

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200146

# 降雨及引江济太调度对太湖水位变化的影响分析

金科<sup>1</sup>, 王雪姣<sup>2</sup>, 陈甜<sup>1</sup>

(1.太湖流域管理局水文局(信息中心),上海 200434;2.上海蓝泰信息咨询有限公司,上海 200434)

**摘要:**太湖流域位于长江三角洲核心区域,地势平坦,易受梅雨台风影响导致洪涝灾害。2002年太湖流域开始实施引江济太水资源调度,“以丰补枯”,有效补充了流域水资源量。采用 Mann-Kendall 趋势检验方法分析了自 1986 年以来的太湖流域降雨和太湖水位变化趋势,采用多元线性回归分析法研究了太湖水位月变化量的主要影响因子,并通过历年引江济太调度典型案例证明了引江济太水资源调度的时机和作用。结果表明:(1)太湖流域上游地区降雨量呈增加趋势,太湖水位呈上升趋势,其趋势主要表现在非汛期,汛期并不显著。(2)太湖水位变化同时受上游地区降雨和水利工程调度等因素影响,其中降雨是主要影响因子。(3)引江济太实施后,太湖水位有时候会上升,但并非主要的影响因素。引江济太不会增加太湖流域防洪风险。(4)引江济太是在太湖流域降雨偏少或者有改善水环境需求的时候开展的,对增加流域水资源量和改善流域水环境具有重要意义。

**关键词:**太湖;水位;降雨;引江济太;趋势分析

**中图分类号:**TV214;P333.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-0852(2020)06-0063-05

太湖流域地处长江三角洲的南翼,北抵长江,东临东海,南滨钱塘江,西以天目山、茅山为界,流域面积 36 895km<sup>2</sup>。太湖是流域内最大的湖泊,也是流域水资源滞蓄和调度的中枢。流域内社会经济高度发达,于 20 世纪八九十年代开始水污染问题逐步突显。根据中央指示精神,水利部太湖流域管理局于 2002 年开始实施引江济太水资源调度<sup>[1]</sup>(见图 1),通过望虞河常熟水利枢纽引长江水进入太湖流域,并在水质符合条件时从望虞河望亭立交水利枢纽引入太湖,同时通过太浦河太浦闸工程向下游地区供水,实现“以动制静,以清释污,以丰补枯,改善水质”的目标。

太湖流域防洪与水环境需求相互交织,其水文气象问题长期得到广泛关注。耿玉琴<sup>[2]</sup>对太湖流域的降雨时空分布规律作了比较全面系统的分析研究;季海萍等<sup>[3]</sup>基于 1986~2017 年的出、入湖水量资料,对环湖及地区出、入湖水量变化进行了定性、定量研究;吴娟等<sup>[4]</sup>对江南运河代表站水位进行了研究,并初步提出江南运河水文情势变化的可能原因;刘勇等<sup>[5]</sup>对太湖流域梅雨的空间分布、趋势变化、丰枯变异和周期演变

等时空演变规律特征进行了全面分析。由于引江济太增加的水资源量一定程度上对太湖水位造成影响,引起了部分人士对太湖流域防洪问题的担忧,因此,有必要通过相关历史数据的分析,明确太湖水位的变化趋势及主要影响因子。

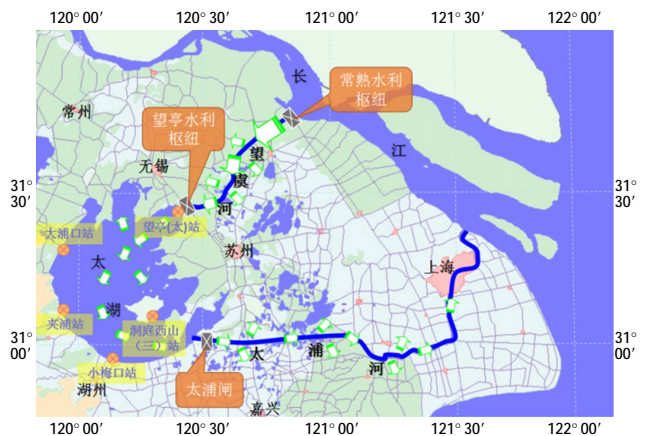


图 1 引江济太及湖区水位站点分布

Fig.1 The Yangtze-Taihu water diversion and the distribution of water level stations in Taihu Lake

收稿日期:2020-05-07

基金项目:国家重点研发计划项目“大数据驱动的流域智能管理与决策关键技术”(2018YFC0407900)

作者简介:金科(1982-),男,浙江台州人,硕士学位,高级工程师,主要从事水文行业管理和站网与监测方面的工作。E-mail:jinke@tba.gov.cn

## 1 资料和研究方法

水位数据选取太湖湖区的望亭(太)、大浦口、洞庭西山(三)、夹浦和小梅口(见图 1)5 个水位站 1986~2018 年的日平均水位,采用这 5 个站的日平均水位的算术平均值代表太湖日平均水位值,在太湖逐日平均水位的基础上进一步计算月平均水位。降雨数据选取太湖流域上游 50 个雨量站 1986~2018 年的降雨资料计算出的上游地区降雨序列。水利工程调度数据选取 2002~2018 年望亭水利枢纽引(排)水和太浦闸供(排)水的水量。

本文采用 Mann-Kendall 趋势检验、多元线性回归分析、调度案例分析等方法进行研究。

## 2 太湖流域降雨和太湖水位变化趋势分析

### 2.1 太湖流域降雨量和水位情况

通过对 1986~2018 年太湖水位及降雨量分析,太湖多年平均水位 3.22m,多年平均年降雨量 774.7mm,从图 2 中可以看出,太湖水位与降水过程之间有着紧密的联系,当降雨量较多时,太湖水位较高,当降雨量较少时,太湖水位较低。

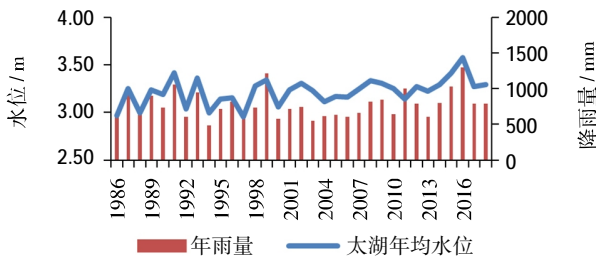


图 2 太湖水位与降水的过程线

Fig.2 The process line of water level and rainfall in Taihu Lake

### 2.2 太湖流域降雨量变化趋势分析

对 1986~2018 年太湖流域上游地区降雨量进行 Mann-Kendall 检验,并根据防汛工作情况划分为汛期(5~9 月)降雨量和非汛期(1~4 月、10~12 月)降雨量序列分别进行 Mann-Kendall 检验,可得到各自的  $Z_s$  值(见表 1)。

表 1 太湖流域上游地区降雨序列的 Mann-Kendall 检验值  
Table1 The Mann-Kendall test for rainfall sequence of the upper region in the Taihu Lake basin

检验值	年雨量	汛期雨量	非汛期雨量
$Z_s$ 值	1.44	0.82	1.50

由表 1 可知,自 1986 年以来,太湖流域上游地区年雨量、汛期雨量、非汛期雨量均呈增加趋势,但在 0.1 显著性水平下不存在显著趋势。

### 2.3 太湖水位变化趋势分析

根据计算出的 1986~2018 年太湖月平均水位数据,进一步得到汛期平均水位、非汛期平均水位和年平均水位序列,并进行 Mann-Kendall 检验,可得到各自的  $Z_s$  值(见表 2)。

由表 2 可知,自 1986 年以来,太湖年平均水位呈上升趋势,且在 0.05 显著性水平下存在显著趋势;汛期太湖平均水位呈上升趋势,但在 0.1 显著性水平下不存在显著趋势;非汛期太湖平均水位呈上升趋势,且在 0.01 显著性水平下存在显著趋势。

表 2 太湖水位序列的 Mann-Kendall 检验值

Table2 The Mann-Kendall test for water level sequence in the Taihu Lake

检验值	年平均水位	汛期平均水位	非汛期平均水位
$Z_s$ 值	2.53**	1.16	3.89***

注:\*\*\* 表示在 0.01 显著性水平下存在显著趋势;\*\* 表示在 0.05 显著性水平下存在显著趋势。

### 2.4 太湖流域降雨和太湖水位变化趋势对比分析

将表 1 和表 2 的分析结果进行对照分析,太湖流域上游地区年降雨量呈增加趋势,太湖年平均水位呈显著上升趋势,两者变化趋势一致,说明上游地区降雨是太湖水位变化的主要影响因素之一;对照来看,太湖水位上升趋势的程度更显著,说明除了降雨之外,太湖水位还受到水利工程调度等其他因素影响,这与文献[6]的结论一致。

分时段来看,汛期降雨量增加趋势不显著,太湖水位上升趋势也不显著,两者趋势接近,说明引江济太水利工程调度等其他因素在汛期的影响相对较小。而在非汛期,太湖水位上升趋势的显著程度远超降雨,说明引江济太水利工程调度等其他因素在非汛期的影响相对较大。

## 3 降雨和引江济太对太湖月水位变化的影响程度分析

由上节分析可知,太湖水位变化同时受到上游地区降雨和水利工程调度等其他因素的影响,引江济太水资源调度开始于 2002 年,有必要以引江济太净引

水量作为水利工程调度的典型要素,进一步采用多元线性回归分析法分析 2002 年以来的降雨和调度数据,从而明确两者对太湖水位的影响程度,找出不同阶段的主要影响因子。

现以 2002~2018 年每月的太湖水位变化量为因变量,上游地区降雨量、引江济太净引水量为自变量,进行多元线性回归分析。年度资料回归模型的相关系数  $R=0.811$ ,拟合度较好。拟合的回归方程为:

$$Z=0.048 \times Q+0.003 \times P-0.294 \quad (1)$$

式中: $Z$  为月水位变化量(m); $Q$  为月净引水量( $10^4 m^3$ ); $P$  为月降雨量(mm)。

经计算,式(1)的  $F$  统计量的值为 193.736,而在 0.05 显著性水平下,由  $F$  分布表得到  $F_{0.05}(2,201)=3.041$ , $F$  统计量的值远大于  $F_{0.05}(2,201)$  的值,因此式(1)有统计学意义。经计算,月降雨量与月净引水量的  $t$  统计量的值分别为 19.684 和 8.915,而在 0.05 显著性水平下,由  $t$  分布表得到  $t_{0.05}(201)=1.652$ ,月降雨量与月净引水量的  $t$  统计量的值大于  $t_{0.05}(201)$  的值,说明选取的自变量回归系数是显著的。由此可知,式(1)有效。

为进一步判断月水位变化量的主要影响因子,需要计算回归模型的标准回归系数。标准回归系数的绝对值大小反映了影响月水位变化量的程度,绝对值越大,影响就越大。由系数分析可以得到,月降雨量的标准化回归系数为 0.906,月净引水量的标准化回归系数为 0.410,由此可见月降雨量对月水位变化量的影响大,而月净引水量对月水位变化量的影响小,两者之间月降雨量是主要影响因子。

为进一步验证回归方程的适用性,将拟合的月水位变化值与实际月水位变化值进行对比,从图 3 可见,两者相关关系较好。

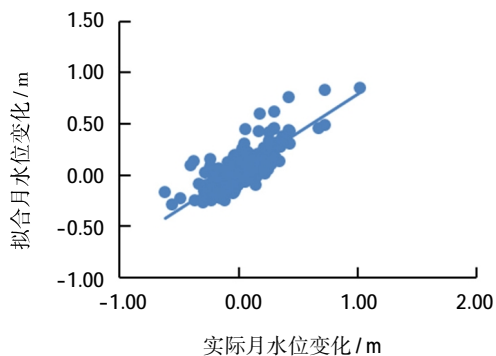


图 3 公式拟合值与实际值对比

Fig.3 The comparison between the formula fitting values and measured values

#### 4 历年引江济太调度对太湖水位变幅影响典型案例分析

从 2002~2018 年的水利工程调度资料中筛选出 36 段较为典型的引水入湖时段,计算出各时段日均引水入湖水量,以及同期太湖水位变幅和太湖流域降雨量,并与历史同期(1986~2015 年)值进行比较,结果见表 3。

表 3 中可见,36 次引江济太水资源调度过程中,有 30 次累计降雨量小于多年同期均值,其余 6 次均因特殊需求启动。其中,2004 年 4 月 30 日是由于太湖流域前期降雨偏少,太湖及河网水位较低,为迎接国务院第四次水污染防治会议在无锡召开,实施引江济太改善水环境;2010 年 2 月 6 日是由于出现了流域河网及太湖部分水域水质下降的情况,为改善太湖及周边地区水环境,结合 2010 年上海世博会以及流域供水安全的需求,实施引江济太改善水环境;2012 年 10 月 19 日是由于 10 月份流域降雨较常年同期偏少 55%,太湖水位持续下降并跌至多年平均水位以下,实施引江济太保障太湖周边地区冬春季节用水、促进太湖及河网水体有序流动;2017 年 5 月 21 日是由于 5 月中旬太湖蓝藻暴发,对太湖北部水源地水质的严重威胁,实施引江济太缓解蓝藻暴发趋势、保障水源地供水安全;2018 年 1 月 1 日是由于 2017 年 10 月、11 月流域连续多日无雨,太湖水位持续下降,从 2017 年 12 月 11 日起持续实施引江济太增加流域水资源量,保障流域冬春供水安全;2018 年 10 月 26 日是由于 10 月份流域降雨较常年同期偏少 67%,太湖水位迅速下降,实施引江济太保障太湖流域秋冬供水安全和首届中国国际进口博览会顺利召开。可见,引江济太基本是在降雨偏少的时候实施的,偶尔是由于前期降雨严重偏少导致太湖水位过低或者太湖水质出现异常而启动的,对补充流域水资源量和改善流域水环境具有重要意义。

对比引江济太前后太湖水位变化情况,可以发现 21 次太湖水位变幅超过多年同期均值,有 15 次没有超过,两者比例相当,而且太湖水位变幅的增量与引江济太的日均引水入湖水量不存在明显的相关关系(见图 4)。由此可见,引江济太不是导致太湖水位变化的主要因素。

#### 5 结论

本文对 1986 年以来的太湖上游地区降雨量和太

表3 2002~2018年引江济太典型时段太湖水位变幅和太湖流域降雨量

Table3 The variation of water level and rainfall during the typical time periods in Yangtze-Taihu water diversion from 2002 to 2018

年份	典型引水入湖时段	时段日均引水入湖水量/10 <sup>4</sup>	太湖水位变幅/m	历史同期太湖平均水位变幅/m	太湖水位变幅距平值/m	时段累计降雨量/mm	历史同期累计降雨量/mm
2002	1月29日~4月3日	1047	0.24	0.09	0.15	43.2	191.6
	10月5日~11月8日(有15d暂停)	243	-0.09	-0.14	0.05	24	65.1
2003	8月5日~12月18日(有6d暂停)	889	-0.12	-0.34	0.22	168.7	382
2004	1月9日~1月25日(有3d暂停)	122	0.11	0.01	0.10	32.6	44.5
	2月10日~2月29日(有5d暂停)	107	-0.05	0.04	-0.09	22.9	61.9
	4月30日~5月12日	1359	0.18	-0.01	0.19	58.8	40.2
	7月29日~11月19日(有20d暂停)	669	-0.02	-0.32	0.30	199.1	363.6
2005	6月22日~7月13日	888	0.25	0.33	-0.08	129.9	172.8
2006	8月18日~10月15日	1040	0.06	-0.09	0.15	126.9	209.8
2007	5月11日~7月4日	1134	0.19	0.34	-0.15	193.6	304.5
	7月20日~9月18日	1122	0.06	-0.13	0.19	239.5	276.6
2008	1月22日~6月8日(有7d暂停)	637	-0.01	0.07	-0.08	226.5	419.9
2009	4月27日~6月28日	775	-0.09	0.23	-0.32	167.1	301.7
2010	2月6日~3月3日(有5d暂停)	389	0.26	0.04	0.22	100.9	77
	5月30日~6月17日	693	-0.03	0.06	-0.09	33	98.4
	8月17日~9月10日	869	0	0.02	-0.02	107.4	120.7
	10月10日~12月31日(有6d暂停)	625	-0.25	-0.31	0.06	93.4	130
2011	1月1日~6月9日(有4d暂停)	774	-0.1	0.07	-0.17	199.3	475.4
	10月31日~12月31日	595	-0.12	-0.3	0.18	38.3	101.6
2012	1月1日~2月6日(有7d暂停)	772	0.06	-0.03	0.09	54	76.1
	10月19日~12月31日	523	0.11	-0.26	0.37	132.1	120.2
2013	1月21日~2月6日	402	-0.03	-0.02	-0.01	26.2	27
	7月27日~10月5日	1204	-0.08	-0.16	0.08	167.4	281.9
	11月30日~12月31日(有1d暂停)	658	-0.12	-0.11	-0.01	24	43.7
2014	1月1日~3月27日(有9d暂停)	819	0.16	0.11	0.05	148.6	236.4
	11月5日~12月31日	616	-0.15	-0.17	0.02	58.6	95
2015	1月1日~2月16日	687	-0.08	-0.03	-0.05	47.8	99.4
	11月12日~11月24日	510	0.23	-0.02	0.25	23.4	27
2016	3月11日~4月1日	447	-0.03	0.09	-0.12	7.9	79.9
	9月5日~9月12日	571	0.04	-0.02	0.06	28.1	29.4
2017	2月20日~3月12日	567	-0.08	0.07	-0.15	32	64
	5月21日~6月6日	494	0.01	-0.01	0.02	61.2	53.8
	8月23日~9月12日	827	-0.03	0	-0.03	70.3	94.3
	12月16日~12月31日	669	-0.08	-0.05	-0.03	10.3	21.8
2018	1月1日~2月12日	741	0.13	-0.04	0.17	92.8	85.9
	10月26日~12月3日	577	0.08	-0.13	0.21	111.2	72.4

湖水位变化趋势,以及2002年以来引江济太调度的典型时段和入湖水量等进行了分析。结果表明:

(1)多年来,太湖流域上游地区降雨量呈增加趋势,太湖水位呈上升趋势,其趋势主要表现在非汛期,汛期并不显著。

(2)太湖水位变化同时受上游地区降雨和水利工程调度等其他因素影响,其中降雨是主要影响因子。

(3)引江济太实施后,太湖水位有时候会上升,但不是其主要的影响因素。引江济太不会增加太湖流域防洪风险。



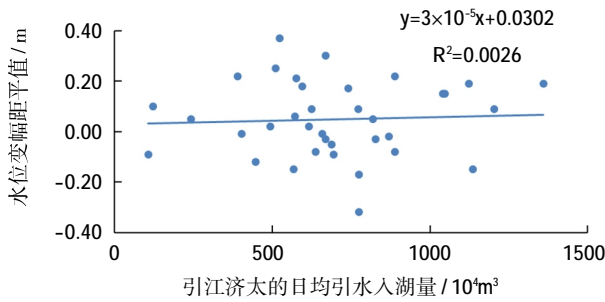


图4 太湖水位变幅距平值与引江济太的日均引水入湖水量关系  
Fig.4 The relations between the anomaly values of water level in Taihu Lake and daily water inflow of Yangtze-Taihu water diversion

(4)引江济太是在太湖流域降雨偏少或者有改善水环境需求的时候开展的,对增加流域水资源量和改善流域水环境具有重要意义,应该继续开展。

#### 参考文献:

[1] 高怡,毛新伟,徐卫东. “引江济太”工程对太湖及周边地区的影响分析[J]. 水文, 2006,(1):92-94. (GAO Yi, MAO Xinwei, XU Weidong. Analysis of the influence on the Taihu Lake and the area around diversion from the Yangtze River to the Taihu Lake [J]. Journal of

China Hydrology, 2006,(1):92-94. (in Chinese))  
[2] 耿玉琴. 太湖流域降雨时空分布规律分析 [J]. 海河水利, 2003,(3): 33-35. (GENG Yuqin. Analysis of spatial and temporal distribution regularity of rainfall in Taihu Lake basin [J]. Haihe Water Resources, 2003,(3):33-35. (in Chinese))  
[3] 季海萍,吴浩云,吴娟. 1986-2017年太湖出、入湖水量变化分析[J]. 湖泊科学, 2019,31(6):1525-1533. (JI Haiping, WU Haoyun, WU Juan. Variation of inflow and outflow of Lake Taihu in 1986-2017 [J]. Journal of Lake Sciences, 2019,31(6):1525-1533. (in Chinese))  
[4] 吴娟,林荷娟,武剑,等. 江南运河水情势变化分析 [J]. 水文, 2018,38(4):78-82. (WU Juan, LIN Hejuan, WU Jian, et al. Analysis of hydrological regime of Jiangnan canal [J]. Journal of China Hydrology, 2018,38(4):78-82. (in Chinese))  
[5] 刘勇,王银堂,陈元芳,等. 太湖流域梅雨时空演变规律研究[J]. 水文, 2011,31(3):36-43. (LIU Yong, WANG Yintang, CHEN Yuanfang, et al. Spatial-temporal evolution characteristics of plum rains in Taihu lake [J]. Journal of China Hydrology, 2011,31(3):36-43. (in Chinese))  
[6] 尹义星,许有鹏. 太湖流域腹部地区水位对降水变化及城镇化的响应 [J]. 自然资源学报, 2011,26(5):769-779. (YIN Yixing, XU Youpeng. Response of water sevels to precipitation changes and regional urbanization in the core regions of the Taihu Lake basin [J]. Journal of Natural Resources, 2011,26(5):769-779. (in Chinese))

## Analysis on the Impacts of Rainfall and Yangtze-Taihu Water Diversion on the Water Level Variation in Taihu Lake

JIN Ke<sup>1</sup>, WANG Xuejiao<sup>2</sup>, CHEN Tian<sup>1</sup>

(1. Bureau of Hydrology(Information Center), Taihu Basin Authority, Shanghai 200434, China;  
2. Shanghai Lantai Information Consulting Co.Ltd., Shanghai 200434, China)

Abstract: The Taihu Lake basin is located in the core area of the Yangtze River Delta. The terrain is flat and it is susceptible to floods caused by typhoons and plum rains. It began to implement water resources dispatching of Yangtze-Taihu Water Diversion from 2002, which effectively supplement the water resources of the river basin. This paper used the Mann-Kendall test method to analyze the trends of rainfall in the upstream of Taihu Lake and water level of Taihu Lake since 1986, and applied the multiple linear regression analysis method to study the main influencing factors of the monthly change of the water level. Plenty of times of the water diversion practices have also been analyzed by occasions and impacts on water level fluctuations. The results show that: (1) The increasing trends of rainfall and water level are significant in the Taihu Lake during the non-flood season; while they increase gently in flood seasons. (2) The change of water level in the Taihu Lake is affected by both the rainfall in the upstream area and the operations of water conservancy projects, but rainfall is the main influencing factor. (3) Through the Yangtze-Taihu Water Diversion Project, the extent of the Taihu Lake water level rise has not increased the risk of flood control in the Taihu Lake Basin, and the supply of water resources can be increased without increasing the risk of flood control. (4) The Yangtze-Taihu Water Diversion is basically implemented when there is little rainfall, which can effectively raise the water level of the Taihu Lake or slow down the downward trend of the water level, which have great significance for maintaining the Taihu Lake water level and ensuring the water resources supply of the basin.

Key words: Taihu Lake; Water level; rainfall; Yangtze-Taihu Water Diversion; trend analysis