

1960 年以来太湖水位变化特征及影响因素分析*

盛昱凤 薛媛媛 戚丽萍 李静泰 闫丹丹 史丹 栾兆擎[†]

(南京林业大学生物与环境学院, 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学林学院, 210037, 江苏南京)

摘要 以太湖为研究对象, 综合采用 Mann-Kendall 突变检验和 Morlet 小波分析等方法, 分析太湖 1960—2018 年水位数据, 阐明太湖水文特征变化及其影响因素。结果表明: 1960—2018 年间太湖水位整体呈现缓慢上升趋势, 极值水位波动幅度较强; 年内水位受降雨分配的影响呈单峰型变化, 汛期尤为明显; 水位周期性显示稳定的时间尺度是 9 a, 变化强烈的时间尺度分别是 22 和 28 a; 气候变化和人类活动共同影响了太湖水位的变化, 2000 年前太湖水位对降水的响应十分敏感, 而 2000 年后太湖水位受人为调控而趋于稳定; 合理范围内的水位波动对整个流域的水资源调配和太湖的生态水文特征有重要影响, 科学的水利工程调控有利于太湖湖泊生态系统的健康发展。研究结果可为太湖水情调控和湖泊生态系统管理提供理论参考和决策依据。

关键词 水位; 变化特征; 降水; 人类活动; 相关性

中图分类号 P343.3

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2020441

湖泊作为陆地水圈和大气圈物质交换的中转站^[1], 承担着物质循环、能量流动及传递信息的重要功能^[2]。相较于其他山川河海等地理单元, 湖泊生态对全球温度变化的响应十分敏感^[3], 主要表现于湖泊生物和水文反馈上。湖泊水域内生物多样性及生产动力态变化是全球气候变暖的同期反应^[4], 而水文过程对气候的反应表现在湖泊水位的升降变化上^[5]。在研究湖泊水文过程中, 气候、水位等确定性或非确定性的水文气象时间序列最容易受到自然或人为活动的影响, 导致这些频域特征随时间的变化而变得更为复杂^[6-9]。

太湖流域地处长江下游三角洲地区, 是我国经济快速发展且高度城市化的区域。随着近年来人类活动高强度干扰和水利工程建设的影响, 太湖地区水文过程已经发生了显著变化。区域河网以及湖区水位不断升高, 洪涝灾害频发加剧, 水质日趋恶化, 严重阻碍了区域经济持续发展, 并给当地居民生产和生活造成了显著影响。因此开展太湖水位特征变化及其生态响应研究, 对于太湖流域水资源优化调控和湖泊生态系统的科学管理具有重要的理论意义和实践价值。

近年来, 相关研究从不同角度探讨了太湖水位特征变化和太湖水环境的生态响应, 从太湖多年水

位数据着手, 基于数理统计、模型模拟等方法分析了湖荡围垦、水利工程、区域空间利用等人类活动和气候变化对水位变化的影响^[10-12]。尹义星等采用 MK 和均一性检验方法, 分析了 1950 年代以来太湖地区最高和最低水位的变化趋势, 指出太湖极值水位在降水背景下对人类活动的响应更为敏感^[13]。

综上, 太湖水文情势变化一直都是学者们重点关注和研究的对象。本文以太湖为研究对象, 考虑水文变量随机性和人类活动多变性, 在前人研究的基础上, 基于太湖 1960—2018 年水位系列数据, 综合采用数理统计、小波分析等方法, 系统分析了太湖水位的时序特征及影响因素, 以为太湖水情预测以及水资源调控提供科学依据。

1 材料及方法

1.1 研究区概况 太湖位于太湖流域中下游, 是太湖流域片内最大的浅水湖泊, 同时也是流域内水资源调蓄中心^[14]。太湖水域面积 2 338 km², 南北纵向岸线长 68.5 km, 东西横向宽 34 km, 平均水深 1.95 m, 水域内最大水深 2.66 m^[15]。太湖地属亚热带季风气候, 当地气候温和, 雨水丰沛, 四季明显, 多年平均温度 16.37 °C, 多年平均降雨量 1 150.1 mm。

1.2 数据来源 所用太湖水位数据来源于水利部太湖

* 国家自然科学基金资助项目(41871097, 41471078); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD); 江苏省农业科技自主创新资金资助项目(CX(18)2026)

[†] 通信作者: 栾兆擎(1976—), 男, 教授, 博士。研究方向: 湿地生态水文。E-mail: luanzhaoqing@njfu.edu.cn

收稿日期: 2020-06-19

流域管理局统计公报, 数据时段为 1960—2018、共计 59 a. 数据为湖区内大浦口、夹浦、小梅口、洞庭西山、望亭(太)5 个水文站点的实测数据, 各水文站点分布如图 1 所示. 基于 5 个站点日平均水位取算术平均, 形成太湖逐月水位数据, 用于太湖水位动态特征分析.

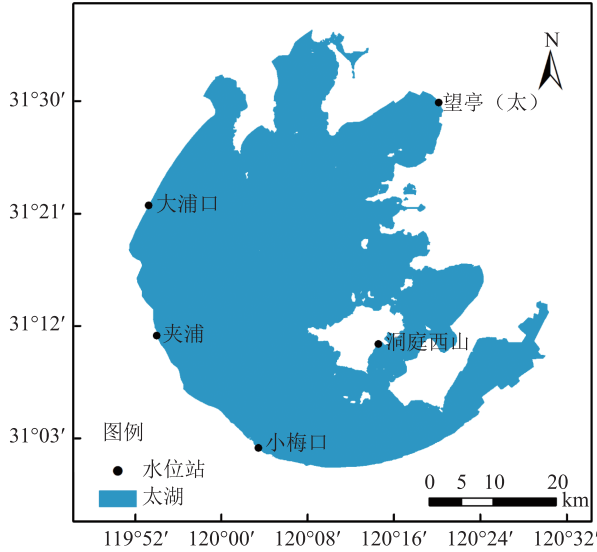


图 1 太湖湖区水位站点分布

1.3 研究方法 采用水文统计学中常规数理统计法, 借助 SPSS 和 Matlab 等工具对太湖水位变化特征进行分析.

1) Jonckheere-Terpstra (J-T) 非参数检验

$$J_T^* = \sum_{i < j} U_{ij}^*$$

式中, U_{ij} 为样本 i 中观察值小于样本 j 中观察值的对数, 其原假设 $H_0: \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_k$ 对 $H_1: \theta_1 \leq \theta_2 \leq \dots \leq \theta_k$, 则有明显上升趋势^[16].

2) Mann-Kendall (M-K) 突变检验法. 以数据序列平稳为前提, 序列为随机独立且概率分布等同. 在原假设 H_0 序列没有变化的情况下, 数据序列为 x_1, x_2, \dots, x_n , x_k 表示第 i 个样本 $x_i > x_j (1 \leq j \leq i)$ 的累计数, 定义统计量

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad k = 2, 3, \dots, n,$$

$$r_i = \begin{cases} 1, & x_i > x_j, \\ 0, & \text{else,} \end{cases} \quad j = 1, 2, \dots, i.$$

在原序列随机独立的假设下, S_k 的均值 $E(S_k)$ 和方差 $V(S_k)$ 计算公式分别为

$$E(S_k) = n(n-1)/4,$$

$$V(S_k) = n(n-1)(2n+5)/72,$$

将 S_k 标准化, 得到统计量

$$U_{Fk} = S_k - E(S_k) / \sqrt{V(S_k)}, \quad k = 2, 3, \dots, n.$$

U_{Fk} 组成一条 UF 曲线, 通过信度检验可得出其是否有明显的变化趋势. 把此方法引用到反序列, 计算得到另一条曲线 UB, 2 条曲线在置信区间内的交点即为突变点^[17-18].

3) Morlet 小波分析. 用于提取时间序列的多种变化周期, 充分反映系统在多种不同时间尺度中的变化趋势, 并对水文系统未来发展趋势进行定性化估计. 公式为

$$\varphi_0(t) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2},$$

式中 t 为时间, ω_0 为无量纲频率.

小波方差是特定时间下信号的强弱程度, 小波方差越大, 信号在对应尺度上的周期性特征就越显著, 表达式为

$$V_\alpha = \frac{1}{N} \sum_{\tau} |W(\alpha, \tau)|^2,$$

式中: $|W(\alpha, \tau)|$ 是尺度为 α 、位移因子为 τ 时的小波系数绝对值, 对于复系数来说则是其模长; N 为 α 尺度下求得的小波系数总数^[19].

2 结果与分析

2.1 太湖水位特征变化

2.1.1 太湖水位年际变化 应用非参数统计 Jonckheere-Terpstra 检验法, 对 1960—2018 年年太湖水位特征作年际演化趋势分析. 水位样本近似值 Z 为 3.22, $|Z| > 2.58$, $0.01 \leq P < 0.05$, 年均水位、年最低水位的趋势系数分别为 0.539 6 和 0.706 8, 均通过了 0.01 的信度检验; 年最高水位趋势系数为 0.262 6, 通过了 0.05 的信度检验. 说明随着时间的变化, 太湖水位整体有显著上升的趋势, 但最低水位比最高水位变化更为显著.

从太湖水位过程曲线(图 2)可以看出, 太湖水位特征值有明显的年际波动. 结合已有水位数据计算变异系数 (C_V): 近 60 a 太湖年平均水位、年内最高水位和年内最低水位的 C_V 分别为 0.055 9、0.114 9 和 0.063 0. 结果显示, 年均水位除 20 世纪六七十年代表现出剧烈升降变化, 研究时序整体表现离散程度低、年际变化均匀的特点. 太湖湖泊受流域气候和独特地形地貌特征的影响, 降水后容易产生高水位和湖水不容易外泄的状态, 导致多年最高水位数值波动要明显高于最低水位. 极值水位 C_V 结果肯定了太湖最高水位的离散程度要高于最低水位序列, 年际波动变化大, 量值范围为 2.90~5.08 m. 太湖最高

水位 5.08 m 出现于 1999 年, 该水位超防洪设计水位标准 (4.66 m) 超过 1 个月时间^[19]. 结合同年期太湖地区降雨数据, 1999 年春末夏初季节, 太湖经历了全流域性大洪水^[20], 梅雨期降雨总量也达到了历史实测记录的最大值 (672.8 mm), 相较极值水位, 时序最

低值都发生在 1978 年. 据降雨数据资料分析, 1978 年全年日降水量 ≥ 0.1 mm 的时间仅有 115 d, 这相较于其他年份明显偏少; 全年降雨总量 719.9 mm, 也处于历史低水平. 1978 年夏季较历史同期气温偏高, 故造成显著性的低水位水平.

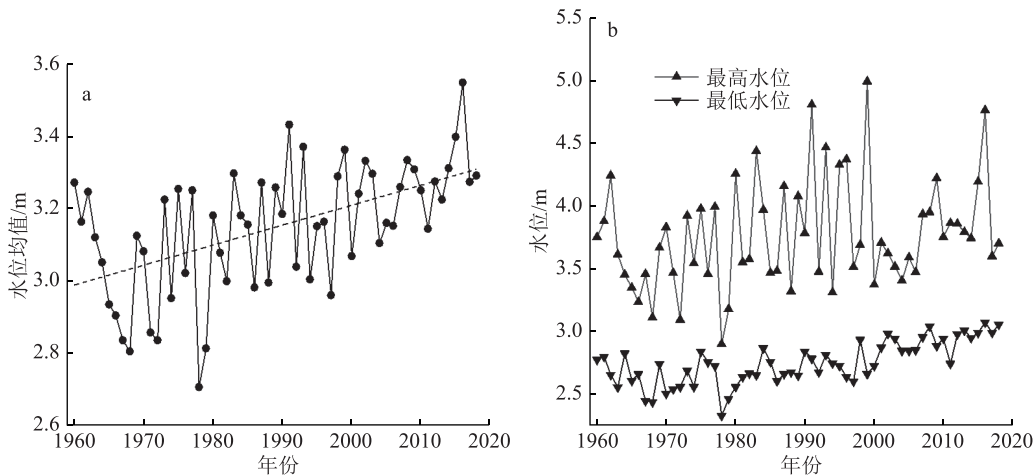


图 2 太湖水位过程线

太湖极值水位的年际演变与流域洪涝干旱事件密切相关^[13]. 根据 M-K 检验 UF (正序列)、UB (反序列) 趋势, 进一步解释分析极值水位序列变化情况. 由检验结果 (图 3) 可知, 太湖最高水位变化在 1983—2001 年间存在多个相交, 且都在置信区间内. 说明在 1983—2001 年间太湖最高水位变化发生了突变: 近 20 a 间里有 8 a 最高水位超过了 4.00 m, 占突变年份的 42%; 2001 年以后仍呈上升趋势; 除降水丰沛的

年份, 最高水位基本能够控制在 < 4.00 m. 同样, 年最低水位趋势检验表明 UF 和 UB 在置信区间内, 2002 年有唯一相交点. 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 2.98 m. 突变年份之后, 最低水位呈现出显著上升变化. 总体而言, 太湖水位变化在 2000 年以后呈上升趋势的结果与前述一致, 但引起太湖水位波动的影响因素较为复杂, 使太湖在长时间序列中表现出不同水文变化特征.

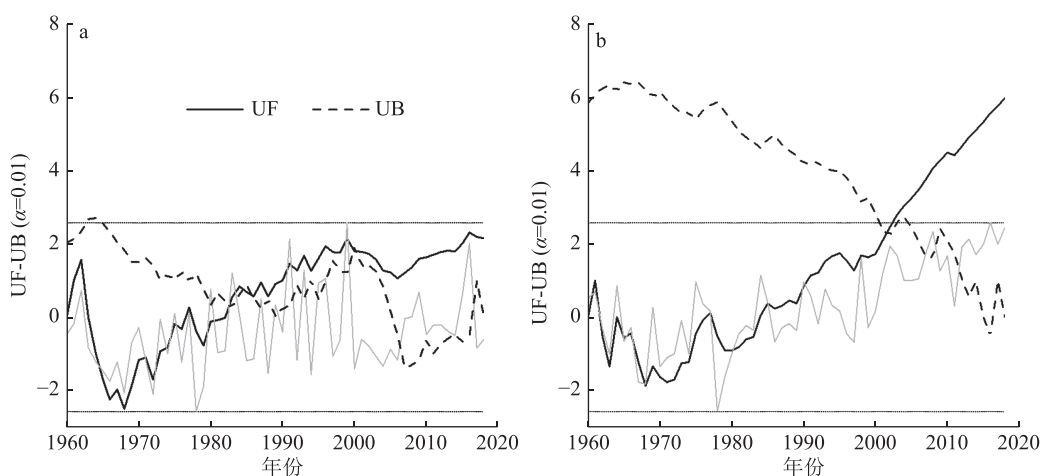


图 3 1960—2018 年太湖极值水位 M-K 突变检验

2.1.2 太湖水位年内变化 自 2002 年水利部确定实施调水工程以来, 太湖平均水位低于防汛控制水位, 即启动“引江济太”工程, 太湖水位年内变化特征决定了“引江济太”工程具体调度方案. 因此选择 2003—2018 年太湖逐日水位数据集, 平均处理后获

得月尺度平均水位数据, 着重分析月尺度水位在不同时段上表征的不同变化.

为便于分析对比, 根据太湖水位受流域季节性降雨变化影响, 各时段月平均水位变化显示出一定的周期性. 将全年划分成汛前 (1—4 月)、汛期

(5—9月)和汛后(10—12月)3个时段.对太湖多年月平均水位数据进行分析后可知(表1):仅6、7、12月及多年月均水位通过了0.05的显著性水平检验,水位变化倾向率也较其他月份大,分别以0.0252、0.0354和0.0141 m·a⁻¹的速率上升.由图4多年月平均水位显示,最高和最低月均水位分别出现于7和2月,水位相差0.415 m;但以汛期来看极值水位,汛期水位波动不大,3月水位3.196 m,与2月最低相差0.083 m,汛期月均差值达0.386 m,汛后为0.200 m;以汛期为界,太湖水位汛后水位明显高于汛前,说明汛期之后湖泊处于放水泄洪状态.

表 1 太湖月均水位变化趋势表

月份	倾向率 <i>a</i> /(m·a ⁻¹)	趋势系数 <i>r</i>
1	0.006 9	0.240 8
2	0.000 5	0.017 3
3	0.000 1	0.003 5
4	0.013 8	0.367 3
5	0.011 6	0.383 4
6	0.025 2	0.564 4*
7	0.035 4	0.521 9*
8	0.011 1	0.241 5
9	0.003 4	0.116 2
10	0.011 8	0.309 7
11	0.011 6	0.353 4
12	0.014 1	0.489 4*
月均	0.012 1	0.534 1*

注: *为通过0.05的显著性水平.

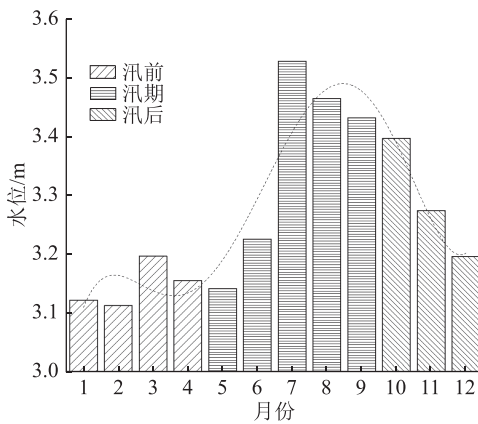


图 4 太湖水位的汛期变化

2.1.3 太湖水位周期性分析 利用 Morlet小波分析法,分析水位长时间序列下的周期性.图5为太湖年均水位小波系数等值线图.水位的小波变换系数等值线分布表现出明显的高低振荡周期,时频等值线能量中心的频域尺度在7~12、15~23和25~29 a信号下,水位呈现出高-低-高-低-高的循环变化.对应平

均条件下相应的小波方差分析结果(图6),有3个波动起伏阶段,最高峰值对应28 a.周期变化强烈明显,但由于验证时间序列年份不充足,导致该周期变化具有一定的局限性.9 a特征时间尺度周期变化稳定,几乎覆盖整个时间段,具全局性,且振荡中心在2005年之后的时间段内呈现逐渐下降的趋势.

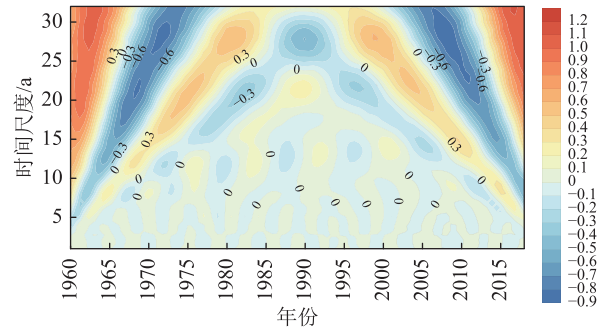


图 5 1960—2018 年太湖年均水位小波系数等值线

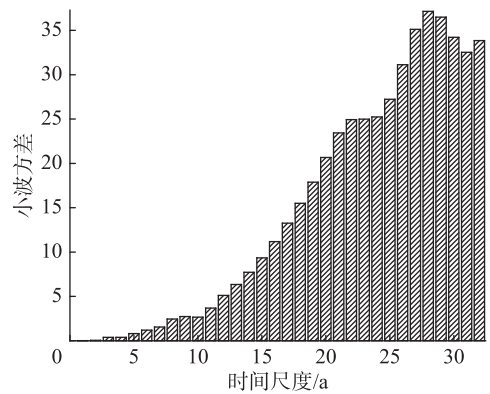


图 6 太湖年均水位小波方差

3 讨论

3.1 影响因素分析 气候变化与人类活动是共同影响湖泊水位变化的2大驱动因素.人类活动可使湖泊水位短期内发生剧烈变化,而气候变化则是影响湖泊水位的重要长期因素^[21].太湖地处亚热带季风气候区,水位变化与夏季降雨关系密切,具有汛期高、旱季低的一般规律^[22-23].但自2002年水利部确定实施“引江济太”工程以来,太湖水位对降雨响应发生显著变化.因此将太湖水位与湖区降雨系列变化做必要对比分析,探讨太湖在人为控制变化环境下水位与降水是否还存在响应关系.

由太湖年均水位过程(图7-a)来看,太湖年均水位变化大致呈现3阶段:1960—1980年总体偏低,低于年均值(3.148 m);1981—2000年波动平稳,在年均值范围上下变化;2001—2018年水位总体偏高,明显超过年均值.年降水量(图7-b)作为影响太湖水文变化的重要气候因素,在年际前期变化上表现出同步

性:第1阶段降水量偏少;第2阶段降水波动稳定,在年均降水量(1151.10 mm)上下波动;第3阶段降水呈现不规则波动,2000年以后总体上降水量较平

均偏多.年均水位和降水 M-K 检验(图 8)显示,二者突变年份不一致,在显著性范围内降水突变发生的年份要早,但在 2000 年前后二者存在共同突变年份.

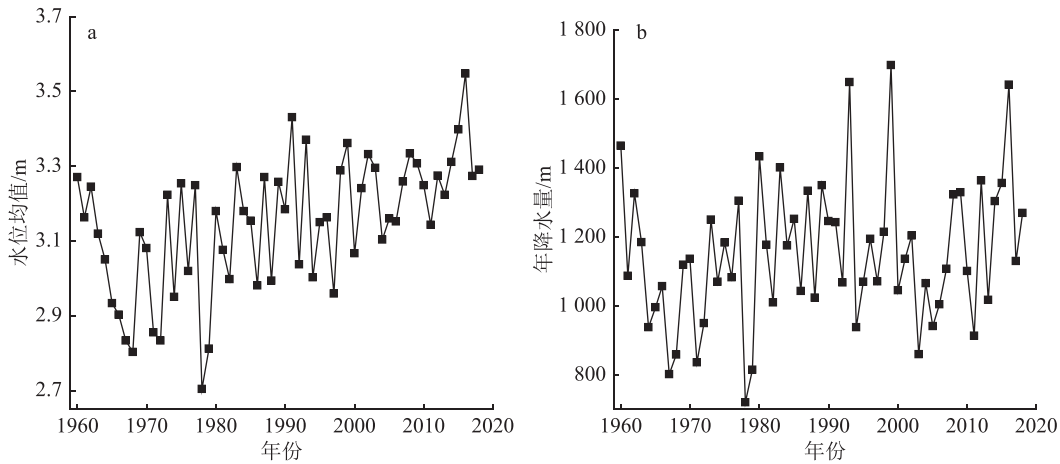


图 7 1960—2018 年太湖年均水位 (a) 及年降水量 (b) 变化过程

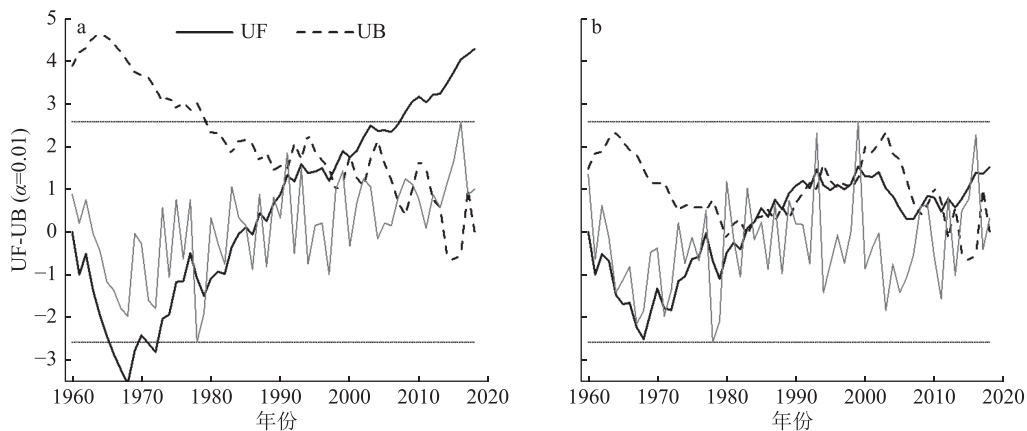


图 8 太湖 M-K 突变检验

3.2 水利工程前后水文情势变化 自 2003 年调水试验后,“引江济太”正式进入长效运行阶段^[24],太湖水位在 2000 年左右也存在突变现象.为了进一步探讨变化环境下太湖水文情势的影响要素,判别水利工程对水位与降水相关性的影响程度,选取 2003 年前后水位特征值,定量表征水利工程影响下太湖水文情势变化.太湖水位变异系数结果(表 2)表明:2003 年前各项水位变异系数要明显高于 2003 年后,说明相较于只有降水作用于水位而言,水利工程的实施有效控制了水位波动程度;水位变化出现极高极低的状况大大减少,尤其是降水之后产生极值水位差的对比十分明显,数值分别达到了 40.71% 和 34.03%.受水利工程的影响,2003 年前后太湖水位与降水相关性(见表 3)也受到影响:平均水位、年内最高水位以及极值水位差与降水的相关性在 2003 年后都有明显下降,相关系数有效保持在 0.01 的显著

性水平内,且数值偏高;但 1960—2002 年阶段年内最低水位与降水相关性为 0.434,相较于其他相关性指数显著偏低,水利工程的实施使最低水位的变化更加突出.

表 2 2003 年前后太湖水位变异系数 %

时段	年均水位	年内最高水位	年内最低水位	极值水位差
1960—2002年	5.60	12.24	5.09	40.71
2003—2018年	3.19	8.60	2.93	34.03

表 3 2003 年前后太湖水位与降水的相关性

时段	年均水位	年内最高水位	年内最低水位	极值水位差
1960—2002年	0.862**	0.798**	0.434**	0.708**
2003—2018年	0.804**	0.780**	0.638**	0.664**

注:**为通过0.01的显著性水平.

利用 SPSS 软件对要素进行相关性分析,寻求水

利工程后水文情势变化. 结果显示: 逐月水位与降水之间依然存在相关关系, 当月最高水位与降水之间的相关系数为 0.468; t 检验的显著性概率 < 0.01 , 拒绝零假设, 表明最高水位与当月降水之间相关性显著; 以月降水量 ≥ 100 mm 定义为降水多的月份, 太湖水位变化表现为多雨高水位、少雨低水位的特点, 对应相关系数为 0.468, 结果显示二者显著相关.

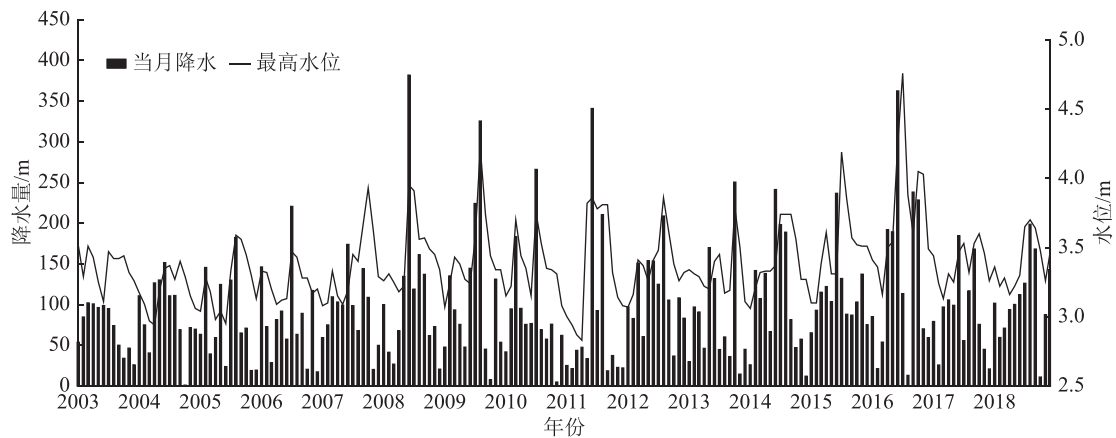


图 9 2003—2018 年太湖逐月降水与最高水位过程线

4 结论

对太湖 1960—2018 年共 59 a 的水位变化特征进行系统分析, 探究了太湖水位变化的影响因素, 结论如下:

1) 受流域气候和浅水湖泊特征影响, 太湖表现出不同的水情特征. 从年际变化来看: 近 60 a 太湖水位整体呈缓慢上升趋势, 极值水位在 2000 年以后呈显著上升的趋势; 极值水位年际波动强于平均水位; 同时水位年内也存在季节变化, 以汛期为界, 6、7 月处于流域梅雨期, 太湖水位受强降水影响而表现出持续偏高的特征, 主要年内变化形式呈单峰型.

2) 水位周期性连续变化结果显示, 太湖水位存在 9、22 和 28 a 这 3 类时间尺度, 第一类时间尺度具有全局性且表现稳定, 后 2 类虽周期变化强烈, 但在研究范围内具有局限性, 伴随着水位序列的上升趋势, 9 a 的时间尺度表现出下移趋势.

3) 气候变化和人类活动共同影响了太湖水位的变化, 水位对降水响应十分敏感, 主要表现为多雨高水位、少雨低水位的特点. 随着 2000 年左右水利工程建设后, 太湖水位变化受人为调控而趋于稳定, 与降水的相关性也随之显著下降.

太湖水位波动变化是受气候及人类活动共同作用的结果, 但影响水位仍有其他因素存在, 湖泊水情变化对水生生态系统健康维系具有重要影响, 如何解决整个太湖水环境问题, 仍是一个长期且艰巨的任务.

以月份日期为横坐标, 降水量和最高水位为纵坐标, 绘制 2003—2018 年逐月降水量和最高水位过程线如图 9 所示. 由图 9 可见: 最高水位主要受控于降水影响, 降水对太湖湖泊的补给在水位变化上具同步性, 随降水量增多最高水位也越高, 与流域产汇流机制相对应^[25]; 对应多降水高水位的时间月份, 汛期占比达到了 67.57%, 存在汛期短时暴雨的可能性.

5 参考文献

- [1] YAO J Q, CHEN Y N, ZHAO Y, et al. Hydroclimatic changes of Lake Bosten in Northwest China during the last decades[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 9118
- [2] 吴红波. 基于星载雷达测高资料估计博斯腾湖水位-水量变化研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2019, 30(3): 9
- [3] NEWCOMBE C L, SLATER J V. Temperature characteristics of Sodon lake: a dichothermic lake in Southeastern Michigan[J]. *Hydrobiologia*, 1948, 1(1): 346
- [4] 郝贝贝. 浅水湖泊沉水植物建构功能及其对升温的响应[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018
- [5] WAN R R, YANG G S, DAI X, et al. Water security-based hydrological regime assessment method for lakes with extreme seasonal water level fluctuations: a case study of Poyang Lake, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2018, 28(3): 456
- [6] 王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005
- [7] GORNIK A. Current climatic conditions of lake regions in Poland and impacts on their functioning[J]. *Polish River Basins and Lakes-Part I: Hydrology and Hydrochemistry*, 2020, 86: 1
- [8] GOPHEN M. Long term (1970-2001) eco-hydrological processes in lake kinneret and its watershed[M]//ZEREINI H. *Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and in North Africa*. Berlin: Springer, 2008: 373
- [9] BOLGOV M V, BUBER A L, KOROBKINA E A, et al.

- Lake baikal: extreme level as a rare hydrological event[J]. *Water Resources*, 2017, 44(3): 522
- [10] ZENG C F, WANG L C. A study of hydrologic responses to land use and cover change in Taihu Lake Basin, South-east China[J]. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 2012, 10(3/4): 1404
- [11] 林荷娟, 程媛华, 梅青, 等. 太湖警戒水位研究[J]. *中国水利*, 2014(7): 55
- [12] 王杰, 许有鹏, 王跃峰, 等. 平原河网地区人类活动对降雨-水位关系的影响: 以太湖流域杭嘉湖地区为例[J]. *湖泊科学*, 2019, 31(3): 779
- [13] 尹义星, 许有鹏, 陈莹. 太湖流域典型区50年代以来极值水位时空变化[J]. *地理研究*, 2011, 30(6): 1077
- [14] WANG L, CAI Y L, CHEN H Q, et al. Flood disaster in Taihu Basin, China: causal chain and policy option analyses[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 63(5): 1119
- [15] 金科, 伍永年. 太湖健康状况报告2017[R]. 上海: 水利部太湖流域管理局, 2019
- [16] 唐启义. DPS数据处理系统(第1卷): 基础统计及实验设计[M]. 4版. 北京: 科学出版社, 2017
- [17] 郭梦京, 周孝德, 李鹏, 等. 近50年博斯腾湖水位变化特征分析[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(2): 52
- [18] 白会滨, 刘淑曼, 俞淞, 等. 海河流域水质时空变异规律的分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 56(2): 290
- [19] 虞孝感, 吴泰来, 姜加虎, 等. 关于1999年太湖流域洪水灾情、成因及流域整治的若干认识和建议[J]. *湖泊科学*, 2000, 12(1): 1
- [20] 高苹, 黄毓华, 武金岗. 1997/1998厄尔尼诺与江苏气象灾害及对农业影响的分析[J]. *灾害学*, 1999(4): 55
- [21] HU Q F, WANG Y T. Impact assessment of climate change and human activities on annual highest water level of Taihu Lake[J]. *Water Science and Engineering*, 2009, 2(1): 1
- [22] 陆鸿宾. 江苏省主要湖泊的降水量与湖泊的降水效应[J]. *海洋湖沼通报*, 1991(2): 23
- [23] 尹义星, 许有鹏, 陈莹. 太湖最高水位及其与气候变化、人类活动的关系[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(7): 609
- [24] 金科, 伍永年. 2013太湖流域引江济太年报[R]. 上海: 水利部太湖流域管理局, 2014
- [25] 宋晓猛, 张建云, 占车生, 等. 气候变化和人类活动对水文循环影响研究进展[J]. *水利学报*, 2013, 44(7): 779

Water level changes in Taihu Lake from 1960 and influencing factors

SHENG Yufeng XUE Yuanyuan QI Liping LI Jingtai
YAN Dandan SHI Dan LUAN Zhaoqing[†]

(College of Biology and the Environment, Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, 210037, Nanjing, Jiangsu, China)

Abstract The water level data from 1960-2018 at Taihu Lake were subject to statistical analysis, Mann-Kendall mutation test and Morlet wavelet analysis, to understand dynamics of hydrology and influencing factors. The water level at Taihu Lake was found to show a slow upward trend from 1960-2018, generally but with sporadic extreme changes. Annual water level was found to show a single peak consistent with the impact of rainfall, especially during the flood season. Periodicity analysis revealed a stable 9-years time scale, 22- and 28-years time scales of strong changes. Over the 60 years period, changes in water level were found to be significantly correlated with precipitation and human activities, with strong synchronization between influencing factors. Reasonable fluctuations in water levels should influence allocation of water resources, as well as local ecology and hydrology. Appropriate water conservancy measures should benefit the healthy development of Taihu Lake ecosystem.

Keywords water level; dynamic characteristics; precipitation; human activities; correlation