

太湖流域河流入河污染负荷通量与入湖水水质响应关系分析——以殷村港为例

夏文文¹, 陈黎明², 王晨波¹, 徐祎凡², 李褪来², 司玮^{3*}

(1. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210019; 2. 南京水利科学研究院, 水文水资源及水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 3. 南京市私营个体经济协会, 江苏 南京 210001)

摘要:以2020年1—12月太湖主要入湖河流殷村港水质自动监测站的监测数据及2020年太湖水位资料为依据,构建了一维水量水质耦合数学模型,建立了入河污染负荷通量与入湖控制断面水质响应关系,以入太湖控制断面殷村港站达Ⅲ类水质水为目标,模拟计算了殷村港站主要污染物入湖水水质变化过程。结果表明,殷村港站高锰酸盐指数、氨氮、总磷等水质指标浓度最大值均明显的降低,其中氨氮浓度降低幅度相对较大,主要集中于3—6月;高锰酸盐指数和总磷日均入河污染负荷通量变化相对较小,氨氮日均入河污染负荷通量降低幅度相对较大;殷村港站高锰酸盐指数、氨氮、总磷等水质指标年入河污染负荷削减量分别为24.17, 41.43, 3.87 t。提出,基于核算出的削减量需进一步结合污染负荷通量过程和污染源溯源分析,确定不同水质指标下入河污染负荷控制方向,为科学合理规划殷村港主要污染物的入河污染负荷总量控制提供科学依据。

关键词:太湖;水质;数学模型;入河污染负荷通量;响应关系

中图分类号:X524

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2021)04-0014-04

Analysis of the Response Relationship between the Pollution Load Flux and Water Quality of the Yincun Port River in Taihu Lake Basin

XIA Wen-wen¹, CHEN Li-ming², WANG Chen-bo¹, XU Yi-fan², LI Ti-lai², SI Wei^{3*}

(1. Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210019, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, State Key Laboratory of Hydrology-water Resource and Hydraulic Engineering, Nanjing, Jiangsu 210029, China; 3. Nanjing Individual & Private Economic Association, Nanjing, Jiangsu 210001, China)

Abstract: A one-dimensional coupling numerical model of water quantity and quality was established for Yincun port rivers, one of the main river entering Taihu Lake, and the response relationship between the pollution load flux and the water quality of the control section was also established. Based on the water quality and pollution load of Yincun port river in 2020, in order to reach class III for water quality of Yincun port river, the water quality changes were simulated. The simulated results showed that the maximum concentrations of permanganate index, ammonia nitrogen, total phosphorus in Yincun port river have been significantly reduced, in which ammonia nitrogen concentration process are relatively large, and the reduction of ammonia nitrogen concentration was mainly concentrated in March to June; at the same time, combined with water quantity, the river pollution load of the permanganate index, ammonia nitrogen, total phosphorus into Yincun port river are further deduced, reducing 24.17, 41.43 and 3.87 t respectively. Based on the calculated reduction, it is necessary to further combine the pollution load flux process and pollution source traceability analysis to determine the control direction of pollution load into the river for different water quality indexes, so as to provide scientific basis for scientific and reasonable planning of total pollution load control of main pollutants into the river in Yincun port.

Key words: Taihu Lake; Water quality; Numerical model; Pollution load flux into the river; Response relationship

收稿日期:2021-04-20; 修订日期:2021-06-21

基金项目:江苏省环境监测科研基金资助项目(1908);“十三五”国家重点研发计划基金资助项目(2017YFC0405302);生态环境管理与污染排放标准项目(JSZC-G2020-049)

作者简介:夏文文(1984—),女,高级工程师,硕士,主要从事环境监测工作。

*通讯作者:司玮 E-mail:616478317@qq.com

随着太湖周边区域社会经济的高速发展,大量工业、农业及生活废水进入流域河网,进而作为外源污染输入湖区,造成湖区水环境状况日益恶化,水体富营养化状态上升。目前,太湖水环境改善和修复,确定了“治湖先治河,治河先治污”的外源污染控制策略^[1-2],同时对环太湖入湖河流的污染负荷也已开展了大量相关研究^[3-7]。陈洁等^[8]以大浦河为例,通过实测数据分析了不同降雨强度下太湖河网区典型河道的流量和营养盐负荷特征;翟淑华等^[9]通过2015和2016年环太湖河道水量和总磷负荷质量的平衡,分析太湖总磷的外源、内源变化趋势及来源。但利用水量水质耦合模型,对太湖入河污染负荷通量与入湖控制断面水质响应关系的相关研究还相对较少。为进一步完成太湖流域主要入湖河流水质控制目标达到Ⅲ类,现以典型太湖入湖河流殷村港为研究对象,对入河污染负荷通量与入湖控制断面水质之间的响应关系进行分析,以期科学合理规划殷村港主要污染物的入河污染负荷总量控制提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

殷村港位于宜兴市东北部,流向由西向东,在周铁镇竺山圩入太湖,汇水面积为85.27 km²,平均年径流量达11亿 m³。殷村港入湖污染负荷量位居各主要入湖河流首位,目前该区域的入湖污染负荷主要来自工业废水和农村生活污水。殷村港上游有何桥水厂水质自动监测站,下游有殷村港国控水质自动监测站,近年来殷村港整体水质有所改善,水质类别保持在Ⅳ类。

1.2 数据来源

流量、水质数据来自2020年1—12月殷村港上游何桥水厂水质自动监测站及下游水质自动监测站,并结合水文年鉴发布的2020年太湖水位资料,通过估算得出该区域污染负荷。

1.3 评价标准

水质类别评价标准均采用《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)。

1.4 一维水动力水质数学模型

1.4.1 模型概化

针对殷村港河道,采用一维水动力水质耦合模型,根据现有水质状况和入河污染负荷量,计算出殷村港主要污染物的入河污染负荷通量及其入湖

水质变化过程。模型中考虑了上游何桥水厂断面来水情况,以及河流沿岸厂、矿企业以及村镇生活污水等点源排污量;面源污染主要通过区域污染负荷统计相关数据资料,作为旁侧源汇入模型中,模型概化示意图见图1。

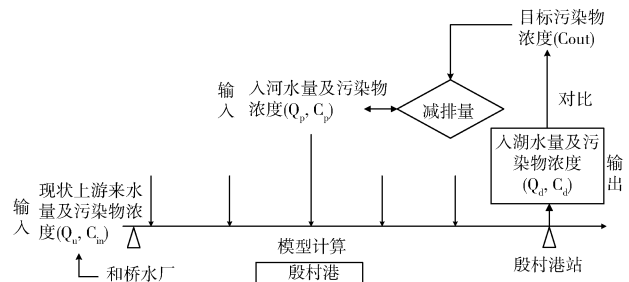


图1 模型概化示意

1.4.2 模型计算条件

殷村港、何桥水厂流量和 ρ (氨氮)日变化过程见图2(a)(b)。

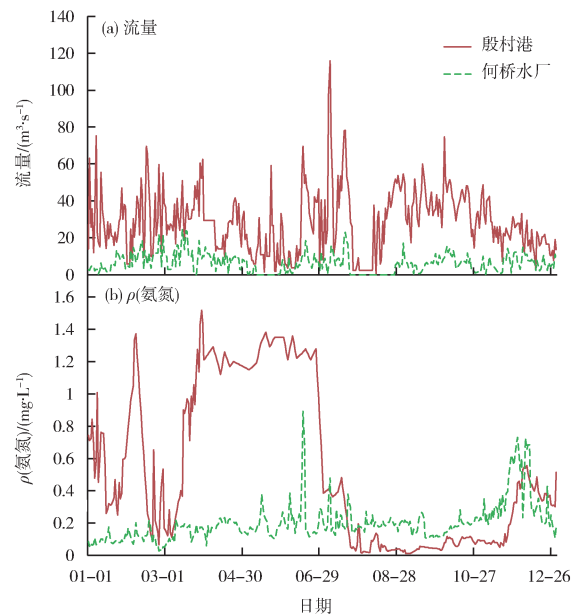


图2 殷村港、何桥水厂流量和 ρ (氨氮)日变化过程

由图2(a)可见,殷村港2020年入湖最大流量为115.8 m³/s,平均流量为28.7 m³/s,上游何桥水厂来水平均流量仅为6.2 m³/s,占殷村港来水的21%左右。从高锰酸盐指数、氨氮、总磷等水质指标变化情况看,殷村港水质类别保持在Ⅳ类,其主要的污染物为氨氮。由图2(b)可见, ρ (氨氮)在3—6月最高,最高值达到了1.5 mg/L,而上游何桥水厂水质

相对较好, ρ (氨氮)在0.2~0.8 mg/L。表明入河的污染负荷量主要来自于殷村港河道的区间汇入。

2 结果与讨论

2.1 模型参数率定验证结果

通过模型计算值与实测值的结果对比分析,率定出殷村港高锰酸盐指数、氨氮、总磷综合降解系数分别为 0.10 d^{-1} 、 0.05 d^{-1} 、 0.005 d^{-1} 。计算值和殷村港站水质指标逐日水质实测值对比见图3(a)(b)(c)。

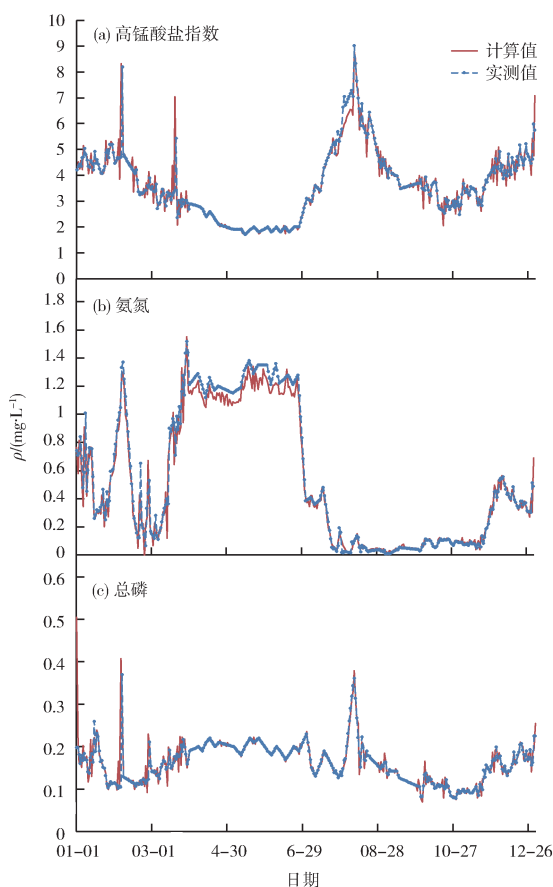


图3 ρ (高锰酸盐指数)、 ρ (氨氮)、 ρ (总磷)计算值与实测值对比

由图3可见,计算值与实测值趋势基本一致,参数取值基本合理。对水质指标进行纳什效率系数(NSE, Nash-Sutcliffe efficiency coefficient)计算,得出高锰酸盐指数、氨氮、总磷的NSE分别为0.86,0.97,0.76,除总磷的NSE略低外,其余指标NSE均在0.80以上,能够很好地反映殷村港站的水质变化过程。根据高锰酸盐指数、氨氮、总磷等水质指标的计算值和实测值统计,其年平均误差分别为-0.05,-0.02,-0.005 mg/L,充分反映了

模型拟合实际水质情况较好。

2.2 入河污染负荷通量与入湖水质响应关系分析

2.2.1 主要污染物减排前后的水质过程

减排前后殷村港高锰酸盐指数、氨氮、总磷浓度变化过程见图4(a)(b)(c)。由图4可见, ρ (高锰酸盐指数)、 ρ (氨氮)、 ρ (总磷)最大值分别从9.0,1.5,0.369 mg/L降低至各指标Ⅲ类水标准的6.0,1.0,0.2 mg/L,变化较为明显,基本满足入太湖水质目标Ⅲ类水的要求。 ρ (高锰酸盐指数)和 ρ (总磷)变化相对较小,当前水质状况已比较接近Ⅲ类水标准,仅在个别时段远超过Ⅲ类水; ρ (氨氮)降低幅度相对较大,主要集中在3—6月。

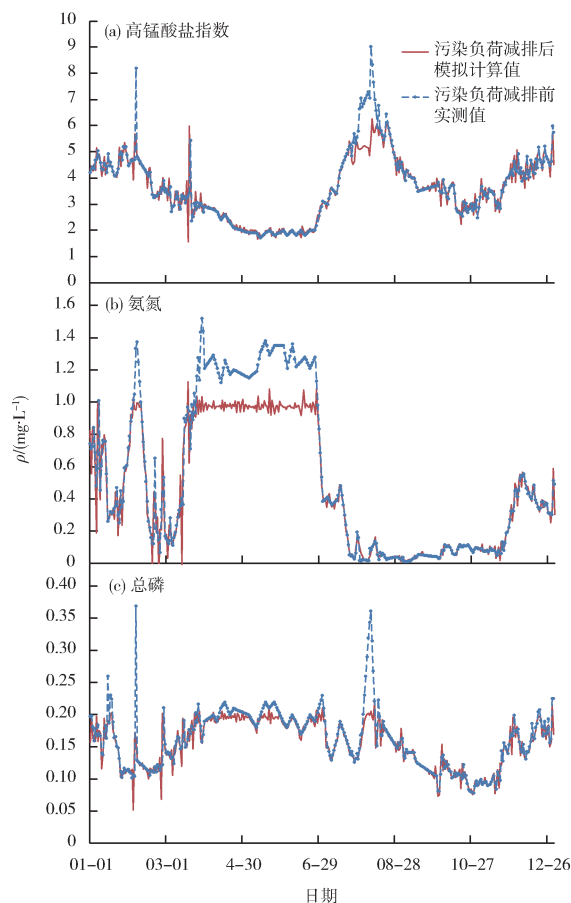


图4 污染物减排前后 ρ (高锰酸盐指数)、 ρ (氨氮)、 ρ (总磷)变化过程对比

2.2.2 主要污染物入河通量减排前后对比

根据何桥水厂和殷村港站实测流量,结合上节模拟的殷村港站各水质指标浓度,分别计算得出现状条件下和满足殷村港站Ⅲ类水质目标条件下,殷村港河段高锰酸盐指数、氨氮、总磷指标的全年入

河污染负荷通量变化过程。

分析主要污染物入河污染负荷通量变化过程,在现状和满足目标Ⅲ类水质这 2 种计算条件下,主要污染物入河污染负荷通量变化过程对比见图 5 (a)(b)(c)。高锰酸盐指数和总磷日均入河污染负荷通量变化相对较小;氨氮日均入河污染负荷通量降低幅度相对较大,日均入河污染负荷通量最大值从 8.5 t 降低为 6.0 t。

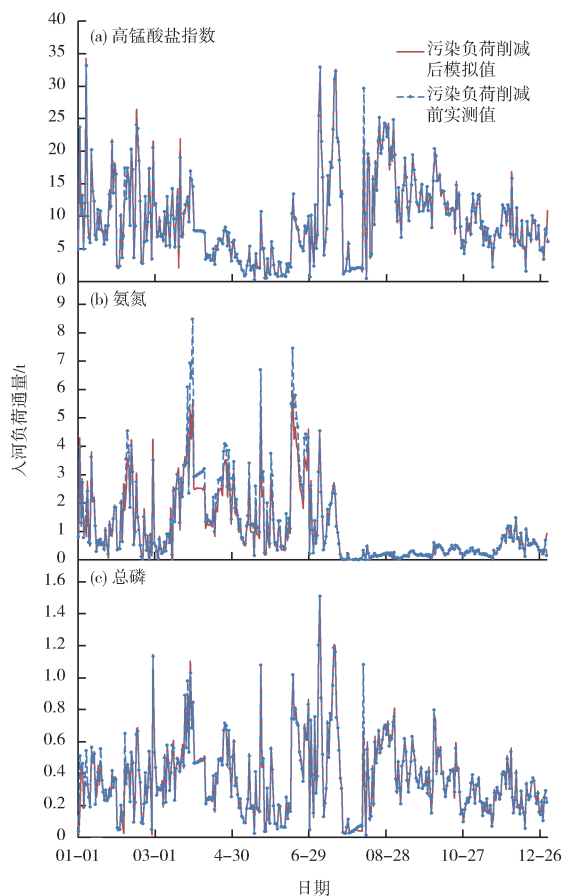


图 5 污染负荷削减前后高锰酸盐指数、氨氮、总磷指标入河负荷通量变化过程对比

总体上看,高锰酸盐指数入河污染负荷通量基本能够使殷村港断面达Ⅲ类水质标准,但对比流量过程可以看出其水质指标浓度极大值的出现时间是枯季或者洪季流量的极小值,需加强关注来水量较小情况下的区域污染排放; ρ (总磷)位于Ⅲ类水标准处摇摆,需要从全年过程上控制总磷的入河污染负荷通量; ρ (氨氮)则主要考虑进一步在污染源溯源分析的基础上,降低 3—6 月的入河污染负荷量。

分析主要污染物入河污染负荷通量削减前后,

高锰酸盐指数、氨氮、总磷等水质指标年污染负荷通量统计对比见表 1。

表 1 污染负荷通量削减前后水质指标年污染水负荷通量对比

指标	高锰酸盐指数	氨氮	总磷
削减前年污染负荷通量/t	3 485.49	443.17	140.50
削减后年污染负荷通量/t	3 461.32	401.74	136.63
削减量/t	24.17	41.43	3.87
削减比例/%	-0.69	-9.35	-2.75

由表 1 可见,殷村港高锰酸盐指数、氨氮、总磷的年污染负荷通量需分别降低 0.69%,9.35%,2.75%,才能使殷村港站达到Ⅲ类水质标准。

3 结论

(1)一维水动力水质耦合模型拟合实际水质情况较好,殷村港高锰酸盐指数、氨氮、总磷等水质指标的年平均误差分别为 -0.05, -0.02, -0.005 mg/L。

(2) ρ (高锰酸盐指数)和 ρ (总磷)变化相对较小,当前水质状况已经比较接近Ⅲ类水标准, ρ (氨氮)降低幅度相对较大,主要集中在 3—6 月。

(3)高锰酸盐指数和总磷日均入河污染负荷通量变化相对较小。氨氮日均入河污染负荷通量降低幅度相对较大,日均入河污染负荷通量最大值从 8.5 t 降低为 6.0 t。

(4)高锰酸盐指数、氨氮、总磷的年污染负荷通量需分别降低为 0.69%,9.35%,2.75%,才能使殷村港站达到Ⅲ类水质标准。

[参考文献]

[1] 谢艾玲,徐枫,向龙,等. 环太湖主要入湖河流污染负荷量对太湖水质的影响及趋势分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2017,45(5):391-397.

[2] 朱广伟,邹伟,国超旋,等. 太湖水体磷浓度与赋存量长期变化(2005—2018 年)及其对未来磷控制目标管理的启示[J]. 湖泊科学,2020,32(1):21-35.

[3] 连心桥,朱广伟,杨文斌,等. 土地利用对太湖入流河道营养盐的影响[J/OL]. 环境科学,2021-04-16[2021-04-20] <https://doi.org/10.13227/j.hjxx.202101065>.

[4] 聂青,陆小明,高鸣远,等. 太湖入湖污染物通量监测与计算方法研究[J]. 水利规划与设计,2020(7):45-49.

(下转第 46 页)

- 春季气溶胶成分特征及混合状态研究[J]. 安全与环境学报, 2017, 17(2): 707–713.
- [29] 刘慧琳, 陈志明, 毛敬英, 等. 利用 SPAMS 研究南宁市四季细颗粒物的化学成分及污染来源[J]. 环境科学, 2017, 38(3): 894–902.
- [30] 张志朋, 杜娟, 宋韶华, 等. 夏季桂林市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 化学组成和成分分布的质谱研究[J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(6): 22–26.
- [31] 索娜卓嘎, 谭丽, 周芮平, 等. 采暖期北京大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中碳组分的分布特征及来源解析[J]. 中国环境监测, 2018, 34(4): 54–59.
- [32] 王亚林, 易睿, 谢继征, 等. 扬州市大气 $\text{PM}_{2.5}$ 来源解析研究[J]. 污染防治技术, 2016, 29(6): 22–28.
- [33] 邵姗姗, 仇伟光, 张青新, 等. 利用 SPAMS 初探盘锦市冬季 $\text{PM}_{2.5}$ 污染特征及来源[J]. 中国环境监测, 2017, 33(3): 147–153.
- [34] 于兴娜, 时政, 马佳, 等. 南京江北新区大气单颗粒来源解析及混合状态[J]. 环境科学, 2019, 40(4): 1521–1528.
- [35] 刘瑜存, 朱雯斐, 王毓旻, 等. 基于高质量分辨率质谱仪研究上海城区秋季大气亚微米级颗粒物化学特性[J]. 环境科学学报, 2018, 38(7): 2746–2756.
- [36] 谭敏, 谢晨波, 王邦新, 等. 北京 2014 年冬季边界层高度与颗粒物浓度的相关性研究[J]. 红外与激光工程, 2018, 47(7): 187–194.
- [37] 王成刚, 李颖, 曹乐, 等. 苏州东山冬季大气边界层结构特征及其对污染物浓度的影响[J]. 热带气象学报, 2017, 33(6): 912–921.
- [38] 薛敏, 王跃思, 孙扬, 等. 北京市大气中 CO 的浓度变化监测分析[J]. 环境科学, 2006, 27(2): 200–206.

.....

(上接第 17 页)

- [5] 陆隽, 孔繁璠, 张鸽, 等. 2009—2018 年江苏省太湖西岸主要入湖河道水质变化趋势[J]. 江苏水利, 2020(3): 5–9.
- [6] 王华, 陈华鑫, 徐兆安, 等. 2010—2017 年太湖总磷浓度变化趋势分析及成因探讨[J]. 湖泊科学, 2019, 31(4): 919–929.
- [7] 张涛, 陈求稳, 易齐涛, 等. 太湖流域上游平原河网区水质空间差异与季节变化特征[J]. 湖泊科学, 2017, 29(6): 1300–1311.
- [8] 陈洁, 朱广伟, 许海, 等. 不同雨强对太湖河网区河道入湖营养盐负荷影响[J]. 环境科学, 2019, 40(11): 4924–4931.
- [9] 翟淑华, 周娅, 程媛华, 等. 2015—2016 年环太湖河道进出湖总磷负荷量计算及太湖总磷波动分析[J]. 湖泊科学, 2020, 32(1): 48–57.