



长江干线中下游航道枯水位变异特性研究^{*}

雷雪婷¹, 王 辉², 陈柯兵³, 单敏尔¹, 李瀛¹

(1. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430040; 2. 长江航道局, 湖北 武汉 430010;
3. 长江水利委员会水文局, 湖北 武汉 430010)

摘要: 为深入认识长江中下游枯水情势发生的复杂变化, 采用水文变异诊断系统对宜昌、沙市、汉口、大通等重要控制站点的枯水位进行分月变异特性研究。结果表明: 宜昌站枯水期发生中、强的变异; 沙市站发生强、巨的变异, 变异程度最强; 汉口站发生纯随机(无变异)至强变异; 大通站发生纯随机(无变异)至中变异; 各站点 10—11 月均发生向下的变异, 与 2003 年相比, 2021 年汛后宜昌、沙市、汉口站水位(流量)分别下降了 0.76 m(6 000 m³/s)、2.82 m(7 000 m³/s)、1.66 m(1 万 m³/s), 大通站则未发生明显变化, 其对航运的潜在影响需加强分析。

关键词: 长江中下游; 水文序列; 枯水位; 变异分析

中图分类号: U61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)06-0148-06

Variation characteristics of low water level in middle and lower reaches of Yangtze River

LEI Xueting¹, WANG Hui², CHEN Kebing³, SHAN Min'er¹, LI Ying¹

(1. Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430040, China;
2. Changjiang Water Bureau, Wuhan 430010, China;
3. Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: To deeply understand the complex changes of low water regime in the middle and lower reaches of the Yangtze River, the monthly variation characteristics of low water level at Yichang, Shashi, Hankou, Datong and other important control stations were studied by using the hydrological variation diagnosis system. The results show that the variation of Yichang station in dry season was moderate and strong. Strong and huge variation occurred in Shashi station, and the variation degree was the strongest. Pure random (no variation) to strong variation occurred in Hankou station; Pure random (no variation) to medium variation occurred in Datong station. Each station experienced downward variation from October to November. The water level (discharge) of Yichang, Shashi and Hankou stations decreased by 0.76 m(6 000 m³/s), 2.82 m(7 000 m³/s) and 1.66 m (10,000 m³/s) respectively after the flood season in 2021 compared with 2003, However, there was no obvious changes at Datong station, and its potential impact on shipping should be further analyzed.

Keywords: middle and lower reaches of Yangtze River; hydrological series; low water level; variation analysis

当某个时间范围内水文序列的分布形式和分布参数发生显著变化时, 则称序列发生了变异。描述水文情势改变程度的水文变异性分析是评估河流水文要素波动及水利工程开发影响程度的重

要工作。水文变异性分析方法起源于 1996 年, Richter 等^[1]提出了 32 个水文改变指标和变化范围法(IHA/RVA)^[2], 用以描述水文情势的改变程度、定量评估各水文改变指标超过其设定的自然变化

收稿日期: 2023-10-03

*基金项目: 长江航道局科技项目(2022230001)

作者简介: 雷雪婷 (1980—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口、航道科研与设计工作。

范围的情况, 在国内外得到了广泛应用^[3-5]。针对该方法存在信息捕捉不全面, 改变度出现极值等问题^[6]。谢平等^[7]提出了水文变异诊断系统, 孙思瑞等^[8]、陈柯兵等^[9]利用该变异诊断系统分别对洞庭湖三口、四水的洪峰流量和水位变异特性进行分析, 取得了较好的结果。

围绕长江中下游水文、气候、泥沙等水文要素的变化分析已有许多, 但对于中下游水位变化的特性仅有零星探讨^[10-12]。因航道通航往往关注枯水期, 本研究以枯水期(10月—次年4月)为例, 重点研究枯水期水位下降的趋势性变化, 通

过分月水位变化特性, 以期认识其发生的复杂变化, 判断变化特点、识别变化因素, 为中下游航道资源利用和航道养护决策提供参考。

1 研究区域

长江干线宜昌—长江口全长1 630.3 km, 自西向东流经湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海, 在城陵矶、湖口分别有洞庭湖、鄱阳湖入汇, 两岸有清江、汉江、青弋等汇入, 其中汉江为最长支流, 长约1 577.0 km, 见图1。

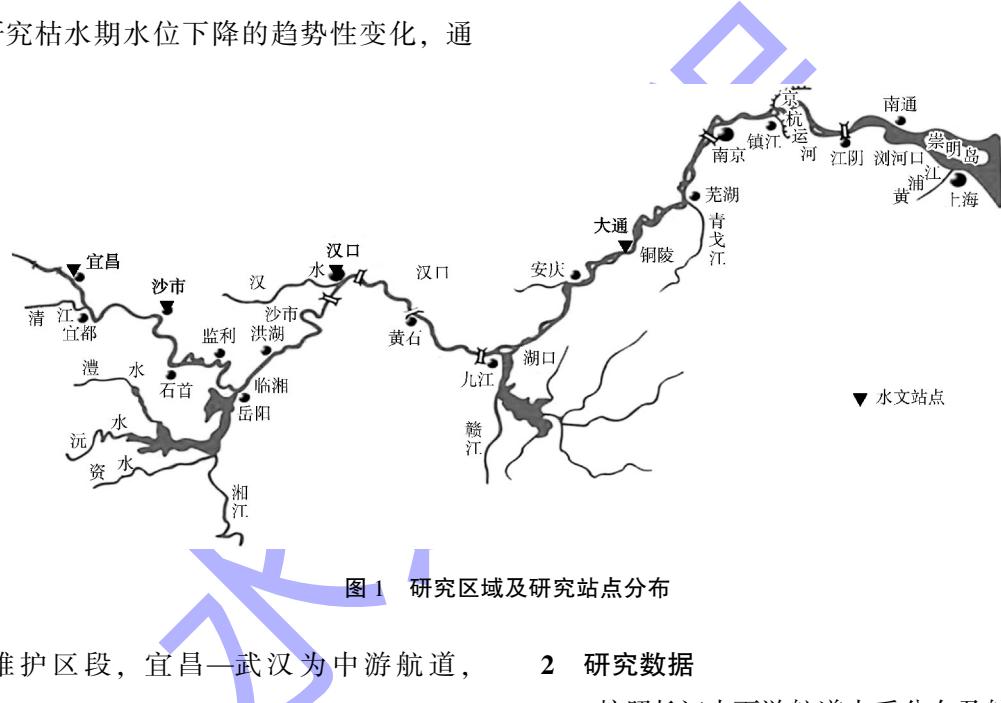


图1 研究区域及研究站点分布

按照维护区段, 宜昌—武汉为中游航道, 其中大埠街以上为砂卵石河段, 河床变化小, 大埠街以下属冲积平原河流, 河道多弯曲, 沙质浅滩众多, 航道条件多变; 武汉长江大桥—江苏浏河口为下游航道, 河道开阔、水流较平缓、洲滩众多, 多形成分汊河段, 航道较复杂, 其中大通以下为径流河段, 受径流和潮汐共同作用; 浏河口—长江口灯船为长江口航道, 三级分汊、四口入海, 常年受风、浪、流影响, 回淤大, 变化复杂。

2 研究数据

按照长江中下游航道水系分布及航道特点, 选取长江干线三峡近坝段宜昌、近坝段沙质河段沙市站、中游汉口、下游大通等代表性站点进行分析, 各站点分布见图1, 资料年限均为1973—2021年。因航道关注枯水期的低水位, 选择10月—次年4月数据进行研究。各站点枯水期水位流量关系见图2。

由图2可知, 宜昌、沙市、汉口站同流量下水位发生了明显的下降, 但对于具体枯水期水位变异时间段仅从图中难以判断, 需进一步分析。大通站同流量下水位变化不明显。

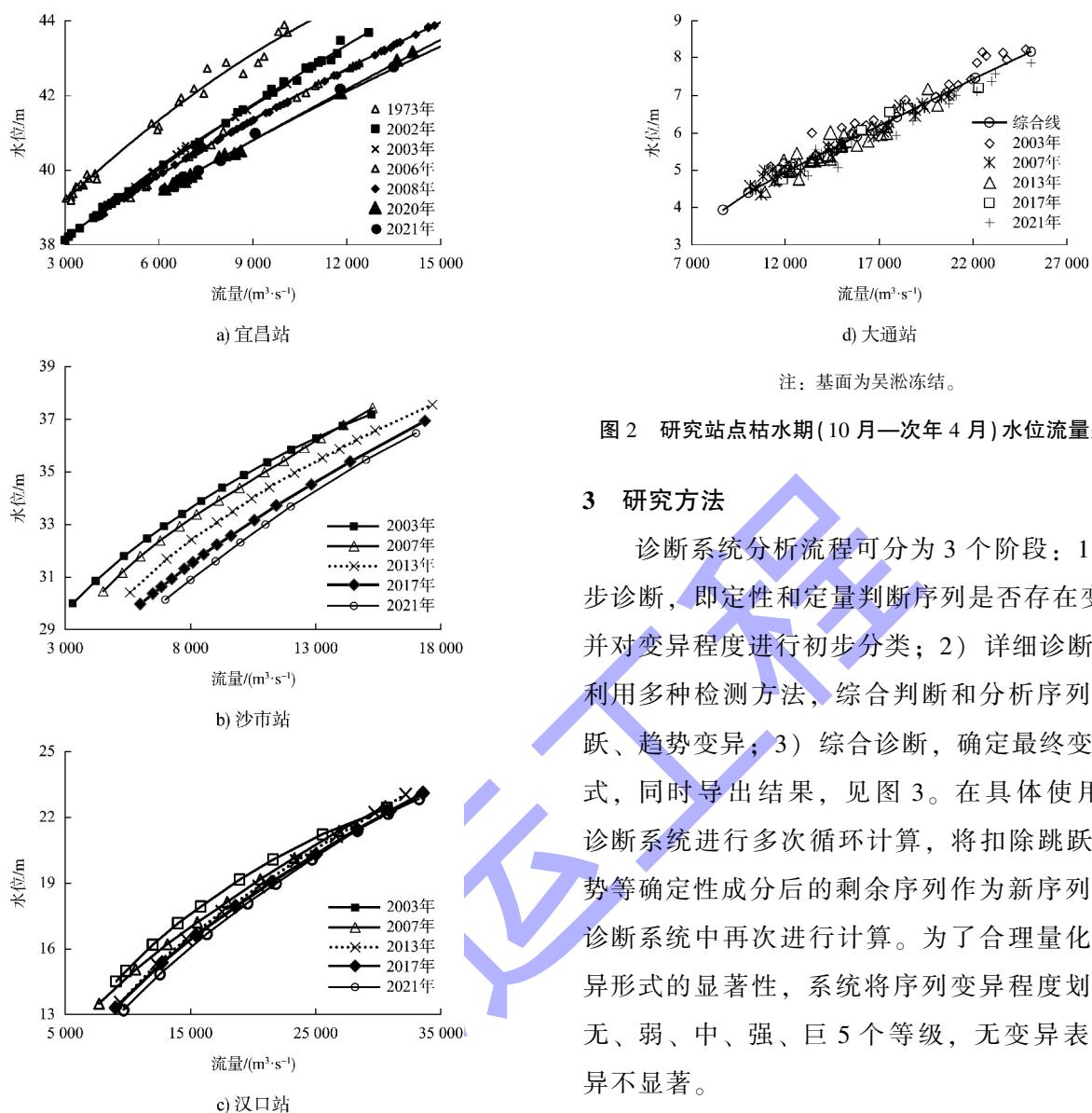


图 2 研究站点枯水期(10月一次年4月)水位流量关系

3 研究方法

诊断系统分析流程可分为 3 个阶段: 1) 初步诊断, 即定性和定量判断序列是否存在变异, 并对变异程度进行初步分类; 2) 详细诊断, 即利用多种检测方法, 综合判断和分析序列的跳跃、趋势变异; 3) 综合诊断, 确定最终变异形式, 同时导出结果, 见图 3。在具体使用中, 诊断系统进行多次循环计算, 将扣除跳跃、趋势等确定性成分后的剩余序列作为新序列放入诊断系统中再次进行计算。为了合理量化各变异形式的显著性, 系统将序列变异程度划分为无、弱、中、强、巨 5 个等级, 无变异表示变异不显著。

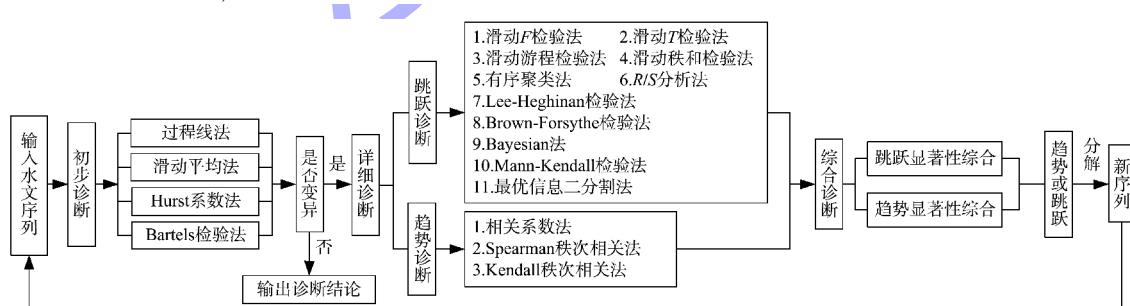


图 3 水文变异诊断系统流程

4 长江中下游枯水位变异特征分析

4.1 诊断结果

借助水文变异诊断系统, 对长江干线宜昌、

沙市、汉口、大通 4 站点的枯水期(10月一次年4月)逐月的最小值序列进行诊断分析, 结果见表 1。

表1 长江中下游枯水位变异诊断结果

站点	时间	最低水位变化	变化时间点	变化强度
宜昌	1月	↑	2010	跳跃强变异
	2月	↑	2008	跳跃强变异
	3月	↑	2010	跳跃强变异
	4月	↑	2011	跳跃中变异
	10月	↓	2001	跳跃强变异
	11月	趋势↓	-	趋势强变异
	12月	↓	1985	跳跃中变异
沙市	1月	趋势↓	-	趋势巨变异
	2月	↓	1991	跳跃强变异
	3月	↓	1990	跳跃强变异
	4月	↓	1997	跳跃强变异
	10月	↓	2005	跳跃强变异
	11月	趋势↓	-	趋势巨变异
	12月	趋势↓	-	趋势巨变异
汉口	1月	↑	1989	跳跃中变异
	2月	↑	1988	跳跃强变异
	3月	-	-	纯随机
	4月	-	-	纯随机
	10月	↓	2001	跳跃中变异
	11月	↓	2005	跳跃中变异
	12月	↑	1992	跳跃弱变异
大通	1月	↑	1989	跳跃中变异
	2月	↑	1988	跳跃中变异
	3月	-	-	纯随机
	4月	-	-	纯随机
	10月	↓	2000	跳跃中变异
	11月	↓	2005	跳跃弱变异
	12月	-	-	纯随机

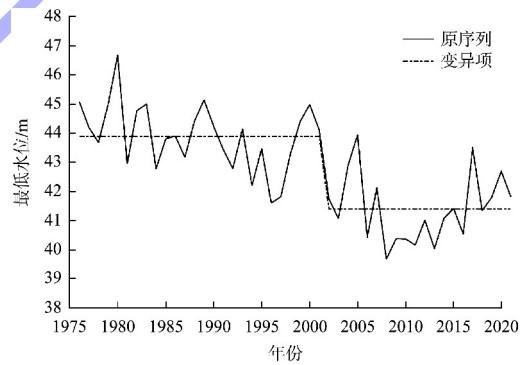
4.2 枯水位变异特征

1) 宜昌站枯水期的最低水位均发生了变化强度为中、强的变异, 在三峡水库蓄水后, 1—4月的最低水位均发生了向上的跳跃变异, 变异时间为2010、2008、2010、2011年, 受到三峡水库枯水期补水调度的影响, 10—12月最低水位均有向下的变化。此结果证明了宜昌站的枯水位特性确实产生了变化, 尤其在汛后10—12月, 最低水位发生向下的变化, 10、11月水位变化见图4a)、b)。

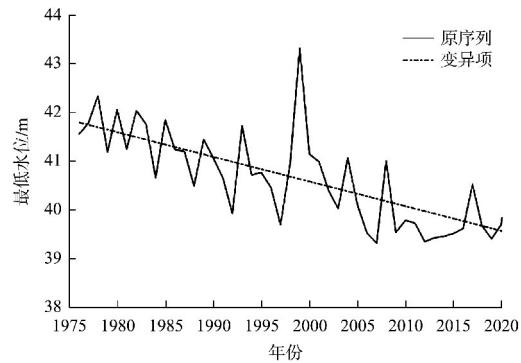
2) 沙市站枯水期的最低水位均发生了变化强度为强、巨的变异, 变化显著程度高于宜昌站。且10月—次年4月的最低水位均发生向下的变化, 其中10、11月水位变化见图4c)、d)。

3) 汉口站枯水期的最低水位发生的变化强度为纯随机(无变异)至强变异, 整体变异强度小于宜昌及沙市水文站。在长江上游水库集中蓄水的10—11月, 最低水位均有向下的变化, 12月—次年2月受水库补水影响, 最低水位有向上的变化, 其中11、12月水位变化见图4e)、f)。

4) 大通站枯水期的最低水位发生的变化强度为纯随机(无变异)至中变异, 且有3个月份最低水位未发生变异, 整体变异强度小于前述站点。同样在长江上游水库集中蓄水的10—11月, 最低水位均有向下的变化, 次年1、2月受水库补水影响, 最低水位有向上的变化, 其余月份为纯随机(无变异), 其中11、12月水位变化见图4g)、h)。



a) 10月, 宜昌站



b) 11月, 宜昌站

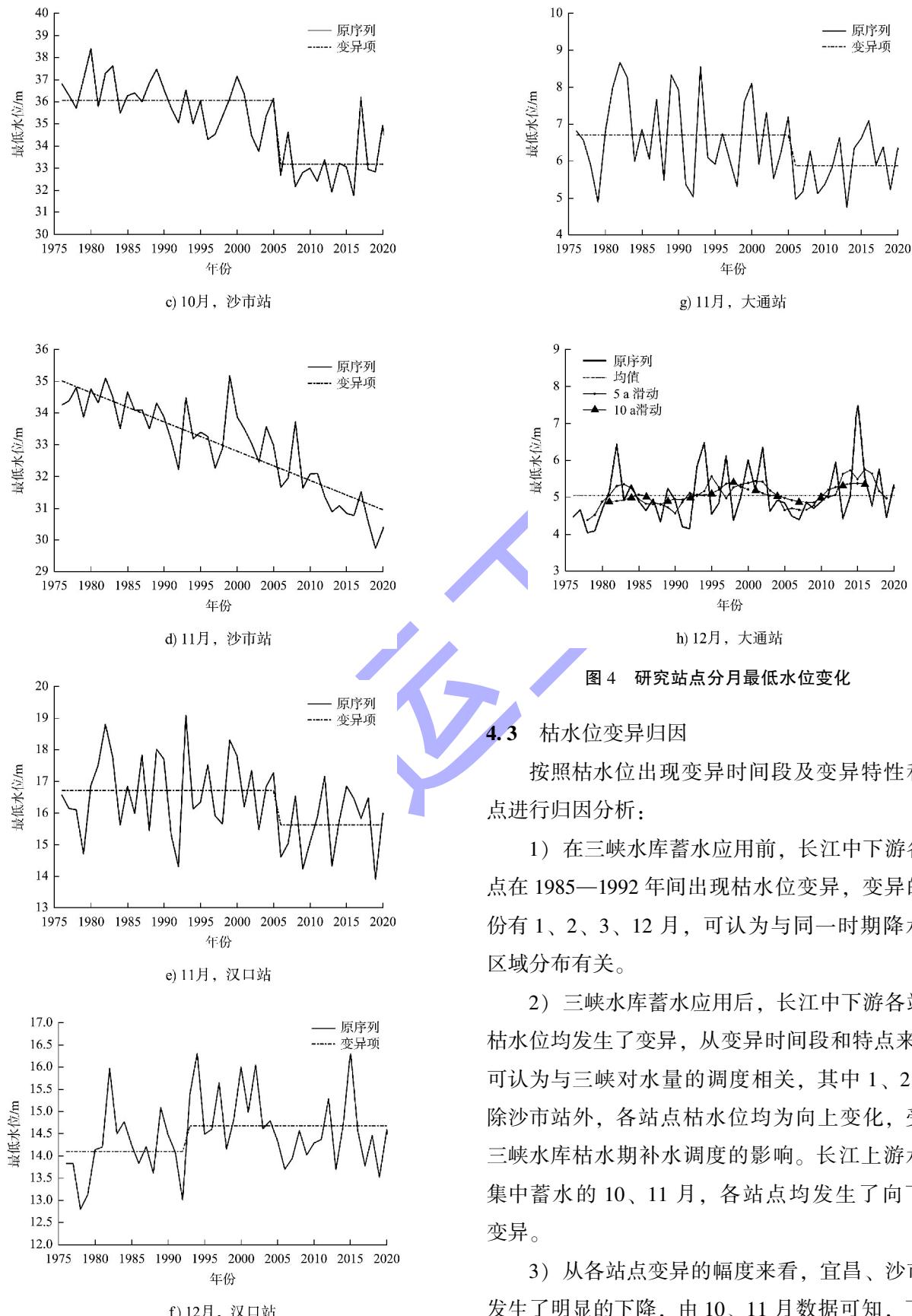


图 4 研究站点分月最低水位变化

4.3 枯水位变异归因

按照枯水位出现变异时间段及变异特性和特点进行归因分析:

1) 在三峡水库蓄水应用前, 长江中下游各站点在 1985—1992 年间出现枯水位变异, 变异的月份有 1、2、3、12 月, 可认为与同一时期降水的区域分布有关。

2) 三峡水库蓄水应用后, 长江中下游各站点枯水位均发生了变异, 从变异时间段和特点来看, 可认为与三峡对水量的调度相关, 其中 1、2 月, 除沙市站外, 各站点枯水位均为向上变化, 受到三峡水库枯水期补水调度的影响。长江上游水库集中蓄水的 10、11 月, 各站点均发生了向下的变异。

3) 从各站点变异的幅度来看, 宜昌、沙市站发生了明显的下降, 由 10、11 月数据可知, 下降

幅度约2.5~4.1m, 且沙市站枯水期最低水位各月均发生向下的变异, 与沙质河段冲刷下切相关; 汉口及以下河段枯水期水位变异相对较小, 幅度约1.0~1.6 m, 与清水冲刷的逐步向下游推进相关, 而受洞庭湖、鄱阳湖调蓄及支流入汇影响, 变化相对缓慢。

4) 三峡工程运用后的2003—2021年, 长江中下游河道枯水期同流量下水位有不同程度的降低。与2003年相比, 2021年汛后宜昌、沙市、汉口站水位(流量)分别下降了0.76 m($6\,000\text{ m}^3/\text{s}$)、2.82 m($7\,000\text{ m}^3/\text{s}$)、1.66 m(1万 m^3/s), 大通站则未发生明显的变化, 以上变异性分析同已有研究成果较为一致。

5 结论

1) 根据变异诊断结果, 宜昌站枯水期发生了中、强的变异; 沙市站发生了强、巨的变异, 变异程度最强; 汉口站发生了纯随机(无变异)至强变异; 大通站发生了纯随机(无变异)至中变异。

2) 根据变异时间分析, 认为枯水位变异与同一时期降水的区域分布有关, 与三峡水库的调度应用, 特别是10—11月的蓄水调度、1—4月的枯水期补水调度, 以及清水下泄沿程冲刷关联性大。

3) 三峡蓄水运用以来, 宜昌、汉口、大通站, 1、2月水位发生向上的变异, 对航运有利; 各站点10、11月均发生了向下的变异, 最低水位均有向下的变化, 与2003年相比, 2021年汛后宜昌、沙市、汉口站水位(流量)分别下降了0.76 m($6\,000\text{ m}^3/\text{s}$)、2.82 m($7\,000\text{ m}^3/\text{s}$)、1.66 m(1万 m^3/s), 大通站则未发生明显的变化; 沙市站枯水期各月最枯水位均发生了向下的变异, 其对航运的潜在影响需尤其关注。

参考文献:

- [1] RICHTER B, BAUMGARTNER J, POWELL J, et al. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems [J]. Conservation biology, 1996, 10 (4): 1163-1174.
- [2] RICHTER B, BAUMGARTNER J, WIGINGTON R, et al. How much water does a river need? [J]. Freshwater biology, 1997, 37(1): 231-249.
- [3] KHIAVI A N, MOSTAFAZADEH R, OURI A E, et al. Alteration of hydrologic flow indicators in Ardabil Balikhouchai River under combined effects of change in climatic variables and Yamchi Dam construction using Range of Variability Approach[J]. Watershed engineering and management, 2019, 11(4): 851-865.
- [4] 康泽璇, 王芳, 刘扬, 等. 基于IHA-RVA法的大通河上中游水文节律变化[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(6): 1065-1075.
- [5] 王何予, 田晶, 邓乐乐, 等. 基于IHA-RVA法分析汉江中下游水文情势变化[J]. 水资源研究, 2021, 10(4): 350-361.
- [6] 张燃钢, 胡江, 徐炜, 等. 梯级水库群运行后寸滩枯水径流水文变异特性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(10): 2176-2185.
- [7] 谢平, 陈广才, 雷红富, 等. 水文变异诊断系统[J]. 水力发电学报, 2010, 29(1): 85-91.
- [8] 孙思瑞, 谢平, 赵江艳, 等. 洞庭湖三口洪峰流量和水位变异特性分析[J]. 湖泊科学, 2018, 30(3): 812-824.
- [9] 陈柯兵, 肖华, 何奇锴, 等. 1959~2020年洞庭湖四水洪水情势变异特性及归因分析[J]. 水利水电快报, 2022, 43(12): 16-20.
- [10] 韩剑桥, 孙昭华, 杨云平. 三峡水库运行后长江中游洪、枯水位变化特征[J]. 湖泊科学, 2017, 29(5): 1217-1226.
- [11] 杨云平, 周良平, 张华庆, 等. 三峡工程运行后荆江河段分汇段航道水深资源及碍航驱动机制[J]. 湖泊科学, 2023, 35(2): 684-695.
- [12] 杨云平, 张明进, 孙昭华, 等. 三峡大坝下游水位变化与河道形态调整关系研究[J]. 地理学报, 2017, 72(5): 776-789.

(本文编辑 赵娟)