

Impact of Climate Change on Flood Frequency in the Ganjiang Basin

Jiali Guo^{1,2,3}, Shenglian Guo^{2,3}, Zhiqiang Zhang^{2,3}, Xingjun Hong^{2,3}, Zhangjun Liu^{2,3},
Le Wang^{2,3}

¹College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang

²State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan

³Hubei Provincial Collaborative Innovation Center for Water Resources Security, Wuhan

Email: culture_me@163.com

Received: Oct. 26th, 2014; revised: Nov. 25th, 2014; accepted: Nov. 30th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The Xinanjiang hydrological model was driven by the SDSM statistical downscaled BCC-CSM1.1 outputs, which were released in the latest IPCC fifth assessment report AR5 to explore flood frequency changes of the Ganjiang basin under future climate change scenarios. The results indicate that the averages of flood magnitude with different return periods under the RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios are reduced by 15%, 9% and 15% relative to the baseline period, respectively. The return periods of average, maximum and minimum floods of future different periods reduce in some extents. The annual maximum flood reduces remarkably; a design flood of 1000-year (or 150-year) return period under future scenario is equal to that of 100-year (or 15-year) under the baseline period.

Keywords

Climate Change, Ganjiang River, Flood Frequency

气候变化对赣江流域洪水频率的影响分析

郭家力^{1,2,3}, 郭生练^{2,3}, 张志强^{2,3}, 洪兴骏^{2,3}, 刘章君^{2,3}, 王 乐^{2,3}

¹三峡大学水利与环境学院, 宜昌

²武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉

作者简介: 郭家力(1984-), 男, 湖北孝感人, 讲师, 博士, 主要从事水文学及水资源开发利用方面的研究。

³水资源安全保障湖北省协同创新中心, 武汉
Email: culture_me@163.com

收稿日期: 2014年10月26日; 修回日期: 2014年11月25日; 录用日期: 2014年11月30日

摘要

本文利用最新的IPCC第五次评估报告AR5发布的BCC-CSM1.1数据与SDSM统计降尺度方法耦合驱动新安江水文模型, 对气候变化情景下赣江流域未来洪水的变化趋势进行分析和探讨。结果表明, RCP2.6、RCP4.5和RCP8.5情景下洪水量级相对于基准期分别减小15%、9%和11%左右。三种情景下, 未来不同时期的洪水均值、最大值和最小值的洪水重现期在基准期下均有不同程度的减小, 其中最大值洪水减小幅度最大, 1000年一遇洪水仅相当于基准期100年一遇, 150年一遇洪水仅相当于基准期15年一遇。

关键词

气候变化, 赣江, 洪水频率

1. 引言

近年来, 洪涝灾害等极端事件在全球范围频繁发生, 且频率、强度等都存在上升趋势。降水径流关系的变异对气候变化十分敏感, 尤其在社会经济迅速发展的高度城市化地区, 未来降水变异性的增加可能使洪水风险加大[1]。赣江是鄱阳湖水系中的最大河流, 长江第七大支流, 纵贯江西省南部和中部, 赣江径流是鄱阳湖进入长江的主要径流之一。研究赣江流域的洪水响应特征, 对于了解未来气候变化情景下赣江流域甚至鄱阳湖流域的洪水风险率变化趋势具有十分重要的意义[2]。

目前, 主要通过水文模型与大尺度气候模式的耦合方式, 评价未来气候变化情景下的洪水频率变化情势, 进而分析整个水文循环系统对气候变化的脆弱性。刘浏等[3]应用陆面水文模型VIC与区域气候模式PRECIS耦合, 探讨了西苕溪流域未来洪水对气候变化的响应。郭生练[4]以月平均流量和月最大洪峰流量的相关关系为基础, 建立了洪水频率评价模型, 并用非参数方法估计各级流量的条件概率。利用月水量平衡模型求得未来不同气候变化情况下的月均流量过程, 并探讨气候变化对洪峰流量及洪水频率的影响。肖恒等[5]筛选出五个相对独立的CMIP5模式与VIC模型珠江流域的21个主要干支流控制站日流量过程。以洪峰流量和洪水总量为指标, 评估了IPCC RCP4.5情景下未来30年洪水对气候变化的响应。

本文利用最新的IPCC第五次评估报告AR5发布的GCM数据与统计降尺度方法耦合驱动水文模型, 对气候变化情景下赣江流域未来洪水的变化趋势进行分析和探讨。

2. 研究区域和数据

赣江为江西鄱阳湖流域五河(赣、抚、信、饶、修)之首, 发源于江西、福建两省交界处武夷山的黄竹岭, 自南向北流经赣州、万安、樟树等20多个县市至南昌市注入鄱阳湖, 由南至北纵贯江西全境。干流长766 km, 外洲水文站以上集水流域面积80,948 km² [6], 占鄱阳湖流域面积的51.5%。赣江流域地处南岭以北, 长江以南, 地势由南向北逐渐降低。赣州以上为上游, 以贡水为主, 自河源至赣州市全长255 km。赣州至新干县为中游, 河长303 km; 新干县以下为下游区, 自新干县至吴城干流长208 km。流域属亚热带湿润季风区, 气候温和, 雨量丰沛。年平均降水量1542.6 mm, 降水主要集中在4~6月, 约占全年降

水量的 46.8%。多年实测入湖径流量 638 亿 m^3 ，超过鄱阳湖流域总入湖水量 42%，平均径流系数为 0.514 [7]。径流主要由降水形成，年径流的地区分布及年际、年内变化与降水量变化趋势相似，有明显的季节性和地区性，同时在地区、时程分配上又极不均匀。

本文选用 IPCC 第五次评估报告发布中的 BCC-CSM1.1 气候模式。获取了该模式历史时期(1961~2005 年)以及在 IPCC 三种代表性浓度路径 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 情景下未来气候时期(2010~2099)的模拟大尺度气候因子数据。应用 SDSM 统计降尺度技术将 GCM 输出的大尺度气候因子降解到流域水文模型尺度，作为流域水文模型的输入。本文选取了赣江流域内 6 个国家气象站点(宜春、吉安、遂川、赣州、南昌、樟树)，这些站点分布比较均匀，基本上能代表该区域的气候特征。建立水文模型的数据包括三类：6 个气象站点 1961~2010 年实测资料逐日降雨、逐日气温数据、以及赣江流域附近南昌、铜鼓和梅港蒸发站实测逐日蒸发数据以及赣江流域出口控制站外洲站的 1961~2010 年的逐日流量数据。

3. 新安江模型适用性检验

本文在统计降尺度得到的预报结果的基础上，利用新安江水文模型，分析未来气候变化情景下赣江径流极值事件的变化情况。尽管获取了历史时期的蒸发资料，为了获得未来时期的蒸发数据驱动水文模型。因此将赣江流域多年平均日蒸发观测值 E 与多年平均日气温 T 建立关系，如图 1 所示，回归分析表明 E 与 T 之间满足指数关系，相关系数达到 0.9459，最终以此关系将日气温转换为日蒸发代入模型。

建立新安江模型所需要的资料为逐日降水、蒸发和流量数据。采用泰森多边形法对多个站点的降水和蒸发数据进行空间插值得到赣江流域的面降水量和面蒸发量。本文以 1961~1970 年赣江流域平均日降水、蒸发资料及赣江下游控制站外洲日径流资料作为输入，对新安江模型的适用性进行检验。将 1961~1967 年作为率定期，1968~1970 年作为检验期。通过罗森布瑞克法(Rosenbrock)优选模型参数，率定期和检验期的效率系数分别为 85.64% 和 88.79%，水量平衡系数分别为 0.9799 和 0.9825。图 2 展示了检验期和率定期的赣江径流实际值与模拟值对比情况，结果表明，所建立的新安江模型对于赣江流域径流有很好的模拟效果，基本满足实际应用。

4. 赣江未来洪水极值事件变化趋势分析

首先分别将 RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 情景下，SDSM 模型降尺度 BCC-CSM1.1 得到的基准时期(1961~2005)和未来时期(2010~2099)赣江流域的逐日气温通过前述回归关系转化成逐日蒸发。然后，将 SDSM 模型降尺度得到的三种情景下得到的赣江流域逐日降水，以及逐日蒸发数据输入经过验证后的赣

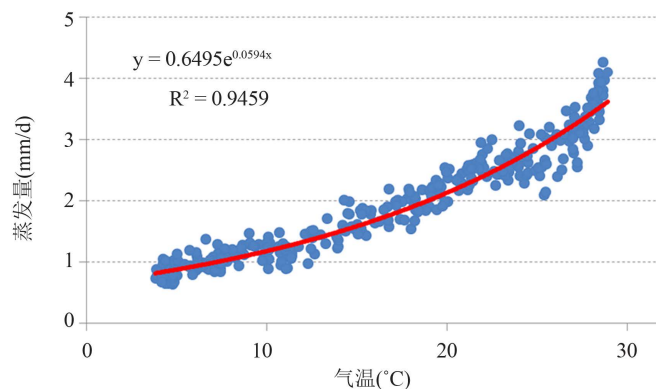


Figure 1. Relationship between mean annual daily evaporation and air temperature

图 1. 多年平均逐日蒸发与气温回归关系

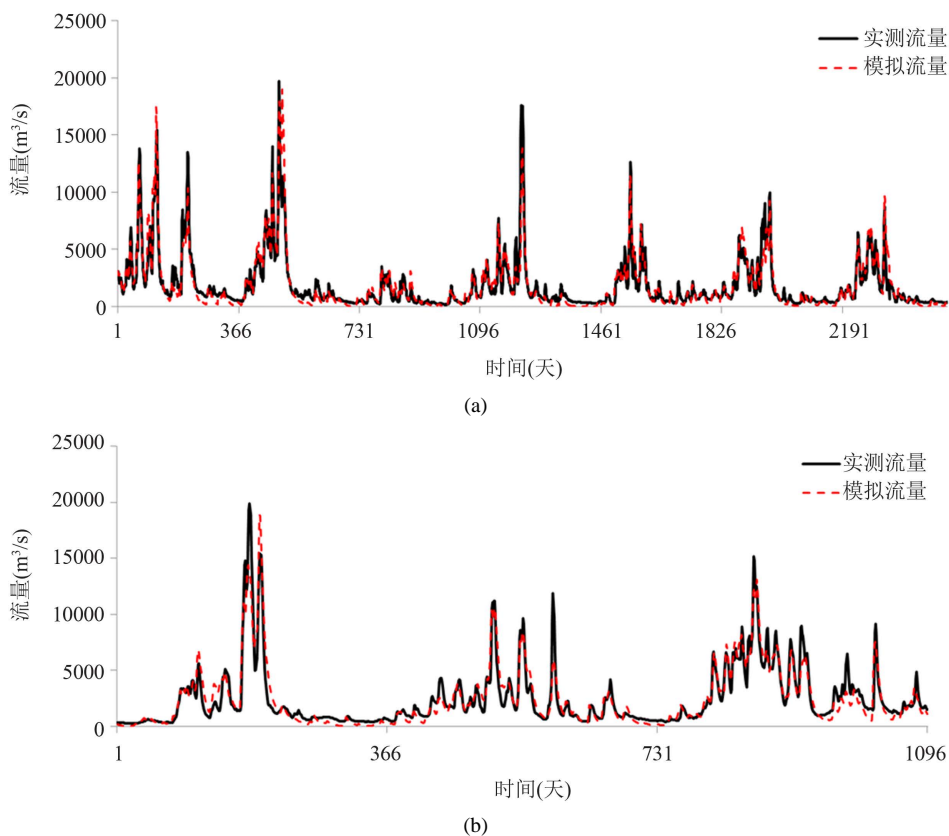


Figure 2. The calibration and verification results of Xinanjiang model in the Ganjiang basin
图 2. 赣江流域新安江模型率定期和检验期模拟效果

江流域新安江模型，得到基准时期以及各对应情景下未来赣江日径流过程。采用年最大法获取洪水序列，采用 P-III 型曲线，通过适线法得到各时期的洪水频率曲线。分别得到基准期以及三种气候情景下的洪水频率曲线，如图 3 所示。其中基准期洪水频率曲线采用 1961~2005 年的新安江模型模拟洪水序列拟合，RCP2.6、RCP4.5 以及 RCP8.5 情景下的洪水频率曲线分别采用各自情景下 2010~2099 年共 90 年的模拟洪水序列拟合。

表 1 给出了三种情景下的不同重现期洪水的频率相对于基准期的变化，可以看出各情景下洪水量级相对于基准期均减少，RCP2.6 情景下，2~1000 年重现期的洪水减小幅度在-16.7%~-11.1%之间，RCP4.5 情景下，减小幅度在-8.1%~-10.2%之间，而 RCP8.5 情景下，减小幅度在-11.4%~-10.5%之间；RCP2.6 和 RCP8.5 情景下，减小的幅度随洪水重现期的减小而减小，RCP4.5 情景下却是相反，减小的幅度随洪水重现期的减小而增加。

为了便于统计，将未来气候情景分为 3 个时期：2020s(2010~2039 年)，2050s(2040~2069 年)，2080s(2070~2099 年)。表 2 计算给出了未来不同时期的最大洪水、最小洪水以及洪水均值，同时分别给出了对应各自情景下洪水频率曲线和基准期洪水频率曲线的洪水重现期。从表中可以看出未来不同时期的洪水均值、最大值和最小值的洪水重现期在基准期下均有不同程度的减小。未来情景下重现期为 2~2.5 年的洪水均值在基准期下约为 1.5 年。各时期最小值洪水的重现期在在基准期下无明显变化。但是各时期最大值洪水在基准期下洪水重现期变化较大，如 RCP8.5 情景下 2020s 时期出现的 1000 年一遇重现期洪水仅相当于基准期 100 年一遇；RCP2.6 情景下 2020s 时期的 150 年一遇洪水仅相当于基准期 15 年一遇。对比不同时期，三种情景下 2050s 时期的洪水量级相对于 2020s 时期和 2080s 时期较小。

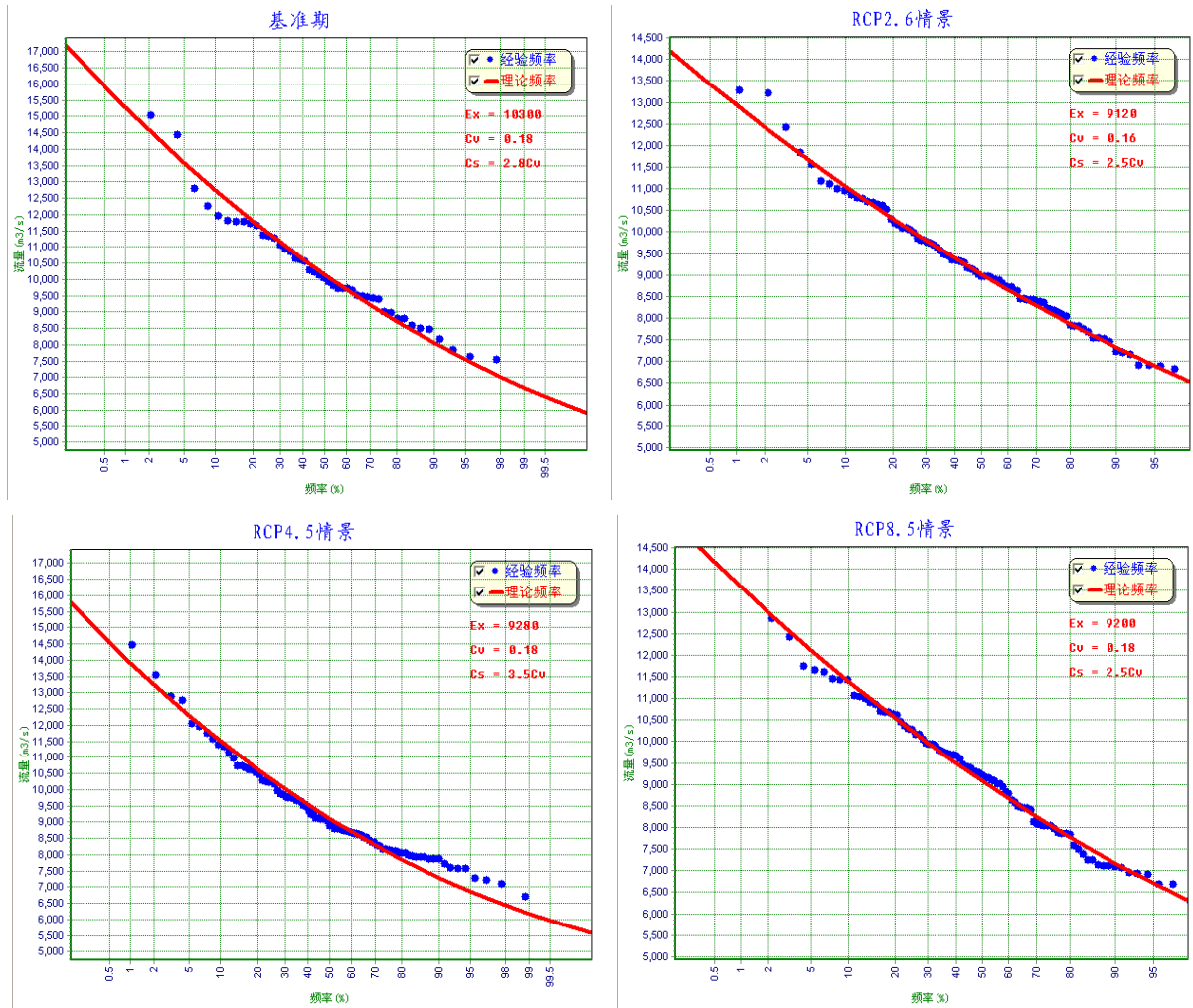


Figure 3. Fitted annual maximum flood frequency curves for baseline period and three future scenarios in the Gangjiang basin

图 3. 三种未来情景下及基准期赣江流域年最大洪水序列拟合频率曲线

Table 1. Comparison of design flood changes between future scenarios and baseline period

表 1. 未来情景与基准期设计洪水变化的比较

重现期(年)	1000	100	50	20	10	5	2
基准期	17,376	15,285	14,588	13,591	12,753	11,798	10,145
RCP2.6 情景	14,470	12,936	12,420	11,674	11,041	10,311	9023
变化幅度(%)	-16.7	-15.4	-14.9	-14.1	-13.4	-12.6	-11.1
RCP4.5 情景	15,960	13,917	13,245	12,293	11,502	10,611	9106
变化幅度(%)	-8.1	-8.9	-9.2	-9.6	-9.8	-10.1	-10.2
RCP8.5 情景	15,391	13,590	12,986	12,119	11,386	10,545	9076
变化幅度(%)	-11.4	-11.1	-11.0	-10.8	-10.7	-10.6	-10.5

Table 2. Return periods changes for different periods under three scenarios
表 2. 三种情景下未来不同时期洪水重现期的变化

情景		RCP2.6			RCP4.5			RCP8.5		
		2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s
均值	量级	9327	9049	8981	9399	8850	9623	9520	8619	9448
	情景	2.4	2.0	2.0	2.3	1.8	2.6	2.5	1.6	2.4
	基准	1.5	1.4	1.3	1.5	1.3	1.6	1.6	1.2	1.5
最大值	洪水	13,262	10,842	11,811	12,851	11,558	14,444	15,501	11,028	12,836
	情景	158.7	8.2	23.5	33.9	10.5	175.4	1111.1	7.3	42.4
	基准	15.1	2.8	5.0	10.8	4.3	43.5	125.0	3.1	10.7
最小值	洪水	5987	6022	6873	6666	7250	7189	6662	5868	6896
	情景	1.0	1.0	1.1	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.1
	基准	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

5. 结论与展望

利用全球气候模式 BCC-CSM1.1 经统计降尺度后的结果驱动新安江模型，得到未来气候变化情景下赣江径流系列。通过对年最大日径流序列进行频率分析，分析未来气候变化情景下赣江洪水极值事件变化趋势。结果表明：三种情景下洪水量级相对于基准期均减少，RCP2.6 情景下减小 15% 左右，RCP4.5 情景下减小 9% 左右，RCP8.5 减小 11% 左右。未来不同时期的洪水均值、最大值和最小值的重现期与基准期相比均有不同程度的减小，其中洪水最大值减小幅度最大，1000 年一遇洪水仅相当于基准期 100 年一遇，150 年一遇洪水仅相当于基准期 15 年一遇。

参考文献 (References)

- [1] 方建, 杜鹃, 徐伟, 史培军, 孔锋. 气候变化对洪水灾害影响研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(9): 1086-1093. FANG Jian, DU Juan, XU Wei, SHI Peijun and KONG Feng. Advances in the study of climate change impacts on flood disaster. *Advances in Earth Science*, 2014, 29(9): 1086-1093. (in Chinese)
- [2] 云惟群, 付凌晖, 王惠文. 鄱阳湖地区洪水灾害模式分析[J]. 灾害学, 2003, 18(1): 30-35, 46. YU Weiqun, FU Linghui and WANG Huiwen. Flood pattern analysis of Poyang Lake area. *Journal of Catastrophology*, 2003, 18(1): 30-35, 46. (in Chinese)
- [3] 刘浏, 徐宗学, 黄俊雄. 气候变化对西苕溪流域未来洪水影响研究——II: 情景分析. 长江流域资源与环境, 2011, 20(4): 508-512. LIU Liu, XU Zongxue and HUANG Junxiong. Impact of future climate change on flood in the Xitiaoqi catchment—II: Scenario analysis. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(4): 508-512. (in Chinese)
- [4] 郭生练. 气候变化对洪水频率和洪峰流量的影响[J]. 水科学进展, 1995, 6(3): 224-230. GUO Shenglian. Impact of climate change on flood frequencies and peak discharges. *Advances in Water Science*, 1995, 6(3): 224-230. (in Chinese)
- [5] 肖恒, 陆桂华, 吴志勇, 刘志雨. 珠江流域未来 30 年洪水对气候变化的响应[J]. 水利学报, 2013, 44(12): 1409-1419. XIAO Heng, LU Guihua, WU Zhiyong and LIU Zhiyu. Flood response to climate change in the Pearl River basin for the next decades. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2013, 44(12): 1409-1419. (in Chinese)
- [6] 刘健, 张奇. 一个新的分布式水文模型在鄱阳湖赣江流域的验证[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(1): 19-26. LIU Jian, ZHANG Qi. Verification of a new distributed hydrological model in Ganjiang River catchment, Poyang Lake watershed. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(1): 19-26. (in Chinese)
- [7] 郭家力, 郭生练, 李天元, 刘德地. 鄱阳湖未控区间流域水量平衡分析及校验[J]. 水电能源科学, 2012, 30(9): 30-

32, 58.

GUO Jiali, GUO Shenglian, LI Tianyuan and LIU Dedi. Water balance analysis and verification of Poyanghu Lake intervening basin. *Water Resources and Power*, 2012, 30(9): 30-32, 58. (in Chinese)