

# MIKE21 模型 在桥墩壅水模拟分析中的应用

张 飞, 朱丽丽, 陈青青, 王邦玮, 王 洁

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210006)

**摘要:**为分析桥墩对河道行洪安全的影响,以白马河上2座新建桥梁为研究对象,利用 MIKE21 构建水动力模型,对工程段河道水位和流场进行数值模拟,对比分析建桥前后水位和流场的变化情况。结果表明:桥墩引起的上游水位壅高值较低,河道流场变化主要局限于桥梁附近,流速有所增大,流向变化较小。总体来说,建桥前后工程河段整体流态变化不大,增大桥梁跨径能够进一步减轻桥墩对河道行洪的影响,分析结果可为桥梁工程设计和防洪评价工作提供技术参考。

**关键词:**桥墩; 壅水; MIKE21 模型; 数值模拟; 白马河

中图分类号:TV698

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2025)03-0047-0006

## Application of MIKE 21 model in simulation analysis of bridge pier backwater

ZHANG Fei, ZHU Lili, CHEN Qingqing, WANG Bangwei, WANG Jie

(Nanjing Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210006, China)

**Abstract:** In order to analyze the impact of bridge piers on river flood safety, the two newly built bridges on Baima river was taken as an example. MIKE21 FM hydrodynamic model was established to simulate the water level and flow field of river, the changes in water level and flow field before and after bridge construction was comparative analyzed. The results showed that the backwater height of the upstream water level caused by the bridge piers was relatively low. The change of the river flow field was mainly limited to the vicinity of the bridge. The flow velocity increased to some extent, while the change in the flow direction was relatively small. Overall, the changes in river flow regime were small before and after bridge construction. Increasing the bridge span can further reduce the impact of bridge piers on river flood discharge. The analysis results can provide technical references for bridge engineering design and flood control assessment.

**Key words:** bridge pier; backwater; MIKE21 model; numerical simulation; Baima River

在河道内修建桥墩等建筑物会占用过水断面,水流受阻,造成上游水位升高形成壅水现象。目前常用的桥梁壅水计算方法有经验公式法、物理模型法和数值模拟法等3类。

经验公式法应用较为广泛,是以能量动量守恒及堰流公式为理论基础,并结合工程实践经验总结

得出的半理论半经验性质的一类公式。常用的经验公式主要包括 D'Aubuisson 公式、实用水力学公式、铁科院陆浩公式、Henderson 公式等<sup>[1]</sup>。每种经验公式的使用范围及考虑因素各不相同,计算成果往往与实际相差较大,具有一定的局限性<sup>[2]</sup>。物理模型法一般是在理想化条件下建立的,结论与实际

收稿日期: 2024-11-01

作者简介: 张飞(1991—),男,工程师,硕士,主要从事水利规划工作。E-mail:616389455@qq.com

情况往往存在差距,且耗费的人力、物力和时间成本较大。数值模拟是基于计算机仿真技术的流体力学研究方法,模拟结果具有普遍性和预测性。常用的水动力数值模拟软件有Delft3D、MIKE、HEC-RAS、SMS等。

目前MIKE软件应用较为广泛,平面二维数学模型MIKE21发展很快,在河道治理、涉河工程建设项目中得到广泛应用并取得较好的模拟效果。其中MIKE21水动力模块是以三角形网格为基础,可根据实测地形进行网格概化,能够较好地模拟河道水流特性及涉河建筑物的壅水影响<sup>[3]</sup>。鉴于MIKE21模型的精确性与可视化性<sup>[4]</sup>,本文以白马河上2座新建桥梁为研究对象,运用MIKE21建立工程段白马河水动力模型,对河道水位和流场进行数值模拟,对比分析建桥前后水位和流场变化情况,相关研究成果旨在为涉河工程建设方案提供参考。

## 1 研究区概况

### 1.1 区域概况

白马河是溧水区新桥河左岸支流,自老鸦坝水库流经白马镇,与姚家水库溢洪河交汇后入新桥河,河口设有周家山闸。白马河流域面积122.16 km<sup>2</sup>,流域内有中型水库1座(老鸦坝水库),小型水库5座(贯庄、尤嘴、岔路口、西杨庄、团结水库)。白马河全长16.7 km,河底高程4.1~31.5 m(1985国家高程基准,下同),河底宽40~68 m,河槽边坡1:1.5~1:3,河口宽12~63 m,堤(岸)顶高程14.6~32.5 m。

### 1.2 沿线设施

工程段白马河沿线设施主要有周家山闸、周家桥、港头桥。周家山闸位于白马河入新桥河上游167 m处,为中型水闸,主要功能为泄洪、蓄水、灌溉,兼顾挡洪功能。闸孔总宽15 m,共3孔,闸底板高程5.1 m,闸顶高程9.6 m。水闸两侧以翼墙与上

下游迎水坡衔接,翼墙长67 m,宽11 m,顶部高程9.5 m。闸室上游侧布置交通桥,桥长52.3 m,桥跨型式为8.35 m+8.8 m+3×6.0 m+8.8 m+8.35 m(7跨过河),桥宽5.7 m,河道内顺水流方向布设6排桥墩,每排各2根,桥墩直径1.0 m,中间4排桥墩与周家山闸对孔布置,两侧边墩布置在翼墙上。周家桥、港头桥为农桥,分别位于周家山闸上游391 m、644 m处,桥长桥跨型式均为4×16 m,桥宽6 m,河道内顺水流方向布设3排桥墩,每排各2根,桥墩直径1.0 m。

工程段白马河沿线设施情况如图1所示。

### 1.3 新建桥梁工程概况

周家山桥位于周家山闸上游161 m处,桥长97.2 m,桥跨型式为3 m×30 m,桥宽12 m,河道内顺水流方向布设2排桥墩,每排各3根。桥梁上部采用预应力组合箱梁,梁高1.6 m,梁底高程16.14 m,下部结构采用柱式墩台,桩基直径1.5 m,桥墩直径1.4 m。王郎头桥位于周家山闸上游760 m处,梁底高程16.23 m,其余结构参数与周家山桥一致。

新建周家山桥、王郎头桥立面设计如图2和图3所示。

## 2 水动力模型的建立

### 2.1 地形数据

模型采用的地形数据为白马河带状地形图和河道实测断面数据(每隔25 m桥梁位置处加密测量),河道水下地形根据上述实测点位数据构造。周家山闸3孔过流水闸采用模型内置的Gates模块进行模拟,两侧翼墙根据实际尺寸通过抬高河底地形进行处理。河道内现状和拟建桥墩根据实际尺寸、角度采用模型内置的Piers模块进行模拟<sup>[5]</sup>。

### 2.2 模型范围及网格剖分

综合考虑工程所在河段的水文资料、拟建桥梁

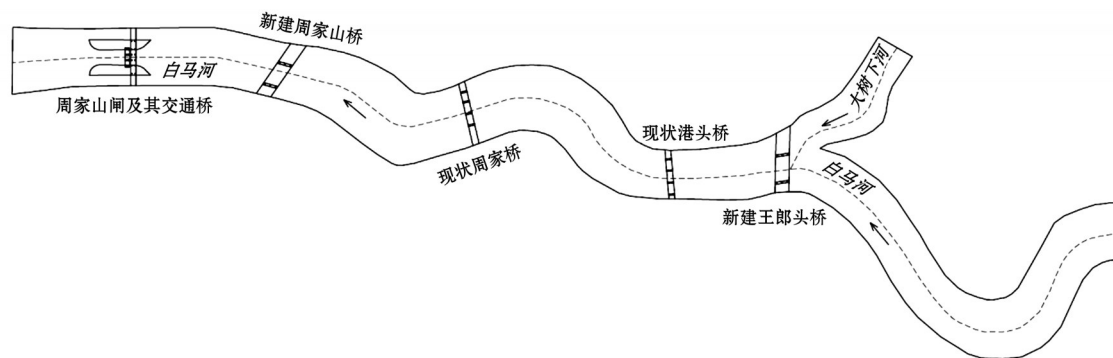


图1 工程段白马河沿线设施情况

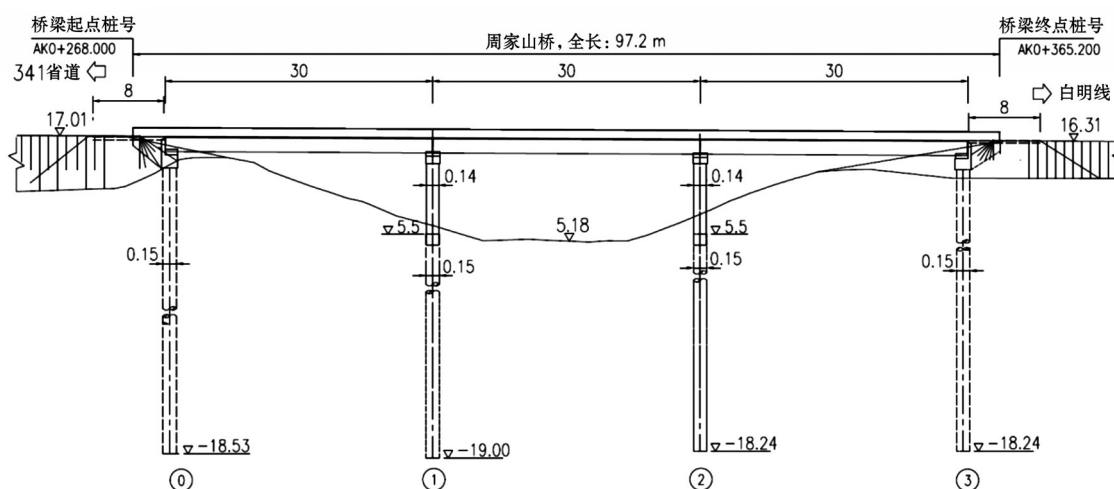


图2 周家山桥立面设计图(单位:m)

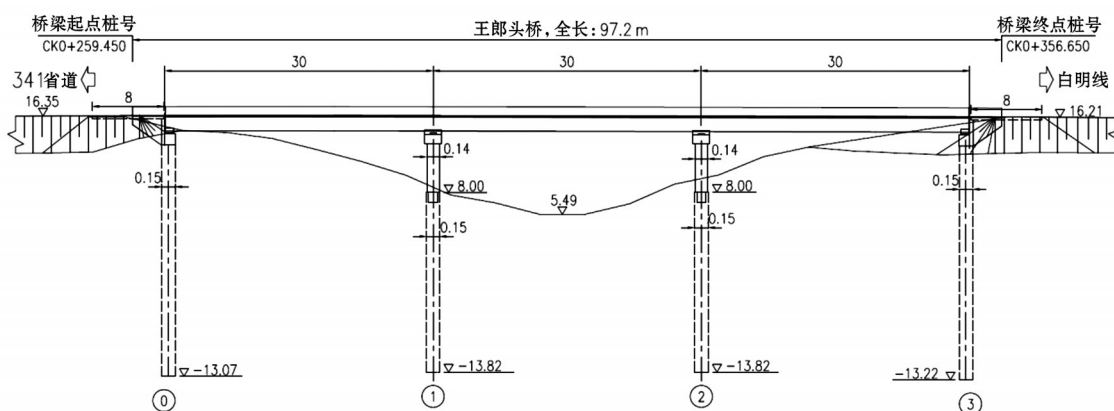


图3 王郎头桥立面设计图(单位:m)

壅水影响范围以及模型分析成果精度等因素,并结合模型计算的稳定性与高效性需求,本次二维模型上边界取王郎头桥上游0.5 km处,下边界取白马河与新桥河交汇处,模拟河段全长1.4 km,两岸边界为河道上口线,河宽53~72 m,模型模拟平面面积合计95397 m<sup>2</sup>。

本次模型采用三角形网格对模拟河段进行剖分,在河道高程变化平缓且岸线较为平顺的位置,网格尺寸适当加大,以减小模型计算时间。在水闸和桥梁附近、局部地形突变或高程变化较为剧烈的位置,适当进行加密网格处理,以保证计算精度要求。计算范围内网格面积一般控制在12 m<sup>2</sup>左右,加密区域网格最大面积不大于6 m<sup>2</sup>,模型计算网格数合计21341个,节点数合计11609个。

### 2.3 边界条件和计算工况

模型上游采用流量边界条件,下游采用水位边界条件。根据相关水利规划<sup>[6]</sup>,白马河防洪标准为20年一遇,其计算工况为流域20年一遇降水遭遇新

桥河20年一遇水位(13.20 m)。根据周家山闸控制运用办法,汛期白马河行洪时周家山闸3孔全开泄洪。本文采用设计暴雨推求设计洪水,采用瞬时单位线法并考虑流域内水库的调蓄作用,推算得到白马河及其支流大树下河20年一遇设计洪峰流量分别为338 m<sup>3</sup>/s、11 m<sup>3</sup>/s。模型边界条件取值见表1。

表1 模型边界条件取值

设计洪水标准	下游水位边界条件/m	上游(白马河)流量边界条件/(m <sup>3</sup> /s)	上游(大树下河)流量边界条件/(m <sup>3</sup> /s)
P=5%	13.2	338	11

模型计算采用4种工况:工况一为两桥建设前现状工况,工况二为周家山桥建成,工况三为王郎头桥建成,工况四为周家山桥和王郎头桥全部建成。

### 2.4 模型计算参数

模型需设定的参数主要包括计算区域的曼宁

系数、涡旋黏性系数、模型干湿度等<sup>[7]</sup>。根据《南京市防洪规划——通湖河道设计洪水研究》相关成果,经实测流量和水位数据验证,工程段河道河床综合糙率取0.027,曼宁系数取37,涡旋黏性系数采用默认值0.28,干水深取0.005 m,淹没水深取0.05 m,湿水深取0.1 m。

### 2.5 监测点布置

为比较建桥前后河道水位、流场变化情况,在白马河主河槽位置共布置47个监测点,各监测点横向(顺水流方向)间距25 m。其中,1#监测点位于拟建周家山桥下游30 m处,47#监测点位于模型最上流量边界处。

### 2.6 模型率定

采用周家山闸站实测流量和水位数据进行模型验证,经计算,模型中周家山闸位置处的计算水位与实测水位对比见表2。计算水位与实测水位差值为0.012 m,说明模型能够较好地反映河底地形,所采用的参数较为合理,模拟效果较为理想。

表2 模型验证成果

断面位置	上游流量/ (m <sup>3</sup> /s)	计算水位/ m	实测水位/ m	差值/m
周家山闸上游	237	12.932	12.92	0.012

## 3 模拟结果分析

### 3.1 阻水比

根据模型计算结果,拟建周家山桥、王郎头桥位置处20年一遇设计水位分别为13.26 m、13.43 m,相应桥墩阻水比分别为5.4%、4.9%,符合相关技术规程<sup>[8]</sup>规定的“跨越其他河道的桥梁,阻水比宜控制在6%以内,不宜大于7%”要求。桥墩阻水比见表3。

表3 桥墩阻水比

桥梁名称	工程位置处 水位/m	河道过水 断面面积/m <sup>2</sup>	桥墩阻水 面积/m <sup>2</sup>	阻水比/ %
周家山桥	13.26	291.97	15.87	5.4
王郎头桥	13.43	284.54	13.99	4.9

### 3.2 水位变化分析

不同工况下工程段河道沿程水位见表4,沿程水位及壅高值如图4和图5所示。由模拟结果可分析得出:

表4 不同工况河道沿程水位情况

监测点 编号	起点距/ m	水位/m			
		工况一	工况二	工况三	工况四
1#	0	13.2448	13.2446	13.2448	13.2446
4#	75	13.2711	13.2777	13.2711	13.2777
7#	150	13.3016	13.3080	13.3016	13.3080
10#	225	13.3017	13.3081	13.3018	13.3081
13#	300	13.3250	13.3312	13.3251	13.3313
16#	375	13.3477	13.3540	13.3477	13.3540
19#	450	13.3539	13.3601	13.3538	13.3600
22#	525	13.3642	13.3706	13.3643	13.3706
25#	600	13.4089	13.4150	13.4076	13.4137
28#	675	13.4385	13.4444	13.4436	13.4495
31#	750	13.4604	13.4655	13.4658	13.4704
34#	825	13.4910	13.4963	13.4956	13.5012
37#	900	13.5315	13.5368	13.5360	13.5424
40#	975	13.5851	13.5902	13.5895	13.5949
43#	1 050	13.5877	13.5927	13.5920	13.5972
46#	1 125	13.6092	13.6142	13.6135	13.6189

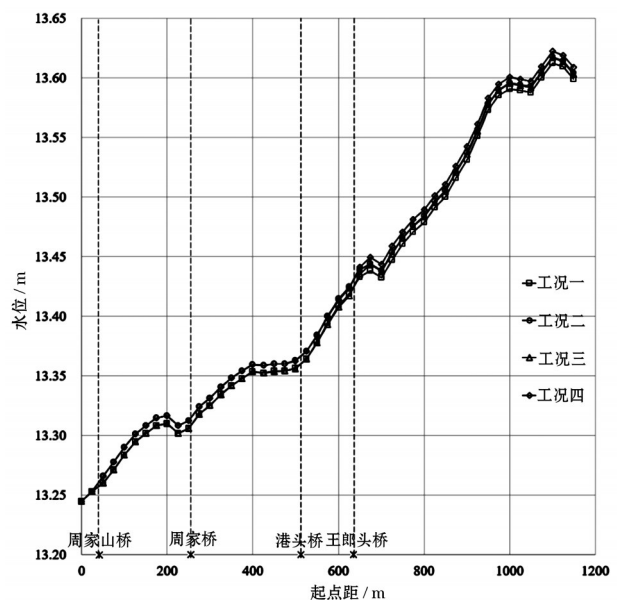


图4 不同工况下河道沿程水位变化

(1) 工况一工程段河道20年一遇设计水位为13.245~13.613 m,水面综合比降为3.079/10 000。工况二、三、四相应设计水位分别为13.245~13.618 m、13.245~13.617 m、13.245~13.622 m,水面比降分别增大至3.124/10 000、3.117/10 000、3.166/10 000。结



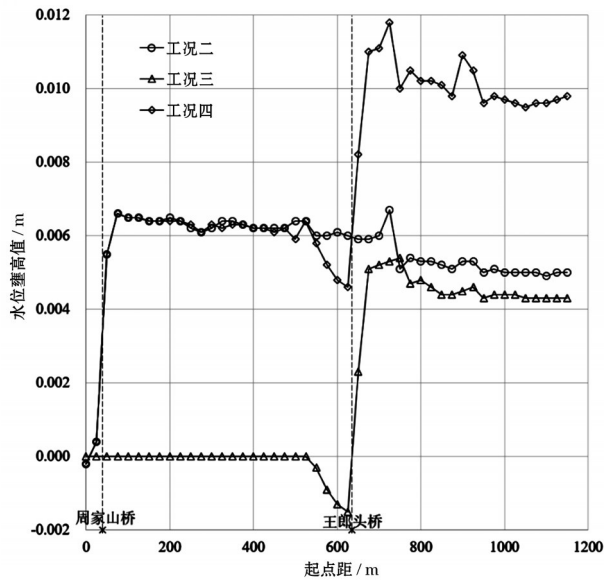


图5 不同工况下水位壅高情况

果表明河道内新建桥墩将会引起上游水位升高,水面比降增大,产生壅水现象。

(2)工况二、三引起的上游水位壅高最大值分别为0.0067 m和0.0054 m,与桥墩阻水比呈正相关关系,壅水的影响向上游逐渐递减,单座桥梁引起的壅水影响相对较小,符合相关技术规程<sup>[8]</sup>规定的“跨越其他河道的桥梁,最大壅水高度控制在0.07 m以内”要求。

(3)工况四引起的上游水位壅高最大值为0.0118 m,出现在王郎头桥上游89 m处,说明王郎头桥位于周家山桥壅水范围内,两桥全部建成引起的壅水影响也相对较大,会在河道内形成桥梁群壅水叠加效应。

(4)由工况二模拟结果可知,周家山桥在王郎头桥附近引起的水位壅高值为0.0059 m,进一步验证了王郎头桥位于周家山桥壅水范围内。工况二、三在王郎头桥上游89 m处引起的水位壅高值分别为0.0067 m、0.0053 m,两者相加为0.0120 m,比工况四模拟的壅高值0.0118 m稍大,说明桥梁群引起的水位壅高值并非桥梁各自壅高值简单相加。

(5)水流经过桥梁时水位壅高值为负,水位反而降低,在下游一段距离内逐渐上升恢复到建桥前水位。分析原因可能是形成了无坎宽顶堰流现象,当水流经过桥墩、涵洞等建筑物时,由于进口段的过水断面在平面上收缩,使过水断面减小,流速增大,部分势能转化为动能,加之局部阻力增加,在一定程度上也导致势能减小,形成模型中的水面跌落现象。

### 3.3 流速、流场变化分析

不同工况下工程段河道沿程流速见表5,不同工况下河道流速变化值如图6所示。

表5 不同工况河道沿程流速情况

监测点 编号	起点距/ m	流速/(m/s)			
		工况一	工况二	工况三	工况四
1#	0	1.2215	1.2416	1.2216	1.2416
4#	75	1.1393	1.1378	1.1394	1.1379
7#	150	0.9731	0.9716	0.9731	0.9717
10#	225	1.1169	1.1154	1.1172	1.1154
13#	300	1.0971	1.0956	1.0972	1.0958
16#	375	1.0417	1.0402	1.0420	1.0406
19#	450	1.1888	1.1872	1.1904	1.1888
22#	525	1.4046	1.4026	1.4101	1.4083
25#	600	1.3046	1.3024	1.3345	1.3325
28#	675	1.2655	1.2620	1.2627	1.2611
31#	750	1.3091	1.3032	1.3036	1.3013
34#	825	1.3035	1.3017	1.3019	1.2995
37#	900	1.2846	1.2835	1.2836	1.2826
40#	975	1.0479	1.0467	1.0468	1.0459
43#	1 050	1.2752	1.2742	1.2743	1.2743
46#	1 125	1.4577	1.4563	1.4565	1.4551

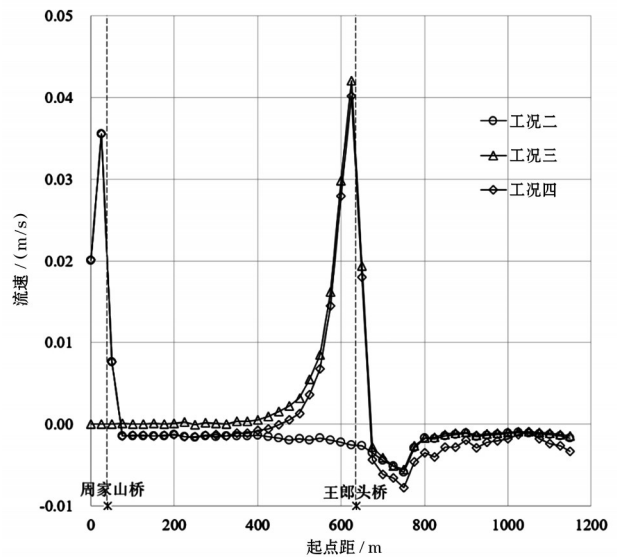


图6 不同工况下河道流速变化情况

由模拟结果可分析得出:

(1)河道流场变化主要局限于桥梁附近,流速有所增大,流向变化较小,总体来说建桥前后工程

河段整体流态变化不大,桥墩对河道行洪安全影响较小。

(2)新建桥墩会造成上游河段流速减小,工况二、三、四引起的上游流速最大降幅分别为0.0059 m/s、0.0055 m/s、0.0078 m/s,说明桥墩对上游行洪流速的影响相对较小。

(3)桥墩对桥梁附近河段的流速影响相对较大。水流经过桥墩及下游一定范围内流速会增大,这是由于桥墩附近过流断面缩小,在流量相对不变的条件下,流速增大较为明显,符合前述无坎宽顶堰流一般规律。在工况四条件下,水流经过周家山桥、王郎头桥附近时引起的流速最大增幅分别为0.0356 m/s、0.0402 m/s。

### 3.4 增大跨径方案模拟

为比较分析桥梁跨径对河道壅水的影响,本次新增工况五情形,即在模型中将周家山桥、王郎头桥河道内2排桥墩各向外移动5 m,桥跨由30 m增大至40 m,桥墩直径由1.4 m增大至1.6 m。经模拟分析,在工况五情形下,周家山桥、王郎头桥的桥墩阻水比分别为3.7%、3.0%,工程段河道20年一遇设计水位为13.244~13.618 m,水面综合比降为3.130/10 000。工况四与工况五水位壅高对比见图7,可知桥墩引起的上游水位壅高值最大值为0.0066 m,比工况四小0.0052 m,说明工况五增大跨径方案对河道行洪影响较小,分析原因在于增大桥梁跨径后,桥墩远离主河槽行洪区域,阻水比更小。

## 4 结 语

本文所构建的MIKE21模型能够较准确和直观地模拟工程段河道建桥前后水位、流场变化情况,具有精确性与可视化性,模拟结果可为工程设计及防洪评价工作提供参考。

工况二、三工程段河道20年一遇设计水位分别为13.245~13.618 m、13.245~13.617 m,桥墩引起的上游水位壅高最大值分别为0.0067 m、0.0054 m,单座桥梁引起的壅水影响相对较小,符合相关技术规程要求。工况四工程段河道20年一遇设计水位为13.245~13.622 m,桥墩引起的上游水位壅高最大值为0.0118 m,说明王郎头桥位于周家山桥壅水范围内,两桥全部建成会在河道内形成桥梁群壅水叠加效应。总体来说,本次拟建2座桥梁引起的水位壅

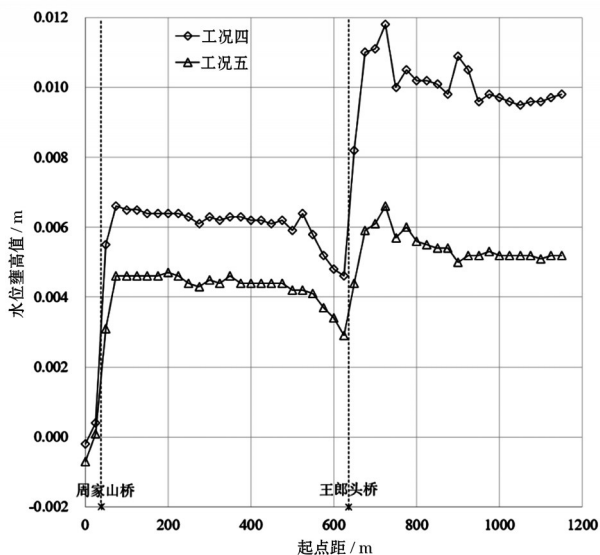


图7 工况四与工况五水位壅高对比

高不明显。经模拟分析,拟建桥梁跨径由30 m增大至40 m后,桥墩引起的上游水位壅高最大值由0.0118 m降至0.0066 m,说明增大跨径方案能够在一定程度上减轻桥墩对河道行洪的影响。

### 参考文献:

- [1] 毛北平,钟艳红,肖潇. 基于实测资料的桥墩壅水计算经验公式比较研究[J]. 人民长江,2021,52(12):157-161.
- [2] 孟如真,胡阳,王志华,等. 基于MIKE21/HEC-RAS及经验公式的桥梁壅水模拟及对比分析[J]. 城市道桥与防洪,2022(10):221-226.
- [3] 张利,孟晓路. 基于MIKE21 FM模型的跨河桥梁壅水影响研究[J]. 中国防汛抗旱,2018(4):44-47.
- [4] 张健,王霞,任锦亮,等. 浅谈MIKE21模型在桥梁防洪评价补偿方案中的应用[J]. 水利技术监督,2019(6):64-69.
- [5] 刘顺萍,果有娜,丁志宏. MIKE21 FM中的涉水建筑物不同概化方法效果分析[J]. 海河水利,2018(6):46-48.
- [6] 吴玉明,奚肖亚. 南京城市防洪规划(2013—2030)[R]. 南京:南京市水利局,南京市水利规划设计院有限责任公司,2015.
- [7] 何双. 基于ORD的河道BIM设计与MIKE21的联合应用[J]. 水利规划与设计,2020(11):144-147.
- [8] 江苏省水利厅. 河道管理范围内建设项目防洪评价技术规程:DB32/T 4462—2023[S]. 北京:中国标准出版社,2023.