

1990—2020年高邮湖水文情势 变化特征分析

蒋永生^{1,2}, 陆小明³, 赵林林⁴, 肖 锋^{1,5}, 薛 坤², 卢小平¹

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454003; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008;

3. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029; 4. 江苏省水文水资源勘测局扬州分局, 江苏 扬州 225000;

5. 河南省测绘工程院, 河南 郑州 450003)

摘要:依据高邮湖1990—2020年6个水文站逐日水位数据,采用灰色关联分析、累积距平等方法,阐述各个水文站的水情异同和高邮湖水位年内、年际变化规律。在此基础上,构建累积水位变化与降水、蒸发量及入湖、出湖流量之间的多元回归关系,揭示了高邮湖水位不同阶段变化的主要驱动因素,为高邮湖水资源管理与利用提供数据参考。

关键词:高邮湖; 水文情势; 特征分析

中图分类号:[TV123]

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2023)12-0014-0006

Analysis of hydrological regime changes characteristics in Gaoyou Lake from 1990 to 2020

JIANG Yongsheng^{1,2}, LU Xiaoming³, ZHAO Linlin⁴, XIAO Feng^{1,5},
XUE Kun², LU Xiaoping¹

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

2. Nanjing Institute of Geography and Limnology Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3. Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210029, China;

4. Yangzhou Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau,
Yangzhou 225000, China; 5. Henan Institute of Surveying and Mapping, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Based on the daily water level data of six hydrological stations in Gaoyou Lake from 1990 to 2020, using grey correlation analysis and cumulative distance equality methods, this paper elaborates on the similarities and differences in water conditions of each hydrological station and the annual and interannual changes in the water level of Gaoyou Lake. On this basis, a multiple regression relationship was constructed between cumulative water level changes and precipitation, evaporation, and inflow and outflow flows, revealing the main driving factors of water level changes at different stages in Gaoyou Lake, providing data reference for water resource management and utilization in Gaoyou Lake.

Key words: Gaoyou Lake; hydrological situation; feature analysis

收稿日期:2023-05-05

基金项目:黑土地保护与利用科技创新工程专项资助(XDA28110503);江苏省水利科技项目(2020006);中国科学院STS项目(KFJ-ST-S-QYZD-2021-01-002)

作者简介:蒋永生(1996—),男,硕士研究生,主要从事湖泊水环境遥感方向的研究。E-mail:931611978@qq.com

通信作者:薛坤(1988—),女,副研究员,硕士研究生导师,主要从事湖泊水色遥感、水体辐射传输模拟方向的研究工作。
E-mail:kxue @niglas.ac.cn

1 概述

水文情势反映了湖泊等自然水体水文要素在长时间序列中的趋势及周期变化情况,是合理对水域水资源进行利用与管控的关键^[1-2]。水位是湖泊水文情势的主要特征指标,直观反映了湖泊总体水量的收支平衡,也是推算其他水文要素并掌握其变化过程的间接资料^[3-4]。因此,研究水位的动态变化以及水文要素的演变特征,对深入把控湖泊水文情势和建立可持续的湖泊生态区有着重要意义。

高邮湖属淮河流域的内陆水域,北与洪泽湖水系相连接,南与长江水系相连通,同时也是南水北调东线工程重要枢纽和苏北地区重要的水源。高邮湖地跨江苏省高邮市、宝应县、金湖县和安徽省天长市,湖水储量约4.6亿m³,常年水位5~5.5 m。高邮湖属于亚热带湿润季风气候,具有气候温和、四季分明等特点,年平均降水量约1 010.5 mm,平均蒸发量890 mm,湖区生态环境优美,物产资源丰富^[5]。

近年来,高邮湖的水文情势特别是水位发生了一定程度的改变,本文就1990—2020年高邮湖6个水文站的水位数据综合分析水情。主要研究高邮湖水位时间序列的年际、月际变化趋势以及水位突变性检验、周期分析,进一步讨论水文情势影响因子等与水位变化的响应关系,以期认清高邮湖水文情势不同阶段变化的主要驱动因素,从而为高邮湖水资源管理与利用、湿地生态环境保护以及南水北调东线工程通水状态下高邮湖的水闸调度、水情预测提供参考。

2 数据与方法

2.1 相关数据

高邮湖6个水文站包括南运西闸(闸上游)站、南运西闸(闸下游)站、庙沟站、岗板头站、高邮(高)站、六闸(三)站的逐日水位数据,以及南运西闸(闸上游)站的逐日入湖和出湖流量数据,时间序列均为1990—2020年。高邮湖气象数据包括1990—2016年的逐日降水量、蒸散发、气温、风速、湿度和水汽压数据,以及2016—2020年的逐月平均降水量、蒸散发和气温资料。

2.2 研究方法

灰色关联分析是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,作为衡量因素间关联程度的一种方法,首先确定所研究的系统特征的参考数列和比较数列,再对原始数列进行无量纲化处理,并求参考

数列与比较数列的灰色关联系数,最后求解关联度并对关联度排序。滑动 T 检验^[6]通过考察两段子样本序列的均值是否有显著差异来判断突变的发生。Mann-Kendall 检验^[7-8]是被广泛应用于水文和气象时间序列的趋势和突变点分析的非参数检验方法。Morlet小波分析^[9-10]通过小波变换将时间系列分解到时间频率域内,得到周期变化动态和时间格局,小波方差反映波动的能量随尺度的分布,可确定1个时间序列中存在的主要周期,方差越大,信号在对应尺度上的周期性特征就越显著。累计距平法中的距平值主要用来确定时间序列内的各水文或气象数据,相对于该数据总体均值的高低趋势,累计距平^[11-12]即距平值的累加,其曲线呈上升趋势,表明距平值增加,下降则表示距平值减小,从曲线的明显上下起伏还可以诊断出发生突变的时间。

3 研究与分析

3.1 水文站相关水情

由历年统计数据可知,庙沟、岗板头、高邮(高)、六闸(三)水文站年内水位变幅相似,均存在明显涨落变化,其每年7月、8月是丰水时段。六闸(三)站年最高水位、年最低水位和年均水位都最小,很大程度是由于其处在高邮湖附属连通的邵伯湖之中。南运西闸(闸上游)、南运西闸(闸下游)2个水文站存在直接水文联系,月际水位都保持着基本稳定的水文情势,且年最低水位始终高于其他水文站,标准差较小,这主要是缘于上接以宝应湖为主的入湖流量的缓冲。高邮湖丰水期时,为防止水位越过警戒线,向下游长江渠快速排水,南运西闸(闸上游)通常被关闭,但此时在风速等外力因素作用下仍存在着水流倒灌现象。枯水期时高邮湖水位较低,为使水位不低于生态水位,开启南运西闸(闸上游)从上游引进水源,南运西闸(闸下游)以存量形式定期为湖区水源进行补水。总之,南运西闸为高邮湖生态水位可持续发展发挥至关重要的作用。在南运西闸的及时、合理调控下,位于高邮湖区中央的庙沟、岗板头和高邮(高)站水位变化过程一致性较高,年最高水位、最低水位、平均水位及水位变幅都相差不大。

3.2 代表水文站选取

结合实地考察和水文数据分析结果,发现6个水文站的水位变化在一定程度上都能对高邮湖的水情有所表征,但在对高邮湖总体水情进行观测研究时,仍需选取最具代表性的水文站。本研究通过

灰色关联分析研究了1990—2020年6个水文站的平均水位序列相关程度,得出关联系数矩阵结果:

$$\gamma_{ij} = \begin{bmatrix} 1 & 0.7624 & 0.6390 & 0.6468 & 0.6391 & 0.7457 \\ 0.7946 & 1 & 0.6309 & 0.6355 & 0.6319 & 0.6564 \\ 0.6747 & 0.6265 & 1 & 0.9484 & 0.9665 & 0.7868 \\ 0.6728 & 0.6225 & 0.9445 & 1 & 0.9390 & 0.7771 \\ 0.6649 & 0.6176 & 0.9630 & 0.9387 & 1 & 0.7741 \\ 0.7159 & 0.5738 & 0.7288 & 0.7255 & 0.7222 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, $i, j=1, 2, \dots, 6$, 分别代表南运西闸(闸上游)、南运西闸(闸下游)、庙沟、岗板头、高邮(高)、六闸(三)水文站。

由关联系数矩阵可知,南运西闸(闸上游)、南运西闸(闸下游)和六闸(三)站对其余水文站的关联性普遍较弱。庙沟站能94.84%代表岗板头水情,96.65%代表高邮(高)水情,78.68%代表六闸(三)水情,对南运西闸上、下游站也分别有67.47%和62.65%的水情解释。将其与岗板头、高邮(高)站对比发现,庙沟站总体上能够较全面反映高邮湖的水文情势,可选取庙沟站作为高邮湖代表水文站。

3.3 水位变化特征

3.3.1 水位年际变化

从枯期、汛期和年均水位3个角度分析高邮湖1990—2020年间水位年际变化趋势,高邮湖枯期水位序列波动较小,枯期水位多年平均为5.22 m,最高值为2016年的5.71 m,最低值为1994年的4.59 m。汛期水位序列波动幅度较大,汛期多年平均水位为7.22 m,最高值为2003年的9.26 m,最低值为1994年的5.54 m。高邮湖年均水位序列多年平均为5.73 m,最高水位值为2003年的6.37 m,最低水位值为2001年的5.09 m。从高邮湖3个特征水位趋势线得知,高邮湖1990—2020年际水位序列均呈上升趋势,且汛期水位上升速率为每10 a 0.07 m,枯期水位上升速率为每10 a 0.18 m,平均水位上升速率为每10 a 0.14 m。

为进一步研究高邮湖年际水位的突变性,采用滑动 T 检验法与Mann-Kendall法结合,同时对高邮湖1990—2020年平均水位序列进行突变检验,显著性水平都选取0.05。在滑动 T 检验法中,当子序列长度为3时,由滑动 T 检验统计量曲线可大致判断突变发生在2013—2015年时段;当子序列长度为5时,可大致判断突变发生在2013年时段;当子序列长度为10时,可大致判断突变发生在2001—2003年时段。

1990—2020年高邮湖年均水位序列 Mann-

Kendall 法突变检验结果可将年均水位序列分为4个阶段。

(1)第一阶段为1990—1992年,其水位平均值为5.59 m,低于1990—2020多年平均水位(5.73 m)。1990—1992年间 UF 值大于0,说明高邮湖水位上升,但未超过0.05显著水平,即上升趋势不显著。这一阶段内最高水位出现在1991年(6.01 m),最低水位出现在1992年(5.15 m),除1991年水位外,其他年份水位均低于这一阶段平均水位,整体处于较低的水平。

(2)第二阶段为1992—1998年,其水位平均值为5.49 m,远低于1990—2020多年平均水位。1992年 UF 值由大于0变为小于0,表明1992—1998年期间水位转为下降,在置信度95%的水平上并不显著,即处于减缓的趋势。这一阶段最低水位出现于1994年(5.13 m)。这一时期除1996、1998年外,水位均低于此阶段的平均水平,水位整体比第一阶段略低。

(3)第三阶段为1998—2002年,其水位平均值为5.60 m,与第1阶段相当,低于1990—2020多年平均水位。2000年 UF 和 UB 曲线在0.05显著性两临界水平直线之间出现交点,但却不在滑动 T 检验法的突变时域内,故不是突变点。1998年 UF 值从小于0变成大于0,得知从1998年起湖泊水位由下降转为上升,也未通过显著性水平检验,表明上升不显著。2001年 UF 值从大于0变成小于0,2001—2002年期间水位变化有逐渐减缓的趋势。这一阶段内最低水位出现于2001年(5.09 m),最高水位出现在1998年(6.07 m),水位整体略高于第二阶段。

(4)第四阶段为2002—2020年,其水位平均值为5.85 m,远高于1990—2020年多年平均水位。2002年 UF 和 UB 曲线在显著性水平内之间出现交点,符合滑动 T 检验法所判断突变时域,因此2002年即为突变点。在2002年 UF 值从小于0变成大于0,表明2002年之后,湖泊水位呈现上升的趋势。2002—2015年水位上升趋势并不显著,2015年之后 UF 统计量超过0.05显著性水平,说明水位有明显升高的趋势。在第4阶段内的最高水位6.37 m出现于2003年,这一时期除个别年份外,水位均高于1990—2020年多年平均水位。

综上所述,高邮湖水位序列年际变化总体呈“涨-退-回升-涨”趋势。另外,高邮湖的年均水位大多高于多年平均水位(5.73 m),2002年前年均水位基本低于多年平均水位,进一步说明2002年即为

突变开始的年份。

3.3.2 水位年内变化

高邮湖年内水位序列波动变化趋势见图1。从月最高水位变化趋势看,高邮湖水位年内变化呈单峰形,1—5月水位相当,从5月开始水位持续升高,直到7月达到最高水位8.78 m,此后7—12月最高水位持续下降。从月最低水位变化趋势看,高邮湖水位年内变化呈平稳态势,月最低水位先稍有所上升,后略有下降,再稍有回升。

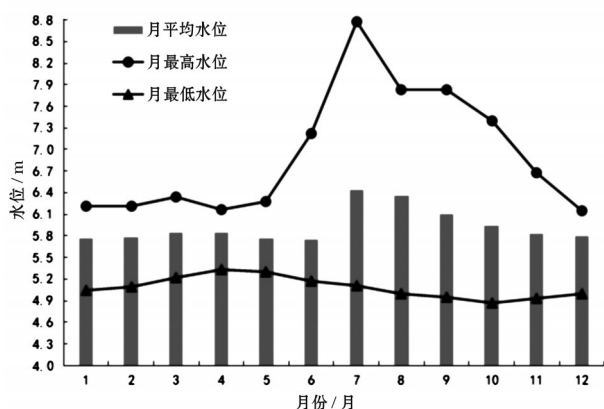


图1 1990—2020年高邮湖月均水位变化

从月平均水位变化趋势看,其中7月的水位最高(6.43 m),12月最低(5.74 m)。7—9月是年中高水位时期,12月至次年4月是年中低水位时期。春夏季气温回升,降水缓增,促使5—6月水位稍有增加,径流量增加;夏季放闸,导致湖泊水位急速抬升,至7月水位达最高点。8月以后湖泊水位有所下降,冬季气温下降,湖泊处于低水位状态。因此,高邮湖年内平均水位呈枯(12、1、2、3、4月)、涨(5、6月)、丰(7、8、9月)、退(10、11月)波动。

3.3.3 水位周期性分析

在 Matlab 软件上运用 Morlet 复小波系数方法,可对高邮湖 1990—2020 年标准化水位序列进行连续小波变换,进而分析高邮湖水位周期性变化规律。其中,小波系数实部等值线可用于反映水位序列在不同时间尺度下的周期变化及其在时间域中的分布,以此判断高邮湖水位波动变化的特征。水位序列总体在 3~5 a、8~14 a、18~24 a 时间尺度范围内有波动迹象,且水位最明显的振荡周期在 11 a 的时间尺度附近。

小波方差在 11 a 处存在最大峰值,表明 11a 为第一主周期,还有 2 个波峰分别对应着 23 a 和 3 a 尺度处,则 23 a 为第二主周期,3 a 为第三主周期。根

据 3 个主周期尺度对应的小波系数实部变化过程,表明在 11 a 时间尺度下,高邮湖水位序列的周期为 6~7 a;在 23 a 时间尺度下,水位序列的周期为 14 a 左右;在 3a 时间尺度下,水位序列的周期为 2 a 左右。

3.3.4 水位变化分析

根据相关气象数据,通过整理分析得到降水量和蒸散发量变化趋势。其中降水量多年平均为 1 067.4 mm,年降水量总体呈减缓的趋势($P>0.05$),减缓速率为每 10 a 16.6 mm;蒸散发量多年平均为 891.3 mm,年蒸散发量总体呈显著上升的趋势($P<0.01$),上升速率为每 10 a 19.62 mm。另外,根据南运西闸(闸上游)的流量数据,统计得到入湖、出湖流量变化趋势。其中年入湖流量总体呈不显著的上升趋势($P>0.05$),上升速率为每 10 a 522.6 m^3 ;年出湖量总体也呈不显著的上升趋势($P>0.05$),上升速率为每 10 a 175.6 m^3 。

通过以上统计发现,降水量作为气候因素之一,其变化趋势和高邮湖水位的波动走势具有一定相似性,说明降水可能是高邮湖水位变化的主要驱动因素。为此,建立了高邮湖累积水位变化和高邮湖面降水累积距平变化曲线。通过对比分析发现,1990—2002 年,代表水文站实测的水位累积距平与降水累积距平的变化趋势基本一致;2003—2013 年,高邮湖水位累积距平变化和降水累积距平变化幅度不尽相同;2013—2020 年间,两者甚至有较大偏差,说明自 2003 年以来降水不再是高邮湖水位变化的主要驱动因素。

气候变化、径流量与其他因素(人类活动、水利工程等)综合影响着高邮湖水文情势。结合实地勘察研究发现,气候变化是影响高邮湖水位的长期因素,且除降水外,还有风速和气温等通过影响蒸散发来间接影响水位变化。高邮湖径流量包括入湖流量和出湖流量 2 种,径流量也是高邮湖水位变化的重要驱动因素,而人类活动和水利工程等其他因素具有突发性(不具有规律),可使湖泊水位短期内发生剧烈变化。因此,需要进一步将实测水位累积距平变化与降水累积距平、蒸散发累积距平、(降水-蒸发)累积距平、入湖流量累积距平、出湖流量累积距平和入湖-出湖累积距平分阶段进行相关性分析(表 1)。

由表 1 可知,1990—2002 年,实测水位累积变化与降水累积距平和降水-蒸发累积距平变化分别呈 0.01 显著性相关,与入湖流量累积距平变化呈 0.01

表1 累积水位变化与影响因子的相关系数

	1990—2002 年	2002—2013 年	2013—2020 年	1990—2020 年
降水累积距平	0.843***	0.596*	0.691*	0.446**
蒸散发累积距平	-0.413	-0.513	-0.626**	-0.248
(降水-蒸发)累积距平	0.712***	0.540*	0.622*	0.365**
入湖流量累积距平	0.501*	0.752***	0.507	0.345*
出湖流量累积距平	-0.360	-0.432	-0.634*	-0.278
入湖-出湖累积距平	0.456	0.612**	0.381	0.298

注:***显著性水平为 $P<0.01$,**显著性水平为 $P<0.05$,*显著性水平为 $P<0.1$,系数为负表示呈负相关。

显著性相关,说明此时段高邮湖水位变化可能主要受气象降水的影响。2002—2013年,实测水位累积变化与入湖流量累积距平变化呈0.01显著性相关,与入湖-出湖累积距平变化呈0.05显著性相关,与降水累积距平和降水-蒸发累积距平变化分别呈0.1显著性相关,说明这期间的高邮湖水位变化可能主要受入湖流量的影响。2013—2020年,实测水位累积变化与蒸发累积距平呈0.05显著性水平相关,与降水累积距平、降水-蒸发累积距平和出湖流量累积距平变化分别呈0.01显著性相关,说明该期间水位变化受气温、风速导致蒸散发的影响较大,也同时与其他因素(包括人类活动、水利工程等)有关。综上所述,1990—2020年,实测水位累积变化与降水量累积距平和降水-蒸发累积距平变化分别呈0.05显著性相关,与入湖流量累积距平变化呈0.1显著性相关,说明总时段的高邮湖水位变化受降水为主导的多重因素影响。

为探究1990—2020年不同时段高邮湖水位变化各驱动因素的贡献率,建立高邮湖水位累积距平与降水累积距平、蒸发累积距平、入湖流量累积距平和出湖流量累积距平之间的回归方程:

$$\Delta H = 0.0005\Delta P - 0.0088\Delta E + 0.0301\Delta R_{\text{入}} - 0.0121\Delta C_{\text{出}} \quad (2)$$

式中, ΔH 为水位累积距平,m; ΔP 为降水累积距平,

mm; ΔE 为蒸发累积距平,mm; $\Delta R_{\text{入}}$ 为入湖流量累积距平, m^3/a ; $\Delta C_{\text{出}}$ 为出湖流量累积距平, m^3/a 。

通过上述回归方程,运算出预测水位序列累积变化,发现与实测水位序列累积变化具有很好的相关性($R^2=0.9787$),可用此公式计算出的预测水位作为实际自然水位累积。1990—2002年,高邮湖实测水位累积差值为-0.314 m,预测累积水位差值为-0.296 m,因此认为气象和径流量因素可有94.3%解释水位的变化,而其他因素可有5.7%解释水位的变化,以该方法类推并作出其他时段的累积水位变化各因素贡献百分比(表2)。

由上述分析可知,1990—1992年为高邮湖总体水位波动的第一阶段,降水、蒸散发、入湖流量、出湖流量和其他因素可分别有53.6%、10.5%、20.6%、9.6%和5.7%解释水位变化,说明此阶段水位上升的主要驱动因素是降水量;1992—1998年间的第二阶段,相比第一阶段总体的蒸散发和出湖流量解释水位变化比例有所增加,导致总体水位稍有减退;1998—2002年间的第三阶段,相比第二阶段总体的降水和入湖流量解释水位变化比例增加,而且出湖流量解释水位变化比例减少,导致总体水位再次回升;第四阶段中的2002—2013年和2013—2020年水位都在总体增加,但是可以看出2002—2013年水位变动主要原因是入湖流量引起水位变化的因素

表2 不同影响因素解释累积水位变化比例

单位:%

影响因素	1990—1992 年	1992—1998 年	1998—2002 年	2002—2013 年	2013—2020 年
降 水	53.6	54.3	55.8	25.4	17.1
蒸散发	10.5	11.6	12.1	6.2	15.1
入湖流量	20.6	18.3	23.6	40.3	8.3
出湖流量	9.6	11.4	7.3	12.6	4.6
其他因素	5.7	4.4	1.2	15.5	54.9

比例的增加,而2013—2020年水位变动主要原因是其他因素(人类活动、水利工程等)引起水位变化因素比例的增加。

4 结 语

高邮湖水文情势的规律对高邮湖流域综合开发、高邮周边城市的规划、工农业生产及建设等都有着重要的影响。本文通过1990—2020年6个水文站的实测日水位、南运西闸(闸上游)的日流量数据和相关气象数据,结合灰色关联分析、突变检测、Morlet小波分析、累积距平和多元回归统计分析,研究苏北南水北调东线工程主要调蓄湖泊高邮湖的水文要素的演变特征,得出如下主要结论:

(1)高邮湖不同水文站的月际、年际水位变化情势各有不同波动特点,其中南运西闸对湖泊水位的控制作用是高邮湖生态水位可持续的重要因素,最能代表高邮湖总体水文情势的是庙沟站。

(2)高邮湖1990—2020年水位年际序列趋势变化可分为4个阶段,即“涨—退—回升—涨”,利用滑动 T 检验结合Mann-Kendall突变检测得知在2002年发生突变。1990—2020年水位年内序列趋势变化,总体呈枯(12、1、2、3、4月)、涨(5、6月)、丰(7、8、9月)、退(10、11月)波动。

(3)高邮湖标准化水位存在3个不同时间尺度内的周期变化,在11 a时间尺度下,高邮湖水位序列的周期为6~7 a;在23 a尺度下,水位序列的周期为14 a左右;在3 a尺度下,周期为2 a左右。

(4)通过建立累积水位变化与影响因子的多元回归统计关系分析发现,1990—2002年降水量是高邮湖水位变化的主要驱动因素,2002—2013年入湖流量是主要驱动因素,2013—2020年则是其他

因素。

参考文献:

- [1] 左其亭,梁士奎.基于水文情势分析的闸控河流生态需水调控模型研究[J].水力发电学报,2016,35(12):70-76.
- [2] 江善虎,刘亚婷,任立良,等.变化环境下渭河流域生态水文情势演变归因研究[J].水资源保护,2022,38(6):9-14,70.
- [3] 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.
- [4] 范敏韬,谢宇莹,余贞燕,等.基于pair-copula结构的珠江三角洲河网区水位空间依赖性分析[J].水资源保护,2023,39(3):222-228.
- [5] 宋洁,梅肖乐,王鑫洋,等.高邮湖鱼类群落结构特征[J].淡水渔业,2022,52(1):37-44.
- [6] DU Ruishan, SHANG Fuhua, MA Nan. Automatic mutation feature identification from well logging curves based on sliding t test algorithm[J]. Cluster Computing, 2019, 22: 14193-14200.
- [7] 逯玉兰,李广,闫丽娟,等.甘肃农牧交错带1971—2019年降水量变化研究[J].草地学报,2021,29(11):2556-2565.
- [8] 吴国栋,刘廷玺,薛河儒.一种基于ITA改进的水文气象序列趋势分析法[J].河海大学学报(自然科学版),2022,50(1):1-6.
- [9] 冯禹昊,朱江玲.基于Morlet小波的辽河径流量变化及其成因分析[J].水土保持研究,2019,26(2):208-215.
- [10] 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):127-132,173.
- [11] 唐汉铎,次旦央宗,曾辰,等.1974—2019年西藏羊卓雍错湖泊水位变化特征及其影响因素[J].干旱区资源与环境,2021,35(4):83-89.
- [12] 张金萍,王宇昊.郑州市降雨-径流关系不确定性分析[J].水资源保护,2021,37(6):1-6.