

# 赣江水沙关系变化模拟

闵 聘<sup>1</sup>, 胡 军<sup>2</sup>

(1.江西省南昌市水文局,江西 南昌 330038;2.江西省卓泓水利建设有限公司,江西 南昌 330038)

**摘 要:** 利用赣江上游坝上、峡山、翰林桥、居龙滩水文站、中游峡江水文站和下游外洲水文站 1957~2010 年径流量与悬移质泥沙输沙量监测资料,分析赣江水沙关系特征和水沙关系的多年变化情况;通过经验模拟,探讨水沙关系变化的原因与发展趋势。结果表明,无论是上游(赣州)、中游峡江站,还是下游外洲站,年输沙量与年径流量相关点群均呈双层分布,分层时间(年份)节点有所不同。

**关键词:** 径流量;悬移质泥沙;水沙关系;变化规律;赣江

**中图分类号:** TV152 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-4701(2015)01-0016-05

水是生命之源、生产之要、生态之基。赣江是江西省最大的河流,是长江八大支流之一。赣江之水既事关江西的水资源和生产活动,也影响长江生态环境。

赣江流域面积 82 809 km<sup>2</sup>,占鄱阳湖流域面积的 51%,其中控制水文站(外洲水文站)以上流域面积 80 948 km<sup>2</sup>,占赣江流域总面积的 97.8%。赣江(指下游外洲水文站以上集水区域)多年平均年径流量 678.65×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,占鄱阳湖入湖年径流量的 47.1%。赣江(外洲水文站以上)多年平均年悬移质泥沙输沙量 860.88×10<sup>4</sup> t,占鄱阳湖入湖年悬移质泥沙总量的 52.3%。

由此可见,赣江水沙状况、水沙关系及其变化不仅对于赣江水资源利用与管理、水生态保护与水环境治理至关重要,对于鄱阳湖乃至长江水资源利用与管理、水生态保护与水环境治理也十分重要。

本文利用赣江流域峡山、翰林桥、居龙滩、坝上、峡江、外洲 6 个水文站 1957~2010 年实测水文资料,采用数据统计与模型分析相结合的办法,对赣江上游赣州断面(峡山、翰林桥、居龙滩、坝上 4 个水文站组合的虚拟断面)、中游峡江水文站断面和下游外洲水文站断面水沙关系及其变化进行研究,取得了一些新的成果。

## 1 分析方法

对于水沙关系的描述,最简单的方式是通过建立年输沙量与年径流量的经验关系,反映两者之间的互变现

象,称为单要素模型,其表达式为:

$$W_s = f(W_q) \quad (1)$$

式中:  $W_s$ ——年输沙量;

$W_q$ ——年径流量;

$f(W_q)$ ——由相关关系分析确定的函数。

但河道中的水沙均来自流域坡面,泥沙是坡面水流造成坡面土壤流失的结果。根据土壤侵蚀模型,得到土壤通用流失方程<sup>[1]</sup>:

$$W_{sed} = m \cdot E_f \cdot K \cdot C \cdot P \cdot L_s \cdot C_{FRC} \quad (2)$$

式中:  $W_{sed}$ ——年平均土壤流失量;

$m$ ——模型参数;

$E_f$ ——降雨径流侵蚀因子;

$K$ ——土壤侵蚀因子;

$C$ ——植被覆盖与耕作管理因子;

$P$ ——水土保持因子;

$L_s$ ——地形地貌因子;

$C_{FRC}$ ——粗细屑因子。

对于固定区域,可将  $m$ 、 $K$ 、 $C$ 、 $P$ 、 $L_s$  和  $C_{FRC}$  进行综合,用一个代表土壤特征及其管理措施的综合因子  $P_{FRC}$  进行替换,则式(2)变为:

$$W_{sed} = P_{FRC} \cdot E_f \quad (3)$$

在式(3)中,  $P_{FRC}$  可以作为一个参数,需要着重讨论的是降雨径流侵蚀因子  $E_f$  的计算方法。

在通用土壤流失方程中,  $E_f$  为降水动能函数,一般用径流因子代替降水动能,用式(4)表达  $E_f$ 。

$$E_l = n(W_q \cdot Q_m)^\beta \quad (4)$$

式中:  $n$ ——经验系数;

$Q_m$ ——年最大洪峰流量;

$\beta$ ——经验指数, 通常取  $\beta=0.56$ 。

合并式(3)和式(4)两式, 得到本文采用的水沙关系描述方程为:

$$W_s = \sigma(W_q \cdot Q_m)^\beta \quad (5)$$

式中:  $\sigma$ ——经验系数。

式(5)中的  $\sigma$  和  $\beta$  由  $W_s \sim W_q$  经验相关分析确定。

根据以上讨论, 本文用两种方式描述赣江流域水沙关系, 并用以分析水沙关系的变化:

(1) 年输沙量与年径流量相关关系, 即单要素模型。

(2) 基于土壤通用流失方程的年输沙量与年径流量和洪峰流量综合相关关系, 即双要素模型。

## 2 单要素模型分析及其结果

### 2.1 赣江上游

赣江上游年输沙量与年径流量呈幂函数关系(见图1), 且两者相关点据随着年代不同呈分层现象, 其中1959~1994年相关点在上层, 1995~2010年相关点在下层, 各层相关点据密集成带状, 表明相关关系密切, 不仅较好地反映了赣江上游水沙关系, 还清晰地反映了赣江上游水沙关系的变化。两个分层以1995年为界, 究其原因, 主要在于两个方面: 一是新建水库运行拦沙作用显著, 如赣江上游20世纪90年代前期兴建的大型水库龙潭水库和蔡坊、渔翁埠、仙人坡、罗边等中型水库都于1995年蓄水运行; 二是进入20世纪90年代后, 水土保持措施增强, 水土流失显著减少。近十几年来赣江上游年输沙量大幅减少, 是水库拦沙与水保减沙两方面功效、两者共同作用的结果。研究表明, 前者的作用远大于后者<sup>[2]</sup>。

通过数理统计法分析, 得到赣江上游不同时期年输沙量经验公式为:

(1) 1959~1994年

$$W_s = 0.8190 W_q^{1.1913} \quad (6)$$

(2) 1995~2010年

$$W_s = 0.1262 W_q^{1.4377} \quad (7)$$

式中  $W_s$ 、 $W_q$  的单位分别为  $10^4 \text{t}$  和  $10^8 \text{m}^3$ (下同)。

### 2.2 赣江中游

赣江中游峡江站年输沙量与年径流量相关点群呈双层分布(见图2), 1958~1990年的点在上层, 1991~2010年的点在下层, 表明自1991年起年输沙量显著

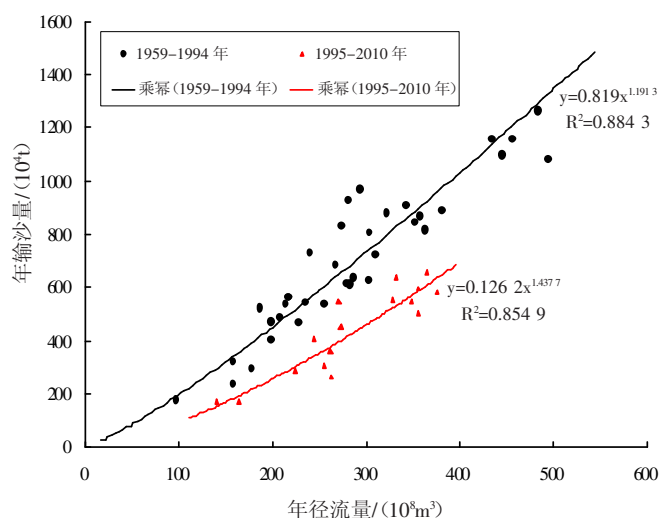


图1 赣江上游年输沙量与年径流量相关关系

减小。

经数理统计学分析, 得到赣江中游峡江站两个时期年输沙量经验公式为:

(1) 1958~1990年

$$W_s = 0.3155 W_q^{1.2932} \quad (8)$$

(2) 1991~2010年:

$$W_s = 0.0049 W_q^{1.7780} \quad (9)$$

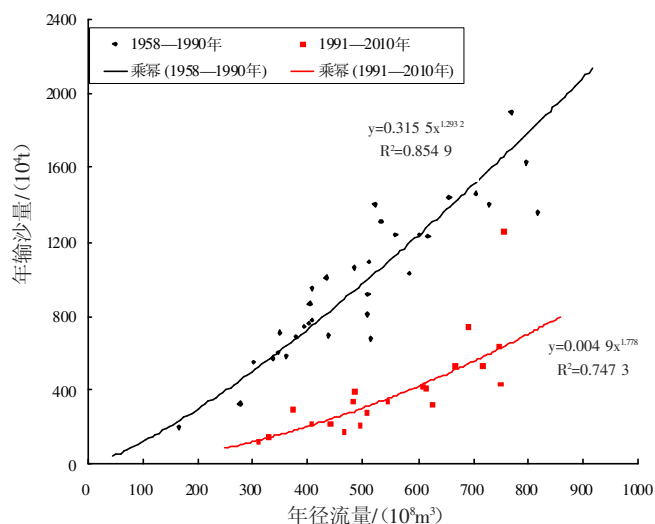


图2 赣江中游峡江站年输沙量与年径流量相关关系

有关研究表明, 万安水库拦沙作用较大<sup>[3,4]</sup>, 是造成赣江中下游悬移质泥沙大幅减小的主要原因。万安水库位于赣江中游上段, 于1990年建成, 1991年蓄水运行, 其总库容为  $22.14 \times 10^8 \text{m}^3$ , 调节库容为  $18.17 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

### 2.3 赣江下游

赣江下游外洲站年输沙量与年径流量相关点群分布与中游峡江站基本相同, 1957~1990年相关点与

1991~2010 年相关点分成上、下两层(见图 3)。

数理统计分析表明,赣江下游外洲站年输沙量与年径流量各层相关点群的相关趋势均较显著,得到的经验公式分别为:

(1)1957~1990 年

$$W_s = 0.187 0 W_q^{1.334 2} \quad (10)$$

(2)1991~2010 年:

$$W_s = 0.006 8 W_q^{1.679 2} \quad (11)$$

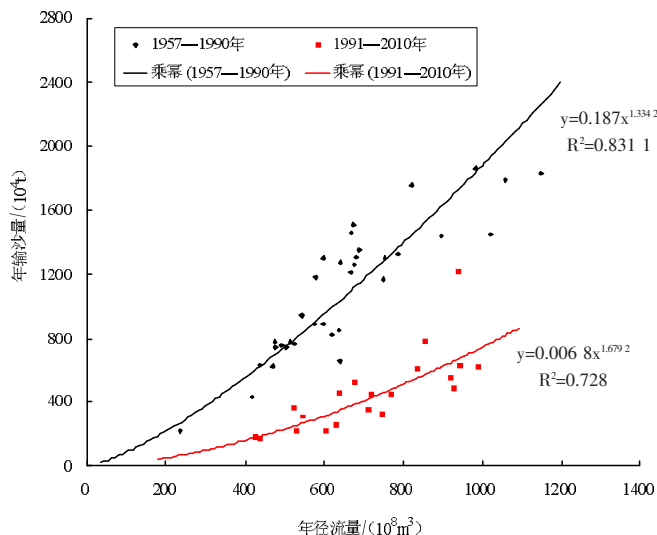


图3 赣江下游外洲站年输沙量与年径流量相关关系

由公式(10)、(11)可见,赣江下游外洲站水沙关系在 1991 年前、后发生了显著变化,相同年径流量对应的年输沙量大幅减小,表明在赣江流域,人类活动对水沙关系影响极大,究竟有利还是有害,利害关系将如何演变,有待进一步观察研究。

### 3 双要素模型分析及其结果

#### 3.1 赣江上游

赣江上游年输沙量与年径流量和洪峰流量乘积相关点据也呈分层现象(见图 4),也是 1959~1994 年在上层,1995~2010 年在下层,反映出自 1995 年后赣江上游年输沙量在相同年径流量和洪峰流量下显著减小的水沙关系变化特征。

赣江上游不同年段基于通用土壤流失方程的年输沙量经验公式为:

(1)1959~1994 年

$$W_s = 22.060(W_q \cdot Q_m)^{0.611 7} \quad (12)$$

(2)1995~2010 年

$$W_s = 3.3 107(W_q \cdot Q_m)^{0.858 9} \quad (13)$$

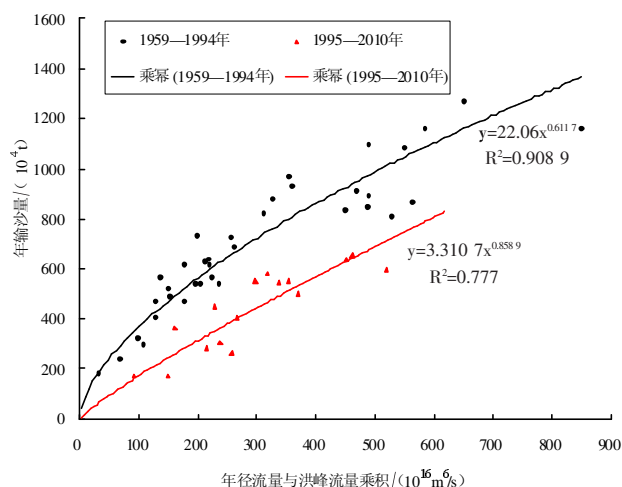


图4 赣江上游年输沙量与年径流量和洪峰流量乘积相关关系

式中: $Q_m$  的单位为  $10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ (下同)。

比较图 1 和图 4 可见,加入洪峰流量  $Q_m$  后,1959~1994 年段的  $R^2$ (相关指数的平方)值明显加大,表明对年输沙量的模拟效果更好;但 1995~2010 年段的  $R^2$  值有所减少,据分析与赣江上游水库群对洪峰流量的调节作用有关,在一定程度上掩盖了洪峰流量对降水动能的刻划功效。

#### 3.2 赣江中游

赣江中游峡江水文站年输沙量与年径流量和洪峰流量乘积的相关点群呈两层分布形式(见图 5),也是 1958~1990 年的点在上层,1991~2010 年的点在下层。经相关分析,得到不同年段 3 者的综合经验公式为:

(1)1958~1990 年

$$W_s = 21.406(W_q \cdot Q_m)^{0.610 2} \quad (14)$$

(2)1991~2010 年

$$W_s = 0.921 9(W_q \cdot Q_m)^{0.930 1} \quad (15)$$

比较图 5 和图 2 可知,加入洪峰流量  $Q_m$  后,1958~1990 年和 1991~2010 年两段的  $R^2$  值均明显加大,表明加进洪峰流量对于提高赣江中游峡江站年输沙量的模拟效果具有重要意义。

#### 3.3 赣江下游

赣江下游外洲站年输沙量与年径流量和洪峰流量乘积相关点群分布规律也与中游峡江站基本相同,1957~1990 年与 1991~2010 年相关点呈上、下两层分布格局(见图 6),且各层相关点呈曲线型带状分布,表明分层相关关系较为密切,可以得到较理想的经验公式,分别为:

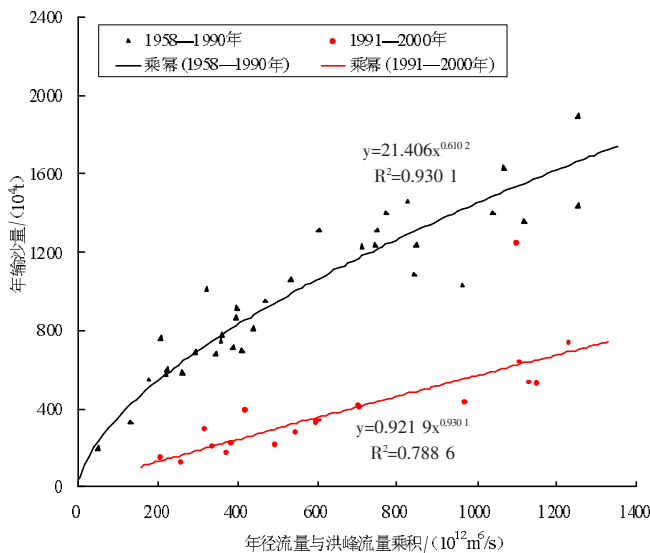


图5 赣江中游峡江站年输沙量  
与年径流量和洪峰流量乘积相关关系

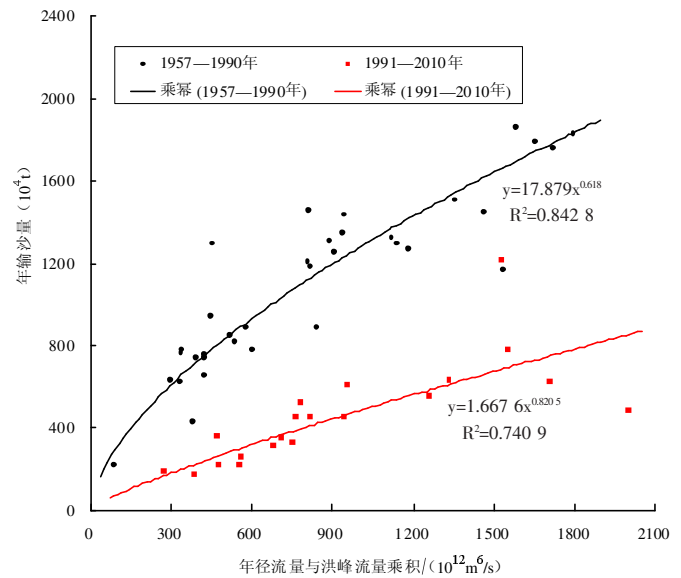


图6 赣江下游外洲站年输沙量  
与年径流量和洪峰流量乘积相关关系

(1) 1957~1990年

$$W_s = 17.879(W_q \cdot Q_m)^{0.6180} \quad (16)$$

(2) 1991~2010年

$$W_s = 1.6676(W_q \cdot Q_m)^{0.8205} \quad (17)$$

比较图6和图3可见,加入洪峰流量 $Q_m$ 后,1957~1990年和1991~2010年两段的 $R^2$ 值均明显加大,表明加进洪峰流量对于提高赣江下游外洲站年输沙量模拟效果意义重大。

## 4 结语

本文同时采用两种不同模型对赣江流域上、中、下游代表断面水沙关系及其变化进行分析,取得了一些过去未见报道的新成果,尤其是通用土壤流失方程的水沙关系模型,首次用于赣江流域,且应用效果令人满意,不仅有助于有关专业技术人员了解赣江流域水沙状况及其变化,同时对于赣江流域水资源分配和用水管理、赣江面源污染研究与控制也有重要参考价值<sup>[5]</sup>。

本文以径流量、输沙量、洪峰流量的年统计值为依据,分析赣江流域上、中、下游代表断面(赣州、峡江和外洲)水沙关系及其近50多年来的变化,能从宏观上反映赣江流域水沙关系的总体状况及其年际变化,但未能反映水沙关系季节差异及其多年变化情况,有必要继续收集相关资料,开展赣江流域水沙关系微观领域的分析,以弄清赣江流域水沙关系及其变化特征的全貌。

## 参考文献:

- [1] 薛联青,郝振纯,李丹.流域水环境生态系统模拟评价与治理[M].南京:东南大学出版社,2009:84-110.
- [2] 闵聃,时建国,闵聃.1956~2005年鄱阳湖入出湖悬移质泥沙特征及其变化分析[J].水文,2011,31(1):54-58.
- [3] 赖厚桂.万安水库运行5年来坝下河床变化及其影响[J].江西水利科技,1995,21(3):163-166.
- [4] 李明辉,周俐俐,詹寿根,胡苑成.万安水库泥沙淤积分析[J].江西水利科技,2011,37(3):191-194.
- [5] 闵聃,蒋思珩.南昌市水资源现状与可持续利用对策.服务发展方式转变,促进中部科学崛起—2010年促进中部崛起专家论坛文集[C].北京:中国科学技术出版社,2010:48-49.



## Simulation of the relationship variation between water and sediment of Ganjiang River

MIN Dan<sup>1</sup>, HU Jun<sup>2</sup>

(1.Nanchang Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Nanchang 330038, China;

2.Zhuohong Hydraulic Construction Limited Corporation of Jiangxi Province, Nanchang 330038, China)

**Abstract:** The characteristics of the relationship between water and sediment and the secular variation of the relationship between water and sediment are analyzed by making use of the monitoring data of the runoff and the suspended sediment discharge from 1957 to 2010 in Bashang, Xiashan, Hanlinqiao and Julongtan hydrologic station of the upstream of Ganjiang River, Xiajiang hydrological station of the middle reaches of Ganjiang River and Waizhou hydrological station of the downstream of Ganjiang River. The causes and development trend of water sediment relationship is explored based on the experience of simulation. The results show that both the upstream (Ganzhou station), the middle reaches (Xiajiang station) and the downstream (Waizhou station), the annual sediment yield is the layered distribution. The layered time (year) node is different.

**Key words:** Runoff; Suspended sediment; Relationship between water and sediment; Variation law; Ganjiang River

编辑: 张绍付

(上接第 15 页)

21 000 万 t, 区间总来沙量为 2 100 万 t, 区间多年平均来沙量 80.8 万 t/a。

(2) 由赣江上游四支流历年总来沙量及推算出的棉津站历年来沙量, 计算出建库前 1959~1993 年万安水库建库前总泥沙量 24 500 万 t。

(3) 建库后 1994~2011 年, 赣江上游四支入库总来沙量 8 040 万 t, 上游四支流至万安水库区间来沙量 900 万 t, 万安水库总来沙量 8 940 万 t。

(4) 建库 1994~2011 年万安水库出沙量 3 350 万 t, 因此粗略估算建库后万安水库总淤积量 5 590

万 t, 河道采沙等人类活动影响未统计。

(5) 赣州断面淤积情况有冲有淤, 无明显的冲淤变化规律; 大湖江断面淤积情况为有冲有淤, 总趋势以淤积为主, 建库后已淤高约 1.2 m。

### 参考文献:

- [1] 水利部水文局. 中华人民共和国水文年鉴长江流域水文资料[R]. 1959-2011.
- [2] SL247-1999 水文资料整编规范[S].
- [3] 万安水电站. 万安水库实测大断面监测资料[R]. 1988-2011.

## Analysis of sediment accumulation of Wanan Reservoir

CHEN Guang-ping, CHENG Ai-ping

(Ganzhou Municipal Hydrology Bureau of Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** Based on the sediment condition of the control station of main rivers in the upstream of Wanan Reservoir and the reservoir outlet station and compared the inlet sediment with the outlet sediment before the construction of this reservoir, the sediment accumulation condition after the construction of this reservoir is analyzed. Through studying the observed data of the typical section, the scour and silting condition of this section after and before the construction of this reservoir is analyzed in this paper.

**Key words:** Sediment accumulation; Analysis; Wanan Reservoir

编辑: 张绍付

欢迎投稿

欢迎订阅