

浙江省出入太湖河道水量水质及污染物通量变化(2007—2019年)*

何锡君^{1**}, 孙英军^{1,2}, 王 贝¹, 姚岳来¹, 陈革强¹, 吴珍梅¹, 王 冬²

(1: 浙江省水文管理中心, 杭州 310009)

(2: 浙江水文新技术开发经营公司, 杭州 310009)

摘 要: 自2007年太湖无锡水危机事件后,太湖流域内各项水污染防治工作进入快车道,近年来浙江省持续开展水环境治理,针对不同污染源进行分类施策、精准治理,整体水环境质量得到了显著改善. 本文根据2007—2019年浙江省环太湖水文巡测资料及主要出入太湖河道水质监测成果,全面分析了出入湖河道的水量、水质及污染物通量的时空变化趋势. 结果表明,2007—2019年浙江省年均入湖水量为27.39亿m³,年均出湖水量为26.42亿m³,环湖河道进出水量在2007—2014年以出湖为主,2015—2019年以入湖为主,2015—2019年入湖水量增加受该时段地区降水量较丰的影响. 2007—2019年浙江省环湖河道COD_{Mn}、NH₃-N和TP浓度呈明显下降趋势,TN浓度有所下降,除TN仍处于V~劣V类水外,其余指标已处于II~III类水标准,当前环湖河道的COD_{Mn}和NH₃-N指标已达到《太湖流域水环境综合治理总体方案(2013年修编)》提出的目标值,但TN和TP浓度仍存在较大差距. 浙江省环湖河道年平均COD_{Mn}、NH₃-N、TP和TN入湖通量分别为1.12万、0.18万、0.03万和0.90万t,出湖通量分别为1.13万、0.10万、0.03万和0.62万t,环湖河道除COD_{Mn}以净出湖通量为主外,其余指标均以净入湖通量为主,存在一定入湖滞留,其中水量是影响入湖通量的关键因子.

关键词: 污染物通量;水量;水质;浙江省;太湖

Variation of water quantity, quality and pollutant flux of inflow and outflow rivers to Lake Taihu in Zhejiang Province, 2007–2019*

He Xijun^{1**}, Sun Yingjun^{1,2}, Wang Bei¹, Yao Yuelai¹, Chen Geqiang¹, Wu Zhenmei¹ & Wang Dong²

(1: Zhejiang Hydrological Management Center, Hangzhou 310009, P.R.China)

(2: Zhejiang Hydrographic Technology Development and Operation Company, Hangzhou 310009, P.R.China)

Abstract: Since the Wuxi water crisis in Lake Taihu in 2007, the prevention and control of water pollution in Taihu Basin has drawn attention from the government. In recent years, Zhejiang Province has continued to take measures, i.e. classifying different sources of pollution, treating accurately sewage waste water, to improve the overall water environment quality. Based on the hydrological survey data of Lake Taihu in Zhejiang Province from 2007 to 2019 and the water quality monitoring results of the main inflow and outflow rivers of Lake Taihu, this paper comprehensively analyzes the temporal and spatial variation trend of water quantity, water quality and pollutant flux in and out of Lake Taihu. The results show that the average annual inflow and outflow of Lake Taihu in Zhejiang Province are 2.739 billion m³ and 2.642 billion m³, respectively. During 2007–2014, the net flow from the rivers are positive from 2007 to 2014, and negative from 2015 to 2019. The main reason for the increase of inflow from 2015 to 2019 is due to the influence of abundant precipitation. From 2007 to 2019, the concentrations of COD_{Mn}, NH₃-N and TP in the rivers around the lake in Zhejiang Province showed a significant downward trend, while the concentration of TN decreased. Except TN was still in the class V-inferior to class V water, the other indicators were in the class II–III according to the national water quality standard. At present, the COD_{Mn} and NH₃-N concentrations of the rivers around the lake have reached the target proposed in the overall plan for comprehensive water environment management of Taihu Basin (revised in 2013), while some water quality indexes of the rivers around the lake remains to be ameliorated, such as TN and TP concentrations. The annual average influxes of COD_{Mn}, NH₃-N, TP and TN are 11200, 1800, 300 and 9000 t, respectively, and the outfluxes of them are 11300, 1000, 300 and 6200 t, respective-

* 2021-01-14 收稿;2021-04-25 收修改稿.

** 通信作者;E-mail:swjhxj@163.com.

ly. The net fluxes of COD_{Mn} are positive (outflow>inflow), while the other indexes show negative (inflow>outflow) in most years. The water quantity is the key factor affecting the flux into the lake.

Keywords: Pollutant fluxes; water quantity; water quality; Zhejiang Province; Lake Taihu

太湖流域位于长江三角洲南翼,地跨浙、苏、沪、皖三省一市,总面积约 3.69 万 km^2 ,2019 年流域内 GDP 占全国 9.8%,人均 GDP 达 15.7 万元,是我国经济最发达的地区之一,由于流域内人口、产业、经济要素高度集中,导致水资源开发利用强度大,水污染治理持续面临较大压力^[1-3].太湖作为流域内重要的淡水资源,同时也是区域内多个大中型城市的重要水源地,其水环境安全问题一直是各方关注的焦点.自 2007 年无锡水危机事件后,流域内各项水污染防治工作进入快车道,近年来太湖湖体及环湖河道的氮、磷污染物浓度下降趋势明显,水环境质量趋于好转,但与控氮、控磷的总目标相比,污染负荷压力仍超过其承载能力^[4-6].对于湖泊水质管理而言,陆源污染物随河道输入是造成湖体水质恶化及生态系统受损的重要原因,因此研究主要入湖河道污染物变化的时空规律,对于湖体污染治理工作具有十分重要的意义^[7-8].目前针对太湖入湖河道污染物变化特征已有大量研究,主要集中在出入湖污染物通量^[9-11]、污染物输移速率^[12]、入湖河道水质与湖体水质的响应关系^[13]等方面,研究范围主要位于太湖流域江苏片区,而针对太湖流域浙江片区的研究相对较少^[14-16],尤其是缺少 10 年以上长时间序列的浙江片区出入太湖河道水量、水质及污染物通量方面的分析.

太湖流域浙江片区位于浙江省北部、太湖流域的南部,总面积约 1.22 万 km^2 ,是太湖流域重要的组成部分之一,也是浙江省落实长三角一体化发展国家战略的重要桥头堡.近年来浙江省全面实施“五水共治”,先后推进“清三河”、剿灭劣 V 类水、污水“零直排区”三大战役,区域整体水环境质量得到了显著改善^[17-18].太湖流域浙江片区主要水系包括长兴水系、苕溪水系(东、西苕溪)、湖州河网、京杭运河和嘉兴河网等 6 块,其中与太湖水量交换密切的水系包括长兴水系、苕溪水系及湖州东部平原河网.本文根据浙江省环太湖历年水文巡测资料及主要环湖河道水质监测成果,深入分析了 2007—2019 年浙江省出入太湖水量、水质及污染物通量的时空变化规律及其影响因素,以期“十四五”期间太湖水体水质改善和环湖地区持续、精准治污提供技术支撑.

1 数据与方法

1.1 水量及水质站点

浙江省环太湖水文巡测自 1966 年开始,1994 年停止巡测,2001 年 6 月又恢复巡测,巡测线西起夹浦大乌桥,东至南浔鼓楼桥,全长约 70 km.为了更全面地控制出入湖水量,巡测站点历年来有所调整,当前出入太湖巡测线的水量主要通过长兴(二)、杨家埠、杭长桥、城北闸、幻溇 5 个基点站和长兴(二)、幻溇基点站与其 12 个巡测站的准同步监测两部分组成,主要控制长兴水系(长兴巡测段控制)、西苕溪水系(主要由基点站杨家埠控制)、东苕溪水系(主要由杭长桥和城北闸控制)以及东部河网(幻溇新桥巡测段控制)4 个区块的水量,环太湖河道水质监测断面设置基本与水文巡测线保持一致(图 1).

1.2 水量及水质监测项目

水量监测项目包括水位、流量和流向,监测频次根据水文部门利用巡测资料推算出入湖水量的需要进行确定,其中基点站的流量测验为逐日测量;巡测站点的流量测验每月至少 1 次且每年不少于 20 次,测次考虑河道不同水位的均匀分布,以便于建立巡测段与基点站的推流关系.水质监测项目为高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮,均采用国家标准分析方法测定:高锰酸盐指数采用酸性高锰酸钾法(GB/T 11892—1989)测定,氨氮浓度采用纳氏试剂分光光度法(HJ 535—2009)测定,总氮浓度采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ 636—2012)测定,总磷浓度采用钼酸铵分光光度法(GB/T 11893—1989)测定,监测频次基点站按照每月上、中、下旬各一次监测,其他河道断面监测频次基本为每月一次.

1.3 污染物通量估算方法

污染物通量的估算方法较多^[19],考虑到浙江省环太湖河道流向顺、逆不定和水质资料监测频次基本为每月一次的实际情况,本次污染物通量的估算方法与参考文献中报道的方法一致^[15-16],根据环太湖河道年

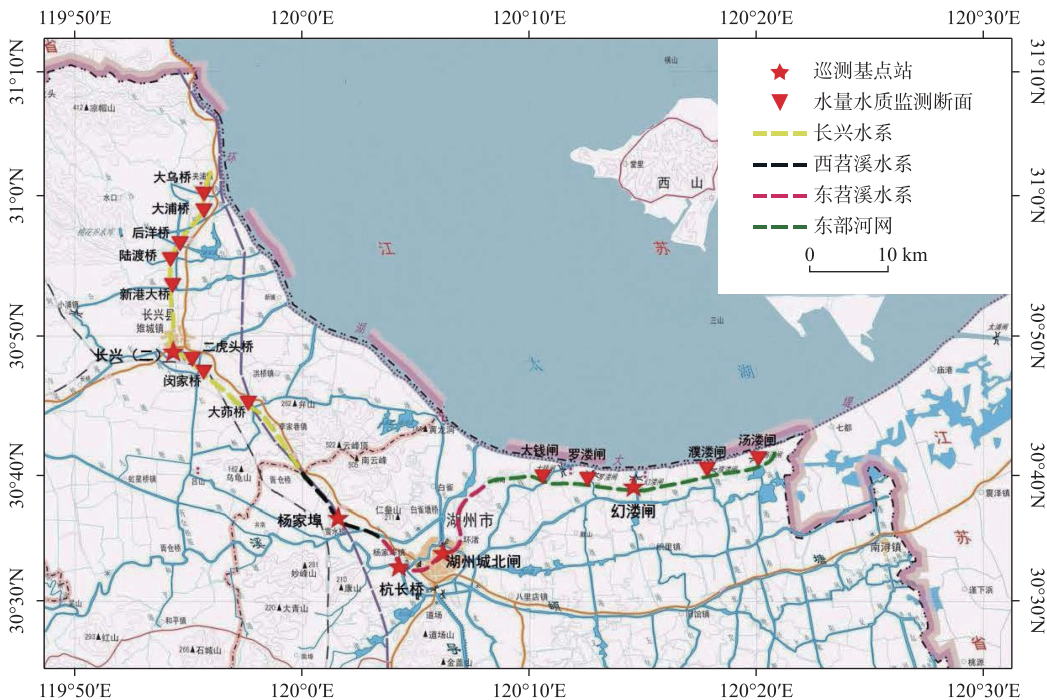


图 1 浙江省环太湖水量水质监测断面分布

Fig.1 Distribution of the monitoring sites of the water quality and quantity of the rivers surrounding Lake Taihu in Zhejiang Province

内逐月出入太湖水量和河道水质污染物月平均浓度,分别估算逐月出入太湖主要污染物通量,得到环湖河道历年出入太湖主要污染通量。

1.4 降雨量和水位计算方法

湖州地区年平均降水量基于区域内 43 个雨量站点,采用面积加权法计算而得,太湖年平均水位为望亭、洞庭西山、夹浦、小梅口、大浦口 5 站的算术平均水位,本研究采用的数据来自浙江省水文年鉴,所有数据均经过省市水文部门共同校核,质量可靠。

2 结果与分析

2.1 出入湖水量

2007—2019 年浙江省年平均入湖水量为 27.39 亿 m^3 ,年最大入湖水量是年最小入湖水量的 2.99 倍;年平均出湖水量为 26.42 亿 m^3 ,年最大出湖水量是年最小出湖水量的 1.89 倍。2007 年以来,浙江省入湖水量年际变化总体上大于出湖水量,按时段分析,其中 2007—2014 年出入湖水量变化相对平稳,水量以出湖为主,年平均出湖水量 29.22 亿 m^3 ,年平均入湖水量 23.15 亿 m^3 ;2015—2019 年出入湖水量波动较大,水量以入湖为主,年平均入湖水量 35.60 亿 m^3 ,年平均出湖水量 21.95 亿 m^3 。2007—2019 年浙江省出入湖水量变化趋势见图 2。2007—2019 年浙江省多年逐月平均入湖水量年内分配非常不均,入湖水量主要集中在 3 月和 6—8 月;而出湖水量年内分配相对均衡,一般在 7—10 月有所增加。多年逐月平均出入湖水量占比见图 2。

2007—2019 年浙江省环湖河道所在不同区块出入湖水量存在明显差异,其中环太湖西南部的长兴水系和西苕溪水系水量以净入太湖为主;东部平原河网水量以净出太湖为主;东南部的东苕溪水系水量除 2016、2018、2019 年以净入太湖为主外,其余年份以净出太湖为主。从各区块入湖水量占比来看,西苕溪水系入湖水量占比最高,约为 40%,近年来呈下降趋势;东部河网入湖水量占比最低,约为 10%,近年来呈上升趋势;

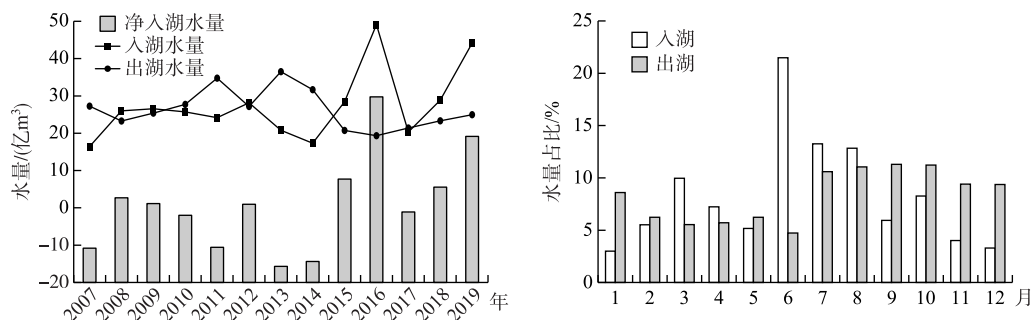


图2 浙江省出入太湖水量变化趋势及多年平均年内分配比例

Fig.2 Variation trend of water quantity in and out of Lake Taihu in Zhejiang Province and annual average distribution ratio

长兴水系和东苕溪水系入湖水量变化相对平稳,占比均在 20%~30%之间。从各区块出湖水量占比来看,东部河网出湖水量占比最高,在 40%~60%之间,近年来还有上升趋势;东苕溪水系出湖水量占比次之,在 30%~50%之间,近年来呈下降趋势;西苕溪和长兴水系出湖水量占比较小,均在 5%以下。浙江省历年不同区块出入太湖水量及比例变化见图 3。

2.2 环太湖河道水质

2007—2019 年浙江省环湖河道所在不同区块 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 TN 的年平均浓度如图 4 所示。除 TN 外,环湖河道其余 3 类污染物浓度在 2007—2019 年间呈明显下降趋势。按照我国《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中河流水质标准进行评价,近几年,环湖河道除 TN 浓度仍处于 V~劣 V 类外,其余 3 类污染物的浓度基本处在 II 类水标准附近。从 COD_{Mn} 的浓度变化来看,2007—2019 年在 4 个区块河道均低于 III 类水标准,尤其是自 2016 年以来西苕溪、东苕溪水系和东部河网的 COD_{Mn} 浓度已稳定在 II 类水标准以下。从 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化来看,长兴水系在 2016 年之前在 IV~劣 V 类之间波动,2016 年之后稳定在 II~III 类之间;西苕溪水系自 2008 年后在 II~III 类之间,且保持稳中有降趋势,2016 年之后已低于 II 类水标准;东苕溪和东部河网 2007—2019 年基本保持在低于 II 类水标准。从 TP 浓度变化来看,长兴水系在 2014 年之前在 III~IV 类之间波动,之后在 II~III 类之间,且呈逐年下降趋势;西苕溪、东苕溪水系和东部河网在 2011 年之前均处于 II~III 类水标准之间,2011 年之后浓度下降至 II 类水标准附近。从 TN 浓度变化来看,长兴水系虽然一直为劣 V 类,但浓度下降趋势明显,其 2019 年比 2007 年下降了 42%;东苕溪、西苕溪水系和东部河网浓度变化较为平稳,其中东苕溪和西苕溪水系的 TN 浓度在 2.5~3.5 mg/L 之间,东部河网的 TN 浓度基本在 2.0 mg/L 附近。

2007—2019 年的水质监测数据表明,浙江省环湖河道水环境质量得到了显著改善,尤其是水量以入太湖为主的湖州西部长兴水系。根据文献报道,湖州西部长兴水系的水质多年来一直要劣于中部东西苕溪水系和东部平原河网^[5,14]。近年来随着各项水环境治理工作的持续深入推进,从 2016 年以来的主要污染物数据表明长兴水系的主要污染物水质类别已接近东西苕溪水系及东部平原河网。

2.3 出入湖污染物通量

根据浙江省环湖河道的水量及水质数据,计算污染物在各月份通过各河流出入湖的通量,得到历年主要污染物通量变化趋势(图 5)。2007—2019 年浙江省环湖河道 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN 年平均入湖通量分别为 1.12 万、0.18 万、0.03 万、0.90 万 t,年平均出湖通量分别为 1.13 万、0.10 万、0.03 万、0.62 万 t。从净入湖通量历年变化来看,除 COD_{Mn} 以净出湖通量为主外,其余 3 种污染物均以净入湖通量为主,存在较为明显的入湖滞留。从入湖通量变化来看,2007—2014 年间 COD_{Mn} 和 TN 入湖通量波动较小, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 入湖通量呈一定的下降趋势;2014—2019 年间 4 种主要污染物的入湖通量均有不同程度的上升。从出湖通量变化来看,2007—2019 年间 COD_{Mn} 和 TN 出湖通量波动较小, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 出湖通量呈明显的下降趋势。

2007—2019 年浙江省环湖河道入太湖污染物通量比例见图 6。从区块上来看,西苕溪和长兴水系是入

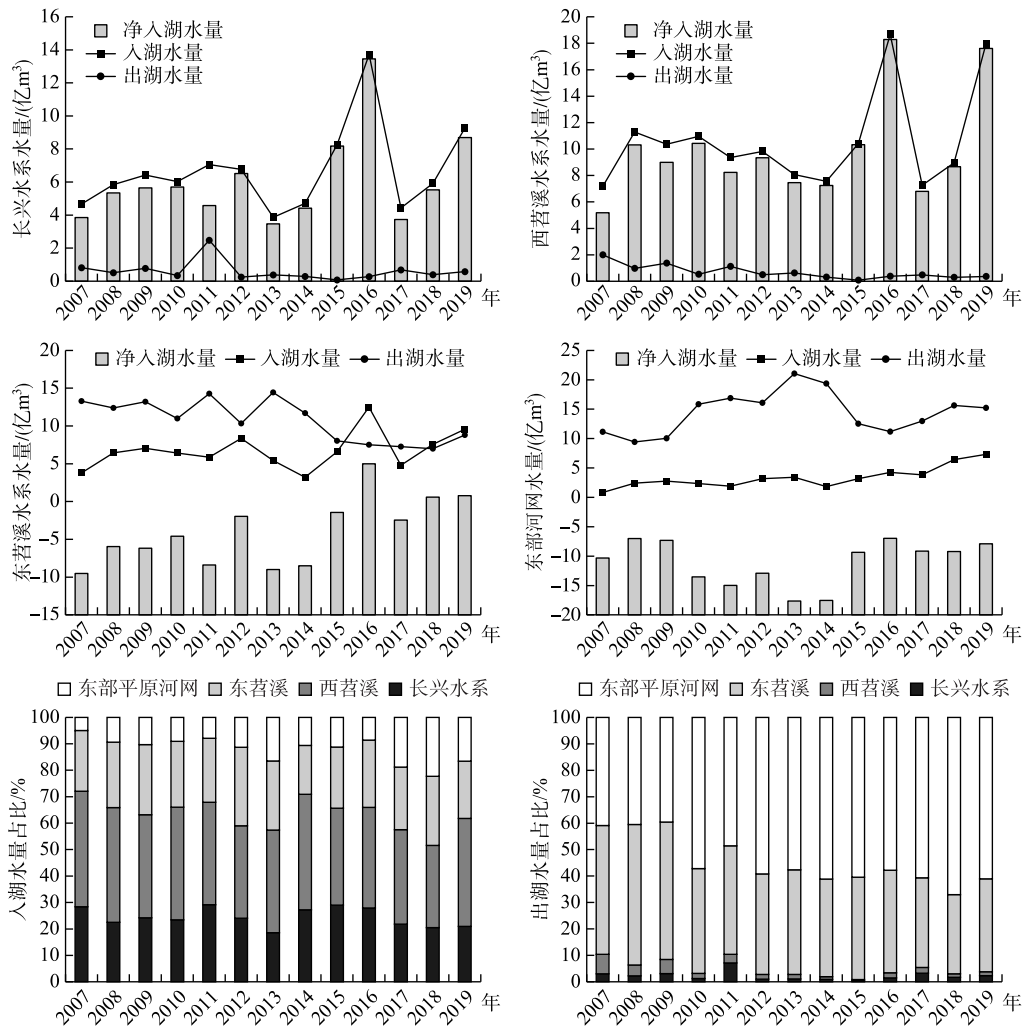


图3 2007—2019年浙江省不同区块出入太湖水量及比例变化趋势

Fig.3 Variation trend of water quantity and proportion in and out of Lake Taihu in different areas of Zhejiang Province from 2007 to 2019

湖污染物通量的主要贡献者,两者入湖通量的占比保持在 2/3 以上,其中 COD_{Mn} 和 TN 通量的年均入湖比例在西苕溪水系最高,分别为 36.4% 和 38%; $\text{NH}_3\text{-N}$ 通量的年均入湖比例在长兴水系最高,年均比例为 39.4%; TP 通量的年均入湖比例在西苕溪和长兴水系接近,均在 33% 左右. 从总体趋势上看,不同区块污染物入湖通量各自占比的差距在不断缩小,例如长兴水系 COD_{Mn} 的入湖通量占比由 2007 年的 33.0% 下降至 2019 年的 23.0%,东部河网由 2007 年的 5.8% 上升至 2019 年的 17.4%;西苕溪水系 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的入湖通量占比由 2007 年的 45.6% 下降至 2019 年的 32.7%,东苕溪水系由 2007 年的 7.1% 上升至 2019 年的 21.8%.

2007—2019 年浙江省环湖河道出太湖污染物通量比例见图 7. 从区块上来看,东部河网和东苕溪水系是出湖污染物通量的主要贡献者,两者出湖通量的占比保持在 4/5 以上,其中 COD_{Mn} 和 TP 通量的年均出湖比例为东部河网最高,分别为 56.2% 和 51.6%; $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 通量的年均出湖比例也是东部河网最高,分别为 46.3% 和 48.5%. 从总体变化趋势上看,不同区块污染物出湖通量各自占比的差距在不断扩大,例如东部河网 COD_{Mn} 的出湖通量占比由 2007 年的 40.3% 上升至 2019 年的 61.6%,西苕溪水系由 2007 年的 6.8% 下降至

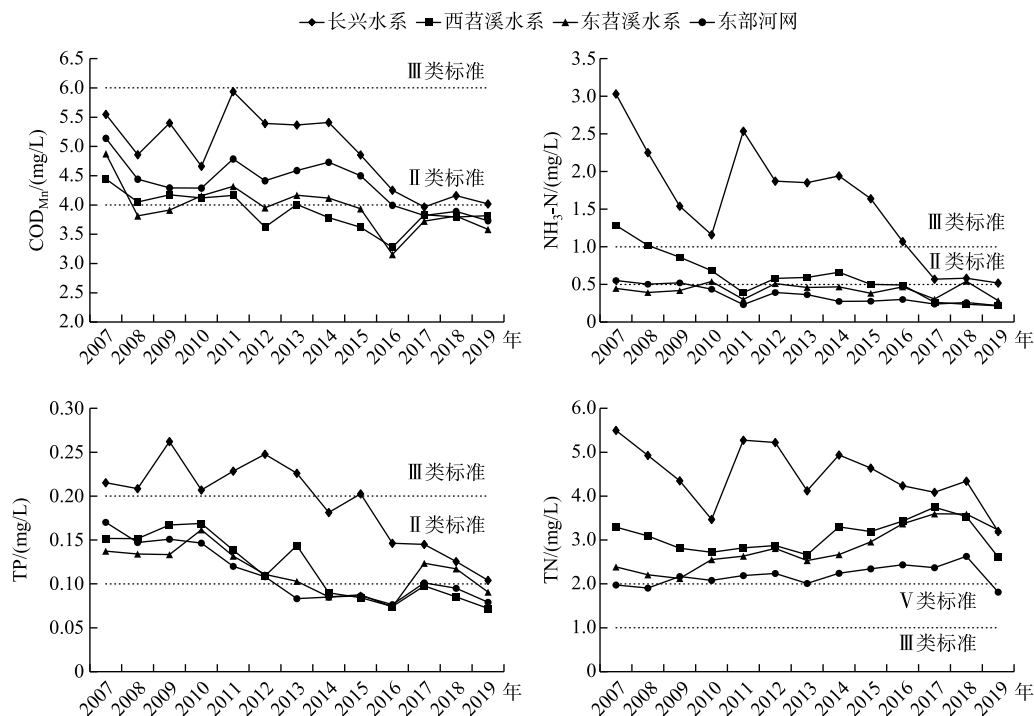


图 4 2007—2019 年浙江省环太湖河道不同区块主要污染物逐年平均浓度的变化

Fig.4 Annual average concentration changes of main pollutants in different areas around Lake Taihu in Zhejiang Province from 2007 to 2019

2019 年的 1.6%; 东苕溪水系 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的入湖通量占比由 2007 年的 31.0% 上升至 2019 年的 40.8%, 长兴水系由 2007 年的 17.0% 下降至 2019 年的 4.1%。

3 讨论

3.1 出入湖水量变化与影响

2007—2019 年浙江省环太湖河道出入湖水量和湖州地区降水量及太湖平均水位变化趋势见图 8。总体上 2007—2014 年出入湖水量、降水量及太湖平均水位变化相对平稳, 2015—2019 年出入湖水量、降水量及太湖平均水位变化较大。根据相关性分析, 浙江省入湖水量与降水量及太湖水位均呈正相关关系 ($r=0.811$, $r=0.682$), 表现为降水量越大, 入湖水量越大, 太湖平均水位越高; 而出湖水量与太湖水位呈负相关关系 ($r=-0.710$), 表现为出湖水量越大, 太湖平均水位越低。根据文献报道, 浙江环湖河道的出入湖水量主要取决于上游地区来水和下游太湖水位, 2002 年太湖流域“引江济太”工程实施前浙江省环湖河道水量以入湖为主, 太湖年平均水位基本控制在 3.08 m 左右, 2002 年工程常态化运行后太湖年平均水位控制在 3.25 m 左右, 水位提高 17 cm, 杭嘉湖平原年平均水位在 2.96 m 左右, 由于受太湖水位顶托, 浙江省环湖河道水量自 2002 年后总体以出湖为主^[20-22]。根据浙江水文年鉴的数据统计, 湖州地区多年平均降水量为 1389.4 mm (1956—2016 年), 2007—2014 年平均降水量为 1406.9 mm, 较多年平均偏多 1.3%; 而 2015—2019 年平均降水量为 1659.2 mm, 较多年平均偏多 19.4%, 尤其是 2016 年降水量较多年平均偏多 47%, 地区降水量的明显增加是导致 2015—2019 年时段入湖水量增加、出湖水量减少的重要原因。2007—2014 年太湖平均水位为 3.26 m, 与“引江济太”工程运行控制水位 3.25 m 基本一致, 这一时段浙江省环湖河道水量总体上以出湖为主, 与前述文献结论一致; 2015—2019 年太湖平均水位为 3.37 m, 超过控制线 11 cm, 这一时段流域内出现了多次较大的洪水过程, 环湖河道水量以入湖为主, 太湖充分发挥了调蓄洪水的作用。

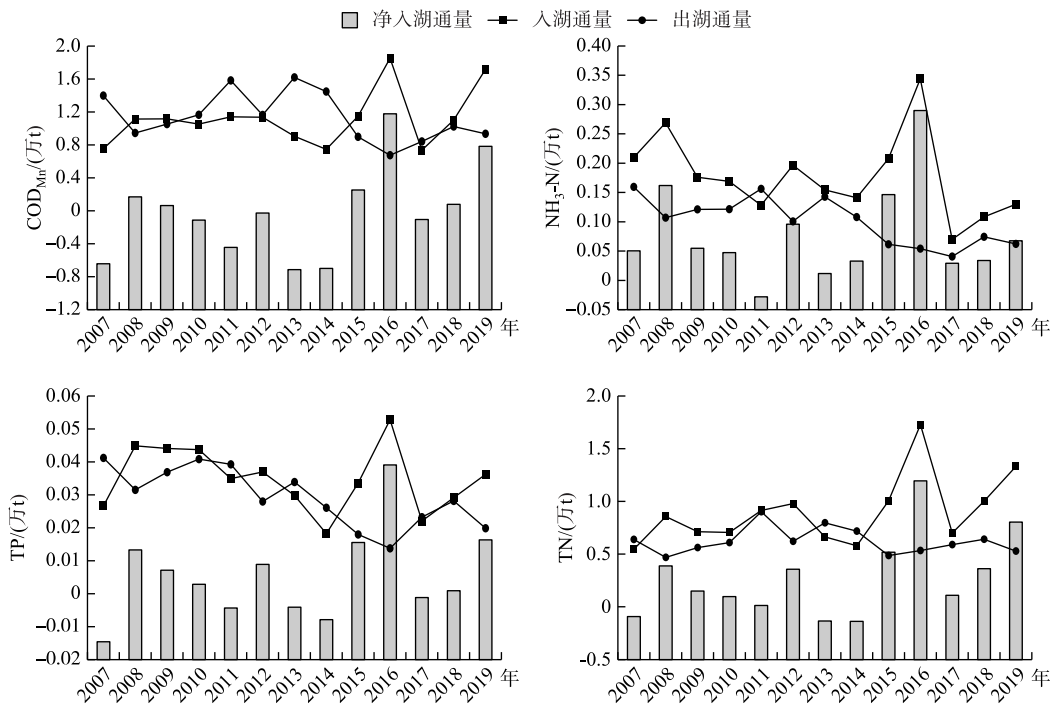


图 5 2007—2019 年浙江省环太湖河道污染物通量的变化趋势

Fig.5 Variation trend of pollutant fluxes of rivers around the Lake Taihu in Zhejiang Province from 2007 to 2019

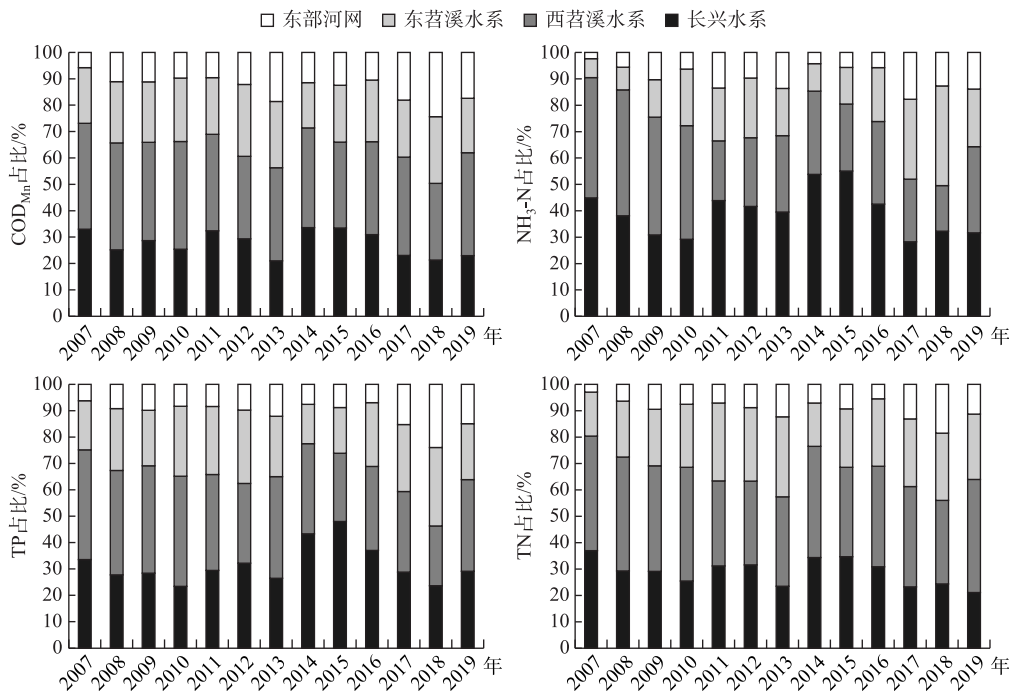


图 6 2007—2019 年浙江省不同区块入太湖污染物通量比例

Fig.6 The proportion of pollutant flux into Lake Taihu in different areas of Zhejiang Province from 2007 to 2019

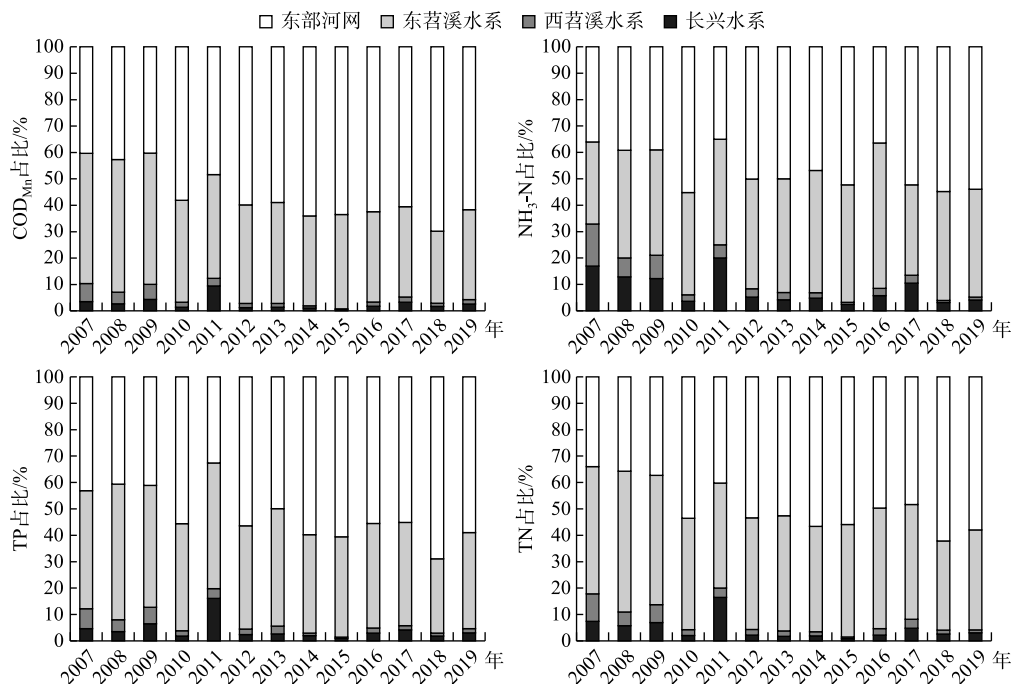


图 7 2007—2019 年浙江省不同区块出太湖污染物通量比例

Fig.7 The proportion of pollutant flux out of Lake Taihu in different areas of Zhejiang Province from 2007 to 2019

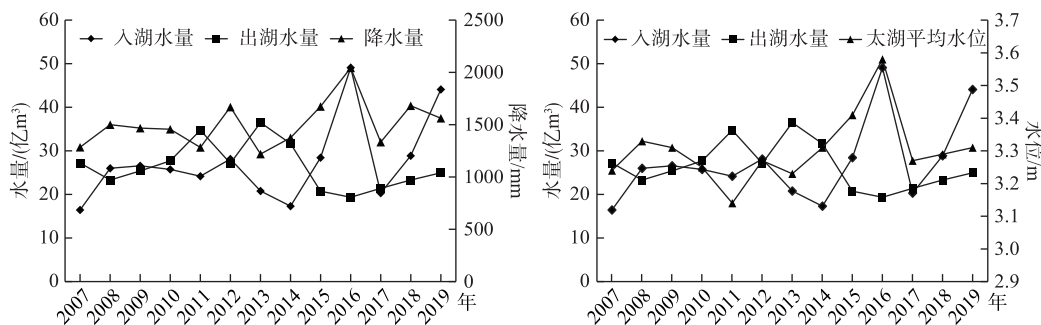


图 8 2007—2019 年浙江省出入湖水量与地区降水量及太湖平均水位的变化趋势

Fig.8 Variation trend of inflow and outflow quantity, regional precipitation and average water level of Lake Taihu in Zhejiang Province from 2007 to 2019

3.2 环湖河道水质变化与影响

2007—2019 年的水质监测数据表明,浙江省环湖河道主要污染物 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN 浓度呈明显下降趋势。这主要是由于近年来浙江省持续开展水环境治理,通过严格企业准入制度,强制推行重污染企业零排放以消灭河流点源污染,通过对养殖业和种植业等农业面源污染进行控制,削减面源污染物进入河流的量,达到“点”、“面”共治,有效地改善了河道的水质^[18]。

国家发展改革委员会 2013 年底批复的《太湖流域水环境综合治理总体方案(2013 年修编)》提出 2020 年太湖水体主要污染物 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 TN 浓度的目标值分别为 4.0、0.5、0.05 和 2.0 mg/L。2019 年浙江省环湖河道 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 TN 的平均浓度与湖体水质目标浓度的比值分别为 0.8、0.6、1.8 和 1.3,

其中 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 已达到湖体水质目标浓度,但 TP 和 TN 与目标值还存在较大的差距;从区域分布来看,长兴水系 4 个主要污染物浓度均高于湖体水质目标值,其余水系仅 TP 和 TN 浓度高于目标值。因此,进一步控制环湖河道氮、磷污染物排放和继续改善长兴水系水质是下阶段水环境治理的重中之重。

3.3 污染物通量与水量水质的关系

污染物通量估算误差主要来自水质、水量、采样点的代表性、水质分析方法和监测频次等因素,而水质和水量是其中两个最重要的影响因素,通过相关性分析可以了解影响污染物通量的关键因子。由 2007—2019 年浙江省净入湖污染物通量与历年河道水质、水量的相关关系(图 9)可见,污染物净入湖通量与 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 TN 浓度的相关性一般,相关系数的绝对值在 0.0374~0.4391 之间,与 COD_{Mn} 的相关性较好,相关系数的绝对值为 0.7908。污染物净入湖通量与净入湖水量之间的相关性较好,相关系数的绝对值在 0.7675~0.9806 之间。通过分析可以发现,净入湖水量是影响净入湖通量的关键因子,这与朱昕阳等的研究结果一致^[15],主要是由于近年来浙江省环太湖河道水质逐年好转并趋于稳定,入湖通量主要受入湖水量的影响。另外,根据文献报道,1986—2017 年太湖流域浙江片区入湖水量平均占比仅为 27%^[20],2007—2014 年浙江省主要入湖河道污染物浓度普遍要低于环太湖其他地区^[5],结合本文分析成果,浙江片区入湖河道污染物通量对太湖整体的影响程度呈下降趋势。

4 结论

1) 浙江省出入湖水量主要受地区降水量和太湖水位的影响。2007—2014 年浙江省出入湖水量变化相对平稳,水量以出湖为主;2015—2019 年出入湖水量波动较大,水量以入湖为主,水量增加主要是该时段地区降水量相对较丰导致的。从区块来看,西苕溪水系入湖水量占比最高,近年来呈下降趋势;东部河网入湖水量占比最低,近年来呈上升趋势;长兴水系和东苕溪水系入湖水量变化相对平稳。从出湖水量区块来看,东部河网出湖水量占比最高,近年来还有上升趋势;东苕溪水系出湖水量占比次之,近年来呈下降趋势;西苕溪和长兴水系和出湖水量占比较小。

2) 2007—2019 年浙江省环太湖河道主要污染物浓度呈明显下降趋势,湖州西部长兴水系水质改善尤为显著,但与《太湖流域水环境综合治理总体方案(2013 年修编)》提出的 2020 年湖体主要污染物目标值相比,浙江省环湖河道的水质仍存在进一步改善的空间,尤其需要重点控制氮、磷污染物的排放。

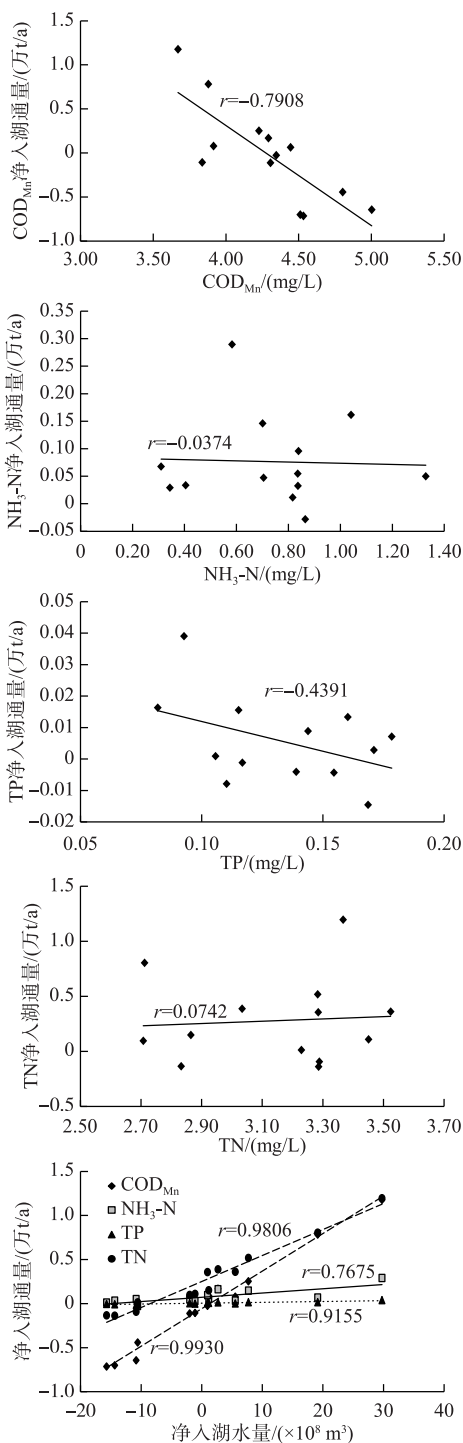


图9 浙江省净入湖污染物通量与水质、水量的相关关系

Fig.9 Correlation between net pollutant flux and water quality and quantity in Zhejiang Province

3) 2007—2019年浙江省环湖河道除 COD_{Mn} 以净出湖通量为主外, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 和 TN 均以净入湖通量为主, 存在一定入湖滞留。从区块来看, 西苕溪和长兴水系是入湖污染物通量的主要贡献者; 东部河网和东苕溪水系是出湖污染物通量的主要贡献者。浙江省入太湖水量是影响污染物入太湖通量的关键因子, 这主要是由于近年来环湖河道水质逐年好转并趋于稳定, 入湖通量主要受入湖水量的影响。

5 参考文献

- [1] Taihu Basin Authority of MWR. Taihu basin & southeast rivers water resources bulletin in 2019, 2020. [水利部太湖流域管理局. 2019 太湖流域及东南诸河水资源公报, 2020.]
- [2] Zhu W, Zhou XP, Cai J. Lessons from comprehensive management of water environment in Taihu Basin. *Water Resources Protection*, 2016, **32**(3): 149-152. [朱威, 周小平, 蔡杰. 太湖流域水环境综合治理及其启示. 水资源保护, 2016, **32**(3): 149-152.]
- [3] Qin BQ, Hu WP, Chen WM *et al* eds. Process and mechanism of environmental changes of the Lake Taihu. Beijing: Science Press, 2004. [秦伯强, 胡维平, 陈伟民等. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [4] 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.]
- [5] Yi J, Xu F, Gao Y *et al*. Variations of water quality of the major 22 inflow rivers since 2007 and impacts on Lake Taihu. *J Lake Sci*, 2016, **28**(6): 1167-1174. DOI: 10.18307/2016.0602. [易娟, 徐枫, 高怡等. 2007 年以来环太湖 22 条主要河流水质变化及其对太湖的影响. 湖泊科学, 2016, **28**(6): 1167-1174.]
- [6] Zhu W, Tan YQ, Wang RC *et al*. The trend of water quality variation and analysis in typical area of Lake Taihu, 2010—2017. *J Lake Sci*, 2018, **30**(2): 296-305. DOI: 10.18307/2018.0202. [朱伟, 谈永琴, 王若辰等. 太湖典型区 2010—2017 年间水质变化趋势及异常分析. 湖泊科学, 2018, **30**(2): 296-305.]
- [7] Zhou MJ, Shen ZL, Yu RC. Responses of a coastal phytoplankton community to increased nutrient input from the Changjiang (Yangtze) River. *Continental Shelf Research*, 2008, **28**(12): 1483-1489. DOI: 10.1016/j.csr.2007.02.009.
- [8] Gao XL, Song JM. Phytoplankton distributions and their relationship with the environment in the Changjiang Estuary, China. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, **50**(3): 327-335. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.11.004.
- [9] Ma Q, Liu JJ, Gao MY. Amount of pollutants discharged into lake Taihu from Jiangsu Province, 1998—2007. *J Lake Sci*, 2010, **22**(1): 29-34. DOI: 10.18307/2010.0104. [马倩, 刘俊杰, 高明远. 江苏省入太湖污染量分析(1998—2007 年). 湖泊科学, 2010, **22**(1): 29-34.]
- [10] Wan XL, Ma Q, Dong JG *et al*. Analysis of pollutants in rivers entering Taihu Lake in Jiangsu Province. *Water Resources Protection*, 2012, **28**(3): 38-41. [万晓凌, 马倩, 董家根等. 江苏省入太湖河道污染物分析. 水资源保护, 2012, **28**(3): 38-41.]
- [11] Luo J, Pang Y, Lin Y *et al*. Study on flux of pollutants discharged into Taihu Lake through main inflow river channels. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2005, **33**(2): 131-135. [罗缙, 逢勇, 林颖等. 太湖流域主要入湖河道污染物通量研究. 河海大学学报: 自然科学版, 2005, **33**(2): 131-135.]
- [12] Zhu JG, Liu X, Deng JC *et al*. Suspended solids transport rate of the rivers around western Lake Taihu. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2018, **38**(9): 3682-3687. DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2018.0188. [朱金格, 刘鑫, 邓建才等. 太湖西部环湖河道悬浮物输移速率及变化特征. 环境科学学报, 2018, **38**(9): 3682-3687.]
- [13] Lv W, Yang H, Yang JY *et al*. Relationship between water quality in Lake Taihu and pollutant fluxes of the rivers surrounding Lake Taihu in Jiangsu Province. *J Lake Sci*, 2020, **32**(5): 1454-1462. DOI: 10.18307/2020.0517. [吕文, 杨惠, 杨金艳等. 环太湖江苏段入湖河道污染物通量与湖区水质的响应关系. 湖泊科学, 2020, **32**(5): 1454-1462.]
- [14] He XJ, Wang B, Liu GY *et al*. Water quality, quantity and pollutant fluxes variations of the rivers surrounding Lake Taihu in Zhejiang Province during hydrological year of 2010—2011. *J Lake Sci*, 2012, **24**(5): 658-662. DOI: 10.18307/2012.0502. [何锡君, 王贝, 刘光裕等. 2010—2011 水文年浙江省环太湖河道水质水量及污染物通量. 湖泊科学, 2012, **24**(5): 658-662.]
- [15] Zhu XY, Jiang CP, Ma XY *et al*. Water quantity, quality and pollutant flux of inbound and outbound water in Zhejiang ar-

- ea of Taihu Basin. *J Lake Sci*, 2020, **32**(3): 629-640. DOI: 10.18307/2020.0304. [朱昕阳, 蒋彩萍, 马晓雁等. 太湖流域浙江片区出入境水量、水质及污染物通量. 湖泊科学, 2020, **32**(3): 629-640.]
- [16] Wang FE, Yu J, Lou FQ *et al.* Pollutant flux variations of all the rivers surrounding Taihu Lake in Zhejiang Province. *Journal of Safety and Environment*, 2009, **9**(3): 106-109. [王飞儿, 俞洁, 楼峰青等. 浙江省环太湖河流入湖污染物通量研究. 安全与环境学报, 2009, **9**(3): 106-109.]
- [17] He YF, Li WJ, Chen J *et al.* Evaluation and alert of water environment security before and after “Five-Water-Governance” in Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang University: Science Edition*, 2018, **45**(2): 234-241. [何月峰, 李文洁, 陈佳等. 浙江省“五水共治”决策前后水环境安全评估预警. 浙江大学学报: 理学版, 2018, **45**(2): 234-241.]
- [18] Liu HZ, Shan BQ, Zhang WQ *et al.* New strategy to promote comprehensive management of regional water environment. *Environmental Protection*, 2016, **44**(5): 47-50. [刘鸿志, 单保庆, 张文强等. 创新思路 推进区域水环境综合治理——以浙江省“五水共治”为例. 环境保护, 2016, **44**(5): 47-50.]
- [19] Fu G. Analysis of the estimation methods for the river pollutant fluxes (I): Comparison and analysis of the estimation methods of period fluxes. *Research of Environmental Sciences*, 2003, **16**(1): 1-4. DOI: 10.13198/j.res.2003.01.3.fug.001. [富国. 河流污染物通量估算方法分析(I)——时段通量估算方法比较分析. 环境科学研究, 2003, **16**(1): 1-4.]
- [20] Ji HP, Wu HY, Wu J. Variation of inflow and outflow of Lake Taihu in 1986-2017. *J Lake Sci*, 2019, **31**(6): 1525-1533. DOI: 10.18307/2019.0612. [季海萍, 吴浩云, 吴娟. 1986—2017 年太湖出、入湖水量变化分析. 湖泊科学, 2019, **31**(6): 1525-1533.]
- [21] Wu YK, Tao YG, Wang HY. Influence of “diverting Changjiang river water into Taihu Lake” engineering to Zhejiang. *Zhejiang Hydrotechnics*, 2007, **35**(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, **35**(6): 13-15, 18.]
- [22] Lu QZ. Analysis on change of river channel into Lake Taihu and hydrological regime of Dongtiaoxi and Xitiaoxi. *Zhejiang Hydrotechnics*, 2011, **39**(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, **39**(5): 6-9.]