

长江三角洲北翼 ZKA4 钻孔剖面第四纪 磁性地层特征及其意义

蒋 仁, 于俊杰, 劳金秀, 曾建威, 彭 博

(南京地质矿产研究所, 南京 210016)

摘要: 对长江三角洲北翼南通地区 ZKA4 钻孔岩心进行了磁性地层学研究, 结果表明, 302.7 m 的岩心记录了布容正向极性时 (Brunhes)、松山负向极性时 (Matuyama) 和部分高斯正极性时 (Gauss)。在系统古地磁样品采集、处理和测试的基础上, 应用磁性地层、AMS ^{14}C 加速器测年等方法, 结合岩性特征, 对 ZKA4 钻孔剖面进行了详细地层划分, 分别确定了下更新统、中更新统、上更新统和全新统的埋深及沉积厚度, 其中 Q/N 界线位于 291.72 m 处, Qp^1/Qp^2 、 Qp^2/Qp^3 、 Qp^3/Qh 界线分别定位于 189.39 m、132.44 m 和 26.14 m 处。本研究结果为该区域第四纪地层划分对比、古地理环境演化及岸线变迁等相关研究提供了可靠的地层年代框架。

关键词: 长江三角洲北翼; 第四纪; ZKA4 孔; 磁性地层

中图分类号: P539.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2015)07-0030-05

0 引言

长江三角洲是我国重要的经济区。随着全球气候变化、海陆交互作用及其环境响应研究的不断深入, 长江三角洲及毗邻地区第四纪以来海陆演变已成为研究热点^[1-3]。研究表明, 第四纪以来, 长江三角洲历经海陆变化, 形成了以陆相河流沉积为主, 间夹海相沉积层^[4-5]; 其沉积厚度一般在 200 ~ 400 m^[6-7]。近年来的研究主要集中在河口晚第四纪、尤其末次冰期以来的沉积分区的划分、沉积序列的识别、层序地层格架的建立、事件沉积的探讨, 以及对长江三角洲发育模式和控制因素等。

由于磁性地层、气候地层、生物地层之间存在着明显的相关性, 目前第四纪地质工作者都认识到, 确定第四纪下限和地层划分必须要有磁性地层的依据。笔者等在长江三角洲北翼以地质钻探方法为主开展了较系统的第四纪地质调查, 选取南通市通州区骑岸镇第四纪地质钻孔 ZKA4, 以岩石地层为基础, 在地层年代的约束下, 利用层序地层的方法对钻孔岩心进行划分, 为该地区第四系底界

的确定、地层划分及其长江古(分支)河道的演化提供一种区域性对比的尺度和年代依据。

1 钻孔岩性特征

ZKA4 钻孔位于南黄海内陆架陆缘、长江三角洲沉积结构单元的北翼(图 1)。地貌上属长江下游冲积平原, 区域地形自西向东倾斜。

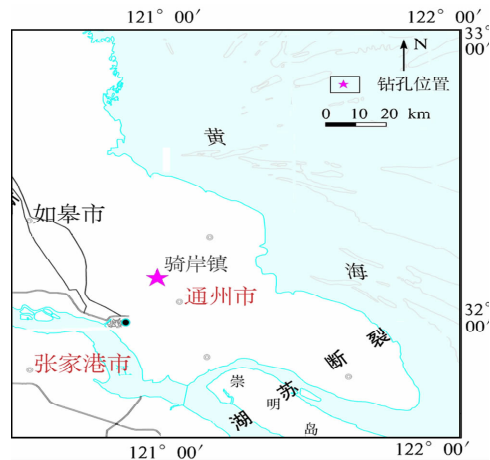


图 1 钻孔位置图

Fig. 1 Locality of borehole

收稿日期: 2015-05-13; 修回日期: 2015-10-26。

基金项目: 中国地质调查局“江苏 1:5 万洋口农场、丰利镇、北坎镇、如东县、大同镇幅区调(编号: 1212011220541)”项目资助。

第一作者简介: 蒋仁(1981—), 男, 助理研究员, 主要从事第四纪地质研究工作。Email: jiangren2004@126.com。

新近纪以来,长江三角洲北翼是以苏北地区为中心的巨大的沉积盆地(苏北盆地),向东延伸至南黄海,其北部东台为沉降中心之一,沉积厚度可达 1 400 m 以上。第四纪以来,沉积中心由苏北盆地向南迁移,钻孔北部海安地区为沉降中心之一,第四纪地层厚度达 330 m 左右^[7]。

本区基岩构造断裂活动频繁,其中印支—燕山期最为活跃。断层通常表现为 NE 向和 NW 向 2 组,控制了整个三角洲地区前新生代的基底构造格局^[8]。

ZKA4 钻孔孔口高程 2.81 m,孔深 302.7 m,岩心采用油压式钻机,全孔取芯率达 90% 以上,实际岩心直径可达 100 mm。取芯率和岩心状况满足磁性地层学研究的要求。ZKA4 钻孔岩性为:顶部海相砂质沉积,中、上部以三角洲河口相砂为主,下部以陆相黏土沉积为主。自上而下可分为 8 个岩性组合段。

(1) 0~26.14 m 岩性段。顶部 0.4 m 为耕作层,向下为灰、青灰色粉砂,夹灰褐色粉砂质黏土,为潮间带沉积序列。

(2) 26.14~68.33 m 岩性段。顶部为“第一硬土层”,黄褐色黏土夹粉砂,反映晚更新世晚期海侵、海退反复沉积过程;向下粒度逐渐变粗,由粉砂—中砂组成,底部混杂堆积,含大量钙质结核及贝壳碎屑;三角洲平原沉积。

(3) 68.33~102.35 m 岩性段。深灰、灰黑色黏土、含淤泥质黏土,底部粗砂层氧化较强,呈黄褐色。总体呈正粒序沉积;水平层理;三角洲平原浅水湖相沉积为主。

(4) 102.35~132.44 m 岩性段。以青灰、深灰色粉细砂为主,底部少量粗砂层斜层理发育。总体略显反粒序沉积;三角洲河口沉积。

(5) 132.44~186.34 m 岩性段。顶部为三角洲平原黄褐、暗绿色黏土;向下逐渐变粗,由粉砂—中砂组成;底部为水下分流河道沉积的砂砾;总体呈正粒序沉积,三角洲河口地区沉积序列。

(6) 186.34~252.60 m 岩性段。为棕黄、棕红及暗绿色黏土;中部深灰色粉细砂;底部 3 m 为粗砂层;总体可细分为两个正粒序沉积旋回。顶部浅水湖相,中、下部河流相沉积。

(7) 252.60~291.72 m 岩性段。顶部暗绿色黏土;中部粉砂层局部固结成岩;下部砂砾层;总体呈正粒序沉积。

(8) 291.72~302.70 m 岩性段。暗绿色黏土,

多呈半固结状泥岩,含大量白色钙质结核;顶部与上覆层不整合接触;深水湖相沉积,未见底。

2 古地磁采样与测试

2.1 测试方法

系统采集了古地磁有效样品 749 块,其中黏土采样间隔 20 cm,粒度较粗的砂层采样间隔 50 cm 左右。均在现场剖开岩心,用直径 2.54 cm 的无磁性塑料圆盒装载,标注顶、底方向,单件样品质量平均约 10 g。

实验测试在中国地质调查局南京地质调查中心古地磁实验室完成。其中剩磁测量采用美国 Schonstedt 仪器公司生产的“DSM-2”型数字旋转磁力仪;磁化率采用“HKB-1”高精度磁化率仪测试,测试精度 2×10^{-7} SI;交变退磁采用“GSD-5”交变退磁仪,退磁峰值场最高值可达到 100 mT,全部样品均进行了从 5~90 mT 交变磁场的逐步退磁。根据样品的退磁曲线分析,样品的退磁值多数选在 10~50 mT 之间。样品的天然剩余磁化强度在 $10^{-1} \sim 10^{-4}$ A/m 之间。测试过程中对单个样品进行剩磁分析,以交变退磁后的数据结果作为最终的分析依据。

对交变退磁数据分析,获得了单个样品磁倾角结果;同时对该数据进行了必要的筛选,舍弃了部分沉积物粒度较粗的磁倾角数据,主要利用沉积物粒度较细的黏土层、粉砂层进行分析,减小对测试结果的影响;最终利用 572 块样品的有效数据进行地层磁性分析。

2.2 AMS ¹⁴C 测年

本次对 ZKA4 钻孔晚更新世晚期以来的地层进行了绝对年龄测试。考虑到泥炭和腐殖泥易受到上游较老沉积物^[9]、河流冲刷和年轻沉积物的污染^[10],本次尽量采集上部 50 m 以浅的原生泥炭样品,测年样品在北京大学文博与考古学院¹⁴C 加速器测年实验室完成。测试结果较好地控制了晚更新世与全新世地层界线(表 1)。

表 1 钻孔样品的 AMS ¹⁴C 测年结果
Tab.1 AMS ¹⁴C dating using bulk samples
from borehole ZKA4

样品编号	采样深度/m	测年材料	AMS ¹⁴ C/a B. P.	误差/a
ZKA4-1	26.60	黏土	13 245	30

注:所用¹⁴C 半衰期为 5 568 a,B. P. 指距 1950 年。

3 讨论

3.1 磁性地层划分

地层划分和第四纪下限的厘定是第四纪地质研究的重要内容。由于磁性地层、气候地层、生物地层之间存在着明显的相关性,确定第四纪下限和地层划分必须要有古地磁磁性地层的依据^[11]。

以布容/松山 (Brunhes/Matruyama, B/M)、松山/高斯 (Matruyama/Gauss, M/G) 2 次全球性极性倒转事件来标定钻孔岩心早更新世和中更新世、第四纪和新近纪地层界线。由于研究区河流沉积作用较强、沉积物粒度较粗等原因对古地磁测试的影响,导致地层以及测试数据的不连续性。因此,本次对区域性极性倒转事件不作讨论。结合钻孔沉积物特征,对样品的磁性测试数据进行详细的分析整理,编制了钻孔磁极性柱、钻孔古地磁特征及极性世划分对比图(图 2)。

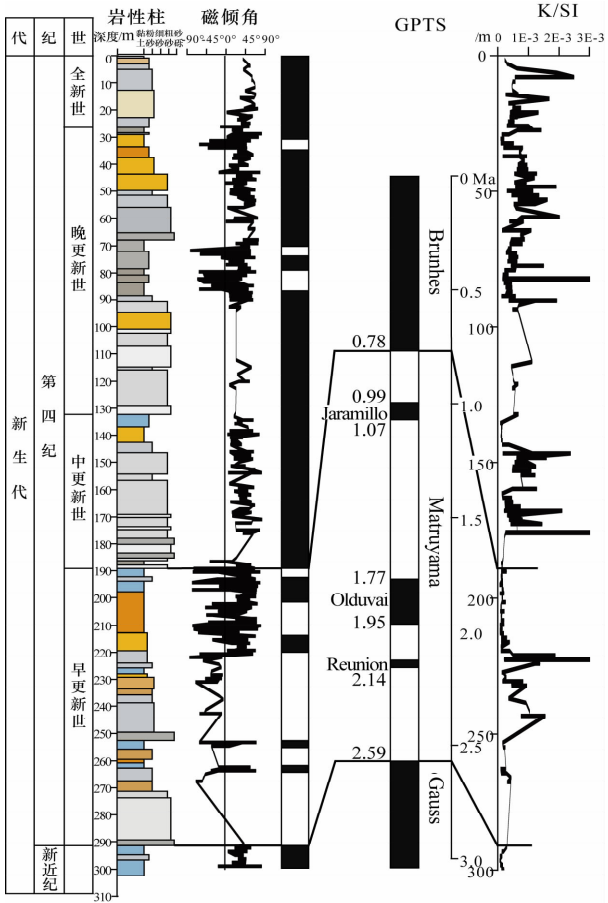


图 2 ZKA4 钻孔岩性柱及古地磁结果
Fig. 2 Histogram and paleomagnetism of borehole ZKA4

ZKA4 钻孔第四纪以来河流沉积作用较强,沉积物粒度较粗,对古地磁结果影响较大。经过数据的处理及筛选,剔除部分中、粗砂层数据干扰,钻孔剖面总体磁极性特征、尤其全球性倒转引起的磁极改变较明显;其中 0 ~ 189.39 m 段以正极性为主,为布容正极性世;189.39 ~ 291.72 m 段顶部磁极性正、负摆动较频繁,可能为上覆河床相地层侵蚀导致部分地层缺失、以及区域性磁极漂移事件的影响,底部以河床相砂砾层为主,粒度较粗,对古地磁测试有一定影响,结合岩石地层特征及区域对比,该段总体以负极性为主,为松山负极性世;291.72 m 以下呈正极性,为高斯正极性世。该孔古地磁极性结果表明,与早更新世地层相比,中更新世以来地层沉积速率较高,这与该钻孔所处的长江河口地区特殊的沉积环境有关。

3.2 年代地层学与地层界线

第四纪以来,ZKA4 钻孔所处区域受海陆交互作用,早期陆相沉积作用占主导,中期逐渐过渡为海陆交互沉积,晚期则主要为海洋沉积作用。综合对比钻孔岩性及沉积构造特点,结合古地磁特征,对第四纪地层进行了划分。

下更新统 (Qp¹): 埋深 291.72 ~ 189.39 m, 底界对应古地磁松山/高斯 (M/G) 界线,底部为河流相,对下伏新近纪地层侵蚀界面即为第四系与新近系不整合接触界面。河流是控制该时期沉积的主要因素,总体可分 3 个韵律旋回。单个旋回底部河床亚相为灰、浅灰色粗砂、含砾砂,上部边滩亚相多为深灰、黄灰色粉细砂,顶部漫滩亚相则以棕黄、黄褐、青灰色黏土、粉质黏土为主,组成河流“二元结构”。但总体砂/泥比小于 1,表明该时期河流水动力作用较弱。

中更新统 (Qp²): 埋深 189.39 ~ 132.44 m, 底界对应古地磁布容/松山 (B/M) 界线。该时期随着全球气候的转暖、海平面上升,东区逐渐由陆相河流沉积过渡为海陆交互的三角洲沉积。总体为一个大的沉积旋回,下部灰、浅灰色粗砂、砂砾,为水下分流河道沉积的河口砂坝;向上渐变为三角洲平原亚相,以深灰色粉砂、含黏土粉砂为主;顶部为黄褐、青灰色黏土,分别代表其氧化环境的三角洲平原亚相和还原环境的深水湖相。

上更新统 (Qp³): 埋深 132.44 ~ 26.14 m, 该时期以海陆相互沉积为主,沉积作用受控于海平面变

化,即海平面下降,河流水动力强,河谷下切,以侵蚀作用为主;海平面上升,海侵进入该区域,河流水动力减弱,河道以滞留沉积和溯源堆积为主。总体按岩性以及沉积物色调可分为上、中、下3套沉积旋回。下部旋回为“下细上粗”沉积层序,由深灰色粉砂向上过渡为中粗砂、粗砂,为河口砂坝进积作用形成;中、上部旋回均为“下粗上细”沉积层序,由底向上呈粗砂—中细砂—粉砂—黏土变化,反映河流三角洲相沉积;上部则为浅海、滨海相沉积。顶部为黄褐、深灰色硬黏土层,为河间洼地、湖沼相沉积。

全新统(Qh):埋深26.14~0 m,下伏为晚更新世末期硬黏土层,26.6 m处AMS ^{14}C 测年为 $(13\,245 \pm 30)\text{a B. P.}$ 。该时期地层受海洋沉积作用较强,下部为青灰色粉砂夹黏土,为全新世海侵早期潮间带沉积;中部以灰、黄灰色粉砂为主,为滨浅海相地层;上部黏土与粉砂呈纹层状,为潮间带沉积。

长江三角洲地区晚更新世末期普遍发育的青灰、黄褐、暗绿色硬黏土层被称为“第一硬土层”,已成为划分更新统与全新统的良好标志层^[12-14]。本次AMS ^{14}C 测年结果表明上更新统顶部深灰色黏土层即为“第一硬土层”,形成时代在13 245 a左右。

结合区域第四纪地层对比分析,第四纪早期,ZKA4钻孔处于深切河谷区,属长江三角洲地区主河道^[15-18]。本次岩石地层及磁性地层的划分对比表明,ZKA4钻孔第四系底界较南、北两侧埋深略深,其落差近20 m,符合该区域第四纪早期处于古河道之说。

4 结论

通过古地磁、AMS ^{14}C 测试结果分析,结合ZKA4钻孔岩石的地层特征,划分出下更新统(Qp^1)、中更新统(Qp^2)、上更新统(Qp^3)和全新统(Qh)4个地层单元。其中,埋深291.72 m的新近系与第四系不整合接触界线对应于M/G极性倒转界线,年龄为2.59 Ma;埋深189.39 m的下、中更新统界线对应于B/M界线,其年龄为0.78 Ma。根据ZKA4钻孔地层特征及区域资料分析,第四纪早

期该地区受河流侵蚀下切较深,为古河道所在位置。另外,AMS ^{14}C 测年结果印证了该区域晚更新世末期低海面时,即末次盛冰期沉积的“第一硬土层”是划分晚更新世与全新世地层的标志层。

参考文献:

- [1] Li C X, Wang P. Stratigraphy of the Late Quaternary barrier-lagoon depositional systems along the coast of China[J]. *Sedimentary Geology*, 1991, 72: 189-200.
- [2] 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.
- [3] 李保华, 王强, 李从先. 长江三角洲亚三角洲地层结构对比[J]. *古地理学报*, 2010, 12(6): 685-698.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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): 436-447.
- [7] 陈中原. 长江三角洲之沉降[J]. *火山地质与矿产*, 2001, 22(2): 95-101.
- [8] 程裕祺. 中国区域地质概论[M]. 北京:地质出版社, 1994.
- [9] Stanley G J, Hait A K. Deltas, radiocarbon dating and measurements of sediment storage and subsidence[J]. *Geology*, 2000(4): 295-298.
- [10] Yim W W S. Radiocarbon dating and the reconstruction of late Quaternary sea-level changes in Hong Kong[J]. *Quaternary International*, 1999, 55: 77-91.
- [11] 王润华, 郭坤一, 于振江, 等. 长江三角洲地区第四纪磁性地层学研究[J]. *地层学杂志*, 2005(增刊): 612-617.
- [12] 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黏土层的成因及其古环境意义[J]. *第四纪研究*, 2004, 24(5): 546-554.
- [13] 王张华, 丘金波, 冉莉华, 等. 长江三角洲南部地区晚更新世年代地层和海水进退[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2004, 24(4): 1-8.
- [14] 陈庆强, 李从先. 长江三角洲晚第四纪古土壤与古环境初探[J]. *沉积学报*, 1995, 13(增刊): 79-87.
- [15] 蒋仁, 杨祝良. 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.
- [16] 赵艳霞, 徐全洪, 刘芳圆, 等. 近20年来中国古河道研究进展[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(1): 3-19.
- [17] 李从先, 张桂甲. 末次冰期时存在入海的长江吗? [J]. *地理学报*, 1995, 50(5): 459-463.
- [18] 曹光杰, 王建, 屈贵贤. 末次盛冰期以来长江河口段河道演变研究综述[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(10): 1039-1045.

Characteristics and Implications of the Quaternary Magnetostratigraphy in Borehole ZKA4 from the Northern Flank of Yangtze River Delta

JIANG Ren, YU Jun – jie, LAO Jin – xiu, ZENG Jian – wei, PENG Bo
(*Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, China*)

Abstract: The borehole ZKA4 locates in Nantong area of the northern flank of Yangtze River Delta. Quaternary magnetostratigraphy studies show that the 302.7 m core taken from borehole ZKA4 has recorded Brunhes normal polarity chron, Matuyama reversed polarity chron and Gauss normal polarity chron. After systematic sampling, treating and measuring, the vertical distribution depth of the Lower Pleistocene, Middle Pleistocene, Upper Pleistocene and Holocene in borehole ZKA4 are determined by magnetostratigraphic study, AMS ¹⁴C dating and core observation. The Q/N, Qp¹/Qp², Qp²/Qp³ and Qp³/Qh boundary locates at 291.72m, 189.39m, 132.44m and 26.14m respectively. These provide a reliable chronostratigraphic framework for regional research on stratigraphic division and correlation, paleogeographic environment as well as coastline changes in Quaternary.

Key words: the north flank of Yangtze River Delta; Quaternary; borehole ZKA4; magnetostratigraphy

(责任编辑: 常艳)