

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2018.02.14

七浦塘引水对阳澄湖河网水环境影响的模拟研究

顾炉华^{1,2}, 赖锡军¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 101407)

摘要:为准确地衡量七浦塘引水工程的运行方式对阳澄湖及周边河网产生的影响,基于太湖水量水质模型设计了7种数值实验,从引水量和雨型两个角度对七浦塘引水对阳澄湖及周边河网造成的影响进行了评估,并定义了河网总体水质达标率作为评估标准。结果表明:七浦塘引水使得水量向阳澄湖北线和南线河道集中,在改善阳澄湖西湖水质的同时恶化了中东湖的水质;七浦闸引水量在 $20 \sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ 之间时对提高河网水质总体达标率最为有利;引水对河网水质的影响具有显著的空间差异性;在不同雨情条件下,七浦塘引水调度均可在一定程度上改善河网和湖体的水质。

关键词:引水工程;太湖水量水质模型;水质达标率;七浦塘;阳澄湖

中图分类号:X32 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2018)02-0088-08

Simulation study of water environment influence on Yangcheng Lake river networks by Qipu River water diversion project

GU Luhua^{1,2}, LAI Xijun¹

(1. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, College of Resources and Environment, Beijing 101407, China)

Abstract: In order to accurately measure the influence of operation mode of Qipu River water diversion project for Yangcheng Lake and the surrounding river networks, 7 numerical experiments were designed based on Taihu water quality and quantity model. The influence is evaluated from two aspects of diversion volume and rainfall type, and the overall water quality compliance rate of river network is defined as the evaluation criteria. The results show that the water concentrated to the northern and southern rivers, and the water quality of west part of Yangcheng Lake improved while the middle and eastern part deteriorated, it was also revealed that the best improvement of water quality happened when the water diversion volume ranged between $20 \sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$. The effect of water diversion on the water quality of the river network has a significant spatial difference. In different rainfall conditions, water quality of river networks and lake can be improved by the water diversion scheduling to a certain extent.

Key words: water diversion project; Taihu water quality and quantity model; water quality compliance rate; Qipu River; Yangcheng Lake

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07101-011);中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-10)

作者简介:顾炉华(1993—),男,硕士研究生,研究方向为环境水力学。E-mail:lhgu21@163.com

通信作者:赖锡军,研究员。E-mail:xjlai@niglas.ac.cn

水资源在世界各地都存在时空分布不均的问题,随着工业的发展、人口的增长和城市的扩张,水资源紧缺成为遏制人类社会发展的因素之一^[1-2]。通过新建调水工程,按照人类意愿实现水量再分配是解决水资源问题的重要手段^[3]。目前,全球调水工程主要分为针对资源型缺水问题和针对水质型缺水问题两大类,大多数跨流域调水工程,如美国加利福尼亚调水工程^[4]、科罗拉多河调水工程、中亚利桑那调水工程^[5]等,均为解决资源型缺失问题而建设,在灌溉、防洪、航运、发电等方面取得巨大的经济和社会效益^[6-8];随着环境问题日益突出,很多地方虽然水资源相当丰富,但因为水源受到污染失去了利用价值,仍会出现水源不足、供水紧张的状况,即水质型缺水问题。为此,国内外有很多通过新建或利用已有的调水工程来改善水环境的尝试,如荷兰 Veluwemeetr 湖引换水工程^[9]、引滦入津工程^[10]、引江济太工程^[11-14]等,这些工程都采用引清冲污的思路,并取得一定的成效。作为一种水资源配置方法,调水工程在工程设计和施工建设上已经有很多研究成果,但是作为一种改善水环境的工程措施,仍需要进行更深入的探讨和研究。

本文基于太湖水量水质模型,以拓浚整治后的七浦塘为例,探讨了在不同引水量和雨型条件下七浦塘引水对阳澄湖及周边河网水环境的影响;以河网水质达标率为指标,分析了对改善河网水质效果最明显的引水区间;在此基础上还考察了引水在空间分布上对阳澄湖河网水质的影响。

1 太湖水量水质模型

太湖水量水质模型以太湖流域为研究区域,以河网水量水质的动态变化为关注点,采用水量模型和水质模型全耦合的方式同步计算水量水质的变化过程。针对平原区和山丘区,分别采用一维水动力模型和集中式水文模型模拟水流运动,并基于全流域下垫面遥感资料建立产汇流模型来模拟降雨对河道水量的影响。模型沿长江及沿海河道水位边界根据镇江、江阴、徐六泾等 10 个国家潮位站的监测数据,用插值计算得到。水质边界参考长江及沿海水质并结合实际情况设置,流域内点源和面源污染分布情况通过普查监测获得。

1.1 基本原理

描述河道水流运动的圣维南方程组为

$$B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = qV_x$$

式中: B 为水面宽度, m ; Z 为水位, m ; t 为时间, s ; Q 为流量, m^3/s ; q 为单宽旁侧入流, m^2/s ; α 为动量校正系数; g 为重力加速度, m/s^2 ; A 为过水断面面积, m^2 ; x 为沿水流方向(纵向)距离, m ; K 为流量模数; m^3/s ; V_x 为旁侧入流流速在水流方向上的分量, m/s , 一般可以近似为零。对上述方程组采用四点线性隐式格式进行离散, 详见文献[14]。

描述物质在水流中迁移扩散的方程为

$$\frac{\partial(A\rho)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(AE_x \frac{\partial \rho}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial x}(UA\rho) + \frac{AS}{86400} \tag{2}$$

式中: ρ 为水质参数的质量浓度, mg/L ; E_x 为纵向分散系数, m^2/s ; U 为断面平均流速, m/s ; S 为水质参数的源汇项, $g/(m^3 \cdot d)$, 对于不同的水质参数和条件, 源汇项各不相同, 计算时应视具体情况而定。

纵向分散系数 E_x 由式(3)求得:

$$E_x = \alpha_e C_0 \theta^2 q \tag{3}$$

式中: α_e 为系数, 取 0.01; C_0 为谢才系数; θ 为断面宽深比。

1.2 数值解法

模型中水流方程和水质方程均采用三级解法^[15], 基本思路是先将方程离散, 通过消元构建每条河道首断面和末断面的线性关系, 从而得到每个节点与周边相连河道节点的方程。求解节点方程, 得到每一个节点的数值, 再回代到河道中, 求出每个断面的数值。一般性方程如下:

$$\begin{cases} C_{j1} = f_{j1}(C_{j1}) \\ C_{j2} = f_{j1}(C_{j2}) \\ \vdots \\ C_{jn} = f_{jn}(C_{jn}) \end{cases} \tag{4}$$

式中: C_{ji} 为第 j 条河道的第 i 个断面上的变量; f_{jn} 为离散后第 $i-1$ 个断面与第 i 个断面之间的线性算子。

经过消元得到式(5):

$$C_{j1} = F_{jn}(C_{jn}) \tag{5}$$

式中: F_{jn} 为第 j 条河道首断面变量与末断面变量之间的线性算子, 也即河道首节点变量与末节点变量之间的线性算子。

联立所有河道得到:

$$\sum_{j=1}^m C_{j1} - F_{jn}(C_{jn}) = 0 \tag{6}$$

求解式(6), 得出每个节点的数值, 回代到式(4), 即

可求出每个断面上的变量。

2 研究区介绍及模型验证

阳澄湖位于江苏省南部,苏州城东北方向 5 km,属于输入型污染湖泊,受内源和外源共同影响,处于轻度富营养化状态(表 1)。阳澄湖主要接纳西线入湖水量,从南线和东线河道排出,面积 117 km²,蓄水量 3.7 亿 km³。

表 1 阳澄湖及周边河网水体水质类别				
水质类别	COD	TP	TN	NH ₄ ⁺ -N
阳澄湖湖体	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ ~ Ⅴ	Ⅱ
北线河流(常熟市)	Ⅲ	Ⅲ	Ⅴ	Ⅲ
西线河流(相城区)	Ⅲ	Ⅳ ~ Ⅴ	劣 Ⅴ	Ⅳ ~ Ⅴ
东部河流(昆山市)	Ⅱ	Ⅱ	Ⅳ	Ⅱ
南线河流(园区、姑苏区)	Ⅱ ~ Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ ~ Ⅴ	Ⅱ ~ Ⅲ

为改善阳澄湖区域水资源调控能力和水环境质量,苏州市于 2011 年末启动了七浦塘拓浚整治工程,设计规划自阳澄湖与南消泾汇口起,利用老河道拓浚至常熟市支塘镇与太仓市沙溪镇交界的吴塘后,分成南北两支,其中北支向东北平地开河穿过锡太公路和 204 公路,在盐铁塘和迷泾河交汇处接迷泾河,继续拓浚迷泾河至石头塘东 1.3 km 处,再平地开河,与太仓市规划的荡茜河衔接,直至长江,拓浚整合工程全长 43.89 km,具体线路见图 1。七浦闸从长江引水,自阳澄湖北部入中湖,闸宽 32 m,设计最大引水能力为 120 m³/s。

在太湖水量水质模型的基础上,结合阳澄湖河网实际情况,对阳澄湖周边河网水系进一步进行梳理细化。细化后在北至望虞河、西到京杭运河、南至娄江和浏河、东到长江的区域内共有河道 495 条。其中出入湖河道有 34 条,东南西北 4 条控制线各有

2、11、15 和 6 条。此次梳理着重关注了望虞河、元和塘、济民塘、西塘河、娄江、浏河、七浦塘、张家港等主干河道及其相互连接河道的概化,河道断面信息采用 2012 年调查数据进行更新。沿长江及沿海边界潮位和降雨数据均采用 2015 年观测数据,沿江水质边界按Ⅲ类水标准值设置,即 BOD 和 COD 质量浓度为 6 mg/L, NH₄⁺-N 和 TN 质量浓度为 1 mg/L, TP 质量浓度为 0.2 mg/L。

2.1 水位验证

采用太湖流域主要水文站 2015 年的水位实测数据对主要河道糙率进行率定,率定后的糙率为 0.025 5,并利用该糙率对距阳澄湖最近的湘城、苏州、昆山和常熟 4 个站点的水位过程进行了验证(图 2)。由图 2 可见,基于 2015 年水雨情模拟所得到的河网水位与实测过程吻合得较好。各站计算全年均方根误差在 0.2 m 之内,模拟和实测水位过程相位一致,高水位峰现时间同步。这表明模型可准确模拟阳澄湖及周边河网的水位特征。

2.2 水质验证

采用阳澄湖及周边河网主要河道断面 2015 年 6—12 月的水质监测数据对水质模型的参数进行率定,结果如表 2 所示。

表 2 阳澄湖及周边河网水质参数率定结果 d ⁻¹				
水质参数	降解系数		底泥释放系数	
	阳澄湖	河网	阳澄湖	河网
COD	0.05	0.10	0.020	0.15
NH ₄ ⁺ -N	0.15	0.060	0.01	0.05
TN	0.03	0.02	0.010	0.20
TP	0.05	0.15	0.005	0.01

在阳澄湖东南西北 4 线、元和塘沿线和望虞河沿线各选取 1 个监测断面,对模拟出的 NH₄⁺-N 质

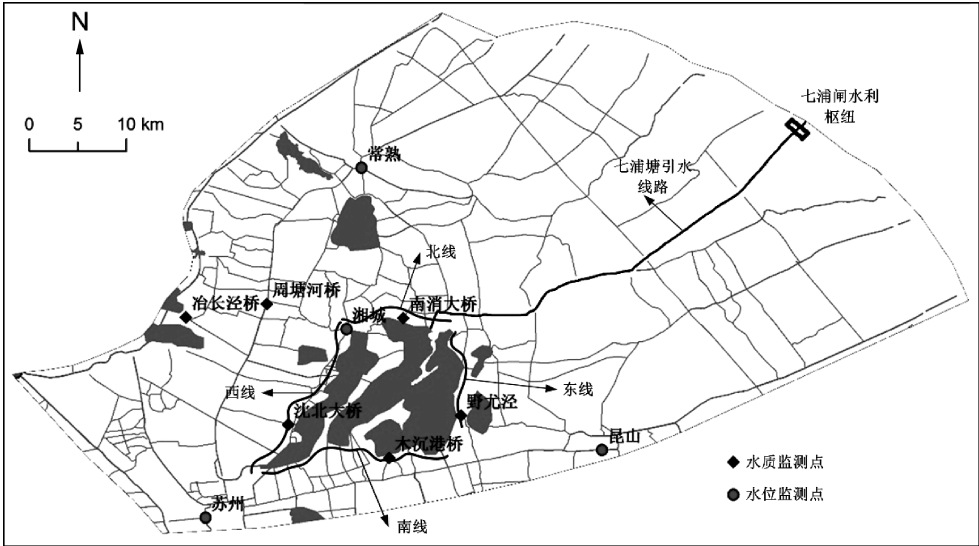


图 1 阳澄湖河网概化和监测点位图

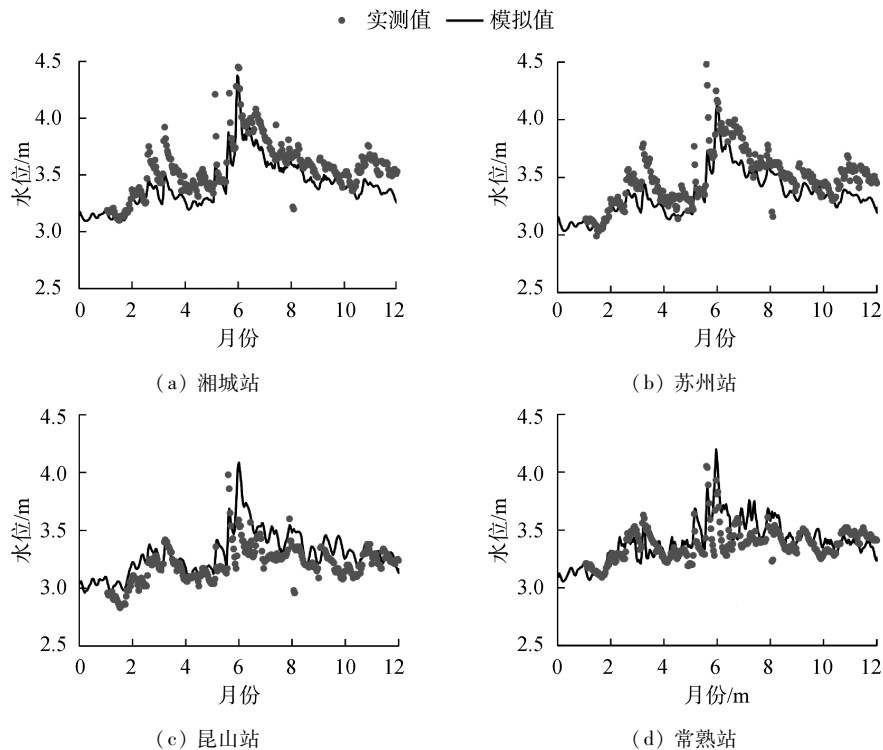


图2 主要水文站点 2015 年水位过程验证

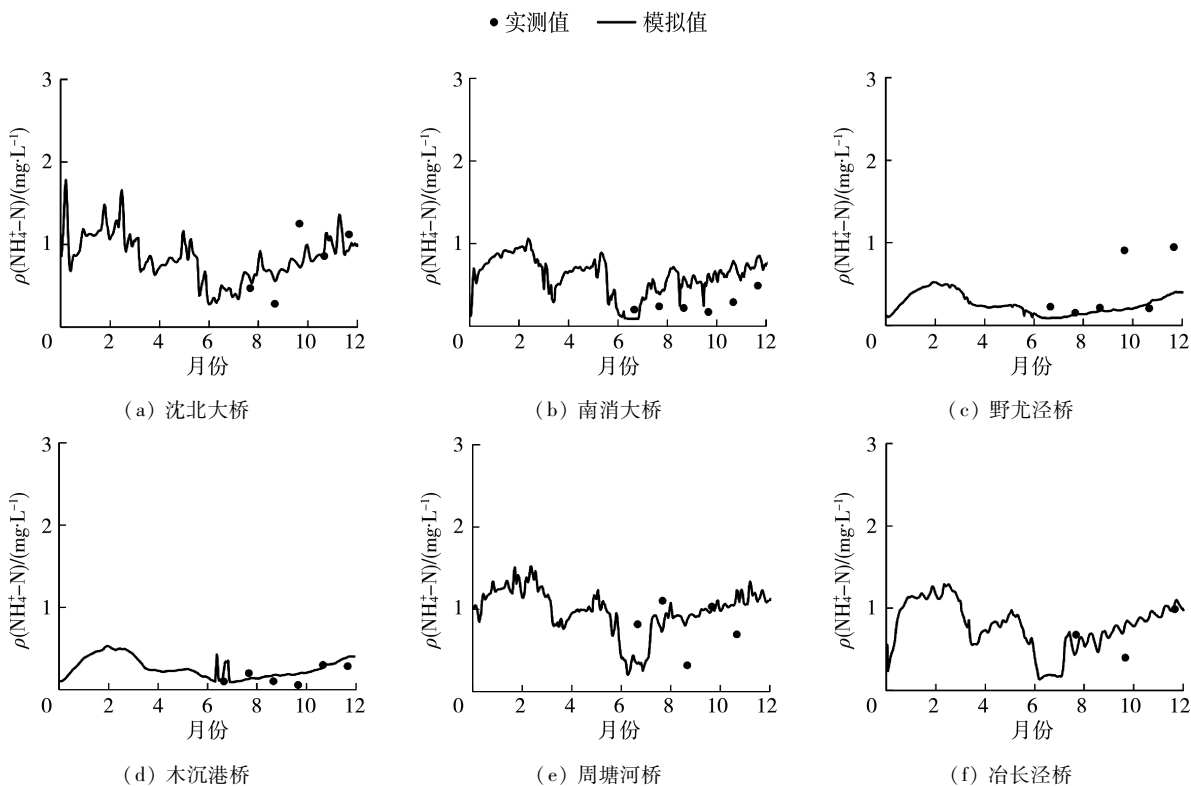


图3 主要水质监测点 NH_4^+-N 质量浓度过程验证

量浓度过程进行验证(图3),统计分析表明实测数据中有 52% 与计算值相对误差在 25% 以内,模拟值与实测值吻合得较好,建立的水质模型可以较好地模拟阳澄湖及其周边河网水质的动态变化过程。

以上验证情况表明,太湖水量水质模型可较好地反映阳澄湖河网的水量水质情况,可用来模拟七浦塘引水对阳澄湖及周边河网水环境的影响。

3 七浦闸引水模拟

3.1 实验设计

如何通过合理调度达到河网水环境质量改善效果最大化是七浦闸枢纽运行时面临的问题,目前尚无文献对这一问题作量化研究。本文首先以 2015 年雨型为计算条件,在满足阳澄淀泖区防洪控制要

求的前提下(湘城水位不高于3.5 m),设计数值实验来探讨6种不同水量(20、40、60、80、100、120 m³/s)的常态引水对区域水环境质量的影 响;再考虑不同雨型条件下七浦塘按某种量级引水对阳澄湖及周边河网的影响。

3.2 评价指标

为定量衡量雨型和引水量对阳澄湖河网水质的影响,以2016—2018年阳澄湖生态优化行动^[16]中列出的35条河道断面在2018年的水质目标为标准,定义了河网水质总体达标率,即各河道年内水质达标率的平均值来衡量水质改善程度。河网水质总体达标率*K*的计算方式如下:

$$K = \sum_{i=1}^n K_i/n \tag{7}$$

式中: *K_i* 为第*i*条河道的年内水质月达标率频次百分数;*n* 为河道数。

4 结果与讨论

4.1 引水量的影响

以七浦塘按照常规调度下的计算结果为参考值,从出入湖水量、湖泊水质过程和河网水质总体达标率3个方面对七浦塘引水的影响进行讨论和研究。首先按月统计各线出入湖水量和营养盐通量(流量以入湖为正,出湖为负),结果显示各方案之间的差别主要体现在枯水期,以西线为例,方案6与

参照值在3月份相差最大,前者流量不到后者的三分之一。随着引水量的增加,西线入湖和东线出湖水量逐渐减少,北线入湖和南线出湖水量逐渐增加,即水流东西向流通减弱,南北向流通增强(图4)。

以阳澄湖西湖和中东湖的COD和NH₄⁺-N质量浓度为指标,考察不同引水量对阳澄湖水质的影响。结果显示随着引水量的增大,阳澄湖西湖水质呈逐渐变好的态势,COD质量浓度依次从3.45 mg/L降到了3.13 mg/L;阳澄湖中东湖的水质则逐渐恶化,表现为NH₄⁺-N质量浓度依次从0.17 mg/L增长到了0.22 mg/L(图5)。这表明在本模型所设边界条件下引水对阳澄湖西湖和中东湖湖体水质有不同的影响,在实际引水时应有所权衡,以达到湖体水质总体最优。

以河网水质总体达标率为评价指标,对不同引水量带来的影响作量化研究,探求对河网水质最为有利的引水区间。以七浦闸按照普通沿江闸站工作方式运行时计算出的河网水质总体达标率为参考值,计算各引水方案下的河网总体达标率,结果表明在各种方案中,COD和TN的达标率均高于参考值,最多时分别增长了3%和7%;NH₄⁺-N达标率维持在87%,没有变化;TP达标率在引水量不大时有所提高,随着引水量的增加呈总体降低趋势,当引水量达到100 m³/s(方案5)时水质已开始恶化(图6)。虽然这时TN和COD达标率提高显著,但从整体水

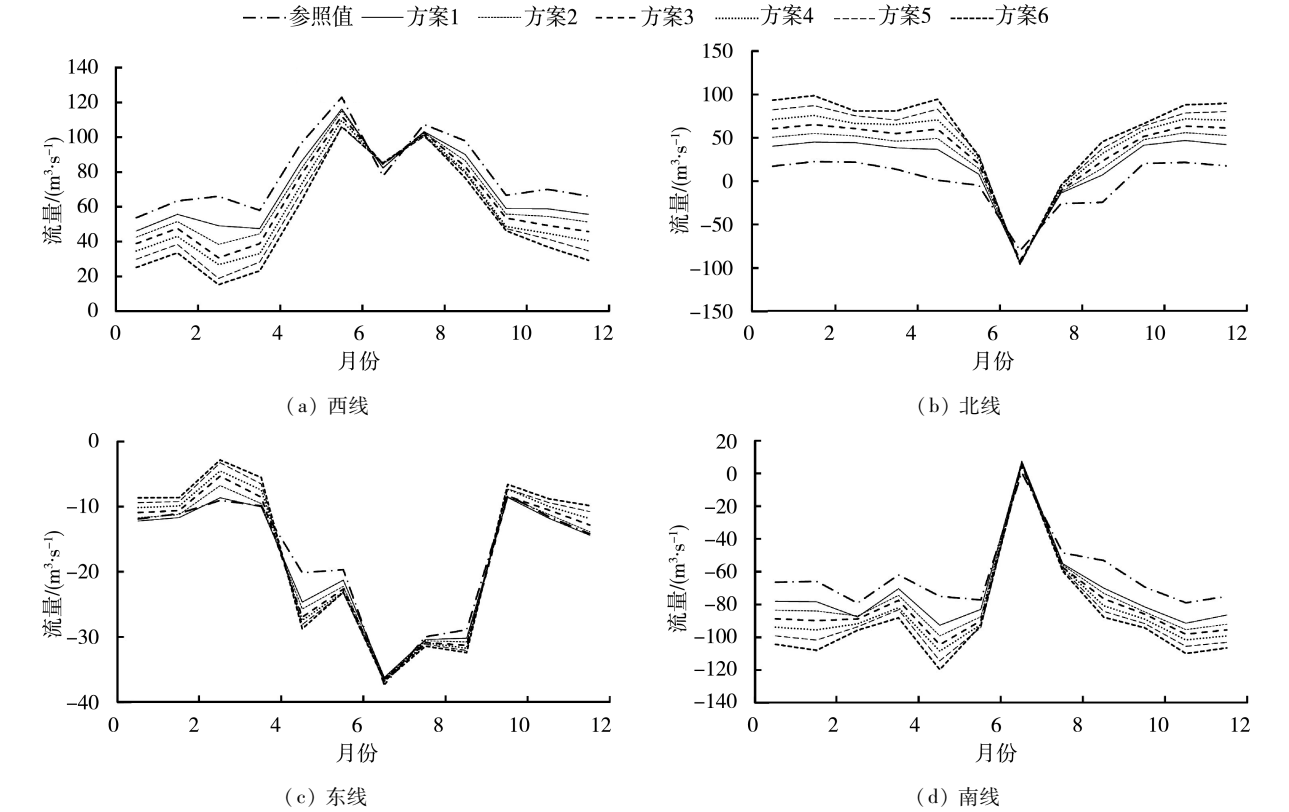


图4 不同引水方案对出入湖水量的影响

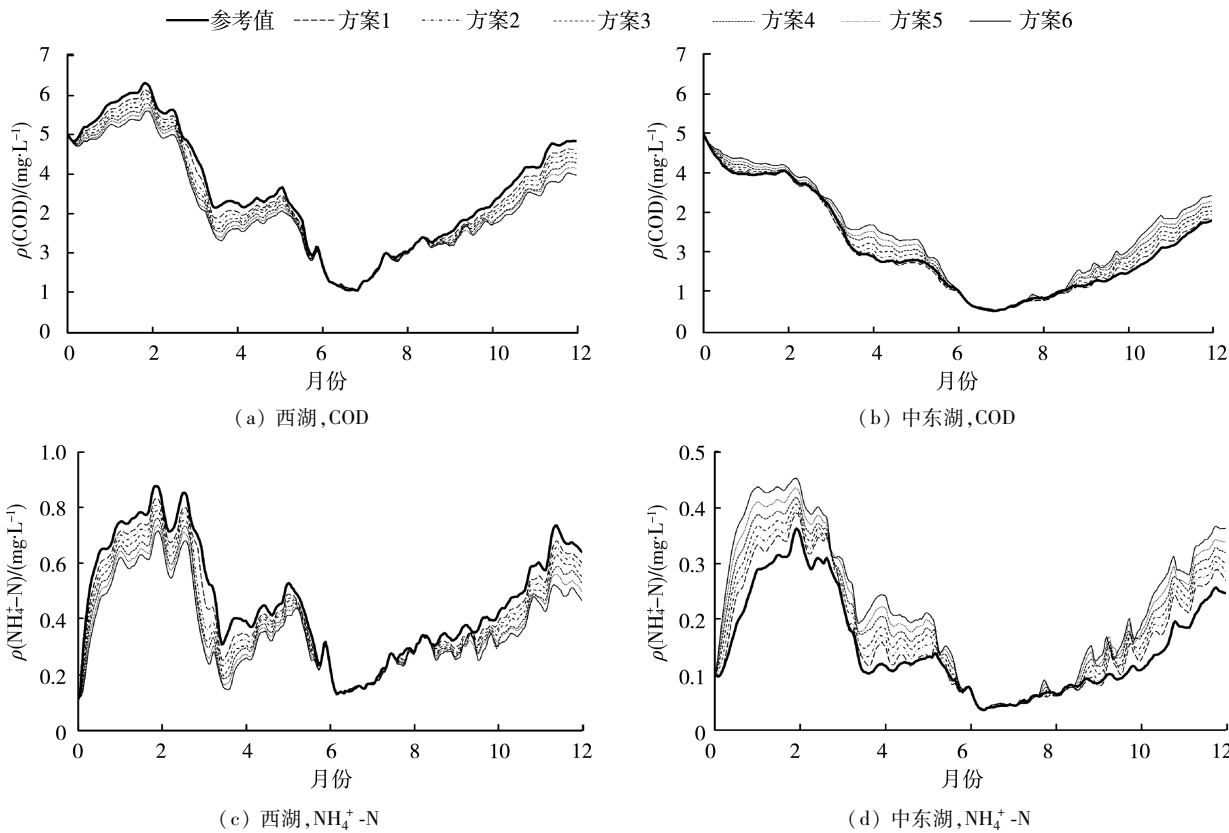


图5 不同引水方案对阳澄湖营养盐质量浓度的影响

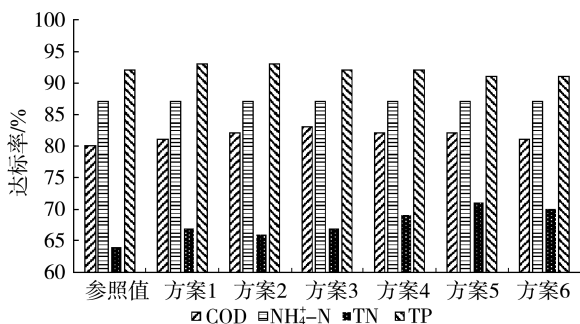


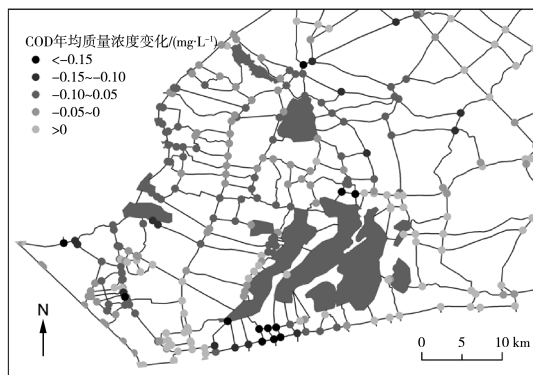
图6 不同引水方案下阳澄湖河网水质总体达标率对比

质出发,方案5和6宜不予考虑。本着尽可能提高多项水质指标达标率的原则,引水方案在方案2和3中选择较为合适,即引水量宜控制在 $20 \sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

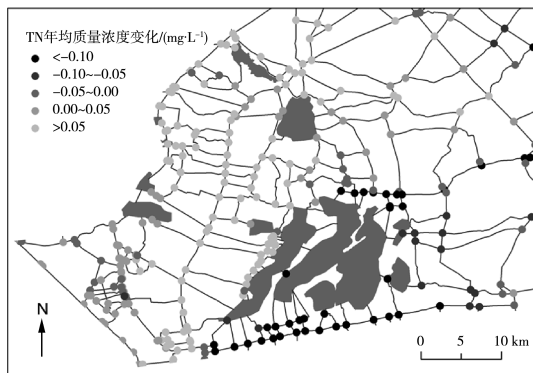
进一步地,以方案2(引水量为 $40 \text{ m}^3/\text{s}$)为例,考虑引水在空间分布上对阳澄湖河网水质的影响。用方案2的计算结果与参考值的差值作为指标,探讨高COD和TN达标率在空间分布上的变化规律。结果显示,阳澄湖西部和北部河网COD浓度显著减小,元和塘、西塘河、娄江和济民塘部分河段浓度有所降低;浓度提高的区域主要集中在苏州护城河、浏河和阳澄湖东部河道。

TN年均质量浓度的空间变化特征为:阳澄湖西部河道有所升高,望虞河、元和塘和济民塘提高了 0.05 mg/L 以上;北部、东部和南部河道降低明显,尤

其是七浦塘入湖河段和娄江,降低了至少 0.1 mg/L (图7)。以上分析表明七浦塘引水对河网水质的影响具有强烈的空间变异性,这与污染排放的空间差异性和引水改变了区域水动力条件有关。



(a) COD



(b) TN

图7 方案2对河网水质空间分布影响

4.2 不同雨型条件下引水的影响

分别以丰水年(1999 年)、平水年(1976 年)和枯水年(1971 年)的雨型作为计算条件,同时计算七浦塘常规调度和引水量为 40 m³/s 两种工况,同样从出入湖水量、湖泊水质变化和河网水质总体达标率 3 个方面对比分析七浦塘引水在不同雨型下对区域水环境的影响。首先统计阳澄湖西北东南 4 条线年均出入湖水量,由图 8 可见,平水年和枯水年下的水量分配特征基本相似,七浦塘引水使得北线河道水量由出湖变为入湖,引进的水一方面压制了西线河道水量向湖体流通,另一方面又促进了湖水从南线流出的趋势。在丰水年,由于河道和湖体水量充沛使得入湖水量减少,西北南 3 线出入湖水量较平水年和枯水年均有所降低,其中北线降幅最为明显,约为 74%。

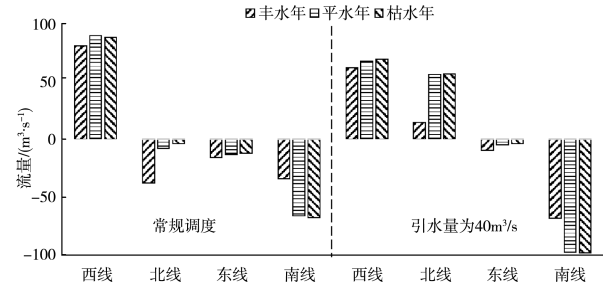


图 8 两种工况下阳澄湖年均出入湖水量对比

再以引水 40 m³/s 和常规调度下 COD 浓度差为指标,考察不同雨型下引水对阳澄湖西湖和中东湖水质的影响(图 9)。对西湖而言,丰平枯 3 年里引水均降低了 COD 浓度,而平水年和枯水年降低的幅

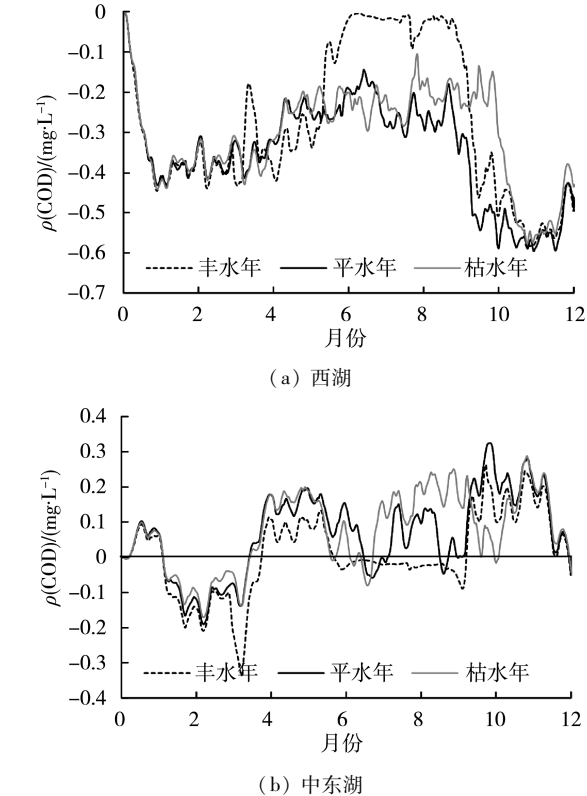


图9 阳澄湖西湖和中东湖 COD 质量浓度变化过程线

度较大,平均降低了 0.35 mg/L 和 0.31 mg/L,在丰水年汛期因为入湖水量减少,西湖水质改善效果不明显;中东湖水质由于与西湖存在差异,平水年和枯水年在接受引水时 COD 浓度呈轻度增加趋势,丰水年引水带来的浓度变化年均值则接近于 0,表明在降雨丰富的年份引水对中东湖水质影响不大。

最后对比典型雨型下七浦塘分别按引水 40 m³/s 和常规调度计算出的 COD 河网总体达标率,结果显示,引水量为 40 m³/s 时的 COD 达标率在不同雨型下均高于常规调度下的达标率,且在丰水年达到 100%,平水年和枯水年达标率相同(图 10)。

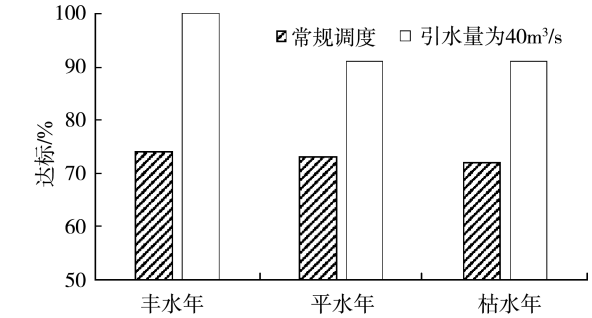


图 10 两种工况下 COD 河网总体达标率对比

5 结论与展望

本文基于太湖水量水质模型,以正在拓浚整治的七浦塘为例,设计了 7 种数值实验探讨不同引水方案对阳澄湖及周边河网水量和水质的影响。结果表明:①七浦塘常态引水时,随着引水量的增加,水流总体呈从北到南的走向;引水在一定程度上改善了阳澄湖西湖的水质,且引水量越大,改善效果越明显,阳澄湖中东湖的变化情况则正好相反;②河网总体达标率显示,引水量在 20 ~ 40 m³/s 之间时,除 NH₄⁺-N 外各项水质指标均有显著提高;引水对河网水质的影响存在较大的空间差异,引水量为 40 m³/s 时,阳澄湖西北部河道的 COD 浓度和东南部的 TN 浓度总体下降;③在各雨情下,引水对北线河道的影响最为显著;改善了阳澄湖西湖水质,平水年和枯水年下引水使得中东湖的 COD 浓度略微上升;3 个典型雨型中引水均大幅提高了 COD 河网总体达标率。

治理污染源是改善河网水质的根本方法,但是在短期内无法截断所有入河污染源的情况下,通过科学调水,提高水体的流动性和复氧能力,也可以在一定程度上缓解区域水质恶化的问题。本文通过数值实验对七浦塘引水方案进行对比计算,得出最有利于水环境质量的引水范围和相应的水质空间分布特征,为整治后的七浦塘调度运行提供参考。

参考文献：

[1] 姜文来. 中国 21 世纪水资源安全对策研究[J]. 水科学进展, 2001, 12 (1) : 66-71. (JIANG Wenlai. Study on water resources safety Strategy for China in the 21th century[J]. Advances in Water Science, 2001, 12(1) : 66-71. (in Chinese))

[2] SHIKLOMANOV I A. World water resources and water use modern assessment and outlook for future[J]. Advances in Water Science, 1999(3) : 219-234.

[3] GOHARI A, ESLAMIAN S, MIRCHI A, et al. Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can Backfire[J]. Journal of Hydology, 2013, 491(1) : 23-39 .

[4] 皮钧,熊雁晖. 加利福尼亚调水工程对我国调水工程的启示[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(4) : 50-52. (PI Jun, XIONG Yanhui. Enlightenment from California State Water Project to South-Norh Water Diversion Project[J]. South-to-North Water Transfer and Water Science & Technology, 2004, 2(4) : 50-52. (in Chinese))

[5] 沈佩君,邵东国,郭元裕. 国内外跨流域调水工程建设的现状与前景[J]. 武汉大学学报(工学版), 1995(5) : 463-469. (SHEN Peijun, SHAO Dongguo, GUO Yuanyu. Inter basin water transfers at home and abroad; current and future situation [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 1995(5) : 463-469. (in Chinese))

[6] MA F B, WANG X. Impacts of water transfer project on eco-environment: a review[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2011, 10: 20-24 .

[7] ZHANG L, LI S, LOÁICIGA H A, et al. Opportunities and challenges of interbasin water transfers; a literature review with bibliometric analysis [J]. Scientometrics, 2015, 105 (1) : 279-294 .

[8] ZHUANG W. Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects; a review [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(13) : 12867-12879 .

[9] 杨飞,于永海,徐辉. 国内梯级泵站调水工程运行调度综述[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26 (4) : 84-86. (YANG Fei, YU Yonghai, XU hui. Progress in studies of operation and scheduling of multistage pumping stations in water transfer projects in China [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(4) : 84-86. (in Chinese))

[9] 张华锋. 浙北引水工程对嘉兴平原河网水环境影响的评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.

[10] 朱龙基,范兰池,林超. 引滦入津工程水质时空演化规律分析[J]. 水资源保护, 2009, 25 (2) : 15-17. (ZHU Longji, FAN Lanchi, LIN Chao. Temporal and spatial variation of water quality for water diversion project from Luanhe River to Tianjin City [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(2) : 15-17. (in Chinese))

[11] WU H, HU Y. Maintaining healthy rivers and lakes through water diversion from Yangtze River to Taihu lake in Taihu Basin [J]. Water Science and Engineering, 2008, 1(3) : 36-43.

[12] HAO W B, TANG C Y, HUA L, et al. Effects of water diversion from Yangtze River to Taihu Lake on hydrodynamic regulation of Taihu Lake [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 2: 129-133.

[13] SHAO X, WANG H, WANG Z. Interbasin transfer projects and their implications: a China case study [J]. International Journal of River Basin Management, 2003, 1 (1) : 5-14 .

[14] 王栋,梁忠民,常文娟,等. 基于模糊集对分析的引江济太调水效益综合评价[J]. 水资源保护, 2017, 33(1) : 35-40. (WANG Dong, LIANG Zhongmin, CHANG Wenjuan, et al. Comprehensive evaluation of benefit of water diversion from Yangtze River to Taihu Lake based on fuzzy set pair analysis [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(1) : 35-40. (in Chinese))

[15] 汪德燿. 计算水力学理论与应用[M]. 南京: 河海大学出版社, 1989.

[16] 苏州市政府. 苏州市阳澄湖生态优化三年行动计划 [R]. 苏州: 苏州市政府, 2016.

(收稿日期: 2017-05-19 编辑: 徐 娟)

· 信息播报 ·

2018 (第六届) 中国水利信息化技术论坛将在深圳举办

河海大学联合有关单位拟于 2018 年 4 月 14—15 日在深圳举办“2018 (第六届) 中国水利信息化技术论坛”。本次论坛主题是“智慧水利: 创新与发展”, 主要探讨智慧水利如何驱动行业创新和发展, 推进水利信息化技术进步与应用, 促进产学研深度融合, 活跃学术气氛, 搭建行业合作与交流平 台, 助力“互联网 + ”现代智慧水利建设。

《水资源保护》编委会与河海大学水文水资源学院等单位共同承办本次论坛, 负责征集会议论文与优秀论文评选, 并推荐专家在论坛上做学术报告。欢迎大家关注并参与。

《水资源保护》编辑部联系电话: 025-83786642, E-mail: bh1985@ vip. 163. com。

(本刊编辑部 供稿)