

文章编号: 1006-6616 (2016) 04-0994-10

苏北盆地 TZK9 孔磁性地层及重矿物组合特征研究

程瑜, 李向前, 赵增玉, 张祥云, 郭刚

(江苏省地质调查研究院, 南京 210049)

摘要: 通过对苏北盆地 TZK9 孔的磁性地层和重矿物组合分析, 探索了该地区晚上新世以来沉积物的物源变化特征。古地磁结果显示, TZK9 孔的 M/G 界线位于 250.3 m, B/M 界线位于 78.5 m, 并很好记录了 2 次正极性亚时 (Jaramillo 和 Olduvai), 分别位于 129.0 ~ 150.2 m 与 172.55 ~ 192.80 m, 通过沉积速率外推获得该钻孔的底界年龄约为 3.0 Ma。对 TZK9 孔重矿物组合、特征指数进行分析, 并结合淮河及长江下游的重矿物组合特征, 揭示在距今 3.0 ~ 2.6 Ma 其沉积物主要来自于淮河流域。而相比晚上新世, 第四纪的磷灰石、锆石、金红石、电气石含量增加, 表明该地区开始受到了长江流域的影响, 而第四纪以来重矿物特征指数 (ZTR) 逐渐增大可能主要受控于全球气候变化。

关键词: 晚上新世; 磁性地层; 重矿物; 苏北盆地

中图分类号: P539.3; P534.63

文献标识码: A

0 引言

苏北盆地位于江苏省东北部, 包括里下河平原和苏北滨海平原, 总面积约 $3.28 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。苏北盆地是晚中生代以后发育的大型沉积盆地^[1-3], 历史时期内长江、黄河和淮河携带的大量物质在此沉积了数千米厚的河湖相地层^[4-6], 其沉积物很好地记录了长江、黄河和淮河的演化过程, 是追踪源和汇过程的理想区域。关于苏北平原的物质来源, 前人的研究主要集中在全新世^[7-9], 对长尺度的物源变化研究较少, 仅苏强等^[10]利用 XH-1 孔的粒度和磁化率的相关性进行了初步分析。

重矿物耐磨蚀、稳定性强, 能较多地保留其母岩的信息, 在沉积物物源分析中占有重要地位^[11-13]。本文通过对苏北平原地区 TZK9 孔系统的磁性地层学研究, 结合重矿物组合及特征指数分析结果, 并与长江、淮河流域的重矿物组合进行对比, 探讨该地区晚上新世以来沉积物的物质来源特征和水系变迁。

收稿日期: 2016-06-16

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“特殊地质地貌区填图试点”(DD20160060)、“江苏 1:5 万港口、泰县、张甸公社、泰兴县、生祠堂镇幅平原区填图试点”(12120114042901)

作者简介: 程瑜 (1989-), 女, 助理工程师, 主要从事古环境研究工作。E-mail: fitchengyu@msn.com

1 区域地质概况

苏北盆地东临黄海, 西接宁镇扬丘陵岗地区, 北面为徐淮黄泛平原区, 南面与长江三角洲平原区相连, 介于 $32^{\circ}10' - 35^{\circ}05'N$ 、 $118^{\circ}40' - 120^{\circ}30'E$ 之间。苏北盆地大地构造位置上属于扬子陆块的东北缘, 西以郟庐断裂为界, 东面延伸入黄海, 北接苏鲁造山带, 南邻通扬隆起。晚白垩世—古近纪, 随着太平洋板块向东亚板块俯冲, 中国东部区域应力背景、应变方式均发生了根本性改变, 在构造作用下, 整体呈现“两坳夹一隆”的构造格局(即盐阜坳陷—建湖隆起—东台坳陷)。新近纪以来, 全区持续拗陷, 在河流、湖泊、海洋等外部营力的作用下, 形成了连续的、巨厚的新生代地层, 地貌上逐渐由盆地发展为平原。

2 样品采集及测试

2.1 剖面特征

TZK9 孔 ($32^{\circ}35'N$, $120^{\circ}6'E$) 位于江苏省泰州市东北约 20 km 处(见图 1)。钻孔所处地区属东亚季风气候, 雨热同期, 夏季高温多雨, 冬季寒冷干旱, 年均降水量 1038 mm 左右, 年平均气温 $14 \sim 15^{\circ}C$ 。

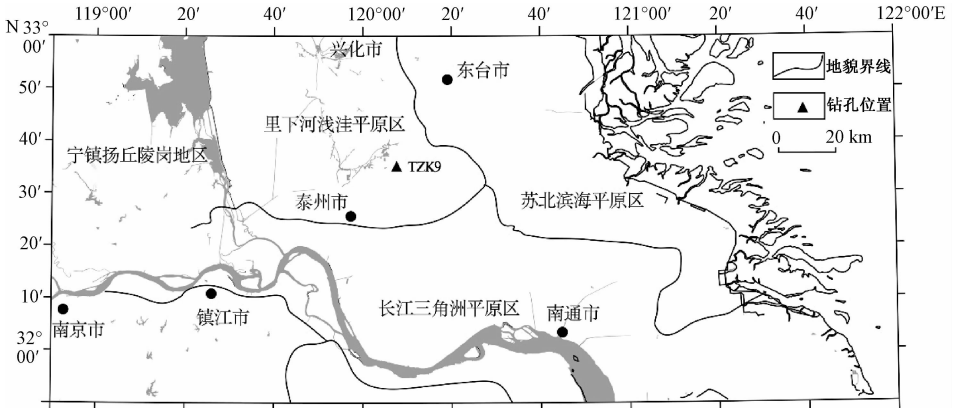


图 1 钻孔位置图

Fig. 1 Position of core TZK9

钻探进尺共 286.86 m, 依据岩性特征, 可将钻孔自上而下分为 16 层:

- (1) 0 ~ 3.33 m, 灰色、灰黑色黏土层, 零星见钙质结核;
- (2) 3.33 ~ 8.46 m, 灰黄色、黄灰色黏土、粉砂质黏土、含黏土粉砂、黏土质粉砂, 局部富集锈黄色铁锰质斑点;
- (3) 8.46 ~ 16.2 m, 灰色黏土、黏土质粉砂与黏土混层、含粉砂黏土、黏土质粉砂;
- (4) 16.2 ~ 37.55 m, 灰色、灰绿色、棕黄色黏土、含黏土粉砂、黏土质粉砂;
- (5) 37.55 ~ 76.1 m, 以灰色为主, 零星见棕黄色、灰绿色, 岩性为含黏土粉砂、黏土、黏土质粉砂、含粉砂黏土、粉砂质黏土, 零星见钙质结核, 局部富集贝壳碎片;
- (6) 76.1 ~ 171.2 m, 以灰黄、棕黄色为主, 局部段为灰色, 岩性为黏土、含粉砂黏土、粉砂质黏土、黏土质粉砂、含黏土粉砂、粉砂, 局部夹灰绿色根痕及斑块, 零星见钙质结核、白色螺壳碎片及黑色、锈黄色铁锰质斑点、结核;

- (7) 171.2 ~ 179.5 m, 浅灰色中砂、粗砂、含砾粗砂、砾质粗砂、砂砾层, 上部为深灰色粉砂夹灰褐色黏土, 砾石砾径 0.2 ~ 0.5 cm 不等, 分选中等, 为次磨圆一次棱角状, 主要成分为石英;
- (8) 179.5 ~ 180.12 m, 浅灰色—灰白色含砾黏土质粉砂, 风化强烈, 胶结作用强, 砾石砾径小 (0.2 ~ 0.5 cm 之间), 磨圆、分选中等;
- (9) 180.12 ~ 183.85 m, 灰色含砾中粗砂、含砾中砂, 分选较差, 粒径 0.2 ~ 4.0 cm;
- (10) 183.85 ~ 184.68 m, 浅灰色黏土, 顶部为不整合面, 风化强烈, 可见少量小的砾石和钙质结核;
- (11) 184.68 ~ 245.3 m, 以棕黄色、棕红色、灰黄色为主, 局部见灰色, 岩性为黏土、含钙砂黏土、含钙质结核含粉砂黏土、黏土质粉砂、粉砂等;
- (12) 245.3 ~ 254.15 m, 以黄灰色为主, 局部段为灰黄色、灰色, 岩性为粉砂—粉细砂, 局部夹黏土质粉砂及黏土团块, 其中可见少量钙质结核;
- (13) 254.15 ~ 268.1 m, 由 3 个由粗至细的沉积旋回组成, 自下而上分别为中细砂—中粗砂夹黏土、砾质中粗砂—含砾中粗砂—细砂、砂砾层—中砂—含黏土粉砂;
- (14) 268.1 ~ 274.25 m, 黄灰色黏土质粉砂—粉砂、粉砂—粉细砂, 局部段钙质胶结成砂盘, 顶部为灰绿色黏土;
- (15) 274.25 ~ 280.8 m, 棕黄—棕红色含钙质结核黏土, 灰绿色淋滤条带发育, 钙质结核较小;
- (16) 280.8 ~ 286.86 m, 黄灰色粉砂质黏土—黏土质粉砂、粉砂—粉细砂, 局部钙质胶结。

2.2 样品采集及测试方法

钻孔岩心以 30 cm 间距采集古地磁定向样品共 805 块, 样品测试在南京大学古地磁实验室完成。热退磁前首先测试了所有样品的天然剩磁, 根据不同的岩性按照 0.3 ~ 0.6 m 间距对 382 块样品用 TD-48 全自动热退磁仪以 15 ~ 100 °C 间隔进行了系统热退磁, 退磁温度分别为 100 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C, 340 °C, 380 °C, 420 °C, 460 °C, 500 °C, 525 °C, 550 °C, 565 °C, 580 °C; 将剩磁超过 20% 的样品进行进一步加热, 温度分别为 610 °C、640 °C、670 °C、690 °C。在表征退磁结果的剩磁矢量正交投影图 (见图 2) 上, 所有样品的剩磁均有 2 个分量——次生粘滞剩磁分量及原生特征剩磁分量, 大部分样品退磁效果较好, 在低温 (小于 300 °C) 分量获得特征剩磁方向, 退磁曲线基本呈线性且趋向原点。剩磁在 2G-755 型超导磁力仪上进行测试。

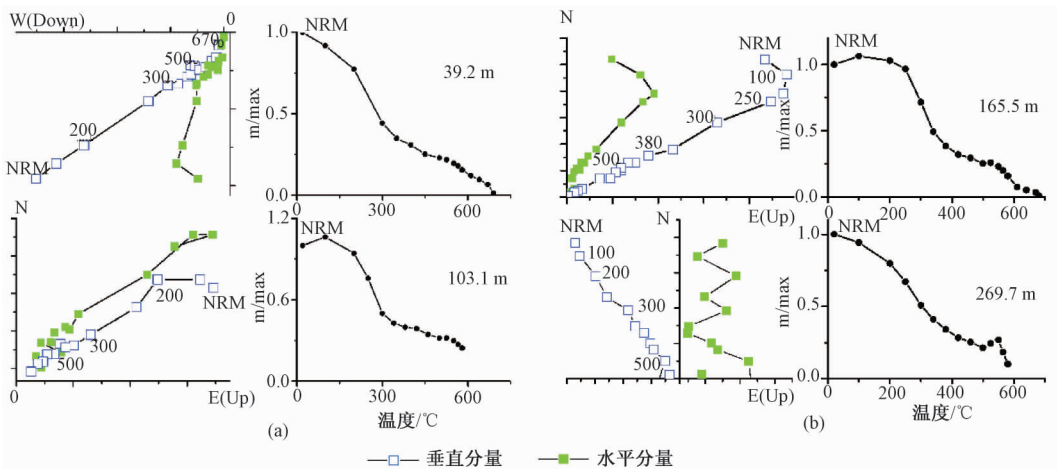


图 2 TZK9 孔典型样品热退磁的剩磁矢量正交投影图

Fig. 2 Orthogonal demagnetization plots diagram of typical normal and reversed samples from core TZK9

3 测试结果

3.1 磁性地层

对于钻孔样品而言, 由于北方向不确定, 磁性地层的确立往往重点考虑磁倾角的变化特征。泰州 TZK9 孔的磁性地层结果如图 3 所示。

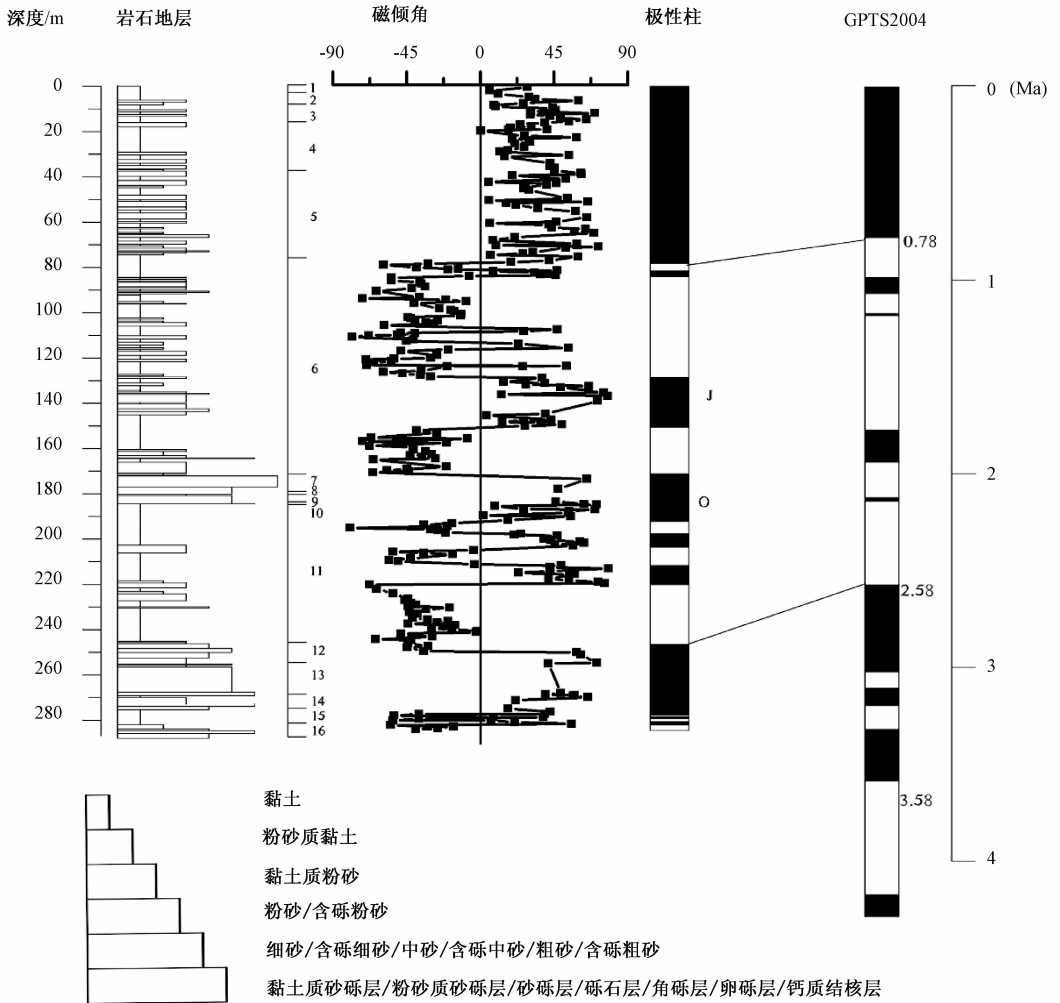


图 3 TZK9 岩石地层及磁性地层

Fig. 3 Lithostratigraphy and magnetostratigraphy of sediments from the core TZK9

磁性地层结果显示, M/G 界限位于钻孔 250.3 m 处, B/M 界线位于 78.5 m, 129 ~ 150.2 m 和 172.55 ~ 192.8 m, 分别对应 Jaramillo 和 Olduvai 正极性亚时。以古地磁界限作为年龄控制点, 计算出每个序列的沉积速率 (见图 4)。从图 4 可以看出, 中更新世以来的沉积速率为 0.1 mm/a, 0.78 ~ 1.07 Ma 的沉积速率较高, 为 0.24 ~ 0.26 mm/a, 1.07 ~ 2.58 Ma 的沉积速率较低, 为 0.031 ~ 0.12 mm/a, 根据 1.945 ~ 2.58 Ma 的平均速率 0.09 mm/a 推算出钻孔的底界年龄约为 3.0 Ma。根据极性倒转界限年龄进行线性内插获得该钻孔的时间标尺。

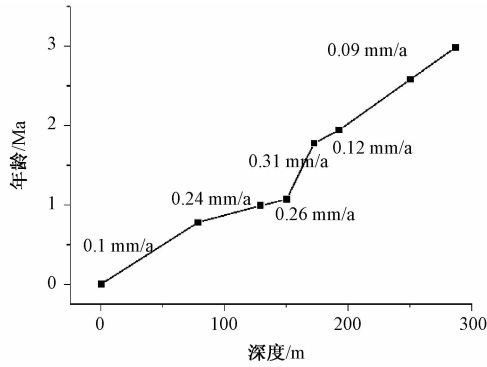


图4 TZK9孔的深度-年龄关系图

Fig. 4 Relationship between age and depth of sediments in core TZK9

3.2 重矿物

在相似的水动力条件下,重矿物特征指数(ATi指数、GZi指数、ZTR指数、风化指数)可以很好反映物源特征^[15]。ATi指数(磷灰石/(磷灰石+电气石) $\times 100$)和GZi指数(石榴子石/(石榴子石+锆石) $\times 100$)分别反映磷灰石的风化程度及变质岩源区的变化特征^[16-17],ZTR指数(锆石+电气石+金红石)和风化指数(较稳定矿物与不稳定矿物之和/极稳定矿物与稳定矿物之和)代表矿物的成熟度,ZTR值越大,风化指数越小,则矿物的成熟度越高^[18-19]。TZK9孔沉积物中的重矿物主要为钛铁矿和绿帘石,含有少量的锆石、磷灰石、金红石、白钛石、石榴子石、电气石、赤褐铁矿、楣石、磁铁矿、辉石、角闪石、蓝晶石、锐钛矿、黄铁矿只在少数样品中出现。

根据自上而下的重矿物组合特征,可将TZK9孔分为2个阶段(见表1、表2)。

表1 TZK9孔中主要重矿物含量(%)的垂向变化特征

Table 1 Variations of main heavy minerals content in core TZK9

深度/m	年龄/Ma	锆石	磷灰石	金红石	白钛石	石榴子石	电气石	赤褐铁矿	楣石
6.4	0.06	9.52	1.22	4.41	1.22	3.64	0.38	1.15	1.16
16.6	0.16	6.73	3.73	1.00	0.59	5.11	2.64	3.79	0.09
29.6	0.29	5.11	7.54	3.23	0.49	2.18	3.57	2.98	0.10
37.8	0.38	3.32	5.25	0.72	0.09	1.81	1.09	2.18	0.25
56.0	0.56	10.33	6.46	2.13	2.13	2.94	2.01	1.70	2.13
73.0	0.73	8.33	1.26	2.36	0.38	5.74	1.21	2.42	1.38
89.1	0.82	7.00	10.30	2.47	0.58	2.38	0.85	4.42	0.88
110.3	0.91	5.69	6.69	4.31	0.88	2.44	1.87	4.87	0.69
128.6	0.99	6.57	2.11	1.14	0.59	3.97	0.76	4.74	0.91
142.7	1.04	3.46	1.81	0.47	1.23	7.52	0.41	10.98	3.09
169.2	1.67	10.34	7.68	1.61	1.52	2.56	0.67	1.75	0.19
204.2	2.07	7.34	3.94	2.88	1.58	0.95	1.11	4.44	0.99
223.7	2.29	5.30	1.39	2.47	1.53	1.35	1.35	4.06	0.82
249.7	2.57	7.28	3.93	1.42	0.76	2.90	1.99	3.26	0.41
253.3	2.61	3.01	2.06	0.19	0.55	4.54	0.95	2.27	1.55
273.4	2.84	5.13	1.75	0.48	1.30	4.38	1.01	5.39	1.27
285.5	2.97	1.96	0.34	0.35	0.32	6.86	0.00	6.86	0.17

表2 TZK9 孔中主要重矿物含量及特征参数的变化

Table 2 Variations of main heavy minerals content and mineral indices in core TZK9

深度/m	钛铁矿	磁铁矿	绿帘石	辉石	角闪石	ATI	GZI	ZTR	风化指数
6.4	43.68	0.00	20.50	2.87	0.00	76.15	27.64	14.32	0.35
16.6	25.68	3.29	21.40	11.69	0.00	58.58	43.15	10.36	0.63
29.6	32.34	0.00	29.96	3.18	0.00	67.86	29.92	11.91	0.58
37.8	25.51	14.25	17.38	12.85	0.00	82.83	35.24	5.13	0.56
56.0	30.98	0.23	26.18	1.08	2.17	76.22	22.18	14.47	0.48
73.0	38.24	14.38	8.16	3.02	4.08	50.97	40.82	11.89	0.20
89.1	26.90	8.15	24.86	1.19	0.00	92.38	25.38	10.32	0.41
110.3	35.22	2.75	23.04	0.00	1.69	78.12	29.97	11.88	0.38
128.6	33.00	11.15	20.48	1.07	4.58	73.42	37.70	8.47	0.40
142.7	28.26	8.47	19.32	2.24	3.25	81.69	68.47	4.34	0.38
169.2	27.57	2.00	24.07	0.94	0.54	91.94	19.82	12.63	0.46
204.2	31.55	4.70	20.77	0.00	0.32	78.05	11.48	11.34	0.35
223.7	40.14	0.00	31.33	0.00	0.85	50.62	20.36	9.12	0.55
249.7	37.70	4.03	26.64	0.00	0.36	66.36	28.48	10.70	0.42
253.3	32.56	10.75	27.26	1.14	3.60	68.48	60.19	4.14	0.55
273.4	35.52	4.71	28.11	0.34	0.67	63.43	46.02	6.63	0.48
285.5	51.73	5.83	16.13	0.00	0.00	100.00	77.81	2.31	0.22

阶段一: 3.0 ~ 2.6 Ma (285.5 ~ 253.3 m), 以钛铁矿-绿帘石-磁铁矿-石榴子石-锆石为主, 钛铁矿和绿帘石的含量较高, 分别为 32.56% ~ 51.73% 和 16.13% ~ 28.11%, 磁铁矿、石榴子石、锆石的含量大部分低于 10%, 分别为 4.71% ~ 10.75%、4.38% ~ 6.86%、1.96% ~ 5.13%, 还见少量的磷灰石 (0.34% ~ 2.06%)、金红石 (0.19% ~ 0.48%)、白钛石 (0.32% ~ 1.30%)、赤褐铁矿 (2.27% ~ 6.86%)、楣石 (0.17% ~ 1.55%), 电气石、辉石、角闪石、蓝晶石、锐钛矿、黄铁矿出现在局部层位, 含量 < 2%。ATI 指数位于 63.43 ~ 100 之间, 表明沉积物源成分中磷灰石经历弱风化; GZi 指数的变化范围为 46.02 ~ 77.81, 平均值为 61.34, 表明来自变质岩的石榴石比来自中酸性火成岩的比例高; ZTR 指数的值较低, 变化范围为 2.31 ~ 6.63, 平均值为 4.36; 风化指数 285.5 m 处较低, 为 0.22, 其余 2 个点为 0.47、0.55, 风化程度较高, 以极稳定矿物和稳定矿物为主, 沉积物经过了较长的搬运距离和长期的风化剥蚀。

阶段二: 2.6 ~ 0 Ma (253.3 ~ 0 m): 以钛铁矿-绿帘石-锆石-磷灰石-石榴子石-磁铁矿为主, 相比上一阶段, 锆石、磷灰石、金红石含量增加, 分别为 3.32% ~ 10.34%、1.22% ~ 10.30%、0.47% ~ 4.41%, 石榴子石、白钛石和赤褐铁矿含量降低, 分别为 0.95% ~ 7.52%、0.09% ~ 2.13% 和 1.15% ~ 10.98%, 磁铁矿含量变化范围较大, 为 0 ~ 14.38%, 角闪石的含量略有增加, 为 0 ~ 4.58%, 在 0 ~ 0.38 Ma (0 ~ 37.8 m), 角闪石消失。相比上一阶段, ATI 指数变化不明显; GZi 指数变小, 变化范围 11.48 ~ 68.47, 平均值 31.47, 表明变质岩源区的范围有所减小, 而中酸性的源区有所扩张; ZTR 指数值增大, 变化范围 4.34 ~ 14.47, 平均值 10.49; 风化指数变化较小, 矿物成熟度增加。

4 讨论

综上所述, 晚上新世以来, TZK9 孔的重矿物组合以中基性岩浆岩的钛铁矿、岩浆期后接触变质矿物绿帘石、典型变质岩矿物石榴子石、酸性—中酸性火成岩矿物锆石、磷灰石、

磁铁矿、强氧化自生矿物赤褐铁矿为主，而典型的变质岩矿物蓝晶石分布不稳定；ATi 指数在 50.97 ~ 100 之间，GZi 指数位于 11.48 ~ 77.81，表明沉积物来源为变质岩与基性、中酸性岩浆岩的混合。

距今 3.0 ~ 2.6 Ma，TZK9 孔重矿物组合为钛铁矿-绿帘石-磁铁矿-石榴子石-锆石，与位于研究区西部丘陵地带山前淮河流域的 JH 孔（180 ~ 268 m）在此时期的重矿物组合为钛铁矿-绿帘石-赤褐铁矿-磁铁矿-石榴子石-锆石-磷灰石^[20]相似，而长江中下游地区的岩石以中酸性岩浆岩和沉积岩为主，重矿物组合以角闪石-绿帘石-赤褐铁矿-磁铁矿-辉石-石榴子石-锆石为主^[21]，与 TZK9 孔存在极大差异。因此，在该时段，研究区主要受淮河流域的影响。

距今 2.6 ~ 0 Ma，TZK9 孔重矿物组合的钛铁矿-绿帘石-锆石-磷灰石-石榴子石-磁铁矿，相比上一阶段，石榴子石含量减少，锆石、磷灰石、电气石、金红石含量增加，表明源区变质岩收缩而中酸性岩扩张；而 JH 孔相对于上一时段，这几种矿物并没有明显的变化^[20]，表明这几种重矿物含量的变化并不是由淮河流域引起的。研究区位于苏北盆地的南侧，长江河床来回摆动影响到该地区，南京—镇江一带发育的中酸性岩浆岩^[22]，为该地区提供了一部分物源。因此，在该时段，该地区的物质来源仍以淮河为主，但也有一部分沉积物来自于长江下游，第四纪以来该地区开始受到长江流域的影响。

第四纪以来，全球氧同位素值从 ~ 3.3‰ 升高至现在的 ~ 4‰，表明全球气候逐渐变冷^[23-24]。在寒冷期，热带辐合带（ITCZ）向南迁移，导致东亚夏季风减弱^[25-26]，从赤道地区向研究区输送的水汽和热量相对减少^[27]。而晚上新世以来全球海平面下降^[28]，导致输送水汽和热量的距离增加，研究区的降水减少，地表径流减弱。但另一方面，海平面下降致使河谷下切，河流侵蚀作用增强，其影响大于地表径流减弱带来的影响，沉积物的搬运能力和距离增加，分选作用增强，沉积物矿物成熟度增大，此结果与长江三角洲末次盛冰期 ZTR 指数特征^[29]相符。因此，第四纪以来 TZK9 孔的 ZTR 指数的逐渐增高主要受控于全球气候变化。

5 结论

本文对长江三角洲北翼 TZK9 孔的古地磁和重矿物组合进行了系统研究。研究结果表明，TZK9 孔记录了距今 3.0 Ma 以来苏北平原沉积物的变化，第四纪的底界位于 250.3 m，B/M 界线位于 78.5 m；晚上新世以来，研究区的源岩为变质岩、中基性岩浆岩、中酸性岩浆岩的混合，3.0 ~ 2.6 Ma 的重矿物组合为钛铁矿-绿帘石-磁铁矿-石榴子石-锆石，主要受淮河流域的影响，2.6 ~ 0 Ma 重矿物组合为钛铁矿-绿帘石-石榴子石-锆石-磷灰石-磁铁矿，中酸性岩成分磷灰石、锆石、电气石、金红石含量的增加，是因为长江流域影响到了该地区；第四纪以来 ZTR 指数的逐渐增加可能是受控于全球气候变化。

参 考 文 献

- [1] 包汉勇, 郭战峰, 黄亚平, 等. 苏北盆地晚白垩世以来的构造热演化 [J]. 高校地质学报, 2013, 19 (4): 574 ~ 579.

- [2] 陈友飞, 严钦尚, 许世远. 苏北盆地沉积环境演变及其构造背景 [J]. 地质科学, 1993, 28 (2): 151 ~ 160.
CHEN You-fei, YAN Qin-shang, XU Shi-yuan. Evolution of the sedimentary environments in north Jiangsu Basin and its tectonic setting [J]. Scientia Geologica Sinica, 1993, 28 (2): 151 ~ 160.
- [3] 邱海峻, 许志琴, 乔德武. 苏北盆地构造演化研究进展 [J]. 地质通报, 2006, 25 (9/10): 1117 ~ 1120.
QIU Hai-jun, XU Zhi-qin, QIAO De-wu. Progress in the study of tectonic evolution of the Subei Basin, Jiangsu, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (9/10): 1117 ~ 1120.
- [4] 张喜林, 朱筱敏, 钟大康, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及其对隐蔽油气藏的控制 [J]. 古地理学报, 2005, 7 (2): 207 ~ 218.
ZHANG Xi-lin, ZHU Xiao-min, ZHONG Da-kang, et al. Sedimentary facies and its controlling on subtle oil and gas reservoirs of the Dainan Formation of Paleogene in Gaoyou sag, Subei Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7 (2): 207 ~ 218.
- [5] 钱基. 苏北盆地油气田的形成与分布特征 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2000, 24 (4): 21 ~ 25.
QIAN Ji. Formation and distribution of oil and gas fields in Subei Basin [J]. Journal of the University of Petroleum, China, 2000, 24 (4): 21 ~ 25.
- [6] 高丽坤, 林春明, 姚玉来, 等. 苏北盆地高邮凹陷古近系戴南组沉积相及沉积演化 [J]. 沉积学报, 2010, 28 (4): 706 ~ 716.
GAO Li-kun, LIN Chun-ming, YAO Yu-lai, et al. Sedimentary facies and evolution of Paleogene Dainan Formation in Gaoyou sag, Subei Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28 (4): 706 ~ 716.
- [7] 杨守业, 李从先, 张家强. 苏北滨海平原全新世沉积物物源研究——元素地球化学与重矿物方法比较 [J]. 沉积学报, 1999, 17 (3): 458 ~ 463.
YANG Shou-ye, LI Cong-xian, ZHANG Jia-qiang. Provenance study of holicene sediments in subei coastal Plain—Comparison between elemental geochemistry and heavy mineral methods [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (3): 458 ~ 463.
- [8] 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 [J]. 江苏地质, 2007, 31 (2): 101 ~ 107.
FENG Jin-shun, SUN Lei, GE Yun, et al. On shallow sediment properties and paleogeographic evolvement in Xinghua-Taizhou, Jiangsu [J]. Jiangsu Geology, 2007, 31 (2): 101 ~ 107.
- [9] 舒强, 李才林, 赵志军, 等. 苏北盆地浅钻沉积物磁化率与粒度记录的末次冰消期以来的环境变化 [J]. 沉积学报, 2009, 27 (1): 111 ~ 117.
SHU Qiang, LI Cai-lin, ZHAO Zhi-jun, et al. The records of mass susceptibility and grain size for climate changes in Subei Basin during the last deglaciation [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27 (1): 111 ~ 117.
- [10] 舒强, 张茂恒, 赵志军, 等. 苏北盆地 XH-1 钻孔晚新生代沉积记录特征及其与长江贯通时间的关联 [J]. 地层学杂志, 2008, 32 (3): 308 ~ 314.
SHU Qiang, ZHANG Mao-heng, ZHAO Zhi-jun, et al. Sedimentary record from the XH-1 core in north Jiangsu Basin and its implication on the Yangtze river run-through time [J]. Journal of Stratigraphy, 2008, 32 (3): 308 ~ 314.
- [11] Garzanti E, Andò S. Heavy mineral concentration in modern sands: implications for provenance interpretation [J]. Developments in Sedimentology, 2007, 58: 517 ~ 545.
- [12] Garzanti E, Andò S, Vezzoli G. Settling equivalence of detrital minerals and grain-size dependence of sediment composition

- [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2008, 273 (1): 138 ~ 151.
- [13] Heroy D C, Kuehl S A, Goodbred S L. Mineralogy of the Ganges and Brahmaputra Rivers: implications for river switching and Late Quaternary climate change [J]. *Sedimentary Geology*, 2003, 155 (3): 343 ~ 359.
- [14] Ogg J G, Smith A G. The geomagnetic polarity time scale [M]. Massachusetts: Woods Hole Oceanographic Institution, 2004.
- [15] Morton A C, Hallsworth C R. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones [J]. *Sedimentary Geology*, 1999, 124 (1): 3 ~ 29.
- [16] 赵红格, 刘池洋. 物源分析方法及研究进展 [J]. *沉积学报*, 2003, 21 (3): 409 ~ 415.
ZHAO Hong-ge, LIU Chi-yang. Approaches and prospect of provenance analysis [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21 (3): 409 ~ 415.
- [17] Morton A, Hurst A. Correlation of sandstones using heavy minerals: an example from the Stafford Formation of the Snorre Field, northern North Sea [J]. Geological Society, London, Special Publications, 1995, 89 (1): 3 ~ 22.
- [18] 和钟铎, 刘招君. 柴达木盆地北缘大煤沟剖面重矿物分析及其地质意义 [J]. *世界地质*, 2001, 20 (3): 279 ~ 284.
HE Zhong-hua, LIU Zhao-jun, Guo Wei. The heavy mineral analysis and its geological significance of dameigou section in northern Caidam Basin [J]. *World Geology*, 2001, 20 (3): 279 ~ 284.
- [19] 陆洁民, 郭召杰, 赵泽辉, 等. 新生代酒西盆地沉积特征及其与祁连山隆升关系的研究 [J]. *高校地质学报*, 2004, 10 (1): 50 ~ 61.
LU Jie-min, GUO Zhao-jie, ZHAO Ze-hui, et al. Cenozoic sedimentation characteristics of Jiuxi Basin and uplift history of northern Qilian mountain [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10 (1): 50 ~ 61.
- [20] 郑良烁. 苏北兴化 2 孔晚中新世以来重矿物物源示踪研究 [D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
ZHENG Liang-shuo. The provenance study of the heavy mineral of 2 core since the late Miocene, in Xinghua, Subei Basin [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013.
- [21] 王腊春, 陈晓玲, 储同庆. 黄河、长江泥沙特性对比分析 [J]. *地理研究*, 1997, 16 (4): 71 ~ 79.
WANG La-chun, CHEN Xiao-ling, CHU Tong-qing. A contrast analysis on the loads character of the Yangtze River and the Yellow River [J]. *Geographical Research*, 1997, 16 (4): 71 ~ 79.
- [22] 江苏省地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1984: 1 ~ 857.
Jiangsu Geology & Mineral Exploration Bureau. Regional geology of Jiangsu Province and Shanghai [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 1 ~ 857.
- [23] Zachos J C, Dickens G R, Zeebe R E. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics [J]. *Nature*, 2008, 451 (7176): 279 ~ 283.
- [24] De Boer B, Van de Wal R S W, Bintanja R, et al. Cenozoic global ice-volume and temperature simulations with 1-D ice-sheet models forced by benthic $\delta^{18}\text{O}$ records [J]. *Annals of Glaciology*, 2010, 51 (55): 23 ~ 33.
- [25] Yancheva G, Nowaczyk N R, Mingram J, et al. Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian monsoon [J]. *Nature*, 2007, 445 (7123): 74 ~ 77.
- [26] Wan S, Li A, Clift P D, et al. Development of the East Asian monsoon: mineralogical and sedimentologic records in the northern South China Sea since 20 Ma [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007, 254 (3): 561 ~ 582.

- [27] Oppo D W, Sun Y. Amplitude and timing of sea-surface temperature change in the northern South China Sea: Dynamic link to the East Asian monsoon [J]. *Geology*, 2005, 33 (10): 785 ~ 788.
- [28] Miller K G, Komazin M A, Browning J V, et al. The Phanerozoic record of global sea-level change [J]. *Science*, 2005, 310 (5752): 1293 ~ 1298.
- [29] 王扬扬, 范代读. 长江三角洲晚第四纪地层沉积物源特征及其对季风气候变化的响应 [J]. *古地理学报*, 2013, 15 (6): 853 ~ 863.
- WANG Yang-yang, FAN Dai-du. Provenance characteristics of the late Quaternary in the Yangtze River Delta and its response to monsoon climate change [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2013, 15 (6): 853 ~ 863.

MAGNETOSTRATIGRAPHY AND HEAVY MINERALS RECORDS OF TZK9 CORE IN SUBEI BASIN

CHENG Yu, LI Xiang-qian, ZHAO Zeng-yu, ZHANG Xiang-yun, GUO Gang

(*The Institute of Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210049, China*)

Abstract: The core TZK9 is located in the northeast Taizhou city (N 32°35', E120°6'), the south of Subei Basin. The main kinds of lithology in the core are clay and silty clay. Some silt, sand and coarse sand are also found. In this study, 382 samples at 30 ~ 60 cm intervals were taken for paleomagnetic measurements, and 17 samples for heavy minerals test. Magnetostratigraphic results show that, the M/G and B/M are found at the depth of 250.3 and 78.5 m, respectively. Extrapolation with accumulation rates suggest that the basal ages for sediments in this core is about 3.0 Ma. ATi index was from 50.97 to 100, while GZI index was 11.48 to 77.81, indicating that the source was metamorphic and igneous rocks. During 3.0 ~ 2.6 Ma, the main heavy minerals of TZK9 core were ilmenite, epidote, magnetite, garnet and zircon. Comparing the heavy minerals of the TZK9 core with Huai river and Yangtze river, it shows that the sediment came from the Huai river during this time. During 2.6 ~ 0 Ma, the main heavy minerals are ilmenite, epidote, zircon, apatite, garnet and magnetite. The content of zircon, apatite, tourmaline, rutile increases compared to the previous period, and it indicates that the Yangtze river begin to influence this area in this period. And the ZTR index gradually increased since 2.6 Ma, which may be related to the change of global climate.

Key words: Late Pliocene; magnetic stratigraphy; heavy minerals; the Subei Basin