

# 1954—2020年太湖水位变化的 时空差异特征分析

蔡文美<sup>1,3</sup>, 陈少颖<sup>2</sup>, 孙玉莹<sup>1</sup>, 陆 昊<sup>1</sup>, 陈黎明<sup>1</sup>, 潘逸卉<sup>2</sup>

(1. 南京水利科学研究院 水灾害防御全国重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017;  
3. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**为探究太湖水位变化的时空差异特征,基于太湖1954—2020年实测水位数据,对太湖的年平均水位、年最高水位、年最低水位以及逐年水位空间变化,采用M-K突变检验等方法开展研究并结合太湖进出水量变化分析原因。结果表明,随着太湖湖体入湖水量的增加,太湖年平均水位及年最低水位均呈上升趋势,且在突变年份之后显著上升;年最高水位也呈上升趋势,但在突变年份后变化不明显。

**关键词:**太湖流域; 时空差异; 突变检验; 水位

中图分类号:TV882.9

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2024)02-0042-0004

## Analysis on temporal and spatial differences characteristic of water level changes in Taihu Lake from 1954 to 2020

CAI Wenmei<sup>1,3</sup>, CHEN Shaoying<sup>2</sup>, SUN Yuying<sup>1</sup>, LU Hao<sup>1</sup>,  
CHEN Liming<sup>1</sup>, PAN Yihui<sup>2</sup>

(1. National Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Nanjing Hydraulic Research Institute,  
Nanjing 210029, China;  
2. Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, China;  
3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In order to explore the temporal and spatial difference characteristics of water level changes in the Taihu Lake, based on the measured water level data of the Taihu Lake from 1954 to 2020, the annual average water level, annual maximum water level, annual minimum water level and annual water level spatial change of the Taihu Lake were studied by M-K mutation test and other methods, and the reasons were analyzed in combination with the changes of water inflow and outflow of the Taihu Lake. The results show that with the increase of water inflow into the Taihu Lake, the annual average water level and the annual minimum water level of the Taihu Lake show an upward trend, and increase significantly after the sudden change year. The annual highest water level also shows an upward trend, but the change is not significant after the sudden change year.

**Key words:** Taihu Lake Basin; temporal and spatial differences; mutation test; water level

收稿日期: 2023-07-12

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021033)

作者简介: 蔡文美(1999—), 女, 硕士研究生, 主要从事水文水资源相关研究。E-mail: 207976902@qq.com

通信作者: 陈少颖(1985—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事水资源、水环境综合治理工作。E-mail: 50047220@qq.com

## 1 概述

湖泊水位的时空差异性对该地区的水资源管理和洪涝灾害防控具有重要的影响<sup>[1]</sup>。太湖流域的水位存在年际变化,并且在不同的地区存在显著的空间差异。相关学者对太湖流域的水位变化进行研究,龚李莉等<sup>[2]</sup>采用M-K趋势检验、相关性分析等方法,分析近年来太湖最高日均水位和最低日均水位变化特征;盛昱凤等<sup>[3]</sup>以太湖为研究对象,采用M-K突变检验和Morlet小波分析等方法,分析太湖多年水位数据,阐明太湖水文特征变化及其影响因素;吴浩云等<sup>[4]</sup>基于太湖流域长系列降水资料,采用正交函数分解法、Spearman和M-K非参数统计检验法、连续小波分析方法等,从空间分布、趋势性、周期性和突变性等方面,系统剖析了近年来太湖全流域及各水利分区降水的时空演变规律;许钦等<sup>[5]</sup>基于太湖流域133个代表性雨量站多年实测日降水资料序列,采用M-K检验、Morlet小波分析等方法,对太湖流域及其水利分区降水演变趋势进行诊断和统计特征分析。

太湖流域地处长江三角洲的南翼,北抵长江,东临东海,南滨钱塘江,西以天目山、茅山为界<sup>[6]</sup>,地形特点为周边高、中间低,西部高、东部低,属亚热带季风气候区,四季分明,雨水丰沛,热量充裕。冬季受大陆冷气团侵袭,盛行偏北风,气候寒冷干燥;夏季受海洋气团控制,盛行东南风,气候炎热湿润<sup>[7]</sup>。年均气温14.9~16.2℃,1956—2000年多年平均降水量1177 mm<sup>[8]</sup>。

本文基于太湖流域1954—2020年以来的实测数据,采用M-K突变检验分析特征水位的年际变化规律,通过对比湖区各站的水位来量化其空间差异性,在此基础上结合太湖引排水格局的变化探讨时空差异性的原因。通过相关研究可更加深入地了解太湖流域水位的时空差异性,并为该地区的水资源管理和洪涝灾害防控提供参考。所涉及的特征水位包括年平均水位、年最高水位和年最低水位3个参数。首先采用M-K突变检验法对太湖流域的各特征水位进行显著性检验,再对特征水位进行统计和趋势分析,最后得出太湖流域逐年水位的空间变化特征。

## 2 水位变化的时间差异性

### 2.1 年平均水位

对太湖1954—2020年的年平均水位进行M-K

趋势检验分析(图1),太湖年平均水位总体呈上升趋势。其中,1954—1991年期间太湖年平均水位呈波动下降趋势,1992—2020年期间又呈上升趋势,且太湖水位在2009年后上升趋势超过显著水平0.05的临界线,呈现显著上升趋势。从图1可以看出在2006年有唯一交点,表明2006年是年平均水位变化过程的突变年,该年年平均水位为3.21 m。

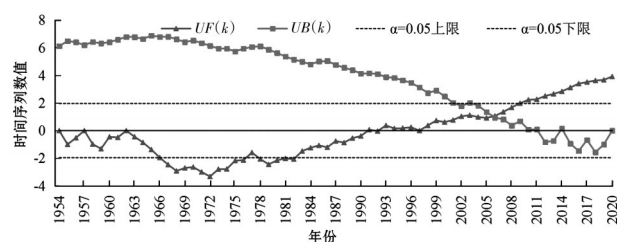


图1 1954—2020年太湖年平均水位M-K检验

### 2.2 年最高水位

对太湖1954—2020年年最高水位进行M-K趋势检验分析(图2),太湖年最高水位总体呈上升趋势。其中,1954—1990年期间太湖年最高水位呈波动下降趋势,1991—2020年期间又呈上升趋势,且太湖最高水位一直未超过显著水平0.05的临界线,呈现不显著上升趋势。从图2可以看出在1999年、2003年及2005年出现交点,表明1999年、2003年及2005年是年最高水位变化过程的突变年,对应年年最高水位为4.95 m、3.49 m及3.54 m。 $UF(k)$   $UB(k)$

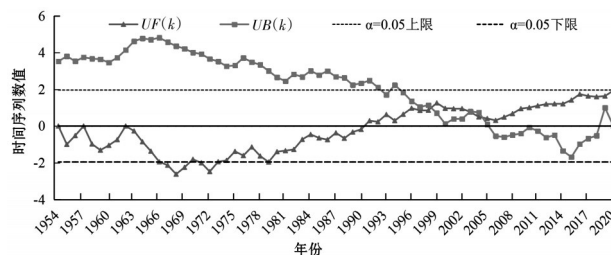


图2 1954—2020年太湖年最高水位M-K检验

### 2.3 年最低水位

对太湖1954—2020年年最低水位进行M-K趋势检验分析(图3),太湖年最低水位总体呈上升趋势。其中,太湖年最低水位在1954—1990年呈波动下降趋势,1991—2020年呈上升趋势,并且在2002年后上升趋势超过显著水平0.05的临界线,呈现显著上升趋势。从图3可以看出两曲线在1954—2020年只存在1个2002年交点,且位于置信区间内,表明2002年是年最低水位变化过程中的突变

年,该年最低水位为2.98 m。

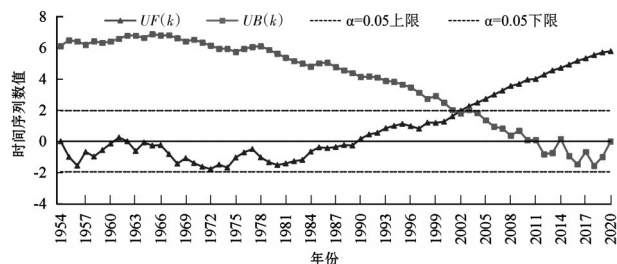


图3 1954—2020年太湖年最低水位M-K检验

### 3 水位变化的空间差异性

据统计,2002—2010年太湖多年平均水位为3.24 m,2015—2020年太湖年均水位均大于该值;1954—2010年太湖水位多年均值为3.12 m,2015—2020年太湖年均水位均大于该值。自“引江济太”以来太湖水位较之前显著升高,且整体呈波动上升趋势。选取大浦口、望亭、西山、小梅口和夹浦等站点为研究对象,对2015年后太湖水位变化进行具体分析。

由2015—2020年各站点年平均水位可知,各水位站与太湖平均水位每年变化趋势一致。2015年太湖水位空间分布均匀,空间分布格局变动小,太湖西北部水位低,东部水位趋于一致,西山站水位与小梅口站的差值降低至0.02 m;2016年各测站水位均有所上升,最低水位与最高水位差值为0.12 m,在水位整体抬升的情况下,太湖水位空间分布与2015年基本一致;2017年各测站水位均有明显下降,太湖水位空间分布与2016年基本一致,空间分布格局未有变动;2018年太湖水位空间分布格局与2017年基本一致,空间分布的不均匀程度较2017年要大;2019年各测站水位略有所上升,太湖水位空间分布格局与2018年基本一致,但西侧小梅口水位在近两年有逐渐抬高的趋势,在小梅口增加了水位较高区域;2020年各测站水位均有所上升,水位最高站点变为大浦口站,太湖水位空间分布格局发生改变,大浦口站变为水位最高站点,夹浦站由原来水位最高站点变为水位较低站点,太湖整体呈现北高南低趋势,水位空间分布状态比2019年均匀。在此期间,夹浦站占据最高水位年份为5 a,大浦口站占据最低水位年份为5 a。

由2015—2020年各站点逐日水位变化过程可知:

(1)2015年,日最高水位从高到低的测站依次为小梅口、夹浦、望亭(太)、西山、大浦口,水位分别

为4.34 m、4.23 m、4.22 m、4.19 m、4.10 m;日最低水位从低到高的测站依次为大浦口、西山、小梅口、望亭、夹浦,水位分别为2.82 m、2.89 m、2.92 m、2.95 m、2.99 m。

(2)2016年,日最高水位从高到低的测站依次为夹浦、小梅口、大浦口、望亭(太)、西山,水位分别为4.90 m、4.85 m、4.84 m、4.84 m、4.82 m;日最低水位从低到高的测站依次为望亭(太)、大浦口、西山、小梅口、夹浦,水位分别为2.71 m、2.96 m、3.04 m、3.05 m、3.10 m。

(3)2017年,日最高水位从高到低的测站依次为望亭(太)、夹浦、小梅口、西山、大浦口,水位分别为3.70 m、3.68 m、3.66 m、3.62 m、3.58 m;日最低水位从低到高的测站依次为大浦口、望亭(太)、小梅口、西山、夹浦,水位分别为2.84 m、2.84 m、2.88 m、2.92 m、2.99 m。

(4)2018年,日最高水位从高到低的测站依次为夹浦、小梅口、望亭(太)、西山、大浦口,水位分别为3.89 m、3.76 m、3.72 m、3.70 m、3.70 m;日最低水位从低到高的测站依次为大浦口、望亭、西山、小梅口、夹浦,水位分别为2.84 m、2.86 m、2.98 m、3.00 m、3.01 m。

(5)2019年,日最高水位从高到低的测站依次为夹浦、小梅口、望亭(太)、西山、大浦口,水位分别为3.87 m、3.87 m、3.87 m、3.83 m、3.72 m;日最低水位从低到高的测站依次为大浦口、望亭(太)、西山、小梅口、夹浦,水位分别为2.81 m、2.89 m、2.93 m、3.00 m、3.01 m。

(6)2020年,日最高水位从高到低的测站依次为大浦口、望亭(太)、小梅口、西山、夹浦,水位分别为4.82 m、4.20 m、4.77 m、4.75 m、4.75 m;日最低水位从低到高的测站依次为西山、小梅口、夹浦、大浦口、望亭(太),水位分别为2.87 m、2.90 m、2.90 m、2.92 m、2.94 m。

6年间,夹浦站日最高水位出现次数最多,大浦口站日最低水位出现次数最多。

### 4 进出湖水量

近年来,扩大杭嘉湖南排工程、新沟河延伸拓浚工程等流域水环境综合治理重点水利工程陆续开工建设,在原“引江济太”调水路线基础上,增加新孟河和新沟河两条出入湖调水路线后,将形成新孟河、望虞河入湖,新沟河、太浦河和走马塘出湖的“两进三出”的新引调水格局<sup>[9]</sup>。



根据1986—2020年的长时间序列水文数据,武澄锡虞区入湖水量有明显的下降趋势。太湖入湖水量主要来源的片区从1986—1999年的湖西区、浙西区、杭嘉湖区和武澄锡虞区4个片区,逐渐呈现向2000—2020年的湖西区、浙西区2个片区变化的趋势,主要入湖水量的分布格局逐渐向西南方向移动。此外,望虞河自“引江济太”实施以来,入湖水量较工程实施之前也明显增加,对环太湖入湖总水量有一定影响。1986—2020年太浦河、阳澄淀泖区及望虞河出湖水量占比最大,浙西区、杭嘉湖区出湖水量占比平稳波动,武澄锡虞区出湖水量占比有所下降。太浦河出湖水量逐渐成为影响出湖总水量的决定性因素,出湖区域由各片区均匀分布逐渐变成太浦河、望虞河以及阳澄淀泖区为最主要出湖区域,太湖东侧出湖水量逐渐增大。1986—2020年太湖入湖水量持续增加,湖西区和浙西区增量最大,湖体入湖水量从1986年的50.8亿 $\text{m}^3$ 增加到2020年的139.4亿 $\text{m}^3$ ,出湖水量由1986年的67.9亿 $\text{m}^3$ 增加到2020年的135.8亿 $\text{m}^3$ ,湖体净入湖水量也增至3.6亿 $\text{m}^3$ 。

结合太湖引排水格局变化进一步分析,因太湖湖体入湖水量明显增加,太湖年平均水位在2009年后增加趋势明显,年最高水位在2005年发生突变后增加趋势越发明显,年最低水位在2002年发生突变后呈现出明显的增加趋势。因太湖的主要入湖片区为湖西区与浙西区,且望虞河工程(位于阳澄淀泖区)自实施后入湖水量明显增加,故夹浦站(位于浙西区)水位占据最高水位年份时间最长。大浦口站(位于湖西区)在2020年成为水位最高站点,各水位站之间的水位差逐渐减小,整体由东北至西南呈现高一低一高的格局。

## 5 结 论

(1)太湖年平均水位在2006年发生突变,突变之后年平均水位呈上升变化;年最高水位呈上升趋势,分别在1999年、2003年、2005年突变年,但在突

变之后上升趋势不明显;2002年是年最低水位变化过程中的突变年,突变年之后,年最低水位呈现出上升变化。

(2)2015—2020年,湖区内5个站点的水位变化过程与全湖平均水位变化趋势基本一致。整体由东北至西南呈现高一低一高的格局未改变,各站之间的水位差逐渐减小,太湖水位的空间分布呈均匀化趋势。

(3)结合太湖引排水格局变化,湖体水量增加导致太湖年平均水位、年最高水位及年最低水位均呈现出一定的增加趋势。太湖主要入湖片区主要为湖西区与浙西区,导致夹浦站占据最高水位年份时间最长,大浦口站在2020年成为水位最高点。望虞河工程实施后入湖水量增加,太湖整体由东北至西南呈现高一低一高的格局。

### 参考文献:

- [1] 吴浩云,刘敏,金科,等.多目标驱动的太湖调度水位研究[J].湖泊科学,2023,35(3):1009-1021.
- [2] 龚李莉,蔡梅,王元元,等.太湖水位变化及其影响因素识别[J].水文,2022,11(8):1-6.
- [3] 盛昱凤,薛媛媛,戚丽萍,等.1960年以来太湖水位变化特征及影响因素分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),2021,57(1):22-28.
- [4] 吴浩云,王银堂,胡庆芳,等.太湖流域61年来降水时空演变规律分析[J].水文,2013,33(2):75-81.
- [5] 许钦,叶鸣,蔡晶,等.1956—2018年太湖流域降水统计特征及演变趋势[J].水资源保护,2023,39(1):127-132.
- [6] 张红举,袁洪州,陈方.太湖流域水资源保护总体对策分析[C]//中国科学技术协会,江苏省科学技术协会:首届中国湖泊论坛论文集,南京:东南大学出版社,2011:9.
- [7] 王斌,张彪,王建锋,等.太湖流域水生态系统服务及其空间差异[J].水土保持通报,2011,31(2):215-221.
- [8] 周文.太湖流域河流水质状况及其对景观背景的响应分析[D].南京:南京大学,2012.
- [9] 朱伟,薛宗璞,刘环,等.引水的出水路线对太湖总磷格局的影响——新孟河引水的出水路线的优化分析[J].湖泊科学,2022(2):1-26.