

doi:10.3799/dqkx.2015.053

南海始新世海相地层分布及油气地质意义

张浩¹, 邵磊¹, 张功成², 陈淑慧^{1,3}, 吴国璋¹

1. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092

2. 中海油北京研究总院, 北京 100027

3. 中海油深圳分公司研究院, 广东广州 510240

摘要: 采用古生态学及沉积学方法, 对南海北部深水区长沙组BY7-1-1井及L29井特定层段进行细致研究. 通过有孔虫、孢粉藻类分析及沉积学分析, 证实南海北部白云深水区长沙组在晚始新世即出现滨浅海相沉积环境, 确定了南海北部最早接受海相沉积的时间. 始新世海相地层在南海北部主要分布在台西及台西南盆地中, 并在晚始新世扩展到珠江口盆地白云凹陷. 在南部分布较广, 曾母盆地、北康盆地、礼乐盆地及巴拉望盆地中均有始新世海相地层分布. 南海始新世海相地层的分布受制于新南海扩张及古南海的消退, 以晚始新世为时间节点发生显著变化, 总体上分布范围增大, 反映该时期南海拉张和断裂活动的加剧. 南海始新世海相地层具有良好的油气潜力, 在部分盆地中形成了优质的烃源岩与储层, 珠江口盆地白云深水区长沙组晚始新世海相地层的发现, 对南海深水海相油气勘探具有积极的参考作用.

关键词: 南海; 始新世; 古生物地层学; 海相地层; 油气地质; 海洋地质.

中图分类号: TE121

文章编号: 1000-2383(2015)04-0660-11

收稿日期: 2014-09-21

Distribution and Petroleum Geologic Significance of Eocene Marine Strata in the South China Sea

Zhang Hao¹, Shao Lei¹, Zhang Gongcheng², Chen Shuhui^{1,3}, Wu Guoxuan¹

1. State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China

2. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China

3. CNOOC Ltd. Shenzhen Research Institute, Guangzhou 510240, China

Abstract: By means of paleontology and sedimentology, we conducted a study on specific intervals of wells BY7-1-1 and L29, which located in the deep-water area in northern South China Sea. The results from analyses of foraminifera, algae sporopollen and sedimentology, revealed that the sedimentary environment of Baiyun deep-water area in northern South China Sea during the Late Eocene belonged to littoral and neritic facies. This finding also confirmed the time when marine sediments first deposited in northern South China Sea. The distributions of marine strata during Eocene in northern South China Sea were mainly located in Taixi Basin and Taixinan Basin, and in Late Eocene the area of marine strata spread into Baiyun Sag of Pearl River Mouth Basin. The distribution of marine strata during Eocene in southern part of South China Sea was dissimilar to the north. The marine strata were widespread in Zengmu Basin, Beikang Basin, Liyue Basin and Palawan Basin etc.. The distribution of marine strata during Eocene in South China Sea is the combine effects of both the spreading of South China Sea and the shrinking of Proto-South China Sea. The marine strata distribution in E-M Eocene was quite different from Late Eocene with the area of marine strata enlarged as a whole. This reflects the aggravation of tension and fault movement in that period. The marine strata of Eocene in the South China Sea are provided with high petroleum potential. In some basins of this area it turns out to be great source rocks and reservoirs. Meanwhile, the discovery of Late Eocene marine strata in Baiyun Sag has significant reference

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos.91128207,40976023); 国家科技重大专项(No.2011ZX05025-006-02).

作者简介: 张浩(1990-), 男, 硕士, 主要从事沉积学研究. E-mail: 90_zhang_hao@tongji.edu.cn

引用格式: 张浩, 邵磊, 张功成, 等, 2015. 南海始新世海相地层分布及油气地质意义. 地球科学——中国地质大学学报, 40(4): 660-670.

value to the deep-water marine oil and gas exploration of South China Sea.

Key words: South China Sea; Eocene; paleontology; marine strata; petroleum geology; marine geology.

南海是西太平洋最大的边缘海,位于欧亚板块、印度板块与太平洋板块三大板块的交汇区域,构造发育样式独特,受到三大板块运动相互作用的影响,在新生代经历了强烈的从主动大陆边缘到被动大陆边缘转化的构造演化历程(姚伯初等,1995).姚伯初(1996)认为,南海形成的被动大陆边缘演化过程与大西洋相似,通过大陆张裂与分离、海底扩张而形成边缘海盆,扩张方式具有典型的边缘海海底扩张多中心多期次的特征.多期、复杂的构造运动及多板块间的相互作用在南海地区形成了众多不同类型的沉积盆地(姚伯初等,2004;朱伟林和米立军,2010).从北到南依次有台西盆地、台西南盆地、珠江口盆地、琼东南盆地、北部湾盆地、莺歌海盆地、中建南盆地、万安盆地、曾母盆地、北康盆地、南薇西盆地、礼乐盆

地、巴拉望盆地、文莱-沙巴盆地等一系列沉积盆地(图 1).

盆地构造演化、继承性古地理格局、相对海平面变化及沉积物供给等多因素共同影响着海相地层在沉积盆地中的分布(陈维涛等,2012).随着南海北部深水区油气勘探的不断突破,一批深水气田被相继发现,该区域沉积环境演变过程及油气资源潜力逐渐成为石油地质关注的焦点(刘铁树和何仕斌,2001;朱伟林等,2010).从南海北部的沉积记录来看,南海从古新世即开始出现断陷盆地,接受陆相沉积,在始新世断陷盆地进一步扩大,接受大量河湖相沉积,发育了厚度较大的优质烃源岩,是目前南海北部公认的主要油气来源(张功成等,2009;朱伟林等,2010;米立军和张功成,2011).一般认为,南海北部

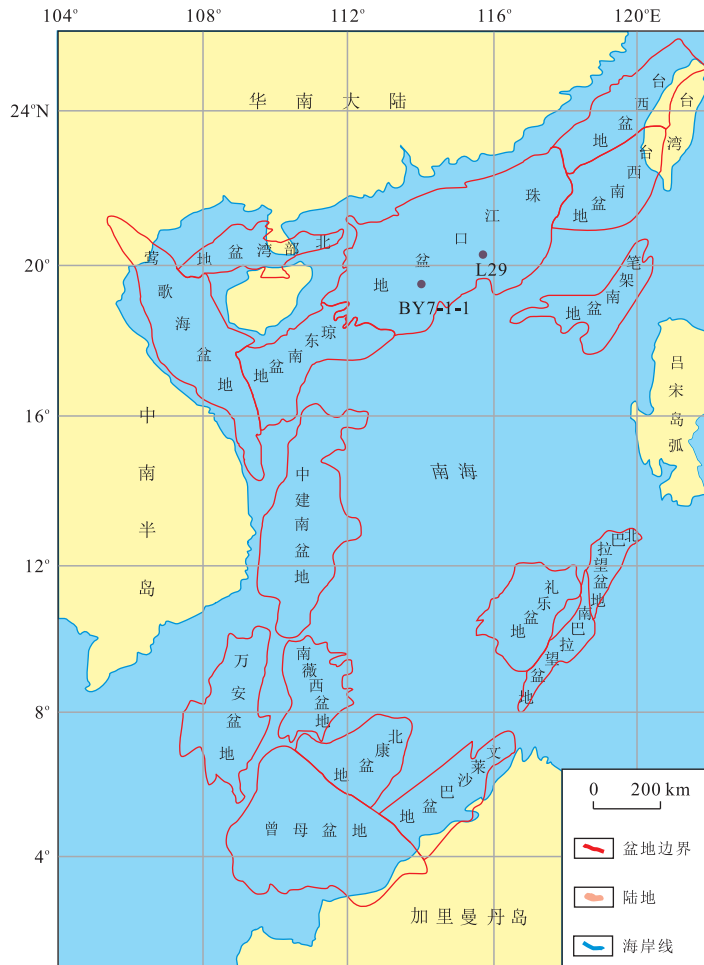


图 1 南海海域新生代沉积盆地分布及井位(底图据中国地图,中国地图出版社,2013)

Fig.1 Distribution of Cenozoic sedimentary basins and well locations in South China Sea

接受海相沉积的时间始于渐新世,但是其确切发生的时间因缺乏证据而一直没有定论,是南海沉积环境演变研究中所关注的一个重要问题.1999年南海大洋钻探 ODP1148 站首次在南海北部渐新世地层中发现了再沉积的海相始新世化石,证明了南海北部始新世海相地层的存在(汪品先等,2003;Zhao, 2005).但是对于该时期海相地层在南海北部如何分布一直没有明确结论.因此,揭示南海北部深水区何时从陆相沉积转为海相沉积,查清始新世海相地层在南海的分布演化规律、海侵如何发生,对于正确认识南海的形成演变及其对深水区油气资源的影响具有重要意义.

鉴于此,本文运用生物地层学、古生态学与沉积学相结合的方法,通过对南海北部深水区探井的细致研究,对海侵初始时间、海相地层分布及其具有的油气地质意义进行讨论.进而结合南海各个盆地新生代沉积演化的研究成果,对南海始新世海相沉积的分布规律及演化过程进行分析,为全面认识了解南海全区始新世海相地层分布提供借鉴.

1 材料与方法

本次研究对南海北部珠江口盆地深水区 BY7-1-1 井及 L29 井特定层段进行微体化石分析,采用有孔虫、钙质超微以及孢粉藻类分析等生物地层学方法确定分析井段的地质年代,采用沉积岩石学、古生态学及测井分析研究方法确定其形成时的沉积环境.

在有孔虫分析中,样品处理采用标准的微体古生物方法:先浸泡加热,静止数天,待岩屑块充分分散后,用水经 0.063 mm 孔径不锈钢筛冲洗,烘干,获取直径大于 0.063 mm 的组分,利用双目显微镜进行分析鉴定,半定量统计所见浮游有孔虫在直径大于 0.063 mm 的组分中的相对丰度.钙质超微采用涂片法在偏光显微镜下完成.

孢粉藻类分析,首先对样品进行酸处理(先用 HCl 去除碳酸钙质,再用 HF 去除硅质),后经水洗筛选(筛布孔径 7 μm)或者重液(比重 2.10 左右)浮选,取得全部筛选物质或悬浮物质.将所得物质(含孢粉、浮游藻类等有机壁微体化石及各种有机屑)洗净后加标志体(中国科学院地质与地球物理研究所孢粉实验室研制)制片观察.鉴定统计工作在 LEICA(DMR)生物显微镜下进行,获取具有统计意义的孢粉藻类组合(单个样品统计孢子花粉化石 100

粒以上).

本文分析、鉴定 BY7-1-1 井深度范围 2 751~3 291 m 间 37 个样品及 L29 井深度范围 2 501~3 227 m 间 40 个样品,所有样品的处理及分析鉴定均在同济大学海洋地质国家重点实验室完成.

2 海陆环境转换标志

珠江口盆地恩平组的时代归属一直存在着争议,有归于始新世、渐新世、始新世—渐新世以及渐新世—早中新世等不同观点(万晓樵等,1996;徐钰林,1996).本次研究结果显示:在 BY7-1-1 井 3 291~3 246/3 249 m 为有孔虫 P16~P17 带,出现典型的晚始新世浮游有孔虫,主要是 *Acarinina* 的小壳类型,包括 *Acarinina aculeata* 及其同属种,并在 3 291 m 处产出始新世标准钙质超微化石 *Lophodolichus acutus*(徐钰林,1996),因此认为该井深度 3 249 m 处为始新世与渐新世的分界深度;孢粉分析结果显示:BY7-1-1 井深 3 102 m 以下,栎类花粉—柯氏双沟粉—双束松粉组合中常绿栎类花粉多占明显优势,为反映较暖湿气候的孢粉植物群;而井深 3 099 m 以上的双束松粉—桉木粉组合中双束松粉占明显优势,为指示较干凉气候的孢粉植物群.这与现有文献资料对于珠江口盆地恩平组到珠海组的孢粉学特征变化是热带、亚热带孢粉植物群到亚热带、温带孢粉植物群的变化表述相一致,反映了恩平组形成时的暖湿气候和珠海组形成时的相对干凉气候,这一变化对应于始新世末至渐新世早期全球性的气候变冷事件(James *et al.*, 2001).恩平组和珠海组标志性孢粉化石样品在 3 081~3 102 m 井段变化明显,变化出现在同一深度,可作为恩平/珠海组的地层界线(图 2).该井段岩心及薄片观察显示,恩平组上部为灰色细砂岩夹深灰色泥岩,下部为灰色砂质灰岩夹深灰色—灰色泥岩,底部为灰色—灰绿色凝灰岩,泥岩中局部含有标志性海相矿物海绿石.因此, BY7-1-1 井恩平组早期为晚始新世地层,形成于海相环境中.

L29 井孢粉藻类组合分析显示,作为划分恩平组与珠海组的标志性化石,倍什高腾粉、柯氏双沟粉、双束松粉、桉木粉的显著变化都出现在井深 2 870 m 上下,因此选定该井段作为恩平组与珠海组的分界.界限下部孢粉藻类组合中,浮游藻类含量高,含量可高达孢粉藻类的 53.1%;上部的组合中浮游藻类含量低,很少超过孢粉藻类的 10%.浮游藻类

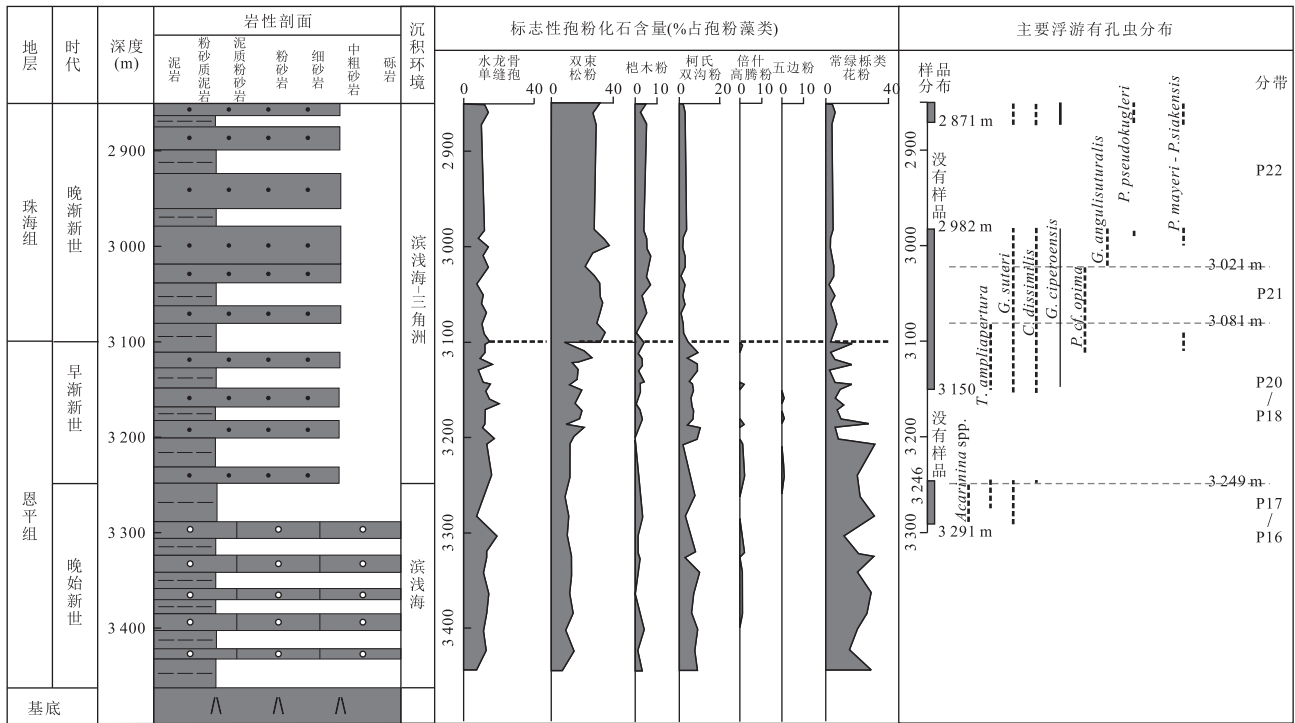


图 2 BY7-1-1 井地层划分

Fig.2 Stratigraphic division of well BY7-1-1

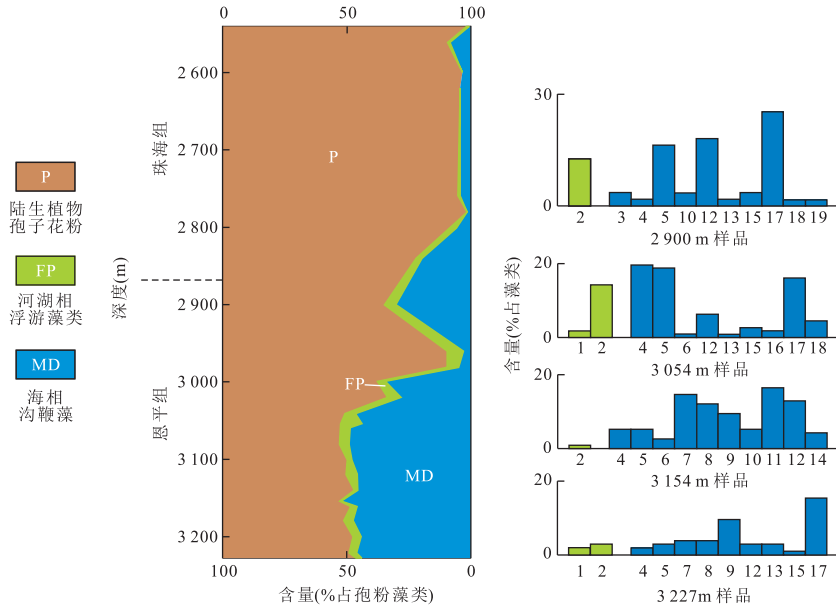


图 3 L29 井分析层段浮游藻类

Fig.3 Planktonic algae schema of analytic interval, well L29

1. *Pediastrum* spp.; 2. Spherical algae; 3. *Aptodinium* spp.; 4. *Cleistosphaeridium diversisposum*; 5. *Cleistosphaeridium* spp.; 6. *Cordosphaeridium exsilimurum*; 7. *C. gracile*; 8. *C. inodes*; 9. *Cordosphaeridium* spp.; 10. *Homotryblium plectilum*; 11. *Homotryblium tenuispinosum*; 12. *Homotryblium* spp.; 13. *Hystrichokolpoma* spp.; 14. *Hystrichosphaeridium tubiferum*; 15. *Lingoludinium machaerophorum*; 16. *Polysphaeridium zoharyi*; 17. *Spini ferites* spp.; 18. *Systematophora ancyrea*; 19. *S. placacantha*

中,大多数为海相沟鞭藻,河湖相藻类仅为低含量或零星出现.含量占优势的海相沟鞭藻中多包括

Cleistosphaeridium、*Cordosphaeridium*、*Homotryblium*、*Hystrichokolpoma*、*Hystrichosphaeridium*-

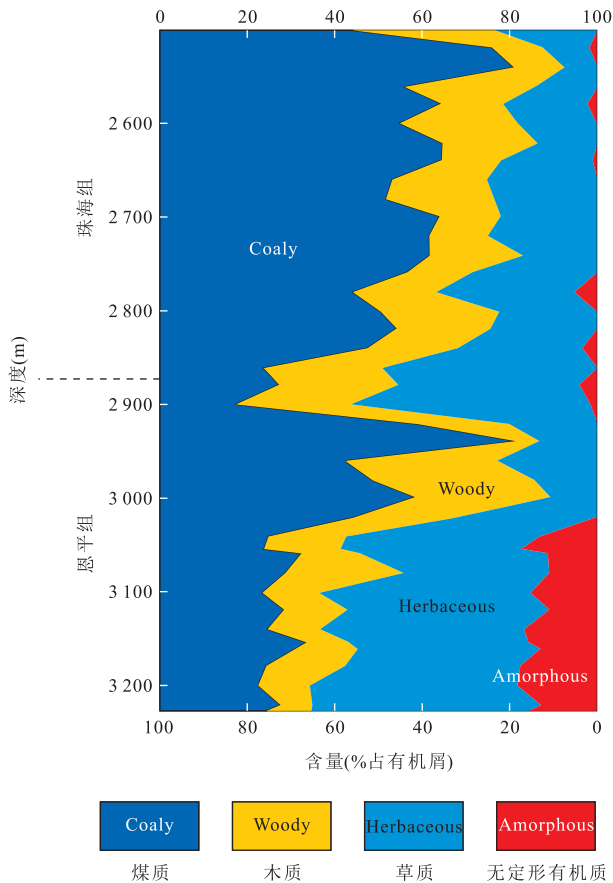


图 4 L29 井分析层段有机屑类型变化特征

Fig.4 Change characteristics of organic detrital components of analytic interval, well L29

deng 等陆架浅海类型和 *Spiniferites* 之类的广布类型。在井深约 2 830~3 227 m 厚度近 400 m 的地层为富藻层段,所含浮游藻类在孢粉藻类组合中含量高达 22.3%~53.1%,并且绝大多数属于海相沟鞭藻(图 3)。在 2 999~3 227 m 井段藻类组合特征与 BY7-1-1 井晚始新世地层完全相同,应为同期沉积产物。

对该井段的有孔虫及钙质超微化石分析显示,该段地层有孔虫及钙质超微化石均有产出,含量较低,但是仍可确定其形成时的海相环境。从 L29 井分析层段中有机屑组分可归纳为 4 种类型,即煤质(Coaly,煤质屑)、木质(Woody,降解的和未降解的木质植屑)、草质(Herbaceous,角质、壳质和孢质植屑)和无定形有机质(Amorphous),以含量比例面积图式可直观地表示所分析井段有机屑类型纵向变化,可以看到纵向变化中,两个高含量草质、低含量煤质层段,即井深 2 861~2 900 m 和井深 3 041~3 227 m 层段(图 4)。二者基本上对应于富藻层段,因而其形成时具备优越的有机质物源条件,水体生

产力高。显而易见的差别在于,在井深 3 041~3 227 m 层段发现含量虽不高但稳定存在的无定形有机质,而井深 2 861~2 900 m 层段则不然。这暗示了二者形成时沉积环境存在差异,在井深 3 041~3 227 m 层段水体动力条件较弱,较为贫氧,结合沉积物以暗色泥岩为主,反映沉积环境主要为流通不畅的海湾相,这种环境也不利于有孔虫及钙质超微化石的保存;而井深 2 861~2 900 m 层段水体动力条件相对较强,略充氧,表明该时期海相环境范围扩大,水体流通性变好。因此,可以认为珠江口盆地白云凹陷在恩平组时期开始接受海相沉积,海陆相沉积转换的初始时间为晚始新世,是南海北部最早发生海侵的地区。

3 南海始新世沉积环境演化

始新世南海北部地区主体以陆相沉积为主,到晚始新世开始接受海相沉积,但是海相沉积分布范围较局限,沉积环境东西向差异较大。北部湾盆地早始新世主要发育快速充填的陆相杂色碎屑岩和砂泥岩沉积;中一晚始新世发育以暗色泥岩为主的湖相地层(朱伟林等,2004)。莺歌海盆地早始新世末开始形成,同沉积断裂发育(孙珍等,2007),此时沉积充填受控于同沉积断裂,以冲积扇、河流和浅湖沉积体系为主;中始新世到晚始新世初,盆地稳定沉降,边缘充填冲积扇、扇三角洲,中部为湖相细粒沉积;晚始新世至渐新世,盆地持续发育以河流、湖泊和扇三角洲沉积为主体的陆相湖盆充填(高红芳,2009)。琼东南盆地始新世为陆相沉积,到早渐新世崖城组晚期开始接受海相沉积(钟志洪等,2004;邵磊等,2010;蔡国富等,2013)。南海北部西侧发生海侵的时间明显晚于东侧,东侧的珠江口盆地具有明显的南北分带、东西分块的特征,沉积环境发育受继承性地貌影响显著,始新世主要发育陆相湖盆,到晚始新世在盆地南部深水区开始接受海相沉积,位于南海北部东北侧的台西南盆地始新世为浅海相沉积环境(朱伟林等,2010),并经历了沉积范围扩大,然后沉积厚度增加的沉积演化过程(王国纯,1997)。

始新世南海南部地区,构造运动频繁,受新南海海盆扩张与古南海消退的综合影响,海相地层分布较为复杂,演化过程也以中一晚始新世为时间节点出现较大差异。中建南盆地发育于南海西部陆缘,通过地震相—沉积相分析,认为早—中始新世,盆地仍处于形成伊始期,为一个大陆边缘的裂陷盆地,周围

物源广泛,为高位剥蚀、低位近源沉积充填模式,沉积环境为典型的陆相湖泊,发育河流、冲积扇、浅湖、沼泽等多种沉积体系;晚始新世开始沉积环境逐渐向海陆过渡相及海相转变(高红芳等,2000;钟广见和高红芳,2005;陈玲和钟广见,2008)。姚伯初和曾维军(1994)认为,海水分别从中建南盆地东北方向沿中沙海槽,从东南方向沿西南海盆的西南角入侵。海水入侵使得盆地沉积环境具有明显的分割现象,西北部与西南部主要为三角洲和滨浅海相,中部是滨海—浅海相,总体上呈现浅湖—沼泽相与海陆交互共存局面(高红芳等,2000;陈玲和钟广见,2008)。此外,中建南盆地在海侵时间上存在明显的东西向差异性。Fyhn *et al.* (2009a, 2009b)通过对中建南盆地西部的钻井及地震资料的分析发现:盆地西部在渐新世受到有限的海侵作用,主要分布陆相沉积,偶见局限的冲积扇—扇三角洲及海相沉积,而盆地东部地区受开放性海洋影响,接受海相沉积(Lee and Watkins, 1988; Johansen *et al.*, 2012)。万安盆地是在万安走滑断裂系统产生的扭张应力作用下形成的沉积盆地(Ru Ke and Pigott, 1986),晚始新世—早渐新世,盆地内主要发育河流冲积平原及湖相沉积(Mattews *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2001; 贺清等, 2005; 胡小强和杨木壮, 2006)。南薇西盆地为南沙地块上的新生代沉积盆地,早—中始新世南沙地块尚未从华南大陆分离(姚伯初, 2000),盆地沉积特征与南海北部新生代盆地类似,为近源陆相沉积环境(陈汝炎和黎森传, 1992),以冲积相、河泛平原沼泽相、扇三角洲及湖泊相为主(徐行等, 2003);晚始新世开始,随着南海的扩张,南沙地块裂离华南大陆并向东南方漂移,海水从东南方向开始入侵,使得晚始新世—早渐新世沉积环境由陆相转变为海陆过渡相、瀉湖相和滨浅海相(徐行等, 2003)。北康盆地早—中始新世位于古南海的西北缘,沉积环境主要以陆相为主,陆相环境分布在盆地的西北部,盆地东南部发育部分滨浅海环境,海陆环境沿东西向分带分布;晚始新世开始,盆地沉积环境主体逐步向海陆过渡相—浅海相转化,盆地内水体加深(王嘹亮等, 2002; 张莉等, 2003a)。曾母盆地不同部位,具有不同的构造、沉积特征和基底性质,因此盆地沉积演化具有明显的区域性。早—中始新世,除局部发育有三角洲沉积体系以外,盆地可能完全处于古南海海湾环境,大部分地区发育滨岸沉积体系(陈玲, 2002; 邱燕等, 2005; 谢锦龙等, 2008);晚始新世—渐新世,由于受构造运动的影响,沉积环境发生转变,开始出现复

理石建造,并随后被磨拉石建造覆盖,具有典型前陆盆地沉积演化特征,沉积环境由深海—半深海转化为陆架浅海(Mazlan, 2013)。礼乐盆地早—中始新世仍处于华南陆块南缘,海侵继承古新世趋势并进入高峰期,盆地处于浅海—半深海环境(张莉等, 2003b);晚始新世开始,盆地停留在南海南部,发育滨浅海相(张莉等, 2003b; 高红芳等, 2005; Yao *et al.*, 2012)。盆地内 Sampaguita-1 井岩性柱状图也显示,早—中始新世地层为深海相灰绿—棕色钙质页岩,晚始新世—早渐新世地层组合为滨浅海相的砂泥岩互层(Taylor and Hayes, 1980)。巴拉望盆地呈北东向展布,分为南北两部分,在始新世发育海相沉积,位于北巴拉望盆地内的马拉帕亚碳酸盐岩台地发育始于晚始新世(Grtsch and Mercadier, 1999),是巴拉望盆地始新世海相沉积的显著代表。

海相地层的分布,是海水进退与继承性地貌特征共同作用的结果。新生代以来,由于古南海的消亡、新南海的逐步拉张和断陷活动加剧,该地区总体上遭受海侵影响,沉积环境逐步发生由陆相向海相的转换,晚始新世是南海海水扩张的一个重要时期。由于新南海海盆的扩张,南海北部台西—台西南盆地海相地层分布面积在始新世持续扩大。晚始新世—早渐新世,由于海盆的持续扩张,北部珠江口盆地白云凹陷、南部中建南盆地、南薇西盆地均发生海侵,是南海北部珠江口盆地最早发生海侵的时期。在南海南部,由于新南海海盆扩张与古南海退化的共同作用,使得盆地中海相地层分布,在晚始新世发生了较为显著的变化,全区海相地层分布范围总体上体现为由以古南海为中心逐渐向以新南海为中心过渡的变化趋势(图5)。

4 油气地质意义

南海海域油气资源丰富,素有“第二个波斯湾”的美称,作为巨大的石油宝库,它与波斯湾、墨西哥湾、北海齐名为世界四大海洋油气区(陈洁等, 2007)。我国自主探索开采南海海域油气资源始于二十世纪八十年代,主要勘探活动集中在南海北部,经过近三十余年的艰苦探索,在珠江口、北部湾、琼东南和莺歌海4个重点勘探区内共发现油气田51个,年产量约为 2×10^7 m³油当量。南海南部我国传统疆域内,也已发现众多大中型油气田,年产量高达 5×10^7 m³油当量(朱伟林等, 2010)。长期以来,研究者普遍认为南海始新世沉积环境展布大体上为“北

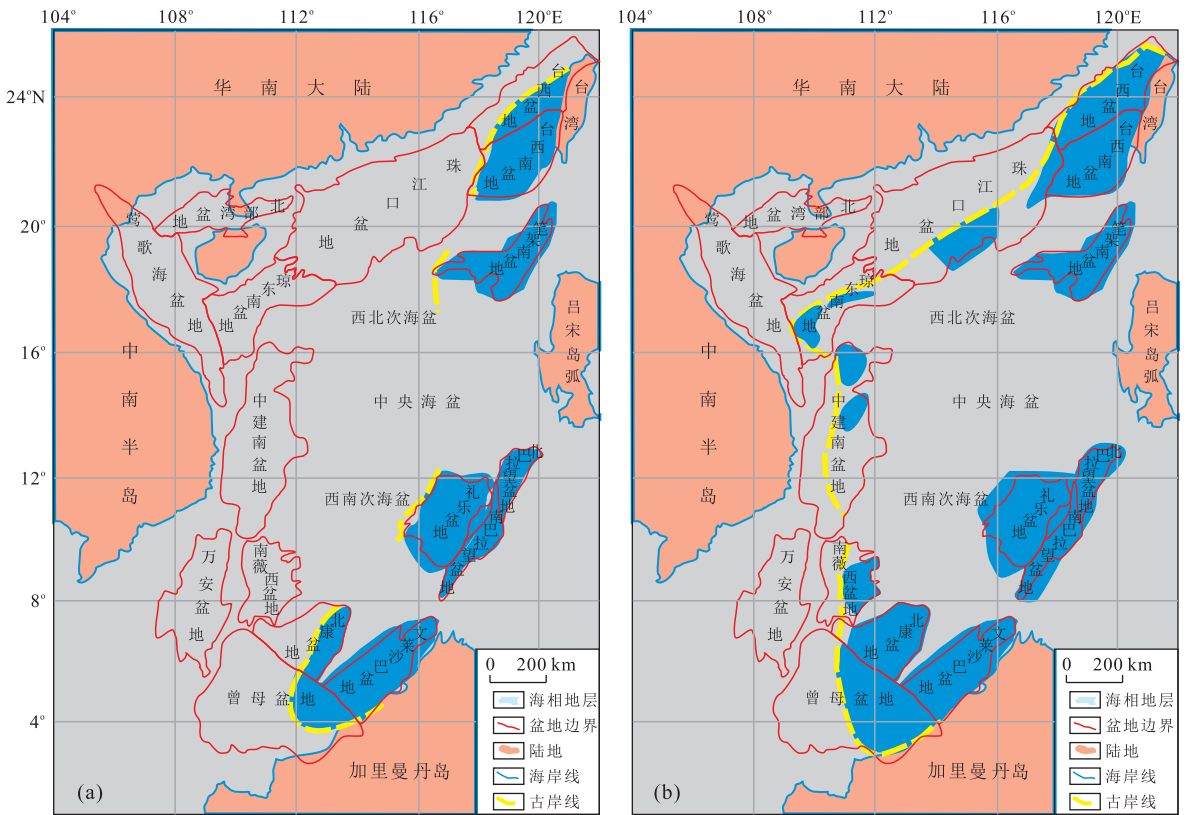


图 5 南海始新世海相地层分布演化(底图据中国地图,中国地图出版社,2013)

Fig.5 Distribution and Evolution of Eocene marine-phase sedimentary strata in South China Sea

a.早—中始新世;b.晚始新世—早渐新世;据许淑梅等(2013)修改

陆南海”:南海北部广泛发育中深湖相沉积,成为南海北部优质烃源岩;南海南部在此期间广泛接受海相沉积,并已证实礼乐盆地、巴拉望盆地、曾母盆地及文莱—沙巴盆地中均发育有较好的海相烃源岩.通过对南海始新世海相地层分布的研究,认为南海北部在晚始新世及早渐新世出现的海相沉积完全有可能发育优质的海相烃源岩.有机地球化学研究显示:珠江口盆地白云凹陷深水LW3大型气田的有机成因烃类,主要来自恩平组地层,沉积时期内可能发生了海侵(朱俊章等,2008).这一结果与本文发现的恩平组厚达400 m富海相藻类烃源层段的存在完全吻合,是这一时期南海北部海相烃源岩的代表.在台西盆地及台西南盆地中也有大量该时期海相地层存在,并且沉积环境十分相似,均为海陆过渡相沉积,其中台西盆地始新统滨浅海相碎屑岩最大厚度可达5400 m,是重要的油气源岩,被认为是台西盆地3套主力烃源岩之一(曾详辉,1994;李国永等,2007);台西南盆地始新世时,遭受强烈的拗陷作用,沉积了巨厚的滨浅海相地层,泥页岩、煤层及砂岩大量发育,具有良好的生储盖组合(朱伟林等,

2010).结合本次对于珠江口盆地白云凹陷晚始新世海相地层探索,认为南海北部海相烃源岩在该地区的油气地质意义不容小觑.

5 结论

始新世是南海形成演化过程中的一个重要时期,该时期断陷作用剧烈,构造运动复杂,沉积环境发生了从陆相向海相的转变过程.综合分析对比得出以下认识:

(1)南海北部珠江口盆地白云凹陷BY7-1-1井、L29井晚始新世地层中发现大量海相微体古生物化石,表明南海北部白云凹陷在晚始新世开始发生海侵,接受海相沉积,沉积环境为滨浅海相及海陆过渡环境.

(2)南海早—中始新世海相地层的分布在南海南北分布不均,在北部相对较少,主要集中在台西及台西南盆地中,到晚始新世拓展到珠江口盆地白云凹陷.其在南部分布较广,曾母盆地、北康盆地、礼乐盆地及巴拉望盆地中均有分布,到晚始新世扩展到

南薇西盆地和中建南盆地。

(3)南海始新世海相地层分布在早一中始新世与晚始新世发生明显改变,是古南海俯冲消亡及新南海扩张共同作用的结果。晚始新世,海相地层分布范围明显扩大,是该时期南海扩张和断裂活动加剧的直接反映。

(4)南海始新世海相地层,具有重要的油气地质意义。始新世海相地层主体为滨浅海环境的产物,含有丰富的藻类及无定型有机质,具有形成优质烃源岩的物质基础,是未来南海深水海相油气勘探值得关注重要因素之一。

References

- Cai, G. F., Shao, L., Qiao, P. J., et al., 2013. Marine Transgression and Evolution of Depositional Environment in the Paleogene Strata of Qiongdongnan Basin, South China Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 34(S2): 91—101 (in Chinese with English abstract).
- Chen, J., Wen, N., Li, X. J., 2007. The Status of the Resource Potential and Petroleum Exploration of the South China Sea. *Progress in Geophysics*, 22(4): 1285—1294 (in Chinese with English abstract).
- Chen, L., 2002. Geologic Structural Feature in West of Zengmu Basin, Nansha Sea Area. *OGP*, 37(4): 354—362 (in Chinese with English abstract).
- Chen, L., Zhong, G. J., 2008. Seismic Stratigraphic Analysis of Zhongjiannan Basin in South China Sea. *Geophysical Prospecting for Petroleum*, 47(6): 609—616 (in Chinese with English abstract).
- Chen, R. Y., Li, S. C., 1992. Yinggehai-Qiongdongnan Basin. In: Zhai, G. M., ed., *Petroleum Geology of China Vol. 16 (Second)*. Petroleum Industry Press, Beijing, 491—518 (in Chinese).
- Chen, W. T., Du, J. Y., Long, G. S., et al., 2012. Analysis on Controlling Factors of Marine Sequence Stratigraphy Evolution in Pearl River Mouth Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 30(1): 73—83 (in Chinese with English abstract).
- Fyhn, M. B. W., Boldreel, L. O., Nielsen, L. H., 2009a. Geological Development of the Central and South Vietnamese Margin; Implications for the Establishment of the South China Sea, Indochinese Escape Tectonics and Cenozoic Volcanism. *Tectonophysics*, 478(3—4): 184—214. doi:10.1016/j.tecto.2009.08.002
- Fyhn, M. B. W., Nielsen, L. H., Boldreel, L. O., et al., 2009b. Geological Evolution, Regional Perspectives and Hydrocarbon Potential of the Northwest Phu Khanh Basin, Offshore Central Vietnam. *Marine and Petroleum Geology*, 26(1): 1—24. doi:10.1016/j.marpetgeo.2007.07.014
- Gao, H. F., 2009. Study on the Sedimentary Pattern and Infilling Evolution in Yinggehai Basin. *Geological Research of South China Sea*, 00: 1—9 (in Chinese with English abstract).
- Gao, H. F., Bai, Z. L., Guo, Y. Q., 2000. Cenozoic Sedimentary Facies and Palaeogeographic Evolution of Zhongjiannan Basin, South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 14(6): 411—416 (in Chinese with English abstract).
- Gao, H. F., Zeng, X. H., Liu, Z. H., et al., 2005. Simulating of Subsidence History and Analysis of Tectonic Evolutionary Characteristics of Liyue Basin in South China Sea. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 385—390 (in Chinese with English abstract).
- Grtsch, J., Mercadier, C., 1999. Integrated 3-D Reservoir Modeling Based on 3-D Seismic; The Tertiary Malampaya and Camago Buildups, Offshore Palawan, Philippines. *AAPG Bulletin*, 83(11): 1703—1727.
- He, Q., Tong, Z. G., Hu, G. C., 2005. Sediment Filling and Its Effect on Hydrocarbon Accumulation in Wan'An Basin. *China Offshore Oil and Gas*, 17(2): 80—83, 88 (in Chinese with English abstract).
- Hu, X. Q., Yang, M. Z., 2006. Analysis of Accommodation Changes in the Wan'An Basin. *Marine Geology Letters*, 22(6): 29—32 (in Chinese with English abstract).
- James, Z., Mark, P., Lisa, S., et al., 2001. Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science*, 292(5517): 686—693. doi:10.1126/science.1059412
- Johansen, K. B., Botsford, A., Maingarm, S., 2012. Phu Khanh Basin, Offshore Vietnam; One of the Last Exploration Frontier in SE Asia. *SEAPEX Expl. Conf.*, Presentation 14, Singapore.
- Li, G. Y., Xu, B., Liu, L. F., 2007. Source Rock Characteristics and Gas Reservoiring Conditions in West Taiwan Basin. *Natural Gas Industry*, 27(5): 48—52 (in Chinese with English abstract).
- Liu, T. S., He, S. B., 2001. Deepwater Hydrocarbon Potential along the North Continental Margin, the South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 15(3): 164—170 (in Chinese with English abstract).
- Lee, G. H., Watkins, J. S., 1998. Seismic Sequence Stratigraphy and Hydrocarbon Potential of the Phu Khanh Basin, Offshore Central Vietnam, South China Sea. *AAPG Bulletin*, 82(9): 1711—1735.

- Lee, G.H., Lee, K., Watkins, J.S., 2001. Geologic Evolution of the Cuu Long and Nam Con Son Basins, Offshore Southern Vietnam, South China Sea. *AAPG Bulletin*, 85 (6): 1055—1082.
- Mi, L.J., Zhang, G.C., 2011. Deep Sea Oil and Gas Resources Investigation and Evaluation, Slope of Northern South China Sea. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Matthews, S.J., Fraser, A.J., Lowe, S., et al., 1997. Structure, Stratigraphy and Petroleum Geology of the SE Nam Con Son Basin, Offshore Vietnam. In: Fraser, A.J., Matthews, S.J., Murphy, R.W., eds., *Petroleum Geology of Southeast Asia*. Geological Society, Special Publication, London, 89—106.
- Mazlan, M., Kim, C.L., Robert, W., 2013. The Structure and Stratigraphy of Deepwater Sarawak, Malaysia; Implications for Tectonic Evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 76: 312—333. doi:10.1016/j.jseaes.2013.04.040
- Qiu, Y., Chen, G.N., Xie, X.N., et al., 2005. Sedimentary Filling Evolution of Cenozoic Strata in Zengmu Basin, Southwestern South China Sea. *Journal of Tropical Oceanography*, 24(5): 43—52 (in Chinese with English abstract).
- Ru, K., Pigott, J.D., 1986. Episodic Rifting and Subsidence in the South China Sea. *AAPG Bulletin*, 70: 2175—2193.
- Shao, L., Li, A., Wu, G.X., et al., 2010. Evolution of Sedimentary Environment and Provenance in Qiongdongnan Basin in the Northern South China Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 31(4): 548—552 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Z., Zhong, Z.H., Zhou, D., 2007. The Analysis and Analogue Modeling of the Tectonic Evolution and Strong Subsidence in the Yinggehai Basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 32(3): 347—356 (in Chinese with English abstract).
- Taylor, B., Hayes, D.E., 1980. The Tectonic Evolution of the South China Sea Basin. In: Hayes, D.E., ed., *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*. Geophys. Monogr. Set, 23. AGU, Washington.
- Wang, G.C., 1997. A Discussion on Division of Tectonic Element in Taixi (Western Taiwan) Basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 11(2): 80—86 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L.L., Wu, N.Y., Zhou, Z.Y., et al., 2002. History of the Cenozoic Sedimentary Evolution of the Beikang Basin, Southwestern South China Sea. *Geology in China*, 29(1): 96—102 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P.X., Jian, Z.M., Zhao, Q.H., et al., 2003. Evolution of the South China Sea and Monsoon History Revealed in Deep-Sea Records. *Chinese Science Bulletin*, 48(23): 2549—2561 (in Chinese).
- Wan, X.Q., Hao, Y.C., Dong, J.S., 1996. Tertiary Planktonic Foraminiferal Zonations in Pearl River Mouth Basin. In: Hao, Y.C., Xu, Y.L., Xu, S.C., et al., eds., *Research On Micropaleontology and Paleocyanography in the Pearl River Mouth Basin, South China Sea*. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Xie, J.L., Huang, C., Xiang, F.Y., 2008. Evolution of Cenozoic Tectono-Palaeogeography and Its Petroleum Significance in the Western South China Sea. *Chinese Journal of Geology*, 43(1): 133—153 (in Chinese with English abstract).
- Xu, X., Yao, Y.J., Wang, L.F., 2003. Cenozoic Sedimentation of Nanwei Basin, the Southern South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 17(3): 170—175 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Y.L., 1996. Tertiary Calcareous Nannofossil Zones and Paleocyanic Environments of Pearl River Mouth Basin. In: Hao, Y.C., Xu, Y.L., Xu, S.C., et al., eds., *Research on Micropaleontology and Paleocyanography in the Pearl River Mouth Basin, South China Sea*. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Yao, B.C., 1996. Tectonic Evolution of the South China Sea in Cenozoic. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 16(2): 1—13 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B.C., 1999. The Geological Tectonic Characteristics in SE Asia Area and Cenozoic Tectonic History in the South China Sea. *Geological Research of South China Sea (Memoir 11)*, 00: 1—13 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B.C., Wan, L., Wu, N.Y., 2004. Cenozoic Plate Tectonic Activities in the Great South China Sea Area. *Geology in China*, 31(2): 113—122 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B.C., Zeng, W.J., et al., 1994. The Geological Memoir of South China Sea Surveyed Jointly By China & Usa (GMSCS). China University of Geosciences Press, Beijing (in Chinese).
- Yao, B.C., Zeng, W.J., Chen, Y.Z., et al., 1995. Seismic Reflective Characteristics of Mesozoic Sediments on the Eastern Continental Margin in the North of the South China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 15(1): 81—90 (in Chinese with English abstract).
- Yao, Y.J., Liu, H.L., Yang, C.P., et al., 2012. Characteristics and Evolution of Cenozoic Sediments in the Liyue Basin, SE South China Sea. *Journal of Asian Earth Sci-*

- ences, 60:114—129. doi:10.1016/j.jseas.2012.08.003
- Zeng, X. H., 1994. Petroleum Geology and Oil-Gas Potential of West Taiwan Basin. *Geological Research of South China Sea (Memoir 6)*, 00:80—96 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. C., Liu, Z., Mi, L. J., et al., 2009. Sedimentary Evolution of Paleogene Series in Deep Water Area of Zhujiangkou and Qiongdongnan Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(4):632—641 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., Li, W. C., Zeng, X. H., 2003a. Stratigraphic Sequence and Hydrocarbon Potential in Lile Basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 25(5):469—472, 480 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, L., Wang, L. L., Yi, H., 2003b. The Formation and Evolution of Beikang Basin. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 17(4):245—248 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Q. H., 2005. Late Cainozoic Ostracod Faunas and Paleoenvironmental Changes at ODP Site 1148, South China Sea. *Marine Micropaleontology*, 54(1):27—47.
- Zhong, G. J., Gao, H. F., 2005. Sequence Characteristics of Cenozoic Stratigraphy in Zhongjiannan Basin, South China Sea. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3):403—409 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, Z. H., Wang, L. S., Li, X. X., et al., 2004. The Paleogene Basin-Filling Evolution of Qiongdongnan Basin and Its Relation with Seafloor Spreading of the South China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 24(1):29—36 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, W. L., Mi, L. J., 2010. Atlas of Oil and Gas Basins, China Sea. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Zhu, W. L., Wu, G. X., Li, M. B., 2004. Palaeolimology and Hydrocarbon Potential in Beibu Gulf Basin of South China Sea. *Oceanologia et Limnologic Sinica*, 35(1):8—14 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, W. L., Zhang, G. C., Zhong, K., et al., 2010. South China Sea: Oil and Gas Outlook. *Engineering Sciences*, 12(5):46—50 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, J. Z., Shi, H. S., He, M., et al., 2008. Origins and Geochemical Characteristics of Gases in LW3-1-1 Well in the Deep Sea Region of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin. *Natural Gas Geoscience*, 19(2):229—233 (in Chinese with English abstract).
- 陈洁, 温宁, 李学杰, 2007. 南海油气资源潜力及勘探现状. *地球物理学进展*, 22(4):1285—1294.
- 陈玲, 2002. 南沙海域曾母盆地西部地质构造特征. *石油地球物理勘探*, 37(4):354—362.
- 陈玲, 钟广见, 2008. 南海中建南盆地地震地层分析. *石油物探*, 47(6):609—616.
- 陈汝炎, 黎森传, 1992. 莺歌海、琼东南盆地. 见: 翟光明主编. *中国石油地质志卷十六(下册)*. 北京: 石油工业出版社, 491—518.
- 陈维涛, 杜家元, 龙更生, 等, 2012. 珠江口盆地海相层序地层发育的控制因素分析. *沉积学报*, 30(1):73—83.
- 高红芳, 2009. 莺歌海盆地沉积格架和充填演化分析. *南海地质研究*, 00:1—9.
- 高红芳, 白志琳, 郭依群, 2000. 南海西部中建南盆地新生代沉积相及古地理演化. *中国海上油气(地质)*, 14(6):411—416.
- 高红芳, 曾祥辉, 刘振湖, 等, 2005. 南海礼乐盆地沉降史模拟及构造演化特征分析. *大地构造与成矿学*, 29(3):385—390.
- 贺清, 全志刚, 胡根成, 2005. 万安盆地沉积物充填演化及其对油气藏形成的作用. *中国海上油气*, 17(2):80—83, 88.
- 胡小强, 杨木壮, 2006. 万安盆地可容纳空间变化分析. *海洋地质动态*, 22(6):29—32.
- 李国永, 徐波, 刘丽芳, 2007. 台西盆地烃源岩特征及天然气成藏条件. *天然气工业*, 27(5):48—52.
- 刘铁树, 何仕斌, 2001. 南海北部陆缘盆地深水区油气勘探前景. *中国海上油气(地质)*, 15(3):164—170.
- 米立军, 张功成, 2011. 南海北部陆坡深水海域油气资源战略调查及评价. 北京: 地质出版社.
- 邱燕, 陈国能, 解习农, 等, 2005. 南海西南海域曾母盆地新生代沉积充填演化研究. *热带海洋学报*, 24(5):43—52.
- 邵磊, 李昂, 吴国璋, 等, 2010. 琼东南盆地沉积环境及物源演变特征. *石油学报*, 31(4):548—552.
- 孙珍, 钟志洪, 周蒂, 2007. 莺歌海盆地构造演化与强烈沉降机制的分析和模拟. *地球科学——中国地质大学学报*, 32(3):347—356.
- 王国纯, 1997. 台西盆地构造单元划分探讨. *中国海上油气(地质)*, 11(2):80—86.
- 王嘹亮, 吴能友, 周祖翼, 等, 2002. 南海西南部北康盆地新生代沉积演化史. *中国地质*, 29(1):96—102.
- 汪品先, 剪知潜, 赵泉鸿, 等, 2003. 南海演变与季风历史的深海证据. *科学通报*, 48(21):2228—2239.
- 万晓樵, 郝谄纯, 董军社, 1996. 珠江口盆地第三纪浮游有孔虫分带. 见: 郝谄纯, 徐钰林, 许仕策, 等. *南海珠江口盆地第三纪微体古生物及古海洋学研究*. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 谢锦龙, 黄冲, 向峰云, 2008. 南海西部海域新生代构造古地

附中文参考文献

- 蔡国富, 邵磊, 乔培军, 等, 2013. 琼东南盆地古近纪海侵及沉积环境演化. *石油学报*, 34(S2):91—101.

- 理演化及其对油气勘探的意义.地质科学,43(1):133-153.
- 徐行,姚永坚,王立非,2003.南海南部海域南薇西盆地新生代沉积特征.中国海上油气(地质),17(3):170-175.
- 徐钰林,1996.珠江口盆地第三纪钙质超微化石分带及古海洋环境.见:郝诒纯,徐钰林,许仕策,等,南海珠江口盆地第三纪微体古生物及古海洋学研究.武汉:中国地质大学出版社.
- 姚伯初,1996.南海海盆新生代的构造演化史.海洋地质与第四纪地质,16(2):1-13.
- 姚伯初,1999.东南亚地质构造特征和南海地区新生代构造发展史.南海地质研究(11),00:1-13.
- 姚伯初,万玲,吴能友,2004.大南海地区新生代板块构造活动.中国地质,31(2):113-122.
- 姚伯初,曾维军,1994.中美合作调研南海地质专报(GM-SCS).北京:地质出版社.
- 姚伯初,曾维军,陈艺中,等,1995.南海北部陆缘东部中生代沉积的地震反射特征.海洋地质与第四纪地质,15(1):81-90.
- 曾祥辉,1994.台西盆地油气地质条件及含油气远景.南海地质研究(6),00:80-96.
- 张功成,刘震,米立军,等,2009.珠江口盆地—琼东南盆地深水区古近系沉积演化.沉积学报,27(4):632-641.
- 张莉,李文成,曾祥辉,2003a.礼乐盆地地层发育特征及其与油气的关系.石油实验地质,25(5):469-472,480.
- 张莉,王嘹亮,易海,2003b.北康盆地的形成与演化.中国海上油气(地质),17(4):245-248.
- 钟广见,高红芳,2005.中建南盆地新生代层序地层特征.大地构造与成矿学,29(3):403-409.
- 钟志洪,王良书,李绪宣,等,2004.琼东南盆地古近纪沉积充填演化及区域构造意义.海洋地质与第四纪地质,24(1):29-36.
- 朱伟林,米立军,2010.中国海域含油气盆地图集.北京:石油工业出版社.
- 朱伟林,吴国璋,黎明碧,2004.南海北部陆架北部湾盆地古湖泊与烃源条件.海洋与湖沼,35(1):8-14.
- 朱伟林,张功成,钟锴,等,2010.中国南海油气资源前景.中国工程科学,12(5):46-50.
- 朱俊章,施和生,何敏,等,2008.珠江口盆地白云凹陷深水区LW3-1-1井天然气地球化学特征及成因探讨.天然气地球科学,19(2):229-233.