

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2015.06.004

基于遥感地貌特征的潮流沙脊人工岛围堤选线方法 ——以辐射沙脊群东沙为例

葛小平¹, 丁贤荣¹, 康彦彦², 高恒娟¹, 王鑫浩¹

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098;
2. 河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 以辐射沙脊群海域离岸沙脊东沙为研究区, 探讨在水文、泥沙、地形等基础资料缺乏的条件下, 离岸沙脊人工岛式围填选线布局辅助设计方法。采用 1973—2014 年长时间序列低潮遥感数据, 提取沙脊露滩重复率指数指标, 实现沙脊稳定性特征的定量计算, 并根据指数分布特征及其栅格数量频率分布特征确定最稳定、最适宜的沙脊围堤外廓线选址; 采用地貌演变特征线——沙脊二分水和主要子纳潮盆地分水线, 实现围填区沙脊二分水主干内廓线和主要子纳潮盆地分水线辅助内廓线设计。

关键词: 辐射沙脊群; 低潮水边线; 重现率; 二分水; 围堤选线

中图分类号: TV213.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2015)06-0524-07

Determination of dike line for tidal sand ridge artificial island based on remote sensing of geomorphic features: case study of Dongsha radial sand ridges

GE Xiaoping¹, DING Xianrong¹, KANG Yanyan², GAO Hengjuan¹, WANG Xinhao¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Using the Dongsha offshore radial sand ridges as a study area, the layout design for the offshore sand ridge artificial island was studied under the condition of insufficient basic hydrologic, sediment, and terrain data. With long-term remote sensing data under ebb tide conditions from 1973 to 2014, stability analysis of tidal flats was carried out based on the repetition rate of the exposure area, and the most stable and appropriate dike outlines for sand ridge reclamation were identified based on the distribution characteristics of the repetition rate and the spectral distribution of the grid number. According to the characteristic lines of geomorphological evolution, including the water parting line of the sand ridges and that of the main tide intake sub-basin, the internal contours for the water parting lines in the reclamation area and of the main tide intake sub-basin were designed.

Key words: radial sand ridges; waterline during ebb tides; repetition rate; water parting line; determination of dike line

沿海滩涂围垦开发是一项复杂的海洋地理系统工程, 其围堤布局设计包含了自然与社会、现在与未来之间的取舍平衡。江苏滩涂围垦开发历史悠久, 自 11 世纪范公堤修筑以来, 共垦植开发了近 200 万 hm^2 沿海滩涂, 围垦方式多为鱼鳞式向海推进^[1-3]。根据江苏沿海地区发展规划战略发展定位和《江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要》总体目标, 2010—2020 年江苏规划围垦沿海滩涂 1 800 km^2 , 其中辐射沙脊群规划围填面

收稿日期: 2015-01-10

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAB03B01); 江苏省自然科学基金(BK2012414); 国家海洋公益性行业科研专项(201005006); 中央高校基本科研业务费专项(2009B12314, 2012B00414)

作者简介: 葛小平(1977—), 男, 江苏吴江人, 讲师, 博士, 主要从事自然地理与水利、海洋信息研究。E-mail: njgexp@163.com

积 666.67 km²^[4]。在离岸潮流沙脊进行大规模人工岛式围填围堤选线设计研究不多,但较为认可的设计原则是不明显改变当前海岸动力地貌过程,对海洋动力格局和地貌稳定特性不产生明显影响;如何在此原则下实现在沙脊主体、高滩、施工便利等条件下的围堤选线设计是辐射沙脊群离岸沙脊人工岛式围填成功与否的关键^[5-7]。因此,合理科学的滩涂围堤布局设计研究对江苏滩涂资源的开发利用工作至关重要,其中辐射沙脊群离岸潮流沙脊东沙、高泥人工岛式围填的围堤布局设计工作更具挑战性。

目前,江苏沿海滩涂围垦多为沿岸鱼鳞式推进,围堤选线一般采用水力学和泥沙运动力学方法,或结合物理模型,或结合潮滩演变规律,确定起围高程及布局方案,通过构建数学模型计算工程前后流场分布,结合经验公式计算其冲淤状况^[8-16],但该方法在无资料区难以应用。本文针对离岸沙脊人工岛式围堤选线的基本条件和原则,从其遥感地貌特征信息着手,采用沙脊出露频率、二分水、纳潮盆地线等地貌特征指标,进行围堤选线布局的外轮廓线和内框架线的辅助设计方法研究,探讨在缺乏水文、泥沙、地形等基础资料的情况下,采用遥感地貌特征辅助设计离岸沙脊人工岛围堤选线布局方法。研究区位于 121°1'E~121°19'E, 32°57'N~33°17'N,选取距海岸线 16 km 外的辐射沙脊群大型潮流沙脊——东沙为研究对象(图 1)。

1 数据来源及匹配

研究采用 1973—2014 年共 29 期遥感数据,考虑到数据的时序性、可获取性和性价比,选用的数据多为 TM 数据,少量 MSS 和 HJ 数据(表 1)。数据遴选方法:根据辐射沙脊群海域涨落潮时间和研究区测站的潮位资料来确定大潮低潮位时间,结合卫星过境时间选择该时间段的数据图像,以保证所用图像具有低潮位状态下宽阔的潮间带信息。

数据预处理主要包括几何校正、大气校正、掩膜去云、图像增强等环节,其中几何校正是关键。陆地部分几何校正结合实测 GPS 数据和 1:50 000 地形图,选取沿海堤走向的线状分布的地面控制点,精确配准陆地部分(误差不超过半个像元);海上部分几何以结合研究区水深测点的 GPS 数据和一些稳定的地貌特征点(如稳定型潮沟交汇点等)为控制点,对控制点坐标在 ENVI 中采用二次多项式模型进行校正,误差均在 1 个像元以内。

2 研究方法

要在维护海区动力地貌过程和格局不产生明显影响的情况下,成功完成离岸沙脊人工岛式围填设计,其核心问题有:(a)合理的外廓线选址;(b)大规模围填施工过程中能否将工程对动力地貌等影响降到最低。笔者采用基于沙脊低潮露滩重复率特征的围堤外廓线选址方法和基于沙脊地貌特征线的围堤内廓线设计方法,组合设计分别解决上述 2 个核心问题。

2.1 基于沙脊低潮露滩重复率指数的围堤外廓线选址方法

沙脊低潮露滩重复率指数已在辐射沙脊群潮滩稳定性分析中得到了应用^[17-21],该指数同样可用于解决围堤外廓线选址。离岸潮流沙脊人工岛式围填围堤选线要满足:位于其主体部位、滩面地形高而开阔、相对稳定等基本条件,而潮流沙脊低潮露滩的地形要较水下未露滩部分地形高,低潮露滩重复率高的沙脊滩地一般长时间重复出露,要较低潮露滩重复率低的滩地地形高而稳定,故该指数可以直接表征上述条件差异性。

具体方法与流程如下:(a)根据遴选的 TM 遥感影像图像分辨率 30 m 精度特征,研究区以 30 m 网格进行栅格化处理(若栅格大于 30 m 则会降低后续重复率指数计算结果及其分布精度;若栅格小于 30 m 虽然不会影响后续计算结果精度,但栅格数量增多会导致计算工作量大大增加);(b)提取各期低潮遥感数据水边线以获得露滩栅格数量及其分布特征;(c)对每个栅格的低潮露滩重复率指数 R 进行计算和叠置加权求和(见式(1)和式(2));(d)对不同 R 值的栅格数进行频率直方图统计,获取 3 级稳定性特征的 R 值,分析沙脊稳

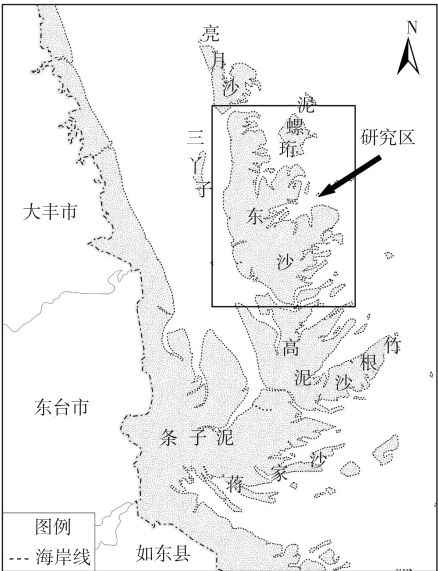


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Study area

定性特征;(e)根据分析结果,选取适宜围填区域,按围填需求面积,进行特征等值线提取,获得初步围堤外廓线分布;(f)结合相关围堤选线设计要求微调外廓线,获得围堤外廓线选址方案。

表 1 遴选的低潮特征遥感影像数据源

Table 1 Data sources selected from characteristic remote sensing images during ebb tides

期号	成像日期	成像时间	数据源	期号	成像日期	成像时间	数据源
1	2014-02-20	10:27:15	ETM	16	1998-01-31	10:06:22	TM
2	2013-05-01	10:05:01	HJ	17	1996-01-10	09:33:28	TM
3	2012-04-26	10:19:16	HJ	18	1995-08-03	09:34:32	TM
4	2011-03-26	10:43:56	HJ	19	1994-12-06	09:44:30	TM
5	2010-12-10	10:23:33	ETM	20	1992-06-07	09:54:00	TM
6	2009-06-14	10:20:59	ETM	21	1991-04-02	09:52:12	TM
7	2008-04-24	10:20:39	ETM	22	1988-03-08	10:00:25	TM
8	2007-05-08	10:20:58	ETM	23	1987-02-02	09:50:50	TM
9	2006-04-03	10:20:37	ETM	24	1986-03-03	09:56:52	TM
10	2005-04-16	10:20:07	ETM	25	1984-03-21	09:58:00	MSS
11	2004-02-25	10:19:39	ETM	26	1983-04-04	10:00:01	MSS
12	2003-02-06	10:19:11	ETM+	27	1977-04-20	09:34:30	MSS
13	2002-02-19	10:19:23	ETM+	28	1976-03-20	09:48:15	MSS
14	2001-07-26	10:19:48	TM	29	1973-11-16	10:01:27	MSS
15	2000-06-05	10:22:25	TM				

$$A_n = T_n - T_{n+1}$$
 (1)

$$R = \frac{A_1W_1 + A_2W_2 + \cdots + A_nW_n}{A_1 + A_2 + \cdots + A_n}$$
 (2)

式中: A_n ——序号为 n 的相邻两期影像成像时间相差天数; n ——遥感数据级按成像时间排序序号; T_n , T_{n+1} ——排序为 $n, n+1$ 的影像成像日期; R ——低潮露滩重复率指数; W_n ——排序为 n 的影像栅格露滩重复权重(重复出现为 1,未重复出现为 0)。

2.2 基于沙脊地貌特征线的围堤内廓线设计方法

沙脊二分水 and 子纳潮盆地分水线是监视沙脊变化以及纳潮盆地变化的可定量、定位操作的灵敏且稳定的监测指标^[22-26]。该方法通过遥感数据获取沙脊二分水 and 主要子纳潮盆地分水线分布,采用在外廓线内布设沙脊二分水主干内廓线 and 主要子纳潮盆地分水线辅助内廓线作为外廓线合拢之前的先导工程措施,减少施工对动力地貌格局影响,以维护沙脊整体地貌稳定性。

以东沙为例,规划围垦面积 213.33 km²,如此大规模人工岛式围填工程若想直接完成外廓线合拢难度大、风险高,加上工期长,施工过程必然会影响到海区动力和地貌变化;而通过布设沙脊二分水、子纳潮盆地分水线辅助内廓线可加固沙脊地貌结构以维护其稳定性,初期两者可以作为工程措施起固沙促淤作用,后期随着两者布设规模的增大可作为施工便道,方便保障分片分块、由内而外围填施工顺利进行。

具体方法:对低潮遥感数据采用相邻潮水沟系统末梢外包线确定方法,提取二分水滩脊特征线及子纳潮盆地分水线,结合其潮盆体系分布及演变特征,最终确定其二分水主干内廓线 and 纳潮盆地分水线辅助内廓线设计。

3 研究结果与分析

3.1 东沙人工岛围填外廓线确定

对 1973—2014 年共 29 期遥感数据按前文围堤外廓线选址方法流程进行处理,获得各期数据的水边线分布(图 2) and 沙脊低潮露滩重复率指数 R 值分布(图 3)等中间成果,对其稳定性进行 3 级统计分析。结合东沙稳定性特征并参考研究区栅格 R 值及其对应栅格数量的频率直方图分布,选择频率直方图中数量频率分布的低值区或空白区为特征拐点进行分割,其对应的稳定性特征分割点的 R 值分别为 0.5 和 0.8,获得东沙 3 级稳定性特征分布(图 4)。分布特征如下:3 级稳定性区域呈圈层状分布。稳定区域 $R=0.8\sim1.0$,为沙

脊中心内部圈层,面积 331.5 km², 占出露沙脊面积的大部分, 常年出露, 最适宜在此区域内进行围填; 基本稳定区域 $R=0.5\sim0.8$, 为紧邻稳定区域的中间圈层, 面积 190.7 km², 面积较小, 是受冲刷影响区域, 在此区域内进行围填有一定风险; 不稳定区域 $R=0\sim0.5$, 为最外层, 面积 471.1 km², 冲刷较为剧烈, 该区域沙脊偶尔出露, 多数时候会被海水侵没, 不适合在此区域围填。

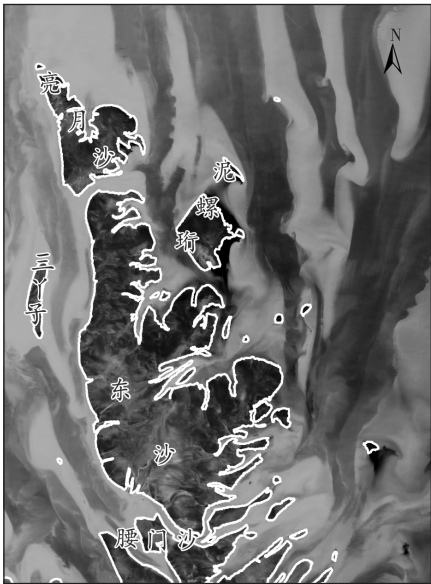


图 2 水边线范围提取结果(2012-04-06 影像)

Fig. 2 Results of waterline extraction
(with image of April 6, 2012 as an example)

结合 2010—2020 年围垦规划需求面积 213.33 km² [4], 在东沙主体部位结合最适宜围填区 ($R=0.8\sim1.0$), 按指数分值 0.05 等差由高到低进行对应等值线提取, 选取包围面积满足围填面积的等值线 ($R>0.85$) 为初步围堤外廓线选址方案, 按整体性原则删除其外围零碎细小图斑, 再根据选线基本设计要求进行如顶冲部位岸线的圆弧化、外廓线沿潮流方向拉直等处理, 最终获得围堤选线的外廓线设计方案, 其外廓线长度 82.6 km, 面积 213.33 km² (图 4)。

3.2 东沙人工岛围填内廓线确定

对 2001—2014 年东沙沙脊二分水进行提取, 获得近 15 a 沙脊二分水演变特征 (图 5)。结果表明: 东沙沙脊二分水演变可分为南北两段, 分界点以北, 沙脊二分水自西向东摆动, 摆幅较小, 最大处为 1.3 km; 分界点以南, 沙脊呈现东西来回摆动, 且摆幅从北向南逐渐增加, 北部摆幅 2.6 km, 南部可达 4.2 km。

根据东沙沙脊二分水线演变特征及摆动趋势可获取二分水主干内廓线布局, 其起始点为沙脊二分水与外廓线选址的交点, 作为围填区主轴。根据 2014 年子纳潮盆地分水线分布还可获得多条辅助内廓线布局, 其起点为子纳潮盆地分水线与沙脊二分水线交点, 终点为东沙子纳潮盆地分水线与稳定性分析成果中的基本适宜围填区边界交点, 作为围填工程的促淤导堤工程保滩促淤 (图 6)。其中, 辅助内廓线作为促淤导堤工程, 终点一般超出外廓线范围, 其设计目的在于维护东沙整体各子纳潮盆地格局, 固沙养滩; 若布局仅局限于外廓线范围内则不利于维持外廓线外东沙围填基本适宜区、不稳定区的地貌格局。

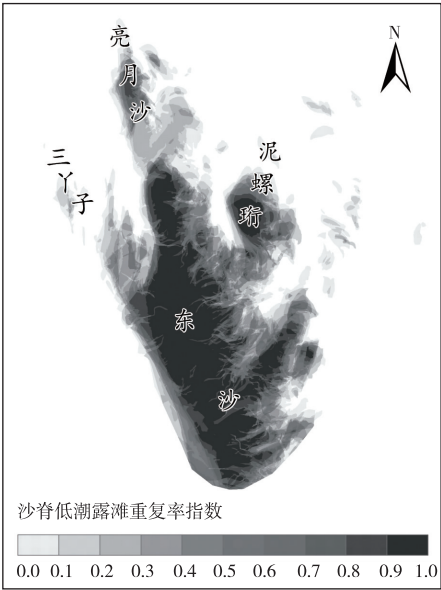


图 3 1973—2014 年东沙低潮露滩重复率指数 R 分布

Fig. 3 Distribution of repetition rate R of tidal flats during ebb tides from 1973 to 2014

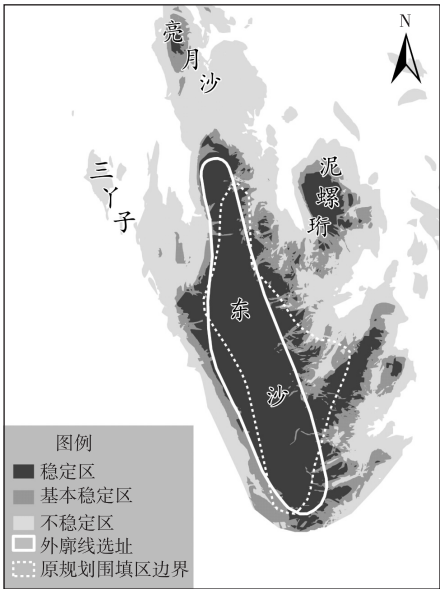


图 4 东沙围堤外廓线选址布局

Fig. 4 Layout of dike outline in reclamation of Dongsha sand ridges

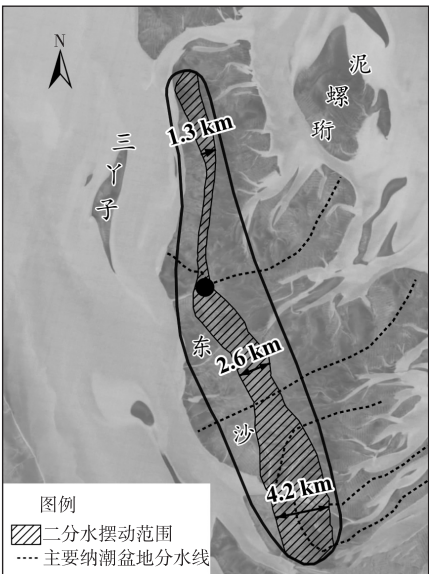


图 5 东沙沙脊二分水演变 (2000—2014 年)
Fig. 5 Evolution of water parting line of Dongscha sand ridges (from 2000 to 2014)

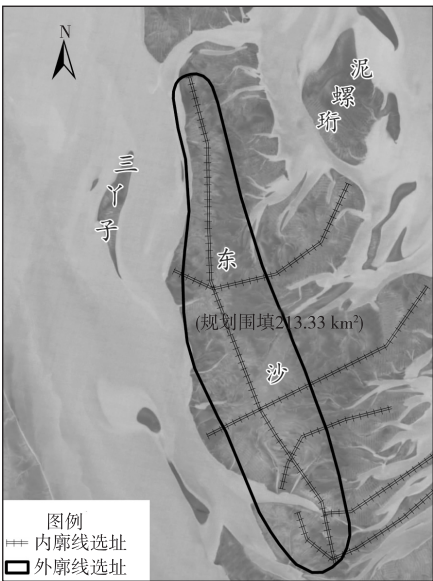


图 6 东沙围堤选线布局
Fig. 6 Layout of dike line in reclamation of Dongscha sand ridges

3.3 选址方案优势分析

- a. 基于沙脊低潮露滩重复率指数的围堤外廓线选址方案与原规划方案布局^[4]相比,前者是基于 1973—2014 年长时间稳定性分析成果,围填高程在理论基面 0 m 以上,选址区域位于东沙主体, $R>0.85$, 滩面稳定性好、地形较高,避开了沙脊东侧、南侧等具有一定风险的区域。
- b. 基于沙脊地貌特征线的围堤内廓线设计提出了基于地貌特征的促淤导堤施工思路,通过沙脊二分水和主要子纳潮盆地分水线分布构建促淤导堤,使其集阻滞水流、聚积泥沙、消减风浪等多重功效于一体。基于沙脊二分水特征线的主干内廓线布局不仅可用于维护沙脊地貌稳定性,而且从工程角度还可以在围填施工时作为先期施工通道处理,需要优先施工;基于子纳潮盆地分水线的辅助内廓线不仅可以减少施工过程对于子纳潮盆地的动力地貌格局影响,而且从工程角度还可以作为促淤保滩的促淤坝工程处理,可随后施工。
- c. 该内、外围堤扩线的设计和施工有利于围填施工实施,通过内廓线的施工可以在海上形成三边匡围之势,并经一段时间观测检验,可选择达到预期促淤效果,且最便于围填条件的匡围区,集中力量合拢最后最难的外廓线外堤,最终达到围海造岛的效果。

4 结 语

本文以辐射沙脊群东沙为例,探讨了在缺乏水文、泥沙、地形等基础资料的情况下,采用沙脊出露频率、二分水、纳潮盆地线等遥感地貌特征指标,进行潮流沙脊人工岛围堤选线布局辅助设计方法研究。

a. 采用潮流沙脊海区地貌稳定性特征指标——沙脊露滩重复率指数,实现沙脊稳定性特征的定量计算,结合指数分布特征及其栅格数量频率分布特征,可确定最稳定、最适宜的沙脊人工岛式围填围堤外廓线选址。

b. 采用遥感数据提取辐射沙脊群地貌演变特征线——沙脊二分水和主要子纳潮盆地分水线,实现围填区沙脊二分水主干内廓线和主要子纳潮盆地分水线辅助内廓线设计,基于内廓线的促淤导堤施工将有利于围填区阻滞水流、聚积泥沙、消减风浪等,便于形成三面围填局面,大大降低了外廓线围堤合拢的难度。

c. 本文方法的关键是通过长序列遥感数据确定辐射沙脊群海域稳定性特征指标,在缺乏水文、泥沙、地形等基础资料的情况下,实现基于遥感地貌特征的潮流沙脊人工岛围堤选线布局。当遥感数据低潮特征及时间序列数量受限时,其精度会有所降低;由于基础资料限制,无法完成东沙围堤选线方案施工前后的流场和冲淤分布模拟,有待进一步研究。

致谢:感谢国家科技支撑计划课题“海岸动力特征及沿海围垦布局关键技术研究”和江苏省自然科学基金

金项目“南黄海辐射沙脊群岸外沙洲地貌活性研究”等给予的平台和资金支持,感谢课题组成员张洁、马洪羽、金宇豪、范仲丽等在本研究中给予的帮助和支持。

参考文献:

[1] 江苏省地方志编纂委员会.江苏省志·海涂开发志[M].南京:江苏科学技术出版社,1995.

[2] 江苏省农业资源开发局.江苏沿海垦区[M].北京:海洋出版社,1999.

[3] 张晓祥,严长清,徐盼,等.近代以来江苏沿海滩涂围垦历史演变研究[J].地理学报,2013,68(11):1549-1558. (ZHANG Xiaoxiang, YAN Changqing, XU Pan, et al. Historical evolution of tidal flat reclamation in the Jiangsu coastal areas[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(11): 1549-1558. (in Chinese))

[4] 江苏省发展改革委,江苏省沿海办.江苏沿海滩涂围垦开发利用规划纲要[R].南京:江苏省发展改革委,江苏省沿海办,2010.

[5] 徐国华.江苏东沙人工岛一期工程建设方案初步探讨[C]//中国水利学会围涂开发专委会.中国水利学会围涂开发专委会 2004 学术年会论文集,北京:中国水利水电出版社,2004:114-122.

[6] 陈军冰,王乘,郑垂勇,等.沿海滩涂大规模围垦及保护关键技术研究概述[J].水利经济,2012,30(3):1-6. (CHEN Junbing, WANG Cheng, ZHANG Zhiyong, et al. Keytechnologies for large-scale reclamation and protection of tidal flats in coastal areas[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(3): 1-6. (in Chinese))

[7] 王文,丁贤荣,王卫平,等.辐射沙脊群围垦工程布局优化研究[J].水利经济,2012,30(3):20-26. (WANG Wen, DING Xianrong, WANG Weiping, et al. Optimization of reclamation planning for radial sand ridges[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(3): 20-26. (in Chinese))

[8] 王义刚,林祥,吴中.河口边滩围垦后淤积计算方法研究[J].海洋工程,2000,18(3):67-70. (WANG Yigang, LIN Xiang, WU Zhong. A method for calculating depositional rate after warping the bank in the silty estuary[J].The Ocean Engineering, 2000,18(3):67-70. (in Chinese))

[9] 赵强,何琴燕,杨耀芳,等.人工岛工程对南黄海辐射沙脊群海域潮流泥沙影响研究[J].海洋通报,2014,33(4):397-404. (ZHAO Qiang, HE Qinyan, YANG Yaofang, et al. Study on reclamation impact on sedimentary erosion and deposition in radial tidal sand ridge system in the South Yellow Sea[J]. Marine Science Bulletin, 2014, 33(4):397-404. (in Chinese))

[10] 张长宽,陈君,林康,等.江苏沿海滩涂围垦空间布局研究[J].河海大学学报:自然科学版,2011,39(2):206-212. (ZHANG Changkuan, CHEN Jun, LIN Kang, et al. Spatial layout of reclamation of coastal tidal flats in Jiangsu Province[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2011, 39(2): 206-212. (in Chinese))

[11] 王颖,邹欣庆,汪亚平.唐山港曹妃甸港区开发海岸动力地貌研究[R].南京:南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室,2006.

[12] 李孟国,时钟.如东海域西太阳沙人工岛陆岛通道实体堤合理长度潮流数模研究[J].水运工程,2006(9):5-9. (LI Mengguo, SHI Zhong. Tidal flow numerical modeling on rational length of dam from shore to artificial island at xitaiyangsha shoal at Rudong, Jiangsu Province[J]. Port & Waterway Engineering, 2006(9):5-9. (in Chinese))

[13] 李加林,张忍顺.滩涂围海堤选线对邻近涵闸排水的影响分析[J].海洋技术,2005,24(4):8-13. (LI Jialin, ZHANG Renshun. The influence of seawall line choosing on tide lock drainage in tidal flat innning[J]. Journal of Ocean Technology, 2005, 24(4):8-13. (in Chinese))

[14] 王建平,于海.远离大陆辐射沙洲人工岛建设关键技术的探讨[J].水运工程,2009(3):136-144. (WANG Jianpin, YU Hai. Key technologies of artificial island construction on offshore radiating sandbar[J]. Port & Waterway Engineering, 2009(3):136-144. (in Chinese))

[15] 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(1):8-12. (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(1):8-12. (in Chinese))

[16] 李加林,王艳红,张忍顺,等.潮滩演变规律在围堤选线中的应用:以江苏辐射沙洲内缘区为例[J].海洋工程,2006,24(2):100-106. (LI Jialin, WANG Yanhong, ZHANG Renshun, et al. Application of tidal flat evolvement characters to seawall line choosing of innning project;inner part of Jiangsu radiate sand ridges as a case study[J]. The Ocean Engineering, 2006, 24(2):100-106. (in Chinese))

[17] 丁贤荣,康彦彦,葛小平,等.辐射沙脊群条子泥动力地貌演变遥感分析[J].河海大学学报:自然科学版,2011,39(2):231-236. (DING Xianrong, KANG Yanyan, GE Xiaoping, et al. Tidal flat evolution Tiaozini flat ysis using sensing on of the

radial ridges[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2011, 39(2):231-236. (in Chinese))

[18] 高恒娟,丁贤荣,葛小平,等.沿海滩涂稳定性的长系列遥感定量分析方法[J].南京大学学报:自然科学版, 2014, 50(5): 585-592. (GAO Henjuan, DING Xianrong, GE Xiaoping, et al. An quantitative analysis method for evaluating the morphologic stability of tidal flats by long series of remote sensing images[J].Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2014,50(5): 585-592. (in Chinese))

[19] 葛小平,丁贤荣,康彦彦,等.基于地貌情势的辐射沙脊群潜在土地资源分析[J].南京大学学报:自然科学版, 2014, 50(5):593-601. (GE Xiaoping, DING Xianrong, KANG Yanyan, et al. Potential land resources analysis of the radial sand ridges based on the geomorphological situation[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 2014, 50(5): 593-601. (in Chinese))

[20] 张婷婷.辐射沙脊群动力地貌演变遥感分析方法研究[D].南京:河海大学,2012.

[21] 丁贤荣,康彦彦,茅志兵,等. 辐射沙脊群围垦海域海天一体化观测系统[J]. 水利经济, 2012, 30(3):23-25. (DING Xianrong, KANG Yanyan, MAO Zhibing, et al. Integrated monitoring system for reclamation sea areas of radial sand ridges[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(3):23-25. (in Chinese))

[22] 陈君,王义刚,卫晓庆,等.条子泥二分水滩脊地貌动力与演变特征研究[J]. 水利水运工程学报, 2012(4):108-114. (CHEN Jun, WANG Yigang, WEI Xiaoqing, et al. Hydrodynamic-norphodynamic characteristics and evolution tendency of the Erfenshui water-dividing beach ridge of the Tiaozini tidal sandbank, Jiangsu coast, China[J]. Hydro-Science and Engineering, 2012(4):108-114. (in Chinese))

[23] 陈君,赵磊,卫晓庆.江苏淤泥质潮滩及近岸沙洲的稳定性判别[J].水利经济,2012,30(3): 15-19. (CHEN Jun, ZHAO Lei, WEI Xiaoqing. Stability evaluation of muddy tidal flats and offshore sandbars in coastal areas of Jiangsu Province[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2012, 30(3):15-19. (in Chinese))

[24] 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 Yigang, ZHANG Renshun, 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))

[25] 丁贤荣,周虹宏,康彦彦.辐射沙脊群地貌结构遥感解析[J].地理与地理信息科学, 2014, 30(4): 32-35. (DING Xianrong, ZHOU Honghong, KANG Yanyan. Geomorphologic structure analysis of radial sand ridges[J]. Acta Geographica Sinca,2014,30(4): 32-35. (in Chinese))

[26] 张洁,丁贤荣,葛小平,等.辐射沙脊群海域地貌骨干征线遥感解译探讨[J].地理空间信息, 2014, 12(6): 8-10.(ZHANG Jie, DING Xianrong, GE Xiaoping, et al. Discussion of remote sensing interpretation of morphological skeleton line on radial sand ridges[J]. Geospatial Information, 2014, 12(6):8-10. (in Chinese))

• 简讯 •

河海大学获批一项国家自然科学基金委员会重大国际合作研究计划项目

由河海大学牵头,联合中国科学院地球化学研究所、中国科学院亚热带农业生态研究所,英方格拉斯哥大学、阿伯丁大学、斯特林大学申报的“喀斯特关键带水文-生物地球化学耦合机理及生态系统服务提升机制”获得批准,项目负责人为河海大学水文水资源学院陈喜教授。该项目为 2015 年国家自然科学基金委员会(NSFC)与英国自然环境研究理事会(NERC)在“地球关键带中水和土壤的生态服务功能维持机理研究(UsingCritical Zone Science to understand sustaining the ecosystem service of soil and water)”领域共同资助的重大国际合作研究计划项目。项目中方总资助经费 1500 万元,英方总经费 75 万英镑,项目执行期为 2016 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日。项目的实施将为西南喀斯特地区水资源利用、生态恢复和社会经济可持续发展提供科学支撑。

(本刊编辑部供稿)