

# 应用卫星影像系列海图叠合法分析沙洲动态变化 ——以江苏东沙为例

刘永学<sup>1</sup>, 张忍顺<sup>2</sup>, 李满春<sup>1</sup>

(1. 南京大学城市与资源学系, 江苏 南京 210093; 2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210097)

**摘要:**利用 1973~2000 年 9 个时相的卫片、海图, 提出了卫星影像系列——海图叠合法来分析辐射沙洲中大沙洲的动态变化, 并将之运用到东沙的动态趋势分析中。研究表明: (1) 通过卫星影像系列——海图叠合法, 可避开了不同时相卫片的潮位校正难点, 揭示了沙洲的冲蚀淤长变化。(2) 东沙北缘向南移动; 沙洲东缘向东移动; 在沙洲西部遭受侵蚀, 边缘东移, 但幅度不大。

**关 键 词:**卫星影像系列海图叠合法; 江苏辐射沙洲; 东沙; 动态研究

**中图分类号:** P737.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-0690(2004)02-0199-06

江苏省人多地少, 土地资源紧张, 在全国是相当突出的<sup>[1~4]</sup>。1996 年末人均耕地为  $6.2 \times 10^{-2} \text{ km}^2$ <sup>[5]</sup>, 大大低于全国的平均水平。随着人口增长及生存环境的恶化, 人类生存空间危机越来越突出, 江苏淤长型潮滩的调查越来越受到重视。江苏沿海滩涂资源总面积约  $6\,524 \text{ km}^2$ , 由潮上带 ( $2\,598 \text{ km}^2$ )、潮间带 ( $2\,657 \text{ km}^2$ ) 及辐射沙脊群的出露沙洲 ( $1\,269 \text{ km}^2$ ) 组成<sup>[6,7]</sup>。目前江苏沿海潮上带大部分已经围垦开发, 潮间带也已部分开发利用, 只有江苏岸外沙洲群 (今习惯称辐射沙洲) 至今还未开发。

辐射沙洲以琼港为中心向外呈指状展布, 自北向南顺时针由东沙、太平沙、毛竹沙、蒋家沙、牛角沙、太阳沙、火星沙及冷家沙等沙洲所组成, 琼港外中心部分为条子泥<sup>[7]</sup>。辐射沙洲的动态演变一直是研究的热点和重点<sup>[8~12]</sup>, 但是由于辐射沙洲区面积大、高程低、滩面泥泞、潮沟密布、动力条件复杂等因素的影响, 工作条件艰苦, 导致常规调查及资料更新困难, 而遥感具有高分辨率、多时相、多波段等优点, 可不依赖于天气状况、海域状况、地表状况进行准同步、长期、动态、实时、灵活的调查。因此, 本文在 9 个不同时相卫片的基础上, 就江苏辐射沙洲动态研究方法进行了探讨, 并将之应用于辐射沙洲中的一个沙洲——东沙, 讨论其动态变化趋势。

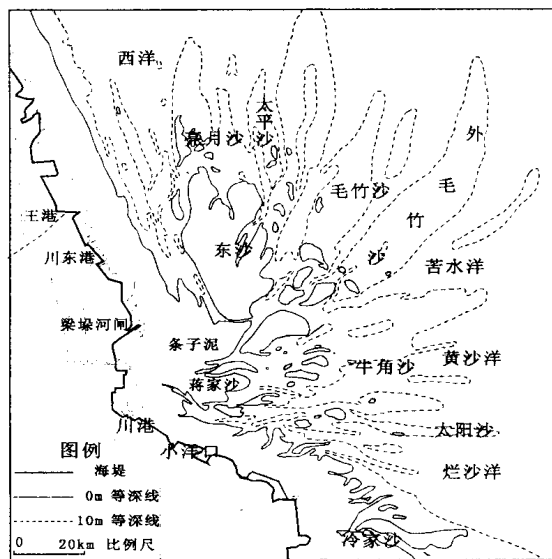


图 1 江苏辐射沙洲分布图 (据 1979 年海图)  
Fig. 1 Radial sand ridges in Jiangsu (sea chart in 1979)

## 1 研究方法

### 1.1 资料收集

为分析辐射沙洲历年来的沙洲移动、变化情况, 收集了 1973 年至 2000 年 MSS、TM 共 9 个时相的低潮位或近低潮位盐城幅卫星遥感相片 (模拟或数字格式)。各时相卫片云量均很少, 沙洲岸线 (轮廓) 清晰。各卫片成像时刻及陈家坞预报潮位见表 1 (表中潮位是根据潮汐预报表通过内插计算

收稿日期: 2003-08-11; 修订日期: 2003-11-03

作者简介: 刘永学 (1976-), 男, 江苏扬州人, 博士研究生, 主要研究方向为 GIS 与遥感应用。E-mail: liuyongxue@baron.com.cn

表 1 研究区影像参数及地理校正精度表

Table1 Parameters of satellite images and precision of image geometric correction

序号	成像时间 (GMT)	传感器	潮位 (cm)	资料形式	控制点数	X 误差 (像元)	Y 误差 (像元)	RMS 误差 (像元)
1	1973 - 11 - 16 ,02 01 40	MSS	140	1 50 万模拟图像	15	0.4075	0.3118	0.5644
2	1979 - 09 - 10 ,01 51 20	MSS	114	1 50 万模拟图像	22	0.4458	0.2639	0.5181
3	1980 - 10 - 28 ,01 39 00	MSS	113	1 50 万模拟图像	23	0.2291	0.2754	0.3583
4	1984 - 08 - 04 ,02 00 00	TM	153	1~7 波段	18	0.2562	0.2007	0.3255
5	1988 - 04 - 09 ,02 00 40	TM	137	1~7 波段	23	0.2364	0.2188	0.3492
6	1997 - 03 - 01 , 01 56 12	TM	137	7,4,2 波段	18	0.1954	0.3421	0.3940
7	1998 - 01 - 31 , 02 06 24	TM	139	4,3,2 波段	18	0.2033	0.3547	0.3814
8	1999 - 02 - 19 , 02 09 50	TM	152	1~7 波段	24	0.3404	0.2503	0.4237
9	2000 - 03 - 09 , 02 03 55	TM	162	1~7 波段	29	0.2326	0.1928	0.3021

而来)。为方便研究区影像地理校正,还收集了卫星影像陆地一侧(盐城、南通、扬州及泰兴四市)1 5万数字栅格图(DRG)。收集 1979 年由海军航海保证部测量辐射沙洲海域(川水港至环港,编号 1037)1 25 万海图,数字化并生成辐射沙洲区数字地面模型(DEM);利用 GIS 软件对辐射沙洲区数字地面模型进行插值,依据不同卫星影像成像时潮位,生成相应的等高线图。对各卫片进行预处理(研究区选取、辐射校正、图幅镶嵌等);并结合野外定位资料、地形图、海图进行影像配准,检验配准精度;在目视判读的基础上,对辐射沙洲轮廓进行数字化,提取沙洲边缘,建立空间数据库,进行 GIS 叠合分析。

1.2 研究难点及解决方法

在利用卫星影像研究辐射沙洲动态过程中,必须解决两个关键性问题:一是卫星影像的地理配准(地理校正)问题;二是不同时相卫片沙洲形态的比较问题。

1) 卫星影像地理校正:由于辐射沙脊群周期性地为海水所淹没,其边界是动态变化的,在研究区没有固定、明显可利用地物控制点,因此只能利用卫星遥感影像的几何连续性,先精确配准辐射沙脊群以西相邻的陆地部分,这样在向海方向上顺延的对称区域内,其点位误差不会偏离陆地相应区域的误差<sup>[12]</sup>。

在地理校正中,对比 1 5万数字栅格图(盐城、南通、扬州及泰兴四市),在卫星影像上均匀选取相应固定、明显的地面控制点(GCPs)。研究区内此类地物控制点主要有河闸、挡潮闸、道路交叉点、桥梁及道路与水系的交叉点等。采用通用横轴墨卡托北纬 51 带投影(UTM 51N),WGS 84 基准面。由于研究区地面高程变化缓和,采用二阶多项式进行

几何精校正,以避免图像边缘产生较大畸变,并按立方卷积法进行重采样(30 m)。研究过程中各时相卫星影像地理校正精度均不超过一个像元(见表 1)。

2) 不同时相卫片沙洲形态可比较性:各时相卫片显示出不同沙洲形态均有各自独特的空间分布特征。这些变化既包含了辐射沙洲本身的时空变化(1973 年至今,由于辐射沙洲周围供沙条件改变,所造成辐射沙洲空间上的调整变化),同时也又包含了不同潮位下(由于卫片成相时刻不同所造成的)显示在卫片上的差异。如何从不同卫片所显示的沙洲形态变化中剔除潮位因素所造成的差异,清理出辐射沙洲在时间间隔内实际所发生的变化?这正是在利用卫星影像研究易变海岸(岸滩)时所面临的问题。

本文在同潮位卫星影像比较的基础上,采用卫星影像系列——海图叠合分析法,从而避开潮位校正的困难来讨论辐射沙洲的动态变化。图 2 上部的曲线是根据 1979 年测 1 25 万海图上,高程与该等高线所圈定某沙洲面积 A 的关系;图 2 下部则是在各时刻卫片成相时的潮位与该潮位状态下卫片出露面积 A 的关系(图 2 上下两部横坐标和纵坐标划分完全相同,在中国出版的潮汐预报表中,辐射沙洲海区潮高基准面为平均海面以下 292 cm,海图深度基面以潮高基准面为准)。显然在一级近似(即认为某沙洲在某一时刻的海面是水平的)的状况下,如果沙洲面积不变,则两条曲线应该是一致的。亦即当卫星影像成像时的潮位  $H(i)$  和高度  $H(i)$  相等时,其所对应的面积差

$$A(i) = A(i) - A(i) = 0$$

显然,如果沙洲面积发生了冲淤变化,则

$$A(i) = A(i) - A(i) = 0$$

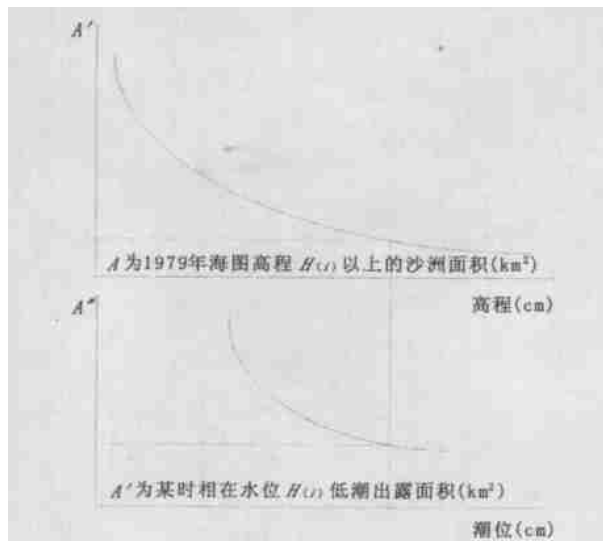


图2 沙洲面积比较示意图

Fig.2 Sketch of superposing method

可见,本方法实质是对于某沙洲分别将各时相卫星影像所显示的沙洲面积均与1979年海图所显示的沙洲状态进行对比,求取各沙洲面积的  $A(i)$ ,根据  $A(i)$  的时间序列变化分析各沙洲面积变化趋势,避开了潮位校正的问题。显然,卫星影像系列——海图叠合法还可以用于各沙洲的移动趋势分析。在高程  $H(i)$  上,可以得到某沙洲的闭合水边线,将之与相应潮位  $H(i)$  下某卫片所显露的部分相叠合,可以分析该沙洲相对1979年海图位置或轮廓的变化。下文以辐射沙洲中一个极为重要的沙洲——东沙为例,讨论其动态变化的趋势。

## 2 结 果

比较1979年卫片(潮位114 cm)东沙出露面积和1979年海图中相应高程(114 cm)所圈定面积,两者相差为  $4.2 \text{ km}^2$ ,尚不足东沙总面积的1%。同时在海图上114 cm等高线所围成的闭合水边线与1980年卫片(潮位113 cm)东沙出露轮廓基本复合(图3a)。表明了卫星影像系列——海图叠合法应用于辐射沙洲中大沙洲的可行性。

从东沙面积变化上分析,表2为东沙在不同时相卫片上的出露面积及1979年海图相应等高线所圈定面积的统计表。由表2可以看出,从1979年至2000年在近低潮位上,东沙卫片显示范围与海图相应等高线圈定面积相比,面积不断减小。而按时序逆推,可看出1973年在潮高140 cm时要比

1979年海图相应等高线圈定面积则大  $16.9 \text{ km}^2$ 。在113 cm潮高时,1980年要比1979年减小了  $6.5 \text{ km}^2$ ,在137 cm潮高上,1997年要比1988年约减小了  $63 \text{ km}^2$ ,在152(153) cm潮高上,1999年要比1984年减小了近  $44 \text{ km}^2$ 。

从东沙出露范围变化分析,图3为东沙在不同时相卫片上的出露范围及1979年海图相应等高线所圈定范围的对比分析图。图3a为1979年、1980年卫片(潮高为113~114 cm)的出露轮廓,图3b为1984年、1999年卫片(潮高为152~153 cm)的出露轮廓,图3c为1988年、1997年卫片(潮高为137 cm)的出露轮廓,图3d为2000年卫片(潮高为162 cm)与1979年海图相应等高线所圈定范围的叠合图。

分析图3a,发现东沙北部边缘在风浪的塑造下,逐渐南缩,其东北部的小沙洲——三丫子变化最为明显;东沙中段西侧滩面由于西洋主槽缓慢东移扩大的影响,遭受侵蚀,逐渐向东移动。对应西侧滩面的移动,其东侧的一些半岛状沙洲如团子沙、扇子地亦有相应移动。这一趋势在图3b、图3c、图3d中反映更加明显。图3d是2000年卫片(潮高162 cm)与1979年海图东沙闭合等高线(162 cm)的叠合,表明了自1979年至2000年的21年间,东沙西缘(东沙西角至豆腐渣腰门西口)已东移了  $1.0 \sim 2.0 \text{ km}$ 。东沙西南角的动态变化则更有趣味,综合分析9个时相的卫片,发现东沙的西南角不断有小沙洲从东沙主体分离出来,合并到南部的条子泥沙洲。从而表现为东沙西南角的不断萎缩,南部条子泥东角不断向北生长。

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨 论

利用25年来9个时相的卫片和海图资料,以东沙为例对江苏辐射沙洲的动态研究方法进行探讨。由于资料条件的限制,尚存在一些有待进一步解决的问题。

显然本文所提出了卫星影像系列——海图叠合法只适用于面积较大的沙洲,因为只有在较大的沙洲上,海图上才有足够的高程点以供绘出该沙洲的等高线图。对海图上没有足够高程点的岸外小沙洲动态演变研究,仍需探索新的研究思路。

在研究中,对东沙采用不同时相卫片与1979年海图相同潮位进行比较,相对前人直接将不同时

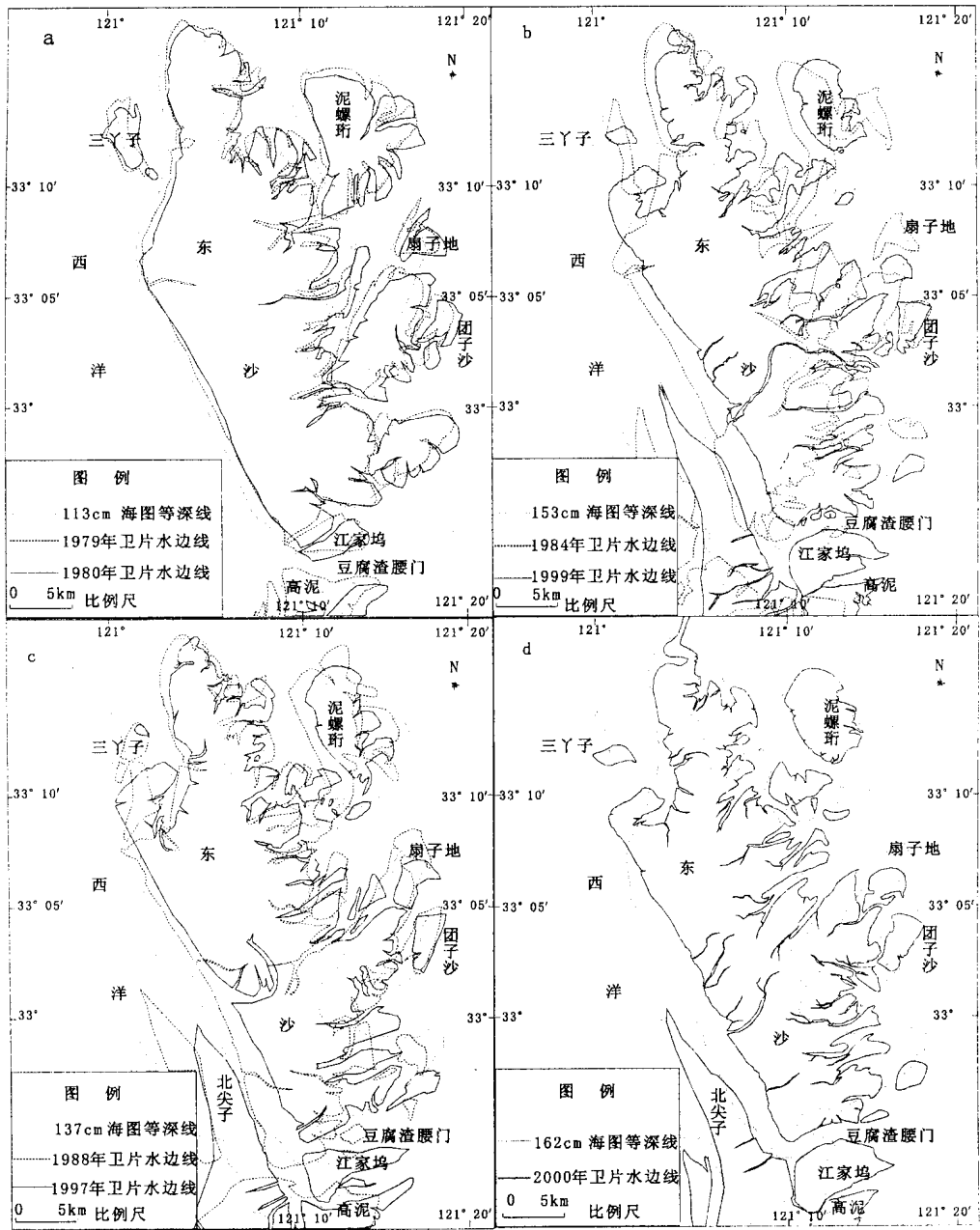


图 3 东沙卫星影像海图叠合比较

Fig. 3 Superposed map of seabed relief and satellite images in 1979

表 2 1973~2000 年东沙\*面积变化表 (km<sup>2</sup>)

Table 2 Area changes in Dongsha Sandbank from 1973 to 2000 (km<sup>2</sup>)

年份	20 世纪 70 年代		20 世纪 80 年代			20 世纪 90 年代		
	1973	1979	1980	1984	1988	1997	1999	2000
潮位	140	114	113	153	137	137	152	162
A	551.7	576.5	562.5	465.1	524.3	461.3	422.2	457.83
A	534.8	572.3	573.2	515.7	539.2	539.2	516.9	502.06
A	16.9	4.2	- 10.7	- 50.6	- 14.9	- 77.9	- 97.4	- 44.32

\*东沙面积包括泥螺坳、扇子地、团子沙周围小沙洲

相、不同潮位的卫片直接叠合有了较大的改进。但 辐射沙洲近低潮出露面并非是一个水平面,卫星影

像近低潮位出露面积与海图中相应等高线圈定范围比较仍有待深入研究。

### 3.2 结 论

1) 通过卫星影像系列——海图叠合法,比较不同时相(亦即不同潮位)各大沙洲面积、轮廓与基期年海图(1979 年)相应等高线出露区域,可避开了不同时相卫星影像的潮位校正难点,分析了沙洲的冲蚀淤长变化。对比历年卫星影像所显示的这种变化就可以确定该沙洲的相对移动或冲淤趋势。

2) 比较历年卫星影像与海图中相应等高线圈定范围,可以看出,东沙作为一个离岸大沙洲,其运动规律在不同部位表现各不相同;东沙北缘向南移动;沙洲东缘向东移动;在沙洲西部遭受侵蚀,边缘东移,但幅度不大;沙洲南缘随着豆腐渣腰门的开通而北退,江家坞有不断从主体分离合并到南部沙洲条子泥的趋势;总体而言,东沙一直相对稳定在  $121^{\circ} \sim 121^{\circ} 20' E$ ,  $32^{\circ} 50' \sim 33^{\circ} 20' N$  之间的区域内。

### 参考文献:

[1] 罗守贵,曾尊固,王伟伦,等.常熟市可持续农业与农村发展

系统评价及其规划[J].地理科学,2000,20(5):437~442.

[2] 蔡运龙.中国农村转型与耕地保护机制[J].地理科学,2001,21(1):1~6.

[3] 张 强,朱 诚,姜逢清,等.南京江北地区晚更新世以来环境演变研究[J].地理科学,2001,21(1):498~504.

[4] 姜洪涛,王富葆,杨达源.苏州市晚第四纪古地理与工程地质条件研究[J].地理科学,2003,23(1):82~86.

[5] 江苏省统计局.江苏统计年鉴(1999)[M].北京:中国统计出版社,2000.145~162.

[6] 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,1992.8~18.

[7] 任美镔.江苏省海岸带和海涂资源综合调查报告[M].北京:科学技术文献出版社,1985.122~134.

[8] 王 颖,朱大奎,周旅复.南黄海辐射沙脊群沉积特点及其演变[J].中国科学,1998,28(5):385~393.

[9] 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,1998,28(5):394~401.

[10] 宋志尧,严以新,薛鸿超.南黄海辐射沙洲形成发育水动力机制研究[J].中国科学,1998,28(5):411~417.

[11] 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):42~49.

[12] 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.

## Dynamic Change of Radial Sand Ridges in Coast of Jiangsu Province —A Case Study in Dongsha Sandbank

LIU Yong-Xue<sup>1</sup>, ZHANG Ren-Shun<sup>2</sup>, LI Man-Chun<sup>1</sup>

(1. Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093;

2. College of Geographic Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210097)

**Abstract:** The coast of Jiangsu Province is famous for its radial sand ridges offshore the coast, which is the largest tidal sandbanks in Chinese continent shelf. The sandbanks contain 10 great linear submarine sand ridges with center in Jiang-gang harbor. With population explosion and exacerbation of the environment, dynamic change of those sandbanks is highlighted during the past twenty years. But broad, muddy surface and complicated dynamic condition of the sandbanks, which is densely covered by tidal creeks, hinder updating of local landform data through routine measure method. The paper studies dynamic changes of the radial sand ridges offshore the coast of the Jiangsu Province based on GIS and RS technology. In the paper, a method named "superposition analysis" is brought forward and applied to the groupings of radial tidal ridges offshore the Coast of Jiangsu Province, using 9 MSS, TM satellite images (nice photographed in the low-tide period, without cloud in each image) from 1973 to 2000 and sea chart in 1979 (No. 1037), 1:50000 relief maps of research area. DEM of the radial tidal sandbanks area is created from the sea chart. Contour lines of different depth are interpolated from DEM by GIS. Pretreatment to the satellite imageries including re-

search-area selection, atmospheric correction and image mosaic are made to the satellite images.

Two crucial problems are resolved in studying dynamic change of radial tidal sandbanks: one is geometric correction of satellite images; the other is feasibility of shape comparison among satellite images acquired in different time. Key point to improve the precision of the result in studying dynamic change of the radial tidal sandbanks by satellite images of different time rests with geometric correction. Because the sandbanks are covered by sea water periodically, the shape of the radial tidal sandbanks dynamically changes with the tidal level. So we make use of the geometrical continuity of satellite images and register the land area first, which locates west of the radial tidal sandbanks. Thus in the symmetrical area extending to the sea, the error will not go far from the error in the land area. In the paper, geometric correction is made to each satellite image according to the 1:50000 relief map, with a high accuracy no more than one pixel. Based on the comparison between images on the same tidal levels, this paper makes use of series of images, that is, adopts the chart overlay analysis method, thus study the dynamic changes of radial sandbanks while avoiding the difficulty of tidal level rectification. This may be more accurate than overlaying satellite images of different tidal levels. By comparing the area of Dongsha sandbank in satellite image of 1979 with the tidal level of 114cm and the area enclosed by the 114cm contour in the sea chart, we can find that the difference of the two areas is lesser than 1% of the total area of Dongsha sandbank. Besides, the closed shoreline enclosed by the 114cm contour of the sea chart tally with the outline of Dongsha sandbank in the satellite image of 1980 with the tidal level of 113cm on the whole. This indicates that satellite image series—the chart overlay analysis method is feasible in the application of large radial sandbanks.

Applying the method mention above to the 9 phases satellite imageries, we discover that Dongsha Sandbank's area decrease gradually. The sandbank doesn't have a simple moving trend, the motion of sandbank is rather complicated; the figure of the sandbank in the north has a southward movement; the outline of the sandbank in the west is eroded by the Xiyang Tidal Channel; along with expanding of the Yaomen Tidal Channel in the south, the Jiangjiawu Sandbank has a trend to move to the Tiaozini Sandbank from the Dongsha Sandbank step by step. As a whole, Dongsha Sandbank lies in the range during the past twenty years.

**Key words:** radial sand ridges; offshore the Jiangsu Coast; dynamic change; Dongsha Sandbank; coast; Jiangsu Province