

1957 ~ 2014 年信江水沙变化特征分析

吴英超¹, 刘星根^{2,3}, 虞慧^{4,5}, 李昌彦⁶, 王法磊⁴

(1. 江西省上饶市水利电力勘测设计院, 江西 上饶 334000; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008;
3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029;
5. 江西省水工程安全工程技术中心, 江西 南昌 330029; 6. 南昌工程学院工商管理学院, 江西 南昌 330099)

摘要: 利用信江干流3个水文站(上饶站、弋阳站、梅港站)近60年的实测流量、含沙量资料, 分析了信江流域年径流、年输沙量的变化特征。结果表明: (1) 径流量年际变化较大, 1990 s 水量异常偏多(+20%), 径流序列存在29年、9年的主周期, 但未来径流量表现为明显的随机性; (2) 输沙量在1990 s 起显著减少, 导致水沙双累积曲线发生转折, R/S 分析表明未来输沙量继续减少; (3) 2000 s 径流量偏少(-5%)是输沙量减小的原因之一, 1990~2000年间建成的界牌水库、大坳水库、七星水库等大中型水利工程拦截泥沙, 是梅港站2000 s 输沙量异常偏少的另一个主要因素。由于流域水土流失治理、水利工程建设等, 预计今后梅港站输沙量仍将进一步减少。

关键词: 信江; 水沙特征; 突变分析

中图分类号: P333 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2016)06-0443-06

0 引言

径流量是描述河流特征的最重要和常用的指标, 径流量大小取决于气象条件、流域特征, 并受人类活动影响。输沙量是河流重要水文特征, 反映流域水土流失、土壤侵蚀的状况。近20年社会经济发展, 许多河流规划、建设了水利枢纽、水库、灌区, 水库淤积泥沙是诸多研究的共识^[1-7]。因此分析河流水沙变化是辨识人类活动对自然环境干扰的重要途径之一。

长江中上游干流和支流规划、建设了诸多水坝, 水库淤积泥沙是长江中游和下游干流输沙量减少的主要因素^[1,4,7]。鄱阳湖流域悬移质输沙量的跳跃特征与流域内水库建设、森林植被的变化密切相关^[8]。信江是鄱阳湖流域五河水系之一, 信江水沙变化特征对入湖水沙通量起重要作用; 近20年来, 信江干流和支流建成了若干水利枢纽, 在环境变化下的水沙变化规律成为研究热点。早期的研究见郭鹏等对湖口水文站、外洲水文站、梅港水文站1955~2001年水沙的分析^[9], 孙鹏等对鄱阳湖流域五河控制站1956~2005年水沙的详细分析

结论与郭鹏等一致, 梅港站径流呈微弱上升趋势, 输沙量受人类活动影响^[8]。近期有报道采用水文模型(HSPF、HydroTrend)定量估算气候变化和人类活动对径流或输沙量的影响^[10]。前人对信江流域水沙的系统研究有助于深刻理解变化环境下河流系统的响应机制。然而前述研究采用水文站点和样本长度偏少, 也没有针对径流和泥沙的未来趋势、水沙相关特征展开研究, 本文基于信江3个水文站(上饶站、弋阳站、外洲站)1957~2014年的实测水文资料, 应用当前常用的Mann-Kendall检验、R/S分析等方法分析水沙趋势性、跳跃性、持续性、周期性特征。本文的研究目的是: ①分析近60年信江径流量、输沙量的变化特征以及持续性, ②探讨信江水沙变化的差异及原因。

1 研究区概况

信江是鄱阳湖流域五河之一, 地理位置在东经116°19'~118°31'、北纬27°32'~28°58'之间, 流域面积17 599 km², 呈不规则矩形。西邻鄱阳湖, 北倚怀玉山脉与饶河毗邻, 南倚武夷山脉与福建省闽江相邻, 东毗

收稿日期: 2016-10-19

项目来源: 国家自然科学基金(51369011)

作者简介: 吴英超(1986-), 女, 硕士, 助理工程师。

浙江省富春江。发源于浙赣边界的玉山县三清乡平家源,干流大致为由东向西,经信州区、铅山县、贵溪市等县(市、区),在余干县境内分东西两支经东塘和瑞洪入鄱阳湖^[11]。

流域内水利、森林资源丰富。水能蕴藏主要集中在铅山河、石溪水、玉琊溪等支流,近20年兴建了大坳水库(大(2)型)、七星水库(中型)、界牌水库(大(2)型)、信州水利枢纽等。信江梅港站控制流域示意图见图1。

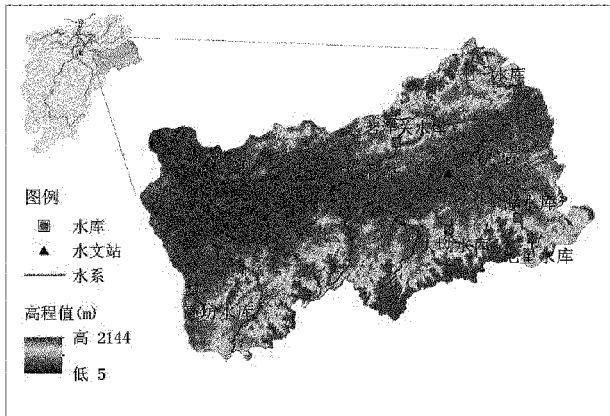


图1 信江流域示意图

2 资料和方法

实测流量和含沙量资料(1957~2014年)来源于江西省上饶市水文局。整理上饶站、弋阳站、梅港站日流量、含沙量数据,最后得到各站年径流量、年输沙量数据。

Mann-Kendall 趋势检验和突变检测用于分析年径流、输沙量的趋势和跳跃特征,用 Sen 斜率估算序列的趋势变化幅度,径流的周期性采用 Morlet 小波分析。各方法原理和应用较为常见^[12-17],本文不另赘述。

3 结果与讨论

3.1 信江径流变化

信江径流年际波动大,变异系数3.0~3.1。近60年信江最大年径流均出现在1998年,最小年径流上饶站出现在1979年、弋阳站2004年、梅港站1963年,如图2。相对于多年平均水平,最大年径流量偏多83%~92%,而最小年径流偏少约53%,最大年径流量约为最小年径流量的4倍。

信江下游控制站梅港站,水量最丰的前6位是1998年、2010年、1975年、2012年、1995年和1973年,其中1998年水量异常丰富(比多年均值多92%),其余5年水量约为 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$,比多年均值多60%~70%;枯水年份有1963年、1971年和2004年,水量比多年均值偏少45%~55%。

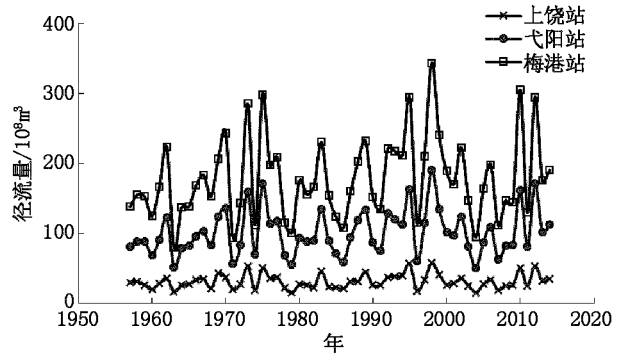


图2 信江流域径流变化过程

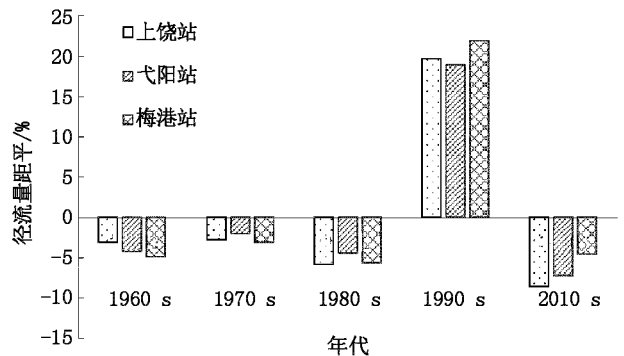


图3 信江径流距平百分比

按年代统计了3站径流距平,如图3。1960s、1970s、1980s水量偏少约5%,1990s水量异常偏多,比多年均值多20%左右,2000s径流偏少5%~10%。

依据水文情报预报规范(SL250-2000),年径流按距平值划分了丰枯标准(年径流距平百分比<-20%定义为枯水年,>20%定义为丰水年,其余为平水年)。梅港站不同年代径流丰枯情况如表1。丰水年频数在1990s异常偏多,其他年代均为2个;平水年频数变化不大,1980s、2000s平水年有6个;枯水年频数在1970s最多(4个),而近30年来平均每10年出现2个枯水年。从年径流丰平枯划分来看,1990s的径流的变化异于其他年代,表现为丰水年频数偏多,平水年频数偏少;2000s与1980s丰枯情况没有显著差异。

表 1 梅港站丰、平、枯水年频数

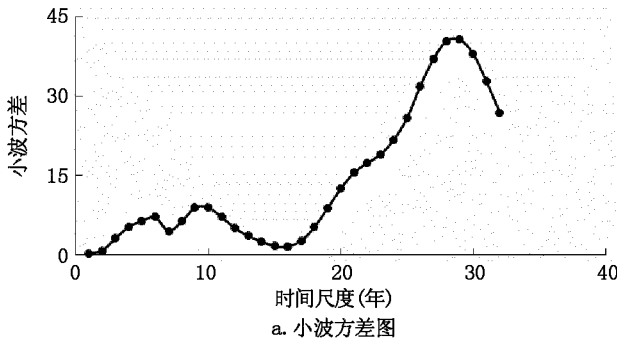
梅港站	1960 s	1970 s	1980 s	1990 s	2000 s
丰水年频数	2	2	2	5	2
平水年频数	5	4	6	3	6
枯水年频数	3	4	2	2	2

1990 s 丰水年偏多导致平均径流量显著高于其他年代,对近 60 年信江径流序列趋势变化有显著影响。用 Mann - Kendall 检验、Sen 斜率估计和 R/S 方法分析了梅港站 1957 ~ 2014 年径流序列的趋势性和持续性特征。近 60 年径流序列有微弱的上升趋势(没有达到 0.05 的显著性), Sen 斜率估计得趋势变化为 $0.64 \times 10^8 \text{ m}^3$, 仅占多年均值的 0.2%。R/S 分析结果显示径流序列没有显著的持续性特征,未来信江径流变化可能呈现明显的随机性,如图 4。

表 2 梅港站径流趋势和持续性

M - K 趋势	Sen 斜率/ 10^8 m^3	Hurst 指数	R ²
1.42	0.64	0.58	0.94

周期性是径流变化的重要信息。应用 Morlet 小波



分析了 1957 ~ 2014 年梅港站径流序列。梅港站径流变化的第一、第二主周期尺度分别为 29 年、9 年。在第一主周期尺度下,近 60 年信江径流经历了 3 个丰枯变化周期,2010 年后处于水量偏多时期;在第二主周期尺度下径流周期信号振荡更为明显,小尺度的信息(如 9 年)镶嵌在大尺度(29 年)周期信号中,如图 5。

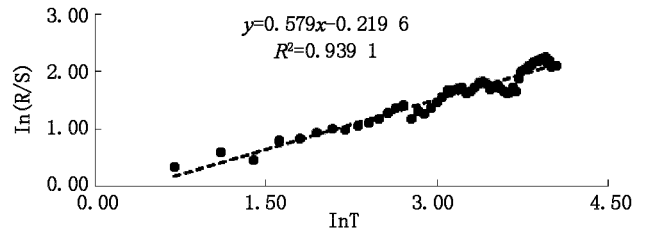


图 4 梅港站径流序列 R/S 分析

3.2 信江输沙量变化

信江输沙量年际变化明显,2000 s 输沙量急剧减少,输沙量比多年均值偏少 55% ~ 60%。1973 年输沙量是近 60 年峰值,而最小年输沙量均出现在 2000 年后,分别是 2001 年(上饶站)、2004 年(弋阳站)、2006 年(梅港站);最大年输沙量是最小年输沙量的 13 倍(上饶站)、16 倍(弋阳站)、33 倍(梅港站),如图 6。

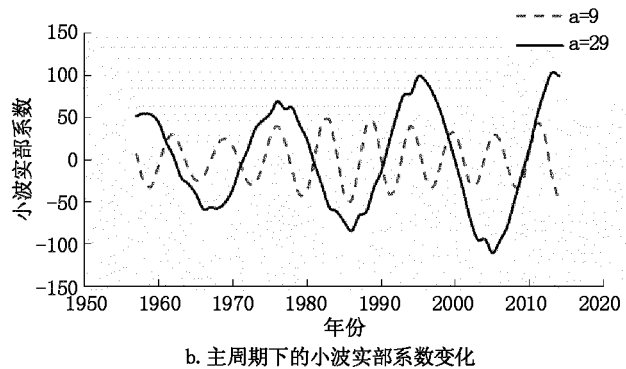


图 5 梅港站径流小波分析

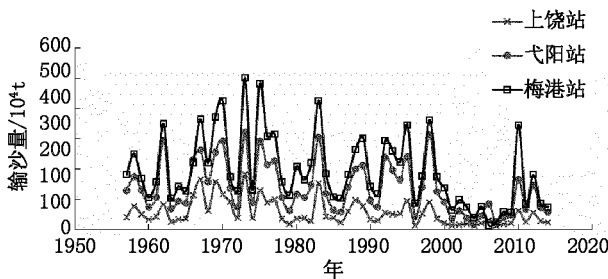


图 6 信江流域输沙量变化过程

2000 s 输沙量显著减少,影响近 60 年输沙量序列的趋势性。用 Mann - Kendall 检验、Sen 斜率估计和 R/S 方法分析了梅港站 1957 ~ 2014 年输沙序列的趋势性和持续性特征。近 60 年输沙量序列有显著的减少趋势(达到 0.01 的显著性), Sen 斜率估计的趋势变化为 -2.33 万 t , 占多年均值的 1.2%。R/S 分析结果显示输沙量呈现正的持续性,未来信江输沙量将会进一步降低。

表3 梅港站输沙量趋势和持续性

M-K趋势	Sen斜率/万t	Hurst指数	R ²
3.25	-2.33	0.73	0.96

考虑到2000s输沙量偏少和近60年输沙量的显著递减趋势,有必要分析梅港站1957~2014年输沙序列的跳跃性。如图7a, Mann-Kendall 突变检测结果显示梅港站输沙量在1999~2000年间发生突变,2000年后输沙量减少趋势显著。如表4,1957~1999年输沙量

平均值为229.5万t,而2000~2014年输沙量平均值仅为95.2万t,相对变化幅度为58.5%;突变年份前、后两个时间序列的变异系数、极值比的差异明显。2000年后输沙量变异系数较小,说明2000年后输沙量年际变化较小;极值比较大(22.8)是因为个别年份输沙量异常,如2010年、2012年径流量异常偏多导致输沙量增加。从输沙量箱型图(图7b)可知,2000年后输沙量与1957~1999年的输沙量的确有明显差异,输沙量中位数、变化幅度急剧缩减。

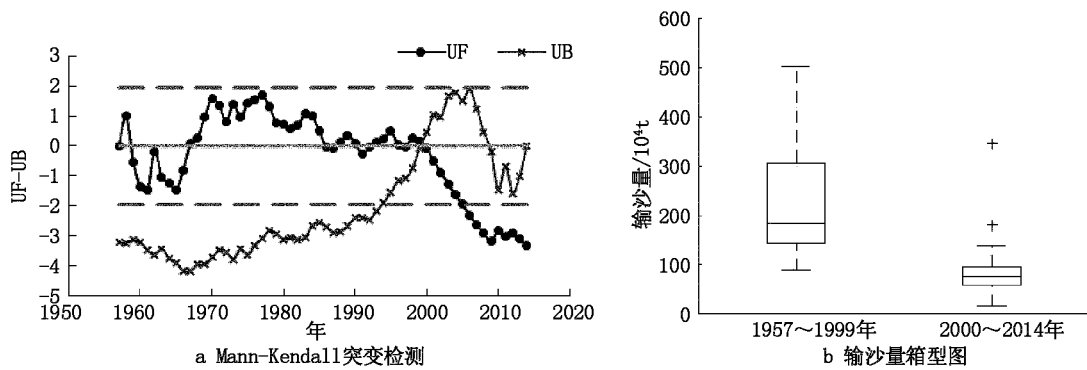


图7 梅港站输沙量突变检测

表4 梅港站输沙量跳跃变化特征

年份	均值/万t	相对变化/%	Cv	极值比
1957~1999	229.5	58.5	2.1	5.7
2000~2014	95.2		1.2	22.8

2000s输沙量的显著减少导致水沙关系发生明显变化。如图8,水沙双累积曲线以1999年为转折点,1999~2014年累积输沙量明显偏少,16年累积减少输沙量2960.3万t,平均每年减少185万t输沙量。

3.3 径流和泥沙关系分析

径流携带泥沙是河流系统的客观现象,径流量的大小是输沙量变化的主要因素之一。近60年信江径流量年际变化较大,年径流序列没有显著的趋势和跳跃性,未来仍将表现为较强的随机性;信江梅港站输沙量呈现显著的减少趋势, MK 识别的跳跃点在1999年。梅港站水沙年际变化过程如图9。

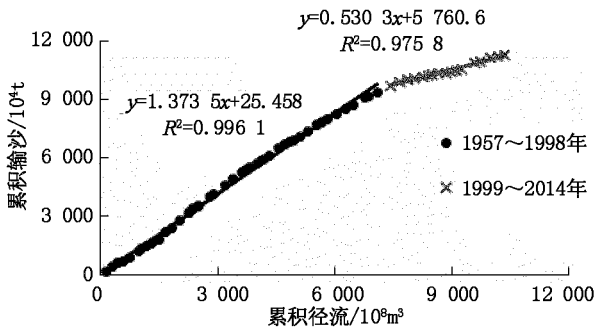


图8 梅港站水沙双累积曲线

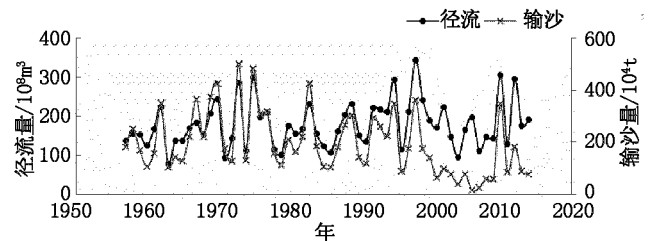


图9 信江梅港站水沙年际变化

1957年~1990年水沙年际变化一致,丰水多沙、枯水少沙,pearson 相关系数0.92。信江流域地处江西省东北部,属中亚热带季风湿润气候,降水丰富,流域北侧和南侧多山地,干流两侧发育丘陵、岗地、平原,植被覆盖率约54.3%,山地多黄壤、黄棕壤,岗地、平原分布红

壤和水稻土,水土流失不甚严重。1990年之前,人类活动干扰较弱,径流泥沙相关性良好(图8)。1991~2014年水沙的年际变化不一致,表现为①同一径流量条件下的输沙量偏小,②2000s水量偏少的时期输沙量异常减少。

图3信江径流距平百分比显示,梅港站1990s水量比多年均值多20%,输沙量仅比多年平均值多12%,表明信江流域1990s输沙量较1957~1990年期间的小。从表5可看出,1991年(枯水年)径流量与1964年相当,1991年输沙量偏少20%;1995年(丰水年)与1975年径流量接近,但1995年输沙量偏少30%,1990s的丰、枯水年输沙量均偏少。

表5 1990s与1960s~1980s水沙差异

		径流量/ 10^8m^3	输沙量/万t
枯水年	1991年	134	118
	1964年	136	144
丰水年	1995年	294	346
	1975年	298	482

2000s输沙量异常减少与该时期径流偏少有关。图3显示,2000s梅港站径流量比多年均值偏少5%,径流量偏小是河道输沙量减少的原因之一。2000s梅港站输沙量比多年均值偏少约55%,径流量和输沙量变化的差异表明人类活动的强烈干扰。

信江流域水土流失不甚严重,经多年治理后现有水土流失面积仅占流域面积的10%。水土流失治理对输沙量变化的作用不明显。流域内水利工程较多,其中大型水库3座(截至2005年)、中型水库37座,小型水库和山塘等1346座。中型以下水库库容较小,多分布在各支流上游,建设时间较早,对梅港站输沙量变化影响较小。

按总库容 $>4000 \times 10^4\text{m}^3$ 标准统计了流域内的部分大中型水库的库容情况,各水库位置见图1。根据水库建成时间、库容资料绘制累积曲线如图10。大中型水库建设集中在1960年前后、1990~2000年两个时段。1960年建成的七一水库位于信江上游玉山水,为大(2)型水库,总库容 $2.5 \times 10^8\text{m}^3$,年入库沙量4.03万t;茗洋关水库、硬石岭水库、高坊水库分别于1957、1960、1961年建成,三者都位于信江支流的上游,总库容约为 $1.5 \times 10^8\text{m}^3$,由于建设时间较早,且位于各支流上游,对梅港站2000s输沙量影响较小。1990~2000年信江流域建成了2座大(2)型的大坳水库、界牌水

库,以及1座中型的七星水库,其中大坳水库、七星水库分别位于石溪水、丰溪水上游,大坳水库年入库泥沙5.54万t,对中游弋阳站1990s输沙量减少有影响。界牌水库于1997年建成,位于信江干流梅港站上游约22km处,坝址控制流域面积 12300km^2 ,约占梅港站控制面积的80%。总库容 $3.35 \times 10^8\text{m}^3$,年入库泥沙约266万t,它对信江流域输沙量的变化有一定影响。

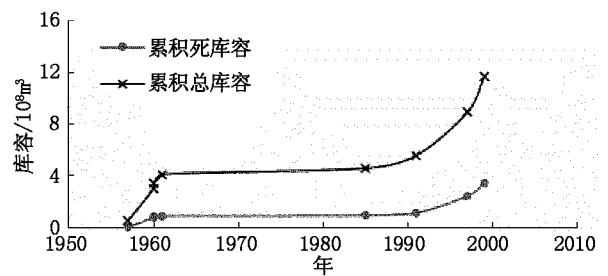


图10 信江流域大中型水库累积库容

4 结论

信江流域近60年径流量和输沙量变化特征差异明显。径流量不存在显著的趋势和跳跃性,并且径流序列存在29年、9年的主周期,未来径流呈现随机性。输沙量呈现显著减少的趋势,1990s起输沙量持续偏少,Mann-Kendall识别的突变点在1999年,这与信江流域1990~2000年集中建设水利工程密切相关。梅港站2000s输沙量减少的可能原因有①2000s水量偏少约5%;②信江干流和支流水库建设,尤其是梅港站上游约20km的界牌水库于1997年建成运行。R/S分析结果显示输沙量序列的Hurst指数0.73,考虑到信江流域水土流失治理、水利工程建设等因素,预计未来梅港站输沙量会进一步减少。

参考文献:

- [1] Zhang Q, Singh VP, Xu C, et al. Abrupt Behaviours of Streamflow and Sediment Load Variations of the Yangtze River Basin, China[J]. Hydrological Processes, 2013, 27(3): 444~452.
- [2] Xue Zuo, Liu J. - Paul, Ge Qian. Changes in hydrology and sediment delivery of the Mekong River in the last 50 years; connection to damming, monsoon, and ENSO[J]. EARTH SURFACE PROCESSES AND LANDFORMS, 2011, 36(3): 296~308.
- [3] 吴创收, 杨世伦, 黄世昌, 等. 1954~2011年间珠江入海水沙通量变化的多尺度分析[J]. 地理学报, 2014, 69(3): 136~146.
- [4] Zhang Q, Chen G, Su B, et al. Periodicity of Sediment Load and Runoff in the Yangtze River Basin and Possible Impacts of Climatic Changes and Hu-

- man Activities/périodicité De La Charge Sédimentaire Et De L'écoulement Dans Le Bassin Du Fleuve Yangtze Et Impacts Possibles Des Changements Climatiques Et Des Activités Humaines[J]. *Hydrological Sciences Journal*, 2008, 53(2): 457 ~ 465.
- [5] Rossi A, Massei N, Laignel B, et al. The Response of the Mississippi River to Climate Fluctuations and Reservoir Construction as Indicated By Wavelet Analysis of Streamflow and Suspended - sediment Load, 1950 - 1975[J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 377(3): 237 ~ 244.
- [6] Zhang Shurong, Lu X. X. Hydrological responses to precipitation variational and diverse human activities in amountainous tributary of the lower Xijiang, China[J]. *Catena*, 2009, 77(2): 130 ~ 142.
- [7] Zhang Q, Xu C, Singh V, et al. Multiscale Variability of Sediment Load and Streamflow of the Lower Yangtze River Basin; Possible Causes and Implications[J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 368(1): 96 ~ 104.
- [8] 孙鹏, 张强, 陈晓宏, 等. 鄱阳湖流域水沙时空演变特征及其机理[J]. *地理学报*, 2010, 65(7): 828 ~ 840.
- [9] 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*, 2006, 18(5): 458 ~ 463.
- [10] 徐夏楠, 高建华, 贾建军, 等. 气候变化和人类活动对鄱阳湖流域入湖湖沙量影响的定量估算[J]. *地理研究*, 2015, 34(5): 838 ~ 850.
- [11] 江西省水利厅. 江西河湖大典[A]. 武汉: 长江出版社, 2010.
- [12] Sen PK. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1968, 63(324): 1379 ~ 1389.
- [13] 曹建廷, 秦大河, 罗勇, 等. 长江源区 1956 - 2000 年径流量变化分析[J]. *水科学进展*, 2007, 18(1): 29 ~ 33.
- [14] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. *大气科学*, 1992, 16(4): 100 ~ 111.
- [15] 刘晓琼, 刘彦随, 李同昇, 等. 基于小波多尺度变换的渭河水沙演变规律研究[J]. *地理科学*, 2015, 35(2): 211 ~ 217.
- [16] 衡彤, 王文圣, 丁晶. 降水量时间序列变化的小波特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(5): 466 ~ 470.
- [17] Ye Xuchun, Zhang Qi, Liu Jian, 等. Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2013, 494(12): 83 ~ 95.

编辑: 张绍付

Changing characteristic of runoff - sediment of the Xinjiang river from 1957 to 2014

WU Yingchao¹, LIU Xinggen^{2,3}, YU Hui^{4,5}, LI Changyan⁶, WANG Falei⁴

(1. Shangrao Institute of Water Resources and Hydropower Survey and Design, Shangrao 334000, China;

2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China;

5. Jiangxi Provincial Research Center on Hydraulic Structures, Nanchang 330029, china;

6. Business Administration College, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China)

Abstract: In this study we took the variation characteristics of runoff and sediment of the Xinjiang river basin. Studies were based on the long - term measured of discharge and sediment at three hydrological stations, and the data was nearly 60 years. Those stations were Shangrao station, Yiyang station and Meigang station, and they were on the Xinjiang river main stream. The results showed that: 1) Great variability at inter - annual scales on discharge was analyzed at upper three stations. Compared with the average annual flow, the flow in 1990s was increased more than 20%. Therefore, the time in 1990s was abundant of rainfall. The main period of the runoff series was in every 29 years and 9 years, however, the runoff will be fully expressive of randomness in the future. 2) The sediment had reduced significantly since 1990s, which led to a turning point on double accumulative curve of runoff and sediment. The R/S analysis of runoff indicate that the sediment will be keep on reducing. 3) One of the reasons for the reduction of sediment load at Meigang station was the less runoff in 2000s, which decreased by 5% compared with the average runoff. Another main factor was that the sediment was intercepted by large and medium reservoirs, which were built between 1990 and 2000 such as Jiepai reservoir, Daa reservoir and Qixing reservoir. Owing to the control of soil erosion and construction of water conservancy projects, it will be expected to reduce the sediment at Meigang station in the future.

Key words: Xinjiang River; Runoff and sediment characteristics; Mutation analysis

翻译: 吴英超