科学通报 2016 年 第 61 卷 第 3 期: 374 ~ 387
论 文
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

对江苏新石器时代海面变化问题的再认识

朱诚[①*], 吴立[②*], 李兰[③], 赵泉鸿[④], 张文卿[⑤], 李开封[①], 李冰[①], 谭艳[①], 王坤华[①], 贾天骄[①], 郭天虹[①], 林留根[⑥], 丁金龙[⑦], 王子健[⑧], 何汉生[⑨]

① 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210046;
② 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖 241002;
③ 四川大学历史文化学院, 成都 610064;
④ 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092;
⑤ 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 保定 071051;
⑥ 江苏省考古研究所, 南京 210016;
⑦ 苏州市考古研究所, 苏州 215005;
⑧ 海安县博物馆, 海安 226600;
⑨ 镇江博物馆, 镇江 212002
* 联系人, E-mail: zhuchengnj@126.com; jedi-wuli@163.com

2015-07-29 收稿, 2015-08-25 修回, 2015-09-15 接受, 2016-01-11 网络版发表
国家自然科学基金(41171163)、湖泊与环境国家重点实验室开放基金(2012SKL003)、黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金(SKLLQG1206)、国家社会科学基金(11&ZD183)、国家科技支撑计划(2013BAK08B02)、国家基础科学人才培养基金(J1103408)和安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室基金(AKLNDPP)资助

摘要 了解过去海面变化情况是预测未来的重要基础. 从沿海地区考古地层中寻找过去海面变化的证据, 将对探讨气候波动与海面变化的关系, 及其对聚落形态、文化变迁影响的人地关系提供十分重要的线索. 对江苏海安青墩、东台陶庄和开庄、宜兴骆驼墩遗址地层AMS^{14}C测年、GPS-CORS系统高程测量和海相微体古生物鉴定分析发现, 青墩遗址距地表389~489 cm (13.1~8.5 cal ka BP, 1985黄海高程为–0.65~–1.65 m)、陶庄遗址距地表156~230 cm (12.6~9.2 cal ka BP, 1985黄海高程为0.97~0.23 m)、开庄遗址距地表228~390 cm (10.3~7.8 cal ka BP, 1985黄海高程为0.03~–1.59 m)、骆驼墩遗址距地表255~279 cm (12.0~9.2 cal ka BP, 1985黄海高程为1.08~0.84 m)为显著的海相沉积地层, 揭示在苏北海安青墩、东台陶庄和开庄地区全新世初至7.8 cal ka BP为浅海沉积环境, 并经历了海退成陆过程; 而苏南太湖西部宜兴骆驼墩遗址全新世初至9.2 cal ka BP可能经历过短暂的滨海沉积环境. 这为寻找该区新石器早期遗址提供了海拔高程和年代学方面的线索和依据. 对苏州澄湖湖底62处古水井和102处灰坑顶底部GPS-CORS系统的测量也发现, 崧泽文化、良渚文化、夏商周和战国时期, 水井井口和灰坑顶部多在1985黄海高程0~–2 m之间, 井底和灰坑底部多在–3 m左右; 六朝和宋代水井的井口和灰坑顶部曾低于–1 m, 水井井底和灰坑底部曾低于–4 m, 表明澄湖是宋代以后才逐渐演变为湖泊的.

关键词 江苏, 新石器时代, 海面变化, 环境考古

21世纪气候-海面变化对人类生存影响已成为当前全球变化研究的前沿学科内容之一, 而预测未来首先要弄清过去的海面变化情况[1~4]. 了解过去海面变化情况及其对古代文化进程的影响是预测未来的重要基础, 而从沿海地区考古地层中寻找过去海面变化的证据已成为该领域有特色的研究手段[5~8].

引用格式: 朱诚, 吴立, 李兰, 等. 对江苏新石器时代海面变化问题的再认识. 科学通报, 2016, 61: 374–387
Zhu C, Wu L, Li L, et al. Recognition of sea-level change during the Neolithic period in the Jiangsu Area, East China (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 374–387, doi: 10.1360/N972015-00713

© 2016《中国科学》杂志社

有关江苏沿海海面变化, 前人对贝壳堤和自然沉积地层曾做过不少研究. 赵希涛等人[9~11]认为中国东部沿海全新世海面有过7次明显的高低波动, 高海面出现于7.5~4 ka BP之间, 其中高海面时期(6.5~4 ka BP)海面可高于现今2~3 m. 严钦尚等人[12]认为10 ka BP时海面尚停留在–60 m, 海水未进入江北三角洲地区, 6.5~5.5 ka BP江北三角洲已成为前三角洲-浅海景观. 杨怀仁和谢志仁[13]认为全新世以来中国东部海面有5次明显的升降变化; 王富葆[14]则认为5, 3.5, 2.6和1.1~0.7 ka BP间海面较高, 6.3~5.6, 4.5~4和3 ka BP前后海面较低, 变动幅度3~4 m. 邵虚生[15]提出6910±540 a BP时长江三角洲地区海侵达最大范围, 古海岸线向西扩展至金坛茅山东麓的望仙→盘古→朱林→唐王→社头→向阳一线. 朱诚等人[5]曾根据对长江三角洲7~4 ka BP新石器时代205个主要考古遗址的时空分布变化情况统计和制图, 分析过长江三角洲地区全新世高海面出现的时间应在7 ka BP之前. 由上可知, 有关本区全新世海面变化研究, 至今未获得共识, 值得寻求新的思路和方法进一步深入研究.

综观前人的研究, 本区史前海面变化对人类影响研究尚存在的问题主要包括: 1) 过去的研究多存在常规^{14}C测年误差较大的问题, 而现在可以采用对海相层进行AMS^{14}C测年的解决办法; 2) 贝壳堤指示高海面的认识误区[16], 而现在可以对典型遗址的海相层进行微体古生物组合分析指示沉积环境; 3) 1:5万地形图5 m等高距的误差, 这可以采用统一高程测量的解决办法. 因此, 通过准确测定各海相层的年代及其微体古生物组合指示的海相沉积环境, 并用全球定位系统GPS-CORS(连续运行参考站系统)与全站仪相结合的方法测量出海相层的海拔高度, 将对探讨江苏新石器时代气候波动与海面变化的关系, 以及高海面的具体年代、过程及其对人类聚落形态、文化变迁影响的人地关系提供十分重要的线索, 也为后续深入研究本区新构造运动对海面变化的影响奠定基础.

1 考古遗址地层海面变化记录

海安青墩、东台陶庄、东台开庄、宜兴骆驼墩是前期研究发现有全新世海相层存在的江苏新石器时代遗址. 为揭示无文字记载的全新世早中期海面变化, 研究综合采用了地层测年、海相微体古生物鉴定、GPS-CORS高程测量方法了解本区全新世海面变化时代和高程细节.

1.1 地层剖面及测年

青墩遗址剖面(32°36′N, 120°14′E)位于海安县西北部的南莫镇青墩村(图1和2), 东距黄海、南距长江均约60 km. 这一带地处里下河地区东南部, 地势低洼, 平均高出海平面2 m多. 遗址所在地青墩村, 位于南莫镇东偏南1.5 km的一块面积约7×10^4 km^{2}的台地上, 四面环水, 青墩新村地面海拔高度3.8 m. 2013年4月, 在青墩遗址采集深度分别为501和502 cm的两根平行柱状样品, 编号为QD, 剖面距地表深度由上至下岩性特征为: 第1层(0~31 cm), 黑灰色耕土层, 表层含砖瓦片; 第2层(31~77 cm), 黑色黏土层, 含红烧土; 第3层(77~141 cm), 黑灰色黏土层, 含红烧土; 第4层(141~159 cm), 黄色粉砂层; 第5层(159~247 cm), 黑灰色黏土层, 含陶片; 第6层(247~334 cm), 黑色黏土层, 底部见地下水, 并含红烧土; 第7层(334~403 cm), 黄色粉砂层, 其中在389 cm以下部分以粗粉砂为主, 而上部则以细粉砂为主; 第8层(403~502 cm), 青灰色粉砂淤泥层. 实验室进行分样时, 通过地层对比并参照前人研究, 对QD剖面进行分样, 其中因前人对下部生土层的研究中发现大量盐生藜科花粉和水生植物花粉[17], 重点对QD剖面第7和第8层进行海相微体古生物分析, 最后获得海相微体古生物分析样品16个.

陶庄遗址剖面(32°42′N, 120°9′E), 位于东台市时堰镇陶庄村, 地处泰东河沿岸(图1和2). 2011年12月对陶庄遗址进行了初步采样, 6块样品主要来自文化层下部淤泥层(距地表深度175~215 cm), 经海相微体古生物化石鉴定, 发现每块样品中都含有较多的有孔虫和介形虫. 为进一步了解陶庄遗址剖面的沉积物环境特点, 2012年3月第二次对陶庄遗址进行了采样, 采样位置为T204探方西壁, 对230 cm深度剖面进行采样, 使用20 cm×20 cm×100 cm长方体铁盒运回实验室分样. 剖面距地表深度由上至下岩性特征为: 第1层(0~28 cm), 灰褐色现代耕土层, 粉砂, 有虫孔、植物根须分布, 结构较疏松; 第2层(28~42 cm), 明清文化层, 灰褐色粉砂质黏土, 含红烧土、锈斑和大量炭屑; 第3层(42~74 cm), 唐宋文化层, 灰黑色粉砂质黏土, 有锈斑, 大量炭屑; 第4层(74~95 cm), 崧泽文化层, 黑色粉砂质黏土, 大量炭屑, 有锈斑; 第5层(95~106 cm), 生土层, 黄色粉砂层; 第6层(106~

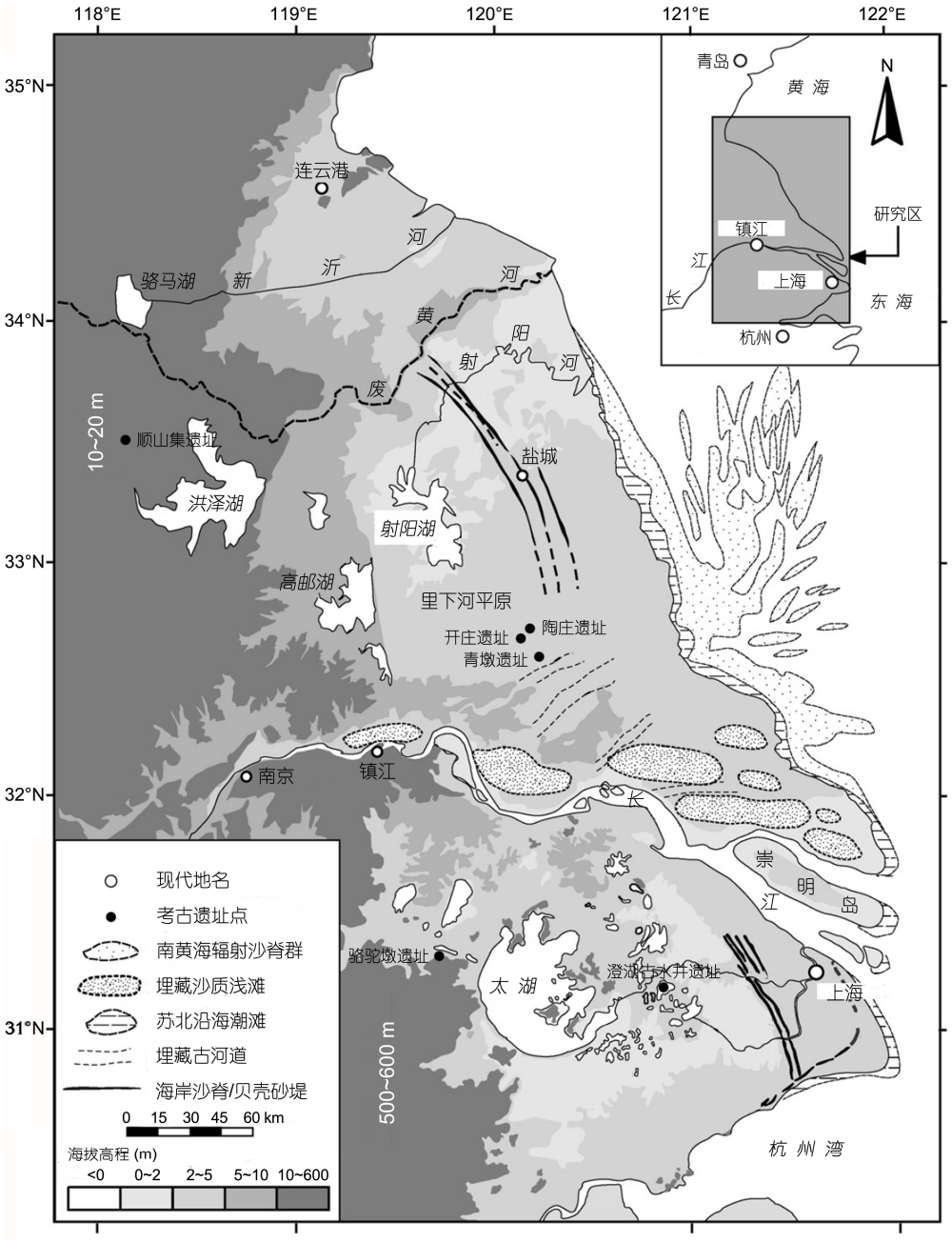


图 1 研究区及典型新石器时代遗址位置图

Figure 1 The location map of the study area and typical Neolithic sites

210 cm), 生土层, 黄色粉砂层, 其中在156 cm以下部分以中粉砂、粗粉砂为主, 而上部则以细粉砂为主; 第7层(210~230 cm), 生土层, 青灰色粉砂淤泥层. 自上而下以2 cm间隔连续取样, 共获得114个样品, 并主要对下部第4~7层选择39个样品进行海相微体古生物分析.

开庄遗址剖面(32°41′N, 120°8′E)位于东台市溱东镇西北的开庄村, 西与兴化市毗邻. 遗址处于苏北里下河水荡地区东部边缘一四面环河的圩田中央, 面积约27000 m^2(图1和2). 2013年4月26日在该遗址钻孔采集深度为395 cm岩芯一根, 岩芯距地表深度由上至下岩性特征为: 第1层(0~48 cm), 黄褐色、褐色耕土层; 第2层(48~88 cm), 黑灰色黏土层, 含红烧土、灰陶片、白螺壳等; 第3层(88~198 cm), 黑色淤

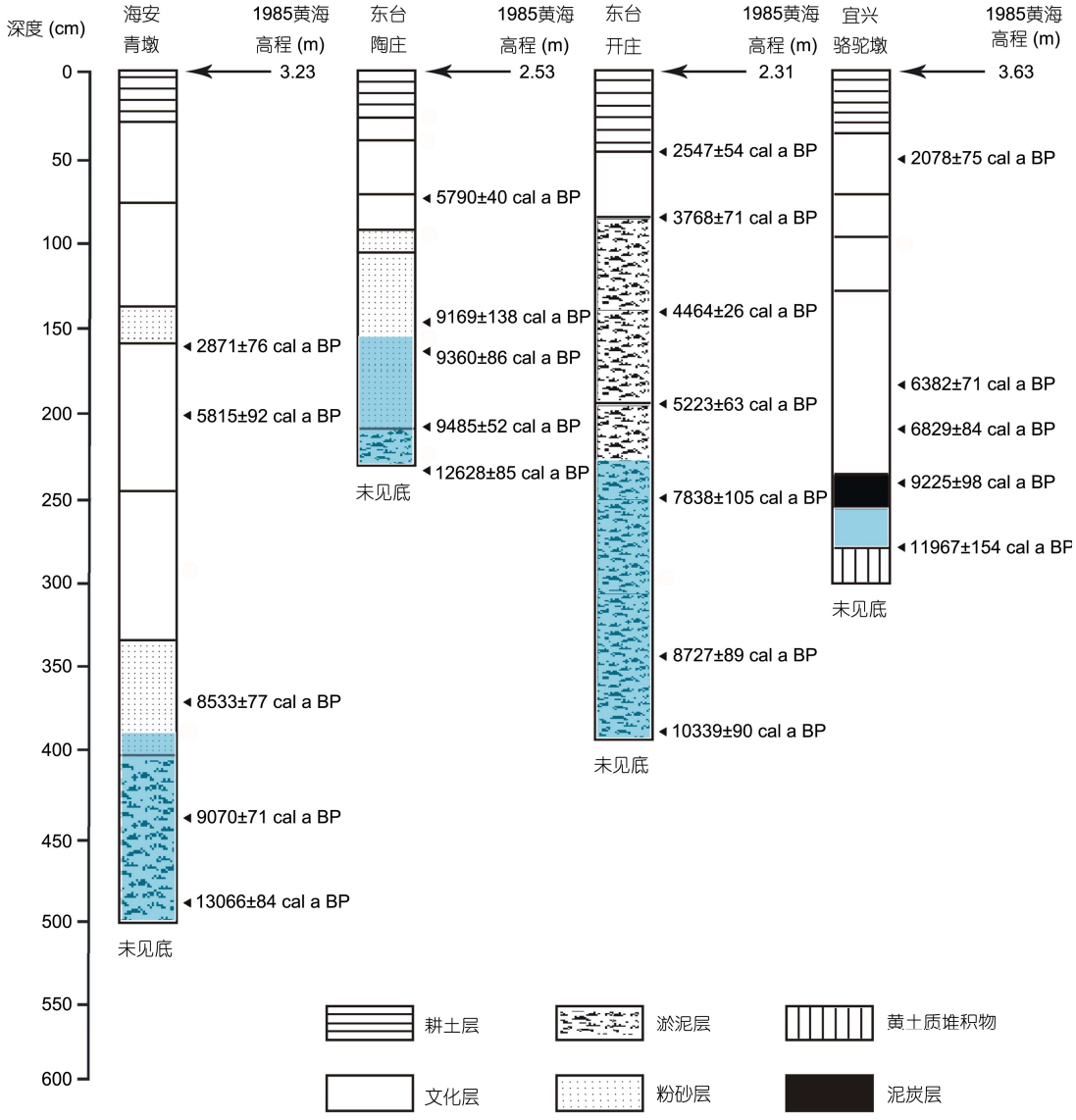


图 2 江苏青墩、陶庄、开庄和骆驼墩遗址剖面全新世海相地层记录柱状图. 图中 ^{14}C日历年代均采用2σ树轮校正结果. 蓝色部分为发现海相微体古生物化石层位

Figure 2 Holocene marine strata histograms of Qingdun, Taozhuang, Kaizhuang and Luotuodun sites in Jiangsu Province. The 2σ dendrological calibrated results have been adopted in this Figure's ^{14}C calendar years. The blue part is the marine microfossil-bearing horizon

泥层; 第4层(198~395 cm), 青灰色淤泥层, 整体自下而上黏土成分和粉砂呈增加趋势, 而砂含量则呈减少趋势. 12个样品主要采集自剖面下部的青灰色淤泥层, 并对样品进行有孔虫和介形虫等微体古生物鉴定分析.

骆驼墩遗址剖面(31°21′N, 119°42′E)位于江苏省宜兴市新街镇塘南村, 地处宜溧山地山麓向平原地区过渡的地带(图1和2), 海拔3~5 m. 该剖面具有7 ka BP以来马家浜文化、良渚文化、广富林文化和西周春秋文化层, 以及文化层之间的贝壳、埋藏古木和自然淤积层. 在江苏省考古研究所骆驼墩遗址考古领队林留根研究员现场指导下, 作者在骆驼墩遗址进行现场采样. 遗址剖面调查看出[18], 第4~8层马家浜文化层下有近50 cm厚泥炭层. 根据地层和研究需要, 对第9和第10两个黑色泥炭层的63个样品作了微体古生物分析.

为建立上述地层年代框架, 分别在青墩遗址、陶庄遗址、开庄遗址和骆驼墩遗址剖面中选择5, 5, 7和5

个AMS^{14}C测年样品，测试样品为沉积物中炭屑，在中国科学院广州地球化学研究所AMS-^{14}C制样实验室制靶，而后送往北京大学核物理与核技术国家重点实验室进行测试. 测得的年代数据使用CALIB 7.0.4软件校正为日历年代[19,20](表1和图2).

1.2 海相微体古生物鉴定分析

对上述遗址地层下部生土层所采样品进行海相微体古生物鉴定，具体采用微体古生物学标准方法[21]. 对青墩遗址剖面的微体古生物鉴定发现, 388 cm以上地层含较多动物骨骼碎屑，且十分破碎，其中可辨别出有鱼类的牙齿、鱼鳍、鱼耳石和鱼类脊椎等，为陆相沉积. 388 cm以下地层则含较多有孔虫化石(图3和表S1)，总计挑得1556枚壳体，有孔虫总丰度在深度413 cm样品中最高，为432枚/10 g，顶部样品中较低(16枚/10 g). 底栖有孔虫计有25属34种，在样品中的分异度为8~25种，最低值发生在顶部样品，其下的多数样品在20种以上. 依据生态特征，有孔虫可划分为浮游有孔虫和底栖有孔虫，后者进一步划分为浅海类、广盐类和半咸水类. 故388 cm以下地层中有孔虫化石在属种数量上以浅海类居多. 在数量丰度上(图3和表S1)，有孔虫群落中以广盐类占优势，相对丰度56.5%~95.3%，平均73.9%；其中以*Ammonia tepida*(暖水卷转虫)最为丰富，在每个样品中都是丰度最高的第一优势种，相对丰度20.8%~68.8%，平均31.3%. 广盐类*Elphidium magellanicum*(缝裂希望虫)和*Cribrononion subincertum*(亚易变筛九字虫)丰度居次，平均丰度分别为16.5%和10.1%. 浮游有孔虫和浅海类底栖有孔虫只见于深度402 cm样品及其之下样品中，相对丰度平均为21.8%. 半咸水类丰度最低，平均4.2%. 上述各类属种中，浮游有孔虫和浅海类底栖有孔虫的个体普遍偏小，多数为未成年的幼虫

表 1 青墩、陶庄、开庄和骆驼墩遗址地层AMS^{14}C年代序列及CALIB 7.0.4 校正结果

Table 1 AMS^{14}C chronosequences and CALIB 7.0.4 calibration results of strata from Qingdun, Taozhuang, Kaizhuang and Luotuodun sites

遗址名称	深度(cm)	层位	^{14}C年代 (a BP)	1σ树轮校正年代	2σ树轮校正年代	1σ中值年代 (cal a BP)	2σ中值年代 (cal a BP)
青墩	160~161	5	2775±25	943 BC (71.8%) 895 BC	996 BC (100%) 845 BC	2869±24	2871±76
	202~203	6	5055±35	3941 BC (76.7%) 3856 BC	3957 BC (100%) 3773 BC	5849±43	5815±92
	371~372	7	7780±35	6649 BC (97.9%) 6589 BC	6660 BC (98.8%) 6506 BC	8569±30	8533±77
	440~441	8	8135±40	7143 BC (89.5%) 7064 BC	7191 BC (90.5%) 7049 BC	9054±40	9070±71
	490~491	8	11195±45	11157 BC (100%) 11084 BC	11200 BC (100%) 11032 BC	13071±37	13066±84
陶庄	75~76	4	5105±30	3866 BC (65.3%) 3812 BC	3880 BC (59.4%) 3800 BC	5789±27	5790±40
	152~154	6	8225±40	7321 BC (100%) 7178 BC	7357 BC (99.1%) 7081 BC	9200±72	9169±138
	156~158	6	8330±30	7415 BC (59.0%) 7357 BC	7496 BC (100%) 7324 BC	9336±29	9360±86
	209~210	6	8470±45	7575 BC (100%) 7522 BC	7587 BC (100%) 7483 BC	9499±27	9485±52
	230~231	7	10645±50	10722 BC (100%) 10630 BC	10763 BC (100%) 10593 BC	12626±46	12628±85
开庄	47~48	1	2515±25	640 BC (46.1%) 588 BC	651 BC (55.6%) 543 BC	2564±26	2547±54
	87~88	2	3495±25	1832 BC (66.9%) 1772 BC	1889 BC (100%) 1747 BC	3752±30	3768±71
	142~143	3	4045±20	2532 BC (61.5%) 2495 BC	2540 BC (50.1%) 2488 BC	4464±19	4464±26
	197~198	3	4470±25	3326 BC (70.0%) 3230 BC	3336 BC (58.8%) 3210 BC	5228±48	5223±63
	250~251	4	7010±45	5923 BC (68.9%) 5845 BC	5992 BC (100%) 5783 BC	7834±39	7838±105
	344~345	4	7935±35	6832 BC (70.5%) 6698 BC	6865 BC (58.9%) 6688 BC	8715±67	8727±89
	390~391	4	9190±30	8441 BC (66.5%) 8364 BC	8479 BC (97.1%) 8299 BC	10353±39	10339±90
骆驼墩	50~51	2	2120±25	192 BC (100%) 111 BC	203 BC (99.4%) 53 BC	2102±41	2078±75
	183~184	6	5615±30	4421 BC (35.8%) 4393 BC	4503 BC (100%) 4361 BC	6357±14	6382±71
	210~211	7	5995±30	4913 BC (85.3%) 4843 BC	4963 BC (100%) 4795 BC	6828±35	6829±84
	239~240	9	8255±30	7345 BC (49.7%) 7284 BC	7373 BC (91.9%) 7177 BC	9265±31	9225±98
	280~281	10	10235±35	10109 BC (70.6%) 9989 BC	10171 BC (100%) 9863 BC	11999±60	11967±154

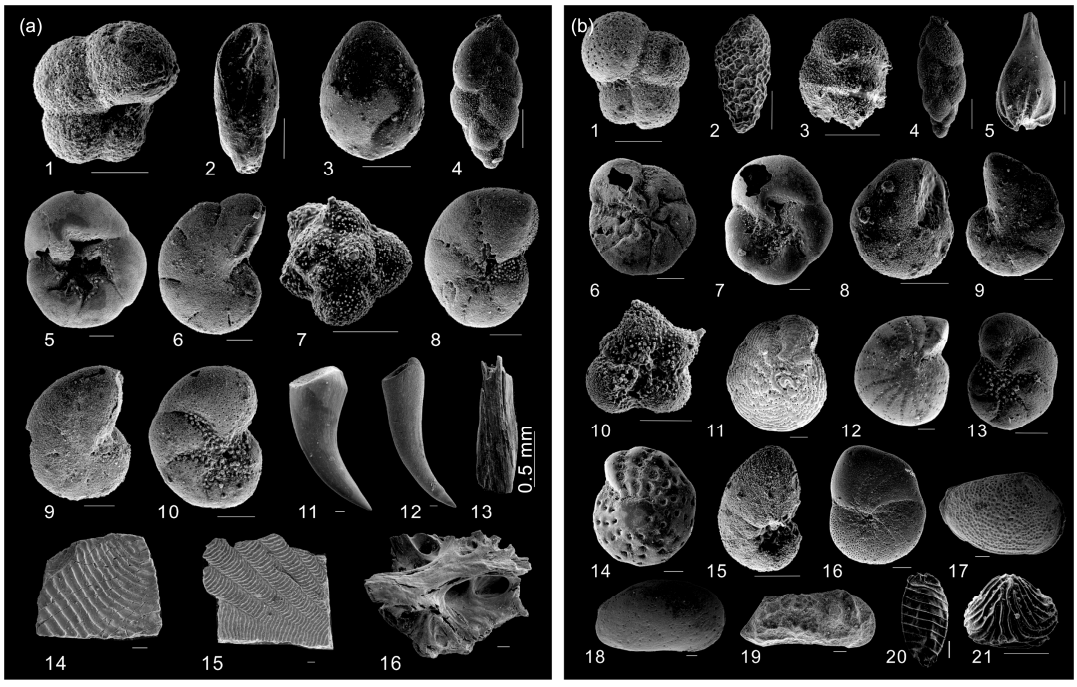


图 3 青墩和开庄遗址剖面中发现的微体化石. (a) 青墩遗址剖面中发现的浮游有孔虫(1)、底栖有孔虫(2~10)和动物骨屑(11~16)微体化石. (b) 开庄遗址剖面中发现的浮游有孔虫(1)、底栖有孔虫(2~17)、海相介形虫(17~19)、轮藻(20)和水蕨孢子(21)微体化石; 右图中标尺长 100 μm

Figure 3 Microfossils identified from the stratigraphic profiles at the Qingdun and Kaizhuang sites. (a) Microfossils of planktonic foraminifera (1), benthic foraminifera (2–10) and animal skeletal fragments (11–16). (b) Microfossils of planktonic foraminifera (1), benthic foraminifera (2–17), marine ostracoda (17–19), charophyta (20) and Ceratopteris thalictroides spore (21); the scaleplate is 100 μm long

或本身个体细小的成体所构成, 推测这些有孔虫是由潮流从外海搬运而来的异地分子. 而广盐类有孔虫属种的个体普遍较正常, 多数为原地生活的分子或遭受短距离的搬运. 因此, 推断青墩遗址海侵层段的沉积环境总体上可能为开放的潮间带, 因而有少量的浮游有孔虫和浅海底栖有孔虫随潮流进入, 与当地生活的广盐类和半咸水类有孔虫一起形成所见的化石群. 深度为452 cm样品中底栖有孔虫分异度及浮游有孔虫和浅海类有孔虫相对丰度均是该层段中最高的, 分别达23种和41.2%, 反映其沉积环境的海相性程度最高, 也即与开放海洋的联系程度最显著. 而该层段顶部样品(深度389 cm)中有孔虫群落全由广盐类和半咸水类组成, 缺失浮游有孔虫和浅海类底栖有孔虫, 并且底栖有孔虫的分异度最低(8种), 推测该层段为较封闭的潮上带半咸水沉积环境.

根据鉴定的有孔虫和介形虫组成上的差异(图4), 陶庄遗址剖面含海相微体古生物化石的地层分为两个层段(图S1和S2). 下部190~230 cm层段的有孔虫丰度和种数最高, 平均丰度为377.7枚/10 g, 平均种数为20.6种; 所含的浮游有孔虫和浅海类丰度较高, 平均丰度分别为25.0%和12.2%; 其中丰度最高的是*Hopkinsina pacifica*(太平洋霍氏虫), 平均丰度4.9%, 其余较多见的种, 按平均丰度依次为: *Nonionellina atlantica*(大西洋微九字虫, 3.0%), *Nonionella jacksonensis*(杰克逊小九字虫, 2.7%), *Epistominalla naraensis*(奈良小上口虫, 2.5%), *Schakoinella globosa*(球室刺房虫, 2.0%)和*Nonionellina decora*(优美微九字虫, 1.7%). 广盐类有孔虫属种较少, 见3属6种, 但多数种的丰度高, 平均为59.3%, 构成有孔虫群中的优势成分, 按平均丰度依次是: *Cribrononion subincertum*(亚易变筛九字虫, 22.3%), *Elphidium magellanicum*(缝裂希望虫, 19.8%), *Ammonia tepida*(暖水卷转虫, 10.8%)和*Ammonia convexidorsa*(凸背卷转虫, 6.9%). 同时, 出现较多的海相介形虫和海胆类棘刺, 其中浅海介形虫10属10种, 其中较常见的是*Neomonoceratina chenae*(陈氏新单角介), *Pontocythere*(海花介), *Sinocythere dongtaiensis*(东台中国花介)和*Cytheropteron*(翼花介)等. 上述这些属种在现代生活环境中要求正常盐度的海水, 广布于中国沿岸陆架浅海, 反映其沉积环境的海相性最强, 与外海的联系

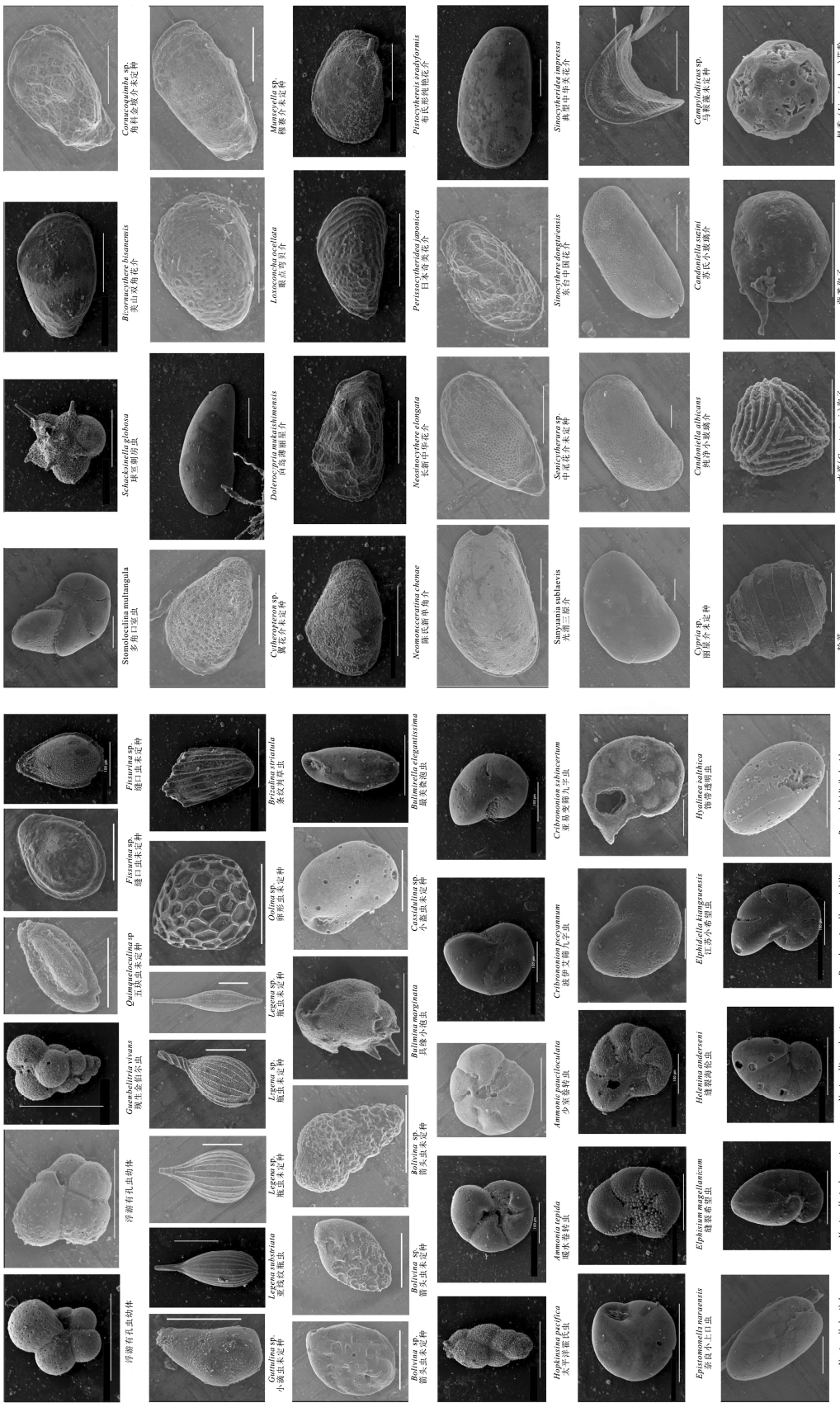


图 4 陶庄遗址剖面中发现的浮游有孔虫、底栖有孔虫和介形虫等微体化石

Figure 4 Microfossils of planktonic foraminifera, benthic foraminifera and ostracoda identified from the stratigraphic profile at the Taozhuang site

最强. 但是, 本层段也含少量陆相介形虫、水蕨孢子和真菌孢子等, 如陆相类介形虫*Candoniella albicans*(纯洁小玻璃介), *Candoniella suzini*(苏金小玻璃介)和*Eucypri* ssp.(真星介), 丰度较低, 为0.4~6.4瓣/10 g, 平均只有0.92瓣/10 g. 这些种的存在可因搬运作用发现在河口、边滩等过渡相沉积环境. 因而, 190~230 cm层段推测其沉积环境可能是接近河口的边滩或受河流影响的海湾边滩, 水体盐度低于正常海水但具较大变化的潮滩, 与东方的浅海存在开放性的联系, 从而有大量的浮游有孔虫和浅海底栖有孔虫、介形虫随潮流进入, 与当地生活的广盐类和半咸水类有孔虫和介形虫一起形成所见的各类生态属种混杂的化石群. 上部156~190 cm层段广盐类有孔虫丰度显著增加占绝对优势, 平均丰度达70.1%, 其中丰度最高的种为*Cribrononion subincertum*(亚易变筛九字虫), *Elphidium magellanicum*(缝裂希望虫)和*Ammonia tepida*(暖水卷转虫); 但是有孔虫总丰度和种数(179.9枚/10 g, 平均分异度16.2种)、浅海类底栖有孔虫和浮游有孔虫丰度(平均分别为20.0%和4.4%)、海相介形虫和海胆棘刺丰度(罕见, 仅3种)明显降低, 表明该层段沉积环境的海相性程度明显降低, 推测可能为更靠近河口的边滩沉积, 或封闭性较强的海湾边滩沉积. 至顶部74~156 cm层段, 鉴定样品中所含的微体生物化石主要为陆相的真菌孢子、水蕨孢子及枫香花粉和鱼骨碎片, 已为明显的陆相生物化石, 说明海水已经退出陶庄附近地区, 转变为陆相沉积环境.

从图3和表S2可见, 开庄遗址剖面底部2个样品中有孔虫属种数量最多(20~26种), 以*Ammonia tepida*, *Cribrononion subincertum*, *Elphidium hispidulum*(茸毛希望虫)等为主; 浅海类有孔虫相对丰度比上部其他样品高(9.3%~10.8%), 并且出现了较多的浮游有孔虫(3.3%~5.4%), 如抱球虫类, 而广盐类的丰度相应较低, 反映其海相性程度相对要高些. 出现较多浮游有孔虫表明其沉积环境可能为向浅海开放程度较强的潮间带. 分异度(或种数)方面、浅海类和浮游有孔虫的相对丰度在该层段均自底部向上逐步降低, 而广盐类相对丰度相应自下而上逐步增加, 反映了其沉积环境的海相性程度逐步降低, 以潮上-潮间带的沉积环境为主. 至该海侵层顶部样品(228~230 cm)分异度最低, 群落中全由广盐类和半咸水类构成, 浅海类有孔虫消失, 其海相性程度最弱, 推测沉积环境以潮上带半咸水为主. 此外, 海相介形虫化石数量在该层段也自底部向上逐步降低, 主要属种有*Loxoconcha ocelatta*(眼点弯贝介)和*Sinocytheridea impressa*(典型中华美花介)等, 其丰度在下部可达7.5~15.0瓣/10 g.

经鉴定骆驼墩遗址剖面第10层泥炭层中发现底栖有孔虫两种1属, 即: *Ammonia compressiuscula*(压扁卷转虫)和*Ammonia cff. sobrina*(近亲卷转虫相似种), 具体鉴定结果作者已有论文发表[18], 故本文不再赘述. 卷转虫[22]属广盐性, 是现代海岸潮滩边半咸水常见分子. 由地形可知, 海相类有孔虫是该区典型的异地埋藏分子, 可能是由海水上溯搬运至该区沉积而来; 由此推测在该地层沉积期间遗址区可能经历过海侵.

1.3 海相层分布时代和高程范围

综合对苏北里下河地区3个遗址地层的AMS^{14}C测年和海相微体古生物鉴定分析发现, 青墩遗址距地表389~489 cm (13.1~8.5 cal ka BP)为海相沉积地层, 且其地层沉积环境经历了开放的潮间带-半封闭的潮上带-陆相滨岸湖沼环境的变化过程; 陶庄遗址海相沉积地层距地表156~230 cm (12.6~9.2 cal ka BP), 并经历了潮下或潮间带-潮上带或河口边滩-陆相湖沼环境的变化过程; 而开庄遗址距地表228~390 cm (10.3~7.8 cal ka BP)亦为显著的海相沉积地层, 经历了向浅海开放程度较强的潮间带-潮上或潮间带-潮上带半咸水环境的变化过程. 上述分析结果表明, 在以海安青墩、东台陶庄和开庄遗址为中心的苏北里下河地区从早全新世初期至7.8 cal ka BP总体上为浅海或滨海沉积环境, 并且经历了明显的海退成陆过程. 这与前期众多学者[23~25]揭示的长江三角洲全新世海平面变化过程(即约9.0 cal ka BP位置大约在−20 m, 然后快速上升至约7.0 cal ka BP达到最高海面, 之后略有下降稳定在现今的位置)存在差异, 说明3个遗址所在的苏北里下河区域全新世初高海面及海退相比长江三角洲地区更早一些. 这应与全新世以来里下河地区东部潮成砂堤和岸外潮流沙脊群的发育有关. 青墩、陶庄和开庄地区的下伏地形整体为自西北向东南倾斜的坡形地貌, 且三处遗址所在处几乎为此坡形地貌的坡顶处[26~28]. 末次冰消期海侵, 海水从东部陆架首先侵入长江古河谷低洼处, 根据对青墩遗址所在的海安东南部沿南孔下部发育的滨海沼泽相沉积中埋深分别为25.6和25.1 m处^{14}C测年结果11780±370和11220±380 a BP(树轮校正年代分别

为13650±445和13080±352 cal a BP)显示, 在14.0~13.0 cal ka BP时海水已到达沿南孔位置[26,29,30]. 同时, 沿南孔滨海沼泽相沉积上部的河口湾沉积测年(埋深19.90 m, 10025±310 a BP, 树轮校正年代为11660±490 cal a BP)更发现在12.0~11.0 cal ka BP海安东部地区已成为河口湾环境[26,29,30]. 随着海面的进一步上升, 河口继续沿着古长江河谷向内陆迁移, 原来位于三仓-沿南一带的河口湾也随之向内迁移. HQ98孔处河口湾发育时代的AMS ^{14}C年代为9080±120 a BP(树轮校正年代为10294±142 cal a BP)[31], 说明河口湾在10.0 cal ka BP前后已迁移到黄桥一带. 而此时原来三仓-沿南一带因海面升高, 海洋性影响加强, 不断发育潮成砂体. 与此同时受外海潮流的作用, 这一时期开始在苏北形成以弶港为顶点的岸外潮流沙脊群[28,31~33], 这些岸外潮流沙脊群和海安东部三仓-沿南一带发育的潮成砂体可能共同限制了当时抵达海安周边地区的潮流能量. 由于作用于该区的潮流作用逐渐减弱, 潮流难以越过海安西北部的坡形地貌区, 造成3个遗址所在的苏北里下河区域不断发生海退成陆, 转变为滨岸环境. 前人根据对该地区系列钻孔序列的分析也发现[26~28], 末次冰消期以来的海相层呈SE-NW逐渐尖灭的楔形, 地层由滨海相、河口湾相、浅海相和潮滩相构成一个完整的海进-海退层序, 其中滨海相、河口湾相发育相对完全. 而后, 随着南部长江口河口砂坝发育及东部贝壳砂堤的发育[34,35], 显著阻隔了东部海水对研究区的影响, 遂从滨岸或滨海环境转变为陆相湖沼环境. 因此, 通过海相泥炭层、贝壳砂堤年代以及考古遗址分布等众多证据得出的苏北地区7.0 cal ka BP前的海岸线(大致北起连云港东, 经过灌云-灌南-阜宁羊寨-建湖西-盐城龙岗-兴化西-东台西, 南至海安沙岗, 折向泰州-扬州一线)在上述3个遗址区向东推进了60 km以上[36~40]. 对骆驼墩遗址地层的AMS ^{14}C测年和海相微体古生物鉴定则表明, 遗址距地表255~279 cm (12.0~9.2 cal ka BP)为显著的海相沉积地层, 但骆驼墩遗址位于晚更新世末至全新世初海侵的最西边, 海侵或受海侵影响时间较短, 遗址海相沉积地层较薄, 说明以宜兴骆驼墩遗址为中心的苏南太湖西部地区全新世初至9.2 cal ka BP可能经历过短暂的滨海沉积环境, 全新世的其余时期未受到海侵影响. 上述各遗址文化层AMS ^{14}C测年日历校正的结果与考古出土器物断代相一致(如陶庄遗址剖面第4层崧泽文化层测年结果为5790±40 cal a BP, 骆驼墩遗址剖面第2层西周春秋文化层测年结果为2078±75 cal a BP、第6和7层马家浜文化层测年结果分别为6382±71和6829±84 cal a BP等), 这也从侧面说明了AMS ^{14}C测年结果的可靠性, 海退成陆后各遗址所在区域才逐渐被古人所占据.

利用徕卡Viva GS08轻便型GNSS全球定位系统-连续运行参考站系统(GPS-CORS)与TPS702R全站仪相结合的方法测量4个遗址地层地表面的海拔高程, 而后计算出海相层的高程范围(图2). 其中, 青墩遗址海相层(距地表389~489 cm)的1985黄海高程为–0.65~–1.65 m、陶庄遗址海相层(距地表156~230 cm)的1985黄海高程为0.97~0.23 m、开庄遗址海相层(距地表228~390 cm)的1985黄海高程为0.03~–1.59 m、骆驼墩遗址海相层(距地表255~279 cm)的1985黄海高程为1.08~0.84 m. 可以看出, 这些遗址海相沉积地层分布的高程范围为海拔均不高于1985黄海高程1.08 m. 以上对遗址海相微体古生物地层的高分辨率测年和海拔高程高精度测量的研究, 不仅提高了该区全新世海面变化研究的分辨率, 也为今后寻找该区域新石器时代早期遗址提供了海拔高程和年代学方面的科学线索和依据.

2 苏州澄湖湖底古水井揭示的全新世低海面时代

2.1 古水井分布

澄湖, 又称陈湖或沉湖, 地处吴县、吴江、昆山三县市交界处, 属于太湖东部的阳澄淀泖湖荡平原区, 位于淀山湖西北, 北穿吴淞江与阳澄湖相通. 湖水面积为45 km^2, 长度为10.4 km, 最大宽度为6.8 km, 平均深度为1.83 m. 全湖略呈三角形, 湖区地势西部和西北部稍高, 南部和东南部稍低, 故湖面作西北-东南方向倾斜, 因此河流大多由西和西北方向注入湖泊, 经东和东南方向排出, 泻入淀山湖辗转入黄浦江. 江苏考古界近年在太湖地区澄湖、淀山湖和独墅湖湖底考古发掘中发现7~3 ka BP的古水井达数百口之多[41], 其中多数为良渚文化时期的水井, 古水井分布以海拔5 m以下的东太湖平原地区(即澄湖、淀山湖和独墅湖一带)最为密集(图1). 根据对苏州澄湖和独墅湖两处遗址古水井深度标高的初步研究发现[41,42], 崧泽文化时期其枯水期地下水位在–1.5~

–1.8 m之间；良渚文化时期枯水期地下水位最低低于–2.5 m. 苏州市博物馆考古部1974和2003年两次对面积6.6 km^{2}澄湖中发掘区面积仅占340000 m^{2}的湖底进行发掘，竟发现有古水井402口(图S3)，其中崧泽文化至宋代的水井就有219口，但对这些古水井与海面变化的关系始终未作过系统深入的探讨.

2.2 古水井的环境意义

前人研究表明[42~45]，太湖地区的古水井与地下水位以及井口标高与海面高度之间都有密切的关系. 根据对苏州澄湖湖底62处古水井井口和井底GPS-CORS系统的精确测量发现(图5)，崧泽文化时期(5.8~5.0 ka BP)、良渚文化时期(5.0~4.0 ka BP)、夏商周和战国时期，古水井的井口大都位于1985黄海高程0~–1 m之间，井底大都在–2~–3 m左右；在六朝和宋代古水井的井口曾低于–1 m，井底曾低于–4 m. 水井的深度可以反映出水井所在地的地下水位情况[42~45]，间接指示海面变化. 因此，古水井井口和井底标高证实了该区自新石器马家浜文化时期至宋代的大部分时间段并不存在有高过现代海面的高海面时期，而澄湖形成是在宋代或宋代之后.

对澄湖湖底102处灰坑顶部和底部GPS-CORS系统的精确测量亦证实了上述结果(图6). 在崧泽文化时期、良渚文化时期、夏商周和战国时期，灰坑顶部大都位于1985黄海高程–1~–2 m之间，井底大都在–2 m左右；而六朝和唐代灰坑顶部曾低于–1.5 m，灰坑底部曾低于–3 m. 澄湖中的灰坑遗迹时代亦从新石器一直延续到宋代. 上述发现结合前述海面变化考古地层记录的分析表明，江苏南部苏州地区在5.8 ka BP直至宋代的大部分时间段为低海面时期，苏州澄湖是在宋代以后才逐渐演变为湖泊的.

3 主要结论和问题

通过对江苏境内4处典型遗址中海相沉积地层及苏州澄湖湖底古水井的高分辨率年代学和高精度海拔高程测量研究，得出以下结论.

(1) 在该区考古遗址地层中，年代早于7.8 cal ka BP、1985黄海高程低于1.08 m的地层受全新世高海面的影响难以找到新石器早期的人类文化遗迹，人类遗址可能主要分布在高于1985黄海高程1.08 m以上的地区，江苏最新发现年代在7.8 cal ka BP之前的顺山集遗址分布于海拔32 m处就是这一推论的证明. 要弄清该区全新世海面变化对人类影响的过程，还需要对更多遗址海相层进行高精度测年和统一标高的测量.

(2) 根据对苏州澄湖湖底62处古水井和102处灰坑顶部及底部GPS-CORS系统的测量发现，在崧泽文化和良渚文化时期(5.8~4 ka BP)直至夏商周和战国时期，澄湖湖底古水井井口和灰坑顶部大都位于

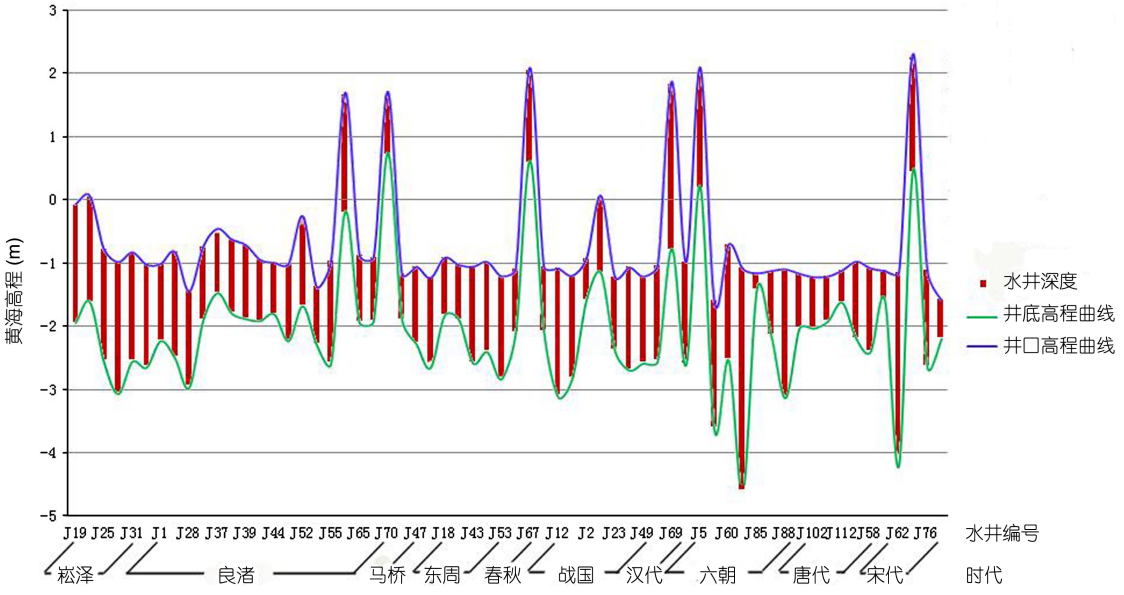


图 5 澄湖湖底 62 处古水井井口和井底 1985 黄海高程分布

Figure 5 Elevation distribution of 1985 Yellow Sea Datum at the mouth and bottom of 62 ancient wells under Chenghu Lake

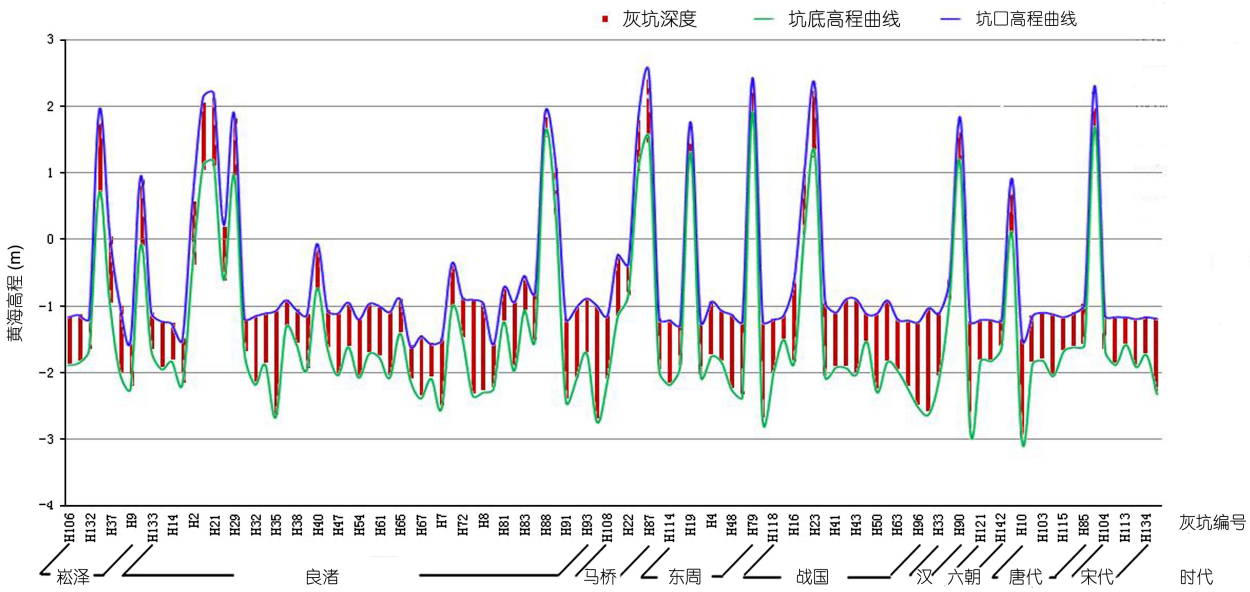


图 6 澄湖湖底 102 处灰坑顶部和底部 1985 黄海高程分布

Figure 6 Elevation distribution of 1985 Yellow Sea Datum at the top and bottom of 102 ash pits under Chenghu Lake

1985黄海高程0~−2 m之间, 井底和灰坑底部多在−3 m左右; 在六朝至宋代古水井的井口和灰坑顶部曾低于−1 m, 古水井的井底和灰坑底部曾低于−4 m, 上述发现结合侵蚀基准面(海面)的分析表明, 苏州地区在5.8 ka BP直至宋代的大部分时间段为低海面时期, 苏州澄湖是在宋代以后才逐渐演变为湖泊的.

致谢 感谢南京大学地理与海洋科学学院马春梅副教授、王慧麟副教授协助野外调查. 华东师范大学资源与环境科学学院戴雪荣副教授提供了部分数据, 在此一并致谢.

参考文献

1 Smith D E, Harrison S, Firth C R, et al. The early Holocene sea level rise. Quat Sci Rev, 2011, 30: 1846–1860
2 Xie Z R, Yuan L W, Lü G N, et al. Sea Level-ground System Change: Reconstruction, Monitoring and Forecast (in Chinese). Beijing: Science Press, 2012 [谢志仁, 袁林旺, 闾国年, 等. 海面-地面系统变化: 重建·监测·预估. 北京: 科学出版社, 2012]
3 Turney C S M, Brown H. Catastrophic early Holocene sea level rise, human migration and the Neolithic transition in Europe. Quat Sci Rev, 2007, 26: 2036–2041
4 Forzoni A, Storms J E A, Reimann T, et al. Non-linear response of the Golo River system, Corsica, France, to Late Quaternary climatic and sea level variations. Quat Sci Rev, 2015, 121: 11–27
5 Zhu C, Zheng C G, Ma C M, et al. On the Holocene sea-level highstand along the Yangtze Delta and Ningshao Plain, East China. Chin Sci Bull, 2003, 48: 2672–2683 [朱诚, 郑朝贵, 马春梅, 等. 对长江三角洲和宁绍平原一万年来高海面问题的新认识. 科学通报, 2003, 48: 2428–2438]
6 Medina-Elizalde M, Rohling E J. Collapse of classic Maya civilization related to modest reduction in precipitation. Science, 2012, 335: 956–959
7 Zong Y, Chen Z, Innes J B, et al. Fire and flood management of coastal swamp enabled first rice paddy cultivation in east China. Nature, 2007, 449: 459–462
8 Chen Z Y, Zong Y Q, Wang Z H, et al. Migration pattern of Neolithic settlements on the abandoned Yellow and Yangtze River deltas of China. Quat Res, 2008, 70: 301–314
9 Zhao X T, Wang S H. Sea level change and its relationship with climate change and coast evolution of Holocene in China (in Chinese). In: Shi Y F, Kong Z C, ed. The Climates and Environments of Holocene Megathermal in China (in Chinese). Beijing: China Ocean Press,

1992. 111–120 [赵希涛, 王绍鸿. 中国全新世海面变化及其与气候变迁和海岸演化的关系. 见: 施雅风, 孔昭宸. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992. 111–120]
10 Zhao X T, Li B, Lu G Y, et al. Discovery of Holocene storm deposit and coastal dune and their significance in the Xiyuan of Funing, Jiangsu (in Chinese). Sci China Ser B, 1992, 22: 994–1001 [赵希涛, 李波, 鲁刚毅, 等. 江苏阜宁西园全新世风暴沉积与海岸沙丘的发现及其意义. 中国科学 B 辑, 1992, 22: 994–1001]
11 Zhao X T, Tang L Y, Shen C M, et al. Holocene climatic variation and sea level change recorded by the Qingfeng Profile in Jianhu, Jiangsu (in Chinese). Acta Oceanol Sin, 1994, 16: 78–88 [赵希涛, 唐领余, 沈才明, 等. 江苏建湖庆丰剖面全新世气候变迁和海面变化. 海洋学报, 1994, 16: 78–88]
12 Yan Q S, Xu S Y, Chen Y F, et al. Holocene Deposition and Geomorphology Research of the Subei Plain (in Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1993. 33–71 [严钦尚, 许世远, 陈友飞, 等. 苏北平原全新世沉积与地貌研究. 上海: 上海科学技术出版社, 1993. 33–71]
13 Yang H R, Xie Z R. Sea-level changes along the east coast of China over the last 20000 years (in Chinese). Oceanol Limnol Sin, 1984, 15: 1–13 [杨怀仁, 谢志仁. 中国东部近 20000 年来的气候波动与海面升降运动. 海洋与湖沼, 1984, 15: 1–13]
14 Wang F B. Buried shell bank and sea level change since the late Pleistocene in the west bank of Haizhou Bay (in Chinese). In: Chinese Association for Quaternary Research, Chinese Society of Oceanography. Academic Symposium Proceedings of Chinese Quaternary Coastline (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1985. 146–151 [王富葆. 海州湾西岸埋藏贝壳堤与晚更新世以来的海面变化. 见: 中国第四纪研究委员会, 中国海洋学会. 中国第四纪海岸线学术讨论会论文集. 北京: 海洋出版社, 1985. 146–151]
15 Shao X S. The research on the transgression sediment since Holocene in Jintan, Jiangsu (in Chinese). In: Yan Q S, Xu S Y, et al., eds. The Research of Modern Sediment in the Yangtze Delta (in Chinese). Shanghai: East China Normal University Press, 1987. 116–125 [邵虚生. 江苏金坛全新世海侵沉积层的研究. 见: 严钦尚, 许世远, 等. 长江三角洲现代沉积研究. 上海: 华东师范大学出版社, 1987. 116–125]
16 Yue J, Dong Y, Zhang B H, et al. A few of barrier sand-bars on the west coast of Bohai Bay (in Chinese). Acta Geol Sin, 2012, 86: 522–534 [岳军, Dong Y, 张宝华, 等. 渤海湾西岸的几道贝壳堤. 地质学报, 2012, 86: 522–534]
17 Zhang Q, Zhu C, Jiang T, et al. Environmental archaeological study on the Qingdun site, Hai'an, Jiangsu Province, during the Neolithic cultural period (in Chinese). Geogr Res, 2004, 23: 513–520 [张强, 朱诚, 姜彤, 等. 江苏海安青墩地区新石器时代环境考古. 地理研究, 2004, 23: 513–520]
18 Li L, Zhu C, Lin L G, et al. Evidence for marine transgression between 7500–5400 BC at the Luotuodun Site in Yixing, Jiangsu Province. J Geogr Sci, 2009, 19: 671–680
19 Reimer P J, Bard E, Bayliss A, et al. IntCal13 and MARINE 13 radiocarbon age calibration curves 0–50000 years cal BP. Radiocarbon, 2013, 55: 1869–1887
20 Stuiver M, Reimer P J, Bard E, et al. INTCAL98 Radiocarbon age calibration 24000–0 cal BP. Radiocarbon, 1998, 40: 1041–1083
21 Li K F. Study on Holocene regression in Taozhuang site and Qingdun site, North Jiangsu Province (in Chinese). Dissertation for Doctoral Degree. Nanjing: Nanjing University, 2014. 5 [李开封. 苏北陶庄和青墩遗址全新世海退记录研究. 博士学位论文. 南京: 南京大学, 2014. 5]
22 Wang P X, Zhang J J, Zhao Q H, et al. Foraminifera and Ostracoda in the Bottom Sediment of East China Sea (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 1988 [汪品先, 章纪军, 赵泉鸿, 等. 东海底质中的有孔虫和介形虫. 北京: 海洋出版社, 1988]
23 Yan Q S, Hong X Q. Holocene transgression in the south plain of the Yangtze Delta (in Chinese). Acta Oceanol Sin, 1987, 9: 744–752 [严钦尚, 洪雪晴. 长江三角洲南部平原全新世海侵问题. 海洋学报, 1987, 9: 744–752]
24 Chen Z, Stanley D J. Sea-level rise on eastern China's Yangtze delta. J Coastal Res, 1998, 14: 360–366
25 Wang Z, Zhuang C, Saito Y, et al. Early mid-Holocene sea-level change and coastal environmental response on the southern Yangtze delta plain, China: Implications for the rise of Neolithic culture. Quat Sci Rev, 2012, 35: 51–62
26 Li C X, Wang P X. Estuary Stratigraphy Research of the Yangtze River During the Late Quaternary (in Chinese). Beijing: Science Press, 1998 [李从先, 汪品先. 长江晚第四纪河口地层学研究. 北京: 科学出版社, 1998]
27 Li C X, Zhang J Q, Yang S Y, et al. Characteristic and paleoenvironmental evolution of subaerial tidal sand body in Subei coastal plain. Sci China Ser D-Earth Sci, 1999, 42: 52–60 [李从先, 张家强, 杨守业, 等. 苏北陆上潮成砂体的特征和古环境演化. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1998, 28: 418–424]
28 Feng J S, Sun L, Ge Y, et al. On shallow sediment properties and paleogeographic evolvement in Xinghua-Taizhou, Jiangsu (in Chinese). Jiangsu Geol, 2007, 31: 101–107 [冯金顺, 孙磊, 葛云, 等. 江苏省里下河(兴化-泰州)地区浅表沉积物特征及古地理环境演变. 江苏地质, 2007, 31: 101–107]
29 School of Geographic Sciences, East China Normal University, Institute of Comparing Sedimentary Research, East China Normal University. Shan Hai Ming Zu Ji——Festschrift of Prof. Yan Qinshang (in Chinese). Beijing: Science Press, 2011 [华东师范大学地理系, 华东师范大学比较沉积研究所. 山海铭足迹——严钦尚教授纪念文集. 北京: 科学出版社, 2011]
30 Li C X, Chen Q Q, Fan D D, et al. Palaeogeography and palaeoenvironment in Changjiang Delta since last glaciation (in Chinese). J Palaeogeogr, 1999, 1: 12–25 [李从先, 陈庆强, 范代读, 等. 末次盛冰期以来长江三角洲地区的沉积相和古地理. 古地理学报, 1999, 1: 12–25]

31 Hori K, Satio Y, Zhao Q H, et al. Sedimentary facies of the tide-dominated paleo-Changjiang (Yangtze) estuary during the last transgression. Marine Geol, 2001, 177: 331–351

32 Li C Z, Li B C. Studies on the formation of Subei Sand Cays (in Chinese). Oceanol Limnol Sin, 1981, 12: 321–333 [李成治, 李本川. 苏北沿海暗沙成因研究. 海洋与湖沼, 1981, 12: 321–333]

33 Wang J, Lü G N, Lin H, et al. Developing process and mechanism of tidal sand ridges off the coast of Jiangsu Province (in Chinese). J Nanjing Normal Univ (Nat Sci), 1998, 21: 95–108 [王建, 闾国年, 林珲, 等. 江苏岸外潮流沙脊群形成的过程与机制. 南京师范大学报(自然科学版), 1998, 21: 95–108]

34 Delta Research Group of Department of Marine Geology, Tongji University. Formation and development of Yangtze Delta since the Holocene (in Chinese). Chin Sci Bull, 1978, 23: 310–313 [同济大学海洋地质系三角洲科研组. 全新世长江三角洲的形成和发育. 科学通报, 1978, 23: 310–313]

35 Wang W M, Shu J W, Chen W, et al. Holocene environmental changes and human impact in the Yangtze River Delta area, East China (in Chinese). Quat Sci, 2010, 30: 233–244 [王伟铭, 舒军武, 陈炜, 等. 长江三角洲地区全新世环境变化与人类活动的影响. 第四纪研究, 2010, 30: 233–244]

36 Gu W W, Zhu C. Distribution feature of Neolithic sites in North Jiangsu Province and environmental archaeological research on its relation with environmental variation (in Chinese). Sci Geogr Sin, 2005, 25: 239–243 [顾维玮, 朱诚. 苏北地区新石器时代考古遗址分布特征及其与环境演变关系的研究. 地理科学, 2005, 25: 239–243]

37 Zhu C, Cheng P, Lu C C, et al. Palaeocoastline evolution law of Yangtze River Delta and coastal area of north Jiangsu Province since 7000 a BP (in Chinese). Sci Geogr Sin, 1996, 16: 207–213 [朱诚, 程鹏, 卢春成, 等. 长江三角洲及苏北沿海地区7000年以来海岸线演变规律分析. 地理科学, 1996, 16: 207–213]

38 Yang H R. Sea-level changes in East China over the past 20000 years. In: Whyte R O, ed. The Evolution of the East Asian Environment Vol. 1, Geology and Palaeoclimatology. Hong Kong: University of Hong Kong, 1984. 288–308

39 Gu J Y, Yan Q S, Yu Z Y. The shell sand bar of coastal plain in the central of Subei area (in Chinese). In: Yan Q S, Xu S Y, et al., eds. The Research of Modern Sediment in the Yangtze Delta. Shanghai: East China Normal University Press, 1987. 49–58 [顾家裕, 严钦尚, 虞志英. 苏北中部滨海平原贝壳砂堤. 见: 严钦尚, 许世远, 等. 长江三角洲现代沉积研究. 上海: 华东师范大学出版社, 1987. 49–58]

40 Cao Q Y. The ^{14}C chronology and land-sea changes since the late Pleistocene of Subei coastal stratigraphy (in Chinese). In: The ^{14}C chronological Group of Chinese Association for Quaternary Research. Proceedings of Quaternary glacier and Quaternary Geology (The Fourth Series). Beijing: Geological Publishing House, 1987. 201–207 [曹琼英. 苏北沿海地层的 ^{14}C 年代与晚更新世以来的海陆变迁. 见: 中国第四纪研究委员会碳 14 年代学组. 第四纪冰川与第四纪地质论文集(第四辑). 北京: 地质出版社, 1987. 201–207]

41 Suzhou Museum. New Discovery of Cultural Relics and Archaeology in Suzhou (in Chinese). Suzhou: Guwuxuan Publishing House, 2007. 50–150 [苏州博物馆. 苏州文物考古新发现. 苏州: 古吴轩出版社, 2007. 50–150]

42 Zhu Q. Ancient wells since 7 ka BP and their environmental significance in the Taihu Lake area (in Chinese). Dissertation for Master Degree. Nanjing: Nanjing University, 2009. 2 [朱青. 太湖地区 7 ka BP 以来的古水井及其环境意义. 硕士学位论文. 南京: 南京大学, 2009. 2]

43 Zhu C, Wu L, Li L, et al. Research progress on Holocene environmental archaeology in the Yangtze River Valley, China (in Chinese). Acta Geogr Sin, 2014, 69: 1268–1283 [朱诚, 吴立, 李兰, 等. 长江流域全新世环境考古研究进展. 地理学报, 2014, 69: 1268–1283]

44 Shen H Y, Zhu C. Relationship between the ancient wells and sea level fluctuation from East Han to Ming Dynasty in Yancheng area (in Chinese). Marine Geol Lett, 2004, 20: 25–29 [申洪源, 朱诚. 盐城地区东汉至明代古水井变化与海面波动. 海洋地质动态, 2004, 20: 25–29]

45 Shi W, Ma C M, Zhu C, et al. Analysis of stratigraphy on multi-profiles in the Taihu Lake region and paleoenvironmental events in the Liangzhu culture epoch (in Chinese). Geogr Res, 2008, 27: 1129–1138 [史威, 马春梅, 朱诚, 等. 太湖地区多剖面地层学分析与良渚期环境事件. 地理研究, 2008, 27: 1129–1138]

补充材料

表 **S1** 青墩遗址剖面微体化石统计表

表 **S2** 开庄遗址剖面微体化石统计表

图 **S1** 陶庄遗址剖面下部地层有孔虫分布

图 **S2** 陶庄遗址剖面下部地层介形虫等其他微体生物化石分布

图 **S3** 澄湖湖底考古发掘区发现的部分古水井

本文以上补充材料见网络版 csb.scichina.com. 补充材料为作者提供的原始数据, 作者对其学术质量和内容负责.

Recognition of sea-level change during the Neolithic period in the Jiangsu Area, East China

ZHU Cheng[1], WU Li[2], LI Lan[3], ZHAO QuanHong[4], ZHANG WenQing[5], LI KaiFeng[1], LI Bing[1], TAN Yan[1], WANG KunHua[1], JIA TianJiao[1], GUO TianHong[1], LIN LiuGen[6], Ding JinLong[7], WANG ZiJian[8] & HE HanSheng[9]

[1] *School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210046, China;*
[2] *College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241002, China;*
[3] *School of History & Culture, Sichuan University, Chengdu 610064, China;*
[4] *State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China;*
[5] *Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, Baoding 071051, China;*
[6] *Jiangsu Provincial Institute of Archaeology, Nanjing Museum, Nanjing 210016, China;*
[7] *Suzhou Institute of Archaeology, Suzhou 215005, China;*
[8] *Haian Museum, Haian 226600, China;*
[9] *Zhenjiang Museum, Zhenjiang 212002, China*

Based on the detailed analyses, multi-proxies such as AMS^{14}C dating, elevation measurements with GPS-CORS, and the identification of marine micropaleontology are used to research the archaeological stratums archived in the Qingdun site of Haian, the Taozhuang site and Kaizhuang site of Dongtai, and the Luotuodun site of Yixing, respectively. The results show that the depth of 389–489 cm (13.1–8.5 cal ka BP, 1985 Yellow Sea Datum −0.65–1.65 m) of Qingdun site, the depth of 156–230 cm (12.6–9.2 cal ka BP, 1985 Yellow Sea Datum 0.97–0.23 m) of Taozhuang site, the depth of 228–390 cm (10.3–7.8 cal ka BP, 1985 Yellow Sea Datum 0.03–1.59 m) of Kaizhaung site, and the depth of 255–279 cm (12.0–9.2 cal ka BP, 1985 Yellow Sea Datum 1.08–1.84 m) of Qingdun site are significant marine sedimentary strata. These indicate that there was still a shallow sea sedimentary environment from the beginning of the Holocene to 7.8 cal ka BP in the region of Haian and Dongtai in north Jiangsu. Meanwhile, there was also a shallow sea environment from the beginning of the Holocene to 9.2 cal ka BP to the west of Taihu Lake in south Jiangsu. These research findings not only improve the resolution of Holocene sea level changes, but also provide scientific clues and evidence for searching the early Neolithic sites in Jiangsu. In addition, the elevations of 62 ancient wells and 102 ash pits under the Chenghu Lake of Suzhou were measured using the GPS-CORS. These measured data suggest that in the Songze cultural period, the Liangzhu cultural period, the Xia-Shang-Zhou dynasties and the Warring States period, the 1985 Yellow Sea Datum of the top of the wells and ash pits are mostly in between 0–2 m, and their bottom elevations are mostly around −3 m. In the six dynasties and the Song Dynasty, some 1985 Yellow Sea Datum of the top of the wells and ash pits are lower than −1 m, while some bottom elevations are lower than −4 m. This evidence demonstrates that the forming age of Chenghu Lake in Suzhou is in the period after the Song Dynasty.

Jiangsu, Neolithic period, sea-level change, environmental archaeology

doi: 10.1360/N972015-00713