

# 南海南部海域曾母盆地油气地质特征

姚永坚<sup>1,2</sup> 吴能友<sup>2</sup> 夏 斌<sup>1</sup> 万荣胜<sup>2</sup>

(1.中国科学院广州地球化学研究所与南海海洋研究所 边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640;  
2.国土资源部广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760)

**提要:**曾母盆地是位于南海南部的一个大型新生代沉积盆地,具有面积大、沉积速率快、沉积厚度大的特点。国内外油气勘探和研究表明,曾母盆地具有十分良好的油气地质条件,主要发育渐新统海陆过渡相炭质页岩、煤层、海相泥岩和下一中中新统海相泥岩两大套烃源岩,以及渐新统一中新统砂岩和中—上中新统灰岩或礁灰岩两大套储层。康西坳陷和东巴林坚坳陷为盆地两个主要生烃区。纵向上,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,后者以含气为主;横向上,曾母盆地具有南油北气的特征,气田主要分布在东部南康台地上和西部斜坡上,油田主要赋存在巴林坚地区。油气分布具有明显的分区性,主要与盆地不同构造单元构造和沉积作用的差异性相关。

**关 键 词:**曾母盆地;烃源岩;储层;油气分布

**中图分类号:**TE122.3\*3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)03-0503-11

曾母盆地是南海南部的一个新生代沉积盆地,位于纳土纳岛以东,南沙海槽以西,万安滩—北康暗沙以南的海域,南部约有 17 000 km<sup>2</sup> 的面积位于加里曼丹岛上,其主体位于南海西南部陆架上,西北部和北部伸入陆坡区。盆地地形复杂,多处发育规模较大的滩礁和暗沙,自南而北,水深由 40 m 变化至 1800 m,主体水深<500 m,地形由向北西倾斜转向向北东倾斜。盆地面积 17×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>。

区域构造上,曾母盆地奠基于曾母地块、东马—西南婆罗洲增生系之上的一个新生代沉积盆地(图 1)。在中生代末至新生代初,南海北部陆缘在区域张性应力场作用下伸展,发生广泛的断陷裂谷作用,形成一系列呈北东向、北北东向展布的裂陷槽,并伴随火山活动。古南海南部则向西婆罗州俯冲消减。在中始新世末,由于西婆罗州的逆时针转动,曾母地块南侧的古南海洋壳首先俯冲殆尽,曾母地块与西婆罗州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,通常称之为锡布带。锡布带向西北海区延伸进入西南沙撈

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。

晚始新世开始(42 Ma),古南海西北陆缘的拉伸使南海西南海盆在北东向裂陷槽的基础上扩张,伸展强度由东向西逐渐减弱。早渐新世(35 Ma),西南海盆扩张停止。晚渐新世(32 Ma),南海中央海盆开始南北向扩张,这期扩张作用进行到早中新世(约 17 Ma)时结束,磁条带的解释给出了中央海盆海底扩张的确切时代。

在前述区域构造背景下发育了曾母盆地。曾母盆地的基底较为复杂,其南部是由晚白垩世—始新世浅变质深海浊积岩(Haile, 1969)构成的基底,是西婆罗州锡布带在海域的延伸;据钻井资料揭示,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。盆地内虽没有钻遇古生代和中生代地层,但近几年调查表明,曾母盆地新生代地层发育较齐全,在地震剖面上对比解释了 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>3</sub><sup>1</sup>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>g</sub> 共 6 个区域不整合面(图 2),其地质时代分别对应

收稿日期:2007-11-02;改回日期:2007-12-30

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2007CB411705)、广东省基金项目(7007508)资助。

作者简介:姚永坚,女,1964年生,教授级高级工程师,从事石油地质和油气资源评价研究;E-mail:yjyao64@yahoo.com.cn。

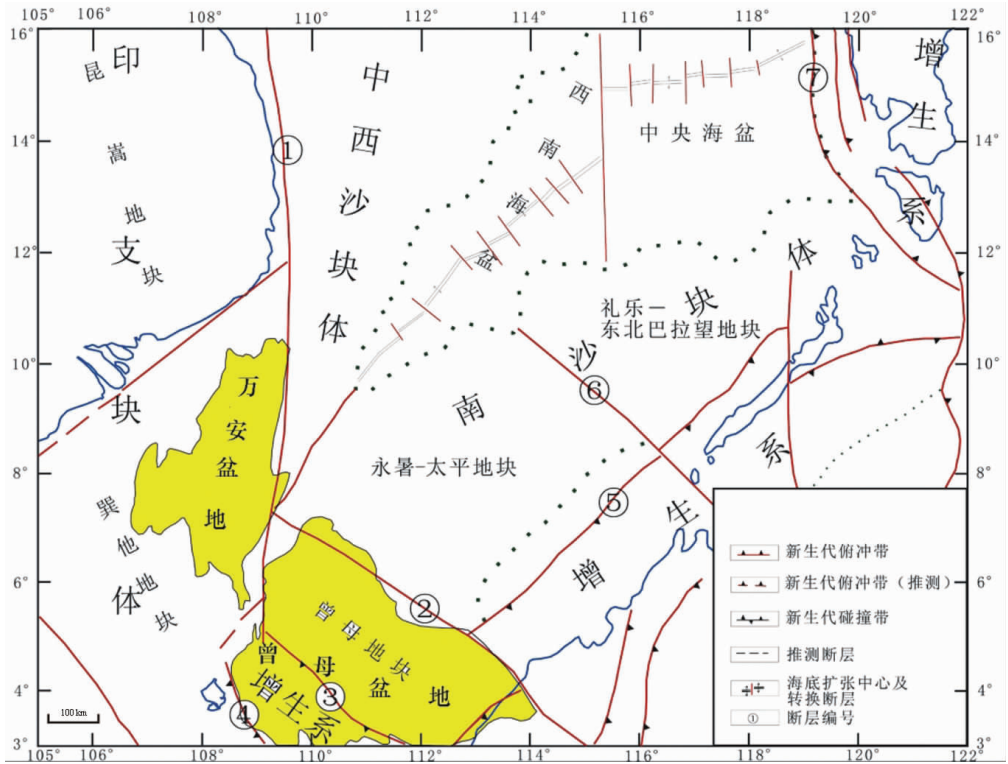


图1 曾母盆地及邻域地质构造单元划分图(据李唐根等,1998)

Fig.1 Map of tectonic units in the Zengmu basin and its adjacent areas, southern South China Sea

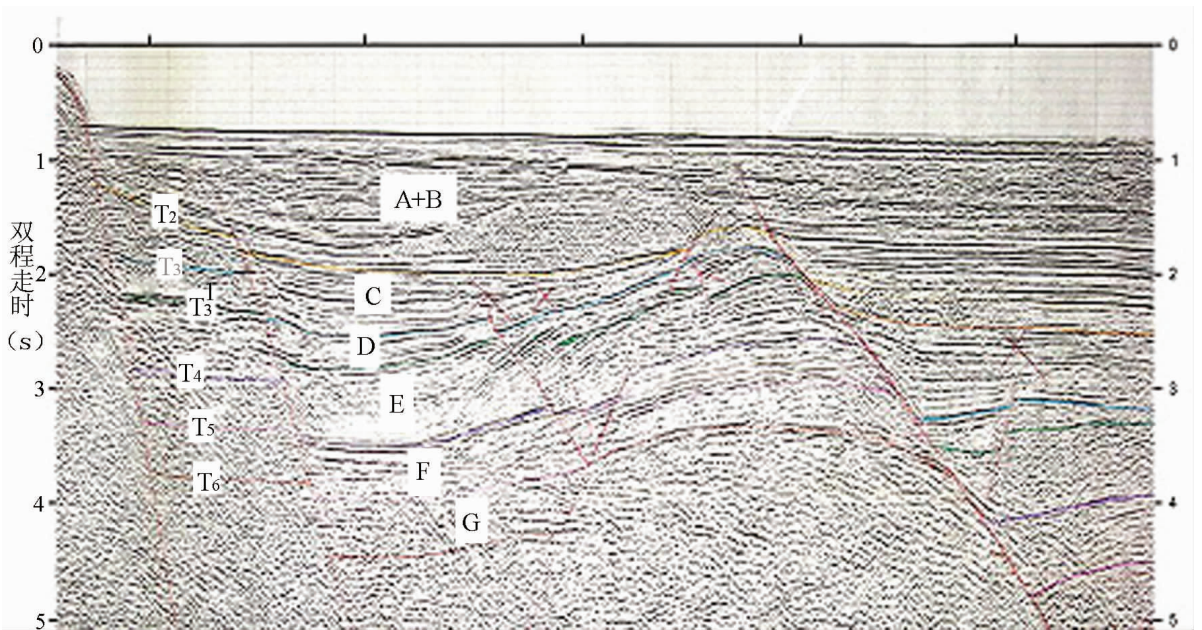


图2 曾母盆地地震解释层位反射特征

Fig.2 Characteristics of the seismic reflection layer in the Zengmu basin

上新世/晚中新世、晚中新世/中中新世、中中新世/早中新世、晚渐新世/早渐新世、晚始新世/中始新世以及中始新世/古新世,自下而上依次划分出南薇群(G 层序,古新统?—中始新统),曾母组(F 层序,上始新统一下渐新统),立地组(E 层序,上渐新统一下中新统),海宁组(D 层序,中中新统),南康组(C 层序,上中新统),北康群(A+B 层序,上新统一第四系)(表 1)<sup>[1-3]</sup>。南薇群主要分布在北部,未有钻井揭露,其他各组地层均有一定数量钻井揭露。曾母盆地是以海退沉积旋回为主的新生代盆地,始新世—第四纪地层厚 2000~16000 m(图 3),总体具有北厚南薄特征,康西坳陷是盆地主体沉积中心。

中国在曾母盆地有 20 多年的调查与研究历史,划分了 8 个二级构造单元<sup>[1,5]</sup>(图 4),自西向东分别为索康坳陷、拉奈隆起、西部斜坡、塔陶垒堑、康西坳陷、西巴林坚隆起、东巴林坚坳陷和南康台地,各构造单元地质要素见表 2。笔者根据曾母盆地历年

油气综合地球物理调查资料,结合国外的钻探资料,分析曾母盆地的油气地质特征。

## 1 烃源岩特征

国内外油气勘探和研究表明,曾母盆地具有十分良好的石油和天然气地质条件,新生界发育有多套烃源岩,具有较高的地热场,长期热演化形成了丰富的石油和天然气,且油气横向分布明显受盆地各构造单元地质发展历史差异和沉积厚度差异,以及地热场分布不均匀的控制。

### 1.1 烃源岩地球化学特征

曾母盆地烃源岩主要以上始新统一下中新统的曾母组、立地组为主,主要生成天然气。

钻井及类比分析结果表明,曾母盆地主要发育渐新统海陆过渡相炭质页岩、煤层和海相泥岩以及下一中中新统海相泥岩两大套烃源岩,有机质类型以 II—III 型干酪根为主<sup>[7-8]</sup>。

表 1 曾母盆地地层划分  
Table 1 Stratigraphic division of the Zengmu basin

地质时代		广州局划分方案		Almond (1990)	Mobie (1983)	有孔虫	孢粉带	沉积相
		地震反射界面	地层命名	沉积旋回	地层名称			
第四纪				VIII		N <sub>21-24</sub>	罗汉松树	滨海
新近纪	上新世	T <sub>2</sub>	北康组	VII	穆达组	N <sub>16-20</sub>	泪杉属	浅海
				VI				
	中新世		南康组	V	特隆布组	N <sub>15-17</sub>	南方费氏粉	台地
		海宁组	IV	N <sub>9-15</sub>				
古近纪	渐新世	T <sub>3</sub> <sup>1</sup>	立地组	III	阿兰组	N <sub>4-7</sub>	光极费氏粉	浅海滨海
				II				
	晚中新世	T <sub>4</sub>	曾母组	Pre I	加布斯组	N—P <sub>20-22</sub>	三瓣费氏粉	三角洲
始新世	T <sub>5</sub>	南薇群(?)			P <sub>19-15</sub>	变异网状三孔粉	台地	
								中始新世
古新世	T <sub>g</sub>							湖泊
前新生代	PreE							



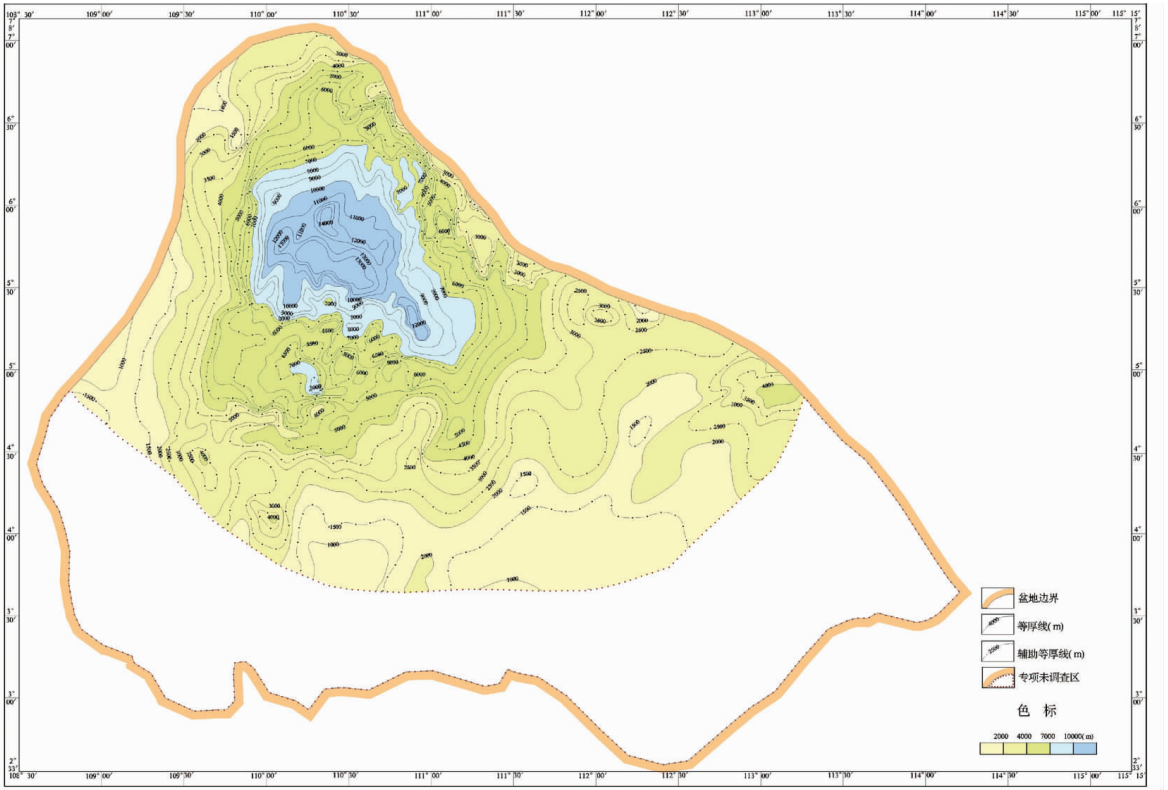


图3 曾母盆地新生界沉积厚度

Fig.3 Isopach map of Cenozoic sediments in the Zengmu basin

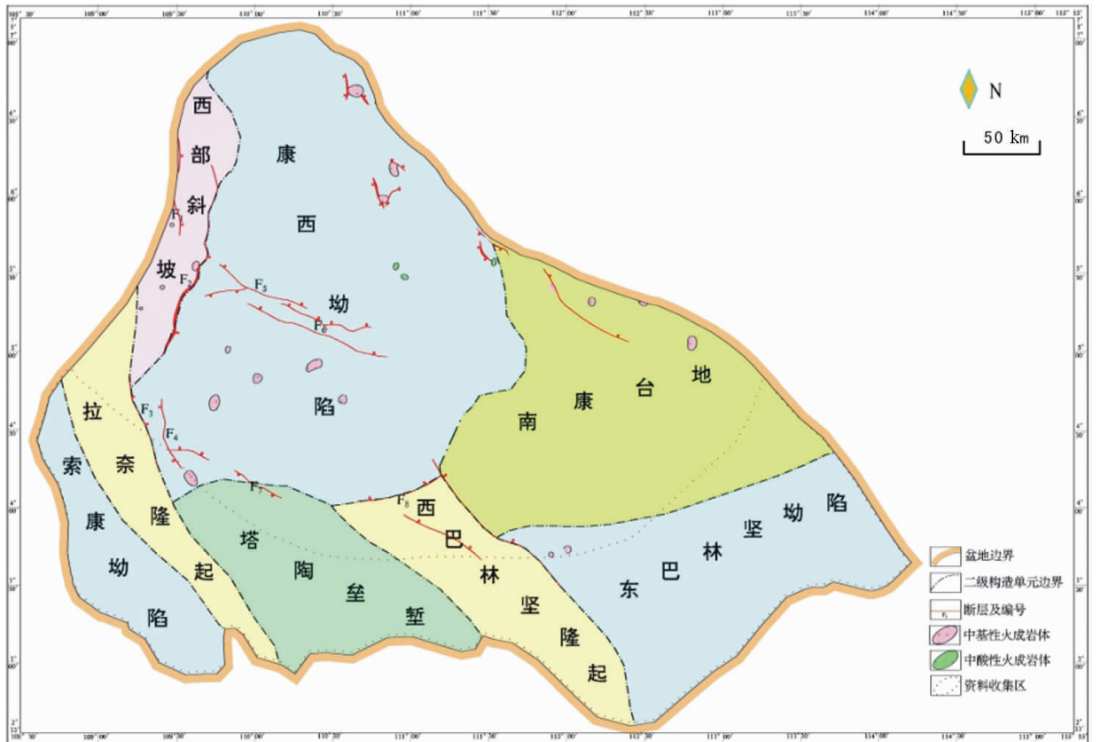


图4 曾母盆地构造区划图

Fig.4 Tectonic divisions of the Zengmu basin



表 2 曾母盆地二级构造单元特征

Table 2 Characteristics of second-order tectonic units in the Zengmu basin

二级构造单元	构造走向	面积(km <sup>2</sup> )	沉积厚度(m)
索康坳陷	SN	10040	3000~10000
拉奈隆起	NW	9850	2000~7000
西部斜坡	SN	5720	3000~8000
塔陶垒堑	NW	16500	1000~11000
东巴林坚坳陷	NEE	26740	2000~8000
西巴林坚隆起	NW	19120	1000~5000
南康台地	NE	23530	3000~11000
康西坳陷	EW	59450	4000~16000

据国外研究,在盆地东部地区(东巴林坚坳陷、西巴林坚隆起和南康台地),上渐新统下部烃源岩海岸平原煤层、分流河道间海湾/冲积平原相泥岩和异地煤层为良好的烃源岩,钻井揭示的泥岩厚度为数十米,煤层厚度大于 10 m。煤层有机碳为 40%~80%, $P_2$  值(产烃率,下同)为 40~194 kg.t<sup>-1</sup>,HI 值(氢指数,下同)为 388~406,具有好的生烃潜力;冲积平原页岩的生烃潜力很小, $P_2$  值一般小于 5 kg.t<sup>-1</sup>;分流河道间海湾页岩有机碳为 1%~21%, $P_2$  值为 3~90kg.t<sup>-1</sup>,HI 值为 164~435,具有中等-好的生烃潜力<sup>[8]</sup>。

上渐新统一中新统烃源岩分布在康西坳陷、塔陶垒堑和索康坳陷等盆地西部,烃源岩为过渡相含煤页岩,有机碳 0.69%~0.93%,有机质类型为 II-III 型干酪根,并且往坳陷中心有机质丰度增高,类型变好,具有中-好的生油能力。煤层含有 25%的蜡质腐植化合物,为生油气干酪根。

目前钻井尚未揭示中中新统烃源岩的地球化学特征,根据最新地震解释成果分析,中中新统烃源岩主要分布康西坳陷和南康台地,且两者烃源岩类型有所差异,康西坳陷主要发育海相泥岩和泥灰岩, $P_s$  值(砂岩百分量,下同)为 25%~50%,泥岩厚度一般

1500~2500 m;南康台地烃源岩以浅海泥灰岩相和碳酸盐岩台地相为主。

根据对曾母盆地东南部巴林坚区的地球化学研究<sup>[8]</sup>,沉积相的演变明显地控制了烃源岩的质量(图 5)。上渐新统一中新统海陆过渡相沉积具有良好生烃潜力,而海相泥岩生烃潜力较差。冲积平原/海湾相页岩,由于明显地受到海相环境影响,而那些没有受到海侵影响的冲积平原页岩,尤其是煤层,具有较高的生烃潜力。

## 1.2 烃源岩主控因素

由于盆地不同构造单元构造和沉积作用的差异性,决定了盆地烃源岩发育、展布及有机质热演化成烃特征具有明显的分区性。

曾母盆地东西和南北构造发展不均衡。在新生代构造演化过程中,盆地沉降中心由东南巴林坚地区向北迁移,中新世移至北部康西坳陷内,而且盆地内构造格局、沉积相变化等诸多因数决定了烃源岩分布的不均一性和生烃能力不同。康西坳陷和东巴林坚坳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。康西坳陷上渐新统一中新统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,而东巴林坚坳陷则达成熟-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;中新统海相泥岩源岩主要发育于康西坳陷,有机质类型为 II-III 型,并已进入生烃门限。

## 2 储层特征

目前国内外油气勘探已证实,曾母盆地储层主要为渐新统一中新统砂岩和中-上中新统灰岩或礁灰岩。

### 2.1 砂岩储层

砂岩储层的储集性能变化较大。据 D18 油田资料,不同相带的砂岩储层的储集性能差异较大(图

表 3 曾母盆地主要烃源岩参数

Table 3 Main parameters of hydrocarbon source rocks in the Zengmu basin

源岩地层	源岩类型	沉积相	有机质类型	残留有机碳含量(%)
$E_3^1-N_1^2$	泥岩、煤层	海岸平原相(海陆过渡相)	II-III	西部 0.63~0.93
	泥岩	前三角洲相、浅-半深海相(海陆过渡相和海相)		东部 1~21

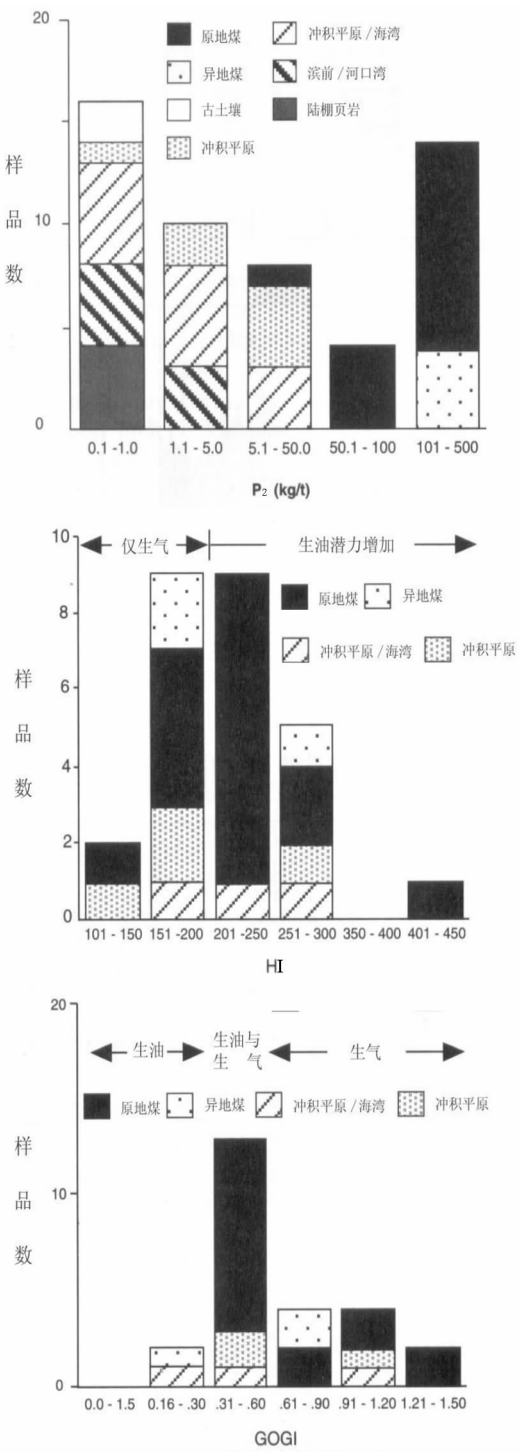


图5 曾母盆地巴林坚拗陷 P<sub>2</sub> 值(产烃率)、HI 值(氢指数)和 GOGI(生油气指数)与沉积相的关系<sup>⑧</sup>  
 Fig.5 Relation between P<sub>2</sub> (hydrocarbon yield), HI (hydrogen index), GOGI (oil- and gas-generating index) and sedimentary facies in the Balinjian depression of the Zengmu basin

6~7,表4)<sup>⑨</sup>,其中河道和分流河道砂体分选较好。该类储层主要分布于盆地南部、中部。南部砂岩储层主要为渐新统一中新统砂质、粉砂质含煤层系中的河道砂岩、近岸砂体和浅海相砂岩。前者一般单层厚度<20m,横向连续性差,物性变化大。后者一般厚度较大,横向连续性较好。目前,在该地区已经探明了十几个砂岩储层油田,如 Temana、Bayan、D18、J4 等。盆地中部砂岩储层主要为中新统砂岩,目前已经在靠近盆地中部(国外称为 SK3 区)的 A3 井中新统砂岩见气显示;而 A21-1 井中新统砂岩储层中获得石油 448.3m<sup>3</sup>/d,天然气 32.3×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/d。

根据沉积环境分析,盆地中、西、南部地区,渐新统和中新统中滨海砂相、浅海砂泥相和斜坡扇发育,砂岩储层发育,具有由西向东北储集性能变差的趋势。

2.2 碳酸盐岩储层

中—上中新统碳酸盐岩储层是曾母盆地一系列大中型气田的重要储层,主要发育在盆地西部斜坡和东部南康台地上,储层类型主要为台地相灰岩和生物礁相灰岩。盆地西部储层岩性主要为粘结灰岩、粒泥灰岩、泥粒灰岩和粒屑灰岩<sup>⑩</sup>,以粘结灰岩的孔隙度最好。据7个气田储层物性统计结果(表5),孔隙度为10%~32%,平均17%,渗透率为0.08~1 μm<sup>2</sup>。孔隙度大小随深度增加变小,孔隙类型以印模孔为主,也见晶洞、洞穴、白垩状和晶间孔等。目前,盆地西部的L构造已经钻遇1600m厚的含气碳酸盐岩,估算气藏储量5.95×10<sup>12</sup> m<sup>3</sup>,气体中含有大量的CO<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>,烃类可采储量1.27×10<sup>12</sup> m<sup>3</sup>(图8)。盆地东北部南康台地已经发现了200多个碳酸盐岩隆,岩隆主要有平台状岩隆和塔型岩隆两种,其次生孔隙发育,孔隙度为10%~40%,渗透率可高达2.5 μm<sup>2</sup>。物性好坏既受原始沉积相的控制,也受后生作用的影响。岩隆主要部位为礁状和滩相沉积,以糖粒状白云岩和印模灰岩为主,物性最好;岩隆周边过渡为开阔海相的致密泥质灰岩,甚至泥岩,从而形成侧向封堵。目前,在曾母盆地南康台地和西部斜坡已经发现30多个具有较大天然气储量的含气碳酸盐岩隆构造,如L气田、F6气田、F23气田和E11气田,探明天然气可采储量约6514×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,其中有6个气田的单个可采储量超过283×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。

2.3 储层发育的控制因素

曾母盆地储层发育受多种因素的控制,其中最

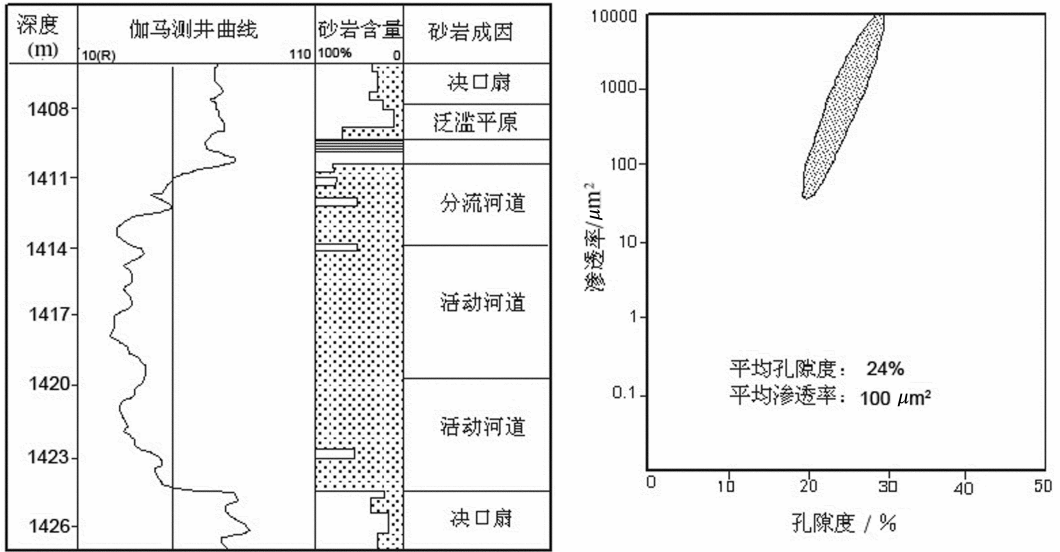


图 6 河道砂体测井曲线特征及储集条件(据参考文献[9])

Fig.6 Characteristics of the logging curve of river channel sands and hydrocarbon accumulation conditions in the Zengmu basin

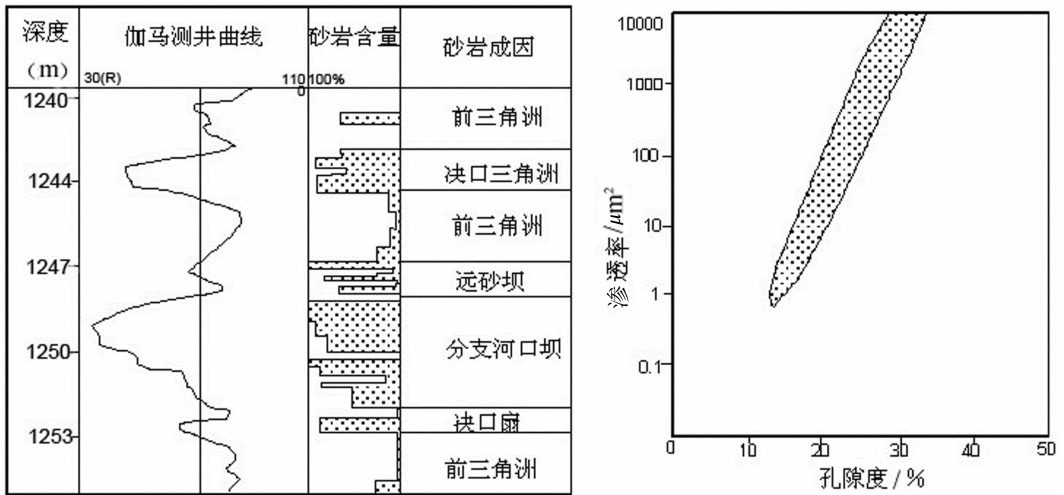


图 7 河口坝砂体测井曲线特征及储集条件(据参考文献[9])

Fig.7 Characteristics of the logging curve of of river mouth bar sands and hydrocarbon accumulation conditions in the Zengmu basin

主要的是沉积岩相带、构造作用和成岩作用等三大因素。

沉积岩相带是曾母盆地储层发育的重要控制因素,不同的沉积岩相带其储集条件和物性均存在较大差别,碳酸盐岩储层储集条件最优为台地边缘礁相、滩相,其次为台内浅滩相、开阔台地相;砂岩储层储集条件最好为三角洲砂岩和滨、浅海相砂岩体,它

们分布稳定,侧向延伸范围较大,也是曾母盆地重要的储层。

构造作用主要表现由构造运动造成的沉积间断面和侵蚀期的风化剥蚀作用是控制古风化壳、古岩溶储层发育的重要因素。曾母盆地在新生代形成过程中经历了礼乐运动、西卫运动、南海运动和南沙运动,这些区域构造运动所造成的沉积间断面和侵蚀



表 4 D18 油田砂岩储层物性参数

Table 4 Physical parameters of sandstone reservoirs in the D18 oilfield of the Zengmu basin

砂体沉积环境	单层厚度/m	孔隙度/%	渗透率/ $\mu\text{m}^2$
河道和分流河道砂体	6~15	12~29	0.06~7
决口扇砂体	1.5~3	11~31	0.001~4
分流河口坝砂体		12~29	0.001~4
浅海相砂岩		14~28	0.002~1.95

面,由于长期风化剥蚀和淋滤溶蚀作用,形成了古喀斯特和古风化壳,并造成大量的岩溶孔洞和裂隙,为油气运移聚集形成了良好储层。其次,构造作用形成的断裂和裂隙不仅改善和提高了岩石的储集性能,同时还改善了其渗透性。目前油气勘探证实,曾母盆地碳酸盐岩储层发育,特别次生孔隙的发育对碳酸盐岩储层显得尤为重要,中新统生物礁、台地灰岩储层经历了白云石化及溶蚀等多种复杂的成岩作用,形成良好的储集层。

### 3 盖层和保存条件

#### 3.1 盖层特征

曾母盆地发育一套区域盖层和多套局部盖层。

(1)区域盖层:曾母盆地上中新统一第四系海相泥岩为区域盖层。由于大规模的海侵,这套盖层呈披覆式覆盖全区,其厚度大、分布广、岩性均一,主要为浅海-半深海相泥岩、钙质泥岩。这套地层厚 1000~6000 m,由南向北逐渐增厚,岩性偏细,平均  $P_s$  值(砂岩百分含量)小于 50%,泥岩发育,一般厚度为

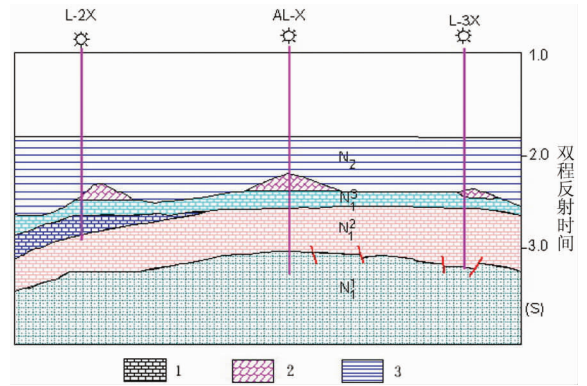


图 8 曾母盆地 L 构造储盖层特点

1—碳酸盐岩储层;2—礁灰岩储层;3—海相泥岩盖层

Fig.8 Characteristics of reservoirs and seals in the L structure of the Zengmu basin

1—Carbonate reservoir;2—Reefal limestone reservoir;3—Marine mud seal

1150~2500 m(图 9)。西部斜坡、拉奈隆起和塔陶垒堑的  $P_s$  值为 25%~40%,康西坳陷  $P_s$  值小于 25%。这套地层成为曾母盆地具有良好封盖性能的区域盖层。

(2)局部盖层:包括渐新统一中新统各类泥岩,以及渐新统一中新统大量出现的泥岩夹层以及致密的泥灰岩则是圈闭的局部盖层。在巴林坚坳陷第 II 旋回(相当早中新世)中段的各类砂岩与含煤泥岩互层,形成多套的储、盖组合,而第 II 旋回上段厚 100 m 的含煤泥岩是坳陷内重要的局部盖层。

#### 3.2 保存条件

油气保存条件主要包含局部盖层和区域盖层的

表 5 曾母盆地部分气田储层物性 (据姚伯初等,1995)

Table 5 Some physical properties of gas field reservoirs in the Zengmu basin

气 田		孔隙度/%	渗透率/ $\mu\text{m}^2$
南 康 台 地	E8	15~22	0.2~1
	E11	15~28	0.1~0.6
	F6	20~32	0.1~0.5
	F13	21	0.08~0.3
	F23	16~29	0.1~1
	M3	24	
西部斜坡	L	10~25	

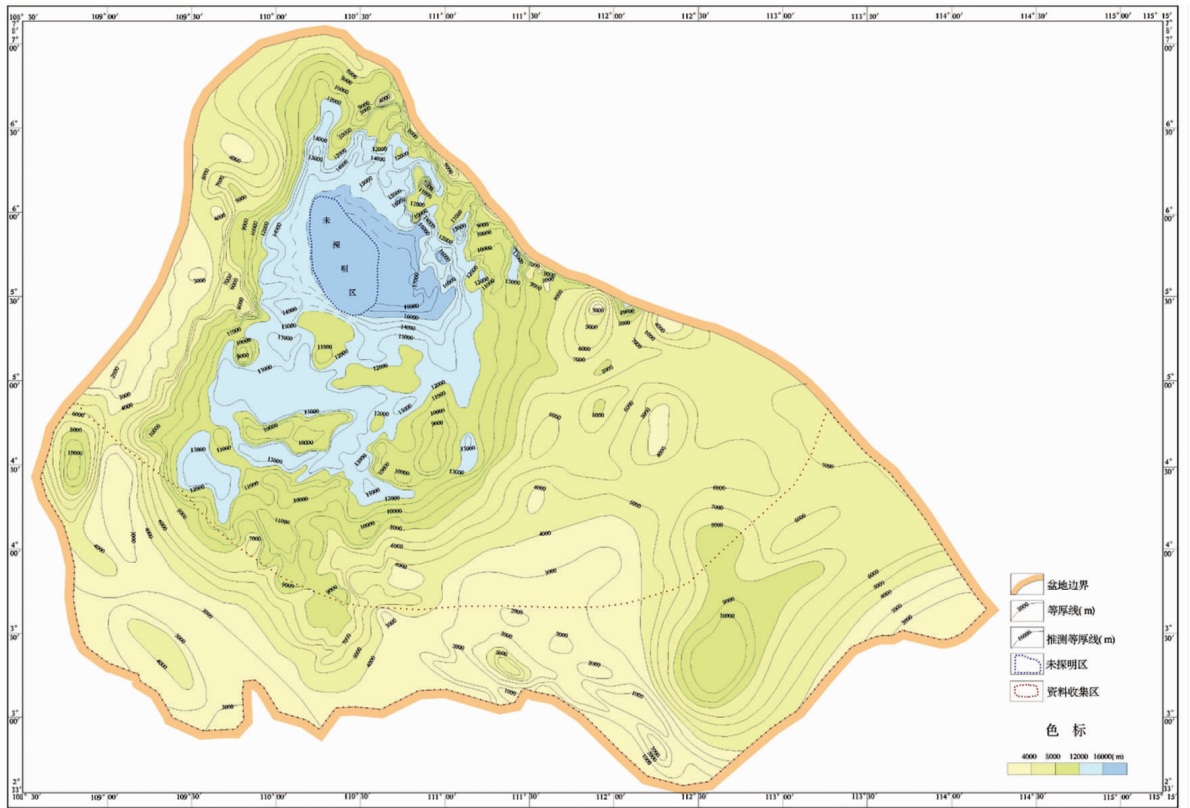
图 9 曾母盆地晚中新世至第四纪(N<sub>1</sub>-Q)沉积等厚度图

Fig.9 Isopach map of late Miocene to Quaternary sediments in the Zengmu basin

发育程度、断层对油气的封闭性能、以及储、盖层组合型式等,通过分析来综合评价油气保存条件。曾母盆地北部地区断层虽然较为发育,但由于受到不同时期边界走滑断裂性质变化的影响,断层对油气运聚作用存在明显的差异。一般在渐新世—早中新世期间呈张扭性,促进油气运移,而在中中新世—晚中新世部分断层呈压扭性,此时断层对油气起封堵作用,至上新世时期,盆地西部断裂活动很弱,其上又有厚层泥岩覆盖,因此断层对区域盖层的封盖性能影响小,油气保存条件良好。

#### 4 曾母盆地油气分布特征

自 1962 年以来,曾母盆地相继发现了一大批气田、油田及含油气构造。到 2003 年底,马来西亚在曾母盆地共发现 40 个油田和 88 个气田,其中在开采的有 14 个油田(Baronia, Bakau, Baram, West Lutong, Betty, Bokor, Siwa, Tukai, Fairley Baram, Bayan, Asam Paya, Temana, D-18 和 D-35) 和 6 个气田(E11, F6, F23, M3, M1 和 M4)。曾母盆地的油气分

布具有以下特征:

##### 4.1 纵向上油气分布特征

目前油气勘探结果表明,曾母盆地的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,后者以含气为主。

下中新统砂岩油层具有以下特点:

(1)油层厚度较薄,一般为数米至 10 余米;(2)下中新统油藏多受长条砂岩带控制,并受断裂控制被分割成若干小块,属于岩性油藏类型;(3)下中新统油田一般属规模较小的小型油田,而且产量极不稳定;(4)油气深度为 73~1600 m;(5)气田的储量较大,目前曾母盆地所发现的气田中,绝大多数属大中型气田(表 6);(6)中—上中新统碳酸盐岩多发育于构造高部位,其埋深一般小于 2000 m。

##### 4.2 横向上油气分布特征

曾母盆地是油气并重、以气为主的沉积盆地,具有南油北气的特征。在盆地内发现的 40 个油田,其中 21 个油田位于巴林坚拗陷和巴林坚隆起,2 个位于西部斜坡,其余分布在康西拗陷南部、拉奈隆起、

表 6 曾母盆地部分气田参数

Table 6 Some gas field parameters in the Zengmu basin

含气参数	E8	E11	F6	F13	F23	L	M3
含气高度(m)	168	173	122	73	110	1600	77
含气面积(km <sup>2</sup> )	20.3	22.3	66.8	48.7	32	320	16

南康台地西南部等地区。气田主要分布在曾母盆地南康台地和西部斜坡上,在巴林竖拗陷和隆起也有气田发现。

南康台地和西部气田的储层均是中、上中新统碳酸盐岩,但其天然气组分呈现出明显分区性。南康台地气田中天然气组分以甲烷为主,重烃含量较丰富,CO<sub>2</sub>含量较少,一般小于18%。西部气田普遍含CO<sub>2</sub>,多数气田的CO<sub>2</sub>含量大于70%,有些气田含量高达95%。引起这种差异的原因主要与曾母盆地西部深断裂发育、火山作用活动有关。

## 5 结 论

曾母盆地具有面积大、沉积速率快、厚度大的生气凹陷,以及多种类型储集层和丰富的构造复合圈闭类型,具备形成大气田和油田的油气地质条件:

(1)多构造-沉积旋回形成多层系的烃源岩和储集层。曾母盆地在新生代期间经历了礼乐、西卫、南海和南沙四次大的构造运动,盆地演化的阶段性决定其具有多期成藏的特点,盆地发育多旋回性形成多层系的烃源岩和储集层。

(2)盆地内分割性、活动性决定烃源岩和储层分布的不均一性。曾母盆地形成大多受控于断裂作用,盆地内各构造单元地质发展历史差异,由此产生拗陷和深浅地质构造格架,总体上形成盆地内中新世以来的沉积厚度由南往北逐渐增大,在不同部位发育不同的沉积相,决定盆地内烃源岩和储层横向分布不均一性,控制了油气资源类型分布。

(3)中新世以来地层厚度影响烃源岩热演化进程。盆地内烃源岩在不同部位处于不同的热演化阶段。盆地东南部巴林竖拗陷渐新统一下中新统烃源岩埋深较浅,正处于生油阶段;而盆地北部康西拗陷,渐新统一下中新统烃源岩由于受上新世以来巨厚沉积所覆盖,已处于生气阶段。

(4)地热场分布不均匀在一定程度上决定油气生排时间。曾母盆地不同地区沉积-构造格局差异导致地热场的变化,由西北往东南逐渐降低,这在一定程度上决定了油气生烃和排烃时间,进而影响油气纵、横向分布特征。

(5)油气分布具有两个明显特点。在纵向上表现为上气下油,即中、上中新统为含气层,下中新统为含油层;在横向上呈现北气南油的分布格局,即巴林竖拗陷主要为含油区,南康台地和西部斜坡为主要含气区。

## 参考文献 (References):

- [1] 金庆焕, 吴进民, 谢秋元, 等. 南沙西部海域沉积盆地分析与油气资源[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.  
Jin Qinghuan, Wu Jinmin, Xie Qiuyuan, et al. Analysis of Depositional Basins and Hydrocarbon Resource of Western Nasha Sea Area in South China Sea [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001 (in Chinese).
- [2] 吴能友, 曾维军, 宋海斌, 等. 南海区域构造沉降特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质. 2003, 23(1): 55-65.  
Wu Nengyou, Zeng Weijun, Song Haibin, et al. Tectonic subsidence of the South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2003, 3(1): 55-65 (in Chinese with English abstract).
- [3] 姚伯初. 南海新生代的构造演化与沉积盆地 [J]. 南海地质研究. 1998, 10: 1-13.  
Yao Bochu. The tectonic evolution and sedimentary basins of South China Sea in Cenozoic [J]. Geological Research on the South China Sea. 1998, 10: 1-13 (in Chinese with English abstract).
- [4] 姚伯初, 万玲, 吴能友. 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. Cenozoic plate tectonic activities in the Great South China Sea Area [J]. Geology in China, 2004, 31(2): 113-122 (in Chinese with English abstract).
- [5] 姚永坚, 夏斌, 徐行. 南海南部海域主要沉积盆地构造演化特征 [J]. 南海地质研究, 2005: 1-11.  
Yao Yongjian, Xia Bin, Xu Xing. Tectonic evolution of the main sedimentary basin in southern area of South China Sea [J]. Geological Research on the South China Sea, 2005: 1-11 (in Chinese with English abstract).
- [6] 姚永坚, 曾祥辉. 南沙海域西南部油气地质条件分析及油气远景预测 [J]. 南海地质研究, 1996, 8: 75-86.  
Yao Yongjian, Zeng Xianghui. Petroleum geology study and oil-& gas-bearing prospecting of the Southwestern nasha Sea Area [J]. Geological Research on the South China Sea, 1996, 8: 75-86 (in Chinese with English abstract).
- [7] 郑之逊. 南海南部海域第三系沉积盆地石油地质概况 [J]. 国外海上油气, 1993, 3: 132.  
Zheng Zixun. Petroleum geology of tertiary sedimentary basin in



- the southern park of South China Sea [J]. *Abroad Offshore Oil and Gas*, 1993, 3:132(in Chinese).
- [8] Todd S P et al. Characterizing petroleum charge systems in the Tertiary of SE Asia [C]//Fraser A J, Matthews S J, Murphy R.W. (eds), *Petroleum Geology of Southeast Asia*, Geologic Society Special Publication. 1997, 126:25-47.
- [9] Almond J, Vincent P, Williams L R. The application of detailed reservoir geological studies in the D18 Field, Balingian Province, offshore Sarawak[J]. *Geol. Soc. Malaysia Bull.*, 1990, 127:137-159.
- [10] 邱燕. 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*, 1996, 8:62-74.
- Qiu Yan. Interpretation of Carbonate Sequence Stratigraphy in the Main Basins of Southwestern Nasha Sea Area [J]. *Geological Research on the South China Sea*, 1996, 8:62-74(in Chinese with English abstract).
- [11] 吴庐山, 邱燕, 解习农, 等. 南海西南部曾母盆地早中新世以来沉降史分析[J]. *中国地质*, 2005, 32(3):370-377.
- Wu Lushan, Qiu Yan, Xue Xinong, et al. Analysis of the subsidence history of the Zengmu basin in the southwest South China Sea since the early Miocene [J]. *Geology in China*, 2005, 32(3):370-377(in Chinese with English abstract).
- [12] 何家雄, 姚永坚, 刘海龄, 等. 南海北部莺歌海盆地壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 运聚成藏特征与资源潜力 [J]. *中国地质*, 2007, 34(5):887-893.
- He Jiexiong, Yao Yongjian, Liu Hailing, et al. Migration and accumulation characteristics and resource potential of crust-derived inorganic CO<sub>2</sub> in the Yinggehai basin, northern South China Sea [J]. *Geology in China*, 2007, 34(5):887-893(in Chinese with English abstract).

## Petroleum geology of the Zengmu basin in the southern South China Sea

YAO Yong-jian<sup>1,2</sup>, WU Neng-you<sup>2</sup>, XIA Bin<sup>1</sup>, WAN Rong-sheng<sup>2</sup>

- (1. *Key Laboratory of Marginal Seas, Guangzhou Institute of Geochemistry and South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;*
2. *Guangzhou Survey of Marine Geology, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, Guangdong, China)*

**Abstracts:** The Zengmu basin is a large Cenozoic sedimentary basin located in the southern South China Sea, characterized by a high sedimentation rate and great thickness. Recent petroleum exploration and research indicate that the Zengmu basin has very favorable geological conditions for the formation of petroleum, where there occur mainly two groups of source rocks, including Oligocene paralic carbonaceous shale, coal layers and marine mudstones and lower-middle Miocene marine mudstones, and two types of reservoirs, namely, Oligocene-middle Miocene sandstones and middle-upper Miocene limestone or reef limestone. The Kangxi depression and Eastern Balinjian depression are two primary hydrocarbon-generating zones. Vertically, petroleum mostly occurs in lower Miocene sandstone and middle-upper Miocene carbonates, with the former mainly containing oil and the latter mainly containing gas. Laterally, the petroleum distribution in the Zengmu Basin is characterized by occurrence of oil in the south and gas in the north. Gas fields are mainly distributed in the Nankan mesa in the east and the western slope, while oil fields mainly occur in the Balinjian area. The distinct zonal distribution of oil and gas is primarily related to structures in different tectonic units and difference in sedimentation in the basin.

**Key words:** Zengmu basin; source rock; reservoirs; distribution of oil and gas

**About the first author:** YAO Yong-Jian, female, born in 1964, professor, mainly engages in the study of petroleum geology and evaluation of oil & gas; E-mail: yjyao64@yahoo.com.cn.