

李文浩, 张枝焕, 李友川, 等. 世界深水含油气盆地烃源岩的发育特征及对中国南海北部深水区烃源岩的启示[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1673-1681.

Li Wenhao, Zhang Zhihuan, Li Youchuan, et al. The development characteristics of source rocks in the main deepwater petroliferous basins of the world and their enlightenment to the study of source rocks in deep-water area of northern South China Sea[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1673-681(in Chinese with English abstract).

# 世界深水含油气盆地烃源岩的发育特征及对中国南海北部深水区烃源岩的启示

李文浩<sup>1,2</sup> 张枝焕<sup>3</sup> 李友川<sup>4</sup> 张功成<sup>4</sup> 傅 宁<sup>4</sup>

(1. 中国石油大学(华东)非常规油气与新能源研究院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 3. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249; 4. 中海油研究总院, 北京 100027)

**摘要:** 国外深水盆地烃源岩发育特征表明: 无论是板内的断拗盆地还是板缘的先裂陷后漂移沉积盆地, 在裂陷期(断陷期)及拗陷期(漂移期)均有烃源岩分布, 大陆边缘盆地不同演化阶段有效烃源岩发育程度存在差别, 其中裂陷期非海相(湖相)暗色页岩是最主要和最普遍的生油岩, 还可能发育过渡相或近海相的煤系和泥质烃源岩; 其次是板内拗陷晚期或板缘漂移期的海陆过渡相、近海相、前三角洲相等有大量的有机质供给或者长期离物源区较近的情况下, 烃源岩发育; 裂陷晚期和拗陷早期烃源岩一般不发育, 但有大量的有机质供给的半封闭浅海—半深海环境可能发育高效烃源岩。国外主要深水盆地中新生界烃源岩发育特征对中国南海北部深水区烃源岩的认识具有重要的指导意义。中国南海北部裂陷早期阶段发育的湖相烃源岩和裂陷晚期发育的海陆过渡相烃源岩为主力烃源岩; 南海北部不同盆地拗陷期中新统海相烃源岩差异较大, 其中陆源有机质输入不足的琼东南盆地烃源岩稍差些, 陆源有机质输入相对充足的珠江口盆地烃源岩较好一些。墨西哥湾和北苏门答腊盆地的勘探实践已经证实了半深海相烃源岩可作为有效油源岩, 这对中国南海北部深水区中新统海相烃源岩认识具有很好的借鉴意义。

**关键词:** 深水盆地; 湖相烃源岩; 海陆过渡相烃源岩; 海相烃源岩; 南海北部

**中图分类号:** P58; P536 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)05-1673-09

## 1 世界深水含油气盆地概况

深水盆地的油气勘探始于 20 世纪 70 年代末期。30 多年的勘探实践证明, 深水区是油气蕴藏极为丰富的领域, 其勘探领域已扩大到了 3000 m 以上水深。目前, 全球多达 60 多个国家进行深水油气勘探, 累计发现的石油地质储量超过了  $250 \times 10^8$  桶, 天然气为  $250 \times 10^8$  桶油当量<sup>[1-3]</sup>。尤为引人注目的是墨西哥湾、南美和西非大西洋沿岸已成为目前世界深水油气勘探的热点<sup>[4]</sup>。从国外发现的深水油气田来

看, 绝大多数含油气盆地位于离散大陆边缘, 发育有裂陷前期、裂陷期和裂后热沉降期 3 个超层序, 发育的烃源岩大多是裂陷期的湖相和滨浅海相沉积以及裂后热沉降期海相灰岩、页岩<sup>[5]</sup>。

图 1 所示的盆地均为目前全球深水区油气勘探的主要区域, 其中被动大陆边缘盆地主要发育在大西洋两岸, 如非洲西海岸大陆边缘发育的下刚果盆地和加蓬盆地, 南美东海岸大陆边缘发育的坎普斯盆地<sup>[6]</sup>。而墨西哥湾、澳大利亚西北大陆架等、南中国海等属局部扩张洋盆的边缘, 盆地早期往往是裂

收稿日期: 2013-10-04; 改回日期: 2014-02-17

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(973 项目)(2009CB219402)及国家自然科学基金重点基金(41330313)联合资助。

作者简介: 李文浩, 男, 1985 年生, 博士, 主要从事地球化学和非常规油气方面的研究工作; E-mail: wenhao19850623@163.com。

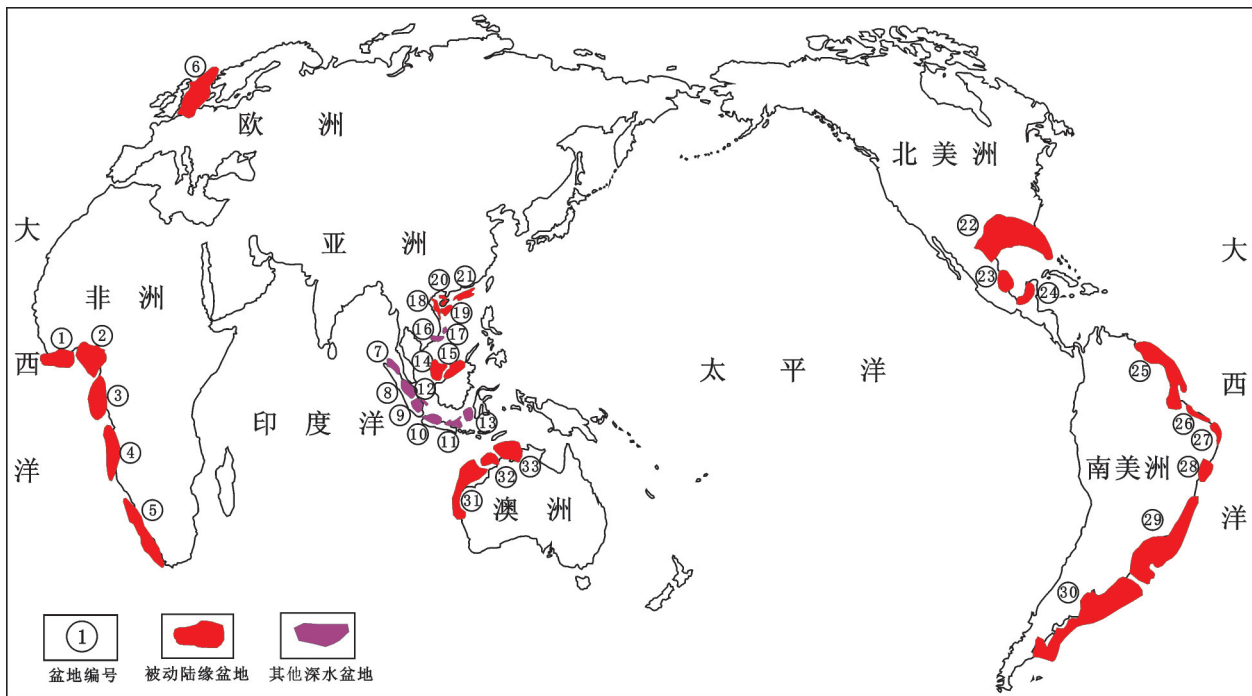


图1 世界主要深水含油气盆地分布图(据文献[6]修改)

- ①杜阿拉盆地;②尼日尔三角洲盆地;③加蓬盆地;④下刚果盆地;⑤宽扎盆地;⑥北海盆地;⑦北苏门答腊盆地;⑧中苏门答腊盆地;  
⑨南苏门答腊盆地;⑩西北爪哇盆地;⑪东北爪哇盆地;⑫巽他盆地;⑬库泰盆地;⑭曾母盆地;⑮文莱—沙巴盆地;  
⑯湄公盆地;⑰宋红盆地;⑱莺歌海盆地;⑲琼东南盆地;⑳北部湾盆地;㉑珠江口盆地;㉒墨西哥湾盆地;㉓东墨西哥大陆架;  
㉔坎佩切湾盆地;㉕圭亚那盆地;㉖巴雷里尼亚斯盆地;㉗伯南布哥—帕拉盆地;㉘巴伊亚盆地;㉙坎普斯盆地;  
㉚科罗拉多盆地;㉛卡那封盆地;㉜布劳斯盆地;㉝波拿巴盆地

Fig.1 The distribution of the main deepwater petroliferous basins in the world (modified after reference [6])

- ①Douala Basin; ②Niger Delta Basin; ③Gabon Basin; ④Congo Basin; ⑤Kwanga Basin; ⑥North Sea Basin; ⑦North Sumatra Basin;  
⑧Central Sumatra Basin; ⑨South Sumatra Basin; ⑩Northwest Java Basin; ⑪Northeast Java Basin; ⑫Sunda Basin; ⑬Kutai Basin;  
⑭Zengmu Basin; ⑮Brunei-Sabah Basin; ⑯Mekong Basin; ⑰Song Hong Basin; ⑱Yinggehai Basin; ⑲Qiongdongnan Basin;  
⑳Beibuwan Basin; ㉑Pearl River Mouth Basin; ㉒Gulf of Mexico Basin; ㉓Continental shelf of Eastern Mexico; ㉔Campeche Bay Basin;  
㉕Guyana Basin; ㉖Barreirinhas Basin; ㉗Pernambuco-Pará Basin; ㉘Bahia Basin; ㉙Campos Basin; ㉚Colorado Basin;  
㉛Carnarvon Basin; ㉜Browse Basin; ㉝Bonaparte Basin

谷或坳陷型盆地,后期转化为被动陆缘盆地,其构造演化特征较为复杂。而南海南侧印尼海区则主要为弧后盆地。北海盆地则为西北欧克拉通地块内发育的大陆型裂谷盆地<sup>[7]</sup>。

## 2 世界深水油气盆地烃源岩发育规律

本文主要调研分析了大西洋裂谷系盆地、北海盆地、墨西哥湾盆地、澳大利亚西北大陆架、印尼海区等盆地的性质、演化特征,油气分布特征,烃源岩的地球化学特征及其形成环境。其中大西洋裂谷系盆地(除尼日尔盆地外)多数形成于大西洋张开

被动大陆边缘的一侧<sup>[8]</sup>,大西洋裂谷系盆地的一个显著的共同特征是位于大河系出口下方,烃源岩主要发育在裂陷早期,其次为坳陷期(漂移期),大型河流或三角洲提供了丰富的陆源有机质,为优质烃源岩的形成奠定了良好的物质基础,如尼日尔三角洲烃源岩主要分布在阿卡特组海相页岩和阿格巴达组下部的海陆交互相页岩中,其有机碳含量一般为0.2%~6.5%,平均值达2.6%,为好的生油岩<sup>[9-10]</sup>;北海盆地烃源岩主要发育于断陷期中上侏罗统,其中上侏罗统页岩有机碳含量达3%~10%<sup>[11]</sup>,为一套优质烃源岩;而墨西哥盆地优质烃源岩主要发育在坳陷期;西部大陆架诸盆地裂谷层序的中下侏罗统

表1 世界深水含油气盆地烃源岩发育特征  
Table 1 Development characteristics of source rocks in the main deepwater petroliferous basins of the world

盆地或地区	烃源岩发育层位	岩性	有机质丰度	有机质类型	有机质成熟度	构造演化阶段	沉积环境
北海	上侏罗统	页岩	3%~10%	II	成熟	断陷晚期	海陆过渡, 近海海相沉积
	中侏罗统	煤层和含煤页岩	80%	II~III		断陷早期	海陆过渡沉积
印尼海区	中新统	煤, 泥岩, 页岩		I、III	晚中新世以后成熟	断陷晚期至坳陷期	海相、海陆过渡相、三角洲相
	晚始新世—渐新世	泥灰岩		II	成熟	断陷早期	湖相沉积
		煤, 泥岩		III	过成熟	断陷早期	近海沼泽相
坎普斯盆地	下白垩统	泥岩, 页岩	2%~6%	I、II	成熟	断陷早期	深湖相沉积
	始新统—中中新统	页岩	2.6%	II~III	成熟	漂移期	三角洲相、海陆过渡相
下刚果盆地	晚侏罗—早白垩统	页岩	2%~3%	I、III	成熟	断陷期	深湖相沉积
墨西哥湾	古—始新统	页岩	1.5%~2.7%	III	生油窗范围	坳陷晚期	海相、三角洲相
	上白垩统	碳酸盐岩和硅质碎屑岩	>1.0%	II	生油窗范围	坳陷晚期	海相沉积
	上侏罗统	灰质泥岩	1%~2%	II	过成熟	坳陷早期	海相沉积
澳大利亚西北大陆架	古生界和中生界	煤, 泥岩		III	过成熟	克拉通内坳陷期和裂谷期	河流三角洲沉积

是盆地最主要烃源岩,过渡-漂移层序的上侏罗统一下白垩统是该区较好烃源岩;印尼海区诸盆地断陷早期一般发育湖相泥质烃源岩,而坳陷晚期一般发育海相泥岩,二者之间会发育一些海陆过渡相或近海相的煤和泥页岩<sup>[12]</sup>。

世界深水盆地烃源岩发育规律可归纳为:裂陷早期发育优质烃源岩的可能性最大,其次是坳陷晚期,最差的是裂陷的晚期和坳陷的早期(表1)。裂陷早期一般都会发育湖相烃源岩,其次可能发育过渡相或近海相的煤系和泥质烃源岩;坳陷晚期盆地沉积环境可以多种多样,例如海陆过渡相、近海或三角洲相和海相都可能发育,因此烃源岩也可能比较发育;裂陷晚期和坳陷早期持续时间短,相变迅速,缺乏对应的沉积层序,因此烃源岩的发育可能性相对较小。但也有例外,如北海盆地上侏罗统海相沉积地层分别是主力的烃源岩,其有机质丰度高,类型好,烃源岩是形成于海相沉积环境中,但形成于裂陷的晚期,演化的时间长,沉积有机质主要来源于内源海相的藻类,生烃潜力较大(表1)。

同裂陷期相比,坳陷期或漂移期烃源岩一般不发育,烃源岩较发育的盆地一般具有2类特征:第一类以大西洋两岸裂谷系盆地为主(如尼日尔三角洲盆地、刚果盆地等),盆地主要位于大河口的下方。陆源有机质供应充足,有利用烃源岩的发育,如尼日尔三

角洲盆地有尼日尔—贝努埃河系(长度4160 km,流域面积 $209 \times 10^4 \text{ km}^2$ ),下刚果盆地有刚果河系(长度437 km,流域面积 $369 \times 10^4 \text{ km}^2$ )等。第二类则是以印尼苏门答腊盆地为代表的坳陷期发育的主力烃源岩则目前尚未发现有大型的河流带来陆源碎屑物质注入,但是经勘探发现其烃源岩丰度较高,平均有机碳含量在1.5%左右,其沉积环境为海陆过渡偏海相,藻类贡献较大,为烃源岩的形成提供了物质基础。

### 3 南海北部烃源岩发育的特征

南海北部大陆边缘经历了从燕山期主动陆缘向新生代边缘海被动陆缘的转变,除莺歌海盆地外,其余盆地大都发育在中生代末至新生代早期。神狐运动使一系列北东向张性断裂开始发育,产生一系列北东向地堑、半地堑,并在之后发育了湖相沉积。直至始新世末,热沉降作用使陆缘逐渐沉于水下,广泛接受海陆交互相和海相沉积,沉积盆地成型。裂陷早期即始新世,由于湖泊的面积逐步增大,深度加深,湖底接受了富含有机质的烃源岩,形成了分布广泛的古近纪中深湖相烃源岩。裂陷晚期由于受到海水侵入的影响,南海北部均发育海相沉积,快速沉降是本阶段的重要特征之一,该阶段生长断层十分发育,其下降盘常见近源扇三角洲沉

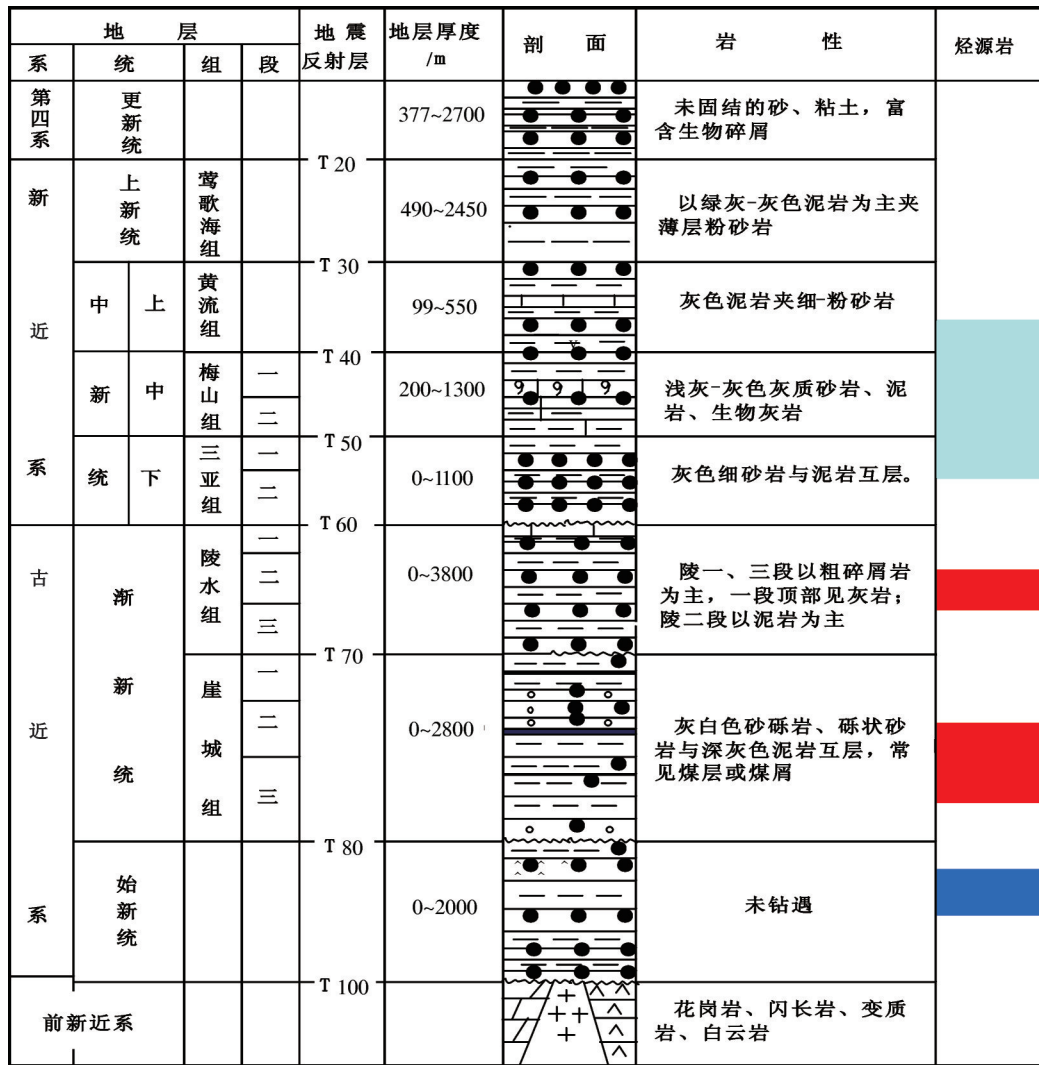


图2 南海北部琼东南盆地地层综合柱状图

Fig.2 Composite stratigraphic columnar section of the Qiongdongnan Basin, northern South China Sea

积。裂陷晚期,南海北部深水区出现拗陷的雏形,如琼东南盆地松南、陵水凹陷等。拗陷早期始于早中新世,由于海侵程度的扩大,南海北部海相沉积范围进一步扩大。该阶段南海北部出现了陆架和陆坡的雏形,陆坡深水区为琼东南盆地中央拗陷带以及珠江口盆地白云凹陷,其物源较为单一,分别来自海南岛和番禺隆起区。拗陷晚期,琼东南盆地和珠江口盆地白云凹陷结构均变为被动大陆边缘型,出现了明显的陆架坡折形态。此间,沉积物供应速度高,故高频层序发育,为高效烃源岩的形成提供了良好的物质基础。

南海北部盆地主要发育3套烃源岩,包括裂陷期早期(古近纪始新世)的湖相烃源岩、裂陷晚期(古近

纪渐新世)的海陆过渡相和浅海相烃源岩、以及拗陷期(新近纪)的海相烃源岩(图2)。其中裂陷期早期的湖相烃源岩和裂陷晚期发育的海陆过渡相烃源岩为南海北部的主力烃源岩。南海北部珠江口盆地裂陷早期始新统文昌组湖相泥岩对珠一拗陷商业性油藏具有普遍贡献,其中惠州凹陷文昌组中深湖相烃源岩有机碳含量平均值大于3%,有机质类型主要为II<sub>1</sub>,达到优质烃源岩的标准<sup>[13-14]</sup>。南海北部裂陷晚期发育的海陆过渡相烃源岩为南海北部主力气源岩。其中琼东南盆地崖城13-1气田的油气主要来源于崖城组海陆过渡相烃源岩<sup>[15-17]</sup>,而珠江口盆地白云凹陷无论是浅水区还是深水区的油气均主要来源于恩平组海陆过渡相烃源岩,少部分来自于珠海组海相烃

源岩<sup>[18-19]</sup>。

陆源高等植物是大陆边缘型盆地海相烃源岩的主要生源物质,南海北部海相烃源岩明显受到陆源输入的控制,因此,陆源高等植物的输入量决定南海北部海相烃源岩性质的好坏。由于陆生高等植物输入量存在差别,因而南海北部珠江口盆地和琼东南盆地海相烃源岩差异较大。珠江口盆地古珠江自晚始新世恩平组沉积时期开始发育,珠海组沉积时期,古珠江的影响范围可达白云凹陷南部。受古珠江的影响,珠江口盆地珠海组沉积时期陆生高等植物有机质来源较为丰富,珠海组海相烃源岩较为发育。而琼东南盆地缺乏大型的河流和三角洲沉积(仅崖城组时期盆地边缘局部发育扇三角洲、冲积扇和海岸平原沉积),陆源有机质供给明显不足,因此相同时代泥岩的有机质丰度相比,珠江口盆地珠海组、珠江组和韩江组海相泥岩有机质丰度明显高于琼东南盆地陵水组、三亚组和梅山组海相烃源岩<sup>[20]</sup>。本文以琼东南盆地为例,讨论南海北部烃源岩的发育规律。

琼东南盆地裂陷早期始新统为湖相沉积,尽管始新统目前尚未钻遇,但是目前已发现的原油中检测到高含量的四甲基甾烷(图3),只是湖相沉积环境,与琼东南盆地其他层位烃源岩的生物标志物特征均存在明显的差异,由此推测该类原油来自于始新统湖相烃源岩。琼东南盆地裂陷晚期发育的崖城组海陆过渡相烃源岩和陵水组浅海相烃源岩陆源有机质输入较大,尤其是崖城组烃源岩,检测到高含量的陆源被子植物来源的化合物奥利烷(图4),丰富的陆源有机质为烃源岩的形成提供了良好的物质基础。因此,琼东南盆地裂陷期早期发育的始新统湖相烃源岩可作为盆地主力油源岩,裂陷晚期发育的崖城组海陆过渡相烃源岩为琼东南盆地主力气源岩,裂陷晚期发育的陵水组半封闭浅海相泥岩可作为盆地次要烃源岩。

琼东南盆地坳陷期发育的中新统三亚组和梅山组烃源岩质量色谱图显示:正构烷烃高碳数分布明显减少,未检测到高等植物来源的奥利烷(图4),表明陆生有机质对烃源岩的贡献明显减少,因此坳陷期发育的海相烃源岩由于陆源输入不足导致其生烃潜力较差。但是由于目前探井主要分布在浅水区,而藻类等水生生物相对较发育的深水区缺乏

探井,因此探井揭示中新统海相烃源岩的性质不具有代表性。选取琼东南盆地不同构造单元探井进行分析(图5),其中YC13-1构造主要位于浅水台地环境,YC19-1构造和YC21-1构造主要位于滨浅海环境,中央坳陷带边缘的YC35-1构造主要位于外浅海环境,不同构造单元烃源岩地球化学特征表明:从浅水区到相对深水区中新统海相烃源岩有机质丰度明显变好(图5),由此推测,位于半深海环境的中央坳陷带(深水区),尽管缺乏探井,由于底栖藻类发育且保存条件相对较好,烃源岩应具有良好生烃潜力。

#### 4 世界深水油气盆地有效烃源岩发育规律对中国南海北部深水区烃源岩的启示

南海北部深水区位于被动大陆边缘,与大多数世界著名深水油气盆地相似,但南海北部是边缘海的被动陆缘而不是开阔大洋的被动陆缘;南海北部深水区也位于大河口下方,古珠江长度2129 km,流域面积 $44 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,约为刚果河和尼日尔河长度的1/2,面积的1/8和1/5,对南海北部深水区烃源岩具有一定的影响。

南海北部的裂陷期在白垩纪末—古近纪,而南大西洋被动陆缘盆地的裂陷期在侏罗纪—白垩纪,墨西哥湾盆地和澳大利亚西北陆架盆地的裂陷期在三叠纪—中侏罗世。典型大陆被动边缘盆地发育时间早,因此裂陷期与过渡期演化时间较长且特征明显,裂陷期陆相巨厚烃源岩发育,过渡期大范围厚层膏盐岩发育。南海北部深水区烃源岩主要为裂陷早期发育的湖相烃源岩和裂陷晚期发育的海陆过渡相烃源岩,坳陷期烃源岩不发育,这主要是由于断陷晚期至坳陷早期持续时间短,相变迅速,缺乏对应的沉积层序,不利于坳陷期烃源岩的发育。

世界深水盆地烃源岩发育规律表明:陆源有机质输入量决定南海北部深水区坳陷期海相烃源岩的性质。其中珠江口盆地由于受到古珠江的影响,陆源有机质相对较充足,而琼东南盆地缺乏大型河流和三角洲,因此珠江口盆地海相烃源岩相较琼东南盆地明显变好。

墨西哥湾和苏门答腊盆地坳陷早期同样发现了生烃潜力很好的泥岩,这对中国南海北部深水

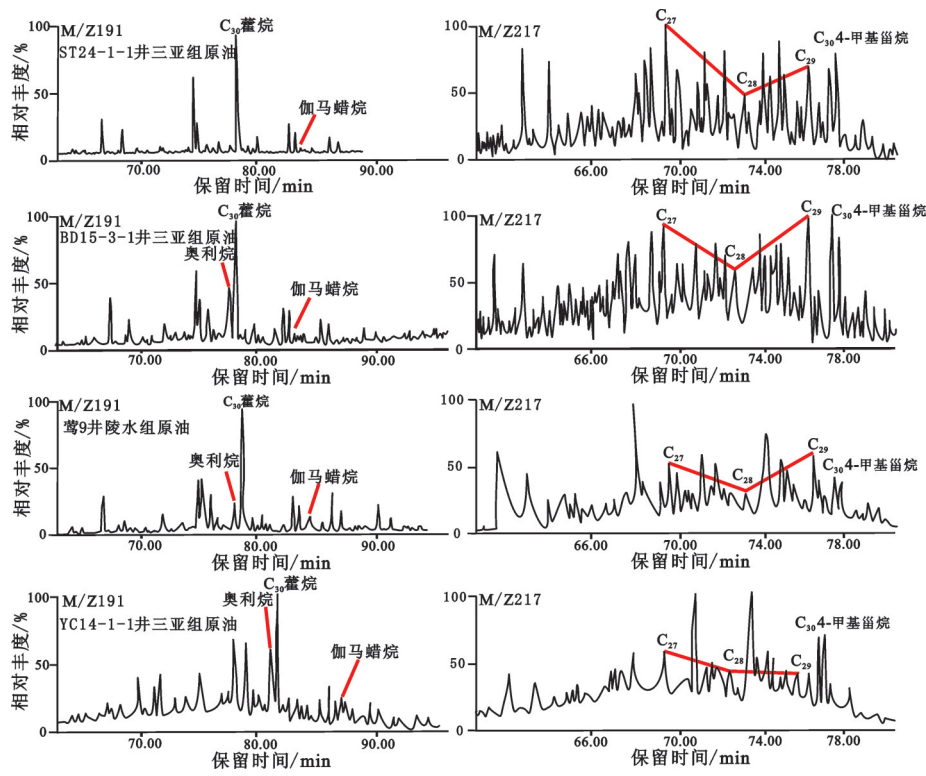


图3 琼东南盆地部分原油生物标志物分布特征

Fig. 3 Distribution characteristics of biomarkers of part of crude oil in the Qiongdongnan Basin

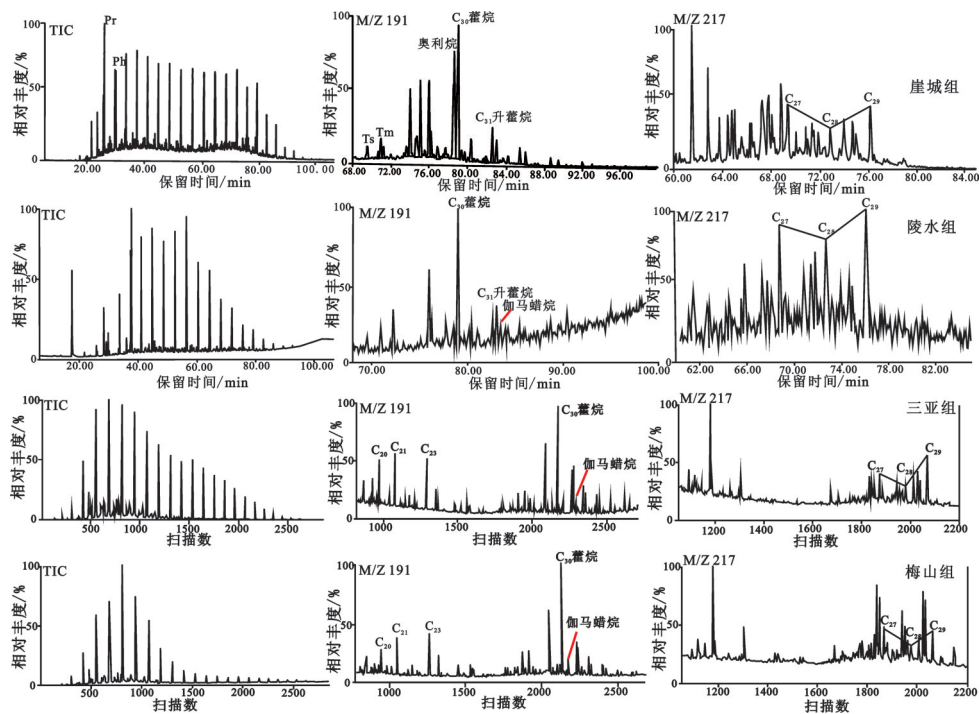


图4 琼东南盆地烃源岩生物标志物分布特征

Fig. 4 Distribution characteristics of biomarkers of source rocks in the Qiongdongnan Basin

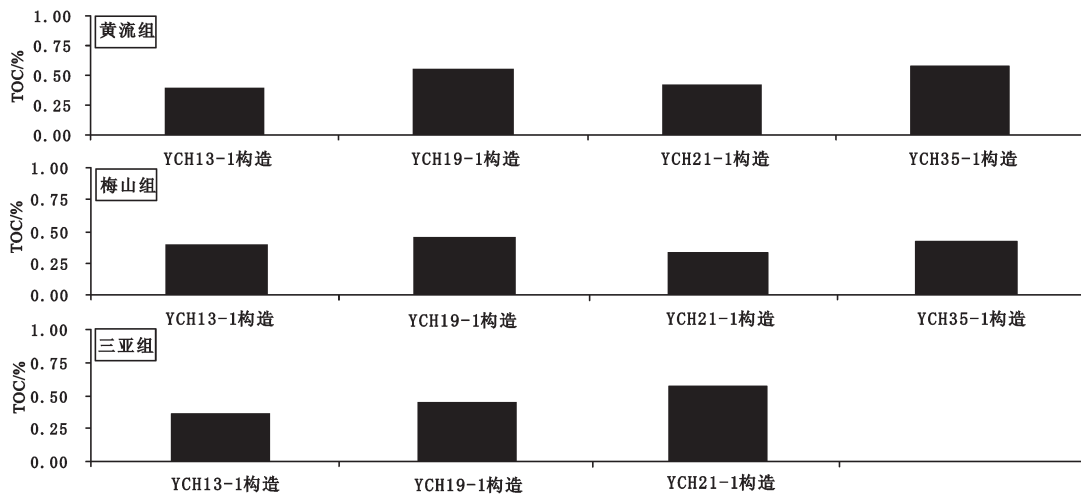


图5 琼东南盆地不同构造单元中新统海相烃源岩有机质丰度分布特征

Fig.5 Distribution characteristics of organic matter abundances of Miocene marine source rocks in different structural belts of the Qiongdongnan Basin

区,尤其是现在缺乏探井的琼东南盆地深水区烃源岩的认识提供了另外一种思路,具有很好的借鉴意义。尤其是北苏门答腊盆地的勘探实践也已经证实了半深海相烃源岩可为有效油源岩,可有效地指导中国南海北部缺少探井的深水区烃源岩发育规律的认识,对中国南海北部深水区的勘探具有重要的指导意义。

## 5 结 论

(1)世界深水含油气盆地烃源岩的发育规律表明,在裂陷期(断陷期)坳陷期及(漂移期)均有烃源岩分布,但陆缘盆地不同演化阶段有效烃源岩发育程度存在差别,其中裂陷期湖相暗色页岩是最主要和最普遍的生油岩,还可能发育过渡相或近海相的煤系和泥质烃源岩;其次是板内坳陷晚期或板缘漂移期的海陆过渡相或三角洲相烃源岩;裂陷晚期和坳陷早期烃源岩一般不发育。

(2)大陆边缘盆地坳陷期的发育的海相烃源岩明显受到陆源输入的控制,相较裂陷期,坳陷或漂移期烃源岩一般不发育,除了北海、墨西哥和北苏门答腊盆地外,烃源岩较发育的盆地一般位于大河口的下方或发育大型的三角洲。

(3)南海北部主力烃源岩主要为裂陷早期的湖相烃源岩和裂陷晚期的海陆过渡相烃源岩;陆源有

机质输入不足制约了南海北部深水区坳陷阶段海相烃源岩的发育,尤其是大型河流和三角洲均不发育的琼东南盆地,但从盆地浅水区到相对深水海区相烃源岩性质有变好的趋势,推测深水区中新统海相烃源岩生烃潜力较大,并且墨西哥湾和北苏门答腊盆地坳陷期海相烃源岩可作为有效烃源岩的证实,对中国南海北部探井缺少的深水区发育的半深海相烃源岩的认识具有重要的指导意义。

## 参考文献(References):

- [1] 吕福亮, 贺训云, 武金云, 等. 世界深水油气勘探现状、发展趋势及对我国深水勘探的启示[J]. 中国石油勘探, 2007, 12(6): 28-31.  
Lv Fuliang, He Xunyun, Wu Jinyun, et al. Current situation and tendency of deepwater oil and gas exploration in the world[J]. China Petroleum Exploration, 2007, 12(6): 28 - 31(in Chinese with English Abstract).
- [2] 吕福亮, 贺训云, 武金云, 等. 世界深水油气勘探形势分析及对我国深水油气勘探的启示[J]. 海洋石油, 2007, 27(3): 41-45.  
Lv Fuliang, He Xunyun, Wu Jinyun, et al. The current situation and trend of deepwater oil and gas exploration of the word and the inspiration for us [J]. Offshore Oil, 2007, 27(3) : 41-45(in Chinese with English Abstract).
- [3] 范玉海, 曲红军, 张功成, 等. 世界主要深水含油气盆地烃源岩特征[J]. 海相油气地质, 2011, 16(2): 27-33.  
Fan Yuhai, Qu Hongjun, Zhang Gongcheng, et al. Characteristics of hydrocarbon source rocks in major deepwater petroliferous basins in the world [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2011, 16

- (2): 27-33(in Chinese with English Abstract).
- [4] 杨川恒, 杜棚, 潘和顺, 等. 国外深水领域油气勘探新进展及我国南海北部陆坡深水油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 247-256.  
Yang Chuanheng, Du Xu, Pan Heshun, et al. Advances in worldwide deep water hydrocarbon exploration and oil and gas exploration potential in the northern continental slope in South China Sea [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 247 - 256(in Chinese with English Abstract).
- [5] 吴时国, 袁圣强. 世界深水油气勘探进展与我国南海深水油气前景[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(6): 693-699.  
Wu Shiguo, Yuan Shengqiang. Advance of exploration and petroleum geological features of deepwater hydrocarbon in the world [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(6): 693 - 699(in Chinese with English Abstract).
- [6] 李国玉, 金之钧, 李俊, 等. 世界含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.  
Li Guoyu, Jin Zhijun, Li Jun, et al. Word Atlas Oil-gas Basins[M]. Beijing : Petroleum Industry Press, 2005(in Chinese).
- [7] Glennie K W. Introduction to the Petroleum Geology of the North Sea[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1991.
- [8] Adeleye D R. The geology and stratigraphy of the Bida embayment[R]. P. H. D. Thesis, Ibadan University, 1972.
- [9] 侯高文, 刘和甫, 左胜杰. 尼日尔三角洲盆地油气分布特征及控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 374-378.  
Hou Gaowen, Liu Hefu, Zuo Shengjie. A study of distribution characteristics of petroleum in Niger delta basin and their controlling factors [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 374-378 (in Chinese with English Abstract).
- [10] 侯高文. 尼日尔三角洲油气地质特征与Stubb Creek 边际油田含油气潜力评价[D]. 中国地质大学, 2006.  
Hou Gaowen. Petroleum Geology of Niger Delta and Evaluation of the Hydrocarbon Potential in Stubb Creek Marginal Oil Field [D]. China University of Geosciences, 2006 (in Chinese with English Abstract).
- [11] 周蒂, 孙珍, 陈汉宗. 世界著名深水油气盆地的构造特征及对我国南海北部深水油气勘探的启示[J]. 地球科学进展, 2007, 22(6): 561-572.  
Zhou Di, Sun Zhen, Chen Hanzong. Tectonic features of World's major deep-water oil /gas fields and their enlightenment to deep-water exploration in northern South China Sea [J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(6): 561- 572(in Chinese with English Abstract).
- [12] Doust H, Noble R A. Petroleum systems of Indonesia[J]. Marine and Petroleum Geology, 2008, 25: 103-129.
- [13] 史玉玲, 侯读杰, 马宁. 惠州凹陷生烃潜力及油源对比[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(10): 15-19.  
Shi Yuling, Hou Dujie, Ma Ning. Hydrocarbon- generating potential and correlation of oil sources in Huizhou oil-enriched depression [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(10): 15-19(in Chinese).
- [14] 张水昌, 龚再升, 梁狄刚, 等. 珠江口盆地东部油气系统地球化学— I : 油组划分、油源对比及混源油确定[J]. 沉积学报, 2004, 22(增刊): 15-26.  
Zhang Shuichang, Gong Zaisheng, Liang Digang, et al. Geochemistry of petroleum systems in the eastern Pearl River Basin- I: Oil family classification, oil- source correlation and mixed oil analysis [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (Supp.): 15-26(in Chinese with English Abstract).
- [15] 林壬子, 蒋基平. 甾萜类生物标志化合物研究动态浅析[J]. 石油天然气学报, 1983, (1): 20-36.  
Lin Renzi, Jiang Jiping. Analysis of the development of steranes and terpenes [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 1983, (1): 20-36(in Chinese).
- [16] 黄保家, 肖贤明, 董伟良. 莺歌海盆地烃源岩特征及天然气生成演化模式[J]. 天然气工业, 2002, 22(1): 26-30.  
Huang Baojia, Xiao Xianming, Dong Weiliang. Characteristics of hydrocarbon source rocks and generation & evolution model of natural gas in Yinggehai Basin [J]. Natural Gas Industry, 2002, 22 (1): 26-30(in Chinese with English Abstract).
- [17] 陈伟煌, 何家雄, 夏斌. 莺—琼盆地天然气勘探回顾与存在的主要问题及进一步勘探的建议[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(4): 412-415.  
Chen Weihuang, He Jiaxiong, Xia Bin. Review and proposal upon offshore gas exploration in Yinggehai Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(4): 412- 415(in Chinese with English Abstract).
- [18] 傅宁, 米立军, 张功成. 珠江口盆地白云凹陷烃源岩及北部油气成因[J]. 石油学报, 2007, 28(3): 32-38.  
Fu Ning, Mi Lijun, Zhang Gongcheng. Source rocks and origin of oil and gas in the northern Baiyun Depression of Pearl River Mouth Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(3): 32- 38(in Chinese with English Abstract).
- [19] 朱俊章, 施和生, 何敏, 等. 珠江口盆地白云凹陷深水LW3-1-1井天然气地球化学特征及成因探讨[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(2): 229-233.  
Zhu Junzhang, Shi Hesheng, He Min, et al. Origins and geochemical characteristics of gases in LW3- 1- 1 well in the deep sea region of Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(2) : 229-233(in Chinese with English Abstract).
- [20] 李友川, 米立军, 张功成, 等. 南海北部深水烃源岩形成和分布研究[J]. 沉积学报, 2011, 29(5): 970-979  
Li Youchuan, Mi Lijun, Zhang Gongcheng, et al. The formation and distribution of source rocks for deep water area in the northern of South China Sea [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5): 970-979(in Chinese with English Abstract).



## The development characteristics of source rocks in the main deepwater petroliferous basins of the world and their enlightenment to the study of source rocks in deep-water area of northern South China Sea

LI Wen-hao<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhi-huan<sup>3</sup>, LI You-chuan<sup>4</sup>, ZHANG Gong-cheng<sup>4</sup>, FU Ning<sup>4</sup>

(1. *Research Institute of Unconventional Hydrocarbon and Renewable Energy, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China*; 2. *School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, China*; 3. *State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing, 102249, China*; 4. *CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China*)

**Abstract:** The developmental characteristics of hydrocarbon source rocks in deepwater basins abroad show that hydrocarbon source rocks are distributed at the stage of rifting and depression in both rifting-depressing or rifting-drifting basins. Effective source rocks have different development characteristics at different evolution stages of continental margin basin; of these rocks, non-marine (lacustrine) dark shale at the stage of rifting is the main and most common source rock. It is also possible to develop coal measures and muddy source rocks of transitional facies and paralic facies. With the supply of large quantities of organic matter of marine-continental transitional facies, paralic facies and prodelta facies at the late intraplate depression and under the margin-plate drifting condition, or in the circumstance of being long close to provenance, hydrocarbon source rocks would develop well. Source rocks do not develop at the late stage of rifting and the early stage of depressing. As a matter of fact, effective source rocks may develop under the condition of the supply of large quantities of organic matter from the semi-closed shallow sea and bathyal environment. The above characteristics have important guiding significance for the development of source rocks in northern South China Sea, where the main source rocks are lacustrine source rocks at the early rifting stage and marine-continental transitional facies source rocks at the late stage of rifting. Miocene marine source rocks vary in different basins. With enough terrestrial organic matter supply, source rocks from the Peal River Mouth basin is more effective than those from the Qiongdongnan basin. The exploration of Gulf of Mexico basin and northern Sumatra basin has proved that source rocks of bathyal facies seem to be effective source rocks, and this finding is of reference significance for the study of Miocene marine source rocks in northern South China Sea.

**Key words:** deep-water basin; lacustrine source rock; transitional facies source rock; marine source rock; northern South China Sea

---

**About the first author:** LI Wen-hao, born in 1985, doctor, engages in the study of geochemistry and unconventional hydrocarbon; E-mail: wenhao19850623@163.com.