

Analysis of Multi-Scale Flood Series Alteration in the East River Basin*

Jinghong Xie, Ping Xie[#], Bin Xu, Xi'nan Li

State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan
Email: [#]pxie@whu.edu.cn

Received: Jun. 18th, 2012; revised: Jun. 27th, 2012; accepted: Jul. 6th, 2012

Abstract: Under the influence of climate change and human activities, alterations may happen to the distribution regulations and parameters of flood series in the East River basin. In order to uncover the multi-scale flood series alterations on temporal and spatial scales, annual maximum 1-day, 3-day, 5-day and 7-day floods of the Longchuan, Heyuan, Lingxia and Bolo stations in the East River basin were chosen, then the hydrological alteration diagnosis system was used to analyze the alteration. Combining with the analysis of the influence of climate change and human activities such as the alteration of precipitation series and water conservancy facilities in the East River basin, the physical causes of flood alteration are mainly due to the cascade hydropower plants. Results indicate that the variation degree of annual maximum 1-day, 3-day, 5-day and 7-day floods at the Longchuan, Heyuan, Lingxia, and Bolo stations are different. It is shown that the relationship between stations is different and the influence of climate change is very little.

Keywords: East River Basin; Flood Series; Alteration Analysis; Physical Causes

东江流域多尺度洪水序列变异分析*

谢静红, 谢平[#], 许斌, 李析男

武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉
Email: [#]pxie@whu.edu.cn

收稿日期: 2012年6月18日; 修回日期: 2012年6月27日; 录用日期: 2012年7月6日

摘要: 由于气候变化和人类活动的影响, 东江流域的洪水序列可能产生了变异。为了揭示多尺度洪水序列时空变异规律, 利用水文变异诊断系统对东江流域主干道的龙川、河源、岭下、博罗4个控制站的年最大一、三、五、七日洪水序列进行变异诊断。结合东江流域内降雨序列的变异情况、水利工程设施等气候和人类活动影响因素的分析, 揭示了洪水变异的物理成因。结果表明: 龙川、河源、岭下、博罗各站的年最大一、三、五、七日洪水序列均发生了不同程度的变异。通过对各洪水序列的空间变异关系分析, 发现对于不同洪水序列, 各站之间的联系密切程度不同。物理成因分析表明: 东江流域洪水变异主要是受梯级水电站修建的影响, 受气候变化影响较小。

关键词: 东江流域; 洪水序列; 变异分析; 物理成因

1. 引言

*基金项目: 国家自然科学基金项目(50839005; 50979075; 51179131; 51190094)。

[#]通讯作者。

作者简介: 谢静红(1987-), 女, 研究生。

过去几十年来, 由于东江流域修建了众多水库等人类活动以及气候条件变化的影响, 流域的下垫面条件发生较大改变, 使得流域的天然洪水的形成条件发生了改变, 导致洪水序列失去了一致性, 即产生了水

文变异^[1], 从而对流域的防洪规划、水库调度等工作带来一定的影响。

针对洪水序列的变异问题, 韩瑞光等^[2]利用趋势回归分析法, 分析了海河流域洪峰流量及次洪量的变化趋势。许晓艳等^[3]采用趋势变异识别分析法, 分析了浑河流域内洪水极值系列的变异情况。李兴拼等^[4]采用分形理论中的重新标度极差分析方法(R/S 分析法)对东江流域年最大 1d、3d、7d、30d、90d 平均流量序列进行了趋势分析和变异诊断。杨涛等^[5]采用可视化分析软件包 XmdvTool 评价了东江中上游流域年最大 1d、3d、7d、30d、90d 流量的变异情况。可以看出: 洪水序列变异分析的关键是变异点的诊断方法, 而上述变异点诊断方法比较单一, 且变异程度的划分比较笼统。

由谢平等研究的水文变异诊断系统^[1]不仅可以从整体上识别与检验时间序列变异及其变异程度(无变异、弱变异、中变异、强变异、巨变异), 而且可以识别非一致性序列发生变异的形式(趋势、跳跃)。因此, 为了研究变化环境下东江流域洪水序列的变异规律, 本文采用水文变异诊断系统对东江流域洪水序列进行变异诊断分析, 并对洪水发生变异的物理成因进行分析, 为防洪规划、洪灾风险分析提供参考依据。

2. 流域概况

东江是珠江流域的三大水系之一, 发源于江西省寻邬县桎髻钵山, 源区包括寻乌、安远、定南三县, 上游称寻邬水, 在广东省的龙川县合河坝与安远水汇合后称东江。自东北向西南流入广东省境内, 经龙川、河源、紫金、惠阳、博罗、东莞等县市注入狮子洋。

东江流域属南亚热带季风气候区, 四季不甚分明。降水较丰富, 降雨的面上分布一般是中下游比上游多, 西南多, 东北少, 年内分配不均, 汛期(4~9月)占全年 80%以上。受海洋性气候影响, 流域内年气温变化不大, 但由于受自然地理和地形、地貌的影响, 北部山区和东南沿海气温差异较大。

目前, 东江流域内已建的新丰江水库、枫树坝水库、白盆珠水库统称东江三大水库, 分别位于支流新丰江、贝岭水和寻邬水汇合口下游和支流西枝江之上, 综合平均库容系数为 0.71, 对流域控制程度很高, 调节能力很强, 对东江防洪减灾和径流调节起到了巨

大作用。

东江流域干流主要有龙川、河源、岭下、博罗 4 个水文站。其中龙川站位于东江上游, 主要受枫树坝水库的影响; 河源站和岭下站位于东江中下游, 同时受枫树坝水库和新丰江水库的影响; 博罗站位于东江下游, 是东江的出口控制站, 受三大水库的影响。

3. 东江流域洪水序列变异分析

3.1. 水文变异诊断系统简介

水文变异诊断系统^[1]由初步诊断、详细诊断和综合诊断三个部分组成。初步诊断部分采用过程线法、滑动平均法、Hurst 系数法对序列变异进行检验, 判断序列是否存在变异, 如果不存在变异, 则转入成因调查分析; 如存在变异, 则转入详细诊断部分, 即采用多种变异检验方法分别对序列的趋势变异、跳跃变异情况进行判断分析。然后进入综合诊断部分: 根据详细诊断结果, 分别对趋势、跳跃诊断结论进行综合。根据效率系数评价水文序列与趋势成分或跳跃成分的拟合程度, 以效率系数较大者作为变异形式判断的结果。最后结合实际水文调查分析, 对变异形式和结论进行确认, 从而得到最可能的变异诊断结果。

3.2. 不同时间尺度洪水序列变异诊断

利用水文变异诊断系统对东江流域龙川、河源、岭下、博罗四个控制站 1954~2005 年共 52 年的年最大一、三、五、七日洪水序列进行变异诊断, 取第一信度水平 $\alpha = 0.05$, 第二信度水平 $\beta = 0.01$ 。诊断结果见表 1。

从表 1 的诊断结果可以看出, 龙川站的年最大一、三、五、七日洪水均发生了中变异, 年最大一日、三日洪水序列的变异点均为 1968 年, 年最大五日、七日洪水序列的变异点均为 1976 年; 河源站的年最大一日洪水发生了强变异, 变异点为 1976 年, 年最大三日、五日、七日洪水均发生了中变异, 变异点分别为 1966 年, 1968 年和 1959 年; 岭下站的年最大一、三、五、七日洪水序列均发生了中变异, 其中年最大一、三、五日洪水序列的变异点均为 1966 年, 年最大七日洪水序列的变异点为 1959 年; 博罗站的年最大一、三、五、七日洪水均在发生了弱变异, 其中年最大一日洪水序列的变异点为 1960 年, 年最大三、

五、七日洪水序列的变异点均为 1961 年; 所有的变异形式均为跳跃下降。

3.3. 空间变异关系分析

为了进一步了解东江流域各站点之间的关系, 对

各站的 1954~2005 年最大一、三、五、七日洪水序列作相关性分析, 其结果见表 2。在信度水平 $\alpha = 0.01$ 下, 相关系数的临界值 $R\alpha = 0.35$, 若 $|R| \geq R\alpha$, 表明两个站的关系较为密切, 从表中可以看出, 对于年最大一日洪水序列, 龙川与河源、岭下、博罗各站的相

Table 1. The alteration diagnosis results of annual maximum 1-day, 3-day, 5-day, 7-day floods at the four stations
表 1. 四个控制站年最大一、三、五、七日洪水序列变异诊断结果

站名	洪水序列	初步诊断		跳跃诊断		趋势诊断		效率系数(%)		诊断结论
		Hurst 系数	变异程度	跳跃点	综合显著性	综合显著性	跳跃	趋势		
龙川	年最大一日洪水	0.806	中变异	1968	3(+)	3(+)	29.88	19.65	1968(+)	↓
	年最大三日洪水	0.798	中变异	1968	2(+)	3(+)	25.79	17.76	1968(+)	↓
	年最大五日洪水	0.791	中变异	1976	4(+)	3(+)	19.33	14.78	1976(+)	↓
	年最大七日洪水	0.789	中变异	1976	5(+)	3(+)	18.74	13.43	1976(+)	↓
河源	年最大一日洪水	0.839	强变异	1976	4(+)	3(+)	31.39	29.42	1976(+)	↓
	年最大三日洪水	0.809	中变异	1966	3(+)	3(+)	28.72	24.54	1966(+)	↓
	年最大五日洪水	0.8	中变异	1968	4(+)	3(+)	25.11	20.55	1968(+)	↓
	年最大七日洪水	0.793	中变异	1959	3(+)	3(+)	24.06	19.24	1959(+)	↓
岭下	年最大一日洪水	0.748	中变异	1966	2(+)	3(+)	18.87	15.97	1966(+)	↓
	年最大三日洪水	0.756	中变异	1966	1(+)	3(+)	19.52	15.92	1966(+)	↓
	年最大五日洪水	0.759	中变异	1966	3(+)	3(+)	18.51	15.13	1966(+)	↓
	年最大七日洪水	0.758	中变异	1959	2(+)	3(+)	17.19	13.71	1959(+)	↓
博罗	年最大一日洪水	0.683	弱变异	1960	2(+)	3(+)	18.72	12.8	1960(+)	↓
	年最大三日洪水	0.693	弱变异	1961	2(+)	3(+)	15.29	11.9	1961(+)	↓
	年最大五日洪水	0.705	弱变异	1961	2(+)	3(+)	16.37	12.58	1961(+)	↓
	年最大七日洪水	0.715	弱变异	1961	2(+)	3(+)	17.05	12.99	1961(+)	↓

Table 2. The correlation efficient of annual maximum 1-day, 3-day, 5-day, 7-day flood series among all the stations
表 2. 各站之间年最大一、三、五、七日洪水序列的相关系数

序列名称		龙川	河源	岭下	博罗
年最大一日洪水	龙川	1	0.6414	0.1256	0.3214
	河源	0.6414	1	0.7094	0.4007
	岭下	0.1256	0.7094	1	0.0103
	博罗	0.3214	0.4007	0.0103	1
年最大三日洪水	龙川	1	0.7451	0.5807	0.3672
	河源	0.7451	1	0.8946	0.689
	岭下	0.5807	0.8946	1	0.8076
	博罗	0.3672	0.689	0.8076	1
年最大五日洪水	龙川	1	0.7175	0.6307	0.4456
	河源	0.7175	1	0.9158	0.7474
	岭下	0.6307	0.9158	1	0.8417
	博罗	0.4456	0.7474	0.8417	1
年最大七日洪水	龙川	1	0.7265	0.6626	0.4909
	河源	0.7265	1	0.9284	0.7954
	岭下	0.6626	0.9284	1	0.8794
	博罗	0.4909	0.7954	0.8794	1

关系数分别为 0.6414、0.1256、0.3214, 因此认为龙川与河源较为密切, 而与另外两站关系不密切; 对于年最大三、五、七日洪水序列, 龙川与河源、岭下、博罗各站的相关系数均逐渐减小, 表明其与河源、岭下、博罗各站之间的联系密切程度也逐渐减小, 推测可能与它们的空间地理位置有关; 同理, 对于各洪水序列, 河源站与岭下, 博罗两站的相关系数逐, 表明联系的密切程度也是逐渐减小, 且河源站与岭下站的相关系数较大, 分别为 0.7094、0.8946、0.9158、0.9284, 表明河源站与岭下站的关系非常密切, 这点与变异诊断结果相符; 岭下与博罗年最大一日洪水的相关系数为 0.0103, 表明两站的年最大一日洪水联系不大, 但年最大三、五、七日洪水的相关系数分别为 0.8076、0.8417、0.8794, 表明两站的年最大三、五、七日洪水序列关系较为密切。

4. 物理成因分析

洪水的形成主要受当地的气候变化和人类活动的影响。而气候要素中的降雨是洪水的直接影响因素, 为了分析降雨对洪水变异的影响, 本文选取东江流域及其邻近的 8 个气象站(寻乌、南雄、梅县、连平、五华、河源、佛冈、惠阳)1957~2011 年的日降雨资料进行分析, 这些资料来源于中国科学气象数据共享服务网, 分别对寻乌 - 龙川、龙川 - 河源、河源 - 岭下、岭下 - 博罗区间的年最大一、三、五、七日降雨序列进行变异诊断, 结果见表 3。

从表 3 可知, 四个区间的降雨序列均没有发生变

异。这与东江流域近 46 年来的降水强度和降水量均未发生显著的变化^[6]相符合, 因此可以认为东江流域洪水的变异并不是降雨变异导致的结果, 即气候因素并非东江流域洪水变异的主要因素。

可能引起洪水变异的另一个因素就是人类活动的影响, 包括森林植被的变化、水利工程的兴建等。东江上游的枫树坝水库建于 1970 年 7 月, 1973 年 9 月下闸蓄水, 两台机组分别于 1973、1974 年底投入运行。新丰江水库于 1958 年动工, 1959 年 10 月下闸蓄水, 1960 年 10 月第一台机组投入运行, 其余三台分别于 1961 年、1964 年、1966 年投入运行。据表 1, 河源、岭下、博罗三站的洪水变异时间与水库的建设和运用时间较为吻合, 龙川站的年最大五、七日洪水在 1976 年发生变异, 可能是枫树坝水库建在贝岭水和寻邬水汇合口下游, 对洪水的影响会滞后。年最大一、三日洪水在修建水库之前的 1968 年就发生了变异, 本文通过寻乌 - 龙川区间的年最大一日降水洪水过程线为例来进行分析, 如图 1 所示。

从图 1 可以看出, 年最大一日洪水在 1968 年之后相对较小。枫树坝水库建于 1970 年, 虽然之后有些年份最大一日降水较大可能导致最大一日洪水也较大, 但由于水库的削峰调洪作用, 使年最大一日洪水降低; 对于 1969 年, 虽然还未受水库的影响, 但由于其最大一日降水较小, 因此最大一日洪水也较小, 这与水库的调节作用相吻合, 而 1968 年的年最大一日洪水相对较大, 因此诊断出年最大一日洪水在 1968 年产生了变异。

Table 3. The alteration diagnosis results of precipitation series at all the intervals
表 3. 各区间降雨序列变异诊断结果

		最大 1 日降水	最大 3 日降水	最大 5 日降水	最大 7 日降水
寻乌 - 龙川	Hurst 系数	0.608	0.603	0.529	0.547
	整体变异程度	无变异	无变异	无变异	无变异
龙川 - 河源	Hurst 系数	0.647	0.492	0.536	0.547
	整体变异程度	无变异	无变异	无变异	无变异
河源 - 岭下	Hurst 系数	0.595	0.604	0.595	0.575
	整体变异程度	无变异	无变异	无变异	无变异
岭下 - 博罗	Hurst 系数	0.528	0.59	0.649	0.633
	整体变异程度	无变异	无变异	无变异	无变异

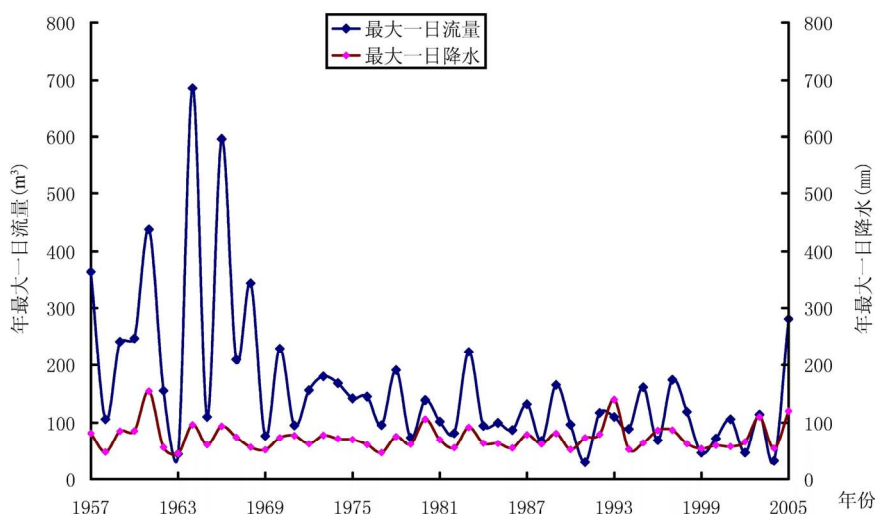


Figure 1. The curve of annual maximum 1-day rainfall and flood at the Xunwu - Longchuan interval

图 1. 寻乌 - 龙川区间年最大一日降水洪水过程线

5. 结论

本文采用水文变异诊断系统对东江流域主河道的龙川、河源、岭下、博罗四个控制站的洪水序列进行了变异分析, 并分析了其变异的物理成因, 主要结论如下:

1) 龙川站的年最大一、三日洪水在 1968 年、最大五、七日洪水在 1976 年发生了中变异; 河源站的年最大一日洪水发生了强变异、年最大三、五、七日洪水发生了中变异, 变异点分别为 1976 年、1966 年、1968 年、1959 年; 岭下站的年最大一、三、五日洪水均在 1966 年发生了中变异, 年最大七日洪水在 1959 年发生了中变异; 博罗站的年最大一日洪水在 1960 年, 最大三、五、七日洪水在 1961 年发生了弱变异。

2) 空间变异关系分析表明, 龙川与河源、岭下、博罗的密切程度逐渐减小; 河源与岭下、博罗的密切程度也逐渐减小, 且河源与岭下各序列的相关系数分别为 0.7094、0.8946、0.9158、0.9284, 表明两站的关系非常密切; 岭下与博罗的年最大一日洪水关系不密切, 但年最大三、五、七日洪水的相关性较为密切。

3) 物理成因分析表明, 降雨对洪水变异的影响较小, 影响变异的主要因素是人类活动。

4) 水库对各站的洪水效应不同, 河源站的年最大一日洪水序列为强变异, 水库对它的调节力度较大, 而博罗站洪水序列为弱变异, 水库对它的调节力度较小, 为了使水库的效益发挥最大, 该如何调整水库运

行方式, 还需进一步的研究。

参考文献 (References)

- [1] 谢平, 陈广才, 雷红富, 等. 水文变异诊断系统[J]. 水力发电学报, 2010, 29(1): 85-91.
XIE Ping, CHEN Guangcai, LEI Hongfu, et al. Hydrological alteration diagnosis system. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(1): 85-91. (in Chinese)
- [2] 韩瑞光, 冯平. 流域下垫面变化对洪水径流影响的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 27-30.
HAN Ruiguang, FENG Ping. Effects of sublayer and land-cover change on flood in Daqinghe River Basin. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(8): 27-30. (in Chinese)
- [3] 许晓艳, 鄢信, 崔玉乙, 等. 浑河流域水利工程对洪水极值的影响[J]. 东北水利水电, 2012, 4: 47-48.
XU Xiaoyan, YAN Xin, CUI Yuyi, et al. The influence of the water conservancy project in Hun He basin to the extreme flood. Northeast Water Conservancy and Hydropower, 2012, 4: 47-48. (in Chinese)
- [4] 李兴拼, 郑江丽, 贺新春, 等. 东江流域水文变异及其对生态环境的影响[J]. 人民珠江, 2011, 5: 32-34.
LI Xingping, ZHENG Jiangli, HE Xinchun, et al. The hydrologic alternation along the East River Basin and the influence of the ecological environment. Pearl River, 2011, 5: 32-34. (in Chinese)
- [5] 杨涛, 陈永勤, 陈喜, 等. 复杂环境下华南东江中上游流域筑坝导致的水文变异[J]. 湖泊科学, 2009, 21(1): 135-142.
YANG Tao, CHEN Yongqin, CHEN Xi, et al. Evaluating hydrologic alternation along the East River Basin, southern China, under the Changing environment. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(1): 135-142. (in Chinese)
- [6] 董满宇, 江源, 李俞萍, 等. 近 46 年来东江流域降水变化趋势的气候分析[J]. 水文, 2010, 30(5): 85-90.
DONG Manyu, JIANG Yuan, LI Yuping, et al. Analysis of precipitation change trend over last 46 years in Dongjiang River Basin. Journal of China Hydrology, 2010, 30(5): 85-90. (in Chinese)