

赣江外洲站近50年水沙变化规律

肖 洋^{1,2,3}, 宋成成², 李开杰^{2,4}, 张预定⁵, 唐洪武^{1,2,3}

(1. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学 水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 江苏 南京 210098; 4. 国家防汛抗旱总指挥部办公室, 北京 100053; 5. 宁波市水利水电规划设计研究院, 浙江 宁波 315192)

摘要: 基于赣江外洲站年径流量时间序列(1957—2008年)和年输沙量时间序列(1966—2008年), 采用肯德尔秩次相关检验法、有序聚类分析和秩和检验法、小波分析法对赣江水沙变化规律进行分析。结果表明: 年径流量时间序列趋势变化不明显, 不存在显著跳跃点, 当时间尺度为17时, 存在以10~12 a为周期的丰枯变化。年输沙量时间序列下降趋势明显, 在1984年和1998年附近发生跳跃, 周期性变化可分为两段, 1966—1986年间, 在时间尺度为6时平均变化周期约为4 a, 1986年后, 在时间尺度为1时平均变化周期约为3.7 a。水土保持、人工采砂、万安水库拦沙等是影响赣江输沙量显著变化的主要因素。

关键词: 水沙变化; 回归分析法; 时间序列; 小波分析; 赣江

中图分类号: TV143

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)04-0126-05

水沙时间序列直接反映河道的水沙变化规律, 是了解河流演变特性, 进行河道开发的基础^[1]。许多学者采用多种分析方法对水文时间序列进行了研究, 取得了系列的研究成果, 如许全喜等^[2]利用滑动平均法等对长江上游近期的水沙变化特点及其趋势进行了统计分析, 认为水沙变化主要受降水量、水库蓄水拦沙、水土保持措施以及人类活动等因素影响; 张瑞等^[3]用小波分析方法和 Hilbert-Huang 变换分别对长江大通水文站 1950—2004 年的逐月平均径流量时间序列进行了分析, 得到了长江入海径流量的长时间演变特征和突变特征; 樊辉等^[4]基于 1950—2007 年黄河利津站水沙数据, 采用 Mann-Kendall 检验以及贝氏变点分析方法来分析黄河入海水沙通量变化规律; 郭鹏等^[5]基于鄱阳湖流域主要控制站湖口、外洲和梅港多年的水沙数据, 采用滑动平均法、Spearman 秩次相关检验和线性回归检验方法分析了三站的水沙变化情况; 沈焕庭等^[6]利用功率谱估计对长江口大通水文站 1946—1989 年的月平均流量序列进行的分析结果表明, 流量以洪枯变化为显著, 采用低通滤波后得出月平均流量序列具有 4~8 a 和 2~3 a 的周期变化。由于河流的流域组成、地质条件、开发程度的不同, 其水沙变化规律各异, 前人的研究较多关注于长江、黄河等大江大河的水沙变化, 对支流的研究相当缺乏。

赣江作为长江的主要支流之一, 对其水沙规律开展研究对于赣江、鄱阳湖的开发治理具有重要的意义。本文基于赣江外洲站 52 a 径流量和 43 a 输沙量资料, 采用肯德尔秩次相关检验法、有序聚类分析和秩和检验法、小波分析法, 对赣江水沙变化规律进行研究, 初步探讨了水沙序列的变化趋势、突变特征及周期性, 并分析可能的影响原因。

1 赣江概况^[7]

赣江是鄱阳湖水系第一大河, 也是长江的主要支流之一。赣江干流发源于闽赣交界的石城县石寨崇, 至

收稿日期: 2011-08-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51179055, 50879020); 水利部公益性行业科研专项经费项目(200901005); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2009B07614); 国家重点实验室专项经费资助项目(2010585512)

作者简介: 肖 洋(1974-), 男, 贵州铜仁人, 副教授, 博士, 主要从事水力学及河流动力学研究。

E-mail: sediment_lab@hhu.edu.cn

永修县吴城入湖,全长 766 km. 下游控制站外洲站以上流域面积 80 948 km², 占全省面积近 50%. 流域内山地面积约占 50%, 丘陵约 30%, 平原约占 20%.

赣江流域属亚热带季风湿润气候区,春夏之交多梅雨,秋冬季节降雨较少,春寒、夏热、秋旱、冬冷,四季变化分明,春秋季短,冬夏季长,结冰期短,无霜期长. 流域多年平均降水量为 1 626.8 mm, 平均气温约 18℃, 多年平均蒸发量约为 1 550 mm. 赣江水量丰沛,流域多年平均径流深 849 mm. 径流的年内、年际变化巨大,连续 4 个月最大径流量均出现在 4—7 月,其量约占年径流的 58%~61%,最小月值多出现在 1 月份,仅不足年径流量的 3%.

2 研究方法

选取赣江外洲水文站 1957—2008 年径流量序列和 1966—2008 年输沙量序列作为研究对象. 其中 1969, 1979, 1980 和 1997 年的输沙量资料缺失,采用线性内插法来实现资料连续性.

采用肯德尔秩次相关检验法^[8]、有序聚类分析^[9]和秩和检验法^[6]、Morlet 小波分析法^[10]分别对上述时间序列进行趋势性、跳跃性和周期性进行分析.

3 结果分析

3.1 趋势性

利用趋势分析,可判断时间序列中是否具有上升或下降的趋势,一般采用肯德尔秩次相关检验法^[8]判别. 假设序列无趋势,根据赣江外洲站 52 a 径流量序列计算得:系列中对偶观测值出现的次数 $P=727$, 无趋势序列 $E(P)=663$, 肯德尔统计量 $\tau=0.0965$, τ 的方差 $\text{Var}(\tau)=9.47 \times 10^{-3}$, 标准化变量 $U=0.992$. $P>E(P)$, 表示径流量序列可能有上升的趋势. 取置信水平 $\alpha=0.01$, 查正态分布表得: $U_{0.01/2}=2.576$, $|U|<U_{0.01/2}$, 表明上升趋势不明显. 图 1 为赣江外洲站年径流量过程线,由图可见,年径流量时间序列年际变化较大,但总体变化趋势平稳.

对赣江外洲站 43 a 输沙量序列进行计算得: $P=213$, $E(P)=451.5$, $\tau=-0.5282$, $\text{Var}(\tau)=0.0117$, $U=-4.883$. $P<E(P)$, 表示径流量序列可能有下降的趋势. $|U|>U_{0.01/2}$, 表明输沙量序列下降趋势明显. 图 2 为赣江外洲站年输沙量过程线,可看出年输沙量时间序列具有明显的下降趋势,多年平均值约为 841 万 t.

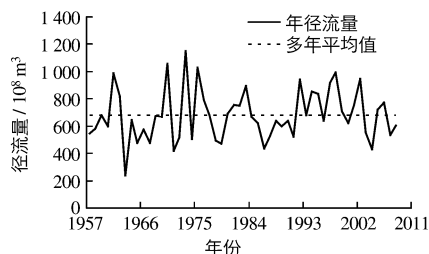


图 1 1957—2008 年赣江外洲站年径流量过程线

Fig. 1 Annual runoff process line at Waizhou Station of the Ganjiang River during 1957—2008

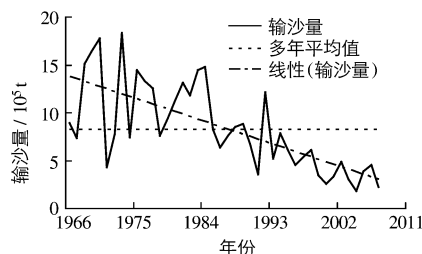


图 2 1966—2008 年赣江外洲站年输沙量过程线

Fig. 2 Annual sediment process line at Waizhou Station of the Ganjiang River during 1966—2008

3.2 跳跃性

跳跃是指水文时间序列发生急剧变化的一种形式,一般先采用有序聚类法找出跳跃点(最优分割点),使同类之间的离差平方和最小,类与类之间的离差平方和相对较大,而后通过跳跃成分检验判别是否存在跳跃.

外洲站径流量和输沙量时间序列计算的总离差平方和 $S_n(\tau)$ 和 τ 的关系见图 3 和 4. 由图 3 可见, $\tau=11, 35$ 和 16 时,径流量序列总离差平方和 $S_n(\tau)$ 存在最小值,表示 1967, 1991 和 1972 年可能是最优分割点. 采用秩和检验法对这些可能的分割点进行检验,计算得 1967 年, 1991 年和 1972 年 3 个可能跳跃点的统计量

分别为: $U_1 = -1.468$, $U_2 = 1.824$, $U_3 = -1.566$. 若置信水平 $\alpha = 0.05$, 临界值 $U_{0.05/2} = 1.96$, $|U_1| < U_{0.05/2}$, $|U_2| < U_{0.05/2}$, $|U_3| < U_{0.05/2}$, 表明在置信水平 0.05 下, 3 个跳跃点不显著.

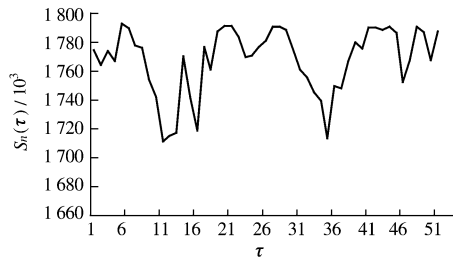


图3 径流量时间序列 $S_n(\tau)$ 与 τ 关系

Fig. 3 Relationship between $S_n(\tau)$ and τ of runoff

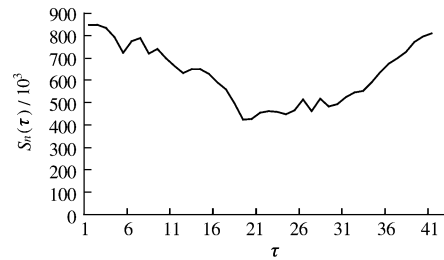


图4 输沙量时间序列 $S_n(\tau)$ 与 τ 关系

Fig. 4 Relationship between $S_n(\tau)$ and τ of sediment

输沙量序列总离差平方和最小值位于 $\tau = 19$, 对应年份 1984 年为最优分割点. 采用秩和检验法计算得: $U_1 = 4.549$, $|U_1| > U_{0.05/2}$, 表明 1984 年是输沙量序列的一级显著跳跃点. 由于输沙量时间序列下降趋势明显, 为了进一步探寻可能的跳跃点, 还进行了二次跳跃分析, 发现 1998 年最有可能成为二次跳跃点, 经过检验:

$U_2 = -3.865$, $|U_2| > U_{0.05/2}$, 则在 1998 年存在显著跳跃. 为分析 1992 年万安水库的建成对赣江输沙量的影响, 对 1985—2008 年输沙量序列进行 3 次跳跃分析, 1995 年最可能成为跳跃点, 经过检验: $U_3 = 1.635$, $|U_3| < U_{0.05/2}$, 1995 年跳跃存在, 但不显著. 图 5 为赣江外洲站分期平均输沙量, 可见, 外洲站 43 a 来年输沙量时间序列跳跃变化可分 3 个阶段: 第 1 阶段是 1984 年之前, 这个时期的年平均输沙量为 1 191 万 t; 第 2 阶段在 1984—1998 年间, 年平均输沙量为 693 万 t; 第 3 阶段为 1998 年以后, 年平均输沙量为 320 万 t.

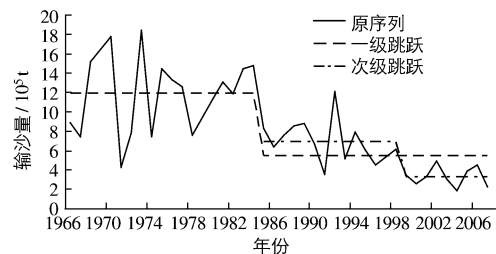


图5 赣江外洲站分期平均输沙量

Fig. 5 The stepped variation of annual sediment discharge at Waizhou hydrologic station

3.3 周期性

由于径流量和输沙量时间序列长度不同, 为了便于分析, 序列年限均采用 1966—2008 年. 图 6 为外洲站年径流量、输沙量序列的小波变换系数等值线, 从图 6(a) 可见, 径流量在时间尺度为 17 时周期特征比较明显, 变化周期为 10 ~ 12 a, 即在 1970—1982 年为丰水期, 1983—1993 年为枯水期, 1994—2004 年为丰水期. 由图 6(b) 可见, 1966—1986 年, 输沙量在时间尺度为 6 时周期特征比较明显, 平均变化周期约为 4 a, 1986 年之后, 周期性发生了变化, 在时间尺度为 1 时周期特征比较明显, 平均变化周期约为 3.7 a, 这可能与输沙量在 1984 年后趋势逐渐下降有关. 王文圣等^[11] 对长江水文时间序列的研究过程中也得到类似结果.

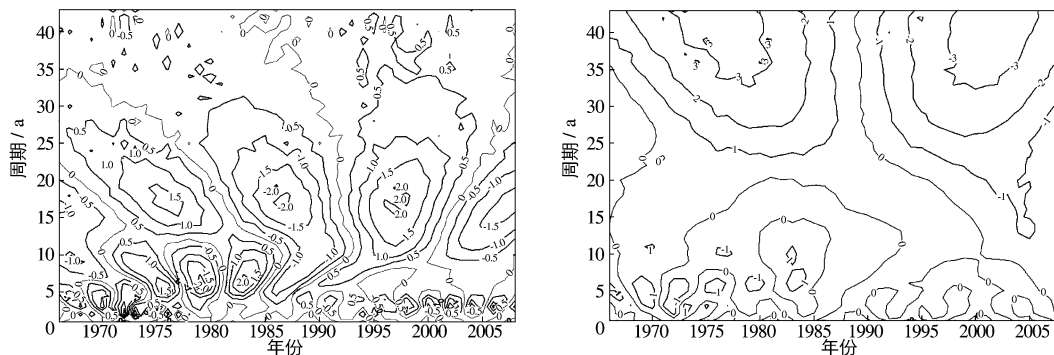


图6 外洲站年径流量、输沙量序列的小波变换系数等值线

Fig. 6 Wavelet transform coefficient contour of annual runoff and sediment time series of Waizhou station

4 输沙量下降原因浅析

水文时间序列产生跳跃变化一般由生态环境变化、人类活动等因素引起,如水土保持、兴修水利工程、人为采砂等。从多年径流量和输沙量时间序列跳跃分析来看,自然因素和人类活动对输沙量的影响程度要远大于径流量。

输沙量发生下降和跳跃变化的主要可能原因如下:①上世纪80年代之前,由于“大炼钢铁”、“毁林种粮”和“盲目围垦滥捕”等活动的影响,大量砍伐树木、破坏植被,导致水土流失严重,河道输沙量大。②1984—1987年间,输沙量出现急剧下降,这主要与赣江流域在1983年实施山江湖工程有关,通过“灭荒”造林、“山上再造”和“跨世纪绿色工程”等措施,全省森林覆盖率以每年1个多百分点的速度攀升,水土流失面积每年以近533.33 km² 缩小。③1987—1998年间,输沙量处于缓慢下降的趋势,主要原因可能是水土保持工作得到开展并逐步深入,如1991年6月,我国通过了《中华人民共和国水土保持法》,1994年11月发布《开发建设项目水土保持方案管理办法》。④1998年附近出现输沙量显著下降的跳跃点,主要原因可能是万安水库建成后的拦沙作用,万安水库1991年下闸蓄水,建成初期,清水冲刷河床,外洲站输沙量变化可能不大,随着冲刷点的下移,河道沿程的泥沙补给量越来越少,会对外洲站的输沙量产生较大影响。⑤1998年之后,输沙量又处于缓慢下降的趋势,主要原因可能是赣江开始大规模人为采砂,导致河床下切、河道变深、流速降低、水流挟沙能力减小,输沙量逐渐降低。

5 结 语

通过对赣江外洲站近50 a水沙序列分析,得出主要结论如下:

(1)径流量时间序列变化趋势不明显,在时间尺度为17时,存在10~12 a为周期的年径流量丰枯交替变化。输沙量时间序列具有明显下降趋势,1984和1998年存在显著的突变,1966—1986年间,在时间尺度为6时周期特征比较明显,平均变化周期约为4 a,1986年后,在时间尺度为1时周期特征比较明显,平均变化周期约为3.7 a。

(2)径流量时间序列总体保持平稳,但是输沙量序列变化比较显著,说明人类活动和自然环境对赣江流域输沙量影响大于对径流量的影响。在赣江流域,引起输沙量发生变化的主要因素有水土保持、兴修水利工程、人为采砂等。

参 考 文 献:

- [1] GLEICK P H. Climate change, hydrology and water resources[J]. Reviews of Geophysics, 1989, 27(3): 329-344.
- [2] 许全喜,石国钰,陈泽方. 长江上游近期水沙变化特点及其趋势分析[J]. 水科学进展, 2004, 15(4): 420-426. (XU Quan-xi, SHI Guo-yu, CHEN Ze-fang. Analysis of recent changing characteristics and tendency runoff and sediment transport in the upper reach of Yangtze River[J]. Advances in Water Science, 2004, 15(4): 420-426. (in Chinese))
- [3] 张瑞,汪亚平,潘少明. 近50年来长江入河口地区含沙量和输沙量的变化趋势[J]. 海洋通报, 2008, 27(2): 1-9. (ZHANG Rui, WANG Ya-ping, PAN Shao-ming. Variations of suspended sediment concentrations and loads into the estuary area from Yangtze River in recent 50 years [J]. Marine Science Bulletin, 2008, 27(2): 1-9. (in Chinese))
- [4] 樊辉,刘艳霞,黄海军. 1950—2007 黄河入海水沙趋势变化趋势及突变特征[J]. 泥沙研究, 2009, 10(5): 9-16. (FAN Hui, LIU Yan-xia, HUANG Hai-jun. Long-term trend and change point analysis on runoff and sediment fluxes into the sea from the Yellow River during the period of 1950—2007[J]. Journal of Sediment Research, 2009, 10(5): 9-16. (in Chinese))
- [5] 郭鹏,陈晓玲,刘影. 鄱阳湖湖口、外洲、梅港三站水沙变化及趋势分析(1955—2001年)[J]. 湖泊科学, 2007, 18(5): 458-463. (GUO Peng, CHEN Xiao-ling, LIU Ying. Analysis on the runoff and sediment transportation in the Houkou, Waizhou and Meigang Stations of Lake Poyang during 1955—2001[J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 18(5): 458-463. (in Chinese))
- [6] 应铭,李九发,万新宁,等. 长江大通站输沙量时间序列分析研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 83-87.

- (YING Ming, LI Jiu-fa, WAN Xin-ning, et al. Study on time series of sediment discharge at Datong Station in the Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(1): 83-87. (in Chinese))
- [7] 万尚荫, 汤维增, 黄添元, 等. 江西省水利志[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 1995. (WAN Shang-meng, TANG Wei-zeng, HUANG Tian-yuan, et al. Water conservancy of Jiangxi Province[M]. Nanchang: Science and Technology Press of Jiangxi Province, 1995. (in Chinese))
- [8] BIRSAN M V, MOLNAR P, BURLANDO P, et al. Streamflow trends in Switzerland[J]. Journal of Hydrology, 2005, 314: 312-329.
- [9] 丁晶, 邓育人. 随机水文学[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1988: 76-87. (DING Jing, DENG Yu-ren. Stochastic hydrology[M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1988: 76-87. (in Chinese))
- [10] 程正兴. 小波分析算法与应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998. (CHENG Zheng-xing. Algorithms and applications of wavelet analysis[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1998. (in Chinese))
- [11] 王文圣, 丁晶, 向红莲. 水文时间序列多时间尺度分析的小波变换法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2002, 11(34): 14-17. (WANG Wen-sheng, DING Jing, XIANG Hong-lian. Multiple time scales analysis of hydrological time series with wavelet transform[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2002, 11(34): 14-17. (in Chinese))

Variation of runoff and sediment load at Waizhou hydrologic station in Ganjiang River in the last 50 years

XIAO Yang^{1, 2, 3}, SONG Cheng-cheng², LI Kai-jie^{2, 4}, ZHANG Yu-ding⁵, TANG Hong-wu^{1, 2, 3}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Water Conservancy & Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. The State Flood Control and Drought Relief Headquarters Office, Beijing 100053, China; 5. Ningbo Hydropower Planning and Design Institute, Ningbo 315192, China)

Abstract: The time series of runoff and sediment load at Waizhou hydrologic station on the Ganjiang River from 1957 to 2008 and from 1966—2008 is analyzed respectively with the methods of Mann-Kendall rank correlation test, sequential clustering analysis, rank-sum test and wavelet analysis. The results show that annual runoff has not an obvious trend and jumping point, and there are cycles of 10 ~ 12 years between wet years and dry year at the time scale of 17 years. However, annual sediment has a clear downward trend, there is sharp decline in 1984 and 1998, and the periodic change can be divided into two periods, there is an average cycle of 4 years in the time scale of 6 years from 1966 to 1986, and there is an average cycle of 3.7 years in the time scale of 1 year after 1986. Soil and water conservation, artificial sand mining, Wanan Reservoir sand blocking are the main reasons of the decrease of the annual sediment at Waizhou hydrologic station on the Ganjiang River.

Key words: runoff and sediment load; regression analysis; time series; wavelet analysis; Ganjiang River