

HadCM3 模式下钱塘江流域设计暴雨估算

张徐杰¹, 林盛吉², 马冲¹, 高希超¹, 许月萍¹,

(1. 浙江大学水文与水资源工程研究所, 浙江 杭州 310058; 2. 奉化市水利局, 浙江 奉化 315500)

摘要: 全球气候变化背景下, 极端水文气象事件发生的频率和强度都受到了直接影响, 研究气候变化对极端水文气象事件的影响对防灾减灾和工程设计等至关重要。采用了联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告中给出的 A1B、A2 和 B1 三种温室气体排放情景, 选用大气环流模式 HadCM3, 利用随机天气发生器 LARS-WG 生成逐日气象资料, 结合 P- 型曲线和线性矩方法分析计算了钱塘江流域 21 世纪中叶的设计暴雨情况。结果表明: LARS-WG 天气发生器在钱塘江流域有较好的模拟效果; 在 A1B 和 B1 情景下, 钱塘江流域各站点不同重现期下的设计暴雨值基本呈增大趋势, 其中 A1B 情景下杭州站百年一遇的设计暴雨值为 209.14mm, 比基准期增大 11.0%。

关键词: 气候变化; 降雨频率; 大气环流模式; LARS-WG 天气发生器; P- 型曲线; 线性矩

中图分类号: P339

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)01-0021-06

1 引言

近年来, 全球气候变化问题越来越受到人们的关注^[1], 国外已有众多学者在气候变化方面作了大量研究, 并且取得了不少成果^[2-3]。对未来气候的模拟, 可以使人类尽早地认识到气候及生态环境可能发生的变化, 并对变化产生的可能影响进行评估, 以及及时采取应对措施。2007 年, 联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)作了第四次评估报告《气候变化 2007: 自然科学基础》, 其中指出: 近 100 年(1906~2005 年)地球表面气温上升了 0.74℃, 全球气候呈现以变暖为主要特征的显著变化^[4]。气温增加, 会对极端水文气象事件发生的频率和强度产生直接的影响。

对气候变化的模拟, 大气环流模式(General Circulation Model, GCM)能较好地模拟出年际的、大尺度空间的平均特征, 但却很难对区域气候做精确的预测, 并且 GCM 在预测日降雨和日气温方面还存在很大的不确定性, 尤其是日降雨。为了对未来时期的水文气象变量进行频率分析, 还需要对 GCM 结果作进一步的处理, 目前主要是采用降尺度方法。降尺度方法是基于

这样一种观点: 那就是区域气候变化是以大尺度气候为条件的, 通过把大尺度、低分辨率的 GCM 输出信息转化为区域尺度的地面气候变化信息, 从而弥补 GCM 对区域气候预测的局限^[5]。气候变化相关研究众多, 如 Tripathi 等^[6]采用支持向量机方法将大气环流模式 CGCM2 的结果进行降尺度处理, 研究了气候变化对印度地区降雨量的影响; 丛振涛等^[7]根据大气环流模式 HadCM3 的结果, 研究了气候变化对北京地区冬小麦的耗水影响; 郝振纯等^[8]利用 IPCC 第四次评估报告公布的 22 个大气环流模式在 A1B、A2 和 B1 排放情景下的气温和降水预测结果, 研究了气候变化下淮河流域的极端洪水情况, 结果表明淮河流域未来可能发生的极端洪水在三种情景下都有增大的趋势。然而, 气候变化方面的研究虽多, 但其对水文频率分析方面的影响研究在国内外还比较少见, 而水文频率分析又恰恰是防灾减灾和工程设计的基本内容之一。

本文主要利用 IPCC 第四次评估报告中给出的 A1B、A2 和 B1 排放情景下的大气环流模式 HadCM3 的结果, 并选择统计降尺度方法中的天气发生器对 HadCM3 的结果作降尺度处理, 生成单站逐日气象资

收稿日期: 2012-03-23

基金项目: 国家自然科学基金(50809058); 科技部国际科技合作计划(2010DFA24320)

作者简介: 张徐杰 (1987-), 男, 浙江余姚人, 博士研究生, 主要从事气候变化下水资源风险分析研究。E-mail: zxjzju@zju.edu.cn

通讯作者: 许月萍 (1975-), 女, 浙江诸暨人, 副教授, 主要从事气候变化下水资源风险分析方面研究。E-mail: yuepingxu@zju.edu.cn

料,利用线性矩方法和P-型分布曲线来分析气候变化对钱塘江流域降雨频率的影响,可为钱塘江流域未来的工程设计和防灾减灾提供一定的技术支持。

2 研究方法

2.1 数据来源

钱塘江是中国浙江省第一大河,河流全长 688km,流域面积 $5.56 \times 10^4 \text{ km}^2$,年均流量 $442.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。流域属亚热带季风气候,雨量充沛,四季分明。全年平均气温 17°C ,多年平均降水量 1 598.9mm。钱塘江流域历年洪涝灾害严重,如历史上 1955 年、1969 年和 1999 年洪水等。2011 年 6 月,钱塘江流域迎来 1955 年以来最大洪峰,兰溪站实测水位 33.4m,兰江干堤出现管涌、渗透现象,致 400 多万人受灾,经济损失严重。因此,考察气候变化对钱塘江流域极端气候事件如暴雨的可能影响对流域未来的工程设计和防灾减灾非常重要。

本文的数据主要包括国家气象局提供的钱塘江流域 7 个气象站点 1961~1990 年的逐日实测气象资料,其中包括日最高气温、最低气温、日降雨量和日照时数等。各气象站点信息如表 1 所示。

表1 钱塘江流域各站点信息
Table1 Information of the stations in Qiantangjiang river basin

站点	经度/ $^\circ\text{E}$	纬度/ $^\circ\text{N}$	海拔/m	年份
杭州	$120^\circ 10'$	$30^\circ 14'$	41.7	1961~1990
黄山	$118^\circ 09'$	$30^\circ 08'$	1840.4	1961~1990
金华	$119^\circ 39'$	$29^\circ 07'$	62.6	1961~1990
衢州	$118^\circ 54'$	$29^\circ 00'$	82.4	1961~1990
嵊县	$120^\circ 49'$	$29^\circ 36'$	104.3	1961~1990
天目山	$119^\circ 25'$	$30^\circ 21'$	1505.9	1961~1990
屯溪	$118^\circ 17'$	$29^\circ 43'$	142.7	1961~1990

2.2 LARS-WG 天气发生器

目前国际上应用广泛的天气发生器有 Weather Generator (WGEN) (Richardson, 1981; Richardson and Wright, 1984), USCLIMATE (Hanson et al., 1994), Climate Generator (CLIGEN) (Nicks et al., 1995), Climate Generator (ClimGen) (Stockle et al., 1999), Long Ashton Research Station -Weather Generator (LARS-WG) (Semenov and Barrow, 2002)等^[9-12]。本文选择英国洛桑实验室开发的 LARS-WG 天气发生器,该天气发生器可用于未来气候变化方面的研究。Semenov 等^[9]比较了天气发生器 WGEN 和 LARS-WG 的模拟性能,并对 LARS-WG 在极端气候事件中的模拟能力进

行了检验^[13],表明 LARS-WG 有较好的模拟效果。LARS-WG 已在欧洲和美洲一些国家广泛应用,但在国内的应用却还不多^[14]。

2.2.1 LARS-WG 机理和方法

LARS-WG 通过一个半经验分布模型 (Semi-empirical Distribution, SED)来模拟干湿序列、日降雨量、日辐射量、日最低温和日最高温^[15]。

LARS-WG 是基于月偏差系数来计算半经验分布的气象变量值的,并且允许某些气象变量有年周期。现假设要估算一个气象变量值的 SED 分布 D_k (是指一年中的第 k 天),用 k_m 表示一年中第 m 月中间的那一天,并假定 $|k-k_m| \leq 15$ 。则 D_k 由下式给出:

$$D_k = p(x)D^{m-1} + [1-p(x)]D^m \quad (1)$$

其中 D^m 是第 m 月的 SED 月分布, $p(x) = 2^{\alpha-1}x^\alpha$, $x = d/N(m)$, d 是一个月里的第 d 天, $N(m)$ 是第 m 月的天数。参数 α 是为了区别 E^m 和 \bar{E}^m 而设置的, E^m 是 D^m 的均值,而 \bar{E}^m 由下式给出:

$$\bar{E}^m = 1/N(m) \sum_{k=k_m-N(m)/2}^{k_m+N(m)/2} \text{mean}(D_k) \quad (2)$$

α 满足以下不等式:

$$|E^m - \bar{E}^m| \leq \min\{A_v, R_v, E^m\} \quad (3)$$

其中 A_v 是一个变量 v 所允许的绝对误差, R_v 是相对误差。

2.2.2 LARS-WG 数据处理

LARS-WG 的标准输入数据包括年份、天数(1 至 365 或 366)、日最高温、日最低温、日降雨量和日辐射量^[16]。

LARS-WG 可以根据输入的国际公认基准期(1961~1990 年)气象数据生成任意年数的随机天气序列,另外还可以结合未来的气候情景文件生成未来任意年数的随机天气序列。对于未来的气候情景,我们选择 21 世纪中叶(2055s)在 A1B、A2 和 B1 三种排放情景下 HadCM3 的结果,之所以选择 HadCM3,是因为许崇海等^[17]检验了 22 个 GCM 在东亚地区的模拟能力,表明 HadCM3 对东亚地区的模拟性能较好;曹颖等^[18]的研究也表明 HadCM3 模式在黄河流域有较好的模拟效果。这里对 3 个排放情景进行解释说明^[4]:A1B 描述的是经济快速增长,全球人口峰值出现在 21 世纪中叶、随后开始减少,新的和更高效的技术迅速出现的世界,其基本内容是强调地区间的趋同发展、能力建设、不断增强的文化和社会的相互作用、地区间人均收入差距的持续减少;A2 描述的是一个极其非均衡发展的

世界,其基本点是自给自足和地方保护主义,地区间的人口出生率很不协调,导致持续的人口增长,经济发展主要以区域经济为主,人均经济增长与技术变化越来越分离;B1 描述的是一个均衡发展的世界,与 A1B 描述具有相同的人口,不同的是,经济结构向服务和信息经济方向快速调整,材料密度降低,引入清洁、能源效率高的技术,其基本点是在不采取气候行动计划条件下,更加公平地在全球范围实现经济、社会和环境的可持续发展。

Semenov^[15]指出,如果基准期的实测气象数据是1961~1990年的,则可以直接通过LARS-WG来利用GCM结果生成所需时间段的随机天气序列,而不需对GCM结果进行偏差校正。在LARS-WG天气发生器中,根据天气发生器的格式要求输入各个站点1961~1990年的气象数据,经过LARS-WG进行站点分析后,就可以生成随机天气序列了。

选择基准期和HadCM3在各排放情景下2055s时期的预测结果(例如,图1是HadCM3在杭州站2055s时期的降雨预测结果),生成各个气候情景下100年的随机天气序列。LARS-WG生成的结果包括日最低温、日最高温、日降雨量、日辐射量和日潜在蒸发量,提取其中的日降雨量来进行暴雨频率分析。

2.3 降雨频率分析

水文随机变量的分布目前仍未有定论,只能以某种理论线型代替。根据SL44-2006《水利水电工程设计洪水计算规范》的规定,我国大部分地区采用三参数的P-型曲线作为频率曲线线型^[19],因为经验表明该线型能与我国大多数地区水文变量的频率分布配合良好。P-型曲线是一条一端有限一端无限的不对称单峰曲线,其概率密度函数如下:

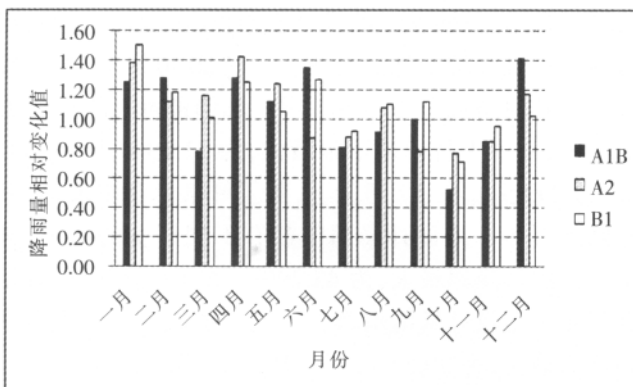


图1 杭州站 2055s 时期的降雨量相对变化值

Fig.1 The precipitation Change at the Hangzhou station during 2055s

$$f(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} (x-\gamma)^{\beta-1} e^{-\frac{(x-\gamma)}{\alpha}} \quad (4)$$

式中:变量 x 的取值范围可以为 $\gamma < x < +\infty$; $\Gamma(\beta)$ 为 β 的伽玛函数; α, β, γ 分别为 P-型分布的尺度、形状和位置参数, $\alpha > 0, \beta > 0$ 。

本文采用 P-型曲线,结合线性矩方法(L-moments)估计 P-型分布中的三个参数,进而计算各站点的设计暴雨值。线性矩方法是目前频率分析计算中较新的参数估计方法之一。它是在Greenwood^[20]定义的权重矩基础上将排序系列的值进行一定的线性组合来计算矩的。Hosking和Wallis^[21]认为,线性矩是对权重矩的一种改进,是描述概率分布的另一类系统。线性矩的估计值可以用来估算不同概率分布函数的参数,从而得到不同水文变量的分布函数。

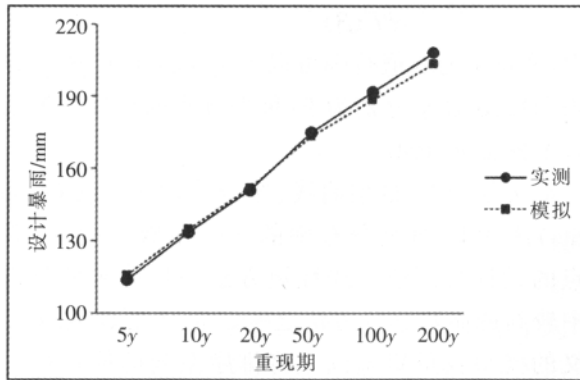
2.4 天气发生器的可行性验证

这里首先对LARS-WG生成的随机天气序列进行验证,采取如下办法:用1961~1990年实测降雨数据和LARS-WG在基准期下随机生成的100年降雨数据分别计算重现期为5a、10a、20a、50a、100a和200a下的设计暴雨值,并对结果进行比较分析。图2列举了杭州、黄山、嵊县、屯溪4个站点的对比结果,表2列出了7个站点的对比结果误差。由表2可见,各站点的设计暴雨值最大误差为8.52%,是重现期为200a下的嵊县站,而杭州、黄山、金华和屯溪四站在不同重现期下的最大误差更是全部在5%以内。由此我们得出结论:LARS-WG天气发生器在钱塘江流域有较好的模拟效果,由LARS-WG随机生成的降雨数据可以用来水文频率分析,并且生成的结果较可信。

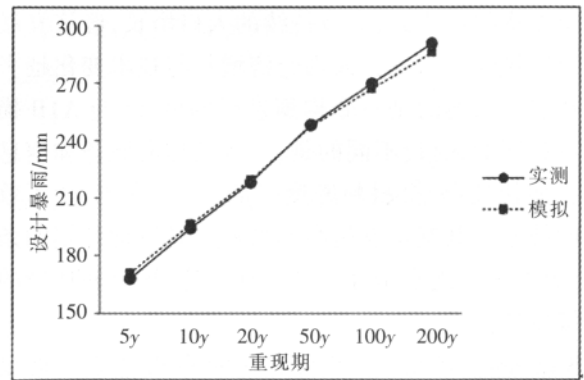
表2 不同重现期下的设计暴雨值误差 (%)

Table2 The errors of design storms in the different return periods (%)

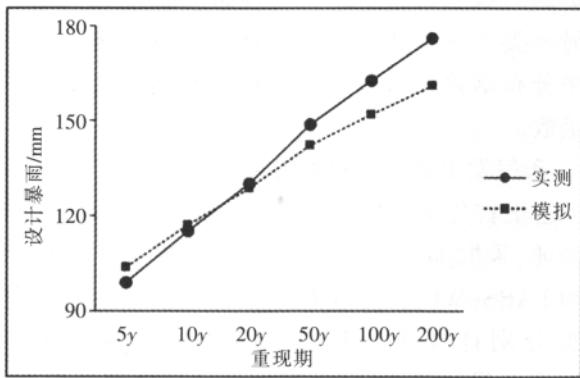
站点	5a	10a	20a	50a	100a	200a
杭州	1.63	0.82	0.01	0.97	1.65	2.29
黄山	1.64	1.16	0.53	0.36	1.02	1.67
金华	0.51	1.55	2.20	2.76	3.03	3.21
衢州	5.20	2.53	0.23	2.42	4.20	5.84
嵊县	4.99	1.70	1.16	4.42	6.58	8.52
天目山	6.07	3.19	0.63	2.38	4.43	6.32
屯溪	4.06	3.34	2.74	2.05	1.59	1.17



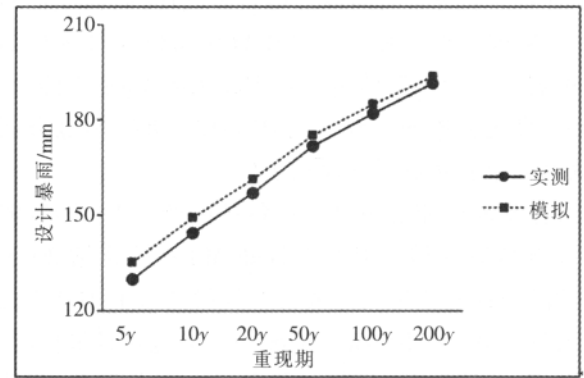
(a) 杭州



(b) 黄山



(c) 嵊县



(d) 屯溪

图2 不同重现期下的设计暴雨值比较

Fig.2 Comparison of the design storms in the different return periods

3 结果和讨论

对 LARS-WG 生成的 2055s 时期各个情景下的日降雨数据进行暴雨频率分析, 计算出各个站点在不同重现期下的设计暴雨值。受篇幅限制, 这里仅列出杭州站的结果(见表 3), 可以看出, 在 A1B 和 B1 排放情景下, 到 21 世纪中叶, 杭州站在不同重现期下的设计暴雨值呈增大趋势。其中在 A1B 排放情景下, 重现期为

表3 杭州站2055s时期不同气候情景下的设计暴雨值 (mm)
Table3 The design storms at the Hangzhou station under different scenarios during 2055s (mm)

情景	5a	10a	20a	50a	100a	200a
基准期	115.82	134.71	151.93	173.15	188.42	203.22
A1B	133.34	153.53	171.62	193.55	209.14	224.10
增幅	15.13%	13.97%	12.96%	11.78%	11.00%	10.27%
A2	110.45	123.45	134.58	147.54	156.44	164.77
增幅	-4.64%	-8.36%	-11.42%	-14.79%	-16.97%	-18.92%
B1	130.95	152.09	171.06	194.09	210.47	226.21
增幅	13.06%	12.90%	12.59%	12.09%	11.70%	11.31%

5a 的设计暴雨值与基准期相比增大 15.13%, 随着重现期的加大, 设计暴雨值与基准期相比增幅逐渐减小, 到重现期为 200a 时, 设计暴雨值比基准期增大 10.27%。而在 A2 排放情景下, 设计暴雨值是减小的, 从 5 年一遇的设计暴雨减小 4.64%, 到 200 年一遇的设计暴雨减小 18.92%。

各站点在不同排放情景下的百年一遇暴雨值见表 4, 可以看出, 不同站点的设计暴雨值存在较大差异, 这与地理位置和地形地势有关。在 A1B 情景下, 除了嵊县站, 其他站点百年一遇的设计暴雨值都有不同程度的增大, 其中天目山站增幅最大, 为 31.19%, 屯溪站其次, 为 29.85%。在 A2 情景下, 除了嵊县站和屯溪站, 其他站点百年一遇设计暴雨值都有不同程度的减小, 其中天目山站降幅最大, 为 42.79%。在 B1 情景下, 各站点百年一遇设计暴雨值都有不同程度增大, 其中金华站增幅最大, 为 39.54%, 黄山站最小, 为 7.39%。

由于气候变化对设计暴雨的影响涉及的不确定性众多, 本文计算设计暴雨时选择考虑气候情景的不确

定性,而大气环流模式的不确定性、降尺度方法的不确定性,以及降雨频率分布曲线的不确定性均不予考虑,以着重分析未来不同气候情景下的设计暴雨变化趋势。

表4 各站点在不同排放情景下百年一遇暴雨值 (mm)
Table4 Design storms of 100 years return period under different scenarios at the various stations (mm)

情景	杭州	黄山	金华	衢州	嵊县	天目山	屯溪
基准期	188.42	266.78	135.12	148.14	151.95	155.24	184.82
A1B	209.14	285.04	171.20	187.35	149.70	203.66	239.98
增幅	11.00%	6.84%	26.70%	26.47%	-1.48%	31.19%	29.85%
A2	156.44	246.66	108.48	109.35	154.83	88.81	204.26
增幅	-16.97%	-7.54%	-19.72%	-26.18%	1.90%	-42.79%	10.52%
B1	210.47	286.50	188.54	193.43	174.01	170.14	235.48
增幅	11.70%	7.39%	39.54%	30.57%	14.52%	9.60%	27.41%

4 结语

基于三个不同排放情景(A1B、A2和B1)下的大气环流模式(HadCM3)结果,预测21世纪中叶(2055_s)钱塘江流域各站点在不同重现期下的设计暴雨值。在A1B和B1情景下,各站点的设计暴雨值基本呈增大趋势,比如A1B情景下杭州站不同重现期下的设计暴雨值有10.27%~15.13%的增幅,其中百年一遇的设计暴雨值为209.14mm,比基准期增大11.0%;在A2情景下,各站点的设计暴雨值基本呈减小趋势,比如杭州站不同重现期下的设计暴雨值有4.64%~18.92%的降幅,其中百年一遇的设计暴雨值为156.44mm,比基准期减小16.97%。从这些结果可以看出,预测中存在着较大的不确定性,不同情景下未来设计暴雨的变化是不尽相同的。

对决策者来说,既要考虑乐观的情景,也要考虑到悲观的情景。如杭州站百年一遇设计暴雨值,在A2情景下有大约17%的降幅,但悲观情况是在B1情景下会有大约12%的增幅。而像屯溪站,决策者就要做好相应的准备,因为三种情景下的设计暴雨值都有明显的增幅。

本文在得出以上结论的同时,也存在如下不足和展望:在计算设计暴雨过程中,本文直接采用了P-型曲线作为频率分布曲线线型,然而,未来的气候变化情景很有可能会改变水文变量的频率分布情况,使P-型曲线不再适用;同样,不同大气环流模式和降尺度方法对设计暴雨计算也有较大的影响,这些都有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 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. (National Assessment Report of Climate Change Compiling Committee. National Assessment Report of Climate Change[M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))
- [2] DIBIKE Y B, COULIBALY P. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models [J]. Journal of Hydrology, 2005, 307:145-163.
- [3] AKHTAR M A, AHMAD N, BOOIJ M J. The impact of climate change on the water resources of Hindukush-Himalaya-Karakorum region under different glacier coverage scenarios [J]. Journal of Hydrology, 2008, 355:148-63.
- [4] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [5] 范丽军. 统计降尺度方法的研究及其对中国未来区域气候情景的预估[D]. 北京: 中国科学院, 2006. (FAN Lijun. Statistical Downscaling of Local and Regional Climate Scenarios over China [D]. Beijing: Chinese Academy of Science, 2006. (in Chinese))
- [6] TRIPATHI S, SRINIVAS V V, NANJUNDIAH R S. Downscaling of precipitation for climate change scenarios: A support vector machine approach [J]. Journal of Hydrology, 2006, 330(3/4): 621-640.
- [7] 丛振涛, 辛儒, 姚本智, 等. 基于 HadCM3 模式的气候变化下北京地区冬小麦耗水研究[J]. 水利学报, 2010, 41(9): 1101-1107. (CONG Zhentao, XIN Ru, YAO Benzhi, et al. Impact of climate change on water use of winter wheat with HadCM3 model [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(9): 1101-1107. (in Chinese))
- [8] 郝振纯, 鞠琴, 王璐, 等. 气候变化下淮河流域极端洪水情景预估[J]. 水科学进展, 2011, 22(5): 605-614. (HAO Zhenchun, JU Qin, WANG Lu, et al. Prediction of extreme floods in Huaihe river basin under climate change [J]. Advances in Water Science, 2011, 22(5): 605-614. (in Chinese))
- [9] SEMENOV M A, BROOKS R J, BARROW E M, et al. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates[J]. Climate Research, 1998 (10): 95-107.
- [10] KOU X J, GE J P, WANG Y, et al. Validation of the weather generator CLIGEN with daily precipitation data from the Loess Plateau, China [J]. Journal of Hydrology, 2007, 347(3-4):347-357.
- [11] CHEN J, BRISSETTEA F P, LECONTE R. A daily stochastic weather generator for preserving low-frequency of climate variability [J]. Journal of Hydrology, 2010, 388(3-4):480-490.
- [12] CASTELLV P, MORMENEO I, PEREZ P J. Generation of daily amounts of precipitation from standard climatic data: a case study for Argentina [J]. Journal of Hydrology, 2004, 289(1-4):286-302.
- [13] SEMENOV M A. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator [J]. Climate Research, 2008, 35: 203-212.
- [14] 王幼奇, 樊军, 邵明安. LARS-WG 天气发生器在黄土高原的适应性研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(3): 24-27. (WANG Youqi, FAN Jun, SHAO Mingan. Adaptability of climate generator of LARS-WG on the loess plateau [J]. Science of Soil and Water Conservation. 2007, 5(3):24-27. (in Chinese))

- [15] SEMENOV M A, PIERRE S. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts [J]. *Climate Research*, 2010, 40(1): 1–14.
- [16] SEMENOV M A, BARROW E M. LARS-WG: a stochastic weather generator for use in climate impact studies. LARS-WG 3.0 manual [EB/OL]. http://www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/mas_models/download/LARS-WG-Manual.pdf
- [17] 许崇海, 沈新勇, 徐影. IPCC AR4 模式对东亚地区气候模拟能力的分析[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(5): 287–292. (XU Chonghai, SHEN Xinyong, XU Ying. An analysis of climate change in East Asian by using the IPCC AR4 simulations [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(5): 287–292. (in Chinese))
- [18] 曹颖, 张光辉. 大气环流模式在黄河流域的适用性评价 [J]. *水文*, 2009, 29(5): 1–5. (CAO Ying, ZHANG Guanghui. Applicability evaluation of global circulation models in the Yellow river basin [J]. *Journal of China Hydrology*, 2009, 29(5): 1–5. (in Chinese))
- [19] 叶守泽, 詹道江. 工程水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000. (YE Shouze, ZHAN Daojiang. *Engineering Hydrology* [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2000. (in Chinese))
- [20] GREENWOOD J A, LANDWEHR J M, MATALAS N C, et al. Probability weighted moments: Definition and relation to parameters of distribution expressible in inverse form [J]. *Water Resources Research*, 1979, 15(5): 1049–1054.
- [21] HOSKING J R M, WALLIS J R. *Regional Frequency Analysis—an Approach Based on L-moments* [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1997.

Estimation of Design Storms under HadCM3 Model for Qiantangjiang River Basin

ZHANG Xujie¹, LIN Shengji², MA Chong¹, GAO Xichao¹, XU Yueping¹

(1. *Institute of Hydrology and Water Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;*

2. Fenghua Bureau of Water Resources, Fenghua 315500, China)

Abstract: Climate change affects the frequency and intensity of extreme hydrological events, e.g. extreme storm in a very direct way. Studying these effects caused by climate change will provide great support for disaster mitigation and engineering design. This paper applied the LARS-WG weather generator to simulate synthetic weather data under the A1B, A2 and B1 emission scenarios from Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) using the results of General Circulation Model HadCM3. Based on the L-moments approach, design storms of different return periods were calculated for the Qiantangjiang River Basin in 2055s using the P-III distribution function. The final results show that the LARS-WG weather generator has good capability in simulating synthetic weather data in the Qiantang River Basin and the maximum bias between observed and simulated design storms of 200a return period is 8.52%, occurring at the Shengxian Station. The design storms of different return periods tend to increase under the A1B and B1 scenarios, while decline under the A2 scenarios at the most stations. And design storm of 100a return period at the Hangzhou Station will be 209.14mm under the A1B scenarios, 11 percent larger than that in the baseline period. The biggest increase and decrease of the design storm of 100a return period is 39.54% and 42.79%, occurring at the Jinhua Station under the B1 scenarios and Tianmushan station under the A2 scenarios respectively.

Key words: climate change; precipitation frequency; general circulation model; LARS-WG weather generator; P-III distribution; L-moments

(上接第7页)

Study on Multi-objective Parameter Optimization of Xinanjiang Model

GUO Jun¹, ZHOU Jianzhong¹, ZOU Qiang¹, SONG Lixiang², ZHANG Yongchuan¹

(1. *College of Hydropower and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;*

2. Pearl River Water Resources Institute, Guangzhou 510623, China)

Abstract: Parameter estimation of hydrological models is an important matter of hydrological forecasting. As the structure of the model is established, the calibration of parameters has great influence on the performance of the hydrological model. Practice experience suggests that the conventional calibration of hydrological models with single objective function is often inadequate to properly measure all of the characteristic of the observed data deemed to be important. To deal with this defect, the multi-objective evolution algorithm was employed to optimize the parameters of the Xinanjiang model with three runoff components in this paper. The results of the case study indicated that with well chosen objective functions, the multi-objective optimization can achieve better results than the single objective optimization. Furthermore, by analyzing the achieved the parameter combination, it is obvious that the phenomenon of same effect of different parameters exists, so as to do some preparations for the uncertainty analysis of the model parameters.

Key words: hydrological forecasting; Xinanjiang model with three runoff components; multi-objective; NSGA-II; chaos differential evolution algorithm