



石浦港航道工程潮流泥沙数值模拟

李文丹, 李孟国, 解鸣晓

(交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456)

摘要: 分析工程海区自然条件, 建立基于不规则三角形网格考虑波浪作用的潮流泥沙数学模型。在对模型进行充分验证的基础上, 研究各航道方案影响下的潮流泥沙运动规律, 并分析大范围海域潮流特征、进港航道口门位置流态特征、航道内横流、对周围港区影响、对潮位影响和对石浦港5个口门分流比的影响等, 预测各方案泥沙回淤与莫拉克台风过程下的淤积情况。

关键词: 潮流; 泥沙; 数学模型; 数值模拟; 石浦港; 炸礁

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)04-0024-06

Tidal current and sediment numerical simulation of channel project in Shipu harbor

LI Wen-dan, LI Meng-guo, XIE Ming-xiao

(MOT Tianjin Research Institute for Water Transportation, Tianjin 300456, China)

Abstract: The hydrology and sediment environments in the ocean area near the project are analysed firstly. Then, a two-dimensional model of wave, tidal current and sediment transport is set up and fully verified to study the tidal and sediment transport law after the channel project, which analyses the tidal current characteristics, entrance flow state, cross flow in channel, influence of area around, tidal level change and diversion ratio of the five waterway entrance.

Key words: tidal current; sediment; mathematical model; Shipu harbor; reef explosion

石浦港位于浙江中部沿海, 象山半岛南端, 北临舟山群岛西南侧的象山湾, 南靠三门湾。石浦港由东门岛、对面山岛、南田岛、高塘岛诸岛围列成天然屏障, 形成四岛屏罗、五门环列的“月牙”状封闭型港湾, 港区中心线全长约 20 km^[1] (图1)。石浦港由铜瓦门、东门、下湾门、林门及三门口5个水道与外海相通, 目前这5条水道均具备一定的通航能力, 船舶通行以下湾门、东门及铜瓦门水道为主。随着临港工业发展, 现有航道的通航能力明显不足, 亟需升级现有航道, 建设万吨级航道以适应发展需要。但由于铜瓦门、林门和三门口水道自然条件一般, 且均已建有桥梁, 只有东门水道和下湾门水道是石浦港两个具有一定通航潜力的水道, 选择其中一个水道进行改

造整治是提升石浦港通航能力的唯一途径。因此, 本文主要通过波浪潮流泥沙数学模型, 预测两个主航道方案实施后潮流运动规律、正常泥沙回淤和淤积情况, 论证开发方案对周围海域产生的影响等。

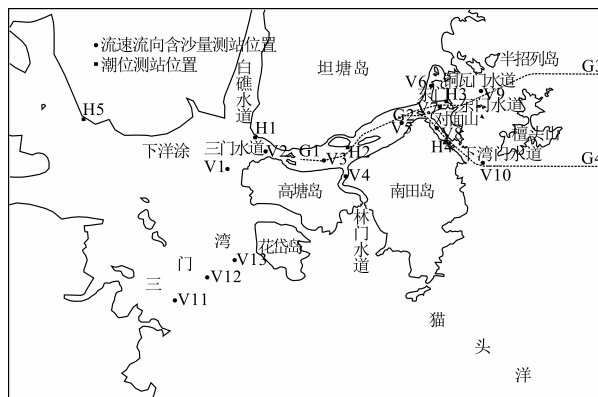


图1 工程方案与水文测站位置

收稿日期: 2013-08-27

作者简介: 李文丹 (1982—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事海岸河口水动力泥沙研究。

1 自然条件

1.1 水道现状

东门水道: 东门岛与对面山之间为东门水道, 水深 4.0 ~ 56.0 m, 水道狭窄, 口门宽度在 100 m 左右, 且有暗礁存在。

下湾门水道: 对面山与南田岛间为下湾门水道, 该水道东南端入海口门处有金龙礁, 将出口水道分成南北两支。北支水道偏东北向, 水道中由金龙礁石、金龙尾、棒浪花礁一字排列, 形成口门东北向礁石段, 口门最窄仅 200 m 左右, 该水道深泓线水深可达 19.0 ~ 60.0 m, 口门外水深较浅且弯曲。南支水道口门中有石栏礁挡道, 阻碍水道畅通, 但其外侧水深较大且流缓。下湾门水道由北端炮台山至金龙礁西侧, 全长 3.3 km, 宽度 300 ~ 600 m, 水深达 25.0 ~ 58.0 m, 是较好的水道水域。

1.2 地貌特征

石浦港陆域主要由低山丘陵和滨海平原构成, 沿岸入海河流多为人工控制。石浦港域和诸门水道均系潮流槽系地貌, 石浦港域、边滩、水下浅滩、平坦带和潮滩, 其底质均为黏土质粉砂, 下湾门等水道深水区底质以砂质粉砂或砂-粉砂-黏土为主, 含有贝壳和砾石, 口门窄口处, 水流流速较大, 海底发生冲刷, 底质粗化或基岩出露形成深槽。石浦港整个港区地质岩性属于第四纪地层, 中更新统上段与全新统发育期, 覆盖层较厚, 基岩埋深达 8.0 ~ 9.0 m 至 30.0 ~ 40.0 m 不等。

1.3 波浪

据石浦港南侧约 80 km 处大陈岛资料统计, 该海域常浪向为 ENE 向, 出现频率为 28.13%, 次常浪向为 E 向和 ESE 向, 频率分别为 15.29% 和 12.26%。波高主要集中在 0.6 ~ 2.5 m 级中, 频率占 94.36%。强浪向为 E 向, 最大波高为 9.1 ~ 9.5 m, 次强浪向为 ENE 向和 N 向。石浦港内航道由于受四周岛屿掩护, 外海浪对港内影响很小, 港内波浪主要是风成浪, 波高一般小于 0.8 m, 即使台风过境时, 最大波高可达 1.5 m 左右。

1.4 潮汐潮流

该海域潮汐性质属正规半日潮, 潮流性质基本属正规半日潮型, 平均潮差在 3.00 m 以上, 最大潮差可达 6.08 m^[2]。

石浦港涨落潮流向基本为方向相反的往复流, 并与岸线或水道深泓线基本一致。东西向水道潮流流速均在 0.50 m/s 以上, 最大流速均在 1.14 m/s 以上; 铜瓦门, 东门水道内潮段平均流速及最大流速呈现有落潮大于涨潮的变化规律, 落潮最大流速分别可达 1.20 和 0.92 m/s; 下湾门水道内段则相反, 呈现有涨潮大于落潮的变化规律, 涨落潮最大流速分别为 1.29 和 1.12 m/s。

1.5 含沙量

工程海域含沙量随潮差变化。大潮时, 石浦东西向水道涨落潮平均含沙量分别为 0.286 和 0.261 kg/m³; 铜瓦门、东门、下湾门内涨落潮平均含沙量均为 0.290 kg/m³; 各口门外涨落潮含沙量分别为 0.154 和 0.233 kg/m³。小潮时涨落潮潮段平均含沙量有较大幅度减小, 与大潮相比平均减小 3 ~ 4 倍。

石浦港悬沙中值粒径为 0.008 2 mm, 悬沙的物质成份主要为黏土质粉砂、粉砂, 其中粉砂物质主要在垂线流速较大的地方出现。

2 工程方案介绍

根据进港口门位置的不同, 本文所计算的主航道方案可分为东门方案和下湾门方案^[3-4], 航道轴线如图 1 所示。

两方案公共航道段为三门口至汰网屿段 (G1 ~ G2 段), 该段总长约 10.4 km。下湾门方案和东门方案航道由公共航道东侧 G2 点分行, 东门方案设计航道自 G2 至东门外航道 G3, 下湾门方案设计航道自 G2 至下湾门外航道 G4。

石浦港主航道建设除对口门段按 5 万吨级单向航道进行碍航炸礁外, 并对航道按 5 万吨级单向航道进行疏浚, 航道疏浚宽度取值 165 m, 水深取值 -14.8 m (85 高程)。东门方案炸礁点位于东门出口位置, 炸礁点 A 和炸礁点 B 处均不满足

挑流与回流并存, 流态较为复杂。岛屿间的潮流通道内基本为双向流。石浦港内岸线平顺, 潮流呈顺岸线往复运动。三门湾海域潮流运动基本呈往复态, 主流向大致为 SE-NW。对石浦港内水域而言, 涨潮时外海潮波经铜瓦门、东门、下湾门和林门流入, 并经三门口流出; 落潮与涨潮时流路基本一致, 只是方向相反, 且各口门涨、落潮基本同步。

2) 工程后。经分析, 两方案的航道布置均充分利用现状海域的岸线及水深, 总体挖深较小, 并未改变大范围海域潮流运动整体特征, 流速矢量与流速数值均无明显变化。

4.2 口门流态特征分析

东门方案实施后: 流速仅沿航道两侧局部水域有所变化, 口门西侧由于水深开挖, 流速减小, 东侧深槽水域流速增加。同天然状态相似, 工程实施后东门水道附近受岸线挑流影响, 涨落潮时均有一系列环流形成, 环流持续时间基本覆盖全潮。口门炸礁后, 水道出口宽度有所增加, 有益于船舶的航行安全, 然而由于局部岬角仍存在, 与工程前相比流态未明显改善。尤其是东门水道最窄处流向与航道夹角较大 (图4)。

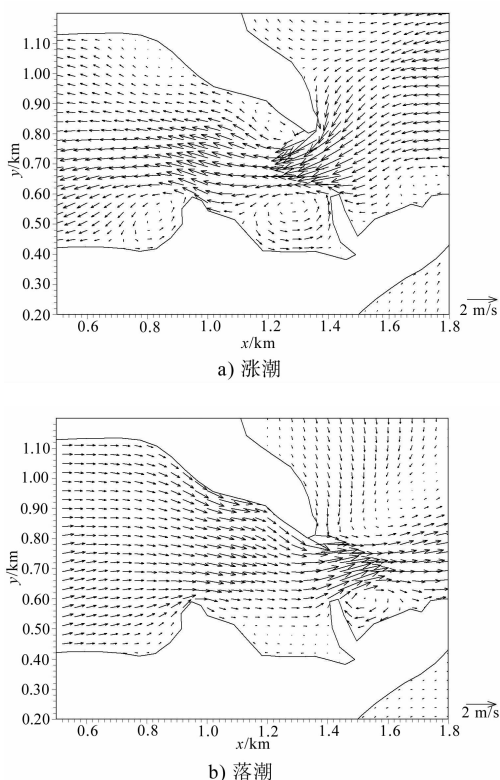


图4 东门涨落潮流场

下湾门方案实施后: 流速同样仅沿航道两侧局部水域有所变化, 口门附近大部分水域流速增加, 炸礁附近水域由于水深增加, 流速略有减小, 北支水道流速呈减小的趋势。与工程前类似, 受两侧复杂岸线挑流影响, 涨急时刻, 在水道两侧出现一系列环流, 其中位于对面山南侧的环流覆盖范围和强度最大, 且环流基本持续了整个涨潮过程。落急时刻, 口门两侧仍存在一系列环流, 其强度较涨急时刻有所减弱。炸礁工程位置之一的石栏礁是暗礁, 其位于规划出海航道轴线上, 将其炸除至满足设计航道底高程后, 航道轴线水域的流场将趋于平顺, 流向与航道走向基本一致 (图5)。

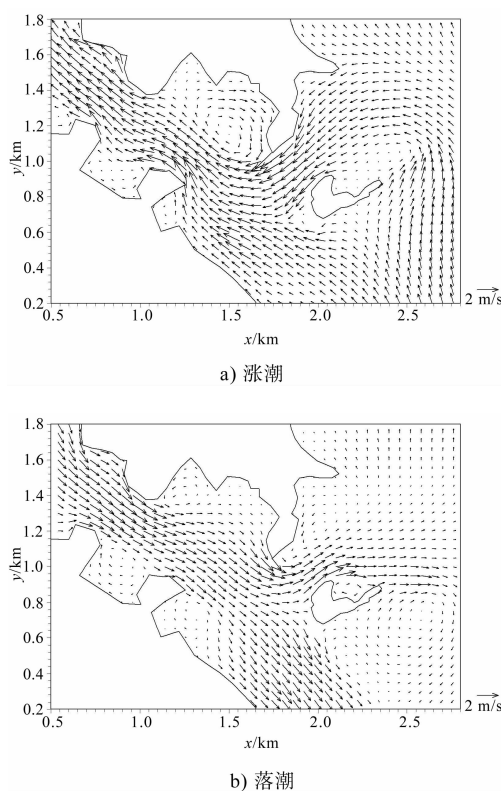


图5 下湾门涨落潮流场

4.3 航道内横流统计

通过对航道内特征点横流统计来看, 由于潮流主流向与航道轴线夹角较大, 从而在转弯位置、进港口门以及外海航道处横流较强, 而其它区段由于潮流基本呈顺槽运动, 从而横流均较弱。对东门方案而言, 最大横流约为 0.57 m/s, 位于东门口门附近和外海航道处, 且最大横流出现时刻为

落急。对下湾门方案而言，最大横流约为0.63 m/s，位于南田岛东侧外海航道转弯处，且最大横流出现时刻为落急。

4.4 对潮位的影响

工程前潮位特征：石浦港海域口门众多，潮波自外海传入时受口门阻碍，可能引起潮波变形现象。通过对工程前取样点潮位特征值的统计分析可以看出，总体来说，无论是东门还是下湾门，潮波自外海传入时均无明显的相位差异，高低潮出现时刻基本同步。经统计潮差变化值，各口门内侧潮差均较外侧增大，体现在高潮位大幅上扬，低潮位略有下挫。东门内外高潮位相差14 cm，低潮位相差5 cm；下湾门内外高潮位相差10 cm，低潮位相差4 cm。这一现象的成因在于涨潮时来自外海的大尺度潮波传至狭窄口门时，潮波传入受阻导致局部壅高；而落潮时，由于港内潮体容积远小于外海，从而低潮位变幅不大。考虑到由于口门内外潮位相位几乎同步，且口内高潮位高于外海达10 cm以上，对大型船舶乘潮进港是有利的，建议通过调度手段加以利用，提高通航效率。

工程后潮位特征：然而，炸礁工程后口门局部拓宽，且航道段亦有所浚深。为考察炸礁工程对口内外潮位影响，对取样点处工程前后高低潮位变化情况进行统计，总体来说，航道开挖及局部炸礁工程方案实施后，引起高低潮位变化均在1 cm以内，对潮位变化无影响。

表1 潮位变化

特征点	低潮位/m			高潮位/m			
	原型	方案	差值	原型	方案	差值	
东门	1 [#]	-2.33	-2.33	0	3.05	3.04	-0.01
	2 [#]	-2.29	-2.29	0	2.91	2.91	0
	3 [#]	-2.28	-2.28	0	2.91	2.91	0
下湾门	1 [#]	-2.35	-2.36	-0.01	3.08	3.08	0
	2 [#]	-2.34	-2.35	-0.01	2.99	2.99	0
	3 [#]	-2.39	-2.38	0.01	2.98	2.98	0

4.5 对分流比的影响

炸礁及浚深工程实施后，对应口门处过水断面

增大，可能将引起各口门，尤其是东三口门处的分流比变化。为分析方案对工程海域各通道（铜瓦门道、东门水道、下湾门水道、林门水道和三门口水道）断面流量及分流比的影响，以2011年7月实测大潮过程为例，在各口门附近选取了断面。

经计算，总体来说，无论是东门方案还是下湾门方案，炸礁工程后由于纳潮能力增强，均将引起对应口门处潮量显著增加，而其它口门潮量降低，尤其是东三口门。林门和三门口由于距工程较远，从而潮量变幅微弱，仅在3%以内。工程建设后，铜瓦门潮量降低，降幅在1%~7%。东门方案建设后，东门处潮量增加约11%~18%，而下湾门方案则会引起下湾门处潮量增加约3%~6%。各方案建设均未影响各口门分流比的相对关系，下湾门仍维持优势口门地位。

4.6 对周围海区的影响

总体上看，方案实施后对工程区以外水域潮流运动影响较小，仅在沿航道轴线两侧局部区域流速有所变化。中界山及汰网屿东北侧深槽、东门水道及下湾门水道附近水域流速呈增加趋势；外海航道及中界山与汰网屿之间浅滩处水域流速略有减小，体现出一定程度的潮流归槽。

4.7 正常年回淤及骤淤积

经计算，东门5万吨级航道方案实施后，打鼓峙西侧开挖航道正常年淤强0.74~1.10 m/a；中界山到汰网屿开挖航道正常年淤强0.50~0.84 m/a；东门岛西侧开挖航道正常年淤强0.45~0.48 m/a；外航道正常年淤强0.04~1.28 m/a。下湾门5万吨级航道方案实施后，打鼓峙西侧开挖航道正常年淤强0.75~1.11 m/a；中界山到汰网屿开挖航道正常年淤强0.59~0.86 m/a；外海航道正常年淤强0.02~0.99 m/a。

根据对石浦海域底质与悬沙粒径的分析，该海域床面泥沙中值粒径在0.01 mm以下，且黏土含量较高在20%~40%，悬沙平均粒径为0.0082 mm，经判断，石浦海域隶属典型淤泥质海

岸。根据大量以往工程经验,淤泥质海岸大风条件下含沙量虽较高,但受絮凝影响,沉速不大,且在强浪作用后多有流变性浮泥发育。根据大量淤泥质海岸工程经验初判,形成实质性碍航淤积的可能性不大,且多可由适航水深手段解决。经统计,东门航道方案实施后,航道内最大淤厚为0.31 m,下湾门航道工程实施后,航道内最大淤厚约为0.14 m,均位于外海航道。这是由于尽管外海风浪条件较强,但石浦港内由于受各向岛屿掩护,湾内波浪不强,多由小风区催生,港内淤厚不大,而外航道段直接面临风浪作用,且东门出海口北侧存在大片浅滩,从而外航道淤厚相对较高。尽管如此,总体来说该种强度的淤厚情况并不会形成碍航淤积^[7]。

5 结论

1) 石浦海域外海潮流呈逆时针旋转,近岸呈往复流,工程区潮流较强,口门流速最大超过2.0 m/s。东门与下湾门岸线突兀,挑流与回流并存,流态复杂。外海潮波传入口门时受阻,高潮位上扬,低潮位略有下挫,对乘潮进港有利。各口门分流以下湾门为优势口门。

2) 炸礁及航道工程建设后,未改变大范围潮流运动特征。方案实施多在沿航道轴线及两侧区域流速有所变化,归槽现象明显。东门与下湾门处整体挑流与环流流态变化不大,口门流态仍复杂,航槽内略有改善。口门内外潮位较工程前基本不变。

3) 航道转弯段、口门段及外海段横流较强,而其它区段由于潮流基本呈顺槽运动,横流均较弱。东门方案最大横流0.57~0.68 m/s,下湾门方案最大横流0.63~0.87 m/s。随航道等级提高,对应横流相应降低。

4) 炸礁工程后,林门和三门口潮量变幅微弱,仅在3%以内,铜瓦门潮量降低,降幅在

1%~7%。东门方案实施后,东门处潮量增加约11%~18%,下湾门方案实施后,下湾门方案处潮量增加约3%~6%。各方案建设均未影响各口门分流比的相对关系。

5) 5万吨级航道工况下:东门方案打鼓峙西侧正常年淤强0.74~1.10 m/a;中界山到汰网屿正常年淤强0.50~0.84 m/a;东门岛西侧正常年淤强0.45~0.48 m/a;外航道正常年淤强0.04~1.28 m/a。下湾门方案实施打鼓峙西侧正常年淤强0.75~1.11 m/a;中界山到汰网屿正常年淤强0.59~0.86 m/a;外航道正常年淤强0.02~0.99 m/a。随航道尺度增大,淤强相应增高。

6) 台风莫拉克作用下,两方案均不会形成碍航淤积。

参考文献:

- [1] 麦苗. 石浦港区主航道工程自然条件与冲淤演变分析[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2012.
- [2] 李文丹, 谢鸣晓. 石浦港区主航道工程潮流泥沙数学模型试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2012.
- [3] 闫勇, 刘国亭. 石浦港区主航道工程潮流泥沙物理模型试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2012.
- [4] 李孟国, 郑敬云. 中国海域潮汐预报软件 Chinatide 的应用[J]. 水道港口, 2007, 28(1): 65-68.
- [5] 吴克俭. 2009年8月和10月台风期间台州湾波浪计算[R]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [6] 王义刚, 梁亮, 王震. 石浦港口门炸礁工程对港内影响研究[C]//中国海洋工程学会. 第十二届中国海岸工程学术讨论会论文集, 2005: 273-276.
- [7] 沈和诚. 石浦港淤积的初步探讨[J]. 水运工程, 1989(9): 40-43.

(本文编辑 郭雪珍)