

北江干流年最大洪峰流量变化特征及其影响研究

唐权辉^{1,2}, 任杰¹, 王兆礼², 陈晓宏³

(1.中山大学近岸海洋科学与技术研究中心,广东 广州 510275;

2.华南理工大学土木与交通学院,广东 广州 510641;3.中山大学水资源与环境研究中心,广东 广州 510275)

摘要:利用北江干流4个水文站资料建立了年最大洪峰流量序列,运用线性回归分析序列的趋势,利用Mann-Kendall法识别突变点,应用经验模态分解(EMD)分析序列的周期,采用R/S法分析序列的持续性特征,并初步探讨了序列的影响因素。结果表明:4个测站的序列均呈不显著增加趋势,不存在显著突变点,有4~6a、8~10a等多个波动周期;4个序列都具有长期记忆性,未来仍将呈不显著增加趋势。相关性分析表明,南亚夏季季风是序列的显著影响因素,太阳活动则可能影响其周期性。

关键词:年最大洪峰流量序列;经验模态分解;影响因素;北江流域

中图分类号:TV141

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2014)01-0065-07

洪峰为一次洪水过程中测流断面上的最大流量。洪峰流量是洪水的重要特征之一,它不仅反映洪水的强度,也预示防洪的级别。洪峰流量也往往对应最高洪水位,是筑堤防洪参照量之一,洪峰流量的分析和预测对防洪建设至关重要。当前,气候的变化和人类活动对洪水、洪峰流量的影响已引起国内外相关学者的关注。如G Calenda等^[1]研究了洪峰流量与降雨强度变异的关系;Guillemette, F等^[2]研究了50个盆地在树林砍伐前后降雨引起的洪水洪峰变化规律;Yasuhisa Kuzuha等^[3]以Nyandor河1973~2000年的资料研究了土地覆盖变化对洪峰流量的影响;Daniels JM^[4]研究了North Platte河洪水水头与降水变化的关系;Oeurng C等^[5]研究了Tiber河15世纪以来的极端洪峰分布类型;施雅风院士^[6]初步探讨了长江大洪水演变与气候变化的关系,指出洪峰流量的不均匀性将进一步增大;范小黎等^[7]采用了Petti法和Lee-Heghinian法检验了黄河宁蒙段流量年际变化的突变情况;何以昭、韩天槐^[8]通过统计分析,指出厄尔尼诺现象对西、北江洪水的影响较大;王兆礼等^[9]采用了经验模态分解、M-K突变分析与R/S方法研究了东江径流年内分配特征的变化规律;孙鹏等^[10]分析了北江流域年径流变化特征。可以看出,上述研究着重于场次洪峰流量及其影响因素的研究,较少

涉及年最大洪峰流量序列特性的研究;在研究方法上,多以传统的统计方法为主,而水文时间序列存在着非正态分布特征,采用非线性理论方法分析更为合适。

北江是珠江流域三大水系之一,流经韶关、曲江、英德、清远,在佛山三水附近汇入西江。流域内集雨面积超过1000km²的支流有武江、潞江、南水等13条。春夏之际,海洋温暖气团输送受阻于南岭山脉,故流域内暴雨多而猛烈,洪水频繁。广州、佛山、中山和珠海等经济发达城市都位于北江下游,历史上三次大洪水^[11]对周边城市造成了严重的毁坏。目前,全球气候异常、暴雨增多,防洪的态势更加严峻。因此,研究北江干流最大洪峰流量的变化特征及其影响因素对流域防洪减灾有重要的现实意义。

为此,本文拟根据北江干流4个水文站资料建立年最大洪峰流量序列,运用线性回归分析序列的趋势,应用EMD分析序列的周期,利用Mann-Kendall法分析趋势和识别突变点,采用R/S法探讨变化的持续性,并探讨年最大洪峰流量序列的影响因素,以期能为流域防洪减灾提供科学依据。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源

北江干流4个水文站(如图1所示)的水文资料来

收稿日期:2012-11-22

基金项目:国家自然科学基金项目(51209095);国家自然科学基金重点项目(50839005);中央高校基本科研业务费专项资金资助(2014Z20027)

E-mail: 254971041@99.com

作者简介:唐权辉(1988-),男,广东惠来人,在读硕士研究生,主要研究方向为水文学与水资源。E-mail: 254971041@qq.com

通讯作者:王兆礼(1979-),男,江苏徐州人,博士,副教授,主要研究方向为水文学与水资源。E-mail: wangzhl@scut.edu.cn

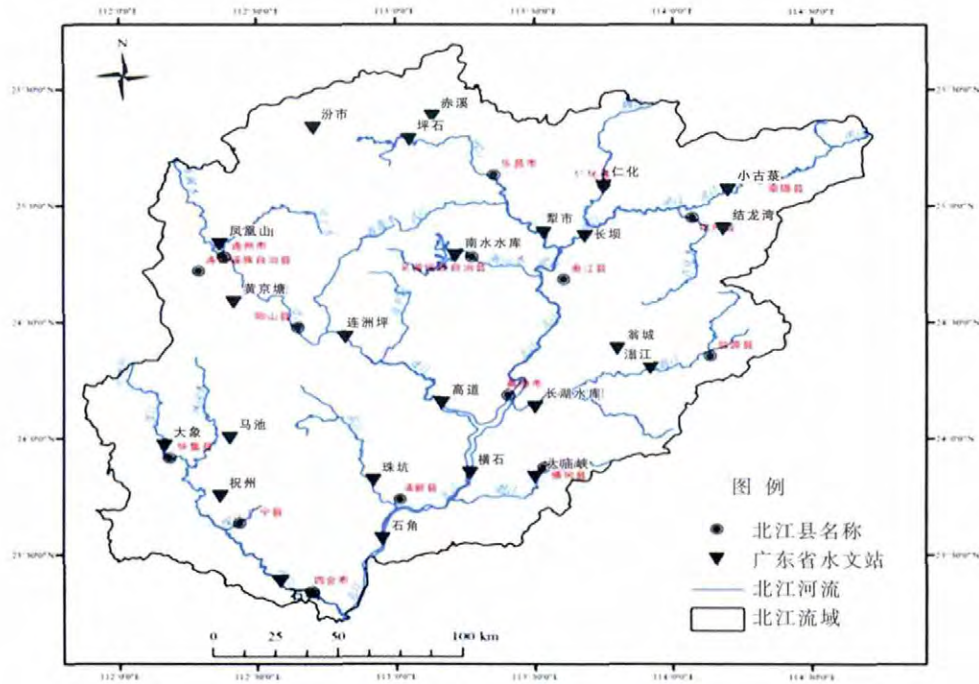


图1 北江干流及测站分布图

Fig.1 Distribution of the stations on the Beijiang main stream

自广东省水文局。其中，上游汾市站（控制面积 880km²）为 1972~2007 年，坪石站（控制面积 3 567km²）为 1964~2007 年，犁市站（控制面积 6 976km²）为 1955~2007 年和下游石角站（控制面积 38 363km²）为 1954~2007 年。对于汾市站缺失 2001 年最大洪峰流量的处理方法是在相关系数通过 0.01 信度检验下，将汾市站年最大洪峰流量序列与犁市站序列线性拟合而得。

影响因素分析采用美国国家海洋和大气局地球系统研究实验室(NOAA ESRL)提供的多变量 ENSO 指数(Multivariate ENSO Index, MEI)以及 Nino3.4 区(5°S~5°N, 170°~120°W)海温指数。相对于 SOI 指数, MEI 指数可更好的反映 ENSO 启动和消亡的过程^[12]; 太阳黑子数据来自比利时皇家天文台(SIDC); 东亚季风指数、南亚夏季季风指数和南中国海夏季季风指数均来自美国的 NCEP/NCAR 月平均分析数据集; 印度洋偶极子(Dipole Mode Index; DMI)数据来源于日本海洋科技中心(JAMSTEC)^[13]。

1.2 Mann-Kendall 分析方法

采用非参数 Mann-Kendall(以下简称 M-K 法)法评估水文气候要素时间序列趋势变化和识别突变点, 其优点是不需要样本遵从一定分布, 分析不受少数异常值的干扰。M-K 分析趋势是通过计算构造序列的统计量 UF_k 的大小来判别。而 M-K 识别突变点则在趋势

分析的基础上构建反序列求出统计量 UB_k , 根据 UF_k 与 UB_k 曲线的交点可准确找到突变点。最后, 在给定信度下检验趋势和突变点的显著性。M-K 分析方法的具体计算过程参照文献^[14]。

1.3 经验模态分解方法

经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)是美国 NASA 的 Huang^[15]提出并改进的分析非平稳、非线性信号的一种新的时间序列分析方法。而水文中的年最大洪峰流量等序列几乎是非线性、非平稳的时频多变序列^[16]。因此, 水文领域引入了 EMD 方法分析水文序列的周期, 取得了较好的研究成果。EMD 主要通过多次移动过程逐个分解出本征模态函数 IMF (Intrinsic Mode Function) 和一个残余趋势量 RES (Residue), 故实际是原序列分解为各种不同特征尺度波动, 每一个 IMF 分量代表一组特征尺度(频率)的数据序列, 从而可求出原序列的周期。EMD 分解是根据数据自身的时间尺度特征进行的, 每个 IMF 分量都有实际的物理背景, 其变换结果能反映真实的物理过程^[17]。

1.4 R/S 分析方法

重标极差分析法(Rescaled Range Analysis, R/S)是一种非线性科学预测方法, 是英国水文学专家 Hurst^[18]提出的, 用于判别序列对时间的依赖性。根据统计量 $H \in [0, 1]$ 判断序列的持续性; 当 $H=0.5$ 时, 序列是标准

的随机游走,即现在对未来不会产生影响;当 $H > 0.5$ 时,序列变化前后正相关,未来的趋势与过去一致, H 越接近 1, 持续性越强; $H < 0.5$ 时, 序列变化前后负相关,未来的趋势与过去相反, H 越接近 0, 反持续性越强。其基本原理和计算方法参照文献^[19]。

2 结果分析

2.1 趋势分析

北江四个水文站年最大洪峰流量序列如图 2 所示,其相关统计特征量如表 1 所示。

表 1 年最大洪峰流量序列统计特征值

Table 1 The statistical characteristics of the annual maximum peak flow series

统计量	汾市站	坪石站	犁市站	石角站
序列长度	1972~2007	1964~2007	1955~2006	1954~2007
最大值 / $m^3 \cdot s^{-1}$	1990	4830	8800	17400
最小值 / $m^3 \cdot s^{-1}$	184	636	630	2740
均值 / $m^3 \cdot s^{-1}$	629.2	1591.3	2538.3	9876.3
偏差系数	0.569	0.495	0.521	0.319

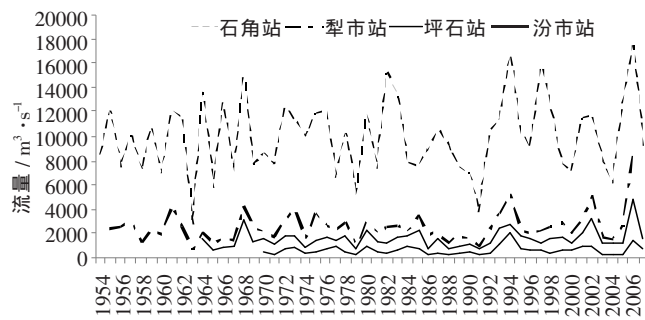


图 2 北江干流 4 个测站年最大洪峰流量序列曲线图

Fig.2 The curves of the annual maximum peak flow series at the 4 stations on the Beijiang main stream

由表 1 可知,年最大洪峰流量序列最值和均值都从上游沿下游增大,上游的偏差系数总体比下游大,即上游序列离散程度较大。由图 2 可知,除了汾市站最大值在 1994 年外,其余 3 个测站最大值均在 2006 年。而汾市站最小值在 1979 年,坪石站在 1965 年,其余两个测站均在 1963 年。

线性回归方法的结果显示 4 个序列呈增长趋势,但不显著(相关系数 R 均没通过 0.05 信度检验)。汾市站增长率为 $4.7738m^3/sa^{-1}$,坪石站增长率为 $15.464m^3/sa^{-1}$,犁市站增长率为 $19.088m^3/sa^{-1}$,石角站增长率为 $27.419 m^3/sa^{-1}$ 。M-K 方法的统计量 UF_k 没通过 0.05 信度检验,结果也表明序列呈不显著增长趋势。

2.2 突变分析

M-K 方法识别突变点结果如图 3 所示。从图 3 可知,虽然 4 个系列的 UF_k 和 UB_k 有交点,但由于没有超过临界值 1.96,即没有通过 0.05 信度检验,故 4 个序列突变不显著。即北江干流年最大洪峰流量序列的特性比较稳定。

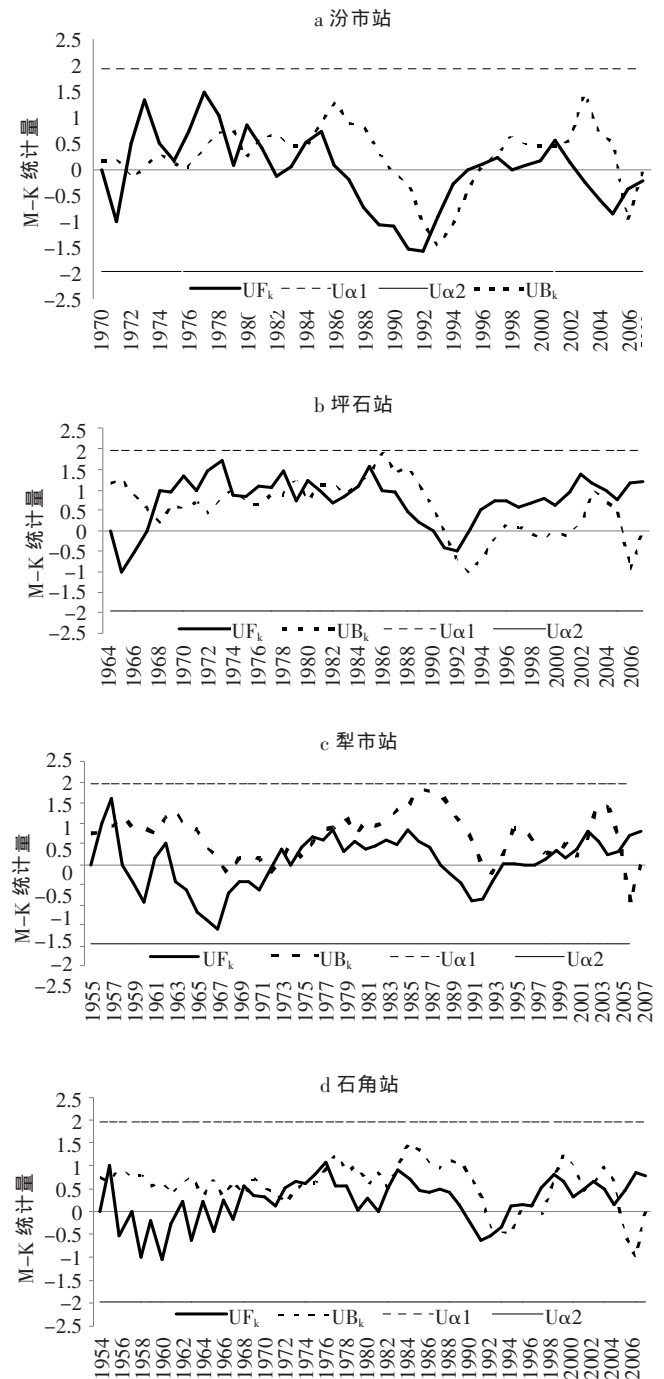


图 3 北江干流 4 个测站年最大洪峰流量序列 M-K 统计量突变图

Fig.3 M-K test results of the annual maximum peak flow series at the 4 stations on the Beijiang main stream

2.3 周期分析

利用 EMD 分析序列的周期, 分解出的各个本征模态函数和趋势项如图 4 所示, 周期分析结果如表 2 所示。

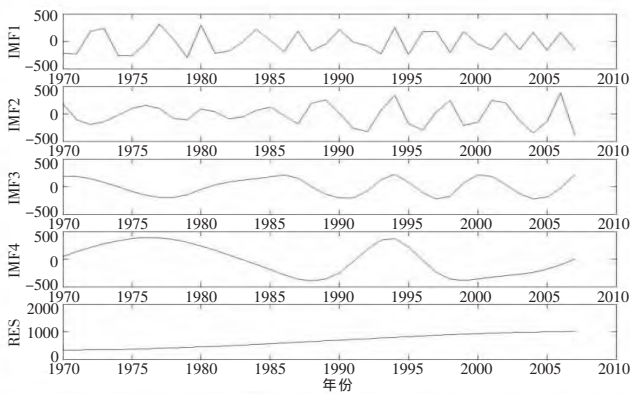
表 2 北江干流四个测站各模态快速 Fourier 变换分析结果
单位: a

Table 2 Fourier results of IMF1~IMF5 for the 4 stations on the Beijiang main stream (a)

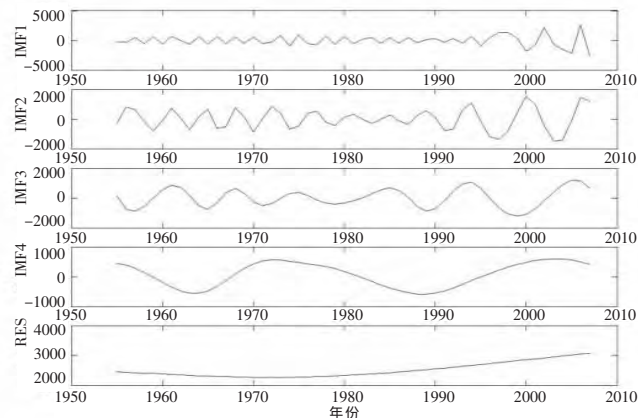
测站名称	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5
汾市	3.2	4.5**	9.5**	19***
坪石	3.0**	4.6*	9.8***	17.6***
犁市	2.7***	4.7*	8.8***	26.5***
石角	2.7	6*	8.3***	16.6***	27***

注: * 表示通过 90% 显著水平检验, ** 表示通过 95% 显著水平检验, *** 表示通过 99% 显著水平检验。

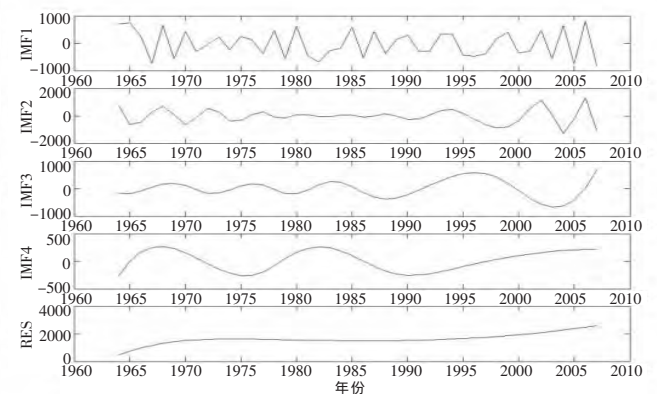
从表 2 可知: 4 个序列都存在 4~6a、8~10a 的波动周期; 坪石站和犁市站也有 3a 左右的显著周期; 汾市站、坪石站和石角站还存在 16a 波动周期; 犁市站和石角站有超过 20a 的长周期。以石角站为例, 详述如下。



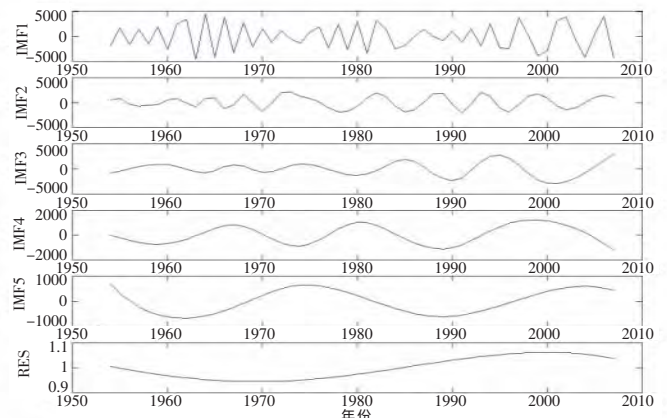
汾市站 (a)



犁市站 (c)



坪石站 (b)



石角站 (d)

图 4 北江干流 4 个测站年最大洪峰流量序列经 EMD 分解后的各 IMF 分量及趋势项 RES。

Fig. 4 IMF1~5 and RES. components of the annual maximum peak flow series by EMD for the 4 stations on the Beijiang main stream

石角站序列经 EMD 分解出 5 个 IMF 和一个 RES, 各个 IMF 的振荡情况如图 4d。从图 4d 可以看出: ① IMF1 振动频率最快, 20 世纪 60、70 年代振幅最明显, 之后振幅逐渐减小, 1990 年后振幅逐渐变大, 能量在加强; ② IMF2 反映序列 4~8a 时间尺度的振荡变化, 平均周期 6a, 频率较大, 振幅变化较稳定; ③ IMF3 反映序列 6~11a 时间尺度的振荡变化, 平均周期 8.3a, 1980 年前振幅基本不变, 1980 年后振幅随着时间逐渐变大, 能量逐渐加强; ④ 年最大洪峰流量序列的年代际变化主要表现在 IMF4 与 IMF5, 周期分别是 16.6a 和 27a, IMF4 与 IMF5 相对前 3 个本征模态函数振幅变化较稳定, 振幅基本保持不变。综上, 序列的长周期变化比短周期稳定, 短周期波动呈加强趋势。

2.4 R/S 分析

利用 R/S 方法分析序列的长期记忆性结果如图 5 所示, Hurst 指数值见表 3。从表 3 可知, Hurst 值均大于 0.5, 表明 4 个序列均具有长期记忆性, 即未来与过去呈相同的变化趋势, 序列未来仍将呈不显著的增加趋势。北江干流的长期记忆性从上游沿下游逐渐减弱,

表3 北江干流4个测站年最大洪峰流量序列 Hurst 值
Table3 Hurst index of the annual maximum peak flow series for the 4 stations on the Beijiang main stream

测站名称	汾市	坪石	犁市	石角
Hurst 值	0.6870	0.6399	0.5822	0.5032

上游汾市站和坪石站的长期记忆性较强,而下游石角站的 Hurst 值只略大于 0.5,长期记忆性非常弱。

2.5 影响因素初步探讨

洪水是径流的一个极端表现,洪峰是洪水的一个重要指标。影响径流、降水的因素对洪峰流量也有相同的影响趋势^[20],故本文将探讨太阳活动和大气循环因素对序列的影响。将序列与潜在因素 MEI 和 Nino3.4、太阳黑子、东亚季风、印度洋偶极子、南亚夏季季风和南中国海夏季季风进行线性相关性分析,计算结果如表 4 所示。

从表 4 可知,影响序列最显著的是南亚夏季季风(如图 6 所示),与上游汾市站、坪石站和犁市站的相关系数均通过 0.05 信度检验;其次是太阳黑子,它与汾市站和石角站的相关系数通过了 0.10 信度检验;而单从一个测站来看,汾市站受到的显著影响因素比较多:南亚夏季季风和南中国海夏季季风,太阳黑子和印度洋偶极子。

南亚夏季季风的爆发标志着东亚夏季风的到来和雨季的开始^[21],其建立是在 6 月中旬前后,建立迅速,具有爆发性且撤退较缓慢,会给地区带来大范围降水。

表 4 北江干流 4 个测站年最大洪峰流量序列与影响因素
相关系数表

Table 4 Correlation between the annual maximum peak series and the concerned impacting factors at the 4 stations on the Beijiang main stream

测站	汾市	坪石	犁市	石角
MEI	0.124	0.067	0.032	0.169
Nino3.4	0.122	0.073	0.028	0.168
太阳黑子	0.265*	0.136	0.204	0.261*
东亚季风	0.196	0.199	0.224	0.055
印度洋偶极子	0.267*	0.139	0.203	0.198
南亚夏季季风	0.298**	0.298**	0.322**	0.079
南中国海夏季季风	0.311**	0.160	0.200	0.045

注:*表示通过 90%显著水平检验,**表示通过 95%显著水平检验。

因此,南亚夏季季风对我国东部地区降雨有极其明显的影响,从而影响着我国的汛期。北江流域的主汛期一般也在 5~7 月,与南亚夏季季风建立时间比较接近。在南亚夏季风和随后的东亚夏季风的共同作用下很有可能达到年最大洪峰流量。

而下游石角站可能受到人类活动影响较大,如飞来峡水库的调节、城镇引水以及农业灌溉等,所以自然因素的影响不显著。

反映厄尔尼诺的 MEI 与 Nino3.4 与序列的相关系数都没通过显著检验,可能因为这两个指标与该地区干旱呈显著相关^[22-23]。太阳黑子与汾市站和石角站相

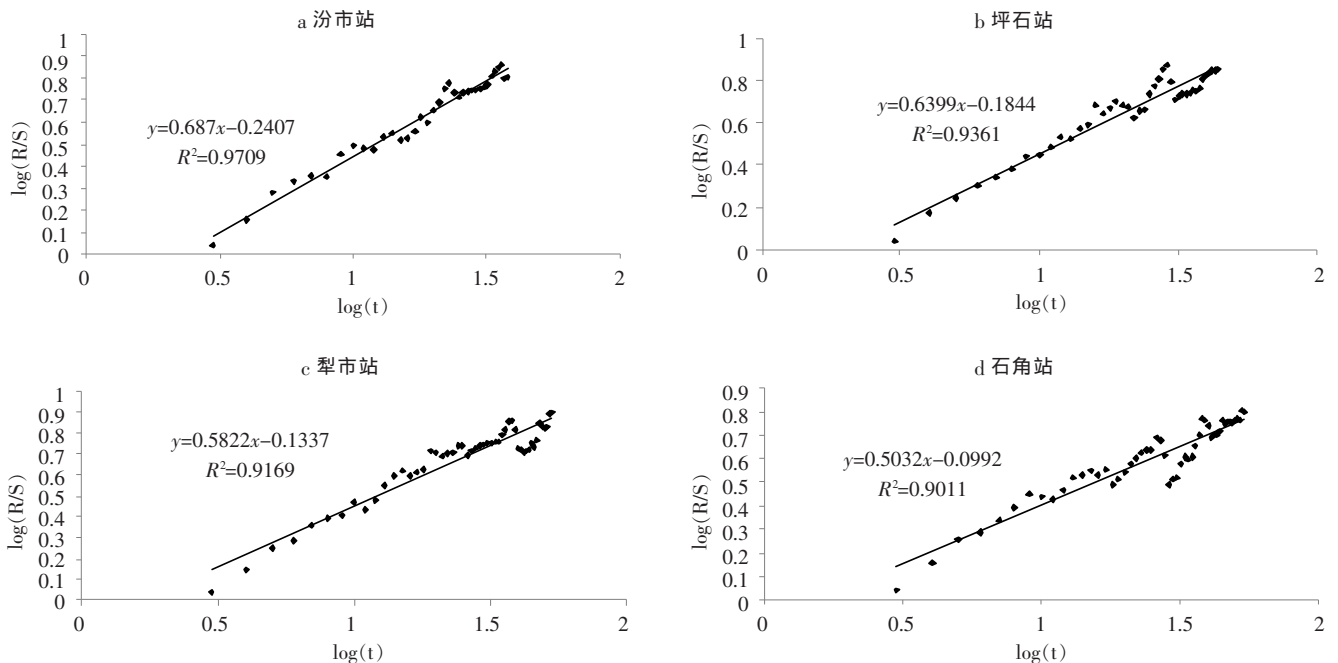


图 5 北江干流 4 个测站年最大洪峰流量序列 R/S 分析结果图

Fig.5 R/S analysis results of the annual maximum peak flow series for the 4 stations on the Beijiang main stream

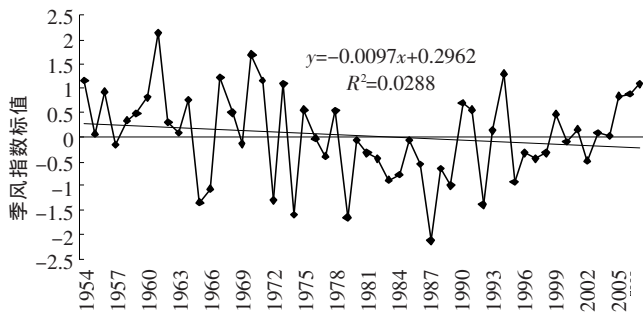


图6 南亚夏季季风指数图

Fig.6 The curve of the South Asian summer monsoon index

关性均通过 0.10 信度检验,其活动显著准周期为 11a 等。汾市站和石角站的序列经 EMD 分解后也存在接近 11a 的波动周期。上游汾市站序列经过 EMD 分解为 4 个 IMF 和一个 RES,只有 IMF3 与太阳黑子的相关系数为 0.2834,通过 0.05 信度检验,它反映了 6~14a 波动周期,平均周期为 9.5a,20 世纪 80 年代中期后振动频率加快;石角站序列分解为五个 IMF 和一个 RES,也只有 IMF3 与太阳黑子的相关系数为 0.4779,通过 0.01 信度检验,它反映了 6~11a 波动周期,平均周期为 8.3a,20 世纪 80 年代后振幅逐渐加强。这两个本征模态函数的平均周期接近太阳黑子准活动周期 11a,其相关系数也通过了显著性检验。因此,太阳黑子可能影响了年最大洪峰流量序列的周期性。

单从一个测站所受的影响因素来看,汾市站序列有 4 个显著的影响因素,而其他 3 个测站都只有一个显著的影响因素。这很可能因汾市站地处上游,相比另外 3 个测站受到的人为影响较小,受到大气循环因素的影响较大。而石角站地处下游,周边城市经济发达,人类活动剧烈,人为影响因素很可能起到显著作用,自然因素作用反而不明显(石角站仅与太阳黑子相关系数通过 0.10 信度检验)。这也可从序列的长期记忆性得到印证,下游石角站长期记忆性非常弱,而上游由于人类活动影响较小,其序列都则具有较强的长期记忆性。

3 结语

(1)线性回归及 M-K 法分析表明北江干流 4 个测站年最大洪峰流量序列的增长趋势不显著。4 个序列的最大值在 2006 年,最小值在 1963 年,上游测站序列离散程度比下游大。

(2)M-K 突变分析表明 4 个测站年最大洪峰流量序列突变不显著,序列特性相对稳定。

(3)EMD 分析表明 4 个测站年最大洪峰流量序列

主要存在 4~6a、8~10a 的波动周期,汾市站、坪石站和石角站也有 16~19a 周期,犁市站和石角站还有超过 20a 的长周期。长周期变化比短周期稳定,短周期波动呈加强趋势。

(4)R/S 法分析结果显示 4 个测站年最大洪峰流量序列都具有长期记忆性,即未来序列还是呈不显著增长趋势。上游序列长期记忆性较强,下游长期记忆性较弱,接近随机游走。

(5)相关分析表明,南亚夏季季风对年最大洪峰流量序列影响显著,太阳黑子则可能影响序列的周期性。上述影响因素对年最大洪峰流量序列的作用过程是十分复杂的,本文只是通过数理统计进行了简单的定量探讨,要真正弄清影响过程的物理含义,还有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] G. Calenda, Mancini, E Volpi, et al. Distribution of the extreme peak floods of the Tiber River from the XV century [J]. *Advances in Water Resources*, 2005,28(6):615-624.
- [2] Guillemette.F, Andre P Plamondon, Marcel Prevost, et al. Rainfall generated storm flow response to clear cutting a boreal forest: peak flow comparison with 50 world-wide basin studies [J]. *Journal of Hydrology*, 2005,302(1-4):67-76.
- [3] Yasuhisa Kuzuha, Kunio Tomosugi, Tokuo Kishii, et al. Coefficient of variation of annual flood peaks: variability of flood peak and rainfall intensity [J]. *Hydrological Processes*, 2009,23(4):546-588.
- [4] Daniels, JM. Flood hydrology of the North Platte River headwaters in relation to precipitation variability [J]. *Journal of Hydrology*, 2007,344(1-2):70-81.
- [5] Oeurng, C, Sauvage S, Sánchez-Pérez, et al. Temporal variability of nitrate transport through hydrological response during flood events within a large agricultural catchment in south-west France [J]. *Science of the Total Environment*, 2010,409(1):140-149.
- [6] 施雅风,姜彤,苏布达,等.1840 年以来长江大洪水演变与气候变化关系初探[J].*湖泊科学*, 2004,16(4): 290-297. (SHI Yafeng, JIANG Tong, SU Buda, et al. Preliminary analysis on the relation between the evolution of heavy floods in the Yangtze River catchment and the climate changes since 1840 [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2004,16(4):290-297. (in Chinese))
- [7] 范小黎,师长兴,周园园,等.黄河宁蒙段洪水过程变化特点[J].*资源科学*, 2012,34 (1):65-73. (FAN Xiaoli, SHI Changxing, ZHOU Yuanuan, et al. Characteristics of flood regime in Ningxia-Inner Mongolia reaches of the upper Yellow River [J]. *Resources Science*, 2012,34 (1):65-73. (in Chinese))
- [8] 何以昭,韩天槐.厄尔尼诺和拉尼娜现象对西江、北江洪水的影响[J].*珠江现代建设*, 2002,(2):21-23. (HE Yizhao, HANG Tiankui. Effects of El Nino and La Nino on the flood in Xijiang river and Beijiang river [J]. *Pearl River Modern Construction*, 2002,(2):21-23. (in Chinese))

- [9] 王兆礼, 陈晓宏, 杨涛. 东江流域径流序列年内分配特征研究[J]. 人民黄河, 2011,33(2):37-40. (WANG Zhaoli, CHEN Xiaohong, YANG Tao. Variations in annual runoff series distribution in the Dongjiang River basin [J]. Yellow River, 2011,33(2):37-40. (in Chinese))
- [10] 孙鹏, 张强, 陈晓宏. 北江流域径流量变化特征及其成因分析[J]. 珠江现代建设, 2011,(5):1-7. (SUN Peng, ZHANG Qiang. Variations in runoff series and its reasons in the Beijiang River basin [J]. Pearl River Modern Construction, 2011,(5):1-7. (in Chinese))
- [11] 广东省北江流域管理局. 北江概况[EB/OL]. <http://www.gdbjdd.com.cn/bjgk>, 2013-12-18. (Beijiang River Basin Administration of Guangdong Province. Overview of Beijiang River Basin [EB/OL]. <http://www.gdbjdd.com.cn/bjgk>, 2013-12-18. (in Chinese))
- [12] Eduardo O, Ebeling W, Lanis K. MEI, SOI and mid-range correlations in the onset of El Nino-Southern Oscillation [J]. Physica A, 2002,310(3-4):509-520.
- [13] KNMI. European Climate Assessment & Data [EB/OL]. <http://climexp.knmi.nl/selectannualindex.cgi?id=someone@somewhere>, 2013-12-18.
- [14] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2009. (WEI Fengying. Climatological Statistical Diagnosis and Prediction Methods in Modern Times [M]. Beijing: Meteorological Press, 2009. (in Chinese))
- [15] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for non-linear and non-stationary series analysis. Proc. R. Soc. Land. A, 1998, (454): 903- 995.
- [16] 王一民, 张珏. HHT 在年最大洪峰流量规律分析中的应用[J]. 计算机与工程应用, 2009,45 (34):204-207. (WANG Yimin, ZHANG Jue. Application of Hilbert-Huang Transform on analysis of law of annual maximum peak flood [J]. Computer Engineering and Applications, 2009,45(34):204-207. (in Chinese))
- [17] 赵雪花. 河川径流演变规律的挖掘与识别技术 [D]. 西安: 西安理工大学, 2005. (ZHAO Xuehua. Mining and Identifying Technology of River Runoff Change Law [D]. Xi'an: XI'AN University of Technology, 2005. (in Chinese))
- [18] Hursh H E. The long-term storage capacity of reservoirs [J]. Transactions of the American Society of Civil Engineering, 1951,116: 770-799.
- [19] 周寅康, 王腊春, 张捷. 淮河流域洪涝变化的混沌特征[J]. 自然灾害学报, 1999,8(1):42-47. (ZHOU Yinkang, WANG Lachun, ZHANG Jie. Some chaotic characteristics of the flood series in Huaihe River basin [J]. Journal of Natural Disasters, 1999,8(1):42-47. (in Chinese))
- [20] 涂恩强, 廖晓勇, 陈治谏, 等. 三峡库区典型小流域降雨因子对产流的影响分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(5):7-11. (TU Enqiang, LIAO Xiaoyong, CHEN Zhijian, et al. Effects of rainfall on runoff from a small watershed in Three Gorges Reservoir area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010,30 (5):7-11. (in Chinese))
- [21] 丁一汇, 李崇银, 何金海, 等. 南海季风试验与东亚夏季风[J]. 气象学报, 2004,62 (5): 559- 586. (DING Yihui, LI Chongyin, HE Haijin, et al. South China Sea Monsoon experiment (SCSMEX) and East-Asian Monsoon [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004,62 (5):559- 586. (in Chinese))
- [22] 王兆礼, 覃杰香, 陈晓宏. 东江流域枯水期最长连续无降水日数的变化特征[J]. 地理研究, 2011,30(9): 1693-1701. (WANG Zhaoli, QIN Jiexiang, CHEN Xiaohong. Variations in longest consecutive dry days in dry season in the Dongjiang River basin [J]. Geographical Research, 2011,30(9):1693-1701. (in Chinese))
- [23] 王萍. 珠江流域枯水期流量周期特征及影响因素分析 [J]. 水利学报, 2007,S1:379-382. (WANG Ping. Analysis on the period characteristic of low flow in pearl river basin and effect factors [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007,S1:379-382. (in Chinese))

Study on Variations of Annual Maximum Peak Flow Series and Impacting Factors on Beijiang Main Stream

TANG Quanhui^{1,2}, REN Jie¹, WANG Zhaoli², CHEN Xiaohong³

(1. Research Center for Coastal Ocean Science and Technology, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. School of Civil and Transportation Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;

3. Center for Water Resources and Environment Research, SUN Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on hydrological data from the 4 stations on the Beijiang main stream, the annual maximum peak flow series were constructed in this paper. The linear regression, Mann-Kendall (M-K) methods, empirical mode decomposition (EMD) and rescaled range analysis (R/S) were used to find out the variation law of the series and the linear correlation was used to analyze the impact factors preliminarily. The results show that there is insignificant change trend in the series, and there exists abruptly jumping points. But all the series have the fluctuating cycles of 4 to 6 a and 8 to 10 a. The series for the 4 stations all get long-term memory characteristics so that the future tendency of the series is indistinctive. The result of the linear correlation shows that South Asian summer monsoon is the main factor to the series and sunspot may affect the cycle of the series.

Key words: annual maximum peak flow series; empirical mode decomposition; impacting factor; Beijiang River Basin