有废弃物的径流外溢将会造成水污染指数升高，尤其是河水径流下降的地区，水质恶化可能更为严重。在以降雪为主要水平衡组成部分的地区，由于大部分冬季雪已成为降雨，将导致更大的河水流量高峰，且高峰期由春季转为冬季，也可能给水资源供求带来影响。

水资源管理技术可用于应对气候变化对水文的影响，并适应其他非确定性因素的影响，降低其脆弱度。目前许多国家和意识到水资源风险的地区已经开始研发水行业的适应和管理方法，但是，许多国家实施水资源管理的能力还存在差别，经济转轨和发展中国家的适应能力还比较低。

2.2 对生态系统的影响

2.2.1 自然植被分布与物种组成可能发生明显变化

自然生态系统及自然物理过程的各领域对各气候要素都有一个适应的范围，如果气候变化导致某要素超出该适应范围，就会给自然生态系统带来不利影响。现有观测资料显示，过去 100 年的气候变化已经对全球生态系统产生了显著的影响，如表 2.1 所示。

表 2.1　20世纪观测到的气候变化对生态系统的影响

指　标	已观测到的变化
全球平均海平面	20世纪平均每年上升1～2 mm
河流湖泊结冰期	北半球中高纬度地区大约减少两周（很可能）
北极的冰川范围和厚度	几十年来夏秋季变薄40%（很可能），20世纪50年代以来，春夏季面积减少10%～15%
非极地冰川	20世纪广泛退却

指　标	已观测到的变化
雪盖	20世纪60年代以来面积减少10%
永冻土层	在极地的部分地区，解冻、变暖、退化
植物生长期	过去的40 a中，北半球尤其是高纬度地区每10 a延长1～4 d
动植物分布	植物、昆虫、鸟类和鱼类的分布向高纬度高海拔转移
生育开花和迁徙	北半球开花、候鸟回归、生育季节和昆虫出现时间均提前
珊瑚礁白化	频率增加，尤其是厄尔尼诺年

植被模型研究也表明，气候变化将导致物种分布与组成发生重大改变：尽管生态系统可能不会发生整体迁移，但可能改变特定地区的物种以及优势种；淡水鱼类分布向极地迁移，同时，喜冷、喜凉的鱼类数量减少，喜温性鱼类增加；土地利用变化破坏生物的栖息环境，各物种生存条件将继续恶化，多种动物已经面临很大的生存危险。随着气候变化的深入，如果缺乏适当的管理，会有更多的物种灭绝或进入“濒危和脆弱”的行列。

2.2.2 生物多样性将会减少

气候变化导致某气候因子超出物种的适应范围，该物种就会灭绝或成为脆弱物种，从而减少生物的多样性。随着气候变化速率和幅度的增加，受危害的地域范围，以及受影响的生态系统数目都会增加。据估算，如果全球平均气温升高 1.5～2.5℃，20%～30%的物种将面临灭绝的风险[17]。

2.2.3 近海生态系统受到破坏

气候变化造成的水温升高及海平面上升将对近海生态系统产生显著的影响，其中最显著的是红树林和珊瑚礁生态系统。

[17] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group Ⅰ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press，2007.

红树林生态系统可以积聚泥炭和淤泥，如果海平面上升速度高于泥炭或淤泥沉积速度，某些红树林植被就可能重新分布；如果平均潮高超过基质上升高度，红树林就会减少。据研究，如果一个世纪内全球气温上升 1.4～5.8℃，不会对红树林生长范围产生深刻影响，但热带雨林降水变化可能影响红树林生长，因为红树林对盐度有一定要求，降水减少会增加土壤盐度，影响其生长。

珊瑚礁是海洋环境中生物多样性最丰富的生态系统，其中一部分对温度变化较为敏感，如果全球海洋温度上升 2～3℃，就会产生严重后果；海平面上升也将对珊瑚礁物种产生严重威胁。

2.3 对各地区社会经济的影响

不同地区的基准气候条件、自然和社会系统特征以及资源储备等不同，各地区对气候变化的脆弱性也不同，即使在同一地区对不同人群脆弱性也存在差别。IPCC 第四次报告对全球各地区受气候变化的影响分析[18]如下。

亚洲

气候变化将增加亚洲洪涝、干旱、森林火灾和热带气旋等极端气候事件的频率，降低许多温带和热带干旱国家的农业和水产业生产能力，造成食品安全问题。预计21 世纪中期，东亚和东南亚地区粮食产量将增加 20%，而亚洲中部和南部地区将减少 30%。同时，考虑到人口增长以及城市化的影响，几个发展中国家遭受饥饿的风险仍然较大。

总体来说，亚洲各发展中国家适应气候变化的能力较低、脆弱性高，而发达国家适应能力相对较强、脆弱性较低。预计气候变化将给亚洲多数发展中国家的可持续发展带来负面影响。

由于气候变化，亚洲干旱和半干旱地区径流和水量将减少。据

[18] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group Ⅰ to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press，2007.

需要全本请访问 www.ertongbook.com