

# 江苏省太湖地区 沿江潮位特征要素变化分析

吴小靖, 柳子豪, 钟 栗, 吴心艺, 秦 灏

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215006)

**摘要:** 感潮地区外江潮位变化对区域洪涝体系的有效发挥非常重要。目前江苏省太湖地区现状防洪规划并未将外江潮位变化纳入区域防洪标准的制定进行考虑。根据江苏省太湖地区沿江3个潮位代表站长系列潮位资料, 对沿江潮位变化特征进行分析研究。结果表明, 代表站年内最高潮位与汛期排涝设计潮位均表现出整体升高的趋势, 其中以镇江(二)站变化最为显著。进入21世纪, 沿江潮位特征值均出现由降低转为升高的突变现象, 也反映出外部排江环境在变差, 在后续地区防洪规划修编时, 要增加考虑潮位变化可能产生的影响, 特别是在流域上游的湖西地区。

**关键词:** 潮位; 洪涝灾害; 感潮地区; 太湖流域; 江苏省

**中图分类号:** TV11

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-7839(2023)11-0001-0007

## Analysis of the characteristic values of tidal level of Taihu Basin in Jiangsu Province

WU Xiaojing, LIU Zihao, ZHONG Li, WU Xinyi, QIN Hao

(Jiangsu Taihu Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Suzhou 215000, China)

**Abstract:** The variation of the tide level of the Yangtze River is vital to the regional flood and waterlogging system in the tidal region. In the current flood control planning of Taihu Basin in Jiangsu, the tide level of the Yangtze River is not considered in the formulation of regional flood control standards. The characteristics of tidal level variation in the Yangtze River were analyzed by the tidal level data collected from three tidal stations along the Yangtze River of the Taihu Basin in Jiangsu. The results show that the annual variation of the highest tidal level and the designed tidal level in the flood season show an overall increasing trend, and the tidal level of Zhenjiang ( II ) station changes most significantly. Since the 21st century, the tide level along the Yangtze River in the study exists mutation phenomenon from decreasing to increasing, which indicates the external environment for flood drainage is worse. In the subsequent revision of regional flood control planning, the variation of tide level should be taken into account in the regional flood and waterlogging control system, especially in the upper reaches of the lake west region.

**Key words:** tidal level; flood disaster; tidal region; Taihu Basin; Jiangsu Province

收稿日期: 2023-09-02

基金项目: 江苏省水利科技项目(2022005)

作者简介: 吴小靖(1978—), 女, 正高级工程师, 硕士, 主要从事水利规划工作。E-mail: 40837672@qq.com

通信作者: 柳子豪(1994—), 男, 工程师, 博士, 主要从事水利规划与水科学研究工作。E-mail: zihao2018@sina.com

在沿江沿海地区,当遭遇极端降雨事件,将地区洪涝水向外排入江海,是防洪排涝的首要选择<sup>[1]</sup>。然而,当区域极端降雨事件,又遭遇风暴潮、天文大潮,出现“两碰头”或“三碰头”不利情形时,外部高潮位会对内部河道形成顶托,增加区域防洪排涝的风险<sup>[2]</sup>。因此,在太湖流域下游、珠江流域下游等感潮地区,进行防洪标准制定时,会着重考虑潮位变化的影响<sup>[3]</sup>。其中,在《太湖流域防洪规划》(2008年)中,上海市范围内黄浦江干流及主要支流按1000年一遇高潮位设防,城市则按200年一遇高潮位加12级风设防。

在江苏省太湖地区防洪总体布局中,北排长江是重要的洪涝水出路安排<sup>[4]</sup>。但在湖西区等分区现状防洪规划中,仍是按照区域设计暴雨和产汇流计算推求分区产水量及产生过程,进而设定防洪标准,并未考虑外江潮位变化可能对区域防洪排涝造成的影响。一直以来,海平面上升是影响长江感潮河段的潮位变化的重要因素,根据自然资源部发布的数据,1980—2020年我国海平面上升速率达到3.4 mm/a,高于同时段全球平均水平<sup>[5]</sup>。此外,21世纪以来长江流域兴建的大型水库工程,也在一定程度影响了长江整体的水位变化,相关研究表明,仅三峡工程在枯洪季的蓄水作用就能大幅改变长江径流量进而产生更为深远的潮汐水位影响<sup>[6]</sup>。极端径流、天文大潮、海平面上升及极端风浪事件等多类型因素的共同作用,使得沿海及感潮地区外江潮位不断抬升,这无疑会增加地区洪涝压力,也暴露出这些地区存在的防洪薄弱环节。

在本文中,根据江苏省太湖地区沿江潮位代表站长系列实测潮位资料,开展沿江地区潮位变化特征分析,以代表“最不利条件”的年内最高潮位和防潮标准制定依据的排涝设计潮位为指标,查明区域

沿江潮位变化特征,相关成果可以为后续江苏省太湖地区制定防洪标准时提供参考。

## 1 研究区域与数据

### 1.1 研究区域

江苏省太湖流域北滨长江、南抱太湖,西南以茅山、宜溧山区为界,东南与上海、浙江为邻,总面积1.94万 km<sup>2</sup>,约占太湖流域面积的52%。从水利分区来看,江苏省太湖流域涉及湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区和浦南区(属杭嘉湖区)。区域内河网水系分为沿江水系、南河水系、洮漏水系以及阳澄淀泖水系,其中沿江水系主要由北部沿长江河道组成,大都呈南北向。

长江入海口为中等强度潮汐河口,沿长江口往上游地区,大通是潮汐能影响的最远端。在大通以下河段,受上游径流和下游潮汐的共同影响,越往下游潮汐影响程度越大,反之则径流影响越大。根据多年月平均潮位年变幅/多年平均潮差的比值可知,长江沿线南京以上区域是全年径流段,江阴以下区域为全年潮流段,南京至江阴区域为过渡潮流段。受天体运行和月潮消长变化规律支配,江苏省沿江地区均属非正规半日周期潮,每日两涨两落,潮位变化大。

### 1.2 研究数据

江苏省太湖地区沿江潮位观测站包括镇江(二)站、江阴站和浒浦闸(闸下游)站,分别代表湖西区、武澄锡虞区、阳澄淀泖区沿江潮位变化情况。在本轮太湖流域防洪规划修编中,搜集整理了各潮位站长时间系列的逐日实际观测潮位资料,作为半日周期潮特征的感潮地区,观测资料包括每天两次涨、落潮过程的高、低潮位观测值。各潮位站基本情况见表1,地理位置分布情况见图1所示。

表1 江苏省太湖地区沿江潮位站基本情况

站名	河名	断面地点	设站年份	潮位资料时间序列
镇江(二)	长江	江苏省镇江市镇扬汽渡	1904年	1950—2020年
江阴	长江	江苏省江阴市澄江镇肖山村	1915年	1950—2020年
浒浦闸(闸下游)	常浒河	常熟市碧溪镇浒浦闸	1953年	1953—2020年

本文所选潮位代表站都具有设站年代久远、实测资料系列长、数据完整、质量可靠等特点,对潮位资料均进行基面统一和沉降修正处理。

## 2 研究方法

在本文中,采用特征值分析法,对各潮位代表

站在长系列变化中最高潮位(即高高潮)、最低潮位(低低潮)、最高低潮位(高低潮)等特征值进行年际统计分析,并根据统计结果,应用滑动 $t$ 检验法、Mann-kendall趋势检验法判断潮位趋势变化与不同类型潮位特征值在长时间序列变化上是否存在突变现象,对其潮位趋势变化特征进行分析。其中,

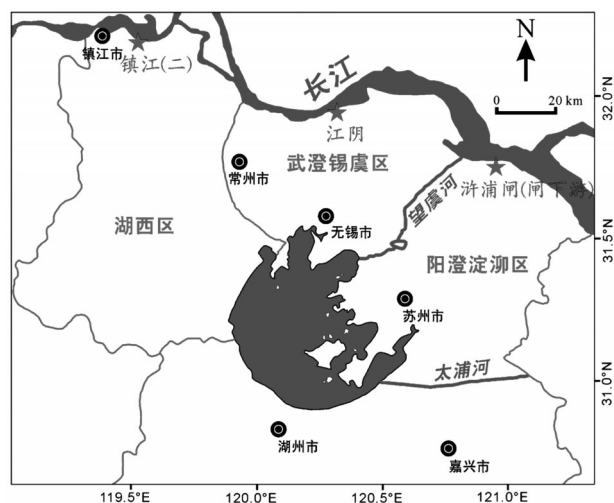


图1 江苏省太湖地区沿江潮位站点分布示意

滑动 $t$ 检验法是通过考察两组样本平均值的差异是否显著来检验突变的发生<sup>[7]</sup>;Mann-Kendall趋势检验则可以有效区分某一自然过程是处于自然波动还是存在确定的变化趋势,常用于气候变化影响下的降水、干旱频次趋势检测。两种突变检测的方法之间具有互补性,可作为本次针对沿江潮位长时间序列变化趋势的分析工具来应用。

在本文中,均采用Visual Basic编程手段进行滑动 $t$ 检验法和Mann-Kendall趋势检验法的算法编制,其中滑动 $t$ 检验法前、后子序列长度 $n_1=n_2=10$ 。

### 3 潮位分析

#### 3.1 年内最高潮位变化分析

最高潮位代表着沿江地区向外江行洪排涝时的最不利条件,通常出现在台风、天文潮和大径流三者或两者“碰头”遭遇之时,其中台风对最高潮位的出现往往影响较大。

在本文中,以10年为间隔,对各站不同年最高潮位平均值进行统计分析,结果表明各潮位站最高潮位平均值在上世纪各年代间变化上整体呈上升趋势,并在90年代达到峰值。其中,在1991—2000年期间,镇江(二)、江阴、浒浦闸(闸下游)三站年最高潮位平均值较1960年以前分别抬升了1.00 m、0.54 m和0.55 m(表2)。进入21世纪之后,镇江站最高潮位平均值出现先下降后抬升的变化趋势,江阴站最高潮位平均值则出现逐步下降趋势,浒浦闸潮位变化相对稳定。

通过对镇江(二)、江阴、浒浦闸(闸下游)三站

表2 各潮位代表站年最高潮位不同年代平均值统计

单位:m

年代	10年平均值						
	1960年以前	1961—1970年	1971—1980年	1981—1990年	1991—2000年	2001—2010年	2011—2020年
镇江	6.94	7.02	7.18	7.41	7.94	7.30	7.54
江阴	5.93	5.83	5.91	6.13	6.47	6.12	6.01
浒浦闸	5.34	5.35	5.52	5.63	5.89	5.57	5.59

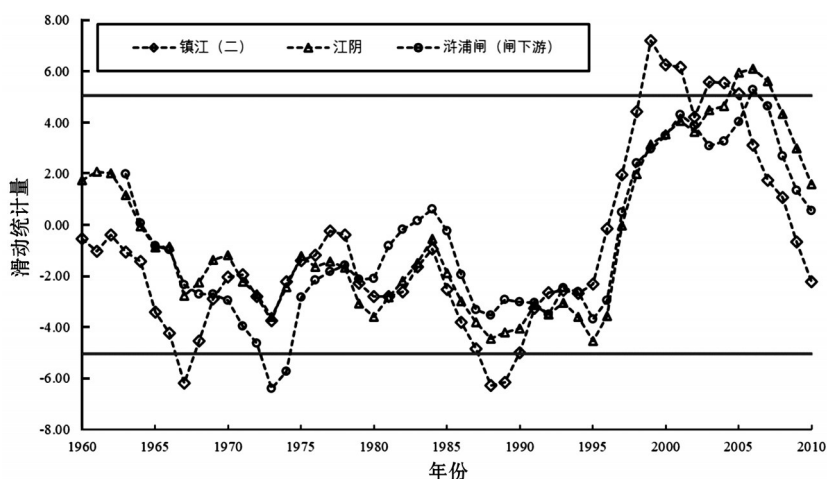
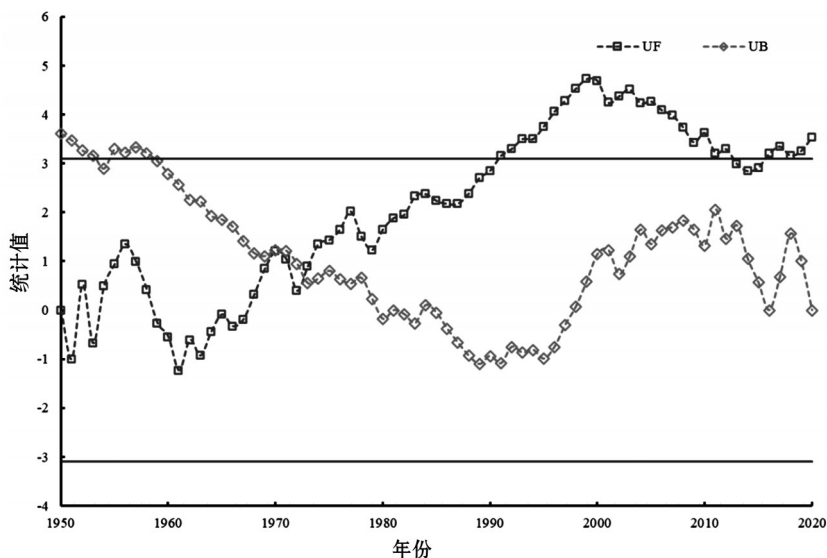
的年内最高潮位变化进行MK趋势分析,计算结果 $Z$ 分别为3.569、2.606和3.255,给定显著性水平 $\alpha=0.001$ 及 $\mu_{0.001}=\pm 3.090$ 。其中, $Z_{\text{镇江(二)}}$ 与 $Z_{\text{浒浦闸(闸下游)}}$ 均大于3.090,表明镇江(二)站与浒浦闸(闸下游)站的年内最高潮位在年际变化上趋势整体向上,且通过了99.9%的显著性检验,表现出明显升高的趋势;而由于 $0 < Z_{\text{江阴}} < 3.090$ ,表明江阴站年内最高潮位虽然在年际变化上趋势整体向上,但并未通过99.9%的显著性检验,升高趋势并不显著。

在本文中,对各潮位代表站的年内最高潮位进行了滑动 $t$ 统计量变化分析(图2)。其中,在1950年以来,镇江(二)站 $t$ 统计量有3处超过0.001显著性水平( $t_{0.001}=\pm 5.04$ ),两处为负值(分别出现在1967年、1988—1989年),1处为正值(出现在1999—2005年),这说明镇江(二)站年内最高潮位,

在近70年来出现了3次明显的突变。虽然镇江站年内最高潮位在年际变化上整体呈递增的趋势,但在20世纪70年代中期和20世纪90年代末出现了降低的趋势,并在21世纪初期出现明显升高的趋势。

通过对镇江(二)站年内最高潮位变化进行M-K突变分析,进一步明确年内最高潮位在年际间的变化趋势(图3)。由UF曲线可见,自20世纪80年代以来,镇江(二)站年内最高潮位整体就表现出升高的趋势,其中在20世纪末期,这种升高的趋势已大大超过显著性水平为0.001的临界线,这表明该时期镇江(二)站外江年内最高潮位的升高趋势是十分显著的。根据UF和UB曲线交点的位置,进一步明确了镇江(二)站年内最高潮位在20世纪70年代初的变化是一突变现象,具体是从1970年开始的。

结合滑动 $t$ 统计量变化与MK突变分析表明,在

图2 潮位代表站年内最高高潮位滑动  $t$  统计量曲线图3 镇江(二)站年内最高高潮位曼-肯德尔统计量曲线(直线为 $\alpha=0.001$ 显著性水平临界值)

1950 年以来,江阴站  $t$  统计量仅有 1 处正值超过 0.001 显著性水平 ( $t_{0.001}=\pm 5.04$ ), 出现在 2005—2007 年,这说明江阴站年内最高潮位在近 70 年来只出现了一次明显的突变,表现为在 20 世纪初时期升高的趋势(图 2)。通过对江阴站年内最高潮位变化的 M-K 突变分析结果表明,根据 UF 和 UB 曲线交点的位置,指示了在 20 世纪 80 年代末期江阴站年内最高潮位表现出的升高趋势,同样是一次突变现象,具体是从 1974 年开始(图 4)。

浒浦闸(闸下游)站的滑动  $t$  统计量变化与 M-K 突变分析结果解释了该站年内最高高潮位的突变变化情况(图 2)。结果表明,浒浦闸(闸下游)年内最高潮位在近 70 年来出现过两次明显的突变(图 5)。其中在 20 世纪 80 年代初,经历了一次有升高转为降低的转变;在 21 世纪初,则经历了由降低

转为升高的明显突变。其中在 21 世纪初,这种升高的趋势同样超过显著性水平为 0.001 的临界线,这表明该时期浒浦闸(闸下游)年内最高潮位升高趋势十分显著。

### 3.2 汛期排涝设计潮位变化分析

排涝设计潮位,是感潮地区制定防洪排涝标准的重要依据,通常选择对地区排涝较为不利,但又有可能发生 ( $P=50\%$ ) 的潮位作为排涝潮位<sup>[8]</sup>。其中,沿江地面一般地势较低,排涝控制在最高的低潮位(即高低潮)。在江苏省排涝设计潮位的确定中,排涝天数根据日雨 2 天排出和 3 日雨型雨后一天排出两种情况,都确定为 4 天<sup>[9]</sup>。

在本文中,根据各代表站历年汛期时(5—9 月)实测潮位资料中,分别摘取连续 4 天的 4 个高低潮位进行滑动统计,求出各代表站连续 4 天的高低



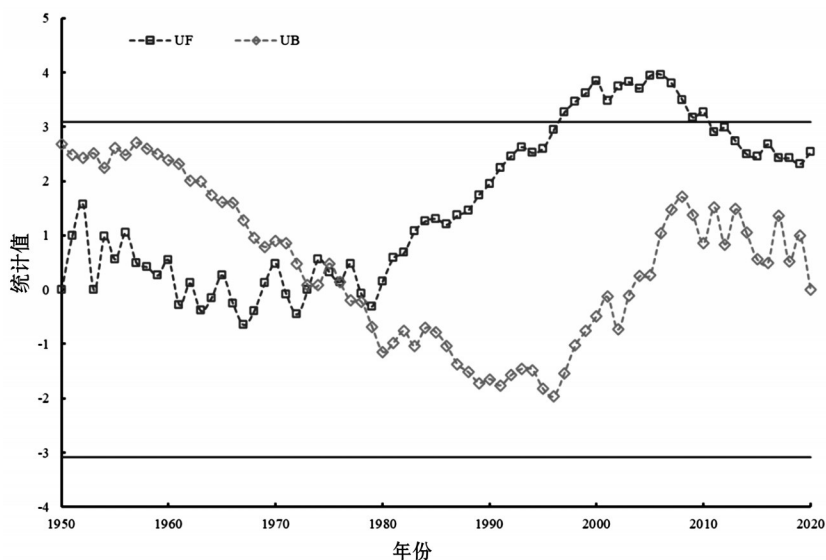


图4 江阴站年内最高高潮位曼-肯德尔统计量曲线(直线为 $\alpha=0.001$ 显著性水平临界值)

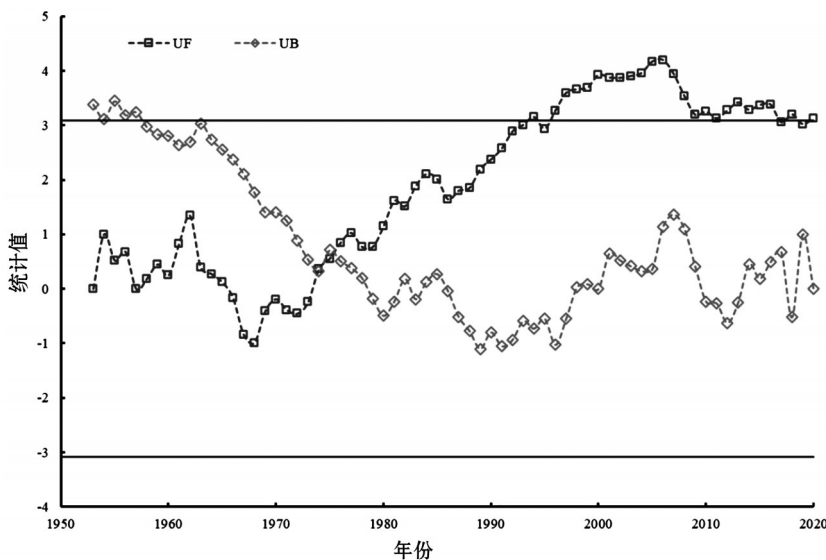


图5 浒浦闸(闸下游)年内最高高潮位曼-肯德尔统计量曲线(直线为 $\alpha=0.001$ 显著性水平临界值)

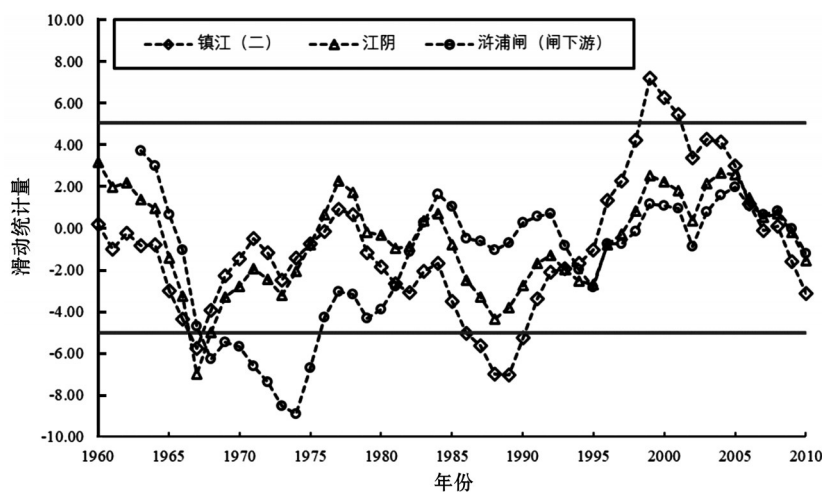
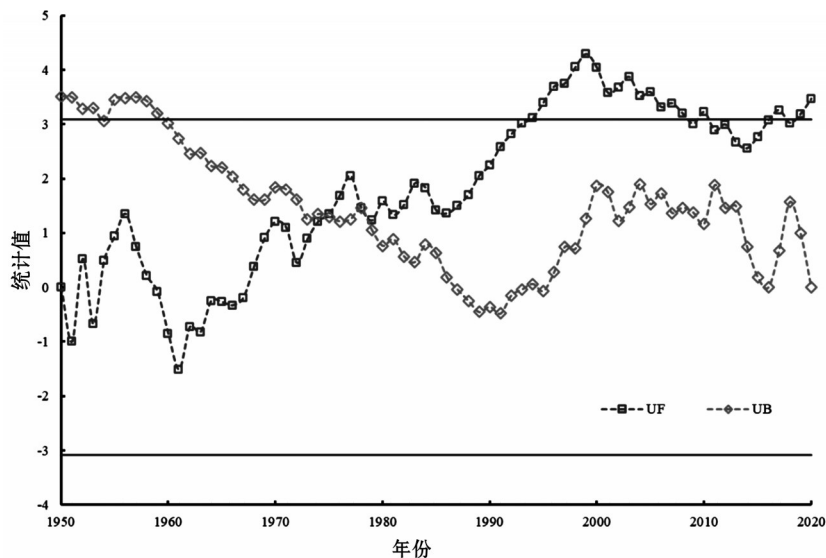
潮潮位平均值,并从中挑选出每年最大值组成样本系列数据进行变化分析,为后续沿江地区考虑潮位变化对区域防洪排涝影响时提供标准参考。

通过对镇江(二)、江阴、浒浦闸(闸下游)3站的汛期排涝设计潮位的变化进行M-K趋势分析,计算结果 $Z$ 分别为3.484、1.668和2.610。其中, $Z_{\text{镇江(二)}}$ 大于3.090,表明镇江(二)站的汛期排涝设计潮位在年际变化上趋势整体向上,且通过了99.9%的显著性检验,表现出明显升高的趋势;而 $Z_{\text{江阴}}$ 与 $Z_{\text{浒浦闸(闸下游)}}$ 均小于3.090,未通过99.9%的显著性检验,表明该2站汛期排涝设计潮位的升高趋势并不显著。

镇江(二)站汛期排涝设计潮位的滑动 $t$ 统计量变化分析与最高潮位变化相似,在1950年以来, $t$ 统计量同样有3处超过0.001显著性水平( $t_{0.001}=\pm 5.04$ )

的情况,变化时间也基本吻合(图6)。相似的变化趋势说明在21世纪以来,伴随着代表最不利条件的年内最高潮位的升高,排涝设计潮位的明显升高,也指示了湖西区沿江地区排江环境的愈加恶劣。MK突变分析的结果则表明,自20世纪80年代以来,镇江(二)站汛期排涝设计潮位整体也表现出升高的趋势,但在21世纪20年代以后,统计值开始低于 $\mu_{0.001}$ 的临界线值(3.090),指示该时期排涝设计潮位的升高趋势不再显著,趋于平缓(图7)。

江阴站汛期排涝设计潮位的滑动 $t$ 统计量变化中,与最高潮位变化不同的是,在1950年以来, $t$ 统计量仅有一处负值超过0.001显著性水平( $t_{0.001}=\pm 5.04$ )的情况,出现在1968年,表明在20世纪70年代末,相对于最高潮位的抬高,武澄锡虞区最高低潮位在

图6 潮位代表站汛期时排涝设计潮位滑动  $t$  统计量曲线图7 镇江(二)站汛期时排涝设计潮位曼-肯德尔统计量曲线(直线为 $\alpha=0.001$ 显著性水平临界值)

该时期出现了降低的趋势(图6)。同时, M-K 突变分析结果表明, 虽然 UF 与 UB 曲线在 20 世纪 90 年代和 21 世纪以来存在多次重合的情况, 但均未超过 0.001 的显著性水平临界线, 这都指示了武澄锡虞区沿江地区汛期时排涝设计潮位在年际变化上相对稳定, 不存在明显的突变现象(图8)。

浒浦闸(闸下游)汛期排涝设计潮位的滑动  $t$  统计量变化结果表明, 在 1953 年以来,  $t$  统计量仅有一处负值超过 0.001 显著性水平( $t_{0.001}=\pm 5.04$ )的情况, 出现在 1967—1976 年, 表明在 20 世纪 70 年代末到 80 年代初期, 浒浦闸(闸下游)最高低潮位出现明显降低的突变(图6)。M-K 突变分析结果也佐证了浒浦闸(闸下游)排涝设计潮位在 20 世纪 80 年代前后出现降低的突变现象, 其中 UF 与 UB 曲线在 20 世纪 80 年代出现交点(图9)。

## 4 结论与建议

(1) 对各潮位代表站年内最高潮位变化分析表明, 沿江地区年内最高潮位均表现出整体升高的趋势, 其中镇江(二)站、浒浦闸(闸下游)最高潮位变化较为显著, 江阴站变化相对平缓。

(2) 对各潮位代表站汛期排涝设计潮位变化分析表明, 沿江地区汛期排涝设计潮位同样表现出整体升高的趋势, 其中镇江(二)站变化较为显著, 江阴站、浒浦闸(闸下游)变化相对平缓。在 20 世纪 80 年代, 各代表站排涝设计潮位均出现由升高转为降低的突变现象; 而自 21 世纪以来, 除镇江(二)站排涝设计潮位表现出由降低转为升高的突变现象之外, 江阴站、浒浦闸(闸下游)排涝设计潮位变化均相对稳定。

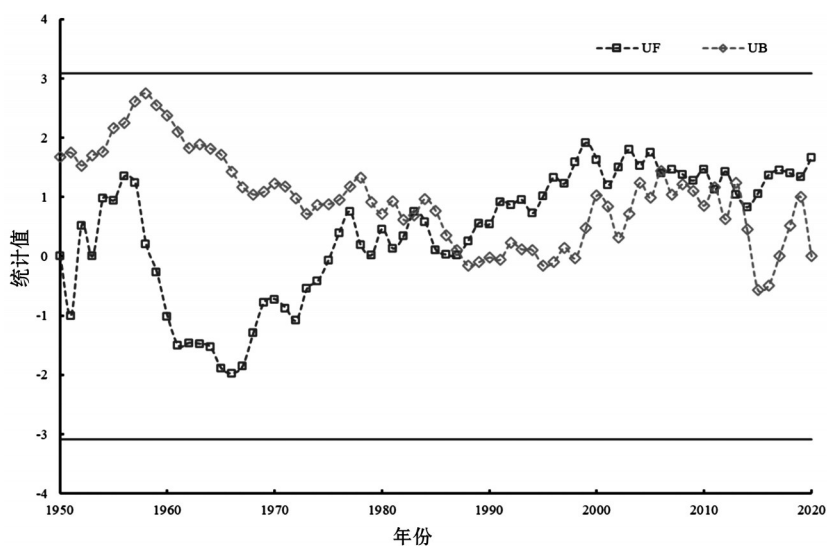
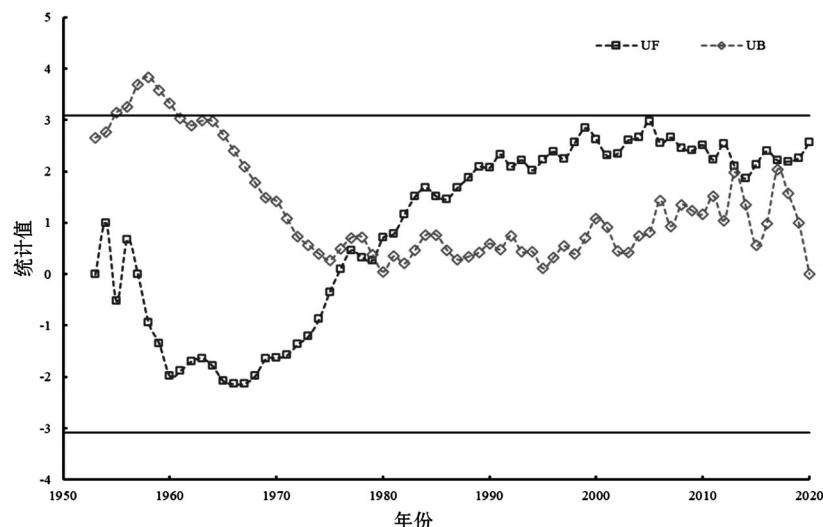


图8 江阴站汛期时排涝设计潮位曼-肯德尔统计量曲线(直线为 $\alpha=0.001$ 显著性水平临界值)



注:直线为 $\alpha=0.001$ 显著性水平临界值

图9 浒浦闸(闸下游)汛期时排涝设计潮位曼-肯德尔统计量曲线

(3)沿江代表站排涝设计潮位整体升高的趋势,表明了应重视潮位变化对地区防洪形势可能造成的影响。特别是近年来潮位升高趋势显著的湖西区,应考虑使用暴雨+潮位的组合进行防洪标准制定,以确保防洪规划方案与布局能够符合地区实际。

#### 参考文献:

- [1] 马超,赵凯,齐文超,等.基于示踪方法的沿海城市内涝防灾方案研究[J].水资源保护,2022,38(1):91-99.
- [2] 潘存鸿,郑君,吴修广,等.杭州湾年最高潮位时空变化及其抬升原因分析[J].河海大学学报(自然科学版),2021,49(5):394-400,418.
- [3] 徐张帆,王先伟.平原联围感潮河网暴雨洪涝灾害风险分析:以珠江三角洲中顺大围为例[J].水利水电技术

(中英文),2021,52(8):51-65.

- [4] 朱威.太湖流域2021年水旱灾害防御工作经验与启示[J].中国水利,2022(9):8-10.
- [5] 自然资源部.2020年中国海平面公报[R].北京:自然资源部,2021.
- [6] 张蔚,郁夏琰,徐怡,等.三峡流量调节对长江口潮汐不对称的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2020,48(2):143-149.
- [7] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].气象出版社,2007.
- [8] 王丽,周毅,纪小敏,等.江苏省沿江排涝设计潮位和潮型研究[J].江苏水利,2017(8):16-19,24.
- [9] 江苏省水文水资源勘测局.江苏省沿海、沿江排涝设计潮位与潮型分析报告[R].南京:江苏省水文水资源勘测局,2015.