

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2011.02.016

冬季苏北辐射沙洲水域悬沙分布及输运特征分析

黄惠明, 王义刚, 尚进, 杨海宁

(河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要:为揭示苏北辐射沙洲水域泥沙分布及输运的特征, 利用潮流及泥沙输运数学模型, 给出了辐射沙洲水域的潮平均含沙量场和对应的水质点运动轨迹. 分析表明: 该水域含沙量呈现以条子泥附近水域为中心, 呈辐射状向外围递减的趋势; 潮汐通道是辐射沙洲内部水域与外部水域进行水沙交换的重要通道.

关键词:辐射沙洲; 含沙量分布; 泥沙输运; 潮汐通道

中图分类号: P736.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2011)02-0201-05

苏北辐射沙洲位于江苏东部黄海海域, 呈辐射状分布, 面积宽广, 形态特殊, 地形复杂, 是苏北独特的地貌类型^[1-3]. 苏北辐射沙洲以 港为中心, 呈辐射状沙脊的形态向东、南及北方扩展, 是江苏沿海岸外滩涂资源的重要组成部分. 但是, 由于辐射沙脊群区域槽脊相间、汉道重生, 地形地貌非常复杂; 同时由于受南部东海前进潮波和北部黄海旋转潮波的共同影响^[4-5], 辐射沙洲区域的水动力条件极为复杂多变, 潮汐通道众多^[6], 西洋、黄沙洋、烂沙洋等呈辐射状贯穿其南部和北部. 为了合理和可持续地开发利用辐射沙洲的滩涂、航道等资源, 众多学者对苏北辐射沙洲区域的水动力条件、水沙环境、地貌演变等进行了研究. 王艳红等^[7]研究了相对海面升高对苏北辐射沙洲的影响; 陈君军等^[5, 8-9]利用苏北辐射沙洲野外实地测量及历年卫片对其主要潮沟的变迁进行了研究; 刘芳等^[10-11]研究了苏北辐射沙洲海域悬沙浓度的时空分布特征及影响因素; 吴德安等^[12-13]对苏北辐射沙洲潮流水道悬沙输移机制和潮流水道垂线平均余流进行了研究和分析; 陈可锋等^[3]通过潮波数学模型研究和分析了苏北辐射沙洲趋势性演变的动力机制. 本文利用潮流及泥沙输运数学模型, 模拟了辐射沙洲水域的平均含沙量场和对应的水质点运动轨迹, 分析得出了该水域含沙量的分布特性, 论证了潮汐通道对于辐射沙洲内部水域与外部水域进行水沙交换的重要性.

1 辐射沙洲水域概况

苏北辐射沙洲位于长江口和废黄河口两大水下三角洲之间, 以 港为中心, 南北长约 200 km, 东西宽约 90 km, 呈辐射状分布于苏北沿海岸外近 20 000 km² 的苏北海域, 由近 70 条沙脊组成^[14-16]. 沙脊间主要靠近海滨的潮汐通道为黄沙洋、西洋及小庙洪水道等. 水域内滩槽犬牙交错, 水下地形复杂多变^[4].

苏北辐射沙洲区域存在特殊的潮汐环境. 该区域属于规则半日潮, 受到东海前进潮波和黄海旋转潮波系统的控制, 这 2 个潮波波峰线在 港岸外交汇^[16-17]. 港岸外区域为强潮区, 潮波幅聚点位于 港附近, 平均潮差可达 3.9 m, 黄沙洋主槽西尖平均潮差为 4.9 m; 小洋港实测最大潮差(1981 年)达 9.28 m; 西洋王港和小庙洪吕泗平均潮差分别为 5.44 m 和 3.68 m, 最大潮差达 6.74 m 和 6.87 m^[4]. 此外, 苏北辐射沙洲区域潮流作用亦较强, 是辐射沙洲的主要动力因素. 潮能率和潮流速的分布决定了沙洲南北沙脊及深槽的空间分布和形态^[16], 而次生横向环流则影响了沙洲的演变和发育^[18].

以往的研究表明, 辐射沙洲附近水域, 悬浮泥沙颗粒较细, 属于黏性细颗粒泥沙范畴, 潮平均悬沙中值粒径基本在 0.007~0.015 mm 之间变化. 此外, 该区域冬季含沙量较夏季高, 大潮平均含沙量可达 1.0 kg/m³ 以上, 小潮平均含沙量则亦可达 0.7 kg/m³ 以上, 总体呈现近岸含沙量较高、离岸越远含沙量相对越低的特点^[19].

收稿日期: 2010-03-25

基金项目: 国家青年科学基金(40806018)

作者简介: 黄惠明(1980—)男, 福建福清人, 博士, 主要从事海岸、河口动力环境及其模拟研究. E-mail: jhm8053@126.com

2 含沙量分布特征

为了从整体上了解苏北辐射沙洲附近水域悬浮泥沙的时空分布变化情况,本文利用 2007 年冬季一个大潮及小潮期间的水文泥沙实测资料进行了苏北辐射沙洲附近水域的水流及悬沙输运数值模拟.模拟的范围和网格划分情况如图 1 所示.在此基础上,给出了苏北辐射沙洲附近水域 2007 年冬季一个大潮和小潮潮平均含沙量场分布情况,见图 2.

由图 2 可以看出,苏北辐射沙洲附近水域含沙量呈现比较明显的时间和空间上的分布变化规律.

2.1 空间分布

从空间分布来看,大潮和小潮期间潮平均含沙量场的分布趋势较为相似.辐射沙洲区域的含沙量分布总体呈现由中部条子泥附近水域向东部、南部和北部逐渐降低的趋势.条子泥附近水域悬沙浓度高于其他水域的悬沙浓度,大潮潮平均含沙量可达 1.2 kg/m^3 以上.

条子泥北部水域的含沙量较南部水域高,分析原因 (a) 主要是由于条子泥北部直接与西洋相接,西洋作为辐射沙洲水域的主要

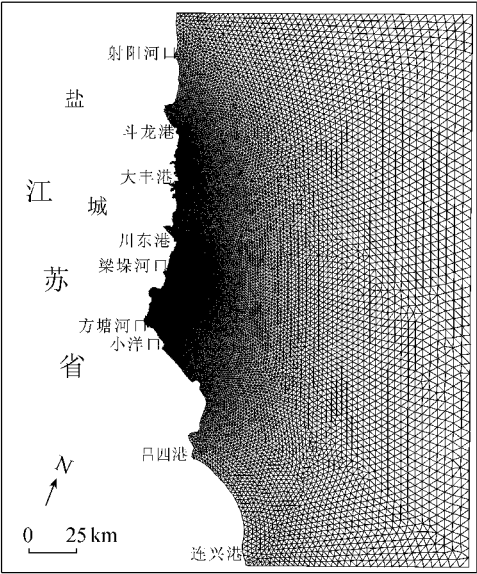


图 1 小模型计算网格

Fig. 1 Computational grids of small model

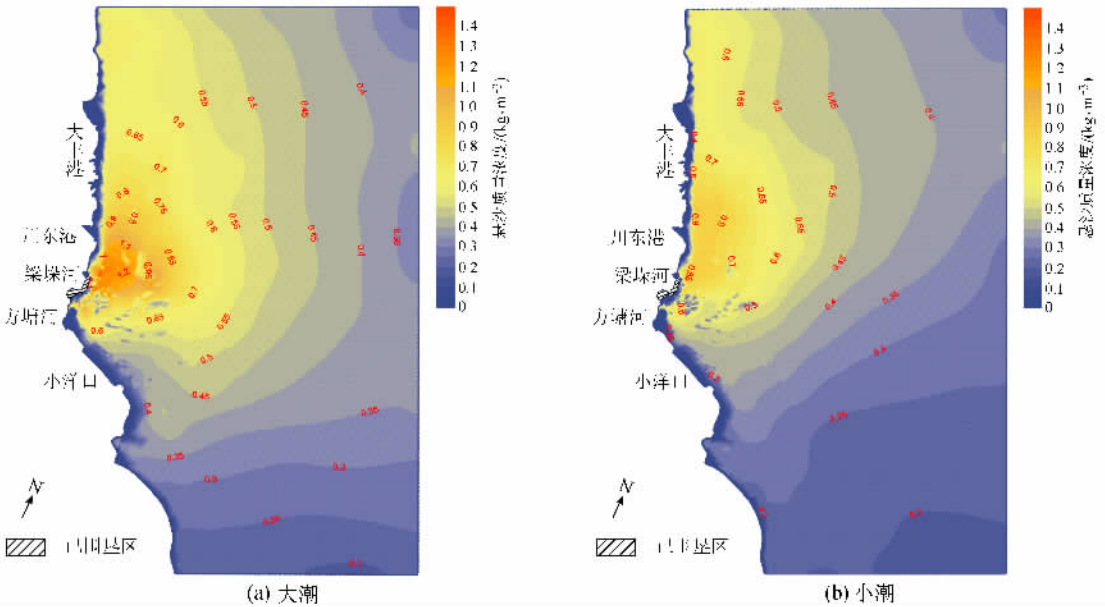


图 2 2007 年冬季潮平均悬沙质量浓度分布

Fig. 2 Distribution of concentration fields of suspended sediment during spring tides in winter of 2007

潮汐通道之一,是辐射沙洲西北部近岸水域的主要水沙输运通道.该水域潮动力强劲,床面泥沙在较强的床面切应力作用下容易再悬浮而进入水体,并随涨落潮流一起运动.(b) 西洋水道与废黄河口水下三角洲相连,其潮流有充足的泥沙来源供给.(c) 辐射沙洲东部深海水域虽同时受到东海前进潮波和苏北旋转潮波的影响,潮动力条件不弱,但水深较大,水体含沙量并不大,因此辐射沙洲东部海域搬运至辐射沙洲水域的泥沙不多.因此,在这 3 个方面因素的共同作用下,形成了条子泥北部近岸水域含沙量相对较高的现象.

条子泥南部水域的含沙量明显低于北部水域是因为 (a) 辐射沙洲南部水域虽有烂沙洋及黄沙洋水道等存在,但条子泥水域为近岸沙脊,高滩基本与岸线相连,南部仅与烂沙洋近岸水域相接,涨落潮动力较条子泥北部稍弱,因此悬沙及底沙交换的强度亦相对较弱.(b) 辐射沙洲南部水域虽与长江口相连,但长江口的水沙以南下为主,北上的水沙并不多.(c) 辐射沙洲南部水域东面的深水海域同样由于水深较大,水体含沙量较小,无法给辐射沙洲南部水域提供充足的泥沙来源.

2.2 时间变化

从时间的变化来看,大潮和小潮潮平均含沙量的差异相当明显.辐射沙洲水域的含沙量与水动力条件的变化密切相关,大潮潮平均含沙量明显较小潮潮平均含沙量高,并且总体呈现距离辐射沙洲中心条子泥附近区域越远,大潮和小潮潮平均含沙量的差异也相对越小的特征,但二者之间仍有差别.条子泥附近区域,大潮潮平均最大含沙量可达 1.2 kg/m^3 以上,而小潮含沙量最大在 0.9 kg/m^3 左右.分析大潮和小潮整体的分布变化趋势可知,这种时间变化趋势与辐射沙洲近岸水域泥沙在水流作用下,容易发生沉降和再悬浮运动,进而导致辐射沙洲水域水下地形频繁变化的实际情况较为吻合.

3 水质点运动特征

水流作为泥沙运动的载体,对于泥沙输运特征的分析至关重要.水流运动的方向在一定程度上决定了泥沙运动的方向.鉴于此,为进一步分析辐射沙洲水域泥沙的输运路径,本文利用上述所建立的辐射沙洲水域水流数学模型进行了潮流数值模拟,并利用模拟的结果,采用拉格朗日质点跟踪法跟踪描述水质点在一个潮周期内的运动轨迹.其中,大潮和小潮潮周期内水质点的运动轨迹见图 3.

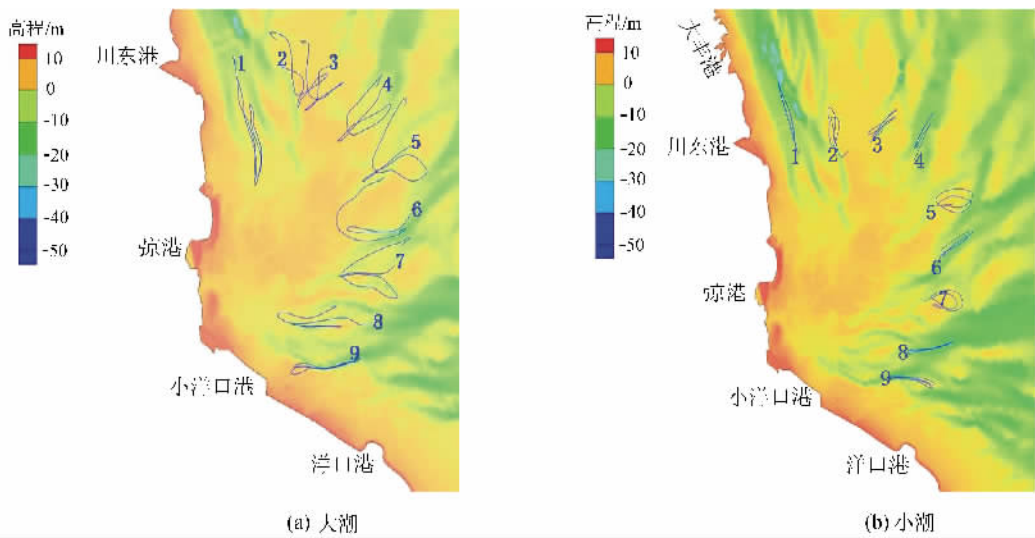


图 3 水质点运动轨迹

Fig. 3 Trajectory of water particle motion during spring tides

由图 3 可以看出,在大潮或者小潮期间,水质点的运动轨迹基本相似.涨落潮期间,水质点基本沿着潮汐通道往复运动,运动的轨迹主要限制在潮汐通道内部.北部通道附近,由于受苏北旋转潮波的影响和西洋及陈家坞槽等潮汐通道的限制,水质点的运动轨迹基本呈西—北和西南—东北走向,而南部及东部潮汐通道附近,则由于东海前进潮波的影响和烂沙洋潮汐通道的存在,水质点的运动轨迹主要呈现东—西走向.此外,比较大潮期间和小潮期间水质点运动轨迹的差别还可知,大潮期间水质点运动轨迹受潮汐通道限制的程度相对弱于小潮期间.分析原因,主要是由于大潮期间,高潮位相对较高,高潮位时沙脊群大部分处于淹没状态.因此,相邻潮汐通道的水体可以通过沙脊之上的横向通道进行水体交换,从而使得沙脊附近的水质点运动轨迹较小潮时显得更为凌乱,而小潮期间,由于高潮位相对较低,高潮位时沙脊群仅部分淹没,一定程度上削弱了一个潮周期内相邻潮汐通道之间水体交换的时间和强度.因此,水质点的运动轨迹极大程度上受到了潮汐通道走向的限制,使得相比于大潮期间,小潮期间水质点的运动轨迹呈现更为明显的往复流运动的特点.

通过对水质点运动轨迹的分析可知,辐射沙洲区域悬浮泥沙的运动一定程度上受到了潮汐通道的限制.二分水即条子泥附近水域的悬浮泥沙主要通过西洋潮汐通道与来源于废黄河口水下三角洲的泥沙发生交换,同时,亦通过黄沙洋、烂沙洋及小庙洪等潮汐通道与长江口水域北上的泥沙发生交换.此外,由于该区域泥沙颗粒粒径不大,且由于黄海潮波和东海潮波交汇,潮汐能在条子泥附近水域幅聚,潮能量极为惊人,小洋港附近实测最大潮差甚至可达 9 m 以上.在如此强劲的潮能量及波浪等外部动力的扰动下,该水域床面泥沙亦容易发生再悬浮、输运和沉降运动,这也在一定程度上解释了含沙量平面分布呈现条子泥附近水域逐渐向辐射沙脊群外围递减变化趋势的原因.

另外,从大潮及小潮期间水质点运动轨迹呈现较为明显的半封闭形态可知,辐射沙洲水域泥沙与外部泥沙交换的速度相对较慢。在涨潮流的作用下,潮汐通道中的悬浮泥沙从沙洲外部逐渐向以条子泥为中心呈辐射状相向运动,而当落潮时,悬浮泥沙在落潮流的挟带下,以条子泥为中心呈辐射状向外部海域运动。一个完整的潮周期内,泥沙的净输运距离并不大,因此,总体而言,虽然辐射沙洲内潮汐通道众多,但内部水域泥沙与外部水域泥沙的交换速度并不快,半交换期相对比较长。

4 结 语

苏北辐射沙洲水域含沙量分布以条子泥附近水域为中心,呈现较为明显的南北差异。北部含沙量明显高于南部水体中的含沙量。通过水质点运动轨迹的分析亦表明,北部水域的泥沙主要通过西洋潮汐通道与废黄河水下三角洲北下的泥沙发生交换,南部水域的泥沙则主要通过烂沙洋、黄沙洋及小庙洪等潮汐通道与长江口北上的泥沙发生交换,东部水域由于外海含沙量相对较低,因此难以给辐射沙洲内部水体提供泥沙来源。

此外,辐射沙洲水域水体含沙量与水动力条件密切相关。大潮期间含沙量明显高于小潮期间,潮汐动力的作用一定程度上决定了水体含沙量的高低。由于辐射沙脊群的存在,沙洲内水域的波浪作用相对较弱,床面泥沙由于波浪作用的起动、再悬浮和输运作用相对较弱,因此水域中悬沙浓度的高低变化主要还是受潮汐能量变化的影响。

需要指出的是,本文的研究主要基于冬季期间苏北辐射沙洲水域内的实测水沙资料,而大量事实表明,该水域冬季和夏季含沙量呈现较大的差异,冬季含沙量高于夏季。因此,未来有必要在收集相应冬季的水沙资料的基础上,进一步探讨冬季和夏季辐射沙洲水域悬浮泥沙分布和输运特征的差异,从而更为深入地了解辐射沙洲水域泥沙运动的机制和规律。

参考文献:

- [1] 任美镠. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1986: 517-519.
- [2] LI Cong-xian, ZHANG Jia-qiang, FANG Dai-du, et al. Holocene regression and the tidal radial sand ridge system formation in the Jiangsu coastal zone, East China[J]. Marine Geology, 2001, 173: 97-120.
- [3] 陈可锋, 陆培东, 王艳红, 等. 南黄海辐射沙洲趋势性演变的动力机制分析[J]. 水科学进展, 2010, 21(2): 267-273. (CHEN Ke-feng, LU Pei-dong, WANG Yan-hong, et al. Hydrodynamic mechanism of evolvement trends in radial sandbank of South Yellow Sea, China[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(2): 267-273. (in Chinese))
- [4] 薛鸿超. 论苏北辐射沙洲潮汐通道建港[G]//宋志尧, 王义刚, 徐福敏, 等. 海岸工程及水运经济: 薛鸿超教授文集. 北京: 海洋出版社, 2008: 534-541.
- [5] 陈君, 冯卫兵, 张忍顺. 苏北岸外条子泥沙洲潮沟系统的稳定性研究[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 94-100. (CHEN Jun, FENG Wei-bing, ZHANG Ren-shun. Stability of tidal creek system of Tiaozini Sand Shoals in the north of Jiangsu Coast[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(1): 94-100. (in Chinese))
- [6] 李孟国, 李文丹. 南通港洋口港区总体规划方案潮流数学模型研究[J]. 水道港口, 2007, 28(5): 305-310. (LI Meng-guo, LI Wen-dan. Numerical modeling of tidal current on the general planning scheme of Yangkou Harbor District of Nantong Port[J]. Journal of Waterway and Harbor, 2007, 28(5): 305-310. (in Chinese))
- [7] 王艳红, 张忍顺, 谢志仁, 等. 相对海面变化与江苏中部辐射沙洲的变化动态[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(2): 198-203. (WANG Yan-hong, ZHANG Ren-shun, XIE Zhi-ren, et al. Relative sea level changes and variational trends of the Jiangsu radial sandbank[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(2): 198-203. (in Chinese))
- [8] 陈君, 王义刚, 张忍顺, 等. 江苏岸外辐射沙脊群东沙稳定性研究[J]. 海洋工程, 2007, 25(1): 105-113. (CHEN Jun, WANG Yi-gang, ZHANG Ren-shun, et al. Stability study on the Dongsha sandbanks in submarine radial sand ridges field off Jiangsu coast[J]. The Ocean Engineering, 2007, 25(1): 105-113. (in Chinese))
- [9] 黄海军. 南黄海辐射沙洲主要潮沟的变迁[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2004, 24(2): 1-8. (HUANG Hai-jun. Change of tidal channels of radial sand ridges in the South Yellow Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2004, 24(2): 1-8. (in Chinese))
- [10] 刘芳, 黄海军, 郗昂. 春、秋季黄东海海域悬浮体平面分布特征及海流对其分布的影响[J]. 海洋科学, 2006, 30(1): 68-72. (LIU Fang, HUANG Hai-jun, GAO Ang. Distribution of suspended matter on the Yellow Sea and the East China Sea and effect of ocean current on its distribution[J]. Marine Sciences, 2006, 30(1): 68-72. (in Chinese))
- [11] 邢飞, 汪亚平, 高建华, 等. 江苏近岸海域悬沙浓度的时空分布特征[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 459-468. (XING Fei,

WANG Ya-ping ,GAO Jian-hua ,et al. Seasonal distributions of the concentrations of suspended sediment along Jiangsu coastal sea[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica 2010 41(3) :459-468. (in Chinese))

[12] 吴德安 ,张忍顺 ,严以新 ,等 . 辐射沙洲东大港潮流水道悬沙输移机制分析 [J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2006 34(2) : 216-222.(WU De-an ,ZHANG Ren-shun ,YAN Yi-xin ,et al. Mechanism of suspended sediment transport in Dongdagang tidal channel of radial sand ridges[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences 2006 34(2) :216-222.(in Chinese))

[13] 吴德安 ,张忍顺 ,沈永明 . 江苏辐射沙洲水道垂线平均余流的计算与分析 [J]. 海洋与湖沼 ,2007 38(4) :289-295.(WU De-an ,ZHANG Ren-shun ,SHEN Yong-ming. Tidal residual current analysis in the tidal channels of the radial sand ridge off Jiangsu coast , China Sea area[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica 2007 38(4) :289-295.(in Chinese))

[14] 王颖 . 黄海陆架辐射沙脊群 [M]. 北京 :中国环境科学出版社 ,2002.

[15] 王颖 ,朱大奎 ,周旅复 ,等 . 南黄海辐射沙脊群沉积特点及其演变 [J]. 中国科学 :D 辑 ,1998 28(5) :386-393.(WANG Ying , ZHU Da-kui ,ZHOU Lü-fu ,et al. South Yellow Sea sedimentary characteristics of radial sand ridges and evolution[J]. Scientia Sinica Terrae :D ,1998 28(5) :386-393.(in Chinese))

[16] 诸裕良 ,严以新 ,薛鸿超 . 南黄海辐射沙洲形成发育水动力机制研究 :I . 潮流运动平面特征 [J]. 中国科学 :D 辑 ,1998 28(5) :403-410.(ZHU Yu-liang ,YAN Yi-xin ,XUE Hong-chao. Development of the South Yellow Sea sand ridge formation mechanism of hydrodynamic :I tide movement plane feature[J]. Scientia Sinica Terrae :D ,1998 28(5) :403-410(in Chinese))

[17] 宋召军 ,黄海军 ,杜廷芹 ,等 . 苏北辐射沙洲附近海域悬浮体的研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质 ,2006 26(6) :19-25. (SONG Zhao-jun ,HUANG Hai-jun ,DU Yan-qin ,et al. Suspended sediment near radial sand ridge area in the South Yellow Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology 2006 26(6) :19-25. (in Chinese))

[18] 宋志尧 ,严以新 ,薛鸿超 ,等 . 南黄海辐射沙洲形成发育水动力机制研究 :II . 潮流运动立面特征 [J]. 中国科学 :D 辑 ,1998 , 28(5) :411-417.(SONG Zhi-yao ,YAN Yi-xin ,XUE Hong-chao ,et al. Development of the South Yellow Sea sand ridge formation mechanism of hydrodynamic :II facade features of the trend movement[J]. Scientia Sinica Terrae :D ,1998 28(5) :411-417.(in Chinese))

[19] SHI Wei ,WANG Meng-hua. Satellite observations of the seasonal sediment plume in central East China Sea[J]. Journal of Marine Systems 2010 83(4) :280-285.

Distribution and transport characteristics of suspended sediment in winter water areas of radial sand ridges in northern Jiangsu Province

HUANG Hui-ming , WANG Yi-gang , SHANG Jin , YANG Hai-ning
(Key Laboratory of Coastal Disaster and Defence , Ministry of Education , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : In order to reveal the characteristics of sediment distribution and transport in water areas of radial sand ridges in northern Jiangsu Province , the mean sediment concentration fields and the corresponding trajectories of water particles were simulated by using the mathematical models for tidal currents and sediment transport. The results indicate that the sediment concentration in the study area has a decreasing tendency with the Tiaozini water area being centered towards the surrounding areas. Meanwhile , the tidal inlets are the important channels for sediment and water exchanges between the inner and outer water areas.

Key words : radial sand ridge ; distribution of sediment concentration ; sediment transport ; tidal channel