

DOI:10.16562/j.cnki.0256-1492.2017081601

珠江口盆地西部新近纪高分辨率生物地层及海平面变化分析

毛雪莲, 徐守立, 刘新宇

中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 湛江 524057

摘要:珠江口盆地西部新近系主要为陆架浅海沉积环境, 发育良好的海相砂岩储集层和多套储盖组合。因此, 对这些砂体的成因及赋存位置的海平面变化研究至关重要。在有孔虫及钙质超微化石资料所建立的珠江口盆地西部新生代年代地层格架基础上, 以有孔虫个体大于0.25mm的浮游有孔虫丰度和百分含量为依据, 参照微体古生物化石带、岩性、电测和地震资料, 总结出三级旋回边界和最大海泛面识别标志, 从而提出具有国际对比意义的三级层序划分对比方案, 对盆地内18口井进行了层序划分, 识别出了2个完整的二级层序和15个三级层序。根据南海海域表层沉积物建立起的浮游有孔虫含量与水深的定量关系, 得出量化古水深数据, 辅以古生态成因相及特征沉积构造分析、海岸上超分析编制了海平面变化曲线, 指出珠江口盆地西部新近系受拗陷阶段持续沉降影响, 形成不同于海退型全球海平面变化的台阶式海侵特征。

关键词:海平面变化; 高分辨率生物地层; 新近纪; 珠江口盆地

中图分类号:P736.22 文献标识码:A

Late Cenozoic high resolution bio-stratigraphy and its bearing on sea-level fluctuation in the western Pearl River Mouth Basin

MAO Xuelian, XU Shouli, LIU Xinyu

Zhanjiang Branch of CNOOC Ltd., Zhanjiang, Guangdong 524057, China

Abstract: The Neogene in the Western Pearl River Mouth Basin is dominated by neritic shelf sediments, in which favorable marine sand reservoirs and multi-sets of reservoir-cap combinations are discovered. Therefore, it is the key to study the sea-level changes which control the origin and position of sand bodies. In order to understand the sea level changes, a chronostratigraphic framework of the western Pearl River Mouth Basin has been set up based on the abundance and percentage of foraminifera and calcareous nannofossils ($>0.25\text{mm}$) combined with bio-events and age data, lithological data, logging data and seismic data. Single well analysis of sequence stratigraphy is carried out for the data from eighteen wells. Two 2nd-order sequences and 15 3rd-order sequences are identified. The sea-level change curve was then established in cooperation with the study of the ancient ecological facies and depositional structures as well as the on-lap relationship, recognized on the reflection seismic profile. Paleo-water depth was quantified through comparison of the fossil foraminifera to present species in the western South China Sea, for which the living conditions are known. The Neogene in the western part of the Pearl River Mouth Basin is affected by the continuous subsidence during the depression stage and a stepped transgression sequence is formed, different from the sequences formed in global regressive stages.

Key words: sea-level change; high resolution bio-stratigraphy; Neogene; Pearl River Mouth Basin

层序地层学是20世纪80年代后期从油气勘探的实践中迅速发展起来的一门学科, 它使地层学研究进入一个崭新的发展阶段。高分辨率生物地层学对层序地层学的贡献不仅仅是为其提供了可靠的年代地层格架, 而且生物的生态组合内容也可辅助识别

层序界面及层序内部体系域特征, 因此许多石油地质工作者认识到, 将高分辨率的生物地层学、测井地层学与地震地层学的研究成果综合运用到层序地层学的研究中是提高层序地层分辨率的主要手段, 即所谓的“三位一体”^[1,2]。

资助项目:十三五国家重大科技专项“南海西部海域低渗油藏勘探开发关键技术”(2016ZX05024-006)

作者简介:毛雪莲(1986—),女,硕士,工程师,主要从事深水油气地质方面的研究工作,E-mail:maoxl5@cnooc.com.cn

收稿日期:2017-08-16; 改回日期:2019-03-08. 文凤英编辑

新近系是珠江口盆地西部油气勘探的重要层位,但关于本区新近系生物地层格架及定量的海平面变化分析鲜有报道,目前已发表相关成果多针对南海北部^[3,4]和珠江口盆地东部^[5,6]。盆内的层序地层研究主要参考珠江口盆地东部及全球海平面变化曲线,但由于珠江口盆地东、西部局部构造运动的差异性,导致局部海平面变化略有差异。随着深海钻探生物地层研究工作的深入^[7-10]和珠江口盆地西部勘探的不断推进,迫切需要建立便于与国际最新研究成果对比的、适用研究区内的新近纪海平面变化曲线。本文在高分辨率生物地层研究中,结合最新的国际地层年代表,选择48口具有代表性钻井的有孔虫及钙质超微化石定量和定性分析资料,参考当前国际生物地层研究成果,制定适用油气勘探的、以生物未现事件为标志的珠江口盆地新生代中晚期

微体古生物化石带标准年代表,建立与国际接轨的年代地层格架,便于与国际上最新的地层分析成果对比。以李学杰2004年建立的浮游有孔虫百分含量(P)与古水深的定量关系为基础^[5,11],结合沉积体系与层序地层学研究成果,初步建立珠江口盆地西部海平面变化曲线,为珠江口盆地新近系的勘探打下坚实的理论基础。

1 区域地质背景

珠江口盆地位于南海北部大陆边缘,受印度—澳大利亚板块、太平洋板块及欧亚板块3个洲际板块相互作用的共同影响。以113°10'E为界将珠江口盆地分为东、西两部分(图1),珠江口盆地整体可划分为北部(海南)隆起、珠三坳陷和南部(神

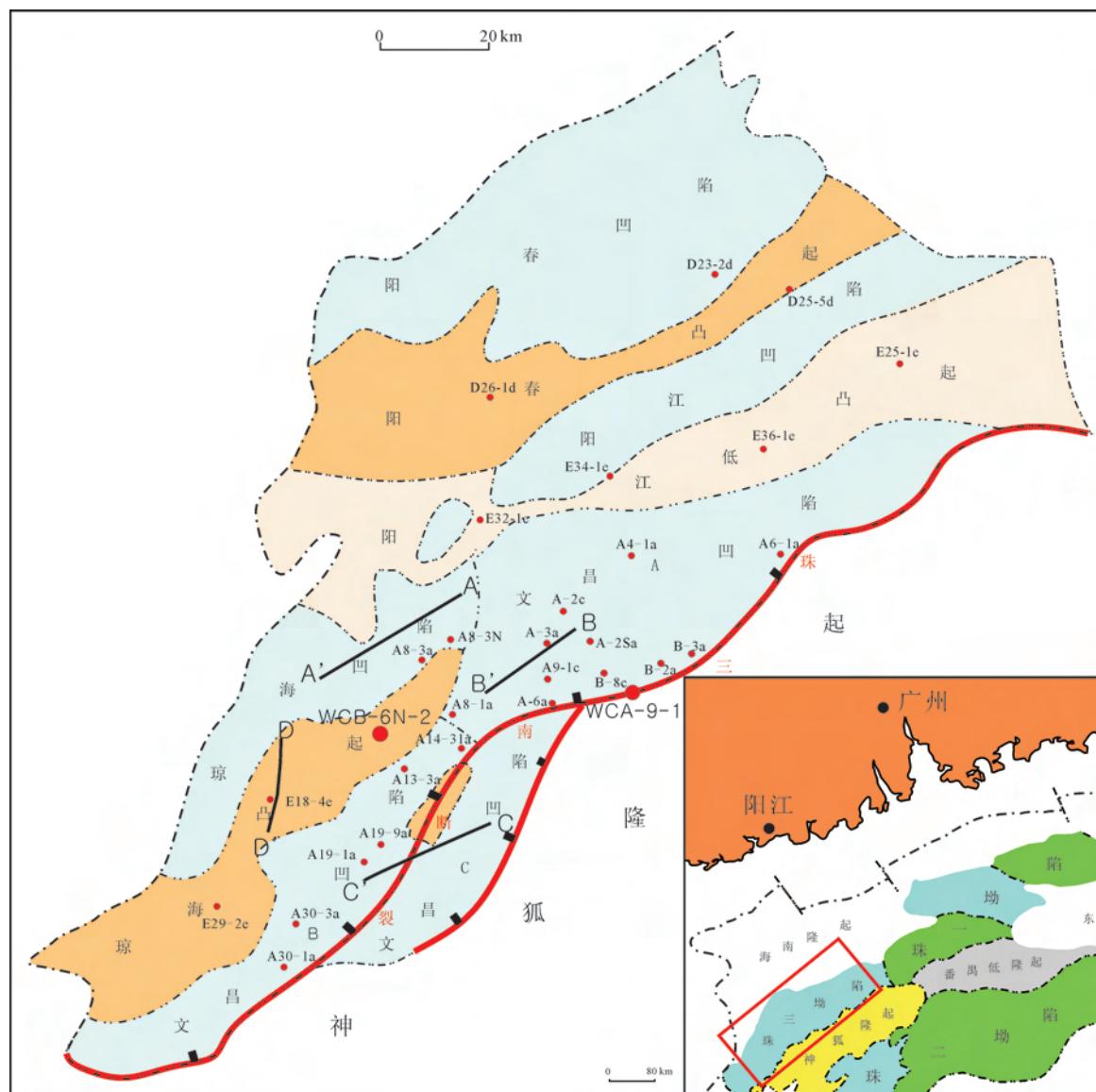


图1 珠江口盆地钻井和构造位置图

Fig.1 Tectonic map of Pearl River Mouth Basin with drilling sites

狐)隆起三部分,构造演化可分为两个大的阶段,即古近纪断陷阶段和新近纪裂后热沉降阶段^[25]。

2 样品分析

本文分析样品均为岩屑样品,其中常规鉴定采用了20~30m采样间隔,定量分析采用了10~15m的采样间隔。有孔虫样品采用常规方法处理:①样品称重(50g);②散样(H_2O_2 泡样、煮样);③冲洗(筛孔径0.063mm、240目);④烘干(称重,获得砂/泥比);⑤筛样(使用3种孔径的筛: $>0.75\text{mm}$,20目; $>0.25\text{mm}$,60目; $>0.125\text{mm}$,120目);⑥镜下鉴定(针对化石丰富的样品采用缩分鉴定,最后换算为每克数量)。

镜下鉴定主要针对上述三种粒级的有孔虫,进一步分为浮游有孔虫、底栖有孔虫(有孔钙质、无孔钙质及粘合质)两大类4种类型进行属种鉴定及数量统计,由此获得属种分布图及9个有孔虫定量参数。

3 年代地层格架的建立

微体古生物化石带是中新生代海相沉积中年代地层对比的主要手段,因此,如何更充分、更科学地利用微古生物化石提供的信息将成为层序地层学研究中的关键。浮游有孔虫及钙质超微化石的LO(Last Occurrence,末现事件)能为层序地层提供精确可靠的年代地层格架。浮游有孔虫化石带的建立,主要参考Blow为代表的数字带^[11]及Bolli为代表的种名带^[8]。上述分带大多以标志种初现事件(FO-First occurrence)为标志,但是油气勘探中大多为岩屑录井,可能产生岩屑掉块造成初现面易位,因此,油气勘探中以标志种末现事件(LO)定义分带界线相对更准确,初现事件仅作辅助参考^[5]。在研究区可建立中新世N4至更新世N22共19个有孔虫化石带或联合带(表1)。

钙质超微化石带的建立,参考Martini提出的“NN”带方案^[13]及Okada和Bukry的“CN”带方案^[21],研究区内可建立新近纪NN1—NN19共19个化石带或联合带(表1)。

生物年代地层格架的建立,针对由于测试方法、手段、地区差异等原因,导致同一标志种生物事件的年龄值存在较大差异这一现象。本文结合2015年最新的“国际地质年代表”,参考ODP184航次(O-

cean Drilling Program,大洋钻探计划)经天文调谐后的生物事件年代表^[14,15]和具有全球对比意义的“新生代磁性生物年代表”^[16,17],以及ODP130航次、大西洋低纬度ODP154航次的研究成果^[9,10,18,19]。选择48口具有代表性钻井的有孔虫及钙质超微化石定量和定性分析资料中标志种生物演化事件,建立适用油气勘探的、以生物末现事件为标志的年代地层格架及微体古生物化石标准年代表(表1)。

4 相对海平面变化分析

海平面变化是岩相古地理学和层序地层学研究的重要内容之一,是指随时间迁移海平面相对于某一基准面发生上下变动。通过对海平面变化规律的分析,可以预测沉积体系的展布方向、范围,研究砂体的成因及赋存位置,有助于全面了解研究区的沉积环境。海平面变化的研究方法有很多,目前广泛应用的有古生态分析方法、地震地层学、层序地层学方法、特征成因相法、稳定同位素法等^[20,21]。

4.1 微体化石组合特征与古水深变化

海平面的升降变化会导致海水深度的不断变化,尤其对于大陆边缘盆地,必然导致生物居群的变化,具体表现为生物丰度与分异度周期性变化。因此,生物丰度与分异度变化是生物居群的综合生物事件响应,它与海泛面、凝缩层以及层序边界紧密相关^[6,22]。20世纪50年代,国外就有科学家探索使用浮游有孔虫与底栖有孔虫的比值(P/B)^[23]或浮游有孔虫百分含量(P)来反映古水深^[24]。而后在不同海区进行了定量研究,得出适合不同海区的定量关系。

李学杰(2004)在南海西部 $4^\circ\sim18^\circ\text{N}, 108.5^\circ\sim115^\circ\text{E}$ 范围,36~4284m水深,共301个站位进行系统取样,包含了从陆架—陆坡—深海盆地的广大海域。通过分析,发现浮游有孔虫含量与水深关系在陆架区和半深海—深海盆地地区具明显不同的特征,并在此基础上分别拟合了浮游有孔虫百分含量(P)与古水深(D)的定量关系。

$$\text{陆架区: } \ln D = 0.021P + 3.208 \quad (1)$$

$$\text{半深海—深海区: } D = -5263P + 52105.2 \quad (2)$$

在以上理论基础上,本文以WCA-9-1d井为例进行微体古生物层序及古水深综合分析。

表 1 珠江口盆地西部年代地层格架及微体古生物化石标准年代

Table 1 Chronostratigraphic framework of the western Pearl River Mouth Basin with standard age of microfossil

地层系统					地震 界面	时间/ Ma	有孔虫事件	有 孔 虫 带	钙质 超微 化石 带	钙质超微事件
界	系	统	组	段						
新 生 界	第四 系 统	更 新 统	琼 海 组	Qpq	T05	0	<i>L. Gs. extremus</i> /1.77Ma <i>F. Gr. truncatulinoidea</i> /2.0Ma <i>L. Gr. exilis</i> /2.15Ma <i>L. Gr. multicamerata</i> /3.09Ma <i>L. Gg. astispira</i> /3.09Ma <i>L. Ss. seminudina</i> /3.14Ma <i>F. Gr. tosensis</i> /3.35Ma <i>L. Gr. margaritae</i> /3.58Ma <i>L. Pu. primula</i> /3.65Ma	N22	NN19	<i>L. Discoaster brouweri</i> /1.95Ma <i>L. Discoaster pentaradiatus</i> /2.52Ma <i>L. Discoaster surculus</i> /2.53Ma <i>L. Discoaster variabilis</i> /2.7Ma <i>L. Sphaerolithus obies-neobabis</i> /3.66Ma <i>L. Reticulofenestra pseudounifascia</i> /3.82Ma <i>L. Amauroliithus triconiculatus</i> /4.01Ma
						5	<i>L. Gr. margaritae primaria</i> /5.54Ma <i>L. Gr. juanai</i> /5.54Ma <i>Gr. menardii</i> SD/5.82Ma <i>L. Gr. languensis</i> /6.03Ma	N21	NN18 NN17	<i>L. Ceratolithus acutus</i> /4.99Ma <i>L. Discoaster quinqueveramus</i> /5.54Ma <i>L. Discoaster neohamatus</i> /5.54Ma
		中新 统	上 中 海 组	N,y	T10	10	<i>L. Gg. dehisceens</i> /9.8Ma <i>L. Gr. continua</i> /9.8Ma	N19	NN13 NN12	<i>L. Discoaster berggrenii</i> /7.2Ma <i>L. Discoaster neorectus</i> /7.39Ma <i>L. Discoaster challenger</i> /7.64Ma <i>F. Discoaster quinqueveramus</i> /8.28Ma
						15	<i>L. Gr. siakensis</i> /10.46Ma <i>L. Gs. subquadratus</i> /11.19Ma <i>Lgr. fohsi</i> sl./11.68Ma <i>Lgr. praemendorfii</i> /11.68Ma	N18	NN11	<i>L. Discoaster hamatus</i> /9.41Ma
						20	<i>L. Gr. peripheroacuta</i> /13.42Ma <i>L. Gr. peripheroranda</i> /14.19Ma <i>L. Gs. sicarus</i> /14.78Ma <i>L. Pr. glomerosa</i> sl./14.78Ma <i>F. O. suturalis</i> /15.16Ma <i>F. Pr. transitoria</i> /15.16Ma <i>L. Gr. birmanica</i> /15.16Ma	N17	NN10 NN9	<i>F. Discoaster hamatus</i> /11.04Ma <i>L. Discoaster deflandrei</i> /11.55Ma <i>L. Discoaster kugleri</i> /11.55Ma
	中新 统	中 中 江 新 组	N,h		T20	25	<i>F. Gs. sicarus</i> /16.39Ma <i>L. Cs. dissimilis</i> /17.24Ma	N16	NN6	<i>L. Sphaerolithus heteromorphus</i> /13.61Ma
						30	<i>L. Gt. insueta</i> /18.52Ma	N15	NN5	<i>L. Helicosphaera ampliaperta</i> /15.16Ma <i>L. Helicosphaera euphratis</i> /15.16Ma
						35	<i>L. Gr. kugleri</i> /20.71Ma	N14	NN4	<i>L. Sphaerolithus belemnitos</i> /18.06Ma <i>L. Sphaerolithus disbelemnitos</i> /18.06Ma
						40	<i>L. Gg. cipriensis</i> /22.9Ma	N13	NN3	<i>F. Sphaerolithus belemnitos</i> /19.72Ma
						45		N12	NN2	
	系 统	下 中 江 新 统	珠 江 新 组	N,z2	T40	50		N11	N8	
						55		N10	NN1	<i>L. Cyclargolithus abiseptus</i> /22.56Ma <i>L. Reticulofenestra bisecta</i> /23.03Ma <i>L. Helicosphaero recta</i> /23.03Ma <i>L. Zygrhablithus bijugatus</i> /23.38Ma
	界 界	上 渐 新 统	珠 海 组		T41	60		N9	NP25	
						65		N8		
						70		N7		
						75		N6		
						80		N5		
						85		N4		
						90		N3		
						95		N2		
						100		N1		

WCA-9-1d 井位于文昌 A 凹陷南部边缘靠近珠三南断裂(图 2), 珠江组—粤海组沉积期内主要识别出 8 个三级层序(图 2)。

珠江组沉积期内共识别出4个三级层序，分别对应层序S1.4、S1.5、S2.1、S2.2，海平面整体呈现

上升趋势。S1.4 层序内自底部向上有孔虫丰度逐渐增大,最大海泛面位于 2613m 附近,>0.25mm 的有孔虫丰度为 1180 枚/50g,GR 曲线呈钟型,此时有孔虫及钙质超微化石的丰度及分异度达到了极大值,向上有孔虫丰度及分异度逐渐降低,在

2421.2m 浮游有孔虫稀少,有孔虫及钙质超微化石丰度及分异度降到极小值,推断位置为层序 S1.4 顶界面。层序 S1.5 在深度 2296m 处,>0.25mm 的有孔虫丰度为 570 枚/50g,有孔虫分异度为 15,钙质超微化石分异度为 9,上升至极大峰值,推断此时为最大海泛面,2296~2109m,>0.25mm 有孔虫丰度变化范围为(16~124)枚/150g,浮游有孔虫百分含量自下而上由 98% 下降到 60%,表明水体逐渐变浅。根据浮游有孔虫百分含量与古水深定量关系,推断 S1.5 层序沉积期内平均水深在 150m,层序 S1.4 平均水深 120m,海平面呈上升趋势。层序 S2.1 自底部 2109m 向上至 1934.5m,>0.25mm 有孔虫丰度自 16 枚/50g 上升至 698 枚/50g,同时分异度由 10 上升至 27,浮游有孔虫百分含量由 60% 上升至 93%,推断 1934.5m 海平面上升至最大值。根据浮游有孔虫百分含量与古水深定量关系推断水深在 150m 左右,此时沉积了全区稳定分布的龟背状泥岩,对应研究区内 T50 界面。1934.5~1652m,有孔虫丰度变化范围为 13~262 枚/50g,浮游

有孔百分含量变化范围为 29%~80%。顶界在浮游有孔虫带 N6 顶界附近,以有孔虫 *Cs.dissimilis* 末现为标志。层序 S2.2 自底部 1652~1509m 有孔虫分异度由 10 呈锯齿状上升至 34,浮游有孔虫的百分含量由底部 56% 上升至 90%,钙质超微化石的分异度呈逐渐增加的趋势,推断海平面呈逐渐上升的趋势,在 1509.4m 处上升至最大值。根据浮游有孔虫百分含量与古水深定量关系,推断平均水深 170m 左右。有孔虫丰度变化范围为 347~633 枚/50g,顶界在钙质超微 NN4 带顶界附近,以钙质超微化石 *Helicosphaera, Ampliperta* 末现为标志。

韩江组沉积期内由于水体较深,远离物源,以泥岩沉积为主。由于采样精度及沉积环境所限,本区仅识别层序 S2.3—S2.5 联合带及层序 S2.6,层序 S2.3—S2.5 无法进一步将其区分开,主要分布于钙质超微化石带 NN5—NN7 附近,在 1331m 处附近水深达到 152m,1331~1273m 浮游有孔虫百分含量略有降低,有孔虫丰度自底部向上,由 3956 枚/50g 下降到 1440 枚/50g 左右,推断海平面呈下降趋

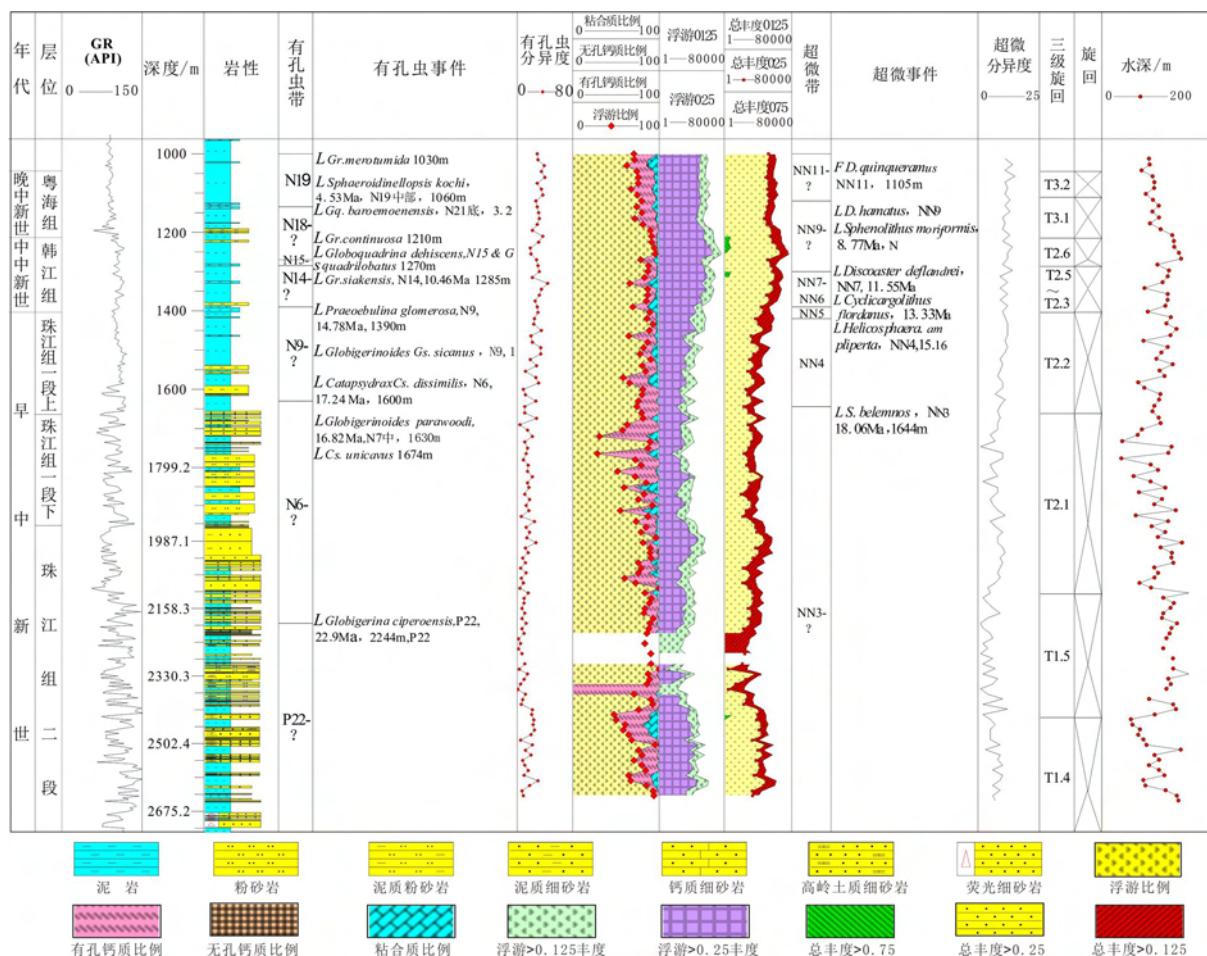


图 2 WCA-9-1d 井微体古生物层序及古水深综合解释图

Fig.2 Diagram of micro-biological stratigraphy and deduced water depth for WCA-9-1d

势。层序 S2.6, 在 1260m 处有孔虫丰度达到最大值 114617 枚/50g, 浮游有孔虫百分含量最高近 100%, 推断此时为最大海泛面, 根据浮游有孔虫百分含量推断, 此时水深为 183m, 水体较层序 S2.3—S2.5 联合带深。有孔虫丰度及浮游有孔虫百分含量在 1260~1201m 沉积期内呈现逐渐下降的趋势, 推断海平面逐渐下降。

粤海组沉积期内识别出层序 S3.1—S3.3 联合带, 层序 S3.3 顶界在钙质超微化石 NN11 带顶部附近, 以 *Discoaster quinaqueramus* 末现为标志。粤海组沉积期内平均水深 116m 左右, 中中新统韩江组平均水深 150m, 粤海组海平面明显较韩江组沉积期内低。

4.2 有孔虫壳体的碳氧同位素与相对海平面变化

氧的表生地球化学与古气候密切相关, 因此, 氧

同位素的周期变化可以间接反映古气候的演变。根据同位素分馏原理, 在冰期, 大量淡水集中到两极形成冰盖, $\delta^{18}\text{O}$ 将随着冰冻作用而聚集到两极, 从而使海水中的 $\delta^{18}\text{O}$ 相对富集。钙质生物骨骼的氧同位素组成与海水关系密切, 也必然出现 $\delta^{18}\text{O}$ 相对增高的趋势, 间冰期的情况与冰期相反。因此, 冰期钙质生物骨骼中 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素含量要比间冰期生物骨骼含量高。

ODP184 航次 1148 站获取了迄今为止晚新生代最连续、最完整的 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线^[22,25]。通过与其他站位 $\delta^{18}\text{O}$ 曲线对比分析可以看出, 南海与全球有一致的气候变化过程, 晚新生代以来, 氧同位素曲线发生 5 次变重事件(图 3), 其中 14.8~13.6 Ma 的氧同位素变化规模最大, 标志着气候变冷, 南极冰盖形成, 与研究区内 S2.5 底部界面相对应。

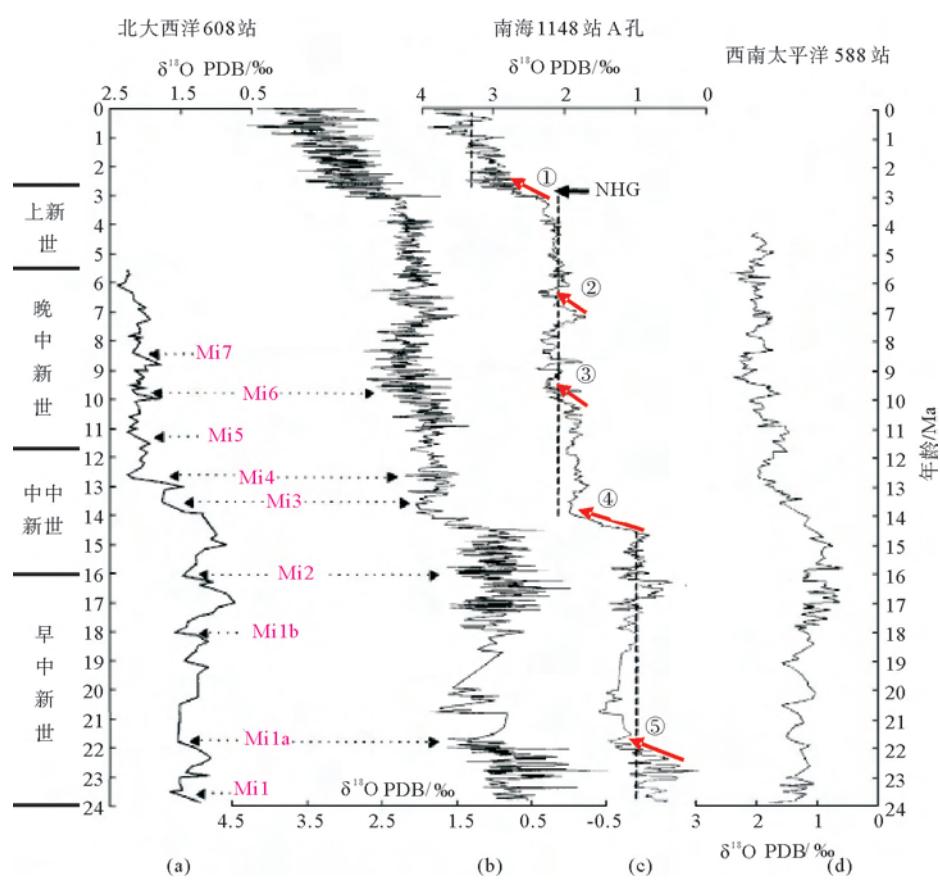


图 3 北大西洋 608(a)与南海 ODP1148(b)和西南太平洋 588 站(d)晚新生代底栖有孔虫氧同位素地层对比(据文献[25])
(a)608 站点氧同位素数据及年龄取自文献[8], Mila, 1-7 为 $\delta^{18}\text{O}$ 变重事件; (b)1148 站底栖有孔虫(*Cibicidoides. Wuellerstorfi*)氧同位素曲线;

(c)b 图氧同位素经 5 点平滑曲线, 垂直虚线分别为 3 个 $\delta^{18}\text{O}$ 平台段的平均值, NHG 代表北半球冰盖; (d)588 站氧同位素数据取自文献[7]

Fig.3 Correlation of oxygen isotopic curves of Late Cenozoic benthic foraminifera from North Atlantic station 608(a),

South China Sea station ODP1148 (b) and station 588 in the South West Pacific(d)

(a)Oxygen isotope data and age from literature^[8], Mila, 1-7 is $\delta^{18}\text{O}$ Weight change event at station 608; (b)Benthic foraminifera (*Cibicidoides. Wuellerstorfi*) Oxygen isotope curve at station 1148; (c)Figure b is the oxygen isotope smoothing curve through five points; The vertical dashed lines are the average values of three Delta ^{18}O platform segments, and NHG represents the northern hemisphere ice sheet; (d)Oxygen isotope data from station 588 are collected from literature [7]

4.3 上超点变化与相对海平面变化

相对海平面变化是指海平面相对与陆地表面的视上升或视下降。海岸沉积物超覆点的迁移记录了盆地沉积范围阶段性扩张与收缩。海平面相对上升,海岸沉积物向陆方向渐进上超,表现为超覆点不断向陆方向迁移。海平面相对下降,其标志是削蚀或海岸沉积物上超点的向下迁移。

研究区内地震剖面的反射终止模式主要有超覆、削蚀和断超三种关系,层序界面的主要识别依据有:①削顶或冲刷充填形成的不整合关系(图4a,c、d);②地层沉积上超造成的不整合关系(图4c);③底超和顶超(图4a,b)。通过上超点的变化恢复海

平面变化曲线,首先要根据上述地震剖面反射终止模式划分地震层序,识别层序界面,同时结合微体古生物化石带确定层序界面年龄。利用层序内部上超点的变化幅度及水平距离,计算海平面变化的幅度(图5)。

5 与 Haq 等全球海平面变化曲线对比

5.1 珠江口盆地西部海平面变化曲线

珠江口盆地西部自新近纪开始海平面变化包含了两个完整的二级海平面变化旋回(图6)。

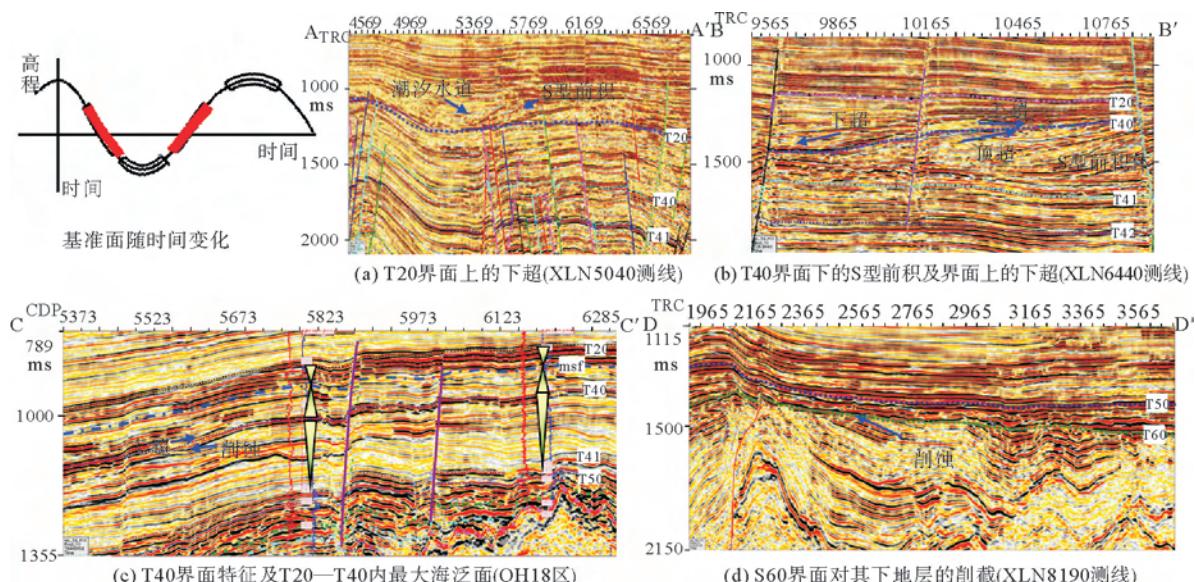


图4 珠江口盆地层序界面的识别标志(剖面位置见图1)

(a)T20界面上发育潮汐水道及S型前积体;(b)T40为顶超面,上覆地层上超,下伏发育大型S型前积体;(c)T40界面底部削蚀,上覆地层上超;T20-T40间海侵体系域低频、弱-中连续反射,高位域中频、连续强反射;(d)T60构造削蚀面

Fig.4 Identification characteristics of sequence boundaries in Pearl River Mouth Basin

(a)Tidal channel and s-type foreset are developed at the T20 interface; (b)T40 is the top overpass, the overlying strata are overpass, and large s-type foreset is developed underneath; (c)The bottom of the T40 interface is eroded and the overlying strata are overpass; the low-frequency, weak-medium continuous reflection and high-potential medium-frequency, continuous strong reflection in the transgressive system tract(TST) between T20 and T40; (d)T60 is the tectonic erosion surface

第一个二级旋回,时间为23.03~10.5MaBP。在23.03MaBP沉积期,珠江口盆地开始接受全面的海侵,神狐隆起逐渐淹没于水下,自珠江组开始,有孔虫的丰度逐渐增多,滨海的范围逐渐缩小,浅海的范围逐渐扩大。主要最大海泛面在钻井中出现两处:一是在18.3MaBP左右,在浮游有孔虫N6/N5带界线和钙质超微NN4/NN3带界线附近,是S2.1层序的最大海泛面,此时有孔虫丰度及分异度较高,

沉积了全区稳定分布的龟背泥岩,与地震界面T50一致。二是S2.2的最大海泛面,年龄值为16.7MaBP,有孔虫丰度及分异度均较高。由WCB-6N-2井底栖有孔虫分布图可以看出,自1347m开始代表陆架一半深海的底栖有孔虫Uvigerina(葡萄虫属)以及Lenticulina(凸镜虫)、Martinottiella(节鞭虫)等明显增加(图7)^[3,4,26],推断古水深多为100~200m,主要为中浅海—外浅海沉积背景。

第二个二级层序,时间为10.5~2.5 MaBP,由于本区的有孔虫样品所限,目前多数钻井仅可以观察到S3.1—S3.2两个层序,该段沉积期内主要参考莺琼盆地海平面变化^[27],有孔虫丰度及分异度较高,底栖有孔虫均出现代表深水沉积环境的*Robulus nikobare*、*Uvigerina striatissima*等组合,结合莺琼盆地古水深变化,在5.2 Ma整个陆架水体较深,海侵范围最广。

5.2 与 Haq 等全球海平面变化曲线对比

珠江口盆地西部海平面变化曲线与珠江口盆地东部海平面变化曲线总趋势较为吻合(图6),与盆地东部海平面变化曲线^[5]差异主要表现在层序界面的年龄及海平面变化的幅度不同,如S2.5的顶部,珠江口盆地东部顶界面年龄12.5 Ma,本区S2.5的顶界面年龄10.5 Ma。海平面下降的幅度也不及盆地东部强烈。产生这些区别的原因可能有两个方面:一是人为定量统计有孔虫存在误差所致;二是沉积物厚度计算时,忽略构造沉降幅度、不同岩性压缩

比、地层倾角等因素导致最终海平面变化曲线幅度有差异。由于神狐隆起的阻隔,珠江口盆地西部海侵由东向西逐步推进,东部海侵时间略早于研究区。同时,本区界面年龄多采用最新的有孔虫及钙质超微事件年龄,与东部的微体古生物事件年龄标准略有差异。

本曲线图与全球海平面变化曲线图(图6)比较可以看出,与Haq的全球海平面变化主要差异表现在中中新世—晚中新世海平面,全球海平面^[1]在中中新世—晚中新世较大的海退只出现一处,即在S3.1层序底界,本区则出现两处:一处在中中新世S2.5层序底界,另一处在晚中新世S3.1层序底界。全球海平面幅度最低的S3.1层序恰处于本曲线高部位,造成二级层序对比不协调,究竟是何原因,以下进行初步分析。

(1)据ODP钻探资料,中中新世暖水群*Globorotalia fohsi*分布范围缩小,推断中中新世西北太平洋古海流由一个温带冷水浮游有孔虫动物群代替接近热带的早中新世动物群,在加里福尼亚、北和南

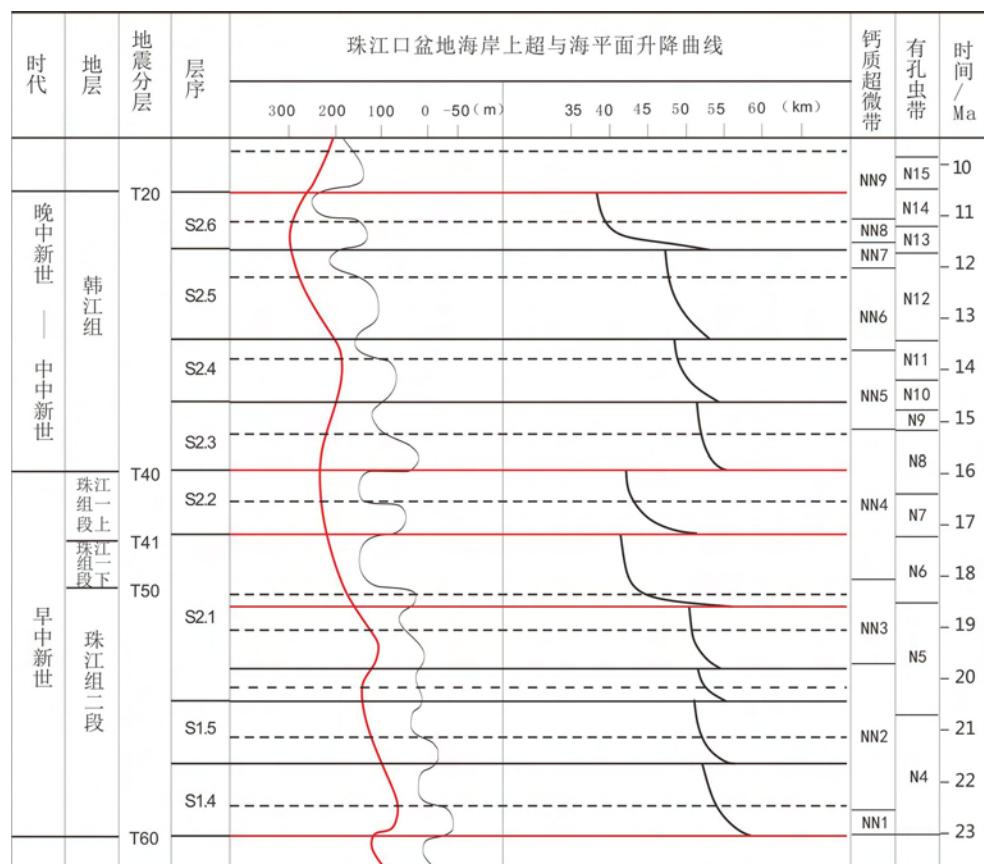


图5 珠江口盆地西部珠江组—韩江组海岸上超及海平面变化曲线

Fig.5 The changes in coastal onlap points and the curve of sea level changes for Zhujiang-Hanjiang Formation in The Western Pearl River Mouth Basin

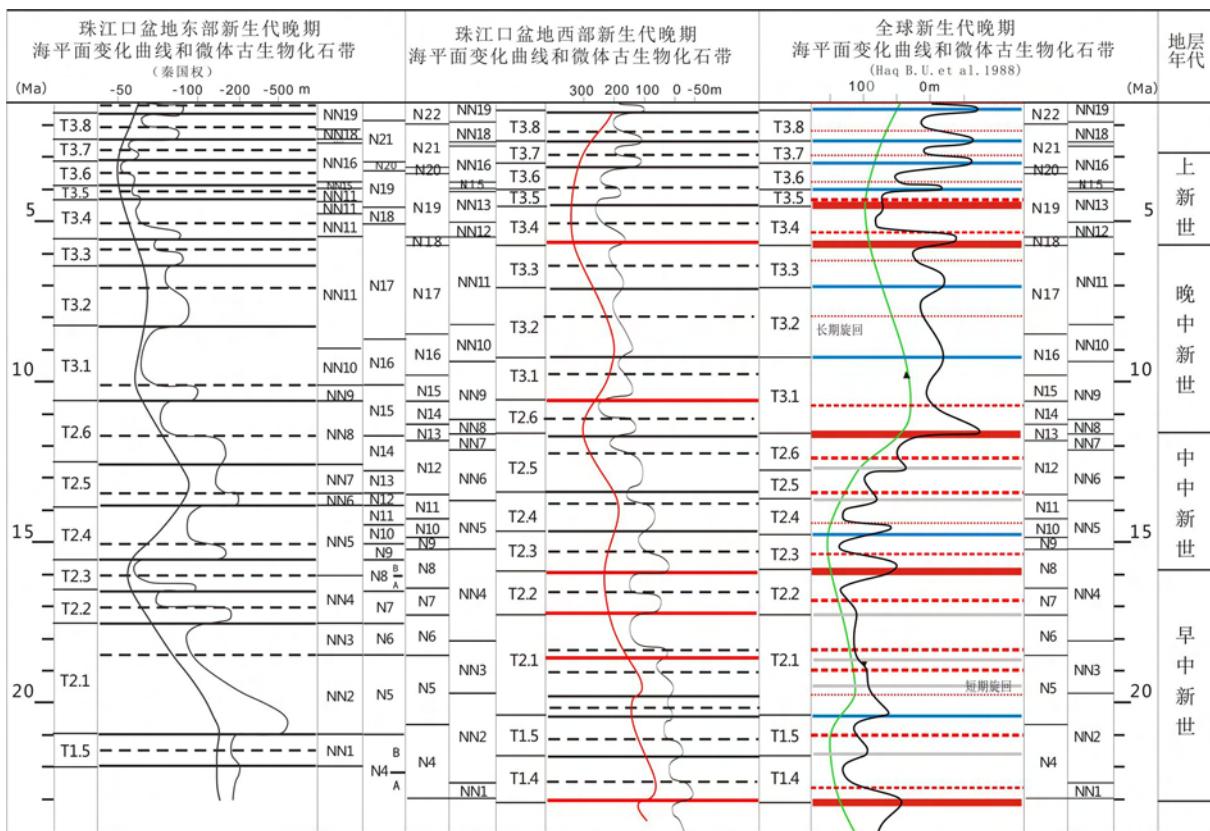


图 6 珠江口盆地海平面变化曲线与全球海平面变化曲线对比

Fig.6 Sea level changes in the Western Pearl River Mouth Basin and correlation with global standard

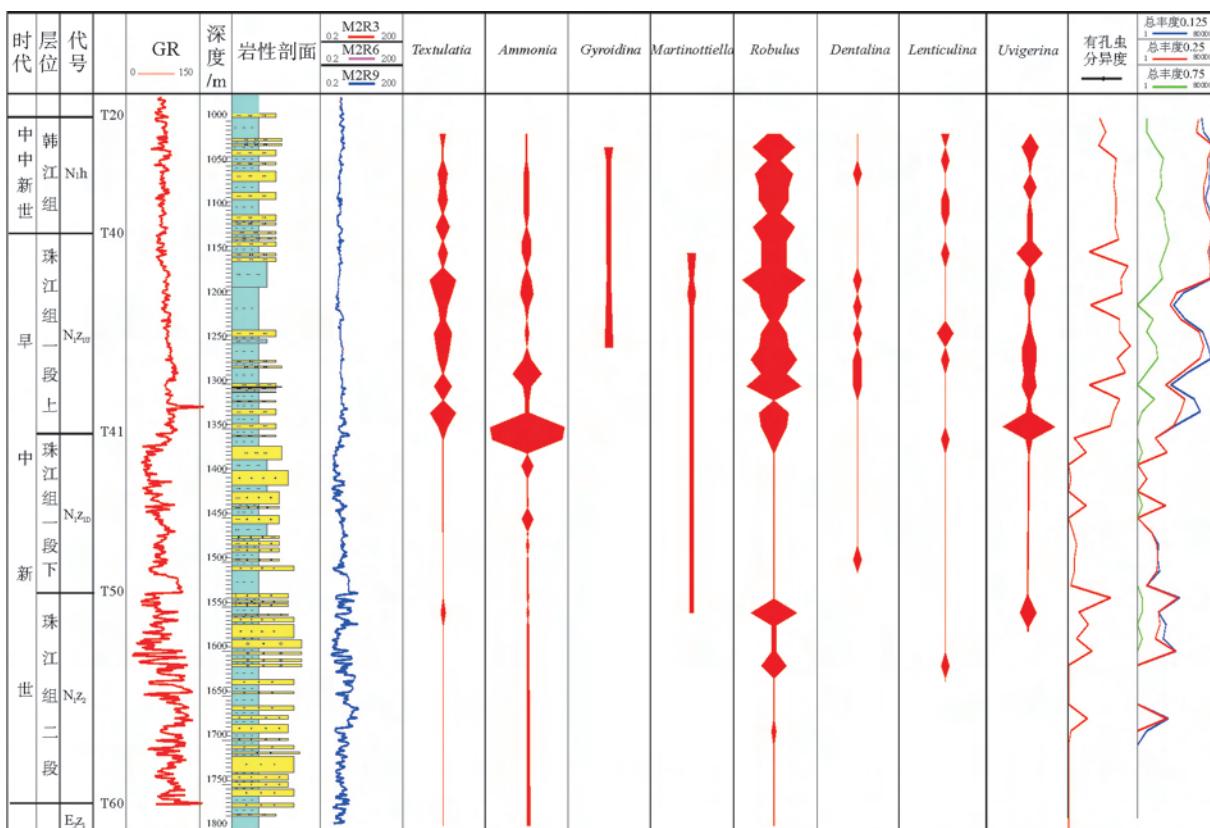


图 7 WCB-6N-2井特征底栖有孔虫分布图

Fig.7 The distribution of characteristic benthic foraminifera in WCB-6N-2 well

大西洋^[16],南太平洋中—低纬度深海钻孔^[7]等地区的新近纪中记录有相似的动物群变化,结合较多的氧同位素资料,可见 14.5~13.6 Ma 左右 $\delta^{18}\text{O}$ 值明显向正值偏移,指示气候变冷,南极冰盖形成(图 3),与本区海平面变化曲线 S2.5 层序底部出现的海平面下降相对应。Haq 等编制的全球海平面变化曲线对中中新世(大约 14 Ma 前)这次气候变冷而引起的环太平洋和大西洋地区的大海退事件,没有反映在全球海平面变化曲线中。

(2) 中中新世晚期的 S2.3—S2.5 层序,由于钻井中有孔虫和钙质超微化石生物鉴定结果普遍以化石联合带出现,同时珠江口盆地西部主要以中—外大陆架沉积环境为主,海平面波动对其影响较小,因此,有孔虫定量分析难以辨别联合层序 S2.3—S2.5。结合 1148 航站 Mi3 的氧同位素加重事件与东部的海平面变化曲线,推断中中新世海平面最低点位于 S2.5 层序的底界(13.65 Ma)。

(3) 全球海平面变化图中的大海退放在 11.6 Ma, 钙质超微 NN7 带的顶部,所在的 S3.1 三级层序位于二级层序的最低部位,而珠江口盆地西部,此时海平面位于较高的位置,浮游有孔虫丰度和百分含量与相邻层位比较相对较高。本区的海退位于钙质超微化石带 NN9 带内部 10.5 Ma 左右(图 6),浮游有孔虫丰度及百分含量呈明显的下降趋势。

(4) 晚中新世(10~5 Ma)的东沙运动时期,珠江口盆地西部发生构造热事件,造成该区裂后热沉降过程中的断块差异升降运动、岩浆活动及断裂活动等。由于受区域热沉降的影响,本区 10.5~5 Ma 的海平面升降曲线下降幅度较全球海平面小。

6 结论

(1) 珠江口盆地西部新近系以来在全球海平面变化、区域构造运动和拗陷阶段的持续沉降的影响下形成了不同于海退型全球海平面变化的珠江口盆地西部台阶式海侵型相对海平面变化。新近纪海平面整体表现为一个大的上升过程,发育 2 个完整的二级旋回和 15 个三级旋回。

(2) S2.4 层序底部出现的海平面下降与 13.8 Ma 南极冰盖的形成、环太平洋和大西洋地区海平面下降相对应,结合本地区构造运动,盆地主要处于稳定沉降的拗陷阶段,弱化了海平面下降对沉积物的影响,在盆地内部没有明显的侵蚀面。

(3) 珠江口盆地西部最高海平面时期为上新世,即 NN12—NN16 带,其次为晚中新世早期,相当于

NN7—NN8 带以及早中新世 NN3 带顶部,高海平面时期形成的泥岩是全区十分理想的盖层,与韩江—珠江组等低海平面时期的砂岩形成多套优质储盖组合。

参考文献(References)

- [1] Haq B U, Hardenbol, Vail P R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic[J]. Science, 1987, 235: 1156-1167.
- [2] Vail P R, Audemard F et al. The statigraphic signature of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview[C]// Einsele G, Ricken W and Seilacher A. Cycles and Events in stratigraphy. Berlin: Springer-Verlag, 1991: 671-659.
- [3] 段威武,黄永祥.南海北部陆缘中、晚第三纪古地理、古环境研究[J].地质学报,1989,16(4): 363-372. [DUAN Weiwu, HUANG Yongxiang. Palaeogeography and palaeoenvironments of Middle and Late Tertiary in the northern continental margin of the South China Sea[J]. Chinese Journal of Geology, 1989, 16(4): 363-372.]
- [4] 曾鼎乾.南海北部大陆架第三系[M].广州:广东科技出版社,1981.[ZENG Dingqian. Tertiary of the Continental Shelf in the Northern South China Sea[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Publishing House, 1981.]
- [5] 秦国权.珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化[J].中国海上油气(地质),2002,16(1): 1-10. [QIN Guoquan. Late Cenozoic sequence stratigraphy and sea-level changes in Pearl River Mouth Basin, South China Sea[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology) ,2002,16(1):1-10.]
- [6] 陈中强,钟石兰,杨少坤.微古生物在高分辨率地层学中的应用-以珠江口盆地惠州凹陷层序地层分析为例[J].微体古生物学报,1998, 15(2): 134-143. [CHEN Zhongqiang, ZHONG Shilan, YANG Shaokun. Application of micropaleontology in high resolution sequence stratigraphy: A case study of sequence stratigraphy in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1998, 15(2): 134-143.]
- [7] Kennett J P. Miocene to early Pliocene oxygen and carbon isotope stratigraphy of the Southwest Pacific, DSDP Leg 90[R]// In: Kennett J P, et al. Init Rep DSDP, V90(pt.2), 1986: 1383-1411.
- [8] Wright J D, Miller N G. Miocene stable isotope stratigraphy, Site 747, Kerguelan Plateau[C]// In: Wise S W, et al. Proc ODP Sci Res, 1992, 120: 855-866.
- [9] Chaisson W P, Leckie R M. High-resolution neogene planktonic foraminifer biostratigraphy of site 806, ontong java plateau (western equatorial pacific) [C]// In: Berger W H, Kroonenke L W, Mayer L A, et al. Proc. ODP, SCI. Results, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1993, 130: 137-178.
- [10] Pearson P N, Chaisson W P. Late Paleocene to middle Miocene planktonic foraminifer biostratigraphy of the Ceara Rise [C]// In: Shackleton N J, Curry W B, Richter C, et al. (Eds.), Proc. ODP, Sci. Results, 154: College Station, TX

- (Ocean Drilling Program), 1997;33-68.
- [11] 李学杰,陈芳,陈超云.南海西部浮游有孔虫含量与水深关系定量研究[J].古地理学报,2004,6(4):442-447.[LI Xuejie, CHEN Fang, CHEN Chaoyun. Quantitative study on the relationship between planktonic foraminifera content and water depth in the western South China Sea[J]. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition), 2004, 6(4):442-447.]
- [12] Blow W H. The Cainozoic Globigerinida[M]. Brill Leiden, 1979.
- [13] Martini E. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nanoplankton zonation[C]//Farinacci A, eds. Proceedings of the II planktonic conference, Roma, 1970 Roma: Teknoscienza 1971;739-785.
- [14] 李前裕,郑范,刘传联.渐新世/中新世分界的地层学事件[J].海洋地质与第四纪地质,2007,27(5):57-64.[LI Qianyu, ZHENG Fan, LIU Chuanlian. Stratigraphic events of the Oligocene/Miocene boundary[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(5):57-64.]
- [15] 李前裕,Lucas Lourens,汪品先.新近纪海相生物地层事件年龄新编[J].地层学杂志,2007,31(3):197-208.[LI Qianyu, Lucas Lourens, WANG Pinxian. New age of Neogene marine biostratigraphic events[J]. Journal of Stratigraphy, 2007, 31 (3):197-208.]
- [16] Berggren W A, Hilgen F J, Langereis C G, et al. Late Neogene chronology: new perspectives in high-resolution stratigraphy[J]. Geol. Soc. Am. Bull., 1995;107:1272-1287.
- [17] Berggren W A, Kent D V, Swisher C C, et al. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy[M]//In: Berggren W A, Kent D V, Aubry M P, et al.(Eds.).Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. Spec. Publ.-Soc. Econ. Paleontol. Mineral. (Soc. Sediment. Geol.), 1995;54:129-212.
- [18] Chaisson W P, Pearson P N. Planktonic foraminifer biostratigraphy at Site 925: middle Miocene-Pleistocene[C]//In: Shackleton N J, Curry W B, Richter C, et al.(Eds.). Proc. ODP, Sci. Results, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1997,154: 3-31.
- [19] Curry W B, Shackleton N J, Richter C, et al. Proceedings of the ODP, Initial Reports, vol. 154[R]. Ocean Drilling Program, College Station, TX. 1995.
- [20] 杨玉卿,田洪,姜亮.丽水凹陷晚古新世海平面变化及有利储层分布预测[J].中国海上油气(地质),2003,17(1):69-73.[YANG Yuqing, TIAN Hong, JIANG Liang. Late Paleocene sea level change and prediction of favorable reservoir distribution in Lishui Depression[J]. China Offshore Oil and Gas(Geology) , 2003,17(1):69-73.]
- [21] 武法东,李思田,陆永潮等.东海陆架盆地第三纪海平面变化[J].地质科学,1998,33(2):214-221.[WU Fadong, LI Sitian, LU Yongchao, et. Tertiary sea level changes in the East China Sea shelf basin[J]. Chinese Journal of Geology, 1998,33(2): 214-221.]
- [22] 郝治纯,陈平富,万晓樵.南海北部莺歌海-琼东南盆地晚第三纪层序地层与海平面变化[J].现代地质,2000,14(3):237-245.[HAO Yichun, CHEN Pingfu, WAN Xiaoqiao. Late Tertiary sequence stratigraphy and sea level changes in Yinggehai-Qiongdongnan Basin, Northern South China Sea[J]. Geoscience, 2000, 14(3):237-245.]
- [23] Berger W H and D iester-HaassL.Paleoproductivity:the benthic planktonic ratio in foraminifera as a productivity index [J].Mar. Geol.,1988,81:15-25.
- [24] Sahagian D L, Holland S M.Eustatic sea-level curve based on stable frame of Reference: preliminary results[J].Geology, 1991,19:1209-1212.
- [25] 赵泉鸿,翦知湣,王吉良.南海北部晚新生代氧同位素地层学[J].中国科学 D 辑,2001,31((10): 800-507.[ZHAO Quanhong, JIAN Zhimin, WANG Jiliang. Late Cenozoic Oxygen isotope stratigraphy in northern South China Sea[J]. Science in China(Series D), 2001,31(10):800-507.]
- [26] 李保华,王晓燕,龙江平.海南岛近岸沉积物中的有孔虫特征与分布[J].微体古生物学报,2008,25(3):225-234.[LI Bao-hua, WANG Xiaoyan, LONG Jiangping. Characteristics and distribution of foraminifera in coastal sediments of Hainan Island[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2008, 25(3): 225-234.]
- [27] 谢金有,祝幼华,李绪深.南海北部大陆架莺琼盆地新生代海平面变化[J].海相油气地质,2012,17(1):49-58.[XIE Jinyou, ZHU Youhua, LI Xushen. Cenozoic sea level changes in Yingqiong Basin on the northern continental shelf of the South China Sea [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2012,17(1):49-58.]
- [28] Bolli H M, Saunders J B.Oligocene to Holocene low Latitude planknic foraminifera[M]// In: Bolli H M, et al. (eds.). Planktonic stratigraphy, Cambridge University Press, 1985: 155-262.
- [29] 刘新宇,谢金有.南海北部莺琼盆地浮游有孔虫年代地层学研究[J].微体古生物学报,2009,26(2):181-192.[LIU Xinyu, XIE Jinyou. Chronological stratigraphy of planktonic foraminifera in Yingqiong Basin, northern South China Sea[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2009,26(2):181-192.]
- [30] Okada H, Bukry D. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low latitude coccolith biostigrophic zonation[J].Marine Micropaleontology,1980,5(3):321-325.
- [31] 李珊珊,彭松,邓勇,等.珠江口盆地西部渐新世以来钙质超微化石年代地层研究[J].微体古生物学报,2015,32(3):308-316.[LI Shanshan, PENG Song, DENG Yong, et al. Chronological stratigraphy of calcareous nannofossils since Oligocene in Western Pearl River Mouth Basin[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2015,32(3):308-316.]
- [32] 傅宁,米立军,张功成.珠江口盆地白云凹陷烃源岩及北部油气成因[J].石油学报,2007,28(3):32-38.[FU Ning, MI Li-jun, ZHANG Gongcheng. Source rocks and petroleum genesis in the north of Baiyun Depression, Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007,28(3):32-38.]