

水动力在江苏北部岸外辐射沙洲形成 和演变中的作用*

吴永成 黄海军 杨玉玲

(中国科学院海洋研究所)

江苏北部(下称苏北)岸外辐射沙洲形态特殊,面积广大,是我国唯一、世界罕见的沉积动力地貌特征类型区。开展该区的调查和研究对苏北海岸带开发和海洋沉积动力学理论研究都具有非常重要的意义。近年来我国学者通过大量海洋水文、泥沙、海底地形和地貌调查研究,对苏北海岸的成因和岸外沙洲的演变提出了许多新的看法(王文清等, 1982)。本文通过对历史资料和 1958—1993 年苏北海岸带调查资料、卫星照片等的对比分析,以及利用数值模拟方法的诊断,指出水动力是苏北海岸和岸外沙洲形成和演变的主要作用力。

一、辐射沙洲海区地貌基本特征

苏北岸外辐射沙洲位于废黄河口至启东段岸外,是由以琼港为顶点自北向南呈辐射状分布的 70 余条大小不等的沙脊,以及分布其间的潮汐通道组成的。沙脊顶高大部分在理论低潮面以上,随潮汐涨落时隐时现,小部分为水下暗沙脊。潮沟水深一般为 10—15m,个别处可达 48m。各沙脊个体除方向、高度和体积不同外,均是近岸端宽,远岸端窄;沙脊长度短者只有几公里,长者数十公里。各沙脊的两侧边坡也很少对称,大致以琼港的纬度为界,以北海区沙脊北坡多陡于南坡,以南海区则相反。沙洲表层成分分布的大致情况是:北部废黄河三角洲海区以泥质粉砂和粉砂质泥为主;中部沙脊群集海区以细砂、粉砂质泥和砂质粉砂为主;南部古黄河口和古长江三角洲混合交叉区比较复杂,但仍以粉砂和泥质粉砂居多。

近年南京大学的调查指出,远古时古黄河和古长江都曾在苏北入海,后来长江南移,余下黄河,但是黄河数次改道,时而入黄海,时而又北徙入渤海。长江和黄河两条大河的水量和泥沙量都较大,特别是黄河的大量泥沙流入苏北海区后,受海水动力作用大量沉积在河口三角洲,引起海底抬升和并岸,使苏北海岸迅速向海中伸展。当黄河三角洲泥沙淤高到一定程度时引起尾间摆动和迁移,造成苏北海岸几乎全线纵、横扩展演进。在海岸外伸的同时,海区内的海水动力平衡也伴随调整,又引起海岸和岸外沙洲产生变化,因此苏北

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2781 号。
国家自然科学基金重点项目成果之一,19236120 号。
收稿日期:1996 年 7 月 24 日。

海岸和岸外沙洲一直处于非常活跃的演变阶段,直到 1855 年黄河北归不再返回后,才逐渐达到相对稳定。正是由于黄河数次夺淮入海,径流时断时续,海水动力和海底地形反复跟随调整平衡而达不到稳定,当时的岸外沙洲始终没能形成典型的辐射状。从不同历史时期海图上的沙洲分布可以看到,尽管沙洲一直存在,但其形态仅呈辐射状雏形。1855 年黄河北归至今才 100 余年,虽然长江等仍有部分泥沙北流入苏北海区,但来自黄河的泥沙断绝,流入苏北海区的泥沙来源量已减少约 97%,较少的泥沙已经再难引起苏北海岸发生大的变化。于是当海水动力与苏北岸外沙洲互相作用达到相对平衡后,便形成目前这种典型的辐射状沙洲地貌区。从近几十年的调查来看,尽管苏北海岸和岸外沙洲仍有变化,个别地点还十分明显,但是这种变化几乎全部发生在大风天气过程中,说明这种变化是大风浪和风暴潮等动力作用的结果。苏北海岸和岸外沙洲的基本稳定无疑对该海区的开发提供了有利的条件和保证。

二、水动力在苏北岸外沙洲形成和演变中的作用

关于苏北目前海岸和岸外沙洲是黄河和长江入海泥沙冲淤和海水动力再作用共同造成的观点,已被大多数学者接受。其中部分学者还认为岸外沙洲主要是海水动力作用所致,如王文清等(1982)认为“苏北南向近岸流和长江冲淡水入海后形成的一股北上近岸流在琼港交汇,使这里水位抬高,然后在向外辐射作用下形成辐射沙洲”。以上观点虽然指出了苏北海岸和岸外沙洲形成的主要原因,但对 1855 年以前苏北岸外沙洲只呈辐射状雏形,而以后却形成典型辐射状的原因却没有给出解释,本文重点在这方面进行讨论。

1. 径流作用

从历史资料和海上钻孔样品分析中都可以看出,黄河在苏北入海时期,河口三角洲演变十分强烈,尾间曾因淤积、延伸和摆动而多次改道。从 1128 年黄河夺淮入黄海至 1855 年在铜瓦厢决口北归入渤海止,700 余年间黄河决口 100 多次,虽然 1494 年至 1855 年间下游河道已加固定形,但河口区仍决口 96 次之多,造成苏北海岸东伸约 90km 以上。黄河泥沙在苏北地区大量冲淤,形成西起淮阴、北抵归洪口、南达斗龙港的大面积冲淤平原。近年新的调查资料进一步证实远古时长江也在苏北入海,当时苏北海岸和岸外沙洲是古黄河和古长江共同冲淤形成的,而长江南移到现在入海口处以后,苏北海岸和岸外沙洲则主要是黄河泥沙淤积的结果。大量事实说明黄河径流和其挟砂量对海岸和岸外沙洲的形成与演变有着重要作用。本文在分析黄河径流作用时,限于缺少 1855 年以前的系统资料,又考虑到现代黄河径流流量和输沙量与 100 年前相比已有较大变化,故选用 1855 至 1889 年的平均值,即取年径流量为 $2.5 \times 10^{10} \text{m}^3$,年输沙量为 $1.59 \times 10^9 \text{m}^3$ 。长江的年径流量和年输沙量的历年变化比黄河相对稳定得多,故取其多年平均值,即年径流量为 $9.48 \times 10^{11} \text{m}^3$,年输沙量为 $4.83 \times 10^8 \text{m}^3$ 。从以上相应数字对比来看,长江的年径流量是黄河的 38 倍,而输沙量只有它的 30%,说明黄河水中的含沙量比长江大 125 倍以上。再从黄河洪、枯水期水量和沙量来看,洪期进入黄河口的水量和沙量约为全年的 60% 和 80% (王恺忱等,1989),而且又多集中在几次大降雨过程中;长江也有类似情况,但洪、枯期水量和沙量之差远比黄河小,况且长江改行近代入海口后,约有 2/3 的水量和沙量往南输移,因此提

供给苏北海域的泥沙量有限,估计不到黄河的百分之二。黄河挟带大量泥沙到达河口,受水面扩大和潮水顶托影响,径流速度迅速下降,大量粗颗粒成分在河口及其两侧沉积,造成河口抬高和延伸;较细成分再受潮流作用向外扩散,涨潮时范围扩展或伸涨,落潮时范围退缩,在往复运动过程中沉积形成淤泥质海岸和岸外沙洲。由于黄河径流洪、枯期水量和沙量变化较大,往往在枯水期使河口的拦门沙不断淤积抬高,到洪水期口门水流不畅,径流则寻找阻力小的新出口,结果小则发生决口分流,在主流河道两侧出现泛道,形成决口扇形区,大则发生河口大摆动或改道。新的入海口经过一二年或数年后,上述情况又重复出现,这便是黄河在苏北入海期间苏北海岸和岸外沙洲变化较大、速度快的原因所在。从以上分析中显而易见,黄河沙多的特点是导致苏北海岸和岸外沙洲变化的主要因素之一。黄河北归后,再无大量泥沙来源,长江和苏北几支小径流提供的泥沙总和也不及黄河的百分之三,因此苏北海岸和岸外沙洲失去原来的活跃性,达到相对稳定。综合苏北海岸和岸外沙洲形成和演变历史,径流作用引起的变化大致可分为四个阶段:

第一阶段(1128年以前):当时黄河尚未夺淮入黄海,苏北海域泥沙主要来自长江北扩和淮河等一些中小河流,故入海泥沙量较小。在海水动力作用下,岸滩淤积物质成分相比较粗,并形成几道沙堤,海岸为砂质堡岛海岸。这是辐射沙洲形成的前期阶段。

第二阶段(1128—1195年):由于当时黄河或南北分流,或短期南流,下游两岸堤防尚不完善,河流多泛滥,大量泥沙沉积于河南、山东、安徽等黄泛区,故河口三角洲发育不完善。入海泥沙的粗颗粒成分沉积在河口,细颗粒成分外扩远离岸边,形成大片暗沙,并有少量发展成明沙。

第三阶段(1195—1855年):随着黄河于阳武决口,已基本上形成全部南流的状态,加上下游河堤逐渐形成,大量泥沙进入河口区使三角洲迅速发展,引起海岸加快东扩。张忍顺等(1992)指出,东扩速度比原来加快5—6倍。岸外沙洲也发展得十分明显,从黄河口至长江口北的浅滩、岸外的五条沙和东侧大沙等都发展很快,很大一部分由暗沙发育成明沙,逐渐发展成明显的辐射状雏形形态。

第四阶段(1855年至今):黄河已经北徙,长江口又逐渐南移,其向北扩沙量也逐渐减少,苏北近海外来沙源已远非昔比。据近年的海上调查,苏北海区输移泥沙主要来自:长江和淮河等少量入海泥沙,海岸侵蚀,岸外沙洲侵蚀,辐射沙洲外缘沙洲的侵蚀和沙脊间潮沟的加宽、掘深或摆动侵蚀。以上5项中,除第1项为外来泥沙外,其他4项均为海区泥沙分布的再调整。

黄河北徙径流断流后,海水动力上升为泥沙输移的主要动力,在它们的作用下原来的海岸和岸外沙洲必然作相应调整。结果出现废黄河口突嘴等受到南向顺岸流冲刷,泥沙南移,长江冲淡水北扩也带来少量泥沙北移,二者在琼港外汇合,造成该处泥沙沉积和海底抬高;同时为适应潮流场的分布海底地形和地貌也必然相应调整,当其与海水动力(主要为潮流)基本平衡后,苏北近海泥沙即失去往日的活跃性,便逐渐形成典型的辐射状沙洲。有某些海岸冲刷或淤积,个别海区出现新沙洲或沙洲的增减变化,但从现场调查来看,这些变化几乎全是在大风过程中发生由大风浪和风暴潮作用所引起的局部变化,它与历史上苏北海岸和岸外沙洲的宏观演变不仅范围不同,原因也不一样。

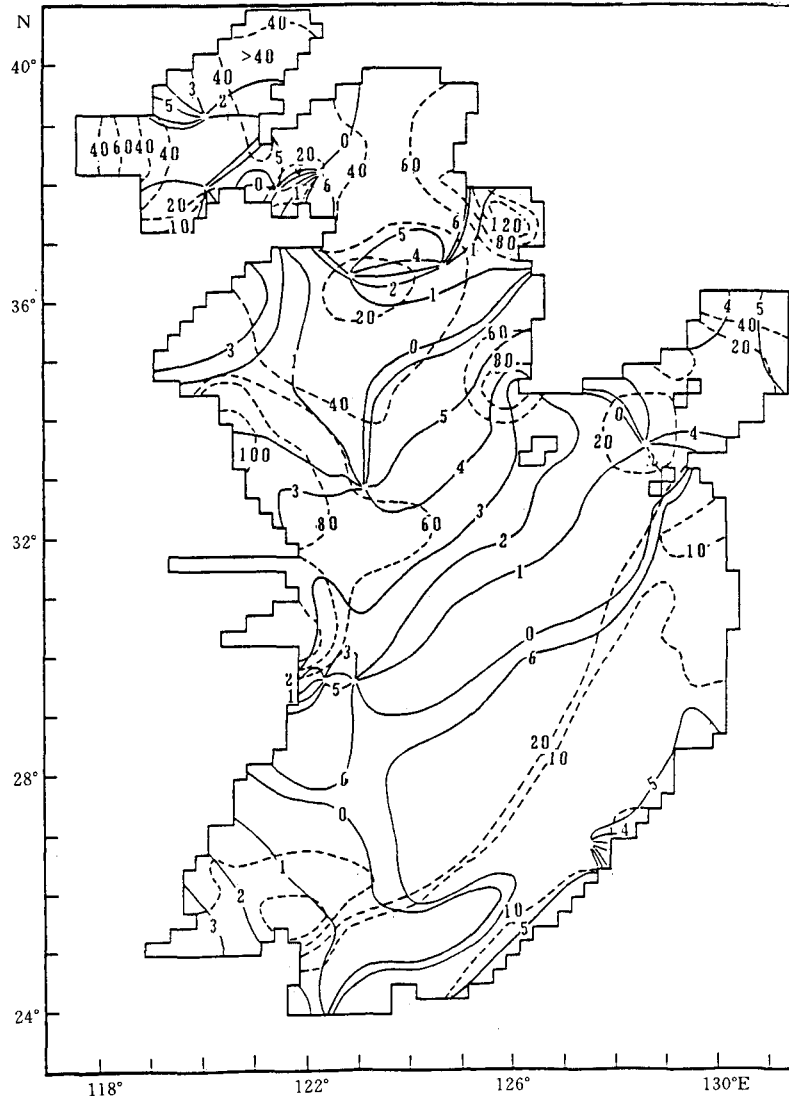
2. 潮汐和潮流作用

(1) 潮汐和潮流的分布特征:受东海传来的前进潮波及其在山东半岛反射形成的黄海旋转潮波的共同影响,在南黄海形成 M_2 , S_2 , K_1 和 O_1 四个分潮的无潮点。其中半日潮 M_2 和 S_2 两无潮点位于废黄河口东北近海域,全日潮 K_1 和 O_1 两无潮点位于南黄海中部海域。各无潮点,特别是位于苏北近海的 M_2 无潮点附近为不正规全日潮区外,其他海区绝大多数为不正规半日潮区,少数为正规半日潮区。因为两个潮波在苏北中部琼港外汇合,引起潮能集中,造成该处潮差大,潮流强,潮汐和潮流的日不等现象十分明显,涨潮历时约 4h,落潮历时长达 8.5h,潮波汇合区南北两侧的潮汐和潮流表现出明显不同。从实测值^①来看,最大潮差发生在小羊口一带,潮差值为 9.28m,离其不远的琼港最大潮差为 5.72m;平均潮差小羊口为 4.29m,琼港为 4.14m,北部的射阳河闸为 2.12m,南部的大漾港为 3.65m。潮流的分布还受沙脊和潮沟地形的影响,在沿岸区和沙脊区以往复流为主,到大沙脊群外侧逐渐变成旋转流。流速垂直分布一般以 5m 层最大。平均流速琼港以北约为 3 节,以南小于 3 节。最大流速出现在小羊口、吕泗和大沙脊潮沟区一带,一般可达 5 节,斗龙港一带高达 9 节。由于潮汐和潮流的 M_2 分潮成分占绝对优势,受它影响,水位场和潮流场均以琼港为顶点呈辐射状分布。

(2) 潮汐和潮流对泥沙沉积的影响:苏北近海潮流场和岸外沙洲均呈辐射状分布,二者因果关系如何?近年的数值模拟研究表明:不管苏北近海辐射沙洲是否存在,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。这一结论说明,只有辐射状潮流场和大量泥沙来源同时存在才具有形成辐射沙洲的条件。这种条件在我国漫长的海岸中,也只有苏北具备,所以苏北近海沙洲是我国唯一的辐射沙洲区。至于为何只在 1855 年以后才逐渐形成典型辐射状,在上面径流作用一节中已阐述过,即黄河于苏北入海时期,由于入海泥沙量较大,河口三角洲综合体纵、横向发展迅速,岸外沙洲在发育过程中尚未来得及形成典型辐射状之前即被东扩海岸兼并,因此只能形成辐射状的雏形。1855 年黄河北归,苏北海岸不再东扩,使海洋动力有充分时间对沙洲再作用,结果才有可能形成今日的典型岸外辐射状沙洲。关于潮流对沙洲的作用,通过近年大量海上调查和数值模拟研究(赵保仁等,1994),人们已认识到:(1)在南黄海中部 $123^{\circ}15'E$, $32^{\circ}50'N$ 处有一 M_2 分潮潮流圆流点(图 1),它造成苏北近海 M_2 分潮潮流呈现以琼港为顶点辐射状分布,潮流椭圆长轴在琼港和圆流点连线一带呈东西分布,连线两侧均以琼港为中心,呈辐射状分布,椭圆率在连线上小,向两侧辐射逐渐加大。(2)苏北海岸中部是潮能流辐聚区(图 2),能流引起黄沙洋及其周围滩面上水沙非常活跃,从黄沙一条鱼港一小灯桩港一带海上实测资料(张忍顺等,1992)可以看出,各测点泥沙均是呈向辐射中心输移趋势,说明潮流对泥沙运动起重要作用。

关于苏北近海辐射沙洲的潮流沉积动力机制,一些学者也作过讨论,如崔秉昊等(1993)曾利用数值模型预测出该处泥沙可能运移的途径(图 3),从图中可以看到以苏北中部海岸为顶点的辐射状泥沙运动趋势,但泥沙运动范围和方向与我们海上调查结果并不完全相符。其原因可能是他将苏北海区天然条件处理过于简单。

^① 江苏省海岸带和海涂资源综合考察队,1985,江苏省海岸带和海涂综合调查报告,161—180。

图1 M_2 分潮潮流同潮图(赵保仁等,1994)

实线表示同潮时线,虚线表示等振幅线

3. 海浪的影响

(1) 海浪特征:众所周知,准确判断一个海区的海浪特征至少应有一年以上的连续观测资料,而苏北只有连云港和吕泗两海洋站有十年以上观测资料,然而两站观测点都距海岸较近,加上两站周围的苏北岸外辐射沙洲区地形又十分复杂,故两站给出的海浪特征不能完全代表苏北海区。此外个别地区也还有些临时性观测资料,但代表性也有限。因此本文依据所收集到的资料推算出的海浪只代表一般概况。苏北地区的风向自1月至6月是按顺时针方向,由北向变化到南南东向;7月至12月则相反,按反时针方向,由南南东向变化到北向。出现率均为30%—40%。平均风速近海为4—5m/s,外海为5—7m/s。受风

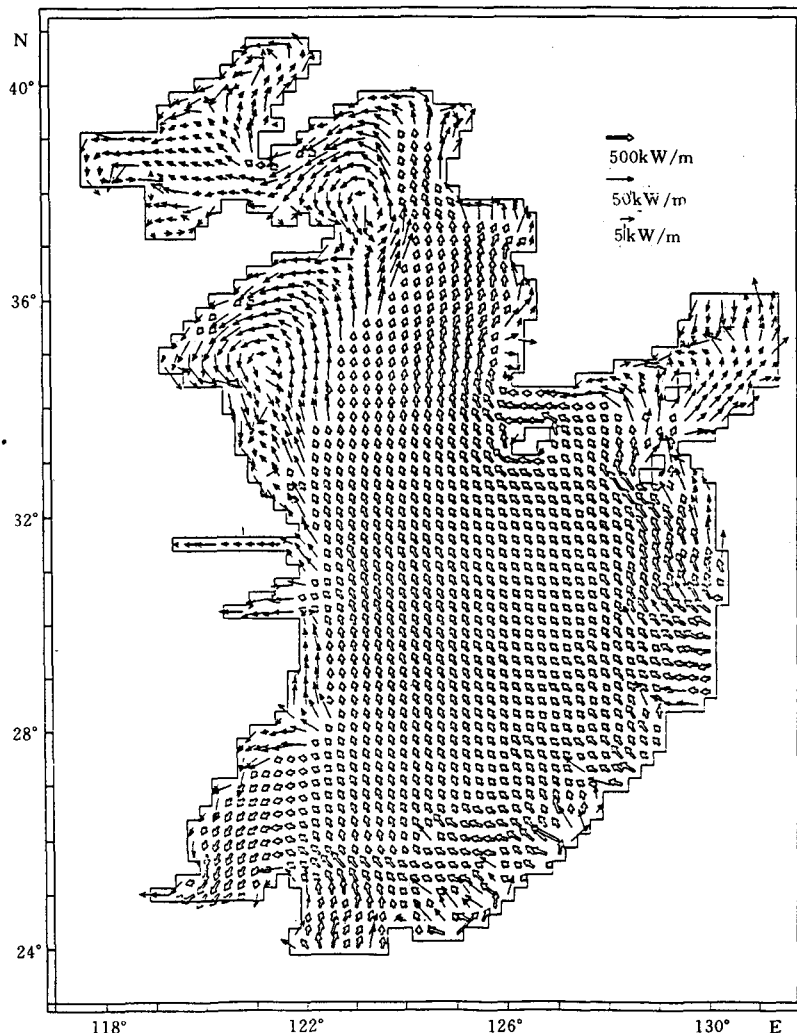


图2 M_2 分潮能流图(赵保仁等,1994)

情影响该海区的海浪波型主要是风浪或以风浪为主的混合浪,常见波向是春季多偏东向,夏季多偏南向,秋季和冬季多偏北向。再由于岸外沙洲呈辐射状分布,水深多变,造成海浪发生多次折射和绕射,因而近岸区的波向与外海明显不同。该海区的海浪平均波高约为1.0m,周期约4—5s。受地形影响海区南北最大波高差别较大,连云港最大实测波高为5.0m,吕泗为2.8m,而辐射沙洲外边缘达9.0m。平均波高的波级分布如表1所示。从表中可见,5级海浪的出现南部比北部偏少,但4级海浪的分布则相反。这是因为北部海区大浪多出现在秋、冬两季,主要是寒潮天气引起的寒潮大浪出现率大,波向以偏东北或东向居多,这对北部海岸和沙洲北侧影响较大;而南部海区大浪多出现在夏季台风期间,台风浪出现率大,波向以东南向和东向居多,这种大浪对吕泗沿岸和南部沙洲影响较大。

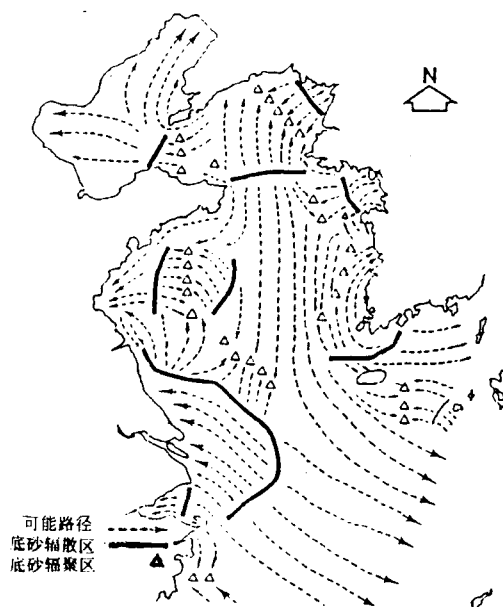


图3 潮流输移泥沙的可能途径(崔秉昊,1986)

表1 苏北海区波浪特性表

波 级	0—2	3	4	5
波 高 (m)	0—0.4	0.5—1.4	1.5—2.9	3.0—4.9
北部海区出现率(%) (连云港海洋站)	75.5	16.0	6.0	2.5
南部海区出现率(%) (长江口引水船)	9.8	73.0	17.0	0.2

(2) 海浪对泥沙的影响:从海浪资料统计来看,苏北海区的大浪几乎全是台风和寒潮大风引起的,具有风浪和以风浪为主的混合浪的特征。这种大浪冲蚀废黄河口和吕泗部分海岸以及辐射沙洲某些沙脊,并和潮流一起将冲蚀的泥沙挟带到辐射沙洲中心条子泥一带淤积。南京水利科学院观测发现,吕泗岸滩一年冲刷泥沙量为 $6.88 \times 10^{14} \text{m}^3$,而一次大台风过程泥沙冲刷量竟多达 $6.78 \times 10^{14} \text{m}^3$,相当于全年量的 90% 以上,说明大风暴浪是造成苏北岸滩冲蚀的主要动力。我们通过对 1964 年和 1979 年两次海底地形测量图的比较,发现东沙北的亮月沙的中心位置 15 年南移 5—6km,年均南移速度为 330—440m/a。另从 1988 年和 1993 年两时相卫片的对比也看出,亮月沙中心南移 3.3km,年均南移速度为 600m/a。亮月沙的南北长度,1988 年为 12.4km,1993 年为 8.9km,5 年缩短 3.5km,年缩短速度为 700m/a。还应该指出,一次大浪过程引起局部地区泥沙变迁,往往也破坏了原来岸滩和沙洲的区域动态平衡,因此其后会出现一个缓慢调节过程,使部分泥沙发生移

动,直到逐渐达到新的动态平衡为止。

三、结 语

1. 古长江和古黄河大量泥沙输入黄海,奠定了苏北海岸轮廓和辐射沙洲的雏形基础,但由于海岸向东延伸较快,岸外沙洲没有足够的时间达到稳定,只能形成辐射状雏形。黄河北归后,苏北海岸停止东扩,海水动力因子,特别是潮汐和潮流上升为主要沉积动力因子,并且有充足的作用时间来调节海水动力和泥沙间的平衡,因而才有条件形成和演变现代苏北这种典型的辐射沙洲地貌区。

2. 苏北近海存在一个 M_2 分潮圆流点,并形成辐射状潮流场,它对形成辐射状沙洲的影响最大。

3. 受季风和辐射状沙洲地形的作用,苏北近海海浪分布以琼港纬度为界南北相异,北部海区以秋、冬寒潮大浪为主,南部海区以台风引起的风暴浪为主。大浪对开敞的苏北海滩和沙洲区冲蚀,并和潮流共同作用将泥沙向辐聚中心输移,导致条子泥等处淤积。

4. 苏北海岸和岸外沙洲的形成和沙洲的宏观变化主要是径流泥沙冲淤和潮流作用的结果,但局部泥沙变迁则是大浪和潮流共同引起的。

参 考 文 献

- 王文清等,1982,江苏沿海潮汐潮流特征与泥沙运动关系的初步探讨,海洋研究,2:42—51。
- 王恺忱,1990,黄河口演变规律及其对下游河道的影响,黄河水利委员会水利科学研究所科学论文集,第二集,河南科学技术出版社,154—201。
- 张忍顺等,1992,江苏岸外沙洲演变与条子泥并陆前景研究,海洋出版社,18—95。
- 赵保仁等,1994,渤黄东海潮汐潮流的数值模拟,海洋学报,16(5):1—10。
- 崔秉昊、方国洪,1993,Development of fine-grid numerical tidal models of the Yellow Sea and East China Sea, *The Journal of the Korean Society of Coastal and Ocean Engineers*, 5(2): 151—171.

HYDRAULIC DYNAMICAL EFFECT ON THE FORMATION AND EVOLUTION PROCESSES OF THE DELTAIC SAND BANKS OFF NORTHERN JIANGSU COAST*

Wu Yongcheng, Huang Haijun, Yang Yuling
(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences*)

ABSTRACT

Historical hydrologic and sedimentation data and those from recent years coastal investigations in the north part of Jiangsu coast were used in this study on the formation and evolution processes of silty coast and offshore tidal sand ridges. The result showed that the sediment discharged from the paleo-Yangtze and paleo-Huanghe Rivers laid the foundation of the silty coast and offshore tidal sand ridges of Jiangsu. The rapid extension of the coastline seaward and combination with pre-1855 A. D. sand banks left insufficient time for developing tidal current transport sediments, so, only the primary radial form of the tidal sand ridges (sand banks) were gradually formed. After the Huanghe River moved northward in 1855 A. D, this sediment source cut off, the influence of tidal current on Jiangsu coast sediment is strengthened. Typical radial tidal sand ridges coast and offshore tidal sand ridges are actually the new balance between hydrology and sedimentation influenced by tidal currents and waves during the period of stormy weather and their recovery.

* Contribution No. 2781 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.