

新孟河引水对沿程无闸控支河水动力 泥沙特性的影响与修复对策

黄廷杰¹, 吴 忠², 邵 勇², 陆 彦¹, 吴 攀¹

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省太湖治理工程建设管理局, 江苏 常州 213022)

摘要:开展二维水动力泥沙模型模拟研究,发现新孟河引水将使沿线主要无闸控支河水位普遍抬升、流速增大,改变支河上游水流流向;鹤溪河及夏溪河与新孟河干线交汇口门附近整体呈微冲趋势,而湟里河则相反;夏溪河下游、湟里河冲刷趋势会影响岸坡稳定和水生植物分布。提出在交汇河口及其下游河段进行岸坡防护和生态修复对策,提高新孟河引水工程运行稳定性及其综合效益。

关键词:引江济太;新孟河延伸拓浚工程;水动力;泥沙输移

中图分类号:TV148 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2020)12-0004-05

Influence of Xinmeng River diversion on hydrodynamic and sediment properties of non – sluice controlled branch rivers and its restoration countermeasures

HUANG Tingjie¹, WU Zhong², SHAO Yong², LU Yan¹, WU Pan¹

(1. Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, China;

2. Jiangsu Province Taihu Treatment Project Construction Administration, Changzhou 213022, China)

Abstract: Two – dimensional hydrodynamic and sediment model simulations showed that the water diversion through Xinmeng River would significantly increase the water level and velocity of main non – sluice controlled branch rivers, so as to change the flow direction of the upstream. The Hexi River and Xiaxi River and the vicinity of the junction of the Xinmeng River trunk line show a slight flushing trend as a whole, while the Huangli River is the opposite. The erosion trend of the lower reaches of Xiaxi River and Huangli River will affect bank slope stability and distribution of aquatic plants. Countermeasures of bank slope protection and ecological restoration in the intersection estuary and its downstream reach were put forward to improve the operation stability and comprehensive benefits of Xinmeng River diversion project, which could provide a useful reference for environmental protection design concerning to branch rivers in water diversion project.

Key words: Yangtze – Taihu Water Diversion; Xinmeng River extending and dredging project; hydrodynamics; sediment transport

新孟河属太湖流域湖西区沿江水系,新孟河延伸拓浚工程是《太湖流域水环境综合治理总体方案》安排的提高水环境容量(纳污能力)引排工程关

键实施项目之一,河道全长 116.69 km,平水年引长江水入湖水量达到 25.2 亿 m³,枯水年流域水资源配置引江入湖水量 21.4 亿 m³,100 年一遇流域防

收稿日期:2020-05-28

基金项目:江苏省水利科技项目(2018038;2019023)

作者简介:黄廷杰(1988—),男,工程师,博士,主要从事河流水沙运动及水质模拟研究工作。E-mail:tjhuang@nhri.cn

非结构网格剖分计算域,既可以克服矩形网格锯齿形边界所造成的流动失真,也可以避免生成有结构贴体曲线网格的复杂计算和其他困难。因此,为了更好地拟合研究区域的形状以及岛屿等,采用的网格为三角形与四边形混合的非结构网格单元组成。

为了更好地反映各支河与新孟河交汇情况、支河入太湖水沙情况,模型计算区域进口边界为界牌枢纽支河口门和扁担河在京杭运河口门,出口边界为鹤溪河交新孟河西侧汇流、夏溪河交新孟河西侧出流、湟里河交新孟河西侧出流、北干河交新孟河西侧出流、扁担河、孟津河的汇流,太湖以及武南河、太漏运河、漕桥河、殷村港、烧香港等出湖河道的出流。此处采用的网格为三角形与四边形混合的非结构网格单元组成。模型网格如图 2 所示。

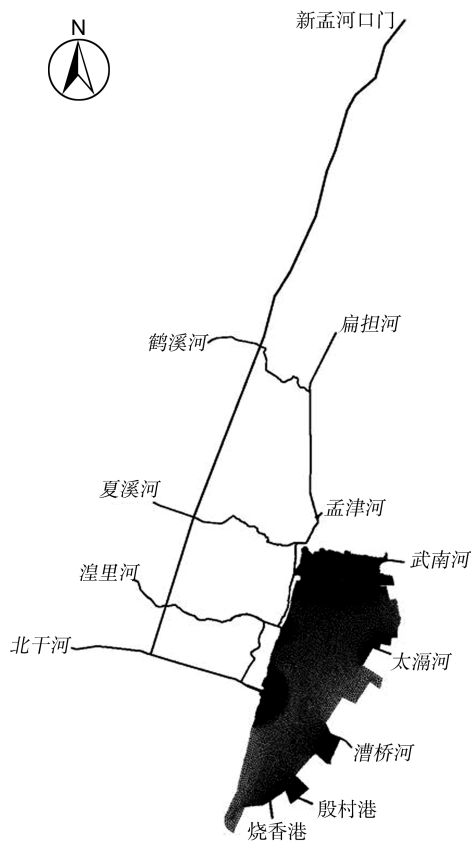


图 2 模型网格

2.3 模型验证

根据《新孟河初步设计总报告》的设计资料对模型进行验证(表 1~2),在设计流量下各断面水位流量为瞬时最大值,只验证日均引水流量水位。结果表明,在日均引水流量($Q=320 \text{ m}^3/\text{s}$)条件下,运河以北段(长江—运河)的入江口断面(界牌枢纽)、过京杭运河断面(立交地涵)、南延段(运河—北干河)的 3 条支河以及北干河断面计算水位与设

计值相差 0.10 m 以内。本研究建立的数学模型计算水位、流量结果与初设报告结果比较吻合。

表 1 水位模型验证结果

序号	主要断面	水位		
		设计 值/m	计算水 位/m	差值/ m
1	运河以北段(长江—北干河)			
(1)	入江口断面(界牌枢纽)	4.03	4.04	0.01
(2)	过京杭运河断面(立交地涵)	3.79	3.80	0.01
2	南延段(运河—北干河)			
(1)	新孟河交鹤溪河断面	3.68	3.74	0.08
(2)	新孟河交夏溪河断面	3.6	3.56	-0.04
(3)	新孟河交湟里河断面	3.43	3.46	0.03
(4)	新孟河交北干河断面	3.4	3.38	-0.02
3	北干河(洮湖—太湖)			
(1)	北干河交洮湖断面	3.33	3.35	0.02
(2)	北干河交新孟河断面	3.37	3.36	-0.01
(3)	北干河交太湖断面	3.16	3.20	0.04

表 2 流量模型验证结果

序号	出湖河道(流量)	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		
		设计值	计算值	差值
(1)	太漏运河	48	54	6
(2)	漕桥河	36	31	-5

3 引水对无闸控支河水动力的影响

水动力计算结果表明,新孟河引水后与鹤溪河、夏溪河和湟里河的交汇河口水位平均抬高 10 ~ 20 cm,但交汇区域流速明显增加(表 3)。

日均引水流量($Q=320 \text{ m}^3/\text{s}$)条件下,新孟河沿线与各支河交汇河口西侧平均流速为 0.14 ~ 0.26 m/s,东侧平均流速为 0.14 ~ 0.19 m/s。其中,新孟河沿线与鹤溪河、夏溪河交汇断面的西侧平均流速高于东侧,而与湟里河交汇断面东侧平均流速较西侧略大(增幅约 0.05 m/s)。以新孟河为界,从 3 条支河与新孟河的交汇地貌和流场分布来

表 3 不同引水条件下新孟河沿线与支河交汇河口断面平均流速

单位:m/s

主要断面	日均引水流量条件 ($Q=320\text{ m}^3/\text{s}$)		设计引水流量条件 ($Q=745\text{ m}^3/\text{s}$)	
	西侧	东侧	西侧	东侧
新孟河交鹤溪河断面	0.22	0.14	0.42	0.25
新孟河交夏溪河断面	0.26	0.14	0.36	0.19
新孟河交湟里河断面	0.14	0.19	0.16	0.21

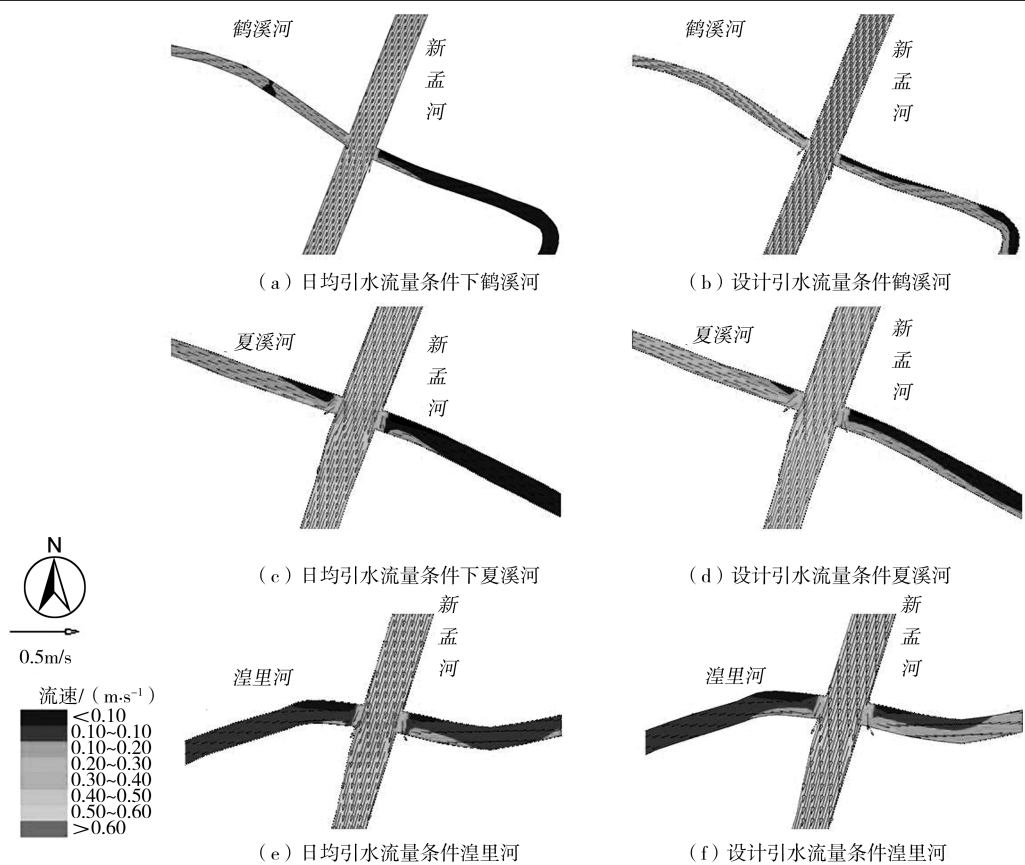


图 3 不同引水流量条件下新孟河引水沿线与无闸控支河交汇河口的流速分布

看(图 3)。鹤溪河上游流场分布均匀,且水流仍然向下游流动,表明新孟河与鹤溪河上游入汇水流较为平顺,且受到新孟河引水影响,上游水流受到顶托作用,造成流速减小。而鹤溪河下游水流受到新孟河截流及引水影响,口门区域流速分布较为不均,平均流速也较上游减半,这也可能受到下游急弯段水流顶托的影响;夏溪河河型较为平直,与新孟河呈垂直交汇,因此交汇口门两侧流场均有不同程度的扰动,而夏溪河上游水流溯回,表明新孟河分流水流功率大于原河道,下游流场分布较为均匀,上游流速普遍高于下游(小于 0.1 m/s),这可能是受到交汇口门高程影响;湟里河与新孟河交汇区

域恰处于 2 个连续弯道段,两侧入汇水流受一定程度弯道阻力的影响,从而使流速减小,口门区域流场分布也不均匀。但上游水流依然溯回,且上下游流速大小相当,下游受到弯道形态影响,流场分布较为不均。交汇区域东侧平均流速大于西侧,则是由于下游顺水流方向入汇,且水流运动轨迹与弯道凹岸深槽相一致。

设计引水流量($Q=745\text{ m}^3/\text{s}$)条件下,相比日均引水流量,新孟河沿线与各支河交汇河口及上下游河道流速普遍增加,西侧平均流速为 0.16 ~ 0.42 m/s,东侧平均流速为 0.19 ~ 0.25 m/s,各支河交汇河口的流速特征与日均引水流量条件下的

流速分布变化又有不同,各交汇河口流速分布不均匀范围继续向两侧扩大,这当然是受到各入汇河口处水流动力增强的缘故。鹤溪河上游段水流溯回,而各支河下游段水流流速分布则基本以河道深槽为界,下游水流顺河道入汇与原河道地貌形态变化相一致。湟里河上游河道流速变化不大,这也可能是由于水位抬升后河道断面大幅展宽的影响。

另外,新孟河引水后在支河交汇河口的北岸区域存在低速区,流速 0.1 m/s 左右,而交汇处南岸区域受到来流顶冲,流速较大,流速最高可达到 0.5 m/s 。水流进入支河后,沿程逐渐恢复为均匀水流。流量不同时,河口段横断面的流速分配不均匀程度也不同,日均流量时低速区域较大,而设计流量下支河口口门区域断面流速差异性较小。

4 引水对无闸控支河泥沙输移的影响

长江水质较好,但含沙量相比各支河河道较大,从新孟河引水干流沿线河道冲淤变化来看(图4),河道泥沙总体呈现由快速沉降到缓慢沉降的趋势,且随着含沙量增加,沿线泥沙呈现加速沉降趋势。

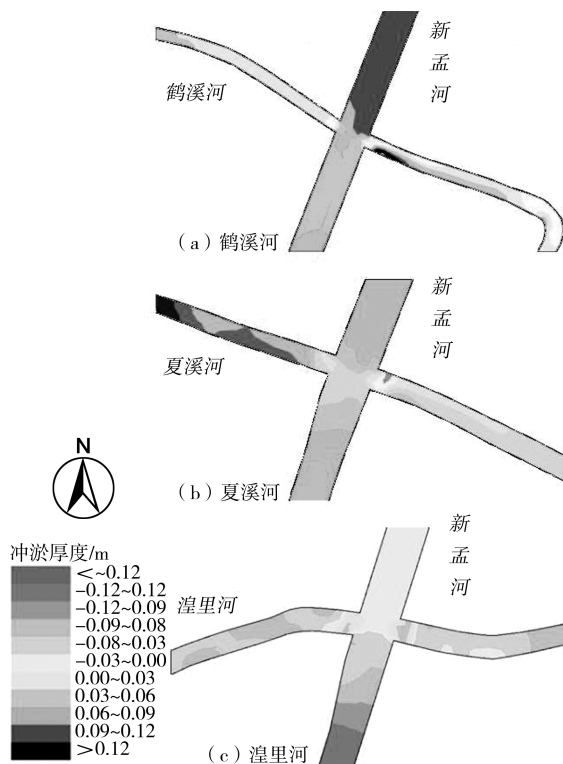


图4 新孟河引水沿线与无闸控支河交汇河口的冲淤分布

新孟河干线从上游向下游主要表现为先淤后冲的趋势,大部分泥沙淤积在新孟河口至鹤溪河河段。鹤溪河、夏溪河与新孟河引水沿线交汇河口两

侧地形受到入汇水流动力较强,且河势较为平顺,因此呈冲刷趋势。而湟里河与新孟河沿线交汇河口受到两侧弯道形态影响,口门呈现微淤趋势,年冲淤幅度约 $3 \sim 9 \text{ cm}$ 。鹤溪河整体呈现微淤趋势(约 $0 \sim 3 \text{ cm}$)。各支河上游段以夏溪河淤积程度最高(约 $6 \sim 12 \text{ cm}$),考虑其水动力条件受到引水后分流影响更强,口门的拓宽也使得上游分沙增大,造成上游普遍淤积,而下游交汇河口高程阻止了更多的分沙进入,河道整体呈现微冲趋势。随着泥沙向下游运动并不断淤积,湟里河与新孟河交汇区域水体含沙量已经大幅下降,弯道地貌形态阻止了更多的含沙量进入上下游河道,但水流惯性作用继续增强,造成上下游河段普遍冲刷(约 $0 \sim 9 \text{ cm}$)。下游新孟河干线冲刷强度则继续增大(最大约 12 cm)。

由此看来,鹤溪河与夏溪河支河口口底质将从淤泥质基质向粉砂质基底发展,而湟里河口门的不断淤积将有可能影响上下游引水,从而影响该河段沿河生态条件。夏溪河下游及湟里河河道冲刷也会增加两岸岸坡稳固及生态风险。

5 引水工程交汇河口的修复对策

5.1 岸坡防护

新孟河引水对无闸控支河交汇河口的冲刷直接影响了河岸地质结构的稳定性,在今后应特别注意加强对各支河与新孟河沿线交汇河口两岸及各支河下游右岸岸坡的防护,保障新孟河引水干流通道的畅通。同时,引水后水位上升导致河水对支河岸坡的渗透作用增强,覆盖植被对岸坡的“锚固”作用被削弱,岸坡稳定性下降。

交汇河口的岸坡可采用防护性强、生态友好型的护坡形式,如生态护坡砖、钢丝网格护坡等。生态护坡砖具有较强的整体性,可采用连锁式设计,块体之间拼装紧密,能抵抗较大流速的冲刷;钢丝网格采用耐腐蚀、高强度、柔性好的钢丝编织成网笼,其内充填石料而成,具有整体性和透水性好、可适应变形、防水流冲刷等优点。两种护坡形式均可配合覆土和种植耐淹植物^[2,3],营造一定的生态景观。

5.2 生态修复

2018 年与 2019 年分别对交汇河口及支河的生态环境进行了全面的调查,支河沿线河滨带分布有大片芦苇、菖蒲、菹草等水生植物。引水后适宜生长环境上移将使得现有挺水植物部分消亡,新扩展的河岸水深 1.0 m 区域内将逐渐成为挺水植物的

(下转第 16 页)

- [12] CERMELJ B, BERTUZZI A, FAGANELI J. Modelling of Pore Water Nutrient Distribution and Benthic Fluxes in Shallow Coastal Waters (Gulf of Trieste, Northern Adriatic)[J]. Water Air & Soil Pollution, 1997(99):435-444.
- [13] 王圣瑞. 沉积物-水界面过程[M], 北京:科学出版社, 2013.
- [14] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M], 北京:中国环境出版社, 1990.
- [15] CIENIAWSKI S, MACDONALD D D, Ingersoll C G. EPA-905-B02-001-A, A guidance manual to support the assessment of contaminated sediments in freshwater ecosystems[S]. Chicago, Illinois, United States: Great Lakes National Program Office, 2002.

(上接第 3 页)

控制利用长江潮位差实施常态化引排水,将有效提升太湖流域武澄锡片的防洪排涝能力,增加区域骨干河网的水动力条件。在新孟河建成投运后,调引长江水,经溁湖调蓄,由太溁运河、漕桥河汇入太湖。但目前溁湖及太湖周边河网水质相对较差,而太湖口门处尚未建控制建筑物,所以在调水过程中,为减少调水初期太溁运河、漕桥河等河网水体入湖水量,要尽可能发挥新沟河外排作用。新孟河调水入竺山湖,新沟河排除梅梁湖水体,通过导流工程和调度措施,部分水体形成竺山湖至

梅梁湖输水通道,对改善竺山湖、梅梁湖水体水质有直接作用。在坚持先治污原则下,强调节水就是减污,要求片区企事业单位调整产能结构,减少用水量,改进生产流程,控制污水总量。加强对河道断面监测监控,实行断面补偿机制,落实节水减污责任制。研究新沟河排水作用与控制苏南运河常州至无锡水位的关系,合理调度城市涝水排入运河的时间和水量,优化调度新沟河的排水效益,防范洪水风险,保障地区防洪安全,促进经济稳定发展。

(上接第 8 页)

主要分布区^[4]。同时,在支河交汇河口流速增加(可高达 0.5 m/s),对柔性沉水植物可能造成割裂^[5]。可考虑在支河交汇河口附近营造深潭地形,防止口门泥沙淤积;在交汇口下游的自然岸带,采用如植物扦插生态护坡、土工织物草皮护坡、杉木桩护岸等形式,重建河岸带生境,创造出适宜于水生生物生长的栖息环境。

6 结 语

新孟河延伸拓浚工程建成后引水将对沿线无闸控连通支河主要带来水动力泥沙、生态等方面的影响,同时反过来水动力泥沙和生态也影响引水工程的稳定运行,为此需要提前制定修复对策。水动力泥沙模型研究表明,新孟河引水后将使得无闸控支河水位升高、流速增大,对岸坡稳定性和生态产生影响,需引起足够重视。建议在无闸控

支河与新孟河引水沿线交汇河口及其下游河段进行岸坡防护和生态修复,保证提高新孟河引水工程效益。

参考文献:

- [1] 王志力, 耿艳芬, 陆永军, 等. 基于广义垂线坐标系的三维非结构数学模型及其在珠江口的应用[J]. 水科学进展, 2019, 30(6):884-891.
- [2] 李晋. 河流生态修复技术研究概述[J]. 地下水, 2011, 33(6):60-62.
- [3] 董哲仁, 孙东亚, 赵进勇, 等. 河流生态修复[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2013.
- [4] 陈兴茹. 国内外河流生态修复相关研究进展[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(5):122-128.
- [5] 李怡, 李垒, 关伟, 等. 水文条件对水生植物的影响作用研究进展[J]. 环境保护与循环经济, 2017, 37(8):44-48.