

赣江尾间河段水情变化趋势及成因分析

刘琦俊, 陈 龙

(江西省水利规划设计研究院, 江西 南昌 330029)

摘要:利用赣江尾间河段代表性水文站 1956~2014 年实测流量及水位资料序列,采用 Mann-Kendall 秩相关检验法和滑动平均法,研究了赣江尾间河段特征流量及特征水位年际变化趋势,并从河床变形、上游来水变化及鄱阳湖湖区水位变化等方面分析了赣江尾间河段水位变化的主要影响因素. 研究表明:赣江尾间河段特征流量总体以上升趋势为主,尤其是年、月最小流量总体呈显著的上升趋势;河段水位总体出现了下降趋势,尤其是年、月平均水位和最低水位呈显著的下降趋势,且河道上游段水位下降趋势要比下游段显著. 分析其原因主要是因为近年河道有明显下切现象,河道容积大幅增加,其次是鄱阳湖湖区水位下降.

关键词:赣江尾间;水位;Mann-Kendall 检验;趋势分析;成因分析

中图分类号:TV121+.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2017)06-0391-07

0 引言

赣江尾间地区是江西省经济社会资源最密集的地区,在全省经济社会发展中占有十分重要的地位.近年来,受气候变化和人类活动等的影响,赣江尾间河段出现枯水位连创新低、低水位持续时间延长等现象.为揭示赣江尾间河段水文变化规律,不少学者从水位、流量、泥沙和河床演变等方面开展了大量研究,提高了对赣江尾间河段水文变化规律的认识.例如,陈珺等^[1]对赣江尾间河段水文、泥沙和地形演变资料进行了分析,研究了该河段的径流、输沙、水沙关系、分流比、冲淤变化、河床稳定性、演变影响因素及演变趋势;陈界仁等^[2]采用有序聚类分析、Mann-Kendall 非参数检验方法分析了赣江下游尾间外洲、南昌、昌邑、吴城、滁槎、楼前与鄱阳湖湖区都昌站的枯水位变化特征,指出赣江下游尾间各站最低水位突变发生在 2005 年,赣江主支各站年最低水位呈现显著下降趋势;刘琦俊等^[3]分析了赣江南昌河段枯水位及其变化规律,以及枯水位的成因、影响因素和变化趋势,研究表明,赣江南昌河段最低水位逐年降低趋势明显,影响河段最低水位的因素包括河道来水来沙的减少、河床采砂的作用以及下游鄱阳湖枯水位降低等.

本文选取能代表赣江下游干流和分汊入湖河道的重要水文观测站点,采用长系列水文数据进行系统分析与研究,探讨赣江尾间河段 1956~2014 年水位和流量变化特征及其演变规律,并依据以往研究成果及本研究搜集的河床地形数据,全面深入地揭示赣江尾间河段水位变化规律及其成因,对于科学认识赣江尾间河段水文情势演变的规律具有重要意义.

1 资料与方法

1.1 数据选择

本文研究范围为赣江外洲水文站以下至各分汊河道入湖口处.所用的流量和水位数据均为江西省水文局水文观测整编资料.根据赣江尾间河段的水系特征及区域附近水文测站的分布现状,本次流量资料采用外洲水文站流量资料;水位资料采用外洲站、滁槎站、吴城(一)站水位资料,其中:外洲站为干流河道代表站、滁槎站为分汊河道代表站、吴城(一)站为入湖代表站.研究所选测站均为国家基本水文站,可满足水文分析的要求.

根据实测水文资料,统计了上述水文站(1956~2014年)的历年各月特征流量(最大、最小和平均流量),以及水位站(1956~2014年)历年各月特征水位

收稿日期:2017-07-20

项目来源:江西省水利厅水利政策研究课题(2015-011).

作者简介:刘琦俊(1984-),男,大学本科,工程师.

(最高、最低和平均水位)系列,以分析赣江尾间河段水情变化趋势。



图1 赣江尾间水系示意图

1.2 分析方法

为研究赣江尾间河段流量和水位特征值的变化趋势,本文采用了两种研究方法,包括滑动平均法和 Mann-Kendall 非参数检验法。

(1)滑动平均法:滑动平均是趋势拟合技术最基础的方法,相当于低通滤波器,在国内外很多学科均有广泛应用。

(2)Mann-Kendall(M-K)非参数检验法:非参数检验方法被认为是水文要素趋势分析的较好工具^[4-6],在时间序列趋势分析中,Mann-Kendall 检验是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法^[7]。该方

法已被国内外许多学者应用于降水、径流、泥沙和气象等方面的趋势性分析。

设水文要素序列为 $\{x_r\}, r = 1, 2, 3, \dots, n, m_i$ 为第*i*个样本大于其后面样本的累计次数,做如下定义:

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (2 \leq k \leq n)$$

若原水文序列满足该方法要求的随机独立且同概率分布条件,则有:

均值

$$E(d_k) = k(k-1)/4$$

标准差

$$S(d_k) = \sqrt{k(k-1)(2k+5)/72}, (2 \leq k \leq n)$$

标准化 d_k 得

$$UF_k = (d_k - E(d_k))/S(d_k)$$

UF_k 为标准正态分布,若其值大于0则表示水文序列呈上升趋势,小于0则表明呈下降趋势。给定显著性水平 $\alpha = 0.05$,若 UF_k 大于 $|U_\alpha| = 1.96$ 则表明序列存在明显的变化趋势。

2 赣江尾间水情变化趋势分析

2.1 特征流量变化趋势

2.1.1 总体变化趋势

本文对外洲站的年、月流量特征值(均值、最大、最小)系列进行了 M-K 检验,结果见表1。由表1可知,外洲站年最大流量 M-K 统计量 UF 值为负,表明实测年最大流量呈下降趋势,而检验值绝对值小于 $\alpha = 0.05$ 的临界值 1.96,未出现显著的下降趋势;外洲站年平均流量 M-K 统计量 UF 值为正,且未突破 $\alpha = 0.05$ 的临界值 1.96,表明未出现显著的增加趋势;外洲站年最小流量 M-K 统计量 UF 值为 3.64,大于 1.96,突破了 $\alpha = 0.05$ 的临界值,呈显著的上升趋势。

外洲站各月流量特征值总体以上升趋势为主,在 36 个流量特征值(均值、最大、最小)中,表现为上升趋势的占 81%,表现为显著上升趋势的占 36%。各月平均流量检验结果中,1月、8月、9月、12月均突破了 $\alpha = 0.05$ 的临界值 1.96,呈显著上升趋势;各月最大流量检

表1 外洲站特征流量系列 M-K 值统计成果

站名	特征值	年值(UF)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
外洲	均值	0.96	2.39	0.54	0.65	0.05	-1.14	-0.43	1.43	2.47	2.81	0.66	1.21	2.20
	最大	-1.08	2.16	0.44	0.32	-0.07	-0.63	-0.22	1.05	1.50	1.37	-0.23	0.70	1.81
	最小	3.64	2.53	2.11	1.63	2.26	-0.36	1.16	2.75	2.78	3.17	2.16	1.38	2.02

验结果中,1月呈显著上升趋势;各月最小流量检验结果中,1~2月、4月、7~10月、12月表现为显著上升趋势;其余各月流量特征值尚未出现显著变化。

2.1.2 不同年代变化趋势

(1) 滑动平均法

图 2 分别为外洲站 1956~2014 年实测年均、年最大和年最小流量变化图。从图中可以看出,外洲站年均流量总体变化趋势不明显,年最大流量略有下降趋势,而年最小流量总体呈增加趋势。20 世纪 50 年代以来,赣江流域内兴建了大量水利工程(目前已建成的大型水利工程有 14 座,中型水库 106 座),在这些工程的调节作用下,赣江尾间汛期洪峰略有减小,而枯水期的流量有所增加。

外洲站年均流量从 1956~1991 年间略有起伏,1992~2002 年有较明显的上升趋势,2002 年后有所下降;年最大流量在 20 世纪 90 年代以前表现为下降趋势,20 世纪 90 年代有所回升,2002 年后又略有下降;年

最小流量则表现出较明显的上升趋势,在 20 世纪 80 年代有所下降,20 世纪 80 年代后总体表现为上升趋势。

(2) M-K 非参数检验法

从外洲站流量特征值 M-K 检验过程线来看(见图 3),1956~1967 年间,外洲站年均、年最大、年最小流量变化趋势较一致。1956~1962 年均表现为上升周期,其中,年均流量和年最小流量表现为显著上升。1962~1967 年均表现为下降周期。1968~1991 年间,三种流量特征值的变化趋势则呈现出不同规律,年均流量略有起伏,变化趋势不显著;年最大流量呈下降趋势,但不显著;而年最小流量呈上升趋势,且突破了 $\alpha = 0.05$ 的临界值,表现为显著上升。1992~2002 年间,年均流量和年最小流量均表现为上升趋势,且均突破了 $\alpha = 0.05$ 的临界值,呈显著上升趋势,年最大流量在 1992~1998 年间为上升趋势,1998 年后转为下降趋势。2002 年以后,年均流量呈弱上升趋势,年最大流量呈弱下降趋势,而年最小流量总体上呈显著上升趋势。

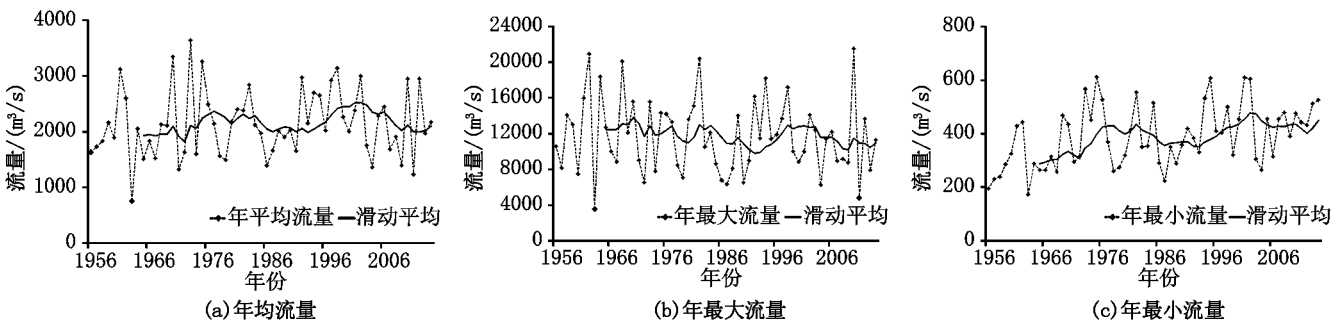


图 2 外洲站流量变化图

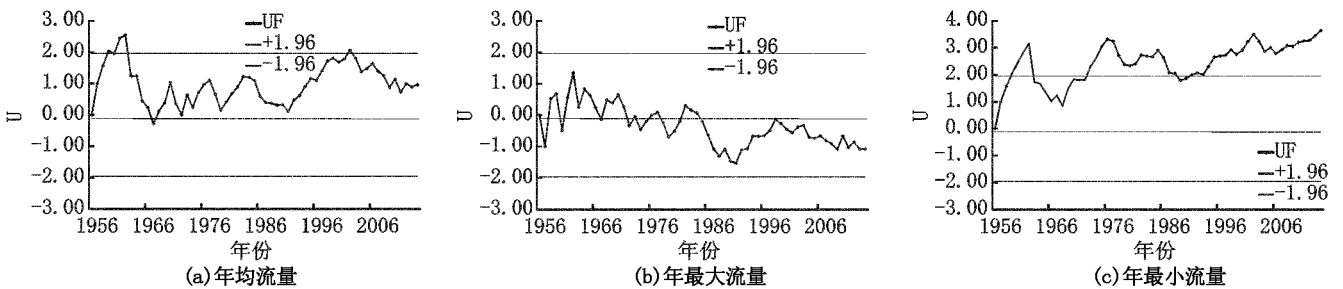


图 3 外洲站流量特征值 M-K 检验过程线

2.2 特征水位变化趋势

2.2.1 总体变化趋势

赣江尾间主要测站年、月特征水位 M-K 检验结果见表 2。由表 2 可知,各站年均水位 M-K 统计量 UF 值均为负,表现为下降趋势,其中,外洲站、滁槎站突破

了 $\alpha = 0.05$ 的临界值 1.96,呈显著下降趋势;年最高水位检验结果中,外洲站、滁槎站检验值为负,其中,外洲站呈显著下降趋势,吴城(一)站呈弱上升趋势;年最低水位各站检验结果均为负,均呈下降趋势,其中,外洲站和滁槎站呈显著下降趋势。

表2 赣江尾间主要测站特征水位系列 M-K 值统计成果

站名	特征值年值(UF)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
外洲	均值	-3.25	-3.88	-3.85	-3.86	-3.08	-4.37	-3.49	-0.52	-0.11	-1.04	-4.00	-4.79	-4.54
	最高	-2.81	-3.12	-3.03	-3.32	-2.98	-3.41	-2.54	-0.70	-0.53	-0.91	-3.42	-3.64	-3.72
	最低	-6.09	-4.52	-4.32	-4.07	-3.01	-4.30	-3.56	-0.86	-0.50	-2.53	-4.68	-4.95	-5.28
滁槎	均值	-1.96	-3.90	-3.41	-2.61	-1.59	-1.99	-1.31	0.49	1.05	-0.10	-3.42	-4.03	-4.18
	最高	-0.10	-2.43	-2.16	-1.84	-0.77	-0.86	-0.09	0.92	0.95	0.22	-1.98	-2.71	-2.32
	最低	-6.31	-4.69	-4.61	-3.54	-2.26	-3.01	-2.23	-0.01	0.33	-1.46	-4.23	-4.68	-5.13
吴城(一)	均值	-0.40	0.49	-0.97	-0.10	-0.97	-1.97	-0.40	0.48	1.03	-0.01	-2.33	-1.20	-0.07
	最高	0.50	1.17	-0.84	-0.27	-1.00	-1.50	-0.23	0.66	1.29	0.12	-0.91	-1.24	0.65
	最低	-0.74	0.16	-0.11	-0.70	-0.41	-1.62	-0.50	0.52	0.57	-0.56	-2.98	-1.43	-0.82

各月特征水位总体呈下降趋势,在各站各月共 108 个特征值检验结果中,呈下降趋势的有 91 个,占 84%,呈显著下降趋势的有 52 个,占 48%。外洲站各月水位特征值均呈下降趋势,其中呈显著下降趋势的占 78%,仅 7~9 月水位均值、最高值及 7~8 月最低值呈弱下降趋势,其余月份均呈显著下降趋势;滁槎站各月水位特征值中,7~8 月水位均值、7~9 月最高值、8 月最低值呈弱上升趋势,4 月、6 月、9 月水位均值、3~6 月水位最高值、7 月、9 月水位最低值呈弱下降趋势,其余月份呈显著下降趋势,显著下降占比 58%;吴城(一)站各月特征值变化趋势有增有减,且大多未出现明显变化趋势,仅 5 月、10 月水位均值、10 月水位最低值呈显著下降趋势,占 8%,其余月份水位特征值变化趋势不明显。对比可知,吴城(一)站水位下降趋势明显弱于滁槎站和外洲站,而滁槎站水位下降趋势又略弱于外洲站。综合以上,赣江尾间河段水位总体上已出现了明显下降趋势,且河道上游段水位下降趋势要比下游段明显。

2.2.2 不同年代的变化趋势

(1) 滑动平均法

选取赣江干流外洲站为代表站,采用滑动平均法分析不同年代的变化趋势,结果见图 4。1956~2002 年,外洲站年均水位略有起伏,水位在 16 m(黄海高程,下同)左右,2002 年以后,水位明显下降,至 2014 年,水位下降至 13 m 左右,降幅约 3 m;年最高水位变化趋势与年均水位类似,2002 年以前没有明显变化,2002 年后也出现了显著下降,由 21 m 左右下降至 18.5 m 左右;年最低水位的变化趋势较明显,2002 年以前维持在 14 m 左右,2002 年后急剧下降,至 2014 年降低至 9.5 m 附近,降幅约 4.5 m;2002 年后,赣江尾间河段水位出现明显

下降,其中年均水位和年最低水位下降尤为明显。

(2) M-K 非参数检验法

从外洲站、滁槎站、吴城(一)站水位特征值 M-K 检验过程线(见图 5)来看,各站年均水位总体变化趋势基本一致,总体上外洲站、滁槎站呈显著下降趋势,而吴城(一)站为弱下降趋势。在 1973 年以前,年均水位没有明显变化,1973 年以后,各站年均水位出现了上升趋势,至 1998 年,滁槎站、吴城(一)站年均水位 M-K 统计量 UF 值突破了 $\alpha=0.05$ 的临界值,总体表现为显著上升趋势,而外洲站未突破临界值,呈弱上升趋势。1998 年以后各站年均水位均出现下降。

各站年最高水位变化趋势略有差异,滁槎站、吴城(一)站变化趋势较一致,总体上变化趋势不明显,1956~1998 年间,表现为显著的上升趋势,且吴城(一)站在 1977 年和 1986 年突破过 $\alpha=0.05$ 的临界值,上升趋势较明显,1998 年后,滁槎站、吴城(一)水位持续下降,但未突破 $\alpha=0.05$ 的临界值。外洲站年最高水位总体上呈显著下降趋势,在 1956~1998 年间,变化趋势不明显,1998 年以后,年最高水位持续下降。

各站年最低水位 M-K 检验过程线中,外洲站和滁槎站走势较一致,总体上呈显著下降趋势,且经历了多个上升周期和下降周期,其中,1956~1962 年、1972~1977 年为上升周期,1963~1968 年、1985~2014 年为下降周期,但外洲站和滁槎站在 1980~1985 年间变化趋势略有不同,外洲站呈上升态势,而滁槎站为下降态势,总体上,外洲站和滁槎站表现为显著下降趋势。吴城(一)站最低水位总体上呈弱下降趋势,在 1960 年后就呈现出显著上升趋势,1960~2000 年上升趋势不断增强,2000 年后水位持续降低。

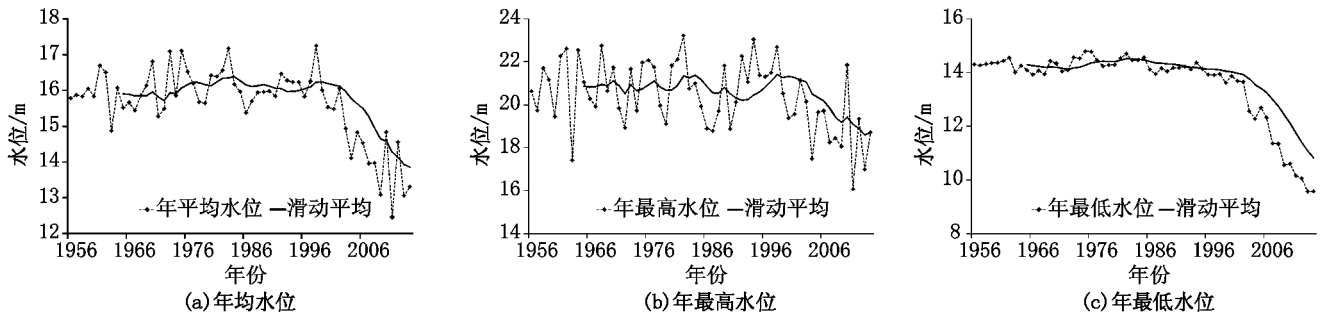


图 4 外洲站水位变化图

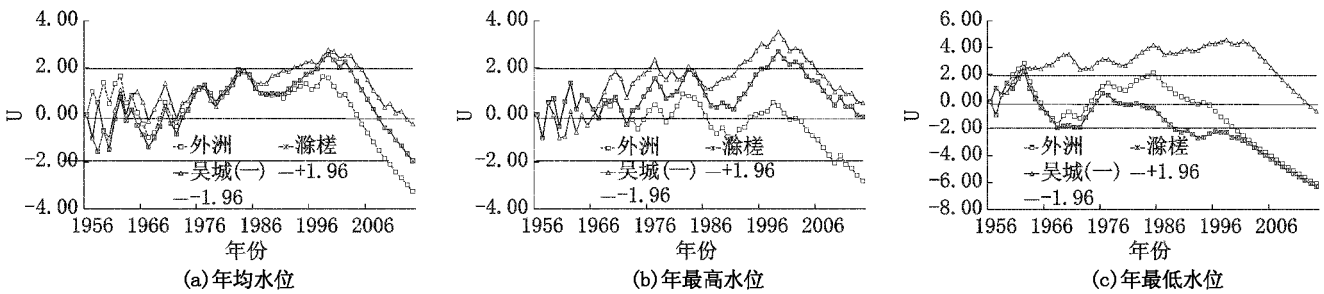


图 5 各水位站水位特征值 M-K 检验过程线

3 水情变化影响因素分析

赣江尾间河段流量特征值总体有上升趋势,水位特征值有明显下降趋势,流量特征值的变化趋势对赣江尾间地区的生产、生活尚未造成明显不利影响,而水位特征值的显著变化趋势却给尾间地区生活供水、农业灌溉、航运及水景观等方面构成了诸多不利影响。因此,探索赣江尾间河段水位显著变化的原因,对于寻求科学有效应对措施具有一定支撑作用。本文从河床变形、上游来水及湖区水位变化三个方面进行初步分析。

3.1 河床变形影响

3.1.1 断面变化

以外洲站大断面为例,分析赣江尾间河道断面变化情况。由图 6 可知,自 1990 年以来,外洲站实测大断面深泓不断刷深,主槽不断扩宽,1990 年深泓点高程约 9 m,主槽宽约 600 m,至 2014 年,深泓点高程降至 3 m 左右,滩地大幅减少,主槽扩宽至 1 000 m 左右。由图 7 可知,因河道断面刷深扩宽,断面面积随之增加,1990 年 20 m 高程下面积为 7 860 m²,2014 年同等高程下面积为 18 154 m²,增幅 131%。河道在刷深扩宽的变化过程中,增大了过水面积,降低了河道水位。

3.1.2 深泓线变化

图 8(a)~(d)分别为赣江干流及主支、赣江中支、

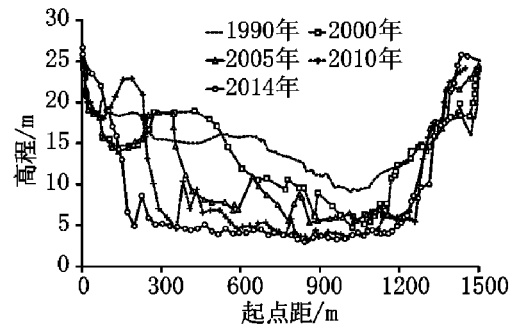


图 6 外洲站断面对比图

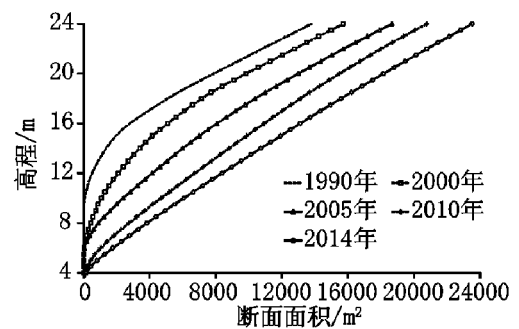


图 7 外洲站断面面积对比图

赣江南支、赣江北支深泓线对比图。由图可知,赣江干流及主支全河段都出现了下切,下切幅度为 0.23 ~ 15 m,平均下切约 6.4 m;赣江中支中上游段下切较大,最大下切深度 16 m,中下游段河床基本没有变化;赣江

南支全河段出现下切,降幅 0.7 ~ 18.00 m,平均降幅 8.0 m,中上游段下切幅度大于下游段;赣江北支变化相对最小,仅在下游出口河段有所下降,其它河段没有

太大变化。赣江干流及主支、赣江南支的刷深变化,导致河道水位有所下降,深泓线的变化对枯水位影响较为明显。

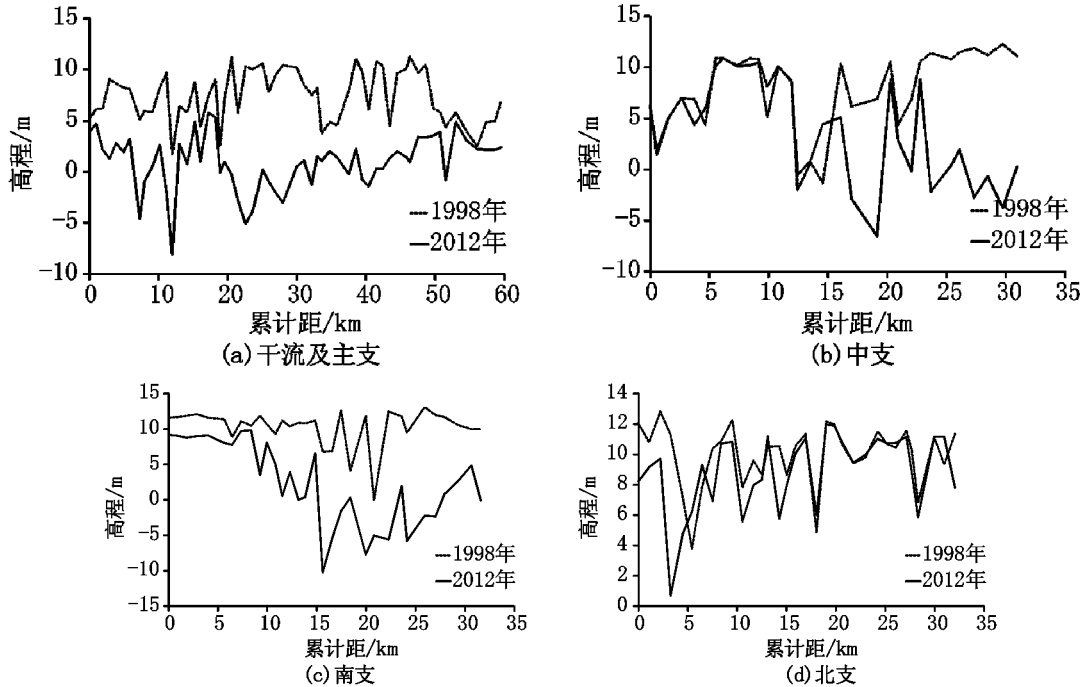


图8 深泓线对比图

3.1.3 河道容积变化

根据 1998 年和 2012 年实测断面数据,绘制了赣江尾间河道容积曲线(见图 9)。从图 9 可知,2012 年河道容积比 1998 年有明显增加,20 m 高程下河道容积由 7.5 亿 m^3 增加至 10.5 亿 m^3 ,增加 40%;15 m 高程下河道容积由 2.4 亿 m^3 增加至 5.4 亿 m^3 ,增加 125%;10 m 高程下河道容积由 0.3 亿 m^3 增加至 2.4 亿 m^3 ,增加 7 000%。1998 ~ 2012 年,赣江尾间河道容积大幅增加,河道容积增加扩大了水流通道的,增强了河道槽蓄能力,降低了河道水位。说明赣江尾间水位变化规律与赣江尾间河道间存在较强的因果关系。

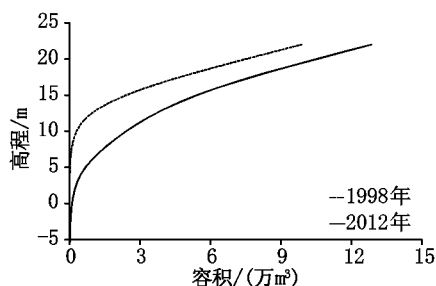


图9 赣江尾间河道容积对比图

3.2 上游来水影响

赣江下游控制站外洲站流量特征值变化趋势研究表明,外洲站以上流域来水量变化总体以增加趋势为主,尤其是枯水期流量呈显著增加趋势,而汛期在流域内众多水利工程调节作用下,最大流量有所下降,但变化趋势不显著。在不考虑河床变形等其他因素情况下,来水量增加将促使河道水位上升,来水量下降将促使河道水位下降,而实际河道水位却出现了明显下降趋势,说明外洲站上游来水不是造成是赣江尾间地区水位下降的直接原因。

3.3 鄱阳湖湖区水位影响

赣江尾间河道与鄱阳湖存在天然的水力联系,湖区水位高低变化会对尾间河道造成一定影响。从外洲站、滁槎站、吴城(一)站水位特征值 M-K 检验过程线来看,2000 年后,各站在水位变化趋势上存在一致,均有持续性的下降趋势,但从总体变化的显著性上又有所差别,从各月水位特征值变化显著性来看,吴城(一)站仅有 8% 的水位特征值出现了显著性下降,而滁槎站有 58%,外洲站则有 78%。由此可知,鄱阳湖区水位下降变化趋势是造成赣江尾间水位下降的原因之一。

4 结 论

(1)赣江下游控制站外洲站特征流量总体以上升趋势为主,尤其是年、月最小流量总体呈显著上升趋势,而年最大流量总体呈不显著的下降趋势。外洲站特征流量的变化趋势与赣江流域内兴建的众多水利工程的调节作用有关。

(2)赣江尾间地区水位总体上出现了明显下降趋势,尤其是年、月平均水位和最低水位总体表现为显著的下降趋势,从不同河段的代表站来看,河道上游段水位下降趋势要比下游段显著,至入湖处水位下降趋势的显著性明显降低。

(3)从不同年代河道大断面、深泓线及河道容积比较来看,近年赣江尾间河道出现了较明显的下切。外洲站实测大断面深泓线不断刷深,主槽不断扩宽,滩地大幅减少,断面面积大幅增加。赣江干流及主支、南支、中支上游段深泓线下切明显。从1998~2012年,赣江尾间河道容积大幅增加,说明赣江尾间水位变化规律与其河道间存在较强的因果关系。

(4)赣江尾间地区水位出现下降趋势与赣江尾间河床变形及湖区水位下降有关,与上游来水量变化无关。河床变形是造成赣江尾间水位下降的主因,其次鄱阳湖湖区水位下降也会导致赣江尾间水位下降。

参考文献:

- [1] 陈珺,嵇敏,林江,等. 赣江尾间河段水沙特性及河床演变[J]. 水利水电科技进展,2012,32(3):1~5.
- [2] 陈界仁,刘涵心,吕婷婷. 赣江尾间河道枯水位变化与成因分析[J]. 水电能源科学,2016,34(10):28~31.
- [3] 刘琦俊,刘小东. 赣江南昌河段枯水位变化规律探讨[J]. 江西水利科技,2010,36(1):51~55.
- [4] 黄燕平,罗蔚. 赣江径流特征及其变化趋势分析[J]. 人民长江,2012,43(15):27~31.
- [5] 罗蔚,张翔,邹大胜,等. 鄱阳湖流域抚河径流特征及变化趋势分析[J]. 水文,2012,32(3):75~82.
- [6] 罗蔚,张翔,邓志民,等. 1956~2008年鄱阳湖流域水沙输移趋势及成因分析[J]. 水科学进展,2014,25(5):658~667.
- [7] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京:气象出版社,2007.

编辑:张绍付

Analysis of water regimen variation trend and cause for Ganjiang River tail channel

LIU Qijun, CHEN Long

(Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Designing Research Institute, Nanchang 330029, China)

Abstract: This paper characterizes the temporal evident in characteristic flow and water level from selected hydrological stations in the Ganjiang river tail channel over the period 1956–2014. The Mann–Kendall test and moving average method were used to analyze for trend, interannual variability was characterized. The main causes of the observed patterns in water level were investigated among the variables catchment riverbed deformation, upstream runoff change and Poyang Lake water level changes. The results indicate that the characteristic flow of the Ganjiang river tail channel mainly appeared a upward trend, especially in the year and month minimum flow mainly appeared a significant upward trend. The characteristic flow of the Ganjiang river tail channel mainly appeared a downward trend, especially in the year, month average and lowest water level mainly appeared a significant downward trend, upstream segment decreased significantly than the downstream segment. In recent years, the Ganjiang tail river channel appeared obvious undercutting, river volume increased significantly. The river bottom line appeared sharply cut in the main stream, the main branch, the south branch, upper reaches of the middle branch. The main reason for the water level decline is the river bed cut, followed by the Poyang Lake water level decline.

Key words: Ganjiang river tail channel; Water level; Mann–Kendall test; Tendency analysis; Cause analysis

翻译:刘琦俊