

南黄海辐射沙洲中心沿岸 晚更新世以来的沉积环境演变*

朱晓东 任美镠 朱大奎

(南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室 南京 210093)

提要 对南黄海辐射沙洲中心沿岸地区两个钻孔采用高密度、定量采样方法进行了有孔虫和沉积学分析。结果表明,该地区晚更新世晚期可能发育了古长江河道、河口、河流边滩或河漫滩以及泛滥平原乃至泛滥湖沼等陆相沉积环境。进入全新世,则先后依次出现了潮滩、河口、潮滩、潮流沙体和潮滩,及至最终成陆。

关键词 辐射沙洲 钻孔分析 有孔虫 古环境

学科分类号 P736

苏北岸外辐射沙洲是黄海西南部浅海内陆架的一种特殊大型沉积地貌,它以如东、海安和东台三县接壤地区为中心,向南黄海陆架呈辐射状分布。这一海岸沉积地貌体系的成因在学术界尚存在不同解释(李从先等,1995),分歧在于辐射沙洲形成的动力条件、物质基础和时代三方面。多数学者的观点(李从先等,1978;刘振夏等,1983;朱大奎等,1987;黄海军等,1998)可归纳为两类:一类认为辐射沙洲是苏北岸外南北两大潮波体系系统在琼港附近辐聚、辐散的结果,而其物质来源和地貌基础是晚更新世低海面时长江在该处入海形成的古三角洲沉积物或砂体,这一主张强调了该地区曾有古长江入海;另一类意见认为辐射沙洲是近岸流和潮流相互作用的产物,即由长江口北上的和自苏北北部南下的两股挟带泥沙的近岸流相遇于琼港地区,结果致使该处潮差增大,水位抬高、水体向海扩散,形成辐射沙洲。沙洲一旦出现,涨落潮流沿沙洲间的凹槽辐聚、辐散,从而辐射沙洲这种特殊地貌和沉积体得以不断发育成长。持这一理论的学者(李从先等,1978)认为辐射沙洲区未必存在过长江入海口,辐射沙洲只是全新世长江三角洲的一种伴生沉积体系。鉴于上述分歧,有必要对该地区晚更新世以来是否有长江入海等古环境问题作详细研究。

1 材料与方法

对位于辐射沙洲中心沿岸两个钻孔作有孔虫和沉积学分析。两个钻孔位置由南向北分别位于(图1):如东县(海堤外约500m处的潮间带,简称SMK孔);如东、海安和东台三县交界处(属海安县,简称JCK孔),SMK孔和JCK孔孔深分别为60.2m和50m,全孔取芯。

* 国家自然科学基金重点资助项目,49236120号;南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室成果:SCIEL 21199104号。朱晓东,男,出生于1963年9月,博士,教授, E-mail: xdzhu@publicl.ptt.js.cn

收稿日期:1997-10-08, 收修改稿日期:1998-12-16

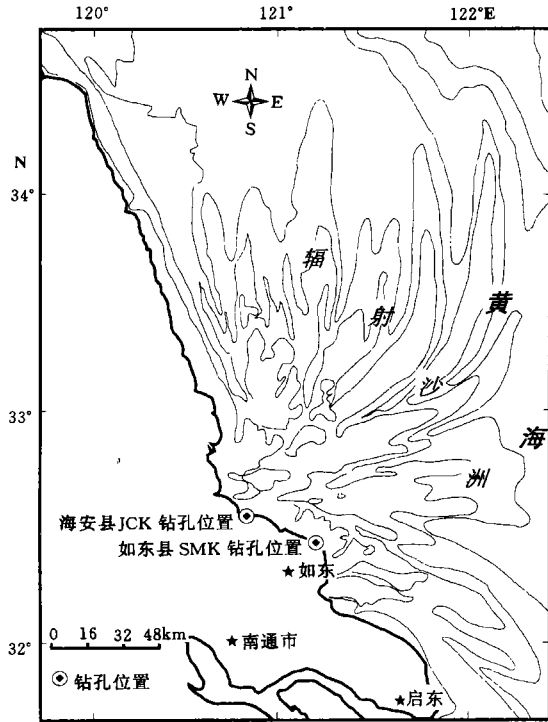


图1 辐射沙洲中心与钻孔位置

Fig.1 Study area and core locations

和种数较多外,其余5个样品中有孔虫个体数和种数均很少。具体属种出现情况为:67号样品中见 *Epistominella naraensis* 1枚,壳体有破损; *Ammonia beccarii* var. 1枚,壳体破损较严重; *Globigerina quinqueloba* 1枚。66号样品中见浮游类1枚,未定种,壳体破损较严重。65号样品中见1枚 *Florilus decorus*,壳体有破损。64号样品中见 *Ammonia beccarii* var. 6枚(幼小个体), *Ammonia convexidorsa* 3枚, *Bolivina cochei* 2枚, *Bolivina* sp. 1枚, *Brizalina striatula* 1枚, *Buccella frigida* 1枚, *Bulimina marginata* 1枚, *Cassidulina carinata* 1枚, *Cribronion* spp. 2枚, *Eiphidium magellanicum* 6枚, *Epistominella naraensis* 12枚, *Florilus decorus* 3枚, *Guembelitra vivans* 1枚, *Lagena substriata* 1枚, *Protelphidium tuberculatum* 2枚, *Quinqueloculina* sp. 1枚幼体,小个体浮游类5枚,共计49枚,壳体破损较严重。63号样品中见 *Ammonia pauciloculata* 2枚,壳体有破损; *Ammonia beccarii* var. 2枚幼体,壳体破损较严重; *Florilus decorus* 1枚,壳体破损较严重。61号样品中见 *Ammonia compressiuscula* 2枚幼体,壳体有破损; *Rosalina brady* 1枚幼体,壳体有破损。上述有孔虫的特点是丰度和分异度都较小,而其代表的生活环境却应属浅海;壳体细小(平均壳径为100—170 μ m),磨损、破碎较多,有较强的分选性。这些特征表明其当属异地埋葬群,而非原地或混埋埋葬群,与现代长江口崇明岛以上河道中发现的有孔虫埋葬群极为相似(汪品先等,1986;朱晓东,1990),沉积物亦一致,皆属细砂,而与现代辐射沙洲区的有孔虫不同。由此可以认为SMK孔下部,即层9记录的是

根据SMK孔岩芯特征(颜色、粒度、结构和构造等)及其变化规律,该孔地层可分为9个层次(表1)。有孔虫分析基本按常规方法进行(同济大学海洋地质系微体古生物实验室,1980)。沉积物样品在烧杯中浸泡沉淀后读取其体积(ml),用0.055mm孔径铜筛冲洗,烘干后用四氯化碳重液浮选富集有孔虫,最后在双目立体显微镜下进行属种鉴定、壳径测量和壳体磨损情况观测,并统计观测结果。

2 结果与讨论

SMK孔的分析结果列于表1,其地层记录由下往上叙述如下。

60.25—28.20m 本段地层属非海相环境的沉积记录,在沉积特征上划分为三个层次,即层7、层8和层9。层7和层8均未发现有孔虫等海相生物化石,仅在层9的6个样品中找到有孔虫,该层沉积物基本属纯灰黄绿色细砂。除64号样品中个体数和

表1 如东县SMK孔样品有孔虫分析数据¹⁾

Tab.1 Result of foraminiferal analysis for Core SMK, Rudong County, Jiangsu Province

样号	层次	取样深度 (m)	样品特征	平均丰度 (枚/ml)	种数	<i>plk</i> (%)	<i>BAI</i>	<i>ats</i> (μm)
01	1	0.00—0.01	黄色泥质粉砂	64	19	1.3	0.2	158
02	1	0.20—0.21	黄色含泥粉砂	71	16	10.4	0.3	162
03	1	0.61—0.62	黄色泥质粉砂	40	14	5.8	0.1	165
04	1	1.23—1.24	灰黄色含泥粉砂	69	16	6.7	0.0	165
05	1	1.50—1.51	灰黄色含泥粉砂	152	20	8.9	0.1	166
06	2	2.74—2.75	灰黄色含泥粉砂	107	19	11.6	0.3	168
07	2	3.14—3.15	青灰色粗粉砂	176	21	18.9	0.1	175
08	2	3.46—3.47	灰色泥	53	14	10.7	0.0	164
09	2	3.60—3.61	灰色粉砂	62	17	15.3	0.2	176
10	2	4.15—4.16	灰色泥	16	13	17.2	0.0	165
11	2	4.16—4.16	灰色粉砂	10	18	16.3	0.3	166
12	2	4.60—4.61	灰色极细砂	44	21	8.9	0.2	200
13	3	5.36—5.37	灰色细砂	40	18	10.0	0.9	200
14	3	5.50—5.51	黄绿色细砂	40	17	8.6	1.0	265
15	3	5.70—5.71	灰色细砂	19	13	0.0	0.9	221
16	3	5.90—5.91	灰黄色细砂	3	17	2.9	0.6	167
17	3	6.20—6.21	薄互层泥	9	14	10.3	0.1	165
18	3	6.21—6.22	薄互层砂	32	17	11.2	0.2	157
19	3	6.59—6.60	灰绿薄互层砂	160	24	2.5	0.1	238
20	3	6.60—6.61	薄互层泥	47	17	4.3	0.2	159
21	3	7.30—7.31	灰绿色细砂	74	23	6.3	0.3	247
22	3	8.53—8.54	灰色粉砂	50	14	4.4	0.2	154
23	3	8.54—8.55	灰色泥	53	18	9.8	0.1	150
24	3	10.73—10.74	灰色泥	24	15	5.3	0.1	151
25	3	10.74—10.75	灰绿色细砂	2	11	12.5	1.1	197
26	3	11.02—11.03	灰色泥	31	16	13.1	0.1	152
27	3	11.03—11.03	灰绿色细砂	0.5	9	5.0	1.3	201
28	3	11.43—11.44	灰色细砂	17	14	20.6	1.0	168
29	3	13.05—13.06	灰绿色极细砂	13	17	6.8	1.3	167
30	3	14.72—14.73	黄绿色细砂	4	7	0.0	1.0	192
31	3	14.83—14.84	灰绿色粉砂	51	13	1.3	0.7	178
32	3	14.84—14.85	灰绿色泥	96	18	9.7	0.3	176
33	4	16.69—16.80	灰绿色含泥粉砂	0.2	3	0.0	1.3	147
34	4	18.41—18.50	均匀灰绿色细砂	0.7	6	0.0	1.0	173
35	4	19.50—19.51	灰色粗粉砂	2	8	10.0	2.7	164
36	4	19.58—19.60	灰褐色“硬粘土”	0.5	3	0.0	0.5	120
37	4	19.80—19.82	黄褐色贝壳砂	0.5	9	6.3	1.1	165
38	4	20.50—20.51	灰绿色极细砂	32	17	4.0	0.4	198

续表1

样号	层次	取样深度 (m)	样品特征	平均丰度 (枚/ml)	种数	<i>plk</i> (%)	<i>BAI</i>	<i>ats</i> (μm)
39	5	21.58—21.60	灰褐色粉砂质泥	0.4	4	0.0	1.0	164
40	5	22.35—22.36	灰黄色极细砂	15	16	1.5	0.3	197
41	5	22.60—22.61	灰绿色极细砂	24	11	6.7	0.5	181
42	6	24.49—24.50	青灰色含泥粉砂	64	20	10.8	0.4	199
43	6	26.90—26.91	灰绿色细砂	16	21	0.7	0.5	223
44	6	28.20—28.21	灰绿色泥	22	18	7.3	0.2	177
45	6	28.21—28.22	灰白粉砂	29	18	13.2	0.3	175
46	7	30.35—30.36	灰绿色含粉砂泥	0				
47	7	30.90—30.91	暗绿色硬粘土	0				
48	7	32.30—32.31	粉砂质粘土	0				
49	7	32.61—32.62	青灰色粉砂	0				
50	7	33.04—33.05	灰色泥质粉砂	0				
51	7	34.24—34.25	灰绿色细砂	0				
52	8	34.74—34.75	青灰色粉砂质泥	0				
53	8	35.09—35.10	灰色粉砂质粘土	0				
54	8	36.55—36.56	灰绿色“硬”粘土	0				
55	8	38.49—38.50	灰褐色粉砂	0				
56	8	38.84—36.85	灰绿色粉砂	0				
57	9	41.00—41.01	灰绿色泥质粉砂	0				
58	9	43.49—43.50	灰色细砂	0				
59	9	43.99—44.00	灰绿色细砂	0				
60	9	44.89—44.90	灰绿色细砂	0				
61	9	45.75—45.76	灰绿色细砂	0.12	2	0	1.0	300
62	9	46.09—46.10	青灰色粗细砂	0				
63	9	47.62—47.63	泥炭灰绿色细砂	0.3	3	0	1.3	179
64	9	48.15—48.20	灰色细砂	2	17	10.2	1.6	151
65	9	48.85—48.90	灰色细砂	0.05	1	0	1.0	150
66	9	51.40—51.80	灰绿色细砂	0.3	1		2.0	100
67	9	55.35—55.80	灰绿色细砂	0.1	3		1.0	143
68	9	59.80—60.25	灰绿色细砂	0	0			

1) 表中 plk 为浮游有孔虫百分含量; BAI 为有孔虫壳体破蚀指数(朱晓东, 1996); ats 为有孔虫平均壳径

离河口有一定距离的河床沉积环境,大致相当于现代长江口崇明岛以上至江阴附近之间,而不含有孔虫的样品可能指示离河口更远。现代长江的潮流界以上河道不再含有孔虫。

层8是6m多厚的粉砂与粘土的薄互层(即页状层理构造)沉积层,与下伏的层9和上覆的层7(即“硬粘土层”)均呈逐渐过渡关系。“硬粘土层”是长江三角洲南北两翼(包括太湖平原地区,甚至东海和黄海陆架区)晚第四纪地层中广泛分布的一类特殊沉积层(陈报章等, 1991),其特点是致密质地较硬,基本由粘土组成,不具层理构造,不含海相生物化

石,多数学者认为系由河湖相沉积经土壤化作用而形成。鉴于 SMK 孔所揭示的“硬粘土层”(层 7)与其下伏的层 8 和层 9 的演变过程,“硬粘土层”可能属于古长江的河漫滩产物(可能经干冷气候条件下的土壤化过程的改造),即从钻孔的下部向上发生了由河口河床—河流边滩—河漫滩的演变过程。长江下游历史时期的这种沉积体系(有的还成为沿江的残留湖沼)亦见报道(杨达源,1989)。“硬粘土层”埋深为 33.38m 处的贝壳砂夹层中,贝壳经北京大学 AMS(加速器质谱计)进行¹⁴C 年代测定,属 3.5 万 a 前的沉积物。

28.20—24.50m 本段地层属潮滩环境。沉积物为粉砂和粉砂质粘土,下部泥质占优势,富含植物碎屑,向上颗粒变粗。介形虫主要是近岸种丰满陈氏介 *Tanella opima* Chen。本层有孔虫埋葬群面貌与现代苏北中部潮滩埋葬群相似:数量丰富,分异度也较大,主要属种是: *Ammonia beccarii* var., *A. maruhassii*, *A. convexidorsa*, *Elphidium advenum*, *E. magellanicum*, *E. simplex*, *Epistominella naraensis*, *Cribronion poeyanum*, *C. porisuturalis*, *C. subincertum*, *Florilus decorus*, *Spiroloculina laevigata* 和 *Quinqueloculina seminula* 及壳体细小的浮游有孔虫等,下部泥质沉积中的有孔虫壳体较小,平均为 176 μ m,而上部则稍大。壳体的磨蚀度亦表现为下部低,上部高。上述特点均反映出沉积环境动能的增大,这可能指示了从水动力较弱的潮滩上部环境过渡为高能的潮滩中下部的演变历程。

24.50—16.69m 本段为河口沉积环境,包括河口叉道或河床、河口边滩的交替出现。有孔虫总的特点是:(1)丰度较低,但差别十分悬殊(平均为 0.2—32 枚/ml);(2)分异度较高;(3)个体细小;(4)壳体磨损严重;(5)含小个体浮游类。这些特征正是潮汐河口有孔虫埋葬群的辨认标志(汪品先等,1986)。沉积物以粗粉砂—极细砂为主,并可进一步划分为 7 小段:1)24.50—22.00m,灰色粗粉砂—极细砂,局部见水平层理;有孔虫数量较多,磨损较弱,壳体相对较大,含介形虫 *Tanella opima*, *Neomonoceratina dongtaiensis* 等海陆过渡性分子,故应属离河口较近的河床环境。2)22.00—20.55m,灰色粉砂夹泥质纹层,有孔虫少,仅见 *Ammonia beccarii*, *A. convexidorsa*, *E. naraensis*, *Cribronion* sp. 等 4 种 20 枚,个体细小,但破损较严重。根据沉积物特征,可能属于河口边滩沉积环境。3)20.55—19.85m,粉砂泥交互层,有孔虫与 1)层相似。4)19.85—19.60m,贝壳砂,见 1 枚个体较大(壳径为 0.85 μ m)的压扁卷转虫 *Ammonia compressiuscula*,其余均为个体细小的分子,如 *E. naraensis*, *Ammonia beccarii*, *E. magellanicum*, *Bolivina* spp., *A. convexidorsa*, *Cribronion* sp. 等属种,这些特征可能指示了河口潮滩沉积环境。5)19.60—19.53m,黄色“硬粘土”,仅见个体细小的 *E. naraensis*,反映了一种远离海洋、水动力较弱的沉积环境,在此很可能是河口内的河漫滩。6)19.53—19.15m,粉砂泥交互层,泥层水平,1cm 厚,这种沉积一般被认为是典型的潮汐作用的产物,而实际上河口边滩亦可形成,其成因或同样受潮汐作用的结果,或者反映河流径流的季节性变化。其中有孔虫的特征则可用来辨别其确切沉积环境。本段所含有孔虫的特点是数量少,个体小,分异度相对较高,没有明显的优势种,这就排除了正常潮滩沉积的可能性。此外,本段有孔虫壳体的保存状况亦很特殊,不仅磨损严重,而且溶蚀也十分严重,并有氧化物侵染,这就更可能说明了河口边滩沉积环境,因为一方面有孔虫壳体经历了搬运作用而遭受磨损,另一方面因河水大都属弱氧化、中—弱酸性。7)19.15—16.69m,灰—灰黄绿色粗粉砂、极细砂。有孔虫稀少,壳体细

小,属河口边滩或河漫滩沉积环境。

16.69—4.60m 本段为与现代辐射沙洲区浅海类似的沉积环境。首先体现在沉积物的特征与现代辐射沙洲区相似,以粉砂为主,含泥质纹层或薄层。有孔虫埋葬群也同样反映出现代辐射沙洲区的特征:1)本段与现代辐射沙洲区 20m 水深以内的有孔虫属种基本一致,即主要由 *Ammonia beccarii* vars., *A. maruhasii*, *A. convexidorsa*, *Elphidium advenum*, *E. simplex*, *Epistominella naraensis*, *Florilus decorus* 和个体细小的浮游有孔虫组成; 2) 相似的有孔虫丰度,钻孔中平均每 ml 沉积物中含有孔虫介壳 39 枚,现代表层平均为 33 枚; 3) 相似的浮游有孔虫含量,钻孔中浮游类有孔虫平均含量为 3.9%,现代辐射沙洲区表层为 3.4%,且都是个体细小的; 4) 相似的平均壳体大小,钻孔中平均壳径为 186 μ m,现代表层平均为 194 μ m。

4.60—0.00m 本段属潮间带环境,相当于现代辐射沙洲区沿岸的潮滩环境。沉积

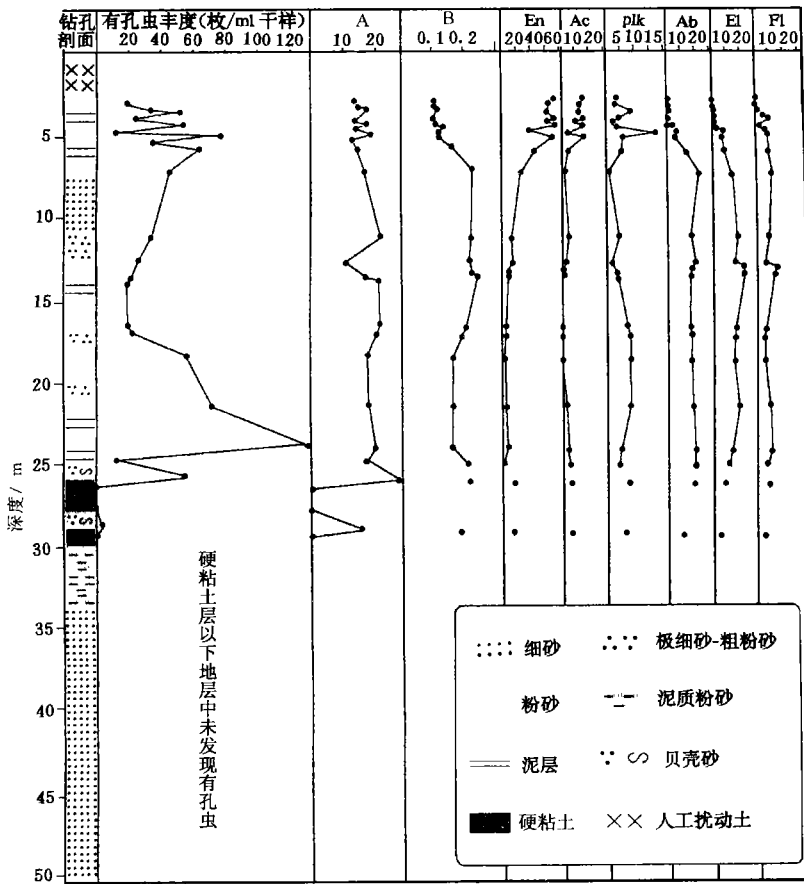


图2 海安县JCK钻孔有孔虫分析结果

Fig.2 Foraminiferal analysis results of Core JCK

A为简单分异度(种); B为平均壳径(mm)

En为 *Epistominella naraensis*; Ac为 *Ammonia convexidorsa*; Plk为浮游类; Ab为 *Ammonia beccarii* var; El为 *Elphidium*; Fl为 *Florilus decorus*

物以泥质粉砂为主，与苏北现代潮滩一致(朱大奎等, 1987; 王颖等, 1990)。有孔虫的面貌亦与现代潮滩相似，表现为个体细小(平均壳径为 166 μ m)，数量丰富(平均每 50ml 沉积物中含 4 137 枚)，分异度较高(平均每个样品中有 19 种以上)，浮游类等外海分子经常出现，这是典型的潮汐作用较强的潮滩环境的有孔虫埋葬群特征。

SMK 孔的上述分析结果和 JCK 孔(图 2)揭示的地层和沉积物特征十分相似(图 3)，在 25—40m 孔深的层段均有“硬粘土层”出现，“硬粘土层”之上是以泥质粉砂为主的细颗粒沉积物，而之下则以粗颗粒的细砂为主。由 SMK 孔和 JCK 孔在有孔虫和地层沉积物特征上的相似性可以认为钻孔所揭示的古环境演变历史在该地区具有一定代表性。因此，根据这两个钻孔分析结果，晚更新世晚期至全新世前(相当于 SMK 孔 60.25—28.5m 层段)，该地区没有出现海洋环境，仅在钻孔下部出现少量有孔虫，属河口段河床沉积环境，大致相当于现代长江崇明岛以上至镇江以下之间的河道。继河口环境之后，为一持续的海退过程，这在 SMK 孔被记录在上至埋葬深度为 28.50m 的“硬粘土”层，该段地层内均不含海相生物。所记录的沉积环境可能是潮流界以上的古长江河流环境(包括河道或河床、河流边滩或河漫滩以及泛滥湖沼等陆相环境)，即晚更新世(3.5 万 a 以前)的低海面时期。进入全新世，即相当于 SMK 孔“硬粘土”以上地层，埋深为 28.50m 以上直至钻孔顶面，该段地层均含有孔虫等海相生物，沉积环境先后依次为：潮滩环境、河口环境(包括河口河床或汉道、河口边滩)、浅海潮流沙洲、潮滩环境。由此可见，在辐射沙洲辐射中心的东台—海安—如东地区，曾经有古长江出现，其时代分别在晚更新世和全新世早期。

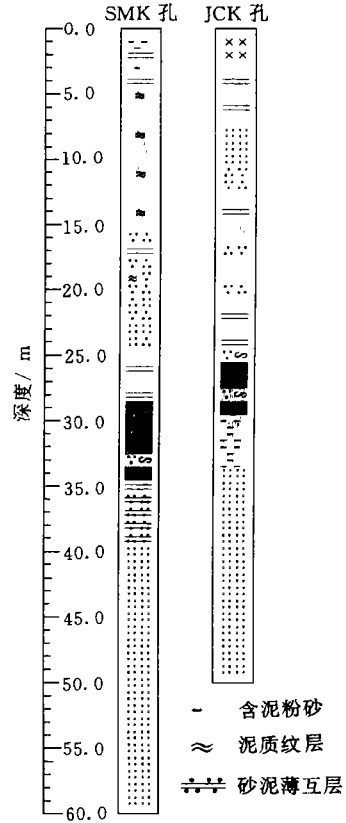


图3 两个钻孔地层剖面与沉积物类型的比较(其它图例同图2)

Fig.3 A comparison of core profiles and sediment types between Core SMK and Core JCK

参 考 文 献

王 颖, 朱大奎, 1990. 中国的潮滩. 第四纪研究, 4: 291—300
 刘振夏, 夏东兴, 1983. 潮流脊的初步研究. 海洋与湖沼, 14(3): 118—133
 朱大奎, 柯贤坤, 高 抒, 1987. 江苏潮滩沉积研究. 黄渤海海洋, 4(3): 19—28
 朱晓东, 1990. 长江河口三角洲区有孔虫沉降速度试验. 海洋地质与第四纪地质, 10(3): 47—58
 朱晓东, 1996. 江苏沿岸有孔虫壳体破损的一种半定量描述与统计方法. 微体古生物学报, 13(3): 295—302
 李从先, 郭富民, 许世远等, 1978. 全新世长江三角洲地区砂体的特征和分布. 海洋学报, 1(2): 252—267
 李从先, 赵 娟, 1995. 苏北琼港辐射沙洲研究的进展的争论. 海洋科学, 4: 57—60
 同济大学海洋地质系微体古生物实验室, 1980. 第四纪地层微体化的研究方法及其应用. 见: 汪品先等编, 海

洋微体古生物论文集. 北京: 海洋出版社, 172—191

陈报章, 李从先, 业治铮, 1991. 长江三角洲北翼全新统底界和“硬粘土层”的讨论. 海洋地质与第四纪地质, 11(2): 37—46

汪品先, 闵秋宝, 卞云华等, 1986. 河口有孔虫的搬运作用及其古环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 6(2): 53—66; 6(3): 83—92

杨达源, 1989. 近五千年来长江中下游干流的演变. 南京大学学报(自然科学版), 25(3): 167—173

黄海军, 李成治, 1998. 南黄海海底辐射沙洲的现代变迁研究. 海洋与湖沼, 29(6): 640—645

CHANGES IN DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS IN THE AREA NEAR THE CENTER OF THE NORTH JIANGSU RADIAL BANKS SINCE THE LATE PLEISTOCENE

ZHU Xiao-dong, REN Mei-e, ZHU Da-kui

(State Pilot Lab of Coast and Island Exploitation, Nanjing University, Nanjing, 210093)

Abstract The North Jiangsu Radial Banks (NJR) on the inner shelf of the southwestern Yellow Sea is one of the largest sand bank systems in the world. Its origin has been debated for over a decade. The major disagreement lies in that whether or not the ancient Changjiang River once ran through the radial central area of the NJR. Based on foraminiferal and sedimentological analysis of two coastal cores collected from the radial central area of the NJR, the following scenario of the ancient environment is suggested. During the late Pleistocene, the sedimentary environment was non-marine. Foraminifera appeared only in the bottom section, indicating an estuarine (the ancient Yangtze River) environment. Then there was a fluvial sedimentary environment, distant from the river mouth, namely beyond the tidal limit. Within the deposits no marine fossils were found. The subenvironment may have included river channels, bank flats, flood plains and lakes. The hard dark green mud may have resulted from a flood plain or lacustrine environment. The Holocene sediment record represents sea-related environments. The environment evolved from a tidal flat at the beginning of the Holocene to estuarine bay and near-shore environments, similar to the present tidal sandbank environment. Finally, the area changed into tidal flats and eventually became land. The results suggest that the NJR may have a sediment source from the late Pleistocene Changjiang River delta.

Key words Radial sand banks Core analysis Foraminifera Paleo-environment

Subject classification number P736