

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.05.009

白志刚, 臧颖, 杨武. 考虑船舶停靠的码头减淤措施研究[J]. 水利水运工程学报, 2016(5): 61-69. (BAI Zhi-gang, ZANG Ying, YANG Wu. Measures for siltation abatement in a wharf considering ships berthing[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(5): 61-69.)

考虑船舶停靠的码头减淤措施研究

白志刚, 臧颖, 杨武

(天津大学 水利工程仿真与安全国家重点试验室, 天津 300072)

摘要: 目前, 码头淤积和减淤措施的分析计算中, 很少考虑船舶停靠的影响。针对金塘水道某码头, 建立二维潮流泥沙模型, 数值计算得到的潮流、含沙量结果与实测结果吻合。进而分析船舶停靠对潮流水动力和码头冲淤变化的影响。计算结果表明: 船舶停靠阻碍了潮流运动, 导致流速减小和泥沙淤积, 但影响仅为周边区域。在考虑船舶停靠频率不变的前提下, 针对目前1#, 2#泊位最大月淤积强度接近实测淤积量(>1.15 m)这一情况, 提出了3种减淤方案, 并计算了实施方案1后的潮流和冲淤变化, 发现导堤长度对减淤效果影响很大。对于重淤区而言, 基于综合分析比较, 短堤的防淤减淤效果较好, 故推荐采用短堤方案。

关键词: 潮流泥沙; 数值模拟; 船舶停靠; 减淤; 码头

中图分类号: U657.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2016)05-0061-09

港口、航道的泥沙淤积是港口海岸工程中经常遇到的问题。泥沙淤积会影响航道的正常使用, 因此研究港口、航道淤积的原因和防淤减淤措施非常重要。对泥沙淤积及防淤减淤措施的研究众多, 理论分析、现场实测、物理模型试验、数值模拟是目前主要采用的方法^[1-2]。刘家驹等^[3-4]针对不同波浪和泥沙运动形态, 提出了海岸航道的淤积计算方法。罗肇森等^[5-6]利用实测资料, 对泥沙淤积成因进行了研究, 并提出了具体的防淤减淤措施。徐和兴等^[7-9]通过物理模型试验的方法研究了挡沙堤等防淤工程的效果, 并进行比选分析。由于计算机技术的发展, 简单易行的数值模拟方法得到了越来越多的应用。B. Zanuttigh 等^[10-13]采用数学模型来研究减淤工程对潮流和淤泥输移的影响, 优化工程措施。

综上所述, 目前码头淤积原因及减淤措施的计算和研究中, 很少考虑船舶停靠对于航道淤积的影响。而对于船舶停靠时间长, 停靠船舶体型大、吃水深码头, 船舶对泥沙运动和淤积的影响不可忽视。本文充分考虑船舶停靠的影响, 针对金塘水道某大型码头淤积严重的1#和2#泊位, 通过数值计算的方法开展码头泥沙回淤分析与港口防淤减淤措施研究, 综合确定防淤减淤措施。

1 二维潮流泥沙数学模型

1.1 计算区域

作为研究对象的码头位于杭州湾金塘水道南岸北仑港区西部, 自东向西共有6个泊位, 1#泊位在码头最东边, 西与2#, 3#泊位以人行桥相连, 东有临近电厂排水口和码头, 具体布置见图1。码头海域北面有大黄蟒、小黄蟒岛, 西北面有中门柱岛, 码头前方有舟山群岛形成的天然屏障。1#, 2#泊位加固改造后, 发现1#, 2#泊位前泥沙回淤较快, 淤积面积较大, 挖泥时间延长, 从而降低了泊位使用效率。

收稿日期: 2015-09-22

基金项目: 海洋可再生能源专项资金资助项目(GHME2011ZC04, GHME2012ZC02)

作者简介: 白志刚(1966—), 男, 天津人, 副教授, 博士, 主要从事海岸工程的研究与教学工作。

E-mail: zhigangbai@tju.edu.cn

根据码头已有水文资料, 本区悬沙主要来源于杭州湾。含泥量基本特征为: 浅水大于深水, 下层大于上层, 大潮大于小潮, 落潮大于涨潮。港区悬沙平均粒径范围为 0.009 9~0.020 5 mm, 中值粒径范围为 0.007 0~0.012 0 mm, 最大粒径 0.043 9~0.476 0 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。

1.2 计算网格和参数

为了解方案实施前后流场变化, 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, 经验证准确后为小范围即金塘水道海域流场提供边界条件。

图 2 为金塘水道海域计算网格。小范围模型充分考虑码头和边界的影响, 采用逐步加密的三角形网格, 共有 42 376 个单元和 21 633 个节点, 网格步长为 10~200 m 不等。在码头前后和临近电厂取排水附近等重点研究区域进行网格加密处理, 三角形单元最小步长 10 m, 时间步长为 0.2 s。

计算模型的边界采用移动边界。模型中紊动黏性系数的选择采用 Smagorinsky 公式, 模型中取 0.3。模拟区的糙率与水深、床面形态、植被条件等因素有关, 考虑水深的相对变化, 采用谢才系数, 计算时利用曼宁公式^[14]进行转换, 且根据模拟区域不同位置进行局部调整, 谢才系数取值范围为 35~55 m^{1/2}/s。泥沙静水沉速依赖于颗粒大小, 单颗粒沉速可由 Stokes 定律估计^[15]。由于细颗粒往往表现为絮凝沉降, 因此 ω_s 取值采用絮凝当量粒径沉速 0.000 434 m/s。

该码头结构皆采用高桩梁板式栈桥码头, 尽管透空率较大, 但由于桩基存在一定阻水作用, 需考虑桩基影响。同时, 桥墩等建筑物会对水流产生一定影响, 也要加以考虑。码头结构和桥墩的影响采用附加阻力法, 根据流体力学中绕流阻力计算^[14]。计算时运用局部阻力修正法^[14]将 1#~7#泊位以及临近电厂码头等建筑物概化成 134 个桥墩, 并根据实际桥墩大小, 分别进行相应设置。

1.3 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:

$$\text{连续方程: } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

X 方向运动方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) - fv - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (2)$$

Y 方向运动方程:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - fu - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0 \quad (3)$$

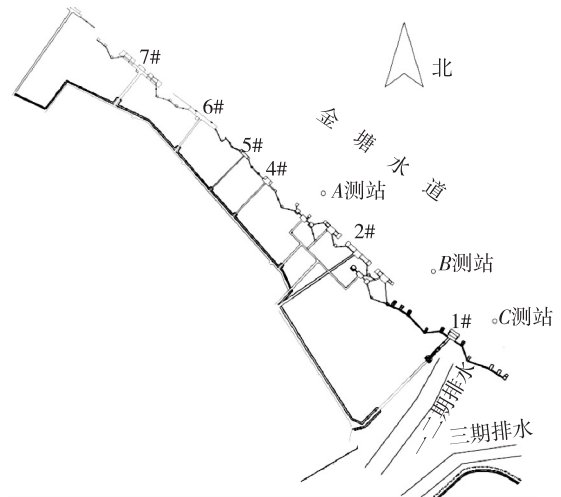


图 1 码头泊位布置

Fig. 1 Berths layout drawing

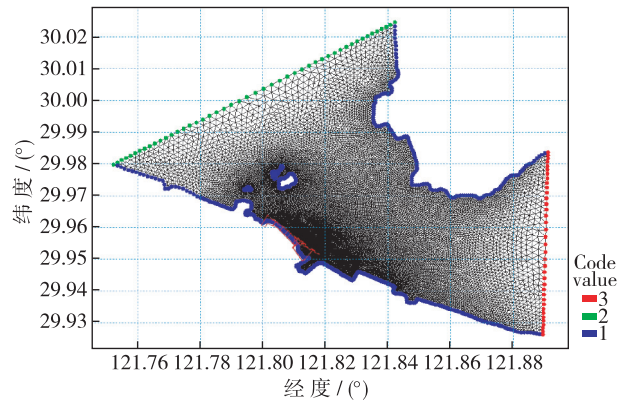


图 2 金塘水道海域计算网格

Fig. 2 Grid of Jintang channel model

悬沙输移扩散方程:

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

床面冲淤变化:

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

$$\bar{K}_s = \frac{9.8 \times 10^{-8}}{1 - \varepsilon} \sqrt{(s - 1) g d_{50}} \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{\frac{1}{6}} \frac{h \vec{v}}{(g\nu)^{\frac{2}{3}}} \quad (6)$$

式中: x, y 为水平坐标轴; u, v 为 x, y 轴向流速; t 为时间变量; g 为重力加速度; h 为水深; a_0 为河床底面高程; ρ 为水流密度; f 为科氏力参数, $f = 2\omega \sin\varphi$, ω 为地球旋转角速度, φ 为纬度; $\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{yx}, \varepsilon_{yy}$ 为紊动黏滞系数; C 为谢才系数, 计算时利用曼宁公式进行转换; \bar{c} 为沿水深平均悬沙浓度; D_x, D_y 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} 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; \vec{v} 为流速向量; ν 为运动黏滞系数。

2 模型验证

2.1 潮流验证

为验证所建立二维潮流泥沙模型的准确性, 于 2014 年 7 月 28 日至 9 月 4 日在 A, B, C 三个测站进行了大小潮全潮水文观测, 测站具体位置见图 1。测量内容包括潮位、流速流向、悬沙和底沙等。鉴于文章篇幅, 文中只给出了大、小潮时 A 测站的验证曲线, 其余测站均取得类似的验证结果。

图 3 为 A 测站大、小潮时的流速流向过程验证结果。

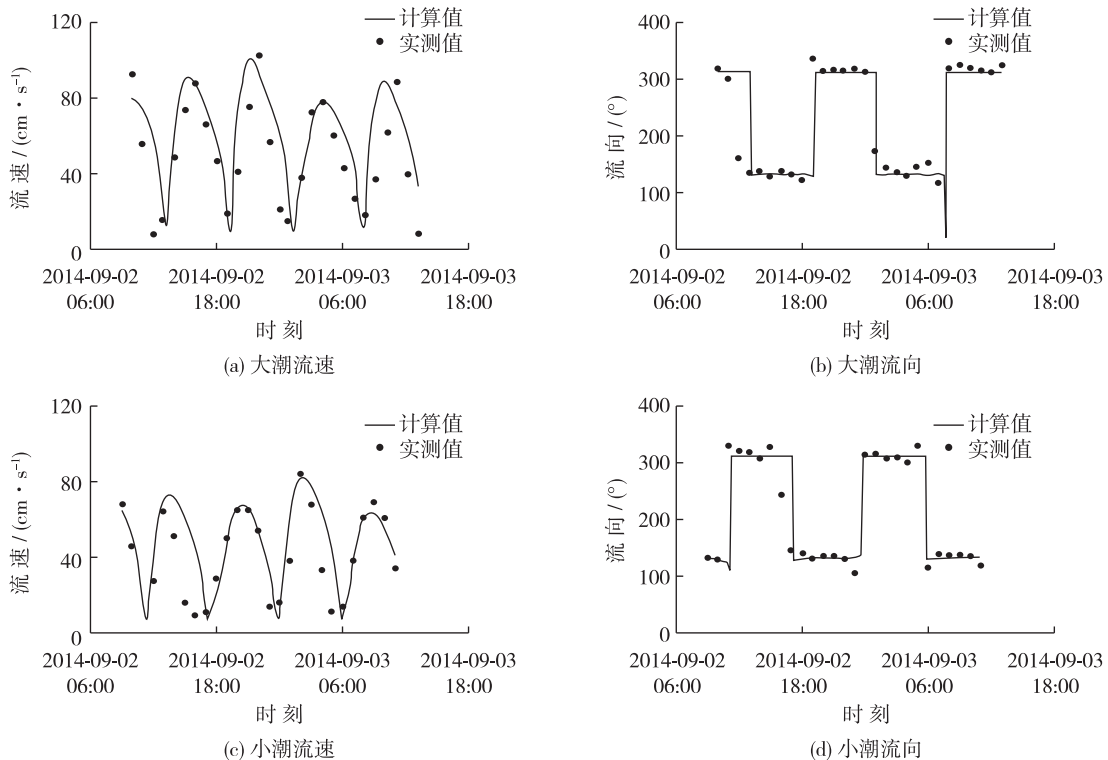


图 3 大、小潮流速流向验证结果

Fig. 3 Verification results of spring and neap tides

由图3可见,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。计算表明:金塘水道海域的潮流主要以往复流为主。潮流整体流向与海域边界和地形相辅相成,流向与岸线基本平行,涨潮时流向是自SE向NW,落潮时流向相反。

2.2 泥沙验证

泥沙计算采用金塘水道水动力计算网格,水流计算边界条件由大范围水动力模型计算结果提供,泥沙的计算与水流模拟同步耦合进行。

图4为A测站大小潮含沙量验证结果。总体而言,除个别测点的个别时段外,计算含沙量与实测含沙量的变化趋势拟合较好,且计算含沙量峰值基本达到了实测含沙量峰值水平,表明该模型能比较准确地模拟该码头水域的泥沙运动过程。

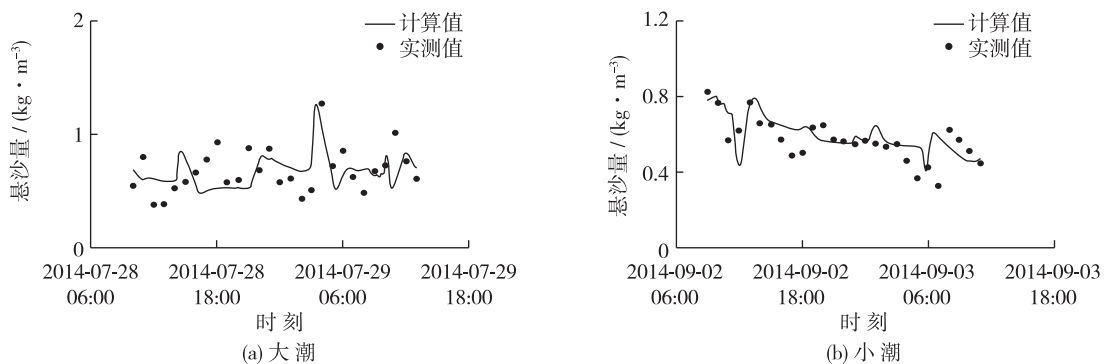


图4 悬沙量验证结果

Fig. 4 Verification results of suspended sediment

计算表明: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,涨落潮时海域泥沙走向不一致,落潮时,泥沙从灰鳖洋随落潮流进入金塘水道,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。金塘水道南侧浅滩由于涨落潮流速减小,一部分“过路沙”容易淤积,在边滩及峡道浅水区形成沉积;金塘水道北侧深潭,由于强劲涨落潮流对其进行冲刷,大部分以悬沙形式随往复潮流来回输移。从含沙量的横向分布看,金塘北侧主槽含沙量较小,南侧近岸和浅滩含沙量较大。

3 船舶停靠的影响

据统计,该码头的船舶停靠时间约占全年的2/3,同时停靠该码头的多为30万t级的大型船舶,故该码头泥沙淤积的研究需要考虑船舶影响。但是船舶在水下的形状复杂,建模困难。故根据1#,2#泊位停靠船舶体型和吃水的统计结果,对船舶进行简化,将船舶简化成在水中的长方体。1#泊位船舶简化成长、宽、高分别为350,60,15m的长方体,2#泊位船舶简化成长、宽、高分别为300,45,15m的长方体。

3.1 对水动力的影响

以大潮为例,分析船舶停靠对于潮流水动力的影响。图5为船舶停靠后大潮涨急和落急时刻的流场变化,规定船舶的NW方向为船头,SE方向为船尾。

从图5可见:船舶停靠对大范围潮流场基本没有影响,影响仅在船舶周围,尤其是船头和船尾位置。涨潮时的潮流流向是自SE向NW,该流向与船舶基本平行。潮流由于受到船舶的阻挡,在1#泊位船尾处形成驻点,潮流被分流向两侧。由于潮流通道的变窄,船舶靠近1#泊位的位置流速增加。1#,2#泊位之间的区域,由于两船作用的叠加,流速也大幅减小。最大流速减小出现在1#泊位的船头处,约减小0.55m/s。落潮时的潮流流向是自NW向SE,在2#泊位船头处形成驻点,船舶的影响区域与涨潮时基本相同。最大流速减

小出现在 1#泊位的船尾和 2#泊位的船头处,约减小 0.36 m/s。小潮时船舶的影响与大潮类似,只是流速变化量略小。

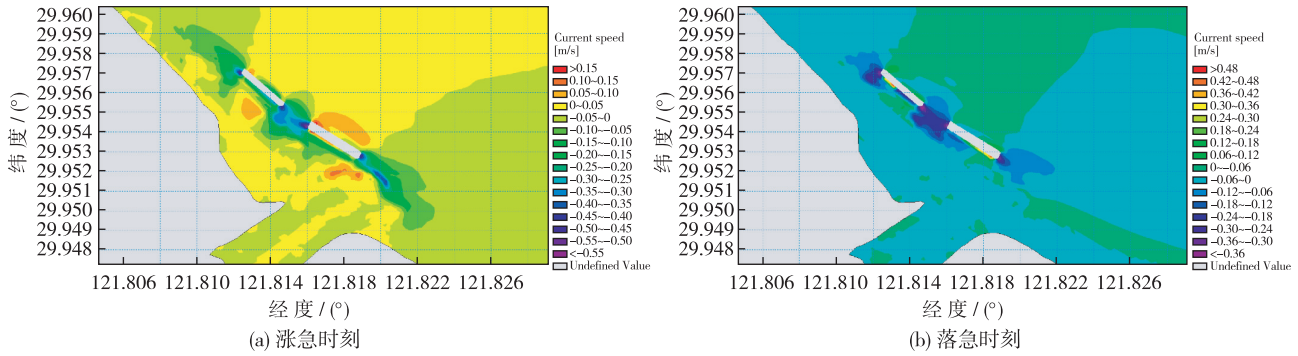


图 5 船舶停靠后大潮潮流场变化

Fig. 5 Changes in spring tide field after ships berthing

3.2 对冲淤变化的影响

图 6 为大潮日冲淤量。无船条件下,在 1#和 2#泊位两侧后形成几个重淤区,1#泊位东后沿岸坡处最大日淤积量超过 0.032 m,1#与 2#泊位之间后沿岸坡处最大日淤厚为 0.024 m,4#至 6#泊位前沿淤积很少,日淤积量不超过 0.008 m。船舶的停靠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,尤其主要影响 1#与 2#泊位中间区域。当船舶停靠时,受到大型船舶的阻碍作用,1#与 2#泊位之间区域流速明显减小,泥沙淤积增强,此时 1#与 2#泊位之间后沿岸坡处最大淤厚已达 0.048 m/d,超过 0.016 m/d 淤厚范围几乎覆盖 1#与 2#泊位之间区域,1#泊位东侧淤强几乎没有变化,只是淤积范围稍有增加,而码头靠泊位置泥沙淤积很少,局部甚至出现冲刷。小潮时码头泥沙冲淤变化与大潮走势基本相同,只是日冲淤量减小。

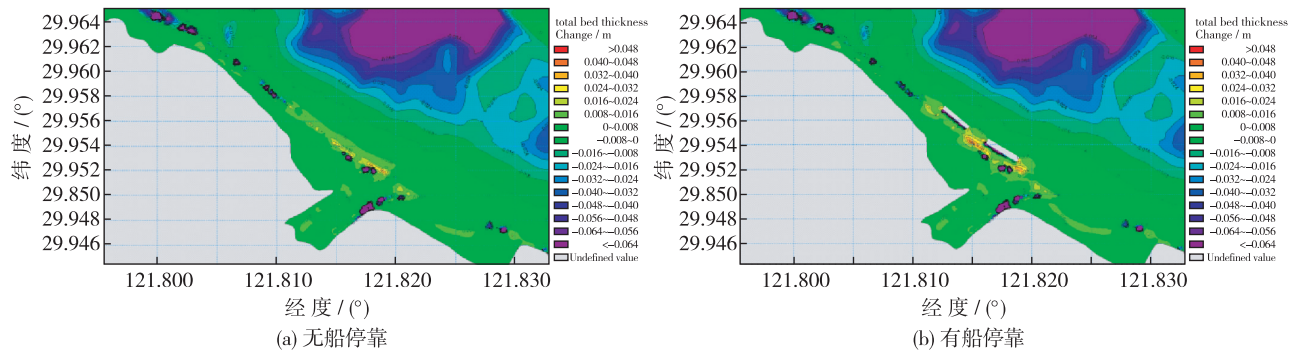


图 6 大潮日冲淤量

Fig. 6 Daily scouring and silting amount during spring tide

通过以上分析可以发现:停靠船舶与潮流流向基本平行,严重阻碍了潮流流动,使潮流减速,加之金塘水道南侧近岸和浅滩处含沙量较大,导致大量悬沙淤积在船头尾处,而船头尾处正处于重淤区。故船舶的停靠会严重加剧 1#和 2#泊位重淤区的淤积,导致日淤积厚度和淤积面积都有所增大,因此,船舶停靠是泊位淤积的一个重要原因。

为了更真实地反映码头船舶停靠对于码头冲淤变化的影响,根据船舶年停靠时间,采用每月 10 天无船停靠(5 天大潮,5 天小潮),20 天有船靠泊(10 天大潮,10 天小潮)以及全月无船停靠分别计算每月淤积厚度,并与实测月淤积厚度进行比较(见表 1)。可以看出,不考虑船舶停靠时淤积厚度与实测差值可达 28% 以上,而考虑船舶的停靠频率,与实测差值在 6% 之内,故考虑船舶停靠对于码头泊位冲淤的计算至关重要。

表1 实测与计算月淤积厚度
Tab. 1 Measured and calculated monthly deposition depth

位置	实测厚度/m	不考虑船舶停靠		考虑船舶停靠	
		淤积厚度/m	与实测相对差值/%	淤积厚度/m	与实测相对差值/%
1#与2#泊位之间后沿岸坡处	1.31	0.60	54.20	1.24	5.34
1#泊位东后沿岸坡处	1.22	0.87	28.69	1.15	5.74

计算考虑船舶停靠条件下的月冲淤量可见:码头前沿泥沙冲淤从外海到近岸整体呈由冲到淤的趋势,在码头300 m以外外海则呈现冲刷态势,60~300 m间泥沙微淤,月淤积量不超过0.24 m,码头前沿60 m以内逐渐淤积,至码头后端岸坡之下淤积加重,形成1#和2#泊位两侧后沿几个重淤区,1#泊位东后沿岸坡处最大月淤积强度达1.15 m,1#与2#泊位之间后沿岸坡处最大淤积达1.24 m,淤积超过0.45 m的范围覆盖1#泊位两侧区域,2#泊位西侧也发生一定淤积,淤积位置在边坡下方桥墩处,月最大淤强为0.6 m,4#至6#泊位前沿淤积很少,月淤积量一般不超过0.15 m。

4 减淤措施

针对码头泥沙淤积成因,提出了3种减淤工程方案:方案1:码头1#,2#泊位后端加顺直导堤;方案2:临近电厂一二期排水从明渠改为暗排,暗排位置拟选取在1#,2#泊位间内侧和1#泊位最东侧系缆桥墩外两个区域;方案3:临近电厂一二期排水改道,改道方位拟选取在1#泊位东侧系缆桥墩外或一二期排水通道汇合至三期排水通道。

各种减淤工程的研究基于金塘水道海域数学模型,同时考虑船舶停靠的影响。着重研究各种减淤工程方案实施后潮流场变化和月冲淤量变化,进而优化各种减淤工程方案。本研究重点介绍方案1,研究顺堤长短变化对泥沙淤积影响。

4.1 短堤形式

在码头1#泊位桥墩后端建导堤,导堤走向与码头平行,长194 m,距码头前沿91 m,堤顶高程2.0 m。

4.1.1 短堤建成后潮流水动力变化 以大潮为例,分析短堤工程建成后潮流水动力变化。图7为短堤建成后大潮涨落急时刻潮流场分布。

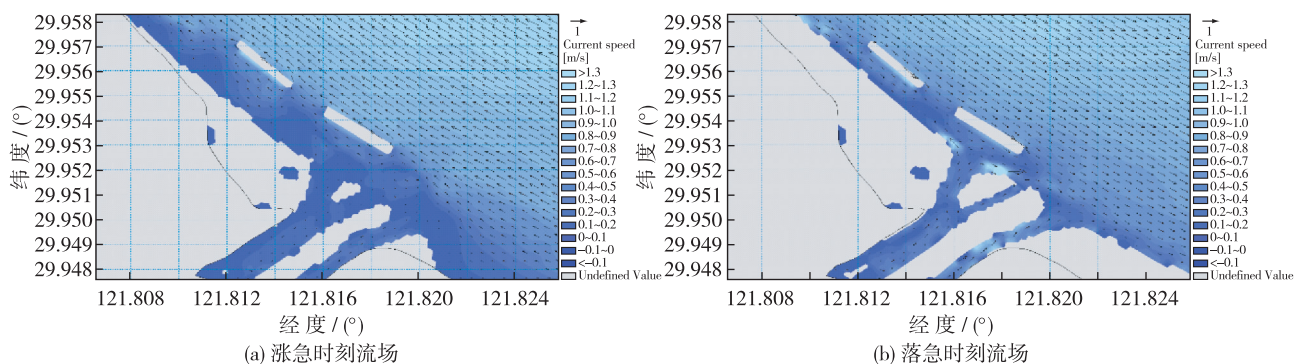


图7 短堤方案实施后大潮潮流场

Fig. 7 Tidal current field of spring tide after completion of short dikes

对比短堤方案实施前后的流场,工程建成对大范围流场基本无影响,影响仅限于1#泊位后部工程区附近。临近电厂一二期排水受到短堤阻挡,流向分流两端,短堤后沿流速减小,在船头尾处电厂排水与涨落潮流交汇,1#泊位两侧流速有所增加。涨潮时整体流场流速变化不明显,短堤后端和东侧堤头处流速有所减小,其减速最大值出现在东侧堤头附近,约0.2 m/s;而短堤西侧堤头处流速增加,其增速最大值约

0.17 m/s。大部分涨潮流均沿顺直堤线自 SE 向 NW 流动, 船尾成为驻点, 将涨潮流分向两端, 靠停船舶和短堤之间形成狭窄通道, 流速增加。落潮时相反, 落潮流沿着顺直堤线自 NW 向 SE 流动, 船头成为驻点, 将涨潮流分向两端, 停靠船舶和短堤之间的狭窄通道流速也有所增加; 落潮时流速差异明显, 两侧堤头处有较大的流速增幅, 最大增幅出现在东侧堤头附近, 约为 1.35 m/s, 西侧堤头流速增幅在 0.66 m/s 以内, 同时流向也发生了一定变化; 受到短堤阻挡作用, 其后沿与排水通道内流速明显减弱, 1#泊位后端漏滩面积明显收缩。短堤建成后大潮涨落急时刻潮流流场变化见图 8。

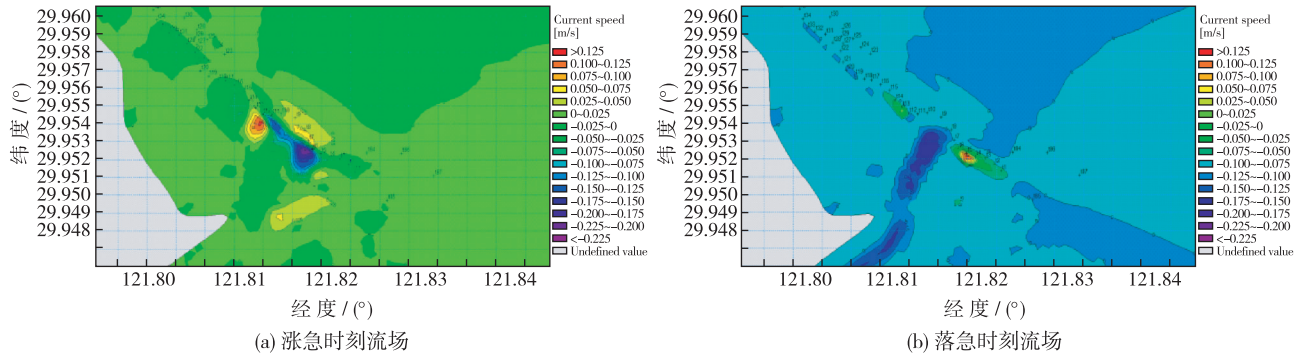


图 8 短堤方案实施后大潮潮流场变化

Fig. 8 Change in spring tide field after completion of short dikes

4.1.2 短堤建成后冲淤变化 海岸工程的建设将会使局部海域水动力产生一定的调整变化, 进而导致海床泥沙冲淤也发生变化。对比分析短堤方案实施后月冲淤量变化可知, 短堤工程方案的建设能有效缓解 1#泊位两侧重淤区的局部泥沙淤积。两个重淤区在泥沙淤积厚度和淤积面积上均有很大程度的减少, 具体数据见表 2。

表 2 各方案减淤效果

Tab. 2 Effects of siltation reduction of each scheme

方案	1#与 2#泊位之间沿岸坡处			1#泊位东后沿岸坡处		
	最大减少淤厚/m	减少淤厚超过 0.60 m 的面积/m ²	减少淤厚为 0.15~0.60 m 的面积/m ²	最大减少淤厚/m	减少淤厚超过 0.60 m 的面积/m ²	减少淤厚为 0.15~0.60 m 的面积/m ²
1	0.72	2 708	6 457	0.99	2 693	4 867
2(西)	0.77	4 961	3 446	—	—	—
2(东)	—	—	—	0.75	4 765	5 484
3(1)	—	—	—	0.75	3 196	1 648
3(2)	—	—	—	0.21	213	318

4.2 长堤形式

在码头 1#泊位桥墩后端建长导堤, 导堤走向与码头平行, 长 690 m, 距码头前沿 91 m, 堤顶高程 2.0 m。

图 9 给出了长堤方案实施后月冲淤量变化。分析可知: 码头后端导堤的加长不但未能缓解 1#泊位两侧重淤区的泥沙淤积, 反而加剧其局部泥沙淤积。其冲刷部位主要分布在长堤后沿及其堤头附近。与短堤方案对比说明, 码头后沿顺直导堤的长短将引起 1#和 2#泊位不同的泥沙冲淤变化, 因此应慎重考

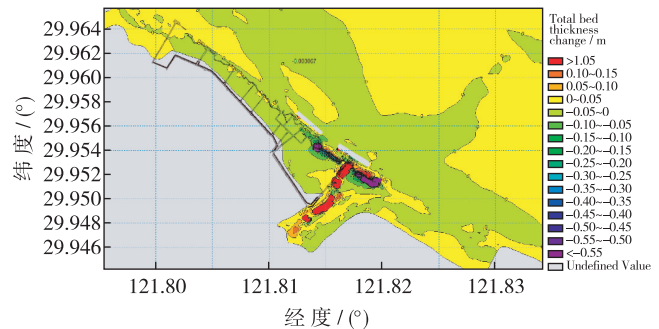


图 9 长堤方案实施后月冲淤变化量

Fig. 9 Monthly scouring and silting amount for long dikes

虑顺堤的长度。

4.3 方案比选

采用上述的方法依次计算方案 1~3 对于重淤区 1#与 2#泊位之间后沿岸坡处和 1#泊位东后沿岸坡处的减淤效果。表 2 为各方案防淤减淤效果,其中方案 2(西)代表暗排位置选取在 1#,2#泊位间,方案 2(东)代表暗排位置选取在 1#泊位最东侧系缆桥墩外。方案 3(1)代表改道方位选取在 1#泊位最东侧系缆桥墩外,方案 3(2)代表一二期排水通道汇合至三期排水通道。可以看出:方案 1(短堤方案)对于两个重淤区都有较好的减淤效果,故推荐方案 1。

5 结 语

(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,涨落潮流时海域泥沙走向不一致。金塘北侧主槽含沙量较小,南侧近岸和浅滩含沙量较大。

(3) 停靠船舶的影响仅限于船舶周围,由于停靠船舶与潮流流向基本平行,阻碍了潮流,船头尾处流速减小,加剧了码头淤积。考虑船舶停靠的频率,码头前沿泥沙冲淤从外海到近岸整体呈现由冲到淤的趋势。码头前沿 60 m 以内逐渐淤积,至码头后端岸坡之下淤积加重,现状条件下的 1#,2#泊位的最大月淤积强度可达 1.15 m 以上。

(4) 在 1#泊位后端建设导堤,短堤建成后大范围的流场基本没有影响,仅限于 1#泊位后附近海域,临近电厂一二期排水受到短堤的阻挡,流向分流两端,有效缓解 1#泊位两侧重淤区的局部泥沙淤积。长堤建成后加剧了局部泥沙淤积。因此须谨慎选择导堤长度。

(5) 比较各方案减淤的效果,推荐建设短堤的减淤方案,对于港区的两个重淤区均有较好的减淤效果。

参 考 文 献:

- [1] 赵今声, 赵子丹, 秦崇仁, 等. 海岸河口动力学[M]. 北京: 海洋出版社, 1993. (ZHAO Jin-sheng, ZHAO Zi-dan, QIN Chong-ren, et al. Coastal and estuarine dynamics[M]. Beijing: China Ocean Engineering, 1993. (in Chinese))
- [2] 潘灵芝. 长江口深水航道整治工程对北槽河床冲淤的影响研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2011. (PAN Ling-zhi. Impacts of deep waterway project on morphological change within the north passage of Changjiang estuary[D]. Shanghai: East China Normal University, 2011. (in Chinese))
- [3] 刘家驹. 粉沙淤泥质海岸的航道淤积[J]. 水利水运工程学报, 2004(1): 6-11. (LIU Jia-ju. Silt siltation in approach channel of the coast with silty mud sediment[J]. Hydro-Science and Engineering, 2004(1): 6-11. (in Chinese))
- [4] 孔令双, 戚定满, 曹祖德, 等. 长江口航道淤积三层模式的建立与应用[J]. 泥沙研究, 2010(3): 1-8. (KONG Lin-shuang, QI Ding-man, CAO Zu-de, et al. Three-layer mode for sedimentation in deep navigation channel of Yangtze estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2010(3): 1-8. (in Chinese))
- [5] 罗肇森. 大风期黄骅港外航道的骤淤估算及防淤减淤措施探讨[J]. 水运工程, 2004(10): 69-73. (LUO Zhao-sen. Estimation of sudden sedimentation in outer channel of Huanghua port during rough climate and measures for reduction sedimentation[J]. Port & Waterway Engineering, 2004(10): 69-73. (in Chinese))
- [6] 吴今权, 章始红, 孙林云, 等. 粉沙质海岸港区航道减淤工程措施研究[J]. 海洋工程, 2012, 30(1): 98-105. (WU Jin-quan, ZHANG Shi-hong, SUN Lin-yun, et al. Study on engineering measures for abatement of siltation in port and channel on silty sand beaches[J]. The Ocean Engineering, 2012, 30(1): 98-105. (in Chinese))
- [7] 徐和兴, 徐锡荣. 潮汐河口闸下淤积及减淤措施试验研究[J]. 河海大学学报, 2001, 29(6): 30-35. (XU He-xing, XU Xi-rong. Sediment deposition under tidal estuary lock and experimental study on deposition reduction[J]. Journal of Hohai University, 2001, 29(6): 30-35. (in Chinese))
- [8] 唐筱宁, 王绿卿. 物理模型试验在确定挡沙堤布置中的应用[J]. 海岸工程, 2010, 29(3): 57-64. (TANG Xiao-ning, WANG

- Lv-qing. Application of physical model experiment to determine sand-barrier layout[J]. Coastal Engineering, 2010, 29(3):57-64. (in Chinese))
- [9] 庞启秀,张瑞波,杨华.不同高度潜堤减淤效果水槽实验研究[J]. 海洋工程, 2012, 30(2):66-71. (PANG Qi-xiu, ZHANG Rui-bo, YANG Hua. Flume experimental study on the heights of submerged dike to diminish siltation [J]. The Ocean Engineering, 2012, 30(2):66-71. (in Chinese))
- [10] ZANUTTIGH B, LAMBERTI A. Experimental analysis and numerical simulations of waves and current flows around low-crested rubble-mound structures[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 2006, 132(1):10-27.
- [11] JOHNSON H K, KARAMBAS T V, AVGERIS I, et al. Modelling of waves and current around submerged breakwaters[J]. Coastal Engineering, 2005(52): 949-969.
- [12] CHAI J C, SHIGENORI H, HIROYUKI Y. Effect of the shape of submerged dike/mound on mud transport[C]//Sediment and Ecohydraulics:INTERCOH. 2005:329-337.
- [13] 张天华,侯志强.天津港口门附近淤积与减淤措施[J].水运工程, 2011(8):88-93. (ZHANG Tian-hua, HOU Zhi-qiang. Sedimentation and siltation-reduction methods near entrance of Tianjin port[J]. Port & Waterway Engineering, 2011(8):88-93. (in Chinese))
- [14] 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. (LIN Jian-zhong, RUAN Xiao-dong, CHEN Bang-guo, et al. Fluid mechanics[M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2013. (in Chinese))
- [15] DHI. MIKE21 & MIKE3 Flow Model FM hydrodynamic and transport module scientific documentation[M]. Denmark: DHI Water & Environment, 2005.

Measures for siltation abatement in a wharf considering ships berthing

BAI Zhi-gang, ZANG Ying, YANG Wu

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: At present, the impacts of ships berthing have been rarely considered in the analysis and calculation of siltation and deposition reduction. In this paper, a 2-D mathematical model is applied to studying the current and sediment transport of a busy wharf in the Jintang waterway, and the simulated results of current and suspended sediment are verified by the measured data from the site. The influences of ships berthing on changes of the tide field and scouring and silting amount are studied. The calculated results show that the ships berthing hinders the flowing of the current, thus it results in reduction of the current speed and siltation. But the ships only affect their surrounding areas. Considering the berthing of ships, the max monthly sediment silting strength of NO.1 and 2 berths can reach up to 1.15 meters, which is more approximate to the measured data. For the heavily deposited areas, three kinds of schemes for siltation abatement are put forward, and the calculation and analysis of current and siltation after taking measures against siltation are carried out. For the siltation abatement, the dikes with different lengths have different effects. A comprehensive comparison show that the short dikes have effective effects on the siltation abatement. The scheme of short dikes is recommended for reduction of siltation in the dock basin.

Key words: tidal current and sediment; numerical simulation; ships berthing; siltation abatement; wharf