

宿迁中心港三期码头工程水动力特性研究

任强

(江苏省交通运输厅港航事业发展中心, 江苏南京 210000)

摘要: 利用水动力数值模型, 研究宿迁中心港挖入式码头工程港池内的水动力特征及其对航运的影响, 分析工程建设对航道航深、航宽及流速分布规律的影响, 以及工程建设前后流场的变化规律。结果表明: 码头建成后, 码头前沿水流流速较低, 对河槽不会产生较大影响, 但由于流速远小于主流流速, 将引起水域局部淤积, 需进行定期清淤。

关键词: 数值模拟; 水动力特性; 宿迁港码头; 港池

中图分类号: U656.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 12—0126—04

码头工程在建设前后会对所在航道附近的流速、流态以及流场产生较大影响, 由此产生的复杂水流状态会进而影响过往船只的航行, 尤其是码头建设大型化规模化的今天, 连片港池的建设是否会影响到原有港池及航道的正常运行是非常值得注意的问题。所以在新建或扩建码头前, 对码头建设前后的水动力情况进行深入分析是十分有必要的。随着科学技术的发展, 在国内的水运工程建设中, 水动力数值分析模型越来越广泛地被使用, 计算出的结果能够比较科学地分析工程建设前后的水动

力条件影响, 进而为工程建设提供指导。成积禧、章雪涛^[1]等人针对日益扩大的日照港建立了日照港区二维潮流数学模型并进行数学模型分析, 研究各期工程日照港水域水流条件的变化并进行比较; 魏龙^[2]等人就冀东南堡人工岛附近海域的潮流及泥沙场进行模拟, 分析人工岛工程前、后的潮流变化条件; 汪守东^[3]利用整体潮流、波浪和泥沙数学模型, 对烟台港海阳港区建设前后水流情况进行了分析; 闻云呈^[4]等人针对射阳港水动力运动较为复杂的情况, 对射阳港及其航道工程进行了数值模

4 结论

(1) 跨江大桥对通航水流条件的影响程度, 取决于桥墩所处位置以及附近河段的流速分布、大小及流态等多个因素。拟建大桥对上游河道沿程水位有一定的壅高作用, 在相同流量、水位条件下, 桥跨越大、水位壅高程度反而减小, 但总体差值不大。

(2) 由于大桥的壅水作用, 使桥位上游断面流速有所减小, 下游流速则有所增大, 且同一方案不同流量下, 流量越大, 流速增大越明显。

(3) 拟建大桥最大限度地利用了中枯水期珊瑚坝尾的回流水域以及洪水期上游石板坡大桥桥墩的掩蔽水域, 优化了主墩布置, 减小了新建桥墩对工程河段通航水流条件的影响。

参考文献:

[1] 辜莉娅, 闫军, 黄蓓蓓, 等. 武汉黄家湖长江大桥定床

物理模型试验研究 [J]. 泥沙研究, 2015(6):14-20.

[2] 韩家沱长江大桥方案选择与通航问题的研究 [J]. 水利工程, 2010(12):119-123.

[3] 何进朝, 李霞, 左宁, 等. 重庆轨道交通十号线南纪门长江大桥工程桥区河段物理模型试验研究报告 [R]. 重庆: 重庆西南水运工程科学研究所, 2015.

拟分析以指导后期的工程建设。宿迁中心港三期码头工程由于附近有一建一期码头工程和二期码头工程两座已建码头，且码头都为挖入式布置型式，导致周边水流条件更为复杂，具有很好的研究意义。

1 工程概况

拟建宿迁港中心港区中心作业区三期码头工程位于宿迁市宿城区洋北镇境内，京杭大运河宿迁闸~刘老涧闸段的右岸，项目紧邻中心港区中心作业区二期码头工程东侧，拟采用顺岸挖入式布置形式，建设 2000 吨级泊位 11 个，项目占地约 71.5 万 m²，占用岸线 871m。建设项目地理位置图和与邻近码头相对位置图见图 1。



图 1 工程地理位置图

2 控制方程

基于 Boussinesq 涡粘假定和静压假定理论，沿垂向平均分布的二维潮流数学模型控制方程表述如下：

(1) 连续方程：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

(2) 动量方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{g v \sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 H} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{g u \sqrt{u^2 + v^2}}{C_z^2 H} \quad (3)$$

式中： H 为垂向总水深； η 为当地水位； t 为时间； g 为重力加速度； u 、 v 分别为 x 和 y 方向垂向平均流速； $f = 2\omega \sin \phi$ 为科氏力参量； C_z 为谢才系数， $C_z = \frac{1}{n} h^{1/6}$ ， n 为曼宁系数； ω 是地球自转角速度， ϕ 是当地纬度； ϵ_{xx} 、 ϵ_{xy} 、 ϵ_{yx} 、 ϵ_{yy} 为不同方向上涡粘系数。

计算中，模型的初始条件设定为静水条件，模型的固边界采用法向流速为 0 的边界条件，上下游开边界分别采用流量和水位控制。

此外，工程区附近京杭大运河两侧存在漫滩^[5]，为更好刻画漫滩地形，采用干湿点判别法对动态边界水域进行处理。

3 模型建立

建立工程河段的平面二维水流数学模型进行分析。模型上游边界位于拟建惠然实业码头上游 1500m，模型下游边界位于拟建码头下游 850m。模型范围见图 2。



图 2 模型研究范围

模型采用非结构三角形网格，可较好地贴合岸线及自然边界，网格尺寸 10~40m，并对工程区附近水域网格进行局部加密。工程前网格共设计网格节点 1306 个，网格 2332 个，工程后网格共设计网格节点 1934 个，网格 3587 个。工程前后计算区域的网格剖分图分别如图 3 及图 4 所示。

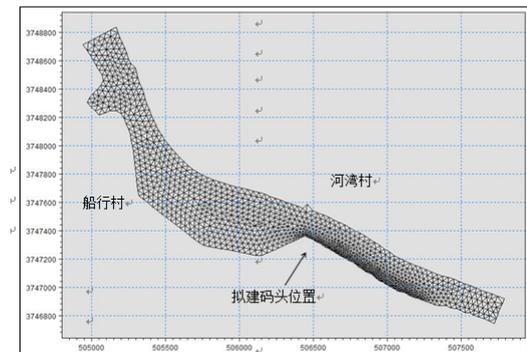


图 3 工程前计算区域网格

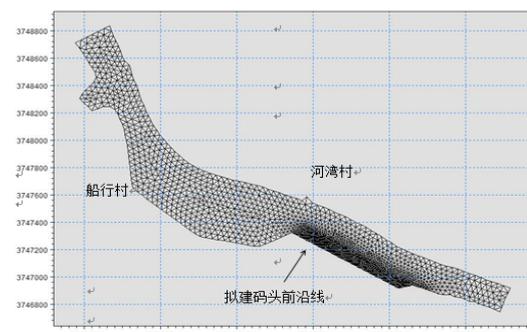


图 4 工程后计算区域网格剖分图

4 计算参数

(1) 时间步长：模型计算时间步长根据 CFL 条件

动态调整，为确保模型计算稳定进行，最小时间步长 0.01s；

(2) 糙率：经过模型验证，河道糙率取 0.02 ~ 0.03；

(3) 涡粘系数：采用考虑亚尺度网格效应的 Smagorinsky (1963) 公式计算。

5 码头工程建设影响

5.1 码头建设前后对水流条件影响

在防洪水位工况下，码头建成前后的流场图如图 5 及图 6 所示。

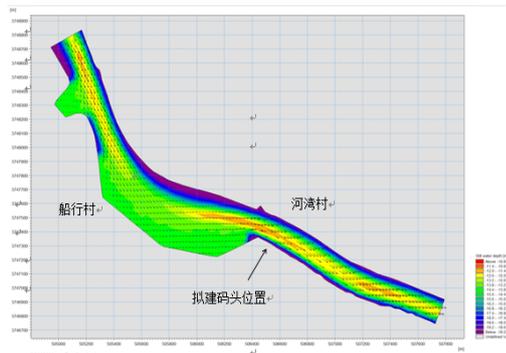


图 5 码头工程建设前流场

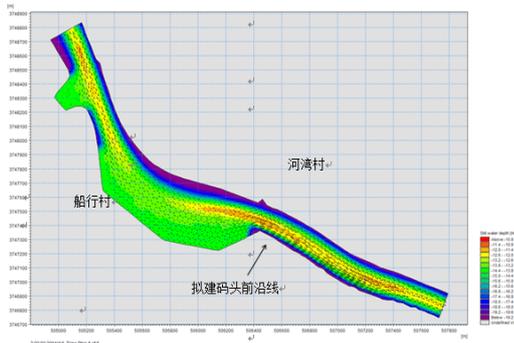


图 6 码头工程建设后流场

由图 5 可知，工程建成前，整体上航道中水流条件较优，没有不良流态的出现。就河道两侧边滩而言，水流流向较为散乱但流速均不足 0.16m/s；就深泓流速而言其范围为 0.9~1.3m/s，深泓流速的最大值出现在拟建码头工程下游水域，这主要是由于水流传播至该水域时河宽明显束窄所致，深泓流速的最小值出现在二期工程附近河段，发生该现象的主要原因为该河段河宽较其余河段明显较大。

对比图 5 和图 6 可知，拟建工程对河段流场的影响主要集中在工程区附近。工程建成以后，挖入式港池底高程与航道设计底高程一致，工程区水深及水域宽度的

增加客观上造成河段过水断面增加，河段深泓流速有所下降。此外，由于弯曲河段以及科氏力的影响，工程区附近水流流向有向港池一侧变化的趋势，港池内出现回流和垂直于航道方向的横向流速，但港池内流速较小，最大值也不超过 0.6m/s。

5.2 码头工程对航深的影响

防洪水位工况下，在码头前沿，由于人工疏浚，河床高程大幅下降，水深增大；而在主航道区域的水深变化很小，码头建成对主航道水深基本没有影响。

5.3 码头工程对流速的影响

为进一步分析拟建码头对航道流速的影响，沿码头附近的设计航道中心线按间隔 130m 布置 14 个采样点，对码头建成前后的流速变化进行分析。采样点的布置如图 7 所示。

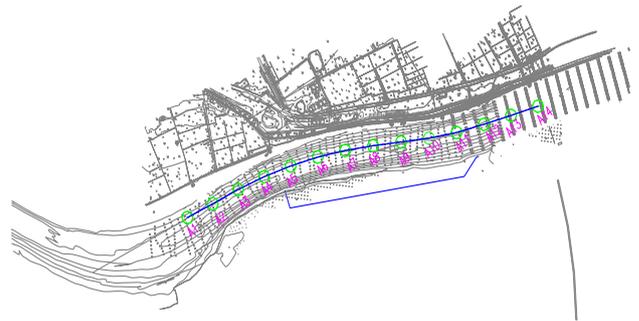


图 7 采样点布置图

表 1 防洪水位下码头建设前后航道区域流速对比

采样点	工程前		工程后		流速变化 (m/s)	流向变化 (°)
	流速	流向	流速	流向		
	(m/s)	(°)	(m/s)	(°)		
A1	0.31	104.76	0.31	106.67	0.00	1.91
A2	0.37	99.60	0.35	99.65	-0.01	0.06
A3	0.50	100.02	0.44	103.00	-0.05	2.98
A4	0.79	99.89	0.57	106.92	-0.22	7.03
A5	1.19	115.00	0.72	114.64	-0.47	0.36
A6	1.19	121.86	0.75	120.55	-0.44	1.31
A7	1.15	124.83	0.74	124.61	-0.42	0.22
A8	1.13	127.41	0.73	127.03	-0.41	0.38
A9	1.13	128.85	0.75	127.55	-0.38	1.29
A10	1.13	127.57	0.78	125.52	-0.35	2.05
A11	1.12	122.47	0.90	116.91	-0.22	5.55
A12	1.08	116.11	1.06	114.34	-0.02	1.77
A13	1.12	110.55	1.11	111.07	-0.01	0.51
A14	1.15	114.11	1.14	114.09	-0.01	0.03

从表 1 可知，码头工程建设后，对于位于工程附近的采样点 (A3~A11)，由于过水断面的增加，流速明显减小，流速最大减小值为 0.47m/s，最大下

降幅度为 39%；距工程点稍远处的采样点（A1~A2，A12~A14），受工程影响较小，流速下降幅度在 3% 以内；上述规律反映各采样点与工程的距离与流速变化关系密切。

总体而言，工程实施后，工程区附近航道的流速减小，而这对船舶上行无明显不利影响。

5.4 码头工程对横流的影响

为了计算工程建设对航道横流的影响，对图 7 中采样点处工程建设前后的横流变化列于表 2。

表 2 控制工况下工程河段横流对比

采样点	工程前			工程后		
	流速 (m/s)	与航道中心线夹角 (°)	横流 (m/s)	流速 (m/s)	与航道中心线夹角 (°)	横流 (m/s)
1	0.31	0.70	0.00	0.31	2.62	0.01
2	0.37	4.06	0.03	0.35	4.01	0.02
3	0.50	4.63	0.04	0.44	1.65	0.01
4	0.79	8.03	0.11	0.57	0.99	0.01
5	1.19	3.49	0.07	0.72	3.13	0.04
6	1.19	6.59	0.14	0.75	5.28	0.07
7	1.15	5.81	0.12	0.74	5.59	0.07
8	1.13	5.82	0.11	0.73	5.44	0.07
9	1.13	6.51	0.13	0.75	5.21	0.07
10	1.13	6.90	0.14	0.78	4.85	0.07
11	1.12	5.68	0.11	0.90	0.13	0.00
12	1.08	2.25	0.04	1.06	0.48	0.01
13	1.12	2.44	0.05	1.11	1.93	0.04
14	1.15	1.40	0.03	1.14	1.37	0.03
最大值	1.19	8.03	0.14	1.14	5.59	0.07

分析表 2，工程后，采样点横流流速最大值由 0.14m/s 下降至 0.07m/s，横流流速的减小有利于通航条件的改善。

6 结语

数值模型计算分析了最不利工况（防洪水位）下，本工程对工程河段通航条件的影响，主要结论如下：

（1）工程后，由于局部区域平面形态突变，流向受固边界条件影响，略有变化，但未形成紊乱或涡流，整体流向也未改变，对通航条件基本无影响；

（2）工程后，主航道区域的水深变化很小，码头建成对设计航道水深基本没有影响。由于挖入式港池导致的岸线以及地形的变化，工程区附近航道的流速呈现明显减小或小幅增加的变化规律，对通航条件无明显不利影响；

（3）工程后，航道横向流速减小，横流流速的减小有利于通航条件的改善。

由于采用顺岸挖入式型式布置，且码头前沿线与水流保持平顺，港池工程的开挖，在一定程度上改变了原河槽地形，但由于工程河段河势稳定，且码头区域河段边界相对固定，河床演变缓慢，此处的水流态势不会有大的变化。码头前沿均采用可靠的护坡措施，水流变化基本不会影响到码头基础工程。

综合数值模拟分析结果，码头建成后，码头前沿水流流速较低，码头建设后河槽不会产生较大影响，但由于流速远小于主流流速，码头前沿水域水流挟沙力不足，将引起该水域产生一定的淤积。实际运行时应定期进行清淤，可保证河势的稳定和作业船只安全靠离泊。

参考文献：

- [1] 成积禧, 章雪涛. 日照港水域水动力数学模型及港区回淤分析研究 [J]. 港工技术, 2004(02):1-6.
- [2] 魏龙, 王义刚, 黄惠明, 孟超. 冀东南堡人工岛工程潮流泥沙数值模拟 [J]. 水运工程, 2012(06):43-47+51.
- [3] 汪守东, 徐洪磊. 烟台港海阳港区沙滩冲淤稳定性数值模拟分析 [J]. 水运工程, 2010(07):11-17.
- [4] 闻云呈. 二维波浪潮流泥沙数学模型在射阳港航道整治工程中的应用 [C]. 中国海洋学会海洋工程分会. 第十四届中国海洋（岸）工程学术讨论会论文集（下册）. 中国海洋学会海洋工程分会：中国海洋学会海洋工程分会, 2009:215-220.
- [5] 袁涛峰, 周卫东. 唐坊码头工程挖入式港池对航道的影 响及对策研究 [J]. 中国水运（下半月）, 2015, 15(07):257-259+263.