

南黄海海底辐射沙洲的现代变迁研究*

黄海军 李成治

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 根据南黄海海底辐射沙洲 1973—1993 年 9 个时相陆地卫星影象及海岸带调查资料的分析表明:本区沙洲在 1988—1993 年间处于侵蚀后退阶段,主要沙洲平均蚀退速度为 $4.68\text{km}^2/\text{a}$,但沙洲东北部有伸延发展的趋势。沙洲的变迁具有明显的区域差异,北部沙洲变化较快,年均迁移速度为 $580\text{m}/\text{a}$;南部沙洲稳定性程度较高、变化较慢,年均迁移速度为 $280\text{m}/\text{a}$,目前仍处于缓慢调整阶段。自黄河北移以来,旧黄河及其径流携带泥沙的影响越来越小,潮流等水动力条件对辐射状沙洲的影响不断增强。目前辐射状沙洲形态基本上与本区动力条件相适应,其演化处于较稳定的阶段,突发事件如台风、风暴潮等将是本区今后大范围变迁的主要动力条件。本文最后论述了沙洲变迁的三种主要方式:外围沙洲向中心迁移;潮沟两侧沙洲消长;次级潮沟消长,沙洲变迁。

关键词 辐射状沙洲 遥感监测 南黄海

学科分类号 P737.1

苏北辐射沙洲以其形态特殊、地形复杂多变而著称。整个沙洲以琼港为顶点,由东沙沙洲等 10 余条大型海底沙洲向北、东和东南方向伸展而成,大小沙洲总计 70 余个,0m 以上的沙洲面积达 2 100 多平方公里,为江苏海岸带的重要组成部分,而且辐射沙洲本身是一个特殊的地貌体系,对其形成、演变的研究有着重要的理论意义。

然而对本区的研究 50 年代以前报道很少,李成治等(1981)曾对该区形态成因作过初步研究,任美镠(1986)、朱大奎等(1986)在海岸带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(1992)对辐射沙洲中心区的条子泥进行了较为详细的研究。但是,由于该区地形复杂、变化频繁,动力条件、海况恶劣,常规调查较困难,该区资料更新更为困难,上述研究对辐射沙洲区的总体变化,尤其是利用遥感技术研究沙洲的现代变迁涉及甚少。本文即在此基础上,利用多时相陆地卫星影象对比分析了本区沙洲的现代变迁及其发展趋势。

1 研究方法

利用陆地卫星资料(影象、底片和磁带共计 9 个时相,其时间为 1973.11.16; 1975.03.26; 1975.04.30; 1978.03.19; 1978.08.10; 1979.09.10; 1987.12.14; 1988.04.09 和

* 国家自然科学基金资助项目, 49236120 号。黄海军, 男, 出生于 1963 年 11 月, 副研究员, Fax: 0086-0532-2870882

收稿日期: 1996-09-15, 收修改稿日期: 1998-05-10

1993.12.19。影象比例尺从 1:100 万—1:20 万), 通过对其波段的选择、子区放大、典型地物灰度值取样及其统计分析、几何校正等处理来监测苏北辐射沙洲的冲淤动态, 同时, 利用该区常规调查资料分析其变迁的影响因素及辐射沙洲的现代演变规律。

2 研究结果

2.1 辐射沙洲岸线变化特征

2.1.1 辐射沙洲子区岸线变迁 图 1 为两次不同时间卫星影像解译图, 它显示亮月沙 1993 年与 1988 年之间的变化状况。对比两图, 其沙洲北岸岸线向南移动了 3.2km, 年均蚀退速度为 600m/a。就面积而言, 北部蚀退了 1.18km², 西部蚀退 0.28km², 东南部淤长了 0.48km², 净蚀退面积为 0.98km², 年均蚀退速度为 0.2km²/a(表 1); 而北岸蚀退距离和速度在 1964—1979 年间分别为 5—6km 和 330—400m/a, 面积蚀退速度为 0.84km²/a, 显示了北部沙洲由北向南迁移的特征。

亮月沙东侧小沙洲面积同样缩小, 从 1979—1993 年逐年减小, 且与主沙洲距离越来越大, 其间潮沟不断加宽: 1979 年为 700m, 1988 年为 1 800m, 1993 年为 2 000m, 两沙洲的相对位置也发生了变化, 由其位于亮月沙东侧、东北侧到北侧, 反映两沙洲的移动方向的差异。

条子泥北部的北尖子的变迁是本区沙洲南迁的另一例证。1988 年北尖子呈 NNW 向延伸, 面积约为 3.5km², 与条子泥分离, 而 1993 年, 该沙洲大部分并入条子泥, 仅在北侧留一面积为 0.52km²的小沙洲, 5 年内几乎南退了近 6km, 面积缩小了 2.98km²(表 1)。

表 1 主要沙洲面积(km²)变化表(1988—1993年)

Tab.1 Changes in area (km²) for some sand ridges' between 1988 and 1993

地点	沙洲面积		沙洲面积变化 ¹⁾				合计
	1993年	1988年	北部	西部	东部	南部	
亮月沙	4.96	5.94	-1.18	-0.28	0.48	—	-0.98
东沙	—	—	-1.66	2.04	-0.80	-9.52	-9.94
团子沙	2.36	2.42	-0.16	0.10	—	—	-0.06
扇子地	—	—	-0.42	-2.44	0.28	-1.98	-4.56
竹根沙	—	—	-5.88(NW)		3.44(SE)		-2.44
蒋家沙	13.2	15.64	—	—	—	—	-2.44
北尖子	0.52	3.50	—	—	—	—	-2.98

1) 沙洲面积变化系 1993 年与 1988 年面积之差, 负数为面积缩小, 正数为增大

辐射沙洲间大小潮汐通道的变迁、消长, 引起沙洲区地貌体系的重新组合。蒋家沙 1988—1993 年来整体南移(图 2), 5 年间北岸南退了 1.4km, 年均蚀退速度为 0.28km/a, 同时面积有所减小, 由 1988 年的 15.64km²变为 1993 年的 13.2km²(表 1)。而以往资料显示, 这一趋势目前有所减弱, 1979—1988 年间, 其南移速度在 0.35—0.8km/a 之间, 其中 1979—1980 年为 0.44km/a, 1980—1983 年为 0.7km/a, 1983—1984 年为 0.7km/a, 1984—1985 年为 0.8km/a, 1985—1988 年为 0.35km/a(张忍顺等, 1992)。蒋家沙南移速度减小, 面积变化不大, 而且 1979 年以前, 该沙洲面积是增大的, 1963—1979 年间年均增长速度为 9.1km²/a。

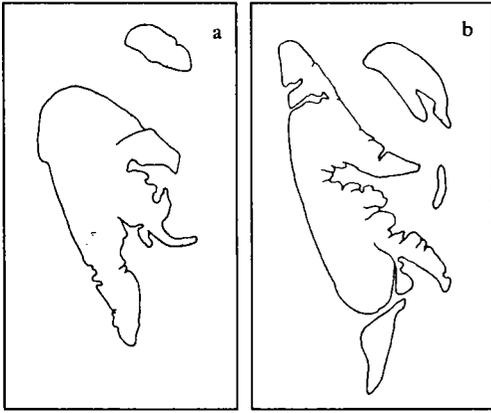


图1 亮月沙岸线变迁遥感解译图

Fig.1 Map showing beach changes on Liangyuesha Island on the basis of TM Landsat images a. 1993.12.29; b. 1988.04.09

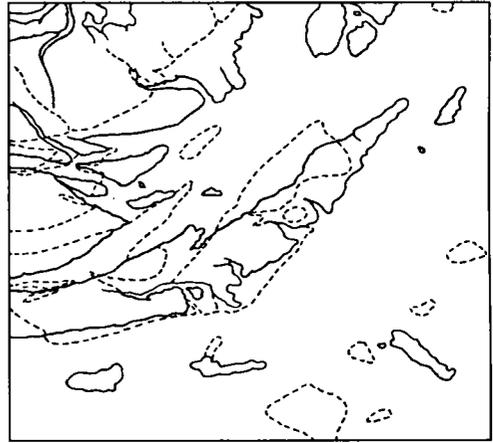


图2 蒋家沙岸线变迁遥感解译图

Fig.2 Map showing beach changes on Jiangjiasha Island on the basis of TM Landsat images ———1993.12.29; ---1988.04.09

西洋的变迁是条子泥北部、东沙西部及西洋两岸变化的重要因素。西洋为一条 NNW 走向的较为平直的深水潮流通道，槽底多处存在水深超过 30m 的深泓，西洋南端即为辐射沙洲顶部，潮位高，潮差大，潮流强，水动力条件复杂，造成周围地区地形的不断变化：A. 东沙西岸不断侵蚀东移，而其东岸淤长。由于西洋深泓线的东偏，使东沙西岸侵蚀，对比 1993 年与 1988 年卫片，东沙西岸，尤其是南段，5 年之中侵蚀了 9.52km²，年均蚀退速率为 1.9km²/a，其西侧岸线最大侵蚀距离为 1.4km。北段有冲有淤，其中岸外小岛还向西北延伸。1979 年与 1964 年岸线对比表明另外一种冲淤型式，其西岸北段侵蚀后退较多，南段基本稳定。B. 与此相对应的是东沙东岸的淤长，尽管泥螺玢西岸遭侵蚀后退，但东沙北段，泥螺玢对面的岸滩明显淤长；东沙中段东岸的扇子地沙嘴西侧海湾湾顶有类似状况；而东沙的东南侧最为典型，其岸线大幅度向东伸延，伸延距离最大达 5.8km。海岸带调查也有类似的结果。在与泥螺玢、扇子地相对应的东沙西岸 1977 年与 1980 年卫片对比，两者均后退了 1km，而东侧岸滩均有淤长(任美镔，1986)。

近年来条子泥不断淤长，东沙南部豆腐渣腰子水道重新开通，使江家坞一分为二，其南半部与条子泥合并。对比 1993 年与 1988 年卫片可知，西大港由 1988 年近乎淤死的状况重新开通、拓宽，而死生港、王家槽港消亡。西洋水道向南发展与东侧的陈家坞槽及其东南方向的小洋港、烂沙洋水道逐渐开通，使西洋水道向南、东南方向的水流增加。

2.1.2 辐射沙洲全区近期变化特点 辐射沙洲区 1988 年—1993 年间的平面变迁大体有下列特点：

辐射沙洲外围分布有许多面积较小、极不稳定的沙洲。它们在偏东风浪吹蚀、不对称的涨落潮流作用下，大都遭到侵蚀后退，有些在一次风暴后即行消失，同时又形成许多新的沙洲。经统计，蒋家沙东、东南海区的沙洲由东向西迁移，5 年间增加了 9 个小沙洲，面积分别为 0.12, 0.24, 0.24, 0.32, 0.44, 0.44, 0.48, 0.56 和 0.56km²；消失了 8 个小沙洲，其中最小沙洲的面积为 0.08km²，最大的沙洲面积达 1.56km²，合计净增长 0.52km²。但新增沙

洲大都靠西,较大的沙洲其东缘也有侵蚀现象;蒋家沙以北的沙洲在南北向潮流作用下,北岸不断侵蚀,南岸则连续淤长,整体向南迁移,其变迁强度因沙洲位置和大小而异。

从近年来该区水沙特征的遥感卫片资料解译可知,本区水沙活跃频繁,悬沙分布与流的关系明显。据朱大奎等(1986)估算,沙洲区从外围净进入的泥沙量每年约2亿t,而区内岸滩与沙洲泥沙淤积每年达7.7亿t,因此可以看出本区的泥沙物质循环,主要是当地物质的再分配。从近年地形测量结果来看,主要潮流通道均有侵蚀加深并有滚动迁移的趋势,同时次级潮汐通道的迁移、消长较为频繁,为本区提供了大量的泥沙来源。活跃的水沙条件使本区沙洲活动性较强,即使在较为稳定的条子泥,其潮沟变迁、消长也较为明显。目前的沙洲形态尚未完全适应于本区的动力条件,而且一次较强的动力突变事件如台风等,可以极大地改变本区沙洲形状,其后的调整过程将是漫长的。

由于沙洲南北区域动力条件的差异,沙洲演变区域差异明显。沙洲南部较早具有辐射状,目前的沙洲、潮流通道与潮波系统已基本达到动力平衡,沙洲、潮流通道较为稳定,有些自1904年以来即变化很小(张忍顺等,1992),如冷家沙、网仓洪等。本区北部则大不一样,辐射沙洲的最近几十年来的演变主要是沙洲区北部在潮流的作用下对本区物质的侵蚀、搬运、再沉积过程,这一过程在近期内仍将持续,辐射状沙洲的变化将主要在北部,其变化强度除局部地区外将逐渐减弱,如没有突发事件,难以出现60年代以前西洋变迁的速率(朱大奎等,1986)。由于外围沙洲向中心辐聚,泥沙的再分配将在更小范围内发生,主要沙洲面积将有所减小。

2.1.3 辐射沙洲变迁方式 外围沙洲向中心迁移。北侵南淤、东侵西淤,沙洲逐渐移动,或以沙洲消亡-新生的方式整体移动(图2)。除条子泥外,沙洲区总体处于蚀退阶段,1963—1979年,其面积年平均蚀退为 5.6km^2 (任美镔,1986),1988—1993年间主要沙洲年平均蚀退 4.68km^2 ,其中东沙面积减小 9.94km^2 ,年平均蚀退 1.99km^2 ,蒋家沙减小 2.44km^2 ,年平均蚀退 0.69km^2 ,竹根沙减少 2.44km^2 ,扇子地减少 4.56km^2 ,亮月沙减少 0.98km^2 等。然而,近期沙洲东北部有进一步向外延伸的趋势。

主要潮汐通道的摆动,沙洲分布格局变迁。西洋的主泓道的向东迁移,使西洋西岸淤长,东沙西岸侵蚀后退,1988—1993年该速度为 280m/a ;东大港从1983—1985年一直东移,速率为 $470\text{—}580\text{m/a}$ (张忍顺等,1992),北段尤其明显;王家槽主槽道南移,使蒋家沙每年南移 280m 。

次级潮沟消长,沙洲迅速变迁。次级潮汐通道淤长,逐渐退化,使小沙洲并入大的沙洲,如条子泥东侧的高泥与江家坞之间的水道淤死;外王家槽西段逐渐淤死,使蒋家沙有并入条子泥的趋势;死生港、内王家槽的逐渐淤死,使条子泥进入并陆状况等。

相对应的一些小的潮汐通道在潮滩面上水流的溯源侵蚀,潮沟不断伸长、扩展,最终使沙洲一分为二,如蒋家沙西段为一东西向潮沟分开;条子泥东的江家坞也经历了同样过程,其南部并入高泥;东沙东南岸的扇子地、团子沙在1979年海图上连在一起,1988年卫片显示高潮时两洲分离,低潮时连在一块,1993年两洲完全分离,其潮沟宽度最宽处约为 800m 。

2.2 影响辐射沙洲发育的因素

2.2.1 径流的影响 径流的作用主要表现在大量泥沙的供应上,它为辐射沙洲的形成

提供了物质基础,而对沙洲辐射状的形成,直接影响较小。

除长江外,本区目前没有大的河流汇入,现代径流作用较小,即使是长江,其主要作用方向向南,对本区影响不大,而历史时期辐射沙洲的形成和演化,径流起着非常重要的作用。从近代辐射沙洲发育的几个阶段可以看出径流及其泥沙为沙洲形成的基础(吴永成等,1998)。

2.2.2 潮流的影响 苏北浅滩潮流分布格局是辐射沙洲形成的重要条件。有些学者的模拟研究与分析表明(李从先等,1995;董礼先等,1989),即使在辐射沙洲形成以前,该海区流场已经基本形成,只要有足够的细粒物质进入本区,在本区两大潮波系统共同作用下,即可逐步形成辐射状沙洲。由此可知,辐射沙洲的形成与发展取决于东中国海流系与苏北海岸、山东半岛构成的特殊地形的相互作用。

辐射沙洲地形在一定程度上对上述潮流格局有增强作用,深水槽道使沙洲区潮流大都为往复流,且涨落潮历时不等,致使涨潮平均流速大于落潮平均流速(董礼先等,1989),潮波的变形直接造成对槽底的巨大扰动,使含沙量大增。从不同年份卫星影像图中判读的泥沙分布、扩散格局可知,本区泥沙含量在涨落潮过程中随着流速增加、浑水带面积增大,且羽状浑水舌伸延方向明显。

2.2.3 风浪的影响 风浪特别是风暴、台风对沙洲的发育有较大的影响,北部海区冬半年的偏北季风(其中新洋港以北海区常浪向偏北),南部海区的偏北、偏东南季风增加了本海区周围沙洲向中心辐聚的过程,北部的亮月沙南移即是例证。

台风等大风对沙洲的改造作用更为巨大,且不规则,一次台风的岸滩侵蚀量相当于正常天气情况下该海区一年的侵蚀量,同时它彻底破坏了沙洲区的动态平衡。一般较大的沙洲变迁都是在特殊天气条件下迅速完成的,而它们的恢复则是一个非常缓慢的过程。如该区1974年台风造成的沙洲形态与新的动力条件,直至最近才形成动态平衡。

3 结 论

3.1 自黄河北移以来,沙洲区一直在进行物质的重新分配,水沙均很活跃。目前沙洲总体来说处于蚀退、面积减小的阶段,近5年来主要沙洲平均蚀退速度为 $4.68\text{km}^2/\text{a}$,但蚀退强度越来越小,沙洲总体趋于稳定。然而随着北部沙洲的进一步南移,本区沙洲变迁能否出现新的特点?如沙洲中心南移,或从东北方向外流的泥沙增加,沙洲向东北方向进一步发展尚需进一步研究。

3.2 从沙洲本世纪以来发展、演变的过程来看,沙洲的变迁有着明显的区域差异,即北部沙洲区的变迁,活动强度明显强于南部。北部沙洲南移速度达 $600\text{m}/\text{a}$,南部沙洲移动速度为 $280\text{m}/\text{a}$,有些沙洲甚至基本稳定。近期沙洲区的变迁主要集中在北部地区。

3.3 现代辐射沙洲区径流作用较弱,潮流起主导作用。目前沙洲的地形基本上与其流场相适应,除突发事件,沙洲处于缓慢调整阶段,其调整方式大体上可分为三种类型,其中第一类沙洲主要分布在外围,而第三类沙洲主要分布在沙洲区中央。

参 考 文 献

- 李成治 李本川, 1981. 苏北沿海暗沙成因的研究. 海洋与湖沼, 12(4): 321—331
李从先 赵 娟, 1995. 苏北琼港辐射沙洲研究的进展和争论. 海洋科学, 4: 57—59

朱大奎 傅命佐, 1986. 江苏岸外辐射状沙洲的初步研究. 见: 江苏省科委海涂办公室编. 江苏省海岸带东沙滩综合调查文集. 北京: 海洋出版社. 28—32

任美镔主编, 1986. 江苏海岸带和海涂资源综合调查报告. 北京: 海洋出版社. 122—134

张忍顺 陈才俊 何浩明等, 1992. 江苏岸外沙洲演变与条子泥并陆前景研究. 北京: 海洋出版社. 54—71

吴永成 黄海军, 1998. 水动力在苏北岸外辐射沙洲形成和演变中的作用探讨. 海洋科学集刊, 40: 55—64

董礼先 苏纪兰 王康培, 1989. 黄渤海潮流场及其与沉积物搬运的关系. 海洋学报, 11(1): 102—114

A STUDY ON THE PRESENT EVOLUTION OF SUBMARINE RADIAL SAND RIDGES IN THE SOUTHERN YELLOW SEA USING REMOTE SENSING IMAGES

HUANG Hai-jun, LI Cheng-zhi

(*Institute of Oceanology, The Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071*)

Abstract Based on an analysis of 9 Landsat images, tapes (from 1973 to 1993) and the results of coastal investigations, some conclusions for the changes of submarine radial sand ridges in the southern Yellow Sea have been obtained. The sand ridges in this area are eroded in the outer part. The area of sand ridges above the mean sea level is decreasing between 1988 and 1993. The average erosion rate is $4.68\text{km}^2/\text{a}$ and the rate becomes smaller. There is a great regional difference in the changes of the sand ridges: the sand ridges in the southern part is more stable than those in the northern part. The rate of shoreline changes in the southern part is about $280\text{m}/\text{a}$, but this is up to $580\text{m}/\text{a}$ in northern part where most of sand ridges are still in the stage of readjustment. Some of them are even expanding in the northeast of this area.

3 types of the submarine radial sand ridges' changes are identified. The factors that affected the formation of these sand ridges have changed. The runoff is generally replaced by tide flows and waves; the sediments from the old Huanghe River and its submarine delta, which once were the main source of sand ridges, are placed by other sand sources such as sediments re-suspended by tidal current.

Now, there is a balance between the landform of the sand ridges and the dynamic environment in the research area, especially in the southern part where there have been few changes in some of the sand ridges since the beginning of this century. Some large storm events such as typhoons are the main factors that cause the changes of sand ridges.

Key words Radial sand ridge Remote sensing monitoring Southern Yellow Sea

Subject classification number P737.1