

1986—2017 年太湖出、入湖水量变化分析*

季海萍¹, 吴浩云², 吴娟¹

(1: 太湖流域管理局水文局(信息中心), 上海 200434)

(2: 水利部太湖流域管理局, 上海 200434)

摘要: 作为流域内水资源调蓄和调度的中枢, 太湖的出、入湖水量格局随着一系列工程、非工程措施的实施已然改变。基于 1986—2017 年近 30 年的环湖出、入湖水量资料, 采用 Mann-Kendall 趋势检验法、突变检验法和滑动 t 检验法, 对环湖及地区出、入湖水量变化进行了定性、定量研究, 并讨论了产生变化的可能原因。结果表明: 1986—2017 年, 环湖年入湖水量增加趋势显著, 在 20 世纪 90 年代后期突变增加, 年出湖水量增加趋势显著, 在 21 世纪初后期突变增加; 多年平均年入湖总量突变后较突变前增加了 29.66 亿 m^3 , 多年平均年出湖总量增加了 18.63 亿 m^3 ; 江苏入湖水量增长率、增长贡献率分别为 53% 和 84%, 出湖水量增长率、增长贡献率分别为 31% 和 48%; 浙江入湖水量增长率、增长贡献率无明显改变, 出湖水量增长率、增长贡献率分别为 26% 和 31%; 望虞河出入湖增长率最大, 但增长贡献率不大; 太浦河出湖增长率、增长贡献率无明显变化; 出、入湖水量的变化抬升了太湖年平均水位和年最低水位, 对年最高水位影响较小; 水利工程调度对出、入湖水量的影响逐渐占据主导作用。

关键词: 出、入湖水量; 太湖; 变化趋势; 突变点

Variation of inflow and outflow of Lake Taihu in 1986–2017

Ji Haiping¹, Wu Haoyun² & Wu Juan¹

(1: *Bureau of Hydrology (Information Center), Taihu Basin Authority, Shanghai 200434, P.R. China*)

(2: *Taihu Basin Authority of Ministry of Water Resources, Shanghai 200434, P.R. China*)

Abstract: As the center of water resource regulation, storage and dispatching in Taihu Basin, the inflow and outflow of Lake Taihu has changed with the implementation of engineering and non-engineering measures. Based on observed inflow and outflow data from 1986 to 2017, the flow variations and possible reasons were studied using Mann-Kendall trend test, mutation test and moving- t test. The results showed that annual total inflow increased significantly with the mutation point in the late 1990s, while annual total outflow increased significantly with mutation point in the late 2000s. Compared with annual flow before mutation point, multi-year inflow increased 2.966 billion cubic meters and outflow increased 1.863 billion m^3 . The inflow increase rate and contribution rate in Jiangsu Province were 53% and 84%, while the outflow increase rate and contribution rate were 31% and 48%, respectively. The outflow increase rate and contribution rate in Zhejiang Province were 26% and 31%, respectively, while the inflow increases rate and contribution rate did not change significantly. Among all the regions, Wangyu River has the highest inflow increase rate, with a small contribution; the outflow increase rate and contribution rate of Taipu River did not change significantly. Variations of inflow and outflow raised the annual average water level and the annual lowest water level in Lake Taihu, however, with little impact on the annual maximum water level. Increasingly importance of hydrological engineering has been attached to changing inflow and outflow of Lake Taihu.

Keywords: Inflow and outflow; Lake Taihu; variation trend; mutation point

太湖流域地处长江三角洲的核心区域, 北抵长江, 东临东海, 南滨钱塘江, 西以天目山、茅山为界, 流域面积为 36895 km^2 。太湖是我国第三大淡水湖泊、流域内最大湖泊, 也是流域水资源调蓄和调度的中枢。太湖流域内水系以太湖为中心, 分上游水系和下游水系, 上游水系包括苕溪水系、南河水系及洮涌水系, 发源于

* 国家重点研发计划项目(2018YFC0407900)资助。2018-12-06 收稿; 2019-04-17 收修改稿。季海萍(1989~), 女, 硕士, 工程师; E-mail: jihaiping@tba.gov.cn。

西部山丘区,来水汇入太湖后,经太湖调蓄从东部流出,下游水系包括北部沿长江水系、南部杭嘉湖水系、东部黄浦江水系^[1].太湖与周边河网水量交换频繁,作为流域重要的水源地,围绕太湖出、入湖水量的分析研究一直不曾中断,庄巍等^[2]研究了西太湖湖滨河网与太湖水量的交换,燕姝雯等^[3]通过分析2009年环太湖入出湖水量及污染负荷通量指出入湖河流对太湖水质影响较大,申金玉等^[4]分析认为降雨、水资源调度及太湖直接取水户取水量变化是影响出、入湖水量变化的主要因素,闻余华等^[5]指出太湖入湖水量总体呈上升趋势且入出湖水量变化与“引江济太”等环境治理工程关系密切,吴娟等^[6]认为太湖流域湖西区净入湖水量增多与降水量、区域引江水量及土地利用变化有较大关联.

自1990s以来,太湖流域遭遇了1991、1999和2016年流域性特大洪水,先后启动了一轮、二轮治太工程建设,并在2007年无锡供水危机后开展了水环境综合治理^[7],一系列工程、非工程措施的实施一定程度上改变了环太湖上游入湖、下游出湖的自然格局.且随着太湖流域社会经济的高速发展和城市化进程的加快,城乡生活用水、工业用水日益增长,地区之间水资源竞争不可避免,水资源合理配置成为解决地区水资源日趋紧张的关键^[8].以往的研究虽然在环太湖出、入湖水量变化趋势、影响因素方面取得了诸多成果,但多限于某单一水利分区或多水利分区层面,鲜见以行政区划为研究单元,变化的关键节点研究、立足全流域的出、入湖水量变化影响也鲜少涉及.本文尝试通过数理分析方法,从行政区划层面研究1986—2017年环湖出、入湖水量发生的重大变化,揭示出、入湖水量变化的节点,探讨产生变化的主要影响及原因,为水资源调度及配置决策提供科学支持.

1 数据与方法

1.1 数据说明

太湖是典型的平原河网型湖泊,出入河流有230条(其中:江苏省171个,浙江省59个)^[9],无法逐一布设驻测水文站点控制出、入湖水量,因此,采用辅助站和巡测站相结合的水文巡测方法是目前较为科学、适用的,也符合平原地区水文工作的实际情况^[10].水文巡测是指观测人员以巡回流动的方式定期或不定期对某一地区各观测点进行水文要素的观测^[11].自1970s开始,环太湖的江苏省水文水资源勘测局无锡分局、苏州分局、常州分局及湖州市水文站在主要河道上布设了辅助站,在部分流量较小的河流上布设了巡测断面开展水文监测,1986年以前只在汛期开展巡测工作,1986年以后开展了全年的水文巡测工作.本文根据1986—2017年环太湖水文巡测资料开展进出水量分析.

2017年环太湖水量巡测线如图1所示.环太湖水量巡测线是一个环太湖闭合线,现状巡测线由10个巡测段、13个单站组成(表1),基点站、单站每日施测流量1~2次,巡测段通过基点站和巡测断面的同步流量监测资料,建立流量相关关系,进而推算其逐日流量.1986—2017年环湖出、入湖水量数据来自于江苏省水文水资源勘测局苏州分局、无锡分局、常州分局和湖州市水文站联合开展的环湖巡测,数据经整编、校验,质量可靠,可保证分析结果的准确性.

1986—2017年太湖流域面平均降水量基于流域内106个站点雨量,采用面积加权法计算而得.1986—2017年太湖水位为望亭(太)、洞庭西山(三)、夹浦、小梅口、大浦口5站算术平均水位.1990—2017年沿长江(江苏段)引水量为沿江48个口门引水量算术和.本研究采用的数据来自水文年鉴和地市水文部门,所有数据均经过了流域、省市水文部门共同校核,质量可靠.

1.2 分析方法

Mann-Kendall趋势检验^[12]是提取序列变化趋势较为有效的工具,被广泛应用于气候参数和水文序列变化趋势的分析中^[13-14].Mann-Kendall趋势检验值为正表示上升趋势,为负表示下降趋势;当显著性水平 $\alpha=0.1$ 时,若检验值的绝对值 ≤ 1.65 ,则接受零假设(无显著变化趋势),若检验值的绝对值 > 1.65 ,则拒绝零假设(变化趋势显著).Mann-Kendall突变检验法^[15]和滑动 t 检验法^[15]为突变检测的常用方法,两种方法在统计学上具有一定程度的互补性^[16],多用于长系列气象、水文要素演变研究中^[17-18].

本研究采用Mann-Kendall趋势检验法分析流域降水量、太湖水位、环湖出、入湖水量及沿江(江苏段)引水量.采用Mann-Kendall突变检验法和滑动 t 检验法检测上述水文要素的突变点.Mann-Kendall趋势检验法、Mann-Kendall突变检验法和滑动 t 检验法的算法均采用Visual Basic编程.

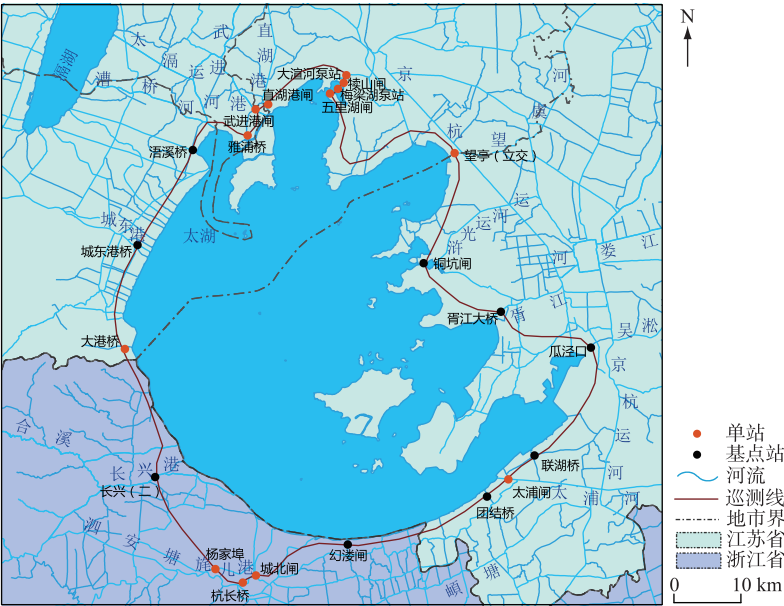


图 1 2017 年环太湖水量巡测线示意
Fig.1 Tour gauging line surrounding Lake Taihu in 2017

表 1 2017 年环湖巡测线组成概况

Tab.1 Components of tour gauging line surrounding Lake Taihu in 2017

巡测段/单站		基点站	经度	纬度	基点站/单站所在河道
江苏	大港桥站	/	119°53'51"	31°11'23"	大港河
	城东港桥段	城东港桥站	119°55'40"	31°19'23"	城东港
	浯溪桥段	浯溪桥站	120°00'30"	31°27'12"	殷村港
	雅浦桥站	/	120°05'17"	31°28'21"	雅浦港
	武进港闸站	/	120°06'51"	31°30'12"	武进港
	直湖港闸站	/	120°07'19"	31°30'35"	直湖港
	大渲河泵站	/	120°13'36"	31°33'01"	大渲河
	犊山闸站	/	120°13'46"	31°33'00"	梁溪河
	梅梁湖泵站	/	120°13'36"	31°32'35"	梁溪河
	五里湖闸站	/	120°13'18"	31°32'06"	五里湖
	沿湖小闸段	/	/	/	/
	望亭(立交)站	/	120°25'19"	31°26'59"	望虞河
	铜坑闸段	铜坑闸站	120°21'13"	31°18'01"	浒光运河
	胥江大桥段	胥江大桥站	120°28'46"	31°13'59"	胥江
	瓜泾口段	瓜泾口站	120°39'21"	31°11'59"	瓜泾港
	联湖桥段	联湖桥站	120°36'38"	31°05'44"	大浦口
	太浦闸站	/	120°30'18"	31°00'37"	太浦河
	团结桥段	团结桥站	120°27'33"	30°59'43"	大庙港
浙江	幻溇闸段	幻溇闸站	120°14'42"	30°55'13"	幻溇港
	城北闸站	/	120°06'00"	30°52'45"	龙溪
	杭长桥站	/	120°04'41"	30°52'00"	苕溪
	杨家埠站	/	120°01'38"	30°53'15"	旄儿港
	长兴(二)段	长兴(二)站	119°54'40"	31°00'09"	长兴港

2 结果与分析

2.1 环湖出、入湖水量

与太湖有直接水量交换的地市分别是江苏省无锡市、常州市、苏州市和浙江省湖州市,太浦河控制口门和望虞河控制口门均位于苏州市境内,受水利部太湖流域管理局管理,故本次分析将它们单列. 1986—2017 年多年平均入湖总量 91.15 亿 m³,其中江苏入湖水量最大,占环湖入湖总水量的 68%;多年平均出湖总量 94.68 亿 m³,其中江苏和太浦河出湖水量较大,分别占环湖出湖总水量的 33% 和 32% (表 2).

表 2 1986—2017 年环湖出、入湖水量多年平均特征值

Tab.2 Multi-year average inflow and outflow of Lake Lake Taihu from 1986 to 2017

环湖分项		江苏	浙江	望虞河	太浦河	环太湖
入湖	水量/(亿 m ³)	62.22	24.52	4.35	0.06	91.15
	占比/%	68	27	5	0	100
出湖	水量/(亿 m ³)	31.50	24.11	8.82	30.25	94.68
	占比/%	33	26	9	32	100

环太湖各地区 1986—2017 年出、入湖水量逐年变化如图 2 所示. 江苏地区以入湖为主,每年入湖水量均大于出湖水量,其中:入湖水量增加趋势显著,出湖水量 1986—2004 年期间有减小趋势,2004—2007 年期

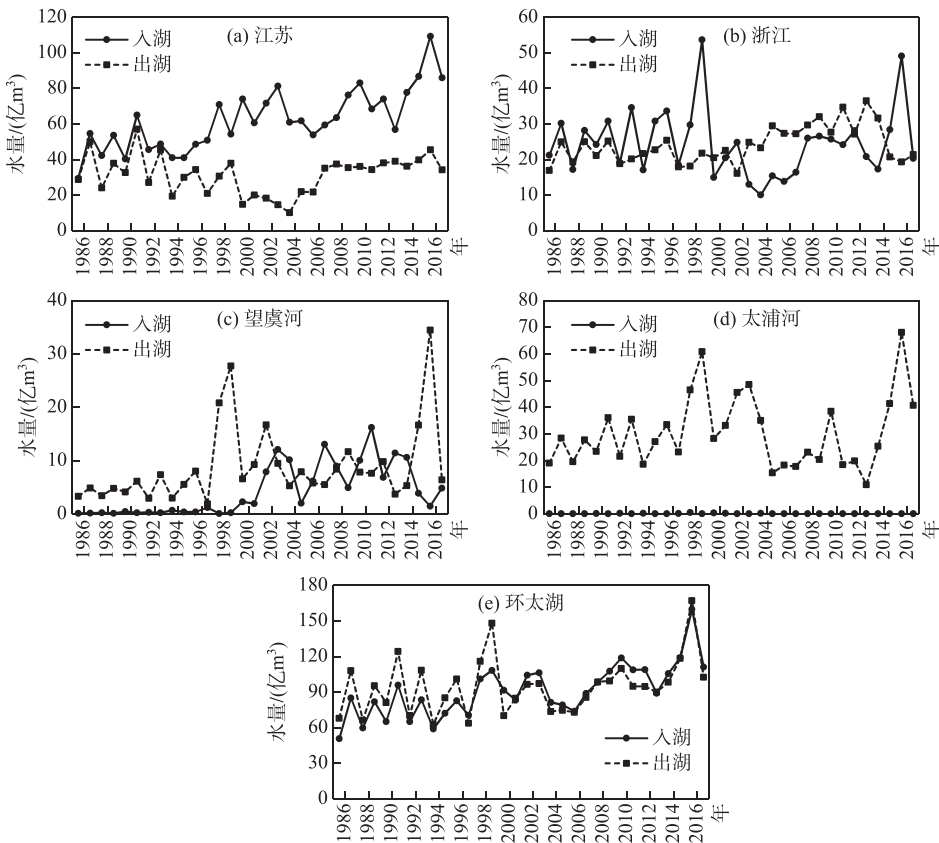


图 2 环太湖各地区 1986—2017 年出、入湖水量逐年变化

Fig.2 Variation of annual inflow and outflow of Lake Taihu from 1986 to 2017

间发生明显增加,2007 年后无明显变化趋势. 浙江地区 2002 年前以入湖为主,2002 年后以出湖为主,其中:入湖水量分别在 1999、2016 年达到峰值,2000—2007 年期间出现水量低谷,整体未呈现明显变化趋势,出湖水量呈增加趋势,但 2015—2017 年期间有所减小. 望虞河 2002 年前以出湖为主,2002 年后入湖水量显著增加,净入湖、净出湖交替出现. 太浦河基本无入湖水量,出湖水量整体无明显变化趋势. 环太湖年出、入湖水量增加趋势显著且变化基本同步;2000 年前,出湖水量大于入湖水量,2000 年后,入湖水量略大于出湖水量.

2.2 出、入湖水量变化分析

2.2.1 出、入湖水量变化趋势 对 1986—2017 年环太湖出、入水量序列进行 Mann-Kendall 趋势检定,结果表明(表 3),30 余年来,环湖年入湖水量增加趋势显著,其中江苏、望虞河入湖水量增加明显,浙江有减小趋势,但不显著,太浦河基本没有入湖水量,故不开展趋势分析;环湖年出湖水量增加趋势显著,其中浙江、望虞河出湖水量增加明显,江苏、太浦河出湖水量有增加趋势,但不显著.

表 3 1986—2017 年出、入湖水量序列 Mann-Kendall 趋势检定值

Tab.3 Results of inflow and outflow variation trend from 1986 to 2017 measured with Mann-Kendall method

环湖分项	江苏	浙江	望虞河	太浦河	环太湖
入湖	4.816	-0.438	4.492		4.460
出湖	0.941	2.773	2.546	0.373	1.995

2.2.2 出、入湖水量突变趋势 1986—2017 年环太湖出、入水量序列经 Mann-Kendall 突变检验法和滑动 t 检验法综合分析表明(表 4),江苏、望虞河的年入湖水量在 20 世纪末 21 世纪初呈现突变增加趋势,浙江年入湖水量在 21 世纪初呈现突变减少趋势,总体来讲,环湖年入湖水量在 20 世纪 90 年代末期呈现突变增加趋势;江苏、浙江年出湖水量在 21 世纪初中后期呈现突变,望虞河在 20 世纪 90 年代末期呈现突变增加趋势,总体上环湖年出湖水量在 21 世纪初后期呈现突变增加趋势. 因此,环太湖及各地区的出、入湖水量突变主要集中在 1998—2008 年这十年间.

表 4 1986—2017 年出、入湖水量序列突变年

Tab.4 Mutation point of inflow and outflow from 1986 to 2017

环湖分项	江苏	浙江	望虞河	太浦河	环太湖
入湖水量	1998 年	2000 年	2002 年		1998 年
出湖水量	2007 年	2005 年	1998 年	1998 年	2008 年

2.2.3 出、入湖水量变化 出、入湖水量变化从两个方面衡量,一是“纵向”,即突变前后两阶段的水量增长率,二是“横向”,即地区增量占总增量的百分数,亦可理解为增长贡献率. 为直观比较地区出、入湖水量的相对变化,以环太湖突变点为断点,将入湖 1986—2017 年序列分为 1986—1997 年和 1998—2017 年两个阶段,出湖分为 1986—2007 年和 2008—2017 年两个阶段. 表 5 表明,环湖突变后较之前增加入湖水量 29.66 亿 m^3 ,其中江苏入湖增加最为显著,增长 53%,占总增量的 84%,浙江入湖减少 6%,望虞河增长率最大达 1745%,

表 5 环湖出、入湖水量增长率变化及地区贡献率

Tab.5 Increase rate and regional contribution rate of inflow and outflow of Lake Taihu

环湖分项		江苏	浙江	望虞河	太浦河	环太湖
入湖	增量/(亿 m^3)	24.81	-1.52	6.37	≈ 0.00	29.66
	增长率/%	53	-6	1745	3	41
	增长贡献率/%	84	-5	21	0	/
出湖	增量/(亿 m^3)	8.85	5.80	3.44	0.54	18.63
	增长率/%	31	26	44	2	21
	增长贡献率/%	48	31	18	3	/

占总增量的 21%; 出湖水量增加 18.63 亿 m^3 , 各地区均为增加趋势, 其中望虞河、江苏及浙江分别增长 44%、31% 和 26%, 分别占总增量的 18%、48% 和 31%, 太浦河出湖水量未见明显增加. 不难看出, 江苏入湖、出湖水量在“量”和“质”上均较突出, “纵向”增长率、“横向”增长贡献率均较大; 浙江入湖水量纵横两向均较小, 并无很大改变, 出湖水量增加较为明显; 望虞河入湖、出湖“纵向”增长率在地区中均最大, 但基数小, “横向”增长贡献率相对其他地区并不突出; 太浦河出湖没有较大变化.

3 讨论

3.1 出、入湖水量对太湖水位的影响

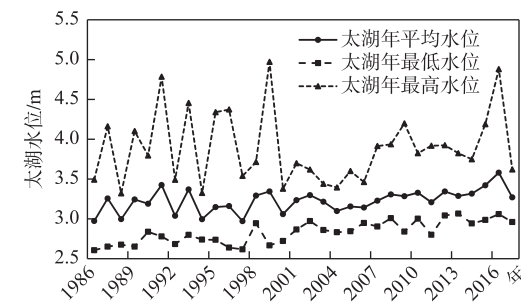


图 3 1986—2017 年太湖水位变化

Fig.3 Variation of water level of Lake Taihu from 1986 to 2017

表 6 太湖水位的变化趋势及突变检定

Tab.6 Variation trend and mutation point of water level of Lake Taihu

太湖水位	年平均水位	年最低水位	年最高水位
M-K 趋势检定值	2.708	4.654	0.762
趋势突变年	2007 年	2001 年	2000、2015 年
平均增加幅度/ m	0.15	0.22	/

表 7 环湖出、入湖水量影响因子检定

Tab.7 Influencing factors of inflow and outflow of Lake Taihu

影响因子	年降水量	沿江引水量 (江苏段)	杭长桥站出湖天数
M-K 趋势检定值	1.184	3.734	3.616
趋势突变年	2008 年	2002 年	2003 年
增长率/%	13	87	21

正在占据主导地位; 出湖水量总体上随着降水量的增加而增加, 1986—2007 年系列与 2008—2017 年系列并未出现明显分层 (图 4b), 且流域年降水量与出湖水量均在 21 世纪初后期呈增加趋势, 相较于入湖水量, 出湖水量的两个阶段变化不大, 但考虑到年降水呈现周期性的波动, 且增加趋势不显著, 尚不能认为在出湖水量发生显著变化过程中起主导作用.

3.2.2 工程调度 除降水因素外, 工程调度也是影响环湖出、入湖水量变化的重要因子, 工程调度包括“引江

环湖出、入湖水量变化直接影响太湖水位, 太湖水位是反映太湖流域防汛形势的重要指标, 也是防洪减灾调度和水资源调度的重要依据. 如图 3 和表 6 所示, 太湖年平均水位上涨趋势显著, 在 21 世纪初中后期呈现突变, 2007—2017 年系列较 1986—2006 年系列上涨了 0.15 m ; 太湖年最低水位上涨趋势显著, 突变点发生在 21 世纪初, 2001—2017 年系列较 1986—2000 年系列上涨了 0.22 m ; 太湖年最高水位未表现出明显的上涨趋势, 在 21 世纪初经历了由高转低的变化, 近几年呈现由低转高的趋势, 具有一定的周期性. 不难看出, 出、入湖水量变化对太湖年平均水位和年最低水位影响较大, 对年最高水位影响较小, 有效增加了太湖流域水资源供给, 提高了水资源和水环境的承载能力, 但未增加流域防洪压力.

3.2 出、入湖水量影响因素

环湖出、入湖水量影响因素众多, 客观上主要有降水和工程调度影响, 主观上又受监测技术和巡测方式变更影响. 本文尝试依据出、入湖水量的突变时间节点, 结合已有研究成果, 探讨导致各地区出、入湖水量改变的主要因素.

3.2.1 降水 对 1986—2017 年太湖流域年降水进行 Mann-Kendall 检验 (表 7), 年降水量呈增加趋势, 但趋势并不显著, 2008—2017 年较 1986—2007 年系列平均降水量多 150 mm , 增加了 13%.

由表 3、表 7 中分析结果可知, 入湖总量、出湖总量与流域年降水量均呈增加趋势. 入湖水量总体上随着降水量的增加而增加, 1998—2017 年系列与 1986—1997 年系列有明显分层 (图 4a), 两个系列平均降水量前者仅较后者偏多 5%, 但在相同降水下前者较后者入湖水量平均增加约 25.8 亿 m^3 , 占总增量超 80%, 从长期来看, 除降水外的因素对入湖水量变化的影响

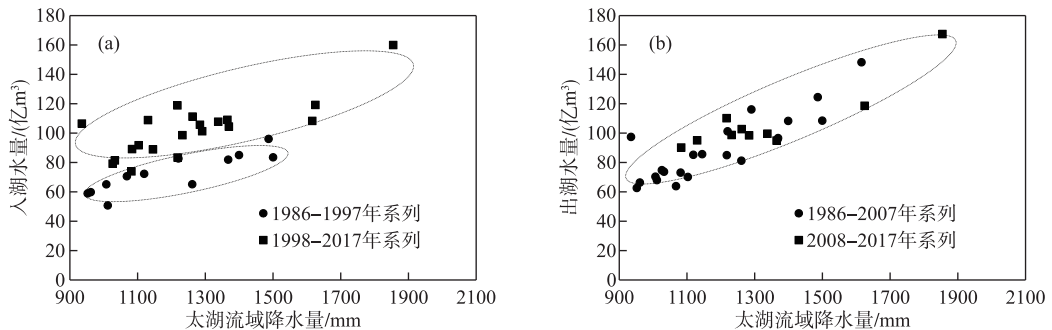


图4 太湖流域年降水量与入湖水量(a)和出湖水量(b)的关系

Fig.4 Relationship diagrams of annual precipitation of Taihu Basin with inflow (a) and outflow(b)

济太”调度、沿江口门引排水调度、圩区使用以及各地区闸泵运行等。

江苏年入湖水量在 20 世纪 90 年代末呈现突变增加趋势,主要是受 1999 年流域性特大洪水导致入湖水量激增影响。21 世纪第一个十年,流域降水总体偏枯^[19],江苏年出湖水量在这期间增加趋势不显著,但入湖水量在 21 世纪初仍保持了明显增加趋势。从研究空间、时间尺度及资料收集条件等方面综合考虑,本文选取了沿江口门引水量(江苏段)(1990—2017 年)进行分析(表 6),江苏入湖水量与沿江江苏段引水量的变化趋势、变化节点与变化幅度基本一致,是江苏地区入湖水量增加的重要因素,与文献^[20]研究基本一致。

浙江年入湖水量呈减少趋势,一方面由于杭嘉湖地区南排工程于 2000 年全面建成并运行,部分原本下泄太湖的水量经德清大闸和洛舍闸时被“拉向”嘉兴^[21];另一方面受“引江济太”影响,太湖水位抬高^[22],一定程度上顶托住浙江入湖水量^[23]。杭长桥基站位于湖州市东苕溪导流港与西苕溪交汇处,临近太湖,对上游浙西区来水及下游太湖水位变化较为敏感,是浙江地区出、入湖水量变化的重要表征之一。图 5 可看出,在上游浙西区降水相同情况下,杭长桥站 2000—2017 年系列较 1986—1999 年系列入湖水量减少,表明上游原本经杭长桥入湖的水量减少,与文献^[21, 23]研究一致。浙江年出湖水量在 21 世纪初中期呈现突变增加趋势,一方面,与入湖水量的变化原因相似,“引江济太”抬高了太湖水位,与河网地区形成水位差,原本入湖的河道逆流形成出湖^[23];另一方面,湖州长兜港、环城河拓浚工程于 21 世纪初中后期先后完成,进一步减缓了河道坡度,增加了经环城河的太湖回流量^[24]。从杭长桥站年出湖天数也可看出(表 7),杭长桥站出湖天数在 21 世纪初呈明显增加趋势,其变化趋势、变化节点、变化幅度与浙江地区基本一致,表明河道回水是浙江地区出湖水量增加的重要因素。

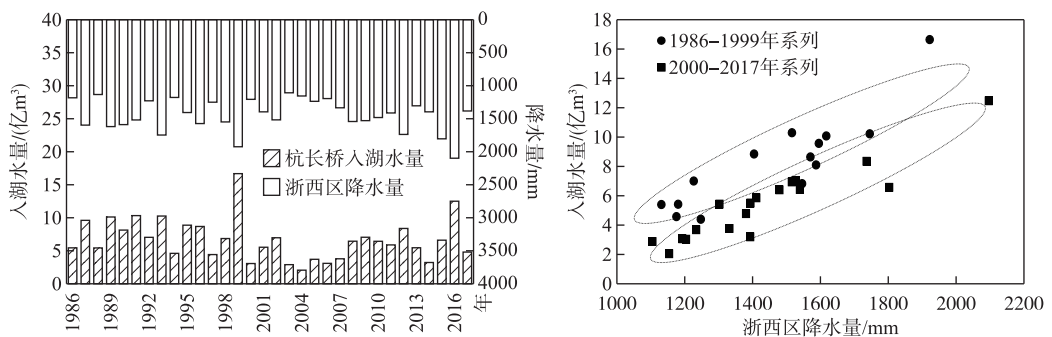


图5 杭长桥基站入湖水量与浙西区降水量对照图(a)和关系图(b)

Fig.5 Contrast (a) and relationship (b) diagrams of inflow of base station Hangchangqiao with precipitation in Zhexi area

望虞河入湖水量在 21 世纪初呈增加趋势,与 2002 年开始常态化实施的“引江济太”有密切关系^[25],出湖水量在 20 世纪 90 年代末期呈突变增加趋势与流域性特大洪水相关. 望虞河为“引江济太”主要引水河道,受工程调度影响很大,汛期以排水为主、非汛期以引水为主. 太浦河出湖变化不大,不再单独分析.

4 结论

1) 1986—2017 年,环湖年入湖水量增加趋势显著,在 20 世纪 90 年代末突变增加,其中江苏、望虞河在 20 世纪末 21 世纪初突变增加,浙江在 21 世纪初突变减少,但减小趋势不明显;环湖年出湖水量增加趋势显著,在 21 世纪初后期突变增加,其中浙江、望虞河出湖水量增加明显,分别在 21 世纪初中期和 20 世纪 90 年代末突变增加,江苏、太浦河出湖水量有增加趋势,分别在 21 世纪初后期和 20 世纪 90 年代末突变增加,但增加趋势不显著.

2) 环湖突变后较之前增加入湖水量 29.66 亿 m^3 ,出湖水量增加 18.63 亿 m^3 ;江苏入湖、出湖水量增长率、增长贡献率均较大,入湖水量分别为 53% 和 84%,出湖水量分别为 31% 和 48%;浙江入湖水量增长率与增长贡献率均较小,并无很大改变,出湖水量增加较为明显,增长率与增长贡献率分别为 26% 和 31%;望虞河入湖、出湖增长率在地区中均最大,但增长贡献率相对其他地区并不突出.

3) 出、入湖水量变化对太湖年平均水位和年最低水位影响较大,对年最高水位影响较小,年平均水位上涨 0.15 m,年最低水位上涨 0.22 m,有效提高太湖流域水资源量的同时未增加流域防洪压力.

4) 1986—2017 年太湖流域降水增加趋势不显著,其变化对出、入湖水量有一定影响,但长期来看,水利工程调度对出、入湖水量的影响逐渐占据主导作用. 沿江江苏段引水量是江苏入湖水量显著增加的重要原因,太湖水位抬升及浙江地区南排工程建设、河道拓浚导致了河道回水,是浙江年入湖水量减少、年出湖水量增加的重要原因.

本文讨论仅以地区出、入湖水量的突变时间节点为切入点,建议后期开展更为细致的研究分析,定量分析各影响因子的贡献率,为流域水资源优化配置和科学调度提供技术支撑.

5 参考文献

- [1] Han CL, Mao R. The structure characteristics and the functional variation of the river systems in Taihu Lake catchment. *J Lake Sci*, 1997, **9**(4): 300-306. DOI: 10.18307/1997.0403. [韩昌来, 毛锐. 太湖水系结构特点及其功能的变化. 湖泊科学, 1997, **9**(4): 300-306.]
- [2] Zhuang W, Pang Y. Water quantity exchanges between typical river network area and western Lake Taihu. *J Lake Sci*, 2006, **18**(5): 490-494. DOI: 10.18307/2006.0508. [庄巍, 逢勇. 西太湖湖滨典型河网区与太湖水量的交换. 湖泊科学, 2006, **18**(5): 490-494.]
- [3] Yan SW, Yu H, Zhang LL *et al.* Water quantity and pollutant fluxes of inflow and outflow rivers of Lake Taihu, 2009. *J Lake Sci*, 2011, **23**(6): 855-862. DOI: 10.18307/2011.0605. [燕姝雯, 余辉, 张璐璐等. 2009 年环太湖入出湖河流水量及污染负荷通量. 湖泊科学, 2011, **23**(6): 855-862.]
- [4] Shen JY, Gan SW, Chen R *et al.* Analysis of influencing factors of inflow and outflow around Taihu Lake and countermeasures. *Water Resources Protection*, 2011, **27**(6): 48-52. [申金玉, 甘升伟, 陈润等. 环太湖出、入湖水量影响因素分析及对策措施研究. 水资源保护, 2011, **27**(6): 48-52.]
- [5] Wen YH, Wang ZY, Dong JG. Preliminary study on changing condition for inflow and outflow of Taihu Lake. *Yangtze River*, 2014, **45**(1): 20-23. [闻余华, 王中雅, 董家根. 太湖入出湖水量变化情势及其原因初探. 人民长江, 2014, **45**(1): 20-23.]
- [6] Wu J, Hu Y, Wu J *et al.* Variation of water quantity into western area of Taihu Lake and influence factors. *Journal of China Hydrology*, 2016, **36**(3): 44-49. [吴娟, 胡艳, 武剑等. 太湖流域湖西区入湖水量变化及原因初步分析. 水文, 2016, **36**(3): 44-49.]
- [7] Lv ZL. Practice and thoughts on comprehensive treatment of water pollution in Taihu Lake. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2012, **40**(2): 123-128. [吕振霖. 太湖水环境综合治理的实践与思考. 河海大学学报: 自然科学版, 2012, **40**(2): 123-128.]
- [8] Li B, Li HY. The key points of the water allocation plan of Taihu and its innovation. *Water Resources Development Research*,

- 2018, **18**(6): 40-44. [李蓓, 李昊阳. 太湖流域水量分配方案的编制要点及其创新性. 水利发展研究, 2018, **18**(6): 40-44.]
- [9] Deng Y, Wu HY, Sun DY *et al.* Flood protection capacity analysis on levee of Taihu Lake. *China Flood & Drought Management*, 2015, **25**(5): 72-75. [邓越, 吴浩云, 孙大勇等. 环太湖大堤防洪能力浅析. 中国防汛抗旱, 2015, **25**(5): 72-75.]
- [10] Mao XW, Gao Y, Xu WD. Affect of tour hydrometric gauging method on water balance calculation for Taihu Lake. *Journal of China Hydrology*, 2006, **26**(5): 58-60. [毛新伟, 高怡, 徐卫东. 水文巡测方法对太湖水量平衡计算的影响分析. 水文, 2006, **26**(5): 58-60.]
- [11] Zhu DS, Wang C, Cheng XB eds. Planning theories and technologies of water resources protection. Beijing: China Water & Power Press, 2001. [朱党生, 王超, 程晓冰. 水资源保护规划理论及技术. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.]
- [12] Mann HB. Nonparametric test against trend. *Econometrica*, 1945, **13**: 245-259.
- [13] Ding LH, Xiao WG, Chen XH *et al.* Analysis of precipitation change trend in Binjiang River Basin. *Journal of China Hydrology*, 2014, **34**(5): 67-74. [丁华龙, 肖卫国, 陈晓宏等. 滨江流域降水时空演变规律分析. 水文, 2014, **34**(5): 67-74.]
- [14] Su XM, Liu ZH, Wei TF *et al.* Analysis of runoff variation and its causes in Jinghe Basin, Xinjiang. *Journal of China Hydrology*, 2016, **36**(5): 92-96. [苏向明, 刘志辉, 魏天峰等. 新疆精河径流变化及其原因分析. 水文, 2016, **36**(5): 92-96.]
- [15] Wei FY. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology. Beijing: China Meteorological Press, 1999. [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999.]
- [16] Fu CB, Wang Q. The definition and detection of abrupt climate change. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1992, **16**(4): 482-493. [符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法. 大气科学, 1992, **16**(4): 482-493.]
- [17] Zhang HR, Zhou JZ, Zeng XF *et al.* Inconsistency analysis of spatial and temporal evolution of precipitation and runoff in Jinshajiang River Basin. *Journal of China Hydrology*, 2015, **35**(6): 90-96. [张海荣, 周建中, 曾小凡等. 金沙江流域降水和径流时空演变的非一致性分析. 水文, 2015, **35**(6): 90-96.]
- [18] Zhang LR, Wang XZ, Wang GQ *et al.* Consistency and reliability analysis of hydrological sequence in environment change. *Journal of China Hydrology*, 2015, **35**(2): 39-43. [张利茹, 王兴泽, 王国庆等. 变化环境下水文资料序列的可靠性与一致性分析. 水文, 2015, **35**(2): 39-43.]
- [19] Wu HY, Wang YT, Hu QF *et al.* Tempo-spatial change of precipitation in Taihu Lake Basin during recent 61 years. *Journal of China Hydrology*, 2013, **33**(2): 75-81. [吴浩云, 王银堂, 胡庆芳等. 太湖流域61年来降水时空演变规律分析. 水文, 2013, **33**(2): 75-81.]
- [20] Mao XW, Lu MF, Jia XW *et al.* Analysis of pattern changes of water diversion from the Yangtze River and its impacts in the west area of Wangyu River in Taihu Lake Basin. *Water Resources Development Research*, 2010, **10**(9): 31-34. [毛新伟, 陆铭锋, 贾小网等. 太湖流域望虞河以西地区沿长江引水格局变化及其影响分析. 水利发展研究, 2010, **10**(9): 31-34.]
- [21] Hu YW. Analysis of the effects of water diversion works for water environment improvement in the Hangjiahu district [Dissertation]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010: 81-92. [胡尧文. 杭嘉湖地区引排水工程改善水环境效果分析[学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2010: 81-92.]
- [22] Gao Y, Mao XW, Xu WD. Analysis of the influence on the Taihu Lake and the area around diversion from the Yangtze River to the Taihu Lake. *Journal of China Hydrology*, 2006, (1): 92-94. [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. 水文, 2006, (1): 92-94.]
- [23] Wu YK, Tao YG, Wang HY. Analysis of the influence on Zhejiang of diversion from the Yangtze River to the Taihu Lake. *Zhejiang Hydrotechnics*, 2007, (6): 13-15, 18. [伍远康, 陶永格, 王红英. “引江济太”工程对浙江的影响分析. 浙江水利科技, 2007, (6): 13-15, 18.]
- [24] Lu QZ. Analysis on change of river channel into Taihu Lake and hydrological regime of Dongtiaoxi and Xitiaoxi. *Zhejiang Hydrotechnics*, 2011, (5): 6-9. [卢七召. 东西苕溪入湖河道的变迁与水文情势变化分析. 浙江水利科技, 2011, (5): 6-9.]
- [25] Wu HY. Study on key technologies of Yangtze- Taihu Water Diversion. *China Water Resources*, 2008, (1): 6-8. [吴浩云. 引江济太调水试验关键技术研究 and 应用. 中国水利, 2008, (1): 6-8.]