

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2009.02015

晚更新世南黄海西部陆架的古长江三角洲

陶倩倩¹, 刘保华², 李西双², 张维冈¹, 李达¹

(1 中国海洋大学海洋地球科学学院, 青岛 266100; 2 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061)

摘要: 晚更新世气候的冷暖交替引起全球海平面的下降与上升, 在南黄海地层中, 最直接的体现就是海陆交互式沉积层。利用最新的高分辨率浅地层剖面资料, 对南黄海西部近海陆架晚更新世以来的地震地层进行了详细划分, 探讨了晚更新世两个海进层序中古三角洲的划分及其地震相特征, 认为晚更新世南黄海古三角洲可分为4个较大的期次。根据沉积物特征分析判断4期古三角洲均为古长江形成, 各期三角洲相互叠置, 范围、厚度及扩建方向均有所不同, 各期古长江三角洲与海平面变化有很好的对应关系。

关键词: 地震地层; 海平面变化; 古长江三角洲; 晚更新世; 南黄海

中图分类号: P539.1 文献标识码: A 文章编号: 0256-1492(2009)02-0015-10

晚更新世是全球气候变化较为频繁的时期, 气候的波动造成冰期与间冰期的不断交替, 这种变化同样也影响到中国东部海域, 它的直接表现就是海平面的下降与上升。据有关研究^[1-6], 在晚更新世, 中国东部沿海经历了两次大规模的海侵。这两次海侵均越过岸线, 进侵到内陆平原, 在渤海西岸、长江中下游地区、苏北平原等地均发现有海侵层。海平面变化对海域的影响极其重要, 在南黄海, 这种变化的直接体现就是海陆交互式沉积层^[6-9]。高海面时期形成的三角洲沉积一直是近年来研究的热点, 在东海发现了第四纪以来的多期古长江三角洲沉积, 并对其有详细讨论^[10-12], 但是在南黄海, 大部分集中于对废黄河三角洲的研究^[13-17], 对是否存在古长江三角洲以及古长江三角洲的期次、范围等的研究很少^[18-20], 对南黄海的古长江三角洲没有形成一个清晰的认识。最新的高分辨率浅地层剖面显示, 晚更新世以来南黄海陆架也存在多期水下三角洲沉积, 对古三角洲的研究为研究南黄海的第四纪地质具有重要意义。

南黄海西部海域紧靠陆地, 北面以山东半岛为界, 西面毗邻苏北平原, 所临陆地均较平坦。历史上曾有诸多河流注入南黄海, 携带泥沙在近海沉积并保存, 形成了厚达300余米的第四纪沉积。本文主要运用地震地层学方法对南黄海西部陆架的晚第四纪地层进行详细划分, 探讨晚更新世高海面时期形成的古三角洲的期次、地震相特征, 并重点研究三角

洲的物质来源、形成时间、大致规模及其与海平面变化的对应关系。

1 资料与方法

本文所使用资料为我国近海海洋环境综合调查专项(908专项)中的“DW04 区块单道地震调查与研究”课题所获得的近2500 km 高分辨率浅地层剖面资料及已有的QC2钻孔^[7]资料, 测线及钻孔位置如图1所示。

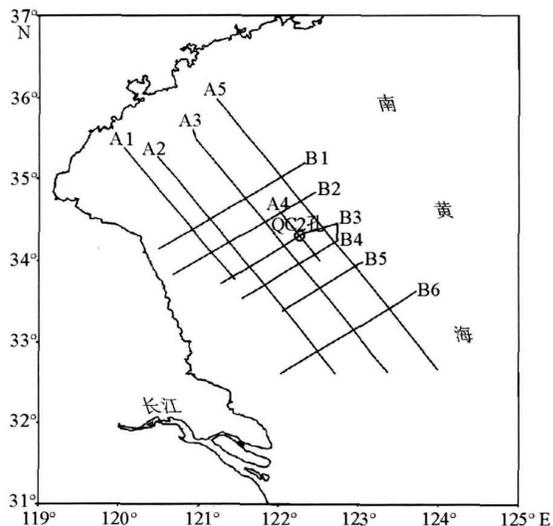


图1 研究区测线及钻孔位置

Fig. 1 Survey line and core location in study area

基金项目: 我国近海地球物理研究(908-ZC-F06)

作者简介: 陶倩倩(1984—), 女, 硕士生, 主要从事地球物理资料处理及解释, E-mail: ldltqq@163.com

收稿日期: 2008-12-28; 改回日期: 2009-02-16. 文凤英编辑

浅地层剖面资料为2007年“东方红2号”在南黄海海域调查所获, 采用DGPS差分导航定位系统保证定位准确性。所使用的采集系统为DELPH,

震源为 Geospark, 发射能量为 1 000 J, 记录长度为 200 ms, 沉积层的平均速度采用 1 600 m/s, 穿透深度在 100 m 以内。

文中采用的 QC2 孔是目前为止南黄海揭穿年代最老、层序最为完整的钻孔, 孔深 108.83 m, 具有较精确的测年数据, 对于南黄海的地质对比具有重要作用。

2 结果与讨论

2.1 地震地层划分

南黄海西部陆架的晚更新世地层具有明显的海陆交互式特点, 依据反射同相轴的终止方式, 即不整合现象(包括上超、下超、顶超及削截)对地层进行初步划分, 根据各层序的地震相特征并与 QC2 孔对比, 将地层划分为晚更新世的两次海进-海退交互式层序以及全新世的海进层序, 由下到上依次命名为 U1、U2、U3、U4、U5(图 2)。

U1 为氧同位素 5 期高海面时期形成的海相地层, 对应 QC2 孔的 33.22~54.66 m。在浅地层剖面上, 依据不同的地震相特点, 可将其进一步划分为 U1¹、U1²和 U1³ 3 个地震相单元。U1¹为浅海相或三角洲相沉积, 在研究区北部为具席状至楔状外形、

连续性较好、振幅较强的浅海相沉积, 在研究区南部则为具斜交前积结构、连续性好、振幅强的三角洲相沉积。U1²地震相特征与 U1¹类似, 北部为浅海相沉积, 南部为三角洲相沉积; U1³大部分地区为三角洲相沉积, 在 B2 测线以北地区过渡为浅海相沉积。

U2 为氧同位素 4 期海退时形成的陆相沉积, 对应 QC2 孔的 29.07~33.22 m。该层序内部反射杂乱, 连续性差, 在研究区北部陆架上分布有小型湖泊和河流, U2 在 B4 测线以南地区缺失。研究区内仅见小型下切河谷, 下切深度较小, 此地层在东海陆架大部分缺失^[10-12], 说明当时海水只退出黄海部分地区, 未曾退出东海。

U3 为氧同位素 3.0 期形成的海相地层, 对应 QC2 孔的 21.78~29.07 m, 该地层在研究区南端缺失。U3 也可分为 U3¹和 U3²两个地震相单元。U3¹为薄层的浅海相沉积, 在研究区分布范围较小, 仅在部分地区有所分布, 推测为玉木亚间冰期初期海进时形成; U3²为三角洲相沉积, 根据地震相中的前积结构特征, 推测研究区南部为古长江三角洲沉积, 北部为古黄河三角洲沉积。

U4 为氧同位素 2.2 期的陆相沉积, 对应 QC2 孔的 17.8~21.78 m。该时期的陆相沉积可分为古河道、古湖沼洼地以及古侵蚀面。古河道的下切深度要大于 U2 所对应时期, 且在研究区南北部皆有

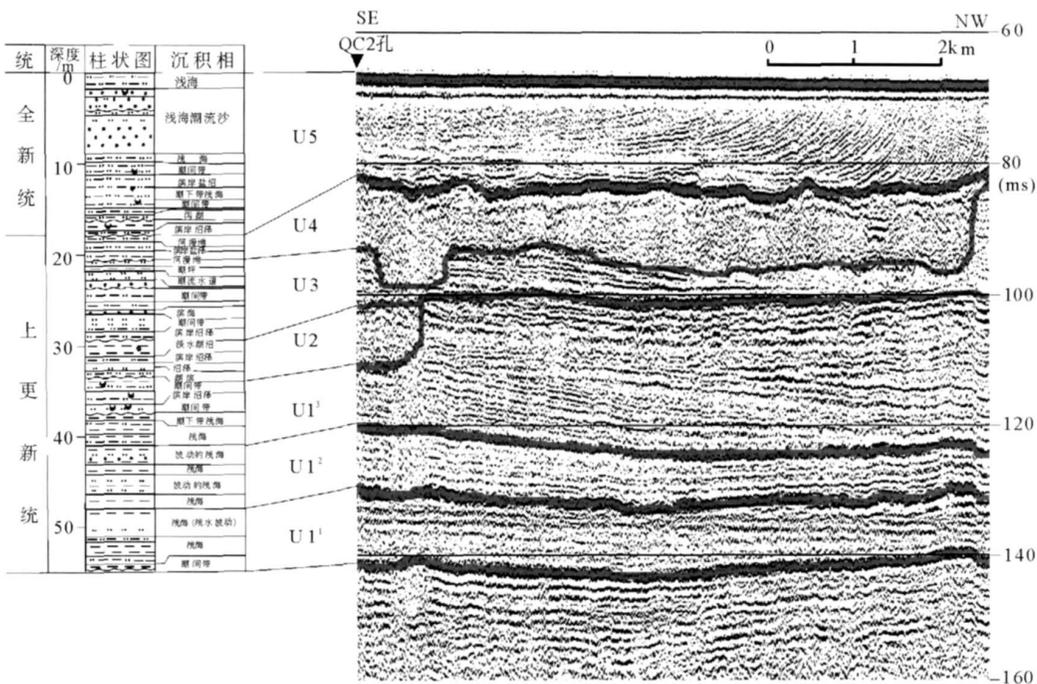


图 2 南黄海西部陆架浅地层剖面 A4 与钻孔对比(钻孔据文献[7])

Fig. 2 Shallow seismic profile A4 correlated with core QC2 in the western shelf of the South Yellow Sea (Core data from referenc[7])

分布, 推测南部为古长江下切下伏地层形成, 北部为古黄河下切侵蚀形成。在 A4 测线及其相邻测线上发现一处规模较大、下切深度较深的古湖泊, 内部反射呈杂乱、不连续状。

U5 为全新世海相层, 对应 QC2 孔的 0~17.8 m。该层受沉积物注入及海洋动力环境的影响, 各处沉积模式及厚度不同。在废黄河口附近为旧黄河三角洲沉积, 厚度大约在 10 m 以内; 海州湾内沉积物注入较少且海洋动力较强, 全新世沉积很薄, 很多地方直接出露晚更新世地层; 苏北沿岸还存在一以琼港为中心的辐射状沙脊, 前人研究为晚更新世晚期及全新世以来形成, 厚度在 60 m 以内^[21]。远离海岸, 全新世沉积呈逐渐变薄趋势。

2.2 古三角洲地震相特征及期次划分

晚更新世的两次高海面时期, 分别对应深海氧同位素 5 期和氧同位素 3 期, 在南黄海海域形成巨大的水下三角洲沉积。在浅地层剖面上可识别出的三角洲相为三角洲前缘亚相, 前三角洲亚相为三角洲前缘亚相与浅海相的过渡相, 不太容易分辨。前三角洲相一般具有低角度的前积结构, 而浅海或滨海相一般为平行到发散结构, 在确定三角洲范围边界时, 主要是利用前三角洲的低角度前积结构逐渐消失的现象。另外, 具斜交前积结构的三角洲沉

积一般存在区域性的顶削面和下超现象。

2.2.1 第 1 期古三角洲(D1)

该期三角洲位置偏东南, 规模巨大, 在 B5、B6、A3 和 A5 测线上均有较明显的前积结构。在 A5 测线上, 该层为水平层状的厚层沉积, 说明三角洲沉积方向与 A5 测线大致垂直, 轴线如图 3 所示。该层在 B6 测线上表现最为明显, 为斜交前积结构层(图 4)。在 B5 测线上, 前部为三角洲前缘相沉积, 后面过渡为前三角洲至浅海相沉积, 因此该三角洲北部边缘应在 B5 测线附近。在 B6 测线终止处, 该层仍为较薄的前积层, 那么该三角洲应超过 B6 测线终点位置继续向海推进一小段距离, 如图 3 所示为推测的三角洲前部边缘。在 A5 测线上, 该三角洲的南部边缘完全被 U2 及 U4 侵蚀下切, 不复原始形态, 根据三角洲两翼大致对称推测出南部边缘。三角洲大致形态如图 3 所示。

表 1 三角洲和浅海地震相特征对比(据文献[22]修改)

Table 1 Comparison of delta and shallow sea seismic facies

沉积相	沉积能量	沉积物类型	地震相参数		
			外形	结构	振幅 连续性
三角洲前缘	中	粉砂、黏土	透镜状	S 形或斜交前积	高 高
前三角洲	低	黏土	透镜状	低角度前积或平行	低 中
滨海	高到中	砂、粉砂	席状到楔形	平行到发散	中 中
浅海	中	黏土	席状到楔形	平行到发散	高 高

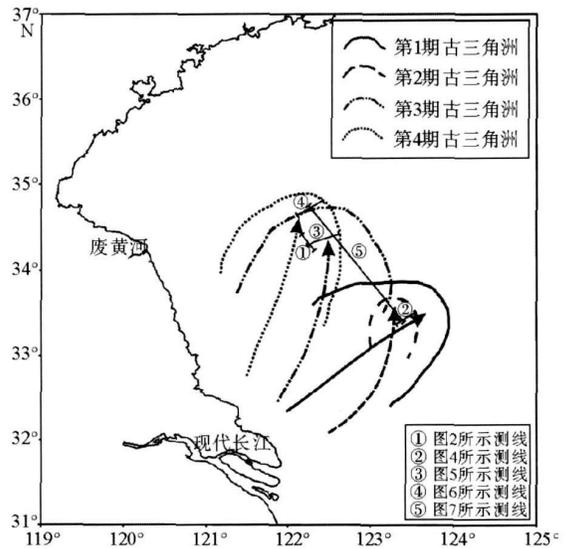


图 3 南黄海各期古三角洲分布范围

Fig. 3 Distribution range of ancient deltas in the study area

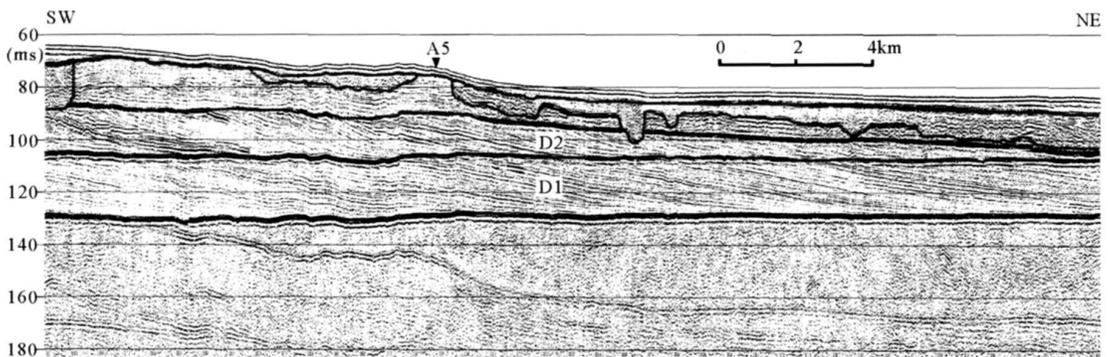


图 4 南黄海 B6 测线上古三角洲 D1 和 D2

Fig. 4 Ancient deltas D1 and D2 in survey line B6

根据地震相特征,可将该期三角洲进一步细分为两个较小期次,两者之间呈顶削的不整合关系,不整合线两侧前积层角度不同,前期角度较大,后期角度较小,前期三角洲被顶削后,后期三角洲以其为下界面继续向海扩建,反映了海水的后退。

浅地层剖面显示,该期三角洲随着向海的延伸总体上表现为斜交前积结构,前期三角洲视倾斜角度低,大约在 0.2° 左右,振幅较小,反映了泥质沉积物的低速加积;后期三角洲地层视倾斜角度逐渐增大至 0.3° ,振幅较大,反映了沉积物的快速加积^[23]。这有可能是海平面下降速率加快但沉积物供应还保持较高的速率造成。该期三角洲上界面均被削截,不存在顶积层,下部地层以切线方式对着下界面终止,有轻微的底积层。整个三角洲的扩建模式反映了海平面的逐渐下降。

2.2.2 第2期古三角洲(D2)

第2期三角洲比上期三角洲在范围上大大缩小,但位置相当。该三角洲仅能在B6和A5测线上识别,且有明显的终止界限(图4)。在B6测线和A5测线上均为斜交前积结构,而第1期三角洲在A5测线上为水平层状沉积层,对比来看,第2期三角洲的伸展方向应比第1期三角洲伸展方向偏北,为SSW—NNE向。三角洲右侧受上覆U2及

U4层的侵蚀无法识别,左侧由于资料不清晰也无法识别,两者均属推测,大至范围如图3所示。

与D1相比,D2的厚度明显减小(图4),但前积层的视倾斜角度较大, $>0.3^\circ$,三角洲前缘相和前三角洲相不具有顶积层,存在削截现象,整体为斜交前积结构,与D1类似。与D1相比,此时的海平面应略高于D1阶段。

2.2.3 第3期古三角洲(D3)

第3期古三角洲是分布范围最广的一期三角洲,在B2、B3、B4、B5、A2、A3、A4及A5测线(图5、6、7)上均能识别出明显的前积结构层,可见其范围之广阔。B2、B3、B4、B5测线上均为SW—NE向倾斜前积层,A2、A3、A4测线上均为SE—NW向倾斜前积层,说明三角洲的伸展方向应该介于两者之间,轴线如图3所示。该期三角洲在B2测线上基本为薄层的浅海相沉积,在与B2测线相交的A4测线上,接近于交点处三角洲相终止,说明三角洲前端位置位于B2测线边缘处。B3测线(图8)从与A1交点处至该测线终点对应地层均为三角洲相沉积,B4和B5测线大部分也为三角洲相沉积,B6测线无该沉积层,A5测线可见其三角洲伸展起始点。由此划出该期三角洲的大致范围,如图3所示。

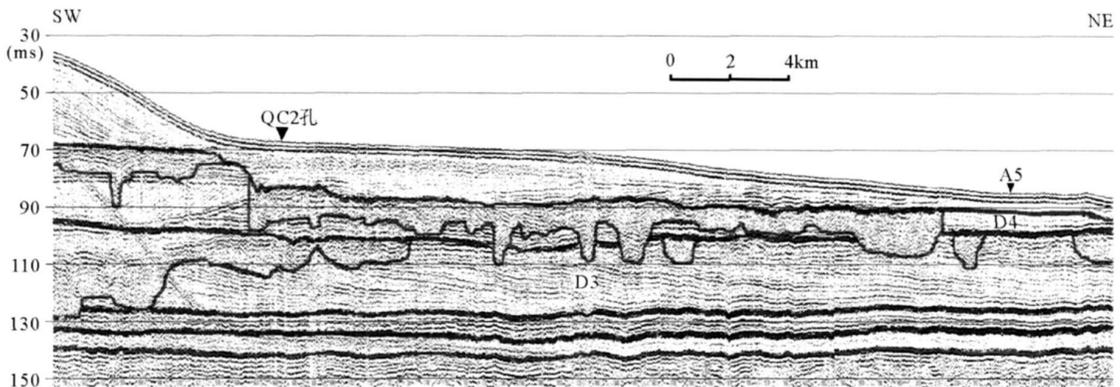


图5 南黄海 B3 测线上第3期古三角洲 D3

Fig. 5 Ancient delta D3 in survey line B3

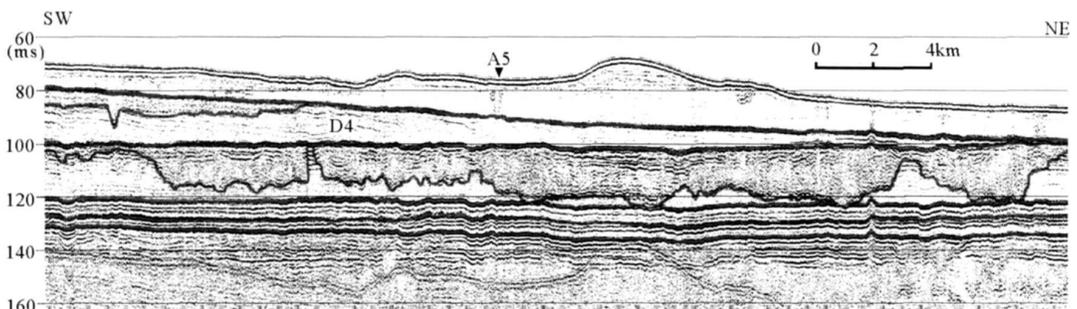


图6 南黄海 B2 测线上第4期古三角洲 D4

Fig. 6 Ancient delta D4 in survey line B2

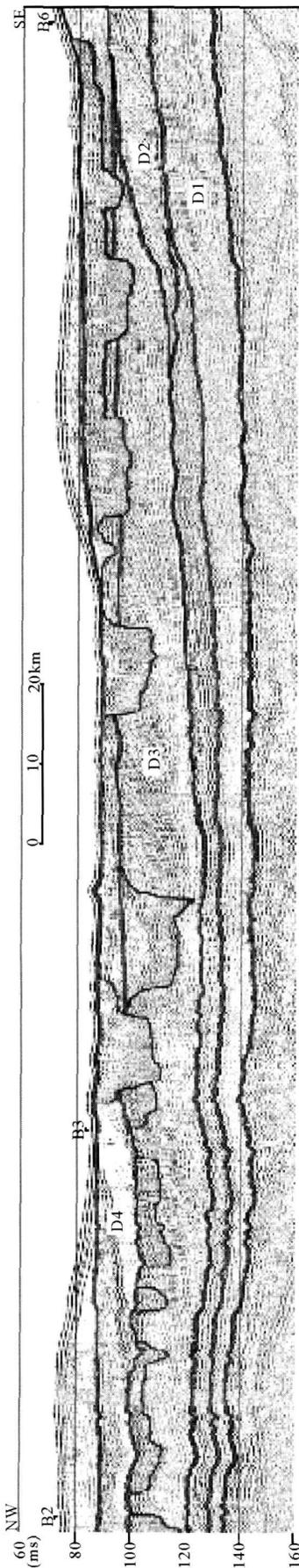


图7 南黄海A5测线中4期古三角洲的叠置关系
Fig.7 Four paleo-deltas'folded connection in survey line A5

浅地层剖面显示, 该期三角洲基本为斜交前积结构, 底部下超于下伏地震层组, 顶部为一区域性剥蚀面, 沉积层视倾斜角度变小, 大约为 $0^{\circ}3'$, 反映了海平面下降的缓慢或沉积物较慢的沉积速率^[23]。三角洲扩建方向接近于正北, 在浅地层剖面上, 具低角度斜交前积结构的前三角洲相向北过渡为浅海相, 反映了向北水深逐渐加大。

2.2.4 第4期古三角洲(D4)

该时期古三角洲相对于第3期古三角洲位置更偏北, 且离岸较近, 为氧同位素 30 期形成。在近岸的地震剖面上, 可以发现很厚的三角洲前缘沉积, 随着向海的深入, 逐渐过渡为薄层的前三角洲沉积。根据前积结构判断, 该期三角洲为 SW—NE 向伸展, 推测为古长江形成, 而非古黄河或古淮河形成。该期三角洲范围较大, 在 B2、B3、B4、B5、A2、A3、A4、A5 剖面上均有发现, 除 A2、A3 测线不清晰外, 在其他测线上均有该三角洲边缘界限, 由此划出三角洲范围, 如图 3 所示。

在 B2 测线上(图中未显示), 三角洲前缘总体为斜交前积结构, 顶积层缺失, 地层视倾斜角度从 $0^{\circ}25'$ 逐渐变小至 $0^{\circ}15'$ 。推断主要是沉积物的供应逐渐变得缓慢, 到后期已没有足够的物源向海堆积, 沉积物的供应速率远远低于海平面下降速率造成。

2.3 古三角洲沉积相特征及物质来源判断

2.3.1 沉积相特征

第1期古三角洲 D1 和第2期古三角洲 D2 位置偏南, QC2 孔与其对应地层为浅海相或古冷水团沉积^[24], 因此, 无法利用 QC2 孔描述 D1 和 D2 的沉积相特征。QC1 孔^[6]位于 D1 轴线附近, 应与 D1 和 D2 沉积相特征有相似之处, 但 QC1 孔沉积相划分较粗略, 且沉积相显示为滨岸相沉积, 粒度特征为向上变细序列, 不具备水下三角洲的沉积相特征。但从地震相特征上分析, D1 和 D2 均存在区域性的切削面和下超现象, 层组内前积层角度不断变化, 应为水下三角洲相沉积。

D3 和 D4 均被 QC2 孔穿透。D3 对应 QC2 孔 38 ~ 33.22 m, 沉积相显示为潮下带浅海至潮间带沉积, 粒度为向上变粗序列^[7, 25], 具有典型的三角洲前缘沉积相特征; D4 对应 QC2 孔 26.07 ~ 23.51 m, 沉积相为滨海—潮下带浅海—潮间带, 粒度特征表现为向上变粗序列^[7, 25], 为三角洲前缘相沉积。

2.3.2 物质来源

对古三角洲物质来源的初步判断, 本文利用了浅地层剖面的地震相特征。三角洲前缘一般具有 S

形或斜交前积结构。以穿过 QC2 孔的 SSE—NNW 向 A4 测线和 SWW—NEE 向 B3 测线为例, 在 A4 测线上三角洲前缘相呈 SSE—NNW 向倾斜, 在 B3 测线上三角洲前缘相呈 SWW—NEE 向倾斜, 根据两者的视倾斜方向可以判断, 古三角洲 D3 和 D4 的前积方向介于两者之间, 大致为 SW—NE 向。从沉积层前积方向来看, D3 和 D4 有可能为古长江携带沉积物向南黄海堆积形成。D1 和 D2 的推断与 D3 和 D4 相同, 但是, 单靠地震相特征在方向上的判断不能完全肯定它们的物源来自长江, 而对沉积物类型的分析才能为古三角洲的物源判断提供确凿证据。沉积物中的碎屑矿物与黏土矿物在研究沉积物的物质来源与古环境方面具有重要意义^[6]。

古三角洲 D3 和 D4 的物源判断主要依靠的是 QC2 孔的沉积物特征, 而 D1 和 D2 则利用离两者较近的 QC1 孔对沉积物进行分析。沉积物特征分析包括颜色、粒度、碎屑矿物及黏土矿物特征。

对于古三角洲物质来源, 最大的争议为古黄河形成还是古长江形成, 在此, 我们可以利用现代黄河水下三角洲、废黄河三角洲、现代长江水下三角洲三者的沉积物特征与 QC1 孔、QC2 孔进行对比(见表 2), 从而对古三角洲物源进行判断。

从沉积物粒度及颜色来看, QC1 孔和 QC2 孔对应地层的沉积物均与现代长江水下三角洲的沉积物粒度及颜色相近。从沉积物中碎屑矿物特征来看, QC1 孔和 QC2 孔对应地层沉积物同时具有黄河

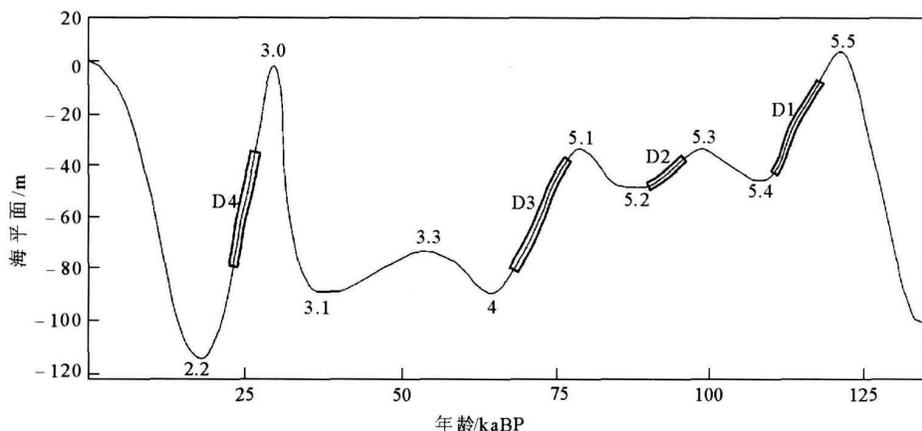


图 8 晚更新世以来南黄海相对海平面变化曲线(据文献[33]修改)
(图中数字为氧同位素期)

Fig. 8 Relative sea level changes of the South Yellow Sea since late Pleistocene(modified from reference [33])

表 2 南黄海 QC1 孔、QC2 孔对应层位与现代黄河、废黄河、现代长江水下三角洲的沉积物特征对比

Table 2 Comparison of sediment characters between the correlated sequences in QC1, QC2 and modern Yellow River, abandoned Yellow River, and modern Yangtze River submerged deltas

	沉积物颜色及粒度	碎屑矿物特征	黏土矿物特征
现代黄河水下三角洲	以棕红色、红褐色黏土夹薄层黄色粉砂、黏土质粉砂为主, 少量粉砂夹细砂	轻矿物: 以斜长石、石英、方解石、钾长石为主, 重矿物: 以普通角闪石、绿帘石、白云母为主	伊利石平均含量为 62.5%, 蒙皂石 15.2%, 绿泥石 12.5%, 高岭石 9.7%
废黄河水下三角洲	以土黄色黏土、灰色粉砂—细砂为主	轻矿物: 钾长石、斜长石、石英; 重矿物: 以闪石类为主, 富含片状矿物	
现代长江水下三角洲	灰色、深灰色细砂、粉砂、粉砂质黏土为主	轻矿物: 以石英、斜长石、钾长石为主; 重矿物: 以普通角闪石、绿帘石、白云石、辉石为主	伊利石 70.8%, 绿泥石 13.2%, 高岭石 9.4%, 蒙皂石 6.6%
QC1 孔	33.31~19.03m 段对应 D1 和 D2, 为黄褐色粉、细砂与黑灰、深灰色粉砂质黏土互层	轻矿物: 以斜长石、石英、钾长石、方解石为主; 重矿物: 以云母、角闪石、白云石、绿帘石为主	伊利石 70% 左右, 绿泥石 17% 左右, 高岭石 17% 左右, 蒙皂石 2% 左右
QC2 孔	38~33.22m 段对应 D3; 深灰色、褐灰色粉砂质黏土及黏土质粉砂互层; 26.07~23.51m 段对应 D4; 深灰色粉砂及粉砂质黏土为主	40.86~33.22m 段: 轻矿物: 以石英、斜长石、钾长石、方解石为主; 重矿物: 以黑云母、白云母为主; 29.07~21.78m 段: 轻矿物: 以石英、斜长石、钾长石为主; 重矿物: 以黑云母、白云母为主	40.86~33.22m 段: 伊利石 70% 左右, 高岭石 20% 左右, 绿泥石 17% 左右, 蒙皂石 2% 左右; 29.07~21.78m 段: 伊利石 65% 左右, 高岭石 20% 左右, 绿泥石 17% 左右, 蒙皂石 6% 左右

注: 沉积物粒度及颜色据文献[6]、[18]、[26-27]; 碎屑矿物特征据文献[6]、[28-31]; 黏土矿物特征据文献[4]、[32]。

三角洲和长江三角洲碎屑矿物的特征, 因此, 无法从碎屑矿物特征进行区分。两者的黏土矿物特征均与黄河三角洲的黏土矿物有较大区别, 体现在伊利石/蒙皂石比值大于 $8^{[32]}$, 而与现代长江三角洲地区有很大相似之处。另外, 古三角洲规模巨大, 在苏北平原除古黄河之外没有与长江相比的大型河流能形成如此大规模的三角洲沉积, 因此推断 D1、D2、D3、D4 4 期三角洲均为古长江形成。

2.4 晚更新世古长江三角洲与海平面变化的关系

氧同位素 5 期及 3 期, 气候温暖湿润, 有利于长江的发育。据氧同位素海平面变化曲线^[33-35] 以及国内相关研究^[3, 36], 海平面曾有过多次起伏波动, 特别是在南黄海和东海地区表现明显。古长江受环境气候影响, 河道不断变迁, 规模也不断变化, 在现在的南黄海陆架沉积了 4 期规模不等的三角洲相沉积。一般来说, 大型三角洲一般是在持续时间较长的海退阶段形成。依据海平面变化曲线和钻孔资料, 结合不同测线的相同地层之间的对比, 可大致推断古长江三角洲的形成时间。

第 1 期古长江三角洲为晚更新世早期形成的三角洲沉积, 与钻孔对比, 并结合海平面变化曲线, 推测其形成的大致时间为 120~110 kaBP, 相当于氧同位素 5.5~5.4 期。该期三角洲发育在研究区水深 20~70 m 处, 范围广阔, 沉积厚度最大处为 20 m。这一高海面时期, 古气候温暖湿润, 气温略高于现代^[3], 致使古长江携带大量泥沙注入南黄海, 虽然持续时间较短, 但是却形成了较厚的三角洲沉积。三角洲朵体伸展方向为 NEE-SWW 向, 可以判断, 古长江当时的流经方向大致为这一方向, 并继续向当时出露为陆地的南黄海延展, 现今的三角洲北翼不存在, 而是属于古长江下游。

第 2 期古长江三角洲与下伏三角洲的界限为一明显的间断面, 推测为 110 kaBP 较低海面时形成, 当时海水已退至 50 m 水深以外。该期三角洲范围很小, 但与第 1 期三角洲位置类似, 分布在水深 40~60 m 处, 最大厚度为 10 m 左右, 形成的大致时间为 100~90 kaBP, 相当于氧同位素 5.3~5.2 期。在经历一个短暂的气温下降后, 气温又逐渐升高至现今水平^[3], 海平面又再次升高, 并在氧同位素 5 期的第 2 次海退时形成该期三角洲。但这一阶段持续时间很短, 致使古长江流量及输沙量均较小, 从而形成了如此小范围的三角洲沉积体。从三角洲的伸展方向推测, 古长江的流向发生了较大变化, 改为 NNE-SWW 向。

第 3 期古长江三角洲是范围最大的一期三角洲, 分布在水深 20~70 m 范围内, 且沉积厚度较大, 最大处可达 25 m。该期三角洲形成时间大约为 75~65 kaBP, 相当于氧同位素 5.1—4 期。因接近于早玉木冰期, 气候逐渐从暖湿过渡为干冷, 但大部分时间仍处于温暖湿润期, 使得长江经历了一个较长时间的高流量期, 携带的大量泥沙在南黄海陆架堆积, 形成了较厚的三角洲沉积。三角洲伸展方向为 SSW-NNE 向, 古长江流向与上期类似, 但河道明显向北偏移。

第 4 期古长江三角洲为晚更新世末期形成, 介于早玉木冰期和末次冰期之间, 形成时间大约为 30~20 kaBP, 相当于氧同位素 3.1—2 期。该期三角洲范围较大, 分布在水深 20~70 m 处, 但厚度相对较小。早玉木冰期之后, 气候逐渐回暖, 裸露的黄海陆架又被海水覆盖, 长江水量逐渐充沛, 在海侵之后的海退期, 长江向南黄海延伸形成了大型的水下三角洲沉积。据该期三角洲伸展方向, 古长江流向为 SSW-NNE 向, 河道相对前期又向北偏移。

晚更新世形成的 4 期古长江三角洲在平面上呈朵叶状相互交错, 在垂直方向上, D1、D2、D3、D4 大致呈自下而上的叠置分布(图 7)。随着时间的推移, 三角洲逐渐向北扩建, 古长江河道逐渐向北偏移。气候的不断变化, 海平面的反复升降, 造成了各期三角洲范围以及厚度的不同。

3 结论

(1) 晚更新世以来的南黄海地层可划分为 U1—U5 共 5 个地震地层单元, 各地震单元所反映的沉积环境与全球海平面变化相一致, 共分为 3 个海进层序和 2 个海退层序。

(2) 在晚更新世的 2 个海进层序中, 共分辨出 4 期古三角洲沉积体, 并详细讨论了各期三角洲的划分依据和三角洲前缘的地震相特征。

(3) 通过地震相特征和沉积物特征分析认为, 这 4 期古三角洲均为古长江形成, 是在达到最高海面之后海退时期形成的。各期三角洲范围、厚度各有不同, 这与当时的气候及海平面变化有直接的对应关系。另外, 根据各期三角洲发育方向的不同, 推断古长江河道逐渐向北偏移。

参考文献(References)

[1] 汪品先, 闵秋宝, 卞云华等. 我国东部第四纪海侵地层的初步

- 研究[J]. 地质学报, 1981(1): 1-13. [WANG Pinxian, MIN Qiubao, BIAN Yunhua, et al. Strata of Quaternary transgression in East China: a preliminary study[J]. Acta Geologica Sinica, 1981(1): 1-13.]
- [2] 赵松龄, 张宏才, 黄庆福, 等. 长江三角洲地区上新世以来的古地理变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1983, 3(4): 35-45. [ZHAO Songling, ZHANG Hongcai, HUANG Qingfu, et al. Paleogeographic change of Yangtze River delta region since the late Pliocene[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1983, 3(4): 35-45.]
- [3] 耿秀山. 中国东部晚更新世以来的海水进退[J]. 海洋学报, 1981, 3(1): 114-130. [GENG Xiushan. Marine transgression and regression in East China since late Pleistocene epoch[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1981, 3(1): 114-130.]
- [4] 陈万里, 顾洪群, 张道政. 江苏第四纪海侵与近代海岸变迁研究[J]. 江苏地质, 1998(增刊): 45-50. [CHEN Wanli, GU Hongqun, ZHANG Daozheng. Study on Quaternary transgression and modern coastal changes of Jiangsu[J]. Jiangsu Geology, 1998(Supplement): 45-50.]
- [5] 王颖, 张振克, 朱大奎, 等. 河海交互作用与苏北平原成因[J]. 第四纪地质, 2006, 26(3): 301-320. [WANG Ying, ZHANG Zhenke, ZHU Dakui, et al. River-sea interaction and the North Jiangsu plain formation, 2006, 26(3): 301-320.]
- [6] 郑光膺. 南黄海第四纪层型地层对比[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 107-147. [ZHENG Guangying. Comparison of Sandwich Stratum of Quaternary in the South Yellow Sea[M]. Beijing: Science Press, 1989: 107-147.]
- [7] 杨子庚, 林和茂, 雷祥义, 等. 中国第四纪地层与国际对比[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 31-55. [YANG Zigeng, LIN Hemaoy, LEI Xiangyi, et al. Quaternary Stratigraphy and Its International Correlation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 31-55.]
- [8] 赵月霞, 刘保华, 李西双, 等. 南黄海中西部晚更新世沉积地层结构及其意义[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(1): 21-30. [ZHAO Yuexia, LIU Baohua, LI Xishuang, et al. Late Pleistocene sedimentary stratigraphic structure and its implication in the central and western areas of Southern Yellow Sea[J]. Advances in Marine Science, 2003, 21(1): 21-30.]
- [9] 宋昭军, 张志珣, 黄海军. 南黄海西部海域高分辨率声学地层及其沉积环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(1): 33-40. [SONG Zhaojun, ZHANG Zhixun, HUANG Haijun. Characteristics and depositional setting of the high resolution shallow seismic profile in the South Yellow Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2005, 25(1): 33-40.]
- [10] 刘振夏, Berne S, L'ATALANTE 科学考察组. 中更新世以来东海陆架的古环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19(2): 1-10. [LIU Zhenxia, Berne S, L'ATALANTE Group. Paleoenvironment in the continental shelf of the East China Sea since the mid-Pleistocene[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1999, 19(2): 1-10.]
- [11] 刘振夏, Berne S, L'ATALANTE 科学考察组. 东海陆架的古河道和古三角洲[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 9-14. [LIU Zhenxia, Berne S, L'ATALANTE Group. Paleochannels and paleodeltas in continental shelf of the East China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2000, 20(1): 9-14.]
- [12] 刘振夏, 印萍, Berne S, 等. 第四纪东海的海进层序和海退层序[J]. 科学通报, 2001, 46(增刊): 74-79. [LIU Zhenxia, YIN Ping, Berne S, et al. Quaternary transgression and regression stratigraphy of East China Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 2001, 46(Supplement): 74-79.]
- [13] 孙家淞, 周长振. 南黄海全新世旧黄河水下三角洲的初步研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1984, 4(3): 57-67. [SUN Jiasong, ZHOU Changzhen. A preliminary study on the old Holocene submarine delta of the Yellow River in the Southern Yellow Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1984, 4(3): 57-67.]
- [14] 张忍顺. 苏北黄河三角洲及滨海平原的成陆过程[J]. 地理学报, 1984, 39(2): 173-184. [ZHANG Renshun. Land-forming history of the Huanghe River delta and coastal plain of North Jiangsu[J]. Acta Geographica Sinica, 1984, 39(2): 173-184.]
- [15] 叶青超. 试论苏北废黄河三角洲的发育[J]. 地理学报, 1986, 41(2): 112-122. [YE Qingchao. On the development of the abandoned Yellow River delta in Northern Jiangsu Province[J]. Acta Geographica Sinica, 1986, 41(2): 112-122.]
- [16] 万延森. 苏北古黄河三角洲的演变[J]. 海洋与湖沼, 1989, 20(1): 66-74. [WAN Yansen. Development and decline of ancient Huanghe River estuary delta in northern Jiangsu[J]. Oceanologica et Limnologica Sinica, 1989, 20(1): 66-74.]
- [17] 虞志英, 樊社军, 金缪, 等. 江苏北部废黄河口水下三角洲稳定性和深水港建设[J]. 地理学报, 1998, 53(增刊): 158-166. [YU Zhiying, FAN Shejun, JIN Miu, et al. The old Yellow River underwater delta in the Northern Jiangsu and the seaport building[J]. Acta Geographica Sinica, 1998, 53(Supplement): 158-166.]
- [18] 杨子庚. 南黄海陆架晚更新世以来的沉积及环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1985, 5(4): 1-19. [YANG Zigeng. Sedimentation and environment on the shelf of southern Yellow Sea since late Pleistocene[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1985, 5(4): 1-19.]
- [19] 李凡, 于建军, 姜秀珩, 等. 南黄海埋藏古河系研究[J]. 海洋与湖沼, 1991, 22(6): 501-508. [LI Fan, YU Jianjun, JIANG Xiuyan, et al. Study on buried paleochannel system in the South Yellow Sea[J]. Oceanologica et Limnologica Sinica, 1991, 22(6): 501-508.]
- [20] 秦蕴珊, 李凡, 唐宝珏, 等. 南黄海西部埋藏古河系[J]. 科学通报, 1986(24): 1881-1890. [QIN Yunshan, LI Fan, TANG Baojue, et al. The buried paleochannel system in the western South Yellow Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 1986(24): 1881-1890.]
- [21] 王颖. 黄海陆架辐射沙脊群[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 301-353. [WANG Ying. Radial Sand Ridge on the Yellow Sea Shelf[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 301-305.]
- [22] 陆基孟. 地震勘探原理与资料解释[M]. 北京: 石油工业出版社

- 社, 1991: 218. [LU Jimeng, Seismic Exploration Theory and Data Interpretation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991: 218.]
- [23] Mitchum R M, JR P R Vail. 沉积层序中地震反射模式的地质学解释[C]//佩顿著 C E, 牛毓荃, 徐怀大, 陈俊生译. 地震地层学. 北京: 石油工业出版社, 1980: 101-106. [Mitchum R M, JR P R Vail. Stratigraphic interpretation of seismic reflection model in sedimentary stratigraphy[C]. Written by C E Payton, Translated by NIU Yuqian, XU Huaida, CHEN Junsheng. Seismic Stratigraphy. Beijing: Petroleum Industry Press, 1980: 101-106.]
- [24] 杨子庚, 林和茂, 王圣洁, 等. 对末次间冰期南黄海古冷水团沉积的探讨[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(1): 47-58. [YANG Zigeng, LIN Hemaο, WANG Shengjie, et al. A study of the ancient cold watermass sediments in South Yellow Sea during Last Interglacial[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1998, 18(1): 47-58.]
- [25] 杨子庚. Olduvai 亚时以来南黄海沉积层序及古地理变迁[J]. 地质学报, 1993, 67(4): 357-366. [YANG Zigeng. The sedimentary sequence and paleogeographic changes of the South Yellow Sea since the Olduvai subchron[J]. Acta Geologica Sinica, 1993, 67(4): 357-366.]
- [26] 孙白云. 黄河、长江和珠江三角洲沉积物中碎屑矿物的组合特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1990, 20(3): 23-34. [SUN Baiyun. Detrital mineral assemblages in the Huanghe, Changjiang and Zhujiang River delta sediments[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1990, 20(3): 23-34.]
- [27] 唐保根, 咎一平. 长江水下三角洲浅孔岩芯的地层划分[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1986, 6(2): 41-52. [TANG Baogen, ZAN Yiping. Stratigraphic division of cores from shallow holes in Changjiang River subaqueous delta[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1986, 6(2): 41-52.]
- [28] 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室. 渤海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 76-97. [Marine Geology Laboratory, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences. Bohai Sea Geology[M]. Beijing: Science Press, 1985: 76-97.]
- [29] 奚衍光, 王昆山, 王国庆, 等. 长江水下三角洲沉积物碎屑矿物研究[J]. 海洋科学, 2007, 31(4): 22-26. [DOU Yanguang, WANG Kunshan, WANG Guoqing, et al. Research of detrital minerals in the sediment of sub-aqueous Yangtze Delta [J]. Marine Sciences, 2007, 31(4): 22-26.]
- [30] 陈丽蓉, 申顺喜, 徐文强, 等. 中国海的碎屑矿物组合及其分布模式的探讨[J]. 沉积学报, 1986, 4(3): 87-97. [CHEN Lirong, SHEN Shunxi, XU Wenqiang, et al. An approach to the detrital assemblages and their distribution patterns in the sediments of the China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1986, 4(3): 87-97.]
- [31] 林晓彤, 李巍然, 时振波, 等. 黄河物源碎屑沉积物的重矿物特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 17-21. [LIN Xiaotong, LI Weiran, SHI Zhenbo, et al. Characteristics of mineralogy in the clastic sediments from the Yellow River provenance, China [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2003, 23(3): 17-21.]
- [32] 范德江, 杨作升, 毛登, 等. 长江与黄河沉积物中黏土矿物及地化成份的组成[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 7-12. [FAN Dejiang, YANG Zuosheng, MAO Deng, et al. Clay minerals and geochemistry of the sediments from the Yangtze and Yellow Rivers [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2001, 21(4): 7-12.]
- [33] Martinson D G, Pisias N J, Hays J D, et al. Age dating and the orbital theory of ice age: Development of a high-resolution 1 to 300 000 year chronostratigraphy [J]. Quaternary Research, 1987, 27(1): 1-29.
- [34] Skene, K I, Piper D J, et al. Evaluation of the global oxygen isotope curve as a proxy for Quaternary sea level by modeling of delta progradation [J]. J. Sediment. Res., 1998, 68: 1077-1092.
- [35] Serge Berne, Pierre Vagner, Francois Guichard, et al. Pleistocene forced regressions and tidal sand ridges in the East China Sea [J]. Marine Geology, 2002, 188: 293-315.
- [36] 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉, 等. 黄海晚第四纪沉积[M]. 北京: 海洋出版社, 1987: 371-372. [LIU Minhou, WU Shiyang, WANG Yongji, et al. Late Quaternary Sediments in Yellow Sea [M]. Beijing: China Ocean Press, 1987: 331-372.]

LATE PLEISTOCENE EVOLUTION OF THE PALEO YANGTZE DELTA IN THE SOUTH YELLOW SEA

TAO Qianqian¹, LIU Baohua², LI Xishuang², ZHANG Weigang¹, LI Da¹

(1 College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2 the First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: The alteration of climate in late Pleistocene caused global sea-level changes. Its direct reflection in the South Yellow Sea is sea-land interbedding facies. Up-to-date high resolution shallow seismic profile was used to analyse the post-late Pleistocene seismic strata in the west offshore continental shelf of the South Yellow Sea. The paleo deltas were then measured and the seismic characters were discussed. The current paper concludes that the paleo deltas can be divided into four large periods. Judging from sediment characters, these four deltas were all formed by paleo Yangtze River. Deltas folded upon each other, and the ranges and expanding directions were different; each paleo Yangtze delta has an evident co-relationship with sea-level changes.

Key words: seismic sequence; sea-level change; late Pleistocene; the South Yellow Sea; the paleo Yangtze delta