

## 近50余年荆江三口水沙变化特征及驱动力分析

覃红燕<sup>1</sup>, 邹冬生<sup>1</sup>, 李峰<sup>2</sup>

(1. 湖南农业大学 生物科学技术学院, 湖南 长沙 410128;

2. 中国科学院亚热带农业生态研究所 亚热带农业生态过程重点实验室 洞庭湖湿地生态观测研究站 湖南 长沙 410125)

摘要: 以荆江三口(松滋口、太平口和藕池口)入洞庭湖的代表性控制站1956-2009年长系列水文数据为基础,运用Mann-Kendall趋势突变检验、双累积曲线等方法探讨三口水沙变化特征并对其驱动力进行了分析。结果表明:近50余年来,松滋口、太平口和藕池口年径流量和年输沙量呈不断减少的趋势,以藕池口变化最为显著,其突变时间最早(1978年和1986年)。松滋口年径流量和年输沙量趋势性改变的时间分别为1980年和2003年;太平口年径流量趋势性改变的时间为1972年和1986年,年输沙量为1998年和2003年;藕池口年径流量趋势性改变的时间为1967年、1972年和1989年,年输沙量为1998年和2003年。年径流量和年输沙量趋势性改变是由于上游径流量的不断减少及诸多人为工程共同作用的结果,其中裁弯和三峡工程的影响最为明显。裁弯主要因大幅减少三口径流量而减少输沙量,三峡工程主要因直接减少悬浮泥沙浓度而减少输沙量。

关键词: 荆江三口; 突变; 水文过程; 水利工程

中图分类号: TV147.4 文献标识码: A 文章编号: 0468-455X(2013)03-0027-07

洞庭湖(28°30'N~30°20'N, 111°40'E~113°10'E)作为我国第二大淡水湖泊,具有调节江河径流、净化水质、维护生物多样性和改善生态环境等多种生态服务功能<sup>[1]</sup>。洞庭湖总面积为2 625 km<sup>2</sup>,其多年平均地表径流达 $3 126 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[2]</sup>。入湖径流按来源可分为长江三口(原为四口,因调弦口于1958年建闸控制只剩下三口)、湖南四水及区间三大部分,其中三口来水约占洞庭湖总径流量的37.1%,在洞庭湖水资源组成中占有重要地位。然而,近百年来尤其是1949年后,由于人类对湖区资源不合理的开发利用,大量围湖造田,导致湖泊面积迅速萎缩,湖泊调蓄能力严重衰退,江湖关系恶化,湖区洪涝灾害加剧。近年来,水资源短缺事件的频发引发了人们对洞庭湖湿地生态环境持续恶化的担忧<sup>[3]</sup>。

河流水沙问题一直是水土保持、水文水资源、水利工程等研究的重要内容。荆江三口是连接长江荆江河段与洞庭湖区的重要纽带,其分流分沙变化对荆江和洞庭湖区的洪水及河床冲淤等起着决定性作用<sup>[4]</sup>。因此,三口水沙演变及其与荆江的关系一直是生态水文学研究的热点之一。尤其是近几十年来,受自然环境变化及人为工程等多方面的共同作用,三口的年径流量和输沙量发生了明显变化,且在不同时期决定其变化的主导因子存在差异<sup>[3-5]</sup>。尽管当前国内已开展少量有关人为工程对三口水文特征影响的研究<sup>[5]</sup>,但大多是基于某一特定工程进行论述的,如裁弯、三峡蓄水前后三口水沙情势变化等<sup>[6-7]</sup>缺乏系统性和连续性。此外,这些研究多为定性研究,量化研究相对较少。基于此,本文主要以1956-2009年典型站点的长系列水文数据为基础,通过Mann-Kendall趋势突变检验、双累积曲线等方法探讨荆江三口入洞庭湖水沙变化的规律性、突变性并对其驱动力进行分析,以期对长江水资源和洞庭湖流域管理提供一定的理论依据。

收稿日期: 2012-06-26

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2012CB417005); 国家国际科技合作专项(2012DFB30030); 中科院知识创新工程领域前沿项目(ISACX-LYQY-QN-1208); 国家自然科学基金面上资助项目(31200271; 30770362)

作者简介: 覃红燕(1975-)女,湖南石门人,副教授,主要从事生态水文研究。E-mail: hongyanxie@163.com

通讯作者: 李峰。E-mail: changshalifeng@163.com

# 1 数据来源和研究方法

## 1.1 水沙数据

长系列水沙数据来源于长江水利委员会和《长江泥沙公报 2003 - 2010》<sup>[8]</sup>。本研究以新江口和沙道观水文站(松滋口)、弥陀市水文站(太平口)、康家岗和管家铺水文站(藕池口) 1956 - 2009 年的实测数据作为荆江三口入洞庭湖水沙演变分析的基础,以枝城水文站代表长江荆江河段的水沙变化。主要指标为年径流量和年输沙量。

## 1.2 研究方法

主要研究方法如下:

(1) 采用移动平均值法判定水沙演变趋势,期数设定为 5 年。

(2) 采用非参数 Mann-Kendall(以下简称 M-K)法检验趋势突变点,具体计算方法参见文献[9]。M-K 法以时间序列平稳为前提,且时间序列是随机独立的,其概率分布等同。设定原假设  $H_0$ : 在时间序列没有变化的条件下,设此序列为  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , 用  $m_i$  表示第  $i$  个样本  $x_i$  大于  $x_j$

( $1 \leq j \leq i$ ) 的累计数,则可以定义一统计量:  $d_k = \sum_{i=1}^k m_i$  ( $2 \leq k \leq n$ )。在原序列随机独立的假定下,  $d_k$  的均值、方差分别为:  $E[d_k] = k(k-1)/4$ ,  $\text{var}[d_k] = k(k-1)(2k+5)/72$  ( $2 \leq k \leq n$ )。将  $d_k$  标准化,得到标准变化量,则  $UF_k = \frac{d_k - E[d_k]}{\sqrt{\text{var}[d_k]}}$  ( $k=1, 2, 3, \dots, n$ ), 当  $k > 10$  时,  $UF_k$  收敛于标准

正态分布。原假设  $H_0$  无趋势,采用双边趋势检验,给定一定显著水平  $\alpha$ ,在正态分布表中查得临界值  $U_{\alpha/2}$ 。当  $UF_k < U_{\alpha/2}$  时,接受原假设,则趋势不显著;当  $UF_k > U_{\alpha/2}$  时,拒绝原假设,即认为趋势显著,且  $UF_k$  值为正表明具有上升或增加趋势,  $UF_k$  值为负则意味着有下降或者减少趋势。把此方法引到反序列中,即按时间序列  $x$  逆序  $x_n, x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1$ ,再重复上述过程,同时使  $UB_k = -UF_k$  ( $k=n, n-1, \dots, 1$ )。  $UF_k$  和  $UB_k$  在图中分别以曲线  $C_1$  和  $C_2$  表示,如果两条曲线在时间序列的某一部分发生交叉,则交叉点就是突变点,如果突变点位于给定置信度水平线之间,则突变时间在统计意义上是显著的。该方法的优点在于不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,更适于类型变量和顺序变量,计算也比较简便,能较客观的确定数据序列变化趋势<sup>[10]</sup>。但该方法在对转折突变、变率突变的检测上存在一定的局限性,需配合其它方法同时使用才能得到可靠的结论。

(3) 采用双累积曲线法检验年径流量和年输沙量累积变化的转折点。同时,通过转折点的获取估计了不同时段的变化量,即通过前一时段的线性模拟方程按后一时段最后一年的累积径流量换算得到的后一时段最后一年理论累积输沙量。减少输入总量为后一时段最后一年的理论累积输沙量与实际累积输沙量的差值,平均减少量为减少输入总量与后一时段年数的比值。

# 2 年径流量和年输沙量的演变特征

## 2.1 年径流量

三口在 1956 - 2009 年的径流量多年平均为  $851.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。年径流量以松滋口最高( $400.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占枝城总径流的 9.0%) ,其次为藕池口( $298.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占枝城总径流的 6.7%) ,再次为太平口( $152.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 占枝城总径流的 3.5%)。从不同时间段来看,三口径流量均呈不断减少的趋势。其中以藕池口下降幅度最大。如 1956 - 1965 年间,藕池口径流量为  $650.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 而 1966 - 1975 年间下降至  $381.1 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 下降幅度高达 41.4%。而到了 2006 - 2009 年间,藕池口径流量只有  $91.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 与 1956 - 1965 年相比,下降了 85.9%。太平口下降幅度仅次于藕池口,由 1956 - 1965 年的  $211.4 \times 10^8 \text{ m}^3$  下降至 2006 - 2009 年的  $79.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 降幅为 62.2% ,松滋口下降幅度最小,由 1956 - 1965 年的  $487.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 下降到 2006 - 2009 年的  $253.3 \times 10^8$

$\text{m}^3$ , 下降幅度为 48.0% (图 1)。

## 2.2 年输沙量

三口在 1956 - 2009 年的输沙量多年平均为  $109.0 \times 10^6 \text{t}$ , 占枝城站年平均输沙量的比例(分沙比)为 23.1%, 总体呈明显下降趋势。年输沙量以藕池口最高 ( $51.4 \times 10^6 \text{t}$ , 占枝城输沙量的 10.3%), 其次为松滋口 ( $41.0 \times 10^6 \text{t}$ , 占枝城输沙量的 9.1%), 再次为太平口 ( $16.6 \times 10^6 \text{t}$ , 占枝城输沙量的 3.6%)。从不同时间段来看, 三口输沙量呈不断减少的趋势。其中以藕池口下降幅度最大。如 1956 - 1965 年间, 藕池口输沙量为  $119.8 \times 10^6 \text{t}$ , 而到了 1966 - 1975 年间, 泥沙输入量剧减为  $72.27 \times 10^6 \text{t}$ , 减少幅度高达 39.7%。随后仍呈不断减少的趋势, 1976 - 1985 年间, 年输沙量为  $43.98 \times 10^6 \text{t}$ , 1986 - 1995 年间输沙量为  $22.65 \times 10^6 \text{t}$ , 1996 - 2005 年间输沙量为  $17.86 \times 10^6 \text{t}$ , 而到了 2006 - 2009 年间, 输沙量达到最小值为  $6.3 \times 10^6 \text{t}$ 。与藕池口相比, 松滋口和太平口在 1956 - 1985 年期间, 输沙量变化不大, 呈较稳定的状态, 但进入 1986 年后, 输沙量不断减少, 截止 2009 年, 松滋口输沙量已有 1956 - 1965 年的  $52.9 \times 10^6 \text{t}$  下降至 2006 - 2009 年的  $3.1 \times 10^6 \text{t}$ , 下降幅度为 94.1%, 而太平口也有 1956 - 1965 年的  $23.8 \times 10^6 \text{t}$  下降至 2006 - 2009 年的  $1.1 \times 10^6 \text{t}$ , 下降幅度为 95.4% (图 1)。

## 3 M-K 趋势突变检验

### 3.1 年径流量

从 M-K 检验结果可以看出(图 2), 荆江三口年径流量曲线呈不断下降的趋势。但曲线变化过程比较复杂, 存在多个上升下降过程。三口  $UF_k$  和  $UF_b$  存在单一交叉点, 且 M-K 曲线均突破置信区间 ( $Z < -1.96, P_{\alpha} < 0.05$ ), 说明三口径流量发生明显变化。松滋口、太平口和藕池口年径流量突变的时间分别为 1988 年、1987 年和 1978 年, 可见, 藕池口发生突变的时间明显比松滋口和太平口的早。

### 3.2 年输沙量

从 M-K 检验结果可以看出(图 2), 荆江三口年输沙量曲线呈不断下降的趋势。但三口的曲线变化较为复杂, 存在多个上升下降过程。如松滋口 1959 - 1964 年, 1972 - 1974 年存在明显的上升, 而 1984 - 1986 年及 1998 - 2004 年存在明显下降。三口  $UF_k$  和  $UF_b$  存在单一交叉点, 且 M-K 曲线均突破置信区间, 说明三口输沙量发生明显变化。松滋口、太平口和藕池口年输沙量突变的时间分别为 2002 年、1992 年和 1986 年, 可见, 三口发生突变的时间顺序分别为藕池口、太平口和松滋口。

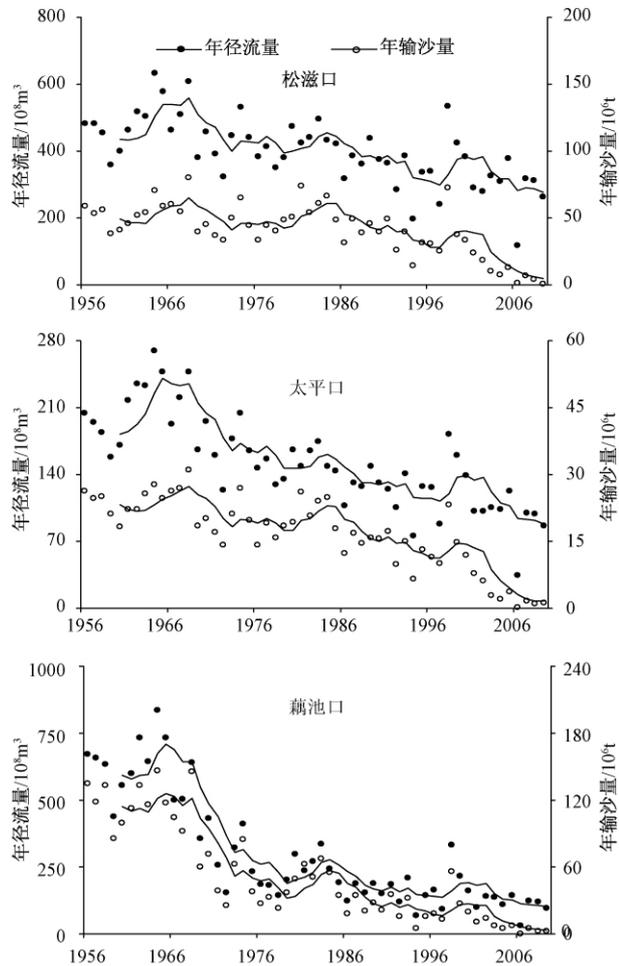


图 1 1951 - 2009 年间洞庭湖代表性水文站点年径流量和泥沙输入量的移动平均值

Fig. 1 Moving average values of annual runoff and annual sediment load at representative hydrological stations of Three Channels from Yangze River in 1951 through 2009

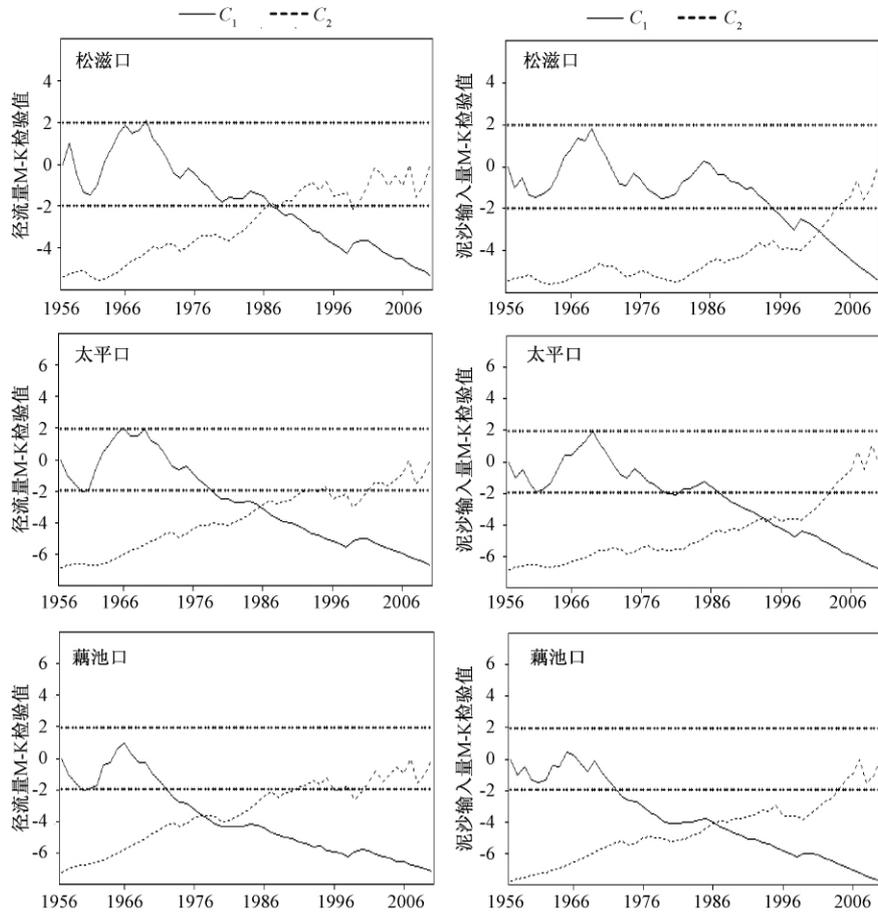


图2 1956 - 2009年湖南三口代表性水文站年径流量和年输沙量的M-K检验统计值

Fig.2 Statistical values of M-K test for annual runoff and annual sediment load input at representative hydrological stations of Three Channels from Yangtze River in 1956 through 2009

## 4 驱动力分析

### 4.1 年径流量

荆江三口年径流量的变化与长江上游来水关系密切,因此,影响长江上游来水的因素都能影响到三口入湖径流,包括大型水利工程(如水库)、降水量、工农业用水量变化等。通过松滋口、太平口和藕池口径流量和枝城径流量的双累积曲线分析表明(图3),松滋口年径流量仅在1980年存在趋势性变化,经计算,1981-2009年间共减少径流量为 $3\,030 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年平均为 $107.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;太平口在1972年和1986年间存在趋势性变化,经计算,1973-1986年间共减少径流量为 $817 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年平均为 $158.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,1987-2009年间共减少径流量为 $736 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年平均为 $32.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;而藕池口在1967、1972和1989年间均存在趋势性变化,经计算,1967-1972年间共减少径流量为 $1\,143 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年平均为 $228.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,1973-1989年间共减少 $2\,094 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年平均为 $123.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,1990-2009年间共减少 $1\,565 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年平均为 $78.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。1967-1972年间为荆江干流人工和自然裁弯时期,包括1967年5月实施的中洲子人工裁弯,缩短河长32.4km;1969年6月上车湾人工裁弯,缩短河长29.2km;1972年7月19日沙滩子自然裁弯,缩短河长19km。裁弯工程完成后,荆江河长共缩短了约78km,河道曲率由原来的2.83减少为1.93,荆江水力梯度增加,致使三口分流的流速和流量迅速下降<sup>[11,12]</sup>。同时,裁弯导致了下荆江段(藕池口至城陵矶)比上荆江段(枝城至藕池口)遭受更为强烈的冲刷作用,藕池口距离裁弯处最近,所受影响最为显著,这也是其在1967年年径流量发生规律性改变的主要原因;太平口距离裁弯处居中,所受影响中等,于裁弯结束后的1972年发生趋势性改变;而松滋口距离裁弯处最远,体现

了累积性影响,直到 1980 年才发生趋势性变化。同时,裁弯的影响是相当深远的,即使在葛洲坝水库修建后,其对荆江河段河床的影响都未停止<sup>[12]</sup>。除裁弯外,三峡工程的运行也是三口径流减少的一个重要原因。工程运行后,由于清水下泄导致荆江河床不断冲刷,使荆江需保持较高的流量才能使水进入洞庭湖。可见,裁弯及三峡等人为工程的影响是三口年径流量下降的主要原因。

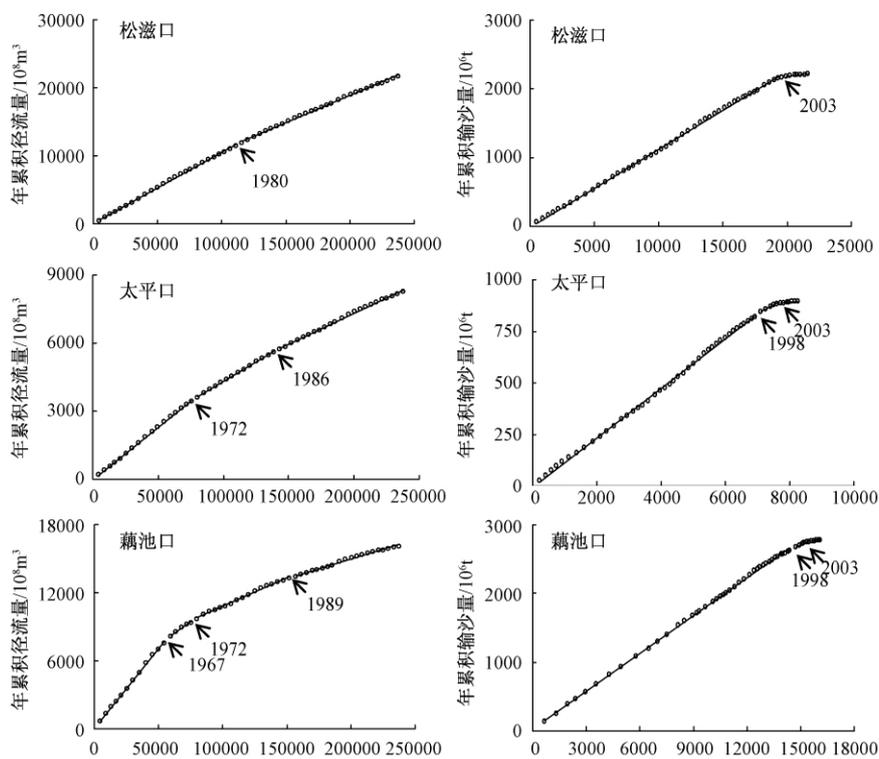


图 3 1956 - 2009 年洞庭湖三口年径流量与荆江年径流量以及三口年径流量与三口泥沙输入量的双累积曲线分析

Fig. 3 Double mass analyses between annual runoff from Yangtze River and annual runoff from Three Channels and between annual runoff and annual sediment load of Three Channels from Yangtze River in 1956 through 2009

此外,分流口门附近干流河道的河势变化以及分流道的泥沙淤积也是三口径流减少不可忽视的原因。近几十年来松滋口口门附近干流河势变化不大,对分流影响相对较小;太平口口门位于澧市河弯与沙市河弯间的顺直长过渡段内,干流主流自 20 世纪 60 年代以来逐渐左移,对分流有所影响,进入 90 年代,口门附近干流河床出现江心滩,分水流为左右两汉;藕池口口门位于郝穴与石首两弯道间的顺直长过渡段内,60 年代以来,干流河势变化较大,主流多变,口门附近淤长出众多洲滩,并逐渐淤长合并上延,致使主流在口门以上即向左岸过渡或贴左岸,从而影响分流分沙<sup>[5]</sup>。此外,受干流及洞庭湖演变等许多因素的影响,三口分流道泥沙淤积严重,致使过流能力不断下降,影响了三口分流分沙。如松滋河东支沙道观站水文断面 1957 - 1988 年最大淤积厚度可达 3.2m 和 6m;而虎渡河弥陀寺站水文断面亦呈淤积趋势,1957 - 1988 年最大淤积厚度为 3.5m;藕池河西支康家岗站水文断面自 1957 - 1988 年除中间宽约 60m 的深槽变化不大外,两岸边滩淤积均较严重,最大淤厚约为 5m;藕池河东支管家铺站水文断面淤积最严重,尤其是 1973 年以前。1957 - 1988 年最大淤积厚约为 14m<sup>[13]</sup>。可见,高强度的泥沙淤积也是导致三口分流减少的一个主要原因。

#### 4.2 年输沙量

泥沙移动是伴随水文而发生的自然现象。因此,松滋口、太平口和藕池口输沙量的持续减少很大程度上是由于年径流量的不断减少造成的。有研究表明,裁弯前三口分沙量为 35.24%,而裁弯后 1973 - 1980 年三口分沙比为 21.6%,1981 年 - 1991 年的分沙比为 19.6%。与分流比变化类似,三口分沙量减少最多的为藕池口,1973 - 1980 年和 1981 - 1991 年的年均分沙量仅为裁弯前 1956 - 1966 年的 37.4% 和 32.9%。太平口和松滋口分沙量亦逐渐减少<sup>[13]</sup>。可见,裁弯导致三口径流量的持续减少是三口年输

沙量减少的一个主要因子。此外,长江中上游的人类活动、荆江河段的不均衡冲刷以及三口分流河道的淤积也因径流量的减少而导致输沙量的持续减少。

通过松滋口、太平口和藕池口径流量和输沙量的双累积曲线分析表明(图3),松滋口年径流量仅在2003年存在趋势性变化,而太平口和藕池口在1998年和2003年都存在趋势性变化。经计算,松滋口2003-2009年间共减少输沙量为 $223.4 \times 10^6 \text{t}$ ,年平均为 $31.9 \times 10^6 \text{t}$ ;太平口在1998-2002年间共减少 $21.1 \times 10^6 \text{t}$ ,年平均为 $4.2 \times 10^6 \text{t}$ ,在2003-2009年间共减少 $42.0 \times 10^6 \text{t}$ ,年平均为 $6.0 \times 10^6 \text{t}$ ;藕池口在1998-2002年间共减少 $89.3 \times 10^6 \text{t}$ ,年平均为 $17.9 \times 10^6 \text{t}$ ,在2003-2009年间共减少 $60.5 \times 10^6 \text{t}$ ,年平均为 $8.6 \times 10^6 \text{t}$ 。荆江三口年径流量和年输沙量的双累积曲线反应的是悬浮泥沙浓度的变化,这主要是受三峡工程建设的影响。三峡水库于1998年开始建设,2003年蓄水运行后,库内拦截了大约70%的泥沙,库坝下游宜昌站的年输沙量比多年平均值减少大约80%<sup>[14]</sup>。从松滋口、太平口和藕池口所受影响来看,由于松滋口离三峡水库最近,受三峡水库清水下泄的影响也最大,水库运行后的年均减少量为 $31.9 \times 10^6 \text{t}$ ,而离水库较远的太平口和藕池口在此期间的年均减少量仅为 $4.2 \times 10^6 \sim 8.6 \times 10^6 \text{t}$ 。同时,据多年水沙资料分析表明,三峡水库蓄水后(2003-2009年)与蓄水前相比(1999-2002年),三口入湖泥沙总量减少了24.4%<sup>[15,16]</sup>。可见,三峡水库蓄水后的拦沙作用对荆江三口输沙量的减少起到了关键作用。同时,受近年来长江中下游地区连年降雨量减少的原因,荆江三口分流河道的沙道观、弥陀寺、藕池管、藕池康四站枯水期连年提早断流,且断流天数逐步增加<sup>[17,18]</sup>,进而导致三口分流分沙比近年呈不断递减的趋势。此外,长江上游大量水库的建设和不断开展的水土保持工程也在一定程度上减少了三峡入库泥沙量,从而导致三口输沙量的减少。如在金沙江和嘉陵江干流所修建的大量梯级水利枢纽工程均具有较大的调水拦沙作用,对减少或减缓三峡水库回水变动区的泥沙淤积具有重要作用<sup>[19]</sup>。可见,三口输沙量的减少是自然及人为工程综合作用的结果。

## 5 结论

(1) 松滋口、太平口和藕池口年径流量和年输沙量呈明显的波动式下降,以藕池口下降最为显著,如藕池口在2006-2009年间的年径流量比1956-1965年下降了85.9%。

(2) 松滋口、太平口和藕池口年径流量突变的时间分别为1988年、1987年和1978年,年输沙量突变的时间分别为2002年、1992年和1986年。

(3) 松滋口年径流量和年输沙量趋势性改变的时间分别为1980年和2003年;太平口年径流量趋势性改变的时间为1972年和1986年,年输沙量是1998年和2003年;藕池口年径流量趋势性改变的时间为1967年、1972年和1989年,年输沙量是1998年和2003年。

(4) 年径流量和年输沙量不断减少是荆江河段河床的变化、三口河道淤积堵塞及诸多人为工程共同作用的结果,其中裁弯和三峡工程的影响最为明显。裁弯主要因大幅减少三口径流量而减少输沙量,三峡工程主要因直接减少悬浮泥沙浓度而减少输沙量。同时,三口的减流减沙效应与其工程实施地点间的距离有密切关系。

### 参考文献:

- [1] 杨刚,谢永宏,陈心胜,等.退田还湖后洞庭湖区土壤颗粒组成和化学特性的变化[J].生态学报,2009,2(12):6392-6400.
- [2] 覃红燕,谢永宏,邹冬生.湖南四水入洞庭湖水沙演变及成因分析[J].地理科学,2012,32(5):509-615.
- [3] Chang J., Li J. B., Lu D. Q., et al.. The hydrological effect between Jingjiang River and Dongting Lake during the initial period of Three Gorges Project operation[J]. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(5):771-786.
- [4] 郭小虎,姚仕明,晏黎明.荆江三口分流分沙及洞庭湖出口水沙输移的变化规律[J].长江科学院院报,2011,28(8):80-86.
- [5] 穆锦斌,张小峰,许全喜.荆江三口分流分沙变化研究[J].水利水运工程学报,2008(3):22-28.
- [6] 李义天,郭小虎,唐金武,等.三峡水库蓄水后荆江三口分流比估算[J].天津大学学报,2008,41(9):1027-1034.

- [ 7 ] 唐日长. 下荆江裁弯对荆江洞庭湖影响分析[J]. 洞庭湖治理 ,1999 ,30( 4) : 20 - 24.
- [ 8 ] 水利部长江水利委员会. 长江泥沙公报 2003 - 2009[M]. 武汉: 长江出版社 ,2003 - 2009.
- [ 9 ] 符宗斌, 王强. 气候突变的定义和检验方法[J]. 大气科学 ,1992 ,16( 6) : 482 - 493.
- [10] 莫莉, 穆兴民, 王勇, 等. 近 50 多年来北洛河水沙变化特征及原因分析[J]. 泥沙研究 ,2009( 6) : 30 - 36.
- [11] 方春明, 曹文洪, 鲁文, 等. 荆江裁弯造成藕池河急淤积与分流分沙减少分析[J]. 泥沙研究 ,2002( 2) : 40 - 45.
- [12] 方春明, 毛继新, 鲁文. 长江中游与洞庭湖泥沙问题研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社 ,2004.
- [13] 卢金友. 荆江三口分流分沙变化规律研究[J]. 泥沙研究 ,1996( 4) : 54 - 61.
- [14] 蔡其华. 健康长江与洞庭湖治理[J]. 水利水电快报 ,2007 ,28( 9) : 1 - 4.
- [15] 李景保, 代勇, 欧朝敏, 等. 长江三峡水库蓄水运用对洞庭湖水沙特性的影响[J]. 水土保持学报 ,2011 ,25( 3) : 215 - 220.
- [16] 张细兵, 卢金友, 王敏, 等. 三峡工程运行后洞庭湖水沙情势变化及影响初步研究[J]. 长江流域资源与环境 ,2010 ,19( 6) : 640 - 643.
- [17] 李景保, 王克林, 杨燕, 等. 洞庭湖区 2000 - 2007 年农业干旱灾害特点及成因分析[J]. 水资源与水工程学报 ,2008 ,19( 6) : 1 - 5.
- [18] 许全喜, 胡功宇, 袁晶. 近 50 年来荆江三口分流分沙变化研究[J]. 泥沙研究 ,2009( 5) : 1 - 8.
- [19] 张绪进, 母德伟, 陈贤炜. 上游来水来沙变化及对三峡水库回水变动区泥沙淤积的影响[J]. 水运工程 ,2009( 8) : 94 - 97.

## Characteristics of runoff and sediment discharge of Three Channels from Jingjiang River in 1956 through 2009

QIN Hong-yan<sup>1</sup> , ZOU Dong-sheng<sup>1</sup> , LI Feng<sup>2</sup>

( 1. College of Bioscience and Biotechnology , Hunan Agricultural University , Changsha 410128 , China;

2. Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Observation and Research , Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region ,  
Institute of Subtropical Agriculture , Chinese Academy of Sciences , Changsha 410125 , China)

**Abstract:** Based on the hydrological data in 1956 through 2009 at representative gauging stations , the characteristics of the runoff and sediment discharge of the Three Channels from the Jingjiang River are investigated , using Mann-Kendall trend test and double mass analyses. The results show that the annual runoff and the annual sediment load of the Three Channels decreased significantly during 1956 - 2009. Moreover , the time of the earliest abrupt change was in the Ouchi Channel ( in 1978 and in 1986) , indicating which had the most serious changes. The time of tendency change of annual runoff and annual sediment load was in 1980 and in 2003 in the Songzi Channel , respectively; in 1972 and in 1986 for annual runoff , and in 1998 and in 2003 for annual sediment load in the Taiping Channel , and in 1967 , in 1972 and in 1989 for annual runoff , and in 1998 and in 2003 for annual sediment load in the Ouchi Channel. The reduction of annual runoff and annual sediment load were mainly caused by the decrement of runoff from the upstream river and by commissioning of hydroprojects , especially the cutoffs in the Jingjiang River and the commissioning of the Three Gorges Project. The cutoffs were mainly through reducing the annual runoff to reduce the annual sediment load , while the Three Gorges Project is directly reducing the suspended sediment concentration.

**Key words:** Three Channels from Jingjiang River; abrupt change; hydrological process; hydroproject