

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2024.04.009

## 江西樟树-广昌地区始新世-中新世陆相地层 黏土矿物特征及古气候意义

于洋洋<sup>1,2</sup>, 叶婷婷<sup>1,2</sup>, 颜照坤<sup>1,2\*</sup>, 张代柱<sup>1,2</sup>, 邵崇建<sup>1,2</sup>, 颜晨雨<sup>1,2</sup>, 龚楚雲<sup>1,2</sup>

YU Yang-Yang<sup>1,2</sup>, YE Ting-Ting<sup>1,2</sup>, YAN Zhao-Kun<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Dai-Zhu<sup>1,2</sup>,  
SHAO Chong-Jian<sup>1,2</sup>, YAN Chen-Yu<sup>1,2</sup>, GONG Chu-Yun<sup>1,2</sup>

1. 东华理工大学核资源与环境国家重点实验室, 江西南昌 330013; 2. 东华理工大学地球科学学院, 江西南昌 330013

1. State Key Laboratory of Nuclear Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China; 2. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China

**摘要:** 针对华南地区新生代气候敏感沉积物的研究, 表明该时期古气候总体上经历了由干旱到湿润的转变, 但是关于这一气候转变的具体演化过程缺乏更为详细的刻画。本文以华南东部江西省樟树-广昌地区始新世-中新世陆相地层为研究对象, 系统开展全岩矿物含量和黏土矿物 X 射线衍射(XRD)分析。结果表明黏土矿物主要由伊利石和伊蒙混层组成, 伊利石相对含量为 7%~63%, 高岭石相对含量为 0%~93%, 绿泥石相对含量为 0%~17%, 伊蒙混层相对含量为 0%~63.2%。根据黏土矿物的组合、相对含量变化, 结合前人研究成果, 认为该地区始新世-中新世期间古气候经历了从相对干旱到半干旱半湿润气候转变, 干湿变化的时间发生在中新世早期。这一认识为华南地区的古气候演变研究提供了重要参考。

**关键词:** 华南地区; 黏土矿物; 古气候重建; 古气候意义; 始新世-中新世

中图分类号: P532

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2024)-04-0703-09

**Yu Y Y, Ye T T, Yan Z K, Zhang D Z, Shao C J, Yan C Y and Gong C Y. 2024. The Characteristics of Clay Minerals of the Eocene-Miocene Continental Strata in the Zhangshu-Guangchang Region, Jiangxi Province and its Paleoclimatic Significance. *South China Geology*, 40(4): 703-711.**

**Abstract:** The study of climate-sensitive sediments from the Cenozoic in the South China Block indicates that the paleoclimate during this period generally experienced a transition from arid to humid conditions. However, there is a lack of detailed characterization regarding the specific evolutionary process of this climate transition. This paper focuses on the Eocene to Miocene continental strata in the Zhangshu-Guangchang area of Jiangxi Province in eastern South China, systematically conducting whole-rock mineral content and clay mineral X-ray diffraction (XRD) analyses. The results show that the clay minerals are primarily composed of illite and illite-smectite mixed layers, with relative contents of illite ranging from 7% to 63%, kaolinite from 0% to 93%, chlorite from 0% to 17%, and illite-smectite mixed layers from 0% to 63.2%. According to the

收稿日期: 2024-10-24; 修回日期: 2024-11-24

基金项目: 东华理工大学教学改革研究课题(DHJG-22-10)、核资源与环境国家重点实验室联合创新基金项目(2022NRE-LH-04)、江西省自然科学基金项目(20224BAB203035)

第一作者: 于洋洋(2003—), 女, 本科生, 从事沉积地质学研究, E-mail: 2572958423@qq.com

通讯作者: 颜照坤(1983—), 男, 副教授, 硕士生导师, 从事沉积地质学研究, ORCID: 0000-0002-0708-1849, E-mail: yzk517@163.com

combinations and relative abundance changes of clay minerals, along with previous research findings, it is suggested that the paleoclimate in this region change from relatively arid to semi-arid and semi-humid conditions during the Eocene to Miocene in the early Miocene. This understanding provides important references for the study of paleoclimate evolution in the South China Block.

**Key words:** the South China Block; clay minerals; paleoclimate reconstruction; paleoclimate significance; Eocene-Miocene

沉积地层可以很好地记录古气候信息,但因陆相地层连续性相对较差,缺少可靠的代用指标,所以对于古气候研究大多集中在海相地层,对于陆相地层的研究程度则相对较低。事实上,陆相地层对区域性气候变化的响应比海相地层更为灵敏,可以很好地记录古气候变化过程及控制因素(杨卫东等, 1993; 向芳等, 2009),因此,开展陆相地层的古气候研究,并与海相地层获得的数据进行综合对比,可以更好地重建地质历史时期的古气候演化规律(王成善和胡修棉, 2005)。利用陆相地层重建古气候的研究方法很多,包括古生物学、古地磁学、孢粉、黏土矿物、黄土-古土壤、同位素等(Boucot 等, 2009; 田馨等, 2009; 叶婷婷等, 2023a)。大量研究表明,陆相地层中黏土矿物能够较好地记录古气候信息,又由于黏土矿物分布的广泛性和取样的简易性,使黏土矿物成为古气候研究的重要手段之一(汤艳杰等, 2002; 陈涛等, 2003; Hong H L et al., 2007; 董红梅和宋友桂, 2009; 孙庆峰等, 2011; 鲍晶等, 2022; 叶婷婷, 2023b)。

华南地区在新生代经历了明显的气候转变,前人研究认为新生代早期的古气候延续了白垩纪的干旱气候(童国榜等, 2002; 刘成林等, 2016),局部地区可能为湿热气候(徐先兵, 2022)。但是到了新生代晚期,华南的气候逐渐转变为湿润气候(刘东生等, 1998; 江新胜等, 2012; 林旭等, 2024)。一般认为这一气候转变与东亚季风的形成有关,但是关于季风形成的时间存在争议,主要存在始新世晚期-渐新世早期(Herman et al., 2017; Xie Y L et al., 2022)和渐新世晚期-中新世早期(刘东生等, 1998; 李增学等, 2013)两种观点。目前关于这一气候转变的过程大多是依据一些气候敏感沉积物或化石等分析总体的演化趋势分析,缺少针对

实测剖面的黏土矿物分析,导致无法详细刻画新生代气候由干旱到湿润的转变过程。鉴于此,本文通过对江西省樟树-广昌地区新生界黏土矿物进行分析,以揭示华南地区新生代古气候演化过程。

## 1 区域地质特征

江西位于华南板块的东部,新生代陆相地层相对较为发育,分布十余个红色盆地(图 1)。江西的古近系主要是一套陆相或以陆相为主的红色沉积建造,其中发育含膏盐的杂色层,包括新余组和临江组。新余组主要岩性是紫红色砂质泥岩,发育有钙质结核和石膏,依据其所产的脊椎动物化石,如鳄类(*Crocodylus sp.*)、龟鳖类(*Emys spp.*, *Anosteira sp.*, *Trionyx spp.*)、钝脚类(*Coryphodon sp.*),将其时代定为古新世至中始新世(江西省地质矿产局, 1984; 王钦等, 2022)。临江组主要为灰、黄绿色页岩、粉砂岩、细砂岩及钙质砂岩,其中夹有薄层油页岩和石膏等(吴乃琴, 1989)。根据各门类化石群所显示的地质时代,以及结合地层柱的垂直序次与古地理沉积环境的布局,将临江组归属晚始新世(孙存礼, 1981)。

江西的新近纪地层(头陂组)分布不广,露头零星,多被第四纪地层覆盖(吴乃琴, 1989)。在广昌盆地,头陂组主要分布于广昌县头陂和南丰县东坑(江西省地质矿产局, 1984)。广昌盆地头陂组下部为杂色砾岩,上部主要为灰色凝灰质粉砂岩、粉砂质页岩。另外,在吉水县的头陂组还发现含煤的地层(江西省地质矿产局, 1984)。依据地层发现的植物化石,其主要成分是被子木本植物的山毛榉的常绿阔叶、落叶林,还有禾本及茜草等和少量的水龙骨及山马蹄等孢子植物,这些孢子花粉材料中,栎粉(*Quercoidites*)的大量出现表明

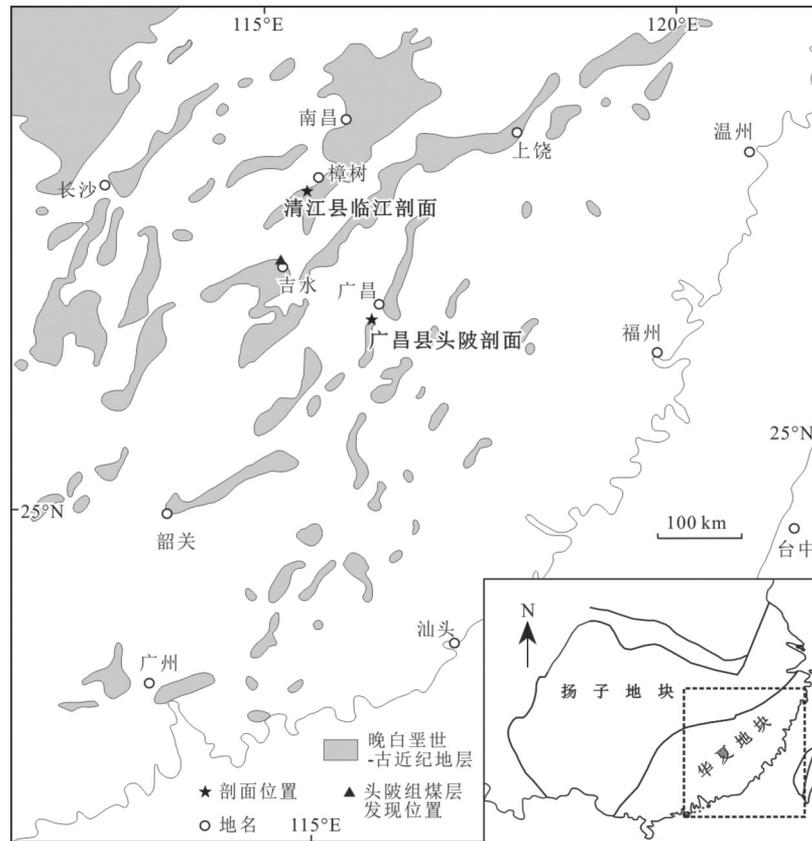


图 1 华南东部上白垩统-古近系露头分布特征与实测剖面位置

Fig. 1 Distribution characteristics and measured profile locations of Upper Cretaceous-Paleogene outcrops in eastern South China Block

头陂组归属于中新世(孙存礼, 1981)。

## 2 样品及实验方法

本文选取了江西省樟树-广昌地区始新世-中新世陆相地层, 其中清江盆地出露新余组、临江组(27.940362° N, 115.388320° E), 广昌盆地发育头陂组(26.725449° N, 116.167514° E), 共采集样品 25 件, 挑选了其中 12 件样品, 包括古新统新余组 2 件, 始新统临江组 8 件, 中新统头陂组 2 件(图 2, 图 3)。

本次在成都南达微构质检技术服务有限公司进行了全岩和黏土矿物 X 射线衍射(XRD)分析, 检测设备为日本理学 Rigaku Ultima IV, 测试条件为电压 40 kV, 电流 40 mA。具体步骤包括: (1)黏土的提取, 将泥岩样品粉碎至小于 0.2 mm 粒径(砂岩样品小于 1 mm 粒径, 碳酸盐岩样品小于 0.1 mm); 把粉碎后的样品放在高型烧杯中, 加蒸

馏水充分浸泡, 用超声波促进分散; 静置 6~8 小时后, 吸取上部粒径小于 2 μm 的悬浮液于试管中, 将试管放入离心机离心, 离心后, 倒掉试管上部清液, 得到下部的黏土矿物备用。(2)制作自然定向片(N 片), 并进行衍射仪测试。(3)制作乙二醇饱和片(EG 片)并进行衍射仪测试。(4)将测试过的乙二醇饱和片加热到 500 °C 恒温 2.5 小时, 自然冷却至室温(T 片), 再进行衍射仪测试。(5)对 N 片、EG 片、T 片的衍射数据进行综合分析, 获得各种黏土矿物的相对含量(图 4)。

## 3 分析结果

通过对采集的 12 件样品进行黏土矿物 X 射线衍射分析, 较系统地揭示了清江盆地古近系与广昌盆地的新近系黏土矿物的组合及相对含量变化。

### 3.1 全岩矿物含量分析

全岩中黏土矿物含量变化幅度较大, 介于

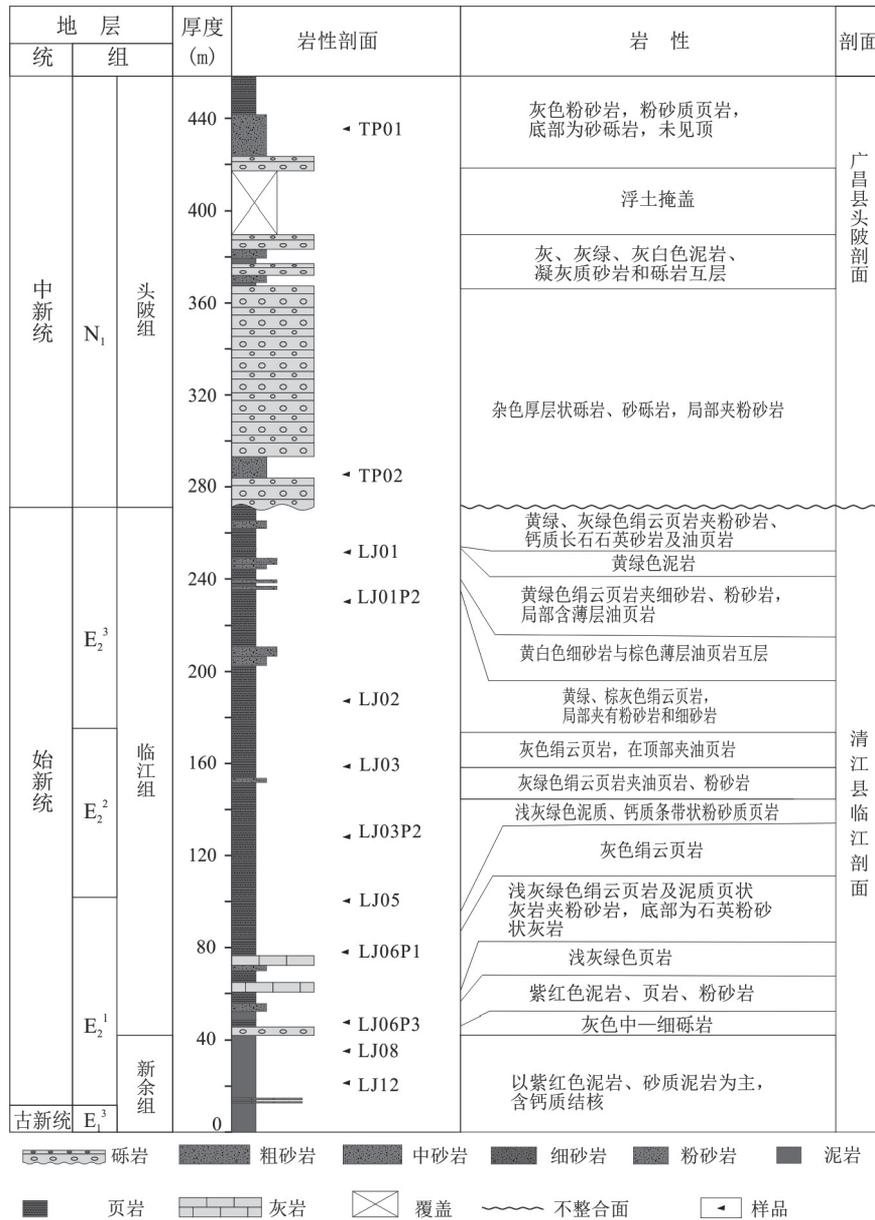


图2 樟树-广昌地区始新世-中新世地层剖面

Fig. 2 Paleogene-Neogene stratigraphic section of the Cangshan-Guangchang area

10.5% ~ 80.2% 之间, 平均含量 52.9%。石英含量次之, 介于 13% ~ 74.3% 之间。斜长石平均含量为 5.27%, 钾长石和菱铁矿的含量分别为 1.43% 和 1.13%, 它们的含量变化均相对稳定。方沸石、角闪石、针铁矿、黄铁矿以及赤铁矿的含量较低, 仅在个别样品中出现(表 1)。

### 3.2 黏土矿物组合和含量分析

根据乙二醇饱和片 XRD 衍射图谱中各个黏土矿物特征峰面积, 采用比斯卡(Biscaye)黏土矿物相对含量计算方法, 得到清江盆地古近系(临江组、新余组)和广昌盆地的新近系(头陂组)样品的

黏土矿物相对含量(表 2)。结果显示, 清江盆地古近系和广昌盆地的新近系样品中, 黏土矿物主要由伊利石和伊蒙混层组成, 所有样品中都不含蒙脱石和绿蒙混层。伊利石相对含量最大值为 63%, 最小为 7%; 高岭石相对含量最大值为 93%, 最小值为 0%; 绿泥石相对含量最大值为 17%, 最小值为 0%; 伊蒙混层相对含量最大值为 63.2%, 最小值为 0.0%。因此, 不同地层的样品具有不同的黏土矿物组合和相对含量, 伊利石含量相对较多, 其次为高岭石或者绿泥石, 不含蒙脱石。



图3 樟树-广昌地区始新世-中新世地层野外照片

Fig. 3 Field photos of the Eocene-Miocene strata in the Zhangshu-Guangchang area

a. 样品 LJ12, 紫红色粉砂岩; b. 样品 LJ08, 灰色粉砂质泥岩, 见泥裂; c. 样品 LJ03, 灰黄色泥岩; d. 样品 LJ01P2, 灰绿色粉砂岩; e. 样品 LJ06P1, 暗紫色泥岩; f. 样品 TP02, 灰绿色粉砂岩

## 4 古气候意义

不同的气候条件形成的沉积地层中的黏土矿物种类有所不同。在温暖潮湿气候下, 风化淋溶

作用较强, 碱金属和碱土金属元素经母岩风化作用后容易被淋溶流失, 形成高岭石(汤艳杰等, 2002); 而在干冷的气候条件下, 淋溶作用较弱, 碱金属和碱土金属元素不易淋溶流失, 反而有利于伊利石、蒙脱石(陆源碎屑成因)和伊蒙混层以及

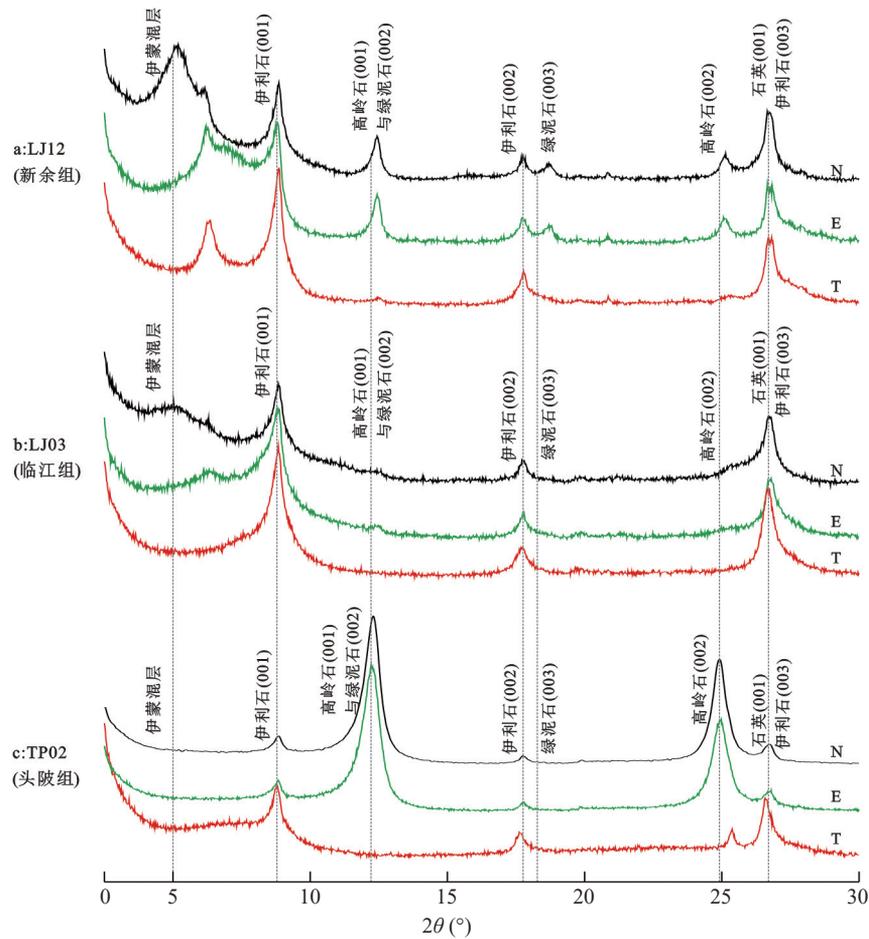


图4 代表性样品的黏土矿物X射线衍射图

Fig. 4 X-ray diffraction pattern of clay minerals in representative samples

表1 樟树-广昌地区始新世-中新世地层全岩矿物含量统计表(%)

Table 1 Statistical table of the whole rock mineral content for the Eocene-Miocene strata in the Zhangshu-Guangchang area (%)

| 样品编号   | 地层  | 方沸石 | 石英    | 钾长石  | 斜长石  | 菱铁矿  | 角闪石  | 针铁矿  | 方解石  | 黄铁矿 | 赤铁矿 | 黏土矿物总量 |
|--------|-----|-----|-------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|--------|
| TP01   | 头陂组 | /   | 19.1  | 0    | 8.4  | 3.3  | 1.4  | 0    | 0    | 1.1 | 0   | 66.7   |
| TP02   | 头陂组 | /   | 42.3  | 0    | 1.4  | 1.1  | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 55.2   |
| LJ01   | 临江组 | /   | 74.3  | 2.5  | 12.2 | 0.5  | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 10.5   |
| LJ01P2 | 临江组 | /   | 41.5  | 3.9  | 4.5  | 0.7  | 0    | 0    | 11   | 0.7 | 0   | 37.7   |
| LJ02   | 临江组 | /   | 25.1  | 1.4  | 1.7  | 0.8  | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 71.1   |
| LJ03   | 临江组 | /   | 32.2  | 1.3  | 2    | 0.7  | 0    | 0    | 0    | 0   | 0   | 63.7   |
| LJ03P2 | 临江组 | /   | 25.5  | 0    | 3.4  | 2    | 0    | 8.7  | 0    | 0   | 0   | 60.5   |
| LJ05   | 临江组 | /   | 35.3  | 3.6  | 7.1  | 0.9  | 0    | 0    | 5.5  | 0   | 1   | 46.4   |
| LJ06P1 | 临江组 | /   | 16.8  | 1.1  | 2.8  | 0.9  | 0    | 0    | 0    | 0   | 1.8 | 76.7   |
| LJ06P3 | 临江组 | /   | 13    | 1.3  | 2.4  | 1.1  | 0    | 0    | 0    | 0   | 1.9 | 80.2   |
| LJ08   | 新余组 | 3   | 18.6  | 0.8  | 5.1  | 0.9  | 0    | 0    | 30.7 | 0   | 0   | 40.9   |
| LJ12   | 新余组 | /   | 46.6  | 1.3  | 12.2 | 0.7  | 0    | 0    | 13.7 | 0.6 | 0   | 24.9   |
| 平均值    |     |     | 32.53 | 1.43 | 5.27 | 1.13 | 0.12 | 0.73 | 5.08 | 0.2 | 0.4 | 52.88  |

绿泥石的形成。因此,高岭石可以指示温暖潮湿气候,伊利石、蒙脱石(陆源碎屑成因)和伊蒙混

层以及绿泥石可以指示干冷气候(Biscaye, 1965)。绿泥石一般形成于干燥气候条件下,其相

表2 樟树-广昌地区始新世-中新世地层黏土矿物相对含量统计表

Table 2 Statistical table of relative content of clay minerals for the Eocene-Miocene strata in the Zhangshu-Guangchang area

| 样品编号   | 地层  | 蒙脱石 | 伊利石 | 高岭石 | 绿泥石 | 伊蒙混层 |     | 绿蒙混层 |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|
|        |     | %   | %   | %   | %   | %    | 混层比 | %    | 混层比 |
| TP01   | 头陂组 | /   | 28  | 12  | 8   | 52.5 | 49  | /    | /   |
| TP02   | 头陂组 | /   | 7   | 93  | 0   | 0.0  | /   | /    | /   |
| LJ01   | 临江组 | /   | 36  | 4   | 0   | 60.1 | 73  | /    | /   |
| LJ01P2 | 临江组 | /   | 41  | 2   | 8   | 48.0 | 48  | /    | /   |
| LJ02   | 临江组 | /   | 54  | 0   | 1   | 44.7 | 64  | /    | /   |
| LJ03   | 临江组 | /   | 63  | 0   | 1   | 35.5 | 56  | /    | /   |
| LJ03P2 | 临江组 | /   | 61  | 39  | 0   | 0.0  | /   | /    | /   |
| LJ05   | 临江组 | /   | 30  | 3   | 3   | 63.2 | 55  | /    | /   |
| LJ06P1 | 临江组 | /   | 56  | 2   | 4   | 38.5 | 61  | /    | /   |
| LJ06P3 | 临江组 | /   | 48  | /   | /   | 52.4 | 54  | /    | /   |
| LJ08   | 新余组 | /   | 55  | 0   | 7   | 37.5 | 47  | /    | /   |
| LJ12   | 新余组 | /   | 45  | 4   | 17  | 34.0 | 69  | /    | /   |

对含量在成土过程中是减少的。根据不同气候条件下陆相地层中黏土矿物特征的差异性,可以对古气候进行判别。

樟树-广昌地区新余组的黏土矿物以伊利石、绿泥石和伊蒙混层为主,反映当时主要为干旱的气候,新余组中发育的泥裂(图 3b)印证了当时干旱的气候环境。临江组的黏土矿物以伊利石和伊蒙混层为主,绿泥石和高岭石含量很少,表明该时期气候主要以干旱为主,高岭石含量的波动则反映当时虽然总体为干旱环境,但伴随着短暂的湿润气候。头陂组的黏土矿物则以伊利石、高岭石和伊蒙混层为主,绿泥石含量较少,表明当时属于半干旱、半湿润气候。另外,吉水县头陂组中煤层的发现(图 1)(江西省地质矿产局, 1984)也表明,头陂组沉积时期存在湿润气候阶段。

黏土矿物特征曲线是根据伊利石、高岭石、绿泥石含量以及伊蒙混层随深度的变化所绘制的曲线。对黏土矿物含量变化曲线(图 5)分析,发现从古近纪的新余组到新近纪的头陂组,伊利石的相对含量呈现先增后减的趋势;高岭石的相对含量呈现波动的趋势;绿泥石的含量较低且基本保持不变;伊蒙混层的相对含量变化和伊利石相对含量变化相反,大致呈现出先减后增

的趋势。上述分析表明研究区在古近纪到新近纪经历了从相对干旱到半干旱半湿润的气候转型。

综上所述,华南地区在中新世早期已经转变为湿润气候,这一结论与前人关于中新世我国东南夏季风加强的认识(刘东生等, 1998)一致。另外,有研究认为华南在始新世晚期就转变为湿润气候(Xie Y L et al., 2022)。本文认为造成这种分歧的主要原因是由于华南地区渐新世地层出露较少,缺少对渐新世古气候的约束,未来如有条件可以加强对渐新统的研究,进而有效约束新生代古气候演化过程。

## 5 结论

(1)研究区始新世的气候总体以干旱为主,但可能存在短暂的湿润气候。中新世头陂组沉积时期,气候转变为半干旱、半湿润气候。

(2)华南地区在中新世早期经历了从相对干旱到半干旱、半湿润的气候转变,气候转变的时间发生在中新世早期。

感谢编辑和两位匿名评审专家对本文提出的宝贵修改建议。

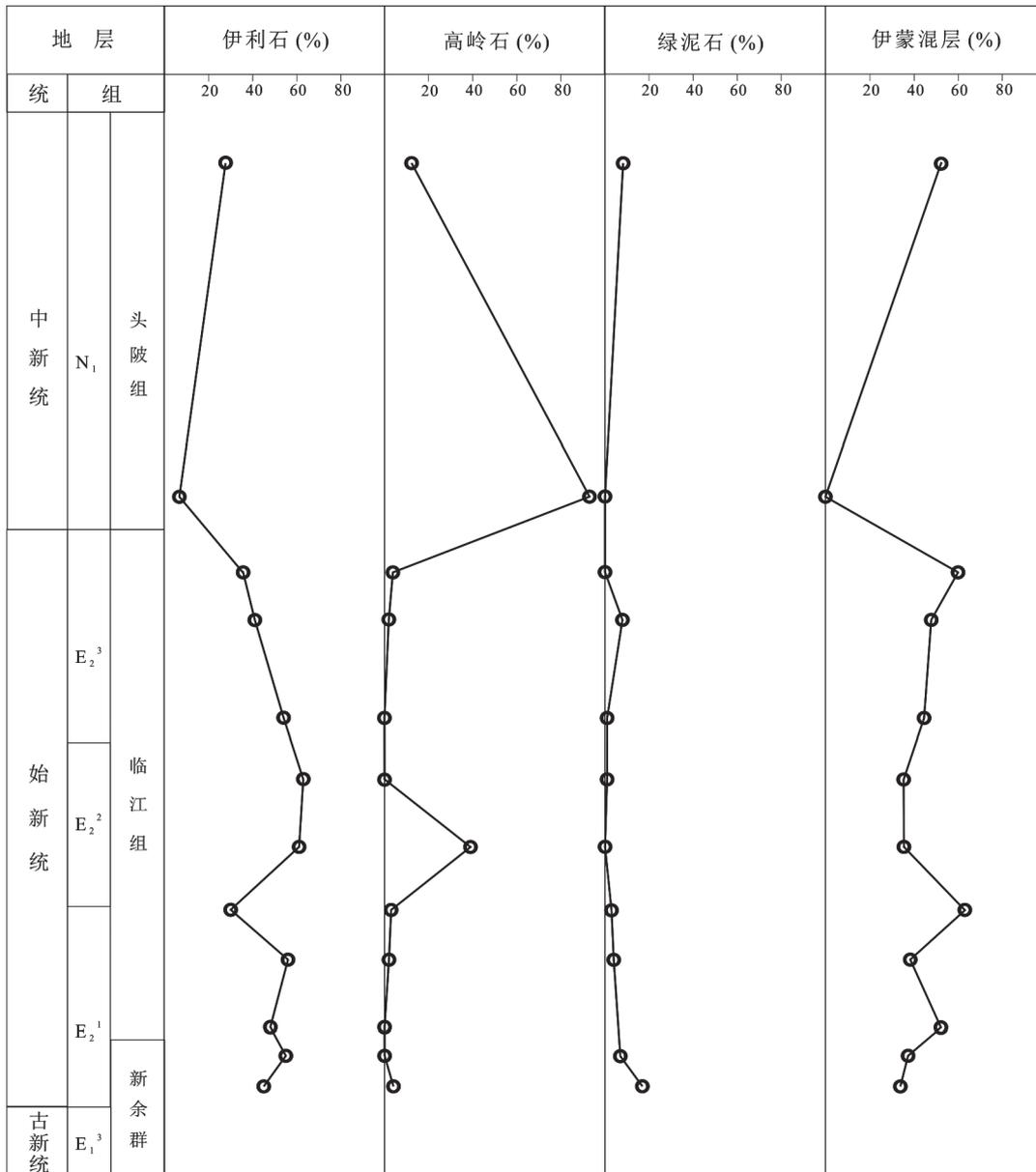


图5 江西清江盆地新余组、临江组和广昌盆地头陂组黏土矿物特征曲线

Fig. 5 Clay mineral characteristic curves of Xinyu Formation, Linjiang Formation and Toupi Formation in Qingjiang Basin, Jiangxi Province

### 参考文献:

- 鲍晶,叶程程,栗兵帅.2022.粘土矿物的提取、鉴定及其古气候意义——以柴达木盆地怀头他拉剖面为例[J].干旱区地理,45(3):814-825.
- Boucot A J,陈旭,Scotese C R,Morley R J. 2009. 显生宙全球古气候重建[J].北京:科学出版社.
- 陈涛,王欢,张祖青,王河锦.2003.粘土矿物对古气候指示作用浅析[J].岩石矿物学杂志,(4):416-420.
- 董红梅,宋友桂.2009.粘土矿物在古环境重建中的应用[J].海洋地质与第四纪地质,29(6):119-130.
- 江西省地质矿产局. 1984. 江西省区域地质志[M].北京:地质出版社.

质出版社.

- 江新胜,崔晓庄,伍皓,熊国庆,卓皆文,陆俊泽,江卓斐.2012.青藏高原东缘古近纪沙漠及其对季风起源的启示[J].沉积与特提斯地质,32(3):54-63.
- 李增学,周静,吕大炜,王东东,刘海燕,杨其栋.2013.琼东南盆地崖城组煤系空间展布特征[J].山东科技大学学报(自然科学版),32(2):1-8.
- 林旭,吴中海,董延钰,谢远云,刘海金,李兆宁.2024.新生代亚洲季风的演化过程[J].地质力学学报,30(4):673-690.
- 刘成林,余小灿,赵艳军,王九一,王立成,徐海明,李坚,王春

- 连.2016.华南陆块液体钾、锂资源的区域成矿背景与成矿作用初探[J].矿床地质,35(6):1119-1143.
- 刘东生,郑绵平,郭正堂.1998.亚洲季风系统的起源和发展及其与两极冰盖和区域构造运动的时代耦合性[J].第四纪研究,(3):194-204.
- 孙存礼.1981.江西晚第三纪地层的发现[J].地质论评,(3):256-259.
- 孙庆峰,陈发虎,Colin C,张家武.2011.粘土矿物在气候环境变化研究中的应用进展[J].矿物学报,31(1):146-152.
- 汤艳杰,贾建业,谢先德.2002.粘土矿物的环境意义[J].地学前缘,9(2):337-344.
- 田馨,向芳,罗来,宋见春.2009.陆相特殊沉积的研究方法及气候意义[J].地学前缘,16(5):71-78.
- 童国榜,贾秀梅,郑绵平,袁鹤然,刘俊英,王伟铭.2002.江汉盆地始新世中、晚期气候变化周期性的孢粉学证据[J].地球学报,23(2):159-164.
- 王钦,马丽,周仕林.2022.江西古近纪岩相古地理及其矿产资源概况[J].四川地质学报,42(1):24-29.
- 王成善,胡修棉.2005.白垩纪世界与大洋红层[J].地学前缘,12(2):11-21.
- 吴乃琴.1989.江西清江盆地临江组非海相腹足类化石及时代讨论[J].古生物学报,28(6):751-765+831-832.
- 向芳,宋见春,罗来,田馨.2009.白垩纪早期陆相特殊沉积的分布特征及气候意义[J].地学前缘,16(5):48-62.
- 徐先兵.2022.南岭地区白垩纪至古近纪陆相盆地及其对气候变化与构造域转换的制约[J].华南地质,38(4):569-582.
- 杨卫东,陈南生,倪师军,南君亚,吴明清,蒋九余,叶健骝,奉新湘,冉勇.1993.白垩纪红层碳酸盐岩和恐龙蛋壳碳氧同位素组成及环境意义[J].科学通报,38(23):2161-2161.
- 叶婷婷,颜照坤,张代柱,邵崇建,颜晨雨,赵文武,龚楚云,王锦程.2023a.陆相气候敏感沉积物在深时古气候演变研究中的应用——以我国中东部白垩纪古气候研究为例[J].江西科学,41(2):317-325.
- 叶婷婷.2023b.华南地区新生代陆相气候敏感沉积物时空分布特征与古气候演化规律[D].东华理工大学硕士学位论文.
- Biscaye P E. 1965. Mineralogy and Sedimentation of Recent Deep-Sea Clay in the Atlantic Ocean and Adjacent Seas and Oceans[J]. Geological Society of American Bulletin, 76(7): 803-800.
- Herman A B, Spicer R A, Aleksandrova G N, Yang J, Kodrul T M, Maslova N P, Spicer T E V, Chen G, Jin J. 2017. Eocene-early Oligocene climate and vegetation change in southern China: Evidence from the Maoming Basin[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 479: 126-137.
- Hong H L, Li Z H, Xue H J, Zhu Y H, Zhang K X, Xiang S Y. 2007. Oligocene clay mineralogy of the Linxia Basin: Evidence of Paleoclimatic evolution subsequent to the initial-stage uplift of the Tibetan Plateau[J]. Clays and Clay Minerals, 55(5): 491-503.
- Xie Y L, Wu F L, Fang X M, Song J Z, Niu Z C. 2022. Late Eocene onset of the East Asian Monsoon in the Qingjiang Basin of Central Jiangxi Province (Southeast China) revealed by a major vegetation transition from desert to forest[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 602: 111179.