

# 赣江尾闾河段水沙特性及河床演变

陈<sup>1 2</sup> 嵇敏<sup>1</sup> 林江<sup>3</sup> 陈界仁<sup>1 2</sup>

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098 ; 2. 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 ;  
3. 重庆交通大学西南水运工程科学研究所, 重庆 400016)

**摘要** :为了解赣江尾闾河段的水沙特性与河床演变规律, 通过对该河段水文、泥沙和地形演变资料的整理与分析, 探讨了该河段的径流、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。结果表明, 近年来, 赣江尾闾河段输沙量明显减小, 河段分流比呈西河增大、东河减小的趋势, 全河段演变以冲刷为主, 且河道上段的冲刷量远大于中下游河段; 东、西河纵横向稳定系数呈上游往下游递减趋势; 万安水库的运用、河道采砂、鄱阳湖水位的降低是赣江尾闾河段冲刷的主要因素; 万安水库运用时间的增长及河道采砂管理的规范化, 将有利于赣江尾闾河段的稳定发展。

**关键词** :尾闾河段; 水沙特性; 河床演变; 赣江

**中图分类号** :TV133      **文献标志码** :A      **文章编号** :1006-7647(2012)03-0001-05

**Runoff-sediment characteristics and riverbed evolution of Ganjiang River sink**//CHEN Jun<sup>1 2</sup>, JI Min<sup>1</sup>, LIN Jiang<sup>3</sup>, CHEN Jie-ren<sup>1 2</sup> (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ; 3. Institute of Southwest Port and Waterway Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China )

**Abstract** :Due to the complexity of the water system in the Ganjiang River sink, the present study aims to deepen the understanding of the runoff-sediment characteristics and riverbed evolution of the river reach. Based on collection and analysis of measured data on hydrology, sediment, and topographical evolution, the runoff, sediment transport, runoff-sediment relation, split ratio, erosion-deposition variation, riverbed stability, influencing factors, and tendency of evolution are discussed in the paper. The results show that :the sediment discharge of the Ganjiang River sink has decreased substantially in the recent years ;the split ratio of the west branch is increasing while that of the east branch is decreasing ;the erosion is dominant in the riverbed evolution of the river reach, and the erosion amount of the upper reach is much larger than that of the middle and lower reaches ;the longitudinal and transverse stable coefficients decrease from the upper reach to the lower reach ;the main causes for the erosion of the Ganjiang River are the operation of the Wan'an Reservoir, sand mining, and the water-level decline of the Poyang Lake ;and the growth in the operating time of the Wan'an Reservoir and the standardized management in the sand mining will be beneficial to the steady evolution of the Ganjiang River sink.

**Key words** :river sink ; runoff-sediment characteristic ; riverbed evolution ; Ganjiang River

赣江为鄱阳湖水系第一大河, 长江八大支流之一, 它发源于闽赣交界的武夷山区, 自南向北流经赣州、万安、吉安、樟树等 47 个县市至南昌市分四汊注入鄱阳湖, 主河道长 823 km, 流域面积为 8.28 万 km<sup>2</sup>。赣江自南昌以下进入尾闾地区, 其干流在南昌市裘家洲、扬子洲首分东西两河, 东河于礁矶头分汊为中支、东支, 中支经南新、大口湖在朱巷入湖, 河长 43 km, 东支是东河主流, 经叶楼、滁槎, 在三江口同

抚河、信江西支交汇后入湖, 河长 56 km。西河在樵舍分汊为北支和西支, 北支干流经蒋埠在朱巷同中支汇合, 长 28 km, 仅在中洪水分流, 枯水过流少; 西支经樵舍、昌邑于吴城入鄱阳湖, 是赣江入湖进长江的主要通道。赣江尾闾河段水系见图 1。

入湖河流尾闾段受河道水沙运动、湖区三角洲沉积及人类活动等影响, 河道演变比一般冲积河流更加复杂, 然而目前有关入湖河流尾闾段的研究成

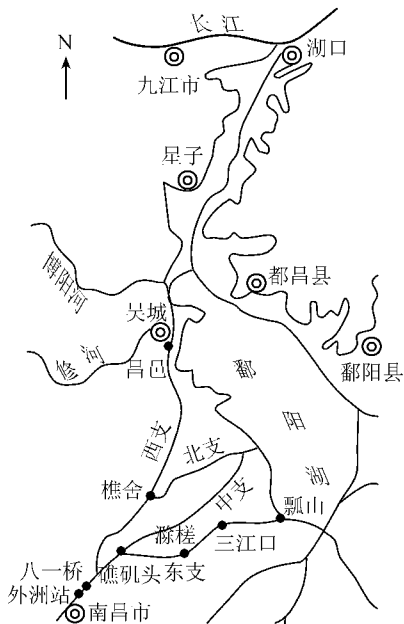


图1 赣江尾闾河段水系

果相对较少。资水是洞庭湖的四大入湖河流之一，黄诚良<sup>[1]</sup>分析了资水尾闾河段各支分流、泥沙特性与河湖水情交换情况，汪翔<sup>[2]</sup>研究了大、中型涉河建筑物对资水尾闾河段输沙量的影响，段成鹏等<sup>[3]</sup>开展了资水尾闾河段险滩整治技术的研究。类似于资水，赣江是鄱阳湖水系的主要入湖河流，肖洋等<sup>[4]</sup>研究了南昌河段东西河分流比规律及鱼嘴、丁坝等整治建筑物对稳定河道河势、拓宽航道等级的作用等。由于赣江尾闾河段水沙资料较少，演变较为复杂，目前对于该河段的水沙特性及河床演变还未有相关报道。近年来，赣江尾闾河段严重盗采河沙的现象又给河道稳定、航道安全带来了隐患<sup>[5-6]</sup>。因此，开展赣江尾闾河段水沙特性及河床演变研究对于河道的治理具有重要的理论价值及工程应用价值。

## 1 水沙特性

外洲水文站（以下简称外洲站）位于赣江南昌大桥上游3 km处，是赣江流域入鄱阳湖前的最后一个水文控制站，位置见图1，选择该站的水文资料开展赣江尾闾河段水沙特性分析。

### 1.1 径流

赣江流域径流主要由降雨补给，根据外洲站1957—2008年实测流量资料统计：多年平均径流量为678.5亿m<sup>3</sup>，年际变差系数为0.273，径流年内分配受气候变化影响大，外洲站主汛期（4—7月）多年平均径流量为399.3亿m<sup>3</sup>，占年径流量的59.0%，11月至来年2月为枯水期，4个月的多年平均径流量为99.9亿m<sup>3</sup>，仅占年径流量的14.7%，径流量年内分配变差系数为34.3。

### 1.2 泥沙

赣江悬移质含沙量较小，属少沙河流。1966—2008年间，外洲站的多年平均含沙量为0.08 kg/m<sup>3</sup>，多年平均悬移质输沙量为799.7万t，年输沙量变差系数为45.46。悬移质输沙量年内分配与径流对应，但其不均匀程度超过径流，其中4—6月的输沙量占全年的65.6%，仅6月的输沙量就占全年的24.8%，近似等于8月至来年3月的输沙量之和，输沙量年内分配变差系数值达66.67。

### 1.3 水沙关系

1966—2008年间，外洲站年径流量与年输沙量变化过程（图2）显示：近年来外洲站的年径流量无明显变化，在多年平均径流量附近上下波动，而年输沙量自1990年以后呈明显的减小趋势。由外洲站月平均流量与月平均输沙率关系（图3）可知，月平均流量 $q$ 与月平均输沙率 $s$ 有形如 $\lg s = k(\lg q)^m$ 的关系，在1966—1990年、1990—2008年及1966—2008年3个系列中，3条趋势线的指数 $m$ 都为1.6751，但斜率 $k$ 分别为 $7 \times 10^{-7}$ 、 $5 \times 10^{-7}$ 及 $3 \times 10^{-7}$ ，表明1990年后外洲站输沙量在减少。

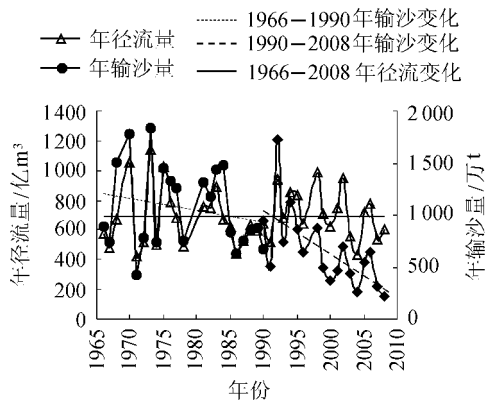


图2 外洲站年径流量与年输沙量变化过程

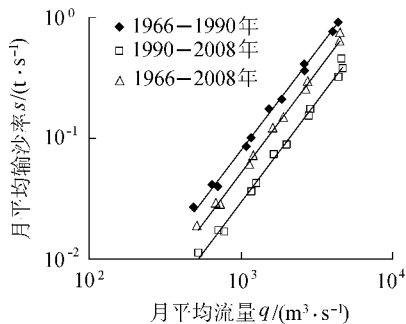


图3 外洲站月平均输沙率与月平均流量关系

### 1.4 分流比变化规律

赣江尾闾河段共有3处分汊，干流在南昌市裘家洲、扬子洲首分东西两河，东河于礁矶头分汊为中支、东支，西河在樵舍分汊为北支和西支，分流比是分流河道的重要特征，以下分析其变化规律。

1.4.1 东西河分流比

由东西河分流比与外洲站流量关系曲线(图4)可知,2000年以后,在中枯水流量条件下,东河分流比呈减小趋势,西河呈增大趋势<sup>[6]</sup>:

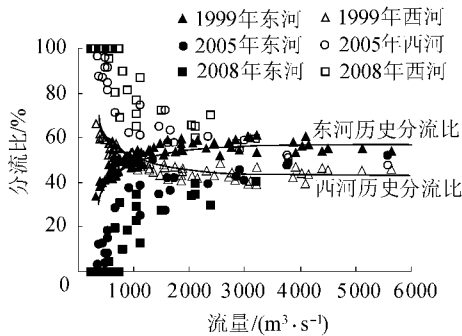


图4 东西河分流比与外洲站流量的关系

- a. 外洲站流量小于 500 m³/s 时,西河的分流比达到 90% 以上,东河有断流的趋势。
- b. 外洲站流量在 500 ~ 1 000 m³/s 时,西河的分流比在 70% ~ 90% 之间变化,东河小于 30%。
- c. 外洲站流量为 1 000 ~ 3 500 m³/s 时,西河的分流比在 55% ~ 70% 之间,东河在 30% ~ 45% 之间变化。
- d. 外洲站流量超过 3 500 m³/s 时,东西河分流比基本稳定,维持西河略强的局面。

1.4.2 东中支分流比

根据 2005 年实测的东中支分流比资料,点绘出东中支分流比与东河流量关系(图 5(a))。由图 5(a)可见,在实测范围内,当东河流量大于 800 m³/s 时,中支分流比稳定在 57%;当东河流量小于 800 m³/s 时,随流量的减少,中支分流比迅速增大,当东河流量小于 500 m³/s 时,中支分流比达 70% 以上。

1.4.3 西北支分流比

根据 2001 年实测的西北支分流比资料,点绘出西北支分流比与西河流量关系(图 5(b))。由图 5(b)可见,随着西河流量的增大,北支分流比逐渐增大:当西河流量从 500 m³/s 增大到 3 000 m³/s 时,北支分流比从 10% 增大为 37%;当西河流量大于 3 000 m³/s 时,北支分流比渐趋于 43%。

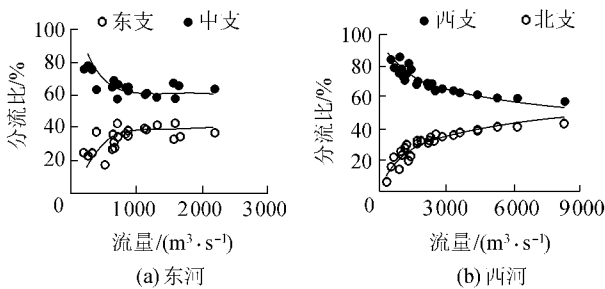


图5 分流比与东西河流量的关系

2 河床演变特性

2.1 东河河段演变特性

东支是东河的主流河道,中支实测资料较少,故以东支河段(南昌—瓢山)为主要研究对象。

2.1.1 东支河道宽深比变化

整治水位是控制整治建筑物头部高程的水位,东支河道的整治水位从上游到下游为 15.13 ~ 11.59 m (黄海基准面,下同),该水位下全河段在 1992 年、2003 年及 2006 年的河道特征值见表 1。由表 1 可知,1992—2006 年东支河段的上段河道特征变化明显,平均断面面积、平均水深明显增大,深泓高程降低,宽深比减小,河床向纵深发展幅度大;东支的中、下河段河道特征变化较小,但宽深比有变小趋势,全河段在 1992 年、2003 年及 2006 年的平均宽深比分别为 5.77、4.93、4.87,断面向窄深形态发展。

表 1 赣江东支(南昌—瓢山)河道特征值

| 河段 | 年份   | 平均断面面积/m² | 平均水深/m | 河相系数√B/H | 深泓平均高程/m |
|----|------|-----------|--------|----------|----------|
| 上段 | 1992 | 971.8     | 3.56   | 5.01     | 8.58     |
|    | 2003 | 1410.0    | 4.72   | 3.85     | 6.02     |
|    | 2006 | 2261.7    | 6.89   | 2.64     | 2.46     |
| 中段 | 1992 | 837.7     | 3.30   | 5.18     | 8.60     |
|    | 2003 | 986.2     | 3.71   | 4.68     | 8.08     |
|    | 2006 | 992.0     | 3.55   | 5.11     | 8.51     |
| 下段 | 1992 | 1746.4    | 4.14   | 5.21     | 5.65     |
|    | 2006 | 1979.7    | 4.58   | 4.73     | 5.62     |

注:上段为八一桥—滁槎,长 20.1 km;中段为滁槎—三汉口,长 30.1 km;下段为三汉口—瓢山,长 33.3 km。

2.1.2 东支河道冲淤分析

采用 1992 年、2003 年和 2006 年河床地形资料进行河道冲淤分析,河床冲淤量变化是河道自然冲淤和人为采砂的共同作用结果。整治水位下,1992 年、2003 年及 2006 年间上、中、下段的河段冲淤量和冲淤厚度见表 2。由表 2 可知,全河段 1992—2006 年为冲刷状态,总计冲刷量为 4 141.2 万 m³,其中上段最大,占总冲刷量的 70.5%;下段次之,占总冲刷量的 18%;中段最小。年均冲刷量,以上段 2003—2006 年的年均值最大,为 474.7 万 m³;中段 2003—2006 年最小,为 23.6 万 m³。即东支河道 1992—2006 年上段冲刷量最大,下段次之,中段最小。

表 2 赣江东支(南昌—瓢山)河道冲淤统计

| 河段 | 时 间         | 年冲刷量/万 m³ | 年冲刷厚度/m |
|----|-------------|-----------|---------|
| 上段 | 1992—2003 年 | 85.0      | 0.093   |
|    | 2003—2006 年 | 474.7     | 0.650   |
| 中段 | 1992—2003 年 | 32.0      | 0.033   |
|    | 2003—2006 年 | 23.6      | 0.030   |
| 下段 | 1992—2006 年 | 49.5      | 0.031   |

2.2 西河河段演变特性

西支是西河的主流河道,北支仅在中洪水分流,枯水过流少,实测资料少,故以西支河段(南昌—吴城)为主要研究对象。

2.2.1 西支河道宽深比变化

西支河道的整治水位从上游到下游为 14.54 ~ 10.64 m,2003 年、2005 年西支河道在该水位下的特征值见表 3。由表 3 可知,西支上段断面平均宽度 2005 年比 2003 年增大 3.8%,下段则减小 4.7%,全河段平均水深增加,河道深泓下切,宽深比变小,最大变幅达到 71%,断面变窄深。

表 3 赣江西支(南昌—吴城)河道特征值

| 河段 | 年份   | 平均断面面积/m <sup>2</sup> | 平均水深/m | 河相系数<br>$\sqrt{B}/H$ | 深泓平均高程/m |
|----|------|-----------------------|--------|----------------------|----------|
| 上段 | 2003 | 2050.6                | 4.09   | 5.80                 | 6.42     |
|    | 2005 | 2863.6                | 5.50   | 4.46                 | 4.30     |
| 下段 | 2003 | 1559.7                | 3.98   | 5.39                 | 3.99     |
|    | 2005 | 1714.8                | 4.59   | 4.56                 | 3.83     |

注:上段为八一桥—昌邑,长 44.4 km;下段为昌邑—吴城,长 47.9 km。

2.2.2 西支河道冲淤分析

采用 2003 年和 2005 年河床地形资料进行河道冲淤分析,河床冲淤量变化是河道自然冲淤和人为采砂的共同作用结果。整治水位下,统计分析 2003—2005 年间各断面间的冲淤量,得到各河段的冲淤特性(表 4)。2003—2005 年全河段除个别断面出现少量淤积外,其余均处于冲刷状态,总计冲刷量为 4891.8 万 m<sup>3</sup>,河床平均下切 1.50 m;从河道纵向看,上段(八一桥—昌邑)的冲刷量远大于下段(昌邑—吴城),下段的冲刷量只占上段的 0.9%。

表 4 赣江西支(南昌—吴城)河道冲淤统计

| 河段 | 时 间         | 年冲刷量/万 m <sup>3</sup> | 年冲刷厚度/m |
|----|-------------|-----------------------|---------|
| 上段 | 2003—2005 年 | 1616.4                | 0.590   |
| 下段 | 2003—2005 年 | 14.2                  | 0.017   |

2.3 河床稳定性分析

对冲积河流稳定性起决定作用的是纵向稳定性和横向稳定性。纵向稳定性可用希尔兹数的倒数,即爱因斯坦的水流强度函数 $\frac{(\rho_s - \rho)d}{\rho h J}$ 来表达,其中  $\rho_s$  为泥沙密度, $\rho$  为水的密度, $d$  为床沙粒径, $h$  为平滩水深, $J$  为纵向水流比降。因天然沙密度近似为常数,故纵向稳定系数可表示为  $\varphi'_h = \frac{d^{[7]}}{hJ}$ , $\varphi'_h$  越大,泥沙运动越弱,河床愈不易变形。横向稳定性常根据河床横向变形的结果来分析,谢鉴衡借用阿尔图宁提出的稳定河宽形式,提出横向稳定系数为  $\varphi_b = \frac{Q^{0.5[89]}}{BJ^{0.2}}$ , $\varphi_b$  越大,河岸越稳定。赣江尾间河段在

整治流量下,东支河道比降为 0.001 0% ~ 0.008 9%,床沙粒径为 0.27 ~ 0.41 mm,西支河道比降为 0.004 7% ~ 0.009 1%,床沙粒径为 0.31 ~ 0.49 mm,各河段的河床稳定特征值见表 5。由表 5 可知,赣江尾间河段纵向稳定系数均大于 1,且东西支上段稳定性系数大于中下段,河床纵向演变较为稳定,横向稳定系数东西支从上游往下游呈递减趋势,即越接近湖区,横向稳定性越弱,河岸越不稳定,越有利于分汊河道的形成,由于西支是赣江入鄱阳湖的主要航道,受航道维护工程影响,其横向稳定系数大于东支。

表 5 河床稳定特征值

| 河段 | 纵向稳定系数 $\varphi'_h$ |        |        |        | 横向稳定系数 $\varphi_b$ |        |        |        |
|----|---------------------|--------|--------|--------|--------------------|--------|--------|--------|
|    | 东支                  |        | 西支     |        | 东支                 |        | 西支     |        |
|    | 1992 年              | 2006 年 | 2003 年 | 2005 年 | 1992 年             | 2006 年 | 2003 年 | 2005 年 |
| 上段 | 4.43                | 5.95   | 2.66   | 2.33   | 0.42               | 0.49   | 0.57   | 0.54   |
| 中段 | 1.06                | 1.03   |        |        | 0.33               | 0.30   |        |        |
| 下段 | 1.98                | 1.23   | 1.21   | 1.00   | 0.25               | 0.23   | 0.56   | 0.63   |

3 河床演变影响因素及演变趋势分析

3.1 万安水库运用的影响

万安水库地处赣江中游,于 1990 年 8 月建成并关闸蓄水。水库运行后,下游河道的总径流量未发生大的变化(图 2),只是径流年际变幅减小<sup>[10]</sup>,但下游河道输沙量大幅减少<sup>[11]</sup>,其中 1966—1978 年外洲站年平均输沙量为 1 158.4 万 t,1981—1990 年为 1 003.0 万 t,而 1991—2000 年仅为 572.0 万 t,2001—2008 年减少到 314.9 万 t。含沙量较低的水流将一定程度地冲刷河床以提高水流含沙量。

3.2 河道采砂的影响

自 20 世纪 90 年代以来,赣江河道采砂量逐年增多,2000 年以后采砂现象更为严重:赣江南昌段 105 km 内有 10 个合法采砂区,年规划开采 360 万 t,盗采超过了 2 000 万 t<sup>[5]</sup>,而外洲站多年平均输沙量仅为 799.7 万 t,1999—2009 年采砂引起南昌市附近河段河床平均下切 2.97 m,外洲站在枯水流量(455 m<sup>3</sup>/s)下,水位相应降低了 3.02 m。东西河上段河床质是中、粗、砾砂,为优质建筑材料,被大量采挖,故河床变形大,其余河段受人为采砂影响较小。

3.3 鄱阳湖水位降低的影响

鄱阳湖属于过水性、季节型、吞吐性湖泊<sup>[12-13]</sup>,水位随季节变化显著,受长江和五河(赣江、抚河、信江、饶河、修河)水位的双重影响。吴城站 1957—2006 年 95% 保证率水位(图 6)显示:1980 年以来鄱阳湖水位呈年均 0.02 m 的下降趋势。湖区水位的降低受多方面因素影响,既有三峡蓄水作用<sup>[14]</sup>,更受长江及五河来流减少的影响,导致出现 2006 年的

特枯水情<sup>[15]</sup>。鄱阳湖水位降低在一定程度上影响了当地侵蚀基准面,增大了上游河道的水面比降和河道流速,加剧了河床冲刷。

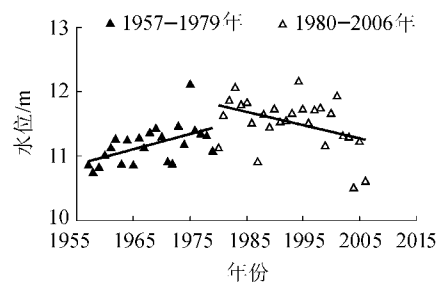


图6 吴城 1957—2006 年 95% 保证率水位

### 3.4 演变趋势分析

以上分析表明,近年来,受万安水库运行、河道采砂、鄱阳湖水位下降的影响,赣江尾间河段演变以冲刷为主,宽深比减小。随着万安水库运行时间的增长和下游河床抗冲层的形成,河床冲刷将减缓,赣江非法采砂活动在相关部门采取措施之后,采砂规模已得到控制,2007 年赣江中下游的出砂量由高峰期的每天 10 万 t 变为 5 万 t 左右,如若进一步控制河道非法采砂,河床下切将减缓。目前论证中的鄱阳湖建闸工程,可通过闸的调度,调节湖泊水位的变化,缩短鄱阳湖枯水的时间,利于湖泊及上游河道的稳定发展。

## 4 结 论

a. 位于赣江尾间河段进口的外洲站多年平均径流量为 678.5 亿  $m^3$ ,悬移质输沙量为 799.7 万 t,径流量和输沙量年际变化大,年内分配不均匀。赣江尾间河段的多条支汉中,近年来东西河分流比呈西河增大、东河减小的趋势;随着外洲站流量的增加,东支及北支的分流比也逐渐增大并接近于 43%。

b. 东支全河段(南昌—瓢山)1992—2006 年以冲刷为主,河道宽深比逐渐减小,整治水位下冲刷总量为 4 141.2 万  $m^3$ ,其中以上段(八一桥—滁槎)冲刷量最大,占总量的 70.5%,下段次之,中段最小。西河全河段(南昌—吴城)2003—2005 年河道深泓呈下切趋势,断面变窄深;整治水位下冲刷总量为 4 891.8 万  $m^3$ ,其中上段(八一桥—昌邑)冲刷量最大,其余河段冲刷量只占上段 0.9%。近年来,东西支的河床纵向稳定性较好,横向稳定性较弱,且从上游往下游呈递减趋势。

c. 河床演变影响因素及趋势分析表明:万安水库的运用引起下游河道输沙量减少,河床冲刷;人为大规模采砂导致东支八一桥—滁槎河段及西支八一桥—昌邑河段河床明显下切,水位下降,因三峡蓄水

及五河来流减少等影响,近些年鄱阳湖年均 0.02 m 的水位降幅增大了河道水面比降,加剧了河床冲刷;随着万安水库运用时间的增长,人为采砂管理的逐步规范,及论证中的鄱阳湖建闸工程的实施,都将利于赣江尾间河段的稳定发展。

### 参考文献:

- [1] 黄诚良.资水尾间区各支流分流关系分析[J].长江工程职业技术学院学报,2010,27(1):48-49.
- [2] 汪翔.资水流域泥沙特性分析[J].湖南水利水电,2000,42(6):23-25.
- [3] 段成鹏,闫金波,陈鑫.不同模型在险滩整治工程方案设计中的综合应用[J].中国农村水利水电,2007,49(1):101-104.
- [4] 肖洋,李碧天,唐洪武,等.赣江鸡心洲浅滩整治实验研究[J].水运工程,2004,13(12):90-94.
- [5] 张玲丽,谭政江,李昆.赣江中-下游河段采砂对河床的影响[J].水电与新能源,2010,18(5):63-65.
- [6] 陈界仁,张婧,罗春,等.赣江下游东西河分流比变化分析[J].人民长江,2010,41(6):40-47.
- [7] 钱宁.冲积河流河床稳定性指标的商榷[J].地理学报,1958,24(2):128-144.
- [8] 孙东坡,李国庆,朱太顺,等.治河及泥沙工程[M].河南:黄河水利出版社,1999:100-103.
- [9] 周宜林,唐洪武.冲积河流河床稳定性综合指标[J].长江科学院院报,2005,22(1):16-20.
- [10] 傅开道,黄河清,钟荣华,等.水库下游水沙变化与河床演变研究综述[J].地理学报,2011,66(9):1239-1250.
- [11] 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.
- [12] 姚仕明,卢金友.三峡水库蓄水运用前后坝下游水沙输移特性研究[J].水力发电学报,2011,30(3):117-123.
- [13] 闵騫.鄱阳湖水位变化规律的研究[J].湖泊科学,1995,7(3):281-288.
- [14] 姜加虎,黄群.三峡工程对鄱阳湖水位影响研究[J].自然资源学报,1997,12(3):219-224.
- [15] 赵修江,孙志禹,高勇.三峡水库运行对鄱阳湖水位和生态的影响[J].三峡论坛,2010,25(5):19-22.

(收稿日期:2011-11-09 编辑:熊水斌)

