

鄱阳湖都昌水位站 50 年水位特征变化分析

史常乐^b, 唐立模^b, 肖洋^{a,b}

(河海大学 a 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室; b. 水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 根据鄱阳湖湖区都昌水位站 1964–2014 年逐日平均水位资料, 对比分析了 2003–2014 与 1964–2002 年水位变化特征。研究表明: 年平均最低水位由上升显著趋势变为下降显著趋势, 多年平均最低水位出现时间提前了 11 d, 多年平均最高水位出现时间推迟了 13 d; 最高水位、最低水位、多年平均水位、年最高平均水位、年最低平均水位均呈现不同程度的下降; 退水过程的起末水位变化不大, 退水过程历时缩短 25 d 左右, 速率加快。

关键词: 水位特征; 枯水期; 退水过程; 都昌水位站; 鄱阳湖

中图分类号: P332

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)02-0045-06

Analysis of character variation of water level at Duchang station of Poyang lake for 50 years

SHI Changle^b, TANG Limo^b, XIAO Yang^{a,b}

(a. State Key Laboratory of Hydrology – Water Resources and Hydraulic Engineering;

b. College of Water Conservancy & Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: According to the data of average daily water level in Duchang hydrology station of Poyang lake, the paper analyzed the feature of water level variety from 1964 to 2002 and from 2003 to 2014. The results show that the lowest water level of average annual changes from significant uptrend to downtrend. The lowest water level of average years appeared 11 days ahead of time and the highest water level of that appeared delayed for 13 days; the highest level, the lowest level, multi-year average level, the highest annual average water level and the lowest annual average water level showed different degrees of decline; the water level of recession process from begin to end changes little. The duration time of recession process shortens 25 days than before and the rate of recession process is accelerated.

Key words: water level character; dry period; recession process; Duchang station; Poyang lake

鄱阳湖是我国第一大淡水湖, 位于江西省北部, 长江中游南岸, 承纳赣、抚、信、饶、修五河(简称“五河”)和区间来水, 经调蓄后由湖口汇入长江, 属于季节性、吞吐性湖泊^[1-2]。近年来, 受“五河”来水、湖盆地形变化和长江干流水沙情势变化等的共同影响, 鄱阳湖的水位特征发生了较大变化, 这给鄱阳湖的航运、生态、环境等带来较大的影响。因此, 迫切需要了解鄱阳湖水位的变化特征, 为鄱阳湖的治理提供科学依据。

都昌水位站(以下简称都昌站)位于鄱阳湖区与入江水道的交汇处, 受“五河”与长江干流水位涨落变化的影响较小, 其水位变化规律可较好反映湖区水位的变化(见图 1)。很多学者选用都昌站作为

代表站分析了鄱阳湖水位的变化, 如闵骞^[4]根据都昌站 1953–1992 年水位资料, 统计了都昌站水位的基本特征, 并预测了三峡水库兴建对都昌站水位的可能影响。而后, 闵骞等^[5]根据都昌站 1952–2011 年水位资料, 分析了都昌站不同年代枯水期水位的变化规律, 认为枯水期水位与降雨、五河来水、长江上中游来水变化有关, 其中三峡水库的调度运行不是导致枯水期水位变化的主要原因。邬年华等^[3]通过建立鄱阳湖、长江干流与五河尾间物理模型试验, 得出三峡运行的增泄期能增加湖区水位, 都昌站最大增幅 1m 左右; 蓄水期造成湖区水位降幅较大, 都昌站平均降幅 0.94m。闵骞等^[6]分析了 1951–2010 年枯水期北部湖区(都昌至湖口)、南部湖区



图1 鄱阳湖都昌站位置图

(都昌至康山)的水位落差,发现采砂等人类活动是导致近 60 年来在枯水期北部湖区水位落差显著减小,南部湖区水位落差明显增大的主要原因。喻中文等^[7]分析了鄱阳湖湖口、星子、都昌、棠荫、康山站 1956 – 2012 年枯水位变化,发现三峡蓄水运用后都昌站年平均水位在 10 和 11 月期间已出现趋势性降低变化。徐照明等^[1]基于长系列降雨、径流、地形等资料,认为受三峡水库蓄水、天然降雨径流变化、江湖冲淤及流域用水量增加等因素影响,鄱阳湖

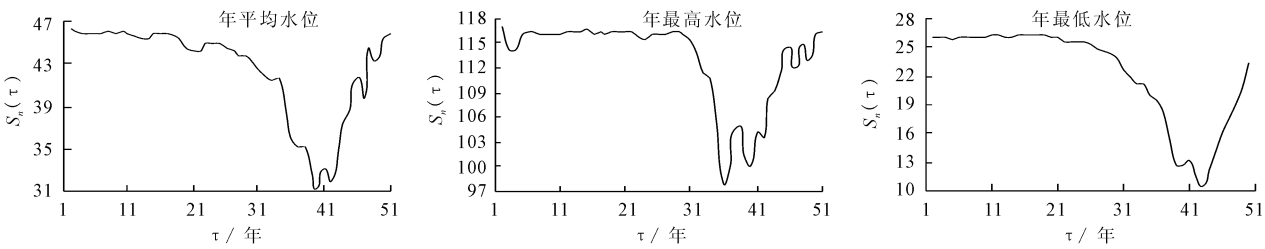


图2 水位时间序列 $S_n(\tau)$ 与 τ 的关系

2.2 趋势性分析

表 1 是采用 MannKendall 秩次相关检验法计算的 1964 – 2002 与 2003 – 2014 年间年平均、年最高、年最低水位年际变化趋势对比表,年平均、年最高、年最低水位逐年变化过程线见图 3。由表 1 可见,

区枯水位降低、枯水期提前、枯水历时加长的情况将呈常态化趋势。上述研究大多关注都昌站枯水期的水位变化,对都昌站全年的水位变化和退水过程研究不多,限制了对鄱阳湖水位整体变化的了解。

本文基于 1964 – 2014 年都昌站逐日水位资料,分析了都昌站全年的水位特征变化,对比了 1964 – 2002 与 2003 – 2014 年退水过程的变化。

1 资料选取与研究方法

收集了都昌站 1964 – 2014 年逐日水位资料(吴淞基面,下同),运用有序聚类分析法^[8]和 Mann – Kendall 法^[9]分别研究水位时间序列的跳跃性和趋势性。

2 水位变化分析

2.1 跳跃性分析

运用有序聚类分析法对都昌站 1964 – 2014 年年平均水位、年最高水位、年最低水位时间序列进行跳跃性分析,各水位时间序列 $S_n(\tau)$ 和时间 τ 的关系见图 2。由图 2 可见,年平均、年最高和年最低水位均在 2003 年出现显著性跳跃,表明 2003 年都昌站的水位出现了跳跃变化。故将研究时段分为 1964 – 2002 年(39 年)、2003 – 2014 年(12 年)两个时段。

2003 – 2014 年间,年平均水位由上升的不显著趋势变为下降的不显著趋势;年最高水位由上升的不显著变为下降的不显著;年最低水位由上升的显著趋势变为下降的显著趋势。由图 3 可见,2003 年后,年平均、年最高、年最低水位均有下降趋势。

表 1 1964 – 2014 年都昌站水位年际变化趋势

年份	参数	平均值	年最高	年最低	$E(P)$	趋势性结论		
						平均水位	最高水位	最低水位
1964 – 2002	P	429.00	438.00	515.00	370.5	上升	上升	上升
	τ	0.16	0.18	0.39				
	U	1.42	1.63	3.50		不显著	不显著	显著
2003 – 2014	P	28.00	32.00	8.00	33.0	下降	下降	下降
	τ	-0.15	-0.03	-0.76				
	U	-0.68	-0.14	-3.43		不显著	不显著	显著

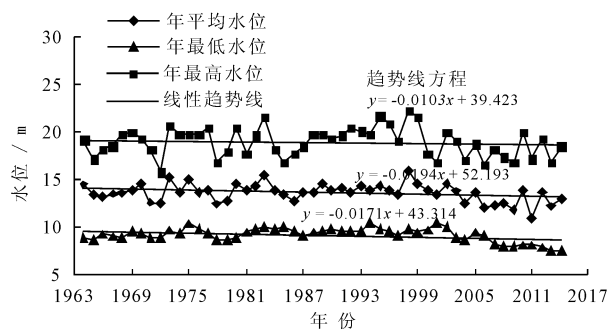


图3 都昌站 1964 – 2014 年水位过程线

2.3 水位统计特征

表 2 为 1964 – 2014 年都昌站水位特征统计表。由表 2 可见,2003 年后各特征水位(最高水位、最低水位、多年平均水位、年最高水位平均、年最低水位

表 2 1964 – 2014 年都昌站水位特征统计

时段	最高水位/ m	最低水位/ m	多年平均 水位/m	年最高水位 平均/m	平均出现 日期	年最低水位 平均/m	平均出现 日期
1964 – 2002	22.41	8.64	13.98	19.33	07 – 14	9.55	01 – 10
2003 – 2014	20.08	7.60	12.77	18.06	07 – 27	8.33	12 – 30
变幅/m	– 2.33	– 1.04	– 1.21	– 1.27	13	– 1.22	– 11

表 3 是 1964 – 2014 年都昌站水位逐月统计表。由表可见,2003 年前后的月平均水位逐月变化趋势相近,7 月最高,1 月最低,1 月到 7 月水位升高,7 月到次年 1 月逐渐降低;受五河和长江干流的共同影响,4 – 6 月,湖区水位随五河来水的增加而升高,7 – 9 月,湖区水位受长江干流洪水顶托或倒灌持续抬高,10 月开始水位逐渐消退。从量值上看,2003 年后,月平均、最高和最低水位较 2003 年前均有所

平均)较 2003 年前均有所下降,具体为:1964 – 2002 年间最高水位、最低水位和多年平均水位分别为 22.41、8.64 和 13.98 m 降至 2003 – 2014 年间 20.08、7.6 和 12.77 m,降幅分别为 2.33、1.04 和 1.21 m。

1964 – 2002 年间,年最高水位平均值为 19.33 m,平均出现时间为 7 月 14 日,2003 – 2014 年间降为 18.06m,下降了 1.27 m,平均出现时间为 7 月 27 日,较 2003 年前推迟了 13 d,这应与三峡水库的调蓄有关;年最低水位平均值由 9.55 m 降为 8.33 m,下降了 1.22 m,平均出现时间由 1 月 10 日提前到 12 月 30 日,提前了 11 d,这与三峡水库蓄水、五河流域降雨径流变化、长江干流河道冲刷下切、鄱阳湖河道下切及流域用水量增加等因素有关。

降低,且月平均、月最高、月最低水位在 10、11 月降幅较大。主要原因可能是:①三峡水库 9 月中旬开始蓄水,蓄水结束时间一般为 10 月底或 11 月初,蓄水期间使得长江干流下泄流量减少^[3];②长江干流河床冲刷,水位下降,同时受人为采砂^[5]和溯源冲刷影响,鄱阳湖区河床冲刷降低;③长江流域和鄱阳湖流域 2003 – 2012 年的天然降雨、径流较 1956 – 2002 年减少^[1]。

表 3 1964 – 2014 年都昌站特征水位逐月统计

单位:m

	时段	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
月 平 均	1964 – 2002	10.60	11.27	12.35	13.80	14.96	16.04	17.94	16.74	15.96	14.72	12.51	10.83
	2003 – 2014	9.46	9.96	11.61	12.38	13.93	15.71	16.65	16.01	14.94	12.34	10.55	9.52
	变幅	– 1.14	– 1.31	– 0.75	– 1.42	– 1.03	– 0.32	– 1.28	– 0.73	– 1.02	– 2.39	– 1.96	– 1.31
月 最 高	1964 – 2002	11.28	12.19	13.45	14.81	15.97	17.61	19.02	17.88	16.89	15.82	13.86	11.73
	2003 – 2014	10.38	11.01	12.83	13.58	15.31	17.05	17.49	17.23	15.90	14.44	11.71	10.70
	变幅	– 0.90	– 1.17	– 0.62	– 1.22	– 0.65	– 0.56	– 1.53	– 0.65	– 0.99	– 1.38	– 2.15	– 1.03
月 最 低	1964 – 2002	10.04	10.45	11.41	12.69	13.86	14.61	16.38	15.79	14.93	13.53	11.27	10.18
	2003 – 2014	8.95	9.30	10.34	11.36	12.51	14.25	15.74	14.96	13.87	10.38	9.41	8.72
	变幅	– 1.09	– 1.15	– 1.08	– 1.34	– 1.35	– 0.35	– 0.64	– 0.83	– 1.07	– 3.15	– 1.86	– 1.46

3 退水过程分析

鄱阳湖具有“高水是湖、低水是河”的特征,近

年来,鄱阳湖区出现枯水位降低、枯水期提前、枯水历时加长的情况,对鄱阳湖区退水过程如何影响,是值得关注的问题。鄱阳湖区水位受五河来水及长江

干流共同影响,五河洪水一般在 4-6 月份,长江洪水一般在 7-9 月份,故鄱阳湖开始退水时间及退水过程主要受长江水情的影响。

都昌站 50 年(1964-2002 年、2003-2014 年)水位过程线见图 4,由图 4 可见,都昌站全年水位过程依次经历低水、涨水、平水、退水、再低水过程^[3]。稳定退水期内,都昌站在 2003 年前后的开始退水时间分别落在[250,290]、[240,270]的范围内,服从正态分布,列表 4 如下,结束时间为水位曲线斜率接近于 0 的时间,故 1964-2002 年间以第 270~340 d 为稳定退水期;2003-2014 年间以第 255~310 d 为稳定退水期。

表 4 1964-2014 年都昌站退水过程起始时间 d

时 段	$\mu - 3\sigma$	$\mu + 3\sigma$	μ
1964-2002	250	290	270
2003-2014	240	270	255

河道退水常用下式模拟^[13]:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

此式也可作为吞吐型湖泊出口处的退水公式。假定在退水过程中流速变化不大(以下推导都基于此假定),可将式(1)改为以水深为特征量的退水公式^[13]:

$$H_t = H_0 e^{-\alpha t} \quad (2)$$

式中: H_t 为某时刻退水水位,m; t 为退水时间,d; H_0 为退水初始水位,m; α 为退水系数。为更好的使退水过程拟合好,将公式(2)中 H_0 也看作退水参数,用 S 表示,由近 50 年都昌站逐日平均水位依据 $\ln H_t - t$ 线性关系统计拟合确定 α 、 S ,点绘出逐年的 α 、 S 与 H_0 的关系图,统计确定 α 、 S 与 H_0 的相关关系,由图 5(a)可看出, S 与 H_0 关系密切,公式为:

$$S_{\text{前}} = 1.02829H_0 + 0.08619 \quad (3)$$

$$S_{\text{后}} = 0.95792H_0 + 1.65785 \quad (4)$$

而 α 与 H_0 相关性不好,故重新确定 α 。为明确反应水位随时间的变化,将公式(2)式设立一个中间参数 t_α ,使 t_α 前后退水流量相同,即 $\int_0^{t_\alpha} H_0 e^{-\alpha t} dt =$

$\int_{t_\alpha}^{t_0} H_0 e^{-\alpha t} dt$,求得:

$$t_\alpha = \frac{1}{\alpha} \ln \left[\frac{1}{2} (e^{-\alpha t_0} + 1) \right] \quad (5)$$

式中: t_0 为退水终止时刻。由(2)和(3)、(4)联立可得:

$$\alpha = -\frac{1}{t_\alpha} \ln \left(\frac{H_{\min}/H_0 + 1}{2} \right) \quad (6)$$

式中: $H_{\min}$ 为退水终止水位,m,点绘出逐年 $H_{\min}/H_0$ 、 H_0 的关系图,拟合确定 $H_{\min}/H_0 - H_0$ 的相关关系如图 5(b),公式为:

$$H_{\min}/H_{0\text{前}} = 6.74347H_0^{-0.82515} \quad (7)$$

$$H_{\min}/H_{0\text{后}} = 3.63239H_0^{-0.62687} \quad (8)$$

为求解出 α ,需确定各年的 t_α 。因 t_α 的物理含义是指在退水过程中,总退水流量到达一半时所用的时间。故通过求得各年退水过程线的散点图的面积,当退水面积为总面积的一半时确定 t_α 值。其中各年退水过程线的散点图面积是通过叠加各个水位散点与 x 轴围成的梯形面积确定。通过点绘出 t_α 、 H_0 的散点图,确定 $t_\alpha - H_0$ 的相关关系如图 5(c),公式为:

$$t_{\alpha\text{前}} = -0.53927H_0 + 40.79421 \quad (9)$$

$$t_{\alpha\text{后}} = -0.19296H_0 + 27.81788 \quad (10)$$

t_α 与 α 确定后即可确定出 t_0 和 $H_{\min}$,由式(5)、(6)可求出

$$t_0 = -\frac{1}{\alpha} \ln(2e^{-\alpha t_\alpha} - 1) \quad (11)$$

$$H_{\min} = H_0 e^{-\alpha t_0} = H_0 (2e^{-\alpha t_\alpha} - 1) \quad (12)$$

将式(7)、(8)、(9)、(10)代入(11)、(12)可得:

$$t_{0\text{前}} = \frac{40.79421 - 0.53927H_0}{\ln(3.371735H_0^{-0.82515} + 0.5)} \cdot \ln(6.74347H_0^{-0.82515}) \quad (13)$$

$$t_{0\text{后}} = \frac{27.81788 - 0.19296H_0}{\ln(1.816195H_0^{-0.62687} + 0.5)} \cdot \ln(3.63239H_0^{-0.62687}) \quad (14)$$

$$H_{0\text{前}} = 6.74347H_0^{0.17485} \quad (15)$$

$$H_{0\text{后}} = 4.42344H_0^{0.30406} \quad (16)$$

式(2)中: α 、 t 用(7)、(8)、(9)、(10)代入可得 $H_t - H_0$ 的关系式即:

$$H_{t\text{前}} = (1.02829H_0 + 0.08619) \cdot e^{\frac{t \ln(3.371735H_0^{-0.82515} + 0.5)}{40.79421 - 0.53927H_0}} \quad (17)$$

$$H_{t\text{后}} = (0.95792H_0 + 1.65785) \cdot e^{\frac{t \ln(1.816195H_0^{-0.62687} + 0.5)}{27.81788 - 0.19296H_0}} \quad (18)$$

各参数的物理含义: α 、 t_α 决定退水线的形状,反映退水曲线的基本特征,取决于河网产流的宣泄速度及流域内地表及地下径流、各入湖河道补给情况。

用式(17)、(18)的退水过程关系式重新计算 1964-2014 年都昌站历年退水过程线,分别取 1974、2012 年对退水过程拟合检验,具体计算结果见图 6,拟合效果良好。采用式(17)、(18)对 1964-2002、2003-2014 年稳定退水期内逐日多年平均水位进行模拟分析,由图 7 可见,2003 年前后退水过程的起末水位变化不大。但

退水过程的持续时间及退水速率变化较大,即 2003 年后,退水过程历时缩短 25 d 左右,退水速率加快。

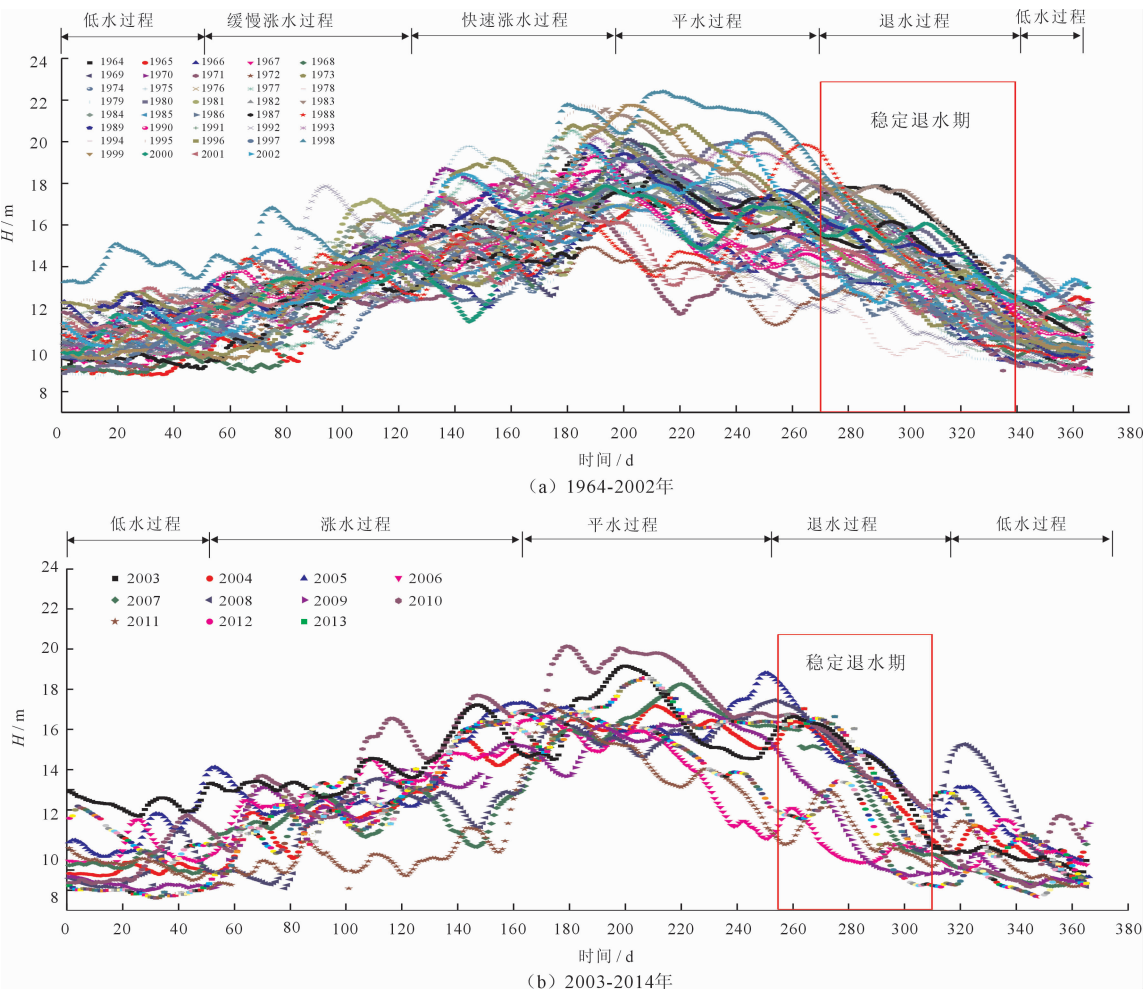


图 4 都昌站水位年变化过程线

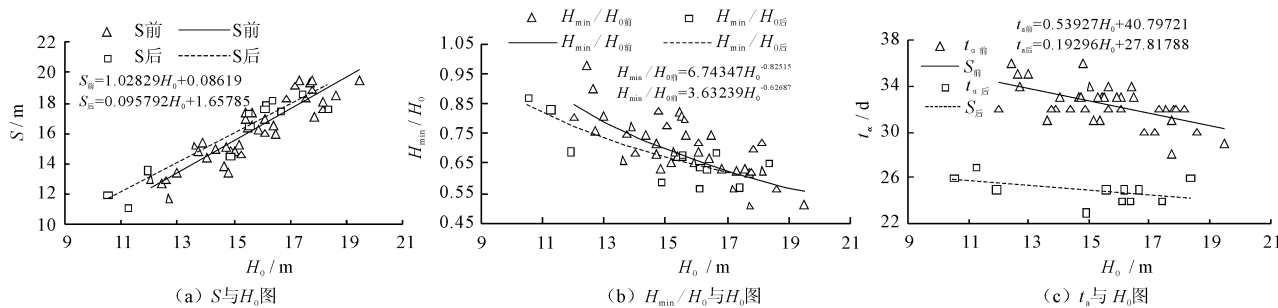


图 5 各个参数与 H_0 相关图

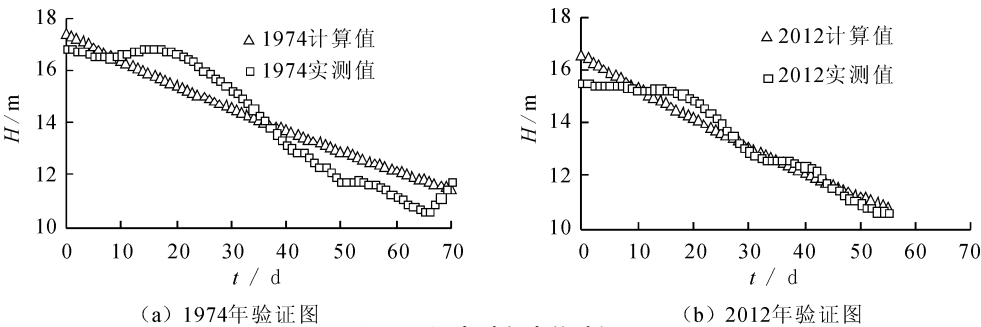


图 6 退水过程水位验证

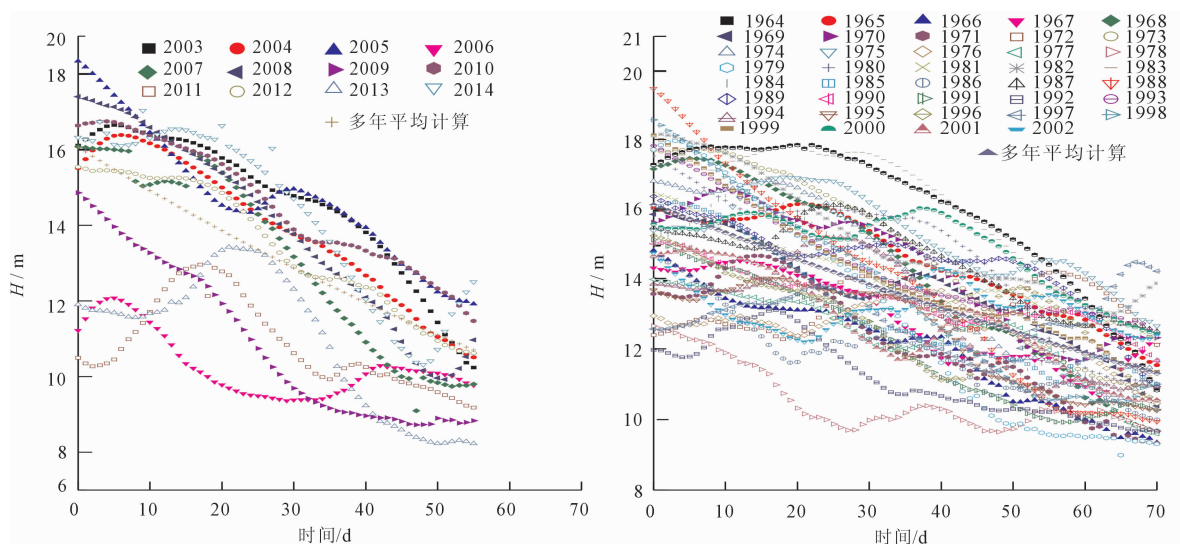


图7 鄱阳湖多年退水过程线对比

4 结 论

通过对鄱阳湖都昌站近 50 年水位数据分析,得出主要结论如下:

(1) 由跳跃性分析将时间序列分为 2003 年前后两个时段。2003 年后年最低水位由上升的显著趋势变为下降的显著趋势,年平均水位由上升的不显著趋势变为下降的不显著趋势;2003 - 2014 年,年最高平均水位平均出现时间较 1964 - 2002 年推迟了 13 d,年最低水位平均出现时间提前了 11 d。

(2) 2003 - 2014 年间,年特征水位(最高水位、最低水位、多年平均值、年最高水位平均值、年最低水位平均值)均有所下降;对于月特征水位,10 月至次年 2 月水位下降变幅较大。

(3) 分别对 1964 - 2002、2003 - 2014 年间的退水过程进行统计分析,得到了退水过程的拟合公式,表明 2003 - 2014 年较 1964 - 2002 年退水过程历时缩短 25 d 左右,退水速率加快。

因 2003 - 2014 年份较少,初步拟出退水公式有一定的局限性,随着年份的增加,可对退水公式进一步统计建立与 H_0 的经验公式。受分析资料限制,本文仅选取了都昌站的水位作为鄱阳湖湖区水位代表,而湖区内除了都昌站还有屏峰、星子、棠荫、龙口、康山水位站,今后可进一步研究各站水位之间的相互关系,探寻湖区水位在 2003 年前后水位涨落的变化规律。

参考文献:

[1] 徐照明,胡维忠,游中琼. 三峡水库运用后鄱阳湖区枯水情

势及成因分析[J]. 人民长江,2014,45(7):18 - 22.

- [2] 许继军,陈进. 三峡水库运行对鄱阳湖影响及对策研究[J]. 水利学报,2013,44(7):757 - 763.
- [3] 邹年华,罗优,刘同宦,等. 三峡工程运行对鄱阳湖水位影响试验[J]. 湖泊科学,2014,26(4):522 - 528.
- [4] 闵骞. 鄱阳湖水位变化规律的研究[J]. 湖泊科学,1995,7(3):281 - 288.
- [5] 闵骞,占腊生. 1952 - 2011 年鄱阳湖枯水变化分析[J]. 湖泊科学,2012,24(5):675 - 678.
- [6] 闵骞,占腊生. 鄱阳湖不同部位水位关系变化分析[J]. 人民长江,2013,44(S1):5 - 10 + 48.
- [7] 喻中文,胡魁德. 鄱阳湖低枯水位变化及趋势性分析研究[J]. 江西水利科技,2014(4):253 - 257 + 265.
- [8] 丁晶,邓育人. 随机水文学[M]. 成都:成都科技大学出版社,1988:76 - 87.
- [9] Birsan M V, Molnar P, Burlando P, et al. Streamflow trends in Switzerland[J]. Journal of Hydrology,2005,314(1-4):312 - 329.
- [10] 应铭,李九发,万新宁,等. 长江大通站输沙量时间序列分析研究[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(1):83 - 87.
- [11] 刘成,张翔,肖洋,等. 鄱阳湖五河流域入湖年径流变化特征分析[J]. 水电能源科学,2015,33(5):1 - 4 + 18.
- [12] 方春明,曹文洪,毛继新,等. 鄱阳湖与长江关系及三峡蓄水的影响[J]. 水利学报,2012,43(2):175 - 181.
- [13] 施成熙. 陆地水文学原理[M]. 北京:中国工业出版社,1964.
- [14] 欧阳千林,刘卫林. 近 50 年鄱阳湖水位变化特征研究[J]. 长江流域资源与环境,2014,23(11):1545 - 1550.