

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

东海 E1孔晚更新世以来的地层、生物与环境

张 静¹⁾ 林景星^{1,2)} 尉远景²⁾ 李双林³⁾ 李绍全³⁾ 王绍芳⁴⁾ 许 波⁴⁾

1) 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄, 050803; 2) 中国地质科学院地质研究所
现代生态环境地质研究中心, 北京, 100037; 3) 国土资源部海洋地质研究所, 青岛, 266071
4) 北京自然博物馆, 100050

内容提要 东海 E1孔水深100 m, 是迄今东海陆架水深最深、采样最密、研究最详细的钻孔。依据有孔虫动物群的研究和碳同位素测年, 可将 E1孔的地层分成3段: S_1-S_3 (0.00~3.34 m) 为全新统; S_4-S_{24} (3.34~53.43 m) 为晚更新统; S_{25} (53.43~55.63 m) 为中更新统。有孔虫以浮游种类为主, 属热带至亚热带动物群。研究发现本区自晚更新世以来有3次高海面期: 第一次高海面期与长江三角洲平原的镇江海进、华北平原的天津海进和华南的长乐海进相当, 属全新世, 为外浅海环境; 第二次高海面期与长江三角洲平原的隔湖海进、华北平原的沧州海进、和华南的福州海进相当, 属晚更新世晚期, 为外浅海环境; 第三次高海面期与长江三角洲的江阴海进、华北平原的白洋淀海进相当, 属晚更新世早期, 为中至外浅海环境。在最晚中更新世低海面期本区曾暴露成陆。

关键词 东海 晚更新世 地层 有孔虫 环境

中国东海陆架深水区是各国学者研究第四纪地质的热点之一, 这里的晚第四纪地层划分、生物群的性质、古环境演变的历史都是第四纪地质学家关心的问题。在深水区钻孔费用昂贵, 岩心来之不易, 所以描述“新鲜”的岩心就显得特别重要, 是各项研究工作的基础, 因此, 本文用较大的篇幅描述了东海 E1孔的地层, 以期把它的生物和古环境的研究工作做得更加扎实。

东海 E1孔有孔虫异常丰富, 每50克干样最高可获3.7万个个体; 多样性也很高, 有孔虫种数高达300多种。相反海相介形虫却异常稀少, 全部钻孔样品仅见几个海相介形虫, 未见其他陆相化石。

1 钻孔位置及深度

东海 E1孔位于浙江省南麂山列岛东部海区, 是目前东海最南部的钻孔, 它位于北纬 $27^{\circ}21'$, 东经 $122^{\circ}46'$ 、水深100 m, 孔深55.63 m, 为目前暖流流经之地, 2月份其表层水温为 15°C 左右, 8月份为 28°C 左右(图1)。

2 材料与方法

东海陆架因受长江等携带来的大量泥沙的影响属快速沉积区, 以往采样均以2 m、1 m 或0.5 m 为

间距, 我们这次采样以20 cm 为间距, 是目前采样最密的一个钻孔。刮去表层污染物, 然后将样品放入 60°C 恒温箱中烘干。烘干后每个样品称取50 g, 放入1000mL 的烧杯中用双氧水浸泡, 待样品充分松散后, 用200目筛子冲洗干净, 烘干; 用 CCl_4 浮选, 晾干, 然后在 Opton IV 型实体显微镜下进行定量分类鉴定。

^{14}C 测年用有机碳屑、稀释法, 由国土资源部青岛海洋地质测试中心测试, 年龄未经校正。

3 地层描述(由上至下)

E1孔的地层描述(图2)。

S_1 : 0.00~0.64 m。灰黑色中细砂。底部0.62~0.64 m 含贝壳碎片, 夹僧帽珊瑚。此段地层含极为丰富的有孔虫, 多样性高、保存好, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*G. sacculifer*、*G. conglobatus*、*Pulleniatina obliquiloculata*、*Globorotalia menardii*、*Sphaeroidinella dehiscens*、*Orbulina universa*、*Asterorotalia binhaiensis*、*Pseudorotalia schroeteriana* 等, 这些都是典型的热带、亚热带有孔虫。

S_2 : 0.64~1.47 m。灰黑色粉细砂与粘土互层。此层有孔虫数量仍然很丰富, 属种多、保存良好, 但

收稿日期: 2002-10-10; 改回日期: 2003-01-28; 责任编辑: 王思恩。

作者简介: 张静, 女, 1958年生。1986年毕业于长春地质学院水文地质工程地质系。现为中国地质科学院水文地质环境地质研究所副研究员, 主要从事微体古生物、第四纪地质、环境地质研究。通讯地址: 050803, 石家庄, 中国地质科学院水文地质环境地质研究所。

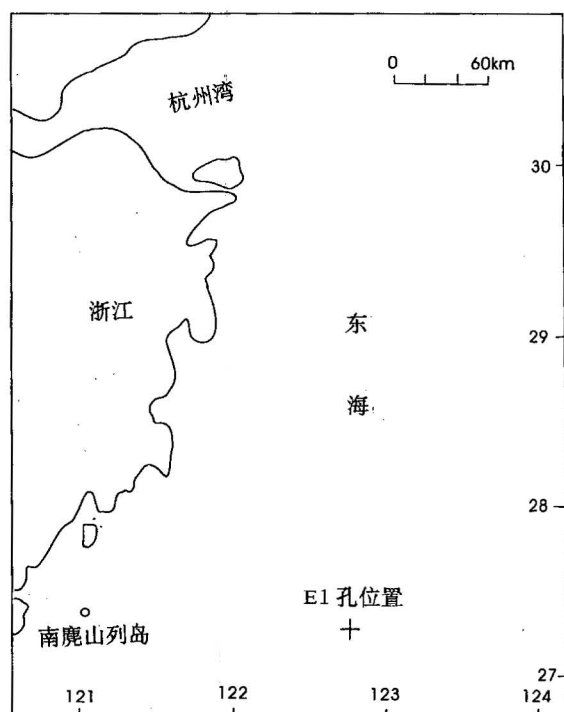


图 1 东海 E1 孔位置图

Fig. 1 Location of E1 core in East China Sea

比 S_1 含量稍低。主要有: *Globigerinoides ruber*, *G. sacculifer*, *G. conglobatus*, *Globorotalia menardii*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Orbulina universa*, *Pseudorotalia schroeteriana* 等,也是典型的热带、亚热带有孔虫动物群。

S_3 : 1.47~3.34 m。灰黑色粉细砂。本层有孔虫丰度、多样性均比 S_1 与 S_2 低,但保存完好,主要有: *Globigerinoides ruber*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Orbulina universa*, *Pseudorotalia schroeteriana*, 顶部 1.5 m 处出现少量 *Stomoloculina multangula*, 表示此时海水变浅,也属热带、亚热带有孔虫动物群,但水温稍低,水体较浅。

S_4 : 3.34~4.17 m。灰黑色细砂。顶部 3.34~3.35 m,具一锈黄色条带,可能是一个氧化界面,表示可能有一低海面期存在,与 S_3 可能为平行不整合接触;底部 4.13~4.17 m 为含贝壳的砂层。有孔虫丰度、多样性仍然较高,化石保存完好,主要有: *Globigerinoides sacculifer*, *G. ruber*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Pseudorotalia schroeteriana*, 这是热带、亚热带有孔虫群。

S_5 : 4.17~5.13 m。灰黑色细砂。有孔虫在属种数和个体量上仍然很丰富,主要有: *Globigerinoides*

sacculifer, *G. ruber*, *Globorotalia menardii*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Pseudorotalia schroeteriana* 等,为典型的亚热带有孔虫动物群。

S_6 : 5.13~6.11 m。灰黑色粘土质粉砂夹粘土层。此层有孔虫丰度及多样性大大下降,主要有: *Globigerinoides ruber*, *Globigerina* spp., *Nonion* spp., 上部 5.23~5.52 m 出现少量 *Pseudononionella variabilis*, 显示此时水体变浅,为亚热带有孔虫动物群。

S_7 : 6.11~7.11 m。灰黑色细砂,含贝壳碎片。本层上部有孔虫从属种到数量均异常丰富,底部较少,主要有: *Globigerinoides sacculifer*, *G. ruber*, *Globorotalia menardii*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Pseudorotalia schroeteriana*, 底部 6.84 m 出现少量 *Stomoloculina multangula*, 显示此时海面下降、海水变浅,属典型的热带、亚热带有孔虫群。

S_8 : 7.11~8.60 m。灰黑色粉细砂,底部 8.58~8.60 m 含少量贝壳碎片。本层有孔虫异常丰富、多样性也很高,主要有: *Globigerinoides sacculifer*, *G. ruber*, *G. conglobatus*, *Globorotalia menardii*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Sphaeroidinella dehiscens*, *Orbulina universa*, *Pseudorotalia schroeteriana*, 属典型的热带、亚热带有孔虫动物群。

S_9 : 8.60~9.13 m。灰黑色粉砂与粘土互层。本层有孔虫的丰度与多样性比上层大大降低,主要有: *Globigerinoides ruber*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Globorotalia menardii*, *Pseudorotalia schroeteriana*, 在底部 9.04 m 出现少量 *Pseudononionella variabilis*, *Stomoloculina multangula*, 说明此时的海面降低、水体变浅。属热带至亚热带有孔虫群,但水体比 8 层稍冷、水稍浅。

S_{10} : 9.13~9.96 m。灰黑色粉细砂。本层有孔虫的丰度与多样性仍然很高,但在底部 9.95 m 处突然降低,出现少量 *Stomoloculina multangula*, 表示海平面下降,海水变浅。主要有: *Globigerinoides ruber*, *G. conglobatus*, *G. sacculifer*, *Globorotalia menardii*, *Pulleniatina obliquiloculata*, 为热带、亚热带有孔虫群。

S_{11} : 9.96~12.19 m。灰黑色粘土与粉砂互层、以粘土为主。顶部 9.96~10.23 为稍微呈现褐色的灰黑色粘土夹薄层粉砂,底部 11.84~12.19 m 为灰黑色粗砂。上部有孔虫丰度及多样性很高,向下逐渐减少,主要有: *Globorotalia menardii*、

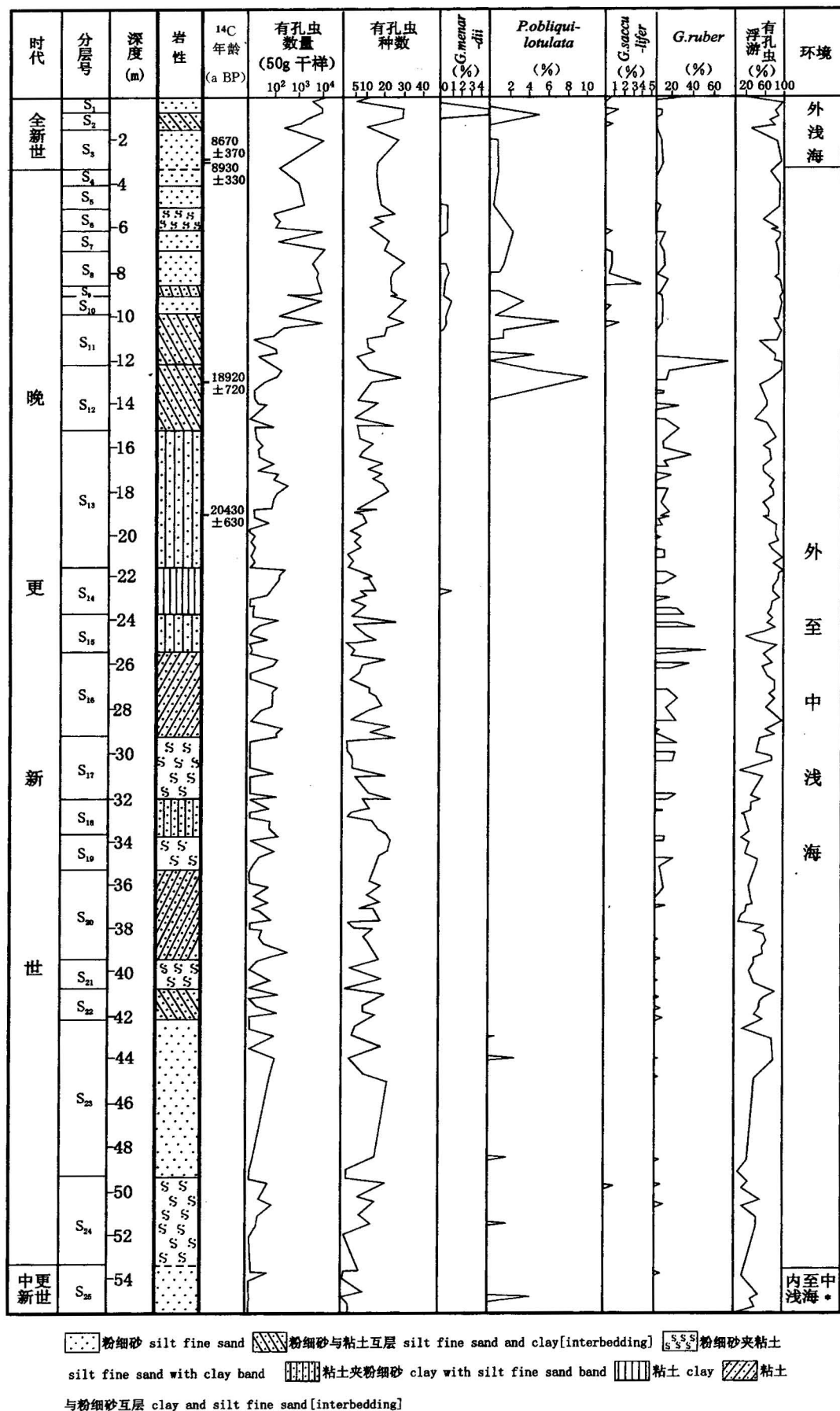


图 2 东海 E1 孔有孔虫与环境

Fig. 2 Foraminifera and environment of the E1 core from the East China Sea

Globigerinoides sacculifer、*G. conglobatus*、*G. ruber*、*Pulleniatina obliquiloculata*、*Orbulina universa*、*Pseudorotalia schroeteriana*, 在 10.56 m 处出现少量 *Pseudononionella variabilis* 和 *Stomoloculina multangula*, 说明此时海平面变低、水体变浅。属典型的热带至亚热带有孔虫动物群。

S₁₂: 12.19~15.23 m。灰黑色粘土与粉细砂互层, 以粘土为主, 顶部 12.23~13.63 m 含有虫孔。此层有孔虫从丰度至多样性均大为减少, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*Pulleniatina obliquiloculata*、*Globorotalia tumida*、*Pseudorotalia schroeteriana*。底部 14.39 m 出现少量 *Stomoloculina multangula*, 说明此时海面下降, 海水变浅, 属热带至亚热带有孔虫群。

S₁₃: 15.23~21.73 m。灰黑色粘土夹粉细砂。近底部 21.57~21.68 m 为砂与粘土的纹层, 底部 21.68~21.73 m 为粘土。有孔虫丰度及多样性均低, 主要有 *Globigerinoides ruber*、*G. sacculifer*、*Globigerina* spp.、*Pseudorotalia schroeteriana*, 在 18.72 m 处出现少量 *Stomoloculina multangula*, 说明此时海平面下降, 水体变浅。属亚热带有孔虫群。

S₁₄: 21.73~23.78 m。灰黑色粘土, 偶夹少量薄层粉砂。顶部 21.73~21.83 m 为被生物所扰动的粘土与砂层, 底部 23.73~23.78 m 为粉细砂。有孔虫从丰度至多样性均低, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*Globorotalia menardii*、*Globigerina* spp.、*Pseudorotalia gaimardii*, 属亚热带有孔虫, 但温度稍低, 水体较浅。

S₁₅: 23.78~25.54 m。灰黑色粘土夹少量薄层粉砂。顶部 23.78~24.47 m 为生物扰动层, 近底部 25.03~25.24 m 为粘土与粉砂互层。本层有孔虫丰度与多样性均低, 主要有: *Globorotalia tumida*、*Globigerinoides ruber*、*Globigerina* spp.、及 *Ammonia beccarii*, 属亚热带有孔虫动物群。

S₁₆: 25.54~29.29 m。灰黑色粘土与粉细砂互层, 顶部具虫孔。此层有孔虫个体量与属种数均低, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*Globorotalia tumida*、*Orbulina universa*、*Pseudorotalia gaimardii*、*Ammonia beccarii* 等。在 27.84 m 处出现少量 *Stomoloculina multangula*, 说明此时海水变浅。属亚热带有孔虫群。

S₁₇: 29.29~32.11 m。灰黑色细砂夹少量薄层粘土, 以细砂为主。顶部 29.29~29.93 m 含较丰富的贝壳碎片及泥砾, 是水动力较强、浅水环境的产物。本层有孔虫的丰度、多样性均低, 主要有:

Globigerinoides ruber、*G. conglobatus*、*Globorotalia tumida*、*Asterorotalia subtrispinosa*、*Pseudorotalia gaimardii* 等, 属亚热带有孔虫动物群。

S₁₈: 32.11~33.73 m。灰黑色粘土夹薄层细砂, 以粘土为主。顶部 32.11~32.13 m 为黄灰色细砂, 32.13~32.15 m 为黄灰色粘土, 32.15~32.20 m 处含有海滩岩砾石(大的长 5 cm 左右, 小的长 2 cm 左右), 此边滩沉积层可视为低海面期的产物。此层有孔虫化石的丰度与多样性都低, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*Uvigerina canariensis*、*Lagenaspicata*、*Quinqueloculina contorta* 等, 属亚热带有孔虫群。

S₁₉: 33.73~35.31 m。灰黑色粉细沙夹薄层粘土, 以沙为主。此层有孔虫丰度及多样性都低, 主要属种有 *Globigerinoides ruber*、*Globorotalia tumida*、*Asterorotalia subtrispinosa* 等, 属亚热带有孔虫群。

S₂₀: 35.31~39.41 m。灰黑色粘土与细砂互层, 以粘土为主。在 37.76~38.21 m 处出现 0.45 m 厚细砂。有孔虫的属种数和个体量均低, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*Globorotalia tumida*、*Turborotalia longiloculata*、*Pseudorotalia* sp.、*Asterorotalia* sp. 等。在 38.94 m 处出现少量 *Pseudononionella variabilis*, 示此时海面下降、海水变浅。属亚热带有孔虫动物群。

S₂₁: 39.41~40.83 m。灰黑色细砂夹少量黑色粘土, 以细砂为主。本层有孔虫的丰度及多样性均低, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*Pulleniatina obliquiloculata*、*Pseudorotalia schroeteriana*、*Asterorotalia pulchella* 等, 属亚热带有孔虫群。

S₂₂: 40.83~42.23 m。灰黑色砂与粉砂质粘土互层。本层有孔虫从属种量到个体数均低, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*Pulleniatina* sp.、*Ammonia beccarii*、*Uvigerina canariensis* 等, 属亚热带有孔虫动物群。

S₂₃: 42.23~49.43 m。灰黑色细砂。此层有孔虫的丰度、多样性均低, 主要有: *Pulleniatina obliquiloculata*、*Globigerinoides sacculifer*、*G. ruber*、*Pseudorotalia schroeteriana*、*Asterorotalia pulchella* 等, 属热带至亚热带有孔虫。

S₂₄: 49.43~53.43 m。灰黑色细砂粉细砂夹薄层粘土, 以砂为主。但在 49.72~49.87 m 为粘土夹粉砂、以粘土为主, 在 50.40~52.03 m 为粘土与粉细砂互层。本层有孔虫丰度与多样性均低, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*G. sacculifer*、*Pulleniatina*

obliquiloculata、*Asterorotalia* sp.、*Pseudorotalia* sp. 等, 为亚热带有孔虫群。

S₂₅: 53.43~55.63 m。黄褐色中细砂。此层原为高海面期的沉积, 后因海面逐渐降低而出露水面成为陆地。上部沉积因受风的扰动而不见层理, 下部为水平层理。与 S₂₄ 为平行不整合接触。本层上下均含有孔虫, 但其丰度及多样性都低, 主要有: *Globigerinoides ruber*、*Pulleniatina obliquiloculata*、*Pseudorotalia* sp.、*Asterorotalia* sp. 等, 属亚热带有孔虫动物群。

4 有孔虫主要生态指示种简介

Globigerinoides ruber: 它是典型的暖水属种, 主要生活在热带、亚热带和暖水水团中。它在亚热带含量达到峰值, 在热带其丰度仅次于 *Globigerinoides sacculifer*, 到过渡带时其含量逐渐减少, 至亚极带完全消失。生长温度为 14~30℃, 最适温度为 21~29℃。

Globigerinoides sacculifer: 这是一个典型的热带种, 喜欢生活在表水温度在 24~30℃ 的水域中。在热带水域丰度最高, 至亚热带迅速减少。

Globigerinoides conglobatus: 本种主要分布在热带亚热带水域, 但在亚热带其丰度最高, 至过渡带迅速减少, 到亚极带完全消失。生长温度为 15~30℃, 最适温度为 21~29℃。

Globorotalia menardii: 这是一个热带种, 在热带丰度最高, 到亚热带的数量减少, 至过渡带时其丰度急速下降, 到亚极带完全消失。其生长温度为 16~30℃, 最适温度 20~25℃。

Globorotalia tumida: 它是热带海洋的土著种, 但在亚热带及暖流水团中也有发现, 在过渡带急速下降, 生存水温在 18~30℃ 之间。

Orbulina universa: 这是一个亚热带种, 当然它也生活在热带海洋中, 只不过此时它的丰度大为减少, 生存温度 10~30℃, 最适温度 17~23℃。

Pulleniatina obliquiloculata: 这是一个热带种, 在热带海洋中其丰度最高, 亚热带次之, 至过渡带其丰度迅速下降, 在亚极带完全绝迹。生长温度 19~30℃, 最适温度 22~24℃。

Sphaeroidinella dehiscens: 这是典型的热带种, 只存在于热带海域及暖流水团中。

Asterorotalia spp.: 这是一个典型的热带至亚热带浅水种群。

Pseudorotalia spp.: 这是典型的热带亚热带指

示种, 生活在内浅海水域。

Ammonia beccarii: 这是一个“苍蝇”式常见种, 也是典型的广生种类, 分布深度为 0~40 m, 生长温度为 20~30℃, 盐度 22‰~34.29‰, 这是一个暖温浅水种。实验室培养证明, 25~30℃ 是它的最适温度, 10℃ 以下仍能存活, 但高于 30℃ 就不能生长和生殖, 高于 35℃ 就不能存活。

Stomoloculina multangula: 这是一个典型的半咸水浅水种。

Pseudononionella variabilis: 这也是一个典型的半咸水浅水种, 它常与 *S. multangula* 相生相伴。

5 有孔虫组合与环境

有孔虫种群的分布受水深、温度、盐度、食物链、压力、光度、海流、上升流、水团、热泉和沉积物类型等因素的影响和调控, 反过来种群组合的特征和分布, 可以用来反演和恢复(或重建)古环境。在重建古环境时, 既考虑有孔虫的优势种、也考虑特有的生态指示种及整个有孔虫种群的组合特征, 特别是浮游有孔虫的百分含量: 内浅海(0~30 m) < 20%; 中浅海(30~100 m) 20%~50%; 外浅海(100~200 m) > 50% (表1) (Haq et al., 1980; Lin Jingxing, 1996)。

6 海平面波动

从剖面描述中可以看到东海 E1 孔有 3 条较为明显的界线, 第一条在 S₃—S₄ 之间; 第二条在 S₁₇—S₁₈ 之间; 第三条在 S₂₄—S₂₅ 之间。这 3 条界线表明 E1 孔所在的海区有 3 次明显的低海面期存在, 也就是说本区的海平面在第四纪晚期经历了 4 次(4 高 3 低) 大的波动(图2), 现分述如下:

6.1 第一次高海面期(S₁—S₃)

S₁—S₃ 有孔虫丰度与多样性都高, 浮游有孔虫个体平均含量高达 87% (最高为 98%、最低为 81%), 全为外浅海环境, 气候带为热带——亚热带。此次高海面期可以分出 2 次次一级的海平面波动: 两次相对高海面期及两个相对低海面期(表1、图2)。

6.2 第二次高海面期(S₄—S₁₇)

在 S₄ 顶部 3.34~3.35 米有一锈黄色条带, 可能是一个氧化界面, 表明在 S₃ 与 S₄ 之间有一低海面期存在, 从此往下转入另一高海面期——第二次高海面期。此次高海面期有孔虫的丰度与多样性早期较低, 后期走高, 浮游有孔虫个体平均含量达 83.5% (最高为 94%, 最低为 59%), 比第一次高海面期低 3.5%, 也是全为外浅海环境, 气候带为热带亚热带

至亚热带。从浮游有孔虫百分含量变化曲线判定,此次高海面期可以区分出3次相对的高海面期与3次相对的低海面期。在相对高海面期与低海面期期间都有更低一级的波动(表1、图2)。

6.3 第三次高海面期(S₁₈—S₂₄)

S₁₇以上(含S₁₇)全为灰黑色层系,至S₁₈顶部时出现4 mm厚的黄灰色沉积。S₁₈顶部层系由上至下为:32.11~32.13 m为2 mm厚的黄灰色细砂;32.13~32.15 m为2 mm厚的黄灰色粘土;32.15~32.20 m为含有海滩岩的砾石层,砾石大的长5 cm左右,小的长2 cm左右,再向下又转成灰黑色层系,此一边滩沉积层的存在揭示此时为一低海面期,所以从S₁₈顶部向下意味着进入了另一次高海面期。本次高海面期有孔虫从丰度、多样性至浮游有孔虫个体的百分含量均低于第一与第二次高海面期。此次高海面期的浮游有孔虫的平均含量为47%(最高为68%,最低为21%),比第一次高海面期低40%,比第二次低35%。其海水深度也相对较浅,只在S₁₉、S₂₁、S₂₂出现外浅海环境,余下层位均为中浅海环境。其

气候除S₂₃处于热至亚热带外,其余均为亚热带(表1、图2)。

6.4 第四次高海面的低谷期

从S₂₄进入至S₂₅时,有孔虫的丰度、多样性、浮游有孔虫个体百分比(最高为37%、最低为零)都掉入谷底。岩性从灰黑色色系进入到单一的黄褐色系,全为均一的中细砂。此层上部没有层理结构,下部具水平层理。综上所述,S₂₅应是从一个高海面期向另一个高海面期的转换时期(谷底时期)的沉积层,原先为低海面时沉积,后因海平面进一步降低,出露成陆,经长期氧化后使原先灰黑色的沉积物变成黄褐色。上部因风的长期扰动而失去层理结构,下部因未受到风力的影响而保留原生层理,但因其原来是海相沉积层,所以从上至下都含有有孔虫化石。因处于低海面时期,所以有孔虫的丰度、多样性、浮游有孔虫的含量均处于谷值期(表1、图2)。

7 海进海退旋回与地层划分对比

依据古中国海(古渤海、古黄海、古东海、古南

表 1 有孔虫组合与环境

Table 1 Foraminiferal assemblage and environment

时代	层位 (cm)	组合	气候带	浮游 (%)	环境
全新世	S ₁	<i>Sphaeroidinella dehiscens</i> - <i>Globorotalia menardii</i> - <i>Globigerinoides sacculifer</i>	热—亚热	98	外浅海
	S ₂	<i>Globorotalia menardii</i> - <i>Globigerinoides sacculifer</i> - <i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	热—亚热	81	外浅海
	S ₃	<i>Pulleniatina obliquiloculata</i> - <i>Orbulina universa</i> - <i>Globigerinoides ruber</i>	热—亚热	83	外浅海
晚更新世	S ₄	<i>Globigerinoides sacculifer</i> - <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> - <i>Globigerinoides ruber</i>	热—亚热	90	外浅海
	S ₅	<i>Globorotalia menardii</i> - <i>Globigerinoides sacculifer</i> - <i>G. ruber</i>	亚热	84	外浅海
	S ₆	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Globigerina spp.</i>	亚热	88	外浅海
	S ₇	<i>Globigerinoides sacculifer</i> - <i>Globorotalia menardii</i> - <i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	热—亚热	94	外浅海
	S ₈	<i>Globorotalia menardii</i> - <i>Globigerinoides sacculifer</i> - <i>G. ruber</i>	热—亚热	86	外浅海
	S ₉	<i>Globorotalia menardii</i> - <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> - <i>Globigerinoides ruber</i>	热—亚热	94	外浅海
	S ₁₀	<i>Globorotalia sacculifer</i> - <i>Globorotalia menardii</i> - <i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	热—亚热	92	外浅海
	S ₁₁	<i>Pulleniatina obliquiloculata</i> - <i>Globorotalia menardii</i> - <i>Globigerinoides conglobatus</i>	热—亚热	83	外浅海
	S ₁₂	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> - <i>Globorotalia tumida</i>	热—亚热	82	外浅海
	S ₁₃	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>G. sacculifer</i>	亚热	87	外浅海
	S ₁₄	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Globorotalia menardii</i>	亚热	88	外浅海
	S ₁₅	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Globorotalia tumida</i>	亚热	75	外浅海
	S ₁₆	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Globorotalia tumida</i> - <i>Orbulina universa</i>	亚热	67	外浅海
	S ₁₇	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>G. conglobatus</i> - <i>Globorotalia tumida</i>	亚热	59	外浅海
	S ₁₈	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Uvigerina canariensis</i> - <i>Lagena spicata</i>	亚热	37	外浅海
	S ₁₉	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Globorotalia tumida</i>	亚热	58	外浅海
	S ₂₀	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Globorotalia tumida</i>	亚热	41	中浅海
	S ₂₁	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	亚热	68	外浅海
	S ₂₂	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Uvigerina canariensis</i>	亚热	71	外浅海
	S ₂₃	<i>Pulleniatina obliquiloculata</i> - <i>G. sacculifer</i>	热—亚热	33	中浅海
	S ₂₄	<i>Globigerinoides ruber</i> - <i>Globigerinoides sacculifer</i>	亚热	21	中浅海
中更新世	S ₂₅	<i>Pulleniatina obliquiloculata</i> - <i>Globigerinoides ruber</i>	亚热	0~37	曾出露成陆的内至中浅海

注:晚更新世个别小层为内浅海环境。

海)的海侵地层层系及世界其他海区的研究,古中国海自中更新世晚期以来有4次高海面期(林景星, 1977, 1979; 苍树溪等, 1979; 郭旭东, 1979; 黄庆福等, 1984; 蓝东兆等, 1986; Lin Jingxing et al., 1989, 1995; 陈承惠等, 1990; Lin Jingxing, 1996; 王汝建等, 1999; 庄振业等, 1999; 方念乔等, 1999; 刘振夏等, 2001), 由上往下:

第一高海面期为全新世高海面期,其起始时间为10 ka BP左右,此次高海面期造成了华北平原的天津海进、长江三角洲地区的镇江海进,华南的长乐海进,所以,本区的第一次高海面期(S_1-S_3)应属全新世。

第二高海面期发生在晚更新世晚期,始于40ka BP左右,造成了华北平原的沧州海进、长江三角洲地区的隔湖海进、华南的福州海进,因此本区的第二次高海面期(S_4-S_{17})相当于晚更新世晚期。

第三高海面期的启动时间为晚更新世早期,大至在100 ka BP左右,此时形成了华北平原的白洋淀海进、长江三角洲的江阴海进,所以本区的第三次高海面期($S_{18}-S_{24}$)相当于晚更新世早期。

第四高海面期大致起始于180 ka BP左右,至中更新世末期时海平面降至低点,使原先中国陆架上的高海面期的沉积出露海面,而遭受风化,所以本区第四次高海面低谷期(S_{25})的沉积应属此期沉积(表2)。

表2 海进海退旋回与地层对比

Table 2 Cycle of transgression and regression and correlation of stratigraphy

时代	华北平原 (林景星, 1977)	长江三角洲地区 (林景星, 1989)	华南 (林景星, 1979; 蓝东兆等, 1986)	时间 ka BP	东海 E1孔
全新世	天津海进	镇江海进	长乐海进	10	S_1-S_3
晚更新世	海退	海退	海退 福州海进	40	S_4-S_{17}
	沧州海进	隔湖海进			
	海退	海退			$S_{18}-S_{24}$
	白洋淀海进	江阴海进		100	
中更新世晚期	海退	海退		180	S_{25}
	黄骅海进	王店海进			

依据以往关于古中国海的研究资料,古中国海区海平面变化与全球海平面的变化基本上是同步的,当然稍微超前或滞后的时间差是存在的。古中国海的第一、二、三高海面期相当于氧同位素第一、三、五期,而其间的低海面期则对应于氧同位素的二、四、六(Lin Jingxing et al., 1989)。

8 气候变化

东海 E1孔所揭示的气候大致可以分为三个阶段:①晚更新世早期主要为亚热带气候,其主要特征是浮游有虫中典型的热带种,如 *Globorotalia menardii*, *Pulleniatina obliquiloculata*, *Globigerinoides sacculifer* 等,含量较少,②晚更新世晚期分为两部分:早期为亚热带气候;晚期为热—亚热带气候,此期特征是上述典型热带种的含量在早期仍然较少,至晚期才增加;③全新世时期为热带—亚热带气候(图2、表1)。

总之,从晚更新世早期至全新世末期的气候变化虽有波动,但总的趋势是逐渐变暖。

9 问题与讨论

在 S_4 层顶部3.34~3.35 m,有1 mm厚的锈黄色条带,在此条带之上(S_3 层下部)测得 ^{14}C 年龄为8930 a BP,但在条带之下没有测得 ^{14}C 年龄(图2),因此,很难推测此条带所持续的时间跨度。如果考虑到在 S_{12} 层上部所测 ^{14}C 年龄为18920 a BP,要断定这1 mm的条带就是18000~15000 a BP最低海面期的产物是困难的。因为,这样就无法解释为什么在条带以下至 S_{11} 层底部还有8 m多的海相沉积(图2)。所以我们目前只能推测它表示可能有一低海面期存在。这一问题的解决要等待更多的年龄数据,特别是条带界面下的年龄数据;要等待氧同位素的测定成果和沉积学等方面的研究,才能最终敲定。

参 考 文 献

- 苍树溪, 赵松龄, 张宏才, 等. 1979. 渤海湾西岸中更新世以来古生态、古气候、古地理. 古生物学报, 18(6): 579~591.
- 陈承惠, 蓝东兆, 于永芬, 等. 1990. 台湾海峡西部海域晚第四纪地层. 第四纪研究, (4): 301~307.
- 方念乔, 丁旋, 陈学方, 等. 1999. 孟加拉湾 MD77190柱状样第3期的韵律沉积记录及快速气候变化. 第四纪研究, (6): 511~517.
- 郭旭东. 1979. 晚更新世以来中国海平面的变化. 地质科学, (4): 330~341.
- 黄庆福, 荀淑名, 孙维敏, 等. 1984. 东海 DC-2孔柱状岩心的地层划分. 海洋地质与第四纪地质, 4(1): 11~26.
- 蓝东兆, 于永芬, 陈承惠, 等. 1986. 福州盆地晚更新世海侵及全新世海面波动的初步研究. 海洋地质与第四纪地质, 6(3): 103~111.
- 林景星. 1977. 华北平原第四纪海进海退的初步认识. 地质学报, 51(2): 109~116.
- 林景星. 1979. 福建沿海全新世海侵的初步认识. 科学通报, 24(11): 517~520.
- 刘振夏, 印平, Berne S, 等. 2001. 第四纪东海的海进层序和海退层序. 科学通报, 46(增刊): 74~79.
- 王汝建, 李保华, 成鑫荣, 等. 1999. 南沙深水区第四纪生物地层学研究. 第四纪研究, (6): 541~548.

庄振业, 许卫东, 刘东生, 等. 1999. 渤海南部 S3 孔晚第四纪海相地层的划分及环境演变. 海洋地质与第四纪地质, 19(2): 27~35.

References

- Cang Shuxi, Zhao Songling, Zhang Hongcai, et al. 1979. Middle Pleistocene paleoecology, paleoclimatology and paleogeography of the western coast of Bohai Gulf. Acta Palaeontologica Sinica, 18 (6): 579~591 (in Chinese with English abstract).
- Chen Chenghui, Lan Dongzhao, Yu Yongfen, et al. 1990. Late Quaternary stratigraphy in the western Taiwan Strait. Quaternary Sciences, (4): 301~307 (in Chinese with English abstract).
- Fang Nianqiao, Ding Xuan, Chen Xuefang, et al. 1999. Rapid climatic change in oxygen isotope stage 3: Evidence from the rhythmic sedimentary record in core MD77190, Bengal Bay. Quaternary Sciences, (6): 511~517 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xudong. 1979. Sea level changes since late Pleistocene in China. Scientia Geologica Sinica, (4): 330~341.
- Haq B U, Boersma A. 1980. Introduction to Marine Micropalaeontology. New York: Elsevier, 36~44.
- Huang Qingfu, Guo Shuming, Sun Weimin, et al. 1984. The stratigraphical division of DC-2 columnar core from the East China Sea. Marine Geology & Quaternary Geology, 4(1): 11~26 (in Chinese with English abstract).
- Lan Dongzhao, Yu Yongfen, Chen Chenghui. 1986. Preliminary study on late Pleistocene transgression and Holocene sea-level fluctuation in Fuzhou Basin. Marine Geology & Quaternary Geology, 6(3): 105~125 (in Chinese with English abstract).
- Lin Jingxing. 1977. Preliminary notes on Quaternary transgressions and regressions in N. China Plain. Acta Geologica Sinica, 51 (2): 109~116 (in Chinese with English abstract).
- Lin Jingxing. 1979. Preliminary notes on Holocene transgression in the seaboard of Fujian, S. China. Chinese Science Bulletin, 11: 517~520 (in Chinese with English abstract).
- Lin Jingxing, Zhang Shanlin, Qiu Jinbo, et al. 1989. Quaternary marine transgression and paleoclimate in the Yangtze River Delta Region. Quaternary Research, 32 (4): 296~306.
- Lin Jingxing, Paepe R, Overloop E V, et al. 1995. Environmental events and stratigraphic framework since the late period of the middle Pleistocene in the Eastern China. Scientia Geologica Sinica, Supplementary Issue (1): 169~193 (in English).
- Lin Jingxing. 1996. Quaternary environment in the Eastern China. Beijing: Seismological Press, 5~54, 135~169 (in English).
- Liu Zhenxia, Yin Ping, Berne S. 2001. Transgression sequence and regression sequence in the East China Sea during Quaternary. Chinese Science Bulletin, 46 (Supplementary Issue): 74~79 (in English and Chinese).
- Wang Rujian, Li Baohua, Cheng Xinrong, et al. 1999. Quaternary biostratigraphy in the Nansha area of the South China Sea. Quaternary Sciences, (6): 541~548 (in Chinese with English abstract).
- Zhuang Zhenye, Xu Weidong, Liu Dongsheng, et al. 1999. Division and environmental evolution of late Quaternary marine beds of S3 hole in the Bohai Sea. Marine Geology & Quaternary Geology, 19(2): 27~35 (in Chinese with English abstract).

Stratigraphy, Biology and Environment of the E1 Core from the East China Sea since Late Pleistocene

ZHANG Jing¹⁾, LIN Jingxing^{1,2)}, JU Yuanjing²⁾, LI Shuanglin³⁾, LI Shaoquan³⁾, WANG Shaofang⁴⁾, XU Bo⁴⁾

1) Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang, 050803

2) Research Center of Contemporary Ecoenvironmental Geology, Institute of Geology, CAGS, Beijing, 100037

3) Institute of Marine Geology, Ministry of Land & Natural Resources, Qingdao, 266071

4) Beijing Natural History Museum, Beijing, 100050

Abstract

The water depth of the E1 core from the East China Sea is at 100 meters deep, it is the only one hole of the deepest in water depth, the densest in sampling density, and the most detail in study until now. Based on the researches of the foraminiferal fauna and the isotopic carbon-14 dating, it has been found that the stratigraphy of the E1 core can be divided into three phases: A. S_1-S_3 (0.00~3.34m) fall into Holocene; B. S_4-S_{24} (3.34~53.43m) belong to late Pleistocene; C. S_{25} (53.43~55.63m) is part of middle Pleistocene. The foraminifera are mainly in planktonic species, it belongs to the tropical to subtropical fauna. There were three high sea level periods in this area since late Pleistocene: the first high sea level period corresponds to the Zhengjiang transgression in the Yangtze River delta plain, the Tianjin transgression in North China plain, and the Changle transgression in the South China, it belongs to Holocene and outer neritic environment; the second high sea level period corresponds to the Gehu transgression in the Yangtze River delta plain, the Cangzhou transgression in the North China plain, and the Fuzhou transgression in the South China, it falls into late period of the late Pleistocene and outer neritic sediments; the third high sea level period is corresponding with Jiangyin transgression in the Yangtze River delta plain and the Baiyangdian transgression in the North China plain, it can be classed to the early period of the late Pleistocene and middle to outer neritic province. The marine sediments at the top of the middle Pleistocene, it had been exposed into the land during the low sea level period of the latest middle Pleistocene, it's original environment may fall into inner to middle neritic zone.

Key words: East China Sea; late Pleistocene; stratigraphy; foraminifera; environment