

洞庭湖水系水沙特性及参数间的相关性研究

王正成¹,毛海涛^{1,2},强 跃¹,李 莉¹,刘 阳¹

(1.重庆三峡学院 土木工程学院,重庆 404100;
2.武汉大学 水利水电学院,武汉 430072)

摘要:研究洞庭湖水文泥沙参数间的相关性,分析泥沙的冲淤演变规律,为正确评价洞庭湖的淤积特性和江湖淤积的有效治理提供理论支撑。基于湘潭站等 9 座重要水文站 2002-2016 年间的水文泥沙监测资料,系统梳理洞庭湖水系的水沙特性及水文泥沙参数间的相关性。研究表明:松滋西河、澧水和洞庭湖 2016 年的年径流量相比 2002 年增大 0.3%~16.2%,其他河道降低 2.9%~34.2%;资水的泥沙中值粒径 2002-2016 年降低 57.1%,其他河道增大 26.7%~300%;资水和洞庭湖 2016 年的年均含沙量、年输沙量相比 2002 年分别增大 21.5%~22.2%、5.7%~40.6%,其他河道分别降低 13.6%~82.9%、6.7%~88.8%;参数间相关性由强到弱排序为年均含沙量-年输沙量、年径流量-年输沙量、年径流量-年均含沙量、年均含沙量-中值粒径、年输沙量-中值粒径、年径流量-中值粒径;东、南洞庭湖入湖泥沙量和淤积量在时序上分别下降 29.9%、144.73%,出湖泥沙量、排沙比分别增大 55.72%、113.7%;西洞庭湖入湖泥沙量、出湖泥沙量、淤积量、排沙比在时序上降低 24.06%~88.24%。三峡水库蓄水拦沙的作用降低了洞庭湖的入湖沙量、淤积量,增大了排沙量和排沙比,有利于洞庭湖寿命的延长。

关键词:洞庭湖;水沙特性;水文泥沙参数相关性

中图分类号:TV142 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2020)03-0032-10

洞庭湖是我国第 2 大淡水湖,东南汇集湘水、资水、沅水、澧水四水,北接松滋口、太平口、藕池口、调弦口(已封堵)四口分泄的长江来流,经洞庭湖调蓄后又于岳阳市城陵矶注入长江(李义天等,2000)。洞庭湖水系的泥沙含量在长江中游的防洪和水资源利用方面扮演着重要的角色(熊建新等,2014),洞庭湖水系的水沙特性成为研究热点。李景保等(2008)研究提出 1951-2005 年洞庭湖区始终处于淤积状态。洞庭湖 1951-1998 年间年径流量和泥沙间的相关系数 $r=0.9013$ (李景保等,2005)。高俊峰等研究表明洞庭湖在 1974-1998 年间总的趋势是淤积的,仅局部区域存在冲刷。李晖等(2013)研究提出洞庭湖区三口入湖水沙量、四水入湖水沙量和城陵矶出湖水沙量均呈较显著的减少趋势。姜加虎等(2009)研究得出洞庭湖泥沙淤积强度随高程增加而逐步减弱,其淤积特性并非简单的线性增长。李正

最等(2011)提出洞庭湖泥沙淤积的趋势明显减弱。

此外,年径流量、年均含沙量、年输沙量和中值粒径等参数是分析水系水沙特性的基础,但上述参数的获取需要耗费大量的人力物力,因此绝大部分河道上水文泥沙监测数据并不完整,尤其缺少泥沙资料;但泥沙对水资源的开发利用、防洪减灾、航道疏浚以及流域生态环境建设等具有重大影响(Summer B M et al, 2004)。因此,有必要研究水文泥沙参数间的相关性,旨在借助监测参数的变化特征表征未测定参数的变化规律。毕彩霞(2013)研究表明黄河中游皇甫川流域径流量和输沙量呈明显正相关。安和平(1994)研究得出北盘江流域年径流量与悬移质输沙模数之间存在一定的相关关系。毕华兴等(1998)指出输沙量和降雨量之间的关系密切,相关系数在 0.5199~0.5887,输沙量和径流量之间相关程度高,相关系数在 0.88 以上。

已有研究主要针对洞庭湖的水沙特性,但具体分析洞庭湖各水系(洞庭湖、湘江、沅江、资水、澧水、松滋西河、松滋东河、虎渡河、藕池河等)的水沙特性及参数间的相关性方面的研究鲜见,各河道的水文泥沙对洞庭湖泥沙的影响规律尚未形成定论,水文泥沙参数间相关性的研究较少。本文基于洞庭湖水系重要控制性水文站的监测资料,系统梳理洞庭湖水系的水沙特性,借助 SPSS 中的 Pearson(皮尔逊)

收稿日期:2018-09-29 修回日期:2020-05-06
基金项目:重庆市科委基础与前沿研究计划项目(cstc2019jcyj-msxm1865, cstc2018jcyjA);重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201901239、KJQN201801224、KJQN201901221)。
作者简介:王正成,1991 年生,男,实验师,硕士,从事水库泥沙淤积研究工作。E-mail:wangzhengcheng194@163.com
通信作者:毛海涛,1980 年生,男,教授,博士,从事河流泥沙研究工作。E-mail:maohaitao1234@163.com

和 Spearman(斯皮尔曼)展开相关性分析,研究水文泥沙参数间的相关性,进一步分析洞庭湖泥沙的冲淤演变规律,为正确评价洞庭湖的淤积特性和江湖淤积的有效治理提供理论支撑。

1 研究区域概况及数据分析

1.1 研究区域概况

研究区域为长江流域洞庭湖主要水系,主要包括湘江、沅江、资水、澧水、松滋河、虎渡河、藕池河和洞庭湖,长江水利委员会在各河道及洞庭湖湖口设置了控制性水文站,分别为湘潭、桃园、桃江、石门、新江口、沙道观、弥陀寺、藕池、城陵矶站(共计 9 个)。洞庭湖水系及水文站的分布概况如图 1。

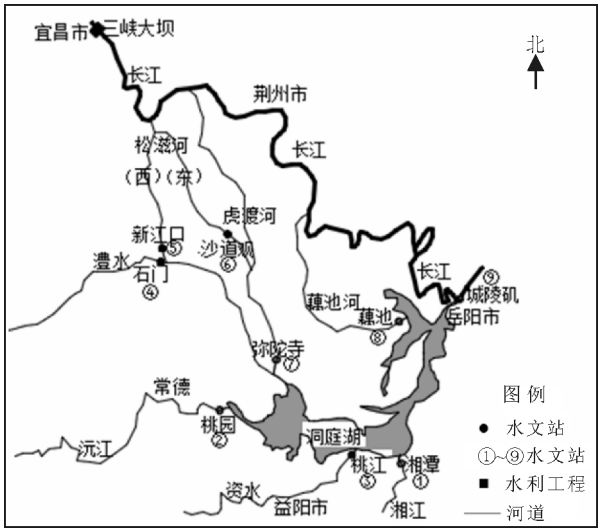


图 1 长江流域洞庭湖水系及水文站分布
Fig.1 Dongting Lake aquatic system with locations of the nine hydrologic control stations

为了进一步分析洞庭湖泥沙的冲淤演变规律及其原因,增加了洞庭湖水系的水力联系概化图,如图 2。湘江从南至北汇入东洞庭湖;沅江由西至东汇入南洞庭湖;资水由西至东汇入南洞庭湖;澧水由北至南汇入南洞庭湖;松滋河的河口位于长江,分为东支和西支,由西北至东南汇入南洞庭湖;虎渡河的河口位于长江,松滋东河汇入该河道,由北至南汇入东洞庭湖;藕池河的河口在长江,分为西河、东河和中河,汇入东洞庭湖。与此同时,水体携带泥沙进入洞庭湖,随着流速变缓,泥沙沉积在湖内。

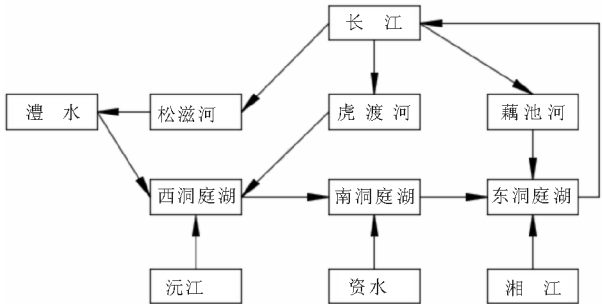


图 2 洞庭湖水系概化
Fig.2 Map showing the hydraulic connections of the Dongting Lake aquatic system

9 座水文站中有 3 座位于湖北省境内,其余坐落在湖南省,各河道的长度及落差、水文站的重要参数如表 1。研究时段为 2002 - 2016 年,共计 15 年。

1.2 数据来源

数据来源于上述水文站的监测资料,与本文相关的水文泥沙监测资料包括:年径流量、年均含沙量、年输沙量、泥沙中值粒径、年输沙模数。所有数据均来自《长江泥沙公报》,数据详实可靠。基于水

表 1 长江流域洞庭湖水系及水文站概况

Tab.1 General information of the Dongting Lake water system and hydrologic stations in the Yangtze River valley							
河道	河源	河口	流域面积/ 万 km ²	全长/ km	落差/ m	水文站	水文站位置
湘江	广西壮族自治区兴安县	岳阳市湘阴县	9.466	856	1074	湘潭站	湖南省湘潭市湘乡市望春门
沅江	贵州省都匀市云雾山	湖南省常德市德山	8.9163	1033	1462	桃园站	湖南省常德市桃源县
资水	湖南省邵阳市城步苗族自治县/夫夷水发源于广西资源县	湖南省益阳市资阳区过鹿坪镇甘溪港村	2.8142	653	492	桃江站	湖南省益阳市桃江县
澧水	湖南省张家界市桑植县	湖南省岳阳市	1.8496	407	621	石门站	湖南省常德市石门县楚江镇东方桥路
松滋河	湖北省松滋市沙道观镇	湖南省常德市安乡县	0.4113	45.5	249.8	新江口站/ 沙道观站	湖北省松滋市新江口镇/ 湖北省荆州市松滋市沙道观镇
虎渡河	湖北省荆州市公安县埠河镇	湖北省荆州市公安县	1.8496	137.7	389.5	弥陀寺站	湖北省荆州市荆门市
藕池河	湖北省荆州市藕池镇	湖南省岳阳市	1.0287	86	500	藕池站	湖北省荆州市石首市南口镇管家铺村

文站的水文泥沙监测资料,综合考虑各类影响因素,系统地梳理长江流域洞庭湖水系的水沙特性及参数间的相关性。

1.3 数据处理

SPSS 为国际上最有影响的 3 大统计软件之一(毕建武等,2009)。借助 SPSS“分析-探索”功能得出监测参数的显著性值 sig,检验水文泥沙参数是否符合正态分布,当 $\text{sig} \geq 0.05$ 时符合正态分布,反之则不满足正态分布。Pearson 是分析相关性的首选统计学方法(Mu Yashuang et al, 2018),局限在于参数必须满足正态分布。当水文泥沙参数不满足正态分布时,可采用 Spearman 秩相关系数来代替 Pearson 线性相关系数;Spearman 秩相关系数是 Pearson 相关系数的非参数版本,适用于不满足正态分布的连续数据(Zhang Wenyao et al, 2016)。

基于显著性水平 P 、相关性系数 R 判断参数间的 Pearson 相关性,两参数 X 、 Y 间的 Pearson 相关系数可通过以下公式计算:

$$R_{XY} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E(XY) - E(X)E(Y)}{\sqrt{E(X^2) - E^2(X)} \sqrt{E(Y^2) - E^2(Y)}} \quad (1)$$

式中: R_{XY} 为两参数的相关性系数; E 为数学期望; cov 表示协方差; N 表示变量取值的个数; μ 为中心矩。

Spearman 秩相关系数是利用两变量的秩次大小作线性相关分析,属于非参数统计方法;首先需要将多度向量转化成秩化向量,然后将秩化向量代入公式计算得出。Spearman 秩相关系数计算公式如下:

$$\begin{cases} d_i = X - Y \\ \rho = 1 - \frac{6 - \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N} \end{cases} \quad (2)$$

式中: X 、 Y 为两参数, d_i 为两变量的差值, ρ 为秩相关系数。

需要进一步说明的是:①显著性水平 $P < 0.05$ 表示两参数总体相关, $P \leq 0.01$ 表示总体显著相关, $P \geq 0.05$ 表示总体不相关。②(秩)相关系数的绝对值 $|R|$ 、 $|\rho| \in (0.6 \sim 1]$ 表示密切相关,用“*”表示, $|R|$ 、 $|\rho| \in (0.3 \sim 0.6]$ 表示相关,用“*”表示, $|R|$ 、 $|\rho| \in [0 \sim 0.3]$ 表示不相关,用“-”表示。

以 SPSS 中 Pearson 和 Spearman 为研究方法,系统分析各河道及洞庭湖水文泥沙参数间的相关

性。

2 结果与分析

2.1 水沙特性分析

基于湘潭、桃园、桃江、石门站 2002–2016 年和其余 5 座水文站 2003–2016 年的水文泥沙监测资料分析长江流域洞庭湖水系的水沙特性。年输沙量是全年内通过河道某断面的泥沙总量,取决于年均含沙量和年径流量;在分析年输沙量之前,应先重点梳理年径流量和年均含沙量的变化规律。在此基础上,进一步分析泥沙中值粒径和年输沙模数的变化特性。

2.1.1 年径流量分析 水流为泥沙运移提供根本动力,探讨年径流量的变化规律是分析洞庭湖水系水沙特性的重要前提,年径流量变化曲线如图 3。

各河道的年径流量均在 2011 年出现极小值, $22.54 \times 10^8 \sim 1\,475 \times 10^8 \text{ m}^3$; 在 2010 和 2012 年出现极大值,分别为 $62.35 \times 10^8 \sim 2\,799 \times 10^8$ 、 $76.07 \times 10^8 \sim 2\,860 \times 10^8 \text{ m}^3$;湘江和资水除外,其余各河道的年径流量均在 2006 年出现极小值, $10.43 \times 10^8 \sim 1\,990 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。洞庭湖的年径流量为 $1\,475 \times 10^8 \sim 3\,119 \times 10^8 \text{ m}^3$,明显高于其他河道的 $22.54 \times 10^8 \sim 999.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。湘江、沅江、资水、松滋东河、虎渡河、藕池河年径流量总体呈下降趋势,至 2016 年分别降低 12.7%、2.9%、14.5%、19.4%、34.2%、6.6%,虎渡河降幅最大;澧水和洞庭湖的年径流量总体呈增大趋势,至 2016 年分别增大 8.4% 和 16.2%;松滋西河的年径流量有较小的增幅,至 2016 年仅增大 0.3%。

2.1.2 年均含沙量分析 基于年径流量的变化特性,进一步分析年均含沙量的变化特性,年均含沙量变化曲线如图 4。

湘江年均含沙量在 2007 年达到极大值 0.108 kg/m^3 ,澧水年均含沙量在 2003 年出现极大值 0.535 kg/m^3 。洞庭湖年均含沙量分别在 2007 和 2013 年出现极小值和极大值,分别为 0.053 和 0.128 kg/m^3 ;2003–2013 年,洞庭湖年均含沙量增大 96.9%,2013–2016 年降低 38.3%。湘江、沅江、澧水、松滋西河、松滋东河、虎渡河和藕池河年均含沙量总体呈下降趋势,至 2016 年分别降低 49.6%、40.6%、13.6%、75.5%、82.3%、82.9% 和 76.3%,其中虎渡河降幅最大;资水和洞庭湖年均含沙量总体呈增大趋势,分别增大 22.2% 和 21.5%。

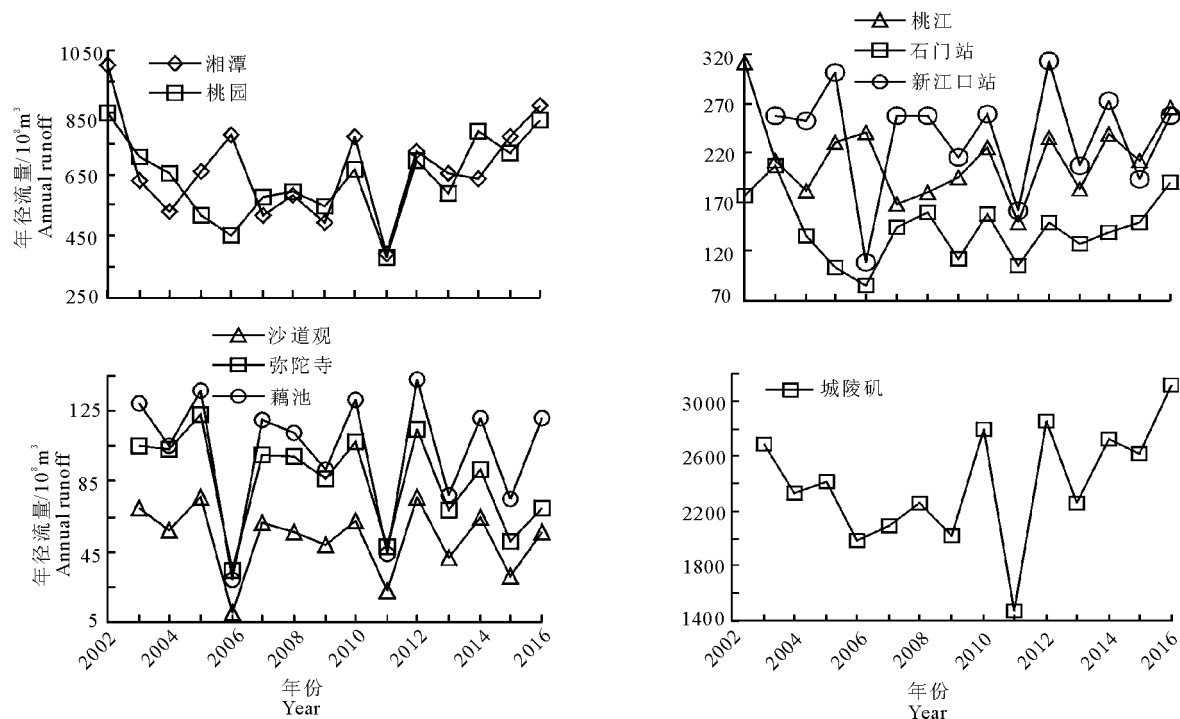


图 3 年径流量变化曲线

Fig.3 Annual runoff curves at each hydrologic station

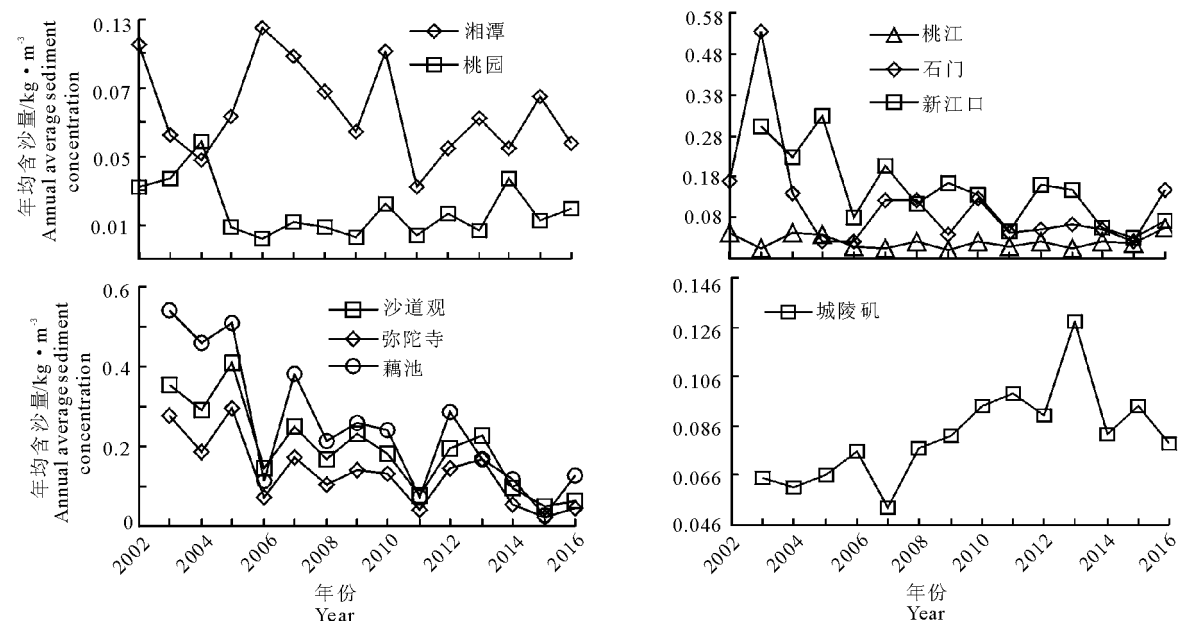


图 4 年均含沙量变化曲线

Fig.4 Annual average sediment concentration at each hydrologic station

2.1.3 年输沙量分析 进一步分析年输沙量的变化规律,年输沙量变化曲线如图 5。

对比不难发现,湘江、沅江、资水、澧水、松滋西河年均含沙量和年输沙量的变化规律类似,不再赘述。洞庭湖年输沙量在 2007 和 2011 年出现极小值,分别为 $1\,120 \times 10^8$ 和 $1\,460 \times 10^8 \text{ t}$;在 2013 年呈现极大值 $2\,900 \times 10^8 \text{ t}$ 。松滋东河、虎渡河、藕池河

皆在 2006 和 2011 年呈极小值。各河道的年输沙量均上下波动,但总体变化趋势存在差异;湘江、沅江、澧水、松滋西河、松滋东河、虎渡河、藕池河总体呈下降趋势,至 2016 年分别降低 55.7%、40.9%、6.7%、75.4%、85.6%、88.8%、77.8%;资水和洞庭湖呈上升趋势,至 2016 年分别增大 5.7%和 40.6%。

资水和洞庭湖年输沙量在时间序列(2002 -

2016)上呈增大趋势,其他河呈减小趋势,变化规律已阐明,但变异原因尚不明朗,需进一步分析。河道输沙量主要受自然和人为因素影响,如降雨会影响河道的产沙,边坡治理、河道整治、水库的蓄水拦沙都会对输沙量造成一定的影响,以湘江和澧水为例进行探讨。

湘江年输沙量在时间序列上显著减少,主要原因在于产沙量的变化受人为和自然因素的双重影响:①水库的蓄水作用拦蓄了大量泥沙淤积在水库中,湘江流域已建大型水库 10 余座,总库容达 $1.19 \times 10^{10} \text{ m}^3$,水库的建设对泥沙输移产生重要影响;② 20 世纪 50 年代以来,湖南省水土流失综合治理面积达 22 296.4 km^2 ,培育水土保持林 10 035.3 km^2 ,也使湘江泥沙进一步减少(胡光伟等, 2014)。影响澧水流域年输沙量的因素可分为自然和人为因素,其中又以人类活动(如水利水保工程)对径流、泥沙的变化影响较大。澧水流域先后采取坡改梯 (2.3 km^2)、封山育林、种植油桐树 ($1.2 \times 10^5 \text{ hm}^2$) 等措施,改善了水土流失;此外,据统计澧水流域已建大、中、小型水库 9 000 余座,水库的蓄水拦沙作用致使泥沙进一步减小(刘碧维等, 2014)。

2.1.4 泥沙中值粒径分析 随着年径流量、年均含沙量、年输沙量发生改变,泥沙颗粒粒径也会随之变化。中值粒径是表征泥沙特性的代表性参数,能反

应泥沙的粗细程度,其变化曲线如图 6。

湘江的中值粒径呈先增大后降低的趋势,2007 年达到极大值 0.075 mm,2002 - 2007 年增大 400%,随后降低 74.7%。沅江和松滋东河的泥沙中值粒径变化幅度相对较小。2006 年后澧水的泥沙中值粒径趋于稳定;松滋东河、虎渡河、藕池河在 2006 年出现极小值,分别为 0.004、0.002、0.004 mm;洞庭湖的泥沙中值粒径在 2003 - 2009、2010 - 2016 年间近似趋于稳定,2009 - 2010 年显著上升,增大 125%。资水的泥沙中值粒径总体呈下降趋势,至 2016 年降低 57.1%;其他各河道泥沙中值粒径增大 26.7%~300%,其中虎渡河增大最为显著。

2.1.5 年输沙模数分析 基于年输沙量的变化特性,深入分析年输沙模数的变化规律,其变化曲线如图 7。

各河道年输沙模数和年输沙量变化规律类似,其变化规律参照“年输沙量分析”,不再赘述。

2.2 参数间的相关性

2.2.1 相关性分析 年输沙模数定义为单位流域面积在单位时间内产生的输沙量,其值取决于年输沙量的大小,两者变化规律一致,与其他参数的相关性也一致。基于 SPSS 检验各参数是否符合正态分布,将显著性值列入表 2。

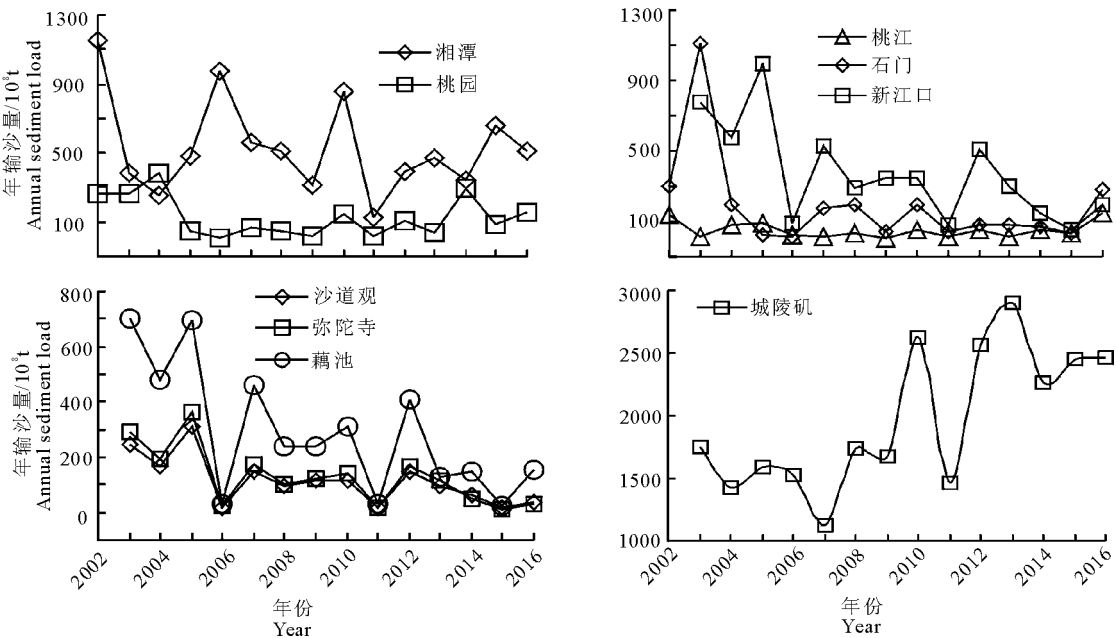


图 5 年输沙量变化曲线

Fig.5 Annual sediment loads at each hydrologic station

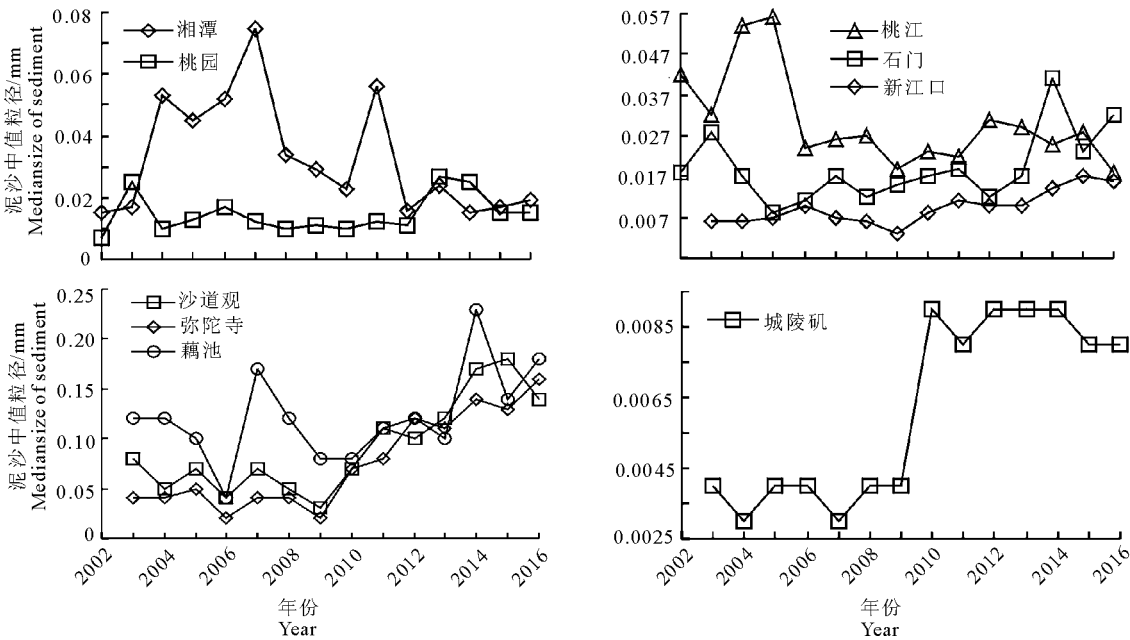


图 6 泥沙中值粒径变化曲线
Fig.6 Annual median particle size at each hydrologic station

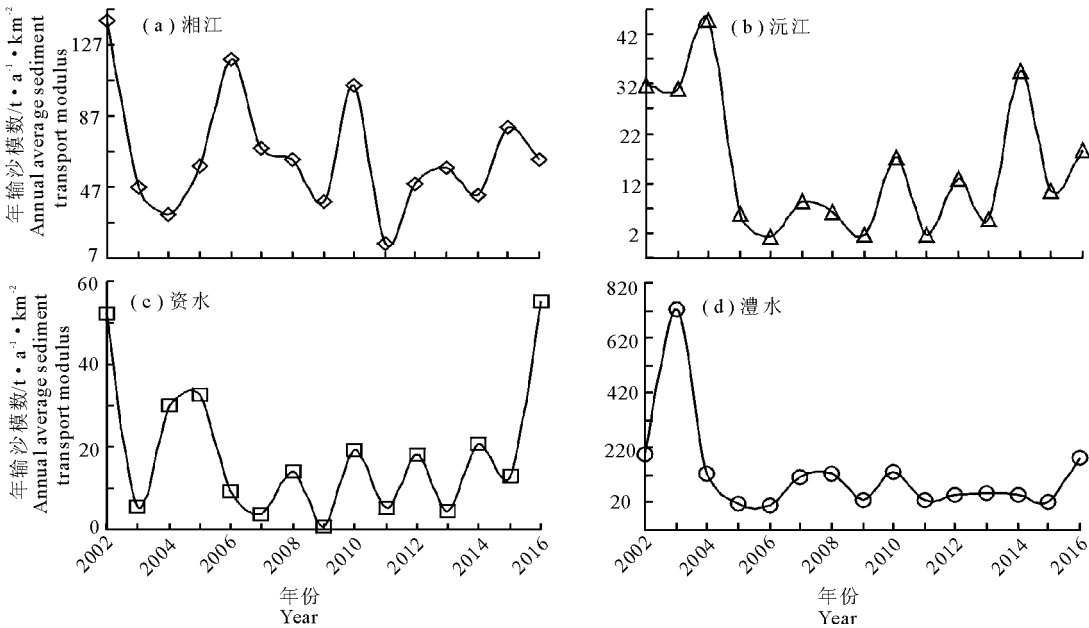


图 7 年输沙模数变化曲线
Fig.7 Annual average sediment transport modulus

表 2 各参数的显著性值

Tab.2 Critical parameter values for each hydrologic station

参数	湘江	沅江	资水	澧水	松滋西河	松滋东河	虎渡河	藕池河	洞庭湖
年径流量	0.2	0.2	0.2	0.2	0.011	0.083	0.2	0.174	0.2
年均含沙量	0.2	0.2	0.087	0.007	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
年输沙量	0.112	0.2	0.138	0.002	0.2	0.2	0.2	0.2	0.057
中值粒径	0.076	0.068	0.016	0.021	0.2	0.2	0.11	0.039	0.001

参数不满足正态分布,采用 Spearman 相关分析方法;反之,则借助 Pearson。SPSS 分析得出水文泥沙参数间的相关性系数,根据相关性系数的绝对值大小,分别用“**”、“*”、“-”表示“密切相关”、“相关”、“不相关”,参数间的相关性如表 3。

表 3 参数间的相关性分析

Tab.3 Correlation analysis of hydrologic and sediment parameters

参数比较	湘江	沅江	资水	澧水	松滋西河	松滋东河	虎渡河	藕池河	洞庭湖
①年径流量-年均含沙量	*	*	*	**	*	*	**	*	—
②年径流量-年输沙量/年输沙模数	**	**	**	**	*	**	**	**	**
③年径流量-中值粒径	*	—	—	*	—	—	—	—	*
④年均含沙量-年输沙量/年输沙模数	**	**	**	**	**	**	**	**	**
⑤年均含沙量-中值粒径	—	—	—	*	**	*	*	—	**
⑥年输沙量/年输沙模数-中值粒径	—	—	—	*	*	*	*	—	**

①年径流量-年均含沙量:洞庭湖不存在相关性,澧水和虎渡河两参数密切相关,其他河道两参数间存在相关关系。②年径流量-年输沙量/年输沙模数:仅松滋西河两参数间存在相关关系,其余河道的两参数不相关。③年径流量-中值粒径:仅湘江、澧水、洞庭湖两参数间存在着相关关系,其余河道的两参数不相关。④年均含沙量-年输沙量/年输沙模数:所有河道两参数密切相关。⑤年均含沙量-中值粒径:松滋西河、洞庭湖两参数密切相关,澧水、松滋东河、虎渡河两参数存在相关关系,其他河道两参数不相关。⑥输沙量/年输沙模数中值粒径:仅洞庭湖两参数密切相关,澧水、松滋西河、松滋东河、虎渡河两参数存在相关关系,其他河道两参数不相关。

综上所述,参数间相关性由强到弱排序为:年均含沙量-年输沙量/年输沙模数>年径流量-年输沙量/年输沙模数>年径流量-年均含沙量>年均含沙量-中值粒径>年输沙量/年输沙模数-中值粒径>年径流量-中值粒径。

2.2.2 相关性强弱的原因分析 ①年输沙量主要受到年径流量和年均含沙量两个因素的影响,年均含沙量的波动幅度比年径流量大,年均含沙量成为影响年输沙变化的最主要的因素。因此,年均含沙量-年输沙量/年输沙模数间的相关性最强,年径流量-年输沙量/年输沙模数间的相关性其次。②年径流量与河道产沙量呈正相关,大的径流量对应大的河道携沙力,年径流量是年均含沙量的主要影响因素,年径流量和年均含沙量间存在相关关系或密切相关。③河道泥沙来源存在差异,即产沙地不同,产沙源头的岩土体类型、风化程度、颗粒级配是泥沙中值粒径的主要决定因素,与年均含沙量、年输沙量、年径流量的关系并不显著,仅有极少数河道泥沙中值粒径和其他水文泥沙参数存在密切相关关系,主要为相关关系或不相关。

2.3 洞庭湖泥沙冲淤特性分析

洞庭湖的泥沙量很大程度上取决于湘江、沅江、资水、澧水、松滋西河、松滋东河、虎渡河、藕池河等

河道的年均含沙量、输沙量。基于长江流域洞庭湖水系的水沙特性及各参量间的相关性,进一步分析洞庭湖的入湖泥沙量、出湖泥沙量、淤积量,泥沙量变化曲线如图 8。

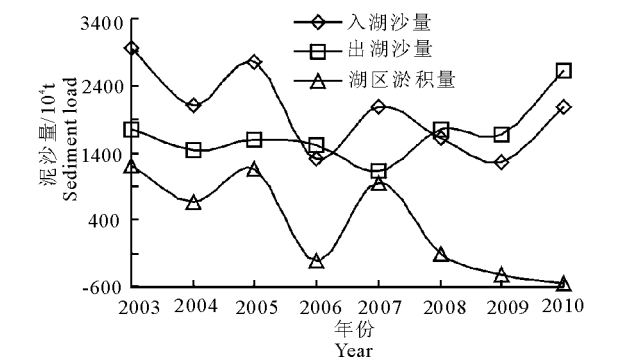


图 8 三峡工程蓄水后东、南洞庭湖泥沙量

Fig.8 Sediment load East and South Dongting Lake after impoundment of Three Gorges Reservoir

东、南洞庭湖入湖泥沙量最大值、最小值出现在 2003 和 2006 年,分别为 2 963 万 t、1 300 万 t。2003-2010 年总体呈下降趋势,降低 29.9%。出湖泥沙量 2010 年增大至最大值 2 620 万 t,2007 年降低至最小值 1 118 万 t;以 2007 年(水库蓄水位 156 m)为分界线,2003-2007 年出湖泥沙量降低 36.08%,2007-2010 年出湖泥沙量增大 134.35%;总体呈增大趋势,至 2010 年出湖泥沙量增大 49.8%。泥沙淤积量在 2003 年出现最大值 1 214 万 t,在 2010 年冲刷量达到最大值 543 万 t;至 2010 年,淤积量总体下降 144.73%;除 2003-2005 和 2007 年出现淤积外,其他年份均出现冲刷。

为了进一步反映泥沙冲淤特性,基于图 8 计算得出东、南洞庭湖排沙比(出库量/入库量)如图 9。

东、南洞庭湖排沙比上下波动,在 2009 年增大至极大值 1.34,2007 年降低至极小值 0.53。2006、2008-2010 年排沙比大于 1,这些年份东、南洞庭湖均出现冲刷。2003-2010 年,排沙比总体呈上升趋势,增大 113.7%。

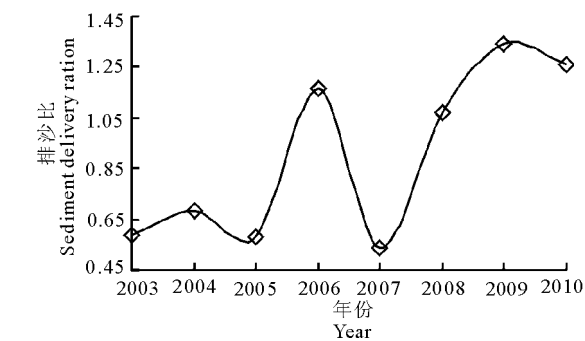


图 9 三峡工程蓄水后东、南洞庭湖排沙比

Fig.9 Sediment delivery ratio of East and South Dongting Lake after impoundment of Three Gorges Reservoir

进一步分析西洞庭湖的冲淤特性,年度泥沙量变化曲线如图 10。

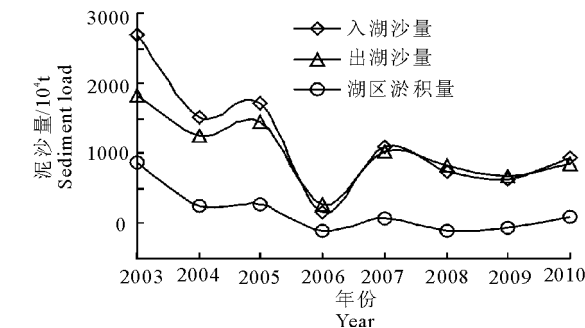


图 10 三峡工程蓄水后西洞庭湖泥沙量

Fig.10 Sediment load of West Dongting Lake after impoundment of Three Gorges Reservoir

在入湖泥沙量方面,最大值和最小值分别在 2003 和 2006 年出现,分别为 2 690 万 t、156 万 t;以 2006 年为分界,先降低后增大,2003 - 2007 年降低 94.2%,2007 - 2010 年增大 507.69%。出湖泥沙量和入湖泥沙量曲线的变化规律类似,在 2003、2006 年出现极大值和极小值,分别为 1 823 万 t、267 万 t;以 2006 年为分界,2003 - 2006 年降低 85.35%,2006 - 2010 年降低 216.85%;2003 - 2010 年入湖泥沙量和出湖泥沙量分别降低 64.76%、53.59%。淤积量总体呈现降低趋势,至 2010 年降低 88.24%,且在 2006 年后大致趋于稳定。

为了更加直观地反映冲淤特性,基于图 10 计算出西洞庭湖的排沙比如图 11。

西洞庭湖的排沙比在 2003 年出现极大值 1.48,2006 年出现极小值 0.58;以 2006 年为对称轴,先降低后增大,2003 - 2006 年降低 60.4%,2006 - 2010 年增大 91.79%;2003 - 2010 年降低 24.06%。2003 - 2005、2007、2010 年西洞庭湖排沙比大于 1,这些年份西洞庭湖出现冲刷,其他年份出现淤积。

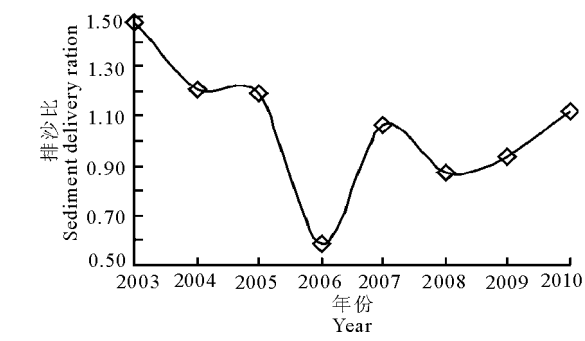


图 11 三峡工程蓄水后西洞庭湖排沙比

Fig.11 Sediment delivery ratio of West Dongting Lake after impoundment of Three Gorges Reservoir

3 结论

本文重点分析了洞庭湖水系的水沙特性及水文泥沙参数间的相关性,进一步针对洞庭湖展开冲淤分析,得出以下 4 点结论。

- (1)松滋西河、澧水和洞庭湖年径流量至 2016 年增大 0.3%~16.2%,其他河道降低 2.9%~34.2%;资水的泥沙中值粒径至 2016 年降低 57.1%,其他河道增大 26.7%~300%;资水和洞庭湖的年均含沙量、年输沙量至 2016 年分别增大 21.5%~22.2%、5.7%~40.6%,其他河道分别降低 13.6%~82.9%、6.7%~88.8%。

- (2)植树造林、坡地改梯、修建水库等水土保持措施会降低河道泥沙量。

- (3)水文泥沙参数间相关性由强到弱排序为:年均含沙量-年输沙量、年径流量-年输沙量、年径流量-年均含沙量、年均含沙量-中值粒径、年输沙量-中值粒径、年径流量-中值粒径。

- (4)至 2010 年,东、南洞庭湖入湖泥沙量和淤积量分别下降 29.9%、144.73%,出湖泥沙量、排沙比分别增大 55.72%、113.7%;西洞庭湖入湖泥沙量、出湖泥沙量、淤积量、排沙比分别降低 64.76%、53.59%、88.24%、24.06%。

参考文献

安和平, 1994. 北盘江流域降雨、径流、产沙相互关系研究[J]. 水土保持学报, (3): 46 - 51.

毕华兴, 朱金兆, 张学培, 1998. 晋西黄土区小流域场暴雨径流泥沙模型研究[J]. 北京林业大学学报, (6): 14 - 19.

毕建武, 贾进章, 刘丹, 2013. 基于 SPSS 多元回归分析的回采工作面瓦斯涌出量预测[J]. 安全与环境学报, 13 (5): 183 - 186.

毕彩霞, 2013. 黄河中游皇甫川流域产沙性降雨及其对径流输沙的影响[D]. 北京:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心).

高俊峰, 张琛, 2001. 洞庭湖的冲淤变化和空间分布[J]. 地理学报, 56(3): 269 - 277.

胡光伟, 毛德华, 李正最, 等, 2014. 1951 - 2011 年湘江径流泥沙演变过程与特征分析[J]. 水土保持通报, 34(1): 166 - 172.

姜加虎, 黄群, 孙占东, 2009. 洞庭湖泥沙淤积与洲滩变化研究[J]. 人民长江, 40(14): 74 - 75.

李义天, 邓金运, 孙昭华, 等, 2000. 泥沙淤积与洞庭湖调蓄量变化[J]. 水利学报, 31(12): 48 - 52.

李景保, 王克林, 秦建新, 等, 2005. 洞庭湖年径流泥沙的演变特征及其动因[J]. 地理学报, 60(3): 503 - 510.

李景保, 尹辉, 卢承志, 等, 2008. 洞庭湖区的泥沙淤积效应[J]. 地理学报, 63(5): 514 - 523.

李正最, 谢悦波, 徐冬梅, 2011. 洞庭湖水沙变化分析及影响初探[J]. 水文, 31(1): 45 - 53.

李晖, 尹辉, 白旻, 等, 2013. 近 60 年洞庭湖区水沙演变特征及趋势预测[J]. 水土保持研究, 20(3): 139 - 142.

刘碧维, 宋楠, 耿胜慧, 等, 2014. 1955 - 2009 年澧水流域径流泥沙演变及影响因素[J]. 水土保持通报, 34(6): 360 - 363.

熊建新, 陈端吕, 彭保发, 等, 2014. 洞庭湖区生态承载力系统耦合协调度时空分异[J]. 地理科学, 34(9): 1108 - 1116.

Mu Yashuang, Liu Xiaodong, Wang Lidong, 2018. A Pearson's correlation coefficient based decision tree and its parallel implementation[J]. Information Sciences, 435: 40 - 58.

Sumer B M, Chua L H C, Cheng N S, et al, 2004. 2003 Influence of turbulence on bed load sediment transport[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 129(8):585 - 596.

Zhang Wenyao, Wei Zongwen, Wang Binghong, et al, 2016. Measuring mixing patterns in complex networks by Spearman rank correlation coefficient[J]. Physica A Statistical Mechanics & Its Applications, 451: 440 - 450.

(责任编辑 张俊友)

Water and Sediment Characteristics of the Dongting Lake System
and Correlations Among Parameters

WANG Zheng-cheng¹, MAO Hai-tao^{1,2}, QIANG Yue¹, LI Li¹, LIU Yang¹

(1.College of Civil Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100,P.R.China;
2.Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Wuhan University,
Wuhan 430072,P.R.China)

Abstract: Dongting Lake is a large, shallow lake in northeastern Hunan Province, with three sections (east, south and west) and connections to numerous rivers that form a complex aquatic system. As a flood basin of the Yangtze River, its surface area varies greatly with season (annual variation 2 800 – 20 000 km²) and it plays an important role in water and sediment exchange with Yangtze River. Further, the water and sediment characteristics affect its flood control capacity and the utilization of Yangtze River water resources. In this study, the water and sediment of Dongting Lake and tributaries were characterized and correlations between hydrological and sediment parameters were systematically analyzed. The study was based on data generated by hydrological and sediment monitoring at nine hydrological control stations in the larger Dongting Lake aquatic system from 2002 to 2016. Control stations are located at Xiangjiang River, Yuanjiang River, Zishui River, Lishui River, Songzi River, Hudu River, Ouchi River and Dongting Lake. The objective was to provide theoretical support for sediment control and treatment in the Dongting Lake system. Results show that the annual runoff of Songzixi River, Lishui River and the Dongting Lake increased by 0.3% – 16.2%, while other rivers decreased by 2.9% – 34.2%. The median particle size in Zishui River decreased by 57.1% from 2002 to 2016, while the values in other rivers increased by 26.7% – 300%. The annual average sediment concentration and annual sediment load of Zishui River and Dongting Lake in 2016 increased, respectively, by 21.5% – 22.2% and 5.7% – 40.6% compared with those in 2002, while the corresponding values in the other rivers decreased by 13.6% – 82.9% and 6.7% – 88.8%. The strength of correlations among parameters was in the order: annual average sediment concentration-annual sediment load>annual runoff-annual sediment load>annual runoff-annual average sediment concentration>annual average sediment concentration-median particle size>annual sediment load-median particle size>annual runoff-median particle size. The quantity of inflowing sand and the siltation rate in East and South Dongting Lake decreased, respectively, by 29.9% and 144.73% from 2002 to 2016, while the quantity of outflowing sand and the sediment discharge ratio increased by 55.72% and 113.7%. The quantities of inflowing and outflowing sand, siltation rate and the sediment discharge ratio of West Dongting Lake decreased by 24.06% – 88.24%. Generally, sediment impoundment in Three Gorges Reservoir has been beneficial for Dongting Lake by decreasing the inflow of sand and the siltation rate and increasing the outflow of sand and the sediment discharge ratio.

Key words: Dongting Lake; water and sediment characteristics; hydrologic and sediment parameter correlation