

新孟河延伸拓浚工程水文水动力模型构建 及应用分析

李勇涛¹, 潘明祥¹, 刘圣亚²

(1. 太湖流域管理局水利发展研究中心, 上海 200434; 2. 江苏省太湖地区水利工程管理处, 江苏 苏州 215128)

摘要: 2022年新孟河工程首次启动抗旱调水试运行, 通过构建新孟河工程水文水动力模型, 分别对界牌水利枢纽不引江和界牌水利枢纽按 200 m³/s 引江情景进行模拟, 对比分析不同引江规模下洮滬片代表站点水位变化情况。结果表明, 区域代表站点水位变幅和新孟河工程引水呈现较强的空间相关性, 采用实况引江规模可以较大幅度抬升洮滬片区河网最低水位, 若继续增大引江规模, 对区域河网低水位抬升效果不明显, 最高水位大幅抬高后易造成防洪风险, 进一步验证抗旱调水试运行方案中确定的引江规模的科学性与合理性。

关键词: 新孟河; 引江济太; 工程调度; 数值模拟

中图分类号: TV131

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2023)05-0057-0004

Construction and application analysis of hydrodynamic model for Xinmeng River extension and dredging project

LI Yongtao¹, PAN Mingxiang¹, LIU Shengya²

(1. Water Resources Development Research Center of Taihu Lake Basin Administration, Shanghai 200434, China;
2. Water Conservancy Engineering Management Office of Taihu Region of Jiangsu Province, Suzhou 215128, China)

Abstract: In 2022, the Xinmeng River Project started the trial operation of water transfer for the first time. In this paper, by constructing the hydrological and hydrodynamic model of the Xinmeng River Project, the water level change of Taoge Area representative site under different river diversion scales for the scenarios of no river diversion at the Jiepai water conservancy hub and river diversion at the Jiepa water conservancy hub according to 200 m³/s are simulated and compared respectively. The results show that the regional representative water level site variation and the Xinmeng River Project diversion presents strong spatial correlation, using the actual river diversion scale can raise the lowest water level of the river network in Taoge Area more greatly. If further increase the river diversion scale, the effect of raising the low water level of the regional river network is not obvious, the highest water level is easy to cause flood control risk after raising substantially, which further proves that the river diversion scale determined in the drought relief water transfer trial operation program is scientific and reasonable.

Key words: Xinmeng River; water diversion from Yangtze River to Taihu Lake; project scheduling; numerical simulation

太湖流域北依长江, 过境水资源丰沛, 流域供需水总体平衡主要依靠调引长江水和上下游水资源重复利用来弥补, 近年来随着“引江济太”水资源调度规模的加大, 流域引江水量趋增^[1]。根据太湖

流域引江济太年报, 2021年累计引水 151 d, 引江量 14.37 亿 m³, 有效维持了太湖合理水位, 促进了河湖水体有序流动, 发挥了较为显著的工程效益。新孟河延伸拓浚工程(以下简称“新孟河工程”)作为《太

收稿日期: 2023-02-01

作者简介: 李勇涛(1988—), 男, 工程师, 主要从事工程调度仿真模拟研究工作。E-mail: liyongtao@tba.gov.cn

湖流域防洪规划》《太湖流域水资源综合规划》《太湖流域水环境综合治理总体方案》《太湖流域综合规划》等确定的流域性骨干工程,具有提高流域区域防洪排涝、水资源配置能力和改善太湖及区域河网水环境等综合功能,该工程的实施为流域开辟了引江济太的第二通道,进一步完善了“引江济太”工程布局,但工情的变化也给区域水资源配置提出了新的课题^[2]。

2022年以来,太湖流域降水量整体偏少,其中湖西区降水异常偏少,受持续高温少雨等因素的影响,区域河网水位持续偏低,水库塘坝蓄水不足,长江干流以及太湖流域来水明显偏少,为保障城乡居民生活及工农业生产等用水安全,2022年10月20日起实施新孟河抗旱调水试运行,有效缓解了地区旱情。本文以新孟河工程及周边区域为重点研究对象构建新孟河工程水文水动力模型,基于抗旱调水试运行期间工程引水及代表站水位变化过程等实测资料开展模型模拟验证,并分析不同引江方案对区域水位影响,为新孟河工程调度优化提供技术支撑。

1 工程概况

新孟河工程北起长江,南入太湖,自大夹江向南新开河道接老新孟河,沿老新孟河拓浚至京杭运河,过京杭运河后新开河道向南延伸至北干河,拓浚北干河连接洮湖、滬湖,拓浚太滬运河和漕桥河入太湖,河道全长116.47 km。工程方面,在引江口处兴建界牌水利枢纽,新孟河与京杭运河交汇处兴建奔牛水利枢纽,在京杭运河以北段两侧支河口门、太滬运河北侧的支河口门实施有效控制,在太滬运河与锡溧漕河改道段交汇处北侧兴建前黄水利枢纽,在太滬运河的北侧武宜运河上兴建牛塘水利枢纽。

新孟河工程干河控制建筑物主要包括界牌水

利枢纽和奔牛水利枢纽。界牌水利枢纽包括节制闸、泵站、船闸组成,其中节制闸设计引排水流量为745 m³/s,泵站规模为引排双向300 m³/s。奔牛水利枢纽包括京杭运河立交地涵、船闸、节制闸等,其中立交地涵设计引水流量565 m³/s,节制闸沟通京杭运河与新孟河北段,设计排水流量为128 m³/s。

新孟河工程自2018年11月全面开工建设,2020年6月界牌水利枢纽、奔牛水利枢纽水下工程通过验收,2022年新孟河工程河道已全线通水,目前已全面具备引江能力。

2 新孟河抗旱调水试运行实施情况

2022年太湖流域面雨量整体偏少,全年降水量为1072.7 mm,较多年平均偏低10%,年内降水量呈现时空分布不均特征,如图1所示,其中湖西区降水异常偏少,较常年偏低28%,导致河湖水位持续偏低,水库塘坝蓄水严重不足。为保障城乡居民生活及工农业生产等用水安全,水利部太湖流域管理局根据引江济太启动机制,组织流域内水利(水务)部门编制新孟河抗旱调水试运行方案。

2022年10月20日8时30分,新孟河界牌水利枢纽开启3台机组实时闸泵联合调度引水,在罗溪水位不超过4.5 m、坊前水位不超过3.8 m的前提下,日均引水流量60~100 m³/s;根据调水试运行方案,在新孟河运北段水质稳定优于Ⅲ类后,10月21日开启奔牛水利枢纽地涵;12月16日21时起,新孟河界牌水利枢纽调整为适时引排,后续停止引水。抗旱调水试运行期间引水统计如表1所示,经统计,抗旱调水试运行58 d,界牌水利枢纽闸泵联合引水量4.28亿m³,其中泵站抽引4亿m³,闸引0.28亿m³,奔牛水利枢纽引水量3.94亿m³,累计过运河入洮滬片区水量占引江量的92.1%,有效增加了湖西区抗旱水源,缓解了地区旱情。

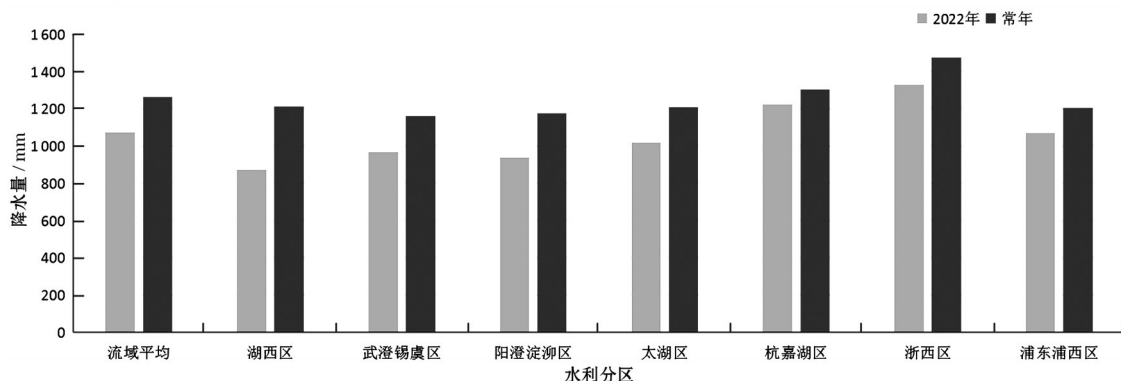


图1 2022年太湖流域年内降水量

表1 抗旱调水试运行期间引水统计

时间	界牌水利枢纽			奔牛水利枢纽	过运河水量占比/%
	闸引/亿 m ³	泵引/亿 m ³	闸泵联合引水/亿 m ³	闸引/亿 m ³	
10月	0.12	0.70	0.82	0.67	82.0
11月	0.14	2.20	2.34	2.21	94.4
12月	0.02	1.10	1.12	1.06	94.5
合计	0.28	4.01	4.28	3.94	92.1

3 水文水动力模型构建与模拟验证

为更好地分析工程效益,支撑新孟河工程调度优化研究及水资源配置分析,本次基于太湖流域模型框架,通过构建基于4类下垫面的降雨径流模型模拟面上产水及汇水过程,并与河网水动力模型耦合,建立新孟河工程水文水动力模型。考虑到平原河网水流运动规律受上下游左右岸、工程调度及边界条件影响较大,模型计算范围扩大至整个太湖流域,面积36 895 km²,并采用抗旱调水试运行期间水位流量实测数据开展模型模拟验证。

3.1 模型原理

3.1.1 降雨径流模型

降雨径流模块涉及太湖流域平原区16个水力计算分区的产流计算,针对流域土地利用特点,将下垫面划分为水面、水田、城镇、旱地及非耕地4类分别进行产流计算,并就近汇入河道断面。

水面产流计算式为

$$R_w = P - C_e E \quad (1)$$

式中: R_w 为水面日产流量; P 为日降水量; C_e 蒸发皿折算系数; E 为蒸发皿的蒸发量。

根据作物生长期的需水过程及水稻田适宜水深上、下限及耐淹水深等因素,逐日进行水量平衡计算,推求水田产水深 R 。

水田产流计算式为

$$H_0 = H_1 + P - \alpha E - f \quad (2)$$

式中: H_0 为计算过程中间变量; H_1 为时段初的田间水深; P 为时段内降水量; α 为水稻的需水系数; E 时段内水面蒸发量; f 为田间渗漏。

城镇产流计算式为

$$R_c = P - V - E \quad (3)$$

式中: R_c 为城镇净雨量; P 为时段内降水量; V 为初损量; E 为透水面蒸发量。

旱地及非耕地、建设绿地等透水地面,均采用蓄满产流模型进行模拟^[3],汇流过程则采用分布式

汇流单位线法^[4],以河网多边形为单元,综合考虑其距河道垂直距离及河道过流能力等因素,计算其产水汇入周边河道的时空过程。

3.1.2 河网水动力模型

河网水动力模型以河道断面、零维湖泊、闸泵工程上下游拓扑关系等作为计算节点,以流量及水位作为边界条件,采用四点隐式差分格式求解圣维南方程组。

3.2 建模成果及边界条件

模型按10 m等高线对山丘区与平原区进行划分,结合DEM数据及实际水系情况生成湖西山丘区80个子流域出口,并与平原河网耦合,作为上游流量边界参与水动力计算。平原区按照16个水利计算分区进行划分,共概化河湖水系计算节点4 025个,河道1 893条、闸泵工程868座,调蓄节点117个,新孟河河道闸泵工程规模按实际进行概化并建模。

为模拟降水量时空分布情况,模型降雨边界接入了全流域105座雨量站2022年实时数据,并通过构建雨量站泰森多边形实现点雨量对面雨量的转换,基于最新卫星遥感影响解译成果细化概化4类下垫面空间分布,实现不同类型下垫面产汇流过程精细化模拟。模型下游以长江、东海及杭州湾2022年潮位站实测数据作为边界,无实测潮位资料的外边界口门数据通过实测潮位站插值获得,以镇江站为起点,沿长江确定沿程各实测潮位站及插值潮位站距离,采用拉格朗日插值法进行潮位插值处理。

3.3 模型模拟验证

对2022年10月20日至12月16日新孟河抗旱调水全过程进行模拟计算,通过对比分析奔牛水利枢纽引水流量及湖西区代表站点水位计算值与实测值偏差,进而验证所建立模型的合理性。模型采用热启动方式开展抗旱调水期间水动力计算,以2022年1月1日8时水利分区代表站水位赋初始值,滚动模拟至2022年10月20日8时并输出全流域河

网水位作为本次方案计算初始条件。界牌水利枢纽调度采用10月20日至12月16日实际引江流量过程,奔牛水利枢纽基于试运行方案编制调度规则,采用抗旱调水期间新孟河工程及周边区域水位流量实测数据进行模拟验证。

通过模拟计算可知,奔牛水利枢纽过闸流量与实测过程拟合较好,抗旱调水期间累计过闸流量3.96亿 m^3 ,较实测值偏多3.8%,日平均过闸流量过程如图2所示。抗旱调水期间太湖、宜兴(西)最高计算水位与实测水位一致,王母观最高计算水位较实测偏低1 cm,坊前最高计算水位较实测偏高2 cm,各代表站日均水位误差均控制在 ± 3 cm以内,相互之间拟合程度较好。结果表明,新孟河工程水文水动力模型计算成果能够较真实反映工程调度期间研究区域范围内水文水动力情况,可为工程效益分析及调度方案优化提供技术支撑。

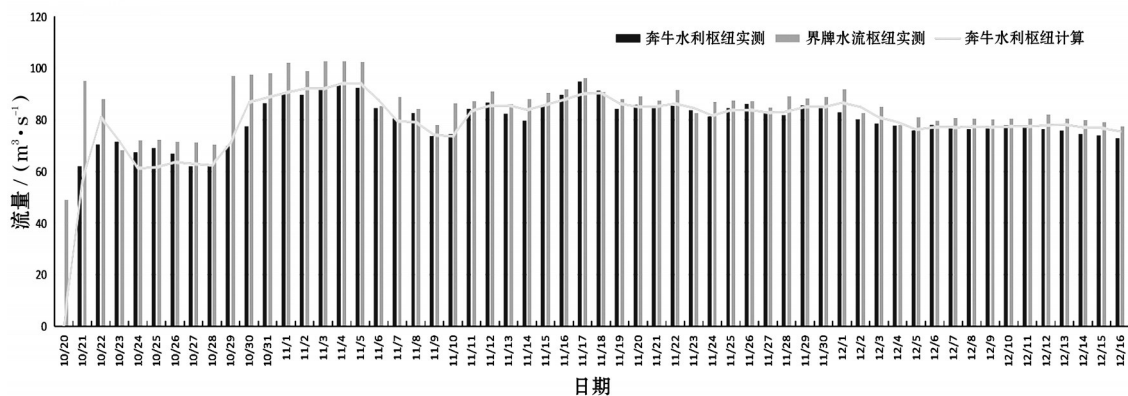


图2 奔牛水利枢纽计算过闸流量与实际日平均过闸流量过程

14 cm,降幅最大。抗旱调水期间200 m^3/s 引江情景模拟结果显示,各区域代表站特征水位总体升高,其中王母观最高水位较实际增幅最大,最低水位增幅较最高水位增幅小,王母观、坊前和宜兴(西)最低水位增幅分别为3.0 cm、3.8 cm和4.3 cm,水位变幅在空间分布上表现不明显。

从方案比较可以看出,各站点水位变幅和新孟河工程呈现较强的空间相关性,新孟河周边受来水顶托和水量补充效果明显,王母观水位变幅最大,其次为坊前、宜兴(西)。此外,随着引江规模逐渐增加,对于代表站最高水位的增幅影响逐渐加大,对于代表站最低水位的增幅影响逐渐减小,如图3所示。实况较不引江情景王母观最高水位仅抬高4 cm,200 m^3/s 引江情景下王母观最高水位则较实况抬高16.7 cm;实况较不引江情景王母观最低水位

4 抗旱调水情景分析

界牌水利枢纽工程在抗旱调水期间根据调水试运行方案日均引水流量控制在60~100 m^3/s ,实测平均过闸流量为85.5 m^3/s 。为进一步探究新孟河引水工程效益,在流域其他工程调度不变的情况下,拟利用建立的水文水动力模型分别对界牌水利枢纽不引江和界牌水利枢纽按200 m^3/s 引江2种情景进行模拟,对比2种情景下洮滬片区代表站点特征水位与实况情景变化关系,分析不同引水方案对区域水资源时空分布影响。

模拟结果表明,抗旱调水期间不引江情景较实况区域代表站水位总体偏低,其中太湖及宜兴(西)最高水位与实况一致,王母观最高水位较实况偏低4 cm,降幅最大;各站点最低水位及平均水位均较实况不同程度偏低,其中王母观最低水位较实况偏低

抬高14 cm,200 m^3/s 引江情景下王母观最低水位较实况仅抬高了4.3 cm。综上所述,采用实况引江规模可以较大幅度抬升洮滬片区河网最低水位,缓解区域旱情,若进一步增大引江规模,对区域河网低水位抬升效果不明显,最高水位大幅抬高后又易造成防洪风险,由此可知,新孟河抗旱调水试运行方案确定的引水规模是科学、合理的。

5 结论及建议

新孟河工程是太湖流域的一项骨干调水引流工程,其工程调度运用,与太湖流域及湖西区水资源配置密切相关。本文通过构建新孟河工程水文水动力模型,并对不同引江方案开展情景分析。

基于太湖流域水文水动力模型,构建了基于四

(下转第64页)

7 明确监管责任

管理处严格按照“三管三必须”的要求,按照《处领导班子安全生产责任清单》《处属单位(部门)安全生产责任清单》的规定落实安全生产责任,以“清单制”落实“全员安全生产责任制”,将安全生产“六项机制”工作落实纳入单位、部门年度考核主要内容,实行安全生产“一票否决制”,落实奖惩制度,达到“责权利”相结合。

参考文献:

- [1] 徐铭,陈凯,施翔,等. 安全生产网格化监管在基层水管单位的应用实践[J]. 江苏水利,2019(12):63-65.
- [2] 徐铭,曹恒楼,陈钟. 基于风险矩阵的水库风险评价方法研究与应用[J]. 江苏水利,2021(9):62-65.
- [3] 于建建,韩成银,张敏. 大型闸门测控技术在三河闸的应用[J]. 水利水电技术,2002(10):67-70,77.
- [4] 陈昌仁,周和平,徐铭,等. 堤防工程段格化管理的探索与实践[J]. 中国水利,2020(8):41-42,52.

(上接第60页)

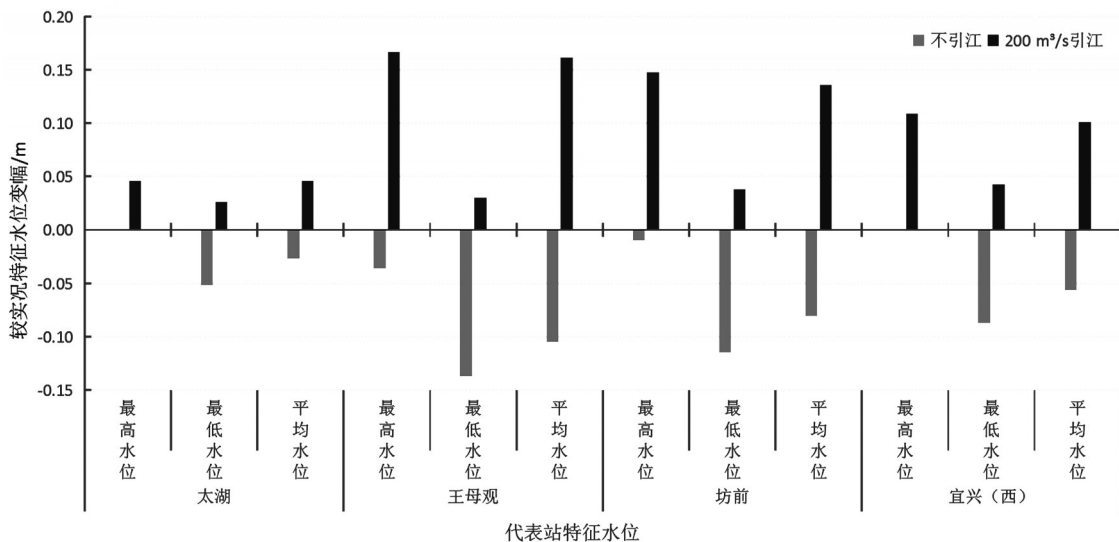


图3 洮漏片代表站点特征水位变幅对比

类下垫面的新孟河工程水文水动力模型,并耦合了流域内河道、湖泊、水利工程等水动力过程。采用2022年新孟河抗旱调水试运行实况数据对模型进行了模拟验证,计算结果与实测值拟合程度较好。模型计算成果能够较真实反映工程调度期间研究区域范围内水文水动力情况,可为工程效益分析及调度方案优化提供技术支撑。在流域其他工程调度不变的情况下,分别对界牌水利枢纽不引江和界牌水利枢纽按200 m³/s引江情景进行模拟分析。结果表明,各站点水位变幅和新孟河工程引水呈现较强的空间相关性,采用实况引江规模可以较大幅度抬升洮漏片区河网最低水位,缓解区域旱情,若进一步增大引江规模,对区域河网低水位抬升效果不明显,最高水位大幅抬高后又易造成防洪风险,进一步证明了新孟河抗旱调水试运行方案中引水规模确定的科学性与合理性。

本次新孟河工程启动抗旱调水试运行,这也是该工程首次正式调水,新孟河工程调度复杂、影响面广,工程引水既要兼顾区域用水需求,又要避免过度抬高底水带来的区域防洪风险。为更好地发挥工程作用,建议进一步加强新孟河工程运行过程的水量水质监测,充分利用好模型工具开展未来预报场景下的“正向”和“逆向”工程调度模拟仿真,为下阶段科学制定和优化调度方案提供借鉴。

参考文献:

- [1] 吴浩云,甘月云,金科. “引江济太”20年:工程实践、成效和未来挑战[J]. 湖泊科学,2022,34(5):1393-1412.
- [2] 张春松,宋玉,陶娜麒,等. 江苏省苏南运河沿线地区联合调度实践与思考[J]. 中国防汛抗旱,2018,28(3):4-6.
- [3] 程文辉,王船海,朱琰. 太湖流域模型[M]. 南京:河海大学出版社,2006.
- [4] 赵人俊. 流域水文模拟:新安江模型与陕北模型[M]. 北京:水利电力出版社,1984.