

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2020.0094

赵贵章,董锐,王赫生,等.近30年鄱阳湖与洞庭湖水文变化与归因[J].南水北调与水利科技(中英文),2020,18(5):74-83.
ZHAO G Z, DONG R, WANG H S, et al. Hydrological variations and attribution analysis of Poyang Lake and Dongting Lake in the past 30 years[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2020, 18(5): 74-83. (in Chinese)

近30年鄱阳湖与洞庭湖水文变化与归因

赵贵章¹,董锐¹,王赫生²,马雅静¹,叶永红²,胡梦蛟¹

(1. 华北水利水电大学, 郑州 450045; 2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 南京 210016)

摘要:为揭示鄱阳湖和洞庭湖水文特征并综合分析其影响因素对湖泊水资源管理及江湖关系,以两湖水系统为研究对象,采用非参数秩次相关检验法(Mann-Kendall M-K)分析方法和近30年两湖-流域-长江水位和流量长序列数据集,解析湖泊水文变化特征、趋势和程度,并通过两湖水文的对比来系统分析长江中游大型通江湖泊水文变化规律及其影响因素,旨在对两湖流域水资源的整体认识和把控,丰富对江-河-湖复杂水系统作用机制与内涵的深入理解。结果表明:两湖水位在近30年总体上呈“上升-非稳定状态-下降”3个变化阶段。2003年前,鄱阳湖和洞庭湖水位总体呈上升趋势,且在1980—2000年基本处于不稳定的波动状态,2003年后两湖水位呈明显的下降趋势。Mann-Kendall分析得出:两湖水位可能在2005年左右发生明显突变,且鄱阳湖和洞庭湖水位与之前相比,最大降幅分别可达9.4%和3.4%,表明两湖水位变化的趋势程度存在差异,鄱阳湖水情变化的敏感程度要强于洞庭湖。对长江干流的补水期洞庭湖为4—10月,鄱阳湖为3—8月,表明两湖对长江干流水文的不同调节补偿作用。

关键词:鄱阳湖;洞庭湖;长江水情;Mann-Kendall 检验

中图分类号:P641.2 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



Hydrological variations and attribution analysis of Poyang Lake and Dongting Lake in the past 30 years

ZHAO Guizhang¹, DONG Rui, WANG Hesheng, MA Yajing¹, YE Yonghong², HU Mengjiao¹

(1. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China;

2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

Abstract: Poyang Lake and Dongting Lake are currently one of the few large and natural river systems in China that play an irreplaceable role in regulating the flood and maintaining the ecological environment of the Yangtze River basin. In recent years, due to the superimposed influence of climate change and large-scale water conservancy projects, the change of the hydrological situation of the two lakes has gained considerable attention. Therefore, it is of great practical significance to reveal the hydrological characteristics of the two lakes and comprehensively analyze the influencing factors for the in-depth understanding of the lake water resource management and the relationship between the rivers and lakes. Taking the water systems of Dongting Lake and Poyang Lake as the research objects, the Mann-Kendall test is used to study the trend and degree of lake water regime evolution through the water level of the two lakes, the runoff of the Yangtze River and the runoff of the two lakes in the past 30 years. Moreover, the overall variation characteristics of hydrological variables in both lakes and their causes at different periods in 1985-2014 are analyzed. Through the comparison of the hydrological conditions in both lakes, the law of hydrological variation and its influencing factors in the river-connected lakes in the middle reaches of the Yangtze River are systematically examined. The results show that the water levels of the two lakes in the past 30 years have generally been in three stages of "rising-un-

收稿日期:2019-05-29 修回日期:2019-12-30 网络出版时间:2020-03-13

网络出版地址:https://kns.cnki.net/KCMS/detail/13.1334.TV.20200313.1019.004.html

基金项目:国家自然科学基金(413722260;41771037;41877166);中国地质调查局水文地质调查项目(DD20190354)

作者简介:赵贵章(1975—),男,河南获嘉人,副教授,博士,主要从事非饱和带-饱和带模拟研究。E-mail:guizhangzhao@163.com

通信作者:王赫生(1984—),男,河南方城人,助理研究员,主要从事水文地质环境地质调查研究。E-mail:yunliangli@niglas.ac.cn

steady-declining". Before 2003, the water levels of Poyang Lake and Dongting Lake generally showed an upward trend, and they are basically in an unstable fluctuation state from 1980 to 2000. After 2003, the water level of the two lakes showed an obvious downward trend. Mann Kendall analysis showed that the water level of the two lakes may have a significant mutation around 2005, and the maximum drop of the water level of Poyang Lake and Dongting Lake is 9.4% and 3.4%, respectively, compared with the previous one, indicating that the trend degree of water level change of the two lakes is different, and the sensitivity degree of water regime change of Poyang Lake is stronger than that of Dongting Lake. The replenishment period of Dongting Lake for the mainstream of the Yangtze River is from April to October, and for Poyang Lake is from March to August, indicating that the two lakes have different adjustments and compensation effects on the hydrology of the mainstream of the Yangtze River.

Key words: Poyang Lake; Dongting Lake; Yangtze River water regime; Mann-Kendall trend test

长江中游是我国水网和湖泊最为密集的地区之一,作为自然生态系统的重要组成部分,它具有许多生态功能,如调蓄洪水、涵养水源、保护生物多样性和消纳污染物等^[1]。分布于长江两岸的绝大多数湖泊在历史上均与长江保持自然相通,形成独特而完整的江、河、湖复合生态系统。自 20 世纪 50 年代以来,由于围湖造田、修建堤坝闸门等人类活动,大量湖泊逐渐消失,而洞庭湖和鄱阳湖 2 个位于长江中游的大型淡水湖泊至今仍然与长江保持着自然连通的状态,且长江与它们之间相互作用、相互制约^[2-3]。通江湖泊其节律性水文变化和季节性干湿交替的特征对两湖湿地植物群落的生长、发育和空间分布状态产生深刻的影响^[4],江湖关系的变化影响着区域洪水灾害防治、水资源利用、水环境保护和水生态安全等^[5],是长江中游水问题的核心与关键问题。因此,研究通江湖泊复合系统中水文特征变化及其影响因素,可深入理解湖泊-人类、湖泊-流域、湖泊-江河的关系变化,将对湖泊流域水循环、江湖旱旱灾害发生机制、湖泊水质以及水生态响应等诸多方面具有重要现实意义。

近几十年来,由于气候变化和人类活动的叠加影响,江湖关系影响下的通江湖泊水文变化问题备受关注。两湖水文情势均已发生了显著变化,已对水资源综合利用和水生态环境保护产生了不可回避的影响。文献调研发现:就两湖水文变化问题,已有不少学者开展了相关方面研究,对两湖水文变化有了较为深入的认识。例如:胡光伟等^[6]采用集中度与集中期、M-K 趋势检验法、变差系数法等方法对洞庭湖入湖径流河流和出湖径流年径流量序列进行分析;叶许春等^[7]采用 M-K 法分析检验了 1961—2000 年鄱阳湖流域径流序列;赖锡军等^[8]采用小波方差法对近 50 年(1961—2008 年)洞庭湖水位的整体变化特征及年际和年内变化成因进行了分析;欧阳千林等^[9]采用 M-K

法和最大熵谱法,基于鄱阳湖棠荫水文站近 50 年(1962—2012 年)的水位资料,分析鄱阳湖湖区水位的演变趋势和周期性;Hu 等^[10]对长江与鄱阳湖相互作用的研究首次量化地描述了长江对鄱阳湖水量变化的影响;戴雪等^[11]通过湖内代表水文站点采用单因素方差分析方法对长江通江湖泊水情变化进行分析;何征等^[12]以洞庭湖城陵矶站、南咀站以及长江干流宜昌站、螺山站基础数据采用单位根检验、方差分析和水位-流量绳套曲线等方法对洞庭湖近 30 年季节性水情变化特征进行分析;郭华等^[13]采用 2004—2006 年三峡水库蓄水、放水量的数据,定量地计算和比较了三峡水库运行和区域气候变化对长江与鄱阳湖相互作用的影响程度。上述研究表明:统计学方法已经在两湖区的水文分析得到了广泛应用,也获得了对鄱阳湖、洞庭湖水文特征演变的一些认识。然而,因资料获取有限,前期研究多以单个湖泊作为研究对象,也没有专门对湖泊水文变化过程开展详细分析,缺乏对江-河-湖系统的综合分析与研究。

鉴于上述背景,重点分析洞庭湖和鄱阳湖水位、径流时空特征及其影响因素,目的是拓展和丰富先前的单一湖泊水文研究,主要不同之处在于开展两湖水文的对比分析,从系统角度来揭示江湖关系变化及其产生的可能影响。主要研究目标:(1)通过近 30 年两湖综合水文数据集,采用 M-K 检验方法来分辨两湖水文情势变化与动态特征;(2)基于对比水文方法,探明两湖水文变化的差异性,并从江湖关系演变的角度进一步讨论两湖水文变化及其影响因素。本研究不仅可为两湖区科学调控水资源提供重要参考依据,而且对当地湿地生态环境保护以及两湖地区的湖泊管理与实践等具有重要意义。

1 研究区概述

洞庭湖与鄱阳湖曾先后交替排列为我国第一大

淡水湖。洞庭湖位于荆江段南岸、湖南省北部,地理坐标 $28^{\circ}44' \sim 29^{\circ}35' \text{ N}$, $111^{\circ}53' \sim 113^{\circ}05' \text{ E}$,流域面积 26.30 万 km^2 ,天然湖泊面积约 2 589 km^2 (城陵矶水位 31.97 m,85 高程系统),是长江出三峡进入中下游平原后的第一个通江湖泊^[15],汛期湖水面积最大可达 2 625 km^2 ,湖容可达 167 亿 m^3 。洞庭湖接纳湘江、资江、沅江、澧水的径流量(以下简称“四水”),同时接纳长江(荆江段)松滋口、太平口、藕池口、调弦口(调弦口已于 1958 年冬堵口)的径流量(以下简称“三口”),经由西、南以及东洞庭湖调蓄后于城陵矶汇入长江,形成了复杂的江河湖水系格局(图 1);由于湖床不断抬高,水域面积与容积锐减,往往出现“降水不多灾害大,来水不多洪峰高”的危

险局面。鄱阳湖位于长江中游的南岸、江西省北部,地理坐标 $28^{\circ}04' \sim 29^{\circ}46' \text{ N}$, $115^{\circ}49' \sim 116^{\circ}46' \text{ E}$,流域面积 16.22 万 km^2 ,天然湖泊面积 3 708 km^2 (湖口站水位 20.70 m),是我国最大的淡水湖泊,其径流量包括赣江、抚河、修河、信江、饶河等 5 条大河(以下简称“五河”),经调蓄后由湖口注入长江。鄱阳湖是一个过水性吞吐型湖泊,面积随季节而变化,洪水季节可达 4 000 km^2 以上,枯水季节小于 1 000 km^2 ^[16]。具有“高水是湖,低水似河;洪水一片,枯水一线”的独特自然地理景观。洞庭湖与鄱阳湖是长江中游段最为重要的水量补给来源,两湖流域年径流量分别占长江年径流总量的 31% 和 16.7%,其径流总和则占长江径流总量的四成以上。

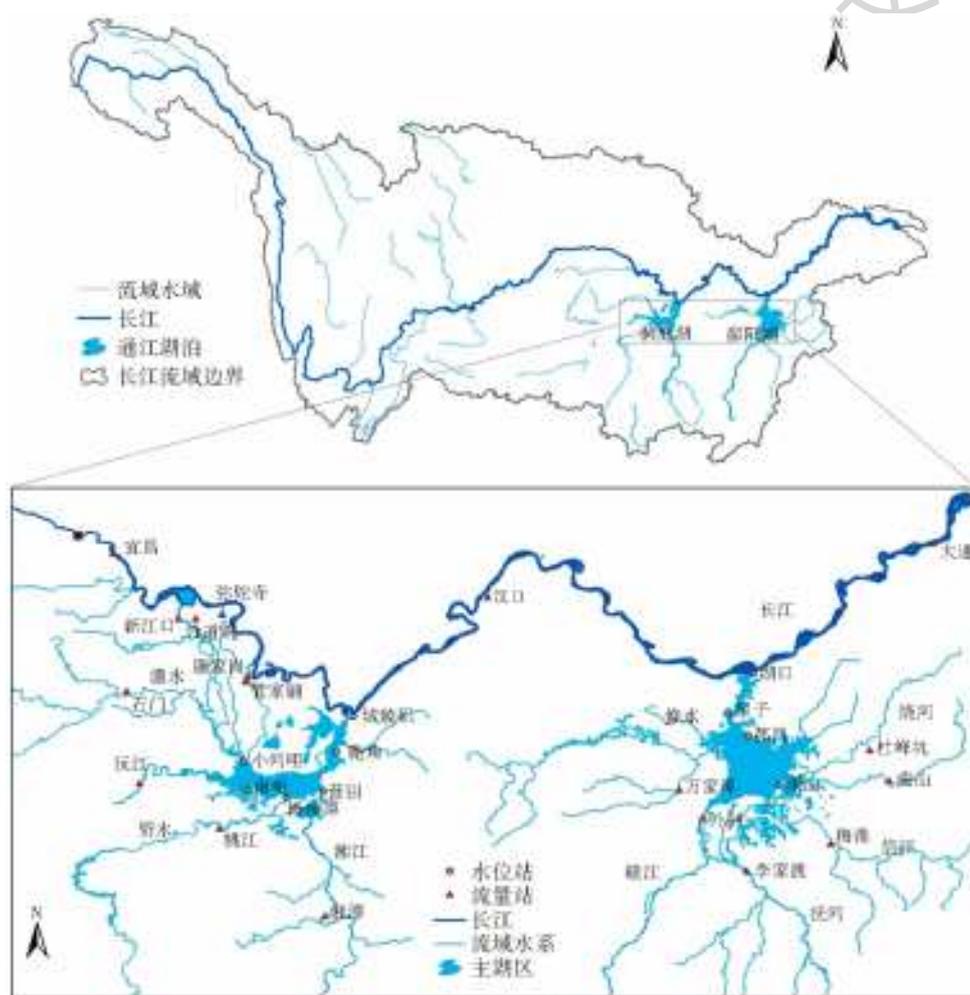


图 1 鄱阳湖与洞庭湖水系和监测站点分布

Fig. 1 Distribution of rivers and monitoring gauging stations in Poyang Lake and Dongting Lake

2 数据与方法

2.1 数据获取

本文基础分析数据(表 1)主要包括:(1)鄱阳湖湖区及洞庭湖区 1985—2014 年日水位数据,用于分析两湖水位波动规律变化特征、趋势差异性。鄱阳

湖湖区代表性水位站点自北向南依次为湖口、星子、都昌、康山;洞庭湖湖区代表性水位站点自东向西依次为城陵矶、鹿角、营田、杨柳潭、南咀、小河咀。(2)两湖流域径流 1985—2014 年日流量数据,用于分析两湖出入河径流变化特征与趋势。流域五河代表性流量站为外洲、李家渡、梅港、虎山、渡峰坑、万家埠;

三口水系代表性流量站新江口沙道观、弥陀寺、管家铺、康家岗;流域四水代表性水位站为湘潭、桃江、桃源、石门。(3)长江径流日流量数据,用于研究长江干流的综合水情变化特征。代表性流量站由上游到下游依次为宜昌、汉口、大通。以上水文数据主要来自长江水利委员会和江西省相关水利部门,序列长度为 30 a。

表 1 本文所需水文数据

Tab. 1 Hydrological data used in this study

数据描述	监测站点	区域位置	经纬度(N,E)
鄱阳湖	外洲	赣江	115.83°,28.63°
	流域五河 径流数据	李家渡	抚河 116.17°,28.22°
		梅港	信江 116.82°,28.43°
		虎山	饶河 117.27°,28.92°
		渡峰坑	117.12°,29.16°
湖泊空间 水位数据	万家埠	修水 115.65°,28.85°	
	湖口	湖泊出口 116.22°,29.75°	
	星子	湖泊下游 116.03°,29.45°	
	都昌	湖泊中游 116.18°,29.27°	
	康山	湖泊上游 116.42°,28.88°	
洞庭湖	湘潭	湘江 112.92°,27.87°	
	流域四水 径流数据	桃江	资水 112.10°,28.55°
		桃源	沅水 111.48°,28.90°
		石门	澧水 111.38°,29.62°
		新江口	松滋河 111.78°,30.18°
湖泊空间 水位数据	沙道观	111.92°,30.18°	
	三口水系	弥陀寺 太平口 112.12°,30.22°	
	管家铺	藕池口 112.32°,29.73°	
	康家岗	112.30°,29.73°	
	城陵矶	东洞庭湖 113.00°,29.42°	
湖泊空间 水位数据	鹿角	113.00°,29.15°	
	营田	南洞庭湖 112.90°,28.83°	
	杨柳潭	112.62°,28.78°	
	南咀	西洞庭湖 112.28°,29.07°	
	小河咀	112.32°,28.85°	
长江干流 径流数据	汉口	长江上游 114.17°,30.35°	
	宜昌	111.28°,30.69°	
	大通	长江下游 117.61°,30.77°	

2.2 趋势检验方法

本文采用非参数秩次相关检验法(Mann-Kendall法,简称M-K法),该方法优点在于检测范围宽、人为干扰少、定量化程度高,更适宜于存在异常值的时间序列的趋势检验。在过去的20年里,国际上有很多M-K方法应用研究的实例^[17-18],已经广泛用于检验水文气象资料的趋势成分,包括水质、流

量、气温和降雨序列等。

在M-K检验中,原假设 H_0 为时间序列 (x_1, \dots, x_n) 是 n 个独立随机同分布的样本,假设对于所有的 $k, j \leq n$ 且 $k \neq j, x_k$ 和 x_j 的分布是不同的,表示单调递增或递减趋势变化。Mann-Kendall检验统计量 S 计算公式^[19]为

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (1)$$

式中: x_i, x_j 分别为第 i, j 年对应的监测值; $j > k; n$ 为资料序列的长度; $\text{sign}()$ 为符号函数,计算公式为

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & x_j - x_i > 0 \\ 0 & x_j - x_i = 0 \\ -1 & x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

S 近似服从正态分布,其均值为0,方差为

$$\text{Var}_s = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

式中: m 为序列值相同的组数; t_i 为第 i 组相同值的数据个数。如果 $n > 10$,则统计检验值 Z 采用下式计算

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{Var}_s)^{1/2}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{Var}_s)^{1/2}} & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

利用 Z 值进行趋势统计的显著性检验。 Z 值为正,表明序列为上升趋势; Z 值为负,表明序列为下降趋势。采用双边趋势检验,在给定的显著水平 α 下,当 $|Z| \leq Z_{1-\alpha/2}$ 时,接受 H_0 假设,即趋势不显著;否则接受 H_1 假设,即 $Z > Z_{1-\alpha/2}$,表明序列呈显著上升趋势, $Z < Z_{1-\alpha/2}$ 表明序列呈显著下降趋势。

3 水文变化与归因分析

3.1 两湖水位变化

近年来,鄱阳湖区枯水位发生了新的变化,枯水出现时间大幅提前,枯水持续时间也显著延长,而且湖区控制站普遍出现历史最低水位。在前期的众多研究^[20-22]均揭示出两湖水情在三峡工程开始运行的2003年发生了突变性的变化,所以本文的两湖水文变化趋势将通过2003年为时间分割点(即1985—2002和2003—2014年)进行对比分析。鄱阳湖各空间水位站点M-K趋势检验见图2,结果发现:鄱阳湖各站点水位出现了相应的趋势性变化,各站点在1985—1991年呈上升趋势;1992—2002年年均

水位检验结果 UF 线在 95% 显著性水平线上下波动,表明该时段水位变化不稳定;2003 年后转为下降趋势,2003—2012 年属水文长系列中的一个枯水时段,但该时段内天然降雨径流未发生趋势性变化,

说明该时段鄱阳湖水位降低受其他因素影响,包括五河来水和长江与鄱阳湖相互作用。4 个站点 M-K 突变检验 UF 线与 UB 线均在 2005 年存在交点,确定 2005 年为突变点。

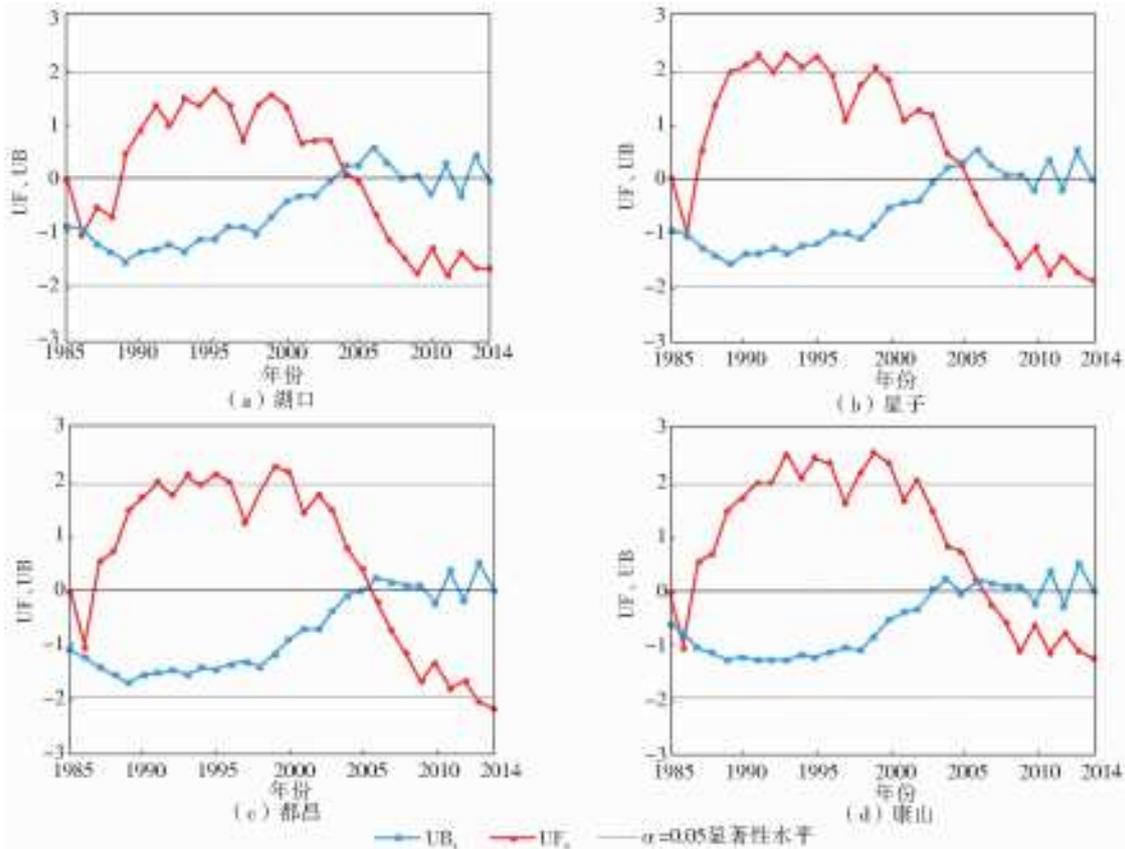


图 2 1985—2014 年鄱阳湖年平均水位 M-K 趋势检验

Fig. 2 Mann-Kendall test for the average water level of Poyang Lake from 1985 to 2014

由图 3 趋势变化可以看出:以城陵矶站和鹿角站为代表的东洞庭湖,呈现一致的变化趋势,1985—1988 年呈下降趋势,但鹿角站下降更为显著;1989—2002 年 UF 线呈波动状态,表明该时段水位变化不稳定;2003—2014 年呈下降趋势;各站点在 2005 年发生突变,突变后下降趋势明显。同处于南洞庭湖的营田站在 1985—1988 年呈现不同的变化趋势:2003 年后均呈现不同程度的下降趋势;营田站下降更为显著。西洞庭湖的南咀、小河咀呈现高度一致的变化趋势:1985—1991 年呈上升趋势;1992—2002 年呈现不稳定波动状态;2003—2014 年呈下降趋势,且下降趋势较为明显。2003 年三峡水库蓄水运行以来洞庭湖水位持续偏枯,特别是在 2006 年和 2009 年出现了历史罕见的秋旱,并引发一系列的生态环境问题^[23-24]。

3.2 两湖流域径流变化

采用 M-K 趋势和五河流域的 6 个流量站日径流数据的基础上,检验分析五河流域不同子流域的来水变化(图 4)。结果表明:6 个流量站点的年平均

径流在 1985—1991 年呈上升趋势;1992—2002 年 UF 线处于上下波动状态,表明该时段水位变化不稳定;2003—2014 年呈下降趋势。五河水位与鄱阳湖水位各时段变化趋势基本一致。气候因素是引起鄱阳湖流域径流趋势变化的主导因素,水土流失和水利工程建设等人为因素也在一定程度上影响着径流的变化。通过五河径流与鄱阳湖水位变化过程,发现了湖泊水位与入湖总量不一致的现象,如 2006 年,五河径流属于平水年,但鄱阳湖四站的水位都很低,而且比 2004 年枯水年还要低。这一现象与长江干流和鄱阳湖相互作用有关,由于长江水位高顶托湖口出流,湖内水位抬高而长江水位低导致出湖流量加大,所以湖内水位降低。根据鄱阳湖水位与五河六站径流年内变化过程(图 5)可以看出:4—6 月为五河径流主汛期,在主汛期内,鄱阳湖水位随着五河径流的增多而升高,但并未达到最高;7 月份后五河径流大幅度下降,而在 10 月之后湖泊水位才下降。这一现象表明:鄱阳湖水位变化的影响因素不仅是受五河径流

影响,可能是长江干流顶托湖口出湖水流,造成湖内水位升高。就洞庭湖而言,四水 M-K 检验结果(图 6)表明:除澧水的石门站外,其他三水变化趋势基本一致,1985—1990 年呈上升趋势,1991—2002 年处于不稳定波动状态,但都达到了在显著性水平,石门

1985—1987 年呈上升趋势,1988 以后均在置信度区间之内波动,但 2003 年后略下降但不显著。气候因素是引起洞庭湖径流阶段性演变的主导因素,水土流失和水利工程建设等人类活动也在一定程度上加速了径流演变的进程。

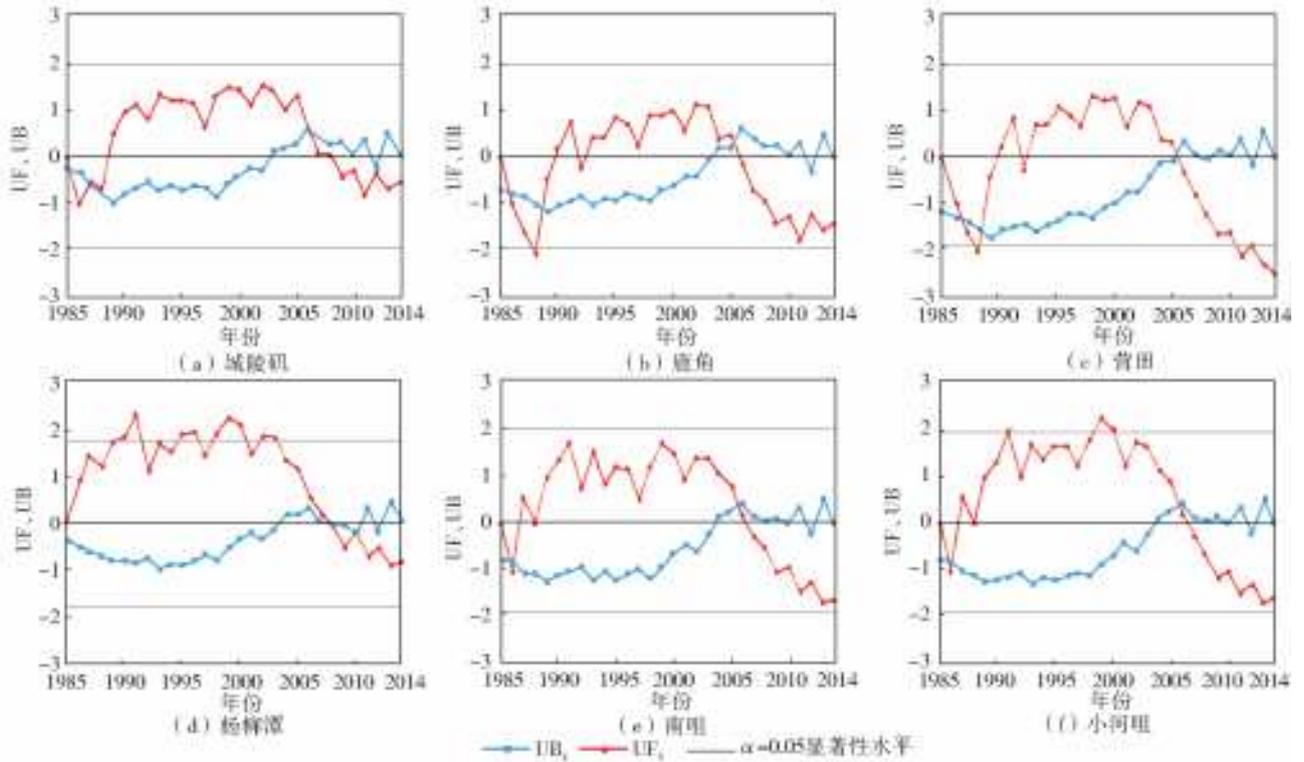


图 3 1985—2014 年洞庭湖年平均水位 M-K 趋势检验

Fig. 3 Mann-Kendall trend test for the average water level of the Dongting Lake from 1985 to 2014

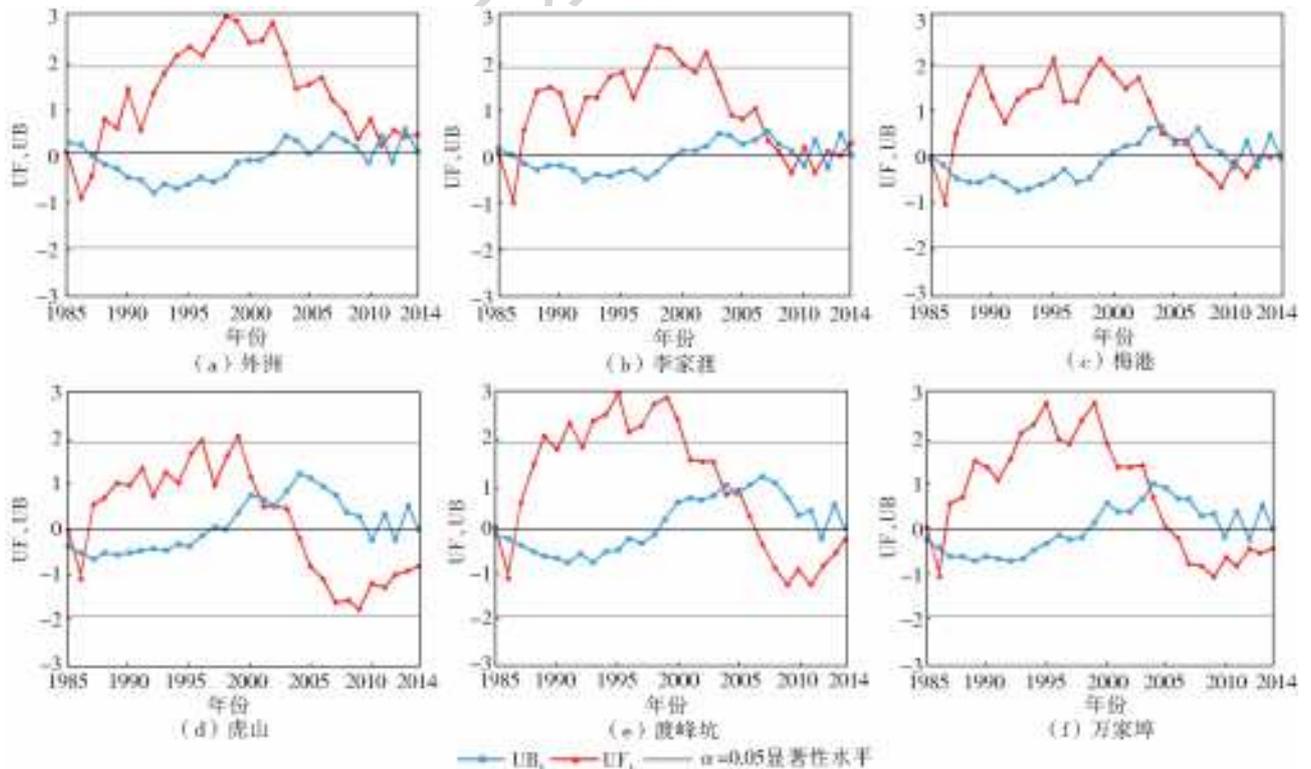


图 4 1985—2014 年五河流域年平均径流 M-K 趋势检验

Fig. 4 Mann-Kendall trend test for the average runoff of the five major rivers from 1985 to 2014

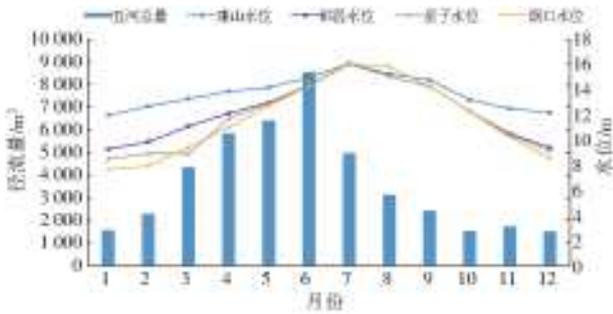


图 5 1985—2014 年鄱阳湖水位与五河六站径流年内变化曲线
Fig. 5 Monthly variation of Poyang Lake water level and runoff from the five major rivers from 1985 to 2014

4 结果与讨论

4.1 三口水系与长江干流径流关系分析

洞庭湖三口水系是长江干流的分流河道,与一般河流有所不同,三口水系的河流上游径流是其径流量的代表,具有与长江干流相同的洪枯季,2000

年之后枯季河流基本干枯^[25]。由 M-K 检验结果表明(图 7):淞滋河西支新江口站和东支沙道观站、虎渡河弥陀寺站、藕池口管家铺和康家岗站在 1985—2014 年整体呈下降趋势,其中,藕池口下降趋势最为显著。荆江三口径流减少是造成洞庭湖季节性缺水的重要原因,进一步加重了湖区的干旱灾害,给湖区工农业生产供水和人民生活用水带来威胁。长江中下游干流的 3 个重要节点水文站自上而下分别是宜昌、汉口及大通水文站, M-K 检验发现 3 个站点 1985—1990 年呈上升趋势,1991—1997 年宜昌和汉口站呈下降趋势,1998—2000 年呈上升趋势,而 1991—2000 年大通站在显著性水平上下波动,2000 年后三站呈下降趋势,汉口和大通站减少趋势相对宜昌站小,汉口站和大通站径流减少趋势不太明显,这种情况与长江中下游洞庭湖水系、鄱阳湖水系以及汉江等支流的补水量有关。

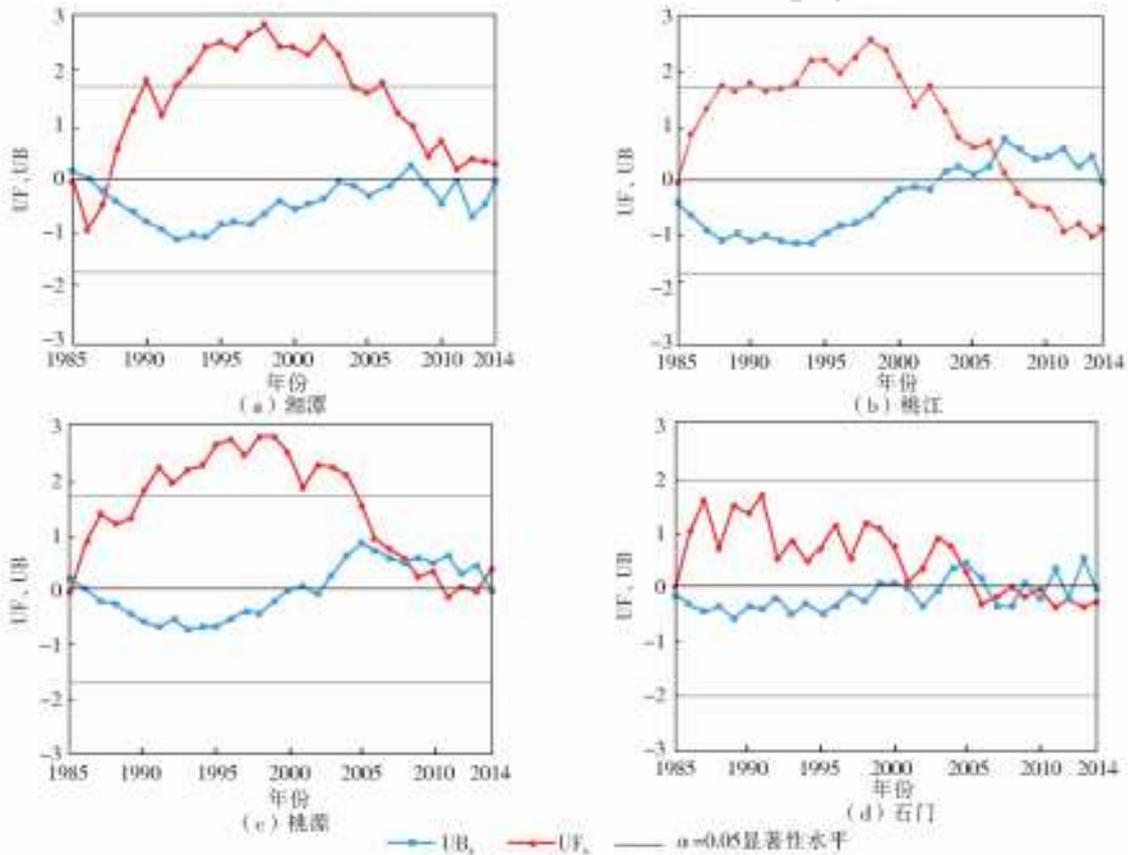


图 6 1985—2014 年四水年平均径流 M-K 趋势检验

Fig. 6 Mann-Kendall trend test for the average runoff of the four rivers from 1985 to 2014

表 2 汇总了三峡水库运行前后长江干流径流特征的变化。三峡水库运行加剧了长江中下游汛期径流减少的趋势,汛期末端 10 月下降最为明显,宜昌站、汉口站、大通站下降比分别为 0.294、0.258、0.231;加大了枯季径流增加的趋势,枯季 2 月增加

最为明显,宜昌站、汉口站、大通站上升比分别为 0.291、0.096、0.037,其中宜昌站最为显著,汉口站和大通站径流的减少趋势不明显。这与长江中下游洞庭湖水系、鄱阳湖水系以及汉江等支流的补水量有关。

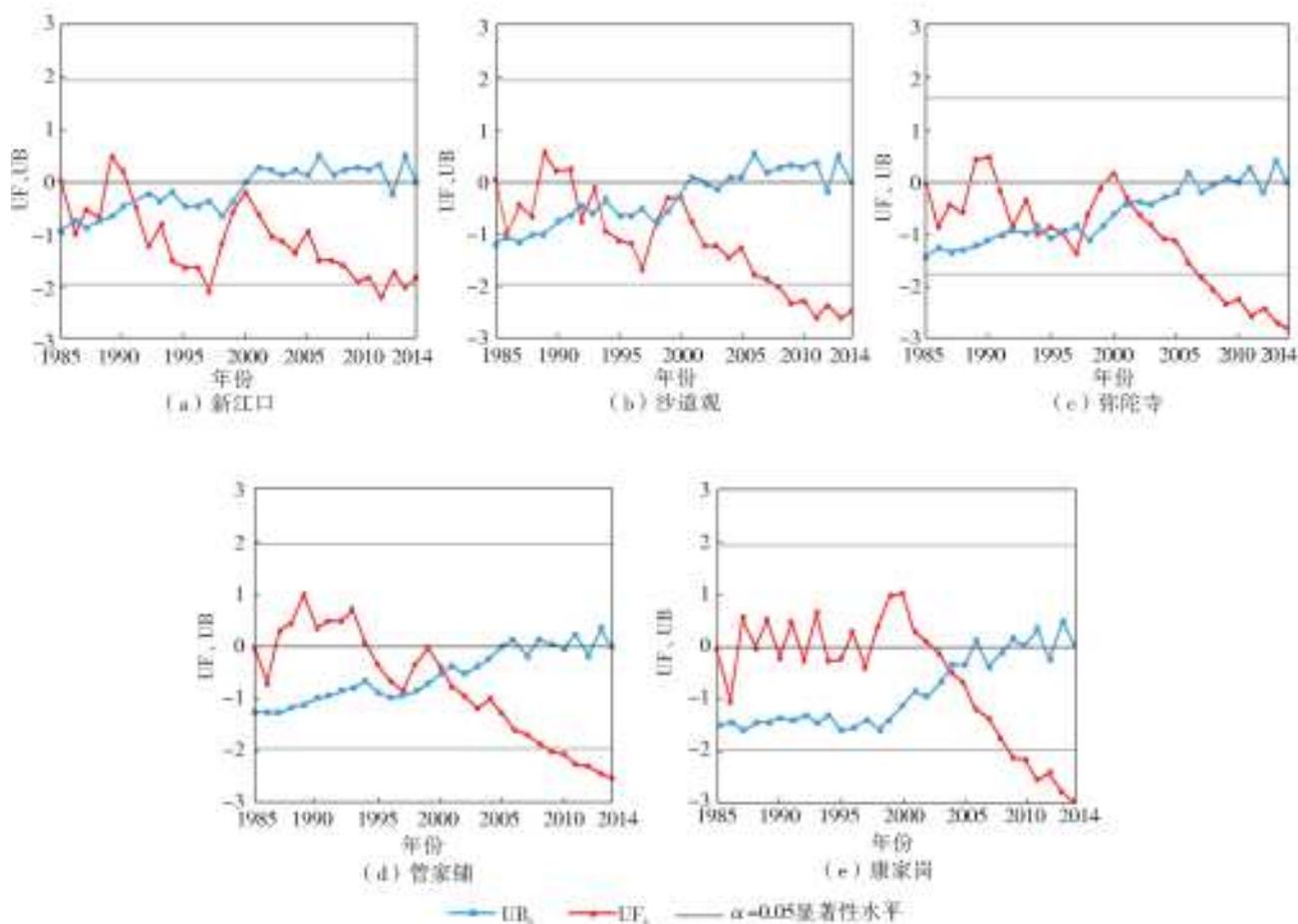


图7 1985—2014年三口年平均径流 M-K 趋势检

Fig. 7 Mann-Kendall trend test for the average annual runoff at three outlets of main rivers from 1985 to 2014

表2 长江监测站分时段多年平均径流量统计

Tab. 2 Annual average runoff statistics of Yangtze River monitoring station for a different period

月份	宜昌			汉口			大通		
	平均径流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		升降比	平均径流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		升降比	平均径流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		升降比
	1985—2002年	2003—2014年		1985—2002年	2003—2014年		1985—2002年	2003—2014年	
1	4 446.201	5 346.237	0.202	9 106.147	10 161.242	0.104	12 331.846	12 383.405	0.004
2	4 024.705	5 193.894	0.291	9 467.677	10 477.385	0.096	13 094.587	13 592.362	0.037
3	4 630.394	5 596.532	0.209	12 325.591	13 382.739	0.079	18 081.846	18 563.082	0.026
4	6 947.185	7 256.944	0.045	16 822.537	15 773.823	-0.066	25 225.741	21 801.481	-0.157
5	11 253.710	11 882.312	0.056	22 892.294	23 091.894	0.009	31 631.362	29 104.659	-0.087
6	18 115.426	16 664.250	-0.080	30 206.481	30 103.167	-0.003	39 247.963	37 988.889	-0.033
7	30 521.326	27 375.269	-0.103	45 129.749	37 994.710	-0.188	53 876.703	43 550.179	-0.237
8	26 507.312	23 923.441	-0.097	38 120.251	35 125.790	-0.085	45 527.599	39 798.208	-0.144
9	23 774.259	21 810.639	-0.083	33 886.278	31 275.640	-0.083	40 740.926	36 596.667	-0.113
10	17 147.473	12 112.177	-0.294	25 080.287	19 929.835	-0.258	31 286.738	25 424.731	-0.231

4.2 两湖水情分析

两湖入湖水系从组成上来看,洞庭湖与长江干流的水交换更为复杂。洞庭湖通过三口接纳干流来水,湖水从城陵矶吐入长江,与干流水交换通过一进一出的机制来完成。鄱阳湖则是从湖口站通过长江干流

水倒灌入湖来分洪,湖水同样通过湖口站流进干流,与干流水交换由单口进出来完成。两湖水位 1985—2002年与 2003—2014年相比较,均呈现下降趋势,而鄱阳湖下降幅度大于洞庭湖。洞庭湖流域四水来水的减少以及鄱阳湖流域五河来水的减少均显著影响

了两湖水情,导致近年来出现严重偏枯趋势^[26-27]。

鄱阳湖和洞庭湖与长江干流两个湖泊都属于长江干流的支流湖泊,与干流发生水交换的过程都受到长江干流顶托作用,湖泊出湖水流的大小取决于长江干流与湖泊相互作用对比关系的大小,当湖泊蓄水量较大时:若遇到干流洪水,干流顶托湖泊出湖水流的作用较大,这时出湖流量不大,湖泊水位较低;若遇到干流枯水,干流顶托湖泊出湖水流的作用不大,这时出湖流量可能较大。

枯水年两湖对长江干流补水作用明显,尤其在枯水季节更显著。在丰水年两湖在长江干流的分洪

和削峰中发挥了重要的作用,减轻了下流的洪水压力。两湖对干流补水的时程差异,洞庭湖和都阳湖对长江干流的补水存在空间上的互补性。由图 8 可知,洞庭湖对干流的主补水期为 4—10 月,鄱阳湖对干流的主补水期为 3—8 月。由此可见,两湖对长江干流补水存在着时间差异,使干流得到的补水时间更长,既增加了枯季干流的水量,又调蓄了汛期洪水,减轻了洪水对干流的威胁。两湖与长江干流水交换过程都受到干流顶托作用。三峡工程对两湖水情的影响一般不超过 8%~15%,但对其生态环境的影响分量,还缺少有效的手段和方法^[28]。

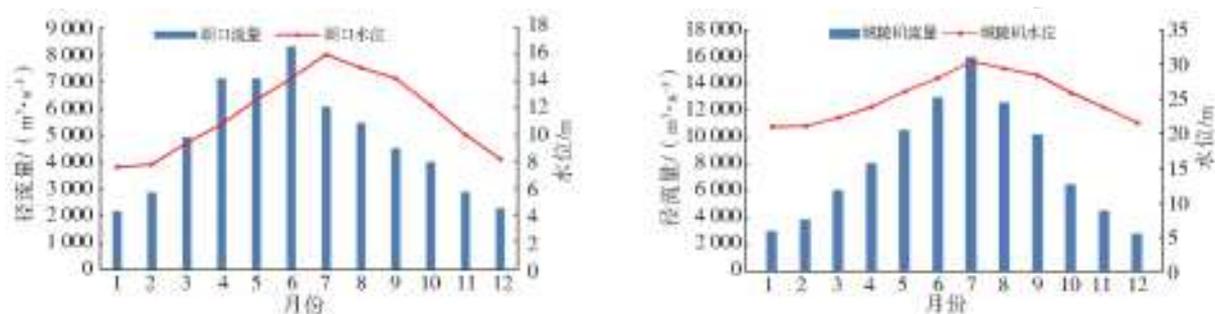


图 8 1985—2014 年城陵矶和湖口月平均水位和流量变化

Fig. 8 Monthly variation of the Chenglingji and Hukou water levels from 1985 to 2014

5 结 论

湖泊水文变化是水科学研究的基础与核心,对湖泊水质、水生态等具有重要支撑作用。本文以鄱阳湖和洞庭湖两大典型通江湖泊为研究对象,基于两湖综合水文数据资料,采用简单的统计学方法,开展两湖水文变化的综合分析,以此揭示长江中下游通江湖泊变化规律以及深入理解江湖关系作用内涵。

鄱阳湖与洞庭湖水位在近 30 年总体上呈上升—非稳定状态—下降 3 个变化阶段。2003 年前,两湖水位总体呈上升趋势,且在 1980—2000 年间基本处于不稳定的波动状态,2003 年后两湖水位呈明显的下降趋势。2003 年后两湖水位均呈现不同程度的下降趋势,均在 2003 年发生突变,鄱阳湖相对洞庭湖下降更为显著,最大降幅分别可达 9.4% 和 3.4%。两湖对长江干流的主补水期不同,但又存在互补性,洞庭湖对干流的主补水期为 4—10 月,鄱阳湖的主补水期为 3—8 月。从入湖径流总量的分析来看,影响湖泊水量年际和年内变化的主要因素是五河径流量,也是影响湖泊水位的主要因素之一。从长江与鄱阳湖相互作用关系分析来看,干流来水量的多少和水位的高低对湖泊水位的季节波动起着重要作用。洞庭湖水位变化的因素不仅受流域内三

口、四水径流量影响,也受长江干流顶托成立及出口水流影响。2003 年以后,湘资沅澧四水和长江上游来水偏少导致洞庭湖水位整体偏低,三口分流量减少在一定程度上造成湖泊水位降低、湖泊偏干。鄱阳湖和洞庭湖水文变化是自然与人类活动共同作用的结果,江湖相互作用方式和强度影响着两湖的水情趋势差异。下一步研究工作将采用多种统计学方法,结合数学模型,从理论高度上探求两湖水文的作用机制、差异性和驱动力变化。

参考文献:

- [1] 王圣瑞. 鄱阳湖生态安全[M]. 北京:科学出版社, 2014:147-170.
- [2] 万荣荣,杨桂山,王晓龙,等. 长江中游通江湖泊江湖关系研究进展[J]. 湖泊科学, 2014, 26(1): 1-8. DOI: 10. 18307/2014. 0101.
- [3] 李原园,李宗礼,黄火键,等. 河湖水系连通演变过程及驱动因子分析[J]. 资源科学, 2014 (6): 1152-1157.
- [4] KILLWORTH P D, CARMACK E C. A filling-box model of river-dominated lakes [J]. Limnology and Oceanography, 1979, 24(2): 201-217.
- [5] 杨桂山. 长江水问题基本态势及其形成原因与防控策略[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(7): 821-830.
- [6] 胡光伟,毛德华,李正最,等. 60 年来洞庭湖区进出湖径流特征分析[J]. 地理科学, 2014(1): 89-96. DOI: 10.

- 11821/yj2013050006.
- [7] 叶许春,李相虎,张奇. 长江倒灌鄱阳湖的时序变化特征及其影响因素[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012,34(11):69-75.
- [8] 赖锡军,姜加虎,黄群. 三峡工程蓄水对洞庭湖水情的影响格局及其作用机制[J]. 湖泊科学, 2012(24):178-184. DOI:10.18307/2012.0202.
- [9] 欧阳千林,刘卫林. 近50年鄱阳湖水位变化特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014,23(11):1545-1550. DOI:10.11870/cjlyzyyhj201411009.
- [10] HU Q, FENG S, GUO H, et al. Interactions of the Yangtze River flow and hydrologic processes of the Poyang Lake, China[J]. Journal of Hydrology, 347(1):90-100.
- [11] 戴雪,何征,万荣荣,等. 近35 a 长江中游大型通江湖泊季节性水情变化规律研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017(1):118-125. DOI: CNKI; SUN; CJLY. 0. 2017-01-014.
- [12] 何征,万荣荣,戴雪,等. 近30年洞庭湖季节性水情变化及其对江湖水量交换变化的响应[J]. 湖泊科学, 2015(6):991-996. DOI:10.18307/2015.0601.
- [13] 郭华,张奇. 近50年来长江与鄱阳湖水文相互作用的变化[J]. 地理学报, 2011(5):609-618. DOI: 10.11821/xb201105004.
- [14] YU J Y, ZENG G M. Variation of water level in Dongting Lake over a 50-year period: Implications for the impacts of anthropogenic and climatic factors[J]. Journal of Hydrology, 2015,525:450-456.
- [15] 姜加虎,黄群. 洞庭湖近几十年来湖盆变化及冲淤特征[J]. 湖泊科学, 2004,16(3):209-214. DOI: 10.18307/2004.0303.
- [16] 齐述华,廖富强. 鄱阳湖水利枢纽工程水位调控方案的探讨[J]. 地理学报, 2013,68(1):118-126. DOI: 10.3969/j.issn.0375-5444.2013.01.013.
- [17] GAN T Y. Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies[J]. Water Resource Research, 1998,34(11):3009-3015.
- [18] 秦年秀,姜彤,许崇育. 长江流域径流趋势变化及突变分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005(5):589-594. DOI:10.3969/j.issn.1004-8227.2005.05.012.
- [19] 刘聚涛,方少文,冯倩,等. 基于 Mann-Kendall 法的湖泊稳态转换突变分析[J]. 中国环境科学, 2015,35(12):3707-3713.
- [20] 黄群,孙占东,姜加虎. 三峡水库运行对洞庭湖水位影响分析[J]. 湖泊科学, 2011,23(3):424-428. DOI: 10.18307/2011.0316)
- [21] ZHANG Q, LIU Y, YANG G S, et al. Precipitation and hydrological variations and related associations with large-scale circulation in the Poyang Lake basin, China [J]. Hydrological Processes, 2011,25(5):740-751.
- [22] 李景保,周永强,欧朝敏,等. 洞庭湖与长江水体交换能力演变及对三峡水库运行的响应[J]. 地理学报, 2013,68(1):108-117. DOI: 10.3969/j.issn.0375-5444.2013.01.012.
- [23] 谢永宏,陈心胜. 三峡工程对洞庭湖湿地植被演替的影响[J]. 农业现代化研究, 2008,29(6):684-687. DOI:10.3969/j.issn.1000-0275.2008.06.011.
- [24] 李景保,常疆,吕殿青等. 三峡水库调度运行初期荆江与洞庭湖区的水文效应[J]. 地理学报, 2009,64(11):1342-1352. DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2009.11.006.
- [25] 赵军凯,李九发,蒋陈娟,等. 长江中下游河湖水量交换过程[J]. 水科学进展, 2013,24(6):759-770.
- [26] HONG X J, GUO S L, XIONG L H, et al. Spatial and temporal analysis of drought using entropy-based standardized precipitation index; A case study in Poyang Lake basin, China [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2015,122(3/4):543-556.
- [27] 原立峰,杨桂山,李恒鹏,等. 近50年来鄱阳湖流域降雨多时间尺度变化规律研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014,23(3):434-440. DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201403019.
- [28] 杨桂山,朱春全,蒋志刚. 长江保护与发展报告 2011 [R]. 武汉:长江出版社,2011.