

基于水文变异特征的 石臼湖生态水位及保障度研究

尚希婷¹, 张红艳², 闵克祥², 王 鹏^{1,3}, 华祖林^{1,3}

(1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210022; 3. 河海大学长江保护与绿色发展研究院, 江苏 南京 210098)

摘要: 石臼湖作为长江下游的通江湖泊, 逐步形成了独具特色的河流湖泊复合生态系统, 研究其生态水位对于保障湖泊生物多样性具有重要意义。利用蛇山水位站1973—2020年日均水位过程, 分析石臼湖的水位变异特征, 结合年保证率法和年内展布法得到逐月最低生态水位, 并对水位突变前后的生态水位保障度进行研究, 相关成果可为维护石臼湖水生生态系统结构和功能提供数据参考。

关键词: 湖泊水位; 水文特征; 数据检验

中图分类号: TV882.9

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2024)02-0046-0004

Study on ecological water level and safeguard degree of Shijiu Lake based on hydrological variation characteristics

SHANG Xiting¹, ZHANG Hongyan², MIN Kexiang², WANG Peng^{1,3}, HUA Zulin^{1,3*}

(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Management Division of Qinhuai River Hydraulic Engineering of Jiangsu Province, Nanjing 210022, China;

3. Yangtze Institute for Conservation and Development, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Shijiu Lake, as a lake connected to the lower reaches of the Yangtze River, has gradually formed a unique river-lake complex ecosystem. It is of great significance to study its ecological water level for ensuring the biodiversity of the lake. Using the daily average water level process of Sheshan Water Level Station from 1973 to 2020, the water level variation characteristics of Shijiu Lake were analyzed. The monthly minimum ecological water level was obtained by combining the annual guarantee rate method and annual distribution method, and the ecological water level safeguard degree before and after the water level change was studied. The relevant results can provide data reference for maintaining the structure and function of the aquatic ecosystem of Shijiu Lake.

Key words: lake water level; hydrological characteristics; data validation

水位保障是浅水湖泊生态恢复的有效手段, 近年来, 针对鄱阳湖、洞庭湖等长江中下游大型通江湖泊开展了较多的生态水位研究工作^[1-5], 对石臼湖

开展生态水位研究, 有利于维持其生物多样性和生态系统完整性。由于受气候变化和人类活动的双重影响, 在某个时间点, 水文序列的统计规律会发

收稿日期: 2023-06-14

基金项目: 江苏省水利科技项目(2022034); 国家自然科学基金联合基金(U2040209)

作者简介: 尚希婷(1999—), 女, 硕士研究生, 主要从事河湖生态水位计算与调控研究。E-mail: sxt22300@163.com

生显著变异,这个时间点称为水文序列的变异点,了解和诊断水文序列的变异及其规律,对水文分析、模拟、预测、防洪减灾、水环境治理等具有重要意义^[6-7]。

本文利用蛇山水位站 1973—2020 年日均水位过程,采用 Mann-Kendall 检验和滑动 T 检验确定了石臼湖水位变异点,结合年保证率法和年内展布法计算其逐月最低生态水位,研究成果可为石臼湖水生态系统保护提供科学依据。

1 研究区域概况

石臼湖位于长江中下游,湖西部通过青弋江、水阳江、姑溪河与长江相连,湖北部通过天生桥河与秦淮河相连。长江水通过水阳江流入,由姑溪河流出,水位变幅一般为 2.5~6.8 m,最大变幅可达 7 m 以上。石臼湖生物多样性丰富,是包括东方白鹤、大天鹅、小天鹅等珍稀鸟类在内众多野生动物的重要栖息地。

2 研究数据和方法

2.1 研究数据

本研究选用的监测点蛇山水位站位于石臼湖南部,收集该站点 1973—2020 年共 48 年的日水位数据,统一采用吴淞高程。

2.2 水文变异点

Mann-Kendall (M-K) 检验是一种非参数检验方法,广泛应用于分析降水、径流和气温等要素时间序列的趋势或跳跃变化研究。该方法首先计算时间正序列和逆序列数据的统计变量 UF 和 UB ,并与置信水平 $\alpha=0.05$ 时的临界变量对比,如果 UF 和 UB 两条曲线出现交点,且交点在临界线内,则对应的时刻即为水文突变点。该方法的优点是不受样本值和分布类型的干扰,但检验过程可能出现多个突变点,需要结合其他方法进一步检验。滑动 T 检验法也常用于水文变异点的计算,该方法通过计算相关统计量,判断其是否超过显著性水平,超过的时刻即为水文突变点。

2.3 最低生态水位

根据水文变异的计算结果,对变异点之前的天然水位资料,采用年保证率法计算石臼湖最低生态水位,并通过年内展布法得到逐月最低生态水位。

本文选取 1973—2020 年实测年最低水位数据,按照从小到大的顺序排列,选取保证率为 75% 的值所对应的水文年,参考生态系统健康评价^[8],得出水

文年对应的权重 μ , 计算得到石臼湖的最低生态水位 H_{\min} , 然后将其与多年年均水位 \bar{h} 的比值作为同期均值比 η , 并计算多年月均水位 \bar{h}_i , 结合同等比例缩放的原理,求得逐月最低生态水位。其计算式为

$$H_{\min} = \mu \bar{H} \quad (1)$$

式中: H_{\min} 为最低生态水位; \bar{H} 为保证率所对应的水文年的年均水位; μ 为权重, 由水文年湖泊生态健康等级确定, 湖泊生态健康等级可分为优、较好、中等、差、极差, 对应的 μ 值分别为 0.945、0.975、1.000、1.005、1.013。

3 结果与讨论

3.1 石臼湖水位变异点

对石臼湖 1973—2020 年的年均水位资料进行水文变异检验, 采用 M-K 法和滑动 T 检验法, 并选取 $\alpha=0.05$ 进行计算。根据 M-K 检验, UF 和 UB 的交点发生在 1976 年、1980 年和 2000 年, 说明石臼湖水位在 1976 年、1980 年和 2000 年发生了突变, 其年均水位在水文变异前呈下降趋势, 水文变异后整体呈上升趋势。M-K 检验法出现多个突变点, 需要结合滑动 T 检验法进一步检验, 得知石臼湖的突变点为 1984 年和 2000 年。由于计算方法的不同, 2 种检验结果可能存在差异, 但都表明石臼湖年均水位在 2000 年发生突变。因此, 本文选取 1973—1999 年的天然水位序列计算石臼湖的最低生态水位。

3.2 石臼湖水位变化特征

对石臼湖 1973—2020 年的年均水位进行分析, 结果如图 1 所示。可以看出石臼湖年均水位最高出现在 1998 年, 水位为 8.14 m; 年均水位最小出现在 2011 年, 仅为 5.69 m。石臼湖水文突变前多年平均水位为 7.09 m, 高于突变后的 6.86 m, 说明水文变异导致石臼湖水位普遍降低。

同时, 对石臼湖 1973—1999 年日水位序列进行分析, 得到石臼湖逐日水位的多年平均值、多年最高值和多年最低值, 结果如图 2 所示。由图 2 可知, 石臼湖蛇山站水位年内呈典型的单峰分布, 具有明显的高低水位变化。1 月至 7 月上旬水位呈上升趋势, 水位在 7 月到达最高值, 7 月中旬至 12 月呈下降趋势, 呈现出显著的高、低水位变化特征。年内日均水位变化范围为 5.3~10.0 m, 从年际水位过程看, 多年日最大水位和日最小水位差异显著, 多年日最高水位的变化范围为 5.9~12.3 m, 多年日最低水位的变化范围为 5.0~7.8 m, 同一天的最高和最低水位差最高能达到 4.5 m。根据多年日水位计算, 石臼湖

高水位(25%保证率)和低水位(75%保证率)分别为8.39 m和5.69 m。总体上石臼湖水位呈现出汛期水位高、非汛期水位低的年内变化特征。

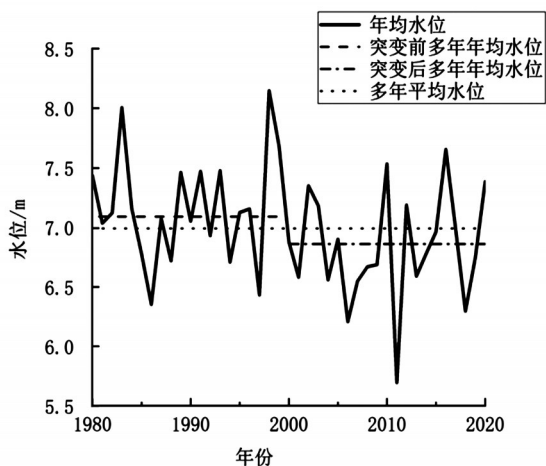


图1 石臼湖1973—2020年年均水位变化

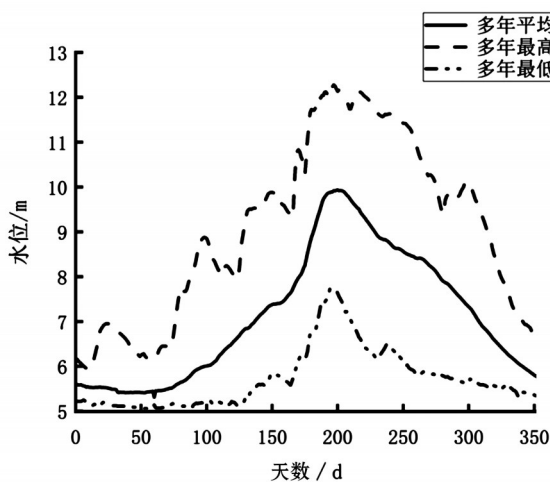


图2 石臼湖1973—1999年日均水位变化

3.3 石臼湖生态水位计算

根据年保证率法,对1973—1999年的逐日水位数据求年内最小值,获得逐年最低水位,选择75%保证率^[9-10]的最低水位数据所对应水文年的年均水位作为 \bar{h} 。根据石臼湖湿地生态的健康评价等级, μ 值取1,得到石臼湖最低生态水位 h_{\min} 为6.77 m,多年平均水位为7.11 m。由最低生态水位与多年年均水位的比值得到同期均值比 η 为0.95,再根据多年月均水位进行年内分配,得到石臼湖1—12月的逐月最低生态水位分别为5.25、5.15、5.32、5.87、6.67、7.56、9.26、8.58、8.00、7.25、6.24、5.52 m。

研究表明,石臼湖鱼类以湖泊定居性为主,定居性鱼类一般在春夏季繁殖,水深适宜在0.5~1.0 m,

生存水深至少为1.0 m。石臼湖湖底高程一般在2.5~5.0 m,上述最低生态水位值基本满足定居性鱼类的繁殖和生存需要。

3.4 石臼湖生态水位保障程度

根据水位变异点结果,分别计算石臼湖水文变异前后生态水位月均保障程度和年均保障程度,结果如图3、图4所示。由图3可知,水文变异前的月均生态水位保障度整体高于水文变异后,这是由于水文变异导致石臼湖水位整体降低。水文变异前1—2月的保障度最高,超过90%,4—6月保障度最低,但均高于55%,水文变异后10—11月的保障度不足40%。由图4可知,水文变异前的生态保障程度呈现出丰水年高、枯水年低的周期变化特征。2000—2013年由于石臼湖水位普遍偏低,生态保障度整体呈现下降趋势,2013年之后有所回升。

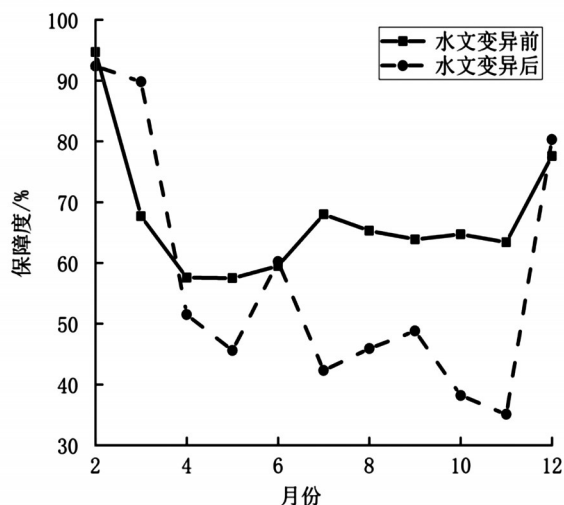


图3 石臼湖水文变异前后生态水位月均保障程度

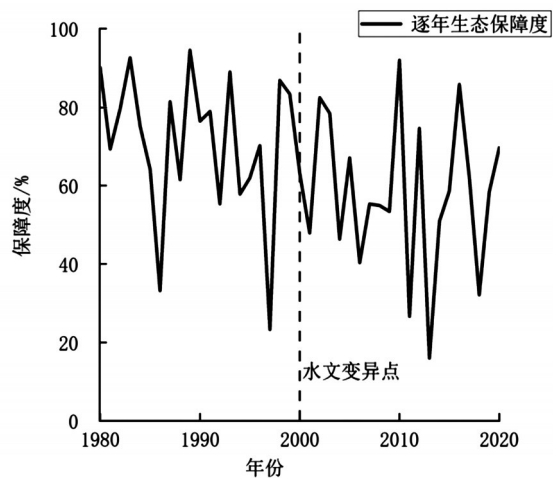


图4 石臼湖水文变异前后生态水位年均保障程度

石臼湖通过青戈江、水阳江和姑溪河等河流与长江自然连通,其水位变化受长江水位波动节律和降雨径流过程的双重影响,因此,需要进一步诊断导致其水位变异的关键驱动因素和相应的贡献率,为提高石臼湖生态水位保障度,维持湖泊生物多样性和生态系统健康提供科学依据和指导。

4 结 语

本文采用M-K检验法和滑动 T 检验法,对石臼湖1973—2020年的年均水位进行水文突变检验,并采用年保证率法和年内展布法得到逐月最低生态水位,最后对其最低生态水位与保障程度进行了计算分析。

(1)M-K检验表明石臼湖水位在1976年、1980年和2000年发生了突变,滑动 T 检验法的突变点为1984年和2000年,表明石臼湖年均水位的突变点发生在2000年。

(2)石臼湖逐月最低生态水位分别为5.25、5.15、5.32、5.87、6.67、7.56、9.26、8.58、8.00、7.25、6.24、5.52 m,满足石臼湖定居性鱼类繁殖和生存的水深需求。

(3)石臼湖水文变异前的月均生态水位保障度整体高于水文变异后,水文变异时刻至2013年,石臼湖生态水位保障度于2013年后有所回升,需要进一步诊断导致其水位变异的关键驱动因素及其贡

献率。

参考文献:

- [1] 郭强,孟元可,樊龙凤,等. 基于IHA/RVA法的近年来鄱阳湖生态水位变异研究[J]. 长江流域资源与环境, 2019,28(7):1691-1701.
- [2] 淦峰,唐琳,郭怀成,等. 湖泊生态水位计算新方法与应用[J]. 湖泊科学, 2015,27(5):783-790.
- [3] 鸿翔,朱永卫,查胡飞,等. 洞庭湖生态水位及其保障研究[J]. 湖泊科学, 2020,32(5):1529-1538.
- [4] 陈炼钢,陈黎明,徐祎凡,等. 基于越冬水鸟生境模拟的拟建鄱阳湖水利枢纽生态控制水位探讨[J]. 湖泊科学, 2020,32(5):1519-1528.
- [5] 王鹏,华祖林,褚克坚,等. 高度城镇化地区河网水系生态调控方案[J]. 水资源保护, 2022,38(1):205-212.
- [6] 雷红富,谢平,陈广才,等. 水文序列变异点检验方法的性能比较分析[J]. 水电能源科学, 2007,98(4):36-40.
- [7] 徐晋轩,李一阳,潘兴瑶,等. 多时空尺度协同的场次降雨水资源量评价方法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2023,51(1):19-25.
- [8] 王荣娟,张金池. 石臼湖湿地生态系统健康评价[J]. 林业科技开发, 2011,25(2):70-74.
- [9] 崔保山,赵翔,杨志峰. 基于生态水文学原理的湖泊最小生态需水量计算[J]. 生态学报, 2005,25(7):1788-1795.
- [10] 粟晓玲,刘雨翰,姜田亮,等. 西北地区陆地生态系统未来生态需水量预估[J]. 水资源保护, 2023,39(4):9-18,78.