



某顺岸式栈桥码头泥沙淤积成因分析

宋晓军¹, 白志刚², 臧颖²

(1. 中国石油化工股份有限公司镇海炼化分公司, 浙江 宁波 315800; 2. 天津大学建筑工程学院, 天津 300072)

摘要: 某顺岸式栈桥码头泊位改造后呈现淤积速度加快的状态, 通过 MIKE21 建立二维潮流泥沙模型, 模拟了泊位的潮流、泥沙淤积情况。潮流、悬沙量的模拟结果与实地测量结果验证良好。金塘水道所在海域潮流主要以往复流为主, 金塘水道淤积的泥沙主要为“过路沙”。码头淤积的原因有地理位置和地形、泊位布置和走向、船舶停靠、临近电厂排水、码头桩基、后期的疏浚等, 并通过数值模拟的方法详细分析了船舶停靠与否、临近电厂排水与否、码头桩基存在与否以及临近电厂取水区域地形深浅对于泊位淤积的影响。得出结论: 码头设计和建设的不合理是淤积的主因。

关键词: 顺岸式栈桥码头; 潮流泥沙; 淤积成因; 数值模拟

中图分类号: TV 92

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)04-0060-08

Causes of sediment deposition in alongshore trestle wharf

SONG Xiao-jun¹, BAI Zhi-gang², ZANG Ying²

(1. Zhenhai Refinery & Chemical Company of China Petroleum and Chemical Corporation, Ningbo 315800, China;
2. Civil School, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The sedimentation rate in an alongshore trestle wharf speeded up after the reconstruction, so a two-dimensional mathematical model was applied to study the current and sediment transport, and the simulated results of current and suspended sediment were verified by measured data on site. The tidal current of Jintang channel is mainly reciprocating flow and the sediment is from the outer waters instead of the coast. Possible causes include the geographic location and terrain, the arrangement and direction of berth, the mooring of ships, the discharge of an adjacent power plant, wharf pile foundation and dredging, etc. we also analyze the influences of berth deposition on conditions including whether ships dock or not, the adjacent power plant discharges or not, wharf pile foundation exists or not and the water depth of adjacent power plant's water intake area. It is concluded that the main cause is the unreasonable design and construction of the wharf.

Keywords: alongshore trestle wharf; current and sediment; causes of sediment deposition; numerical simulation

由于海岸泥沙的运动, 航道或多或少会发生淤积, 进而影响航道的正常使用。因此研究港口和航道淤积的成因、了解航道淤积的规律是至关重要的, 其为防淤和减淤工作提供了前提条件。刘家驹提出了连云港外航道以悬沙落淤为主的计算方法, 对连云港外航道的回淤做出了预报^[1]。王成环研究了京唐港在挡沙堤形成的各阶段港区附近泥沙的运动规律^[2]。张庆河等依据现场测量

结果给出了黄骅港附近海域海床表层泥沙颗粒的分布规律, 并对海域表层泥沙的运动特性进行分析^[3]。张金善等以外高桥港区码头为例, 根据实测资料、物理模型试验及数学模型计算的结果, 发现桩基的阻水作用是码头回淤的主要原因^[4]。赵洪波等利用水流槽试验研究顺岸式码头水流的特点, 通过理论推导得出顺岸式码头港池的淤积公式^[5]。倪云林等利用金塘水道水深地形资料,

收稿日期: 2015-09-28

作者简介: 宋晓军 (1973—), 男, 工程师, 从事港航管理工作。

分析了冲淤变化的原因, 发现金塘水道的海床上以轻微冲刷为主, 而潮滩则表现为不断淤涨; 水道冲淤呈现由冲刷转向淤积的调整趋势^[6]。邵会彩等以宁波港镇海港区为例, 对大规模围涂后的淤积原因进行深入分析。发现较大的围涂使矾头效应显著削弱, 是造成持续淤积的主要原因^[7]。高峰等采用数值模拟的方法计算了北仑电厂码头改扩建后的潮流泥沙的变化, 发现改扩建工程使周边海域流场减弱, 但影响范围有限^[8]。蒋文志等通过实测资料对甬江和口外金塘水道水动力、泥沙特性和悬沙输移等进行了分析^[9]。

本文主要针对某顺岸式栈桥码头淤积严重的1[#]、2[#]泊位, 通过二维潮流泥沙数值计算的方法开展码头泥沙回淤分析研究, 找出港域泥沙淤积成因, 了解了泥沙回淤规律, 确定淤积原因。

1 工程区域概述

码头位于宁波市北仑区金塘水道南岸、北仑港西端, 是宁波-舟山港核心港区, 该码头水岸资源丰富、海域开阔、水深浪小、水流平顺, 主航道达到基本冲淤平衡。深水岸线离岸大多在100 m以内, 进港主航道水深均在30 m以上, 具备优越的大型深水泊位通航条件, 可确保30万t船舶全天候通行。目前共建有6个泊位, 在两个大型泊位加固改造后, 设计水深由原22.5 m疏浚至23.8 m, 之后发现改造后的码头前回淤较快且面积较大, 港池淤积明显增速, 挖泥时间延长了许多, 从而影响了泊位使用效率。因此需迫切了解港池泊位淤积的原因。

本海区的潮汐类型为不规则半日潮, 潮流占支配作用, 潮流的运动形式属往复流, 呈西北西—东南东往返流。本区设计潮流的断面最大可能平均流速达1.50 m/s以上。

根据已有资料分析可知, 港区悬沙平均粒径为0.009 9~0.020 5 mm, 中值粒径为0.007~0.012 mm, 最大粒径0.043 9~0.476 mm。垂向悬沙大小较为均匀, 港池外沿和码头处悬沙大小也较为均匀。

2 二维潮流泥沙数学模型

2.1 计算区域

为了解工程前后流场变化情况, 首先建立包括舟山群岛和杭州湾在内的大范围潮流数学模型, 经验证准确后为金塘水道海域流场提供边界条件。

大范围计算网格采用三角单元, 计算区域共计单元70 967个、节点36 789个。图1为金塘水道海域模拟范围及计算网格。金塘水道海域模型考虑码头的影晌及边界的模拟精度, 采用逐步加密的三角形网格, 该模型计算区域内共布设21 633个节点和42 376个单元, 网格步长10~200 m。在码头前后和临近电厂取排水通道口附近等重点研究区域进行加密处理。时间步长为0.2 s。

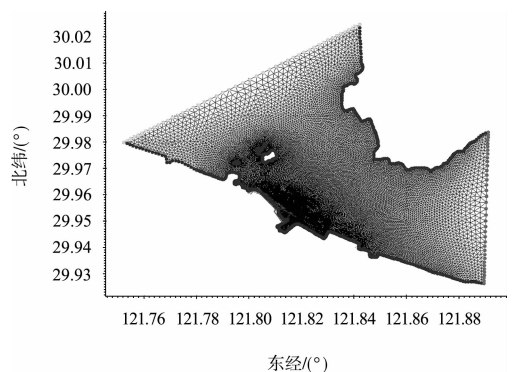


图1 金塘水道海域模拟范围及计算网格

模型的边界采用移动边界技术。模型中的湍动黏性系数的选择采用Smagorinsky公式^[10], 本模型中 c_s 为0.3。模拟区的糙率是个综合影响因素, 与水深、床面形态、植被条件等因素有关, 网格区域糙率由各区域平均水深决定。模型水域底床糙率根据实测资料反推并结合以往研究经验选取, 模型考虑水深的相对变化, 采用曼宁公式^[11], 且根据模拟区域不同位置特性进行局部调整, 取值范围30~50 m^{1/3}/s。桥墩等局部建筑物会对水流产生一定的影响, 在此模型中加以特别的考虑, 采用附加阻力法, 根据流体力学中绕流阻力计算^[11]。

2.2 控制方程

二维潮流泥沙问题的模拟可采用沿水深平均的封闭浅水方程组描述二维水流运动, 基本控制方程形式可表示为:

连续方程:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

x 方向运动方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \alpha_0}{\partial x} \right) - fv - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{c^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (2)$$

y 方向运动方程:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial \alpha_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{gv}{c^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (3)$$

悬沙输移扩散方程:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(h D_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(h D_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + Q_L C_L \frac{1}{h} - S \quad (4)$$

床面冲淤变化:

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = K_{sx} \frac{\partial^2 z_b}{\partial x^2} + K_{sy} \frac{\partial^2 z_b}{\partial y^2} \quad (5)$$

$$K_s = \frac{9.8 \times 10^{-8}}{1 - \varepsilon} \sqrt{(s - 1) g d_{50}} \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{1.6} \frac{h \nu}{(g \nu)^{2/3}} \quad (6)$$

式中: x 、 y 是水平坐标轴; u 、 v 为 x 、 y 轴向流速; t 是时间变量; g 为重力加速度; h 为水深; z 为河床底面高程; r 为水流密度; f 为科氏力参数; e_{xx} 、 e_{xy} 、 e_{yx} 、 e_{yy} 为紊动黏滞系数; c 为谢才系数, 计算时利用曼宁 (Manning) 公式进行转换; \bar{c} 表示沿水深平均悬沙浓度; D_x 、 D_y 分别为沿 x 、 y 向的悬沙紊动扩散系数; S 为冲淤项函数; Q_L 为单位水平区域的源流量; C_L 为源流量悬沙浓度; z_b 为床面变化; K_{sx} 、 K_{sy} 分别为 x 、 y 方向冲淤系数; s 为底沙相对密度; d_{50} 为底沙中值粒径; ν 即流速 u 、 v ; ν 为运动黏滞系数。

3 模型的验证

2014年7月28日—9月4日期间在A、B、C共3个测站进行了大小潮全潮水文观测, 包括潮位、流速流向、悬沙和底沙等。A、B、C这3个

测站的实测数据用来验证所建立的潮流泥沙模型。鉴于文章篇幅, 文中只给出了大小潮时A测站的验证曲线, 其余测站均取得了类似的验证结果。

3.1 潮位及潮流

图2为大小潮时潮位验证曲线。可以看出, 数值计算得到的潮位过程的潮差、高潮、低潮以及涨落潮历时, 均与实测过程符合良好。

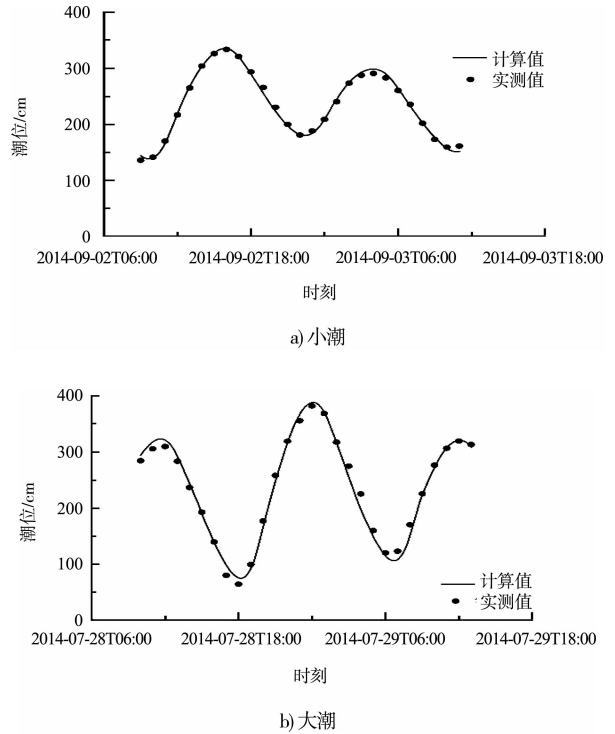
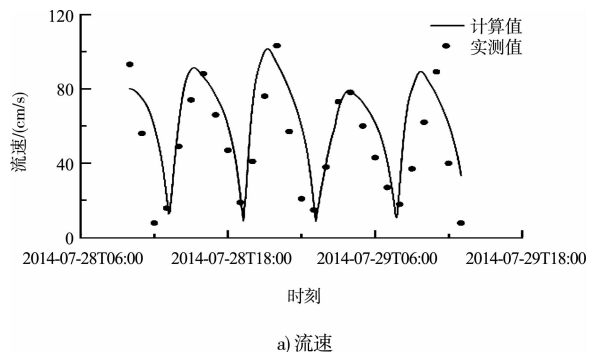


图2 潮位验证曲线

图3、4为A测站大小潮时的流速流向过程验证曲线。可以看出, 计算得到的流速、流向过程与实测过程在峰值和转潮时刻均吻合良好。计算发现, 金塘水道所在海域潮流主要以往复流为主。海域整体流向与海域边界及地形相辅相成, 流向与岸基本平行, 涨潮与落潮时流向相反。



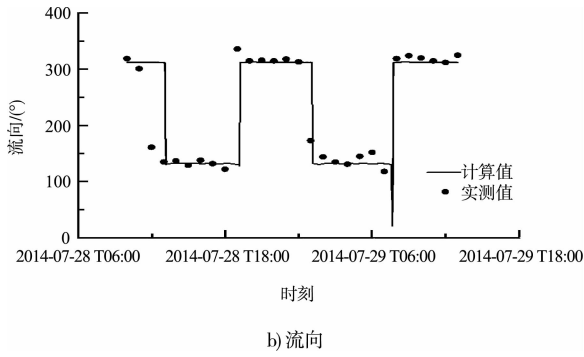


图 3 A 测站大潮流速流向验证曲线

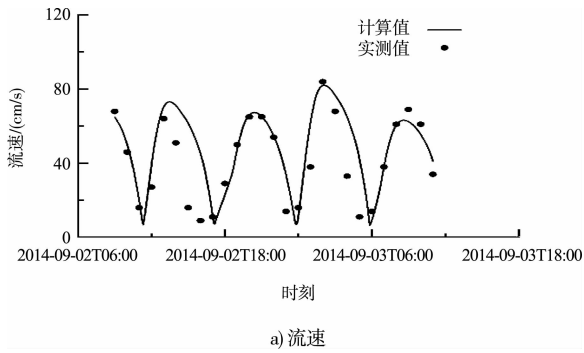


图 4 A 测站小潮流速流向验证曲线

3.2 泥沙验证

泥沙模型网格采用金塘水道小范围水动力模型计算网格, 水流计算边界条件由水动力模型计算潮位的结果提供。泥沙模型的计算与水流模拟同步耦合计算。

图 5 为 A 测站大小潮悬沙量验证曲线。总体而言, 除个别测点的个别时段外, 计算悬沙浓度与实测含沙量的变化趋势拟合较好, 且计算含沙量振幅基本达到了实测含沙量振幅水平, 表明该模型对码头港口水域的泥沙运动过程能给予比较准确的模拟。

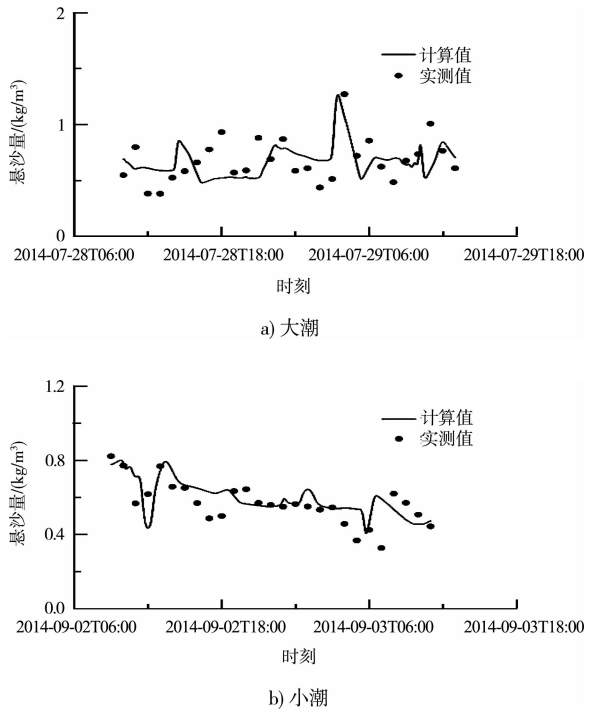


图 5 A 测站大小潮悬沙量验证曲线

计算发现: 金塘水道海域缺乏陆域泥沙来源, 泥沙主要为“过路沙”。泥沙运移形态以悬移为主, 涨落潮流时海域含沙量走向不一致, 落潮流时泥沙从灰鳖洋带入金塘水道, 涨潮时泥沙从大树岛沿岸浅滩流入该海域, 大潮平均含沙量整体大于小潮含沙量。

4 泥沙淤积分析

4.1 成因

根据该码头的地理位置、地形、泊位布置、潮流泥沙的运动规律以及后期的工程建设和维护, 分析淤积严重的 1[#]、2[#]泊位两侧淤积原因 (图 6、7):

1) 1[#]、2[#]泊位走线方向为 128.58°, 临近电厂码头走向为 115.52°, 方向相差 13° (两条线夹角), 从顺岸方向来讲, 码头 1[#]泊位呈内凹三角形状态。而涨潮流向和落潮流向基本顺岸, 在 1[#]泊位两侧形成隐蔽区, 流速减小, 水流的挟沙能力减弱, 有利于细颗粒泥沙的落淤。

2) 1[#]、2[#]泊位两侧栈桥相对内凹, 涨落潮流流速减小, 实测表明最大流速一般都小于 0.2 m/s, 便于细颗粒泥沙的落淤。

3) 码头内侧顺直桩基群存在阻力。码头结构采用蝶形高桩梁板形式, 尽管透空率较大, 但由于桩基存在一定的阻水作用, 使得金塘南岸浅水水域的涨落潮流流速减小, 水流的挟沙能力减弱, 有利于细颗粒泥沙的落淤。

4) 大型船舶在1[#]、2[#]泊位的靠泊, 阻碍了潮汐水流运动。在潮流作用下靠船两侧形成一定的弱流区, 尤其在泊位两侧内凹处流速很小, 悬沙易于沉降落淤。

5) 临近电厂一二期排水主通道(箭头部分)正对1[#]泊位, 低潮时直冲码头, 其排水流向与潮流往复流基本正交, 在码头前形成较大横向流速, 阻碍了往复流的顺岸运动, 致使海域流向发生偏转, 流速减弱, 易于发生泥沙的落淤。

6) 码头后部浅滩(图6四边形、五边形包围部分)泥沙再搬运过程。码头内侧桩基附近存在1:3陡坡从0 m线以上短距离下降至25 m等深线, 且位于潮间带。码头后侧水流流速很小, 形成淤积浅滩, 在潮流波浪作用下顺坡下滚, 在坡脚处易于发生细颗粒泥沙的落淤。

7) 泊位港池设计水深原为22.5 m(吴淞高程), 在1[#]、2[#]泊位加固改造后, 设计水深疏浚至23.8 m(图7四边形包围部分), 深度增加了1.3 m, 港池流速稍有减小, 港域淤积略有增加。

8) 1[#]泊位前沿设计水深疏浚至23.8 m, 而右侧紧邻的电厂取水区域水深仅为5~15 m(图7多边形包围部分), 1[#]泊位右侧系缆墩周边水深则高差在20 m以上, 存在明显梯度变化, 沿岸深度的陡变势必减弱港区深水流速, 甚至出现环流, 其位于1[#]泊位右侧的深水隐蔽区自然容易淤积。

9) 外围海域的围垦造地和工程建设, 也将导致金塘水道含沙量的增加和近岸泥沙淤积的恶化。



图6 1[#]泊位现状淤积成因

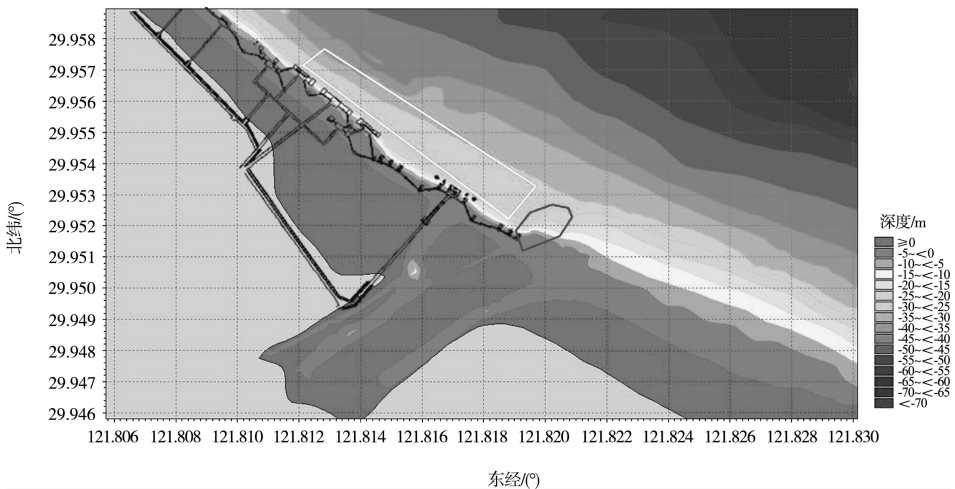


图7 码头现状淤积成因

4.2 淤积影响因子分析

针对上述提出的码头淤积的原因, 采用经过验证的工程区域水动力数值模型, 分别模拟了船舶停靠与否、临近电厂排水与否、码头桩基存在与否以及电厂取水区域地形深浅等各工况下码头港区泥沙冲淤变化过程, 寻找码头局部区域泥沙

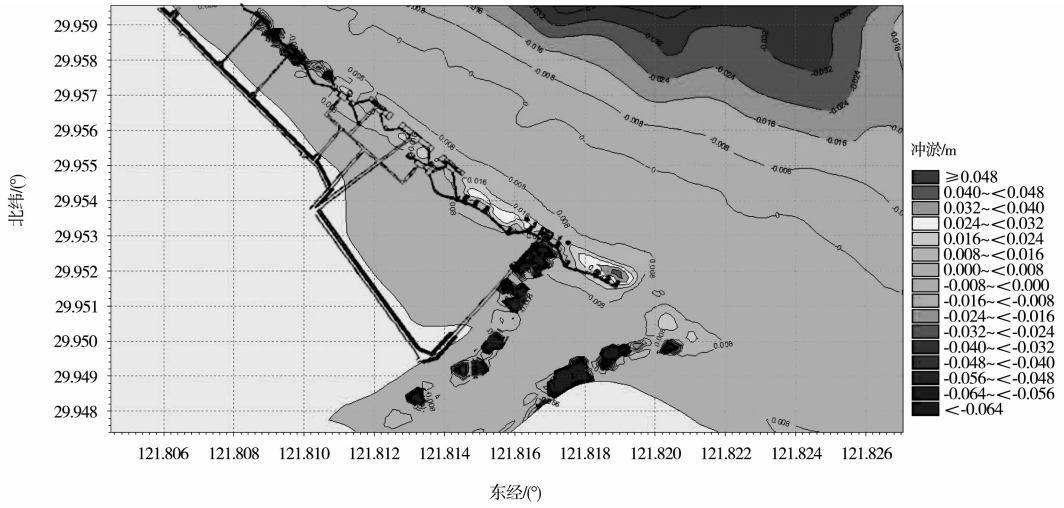
淤积变化的主要原因。

4.2.1 有无船舶靠停因子

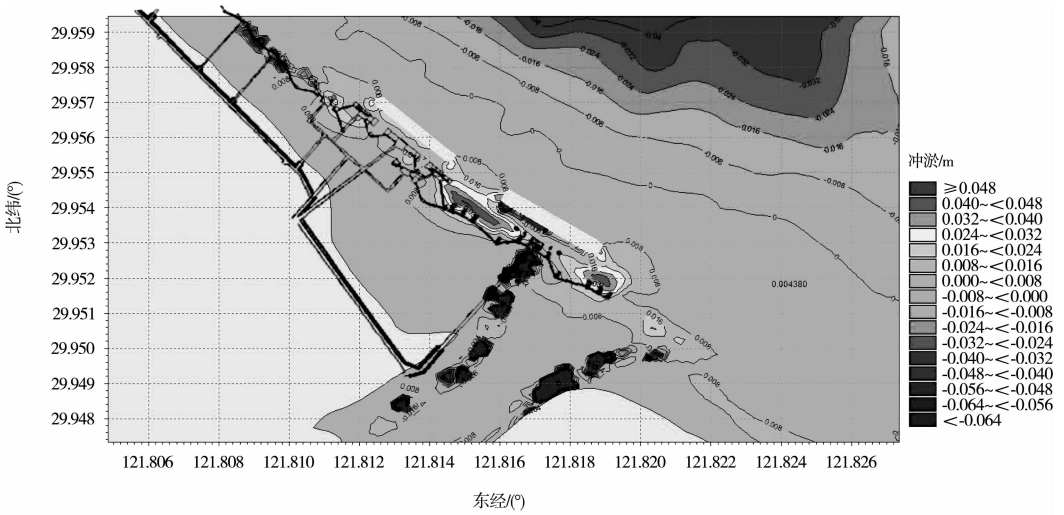
图8为有无船舶靠停的日冲淤量。可以看出: 船舶的靠停对大范围泥沙场基本没有影响, 影响仅限于船舶靠泊周边区域。与无船停靠相比, 当船舶靠停时1[#]、2[#]泊位两侧泥沙淤积强

度和范围都有所增强, 1#与2#泊位之间后沿岸坡处日最大淤强达到 0.048 m 以上, 与无船相比增加了 0.017 m, 1#泊位右侧处最大淤强几乎未有变化, 只是淤积范围稍有增加, 而靠泊

两侧位置泥沙淤强变小, 局部甚至出现冲刷。2#泊位左侧泥沙淤积强度有微弱增加。这说明船舶的靠停对 1#与 2#泊位两侧隐蔽区的淤积有较大影响。



a) 无船靠停



b) 有船靠停

图8 大潮日冲淤量

4.2.2 临近电厂排水与否因子

临近电厂一二期排水主通道正对 1#泊位, 其排水流向与潮流往复流基本正交, 在码头前形成较大横向流速, 阻碍了往复流的顺岸运动, 致使海域流向发生偏转, 流速减弱, 易于发生泥沙的落淤。低潮时直冲码头, 排水流速较大, 与落潮流向垂直, 高潮时分流至 1#泊位和其右侧栈桥以外, 在右侧系缆墩外与涨潮流反向汇聚, 流速降

低。假定临近电厂停止排水情况下, 其大潮日冲淤变化分布见图 9, 与现状条件相比, 排水通道从冲刷转为淤积趋势, 出现明显淤积状态, 大潮日最大淤强在 0.025 m, 1#泊位前沿淤积稍有增加, 日淤强 0.008 m 的等淤线向外稍有扩张。1#泊位两侧泥沙淤积强度增大明显, 淤积范围变化不大, 日最大淤强变化皆在靠近 1#泊位两侧后沿岸坡下部, 都减少了 0.003 7 m。

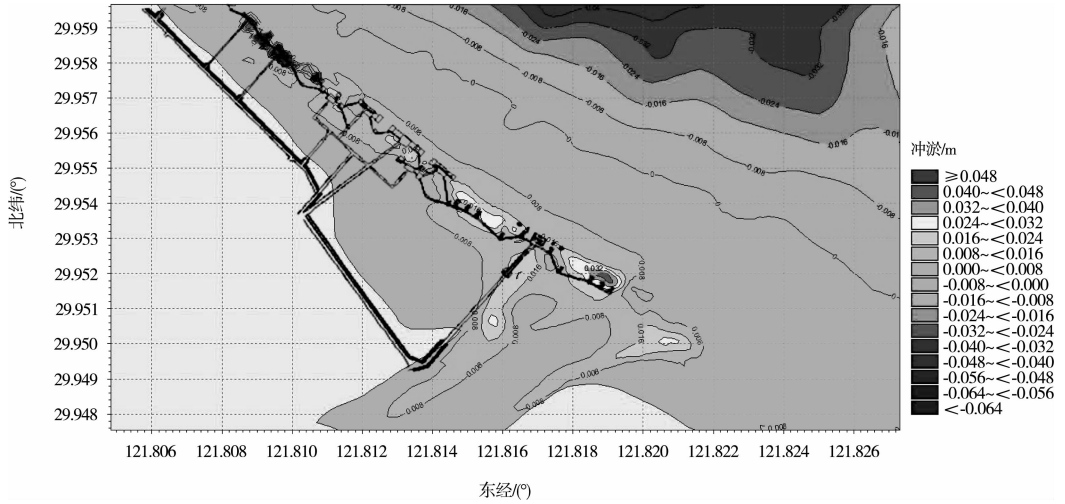


图9 临近电厂不排水下大潮日冲淤量

4.2.3 码头桩基存在因子

码头结构采用高桩梁板式栈桥码头，由于桩基存在一定的阻水作用，有利于细颗粒泥沙的落淤，特别是引桥垂直于岸线的平面布置，更易滞留与岸线平行的涨落潮流方向运移的悬沙。假

定无桩基存在时，其大潮日冲淤变化见图10，1#~2#泊位附近区域依旧为淤积状态，1#与2#泊位之间后沿岸坡处日最大淤深比有桩基时少淤了0.011 m，1#泊位右侧淤积强度和范围也略少于有桩存在。

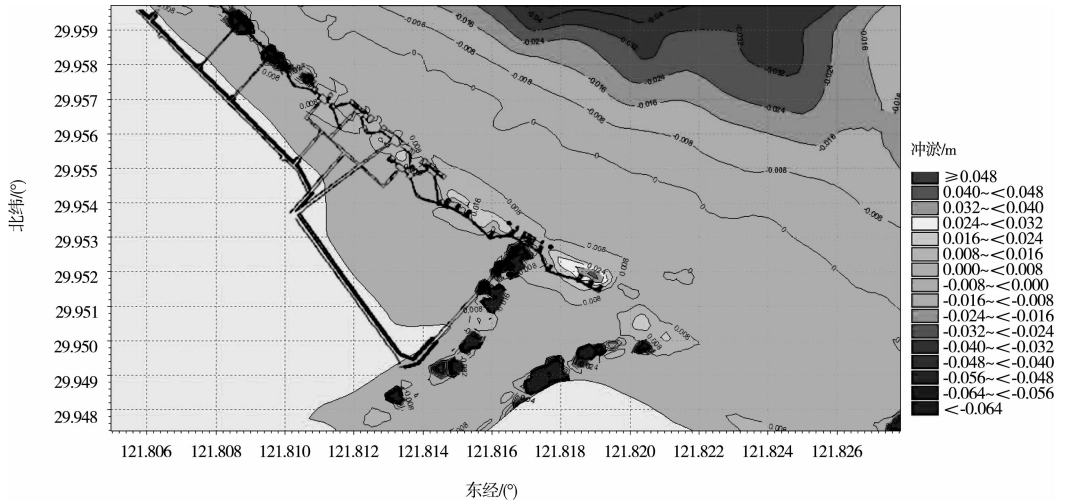


图10 桩基不存在时大潮日冲淤量

4.2.4 临近电厂取水区域地形深浅因子

为了研究临近电厂取水浅水区域对码头冲淤变化的影响，在此人为将取水区域挖深至-23.8 m。临近电厂取水浅水域的浚深仅影响到1#泊位右侧区域，淤积范围逐渐向取水方向扩张，面积增大，但1#泊位右侧重淤区日最大淤强明显减少了0.009 m，浚深位置日最大淤强反而增加了0.013 m。

表1为各因子对于淤积的影响程度，表中列出了现状条件和各因子作用条件下的1#泊位右侧和1#与2#泊位之间的日淤积深度。可以看出：无船舶停靠时，淤积深度降低到最小，故船舶的停靠是重要的淤积原因；挖深电厂的取水区对于淤积深度影响较小；电厂停止排水和无桩基对于淤积深度的影响介于上述两个因子之间。

表1 各因子对淤积的影响程度

影响因子	日淤积深度/m	
	1#泊位右侧	1#与2#泊位间
现状	0.032 0	0.048 0
无船舶靠停	0.028 0	0.031 0
电厂停排水	0.028 0	0.044 0
无桩基	0.030 0	0.037 0
挖深取水区	0.031 1	0.047 7

5 结论

1) 金塘水道所在海域潮流主要以往复流为主。海域整体流向与海域边界及地形相辅相成,流向与岸基本平行,涨潮与落潮时流向相反。

2) 金塘水道淤积的泥沙主要为“过路沙”,泥沙运移形态以悬移为主,涨落潮流时海域含沙量走向不一致。金塘北侧主槽含沙量较小,南侧近岸和浅滩含沙量较大。

3) 码头淤积的原因有地理位置和地形、泊位的走向和布置、船舶的停靠、桩基的阻力、临近电厂的排水、后期的疏浚以及泥沙的再搬运等。

参考文献:

[1] 刘家驹. 连云港外航道的回淤计算及预报[J]. 水利水电科学研究, 1980(4): 31-42.

- [2] 王成环. 京唐港附近海域粉砂质海岸泥沙运动规律与整治措施[J]. 港工技术, 2000(1): 5-8.
- [3] 张庆河, 王崇贤, 杨华, 等. 黄骅港海域表层泥沙特性及其影响[J]. 中国港湾建设, 2004(4): 14-17.
- [4] 张金善, 刘卫平, 戴贤凯. 外高桥顺岸桩基码头泥沙回淤及分析[J]. 水利水运工程学报, 2004(3): 53-57.
- [5] 赵洪波, 肖辉, 曹祖德. 顺岸式码头港池的水流特点及淤积计算[J]. 中国港湾建设, 2010(S1): 24-27.
- [6] 倪云林, 李伯根, 詹明旭. 金塘水道冲淤变化分析[J]. 海洋通报, 2012, 31(2): 146-153.
- [7] 郜会彩, 李志永, 王瑞峰, 等. 宁波镇海港区淤积机理及影响因素分析[J]. 长江科学院院报, 2013(7): 7-10.
- [8] 高峰, 张宏阳, 刘海成, 等. 北仑电厂码头改扩建工程潮流泥沙数值模拟[J]. 水道港口, 2010(1): 12-19.
- [9] 蒋文志, 马洪亮, 王震. 甬江和口外金塘水道水沙特性及悬沙输移分析[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(11): 3162-3166.
- [10] Akira Yoshizawa. Subgrid-scale modeling with a variable length scale [J]. Physics of Fluids A, 1989(7): 1293-1295.
- [11] 林建忠, 阮晓东, 陈邦国, 等. 流体力学[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2013.

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

世界最大锚碇钢壳拼装完成

中交二航局承建的镇江大桥北锚碇采用沉井基础, 该沉井目前为世界最大沉井, 其首节钢壳也是最大锚碇钢壳。首节钢壳采用钢壳混凝土结构, 长107 m、宽72.1 m、高8 m, 呈“田”字形, 总质量约2 436.4 t, 面积比一个标准足球场还大。沉井中间共设置48个10.2 m×10.9 m的矩形井孔, 俯看好似一个“巨型蜂窝煤”。钢壳为空腔箱型结构, 主要由内外壁板和型钢、板肋骨架组成。如此大的钢壳在国内乃至世界实属罕见, 建成后的北锚碇将创下多项世界之最。

该钢壳分为单元件制作、节段拼装、工地总拼3大阶段, 共83个节段。单元件及节段钢壳在基地制作完成。制造完成后的节段钢壳经800多公里长江水路, 运输至施工现场码头卸船, 倒运至锚碇现场总拼焊接。

整个钢壳的拼装难度巨大。钢壳体积大而笨重, 但安装精度必须达到±5 mm。加上拼装数量多, 给现场施工人员带来不少挑战。北锚碇沉井共分10节, 第1节为钢壳混凝土沉井, 第2~10节为钢筋混凝土沉井。

(来源:《钱江日报》)