

doi:10.3799/dqkx.2016.521

# 从含油气检测来洞悉琼东南盆地东部发育始新统烃源岩的可能性

刘妍鞅<sup>1</sup>, 陈红汉<sup>1\*</sup>, 苏奥<sup>1</sup>, 翟普强<sup>2</sup>, 熊万林<sup>2</sup>, 孔令涛<sup>1</sup>

1. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东广州 510240

**摘要:** 目前普遍认为琼东南盆地天然气来源于渐新统和中新统海相煤型烃源岩, 对于始新统偏 I 型干酪根烃源岩的存在尚不明确, 因此确定始新统烃源岩生烃可能性及其分布将为下一步勘探提供重要依据。琼东南盆地东部 45 块样品的流体包裹体系统测试分析以及天然气和轻烃地球化学特征分析结果表明, 盆地东部气藏以油型气及油型-煤型混合气为特征, 至少有 4 期天然气充注, 其中第 1 期天然气充注与始新统烃源岩生排烃有关。由此认为, 琼东南盆地东部可能发育始新统偏 I 型干酪根烃源岩, 主要分布于松南-宝岛-长昌凹陷以及北礁凹陷。

**关键词:** 始新统; 烃源岩; 流体包裹体; 天然气; 琼东南盆地; 油气; 地球化学。

**中图分类号:** P618.13

**文章编号:** 1000-2383(2016)09-1539-09

**收稿日期:** 2015-12-08

## Eocene Source Rock Determination in Qiongdongnan Basin, the South China Sea: A Hydrocarbon Detection Perspective

Liu Yanhua<sup>1</sup>, Chen Honghan<sup>1\*</sup>, Su Ao<sup>1</sup>, Zhai Puqiang<sup>2</sup>, Xiong Wanlin<sup>2</sup>, Kong Lingtao<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Shenzhen Branch of CNOOC (China) Ltd., Guangzhou 510240, China

**Abstract:** It is generally held that most gas in Qiongdongnan basin, the South China Sea, is coal type gas and comes from the Oligocene and Miocene marine source rocks, while the existence of Eocene source rocks is uncertain. Determining Eocene source rocks will provide significant foundation for oil and gas exploration. The systematical analysis of fluid inclusions of 45 samples and geochemical characteristics of gas and light hydrocarbons indicate that most of the gas is oil type gas and oil-coal gas with 4 gas charging episodes. The first gas charging episode probably comes from Eocene source rocks in eastern of Qiongdongnan basin, the South China Sea. The results indicate that it probably develops kerogen type I of Eocene source, distributed in Songnan-Baodao-Changchang depression and Beijiao depression of Qiongdongnan basin, the South China Sea, which can be regarded as advantage exploration targets.

**Key words:** Eocene; source rock; fluid inclusion; natural gas; Qiongdongnan basin; hydrocarbons; geochemistry.

### 0 引言

迄今, 琼东南盆地西区发现的 YC13-1 和 YC14-1 气藏, 以及 YC13-2、YC13-4、YC13-6 等含气构造均富集成熟-高熟煤型气及少量凝析油(何

家雄等, 2006; 赵民等, 2010)。有机地球化学研究结果表明, 这些已探明的天然气和凝析油均来自于崖城组含煤系地层的 III 型干酪根烃源岩(黄保家等, 2012b; 张功成等, 2013)。然而, 前人通过琼东南盆地东区松南-宝岛凹陷及周缘钻探发现陆源石蜡型油

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(No.41572118); 国家“十二五”重大科技专项(No.2011ZX05023-004-010)。

**作者简介:** 刘妍鞅(1989-), 女, 博士, 研究方向为含烃流体地质, E-mail: liuyanhu530@yahoo.com

\* **通讯作者:** 陈红汉, E-mail: hhchen@cug.edu.cn

**引用格式:** 刘妍鞅, 陈红汉, 苏奥, 等, 2016. 从含油气检测来洞悉琼东南盆地东部发育始新统烃源岩的可能性. 地球科学, 41(9): 1539-1547.

及油型伴生气显示,表明琼东南盆地东部可能发育始新统偏 I 型干酪根烃源岩(何家雄等,2002;赵民等,2010;刘正华和陈红汉,2011).为此,本文将从储层原油地化特征和流体包裹体检测两个方面来洞悉琼东南盆地东部发育始新统烃源岩的可能性,旨在为工区下一步油气勘探提供决策依据.

## 1 地质背景

琼东南盆地位于南海北部的中部,东边以神狐隆起与珠江口盆地相邻,西边以①号断层与莺歌海盆地相连.盆地新生代的构造演化分为晚白垩世—晚渐新世多幕裂陷、早中新世—中中新世区域热沉降、晚中新世以来的新构造运动三大构造演化阶段,盆地整体呈“南北分带,东西分块”的构造特征(李绪宣等,2006;朱伟林等,2008;赵民等,2010;雷超等,2015).盆地自下而上发育前第三系基地、古近系(始新统、下渐新统崖城组、上渐新统陵水组)、新近系(下中新统三亚组、中中新统梅山组、上中新统黄流组、上新统莺歌海组)和第四系(乐东组)地层(图 1).下构造层目前钻井揭示的烃源岩包括:下渐新统崖

城组海岸平原相含煤岩系以及半封闭浅海相泥岩(Ⅱ<sub>2</sub>和Ⅲ型干酪根为主)、上渐新统陵水组海侵体系域和高位体系域的浅海相泥岩(Ⅲ型干酪根为主),同时推测应存在始新统中深湖相烃源岩(Ⅱ<sub>1</sub>和Ⅰ型干酪根为主).

## 2 始新统烃源岩地化证据

前人研究成果认为,琼东南盆地东部宝岛凹陷浅层富烃气藏的天然气是由附近渐新统一中新统烃源岩生成的生物气/低熟气与部分来自宝岛凹陷崖城组烃源岩的成熟烃类气混合而成(黄保家等,2012a).但本文通过地化特征证据分析认为应该还存在始新统油型气的贡献.证据如下:

(1)C<sub>7</sub>轻烃化合物三角图(胡国艺等,2007)识别出宝岛凹陷 BD15-3-1 井的天然气为油型气;松南凹陷 LS4-2-1 井和松东斜坡带 ST24-1-1 井均为油型与煤型的混合气;松涛凸起 YING9 井主要为油型气(图 2).由此可见,琼东南盆地西区以煤型气为主,东区以油型气及油型—煤型混合气为特征.

(2)根据 δ<sup>13</sup>C<sub>1</sub>-δ<sup>13</sup>C<sub>2</sub> 烷烃气成因鉴别图(戴金

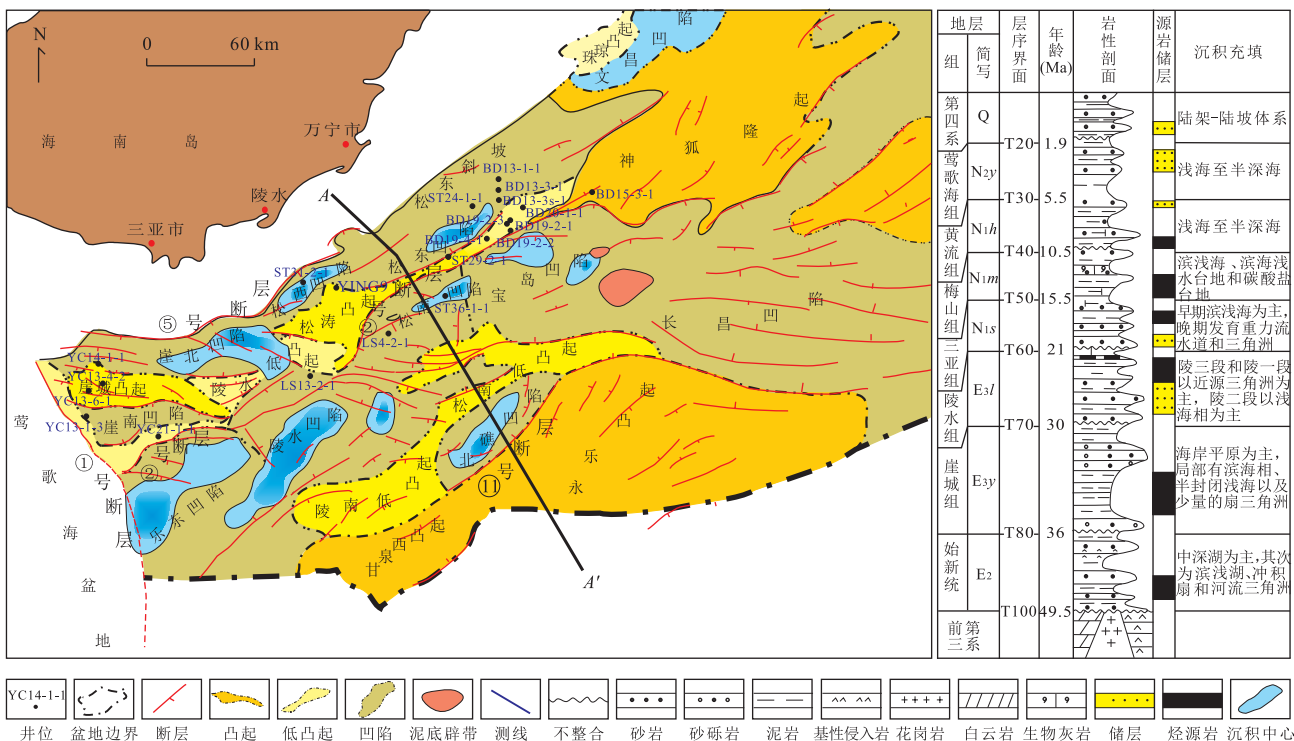


图 1 琼东南盆地构造区划与始新统沉积中心分布

Fig.1 Structural units division and depocenters distribution plan of Eocene (left) and geological column (right) in Qiongdongnan basin, South China Sea

据雷超等(2011)和廖计华等(2012)修改

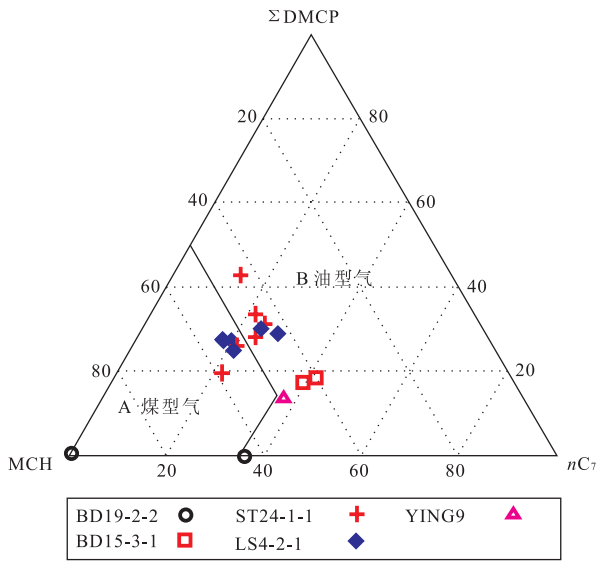


图 2 琼东南盆地东部天然气和原油中的  $C_7$  轻烃系列三角图  
Fig.2 Ternary diagram for  $C_7$  light hydrocarbon system from crude oil and natural gas in east of Qiongdongnan basin  
 $\Sigma$ DMCP, 二甲基环戊烷; MCH, 甲基环己烷;  $nC_7$ , 正庚烷

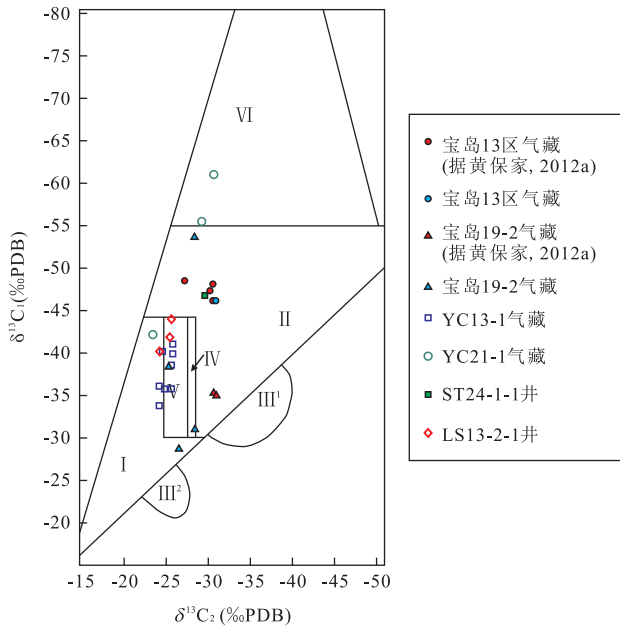


图 3  $\delta^{13}C_1$ - $\delta^{13}C_2$  不同成因的有机烷烃气鉴别  
Fig.3 The cross-plot of  $\delta^{13}C_1$  (‰PDB) and  $\delta^{13}C_2$  (‰PDB) to identify hydrocarbon gas origin in east of Qiongdongnan basin  
I.煤型气区; II.油型气区; III.碳同位素系列倒转混合气区; IV.煤型气和油型气区; V.煤型气、油型气和混合气区; VI.生物气和混合气区

星, 1993) 可知, 琼东南盆地东、西部地区天然气碳同位素特征存在明显差异. 东区宝岛 13 区、宝岛 19-2 区以及 ST24-1-1 井天然气以油型气为主, 部分为煤型气以及煤型-油型混合气; 西区 YC13-1 区、

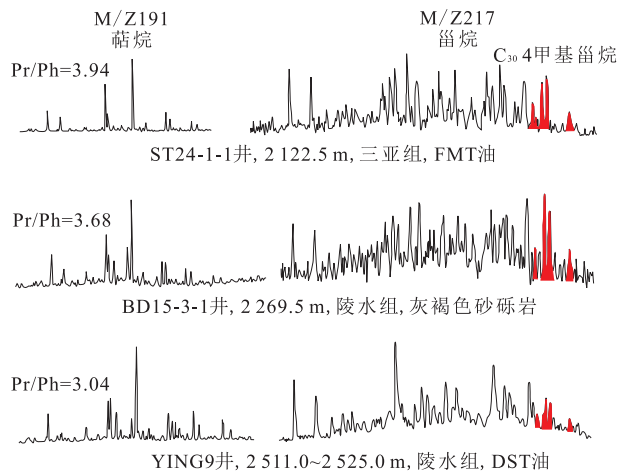


图 4 琼东南盆地东部部分已钻井油及砂岩抽提物甾萜烷特征对比

Fig.4 Comparative characteristics of sterane and terpane biomarkers in east of Qiongdongnan basin

YC21-1 区、LS13-2-1 井天然气为煤型气、煤型-油型混合气以及生物气和混合气(图 3). 推测东区油型气可能来自于始新统烃源岩.

(3) 尽管至今尚没有钻井直接揭示这套始新统烃源岩, 但在琼东南盆地东区莺 9 井渐新统陵水组钻获的高蜡低硫原油含有丰富的  $C_{30}$  4-甲基甾烷, 其地化特征与北部湾盆地和珠江口盆地来源于始新统文昌组的原油十分相似(黄保家等, 2012b). 另外, ST24-1-1 井三亚组钻获的高蜡低硫原油与 BD19-2-2 和 BD15-3-1 井荧光砂岩抽提物中均检测到较丰富的  $C_{30}$  4-甲基甾烷(图 4). 这些原油生标特征均证实琼东南盆地东部确实存在始新统中深湖相偏 I 型干酪根烃源岩.

### 3 始新统烃源岩的流体包裹体证据

本次共采集琼东南盆地东部 45 块岩心及岩屑样品, 流体包裹体样品测试在中国地质大学(武汉)完成. 流体包裹体系统分析表明, 成岩阶段所捕获的油气和盐水包裹体主要分布在石英颗粒内裂纹、穿石英颗粒裂纹和石英次生加大边中. 检测到的包裹体形态多样, 主要有椭圆形、条形、近圆形, 并以椭圆形为主; 大小以  $3 \sim 10 \mu m$  为主; 气/液比主要为  $3\% \sim 6\%$ , 少数能达到  $10\%$ . 包裹体类型主要有纯气相包裹体、盐水包裹体和溶解轻烃盐水包裹体.

#### 3.1 流体包裹体显微荧光分析

本研究运用 Nikon80 I 双通道荧光显微镜(紫

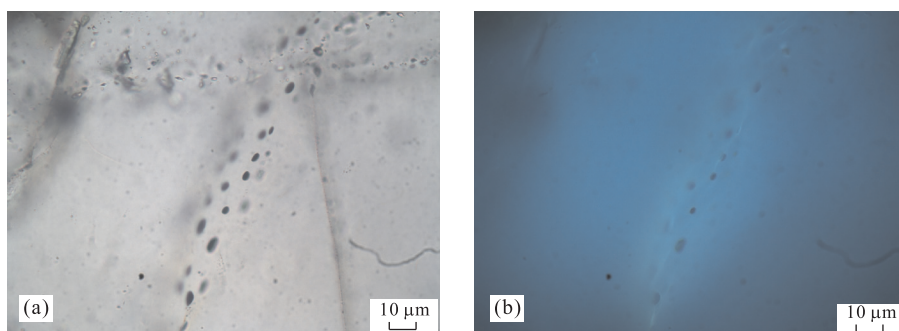


图 5 琼东南盆地东部部分流体包裹体显微荧光特征

Fig.5 Photomicrographs of fluid inclusions in east of Qiongdongnan basin

井号 YING9, 层位  $E_1l^1$ , 深度 2 221.97 m, 灰白色细砂岩, 穿石英颗粒裂纹中见不发荧光的纯气相包裹体。a. 透射光照片; b. 为荧光照片

表 1 与纯气相包裹体共生的盐水包裹体平均均一温度

Table 1 Homogenous temperatures of oil inclusions and their coeval aqueous inclusions in east of Qiongdongnan basin

井号	样品编号	深度(m)	层位	与气同期盐水/含烃盐水包裹体均一温度(°C)					
				$Th_1$	$Th_2$	$Th_3$	$Th_4$	$Th_5$	$Th_6$
BD13-1-1	B127	1 578.55	$N_1m^2$	82.2					
BD13-1-1	B126	1 700.06	$N_1s^1$	87.2					
BD13-3-1	B165	1 751.00	$N_1m^2$	87.9					
BD13-3-1	B166	1 920.00	$N_1s^1$	98.5					
BD13-3s-1	B135	1 884.00	$N_1m^2$		113.7~114.7				
BD13-3s-1	B124	1 968.70	$N_1s^1$		116.3~118.7				
BD13-3s-1	B123	1 977.66	$N_1s^1$	90.9					
ST24-1-1	B082	1 870.00	$N_1m^1$	89.6					
ST24-1-1	B081	2 280.00	$N_1s^1$		119.2				
ST24-1-1	B079	2 662.00	$N_1s^2$		119.7		146.2		
ST24-1-1	B080	2 770.00	$E_3l^1$		122.2				
ST24-1-1	B085	3 210.00	$E_3l^2$		118.6	139.1			
ST24-1-1	B083	3 760.00	$E_3y^1$			133.5			
BD19-2-1	B162	2 330.00	$N_1m^1$				147.4		
BD19-2-1	B160	2 680.00	$N_1s^1$		116.6				
BD19-2-2	B045	2 826.00	$N_1s^1$		123.1				
BD19-2-2	B046	2 986.00	$N_1s^2$		126.6				
BD19-2-3	B167	2 378.00	$N_1m^2$		115.9	133.2			
BD19-2-3	B138	2 422.00	$N_1s^1$		119.8	133.8			
BD19-2-3	B141	2 429.68	$N_1s^1$		111.7	137.6			
BD19-2-3	B168	2 600.00	$N_1s^1$		116.0				
BD19-2-3	B169	2 898.00	$N_1s^2$		125.6				
BD19-2-3	B170	3 150.00	$N_1s^2$				146.7		
BD19-2-3	B172	3 610.00	$E_3l^1$				147.1		
BD19-2-3	B173	3 770.00	$E_3l^2$		129.9			164.9	
BD19-2-3	B142	3 937.00	$E_3l^2$		117.3			172.4	
BD19-2-3	B145	5 040.00	$E_3l^3$					167.6	199.1
BD19-4-1	B186	2 824.00	$N_1s^1$		121.9				
BD19-4-1	B187	3 198.00	$N_1s^2$			136.2		164.3~166.0	
BD20-1-1	B184	2 430.00	$N_1s^1$		116.8		148.9		
BD20-1-1	B183	2 940.00	$N_1s^2$		115.8~118.7		146.7~156.3		
BD20-1-1	B181	3 132.00	$E_3l^1$			133.9	158.0		
BD20-1-1	B180	3 490.00	$E_3l^2$				154.4		
BD20-1-1	B176	3 964.00	$E_3l^3$		120.5	132.2	153.3		
BD20-1-1	B175	4 258.00	$E_3y^1$					170.3	182.8
ST29-2-1	B117	3 125.00	$N_1s^2$		127.6	139.5			
ST29-2-1	B119	3 714.00	$E_3l^1$			136.2	149.5	161.0	
ST29-2-1	B121	4 214.00	$E_3l^2$				156.7		
ST36-1-1	B071	4 378.00	$N_1s^2$				152.8~157.6		
ST31-2-1	B057	1 025.00	$N_1s^1$	93.4					
ST31-2-1	B054	2 045.00	$E_3l^2$	103.6					
ST31-2-1	B052	2 804.00	$E_3l^3$		117.5~117.7				
ST31-2-1	B051	3 380.00	$E_3y^1$	107.2	121.7				
YIN9	B037	2 221.97	$E_3l^1$	105.7~108.1	126.9				
YIN9	B040	2 455.00	$E_3l^2$		118.5	138.7			
YIN9	B038	2 690.90	$E_3l^3$		116.6				

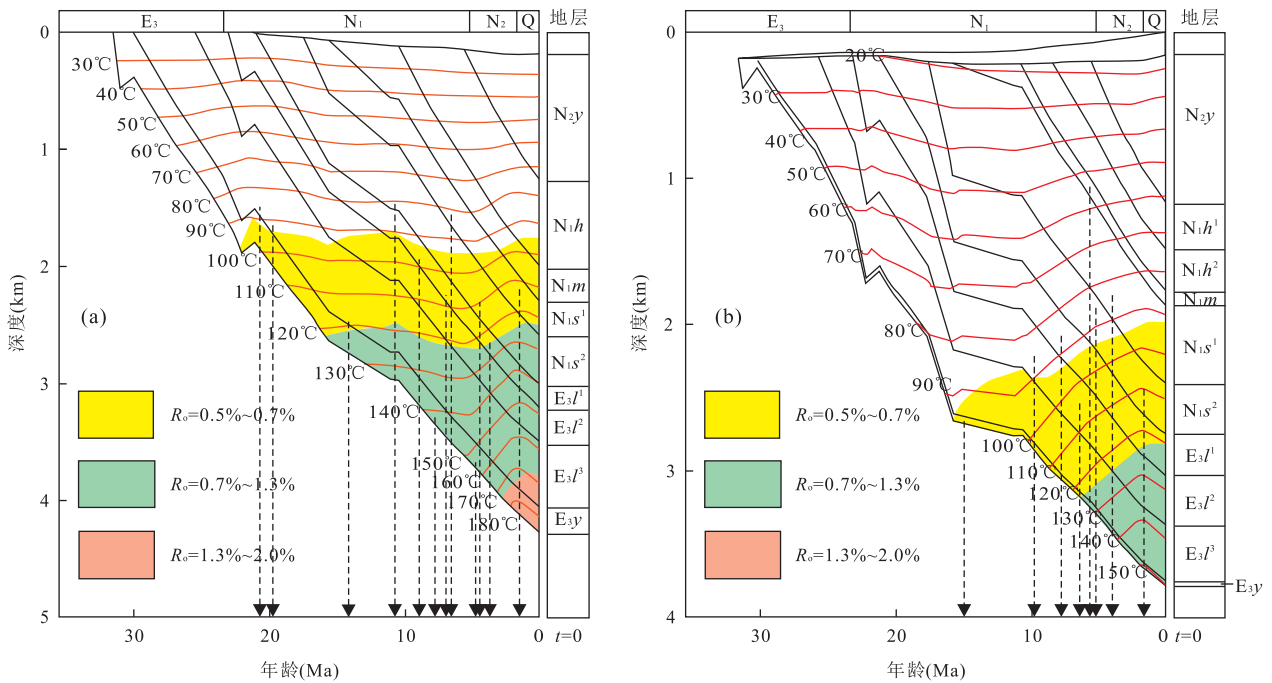


图 6 埋藏史及油气充注年龄

Fig.6 The burial history and hydrocarbon charging ages determination of well BD20-1-1 and well ST24-1-1

a.BD20-1-1 井; b.ST24-1-1 井

外激发光波长为 330 ~ 380 nm), 并配有 Maya-2000Pro 显微荧光光谱仪, 对直径  $\geq 2 \mu\text{m}$  的单包裹体分析结果为: 琼东南盆地东部各井中均检测到纯气相天然气包裹体(图 5a, 5b), 不发荧光, 主要分布在穿石英颗粒裂纹、石英颗粒内裂纹中。

### 3.2 流体包裹体显微测温

显微测温、测盐仪器为 Linkam THMS 600G 冷热台, 测定误差为  $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 显微测温初始升温速率为  $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ , 当包裹体临近均一状态时升温速率调整为  $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ . 对样品进行显微测温、测盐分析. 依据流体包裹体宿主矿物的产状、成岩序次以及包裹体均一温度分期原则(Parnell *et al.*, 1998; Munz, 2001), 与纯气相天然气包裹体共生的盐水包裹体平均均一温度可划分为 6 个幕次(表 1).

### 3.3 油气充注期次与成藏期

本研究以琼东南盆地区域地质背景、地层分层、地质年代、岩性组成、剥蚀厚度等参数为基础, 运用 PetroMod 软件进行盆地埋藏史、热演化历史恢复和烃源岩生烃史模拟. 以 BD20-1-1 井、ST24-1-1 井为例, 将与纯气相包裹体伴生的(含烃)盐水包裹体平均均一温度投到精细埋藏史图上得到天然气充注时间(图 6), 根据上述方法将琼东南盆地 13 口井的流体包裹体均一温度数据分别在其埋藏史图上进行投点, 再将充注时间投到时间轴上(图 7), 可以排除深

度的影响而划分油气成藏期次并确定油气成藏时期(Goldstein and Reynolds, 1994; Parnell *et al.*, 1998; 陈红汉等, 2003; 刘德汉等, 2007; 平宏伟等, 2014). 将琼东南盆地东部成藏划分为 4 期天然气. 第 1 期天然气成藏时间为 20.9 ~ 10.8 Ma; 第 2 期天然气成藏时间为 9.8 ~ 6.0 Ma; 第 3 期天然气成藏时间为 5.2 ~ 2.9 Ma; 第 4 期天然气成藏时间为 1.9 ~ 0.6 Ma.

### 3.4 始新统烃源岩流体包裹体证据

琼东南盆地生烃史模拟表明: 盆地东部宝岛北坡始新统大约在崖城期进入生油门限, 在崖城末期进入大量生油阶段, 在陵水期进入高熟阶段开始大量生气; 下渐新统崖城组烃源岩在三亚早期开始进入生烃门限, 梅山早期逐渐成熟而进入大量生烃阶段; 下渐新统陵水组二段烃源岩在梅山末期进入生烃门限, 从黄流末期开始逐渐成熟.

第 1 期天然气成藏时间为 20.9 ~ 10.8 Ma, 该阶段崖城组烃源岩刚进入生烃门限, 生气量有限, 而陵水组烃源岩还未进入生烃门限, 故推测该期天然气主要为始新统源岩成熟—高成熟阶段生成的油型气; 第 2 期天然气成藏时间为 9.8 ~ 6.0 Ma, 与始新统源岩和崖城组源岩生排烃有关; 第 3 期天然气成藏时间为 5.2 ~ 2.9 Ma, 与下渐新统崖城组、下渐新统陵水组生气有关; 第 4 期天然气成藏时间为 1.9 ~

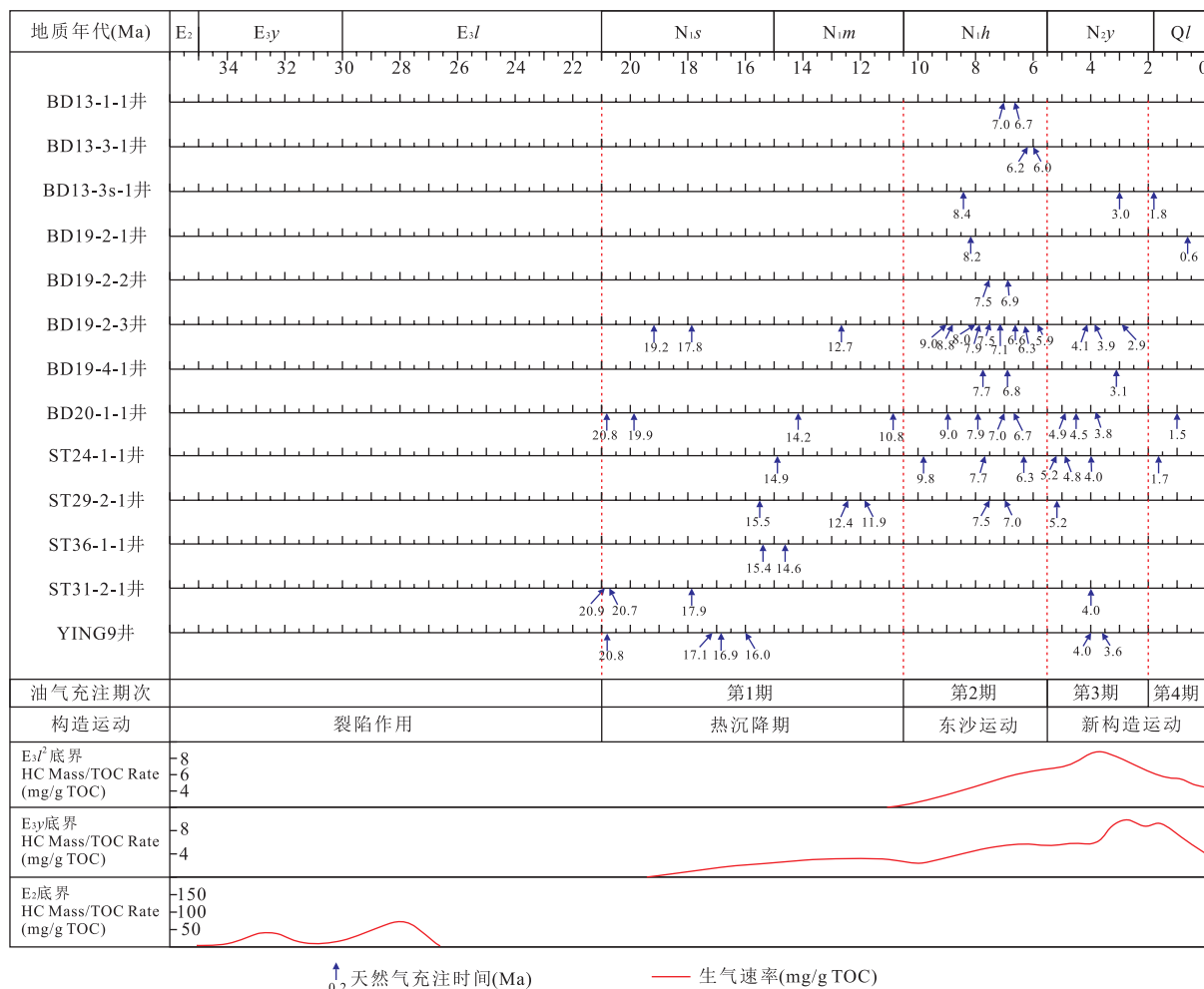


图 7 琼东南盆地东部天然气成藏期次和成藏时间

Fig.7 Gas accumulation stages and reservoiring periods of wells in east of Qiongdongnan basin

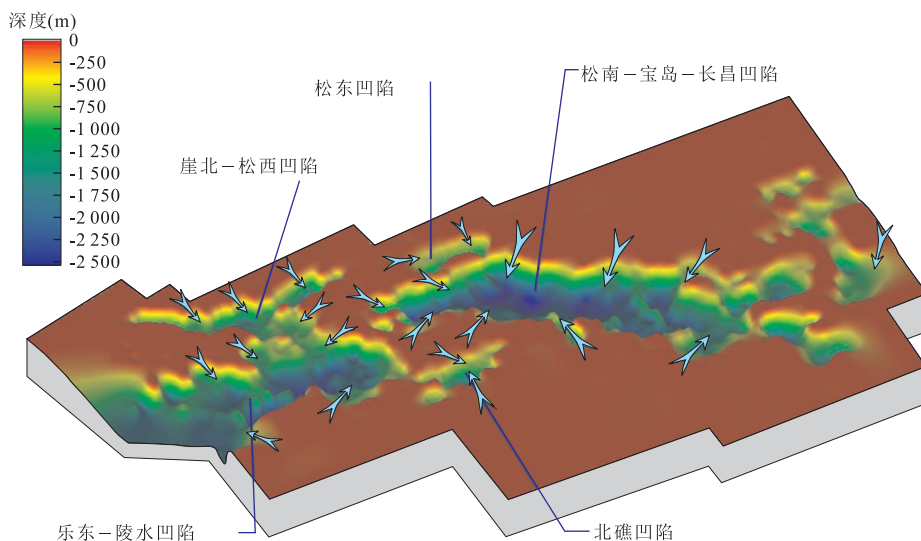


图 8 琼东南盆地始新统沉积时期古地貌恢复

Fig.8 Palaeogeomorphology recovery map in Eocene of Qiongdongnan basin

据廖计华等(2012)

0.6 Ma,为成熟—高成熟的天然气充注,伴随少量成熟的轻质油,为多套源岩混合充注。

### 4 始新统烃源岩分布

始新统以中深湖相为主,其次为滨—浅湖相和冲积扇—河流—扇三角洲体系。始新世是主要控凹断层和湖盆构造格局形成的关键时期,在太平洋板块与欧亚板块相互作用的北西—南东相拉张应力作用下,形成以东北向延伸为主、局部北西向延伸的凹陷沉降中心。琼东南盆地始新统沉积时期古地貌恢复图表明:受盆地构造格局控制,中深湖相多成东北向展布,主要分布于崖北—松西、松东、松南—宝岛—长昌、乐东—陵水凹陷以及北礁凹陷(图 8)。另外,深水区内始新统中深湖相的地震反射特征具有明显低频率、平行连续强反射、强振幅、强波阻抗的地震相特点(何家雄等,2009)(图 9)。综合琼东南盆地凹陷结构、沉积中心分布及地震相分析,推测琼东南

盆地东部始新统中深湖相主要分布于松南—宝岛—长昌凹陷、北礁凹陷(图 1)。

### 5 结论

(1)天然气碳同位素分析、C<sub>7</sub> 轻烃组成等资料证实琼东南盆地西区以煤型气为主,东区以油型气及油型—煤型混合气为特征;原油及油砂抽提物中检测到 C<sub>30</sub> 4-甲基甾烷证明琼东南盆地东区可能发育始新统偏 I 型干酪根烃源岩。

(2)琼东南盆地东部检测到 4 期天然气充注,其中第 1 期天然气成藏时间为 20.9~10.8 Ma,该期天然气与始新统烃源岩生排烃有关,主要为始新统源岩成熟—高成熟阶段生成的油型气。

(3)始新统中深湖相烃源岩多成东北向展布,主要分布于松南—宝岛—长昌凹陷以及北礁凹陷,围绕这些凹陷进入生烃门限的始新统烃源岩可能成为未来勘探的重要目标。

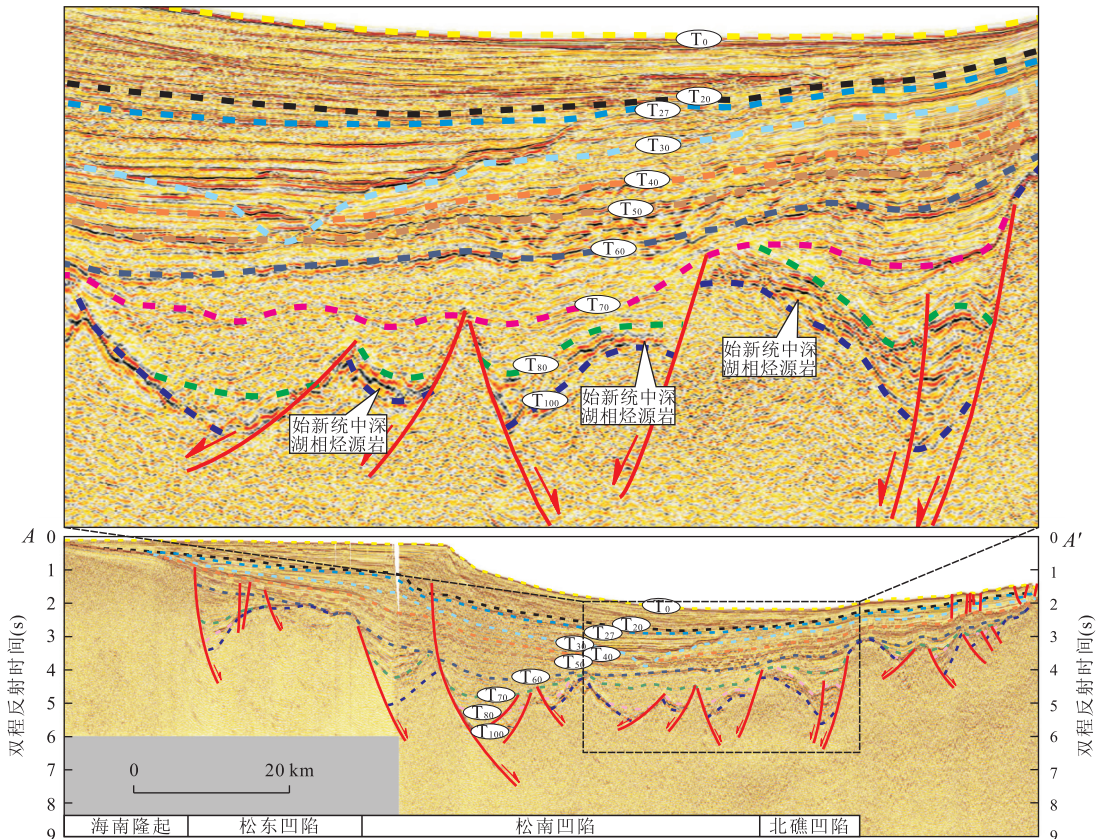


图 9 琼东南盆地松南凹陷、北礁凹陷地震层序地层划分及沉积相解释剖面

Fig.9 Seismic stratigraphic sequences classification and lateral section explanation of precipitation facies in Songnan sag and Beijiao sag of Qiongdongnan basin

剖面 AA'位置见图 1

## References

- Chen, H. H., Li, C. Q., Zhang, X. M., et al., 2003. Using Fluid Inclusion Determine Hydrocarbon Migration and Accumulation Events and Times in Tahe Oilfield. *Earth Science Frontiers*, 10(1): 190 (in Chinese).
- Dai, J. X., 1993. Carbon and Hydrogen Isotope Characteristics of Natural Gas and Identification of Various Genetic Gases. *Natural Gas Geoscience*, (2-3): 1-40 (in Chinese).
- Goldstein, R. H., Reynolds, T. J., 1994. Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals. *SEPM Short Course*, Tulsa, (31): 69-85.
- He, J. X., Chen, S. H., Cui, S. S., et al., 2009. Early-Stage Prediction and Evaluation of Hydrocarbon Source Rocks in the Deep Basin on the Northern Continental Margin of the South China Sea. *Geology in China*, 36(2): 404-416 (in Chinese with English abstract).
- He, J. X., Xia, B., Sun, D. S., et al., 2006. Hydrocarbon Accumulation, Migration and Play Targets in the Qiongdongnan Basin, South China Sea. *Petroleum Exploration and Development*, 33(1): 53-58 (in Chinese with English abstract).
- He, J. X., Li, Q., Chen, W. H., et al., 2002. Oil/Gas Mechanism Type and Gas Exploratory Direction in Eastsouth Hainan Basin. *Offshore Oil*, (1): 47-56 (in Chinese with English abstract).
- Hu, G. Y., Li, J., Li, J., et al., 2007. Investigate the Causes of Subconsciousness Indicators of Light Hydrocarbon Gas. *Science in China (Series D)*, 37(Suppl. 2): 111-117 (in Chinese).
- Huang, B. J., Li, L., Huang, H. T., 2012a. Origin and Accumulation Mechanism of Shallow Gas in the North Baodao Slope, Qiongdongnan Basin, South China Sea. *Petroleum Exploration and Development*, 39(5): 530-536 (in Chinese with English abstract).
- Huang, B. J., Li, X. S., Wang, Z. F., et al., 2012b. Source Rock Geochemistry and Gas Potential in the Deep Water Area, Qiongdongnan Basin. *China Offshore Oil and Gas*, 24(4): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- Lei, C., Ren, J. Y., Pei, J. X., et al., 2011. Tectonic Framework and Multiple Episode Tectonic Evolution in Deepwater Area of Qiongdongnan Basin, Northern Continental Margin of South China Sea. *Earth Science*, 36(1): 151-162 (in Chinese with English abstract).
- Lei, C., Ren, J. Y., Zhang, J., 2015. Tectonic Province Divisions in the South China Sea: Implications for Basin Geodynamics. *Earth Science*, 40(4): 744-762 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. X., Zhong, Z. H., Dong, W. L., et al., 2006. Paleogene Rift Structure and Its Dynamics of Qiongdongnan Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 33(6): 713-721 (in Chinese with English abstract).
- Liu, D. H., Lu, H. Z., Xiao, X. M., 2007. Oil and Gas Fluid Inclusion and Its Application in the Hydrocarbon Exploration and Exploitation. Guangdong Science & Technology Press, Guangzhou, 135-150 (in Chinese).
- Liao, J. H., Wang, H., Xiao, J., et al., 2012. Episodic Rifting and Integrated Response Process of Tectonic, Sequence Stratigraphy and Sedimentary Filling in Paleogene of Qiongdongnan Basin, South China Sea. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42(4): 970-983 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. H., Chen, H. H., 2011. Origin Mechanism and Source Rock for Natural Gas in Qiongdongnan Basin, South China Sea. *Petroleum Geology & Experiment*, 33(6): 639-644 (in Chinese with English abstract).
- Munz, I. A., 2001. Petroleum Inclusions in Sedimentary Basins: Systematics, Analytical Methods and Applications. *Lithos*, 55(1-4): 195-212. doi: 10.1016/s0024-4937(00)00045-1
- Parnell, J., Carey, P., Duncan, W., 1998. History of Hydrocarbon Charge on the Atlantic Margin: Evidence from Fluid-Inclusion Studies, West of Shetland. *Geology*, 26(9): 807-810. doi: 10.1130/0091-7613(1998)026<0807:HOHCOT>2.3.CO;2
- Ping, H. W., Chen, H. H., Régis, T., et al., 2014. Effects of Oil Cracking on Homogenization Temperature and Trapping Pressure of Oil Inclusion and Its Geological Significance. *Earth Science*, 39(5): 587-599 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, G. C., Miao, S. D., Chen, Y., et al., 2013. Distribution of Gas Enrichment Regions Controlled by Source Rocks and Geothermal Heat in China Offshore Basins. *Natural Gas Industry*, 33(4): 1-17 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, M., Zhang, X. B., Ji, L. M., et al., 2010. Characteristics of Tectonic Evolution in the Qiongdongnan Basin and Brief Discussion about Its Controlling on Reservoirs. *Natural Gas Geoscience*, 21(3): 494-502 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, W. L., Zhang, G. C., Gao, L., 2008. Geological Characteristics and Exploration Objectives of Hydrocarbons in the Northern Continental Margin Basin of South China Sea. *Acta Petrolei Sinica*, 29(1): 1-9 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

陈红汉, 李纯泉, 张希明, 等, 2003. 运用流体包裹体确定塔河



- 油田油气成藏期次及主成藏期.地质前缘,10(1):190.
- 戴金星,1993.天然气碳氢同位素特征和各类天然气鉴别.天然气地球科学,(2-3):1-40.
- 何家雄,陈胜红,崔莎莎,等,2009.南海北部大陆边缘深水盆地烃源岩早期预测与评价.中国地质,36(2):404-416.
- 何家雄,李强,陈伟煌,等,2002.琼东南盆地油气成因类型及近期天然气勘探方向探讨.海洋石油,(1):47-56.
- 何家雄,夏斌,孙东山,等,2006.琼东南盆地油气成藏组合、运聚规律与勘探方向分析.石油勘探与开发,33(1):53-58.
- 胡国艺,李剑,李谨,等,2007.判识天然气成因的轻烃指标探讨.中国科学(D辑),(增刊2):111-117.
- 黄保家,李里,黄合庭,2012a.琼东南盆地宝岛北坡浅层天然气成因与成藏机制.石油勘探与开发,39(5):530-536.
- 黄保家,李绪深,王振峰,等,2012b.琼东南盆地深水区烃源岩地球化学特征与天然气潜力.中国海上油气,24(4):1-7.
- 雷超,任建业,裴健翔,等,2011.琼东南盆地深水区构造格局和幕式演化过程.地球科学,36(1):151-162.
- 雷超,任建业,张静,2015.南海构造变形分区及成盆过程.地球科学,40(4):744-762.
- 李绪宣,钟志洪,董伟良,等,2006.琼东南盆地古近纪裂陷构造特征及其动力学机制.石油勘探与开发,33(6):713-721.
- 刘德汉,卢焕章,肖贤明,2007.油气包裹体及其在石油勘探和开发中的应用.广州:广东科技出版社,135-150.
- 廖计华,王华,肖军,等,2012.琼东南盆地古近纪幕式裂陷及构造、层序和沉积的综合响应过程.吉林大学学报:地球科学版,42(4):970-983.
- 刘正华,陈红汉,2011.琼东南盆地天然气成因类型及其烃源探讨.石油实验地质,33(6):639-644.
- 平宏伟,陈红汉,Régis, T.,等,2014.原油裂解对油包裹体均一温度和捕获压力的影响及其地质意义.地球科学,39(5):587-599.
- 张功成,苗顺德,陈莹,等,2013.“源热共控”中国近海天然气富集区分布.天然气工业,33(4):1-17.
- 赵民,张晓宝,吉利明,等,2010.琼东南盆地构造演化特征及其对油气藏的控制浅析.天然气地球科学,21(3):494-502.
- 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.石油学报,29(1):1-9.