

黄海南部陆区全新世埋藏潮沙体^{*}

陈报章

(徐州师范大学区域发展研究所, 徐州 221009)

李从先 业治锋

(同济大学海洋地质系, 上海 200092)

提 要 本文依据8个钻孔样品分析数据和数十个参考钻孔资料, 讨论了全新世沉积层序, 发现了埋藏潮沙体, 并阐述其沉积特征、形成机制和发育演化过程。埋藏潮沙体可区分为潮沙堤、潮沙波和潮沙脊3个亚相, 它们是在冰后期海进-海退过程中, 随着长江三角洲前展、南偏, 长江携来的砂质物质在强潮流作用下依次形成并得以保存在地层中的。现代辐射状潮流沙脊群是埋藏潮沙体的发展延续。

关键词 沉积层序 埋藏潮沙体 沉积特征 形成机制 发育演化 黄海南部陆区

南黄海海底陆架上分布着以琼港为顶点的巨型辐射状潮流沙脊群, 其成因及时代问题众说纷纭^[1-5]。关于成因, 有残留沉积说、沿岸流成因说、潮流成因说和残留沙漠堆积体说^[5]。关于形成时代有全新世早期和2ka 以来最近时期^[4]之争。认识该区晚更新世末低海面至全新世高海面时期的沉积演化过程乃是解决争论问题、建立相模式的关键。通过钻孔揭露(图1), 在潮流沙脊群邻近的陆区发现了全新世埋藏潮沙体。

1 全新世沉积特征与潮沙体的发现

1.1 沉积层序

研究区全新统与下伏上更新亚统间普遍发现沉积间断^[6]。全新统厚6—39m 不等, 垂向上为一完整的海进-海退层序(图2), 自下而上分别为: ①下部滨海(岸)相、河口海湾相(局部钻孔缺失), 为冰后期海侵初期的产物, 沿南孔该层下部的¹⁴C 测年数据为11 780±370aBP、11 220±380aBP 和10 020±310aBP, 时代当属早全新世(Q₁)。②中部潮沙体相, 由细砂和粉砂质细砂组成, 为海侵达最大前后近岸浅海环境下的产物, 时代当属中全新世至晚全新世前期(Q₂—Q₃⁻¹)。③上部潮滩相、滨海沼泽相, 为海退后期的产物, 时代当属晚全新世后期^[7]。

1.2 水平相变与潮沙体的发现

主要受控于晚更新世末古地形^[6], 本区全新世沉积呈现明显的水平相变。全新统呈 SE→NW 逐渐尖灭的楔状体形, 沿此方向, 海相性最强的近岸浅海相(潮沙体相)渐薄, 至海

* 国家自然科学基金资助项目第49236120号部分成果。

本文写作得到同济大学陈刚、闵秋宝、李萍、孙和平先生帮助, 徐州师范大学张志华清绘图件,¹⁴C 年龄由中国科学院广州地理研究所协助测定。谨此致谢。

来稿日期: 1993 06; 收到修改稿日期: 1994 11。

安一线尖灭,上、下滨海相层直接相叠,至南莫附近仅见很薄的弱过渡相的低盐沼泽沉积^[7](图3A)。

值得注意的是,在各剖面的中部普遍发现细砂或粉砂质细砂层,厚3.16—12.84m不等(图3)。一般以极细砂为主,含量多在70%以上,粘土含量很低。 $\sigma_1 = 0.85-1.10$;频率分布曲线单峰式、尖峰态,多集中在2—4 ϕ ,正偏较明显;概率累积曲线三段式,无推移组分,以双跃移组为主,且斜率大,反映良好的分选性。发

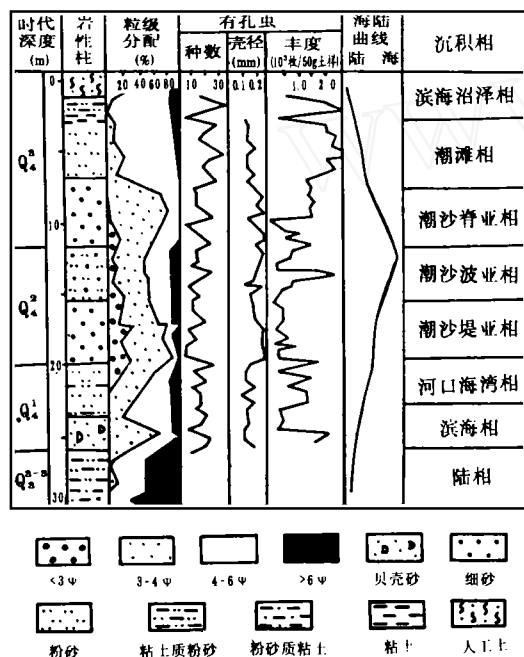


图2 李堡孔全新统综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive columnar map of Holocene in the Li Bao hole

现不同的底部形态。Stride 认为其在物源充足时的演替序列为^[13]: ①波纹状沙席和小沙波,潮流速度 $V=0.5\text{m/s}$; ②大沙波, $V=0.75\text{m/s}$; ③沙堤, $V=1\text{m/s}$; ④沙带, $V=1.5\text{m/s}$ 。不同底部形内部具不同的结构、构造特征。

据沉积及微体生物特征的差异性,本区埋藏潮沙体可划分为3个亚相,由下而上依次为潮沙堤、潮沙波和潮沙脊,分别相当于 Stride 和 Caston 所描述的沙堤 (sand banks)^[11,13]、Stride 和 Belderson 所描述的沙波 (sand waves)^[8,13]和 Stride, Kengon, Off 所定义沙带 (sand ribbons)^[9,10,13]或 Swift 所定义沙脊 (sand ridges)^[12]。

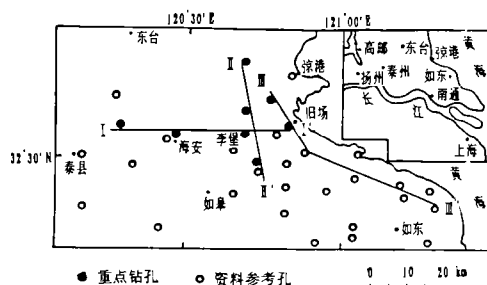


图1 钻孔位置图

Fig. 1 Location of drill holes

育平行层理、递变粒序层理和互层层理。微体生物组合反映为滨海-近岸浅海环境。上述特征与琼港现代潮流沙脊群极为相似。通过比较沉积学研究,说明本区发现的这一埋藏沙体系潮沙体类型。

琼港现代潮流沙脊群以琼港为中心呈辐射状向外延伸,单个沙脊延伸可长达60—100km,宽约10—15km,沙脊之间为潮沟相间,近琼港大小沙脊合并,形成大片浅滩,顶部已被掩埋在现代滨海平原区。以琼港为中心,约100km 之内的浅滩为分选极好的细砂,向外海逐渐递变为粉砂质砂、砂质粉砂,外海沙脊之间的潮沟则以泥质粉砂、粉砂质泥为主^[3]。研究区钻孔足以控制沙脊与脊间水道,但各剖面所揭露的埋藏潮沙体均由细砂或粉砂质细砂组成,不见脊间潮汐水道沉积。推测这应与沙脊在近岸区并滩有关。如果按全新世海侵最大时长江口退至镇江、扬州估算,其时研究区大部亦应相当于沙脊群浅滩的位置。

潮沙体随动力、物源条件的变化会出

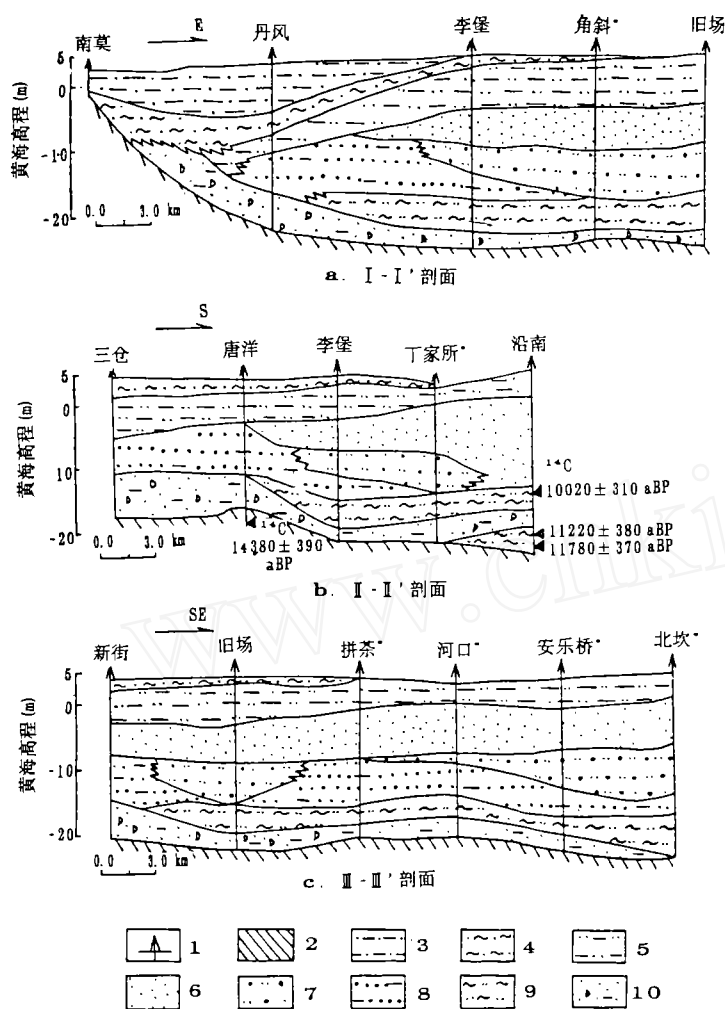


图3 I—I'剖面 (A)、II—II'剖面 (B)、III—III'剖面 (C) 全新统沉积层序分布图

Fig. 3 Distribution of the Holocene Sedimentary Sequences in Section

I—I' (A)、II—II' (B) and III—III' (C)

2 潮沙体沉积特征

潮沙体在各钻孔剖面中的发育情况不尽相同, 有的钻孔缺失1—2个潮沙体亚相, 具有比较明显的横向变化特征 (图3)。区内李堡孔较完全地发育了3个亚相。下面以李堡孔 (图2) 为主, 同时联系其他钻孔, 讨论潮沙体沉积特征。

2.1 近岸潮沙堤亚相 (near-shore tidal sand bars)

厚3—8m不等,李堡孔厚4.23m。下伏层为河口海湾相或滨海相。细砂占70%—90%,粘土占4%—5%,粒度参数与现代潮流沙脊相似(表5),相差在于其分选性(σ_1)稍差些,而偏度(SK_1)稍大些。概率累积曲线三段式,以双跃移组分为主,占63.5%—89.9%,无推移组分,跃移组分与悬浮组分细截点在 4ϕ 左右。其概率累积曲线与 Visher 的典型滨海沙坝曲线比较,没有发现可以类比的,与黄、渤海陆架滨海沙坝亦很不相似(各种类型波浪成因的滨海沙坝都含有相当比例的推移组分),而与北黄海及琼港现代潮流沙脊、长江河口沙坝较相似。

把埋藏潮沙体与现代潮流沙脊、长江河口沙坝的概率累积曲线参数化(表1),可明显看出它们的相似性。虽然据 Fork 图解法计算出的埋藏潮沙体与现代潮流沙脊的 σ_1 有一定差异(表5),但通过概率累积曲线参数化所测出的跃移组分的分选性却相差很小(表1)。埋藏潮沙体与现代琼港潮流沙脊群不同之处在于前者悬浮组分含量较高且分选性较差,这

表1 几种沙体概率累积曲线参数化比较

Tab. 1 Comparison of parameterization of accumulative probability curve among several kinds of sand bodies

沙体 类型	样品号	段式	双跃移组分			细截点(ϕ)	悬浮组分		推移组分 (%)
			含量 (%)	σ_{J1}	σ_{J2}		含量 (%)	σ_s	
潮 沙 堤 亚 相	L4-38	3	71.3	0.48	0.81	4.03	28.7	6.57	0
	L4-39	3	88.2	0.46	0.81	3.92	11.8	6.56	0
	Lb-36	3	75.3	0.44	0.59	4.00	24.7	6.14	0
	Lb-39	3	89.9	0.38	0.46	4.00	10.1	6.17	0
潮 沙 脊 亚 相	Lb-16	4	86.3	0.38	0.59	4.00	12.1	3.77	1.6
	Lb-18	3	83.1	0.36	0.57	4.00	16.9	3.82	0
	L4-19	3	88.7	0.42	0.52	4.00	11.3	3.94	0
	L4-20	3	90.7	0.35	0.52	4.00	9.3	3.40	0
琼 港 潮 流 沙 脊	S197	3	85.2	0.30	0.59	4.01	14.8	4.43	0
	S108	3	83.1	0.33	0.40	4.00	16.9	4.89	0
	C178	4	91.6	0.41	0.46	4.23	9.0	6.02	0.9
	C225	3	90.6	0.29	0.36	3.96	9.04	5.78	0
琼 港 东 沙	d11	3	90.7	0.40	0.59	3.92	9.3	2.18	0
	d21	3	84.6	0.31	0.61	4.03	15.4	1.97	0
北 黄 海 沙 脊	Y227	4	94.4	0.25	0.36	2.37	5.4	1.22	0.2
	Y226	3	89.1	0.34	0.47	3.86	10.9	1.12	0
长 江 河 口 沙 坝	S-11	3	89.2	0.41	0.92	3.82	10.8	1.57	0
	S-13	3	88.2	0.40	1.03	3.23	11.8	1.69	0

注: σ_{J1} 、 σ_{J2} 、 σ_s 分别为第一、二跃移组分和悬浮组分分选系数; 计算公式 $\sigma = a/\text{tg}\theta$, a 为概率尺度上

15.9%—50%间的长度与 ϕ 尺度上单位 ϕ 值的长度之比, θ 为代表该粒度总体线段的倾角。

可能与当时物源充足、水体较混浊和波浪作用相对弱些有关。潮沙体与河口沙坝的不同之处表现在双跃移组分分选性的差异上,前者相差较小(0.40/0.59),而后者相差较大(0.41/0.92)(表1),反映形成河口沙坝的双向水流差异明显,这可能与河流射流叠加于退潮流上并消减涨潮流能量有关。

近岸潮沙堤亚相碎屑矿物以石英为主,占70%以上,其次为长石和重矿物。重矿物占1.82%—6.80%,平均占4.52%,重矿物组合与琼港现代潮流沙脊相似(表2),为角闪石-绿帘石-褐铁矿-磷灰石-磁铁矿-石榴子石-锆石组合,以金属矿物的含量高为特征。

表2 本区三类埋藏潮沙体与琼港现代潮流沙脊^[18]重矿物组成对比 (%)

Tab. 2 Comparison of contents of heavy minerals among the three types of buried tidal sand bodies found in the study area and the modern tidal sand ridges in Jianggang

矿物名称	总量	黑云母	磁铁矿	褐铁矿	钛铁矿	角闪石	绿帘石	锆石	磷灰石	电气石	石榴子石	榍石
琼港现代潮流沙脊		3.15	3.42	18.35	4.55	30.39	25.57	5.25	2.29	0.57	3.72	3.72
埋藏潮沙脊	5.56	1.06	4.28	7.05	4.07	51.89	18.92	2.01	4.86	0.31	3.18	2.27
埋藏潮沙波	3.22	6.83	3.01	7.04	0.92	56.18	17.35	1.47	6.13	微	1.07	微
埋藏潮沙堤	4.52	2.58	3.86	8.14	2.67	56.51	15.35	1.58	6.24	微	2.02	1.05

表3 李堡孔埋藏潮沙堤亚相粒序层各细层特征比较

Tab. 3 Characteristics of every lamina of graded bedding in buried tidal sand bar sub-facies in the Li Bao hole

层号	样品号	取样深度 (m)	M_z (ϕ)	σ_1	粒级分配				重矿物 含量 (%)	有孔虫	
					细砂 2—4 ϕ	粗粉砂 4—6 ϕ	细粉砂 6—8 ϕ	粘土 >8 ϕ		丰度 (枚/20g干样)	壳径 D (mm)
粒序层一	L6-33	16.96—17.01	4.38	2.38	71.43	10.08	5.87	12.62	6.80		
	L6-34	17.01—17.04	4.00	1.47	75.65	14.06	4.21	6.08	4.02		
	L6-35	17.04—17.07	3.42	1.23	83.05	8.12	4.05	4.78	6.74		
粒序层二	L4-37	17.07—17.10	5.08	2.83	62.18	10.10	8.73	18.09	5.56	28	<0.15
	L4-38	17.10—17.15	4.97	1.96	68.49	8.07	5.73	17.7	1.80	90	大小相混
	L4-39	17.15—17.20	3.28	1.10	86.20	6.61	2.81	4.38	3.34	74	>0.20

潮沙堤亚相发育平行层理*和正粒序层理。每个粒序层厚5—15cm,粗粒层底部显冲刷面。据浅地震地层剖面 and 柱状样揭示,琼港现代潮流沙脊群中加积型沙脊发育类似的层理,其微斜的前积纹层倾向一致,并与沙脊长轴延伸方向相垂直。对李堡孔潮沙堤亚相中的正粒序层各细层分层取样分析表明(表3),同一粒序层各细层粒级组成、平均粒径(M_z)、分选系数(σ_1)以及有孔虫壳径显示出明显的依次递变性,但重矿物含量不具此变化规律。据此

* 在直径不足10cm的岩芯中是分不出低角度斜层理与平行层理的, Teruindt (1971) 对 Dutch estuarine channel 潮沙堤研究发现,其内部层理主要为倾角小于7°的大型斜层理。

不难推测,同一粒序层是一次涡旋强潮流掘蚀槽底砂质物质,使之呈递变悬浮状态,并随能量递减依次沉积的产物。

该亚相层介形虫含量很少,有孔虫为 *Ammonia beccarii* vars., *Cribronion subincertum* 和 *Florilus decarus* 组合。广盐性与浅海相属种相混,大、小壳径壳体混杂,以正常壳径者为主。有孔虫壳破碎、磨蚀严重,见氧化铁染壳现象。反映为水动力较强、潮流作用明显的滨海-近岸浅海环境。

2.2 潮沙波亚相 (tidal sand waves)

仅在本区几个钻孔中发现潮沙波亚相,厚2—8m不等,其下伏层为潮沙堤亚相或河口海湾相。与下伏潮沙堤亚相比较,潮沙波亚相细砂含量减少(平均55%±),粘土含量增多(平均16%±);重矿物含量减少(3%),且含一定量片状矿物(5%—7%)(表2)。

以细砂与粉砂质粘土互层状呈韵律性重复为特征,且发育斜层理和交错层理,反映沙波的横向迁移。对粗、细互层分层取样分析,可以看出,细层悬浮组分含量高,频率分布曲线峰较宽,正偏很明显;而粗层第二跃移组分的分选性优于第一跃移组分,这种现象可能因后期强潮流改造所致。有孔虫特征为细层浮游类所占比例大,正常壳体较新鲜;而粗层壳体保存较差(表4)。这种粗、细韵律可能与长江径流量、悬砂量季节性周期变化有关。

粗层形成于枯季,细层形成于洪季。其中的粘土纹层可能系特大潮平潮憩流时的形成物,如L4-33号样品,有孔虫丰度很低,多为异常的小个体,表明其沉积速率很大。实际上,这种特大潮较频繁发生,而钻孔中这种粘土纹层却并不常见,说明它并不易被保存在地层中,由于憩流后,再次较大潮流作用会把憩流时的沉积层破坏殆尽。

表4 李堡孔潮沙波亚相粗、细互层有孔虫特征比较

Tab. 4 Contrast of foraminifera features between coarse and fine alternation in tidal sand wave sub-facies in the Li Bao hole

互层 样品号	沉积物	丰度 (枚/50g)	平均壳径 (mm)	列式壳占 (%)	浮游类占 (%)	壳体保存状况
L4-28	粘土质粉砂层	582	0.125	22.4	11.5	小壳体 (<0.12mm) 轻微磨蚀 正常壳体 (>0.2mm) 较新鲜
L4-29	细砂层	1134	0.230	7.2	5.6	以正常壳体为主,轻微磨蚀
L4-30	粉砂质细砂层	856	0.153	19.1	8.7	与 L4-28相似
L4-31	细砂层	1320	0.227	8.3	4.3	同 L4-29
L4-33	粉砂质粘土	134	0.112	3.7	13.2	几乎全为轻微磨蚀的小个体
L4-34	粉砂质细砂	112	0.143	2.9	10.4	大、小相混,皆受一定程度磨蚀

该亚相微体生物反映的海相性较下伏潮沙堤亚相明显增强,为近岸浅海环境。有孔虫壳体大小较正常,含较多海绿石充填壳,为 *A. beccarii* vars., *A. compressiculla* 和 *Florilus decarus* 组合;介形虫以正常浅海相属种为主,为瞳孔穆赛介 (*Munseyella pupilla*) - 中华花介 (*Sinocythere*) 组合。

上述特征与 English Channel, Southern Bright North Sea 和 Bristol Channel 等现代潮沙波相似,只是本区埋藏潮沙波亚相的交错层理和斜层理发育程度相对差些,可能与这种系

小型沙丘移动形成的层理不易在地层（稳定沙波）中保存下来有关。

2.3 近岸潮沙脊亚相 (nearshore tidal sand ridges)

本区东部几个钻孔上部皆发育潮沙脊亚相，厚3—12.5m 不等。下伏层为潮沙波亚相或潮沙堤亚相，上覆潮滩相。

该层由分选很好的细砂组成，其沉积物结构和碎屑矿物及重矿物组成特征介于下部潮沙堤亚相与琼港现代潮流沙脊之间（表1、2、5），可能反映它的水动力强弱和物源多寡介于这两者之间。它的层理构造与这两者相似，以平行层理和递变粒序层理为主，粒序层厚5—25cm，分细层取样分析，结果与下部潮沙堤亚相相似，只是粉砂F 收惩良肋” 体生物反映的海相性较中段潮沙波亚相稍有增强，仍属近岸浅海环境（图2）。

2.4 三类埋藏潮沙体及琼港现代潮流沙脊沉积特征比较

本区发现的这三类埋藏潮沙体，即潮沙堤、潮沙波和潮沙脊是在冰后期海进-海退过程中随着地形、潮流（较强—变弱—最强）、物源（较丰富—贫乏）的依次变化而形成的一个垂向序列。这一垂向序列与 Stride 提出的随动力大小和物源供应多少依次变化而形成的潮沙体水平方向演替序次是相当的。比较沉积研究表明，这3期埋藏潮沙体与琼港现代潮流沙脊群有较明显的成因上联系，沉积特征上较好地反映了它们成因机制的一致性和演化过程的差异性（表5）。

表5 本区三类埋藏潮沙体与琼港现代潮流沙脊沉积特征对比
Tab.5 Comparison of sedimentary features among the three types of buried tidal sand bodies found in the study area and the modern tidal sand ridges in Jianggang

		埋藏潮沙堤	埋藏潮沙波	埋藏潮沙脊	琼港现代潮流沙脊
岩 性		灰黄-灰色细砂	灰色粉砂质细砂	灰色细砂	灰色细砂
砂层或沙体厚 (m)		3—8	2—8	3—12.5	4—20
粒 度 参 数	M _z (φ)	3.81	4.95	3.49	2.94
	σ ₁	1.02	2.08	0.72	0.63
	SK ₁	0.57	0.65	0.32	0.36
	KG	2.50	1.54	2.64	2.15
碎屑矿物磨圆度		一般	较差	一般	一般—较好
层理构造		平行层理、正粒序层理，见粘土薄夹层、泥线	粗、细互层韵律性重复，见斜层理、交错层理	平行层理、正粒序层理、很少见粘土薄夹层、泥线	平行层理、正粒序层理，近岸见波状、脉状层理及粘土薄夹层
微体生物	丰度	较少，变化不大	较多，变化较大	较多，变化较小	较多，变化大
	壳体保存状况	常见磨蚀、破碎、铁染壳现象	小壳体 (<0.118mm) 轻度磨蚀，见海绿石充填壳	常见磨蚀、破碎、铁染壳现象，可见海绿石充填壳	相似于埋藏潮沙脊
	环境	滨海~近岸浅海	近岸浅海	近岸浅海	近岸浅海
发育时间		中全新世前期 Q ₃ ¹	中全新世后期 Q ₃ ²	晚全新世前期 Q ₃ ¹	晚全新世后期 Q ₃ ²

注：1 重矿物特征对比见表2。
2 平行层理很可能为低角度斜层理，因为在钻孔岩芯或柱状样中无法辨析。

2.5 埋藏潮沙体在沉积层序中的展布与相变特征

如图3所示, 3期潮沙体亚相砂层分布于 Q_4 沉积层序的中部, 下伏层为 Q_4 的滨海相或河口海湾相, 上覆层为海退末期形成的潮滩相 ($Q_4^{1-2}-Q_4^3$)。各相层在不同区域的发育时间不尽一致, 表现出一定的穿时性。

主要发育于中全新世前期海进过程的下部潮沙堤亚相, 以本区中部偏北偏西地区发育最好, 而这一亚相层在东部和东南地区却发育较差, 表现在该层厚度小或缺失。冰后期早期, 本区海进速度较快, 在海侵接近或达到最大范围时, 堆积作用与海平面上升接近于动态平衡, 且这一平衡过程延续了较长时间, 使得潮沙堤亚相在西、北部地区得以较好地发育, 而此时东、南部地区海水却较深, 为近岸浅海环境, 则得以较好地发育了潮沙波亚相。

从图3a、c 可清楚地看出, 形成于海侵最大范围时期的潮沙波亚相, 主要分布于本区东部和南部, 其微体生物所反映的海相性为整个 Q_4 层序中较强的层位。该亚相层向 N、W 方向渐薄至缺失, 潮沙堤亚相之上直接相叠潮沙脊亚相或仅发育潮沙堤亚相, 整个潮沙体相厚度亦沿此方向渐减小。

上部潮沙脊亚相形成于海平面稳定后的沉积过程中, 主要分布于东、南部地区, 覆于潮沙波亚相之上。因这是一个海水变浅、潮流作用加强的过程, 下伏层是不稳定的, 局部地区下伏潮沙波亚相被冲蚀、改造为潮沙脊亚相, 如沿南孔, 潮沙脊亚相直接超覆于 Q_4 河口海湾相之上 (图3b)。

3 潮沙体形成机制与发育演化

3.1 形成机制

潮沙体砂在 Friedman 1967年提出的区别海滩砂与河流砂散点图 (σ_1-SK_1 , σ_1-M_2) 上皆分布于河流区。琼港现代潮流沙脊群砂^[14]及研究区埋藏潮沙体砂在 CM 图上皆分布于中等紊流和弱紊流的 V、VI、VII 区 (图4), 显示以递变悬浮方式搬运为主的特征, 反映为一种高流态脉动式水流作用形式, 而该水流是潮流往复运动或辐聚辐散的结果。当这股潮流平行于沙体长轴方向运动时, 沙体之间的沟槽中将产生次级横向环流, 使槽底含有泥沙的底层水流向沙脊顶部流动并有泥沙沉积下来, 形成平行层理和粒序层理; 若遇到槽底坡折处, 将会产生另一种副流——涡流, 因而具有更加强大的掘蚀力, 使水下沙体不断增长和迁移。

3.2 发育条件

潮沙体作为一种独特的地貌体, 只出现在陆架浅海某些特殊地貌部位 (比如河口湾、海峡等) 和特殊的沉积环境中。

研究区岸外海域属规则半日潮, 受到两个潮波系统的控制, 即由东海传入的前进潮波系统和南黄海旋转潮波系统^[3]。前者由 SE→NW 传入; 后者则是入射潮波被山东半岛南岸反射并受科氏力影响而形成, 由 NE→SW 传入。本区在全新世海侵影响以后, 与现今南黄海西部海域存在着类似的地形边界条件, 因此可以认为 Q_4 时, 也存在着相似的潮波系统。潮波在浅海的传播速度 C 主要取决于水深 d 和重力加速度 g , 即 $C = \sqrt{gd}$, 若南黄海西部平均水深为 25m, 本区 I—I' 剖面线 (图1) 至山东半岛南岸的距离 l 为 360km, 则入射波由 I—I' 线向 N 传至山东半岛南岸, 再经反射后传回 I—I' 一线所需时间 t 可由下式估算: $t = 2l/C \approx 12.8h$ 。

这表明这两个潮波系统传入本区的时间差接近于一个涨落潮周期 (12.4h)，两者叠加后相互加强，潮差陡增 (5—7m)，潮流加大 (1—2m/s)，并形成辐射状潮流场。

研究区所有钻孔均钻遇了 Q_3^{3-3} 陆相杂色“硬土层”，本区以南因长江河道流经或摆动而缺失这一陆相层。本区 Q_4 普遍发育滨海相的砂层、贝壳砂层或滨海沼泽相的含炭粘土层，为典型河口间沉积。至 Q_3 时，形成以镇江、扬州为顶点的长江河口湾，本区处于湾外位置。微体生物反映的海相性显示 $Q_4 \rightarrow Q_3$ 渐增强趋势，表明长江三角洲前展过程中河口逐渐向东南偏移，本区受长江影响渐弱。不难看出，晚更新世末以来，本区虽处于河口湾内，但从未成为长江主要入海口，亦即从未具备形成河口沙坝的条件，但却形成了一个河口湾状地形。

东海前进波和南黄海旋传波传入本区时，受湾状地形的影响发生谐振，潮差、潮流进一步加大，并由旋转流变为往复流，加之长江提供了充足的砂质物源，因而本区完全具备了潮沙体的形成条件。

3.3 演化过程

冰后期海面上升，海水首先沿长江古河床侵入，然后由 SE \rightarrow NW 逐渐波及到本区。至 8ka BP 前后，在本区形成河口湾状地形，产生了强劲的往复性潮流。长江携来的大量泥砂，在这种强潮流作用下，开始发育前期潮沙堤。随着海面进一步上升，本区湾状地形渐趋不明显，其间潮沙堤逐渐形成并稳定下来。Stride 研究了 Celtic Sea 和 North Sea 早全新世 4 组潮沙堤后，认为只有在海侵期间，这种大型底形 (large bedform) 的潮沙体才能得以稳定并有可能被保存在地层中^[18]。

最大海侵时 (约 7—6.5kaBP)，长江河口退至镇江、扬州附近，本区水深加大，潮流减弱，长江输沙主要在红桥附近形成河口沙坝，本区物源锐减，在沙堤之上开始发育沙波。这与 Stride (1982) 提出的潮沙体底形演替序列是一致的，即随物源减少和动力减弱，由沙堤转变为大沙坡，且沉积物由粗变细。4.0kaBP 左右，海面曾波动下降后又趋于稳定，水下潮沙波逐渐增大并稳定下来。

在现代长江口外 (32°N, 123°E 附近)，发现有潮流成因的面积逾 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的沙波场，波长 5—12m^[1]。全新世最大海侵时，本区类似于现代沙波场的位置，发育潮沙波，在海退过程中，潮沙波逐渐形成并稳定下来。

随着长江三角洲前展，在科氏力影响下，各期河口沙坝依次南偏。同时，黄河多次改道苏北入海^[14]，本区以北地区海退速度亦较大，苏北滨海平原普遍发育了 3 条贝壳堤^[15]，据贝壳的 ^{14}C 年代测定，由陆向海年代分别为距今 5677 ± 75 年、4kaBP 和 2kaBP^[16]。至海门期时

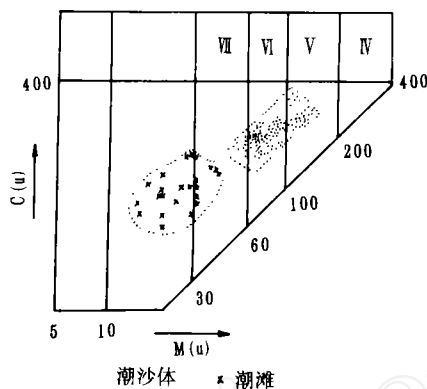


图4 埋藏潮沙体与潮滩样品 CM 图
Fig. 4 CM plot of buried tidal sand body and tidal beach

[1] 叶银灿, 中美地球物理调查的主要认识, 海洋地质动态, 1982, (2): 5—6.

(约2.5kaBP), 本区中、东部湾状地形又趋明显, 潮流作用加强, 在潮沙波之上发育潮沙脊, 它们多垂直于岸线分布。由于这是一个动力增强的过程, 局部地区下伏潮沙波乃至潮沙堤可被冲蚀、改造为潮沙脊。

随着长江主泓更加南偏, 黄河改道北徙^[17], 本区物源几乎断绝, 在强劲辐聚辐散潮流作用下, 逐步改造下伏潮沙波、潮沙堤亚相, 沙脊群形态不断变化, 形成现今以琼港为顶点的辐射状潮流沙脊群, 近岸部分岸线逐渐淤进, 并埋藏部分早期潮沙脊。因此, 可以认为现代沙脊群是埋藏潮沙体的发展延续。

参 考 文 献

- 1 李成治, 李本川. 苏北沿海暗沙成因的研究. 海洋与湖沼. 1981. 12(4): 311—315.
- 2 周长振, 孙家松. 试论苏北岸外浅滩的成因. 海洋地质研究. 1981. 1(1): 83—87.
- 3 扬长恕. 琼港辐射沙脊成因探讨. 海洋地质与第四纪地质. 1985. 5(3): 35—40.
- 4 杨子庚. 南黄海陆架晚更新世以来的沉积环境. 海洋地质与第四纪地质. 1985. 5(4): 23—28.
- 5 赵松龄. 苏北潮滩成因的最新研究. 海洋地质与第四纪地质. 1991. 11(3): 103—112.
- 6 陈报章, 李从先, 业治铮. 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. 1991. 11(2): 37—46.
- 7 陈报章, 李从先, 业治铮. 黄海南部陆区冰后期沉积环境的演变. 海洋科学. 1993(4): 56—61.
- 8 Belderson RH, Stride AH. Tidal current fashioning of a basal bed. *Mar. Geol.*. 1966(4): 237—257.
- 9 Kenyon NH. Sand ribbons of European tidal seas. *Mar. Geol.*. 1970(1): 25—39.
- 10 Off T. Rhythmic linear sand bodies caused by tidal current. *Am. Assoc Pet Geol Bull.* 1963. 47(2): 324—337.
- 11 Caston VND. Linear sand banks in the southern North Sea. *Sedimentology*. 1972. 18(1): 63—78.
- 12 Swift DJP. Tidal sand ridges and shoal retreat massifs. *Mar. Geol.*. 1975. 13(2): 105—134.
- 13 Stride AH. Offshore tidal sands process and deposit. London. New York. Chapman and Hall Ltd. 1982. 380—396.
- 14 Ren Meic. Modern sedimentation in coastal and nearshore zone of China. Beijing: China Ocean Press. 1985. 60—140.
- 15 张忍顺. 苏北黄河三角洲及滨海平原的成陆过程. 地理学报. 1984. 39(6): 474—479.
- 16 顾家裕, 严钦尚, 虞志英. 苏北中部滨海平原贝壳砂堤. 沉积学报. 1983. 1(2): 37—42.
- 17 凌申. 黄河南徙与苏北海岸线的变迁. 海洋科学. 1988(5): 54—58.
- 18 张光威. 南黄海陆架沙脊的形成与演变. 海洋地质与第四纪地质. 1991. 11(2): 25—35.

作 者 简 介

陈报章, 男, 1963年生, 副教授。1988年毕业于同济大学海洋地质系获理学硕士学位。1993—1994年在北京大学做访问研究工作。主要从事海洋沉积、第四纪地质、全新世环境及环境考古学研究。已发表“海南排浦Q/N界线附近事件及白云岩化作用”, “河南贾湖遗址(8kaBP)水稻硅酸体的发现及其意义”等论文30余篇。

A STUDY ON THE HOLOCENE BURIED TIDAL SAND BODIES IN THE SOUTH YELLOW SEA COASTAL LAND

Chen Baozhang

(*Institute of Regional Development, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221009*)

Li Congxian Ye Zhizheng

(*Department of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092*)

Key Words coastal sedimentary sequences, buried tidal sand bodies, sedimentary characteristics, South Yellow Sea coastal land

Abstract

Based mainly upon analysing of eight drill-holes and upon other several dozens of paper. It is non-marine facies of Pleistocene that under lay the sediments of Holocene with an unconformity between them. The Holocene sedimentary sequences can be divided into the lower transgressive and the upper regressive ones, consisting of beach facies (contains estuary-bay facies in some part of the studied area), nearshore neritic facies (tidal sand body facies) and tidal flat facies. It is obvious that facies change horizontally. It merits notice that the nearshore neritic facies is composed of fine sands or silty fine sands in all drill-holes. Characteristics of the sand bands have been researched about their textures, structures, minerals and microfossils etc. Through comparative sedimentological study with the modern tidal sand ridges in Jianggang, it is found that the buried sand bodies belong to the type of tidal sand body.

Tidal sand body refers to the sand body of geomorphological bedform formed by the tide current. Along with the changes in current power and sand source, the bedform appears different shapes, and forms different types of tidal sand bodies.

According to the differences in their sedimentological characteristics and microfossils, the buried tidal sand bodies can be distinguished into three types: I) nearshore tidal sand bars, II) tidal sand waves, and III) nearshore tidal sand ridges. They correspond respectively to the sand banks described by Stride (1982) and Caston (1972), the sand waves described by Stride (1982) and Belderson (1966) and the sand ribbons described by Stride (1982), Kenyon (1970) and Off (1963) or sand ridge described by Swift (1975).

Forming mechanism and evolutionary processes of the three types of buried tidal sand bodies were dealt with in this paper too. All sands of buried sand bodies distribute in river area in scatter diagram (σ_1-SK_1 , σ_1-M_z), and distribute in turbulent flow area of V、VI、VII in CM plot. This shows the major mode of transportation is graded suspension. The sand bodies were formed by a reciprocating motion of tidal stream with pulsating high flow regime. The tide cycle near the study area is half-day, controlled by the two systems of tide bulge—the tide wave from Donghai sea and the

south Yellow sea revolving one. The former propagates from SE to NW, the later from NE to SW, which is formed by tide wave refraction by Shandong Peninsula and Coriolis force. When the later refracts back to the south Yellow sea, the time lag to the former is $2l/\sqrt{gd} \approx 12.8\text{h}$, near to a tide cycle (12.4h), so this two tide systems add to each other, and transfer to reciprocating stream from revolving tide wave, the tide range become higher, the tide flow become stronger.

The "hard clay band" (Q_3^{3-4} , terrestrial facies) was found in all drill-holes. It only disappears in the south of the studied area due to the existance of stream channel of Yangtze River. From the end of late Pleitocene, the studied area was in the estuary, but was never the main mouth of Yangtze River. There were no conditions for distributary mouth bar to develop in the area, but there were conditions for tidal sand body to form, that is, the area was near the estuary-bay, the tide flow was strong, and the sand sources provided by Yangtze River was rich.

Three types of tidal sand bodies were formed and preserved succssively along with the cycle of transgression and regression, and their distribution patterns were controlled by the shift of the Yangtze River towards southeast during the Holocene. The modern radiate sand ridges may be the effects of the development of the buried ones.

勘 误

本刊50(2)期第124页表2的“海平面上升0.5m之海滩响应预测”项内,海滩淹没、海滩侵蚀、综合效应三栏下各行的顺序均应为滨海后退(m)、损失面积(m^2)、损失率(%).原排版有误,谨向作者、读者致歉。