



全球变化热门话题丛书

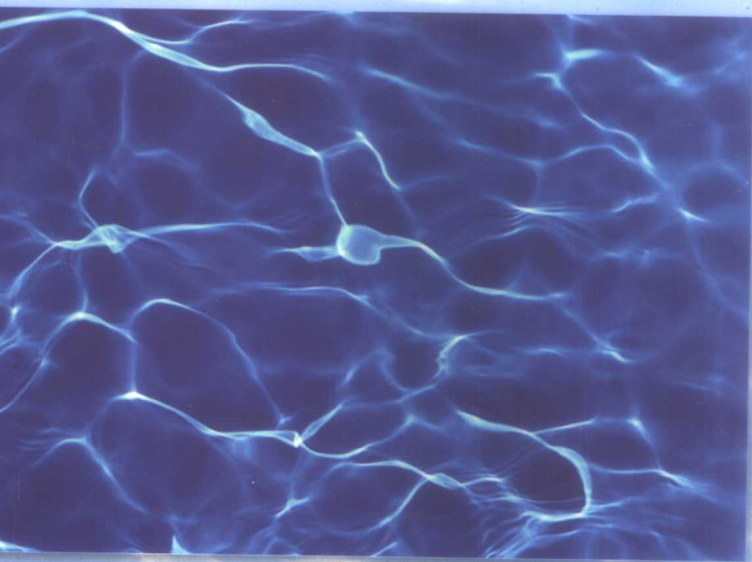
主编 秦大河

全球水循环 与水资源



GLOBAL CHANGE

王守荣 朱川海 程磊 毛留喜 编著



气象出版社



全球变化热点问题丛书

主 编 秦大河
副主编 丁一汇 毛耀明

全球水循环 与水资源

Quanqiu Shuixunhuan yu Shuiziyuan

王守荣 朱川海 程磊 毛留喜 编著

气象出版社

图书在版编目(CIP)数据

全球水循环与水资源/王守荣等编著. —北京:气象出版社, 2003. 3

(全球变化热门话题/秦大河主编)

ISBN 7-5029-3559-2/P·1264

I. 全... II. 王... III. ①水循环—普及读物
②水资源—资源开发—普及读物 ③水资源—资源利用—普及读物 IV. ①P339-49②TV213-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 019348 号

气象出版社出版

(北京中关村南大街 46 号 邮编:100081)

责任编辑:王小甫 终审:周诗健

封面设计:新视窗工作室 责任技编:刘祥玉 责任校对:志华

*

北京京科印刷有限公司印刷

气象出版社发行 全国各地新华书店经销

*

开本:889×1194 1/32 印张:6.5 字数:174 千字

2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第一次印刷

印数:1—5000 定价:18.00 元

序 言

全球变化科学是从 20 世纪 80 年代发展起来的一个新兴的科学领域。其研究对象是气候系统(包括岩石圈、大气圈、水圈、冰冻圈和生物圈)、各子系统内部以及各子系统之间的相互作用。它的科学目标是描述和理解人类赖以生存的气候系统运行的机制、变化规律以及人类活动在其中所起的作用与影响,从而提高对未来环境变化及其对人类社会影响影响的预测和评估能力。近 20 年来,全球变化的研究方向经历了重大调整。首先是从认识气候系统基本规律的纯基础研究为主,发展到与人类社会可持续发展密切相关的一系列生存环境实际问题的研究;其次是从研究人类活动对环境变化的影响,扩展到研究人类如何适应和减缓全球环境的变化。全球变化的研究已经取得了重大的进展。

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 年的气候变暖主要是人类使用矿物燃料排放的大量二氧化碳等温室气体的增温效应造成的。现有的预测表明,未来 50~100 年全球的气候将继续向变暖的方向发展。这一增温对全球自然生态系统和各国社会经济已经产生并将继续产生重大而深刻的影响,使人类的生存和发展面临巨大挑战。

自工业革命(1750 年)以来,大气中温室气体浓度明显增加。大气中二氧化碳的浓度目前已达到 368 ppmv(百万分之一体积),这可能是过去 42 万年中的最高值。增强的温室效应使得自 1860 年有气象仪器观测记录以来,全球平均温度升高了 $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。

最暖的 14 个年份均出现在 1983 年以后。20 世纪北半球温度的增幅可能是过去 1 000 年中最高的。降水分布也发生了变化。大陆地区尤其是中高纬地区降水增加,非洲等一些地区降水减少。有些地区极端天气气候事件(厄尔尼诺、干旱、洪涝、雷暴、冰雹、风暴、高温天气和沙尘暴等)的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 $0.4\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,以冬季和西北、华北、东北最为明显。1985 年以来,我国已连续出现了 17 个全国大范围暖冬。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 年的全球气候变化,国内外科学家也进行了预测。结果表明:(1)到 2100 年时,地球平均地表气温将比 1990 年上升 $1.4\sim 5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这一增温值将是 20 世纪内增温值($0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右)的 2~10 倍,可能是近 10 000 年中增温最显著的速率。21 世纪全球平均降水将会增加,北半球雪盖和海冰范围将进一步缩小。到 2100 年时,全球平均海平面将比 1990 年上升 $0.09\sim 0.88\text{ m}$ 。一些极端事件(如高温天气、强降水、热带气旋强风等)发生的频率会增加。(2)我国气候将继续变暖。到 2020~2030 年,全国平均气温将上升 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$;到 2050 年,全国平均气温将上升 $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。我国气候变暖的幅度由南向北增加。不少地区降水出现增加趋势,但华北和东北南部等一些地区将出现继续变干的趋势。

气候变化的影响是多尺度、全方位、多层次的,正面和负面影响并存,但它的负面影响更受关注。全球气候变暖对全球许多地区的自然生态系统已经产生了影响,如海平面升高、冰川退缩、湖泊水位下降、湖泊面积萎缩、冻土融化、河(湖)冰迟冻与早融、中高纬生长季节延长、动植物分布范围向极区和高海拔区延伸、某些动植物数量减少、一些植物开花期提前等等。自然生态系统由于适应能力有限,容易受到严重的、甚至不可恢复的破坏。正面临这种危险的系统包括:冰川、珊瑚礁岛、红树林、热带雨林、极地和高山生态系统、草原湿地、残余天然草地和海岸带生态系统等。随着气候变化频率和幅度的增加,遭受破坏的自然生态系统在数目上会有所

增加,其地理范围也将增加。

气候变化对国民经济的影响可能以负面为主。农业可能是对气候变化反应最为敏感的部门之一。气候变化将使我国未来农业生产的不稳定性增加,产量波动大;农业生产布局 and 结构将出现变动;农业生产条件改变,农业成本和投资大幅度增加。气候变暖将导致地表径流、旱涝灾害频率和一些地区的水质等发生变化,特别是水资源供需矛盾将更为突出。对气候变化敏感的传染性疾病(如疟疾和登革热)的传播范围可能增加;与高温热浪天气有关的疾病和死亡率增加。气候变化将影响人类居住环境,尤其是江河流域和海岸带低地地区以及迅速发展的城镇,最直接的威胁是洪涝和山体滑坡。人类目前所面临的水和能源短缺、垃圾处理和交通等环境问题,也可能因高温、多雨而加剧。

由于全球增暖将导致地球气候系统的深刻变化,使人类与生态环境系统之间业已建立起来的相互适应关系受到显著影响和扰动,因此全球变化特别是气候变化问题得到各国政府与公众的极大关注。

1979 年的第一次世界气候大会(主要由科学家参加)宣言提出:如果大气中的二氧化碳含量今后仍像现在这样不断增加,则气温的上升到 20 世纪末将达到可测量的程度,到 21 世纪中叶将会出现显著的增温现象。1990 年 11 月,第二次世界气候大会(由科学家和部长参加)通过了《科学技术会议声明》和《部长宣言》,认为已有一些技术上可行、经济上有效的方法,可供各国减少二氧化碳的排放,并提出制定气候变化公约的问题。1991 年 2 月联合国组成气候公约谈判工作组,并于 1992 年 5 月完成了公约的谈判工作。1992 年 6 月联合国环境与发展大会期间,153 个国家和区域一体化组织正式签署了《联合国气候变化框架公约》。1994 年 3 月 21 日公约正式生效。截止到 2001 年 12 月共有 187 个国家和区域一体化组织成为缔约方。公约缔约方第一次大会于 1995 年 3 月在德国柏林召开。经过两年的艰苦谈判,1997 年 12 月在日本京都召开

的公约第三次缔约方大会上通过了《京都议定书》，为发达国家规定了到 2008~2012 年的具体的温室气体减排义务。

1988 年 11 月世界气象组织和联合国环境规划署建立了“政府间气候变化专门委员会(IPCC)”，其主要任务是定期对气候变化科学知识的现状、气候变化对社会和经济的潜在影响，以及适应和减缓气候变化的可能对策进行评估，为各国政府和国际社会提供权威的科学信息。自成立以来，IPCC 已组织世界上数以千计的不同领域的科学家完成了三次评估报告及“综合报告”。目前，IPCC 正在准备编写第四次评估报告，将于 2007 年完成。此外，还组织编写了许多特别报告、技术报告。IPCC 组织编写的这些评估报告，作为制定气候变化政策和对策的科学依据提交给国际社会和各国政府。它不仅为各国政府部门制定气候变化对策提供了科学信息，而且也直接影响着《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》的实施进程，并在荒漠化、湿地等其他国际环境公约的活动中发挥着越来越大的作用。

全球气候变化问题，不仅是科学问题、环境问题，而且是能源问题、经济问题和政治问题。全球气候变化问题将给我国带来许多挑战、压力和机遇。

国际上要求我国减排温室气体的压力越来越大。目前我国二氧化碳排放量已位居世界第二，甲烷、氧化亚氮等温室气体的排放量也居世界前列。预测表明，到 2025~2030 年间，我国的二氧化碳排放总量很可能超过美国，居世界第一位；目前低于世界平均水平的我国人均二氧化碳排放量可能达到世界平均水平。由于技术和设备相对落后、陈旧，能源消费强度大，我国单位国内生产总值的温室气体排放量比较高。

我国减排温室气体的潜力受到能源结构、技术和资金的制约。煤是我国的主要能源，在我国一次能源消费中，煤炭约占 70%。受能源结构的制约，我国通过调整能源结构来减少二氧化碳排放量的潜力有限。如果近期就承担温室气体控制义务，我国的能源供应

将受到制约。同时,因缺少相应的技术支撑,我国的经济的发展将受到严重影响。因此,我国的能源结构和减排成本决定了我国不可能过早地承诺减排义务。在相当一段时期内,我国应坚持“节约能源、优化能源结构、提高能源利用效率”的能源政策,但是需要相当的技术和资金作为保证。目前发达国家希望通过“清洁发展机制(CDM)”项目,从发展中国家获得减排抵消额。这将为发展中国家获得新的投资和技术转让带来机遇。

我国党和政府对气候变化问题一直非常重视,早在1986年就成立了国家气候委员会,其职责是参加国际有关组织相应的活动,并在开展气候研究、预报、服务等工作中,负责对外的国际合作、交流,对内起到组织协调的作用,并与各有关部门共同协商、配合工作,充分发挥各有关单位的积极性,使气候科学更好地为国家建设服务。1995年成立了国家气候中心,专门从事气候监测、预测和评价等工作,为我国经济建设和社会发展提供了卓有成效的服务。目前,气候变化与生态环境问题已引起党和政府的高度关注。但是总体来看,迄今为止我国还未把适应与减缓气候变化影响的问题真正提上议事日程,这方面的研究仍十分薄弱和不足。由于全球气候变暖可能给我国自然生态系统和社会经济部门带来难以承受的、不可逆转的、持久的严重影响。因此,应对全球气候变暖的影响,趋利避害,应成为我国实施可持续发展时必须重视的问题之一。需要全面深入研究气候变化对我国自然生态系统和国民经济各部门的影响后果、可采取的适应与减缓措施,并在对其进行成本-效益分析的基础上,提出我国适应与减缓气候变化影响的规划和行动计划。

为了宣传和普及气候和气候变化方面的科学知识,提高公众在全球变化问题上的科学认识,我们组织编撰出版这套《全球变化热门话题》丛书。本套丛书一共18册,由国内相关领域的知名专家撰稿,内容包括以下三方面:一是以大量监测数据为基础,揭示全球变化的若干事实及其在各个分系统中的表现形式;二是以太阳

辐射、大气化学、大气物理、环境和生态演变等多学科交叉理论为基础,深入浅出地阐述气候变化的成因;三是以可持续发展理论为指导,提出人类适应和减缓全球变化的各种对策、途径和方法。该丛书的出版,旨在使人们对全球变化有清醒而全面的科学认识,从而更加关注全球变化,并且在更高的层次上、更广泛的范围内认识我国在全球变化中的地位和作用,自觉参与人类社会的共同决策,保护人类赖以生存的地球环境。

国家气候委员会主任
中国气象局局长

秦大河

2003年3月23日

目 录

第一章 绪论	(1)
地球生命之液	(1)
水与生命	(1)
水与文明	(2)
水的存在形式	(3)
两个极端——洪涝和干旱	(5)
其他水灾害	(7)
水资源与可持续发展	(9)
可持续发展的理念与行动	(9)
水资源对可持续发展的意义	(13)
国内外重大水问题科学计划	(16)
水文循环的生物圈方面计划(IGBP-BAHC)	(17)
全球能量与水循环试验计划(GEWEX)	(17)
水文与水资源计划(HWRP)	(20)
国际水文计划(IHP)	(20)
服务于环境、生活和政策的水文计划(HELP)	(21)
全球变化与南极圈计划(CLOCHANT)	(21)
全球气候与冰雪圈计划(CliC)	(22)
美国全球水循环研究计划(GWCP)	(23)
全球水系统计划(GWSP)	(24)

第二章 地球水圈与水资源	(27)
水的基本性质	(27)
地球水圈	(29)
水圈的组成	(29)
水圈的结构	(35)
水圈与大气圈、地圈、生物圈的相互作用	(36)
地球水资源	(48)
水资源的组成	(48)
水资源的更新	(50)
地表水资源	(50)
空中水资源	(52)
地球水资源面临的问题	(54)
第三章 全球水循环和水量平衡	(59)
全球水循环	(59)
水循环的概念	(59)
大循环和小循环	(61)
水循环的意义	(62)
水循环的主要过程	(63)
蒸发	(64)
水汽输送	(64)
降水	(70)
下渗	(72)
径流	(72)
全球水量平衡	(76)
全球尺度的水量平衡	(76)
地表的水量平衡	(78)
大气的水汽收支	(79)

第四章 中国水资源与水循环	(81)
中国水资源的基本状况	(81)
中国水资源的时空分布规律	(81)
中国水资源的质量及污染	(87)
中国水资源利用水平	(88)
中国大陆尺度水汽收支	(89)
多年水汽平均收支	(89)
各边界的水汽收支及其季节变化	(90)
水汽收支的垂直分布	(91)
秦岭淮河南北水汽收支	(92)
中国区域尺度水量平衡与水文循环	(93)
中国大陆多年平均水循环基本状况	(93)
华南区	(95)
长江区	(95)
西南区	(98)
华北区	(99)
东北区	(100)
西北区	(101)
第五章 气候变化对全球水循环和水资源的影响	(103)
百年来全球的气候变化及其对水资源的影响	(104)
20 世纪全球气候变化新认识	(104)
全球气候变化对水循环和水资源系统的影响	(108)
气候变化对全球水循环和水资源的影响预测	(111)
对二氧化碳浓度和全球平均表面温度的预测	(111)
对降水的影响	(112)
海平面的变化	(112)
冰川的变化	(113)

对极端水事件的预测·····	(114)
对水质和水量的影响·····	(114)
气候变化对全球淡水资源的影响·····	(116)
第六章 气候变化对中国水循环和水资源的影响·····	(119)
中国的气候变化及未来预测·····	(119)
近千年来中国的气温变化·····	(119)
20 世纪以来中国的气候变化规律·····	(120)
气候变化对我国水循环和水资源已有的影响分析·····	(121)
未来几十年中国气候变化的趋势预测·····	(123)
中国水资源系统对气候变化的敏感性和适应性·····	(125)
水资源系统对气候变化的敏感性·····	(125)
水资源系统对气候变化的适应性·····	(128)
水资源系统对气候变化的脆弱性·····	(131)
未来全球气候变化对中国水文、水资源的影响·····	(133)
气候变化对天然年径流的影响·····	(133)
气候变化对径流年内分配、干旱及洪涝的影响·····	(135)
流域水文情势变化·····	(136)
未来全球气候变化对中国水资源供需影响·····	(138)
需水量及可供水量预测·····	(139)
未来气候变化引起的缺水或多水问题·····	(140)
第七章 气候—水文耦合模拟与预测·····	(143)
水文模拟研究进展·····	(143)
水文模拟发展过程·····	(143)
水文模式研究进展·····	(145)
水文计算与模拟原理·····	(147)
水量平衡原理·····	(147)
水量平衡方程·····	(147)

径流过程分析·····	(149)
建立水文模式的几个关键问题·····	(151)
时空尺度·····	(151)
水文模式的选择·····	(151)
水文模式的检验·····	(153)
水文模式的参数估计及网格化·····	(154)
气候—水文模式嵌套模拟与预测·····	(154)
水文模式与气候模式嵌套的必要性·····	(154)
水文模式与气候模式的嵌套方式·····	(155)
水文模式 DHSVM 与区域气候模式嵌套试验 ·····	(155)
DHSVM 与 RegCM2/China 嵌套模拟试验得出的 水文预测结果 ·····	(158)
第八章 中国水资源可持续利用对策·····	(162)
中国水资源严峻的现实及存在的主要问题·····	(162)
中国水资源总态势·····	(162)
中国水资源严峻的现实·····	(163)
当前中国水资源管理面临的问题·····	(165)
工业、城市用水对策 ·····	(168)
城市用水存在的主要问题·····	(168)
水量、水质和水价的科学控制和管理 ·····	(170)
农业用水对策·····	(172)
农业用水存在的主要问题·····	(172)
水土资源供需平衡的几点结论和节水高效农业的 建设途径·····	(173)
解决农业水资源问题的对策建议·····	(174)
生态环境用水对策·····	(175)
生态环境建设与水资源保护利用·····	(175)
合理安排生态环境的用水·····	(176)

西部地区水资源开发利用战略·····	(177)
水资源调配的重大战略对策·····	(179)
水资源调配的意义·····	(179)
对南水北调各条线路的初步评价·····	(181)
对实施调水工程步骤的建议·····	(183)
水资源可持续利用管理对策·····	(185)
21 世纪可持续发展面临的挑战 ·····	(185)
水资源可持续利用的原则·····	(185)
水资源可持续利用的保障措施·····	(187)
主要参考文献·····	(192)

第一章

绪论

地球生命之液

水与生命

水是地球上所有生命的摇篮,在亿万年前
的海里,孕育了最初的蛋白质,从而开始了地
球上漫长的生命旅程。从单细胞到多细胞,从
无脊椎到有脊椎,从水生到两栖乃至陆生,生
命在得到完备的进化后,才得以摆脱对水作为
生存环境的依赖。然而水仍然是生命存在不
可缺少的物质。地球上的生物体内都拥有大
量的水分,哺乳类约有 65% 的水,鱼类 75%,
藻类 95%,水母则多至 95%~98%。一个成
年人体内的水占体重的 65%~70%,它存在
于血液、淋巴、细胞之中,心、肺、肾中约有
80%是水,骨骼中平均为 30%,牙齿珐琅质中
0.3%,而在生物液体中,如唾液、胃液、尿中有
95%~99%是水。

水既是构成生物体的物质基础,又是生命
协调过程不可缺少的物质,新陈代谢、光合作

用都离不开水。生物可以通过水从外界吸取养分,获得生存与运动所需的热量,又可以通过水排泄掉体内代谢的废物和散发多余的热量,达到养分、水分与体温的平衡。生物体内的水分平衡一旦被打破,它的生存状态必将受到损害。一个健康人缺水 1%~2%,便觉口渴;缺水 5%时就会皮肤皱折,神态不清;当缺水 14%~15%时,人的生命将很难维持。

既然生命起源于水的世界,水又从何而来?研究者对水的来源持有不同的看法:认为来自地球内部的,即自生说;认为来自地球以外宇宙空间的,即外生说。自生说为水提供了 5 种不同的来源:一是地球形成后,氢、氧等气体通过各种物理和化学作用所生成;二是在玄武岩先熔化后冷却形成原始地壳的时候产生的;三是地球深处岩浆所释放的;四是火山喷发释放大量的水(可占现代全球大洋水的一半);五是地球内部矿物脱水分解出部分水,或者释放出的一氧化碳、二氧化碳等气体在高温下与氢作用而生成水。外生说则认为水可能是太阳系中的球粒陨石带到地球的,这种陨石一般含水 0.5%~5%,也有高达 10%以上;另一种可能性是太阳风达到地球大气圈上层,带来大量的氢核、碳核、氧核等原子核,与大气圈中的电子结合成氢原子、碳原子、氧原子等,再通过不同的化学反应变成水分子。

水与文明

水孕育了生命也孕育了文明,文明往往发源于大河流域,因为这里为农耕和畜牧提供了足够的水源。在交通落后的古代,水道是最便利的运输形式,人们开辟运河作为自然河流的连贯与延伸。河流不仅为文明提供了滋养,还是防范外来入侵的天然屏障。自然之水构造了丰富的景象,同样是雨,有细若游丝、飘风沾絮,也有覆盆顷刻、街如川流。西湖的澄碧、漓江的清亮、九寨沟的明净、黄龙的瑰灿,水幻化出缤纷色彩,还有峡谷惊湍、平原静流、山巅飞瀑、洞中暗河,无不牵引着人心。人们常常以水为比喻,故古诗有云:“桃花潭水