

气候变化对水文水资源 影响研究

| 张建云 王国庆 等著 |

 科学出版社
www.sciencep.com

气候变化对水文水资源 影响研究

张建云 王国庆 等著

科学出版社

北京

前 言

全球变化是 20 世纪 80 年代发展起来的一个新兴科学领域，其中气候变化是全球变化研究的核心问题和重要内容。科学研究表明，近百年来，地球气候正经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化。近 50 年气候变暖，主要是人类使用矿物燃料排放出大量二氧化碳等温室气体的增温效应造成的。现有的预测成果表明，未来 50~100 年全球气候将继续向变暖的方向发展。这一增温对全球生态系统和社会经济已经产生并将继续产生重大而深远的影响。

水文循环是气候系统的重要组成部分。由于特殊的地理和气候特征，我国是一个洪涝灾害严重的国家。20 世纪 90 年代洪涝多年平均直接经济损失达 1250 多亿元，给我 国经济社会造成较严重影响。另一方面，我国人均水资源量不足 2200m³，是一个水资源相对缺乏的国家，加上我国水资源空间分布十分不均，北方和西北地区水资源短缺问题突出。我国降水在时间分布上也非常不均，70%~80% 的降水集中于汛期的少数几场洪水，同时洪水资源的利用能力相对薄弱。因此，我国水资源供需矛盾已严重制约着经济社会的发展。气候变暖将加剧水文循环的过程，驱动降水量、蒸发量等水文要素的变化，增强水文极端事件发生的概率，改变区域水量平衡，影响区域水资源的分布。因此，对水文循环及区域水资源的影响（简称对水文水资源的影响）评价以及减缓和适应性对策研究，是气候变化领域最重要的研究内容。

增强的温室效应使得自 1860 年有气象仪器观测记录以来，全球平均气温升高了 $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，最暖的 14 个年份均出现在 1983 年以后，降水分布也发生了较大的变化。大陆地区尤其是中高纬地区降水量增加，有些地区极端天气气候事件出现频率与强度增加。近百年我国气候也在变暖，气温上升了 $0.4 \sim 0.5^{\circ}\text{C}$ ，以冬季和西北、华北、东北地区最为明显，1985 年以来，我国已连续出现 17 个全国大范围的暖冬。降水自 20 世纪 50 年代以后逐渐减少，华北地区出现了暖干化趋势。

对于未来 100 年的气候变化，国内外学者做了大量的研究工作。1988 年，联合国环境规划署（UNEP）与世界气象组织（WMO）共同成立了政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change，简称 IPCC），集合了来自世界各国数百名从事全球气候变化研究领域的科学家，评估目前气候变化的相关科学知识以及对生态系统和经济社会的潜在影响。1990 年，IPCC 发表了第一份评估报告，指出人类活动所排放的温室气体的持续积累，将使 21 世纪的温室效应进一步增强。1996 年 IPCC 发表第二次评估报告，认为若不采取限制措施，人类活动所排放的温室气体将可能使 2100 年全球平均地面气温比 1990 年时增加 2°C 左右。IPCC 第三次评估报告（2001）指出：到 2100 年时，地球平均地表气温将比 1990 年上升 $1.4 \sim 5.8^{\circ}\text{C}$ ，海平面将会上升 $9 \sim 88\text{cm}$ 。21 世纪全球平均降水量将会增加，北半球雪盖和海冰范围将进一步缩小。一些

极端天气气候事件（高温、强降雨、热带气旋等）发生的频率增加。我国研究结果表明：我国气候将进一步变暖，到 2020~2030 年，全国平均气温将上升 1.7℃ 左右；到 2050 年，全国平均气温将上升 2.2℃ 左右，不少地区降水出现增加趋势，但华北和东北南部等地区将减少，因此我国北旱南涝的问题会更加突出，水资源供需矛盾会更加尖锐。

气候变化对水文循环影响评估的研究经历了两个阶段。1970 年以前为工程水文学阶段，此时的水文学主要局限于研究流域水文过程对局地大气强迫（如降水、净辐射等）的响应，以满足洪水、干旱短期预报的实际需要。1970 年以后，随着“气候系统”概念的提出，对水文循环的研究进入了多学科交叉的研究阶段，并开始由大气环流前期特性与汛期洪水干旱的统计分析进行水文长期预测，将水文循环的陆地水文分支与大气分支连接起来。在大气环流模型中引进了陆-气间水量、能量交换的相互反馈作用，陆面水文过程不再被视作仅是被动地受大气强迫驱动，而是通过蒸散发等对大气进行反馈。这些研究，一方面从科学上认识到陆-气间相互作用与反馈的尺度、强度，对提高气候变化及变异预测精度的贡献；另一方面，在实践上探讨了气候变化对区域水资源、对洪水、干旱频次和强度、以及对水生态环境等的可能影响。

目前，气候变化对水资源影响的研究领域主要集中在评估模型、影响评价及适应对策等方面。

（1）评估模型的研究。通常，气候变化对水资源的影响，是将全球气候模式（general circulation model, GCMs）的不同气候情景输入到水文模型中，模拟分析并输出径流的变化结果。为解决陆气耦合模型（coupled atmosphere-land model）中的尺度差异问题，在发展全球气候模式的“降解尺度”技术的同时，大尺度水文模型和分布式流域水文模型也得到了不断的改进与发展。为进行无资料地区的影响评价，一些评价模型也充分利用了遥感数据与 GIS 技术；有些改进的模型不仅被用于区域水量的计算，而且也可以评价气候变化对水质等生态环境的影响。

（2）影响评价研究。自 IPCC 第二次评估报告（1996）以来，一些研究者使用大尺度水文模型，以 1961~1990 年为基准年，并采用 Hadley 中心的 HadCM2 和 HadCM3 模拟的 2050 年气候情景，分析评估了世界范围内 60km×60km 网格上的径流变化。《气候变化公约》第二条款指出，“将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平，这一水平应当是以使生态系统能够自然地适应气候变化，确保粮食生产不受威胁并使经济发展能够可持续的进行”。因此，在评价内容上，不仅需要分析水系统对气候变化的敏感性和脆弱性，而且需要研究导致水系统突变的危险水平和系统不可逆转的临界值，即系统变化的阈值。

（3）适应对策研究。过去十几年中，面对气候变化对水资源管理实践的挑战，适应技术被应用在水管理领域。例如，在英国，供水公司从 1997 年开始要求定期考虑气候变化对未来水资源的影响；在美国，美国水务工作联合会动员水利部门，调查整个水资源系统对气候变化的脆弱性。水管理策略的变化对于适应气候变化对水资源的影响有着重要的意义。一体化水管理是被公认的与环境变化相协调的水资源管理办法，它将提高水管理者对气候变化的适应能力。

当今世界,人类的发展与进步面临着人口膨胀、资源短缺和环境恶化三大问题的严重挑战,这三大问题均与水资源有着密切的关系。不同于其他矿产资源,水资源具有水循环更替的可更新性、资源消耗用水的极限性、时空分布的不均匀性、在一定的自然和人为环境下水量及水质的可变性,以及兴利和成灾的双重性。因此,对于我国人口十分密集且水资源先天条件并不优越的实际情况而言,水资源问题就显得格外突出并成为制约我国经济和社会可持续发展的重要因素。目前,我国水资源问题主要表现在以下四个方面:

(1) 洪涝灾害频繁。全国大部分地区最大 4 个月的降水量约占全年降水总量的 70%,往往造成汛期洪水成灾。20 世纪 90 年代的 10 年中,主要江河流域有 6 年发生大洪水,局部地区的洪水每年都会发生;平均每年有 7 个台风在中国大陆登陆;因暴雨引发的泥石流、滑坡等突发性地质灾害也很突出。

(2) 水资源短缺突出。长江以北水系流域面积占全国国土总面积的 64%,水资源量却只占全国的 19%。按正常需要和不超采地下水,年缺水总量约为 300 亿~400 亿 m^3 。每年农田受旱面积 700 万~2000 万 hm^2 。全国 669 座城市中有 400 座供水不足,110 座严重缺水。水资源短缺已经成为我国尤其是北方地区经济社会发展的严重制约因素。

(3) 水土流失严重。目前我国水土流失面积 356 万 km^2 ,占国土面积 37%,每年流失的土壤总量达 50 亿 t。严重的水土流失导致土地退化、草场沙化、生态恶化,造成河道、湖泊泥沙淤积,加剧了江河下游地区的洪涝灾害。

(4) 水污染尚未得到有效控制。根据我国 2002 年的水质评价结果,在调查评价的 12.3 万 km 河长中,Ⅳ类水河长占 12.2%,Ⅴ类或劣Ⅴ类水河长仍占 23.1%。在相当大程度上,人类活动的反馈作用加剧了气候变化对水资源系统的脆弱性。

我国所面临的这些水问题,究其产生的自然原因都与气候的变异与变化密切相关。全球气候变化与变异将导致全球水文循环的加剧,并对我国区域水资源产生一定的影响。加之人口增长、社会经济发展及生态需水量增加等诸多压力,将进一步加剧我国水资源供需矛盾,使得我国水资源系统对气候变化的脆弱性加大。

气候变化在过去几十年中已对我国水文水资源产生了一定的影响。我国 6 大江河主要控制站的实测地表径流量系列的变化趋势及显著性检验结果表明,近 50 年 6 大江河的实测径流量大都呈下降趋势。下降幅度最大的是海河流域的黄壁庄,每 10 年的递减率达 36.64%。尽管剧烈的人类活动影响、人口增长及社会经济发展引起用水量的增加,是江河径流量不断减少的重要原因,但近些年来气温不断攀升及降水量变化对河川径流的影响也是不容忽视的重要原因。

近 20 多年来,我国干旱、洪涝等极端水文事件也频繁发生。例如,在 20 世纪 80 年代,华北地区持续偏旱,京津地区、海滦河流域、山东半岛 10 年平均降水量偏少 10%~15%。进入 20 世纪 90 年代,干旱区继续扩展,黄河中上游地区(陕甘宁)、汉水流域、淮河上游、四川盆地 1990~1998 年 9 年的平均年降水量偏少约 5%~10%,气温偏高 0.3~0.8℃。黄河利津以上同期平均来水量偏少 32%,约合 211 亿 m^3 。北方缺水地区持续枯水期的出现以及黄河、淮河、海河和汉水同时遭遇枯水期等不利因素的

影响,加剧了北方水资源供需失衡的矛盾。与此同时,我国南方汛期降水增多,多次发生流域性或区域性大洪水。如1991年淮河大水,1994年、1996年洞庭湖水系大水,1995年鄱阳湖水系大水,1998年长江、珠江、松花江发生超过历史记录洪水,1999年太湖流域发生超过历史记录洪水,2003年淮河流域发生流域性大洪水。南涝北旱的格局进一步加剧。随着国民经济社会的快速发展,每年因洪水灾害造成的直接经济损失达数百亿元,20世纪90年代多年平均高达1250多亿元,1998年大水的直接经济损失达2466亿元之巨。

本书的编写主要基于作者参加或主持的国家“八五”科技攻关项目“气候变化对水文水资源的影响及适应对策研究”、国家“九五”重中之重科技攻关项目“气候异常对我国水资源及水分循环的影响评估模型研究”和国家“十五”科技攻关项目“气候变化对我国淡水资源的影响阈值及综合评估”等专题研究成果。全书共分九章。第一章绪论,主要介绍气候变化对水文水资源影响研究的现状;第二章分析了在气候变化背景下我国气象、水文要素的变化现状;第三章至第五章,介绍了目前主要使用的影响评价模型、模型在不同流域的应用状况以及影响评价中需要重点解决的无资料地区的影响评价问题和陆气耦合中的降尺度问题;第六章和第七章根据假定的气候情景以及未来可能的的气候情景,分析评价了水资源系统对气候变化的敏感性以及脆弱性;第八章针对我国主要江河近年来径流锐减的事实,分析探讨了影响河川径流变化的主要因素,并以黄河流域为例,定量评价了气候变化和人类活动对河川径流的影响;第九章重点分析了气候变化影响评价结果的不确定性、适应对策和需要进一步研究的问题。

全书由南京水利科学研究院张建云教授设计并统稿,由张建云教授和黄河水利委员会王国庆博士执笔。水利部水文局章四龙教授级高工、李岩高工、王金星博士编写了第七章,并参与了第二章的部分编写工作;河海大学吴志勇博士参与了第三、七章的部分编写工作;河海大学贺瑞敏博士参与了第二、八章的编写及全部书稿的整理工作。全书由南京水利科学研究院刘九夫教授级高工审查;科学出版社的吴三保编审在本书的选题和编审工作中均给予了很大的帮助,付出了辛勤的劳动。笔者对所有为本书出版做出贡献的同事和朋友们致以衷心的感谢。

在上述攻关项目的执行和本书的编写过程中,自始至终地得到丁一汇院士、刘春蓁教授级高工、郭生练教授、郝振纯教授、刘九夫教授级高工等的大力帮助,在此一并表示感谢!

气候变化是一项长期的、全球性的问题,更是一个跨学科的极其复杂的科学问题。气候变化对水文水资源的影响评价对国家经济社会可持续发展有着非常重要的指导作用,但该领域的许多科学技术问题仍是较长时期内研究的热点和难点,需要进一步深入的研究。限于作者水平,书中难免存在不足之处,敬请广大读者和同行专家批评指正。

张建云

2006年12月 于南京

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 气候系统与水文循环	1
1.2 影响气候变化的可能因素	2
1.2.1 自然强迫	2
1.2.2 人类活动	3
1.3 气候变化的主要影响	4
1.4 气候变化影响及适应性评价的目的意义	5
1.5 气候变化影响评价方法	7
1.6 国内外相关研究成果.....	10
1.6.1 国际合作研究项目和计划.....	10
1.6.2 国内主要研究项目和计划	11
1.7 IPCC 关于气候变化影响评价的主要结论	13
主要参考文献	15
第二章 水文气象要素变化趋势分析	18
2.1 水文气象要素变化趋势性诊断方法.....	18
2.1.1 线性回归方法.....	18
2.1.2 Man-Kendall 秩次相关检验法	18
2.1.3 Spearman 秩次相关检验法	19
2.2 近 50 年气象要素变化趋势分析	19
2.2.1 近 50 年全国气温变化情势	19
2.2.2 近 50 年全国降水的地区分布及其年际变化趋势	21
2.2.3 近 50 年全国蒸发的地区分布	24
2.2.4 近 50 年来典型测站气象要素变化趋势的显著性检验	26
2.3 近 50 年水文要素变化趋势分析	30
2.3.1 我国主要江河实测径流量的变化情势.....	30
2.3.2 我国主要江河实测径流量变化趋势诊断.....	31
2.4 全球气候模型及未来气候变化.....	35
2.4.1 全球气候模型简介.....	35
2.4.2 未来全球气候变化情景.....	37
2.4.3 未来中国气候变化情景.....	38
主要参考文献	42

第三章 气候变化影响评价模型	44
3.1 概述	44
3.1.1 水文模型研究现状	44
3.1.2 气候影响评价模型选择原则	45
3.2 集总式评价模型	46
3.2.1 新安江模型	46
3.2.2 两参数水量平衡模型	48
3.2.3 黄河水量平衡模型	49
3.2.4 AWBM 模型	51
3.2.5 SIMHYD 模型	52
3.2.6 其他一些水文模型	54
3.3 分布式评价模型	56
3.3.1 VIC 分布式模型	56
3.3.2 SWAT 分布式模型	58
3.4 不同水文模型比较	61
主要参考文献	62
第四章 流域水文模型在典型流域的应用	65
4.1 模型参数的率定	65
4.2 水文模型在湿润半湿润流域的应用比较	66
4.3 水文模型在干旱半干旱流域的应用比较	68
4.3.1 水文模型在三川河流域的应用对比	68
4.3.2 流域水文模型在清涧河流域的应用比较	70
4.3.3 流域水文模型的应用情况分析	73
4.4 新安江模型在淮河和海河流域的应用	76
4.4.1 新安江模型在淮河流域的应用	76
4.4.2 新安江模型在海河流域的应用	77
4.5 黄河水量平衡模型在黄河中游的应用	79
4.6 VIC 分布式模型在我国典型流域的应用	84
4.6.1 数据来源及参数标定	84
4.6.2 典型流域的选择	94
4.6.3 模拟结果分析	96
主要参考文献	101
第五章 陆气耦合技术及应用	103
5.1 概述	103
5.2 陆气耦合中的降尺度技术	104
5.2.1 双线性降尺度插值方法	105
5.2.2 不等距拉格朗日三点插值方法	106
5.2.3 网格细化的优化技术	106

5.2.4 个例分析	106
5.3 水文模型参数网格化技术	108
5.3.1 相似移植法	109
5.3.2 等值线插值法	109
5.3.3 参数的区域率定法	111
5.4 黄河水量平衡模型在黄河中游的区域率定及应用检验	112
5.4.1 黄河水量平衡模型在黄河中游的区域率定	112
5.4.2 黄河水量平衡模型在“无资料地区”的应用检验	114
5.5 黄河中游大尺度区域径流的分布式计算	115
5.5.1 产流单元的划分及相应雨量、参数的确定	115
5.5.2 大尺度流域的汇流计算	117
5.5.3 黄河中游大尺度区域的水文模拟	118
主要参考文献	120
第六章 水资源系统对气候变化的敏感性	122
6.1 敏感性的基本概念	122
6.2 气温变化对蒸发能力的影响	122
6.2.1 资料收集与整理	123
6.2.2 黄河中游气温与蒸发能力的关系	123
6.2.3 黄河中游气温变化对蒸发能力的影响	125
6.3 河川径流对气候变化的敏感性	125
6.3.1 不同区域河川径流对气候变化的敏感性	125
6.3.2 气候变化对径流组成及径流年内分配的影响	128
6.4 内陆河高寒山区径流对气候变化的敏感性	130
6.4.1 天山伊犁河径流对气候变化的敏感性	130
6.4.2 气候变化对其他流域冰川径流的影响	132
6.5 气候变化对水文极值事件的影响	133
6.5.1 洪水频率和洪峰流量对气候变化的敏感性	133
6.5.2 未来气候变化对极端水文事件的影响	134
主要参考文献	136
第七章 水资源系统对气候变化的脆弱性分析	138
7.1 水资源系统脆弱性评价指标及现状评价	138
7.2 未来水资源情势	139
7.2.1 VIC 模型的参数移植	139
7.2.2 气候情景分析	141
7.2.3 径流深模拟结果	147
7.3 未来水资源需求	150
7.3.1 工业需水预测	150
7.3.2 农业需水预测	157

7.3.3	生活需水预测	161
7.3.4	国民经济需水总量	164
7.3.5	生态与环境需水预测	166
7.3.6	需水总量	170
7.4	水资源系统对气候变化的脆弱性及影响阈值	171
7.4.1	未来人均水资源量	171
7.4.2	人均径流量的变化	175
7.4.3	未来缺水率分布	178
7.4.4	气候变化对淡水资源影响的综合评价	180
主要参考文献		180
第八章	径流变化成因定量分析方法	182
8.1	概述	182
8.2	河川径流影响因素分析	182
8.2.1	气候条件变化对河川径流的影响	183
8.2.2	地理因素对河川径流的影响	183
8.2.3	土地利用变化对径流的影响	184
8.2.4	水利工程对河川径流的影响	186
8.3	河川径流影响分析方法	187
8.3.1	长序列资料对比分析方法	187
8.3.2	对比试验方法	187
8.3.3	分项计算组合方法	187
8.3.4	流域水文模拟方法	188
8.3.5	气候变化和人类活动对径流影响的分离评判方法	188
8.4	气候变化和人类活动对黄河中游河川径流的影响	189
8.4.1	气候变化和人类活动对河龙区间典型支流河川径流的影响	190
8.4.2	气候变化和人类活动对龙三区间河川径流的影响	195
8.4.3	气候变化和人类活动对三花区间河川径流的影响	199
8.4.4	气候变化和人类活动对黄河中游不同区间径流量影响的比较	203
主要参考文献		205
第九章	评价结果的不确定性及其适应对策研究	206
9.1	影响评价结果不确定性的因素	206
9.1.1	区域气候变化的不确定性	206
9.1.2	评价模型的不确定性	207
9.1.3	评价过程的不确定性	208
9.2	降低评价结果不确定性的途径	208
9.2.1	提高区域气候变化情景预测精度	208
9.2.2	完善气候变化影响评价模型	210
9.3	解决水资源供需矛盾的适应性研究	210

9.3.1 完善政策法规, 加强水资源综合管理	210
9.3.2 建立节水型社会	211
9.3.3 加强水利基础设施建设	211
9.3.4 利用先进技术, 加强污水处理和海水利用	211
9.3.5 调整产业结构	212
9.4 需要进一步研究的问题	212
主要参考文献	213

第一章 绪 论

1.1 气候系统与水文循环

气候系统是一个由大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈（陆面）和生物圈组成的高度复杂的系统，这些圈层之间相互作用。在自身动力和外部强迫作用（如火山喷发、太阳变化、由人类引起的诸如大气组成的改变以及土地利用等）的驱动下，气候系统不断随时空发生变化，具有不同的时空尺度的变化和变率。

水文循环是气候系统内各圈层相互联系的纽带，其直接驱动力来自太阳辐射能，在这一作用下，陆面及海洋中的水被蒸发进入大气，凝结成降水落到地表，渗入土壤，补给地下水，并形成江河径流，汇入海洋再蒸发返回大气，周而复始。尽管参与水文循环的有效水量只占地球总水量的很小一部分，但它却直接影响气候变化，形成江、河、湖、沼等水体及塑造各种地貌，形成巨大的水利资源和洪水、干旱等一切水文现象。

作为气候系统中的重要成员，水文循环既受气候系统的制约，又对气候系统进行反馈。自然强迫产生的气候变化引起降水时空分布、强度和总量的变化以及雨带的迁移；气温、空气湿度、风速的变化以及太阳辐射强迫的变化，将直接影响蒸发、径流及土壤水的变化。反过来，陆面土壤湿度、反照率及植被的变化又影响云、雨的形成。

水文循环也受人类活动的直接干预与影响。一方面，人类生产和社会经济发展使大气的化学成分发生改变，温室气体浓度的显著增加引起气温升高，蒸发加大，从而导致水文循环的变化；另一方面，人类活动使流域下垫面发生变化（如农林垦殖、森林砍伐、水利工程的兴建、灌溉系统的运用、城市化等），改变天然径流和蒸发的时空分布及地下含水层的补给，从而导致水文循环的变化。虽然人类活动的范围是局部的，但是影响强度很大，有时对水文循环的影响可以扩展至较大区域甚至是全球。

图 1.1 为气候变化对水循环各分量影响的示意图。由图 1.1 可以看到，气候变化通过海面上升、大气环流变化、蒸发增加、冰雪条件变化等引起降雨、蒸发、入渗、土壤湿度、河川径流、地下水径流等一系列的变化，并导致径流情势、洪水强度和频率、枯水强度及持续时间等的变化；水循环的变化将进一步影响水资源管理系统及社会经济系统，如供水、灌溉、航运、城市排水、水力发电、洪水调度、水土保持及水污染控制等。因此，近年来国际社会对未来可能发生的气候变化及其对水文循环、水资源量和质的影响（包括淡水供应及可靠性、用水的需求、洪水和干旱）、对现有或拟建的水利工程的结构和安全、对水管理方面的影响、以及适应性对策研究等都给予了很大的关注。气候变化对水文循环和水资源的影响也成为当今科学研究的热点。

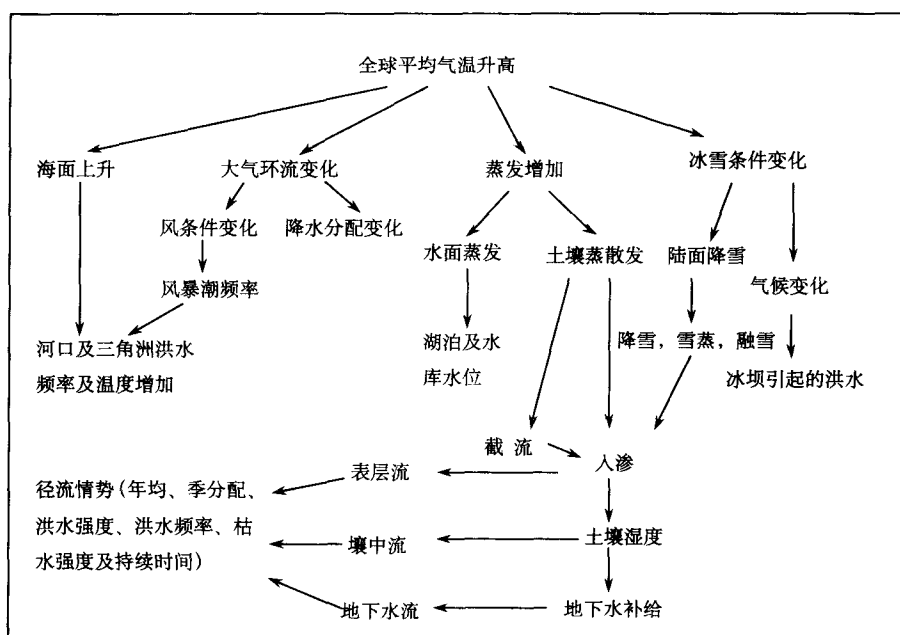


图 1.1 气候变化影响水循环各分量示意图 (IPCC, 2001)

1.2 影响气候变化的可能因素

气候系统在自身动力学和外部强迫作用下，不断地随时间而发生具有不同时空尺度的变化与变率。总的起来，引起气候系统变化的原因概括起来可分成自然的气候波动（自然强迫）与人类活动（人为强迫）影响两大类。

利用气候模式模拟考虑自然强迫和人为强迫引起的全球温度变化 (IPCC, 2001) 表明，当只考虑自然强迫时，模拟结果与观测结果两者不相吻合；当只考虑人为强迫时，两者基本吻合，但是 20 世纪 20 年代至 50 年代差异较大；当考虑所有强迫时，两者在 100 年的变化上最为吻合 (图 1.2)。因此，影响 20 世纪气候变化的主要因子是太阳活动、火山爆发和海气相互作用以及人类活动。其中，人类活动在近 100 年全球变暖中起了明显作用，尤其在后 50 年。

1.2.1 自然强迫

引起气候系统变化的自然强迫包括系统外的影响（如太阳辐射的变化、火山爆发等）和系统内部因子影响（如海气相互作用、温盐循环、季风等）。

科学家们估计，自 1850 年以来太阳辐射的最大变化不大可能超过 0.5 W/m^2 。这一数值只是与大气温室气体增加在 10 年内引起的地球表面能量变化相同，因而太阳辐射的变化不可能是引起现代全球变暖的主要原因。

近百年主要的火山爆发活动期在 1880~1920 年和 1960~1991 年。由于每次火山爆

模拟的1860年以来温度上升和实际观测到的温度上升比较

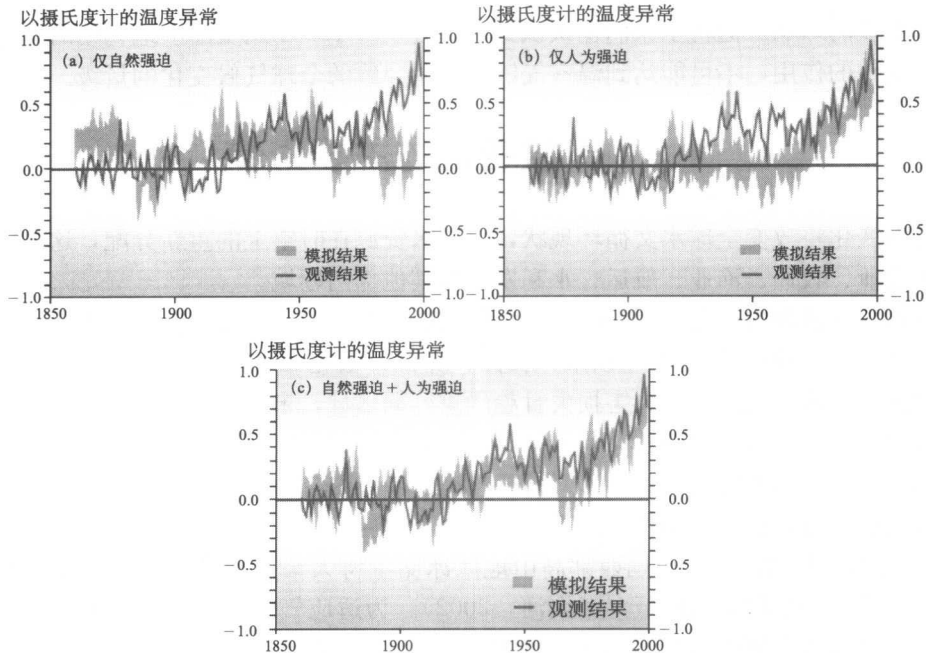


图 1.2 模拟全球近百年平均地表温度距平变化 (对 1880~1920 年平均值) (IPCC, 2001)

发影响的延续时间只有几年,与温室气体增加产生的长期作用相比,它是一种短时期的影响,不是造成近百年全球变暖的因子。20 世纪最强一次火山爆发(菲律宾 Pinatubo 火山爆发,1991 年),造成全球气温 2~3 年下降 $0.2\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ (UEA, 2002),使连续增温的全球平均地表温度曲线上呈现出短期的谷区。

此外,大气与海洋环流的变化是造成区域尺度上各种气候要素变化的主要内因。国内外研究表明 (IPCC, 1992; 2001),大气与海洋环流的变化在近几十年十分反常,但厄尔尼诺与拉尼娜事件对全球气温在年际尺度上仅可能造成 $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 的瞬时影响。

1.2.2 人类活动

近年来全球气候变化之所以引起各国政府、科学界与公众广泛的关注,主要是由于人类活动(如人类燃烧化石燃料以及毁林引起的大气中温室气体浓度的增加,气溶胶浓度的变化,陆面覆盖和土地利用的变化等)正在改变着大气成分,即大气中温室气体含量与对流层气溶胶含量不断增加和平流层 O_3 不断减少(臭氧洞或平流层臭氧耗损)。

人类活动直接影响气候变化的因素是温室气体的排放,这也是导致全球气候变暖的主要原因。由于人类活动加剧,使得大气中温室气体的浓度在近 200 年中迅速增加,并通过温室效应影响地球的辐射平衡,进而影响全球气候并使之变暖。

人类活动影响气候变化的另一因素是土地利用变化。土地利用变化:一类是直接变化,即由人类活动引起的变化,如毁林、造林、农业灌溉以及城市化、交通等;另一类

是间接变化,即气候变化或 CO_2 含量变化使生物群落的植被结构和功能发生变化,造成生物群落本身的迁移。研究表明 (IPCC, 1996), 大范围土地利用的变化对区域气候能产生明显的影响。但科学家们也认识到,过去 50~100 年间实际土地利用的变化对全球气候变化的作用,不可能达到温室气体增加所导致的全球气候变化的量级。

1.3 气候变化的主要影响

气候变化将改变全球水文循环现状,引起水资源在时空上的重新分配,这将进一步影响到农业、牧业、渔业、航运、水利发电等其他部门领域。

对水资源的影响。近 50 年来 6 大江河的实测径流量整体上呈减少趋势,同时洪涝灾害频繁发生。特别是 1990 年以来,长江、珠江、松花江、淮河、太湖、黄河均连续发生多次大洪水。洪涝干旱灾害损失日趋严重。据估计,未来 50~100 年,北方地区的部分省份年平均径流深将减少 2%~10%,南方地区平均增幅却达 24% (水利信息中心, 2001; 水利部水文局, 2003)。气候变化没有从根本上缓解人口和社会经济造成的水资源短缺形势,相反,还将可能进一步加剧我国南涝北旱的状况。预计 2050 年西部冰川面积将减少 27.2%, 中国西部高山地区冰储量将大幅度减少,冰川融水对河川径流季节调节能力也将大大降低 (秦大河, 2002)。为适应气候变化,要实现水资源的优化配置,完善水资源综合管理政策法规建设,建立节水型社会,加强水利基础设施建设,加强生态环境保护和建设,提高水资源系统的适应能力。

对农业的影响。气候变化对农业的影响有利也有弊,但弊可能大于利。气候变暖导致的气温升高,对一些地区的作物生长是有利的。但研究表明,在东北地区,冬小麦种植北移西延明显,玉米晚熟品种种植面积不断扩大;内蒙古草原区春旱加剧,生产力下降。全国极端天气气候事件增多,经济损失有加重趋势。未来的种植制度也会发生较大变化。2050 年后主要作物产量下降,最大可达 37%,品质下降,病虫害加重,肥料和水分有效性降低,农药、化肥、灌溉水量增加,生产费用升高。适应对策包括强化优势农产品的规模化区域化布局、大力发展粮食生产、选育抗逆品种,发展包括生物技术在内的新技术,增强农业抗灾能力 (秦大河, 2002)。

对沿海地带的影 响。我国海岸带在响应气候变化和海平面上升方面具有不同于欧美海岸的特殊性。我国沿海在海平面上升的背景下,极端天气气候事件 (风暴潮、洪水、强降雨等) 通常是沿海地区致灾的主要原因。对黄河、长江、珠江三角洲的影响将最为严重。未来海平面上升,河流泥沙减少,极端干旱事件的作用增强,将加重海水入侵、海岸侵蚀、三角洲增长减缓、甚至衰退,海岸低地被淹,及其范围随之扩大。

对林业的影响。几十年来,祁连山地森林区森林面积减少 16.5%,林带下限由 1900m 上升到 2300m,并且覆盖度减少 10%;四川省近 15 年来全省的草产量由 $4140\text{kg}/\text{hm}^2$ 下降到 $3600\text{kg}/\text{hm}^2$ 。未来中国温度带的界线将北移,干旱范围扩大 84.3 万 km^2 。但在 B2 情景下,东北自然生态系统脆弱性会降低,森林生产力将增加 1%~10%,草地地上最大生物量可增加 13.3%~23.1% (秦大河, 2004)。

对环境的影响。人类活动和气候变化已经使凤眼莲和亚洲盘羊等的分布改变,生物

灾害和北方河流断流频发,三江平原和青海湿地功能下降,水土流失和荒漠化扩展。气候变化将使基因多样性、物种分布和生态系统面积改变,湿地面积减少,自然保护区功能下降,土壤侵蚀加速,泥石流增加,土壤肥力下降。

对人体健康的影响。洪涝灾害后,感染性腹泻如霍乱、痢疾、伤寒、副伤寒增加,高温热浪频率的增加,也将会增加脑心血管、中暑等疾病的发生。气候变化可通过增加疾病的发生和传播的机会危害人类健康。预计气候变化将增加心血管病、疟疾、登革热和中暑等疾病发生的程度和范围。要加强灾害预报,针对气候变化防病治病,治理污染食用水及食品;积极利用信息技术,建立健全疾病监测、监控网络,以利早期发现病人,预防疫区扩大。

对重大工程的影响。对三峡水利工程,未来气候变化情景下,降水量变异系数的加大和强降水出现几率的提高,将增加汛期洪涝发生的频率,并可能加剧三峡库区泥石流、滑坡等地质灾害的发生。对南水北调工程,气候变化改变不了南水北调受水区水资源短缺的状况;气候变化对东线调水量无大影响,但当上游来水减少和枯水年时,气温升高对东线水质的影响不可忽略;对汉江可调水量的影响很小。对青藏铁路工程,青藏铁路修建的关键问题是冻土,受气候变暖与人类活动的影响,冻土趋于退化;未来青藏高原气温仍明显变暖,青藏铁路沿线多年冻土将进入大范围的退化阶段,可能影响铁路路基的稳定性,因此,应加强青藏铁路沿线气温和冻土变化监测研究及冻土环境保护。

对生态工程的影响。气候变化对我国6大林业重点工程的影响有利也有弊。随着气温升高和干暖化趋势的发展,林火和病虫害威胁可能增大。气候带的北移将使我国野生动、植物生境和生态系统也随之北移;现在部分工程区内的宜林荒地和退耕地可能逐步转化为非宜林地和非宜林退耕地,部分荒山造林和退耕还林形成的森林植被有可能退化;“三北”地区、太行山、长江中上游干旱干热河谷地区的环境可能变得更为恶劣,造林更为困难。在CO₂浓度倍增和气候变化情景下,我国森林净初级生产力将增加,但在速生丰产林适宜的温暖和湿润地区增加幅度较小。

对其他方面的影响。气候变化产生的气温升高可能使冰川融化和海平面上升,导致山区、海岸和海岛风景地的变迁,影响自然保护区和国家森林公园等以生态环境和物种多样性为特色的旅游景点,从而对自然和人文旅游资源以及对旅游者的安全和行为将产生重大影响。

我国气候的重要特点是温度变化幅度大于地球上其他同纬度地区,致使冬季采暖、夏天空调用能的问题与同纬度国家相比,更加突出。由于全球变暖,将加剧未来我国空调制冷的电力消费的持续增长趋势,对保障电力供应带来更大压力。

1.4 气候变化影响及适应性评价的目的意义

IPCC的系列报告表明,在20世纪的100年中,全球地面空气温度平均上升了0.4~0.8℃。根据不同的气候情景模拟估计,未来100年中全球平均温度将上升1.4~5.8℃。在过去的100年中,由于气温升高导致海洋热膨胀和冰川融化,全球海平面平均每年上升了1~2mm,预计到2100年全球海平面将上升9~88cm。虽然在这些认识中不可避

免地存在着不确定性,但国际社会已经对气候变化的现实和它未来的趋势达成共识。1992年签署的气候变化框架公约至今已有188个国家批准,缔约方一致同意采取行动保护全球气候。

气候变化问题是21世纪各国可持续发展中面临的重大课题。全球气候变化对环境、生态和社会经济系统具有深远的影响。一方面,我们要面对气候变化的直接影响;另一方面,还必然面对减缓行动所产生的间接影响。

我国现在的年温室气体排放约为8亿t碳和3000万t甲烷,总量位于美国之后,居世界第二位,约占全球的11%(潘家华,2003)。我国的发展水平还较低,对能源的需求还要增加,因此温室气体排放量可能还要增加。气候变化问题对我国的影响将是多方面的:一方面气候变暖将可能会对我们的生存环境产生重大影响,从而可能使我国的经济部门(如农业)及沿海地区遭受灾难性的后果;另一方面,作为发展中国家的我国而言,如果过早地承担约束性温室气体减排义务,其直接后果将是制约我国目前能源工业和制造业的发展,削弱我国产品在国际市场上甚至国内市场上的竞争力,压制我国农业和畜牧业的发展,从而使我国整体国民经济和社会发展受到严重制约。这对于一个发展中国家来讲显然是不公平的。但是从另一个角度看,节约能源、发展可再生能源等具有减排温室气体效益的措施,也符合我国的可持续发展政策。另外,充分利用气候公约及其议定书的有关条款和履约机制,还可能引进大量的通过常规渠道难以引进的技术和资金,为促进我国的经济建设和社会发展服务。因此,我国在气候变化问题上应采取符合我国国情的正确立场。

近年来,虽然气候变化对农业、水资源、沿海地区和自然生态系统的不利影响还不十分突出,但中国各级政府已经在对付气候变化问题上做了极大的努力,取得了很大的成绩:努力提高能源利用效率,万元国内生产总值能耗1999年比1990年下降了50%(中国科学院可持续发展战略研究组,2003);积极发展优质能源,努力改善能源结构,使得煤炭在一次能源结构中所占的比重1999年比1990年下降了9.1%;促进新能源和可再生能源的利用,支持在农村和边远地区开发利用生物质能、太阳能、风能、地热能等新能源和可再生能源,1999年年利用总量已超过3亿t标准煤;大力开展植树造林,1990~2000年累计完成人工造林5273万 hm^2 (高广生,2004)。中国采取的这些行动,显著减少了温室气体的排放,为实现气候变化框架公约的目标做出了巨大贡献,这一成绩已为国际社会所公认。中国政府将环境保护和可持续发展作为基本国策,在国民经济和社会发展第十个五年计划和“西部大开发”规划中,均把生态建设、环境保护和可持续发展问题放在十分重要的地位。

对气候变化的影响进行客观、准确的评价,对进一步采取行动应对气候变化具有重要的意义。为了评价未来的影响,首先要对已有的影响做出客观的评价。由于对气候变化及其影响的认识还有很多不确定性,很多时候并不能区分出人类活动影响和气候变化的影响,无法简单地采取针对性的措施,因此有必要以实施适应性对策为目标,在气候变化影响的敏感和脆弱地区开展以减少脆弱性,增强适应能力的对策评估。

水是人类生存的生命线,也是整个农业和整个经济建设生命线,作为一种基础性的自然资源,水不仅是生态环境的控制性因素之一,同时又是战略性的经济资源,是一