

近 50 年来赣江流域水沙年内分配变化分析

张颖^{1,2}, 宋成成³, 肖洋^{1,2,4}, 张文海², 朱立俊⁵

(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.平湖市水利工程质量监督站, 江苏 平湖 314200; 4.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; 5.南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 基于赣江外洲站近 49 年 (1960~2008) 月径流量及 42 年 (1966~2007) 月输沙量实测资料, 采用年内分配不均匀系数、完全调节系数、集中度 (期)、肯德尔秩次相关检验法对赣江水沙年内分配变化进行分析。结果表明: ①外洲站除 80 和 90 年代输沙量呈“双峰型”分布以外, 其余各年代径流量、输沙量年内分配均呈明显的“单峰型”分布, 6 月到达峰值。②赣江径流量和输沙量的集中度与不均匀程度变化呈逐年代递减趋势, 表明径流量和输沙量年内分配都趋于均匀态势。集中度、不均匀程度逐年下降与水库兴修、水土保持、人工采砂等因素有关。③赣江外洲站汛期与非汛期径流量变化趋势平稳, 输沙量呈下降趋势, 汛期径流量、输沙量波动幅度明显大于非汛期。

关键词: 赣江; 月径流量; 月输沙量; 年内分配; 不均匀性; 集中度; 集中期

中图分类号: TV143

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)03-0080-05

1 引言

河流水沙的年内变化规律对流域水资源开发利用与管理、河流河势稳定、涉水工程安全运行有一系列影响, 如: 1) 年内的水沙分配决定年调节型水库等水利工程的运行调度方式、河流上下游的滩槽演变过程; 2) 径流的丰枯变化会引起水资源供需关系的改变, 从而影响水资源的开发利用和管理; 3) 水沙的季节性变化影响着与之相关的一系列物理、化学和生物过程; 4) 旱、涝灾害与水沙的年内分布直接相关。因此, 研究水沙年内变化规律具有十分重要的科学意义。

为了探寻各条河流水沙年内变化, 已有学者开展了许多的研究, 如王渺林^[1]、郑红星^[2]、陆志华^[3]等分别对长江、黄河、松花江流域径流年内分配的不均匀性、集中程度和变化幅度等指标进行了分析计算, 认为河川径流的年内分配变化受气候变化和人类活动等多种因素影响, 流域上游降水量的减少使径流量下降、梯级水库群的联合调度使河流的洪枯变幅减弱是不均匀系

数、集中度等指标减少的重要原因; 王金星^[4]等分析了中国六大流域近 50 年径流量年内分配特征的变化规律以及各月径流量的变化趋势, 结果表明中国大部分江河年内径流分配十分不均匀, 受气候变化和人类活动综合影响严重的地区, 径流的年内不均匀性明显减小; Li Yan^[5]等选用 db3 小波函数对年内分配不均匀性各指标进行 3 层分解, 发现北江流域径流年内分配不均匀程度呈缓慢下降的趋势, 径流不均匀系数等指标在趋势上下降的原因是流域内人工水利设施对径流的调节力度加大了。上述的研究主要针对长江、黄河、淮河、松花江等大江大河, 而对赣江等支流的研究较少; 且对径流量的年内变化关注较多, 对输沙量的关注较少。

赣江是长江八大支流之一, 鄱阳湖水系五大河流之首, 其水沙变化对鄱阳湖、长江中下游的水沙变化有重要影响。本文采用年内分配不均匀系数、完全调节系数和集中度、集中期、Mann-Kendall 非参数统计检验法等方法, 分析了赣江流域水沙年内分配的变化

收稿日期: 2012-11-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2012CB417001); 国家自然科学基金 (51179055); 江苏省优秀学科建设工程资助项目 (YS11001)

作者简介: 张颖 (1987-), 女, 四川金堂人, 硕士研究生, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: 627721128@qq.com

通讯作者: 肖洋 (1974-), 男, 贵州铜仁人, 教授, 主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: sediment_lab@hhu.edu.cn

规律、趋势及可能原因,研究成果可望为开发、治理和保护赣江及鄱阳湖提供科学依据。

2 资料与方法

2.1 资料

外洲水文站是赣江流域的下游控制站,位于赣江下游右岸,南昌市桃花乡外洲村^[6]。1949年10月设立,控制流域面积 80 948 km²,观测项目有水位、流量、降水量和泥沙等,自设站以来有连续的水文观测资料。本文选取赣江外洲水文站近 49 年(1960~2008)月径流量时间序列和近 42 年(1966~2008)月输沙量时间序列作为研究数据。

2.2 方法

水沙的年内变化包含年径流总量、单月流量等数值上的变化和径流过程线的起伏形状上的变化。采用不均匀系数^[7](均方差与时段平均径流量的比值)、完全调节系数^[7](水利年差积曲线部分矩与年水量之比值)、集中度^[8](各月径流量分月按一定角度以向量方式累加,其各分量之和的合成量占年径流量的百分数)、集中期^[8](月径流量合成后重心所指示的角度,即表示一年中最大月径流量出现的月份)等方法,分析水沙年内分配特征的变化规律;采用 Mann-Kendall 秩次相关检验法^[9]分析月径流量和输沙量的变化趋势。

3 结果分析

3.1 水沙逐月趋势变化特征

从图 1 可以看出,外洲站各年代径流量、输沙量年内分配变化基本一致。输沙量 80 和 90 年代呈“双峰型”分布,其他各年代径流量、输沙量年内分配均呈明显的“单峰型”分布。径流量、输沙量各月变化趋势基本

一致,1 月处于低值,3 月开始上升,6 月达到极大值,7 月有所减少,直至 12 月再次到达低值。径流量、输沙量主要集中在汛期(3~7 月),输沙量的集中度大于径流。汛期径流量占到全年径流量的 60%以上(变化范围为 62.95%~72.55%),超过非汛期径流量的 3 倍,汛期输沙量占到全年输沙量的 79.32%以上(变化范围为 79.32%~96.43%),超过非汛期输沙量的 10 倍以上。径流量连续最大 2 个月(5~6 月)是连续最小 2 个月(12~1 月)的 5 倍左右,而输沙量达 25 倍左右。降雨是流域产流产沙的动力条件,流域径流量和输沙量的年内分配很大程度上取决于该流域降雨的大小和时空分布,赣江流域的雨季主要集中在 4~6 月^[6],占年降雨量的 50%左右,降雨与水沙年内分配特性相吻合。

为了进一步阐述赣江外洲站月径流量、输沙量变化趋势,对 49 年(1960~2008 年)月径流量时间序列和 42 年(1966~2007 年)月输沙量时间序列进行 Mann-Kendall 秩相关检验(见表 1),其中,统计量 $U>0$ 表示呈增加趋势, $U<0$ 表示呈减少趋势, $|U|>U_0$ (临界值)表示变化趋势显著,经计算,在 0.01 显著性水平下,月径流量、输沙量的临界值为 2.576。由表 1 可知,1960~2008 年月径流序列的 U 值,5 月、6 月的 U 值为负,表明呈减少趋势;其他月份, U 值均为正值,表明为增加的趋势;只有 9 月份的绝对值大于临界值 2.576,表明 9 月份的增加趋势显著。对于月输沙量,1 月、9 月统计量 U 值为正,表明 1 月、9 月的输沙量呈增加趋势;其余各月均为负值,表明呈减少趋势;只有 4 月、5 月、6 月的 U 值绝对值超过其临界值 2.576,表明 4 月、5 月和 6 月输沙量下降趋势显著,其余各月输沙量虽下降,但不显著。

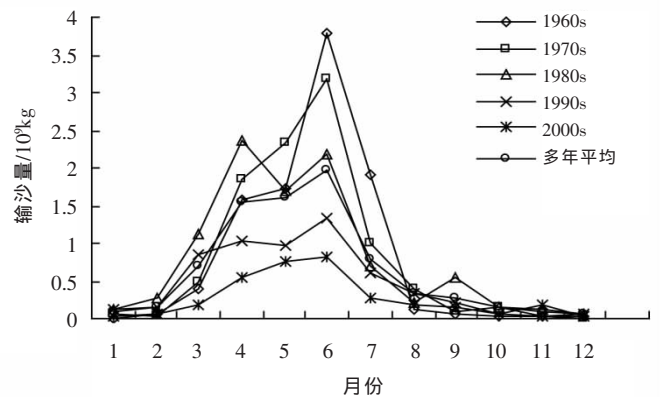
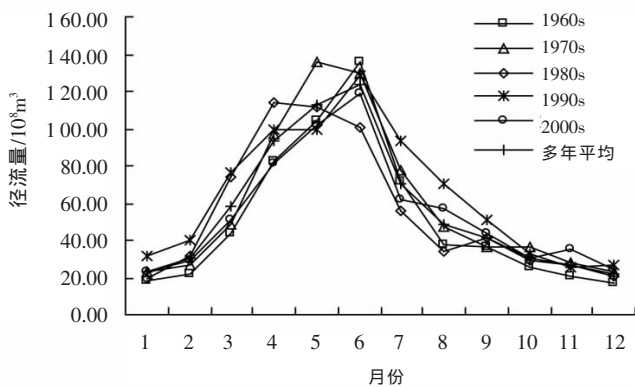


图 1 不同年代月均径流、泥沙变化情况

Fig.1 The changes of the monthly runoff and sediment in the Ganjiang River in the various decades

3.2 不同年代水沙分配的不均匀性

表2为赣江外洲站水沙年内分配不均匀系数和完全调节系数的计算结果。由表2可见,赣江径流量和输沙量年内分配不均匀系数和完全调节系数皆呈逐年代递减的趋势,表明径流量和输沙量年内分配的不均匀性变化趋势一致,皆趋于均匀态势。径流多年平均不均匀系数为0.74,泥沙多年平均不均匀系数为1.34,说明泥沙的多年内不均匀程度远高于径流。

3.3 不同年代水沙集中程度

从水沙年内分配的集中性看(见表3),输沙量的集中度大于径流,集中度最大值均出现在60年代,最小值出现在00年代。集中度呈逐年代递减趋势,与不均匀程度的变化趋势一致。

就集中期而言,最大输沙与最大径流出现时间基本相吻合,均在五月下旬和六月上旬之间。70年代、80年代、00年代径流集中期滞后于泥沙集中期;90年代

径流集中期提前于泥沙集中期。60年代水沙位相基本重合。整体而言,输沙量不均匀系数和集中度均大于同时期径流量不均匀系数和集中度,可见,赣江输沙量年内分配比径流量更集中,即不均匀程度更高。

3.4 水沙不均匀度、集中度逐年下降的原因初析

不均匀度、集中度逐年下降的原因可能主要是由于水库的兴建、水土保持、人为采砂等。1)水库兴建:赣江流域50年代初开始兴修水利,至2009年12月底,赣江已注册修建水库达4355座^[10],多座水库的联合作用使总体调蓄能力增强,年内水沙分配趋于均匀,特别是90年代初,万安水库建成,使水沙不均匀系数出现较大幅度降低,由1.26减至1.09。2)水土保持:80年代初拉开了规模治理赣江流域水土流失的序幕,此后30年共治理水土流失面积5404.67km²,年拦蓄泥沙为4933.27×10⁷kg^[10],植被的改善,水土保持工作的顺利开展,使得赣江流域汛期植被的涵水固沙能

表1 赣江外洲站月径流量、输沙量的Mann-Kendall检验

Table1 Mann-Kendall rank correlation test of the monthly runoff and sediment at the Waizhou station on the Ganjiang River

系列/月	径流序列长/a	P	E(P)	统计量 U	显著性	输沙序列长/a	P	E(P)	统计量 U	显著性
1	49	778	663	1.783	不显著	42	473	403.5	0.901	不显著
2	49	706	663	0.667	不显著	42	399	403.5	-0.668	不显著
3	49	704	663	0.636	不显著	42	359	403.5	-1.516	不显著
4	49	686	663	0.357	不显著	42	272	403.5	-3.361	显著
5	49	587	663	-1.178	不显著	42	265	403.5	-3.509	显著
6	49	635	663	-0.434	不显著	42	244	403.5	-3.954	显著
7	49	732	663	1.070	不显著	42	316	403.5	-2.428	不显著
8	49	826	663	2.527	不显著	42	382	403.5	-1.028	不显著
9	49	867	663	3.162	显著	42	442	403.5	0.244	不显著
10	49	722	663	0.915	不显著	42	350	403.5	-1.707	不显著
11	49	712	663	0.760	不显著	42	405	403.5	-0.541	不显著
12	49	744	663	1.256	不显著	42	424	403.5	-0.138	不显著

表2 赣江外洲站水沙年内分配的不均匀度

Table2 Unevenness of the annual runoff and sediment distribution at the Waizhou station on the Ganjiang River

年代	不均匀系数(Cv)		完全调节系数(Cr)	
	径流	输沙	径流	输沙
1960s	0.85	1.60	0.34	0.60
1970s	0.77	1.39	0.31	0.60
1980s	0.74	1.26	0.30	0.53
1990s	0.67	1.09	0.28	0.45
2000s	0.65	1.04	0.26	0.41

表3 赣江水沙年内分配的集中度和集中期

Table3 Concentration rate and period of the annual runoff and sediment distribution in the Ganjiang River

年代	集中度(CD)		集中期(D)			
			合成方向向量		最大径流、输沙出现时间	
	径流	输沙	径流	输沙	径流	输沙
1960s	0.47	0.82	136.14	136.73	6月3日	6月3日
1970s	0.43	0.69	135.66	132.19	6月2日	5月27日
1980s	0.40	0.65	123.02	118.71	5月19日	5月15日
1990s	0.40	0.63	137.63	143.97	6月5日	6月10日
2000s	0.38	0.61	140.49	135.85	6月7日	6月2日

力增强,延缓了汛期暴雨挟带泥沙进入流域的时间,降低了径流和泥沙年内分配的不均匀度和集中度。3)人为采砂:00 年代,赣江中下游开始了大规模无序人为采砂,导致河床急剧下切,过水断面增大,水深增加,降低了水流的挟沙能力,使外洲站的输沙量减少,导致泥沙的不均匀度和集中度进一步减小。

3.5 汛期水沙占全年水沙百分比

根据外洲站 1960~2008 年月均径流和 1966~2008 输沙资料作出汛期、非汛期水沙占全年水沙比例年际变化图(如图 2)。由图 2 可见,赣江外洲站汛期与非汛期径流量总体变化趋势平稳,汛期和非汛期输沙量均呈下降趋势,汛期径流、输沙量波动较大,幅度明显大于非汛期。用 Mann-Kendall 秩次相关检验法检验(见表 4),径流量汛期及非汛期变化趋势均不明显;输沙量汛期下降趋势显著,非汛期下降趋势不显著。

4 结论

利用赣江代表水文站点外洲站近 50 年的月实测径流和输沙资料从水沙变化的逐月变化特征、年内分配不均匀性、集中性、汛期水沙占全年水沙比例等方面具体分析了赣江水沙年内分配的变化规律。得出以下几点结论:

(1)除 80 和 90 年代输沙量呈“双峰型”分布以外,其余各年代径流、输沙量年内分配均呈明显的“单峰

型”分布,6 月到达峰值。

(2)水沙年内分配不均匀性、集中度皆呈逐年代递减趋势,水沙年内分配趋于均匀态势;输沙量年内分配的不均匀系数、集中度均大于同时期径流量不均匀系数和集中度,泥沙的不均匀程度高于径流;引起径流量、输沙量集中度、不均匀程度逐年下降的主要因素有水库的兴建、植被的改善、人工采砂等。

(3)汛期与非汛期径流量总体变化趋势平稳,输沙量呈下降趋势,径流、输沙量汛期波动较大,幅度明显大于非汛期。

参考文献:

[1] 王渺林, 侯保俭. 长江上游流域径流年内分配特征分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2012, 31(4): 873-876. (WANG Miaolin, HOU Baojian. Changes of annual runoff distribution in upper streams of Yangtze River basin [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Nature Science), 2012, 31(4): 873 - 876. (in Chinese))

[2] 郑红星, 刘昌明. 黄河源区径流年内分配变化规律分析[J]. 地理科学进展, 2003, 22 (6): 585-591. (ZHENG Hongxing, LIU Changming. Changes of annual runoff distribution in the headwater of the Yellow River basin [J]. Progress in Geography, 2003, 22(6): 585-591. (in Chinese))

[3] 陆志华, 夏自强, 于岚岚, 等. 松花江干流中游段径流年内分配变化规律[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(1): 63-69. (LU Zhihua, XIA Ziqiang, YU Lanlan, et al. Changes of annual runoff distribution in middle reaches of Songhua River [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2004, 15(4): 2012, 40(1): 63-69. (in Chinese))

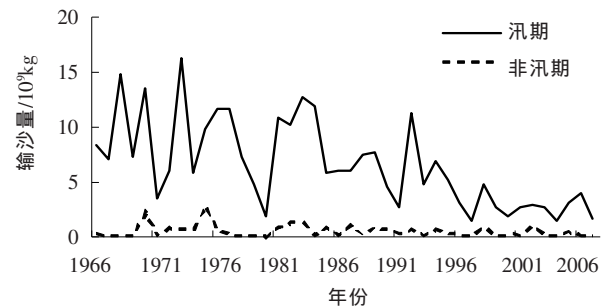
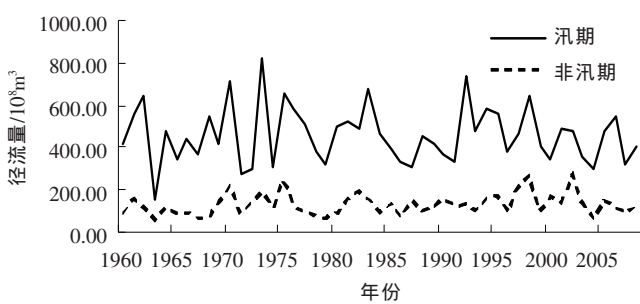


图 2 汛期、非汛期占全年水沙量比例变化图

Fig.2 Ratio of runoff and sediment in flood and non-flood season to annual runoff and sediment in the Ganjiang River

表4 赣江外洲站汛期与非汛期径流量、输沙量MK检验结果

Table4 Mann-Kendall rank correlation test result of the runoff and sediment in flood and non-flood season at the Waizhou station on the Ganjiang River

径流量	序列长/a	P	E(P)	统计量 U	显著性	输沙量	序列长/a	P	E(P)	统计量 U	显著性
汛期	52	645	663	-0.279	不显著	汛期	42	222	403.5	-4.421	显著
非汛期	52	795	663	2.046	不显著	非汛期	42	398	403.5	-0.689	不显著

- [4] 王金星, 张建云, 李岩, 等. 近 50 年来中国六大流域径流年内分配变化趋势[J]. 水科学进展, 2008, 19(5): 656-661. (WANG Jinxing, ZHANG Jianyun, LI Yan, et al. Variation trends of runoffs seasonal distribution of the six larger basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2008, 19 (5): 656-661. (in Chinese))
- [5] LI Yan, CHEN Xiaohong, ZHANG Pengfei. Research on annual distribution and its trends of runoff in Beijiang River, Guangdong [J]. Acta Scientiarum Natralium Universitatis Sunyatseni, 2007, 46 (5): 113-116. (in Chinese)
- [6] 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 Shangmeng, TANG Weizeng, HUANG Tianyuan, et al. Water Conservancy of Jiangxi Province [M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 1995. (in Chinese))
- [7] 郭巧玲, 杨云松, 畅祥生, 等. 1957-2008 年黑河流域径流年内分配变化[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 550-556. (GUO Qiaoling, YANG Yunsong, CHANG Xiangsheng, et al. Annual variation of Heihe River runoff during 1957-2008 [J]. Progress in Geography, 2011, 30(5): 550-556. (in Chinese))
- [8] 刘贤赵, 李嘉竹, 宿庆, 等. 基于集中度与集中期的径流年内分配研究[J]. 地理科学, 2007, 27(6): 791-795. (LIU Xianzhao, LI Jiazhu, SU Qing, et al. Interannual runoff distribution based on degree and time of concentration for rivers [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(6): 791-795. (in Chinese))
- [9] Marius-Victor Birsan, Peter Molnar, Paolo Burlando, Martin Pfander. Streamflow trends in Switzerland [J]. Journal of Hydrology, 2005, 314: 312-329.
- [10] 郑海金, 方少文, 杨洁, 等. 近 40 年赣江年径流泥沙变化及影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 28-32. (ZHENG Haijin, FANG Shaowen, YANG Jie, et al. Analysis on evolution characteristics and impacting factors of annual runoff and sediment in the Ganjiang River during 1970-2009 [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(1): 28-32. (in Chinese))

Variation of Annual Runoff and Sediment Distribution in Ganjiang River Basin over Past 50 Years

ZHANG Ying^{1,2}, SONG Chengcheng³, XIAO Yang^{1,2,4}, ZHANG Wenhai², ZHU Lijun⁵

(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. Hydraulic Engineering Quality Supervision Station of Pinghu City, Pinghu 314200 China;

4. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Hohai University, Nanjing 210098 China;

5. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029 China)

Abstract: The time series of monthly runoff and sediment load at the Waizhou Station on the Ganjiang River from 1960 to 2008 and from 1966 to 2007 were analyzed respectively with the methods of coefficient of unevenness, completely adjustment coefficient, concentration degree (period) and Mann-Kendall rank correlation test. The results show that: 1) Generally, the annual runoff and sediment load distribution reached a maximum in July at the Waizhou Station, and the curve of them have a single peak value except the curve of sediment load of 1980s and 1990s have a bimodal distribution. 2) The variation of concentration degree and unevenness of monthly runoff and sediment load have the same trend of decreasing decadal, which indicates that the annual runoff and sediment load have become well-distributed. The possible causes are the construction of reservoirs, the conservation of soil and water and the artificial sand mining etc. 3) The runoff distribution in flood-season and non-flood season have a stationary trend, while the sediment load presents a downward trend. The amplitude of variation in flood season is distinctly greater than that in non-flood season.

Key words: Ganjiang River; monthly runoff; monthly sediment load; annual distribution; unevenness; concentration degree; concentration period

(上接第 55 页)

Application of VIC-3L Model in Runoff Simulation for Laohahe River Basin

MA He^{1,2}, JIANG Shanhu¹, REN Liliang¹, DENG Huanhuan¹, CHANG Shuai peng¹, ZHAO Jingjing¹, ZHOU Yujia¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Luohe Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Henan Province, Luohe 462001, China)

Abstract: The three-layer variable infiltration capacity (VIC-3L) macroscale hydrological model was applied to simulate runoff in the Laohahe River Basin. The results show that the computed hydrograph is in good agreement with the observed one during calibration as well as validation periods. But in some years, like 1997 and 1999, the model did not perform well. The causes were analyzed in this paper, namely land use and cover change, water taking from river channel, groundwater abstraction from aquifers, and other human activities.

Key words: VIC-3L model; runoff; hydrological simulation; human activity