

第4卷 第5期  
2008年9月

气 候 变 化 研 究 进 展  
ADVANCES IN CLIMATE CHANGE RESEARCH

Vol.4, No.5  
September, 2008

文章编号 : 1673-1719 (2008) 05-0290-06

## 气候变化对中国水安全的影响研究

张建云<sup>1,2</sup>, 王国庆<sup>1,2</sup>, 杨 扬<sup>1,3</sup>, 贺瑞敏<sup>1,2</sup>, 刘九夫<sup>1,2</sup>

(1 水利部应对气候变化研究中心, 南京 210029;  
2 南京水利科学研究院, 南京 210029; 3 水利部水文局, 北京 100053)

**摘要:** 全球变暖是目前最重要的环境问题之一, 水是全球气候变化最直接和最重要的影响领域。全球气候变暖将加速大气环流和水文循环过程, 引起水资源量及其空间分布的变化, 进而可能导致水资源短缺问题更加突出、水生态环境问题进一步恶化、洪涝灾害威胁更加严重等一系列问题。本文从防洪安全、供水安全、水生态环境安全和水工程安全4个方面分别阐述气候变化对中国水安全的可能影响。

**关键词:** 气候变化; 水安全; 影响

中图分类号: P467/TV213.4 文献标识码: A

### 引言

水是大气环流和水文循环中的重要要素, 是全球气候变化最直接和最重要的影响领域。全球气候变化将导致气温升高、海平面上升、极端天气和气候事件频发等<sup>[1-2]</sup>。关于气候变化对水的影响方面的研究起步于20世纪70年代后期, 在世界气象组织(WMO)、联合国环境规划署(UNEP)、国际水文学科学协会(IAHS)等国际组织促进下, 先后开展并实施了世界气候影响研究计划(WCIP)、全球能量与水循环试验(GEWEX)等项目的研究, 取得了一系列涉及气候变化、水资源、洪涝、干旱等方面的研究成果, 如: Schwarz<sup>[3]</sup>较早地分析了美国东北部现有的水文条件, 并评价了气候变化对供水的影响; Karl等<sup>[4]</sup>根据GCMs输出结果, 初步评估了美国未来水资源情势, 认为在未来气候变化情景下, 西北太平

洋地区的年径流和洪水灾害都将可能进一步增加, 但枯水地区所受的影响大于丰水地区。限于资料、技术手段及问题的复杂性, 目前气候变化对水生态和水工程安全影响方面的研究相对欠缺。

我国人口众多、气候条件差、生态环境脆弱, 是最易受气候变化不利影响的发展中国家之一。由于特殊的气候条件和地理位置, 我国是一个洪涝与干旱灾害频发的国家, 20世纪90年代洪涝灾害占整个自然灾害的62%, 占同期国内生产总值(GDP)的1.55%<sup>[5]</sup>。随着经济社会的发展和人类活动的加剧, 我国的水质恶化、地下水超采和水土流失等问题越来越严重。全球气候变暖将加速大气环流和水文循环过程, 引起水资源量及其空间分布的变化, 导致我国水资源短缺的问题更加突出, 水生态环境问题可能会进一步恶化, 且严重洪涝和大范围干旱等极端天气灾害的发生频率和强度也可能进一步增加。

收稿日期: 2008-06-16; 修订日期: 2008-07-12

基金项目: 江苏省“333高层次人才培养工程”科研项目“气候变化对区域水安全影响及对策研究”; 水利部公益型专项“气候变化对我国水安全影响及对策”资助

作者简介: 张建云(1957-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事气候变化、流域水文模拟、防汛抗旱等方面的研究。E-mail: jyzhang@mwr.gov.cn

因此，全球气候变化将直接威胁到我国的水安全。本文将从防洪安全、供水安全、水生态环境安全和水工程安全4个方面阐述气候变化对我国水安全的可能影响。

## 1 防洪安全问题

我国是一个水旱灾害十分严重的国家，中国的历史就是与水旱斗争的历史。而在水旱灾害中，洪水常因发生急、来势猛而带来巨大的生命和财产损失。防洪安全问题始终是我国的一大心腹之患。

从目前洪涝灾害的发展趋势看，我国防洪形势仍很严峻。20世纪90年代以来，先后发生了1991年江淮大水，1996年海河南系大水，1998年长江、松花江、闽江大水，2003年淮河、渭河、汉江大水，2005年淮河和汉江大水，2007年淮河又发生了1954年以来全流域性大洪水，还有重庆、南京、济南等城市发生强降水。根据1990—2005年的资料统计，全国年均洪涝灾害损失达1100多亿元，相当于同期GDP的1%~2%。我国防洪安全存在的问题主要表现在以下4个方面：1)现有的防洪体系不完善，特别是大江大河的防洪体系还没有达到规划标准；2)在我国已建的85000余座水库中，约37%是病险水库，防洪工程病险问题十分突出，不能正常地发挥防洪效益；3)非工程措施相对薄弱，预测预警、防洪管理和应急能力较差；4)经济社会发展程度越高灾害损失越严重，由于我国的防洪保险和防洪法律体系不健全，防洪决策和救灾难度大。

气候变化对防洪安全问题的影响主要表现在以下3个方面。

(1) 在全球变暖的大背景下，强降水等极端天气的频次和强度有增加的趋势。Trenberth<sup>[6]</sup>指出，地面温度的升高会使地表蒸发加剧，大气保持水分的能力增强，这意味着大气中水分可能增加。地面蒸发能力增强，在易发生干旱的同时，为了与蒸发相平衡，降水也将增加，从而易发生暴雨与洪涝灾害。全球变暖将会导致低层空气明显变暖，相应的高温热浪及其引发的干旱事件频次会增加、范围会扩大。全球变暖可能会导致在中国地区强降水事件的出现频

次继续增加。南方部分地区大雨日数将有显著增加，特别是福建和江西西部，以及西南的贵州、四川、云南部分地区，未来暴雨天气可能会增多。另一方面，将来的台风强度将增强，我国将可能面临更强台风的影响。刘九夫等<sup>[7]</sup>对我国暴雨洪水的研究结果表明：1) 20世纪90年代以来，我国发生了多次短历时点雨量大暴雨事件，其实测和调查的极值接近或达到世界最高记录。如陕西省宽坪调查暴雨6~7 h雨量1300 mm(1998年7月)，超过了以往的世界记录；台湾阿里山实测暴雨24 h雨量 1748.5 mm (1996年)，接近世界最高记录。2) 全国各地暴雨随年代的变化趋势不一，较长历时最大雨量的年代最高值南北方均发生于20世纪60年代，北方以50年代次之，而南方在90年代出现第二个高峰期；20世纪90年代以来，流域性大洪水频发，暴雨引起的地质灾害越来越多。2006年饱受百年不遇干旱高温煎熬的重庆市，在2007年又逢百年不遇的特大暴雨，万吨泥石流倾泻市区，致42人死亡。

近些年的有关研究表明，全球气候变暖将导致未来50 a 中国年平均降水量呈增加趋势。预计到2020年，全国年平均降水量将增加2%~3%，到2050年可能增加5%~7%，其中，东南沿海增幅最大。全国年平均降水量的增加将有增加区域暴雨频次和强度的可能性<sup>[2]</sup>。

(2) 近几年在我国登陆或影响我国的强台风和超强台风的数量增加，影响范围和造成的灾害损失也大幅度增加。强台风和超强台风是2000年以来造成人员和经济损失最为严重的自然灾害之一。2000年以来，登陆我国的台风次数，特别是登陆我国的强台风和超强台风的次数均有所增加。但近几年强台风数量的增加与气候变化的关系从统计上尚不确定，需要进一步研究。

(3) 20世纪50年代以来，中国沿海海平面平均每年上升1.4~3.2 mm。受全球继续变暖的影响，我国海平面将继续上升，到2050年将上升12~50 cm，珠江、长江、黄河三角洲附近海面将上升9~107 cm<sup>[2]</sup>。海平面上升将导致许多海岸区遭受洪水泛滥的机会增大，遭受风暴潮影响的程度加重，这将严重影响沿海地区的防洪形势。

## 2 供水安全问题

我国水资源总量为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,人均水资源量为 $2185 \text{ m}^3$ ,不足世界人均的 $1/4$ ,加上降水时空分布十分不均,水资源问题已成为制约我国社会经济发展的重要因素之一。用水安全主要涉及饮用水安全、农业用水安全(保障粮食生产安全)和生态用水安全等。此外,水资源短缺也将严重制约工业的发展。

我国有40%以上的人口生活在缺水地区,其中黄、淮、海地区及西北内陆等严重缺水区占35%,饮水安全是一个突出的问题。根据卫生和水利部门的调查,按照卫生部1984年制定的饮用水标准,我国农村饮用水符合标准的人口仅为66%,还有34%的农村人口饮用水达不到要求。根据水利部的初步摸底调查,全国尚有3亿多人口因水源、水质等因素而存在严重饮水安全问题。

全国正常年份缺水量近400亿 $\text{m}^3$ ,全国668座中等以上城市中有400多座缺水,其中108座严重缺水,1.6亿多城市居民的正常生活受到影响。由于缺水,不得不大量超采地下水。全国地下水超采区20世纪80年代初为56个,90年代末发展到164个,面积达18万 $\text{km}^2$ ,累计超采量逾1000亿 $\text{m}^3$ 。地下水超采已带来了地面沉降、海水入侵,地下水污染等一系列次生环境和社会问题。

气候变暖对农业灌溉需水量的影响很大。气候变暖可能使作物生长季内的潜在蒸散量增加,导致土壤水分的有效性下降,从而增加农业灌溉的需水量,加剧水资源供需矛盾。农业旱灾的特点是范围广,损失大。20世纪90年代以来,年均干旱受害面积4.07亿亩,因旱每年减少粮食产量245亿kg,占粮食总产量的5%左右;因旱造成的直接损失每年2800亿元左右,占GDP的2%~3%<sup>[2]</sup>。

降水减少是导致我国水资源供需矛盾加剧的重要原因之一。近50a中国年平均降水量呈微弱减少趋势,平均减少 $2.9 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,但最近10a(1991—2000年)略有增加<sup>[2]</sup>。全国年降水量增加主要集中在华东、华南(长江中下游、淮河流域和珠江流域)和我国西部( $103^{\circ}\text{E}$ 以西)地区,其中以华东、华南

降水增加最多,为 $5\sim40 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,部分地区达到 $120 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ;但是,以整个华北地区为核心的包括东北东南部以及陕西、四川、甘肃南部在内的中国中部年降水量则表现出普遍性的减少趋势<sup>[8]</sup>。这种降水变化的分布进一步突显了我国南涝北旱的局势,进一步加剧了我国北方水资源短缺的问题。

由表1可见,受气候变化等多种因素的影响,近50a来,海河、淮河、黄河、松花江、长江、珠江等六大江河的实测径流量多呈下降趋势,特别是海河和辽河流域最为突出。海河流域自1980年以来的径流量与1980年以前相比减少了4~7成;淮河、松花江、珠江和长江上游流域实测径流量为弱减少趋势;受近些年极端强降水气候的影响,长江中下游、淮河上游和嫩江流域实测径流量呈略增加趋势<sup>[9]</sup>。

气候变化也已经引起了中国水资源分布的变化。20世纪80年代,华北地区持续偏旱,京津地区、海滦河流域、山东半岛降水量偏少10%~15%。1980—1989年海滦河流域平均地表径流仅155亿 $\text{m}^3$ ,比1956—1979年平均地表径流量288亿 $\text{m}^3$ 减少了46.2%。进入90年代,干旱区继续向西南方向扩展,黄河中上游地区(陕甘宁)汉江流域、淮河上游、四川盆地1990—1998年9a的平均年降水量偏少5%~10%,黄河利津以上同期平均来水量估计偏少32%<sup>[10]</sup>。北方缺水地区持续枯水期的出现,以及黄河、淮河、海河和汉江同时遭遇枯水期等不利因素的影响,加上人类活动造成水质恶化、地下水超采等一系列因素,导致可利用水资源量大幅减少;同时,由于受升温等因素的影响,各种消耗水量明显增加,这样就进一步加剧了北方水资源供需失衡的矛盾。江河实测径流趋势性减少是人类活动、气候变化、社会经济发展(用水量大幅度增加)和其他各种变化因素综合作用的结果,其中,气候变化对我国区域水资源的影响是一个重要的方面。有关研究表明,在黄河中游地区,气候变化对径流减少的贡献率为35%~40%<sup>[11]</sup>。根据1956—2000年的资料,我国水资源第二次评价的初步结果表明,我国水资源仍为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ,但地区组成发生了变化,北方从占全国18%下降到16%,南方从82%上升到84%。

表1 全国大江大河重点控制站多年径流量统计  
Table 1 The statistics of runoff in big rivers of China

流域	站名	多年平均径流量/(m <sup>3</sup> /s)			80年代以来相对于其他时段距平百分率/%	
		全系列	80年代以前	80年代以来	相对于全系列	相对于80年代以前
长江流域	宜昌	13700	13800	13700	-0.5	-0.8
	汉口	22600	22400	22800	1.0	1.9
	大通	28500	28100	29100	2.0	3.7
黄河流域	唐乃亥	627	638	617	-1.6	-3.2
	花园口	1240	1460	978	-21.4	-33.0
	利津	1020	1360	605	-40.5	-55.5
淮河流域	王家坝	292	280	305	4.6	9.1
	吴家渡	859	878	836	-2.7	-4.8
海河流域	观台	31	49	11	-65.4	-77.9
	石匣里	16	25	6	-64.2	-76.6
	响水堡	12	16	6	-45.5	-61.2
	下会	9	11	7	-22.4	-40.1
	张家坟	17	25	9	-45.6	-62.2
松辽流域	铁岭	103	116	80	-21.9	-30.9
	江桥	670	647	697	3.9	7.6
	哈尔滨	1350	1360	1330	-1.3	-2.5
珠江及闽江流域	梧州	6610	6680	6530	-1.2	-2.2
	石角	1320	1320	1310	-0.5	-0.9
	竹歧	1680	1700	1670	-0.9	-0.9

注：全系列指1950—2004年系列；80年代以前指1950—1979年；80年代以后指1980—2004年。资料来源于参考文献[9]

我国“十五”国家科技攻关研究<sup>[12]</sup>中，采用英国Hadley中心的RCM-PRECIS(50 km × 50 km)模式及SRES A2和B2情景，研究了未来气候变化情景下水资源的脆弱性和供需矛盾等问题。结果表明，未来气候变化将对中国水资源产生较大影响：1)未来50~100 a，全国多年平均径流量在北方地区，特别是宁夏、甘肃等省(区)可能明显减少，在南方的湖北、湖南等部分省份可能有所增加，这表明气候变化将可能增加中国洪涝和干旱灾害发生的概率；2)未来50~100 a，中国北方地区水资源短缺形势不容乐观，特别是宁夏、甘肃等省(区)的人均水资源短缺矛盾可能加剧；3)中国水资源对气候变化最

脆弱的地区为海河、滦河流域，其次为淮河、黄河流域，且整个内陆河地区由于干旱少雨使得水资源承载能力非常脆弱。

### 3 水生态环境安全问题

由于干旱缺水，河道断流、河床萎缩、土地荒漠化、地下水超采、湿地减少等一系列生态环境问题越来越突出，同时随着社会经济的快速发展，流域河道水体污染也越来越严重。根据90年代末的水土流失普查结果，全国水土流失面积为356万km<sup>2</sup>，占国土面积的37%，每年江河流失的表土达50亿t。

更严重的是，现在每年由人为造成的水土流失面积达1.5万km<sup>2</sup>，而且，大量的水土流失造成了江河湖库的淤积。1980年全国废污水排放量近240亿m<sup>3</sup>，而2002—2006年的排放量显著增加，其中，2006年的排放量增加了近2倍，造成江河污染非常严重。1980年江河监测结果显示，超Ⅱ类以上水占整个评价江河河段的13%，2004年是41%，目前农村3亿农民处在饮水不安全状态，其中有1.9亿是因为水质问题所致。

全球变暖对水生态环境的影响主要表现在5个方面。1) 湿地减少。由于气候变暖和人类活动的影响，北方河流断流现象频发，湖泊萎缩，水库蓄水减少，湿地功能下降<sup>[13]</sup>。据估计，1950—1980年，中国的天然湖泊(面积>1km<sup>2</sup>)从2800个减少到2350个，湖泊总面积减少了11%，同时湖泊水体盐度增加。2) 海平面上升带来的一系列沿海水生态环境问题，如海岸滩涂湿地遭到破坏，河口海水入侵影响河口地区的淡水资源供给并导致沿海土地盐渍化加剧。3) 气候变暖和社会经济发展将可能进一步加剧北方水资源的供需矛盾，地下水的超采量将进一步增加，而地下水超采带来的水生态环境问题将更加突出。4) 由于气候变化引起强降水增加，可能导致我国西南和中西部地区水土流失加剧；而由于北方降水减少、温度升高、蒸发增加等，我国西北地区的荒漠化可能加快发展；在东北及青藏高原地区，多年冻土带变化及冻土退化造成植被分布和类型的变化，也将加速水土侵蚀，甚至造成土地的沙漠化<sup>[14]</sup>。5) 气候变暖引起的降水量的变化将直接影响水质的好坏，特别是我国北方地区径流明显减少，若不加强防污治理，水质将进一步恶化。

#### 4 水工程安全问题

我国已经兴建了许多大型水利工程，如正在建设的南水北调工程，它是实现我国水资源南北调配、东西互济的宏大水利工程，由大型节点工程与面广量大呈串联状态分布的中小工程组成。其中线工程需建设渠道、倒虹吸、渡槽、涵洞、桥梁、泵站、交叉建筑物、分流建筑物等1000多项混凝土建筑物工

程。一旦遭遇极端天气气候事件而导致串联线上的任一输水建筑物损坏，势必引发严重的运行事故。南水北调工程绵延上千公里，沿线气候环境条件差异显著，遭遇极端天气气候事件袭击的概率大，因而对气候变化更为敏感与脆弱。

气候变化对水工程的影响主要体现在水利工程的服役环境将发生显著恶化。如江河径流量减少，导致水体盐度、导电率增加；大气中二氧化硫等酸性气体含量增加，会加重酸雨的影响；由于海平面上升，东南部沿海地区河口咸潮上溯的现象频繁，由此引起海水入侵沿海地下淡水层、沿海土地盐渍化等。这些将加重沿海水工钢筋混凝土建筑物的腐蚀破坏。

另外，全球气候变化背景下，持续干旱、寒潮、冰冻等极端天气气候事件出现频率和强度明显增加，这将对水工程本身产生直接影响。如突发持续干旱或年平均相对湿度下降对潮湿地区水工混凝土材料和结构开裂的影响，极端寒潮低温事件对水工大体积混凝土与薄壁复杂应力结构开裂的影响等。如2008年初我国南方地区遭遇的历史罕见的低温、雨雪和冰冻灾害对水利行业的民生工程造成重大破坏；根据公开报道进行不完全统计，这次灾害中，仅湖南、贵州、四川、广西、湖北、重庆的水利行业的直接经济损失合计就达58.7亿元，占民政部公布的全国1111亿元直接经济损失的5.3%。

大型水利工程是实现水资源充分利用和优化配置的重要工程措施。一般来说，水利工程的修建周期较长，在建设和运行期间均可能经受极端天气气候的考验，从主动防御角度出发，积极寻求水利工程应对气候变化的措施，不仅涉及水利工程自身的安全，也是保证防洪、供水安全的需要。

#### 5 讨论与结语

气候变化已对我国的水安全问题产生一定的影响。以全球变暖为背景的全球气候变化在某种程度上导致暴雨、风暴潮、大范围干旱等极端气候发生的频次和强度增加，我国洪涝灾害的强度呈上升趋势；区域性降水发生趋势性变化，我国六大江河径流量呈现减少的趋势，尤以海河、辽河减少显著；温

度升高导致的海平面上升，使得沿海地区的防洪形势更加严峻，同时也影响到河口地区的生态环境，还影响到水工材料的热力特性及抗磨和耐久性等。需要指出的是，上述趋势性的变化是气候变化和人类活动影响等多种因素共同作用的结果。

在目前的温室气体排放情景下，以温度升高为主要特征的气候变化将进一步加剧。因此，需要高度重视我国水安全问题和气候变化对我国水安全的影响问题，要加强气候变化对水安全影响的科学评估以及减缓影响和适应性对策等方面的研究，为保障国家水安全提供科学的技术支撑。■

#### 参考文献

- [1] IPCC. 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, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007
- [2] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [3] Schwarz H E. Climate Change and Water Supply: How Sensitive is the Northeast? [M]. Washington DC: National Academy of Science, 1977
- [4] Karl T R, Reibsame W. The impact of decadal fluctuations in mean precipitation and temperature on runoff: a sensitivity study over the United States [J]. Climatic Change, 1989, 15 (3): 423-447
- [5] 国家防汛抗旱总指挥部, 中华人民共和国水利部. 中国水旱灾害公报 2006 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007
- [6] Trenberth K E. Atmosphere moisture residence times and cycling: implications for rainfall rates with climate change [J]. Climatic Change, 1998, 39: 667-694
- [7] 刘九夫, 张建云, 关铁生. 20世纪我国暴雨和洪水的极值变化 [J]. 中国水利, 2008 (2): 35-37
- [8] 王绍武, 董光荣. 中国西部环境演变评估: 中国西部环境特征及其演变 [M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [9] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近 50 a 来我国六大流域年际径流变化趋势研究 [J]. 水科学进展, 2007, 18 (2): 230-234
- [10] 刘昌明, 陈志恺. 中国水资源现状和供需发展趋势 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001
- [11] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [12] 水利部水文局. 国家“十五”科技攻关计划(2001~BA611B~02~04)“气候变化对我国淡水资源的影响阈值及综合评价”[R]. 北京: 水利部水文局, 2003
- [13] 金会军, 李述训. 气候变化对中国多年冻土和寒区环境的影响 [J]. 地理学报, 2000, 55 (2): 161-173
- [14] 秦大河. 中国西部环境演变评估: 中国西部环境演变评估综合报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2002

## The Possible Impacts of Climate Change on Water Security in China

Zhang Jianyun<sup>1,2</sup>, Wang Guoqing<sup>1,2</sup>, Yang Yang<sup>1,3</sup>, He Ruimin<sup>1,2</sup>, Liu Jiufu<sup>1,2</sup>

(1 Research Center for Climate Change, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China;  
2 Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 3 Hydrology Bureau, Ministry  
of Water Resources, Beijing 100053, China)

**Abstract:** Global warming has become an important environmental issue, and the water resource is the most direct sector affected by climate change. Global warming will alter the spatial distribution of water resources through accelerating hydrological cycle. In further, shortage in water resources would become more obvious, aquatic environment systems would be more deteriorated, and flood threats would be aggravated as well. Possible impacts of climate change on water security are discussed in this paper from the aspects of flood-prevention, water supply, aquatic environment, and water engineering security.

**Key words:** climate change; water security; impact