

辐射沙洲南翼“水道-沙洲”系统与西太阳沙的稳定

侯庆志¹, 徐敏¹, 陆培东²

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏南京 210097; 2. 南京水利科学研究院河流海岸研究所, 江苏南京 210024)

摘要:通过对江苏岸外辐射沙洲动态和西太阳沙海域动力泥沙环境的分析, 论述了西太阳沙演变的宏观背景; 由实测固定断面资料、地形资料的对比得出近 40 年来西太阳沙表面形态和水下地形的变化; 结合西太阳沙表面泥沙在波浪和波流共同作用下运动特性的水槽试验研究, 分析了西太阳沙冲淤变化的动力机制。从“烂沙洋水道-西太阳沙-西太阳沙南水道”系统的角度研究了西太阳沙演变的控制因素和演变规律。

关键词: 辐射沙洲; “水道-沙洲”系统; 西太阳沙; 稳定性

中图分类号: P731.23

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2006)06-0016-07

在北起废黄河口, 南至长江口近 20 000 km² 的南黄海海域内, 由 70 多条沙脊组成了以港为顶点, 辐射状的沙洲系统, 沙脊间均为潮汐通道^[1]。辐射沙洲内脊槽相间, 沙脊上水深小, 有的低潮出露, 零米线以上的沙脊面积积达 2 200 km²。沙槽水深一般为 15~20 m, 最深超过 40 m^[2]。烂沙洋水道是辐射沙洲(图 1) 中、南部的一条深水潮汐通道, 西太阳沙为其南部的一个近岸沙洲。依托烂沙洋水道水深条件及西太阳沙的稳定建设西太阳沙人工岛是江苏沿海开发的重要举措, 其中西太阳沙的稳定性问题尤为关键。20 世纪 50 年代以前对辐射沙洲区的研究报道很少, 李成治^[3] 曾对该区形态成因作过初步研究, 任美镔^[4]、朱大奎^[5] 在海岸综合调查中获得了该区海洋水文、地形、底质等一系列资料, 张忍顺等^[6] 对辐射沙洲中心区条子泥进行了较为详细的研究, 李从先等^[2] 对苏北港辐射沙洲进行过研究, 王建等^[7] 研究了江苏岸外潮流沙脊群形成的过程与机制, 尤坤元等^[8]、何华春等^[9] 分别对辐射沙洲区西洋和烂沙洋两大潮流通道的稳定性作了研究。然而, 目前针对辐射沙洲中一孤立小沙洲——西太阳沙的研究报道很少。在已有研究的基础上, 作者通过辐射沙洲动态和西太阳沙海域动力泥沙环境的分析, 论述了西太阳沙演变的宏观背景; 由固定断面资料、地形资料分析得出近 40 年来西太阳沙水下地形和表面形态变化, 结合西太阳沙表面泥沙在波浪和波流共同作用下运动特性的水槽试验研究, 分析了西太阳沙冲淤变化的动力机制。从“水道-沙洲”系统的角度研究了西太阳沙演变的规律和控制因素, 为开发利用西太阳沙提供

参考。

1 西太阳沙演变的宏观背景

1.1 区域演变背景

1.1.1 辐射沙洲的整体动态

辐射沙洲在早全新世古长江三角洲基础上发育而成, 数量多、厚度大、物质松散的古长江和古黄河泥沙沉积及沙脊群发育过程中各种动力输入物质为其发育提供了物质基础^[7,10,11]。

自东南方向传播来的东海前进潮波及其部分从西北方向由山东半岛传播来的反射潮波汇合后形成的旋转驻波在东台的港附近交汇, 形成了以港为中心辐聚-辐散的往复潮流流场格局。近年的数值模拟研究表明: 不管苏北近岸辐射沙洲是否存在, 潮流场都呈辐射状分布, 当有足够泥沙进入苏北海区时, 在潮流作用下就可能形成辐射沙洲^[2,11,12]。此种沙脊间水道往复的潮流运动, 是辐射沙洲动力环境的决定因素, 也是维持深水潮汐通道的主要动力^[11]。

据张忍顺^[6] 的研究, 1128 年黄河夺淮入海之前,

收稿日期: 2005-07-11; 修回日期: 2006-03-10

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2001191)

作者简介: 侯庆志(1982), 男, 江苏六合人, 硕士研究生, 主要从事海岸带资源开发的研究, 电话: 13770583623, 025-85829337, E-mail: houqingzhi_grad_nnu@sina.com, houqingzhi_nnu@163.com

江苏海岸是沙质堡岛海岸, 南北分流期间, 从苏北黄
河口到长江的陆岸外, 分布着大片暗沙; 1496 年, 黄
河全流夺淮后由于巨量泥沙的供应, 自河口口至
港附近的江苏中部海岸的岸外沙洲迅速成长而发育
成明沙, 同时南部沙洲也淤高而成明沙; 在 18 世纪

初, 江苏岸外沙洲的南半部已具有雏形, 中部岸段沙
洲大致平行于海岸排列。至 19 世纪中叶, 中段岸外
也具有了辐射形的雏形; 1855 年, 黄河北归入渤海,
由于大量泥沙供给断绝, 江苏岸外沙洲主要受潮流
动力作用, 至今已历 150 a。

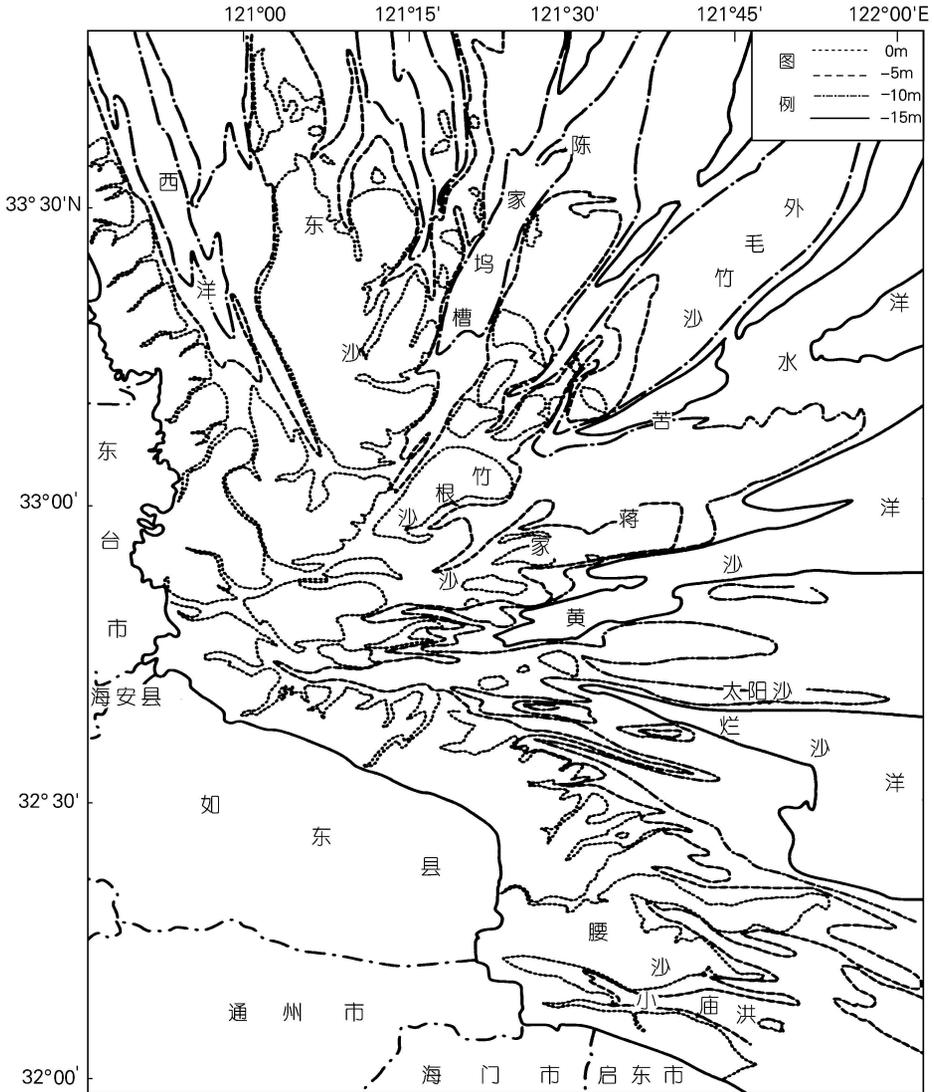


图 1 江苏岸外辐射沙洲

Fig. 1 Radial sand ridges

从宏观上看, 目前辐射沙洲的地形与两大潮波
系统形成的潮流场的格局相一致, 由于黄河北归和
长江口南移, 外来泥沙对辐射沙洲的影响已很小, 据
朱大奎等^[5]估算, 每年从外围净流入沙洲区的泥沙
量约 2 亿 t, 而区内岸滩与沙洲泥沙淤积量每年达 7.7

亿 t, 因此, 本区的泥沙物质循环主要是当地物质的
再分配, 辐射沙洲区已成为一个相对独立的动力地貌
体系, 其水下沙脊及潮汐通道的总体格局将在相当长
时期内保持相对稳定^[8, 13]。近期辐射沙洲的动态主
要表现为各主要潮流通道之间小沙体的合并和增高

淤浅,平面形态上表现为沙脊群的组合^[9]。

1.1.2 辐射沙洲中的‘水道-沙洲’系统

在潮流作用下,辐射沙洲潮流通间沙脊群的组合初见端倪,大的沙脊群组合主要有:西洋与陈家坞槽之间的东沙组、陈家坞槽与苦水洋之间的竹根沙组、苦水洋与黄沙洋之间的蒋家沙组、黄沙洋与烂沙洋之间的太阳沙组及烂沙洋与小庙洪之间的腰沙组。这种分布形态对应于这一海区两大潮波系统相向传播及交汇的动力格局^[13]。烂沙洋水道和西太阳

沙位于辐射沙洲南翼(图2),并不是单一的封闭体系,此海域受两个潮波系统辐合的影响程度较大,动力条件比较复杂。烂沙洋两侧均没有固定边界,不仅烂沙洋与黄沙洋这两大潮流通道的尾部相互贯通,而且西太阳沙南水道的尾部也与烂沙洋水道相串连^[9],西太阳沙的动态演变直接受制于北侧烂沙洋水道和南侧西太阳沙南水道之间动力强度的消长变化。西太阳沙的稳定性与“烂沙洋-西太阳沙南水道”这样一个“水道-沙洲”系统的动态密切联系。

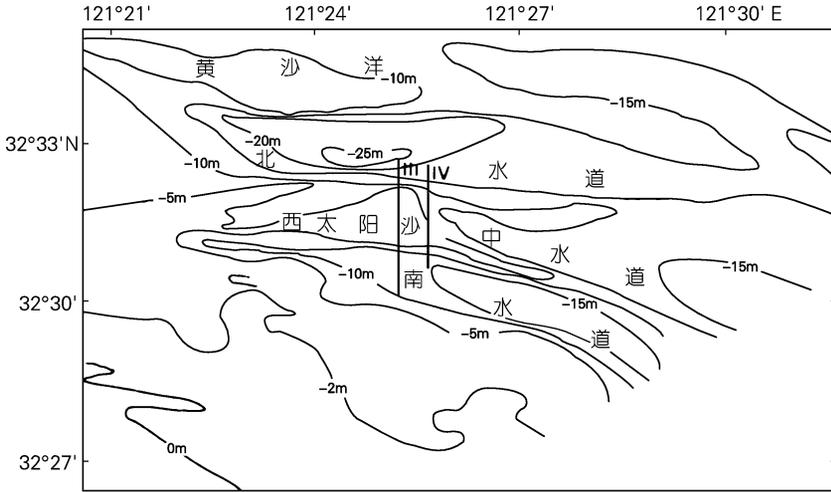


图2 西太阳沙海域形势及固定断面示意图

Fig. 2 Posture and Site of fixed profile of Xitaiyangsha sea area

1.2 动力泥沙环境

1.2.1 潮流

长江口水文水资源局 2003 年 4 月同步 17 条垂线的大、中、小潮水文测量(平面控制采用北京 54 坐标系,中央子午线 123°;采用实时差分的 DGPS 定位的测量方式,高程控制采用 1985 国家高程基准或当地最低潮位面^[4])显示:该海域潮流属于规则半日潮流,最大流速出现在半潮位附近;潮流运动受水道和沙洲的地形影响较大,涨落潮流方向与水道深槽一致,往复流特征明显;流速的强弱分布较为稳定,表现为潮流通间内大于通道边缘,顺直通道大于弯曲通道;烂沙洋深槽的单宽落潮平均流速大于涨潮,余流方向为落潮方向,优势流和优势沙的方向也为落潮,表现出落潮水道的性质,而南水道在一定程度上表现出涨潮水道的性质;黄沙洋与烂沙洋水道之间同时存在着频繁的潮量交换。

1.2.2 泥沙

南京水利科学研究院对西太阳沙海域研究发现^[15]:该海域水体含沙量不大,大、中、小潮平均含沙量分别为 0.33, 0.28 和 0.1 kg/m²,悬沙平均中值粒径 0.02 mm 左右。对 2003 年 4 月现场采集的西太阳沙海域共 361 个底质样品的分析看出:沉积物主要有砂质粉沙、粉沙质砂和细沙等几种类型;底质中值粒径烂沙洋深槽区一般小于 0.1 mm,沙洲区一般大于 0.1 mm,西太阳沙主体位置平均为 0.109 mm。

1.2.3 波浪

西太阳沙海域常浪向为 N 向,次常浪向为 NNW 向,强浪向为 N, NNE, NE 和 ENE 向^[16]。从总体上看,该海域周边有众多沙体遮挡,波浪强度不大,以轻浪、小浪占优势^[9]。据该区 1996~1997 年一年观测资料统计,有效波高不大于 0.3 m、平均周期 4.0~4.9 s 的波浪出现频率为 40%,有效波高 0.4~1.1 m、平均周期 4.0~4.9 s 的波浪出现频率为 32%^[11,12]。

由于西太阳沙组成物质主要是细沙,大风浪作用时极易起动,在寒潮和台风期间出现的大浪过程对西太阳沙的冲刷不容忽视。其中寒潮一般在11月至翌年2月影响此海域,每次维持时间2~3d左右,如1996年12月5日受冷空气影响,此海域观测到的最大波高为3.7m,平均周期4.8s,波向NNE向。台风对西太阳沙海域的影响一般在7~9月间,每次持续时间一般2~3d,如1997年8月18日,由于9711号台风的影响,此海域观测到的有效波高为4.2m,平均周期6.0s,最大波高6.9m,波向为NE向^[11]。

2 西太阳沙近期动态

2.1 资料来源

1994年10月及2003年3月,长江口水文水资源勘测局对该海域的1:75000水下地形及固定断面资料进行的测量。断面测量、地形测量平面系统采用1954年北京坐标系,中央子午线123°;高程系统为当地理论最低潮面。

平面控制测量 Leica SR530 和 THALES 6502 两种双频 GPS,高滩地形测量采用 Leica SR530 GPS RTK 方法施测,水下地形测量采用 Ashtech BR2G 型 DGPS 进行导航及平面定位,采用 SDH-13D 及 HY1600 测深仪测深。高程控制测量采用 WILD

NA28 自动安平水准仪, SW1 及海上平台水位站水尺零高接测采用 Leica TCR702 型全站仪施测。水位观测仪器采用上海交通大学研制的自记水位计和小阔龙波潮仪施测^[16]。

2.2 固定断面分析

西太阳沙表面形态的变化,与其水下部分的动态相互联系,在一定程度上是西太阳沙整体动态的反映。在西太阳沙布设了4条固定断面(图2),作者对比了位于西太阳沙主体位置的III号断面和烂沙洋水道尾部的IV号断面近40年的变化(图3),以认识“烂沙洋西太阳沙西太阳沙南水道”的动态变化,断面比较中统一采用废黄河基面(位于理论基面以上3.86m)。1966~1994年间,南水道冲刷变深,规模扩大,烂沙洋水道主轴南移并发展;在南北两条水道的夹击下西太阳沙加积变高,但主体位置基本稳定,沙洲表面在波浪和水流共同作用下存在较明显的冲淤变化;同时西太阳沙东端的烂沙洋水道主轴明显南摆,南水道加宽增深,西太阳沙相应变窄。1994~2003年间由于南水道的发展趋缓,西太阳沙南侧岸坡基本稳定;西太阳沙表面仍存在较大的冲淤变化,其总的趋势是滩面增高,最高点南移;西太阳沙北侧岸坡普遍冲刷,III号断面冲刷强度剧烈,与此同时西太阳沙北侧深槽严重淤积。

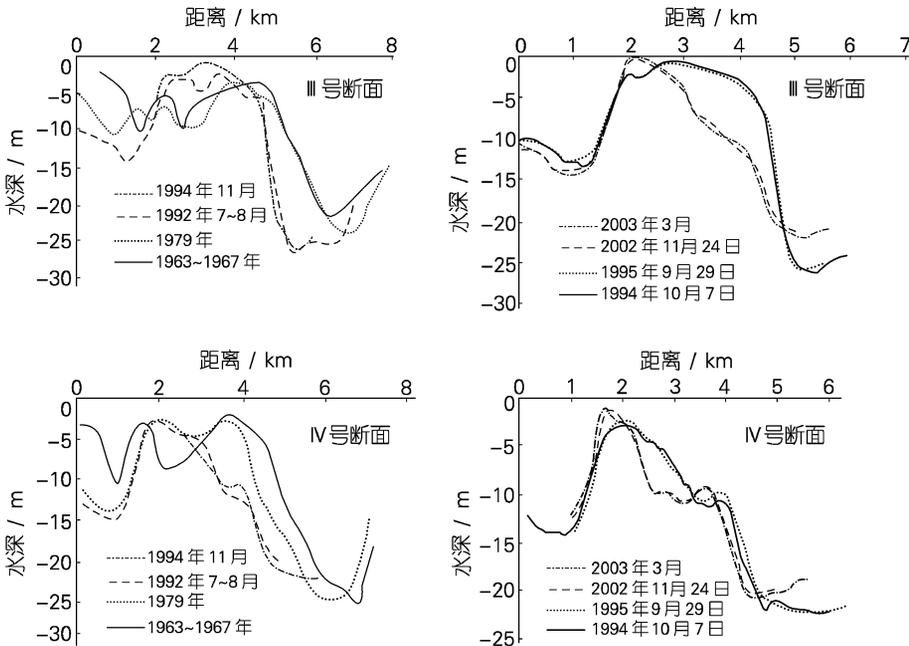


图3 近40年西太阳沙III、IV号断面变化
Fig. 3 Variety of No III, IV fixed profiles for lately 40 years

近 10 年间西太阳沙北侧原突出部分严重冲刷、前沿深槽相应淤积的现象是认识西太阳沙稳定性和人工岛工程需密切关注的问题。固定断面比较显示, 1994 年与 1995 年以及 2002 年与 2003 年这两个时段西太阳沙北侧岸坡及深槽的冲淤变化均不大, 反映上述剧烈的冲淤变化主要发生在 1995~2002 年间。

2.3 等深线变化分析

进一步从西太阳沙海域不同时期的 0, -10 m 等深线变化分析(图 4)。图 4 中理论基面 0, -10 m, 据 1963~1967 年 1:25 万海图^[17]、1979 年 1:25 万水下地形图(经纬度坐标、理论基面)^[17]、1994 年 10 月和 2003 年 3 月 1:7.5 万实测水下地形图^[18]。

西太阳沙在 1966 年时还是东、中、西分布的小沙

洲, 到 1979 年合并成一个大沙洲, 近 10 年来西太阳沙主体位置基本稳定; 1966~1994 年间烂沙洋 -10 m 线发展且有南移趋势并在最近 10 年继续南移, 同时黄沙洋的 -10 m 线也向南发展。南水道 -10 m 线在 1963~1967 年只是局部的一块, 1979 年全线贯通并较大发展, 1994 年进一步扩大, 近 10 年发展缓慢。

在烂沙洋强大的潮流动力作用下西太阳沙之所以没有向南并岸, 是因为同期南水道的发展。同时烂沙洋水道动力主轴一直南移, 而且其南移并不是孤立的, 北侧的黄沙洋近岸深槽也向南摆动, 它们均与辐射沙洲南翼向东南方向移动的宏观动态密切相关^[15]。

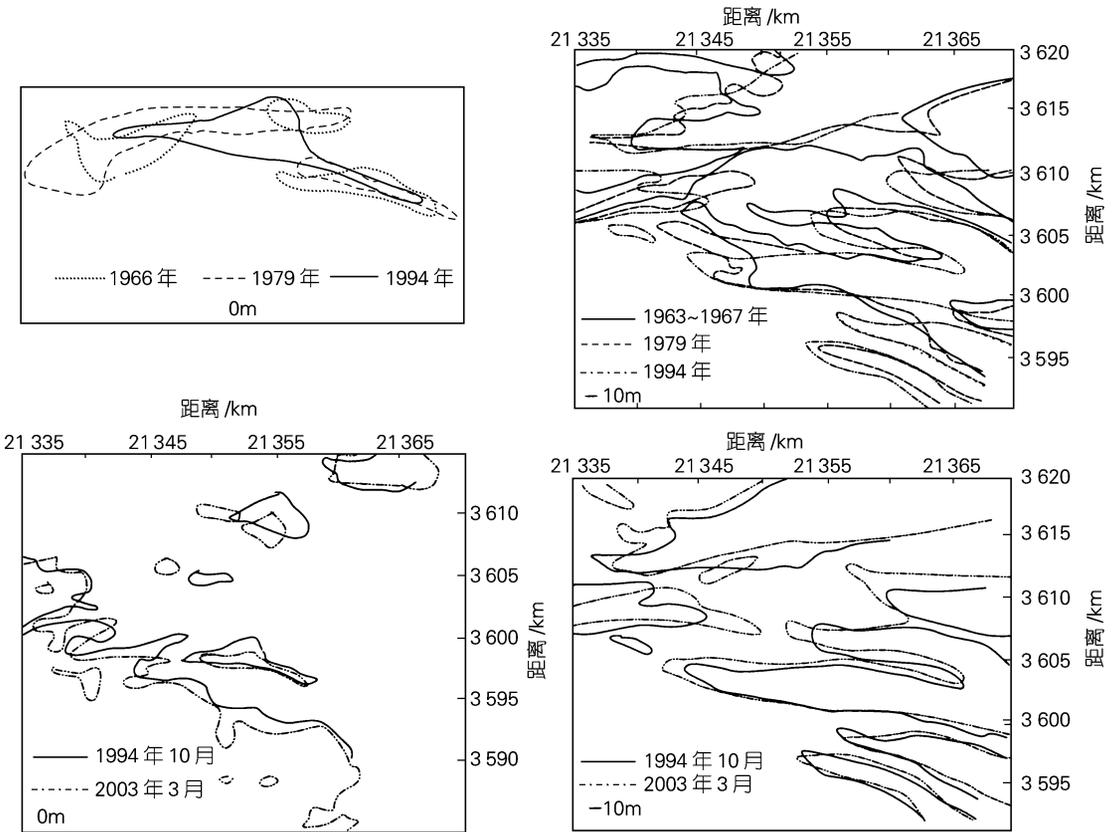


图 4 近 40 年西太阳沙海域等深线对比

Fig. 4 Comparison of variety for isobath for lately 40 years

3 西太阳沙冲淤的动力机制

对现场采集的西太阳沙泥沙,在能同时产生波浪和水流的试验水槽中进行了波浪和波流共同作用下泥沙运动特性的水槽试验研究,以认识西太阳沙泥沙的活动性。

徐敏^[19]在研究较细粉沙波浪起动时对刘家驹^[20]泥沙起动公式粘着力系数的假设进行了局部修改,并建立了波浪及波流共同作用下的泥沙起动波高计算式:

$$H_0 = 0.12 \left[\frac{L}{2} \right]^{\frac{1}{3}} \left\{ \frac{L_{sh} 2kh}{\pi g} \left[\frac{\rho_s - \rho}{2} g D + 0.02 \left(\frac{D}{D_0} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{2.56}{D} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$H_0 = 0.12 \left[\frac{L_s}{2} \right]^{\frac{1}{3}} \left\{ \frac{L_{sh} 2kh}{\pi g} \left[\frac{\rho_s - \rho}{2} g D + 0.02 \left(\frac{D}{D_0} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{2.56}{D} - \frac{U_{-c}^2}{M^2} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

式(1)、(2)中 H_0 为起动波高; L 为波长; D 为泥沙粒径; h 为水深; D_0 为特定泥沙粒径; ρ_s, ρ 为泥沙和水的容重; g 为重力加速度; $M = 0.12 \left[\frac{L_s}{D} \right]^{\frac{1}{3}}$; U_{-c} 为底部流速。

由式(1)、式(2)计算了波浪和波流共同作用下西太阳沙泥沙的起动波高,并和水槽试验值进行比较,结果验证了式(1)、式(2)的精确性,计算了波浪和波流共同作用下西太阳沙泥沙的起动波高(表1、表2)。

表1 平均波浪情况下不同水深处的泥沙起动波高

波向	平均波周期 (s)	平均有效波高 (m)	不同水深处的起动波高(m)			
			2 m	5 m	8 m	10 m
N	4.49	0.46	0.33	0.77	1.41	2.07
NE	4.72	0.37	0.33	0.75	1.32	1.88
NW	4.76	0.38	0.33	0.75	1.31	1.84
ESE	4.91	0.34	0.33	0.74	1.27	1.76

表2 平均波浪与大潮平均流速迭加时的泥沙起动波高

波向	平均波周期 (s)	平均有效波高 (m)	不同水深处的起动波高(m)			
			2 m	5 m	8 m	10 m
N	4.49	0.46	0.26	0.60	1.08	1.54
NE	4.72	0.37	0.26	0.60	1.03	1.43
NW	4.76	0.38	0.26	0.60	1.02	1.41
ESE	4.91	0.34	0.27	0.59	1.00	1.36

西太阳沙平均海平面在理论基面以上 3.93 m, 根据计算分析,在平均波浪以及平均波浪与潮流的共同作用下,理论基面-1 m 以上部分的泥沙起动波高小于平均有效波高,因此西太阳沙海域能够活动的泥沙也都只是理论基面-1 m 以上的部分。

该海域 50 年一遇波浪迭加 50 年一遇高潮位(9.0 m)情况下的泥沙起动波高计算显示: NW 向波浪能使-6 m 以浅海域的泥沙起动, N, ESE 向浪能使-6 ~ 11 m 海域的泥沙起动, NE 向浪则能使-16 m 以深海域的泥沙起动。经计算 1997 年 8 月 18 日的平均波高 4.2 m 的波浪能起动-19 m 深度的泥沙,所以西太阳沙北侧原突出部分及 III、IV 断面岸坡的冲刷与其间的大浪作用是分不开的。

4 结语

(1) 潮流是辐射沙洲区的主要动力,西太阳沙在烂沙洋水道和西太阳沙南水道水流夹击下呈现出小沙体合并成大沙体、表面冲淤较大但主体稳定的演变特点。(2) “烂沙洋西太阳沙南水道”这样一个“水道沙洲”系统并不是孤立的,它以辐射沙洲的整体动态为宏观背景,它的动态是和辐射沙洲整体动态的微观呼应,辐射沙洲的整体动态对其产生影响。(3) 南水道作为一个支汊,尚不具备发展成为主槽的条件,而烂沙洋由于袭夺了黄沙洋的潮量,具备了进一步发展的条件,因此烂沙洋主槽南逼对西太阳沙稳定的影响深远。(4) 开发利用西太阳沙或建设人工岛应从“烂沙洋水道西太阳沙西太阳沙南水道”系统的角度来研究,近几十年西太阳沙主体位置基本稳定,但短期大浪对西太阳沙稳定的影响不容忽视,应采取适当的防冲护底措施。

参考文献:

[1] 喻国华, 陆培东. 江苏吕四小庙洪淹没性潮汐汉道的稳定性[J]. 地理学报, 1996, 51(2): 127-134.
 [2] 李从先, 赵娟. 苏北港辐射沙洲研究的进展和争论[J]. 海洋科学, 1995, 4: 57-60.
 [3] 李成治. 苏北沿海暗沙成因研究[J]. 海洋与湖沼, 1981, 12(4): 32-331.
 [4] 任美镔. 江苏省海岸带和海洋资源综合调查报告[M]. 北京: 海洋出版社, 1986. 122-134.
 [5] 朱大奎. 江苏岸外海底沙脊群内大洪水道的稳定性分析[J]. 海岸工程, 1994, 13(4): 1-12.
 [6] 张忍顺, 陈才俊. 江苏岸外沙洲演变和条子泥并陆前景研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 17-30.
 [7] 王建. 江苏岸外潮流沙脊群形成的过程与机制[J]. 南

- 京师范大学学报, 1998, 21(3): 95-107.
- [8] 尤坤元. 苏北岸外辐射沙洲王港西洋潮流通道稳定性研究[J]. 地理研究, 1998, 17(1): 10-15.
- [9] 何华春, 邹欣庆, 李海宇. 江苏岸外辐射沙脊群烂沙洋潮流通道稳定性研究[J]. 海洋科学, 2005, 29(1): 12-15.
- [10] 陆培东. 淹没性潮汐汉道系统及环境响应[D]. 南京: 南京师范大学, 2002.
- [11] 吴永成, 黄海军, 杨玉玲. 水动力在江苏北部岸外沙洲形成和演变过程中的作用[A]. 中国科学院海洋研究所. 海洋科学集刊(40)[C]. 北京: 科学出版社, 1998. 55-62.
- [12] 张东生, 张君伦, 张长宽. 潮流塑造 风暴破坏 潮流恢复——试释黄海海底辐射沙脊群形成演变的动力机制[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(5): 394-402.
- [13] 黄海军, 李成治. 南黄海海底辐射沙洲的现代变迁研究[J]. 海洋与湖沼, 1998, 29(6): 640-645.
- [14] 万正松. 江苏省如东县人工岛工程海流、泥沙、底质观测技术成果报告[R]. 太仓: 长江口水文水资源勘测局, 2003.
- [15] 陆培东. 江苏省如东县人工岛工程泥沙物理模型试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 2003.
- [16] 薛鸿超. 中国海岸带水文[M]. 北京: 海洋出版社, 1996. 109-110, 122-123.
- [17] 国家海洋局, 国家测绘局. 中国海岸带和海涂资源综合调查图集(江苏省分册)[R]. 北京: 国家海洋局, 国家测绘局, 1988.
- [18] 万正松. 江苏省如东县人工岛工程水下地形及断面测量技术总结[R]. 太仓: 长江口水文水资源勘测局, 2003.
- [19] 徐敏. 波流共同作用下的泥沙运动和岸滩变形[D]. 南京: 南京师范大学, 1999.
- [20] 刘家驹. 波浪作用下泥沙起动问题[J]. 水利水运专题评述, 1966, 10: 40-75.

“Channel ridge” system of southern radiate sand ridges and stability of Xitaiyangsha

HOU Qing-zhi¹, XU Min¹, LU Pei-dong²

(1. College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China; 2. River and Harbor Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Received: Jul., 11, 2005

Key words: radial sand ridges; “channel ridge” system; Xitaiyangsha; stability

Abstract: On base of the analysis of the trend of radial sand ridges and power sand circumstance of the sea area, the macroscopical background of the evolvement of Xitaiyangsha is discussed. The data of remote sensing, underwater fixed profile, and terrain are used to analyze the facial and submarine terrain changes of Xitaiyangsha by the test of the sediments under action of wave and together actions of wave and tide, the dynamics cause of the erode and silt change of the sea area of Xitaiyangsha are analyzed. The factor and law of the evolvement of Xitaiyangsha are also studied from the angle of system.

(本文编辑: 刘珊珊)