

晚更新世以来台湾海峡西部的 海侵及海平面变化*

蓝东兆 张维林 陈承惠 于永芬

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门)

摘要 经对台湾海峡西部海域16个柱状岩心进行粒度、孢粉、硅藻、有孔虫、¹⁴C和古地磁的系统分析, 可将本海域晚第四纪沉积层序自老而新划分为E、D、C、B、A层. 证实了早玉木冰期中、晚期的琅岐海侵(D层上部)、玉木亚间冰期的福州海侵(C层)和冰后期的长乐海侵(A层)的存在, 并首次发现里斯-玉木间冰期的金门海侵(E层). 提出台湾海峡在早玉木冰期早期大部分裸露成陆, 晚玉木冰期属于浅海环境以及东山陆桥的出现应在8kaBP等见解

关键词 晚更新世 台湾海峡 海侵

前言

晚更新世以来, 全球性气候冷暖变化导致海面升降, 在我国东部沿海平原及渤海、黄海、东海留下了里斯-玉木间冰期、玉木亚间冰期、冰后期三次海进和早玉木冰期及晚玉木冰期两次海退的证据^[1~4]. 华南地区及南海也揭示了发生于玉木亚间冰期、冰后期两次海进及晚玉木冰期的一次海退^[5, 6]. 而台湾海峡晚更新世以来的海侵及海平面变化迄今尚未进行过系统研究. 本文通过对国家海洋局第三海洋研究所于1984~1985年在福建海岸带和台湾海峡西部海域综合调查时所采集的16个重力活塞岩心(图1)的粒度、孢粉、硅藻、有孔虫、¹⁴C年代和古地磁等项目的分析, 进行了沉积层序、海侵和海平面变化的系统研究, 为相邻海域及世界海平面变化的对比研究提供了资料.

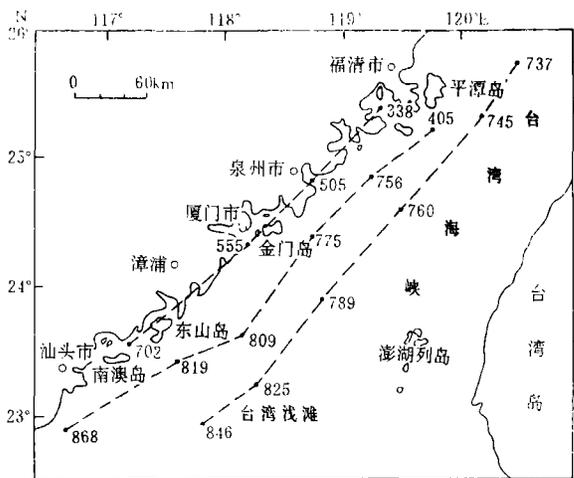


图1 台湾海峡研究站位分布

本文于1992-05-16收到, 修改稿于1992-09-18收到.

• 福建省自然科学基金资助项目.

1 沉积层序

根据孢粉组合所反映的气候冷暖、干湿变化,结合 ^{14}C 年龄、古地磁短期游移以及微体古生物确定的沉积相等特征,可将台湾海峡西海域16个岩心的沉积层序由老至新分为E、D、C、B、A5层。现将各层的主要特征及地质年代综述如下(图2)。

E层: 见于海峡中部金门附近海域的775站和南部海域819站的岩心底部(图2),埋深分别为2.54m和3.00m,可见厚度分别为1.95m和1.01m,未见底。775站该层沉积物为黄灰色粗砂;819站为灰黄色中粗砂和粉砂质砂,夹泥质粉砂和细砂薄层。孢粉为栎*Quercus*、松*Pinus*-禾本科Gramineae-水龙骨科Polypodiaceae组合,代表滨海地区常绿阔叶、针叶混交林景观,反映为温暖湿润的间冰期气候条件。本层未获得 ^{14}C 测年结果,但根据区域对比,E层应属里斯-玉木间冰期的沉积,年代早于70kaBP。

D层: 见于海峡中部775岩心2.00~2.54m和南部819岩心2.25~3.00m段,可见厚度分别为0.54m和0.75m(图2)。775岩心该层上段0.4m沉积物为粉砂质砂,下段0.14m为砂质粉砂和砂砾,且含较多云母及大量棕色植物碎屑。819岩心上段0.55m沉积物为砾夹中细砂,下段0.20m为灰色泥质粉砂,并含较多云母。根据微体古生物分析结果,二岩心下段为陆相沉积,上段为滨海相沉积。

孢粉为松、栎-水龙骨科组合,代表滨海地区稀疏的针阔叶混交林和草原景观,反映气候温和湿润。775岩心D层测得 ^{14}C 年龄为 $37\,058 \pm 943\text{aBP}$,并位于蒙戈游移底界(31kaBP)之下;819岩心D层顶板之上0.1m处测得 ^{14}C 年龄为 $41\,358 \pm 1\,954\text{aBP}$ 。可以认为,D层属于早玉木冰期的沉积,年代为70~42kaBP。从岩性特征和沉积相,参考邻区及世界海平面变化资料,推测D层下部的陆相沉积可能属于70~60kaBP的早玉木冰期早期海退的产物;其上部的滨海相沉积应该是早玉木冰期间暖期海进形成的,并延续到早玉木冰期晚期,年代约为60~42kaBP。

C层: 见于405、775、809、819、825和868岩心,埋深1.57~3.80m,可见厚度0.5~2.02m(图2)。海峡北部该层沉积物为泥质粉砂;中部为砂-粉砂-泥;南部以砂、粉砂质砂为主,也有中细砂、砂质粉砂等沉积类型。孢粉为栎、松-水龙骨科组合,代表滨海地区常绿阔叶、针叶混交林景观,反映气候温暖湿润,显示了亚间冰期的气候条件。868和775岩心C层中出现了布容正极性期的蒙戈游移(31~19kaBP)。此外,809岩心C层测得 ^{14}C 年龄为 $27\,746 \pm 559\text{aBP}$,819岩心C层顶部和底部分别测得 ^{14}C 年龄为 $19\,757 \pm 268\text{aBP}$ 和 $41\,358 \pm 1\,954\text{aBP}$,868岩心C层测得热释光年龄为 $28\,980 \pm 140\text{aBP}$ 。因此,C层应属于玉木亚间冰期的沉积,年代约为42~20kaBP。

B层: 由图2可知,B层埋深数厘米至5.10m,可见厚度为0.5~3.70m,海峡北部该层埋深和层厚均大于南部,而沉积物则自北往南变粗。北部为泥质粉砂和砂质粉砂,中部以砂和粉砂质砂为主,南部浅滩多为中粗砂,浅滩边缘为中细砂,近岸则以粉砂质砂和砂质粉砂较多见。孢粉为松-蓼科Polygonaceae-蕨*Pteridium*组合,代表滨海地区稀疏的针叶阔叶混交林和草原景观,反映气候温凉略干,表现为冰期气候条件。745、775、868岩心B层顶部出现了布容正极性期的哥德堡游移,底部蒙戈游移也开始出现。在405、756、868岩

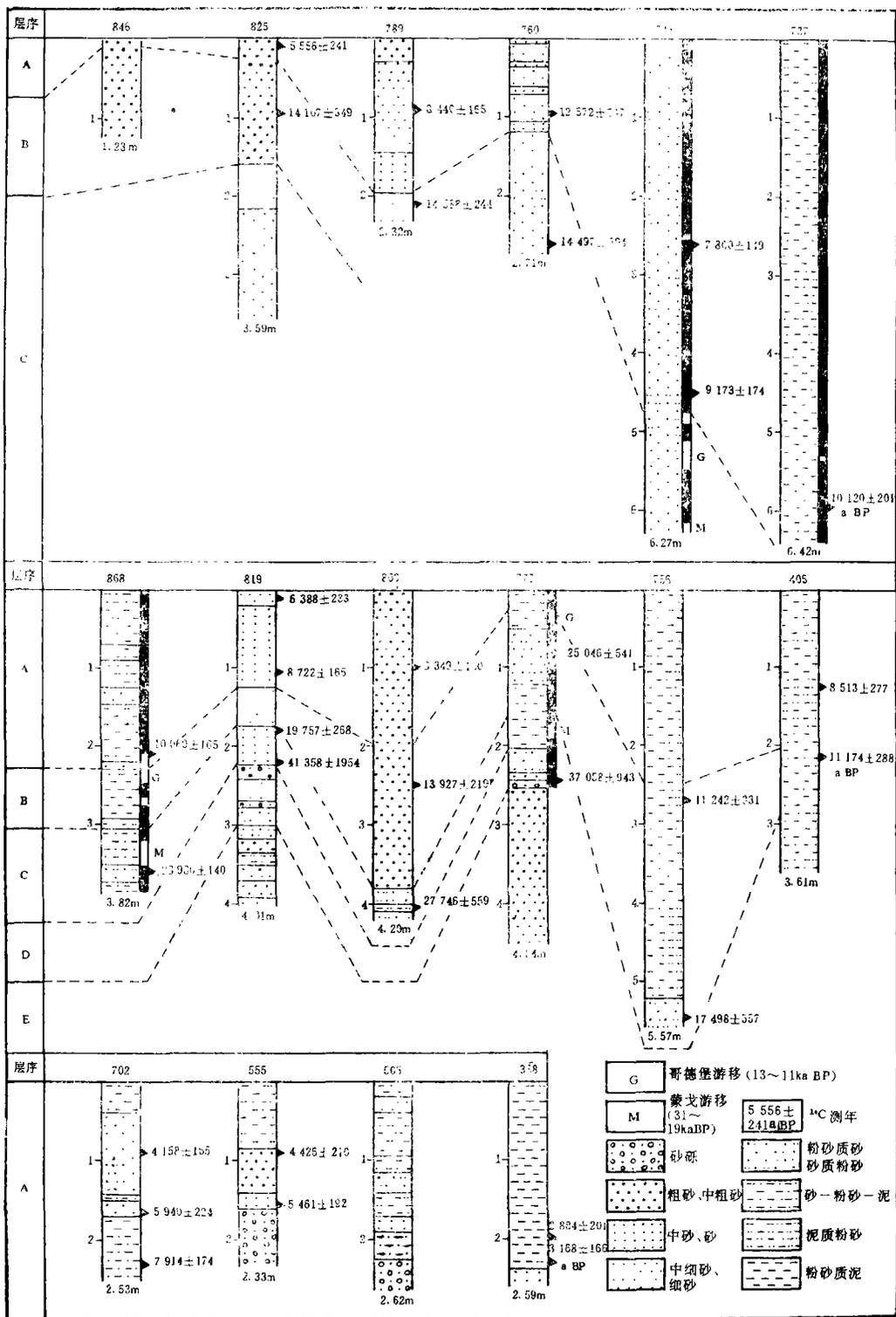


图2 台湾海峡晚第四纪岩心沉积层序的划分和对比

心B层顶部或上覆地层底部测得 ^{14}C 年龄分别为 $11\,174 \pm 288$ 、 $11\,242 \pm 331$ 和 $10\,069 \pm 165$ aBP; 在809、760、789、825、756岩心B层中部或底部测得 ^{14}C 年龄分别为 $13\,927 \pm 219$ 、 $14\,497 \pm 394$ 、 $14\,588 \pm 244$ 、 $14\,107 \pm 349$ 和 $17\,498 \pm 577$ aBP; 在819岩心B层下伏地层顶部测得 ^{14}C 年龄为 $19\,757 \pm 268$ aBP. 因此, 可以确定B层属于晚玉木冰期的沉积, 年代约为20~11kaBP.

A层: 在沿岸岩心中, 可见厚度约2.5m, 未见底; 近岸岩心中, 北部和南部厚2m以上, 中部厚0.45m; 远岸岩心中, 北部厚5m以上, 中部厚1m左右, 南部浅滩几乎缺失或仅厚数厘米(图2). 北部沉积物为泥质粉砂及砂质粉砂; 中部和南部近岸层次多, 以砂-粉砂-泥、粉砂质砂为主, 夹有中细砂、泥质粉砂及细砂薄层. 南部浅滩区以中粗砂、砂为主, 浅滩边缘为中细砂、砂等沉积类型. A层中测得的 ^{14}C 年龄大多小于11kaBP, 孢粉为栎、松-禾本科-水龙骨科组合, 代表了滨海地区常绿阔叶林的植被面貌, 反映气候暖热潮湿, 应属于冰后期即11ka以来的沉积. 此外, 依据孢粉主要成分的含量变化和 ^{14}C 测年结果可知, 11~8.5ka和2.5ka以来, 即早全新世和晚全新世时期的气候较之中全新世的气候略显干冷.

2 晚更新世海侵及其海平面变化

晚更新世以来, 全球性气候波动, 导致了较大规模的海进—海退—海进—海退.

2.1 里斯-玉木间冰期海进

台湾海峡E层系该时期的沉积, 沉积物中含有丰富的有孔虫和一定数量的海相硅藻及放射虫等硅质壳壁的生物遗骸. 金门附近海或的775岩心, E层有孔虫为现生金伯尔虫 *Guembelitra vivans* Cushman-压扁卷转虫 *Ammonia compressiuscula* Brady组合, 优势种有具缘小泡虫 *Bulimina marginata* d'Orbigny、强壮箭头虫 *Bolivina robusta* Brady、小盔虫 *Cassidulina*及假轮虫 *Pseudorotalia*、曼顿半泽虫 *Hanzawajam antaensis* Galloway et Morrey等. 浮游有孔虫含量超过30%, 底栖有孔虫约50种, 含量低, 其中列式壳含量超过40%. 硅藻主要有圆筛藻 *Coscinodiscus* Ehrenberg、蜂窝三角藻 *Triceratium favus* Ehrenberg、条纹小环藻 *Cyclotella striata* (Kütz) Grunow等种. 这种生物面貌反映了当时的水深应该在30~50m的范围. 南部海域819岩心该层有孔虫为卷转虫组合, 优势种主要有压扁卷转虫、毕克卷转虫 *Ammonia beccarii* (Linne) var.、同现卷转虫 *A. annectens* Parker et Jones及球室卷转虫 *A. globosa* Millet等; 未见浮游有孔虫, 底栖有孔虫10~20种, 螺旋壳占绝对优势; 硅藻数量少, 主要为粗纹藻 *Trachyneis aspera* (Ehr.) Cleve、圆筛藻及范氏圆筛藻 *Pyxidicula weyprechtii* Grunow等种的细胞. 反映出海峡南部海域当时的水深小于30m. 根据上述微体古生物特征确定E层为浅海相沉积, 且当时的水深具有北深南浅的特点.

福建沿海及台湾海峡70kaBP前的浅海相沉积层, 是由我们首次在金门附近海域的775、819岩心中发现的, 且命名为金门海侵. 据775岩心E层微体古生物显示的水深30~50m与该岩心所处的水深45m比较, 二者较为接近, 估计当时的海面高度和古海岸线位置应略低于或接

近于现代海面的高度。

金门海侵与黄海的的灵山岛海侵^[8]、渤海的沧州海侵^[7]、东部沿海的星轮虫海侵^[8]相当,但可能已接近于里斯-玉木间冰期海进的尾声,年代可能约为85~70kaBP。

2.2 早玉木冰期海退

继里斯-玉木间冰期之后,气候进入寒冷期。据研究,由于气候存在次一级的波动,也引起了海平面的变化。

2.2.1 早玉木冰期早期

海峡775和819岩心的D层下段(2.40~2.54m和2.79~3.00m)未发现古生物化石,岩性为泥质粉砂和砾砂,含较多云母,属陆相堆积;推测年代为70~60kaBP;根据该段陆相层的顶板埋深分别为47.4m和50.79m,因此早玉木冰期早期的海面至少在现今海面-50m以下,台湾海峡大部分出露成陆。

2.2.2 早玉木冰期中、晚期

台湾海峡发育了滨海相地层。775岩心D层上段(2~2.4m)浮游有孔虫含量占28%,有46种底栖有孔虫,分异度 $H(S)$ 值为2.5,以螺旋壳为主,为同现卷转虫-施罗德假轮虫*Pseudorotalia schroeteriana* Parker et Jones组合,还有毕克卷转虫等。819岩心D层上段(2.25~2.79m)浮游有孔虫含量约5%,底栖有孔虫数十种,分异度值为3.0,为剑形串珠虫*Textularia sagittula* Defarance-压扁卷转虫组合,优势种还有曼顿半泽虫、异地希望虫*Elphidium advenum* Cushman、毕克卷转虫等。上述特征显示了当时属于水深在30m以内的近岸浅海环境。该层位于蒙戈游移和¹⁴C年龄 $41\ 358 \pm 1\ 954$ aBP之下,应属60~42kaBP的沉积,顶板埋深为47~50.25m。因此,台湾海峡早玉木冰期中、晚期海面比早玉木冰期早期升高30m以上,当时的海面可能在现今海面-20m以下。

巫锡良在研究琅岐岛CK7孔时也发现60kaBP的海面回升现象,并命名为琅岐海侵¹⁾。赵松龄等在渤海中部发现了65.5~53.5kaBP的海侵规模较小的渤海海侵^[1]。台湾海峡出现的海面回升现象与上述研究结果基本吻合。

普遍认为发生于间暖期的海面回升,在进入早玉木冰期晚期时已结束,其后海面下降。但台湾海峡的岩心中并未显示海面下降的证据,这可能与此时期海峡的构造运动正处于下降阶段有关。

2.3 玉木亚间冰期海进

玉木亚间冰期海进在渤海^[8]、黄海^[3]、东海^[4]、南海^[5]、华北平原^[9]、福建沿海平原^[10]均有发现。福州平原命名为福州海侵(39~22kaBP)^[10]。黄镇国等人研究认为,40~24kaBP南海的古海面在现今海面-20m左右的海底^[5];苍树溪等人认为,渤海古海面在现今海面数米之下^[2];刘敏厚等人认为,黄海古海面与现在相近^[8]。显然,这次海进的起迄时间和海面高度在各地是不一致的。

台湾海峡在该海进时期形成的C层中富含孔虫和硅藻遗体。中部海域浮游有孔虫含量约5%,底栖有孔虫约50种,分异度值为2.4~2.7,为叶状串珠虫*Textularia foliacea* Heron-Allen et Earland-同现卷转虫组合,优势种尚有毕克卷转虫、压扁卷转虫等。南部海

1) 巫锡良,台湾海峡及其西岸的第四纪环境变迁,1983。

域浮游有孔虫含量5%~10%，底栖有孔虫约50~100种，分异度值为3.0~3.8，为剑形串珠虫-同现卷转虫组合。台湾浅滩该层浮游有孔虫含量12%~25%，底栖有孔虫70~100种，为毕克卷转虫-缝裂希望虫*Elphidium magellanicum* Heron-Allen et Earland组合，优势种还有球室卷转虫、强壮箭头虫、亚易变筛九字虫*Cribronion subincertum* Asano、异地希望虫等。硅藻为圆筛藻-具槽直链藻*Melosira sulcata* (Ehr) Kützing-柱状小环藻 *Cyclotella stylonum* Brightwell-范氏圆箱藻组合，优势种还有星形柄链藻*Podosira stellaris* (Bail.) Mann、条纹小环藻等种。上述微体古生物特征反映出C层沉积时的水深小于30m。C层顶板埋深不同，775岩心为-50m，809岩心为-47m，819岩心为-47m，868岩心为-40m，825岩心为-47m，平均为-47m左右；此外，福州盆地该海进层的顶板埋深为-49m。根据这些数据推算，当时的海面大约在-20m的海底。这一结果与黄镇国等人对南海该时期古海面的研究结果较为一致。

2.4 晚玉木冰期海退

目前普遍认为18kaBP玉木冰期鼎盛时期，世界各地古冰盖及山地冰川的扩展致使世界海平面大幅度地下降。然而这一时期古海面遗迹的分布，不仅世界各地不一致，在我国也有较大的差异。朱永其等认为，东海15kaBP前的海面在-150~-160m的海底^[11]；赵松龄等则认为在-130m左右^[19]；刘敏厚等人认为黄海18kaBP的古海面在-150m的海底^[8]；金波认为珠江口外大陆架外侧-130~-150m的水下陡坡可能是低海面的遗迹^[14]；黄镇国等提出南海北部陆架-80m的海底可能是低海面时期的海岸线^[15]；台湾海峡在该时期则被认为出露成陆^[16]。这种各地不一致现象，目前主要归结于后期构造运动、冰-水均衡作用以及沉积物压实作用^[12]。

台湾海峡西部海域的北部远岸海域B层浮游有孔虫含量超过50%，底栖有孔虫达100种，分异度值为3.8~3.9，为强壮箭头虫-优美花朵虫*Florilus decorus* Cushman et Mcculloch 组合，优势种还有曼顿半泽虫、叶状串珠虫等；近岸海域该层浮游有孔虫含量5%~15%，底栖有孔虫60~70种，分异度值为3.1~3.5，为曼顿半泽虫-压扁卷转虫组合，强壮箭头虫也较多。海峡中部远岸海域B层浮游有孔虫含量10%~20%，底栖有孔虫近100种，分异度值为3.7~3.9，为现生金伯尔虫-曼顿半泽虫组合；近岸该层浮游有孔虫含量约10%，底栖有孔虫100余种，分异度值为3.5~3.8，为叶状串珠虫-压扁卷转虫组合，优势种还有强壮箭头虫、异地希望虫、曼顿半泽虫等。南部远岸海域B层浮游有孔虫约占10%，底栖有孔虫70~100种，分异度值为3.5，为圆盘虫*Discorbis*-曼顿半泽虫组合，优势种还有昆士兰微纹五块虫*Quinqueloculina cuvieriana queenslandica* Collins、普通抱环虫*Spiroloculina communis* Cushman et Todd、短小判草虫*Brizalina abbreviata* Heron-Allen et Earland、小盔虫、现生金伯尔虫等；近岸浮游有孔虫含量约10%，底栖有孔虫近百种，分异度值为3.5~3.8，为剑形串珠虫-曼顿半泽虫组合，优势种还有异地希望虫、毕克卷转虫、圆盘虫及叶状串珠虫等。B层中也富含海洋硅藻，北部海域为具槽直链藻-柱状小环藻-范氏圆箱藻组合，优势种还有蜂窝三角藻、安蒂粗纹藻*Trachyneis antillarum* Cleve、结节圆筛藻*Coscinodiscus nodulifer* A. Schmidt、柏戈根管藻*Rhizosolenia bergonii* Peragallo等种，放射虫和小等刺硅鞭藻*Dictyocha fibula* Ehrenberg 也较常见；南部为具槽直链藻-蜂窝三角藻-范氏圆箱藻组合，优势种还有托氏盒形藻*Biddulphia tuomeyi*

Bail, 圆筛藻、黄蜂双壁藻可疑变型 *Diploneis crabro* f. *suspect* (A.S.) Hustedt、粗纹藻等,也有一定数量的放射虫壳体。上述微体古生物特点反映出沉积时期的水深大致在30~60m,与现在这些岩心所外位置的水深相近。此外,徐起浩等对深沪湾位于现今海面-3m处的牡蛎礁的牡蛎壳测得 ^{14}C 年龄为 $17\,480 \pm 490\text{aBP}$ 和 $17\,330 \pm 470\text{aBP}$ ^[18]。这些资料与前人的研究成果不一致。我们认为,台湾海峡在玉木冰期鼎盛时期不仅未有出露成陆,而是仍处于水深在30~60m的浅海环境,当时的海面高度与现在相近,古海岸线也相近。与相邻海域的这种差异应归因于海峡当时的地壳运动正处于下降阶段。

3 全新世海侵及海平面变化

晚玉木冰期结束,进入冰后期,由于全球性气候变暖,世界海平面上升。福建沿海地区最早由林景星等提出了长乐海侵^[17],随后谢在团等进一步研究,提出了全新世海侵存在四个阶段:第一阶段为海进早期,即14aBP海面回升,12~9.5kaBP海面上升到-30m;第二阶段为海面波动期,8~7kaBP海面上下波动;第三阶段为海进全盛期,6~5kaBP海面迅速上升,至4~3kaBP海进达到最高峰,海平面曾高出现今海面3~5m;第四阶段为海退期,2.5kaBP海水逐渐退出,1.5kaBP海水退到现今海岸线^[18]。

台湾海峡岩心与该时期相应的海相沉积层A层中含有丰富的有孔虫和硅藻。北部海域浮游有孔虫占30%~50%,底栖有孔虫约60~80种,分异度值为3.4~3.7,为强壮箭头虫-现生金伯尔虫组合,优势种还有压扁卷转虫、大西洋花朵虫 *Florilus atlantica* Cushman等;中部海域浮游有孔虫含量10%~20%,底栖有孔虫约100种,分异度值为3.7,为现生金伯尔虫-曼顿半泽虫组合,优势种还有强壮箭头虫、压扁卷转虫、圆盘虫、小盃虫、台湾两代虫 *BiGenerina taiwanica* Nakamura、剑形串珠虫、普通抱球虫及叶状串珠虫等;南部海域浮游有孔虫含量小于10%,底栖有孔虫70~100种,分异度值为3.5~3.8,以曼顿半泽虫为代表,优势种还有剑形串珠虫、圆盘虫等。硅藻以具槽直链藻-柱状小环藻组合为代表,北部及沿岸海域优势种还有条纹小环藻、圆筛藻、爱氏辐环藻 *Actinocyclus chrenbergi* Ralfs、安蒂粗纹藻、双壁藻、菱形藻 *Nitzschia* Hassall,南部海域优势种尚有蜂窝三角藻、粗纹藻、范氏圆箱藻、星形柄链藻、托氏盒形藻、细纹三角藻 *Triceratium affine* Grunow等种。上述微体古生物特点反映出A层沉积时期北部海域水深介于50~70m,中部水深约50m,南部水深小于50m,呈现出北深南浅的特点。此外,我们在沿岸的几个岩心中发现2.5kaBP以来沉积的A层顶部淡水硅藻含量增高,表示河流向海伸入;南部沿岸702岩心 ^{14}C 年龄为 $7\,914 \pm 174\text{aBP}$ 的棕红色砂-粉砂-泥沉积系陆相地层,该层顶板埋深为-15.7m,可以推测8kaBP海面至少低于现今海面16m以下。因此,此时期有可能在东山-台湾浅滩一带海域形成林观得先生曾提出的“东山陆桥”。

总之,根据前人的研究结果及我们在台湾海峡及福建沿岸所获得的资料,笔者认为台湾海峡全新世时期海平面总体是上升的;在上升过程中,大约在8kaBP前曾发生过明显的下降,晚全新世海面也略有下降。我们比较赞同全新世高海面出现在6~5kaBP的看法,但也认为4~3kaBP的海面高于现今海面。

参考文献

- 1 赵松龄, 秦蕴珊. 中国东部沿海近三十万年以来的海侵与海面变动. 中国海平面变化. 北京: 海洋出版社, 1985, 115~123
- 2 苍树溪, 黄庆福, 张宏才, 赵松龄. 渤海晚更新世以来的海侵与海面变动. 中国海平面变化. 北京: 海洋出版社, 1985, 35~43
- 3 刘敏厚, 吴世迎, 王永吉. 黄海晚第四纪沉积. 北京: 海洋出版社, 1987, 371~389
- 4 曾成开, 金长茂, 王小波. 东海陆架区晚更新世海面变动与地层接触关系. 中国海平面变化. 北京: 海洋出版社, 1987, 149~155
- 5 黄镇国, 李平日, 张仲英, 宗永强. 华南晚更新世以来的海平面变化. 中国海平面变化. 北京: 海洋出版社, 1985, 178~194
- 6 冯文科, 薛万俊, 杨达源. 南海北部晚第四纪地质环境. 广州: 广东科学出版社, 1987, 183~190
- 7 王靖泰, 汪品先. 中国东部晚更新世以来海面升降与气候变化的关系. 地理学报, 1980, 35(4): 299~312
- 8 赵松龄, 杨光复, 苍树溪, 张宏才, 黄庆福, 夏东兴, 王永吉, 刘福寿, 刘成福. 关于渤海西岸海相地层与海岸线问题. 海洋与湖沼, 1978, 9(1): 15~25
- 9 杨子庚, 李幼军, 丁秋玲, 何宝成. 试论河北平原东部第四纪地质几个基本问题. 地质学报, 1979, 53(4): 263~279
- 10 蓝东兆, 于永芬, 陈承惠, 谢在团. 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, 1986, 6(3): 103~110
- 11 朱永其, 李承伊, 曾成开, 李伯根. 关于东海大陆架晚更新世最低海面. 科学通报, 1979, 24(7): 317~229
- 12 杨怀仁, 杨达源. 新生代地球气候变化及海面升降的研究. 第四纪冰川与第四纪地质文集, 第2集. 北京: 地质出版社, 1985
- 13 徐起浩, 冯炎基, 杜文树. 福建深沪湾潮间带发现晚更新世牡蛎海滩岩. 海洋地质与第四纪地质, 1987, 7(4): 38
- 14 林观得. 台湾海峡海底地貌的探讨. 台湾海峡, 1982, 1(2): 58~63
- 15 赵昭炳. 台湾海峡演变的初步研究. 台湾海峡, 1982, 1(1): 20~24
- 16 王绍鸿. 台湾海峡西岸第四纪有孔虫与地质问题. 台湾海峡, 1982, 1(1): 34~44
- 17 林景星. 福建沿海全新世海进的初步认识. 科学通报, 1979, (11): 517~620
- 18 谢在团, 邵合道, 陈峰, 陈子桑, 窦亚伟. 福建沿岸晚更新世以来的海侵. 中国海平面变化. 北京: 海洋出版社, 1986, 156~165
- 19 赵松龄. 东海更新世末期最低海面的初步研究. 黄东海地质. 北京: 科学出版社, 1982, 181~188