

文章编号: 0529-6579 (2000) 01-0096-05

洪水特征的时间变异性识别^{*}

陈晓宏¹, 陈泽宏²

(1. 中山大学地理学系, 广州 510275; 2. 斗门县环境监测站)

摘 要: 针对近年来洪水特征的稳定而异常的变化, 给出了洪水特征时间变异性的定义, 提出了洪水时间变异性的标度及其识别方法. 利用珠江三角洲容奇站 30 多年来实测月平均水位资料, 验证了这种识别方法的有效性. 该方法计算简单、稳定性好, 并能识别水文时间序列两端的变异特征.

关键词: 洪水; 时间变异性; 标度; 识别

中图分类号: P333.6 **文献标识码:** A

1 洪水时间变异性及其影响

洪水特征, 如水位和流量, 是一种典型的包含确定成分和随机成分的变量, 具有明显的随机变化性质. 随着人类活动的加剧, 气候和下垫面条件的改变, 洪水要素在时空上的非随机变化越来越突出, 文献 [1] 称之为水文序列“暂态成分”的因素影响增大. 上下游河道在同一频率的洪峰流量下, 洪峰水位频率却不相同; 一些河段在相同的上游来水情况下, 水位明显高于或低于往年; 同一断面位置同一水位值, 过去出现的几率与现在出现的几率可能大不相同. 如徐海亮^[2]和夏军等^①发现珠江三角洲顺德水道上下游洪峰水位频率极不对应; 何以昭等^②在研制西江洪水预报方案时也发现, 近几年来西江的梧州一高要河段水文情势发生了明显变化, 致使高要站洪峰水位按照原有方案预报出现较大误差, 对指挥抗洪十分不利. 1998 年长江流域大洪水 (流量并不大) 造成不少河段超历史最高水位, 而且类似的“小雨量, 高水位”和“小流量, 高水位”的现象在黄河、淮河、汾河、渭河等均有出现^[3]. 1998 年长江大水究竟多大, 水文学家仍有不同看法, 主要原因是 1998 洪水的基本特征发生了较大变化. 这种变化除纯随机变化外, “暂态成分”的有偏变化比重较大, 是一种相对一般纯随机变化的异化.

本文定义“洪水时间变异性”为洪水特征除去纯随机变化以外, 受诸如人类活动或气候等单因素影响或在多因素综合作用下在时间上出现的稳定而异常的变化. 目前, 水文预

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49971019)

① 夏军等. 变化环境下顺德河网水文频率分析与防洪对策的研究 (摘要), 1998.

② 何以昭, 韩天槐, 潘剑中. 西江梧州一高要水面线变化和高要站洪峰水位预报方案的探讨, 1997.

收稿日期: 1999-07-05 作者简介: 陈晓宏 (1963~), 男, 副教授.

报仍是防洪减灾的重要非工程措施, 作为洪水预报基础的水文特征数据的可靠性是保证预报精度的关键. 而洪水时间变异的直接后果是洪水特征的时间不对应及其频率的不一致性, 从而导致水文分析计算的困难或计算结果的误差、防洪决策和判断失误进而影响水利工程的设计施工. 洪水时间变异性的研究将为洪水分析计算、防洪决策及有关工程设计施工提供可靠的基础资料和依据.

洪水变化的影响因素很多, 既有气候异常和地质地貌等自然因素的影响, 又有人为因素的作用, 而人为因素又包括工程技术问题和生态环境的破坏后果^[4]. 这些因素是共同影响的, 不能简单断定其中某一个因素起决定作用^[5]. 气候变化将改变水文循环现状, 引起水文要素的变化, 其研究已成为世界地球科学界的迫切任务之一^[6, 7], 并取得大量成果.

近 10 多年来, 国内频繁发生大洪水, 一些水文工作者在洪水预报和防洪过程中逐渐发现洪水特征出现了系统的变异, 但对这种变异性的研究缺乏理论上的描述, 对变异性的识别及其影响分析也不成熟. 因此, 本文试图提出水文时间序列变异性标度及其识别的新方法.

2 洪水时间变异性标度与识别

洪水要素时间变异性越大, 表明该要素在时间上的不一致性越显著. 对洪水要素时间变异程度的度量和识别是洪水变异性研究的基本问题. 根据本文的定义, 洪水特征时间变异性是相对其长系列纯随机变化而言的. 因此, 这里直接采用洪水特征变化时间序列来研究其时间变异性的标度. 目前在洪水变化的趋势分析方面主要有 Kendall 和 Spearman 秩次相关检验、线性趋势回归检验以及滑动平均检验等方法^[1], 这些方法主要用于整个序列的总体趋势分析, 而不能直接判断序列中的某一个阶段发生了变异. 文献 [1] 中列出了现有的几种判别序列中跳跃成分的方法, 如时序累计值相关曲线法、Lee 和 Heghinan 法、有序聚类分析法等, 但第 1 种方法需要有无暂态成分的参证序列, 第 2、3 种方法对于跳跃点出现在序列的两端时的可靠性都较差. 对水文特征序列本文提出如下洪水时间序列变异性的识别方法及其变异性标度.

为了识别水文时间序列在某一个阶段发生了变异, 首先应寻找序列变异前后 2 个阶段的分割点, 然后通过分析分割点两边序列的统计特征, 从而识别出该水文序列是否在某一阶段发生了变异.

2.1 洪水时间序列变异性可能分割点识别

设 A^S 是由长度为 $S (S \neq 0)$ 的水文特征时间序列的集合, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_S\} \in A^S$, 为一个等时间距采样序列, $J = \{1, 2, \dots, S\}$ 为序列的指标集. 则 $x_i^{(1)} = \sum_{k=1}^i x_k$, $i \in J$, 为洪水时间序列的累加序列 (在 i 时刻以前); $y_i = x_1^{(1)} + (x_S^{(1)} - x_1^{(1)})(i-1)/(S-1)$, $i \in J$, 为洪水累加序列起讫点之间的直线段. 若存在 t 使得 $\Delta y_t = \max\{\text{abs}(x_i^{(1)} - y_i)\}$, $i, t \in J$ 成立, 则时刻 t 即为洪水时间序列变异性的可能分割点. 对于存在多个可能分割点的情况, 可通过分阶段比较 t 邻近两侧的 $|x_i^{(1)} - y_i|$ 值大小, 对应的最大值时刻即为该阶段可能分割点.

可能分割点并非一定就是时间序列变异性的分割点, 因为序列是否存在变异性还要由变异性的标度来确定. 当且仅当可能分割点两侧序列的统计特征值差异大于某一临界值 (标度) 时, 可能分割点才是真正的变异性分割点, 此时, 可以识别其两侧的时间序列发生了变异.

2.2 洪水时间序列变异性识别

对于上述水文特征时间序列的集合 A^S 、某个等时间距采样序列 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_S\} \in A^S$ 以及序列的指标集 $J = \{1, 2, \dots, S\}$. 已经识别得序列变异性可能分割点 t , 则 $\bar{x}_1 = \frac{1}{t} \sum_{k=1}^t x_k, \bar{x}_2 = \frac{1}{(S-t)} \sum_{k=t+1}^S x_k$, 分别为洪水特征时间序列在可能分割点 t 两侧的序列均值. 记洪水时间序列的最大变幅为 V , 若存在 $|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| / V \geq \epsilon$ 对于一定量级的正常数 ϵ 成立, 则可认为 t 即为序列变异性分割点, 原水文特征时间序列在分割点 t 以后发生了时间变异. 这里 ϵ 称为洪水特征序列的时间变异性标度.

对于存在多个可能分割点的情况, 可依照上述方法逐个进行可能分割点两侧的阶段序列均值比较, 从而由标度 ϵ 识别序列的各个变异性分割点和各个阶段序列的变异性.

3 实例研究

珠江三角洲网河区通过五六十年代的大规模联围筑闸后, 强干控支, 水量进一步集中; 80 年代以来, 随着经济发展, 人类活动过于频繁, 造成珠江三角洲区域地理和水文环境的显著改变, 从而使本地区河网水文特征也发生了明显的变化. 特别是 90 年代以来, 珠江三角洲发生了“94. 6”、“94. 7”、“97. 7”和“98. 6”4 场大水, 洪潮水位变异趋势加大. 一些河段如顺德水道等在流量变化不大的情况下水位异常升高; 而另一些河段如高要、三水等则因人工挖沙等活动, 造成河床下切, 过水断面加大, 近年来水位明显降低.

为了验证本文提出的方法的有效性, 这里根据珠江三角洲容奇站丰(7 月)、平(10 月)、枯(3 月)水期 1960~1997 年共 38 a 逐月均水位变化资料, 分析其历年来水位的时间变异性.

首先, 计算容奇站丰、平、枯 3 个水期逐月月均水位累积序列, 再计算该累加序列与其起讫点之间的直线段之间的差值序列并取绝对值, 如图 1; 然后识别水位时间序列变异性可能分割点, 枯水期有 1982 年 1 个可能

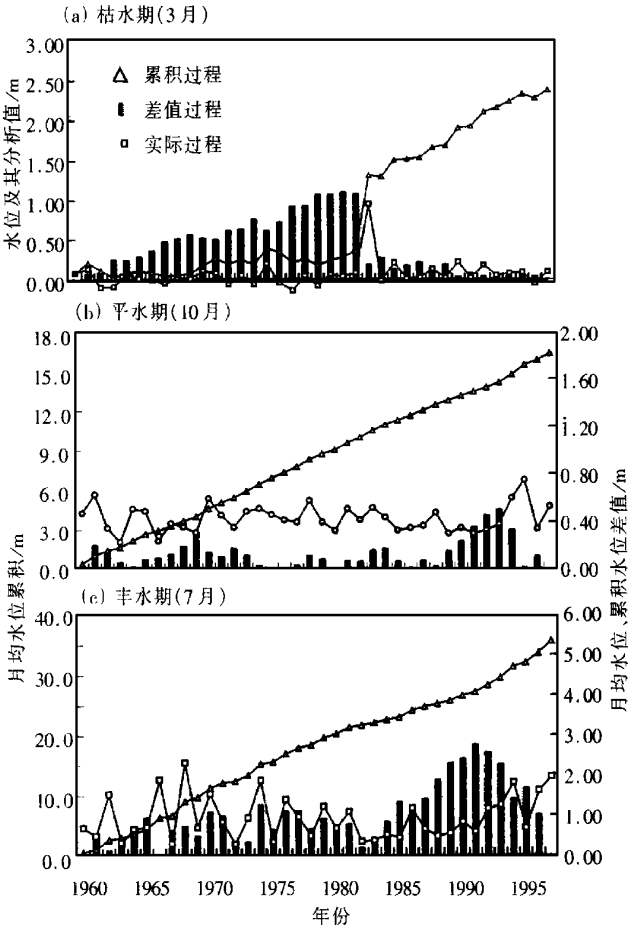


图 1 容奇站月均水位变化分析

Fig.1 Variations of monthly mean level of Rongqi station

变异性分割点，丰水期有 1991 年 1 个可能变异性分割点，平水期有 1969 和 1992 年 2 个可能变异性分割点。各可能分割点两侧原水位序列均值计算结果如表 1。同时采用 Spearman 秩相关系数法对各个水期月均水位序列进行趋势分析，计算的秩相关系数也列于表 1 中。

从表 1 可以看出，就总体趋势而言，容奇站枯水期水位自 1960 以来有较明显上升趋势，而丰水期和平水期变化趋势则不明显。

表 1 容奇站月均水位变异性分析

Tah 1 Analysis on the variability of monthly mean level for Rongqi gauge

季节	年份	水位均值/m	秩相关系数	最高水位/m	最低水位/m	最大变幅/m
枯水期	1960 ~ 1981	0.01	0.33	1.02	-0.1	1.12
	1984 ~ 1997	0.08				
丰水期	1960 ~ 1981	0.97	0.11	2.31	0.29	2.02
	1982 ~ 1990	0.59				
	1991 ~ 1997	1.28				
平水期	1960 ~ 1969	0.40	-0.03	0.81	0.24	0.57
	1970 ~ 1985	0.43				
	1986 ~ 1991	0.36				
	1992 ~ 1997	0.49				

但按照本文提出的识别方法，可能变异性分割点两侧的水位均值变幅一目了然。枯水期可能变异性分割点两侧序列均值都较低，计算标度值 $\epsilon = |\bar{x}_1 - \bar{x}_2| / V = 6.25\%$ ，说明两侧序列的相对变化不大。对于丰水期，1982 ~ 1990 年阶段序列均值明显下降，其相对 1981 年以前的阶段序列的计算标度值 $\epsilon = 18.81\%$ ；1991 年以后序列相对 1982 ~ 1990 年阶段序列的计算标度值 $\epsilon = 34.16\%$ ，说明两侧序列的相对变化较大。对于平水期，前两个阶段序列均值变化不大，计算标度值分别为 $\epsilon = 5.26\%$ 和 $\epsilon = 12.28\%$ ；1992 年以后序列相对 1986 ~ 1991 年阶段序列的 $\epsilon = 22.81\%$ 。

结合容奇站实际水位变化资料进行分析，取容奇站月均水位序列变异性标度 $\epsilon = 15\%$ 比较符合实际。因此，容奇站枯水期自 1960 年以来月均水位序列未发生大的变异，但从图 1(a)看出，枯水期累积序列线在 1982 年有一个突变，经分析这只是整个月均水位序列中的一个跳跃点，从原月均水位变化过程线也可看出，该跳跃点两侧的序列变化并不大；丰水期 1982 ~ 1990 年以及 1991 年以后的月均水位序列均发生了变异；平水期 1960 ~ 1991 年月均水位序列无大的变异性，1992 年以后则发生了变异。这与珠江三角洲河网区水文特征在 1992 年前后发生了较大变化的研究结论基本一致^{[2], ①, ②}。

4 结 语

近 10 多年来，由于人类活动和气候变化等多重因子共同影响，水文特征的时间变异性是客观存在的，而且已经造成了一些区域洪水威胁加大，洪水预报及防洪抗洪难度增加；同时，另一些区域由于河床下切，水位下降，供水取水遇到更大困难。因此，对一个区域洪水特征时间变异性进行标度和识别，是认识该区域洪水变化规律，修正区域洪水长序列变化的非一致性，从而为洪水预报、水资源开发以及水利工程设计施工和管理提供科学依据的十分重要的内容。

本文提出的变异性标度和识别方法, 由于基于水文特征的累积序列, 使得原随机波动的水文时间序列成为一个一致上升(或一致下降)的相对平滑的序列, 而更具有稳定性. 序列变异性可能分割点的识别方法概念清晰、计算简单. 采用本文提出的方法进行容奇站水位序列变异性识别研究的结果是合理的.

由于水文时间序列本身是一个变化的序列, 其正常变化与变异的界定是其变异性分析的基础. 序列变异性标度就是一个十分关键的起界定作用的量, 它直接定义了序列中水文特征的变化达到何等程度时才成为变异. 但标度的量值随区域和水文环境的不同而相异, 其确定具有一定的任意性, 是一个有待进一步研究的内容.

参考文献:

- [1] 丁晶, 邓育仁. 随机水文学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988. 66~91.
- [2] 徐海亮. 河口环境变异与水文模拟计算初探——以珠江河口网河区为例[J]. 热带地理, 1998, 18(2): 162~167.
- [3] 芮孝芳. 98洪水专家纵横谈[J]. 水科学进展, 1998, 9(3): 306.
- [4] 李文华. 长江洪水与生态建设[J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 9~13.
- [5] 文康. 98洪水专家纵横谈[J]. 水科学进展, 1998, 9(3): 303.
- [6] Gleick P H. Methods for evaluating the regional hydrologic impacts of global climatic changes[J]. J of Hydrology, 1986, 88: 97~116.
- [7] 郭生练, 刘春蓁. 大尺度水文模型及其与气候模型的联结耦合研究[J]. 水利学报, 1997, (2): 37~42.

Recognition on the Variability of Hydrological Time Series

CHEN Xiao-hong^{*}, CHEN Ze-hong

Abstract: In recent years, a stable but abnormal variation in hydrological features occurs in some regions such as the Pearl River Delta. By analyzing the unusual phenomena of flood, a definition for the variability of hydrological time series was given in this paper. The concept of the measurement and a recognition approach for the temporal variability of a flood series were put forward. The data on monthly mean water level of more than 30 years at Rongqi gauge in the Pearl River Delta were used for case study. The results showed that the method given in this paper is feasible for identifying the variability features even for those at the initial or end stages of a flood time series. The method has the advantages of simple calculation and good stability. However, for different watershed the measurements of the variability of flood time series may be different due to different hydrological features. The determination of the measurement is left for a future study.

Keywords: flood; temporal variability; measurement; recognition

^{*} Department of Geography, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China