

# 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

何家雄<sup>1</sup>, 张 伟<sup>1,2</sup>, 卢振权<sup>3</sup>, 李晓唐<sup>1,2</sup>

(1.中国科学院广州地球化学研究所边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640;  
2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029)

**摘要:**根据含油气系统“从烃源到圈闭成藏”的核心思想和基本准则,结合南海北部莺歌海盆地、琼东南盆地和珠江口盆地油气成藏地质条件及运聚成藏规律与主控因素的深入剖析,对三大盆地主要含油气系统及亚含油气系统进行了分析与划分,且在空间上圈定了含油气系统及亚含油气系统展布范围,在此基础上重点分析研究了不同含油气系统及亚含油气系统之子系统基本特征,深入剖析了油气运聚规律与油气运聚成藏主控因素,指出了今后油气有利勘探方向及重要勘探领域。

**关键词:**含油气系统划分;含油气子系统剖析;油气运聚成藏主控因素;油气有利勘探方向;南海北部主要盆地

中图分类号:TE122.3

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2016)06-0943-17

**引用格式:**He Jiaxiong, Zhang Wei, Lu Zhenquan, *et al.* Petroleum system and favorable exploration directions of the main marginal basins in the northern South China Sea[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2016, 27(6): 943-959. [何家雄, 张伟, 卢振权, 等. 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*, 2016, 27(6): 943-959.]

## 0 引言

南海北部大陆边缘盆地油气资源丰富,主要含油气盆地自西向东均沿岸环状展布于华南大陆边缘,其海域水深在 50~3 500m 之间。通过半个多世纪的油气勘探,迄今为止已在北部湾盆地、莺歌海盆地、琼东南盆地、珠江口盆地陆架浅水区勘探发现多个大中型油气田<sup>[1-3]</sup>;而广阔的陆坡深水区,即北纬 16°00'~21°00'、东经 109°00'~118°00' 之间的珠江口盆地南部及琼东南盆地南部深水海域(水深多大于 500m 的琼东南盆地中央裂陷带及南部裂陷带等深水区域和珠江口盆地神狐隆起及东沙隆起以南珠二拗陷及其南部隆起带等深水区域),其油气勘探及研究程度较低。其中,由华光凹陷、乐东凹陷、陵水凹陷、松南凹陷、北礁凹陷、宝岛凹陷及长昌凹陷

所构成的琼东南盆地南部深水区目前仅在陵水凹陷南坡及乐东凹陷获得了天然气勘探的重大突破,其他区域油气勘探研究程度均甚低;珠江口盆地南部深水区主要由盆地西部长昌东凹陷和盆地东部顺德、开平、白云凹陷、荔湾等 12 个凹陷 45 个洼陷所构成,迄今亦仅在白云凹陷东南部获得天然气勘探的重大突破。

虽然上述深水区油气勘探及研究程度低,但近年来天然气勘探及油气地质综合研究表明<sup>[4-7]</sup>,南海北部深水区油气资源丰富,其不仅常规油气资源潜力大,而且亦是我国深水海域最具勘探潜力的天然气水合物富集区,迄今深水油气及天然气水合物勘探均已获得重大突破。因此,南海北部深水油气及天然气水合物资源勘探开发将是未来化石能源勘探的重点和方向,具有极佳勘探前景。

收稿日期:2015-11-21;修回日期:2016-01-05.

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:41176052);国家重点基础研究发展计划项目(编号:2009CB219501)联合资助.

作者简介:何家雄(1956-),男,湖北天门人,研究员,博士,长期从事油气勘探与地质综合研究.E-mail:hejx@gig.ac.cn.

通信作者:张伟(1987-),男,湖北赤壁人,博士研究生,主要从事海洋地质、油气勘探与地质综合研究.E-mail:zhangwei@gig.ac.cn.

## 1 区域地质背景

南海位于欧亚板块、印度—澳大利亚板块与太平洋板块及菲律宾海板块相互作用影响的交会处,是西太平洋最大的边缘海之一,总面积约为  $350 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。南海形成演化过程不仅具有从大陆边缘共轭张裂到海盆扩张的丰富信息,而且还存在印藏碰撞及青藏高原隆升和太平洋板块俯冲推挤等复杂的地球动力学过程及地质现象。古近纪以来南海北部大陆边缘盆地,普遍经历了早期陆相断陷、中期断拗转换的海陆相过渡及晚期热沉降海相拗陷的构造沉积演化过程(晚中新世以来尚伴有强烈新构造运动)。故普遍形成了下断上拗的盆地剖面结构特征,进而控制了区域构造演化及沉积充填特点与油气富集成藏的基本地质条件。

南海北部大陆边缘盆地新生代主要经历了裂谷断陷期、后裂谷热沉降拗陷期及新构造活动期三大发展演化阶段,形成了现今边缘海被动大陆边缘不同类型盆地的基本构造格局<sup>[8,9]</sup>。在上述区域地球动力学背景下,南海北部大陆边缘盆地新生代构造活动特点具有明显的幕式演化特征,且最终逐渐形成了海沟、岛弧和边缘海,即“沟—弧—盆”构造地质地貌骨架系统,在边缘海浅水及深水区均形成了一系列具有断拗双层结构的不同类型的新生代盆地,沉积充填了古近纪断陷裂谷早期中深湖相地层及其烃源岩、断陷晚期煤系地层及其烃源岩、新近纪拗陷期中新统海相地层及其烃源岩,进而为油气形成奠定了雄厚的物质基础,而晚中新世以来的新构造运动形成的最终构造格局及其展布特征则控制了区域上油气运聚分布规律<sup>[10]</sup>。同时,由于受区域构造沉积演化活动过程的影响,南海北部大陆边缘盆地新生代沉积一般均具有沉降沉积中心由陆缘区向中央深海洋盆逐渐迁移的特点,沉积充填厚度由陆向海增厚且形成了多套不同储盖组合类型,加之与晚期新构造运动和烃源供给系统及含油气圈闭时空上相互耦合配置,最终决定和控制影响了不同类型盆地含油气系统特征及其油气运聚成藏与分布富集规律<sup>[11]</sup>。

## 2 含油气系统分析与划分

含油气系统即一个包含有效烃源岩及与该源岩相关油气以及油气运聚成藏所必须的一切地质要素和作用之天然含烃流体系统<sup>[12]</sup>。其本质及内涵乃是指含油气盆地中油气生成、运移及聚集过程的一

个或多个相对封闭的动态含油气系统,且由其油气成藏所必需之基本要素所构成,亦即是烃源岩与含油气储盖组合和油气运移输导等诸多油气成藏条件之间的时空耦合配置及其相互作用<sup>[13,14]</sup>。一个含油气系统根据含油气系统中含油气构造单元展布范围、油气运聚规律及实际勘探开发揭示的油气运移聚集范围,可划分出多个次一级的含油气系统,称之为亚含油气系统。

根据含油气系统的核心思想,遵循“从烃源供给到圈闭成藏”的基本准则,结合南海北部莺歌海盆地、琼东南盆地及珠江口盆地油气地质与地球化学特征与油气运移聚集规律,本文将三大盆地中主要含油气系统进行了综合分析并划分(图1,表1—表3)。其中,西北部莺歌海盆地含油气系统,主要划分为中央泥底辟带、莺东斜坡带及临高凸起区3个含油气系统。而中央泥底辟带含油气系统,则进一步划分为东方泥底辟区亚含油气系统及乐东泥底辟区亚含油气系统;莺东斜坡带及临高凸起区含油气系统限于勘探研究程度未进一步划分亚含油气系统。北部琼东南盆地主要划分为北部浅水、中央拗陷深水及南部深水3个含油气系统。其中北部浅水含油气系统进一步划分为崖南凹陷亚含油气系统、崖北凹陷亚含油气系统、松西凹陷亚含油气系统、松东凹陷亚含油气系统及宝岛凹陷北坡亚含油气系统;中央拗陷深水含油气系统进一步划分为乐东凹陷亚含油气系统、陵水凹陷亚含油气系统、松南凹陷亚含油气系统、宝岛凹陷亚含油气系统及长昌凹陷亚含油气系统;南部深水区含油气系统亦进一步划分为北礁凹陷—陵南低凸起南部亚含油气系统、北礁凹陷—松南低凸起南部亚含油气系统及华光凹陷亚含油气系统。珠江口盆地根据油气地质特点及勘探研究程度,主要划分为珠一拗陷、珠二拗陷及珠三拗陷3个含油气系统。其中珠江口盆地珠一拗陷可进一步划分为惠东亚含油气系统、惠中北亚含油气系统、惠西南亚含油气系统、恩平亚含油气系统、番禺亚含油气系统5个亚含油气系统;盆地南部深水区珠二拗陷白云凹陷亦可划分为2个亚含油气系统,即白云北坡番禺一流花亚含油气系统和荔湾一流花亚含油气系统;该盆地西北部珠三拗陷含油气系统,根据油气勘探及研究程度,亦将其划分为2个亚含油气系统,即文昌A凹陷亚含油气系统和文昌B凹陷亚含油气系统。

根据以上含油气系统及亚含油气系统划分方案及原则,结合各盆地油气分布特征及勘探研究成果,

最终在平面上划分圈定了不同盆地含油气系统及亚含油气系统展布范围(图1),在此基础上重点分析了其含油气子系统特点及油气运聚成藏的关键要素,深入剖析了油气运聚成藏基本规律及主要控制影响因素(表1—表3)。需指出的是,含油气系统中亚含油气系统划分及边界界定主要根据该含油气系统中各含油气构造单元构造展布范围、现今实际勘探开发揭示的油气运移聚集范围及油气地质特点

的差异,如中央泥底辟带含油气系统,主要是根据DF1-1气藏及邻近气田群与LD22-1气藏及邻近气田群所处泥底辟构造单元展布范围,根据现今钻井揭示的实际油气运移聚集范围及油气地质特点的差异,进一步划分为东方泥底辟区亚含油气系统及乐东泥底辟区亚含油气系统。其他盆地含油气系统中亚含油气系统的划分与边界界定也基本按照这一思路与方法,篇幅所限,不一一阐述。

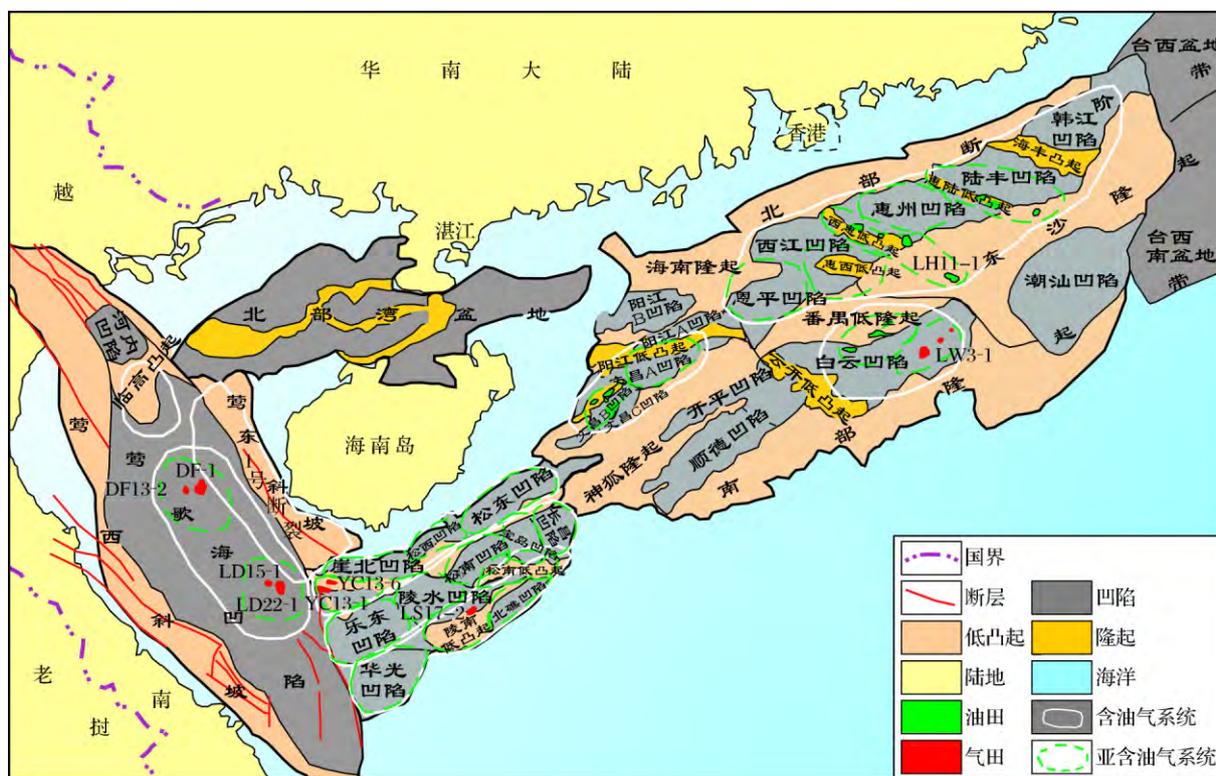


图1 南海北部主要盆地含油气系统及亚含油气系统划分与展布特征

Fig.1 The division and distribution areas of petroleum systems and secondary petroleum systems of the main marginal basins in the northern South China Sea

### 3 含油气子系统基本特征

#### 3.1 生烃供给子系统

南海北部大陆边缘盆地新生代构造演化具有明显的幕式演化特征,在边缘海浅水及深水区形成了一系列具有断坳双层结构的不同类型盆地,沉积充填了古近纪断陷裂谷早期中深湖相地层及其烃源岩、断陷晚期煤系地层及其烃源岩、新近纪坳陷期中新统海相地层及其烃源岩,进而为该区油气生成及含油气系统的构成奠定了雄厚的物质基础<sup>[10]</sup>。含油气系统及亚系统一般均主要由生烃供给子系统、运移输导子系统及运聚成藏子系统所构成,而这些子系统构成及其特点即决定了含油气系统的基本

特征,故以下重点对研究区含油气子系统进行分析阐述。

##### 3.1.1 莺歌海盆地生烃供给子系统

油气勘探实践及研究表明,莺歌海盆地生烃供给子系统条件较好,其不仅存在一套中新统海相陆源烃源岩,而且推测尚可能发育始新统陆相和渐新统海陆过渡相煤系烃源岩,具备了良好生烃潜力。始新统及渐新统烃源岩可能存在的主要依据为:①始新统湖相烃源岩在越南境内 Song Ho 露头 and 河内凹陷均已钻遇,其 TOC 含量高达 6.42%, S<sub>2</sub> 含量为 30~49mg 烃/g 岩石,生烃潜力较大<sup>[15,16]</sup>。在我国所辖莺歌海盆地东南部,由于上覆海相新近系及第四系沉积厚逾万米,受目前探井深度及地震探测

表 1 莺歌海盆地含油气系统与亚含油气系统划分及其特征

Table 1 The division and characteristics of petroleum systems and secondary petroleum system of Yinggehai Basin

含油气系统	中央泥底辟带含油气系统		莺东斜坡带含油气系统	临高凸起区含油气系统	
亚含油气系统	东方区	乐东区			
代表井	DF1-1-1	LD22-1-1	LT1-1-1	LG20-1-1	
生烃 子系统	主要烃源岩	三亚组—梅山组烃源岩		梅山组—三亚组烃源岩	陵水组—崖城组、梅山组—三亚组烃源岩
	有机质丰度	0.42%~0.70%		0.38%~0.51%	0.42%~0.49%
	有机质类型	Ⅲ型为主,少量Ⅱ <sub>2</sub> 型			
	有机质成熟度	成熟—高成熟阶段		未熟—低熟阶段	成熟—高成熟阶段
	相态类型	天然气			
运移输导 子系统	输导通道	底辟,断裂,微裂隙		断层,不整合,砂体	
	温压场	浅层常压、中深层高温超压		常温常压	常温常压
运聚成藏 子系统	圈闭类型	岩性+构造		构造+岩性	
	储集体	低位扇、海底扇、侵蚀谷、水道浊积、浅滩、滨岸砂,海侵及高位风暴砂、浅海席状砂等		古潜山、浊积砂、海底扇、碳酸盐岩、生物礁	三角洲、滨海相砂岩
	运移方式	垂向运移		垂向+侧向运移	垂向+侧向运移
	成藏组合	下生上储		下生上储	下生上储
	成藏模式	垂向运聚,多期成藏		垂向+侧向长距离运移成藏	垂向+侧向运移聚集成藏
成藏主控因素	烃源与储层储集物性		烃源与圈闭有效性	烃源与储集物性	

表 2 琼东南盆地含油气系统与亚含油气系统划分及其特征

Table 2 The division and characteristics of petroleum systems and secondary petroleum system of Qiongdongnan Basin

含油气系统	北部浅水含油气系统					中央坳陷深水含油气系统					南部深水含油气系统			
亚含油气系统	崖南 凹陷	崖北 凹陷	松西 凹陷	松东 凹陷	宝岛 凹陷 北坡	乐东 凹陷	陵水 凹陷	松南 凹陷	宝岛 凹陷	长昌 凹陷	北礁凹陷— 陵南低凸起 南部	北礁凹陷— 松南低凸起 南部	华光 凹陷	
代表井	YC13-1-1	YC8-2-1	Yin9	ST24-1-1	BD13-3S-1	YC35-1-1	LS22-1-1	ST36-1-1	BD19-2-1	CC26-1-1	YL19-1-1	YL2-1-1		
生烃 子系统	主要烃源岩	始新统中深湖相泥岩、渐新统煤系和海相泥岩					始新统中深湖相泥岩、渐新统煤系和海相泥岩、中统海相泥岩					始新统中深湖相泥岩、渐新统煤系和海相泥岩		
	有机质丰度	煤和炭质泥岩:12.96%~42.62%;泥岩:1.56%					0.50%~1.46%					煤系地层:20%,平均超过1%		
	有机质类型	Ⅱ—Ⅲ型(Ⅲ型为主)					Ⅱ—Ⅲ型					Ⅲ型为主		
	有机质成熟度	成熟—高成熟阶段					成熟—高成熟阶段					成熟—高成熟阶段		
	相态类型	气为主		油气均生			气为主		气为主		油气均生	油气均生		
运移输导 子系统	输导通道	断裂,砂体,不整合					断裂,砂体,不整合,疑似泥底辟,微裂隙					断裂,砂体,不整合,微裂隙		断裂,砂体,不整合
	温压场	常温常压(局部高温高压)					高温高压为主					温压过渡区/常温压区		
运聚成藏 子系统	圈闭类型	构造+岩性(构造为主)					构造+岩性(构造为主)					构造+岩性		
	储集体	三角洲、三 角洲前缘 砂,扇三角 洲,滨海砂	(扇)三角 洲,滨海砂	(扇)三角 洲,滨海砂	(扇)三角 洲,滨海砂	(扇)三角 洲,滨海砂	滨海沙坝,浊积 砂体,中央水道砂		冲积平原砂,生物 礁,中央水道砂		低位三角 洲、低位 扇、下切谷 充填砂	扇(三角洲)、水道砂, 滨海砂、生物礁		扇(三角洲)、 滨海砂、 生物礁
	运移方式	垂向+侧向运移				垂向+ 侧向运移	侧向运移为主,垂向运移为辅					侧向+侧向运移		
	成藏组合	自生自储	下生上储				下生上储,自生自储		下生上储		下生上储	下生上储		
	成藏模式	垂向侧向匹配晚期成藏					垂向/就近运移成藏或垂向侧向匹配成藏					垂向侧向 匹配成藏	垂向侧向匹配成藏	
成藏主控因素	圈闭条件	烃源、圈闭、运移条件			储层物性、 CO <sub>2</sub> 干扰	运移通道及储层的物性条件、CO <sub>2</sub> 干扰					储层条件与运移输导条件			

表3 珠江口盆地含油气系统与亚含油气系统划分及其特征

Table 3 The division and characteristics of petroleum systems and secondary petroleum system of Pearl River Mouth Basin

含油气系统		珠一坳陷含油气系统					珠二坳陷含油气系统		珠三坳陷含油气系统	
亚含油气系统		惠西	惠中北	惠东	恩平凹陷	番禺	番禺一流花	荔湾一流花	文昌 A	文昌 B
代表井		LH11-1-1	HZ9-2-1	LF13-1-1	EP24-2-1	PY4-1-1	PY30-1-1	LW3-1-1	WC9-1-1	WC13-1-1
生烃 子系统	主要烃源岩	始新统湖相泥岩、渐新统煤系烃源岩					始新统及下渐新统恩平组湖相泥岩、三角洲煤系烃源岩、下中新统珠海组烃源岩		新统文昌组中深湖相油源岩和下渐新统恩平组河湖沼泽相煤系气源岩	
	有机质丰度	始新统:1.19%~2.34%;恩平组:43%;珠海组:1.2%~1.5%;珠江组:0.67%								
	有机质类型	始新统:I型或II型;渐新统:II-III型					始新统:I型或II型; 渐新统:III型为主;中新统:II型		II-III型	I型或II型
	有机质成熟度	成熟—高成熟阶段					成熟—高成熟阶段		成熟—过成熟阶段	低熟—成熟阶段
	相态类型	油为主					气为主		凝析气及轻质油	油为主
运移输导 子系统	输导通道	断裂,砂体,不整合					断层,砂体,构造脊,不整合,流体底辟		断裂,砂体,不整合	
	温压场	常温常压					常温常压(局部高温超压)		常温常压	
运聚成藏 子系统	圈闭类型	构造为主					岩性		构造	
	储集体	珠江组海相砂岩、礁灰岩,珠海组海相砂岩、 中中新统韩江组砂岩					陆架边缘浅水 三角洲砂岩	珠江组深水扇	三角洲水下分流 河道、潮汐砂坝 及潮道砂等	三角洲或扇三角洲 砂岩、滨海滨滨砂、 浅海滨外砂坝砂
	运移方式	远源长距离或近源短距离方式输导					侧向运移为主,垂向运移为辅		垂向运移	侧向运移
	成藏组合	下生上储					下生上储,陆生海储,自生自储		下生上储	
	成藏模式	地堑洼陷自源型油气运聚成藏,三角洲砂岩 和生物礁外源型油气运聚成藏					陆架边缘浅水三角洲砂岩外源型天然气运 聚成藏,珠江组深水扇系统混源型天然气 成藏,古近系半地堑洼陷自源型油气成藏		垂向运聚, 复式成藏	油气长距离侧向运 移,背斜聚集成藏
成藏主控因素	运聚条件	烃源、圈闭及运聚条件		运聚条件、 储盖匹配	断裂控制	输导体系与圈闭匹配及储层的物性条件			储层条件与运移输导条件	

深度所限,尚未揭示该湖相烃源岩,故在中央坳陷区其展布规模尚不清楚。

目前可以肯定的是该区始新统烃源岩由于埋藏偏深有机质热演化程度偏高,多处在高熟—过熟演化阶段,但据涪陵页岩气勘探研究成果证实,即使处于高熟—过熟裂解演化阶段亦具有较大生烃潜力,完全可以为气藏供给充足的烃源;②渐新统烃源岩主要为滨岸平原沼泽相沉积及海陆过渡相煤系,局部可能存在半封闭滨浅海相沉积,其有机质丰度较高,TOC含量为0.64%~3.46%,有机质类型属II型干酪根和III型干酪根,生烃潜力较大属较好烃源岩。YC19-2-1(1号断层东南部下陷盘)、YC107-PA-1X、YC112-BT-1X、YC118CVX-1X、YC118-BT-1X(莺歌海盆地越南所辖该盆地西南部边缘)等均揭示了这套渐新统烃源岩<sup>[17,18]</sup>。但该烃源岩在中央坳陷埋深普遍超过千米,有机质热演化已进入高熟—过成熟裂解阶段,亦以较高成熟度的裂解气为主。在埋藏较浅的盆地周缘和发生构造反转的盆地北部(越南区域),这套烃源岩则主要形成成熟—高熟烃类气。总之,莺歌海盆地深部可能发育始新统及渐

新统陆相及海陆过渡相烃源岩,且具有一定的生烃潜力且能为该区油气藏形成提供烃源供给。

中新统三亚组—梅山组烃源岩主要为浅海及半深海沉积,其TOC含量为0.42%~0.7%,有机质类型以III型干酪根为主,个别为II型干酪根,盆地中已有多口井揭示这套烃源岩,虽然中新统海相烃源岩有机质丰度不高,但厚度大,分布广,且烃源岩热演化处于成熟—高成熟阶段,能够生成大量烃类而作为该区天然气藏的主要贡献者,其对盆地油气运聚成藏和油气勘探具有重要意义和影响。莺歌海盆地中央底辟带目前勘探发现的浅层大中型气田群及中深层高温超压大中型气田,其气源供给均来自这套富含陆源有机质的中新统海相烃源岩及其生烃灶<sup>[19]</sup>。综上所述,莺歌海盆地含油气系统之生烃供给子系统中,中新统三亚组—梅山组海相陆源烃源岩为有效烃源岩及生烃灶,但可能存在的始新统湖相及渐新统海陆过渡相烃源岩亦具生烃潜力,其是构成该区烃气源的重要补充。因此,其生烃供给子系统中有效烃源岩及生烃灶,主要由中新统海相陆源烃源岩所构成且展布于中央坳陷区(图1),它不

仅可以向中央泥底辟带含油气系统输气供烃,尚可向其邻区东北部莺东斜坡带和西北部临高凸起含油气系统供给烃气源。必须强调指出,该区中新统泥底辟高温超压生烃灶不仅能够大量生烃及高效供烃,而且其高温超压潜能亦是天然气纵向运聚的主要动力。

### 3.1.2 琼东南盆地生烃供给子系统

琼东南盆地生烃供给子系统主要由渐新统有效烃源岩(渐新统崖城组—陵水组煤系及浅海相泥页岩)及其生烃灶所构成且分布较普遍。该区主要发育2套烃源岩,即古近系始新统及渐新统陆相为主的烃源岩和新近系中新统海相潜在烃源岩。其中,始新统湖相烃源岩由于探井之局限,目前尚未钻遇,但据盆地中北部 Ying9 井原油分析,其具有与北部湾盆地、珠江口盆地始新统湖相烃源岩及原油相同有可比性的富 C<sub>30</sub>-4-甲基甾烷生物标志物信息,故可以推测盆地深部存在始新统中深湖相泥岩,属于一套好的湖相生油岩<sup>[20]</sup>;渐新统崖城组—陵水组煤系烃源岩,在崖南凹陷及中央坳陷带深水区均已钻探证实,属于一套以崖城组海岸平原相、滨海沼泽相含煤岩系为主,半封闭浅海暗色泥岩为辅的偏腐殖型烃源岩层系。渐新统崖城组及陵水组滨海平原沼泽相煤层和炭质泥岩,其生烃母质构成以陆源高等植物为主,有机碳含量平均为 0.47%~1.6%,氯仿沥青“A”含量为 0.032 7%~0.265%,总烃含量为 (146~757)×10<sup>-6</sup>。干酪根类型以 II<sub>2</sub>型及 III型为主,有机质成熟度处于成熟至高成熟且生烃潜力大,勘探实践均已证实是一套好的煤系烃源岩<sup>[1]</sup>。新近系中新统三亚组、梅山组及黄流组属典型海相沉积,这种浅海及半深海相沉积烃源岩,在该区主要局限于南部中央坳陷带较深水区域,且由于远离物源区陆源有机物输入减少,有机质丰度普遍偏低,其有机碳含量为 0.2%~1.06%,氯仿沥青“A”含量为 0.011 5%~0.084 9%,总烃含量为 (67~759)×10<sup>-6</sup>。再者,这种海相陆源烃源岩由于主要分布在南部中央坳陷带陆坡深水区,上覆沉积物较薄,虽然生源母质类型与上述煤系烃源岩一样均属偏腐殖型但由于有机质成熟度偏低,多处在未熟至成熟范围,且成熟范围及规模有限,生烃潜力欠佳<sup>[2]</sup>。

总之,该区油气勘探及研究证实的有效烃源岩及生烃灶主要为渐新统煤系烃源岩,而始新统湖相烃源岩和中新统陆源海相烃源岩分布较局限,且中新统海相陆源烃源岩有机质丰度及热演化程度低,尚不能作为有效烃源岩,属于潜在烃源岩,在埋藏较

深其有机质热演化程度较高时即可提供一定数量的烃源供给。

### 3.1.3 珠江口盆地生烃供给子系统

珠江口盆地生烃供给子系统主要由始新统及下渐新统有效烃源岩(始新统文昌组中深湖相烃源岩及渐新统恩平组煤系烃源岩)及其生烃灶所构成且区内展布较普遍。该区主要发育古近系始新统文昌组、下渐新统恩平组和上渐新统珠海组3套烃源岩层系,但上渐新统珠海组及下中新统珠江组海相泥岩,由于有机质成熟度低、分布局限,为潜在烃源岩<sup>[1,2]</sup>。其中,始新统文昌组烃源岩是珠江口盆地主力烃源岩,以中深湖相及浅湖相沉积为主。该中深湖相烃源岩有机质丰度高,TOC含量平均为 2.34%,氯仿沥青“A”含量平均为 0.224%,总烃含量平均为 1 361×10<sup>-6</sup>;浅湖相烃源岩 TOC含量平均 1.19%,氯仿沥青“A”含量平均为 0.201%,总烃含量平均为 1 056×10<sup>-6</sup>。

中深湖相及浅湖相烃源岩有机质类型主要为偏腐泥型及偏腐泥混合型,有机质成熟度处在低成熟—成熟一部分高成熟。该区始新世末期最有利生烃凹陷及生烃灶主要为文昌 A、文昌 B、恩平、惠州、陆丰、白云和荔湾等凹陷;下渐新统恩平组海陆过渡相煤系亦为重要的主力烃源岩,盆地北部以浅湖—湖泊沼泽相和三角洲平原沼泽相煤系烃源岩为主,盆地南部深水区以海陆过渡相三角洲煤系烃源岩为主。在珠二坳陷白云凹陷亦有部分为中深湖相烃源岩。恩平组海陆过渡相煤系烃源岩有机质丰度高,其 TOC含量为 5.8%~43%,氯仿沥青“A”含量为 3.5%~23%,但总烃含量较低,为 968×10<sup>-6</sup>。有机质类型主要为腐殖型及偏腐殖混合型,具有典型煤系烃源岩特点<sup>[21]</sup>。有机质演化处在低熟—成熟阶段,局部高熟,钻探揭示恩平组烃源岩最大厚度达 1 143m。早渐新世恩平组时期有利生烃凹陷主要为文昌 A、惠州、白云和荔湾等凹陷;上渐新统珠海组海相泥岩是南部深水区白云凹陷重要的潜在烃源岩。盆地南部白云凹陷深水区 LW3-1-1 井揭示<sup>[22]</sup>,珠海组厚 800m,属海相三角洲前缘沉积,其海相泥岩占 80%,有机质丰度较高,TOC含量为 1.2%~1.5%,S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>值为 3~4mg/g;有机质成熟度较低,R<sub>o</sub>值为 0.43%~0.53%;生源母质类型属偏腐殖型,干酪根类型为 II<sub>2</sub>型。通过对上渐新统珠海组及下中新统珠江组气层砂岩有机质抽提物分析,以及与珠海组海相泥岩对比可知,其气层砂岩有机质与珠海组海相泥岩有一定的亲缘关系,但由于珠海组

成熟烃源岩分布范围局限,其海相泥岩生烃潜力受到了一定程度的制约;下中新统珠江组海相泥岩亦可作为潜在烃源岩。珠江组海相泥岩有机质丰度较高,TOC含量平均为0.67%,氯仿沥青“A”含量为0.05%,总烃含量为 $263 \times 10^{-6}$ 。有机质类型亦为腐殖及偏腐殖混合型,有机质热演化多处在低成熟阶段,局部可达成熟,具有一定的生烃潜力。

总之,该区有效烃源岩及生烃灶主要为始新统湖相及下渐新统煤系所构成,但在南部深水区新近系沉积厚、埋藏较深处,除了始新统及下渐新统有效烃源岩及生烃灶外,局部尚存在上渐新统珠海组及下中新统海相烃源岩及其生烃灶,亦能够为该区油气藏形成提供一定的烃源供给。

### 3.2 运移输导子系统

油气运移输导子系统在含油气系统中占有重要地位,其是连接烃源与油气藏之间的通道和桥梁,亦是将油气从“源”到“汇”输送到目的地(圈闭中)富集成藏的载体和必不可少的重要环节。油气输导体系通常可分为5种基本类型,即断层型、输导层型、裂隙型、不整合面型及底辟型。实际上,在某一含油气系统中,油气输导体系并非单一类型,可以是以上2种或几种的组合。油气从源岩排出而输送到圈闭运聚成藏过程中必须通过不同类型输导体系(路径)的输送方可实现之。

#### 3.2.1 莺歌海盆地运移输导子系统

莺歌海盆地油气运聚分布规律及成藏地质条件分析与油气勘探实践表明,该区油气运聚成藏过程中运移输导子系统,主要由泥底辟上侵活动通道及断裂、微裂隙、骨架运载砂体及不整合面等构成<sup>[23]</sup>。其中,中央泥底辟带天然气富集区的油气运移输导子系统[图2(a)],主要由泥底辟上侵活动通道及伴生刺穿(穿层)断裂和底辟拱张断裂以及层间微裂缝所构成;而其邻区东北部莺东斜坡带油气运聚输导系统,则主要由断裂(1号断裂及莺东断裂)、骨架运载砂体及不整合( $T_{40}$ 、 $T_{60}$ 等)等输导通道所构成;盆地西北部临高凸起区油气运移输导系统[图2(b)],主要由骨架运载砂体和不整合所构成,此外,发育的少量正断层也可作为该区油气运移输导通道。

总之,泥底辟及热流体多期大规模的强烈上侵活动,是该区颇具特色且对油气运聚成藏具有重要控制影响作用的重大地质事件,其中泥底辟上侵活动通道及其伴生断层和裂隙构成了天然气成藏非常好的运移输导子系统,尤其是在泥底辟强烈活动的核心区及其影响波及区,其泥底辟上侵活动发育的

大量伴生断裂及裂隙等运移输导网络系统,均构成了该区天然气运聚富集的高速运移通道和桥梁[图2(a)]。通过这种泥底辟伴生的天然气运移输导网络系统的纵向输导作用及底辟幕式泄压过程,其深部生烃灶之天然气均可在泥底辟高温超压潜能动力作用下,不断地从深层沿底辟通道及垂向断裂向上大量幕式充注运移,最终在具备良好储盖组合及圈闭条件的浅层和中深层储层中富集成藏<sup>[23,24]</sup>。

#### 3.2.2 琼东南盆地运移输导子系统

琼东南盆地油气运移输导子系统,主要由断裂及裂隙、疑似泥底辟及气烟囱和不整合等构成[图3(a)—图3(d)]。从图3(a)、图3(b)及图3(c)可以看出,该区古近纪断陷发育期,早期生长断层比较发育,北部坳陷带崖南、松东及中央坳陷带松南等凹陷表现尤为突出。生长断层下降盘常发育有近源扇三角洲沉积,当其与这些扇三角洲砂体配置较好时即可构成良好的油气运移输导通道。必须强调指出,不整合及砂体与断层构成的油气运移输导子系统,在盆地北部浅水区较为典型<sup>[25,26]</sup>。图3(a)所示崖南凹陷及周缘区崖13-1气藏及崖13-4等气藏,即是通过由断层及不整合和侧向运载砂体共同构成的油气运移输导子系统,将其凹陷深部渐新统崖城组煤系生烃灶之天然气源源不断地输送到上覆渐新统陵水组扇三角洲砂岩及中新统三亚组砂岩/碳酸盐岩储层中富集成藏的典型实例。

在琼东南盆地油气运移输导子系统中,其纵向输导断裂及裂隙和疑似泥底辟及气烟囱为主要的运聚通道,且控制影响了油气纵向运聚之时空分布。从图3(c)、图3(d)可以明显看出,该区油气藏形成及分布乃至天然气水合物分布与富集等,均与其断裂纵向展布和疑似泥底辟及气烟囱发育密切相关。典型的实例如中南部深水区陵水凹陷北坡浅层气藏和陵水凹陷南坡陵水17-2、陵水22-1大中型气田/气藏,前者主要通过2号断裂将深部崖城组煤系生烃灶之油气输送到浅层中新统及上新统储层中富集成藏;后者则主要是通过疑似泥底辟及气烟囱尤其是微裂隙通道,将深部崖城组煤系生烃灶之天然气,源源不断地输送到浅层陵水17-2及陵水22-1上中新统黄流组一段中央水道砂西段储层中富集成藏<sup>[26]</sup>。

总之,由于该区有效烃源岩及生烃灶主要为深部的渐新统煤系及浅海相泥岩,亦即其烃气源主要来自深部渐新统崖城组—陵水组煤系及浅海相烃源岩(中新统海相泥页岩属潜在烃源岩),因此,其油气

藏形成与分布富集,均主要受控于纵向运移输导通道与不同类型圈闭及其储盖组合的时空耦合配置。换言之,该区纵向断裂及裂隙、疑似泥底辟及气烟囱

等垂向输导通道所构成的油气运移输导子系统,均严格控制 and 制约了油气运聚成藏及其分布富集规律。

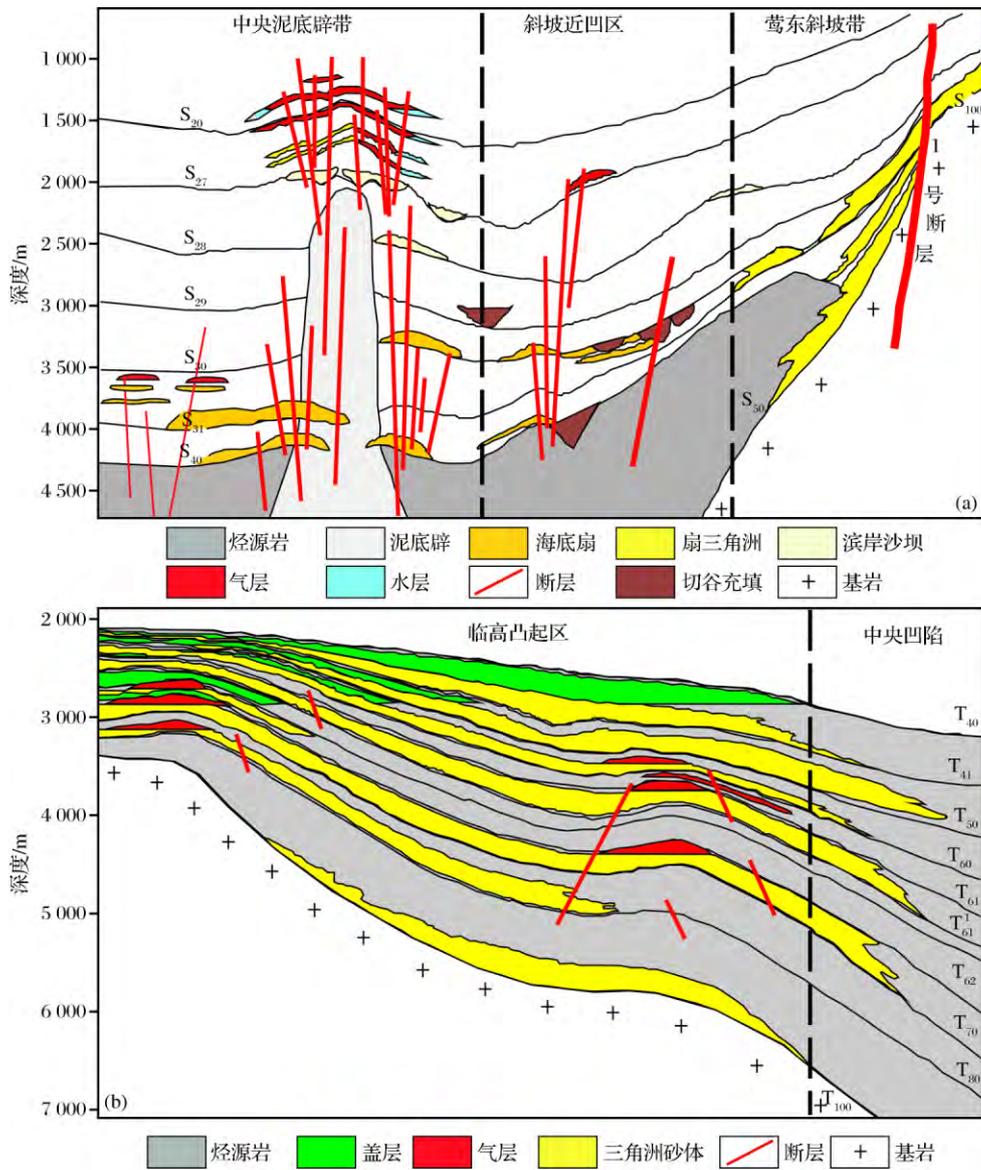


图 2 莺歌海盆地油气运移输导系统及运聚成藏模式

Fig.2 The hydrocarbon conduction system, migration and accumulation models of Yinggehai Basin

### 3.2.3 珠江口盆地运移输导子系统

珠江口盆地油气运移输导子系统主要由断裂裂隙及运载砂体和不整合所构成。其中,珠一坳陷油气运移输导子系统主要以阶梯状纵向断层与构造脊砂体构成的长距离输导系统为主,通过深大断裂及构造脊广布的海相连续性砂体等优势运移通道,将惠州凹陷始新统文昌组中深湖相烃源岩及渐新统恩平组煤系烃源岩生成的大量油气,以远源长距离运移方式输送到东沙隆起上的中新统生物礁圈闭中富集成藏<sup>[27]</sup>。典型实例为惠西亚含油气系统中惠

西一流花构造脊生物礁油田群,从图 4(a)所示可以看出,断层—运载砂体—断层型接力式输导是惠州凹陷始新统及渐新统陆相油气沿东沙隆起长距离运移到中新统海相生物礁中聚集成藏的主要输导方式。其油气生运聚成藏特点主要表现为:油源断层连通深部古近系洼陷中陆相烃源岩与上覆的广覆式上渐新统及中新统海相砂体,始新统文昌组湖相烃源岩及下渐新统恩平组煤系烃源岩生成的大量油气,均通过断裂及砂体侧向运移至生烃凹陷两侧,再通过阶梯状断层沿构造脊砂体以“爬坡式”油气运

移方式运聚,在具备有利储盖组合的圈闭中富集成藏。前已论及的惠西亚含油气系统中的 LH11-1 等生物礁油田群即为其典型实例<sup>[1,2]</sup>。诚然,当油源断层直接切入连通深部洼陷中有效烃源岩及生烃灶,且向上沟通和连通浅层具备有利储盖组合及圈闭条件的有利油气富集区带,即可形成以沟源断裂为主的短距离纵向运移输导子系统之油气藏。该区惠东亚含油气系统中 LF13 断块油气藏即为其典型实例。该亚含油气系统中 LF13 洼始新统文昌组烃源岩生烃灶,生成的大量油气均主要通过油源断层从深部运移至下中新统珠江组海相砂岩储层后再沿优势运移通道短距离运聚,最终在 LF13 断裂构造带西段和东段近洼区具备有利储盖组合及圈闭条件的场所富集成藏<sup>[28]</sup>。珠一坳陷惠中北亚含油气系统油气运移子系统,则主要表现为近洼短轴深层的运移方式。另外,珠一坳陷西南部恩平凹陷亚含油气系统运移输导子系统,亦主要由不整合及砂体和沟源断裂所构成。其南部断裂构造带油气运移输

特点及路径是,始新统文昌组湖相烃源岩生成的油气先沿不整合面及砂岩运载层进入南部隆起断裂构造带上的下渐新统恩平组 and 上渐新统珠海组,然后受 NW 向断层活动影响,油气沿断层运移进入珠江组和韩江组中受反向断层控制的圈闭中聚集成藏;而凹陷中部中央断裂构造带由于存在异常高压,浅层纵向运移输导系统不畅,油气则主要向两侧运聚,但其深部异常高压系统中始新统文昌组亦存在较好的自生自储之成藏组合条件,因此深部文昌组中深湖相烃源岩生成的油气可以近距离运移至洼陷边缘或深大断裂附近的扇三角洲砂体中富集成藏。珠一坳陷中南部番禺亚含油气系统之运移输导子系统,主要由沟源断裂及不整合和稳定的运载砂体所构成。生烃凹陷/洼陷生成的油气主要通过洼陷边界油源断裂、不整合面及运载砂岩输导体等运聚通道,源源不断地向洼陷周围隆起低势区具备储盖组合的圈闭中供给与充注,最终形成油气聚集与油气藏。

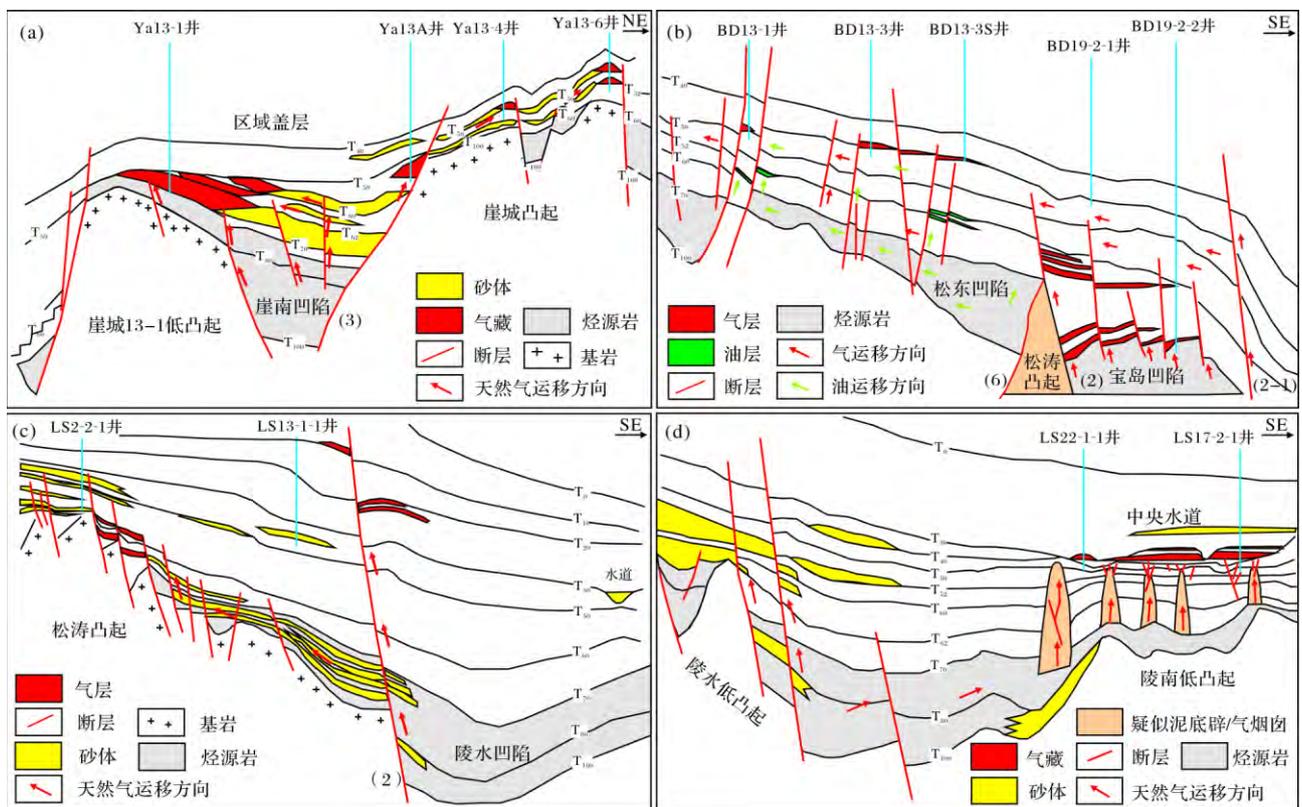


图 3 琼东南盆地油气运移输导系统及运聚成藏模式(据文献[1,16],修改)

Fig.3 The hydrocarbon conduction system, migration and accumulation models of Qiongdongnan Basin(modified after [1,16])

珠二坳陷油气运移输导子系统主要由断层、运载砂体、构造脊、不整合面及疑似泥底辟和气烟囱所构成[图 4(b)]。其中白云凹陷北坡—番禺低隆起

亚含油气系统之运移输导子系统,主要由断裂及不整合和侧向运载砂体所构成。其具有以下重要特点<sup>[27,29]</sup>:①首先在下中新统珠江组下部(T<sub>50</sub>)之下

发育一套连续稳定、区域分布的浅海相砂体,为油气的横向输导及长距离运移提供了基本地质条件。同时,珠江组底部的不整合面亦是重要的侧向长距离运聚通道,其与区域稳定分布的浅海相砂体共同构成了该区油气侧向运聚网络之运移输导体系。②白云凹陷北坡—番禺低隆起区处于现今的陆架坡折带,中—晚中新世以来,新构造运动频繁,断裂活动强烈,纵向上由深至浅切穿地层层位多,有的切穿至浅层韩江组顶部  $T_{20}$  (距今 5Ma) 甚至海底,形成了沟通深部古近系断陷陆相及海陆过渡相煤系烃源与上覆上渐新统珠海组及下中新统珠江组海相储层的油气纵向运聚通道,深部烃源可以源源不断地向浅层圈闭中储层运聚而富集成藏。③番禺低隆起上的构造脊,是盆地隆起向凹陷延伸的鼻状高带,构造脊的一端向凹陷倾没,另一端则朝向隆起。而白云生烃凹陷下渐新统恩平组煤系烃源岩及生烃灶之油气

源,则可通过邻近断层、砂体、不整合面等运聚通道进入区域性油气运载层珠江组下段、珠海组浅海相砂体后,继续向番禺低隆起的低势区运聚,沿着构造等高线的法线方向即构造脊低势区域汇聚富集,形成油气藏。④该区地震剖面上识别出大量含气地震模糊带,其气源均来自深部的始新统文昌组及下渐新统恩平组陆相烃源岩。同时,在断块及断背斜两侧及顶部常见地震反射层亮点(振幅异常),通过钻井证实均与气层密切相关。因此地震亮点及地震模糊带应属于气显示及气烟囱或断裂的地球物理表征,亦为该区天然气垂向运移的一种重要运聚通道,其能够沟通埋藏较深的文昌组、恩平组烃源岩与上覆浅层珠海组及珠江组圈闭及浅海相砂岩储层,促使深部油气源向上运移并通过侧向运载砂体进一步向番禺低隆起低势区运聚,最终在浅层储层及圈闭中聚集成藏。

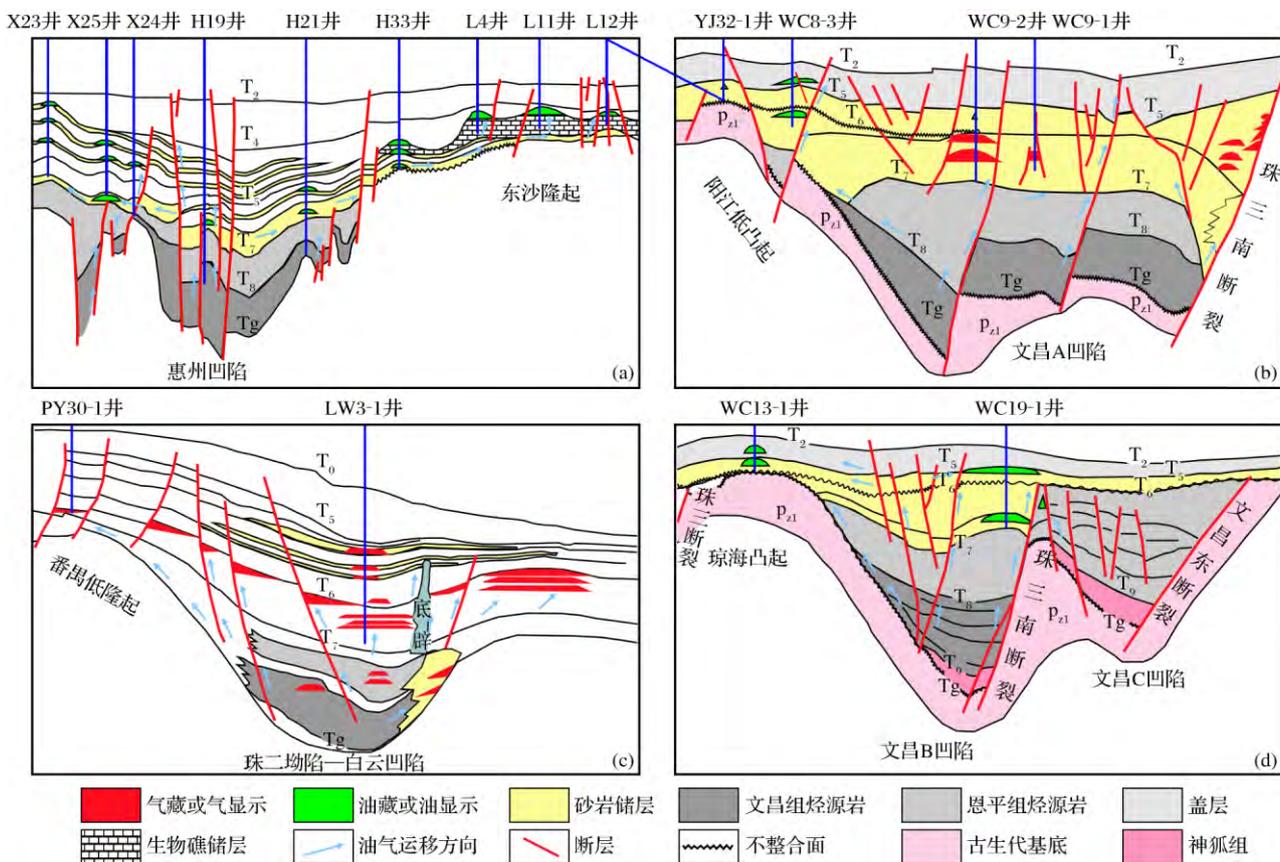


图4 珠江口盆地油气运移输导系统及运聚成藏模式(据文献[1,2,27]编制)  
 Fig.4 The hydrocarbon conduction system, migration and accumulation models of Pearl River Mouth Basin(compiled after [1,2,27])

白云凹陷东部深水区荔湾一流花亚含油气系统之油气运移输导子系统,主要由断裂及砂体、不整合和疑似泥底辟所构成<sup>[29]</sup>。深大断裂、疑似泥底辟等

多种垂向输导通道和 MFS18.5 界面下的广覆式连片砂体和 不整合面组成的侧向运移通道相互耦合配置构成了该区天然气运聚的快速通道。由于白云凹

陷自西向东、自南向北其新构造运动晚期断裂活动逐渐增强,故断裂活动时期及强度对天然气运聚成藏具有明显的控制作用,新构造运动之晚期断裂活动形成了沟通深部断陷始新统湖相及下渐新统煤系烃源与上覆上渐新统及中新统海相砂岩储层连通的天然气运聚输导系统[图4(b)中LW3-1气藏],最终形成了陆生海储、下生上储为主的富集高产的大中型天然气气田/气藏。

珠江口盆地西部珠三坳陷含油气系统文昌A凹陷亚含油气系统之油气运移输导子系统,主要为深大断裂、不整合面及高孔渗性砂体所组成的复合型输导体系[图4(c)]。这种复合输导体系既与深部始新统文昌组湖相烃源岩及下渐新统恩平组煤系烃源岩沟通,亦与浅层珠海组及珠江组不同类型圈闭及其储盖组合连通,进而构成了较好的运移输导系统,最终控制制约了该区油气运聚成藏及其分布规律<sup>[30]</sup>。文昌B凹陷亚含油气系统之油气运移输导子系统,亦主要由深大断裂、不整合面及侧向运载砂体和构造脊砂体所构成[图4(d)],形成了凹陷中较好的油气纵横向运移输导的高效运聚网络系统,最终在凹陷中浅层和凹陷斜坡及周缘区具备储盖组合的不同类型圈闭中形成了油气藏和油气聚集。

### 3.3 运聚成藏子系统

#### 3.3.1 莺歌海盆地运聚成藏子系统

莺歌海盆地油气运聚成藏子系统可划分为中央泥底辟带天然气成藏子系统、临高凸起油气成藏子系统及莺东斜坡带油气成藏子系统(表1),主要由泥底辟高温超压潜能之油气运聚动力和运移输导格架与不同类型圈闭所构成。新近纪强烈的泥底辟及热流体上侵活动是莺歌海盆地非常独特的地质过程和重要地质现象,其发育演化过程及其展布特点均与天然气运聚成藏密切相关。勘探及研究表明,中央泥底辟带天然气运聚成藏过程可分为2个主要阶段<sup>[2,3]</sup>:第一阶段泥底辟活动及其运聚成藏过程。由于快速沉降沉积的中新统及上新统下部巨厚海相欠压实泥页岩由于压实与流体排出不均衡,在区域大地热流场背景下发生生烃作用及水热增压作用而产生巨大高温超压潜能并形成高压囊。在构造(断裂裂隙)及上覆地层薄弱带处,由于巨厚欠压实海相泥页岩孕育的高温超压潜能的大量释放和排出,导致富含流体的中新统及上新统海相塑性泥岩强烈上拱侵入发生大规模底辟作用而形成大量中深层(2800m以下)泥底辟伴生构造。而当地层压力积

聚过程中逐渐达到上覆地层破裂强度时,则可产生高角度断层和裂隙并沿此刺穿上覆地层,发生强烈的能量释放及大量流体喷溢和排出,中新统有效烃源岩及泥底辟生烃灶供给的天然气即可运聚富集至泥底辟两侧的伴生构造中形成中深层气藏,此即初次(原生)运聚成藏过程;随后由于泥底辟高温超压能量的再次积聚和进一步叠加,则进入了第二阶段泥底辟活动演化(活动幕)即第二阶段(浅层及超浅层)天然气运聚成藏过程。该阶段由于再次积聚叠加的泥底辟高温超压潜能大大达到和超过了刺穿上覆地层岩石的破裂强度极限,导致深部泥底辟热流体及高温超压潜能再次向上覆地层薄弱带发生侵入上拱和强烈底辟刺穿作用,导致中新统及上新统巨厚海相塑性泥岩被强烈上隆拱起,且在盆地中央埋藏最深、沉积最厚处形成了由众多泥底辟组成沿北西向呈雁行式排列的总体规模超过 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的泥底辟隆起构造带(俗称中央泥底辟隆起构造带)。在该阶段泥底辟形成演化过程中,泥底辟活动能量最强、规模最大,泥底辟隆起及拱升幅度高,有的甚至刺穿浅部地层甚至海底。同时,该阶段泥底辟活动过程中形成了大量的浅层泥底辟伴生构造和部分高角度断层及裂隙,其中中新统有效烃源岩及泥底辟生烃灶之大量深部天然气,则通过泥底辟、断层裂隙和运载砂体等运聚通道,源源不断地输送进入到浅层泥底辟伴生构造圈闭中聚集形成浅层气藏或超浅层气藏[图2(a)左侧]。

必须强调指出,中央泥底辟带浅层及中深层天然气运聚成藏子系统,主要与泥底辟发育演化及生烃灶供烃、底辟通道、伴生断层裂隙等运移输导格架和伴生底辟构造圈闭等密切相关外;而其运聚成藏时间晚、泥底辟活动孕育的高温超压潜能之运聚动力强和中新统海相陆源烃源岩及生烃灶产烃率高、烃源供给充足,且天然气运聚成藏之聚集量远大于其运聚散失损耗量,并始终保持天然气运聚平衡成藏状态等,则是控制影响和制约该区天然气运聚与富集成藏的关键因素<sup>[19,23]</sup>。

盆地东北部莺东斜坡带油气运聚成藏子系统,其油气源主要来自中央坳陷带中新统海相有效烃源岩及莺东斜坡带附近1号断裂带较深部位成熟烃源岩的供给,其运聚通道及方式主要通过不整合面及连续性侧向砂体向斜坡带运移聚集,最终在斜坡带上具有较好储盖组合的圈闭聚集场所中富集成藏[图2(a)右侧]。因此,该区油气成藏子系统主要由

中新统有效烃源岩及泥底辟生烃灶形成的生烃运聚动力、不整合及侧向运载砂体与斜坡带上不同类型圈闭所构成。勘探实践及研究表明该区烃源供给及运聚通道系统均不成问题,而圈闭有效性则是导致能否形成商业性油气藏的关键,该区百年来的大量油气苗显示及迄今尚未获得商业性油气勘探的突破,即是其例证<sup>[2]</sup>。盆地西北部紧邻中央泥底辟带的临高凸起区油气运聚成藏子系统,其烃源供给既可来自临高凸起两侧较深部位渐新统成熟烃源岩,亦可来自莺歌海凹陷西北部中新统海相烃源岩,主要通过不整合面、连续性运载砂体及断层构成的输导体系,在具备有利储盖组合的不同类型构造及复合圈闭中聚集成藏[图 2(b)]。该区目前已见较好油气显示但因砂岩储层物性较差,迄今尚未获得商业性油气发现。

### 3.3.2 琼东南盆地运聚成藏子系统

琼东南盆地油气运聚成藏子系统可分为北部浅水区油气运聚子系统、中央坳陷深水区天然气运聚成藏子系统及南部深水区天然气运聚成藏子系统(表 2,图 1)。其主要由烃源岩相对超压高流势之油气运聚动力及其连通烃源岩不同类型输导格架与处在低势区的油气运聚成藏场所(不同类型圈闭)相互沟通所构成。其中:

北部浅水含油气系统中油气成藏子系统,其烃源供给主要来自下渐新统崖城组煤系,当其与断裂及运载砂体等输导运移格架及其圈闭耦合配置较好即构成了有利油气运聚成藏富集区带即油气运聚成藏子系统<sup>[25]</sup>。如崖城低凸起构造带天然气富集区[图 3(a)],其崖城组煤系烃源岩生成的天然气通过 3 号断裂沿陡坡带垂向运移到下中新统三亚组砂岩中,再经上渐新统陵水组 and 三亚组不整合面及砂体侧向运移,在崖城凸起 YC13-6 构造圈闭三亚组砂岩储层中聚集成藏;同时,崖南凹陷崖城组生成的油气沿南部缓坡带断裂及不整合和凹陷内次级断裂垂向向上运移,在 YC13-1 断块构造陵水组砂体储层中聚集成藏,形成 YC13-1 大中型气田。浅水区东部宝岛凹陷北坡天然气运聚成藏过程中,2 号断裂带起到了很重要的沟源作用,来自于深水区中央坳陷带宝岛凹陷生成的天然气,通过 2 号断裂垂向运移,再向宝岛凹陷北坡沿砂体和不整合面侧向在浅层圈闭中运聚成藏[图 3(b)]。

中央坳陷深水含油气系统之油气运聚成藏子系统,其烃源供给亦主要来自始新统湖相烃源岩及下

渐新统崖城组煤系烃源岩。该油气成藏子系统之运移输导格架(纵向断裂系统及不整合和运载砂体),主要以垂向运移输导为主<sup>[26]</sup>,如盆地西南部乐东—陵水凹陷及周缘区油气运聚成藏,则主要是通过 2 号大断裂垂向向上运移后,再进入中新统海相砂岩储层及圈闭中富集成藏,最浅运聚成藏层位可达第四系乐东组[图 3(c)]。盆地东区松南—宝岛凹陷天然气运聚成藏过程中,2 号断裂带亦起到了很重要的纵向沟源作用,来自于中央坳陷带的宝岛凹陷崖城组煤系生成的天然气,通过 2 号断裂垂向运移输导,再沿宝岛凹陷北坡砂体和不整合面侧向运聚富集成藏。

南部深水区含油气系统之油气运聚成藏子系统中,由于具备疑似泥底辟及气烟囱和断层裂隙等较好的纵向运移输导网络,油气纵向运聚通道较发育且畅通,可以形成沟通深部始新统及渐新统烃源连接上覆浅层不同类型圈闭的“桥梁”,即构成了一种油气运聚之高速输导体系,进而促使深部始新统湖相及渐新统煤系生成的油气向上运聚成藏<sup>[31]</sup>。当其深部古近系烃源与断裂裂隙及疑似泥底辟通道和上覆不同类型圈闭时空耦合配置良好时,即可形成下生上储、古生新储、陆生海储型油气藏。盆地西南部陵水凹陷陵南斜坡段(陵南低凸起)中央峡谷水道 LS22-1 及 LS17-2 上中新统黄流组砂岩高产气藏即为其典型实例[图 3(d)],这些气藏的气源供给主要来自陵水凹陷深部崖城组煤系烃源岩。黄流组中央峡谷水道砂气藏之气源供给主要是通过伸入到凹陷深部的连续性砂体和不整合面等输送到南部低凸起区,然后再通过疑似底辟及气烟囱和微裂缝构成的垂向输导通道向上运聚至水道砂富集成藏<sup>[26]</sup>。

### 3.3.3 珠江口盆地运聚成藏子系统

珠江口盆地油气运聚成藏子系统可划分为珠一坳陷油气成藏子系统、珠二坳陷白云凹陷油气成藏子系统及珠三坳陷油气成藏子系统(表 3,图 1)。其主要由烃源岩相对超压高流势之油气运聚动力及其连通烃源岩不同类型输导格架与处在低势区的油气运聚成藏场所(不同类型圈闭)相互沟通所构成。其中:

珠一坳陷含油气系统之油气运聚成藏子系统,可概略总结为古近系半地堑洼陷自源型油气运聚成藏和三角洲砂岩及生物礁外源型油气运聚成藏 2 种主要模式[图 4(a)]。古近系半地堑洼陷自源型油气运聚成藏过程以惠中北亚含油气系统最为典型,

惠中北(HZ08 洼)深部下渐新统恩平组煤系烃源岩生成的油气,主要通过油源断裂、砂体及不整合面等油气运聚疏导体系运移至恩平组本身砂岩储集层及珠海组砂体中富集成藏<sup>[27]</sup>。而三角洲砂岩及生物礁外源型油气运聚成藏模式的最大特点,则主要由于前三角洲亚相不发育,本身不具备烃源条件,烃源供给必须来自远离上渐新统珠海组及下中新统珠江组三角洲沉积体系和珠江组生物礁体系以外的深部半地堑洼陷始新统湖相及下渐新统煤系烃源岩,因此具有典型的下生上储、陆生海储及古生新储的运聚成藏组合特征,故而其连接半地堑洼陷陆相烃源岩与上覆海相三角洲储层及其圈闭和隆起带上的生物礁圈闭的油源断裂及侧向输导砂体至关重要。图 4(a)所示东沙隆起上流花生物礁油田群(LH11-1 等油田)即是其典型实例。

珠二坳陷白云凹陷油气成藏子系统,主要由古近系湖相及煤系相对高压高流体势之运聚动力与断层裂隙及运载砂体和疑似泥底辟及气烟囱等输导格架与不同类型圈闭所构成[图 4(b)]。其油气运聚成藏模式可划分为 3 种基本类型<sup>[27,29]</sup>:①上渐新统珠海组陆架边缘浅水三角洲砂岩外源型天然气运聚成藏模式,其是以古近纪陆相断陷沉积的巨厚始新统及下渐新统恩平组湖相泥岩及三角洲煤系为烃源岩,其生成的油气通过直接切割古近系大套陆相烃源岩的纵向断裂、砂体及不整合面和底辟向上或侧向运移,在有利构造区带之不同类型构造岩性复合圈闭和浅水三角洲砂岩圈闭中运聚成藏,并具有下生上储、陆生海储之典型特点;②中新统珠江组深水扇系统混源型天然气成藏模式,其烃源供给不仅主要有来自深部的始新统文昌组及下渐新统恩平组烃源岩,且尚有来自其浅部的上渐新统珠海组海相烃源岩一定的贡献,通过运聚通道系统(断裂、不整合、底辟及砂体)输送上来,上覆海相泥岩为盖层,由此构成了下生上储、陆生海储及海生海储的成藏储盖组合类型。混合气源供给与纵向断裂及砂体等构成的运聚输导系统以及不同类型深水扇系统之岩性圈闭的相互配置与良好时空耦合是这种混源型油气运聚成藏模式的主控因素;③古近系半地堑洼陷自源型油气成藏模式具有自生自储近源近距离运聚成藏特征,油气运聚分布主要局限于半地堑洼陷范围及其附近,储集层及其储盖组合类型多属扇三角洲类型的储盖组合,且多分布于半地堑洼陷一侧构成的自生自储型成藏组合。其成藏主控因素取决于半地

堑洼陷生烃灶的烃源供给与扇三角洲型储盖组合配置以及扇三角洲储集层储集物性的好坏优劣。

珠三坳陷含油气系统之成藏子系统可划分为文昌 A 凹陷和文昌 B 凹陷 2 个油气成藏子系统。亦主要由古近系湖相及煤系相对高压高流体势之运聚动力与断层裂隙及运载砂体和不整合等输导格架与不同类型圈闭所构成<sup>[30,32]</sup>[图 4(c),图 4(d)]。其中文昌 A 凹陷油气运聚成藏子系统[图 4(c)],具有油气源供给充足、深大断裂纵向上直接连通深部始新统湖相及下渐新统恩平组煤系烃源岩与上覆浅层具较好储盖组合上渐新统及中新统圈闭,且由于油气源与含油气圈闭储层之间压差大,故其油气运聚成藏条件较优越,控制了文昌 A 凹陷珠海组低渗透层中油气运聚成藏。其油气运聚成藏模式多具有“垂向运聚、复式成藏”的特点。油气输导网络主要为深大断裂、不整合面及高孔渗性砂体组成的复合型输导体系。须强调指出,该区深大断裂多始于深部始新统文昌组及下渐新统恩平组,纵向上切穿上覆地层上渐新统珠海组及下中新统珠江组海相砂岩,即直接沟通了深部烃源岩与上覆浅层油气富集场所—不同类型圈闭之联系,进而构成了油气运聚成藏的有效通道,有利于油气运聚成藏。同时受油气输导体系制约,文昌 A 凹陷油气分布尚具有“凹中富气,边缘富油”的特点。

文昌 B 凹陷油气运聚成藏子系统[图 4(d)],与文昌 A 凹陷基本类似。在文昌 B 凹陷及周边,珠海组一段、珠江组一段上部—韩江组两大区域盖层控制了油气区域分布,而油气运聚成藏亦主要受控于深大断裂及不整合和运载砂体所构成的运聚通道与上覆浅层不同类型圈闭在时空上的耦合配置。油气藏分布具有“平面分区带、纵向分组合”的显著特点,而且古近系湖相烃源岩及生烃灶生成的油气可以通过不整合通道长距离运聚到凸起或隆起上新近系披覆构造圈闭中富集成藏,典型代表如琼海凸起上 WC13-1 及 WC13-2 大中型油田。该油田珠江组一段、二段多层背斜构造圈闭油藏之烃源供给,均主要来自距离琼海凸起较远的文昌 B 凹陷文昌组湖相烃源岩。因此其油气成藏模式可总结为,文昌 B 凹陷文昌组湖相烃源岩生成的油气通过纵向深大断裂运移输导到上覆浅层珠海组及珠江组海相砂岩储层中,同时亦沿海相砂岩储层上倾方向及古构造脊斜坡不整合面长距离侧向运移,在琼海凸起上背斜圈闭的珠江组一段、二段 2 套储盖组合中富集成藏,故

具有“油气长距离不整合侧向运移、凸起斜坡上背斜圈闭聚集”的运聚成藏特点。

#### 4 有利油气勘探方向及领域

南海北部大陆边缘盆地油气勘探从 20 世纪 50 年代在莺歌海盆地开展油气苗调查起,历经了早期 70 年代自营油气勘探、中期 80 年代初期对外开放大规模的对外合作油气勘探及现今 21 世纪以来的自营油气勘探与合作油气勘探并举等重要阶段及勘探历程。分析和总结半个多世纪以来南海北部主要盆地油气勘探成果与油气地质基本规律,尤其是近年来在一些重要新领域所取得的重大突破和勘探发现,结合含油气系统的深入分析与油气勘探实践,笔者认为富生烃凹陷/洼陷及其有效烃源岩及生烃灶是含油气系统构成的核心和油气运聚成藏过程中起主导作用的关键要素,而有效烃源岩产生的油气运移动力与运移输导网络及不同类型圈闭的时空耦合配置,则是控制含油气系统形成及油气运聚成藏与富集规律的主控因素。因此,根据含油气系统中生烃凹陷/洼陷展布规模、生烃灶及有效烃源岩生烃潜力和烃源供给运聚系统与有利聚集区带圈闭群之时空耦合配置关系,则可综合评价预测南海北部主要盆地有利油气勘探区带及可能获得新突破之最佳勘探方向和勘探领域即:

(1)莺歌海盆地中央泥底辟带含油气系统浅层及中深层有利天然气勘探领域。该含油气系统浅层及中深层均已获得商业性天然气及大中型气田,探明 3 级天然气地质储量超过  $6\ 000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。尤其是近年来在中深层(2 700m 以深)勘探发现了 DF13-1/2 等高温超压大中型气田,开拓了中深层高温超压天然气勘探新领域,实现了几代地质勘探专家多年的梦想和夙愿<sup>[33,34]</sup>。但必须强调指出,目前中深层油气勘探及研究程度尚低,迄今为止中深层天然气勘探均仅仅涉及到中深层上部的一部分即上中新统黄流组一段(2 700~3 200m),而 20 世纪 90 年代发现的中深层下部上中新统黄流组二段和中中新统梅山组及下中新统三亚组九大不同构造类型圈闭系列,具备较好天然气运聚成藏地质条件,预测其天然气资源量超过万亿立方米,但由于受多种因素影响至今尚未钻探。因此,中央泥底辟带中深层深部高温超压天然气勘探领域仍然是将来莺歌海盆地大中型天然气田勘探发现的主战场和进一步拓展勘探成果的新领域。中央泥底辟带含油气系统浅层勘

探领域天然气勘探程度相对较高,但目前尚有很多隐形圈闭目标未勘探,而且中南部昌南泥底辟发育区勘探及研究程度低,且具备较好油气成藏地质条件,亦是该区将来重要的天然气勘探新领域。

(2)琼东南盆地中央坳陷带深水含油气系统及南部深水区含油气系统有利天然气勘探领域。目前该区虽然已勘探发现了陵水 22-1、陵水 17-1/2、陵水 25-1 大中型深水气田,但其勘探及研究程度甚低,乐东—陵水凹陷上中新统黄流组水道砂大中型气藏及中中新统梅山组海底扇大中型气藏的资源潜力及勘探前景看好,尚有待进一步勘探发现与挖潜拓展<sup>[26,31]</sup>。另外,西南部华光凹陷和东南部松南—宝岛凹陷及长昌凹陷等区域油气成藏条件较好,尚有待勘探突破。尤其是华光凹陷油气成藏地质条件极佳,资源潜力巨大,预测油气资源量超过  $30 \times 10^8 \text{ t}$  油当量,其应是该区最具油气资源潜力及深水油气勘探前景最佳的重点区域。必须强调指出,上述深水区海底浅层也是天然气水合物分布富集区,目前海洋地质调查海底取样均已发现天然气水合物实物样品,表明该区天然气水合物资源非常丰富,亦是非常规油气最具勘探潜力的重点区域。

(3)珠江口盆地珠一坳陷浅水区惠中北及惠西南和番禺亚含油气系统、盆地南部深水区珠二坳陷白云凹陷白云北坡番禺一流花亚含油气系统和荔湾一流花亚含油气系统、盆地西北部珠三坳陷浅水区文昌 A 凹陷亚含油气系统和文昌 B 凹陷亚含油气系统有利勘探油气领域。目前珠一坳陷及珠三坳陷浅水区油气勘探及研究程度较高,已勘探发现大量油气田,但尚可进一步挖潜拓展,尤其是该区中深层油气勘探领域,具备较好油气成藏地质条件,是勘探寻找古近系自生自储原生油气藏的重要勘探领域<sup>[35]</sup>。珠二坳陷深水区勘探研究程度较低,虽然近年来已勘探发现一些大中型油气田,但该区西南部及东北部很多区域尚未勘探,且该区白云凹陷生烃潜力大烃源供给充足,预测其油气资源量超过  $32 \times 10^8 \text{ t}$  油当量,具有巨大资源潜力和油气勘探前景,而且亦是南海北部天然气水合物资源富集区,2007 年和 2013 年均获得了天然气水合物勘探的重大突破。因此,该区应是深水油气及天然气水合物等多种资源的重点勘探开发区。

#### 5 结论

(1)根据含油气系统“从烃源到圈闭成藏”的基

本准则,综合分析和划分了南海北部主要盆地含油气系统及亚含油气系统,在此基础上重点剖析了生烃供给子系统、运移输导子系统及运聚成藏子系统,阐明了其形成条件及其控制因素。

(2)南海北部新生代不同盆地下断上坳双层或三层盆地结构特征及其演化特点存在明显差异,进而控制了富烃凹陷/洼陷类型及发育演化特点与油气运聚富集规律。琼东南盆地北部及珠江口盆地北部属典型断陷裂谷之双层结构类型盆地,主要以古近系陆相断陷及海陆过渡相沉积为主,上覆新近系及第四系海相坳陷沉积规模相对较小,因此其富生烃凹陷/洼陷均主要形成于古近系陆相断陷沉积之中,油气则主要富集于上覆中新统及上新统海相坳陷沉积的不同类型储集层之中,构成了古生新储、陆生海储及下生上储的油气成藏组合类型。琼东南盆地南部深水区及珠江口盆地南部深水区亦与北部浅水区类似,但其古近系陆相断陷和新近系及第四系海相坳陷规模均较大,加之地壳薄地温场高、有机质偏腐殖型,亦形成了古生新储、陆生海储及下生上储和自生自储的成藏组合类型。同时深水海底浅层尚富集天然气水合物资源,其与深部的深水油气具有一定的纵向叠置共生关系,应是南海北部深水油气与天然气水合物勘探的主战场。

(3)南海北部大陆边缘盆地含油气系统及亚含油气系统中富生烃凹陷/洼陷控制了含油气系统形成及油气富集的基础。油气藏主要展布于富生烃凹陷中心及周缘低势有效供烃区;油气运移输导条件则控制了含油气系统展布范围及油气分布富集特点,其中自源及近源型油气输导方式形成的油气藏及含油气系统主要局限展布于生烃凹陷范围内,而他源及远源型油气输导方式形成的油气藏及含油气系统展布则可长距离运聚,并通过优势运聚通道在生烃凹陷之外的有利聚集区富集成藏;烃源岩成熟演化之油气运聚动力及油气运移输导系统与具有较好储盖组合之圈闭的时空耦合配置,则是控制和制约油气运聚成藏及其富集程度的关键控制因素。

(4)南海北部主要盆地有利油气勘探区带及可能获得新突破的最佳勘探领域主要为:莺歌海盆地中央泥底辟带含油气系统浅层及中深层有利天然气勘探领域;琼东南盆地中央坳陷带深水含油气系统及南部深水区含油气系统深水油气及天然气水合物勘探领域;珠江口盆地珠一坳陷浅水区惠中北及惠西南和番禺亚含油气系统中深层自源型古近系原生

油气藏勘探领域、盆地南部深水区珠二坳陷白云凹陷北坡番禺一流花亚含油气系统和凹陷东部荔湾一流花亚含油气系统深水油气及天然气水合物勘探领域、盆地西北部珠三坳陷浅水区文昌 A 凹陷亚含油气系统和文昌 B 凹陷亚含油气系统自源型和他源型油气藏勘探领域。

#### 参考文献(References)

- [1] Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Yang Shaokun, *et al.* Gas Geology of Continental Margin in Northern South China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007. [朱伟林, 张功成, 杨少坤, 等. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.]
- [2] He Jiaxiong, Liu Hailing, Yao Yongjian, *et al.* The Petroleum Geology and the Resource Potential of the Marginal Basins in the Northern South China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008. [何家雄, 刘海龄, 姚永坚, 等. 南海北部边缘盆地油气地质及资源前景[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.]
- [3] Gong Zaisheng, Li Sitian. Dynamic Research of Oil and Gas Accumulation in the Northern Margin Basins of South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2004. [龚再升, 李思田. 南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [4] He Jiaxiong, Ma Wenhong, Chen Shenghong, *et al.* The mechanism and characteristics of oil and gas migration and accumulation in shallow and deep water of Zhujiangkou Basin, northeastern South China Sea [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31(4): 39-49. [何家雄, 马文宏, 陈胜红, 等. 南海北部珠江口盆地浅水与深水区油气运聚成藏机制及特点[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(4): 39-49.]
- [5] 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. [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.]
- [6] Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, *et al.* Deepwater area: The new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 15-21. [张功成, 米立军, 吴时国, 等. 深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 15-21.]
- [7] He Jiaxiong, Chen Shenghong, Ma Wenhong, *et al.* Early forecast and evaluation on petroleum accumulation conditions in deep basin in northern continental margin of the South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(6): 780-789. [何家雄, 陈胜红, 马文宏, 等. 南海北部大陆边缘盆地深水油气成藏条件早期预测与评价[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(6): 780-789.]
- [8] Li Yunzhen, Den Yunhua, Xu Qiang, *et al.* Controls of plate motions on subsidence and filled characteristics of the Cenozo-

- ic in Chinese offshore basins[J]. *Geoscience*, 2008, 24(4): 719-726. [李运振, 邓运华, 徐强, 等. 板块运动对中国近海新生代盆地沉降及充填的控制作用[J]. *现代地质*, 2008, 24(4): 719-726.]
- [9] Li Sanzhong, Suo Yanhui, Liu Xin, *et al.* Basin dynamics and basin groups of the South China Sea[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2012, 32(6): 55-78. [李三忠, 索艳慧, 刘鑫, 等. 南海的盆地群与盆地动力学[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2012, 32(6): 55-78.]
- [10] He Jiaxiong, Zhang Wei, Yan Wen, *et al.* Episodic tectonic evolution, basin types and hydrocarbon accumulation in Chinese marginal basins[J]. *Marine and Quaternary Geology*, 2014, 34(2): 121-134. [何家雄, 张伟, 颜文, 等. 中国近海盆地幕式构造演化及成盆类型与油气富集规律[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2014, 34(2): 121-134.]
- [11] Wang Hongcai, Li Sanzhong, Liu Xin, *et al.* Cenozoic geological processes and their bearing on hydrocarbon migration and accumulation in the continental marginal basin group of the northern South China Sea[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 2013, 33(1): 73-82. [王洪才, 李三忠, 刘鑫, 等. 南海北部陆缘盆地群新生代构造过程与油气运聚规律[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2013, 33(1): 73-82.]
- [12] Perrodon A, Masse P. Subsidence, sedimentation and petroleum system[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1984, 7(1): 5-26.
- [13] Demaison G, Huizinga B J. Genetic classification of petroleum systems[J]. *AAPG Bulletin*, 1991, 75(10): 1626-1643.
- [14] Magoon L B, Dow W G. The Petroleum System: From Source to Trap[C]. *AAPG Memoir 60*. Tulsa: AAPG, 1994: 1-30.
- [15] Petersen H I, Nytoft H P, Nielsen L H. Characterisation of oil and potential source rocks in the northeastern Song Hong Basin, Vietnam; Indications of a lacustrine-coal sourced petroleum system[J]. *Organic Geochemistry*, 2004, 35(4): 493-515.
- [16] Trinh Xuan Cuong, Phan Ngoc Trung, Tong Duy Cuong. Hydrocarbon systems in the north-eastern area of the Song Hong Basin[J]. *Journal of Earth Science and Engineering*, 2013, (3): 807-814.
- [17] Andersen C, Mathiesen A, Nielsen L H, *et al.* Distribution of source rocks and maturity modelling in the northern Cenozoic Song Hong Basin (Gulf of Tonkin), Vietnam[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2005, 28(2): 167-184.
- [18] Petersen H I, Andersen C, Anh P H, *et al.* Petroleum potential of Oligocene lacustrine mudstones and coals at Dong Ho, Vietnam; An immature outcrop analogue to terrestrial source rocks in the greater Song Hong Basin[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2001, 19(1/2): 135-154.
- [19] He Jiaxiong, Chen Weihuang, Zhong Qixiang. The shallow natural gas origin and source of mud diapir zone in Yinggehai Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 1994, 5(6): 14-27. [何家雄, 陈伟煌, 钟启祥. 莺歌海盆地泥底辟带浅层天然气成因及烃源探讨[J]. *天然气地球科学*, 1994, 5(6): 14-27.]
- [20] Liu Zhenghua, Chen Honghan. Origin Mechanism and Source-rock for Natural Gas in Qiongdongnan Basin, South China Sea[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(6): 639-644. [刘正华, 陈红汉. 琼东南盆地天然气成因类型及其烃源探讨[J]. *石油实验地质*, 2011, 33(6): 639-644.]
- [21] Pang Xiong, Chen Changmin, Zhu Ming, *et al.* A discussion about hydrocarbon accumulation conditions in Baiyun deep-water area, the northern continental slope, South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2006, 18(3): 145-149. [庞雄, 陈长民, 朱明, 等. 南海北部陆坡白云深水区油气成藏条件探讨[J]. *中国海上油气*, 2006, 18(3): 145-149.]
- [22] Zhu Junzhang, Jiang Aizhu, Shi Hesheng, *et al.* The effective gas-source area and gas migration-accumulation model in LW3-1 Gas field, Baiyun Sag deep water area, Pearl River Mouth Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2012, 24(4): 25-31. [朱俊章, 蒋爱珠, 施和生, 等. 珠江口盆地白云凹陷深水 LW3-1 气田有效气源区与运聚模式探讨[J]. *中国海上油气*, 2012, 24(4): 25-31.]
- [23] Huang Baojia, Li Xushen, Xie Ruiyong. Carrier system and dominant migration direction of natural gas in the Yinggehai Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2007, 27(4): 4-6. [黄保家, 李绪深, 谢瑞永. 莺歌海盆地输导系统及天然气主运移方向[J]. *天然气工业*, 2007, 27(4): 4-6.]
- [24] Huang B J, Xiao X M, Dong W L. Multiphase natural gas migration and accumulation and its relationship to diapir structures in the DF1-1 Gasfield, South China Sea[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19(7): 861-872.
- [25] Xie Yuhong, Tong Chuanxin. Conditions and pooling modes of natural gas accumulation in the Yacheng-13-1 Gasfield[J]. *Natural Gas Industry*, 2011, 31(8): 1-5. [谢玉洪, 童传新. 崖城 13-1 气田天然气富集条件及成藏模式[J]. *天然气工业*, 2011, 31(8): 1-5.]
- [26] Yang Jinhai, Li Cai, Li Tao, *et al.* Accumulation condition and model of gas reservoir in central canyon in deepwater area of northern South China Sea[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(11): 2141-2149. [杨金海, 李才, 李涛, 等. 琼东南盆地深水中央峡谷天然气成藏条件与成藏模式[J]. *地质学报*, 2014, 88(11): 2141-2149.]
- [27] Shi Hesheng, He Min, Zhang Lili, *et al.* Hydrocarbon geology, accumulation pattern and the next exploration strategy in the eastern Pearl River Mouth Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2014, 26(3): 11-22. [施和生, 何敏, 张丽丽, 等. 珠江口盆地(东部)油气地质特征、成藏规律及下一步勘探策略[J]. *中国海上油气*, 2014, 26(3): 11-22.]
- [28] Shi Hesheng, Wu Jianyao, Zhu Junzhang, *et al.* Secondary migration superiority pathways study and charging history of oil in Lufeng13 fault structural belt of Pearl River Mouth Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2007, 12(5): 30-35. [施和生, 吴建耀, 朱俊章, 等. 珠江口盆地陆丰 13 断裂构造带油气二次运移优势通道与充注史分析[J]. *中国石油勘探*, 2007, 12(5): 30-35.]

- [29] Shi Hesheng, Qin Chenggang, Zhang Zhongtao, *et al.* A discussion on the complex hydrocarbon transport system in the north slope of Baiyun sag-Panyu low uplift, Pearl River Mouth Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2009, 21(6): 361-366.[施和生, 秦成岗, 张忠涛, 等. 珠江口盆地白云凹陷北坡—番禺低隆起油气复合输导体系探讨[J]. *中国海上油气*, 2009, 21(6): 361-366.]
- [30] Jiang Hua, wang Hua, Li Junliang, *et al.* Fault characteristics and control on petroleum accumulation in the Zhu III Depression, the Pearl River Mouth Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2008, 30(5): 460-466.[姜华, 王华, 李俊良, 等. 珠江口盆地珠三坳陷断层特征及其对油气成藏的控制作用[J]. *石油实验质*, 2008, 30(5): 460-466.]
- [31] Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Jingfu, *et al.* Rises and their plunges; Favorable exploration directions for major fields in the deepwater area, Qiongdongnan Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2010, 22(6): 360-368.[张功成, 米立军, 吴景富, 等. 凸起及其倾没端——琼东南盆地深水区内大中型油气田有利勘探方向[J]. *中国海上油气*, 2010, 22(6): 360-368.]
- [32] He Jiaxiong, Chen Shenhong, Ma Wenhong, *et al.* The evolution, migration and accumulation regularity of oil and gas in Zhujiangkou Basin, northern South China Sea[J]. *Geology in China*, 2012, (1): 106-118.[何家雄, 陈胜红, 马文宏, 等. 南海东北部珠江口盆地成生演化与油气运聚成藏规律[J]. *中国地质*, 2012, (1): 106-118.]
- [33] Xie Yuhong, Huang Baojia. Characteristics and accumulation mechanisms of the Dongfang 13-1 high temperature and overpressured gas field in the Yinggehai Basin, the South China Sea[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2012, 44(8): 1731-1739.[谢玉洪, 黄保家. 南海莺歌海盆地东方 13-1 高温高压气田特征与成藏机理[J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, 44(8): 1731-1739.]
- [34] Xie Yuhong, Zhang Yingzhao, Xu Xinde, *et al.* Natural gas origin and accumulation model in major and excellent gas fields with high temperature and overpressure in Yinggehai Basin: A case of DF13-2 Gasfield[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2014, 21(6): 1-5.[谢玉洪, 张迎朝, 徐新德, 等. 莺歌海盆地高温超压大型优质气田天然气成因与成藏模式——以东方 13-2 优质整装大气田为例[J]. *中国海上油气*, 2014, 21(6): 1-5.]
- [35] Shu Yu, Shi Hesheng, Du Jiayuan, *et al.* Paleogene characteristics in hydrocarbon accumulation and exploration direction in Zhu I Depression[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2014, 26(3): 37-42.[舒誉, 施和生, 杜家元, 等. 珠一坳陷古近系油气成藏特征及勘探方向[J]. *中国海上油气*, 2014, 26(3): 37-42.]

## Petroleum system and favorable exploration directions of the main marginal basins in the northern South China Sea

He Jia-xiong<sup>1</sup>, Zhang Wei<sup>1,2</sup>, Lu Zhen-quan<sup>3</sup>, Li Xiao-tang<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry,

*Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China)*

**Abstract:** Based on the core idea—“from source to reservoir” and basic standard of the theory of petroleum system, different petroleum systems of Yinggehai Basin, Qiongdongnan Basin and Pearl River Mouth Basin in the northern South China Sea are comprehensively analyzed by means of petroleum geology and modes of oil and gas migration and accumulation as well as its controlling factors. Petroleum systems and secondary petroleum system of three basins are divided and discussed, and the distribution areas of them are also delineated in space. On this base, the characteristics of petroleum sub-systems of petroleum systems and secondary petroleum system, the pattern and controlling factors of hydrocarbon migration and accumulation are further studied. Finally, favorable exploration directions and important exploration field are pointed out.

**Key words:** Division of petroleum system; Petroleum subsystem analysis; Controlling factors of hydrocarbon migration and accumulation; Favorable exploration direction; Marginal basins in northern South China Sea