

文章编号: 0253-2697(2015)05-0533-13 DOI:10.7623/syxb201505002

## 边缘海构造旋回控制南海深水区油气成藏

张功成<sup>1</sup> 屈红军<sup>2</sup> 刘世翔<sup>1</sup> 谢晓军<sup>1</sup> 赵钊<sup>1</sup> 沈怀磊<sup>1</sup>

(1. 中海油研究总院 北京 100028; 2. 西北大学地质学系 陕西西安 710069)

**摘要:**南海边缘海构造旋回包括古南海形成与萎缩及新南海形成与萎缩2个旋回。边缘海构造旋回控制南海深水区盆地分布与性质,南海北部为被动大陆边缘裂谷盆地,南沙地块区盆地为漂移裂谷盆地,南部为复合型活动大陆边缘挤压盆地,西部为转换大陆边缘剪切拉伸盆地,东部为俯冲大陆边缘增生楔盆地,深水区盆地主要分布在陆坡区和南沙地块上。边缘海构造旋回控制南海深水区主力烃源岩发育与类型,南海北部大陆边缘深水区发育始新世陆相、渐新世早期海陆过渡相、渐新世晚期海相3套烃源岩;南沙漂移裂谷盆地发育晚白垩世—早渐新世1套陆源海相烃源岩;南海南部大陆边缘深水区发育渐新世、早中新世和中中新世3套海陆过渡相烃源岩;南海西部大陆边缘深水区发育渐新世、早中新世、中中新世3套海陆过渡相烃源岩。边缘海构造旋回控制南海深水区大型储集体的形成,南海北部深水区发育4套储集体以深海扇为主,南沙地块发育2套储集体以三角洲与生物礁为主,南海南部以深水扇和生物礁为主;在大河入海口前缘的区域形成大型水道砂体等碎屑岩储集体,在隆起区形成生物礁滩。边缘海旋回控制深水区储盖组合,南海北部大陆边缘深水区油气成藏组合主要为渐新统一上新统,南沙地块区主要为始新统一渐新统下部,南海南部大陆边缘深水区成藏组合为渐新统一上新统,南海西部大陆边缘深水区成藏组合为渐新统一中新统。南海深水区主要油气藏类型与构造圈闭、深水扇及生物礁相关。南海深水区成盆、成烃、成藏特征受控于边缘海构造旋回,油气勘探潜力巨大。

**关键词:**边缘海构造旋回;盆地类型;烃源岩;深水扇;生物礁;生烃凹陷;成藏组合;深水区

中图分类号:TE122

文献标识码:A

## Tectonic cycle of marginal sea controlled the hydrocarbon accumulation in deep-water areas of South China Sea

Zhang Gongcheng<sup>1</sup> Qu Hongjun<sup>2</sup> Liu Shixiang<sup>1</sup> Xie Xiaojun<sup>1</sup> Zhao Zhao<sup>1</sup> Shen Huailei<sup>1</sup>

(1. CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China;

2. Department of Geology, Northwest University, Shaanxi Xi'an 710069, China)

**Abstract:** The tectonic cycle of marginal sea in South China Sea (SCS) includes two cycles which are formation and contraction of Proto-SCS and Neo-SCS. The distribution and features of deep-water basins in SCS are controlled by tectonic cycle of marginal sea. The north of SCS is an extensional basin on passive continental margin, while the Nansha block is a drifting rift basin, and the south is a foreland basin on subduction continental margin, the west is a transtensional basin on transform continental margin, the east is an accretionary wedge basin on subduction continental margin, and the deep-water basins are distributed mainly in the slope zone and Nansha block. The development and types of major source rocks in deep-water areas are dominated by the tectonic cycle of marginal sea. There are three sets of source rocks in deep-water areas of the northern continental margin in SCS, and they are Eocene terrestrial facies, the early Oligocene transitional facies and marine facies in late Oligocene marine facies. Three sets of transitional facies are noticed in deep-water areas of both the southern continental margin in SCS, and they are Oligocene, early Miocene and middle Miocene. The distribution of the main reservoir rocks which mainly developed in Oligocene and Pliocene are also dominated by the tectonic cycle of marginal sea, and they are clastic reservoir rocks that are formed in firth, underwater incised valley and frontal area of the slope, and then became biological reef in the uplift area. The reservoir assemblages in deep-water areas of the northern and the southern continental margin in SCS are present in Oligocene-Pliocene, while the ones in Nansha block are Eocene-lower Oligocene, the ones in the western continental margin are Oligocene-Miocene. The types of reservoir in abyssal zone consists of structural trap, deep-water fan and reef, so there is great potential for exploration in deep-water areas of SCS.

**Key words:** tectonic cycle of marginal sea; types of the basin; hydrocarbon source rocks; deep-water fan; organic reef; the hydrocarbon-generation sag; the reservoir-forming assemblages; deep water area

**基金项目:**国家重点基础研究发展计划(973)项目“南海深水盆地油气资源形成与分布基础性研究”(2009CB219400)、国家重大科技专项“海洋深水区油气勘探关键技术”(2008ZX05025,2011ZX05025)、国土资源部全国油气资源战略选区调查与评价项目“南海北部陆坡深水海域油气资源战略调查及评价”(XQ-2004-05)、“南海北部深水区天然气资源战略调查及评价”(XQ-2007-05)资助。

**第一作者及通信作者:**张功成,男,1966年1月生,1988年获西北大学学士学位,1994年获中国地质大学(北京)博士学位,现为中海油石油总公司专家、中海油研究总院勘探研究院总地质师、教授级高级工程师,主要从事石油地质综合研究与管理工作。Email:zhanggch@cnooc.com.cn



引用:张功成,屈红军,刘世翔,谢晓军,赵钊,沈怀磊.边缘海构造旋回控制南海深水油气成藏[J].石油学报,2015,36(5):533-545.

Cite:Zhang Gongcheng,Qu Hongjun,Liu Shixiang,Xie Xiaojun,Zhao Zhao,Shen Huailei.Tectonic cycle of marginal sea controlled the hydrocarbon accumulation in deep-water areas of South China Sea[J].Acta Petrolei Sinica,2015,36(5):533-545.

边缘海又称陆缘海,位于陆地和大洋间的过渡地带。南海是西太平洋最重要的边缘海之一,具有大陆架(或岛架)、大陆坡(或岛坡)和中央深海平原等地貌类型。

南海大规模油气勘探始于20世纪60年代,迄今累计发现400多个油气田,主要分布在水深小于300m的浅水区<sup>[1]</sup>。南海剩余油气资源量非常丰富,是中国各含油气区中潜力最大的地区,估计剩余储量主要分布在深水区。初步的勘探已在南海南部大陆边缘深水区(主要在文莱—沙巴盆地)、东部大陆边缘深水区(西北巴拉望盆地)、北部大陆边缘深水区(珠江口盆地和琼东南盆地)发现多个商业性油气藏,在西部大陆边缘深水区(南沙地块)发现含油气构造<sup>[2-4]</sup>,这预示南海深水区油气远景可观,有可能成为继巴西东部大陆边缘、非洲西部被动大陆边缘、墨西哥湾、澳大利亚西北陆架、东非转换大陆边缘、北大西洋被动大陆边缘、地中海等深水区之后,又一个大型深水油气富集区<sup>[5]</sup>。研究南海深水区成盆、成烃、成藏的主控地质因素,对南海深水区油气勘探有重要指导意义。

## 1 南海边缘海构造旋回

新生代以来,南海经历了2期扩张—萎缩旋回,即古南海与新南海两大边缘海构造旋回(图1)。边缘海构造旋回在不同阶段表现为不同的构造特征。

### 1.1 古南海构造旋回

古南海经历了海底扩张前、海底扩张期和海底消减期3大阶段。古南海海底扩张前,华南地块、印支地块和婆罗洲地块属于同一大地块(南海地台),海底扩张从白垩纪持续到始新世,在曾母盆地、文莱—沙巴盆地见始新统复理石沉积,代表当时存在典型的被动大陆边缘陆坡深水沉积体系,也说明存在古南海。古南海形成期,古构造格局呈南、北大陆边缘夹中央洋盆结构(图1),古南海北部大陆边缘从南向北呈大陆边缘—古隆起—陆内裂谷格局(图1、图2),隆起及其两侧构造古地理格局呈北部陆相断陷(如珠江口盆地)、中央隆起剥蚀(中隆)、南部海相断坳(如礼乐盆地)(图1),礼乐盆地从白垩纪—渐新世早期一直为海相沉积。在古隆起之北珠江口盆地珠二坳陷内的白云凹陷及开平凹陷均发现始新统湖相地层,揭示古南海北部大陆边缘北翼为陆相环境。古南海的消减从渐新世开始,在加里曼丹岛西侧见到该时期蛇绿岩带,在曾母盆地、文莱—沙巴盆地渐新统见

磨拉石沉积,代表古南海回返和消亡。中新世以来,古南海持续消减,向加里曼丹地块之下俯冲,目前已消减殆尽。

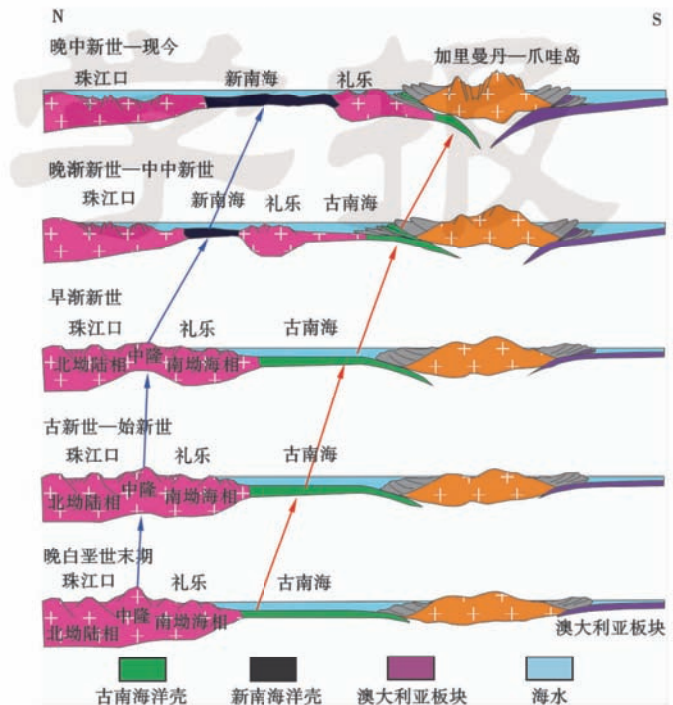


图1 南海新生代边缘海构造旋回演化

Fig. 1 Cenozoic tectonic cycles of marginal sea in South China Sea

### 1.2 新南海构造旋回

新南海经历了海底扩张前、海底扩张期和海底消减期3大阶段(图1、图2)。白垩纪—早渐新世为海底扩张前阶段,当时南沙地块和华南地块为统一块体,共同构成古南海北部大陆边缘(图1、图2)。中生代放射虫化石资料显示南沙地块是从华南地块裂离出去的,南沙地块巴拉望海域卡拉棉群岛的布桑加岛和巴拉望岛北部中生代地层含放射虫;二者放射虫种群显示源于北纬22°左右的位置,即位于华南大陆边缘的外侧<sup>[6-10]</sup>,潮汕坳陷LF35-1-1井放射虫化石时代为晚侏罗世—早白垩世,含晚侏罗世晚期的 *Pentanellium philippinense* Cheng 和 *Pantanellium corenense* Cheng, 与卡拉棉岛所见化石一致<sup>[11]</sup>。南沙地块和华南地块中生代岩石类型都是火山岩和沉积岩,具有一定相似性。根据华南、婆罗洲地块古地磁分析,当时这些地块也是一个整体。燕山晚期侵入岩在南海北部陆缘、南沙地块、万安盆地等地广泛分布,且多呈NE向区域分布,显示当时存在一个统一的地块。

在海底扩张期,即洋壳形成期,新南海洋壳分3个



区,包括东部次海盆、西北次海盆和西南次海盆。新南海主体位于东部次海盆,也称中央洋壳。东部次海盆磁异常条带走向 EW,南、北两端年龄最老<sup>[12]</sup>,约为 32~29 Ma;中间部位年龄最新,约为 16.5 Ma,自中央向南、北两侧年龄逐渐变老,具有“跳跃”性质,揭示洋壳的形成开始于 32 Ma<sup>[13]</sup>,持续了 16 Ma,16 Ma 之后新南海在南北方向的扩张停滞<sup>[14]</sup>。该阶段属于陆间裂谷和小洋盆扩张阶段,早期中隆(图 1,古南海地台)在

地幔柱作用下经历了裂开、沉陷和洋壳增生,发生了从隆起到深海的巨大转变。

海底消减期从 16.5 Ma 持续到现今。与新南海南北向扩张不同的是,新南海的萎缩表现为东西向萎缩(图 2)。菲律宾岛弧带的形成及向西仰冲导致南海新洋盆向东俯冲消减<sup>[15,16]</sup>。上述南海构造旋回控制了南海现今构造格架和不同性质大陆边缘的形成。

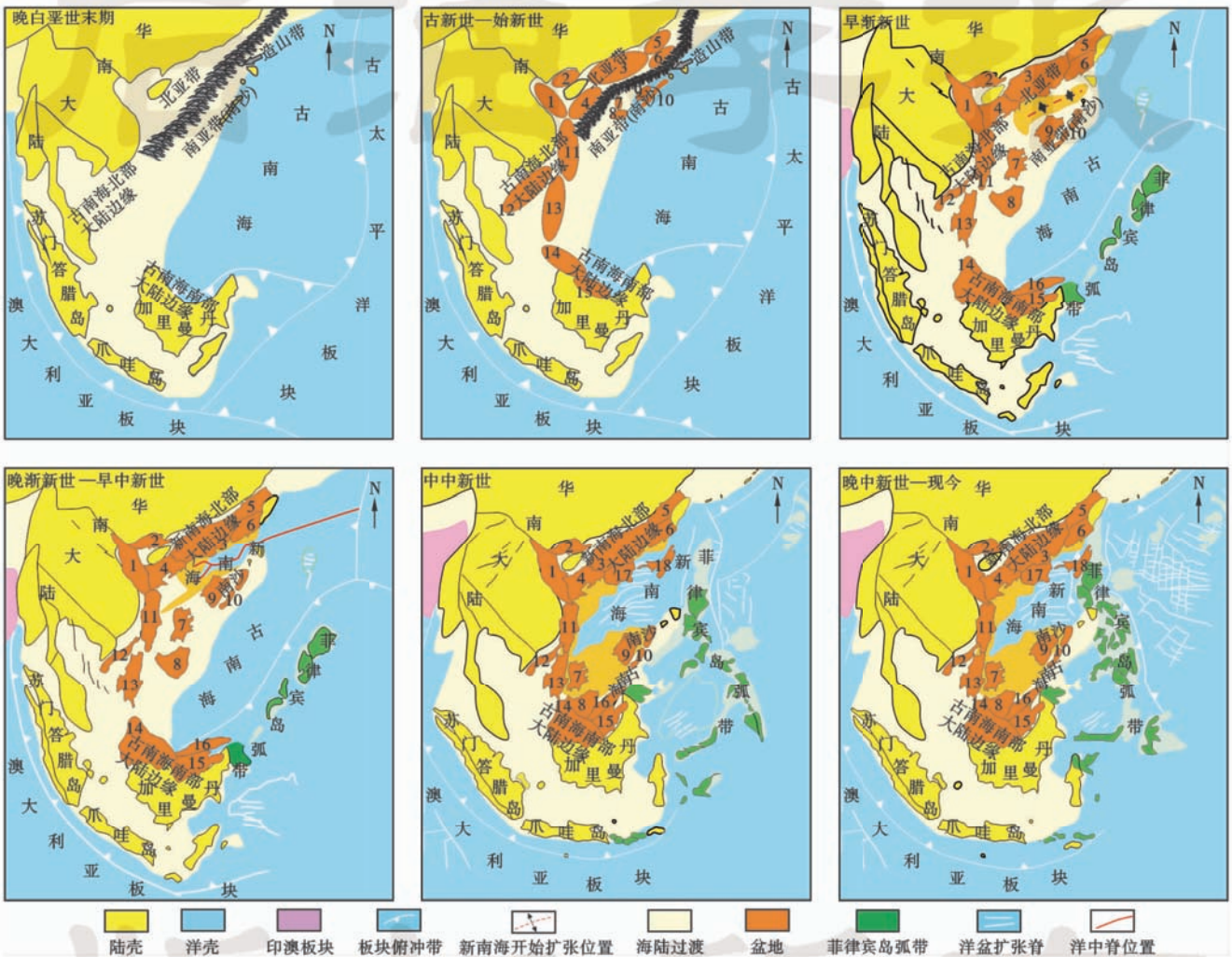


图 2 南海边缘海构造旋回平面  
Fig. 2 Tectonic cycles of marginal sea in South China Sea

## 2 边缘海构造旋回控制南海深水区成盆

在边缘海构造旋回的演化过程中,南海的不同区域产生了相异的构造响应,形成了不同性质的盆地。受边缘海构造旋回控制,南海动力学特征总体上呈“北张南压、南沙裂离、东挤西滑”,即南海北部大陆边缘为被动大

陆边缘,南部大陆边缘为多期叠加型活动大陆边缘,南沙为漂移地块,东部大陆边缘为俯冲大陆边缘,西部为伸展-转换型被动大陆边缘。受此控制南海发育 5 类盆地:南海北部发育被动大陆边缘裂谷盆地;南海南部大陆边缘发育挤压盆地;南沙地块区发育漂移裂谷盆地;南海东部发育增生楔型盆地;南海西部发育剪切拉张型盆地(图 3)。



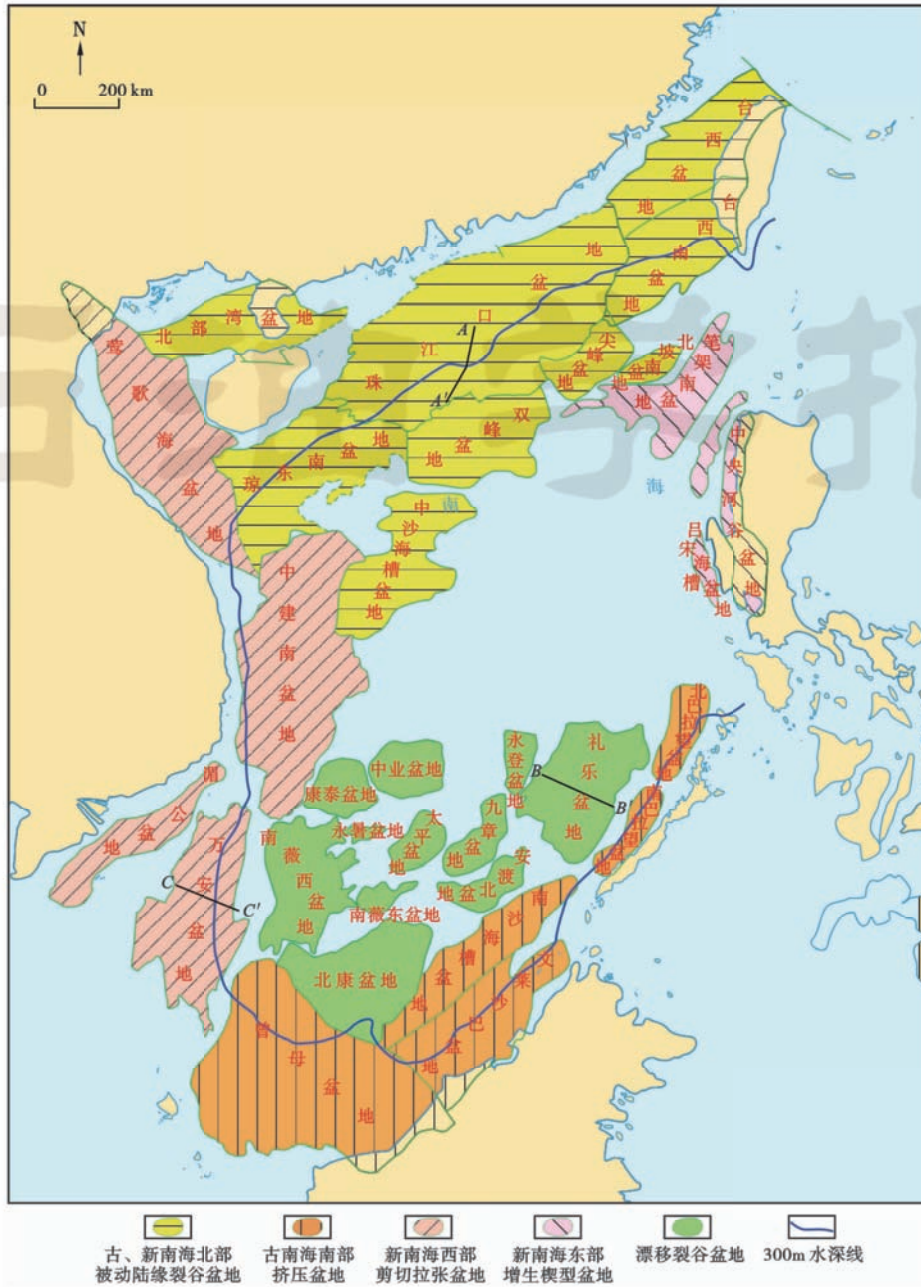


图3 南海沉积盆地类型分布

Fig. 3 Tectonic types of sedimentary basins in South China Sea

2.1 边缘海构造旋回控制南海北部深水被动大陆边缘盆地

现今的南海北部大陆边缘受新南海构造旋回控制明显。在古南海旋回的影响下，现今的南海北部陆缘发生多幕非海相裂陷，于古新世一始新世形成陆相断陷，渐新世早期形成海陆过渡相断陷。新南海扩张早期发生断坳，形成晚渐新世海相断陷、断坳或坳陷；新南海扩张晚期发生区域性热沉降，早、中中新世形成海相坳陷；新南海萎缩期发生区域沉降，新构造活动显著（图4），于渐新世晚期至今形成陆架陆坡体系，自北而南水体深度加大。

在新南海扩张前和扩张早期，南海北部大陆边缘于古近纪发生3幕裂陷，沿NE—近EW向的地壳破裂带发生前新生界基底断块断裂、伸展，形成断陷或断坳。南海北部大陆边缘自北向南发育3个含油气盆地带，古近纪主断陷形成时期具有北早南晚的特征。

北部盆地处于浅水区，其中北部湾盆地和珠江口盆地北部坳陷带古近纪断陷，陆相沉积地层主要分布在断陷内，在隆起上欠发育。新近纪—第四纪拗陷期区域沉降，地层分布广，以海相沉积为主，但厚度较薄。北部湾盆地普遍呈现断陷期地层厚、拗陷期地层薄的“肉厚皮薄”特征。断陷期断层活动较强，拗陷期—第



四纪除个别逆断层及反转背斜外,晚期断裂和褶皱不活跃。珠江口盆地北部裂陷期遭受多次改造,凹陷多为残余凹陷,新近纪—第四纪晚期断裂活动强烈,沿 NW 方向成簇发育,该区域始新世中深湖相最为发育。

中部盆地带主体处于深水区,内部为琼东南盆地、珠江口盆地珠二坳陷和台西南盆地,始新世为初始裂陷,以陆相沉积为主,局部为中深湖相,此时期新南海尚未扩张。渐新世发生区域性断拗作用,形成大型断拗,如琼东南盆地中央坳陷、珠江口盆地白云凹陷和台西南盆地南部坳陷,以海相和海陆过渡相沉积为主。中新世以后区域快速沉降,形成欠补偿的陆坡凹陷,充

填以深水沉积为主。该带主体处于深水区,主要的深大凹陷有白云—荔湾凹陷、乐东—陵水凹陷、华光凹陷、松南—宝岛凹陷等,渐新世煤系地层—海湾相泥岩最为发育,新生界最大沉积厚度可达 10 000 m<sup>[17-19]</sup>。

南部盆地带主体处于超深水区。中沙海槽盆地、双峰盆地、笔架南盆地等古近纪末期发生裂陷,但裂陷期地层不甚发育,新近系呈坳陷结构。

### 2.2 边缘海构造旋回控制南沙漂移裂谷盆地

受古、新南海构造旋回控制,南沙地块区经历了漂移前、漂移期和漂移后 3 个阶段,形成三明治式叠合盆地结构(图 5)。

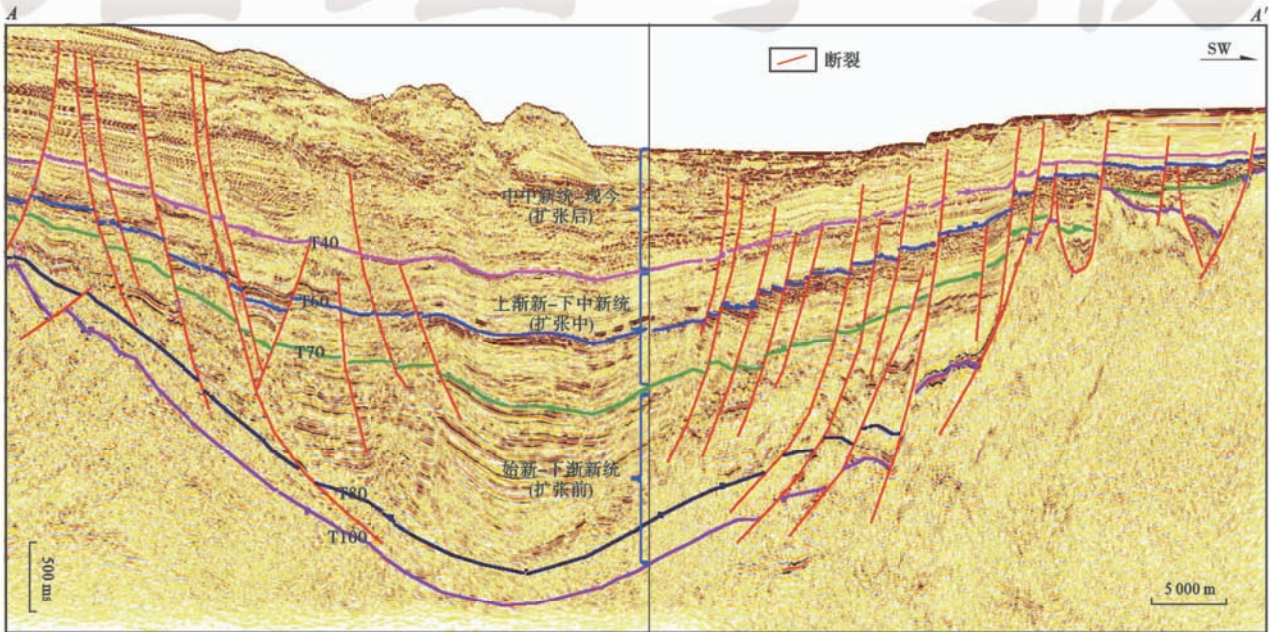


图 4 珠江口盆地白云凹陷地震剖面(剖面位置见图 3)

Fig. 4 Seismic section of Baiyun sag in Pearl River Mouth Basin

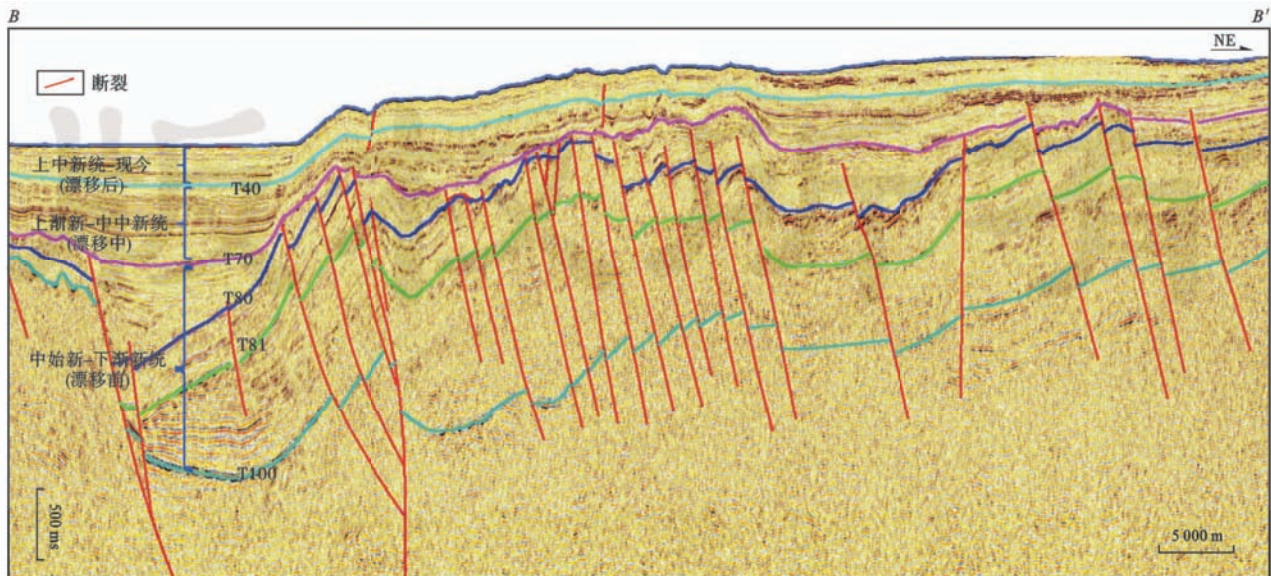


图 5 礼乐盆地区域地震剖面(剖面位置见图 3)

Fig. 5 Regional seismic section of Liyue Basin



礼乐盆地是南沙地块区主要盆地,新生代经历了3期构造演化阶段。漂移前阶段(晚白垩世—早渐新世):礼乐盆地位于南海北部珠江口盆地南侧、靠近潮汕坳陷附近,属于被动大陆边缘型盆地。漂移期阶段(晚渐新世—中中新世):晚渐新世南海中央海盆开始形成,使得礼乐—东北巴拉望地块与北部陆缘分离并向南漂移,礼乐盆地位于古南海的北侧、新南海的南侧,盆地进入区域沉降阶段,属于陆块裂离盆地。漂移后阶段(晚中新世至今):中中新世末,礼乐—东北巴拉望地块与加里曼丹碰撞并停止漂移,随着边缘海构造旋回中古南海消亡和新南海形成,块体碰撞形成前陆盆地,礼乐盆地停止漂移,停滞于现今的位置。南薇西盆地和北康盆地等经历了相似的地质过程。

西北巴拉望盆地沉积盖层为上侏罗统一白垩系海相碎屑岩、凝灰质页岩、上始新统一第四系海相碎屑岩、碳酸盐岩等,分为北拉望盆地和南巴拉望盆地。新南海扩张前,巴拉望盆地位于南海北缘的外侧,在拉张应力作用下,前新生界基底断块破裂,形成一系列箕状或地堑状断陷盆地;新南海南北向扩张使巴拉望盆地逐渐向南漂移。中中新世末期前后,巴拉望盆地所在的巴拉望微地块和菲律宾地块碰撞,停止在现今的位置并形成前陆盆地。

### 2.3 边缘海构造旋回控制南海南部挤压盆地

南海南部大陆边缘的基底形成于古南海萎缩早期。文莱—沙巴盆地东部(文莱区)的基底为已经褶皱变形的晚渐新世—早中新世三角洲平原—深水页岩地层;盆地西部(沙巴区)的基底为褶皱的晚始新世—早中新世深海复理石<sup>[20]</sup>。曾母盆地南部基底是晚白垩世—始新世浅变质深海浊积岩,为西婆罗洲锡布带在海域的延伸;盆地西部和西南部基底为中生代—古新

世火成岩,可能代表南海张裂前和张裂初期的岩浆构造带;盆地东部和北部基底情况尚不清楚。

南海南部大陆边缘的沉积盖层形成于古南海萎缩晚期,盆地中沉积了巨厚的沉积物。上新世—第四纪,曾母盆地与南海海盆一起整体沉降,广泛接受披覆沉积。

### 2.4 边缘海构造旋回控制南海西部剪切拉张盆地

南海西部大陆边缘受新南海构造旋回控制明显。在新南海扩张前(始新世—早渐新世)南海西部可能是中央隆起的西段,处于剥蚀状态;晚渐新世—早中新世新南海裂开期,现今的南海西部边缘(万安盆地—中建南盆地—涠公盆地所在区域)处在扩张轴平行方向,受NW—SE向拉张形成北东向的盆地,在NW—SE向呈盆-岭结构,且向WS方向的伸展作用减弱;新南海萎缩期(晚中新世—第四纪)伸展作用停滞,代之为区域沉降,形成现今的大陆架—大陆坡体系。

以涠公盆地为例,其走向为NE向,与新南海西南次海盆走向一致。涠公盆地由渐新世早中新世断陷和中中新世—第四纪坳陷叠合而成<sup>[21]</sup>,主要形成于渐新世,预测涠公盆地是新南海扩张期向陆地区扩展的结果,该盆地目前处于陆架浅水区。中建南盆地是一个剪切拉张型盆地,主体分布在深水区,盆地轮廓走向为SN向,主要为拗陷特征,受新南海萎缩期差异热沉降作用控制,盆地断坳期构造格局呈NE走向的隆-坳格局,由新南海扩张期伸展作用形成<sup>[22]</sup>。万安盆地东北端处于深水区,新南海扩张期伸展作用产生了一系列NNE向、NE向断裂,并形成掀斜断块和箕状坳陷,构成了万安盆地的下部构造格局。新南海萎缩期区域差异沉降形成陆架—陆坡体系(图6)<sup>[23]</sup>。除受新南海旋回影响外,南海西部大陆边缘还受到印支地块滑移作用的影响。

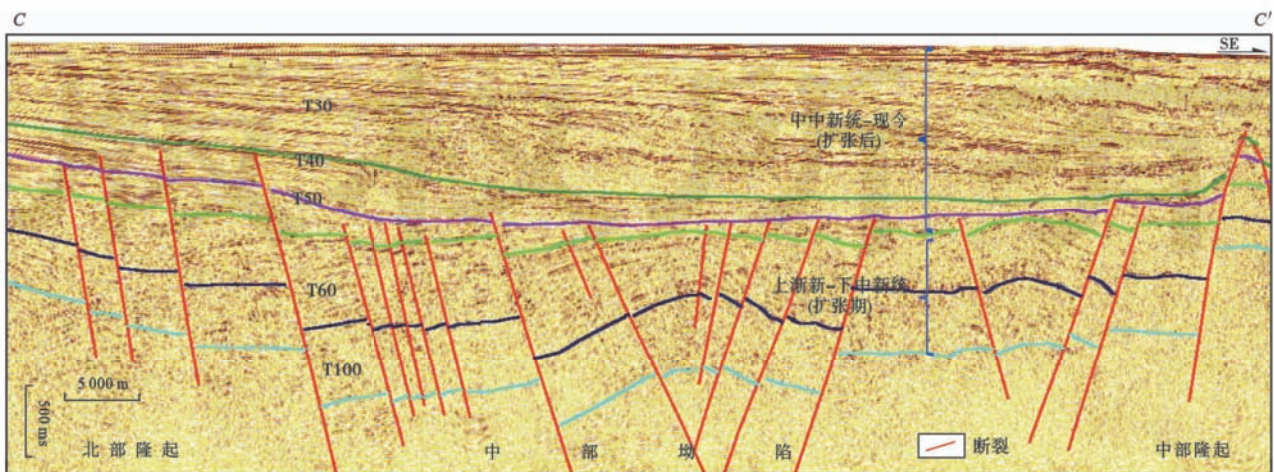


图6 万安盆地区域构造地震剖面(剖面位置见图3)

Fig. 6 Regional seismic section of Wan'an Basin



### 2.5 边缘海构造旋回控制南海东部增生楔盆地

南海东部大陆边缘形成较晚,于新南海消减阶段形成,受菲律宾岛弧带向西仰冲、新南海洋壳向东俯冲共同控制,属于增生楔背景下形成的盆地<sup>[24]</sup>。渐新一早中新世形成半深海偏泥相沉积,晚中新世至今发生消减,以冲断推覆为主,局部发生伸展作用。

## 3 边缘海构造旋回控制南海深水区成烃

边缘海构造旋回控制南海北部陆缘盆地始新世和渐新世形成 3 套烃源岩,控制南海南部裂离盆地始新世形成 1 套烃源岩,控制南海南部前陆盆地渐新世和中新世形成 3 套烃源岩。南海各盆地主力烃源岩沉积相围绕中央海盆呈环带状分布(图 7)。

### 3.1 边缘海构造旋回控制南海北部始新世和渐新世形成 3 套烃源岩

古、新南海构造旋回导致南海北部陆缘始新世和渐新世产生 3 期裂陷,3 期裂陷控制南海北部深水区发育 3 套烃源岩,分别为始新世湖相烃源岩、早渐新世海陆过渡相煤系烃源岩、晚渐新世海相烃源岩<sup>[25-28]</sup>。

始新世烃源岩形成于古南海活动期,处于古南海北部被动大陆边缘的陆内断陷(中隆以北,图 1),主要是中深湖相泥岩,目前已在珠江口盆地深水区的白云凹陷、开平凹陷钻遇,预测在顺德凹陷、琼东南盆地也有发育。

渐新世早期烃源岩形成于新南海扩张前的陆内海陆过渡相断拗阶段,相当于陆间裂谷的前期,当时新南海的古地理格局雏形是一个东西向的窄海湾(图 2),

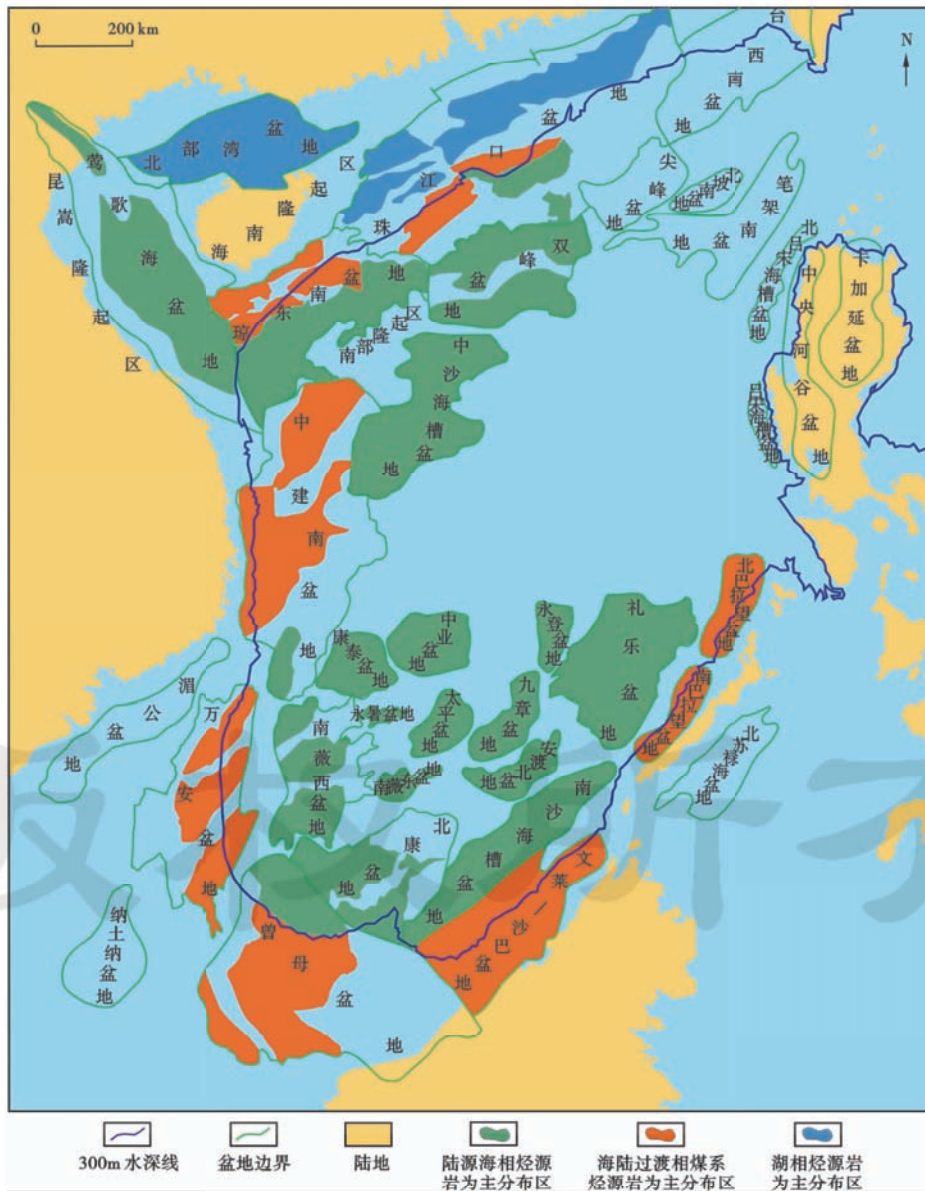


图 7 南海海域盆地主力烃源岩类型分布

Fig. 7 Distribution of main source rock types in South China Sea



海湾东端可能与古太平洋连通,向西为海湾—海相环境,在海湾的北侧形成多个断坳(珠江口盆地、琼东南盆地),其中发育三角洲煤系和海相烃源岩。油气源对比分析发现,该烃源岩是珠江口盆地、琼东南盆地深水区主要烃源岩。

渐新世末期,新南海已初步形成,海湾向南、北两侧显著加宽,南海北部边缘已属于较宽阔边缘海的被动大陆边缘,其中的凹陷已处于海相环境,烃源岩为浅海相、局部为海湾海相泥岩。如白云凹陷珠海组沉积期为浅海相—海湾相环境,烃源岩为海相泥岩,有机质类型为腐泥—腐殖型,有机质丰度高。目前油气源分析表明珠江口盆地珠二坳陷白云凹陷珠海组对成藏有贡献。琼东南盆地晚渐新世陵水组沉积期凹陷结构呈断陷,环境为浅海—半深海相,有机质类型和丰度与白云凹陷相似。

### 3.2 边缘海构造旋回控制南沙裂离盆地始新世形成1套烃源岩

南沙地块区盆地始新世—早渐新世断坳主要受古南海控制,当时该盆地群处于古南海北部大陆边缘,发育一套海陆过渡—陆源海相烃源岩。漂移期地层薄,萎缩期地层厚,从热场和埋藏史分析,仅始新世—早渐新世潜在烃源岩可能成为有效烃源岩<sup>[29,30]</sup>。例如礼乐盆地的主力烃源岩为始新统,烃源岩主要分布在三角洲及浅海区,三角洲控制了始新统烃源岩分布,靠近三角洲的井的 TOC 明显高于远离三角洲的井。巴拉望盆地烃源岩为尼多组(渐新统一中新统)和塞恩组—里弗特组(尼多组之下)。

### 3.3 边缘海构造旋回控制南部前陆盆地渐新世和中新世形成3套烃源岩

边缘海构造旋回导致南部前陆盆地渐新世和中新世发生3期挤压,形成3套烃源岩,主力源岩为三角洲煤系及浅海相泥岩<sup>[31,32]</sup>。其中文莱—沙巴盆地烃源岩有机质主要为中中新统一上新统陆生植物,以泥岩、碳质泥岩及煤层形式存在,主要为Ⅲ型干酪根。盆地陆上部分的烃源岩为煤及泥岩,TOC 很少超过 2.0%,有机质类型主要为Ⅲ型,少量为Ⅱ2型干酪根。曾母盆地亦发育渐新世、早中新世、中中新世3套煤系—海相烃源岩。

### 3.4 边缘海构造旋回控制西部深水盆地烃源岩

受新南海构造旋回控制,南海西部大陆边缘在扩张前、扩张期和萎缩期形成3套烃源岩<sup>[33,34]</sup>。其中的中建南盆地发育3套烃源岩,古新统一始新统烃源岩主要为浅湖—沼泽相和浅湖—半深湖相泥岩,有机碳含量为 0.85%~1.75%,干酪根类型为Ⅱ—Ⅲ型,上始新统一渐新统烃源岩以潟湖相、滨海—浅海相泥岩

为主,泥岩有机碳含量为 0.49%~1.56%,煤和碳质泥岩的有机碳含量为 13.26%~21.43%,干酪根类型为Ⅱ—Ⅲ型,下中新统一中新统烃源岩主要为浅海—半深海相泥岩,有机碳含量为 0.69%~0.93%,干酪根类型为Ⅱ—Ⅲ型。

万安盆地发育渐新统近岸湖沼—三角洲、海湾相泥岩和下一中新统浅海相泥岩2套烃源岩。渐新统烃源岩是主力烃源岩,有机碳含量为 0.50%~2.26%,干酪根类型以Ⅱ—Ⅲ型为主;下中新统烃源岩有机碳含量为 0.69%~0.93%,干酪根类型为Ⅱ—Ⅲ型。

由此可见,边缘海构造旋回控制深水盆地烃源岩分布,深水盆地生烃凹陷主要分布在陆坡,热场条件上主要属热凹、超热凹<sup>[35-37]</sup>,源-热共控深水盆地凹陷呈生气为主、生油为辅的格局。

## 4 边缘海构造旋回控制南海深水盆地成藏

### 4.1 边缘海构造旋回控制油气成藏组合

南海北部和西部呈“下生、中储、上盖”成藏组合特征(图8)。烃源岩形成于新南海扩张前,为始新世湖相烃源岩、早渐新世海陆过渡相烃源岩(珠一坳陷为陆相湖沼相、珠二坳陷和琼东南盆地为海陆过渡相烃源岩、晚渐新世为海相烃源岩);扩张期渐新统一中新世形成储集岩(渐新统上部及中新统砂岩、生物礁);扩张后萎缩期区域盖层主要是上新统一第四系泥岩。渐新统内部也存在“下生上储”或“自生自储”储盖组合。

南沙地块区诸盆地以“自生、自储、自盖”组合为主。烃源岩形成于新南海漂移前,以古新统、始新统三角洲烃源岩及上始新统一渐新统早期烃源岩为主,储集层也形成于漂移前,区域盖层形成于漂移中和漂移后。由于始新统厚度大、晚期断层不甚发育,始新统可能为主要储盖组合。

南海南部生储盖组合受古南海萎缩半旋回控制,烃源岩形成于渐新统一下中新统海陆过渡相烃源岩,储集层形成于下中新统一中新统,区域盖层形成于上中新统一上新统,主要目的层在中新统一上新统。

### 4.2 边缘海构造旋回控制南海深水盆地储集体展布

#### 4.2.1 控制南海北部深水盆地发育4套储集体,以深海扇为主

南海北部深水盆地经历了4期演化,由老至新形成4套储层(图9),分别为始新世陆内断陷期河流—三角洲—扇三角洲砂岩储层、早渐新世半封闭性海湾期海陆过渡相、晚渐新世开阔海湾期滨浅海相—三角洲—深水重力流砂岩储层、中新世—上新世广海期深水扇<sup>[38-40]</sup>。其中珠江深水扇体系是在古珠江大河、宽陆架、富砂三角洲背景下,受边缘海旋回台阶状持续构造沉降和周期



性海平面变化的控制,形成受陆架坡折带限制的陆架边缘三角洲、多峡谷水道供源的深水扇复合沉积系统。

在琼东南盆地中央坳陷—珠江口盆地珠二坳陷大型坳陷带两侧,发育两大生物礁带,北带主要发育于珠江口盆地东沙隆起—神狐隆起,南带主要在琼东南盆地南侧永乐隆起一带。

4.2.2 控制南沙地块发育 2 套储集体,以三角洲与生物礁为主

南沙地块漂移前主要发育碎屑岩储层,漂移阶段和漂移后生物礁储层发育。以礼乐盆地为例,古新统一始新统主要储层为三角洲、扇三角洲、水下扇、滨浅海相砂岩。上始新统盆地内部主要发育扇三角洲、水下扇、滨海、内浅海沉积体系,以砂岩和粉砂岩为主。盆地周边隆起边缘发育大型扇三角洲、水下扇,盆内广泛分布滨浅海砂岩储层。下渐新统盆地内部主要发育扇三角洲、水下扇、滨海、内浅海沉积体系,大规模的扇三角洲、水下扇及滨海砂岩是主要的储层。另外,

渐新统一下中新统灰岩储层较发育。

4.2.3 控制南海南部以三角洲砂体和生物礁为主的储集体

南海南部形成于婆罗洲地块仰冲大陆边缘,在近岸形成碎屑岩,远岸形成生物礁储层和深水扇储层。如文莱—沙巴盆地渐新世以来经历 8 个沉积旋回,其中旋回 I 为早期被动大陆边缘渐新世沉积,旋回 II—VIII 为活动大陆边缘沉积。旋回 V—VI 地层中的储层最为发育,处于海岸平原、海岸和过渡环境。其由细粒到中粒的砂岩组成,渗透率高达 1 200 mD,孔隙度高达 30%。曾母盆地深水区储层以深水扇和生物礁为主。

4.3 边缘海构造旋回控制南海深水区圈闭与油气藏

南海北部大陆边缘深水区晚白垩世—第四纪经历了陆内裂谷到边缘海大陆边缘陆坡的地质过程,早期构造样式为伸展构造,晚期为重力构造样式。正断层控制下的断背斜、断块断鼻及背斜构造形成了主要的圈闭和油气藏。深水区峡谷水道、深水扇、生物礁也具

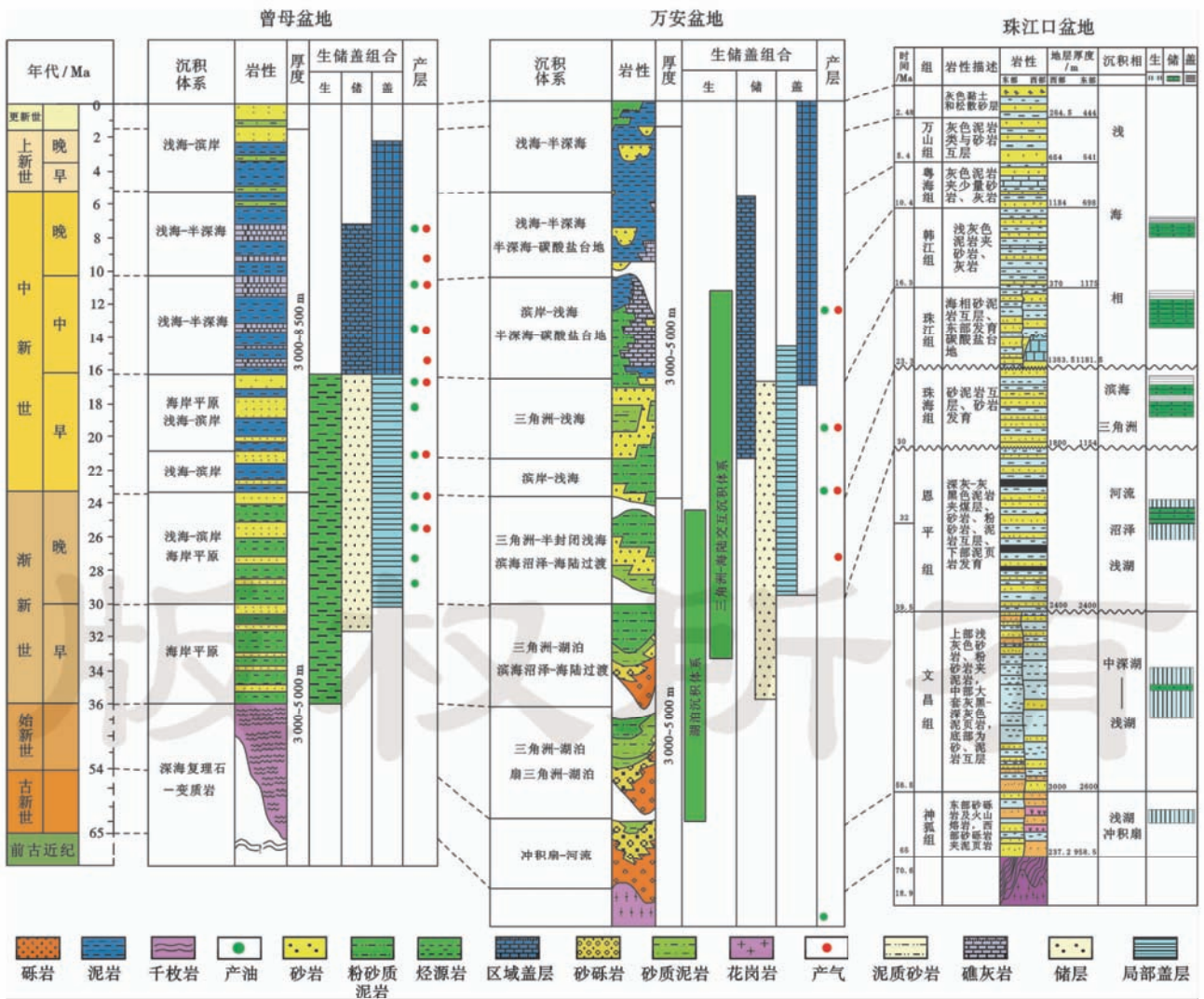


图 8 南海深水区盆地生储盖成藏组合

Fig. 8 Association of source rock, reservoir rock, seal rock in deepwater area in South China Sea



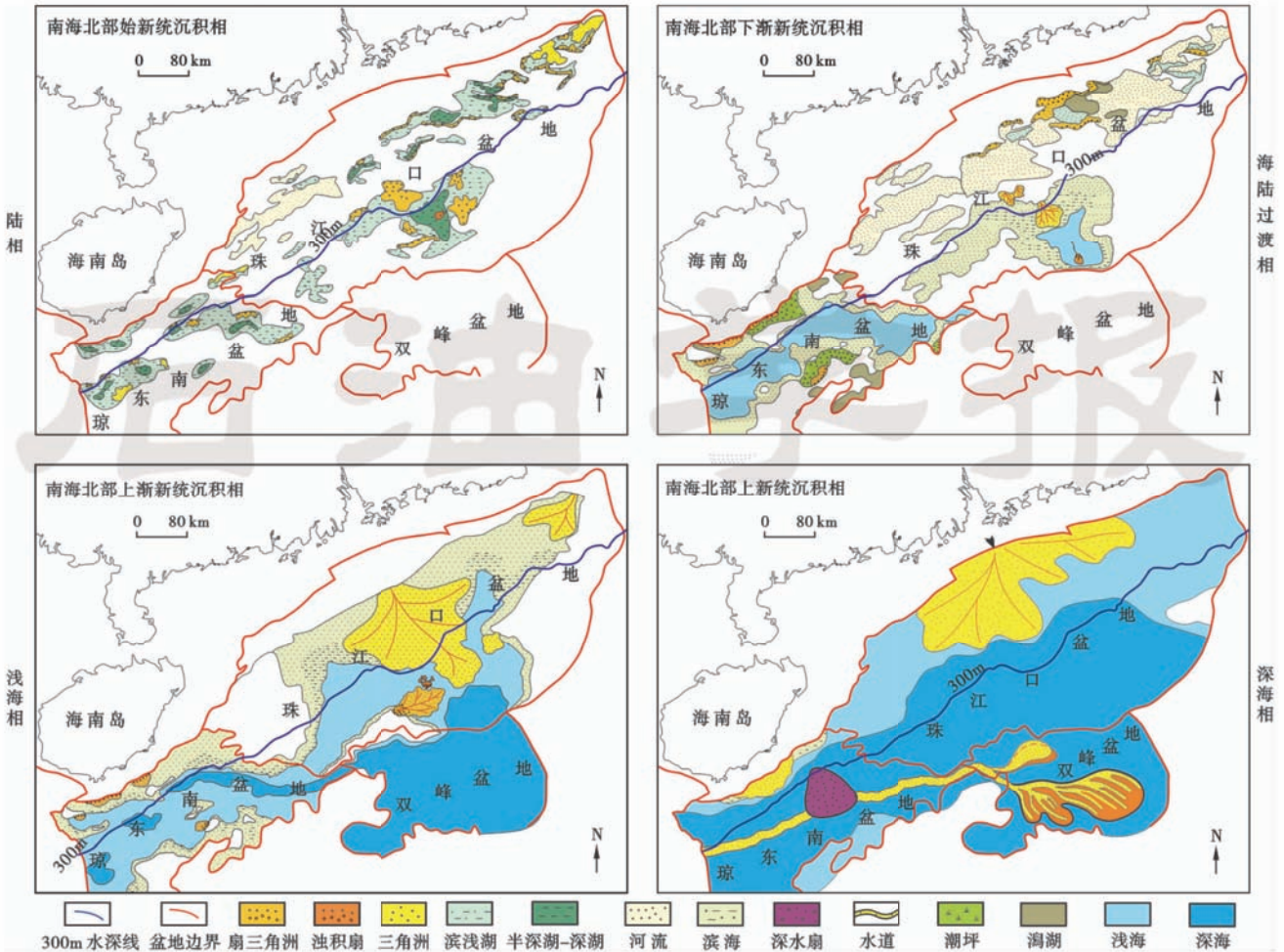


图9 南海北部深水区储集体分布

Fig. 9 Reservoir rock distribution in deepwater area in northern continental margin in South China Sea

备形成相关油气藏的有利条件<sup>[41]</sup>。在已证实的富生烃凹陷(陵水凹陷)中,中央水道发育、运移通道有效(底辟/断层)、圈闭落实,共同促成油气聚集成藏。目前在珠江口盆地深水区和琼东南盆地深水区已陆续发现了一批油气藏。如东沙隆起上的生物礁背斜油气藏(流花11-1)、早中新世断块构造-深水扇砂岩气藏(荔湾3-1等)、琼东南盆地中央水道差异压实背斜-半背斜油气藏(陵水22-1等)。

南沙地块区早期处在南海北部大陆边缘,伸展构造是主要构造类型,中期漂移阶段生物礁发育,晚期与婆罗洲地块碰撞致使挤压构造发育,且在古隆起上持续发育生物礁。南沙地块区主要圈闭有伸展背景下形成的断背斜、断鼻、断块及生物礁,构造圈闭主要发育在坳陷内,生物礁主要发育在礼乐滩。礁相油气藏的主要储集空间有原生孔隙和次生孔隙。根据钻探证实,生物礁具备一定的压溶和强烈的白云石化作用,因此孔隙性能较好。同时该区生物礁演化经历多期淹没事件,局部盖层发育。综合南沙地块演化阶段分析,生物礁油气藏具有利的生储盖配置关系和油气运聚条

件。晚中新世以后构造作用相对减弱,使得南沙生物礁相油气藏得以保存。

南海南部盆地为活动大陆边缘背景下的弧前盆地和前陆盆地。文莱-沙巴盆地为弧前盆地,主体为三角洲沉积体系,沉积厚度近万米,主要为三角洲进积作用下沉积的砂泥岩地层,区域挤压应力与三角洲发育过程的重力驱动作用叠加,圈闭类型有序分布。最南端在冲断推覆构造带发育与挤压作用相关的构造圈闭;中部为重力滑脱正断层带,处于外陆架到陆架边缘之上,在拉张应力作用下形成了一系列生长断层及其控制的滚动背斜,该区域以断层圈闭和滚动背斜圈闭为主;最北端的挤压构造带,其主体在深水区,在挤压应力作用下形成了一系列的逆冲推覆背斜圈闭和断块圈闭;在冲断带北端,深水扇岩性圈闭发育。曾母盆地南部巴林坚坳陷区构造圈闭发育,台地和隆起背景上的生物礁也是重要的圈闭类型。

南海西部大陆边缘以早期断坳、晚期被动大陆边缘陆坡为主要特征。早期发育受正断层控制的断背斜、断块和断鼻圈闭,隆起上发育披覆背斜和生物礁。



## 5 结 论

南海经历了古、新两大边缘海旋回,边缘海构造旋回控制了南海的成盆、成烃和成藏特征,也控制了南海深水区的油气勘探潜力与勘探方向。

(1) 南海北部大陆边缘受古、新南海构造旋回控制,逐渐形成古新世—始新世陆相断陷、早渐新世海陆过渡型断坳、晚渐新世以来海相坳陷叠合型盆地,同时形成陆相、海陆过渡相和陆源海相3类烃源岩;且深水热流值高,在深洼槽主要生气,在凹陷边缘和浅凹陷主要生油。由于区域性海进,形成浅海相和深海相两类主要碎屑岩储集体及“下生、中储、上盖”的区域性储盖组合,勘探前景非常优越。

(2) 南沙地块晚白垩世—早渐新世处于古南海北部被动大陆边缘造盆阶段,晚渐新世—中中新世夹持于古南海与新南海之间,晚中新世以来与婆罗洲地块北缘碰撞。烃源岩形成于古南海北部边缘,区域储、盖层形成于漂移与碰撞阶段。在新南海阶段,受到南北对挤作用,大型背斜、断背斜构造发育,在漂移阶段缺乏河流注入,生物礁发育;沉降阶段区域海相泥岩发育。因此生储盖配置优越,勘探潜力大。

(3) 古南海南部大陆边缘在始新世及其以前为被动大陆边缘背景,渐新世以来处于活动大陆边缘背景的主力成盆期,受区域性挤压,形成了面积大、沉降深、可容空间大的沉积盆地。该时期婆罗洲地块持续隆升,且该区处于热带雨林环境,河流与陆源动植物非常发育,利于搬运并充填巨厚沉积,并且地温梯度高,在源-热共控下形成非常丰富的油气。该区域深水区储层较发育,以深水浊积体和生物礁为主;晚期区域盖层发育,形成“下生、中储、上盖”的高效生储盖组合。加之深水重力推覆挤压构造圈闭成排成带发育,生物礁相关圈闭成群发育,油气成藏条件非常优越。

(4) 南海西部大陆边缘主要在新南海活动期间形成,但位于新南海扩张的延伸线上,渐新世—早中新世发生断陷,中中新世以后发生拗陷形成窄被动大陆边缘。盆地属叠合盆地,下部为海陆过渡相,上部为被动大陆边缘层序。烃源岩以三角洲煤系—海相泥岩为主,其地温梯度高,既生气也生油。储集层主要为海相碎屑岩和碳酸盐岩储集体。生物礁和断块构造是该区主要圈闭类型。

总之,在边缘海构造旋回控制下,南海形成多个具备优良成藏条件的盆地,油气资源丰富,目前深水区已取得多个重要油气突破,但整体勘探程度仍相对较低,勘探潜力相当可观。

致谢 与本文相关的研究中,得到中国科学院孙

枢院士、贾承造院士、中国工程院马永生院士、中国海洋石油总公司总地质师朱伟林教授级高级工程师和副总地质师邓运华教授级高级工程师的指导,谨表衷心感谢!

## 参 考 文 献

- [1] 张功成,朱伟林,米立军,等.“源热共控论”:来自南海海域油气田“外油内气”环带有序分布的新认识[J].沉积学报,2010,28(5):987-1005.  
Zhang Gongcheng,Zhu Weilin,Mi Lijun,et al. The theory of hydrocarbon generation controlled by source rock and heat from circle distribution of outside-oil fields and inside-gas fields in South China Sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2010,28(5):987-1005.
- [2] 金庆焕.深水油气是当今海洋油气勘探的主要热点[J].科学中国人,2006(11):18-20.  
Jin Qinghuan. Oil and gas in the deepwater area is the hotspot in marine exploration[J]. Scientific Chinese,2006,(11):18-20.
- [3] 张功成,米立军,屈红军,等.中国海域深水区油气地质[J].石油学报,2013,34(增刊2):1-14.  
Zhang Gongcheng,Mi Lijun,Qu Hongjun,et al. Petroleum geology of deepwater areas in Offshore China[J]. Acta Petrolei Sinica,2013,34(Supplement2):1-14.
- [4] 沈怀磊,张功成,孙志鹏,等.琼东南盆地深水富气凹陷形成控制因素与勘探实践——以陵水凹陷为例[J].石油学报,2013,34(增刊2):83-90.  
Shen Huailei,Zhang Gongcheng,Sun Zhipeng et al. Formation control factor analysis and exploration practice in gas-rich sag in deepwater areas of Qiongdongnan basin: a case study of Lingshui sag[J]. Acta Petrolei Sinica,2013,34(Supplement2):83-90.
- [5] 张功成,米立军,屈红军,等.全球深水盆地群分布格局与油气特征[J].石油学报,2011,32(3):369-378.  
Zhang Gongcheng,Mi Lijun,Qu Hongjun,et al. A basic distributional framework of global deepwater basins and hydrocarbon characteristics[J]. Acta Petrolei Sinica,2011,32(3):369-378.
- [6] Cheng Yennien. Upper Jurassic Pantanelidae (Pantaneli-nae Pessagno,1977 and Vallupinae Pessagno & MacLeod,1987) from the Busuanga Islands, Philippines[J]. Bulletin National Museum of Natural Science,1992,3:1-49.
- [7] Kennett J P. Marine geology[M]. New York: Prentice-Hall,1982:1-318.
- [8] Sano H, Yamagata T, Horibo K. Tectonostratigraphy of Mino terrane:jurassic accretionary complex of southwest Japan[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1992, 96 (1/2): 41-57.
- [9] Matsuoka A. Jurassic-Early Cretaceous tectonic evolution of the Southern Chichibu terrane, southwest Japan[J]. Palaeogeogra-



- phy, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1992, 96(1/2): 71-88.
- [10] Vishnevskaya V. Significance of Mesozoic radiolarians for tectonostratigraphy in Pacific rim terranes of the former USSR[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1992, 96(1/2): 23-39.
- [11] 吴国璋, 王汝建, 郝沪军, 等. 南海北部海相中生界发育的微体化石证据[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 79-85.  
Wu Guoxuan, Wang Rujian, Hao Hujun, et al. Microfossil evidence for development of marine Mesozoic in the north of South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2007, 27(1): 79-85.
- [12] Barckhausen U, Engels M, Franke D. Evolution of the South China Sea; revised ages for breakup and seafloor spreading[J]. Marine and Petroleum Geology, 2014, 58: 599-611.
- [13] Franke D, Savva D, Pubellier M, et al. The final rifting evolution in the South China Sea[J]. Marine and Petroleum Geology, 2014, 58: 704-720.
- [14] Taylor B, Hayes D E. The tectonic evolution of the South China Sea basin[C]// Hayes D E. The tectonic and geologic evolution of Southeast Asia seas and islands geophysical monography series 23. American Geophysical Union, 89-104.
- [15] 姚伯初, 万玲, 吴能友, 等. 大南海地区新生代板块构造活动[J]. 中国地质, 2004, 31(2): 113-122.  
Yao Bochu, Wan Ling, Wu Nengyou, et al. Cenozoic plate tectonic activities in the Great South China Sea area[J]. Geology in China, 2004, 31(2): 113-122.
- [16] 姚伯初, 万玲, 曾维军, 等. 南中国海岩石圈三维结构及演化[M]. 北京: 地质出版社, 2006.  
Yao Bochu, Wan Ling, Zeng Weijun, et al. 3-D lithosphere structures and evolution of the South China Sea[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- [17] 张功成, 谢晓军, 王万银, 等. 中国南海含油气盆地构造类型及勘探潜力[J]. 石油学报, 2013, 34(4): 611-627.  
Zhang Gongcheng, Xie Xiaojun, Wang Wanyin, et al. Tectonic types of petroliferous basins and its exploration potential in the South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(4): 611-627.
- [18] 张功成, 米立军, 吴时国, 等. 深水区-南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 15-21.  
Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, et al. Deepwater area — the new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 15-21.
- [19] 张功成. 南海北部深水构造演化及其特征[J]. 石油学报, 2010, 31(4): 528-533.  
Zhang Gongcheng. Tectonic evolution of deepwater area of northern continental margin in South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(4): 528-533.
- [20] 马良涛, 王春修, 牛嘉玉, 等. 西北沙巴盆地油气地质特征及油气成藏主控因素[J]. 海洋地质前缘, 2012, 28(7): 36-43.  
Ma Liangtao, Wang Chunxiu, Niu Jiayu, et al. Hydrocarbon geology in NW Sabah basin and controlling factors on hydrocarbon accumulation[J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28(7): 36-43.
- [21] 孙桂华, 高红芳, 彭学超, 等. 越南南部湄公盆地地质构造与沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(6): 25-33.  
Sun Guihua, Gao Hongfang, Peng Xuechao, et al. Geologic and tectonic characteristics of the Mekong Basin South Vietnam[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2010, 30(6): 25-33.
- [22] 高红芳, 王衍棠, 郭丽华. 南海西部中建南盆地油气地质条件和勘探前景分析[J]. 中国地质, 2007, 34(4): 592-598.  
Gao Hongfang, Wang Yantang, Guo Lihua. Petroleum geological conditions and prospects in the Zhongjiannan basin in the western South China Sea[J]. Geology in China, 2007, 34(4): 592-598.
- [23] 金庆焕, 刘振湖, 陈强. 万安盆地中部坳陷——一个巨大的富生烃坳陷[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004, 29(5): 525-530.  
Jin Qinghuan, Liu Zhenhu, Chen Qiang. The central depression of the Wan'an basin, South China Sea: a giant abundant hydrocarbon generating depression[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 525-530.
- [24] 万玲. 南海及周缘地质构造特征[C]//我国专属经济区和大陆架勘测专项综合报告. 北京: 海洋出版社, 2002: 184-198.  
Wan Ling. Geological and tectonic characteristics of the South China Sea and adjacent areas[C]// Synthetic report on the special economic zone and continental shelf survey. Beijing: Oceanic Press, 2002: 184-198.
- [25] 李友川, 邓运华, 张功成. 中国近海海域烃源岩和油气的分带性[J]. 中国海上油气, 2012, 24(1): 6-12.  
Li Youchuan, Den Yunhua, Zhang Gongcheng. Zoned distribution of source rocks and hydrocarbon Offshore China[J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(1): 6-12.
- [26] 黄保家. 琼东南盆地天然气潜力及有利勘探方向[J]. 天然气工业, 1999, 19(1): 34-39.  
Huang Baojia. Gas potential and its favorable exploration areas in Qiongdongnan Basin[J]. Natural Gas Industry, 1999, 19(1): 34-39.
- [27] 黄保家, 肖贤明, 董伟良. 莺歌海盆地烃源岩特征及天然气生成演化模式[J]. 天然气工业, 2002, 22(1): 26-30.  
Huang Baojia, Xiao Xianming, Dong Weiliang. Characteristics of hydrocarbon source rocks and generation & evolution model of natural gas in Yinggehai basin[J]. Natural Gas Industry, 2002, 22(1): 26-30.
- [28] 张功成, 刘震, 米立军, 等. 珠江口盆地—琼东南盆地深水古近系沉积演化[J]. 沉积学报, 2009, 27(4): 632-641.  
Zhang Gongcheng, Liu Zhen, Mi Lijun, et al. Sedimentary evolution of Paleogene Series in deep water area of Zhujiangkou and Qiongdongnan Basins[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(4): 632-641.
- [29] 张莉, 李文成, 李国英, 等. 礼乐盆地生烃系统特征[J]. 天然气工



- 业,2004,24(6):22-24.
- Zhang Li, Li Wencheng, Li Guoying, et al. Hydrocarbon generation system characteristics of Lile basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2004, 24(6): 22-24.
- [30] 徐行, 姚永坚, 王立非. 南海南部海域南薇西盆地新生代沉积特征[J]. *中国海上油气(地质)*, 2003, 17(3): 170-175.
- Xu Xing, Yao Yongjian, Wang Lifei. Cenozoic sedimentation of Nanweixi basin, the southern South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(3): 170-175.
- [31] 刘宝明, 金庆焕. 南海曾母盆地油气地质条件及其分布特征[J]. *热带海洋*, 1997, 16(4): 18-25.
- Liu Baoming, Jin Qinghuan. Hydrocarbon geological conditions and distribution, characteristics of Zengmu basin in southern South China Sea[J]. *Tropic Oceanology*, 1997, 16(4): 18-25.
- [32] Todd S P, Dunn M E, Barwise A J G. Characterizing petroleum charge systems in the Tertiary of SE Asia[M]//Fraser A J, Matthews S J, Murphy R W. *Petroleum Geology of Southeast Asia*. Geological Society, London, Special Publication, 1997, 126(1): 25-47.
- [33] 高红芳, 王衍棠, 郭丽华. 南海西部中建南盆地油气地质条件和前景分析[J]. *中国地质*, 2007, 34(4): 592-597.
- Gao Hongfang, Wang Yantang, Guo Lihua. Petroleum geological conditions and prospects in the Zhongjiannan Basin in The Western South China Sea[J]. *Geology in China*, 2007, 34(4): 592-597.
- [34] 刘振湖, 吴进民. 南海万安盆地油气地质特征[J]. *中国海上油气(地质)*, 1997, 11(3): 153-160.
- Liu Zhenhu, Wu Jinmin. Petroleum geology of Wan'an basin, South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 1997, 11(3): 153-160.
- [35] 米立军, 袁玉松, 张功成, 等. 南海北部深水区地热特征及其成因[J]. *石油学报*, 2009, 30(1): 27-33.
- Mi Lijun, Yuan Yusong, Zhang Gongcheng, et al. Characteristics and genesis of geothermal field in deep water area of the northern South China Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2009, 30(1): 27-33.
- [36] 何丽娟, 熊亮萍, 汪集旸. 南海盆地地热特征[J]. *中国海上油气(地质)*, 1998, 12(2): 87-90.
- He Lijuan, Xiong Liangping, Wang Jiyang. The geothermal characteristics in South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 1998, 12(2): 87-90.
- [37] 李雨梁, 黄忠明. 南海北部大陆架西区热演化史[J]. *中国海上油气(地质)*, 1990, 4(6): 31-39.
- Li Yuliang, Huang Zhongming. Thermal history of western continental shelf in northern South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 1990, 4(6): 31-39.
- [38] 何仕斌, 张功成, 米立军, 等. 南海北部大陆边缘深水区储层类型及沉积演化[J]. *石油学报*, 2007, 28(5): 51-56.
- He Shibin, Zhang Gongcheng, Mi Lijun, et al. Reservoir type and sedimentary evolution in the continental margin deepwater area of the northern south china sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(5): 51-56.
- [39] 王振峰. 深水重要油气储层——琼东南盆地中央峡谷体系[J]. *沉积学报*, 2012, 30(4): 646-653.
- Wang Zhenfeng. Important deepwater hydrocarbon reservoirs: the central canyon system in the Qiongdongnan basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(4): 646-653.
- [40] 施和生, 柳保军, 颜承志, 等. 珠江口盆地白云-荔湾深水区油气成藏条件与勘探潜力[J]. *中国海上油气*, 2010, 22(6): 369-374.
- Shi Hesheng, Liu Baojun, Yan Chengzhi, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential in Baiyun-Liwan deepwater area, Pearl River Mouth basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2010, 22(6): 369-374.
- [41] Gong Chenglin, Wang Yingmin, Zhu Weilin, et al. Upper Miocene to Quaternary unidirectionally migrating deep-water channels in the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea[J]. *AAPG Bulletin*, 2013, 97(2): 285-308.

(收稿日期 2014-09-26 改回日期 2015-03-08 编辑 宋宁)

版权所有