

中国科学院水资源重大战略问题系列研究

Water Issues Vision in China

中国水问题观察

第一卷

气候变化对我国北方典型区域水资源影响及适应对策

夏 军 刘昌明 丁永建 贾绍凤 林朝晖 主编



科学出版社

中国科学院水资源重大战略问题系列研究

中国水问题观察

Water Issues Vision in China

第一卷

气候变化对我国北方典型区域水资源
影响及适应对策

夏 军 刘昌明 丁永建 贾绍凤 林朝晖 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是中国科学院水资源研究中心主持编撰的《中国水问题观察》第一卷。基于多年来气候变化对水资源影响研究的成果,突出了我国水资源对气候变化最为敏感且水系统十分脆弱的华北海河、黄河、淮河以及西北寒旱区等北方典型地区,分别就气候变化的观测事实、气候变化对水资源的影响和适应性对策三个方面,总结并提炼出对社会经济发展最为关注的水资源安全、粮食安全、水旱灾害、南水北调重大工程及冰川的退缩与消融等问题,从气候变化影响科学层面上进行综合与分析,提出了适应性对策的咨询意见与建议。

本书可供从事气候变化及水资源研究工作的科研工作者参考,也可供从事水利、水电、环境、地理、地质、管理等有关专业的科技工作者和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国水问题观察. 第1卷, 气候变化对我国北方典型区域水资源影响及适应对策/夏军等主编. —北京: 科学出版社, 2011

(中国科学院水资源重大战略问题系列研究)

ISBN 978-7-03-031795-7

I. ①中… II. ①夏… III. ①水资源-研究-中国②气候变化-影响-水资源-研究-中国 IV. ①TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 131758 号

责任编辑: 文 杨 朱海燕/责任校对: 陈玉凤

责任印制: 钱玉芬/封面设计: 王 浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年7月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2011年7月第一次印刷 印张: 20 1/4

印数: 1—2 000 字数: 461 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



《中国水问题观察》

Water Issues Vision in China

第一卷

气候变化对我国北方典型区域水资源 影响及适应对策

主持单位：中国科学院水资源研究中心

参加单位：中国科学院地理科学与资源研究所

中国科学院大气物理研究所

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

中国科学院遗传与发育生物学研究所

国家气候中心

北京师范大学

水利部水利信息中心

武汉大学

《中国水问题观察》

Water Issues Vision in China

第一卷

气候变化对我国北方典型区域水资源 影响及适应对策

咨询顾问：孙鸿烈 刘昌明 吴国雄 刘春蓁 何希吾

苏人琼 张德二 庞进武 傅伯杰 黄铁青

主 编：夏 军 刘昌明 丁永建 贾绍凤 林朝晖

综 述：夏 军 刘昌明 刘春蓁

第一篇负责人：夏 军 杨永辉

第一章：夏 军 杨德林 柳文华 潘兴瑶

第二章：刘春蓁 任国玉 夏 军

第三章：沈彦俊 刘春蓁

第四章：谢正辉 夏 军 王中根 张利平 陈 锋

第五章：杨永辉 夏 军 王金霞 李 浩 赵 娜

王淑芬

第六章：夏 军 杨德林 柳文华

第二篇负责人：贾绍凤

第七章：苏人琼

第八章：谢正辉 贾绍凤 陈 锋 吕爱锋 林时君

第九章：张士锋 李丽娟 何宏谋 陈俊旭 梁丽乔

方海燕 蔡强国 华 东

第十章：贾绍凤 姚文艺 张文鸽 傅新峰 李恩宽

第三篇负责人：	林朝晖	夏 军		
第十一章：	林朝晖	夏 军		
第十二章：	林朝晖	夏 军	吴必文	李 莹
	杨传国	卢燕宇	张永勇	
第十三章：	夏 军	林朝晖	杨传国	李 莹
	程书波	占车生		
第十四章：	夏 军	刘春蓁		
第四篇负责人：	丁永建	韩添丁		
第十五章：	丁永建	韩添丁		
第十六章：	丁永建	韩添丁	郭万钦	刘时银
第十七章：	韩添丁	丁永建	张世强	
第十八章：	韩添丁	丁永建	刘时银	郭万钦
第十九章：	丁永建	韩添丁		
第二十章：	丁永建	韩添丁		
编后语：	刘昌明	夏 军	柳文华	

目 录

综述	1
----	---

第一篇 气候变化对海河流域水资源的影响与适应性对策

第一章 气候变化与海河流域水资源	15
1.1 严峻的水资源问题	15
1.2 气候变化对海河流域水资源的影响	17
参考文献	18
第二章 海河流域气候与水循环变化	19
2.1 近百年气候变化	19
2.2 极端气候事件变化	24
2.3 水循环与极端水文事件变化	25
2.4 气候变化与水循环的影响分析	29
参考文献	31
第三章 气候变化对海河流域水文水资源的影响	33
3.1 气候模型、气候变化情景的构建及不确定性问题	33
3.2 华北地区（海河流域）气温和降水的变化趋势	35
3.3 海河流域未来水资源的变化	38
3.4 小结	43
参考文献	43
第四章 气候变化与南水北调中线工程风险管理	45
4.1 南水北调工程（中线）概况	45
4.2 气候变化对汉江水源区的影响	46
4.3 气候变化对海河受水区的影响	50
4.4 气候变化对水源区与受水区丰枯遭遇的影响	52
4.5 气候变化与调水对受水区水循环的影响分析	62
4.6 气候变化对南水北调工程（中线）的风险分析	67
4.7 南水北调工程（中线）的风险适应性对策	68
参考文献	70
第五章 气候变化对海河流域灌溉水需求及粮食安全的影响	72
5.1 海河流域灌溉用水及粮食生产现状	72

5.2	气候变化对海河流域灌溉用水与粮食生产的影响	74
5.3	未来气候变化情景下华北地区（海河流域）农业需水与粮食安全预测	78
5.4	极端气候事件与华北粮食生产	86
5.5	结论	87
5.6	对策与建议	89
	参考文献	91
第六章	海河流域应对气候变化影响的适应性对策与建议	93
6.1	过去 50 年海河流域气候变化与水资源情势	93
6.2	未来海河流域水资源变化的不确定性和风险	93
6.3	适应性对策与建议	96
	参考文献	99
 第二篇 气候变化对黄河流域水资源的影响与适应性对策		
第七章	气候变化与黄河水资源	103
7.1	黄河流域主要水问题	103
7.2	过去 50 年黄河流域气候与水资源变化	104
	参考文献	116
第八章	黄河流域气候变化周期与未来趋势	117
8.1	基于 IPCC 情景下黄河流域气候变化情景	117
8.2	黄河流域的气温变化趋势预测	125
8.3	2010~2030 年降水变化趋势预测	128
	参考文献	135
第九章	气候变化对黄河流域水资源的影响与后果评估	137
9.1	气候变化对黄河流域水资源的影响	137
9.2	气候变化对旱涝极端事件的影响	141
9.3	气候变化对黄河水资源的影响预估	149
9.4	气候变化对水资源影响的后果评估	150
	参考文献	165
第十章	气候变化对黄河流域水资源影响的适应性对策	168
10.1	气候变化影响水资源的对策体系	168
10.2	流域缺水适应性对策	169
10.3	流域水环境适应性对策	176
10.4	流域水生态适应性对策	178
10.5	气候变化下的黄河防洪对策	182
	参考文献	185

第三篇 气候变化对淮河水旱灾害影响与适应性对策

第十一章 淮河流域气候及水问题	189
11.1 概况	189
11.2 气候变化对淮河流域极端洪水灾害的严峻挑战	190
第十二章 淮河流域气候变化观测事实及未来情景分析	192
12.1 淮河流域气温的时空变化特征	192
12.2 淮河流域降水量的时空变化特征	197
12.3 淮河流域水资源的时空变化特征	201
12.4 淮河流域洪水和干旱周期分析	204
12.5 淮河流域夏季水汽输送的演变特征	207
12.6 淮河流域水质变化分析	212
12.7 IPCC 情景下的淮河流域未来气候变化趋势分析	216
参考文献	219
第十三章 人类活动及气候变化对淮河流域水资源的影响	220
13.1 人类活动对淮河流域径流变化的影响分析	220
13.2 气候变化对淮河流域未来径流的影响分析	228
13.3 气候变化对淮河流域水环境的影响分析	231
参考文献	235
第十四章 淮河流域应对气候变化的适应性对策与建议	236
14.1 应对气候变化适应性评估	236
14.2 对策与建议	237
参考文献	238

第四篇 气候变化对我国冰川水资源的影响与适应性对策

第十五章 绪论	243
15.1 我国西北的冰川水资源问题	243
15.2 气候变化对冰川水资源的影响	244
15.3 气候变化对冰川水资源影响的评价目的	247
参考文献	248
第十六章 中国冰川分布现状和变化	250
16.1 中国冰川分布规律	250
16.2 典型观测冰川的变化	252
16.3 冰川近期变化量的估算	253
16.4 影响冰川变化的主要因素及变化趋势	257
参考文献	263

第十七章 典型流域冰川水资源的变化特征	265
17.1 乌鲁木齐河流域.....	265
17.2 台兰河流域.....	267
17.3 塔里木河流域.....	268
17.4 河西内陆河流域.....	269
17.5 江河源区.....	272
17.6 纳木错流域.....	273
17.7 喜马拉雅山地区.....	275
参考文献.....	276
第十八章 中国西部冰川水资源的近期变化及原因分析	278
18.1 冰川融水径流的分布特点和水资源效应.....	278
18.2 影响冰川融水径流变化的主要因素.....	282
参考文献.....	285
第十九章 冰川水资源未来变化特征	287
19.1 内陆河流域.....	287
19.2 江河源区.....	290
19.3 喜马拉雅山地区.....	291
19.4 冰川水资源区域变化.....	291
参考文献.....	297
第二十章 冰川水资源未来变化的适应性对策和不确定性研究	299
20.1 针对冰川水资源变化的适应性对策.....	299
20.2 冰川水资源变化的不确定性与解决方法探讨.....	306
参考文献.....	308
编后语	310

综 述

我国是一个水资源供需矛盾突出、旱涝灾害频繁、与水相关的生态、环境问题十分严峻的发展中国家，水问题已成为制约我国经济社会可持续发展的重大“瓶颈”问题。为了充分发挥中国科学院在国家层面和重点区域水资源问题的综合性战略研究、交叉研究和前瞻性研究的作用，2006年12月在原中国科学院水问题联合研究中心的基础上成立了中国科学院水资源研究中心。“中国水问题观察”（Water Issues Vision in China）是面向国家重大需求，在中国科学院相关水问题研究成果的基础上加以凝练与综合，提交给国务院和相关部门的水资源重大战略问题系列研究报告，其特色力求抓住当前和未来我国最紧迫的水资源问题和国际水科学发展前沿，从水资源研究的基础性、战略性、前瞻性和综合性方面提出科学观点与对策建议。

气候变化对水资源安全的影响是国际上普遍关心的全球性问题，也是我国可持续发展正面临的重大挑战。在气候变暖背景下，过去30多年我国北方尤其华北地区旱情加重，水生态与环境恶化，极端水旱灾害增多，严重制约了经济社会的可持续发展。未来气候变化将极有可能对我国“南涝北旱”的格局和未来水资源区域分布产生更为显著的影响，对我国的粮食安全、南水北调工程、江河防洪体系规划等国家重大工程的预期效果产生不利的影响。开展气候变化对我国北方典型区水资源影响及适应对策的科学咨询研究，是保障我国水资源安全的重大战略需求。

本报告是2008~2009年度“中国水问题观察”系列研究第一卷。重点研究气候变化对我国北方典型区域水资源影响及适应对策。研究区域包括我国海河、黄河、淮河流域以及西北干旱半干旱的寒区和旱区。海河和黄河流域人口众多，社会经济发达，但干旱缺水问题十分严峻，气候变化极有可能导致的水文极端事件将对该区域社会经济发展构成重大影响；淮河流域是我国洪涝灾害频发、水旱灾害损失最为严重的区域，对气候变化影响极为敏感；在全球变暖背景下，我国西北内陆区冰川融化在加剧，对内陆流域水文生态系统将产生深远的影响。本咨询报告选择这些有代表性的区域，利用中国科学院在该区域有关科研单位的长期研究与积累，开展水资源影响关键问题的咨询研究，提出我们的观点及适应性对策和建议。本报告由中国科学院水资源研究中心主持，与院内外有关单位合作进行研究，包括中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院大气物理研究所、中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、中国科学院遗传与发育生物学研究所、国家气候中心、北京师范大学、水利部水利信息中心、武汉大学等有关部门的专家共同完成。本书分为四篇二十章，其中综述是项目咨询成果及适应对策观点的总结；第一篇论述气候变化对海河流域水资源的影响及适应性对策，第二篇论述气候变化对黄河

流域水资源的影响及适应性对策,第三篇论述气候变化对淮河流域水旱灾害影响及适应性对策;第四篇论述了气候变化对我国冰川水资源影响及适应性对策。

主要的认识、观点及对策建议总结如下。

一 观测到的气候变化及其对水文水资源的影响

(一) 观测到的气候变化

正确认识气候要素变化的原因以及各种内在与外在因素贡献,是科学评估气候变化对水文水资源影响及预测未来变化的科学基础。气候要素的变化受气候系统内在的自然变异(如海气相互作用、温盐环流、季风活动),内强迫因素(太阳活动及火山爆发),外在的人为气候强迫(温室气体浓度增加、气溶胶浓度变化),以及土地利用、土地覆盖变化等因素影响。前者多表现为从几个星期、季节、年、年代、世纪至几个世纪甚至千年的气候要素的自然变异。后者表现为以全球变暖为主要特征,并引发其他气候要素的变化。正确认识气候要素变化的趋势、原因以及各种内在与外在因素贡献的大小,包括它们之间的复杂反馈作用与机制是科学评估气候变化对水文水资源影响和预测未来气候变化的重要科学基础。尽管观测到的气候现象能反映变化事实,但仍然存在着很多不确定性和复杂性,有许多科学基础问题仍有待解决。目前国内外对观测到的气候与自然系统、社会经济系统要素变化的检测(Detection)与归因(Attribution)研究工作正在深入进行,并已纳入第五次联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第一与第二工作组的评价报告中,预计不断有新的认识和进展。

1. 我国江河流域气温的变化

近 100 年来,我国气候变暖的趋势与全球基本一致,但呈现了明显的冷暖交替波动,江河流域气温的时空变异大。近 100 年,在全球范围内出现了很可能是由于温室气体浓度增加,即人为气候强迫引起的气温升高。虽然自然气候变异和城市热岛效应也有一定程度的影响,但不足以解释观测到的增温现象。自 1906~2005 年我国地表平均温度上升了 $0.78 \pm 0.27^{\circ}\text{C}$,与全球同期的 $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ 相近。气候变暖主要发生在 20 世纪 80 年代以后,华北、西北和东北北部是我国升温最高的地区。海河流域近 50 年升温幅度达 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,1989 年以后增暖趋势最为明显。黄河上游地区升温幅度达 $0.292^{\circ}\text{C}/\text{a}$,高于下游 $0.209^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。自 1881~2001 年中国升温幅度最大的为新疆地区($1.01^{\circ}\text{C}/100\text{a}$)和东北地区($0.89^{\circ}\text{C}/100\text{a}$)。气温升高主要以冬春季节比较显著。

2. 我国江河流域的降水变化

近 100 年来,中国年降水量变化趋势不显著,但年际波动大且空间分布不均。自 1956~2000 年华北、西北东部、东北东南部地区年降水量出现下降趋势,其中黄河、海河、辽河和淮河年平均降水量减少了 50~120mm,海河流域 20 世纪 50~60 年代降水量偏多,80 年代至今降水偏少,最干旱的时段出现在 20 世纪末;黄河流域 20 世纪

50年代平均年降水量为475.4mm,21世纪初平均年降水量下降到436.1mm,减少了39.3mm,年降水量降低了8.2%。西北地区20世纪初期和30~50年代年降水量偏多,60~80年代偏少,90年代至今西北西部(特别是新疆地区)年降水量增加。

各地区降水趋势变化除了增加或减少的变化外,还有明显的周期性变化。如华北河流域的历史旱涝等级时间序列有明显的4~5年振荡,准10年变化、准20年变化和50~80年世纪尺度的变化特征。自20世纪60年代末至今,华北地区降水基本处于降水量70年周期的少雨干旱阶段,如果这种70年的变化周期存在,那么21世纪初,海河流域又将进入一个持续约35年左右的降水偏多阶段。黄河流域降水量具有2~4年、准22年及70~80年等年际与年代际的振荡周期,前者与厄尔尼诺(El Nino)事件关联;后者与太阳黑子相对数的周期变化及太平洋年代际振荡(Pacific decadal oscillation, PDO)信号有关。目前黄河处于准22年周期的少雨干旱期。

海河流域极端气候事件显著增强,我国南涝北旱格局进一步加剧。海河流域极端降水时间表现为减少趋势,尤其是20世纪80年代后减少趋势最为明显。海河流域极端强降水事件发生的日数也明显趋于减少。如1963年8月,海河流域发生了有记录以来的特大暴雨洪水(63.8暴雨洪水)。暴雨区主要集中在太行山东麓一带,降雨量达1000~1500mm,为常年同期的7~10倍,最大暴雨中心漳么达2050mm,为常年同期的19倍。1990年后,海河流域的极端高温事件呈波动上升趋势,极端高温天数显著增加。区域干旱范围明显扩大,发生频率增加。自1980年以来,海河流域总降水量减少,发生了长期持续的干旱,其中以1997~2003年的干旱最为严重。与此同时,江淮以南地区降水偏多。我国南涝北旱格局呈加剧的趋势。

(二) 观测到的气候变化对水文水资源的影响

1. 近20年来我国水资源的分布正在发生显著的变化,“北少南多”的水资源格局愈加明显

水利部近年完成的全国水资源评价最新成果显示,1980~2000年水文系列与1956~1979年水文系列相比,黄河、淮河、海河和辽河4个流域降水量平均减少6%,水资源总量减少25%,其中地表水资源量减少17%,尤其是海河流域地表水资源量减少了41%,呈现出非线性变化的特征。

2. 在全球变暖背景下,我国极端水文事件的水旱灾害的风险进一步加剧

20世纪后50年,我国南方夏季雨涝面积在扩大,尤其在20世纪80年代以后,这种趋势更显著。近20多年,我国洪涝灾害的高发区如淮河、珠江等流域,极端强降水事件趋于增多,严重洪涝灾害频繁。先后发生了1991年江淮大洪水,1994年和1996年珠江流域大洪水,1996年海河南系大洪水,1998年长江、松花江和闽江大洪水,2003年和2005年淮河和汉江大洪水,2007年淮河流域性大洪水。同时,我国华北、东北和西北东部的干旱化趋势也在发展。1951~2005年,平均干旱面积在进一步扩大。华北区域的暖干趋势持续时间已近30年。2010年我国西南地区发生特大干旱,造成了严重的人畜饮水困难。

3. 气候变化对华北海河流域水资源安全呈现出更不利的影响

海河流域径流量明显减少。自 20 世纪 80 年代以来,由于降水减少,气温升高和各种用水需求增加以及土地利用和土地覆盖变化的影响,华北地区地表径流量减少的趋势十分突出。下降幅度最大的黄壁庄水库,递减率达 36.6%/10a。海河流域近 30 年河川径流入海水量减少达 90%以上。地表水的严重短缺和大规模超采地下水,导致地下水径流量显著下降,并形成了浅层与深层地下水漏斗区,面积已接近 12 万 km²。

水资源供需矛盾呈扩大趋势和需水管理面临更严峻挑战。在全球气候变暖的背景下,海河流域的江河径流减小,在人口增加、工农业发展和气候变化影响下,水资源供需紧张的矛盾将进一步加剧。应对气候变暖引起水资源时空分布的变化,需要采取适应性对策。水资源需求管理的难度不断加大。

4. 黄河流域冻土带退化、径流量下降、产沙量减少,危及河流健康

黄河源区多年冻土大幅度退化。自 1991~1998 年来,气候变暖导致黄河源区多年冻土层厚度减薄乃至消失,多年冻土下界的海拔上升幅度大于 50m;季节性融化层厚度增大。永久冻土厚度的变化将改变土壤上层蓄水容量,从而影响产流量。

流域径流量减少。近 30 年来,黄河流域径流量呈下降趋势,尤以中游下降最显著。与 1956~1979 年相比,1980~2000 年花园口的年径流减少了 46.69 亿 m³,占多年平均值的 21.5%。干旱少雨与过高的水资源开发利用率,加之人类过度引水,使黄河下游断流频繁。在 1972~1999 年 28 年中,发生断流 22 年,平均每年断流 3 次以上,1997 年断流时间长达 226 天,下游断流河长达 700km,占下游主河道总长的 88%。

黄河流域水沙关系变化明显。20 世纪 50 年代以来,来水量和来沙量都呈现明显的下降趋势。年均产水量从 20 世纪 50~60 年代(1956~1969)的 566.5 亿 m³ 下降到 21 世纪初(2001~2007)的 194.4 亿 m³,年均产沙量也从 20 世纪 50~60 年代的 14.34 亿 t 下降到 21 世纪初的 3.91 亿 t。1997~2007 年间,黄河龙门、华县、河津、状头四站年均来沙量合计仅为 4.42 亿 t,占该四站 1950~1999 年多年平均来沙总量的 32.79%。

5. 淮河流域水旱灾害加剧,水环境保护与治理的形势仍然十分严峻

20 世纪 90 年代以来,尤其是进入 21 世纪后,淮河流域洪水灾害呈现不断加剧的趋势(如 1991 年、2003 年、2005 年和 2007 年),2003~2008 年的 6 年中出现了 5 次范围较大的洪水,表明气候变化下淮河的大洪水风险呈增加趋势。洪灾的损失很大,2007 年淮河流域性大洪水,流域受灾人口 1416.3 万人,农作物受灾面积 133.38 万 hm²,各项直接经济损失达 85.9 亿元。

自 20 世纪 80 年代以来,淮河流域水环境污染问题十分突出,与暴雨联系的突发性水污染事故时有发生。在 1989~2004 年期间,由于暴雨洪水和排污综合影响,发生了 6 次重大水污染事故,1994 年淮河水污染事故导致污水团长达 90km,沿淮河各水厂被迫停水达 54 天,直接影响 150 万人饮用水安全,直接经济损失超过亿元。尽管国家在

淮河流域水环境治理方面进行了大量投入,但是淮河流域水功能区仍未达标,水污染治理的任务十分紧迫。

6. 西部冰川退缩、径流量及年内分配变化、冰湖溃决洪水增加

中国冰川集中分布在西部地区,以青藏高原为核心的高亚洲地区的冰川总计 4.6 万多条,冰川覆盖面积在 5.9 万 km^2 以上,冰川储量达到 5.59 万亿 m^3 。自 20 世纪 60 年代以来,气温上升,冰川融水的增加,使中国西北地区河流径流量年增加 5.5% 以上,特别是 20 世纪 80 年代以后,冰川融水使新疆境内的许多河流径流量大幅增加,据估计新疆径流量增加了 30% 左右。西北地区冰川面积大约减少了 1400 km^2 。例如,乌鲁木齐河源区仅 1962~1992 年冰川面积减少 13.8%,天山开都河 1973~2000 年减少了 11.6%。对于我国西部寒旱区的 1700 多条冰川,若不考虑那些变化状态不确定的冰川数量,80.8% 的冰川处于退缩或消失,仅 19.2% 的冰川呈前进状态。大面积的冰川在退缩,将改变冰川补给河流径流的水文情势。

气候变化引起我国冰川退缩,已导致水资源的显著变化。自 1985 年以来,从冰川储量上看,我国西北内陆干旱区高山冰川减少 15% 以上,而出山口的径流量增加了 5%~32%,导致冰川融雪对河川径流调蓄能力的减少,增加了干旱内陆区水资源可持续利用的风险。我国天山及青藏高原地区以冰川积雪融化补给为主的内陆河,径流的年内分布正在发生变化。出现了汛期径流提前和增大的趋势。5、6 月径流显著增加,有些河流夏半年径流也出现了增大趋势。这对于其下游以农业种植为主的区域,在一定时期和一定程度上缓解了旱情。

冰川加速退缩所形成的新增水量引起冰湖水位上涨,导致新的湖泊出现,少量新增的冰湖多为冰碛湖和冰面湖等。20 世纪 90 年代是新疆最大洪水发生频率最高时期。1999 年 7~8 月有 24 条河流均发生了有记录以来的最大洪水,7 条河流出现第二大洪水。新疆全区 58 个县、市受洪水灾害损失在 3 亿元以上。气温升高引发的冰湖溃决,洪水频次、洪峰流量与洪水总量日益加大。冰川突发洪水的危害日益严重。新疆塔里木河流域的叶尔羌河与阿克苏河的冰湖溃决洪水,近年来几乎每年都有发生。冰湖溃决与高温融水混合型洪水多次产生超历史纪录的洪峰流量。

7. 我国气候变化下的秦岭—淮河一线以北的广大北方地区降雨径流呈现减少趋势

过去半个多世纪以来,我国北方地区(华北、东北与西北)多数江河实测降雨径流量总体上是下降的,尤其是 20 世纪 80 年代以来,特别明显。例如,海河流域 2000 年入海的径流量仅为 20 世纪 50~60 年代的 10% 左右;黄河流域 2000 年平均入海(利津站实测)水量已经由 20 世纪 50~70 年代的 427 亿 m^3 减少到不足 190 亿 m^3 。应当指出,观测到(实测)的径流量变化同时受到气候变化、人类活动和社会发展共同影响。例如上游兴修水库和河口建防潮闸使得河流的入海水量和泥沙显著减少,辽河口双台子河入海水量和沙量由建河闸前的 39.5 亿 m^3 和 0.494 亿 t 锐减到建闸后的 27.5 亿 m^3 和 899 万 t。

我国水循环及水资源（如降水量、径流量等）具有较大的年际和年代际变化，并以趋势性、突变性、周期性等形式出现。除了受气候系统内在的自然变异（季风及海气作用）、温室气体排放等人为气候强迫影响外，还受社会经济发展中土地利用变化和用水量增加等人类活动的影响。由于我国各地气候及地形地貌差异性大，社会经济发展不均衡，不同流域水循环变化的形式与成因呈现多样性，各种因素之间出现正负反馈交叉作用，导致气候变化对观测的水循环水资源影响成因识别的复杂性和区域分异性。

国际上对全球主要河流的综合性研究表明，在部分人口稠密地区，河流水位正在下降。美国国家大气研究中心（National Center for Atmospheric Research, NCAR）科学家开展的一项研究认为，在很多情况下，河流水位的下降与气候变化有关，并且可能会对未来的水资源供给带来潜在威胁。科学家分析了全球 925 条大型河流在 1948～2004 年流量的变化情况。研究发现，在世界最大的河流中，约 1/3 的河流发生了重大变化。在这些河流中，水位下降的河流数量是水位上升的河流数量的 2.5 倍。一些含水量较少的河流却为大量人口提供服务，包括中国的黄河。澳大利亚科学家基于全球降雨观测数据和海水表层温度数据分析及对已往年份大气行为进行重建，揭示了降雨量变化的区域，并认为全球降雨量的减少以及目前干旱超过 1/3 的原因应该归咎于全球变暖，但缺乏详细的研究。

二 未来气候变化对我国北方典型区域水文水资源的影响

（一）未来的气候变化

1. 我国冬季暖冬事件和夏季高温事件强度和频数可能增加，尤其是北方地区

采用多个大气环流模式（GCMs）在 IPCC 排放情景特别报告（SRES）温室气体排放情景下模拟未来 100 年我国的气候变化，得到我国未来温度变化的态势：我国的年平均温度特别是冬季温度仍将增暖，增温最明显的地区是北方；冬季暖冬事件和夏季高温事件强度和频数可能增加。在 SRES A1B、A2、B1 三种温室气体排放情景下，21 世纪前期（2021～2030 年），温度增加幅度均在 1.0℃ 左右；到 21 世纪中期（2051～2060 年），温度将分别增加 2.5℃、2.2℃、1.8℃，到 21 世纪末（2091～2099 年），将分别增加 3.8℃、4.4℃、2.6℃。多模式结果显示，到 21 世纪末，黄河流域在 A1B、A2、B1 情景下温度变化范围分别为 2.5～6.0℃、3.3～6.5℃、1.0～4.0℃。

2. 未来气候变化情景下我国北方典型区域的降水量变化态势

依据国家气候中心多模式 3 种排放情景的预估结果如下。

1) 未来海河流域降水量变化态势

2010～2040 年，海河流域降水量仍然呈减少态势，加上自 20 世纪 70 年代以来的少雨期，合成一个长达 80 年的大周期。但是，大约在 2040 年以后海河流域年降水量的

情景将呈增加趋势。未来降水量增加约5%~7%。

2) 未来黄河流域降水量变化态势

对于未来 21 世纪黄河流域的年平均降水的变化（相对于 1980~1999 年 20 年气候平均值），在 SRES A1B、A2、B1 这 3 种排放情景下，不同气候模式模拟的降水变化有较大出入，但总的来说大部分模式模拟的未来降水趋势都呈增加趋势，尤其黄河源区及下游地区的降水量增加较为明显。降水量从 2020~2030 年的 3%增至 2040~2050 年的 7%。

3) 未来淮河流域降水量变化态势

21 世纪 50 年代以前淮河流域年均降水量将增加 4%~5%。所有季节降水量表现出逐年代增加的变化特征。降水量的增幅在季节间还存在着差异，表现为冬春两季降水的显著增加，夏秋两季增加较少，未来淮河流域的降水季节间差异将减少。

4) 未来西部降水量的变化态势

未来西北地区降水量将进一步增加 4%。目前多种气候模型表明，21 世纪末我国年平均降水可能增加 10%~20%左右。西北地区降水增幅较明显。PRECES 模拟的 B2 情景下，相对于 1961~1990 年，2071~2100 年西北地区年降水增幅达 13%，且集中在冬季（37.9%）和春季（21.8%），西南地区年降水量增幅为 8.8%，季节分布较均匀，无明显差异。

（二）未来的气候变化对水文水资源影响

1. 气候变化对中国水资源区域格局的影响

依据多个气候模式预估，在 2010~2040 年期间我国仍然维持“南多北少”的水资源分布格局，华北地区仍以干（旱）为主，而西北地区降水量及水资源有增加趋势。

但是，2040~2050 年以后我国水资源格局可能发生一定变化，其中海河流域降水量将增多，可利用水资源量可能略有增加。另外，国内也有一些区域模式的预估表明，未来 50~100 年海河流域将更加干旱缺水，在我国南方地区洪涝灾害的频率会进一步增加。

总体来看，气候变化对水资源影响在全球范围内的研究还在深入，包括我国区域内变化。因此，气候变化导致我国水循环水资源区域格局的时空变异性增加，不确定性增强，对水资源的规划和管理带来更多的复杂性和风险问题。

2. 中国北方典型区域问题

1) 海河流域径流的变化据预估分析：约 2040 年以后海河流域地表径流量可能有所增加，对于减少地下水超采，恢复地下水位有正面作用。但因经济发展和人口增长引起的需水量增加可能超过气候变化联系的水资源量的增加，海河流域缺水状况很可能在 2040 年前难以缓解，缺水将是海河流域一个长期性的趋势。特别在 2040 年以前气候继续干旱的情况下，伴随用水量的增加海河流域用水矛盾将进一步激化。