

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.01.002

引用格式:蒋仁,曾剑威,刘凯,等.江苏洋口港地区埋藏古潮成砂脊年代学特征及古环境意义[J].华东地质,2019,40(1):11-18.

江苏洋口港地区埋藏古潮成砂脊年代学特征及古环境意义

蒋仁,曾剑威,刘凯,劳金秀,于俊杰,彭博,赵玲,李长波

(中国地质调查局南京地质调查中心,南京 210016)

摘要:江苏如东县洋口港地区普遍发育末次冰盛期(MIS 2)“第一硬粘土层”。全新世早期,该区暴露侵蚀,仅局部地区发育潮汐水道。全新世中期(7 000 a B.P.)以来,在最大海侵作用影响下,研究区大部分地区以潮坪沉积为主;高海平面时期(5 220 a B.P.),研究区大部分地区处于水下沉积环境;随着海平面下降,北部地区发育古潮成砂体,属于滨海潮坪—潮成砂脊沉积体系。根据地层沉积特征,识别出4期埋藏古潮成砂脊。地层 AMS ¹⁴C 年龄表明,4期砂脊是依次在5 220~1 000 a B.P.沉积形成的,反映了潮汐动力作用下古潮成砂脊的动态演化过程。

关键词:潮成砂脊;岩相古地理;全新世海侵;洋口港;江苏

中图分类号:P736.21⁺2; P534.63

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2019)01-011-08

洋口港地区位于江苏省如东县东北部,东临黄海,是长江三角洲地区发展国际贸易的良港之一。港口及临港工业区不仅在如东县经济发展中具有重要地位,也是江苏省实施沿海开发战略的重点开发深水海港之一。以琼港为顶点的现代辐射沙洲群位于南黄海西南部地区,南北长 200 km,东西宽 100 km,面积约 20 000 km²[1]。陆域以东台为顶点的埋藏古砂体与现代潮流沙洲具有明显的成因联系[2],形成于全新世中—晚期海退层序[3],是低海平面古长江在苏北入海时的堆积体受辐合潮波改造而成[4],受辐聚辐散的古潮流场控制[5]。现代辐射沙洲发育大量潮汐通道,是洋口港的出入海航道。现代辐射沙洲地质环境演化及发展趋势主要受南黄海沿岸流及潮汐作用控制,潮道的变化影响港口航道水动力条件及海岸线的稳定性。前人研究主要针对区域埋藏砂体的空间分布、沉积结构、形成时代[6-7]及与砂体相关的地质环境[8],或单孔中埋藏砂体的物质组成及来源[9]等方面,尚未针对局部区域进行重点分析。

本文以如东县洋口港地区地质钻探资料为基础,从岩石地层学入手,在地层年代的约束下,利用层序地层学原理和方法对全新世地层进行划分与对比,分析自末次冰盛期以来,不同时期的岩相古地理演化特征,探讨埋藏古潮成砂脊的沉积特征、形成时代及不同划分期次的特点。

1 地质概况

研究区位于南黄海内陆架陆缘地区、长江三角洲北翼(图 1),地貌上属长江三角洲苏北滨海平原和长江下游冲积平原过渡区,自西向东由陆向海地形微倾。区内基底断裂活动频繁,其中印支期和燕山期发生褶皱和断裂活动,表现为 NE 向复背斜和复向斜,并伴有逆断层,形成了一系列由南向北的推覆构造[10]。区内 NE 向金坛—如皋断裂(江南断裂北东延伸部分)控制该区基底构造格架。新生代以来,NW 向蹲门口—洋口港断裂活动较强烈,影响新生代地层沉积,同时伴有频繁的地震活动[11]。

新近纪以来,长江三角洲北翼是以苏北地区为

* 收稿日期:2018-02-10 修订日期:2018-05-12 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“长三角覆盖区 1:5 万填图试点(编号:DD20160063)”项目资助。

第一作者简介:蒋仁,1981 年生,男,助理研究员,主要从事基础地质与第四纪地质研究工作。

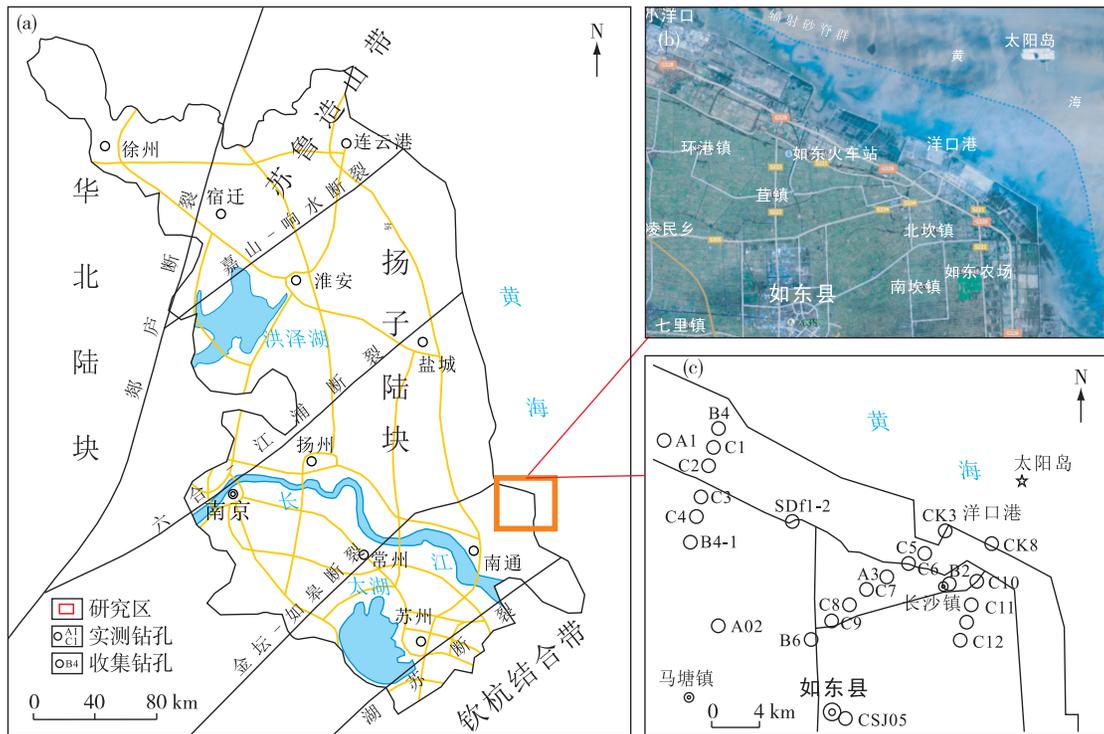


图1 研究区构造背景(a)、地理位置(b)及钻孔位置(c)示意图

Fig. 1 Tectonic background (a), geographical location (b) and drilling holes distribution (c) of the study area

中心的巨大沉积盆地(苏北盆地),向东延伸至南黄海,其中研究区以北的东台地区为沉降中心之一,沉积厚度可达1 400 m以上^[12]。

第四纪以来,小洋口—洋口港一带为苏北地区沉降中心之一,第四系厚度达300 m以上^[13];在第四纪冰期、间冰期反复交替的气候背景下,与其他被动大陆边缘类似^[14],该区沉积主要受海平面升降与古河道变迁的影响^[15-17]。

2 全新世地层层序与沉积特征

围绕埋藏古潮成砂脊分布区,垂直于现代海岸线,沿NE—SW向布设3条勘探线,共实施12个50 m的浅钻,结合收集的钻孔资料进行区域对比。

根据沉积物岩性组合和沉积结构,洋口港地区全新统相当于海洋氧同位素 MIS 1 阶段的如东组,可划分下、中、上3段:下段为灰、深灰色粉砂与薄层粘土互层,为潮坪沉积;中段为深灰、灰黄色粉细砂,底部发育冲刷面,属潮成砂脊沉积体系;上段为灰黄、灰褐色粘土质粉砂、粉砂质粘土,是近千年来逐渐成陆过程中形成的。全新世地层层序总体表现在末次冰期 MIS 2 阶段或末次盛冰期 LGM 以来

海平面上升中,由陆相向滨—浅海相转变,末期在人类活动影响下,相对海平面逐渐下降的成陆过程。

以 C9 钻孔为例(图 2),其全新世地层层序较完整,古砂脊发育较齐全。该钻孔位于如东县洋口港西南侧,孔深 46.0 m,其中埋深 26.49 m 以浅为全新世地层,剖面岩性如下。

全新统

如东组(Qhr) 26.49 m

上段(Qhr³):黄褐色粘土与粉砂互层 3.60 m

(14)灰褐色素填土。 0.33 m

(13)黄褐色、深灰色粉砂与含粉砂粘土互层,水平层理,局部夹灰黄色细砂透镜体,厚约 1cm;上部见铁锰浸染斑块,属泛滥平原沉积。 3.27 m

中段(Qhr²):黄灰色粉细砂与灰褐色粘土互层

16.40 m

(12)灰黑色、黄灰色粉砂、粉—细砂,略显水平层理,局部含泥质条带。 7.8 m

(11)灰黑色粉砂与灰褐色粘土互层,水平层理,粉砂层厚约 10 cm,粘土层厚约 2 cm。 0.45 m

(10)黄灰色粉—细砂,略显水平层理,上部细砂含量略高。 1.49 m

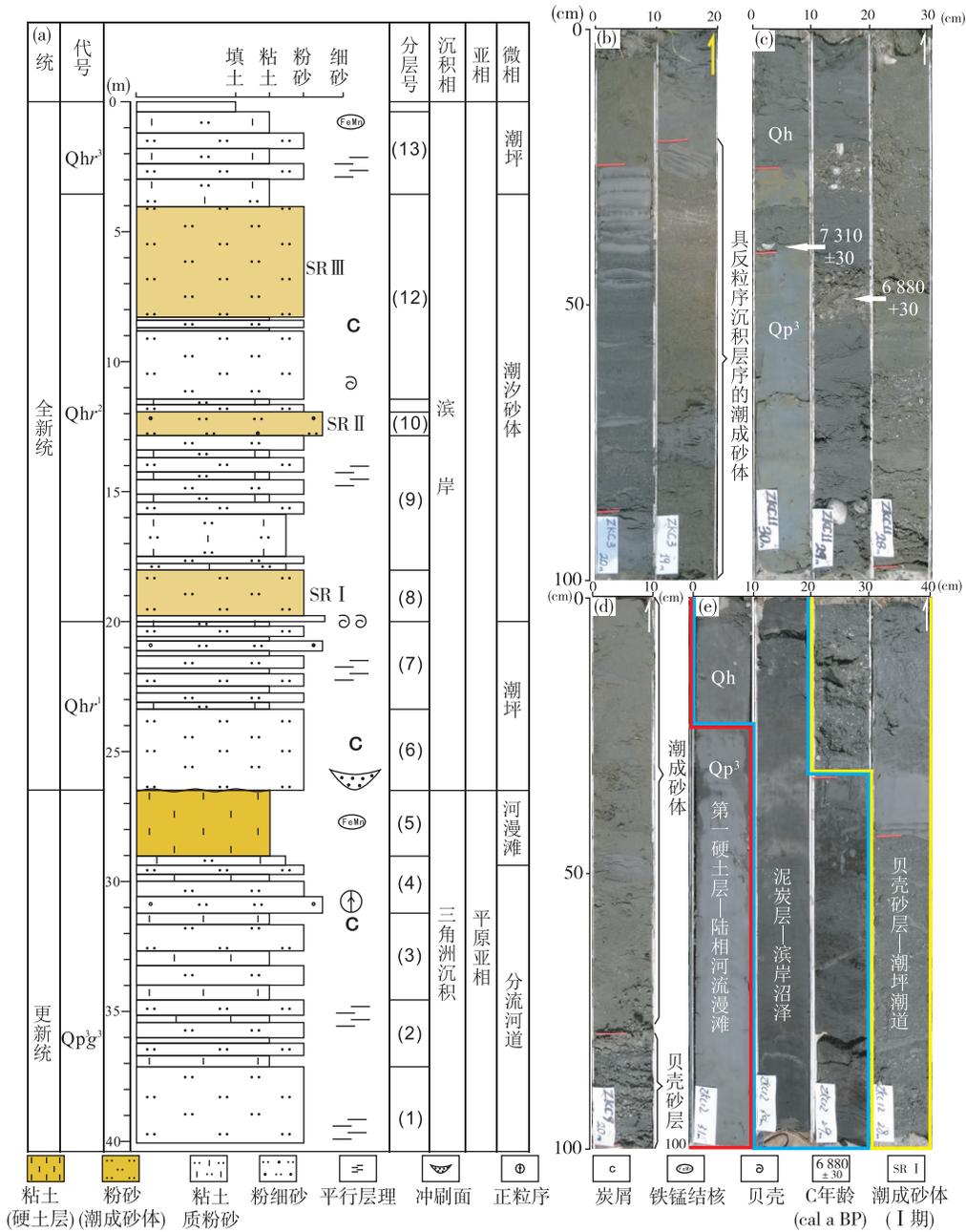


图 2 C9 钻孔柱状图(a)及主要沉积特征(b, C3 钻孔;c, C11 钻孔;d, C9 钻孔;e, C12 钻孔)

Fig. 2 Stratigraphic column (a) of borehole C9 and main sedimentary features (photos b, c, d and e) of boreholes C3, C11, C9 and C12

(9)灰黑色粉砂与灰褐色含粉砂粘土互层,水平层理,单层厚约 1~2 cm。 4.66 m

(8)黄灰色粉砂,略显水平层理,局部夹厚约 2 cm的粘土透镜体,底部为厚 20 cm 的贝壳层,下伏地层顶部具微冲刷面。 2.0 m

下段(Qhr¹):灰褐色粘土与深灰色粉砂互层 6.49 m

(7)灰褐色粘土与灰黑色粉砂互层,具水平层理。 3.42 m

(6)深灰色粉砂夹薄层状灰褐色粘土,水平层理,24.4m 及 26.4 m 处见厚约 1 cm 炭屑层。与下伏层岩性突变,粉砂层对下伏粘土层微冲刷,二者呈不整合接触。 3.07 m

.....不整合.....

上更新统

溇湖组(Qp^{3g}) >19.51 m

(5)顶部灰褐色、中下部黄褐色粘土、粉砂质粘土,含细小铁锰质结核和铁染斑点,中部见灰绿色浸染条带。 2.51 m

(4)为一套向上逐渐变细的旋回,下部为灰黑色粉—细砂,向上渐变为粉砂,中部为含粘土粉砂与粉砂互层,上部为含粉砂粘土与粉砂互层,顶部为粉砂质粘土。 2.27 m

(3)灰褐色含粉砂粘土夹深灰色粉砂,顶、底粉砂含量较高,见水平层理,顶部见厚0.2 cm炭屑层。 3.36 m

(2)深灰色粉砂与灰褐色含粉砂粘土互层,水平层理;下部含少量细砂。 2.49 m

(1)深灰色粉砂、粉—细砂,略显水平层理。含少量细砂,局部细砂中含少量贝壳碎片,砂以石英砂为主,未见底。 8.88 m

埋深26.49~29.00 m黄褐色粘土、粉砂质粘土层,是长江三角洲地区末次冰期普遍发育的“第一硬粘土层”,也是划分更新世与全新世地层的标志层,其形成于晚更新世晚期低海平面时期(13~11 ka B.P.)^[18]。“第一硬粘土层”上覆粉砂、粘土层为全新世地层,根据沉积物岩性及沉积微相特征可分3段,对应区域如东组下段、中段和上段。上段、下段均属滨海潮坪沉积环境的砂、泥互层;中段为黄灰色粉、砂夹薄层粘土,底部发育冲刷面,属古潮成砂沉积体系。全新世地层总体层序属海侵体系域的潮汐作用序列,具双向沉积旋回特征;下部沉积物呈“下细上粗”的反粒序沉积序列,上部沉积物呈“下粗上细”的正粒序沉积序列。

3 ¹⁴C年代学特征

全新世地层绝对年龄的测定采用AMS ¹⁴C测年。考虑泥炭和腐殖泥易受上游较老沉积物、河流冲刷和年轻沉积物的污染,故尽量采集上部30 m以浅全新世地层中发育的较稳定的原生炭屑层样品,如C12钻孔(图2),对缺失稳定炭屑层的层位选取贝壳砂层代替。

在北京大学文博与考古学院¹⁴C加速器测年实验室完成样品测试。AMS ¹⁴C测定值以5 568 a为半衰期计年,使用国际¹⁴C委员会提供的CALIB 4.4校正程序^[19]对测试数据进行校正(表1)。对测

试结果进行必要的筛选,若下部年龄值较上部年龄值小,则可能为搬运再沉积碳,取下部较小年龄值而舍弃上部年龄数据。

表1 钻孔AMS¹⁴C测年结果

Table 1 AMS¹⁴C dating results of core samples

| 样品编号 | 深度/m | 测年材料 | ¹⁴ C/a B.P. | 误差/a | 评述 |
|---------|-------|-------|------------------------|------|------|
| ZKC1-1 | 24.55 | 炭屑 | 5 080 | 30 | 可信 |
| ZKC1-2 | 26.16 | 炭屑 | 5 220 | 30 | 可信 |
| ZKC11-5 | 28.50 | 中日立蛤 | 6 880 | 30 | 基本可信 |
| ZKC11-6 | 28.85 | 文蛤 | 7 430 | 30 | 舍弃 |
| ZKC11-7 | 29.40 | 文蛤碎屑 | 7 310 | 30 | 基本可信 |
| ZKC12-6 | 28.50 | 泥炭 | 8 110 | 30 | 可信 |
| ZKA2-1 | 25.00 | 贝壳 | 8 450 | 50 | 基本可信 |
| ZKA2-2 | 52.00 | 炭屑 | 42 830 | 260 | 基本可信 |
| ZKA5-1 | 23.60 | 贝壳 | 2 560 | 25 | 可信 |
| ZKA5-2 | 25.60 | 炭屑 | 5 655 | 25 | 舍弃 |
| ZKA5-3 | 27.08 | 炭屑 | 4 865 | 30 | 可信 |
| ZKA5-7 | 29.15 | 炭屑 | 6 300 | 25 | 可信 |
| CSJ5-2 | 21.00 | 植物碎叶片 | 3 960 | 25 | 舍弃 |
| CSJ5-4 | 25.70 | 植物碎叶片 | 3 735 | 25 | 可信 |
| CSJ5-10 | 30.85 | 植物碎叶片 | 7 040 | 40 | 可信 |
| CSJ5-15 | 45.85 | 植物碎叶片 | 8 385 | 35 | 可信 |
| CSJ5-22 | 65.50 | 炭屑 | 39 660 | 180 | 基本可信 |

注:¹⁴C半衰期为5 568 a,自1950年起算。

4 讨论

4.1 古潮成砂脊

研究区以北海域发育以琼港为顶点的现代辐射沙洲,是潮汐及南黄海沿岸流共同作用的产物。据前人资料^[2],区内埋藏的全新世古潮成砂体与现代辐射沙洲的沉积成因相似,但处于不同的发育阶段,陆域埋藏砂体形成于全新世中期,海域现代辐射沙洲发育于全新世晚期。

潮成砂体一般形成于低潮坪水下沉积环境,但退潮期间将间歇性露出水面,因此,沉积砂层多具浅黄、灰黄等氧化色。潮成砂体在形成中受潮汐作用影响,具有特殊的正、反双向粒序层序、双向交错层理等沉积构造特征^[22]。另外,沉积物的粒度频率曲线及概率累计曲线也反映其沉积过程中物质以滚动搬运为主,同时具有受潮汐涨、退的双向水动力影响的双峰特征^[23],研究区C1钻孔沉积物粒度特征符合此规律(图3),证明其属于古潮成砂体。

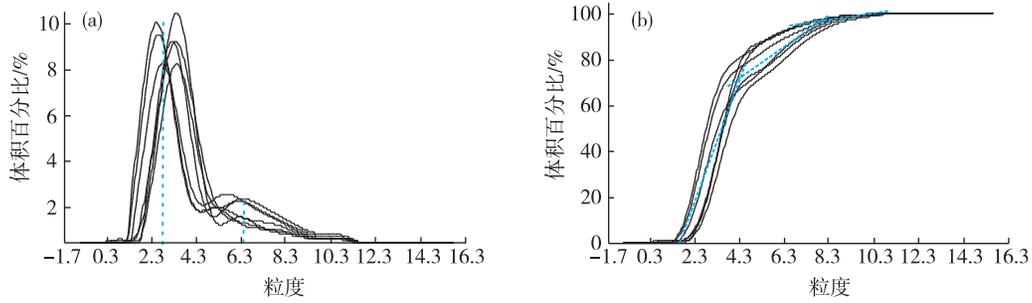


图 3 C1 钻孔古潮成砂层沉积物粒度特征(a.频率曲线;b.概率累计曲线)

Fig. 3 Grain size characteristics of sediments from the ancient tidal sand bodies in borehole C1

根据以上特征,分别在钻孔揭露的地层中识别出古潮成砂体。结合¹⁴C 测年结果,按空间展布、叠置关系及形成时代可分为 4 期砂体。不同期次的砂体埋藏深度与沉积厚度不同,但物质成分及沉积特征相似,均以粉细砂为主,间夹粘土薄层;砂质层具

有浅黄、黄灰等氧化色,反映在潮汐作用下的间歇性暴露。底部为最早期砂体,埋深约 22 m,顶部为最晚期砂体,埋深约 5 m,单层砂体厚 10 cm~5 m。研究区虽普遍发育古潮成砂体,但 4 期砂体在单钻孔中均发育不全,一般见 2~3 期沉积(图 4)。

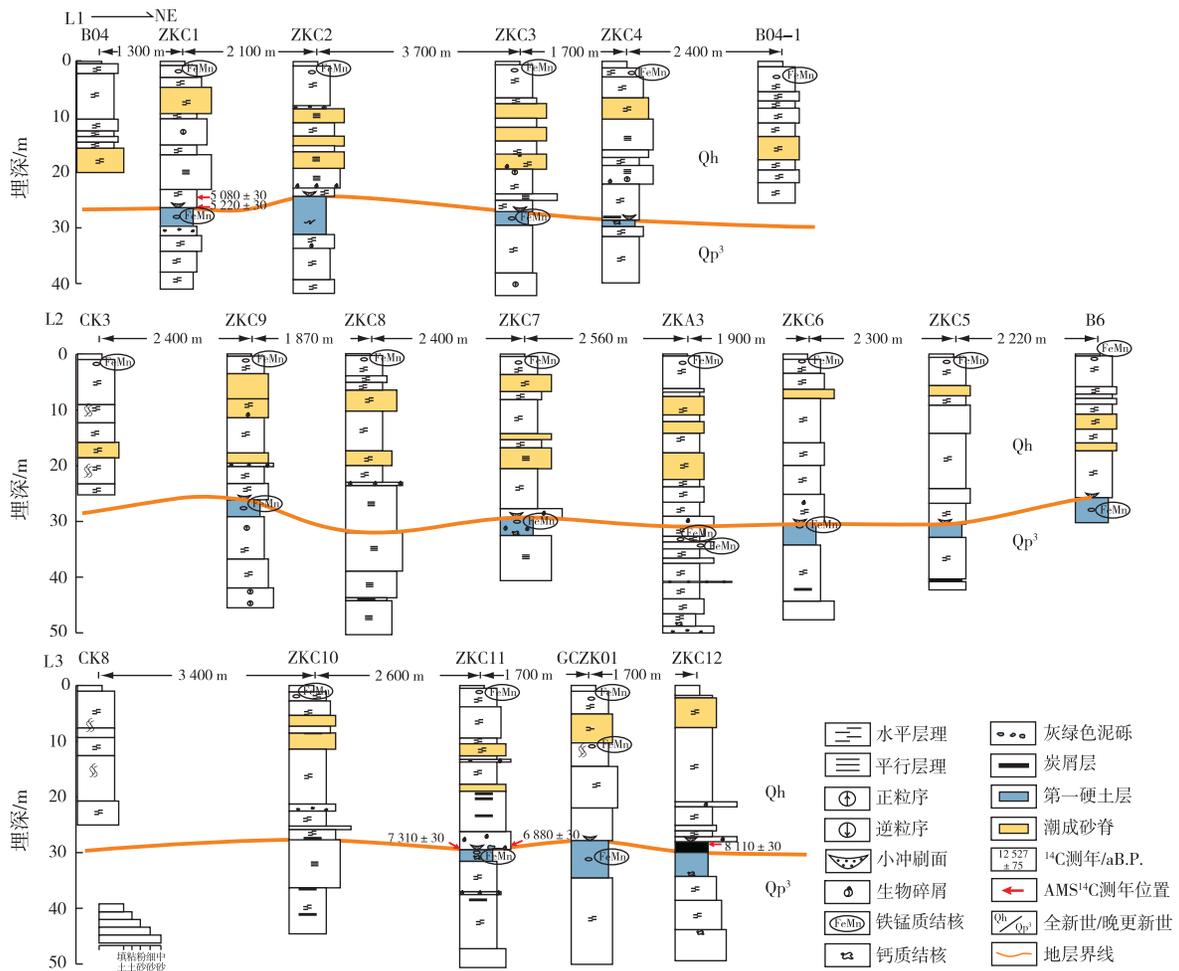


图 4 洋口港地区埋藏古潮成砂体地层结构

Fig. 4 Stratigraphical structures of the buried ancient tidal sand bodies in Yangkou port

结合 AMS¹⁴C 年龄,研究区最早期砂体形成于 5 080 a B.P.之后,即全新世中期最大海侵期之后的海退时期;最晚期砂体形成于北宋年间“范公堤”(公元1 014年)修建完成时^[24],砂体东移至海域,逐渐演变成现今的潮成沙洲。由早至晚,不同期次砂体的空间分布及形态不同,分布范围逐渐缩小,表明在潮汐作用下砂体逐渐向海推进的动态演化过程。

4.2 古地理演化

随着晚更新世晚期(MIS 2 阶段)末次冰盛期结束,全球气候逐渐变暖、冰川消融。长江三角洲地

区在末次冰盛期形成的沉积基底之上,海水逐渐侵入;至最大海侵期,长江河道淹没于海面之下,其河口退至现镇江和扬州一带,海水逐渐漫溢形成大面积的滨海—浅海沉积^[20-21]。

根据钻孔揭露的沉积特征及 AMS¹⁴C 测年结果,全新世早期,海水沿分支河道入侵研究区,并迅速漫溢至河漫滩,在研究区南部形成 NE 向潮坪;北部洋口镇、丰利镇及长沙镇仍暴露在地表,仅在局部低洼地区受风暴潮影响,形成沼泽,沉积最大厚度约 2 m 的泥炭层或淤质粘土(图 5(a))。

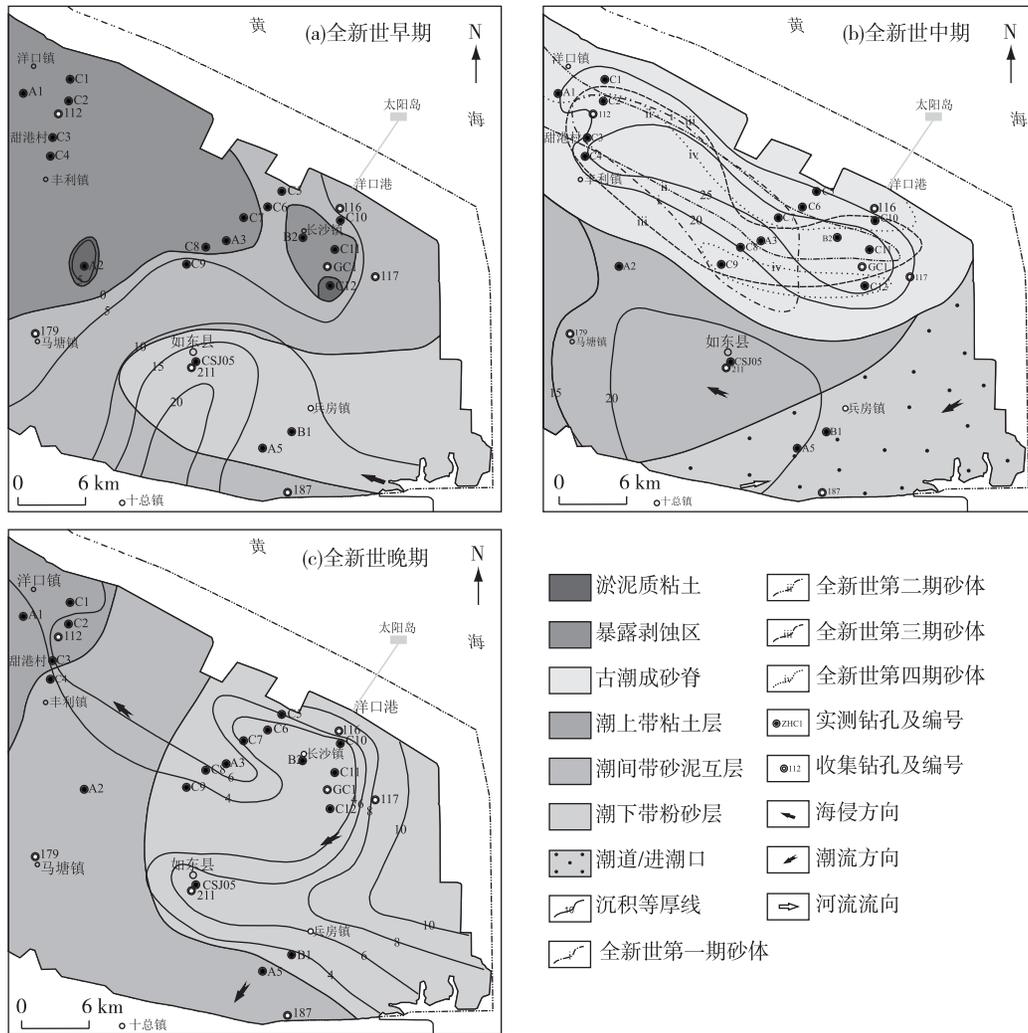


图 5 洋口地区全新世岩相古地理

Fig. 5 Holocene lithofacies and paleogeography in the Yangkou area

全新世中期最大海侵期(7 000 a B.P.),丰利镇—长沙镇发育以潮流为主控的粉细砂夹砂泥互层沉积,沉积物偏灰黄色,显示反粒序层序,为苏北南黄海古潮成砂脊的组成部分(图 5(b))。研究区

西南部马塘镇—如东县受潮流砂脊阻挡,潮流作用较弱,沉积物粒度偏细,泥质含量较高;研究区南部为切断砂脊的潮流通道,沉积物粒度相对较粗,局部富集大量贝壳碎片。

全新世晚期,随着海岸线东迁,水体深度降低,再次形成与全新世早期类似的潮坪沉积(图 5(c)),同时受沉积物不断淤积及围垦等人类活动影响,海退速度加快,研究区逐渐成陆。

钻孔所示全新世地层沉积特征及年代学研究表明,如东县洋口港地区位于长江三角洲前缘,但

末次冰盛期结束、全新世早期的海平面上升并未完全波及该区,直到全新世中期达到最大海侵时(约 7 000 a B.P.),区内大部分区域才受海侵作用影响,处于南黄海潮成砂脊沉积体系;直到 5 220 a B.P.海侵才到达北部洋口镇地区,反映全新世早期自西北向东南微倾斜的古地形起伏状态(图 6)。

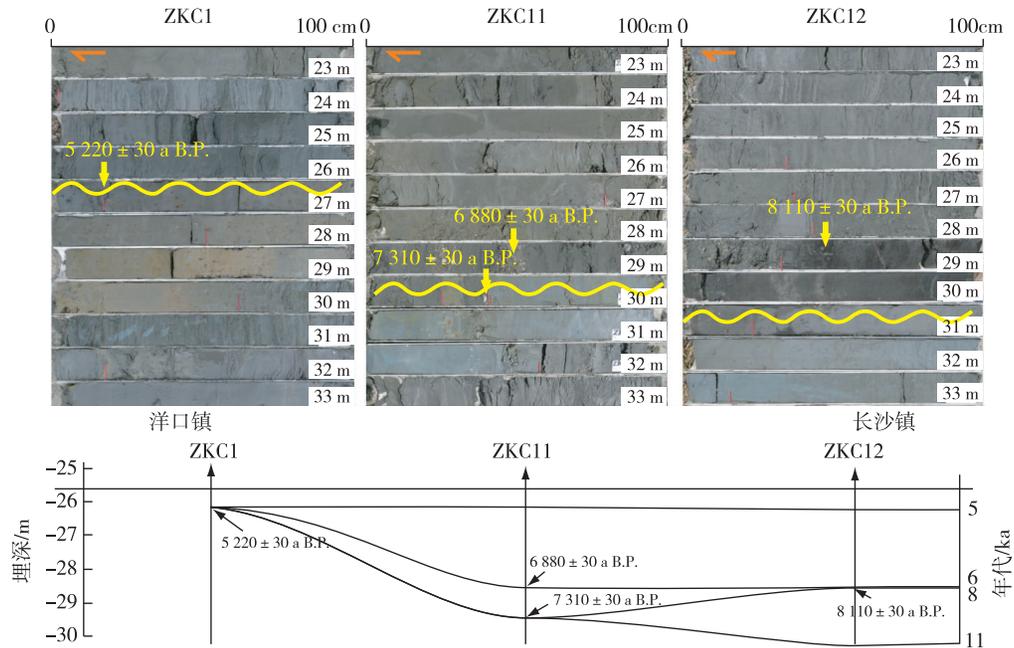


图 6 洋口镇—长沙镇全新世古地形变化剖面

Fig. 6 Variation profile of Holocene paleotopography in Yangkou-Changsha towns

5 结 论

(1)江苏洋口港地区全新世地层自下向上可分为 3 段:下段潮坪沉积,下伏末期冰盛期沉积的“第一硬粘土层”,是晚更新世与全新世地层的划分标志;中段属潮成砂脊体系,发育埋藏古砂脊;上段表现为人类活动干预下的潮坪沉积,属于海退沉积序列。

(2)江苏洋口港地区全新世中期至成陆期间,先后沉积了 4 期古潮成砂脊,早期始于全新世最大海侵期之后的海退期(<5 220 a B.P.),晚期止于北宋年间“范公堤”(公元 1 014 年)的修建完成。多期次的沉积特征反映了砂体在潮汐作用下的动态演化过程。

(3)洋口港地区全新世经历了早期暴露侵蚀、中晚期古潮成砂脊沉积体系和近现代成陆 3 个古地理演化阶段。北部洋口镇长期遭受暴露侵蚀,至高海平面时(5 220±30 a B.P.)开始接受潮坪沉积。

参 考 文 献

[1] 李从先,赵娟.苏北琼港辐射沙洲研究的进展和争论[J].海洋科学,1995(4):57-60.

[2] 陈报章.苏北琼港地区埋藏潮沙体的发现与现代辐射状潮流沙脊群的成因[J].海洋通报,1996,15(5):46-52.

[3] 张家强,李从先,丛友滋.苏北陆区古潮成沙体沉积动力环境及物源[J].海洋通报,1998,20(3):82-90.

[4] 赵娟,范代读,李从先.苏北海岸带潮成辐射沙脊群的形成及其古地理意义[J].古地理学报,2004,6(1):41-48.

[5] 张家强,李从先,丛友滋.苏北南黄海潮成沙体的发育条件及演变过程[J].海洋学报,1999,21(2):65-74.

[6] 王颖,朱大奎,周旅复,等.南黄海辐射沙脊群沉积特点及其演变[J].中国科学:地球科学,1998,28(5):385-393.

[7] 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[J].中国科学:地球科学,1998,28(5):

- 418-424.
- [8] 顾佳, 闫玉茹, 平利姣. 南通近海潮滩表层沉积物重金属含量特征与生态风险评价[J]. 华东地质, 2017, 38(2): 155-160.
- [9] DU W B, YE Y C, ZHUANG Z Y. Sedimentary Environment Analysis of Ancient Sand Ridges from Zk23 Hole in the East China Sea [J]. Marine Science Bulletin, 2009, 11(2): 72-80.
- [10] 李云, 姜月华, 杨国强, 等. 江苏如东洋口地区断裂特征及其意义[J]. 地质力学学报, 2016, 22(3): 602-609.
- [11] 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): 35-47.
- [12] 陈中原. 长江三角洲之沉降[J]. 火山地质与矿产, 2001, 22(2): 95-101.
- [13] 王强, 李从先. 中国东部沿海平原第四系层序类型[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(4): 39-51.
- [14] PARHAM P R, RIGGS S R, CULVER S J, et al. Quaternary coastal lithofacies, sequence development and stratigraphy in a passive margin setting, North Carolina and Virginia, USA [J]. Sedimentology, 2013, 60(2): 503-547.
- [15] 陈中原, 杨文达. 长江河口地区第四纪古地理古环境变迁[J]. 地理学报, 1991, 46(4): 436-448.
- [16] 杨守业, 李从先, 张家强. 苏北滨海平原冰后期古地理演化与沉积物物源研究[J]. 古地理学报, 2000, 2(2): 65-72.
- [17] 蒋仁, 杨祝良, 于俊杰, 等. 长江三角洲北翼兴化—通州地区第四纪地层划分及古环境分析[J]. 资源调查与环境, 2014, 35(4): 263-269.
- [18] 覃军干, 吴国璋, 郑洪波, 等. 从孢粉、藻类化石组合看长江三角洲第一硬质粘土层的成因及其古环境意义[J]. 第四纪研究, 2004, 24(5): 546-554.
- [19] STUIVER M, REIMER P J, REIMER R. CALIB 6. 0. 1 Manuals [EB/OL]. [2017-12-10]. <http://calib.qub.ac.uk/calib>.
- [20] 战庆, 王张华. 利用盐沼泥炭重建长江三角洲北部全新世中期海平面[J]. 古地理学报, 2014, 16(4): 548-556.
- [21] 冯文立, 季文婷, 冯金顺, 等. 江苏启东地区发现浅层天然气气源层与晚更新世末期古土壤层[J]. 中国地质调查, 2015, 2(2): 56-60.
- [22] 王羽涵, 殷勇, 夏非, 等. 南黄海辐射沙脊群苦水洋海域沉积地层特征及其环境演变[J]. 南京大学学报(自然科学), 2014, 50(5): 564-575.
- [23] 丁喜桂, 叶思源, 高宗军. 粒度分析理论技术进展及其应用[J]. 世界地质, 2005, 24(2): 203-207.
- [24] 凌申. 范公堤考略[J]. 盐城师范学院学报(人文社会科学版), 2001, 21(3): 133-137.

Geochronological features of the buried ancient sand ridge in Yangkou port, Jiangsu, and their paleoenvironmental significance

JIANG Ren, ZENG Jian-wei, LIU Kai, LAO Jin-xiu, YU Jun-jie, PENG Bo, ZHAO Ling, LI Chang-bo
(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

Abstract: During the last glaciation (MIS II stage), the Yangkou port area in Rudong County, Jiangsu Province was developed with the Upper Most Hard Clay. This area, since the early Holocene, had been subjected to erosion, with tidal channels developed locally in this area. Since the middle Holocene, the study area was dominated by tidal-and-flat deposits under the effect of the maximum transgression (around 7 000 a B.P.). At the high sea level period (5 220 a B.P.), most of the study area was submerged in the sea. With the sea level falling, north of the Yangkou port developed a series of ancient radial sand ridges, which belongs to a sedimentary system of coastal tidal flat-tidal sand ridges. Based on the sedimentary features, four-period buried tidal sand ridges have been recognized. Stratigraphic AMS ¹⁴C ages indicate that these ancient tidal sand ridges formed separately from 5 200 a B.P. to 1 000 a B.P., reflecting the active evolution process of the ancient tidal sand ridges under the effect of tidal dynamics.

Key words: tidal sand ridge; lithofacies palaeogeography; holocene transgression; Yangkou port; Jiangsu Province