

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.02.021

辐射沙脊群条子泥动力地貌演变遥感分析

丁贤荣^{1 2} 康彦彦^{1 2} 葛小平^{1 2} 李 青^{1 2} 张婷婷^{1 2}

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 江苏 南京 210098 ;
2.河海大学地球科学与工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 : 针对辐射沙脊群汇聚带条子泥冲淤多变的特性 , 采用遥感与地面测量相结合的方法 , 重点选用 10 期低潮位遥感影像和 2006—2009 年 4 期地形测量数据 , 研究了条子泥二分水动力均衡、沙洲稳定性、主要潮水沟演变和近期地形冲淤 . 研究表明 : 条子泥相对稳定区主要分布于 港近岸边滩和二分水滩脊 ; 二分水总体稳定、先北后南摆动 . 近 40 年来 , 条子泥总体冲淤剧烈 , 呈现北冲南淤的新动向 . 条子泥中心主体稳定 , 除西部边滩外 , 外缘边滩相对冲淤活跃 , 条子泥围垦应充分考虑此特征 . 采用多时相遥感 , 将潮滩稳定性和二分水演变作为潮滩动力地貌分析要素 , 该方法新颖、实用 .

关键词 : 辐射沙脊群 ; 条子泥 ; 潮滩演变 ; 潮滩稳定性 ; 遥感

中图分类号 : P748 文献标志码 : A 文章编号 : 1000-1980(2011)02-0231-06

条子泥位于江苏沿海辐射沙脊群核心区的 港海岸 , 是东海前进波与西黄海旋转波两大潮波系统交汇区 , 泥沙交换活跃 , 海岸淤积显著 , 发育为宽大的潮滩 , 最宽约 14 km . 一方面 , 条子泥海域潮强流急 , 潮滩冲淤复杂多变 ; 另一方面 , 正在规划实施的江苏沿海围垦开发 , 尤其是辐射沙脊群百万亩滩涂围垦开发 , 将对条子泥及其周边动力地貌环境产生深远影响 .

自 20 世纪 80 年代以来 , 相继开展了江苏海岸带和滩涂资源调查、江苏近海海洋综合调查与评价专项 (江苏“ 908 ”专项调查) , 对条子泥及其周边环境有了较为全面的认识 . 多年来 , 国内外许多专家学者对条子泥地貌沉积^[1-2] , 尤其是潮水沟、沙洲、岸滩等地貌细节^[3-5] , 以及潮流、泥沙等动力环境进行了多方面的研究^[6] . 在传统研究方法的基础上 , 广泛采用了遥感、GIS 等新技术与信息 , 取得了一些成果^[7-9] , 但限于研究条件 , 对条子泥动力地貌细节研究较多 , 总体特征与规律分析尚存不足 . 本文研究了条子泥 1970 年以来动力地貌环境演变 , 主要从两大潮波系统条子泥动力均衡演变 (二分水演变) 、条子泥潮滩整体稳定性、主要潮水沟系统演变和近年来的实测地形冲淤演变 4 个方面来分析条子泥及其周边动力地貌环境的变化 .

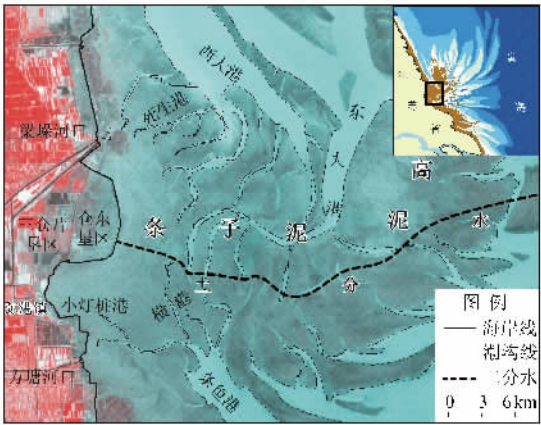


图 1 2006 年 4 月 3 日条子泥遥感影像

Fig. 1 remote sensing image of Tiaozini on April 3rd, 2006

1 研究方法

本文根据前人的研究成果 , 结合江苏“ 908 ”专项调查结果^[10]、江苏沿海滩涂围垦开发利用规划以及条子泥匡围可行性研究 , 采用卫星遥感解译与地面实地调查测量相结合的方法 , 分析条子泥特殊的动力地貌环境演变特征与过程 . 重点选用 1973 年以来 10 期低潮位遥感影像 (表 1) , 采用 GIS 空间分析技术 , 研究潮水沟、二分水、潮滩等地貌特征以及条子泥稳定性 . 利用 2006—2009 年 4 期条子泥地形测量数据 , 分析地形冲淤特

收稿日期 : 2009-09-20
基金项目 : 江苏近海海洋综合调查与评价 (JS-908-01-02) , 海洋 908 集成项目 (JS-908-01-101) , 国家海洋公益性行业科研专项 (201005006-3) ; 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (2010B19814 , 2009B12314)
作者简介 : 丁贤荣 (1955 —) , 男 , 江苏句容人 , 教授 , 硕士 , 主要从事自然地理与水利、海洋地理信息研究 . E-mail : dlingxr@126.com

征,总结分析条子泥及其周边动力地貌演变过程(图2)。

表1 遥感影像数据

Table 1 Remote sensing data

时相	潮位/cm	数据源
1973-11-16	140	MSS
1977-04-20		MSS
1982-05-09	50	MSS
1984-03-05	52	MSS
1992-06-07		TM
2000-06-05	86	TM
2003-02-06	-70	TM
2006-04-03	-82	TM
2009-10-20	-55	TM
2010-04-30		TM

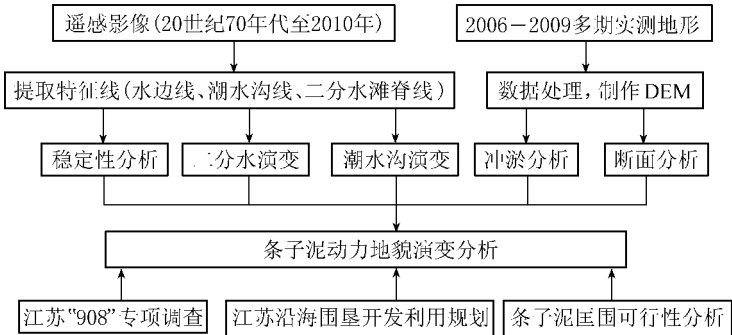


图2 技术路线

Fig. 2 Technical route

2 条子泥动力地貌演变分析

动力地貌演变分析主要包括条子泥潮滩整体稳定性分析、两大潮波系统交汇带二分水特殊动力地貌单元演变分析、潮滩内部主要潮水沟动态演变分析以及近期实测地形冲淤分析。

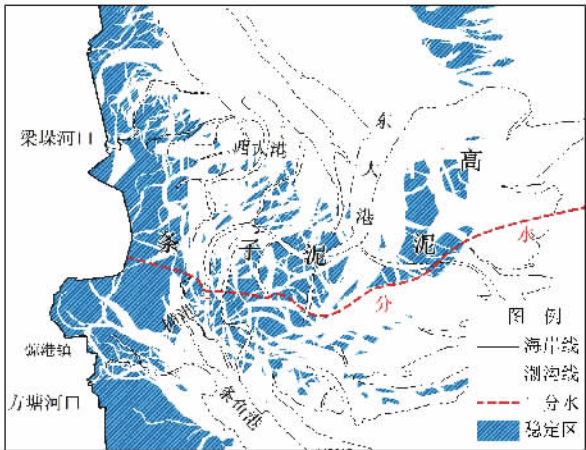


图3 条子泥区域稳定区分布

Fig. 3 Distribution of stable areas of Tiaozi Ni

变并存(图3)。最稳定区域主要分布在沿岸边滩和二分水沿线高滩。沿岸边滩主要指梁垛河口至方塘河口之间的潮滩,宽6~8 km;二分水沿线高滩南北宽5~6 km,东西长12~14 km。冲淤多变区域主要分布于西大港、东大港、条鱼港等潮水沟频繁摆动区域。

2.2 二分水演变

二分水滩脊是一个重要的海岸动力地貌特征线^[1]。港条子泥二分水是江苏岸外两股潮波交汇带,呈东西向垂直海岸展布,滩面高程较高,其位置变化与两大潮波动力均衡密切相关。根据1973年以来10期条子泥低潮位遥感影像,采用纳潮盆地边界线的遥感确定方法,即相邻潮水沟系统末梢的外包线确定方法,确定10条二分水滩脊线。

条子泥二分水滩脊呈现东西两端稳定、中段演变剧烈、整体呈现先向北后向南的摆动特征(图4)。二分

2.1 稳定性分析

条子泥稳定性分析采用多时相遥感与空间叠置分析相结合的方法。同一个地貌单元长期存在,视为稳定;反之,地貌类型经常变化区域,视为非稳定。潮滩作为条子泥地区基本地貌单元,采用监测其遥感形态变化,统计潮滩出现频率的方法,进行条子泥稳定性分析。潮滩遥感监测:选取1973—2010年间10幅低潮位遥感影像(表1),提取沙洲滩面水边线,确定其空间分布信息。空间变化频率统计:采用GIS空间叠置分析,提取10幅遥感影像滩面交集,而交集滩面则作为条子泥最稳定性区域的判别标志。

1973—2010年来,条子泥总体稳定与内部冲淤多

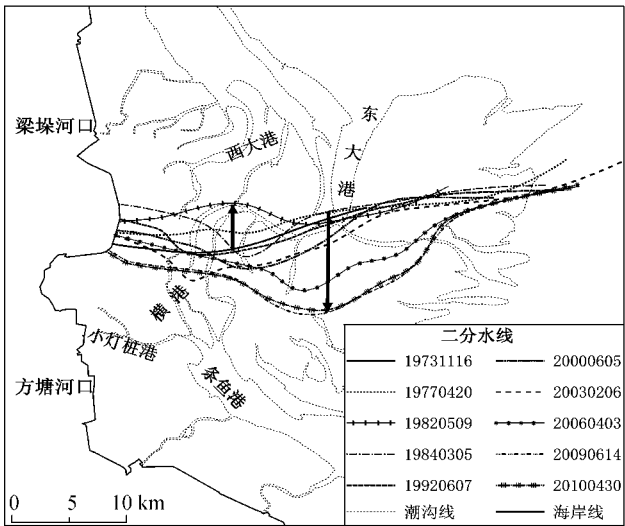


图4 二分水40年演变过程与趋势

Fig. 4 Evolution process and trend of dividing line (Erfenshui tidal ridge) of Tiaozi Ni in 40 years

水东端,高泥—竹根沙一线 6 km,摆动幅度均在 1 km 左右;二分水西端,近岸边滩距岸 6~8 km,此段岸滩高程较高,40 年来摆动幅度南北向 4 km 以内,西大港—东大港二分水中段演变剧烈,南北摆幅相对较大,为 4~9 km。二分水整体呈现先北后南的周期性摆动,1973—1984 年,二分水逐渐由南向北偏移,1984 年达到最北界,最大偏移 4 km,平均摆幅约 0.4 km/a;1984 年以后,二分水则逐年向南偏移,1992 年基本回到 1973 年二分水位置,1992—2010 年逐年向南偏移,最大摆幅 5.4 km,平均摆幅约 0.3 km/a。

2.3 主要潮水沟演变

潮水沟是潮滩及近岸沙洲上最为活跃的动力地貌单元^[3],其发育和演化反映整个潮滩及沙洲的演化特征^[5]。条子泥主要受二分水以北的西大港、东大港和以南的条鱼港三大潮水沟系统影响。与大多数的潮水沟垂直海岸分布不同,这三大潮水沟系统最显著的特点是平行于海岸分布,正因如此,三大潮水沟横向摆动频率高,摆幅大,尤其是对海岸围垦工程破坏力大。选取 1992—2009 年 4 期低潮位遥感影像,提取潮水沟边界线,根据泰森多边形计算模型,提取形态中轴线,理论上代替潮水沟主槽线,分析潮水沟演变过程(图 5)。

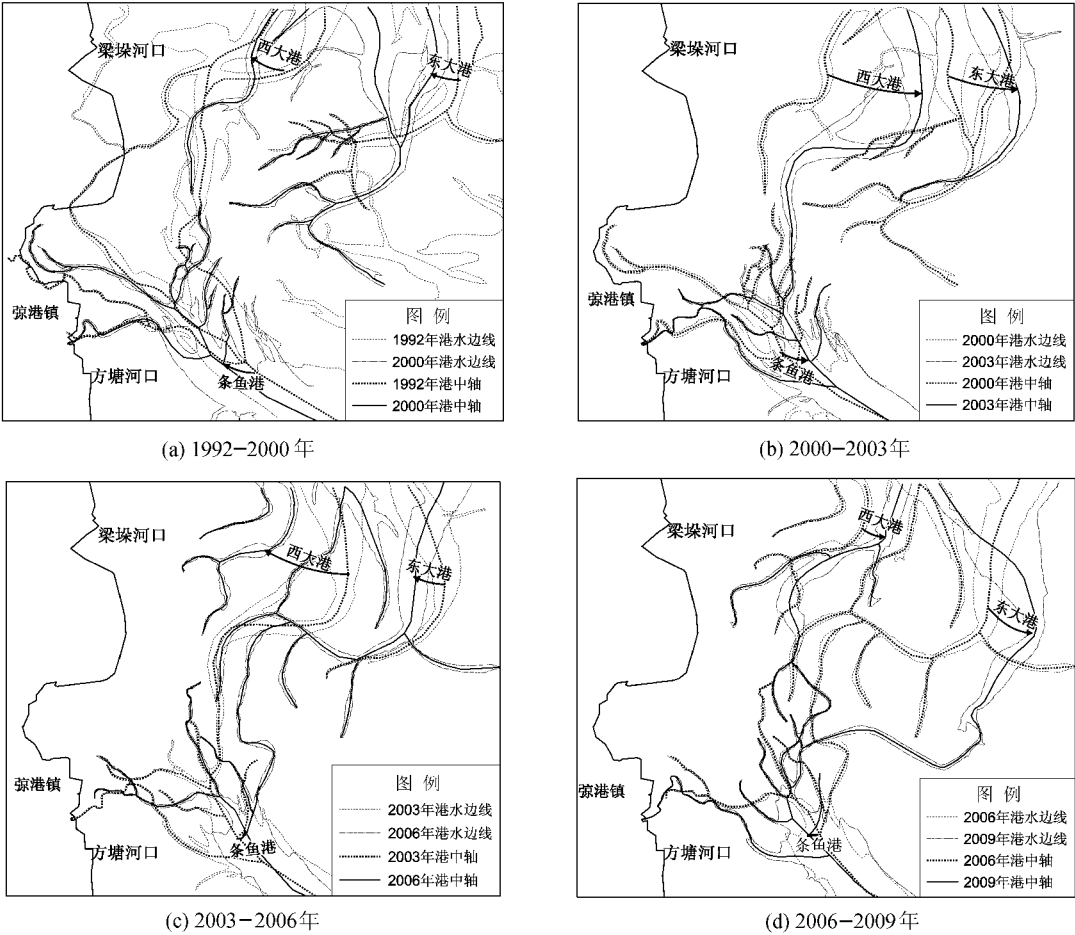


图 5 1992—2009 年条子泥主要潮水沟演变

Fig. 5 Evolution of main tidal ditches of Tiaozini during 1992—2009

三大潮水沟系统 1992—2009 年东西向整体 4 次往复摆动过程(表 2)显示西大港摆幅最大,最大摆幅约 6 km;东大港次之,最大摆幅约 2 km;条鱼港最大摆幅约 1 km;三大潮水沟系统中,条鱼港最稳定,西大港变化最为剧烈,对将来的围垦工程必然带来重大影响。

2.4 2006—2009 年实测地形分析

依据 2006 年机载激光雷达(LiDAR)和 2009 年拟匡围区实测地形数据,建立数字高程模型(DEM),将 2009 年与 2006 年 DEM 相减,实现条子泥拟匡围区内冲淤分

表 2 主要潮水沟摆动幅度统计

Table 2 Statistical data of shifting amplitudes of main tidal ditches

时间	摆动幅度/km		
	西大港	东大港	条鱼港
1992—2000	西摆 2	西摆 2	西摆 0.8
2000—2003	东摆 5.5	东摆 1.5	东摆 0.5
2003—2006	西摆 4.5	西摆 1.2	东摆 0.5
2006—2009	东摆 1	东摆 2	东摆 0.5

析^[7](见图6.7).

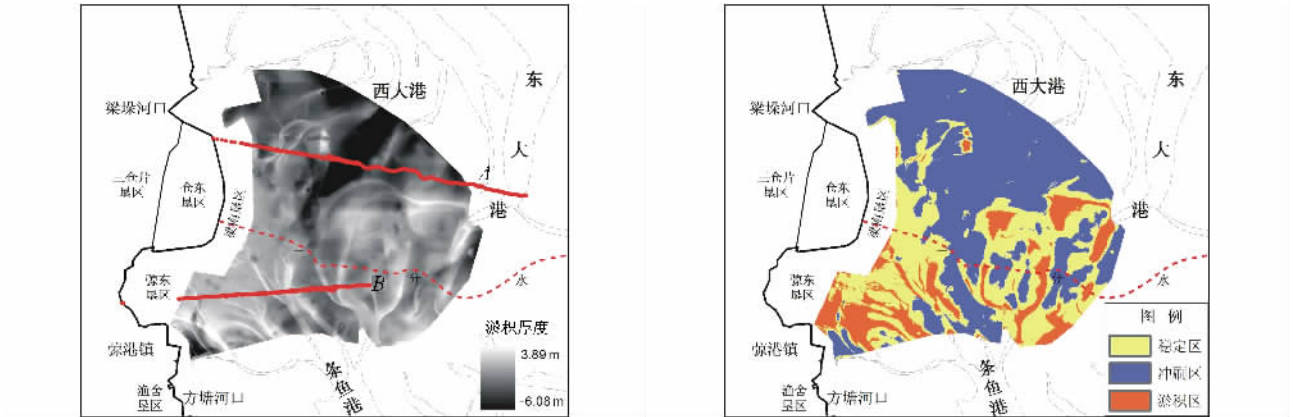


图6 条子泥地形冲淤结果(+为淤积;-为冲刷)
Fig. 6 Erosion and siltation map of Tiaozini
(+ : siltation ; - : erosion)

图7 条子泥地形冲淤区空间分布
Fig. 7 Spatial distribution of erosion and siltation of Tiaozini

另外,条子泥岸滩上选取了具有代表性的2条剖面,利用2006年LiDAR地形数据、2007年9月和2008年10月江苏“908”岸滩剖面测量数据和2009年12月匡围地形测量数据,共4期断面重复测量数据,绘制了地形冲淤变化断面图^[8](图8).

在条子泥207 km²计算面积范围内,分析2006—2009年多期实测地形(图6.7).条子泥总体冲淤剧烈,并且以冲刷为主,冲淤总量0.24 km³,净冲刷量0.2 km³(表3);冲刷带主要分布于西大港、东大港、条鱼港主港槽活动区,最大刷深厚度为6.08 m.淤积带主要分布于二分水南部与蒋家沙连接处,最大淤积厚度3.89 m.相对稳定带主要分布于梁南、东垦区西部岸滩和二分水滩脊一带,冲淤厚度稳定在±0.5 m范围内(图7).西大港条鱼港一线以西近岸边滩相对稳定带东西宽度6~8 km.二分水滩脊相对稳定带总体由西向东垂直于海岸线,平行于二分水脊线分布,东西向长约13 km,南北向宽5~6 km,以二分水脊线为界,北宽南窄,北面3~4 km,南面1~2 km.

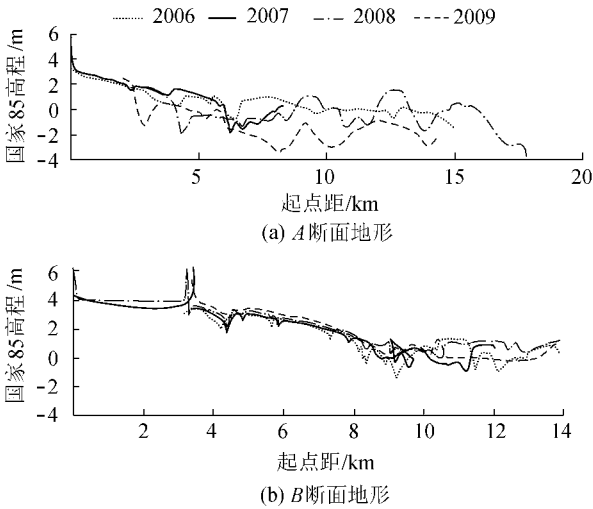


图8 2个地形测量断面
Fig. 8 2 sections of measuring terrain

表3 条子泥拟匡围区地形冲淤统计

Table 3 Statistical data of erosion and siltation in planning reclamation areas of Tiaozini

冲淤状况	体积/ km ³	面积/ km ²	平均厚度/ m	最大厚度/ m
冲刷	0.2	142	1.38	6.08
淤积	0.04	65	0.58	3.89
总冲淤量	0.24	207	1.16	9.97
冲淤均衡	0.16	77	0.8	2.19

3 动力地貌变化分析

3.1 条子泥动力地貌分析

江苏沿海条子泥沙洲形成余百年,其内缘区潮滩并陆时间近50年,位置长期稳定在港岸外^[9-12].另外根据1973—2010年间条子泥稳定性分析,表明条子泥整体稳定,南北两大潮波系统在条子泥交汇的动力场和泥沙输送总体格局稳定,此区域已经具备大规模围垦开发的基础条件.

二分水1973—2010年间总体相对稳定、先向北后向南的摆动特征,反映了现代两大潮波系统长期处于整体均衡状态.在近期则呈现北强南弱的发展趋势.另外根据2006—2009年实测地形冲淤分析结果,表明近年来条子泥呈现北冲南淤的迹象.初步认为潮水沟摆动与滩面冲淤存在响应关系,具有内部泥沙调整的可能性.条子泥北侧西大港区域被侵蚀的泥沙有可能部分被带到条子泥西南部岸滩上淤积.此推论仍需进一步研究和证实.

条子泥冲淤演变主要受西大港、东大港、条鱼港三大潮水沟系统的综合影响。条子泥的二分水在西大港与条鱼港的水沙动力交汇带,也是西洋与黄沙洋的水沙动力交汇带。二分水的位置南北移动和条子泥滩面冲淤分布直接受两大水沙动力交汇的均衡变化影响。西大港及西洋水沙动力加强时,二分水位置南移,反之北移。潮水沟的重要动力地貌特性是横向摆动活跃。条子泥的三大潮水沟系统最主要的特点是平行海岸分布,不同于绝大多数潮水沟系统垂直或斜交海岸分布。他们较为自由的横向摆动是条子泥大规模冲淤变化的直接动力。西大港属条子泥内部的主要潮水沟系统,其东西向摆动,主要改变条子泥潮滩上地貌单元及其冲淤单元的内部空间分布关系,不影响条子泥潮滩的总体格局。东大港是条子泥的东边界,其东摆,条子泥面积扩大,西摆则缩小。条子泥围垦开发需要特别关注东大港和西大港潮水沟的摆动规律。20 世纪 70 年代以来,渔舍、笆斗等垦区多处决堤,主要是由堤外的潮水沟摆动所致^[13]。因此,需要加强条子泥及其潮水沟动态监测与工程控制。

3.2 条子泥周边环境动力地貌分析

20 世纪 70 年代以来,条子泥西侧陆续匡围滩涂约 1.8 万 hm^2 ,海岸线总体推进约 10 km,平均 250 m/a,尤其是 2000 年以后仓东、东和梁南垦区的迅速围垦,加速了海岸线向海推进。滩涂的匡围直接改变了围区内原滩面的性质,使得原来的纳潮滩面缩小,减少了进出条子泥岸滩的潮水量,改变了潮流的边界条件,可能会激活部分大潮水沟,使其摆动加快、幅度加大。

条子泥东侧主要是蒋家沙迅速并入高泥,导致高泥迅速淤长,东大港动力加强,南北向顺直的潮汐水道有将条子泥与高泥滩面切割的趋势。高泥沙洲面积扩大,滩面淤高,阻挡外海风浪对条子泥的正面袭击,但也影响了外海对条子泥的泥沙输送。

条子泥南北两侧主要受南面的黄沙洋和北面西洋两大潮波系统动力均衡变化的影响。条子泥南侧南尖子、蒋家沙部分沙洲逐渐并入条子泥,条鱼港等潮水沟系统受到黄沙洋潮波控制,沟系短小且散乱,但位置相对稳定。近年来,条子泥北侧北尖子沙洲剧烈变化,西大港、东大港摆动受到西洋控制,动力加强,潮水沟沟系复杂,摆动频繁。

4 结 语

本文采用基于多时相遥感资料建立滩面稳定性定量分析方法,研究了辐射沙脊群沙洲的稳定性,并对辐射沙脊群条子泥的动力地貌演变形成了新认识,主要体现在:自 20 世纪 70 年代至 2010 年近 40 年来,条子泥总体稳定与内部冲淤多变并存,滩面稳定性以二分水为主轴,向南北两翼逐渐由高变低;条子泥二分水滩脊呈现总体相对稳定、先向北后向南摆动的特征;东大港、西大港、条鱼港三大潮水沟横向摆动频率高,摆幅大,多次整体东西向往复摆动,具有周期性。港岸外大规模围垦,对条子泥动力地貌环境产生了重要影响。即将建设的条子泥围垦工程,应充分考虑其动力地貌演变特征,进一步加强条子泥动态监测研究。基于多时相遥感资料建立滩面稳定性定量分析方法确定了稳定性系数的空间分布,将二分水作为标志性地貌单元,用遥感方法定量研究潮滩演变。该方法对实测资料短缺的辐射沙脊群区域具有实用价值。

参考文献:

- [1] 张忍顺,陈才俊.江苏岸外沙洲演变与条子泥并陆前景研究[M].北京:海洋出版社,1992:3-5.
- [2] 陈君,王义刚,张忍顺.江苏岸外辐射沙脊群东沙稳定性研究[J].海洋工程,2007(1):105-113.(CHEN Jun,WANG Yi-gang,ZHANG Ren-shun.Stability study on the Dongsha sandbanks in submarine radial sand ridges field off Jiangsu coast[J].The Ocean Engineering,2007(1):105-113.(in Chinese))
- [3] DING Xian-rong,ZHU Da-kui.Characteristics of tidal flows and development of geomorphology in tidal flat creeks,southern coast of Jiangsu Province[C].Proceedings of China-West Germany Symposium on Coastal Engineering.Nanjing[s.n.],1985.
- [4] LOHANI D,MASON D C.Application of airborne scanning laser altimetry to the study of tidal channel geomorphology[J].Journal of Photogrammetry & Remote Sensing,2001,56:100-120.
- [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] 高敏钦,徐亮,黎刚.基于 DEM 的南黄海辐射沙脊群冲淤演变初步研究[J].海洋通报,2009(4):168-176.(GAO Min-qin,XU

- Liang LI Gang. The study of scouring and silting evolution of radiative sand ridge filed of the South Yellow Sea in support of DEM[J]. Marine Science Bulletin 2009(4):168-176.(in Chinese))
- [7] 张明, 蒋雪中, 郝媛媛. 遥感水边线技术在潮间带冲淤分析研究中的应用[J]. 海洋通报, 2010(2):176-181.(ZHANG Ming, JIANG Xue-zhong, HAO Yuan-yuan. Application of remote sensing waterline technique to analyze the changes of erosion and deposition in intertidal flat[J]. Marine Science Bulletin 2010(2):176-181.(in Chinese))
- [8] 张长宽. 应用“908”专项成果推进江苏沿海科学发展[J]. 海洋开发与管理, 2009(12):54-56.(ZHANG Chang-kuan. Advance science of Jiangsu coastal area by using 908 ad hoc survey results[J]. Ocean Development and Management, 2009(12):54-56.(in Chinese))
- [9] 杨耀中, 冯卫兵. 南黄海辐射沙脊群波浪场数值模拟[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2010, 38(4):457-461.(YANG Yao-zhong, FENG Wei-bing. Numerical simulation of wave fields in radial sand ridge filed of southern Yellow Sea[J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences 2010, 38(4):457-461.(in Chinese))
- [10] 宋召军, 黄海军, 王珍岩. 苏北潮滩的近期变化分析[J]. 海洋科学, 2008(6):25-29.(SONG Zhao-jun, HUANG Hai-jun, WANG Zhen-yan. Spatial-temporal changes of tidal flats in north Jiangsu Province[J]. Marine Sciences 2008(6):25-29.(in Chinese))
- [11] 康彦彦, 丁贤荣, 程立刚等. 基于匀光遥感的6000年来盐城海岸演变研究[J]. 地理学报, 2010, 65(9):1130-1136.(KANG Yan-yan, DING Xian-rong, CHENG Li-gang et al. Coastline changes in Yancheng since 6000 years ago based on remote sensing image dodging[J]. Acta Geographica Sinica 2010, 65(9):1130-1136.(in Chinese))
- [12] 丁贤荣, 葛小平. 江苏海岸正在生长的国土[J]. 森林与人类, 2008(9):30-37.(DING Xian-rong, GE Xiao-ping. Jiangsu coastal, growing homeland[J]. Forest & Humankind 2008(9):30-37.(in Chinese))
- [13] 刘秀娟, 高抒, 汪亚平. 淤长型潮滩剖面形态演变模拟:以江苏中部海岸为例[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2010(4):542-550.(LIU Xiu-juan, GAO Shu, WANG Ya-ping. Modeling the shore-normal profile shape evolution for an accretional tidal flat on the central Jiangsu Coast[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences 2010(4):542-550.(in Chinese))

Tidal flat evolution analysis using remote sensing on Tiaozini flat of the radial sand ridges

DING Xian-rong^{1, 2}, KANG Yan-yan^{1, 2}, GE Xiao-ping^{1, 2}, LI Qing^{1, 2}, ZHANG Ting-ting^{1, 2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resource and Hydraulic Engineering ,
Hohai University , Nanjing 210098 , China ;

2. School of Earth Science and Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China)

Abstract : Tidal flat changeable characters about the Tiaozini flat in radial sand ridges southern Yellow Sea are studied based on 10 low-tidal level remote sensing images during last 40 years and 4 topographic data from 2006 to 2009. Characters include the hydrodynamic equilibrium, tidal flat stability, and evolution of the main tidal creek and erosion-accumulation. The method is that remote sensing combines with ground measurement. The results are follows: Tiaozini flat is generally stable, main stable regions locate in the tidal basin division and high tidal flat of Jiang Gang. Both erosion and accumulation are interactive intensely in the Tiaozini fate. New trends show erosion in northern part and accumulation in southern part. The tidal basin division is relatively stable, but it wavered to North at first then to South during last 40 years. The methods which tidal flat stability and the tidal basin division change are studied with multi spatial remote sensing images are new and useful.

Key words : radial submarine sand ridge; Tiaozini; tidal flat evolution; the stability of the tidal flats; remote sensing