

# 气候变化对大型水利工程的影响

贺瑞敏<sup>1,2</sup>, 王国庆<sup>1,3</sup>, 张建云<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, 210029, 南京; 2.南京水利科学研究院, 210029, 南京; 3. 黄河水利委员会, 450003, 郑州)

**摘要:** 气候变化将导致流域降雨径流关系、水文极端事件的大小和频率发生改变, 影响大型水利工程建设标准、规模和运行规程。以三峡工程和南水北调工程为例, 介绍了气候变化对大型水利工程设计、运行等方面的可能影响。

**关键词:** 气候变化; 大型水利工程; 运行; 三峡工程; 南水北调工程

Impacts of Climate Change on Large-size Water Projects in China//He Ruimin, Wang Guoqing, Zhang Jianyun, Liu Jiufu

**Abstract:** Climate change will influence construction standard, size, and operation through altering relationship between runoff and rainfall, increasing frequency and intensity of extreme hydrological events. Taking Three Gorges Project and South- to- North Water Diversion as examples, the possible impact of climate change on large- size water projects was analyzed in the paper.

**Keyword:** climate change; large- size water project; operation; Three Gorges Project; South- to- North Water Diversion

中图分类号: P461+TV6

文献标识码: A

文章编号: 1000- 1123(2008)02- 0052- 03

全球范围内的观测数据表明, 在过去的 40 年中洪水发生的频率呈上升趋势<sup>[1]</sup>。在我国, 以长江流域为例<sup>[2]</sup>, 1961—2000 年洪水发生频率的上升主要由增加的夏季降雨导致; 受中下游降雨和个别暴雨时空分布的影响, 该地区的洪水流量显著增加, 从而加重该地区的洪涝灾害。英美科学家的研究表明<sup>[3]</sup>, 全球气候变暖将引发更多像洪水这样的严重自然灾害; 研究还发现, 20 世纪洪水的发生频率越来越高, 这一趋势与全球气候变化相关, 由于全球温度继续升高, 未来洪水发生的频率还会更高<sup>[3]</sup>; 研究小组评估了在全球气候变化条件下季节性洪涝灾害发生的风险, 认为在未来 50~100 年中, 欧洲北部冬季降水激增的可能性将是现在的 5 倍, 在亚洲受季风影响的区域也有大致相同的结果<sup>[3]</sup>。

气候变化通过改变全球水文循环现状, 使水文极值事件的强度和频次增加, 进而影响大型水利工程的设计、运行和建筑材料等, 同时大型水利工程的修建对区域气候也可能产生一定的反馈作用。下面将以我国三峡工程和南水北调工程为例, 分析气候变化对大型水利工程的可能影响。

## 一、气候变化与大型水利工程

### 1. 气候变化对大型水利工程设计的影响

在气候变化背景下, 水利工程的设计需要考虑以下一些问题: 气候变化引起流域降雨和径流的变化, 将影响流域的设计暴雨和设计洪水, 即影响到水利工程防洪的设计标准; 气候变化将可能加剧干旱发生的频率、范围和程度, 进而影响到水利工程的供水保证率; 暴雨强度和暴雨

次数的增加, 可能引发地质灾害的发生和加大泥沙冲淤对水利工程安全和寿命的影响; 气候变化和变异将可能加大极端水文气候事件发生的频次和强度, 引发超标洪水, 进而影响水利工程运行规程的设计和编制。

### 2. 气候变化对大型水利工程运行管理的影响

在大型水利工程的运行管理中, 需考虑气候变化在以下一些方面的可能影响: 在气候变暖的背景下, 由于极端气象灾害发生的频率和强度有进一步增强趋势, 在水利工程的运行管理中, 要重视水情信息的监测和预报, 加强防洪抗旱应急预案的编制和执行; 由于气候变暖和人类活动的影响, 流域的来水和用水条件与原来的设计条件可能发生明显的变化, 因此已建工程的运行规则和规

收稿日期: 2007- 12- 06

作者简介: 贺瑞敏(1975—), 男, 博士, 工程师, 主要从事气候变化、水环境承载力、微污染水处理等方面研究。

基金项目: 南京水利科学研究院专项资金重大项目—气候变化对水利影响的适应性对策研究(Y50705); 现代水利科技创新项目—全球气候变化对水利影响的预研究(XDS2008- 01)。

程需要作相应的必要调整,以保障水利工程的安全和洪水资源化;气候变化可能对水生态环境产生显著的影响,在水利工程的运行调度中,要充分考虑生态环境用水的要求,以治理和保护日益恶化的水生态环境,保障水资源的可持续利用。

### 3. 大型水利工程对区域气候的反馈作用

大型水利工程建成之后,库区水面面积扩大,使附近地区空气的湿度增加,气温的日较差、年较差缩小,这和湖泊的作用是一样的;而水具有调节功能,水汽蒸发的过程实际是一个吸热的过程,有关研究表明<sup>[4]</sup>,水库对局地气温有一定影响,但影响范围不大,垂直方向一般在400m以下,水平方向开阔地带大于峡谷区域,一般为1~2km,大气层结构稳定度趋于中性,逆温天气将减少。库区年平均气温略有升高,冬春季月平均气温增高0.3~1.0,夏季平均降低0.9~1.2,与沿海地区受海洋性气候影响类似。虽然现在国际上在对特大型水库的生态和环境影响问题上还存在争议,但一般认为水库的建成蓄水对大范围气候的影响并不明显。

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,这种变化在北半球中高纬度地区尤其明显<sup>[5]</sup>。而水利工程在气象学上是小尺度的概念,对大尺度的天气影响是相当有限的。我国强对流天气频繁,台风、暴雨以及高温干旱这些现

象在气候上是互相关联的,是同全球的大气环流相联系的,而非大型水利工程所致。

## 二、气候变化对三峡工程的影响

三峡工程位于宜昌以上40多km,控制长江流域面积100万km<sup>2</sup>,三峡工程建筑由大坝、水电站厂房和通航建筑物三大部分组成,兼有防洪、发电、航运等功能。工程建成后,水库总库容达393亿m<sup>3</sup>,可调节防洪库容221.5亿m<sup>3</sup>,能有效拦截宜昌以上来的洪水,大大削减洪峰流量,使荆江河段防洪标准将从“十年一遇”提高到“百年一遇”。三峡枢纽是目前世界上最大的水电站,装机1820万kW,建成后年均发电846.8亿kWh,将对华东、华中和华南地区的经济发展和减少环境污染起到重大的作用。三峡水库将显著改善宜昌至重庆660km的长江航道,万吨级船队可直达重庆港。航道单向年通过能力可由现在的约1000万t提高到5000万t,运输成本可降低35%~37%。

### 1. 气候变化对长江流域水文情势的可能影响

王维强等<sup>[6]</sup>采用NCAR GCM模型研究了大气中温室气体含量增加一倍达平衡时,2050年长江流域增温4.6,降水增加7%,但是季节分配不均,其中夏季降水增加12.9%,土壤水分升高3.4%;冬季降水减少0.7%,土壤水分下降9.0%。这意味着,气候变

化可能使长江流域枯水期的干旱与汛期的洪涝发生的概率都加大。游松财等<sup>[7]</sup>基于9个GCMs模型在0.5°×0.5°经纬度网格上输出的气温和降水值,利用改进的水平平衡模型研究了气候变化对中国未来地表径流的影响;在21世纪末,长江上游四川段的夏季径流增加,春季径流减少,但全年总趋势是增加。

### 2. 气候变化对三峡水库运行的可能影响

不同气候模式对长江流域给出的未来气候情景,无论在季节上还是在在上、中、下游地区的分布上都不同<sup>[8]</sup>。共同之处是,气候变化将使长江流域上游地区干旱趋势有所减缓,汛期长江洪涝发生的频率增加,尤以中游汛期洪涝频发的可能性较大,枯水期干旱发生的频率可能加大。

关于气候变化对三峡水库运行风险的可能性影响问题,目前仅限于对气候风险的影响研究。张建敏<sup>[9]</sup>根据德国气候中心海气耦合模型DKRZOPYC,分别采用Kriging方法和光滑等距插值方法进行空间和时间网格细化,得到三峡水库以上约40万km<sup>2</sup>面积,当CO<sub>2</sub>加倍时月平均降水量相对基准气候(1961—1990年)的变化(图1)。

通过降水量随机模型及其参数,采用蒙特卡罗方法生成未来气候情景下月降水量的随机序列(共1000个样本),初步探讨了气候变化对三峡工程建成后运行可能造成的影响,得到以下初步结论<sup>[9]</sup>:

(1) CO<sub>2</sub>加倍时,三峡水库以上春季和冬季月降水量增加明显,夏季和秋季略有增加,但各月存在一定差异。在此情景下,三峡地区5—7月洪涝风险增加,对汛期大坝安全、水库管理以及防洪等不利;而枯水期虽然干旱风险指数普遍减小,但个别月份(如1月和2月)降水的不稳定性加大,极端干旱等风险事件发生的可能性会增加,水库调度以及蓄水和发电

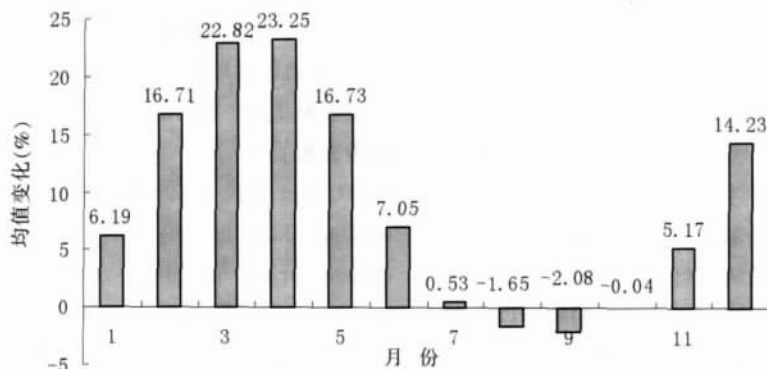


图1 2×CO<sub>2</sub>时三峡地区各月降水量相对基准气候(1961—1990年)的变化

等效益的发挥将受到不利影响。

(2) 未来气候情景下, 极端干旱或洪涝事件的可能性增加。1—4月由于降水量增加, 干旱风险指数基本持平或减小, 8月和9月份降水量减少使得洪涝指数略有减小, 降水变异系数增大意味着降水的不稳定性加大; 5—7月的洪涝风险指数和降水量变异系数均有增加。

气候变化将使长江上游地区年来水量增加, 汛期发生洪涝以及枯水期发生干旱的频率可能加大。强降水增加, 库区突发的泥石流、滑坡等地质灾害发生概率可能增大, 对水库管理、大坝安全以及防洪和抗洪等产生不利影响; 枯水期的干旱, 将影响水库的蓄水、发电、航运以及水环境。这给三峡水库的调度运行和蓄水发电等效益的发挥带来严峻考验。

三峡水库与上中游干支流水库和中下游分蓄洪区的联合调度, 是抵御气候变化对三峡水库运行风险最为有效的对策措施之一。为了取得最优的效果, 加强对长江中上游暴雨的中长期预报并提高业务预报准确率是非常重要的。

### 三、气候变化对南水北调工程的影响

南水北调总体规划通过三条调水线路与长江、黄河、淮河和海河四大江河的联系, 构成以“四横三纵”为主体的布局, 以利于实现我国水资源南北调配、东西互济的合理配置格局。

气候变化对河川径流的影响将直接影响调出和调入水量, 涉及东、中、西调水系统对气候变化影响的敏感性与脆弱性, 即调水系统功能与结构的稳定性问题。对上述问题的研究要从系统工程的角度进行综合性的研究。目前针对性的研究成果缺乏, 这里仅给出气候变化对南水北调工程影响的初步研究结果。

#### 1. 气候变化对受水区(华北地区)

#### 水资源的影响

对于华北地区, 很多气候模型给出的结果显示<sup>[9]</sup>, 2050年甚至2100年降水量都将增加, 但由于气温升高幅度大, 蒸发量的加大, 使得径流的增加不显著。径流量的增加能否抵消人口增长和经济社会发展对水需求的增长, 取决于对未来需水量的预测。有研究预测<sup>[10]</sup>, 人口增长、生活水平的提高和工业、生态用水量的增加, 将使需水量继续增长, 未来径流量的增长不足以抵消需水量的增加, 北方缺水的局面仍不能得到根本性解决。根据水利部水利信息中心的模拟结果<sup>[11]</sup>: 在2061—2090年期间, 北方地区的宁夏、甘肃、陕西和山西等省区径流量呈减少趋势, 减幅分别为10%、6%、3%和2%。综合考虑人类活动对径流的削减作用、科技发展对节水的影响和生态需水量的增加, 气候变化可能不会有效缓解我国北方南水北调受水区的缺水形势。

#### 2. 气候变化对调水区的可能影响

气候变化将影响到河流径流在时间和空间上的变化, 因此直接影响调出区的可调出水量的大小, 同时也影响调入区需水量的变化。

(1) 对东线可调水量的影响。研究表明<sup>[12]</sup>, 气候变化将增加汛期长江下游径流量, 但其年内分配可能变化, 当三峡水库蓄水与南水北调同时运行时, 要防止枯水年对下游航运及生态环境的制约, 以及入海径流的锐减可能导致的海水入侵与风暴潮灾害的加剧。另外, 气温升高对调水水质的影响, 尤其在枯水年, 可能是不可忽略的。

(2) 对中线可调水量的影响。陈剑池等<sup>[13]</sup>利用月水量平衡模型及7个GCMs模型给出的温室气体加倍时的气候情景输出值, 结合汉江流域未来的需水预测, 模拟计算了丹江口以上年径流对不同气候情景的响应以及对丹江口可调水量的影响。模拟结果平均得到初期可调水量将减少3.5%,

后期可调水量减少2.2%, 年调水量减少4.8亿~5.0亿 $m^3$ 。气候变化对可调水量的影响很小, 可忽略不计。

陈德亮等<sup>[14]</sup>采用两参数分布式水文模型, 利用ECHAM4和HadCM2两个GCMs情景, 研究了气候变化对汉江径流的影响, 结果表明: 在ECHAM4情景下, 2021—2050年的年径流量增加10%, 大于2051—2080年的增量2%; 在HadCM2情景下, 相反, 2051—2080年的增量为15%, 大于2021—2050年的10%。

目前所得结果均是在一定气候背景假定下的可能响应, 如气候变化趋势发生改变, 有可能会得出不同的气候响应, 结果具有一定的局限性。因此, 需要进一步全面地认识气候变化对南水北调受水区和调水区的可能影响。

### 四、结论

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, 干旱和暴雨、汛期洪涝发生频率等水文极端事件呈现上升趋势, 进而影响大型水利工程的设计、运行等方面。

在未来气候变化情景下, 三峡以上地区汛期洪涝、干旱等极端事件发生的频率将增加, 一方面可能加剧三峡库区泥石流、滑坡等地质灾害的发生, 同时对水库调度以及蓄水和发电等效益的发挥产生不利影响。

气候变化对南水北调工程东线、中线可调水量影响相对较小, 但对东线水质可能有不利的影响。气候变化背景下, 华北地区的降水量可能增加, 但仍不能缓解北方地区的缺水形势。

#### 参考文献:

[1] Robert J N. Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: changes under the SRES climate and socio-economic scenarios [J]. Global Environmental Change, 2004, 14(1).

(下转第46页)



- mate variability [J]. *Nature*, 1999(397).
- [15] Fauchereau N, Trzaska S, Rouault M, et al. Rainfall Variability and Changes in Southern Africa during the 20th Century in the Global Warming [J]. *Natural Hazards*, 2003.
- [16] Trenberth K E, Dai A G, Rasmussen R M, et al. The changing character of precipitation [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2003(84).
- [17] Zhai P M. Climate change and meteorological disasters [J]. *Science and Technology Review*, 2004.
- [18] 刘春霖. 气候变化对江河流量变化趋势影响研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2007(22).
- [19] Reichert B K, Bengtsson L, Oerlemans J. Recent glacier retreat exceeds internal variability [J]. *J Climate*, 2002.
- [20] Wu P, Wood R, Stott P. Human influence on increasing Arctic river discharges [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005.
- [21] Milly P C D, Dunne K A, Vecchia A V. Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate [J]. *Nature*, 2005.
- [22] Zhao Z C. The Climatic Change Produced by GHG and their impact on China [J]. *CRU/WWF/SMA*, 1992.
- [23] 刘春霖. 气候变化对我国水文水资源的可能影响 [J]. *水科学进展*, 1997(8).
- [24] Arnell N W, Cannell M G R, Hulme M, et al. The consequences of CO<sub>2</sub> stabilization for the impacts of climate change [J]. *J Climatic Change*, 2001(53).
- [25] Arnell N W, Levermore M J L, Kovats S, et al. Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments characterizing the SRES storyline [J]. *Global Environmental Change*, 2004(14).
- [26] Mitchell J F B, Johns T C, Ingram W J et al. The effect of stabilizing atmospheric carbon dioxide concentrations on global and regional climate change [J]. *Geophysical research letters*, 2000(27).
- [27] Arnell N W. Climate change and global water resources SRES emissions and socio-economic scenarios [J]. *Global Environmental Change*, 2003(14).
- [28] New M, Hulme M, Jones P D. Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: Developments of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology [J]. *J of Climate*, 1999(12).
- [29] Murphy J M, Sexton D M H, Barnett D N, et al. Quantification of modeling uncertainties in a large ensemble of climate change simulation [J]. *Nature*, 2004(430).
- [30] Palmer T N, Raisanen J. Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate [J]. *Nature*, 2002 (415).
- [31] Jasper K, Calanca P, Gydlistras D, et al. Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine rivers [J]. *Climate Research*, 2004(26).

责任编辑 张金慧

(上接第 54 页)

- [2] Jang T, Su B D, Hartmann H. Temporal and spatial trends of precipitation and river flow in the Yangtze River Basin, 1961 - 2000 [J]. *Geomorphology*, 2007, 85(3-4).
- [3] Milly P C D, Wetherald R T, Dunne K A, et al. Increasing risk of great floods in a changing climate [J]. *Nature*, 2002, 415.
- [4] 三峡工程生态与环境监测系统信息管理中心. 对局地气候的影响 [EB/OL]. <http://www.tgenviro.org/envissue/projecteffect7.html>.
- [5] 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.
- [6] 王维强, 葛全胜. 论温室效应对中国社会经济发展的影响 [J]. *科技导报*, 1993 (3).
- [7] 游松财, Kiyoshi, Takahashi, 等. 全球气候变化对中国未来地表径流的影响 [J]. *第四纪研究*, 2002, 22(2).
- [8] 张建敏, 黄朝迎, 吴金栋. 气候变化对三峡水库运行风险的影响 [J]. *地理学报*, 2000, 55(增刊).
- [9] 陈宜瑜. 气候与环境变化的影响与适应、减缓对策 // 中国气候与环境演变 (下卷) [M] 北京: 科学出版社, 2005.
- [10] 柯礼聘. 中国水资源可持续利用的进展与面临的挑战 [J]. *水问题论坛*, 2003(4), 1-4.
- [11] 水利部水利信息中心. “九五”国家科技攻关计划 (96—908—03—02) “气候异常对水文水资源影响评估模型研究”技术报告 [R], 2001.
- [12] 陈星, 赵鸣, 张洁. 南水北调对北方干旱化趋势可能影响的初步分析 [J]. 2005, 20(8).
- [13] 陈剑池, 金蓉玲, 管光明. 气候变化对南水北调中线工程可调水量的影响 [J]. *人民长江*, 1999, 30.
- [14] 陈德亮, 高歌. 气候变化对长江流域汉江和赣江径流的影响 [J]. *湖泊科学*, 2003, 15(增刊).

责任编辑 王晓平