

感潮河道桥梁和码头工程群对行洪累积影响

陈 珺^{1,2}, 于明田², 邓丽华³, 陆迎香²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 3. 重庆西科水运工程咨询中心, 重庆 400016)

摘要:以宁波甬江流域感潮河段所建工程群为研究对象, 基于 Delft3D 数学模型开展了典型洪潮条件下桥梁和码头群对河道行洪的累积影响研究, 对比分析单类工程群和两类工程群对河道洪水位和流速的影响。结果表明: 桥梁和码头群对河道行洪存在累积影响, 位置集中在宁波大学上游的甬江、奉化江和姚江河段; 在两类工程群单独作用下均存在水位(流速)增加或减小的区域, 桥梁和码头群的联合作用使得水位(流速)变化幅度更大, 但不是两类工程群影响幅度的简单叠加; 在两类工程群单独作用下水位(流速)变化相反的区域, 桥梁和码头群的联合作用下水位(流速)的变化幅度减小。

关键词:感潮河流; 桥梁和码头群; 工程群; 行洪影响; 累积影响; 数值模拟

中图分类号:TV135.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2021)02-0049-08

Cumulative influence of bridge and wharf engineering groups on flood propagation in tidal rivers//CHEN Jun^{1,2}, YU Mingtian², DENG Lihua³, LU Yingxiang² (1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Chongqing Xike Consultation Center for Water Transport Engineering, Chongqing 400016, China)

Abstract: Taking the engineering groups built in tidal reaches of the Yongjiang River Basin in Ningbo City as an example, the cumulative influence of bridge and wharf groups on flood propagation under typical flood and tidal conditions was studied based on the numerical model of Delft3D. The results of the influence of a single type and two types of engineering groups on flood level and flow velocity were contrastively analyzed. The results show that bridge and wharf groups have a cumulative influence on flood propagation, which is located in the reaches of the Yongjiang River upstream of Ningbo University, the Fenghua River and the Yao River. In the region of water level (velocity) both increase or decrease by the single type of bridge or wharf groups, the water level (velocity) has a higher variation amplitude by the combined action of bridge and wharf groups, but the changed value is not a simple superposition of the influence amplitude of two engineering groups. In the region of water level (velocity) changes in opposite by the single type of bridge and wharf groups, the variation amplitude of water level (velocity) is reduced by the combined action of bridge and wharf groups.

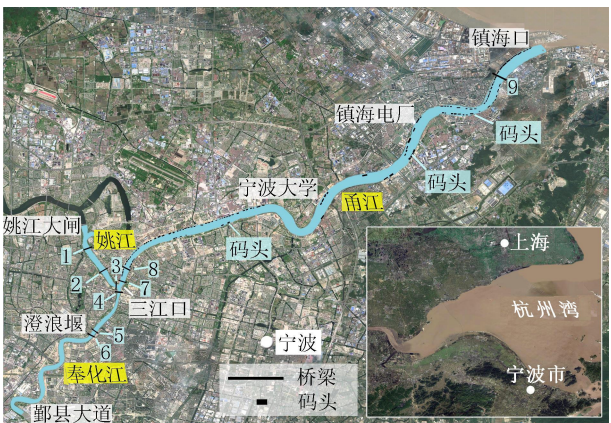
Key words: tidal river; bridge and wharf groups; engineering groups; influence on flood propagation; cumulative influence; numerical simulation

随着河道的开发与利用,桥梁和码头工程建设日益增多。河道内修建单座桥梁或码头工程对河道行洪影响的问题已有较多学者进行过研究,如赵淳逸等^[1-4]探究了桥梁建设对河道行洪的影响,孙东坡等^[5-6]针对码头建设带来的行洪影响进行了研究,大多数研究表明单座桥梁或码头工程对河道行洪影响相对较小。然而,多座桥梁和码头工程的不断修建,则会形成累积效应,影响河道行洪。对此,一些学者开展了相关研究:朱军政等^[7]采用阻力修正方法模拟桥墩的阻水作用,计算分析了多座桥梁行洪的影响;孙志林等^[8]基于 Delft3D 数学模型,探讨了潮流对多桥的复杂响应;吴迪等^[9]采用一维非恒定流河网数学模型,分析了佛山市桥梁群对河道行洪的影响;刘长波^[10]通过概化水槽试验和理论分析,就码头群对河道行洪及冲淤的叠加效应展开了研究;江磊等^[11]采用资料分析和数值模拟方法,以南京河段新济洲码头群为研究对象,分析了码头群密度及非均匀度对近岸洪水动力特性的叠加影响;张细兵

等^[12]采用数学模型研究了武汉河段桥梁群和扬中河段码头群对河道洪水水位及流场累积影响;陈珺等^[13]和褚晓岑等^[14]基于 Delft3D 数学模型分别研究了宁波三江口区域码头群和桥梁群对河道防洪纳潮的影响。以上研究成果均表明多座桥梁或码头工程的存在会引起工程群效应,对河道行洪与河势安全产生明显影响。考虑到河道内同时存在桥梁和码头工程群的情况较为普遍,两类工程群对河道行洪会产生累积影响,本文选取甬江流域感潮河段为研究区域,通过建立平面二维非恒定潮流数学模型,探讨桥梁和码头工程群对河道行洪累积影响规律。

1 研究区域及桥梁和码头群概况

甬江是宁波市的母亲河,由上游支流奉化江和姚江在三江口汇集而成,三江口以下河段称为甬江,于镇海口流入东海。从 20 世纪 50 年代至今,宁波市城区奉化江、姚江和甬江累积修建桥梁 14 座,码头工程 212 座(图 1),其中奉化江澄浪堰至三江口河段跨河桥梁 5 座,有江夏桥、兴宁桥和铁路桥在河道内设有桥墩;姚江大闸至三江口河段的新江桥、解放桥和永丰桥均在河道内设有桥墩;甬江跨河桥梁 6 座,只有甬江大桥、外滩大桥和招宝山大桥在河道内设有桥墩。甬江码头结构形式有高桩式、重力式和浮码头三类,其中以高桩式码头为主,码头吨级为 500~20 万 t 不等,1 万~2 万 t 级的码头全部位于招宝山大桥至镇海口河段。研究区域内的桥梁和码头群的阻水比和分布密度统计见表 1 和表 2,其中阻水比为 100 年一遇洪水+5 年一遇潮落急时刻工程阻水面积与河道过水面积之比。由表 1 和表 2 可见,奉化江和姚江由于河道较窄,桥梁布置的桥墩较多,桥梁阻水比相对较大;而甬江河道较宽,甬江大桥与外滩大桥桥墩虽然尺寸较大,但阻水比相对较小。码头工程分布于甬江河道两岸,其中三江口至宁波大学与镇海电厂至镇海口河段,码头工程数量较多且分布密度较大,分别达 10.13 座/km 和 12.20 座/km。



1—永丰桥;2—解放桥;3—新江桥;4—江夏桥;5—兴宁桥;
6—铁路桥;7—甬江大桥;8—外滩大桥;9—招宝山大桥

图 1 桥梁和码头工程与研究河道示意图

2 模型建立与验证

基于 Delft3D 软件水动力模块,建立感潮河道平面二维非恒定潮流数学模型^[15-16]。该模型采用贴体交错四边形网格离散计算区域,通过交替隐式差分法(ADI)对方程进行离散求解,具体控制方程及求解方法见文献[17]。

2.1 计算区域选取与网格划分

考虑到桥梁和码头群的分布情况和影响范围,选取姚江大闸(边界 1)和奉化江水文观测断面 CS7(边界 2)为模型上边界,甬江口附近海域(边界 3、4)作为模型计算下边界(图 2)。模型地形根据 2016 年实测地形数据通过插值得到。采用正交曲线网格对研究区域进行网格划分,网格总数为 6.76×10^5 个,网格尺寸为 5~18 m,并对桥梁和码头工程所在网格进行局部加密,网格尺寸为 4~14 m。研究河道整体网格和三江口局部区域网格如图 3 所示。

2.2 桥梁和码头工程概化

由于桥梁的桥墩和码头的桩体改变了河道地形,阻挡了水流,增加了水流局部阻力,本文采用修正地形和糙率的方式,对研究区域内的桥墩与码头桩体进行概化,具体原理如下:

a. 地形修正。假设网格单元河底高程增加值

表 1 桥梁工程统计

河道	桥梁名称	阻水比/%	河道	桥梁名称	阻水比/%	河道	桥梁名称	阻水比/%
奉化江	江夏桥	7.17	姚江	新江桥	6.67	甬江	甬江大桥	5.62
	兴宁桥	3.88		解放桥	8.52		外滩大桥	2.69
	铁路桥	10.43		永丰桥	7.35		招宝山大桥	1.27

表 2 码头工程统计

河道	河段	数量/座	吨级/t	阻水比/%	分布密度/(座·km ⁻¹)
甬江	三江口—宁波大学	80	500~3 000	0.38~3.83	10.13
	宁波大学—镇海电厂	38	500~3 000	0.23~2.75	4.69
	镇海电厂—镇海口	94	500~20 000	0.06~7.27	12.20



图2 河道地形与水文测量位置示意图

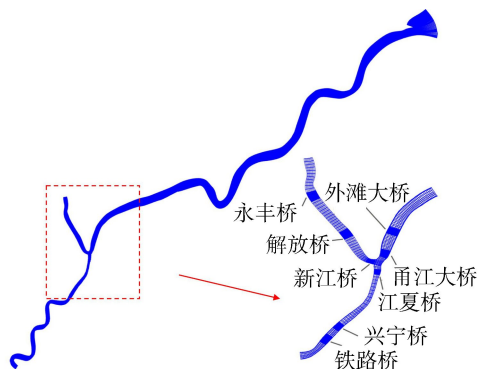


图3 研究河道整体网格和三江口局部网格

阻挡的流量与桥墩或码头桩体阻挡的流量相同^[18],得到网格单元内河底高程增加值为

$$\Delta z_b = h(b_1/b_2)^{6/7} \quad (1)$$

式中: b_1 为网格单元内桥墩或桩体沿河宽方向总宽度; b_2 为沿河宽方向网格单元宽度; h 为水深。

b. 糙率修正^[18]。考虑桥墩或码头桩体影响后的网格糙率修正公式如下:

$$n_1 = \sqrt{n_0^2 + n_*^2} \quad (2)$$

其中

$$n_* = h^{1/6} \sqrt{\frac{\zeta}{8g}}$$

式中: n_1 为工程所在网格单元综合糙率; n_0 为无工程时河床糙率; n_* 为工程阻水增加的局部糙率; ζ 为桥墩或桩体阻力系数; g 为重力加速度。对于桥墩,按照 JTS 144—1—2010《港口工程荷载规范》^[19],根据不同形状选取相应的阻力系数,圆形时取值为 0.73,圆端形时取值为 0.52,矩形时根据长宽比取值为 1.1~1.5。高桩式码头工程桩群可看作拦污栅形式的阻水建筑物^[20],桩群阻力系数可按下式计算:

$$\zeta = \beta \left(\frac{b_1}{b} \right)^{4/3} \sin \theta \quad (3)$$

式中: β 为桩体形状系数,方桩的 β 取为 2.43,圆桩的 β 取为 1.79^[20]; b 为桩间距; θ 为桩与河底夹角。

甬江大桥、外滩大桥的桥墩尺寸较大,与模型计算网格尺寸相当,故采用地形修正的方法,直接把桥

墩所在网格地形高程调整至河道最高水位以上;永丰桥、解放桥等桥梁的桥墩尺寸相对较小,桥墩尺寸小于网格尺寸,采用地形和糙率修正的方式进行概化;重力式码头由于不透水,整体尺寸较大,同样采用地形修正的方法,把码头所在网格地形高程调整至河道最高水位以上;高桩式码头的桩墩尺寸小于网格尺寸,采用糙率和地形修正的方式进行概化,浮码头则不进行概化处理。

2.3 模型率定与验证

模型计算边界 1 给定姚江大坝实际排放流量过程,边界 2 给定水文观测断面 CS7 实测潮流量过程,边界 3 和边界 4 给定镇海口水文测站实测潮位过程。模型采用实测资料对河道已存在桥梁和码头的情况进行率定和验证,桥梁和码头工程的概化采用 2.2 节的方法进行处理。采用 2015 年 6 月 24 日 20 时至 25 日 22 时洪季小潮实测水文资料对模型进行率定(图 4 和图 5),通过率定,河槽糙率取为 0.016~0.025,滩地糙率取为 0.026~0.032。采用 2016 年 1 月 3 日 14 时至 4 日 17 时实测枯季小潮水文资料对模型进行验证(图 6 和图 7),由图 6 和图 7 可以看出,各水文测站模拟潮位误差较小,各观测断面测点流速大小和方向过程与实测基本吻合,模型满足规范要求^[21],表明模型可用于桥梁和码头群对河道行洪影响的模拟研究。

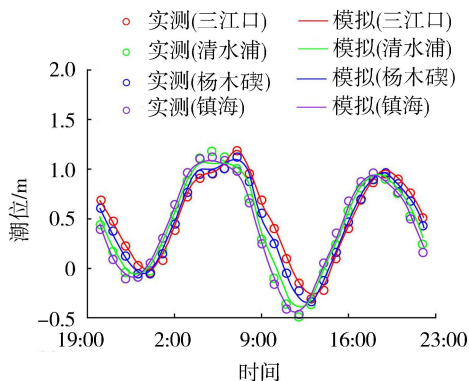


图4 2015-06-24 洪季小潮各水文测站潮位率定

3 模型计算与结果分析

3.1 计算方案

采用所建平面二维非恒定潮流数学模型,计算 100 年一遇洪水+5 年一遇潮位组合条件下,桥梁和码头群对河道行洪的影响,计算方案如表 3 所示,其中方案 4 为目前河道已存在桥梁和码头的现状方案,模型已在 2.3 节进行了率定和验证;方案 1~3 为对比计算方案,分别为将河道逐渐恢复到无工程、仅有桥梁工程、仅有码头工程的 3 种情况。鉴于河道涉水工程在洪水期间对河口落潮行洪影响程度较大,因此选

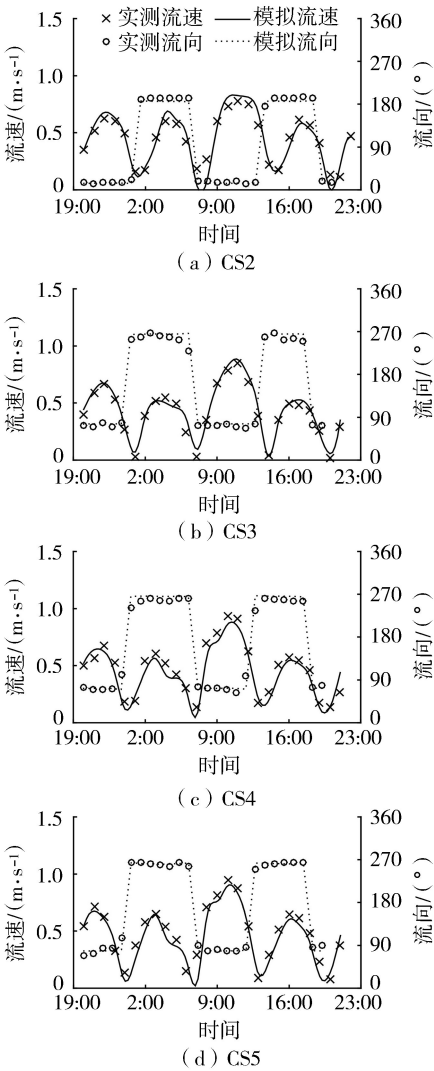


图5 2015-06-24 洪季小潮各断面流速流向率定

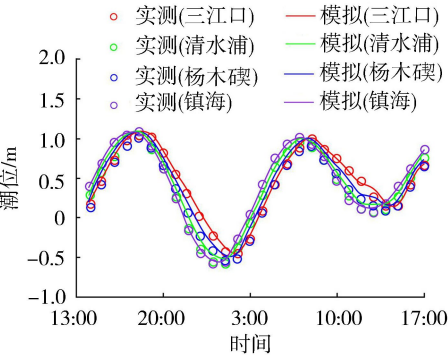


图6 2016-01-03 枯季小潮各水文测站潮位验证

表3 计算方案设置

方案	工况	设置目的
1	无桥梁和码头工程	河道天然情况
2	全部桥梁工程	研究桥梁群影响
3	全部码头工程	研究码头群影响
4	全部桥梁和码头工程	研究桥梁和码头群累积影响

定 100 年一遇洪水+5 年一遇潮位组合条件下的落急时刻进行研究。对应计算边界条件如下:边界 1 姚江大坝流量为 $509 \text{ m}^3/\text{s}$, 边界 2 CS7 断面流量为

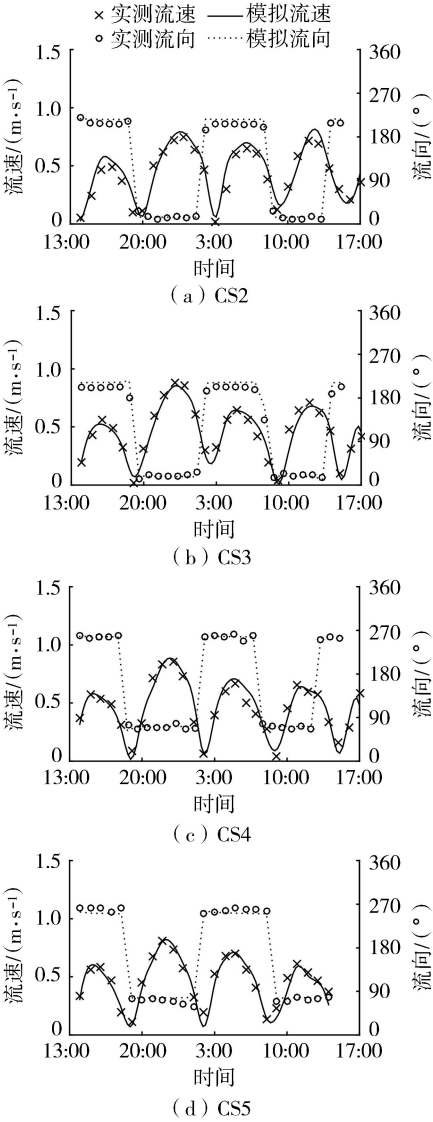


图7 2016-01-03 枯季小潮各断面流速流向验证

$1642 \text{ m}^3/\text{s}$, 海域边界 3 和 4 的潮位为 -0.56 m 。

3.2 工程群对河道洪水水位影响分析

通过对比分析甬江无工程(方案 1)的计算结果和存在不同工程群(方案 2~4)的计算结果,获得洪水条件下,方案 2~4 对河道水位影响结果如图 8~10 所示,河道断面水位变化平均值沿程分布如图 11 所示,河道水位影响统计如表 4 所示。以下分别对桥梁群、码头群和两者同时存在对河道洪水水位的影响开展分析。

3.2.1 桥梁群对河道洪水水位的影响

桥梁群主要位于三江口附近,在多座桥梁的共同影响下,奉化江和姚江河段水位整体壅高。由图 8、图 11 和表 4 可知,奉化江壅水范围从三江口到 CS7 断面,水位壅高值为 $0.2 \sim 2.2 \text{ cm}$,姚江壅水范围从三江口至姚江大坝闸下,水位壅高值为 $1.3 \sim 2.1 \text{ cm}$,桥梁附近位置受桥墩影响水位有一定波动,但仍保持壅高。而甬江大桥与外滩大桥由于桥墩尺

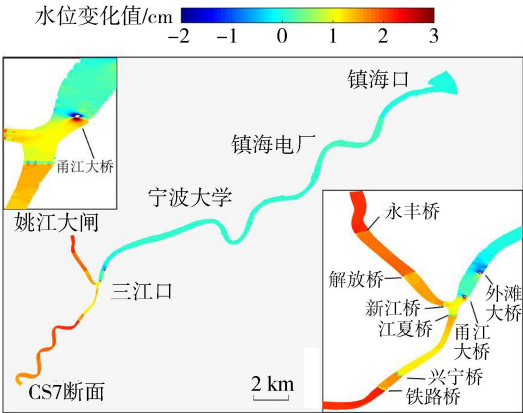


图 8 桥梁群对河道水位影响分布

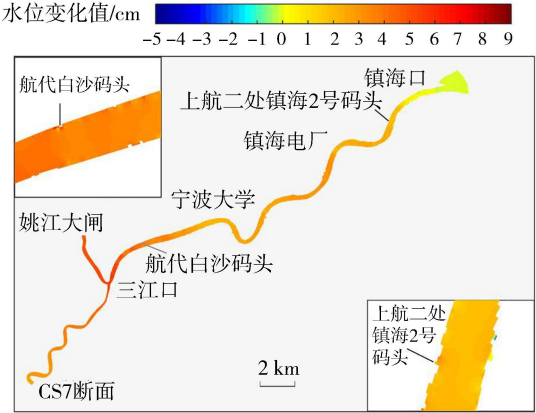


图 9 码头群对河道水位影响分布

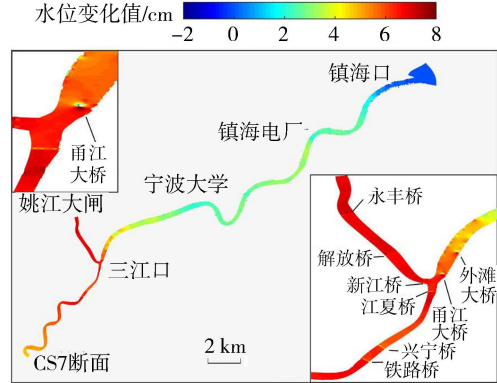


图 10 桥梁和码头群对河道水位影响分布

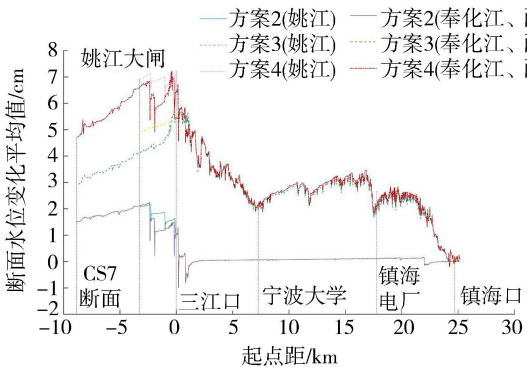


图 11 不同方案河道断面水位变化平均值沿程分布

表 4 不同方案下河道水位变化

方	各河段水位变化/cm					局部水位变化							
	奉化江	姚江	甬江			水位最大壅高处				水位最大降低处			
三江口— 宁波大学			宁波大学— 镇海电厂	镇海电厂— 镇海口	工程前 水位/m	工程后 水位/m	水位变 化值/cm	出现位置	工程前 水位/m	工程后 水位/m	水位变 化值/cm	出现位置	
2	0.2~2.2	1.3~2.1	-0.9~0.4	基本没有 影响	基本没有 影响	1.81	1.90	8.95	甬江大桥 桥墩上游 迎水面附近	1.81	1.76	4.68	甬江大桥 桥墩左侧 附近
3	2.9~5.5	4.9~5.5	2.0~5.6	2.0~3.3	-0.2~2.6	1.28	1.37	8.78	航代白沙 码头附近	-0.35	-0.40	4.88	上航二处 镇海 2 号 码头附近
4	4.5~7.2	6.3~7.1	2.0~6.6	2.0~3.3	-0.2~2.6	1.81	1.95	14.39	甬江大桥 桥墩上游 迎水面附近	1.81	1.78	2.64	甬江大桥 桥墩左侧 附近

寸较大,局部位置阻水作用明显,导致桥墩迎水面水位壅高,两侧及背水面水位降低,其中甬江大桥桥墩附近水位最大壅高 8.95 cm,最大降低 4.68 cm;外滩大桥水位最大壅高 7.1 cm,最大降低 4.0 cm。宁波大学至招宝山大桥上游河段水位基本不受三江口桥梁群的影响,招宝山大桥位于甬江下游,距上游三江口桥梁群较远,仅表现出单座桥梁影响特征,水位最大壅高 2.8 cm,最大降低 1.7 cm。

3.2.2 码头群对河道洪水水位的影响

根据研究河道的码头工程分布密集程度,将码头工程群分为三江口—宁波大学、宁波大学—镇海电厂和镇海电厂—镇海口 3 段,其中前后两段码头

工程数量较多且分布密度较大。由图 9、图 11 和表 4 可知,在 3 段码头群联合作用下全河段水位普遍壅高,其中码头群上游的奉化江水位壅高 2.9 ~ 5.5 cm,范围到达 CS7 断面;姚江水位壅高 4.9 ~ 5.5 cm,范围到达姚江大闸闸下;在码头群所在甬江河段水位出现不同程度的交错壅高,三江口—宁波大学河段水位壅高 2.0 ~ 5.6 cm,宁波大学—镇海电厂河段水位壅高 2.0 ~ 3.3 cm,镇海电厂—镇海口水位壅高 0 ~ 2.6 cm,降低 0 ~ 0.2 cm,甬江水位壅高和降低最大值分别为 8.78 cm 和 4.88 cm,分别出现在航代白沙码头和上航二处镇海 2 号码头附近,这两个码头水位局部变化见图 9 左上角和右下角。

3.2.3 桥梁和码头群对河道洪水位的累积影响

由图 10、图 11 和表 4 可知,受到桥梁和码头群分布位置影响,两类工程群对河道洪水位的累积影响区域主要集中在宁波大学上游的甬江、奉化江和姚江河段。在桥梁群和码头群均引起壅水的奉化江和姚江河段,两类工程群的联合作用下,奉化江水位壅高 4.5 ~ 7.2 cm,姚江水位壅高 6.3 ~ 7.1 cm,水位壅高幅度较单类工程群大,但不是两类工程群影响的简单叠加。在甬江大桥与外滩大桥附近区域,桥梁的存在使得桥墩两侧及背水面水位降低,而桥梁所在断面的左岸码头群的阻水效应则引起河段水位壅高,两类工程群的联合作用使得水位的变化幅度减小。在多座桥梁的共同影响下(方案 2),甬江大桥桥墩附近水位最大壅高与最大降低分别为 8.95 cm 和 4.68 cm,而在桥梁和码头群共同作用下(方案 4),水位最大壅高值增大至 14.39 cm,最大降低值减小至 2.64 cm。在甬江宁波大学—镇海口河段,水位变化主要受码头群影响,三江口桥梁群对其基本没有影响,因此在该河段方案 4 水位变化结果与方案 3 基本一致。

3.3 工程群对河道流速影响分析

通过对比分析甬江无工程(方案 1)的计算结果和存在工程群(方案 2 ~ 4)的计算结果,获得洪水条件下,方案 2 ~ 4 对河道流速影响结果如图 12 ~ 14 所示,

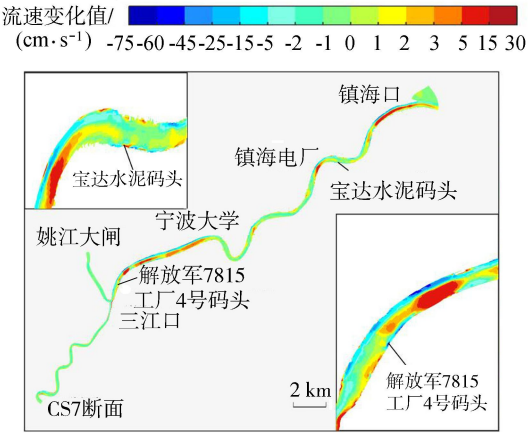


图 13 码头群对河道流速影响分布

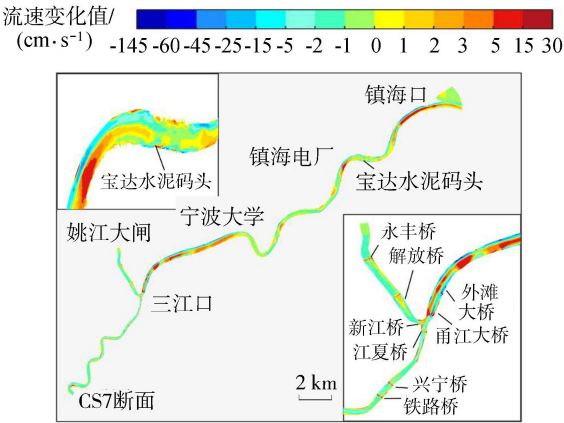


图 14 桥梁和码头群对河道流速影响分布

河道流速影响统计如表 5 所示。以下分别对桥梁群、码头群和两者同时存在对河道流速的影响开展分析。

3.3.1 桥梁群对河道流速影响

由图 12 和表 5 可见,桥梁群对奉化江和姚江河段整体流速影响较小,流速变化主要位于桥墩附近局部区域,具体表现为桥孔间流速增大,桥墩迎流面和背流面流速减小。例如,奉化江铁路桥局部流速最大增加值为 0.18 m/s,最大减小值为 0.17 m/s,影响范围为上游 108 m 至下游 265 m。由于三江口区域的江夏桥、新江桥、甬江大桥和外滩大桥间距较

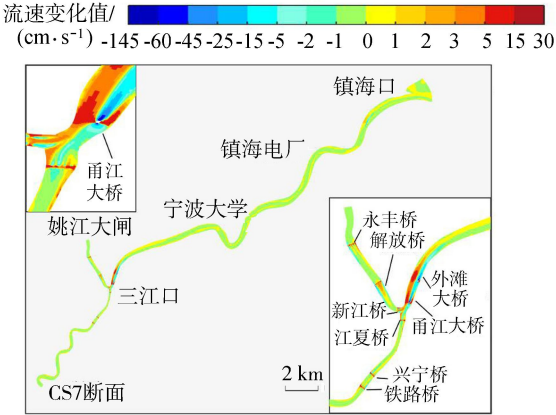


图 12 桥梁群对河道流速影响分布

表 5 不同计算方案各河段流速变化主要分布

方	各河段流速变化					局部流速变化								
	奉化江		姚江		甬江		流速最大增加处				流速最大减小处			
							工程前 流速	工程后 流速	流速 变化值	出现位置	工程前 流速	工程后 流速	流速 变化值	出现位置
案	整体基本 无影响	整体基本 无影响	三江口— 宁波大学	宁波大学— 镇海电厂	镇海电厂— 镇海口	158.32	185.76	27.5	甬江桥墩 附近	150.79	17.70	133.1	甬江桥墩 附近	
2	-4 ~ 0	-2.5 ~ -0.5	-13 ~ 7	-6 ~ 5	-9 ~ 8	44.94	75.74	30.8	宝达水泥 码头附近	90.68	16.58	74.1	7815 工厂 码头附近	
3	-4.5 ~ 0	-2.7 ~ -0.6	-7 ~ 15	-6 ~ 5	-9 ~ 8	58.47	89.27	30.8	宝达水泥 码头附近	150.79	17.58	133.2	甬江桥墩 附近	

小,使得该区域桥梁群的“群效应”影响较为明显,四座桥梁引起的河道局部流速增加区域基本连通成片,甬江大桥和外滩大桥引起的河道局部流速减小区域完全连通;甬江大桥桥墩左侧流速普遍增加 $0.04 \sim 0.10 \text{ m/s}$,右侧流速普遍增加 $0.03 \sim 0.15 \text{ m/s}$,流速最大增加值为 0.27 m/s ,最大减小值为 1.33 m/s ,位于桥墩背流面。

3.3.2 码头群对河道流速影响

由图 13 和表 5 可见,码头群引起上游奉化江和姚江流速减小,减小值分别为 $0 \sim 4 \text{ cm/s}$ 和 $0.5 \sim 2.5 \text{ cm/s}$,距三江口越远流速变化越小。在甬江河道,码头工程桩群所在区域流速减小,码头工程外侧河道流速增加,其中三江口—宁波大学河段与镇海电厂—镇海口河段,北岸码头工程分布较为密集,工程局部流速减小区域与外侧河道流速增加区域均呈带状分布;这两个河段码头工程局部区域流速减小值分别为 $0 \sim 0.13 \text{ m/s}$ 和 $0 \sim 0.09 \text{ m/s}$,外侧河道流速增加值分别为 $0 \sim 0.07 \text{ m/s}$ 和 $0 \sim 0.08 \text{ m/s}$;局部流速减小最大值约 0.74 m/s ,出现在解放军 7815 工厂 4 号码头附近;局部流速增加最大值约 0.30 m/s ,出现在宝达水泥码头附近。

3.3.3 桥梁和码头群对河道流速累积影响

由图 14 和表 5 可见,桥梁和码头群对河道流速的累积影响主要集中在宁波大学上游的甬江、奉化江和姚江河段,影响结果遵循如下规律:在两类工程群单独作用下均引起流速增加或减小的区域,桥梁和码头群的联合作用使得流速变化幅度更大,但不是两类工程群影响幅度的简单叠加;在两类工程群单独作用下流速变化相反的区域,工程群的联合作用使流速变化幅度减小,具体表现为:与方案 2 相比,受到甬江码头工程群影响,奉化江和姚江整体流速减小,同时在桥梁局部区域,桥孔间流速增加幅度及影响范围减小,桥墩迎流面和背流面流速减小幅度及影响范围增大。在甬江河段,甬江大桥与外滩大桥河段左岸由于码头工程的存在,沿岸流速明显减小;两桥桥墩左侧流速增加,但受到左岸码头工程的影响,流速增加幅度及影响范围减小。例如,方案 2 中甬江大桥与外滩大桥的流速增加 0.04 m/s 等值线完全贯通,影响范围为上下游 1 km ,而方案 4 中甬江大桥桥墩左侧流速增加 0.04 m/s 的影响范围减小为上下游 250 m 。在甬江宁波大学—镇海口河段,流速变化主要受码头群影响,三江口桥梁群对其基本没有影响。在桥梁和码头群联合作用下,流速局部增加最大值约 0.3 m/s ,出现在宝达水泥码头附近,局部流速减小最大值为 1.33 m/s ,出现在甬江大桥桥墩背流面。

4 结 论

a. 桥梁群对河道行洪影响集中在宁波大学上游的甬江、奉化江和姚江河段。多座桥梁的共同影响引起奉化江和姚江水位整体壅高,桥梁群对流速的影响主要位于桥墩附近局部区域,具体表现为桥孔间流速增加,桥墩迎流面和背流面流速减小。

b. 码头群对研究区域河段行洪产生影响。码头群引起全河段水位普遍壅高,对流速的影响表现为码头桩群所在区域流速减小,工程外侧河道流速增加。

c. 桥梁和码头群对河道行洪累积影响主要集中在宁波大学上游的甬江、奉化江和姚江河段。其中,在桥梁群和码头群均引起壅水的奉化江和姚江河段,壅高幅度较单类工程群大,但并非两类工程群影响的简单叠加,桥梁和码头群引起奉化江和姚江整体流速减小。在两类工程群单独作用下水位(流速)变化相反的区域,受工程群的联合作用导致水位(流速)变化幅度减小。

参考文献:

- [1] 赵淳逸. 桥梁工程对感潮河段水动力影响研究[D]. 南京:河海大学, 2007.
- [2] 潘仁友. 浅析宁波中心城区桥梁对三江河道行洪的影响[J]. 浙江水利科技, 2007(5): 50-51. (PAN Renyou. Influence of bridges in Ningbo urban areas on discharge capacity of Sanjiang River [J]. Zhejiang Hydraulics, 2007(5): 50-51. (in Chinese))
- [3] 乔连朋,郑翔龙,张德喜. 跨河桥梁对河道防洪影响综合分析评价[J]. 水利科技与经济, 2019, 25(6): 35-40. (QIAO Lianpeng, ZHENG Xianglong, ZHANG Dexi. Comprehensive analysis and evaluation of the influence of cross-river bridge on river flood control [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2019, 25(6): 35-40. (in Chinese))
- [4] 徐林春,赵明登,张庭荣,等. 桥梁建设与河道行洪纳潮的适应性分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2012, 45(4): 442-446. (XU Linchun, ZHAO Mingdeng, ZHANG Tingrong, et al. Analysis of adaptability for bridge construction and river channel for coursing flood and tide [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2012, 45(4): 442-446. (in Chinese))
- [5] 孙东坡,曹兵,王鹏涛,等. 甬江扩建油码头对所在河段的行洪影响分析[J]. 水利水运工程学报, 2008(3): 1-7. (SUN Dongpo, CAO Bing, WANG Pengtao, et al. Influence of oil wharf expansion on the floodway reach [J]. Hydro-Science and Engineering, 2008(3): 1-7. (in Chinese))

- [6] 高辉巧,张晓雷,孙东坡. 宝达码头扩建对甬江河段行洪影响分析[J]. 水利水电技术, 2008 (7): 82-85. (GAO Huiqiao, ZHANG Xiaolei, SUN Dongpo. Analysis on impact from enlargement of Baoda Dock on flood discharge of reach of Yongjiang River [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2008 (7): 82-85. (in Chinese))
- [7] 朱军政, 曹颖. 潮汐河口多座桥梁行洪影响的分析[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2006, 21(5): 592-598. (ZHU Junzheng, CAO Ying. Effects of multi-bridge piers on flooding at tidal estuary [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2006, 21(5): 592-598. (in Chinese))
- [8] 孙志林, 黄赛花, 祝丽丽. 钱塘江潮流对多桥的复杂响应[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2007, 29(5): 10-15. (SUN Zhilin, HUANG Saihua, ZHU Lili. Complex response of tidal flow to multiple bridges in Qiantang River [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2007, 29(5): 10-15. (in Chinese))
- [9] 吴迪, 郭维东, 阴云康, 等. 佛山市中心组团桥梁群对河道影响的数值分析[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(1): 27-30. (WU Di, GUO Weidong, YIN Yunkang, et al. Numerical analysis of influences of bridge group to be constructed in Foshan City on river courses [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(1): 27-30. (in Chinese))
- [10] 刘长波. 涉水工程对河道行洪及冲淤叠加影响的初步研究[D]. 武汉:长江科学院, 2010.
- [11] 江磊, 芦伟宏, 胡春燕, 等. 码头群密度及非均匀度对近岸区洪水动力特性的影响研究[J]. 水利水电快报, 2017, 38(11): 47-52. (JIANG Lei, LU Weihong, HU Chunyan, et al. Study on the influence of wharf group density and non-uniformity on the flood dynamic characteristics in the Nearshore Area [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2017, 38(11): 47-52. (in Chinese))
- [12] 张细兵, 卢金友, 蔺秋生. 长江中下游岸线利用对防洪累积影响初步研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(9): 1138-1142. (ZHANG Xibing, LU Jinyou, LIN Qiusheng. Preliminary study on accumulated influence of the bankline use on flood control in the middle and lower reaches of the yangtze river [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(9): 1138-1142. (in Chinese))
- [13] 陈珺, 邓丽华, 于明田, 等. 甬江感潮河流上下游码头群对河道行洪的联合影响[J]. 水利水电科技进展, 2020, 40(2): 50-57. (CHEN Jun, DENG Lihua, YU Mingtian, et al. Joint influence of wharf groups on flood propagation in tidal reach of Yongjiang River [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2020, 40(2): 50-57. (in Chinese))
- [14] 褚晓岑, 唐洪武, 袁赛瑜, 等. 甬江感潮河流桥梁群对防洪纳潮累积影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2014, 42(3): 223-229. (CHU Xiaocen, TANG Hongwu, YUAN Saiyu, et al. Effects of a group of bridges on flood and tide control of Yongjiang River [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2014, 42(3): 223-229. (in Chinese))
- [15] 吴滨滨, 喻海军, 穆杰, 等. 考虑下渗的河道与蓄滞洪区洪水演进过程模拟[J]. 水资源保护, 2019, 35(6): 68-75. (WU Binbin, YU Haijun, MU Jie, et al. Flood simulation in river and flood storage-detention area considering infiltration [J]. Water Resources Protection, 2019, 35(6): 68-75. (in Chinese))
- [16] 谭立心, 罗超云, 鲁海燕, 等. 钱塘江嘉绍大桥对强潮河口水动力的影响[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(6): 61-65. (TAN Lixin, LUO Chaoyun, LU Haiyan, et al. Impacts of Jiashao Bridge on the hydrodynamics field in the Qiantang Estuary [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(6): 61-65. (in Chinese))
- [17] 戴文鸿, 胡涛, 丁梦娇, 等. 感潮河段交汇区水流特性数值模拟:以宁波三江口为例[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(6): 171-177. (DAI Wenhong, HU Tao, DING Mengjiao, et al. Numerical simulation of flow characteristics in a tidal river confluence: a case study of Sanjiangkou [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(6): 171-177. (in Chinese))
- [18] 张细兵, 余新明, 金琨. 桥渡壅水对河道水位流场影响二维数值模拟[J]. 人民长江, 2003, 34(4): 23-24. (ZHANG Xibing, YU Xinming, JIN Kun. Numerical simulation of flow field in upstream back water area of bridge and aqueduct [J]. Yangtze River, 2003, 34(4): 23-24. (in Chinese))
- [19] 中华人民共和国交通运输部. 港口工程荷载规范: JTS 144—1—2010[S]. 北京:人民交通出版社, 2010.
- [20] 吴祥华, 陈凤玉. 潮流河道上建码头对防洪影响的有限元算法[C]//朱德祥, 鲁传敬, 周连第, 等. 第七届全国水动力学学术会议暨第十九届全国水动力学研讨会文集(下册). 北京:海洋出版社, 2005: 1017-1023.
- [21] 交通运输部天津水运工程科学研究院. 内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程: JTS/T 231—4—2018[S]. 北京:人民交通出版社, 2018.

(收稿日期: 2020 - 10 - 31 编辑: 雷燕)

勘误

《水利水电科技进展》2021 年第 1 期第Ⅳ页“呼和浩特职业学院”系“广州城建职业学院”之误, 特此更正。