

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.04.020

南黄海辐射沙脊群波浪场数值模拟

杨耀中 ,冯卫兵

(河海大学港口海岸与近海工程学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :为了探明南黄海辐射沙脊群波浪场特征 ,以指导这一海域的港口建设 ,采用波浪折射绕射数学模型模拟了该海域的波浪场.不同工况波浪场的模拟结果表明 ,该海域波浪传播具有如下特征 : (a)等波高线环绕辐射沙脊群顶点 港呈弧形分布 (b)波浪多次破碎 (c)不同方向入射波所形成的辐聚带 ,位置不尽相同 (d)入射波周期对波浪场影响显著 .

关键词 :波浪传播变形 ,数学模型 ,辐射沙脊群 ,南黄海

中图分类号 :P731.22 文献标志码 :A 文章编号 :1000-1980(2010)04-0457-05

随着经济的快速发展 ,南黄海辐射沙脊群附近海域将成为江苏港口建设的重要地区^[1-2].然而 ,该海域水下地形复杂 ,水动力情况也比较特殊^[3-5].为了探明此海域波浪场特征 ,以指导这一地区的港口建设 ,本文采用数值模拟方法对该海域波浪场进行了分析.

1 推广的缓坡方程

1.1 控制方程

采用数值模拟方法研究辐射沙脊群海域波浪场 ,首先要建立一个适合该海域的理论模式.辐射沙脊群海域的特点是范围广阔且地形变化剧烈.本文以考虑底摩阻与高阶地形变化影响因子的推广型缓坡方程^[6-10]为控制方程建立模型.文献^[6-7]在传统的缓坡方程中引入波数矢无旋性假定 ,从而使得求解缓坡方程的空间步长不受波长条件限制 ,这样扩大了数学模型的计算范围.

1.2 计算参数的选取

数值模拟选取的区域东西宽 140 km、南北长 200 km ,如图 1 所示.控制方程离散采用后差分半隐格式 , x 向空间步长 50 m , y 向空间步长 100 m.初始条件直接给定外海原始波高 H_0 、波周期 T 和波向 α_0 ,侧边界条件为开边界.

图 1 用 25 个标号点表示出 8 条主要潮流水道.为了方便讨论各个潮流水道内波浪场分布情况 ,本文把辐射沙脊群海域分成 3 块区域.海域名称、所属区域与标号点对应关系见表 1.

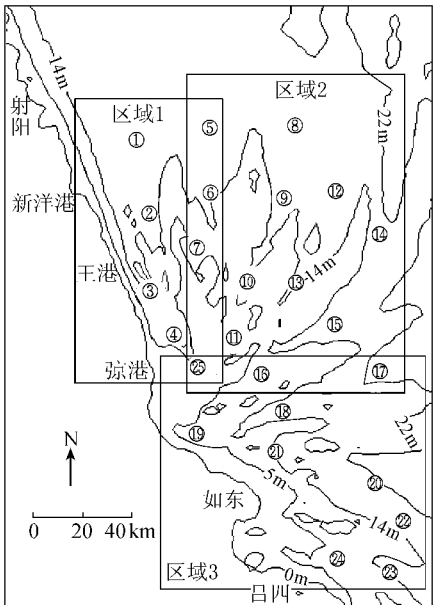


图 1 辐射沙脊群地形

Fig. 1 Topography of radial sand ridge field

表 1 各海域对应的标号
Table 1 Corresponding labels to various sea areas

海域名称	所属区域	标号	海域名称	所属区域	标号
西洋	1	① , ② , ③ , ④ , ⑤	苦水洋	2	⑭ , ⑮ , ⑯
小北槽	2	⑥ , ⑦ , ⑧	黄沙洋	3	⑰ , ⑱ , ⑲
陈家坞槽	2	⑨ , ⑩ , ⑪ , ⑫	烂沙洋	3	⑳ , ㉑ , ㉒
草米树洋	2	⑬ , ⑭	小庙洪	3	㉓ , ㉔

2 辐射沙脊群海域波浪场特征分析

应用上述数学模型计算辐射沙脊群海域波浪场.根据常风向和常浪向的分布,取 ESE、E 和 NE 3 个方向为波浪入射代表方向^[11]进行分析.

2.1 平均潮位时波高分布

平均年最大风速下的波浪场由于其出现频率高,所以对分析辐射沙脊群海域水动力条件具有重要价值.本文取平均年最大风速对应的有效波高 2.64 m^[12]为平均情况下的波浪场计算原始条件.这里的平均年最大风速相当于 2 a 一遇的风速.由于平均潮位历时长,波浪与此水位条件同时存在的几率大,因此这种组合条件有研究价值.

2.1.1 等波高线呈弧形分布

为了说明本文模型计算结果的可靠性,将本文计算波高与文献^[12]计算波高进行了比较,比较结果如表 2 所示.由表 2 可见,除个别点(⑪号点)差别较大外,其余各点均吻合良好,这说明本文模型的计算结果是可靠的.

表 2 计算波高对比

Table 2 The contrast table of wave height						m	
点号	文献[12]计算波高	本文计算波高	点号	文献[12]计算波高	本文计算波高	点号	文献[12]计算波高
①	1.88	1.70	⑨	2.67	2.09	⑮	2.02
②	1.76	1.63	⑩	2.32	2.37	⑯	1.05
③	0.77	0.50	⑪	0.38	2.67	⑰	2.45
④	0.27	0.18	⑫	2.68	2.12	⑱	2.18
⑤	0.00	0.00	⑬	2.41	2.27	⑲	2.44
⑥	2.37	3.02	⑭	2.74	2.32	⑳	2.37
⑦	2.62	2.43	⑮	2.52	2.62	㉑	2.44
⑧	1.39	1.67	⑯	2.09	2.12	㉒	2.37
	2.44	2.24	⑰	2.52	2.80	㉓	2.50
						㉔	1.37

为了清晰地表示出潮流水道内波高分布情况,在沙脊群间 8 条主要潮流水道深槽中布置计算点 25 个(图 1).将 25 个计算点连成等波高线,见图 2.其中细虚线表示 1 m 等波高线,粗虚线表示 2 m 等波高线.由图 2 可以看出,1 m 等波高线环绕辐射沙脊群顶点,呈弧形分布.在岸线与 1 m 等波高线之间形成范围较大、波高较小的区域.之所以形成这种独特的波高分布状态,是因为等水深线也大致呈弧形分布.港东侧沙脊群顶点附近海域水深较小,波浪由外海传来,由于多次破碎,波能消耗,波高减小,而港南北两侧水深较大,波浪传至近岸海域,才会发生破碎,因而形成了等波高线弧形分布的特征.

2.1.2 波浪多次破碎

波浪处于破碎状态时,水体的紊动与漩涡非常强烈.破碎带是波能的主要消耗区域,也是海滩上泥沙运动最剧烈的地方.因此,研究破碎带对辐射沙脊群的演变和冲淤平衡具有重要价值.图 3 中近岸黑色区域是

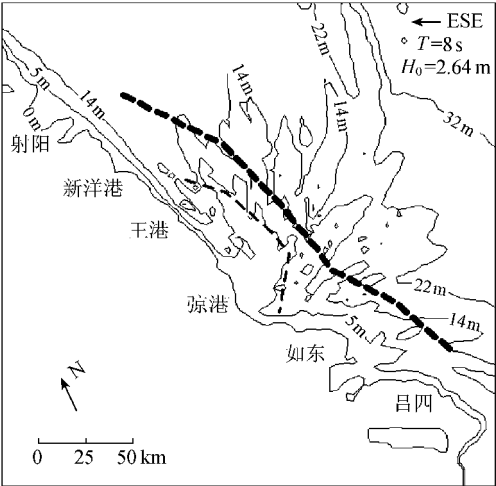


图 2 潮流水道等波高线分布
Fig. 2 Contours of wave heights in tidal inlets of radial sand ridge filed

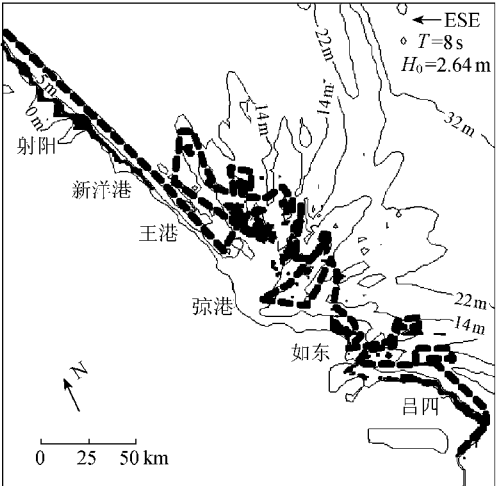


图 3 辐射沙脊群海域破碎带分布
Fig. 3 Distribution of surf zones of radial sand ridge filed

波浪的破碎点,灰色轮廓线是破波带的外缘.由图 3 可见,港东侧海域破波带外缘比其他海域离岸线远些.因为该海域水下存在巨大的沙脊,水深较小,当波高增大到一定程度时,就会出现破碎现象,所以该海域破碎带距离岸线比较远.

波浪传播到近岸,又多次破碎,能量迅速减小,波高逐渐降低,在近岸海域形成范围较大、波高较小的区域,所以波浪多次破碎是辐射沙脊群响应波浪场的主要特征之一.

2.2 入射波向对辐聚带位置的影响

为了揭示不同入射波向对辐聚带位置的影响,对入射波周期为 8 s,平均潮位下,NE、ESE 和 E 3 个入射方向的波浪场(图 4)进行分析.

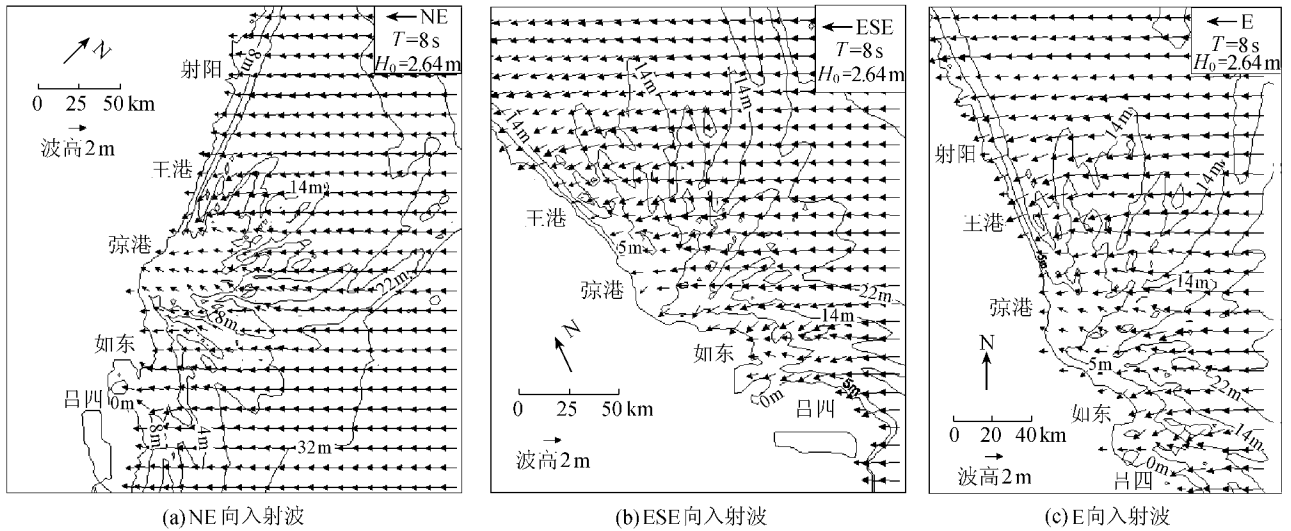


图 4 不同方向入射波形成的波浪场

Fig. 4 Wave fields generated by different incident waves

由图 4(a)可见:港附近波向线聚集,产生了一个辐聚带;西洋、陈家坞槽、草米树洋、苦水洋、黄沙洋的波向随着波浪向岸传播,逐渐转向港.这主要是由于此片海域等深线总体上呈以港为圆心的弧形分布.由于地形对波浪的折射作用,波向线将集中,从而产生辐聚现象.而 NE 方向入射波与烂沙洋、小庙洪海域等深线总体上相垂直,所以波向线转向不明显,没有产生辐聚现象.

由图 4(b)可见,如东附近波向线聚集,产生了一个辐聚带. ESE 向波浪受近岸地形的折射作用,在如东北部往南偏转,如东南部往北偏转,从而产生辐聚现象.

由图 4(c)可见,这里出现 2 个辐聚带,第 1 个位于港附近,第 2 个位于如东至吕四沿岸.其主要形成因素仍为地形折射作用.

从以上计算结果和分析可以看出:不同方向入射波形成的波浪场,其辐聚带的位置并不相同,辐聚现象的产生不仅受地形的影响,而且与入射波方向有关.

2.3 入射波周期变化对波浪场的影响

为了研究辐射沙脊群海域对深水入射波波周期的敏感程度,把 NE 方向,平均潮位下 6 s、8 s 和 12 s 3 种不同周期的波浪场进行对比.为了清晰起见,这里只把 6 s 和 12 s 2 种周期波浪场绘于平均潮位时等深线图上,如图 5 所示.图中黑色箭头表示 6 s 周期波浪场,白色箭头表示 12 s 周期波浪场.

从图 5(a)可以看出,在潮流水道内,外海一端波高、波向受波周期影响较小,而靠近内陆一端受波周期影响明显.具体地说,在同一计算网格点上,长周期波的波高小,波向偏转较大,而短周期波的波高较大,波向偏转较小.这主要是因为长周期波对水深变化反应敏感,随着波周期的增大,波浪受地形折射作用逐渐增强.

其他潮流水道波浪场也有类似现象.如图 5(b)所示,小北槽(⑤~⑦号点)、陈家坞槽(⑧~⑪号点)、草米树洋(⑫和⑬号点)、苦水洋(⑭~⑯号点)和黄沙洋(⑰~⑲号点)长周期波波向偏转均较大.

从图 5(c)可以看出,黄沙洋以南海域(⑳,㉑和㉒号点所在位置)波浪场受入射波周期影响较小,波高、波向比较一致.因为深水区的入射波浪从 NE 方向入射,波峰线与等深线大体平行,同时这些位置水深较大,所以由折射引起的波向偏转较小.

从图 5c 还可以看出,在黄沙洋以北的潮流水道中,靠近外海一端波高、波向比较一致,靠近内陆一端波向变化显著,大体指向 港方向,其波高也较外海一端小.黄沙洋以南海域波峰线与岸线基本平行.

比较 6 s、8 s 和 12 s 3 种不同周期波浪场分布可以发现,外围深水区的波高值大,向沙脊群顶点 港传播时沿程逐渐减小,随着波浪向岸传播,沙脊群水下地形对波浪折射、绕射作用越来越显著,随着波周期的增大,波高、波向变化也越来越大.

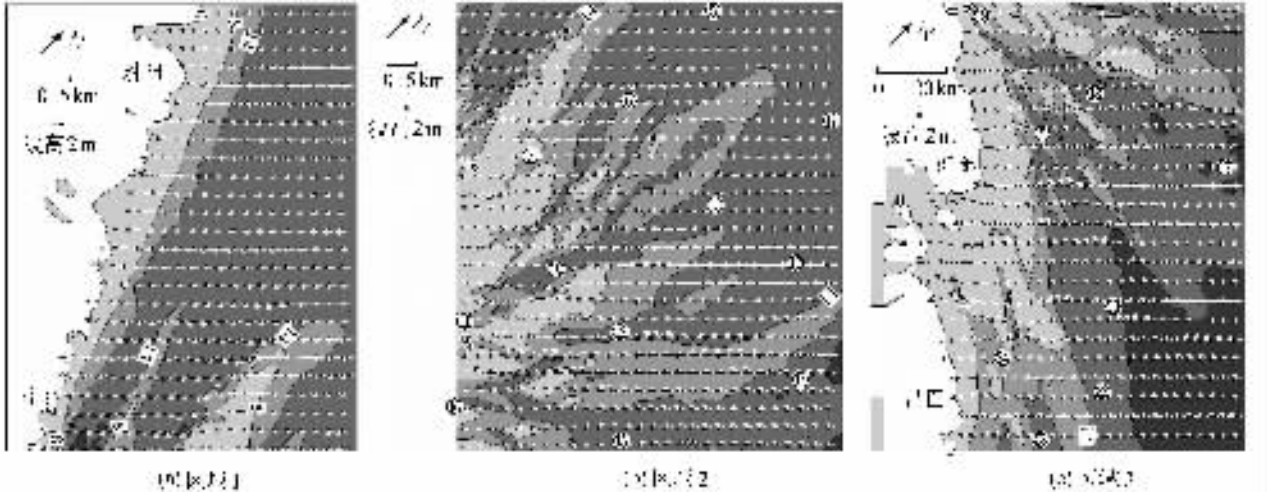


图 5 6 s 和 12 s 平均潮位波浪场

Fig. 5 Wave fields with periods of 6 s and 12 s at mean tidal level

3 结 论

a. 在平均潮位下,外海深水波浪传播进入辐射沙脊群海域,由于水下地形的阻碍作用,使得等波高线环绕辐射沙脊群顶点 港呈弧形分布.

b. 随着波浪进入沙脊群顶点附近的浅水区,波浪发生多次破碎,波能不断消耗,波高逐渐减小,在近岸形成了范围较大的小波高区.

c. 不同入射波向在近岸形成的辐聚带位置不同:NE 向波浪在 港附近形成 1 个辐聚带,ESE 向波浪在如东附近形成 1 个辐聚带,E 向波浪在 港附近、如东吕四沿岸形成 2 个辐聚带.

d. 长周期入射波的波高、波向变化较明显.

参考文献:

- [1] 王颖.充分利用天然潮流通道建设江苏洋口深水港临海工业基地[J].水资源保护,2003(6):1-4.(WANG Ying. Full use of natural tidal channel for construction of Yangkou deep-water port and industrial base along Jiangsu coast[J]. Water Resources Protection, 2003(6):1-4.(in Chinese))
- [2] 吴维登,张长宽.竞争优势与江苏省海岸带资源开发[J].水利经济,2007,25(3):23-25.(WU Wei-deng, ZHANG Chang-kuan. Competitive superiority and development of resources in coastal regions of Jiangsu Province[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2007, 25(3):23-25.(in Chinese))
- [3] 王颖.黄海陆架辐射沙脊群[M].北京:中国环境科学出版社,2002:64-90.
- [4] 陶建峰,张长宽.黄海辐射沙脊群海域水环境数值模拟研究[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(4):472-475.(TAO Jian-feng, ZHANG Chang-kuan. Numerical simulation of water environment for radial sandy ridge area of the Yellow Sea[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2005, 33(4):472-475.(in Chinese))
- [5] 张旭峰,李瑞杰,薛东,等.渗透法在苏北辐射沙脊群海域潮流计算中的应用[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(3):390-395.(ZHANG Xu-feng, LI Rui-jie, XUE Dong, et al. Application of the permeation method in numerically simulating tidal currents in a marine area with radial sand ridges in the north of Jiangsu Province[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2008, 36(3):390-395.(in Chinese))
- [6] HONG Guang-wen. Mathematical models for combined refraction-diffraction of waves on non-uniform current and depth[J]. China Ocean

Engineering ,1996 ,10(4) 433-454.

[7] HONG Guang-wen ,FENG Wei-bing ,XIA Qi-yi ,et al . Numerical simulation for refraction diffraction of waves in water of slowly varying current and topography[J]. China Ocean Engineering ,1997 ,11(4) 373-386.

[8] 洪广文 吴中 张俞 . 长波上非线性重力表面波传播数学模型[C]// 阎安 项翔 . 第十四届中国海洋(岸) 工程学术讨论会论文集 . 北京 : 海洋出版社 , 2009 21-34.

[9] 潘军宁 左其华 王登婷 . 港域波浪数学模型的改进与验证[J]. 海洋工程 , 2008 , 26(2) 35-42.(PAN Jun-ning ,ZUO Qi-hua , WANG Deng-ting . Improvement and verification of a numerical harbor wave mode[J]. The Ocean Engineering , 2008 , 26(2) 35-42.(in Chinese))

[10] PAN Jun-ning ,HONG Guang-wen ,ZUO Qi-hua ,et al . Verification of a numerical harbor wave mode[J]. China Ocean Engineering , 2007 , 21(4) 647-658.

[11] 任美镔 . 江苏海岸带和海涂资源综合调查报告[R]. 北京 : 海洋出版社 , 1986 40-41.

[12] ZHANG Chang-kuan ,ZHANG Dong-sheng ,ZHANG Jun-lun ,et al . Tidal current-induced formation-storm-induced change-tidal current-induced recovery-interpretation of depositional dynamics of formation and evolution of radial sand ridges on the Yellow Sea seafloor[J]. Science in China Series D :Earth Science ,1999 42(1) :1-12.

Numerical simulation of wave fields in radial sand ridge filed of southern Yellow Sea

YANG Yao-zhong , FENG Wei-bing

(College of Harbor , Coastal and Offshore Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : To study the wave characteristics of the radial sand ridges filed in the southern Yellow Sea and to guide the construction of harbors in this sea area , a mathematical model of wave refraction-diffraction was employed to simulate the wave transformation over the sea area . The simulated results of the wave fields under different situations were analyzed . A conclusion is drawn as follows : (a) the contours of wave heights distribute like an arc with Jianggang as its circle center ; (b) the waves break for many times ; (c) the locations of wave-energy-convergent zones generated by incident waves with different directions are different ; (d) the period of incident waves has significant influence on the wave fields .

Key words : wave transformation ; mathematical model ; radial sand ridge filed ; southern Yellow Sea