·航道及通航建筑物·

徐圩港区防波堤口门布置对航道横流影响研究*

阮　程[1]，张　玮[2]，毕忠飞[3]，祁小辉[1]
（1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200032；
2. 河海大学水运工程科学研究所，江苏 南京 210098；3.德清县水利局，浙江 湖州 313200）

摘要：环抱式防波堤突出于海岸，其口门航道横流可能影响船舶进出。针对徐圩港区环抱式防波堤口门不同布置方案，运用二维潮流数学模型，计算各方案的航道横流。研究结果表明：涨潮期间的航道最大横流大于落潮，涨潮横流起控制作用；各方案最大横流均出现在口门（或堤头）附近水域，出现时刻在高潮位前后；最大横流与口门宽度、口门布置形式有关；口门设置双导堤后，最大横流位置外移至堤头附近水域，向口门逐渐减小，这对口门附近水域船舶的航行是有利的。

关键词：徐圩港区；防波堤口门布置；航道横流；潮流数学模型
中图分类号：U 617.6　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2013)06-0070-05

Effect of layout of Xuwei port's entrance on cross flow

RUAN Ting[1], ZHANG Wei[2], BI Zhong-fei[3], QI Xiao-hui[1]
(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China; 2. Research Institute for Water Transport, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Water Conservancy Bureau of Deqing County, Huzhou 313200, China)

Abstract: The cross-flow of channel in the entrance of the encircle breakwater which stretch out the coast is always concerned, for it may influence the ship to navigate. For the different design plan of the encircle breakwater entrance in Xuwei port, the cross-flow of every design plan is simulated by the 2D tidal-current numerical model. The results shows that the maximum cross-flow of flood tide is greater than that of the ebb tide, which means that the maximum cross-flow is dominated by flood tide; The maximum cross-flow of every plan occurres in the waters near the entrance(or the dike head) around high tide level period. The maximum cross-flow is related to the width and the layout of the entrance. After the double-dike is built, the location of the maximum cross-flow moves outward the waters near the dike head. The maximum cross-flow gradually decreases towards the entrance, which is good for ships near the entrance to navigate.

Key words: Xuwei port; layout of breakwater entrance; cross-flow of channel; tidal mathematical model

连云港港位于江苏省北部沿海，主要由主体港的连云港区、南部的徐圩港区以及北部的赣榆港区组成。徐圩港区所在海域的海床为淤泥质，坡缓水浅，近岸坡度1/1 000~1/1 500，-5 m等深线（理论基面以下）距岸约8 km。为了防浪挡沙，改善港区泊稳条件，减少泥沙回淤，必须在徐圩港区修建环抱式防波堤。经反复论证，口门布置在-5 m等深线，以避开破波带[1]。通常，环抱式防波堤突出于海岸，具有一定的挑流作用，建成后将在口门形成航道横流，可能会对船舶进出带来一定影响。

在以往的研究中，多采用潮流数学模型的方法来计算研究航道横流。张玮等[2-3]通过平面二维潮流数学模型，计算了连云港港区30万吨级航道横流；解鸣晓[4]运用三维潮流数学模型，研究了连

收稿日期：2012-11-23
*基金项目：国家高技术研究发展计划（863计划）（2012AA112509）
作者简介：阮程(1986-)，男，硕士，助理工程师，从事港口及航道工程设计工作。

云港港区口门航道横流特性；张娜等[5]通过二、三维潮流数学模型，对赣榆港区起步工程航道横流进行了预测。以往的经验表明，影响环抱式防波堤口门航道横流的主要因素除潮型外[6]，还有口门的布置形式，开展相关研究十分重要。

本文拟针对徐圩港区口门布置的不同方案，采用二维潮流数学模型，模拟计算各方案的航道横流，分析其随时间和空间的变化特点，研究结论可为工程设计提供参考依据。

1　方案简介

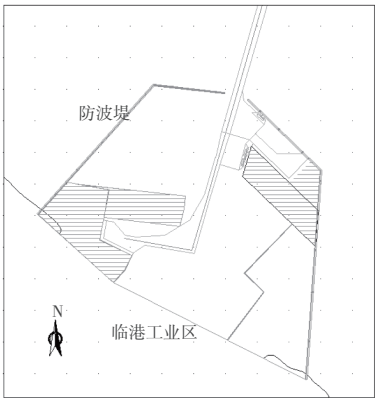
在进行徐圩港区防波堤口门布置方案比选时，共考虑了5个方案[7]：方案1口门宽度为1 000 m，方案2在方案1的基础上将口门拓宽至1 200 m。方案3~5口门宽度（或堤头间距）均为1 200 m，其中，方案3在口门设东侧外堤和西侧内堤，长度分别为东堤400 m和西堤500 m；方案4在口门外侧设平行双导堤，长400 m；方案5在口门外侧设八字形双导堤，堤头间距1 200 m，向口门逐渐放宽至1 705 m，八字形双导堤在航道轴线上的投影长度为400 m，见图1。各方案航道等级为30万t，进港航道走向16°~196°，航道底高程−22.5 m，航道底宽360 m，边坡1∶7。

2　潮流数学模型

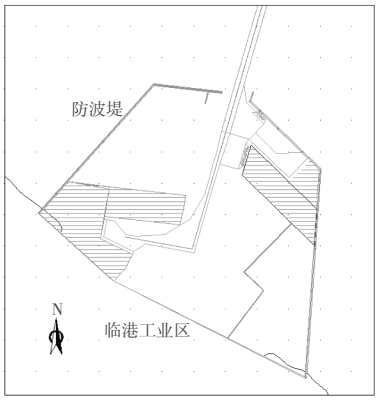
2.1　基本方程

1）连续方程。

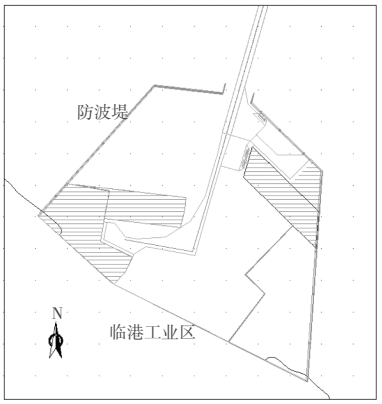
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial[(h+\zeta)U_x]}{\partial x}+\frac{\partial[(h+\zeta)U_y]}{\partial y}=0 \quad (1)$$



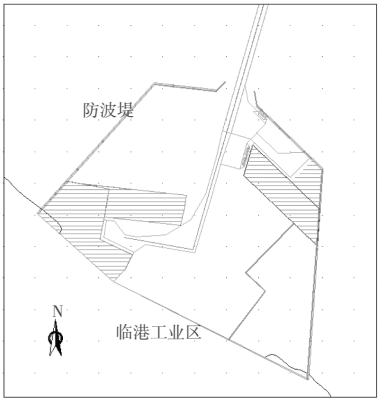
a）方案1



b）方案3



c）方案4



d）方案5

图1　方案对比

2）运动方程。

$$\frac{\partial U_x}{\partial t}+U_x\frac{\partial U_x}{\partial x}+U_y\frac{\partial U_x}{\partial y}=fU_y-g\frac{\partial \zeta}{\partial x}-\frac{\tau_x}{\rho(h+\zeta)}+N_x\left(\frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U_x}{\partial y^2}\right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_y}{\partial t}+U_x\frac{\partial U_y}{\partial x}+U_y\frac{\partial U_y}{\partial y}=-fU_x-g\frac{\partial \zeta}{\partial y}-\frac{\tau_y}{\rho(h+\zeta)}+N_y\left(\frac{\partial^2 U_y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 U_y}{\partial y^2}\right) \quad (3)$$

式中：x，y为直角坐标系坐标；t为时间变量；h为平均水深；ζ为相对于平均海平面的潮位；U_y，U_y为x，y方向上的垂线平均速度；ρ为水流密度；g为重力加速度；N_x，N_y为x，y方向的水平紊动黏性系数；f为科氏参数（$f=2\omega\sin\phi$，ω为地球旋转角速度，ϕ为纬度）；τ_x，τ_y为床面剪切应力在x，y方向的分量。

2.2 求解方法

采用ADI（Alternating Direction Implicit Method）算法数值求解上述方程组，也就是把每一个时间步长分成两步进行，前半步隐式计算x方向流速分量及潮位，显式计算y方向流速分量；后半步隐式计算y方向流速分量及潮位，显式计算x方向流速分量。

2.3 模型建立及求解条件

数学模型西自现有岸线，北起日照（35°22′30″N，119°33′E），南至废黄河口附近（34°17′00″N，120°17′E），东西宽约99.7 km，南北长约119.3 km，模型范围内水域面积约8 648 km^2（图2）。

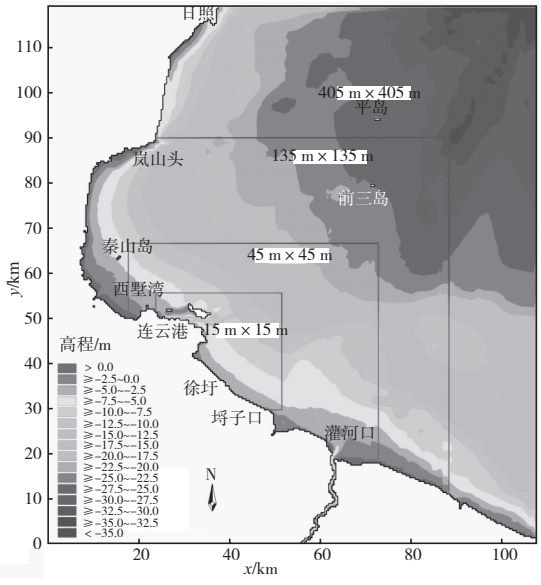


图2　连云港海域潮流数学模型范围

采用矩形网格对于模型计算区域进行离散，并利用网格嵌套法进行逐渐加密，也就是在模型边界附近采用较大的网格尺度，在工程区域对于网格进行加密，以便满足计算精度要求。模型最大网格尺度为405 m × 405 m，工程区域网格尺度为15 m × 15 m。

连云港海域潮流数学模型的西边界、南边界为陆边界，北边界、东边界为水边界。在进行潮流数值计算时，对于开边界，由东中国海潮波数学模型提供潮位过程；对于闭边界，根据不可入原理取法向流速为0。此外，还采用了干湿判别技术进行动边界处理。

2.4 模型验证

为使所建立的潮流数学模型能较好地模拟水流的实际运动情况，需对模型进行率定和验证，确定其中的计算参数。本次研究分别利用2004年7月的大、中、小潮，2005年9月的大、中潮以及2010年先导试挖回淤观测期间的水文测验对该模型进行率定。经验证，计算结果与实测资料吻合较好。为节省篇幅起见，模型验证见文献[7]。

3　横流计算结果分析

3.1 航道横流沿程变化

选用2005年9月的实测大潮作为计算潮型，计算了各方案航槽内沿航道轴线、轴线西侧（平行轴线偏西100 m）和轴线东侧（平行轴线偏东100 m）的涨落潮流最大横流流速，并绘制了航道横流沿程变化(图3~5)，由图可见：

1）就涨、落潮期间出现的最大横流来说，涨潮期间的最大横流大于落潮，涨潮期间的横流起控制作用。

2）就最大横流出现的位置来说，各方案中，无论是沿航道轴线还是航槽内东西两侧，最大横流均出现在口门（或堤头）附近水域。如方案2的涨潮最大横流出现在口门附近水域，而方案5则出现在堤头附近水域。

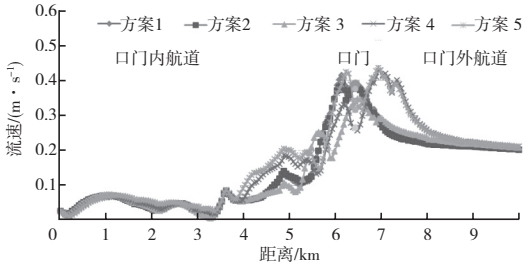
3）最大横流的数值及位置与口门布置形式有关。如方案1和方案2的口门为平口布置，其最大横流较小，且出现在口门附近水域；方案4和方案5在口门布置了双导堤，由于挑流作用，最大横流较其余方案都要大，出现的位置则在堤头附近；至于方案3，因设置了错口堤，横流情况有些复杂，但总体上与不设导堤的方案1和方案2相近。

4）尽管方案4和方案5在堤头附近航道最大

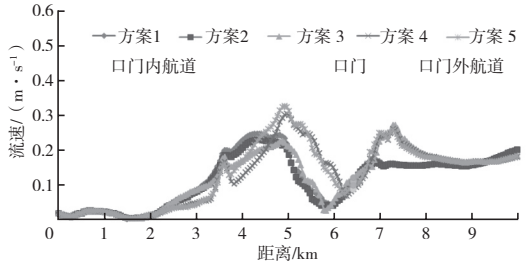
横流较其余3个方案要大，但在向口门靠近的过程中，最大横流逐渐减小，到达口门时较其余方案要小得多，对于布置在口门附近泊位的船舶进出停靠是较为有利的。

3.2　航道最大横流及其出现时刻

各方案航道最大横流数值、出现位置及出现时刻见表1，涨落潮最大横流见表2，各方案横流和潮位随时间的变化过程见图6，计算结果表明：

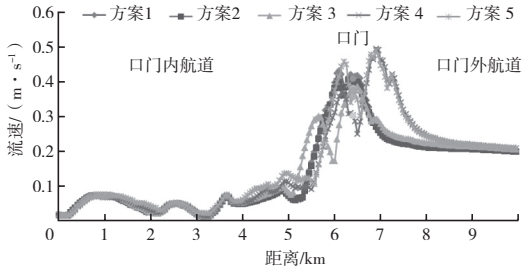


a）涨潮

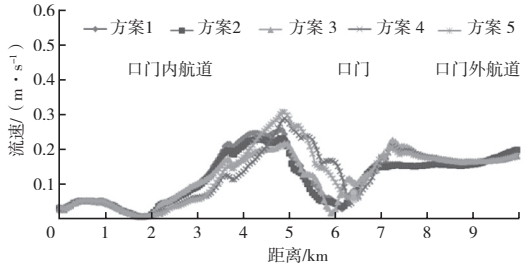


b）落潮

图3　航道轴线潮流最大横流

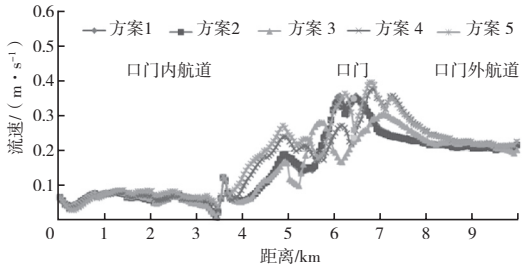


a）涨潮

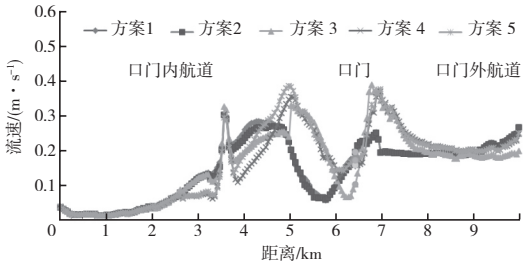


b）落潮

图4　航道轴线西侧潮流最大横流



a）涨潮



b）落潮

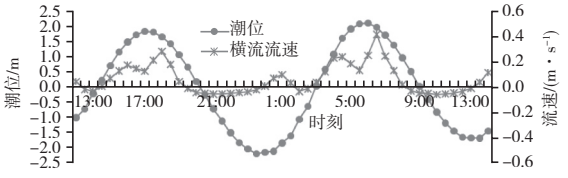
图5　航道轴线东侧潮流最大横流

表1　各方案航道涨潮流横流最大值、出现位置及时刻

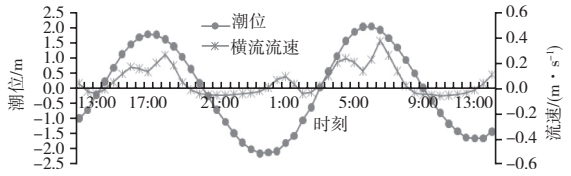
方案	计算位置	横流最大值/（m·s^{-1}）	出现位置	出现时间
1	轴线西侧	0.43	口内350 m	高潮位后0.5 h
	航道轴线	0.41	口内350 m	高潮位后0.5 h
	轴线东侧	0.36	口内400 m	高潮位后0.5 h
2	轴线西侧	0.41	口内100 m	高潮位后1 h
	航道轴线	0.38	口内400 m	高潮位后0.5 h
	轴线东侧	0.35	口内50 m	高潮位前1 h
3	轴线西侧	0.39	口外50 m	高潮位前1 h
	航道轴线	0.35	口外50 m	高潮位前1 h
	轴线东侧	0.31	口外50 m	高潮位时刻
4	轴线西侧	0.49	口外500 m	高潮位前1 h
	航道轴线	0.43	口外450 m	高潮位前1 h
	轴线东侧	0.38	口外450 m	高潮位前1 h
5	轴线西侧	0.49	口外450 m	高潮位前1 h
	航道轴线	0.44	口外450 m	高潮位前1 h
	轴线东侧	0.40	口外300 m	高潮位前1 h

表2　口门附近涨落潮最大横流

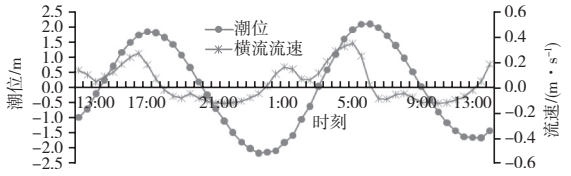
方案	涨潮最大横流/（m·s^{-1}）	落潮最大横流/（m·s^{-1}）
1	0.43	0.21
2	0.41	0.21
3	0.39	0.32
4	0.49	0.31
5	0.49	0.31



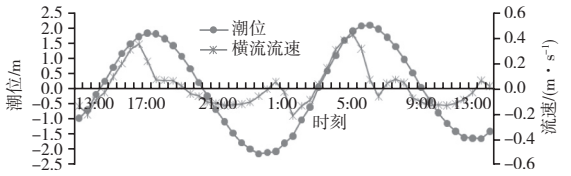
a）方案1



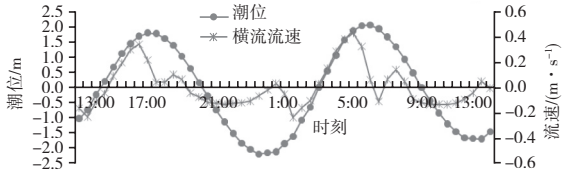
b）方案2



c）方案3



d)方案4



e）方案5

图6　横流潮位对比（2005-09-04—2005-09-05）

1）各方案中，方案4和方案5的涨潮最大横流最大，为0.49 m/s,方案3最小，为0.39 m/s；方案3的落潮最大横流最大，为0.32 m/s，方案1和方案2的最小，为0.21 m/s。

2）各方案的涨潮最大横流中，航槽西侧最大，轴线居中，东侧最小。

3）最大横流主要出现在高潮位及其前后1 h内，因此船舶在高潮位乘潮进港时应注意航道横流。

4）涨潮横流的大小与口门宽度有关。方案1和方案2的涨潮最大横流分别为0.43 m/s和0.41 m/s，说明随着口门宽度的增加，涨潮最大横流有减少的趋势，但影响不大。

5）涨潮横流的大小与口门布置形式有关。方案4和方案5的涨潮最大横流分别为0.49 m/s，较方案1和方案2要大，说明双导堤因堤头挑流导致横流的作用是较为明显的。

4　结论

1）就涨、落潮来说，涨潮期间的最大横流大于落潮，涨潮期间的横流起控制作用；就出现的位置来说，无论是沿航道轴线还是航槽内东西两侧，各方案最大横流均出现在口门（或堤头）附近水域；就出现的时间来说，最大横流主要出现在高潮位及其前后1 h内。

2）一般来说，涨潮横流的大小主要与口门宽度、口门布置形式有关。方案1涨潮最大横流略大于方案2，说明随着口门宽度的增加，涨潮最大横流有减少的趋势，但影响不大；方案4和方案5的涨潮最大横流较方案1和方案2要大，说明双导堤的挑流作用将使环抱式防波堤堤头最大横流有所增加。

3）尽管方案4和方案5的双导堤具有一定的挑流作用，使得涨潮最大横流有所增加，但其位于堤头附近水域，在向口门靠近的过程中，最大横流逐渐减少，到达口门时较其余方案均要小得多，这对布置在口门附近泊位的船舶进出停靠是较为有利的。

参考文献：

[1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港港徐圩港区防波堤工程工可阶段方案研究[R].上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2011.

[2] 张玮. 连云港港旗台作业区岸线、防波堤及水域综合布置潮流数模报告[R]. 南京: 河海大学, 2008.

[3] 高正荣. 连云港30万吨级航道工程潮流数模研究报告[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2007.

[4] 解鸣晓, 张玮, 李国臣. 双导堤口门航道横流特性对通航影响研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2009, 33(5): 968-971.

[5] 张娜, 左书华, 庞启秀,等. 连云港港赣榆港区起步工程泥沙问题研究[J]. 中国港湾建设, 2012 (2): 15-21.

[6] 张玮, 张婧, 李泽, 等. 连云港环抱式防波堤口门航道横流计算研究[J]. 中国港湾建设, 2012(6):4-7.

[7] 张玮, 阮桯. 连云港港徐圩港区防波堤工程工可阶段潮流泥沙数模研究[R]. 南京: 河海大学, 2011.

（本文编辑　武亚庆）