

文章编号:1000-0550(2019)02-0320-10

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2018.133

古近纪气候变化在东海盆地内的化石记录

常吟善,赵洪,覃军,李帅,张建培

中海石油(中国)有限公司上海分公司,上海 200335

摘要 古近纪气候演化经历了由“温室气候”向“温凉气候”转变的过程,在此期间发生了三次显著的气候事件,分别为 PETM 极热事件、Oi-L 骤冷事件和 Mi-L 降温事件。利用东海陆架盆地内孢粉、有孔虫等古生物资料探讨了全球古气候变化背景下东海陆架盆地内古生物差异性变化,并根据特征孢粉组合恢复东海陆架盆地内不同时期古植被以及古气候,在此基础上将东海陆架盆地温度、湿度变化曲线与全球温度变化曲线、海平面变化作对比分析,结果显示东海陆架盆地气候演变与全球气候变化具有一定的耦合关系,并且对渐新世时期东海陆架盆地气候变化的原因进行了初步探讨,认为渐新世时期季风气候的形成导致了东海陆架盆地花港组整体呈现湿润的气候特征。

关键词 东海陆架盆地;古近纪;古气候;古植被

第一作者简介 常吟善,男,1988 年出生,硕士,盆地沉积学、层序地层学及储层预测,E-mail:yinshanchang@sina.com

中图分类号 P532 Q914 **文献标志码** A

0 引言

古近纪是被认为最重要的气候转折期之一,白垩纪中期至古近纪早期是显生宙典型的“温室气候”时期,古近纪中晚期开始,则转变为“温凉气候”^[1-3]。大致可划分为 3 个阶段:古新世—始新世早期的升温期,此时全球海平面基本稳定不变,在始新世早期全球海平面快速上升^[4-5];始新世中期—始新世末期的

稳定降温期,全球海平面缓慢下降;渐新世早期,南极冰盖形成^[6],全球气温急剧下降,全球海平面快速下降。在此期间发生了三次显著的气候事件,分别是 PETM 极热事件、Oi-L 骤冷事件和 Mi-L 降温事件^[7-8](图 1)。

从沉积学的角度分析,古近纪时期全球气候变化对东海陆架盆地内古生物变化、沉积充填物都会有所影响。前人尚未开展古近纪全球气候变化对东海陆

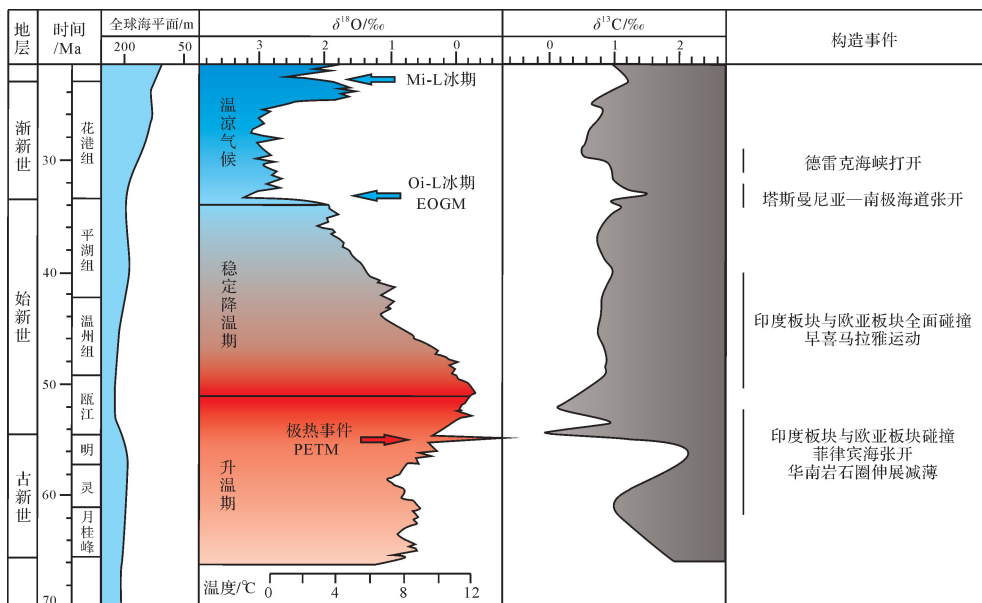


图 1 全球古近纪古气候变化事件及构造运动事件(据 Zachos *et al.*^[3] 修改)

Fig.1 Global Paleogene paleoclimate and tectonic events (modified from Zachos *et al.*^[3])

收稿日期:2018-02-08;收修改稿日期:2018-04-20

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05027-001)[Foundation: National Science and Technology Major Project, No. 2016ZX05027-001]

架盆地沉积响应的研究,本文通过对研究区古生物、岩性变化等资料,探索东海陆架盆地古近纪古气候特征及演化规律,并与古近纪全球气候进行对比分析,厘清全球气候变化在东海陆架盆地内的响应特征,对开展东海陆架盆地演化与全球气候变化的关系研究具有重要的意义。

1 区域地质概况

东海陆架盆地是由在中生代盆地之上叠置新生代盆地的多旋回构造单元组成,新生代地层是东海陆架盆地的沉积主体,沉积厚度最大可达 15 km。东海位于中国东部大陆边缘,构造单元上由“二盆三隆”:自西向东为闽浙隆起区、东海陆架盆地、钓鱼岛隆褶带、冲绳海槽盆地和琉球隆起区五部分组成(图 2)。

东海陆架盆地的地质演化是周边区域构造事件在东海海域的局部响应,盆地古近系地层共经历了雁荡运动(65 Ma)、瓯江运动(56.5 Ma)、玉泉运动(32

Ma)以及花港运动(23.3 Ma)4次区域性构造运动,在地震剖面上反映为4套典型的不整合面,分别为T100、T80、T30、T20。纵向上,东海陆架盆地可以划分出发育齐全的新生界地层,从老到新分别为:古新统(T100~T80)月桂峰组、灵峰组、明月峰组,始新统(T80~T30)瓯江组、温州组、平湖组,渐新统(T30~T20)花港组,中新统(T20~T10)龙井组、玉泉组、柳浪组,上新统(T10~T0)三潭组和第四系东海群12套地层(图3)。由于盆地“东断西超”的箕状结构特征,导致地层沉积厚度自东向西减薄。西部拗陷带新生代沉积厚度最大约9 000 m,主要沉积层为古近系,普遍缺失始新统上段、渐新统(仅在丽水—椒江凹陷局部地区有沉积),新近系(较薄)不整合于古新统之上。中央隆起带无古近系沉积,新近系厚度达2 000~4 000 m,直接不整合于基底之上。东部拗陷带新生代最大沉积厚度15 000 m以上,以发育巨厚的始新统、渐新统及中新统为特征,始新统平湖组之上地

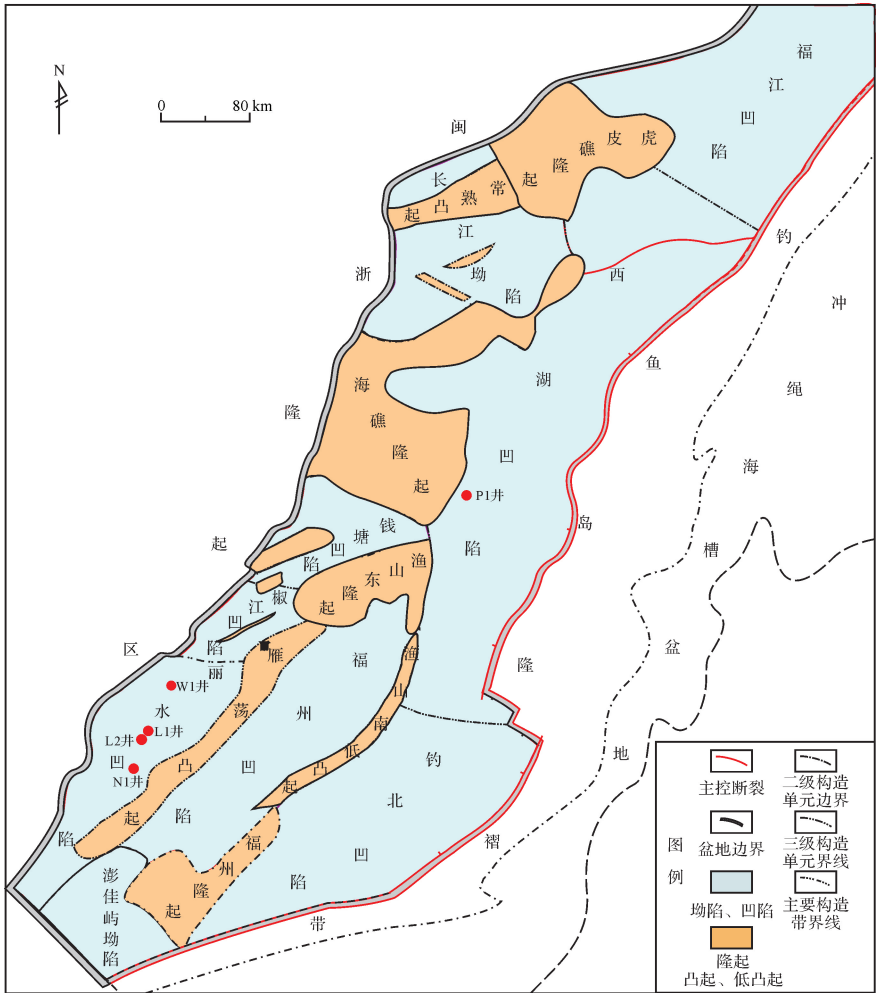


图2 东海陆架盆地构造单元划分(据上海分公司研究院)

Fig.2 Tectonic unit division of the East China Sea Shelf Basin(according to the Research Institute of CNOOC Shanghai Branch)

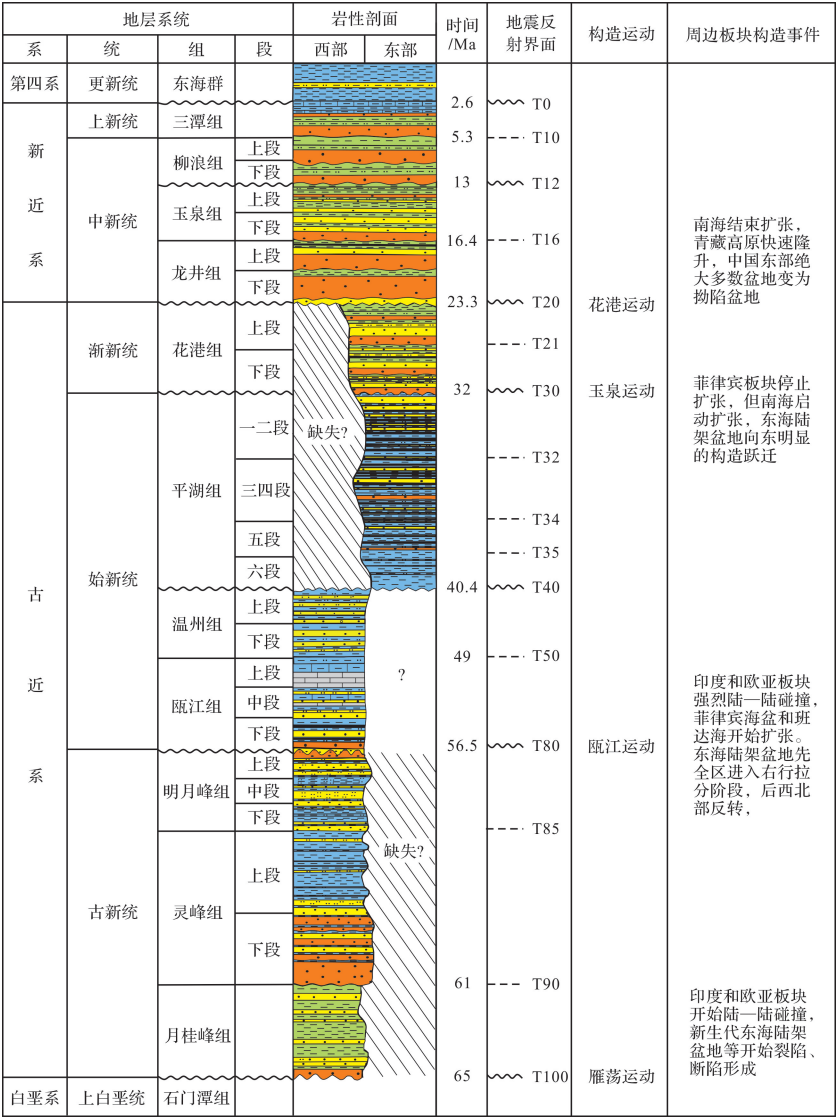


图 3 东海陆架盆地地层划分图(据上海分公司研究院)

Fig.3 Stratigraphic division of the East China Sea Shelf Basin(according to the Research Institute of CNOOC Shanghai Branch)

层发育齐全。

2 全球气候变化背景下古生物响应

古气候的变化必然会对生物圈内各个门类生物造成影响^[9]。本节主要通过孢粉以及有孔虫含量的变化分析古近纪古气候变化背景下东海陆架盆地内古生物响应特征。

2.1 孢粉含量变化

孢粉可用来反映古环境、古气候,例如东海盆地中较常见的杉粉,常见于陆相湖泊、沼泽或者低洼地带;粗肋孢,指示水体变浅的淡水环境;三瓣粉其母体植物为水生灌木植物;麻黄粉反映偏干旱气候环境^[10-11]等。

东海盆地孢粉资料丰富,根据孢粉母体植物对温度的适应性,分为喜热组、喜温组和广温组^[12]。喜热组其母体主要分布于热带至亚热带,少数可达温带;喜温组母体植物主要分布于暖温带,少数可达亚热带或者寒温带;广温母体植物主要分布于热带至温带。根据孢粉母体植物所处的环境,分为旱生组、中生组、沼生组、水生组四种类型(表 1)。本节利用东海陆架盆地内孢粉含量结合公示(1)、(2)、(3)计算温度综合指数以及湿度综合指数,分析东海盆地内温度、湿度的变化规律。

$$\text{相对比值 } R = \frac{\text{单位盖片孢粉粒数}}{\text{Max(研究层段单位盖片孢粉粒数)}}$$

(1)

表 1 各生态类型孢粉主要属种一览表 (据姚益民等改,1994)

Table 1 Main spore species of various ecological types (modified from Yao *et al.*, 1994)

喜热组			喜温组			广温组		
蕨类植物	<i>Lygodiosporites</i> 瘤面海金砂孢属	水生	<i>Osmundacidites</i> 紫萁孢属	水生	<i>Sphagnumsporites</i> 水藓孢属	水生		
	<i>Leitriteites</i> 光面三缝孢属	沼生			<i>Lycopodiumsporites</i> 石松孢属	中生		
	<i>Polypodiaceasporites</i> 水龙骨单缝孢属	沼生						
	<i>Deltoidospora</i> 三角孢属	沼生						
	<i>Pterisporites</i> 凤尾蕨孢属	旱生						
裸子植物	<i>Cycadopites</i> 苏铁属	中生	<i>Laricoidites</i> 拟落叶松属	中生	<i>Abietinaepollenites</i> 单束松属	中生		
	<i>Taxodiaceapollenites</i> 杉属	沼生	<i>Ginkgoretectina</i> 银杏属	中生	<i>Pinuspollenites</i> 双束松属	中生		
	<i>Tsugaepollenites</i> 铁杉属	中生	<i>Ephedriptes</i> 麻黄属	旱生	<i>Piceapollenites</i> 云杉属	中生		
					<i>Abiespollenites</i> 冷杉属	中生		
被子植物	<i>Caryapollenites</i> 山核桃属	中生	<i>Salixipollenites</i> 柳属	沼生	<i>Faguspollenites</i> 山毛榉属	沼生		
	<i>Engelhardtoidites</i> 黄杞属	中生	<i>Juglanspollenites</i> 胡桃属	中生	<i>Cupuliferoipollenites</i> 栗属	中生		
	<i>Quercoidites</i> 栎属	沼生	<i>Alnipollenites</i> 桤木属	沼生	<i>Chenopodipollis</i> 藜属	旱生		
	<i>Magnolipollis</i> 木兰属	中生	<i>Carpinipites</i> 枋属	中生	<i>Liliacidites</i> 百合属	旱生		
	<i>Liquidambarpollenites</i> 枫香属	中生	<i>Celtispollenites</i> 朴属	旱生	<i>Nylembo</i> 莲属	沼生		
	<i>Euphorbiacites</i> 大戟属	中生	<i>Ulmipollenites</i> 榆属	中生	<i>Persicariopollis</i> 蓼属	中生		
			<i>Tiliaepollenites</i> 椴属	沼生				
			<i>Artemisiaepollenites</i> 蒿属	旱生				
			<i>Compositoipollenites</i> 菊属	旱生				

湿度综合指数 = 2R_{旱生组} + R_{中生组} - R_{沼生组} - 2R_{水生组}

(2)

湿度综合指数 = $\frac{R_{\text{温凉}}}{R_{\text{炎热}}}$

分别选取丽水凹陷以及西湖凹陷 L2 井、P1 井的孢粉资料进行统计分析并且恢复其温湿度变化曲线。通过对丽水凹陷 L2 井(图 4)孢粉分析:1)蕨类植物主要以海金沙科为主;2)裸子植物花粉含量较高,以松科中的松粉(*Pinuspollenites*)和杉科中的杉粉(*Taxodiaceapollenites*)为主,局部稀少。雏囊粉(*Parcisporites*)、罗汉松粉(*Podocarpidites*)、油杉粉(*Keteleeriaepollenites*)、铁杉粉(*Tsugaepollenites*)稀少出现;3)被子植物花粉中最常见的是杨梅粉(*Myricaceoipollenites*),较常见的有栎粉(*Quercoidites*)、枫香粉(*Liquidambarpollenites*)、栗粉(*Cupuliferoipollenites*),藜粉(*Chenopodipollis*)、朴粉(*Celtispollenites*)零星出现。

分析表明:灵峰组上段至温州组代表干旱气候的藜粉(*Chenopodipollis*)、朴粉(*Celtispollenites*)罕见,湿生花粉常见,表明该时期气候湿润;灵峰组上段至明月峰组下段,杉粉(*Taxodiaceapollenites*)和松粉(*Pinuspollenites*)成交互式出现,反映当时冷热交替的气候特征;明月峰组上段,以及瓯江组的中下段适合在酸性土壤中生长杨梅粉(*Myricaceoipollenites*)大量产出,可能与此阶段全球 $\delta^{13}\text{C}$ 负偏移,二氧化碳含量急剧上升有关;自瓯江组上段开始,松粉含量逐渐占主导,表明气

候有逐渐变冷的趋势。整体湿度变化趋势纵向上表现为从灵峰组上段的稍湿润向温州组半干旱半湿润转变。温度变化趋势整体表现为自灵峰组上段开始升温,持续至瓯江组的上段,之后温度逐渐下降。

通过对西湖凹陷 P1 井孢粉(图 5)分析:1)蕨类植物孢粉主要以粗肋孢(*Magnastriatites*)和光面单缝孢(*Polypodiaceasporites*)为主,瘤面单缝孢(*Polypodisporites*)、凤尾蕨(*Pterisporites*)、紫萁孢(*Osmundacidites*)、海金砂(*Lygodiumsporites*)含量较少;2)裸子植物孢粉杉粉(*Taxodiaceapollenites*)和松粉(*Pinuspollenites*)含量最高,云杉粉(*Piceapollenites*)、雪松粉(*Cedripites*)以及麻黄粉(*Ephedripites*)含量较低;3)被子植物孢粉种类较多,但只有个别种属含量较高,整体含量并不太高。其中以高含量的桤木粉(*Alnipollenites*)为代表,从平湖组至花港组连续产出,仅局部含量较低,其次栎粉(*Quercoidites*)含量微高,在平湖组比较常见,至花港组陆续产出,含量较低,不太常见的被子植物孢粉主要有藜粉(*Chenopodipollis*)、榆粉(*Ulmipollenites*)、椴粉(*tiliaepollenites*)、胡桃粉(*Juglanspollenites*)、枫香粉(*Liquidambarpollenites*)、三瓣粉(*Trilobapollis*)等等。

对 P1 井孢粉含量的分析表明:孢粉中以湿生孢粉杉粉(*Taxodiaceapollenites*)、桤木粉(*Alnipollenites*)为主,干旱孢粉麻黄粉(*Ephedripites*)、朴粉(*Celtispol-lenites*),藜粉含量极低,表明平湖组与花港组整体处

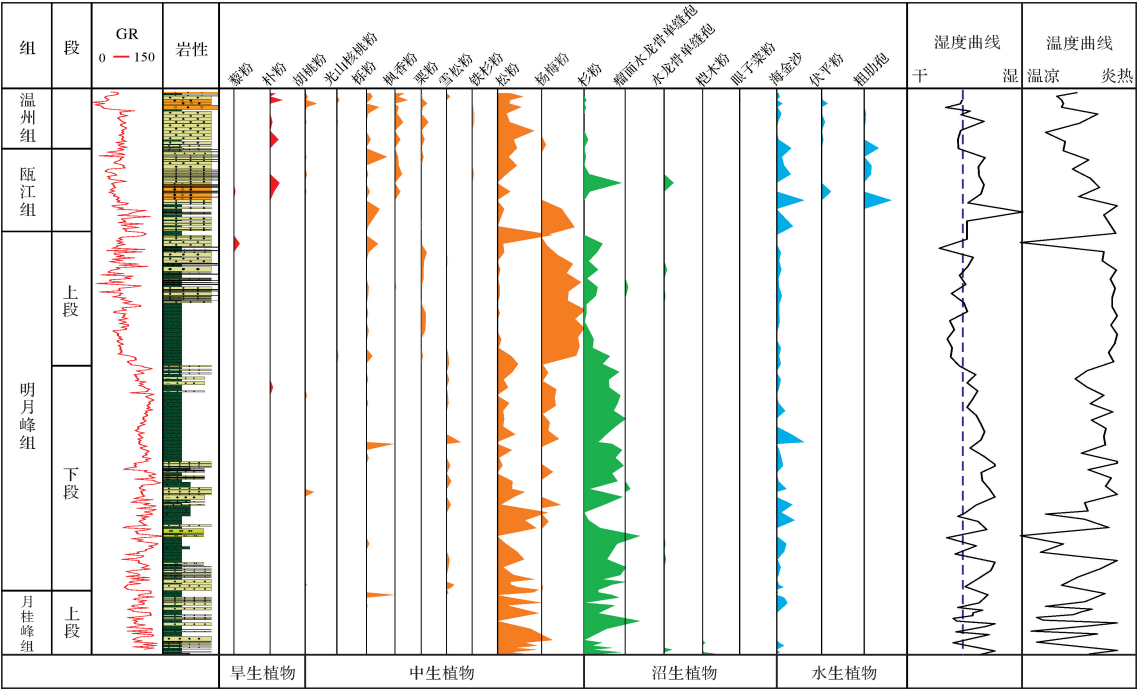


图 4 L2 井温、湿度敏感类型孢粉相对比值及相对温度、相对湿度综合变化曲线
Fig.4 Relative sporopollen content and relative temperature, and the humidity curve of L2

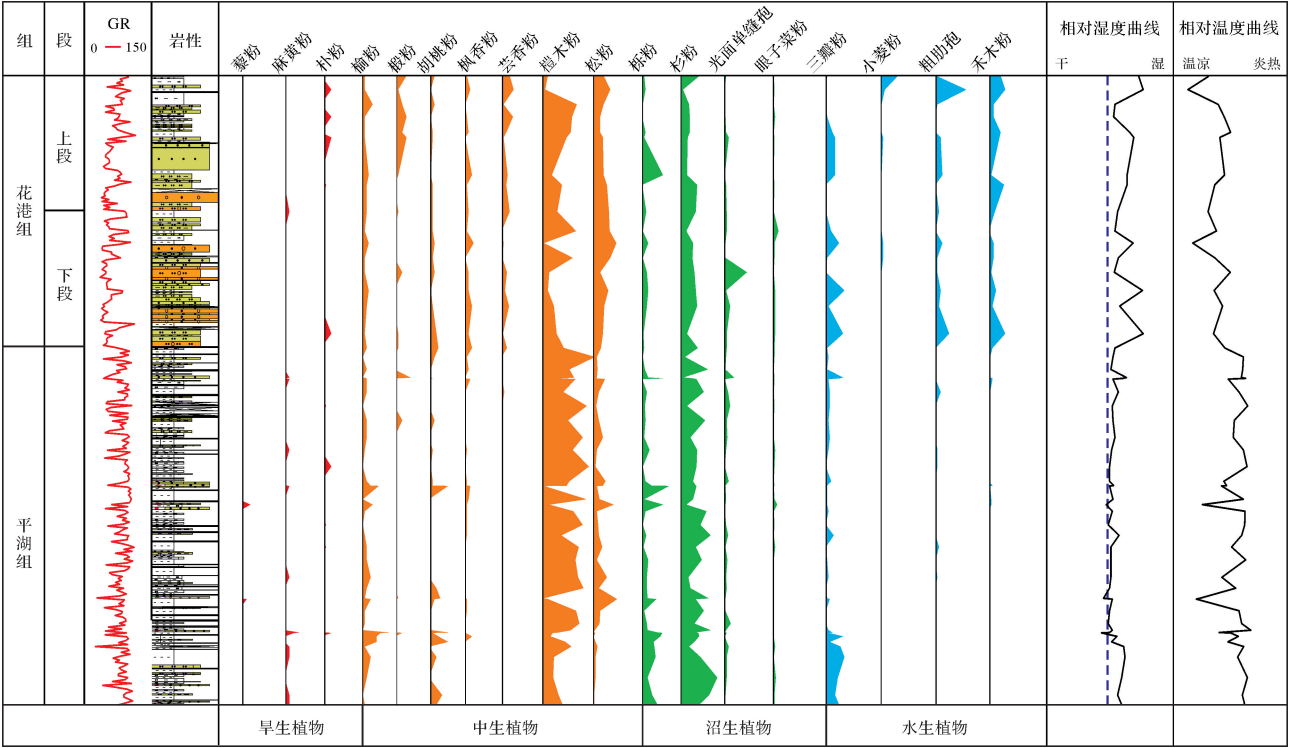


图 5 P1 井温、湿度敏感类型孢粉相对比值及综合曲线
Fig.5 Relative sporopollen content and relative temperature, and the humidity curve of P1

于湿润环境;纵向上,平湖组至花港组榧木粉(*Alnipollenites*)和杉粉(*Taxodiaceapollenites*)含量逐渐降低,松粉(*Pinuspollenites*)含量逐渐升高,反映由常绿阔叶林

向针叶林转变,表明温度降低;平湖组至花港组粗肋孢粉(*Magnastriatites*)等水生蕨类明显增多,反映河流作用开始增强。因此推测平湖组时期应是温暖湿润北亚

热带气候条件下海陆过渡环境,花港组处于温凉湿润北亚热带气候下河湖沼泽—三角洲环境。整体上自平湖组至花港组温度逐渐降低,湿度增大。

2.2 有孔虫丰度变化

绝大多数有孔虫都是海生的,只有少数生活在潟湖、河口等半咸水的环境里,有孔虫对环境的反应特别敏感,需要适宜的温度,因此可以根据有孔虫的丰度来判别温度变化。

东海陆架盆地内丽水—椒江凹陷先接受沉积,古新统中晚期整体处于海相沉积环境,有孔虫种类丰富,而西湖凹陷缺失下部地层,整体处于海退过程,有孔虫种数较少,因此本节主要利用丽水—椒江凹陷有孔虫资料来判断全球古近纪古气候的变化是否在东海盆地内有相应的化石记录。

通过对丽水凹陷 L1 井、L2 井、W1 井、N1 井四口井有孔虫丰度进行统计分析(图 6),垂向上有孔虫丰度在明月峰组顶部以及瓯江组的底部,大约 55 Ma (PETM 事件)附近,有孔虫丰度都出现了急剧降低至零的现象,之后有孔虫开始复苏,并呈增长态势,这一变化事件的发生在中国西藏岗巴地区同样有所记录^[13]。表明 PETM 期间的气候异常对海洋生物演化产生了重要的影响,在古新世—始新世极热事件中,由于海水温度陡升导致了东海陆架盆地有孔虫大量灭绝。

3 东海陆架盆地古近纪古植被与古气候演化

与古气候方面起着不可替代的作用^[14-16]。本节利用东海陆架盆地各个时期内主要孢粉,或者特征孢粉组合与现代植被的特征关系,定性地恢复东盆地不同时期古植被格局以及古气候(图 7)。

灵峰组上段—明月峰组底部:以含量较高的松粉—杉粉组合为特征,少量的栎粉、水龙骨单缝孢、雪松粉、海金沙等等。古植被结构:山地上生长着大量的松等常绿针叶林;山坡及谷底发育少量的栎、桉木、栗等喜温阔叶林、落叶林;沼泽湿地繁盛,生长着大量的杉等阔叶林植被,林下生长少量的水龙骨等蕨类植物。反映一种稍湿润的气候环境。

明月峰组中下段:主要以杉粉为主,较少松粉及杨梅粉,少量海金沙、栗粉、栎粉。古植被结构:山上生长较少松等常绿植物;山坡及谷地植被并不繁盛,稀疏的阔叶林;这一时期,沼泽湿地最为繁盛,杉科等阔叶林广泛生长;林下蕨类植物也比较发育。整体表明当时处于温暖湿润的气候环境。

明月峰上段—瓯江组中段:以杉粉—杨梅粉—海金沙属为特征孢粉组合,松粉、栎粉、水龙骨单缝孢粉、海金沙较常见。古植被结构:山地松等常绿针叶林植被继续衰退,山坡及谷地植被范围进一步扩大,主要以杨梅为主,沼泽湿地较为繁茂,林下水龙骨、海金沙等蕨类植物较发育。整体气候背景为湿润、炎热气候。

瓯江组上段至温州组:特征孢粉组合为松属—光面水龙骨单缝孢属,少量的朴粉、枫香粉、栎粉。古植被结构:山地上松等常绿针叶林植被开始复苏,山坡及山谷植被种类繁多,但数量较少,以朴粉、枫香

孢粉作为一种古环境的代用标志,在恢复古植被

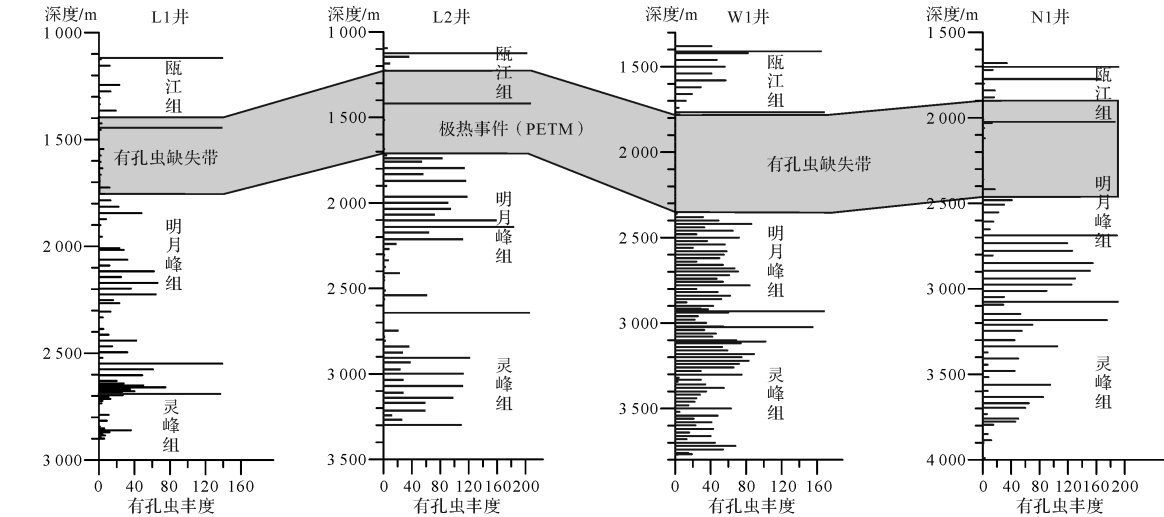


图 6 灵峰组至瓯江组沉积时期有孔虫垂向丰度图

Fig.6 Vertical abundance of foraminifera from the Lingfeng Formation to the Oujiang Formation

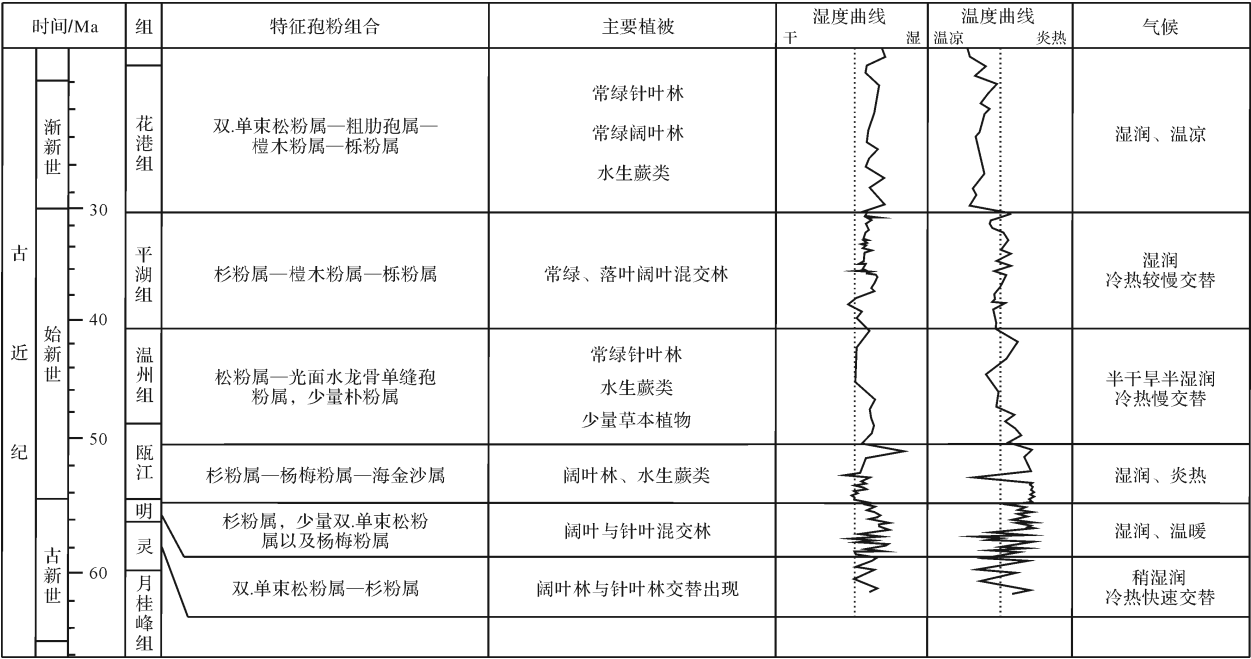


图 7 东海陆架盆地古植被恢复与气候演变

Fig.7 Restoration of ancient vegetation and climate change in the East China Sea Shelf Basin

粉、栎粉等为主；沼泽湿地萎缩，林下蕨类比较发育。整体属于半干旱半湿润，冷热慢交替的气候背景。

平湖组：以发育含量较高的杉属—桉木属—栎属孢粉组合为特征，少量的松粉，榆粉、芸香粉、水龙骨单缝孢等等。主要植被结构为：山地生长着松等常绿针叶林植被；山坡以及谷地发育有栎、桉木、榆、芸香等暖温到亚热带阔叶林、落叶林；沼泽湿地繁茂；林下蔓生水龙骨等蕨类植物。整体处于半干旱半湿润、冷热缓慢交替的气候环境。

花港组：以松粉—粗肋孢—桉木粉—栎粉为特征孢粉组合，同时杉粉也较常见，凤尾蕨孢、榆粉、胡桃粉、芸香粉、粗肋孢含量较少，朴粉、藜粉几乎不存在。主要植被结构：山地上松等常绿针叶林植被被扩张，山坡及谷地发育的榆、胡桃、芸香等暖温到亚热带阔叶林、落叶林基本保持不变；沼泽湿地略有减小，林下粗肋孢等水生蕨类开始大量产出。花港组整体气候特征属于湿凉、湿润。

整体上古植被演化由灵峰组上段至瓯江组中段山地常绿针叶林植被逐步萎缩，山坡及谷地亚热带阔叶林、落叶林，沼泽湿地以及林下水生蕨类扩张，局部存在衰退阶段，表明温度上升，湿度增大；瓯江组上段至平湖组沉积时期，常绿针叶林开始复苏，沼泽湿地发育，其规模稍有减小，表明温度开始下降，湿度略有减小；花港组沉积时期山地松等常绿针叶林植被被扩

张，水生蕨类繁盛，表明气温降低，湿度增大。

4 全球气候变化与东海陆架盆地气候对比

根据孢粉组合对东海盆地古近纪古植被、古气候演变的恢复，大致可以将东海陆架盆地古近纪划分为 3 个气候期次（图 8）。

气候Ⅰ期：古新世晚期至始新世早期，相当于灵峰组上段至瓯江组中段，孢粉组合特征反映以喜温热的杉、杨梅为主，沼泽湿地发育，松等常绿针叶林面积逐渐缩小，表明温度逐步升高，与全球温度变化一致，同时盆地内整体气候湿润，波动频繁，与此阶段全球海平面较高，频繁海侵海退具有一定的耦合性。

气候Ⅱ期：始新世早期至始新世末期，相当于瓯江组顶部至平湖组顶部，孢粉组合特征显示以阔叶林、沼泽湿地萎缩，针叶林扩张，表明相对于气候Ⅰ期温度降低，与全球温度变化趋势也具有可对比性，盆地内湿度与气候Ⅰ期湿度相比略有减小，与此时全球海平面逐渐下降，海水逐步退出东海盆地吻合。

气候Ⅲ期：渐新世时期，相当于花港组沉积时期，孢粉组合特征显示松等常绿针叶林植被扩张，水生蕨类开始繁盛，表明温度降低，与全球温度在此阶段急剧降低吻合，而该时期盆地内整体气候湿润，与全球海平面是处于急剧下降阶段呈矛盾关系。

5 探讨

据孢粉资料研究表明渐新世花港组沉积时期气候转温凉、湿润,而此时全球海平面呈现急剧下降的现象。本节尝试对花港组沉积时期气候转凉、潮湿的原因进行探讨分析。

前人研究表明^[17],渐新世初期我国东南部地区气候格局发生显著变化:东南部原来以石膏、膏盐等沉积为特征的干旱气候逐步湿润化,黄河以南开始发

育森林。种种变化标志表明渐新世初期东南季风初步形成。另外,从全球构造事件角度分析,渐新世处于印度板块与欧亚板块全面碰撞时期,亚洲陆地面积增加^[18],导致海陆加热反差增大,同时南极冰盖的出现导致南北半球的不对称性,因此假设原来的热带复合带(ITCZ)位于赤道附近,南极冰盖形成之后,热带复合带则会向北半球深入,使南半球信风进入北半球低纬度地区成为季风(图9),给陆地带来海洋水汽。

结合渐新世初期季风气候初步形成的气候背景,

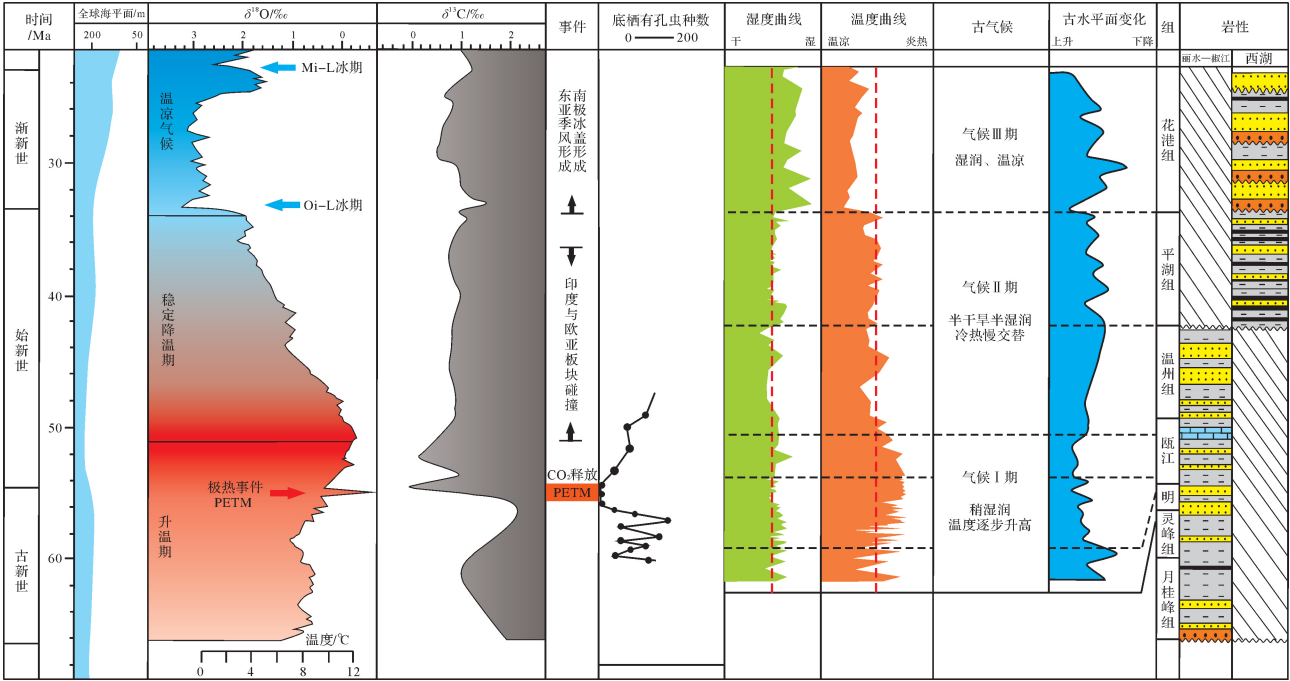


图8 东海陆架盆地气候变化与全球气候变化对比

Fig.8 Comparison of East China Sea Shelf Basin and global climate change

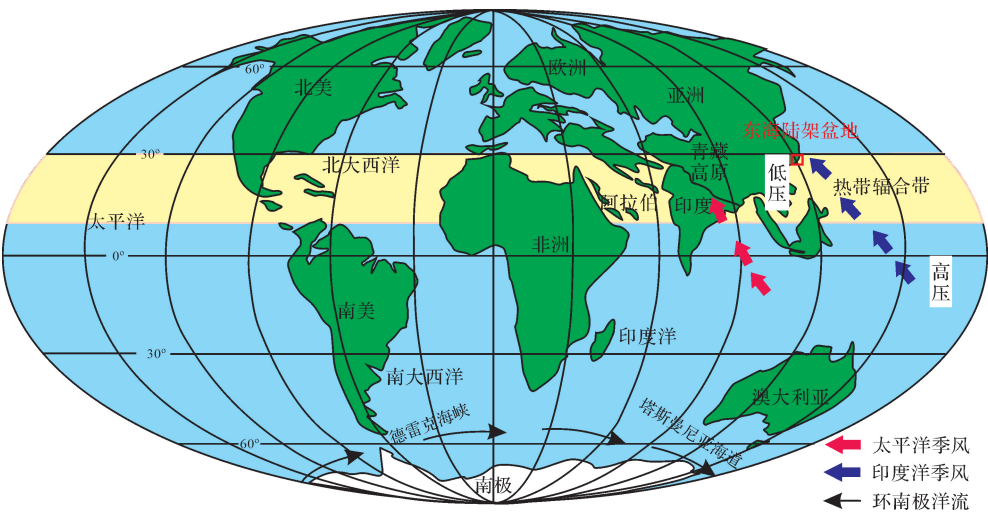


图9 渐新世全球构造格局与季风气候的形成

Fig.9 Oligocene global tectonic setting and monsoon climate formation

认为渐新世时期虽然南极冰盖形成,导致全球海平面急速下降,但是受太平洋季风的影响,东海陆架盆地整体气候温凉、湿润。同时频繁降雨导致盆地内水系发育,多期洪水事件造成花港组厚层河道砂体垂向叠置,粗砾砂岩广泛发育的沉积特征。

6 结论

(1) 全球古近纪古气候是从“温室气候”向“温凉气候”转变的过程,气候变化直接导致了东海陆架盆地纵向上不同类型古生物相应变化。

(2) 根据孢粉资料重建东海陆架盆地内部古近纪古植被并且恢复古近纪古气候,与全球气候变化进行对比分析,认为全球气候变化与东海盆地内部气候变化存在一定的耦合关系,可以说古近纪全球气候变化是导致东海陆架盆地内古生物、古植被、岩性等一系列沉积响应的重要因素。

(3) 通过对渐新世全球季风盛行的气候背景分析,认为渐新世时期尽管全球海平面急剧下降,但是受到太平洋季风气候的影响,频繁降雨,导致花港组沉积时期整体表现为较湿润沉积环境。

参考文献 (References)

- [1] 江湑,贾建忠,邓丽君,等. 古近纪重大气候事件及其生物响应[J]. 地质科技情报, 2012, 31(3): 31-38. [Jiang Tian, Jia Jianzhong, Deng Lijun, et al. Significant climate events in Paleogene and their biotic response[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(3): 31-38.]
- [2] 陆钧,陈木宏. 新生代主要全球气候事件研究进展[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(6): 72-79. [Lu Jun, Chen Muhong. Global climate events since Cenozoic[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2006, 25(6): 72-79.]
- [3] Zachos J, Pagani M, Sloan L, et al. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present[J]. Science, 2001, 292(5517): 686-693.
- [4] Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and cycles of sea-level change[M]//Wagoner J C. Sea-level change—an integrated approach. Algiers: SEPM Special Publication, 1988: 71-108.
- [5] 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.
- [6] 拓守廷,刘志飞. 始新世—渐新世世界线的全球气候事件: 从“温室”到“冰室”[J]. 地球科学进展, 2003, 18(5): 691-696. [Tuo Shouting, Liu Zhifei. Global climate event at the Eocene-Oligocene transition: From greenhouse to icehouse[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(5): 691-696.]
- [7] Bralower T J, Silva I P, Malone M J. New evidence for abrupt climate change in the cretaceous and paleogene: An ocean drilling program expedition to shatsky rise, Northwest Pacific[J]. GSA Today, 2002, 12(11): 4-10.
- [8] 陈祚祯,丁仲礼. 古新世—始新世极热事件研究进展[C]//中国科学院地质与地球物理研究所第11届(2011年度)学术年会论文集(中). 兰州:中国科学院地质与地球物理研究所, 2012: 937-950. [Chen Zuoling, Ding Zhongli. Research progress of Paleocene-Eocene thermal events[C]//Institute of geology and geophysics, Chinese academy of sciences, academic proceedings of the 11th (2011) annual conference (middle). Lanzhou: Institute of Geology And Geophysics, 2012: 937-950.]
- [9] 李芙蓉. 中国北方表土孢粉组合及其与植被和气候的关系[D]. 兰州:兰州大学, 2012. [Li Furong. The surface pollen assemblages and their relationships with modern vegetation and climate in North China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012.]
- [10] 蒋海军,胡明毅,胡忠贵,等. 西湖凹陷古近系沉积环境分析: 以微体古生物化石为主要依据[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(1): 74-78. [Jiang Haijun, Hu Mingyi, Hu Zhonggui, et al. Sedimentary environment of Paleogene in Xihu Sag: Microfossil as the main foundation[J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(1): 74-78.]
- [11] 张一勇,姜亮,李建国,等. 东海陆架西南部台北坳陷古近纪孢粉植物群的时空分布[J]. 古生物学报, 2003, 42(2): 223-238. [Zhang Yiyong, Jiang Liang, Li Jianguo, et al. Succession and distribution of the Paleogene palynoflora in the southwestern continent shelf of the East China Sea[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2003, 42(2): 223-238.]
- [12] 李守军,王明镇,郑德顺,等. 山东济阳坳陷古近纪的气候恢复[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2003, 22(3): 6-9. [Li Shoujun, Wang Mingzhen, Zheng Deshun, et al. Recovery of climate of Palaeogene in Jiyang Depression of Shandong[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2003, 22(3): 6-9.]
- [13] 王曦,万晓樵,李国彪. 西藏岗巴地区古新世—始新世世界线地层及底栖大有孔虫的演替[J]. 微体古生物学报, 2010, 27(2): 109-117. [Wang Xi, Wan Xiaoqiao, Li Guobiao. Turnover of larger benthic foraminifera during the Paleocene-Eocene stratigraphic boundary in Gamba, Tibet[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2010, 27(2): 109-117.]
- [14] 宋晓彦. 滇西北地区晚更新世以来植被演替与气候变化研究[D]. 北京:中国科学院植物研究所, 2007. [Song Xiaoyan. Study on vegetation succession and climate change since Late Pleistocene in Northwest Yunnan[D]. Beijing: Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, 2007.]
- [15] 陈瑜,倪健. 利用孢粉记录定量重建大尺度古植被格局[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1201-1212. [Chen Yu, Ni Jian. Quantitative palaeovegetation reconstruction at large scale based on pollen records[J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(5): 1201-1212.]
- [16] 倪健. 孢粉生物群区化与古植被定量重建[J]. 第四纪研究, 2013, 33(6): 1091-1100. [Ni Jian. Biomisation and quantitative palaeovegetation reconstruction[J]. Quaternary Sciences, 2013,

33(6): 1091-1100.]

- [17] Zachos J C, Lohmann K C, Walker J C G, et al. Abrupt climate change and transient climates during the Paleogene: A marine perspective[J]. *Journal of Geology*, 1993, 101(2): 191-213.
- [18] 刘东生,郑绵平,郭正堂. 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*, 1998, 18(3): 194-204. [Liu Tungsheng, Zheng Mianping, Guo Zhengtang. Initiation and evolution of the Asian monsoon system timely coupled with the ice-sheet growth and the tectonic movements in Asia[J]. *Quaternary Sciences*, 1998, 18(3): 194-204.]

Sedimentary Response to Paleoclimate Change in the East China Sea Shelf Basin

CHANG YinShan, ZHAO Hong, QIN Jun, LI Shuai, ZHANG JianPei

CNOOC(China) Co., Ltd. Shanghai Branch, Shanghai 200335, China

Abstract: The climate evolution of the Paleogene experienced changing from “greenhouse climate” to “ice chamber climate”. During this period, three significant climate events occurred: the PETM event, the Oi-L event and the Mi-L event. Using pollen and foraminifera data, we discuss the ancient biological differences in the East China Sea Shelf Basin based on the global palaeoclimate. According to the characteristics of the pollen assemblage with the monsoon climate formed in the Oligocene, we restore the ancient plant and climate patterns in the East China Sea Shelf Basin. Based on this, a comparison was carried out on the temperature and humidity changes in the East China Sea Shelf Basin, with special references to global temperature and sea level changes. We suggest that a certain coupling relationship exists between the climate changes in the East China Sea Shelf Basin and global sea level change, which helps us better understand climate change in the East China Sea Shelf Basin during the Oligocene. The formation of the monsoon climate during the Oligocene led to the humid climate characteristics of the Huagang Formation in the East China Sea Shelf Basin.

Key words: East China Sea Shelf Basin; Paleogene; palaeoclimate; ancient plant