

中国气候与海面变化及其趋势和影响

4

气候变化对西北华北 水资源的影响

总主编 施雅风
本卷主编 施雅风

山东科学技术出版社

中国气候与海面变化及其趋势和影响

④

气候变化对西北华北水资源的影响

总 主 编 施雅风

本 卷 主 编 施雅风

本卷副主编 刘春藁 张祥松

山东科学技术出版社

鲁新登字05号

中国气候与海面变化及其趋势和影响
气候变化对西北华北水资源的影响

④

总 主 编 施雅风

本 卷 主 编 施雅风

本卷副主编 刘春葵 张祥松

•

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路 邮政编码 250002)

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂潍坊厂印刷

•

787×1092毫米16开本 24印张 4插图 532千字

1995年5月第1版 1995年5月第1次印刷

印数: 1—1,000

ISBN 7—5331—1364—0

P·7 定价 37.90 元

山东省泰山科技专著出版基金会

名誉会长 赵志浩 宋木文 陆懋曾 伍 杰

卢鸣谷 董凤基 宋法棠

会 长 陈光林 石洪印

副 会 长 宋桂植 何宗贵 吕可英 车吉心

孙肇琨 王为珍(常务副会长)

秘 书 长 王为珍(兼)

副秘书长 尹兆长

理 事 (以姓氏笔画为序)

王为珍 王凤起 尹兆长 刘韶明

李道生 李德泉 张传礼 陈 刚

蒋玉凤

评审委员会 (以姓氏笔画为序)

卢良恕 吴阶平 杨 乐 何祚庥

罗沛霖 高景德 唐敖庆 蔡景峰

戴念慈

我们的希望

进行现代化建设必须依靠科学技术。作为科学技术载体的专著，正肩负着这一伟大的历史使命。科技专著面向社会，广泛传播科学技术知识，培养专业人才，推动科学技术进步，对促进我国现代化建设具有重大意义。它所产生的巨大社会效益和潜在的经济效益是难以估量的。

基于这种使命感，自1988年起，山东科学技术出版社设“泰山科技专著出版基金”，成立科技专著评审委员会，在国内广泛征求科技专著，每年补贴出版一批经评选的科技著作。这一创举已在社会上引起了很大反响。

1992年，在山东省委、省政府的支持下，在原“泰山科技专著出版基金”的基础上，由山东省出版总社、山东省科学技术委员会和山东科学技术出版社共同成立了“山东省泰山科技专著出版基金会”，并得到企业界的热情赞助，为资助学术专著的出版提供了更加可靠的保证。

但是，设基金补助科技专著出版毕竟是一件新生事物，也是出版事业的一项改革。它不仅需要在实践中不断总结经验，逐步予以完善；同时，也更需要社会上有关方面的大力扶植，以及学术界和广大读者的热情支持。

我们希望，通过这一工作，高水平的科技专著能够及早问世，充分显示它们的价值，发挥科学技术作为生产力的作用，不断推动社会主义现代化建设的发展。愿基金会支持出版的著作如泰山一样，耸立于当代学术之林。

泰山科技专著评审委员会

1992年12月

序

由竺可桢教授开创的中国气候变化研究在80年代出现了蓬勃发展的形势，由于大气中CO₂及其他微量气体增加、全球变暖并致使海面上升与其他人为作用结合所导致的水资源及其他环境变化，为越来越多的科学家、社会人士和政府领导所关注。

人们想弄清气候与有关环境变化的具体事实、原因、相互关系，以期正确预测其未来变化趋势和可能后果，及早采取措施，限制其不良方面，发展其有利因素。1985年，世界科学联合理事会(ICSU)、世界气象组织(WMO)、联合国环境保护署(UNEP)在奥地利Villach举行的探讨此问题的专门会议，对我国气候变化与影响研究，起了重要的促进作用。首先由中国科学院组织部分科学家开展关于国内和国际气候与海面变化情况的预研究。随后国家自然科学基金委员会着手组织重大项目研究，经过一段时间的酝酿，“中国气候与海面变化及其趋势和影响研究”项目于1987年通过评议，在中国科学院立项起步，1988年国家自然科学基金委员会正式审定批准，作为“七五”重大项目(资助金额300万元)而全面展开研究工作。

项目任务书中列出主要研究为“用孢粉、沉积、文献、考古等方法重建1万年来气候序列，研究我国气候变化规律及未来趋势；研究近万年中国海面变化的规律和原因，对下世纪上半叶海面 and 可能变化及影响进行试点研究；应用数值模拟方法，模拟大气中CO₂倍增条件下所引起的气候变化；探讨气候变化对西北、华北水资源影响并预估其未来变化。”为此设立四个二级课题与十四三个三级课题分领域进行。1987年底，经基金会组织专家评议强调重点应放在“重建全新世和历史气候序列，全新世海面变化序列，CO₂倍增后气候变化的数值模拟和气候变化对西北华北水资源影响等四个方面”，要求研究成果以高水平的论文和专著发表，基本达到国际先进水平。

本项目研究经过中国科学院所属的9个研究所、7个大学的有关系、所及业务部门与省的有关单位共200多位科研人员历时5年多的共同努力，完成了预定计划，取得了丰硕的创造性成果。除以300篇左右论文及专辑在国内外发表外，为使认识系统化，使分散的成果密切联系在一起，便于广大读者参考引用，特撰写《中国气候与海面变化及其趋势和影响》一书，并按二级课题分为四卷，即《中国历史气候变化》(卷一)、《中国海面变化》(卷二)、《全球气候变暖》(卷三)和《气候变化对西北华北水资源的影响》(卷四)。各卷互相呼应又

自成体系，均系集体研究的成果。

本项目研究的成功和系列专著的出版，首先要感谢国家自然科学基金委员会和中国科学院、各课题承担单位和参与单位的一贯的多方面的领导和支持，感谢山东省泰山科技专著出版基金会热诚赞助出版、细心编辑与精致印刷。

施雅风

1995年3月于北京

前 言

西北和华北是我国主要缺水地区,一方面国民经济迅速发展,需水量激增。另一方面,19世纪末以来,随着全球气候变暖,中纬度中国呈现气候暖干化趋势,天然水资源量有相当减少,水资源的供需矛盾日益尖锐。由20世纪世界范围工业化带来的 CO_2 及其他痕量气体排放增加而导致的温室效应很可能使21世纪气候剧烈升温,在此前提下,水资源是增加还是减少,就成为举世关注的重大问题。正如宋健(国家科学技术委员会,1990)指出的“人们期望气候、气象学能回答一系列具体问题,例如华北的水资源是增多还是减少?白洋淀能不能长期有水?西北冰川的发展趋势如何?沙漠化的趋势是否发展下去?华北、西北的水资源对人口的支持极限是多大?对工农业支持的极限如何?……”为此于1987年,在设计中国气候变化与海面变化研究项目时就列入了“气候变化对西北、华北水资源影响及趋势研究”课题,根据水资源形成分布的区域特征又分二个子课题。

1. 气候变化对西北水资源影响及趋势估计。研究区为昆仑山系以北、贺兰山系以西的西北干旱区,包括新疆维吾尔自治区、青海省北部、甘肃省河西走廊及内蒙古自治区西部,这里高山与盆地交错,水资源均来自降水较多的山地,包括冰川、积雪、湖泊与河川径流多种形态,河流分散而多数比较短促,水文、气象台站少而记录时间短,冰川站更只有1处,研究方法必须适合于此特征,并进行必要的考察。研究任务主要由中国科学院兰州冰川冻土研究所承担,南京地理与湖泊研究所参加。

2. 气候变化对华北水资源影响研究。研究区为华北海河、滦河流域,是水分相对不足的半湿润、半干旱区,全区水资源的开发利用程度高达90%以上,供需矛盾尖锐。但水文气象台站较密,资料系列较长,研究对象和方法与西北区有较大差别。研究任务主要由水利部水文水利调度中心承担,水利部水文水资源研究所、河海大学水文系与河北省水文总站参加。

本书系集体劳动成果。担任研究和撰稿者,西北课题方面为张祥松、赖祖铭、姚檀栋、王宗太、王洪道、曹梅盛、李培基、秦伯强、叶佰生、范建华、张学斌、白重瑗、李念杰、朱守森等,华北课题为刘春蓁、金懋高、王焕榜、刘克岩、姚建文、毛凤莲、刘新仁、裴步祥、樊增全、管怀民等,综合与预测研究为施雅风,各人承担部分均在有关章后署名,全书由施雅风主编,刘春蓁、张祥松副主编。秦伯强、叶佰生、姚建文等协助处理有关编辑、校改过程

中事务,吕虹妹、桑婉玉清绘图件。

本项研究在国家自然科学基金会和中国科学院领导下进行,研究人员所在的南京地理与湖泊研究所、兰州冰川冻土研究所、水利部水文水利调度中心、南京水文水资源研究所、河海大学水文系、河北省水文总站等单位给予热情的支持和关怀,承L.Thompson博士、P.Gleick博士、河北地理所、新疆维吾尔自治区水文总站等提供未发表的数据和资料并给予帮助。初稿完成后更蒙叶笃正、陶诗言、周聿超、刘昌明、汤奇成、刘国纬、陈家琦、陈志恺、杨针娘等同志评议和提出修改意见,使本书质量有所提高。在此,我们谨向上述单位和同志以及更多未列名而曾给予我们热忱帮助的同志表示衷心的感谢!

著者

1995年3月于北京

中国气候与海面变化及其趋势和影响
编辑委员会

总 主 编 施雅风
副总主编 王明星 张丕远 赵希涛
委 员 (以姓氏笔画为序)
孔昭宸 王明星 王庚辰 朱季文
刘春蓁 陈宗镛 张学洪 张祥松
张丕远 赵希涛 赵柏林 赵高祥
施雅风 郭其蕴 龚高法

中国气候与海面变化及其趋势和影响
各卷主编副主编

中国历史气候变化①

主 编 张丕远
副主编 孔昭宸 龚高法 郭其蕴

中国海面变化②

主 编 赵希涛
副主编 陈宗镛 朱季文

全球气候变暖③

主 编 王明星
副主编 张学洪 赵高祥 赵柏林 王庚辰

气候变化对西北华北水资源的影响④

主 编 施雅风
副主编 刘春蓁 张祥松

目 录

第一篇 绪论	1
第一章 气候变化对水资源影响研究的现状与方法	3
第一节 气候系统与水循环	3
第二节 气候变化对水资源影响研究的现状	5
第三节 气候变化对水资源影响研究的方法	10
第二篇 气候变化对西北水资源影响研究	15
第二章 西北区地理、气候与水资源概述	17
第一节 高山、盆地和水系	17
第二节 西北区气温与降水的分布特征	20
第三节 水资源特征、种类与数量	25
第四节 经济发展和水资源合理利用中的若干问题	33
第三章 冰芯中的古气候信息	35
第一节 祁连山敦德冰帽概况	35
第二节 冰芯的研究方法与资料处理	37
第三节 “小冰期” $\delta^{18}\text{O}$ 记录	44
第四节 最近3000年的 $\delta^{18}\text{O}$ 波动特征	47
第五节 1万年以来的 $\delta^{18}\text{O}$ 变化与气候波动	50
第四章 西北冰川变化及其趋势	53
第一节 引言	53
第二节 全新世千年时间尺度的冰川变化与气候变化	54
第三节 “小冰期”百年时间尺度的冰川变化与气候变化	57
第四节 近百年来的冰川波动与气候变化	65
第五节 未来气候变化与冰川波动展望	71
第五章 西北区季节积雪变化及其趋势	79
第一节 积雪数据库的建立	79
第二节 积雪地理分布、季节变化与年际波动特征	80
第三节 积雪变化趋势与区域分异	86
第六章 西北区河川径流变化及其趋势	95
第一节 研究区概况及基本资料	95
第二节 影响径流变化的主要气候因子的分析	97
第三节 径流量的区域变化	100
第四节 气候变化对高寒山区径流的影响	106

第七章 西北干旱地区的湖泊及其变化	120
第一节 西北干旱地区湖泊概况	120
第二节 湖泊水量收支与近期变化	121
第三节 湖泊变化原因的分析	123
第四节 气候变化影响湖泊个例研究之1—青海湖	127
第五节 气候变化影响湖泊个例研究之2—乌伦古湖	141
第三篇 气候变化对华北水资源影响研究	149
第八章 华北海、滦河流域自然概况与水资源状况	151
第一节 自然概况	151
第二节 水利工程及社会经济概况	154
第三节 水资源概况	156
第九章 华北水文循环特征	159
第一节 影响水资源的气候因素与非气候因素	159
第二节 我国水文循环特征	163
第三节 海、滦河流域水文循环特征	165
第四节 海、滦河流域水资源与陆—气间水量、热量交换关系	169
第十章 华北水资源的时空分布及天气气候特征	178
第一节 水资源的空间分布	178
第二节 水资源的时间分布	183
第三节 水资源丰枯变化与气候冷暖的组合	190
第四节 近40年丰水、枯水年大气环流特征	193
第五节 20世纪80年代华北上空大气水气输送特征	199
第十一章 气候变化对河川径流影响	206
第一节 海、滦河流域河川径流特征	206
第二节 月水量平衡模型及其精度	211
第三节 气候变化对河川径流的影响	216
第四节 气候变化对极值流量的影响	221
第十二章 气候变化及人类活动对水库与白洋淀蓄水影响	229
第一节 水库洼淀概况	229
第二节 气候变化对水库蓄水影响	231
第三节 气候变化及人类活动对白洋淀蓄水的影响	240
第十三章 气候变化对华北平原土壤水的影响	267
第一节 土壤水在华北平原农业生产和国民经济建设中的地位和作用	267
第二节 华北平原土壤水状况	268
第三节 气候对土壤水动态变化的影响	275
第四节 运用水文模拟方法分析气候对土壤水的影响	281
第十四章 气候变化对地下水影响的研究	295

第一节	概述	295
第二节	模型的建立与验证	299
第三节	气候变化对地下水的影响	306
第四篇	西北、华北未来水资源变化预测	311
第十五章	西北、华北气候变化趋势的讨论	313
第一节	当前气候变暖和降水变化在2000年自然波动中的位置与可能 趋势	313
第二节	全新世大暖期气候与环境及类比下世纪增暖的讨论	323
第三节	温室气体增加对华北、西北未来气候的可能影响	333
第四节	未来华北、西北气候变化趋势窥测	338
第十六章	未来西北、华北水资源变化趋势与可能影响	345
第一节	未来西北水资源变化趋势与可能影响	345
第二节	未来华北水资源变化趋势与可能影响	347
参考文献		348

第一篇 绪论

第一章 气候变化对水资源影响研究的现状与方法

第一节 气候系统与水循环

在相当长的时间内, 水文学家把气候看作是静态的, 认为一个地区的气候是指某种统计的平衡状态。世界气象组织曾规定取系列为30年的平均作为准平均, 并用极差和标准差来描述气候的变异性。这种认识同样反应在陆地水文过程的研究中, 长期以来人们一直将长系列的水文均值看成是稳定不变的, 年径流统计中出现的丰、枯现象, 被看作围绕平均值的周期变化。因此, 规划设计要求的水文计算都以几十年至几百年时间尺度内水文过程稳定不变为前提, 未来被看作是过去的重复或外延。上述观念影响广泛而深远。

近来, 人们发现某一地区气候并不处在统计的平衡状态, 而是以各种不同时间尺度(如年际、十年际、百年际以至千年际、万年际各种尺度)的变化组成的, 决定气候变化的因子不单纯是大气内部的过程, 还有大气上边界和下边界处的各种物理和化学过程, 于是提出了各种气候系统的概念。

气候系统是由大气、海洋、冰雪覆盖、陆地表面和生物圈在一起共同组成的系统。如图1.1—1所示, 5个子系统处在相互作用之中, 它们之间的相互关系决定了气候的长期平衡和变化。

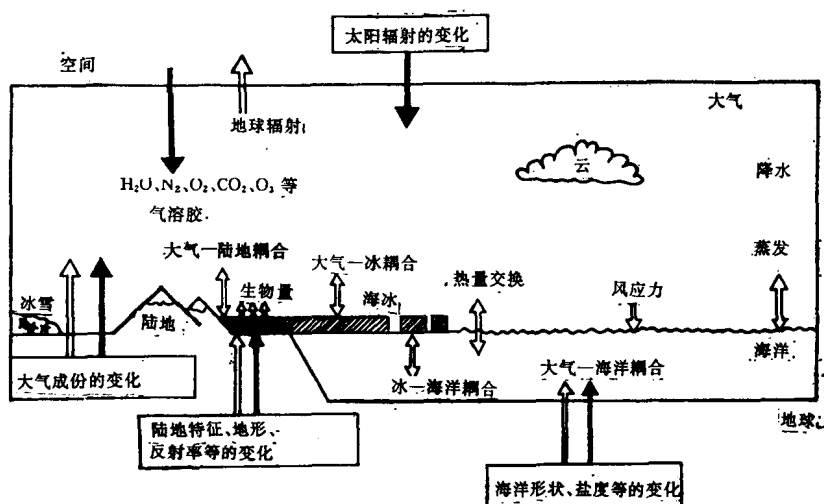


图1.1—1 气候系统示意图(据WMO, 1975)

气候系统概念的提出, 不仅使气候学研究从孤立、封闭的定性描述, 进展到整体的、相互联系的、定量的气候模型研究, 而且也使水文科学研究进入到一个新阶段, 即从单

纯的研究降水落到地面后的水的时空再分配,进入到将陆地水视为气候系统中的一个子系统,研究它和其他子系统之间的相互作用与相互影响。近年大气、冰雪、土壤、植被之间物质和能量交换、收支平衡或者水文过程相互作用研究的蓬勃发展表明了水文科学的发展与提高。

在气候系统中,水是仅次于大气的最活跃、影响最广泛的因素。水以固态、液态、气态3种相态存在于气候系统中。液态水主要在海洋,而陆上液态水有地表水(包括江河水、湖泊与水库蓄水)、土壤水和地下水;固态水为冰川、积雪以及河、湖、海冰,这些水体被全球水循环联系起来,处于相互转化和不断更新之中。

水循环的直接驱动力来自太阳辐射能,在其作用下,陆面及海洋中水被蒸发进入大气,估计在平均情况下,大气中水分主要来自海洋者达 $4.34 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{a}$,而来自陆地蒸发及植物蒸腾为 $7.1 \times 10^{13} \text{m}^3/\text{a}$,水气通过气流运行,在全球范围内再分配,除小部分保留在大气中外,大部分以雨或雪的形式重新返回海洋和陆地,降至海洋的水量为 $3.98 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{a}$,降至陆地的水量达 $1.07 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{a}$,是冰川、积雪、地表水和地下水的唯一补给源,其中以河川径流形式注入海洋的占 $3.6 \times 10^{13} \text{m}^3/\text{a}$ (NASA, 1988)(图1.1—2)。

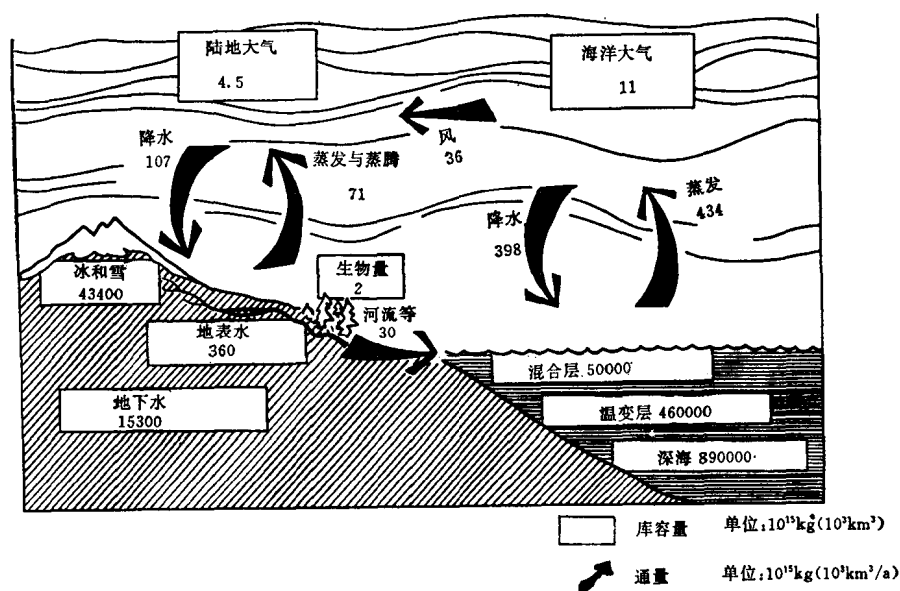


图1.1—2 全球水分循环示意图

在研究水资源变化中,我们侧重了解陆地部分的水循环,由于气候、地形、地质和生物圈条件的多样性,地表各种水体循环更替期的巨大差别,出现了陆地多种水资源的不同特征,如平均更替期,河川水仅为16天左右,土壤水为1年左右,湖泊为数月至数十年,高山冰川数百年至数千年,多年冻土底冰与深层地下水多以千年计。较长更替期的水体都在水循环中起着局部的调蓄作用。深入观察其过程、机理,并以人力影响其时空分配是水科学研究的重要任务。

水循环与能量循环紧密相连和相互制约,它们的净效率一方面决定了气候系统的增温和降温,另一方面也决定了全球或某大陆水资源量的多寡。描写水循环及能量循环相