

文章编号: 0253-2697(2013)04-0611-17 DOI:10.7623/syxb201304001

# 中国南海含油气盆地构造类型及勘探潜力

张功成<sup>1</sup> 谢晓军<sup>1</sup> 王万银<sup>2</sup> 刘世翔<sup>1</sup> 王一博<sup>1</sup> 董伟<sup>1</sup> 沈怀磊<sup>1</sup>

(1. 中海油研究总院 北京 100027; 2. 长安大学地质工程与测绘学院 陕西西安 710054)

**摘要:**中生代末期以来,中国南海区域经历古南海裂开—萎缩、新南海裂开—萎缩两大边缘海旋回,形成了南海北部大陆边缘、新南海洋盆、南沙地块、古南海残余洋盆、古南海南部大陆边缘、南海西部大陆边缘和南海东部大陆边缘等构造单元。由于古、新南海洋盆位置的不同,古南海裂开形成的构造格局在后期受到不同的截切、改造,并且形成新的构造格局。两大旋回构造叠加控制了不同单元的性质及其上叠盆地的类型与油气地质条件。南海北部大陆边缘在两大旋回中均表现为被动大陆边缘特征,但早期旋回的大陆边缘规模大(包括新南海旋回被裂离出去的南沙地块),现今残余的早期旋回仅是其陆内陆相裂谷部分,与晚期旋回陆缘海陆过渡—海相裂谷区叠加,形成拉张盆地。早期烃源岩以中—深湖相地层为主,晚期烃源岩为海陆过渡相三角洲和海相泥岩;早期旋回烃源岩近岸分布,晚期旋回烃源岩远岸分布;早期主要呈陆生陆储或陆生海储,晚期则呈海生海储。南沙地块早期为古南海北部边缘裂陷盆地,发育海相烃源岩;中期向南漂移数千公里,夹持于古、新洋盆之间,沉积欠补偿;晚期被挤压改造,盆地沉积以早期旋回为主,呈现海生海储。古南海南部大陆边缘在早期为被动大陆边缘,晚期被改造成活动大陆边缘;早期的伸展盆地上叠挤压盆地,早期旋回地层被深埋处于变质状态,晚期旋回地层以大型三角洲群和海相泥岩为主,油气兼生,海生海储。南海西部大陆边缘早期为陆内环境,晚期被改造成转换型大陆边缘,张扭盆地发育,早期发育局限的陆相地层,晚期以海陆过渡三角洲相地层为主,该区域热流值高,以生气为主,发育底辟、潜山、生物礁等油气藏。南海东部大陆边缘正在俯冲,发育增生楔盆地。两期旋回不同的叠加关系,导致不同区域油气潜力差异巨大。古南海南部大陆边缘早期拉张、晚期挤压,盆地规模大,烃源岩丰富,均达到成熟状态,油气资源非常丰富。南海北部、西部裂陷盆地发育两套烃源岩,油气很丰富。南沙地块区早期处于古南海北部被动大陆边缘,晚期挟持于古南海残余洋盆与新南海洋盆之间,遭受区域性挤压,构造圈闭非常发育,油气潜力大。南海目前浅水区构造圈闭和生物礁勘探程度较高,其他非构造圈闭勘探程度很低;深水区 and 超深水区已有重要发现,但尚处于勘探早期阶段,南海未来勘探潜力依然可观。

**关键词:**大陆边缘;盆地类型;地质条件;构造格局;边缘海旋回;烃源岩;南海

中图分类号:TE111.1

文献标识码:A

## Tectonic types of petroliferous basins and its exploration potential in the South China Sea

ZHANG Gongcheng<sup>1</sup> XIE Xiaojun<sup>1</sup> WANG Wanyin<sup>2</sup>  
LIU Shixiang<sup>1</sup> WANG Yibo<sup>1</sup> DONG Wei<sup>1</sup> SHEN Huailei<sup>1</sup>

(1. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China;

2. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Since Late Mesozoic, the united South China Sea region has experienced at least two tectonic cycles of marginal seas, i. e. the cleavage to convergence of the palaeo-South China Sea, and the cleavage to convergence of the neo-South China Sea, which formed a couple of structural units, such as the northern continental margin of the South China Sea, the oceanic basin of the neo-South China Sea, the Nansha block, the residual oceanic basin of the palaeo-South China Sea, the northern continental margin of Borneo, and the western and eastern continental margins of the South China Sea. The tectonic framework developed in the cleavage of the palaeo-South China Sea was afterwards truncated and reworked to form a new tectonic framework because of the difference in locations of the palaeo-South China Sea and the neo-South China Sea. The superimposition of these two cycles controls properties of these different units, types of overlying basins and geological conditions of hydrocarbons. The northern continental margin of the South China Sea was of a passive continental margin in both the cycles though its scale (including the Nansha block parting away during the second cycle) was larger in the first cycle than the present residual part of the first cycle, which, only as an intracontinental rift part, was superimposed by the transitional marine rift developed in the late cycle to form tensional basins. Source rocks of the early cycle dominated by semi-deep lake strata, are distributed offshore and mainly generate oil that accumulate in nonmarine or marine facies, while those of the late cycle, composed of mainly transitional deltaic deposits and marine mudstones, are distributed infralittorally and generate oil that are reservoired in marine facies. The Nansha block used to be a rift basin that developed marine source rocks and was located at the northern continental margin of the South China Sea in the early cycle, afterwards it drifted south-

**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”(2009CB219400)、国家重大科技专项“海洋深水区油气勘探关键技术”(2008ZX05025、2011ZX05025)及国土资源部全国油气资源战略选区调查与评价项目(XQ-2004-05、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,现任中国海洋石油总公司勘探专家、中海油研究总院勘探研究院总地质师、教授级高级工程师,从事石油天然气地质综合研究及油气勘探管理工作。Email: zhang-gch@cnooc.com.cn

ward for thousand kilometers and lay between the palaeo- and neo-oceanic basins, remaining in an under compensation status. During the late cycle it was compressed and reworked, its deposits are dominated by marine facies of the early cycle, with occurrences of marine source rocks and reservoirs. The southern continental margin of the palaeo-South China Sea used to be a passive continental margin during the early cycle but was reworked into an active continental margin during the late cycle. Stretched basins formed in the early cycle are superimposed by compressional basins developed in the late cycle, and strata of the early cycle are deeply buried and of metamorphism, while strata deposited in the late cycle consist mainly of large-scale deltas and marine mudstones, with occurrences of both oil and gas in marine facies. The western continental margin of the South China Sea was formed in an intracontinental environment during the early cycle, and then reworked into a transformational continental margin during the late cycle, where tenso-shear basins developed with restricted terrestrial strata deposited in the early cycle and transitional deltaic strata deposited mainly in the late cycle. This area has a high value of heat flow and is apt to generate gas. Oil-gas reservoirs such as diapirs, buried hills and reefs are well developed in this area. Presently the eastern continental margin of the South China Sea is subducting with the development of accretionary wedge basins. The superimposition of the two different cycles leads to a great difference in exploration potential of different areas. The southern continental margin of the palaeo-South China Sea experienced extension and compression in the early and late cycles, respectively, resulting in the formation of large-scale basins, the richness of mature source rocks and enormous resources of hydrocarbons. Two suits of source rocks are well developed in rift basins of the northern and western South China Sea and they have generated an abundance of hydrocarbons. The Nansha block was located at the northern passive margin of the palaeo-South China Sea in the early cycle and restrained between the remnant oceanic basin of the palaeo-South China Sea and the oceanic basin of the neo-South China Sea. It contains well-developed structural straps due to regional compression and shows a great potential in petroleum resources. Presently, the degree of petroleum exploration is high in shallow water areas of the South China Sea, especially for structural traps and organic reefs, with the exception of non-structural traps. However, the petroleum exploration in deepwater and ultra-deepwater areas of the South China Sea remains yet at an infant stage though some significant discoveries have been made. Hence, the exploration potential of the South China Sea is still considerably great in the future.

**Key words:** continental margin; basin type; geological condition; tectonic framework; cycle of marginal sea; hydrocarbon resource; South China Sea

## 1 地质背景

南海介于南纬  $3^{\circ}30'$ —北纬  $25^{\circ}00'$ 、东经  $105^{\circ}10'$ — $121^{\circ}50'$  之间,北缘是华南板块、西缘是印支板块,南缘是婆罗洲地块,东缘是菲律宾群岛(图 1)。南海是西太平洋最大的边缘海盆地之一,面积约  $350 \times 10^4 \text{ km}^2$  (含纳土纳海和泰国湾)<sup>[1-5]</sup>。

南海周边陆地油气勘探开始于 20 世纪初,海域油气大规模勘探始于 20 世纪 60 年代中期。截至目前南海发现油气田数百个,储量上百亿吨油当量,目前南海年产油气近  $1 \times 10^8 \text{ t}$  油当量,油气储量和产量主要是在浅水区,其中南海中南部约占 75%,而其中有相当一部分是周边国家在中国传统疆界线以内掠夺开采的。深水区和超深水区的油气勘探工作尚处于普查和区域勘探阶段<sup>[6]</sup>。南海特定的地质发展历史中,最重要的有两期构造旋回,使中生代末期统一的南海地台分解。构造旋回控制了各个区域构造单元的性质及其所在区域的沉积盆地的构造类型、沉积岩的类型与分布,影响地温梯度,决定油气生成和运移的时期、油气藏的圈闭类型及油气资源潜力等。

## 2 边缘海构造旋回

南海是典型的复合-叠加边缘海盆地,新生代存在着起始时期不同的边缘海旋回,每个旋回都具有早期

伸展造洋、晚期萎缩 2 个阶段。两个旋回演化进程在时间上有一定的同期性,在空间上相邻,动力学上相联系。南海总体经历 3 大阶段。

### 2.1 古南海张开阶段

在中生代末期,南海各个地块拼合呈统一的小型“联合古陆”(称为古南海地台),其中主要包括 3 大族群<sup>[7]</sup>:①华南板块及亲华南板块的地块,如台湾、东沙、菲律宾、西沙、中沙、南沙、巴拉望等,其前新生代地层具有相似的岩石地层特征;②印支板块;③婆罗洲地块[图 2(a)]。

古太平洋板块俯冲使得南海区域于中生代末形成的“联合古陆”肢解,裂谷带沿泛华南地块与婆罗洲地块之间的古薄弱带伸展,经历陆内裂谷、陆间裂谷等阶段,其古区域构造格局呈“两陆夹一谷”。南部是婆罗洲大陆及其北侧的被动大陆边缘,中部是古南海(大西洋型),北部是泛华南大陆及其南部的被动大陆边缘。南沙地块处于古南海北侧被动大陆边缘位置,在其内部发生了区域性裂隙,形成了 NE—NEE 向裂谷带。南沙区域因邻近古南海,白垩纪—始新世沉积海相碎屑岩地层。西沙—中沙一带似乎存在大型古隆起,其北侧为陆相断陷区,北带沿北部湾—珠江口盆地北部拗陷带分布,南带沿琼东南—珠二拗陷带—台西南分布。

南侧的婆罗洲广泛发育海相古新统一始新统[图

2(b)],代表了当时的被动大陆边缘沉积。从古南海两侧盆地发育地层,大致可以确定其形成时代为古新世—渐新世。礼乐盆地钻穿沉积地层的探井发现,该盆地白垩系以来的地层都发育(包括白垩系),盆地下构造层呈断拗结构,以始新统海相地层为主。婆罗洲地块从南向北地层变新,最南部为白垩系,中央为古新统,北部为始新统。因此,古南海初始裂陷在古新世,

主要阶段在始新世,渐新世以后开始萎缩。

### 2.2 古南海萎缩和新南海张开阶段

始新世以后,印度板块与欧亚板块碰撞,板块之间深层软流圈在南北夹击之下向东南蠕动,在东南方向受到太平洋板块的阻挡,形成地幔柱上升流,导致新南海形成。使南海呈现新的构造格局,呈“三陆夹两海”态势[图 2(c)]。

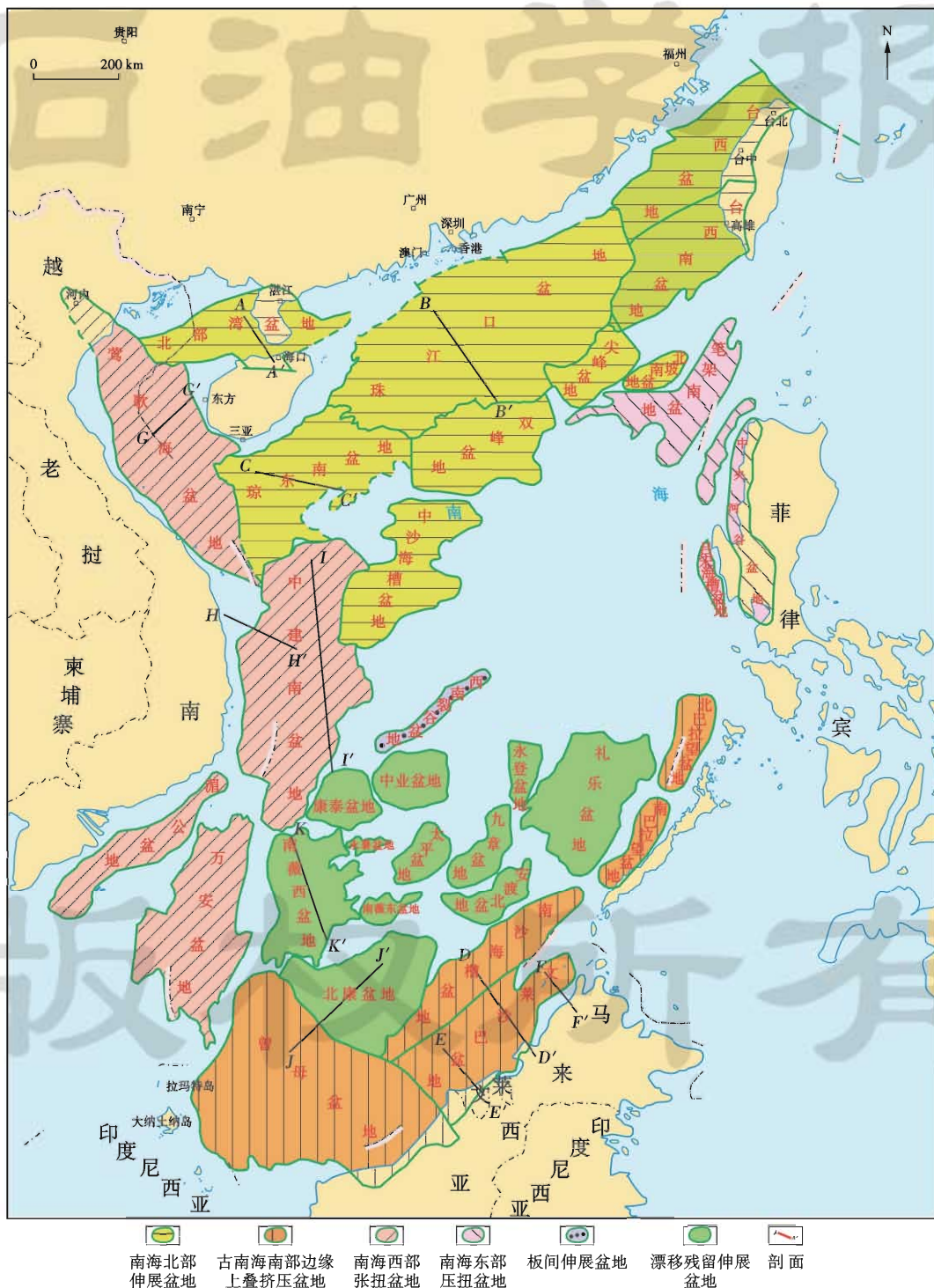
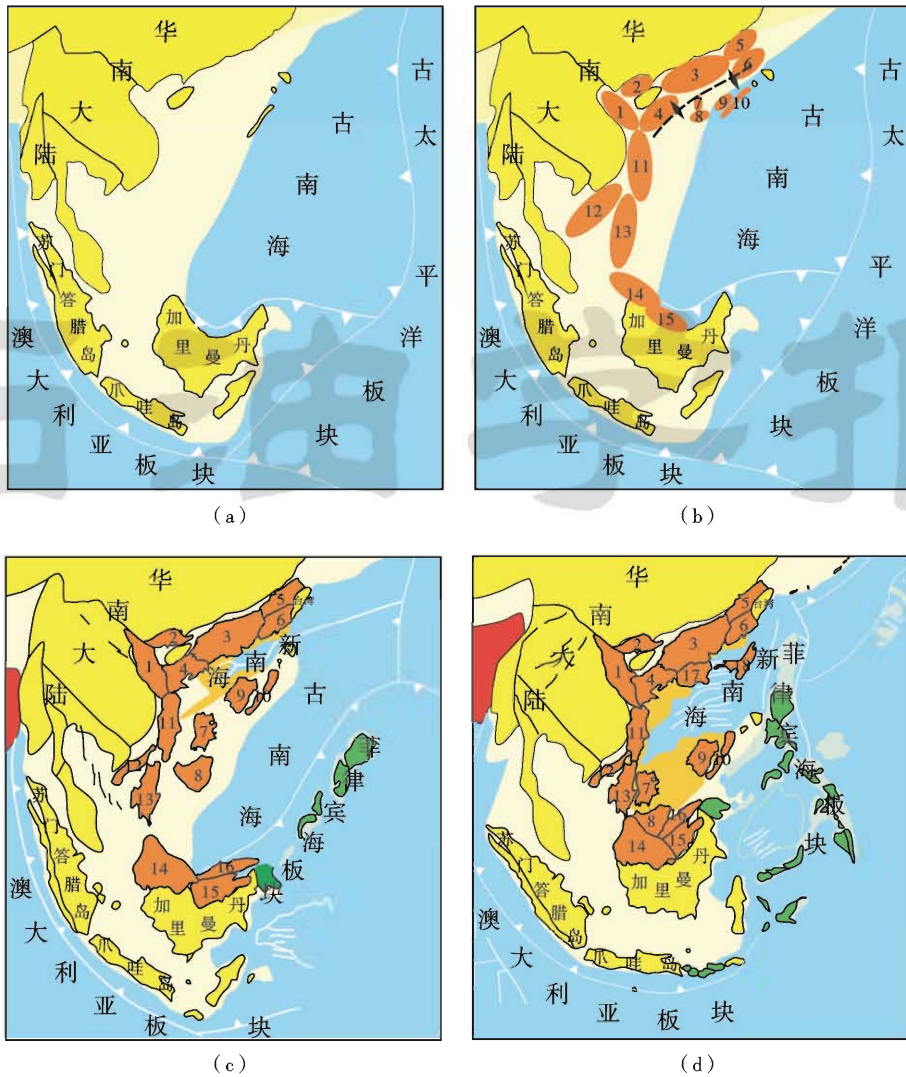


图 1 南海海域新生代沉积盆地分布

Fig. 1 Distribution of Cenozoic sedimentary basins in South China Sea(SCS)





1-莺歌海盆地; 2-北部湾盆地; 3-珠江口盆地; 4-琼东南盆地; 5-台西盆地; 6-台西南盆地; 7-南薇西盆地; 8-北康盆地; 9-礼乐盆地; 10-西北巴拉望盆地; 11-中建南盆地; 12-涠谷盆地; 13-万安盆地; 14-曾母盆地; 15-文莱-沙巴盆地; 16-南沙海槽盆地; 17-双峰盆地; 18-笔架南盆地

陆壳   
  洋壳   
  印澳板块   
  板块俯冲带   
  新南海开始扩张位置  
 海陆过渡   
  盆地   
  菲律宾板块   
  洋盆扩张脊

(a)中生代未扩张前;(b)古新世—始新世,南海北部受拉张作用,新南海还未形成;(c)晚渐新世—中中新世,新南海形成,古南海消减;(d)中中新世至今,区域沉降阶段,古南海停止南北向扩展,东部发生俯冲消减。

图2 南海构造演化

Fig. 2 Tectonic evolution of South China Sea

新南海位于西沙、中沙、东沙与南沙地块之间的软弱带上,早期属陆内裂谷,逐渐扩展成现今规模。基底为洋壳,发育走向EW—NEE向若干磁条带与走向NNW—SN向多条转换断层,具有典型的大西洋洋中脊构造特征,仅仅是规模要小得多。磁条带年龄最老32 Ma,最新16 Ma,持续时间16 Ma,相当于渐新世—早中新世<sup>[8-9]</sup>。

新南海北部是宽缓的大陆边缘;其南部边缘呈港湾状,东段相对窄,西段相对宽,具有完整的大陆架、大陆坡;东部是由一个大陆架、一个大陆坡构成的单一结构;西部呈双陆架—陆坡—陆隆结构。北部边缘上发

育3排凹陷,主要的凹陷带为北部湾盆地—珠江口盆地北部凹陷带、琼东南—珠二凹陷带。新南海南部大陆边缘在南沙地块北缘,是一个极其狭窄的“大断层带”,没有大陆架、大陆坡体系,可能与其缺乏物源有关。

随新南海扩张,南沙地块从华南大陆裂离,并向南漂移,漂移距离上千千米。在漂移过程中,南沙地块缺乏沉积物源补给,地层充填也很有限。在新南海洋壳扩张的向南推力和古南海阻挡的向北阻力相向作用下,南沙地块受到南北向挤压,地层发生断裂褶皱,早期盆地结构被改造。古南海由于南沙地块向南推挤,洋壳收缩并向婆罗洲之下俯冲消减,现今已消减殆尽。

古南海南部大陆边缘由早期的被动大陆边缘极性反转成活动大陆边缘,经历俯冲与碰撞两大阶段,在婆罗洲北缘形成前陆盆地或弧前盆地。由于婆罗洲持续隆升,大量物源向北搬运,在沙巴河、拉让河等下游形成巨型三角洲盆地。早中新世末,南沙地块开始自西向东沿现今的南沙海槽方向与婆罗洲北部地区的沙巴发生碰撞缝合,沙巴地区的克罗克组普遍发生褶皱变质并向北叠瓦状仰冲,形成叠瓦式推覆体,并在其北侧形成南沙海槽残余洋盆。前陆盆地范围逐渐向 NE 扩展,残留洋盆则逐渐向 NE 收缩。受现今南海扩张的影响,古南海濒临消失,南沙地块继续向南漂移,到中中新世,南沙地块与巴拉望岛碰撞,沿巴拉望岛北侧发生大规模 NW 向推覆,推覆的前缘向南沙地块变新,部分卷入第四纪沉积,产生一系列推覆逆冲褶皱,形成巴拉望断褶带。

古南海南部边缘盆地在早期被动大陆边缘盆地的基础上上叠前陆盆地,由于前期伸展作用导致地壳和岩石圈厚度小、热流值高、塑性大,在挤压阶段地壳强烈向下弯曲,形成巨厚的渐新统一第四系。南沙地块上覆盆地裂离华南大陆之后,没有大的物源充注,处于饥饿状态,沉积较薄。新南海北部边缘处于伸展状态,期间在 23.8 Ma 发生了从断陷向坳陷的转变。在南沙地块向南漂移的过程中,其西侧形成剪切性边缘。

2.3 古南海和新南海共同萎缩阶段

自 17 Ma 至今(相当于中中新世末至今),新南海东部因菲律宾岛弧仰冲,新南海壳岩石圈向东俯冲,形成俯冲边缘[图 2(d)]。新南海海底 SN 向的扩张处

于停滞状态,新南海由 SN 向扩张转变为 EW 向收缩。新南海西、北边缘处于快速热沉降状态,由中央洋盆向陆架盆地沉降作用依次减小,在河流入海处形成巨厚沉积<sup>[10]</sup>。

古南海南部大陆边缘挤压冲断作用与三角洲沉积作用交织进行,挤压冲断形成由南向北的冲断-褶皱带,在靠近加里曼丹地块北缘的地方,挤压作用显著,向陆坡方向逐渐演化为弱伸展。相邻陆地上的河流注入南海陆架和陆坡区,形成大型三角洲,如南海南部边缘著名的巴兰三角洲。在远离海岸的地方形成碳酸盐台地。

3 盆地性质与油气地质条件

南海的北部大陆边缘、西部大陆边缘是古、新南海海底扩张叠加作用的产物。南沙地块经历了古南海、新南海两期演化阶段,早期是在古南海的北部边缘,晚期是古、新南海之间夹持的地块,北部伸展,南部挤压。古南海南部大陆边缘早期为伸展大陆边缘,晚期转化为活动大陆边缘。各区域地质单元独特的构造沉积史决定了盆地特征及其石油地质条件(表 1)。

3.1 南海北部大陆边缘盆地

南海北部盆地是在华南地块及其边缘活动带基底上发育起来的拉张型新生代断陷-坳陷型含油气盆地,盆地规模较大,但除个别凹陷外,多数凹陷规模小。根据近年来在南海北部含油气盆地所进行的物探、油气钻井、大洋钻探资料,对各盆地的区域构造属性已有相当程度的了解(表 2)。

表 1 南海主要盆地地层综合分析对比

Table 1 Stratigraphy and correlation of the main basins in South China Sea

时代	代号	底界 年龄 /Ma	南海北部大陆边缘			南海西部大陆边缘			南海南部大陆边缘			南沙地块			
			珠江口 盆地	北部湾 盆地	琼东南 盆地	莺歌海 盆地	中建南 盆地	万安 盆地	曾母 盆地	文莱-沙巴 盆地	巴拉望 盆地	北康 盆地	礼乐 盆地	南薇西 盆地	
更新世-全新世	N <sub>3-4</sub>	1.806			乐东组	乐东组	A							A	
新近纪	上新世	N <sub>2</sub>	5.332	万山组	望楼组	莺歌海组	莺歌海组	B	广雅组	北康组	蒂莫辛组	卡尔卡尔组	北康组		B
	N <sub>1</sub> <sup>3</sup>	11.608	粤海组	灯楼组	黄流组	黄流组	C	昆仑组	南康组		奎松组	南康组		C	
中新世	N <sub>1</sub> <sup>2</sup>	15.97	韩江组	角尾组	梅山组	梅山组	D	李准组	海宁组	南拜吉组 和邦加耶组	马丁洛克组	海宁组			
	N <sub>1</sub> <sup>1</sup>	23.03	珠江组	下洋组	三亚组	三亚组		万安组	立地组		帕加沙组	日积组	礼乐组	D	
渐新世	E <sub>2</sub> <sup>2</sup>	28.4	珠海组		陵水组	陵水组							仙宾组		
	E <sub>3</sub> <sup>1</sup>	33.9	恩平组	涠洲组	崖城组	崖城组	E	西卫组							
	E <sub>2</sub> <sup>3</sup>	37.2		流沙 港组					曾母组	克罗克组 和古达组		尼多组	南通组	忠孝组	
近始新世	E <sub>2</sub> <sup>2</sup>	48.6	文昌组												
	E <sub>2</sub> <sup>1</sup>	55.8					F	人骏组			塞恩-里弗特组	南薇组	阳明组	F	
古新世	E <sub>1</sub>	65.5	神狐组	长流组									东坡组		
前古近纪	PreE														

注: ~ 为角度不整合; ----- 为平行不整合; A—F 为尚未命名的地层。

表2 南海北部大陆边缘主要含油气盆地地区构造属性

Table 2 Regional structural features of major oil and gas-bearing basins distributed in northern continental margin of SCS

盆地名称	陆架盆地带		陆坡盆地带		下陆坡—洋壳盆地带				
	北部湾盆地	珠江口盆地北部	琼东南盆地南部	珠江口盆地南部	台西南盆地	中沙海槽盆地	尖锋盆地	双峰盆地	笔架南盆地
面积/ (10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )	5.1517	10.1384	8.2993	10.1384	4.43	5.78	2.12	5.55	4.01
地貌	陆地-浅海, 海底较平坦	浅海, 海底较平坦	浅海-深海, 发育陆坡, 海底峡谷	浅海-深海, 海底崎岖	陆地-浅海-深海, 海底崎岖	海槽、深海平原	深海平原	深海平原	深海平原
海水深度/m	0~55	100	0~2700	300~2000	0~3000	300~4000	1000~3700	1300~3900	3000~4200
盆地基底	下古生界变质岩	古生界变质岩、中生代花岗岩	太古界与中生界火山岩	古生界深变质岩、中生代花岗岩	古生界变质岩、中生代沉积岩、花岗岩	前新生界	前新生界	前新生界	下渐新统洋壳
沉积盖层	E <sub>2</sub> -N <sub>1</sub>	E <sub>2</sub> -N <sub>1</sub>	E <sub>2</sub> -Q	E <sub>2</sub> -N <sub>1</sub>	MZ-N <sub>2</sub>			E <sub>2</sub> -Q	E <sub>2</sub> -Q
沉积岩最大厚度/km	9	9.5	10	10	8	8	7	5.5	5.5
地壳厚度/km	26~28	26~30	14~24	18~26	12~22	12~20	12~16	12~16	10~12
地温梯度/ (°C·km <sup>-1</sup> )	较高	3.6	高	4.8					
岩浆活动			晚期强烈	晚期强烈					
主力烃源岩	E <sub>2</sub> 流沙港组	E <sub>2</sub> 文昌组	E <sub>3</sub> 崖城组	E <sub>2</sub> -E <sub>3</sub>	E <sub>3</sub> -N <sub>1</sub>				
主力储层	E <sub>2</sub> -N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	E <sub>3</sub> -N <sub>2</sub>	E <sub>3</sub> -N <sub>1</sub>	E <sub>3</sub> -N <sub>2</sub>				
盖层	N <sub>1</sub> , E <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	E <sub>3</sub> -N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	E <sub>3</sub> -N <sub>2</sub>				
构造类型	伸展盆地	伸展盆地	伸展盆地	伸展盆地	伸展盆地		伸展盆地	伸展盆地	伸展盆地

### 3.1.1 地质结构及演化

南海北部盆地的基底主要是华南地块及其向南延伸部分,基底具有纵向分层、横向分块特征。基底从老到新由前震旦系、震旦系—下古生界、上古生界和中生界4个构造层组成。前震旦系结晶基底构造层属于古南海地台的组成部分;震旦系—下古生界构造层属于华南地块在海域的延伸;上古生界构造层分布在北部湾盆地和琼东南盆地西部基底中,珠江口盆地和琼东南盆地东部基底缺失这一构造层,构造属性属于晚古生代扬子—华南地台的东部大陆边缘滨浅海台地;中生界构造层属于古太平洋构造域安第斯型活动大陆边缘。基底结构在横向上具有明显的分布规律,呈现西老东新的阶梯式分布特征,反映出在中生代以后本区沿断裂发生不均衡断隆。

新生代早期该区域发生3幕裂陷,沿古褶皱薄弱带发生沿NE—近EW向的地壳破裂带,使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,晚期演化为被动大陆边缘盆地<sup>[11]</sup>(图3)。

南海北部大陆边缘自北而南发育3个含油气盆地带,其形成时间具有北早南晚特征。北部湾盆地和珠江口盆地北部拗陷带古近纪是一套以陆相为主的沉积地层,隆起上缺失;新近纪—第四纪拗陷期区域沉降,地层分布广,以海相为主,但厚度薄。北部湾盆地普遍呈现断陷期地层厚、拗陷期地层薄的“牛头样式”,断陷期断层活动,拗陷期除个别逆断层及反转背斜外,晚期

构造不活动。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<sup>[12]</sup>。

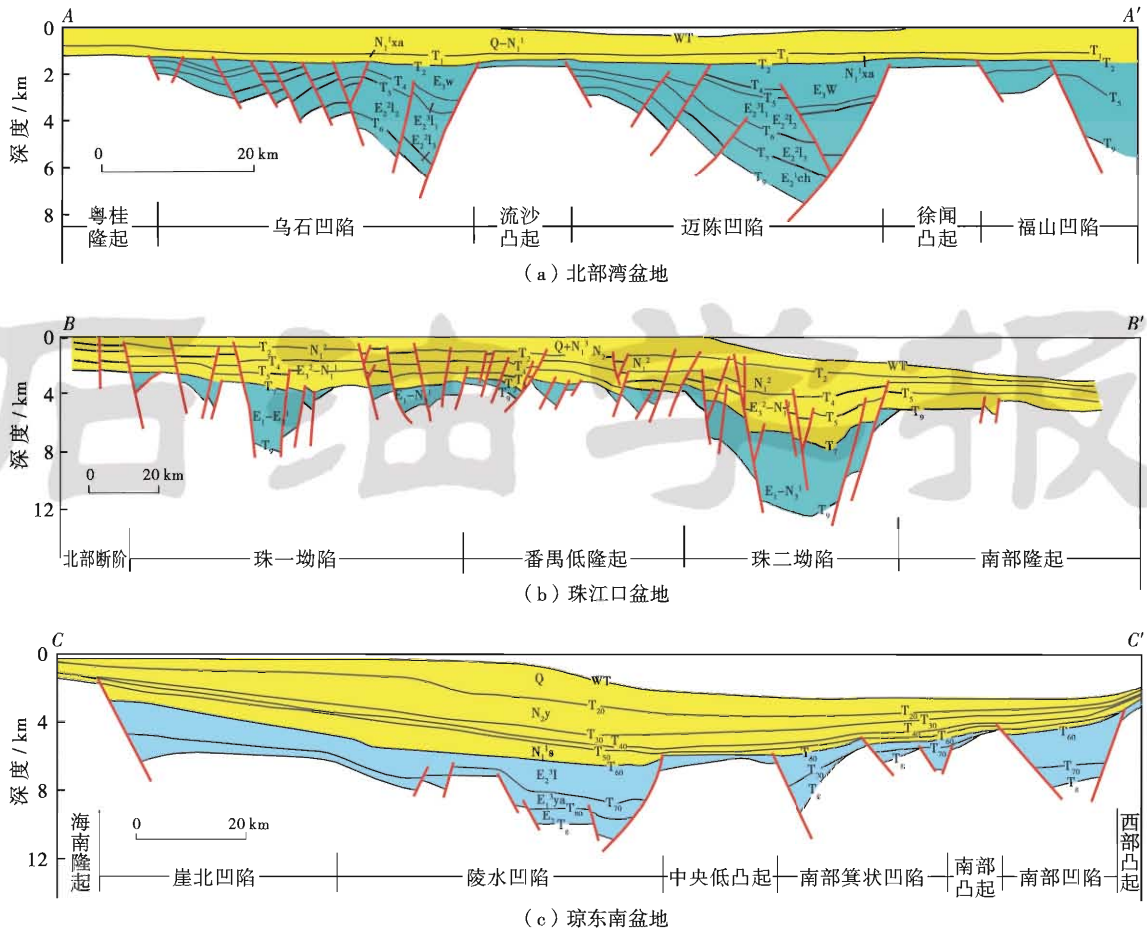
琼东南盆地、珠二拗陷和台西南盆地,始新世初始裂陷,沉积陆相地层,局部为中深湖相地层;渐新世发生区域性断拗,形成大型断拗,如琼东南盆地中央拗陷、白云凹陷和台西南盆地南部拗陷,以海相和海陆过渡相沉积为主;中新世以后区域快速沉降,大陆坡发育<sup>[13]</sup>,形成欠补偿的陆坡凹陷,以深水沉积为主。

中沙—西沙到笔架区,地壳性质属于下陆坡—洋壳,渐新世后裂陷,主要是中新统以上沉积地层,属于海相沉积。

南海北部大陆边缘陆缘区地壳厚度分布范围在30~40 km,沿海大陆边缘地壳厚度约35 km,陆架区域地壳厚度约25 km,陆坡区约10 km,呈现出由北向南逐渐减薄的趋势。每个盆地在断陷—拗陷区域的莫霍面都相对隆起,盆地的地壳厚度约为12~16 km。

### 3.1.2 沉积格局

南海北部伸展盆地受到断裂、扩张和沉陷作用,使盆地普遍具有早期断陷、中期断拗、晚期区域沉降的发育过程。北部湾盆地和珠江口盆地北部拗陷带在裂陷活动的初期,地势起伏较剧烈的构造环境下,沉积不稳定,以山麓相、洪积相等粗碎屑沉积为主;在裂陷活动的中期,地势被削平,出现比较宁静的湖泊环境,在



注: E<sub>3</sub>ch—长流组; E<sub>3</sub>l<sub>3</sub>—流沙港组三段; E<sub>3</sub>l<sub>2</sub>—流沙港组二段; E<sub>3</sub>l<sub>1</sub>—流沙港组一段; E<sub>3</sub>w—涠洲组;  
E<sub>3</sub>ya—崖城组; E<sub>3</sub>l—陵水组; N<sub>1</sub>xa—下洋组; N<sub>1</sub>s—三亚组; N<sub>2</sub>y—莺歌海组。

图 3 南海北部大陆边缘盆地地质剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 3 Regional geological profiles of northern continental margin of SCS

湖盆的深洼处形成具有生油条件的暗色泥岩。其后断裂又活动,盆地普遍下沉,被海相沉积物充填。拗陷期被凹底锅式的大型拗陷所统一。

琼东南盆地、珠二拗陷和台西南盆地裂陷期晚期处于大陆坡位置,海陆过渡相烃源岩发育,烃源岩形成与河流—三角洲煤系密切相关。中沙—西沙到笔架区烃源岩为渐新世—中新世海相烃源岩,与陆源有机质输入相关。

3.1.3 烃源岩与热演化

南海北部大陆北缘大地热流值有从陆到海洋逐渐增高的趋势<sup>[14]</sup>,陆架区平均热流值为 63.1 mW/m<sup>2</sup>,陆坡区平均热流值陡升为 81.5 mW/m<sup>2</sup>,南海中央海盆中部区平均热流值可达 100 mW/m<sup>2</sup>。

断陷期沉积的烃源岩在上覆层作用下逐渐深埋,有利于油气的成熟和转化。由于北部湾盆地和珠江口盆地北部拗陷带不同时期的生烃凹陷都沿着当时的主要断裂带展布,每一个拗陷都是一个单独的成烃区,重要的油气田都在生烃凹陷内部或围绕生烃凹陷分布。从最有利的生烃区到主要油气田的运移距离一般为数

千米到数十千米,最大的流花 11-1 油田约有 100 km,但多数表现为短距离侧向运移特点。在深洼陷区及其周边最有利的圈闭内聚集了主要的油气储量,周围油气田呈带状或环状分布,找到一个生烃凹陷,就找到了一个富油气区。琼东南盆地、珠二拗陷和台西南盆地裂陷期以煤系烃源岩为主,煤系烃源岩与三角洲有关,找到含煤的三角洲,就能找到一批气田。如白云凹陷北坡的番禺三角洲,煤系发育,已发现多个气田,储量超千亿立方米。中沙—西沙到笔架区烃源岩可能以海相为主,目前尚不清楚其生烃情况<sup>[15]</sup>。

3.1.4 油气聚集单元

南海北部大陆边缘油气聚集单元横向上主要包括凸起、断阶带、深洼槽、缓坡带等,纵向上有前裂谷期、裂谷期和拗陷期。断裂持续活动的盆地,如珠江口盆地,油气呈现复式特征,基底、断陷期地层、拗陷期地层(包括浅层、超浅层)都能成藏。北部湾盆地,断裂在裂陷期活动,拗陷期不活动,油气主要在断陷期层序内成藏。琼东南盆地晚期局部断层或裂隙带活动,油气能够运移到浅层;断裂不活动区域,油气主要分布在断陷



层序内。

### 3.2 南海南部大陆边缘盆地

南海南部盆地都是在婆罗洲地块北缘早期被动大陆边缘减薄的过渡壳上发育起来的挤压型新生代前陆或弧前盆地,盆地规模普遍较大,呈现大坳格局。根据南海南部含油气盆地所进行的物探、油气钻井、大洋钻探资料,对各盆地的区域构造属性已有一定程度的了解(表3和图4)。

#### 3.2.1 地质结构及演化

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不清楚。

文莱—沙巴盆地东部(文莱区)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。巴拉望盆地(南、北巴拉望盆地)基底由晚古生代—中生代变质岩、沉积岩和酸性深成岩组成。

在中生代末至新生代初,古南海南部向西婆罗洲俯冲消减。在中始新世末,由于西婆罗洲的逆时针转动,曾母地块南侧的古南海洋壳首先俯冲殆尽,曾母地

块与西婆罗洲地块陆缘的加积增生柱之间发生碰撞,使这套晚白垩世—早始新世增生系发生褶皱变形和浅变质,通常称为锡布带。锡布带向西北海区延伸进入西南沙捞越,向东呈新月形延伸到沙巴,其西部和南部边界分别是卢帕尔线和塔陶—墨生(Bukit Mersing)线。

新南海扩张之前,巴拉望盆地位于南海北缘的外侧,在拉张应力作用下,使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,为被动大陆边缘盆地;新南海南北向扩张使巴拉望盆地逐渐向南漂移,约在中中新世末期,巴拉望盆地所在的巴拉望微地块和菲律宾地块碰撞,停滞在现今的位置并形成前陆盆地。

南海南部大陆边缘盆地呈现南北分带、东西分段特征。曾母盆地沉积盖层为渐新统一第四系,分为东巴林坚坳陷、南康台地、西巴林坚隆起、塔陶坳陷、拉奈隆起、索康坳陷、康西坳陷和西部斜坡8个二级构造单元。文莱—沙巴盆地沉积盖层为早中中新世—第四纪地层,分为文莱区和沙巴区。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,分为北巴拉望盆地和南巴拉望盆地(图4)<sup>[16-17]</sup>。

南海南部大陆边缘陆缘区地壳厚度分布范围在14~28 km,靠近南部大陆边缘地壳厚度约28 km,最薄处约14 km,呈现出由南向北逐渐减薄趋势。

表3 南海南部主要含油气盆地区域构造属性

Table 3 Regional structural features of major oil and gas-bearing basins in southern SCS

盆地名称	曾母盆地	文莱-沙巴盆地	南沙海槽盆地	南巴拉望盆地	北巴拉望盆地
面积/(10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )	16.71	9.4	4.71	1.31	1.68
地貌	陆地—浅海—深海	陆地—浅海—海槽	海槽	陆地—浅海—深海	浅海—深海高原
海水深度/m	40~2000	0~2500	100~3100	0~1900	50~2900
盆地基底	南部是上白垩统一始新统浅变质深海浊积岩;盆地西部和西南部基底为中生界—古新统火成岩;盆地东部和北部基底情况不清楚	文莱区基底为褶皱变形的上渐新统一下中新统三角洲平原—深水页岩地层;沙巴区基底为上始新统一下中新统深海复理石	西侧可能是古南海的残余洋壳,东侧可能是减薄的微陆块	上古生界—中生界变质岩、沉积岩和酸性深成岩	上古生界—中生界变质岩、沉积岩和酸性深成岩
沉积盖层	上始新统一第四系	下中新统或中中新统一第四系	渐新统一第四系	上侏罗统一第四系	上侏罗统一第四系
沉积岩最大厚度/km	18.5	12.5	7	6.2	6.2
地壳厚度/km	16~24	14~22	14~20	20~26	20~26
主力烃源岩	渐新统一中新统	中新统一上新统		始新统一中新统	始新统一中新统
地温梯度/(°C·hm <sup>-1</sup> )	3~6.27	2.5~3.5			
含油气层系	下中新统砂岩和中中新统生物礁	上中新统砂岩		中新统砂岩	上渐新统一下中新统的礁灰岩、白云岩及上新统的礁体
盆地构造类型	周缘前陆盆地	弧前盆地	残留洋盆?	裂离陆块型盆地	裂离陆块型盆地

#### 3.2.2 沉积格局

曾母盆地在始新统沉积时期,帕乌斯—拉奈脊为造山带的高部位,将索康坳陷与巴林坚区分隔开来。索康坳陷发育扇三角洲,沉积物来自纳土纳隆

起,在西部斜坡、巴林坚也发育扇三角洲沉积;盆地东北部为深湖—半深湖沉积。上始新统一渐新统沉积期间,曾母盆地索康坳陷边缘为海岸平原和滨湖区,在深凹部位迅速过渡为深湖相区;西巴林坚发育扇



三角洲沉积,东巴林坚发育碳酸盐台地;康西拗陷和南康台地发育滨浅海沉积。下中新统沉积期间,拉奈隆起与康西拗陷连为一体,物源来自纳土纳岛东部和南部加里曼丹岛,在拗陷西南部发育扇三角洲相沉积,在中部和西部斜坡发育碳酸盐台地。中中新统沉积期间,位于南部加里曼丹岛上的古巽他河的作用使巴林坚大部分区域成为三角洲,在西部斜坡区和南康台地东侧发育碳酸盐台地。上中新统沉积期间,曾母盆地的巴林坚地区发育三角洲沉积;南康台地主要发育碳酸盐台地和生物礁沉积。上新统一第四系沉积期间,曾母盆地的索康拗陷、巴林坚地区发育三角洲沉积;南康台地、康西拗陷主要发育深海一半深海沉积。

文莱—沙巴盆地渐新统主要为海岸—浅海环境,以泥岩为主。下中新统为局限海—浅海环境,由页岩和薄的砂岩夹层以及煤层组成;中中新世早期为海岸环境,发育页岩夹薄层灰岩和砂岩,晚期为深海斜坡,发育浊积岩,中西卢科尼亚区发育碳酸盐岩;上中新统为浅海—深海环境,中西卢科尼亚区发育碳酸盐岩;上新统主要为滨岸—内陆架—广海环境,发育细砂岩和粉砂岩,分选差。

巴拉望盆地在古新世—早渐新世为河流—陆架—内浅海沉积体系;晚渐新世—中中新世为浅海—半深海沉积环境;晚中新世—第四纪为滨海—陆架环境。其中,碳酸盐岩主要发育于上渐新统—下中新统、中新统、上中新统和第四系中。

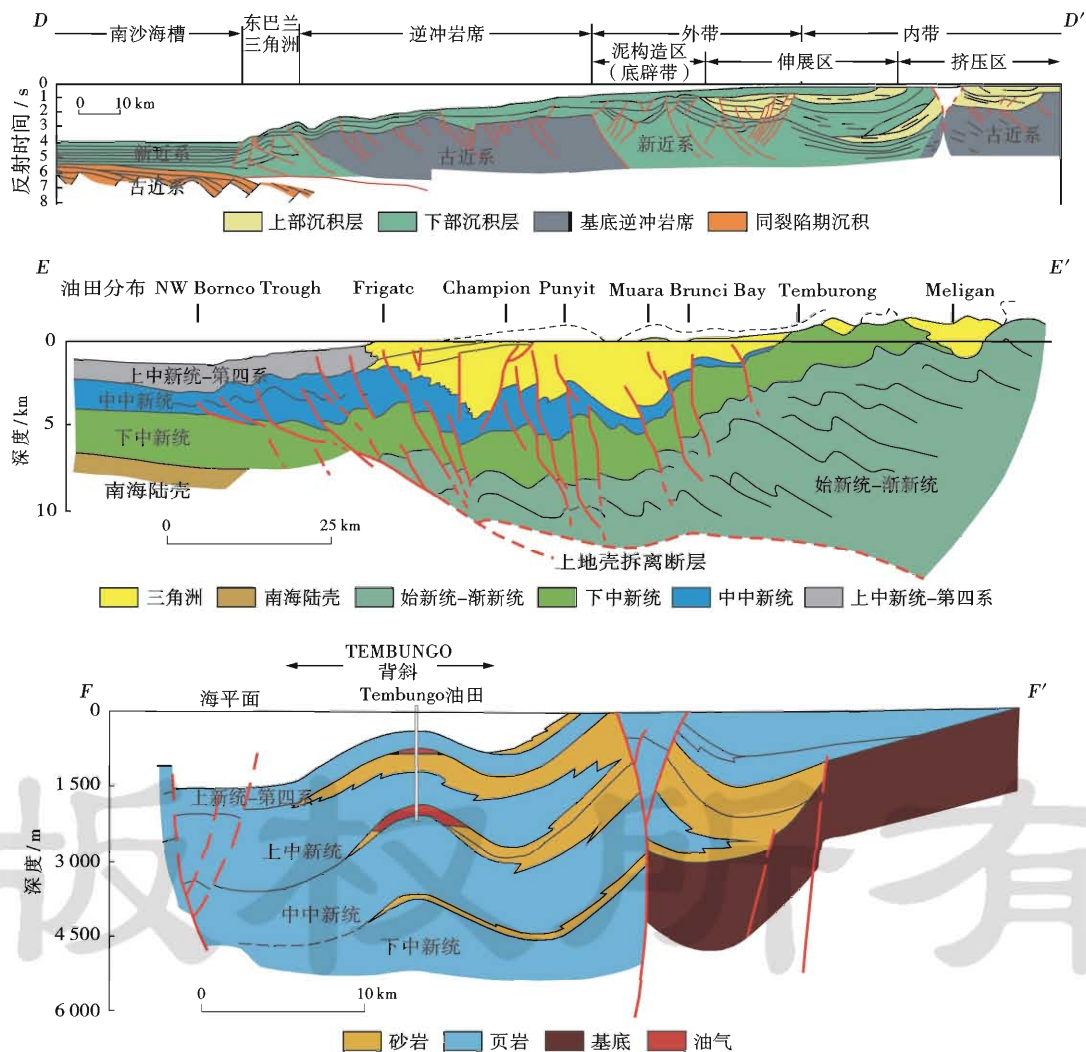


图 4 南海南部大陆边缘盆地区域地质剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 4 Regional geological profiles of basins in southern continental margin of SCS

3. 2. 3 烃源岩与热演化

曾母盆地的平均热流值达 97 mW/m<sup>2</sup>, 总体表现为西侧高、东侧低, 西侧有两个高热流值区, 西北侧高热流值区的热流值为 90~130 mW/m<sup>2</sup>, 走向 NNE; 西

南侧高热流值区热流值为 100~130 mW/m<sup>2</sup>, 走向 SW。文莱—沙巴盆地热流值一般在 60~80 mW/m<sup>2</sup>, 巴拉望盆地热流值一般在 70~90 mW/m<sup>2</sup>, 上述盆地的热流值由南往北有逐渐减低的趋势<sup>[18]</sup>。

曾母盆地构造格局、沉积相变化等诸多因素决定了烃源岩分布的不均一性和生烃能力不同。康西拗陷和东巴林坚拗陷均为盆地最有利的源岩发育区,因而成为盆地的两个主要生烃区。康西拗陷上渐新统一中新统海陆过渡相含煤页岩有机质大多数已达成熟—过成熟阶段,以生气为主,而东巴林坚拗陷则达成熟—高成熟阶段,以生油为主。渐新统为盆地的主力源岩层,发育海岸平原—三角洲环境下的页岩、煤系地层,有机质类型为Ⅱ—Ⅲ型;中新统海相泥岩主要发育于康西拗陷,有机质类型为Ⅱ—Ⅲ型,并已进入生烃门限<sup>[19]</sup>。

文莱—沙巴盆地烃源岩有机质主要为中中新世—上新世陆生植物,以泥岩、碳质泥岩及煤层为主,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%, $S_2$ 为差—很好,有机质类型主要为Ⅲ型,少量Ⅱ—Ⅲ型干酪根。中新世以前沉积的烃源岩基本上都进入生气阶段,中新世以后沉积的多套烃源岩亦有部分成熟<sup>[20]</sup>。

巴拉望盆地烃源岩为塞恩-里弗特组(古新统一始新统)和尼多组(渐新统一中新统)。塞恩-里弗特组生油岩在卡德劳1号井钻遇,泥岩和褐煤的TOC值达63%, $S_2$ 达113 mg/g。尼多组为半深海相碳酸盐岩,TOC为3%, $S_2$ 高于2 mg/g,氢指数(HI)高于200 mg/g。在加洛克1号井覆于尼多组之上的海相砂岩层发现石油<sup>[21]</sup>。

### 3.2.4 油气聚集单元

曾母盆地具有伸展、走滑与挤压等构造样式。伸展构造样式包括断块和箕状构造;挤压、走滑构造样式包括褶皱构造、冲断构造、泥底辟构造和花状构造。油气主要赋存于下中新统砂岩和中—上中新统碳酸盐岩。前者以含油为主,油层厚度较薄,一般为数米至十余米,属于岩性油藏类型,油田规模较小,油层埋深较浅;后者以含气为主,储层厚度可达数百米至千余米,属块状气藏类型,含气柱高度大(73~1 600 m),气田储量大,绝大多数属大中型气田,如L气田的烃类气储量达 $12\ 753 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

文莱—沙巴盆地西部主要以近EW—NE生长断层为主,发育与之相伴生的滚动背斜、挤压背斜;东部以NE向断层为主,断层多具走滑性质,发育扭动构造、泥刺穿构造和背斜。挤压-泥底辟背斜型圈闭、生长断层-滚动背斜型圈闭、以浊积体为储层的岩性-构造复合圈闭是主要圈闭类型,其中挤压-泥底辟背斜型圈闭是最重要的圈闭类型。

巴拉望盆地断层走向以NE向为主,少量为NW向,发育地垒、地堑和断背斜构造。

### 3.3 南海西部大陆边缘盆地

南海西部盆地是在印支地块与南海地台过渡带上发育起来的张扭型新生代含油气盆地。根据南海西部含油气盆地的物探、油气钻井资料,对各盆地的区域构造属性已有一定程度的了解(表4、图5)。

表4 南海西部主要含油气盆地地区构造属性

Table 4 Regional structural features of major oil and gas-bearing basins in western SCS

盆地名称	湄公盆地	万安盆地	中建南盆地	莺歌海盆地
面积/( $10^4 \text{ km}^2$ )	3.5	8.5	13.42	9.87
地貌	东陡西缓	海底较平坦	西陡东缓	海底较平坦
海水深度/m	小于200	90~1 800	50~2 900	0~500,大部分小于100
盆地基底	古生界花岗岩,中生界闪长岩、微晶花岗岩和流纹岩	印支地块,前始新世变质岩和中生代晚期喷出岩及火成岩	西部包括部分越南陆架和印支地块;北部对应的是昆嵩地块的元古代变质岩区;南部则为晚古生代地层	印支褶皱带叠接带
沉积盖层	中始新统一第四系	上始新统(?),渐新统一第四系	上始新统(?),渐新统一第四系	上始新统(?),渐新统一第四系
沉积岩最大厚度/km	5	12.5	11	17
地壳厚度/km	24~28	26~20	11~26	20~24
地温梯度/( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$ )	3.1~3.4	2.5~3.3	2.40~5.09	3.5~4.25 高温高压
热流值/( $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$ )	30~80	52~86	80~130	70~90
岩浆活动	中中新世和5 Ma 两次玄武质火山活动	剧烈	火山岩体发育	
烃源岩	渐新统湖相泥岩	渐新统近岸湖泊—三角洲相泥岩为主、其次为中中新统浅海相泥岩	古新统一始新统浅湖—沼泽相和浅湖—半深湖相泥岩,上始新统一渐新统泻湖相、滨海—浅海相泥岩,中中新统一中新统浅海—半深海相泥岩	中新统、渐新统
盆地类型	拉张型陆内断拗盆地	伸展走滑盆地	伸展走滑盆地	伸展走滑盆地

3.3.1 地质结构及演化

依据重磁以及钻井资料,湄公盆地基底由古生界至白垩系组成,在盆地内钻遇了古生界花岗岩,中生界闪长岩、微晶花岗岩和流纹岩<sup>[22]</sup>;莺歌海盆地的基底为印支地块印支褶皱带,基底以红河断裂为界,断裂以

东主要由元古宙和古生代变质岩组成,断裂以西主要由古生界和三叠系组成<sup>[23]</sup>。中建南盆地推测基岩以前新生代变质岩为主,伴有中生代中酸性火成岩或中基性火成岩<sup>[24]</sup>。万安盆地基底主要为中生代晚期侵入岩、火山岩和前新生代沉积变质岩<sup>[25]</sup>。

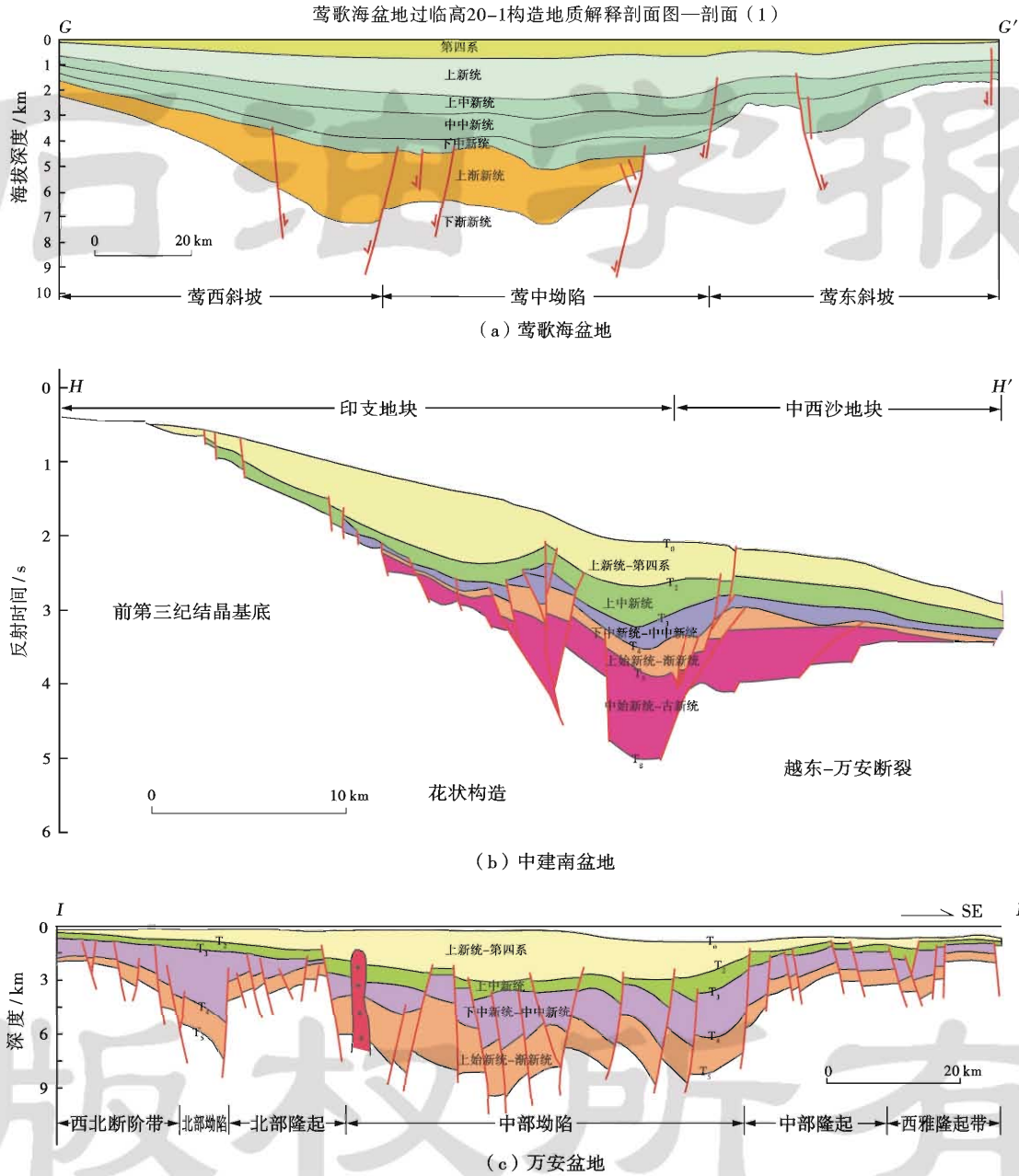


图 5 南海西部大陆边缘盆地区域地质剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 5 Regional geological profiles of basins in western continental margin of SCS

南海西部大陆边缘盆地走向上分为两段:北段莺歌海盆地走向 NW;南段中建南盆地、万安盆地、湄公盆地走向 NE。莺歌海盆地由西北斜坡、中央坳陷(河内凹陷、临高凸起、莺歌海凹陷)和东部斜坡构成,沉积层深不见底,中央坳陷规模较大。南段 3 个盆地的二级构造单元凸起和凹陷也主要呈 NE 走向。

南海西部大陆边缘区地壳厚度在 15~30 km,西

部陆架区域地壳厚度主要集中于 20~30 km,陆坡区地壳厚度主要集中于 15~25 km,地壳厚度自周缘陆区向海盆逐渐减薄,莫霍面深度从约 30 km 减薄至洋盆区不足 10 km。其中莺歌海和湄公盆地地壳厚度较大,分别为 18~28 km 和 26~28 km,万安和中建南盆地次之,分别为 18~24 km 和 8~24 km。各个盆地沉积中心莫霍面向上大幅度隆起,与盆地形态呈镜像关

系,莫霍面深部隆起对盆地拗陷以及拗陷内沉积的控制作用以莺歌海、中建南盆地最为显著,地壳经过强烈的拉张减薄,扣除新生代沉积后的地壳厚度仅为数千千米至十千米<sup>[26]</sup>。

### 3.3.2 沉积格局

南海西部大陆边缘盆地普遍经历了早期断陷、晚期区域沉降的演化阶段。在断陷活动早期,盆地范围较小,基底起伏不平,受断层影响明显,局部形成多个小的沉降沉积中心,主要沉积了一套冲积扇、河流等粗碎屑沉积物,随着断陷伸展作用的加强和盆地演化的继续,盆地内一系列小的地堑和半地堑合并联通成一个大的断陷盆地,形成了扇三角洲、河流—三角洲、湖相和海陆过渡相沉积,由于可容纳空间增大,在盆地深洼形成了巨厚的湖相暗色泥岩,是盆地的主要烃源岩,之后南海中央海盆扩张,海水自西向东侵入,盆地内局部地区可见海相或海陆过渡相沉积,断陷活动之后,盆地进入区域沉降阶段,沉积了一套海相沉积,以浅海和半深海相为主,为良好的区域盖层。

涠公盆地始新世—早渐新世形成洪积扇—河流冲积扇—平原河流相沉积体系,晚渐新世主要发育滨海、滨岸平原以及陆相潟湖沼泽和扇三角洲沉积,早中新世为河流、湖泊、滨浅海环境,中中新世为河流、湖泊和陆缘海环境<sup>[22]</sup>。

莺歌海盆地古新统一始新统发育一套红色碎屑岩,推测该套地层属氧化环境下山麓—河流碎屑岩相,伴有火山喷发岩,渐新统以砂岩、页岩和砂砾岩为主,属海陆过渡相、滨海相及河流三角洲相沉积,新近系主要发育灰色泥岩、粉砂质泥岩和砂岩,富含灰质,为滨海、浅海及半深海相沉积。

中建南盆地古新世—始新世沉积了一套以河流、冲积扇、湖泊—沼泽为主的陆相沉积;晚始新世—渐新世沉积了一套三角洲、潟湖、滨海—浅海沉积;早中新世—中中新世末,沉积了一套滨海、浅海和半深海沉积体系;晚中新世—第四纪主发育浅海—半深海沉积。

万安盆地古新世—早渐新世为陆相沉积,发育冲积扇、河流、三角洲和湖泊沉积体系;晚渐新世盆地开始受到大规模的海侵,盆地西部发育河流—湖泊、三角洲—半封闭浅海沉积,东部发育海岸沼泽—半封闭浅海沉积;早中新世以三角洲和滨浅海沉积为主;中中新世—第四纪发育三角洲、浅海、半深海和碳酸盐岩沉积体系<sup>[27]</sup>。

### 3.3.3 烃源岩与热演化

南海西部大地热流值从陆地到南海中央海盆逐渐升高,中央海盆区具有显著高热流值特征。西部海域盆地热流值受海盆及断裂带影响,表现为西低东高,最

小值约为  $20 \text{ mW/m}^2$ ,最大值可达  $130 \text{ mW/m}^2$ 。其中,中建南盆地热流值最高,介于  $80 \sim 130 \text{ mW/m}^2$ ,热流值分布表现为北低南高、西低东高;莺歌海盆地热流值次之,主要介于  $60 \sim 90 \text{ mW/m}^2$ ,平均为  $79 \text{ mW/m}^2$ ,属于高温盆地,地温梯度高达  $4.25^\circ\text{C/hm}^{[28]}$ ,万安和涠公盆地热流值最低,介于  $30 \sim 80 \text{ mW/m}^2$ 。

涠公盆地烃源岩主要为渐新统湖相泥岩和下中新统海相泥岩,上渐新统平均总有机碳含量为  $1.6\%$ ,地球化学分析表明主要为 III 型干酪根,地温梯度  $3.1 \sim 3.4^\circ\text{C/hm}$ 。

万安盆地新生界主要发育渐新统半深湖、湖沼—三角洲、海湾相泥岩和下中新统浅海相泥岩 2 套烃源岩。渐新统烃源岩的有机碳含量为  $0.50\% \sim 2.26\%$ ,干酪根类型为 I—III 型;下中新统烃源岩有机碳含量为  $0.69\% \sim 0.93\%$ ,干酪根类型为 II—III 型<sup>[25]</sup>。在盆地中、北部地区,早期构造沉降作用强,热流值高,烃源岩发育,有利于有机质向油气转化。渐新统烃源岩在中中新世末处于成熟阶段,现今处于过成熟阶段;中中新统烃源岩在晚中新世进入成熟阶段,现今则处于成熟—高成熟阶段。在南部地区,早期构造沉降作用弱,热流值低,生烃潜力弱,渐新统烃源岩在中中新世末局部地区进入成熟阶段,现今均处于成熟—高成熟阶段;下中新统烃源岩在晚中新世末局部地区进入成熟阶段,现今大部分地区处于成熟阶段<sup>[29]</sup>。其中中部拗陷是万安盆地最主要的富生烃拗陷,沉积厚度最大,新生代沉积可达  $12500 \text{ m}^{[30]}$ 。

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  $0.85\% \sim 1.75\%$ ,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  $0.49\% \sim 1.56\%$ ,煤和碳质泥岩的有机碳含量为  $13.26\% \sim 21.43\%$ ,干酪根类型为 II—III 型;下中新统一中中新统烃源岩主要为浅海—半深海相泥岩,有机碳含量为  $0.69\% \sim 0.93\%$ ,干酪根类型为 II—III 型<sup>[31]</sup>。盆地地温梯度较高,约为  $2.40 \sim 5.09^\circ\text{C/hm}$ ,有利于烃源岩的高效转化<sup>[32]</sup>。目前古新统一渐新统烃源岩处于成熟—高过成熟演化阶段,既生油又生气<sup>[31]</sup>,中部凹陷是盆地油气生成和储集有利区域,最大厚度超过  $9000 \text{ m}$ 。

莺歌海盆地烃源岩主要为渐新统滨岸平原沼泽相和中新统三角洲—浅海相泥岩,渐新统烃源岩有机碳含量  $0.64\% \sim 1.96\%$ ,有机质类型为 II 型和 III 型,生烃潜力较高,这套烃源岩在中央拗陷的埋深普遍超过万米,有机质热演化已进入过成熟阶段;中新统烃源岩有机质丰度为  $0.4\% \sim 0.5\%$ ,有机质类型为偏腐殖混



合型—腐殖型,由于该盆地地温梯度高达 4.25℃/hm,现今正处于成熟—高成熟阶段,厚度大,分布广,仍然具有相当规模的生烃能力,以生气为主。

3.3.4 油气聚集单元

南海西部大陆边缘早期发育伸展构造样式,主要是张性构造;晚期受走滑应力的作用,发育张扭或压扭性花状构造及成排成带的背斜。构造圈闭是主要的油气圈闭,以断块、背斜、断背斜和披覆背斜为主,由强烈的断裂活动形成,如万安盆地的西兰花气田和 Hai-Thach 气田;由于基底差异升降活动形成了潜山披覆背斜,如大熊油田下中新统油气藏;背斜油气藏中可见大量油气,如莺歌海盆地油气发现主要分布在底辟带浅层上新统背斜中。非构造圈闭主要包括岩性圈闭、

不整合圈闭和礁型圈闭,不整合圈闭是由于构造运动使地层发生掀斜变形,再经后期的风化剥蚀而形成,万安运动形成的区域不整合界面附近发育大量地层不整合圈闭,礁隆圈闭多数形成于万安盆地的中、晚中新世。此外,基底结晶岩系中也发现了大量的油气,如白虎油田 80%的原油产自基岩风化壳<sup>[33]</sup>。这些油气通过断层或不整合面向圈闭运移,在南海西部盆地形成了断块型、背斜型、基岩潜山型和生物礁岩隆型等多种油气藏类型。

3.4 南沙地块盆地

南沙地块盆地是新生代含油气盆地。根据南海含油气盆地所进行的物探、油气钻井资料,对各盆地的区域构造属性已有一定程度的了解(表 5 和图 6)。

表 5 南海南沙地块区主要含油气盆地区域构造属性

Table 5 Regional structural features of major oil and gas-bearing basins in Nansha Block area of SCS

盆地名称	南薇西盆地	北康盆地	礼乐盆地
面积/(10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> )	4.3	6.2	5.5
地貌	海底高原和海礁、海滩	浅海-海底高原、海礁、海滩	海底高原、海礁、海滩
海水深度/m	20~3900	100~2400	0~2000
盆地基底	前新生代变质岩及中酸性—基性火成岩	主体为火成岩体,部分为前新生代变质岩	中生代海相碎屑岩煤系
沉积盖层	白垩系—第四系	中始新统—第四系	古新统一始新统、上始新统一下渐新统、上新新统一中中新统、上中新统和上新统一第四系
沉积岩厚度/km	小于 11	小于 13	小于 6
地壳厚度/km	14~22	14~24	16~30
地温梯度/(℃·hm <sup>-1</sup> )	4.0~6.0	4.0~4.5	
岩浆活动	自西向东、自南向北岩浆活动逐渐增强。早期(晚白垩世—中始新世)基性火山喷发;中期(晚始新世—中中新世)中基性岩体;晚期(晚中新世—第四纪),岩浆活动较强,岩体刺穿直达海底	中中新世末是岩浆活动鼎盛时期	较弱,零星分布,以基性岩为主,属新生代晚期产物,多数岩体刺穿海底形成海山,但规模较小
烃源岩	中始新统,上始新统一下渐新统	中始新统一下渐新统	中生界,古新统一始新统,上始新统一下渐新统
盆地类型	裂离盆地	裂离盆地	裂离陆块型盆地

3.4.1 地质结构及演化

南沙地块(南薇西、北康)来自华南陆块,其新生代盆地基底为下古生界甚至元古界变质岩及中酸性—基性火成岩,其形成与陆缘张裂有关,是在南沙地块长期隆起剥蚀夷平的基底上,于中生代末—新生代早期因地壳拉伸裂陷而成。礼乐地块处于过渡壳,在新生代之前与西沙—中沙地块相连。礼乐盆地位于礼乐地块,属于陆缘张裂—裂离陆块型盆地,基底发育一套大角度倾斜的中生代海相含煤碎屑岩系。礼乐滩的基底特征与南海北部及台湾西部的基底特征相似或相同<sup>[34]</sup>。

受晚渐新世—早中新世南海中央海盆扩张的影响,礼乐、北巴拉望、西沙及南沙地块相继裂离华南陆缘向南漂移,至中中新世,南沙、礼乐地块相继与加里曼丹—苏禄地块发生碰撞,新南海停止扩张,南沙地块

上驮盆地在当前位置接受中新世以来沉积。

南沙地块区主要盆地演化经历了断拗期、挤压反转期和区域沉降期。古新世—始新世,南沙海域盆地表现为 NE 向地堑/半地堑(南薇西、北康盆地),发育粗碎屑陆相沉积;晚始新世—中中新世,沉积了厚度较大的地层;中中新世末,南沙地块遭受压扭改造,形成区域不整合;晚中新世—第四纪,南沙地块区域沉降,盆地沉积主要以填平补齐、席状形式披盖全区,褶皱变形基本消失,大部分断层停止活动,岩浆活动局部活跃<sup>[23,35]</sup>。

南沙地块的平均地壳厚度约为 22 km,其中南薇西盆地地壳厚度为 14~22 km,北康盆地地壳厚度为 14~24 km,礼乐盆地莫霍面深度为 16~30 km。由礼乐滩地区的 30 km 往南、北逐渐递减,北部为莫霍面深

度小于 14 km 的中央海盆区,南部为莫霍面深度 20 km 左右的平缓变化区。总体来讲从南薇西、北康、到礼乐盆地地壳厚度逐渐增大,其中礼乐盆地西北部礼乐滩的地壳厚度最厚可超过 28 km。在大型地壳减薄区上部对应部位,发育一系列断陷,构成了盆地的次级构造带。地壳减薄区大体与盆地坳陷区相当,地壳较

厚的区域大体与盆地隆起区相当。如南薇西盆地南北分带,发育多个 NE 向坳陷和隆起,地壳厚度也呈现出 NE 向厚薄相间的特点,并且莫霍面的抬升部位对应盆地的坳陷区,南薇西盆地的形成与软流圈的隆升有关<sup>[35]</sup>。北康盆地和礼乐滩盆地也表现出在凹陷区地壳厚度较小、隆起区地壳厚度明显增厚的特点。

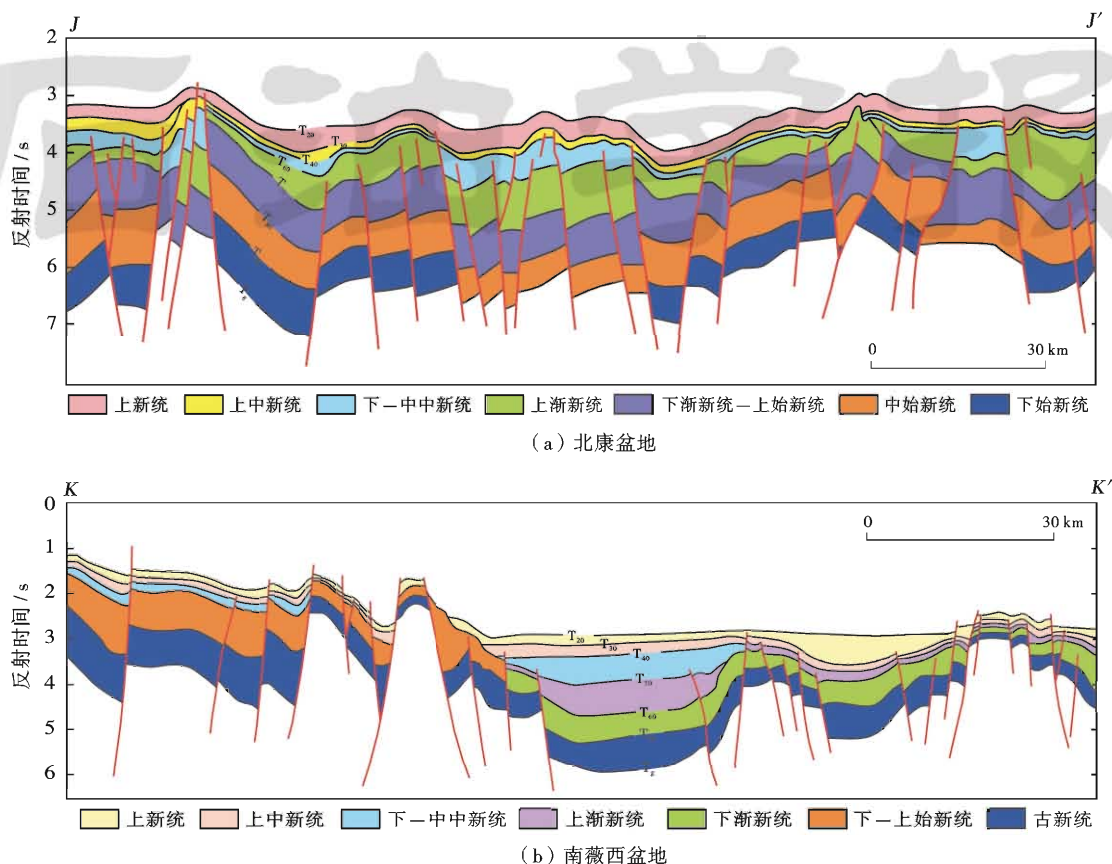


图 6 南沙地块盆地区域剖面(剖面位置见图 1)

Fig. 6 Regional geological profiles of basins in Nansha Block

### 3.4.2 沉积格局

南沙地块盆地的沉积充填演化分为 3 个阶段。陆缘断陷阶段(古新世—中始新世):南薇西盆地及北康盆地由于相对远离物源,北部及西北部发育以动荡或间歇性水流为主的陆相沉积。中—东部水体相对稳定,是一种低能环境,以滨—浅湖至半深湖相沉积体系为主,发育有冲积扇体系<sup>[36]</sup>,北康盆地则可能已与古南海北部连成一体,以滨—浅海相沉积为主<sup>[37]</sup>。盆地扩展阶段(晚始新世—中中新世):海水由东南方向逐渐侵入,形成海陆交互沉积环境。早中新世末,盆地全面隆升与反转,地层遭受强烈剥蚀和改造,一系列的构造圈闭也在此时定型<sup>[36]</sup>。盆地热沉降阶段(晚中新世以来):南薇西盆地沉积—沉降中心逐渐南移,从北往南依次由浅海相砂岩、浅海相砂泥岩互层和火山碎屑岩逐渐变为浅海—半深海相泥岩、半深海相砂泥岩

和浊积岩。北康盆地自晚中新世以来,受连续的热收缩与沉降作用影响,水体逐渐加深,主要物源由印支地块提供,盆地由西往东依次发育三角洲、浅海、半深海和浅海台地。上新世—全新世该盆地发育一套披覆式浅海陆架及半深海相沉积。礼乐盆地从中生代晚期即被海侵,沉积了滨海和浅海相碎屑沉积物<sup>[38]</sup>。

### 3.4.3 烃源岩与热演化

南沙地块大地热流值具有由 SW 向 NE 逐渐变低的趋势。其中南薇西盆地的平均热流值约为 70 mW/m<sup>2</sup>,北康盆地平均热流值约为 75 mW/m<sup>2</sup>,礼乐盆地平均热流值最低,约为 40 mW/m<sup>2</sup><sup>[39]</sup>。

根据盆地的油气地质条件分析和油气资源评价,南薇西盆地南部坳陷具有良好的含油气远景。该区新生代地层发育齐全,具有中—高地温场,有利于有机质向烃类转化,盖层较厚,圈闭发育多,是油气聚集的有

利场所<sup>[40]</sup>。北康盆地由西向东、由南向北,源岩的发育程度及品质逐渐变差,中始新统一下渐新统湖沼及海相泥岩、碳质泥岩、煤层发育,品质较好,有机质类型为Ⅱ—Ⅲ型干酪根。北康盆地和南薇西盆地主要发育中始新统湖相、海陆过渡相泥岩和上始新统一下渐新统海陆过渡相泥岩2套烃源岩。湖泊、沼泽相泥岩厚度一般在200~600 m,凹陷部位厚度为600~1200 m,烃源岩有机碳含量为0.5%~2.0%,干酪根类型为Ⅱ—Ⅲ型,处于高成熟—过成熟阶段,以产气为主;海相泥岩厚度一般为400~600 m,局部地区600~1100 m,烃源岩有机碳含量为0.5%~2.3%,干酪根类型为Ⅱ—Ⅲ型,处于成熟—高成熟阶段,可大量生成油气<sup>[31]</sup>。礼乐盆地南部坳陷泥岩厚度多在400~1200 m,是烃源岩发育的最有利部位<sup>[41]</sup>,发育古新统泥岩和始新统海相泥岩、页岩烃源岩,干酪根类型为Ⅱ—Ⅲ型<sup>[40]</sup>。

#### 3.4.4 油气聚集单元

南沙地块目前勘探程度都比较低,尤其是南薇西和北康盆地,但根据仅有的地震及相关资料分析认为,在盆地深凹区的背斜圈闭有可能成为最有利的勘探目标。礼乐盆地勘探实践证明,盆地不仅存在有效烃源岩及良好的生储盖组合,并且可能存在岩性及构造等多种类型的圈闭,因此也具备较大的勘探潜力。

## 4 结 语

南海是经历了古、新两大阶段及其后期持续演化的复杂边缘海,这种复杂性使得各个边缘形成的盆地的演化史不同,其含油气潜力差别较大。

古南海南部大陆边缘盆地,早期处于被动大陆边缘,地壳岩石圈发生强烈减薄,是破坏性大陆,刚性强度低;晚期处于活动大陆边缘背景,受区域性挤压,易于挠曲,形成面积大、沉降深、可容纳空间大的特点。由于婆罗洲地块持续隆升,其上被动大陆边缘期形成的古新世、始新世烃源岩二次搬运。且该区处于热带雨林环境,陆缘动植物非常发育,雨量大,河流规模大,把大量无机、有机碎屑搬入北部边缘盆地,沉积充填巨厚,地温梯度高,在源热共控下,形成非常丰富的油气。该区域发育近岸三角洲储层和远岸生物礁储层,晚期区域盖层发育,构造圈闭呈排呈带,生物礁圈闭成群发育,油气成藏条件非常优越。

南海北部大陆边缘定型于新南海期间,经历了2次造海旋回,古南海期间形成古新世—始新世断陷,新南海期形成渐新世—第四纪盆地。古新世—始新世断陷远离洋盆,处于内陆,形成陆相断陷,但规模普遍不大,各断陷发育程度不均,其中深断陷形成中深湖相烃

源岩。渐新世主断陷带远离陆地,主要依靠大型长源三角洲提供物源,有机质以煤系或陆缘有机质为主,但河流规模没有南部大,三角洲盆地发育规模不如南部。早期属于远程伸展,深大凹陷发育不多,晚期河流发育不足,因此有勘探潜力,但比不上南部。目前浅水区的小型构造圈闭、非构造圈闭以及深水区都是勘探的新领域。

南海西部大陆边缘主要形成于新南海期间。南北分段,形成时代主要在渐新世以来,烃源岩以湖沼相和海相为主。张扭作用形成莺歌海中央大凹陷、万安中央大坳陷等一批深大坳陷,而且处于南海西部巨型剪切带上,热流值高一很高,源热共控形成丰富的油气。扭动作用形成成排成带的大型构造圈闭,沉积作用形成大型生物礁岩性圈闭;南海末期塌陷作用阶段形成区域性海相泥岩巨厚盖层,油气成藏条件非常有利。

南沙地块经历了古南海北翼的被动大陆边缘造盆阶段,邻近洋盆,形成海相烃源岩。在新南海阶段,受到南北对挤,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。

总之,南海盆地多,勘探程度低,油气资源丰富。中国在南海主权面积大,勘探潜力相当可观;在北部浅水区勘探取得显著效果,在北部深水区勘探刚刚起步,在西部大陆边缘除莺歌海外,几乎未有一口钻井,南沙、古南海南部大陆边缘国界内也没有钻井。基于以上分析,应当加快进程,加大力度,促进大发现,力争建成“南海大庆”。

## 参 考 文 献

- [1] 石油地质志编写组. 中国石油地质志(第16卷)[M]. 北京:石油工业出版社,1990:3-15.  
Petroleum Geology Editorial Group. Petroleum geology of China, Vol:16[M]. Beijing: Petroleum Industry Press,1990:3-15.
- [2] Lee T Y, Lawer I. A. Cenozoic plate reconstruction of Southeast Asia[J]. Tectonophysics, 1995, 251: 85-138.
- [3] Briais A, Tapponnier P, Pautot G. Constraints of data on crustal fabrics and seafloor spreading in the South China Sea[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1989, 95: 307-320.
- [4] Packnam G. Cenozoic SE Asia: reconstructing its aggregation and reorganization[M]//Hall R, Blundell D J. Tectonic evolution of Southeast Asia. London: Geological Society Special Publication, 1996: 123-152.
- [5] Hall R, van Hattum M W A, Spakman W. Impact of India-Asia collision on SE Asia: the record in Borneo[J]. Tectonophysics, 2008, 451: 366-389.
- [6] 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.
- [7] 姚伯初, 万玲, 吴能友. 大南海地区新生代板块构造运动[J]. *中国地质*, 2004, 31(2): 113-122.
- Yao Bochu, Wan Ling, Wu Nengyou. Cenozoic plate tectonic activities in the Great South China Sea area[J]. *Geology in China*, 2004, 31(2): 113-122.
- [8] Tapponier P, Peltzer G, Argjio R. On the mechanics of the collision between India and Asia[G]. Coward M, Pand Ries A C. Collision tectonics. London: Geological Society Special Publication, 1986, 19: 115-157.
- [9] Briais A, Patriat P, Yauponier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea; Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1993, 98: 6299-6328.
- [10] Richardson A. Lithosphere structure and dynamics of the Banda arc collision zone, Eastern Indonesia[J]. *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, 1993, 33: 105-118.
- [11] 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.
- [12] 张功成. 南海北部深水区构造演化及其特征[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.
- [13] 张功成, 刘震, 米立军, 等. 珠江口盆地—琼东南盆地深水区古近系沉积演化[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.
- [14] 李家彪. 中国边缘海形成演化与资源效应[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 52-62.
- Li Jiabiao. Evolution of China's marginal seas and its effect of natural resources[M]. Beijing: Ocean Press, 2008: 52-62.
- [15] 何家雄, 施小斌, 阎贫, 等. 南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J]. *新疆石油地质*, 2007, 28(2): 129-135.
- He Jiaxiong, Shi Xiaobin, Yan Pin, et al. Petroleum geology and exploratory targets in marginal basins, Northern South China Sea[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2007, 28(2): 129-135.
- [16] Wolfart R, Cepek P, Gramann F, et al. Stratigraphy of Palawan Island, Philippines[J]. *Newsl. Strating.*, 1986, 16: 19-48.
- [17] Faure M, Marchader Y, Rangin C. Pro-Eocene synmetamorphic nappes in the Mindoro-Romblon-Palawan area ( West Philippines) and implications for the history of SE Asia[J]. *Tectonics*, 1989, 8: 963-979.
- [18] 姚伯初, 万玲, 刘振湖. 南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2004, 29(5): 544-549.
- Yao Bochu, Wan Ling, Liu Zhenhu. Tectonic dynamics of Cenozoic sedimentary basins and hydrocarbon resources in the South China Sea[J]. *Earth Science: Journal of China University of Geosciences*, 2004, 29(5): 544-549.
- [19] 姚永坚, 吴能友, 夏斌, 等. 南海南部海域曾母盆地油气地质特征[J]. *中国地质*, 2008, 35(3): 503-513.
- Yao Yongjian, Wu Nengyou, Xia Bin, et al. Petroleum geology of Zengmu basin in the southern South China Sea[J]. *Geology in China*, 2008, 35(3): 503-513.
- [20] Lambiasi J J, Crevello P D, Morley C K, et al. Sedimentology, structure and petroleum systems of the Baram Delta Province, Brunei Darussalam and Sarawak Field trip summary[J]. *Indonesian Petroleum Association*, 1997, 3: 1019-1020.
- [21] 高莉玲. 菲律宾西南部滨外油气潜力分析[J]. *海洋信息*, 1997(5): 24-25.
- Gao Liling. Analysis of petroleum potential of Philippines southwest offshore[J]. *Marine Information*, 1997(5): 24-25.
- [22] 孙桂华, 高红芳, 彭学潮, 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. Geological and tectonic characteristics of Mekong basin, south Vietnam[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2010, 30(6): 25-33.
- [23] 李文勇, 李东旭. 中国南海不同板块边缘沉积盆地构造特征[J]. *现代地质*, 2006, 20(1): 19-29.
- Li Wenyong, Li Dongxu. Tectonic characteristics on the sedimentary basins with different plate margins in the South China Sea[J]. *Geoscience*, 2006, 20(1): 19-29.
- [24] 林珍. 南沙海域中建南盆地的磁性基底及地壳结构[J]. *海洋地质动态*, 2004, 20(3): 17-24.
- Lin Zhen. Magnetic basement and crust structure of Zhongjian-nan basin in the Nansha sea area[J]. *Marine Geology Letters*, 2004, 20(3): 17-24.
- [25] 姚伯初, 刘振湖. 南沙海域沉积盆地及油气资源分布[J]. *中国海上油气*, 2006, 18(3): 150-160.
- Yao Bochu, Liu Zhenhu. Sedimentary basins and petroleum resources in Nansha offshore area, South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2006, 18(3): 150-160.
- [26] 万玲, 姚伯初, 曾维军, 等. 南海岩石圈结构与油气资源分布[J]. *中国地质*, 2006, 33(4): 874-884.
- Wan Ling, Yao Bochu, Zeng Weijun, et al. Lithospheric structure and petroleum distribution in the South China Sea[J]. *Geology in China*, 2006, 33(4): 874-884.
- [27] 胡小强, 杨木壮. 万安盆地可容纳空间变化分析[J]. *海洋地质动态*, 2006, 22(6): 29-32.
- Hu Xiaoqiang, Yang Muzhuang. Analysis of accommodation changes in the Wan'an basin[J]. *Marine Geology Letters*, 2006,



- 22(6):29-32.
- [28] 汪缉安,邓孝,陈墨香,等.南海北部大陆架西段新生代热演化历史及其特点的分析[J].地质科学,1995,30(3):220-232.  
Wang Ji'an, Deng Xiao, Chen Moxiang, et al. Analyses on Cenozoic thermal history and its features in west sector shelf of northern South China Sea[J]. Scientia Geologica Sinica, 1995, 30(3): 220-232.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 李金有,郑丽辉.南海沉积盆地石油地质条件研究[J].特种油气藏,2007,14(2):22-26.  
Li Jinyou, Zheng Lihui. Study on petroleum geology in South China Sea Basins[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2007, 14(2): 22-26.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 詹文欢,朱照宇,孙龙涛,等.试论南海新构造运动的时限及其差异性[J].地质学报,2006,80(4):491-496.  
Zhan Wenhuan, Zhu Zhaoyu, Song Longtao, et al. The epoch and diversities of Neotectonic movement in the South China Sea[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(4): 491-496.
- [35] 钟广见,王嘹亮.南沙海域新生代盆地类型及演化历史[J].海相油气地质,1996,1(2):14-20.  
Zhong Guangjian, Wang Liaoliang. Evolution and types of Cenozoic basins, Nansha sea area[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 1996, 1(2): 14-20.
- [36] 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.
- [37] 王嘹亮,吴能友,周祖翼,等.南海西南部北康盆地新生代沉积演化史[J].中国地质,2002,29(1):96-102.  
Wang Liaoliang, Wu Nengyou, Zhou Zuyi, et al. History of the Cenozoic sedimentary evolution of Beikang basin, southwestern South China Sea[J]. Geology in China, 2002, 29(1): 96-102.
- [38] 高红芳,曾祥辉,刘振湖,等.南海礼乐盆地沉降史模拟及构造演化特征分析[J].大地构造与成矿学,2005,29(3):385-390.  
Gao Hongfang, Zeng Xianghui, Liu Zhenhu et al. Simulating of subsidence history and analysis of tectonic evolutionary characteristics of Liyue Basin in South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29(3): 385-390.
- [39] 吴炳伟.南沙海域主要沉积盆地资源潜力分析[J].海洋石油,2007,27(1):30-35.  
Wu Bingwei. Analysis on the resource potential in the main depositional basins of Nansha area, South China Sea[J]. Offshore Oil, 2007, 27(1): 30-35.
- [40] 刘振湖.南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J].大地构造与成矿学,2005,29(3):410-417.  
Liu Zhenhu. Distribution of sedimentary basins and petroleum potential in southern South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2005, 29(3): 410-417.
- [41] 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]. Nature Gas Industry, 2004, 24(6): 22-24.

(收稿日期 2012-12-07 改回日期 2013-03-01 责任编辑 熊英)

版权所有