

doi: 10.12029/gc20200508

熊量莉, 杨楚鹏, 吴蛟岐, 高红芳, 姚永坚, 李学杰, 朱雪影, 程子华. 2020. 南海南-北陆缘盆地地层沉积发育特征及其对油气成藏的差异性控制[J]. 中国地质, 47(5): 1407-1425.

Xiong Liangli, Yang Chupeng, Wu Jiaoqi, Gao Hongfang, Yao Yongjian, Li Xuejie, Zhu Xueying, Cheng Zihua. 2020. Characteristics of stratigraphic sedimentary in the south-north continental margin basin of the South China Sea and its differential control on hydrocarbon accumulation[J]. Geology in China, 47(5):1407-1425(in Chinese with English abstract).

## 南海南-北陆缘盆地地层沉积发育特征及其对油气成藏的差异性控制

熊量莉<sup>1</sup>, 杨楚鹏<sup>1</sup>, 吴蛟岐<sup>1</sup>, 高红芳<sup>1</sup>, 姚永坚<sup>1</sup>, 李学杰<sup>1</sup>, 朱雪影<sup>2</sup>, 程子华<sup>3</sup>

(1. 自然资源部海底矿产资源重点实验室, 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075; 2. 海洋学院, 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 420074; 3. 中国科学院边缘海与大洋地质重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广东 广州 510301)

**摘要:**南海作为西太平洋最大的边缘海, 油气资源丰富, 油气赋存规律的南北差异性大。本文在系统梳理南海中—新生代地层、沉积相发育特征的基础上, 对南海南北典型含油气盆地的石油地质条件进行了对比分析。结果认为南海打开过程对古南海沉积地层的改造, 使得现有残余地层南北分离, 主要分布于北部的珠江口盆地—台西南盆地和南部的礼乐盆地中, 推测发育“自生自储”、“新生古储”或“古生新储”的中—新生代油气成藏模式。南海新生代油气藏在“北张、南挤”的构造应力背景下, 古近纪以来的古水系控制了大型碎屑岩油气藏的分布; 区域构造运动和海平面变化控制了中新世碳酸盐岩油气藏的发育; 早新生代以来的古地貌控制的深水峡谷、深海扇、扇三角洲沉积体系孕育了潜在深水油气藏。总之, 南海南北地层沉积各有特色, 油气成藏条件各有优势, 但均有良好的油气勘探前景, 本文以为未来南海油气勘探战略部署和选区提供参考。

**关键词:**中—新生代; 油气藏; 沉积有利相带; 地质调查工程; 南海

中图分类号: P736.22<sup>3</sup> 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2020)05-1407-19

## Characteristics of stratigraphic sedimentary in the south-north continental margin basin of the South China Sea and its differential control on hydrocarbon accumulation

XIONG Liangli<sup>1</sup>, YANG Chupeng<sup>1</sup>, WU Jiaoqi<sup>1</sup>, GAO Hongfang<sup>1</sup>, YAO Yongjian<sup>1</sup>, LI Xuejie<sup>1</sup>, ZHU Xueying<sup>2</sup>, CHENG Zihua<sup>3</sup>

(1. MNR Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, Guangdong, China; 2. College of Marine Science and Technology, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 420074, Hubei, China; 3. Key Laboratory of Ocean and Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, Guangdong, China)

收稿日期: 2020-04-06; 改回日期: 2020-07-16

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160138, DD20190577, DD20190216, DD20190209)资助。

作者简介: 熊量莉, 女, 1992年生, 硕士, 助理工程师, 海洋科学专业, 主要从事海洋区域地质调查工作和能源地质调查研究工作; E-mail: 824350669@qq.com。

通讯作者: 杨楚鹏, 男, 1980年生, 博士, 教授级高级工程师, 海洋科学专业, 主要从事海洋区域地质和能源地质调查研究工作; E-mail: gmgs\_yang@foxmail.com。

**Abstract:** As the largest marginal sea in western Pacific, the South China Sea is rich in oil and gas resources, and the difference in hydrocarbon occurrence laws between the north and south is large. On the basis of the systematic analysis of the Mesozoic–Cenozoic strata and sedimentary facies development characteristics of the South China Sea, the petroleum geological conditions of the typical petroliferous basins in the south and north of the South China Sea were compared and analyzed. The results show that the reconstruction of the sedimentary strata of the ancient South China Sea by the opening process of the South China Sea causes the existing residual strata to separate from north to south, mainly distributed in the Pearl River Mouth Basin and the Tainan Basin in the north, and in the Lile Basin in the south. It is inferred that there are Mesozoic–Cenozoic hydrocarbon accumulation models of "self-generation and self-storage", "new-generation and paleo-storage" or "paleo-generation and new-storage". The Cenozoic oil and gas reservoirs in the South China Sea are under the tectonic stress background of "north extension and south extrusion". The distribution of large clastic reservoirs has been controlled by the paleo-water system since Paleogene. Regional tectonic movements and sea level change controlled the development of Miocene carbonate reservoirs. The deep-water canyons, deep-sea fans, and fan-delta sedimentary systems controlled by paleo-geomorphology since the early Cenozoic have spawned potential deep-water reservoirs. In a word, the south and north sedimentary strata of the South China Sea have their own characteristics, and the hydrocarbon accumulation conditions have their own advantages, but they all have good prospects for oil and gas exploration. This paper is expected to provide reference for future strategic deployment and selection of oil and gas exploration in the South China Sea.

**Key words:** Mesozoic–Cenozoic; oil and gas reservoirs; sedimentary favorable facies; geological survey engineering; South China Sea

**About the first author:** XIONG Liangli, female, born in 1992, assistant engineer, mainly engages in marine geology and energy geology investigation; E-mail: 824350669@qq.com.

**About the corresponding author:** YANG Chupeng, male, born in 1980, professor, mainly engages in marine geology and energy geology investigation; E-mail: gmgs\_yang@foxmail.com.

**Fund support:** Supported jointly by Geological Survey Project (No. DD20160138, No. DD20190577, No. DD20190216, No. DD20190209).

## 1 引 言

南海是西太平洋最大的边缘海,其独特的构造位置和沉积特征加之丰富的油气资源,使其备受国内外地质界的关注,发表了丰硕的研究成果。南海的油气勘探由来已久,长期的勘探实践证实了南海具有丰富的油气资源,并且南海的油气资源在南—北两个共轭边缘的赋存存在显著的差异,整体表现出“北部富油、南部富气”、“湖相生油、海陆过渡相生气”的特征(解习农等,2011;张功成等,2013;任建业,2018)。这些油气赋存特征无一不受控于南北含油气盆地各具特色的沉积充填演化历史和模式。近5年来,在南海新增的探明可采储量为 $7.41 \times 10^8$  t油当量,这其中与深水沉积体相关的油气藏储量高达 $4.09 \times 10^8$  t油当量,占近年新增总探明可采储量的55%(张强等,2018),由此可见,深水区必然是未来油气勘探的主要方向,而深水区中深水沉积岩性油气藏以及生物礁岩性油气藏聚集大量油气,是南海新增储量的主要贡献者。另外,近些年在深水

区钻遇中生代的钻井不同程度地见到油气显示或获得工业油气流,表明中生代残留盆地具有良好的油气远景。因此,对南海油气成藏的地质规律的总结,尤其是对南海陆坡深水区的油气赋存规律的研究,以及中—新生代地层发育特征对油气成藏的控制作用的研究显得极为重要。本文以广州海洋地质调查局多年来在南海开展的海洋区域地质调查成果为基础,结合已有的钻井和地球物理资料,系统梳理总结南海中—新生代地层、沉积相发育特征,并对南海典型含油气盆地中生代与新生代的地层沉积充填的差异性进行对比分析,在此基础上探讨中—新生代地层、沉积相发育特征对油气成藏形成的控制作用,以期对未来南海油气勘探战略部署和选区提供一定的借鉴。

## 2 南海区域地质概况

南海位于欧亚板块、太平洋板块和印—澳板块的交汇处,处于南纬 $3^{\circ}30'$ ~北纬 $25^{\circ}00'$ ,东经 $105^{\circ}10'$ ~ $121^{\circ}50'$ ,面积约 $350 \times 10^4$  km<sup>2</sup>。其构造运动复杂,大

规模的水平运动与垂直运动共同作用,强烈的陆缘扩张伴随强烈的陆缘挤压;陆壳在南海北缘离散解体后又在南缘拼贴增生;洋壳在中央海盆形成后又在东侧的马尼拉海沟消减;在陆缘扩张过程中形成了陆缘地槽系,在碰撞挤压过程中形成岛弧-海沟断褶系(刘昭蜀,2000)。因此,在这样复杂的动力学背景下,南海陆架-陆坡区发育了一系列不同性质的沉积盆地,其内部沉积充填特征既有共性又各具特色,造就了南海丰富的油气成藏组合和油气赋存规律。

在南海周缘的陆架、陆坡区分布有20多个面积大小不等的新生代含油气盆地,如图1所示。其中台西盆地、台西南盆地、珠江口盆地、北部湾盆地、琼东南盆地以及中建南盆地属于华夏地块;东部莺歌海盆地、万安盆地、涓公盆地和西纳土纳盆地属于印支-巽他地块;南部南薇西盆地、北康盆地、礼乐盆地、巴拉望盆地属于南沙地块。按盆地板块构造位置(表1),可以分为板块离散边缘、板块走滑边缘和板块汇聚边缘3大类,对应盆地定格期的应力状态分别为拉张环境、走滑拉分环境和挤压环境,北部张裂、西部走滑伸展,南部早期为古南海被动陆缘,后期随古南海消亡、碰撞造山而转变为挤压边缘,力学性质复杂。与之相对应的盆地类型为陆缘裂谷或裂陷盆地、陆缘走滑拉分盆地、周缘前陆盆地或弧前盆地3大类。在不同构造环境下形成的这些新生代沉积盆地,发育了巨厚的新生代沉积,成为南海地区主要的油气富集区。中生代残余地层近乎南北对称,主要分布于北部的珠江口盆地-台西南盆地和南部的礼乐盆地-巴拉望盆地中,这是南海打开过程对古南海沉积地层的改造,使得现有残余地层南北分离的结果(图1)。

### 3 南海沉积盆地的中-新生代层、沉积相发育特征

南海作为在中生代陆缘背景上扩张而成的新生代边缘海,地层的发育与构造活动、海平面变化、沉积古地理环境演化有着密切联系。南海基底承接了周缘陆缘地块和自身岩浆作用的特征,以元古宇、古生界变质岩、中生代中晚期酸性火成岩体、基性玄武岩为主。海盆为洋壳性质,其四周陆架-陆坡为陆壳性质,构成了中部新、四周老,北部西边老东边新,南部西边新东边老,陆壳洋壳共存的特点。总体而言,

南海海域地层发育较全,从元古宇到新生界均有分布,主要以中生代和新生代地层为主。

#### 3.1 中生代地层发育特征

南海中生界经过燕山运动末期和喜山运动早期构造事件的改造、隆升剥蚀和岩浆作用混染,原始面貌已经基本上不复存在,现有残余地层南北两部分都主要存在于南海东部区域,相隔南海海盆几乎对称发育(图1),从侧面反映了南海海盆海底扩张的影响效应。三叠纪以发育碳酸盐岩为主,晚侏罗-早白垩世以碎屑岩为主,厚度可超过6000 m,晚白垩世转为河湖相等陆相沉积环境。由老到新,由海相过渡到陆相沉积环境。

##### 3.1.1 南海北部中生界

南海北部中生界分布比较局限,主要发育晚三叠世-白垩纪地层,主要分布在北部陆架和陆坡中部和东部,面积约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,以珠江口盆地的韩江凹陷、潮汕凹陷和笔架-台西南盆地区为主,其中潮汕拗陷残留厚度最大,晚三叠世以来继承发育,凹陷中心最大残留厚度超过8000 m(强昆生等,2018)。根据已有钻孔资料,在北部湾盆地,莺歌海盆地以及琼东南盆地均钻遇白垩纪岩石:北部湾盆地湾10钻孔钻遇白垩纪红色碎屑岩,莺歌海盆地莺东斜坡YIN6钻遇凝灰质砂岩,中央凹陷LT9-1-1钻井钻遇长石石英砂岩和泥质砂砾岩,琼东南盆地YC13-4-1钻孔钻遇中生代长石石英砂岩和泥质砂砾岩(鲁宝亮等,2014),但是由于只是单口钻井资料显示钻遇中生代岩石,在地震剖面上没有明显的证据表明中生代地层成规模分布,故没有在图1中圈出。在珠江口盆地潮汕凹陷LF35-1-1钻遇白垩纪、侏罗纪地层,如图2所示,在地震剖面上,可看到新生界与中生界之间呈明显的不整合接触关系,中生界底界面T<sub>g</sub>呈明显的中强反射特征,连续性好,白垩纪地层与侏罗纪地层之间也呈不整合接触,地层由于构造挤压运动而发生掀斜,内部呈杂乱反射。在台西南盆地中央隆起带、北港隆起和澎湖通梁CFC-1、CFC-2、PCC-1、PK-2、TL-1等多个钻井钻遇白垩纪海相砂岩,页岩(鲁宝亮等,2014)。

##### 3.1.2 南海南部中生界

南海南部中生界主要发育于南海南部群岛礼乐盆地巴拉望盆地以及巴拉望西南近海(图1),在中建南-万安-南薇西盆地等区域也可能存在中



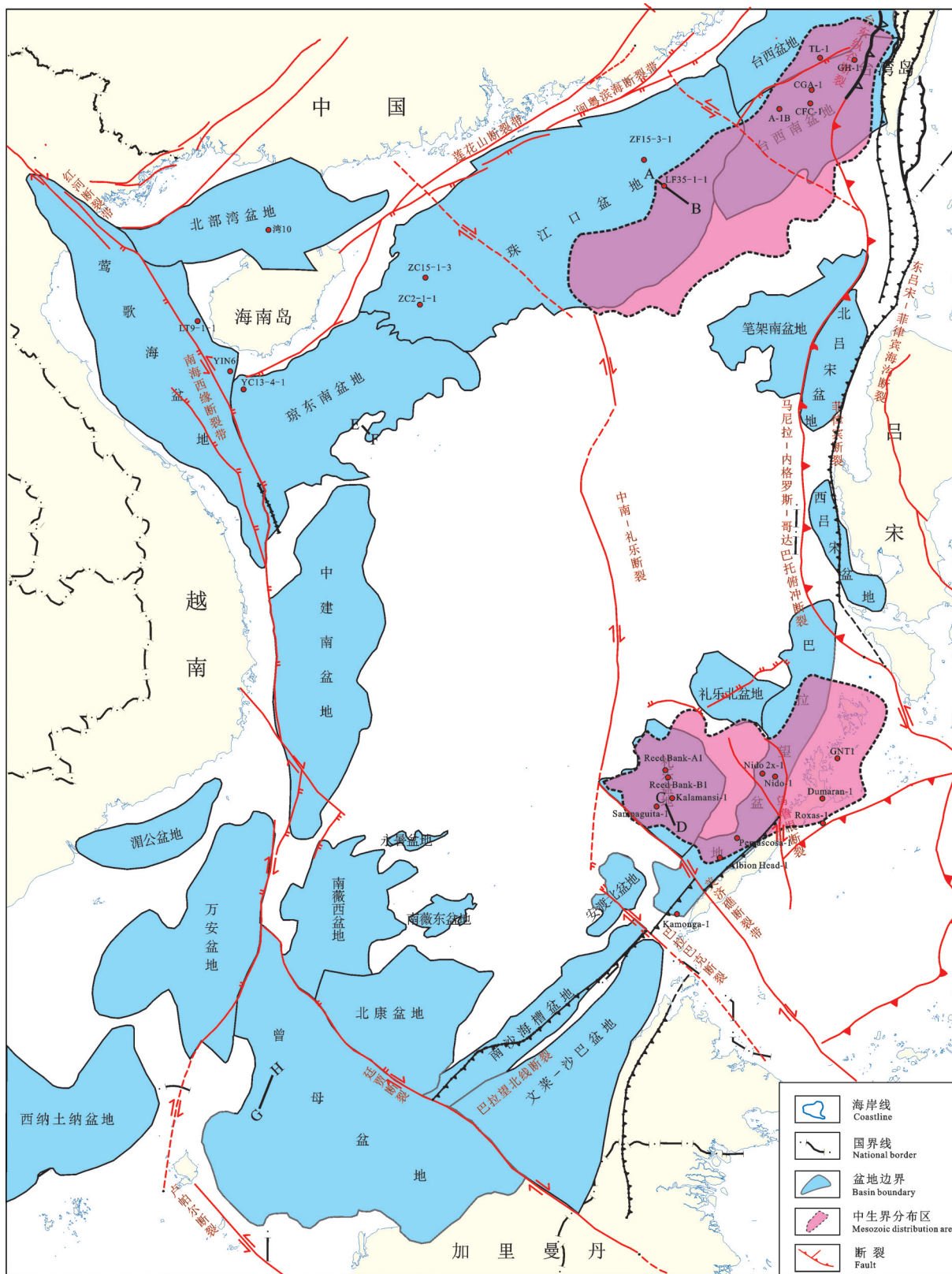


图1 南海中—新生代沉积盆地分布和主要断裂体系

Fig.1 Distribution of the Mesozoic and Cenozoic sedimentary basins in the South China Sea and major fault systems



表1 南海海域新生代沉积盆地分类  
Table 1 Classification of Cenozoic sedimentary basins in the South China Sea

盆地名称	板块构造位置	二级构造单元	盆地定格期的应力状态	盆地大类	盆地类型
台西盆地	板块离散边缘	华夏地块	拉张环境	陆缘盆地	陆缘裂谷或断陷盆地
台西南盆地					
珠江口盆地					
北部湾盆地					
琼东南盆地					
中建南盆地	板块走滑边缘	印支-巽他地块	走滑拉分环境		陆缘走滑拉分盆地
莺歌海盆地					
万安盆地					
涠公盆地	板块离散边缘	南沙地块	拉张环境		陆缘裂谷或断陷盆地
西纳土纳盆地					
南薇西盆地					
北康盆地					
礼乐盆地					
巴拉望盆地					
曾母盆地	板块汇聚边缘	曾母地块	挤压环境		周缘前陆盆地
南沙海槽盆地		残留古南海海盆			
文莱-沙巴盆地		婆罗洲-苏禄俯冲增生系			
		马尼拉增生带			
西、北吕宋盆地				岛弧带盆地	弧前盆地

生代地层。根据钻井资料和沉积相分析可知,其总体为滨、浅海相碎屑岩、灰岩和深海页岩沉积。Sampaguita-1井揭示了礼乐滩中生代海相地层,岩性柱显示上白垩统为含煤质的砂泥岩和页岩,时代属晚三叠-早侏罗世(Kudrass et al., 1986)。如图3所示,在礼乐盆地的地震剖面上,中生代顶界面为区域角度不整合面,将下伏中生代地层削截,白垩纪地层内部为中高频反射,连续性较好,强振幅,亚平行, Tk-Tm 内部地层地震反射为中弱振幅中低频,连续性差,杂乱反射。在礼乐滩西南侧采集到的副片麻岩和石英千枚岩, K-Ar 年龄分别为 123~114 Ma 和 113 Ma; 礼乐滩北侧采集到的石榴石-云母片岩和角闪岩, K-Ar 年龄值分别为 146 Ma 和 113 Ma(Kudrass et al., 1986), 推测变质岩的成因是晚侏罗-早白垩世区域变质作用所致。在西北巴拉望 Cadlao-1(CDL-1)井中发现最老岩石的时代为晚侏罗-早白垩世。在 Destacado A-1X 井也见到可能为下白垩统的碎屑岩系。在西巴拉望 Penascosa-1 井钻遇早白垩世晚期黑灰色页岩, 据微体动物和孢粉组合分析, 其沉积环境为半深海。

### 3.2 新生代地层发育特征

南海新生界全区广泛发育, 地层厚度较大, 一

般在 2000~16000 m。古近纪地层主要发育在盆地中, 新近纪和第四纪地层基本披覆于整个南海海区之上。岩性以碎屑岩和碳酸盐岩为主。碎屑岩分布广泛, 为南海主要沉积物类型; 碳酸盐岩及生物礁主要发育于早一中中新世时期, 分布在琼东南盆地南部、中建南盆地北部、西沙群岛、万安盆地、曾母盆地、北康盆地南部、礼乐滩、西北巴拉望盆地等区域。由于南海基底属性、构造区划、应力机制等构造因素引起地层的差异, 南海海域地层在不同区域分布各有特色。总体上, 海盆地层较新, 海盆两侧地层较老; 南海西部地层由 NW 向至近 NS 向展布; 南部盆地和北部盆地地层一般 NE 向展布。新生代地层演化经历了古新世-始新世陆相断陷湖盆地层发育、渐新世海陆过渡地层发育、新近纪-第四纪全南海海相地层发育 3 大演化阶段。南海南-北新生代地层发育具有明显差异。

#### 3.2.1 南海北部新生界

南海北部新生界全区普遍发育, 最大厚度达 17000 m, 其中莺歌海盆地、琼东南盆地、珠江口盆地是南海北部最主要的含油气盆地, 地层厚度在 2000~15000 m。

北部陆架盆地地层以渐新统顶面为界(T6)分

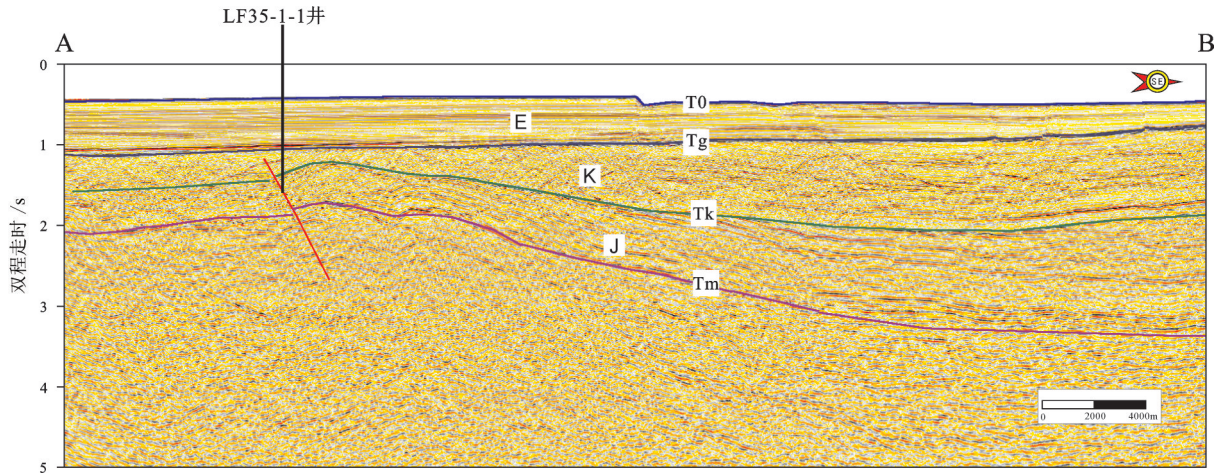


图2 潮汕坳陷陆丰35-1构造(LF35-1-1)中生代地层发育特征(测线位置见图1中AB)

Fig. 2 Characteristics of Mesozoic stratigraphic development of Lufeng 35-1 structure (LF35-1-1) in Chaoshan depression (see Fig. 1 for its location)

成上下两套地层(图4)。下部包括古新统、始新统和渐新统,发育在地堑和半地堑中,陆相沉积为主。古新统分布局限,始新统是陆相沉积的主体,也是烃源岩的主要发育层段,渐新统覆盖于早期小地堑之上,在盆缘同沉积断层控制下,又形成新的宽缓地堑,将多个小地堑连成一体。上部地层以席状披盖为主,变形较弱,厚度变化一般不大,沉积环境为海相。陆坡盆地地层一般以下渐新统顶面和中中新统顶面为界分成上、中、下3套地层。下套包括古新统、始新统和下渐新统,发育在地堑和半地堑中,除台西南盆地基本上以海相沉积为主外,其

他都以陆相沉积为主。中套包括上渐新统到中中新统,为盆地快速沉降期的沉积,地层厚度较大,沉积环境为海相,地层变形明显,断层发育。上套地层包括上中新统到第四系,以席状披盖为主,晚期调节性断层较发育,沉积环境为海相。

南海北部古近系发育了一系列湖相—海陆过渡相沉积,古新统一渐新统分布相对局限,主要分布于北部多个断陷中,但均是在同一构造背景下发育的陆相断陷沉积。据钻井和沉积相分析,沉积环境以陆相湖泊沉积环境为主,见潟湖、沼泽和三角洲相。断陷底部发育盆底扇,边部发育斜坡扇,

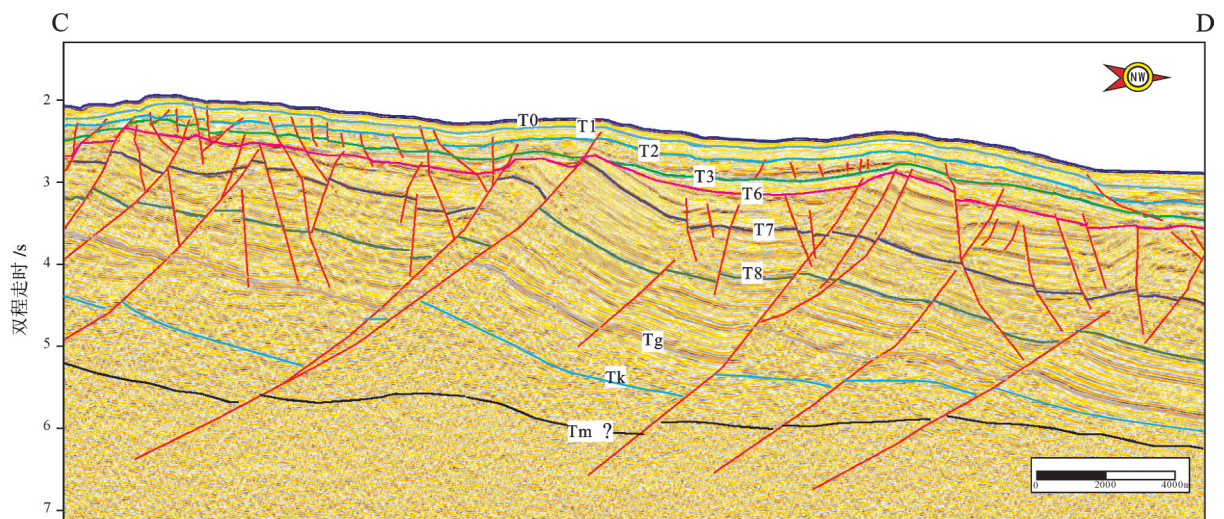


图3 礼乐盆地中—新生界地震反射特征(测线位置见图1CD)

Fig. 3 Seismic reflection characteristics of Mesozoic-Cenozoic in the Lile Basin (see Fig. 1 for its location)



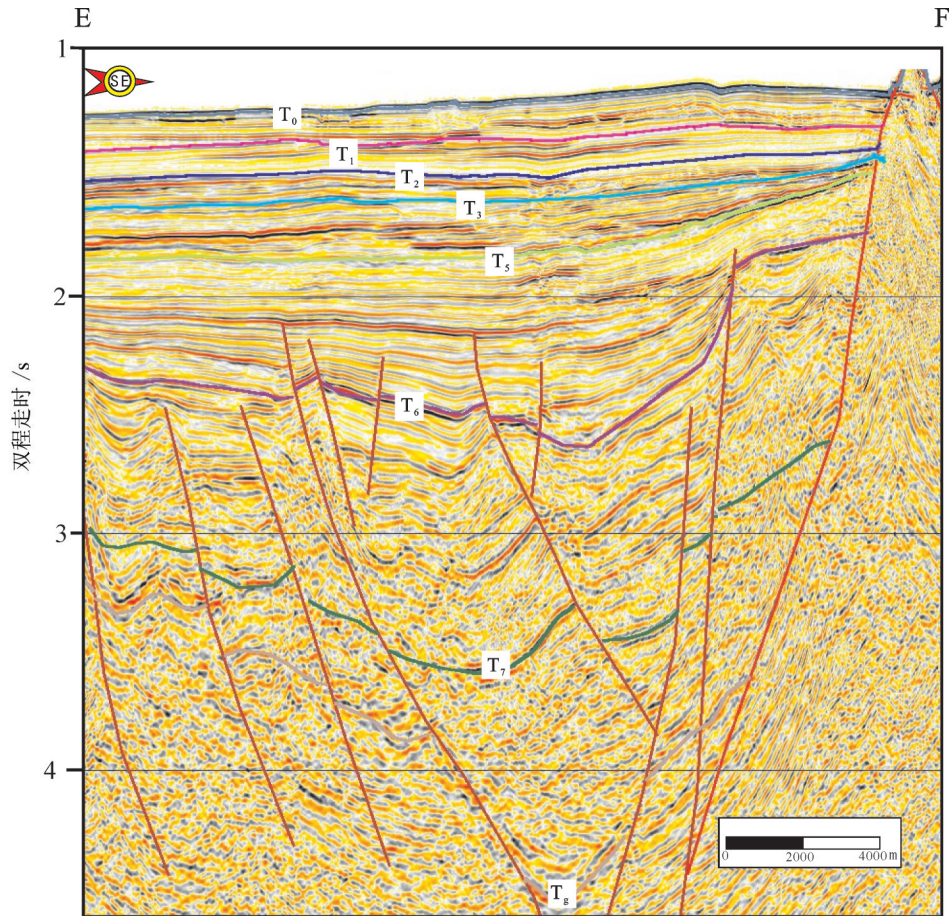


图4 南海北部典型新生代地层地震反射特征(测线位置见图1EF)

Fig. 4 Seismic reflection characteristics of typical Cenozoic strata in northern South China Sea (see Fig. 1 for its location)

沉积特征及其体系域组合总体反映了水动力条件由动荡趋于稳定,水体不断加深,由浅湖相逐渐过渡到半深湖相,形成一个明显的水进旋回。中—上渐新统在北部湾盆地为河、湖相沉积,在珠江口盆地、琼东南盆地中为滨、浅海相—海陆过渡相沉积,向东在台西南盆地逐渐过渡为海相沉积。西部东沙群岛以东大多缺失古新统一始新统。晚渐新世以后,除北部湾地区,北部其他地区普遍受南东向北西方向推进的海侵的影响,自北而南依次发育平原河流相、三角洲相以及滨、浅海相,陆坡以半深海相为主。第四纪时期陆架总体为滨浅海相,陆坡总的沉积环境为浅海—半深海相,南部为深海平原相。

### 3.2.2 南海南部新生界

南海南部新生界全区普遍发育,沉积厚度大,各盆地沉积各有差异。曾母盆地主体呈EW向展布,新生代沉积厚度巨大,古新统一始新统为一

套深水碎屑岩沉积,上始新统一中中新统,厚度为3000~10000 m,是盆地烃源岩、储层和圈闭发育的主要层段。上中新统一第四系,三角洲、浅海、半深海沉积体系发育,厚度变化大。南薇西盆地和北康盆地都位于南沙中部海域,两盆地呈北东向展布,明显可划分成上、中、下3大构造层。下构造层为盆地裂陷初期阶段的产物,沉积物以粗碎屑物混杂堆积为主,沉积厚度为2000~3000 m。中构造层下中新统一中中新统沉积环境以海相浅海—半深海为主,沉积厚度2000~6000 m。上构造层为盆地的区域盖层,在南薇西盆地沉积厚度在50~500 m,在北康盆地厚度在500~4000 m。南沙海槽盆地NE走向,发育古新世—第四纪海相沉积物。南沙海域中西部部分盆地中中新世末期受万安运动影响,地层发生大面积褶皱变形。盆地东南部发育由东南向西北逆冲的逆冲推覆体,在推覆体附近沉积厚度明显加大。古新世—始新世地层为早期沉积物快



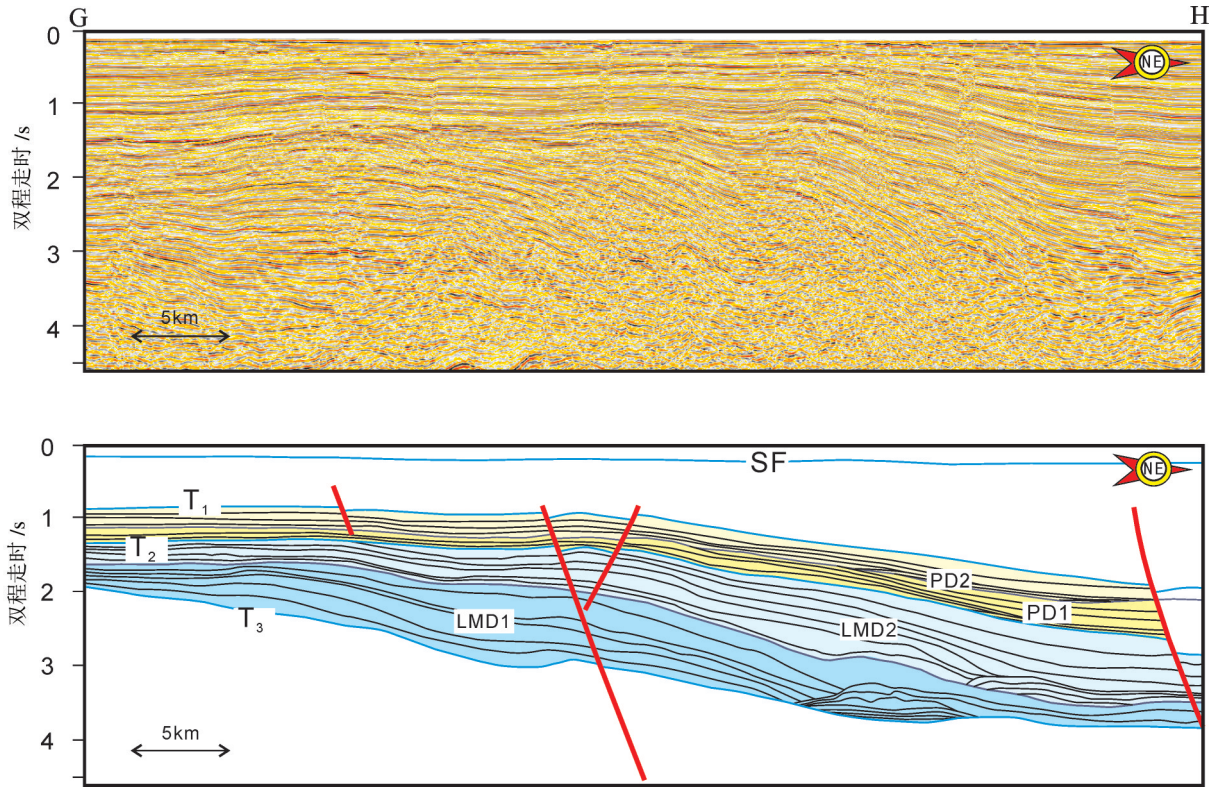


图5 曾母盆地陆架三角洲模式图(剖面位置见图GH)

Fig.5 Schematic diagram of the continental shelf delta in Zengmu Basin(see Fig. 1 for its location)

速堆积的结果,厚度为3000~6000 m;晚始新世—中中新世形成的地层,呈充填状“添平补齐”于下构造层之上,厚度1000~3000 m;晚中新世—第四纪地层,厚度从北到南逐渐加厚,厚度2000~6000 m。西

北巴拉望地块与礼乐地块是连贯的大陆碎块,基底为陆壳。海上CDL-1井中,上始新统与白垩系呈不整合接触,其沉积环境为内浅海环境。在Nido-1井中,晚始新世地层为黑灰色黏土岩、粉砂岩和极细

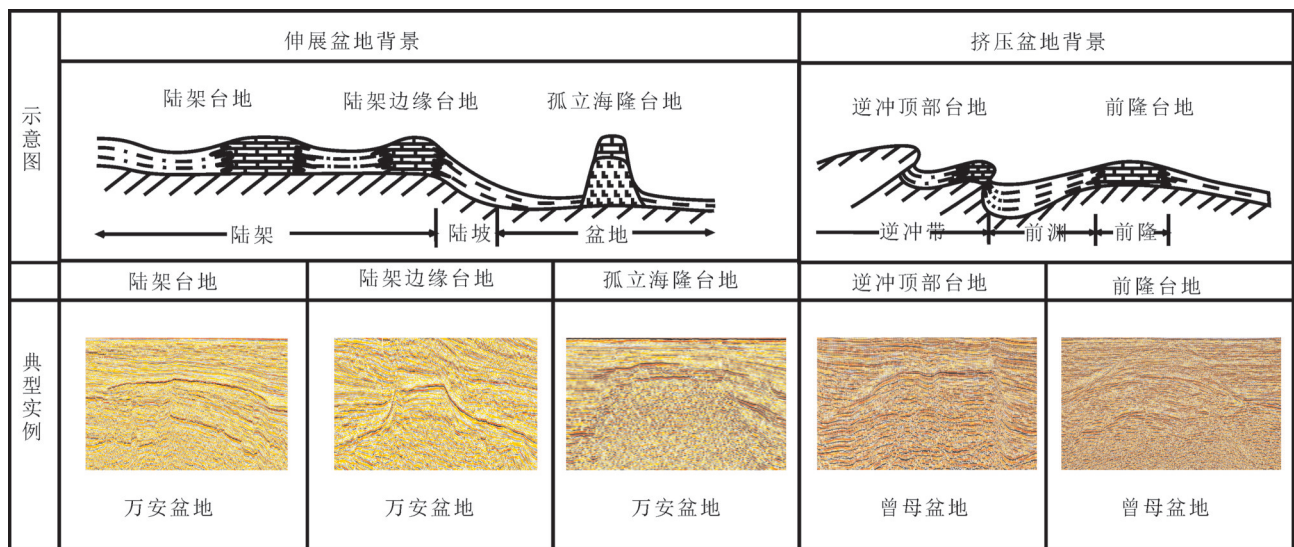


图6 碳酸盐岩台地分类及典型实例

Fig. 6 Classification and typical examples of carbonate platform

一中粒砂岩。在Penascosa-1井层序中包括上部页岩段,中部致密白云岩段和底部弱胶结燧石角砾,其沉积环境类似内浅海。渐新统一下中新统尼多灰岩与上始新统不整合接触。渐新统一中中新统帕加萨组整合于尼多组之上,由厚层浅海一半深海泥岩,夹少量浊积粉砂岩和砂岩组成。下中新统一中中新统为页岩和黏土岩,夹少量粉砂岩与砂岩,厚度大,属浅海相一半深海相沉积,与下伏下中新统碳酸盐岩呈整合接触。

南海南部盆地新生代各层序发育多种沉积体系,沉积相类型丰富、多变,但很有规律。受周缘古陆和南海扩张的控制,以及断裂等区域构造运动和相对海平面变化的影响,南海南部发育2种主要的沉积模式:陆架三角洲一半深海—深海—浊积扇模式和碳酸盐台地—生物礁模式。

陆架三角洲一半深海—深海—浊积扇模式(图5)中,沉积相带的展布及沉积模式的形成均受控于周缘古陆和构造活动的沉积响应。以盆地边缘最为显著,围绕盆地周缘都以发育陆架边缘三角洲沉积体系为主,各扇状沉积体系的平面展布格局,呈侧向连续叠置的朵状,随水深逐渐加大,过渡为海域相连通的浅海一半深海沉积区,朵体前端延伸远区发育有浊积砂体,包括斜坡扇、滑塌扇、海底扇,主要位于海盆深水区,与水下扇主体不相连。

碳酸盐台地—生物礁模式是南海海底扩张以来,南海南部共轭大陆边缘发育的一大特色沉积充填模式(Holloway, 1982; Franke et al., 2008)。南海南部曾母盆地和万安盆地是全球碳酸盐台地和生物礁发育的典型地区(图6)。如图6所示,伸展背景下主要发育陆架台地、陆架边缘台地以及孤立海隆台地3种类型。挤压背景下主要发育逆冲顶部台地和前隆台地2种类型。这些台地类型反映了当时所处的构造位置,气候环境以及海平面的变化。渐新世早期,南海南部开始发育碳酸盐岩沉积,在中中新世—晚中新世达到鼎盛。南海南部早中新世以来沉积了大量的生物礁和碳酸盐台地(邱燕和王英民, 2001; Lu et al., 2013),目前在曾母和万安盆地中新统一上新统的碳酸盐岩中发现了许多大型油气田(杨楚鹏等, 2014)。此外,钻井资料揭示,礼乐盆地碳酸盐台地自晚渐新世开始发育,陆架碳酸盐岩和礁灰岩总厚度超过2100 m,面积为30000 km<sup>2</sup>(孙

龙涛等, 2008)。

## 4 中—新生代地层发育特征对油气成藏的控制作用

南海是在34~32 Ma由NNE向断裂体系的右行右阶走滑拉分和古南海俯冲拖曳的联合作用下打开(王鹏程等, 2017),南海打开之前南海南北陆缘地层和油气成藏特征具有一致性,但南海打开之后,礼乐—巴拉望地块后缘陆壳伸展,西南次海盆打开,南海南北因构造环境差异使得地层发育特征各有不同。总体呈现东早西晚,南早北晚的特点。多年油气勘探也表明,南海南—北陆缘盆地主力烃源岩类型各不相同,北部离散型陆缘盆地以湖相烃源岩为主,而南部伸展—挠曲复合型陆缘盆地以海陆过渡相和海相烃源岩为主(解习农等, 2011)。

笔者在系统收集、梳理、分析、整合历年在南海海域进行的油气调查取得的成果资料的基础上,进行了南海典型含油气盆地的系统性对比研究(图7)。按盆地类型将盆地划分为离散型陆缘盆地、走滑—伸展型陆缘盆地以及伸展—挠曲复合型陆缘盆地。新生代地层在各大盆地中广泛分布,中生代地层只在台西南盆地、珠江口盆地以及礼乐盆地中分布。通过烃源岩、储集层和盖层的对比研究来分析地层发育特征对油气成藏的控制作用。

### 4.1 中—新生代地层发育特征对烃源岩的控制

#### 4.1.1 中生界烃源岩

根据钻井、地震资料综合解释,以及陆海对比结果分析,南海中生界发育3大类主力烃源岩(朱伟林, 2008):一类是稳定的浅海一半深海海相泥岩烃源岩沉积,以早—中侏罗世烃源岩为代表;第二类是滨浅海—海陆过渡相(滨岸沼泽)泥质烃源岩,以晚三叠世和晚侏罗世烃源岩为代表;第三类是陆相—滨海相泥岩烃源岩,以白垩系为代表。3套烃源岩的分布具有明显的分带性。

根据鲁宝亮(2014)收集整理的南海中生界陆区与海区的烃源岩参数(表2)可知,中生界烃源岩的热演化程度相对较高,这可能是由于烃源岩的热演化与西太平洋构造域岩石圈减薄以及岩浆活动有关。潮汕坳陷白垩系和侏罗系的烃源岩 $R_o$ 都大于2,烃源岩就达到了高成熟阶段,这表明侏罗—白垩系页岩处于成熟至高成熟阶段,以生气为主。而且



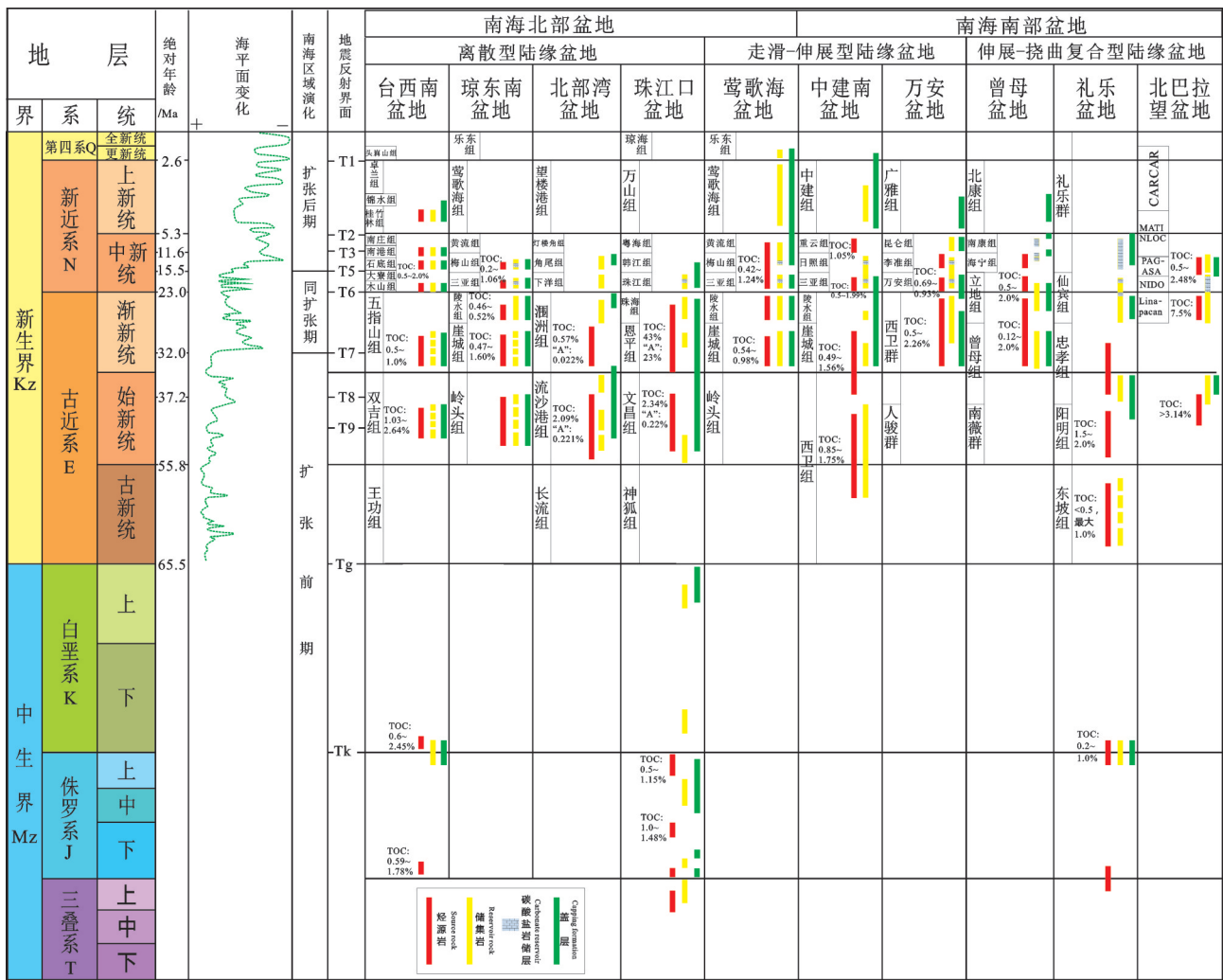


图7 南海北部、西部、南部及东部岛坡诸盆地生储盖条件及对比

Fig. 7 Conditions and comparison of source-reservoir-cap in the basins of the northern, western, southern and eastern islands of the South China Sea

台西南盆地有机质的热演化程度东部明显高于西部,这可能与东部沉积厚度大、埋藏深有关;南海南部南沙海域礼乐盆地S-1和K-1井钻遇的中生代烃源岩热演化程度整体较低,3400 m 以下的中生代烃源岩仍处于低熟—成熟阶段(图7),这可能有两方面的原因,一方面,礼乐盆地位于南沙克拉通地块之上,可能处于相对较冷的地壳岩石圈上;另一方面,在礼乐台地之上发育的碳酸盐岩容易产生裂缝,海水进入裂缝会使得当时的地温场温度偏低,使得烃源岩热演化较低(刘宝明等,2011)。

4.1.2 新生界烃源岩

南海北部新生代盆地大多具有下断上坳、下陆上海的双层或三层盆地结构特征,但不同类型盆地

断坳双层结构及其演化特点存在明显差异,因而发育了不同的富烃凹陷类型及油气运聚富集。

南海北部湾盆地、琼东南盆地北部及珠江口盆地北部等陆架浅水区均沿华南大陆边缘分布,其基本上属于以古近系陆相断陷为主的断坳双层盆地结构类型,加之较低的地温梯度,以及成烃演化的时空耦合配置,决定了该区古近系断陷时期中深湖相烃源岩及海陆过渡相煤系烃源岩热演化生烃以液态烃为主。

莺歌海盆地和琼东南盆地南部深水区及珠江口盆地南部深水区远离华南陆缘,其地壳厚度较薄,地壳性质属减薄型陆壳—洋陆过渡型地壳,所以热流值和地温梯度普遍较高。其中,莺歌海盆地



表2 南海及邻区中生代沉积岩生烃参数(鲁宝亮等, 2014)

Table 2 Hydrocarbon generation parameters of Mesozoic sedimentary rocks in the South China Sea and adjacent areas (after Lu Baoliang et al., 2014)

层位	地区	沉积岩相	TOC/%	Ro/%	干酪根类型
	广东陆区	陆相	0.7~1.0	0.92	III型为主, 少量II2型
	香港坪洲岛	陆相—滨海相	0.88~4.26	1.11	
白垩系	台西南盆地	滨海相	0.60~0.95, 最大2.5	0.6~1.0	III
	潮汕坳陷	河流—湖泊相	0.05~0.54	>2.0	III型为主, 少量II2型
	礼乐盆地	浅海相	1.5~2.0	1.0~2.5	III
侏罗系	广东陆区	滨浅海相	0.5~2.0	2.69~3.75	III
	潮汕坳陷	滨浅海相	0.50~1.48	>2.0	III型为主, 少量II2型
	台西南盆地	滨浅海相	0.6~1.8	1.00~1.38	III
三叠系	广东陆区	滨浅海相	0.35~6.75	1.11~1.59	III
	民都洛岛	浅海—半深海		0.54~0.88	III
	礼乐盆地	滨浅海相		1.0~2.5	III

虽然离陆缘区较近,但由于其属于走滑伸展晚期快速沉降型盆地,地壳薄(减薄型陆壳)且新近系及第四系海相坳陷沉积规模巨大,而早期的古近系陆相断陷沉积规模相对较小,属于以海相坳陷沉积为主的断坳双层盆地结构。且泥底辟及其热流体上侵活动强烈,进而导致深部中新统地层普遍具有高温、超压特点。因此,该区油气生成受到新近系巨厚海相坳陷沉积形成的中新统偏腐殖型烃源岩和地层高温、超压的控制(解习农等,1999;何家雄等,2008,2010;鄢伟等,2018)。

南海南部海域沉积盆地普遍发育3套烃源岩,且以上渐新统一中中新统为主。古新统一下渐新统烃源岩主要为一套滨海、浅海相沉积的砂泥岩,局部为三角洲—滨海和海湾—潟湖相沉积的泥岩。据地震速度资料推算,该层段泥质岩厚度0~3140 m,主要分布在南部的礼乐盆地和西部中建南盆地内,具有南厚北薄、西厚东薄的特点(骆帅兵等,2020)。据礼乐盆地钻井揭示,这套地层中的暗色泥质岩,TOC含量为0.12%~2.0%(图7)。上渐新一中中新统烃源岩主要为一套浅海—半深海相泥岩和浅海碳酸盐岩—碎屑岩。根据地震速度资料推算,多数地区泥质岩厚度为0~3700 m。宏观上,该套地层除局部缺失外均有分布,与古新统一下渐新统泥质岩变化规律具有相同的特点。据西纳土纳盆地和北巴拉望盆地钻井资料,其TOC含量分别为0.5%~2.0%和0.33%~2.48%;万安盆地和曾母盆地的TOC含量分别为0.5%~2.26%和0.12%~2.0%,具有较好的生烃潜力(图7)。上中新统一上新统烃源

岩主要为浅海—半深海相和浅海相泥岩,局部为火山碎屑岩沉积。据地震速度资料计算,这一层段泥质岩厚度190~5300 m,平均厚度1860 m。目前对这套烃源岩钻井资料较少,研究程度较低。

总体来看,由于南海打开使得南海南北地层发育各有不同。南海北部陆缘盆地形成较好的湖相烃源岩,但由于这些彼此分割的湖泊面积不大,沉积厚度有限,因此其沉积的烃源岩体积不大,产生的油气资源量有限;而在南海南部,除万安盆地为走滑—伸展盆地外,曾母盆地是伸展—挠曲复合盆地,这些盆地从形成之初就开始广泛接收比较封闭环境的海相沉积,始新统和渐新统以及下中新统均发育有海陆过渡相和海相烃源岩,形成的烃源岩面积和厚度均较大,所以南海南部陆缘盆地形成的烃源岩体积比北部沉积盆地大得多,从而为大型油气田的形成提供充足的烃源岩条件。

## 4.2 中—新生代地层发育特征对储集层的控制

### 4.2.1 古地貌对储集体的控制

南海大陆边缘盆地从古近系到新近系大都经历了2次沉积环境的突变,分别为从陆相湖盆向浅海相突变和从浅海相向深海相的突变,沉积充填演化具有明显的阶段性,这种沉积环境的突变,主要受控于陆缘盆地构造演化阶段以及不同陆缘盆地所处的古地理位置(解习农等,2011)。以南海边缘海盆地珠江口盆地珠三坳陷为例,由于不同时期构造活动的差异,古地貌的控制作用也不同。如图8所示,图8a和图8b中阳江低凸起和琼海低凸起是坳陷北部重要的古隆起。古隆起一方面阻挡了来自

北部的物源进入坳陷深部沉积,另一方面古隆起自身的暴露剥蚀为周围提供了物源。图8a中,阳江古隆起为地垒型古隆起,两侧通过断裂与周缘地形分隔,具有较大的古落差,阳江古隆起的暴露剥蚀为周缘提供了大量的物源,在坡下两侧快速堆积形成扇三角洲沉积。图8b中,琼海低凸起为单断型的古隆起,北部受断裂控制,古落差和坡度都较大,古隆起剥蚀提供的物源快速堆积形成扇三角洲,南部由于坡度缓,有宽阔的过渡区,发育粗粒辫状河三角洲(姜华,2008)。

#### 4.2.2 古水系对碎屑岩储集体分布的控制

南海北部大陆边缘三角洲体系和深水浊积体系长期以来受珠江水系和红河水系的物源供给(龚再升等,1997)。以往的勘探研究表明,来自珠江水系的物源在白云凹陷陆架边缘形成了一套陆架边缘三角洲沉积体系,来自红河水系的物源在琼东南盆地形成中央水道砂体(朱伟林等,2008)。南海南部由于被中南半岛、婆罗洲、菲律宾岛弧等多个大

陆和岛屿围绕,古近纪以来接受古湄公河水系和婆罗洲古水系的大量陆源碎屑供给,发育多个大型陆架-陆坡三角洲沉积体系,为油气成藏提供了丰富的储集空间。

#### (1) 珠江水系

大量的钻井和三维地震资料的综合解释分析发现了渐新世—中新世白云凹陷陆架边缘三角洲沉积体系。珠江水系携带大规模的沉积物,为南海北部珠江口盆地白云凹陷陆架边缘三角洲沉积体系提供了大量物源(图9)。在渐新世,珠江水系途经白云凹陷陆架边缘,以三角洲前缘沉积为主,而在陆架断阶坡折的位置,沉积物以S型不断向陆坡生长;在中新世,从外陆架到上陆坡,沉积特征发生改变,陆架边缘三角洲前缘沉积体在白云凹陷内形成三角洲前缘,包括分流水道和砂坝,而其在陆架-陆坡峡谷水道,由于三角洲前缘滑塌,重力流搬运,形成舌状重力流扇体(朱伟林等,2012)。该陆架边缘三角洲沉积体系是深水大型优质储集体,具有重

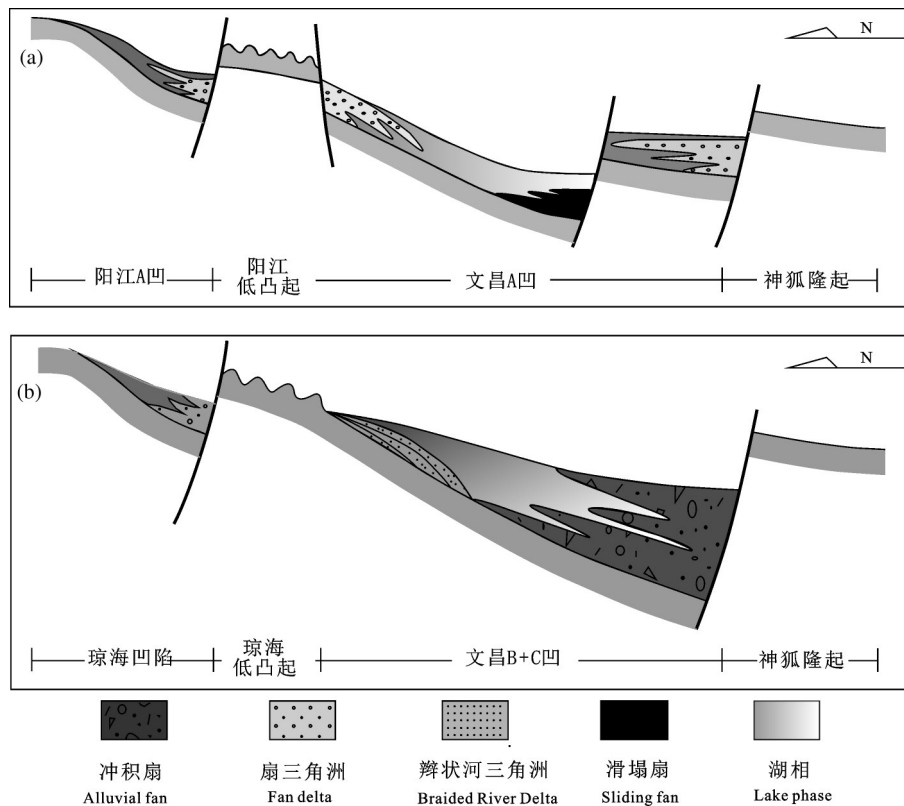


图8 珠江口盆地珠三坳陷裂陷期古地貌与沉积体系模式(据姜华等,2008)

Fig. 8 Paleogeomorphology and sedimentary system model during the rifting period of the Zhusan depression in the Pearl River Mouth Basin (after Jiang Hua et al., 2008)

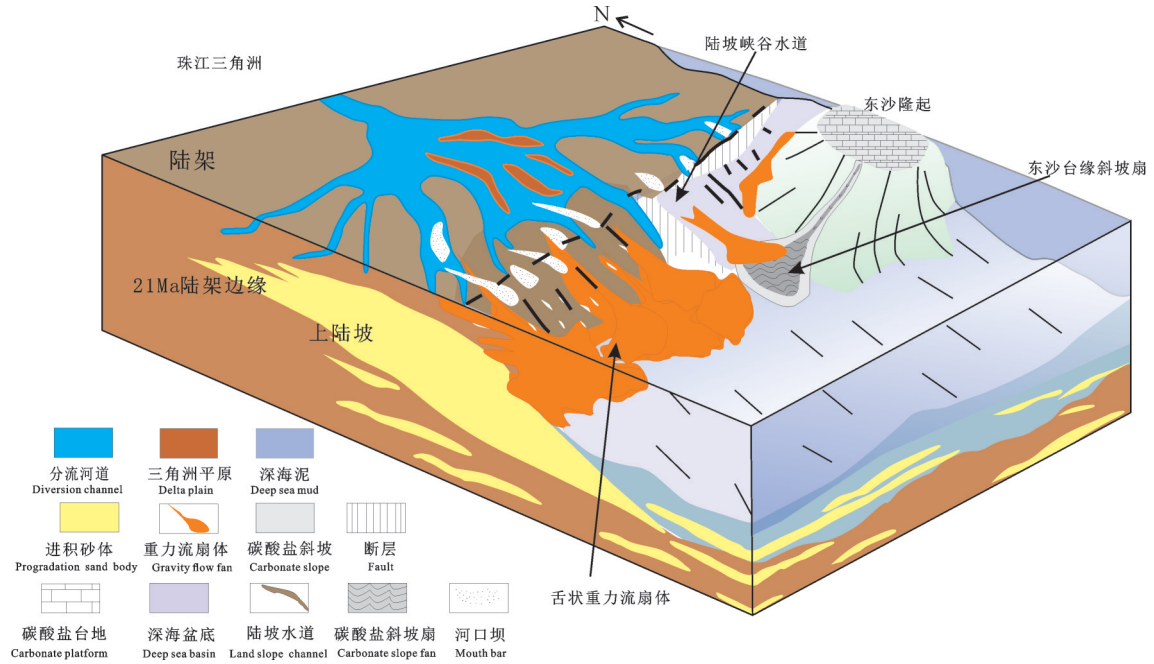


图9 珠江口盆地白云凹陷陆架边缘三角洲沉积模式(据朱伟林,2012)

Fig.9 Delta sedimentary model of the margin of the continental shelf in Baiyun sag, Pearl River Mouth Basin (after Zhu Weilin, 2012)

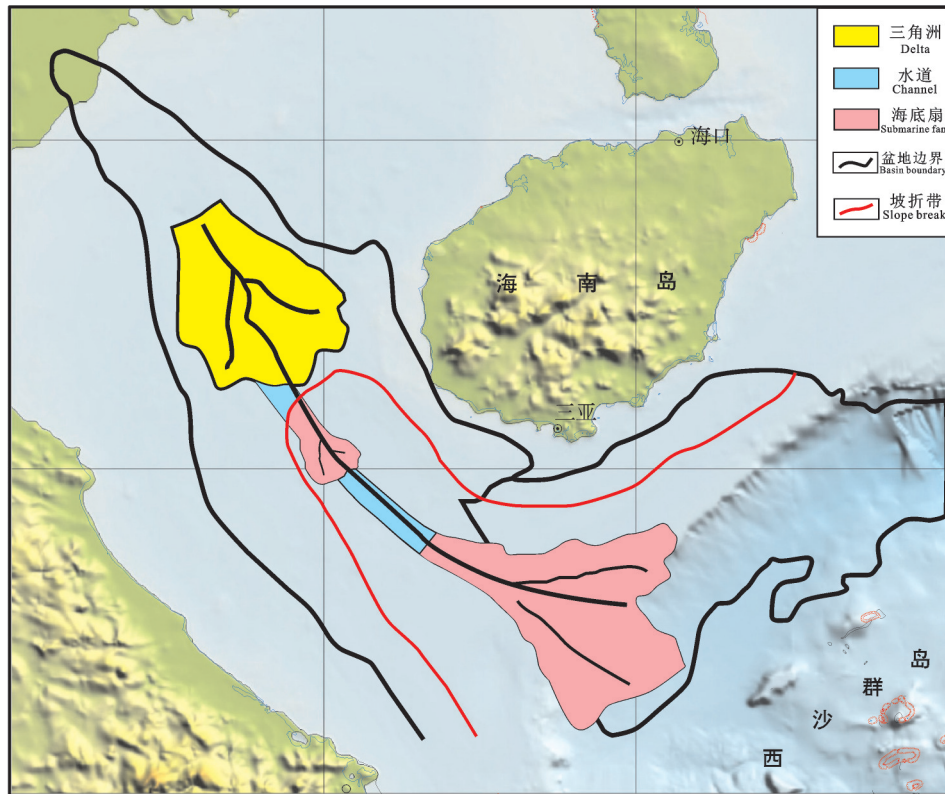


图10 红河沉积体系平面展布(据王英明,2011)

Fig. 10 Plane distribution of the Honghe sedimentary system (after Wang Yingming, 2011)



要的勘探潜力。

#### (2) 红河水系

红河水系为南海北部大陆边缘西侧莺歌海盆地提供了大量物源。南海西北部的莺歌海盆地和琼东南盆地的结合处存在一个主要发育于晚中新世(黄流期)的大型红河海底扇,扇体整体呈北西向展布。王英民等(2011)认为在晚中新世黄流期(10.5~5.5 Ma)该海底扇的规模达到最大,面积达上万平方米,最厚可达 2000 m,该海底扇的沉积物主要来自红河水系,且其与红河三角洲以及相关的海底峡谷共同构成了红河沉积体系;上新世以来,红河海底扇逐渐转化为琼东南盆地内长达数百千米的中央峡谷(图 10)。2010 年底,在琼东南盆地深水区的中央峡谷水道钻探了陵水 22-1 构造,并发现了近 60 m 的气层,储层物性条件好(朱伟林等,2012)。

#### (3) 古涓公河水系

万安盆地与涓公盆地被昆嵩隆起分隔,中中新世之前,由于昆嵩隆起阻挡,涓公河水系对万安盆地的影响很小,盆地主要接受隆起区的近源碎屑物,发育扇三角洲和冲积平原等陆相沉积。早中新世以后,由于断裂使得古涓公河水系得以途径昆嵩隆起进入万安盆地,发育三角洲沉积体系(邱燕,1996)。晚中新世以来,涓公河水系携带大量的陆源碎屑越过昆嵩隆起,持续进积,形成一套进积反旋回地层,分析认为这与青藏高原新生代隆升事件密切相关(吴冬等,2014)。万安盆地三角洲砂体主要发育于渐新统上部和下中新统,分布于盆地西部,尤以西北断阶—北部隆起西部—西南斜坡一带最为发育。三角洲沉积在地震反射剖面上,表现为变振幅,中连续地震相和强振幅,中连续地震相,具亚平行结构,楔状外形(图 11)。三角洲分流河道砂体与烃源岩互层,是有利的自生自储型油气聚集带(刘伯土等,2002)。

#### (4) 婆罗洲古水系

婆罗洲自西向东发育卢帕尔河、拉让河和巴兰河 3 条水系。3 条水系往北延伸,其中卢帕尔河和拉让河注入曾母盆地,与北巽他河联合控制曾母盆地康西坳陷的大型陆架—陆坡三角洲的发育(杨楚鹏等,2010),巴兰河注入文莱—沙巴盆地,形成了巴兰三角洲。

南海区域地质构造演化极大地影响了婆罗洲

古水系的形成与演化。晚始新世—中中新世古南海不断向南俯冲,在婆罗洲北部形成前陆盆地(曾母盆地和文莱—沙巴盆地),碰撞同时形成了拉差—克拉克褶皱冲断带(Tongkul, 1994),冲断带隆升进而遭受剥蚀,形成 3 条古水系。往南形成马哈坎河,注入库太盆地形成中新统三角洲砂岩储集层;往北注入南海南部海域的 2 条古水系中,拉让河切过巴林坚组富泥的 Belaga 组层在曾母盆地康西坳陷形成大型陆架—陆坡三角洲(图 5),埋深较深,泥质含量较高,具有多套叠置发育的优质油气成藏组合(图 7)。另一条巴兰河,在文莱—沙巴盆地形成多期次大型三角洲,其自下而上发育 3 期三角洲,分别为古近纪的梅丽干(Meligan)三角洲、中新世的冠军(Champion)三角洲和上新世的巴兰(Baram)三角洲(图 12)。3 期三角洲继承性发育,纵向叠置,成藏条件优越(Hutchison, 2004)。

#### 4.2.3 相对海平面变化对碳酸盐岩储层的控制

海平面变化与全球环境的演变息息相关,广泛分布于地球表面的海洋面积和体积时刻在发生着变化,从而引起海平面出现波动性升降。海平面变化主要受构造运动引起的海—陆格局变化、全球性气候变化事件以及相应的生物演变等全球性事件的影响。也可能受到地球轨道参数变化引起的高纬度地区冰盖体积变化与低纬度季风演化引起的大洋碳储库变化等因素的共同影响(李文宝, 2014)。

南海新生界海平面变化见图 7 所示,南海南部在中中新世—晚中新世(5.3~16 Ma)期间,发育了 3 期较大规模的碳酸盐岩沉积旋回,每一次沉积旋回发育的碳酸盐岩都包含了 3 个基本的碳酸盐岩发育阶段:生长期、阻滞期和补偿期,并且都是由海进和海退沉积序列组成(Ali and Abolins, 1999)。生长期对应相对海平面的上升或者下降时期,是碳酸盐岩台地发育的黄金时期,礁体快速发育,沉积的碳酸盐岩岩性较纯;阻滞期对应最大的海泛时期,由于水体较深,不利于造礁生物的生长,因此碳酸盐岩沉积非常缓慢,甚至停滞生长;补偿期对应相对海平面下降的最后时期,当海平面下降到最低点时,礁体出露水面遭受风化剥蚀,碳酸盐岩也终止发育(图 6)(杨楚鹏等,2014)。以曾母盆地中中新世碳酸盐岩的发育特征为例,中中新世为曾母盆地碳酸

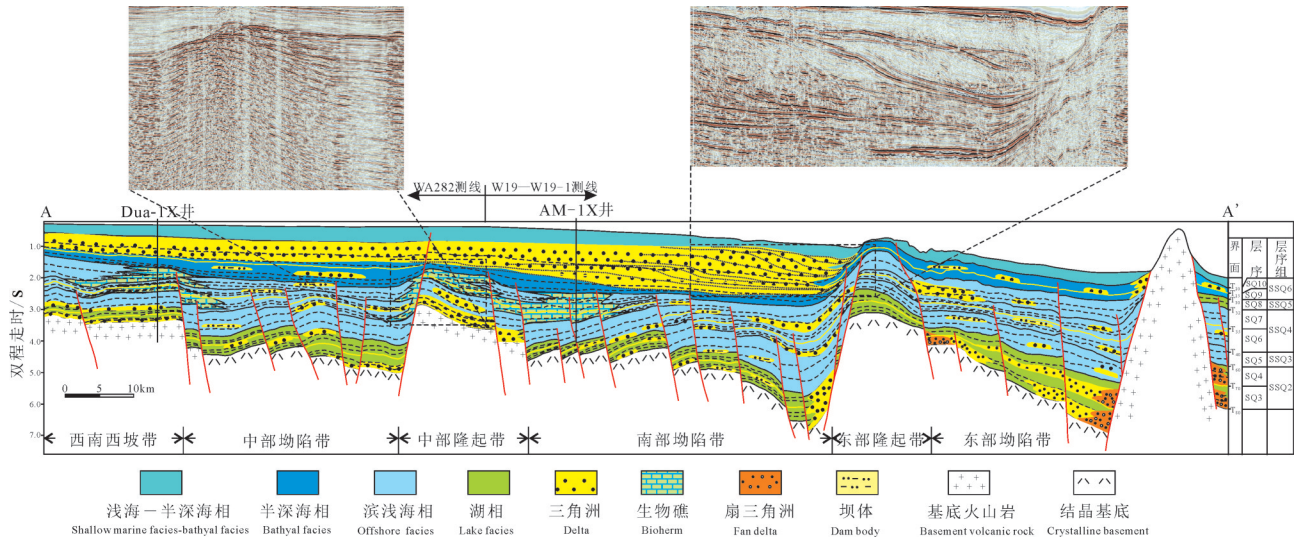


图 11 万安盆地层序充填格架及岩性地层圈闭分布(据杨楚鹏等, 2011)

Fig. 11 Sequence packing grid and lithologic stratigraphic trap distribution in Wan'an Basin (after Yang Chupeng et al., 2011)

盐岩台地主要的发育期,该时期沉积的碳酸盐岩地层厚度大范围广,到了晚中新世则主要发育台地边缘生物礁。

### 4.3 中—新生代地层中的有利成藏组合特征

南海北部新生界主要呈“下生、中储、上盖”成藏组合特征,烃源岩主要为新南海扩张前始新世湖相烃源岩和早渐新世海陆过渡相烃源岩,另外,渐新统内部也存在“下生上储”或“自生自储”储盖组合;南海南部烃源岩形成于渐新统一下中新统海陆过渡相烃源岩,主要是以“自生自储”式储盖组合为主。

南海扩张形成的深水盆地深水水道深水扇砂岩储层、碳酸盐岩储层的发育提供了有利条件。古近纪以来接受大量陆源碎屑供给,发育多个大型陆架-陆坡三角洲沉积体系,为油气成藏提供了丰

富的储集空间,中新世海平面变化使得碳酸盐岩储层极为发育,在南海北部陆架区和南海西部南部均发现了大型碳酸盐岩油气藏。

南海中生代海相沉积岩具有较好的生、储、盖配置关系。古南海中生界为海相到海陆过渡相碎屑岩,局部发育有碳酸盐岩,多套砂泥岩互层发育,泥岩不仅可以做生油层还可以做盖层,砂岩作储层,构成自生自储型油气藏,如礼乐滩盆地。含油气系统和成藏模拟结果表明,中生代主要构造圈闭形成于烃源岩的生烃高峰期(125~80 Ma和20 Ma至今)之前,主要形成于中—晚侏罗世的燕山运动时期(190~110 Ma),因此,油气生成、运移与聚集具有很好的匹配关系(魏喜等,2005)。并且,新生代地层大多覆盖于中生代的海相沉积岩之上,可以

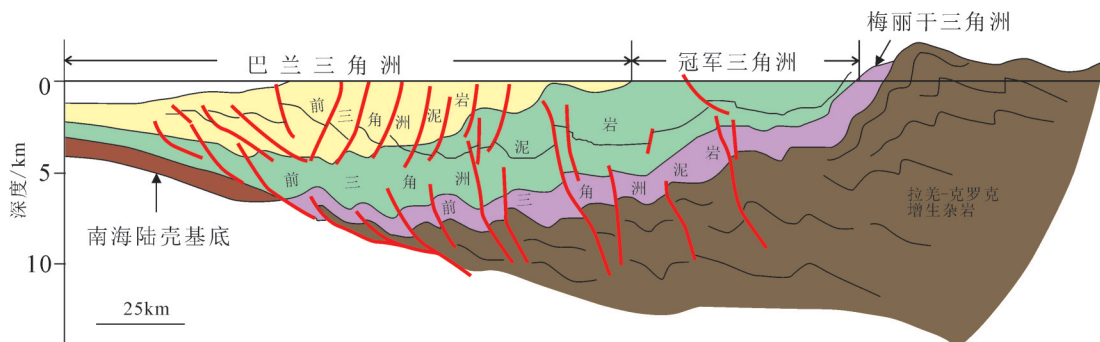


图 12 南海南部文莱—沙巴盆地三角洲演化模式图(据雷志斌等, 2016)

Fig. 12 Delta evolution pattern of the Brunei-Sabah basin in the southern South China Sea (after Lei Zhibin et al., 2016)

作为中生界储层的油源和封盖层,形成新生古储型油气藏。而白垩纪生油岩成熟较晚,目前仍处于生烃高峰期,其生成的烃类可以运移到上覆砂岩或碳酸盐储集层中,形成古生新储型油气藏(张莉等,2003)。

总的来说,南海海域中—新生界可形成3种类型的有利生储盖组合,分别为自生自储型、古生新储型和新生古储型。中生界自生自储型主要为上三叠统一侏罗系广泛发育的海相烃源岩——晚三叠世发育的低位扇、扇三角洲、浊积砂体和海进期的沿岸砂体储集体系—侏罗系内部泥岩盖层构成。新生界自生自储型主要为新南海扩张前始新世湖相烃源岩、早渐新世海陆过渡相烃源岩——渐新统一中新统各类型砂岩储层、中新世碳酸盐岩储层—中新世浅海、半深海相泥岩构成。古生新储型储盖组合主要为侏罗系海相烃源岩——白垩系强制海退形成的三角洲、深水扇储层—上白垩统和新生界海相泥岩盖层构成的。新生古储型储盖组合主要为始新统一渐新统烃源岩——石炭系碳酸盐岩储层—新生界海相泥岩盖层构成的。

## 5 结 论

(1)南海新生代地层全盆发育,烃源岩主要为新南海扩张前始新世湖相烃源岩和早渐新世海陆过渡相烃源岩,早新生代以来的古地貌控制了深水峡谷、深海扇、扇三角洲沉积体系,古近纪以来的古水系控制了大型碎屑岩储集体的分布,区域构造运动和海平面变化控制了中新世碳酸盐岩油气藏的发育。

(2)南海打开过程中对古南海沉积地层的改造奠定了南海中生界油气赋存基础,多套优良的烃源岩的发育是中生界油气资源赋存的物质保障,中—新生界多套生、储、盖要素的时空有机匹配为形成油气藏提供了有利条件。推测发育“自生自储”、“新生古储”、“古生新储”3套中—新生界油气成藏模式。

## References

Ali M Y B, Abolins P. 1999. Chapter 15: Central Luconia Province. In: *The Petroleum Geology and Resources of Malaysia*[M]. Petronas, 369–392.

Franke D, Barckhausen U, Heyde I, Tingay, M, Ramli, N. 2008.

Seismic images of a collision zone offshore NW Sabah/Borneo[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 25(7): 0–624.

Hao Fang, Zou Huayao, Yang Xusheng, Wang Minfang. 2003. Episodic petroleum accumulation, its driving mechanisms and distinguishing markers[J]. *Chinese Journal of Geology*, 38(3): 403–412 (in Chinese with English abstract).

He Jiaxiong, Chen Shenghong, Liu Hailing, Wan Zhifeng. 2008. Geological characteristics and the law of formation of Hydrocarbon migration on accumulation Northern South China Sea[J]. *Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition)*, 30(5): 46–52 (in Chinese with English abstract).

He Jiaxiong, Yan Wen, Ma Wenhong, Zhu Youhai, Chen Shenghong, Gong Xiaofeng. 2010. Analogy of oil and gas geology between Quasi-passive margin of Northern South China Sea and global oil and gas enriched Areas in deep water[J]. *Natural Gas Geoscience*, 21(6): 897–908, 995 (in Chinese with English abstract).

He Jiaxiong, Zhang Wei, Lu Zhenquan, Li Xiaotang. 2016. Petroleum system and favorable exploration directions of the main marginal basins in the northern South China Sea[J]. *Natural Gas Geoscience*, 27(6): 943–959 (in Chinese with English abstract).

Holloway N H. 1982. The north Palawan block, Philippines: Its relation to the Asian mainland and its role in the evolution of the South China Sea[J]. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 66(9) :1355–1383.

Hutchison C S. 2004. Marginal basin evolution: the southern South China Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 21(9):1129–1148.

Jiang Hua, Wang Hua, Xiao Jun, Chen Shaoping, Lin Zhengliang. 2008. Control of paleomorphology to sedimentary filling in marginal sea basin – by taking Zhu III Depression for example[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 30(1): 10–15,387 (in Chinese with English abstract).

Kudrass, H R, Wiedicke M, Cepek P, Kreuzer H, Müller P. 1986. Mesozoic and Cainozoic rocks dredged from the South China Sea (Reed Bank area) and Sulu Sea and their significance for plate-tectonic reconstructions[J]. *Marine & Petroleum Geology*, 3(1):19–30.

Lei Chao, Ren Jianye, Pei Jianxiang, Lin Haitao, Yin Xinyi, Tong Dianjun. 2011. Tectonic framework and multiple episode tectonic evolution in deepwater area of Qiongdongnan Basin, northern continental margin of South China Sea[J]. *Earth science Journal of China University of Geoscience*, 36(1): 151–162 (in Chinese with English abstract).

Lei Zhibin, Yang Minghui, Zhang Houhe, Liao Zongbao, Zhang Shaohua, Luo xiaohua. 2016. Tertiary delta evolution and related hydrocarbon accumulation in the Southern Nansha Area, South China Sea[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 21(4): 21–33 (in Chinese with English abstract).

Li Wenbao, Wang Rujian. 2014. Research of the mechanism of sea level change during the last 100 Ma[J]. *Marine Geology &*



- Quaternary Geology, 34(1): 117–127 (in Chinese with English abstract).
- Liu Baoming, Liu Hailing. 2011. The Mesozoic in the South China Sea and adjacent areas: new targets for hydrocarbon exploitation[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 31(2): 105–109 (in Chinese with English abstract).
- Liu Botu, Chen Changsheng. 2002. Analysis on the Cenozoic petroleum system in the Wanan Basin, Nansha area[J]. Petroleum Geology & Experiment, 24(2): 110–114 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhaoshu. 2000. Geotectonics and hydrocarbon resources in the South China Sea[J]. Quaternary Sciences, 20 (1): 69–77 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhenhu. 2005. Distribution of sedimentary basins and petroleum potential in southern South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenia, 29(3): 410–417 (in Chinese with English abstract).
- Lu Baoliang, Wang Pujun, Wu Jingfu, Li Wuzhi, Wang Wanyin, Lang Yuanqiang. 2014. Distribution of the Mesozoic in the continental margin basins of the South China Sea and its petroliferous significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 41(4): 497–503 (in Chinese with English abstract).
- Lu Baoliang, Wang Pujun, Wu Jingfu, Li Wuzhi, Wang Wanyin, Lang Yuanqiang. 2014. Distribution of the Mesozoic in the continental margin basins of the South China Sea and its petroliferous significance[J]. Petroleum Exploration and Development, 41(4): 497–503 (in Chinese with English abstract).
- Lu Baoliang, Wang Pujun, Zhang Gongcheng, Zhang bin, Sun Xiaomeng, Li Wuzhi, Lang Yuanqiang. 2011. Basement structures of an epicontinental basin in the northern South China Sea and their significance in petroleum prospect[J]. Acta Petrolei Sinica, 32 (4): 580–587 (in Chinese with English abstract).
- Lu Li, Clift P D, Nguyen H T. 2013. The sedimentary, magmatic and tectonic evolution of the southwestern South China Sea revealed by seismic stratigraphic analysis[J]. Marine Geophysical Research, 34 (3/4): 341–365.
- Luo Shuaibing, Zhang li, Zhou Jiangyu, Lei Zhenyu, Shuai Qingwei, Zhou Jiajia, Luo Wei. 2020. Study on the characteristics and development patterns of source rocks in Beikang basin, South China Sea[J]. Geology in China, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20200420.1404.html> (in Chinese with English abstract).
- Qiang Kunsheng, Zhang Guangxue, Zhang Li, Lü Baofeng, Zhong Guangjian, Feng Changmao, Yi Hai. 2018. Paleogeomorphic features and sedimentary facies model of Jurassic strata in Chaoshan sub-basin, northern South China Sea[J]. Geology in China, 45(6): 1251–1258 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Yan, Wang Yingmin. 2001. Reefs and paleostructure and paleoenvironment in the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 21(1): 65–67, 69–73 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Yan. 1996. The interpretation of Carbonate sequence stratigraphy in the Southwestern region of South China Sea[J]. Geological Research of South China Sea, 62–74 (in Chinese with English abstract).
- Qiu Yan. 2001. Tertiary reefs of the South China Seas and their oil-gas bearing characters[J]. Research of Geological South China Sea, 41–54 (in Chinese with English abstract).
- Ren Jianye. 2018. Genetic dynamics of China offshore Cenozoic basins[J]. Earth Science, 43(10): 3337–3361 (in Chinese with English abstract).
- Sun Longtao, Sun Zhen, Zhan Wenhuan, Liu Hailing, Fan Hao. 2010. Petroleum potential prediction of the Lile Basin in Nansha[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 35(1): 137–145 (in Chinese with English abstract).
- Sun Longtao, Sun Zhen, Zhou Di, Liu Hailing. 2008. Stratigraphic and structural characteristics of Lile Basin in Nansha area[J]. Geotectonica et Metallogenia, 32(2): 151–158 (in Chinese with English abstract).
- Tongkul F. 1994. The geology of Northern Sabah, Malaysia: its relationship to the opening of the South China Sea Basin[J]. Tectonophysics, 235(1/2): 131–147.
- Wang Pengcheng, Li Sanzhong, Guo Lingli, Zhao Shujuan, Li Xiyao, Wang Yongming, Hui Gege, Wang Qian. 2017. Opening of the South China Sea(SCS): A joint effect of dextral strike-slip pull-apart and proto-SCS slab pull[J]. Geoscience Frontiers, 24(4): 294–319 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yingmin, Xu Qiang, Li Dong, Han Jianhui, Lü Ming, Wang Yongfeng, Li Weiguo, Wang Hairong. 2011. Late Miocene Red River submarine fan, northwestern South China Sea[J]. Chinese Science Bulletin, 56(10): 781–787 (in Chinese).
- Wei Xi, Deng Jinfu, Xie Wenyan, Zhu Yongjun, Zhao Guochun, Li Yuxi, Chen Yihan. 2005. Constraints on biogenetic reef formation during evolution of the South China Sea and exploration potential analysis[J]. Geoscience Frontiers, 12(3): 245–252 (in Chinese with English abstract).
- Wu Dong, Zhu Xiaomin, Zhang Houhe, Zhu Mao, Zhao Dongna, Geng Mingyang, Li Wei, Liao Zongbao. 2014. Deposition characteristics and hydrocarbon distribution in medium and large basins of Nansha, South China Sea[J]. Journal of Palaeogeography, 16(5): 673–686 (in Chinese with English abstract).
- Wu Shimin, Zhou Di, Liu Hailing. 2004. Tectonic framework and evolutionary characteristics of Nansha block, South China Sea[J]. Geotectonica et Metallogenia, 28(1): 23–28 (in Chinese with English abstract).
- Xie Xinong, Li Sitian, Dong Weiliang, Zhang Minqiang, Yang Jihai. 1999. Trace marker of hot fluid flow and their geological implications—A case study of Yinggehai Basin[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 24(2): 75–80 (in Chinese with English abstract).

- Xie Xinong, Zhang Cheng, Ren Jianye, Yao Bochu, Wan Ling, Chen Hui, Kang Bo. 2011. Effects of distinct tectonic evolutions on hydrocarbon accumulation in northern and southern continental marginal basins of South China Sea[J]. Chinese Journal of Geophysics, 54(12): 3280–3291(in Chinese with English abstract).
- Yan Wei, Zhang Guangxue, Zhang Li, Xia Bin, Yang Zhen, Lei Zhenyu, Lin Zhen, Luo Shuaibing. 2018. Focused fluid flow systems and their implications for hydrocarbon accumulation on the southern margin of South China Sea[J]. Geology in China, 45(1): 39–47(in Chinese with English abstract).
- Yang Chupeng, Yao Yongjian, Li Xuejie, Chang Xiaohong. 2014. Sequence stratigraphy and sedimentary cycle of Miocene Carbonate buildups in Zengmu basin, the southern South China Sea[J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 39(1): 91–98(in Chinese with English abstract).
- Yang Chupeng, Yao Yongjian, Li Xuejie, Liao Zewen. 2010. Oil-generating potential of Cenozoic coal-measure source rocks in Zengmu Basin, the southern South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 31(6): 920–926(in Chinese with English abstract).
- Yang Chupeng, Yao Yongjian, Li Xuejie, Wan Ling, Han Bin, Wan Rong-sheng. 2011. Cenozoic sequence stratigraphy and lithostratigraphic traps in Wan'an Basin, the Southwestern South China Sea[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 36(5): 845–852(in Chinese with English abstract).
- Yao Bochu, Liu Zhenhu. 2006. Sedimentary basins and petroleum resources in Nansha offshore area, South China Sea[J]. China Offshore Oil And Gas, 18(3): 150–160(in Chinese with English abstract).
- Yao Bochu, Wan Ling, Liu Zhenhu. 2004. Tectonic dynamics of Cenozoic sedimentary basins and hydrocarbon resources in the South China Sea[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 29(5): 543–549(in Chinese with English abstract).
- Yao Yongjian, Jiang Yukun, Zeng Xianghui. 2002. Cenozoic tectonic movements in Nansha area, South China Sea[J]. China Offshore Oil And Gas(Geology), 16(2): 42–46, 53(in Chinese with English abstract).
- Zhang Gongcheng, Qu Hongjun, Zhang Fenglian, Chen Shuo, Yang Haizhang, Zhaozhao, Zhaochong. 2019. Major new discoveries of oil and gas in global deepwaters and enlightenment[J]. Acta Petrolei Sinica, 40(1): 1–34, 55(in Chinese with English abstract).
- Zhang Gongcheng, Xie Xiaojun, Wang Wanyin, Liu Shixiang, Wang Yibo, Dong Wei, Shen Huailei. 2013. Tectonic types of petroliferous basins and its exploration potential in the South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 34(4): 611–627(in Chinese with English abstract).
- Zhang Li, Li Wencheng, Zeng Xianghui. 2003. Stratigraphic Sequence and hydrocarbon potential in Lile basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 25(5): 469–472, 480(in Chinese with English abstract).
- Zhang Qiang, Lu Fuliang, He Xiaosu, Wang Bin, Sun Guozhong. 2018. Progress and enlightenment of oil and gas exploration in the South China Sea in recent five years[J]. China Petroleum Exploration, 23(1): 54–61(in Chinese with English abstract).
- Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Gaole. 2008. Geological characteristics and exploration objectives of hydrocarbons in the northern continental margin basin of South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 29(1): 1–9(in Chinese with English abstract).
- Zhu Weilin, Zhong Kai, Li Youchuan, Xu Qiang, Fang Dianyong. 2012. Characteristics of hydrocarbon accumulation and exploration potential of the northern South China Sea Deepwater Basins[J]. Chinese Science Bulletin, 57(20): 1833–1841(in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献

- 龚再升, 李思田, 谢泰俊. 1997. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 63–67.
- 郝芳, 邹华耀, 杨旭升, 王敏芳. 2003. 油气幕式成藏及其驱动机制和识别标志[J]. 地质科学, 38(3): 403–412.
- 何家雄, 陈胜红, 刘海龄, 万志峰. 2008. 南海北部边缘区域地质与油气运聚成藏规律[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 30(5): 46–52.
- 何家雄, 颜文, 马文宏, 祝有海, 陈胜红, 龚晓峰. 2010. 南海北部被动陆缘深水区油气地质及与世界深水油气富集区类比[J]. 天然气地球科学, 21(6): 897–908, 995.
- 何家雄, 张伟, 卢振权, 李晓唐. 2016. 南海北部大陆边缘主要盆地含油气系统及油气有利勘探方向[J]. 天然气地球科学, 27(6): 943–959.
- 姜华, 王华, 肖军, 陈少平, 林正良. 2008. 古地貌对边缘海盆地沉积充填特征的控制——以南海珠江口盆地珠三坳陷为例[J]. 石油天然气学报, 30(1): 10–15, 387.
- 解习农, 李思田, 董伟良, 张敏强, 杨计海. 1999. 热流体活动示踪标志及其地质意义——以莺歌海盆地为例[J]. 地球科学, 24(2): 75–80.
- 解习农, 张成, 任建业, 姚伯初, 万玲, 陈慧, 康波. 2011. 南海南北大陆边缘盆地构造演化差异性对油气成藏条件控制[J]. 地球物理学报, 54(12): 3280–3291.
- 雷超, 任建业, 裴健翔, 林海涛, 尹新义, 佟殿君. 2011. 琼东南盆地深水构造格局和幕式演化过程[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 36(1): 151–162.
- 雷志斌, 杨明慧, 张厚和, 廖宗宝, 张少华, 罗晓华. 2016. 南沙海域南部第三纪三角洲演化与油气聚集[J]. 海相油气地质, 21(4): 21–33.
- 李文宝, 王汝建. 2014. 近100 Ma以来海平面变化机制[J]. 海洋地质与第四纪地质, 34(1): 117–127.
- 刘宝明, 刘海龄. 2011. 南海及邻区中生界——新的油气勘探领域[J]. 海洋地质与第四纪地质, 31(2): 105–109.
- 刘伯土, 陈长胜. 2002. 南沙海域万安盆地新生界含油气系统分析[J]. 石油实验地质, 24(2): 110–114.
- 刘昭蜀. 2000. 南海地质构造与油气资源[J]. 第四纪研究, 20(1): 69–



- 77.
- 刘振湖. 2005. 南海南沙海域沉积盆地与油气分布[J]. 大地构造与成矿学, 29(3): 410-417.
- 鲁宝亮, 王璞珺, 吴景富, 李伍志, 王万银, 郎元强. 2014. 南海陆缘盆地中生界分布特征及其油气地质意义[J]. 石油勘探与开发, 41(4): 497-503.
- 鲁宝亮, 王璞珺, 张功成, 张斌, 孙晓猛, 李伍志, 郎元强. 2011. 南海北部陆缘盆地基底结构及其油气勘探意义[J]. 石油学报, 32(4): 580-587.
- 骆帅兵, 张莉, 周江羽, 雷振宇, 帅庆伟, 周佳维, 罗威. 2020. 南海南部北康盆地烃源岩特征及发育模式探讨[J]. 中国地质, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.p.20200420.1404.html>.
- 强昆生, 张光学, 张莉, 吕宝凤, 钟广见, 冯常茂, 易海. 2018. 南海北部潮汕坳陷侏罗系古地貌特征及沉积相模式[J]. 中国地质, 45(6): 1251-1258.
- 邱燕, 王英民. 2001. 南海第三纪生物礁分布与古构造和古环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 21(1): 65-67, 69-73.
- 邱燕. 1996. 南海西南部主要盆地碳酸盐岩层序地层学解释[J]. 南海地质研究, 62-74.
- 邱燕. 2001. 南海第三纪生物礁及其含油性[J]. 南海地质研究, 41-54.
- 任建业. 2018. 中国近海海域新生代成盆动力机制分析[J]. 地球科学, 43(10): 3337-3361.
- 孙龙涛, 孙珍, 詹文欢, 刘海龄, 樊浩. 2010. 南沙海域礼乐盆地油气资源潜力[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 35(1): 137-145.
- 孙龙涛, 孙珍, 周蒂, 刘海龄. 2008. 南沙海区礼乐盆地沉积地层与构造特征分析[J]. 大地构造与成矿学, 32(2): 151-158.
- 王鹏程, 李三忠, 郭玲莉, 赵淑娟, 李玺瑶, 王永明, 惠格格, 王倩. 2017. 南海打开模式: 右行走滑拉分与古南海俯冲拖曳[J]. 地学前缘, 24(4): 294-319.
- 王英民, 徐强, 李冬, 韩建辉, 吕明, 王永凤, 李卫国, 王海荣. 2011. 南海西北部晚中新世的红河海底扇[J]. 科学通报, 56(10): 781-787.
- 魏喜, 邓晋福, 谢文彦, 祝永军, 赵国春, 李玉喜, 陈亦寒. 2005. 南海盆地演化对生物礁的控制及礁油气藏勘探潜力分析[J]. 地学前缘, 12(3): 245-252.
- 吴冬, 朱筱敏, 张厚和, 朱茂, 赵东娜, 耿名扬, 李维, 廖宗宝. 2014. 中国南沙海域大中型盆地沉积特征与油气分布[J]. 古地理学报, 16(5): 673-686.
- 吴世敏, 周蒂, 刘海龄. 2004. 南沙地块构造格局及其演化特征[J]. 大地构造与成矿学, (1): 23-28.
- 鄢伟, 张光学, 张莉, 夏斌, 杨振, 雷振宇, 林珍, 钱星, 骆帅兵. 2018. 南海南部陆缘地质流体类型及其油气成藏意义[J]. 中国地质, 45(1): 39-47.
- 杨楚鹏, 姚永坚, 李学杰, 常晓红. 2014. 南海南部曾母盆地中新世碳酸盐岩的层序地层[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 39(1): 91-98.
- 杨楚鹏, 姚永坚, 李学杰, 廖译文. 2010. 南海南部曾母盆地新生代系烃源岩生油条件[J]. 石油学报, 31(6): 920-926.
- 杨楚鹏, 姚永坚, 李学杰, 万玲, 韩冰, 万荣胜. 2011. 万安盆地新生代层序地层格架与岩性地层圈闭[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 36(5): 845-852.
- 姚伯初, 刘振湖. 2006. 南沙海域沉积盆地及油气资源分布[J]. 中国海上油气地质, 18(3): 150-160.
- 姚伯初, 万玲, 刘振湖. 2004. 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, 29(5): 543-549.
- 姚永坚, 姜玉坤, 曾祥辉. 2002. 南沙海域新生代构造运动特征[J]. 中国海上油气地质, 16(2): 42-46+53.
- 张功成, 屈红军, 张凤廉, 陈硕, 杨海长, 赵钊, 赵冲. 2019. 全球深水油气重大新发现及启示[J]. 石油学报, 40(1): 1-34, 55.
- 张功成, 谢晓军, 王万银, 刘世翔, 王一博, 董伟, 沈怀磊. 2013. 中国南海含油气盆地构造类型及勘探潜力[J]. 石油学报, 34(4): 611-627.
- 张莉, 李文成, 曾祥辉. 2003. 礼乐盆地地层发育特征及其与油气的关系[J]. 石油实验地质, (5): 469-472+480.
- 张强, 吕福亮, 贺晓苏, 王彬, 孙国忠. 2018. 南海近5年油气勘探进展与启示[J]. 中国石油勘探, 23(1): 54-61.
- 朱伟林, 张功成, 高乐. 2008. 南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J]. 石油学报, 29(1): 1-9.
- 朱伟林, 钟锴, 李友川, 徐强, 房殿勇. 2012. 南海北部深水区油气成藏与勘探[J]. 科学通报, 57(20): 1833-1841.