

# 人工岛群对弱潮区海岸动力影响的叠加效应分析

匡翠萍<sup>1</sup>, 赵 钊<sup>1</sup>, 宋竑霖<sup>1</sup>, 顾 杰<sup>2</sup>

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092; 2. 上海海洋大学 海洋生态与环境学院, 上海 201306)

**摘要:** 为科学评价人工岛群对周边海岸动力产生的影响, 基于 MIKE21 数值模拟软件建立秦皇岛金梦海湾潮流模型和波浪模型, 运用验证合理的模型计算人工岛(群)作用下的潮流场和波浪场。在对金梦海湾已建人工岛群影响下的区域动力过程特征分析的基础上, 选取合适分析点研究人工岛间的相互作用。研究表明, 由于莲花岛与海螺岛的阻流、导流和分流作用, 潮流在海螺岛与岸线之间形成较大范围弱环流区, 流速几乎为零, 并在莲花岛与海螺岛形成的口门处及人工岛群外侧海域形成流速显著增加区域。这 3 处区域流场受人工岛群影响最大, 其中海螺岛起到控制性作用。在人工岛群共同作用下金梦海湾潮流的变化不是各单一人工岛作用下变化的线性叠加, 而有效波高受人工岛间相互作用的影响是线性的。人工岛群对金梦海湾起到很好的消浪效果, 但却大大削弱了近岸区域的潮流动力。

**关键词:** 人工岛群; 潮流; 波浪; MIKE21 软件; 金梦海湾

中图分类号: TV148

文献标志码: A

diversion functions by artificial islands, formed a large area of weak circulation between the Conch Island and shoreline, but it increased significantly in the inlet between the Lotus Island and Conch Island as well as the outer sea area of artificial island group. Current fields located in the three mentioned areas were largely affected by artificial islands, of which the Conch Island plays a controlling role. The changes of tidal current velocity, caused by artificial island group, were not satisfied with linear superposition of differences induced by each artificial island. However, the group influence on wave field is linearly summed by individual artificial island influence. The construction of artificial island group has advantageous in wave attenuation, but greatly weakens the tidal current in near-shore area.

**Key words:** artificial island group; tidal current; wave; MIKE21 software; Jingmeng Bay

## Analysis of Superposition Influence Effect of Artificial Island Group on Coastal Dynamics in a Weak Tidal Zone

KUANG Cuiping<sup>1</sup>, ZHAO Fan<sup>1</sup>, SONG Honglin<sup>1</sup>, GU Jie<sup>2</sup>

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. College of Marine Ecology and Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Focused on the influence of artificial island group on surrounding wave-current coupled hydrodynamics, a tidal current model and a wave model for Jingmeng Bay in Qinhuangdao, which had been well calibrated, were established to calculate the surrounding current and wave with the software MIKE21. Based on the analysis of hydrodynamic responses to artificial island group, some measurement points were selected to study the interaction between artificial islands. It can be founded that tidal current, due to resistance, guide and

自 20 世纪 90 年代, 随着我国沿海城市建设、港口运输业的迅速发展和人口的增加, 人工岛(群)建设工程日益增多<sup>[1]</sup>。虽然人工岛群建设活动带来了很大的社会效益和经济效益, 但近岸海域过于密集的人工岛群建设导致附近海域的水动力发生显著变化<sup>[2-4]</sup>, 即使单一的人工岛建设也会对周围海岸动力产生一定的影响<sup>[5-7]</sup>。王李吉等<sup>[8]</sup>分析了海口如意岛工程周围水域工程前后的潮流场变化, 指出如意岛的建设主要影响岛南近岸区域, 流速变化约 45%; 陈新等<sup>[9]</sup>研究人工岛周围波高分布的规律并总结了人工岛直径变化对波高影响的规律。人工岛群使得近岸海域海岸动力变化特征更加复杂, 需要考虑人工岛群平面布局<sup>[10]</sup>、人工岛群的分期建设方案<sup>[11]</sup>、人工岛群间的相互影响<sup>[12-13]</sup>等因素。目前不少学者对人工岛群开发和包含人工岛在内的多个工程开发的整

收稿日期: 2018-12-30

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFC1407902)

第一作者: 匡翠萍(1966—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为海岸工程和河口海岸水环境。

E-mail: cpkuang@tongji.edu.cn

通信作者: 顾 杰(1961—), 男, 教授, 工学博士, 主要研究方向为河口海岸水环境。E-mail: jgu@shou.edu.cn



论文  
拓展  
介绍

体影响展开过研究<sup>[14-16]</sup>,但对人工岛群中岛屿间水动力的相互影响及其对海岸动力影响的叠加效应的研究尚不明确。

金梦海湾靠近秦皇岛外海的无潮点,潮差较小,潮流动力弱,故潮流场对近岸人工岛建设的敏感度较高。本文基于金梦海湾单一人工岛和人工岛群作用下的潮流场和波浪场计算结果,定量分析了单一人工岛建设对近岸海域水动力的影响,并重点探讨人工岛间的相互作用及人工岛群建设对金梦海湾海岸动力影响的叠加效应,且模拟和分析改造方案对海岸动力的影响。

## 1 研究区域概况

研究区域涵盖金梦海湾及其周边海域(图1),北起汤河,南至海滨国家森林公园,是连接秦皇岛北戴河区和海港区的枢纽过渡地带。汤河入海口上游约

1.4km处设有橡胶坝。近年来,金梦海湾的人工构筑物建设密度很大,主要有潜堤和人工岛群(莲花岛和海螺岛)2种形式。其中每个潜堤长360m,共计3座,离岸约380m,已于2012年完成施工。海螺岛平面近似海螺,岛陆由1条进岛路连接,进岛路是管涵结构,离岸约600m,于2013年底开始建设。莲花岛呈椭圆形布置,长轴(SW-NE方向)长1670m,短轴(SE-NW方向)长1130m,岛屿向海侧建设防波堤,离岸约1000m,建设项目用海面积2.14km<sup>2</sup>。莲花岛自2011年审批,目前外侧防波堤已建设完成且海底已铺设沉箱结构。

近岸海域潮汐属规则全日潮,潮流为规则半日潮,总体表现为顺岸往复流,流速由外海区域向近岸递减。研究区域潮流呈涨急WSW向、落急ENE向的特征,外海流速的大小为0.15~0.24 m·s<sup>-1</sup>,且涨急时刻流速略大于落急时刻(图2)。图中T1~T7为分析点的位置。

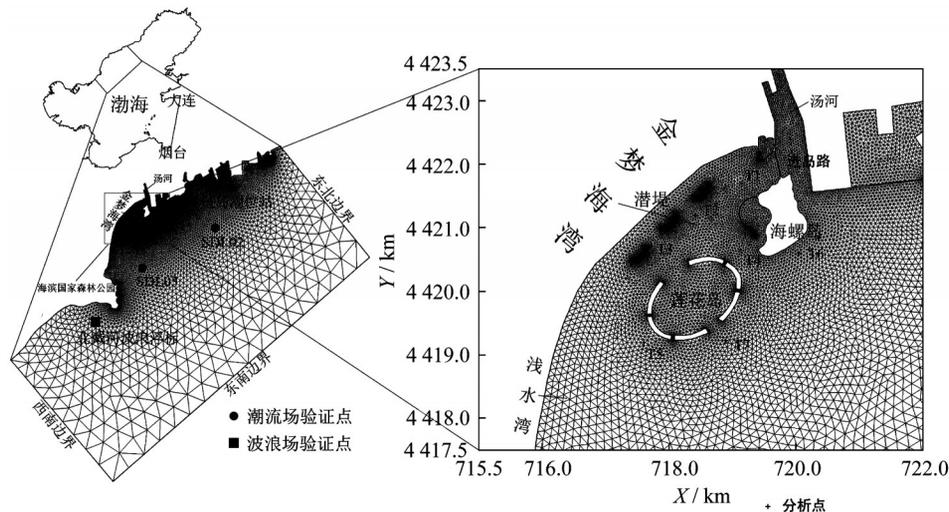


图1 计算区域、网格、人工岛群工程布置及分析点位置

Fig.1 Computational domain, grid, layout of artificial island group and locations of measurement points

## 2 数学模型的建立与验证

### 2.1 模型介绍

MIKE21模型是丹麦水力学研究所(Danish Hydraulic Institute, DHI)研发的水环境综合模拟软件,主要模拟河流、湖泊、河口、海岸等水动力环境<sup>[17]</sup>。MIKE21软件的Flow模块为潮流数学模型,基于Boussinesq假定、静水压力假定、浅水假定和初边界条件,通过有限体积法求解不可压缩雷诺平均Navier-Stokes概化的浅水方程。MIKE21软件的SpectralWave模块为波浪谱模型,以波的作用密度

谱来描述波浪,以保证水流存在条件下波作用密度的守恒<sup>[18]</sup>。相关研究表明,MIKE21软件的Flow和Spectral Wave模块能较好模拟人工岛周围的潮流场和波浪场<sup>[9,19]</sup>。

### 2.2 计算范围及参数设定

采用大小模型双重嵌套技术研究,大模型区域范围为渤海,小模型计算域坐标为39°39'~39°57'N, 119°24'~119°51'E(图1)。渤海大模型以大连老虎滩和烟台2个潮位站的连线作为潮位开边界,其模型网格节点数为14 183,网格单元数为23 419。小模型由东北、东南和西南3条海域开边界以及1条岸

线闭边界构成,研究区域面积约为587.4 km<sup>2</sup>。小模型网格节点数为13 431,网格单元数为25 585,对工程区域进行局部加密,网格分辨率为10~2 500 m,图1坐标为北京54坐标系(中央子午线经度120°E)。

大模型的海域开边界采用潮位过程控制,小模型边界条件由大模型计算所得的潮位和流速过程控制。其中海岸边界区域采用动边界处理潮间带和滩肩的干湿交换过程,干水深、淹没水深和湿水深分别取0.005 m、0.05 m和0.1 m。曼宁数根据计算范围内的粒径资料取平均值74 m<sup>1/3</sup>·s<sup>-1</sup>。由于汤河橡胶坝下无径流注入,河流边界采用闭边界。潮流模拟时间为2013年5月8日至5月16日,时间步长范围取0.000 1~30 s。波浪模型的陆地边界采用完全吸收边界。在海域开边界,根据波浪实测资料统计给定波浪参数(有效波高、谱峰周期和波向)。

### 2.3 模型验证

潮流模型采用2013年5月11日和12日秦皇岛测站的潮位预报值对其潮位进行验证以及2013年5月11日和12日2个实测站点(SDL02、SDL03)的实测海流流速和流向资料对潮流进行验证,相关测站位置如图1。采用北戴河波浪浮标测站(图1)的波高、波周期、波向的统计值对波浪模型进行验证。

#### 2.3.1 潮流模型验证

图2为潮位、流速、流向的验证结果,计算值与实测值吻合良好。为进一步衡量潮流模型的可行性,采用Willmott统计学方法<sup>[20]</sup>来定量评价模型模拟结果与实测数据的匹配程度,其计算式为

$$S = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |M - D|^2}{\sum_{i=1}^N (|M - \bar{D}| + |D - \bar{D}|)^2} \quad (1)$$

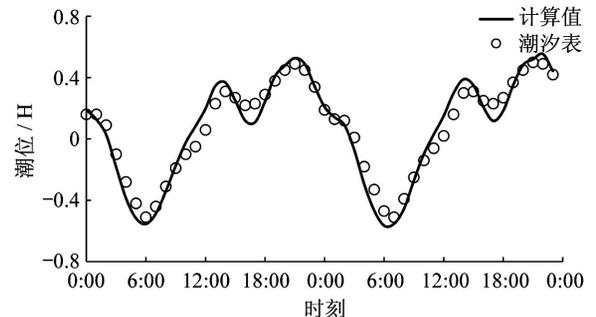
式中: $S$ 为Willmott统计学方法的评价指标skill值; $i=1, 2, \dots, N$ , $N$ 为实测数据个数; $M$ 为模型计算结果; $D$ 为实测值; $\bar{D}$ 为实测平均值。 $S=1$ 表示模型计算值和实测值完全相符; $S$ 大于0.65为极好; $S$ 在0.50~0.65之间为非常好; $S$ 在0.20~0.50之间为好; $S$ 小于0.20为差; $S=0$ 表示模型计算值和实测值完全不符。

通过式(1)计算本模型潮位、SDL02流速、SDL03流速、SDL02流向、SDL03流向的 $S$ 值分别为0.99(极好)、0.70(极好)、0.58(非常好)、0.72(极好)、0.93(极好)。通过对评价结果与误差进行分析可知,水动力验证中潮位、流速与实测值吻合均处于非常好以上,但数值上存在一定偏差,这主要是由于

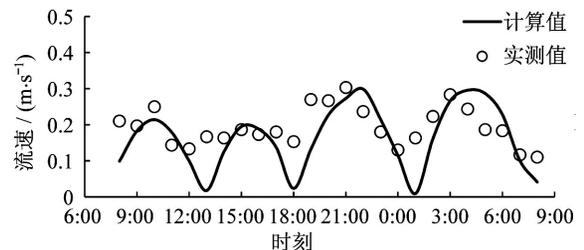
模型局部地形精度不足所致。整体来看,所建潮流模型合理,可以用于不同工况的计算分析。

#### 2.3.2 波浪模型验证

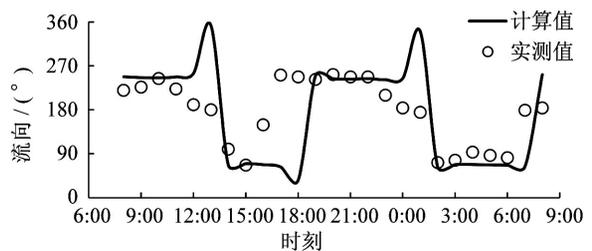
波浪模型验证结果如表1所示,3个波浪参数



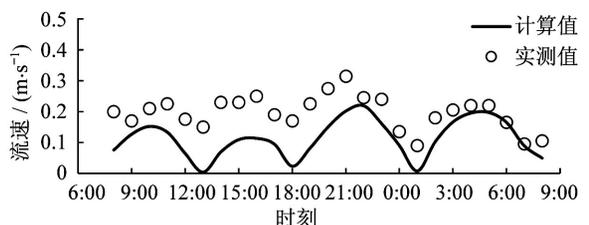
a 秦皇岛测站, 潮位



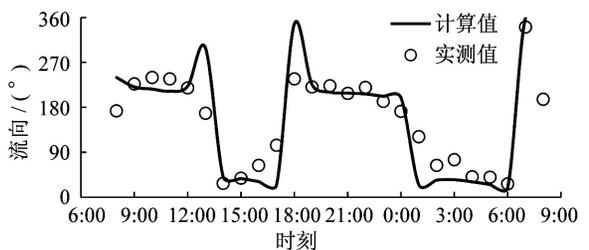
b SDL02, 流速



c SDL02, 流向



d SDL03, 流速



e SDL03, 流向

图2 2013.5.11-5.12秦皇岛海域潮位、流速和流向验证  
Fig.2 Validation of tidal level, tidal current velocity magnitude and direction in Qinhuangdao sea from May 11 to 12

(波高、波周期、波向)误差均不超过4%,模拟结果合理。图3为模拟所得常浪场,模型能较好模拟出计算海域的波浪场,可以用于不同工况的计算分析。

表1 波浪模型的波高、波周期和波向验证

Tab.1 Validation of significant wave height, wave period and wave direction

数值	波高/m	周期/s	波向/(°)
统计值	0.62	4.45	144.4
模拟值	0.64	4.57	139.6
相对误差	3.2%	2.7%	-3.3%

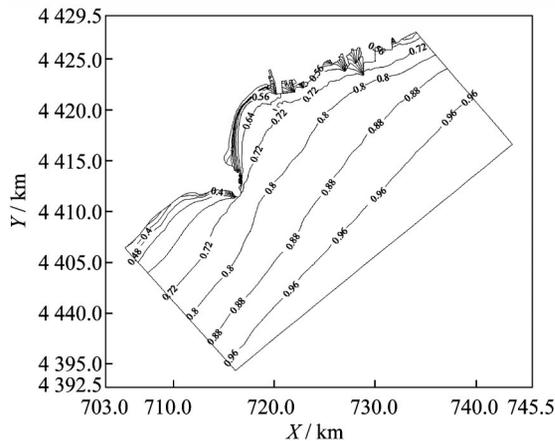


图3 常浪场(单位:m)

Fig.3 Wave field under a normal incident wave (unit:m)

### 3 人工岛群的水动力效应分析

选取工程前(工况1)、单一莲花岛(工况2)、单一海螺岛(工况3)、莲花岛和海螺岛组成的人工岛群(工况4)共4种工况分别模拟其对研究区域潮流场和波浪场的影响,重点讨论金梦海湾近岸海域和工程近区水动力对不同工况的响应特征以及工程间的相互作用。

#### 3.1 人工岛群对潮流场的影响

工程实施后,外海流场基本不变,仍呈现往复流特征,近岸海域和工程近区受工程影响较为显著。

##### 3.1.1 流态变化

图4为4种工况下的涨落急流场图。单一海螺岛作用下,由于海螺岛的阻流作用,附近水域局部流态变化明显,见图4b、4f,涨急时刻潮流在海螺岛南侧形成沿堤流,落急时刻流场方向则相反。由于海螺岛及其进岛路形成了1.4km长的垂岸挡水建筑物,岛与岸线之间形成较大范围弱环流区,环流区长

度约为900m,宽度约为800m。在单一莲花岛作用下,由于莲花岛的阻流和分流作用,见图4c、4g,涨急时刻潮流经莲花岛分成2股支流,一支沿莲花岛近岸侧向金梦海湾运动,另一支沿莲花岛外海侧保持WSW方向运动,落急时刻流场方向则相反。潮流在莲花岛内部形成弱环流区。在莲花岛和海螺岛共同作用下,由于莲花岛和海螺岛的阻流、导流和分流作用,见图4d、4h,涨急时刻潮流经海螺岛后在莲花岛处分成2股支流,一支通过莲花岛与海螺岛形成的口门沿莲花岛近岸侧向金梦湾运动,另一支沿莲花岛外海侧保持WSW方向运动,落急时刻流场方向则相反。海螺岛使得莲花岛的近岸侧支流流向在人工岛群口门处顺时针偏转约30°,而莲花岛使得海螺岛背水面的弱环流区范围缩减约20%。

##### 3.1.2 流速变化

图5为工程后与工程前的涨落急流速差值图,即工况2、3、4流速分别减工况1流速所得的差值。

在单一海螺岛作用下(图5a、5d),涨急时刻潮流海螺岛岬头挑流作用在岛南侧形成流速增加区域,长度为1700m、宽度为1300m,区域内平均流速变化范围为0.02~0.08 m·s<sup>-1</sup>,比工况1增加约20%。而海螺岛迎水面一侧由于雍水形成流速减小区,潮流在海螺岛与岸线之间形成的较大范围弱环流区的流速几乎为零,涵盖金梦海湾沿岸约3km海域。落急时刻岛南侧形成的流速增加区域与涨急时刻特征一致,而海螺岛与岸线之间的环流区受落潮主流向影响,流速较涨急时刻大,使得流速几乎为零的区域由涵盖金梦海湾沿岸的3 km海域减少为0.8 km。

在单一莲花岛作用下(图5b、5e),莲花岛两侧分流区的流速增加,流速变化值最大可达0.05m·s<sup>-1</sup>,与工况1相比流速增加约40%;人工岛迎流侧和背流侧由于岛屿阻挡形成2个流速减小区,流速变化值最大可达0.08m·s<sup>-1</sup>,与工况1相比流速减小约40%。另外,莲花岛内流速几乎为零。与海螺岛相比,莲花岛的布置角度与流向几乎平行,且岛屿形态具有鲜明的对称性,但受海岸线变化的影响,莲花岛两侧流速变化不完全对称。工程对潮流主要影响区域集中在顺岸方向上距莲花岛500~1700 m范围内、岸线垂直方向上距莲花岛900 m范围内。

在莲花岛和海螺岛共同作用下,见图5c、5f,莲花岛与海螺岛的外海侧为涨落潮流速增加区,长度为2800 m、宽度为1400 m,区内流速变化范围为0.02~0.05m·s<sup>-1</sup>,比工况1增加约30%,另外在人工岛群形成的口门处由于束水作用流速增加约为

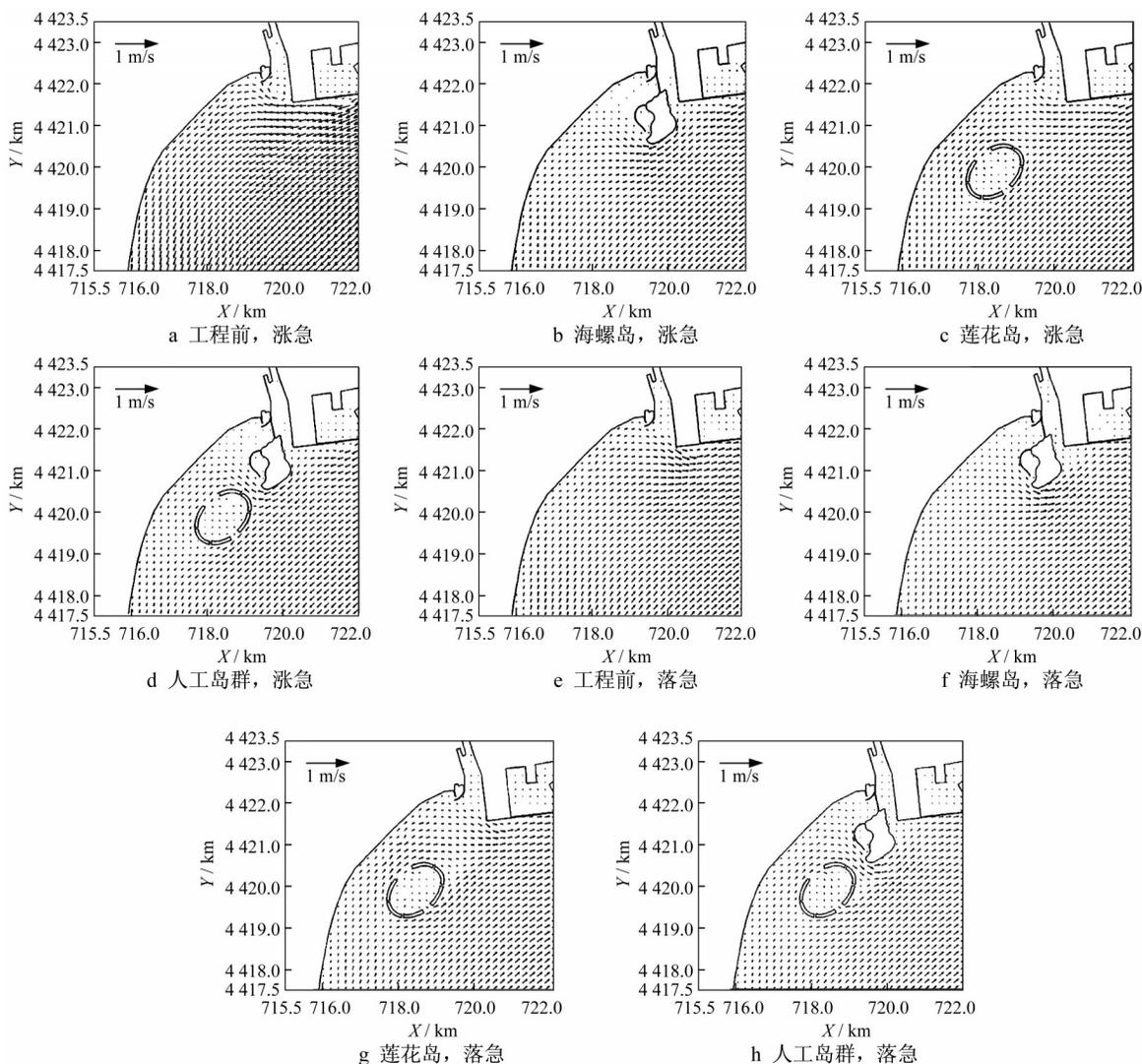


图4 涨急和落急时刻流场图

Fig.4 Current fields at the maximum flood and ebb

$0.13\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;金梦海湾近岸区域和莲花岛内部均形成弱流区,流速几乎为零;莲花岛和海螺岛的阻流作用也使西南侧的浅水湾形成流速减小区( $0.10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右)。海螺岛使得莲花岛的近岸侧平均流速减小 $0.05\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,外海侧平均流速增加 $0.01\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而莲花岛使得海螺岛背水面的弱环流区内流速增大 $0.02\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

基于人工岛群对其近岸海域潮流场影响的初步分析,在其影响区域内选取7个分析点分析其影响的叠加效应,分析点T1~T7的位置见图1。建立原假设 $H_0$ :莲花岛与海螺岛共同作用下的流场可以看作是单一莲花岛作用下的流场与单一海螺岛作用下的流场的线性叠加。表2给出了7个分析点的基于原假设 $H_0$ 线性叠加值和数值模拟值。

将流速变化的线性叠加值和数值模拟值考虑为

一元回归问题,假定数值模拟值 $y$ 和线性叠加值 $x$ 之间的回归函数为 $y=\beta_1x$ ,对 $\beta_1$ 进行 $t$ 检验,其检验统计量计算公式为

$$T = \frac{(\hat{\beta}_1 - \beta_1) \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}}{\hat{\sigma}^*} \quad (2)$$

式中: $\beta_1$ 为一元回归函数的系数; $\hat{\beta}_1$ 是 $\beta_1$ 的最小二乘估计值, $\hat{\beta}_1 = \sum_{i=1}^n x_i y_i / \sum_{i=1}^n x_i^2$ ;  $x_i$ 为第 $i$ 个线性叠加值; $\hat{\sigma}^* = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_1 x_i)^2$ ;  $i=1, 2, \dots, n$ ;  $n=14$ 。

由回归系数显著性检验的统计学知识可知 $T \sim t_{1-\alpha}(n-2)$ ,因此在显著性水平 $\alpha=0.05$ 下,拒绝域为 $T < t_{0.95}(n-2)$ 。

经计算 $T=-2.3879$ ,其小于临界值 $t_{0.95}(12)$ ,  $t_{0.95}(12)=-1.7823$ 。故拒绝原假设 $H_0$ 。

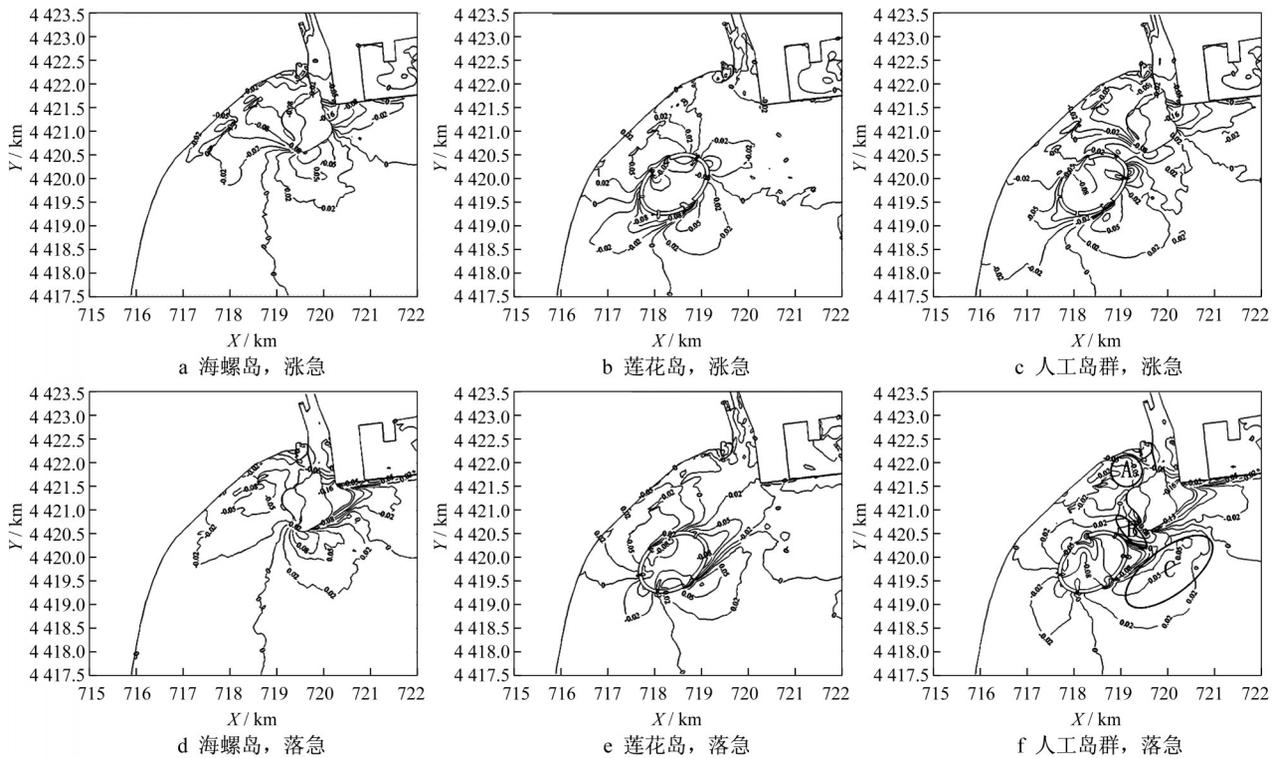


图 5 涨急和落急时刻流速差值 (单位:  $m \cdot s^{-1}$ )

Fig.5 Velocity differences between engineering case 2, 3, 4 and case 1 at the maximum flood and ebb respectively (unit:  $m \cdot s^{-1}$ )

人工岛群对近岸潮流场影响的非线性叠加效应主要体现在以下 2 个区域: 在莲花岛与海螺岛形成的口门处, 虽然该区域分别属于海螺岛工程单一作用和莲花岛工程单一作用下的流速略微增加区和流速减小区, 但由于海螺岛与莲花岛口门处的区域窄, 流向变化使得该区在莲花岛与海螺岛共同作用下形成流速显著增加区; 在距离工程较远的浅水湾海域, 虽然该区均不属于海螺岛工程单一作用和莲花岛工程单一作用下的潮流场影响范围, 但随着海螺岛与莲花岛工程相继建立, 阻流作用增加使得涨急时刻下的浅水湾海域形成流速减小区。

图 5f 中的海螺岛与岸线之间(A 区)、莲花岛与海螺岛形成的口门处(B 区)和人工岛群外侧海域(C 区)流场受人工岛(群)影响较大。进一步提取 4 个工况下典型时刻的流速变化量, 见表 3, 表中  $V_j$  为工况  $j$  某时刻区域流速。通过对比表 3 中各种工况影响百分比的大小和正负, 量化海岸潮流流速变化对不同工程建设的敏感性。由表 3 可知, 3 个区域的潮流流速在一个潮周期中都呈现单调增加或减少的趋势。除了 B 区莲花岛与海螺岛形成的口门处以外, 海螺岛单独作用对流速的影响较莲花岛单独作用大, 且作用百分数为正值, 说明海螺岛基本决定了海

表 2 分析点流速变化的线性叠加值和数值模拟值

Tab.2 Linear superposition value and numerical simulation value of current velocity change at measurement points in Jingmeng Bay

分析点	线性叠加值		数值模拟值	
	涨急时刻	落急时刻	涨急时刻	落急时刻
T1	-0.069	-0.031	-0.073	-0.046
T2	-0.045	-0.016	-0.058	-0.029
T3	0.002	0.009	0.018	0.012
T4	0.058	0.047	0.043	0.043
T5	-0.094	-0.047	-0.054	-0.047
T6	0.057	0.004	0.058	0.033
T7	0.067	0.048	0.058	0.063

岸流速的变化趋势。尽管单独海螺岛对 B 区流速影响的百分数小于单独莲花岛作用, 且作用方向相反(数值符号一正一负), 但由于海螺岛和莲花岛结合时该区域主流向较单独莲花岛作用下偏转较大, 使得 B 区流速受海螺岛影响较大。海螺岛在 3 个区域的潮流变化中起到控制性作用, 然而受莲花岛的影响, 海螺岛对海岸流速的影响程度发生改变。在 A 区, 莲花岛削弱海螺岛影响的 4.1%~15.6%, 即莲花岛可缓和海螺岛与岸线之间水域的潮流动力弱的问题。在 B 区, 莲花岛对水流的影响占海螺岛的 45.2%~48.9%, 且作用方向一致。在 C 区, 涨急时

刻莲花岛削弱海螺岛影响的52.0%,落急时刻作用方向与海螺岛相同,占海螺岛作用的59.8%。

表3 不同工况对海岸流速变化的作用

Tab.3 Impacts of different scenarios on coastal current velocity changes

区域	时刻	$V_4-V_1/(m\cdot s^{-1})$	$(V_2-V_1)/V$	$(V_3-V_1)/V$	$(V_4-V_3)/V$	$(V_4-V_2)/V$
A区	涨急	-0.069	103.80%	8.12%	91.88%	-3.80%
	落急	-0.043	114.44%	7.52%	92.48%	-14.44%
B区	涨急	0.064	32.43%	-49.60%	149.60%	67.57%
	落急	0.046	4.91%	-94.44%	194.44%	95.09%
C区	涨急	0.023	179.16%	-52.36%	152.36%	-79.16%
	落急	0.056	75.03%	58.22%	41.78%	24.97%

### 3.2 人工岛群对波浪场的影响

工程实施后,有效波高仅在近岸海域发生变化。图6为工程后与工程前的有效波高差值图,即分别为工况2、3、4的有效波高与工况1的有效波高的差值。

在单一海螺岛作用下,由于海螺岛及其进岛路的掩护(图6a),海螺岛波影区内的有效波高减幅为0.38~0.56 m,其削减效果达80%以上。波浪在海螺岛处的绕射作用使得波影区以西的近岸侧区域有效波高增加约0.1 m。

在单一莲花岛作用下,由于莲花岛外海防波堤

的掩护(图6b),金梦海湾沿岸约3km海域的波浪场发生变化。莲花岛波影区内的有效波高减幅为0.18~0.42m,其削减效果约40%~60%。由于莲花岛允许波浪穿过其中部向金梦海湾近岸传播,故消浪效果由波影区中部向两端先增大后减小。

在莲花岛和海螺岛共同作用下,由于人工岛群的掩护,见图6c,金梦海湾沿岸约3.5km海域的波浪场发生变化,其有效波高的削减效果达到41.8%~55.2%,人工岛群对金梦海湾具有较好的掩护作用。

基于人工岛群对其近岸海域波浪场影响的初步

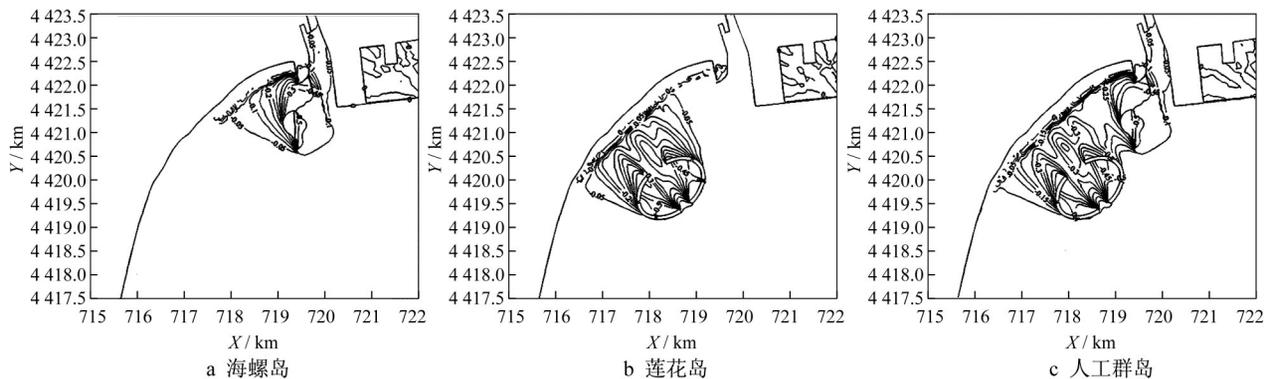


图6 有效波高差值(工况2、3、4波高分别减工况1波高)(单位:m)

Fig.6 Significant wave height differences between engineering case 2, 3, 4 and case 1 (unit: m)

分析,在其影响区域内选取5个分析点进行定量分析,分析点T1~T5的位置见图1。建立原假设 $H_0$ :金梦海湾有效波高在莲花岛与海螺岛共同作用下的变化可以看作是各单一人工岛作用下的线性叠加。表4给出了5个分析点有效波高的线性叠加值和数值模拟值。

将波高变化的线性叠加值和数值模拟值考虑为一元回归问题,相关计算公式同式(2),但该处 $n=5$ 。经计算 $T=-1.0570$ ,大于临界值 $t_{0.95}(3)$ , $t_{0.95}(3)=-2.3534$ 。故不能拒绝原假设 $H_0$ 。

表4 分析点有效波高变化的线性叠加值和数值模拟值

Tab.4 Linear superposition value and numerical simulation value of significant wave height change at measurement points in Jingmeng Bay

分析点	线性叠加值	数值模拟值
T1	-0.470	-0.412
T2	-0.247	-0.230
T3	-0.245	-0.227
T4	-0.073	-0.073
T5	-0.010	-0.010

比较图5和图6,不难发现波浪场中人工岛群间的相互影响范围小于潮流场。主要是由于常浪传播方向几乎与岸线垂直,而人工岛群又是沿岸线布置,这使得人工岛群只影响了近岸水域的波浪,而人工岛群之间的相互影响较小。

#### 4 改造方案下动力效应分析

考虑进岛路的封堵使游船码头附近产生潮流动力弱、水体近乎不流动的问题,目前海螺岛进岛路已完成拆除改造。由3.1节可知,由于潮流场中各建筑物间的相互作用非线性,金梦海湾潮流在建筑物群共同作用下的变化不能看作各单一建筑物作用下的线性叠加。对拆除进岛路后的改造方案进行数值模拟,在工况4基础上将不透水的进岛路去除。图7

为改造方案后与改造前的涨落急流速差值图。与潮流相比,波浪受各建筑物间相互作用的影响是线性的,考虑到单一进岛路对近岸海域波浪场的影响较小,故不对改造方案后的波浪场进行模拟与分析。

拆除进岛路后,原汤河入海通道则起到了潮汐通道的作用,增加了金梦海湾的进出水量,使近岸区域成为流速增加区,平均流速增加了 $0.03\sim 0.10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图7a、7b)。涨急时刻流速增加区包含海螺岛和莲花岛近岸侧,而落急时刻流速增加区主要为海螺岛近岸侧。可见,进岛路这一新口门的开放加快了金梦海湾的水体流动,增强了近岸水体的交换能力。同时,也由于这一通道的分流作用使莲花岛—海螺岛通道的流速减小,涨落急时刻的通道平均流速减少了 $0.02\sim 0.05\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

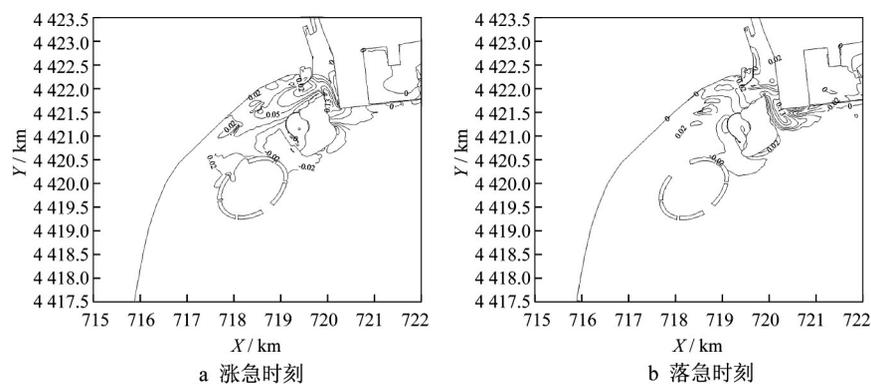


图7 改造方案下涨急和落急时刻流速差值(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

Fig.7 Velocity magnitude difference caused by engineering projects at the maximum flood and ebb respectively (unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

#### 5 结论

通过建立验证合理的潮流和波浪数学模型,模拟和分析了金梦海湾人工岛群建设对研究区域潮流场和波浪场的影响,得出以下主要结论:

(1)由于海螺岛阻流和岬头挑流作用,潮流在海螺岛南侧形成沿堤流,流速增加约20%;而海螺岛与岸线之间形成较大范围弱环流区,流速几乎降低为零。由于莲花岛的导流和分流作用,潮流在莲花岛处形成2股支流,流速增加约40%;而莲花岛迎流侧和背流侧流速减小约40%,尽管莲花岛布置角度与流向几乎平行,但岸线的变化使得两侧流速变化不完全对称。

(2)由于潮流场中人工岛间的相互作用是非线

性的,金梦海湾潮流在人工岛群共同作用下的变化不可以看作各单一人工岛作用下的线性叠加。这一性质在莲花岛与海螺岛形成的口门处和距离工程较远的浅水湾海域这2个区域中尤为明显。与潮流相比,波浪受人工岛间相互作用的影响是线性的。

(3)海螺岛在3个区域的潮流变化中起到控制性作用,然而受莲花岛的影响,海螺岛对不同区域海岸流速的影响程度不同。莲花岛与海螺岛的共同作用下,波浪在其后方波影区的削减效果达到了41.8%~55.2%。

(4)虽然人工岛群对金梦海湾近岸海域起到很好的消浪效果,却削弱了该区域的潮流动力,使其形成了一个水体交换能力较差的半封闭式水域。拆除海螺岛进岛路后,一定程度上增强近岸水体的交换

能力,近岸区域平均流速增加了 $0.03\sim 0.10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

### 参考文献:

- [1] 孙秀峰. 人工岛(群)对河口海岸水沙环境的影响研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.  
SUN Xiufeng. The impacts of man-made island projects on current and sand of estuary and coastal environment [D]. Tsingtao: Ocean University of China, 2011.
- [2] 林元军, 吴家鸣, 朱良生. 基于水动力模型人工岛工程建设方案的决策[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(16): 4714.  
LIN Yuanjun, WU Jiaming, ZHU Liangsheng. Project construction plan decision of artificial island construction based on hydrodynamic model [J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(16): 4714.
- [3] 陈可锋, 陆培东, 王艳红, 等. 江苏如东人工岛建设对周边水动力及泥沙冲淤的影响[J]. 中国港湾建设, 2008, 2008(1): 8.  
CHEN Kefeng, LU peidong, WANG Yanhong, *et al.* Influence of construction of artificial island in Rudong, Jiangsu, upon hydrodynamics, erosion and siltation in surrounding water areas[J]. China Harbour Engineering, 2008, 2008(1): 8.
- [4] 王平, 张宁川. 近岸波生环流的3维数值模拟研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2015(1): 34.  
WANG Ping, ZHANG Ningchuan. Three-dimensional numerical simulation of the wave-induced near shore circulation [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2015(1): 34.
- [5] CHARLIERT R H, De MEYER C P. Artificial islands: Environmental aspects off Belgium [J]. International Journal of Environmental Studies, 1988, 32(2): 111.
- [6] SALAHUDDIN B. The marine environmental impacts of artificial island construction [D]. Beijing: Beijing Sport University, 2006.
- [7] TING X U, LIU G T, WEN C P. Prediction of seabed scouring and silting around large offshore artificial islands under wave-tide co-action[J]. Coastal Engineering, 2015, 34(4): 11.
- [8] 王李吉, 陈国平, 严士常. 人工岛建设对周围水域潮流场影响研究[J]. 水运工程, 2013(9): 17.  
WANG Liji, CHEN Guoping, YAN Shichang. Impact of construction of artificial island on neighboring tidal field [J]. Port & Waterway Engineering, 2013(9): 17.
- [9] 陈新, 刘明. 应用MIKE21对人工岛周围波高分布的数值模拟[J]. 中国水运月刊, 2012, 12(3): 60.  
CHEN Xin, LIU Ming. The simulation of the wave height distribution around artificial island with MIKE21 [J]. China Water Transport, 2012, 12(3): 60.
- [10] 季荣耀, 徐群, 莫思平, 等. 港珠澳大桥人工岛对水沙动力环境的影响[J]. 水科学进展, 2012, 23(6): 829.  
JI Rongyao, XU Qun, MO Siping, *et al.* Effects on the hydrodynamics and sediment environment by artificial islands of the Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge [J]. Advances in Water Science, 2012, 23(6): 829.
- [11] 刘星池. 龙口湾人工岛群分阶段建设对水沙环境影响的数值研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.  
LIU Xinch. Numerical study on water and sediment environment of artificial islands constructed in stages in Longkou Bay [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.
- [12] 李洋. 不规则波作用下人工岛群中外围人工岛掩护效果的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.  
LI Yang. Study on the shield effect of artificial islands in artificial island group under the action of irregular waves [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.
- [13] 安永宁, 吴建政, 朱龙海, 等. 龙口湾冲淤特性对人工岛群建设的响应[J]. 海洋地质动态, 2010(10): 24.  
AN Yongning, WU Jianzheng, ZHU Longhai, *et al.* Response of erosion-deposition pattern to artificial islands construction in Longkou Bay [J]. Marine Geology Letters, 2010(10): 24.
- [14] 宋竑霖, 匡翠萍, 梁慧迪, 等. 港口工程建设对渤海湾西南岸水沙动力环境的影响[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2017, 45(4): 511.  
SONG Honglin, KUANG Cuiping, LIANG Huidi, *et al.* Impacts of construction of harbour projects on hydrodynamic and sediment transport environments in the southwest of Bohai Bay [J]. Journal of Tongji University (Nature Science), 2017, 45(4): 511.
- [15] KIM T I, CHOI B H, LEE S W. Hydrodynamics and sedimentation induced by large-scale coastal developments in the Keum River Estuary, Korea [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2006, 68(3/4): 515.
- [16] 顾杰, 宋竑霖, 王佳元, 等. 近海人工岛及沙坝工程与潮流的响应特征研究[J]. 水动力学研究与进展(A辑), 2017, 32(2): 182.  
GU Jie, SONG Honglin, WANG Jiayuan, *et al.* Study on responses of tidal currents to artificial island and sandbars in coastal waters [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2017, 32(2): 182.
- [17] Danish Hydraulic Institute. Mike 21 & Mike 3 flow model hydrodynamic and transport module scientific documentation [M]. Horsholm: DHI Water& Environment, 2009.
- [18] 匡翠萍, 冒小丹, 顾杰, 等. 海域水动力对老虎石海滩养护响应关系分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(5): 689.  
KUANG Cuiping, MAO Xiaodan, GU Jie, *et al.* Analysis of hydrodynamic response to beach nourishment at Tiger-Rock Beach [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2014, 42(5): 689.
- [19] ZHAO Q, LONG S Q, YANG Y F, *et al.* A study of impact of the reclamation and artificial island projects on tidal currents and sediment concentration in radial sand ridge field of the South Yellow Sea [J]. Marine Science Bulletin, 2015, 17(1): 71.
- [20] WILLMOTT C. On the validation of models [J]. Physical Geography, 1981, 2(2): 184.