



# 潮流数值模拟中透空式防波堤处理方法研究\*

孙运佳<sup>1,2</sup>, 童朝锋<sup>1,2</sup>, 邵宇阳<sup>2</sup>, 孟艳秋<sup>2</sup>

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098;

2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏南京 210098)

**摘要:** 透空式防波堤利用上部结构的挡浪板实现挡浪消波, 为港区提供良好的泊稳条件, 桩基和挡浪板部分入水会改变建筑物局部水域的水动力特性。在有透空式防波堤的海域进行二维潮流数值模拟时, 分别利用了等流量法和等效阻力法对挡浪板进行概化, 将挡浪板对水流的阻碍作用等效为通过改变地形和当量糙率来模拟对水流的影响; 研究分析了透空式防波堤概化处理后, 挡浪板对周围水域的水动力特性的影响。结果表明两种方法均能模拟出挡浪板的阻水效果, 其中等效阻力法物理概念清晰, 模拟结果更符合实际规律。

**关键词:** 透空式防波堤; 挡浪板; 阻水特性; 等效阻力法; 等流量法

中图分类号: TV 135.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0041-06

## Processing of permeable breakwater in tidal numerical simulation

SUN Yun-jia<sup>1,2</sup>, TONG Chao-feng<sup>1,2</sup>, SHAO Yu-yang<sup>2</sup>, MENG Yan-qi<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** The permeable breakwater with wave baffle can provide moderate sea for berthing by weakening the wave energy. Hydrodynamic property of flow closed to the structure is strongly affected for the resistance produced by the immersed pile and wave baffle. To study the affected hydrodynamic property of flow by wave panel in two-dimensional tidal numerical model, the wave panel is generalized by the method of discharge-equivalent and resistance-equivalent respectively, which equals approximately the retaining effect caused by wave panel to similar effect caused by adding depth or adding roughness. The results show that both methods can simulate the water-resistance effect of wave panel, and the simulation results of resistance-equivalent method is more consistent with practical rules.

**Key words:** permeable breakwater; wave baffle; water-resistance effect; discharge-equivalent method; resistance-equivalent method

透空式防波堤由于其施工简便、造价低廉、泥沙淤积量少等优点, 近些年来, 在工程实践中有着越来越广泛的应用。由于其本身结构的特点, 透空式防波堤的桩基及挡浪板对水流均存在

阻水效应, 对周围水体的水流条件产生较大影响。工程界在进行潮流数值模拟中, 多采用概化等效处理透空式防波堤对水流的影响。

透空式防波堤的阻水部位主要是桩和挡浪

收稿日期: 2013-04-19

\*基金项目: 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室自主课题 (No.2010585312); 中央高校经费研究资助 (2009B09614, 2012B01114); 交通部河口海岸交通行业重点实验室开放课题资助 (2010CB429000), 潮汐能发电中水动力学问题研究 (51339005)

作者简介: 孙运佳 (1987—), 男, 硕士研究生, 从事河口泥沙水动力学研究。

板。在潮流数值模型中，桩基的概化处理大致分为间接模拟法和直接模拟法。间接模拟法将建筑物作为过水区域处理，对其所在区域的网格糙率或高程进行修正<sup>[1-4]</sup>，直接模拟法是将建筑物作为不透水的岸边界来处理<sup>[5-8]</sup>。在所有的概化研究中，由于选用的理论及处理方式的不同，模拟结果存在较大差异，但从工程角度出发，其模拟精度已满足需求。由于大多数的潮流数学模型的计算方法均基于自由表面流的假定，因此很难利用模型直接对上部具有阻水效应的挡浪板进行模拟计算。而目前对挡浪板的研究集中于其消波性能，对于水流的阻水效果研究尚少。

针对以上问题，参照对桩基概化处理办法，提出利用等流量法和等效阻力法概化处理挡浪板的阻水效应。并以深圳蛇口港防波堤工程为例，分析比较应用两种方法处理挡浪板后的水位及流速变化，探讨两种方法在对透空式防波堤处理研究中的应用。

### 1 潮流模拟中挡浪板处理原理及方法

#### 1.1 等流量法

等流量法的基本思路即假定自由表面下水体剖面流速分布已知，通过抬高底部高程所阻挡的流量与上部挡浪板阻挡的流量相同，以保证概化后建筑物断面处的的过水流量与概化前相等。如图1，假设垂线流速分布符合指数分布<sup>[3]</sup>，则垂线上某点流速可表示为：

$$v=v_0(y/H)^m \tag{1}$$

式中： $y$ 为该点离床面水深； $v_0$ 为水深 $H$ 处的流速； $m$ 取为 $1/6$ 。则单宽挡板的阻水流量和由底部地形增高导致的阻水量分别为：

$$Q_1 = \int_e^H v_0(y/H)^m dy \tag{2}$$

$$Q_2 = \int_0^s v_0(y/H)^m dy \tag{3}$$

式中： $e$ 为挡浪板下端距底面的高度； $s$ 为概化处的底部地形抬高值。由 $Q_1=Q_2$ 得到：

$$S=(H^{m+1}-e^{m+1})^{1/(m+1)} \tag{4}$$

#### 1.2 等效阻力法

等效阻力法是将挡浪板对水流的阻力等效为

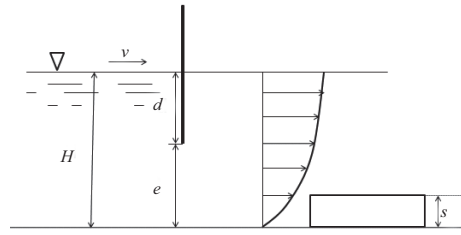


图1 等流量法示意图

底部摩擦阻力，即通过改变底部当量糙率来增加底部摩擦阻力以模拟挡浪板的阻水效应。水流对挡板的阻力 $F$ 采用《港口工程荷载规范》公式：

$$F = \frac{1}{2} c_w m_1 m_2 n_1 \rho v^2 A \tag{5}$$

式中： $c_w$ 为阻力系数； $m_1$ 为遮流系数； $m_2$ 为横向影响系数； $n_1$ 为深度影响系数； $\rho$ 为海水密度； $A$ 为计算构件在与流向垂直平面上的投影面积； $v$ 为水流设计流速。

床面对水流的阻力可表示为：

$$\tau_{bx} = \frac{n_b^2 g \rho}{H^{1/3}} v^2 \tag{6}$$

式中： $n_b$ 为曼宁系数。

根据等效阻力原理，挡浪板对水流的阻力可用当量床面阻力表示。由方程(5)和(6)可得挡浪板的阻力系数与当量糙率有如下关系：

$$n_b = \sqrt{\frac{c_w m_1 m_2 n_1 A H^{1/3}}{2g}} \tag{7}$$

### 2 方法应用

#### 2.1 模型介绍

深圳蛇口港位于深圳市南山区东角头蛇口山东南侧海域（图2），东南与香港元朗隔海相望。海水域西南与珠江口伶仃洋相接，地理坐标为北纬 $22^\circ 28' 48.6'' \sim 22^\circ 29' 6.8''$ ，东经 $113^\circ 55' 56.9'' \sim 113^\circ 56' 19.6''$ 。为了对港池形成掩护，拟在港区南侧及北侧建立桩基挡板式透空堤，北侧防波堤兼作码头。为评估工程实施后的效果，采用荷兰代尔夫特理工大学开发的Delft3D水动力模型，其建立在正交曲线坐标上<sup>[9]</sup>，方程利用有限差分法——ADI进行数值求解。

模型范围覆盖整个深圳湾，南至深圳湾口门，北至深圳河口，共计27 713个网格（图2），

其中工程局部范围加密, 最小网格边长为4 m。模型外海开边界条件由赤湾站实测潮位资料提供, 其中深圳河距工程区域较远且流量较小, 忽略其对工程区的影响, 因此处理为陆边界。利用2011-06-12T17:30—2011-07-12T16:00的全潮水文资料, 对模型进行验证。经过率定, 模型范围内底部曼宁系数随水深变化介于0.01~0.015。模拟计算结果与实测结果的比较见图3。由计算结果可知, 由于该区域受地形影响存在旋转流, 流速误差均在10%之内, 流向误差在13%以内; 个别时刻测点流速流向较乱, 可能由测量误差引起。总体来说, 计算的流向与流速过程与实测资料吻合较好。这表明, 该模型能够模拟实际流场, 可应用于工程设计的计算。

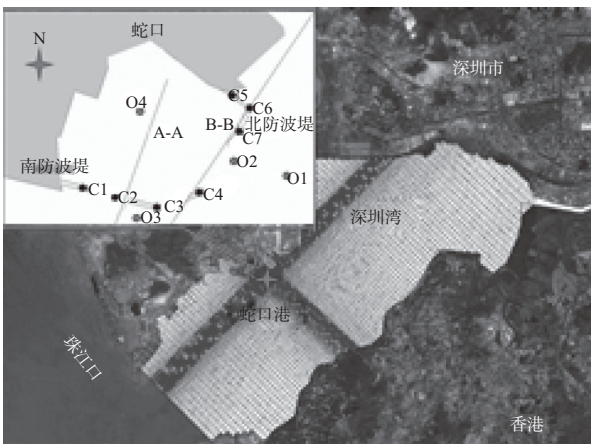
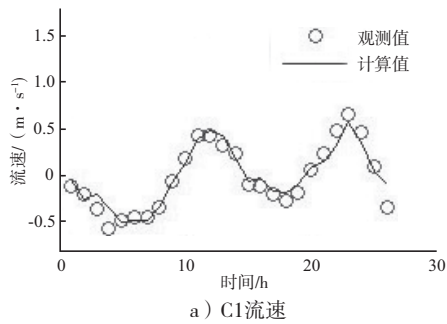
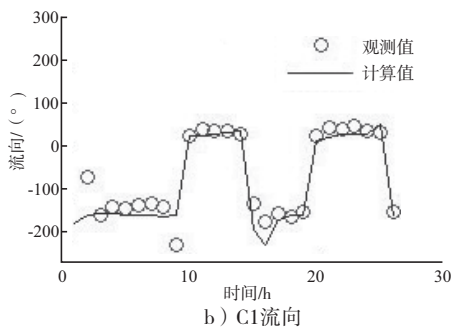


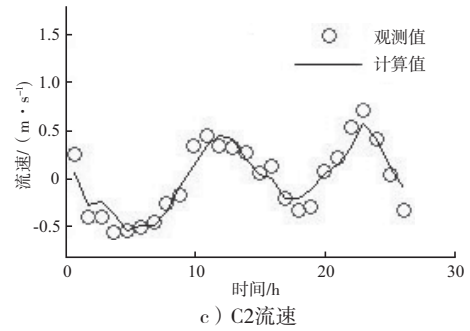
图2 计算范围网格及工程局部示意图



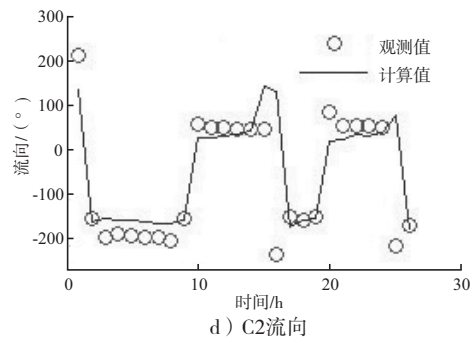
a) C1流速



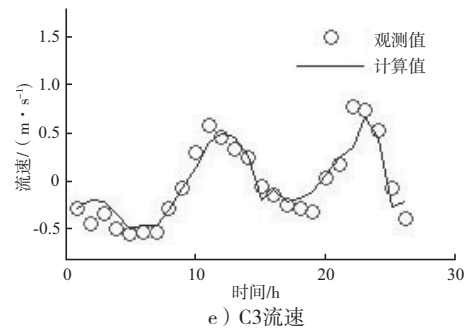
b) C1流向



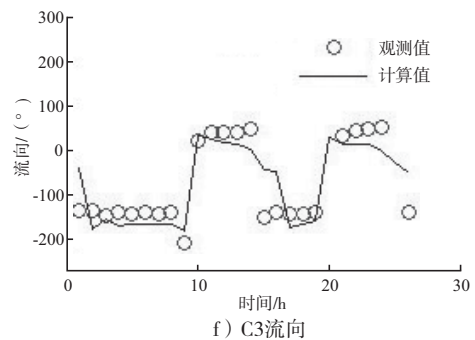
c) C2流速



d) C2流向



e) C3流速



f) C3流向

图3 部分点位流速流向验证

### 2.2 防波堤概化

拟建透空式防波堤结构形式见图4, 在模型当中, 对桩基及挡浪板分开处理, 以比较挡浪板对工程水域水流特性的影响。对于桩基的概化处理, 采用局部加大糙率和抬高地形的的方法对桩基进行概化。

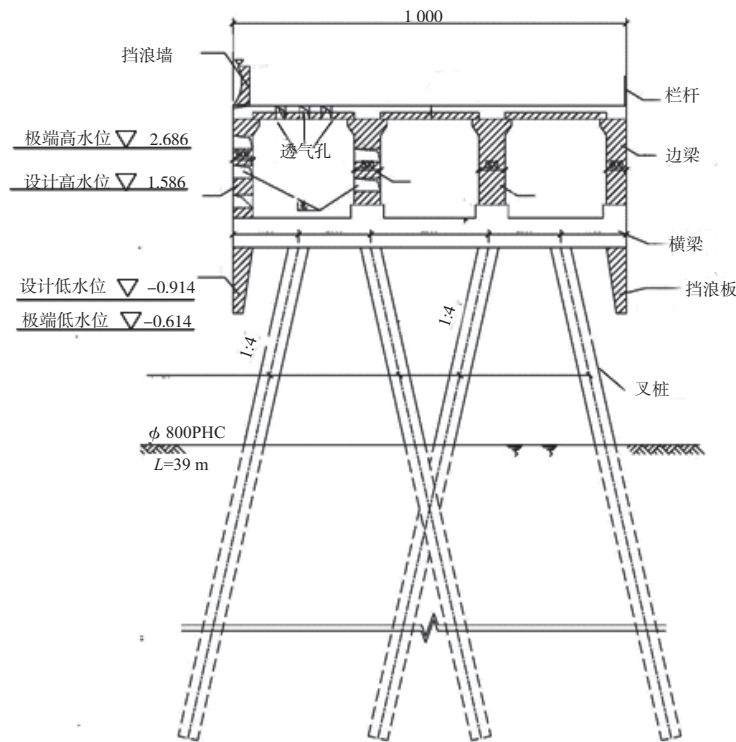


图4 防波堤断面

由于工程区位于海湾地区，受潮汐影响，水位存在较大变幅；而在对挡浪板及桩基概化时，其概化参数均与水深相关。因此在研究中，其地形抬高值及等效糙率计算中，水动力参数均取全潮平均，并以涨急和落急时刻作为参考。分别利用等流量法和等效阻力法对挡浪板进行概化，其中等流量法计算得出地形抬高约3.01 m；等效阻力计算得出防波堤挡浪板的当量糙率为0.704，将其分摊到整个防波堤宽度内，南侧防波堤宽10 m，取0.07，北侧防波堤宽18 m，取0.039，挡浪板的入水深度取平均值为2.41 m，其相关参数见表1，2。

表1 等流量法概化挡浪板后在各观测点地形 m

点位	涨潮平均	涨急	落潮平均	落急	全潮平均
C1	3.363	3.135	2.661	2.006	3.012
C2	3.362	3.138	2.007	2.007	3.011
C3	3.3.6	3.142	2.661	2.008	3.012
C4	3.363	3.142	2.660	2.007	3.011
C5	3.364	3.142	2.661	2.010	3.013
C6	3.364	3.143	2.661	2.008	30.12
C7	3.364	3.140	2.661	2.007	3.012

表2 等效阻力法概化挡浪板后在各观测点当量糙率

点位	涨潮平均糙率	涨急糙率	落潮平均糙率	落急糙率	全潮平均
C1	0.772	0.708	0.636	0.526	0.704
C2	0.772	0.708	0.636	0.526	0.704
C3	0.772	0.709	0.636	0.526	0.704
C4	0.772	0.709	0.636	0.526	0.704
C5	0.772	0.709	0.636	0.527	0.704
C6	0.772	0.709	0.636	0.526	0.704
C7	0.772	0.709	0.636	0.526	0.704

### 3 结果与分析

受潮汐及地形的影响，工程区主要流态为涨潮时刻流向由西南向东北、落潮流向为由东北向西南的往复流，为分析挡浪板概化后对水动力结构的影响，拟从涨急和落急时刻的水位及流速等方面对概化效果进行比较。在南北防波堤附近设置两条观测断面（C1,C2），其中南防波堤以南部分长均为1 km，C1往北伸至北侧港池，C2往北伸至距北防波堤1 km处，数据点位置间距在10~100 m范围内不等。

#### 3.1 水位变化分析及讨论

由图5，6可知，两种方法均能够模拟出概化后挡浪板对水位的影响，即顺水流方向，防波堤前出现壅水，防波堤后出现水位下降的现象。挡

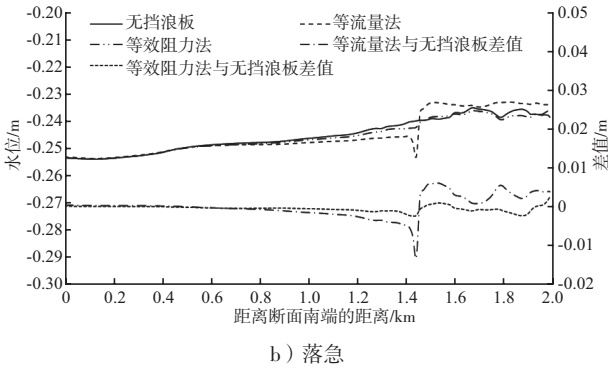
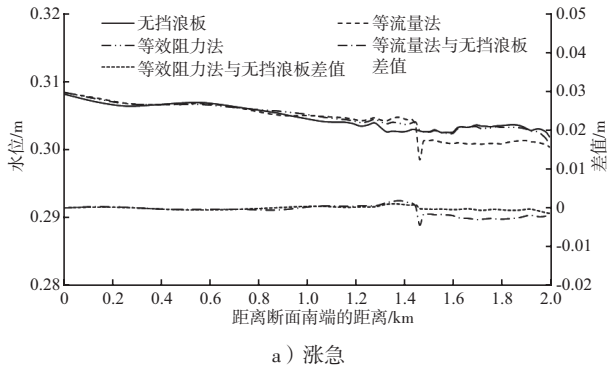


图5 A-A断面潮位值

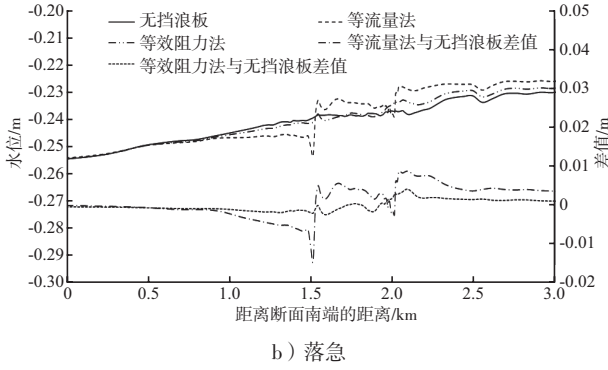
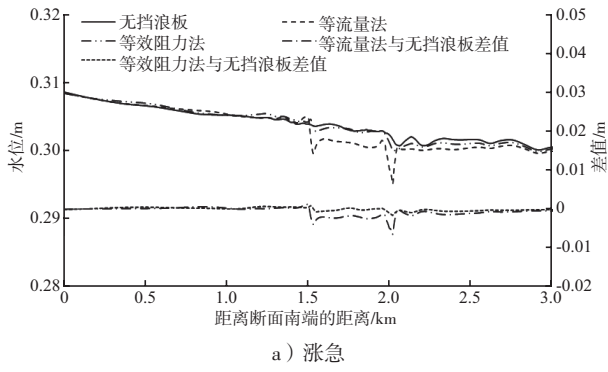


图6 B-B断面潮位值

浪板对水位振幅的影响较小, 最大差值为1 cm, 距防波堤处1 km外, 对水位几乎没有影响, 而港池区域内水位均有不同程度的变化。由于该区域涨潮历时较长, 落潮历时短, 涨潮水位变幅较落

潮期间变化较慢, 因此概化后其落潮期间水位变幅较涨潮期间大。

等流量法由于对底部地形的改变较大, 防波堤附近水位出现突变, 因此造成数值不稳定, 在地形改变处, 水位发生突变, 影响了模型对实际情况的真实模拟效果; 等效阻力法数值计算稳定, 防波堤两侧水位衔接良好, 对水位的影响较等流量法小。

### 3.2 流速变化分析及讨论

由流速等值线变化(图7, 8)可知, 由于挡浪板的阻水效应, 顺水流方向, 防波堤前后流速减缓, 越靠近防波堤处, 流速减缓越为明显; 港池内大部分水域流速均比不考虑挡浪板时减小, 但是受到地形的限制, 涨潮期间港池出现逆时针旋转流, 落潮出现顺时针旋转流, 流态较不稳定, 因此部分区域流速增加; 受地形及区域潮汐

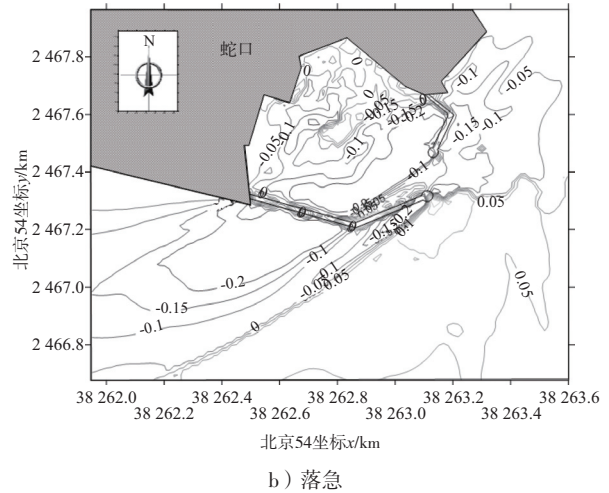
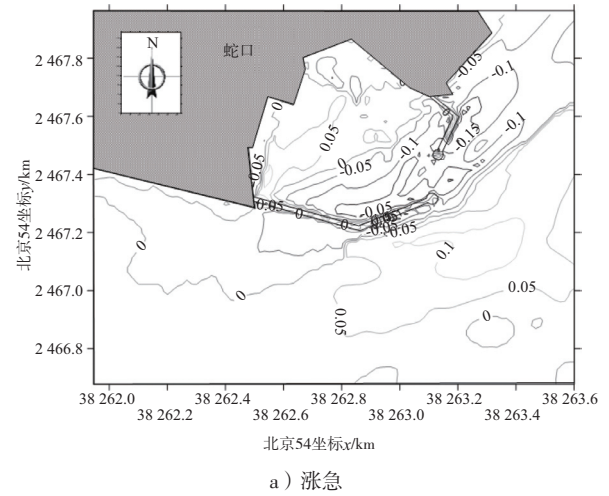


图7 等流量法流速变化等值线(单位: m/s, 正值为增大, 负值为减小)

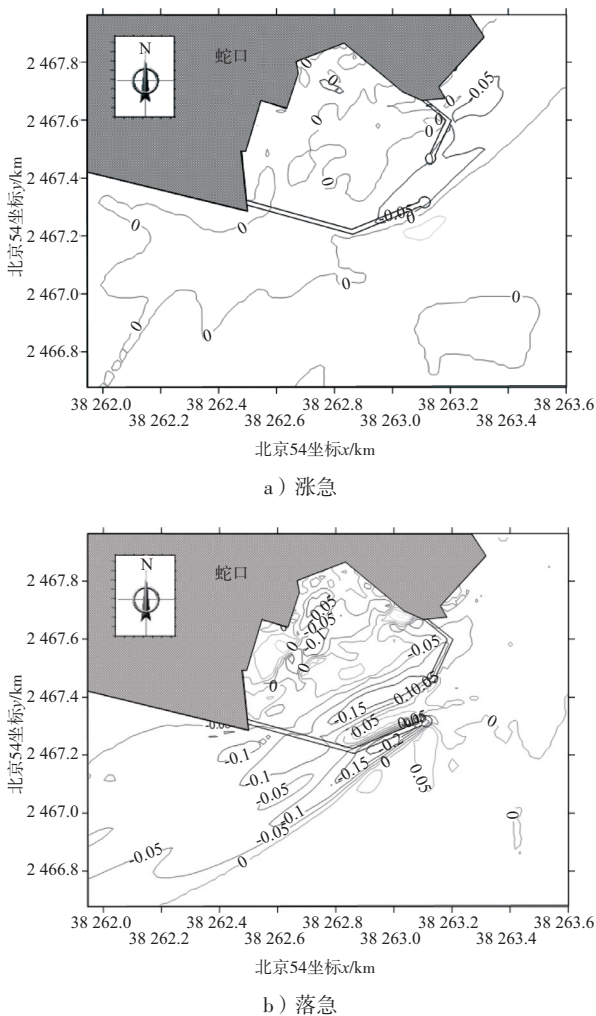


图8 等效阻力法流速变化等值线 (单位: m/s, 正值为增大, 负值为减小)

特征的影响, 落潮流速比涨潮流速的变化更大, 因此在考虑了挡浪板的阻水效应之后, 落潮流速的变化同样大于涨潮流速的变化。总体来说, 挡浪板对水域流速的影响范围限制在1 km之内, 超出此范围对流速的影响甚微。

等流量法由于对地形进行了较大改变, 使得在防波堤附近流速变幅较大, 阻水效果明显; 涨落急时刻, 部分水流绕过防波堤, 在工程区的主流向向外侧偏移, 导致在口门附近流速增大。等效阻力法对流速的影响较等流量法小, 涨急时刻流态不稳, 导致港池内外均出现局部流速增大; 而在落急时刻流速较大, 大部分区域流速减小, 在防波堤前后方对水流的阻水效果更为明显。

通过比较水位和流速的变化发现, 由于两种方法分别基于流量守恒和能量守恒的原理, 均在一定程度上反映了挡浪板的阻水效应。以往对桩

基的研究表明, 等效阻力法效果较好<sup>[6]</sup>。但是由于所选取的公式及参数均利用以往的研究成果, 针对挡浪板的研究尚少, 具有一定的经验性, 因此有必要对工程后开展进一步现场实测, 进行深入研究, 以得出更为精确的处理方式。

#### 4 结论

在二维潮流数学模型中, 利用等流量法和等效阻力法概化处理挡浪板对潮流场的作用, 能够在一定程度上简化并反映挡浪板对水流结构的影响。研究结果显示:

- 1) 提出的等流量法和等效阻力法均能反映透空式防波堤对潮流的阻水效应。
- 2) 在深圳湾的应用计算表明, 挡浪板对水位的影响较小, 最大量级为厘米级; 对流速影响较大, 堤内流速有不同程度的减小, 在落急时刻改变较为明显。
- 3) 等流量法改变了地形, 导致防波堤附近水位及流速改变较为明显, 且影响范围比等效阻力法要大; 等效阻力法计算结果显示, 由于防波堤阻碍, 流速均有不同程度降低, 越靠近防波堤, 效果越明显。

#### 参考文献:

- [1] 唐士芳, 李蓓. 桩群阻力影响下潮流数值模拟研究[J]. 中国港湾建设, 2001(5): 25-29.
- [2] 唐士芳. 二维潮流数值水槽的桩群数值模拟[J]. 中国港湾建设, 2002, 6(3): 14-21.
- [3] 张细兵, 余新明, 金琨. 桥渡壅水对河道水位流场影响二维数值模拟[J]. 人民长江, 2003, 34(4): 23-47.
- [4] 曹民雄, 甘小荣, 周丰年, 等. 潮汐河段桥墩对水流影响的数值计算与分析[J]. 人民长江, 2006, 37(4): 81-84.
- [5] 张玮, 王斌, 夏海峰. 近海风电场风机桩群布局对海域水动力条件的影响[J]. 中国港湾建设, 2007(2): 1-4.
- [6] 解鸣晓, 张玮, 谢慧姣. 桩群数值模拟中的概化方法研究[J]. 水动力学研究与进展, 2008, 23(4): 464-471.
- [7] 唐磊, 张玮, 解鸣晓, 等. 等效阻力法在感潮河段桥墩群概化中的运用研究[J]. 水道港口, 2010, 31(5): 358-364.
- [8] 刘韬, 戈国庆, 钟瑚穗. 桩基透空式防波堤功效评判[J]. 水运工程, 2013(2): 24-26.
- [9] W L Delft Hydraulics. Delft3D- Flow User Manual[R]. Holland:Delft University of Technology, 2011.

( 本文编辑 武亚庆 )