

条子泥二分水滩脊地貌动力与演变特征研究

陈君, 王义刚, 卫晓庆, 周永

(河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:通过对条子泥二分水滩脊的现场水文调查、滩面表层沉积物采样、断面高程测量等实测资料的分析整理,并结合近几十年来的遥感卫星图片资料,研究了条子泥二分水滩脊的地貌特征、沉积特征、水动力特征及其历史演变规律.结果表明:(1)二分水滩脊自西向东方向呈斜坡式下降,坡度约为0.64‰,平均高程约为0.5 m,脊部宽约1 km,将条子泥沙洲分隔为南北两大地貌单元;二分水滩脊表层沉积物以砂质粉砂为主,自堤向海方向沉积物逐渐变粗.(2)测量期间落潮平均流速大于涨潮平均流速,流速自表层向下逐渐减小,涨、落潮最大流速均出现在表层;涨潮平均含沙量大于落潮平均含沙量,涨、落潮最大含沙量均出现在底层;涨潮单宽平均输沙量为1.30 kg,落潮为1.07 kg,表明沉积物来源丰富.(3)二分水滩脊位置并不固定,1974年以前二分水滩脊在蒋家沙—铁板沙一线近似呈直线条带状分布,此后逐渐北移,至2000年北移约15 km至条子泥内缘区中部—竹根沙一线;2000年至今逐渐南移4.5 km.

关键词:二分水滩脊;地貌动力特征;条子泥沙洲

中图分类号: P737

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2011)04-0108-07

江苏近海主要受两大潮波系统控制,北部是以无潮点为中心的南黄海旋转潮波系统,南部是自东海传入的前进潮波系统^[1-2].在两股相向潮波的共同作用下形成了南北长约200 km、东西宽约140 km的辐射状沙脊群,两股潮波的交汇处大致在琼港岸外条子泥沙洲.条子泥沙洲是辐射沙脊群中距岸最近、动力条件最特殊、地形地貌最复杂、面积最大的近岸沙洲.条子泥沙洲沿岸高滩属淤涨型淤泥质平原海岸,是江苏沿海淤涨最快、发育最完整的淤泥质海岸之一.潮滩宽阔、坡度平缓,平均坡度约为0.2‰~0.5‰.潮滩上部常生长有盐蒿、互花米草等海岸盐沼植被.沉积物供给丰富,表层沉积物以粉砂为主,含少量砂和黏土.条子泥沙洲所在海区属正规半日潮,潮差大,属强潮海岸.二分水滩脊位于条子泥沙洲中部,呈东西向展布,是独特的水动力条件下形成的大型地貌体系,其动态变化能够揭示近岸海域的演变过程与演变趋势,具有重要的指示意义,也是未来相关工程建设的关键部位.

1 研究方法

1.1 现场水文测量

2009年10月6日11时至7日10时(农历8月18—19日),在江苏近海岸外条子泥二分水滩脊DT2站点连续进行了2个潮周期的水文测量(图1).现场利用声学多普勒流速剖面仪(ADCP)进行垂向高分辨率的流速和悬沙浓度测量,ADCP每隔5 min在水体的自水面到底床间隔0.05 m测1组数据.鉴于ADCP在水层的上下部各存在1个测量盲区,盲区的流速通过Karman-Prandtl公式外插来计算;将得到的结果与放置在

收稿日期: 2011-09-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40806018);江苏近海海洋综合调查与评价项目(JS-908);中央高校基本科研项目(B1020098)

作者简介: 陈君(1974-),女,辽宁丹东人,副教授,博士,主要从事海洋地质学方面研究.

E-mail: junchen@hhu.edu.cn

ADCP 盲区的直读式流速仪记录数据相比较,确定平均误差,以便于校正.

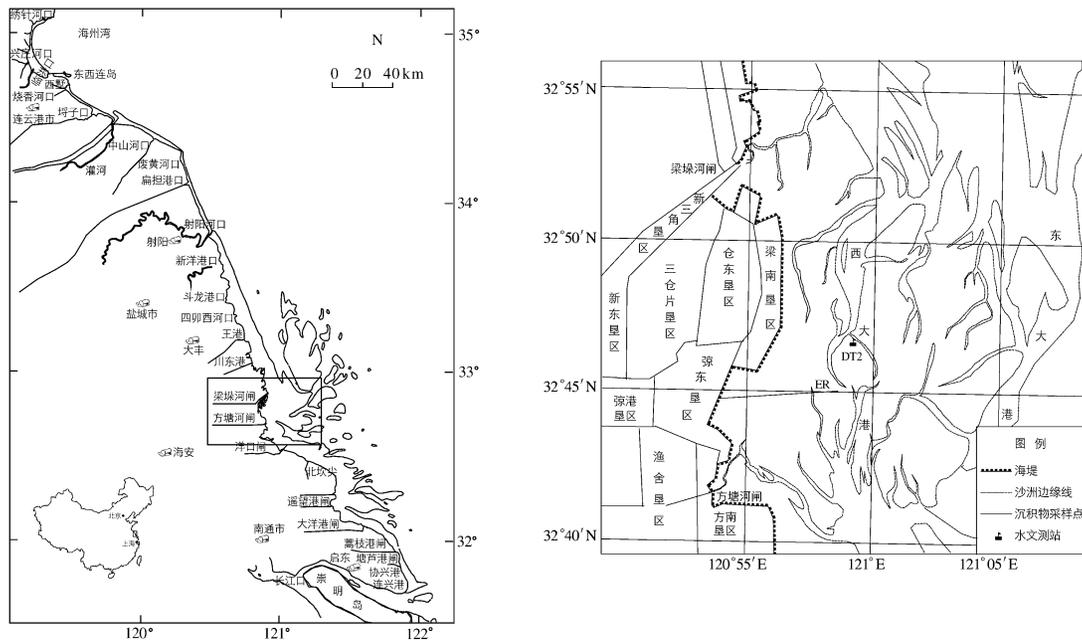


图1 研究区地理位置及站位布置

Fig.1 Study area location and station layout

1.2 滩面沉积物粒度采样分析

2009年5月,在梁南垦区和梁东垦区外侧,大致垂直于海堤方向自西向东选取一断面ER,长约3.8 km,进行滩面表层沉积物采样,采样间隔约100 m,共采集样品35个.野外所获得的样品用Mastersizer 2000型激光粒度分析仪进行粒度分析,获得 0.25Φ 间隔的粒度分布.对所有样品粒度参数的计算采用McManus 1988年矩法^[3],计算平均粒径 μ ,分选系数 σ ,偏态 S_k 和峰态 K_u .沉积物类型的命名采用Folk和Blair-McPherson的沉积物分类方案^[4-5],按砾(小于 -1Φ)、砂($-1\Phi \sim 4\Phi$)、泥(大于 4Φ)组份的含量划分.

1.3 现场地形测量

1999—2009年间进行了定期潮滩地形测量,人工跑滩测量选取低潮位时期,利用Z-MAX型GPS接收机组成的RTK系统沿剖面线跑滩,岸滩测点的测量间隔约为50 m,遇地形突变区加密测量;浅海地形测量选取高潮位时期,乘船用超声波回声测深仪沿剖面线航测水深,同时由GPS-RTK定位测量系统测量记录当前点位的水面高程(潮位),两者结合测出水下滩面地形,测点间距为10 m,测量的水深范围为理论量低潮面附近.通过在江苏沿海地区布设的平面和高程控制网,确定江苏海域WGS-84坐标系统基准,并与国家高等级平面和高程控制网联接,确保测量精度.

1.4 遥感资料解译

收集1969—2011年间不同时期、多个时相航片、卫片,选取近岸海域条子泥沙洲研究区.根据图像解译标志将各类地物要素界线描绘成图,详细解释各时期资料中条子泥沙洲形态、主要潮沟系统及二分水滩脊位置;结合野外定位资料,对地图进行配准,检验配准精度;对图像数字化,提出沙洲、水道及滩脊,建立空间数据库,利用地理信息系统软件Mapinfo Professional对不同年代岸线、潮沟叠加对比,进行空间分析,计算沙洲面积变化状况及潮沟迁移摆动速度,以便反映动态变化过程.

2 研究结果及分析

2.1 二分水滩脊地貌特征

对于广阔的大面积沙洲潮滩而言,为了能将全部滩面水泄入滨外水域或容纳在沟槽中,必然发育若干个穿越潮滩的潮沟系统^[6].涨潮时,潮流顺着潮沟涌向两侧滩面,相邻2个潮沟系统之间的滩面就成了2个潮波相汇的地带,在憩流期内泥沙在此带不断落淤,促使滩面高程增加;落潮时,归入同一潮沟系统的滩面水初期向沟槽汇流时水量很小,对滩面的片蚀作用极小,随着汇潮水量不断增加,水流对滩面侵蚀作用越来越大,滩面高程便逐渐降低.因此,滩面水开始分别向两侧归槽处,滩面高程最高,从而成为宽平淤泥质潮滩上的分水滩脊.

条子泥沙洲处于辐射沙脊群核心区,受到东海前进潮波系统和南黄海旋转潮波系统的共同控制.东海前进潮波系统通过烂沙洋、黄沙洋、条鱼港向北进入条子泥南侧水域,黄海旋转潮波系统则通过西洋、平涂洋和草米树洋向南进入条子泥北侧与东侧水域.两个相向的潮流涌上条子泥滩面后,在其中部形成了辐射沙脊群海域最大的分水滩脊——条子泥二分水滩脊.

根据2009年12月条子泥1:50 000实测地形测量可知(测量范围约为228.45 km²),二分水滩脊呈东西向伸展,西大港西侧岸滩呈斜坡式缓缓下降,坡度约为0.64‰;二分水滩脊中部将条子泥沙洲分隔为南北两段,该处滩面高程平均约为0.5 m,脊部宽约1 km,轮廓十分明显;二分水滩脊东部为西大港与东大港之间的高地,滩面高程较高,高滩面积较大(见图2).

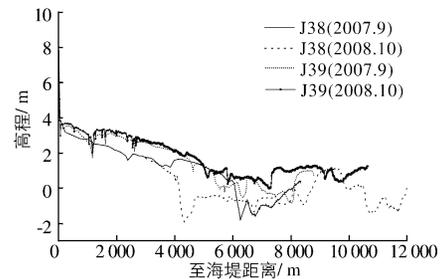


图2 二分水滩脊断面地形

Fig. 2 Topography of the Erfenshui water-dividing beach ridge

2.2 二分水滩脊沉积特征

通过测量ER断面的滩面表层沉积物粒度可知,表层沉积物平均粒径以(4~6) Φ 为主,自堤向海表现为沉积物逐渐由细变粗(图3).分选系数 σ 值在1.2~1.8之间,分选较好.偏态 S_k 多在1.0~2.0之间,均显正偏.峰态 K_c 值保持在2.3~2.6之间,峰态尖锐.底质类型在距堤1 600 m以内多为粉砂,在距堤1 600 m以外多为砂质粉砂;自堤向海方向,黏土含量逐渐减少,由15%降至3%;砂含量逐渐增大,由5%增至40%左右;粉砂含量逐渐减少,由80%降至50%左右.可见,沉积物中以粉砂占绝对优势,黏土含量较少.

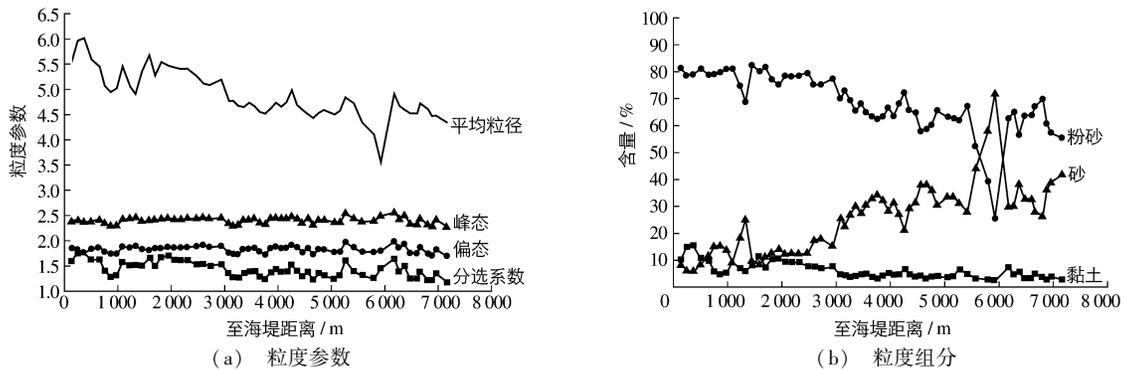


图3 ER断面粒度参数与粒度组分的沿程变化

Fig. 3 Grain size parameter variations along profile ER

从频率直方图(图4(a))可以看出,沉积物主要粒级范围大致在(3~11) Φ 之间(以3 Φ ~6 Φ 为主),均显正偏态、单峰.所有样品均有明显尾部,其中距岸较近的盐蒿滩和互花米滩,细颗粒物质较多;自盐沼滩带

向海,随着水动力的逐渐加强,粗颗粒物逐渐增多.可见,海岸盐沼是影响潮滩沉积物空间分布的重要因素之一,盐沼植被茎叶增加了滩面粗糙度,其摩擦作用导致波能衰减,进而削弱了水体容纳悬浮泥沙的能力,促使悬沙沉降,并遏制滩面沉积物再悬浮;同时植物可对悬浮泥沙直接粘附,进一步捕捉悬沙,最终导致细颗粒大量沉降^[7].

从(图4(b))概率曲线图可以看出,所有样品曲线均表现为跃移组分和悬移组分两段式.跃移组分的含量通常大于70%,最高时达到90%;悬移组分含量通常小于30%.自堤脚向海方向,随着水动力加强,跃移组分含量逐渐增加,悬移组分含量逐渐减少,说明本区域输沙以底沙搬运为主.

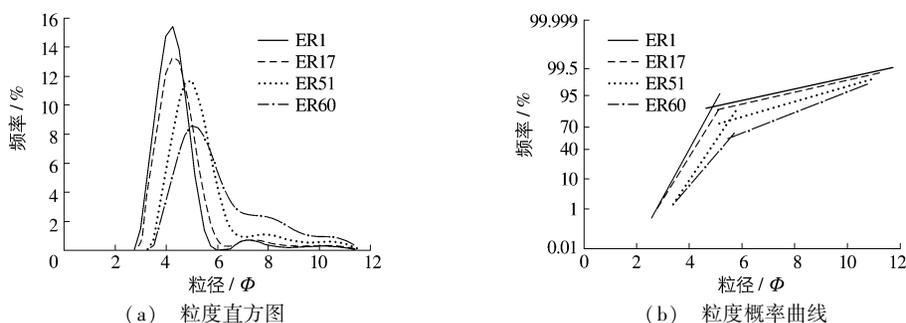


图4 ER断面部分样品粒度直方图和粒度概率曲线

Fig.4 Frequency histogram and probability curves of the representative sediment in profile ER (serial number from 60 to 1 seawards)

2.3 二分水滩脊潮流泥沙特征

测量期间最大潮差为4.02 m.涨、落潮历时比约3:4,露滩时间为6 h(图5).涨潮期间,垂线平均流速为0.74 m/s,最大流速为1.58 m/s(表层),出现在涨潮初期;落潮期间,垂线平均流速0.77 m/s,最大流速为1.37 m/s(表层),出现在落潮中期.涨落潮流速均自表层向底层递减,各层及垂线涨潮平均流速均略小于落潮平均流速.涨落潮流流向受潮沟影响较大,基本与主潮沟走向一致(图6).

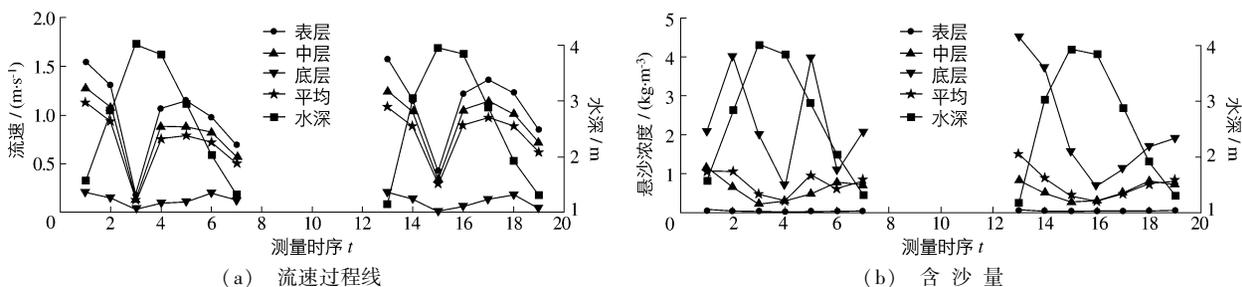


图5 DT2 站位实测流速与悬沙浓度过程线

Fig.5 Time-series of water depth, depth-averaged current velocity and suspended sediment

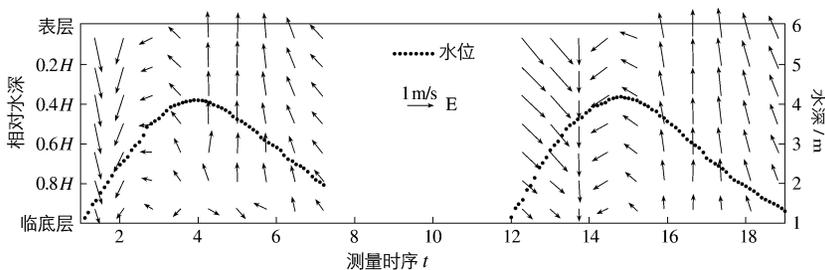


图6 潮位和流速矢量图

Fig.6 Vector diagram of tide level and current velocity

涨潮时,北部潮流经西大港北支潮沟流向二分水滩脊,约 2 h 后,潮流开始漫向西部岸滩,流向转向,流速逐渐减小。憩流期后,滩面水向北落潮,流向较为统一;落潮后期,滩面水受地形坡度影响,出现归槽现象。

涨潮期间,垂线平均含沙量为 0.89 kg/m^3 ,最大含沙量为 4.52 kg/m^3 (底层);落潮期间,垂线平均含沙量为 0.72 kg/m^3 ,最大含沙量为 3.98 kg/m^3 (底层)。含沙量自表层向底层递增,涨潮含沙量在中层以下明显高于落潮含沙量,说明本区域沉积物输送以近底层输沙为主。涨潮单宽平均输沙量为 1.30 kg ,落潮单宽平均输沙量为 1.07 kg ,表明二分水滩脊处于淤积环境。

表 1 DT2 站位实测流速与含沙量

Tab. 1 Current velocity and suspended sediment of station DT2

潮 期	流速/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)												垂线 平均
	表层		0.2H		0.4H		0.6H		0.8H		底层		
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	
涨潮	1.03	1.58	0.99	1.49	0.92	1.36	0.79	1.21	0.61	1.00	0.12	0.22	0.74
落潮	1.07	1.37	1.03	1.31	0.95	1.21	0.82	1.06	0.63	0.84	0.12	0.20	0.77

潮 期	含沙量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)												垂线 平均
	表层		0.2H		0.4H		0.6H		0.8H		底层		
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	
涨潮	0.03	0.06	0.15	0.30	0.43	0.73	0.78	1.79	1.01	2.72	2.98	4.52	0.89
落潮	0.03	0.04	0.12	0.18	0.44	0.66	0.75	1.17	1.00	1.34	1.98	3.98	0.72

2.4 二分水滩脊动态演变特征

二分水滩脊自形成后其位置并非固定不变,当外界条件(尤其是来水、来沙条件、高滩匡围等)发生变化时就会发生迁移。

1974 年前,条子泥沙洲南部的蒋家沙与东台海岸南段的渔舍岸滩连成一片。王家槽的涨潮水流来自平涂洋及陈家坞槽,绕过条子泥的东缘及南缘,至小木桩后,先向西北和后向北深入到条子泥与东台中部海岸岸滩之间,几乎从东、南、西三面包围了条子泥。东海前进潮波系统与南黄海旋转潮波系统大致在蒋家沙高脊处汇合,因此,当时蒋家沙高脊以及条子泥沙洲内缘区岸滩中心港潮盆与川水港潮盆间的高脊即为二分水滩脊,即 1974 年以前二分水滩脊在蒋家沙—铁板沙一线,呈近直线条带状分布^[9]。

1974 年 8 月,最佳天文条件下的大潮汛配合台风边缘影响,引起了动力作用的突然急剧增强,加强了黄沙洋—小洋口潮流对当时已与岸滩相并的蒋家沙冲击,在其最薄弱的环节,即蒋家沙南北向串水水道条鱼港处把蒋家沙重新与岸滩隔开^[9]。条鱼港的串通,使内王家槽的潮差增大,高潮位抬高了约 30 cm,涌潮加强,涨落潮流速增加。抬高了的南侧高潮位使大量潮水在条子泥西部漫越二分水滩脊进入北侧潮滩,又加强北侧的落潮流。条子泥西部潮滩不适应这种加强了的动力作用,响应于新的动力作用必然要进行调整。条子泥西部潮滩由以南黄海旋转潮波系统的作用为主,转变为以东海前进潮波系统为主,激发了条子泥西部滩面的地貌形态变化的响应。二分水滩脊淤高并向北移动,1969 年与 1975 年相比二分水滩脊的位置整体北移约 15 km,这是条子泥沙洲地貌动力格局一次巨大的调整。

自从 1974 年渔舍岸滩与蒋家沙被条鱼港贯通导致二分水滩脊发生重大调整以来,二分水滩脊的位置一直比较稳定。通过对比历年卫片可知,随着条子泥西部特别是二分水滩脊以北的稳定淤积,潮沟也随之向北退缩,潮滩开始发育植被,已达到大潮高潮位的潮滩只有在风暴潮时才能有海水上涌并继续淤高,条子泥西部的炮灰脊从 20 世纪 80 年代后期至今已淤高 1 m 左右^[10]。到 20 世纪 90 年代后,二分水滩脊的西部逐渐稳定,两侧潮沟也开始萎缩,滩面得以继续稳定淤高。分水西部南北向串通水道于 2003 年左右淤闭,除风暴潮外,南侧潮水已不再越过滩脊进入北侧。

2000 年至今辐射沙洲区南北潮波辐聚的二分水滩脊整体向南移动约 4.5 km,反映在北翼分水滩脊北侧潮沟的延伸和南侧潮沟的缩短。辐射沙洲北翼西洋水道整体进一步顺直,黄沙洋、网仓洪、小庙洪等等南翼潮

汐通道的整体南逼也与北翼潮波相对增强相呼应。

3 结 语

发育于江苏近海岸外条子泥沙洲中部的二分水滩脊是一个重要而独特的地貌单元,其地形地貌、水动力过程和发育演变特征等对于揭示辐射沙脊群整体的发育趋势具有重要的指示意义。

二分水滩脊自陆向海方向呈斜坡式下降,坡度约为0.64‰,平均高程约为0.5 m,脊部宽约1 km,将条子泥沙洲分为南北两大对称的地貌单元;其表层沉积物以砂质粉砂为主,分选较好,正偏态,单峰,自堤向海方向沉积物逐渐变粗,表明沉积物物源较为统一或经过了长距离水动力反复筛选。

研究区域流速较大,垂线平均流速约0.7 m/s,落潮流速大于涨潮流速,且表层流速远大于底层,有可能受到了二分水滩脊南侧越脊水的影响。垂线平均含沙量约为0.7~0.9 kg/m³,涨潮含沙量大于落潮含沙量且底层含沙量远大于表层含沙量;涨潮单宽平均输沙量为1.30 kg,落潮为1.07 kg,说明本区域沉积物来源丰富,以淤积为主。

二分水滩脊自形成后其位置并不是固定不变的,当外界条件发生变化时就会发生迁移。1974年以前二分水滩脊在蒋家沙—铁板沙一线近似呈直线条带状分布;1974年受风暴潮影响,条鱼港串通使条子泥动力平衡带北移至条子泥内缘区中部—蒋家沙—铁板沙,呈一条弯曲的条带状分布;其后持续北移,至2000年北移约15 km至条子泥内缘区中部—竹根沙一线;2000—2011年,响应于南黄海旋转潮波对辐射沙洲作用的相对增强以及条子泥内缘区不断匡围导致岸线平均每年向海推进约0.5 km等因素,二分水滩脊南移4.5 km。

参 考 文 献:

- [1] 任美镔. 江苏省海岸带和海涂资源综合调查[M]. 北京:海洋出版社,1986:25-37. (REN Mei-e. Modern sedimentation in the coastal and nearshore zones of China[M]. Beijing: China Ocean Press, 1986: 25-37. (in Chinese))
- [2] 王颖. 黄海陆架辐射沙脊群[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002:229-282. (WANG Ying. Radiative sandy ridge field on continental shelf of the Yellow Sea[M]. Beijing: China Environment Science Press, 2002: 229-282. (in Chinese))
- [3] MCMANUS J. Grain size determination and interpretation [C]// TUCKER M. Techniques in Sedimentology, Oxford: Backwell, 1988: 63-85.
- [4] FOLK R L, ANDREWS P B, LEWIS D W. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand [J]. Journal of Geology and Geophysics, 1970, 13: 937-968.
- [5] BLAIR T C, MCPHERSON J G. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles[J]. Journal of Sedimentary Research, 1999, 69(1): 6-19.
- [6] ALLEN J R L. Current ripples- their relation to patterns of water and sediment motion[M]. Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1968.
- [7] 李华,杨世伦. 潮间带盐沼植物对海岸沉积动力过程影响的研究进展[J]. 地球科学进展,2007,22(6):583-591. (LI Hua, YANG Shi-lun. Research of intertidal zone salt marsh plants impact of coastal sediment dynamics[J]. Earth Science, 2007, 22(6): 583-591. (in Chinese))
- [8] 陈君. 江苏岸外条子泥沙洲潮盆—潮沟系统特征及其稳定性[D]. 南京:南京师范大学,2002. (CHEN Jun. Characteristics and stability of the tidal basin and tidal creek system of the Tiaozini tidal Sandbank, Jiangsu Coast, China[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2002. (in Chinese))
- [9] 张忍顺,陈家记. 琼港辐射沙洲内缘区海岸发育及近期演变[J]. 海洋通报,1988,7(1):42-48. (ZHANG Ren-shun, CHEN Jia-ji. Coast development and recent evolution of the Jianggang of the inter area of the radiation sand ridges[J]. Marine Bulletin, 1988, 7(1): 42-48. (in Chinese))
- [10] CHEN Jun, WANG Yi-gang, YANG Kang. Stability study on the south areas of the radial sandbank of Jiangsu Coast[C]// Proceedings of the Third International Conference on Estuaries and Coasts, ICEC2009, Sendai, 2009: 195-202.

Hydrodynamic-morphodynamic characteristics and evolution tendency of the Erfenshui water-dividing beach ridge of the Tiaozini tidal sandbank, Jiangsu coast, China

CHEN Jun, WANG Yi-gang, WEI Xiao-qing, ZHOU Yong

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

Abstract: The Jiangsu coast area is controlled by the East China Sea progressive tidal wave and the Southern Yellow Sea rotary tidal wave. The two tidal wave systems coming from the opposite direction converge near the middle of a radiative sandy ridge. Under this special hydrodynamic condition, a large geomorphologic dynamic response system is formed in the tiaozini sandbank which is named Erfenshui water-dividing beach ridge. Using in situ measurements and some remote sensing satellite images, this paper discusses the geomorphologic characteristics, hydrodynamic characteristics and historical evolution pattern of the Erfenshui water-dividing beach ridge. The ridge width is about 1 km and the average height is about 0.5 m. The slope is about 0.64%. It separates the Tiaozini sandbank into two parts. The ebb average current velocity is larger than the flood during the measurement period. The maximum velocity occurred at the surface layer and decreased gradually from the surface to bottom. The flood suspended sediment concentration is greater than the ebb. The maximum sediment concentration occurred at the bottom, which increased gradually from surface to bottom. The average sediment discharge of per unit width is 1.30 kg during the flood and is 1.07 kg during the ebb, which shows that the sediment source is sufficient and the Erfenshui water-dividing beach ridge is in the deposition environment. The location of the Erfenshui sandy beach ridge is not fixed. It moved from south to north about 14.5 km because of the typhoon storm surge in 1974 and moved from north to south about 6 km because of the coastal reclamation.

Key words: Erfenshui water-dividing beach ridge; hydrodynamics and morphodynamics response; Tiaozini sandbank

交通运输部工程质量监督局对科兴监理公司芜申线杨家湾船闸项目进行综合督查

2011年10月23—24日,交通运输部工程质量监督局黄勇副局长一行对江苏科兴工程建设监理公司承监项目芜申线杨家湾船闸进行了工程质量、安全综合督查。督查组先后听取了各参建单位工作汇报,实地察看了工程现场,经过认真评议,对杨家湾船闸工程进行了质量、安全评价,并将督查意见反馈相关单位。

督查组各位专家对杨家湾船闸工程的质量安全检查结果总体评价较好,并对监理工作予以了充分的肯定;监理履约情况较好;严格进行旁站工作,认真开展了监理平行检测工作,注重全面均衡管理;监理资料齐全、细致;监理管理思路清晰。

通过此次督查,对推进杨家湾船闸乃至全省水运工程质量管理提升有着重大的意义,并通过督查再次展示出科兴监理公司在水运监理行业中的品牌地位及优势。

摘自南京水利科学研究院网站