

# 近 60 年洞庭湖区水沙演变特征及趋势预测

李 晖<sup>1,2</sup>, 尹 辉<sup>3</sup>, 白 旻<sup>3</sup>, 王 月<sup>1,2</sup>

(1. 广西师范大学 环境与资源学院, 广西 桂林 541004; 2. 广西师范大学 珍稀濒危动植物生态与  
环境保护省部共建教育部重点实验室, 广西 桂林 541004; 3. 惠州学院 旅游系, 广东 惠州 516007)

**摘 要:**基于洞庭湖 1951—2009 年年径流泥沙量数据,采用趋势分析法和阶段分析法对近 60 a 来洞庭湖水沙的演变特征及变化趋势进行分析,并以年份序列为自变量,对洞庭湖水沙累积量进行多项式函数拟合,结果表明:① 近 60 a 来,洞庭湖区除四水入湖水量的趋势性不显著以外,三口入湖水沙量、四水入湖沙量和城陵矶出湖水沙量均呈较显著的减少趋势;② 洞庭湖水沙在演变过程中表现出一定的阶段性特征;③ 洞庭湖水沙的演变特征及趋势与下荆江裁弯工程、葛洲坝截流工程、三峡工程等水利设施的建设密切相关。

**关键词:**水沙; 演变特征; 趋势; 洞庭湖

**中图分类号:**P332.5

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)03-0139-04

## Research on Evolution Characteristics and Tendency Prediction of Runoff and Sediment in Recent 60 Years in Dongting Lake

LI Hui<sup>1,2</sup>, YIN Hui<sup>3</sup>, BAI Yang<sup>3</sup>, WANG Yue<sup>1,2</sup>

(1. College of Environment & Resources, Guangxi Normal University, Guilin,  
Guangxi 541004, China; 2. Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species  
and Environmental Protection, Guangxi Normal University, Ministry of Education, Guilin, Guangxi  
541004, China; 3. Department of Tourism, Huizhou University, Huizhou, Guangdong 516007, China)

**Abstract:** According to data of annual runoff and sediment in the Dongting Lake from 1951—2009, non-parameter Mann-Kendall tendency analysis (M-K method) and grandualness analysis (T-verifying method) were used to analyze the evolution characters and tendency of runoff and sediment in the Dongting Lake in recent 60 years. Year series was chosen as independent variable, and polynomial functions were used to fit accumulative runoff volume and sediment discharge in the Dongting Lake. The results showed that: ① in recent 60 years in Dongting Lake area, runoff volume and sediment discharge from three outlets to Dongting Lake, sediment discharge from four rivers to Dongting Lake, runoff volume and sediment discharge in the output of Chenglingji showed significant decreasing tendency except the inconspicuous tendency of runoff volume from four rivers to Dongting Lake; ② the evolution process of runoff volume and sediment discharge simultaneously showed certain stage characteristics; ③ evolution characteristics and tendency of runoff volume and sediment discharge in Dongting Lake area were due to the curve-cuttings in the lower Jingjiang River system, the flow-cutting at Gezhouba Dam, Three Gorge Project, and other water conservancy projects.

**Key words:** runoff and sediment; evolution characteristics; tendency; Dongting Lake

洞庭湖作为我国的大型通江湖泊,与长江中游荆江松滋、藕池、太平、调弦四口和湖南湘、资、沅、澧四水息息相关,历史悠久。1951—2002 年,长江中上游历经了调弦堵口、下荆江三处(中洲子、上车弯、沙滩

子)裁弯取直、葛洲坝截流发电等水利工程建设;湘、资、沅、澧四水流域兴建了一批大中小型水库。江湖水沙关系由此发生了多次调整<sup>[1]</sup>,著名的长江三峡水库于 2003 年 6 月至 2008 年汛期进入运行初期,其间

收稿日期:2013-01-12

修回日期:2013-03-12

资助项目:“十二五”国家科技支撑(2010BAE00739-02);国家自然科学基金面上项目(41071067);珍稀濒危动植物生态与环境保护省部共建教育部重点实验室研究基金(桂科能 1001Z003);湖南省重点学科自然地理学建设项目;水利部公益性科研项目(201101019-2)

作者简介:李晖(1981—),男,河南南阳人,博士研究生,讲师,主要从事石漠化治理与生态恢复等方面的研究。E-mail:lh1029@126.com

通信作者:尹辉(1983—),男,广西桂林人,讲师,主要研究方向为生态恢复、水文和水土保持。E-mail:yinhui741852963@163.com

拦截了大量入库径流和泥沙<sup>[2]</sup>。究其影响,江湖出入湖水量如何?洞庭湖年输沙量又会产生怎样的变化?这是人们十分关注的问题<sup>[3]</sup>。明确三口、四水出入湖水沙量的变化,对于了解江湖关系、洞庭湖水沙输移特性、湖泊冲淤变化和减轻长江中游水旱灾害等方面具有重要意义。

近年来,有关洞庭湖水沙变化的研究取得了一定的进展。马元旭等<sup>[4]</sup>的研究表明,荆江三口分流分沙减小,荆江分流加大,洞庭湖的泥沙淤积减缓,荆江与洞庭湖汛期水位相对抬高;渠庚等<sup>[5]</sup>认为,荆江三口分流分沙自20世纪50年代以来均明显减少,入湖水沙也有减少趋势,城陵矶在高水位和低水位时分别较裁弯前高出1.8 m和2.0 m;穆锦斌等<sup>[6]</sup>研究表明,江湖水沙输移的调整,会引起下荆江流量的增加和城螺河段的淤积,城陵矶水位将逐渐增加。三峡水库建成后,长江中下游江湖水沙关系的调整也引起了广泛关注,如,宫平等<sup>[7]</sup>研究表明三峡水库运行后,荆江南岸三口水位呈下降趋势,荆江河床多以淤积为主,而洞庭湖区的淤积量将有所减少。

综上,相关研究依据的资料大多是1998年以前的观测结果<sup>[8]</sup>,由于近年来,长江和洞庭湖水沙条件发生了较大的变化,有必要对近60 a来洞庭湖水沙的演变特征和趋势进行深入分析。但至今未见近60 a来洞庭湖出入湖水沙趋势预测方面的研究。据此,本文运用1951—2009年洞庭湖径流泥沙的长序列实测资料,分析近60 a来洞庭湖年径流输沙量的演变特征,以为洞庭湖区的综合治理提供科学依据。

## 1 资料来源与分析方法

采用水利部长江水利委员会编写的《三峡水库优化调度方案研究》(总报告初稿,2009年3月),湖南省水旱灾害编辑部编写的《1950—1993年湖南省水旱灾害》、以及湖南省防汛抗旱指挥部办公室编写的《1994—2003年湖南省水旱灾情汇编》和《2004—2009年湖南省防汛抗旱工作总结报告》等近60 a统计资料中关于洞庭湖三口、四水和城陵矶水沙指标,作为分析洞庭湖水沙演变特征的基础资料。由于水沙具有明显的不确定性,在一定程度上,一定时间内表现出波动性、趋势性和阶段性。据此,本文对三峡水库运行前后洞庭湖年径流输沙量的历年变化进行分析,旨在反映近60 a来洞庭湖水沙的波动性。

## 2 结果与分析

### 2.1 洞庭湖年径流输沙量的历年变化

基于近60 a洞庭湖水沙资料,运用Origin 8.0

绘制洞庭湖年径流、输沙量图(图1)。从图1所示的近60 a洞庭湖水沙演变的总体特征来看:三口入湖水、沙量呈现出较为明显的减少趋势;四水入湖水量的年际变化存在着较大的波动,但总体上并未呈现出明显的增减趋势;四水入湖水量在1984年以前,波动变化较为明显,而随后其入湖水量的减少趋势逐渐显现;城陵矶出湖水、沙量总体上呈现递减趋势,同时也表现出一定的波动性。

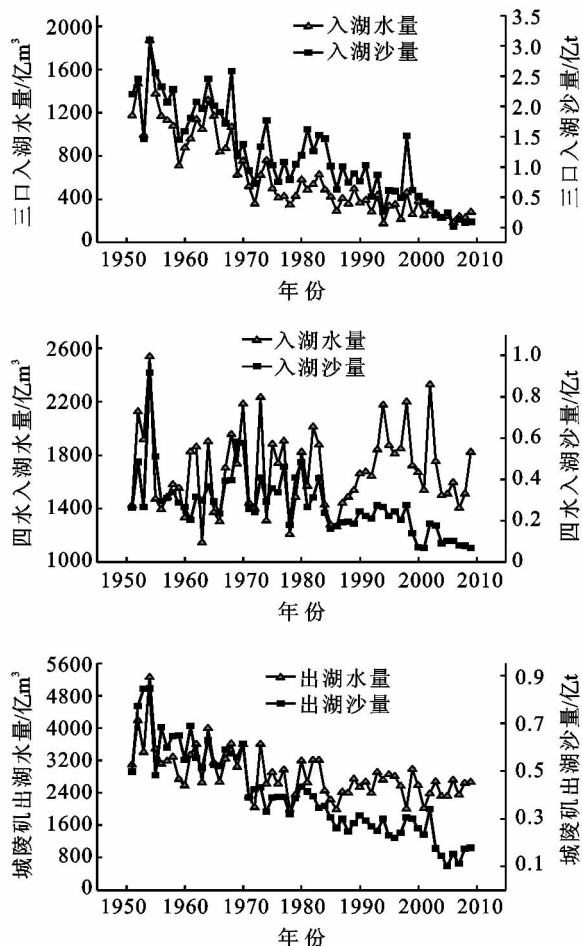


图1 洞庭湖年径流输沙量

2.1.1 三峡水库运行前(1951—2002)洞庭湖年径流输沙量变化 近几十年来,受长江中上游及湘、资、沅、澧四水流域各类水利工程运行的影响,荆江三口和湖南四水入湖年径流输沙量逐期减少。以1951—1958年(荆江调弦口堵口前)入湖水沙量为参照,1959—1966年、1973—1980年、1981—1998年间,三口入湖年径流量分别减少了122亿 $\text{m}^3$ 、623亿 $\text{m}^3$ 、758亿 $\text{m}^3$ ,入湖年输沙量分别减少了2 122万t、10 075万t、11 865万t;同期湖南四水入湖年径流输沙量也有所减少。其导致洞庭湖在1959—1966年、1973—1980年、1981—1998年间的年径流量分别减少了414亿 $\text{m}^3$ 、723亿 $\text{m}^3$ 及792亿 $\text{m}^3$ ;同期年输沙

量分别减少 3 664 万 t、107 88 万 t 和 13 850 万 t。由此可知,三峡水库运行前(1951—2002)洞庭湖年径流量、年输沙量均呈逐期减少趋势,其中 1981—1998 年及 1999—2002 年间的年径流量在 2 719 亿 m<sup>3</sup> ~ 2 813 亿 m<sup>3</sup> 之间波动,年输沙量在 11 690 万 t ~ 6 835 万 t 之间变化,这表明该时段洞庭湖多年平均水沙量处于相对稳定状态,而多年平均输沙量递减的幅度却较大,主要是荆江三口含水量减少所致。

2.1.2 三峡水库运行后(2003—2009)洞庭湖年径流输沙量变化 长江三峡水库于 2003 年 6 月开始运行,入库与出库水沙平衡状态分析表明,2003 年 6 月—2010 年 12 月,三峡入库悬移质泥沙 15.801 亿 t,出库(黄陵庙站)悬移质泥沙 4.118 亿 t,水库排沙比为 26.1%。也就是说水库拦截了 11.683 亿 t 的入库泥沙,库坝下游宜昌站年输沙量较多年平均值减少约 80%,使荆江三口分流比、分沙比(三口年水沙量占长江枝城站年水沙量的百分比)依次由三峡水库运行前(1999—2002 年)的 14.03%、16.38%,减少至水库运行初期(2003—2009 年)的 11.7% 及 13.6%。由于分泄长江水沙量的减少,三口占入湖多年平均径流量的比例由 29.3% 递减到 24.4%;三口占入湖多年平均输沙量的比例由 82.9% 递减到 58.5%,三口占入湖多年平均径流量、输沙量比例的减少幅度依次为 4.9%、24.4%;同期四水占入湖多年平均径流量的比例由 74.3% 递增至 75.6%;年输沙量的比例由 17.1% 递增至 41.5%;年平均径流量、输沙量比例的

增加幅度分别为 1.3% 和 24.4%。由此可见,三峡水库运行初期,荆江三口入湖水沙递减幅度比湖南四水水沙的递减幅度要大得多,荆江三口入湖径流泥沙同步减少是导致洞庭湖年径流量、年输沙量、年淤积量进一步减少的主导因素。受三口、四水入湖年径流输沙量变化的影响,洞庭湖年径流量、年输沙量较三峡水库蓄水运用前分别减少了 509 亿 m<sup>3</sup> 及 4 522 万 t,同期湖盆泥沙淤积率由 70.4% 减少至 43.7%。这表明,在三峡水库运行初期,洞庭湖多年平均径流量、输沙量仍然呈同步减少趋势。

2.2 洞庭湖年径流输沙量趋势分析

2.2.1 洞庭湖年径流输沙量变化趋势分析 本文运用趋势分析法,揭示近 60 a 来洞庭湖年径流输沙量的总体趋势性(表 1)。从表 1 可以看出,除了洞庭湖区四水水量的趋势性不显著以外,三口入湖水沙量、四水入湖沙量和城陵矶出湖水沙量均呈非常显著的减少趋势,这在一定程度上反映了如下几个方面的问题:① 下荆江裁弯后长江干流河道缩短,比降加大,造成河床冲刷,洞庭湖三口河系呈现衰退特征,导致三口入湖水沙量的减少趋势已十分明显;② 随着下荆江裁弯、葛洲坝、三峡等一系列水利工程的实施,四水入湖沙量得到了有效控制;③ 下荆江裁弯后城陵矶于低水位时受泥沙淤积而导致水位有所抬高(多年平均水位较裁弯前抬高 2 m 左右),受长江水位顶托的影响,加上总入湖水沙量的减少,洞庭湖出湖水沙量同步减少的态势。

表 1 1951—2009 年洞庭湖区水沙演变的总体趋势

地点	指标	Kendall 统计量 $\tau$	方差	标准化 变量 $U$	显著水平 $\alpha$	临界值 $U_{\alpha/2}$	检验差别	趋势性
三口	水量	0.524255	0.007988	5.865748	0.01	2.58	$ U  > U_{\alpha/2}$	减少趋势很显著
	沙量	0.727644	0.007988	8.141423	0.01	2.58	$ U  > U_{\alpha/2}$	减少趋势很显著
四水	水量	-0.048510	0.007988	-0.542762	0.05	1.96	$ U  < U_{\alpha/2}$	减少趋势不显著
	沙量	0.503214	0.007988	5.630333	0.01	2.58	$ U  > U_{\alpha/2}$	减少趋势很显著
城陵矶	水量	0.380479	0.007988	4.257081	0.01	2.58	$ U  > U_{\alpha/2}$	减少趋势很显著
	沙量	0.775570	0.007988	8.677645	0.01	2.58	$ U  > U_{\alpha/2}$	减少趋势很显著

2.2.2 洞庭湖年径流输沙量阶段性分析 取显著水平  $\alpha=0.05$ (临界值  $t_{\alpha}=1.710\ 9$ ),对洞庭湖三口、四水入湖水沙和城陵矶出湖水沙序列(1951—2009 年)作均值差异  $T$  检验的突变分析(表 2)。由表 2 可知:① 三口入湖水量在 1969 年左右发生了明显的减少趋势,于是将三口水量分成 1951—1968 年和 1969—2009 年的大水量两个阶段;1969 年和 1999 年将三口入湖沙量分成了 3 个递减阶段,即三口入湖沙量在 1951—1968 年,1969—1998 年和 1999—2009 年分别呈现出高沙量、较高沙量和相对较低的沙量。1969

年以后的水沙呈同步减少与 1969 年前后相继竣工的中洲子裁弯工程、上车湾裁弯工程和沙滩子裁弯工程以及 80 年代初期的葛洲坝截流工程密切相关;1999 年以后,尤其是 2003 年以后,三口入湖水沙的减少主要是三峡工程运行后水库发挥了显著的削减洪峰和拦截了大量水沙的缘故;② 1984 年和 1993 年将四水入湖水量分成 3 个阶段,即 1951—1983 年,1984—1992 年和 1993—2009 年,由于四水入湖水量  $t$  值相对较低,所以四水入湖水量均值差异相对较小,这与相关研究提出的“四水流域水系发育,产水量大,连年

兴建的水利工程蓄水主要用于当地的工农业生产,未对四水流域整体水文特征及其系统功能产生根本性影响”的结论相一致<sup>[9]</sup>;四水入湖沙量在 80 年代以后呈现出较大幅度的减少,主要与 1981 年以来四水流域所修建的大型水库对汛期泥沙进行了有效的拦蓄有关;③ 1984 年前后将城陵矶出湖水量划分为两个阶段(1951—1983 年和 1984—2009 年),第一阶段(1951—1983 年)城陵矶出湖水量明显大于第二阶段(1984—2009 年),出湖水量的减少主要与洞庭湖区

近 30 a 来大面积的人为围垦和湖区水量补给的减少,导致湖泊面积和容积不断减小,湖床抬高,湖泊调蓄能力大幅度降低等因素有关;1951—2009 年城陵矶出湖沙量时间序列中,1971 年和 2003 年前后各发生了一次出湖沙量的突变,前者是因下荆江裁弯后,长江下泄水量加大,湖口排水受阻,湖区水面比降变小,水流输沙能力减少所致<sup>[10]</sup>;后者主要归因于三峡工程正常运用后长江上游来沙量减少<sup>[11]</sup>、水库调度方式的改变和长江干流河道冲刷的影响<sup>[12]</sup>。

表 2 洞庭湖水沙演变的阶段性

地点	指标	阶段	统计量/ <i>t</i>	显著水 平/ $\alpha$	临界值/ <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	判别方式		突变 年份	均值	标准差
			<i>t</i> 值	<i>p</i> 值						
三口	水量	1951—1968 年	9.9677	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0001 ≤0.05	1969	1125.8333	267.2458
		1969—2009 年							457.4279	147.2648
	沙量	1951—1968 年	9.4574	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0001 ≤0.05	1969	21101.3889	4306.5211
		1969—1998 年							9998.0333	3704.7150
	沙量	1969—1998 年	8.2399	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0001 ≤0.05	1999	9998.0333	3704.7150
		1999—2009 年							2612.0545	1954.1344
四水	水量	1951—1983 年	2.5673	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0157 ≤0.05	1984	1688.3636	327.9973
		1984—1992 年							1491.0000	154.4272
	水量	1984—1992 年	2.9027	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0078 ≤0.05	1993	1491.000	154.4272
		1993—2009 年							1771.4259	265.4451
	沙量	1951—1983 年	6.8156	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0001 ≤0.05	1984	3643.4545	1415.6742
		1984—2009 年							1725.0323	693.4995
城陵矶	水量	1951—1983 年	4.8865	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0001 ≤0.05	1984	3126.1212	641.2884
		1984—2009 年							2521.4346	272.2489
	沙量	1951—1970 年	2.6362	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0001 ≤0.05	1971	6168.0000	1066.2902
		1971—2002 年							3226.5313	656.7316
	沙量	1971—2002 年	6.8256	0.05	1.7109	<i>t</i> > <i>t</i> <sub><math>\alpha</math></sub>	0.0001 ≤0.05	2003	3226.5313	656.7316
		2003—2009 年							1477.4286	312.2253

3 结 论

近 60 a 来,洞庭湖区除四水入湖水量的趋势性不显著以外,三口入湖水沙量、四水入湖沙量和城陵矶出湖水沙量均呈较显著的减少趋势;洞庭湖水沙在演变过程中表现出一定的阶段性特征。本文所采用的趋势分析法和阶段分析法均较为成熟,所得结果与洞庭湖水沙演变各时段的发展趋势性和阶段性较为吻合,基本能反映近 60 a 来洞庭湖水沙的演变特征及变化趋势。

参考文献:

[1] 李景保,王建,邓楚雄,等.基于水沙过程的洞庭湖系统功能健康内涵及其表征[J].热带地理,2011,31(2):205-210.  
[2] 戴仕宝,杨世伦,赵华云,等.三峡水库蓄水运用初期长江中下游河道冲淤响应[J].泥沙研究,2005(5):35-39.  
[3] 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):215-219.

[4] 马元旭,来红州.荆江与洞庭湖区近 50 年水沙变化研究[J].水土保持研究,2005,12(4):103-106.  
[5] 渠庚,唐峰,刘小斌.荆江三口与洞庭湖水沙变化及影响[J].水资源与水工程学报,2007,18(3):94-100.  
[6] 穆锦斌,张小峰.荆江—洞庭湖水沙变化影响分析[J].水利水运工程学报,2011(1):84-91.  
[7] 宫平,杨文俊.三峡水库建成后对长江中下游江湖水沙关系变化趋势初探:Ⅱ.江湖关系及槽蓄影响初步研究[J].水力发电学报,2009,28(6):120-125.  
[8] 毛北平,梅军亚,张金辉,等.洞庭湖三口洪道水沙输移变化分析[J].人民长江,2010,41(2):38-42.  
[9] 李景保,王克林,秦建新,等.洞庭湖年径流泥沙的演变特征及其动因[J].地理学报,2005,60(3):503-510.  
[10] 张祥志.洞庭湖水沙特性和泥沙淤积分析[J].华东师范大学学报:自然科学版,1996(1):62-69.  
[11] 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.  
[12] 张细兵,卢金友,王敏,等.三峡工程运用后洞庭湖水沙情势变化及其影响初步分析[J].长江流域资源与环境,2010,19(6):640-643.