

环太湖出入湖水量变化探析

汪院生, 柳子豪, 展永兴, 张亚洲, 许 强

(江苏省太湖水利规划设计研究院有限公司, 江苏 苏州 215006)

摘要:基于1986—2018年期间环太湖水文巡测资料,分析了环太湖及主要水资源分区出入湖水量的时空变化趋势。研究表明,环太湖入湖水量历年变化整体呈增加趋势,在2007年前、后2个时期年均入湖水量增加了29.9亿 m^3 。太湖入湖水量增加主要集中在湖西区,浙西区入湖水量变化则相对稳定,但在年内水资源调度期时浙西区入湖水量表现出减少的趋势。受太湖水位上涨影响,环太湖出湖水量也表现出增加的趋势,这主要反映在流域下游的阳澄淀泖区和杭嘉湖区出湖水量的增加。此外,受供水调度影响,太浦河出湖水量也表现出增加的趋势,特别是在金泽水源地投入使用以后,水资源调度期太浦闸日均下泄流量增幅明显。

关键词:环太湖; 水量; 时空变化; 水资源

中图分类号:TV213.4

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)04-0014-0004

Analysis on the variation of water inflow and outflow of the Taihu Lake

WANG Yuansheng, LIU Zihao, ZHAN Yongxing, ZHANG Yazhou, XU Qiang

(Jiangsu Taihu Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Suzhou 215006, China)

Abstract: Based on the hydrological data around Taihu Lake from 1986 to 2018, the spatio-temporal variation of water inflow and outflow in Taihu Lake and main water resources zones were studied. The results show that the water inflow of Taihu Lake has increased significantly over the years, the average annual inflow increased by 2.99 billion cubic meters in two periods before and after the year 2007. The increase in the inflow of Taihu Lake was mainly concentrated in the western area of the lake, while the variation of inflow from the water resources zones of Zhexi was relatively stable, but the water inflow from the water resources zones of Zhexi showed a decreasing trend during the water resource dispatching period of the year. Affected by the rising water level of Taihu Lake, the outflow of Taihu Lake also showed an increasing trend, which was mainly reflected in the increase of outflow from the water resources zones of Yangchengdianmao and Hangjiahu in the lower reaches of Taihu basin. In addition, with the increasing water supply, the outflow of Taipu River also showed an increasing trend, especially after the water source of Jinze was put into use, the daily discharge of Taipu sluice increased significantly during the water resource dispatching period.

Key words: around Taihu Lake; quantity of water; spatio-temporal variation; water resource

太湖流域位于长江三角洲南翼,是我国经济最发达的地区之一。流域内水系以太湖为中心,分上游水系和下游水系两部分,上游主要为西部山丘区独立水系,包括苕溪水系、南溪水系和洮滬水系等;

下游水系主要为平原区河网水系,包括北部沿长江水系、南部杭嘉湖水系和东部黄浦江水系等。流域内上游来水经太湖调蓄后,北由望虞河等通江诸河入长江,东由太浦河入黄浦江,南由杭嘉湖诸河入

收稿日期:2022-01-21

基金项目:江苏省水利科技项目(2019007);江苏省水利科技项目(2020008)

作者简介:汪院生(1980—),男,高级工程师,硕士,主要从事水利规划工作。E-mail:417962702@qq.com

通信作者:柳子豪(1994—),男,工程师,博士,主要从事水利规划与水科学研究工作。E-mail:zihao2018@sina.com

钱塘江,因此太湖与周边河网水量交换频繁,是流域洪水和水资源调蓄的中枢,同时也是流域重要的水源地^[1]。

环太湖水文巡测工作可以追溯到20世纪20年代,但有考证的资料始于1966年,且在1986年之前,只在汛期开展水文巡测工作,之后才完整开展了全年的水文巡测工作。因此大部分围绕环太湖出、入湖水量变化的分析研究,重点关注1986年之后环太湖出、入湖水量的时空变化特征。而此前关于环太湖出、入湖水量变化的相关研究,大都是从全年角度进行的概括性分析,且主要是基于行政区划层面来分析不同省市间出、入湖水量的变化,其目的在于解决地区之间水资源分配上存在的矛盾,以期实现水资源的合理配置^[2-3]。而作为地处长三角一体化发展背景下的太湖流域,对水资源的统筹规划更应该从整体出发,基于水资源分区角度进行精细化分析,进而实现合理高效的水资源调度与配置。本次研究基于长时间序列(1986—2018年)的环太湖主要河道出、入湖水量资料,以水资源分区为研究对象,从全年与年内水资源调度期的角度进行对比分析,并选择“太湖水环境综合治理”工程启动的2007年为关键时间节点,对主要水资源分区出、入湖水量的时空变化规律与影响因素开展讨论研究,为流域水资源的合理调度与配置提供科学支持。

1 研究区域概况

作为典型的平原河网型湖泊,环太湖沿岸河道

(溇港)数量众多。周边河网的复杂性使得无法逐一布设驻测水文站点以控制出、入湖水量,结合平原河网地区水文工作的实际情况,目前环太湖水文巡测工作主要以基点站和巡测断面组成的水文驻测与巡测相结合的方式进行。截至2018年,环太湖巡测控制线共由10个巡测段和12个单站组成,共计130个进、出口门流量监测断面,形成闭合的环太湖巡测线。其中,按水资源四级分区原则进行划分,环太湖水文巡测线从长兴浙苏交界处按逆时针方向可依次划分为5个区域,分别是浙西区、杭嘉湖区、阳澄淀泖区、武澄锡虞区和湖西区。作为环太湖重要的骨干行洪、引水与供水通道,在本次研究中,将望虞河与太浦河的出、入湖水量进行单独计算。

2 入湖水量变化及成因分析

2.1 环太湖入湖水量

在1986—2018年期间,环太湖年均入湖水量为91.8亿 m^3 ,其中年最大入湖水量为2016年的159.9亿 m^3 ,年最小入湖水量为1986年的50.7亿 m^3 。从历年变化来看,环太湖入湖水量总体呈增加趋势。其中,以“太湖水环境综合治理”工程启动的2007年为时间节点,自2007年以来,入湖水量表现出明显增加的趋势,2007—2018年期间环太湖年均入湖水量为110.9亿 m^3 ,相较1986—2006年期间年均入湖水量增加29.9亿 m^3 ,增幅达37.0%(表1)。

水资源调度期,是指在保证流域内水利工程防

表1 不同阶段环太湖入湖水量统计

(单位:亿 m^3)

| 序列 | 数值类型 | 1986—2018年 | 以2007年为时间节点 | |
|--------|------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 1986—2006年 | 2007—2018年 |
| 全年 | 平均值 | 91.8 | 80.9 | 110.9 |
| | 最大值 | 159.9 (2016年) | 108.2 (1999年) | 159.9 (2016年) |
| | 最小值 | 50.7 (1986年) | 50.7 (1986年) | 88.9 (2007年) |
| 水资源调度期 | 平均值 | 52.5 | 52.5 | 52.6 |

洪安全的前提下,依据水资源配置原则,以尽可能满足用水需求为目标,利用水利设施进行水资源调度的时期。该时期环太湖多年平均入湖水量为52.5亿 m^3 ,占全年入湖水量的57.2%。从历年变化来看,环太湖水资源调度期内入湖水量表现出一定增加的趋势,但相对于全年入湖水量变化而言,增幅并不明显。以2007年为时间节点,在2007—

2018年期间环太湖水资源调度期内年均入湖水量为52.6亿 m^3 ,与1986—2006年期间水资源调度期年均入湖水量(52.5亿 m^3)相持平。

2.2 主要入湖水量来源

按水资源四级分区划分,在1986—2018年期间,根据各水资源分区年均入湖水量占比来看,环太湖入湖水量主要来源于湖西区与浙西区,分别占

入湖水量的54.0%与22.2%。

其中以2007年为时间节点,湖西区前后2个时期入湖水量占比增加显著,在1986—2006年期间,湖西区入湖水量占总入湖水量的46.6%;而在2007—2018年期间,湖西区入湖水量占比增加到总入湖水量的63.5%。浙西区入湖水量占比则略有减少,其中2007—2018年期间浙西区入湖水量占总入湖水量的20.7%,较1986—2006年期间减幅2.7%。

2.2.1 湖西区

湖西区多年平均入湖水量为49.6亿 m^3 ,最大入湖水量出现在2016年,最小入湖水量则出现在1986年。2007—2018年期间,湖西区入湖水量增加显著,较1986—2006年增加32.6亿 m^3 ,增幅达86.1%,是环太湖入湖水量增加的主要来源,湖西区入湖水量占全年入湖水量的比例也从1986—2006年的46.6%提高至2007—2018年的63.5%。这期间湖西区入湖水量的增加,与因下垫面变化而造成降水产生量的增加密切相关。在2007年之后,流域内城镇化进程的加快使得区域内不透水面积增加,这在客观上增大了径流系数,导致洪水总量增多,湖西区入湖水量也因此增加^[4]。

在年内水资源调度期,湖西区多年平均入湖水量为29.1亿 m^3 ,占湖西区年均入湖水量的58.7%。从历年变化来看,该时期湖西区入湖水量表现出显著增加的趋势,这主要是由于在“引江济太”工程启动以来,除个别丰水年份外,湖西区沿江各闸门主要功能转为以引水为主,主要发生在年内的水资源调度期。以工程启动的2002年为时间节点,在2002—2018年期间,湖西区水资源调度期年均入湖水量为35.2亿 m^3 ,较1986—2001年期间增幅达55.8%。

值得注意的是,在“引江济太”工程稳定运行后的2004—2018年期间,该时期湖西区水资源调度期内入湖水量变化相对稳定,多年平均入湖水量为34.9亿 m^3 ,但湖西区全年入湖水量整体仍表现出显著增加的趋势,这显示了该时期湖西区入湖水量的增量,更多是来自于年内其他时期入湖水量的增加。此外,相关研究表明,区域气候变化与各项水利工程建设运行,会使得湖西区入湖水量增加的同时,大大缩短湖西区降水汇入太湖的时间(降幅可达33.0%),这也进一步增加了流域的防洪风险^[5]。

2.2.2 浙西区

作为环太湖入湖水量的又一重要来源,浙西区

入湖水量的历年变化总体上相对稳定,多年平均入湖水量为20.4亿 m^3 ,占环太湖入湖水量的22.2%。随着雨情条件的变化,浙西区入湖水量也表现出年际间波动的特征。在发生流域性特大洪水事件的1999年和2016年,年内降水量都达到阶段性的峰值,这期间浙西区入湖水量也都超过了40亿 m^3 。值得注意的是,在1999年发生的流域性特大洪水事件中,浙西区入湖水量历史性地高于湖西区入湖水量,这主要是由于该年份的梅雨期暴雨主要集中在太湖南部地区,且湖西区在该时期增加了沿江排水力度以缓解防洪压力^[6]。而在2003年,年降水量仅为795 mm的特枯水年,浙西区年入湖水量也仅为10.0亿 m^3 ,这些都反映出浙西区入湖水量对降水事件的响应。

值得注意的是,在浙西区入湖水量历年变化相对稳定的同时,该水资源分区水资源调度期内入湖水量却表现出相对减少的趋势。在2007—2018年期间,浙西区水资源调度期内年均入湖水量仅为6.9亿 m^3 ,较1986—2006年降幅约21.6%。浙西区水资源调度期内入湖水量的减少,主要与下游太湖水位的抬升密切相关,在2002年“引江济太”工程常态化运行后,太湖年均水位控制在3.25 m左右,较之前时期水位抬升0.17 m,特别是在加大引水力度的水资源调度期,这期间湖水的顶托作用,会在一定程度上阻挡浙西区来水的入湖。

3 出湖水量变化及成因分析

3.1 环太湖出湖水量

近年来,随着环太湖入湖水量的大幅增加,太湖常水位随之抬高,出湖水量也相应地表现出增加的趋势^[7]。由不同阶段环太湖出湖水量统计(表2)可知,1986—2018年期间环太湖年均出湖水量为94.7亿 m^3 ,其中最大出湖水量发生在2016年,为167.3亿 m^3 ;最小出湖水量发生在1994年,仅为62.5亿 m^3 。以“太湖水环境综合治理”工程启动的2007年为时间节点,在2007—2018年期间,环太湖年均出湖水量为104.8亿 m^3 ,较1986—2006年期间增加15.8亿 m^3 ,增幅约18.0%。相对于入湖水量而言,出湖水量的变化幅度要略小。

年内水资源调度期内环太湖多年平均出湖水量为54.8亿 m^3 ,占年内出湖水量的55.6%。相对于年内出湖水量整体增加的变化趋势,水资源调度期内入湖水量的历年变化则表现出一定递减的趋势,在2007—2018年水资源调度期内年均出湖水量为

表2 不同阶段环太湖出湖水量统计

(单位:亿m³)

| 序列 | 数值类型 | 1986—2018年 | 以2007年为时间节点 | |
|--------|------|---------------|---------------|---------------|
| | | | 1986—2006年 | 2007—2018年 |
| 全年 | 平均值 | 94.7 | 89.0 | 104.8 |
| | 最大值 | 167.3 (2016年) | 148.1 (1999年) | 167.3 (2016年) |
| | 最小值 | 62.5 (1994年) | 62.5 (1994年) | 85.6 (2007年) |
| 水资源调度期 | 平均值 | 56.1 | 58.8 | 51.4 |

51.4亿m³,较1986—2006年降幅12.6%,这与水资源调度期内,为提高太湖水环境容量,改善太湖水环境而限制出湖水量的水利工程调控有关。

3.2 主要出湖水量分布

从各水资源分区出湖水量的多年平均值来看,在1986—2018年期间,环太湖出湖水量主要分布在太浦河、阳澄淀泖区与杭嘉湖区,分别占出湖水量的33.7%、19.5%与16.0%。

其中,太浦河出湖水量表现出减少的趋势,在1986—2006年期间,太浦河出湖水量占环太湖出湖水量的37.3%,而2007—2018年,太浦河出湖水量占比减少至28.5%。与之对应的是阳澄淀泖区、杭嘉湖区出湖水量占比的增加,2007—2018年阳澄淀泖区出湖水量占比为23.6%,较上一时期增幅6.8%。

3.2.1 阳澄淀泖区

从历年变化来看,阳澄淀泖区出湖水量表现出整体增加的趋势,其中在2007—2018年,年均出湖水量为24.7亿m³,较1986—2006年增幅65.0%。

作为流域下游重要的出湖区域,阳澄淀泖区主要承接胥湖、东太湖等太湖分属湖区的来水。2010年“东太湖综合整治”工程启动,工程主要内容包括疏浚行洪供水通道33.3 km,退圩还湖0.37万hm²,生态清淤22.99 km²等^[8]。工程于2013年基本完成,清退了大部分的围网养殖区,使得太湖湖区与阳澄淀泖区之间的行洪通道更为畅通,明显提高了东太湖防洪、行洪和水资源配置能力,从而也促使了阳澄淀泖区出湖水量的增加^[9]。

3.2.2 杭嘉湖区

在2002年“引江济太”工程常态化运行后,太湖水位出现抬升趋势,太湖常水位控制在3.25 m左右,较之前水位(3.08 m)抬高0.17 m,杭嘉湖平原年平均水位则在2.96 m左右。受太湖水位整体抬升的影响,湖水的顶托作用使得杭嘉湖区入湖水量减少,同时也使得杭嘉湖区出湖水量进一步增加(图1)。

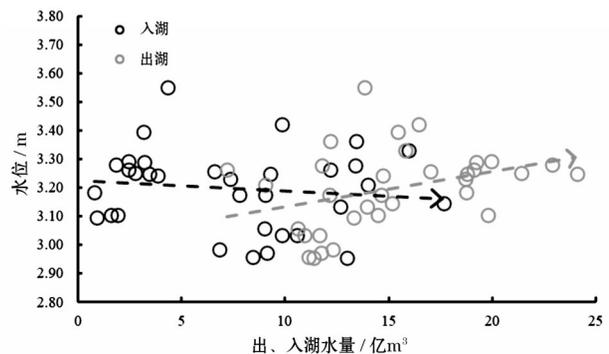


图1 杭嘉湖区出、入湖水量与水位变化关系

2007—2018年杭嘉湖区年均出湖水量为18.9亿m³,较1986—2006年增幅44.8%。此外,杭嘉湖平原地区农业灌溉的需求,也在一定程度上增加了对太湖的引水量,并进一步导致杭嘉湖区出湖水量的增加。

3.2.3 太浦河

作为环太湖重要的出湖通道,太浦河受到水利工程调度的严格控制,在“引江济太”工程实施后,太浦河上闸泵调度从原先的防洪调度为主,转为防洪、供水及保护水环境为一体的综合调度,这也增加了太浦河的出湖水量。太浦河出湖水量的整体增加,与为改善向黄浦江上游水源地供水水质而加大太浦闸下泄流量的水资源调度密切相关。由《太湖流域引江济太年报》可知,在2013年5月“太浦闸除险加固”工程建设完成后,至2016年4月1日,太浦闸已向下游增加供水34.8亿m³。随着太浦河金泽水源地于2016年12月开始投入使用,上海市、浙江省从太浦河取水规模进一步增加,供水范围也大幅扩大。2017—2020年太浦闸年均供水量为19.7亿m³,较2013—2016年涨幅75.0%。通过太浦闸供水量的增加,也体现在年内水资源调度期太浦闸日均下泄流量的变化上。在青浦金泽水库投入使用以来,2016—2020年期间,水资源调度期

(下转第56页)

- [11] 祝佳. Landsat8 卫星遥感数据预处理方法[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(2): 21-27.
- [12] ZHU Z, E WOODCOCK C, C HOLDEN, et al. Generating synthetic Landsat images based on all available Landsat data: Predicting Landsat surface reflectance at any given time[J]. Remote Sensing of Environment, 2015(162): 67-83.
- [13] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制[J]. 经济地理, 2015, 35(5): 148-154, 197.
- [14] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3311-3319.
- [15] 封建民, 郭玲霞. 陕西省神木县土地利用格局和生态系统服务价值变化[J]. 水土保持通报, 2014, 34(6): 293-298.
- [16] 张飞, 杨业惠, 冷燕燕. 洪泽湖周边地区生态系统服务价值对土地利用变化的响应[J]. 淮阴师范学院学报(自然科学版), 2013, 12(2): 149-153.
- [17] 戚丽萍, 闫丹丹, 李静泰, 等. 江苏省生态系统服务价值对土地利用/土地覆盖变化的动态响应[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2021, 57(2): 255-264.

(上接第 17 页)

太浦闸日均下泄流量为 109.1 m³/s, 较 2005—2015 年期间水资源调度期太浦闸日均下泄流量(55.4 m³/s) 增幅明显。

作为开放式、流动性、多功能为一体的水域, 太浦河水源地内水质会受到东太湖来水、周边地区支流汇入和潮汐等多方面因素的影响, 这需要对太浦闸下泄流量进行控制, 通过临时加大上游来水比例以改善水质。其中, 在 2019 年太浦河水水质预警联动机制运作下, 太浦河泵站就先后 6 次进行应急调度, 开启太浦河泵站进行应急供水, 年内总开泵时长 495.5 h, 最大单日供水流量约 250 m³/s, 总下泄流量达 1.1 亿 m³, 有效保障了长三角生态绿色一体化发展示范区饮用水安全。

4 结 语

(1) 环太湖入湖水量历年变化总体呈增加趋势, 其中在 2002 年前后, 汛期时环太湖入湖水量由降水主导为主, 逐渐转为受降水产流、沿江口门引水等多因素共同影响。而受太湖水位整体抬升影响, 环太湖出湖水量也表现出相应增加的趋势, 但相对于入湖水量而言, 出湖水量的变化幅度要略小。

(2) 在主要的入湖来源中, 湖西区入湖水量增加显著, 也是环太湖入湖水量增加的主要来源。湖西区入湖水量的增加, 与沿江口门引水量, 以及下垫面变化背景下降水产水量的增加密切相关。浙西区入湖水量历年变化相对稳定, 同时表现出随雨情条件变化的特征。而由于水资源调度期内引水量的增加而导致太湖水位上涨, 湖水的顶托作用也使得该时期浙西区入湖水量表现出减少的趋势。

(3) 在主要的出湖来源中, 流域下游的阳澄淀泖区、杭嘉湖区出湖水量增幅明显, 这主要是由于入湖水量增加背景下太湖常水位的抬升, 以及东太湖综合整治工程等一系列水环境治理相关工程的建设实施。受水资源调度与供水量变化影响, 太浦河出湖水量也表现出整体增加的趋势, 特别是在青浦金泽水源地投入使用以来, 该时期太浦闸年均供水量和水资源调度期内日均下泄流量均涨幅明显。

参考文献:

- [1] 张劲松, 张春松, 宋玉, 等. 2016 年江苏太湖及秦淮河防汛抗洪调度[M]. 南京: 河海大学出版社, 2018.
- [2] 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.
- [3] 林鹏, 陈启慧, 李琼芳, 等. 环太湖各水资源分区入出湖水量及贡献分析[J]. 水资源保护, 2021, 37(3): 66-73.
- [4] 詹道江, 徐向阳, 陈元芳. 工程水文学[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- [5] 吴娟, 林荷娟, 季海萍, 等. 城镇化背景下太湖流域湖西区汛期入湖水量计算[J]. 水科学进展, 2021, 32(4): 577-586.
- [6] 吴浩云, 徐洪, 张怡. 1999 年太湖流域特大洪水防御工作的回顾与思考[J]. 中国水利, 2009(19): 35-38.
- [7] 曹菊萍, 李昊洋, 彭焱梅, 等. 太湖流域重要河湖河道内年度水量分配拟定初步探索[J]. 中国水利, 2019(5): 13-15, 21.
- [8] 戴锦明, 叶磊. 苏州东太湖综合整治工程情况及综合效益分析[J]. 江苏水利, 2015(1): 3-4.
- [9] 殷鹏, 张建华, 华萍. 改善东太湖水环境的水工程措施研究[J]. 江苏水利, 2019(7): 1-4, 8.