

## 鄱阳湖湖口、外洲、梅港三站水沙变化及趋势分析(1955–2001年)\*

郭鹏<sup>1</sup>, 陈晓玲<sup>1,2</sup>, 刘影<sup>2</sup>

(1: 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

(2: 江西师范大学鄱阳湖生态环境与资源研究教育部重点实验室, 南昌 330027)

**摘要:**对鄱阳湖流域三个主要控制站湖口、外洲和梅港多年(1955–2001年)水沙数据进行了统计分析,利用滑动平均法, Spearman 秩次相关检验、线性回归检验方法对三个测站的水沙变化趋势进行了分析检验,结果表明,鄱阳湖泥沙出湖集中于长江大汛前的2–6月,在长江7–9月大汛期间,会出现长江泥沙倒灌鄱阳湖的情况。湖口站近期(1990–2001年)径流量和输沙量变幅都非常大,同上世纪80年代相比,年均径流量增加  $255.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 年均减少沙量  $0.29 \times 10^8 \text{ t}$ ; 外洲站近期的输沙量明显减少,沙量分别为70年代前、70年代、80年代的49.6%、48.7%和52.3%;梅港站径流量略微增加沙量无明显变化趋势。从入湖径流来看,赣江和信江占52.4%,入湖泥沙量占了76.0%以上。从赣江和信江水沙总体变化趋势来看,赣江径流量变化趋势不明显,而输沙量具有明显减少的趋势;信江径流量增加趋势明显,输沙量基本无明显趋势。鄱阳湖流域水沙变化主要受人类活动的影响。土地利用方式的改变和流域水利工程设施的修建极大地影响了流域水沙特征及其变化趋势。

**关键词:**鄱阳湖;水沙变化;趋势分析;相关检验

## Analysis on the runoff and sediment transportation in the Houkou, Waizhou and Meigang Stations of Lake Poyang during 1955–2001

GUO Peng<sup>1</sup>, CHEN Xiaoling<sup>1,2</sup> & LIU Ying<sup>2</sup>

(1: *State Key Lab. of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan Univ., Wuhan 430076, P. R. China*)

(2: *Key Lab. of Eco-environment and Resources of Poyang Lake of MOE, Jiangxi Normal Univ., Nanchang 330027, P. R. China*)

**Abstract:** The changing characteristics and tendency of runoff and sediment transport in the Poyang Lake seriously affected the sustainable development in the Lake Poyang area and the middle reach of the Yangtze River. This paper statistically analyses the runoff and sediment transport of 3 major stations in the Lake Poyang catchment. Compared with the annual runoff and sediment transport before 1990, there were some obviously changes of annual sediment transport in the term of 1990–2001. Through several non-parameter statistical methods such as the moving average, the Spearman order correlativity and the linear regression analysis, the paper concludes that during the last five decades (1955–2001), an increase of runoff at Hukou Station was noted while no obvious sediment transportation decrease was observed; as to the Waizhou Station, the sediment transportation was decreased; in Meigang Station, the increase of runoff was small whereas the sediment transportation changed little. The rainfall variation, water-soil erosion measures, reservoir built and the evolution of land use etc. could be the major factors that lead to such change. That the human activity have played a more important role, especially in the past decades.

**Keywords:** Lake Poyang; the changes of runoff and sediment; tendency analysis

鄱阳湖位于江西省北部,长江中下游南岸,是我国目前最大的淡水湖泊。它承纳赣江、抚河、信江、饶

\* “973”项目(2003CB415205)、江西师范大学鄱阳湖生态环境与资源研究教育部重点实验室开放基金项目(200401006(1))联合资助。2005–06–06 收稿;2005–11–18 收修改稿。郭鹏,男,1978年生;E-mail: guopeng@lmars.whu.edu.cn.

河、修河五大江河及博阳河、漳河、潼河之来水,经调蓄后由湖口注入长江,是一个过水性、吞吐型、季节性的湖泊.作为通江湖泊,鄱阳湖对上游来水来沙的调蓄发挥了重要的作用<sup>[1]</sup>.

鄱阳湖的水沙变化是流域多种自然因素和人为因素综合作用的结果.一方面,流域降水时空分布由于受大气环流影响所表现出较强的规律性和一定程度上的随机性;另一方面,流域的人为因素对流域的下垫面性质以及流域泥沙的输移条件等产生的影响较为复杂,不确定性也很大.水沙过程除了反映鲜明的区域性特征,还呈现出周期性、模糊性和随机性等特点,这就决定了在水沙过程的分析研究中,统计方法是有效、适宜的手段.在水文学科领域中,时间序列分析广泛应用于研究客体对象随时间的变化规律.张信宝等利用水沙双累积曲线分析了长江上游干流和支流河流泥沙的近期变化及其原因<sup>[2]</sup>.许全喜等利用滑动平均法等方法对长江上游近期的水沙变化特点及其趋势进行了统计分析,认为水沙变化是由降水量、水库蓄水拦沙、水土保持措施实施以及人类活动影响<sup>[3]</sup>.麻仁寿等利用双累积曲线对长江大通站的水沙数据进行了分析,得出了长江水沙变化的发展趋势<sup>[4]</sup>.鄱阳湖流域面积占长江流域面积的9%,影响到长江下游冬季水量的干枯和夏季洪峰的涨落,但目前对鄱阳湖水沙变化及其变化趋势仍没有进行系统的研究,因此本文以鄱阳湖通江控制测站湖口站、赣江外洲站和信江梅港站多年实测数据(数据源自长江水利委员会)为基础,对鄱阳湖水沙变化特点及变化趋势进行分析.

## 1 鄱阳湖流域水沙的基本特征

鄱阳湖地处东亚季风区,气候温和,雨量丰沛,属于亚热带温暖湿润气候.鄱阳湖流域径流由降水补给,湖区多年平均降雨量为1387-1795 mm,降水年际变化较大,最大年降水量和最小年降水量的比值在2.0-3.5之间,年降雨量变差系数 $C_v$ 在0.15-0.25之间,年内分配也很不均匀,降水主要集中在3-6月,约占全年降水量60%左右,入湖径流年内分配与降水分配一致,极度不均匀<sup>[5]</sup>.

### 1.1 水沙地区组成

鄱阳湖水系流域面积 $16.22 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,约占长江流域面积的9%.鄱阳湖入湖水沙主要来源于五河,从多年径流量和泥沙入湖量来看鄱阳湖入湖水沙都以赣江为首,分别占40.4%和62.8%;信江次之,分别占12.0%和13.2%.从三个水文站多年水沙统计(表1)可以看出,1991-2001年三个水文站的径流量都有所增加;湖口和外洲的输沙量大幅度减少;梅港输沙量变幅不是很大.

表1 湖口、外洲和梅港水文站水沙多年统计

Tab. 1 Statistic of runoff and sediment at Hukou, Waizhou and Meigang Stations

河名	站名	集水面积		多年平均径流量 ( $10^8 \text{ m}^3$ )	多年平均输沙量 ( $10^8 \text{ t}$ )	含沙量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	统计年份
		( $\text{km}^2$ )	占流域%				
鄱阳湖	湖口	162200	100	1379.0	1.03	0.71	1955-1990
				1740.8	0.66	0.38	1991-2001
赣江	外洲	80948	49.9	651.2	1.11	1.70	1956-1990
				770.0	0.55	0.71	1991-2001
信江	梅港	15535	9.6	166.8	0.23	1.38	1956-1990
				213.5	0.20	0.96	1991-2001

### 1.2 水沙年际变化

湖口站径流量与输沙量在上世纪90年代之前变化不大,输沙量总体趋于减少但变幅不明显(表2),但近期(1990-2001年)径流量和输沙量变幅都非常大,同上世纪80年代相比,年均径流量增加 $255.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年均减少沙量 $0.29 \times 10^8 \text{ t}$ ;外洲站从50年代到近期变化不大,但近期的输沙量明显减少,沙量分别为70年代前、70年代、80年代的49.6%、48.7%和52.3%;梅港站径流量略微增加,沙量无明显变化趋势.

### 1.3 水沙年内变化

表3是对三个水文站多年平均输沙量、径流量年内的分配统计.从表中可以看出,湖口站在鄱阳湖5-

10月汛期径流量为  $956 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占年径流量的 63.4%, 输沙量最多为 2-6月, 占全年的 86.7%; 赣江径流和输沙主要集中在 3-7月, 分别占全年 70.4% 和 83.9%, 5、6 两月的输沙量最大, 达到了全年的 47%; 同样信江的径流和输沙也集中在 3-7月, 分别占全年 73.4% 和 89.4%, 6月输沙量最大, 达到了全年的 31.9%。由于长江洪水对鄱阳湖的顶托作用, 在表中可以看到湖口站 7-9月会出现水沙的倒灌现象。

表 2 湖口、外洲和梅港水文站各年代径流量输沙量统计

Tab. 2 Runoff and sediment transport in different terms at Hukou, Waizhou and Meigang Stations

河湖名 站名	1970 年前		1970 年代		1980 年代		1990 年后	
	径流量 ( $10^8 \text{ m}^3$ )	输沙量 ( $10^8 \text{ t}$ )	径流量 ( $10^8 \text{ m}^3$ )	输沙量 ( $10^8 \text{ t}$ )	径流量 ( $10^8 \text{ m}^3$ )	输沙量 ( $10^8 \text{ t}$ )	径流量 ( $10^8 \text{ m}^3$ )	输沙量 ( $10^8 \text{ t}$ )
鄱阳湖 湖口	1280.6	1.09	1461.4	1.04	1450.3	0.95	1705.6	0.66
赣江 外洲	605.4	1.13	709.4	1.15	658.1	1.07	759.2	0.56
信江 梅港	155.5	0.21	180.0	0.28	170.9	0.22	208.4	0.20

表 3 湖口、外洲、梅港水文站多年平均输沙量、径流量年内分配 (%)<sup>1)</sup>

Tab. 3 Distribution of monthly average runoff and sediment transport at Hukou, Waizhou and Meigang Stations

河名 站名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
鄱阳湖 湖口	径流量	3.14	4.10	8.08	12.21	14.78	15.80	10.79	8.63	6.62	7.04	5.53	3.35
	输沙量	7.23	14.50	28.03	24.00	11.92	8.21	-3.83 <sup>1)</sup>	-1.96	-2.64	2.78	5.88	5.87
赣江 外洲	径流量	2.60	4.58	10.23	15.93	17.06	16.76	10.45	7.30	6.06	4.31	2.79	1.92
	输沙量	0.97	2.37	8.80	18.29	21.90	25.13	9.80	4.95	4.15	2.04	0.96	0.64
信江 梅港	径流量	2.81	5.76	11.83	16.78	17.43	18.23	9.08	6.10	4.63	2.92	2.42	2.01
	输沙量	0.85	3.06	8.79	17.14	20.12	31.91	11.45	2.70	1.78	0.71	0.84	0.66

1) 负值为长江泥沙倒灌。

## 2 水沙关系分析

### 2.1 水沙相关分析

从图 1 可以看出: 上世纪 90 年代以后水沙关系出现了系统偏离, 水沙相关点基本都在相关线下侧, 说明近期较其它年代输沙量减小。

### 2.2 累积水沙量关系分析

流域水沙特性的系统变化一般可以通过水沙量双累积曲线斜率的变化表现出来。研究中将湖口、外洲和梅港水文站近 50 年来的年径流量、年输沙量实测资料, 点绘出年径流量-输沙量双累积曲线(图 1)。可以看出: (1) 湖口站双累积曲线斜率到 1963 年和 1991 年有了明显的减小(向径流量轴偏转), 说明输沙量有所减小; (2) 外洲站双累积曲线在 1984 年以前基本呈一条直线, 1985 年以后逐渐减小, 说明到 1985 年后输沙量开始减少; (3) 梅港站在 1996 年斜率变小, 说明近期输沙量有所减少。

## 3 水沙序列趋势分析

水沙序列特征值随时间呈一定的变化趋势, 趋势可能呈线性, 也可能是非线性。分析水沙序列的趋势性, 可从分析产生趋势的自然和人为原因以及序列统计检验两方面进行。采用滑动平均法、Spearman 秩次相关检验和线性趋势回归检验三种方法对湖口、外洲和梅港站的水沙变化趋势进行分析<sup>[6-8]</sup>。

### 3.1 滑动平均法

滑动平均法是指序列  $X_1, X_2, \dots, X_n$  的几个前期值和后期值取平均, 求出新的序列  $Y_i$ , 使原序列平滑的方法。选择合适的  $K$  值来弱化序列高频震荡(水沙特别年份)对水沙变化趋势分析的影响。对于湖口站径流量和输沙量分别取 11 年和 7 年进行滑动平均(图 2)。由图可见, 湖口站水沙变化有一定的差异, 径流量

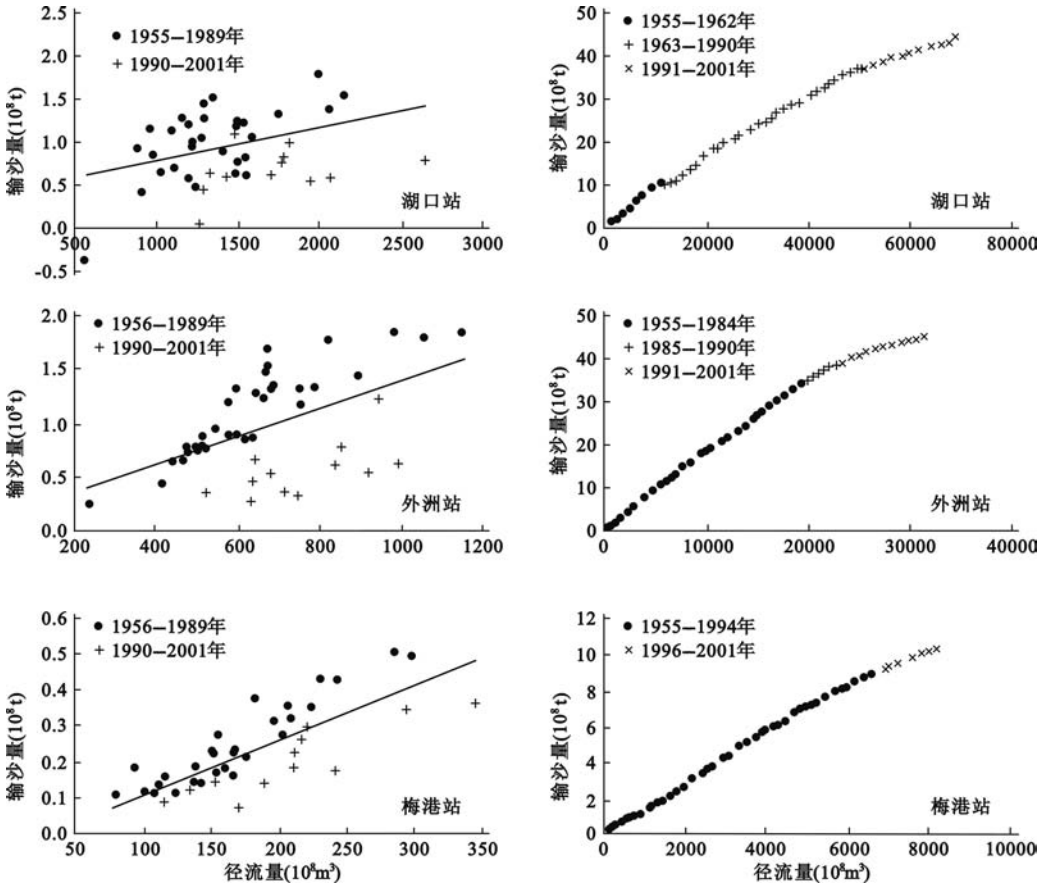


图1 鄱阳湖湖口、外洲、梅港三站历年径流量-输沙量关系和年径流量-年输沙量双累积曲线  
Fig. 1 Relationship between annual runoff and sediment transport, and accumulation curves of mass runoff and mass sediment transport at Hukou, Waizhou, Meigang Stations

增加而输沙却趋于减少;外洲站径流变化趋势不明显,输沙量略显减少趋势;梅港站径流量有所增加,输沙量变化趋势不是很明显。

### 3.2 Spearman 秩次相关检验

分析序列与时间  $t$  的相关关系,以  $M_i$  代表年径流量(或输沙量)系列的秩次,以  $T_i$  代表时间序列的秩次,按下式计算两者的相关关系  $r$  :

$$r = 1 - 6 \sum_{i=1}^n (M_i - T_i)^2 / (N^3 - N) \quad (1)$$

其中,  $N$  为系列长度(即年数)。由  $\alpha = 0.05$ , 查临界值表得到临界值  $c$ , 若  $|r| > c$ , 则可认为  $M_i$  变化趋势明显。结果如下:湖口站,  $N = 47$ ,  $c = 0.288$ , 径流量  $r = 0.348$ , 输沙量  $r = -0.390$ ; 外洲站,  $N = 46$ ,  $c = 0.291$ , 径流量  $r = 0.276$ , 输沙量  $r = -0.520$ ; 梅港站,  $N = 46$ ,  $c = 0.291$ , 径流量  $r = 0.332$ , 输沙量  $r = -0.089$ 。

由以上数据可以得出:湖口站输沙量有减小的趋势,径流量有增大趋势;外洲站输沙量有减少趋势,径流量变化趋势不明显;梅港站输沙量变化趋势不明显,径流量有增大趋势。

### 3.3 线性趋势的回归检验

假设序列具有线性趋势,可用简单线性模型表示:  $R = a + bT + \varepsilon$ 。其中:  $a$ 、 $b$  为线性模型参数,  $T$  为时间,  $\varepsilon$  为服从正态分布的独立随机变量。

按最小二乘法原理, 统计量  $t = \hat{b}/s(\hat{b})$  服从自由度为  $N - 2$  的  $t$  分布,

$$S^2(\hat{b}) = \left[ \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2 - a \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 \right] / (N - 2) \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 \quad (2)$$

其中, 对于给定的显著水平  $\alpha$ , 如果  $|t| > t_{\alpha/2}$ , 则称为线性趋势是存在的, 变量随时间变化趋势明显. 取显著水平  $\alpha = 0.05$ , 查  $t$  分布表得:  $t_{0.05/2} = 2.01$ ,  $t_{0.01/2} = 2.69$ . 分别将湖口站、外洲站和梅港站的水沙资料代入式(2), 则有: 湖口站: 流量  $t = 2.488$ , 输沙量  $t = -2.377$ ; 外洲站, 流量  $t = 1.593$ , 输沙量  $t = -3.786$ ; 梅港站, 径流量  $t = 2.355$ , 输沙量  $t = -0.551$ .

由此可见, 湖口站径流量增加趋势明显, 输沙量减少趋势明显; 外洲站径流量变化趋势不明显, 输沙量不仅通过显著水平 0.05 的检验, 而且可以通过显著水平 0.01 的检验, 输沙量减小趋势较为明显; 梅港站径流量有所增加, 输沙量没有明显变化.

综上, 湖口站、外洲站和梅港站水沙序列趋势分析表明, 在一定的显著水平下, 湖口径流量增大趋势明显, 输沙量减小的趋势明显; 外洲站径流量变化趋势不明显, 但输沙量减少趋势较为明显; 梅港站径流量增加趋势明显而输沙量变化趋势不明显.

### 4 水沙变化原因分析

影响流域水沙变化的因素可分为自然因素和人为因素两大类. 自然因素以湖泊本身特征以及气候变化影响为主; 人为活动因素除了水土保持和水利工程措施外, 还有如土地利用变化、社会经济发展、人口增加等, 都会影响流域水沙的变化.

#### 4.1 自然因素

鄱阳湖水沙变化受“五河”来水来沙和长江洪水顶托或倒灌的共同作用. 由于鄱阳湖是一个吞吐型、季节性的淡水湖, 高水湖相, 低水河相, 有“洪水一片, 枯水一线”的独特景观. 4月以前为河相, 比降大, 流速快, 而且由于“五河”涨水, 还能冲刷淤于主航道及其附近的泥沙入湖, 出湖水量, 沙量都比较大. 四月起, “五河”进入汛期, 流域入湖的水、沙量骤增, 湖水位升高, 湖滩逐渐淹没, 鄱阳湖呈湖相景观, 比降减小, 湖流减慢, 出湖沙量减小. 7-9月长江大汛, 湖水受江水顶托或倒灌, 流域入湖泥沙淤于湖内, 同时也发生江沙倒灌现象. 10月以后, 湖水随长江洪水退落而加大泻量, 输沙量逐渐增加.

自然因素中流域水沙与降水的关系比较密切. 赣江流域各主要气象站降水从1989年以前年均1478 mm增加到1990年后年均1673 mm, 流域降水的增加并没有导致赣江径流量明显加大, 分析其原因主要由于赣江上水利设施的修建及流域内农业灌溉用水的增加使得流域蒸散发量的增加. 信江流域降水平均值由上世纪90年代前的年均1823 mm增加到90年代后的年均2032 mm, 相对于赣江流域而言, 信江流域降水量的增加使得流域径流量明显增加, 其主要原因为信江流域较少的水利工程设施对降水径流调蓄较小, 这也从另一方面反应了鄱阳湖流域水沙变化主要受人为主因素的影响.

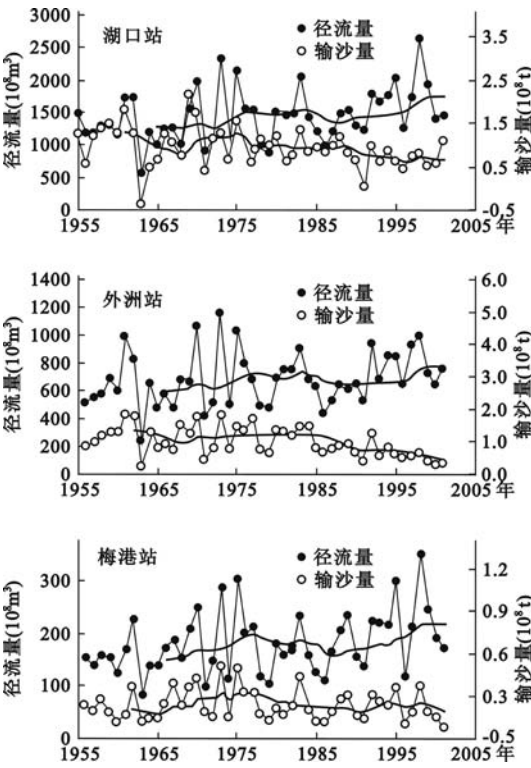


图2 鄱阳湖湖口, 外洲, 梅港三站年径流量和输沙量滑动平均

Fig. 2 Moving average curves of annual runoff and mass sediment transport at Hukou, Waizhou, Meigang Stations

## 4.2 人类活动

上世纪50年代中后期的大炼钢铁到60年代的垦山造田,以及70年代的林木超计划采伐使得鄱阳湖流域生态环境遭到严重的破坏.森林植被被大面积砍伐,森林覆盖率从40%以上降低到32%左右.虽然在80年代人工造林面积有所增加,但由于人口的增加和木材及林产品的需求量上升使得森林资源质量继续下降.在这一时期,水土流失加剧,水旱灾害时常发生.流域生态环境变化的同时也影响了流域水沙的变化,含沙量明显升高.从上世纪90年代开始,流域生态环境受到较为广泛的重视,开展了全流域的消灭荒山,造林绿化.森林面积逐年增加,生态环境得到一定程度的改善,这时期的输沙量也大幅度减小.

据统计,到上世纪80年代中期,鄱阳湖地区修建圩堤近581座,保护农田逾 $37 \times 10^4 \text{hm}^2$ .与此同时,到上世纪80年代末,鄱阳湖流域五河干支流上先后兴建了上犹江、江口、洪门、柘林、万安、东津等一批大型水库,总库容达 $86 \times 10^8 \text{m}^3$ ;另外中小型水库近3000座,库容近 $40 \times 10^8 \text{m}^3$ ;塘坝48016座,总库容 $5.3 \times 10^8 \text{m}^3$ .水保措施的实施和水利工程的修建对上世纪90年代以后流域减沙起到了关键作用.

## 5 结语

(1)鄱阳湖泥沙与我国多沙河流比较,数量较少.泥沙出湖集中于长江大汛前的2-6月,占全年的86.7%,其中3、4两月就占了52.03%;在7-9月大汛期间,会出现泥沙倒灌鄱阳湖的情况.赣江径流和输沙主要集中在3-7月,分别占全年70.4%和83.9%,5、6两月的输沙量最大,达到了全年的47%;同样信江的径流和输沙也集中在3-7月,分别占全年73.4%和89.4%,6月输沙量最大,达到了全年的31.9%.

(2)近期鄱阳湖水沙出现了明显变化:湖口站近期(1990-2001年)径流量和输沙量变幅都非常大,同上世纪80年代相比,年均径流量增加 $255.3 \times 10^8 \text{m}^3$ ,年均减少沙量 $0.29 \times 10^8 \text{t}$ ;外洲站近期的输沙量明显减少,沙量分别为70年代前、70年代、80年代的49.6%、48.7%和52.3%;梅港站径流量略微增加,沙量无明显变化趋势.

(3)赣江和信江是鄱阳湖的两大入湖河流,鄱阳湖径流量赣江和信江占52.4%,入湖泥沙量占了76.0%以上.从赣江和信江水沙总体变化趋势来看,赣江径流量变化趋势不明显,而输沙量具有明显减少的趋势;信江径流量增加趋势明显,输沙量基本无明显趋势.

(4)鄱阳湖流域水沙变化主要受人类活动的影响.土地利用方式的改变和流域水利工程的修建极大地影响了流域水沙特征及其变化趋势.

## 6 参考文献

- [1] 张 本主编.鄱阳湖研究.上海:上海科学技术出版社,1988.
- [2] 张信宝,文安邦.长江上游干流和支流河流泥沙的近期变化及其原因.水利学报,2002,(4):56-59.
- [3] 许全喜,石国钰,陈泽方.长江上游近期水沙变化特点及其趋势分析.水科学进展,2004,15(4):420-426.
- [4] 麻仁寿,虞志英,金 廖等.长江水沙变化发展趋势.水利学报,2003,11:21-29
- [5] 国务院三峡工程建设委员会办公室泥沙课题专家组,中国长江三峡工程开发总公司泥沙专家组.长江三峡工程泥沙问题研究(1996-2000,第七卷)——长江三峡工程坝下游泥沙问题(二).北京:知识产权出版社,2002:826-851.
- [6] 孙山泽.非参数统计讲义.北京:北京大学出版社,2000.
- [7] 黄 川,娄霄鹏,刘元元.金沙江流域泥沙演变过程及趋势分析.重庆大学学报(自然科学版),2002,(1):21-23.
- [8] 王盼成,贺松林.长江大通站水沙过程的基本特征(I.径流过程分析).华东师范大学学报(自然科学版),2004,(2):72-80.