

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2011.04039

# 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

何家雄<sup>1</sup>, 马文宏<sup>2</sup>, 陈胜红<sup>3</sup>, 龚晓峰<sup>1</sup>

(1 中国科学院 边缘海地质重点实验室, 广州 510640; 2 中海石油有限公司 湛江分公司, 湛江 524057;

3 中海石油有限公司 深圳分公司研究院, 广州 510240)

**摘要:**珠江口盆地浅水与深水区地质背景及油气成藏地质条件存在明显差异,其油气分布及油气运聚成藏机制具有显著不同的特点。(1)油气分布具“北油南气”的富集规律。浅水区北部裂陷带和东沙隆起及以北地区,地温梯度低、大地热流小,烃源岩有机质热演化处在油窗范围,以产大量石油为主伴少量油型气,故形成了以文昌、恩平、西江、惠州及陆丰油田群和流花油田群为主的北部陆架浅水石油富集区;深水区南部裂陷带和南部隆起及以南区域,地温梯度及大地热流偏高,烃源岩多处在成熟-高熟凝析油及湿气阶段,以产大量天然气和少量轻质油及凝析油为主,且以白云凹陷东部深水区 LW3-1、LH34-2 及 LH29-1 等天然气藏及 LH16-2 油藏和邻近深水区的白云北坡-番禺低隆起中小气田群为主,构成了以天然气为主的富集区带,但亦具石油及水合物资源潜力的深水油气富集区。(2)浅水区油气运聚成藏机制以外源型成藏组合为主,而深水区则多属混源型成藏组合。浅水区具有上新新统-中新统三角洲滨岸砂岩及中新统礁灰岩外源型油气运聚成藏机制及含油气系统的特点,迄今勘探发现的大中型油田群均属于此类。半地堑洼陷自源型油气成藏机制在浅水区已被勘探证实但尚未获重大突破;深水区具有上新新统陆架边缘三角洲砂岩混源型和中新统深水扇系统混源型天然气运聚成藏机制及含油气系统的特点,且存在深水海底天然气水合物及浅层气与深部常规油气共生叠置的展布关系。

**关键词:**浅水与深水区;北油南气分布;油气运聚成藏机制;珠江口盆地

中图分类号:P744.4 文献标识码:A 文章编号:0256-1492(2011)04-0039-11

珠江口盆地处于南海北部边缘盆地东北部,主要由北部断阶带、北部裂陷(拗陷)带、中央隆起带、南部裂陷带及南部隆起带等5个构造单元所构成(图1),其分布范围大致在 $18^{\circ}30' \sim 23^{\circ}00'N$ 、 $111^{\circ} \sim 118^{\circ}00'E$ 之间,盆地总体呈NE走向,且大致平行于华南大陆岸线,地理位置上属华南大陆边缘的水下延伸部分。因此,盆地发育演化与华南大陆区域构造地质背景存在一定的成因联系。

珠江口盆地自20世纪80年代初开展大规模油气勘探以来,在浅水区北部裂陷带(珠一、珠三拗陷)及中央隆起区(东沙隆起及番禺低隆起和神狐隆起)已陆续勘探发现了20多个油气田,且石油年产量自1996年以来一直保持在千万立方米以上。目前,北部裂陷带及中央隆起区油气勘探程度较高,但其中深层(3 800 m以下)勘探领域探索尚少;在深水区南部裂陷带(珠二拗陷)及南部隆起区,油气勘探及

研究程度甚低,但近几年深水油气勘探已获得重大突破和进展,先后在邻近深水区的白云凹陷北坡-番禺低隆起勘探发现了多个中小气田群,在深水区白云凹陷东部勘探发现了LW3-1、LH34-2大中型气田和LH29-1油气田及LH16-2油田等,展示出巨大油气资源潜力及勘探前景。本文旨在前人及以往该区油气地质规律研究及总结的基础上<sup>[1-9]</sup>,根据盆地地质背景与油气运聚成藏条件及特点,重点剖析研究浅水区与深水区油气成藏地质条件及典型油气运聚成藏机制,阐明浅水区北部裂陷带及东沙隆起与深水区南部裂陷带白云凹陷,以及南部隆起油气分布及油气运聚成藏机制的差异性及特点,为进一步深化该区油气地质综合研究,推进深水油气勘探和新领域的油气勘探,提供一定的指导和借鉴。

## 1 地质背景与油气分布

南海北部大陆边缘东北部珠江口盆地,处于欧亚、印度-澳大利亚和太平洋及菲律宾海板块相互作用且靠近菲律宾板块的特殊构造位置,亦是古特

基金项目:国家自然科学基金项目(41040043),国家重点基础研究发展规划项目(2009CB219501)

作者简介:何家雄(1956—),男,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

收稿日期:2011-04-10;改回日期:2011-06-15. 张光威编辑

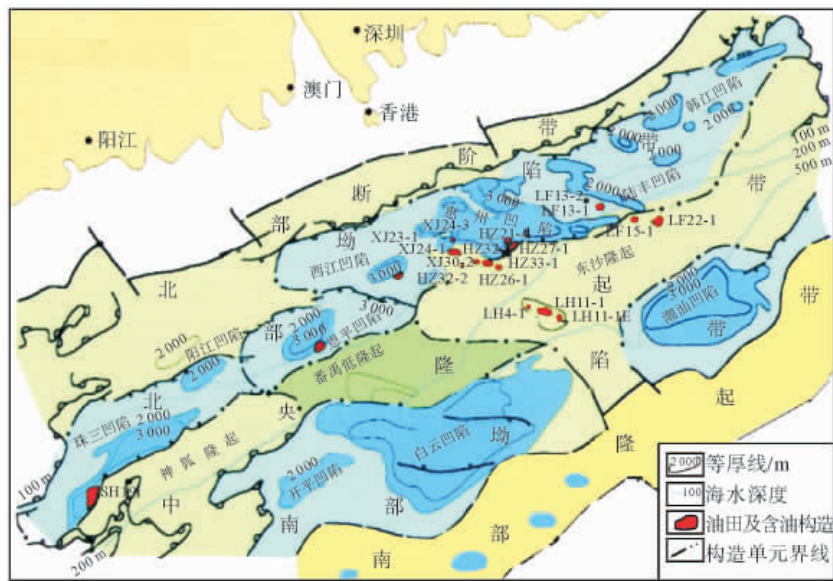


图1 珠江口盆地浅水与深水主要构造单元组成及裂陷带与隆起带展布特征

Fig. 1 Major tectonic units and the distribution of rift and uplift in shallow and deep water of Pearl River Mouth Basin

提斯构造域与古太平洋构造域的混合叠置区,故其形成演化不仅与太平洋-菲律宾板块俯冲、印度-澳大利亚板块与欧亚板块的碰撞事件及岩石圈上地幔强烈拱升上涌密切相关,而且亦与南海扩张及形成演化等存在必然的成因联系<sup>[10-11]</sup>。因此,该区地质背景及地球动力学条件复杂、盆地形成演化颇具特色,且受诸多复杂地质因素的控制与制约。

珠江口盆地新生代处在南海北部拉张裂(断)陷型的准被动大陆边缘,位于减薄型陆壳及洋陆过渡型地壳靠近洋壳一侧的特殊构造位置,具有与中国东部古、新近系陆相断陷盆地相似的典型断坳双层或三层盆地结构特点,新生代时期普遍充填了古近系陆相断陷沉积和新近系及第四系海相坳陷沉积,且古近纪断陷裂谷期的陆相沉积充填规模,一般大于新近纪及第四纪海相坳陷沉积,故其油气生运聚成藏乃至富集规律,均与古近系陆相断陷沉积发育展布,及断裂等运聚输导系统的沟通和近新系海相坳陷沉积的储层分布、储盖组合类型及圈闭配置等成藏地质条件密切相关<sup>[12]</sup>。因此,断陷裂谷期形成的古近系始新统文昌组中深湖相烃源岩和下渐新统恩平组河沼相煤系及湖相烃源岩等,与裂后海相坳陷期发育的上渐新统珠海组陆架边缘三角洲砂岩、河口砂坝,及下中新统珠江组各种类型深水低位扇体等储集层和晚中新世以来,新构造运动形成的构造和非构造圈闭等,共同对该区古、新近系油气运聚成藏及分布规律起到了决定性的控制作用,并由此构成了颇具特色的陆生海储、古生新储及下生上储

的成藏组合类型及特点。

珠江口盆地迄今为止的油气勘探实践表明,其油气分布具有明显的“北油南气”分布规律及特点<sup>[13]</sup>。浅水区北部裂陷带和东沙隆起及以北地区,以文昌、恩平、西江、惠州及陆丰油田群和流花油田群为主,构成了以石油为主的北部陆架浅水油气富集区。该区由于处于减薄的洋陆过渡型地壳靠近陆缘一侧,其古近系断陷规模及半地堑洼陷的沉积充填规模均比相邻深水区的南部裂陷带小,且地温梯度低、大地热流小,故烃源岩有机质热演化生烃多处在油窗范围,主要以产大量石油为主伴有少量油型气,故该区是盆地重要的石油生产基地。与北部浅水区相邻的南部深水区,即南部裂陷带和南部隆起及以南区域,以邻近深水区的白云凹陷北坡-番禺低隆起中小气田群和白云凹陷东部深水区 LW3-1、LH34-2 及 LH29-1 等天然气藏及东北部边缘 LH16-2 油藏为代表,构成了以天然气为主的富集区带,但亦具石油资源及水合物资源潜力的深水油气富集区。由于深水区处于洋陆过渡型地壳靠近洋壳一侧,地壳薄而裂陷深、断陷规模大,虽然,主要烃源岩仍以断陷裂谷期发育的始新统及下渐新统湖相及河沼相煤系为主,但与北部裂陷带浅水区相比增加了一套上渐新统海相烃源岩<sup>[14-18]</sup>,因此,其烃气源相当丰富,能够提供充足的烃源供给。加之,南部裂陷带及周缘深水区地壳薄、上地幔隆升高、地温梯度及大地热流偏高,故烃源岩多处在成熟-高熟凝析油及湿气阶段,以产大量天然气及少量轻质油及凝析

油为主,构成了以天然气为主,深部常规深水油气与浅层天然气及深水海底天然气水合物叠置分布的空间组合特点<sup>[19]</sup>。

## 2 油气运聚成藏机制及特点

前已论及,珠江口盆地北部裂陷带及东沙隆起浅水区为主要油田分布区及石油富集区,而该区尤以珠一坳陷惠州凹陷及其周缘区石油最富集;而南部裂陷带及南部隆起深水区则以珠二坳陷白云凹陷及周缘区天然气最富集,天然气水合物亦分布在该深水区域。因此,本文拟主要选择北部浅水区惠州富生烃凹陷及周缘区和南部深水区白云富生烃凹陷及周缘区为典型代表,重点分析解剖其油气运聚成藏机制及其特点。

### 2.1 浅水区惠州富生烃凹陷

惠州凹陷处于珠江口盆地北部裂陷带中北部陆架浅水区减薄的陆壳位置,沉积基底以下地壳厚度为17~20 km,比其南部深水区白云凹陷地壳厚度(7~11 km)厚得多,故无论是岩石圈伸展减薄的幅度,还是凹陷规模、凹陷的裂陷沉降强度以及地温场及大地热流等均比南部深水区白云凹陷小得多(图2)。因此,浅水区惠州凹陷生烃及运聚成藏机制和油气藏类型、油气成因及其产物与油气储盖组合特点等,均明显不同于相邻南部深水区的白云凹陷。

惠州凹陷新生代沉积面积达7 375 km<sup>2</sup>,最大沉积厚度大于9 000 m,其中,新近系及第四系最厚达

4 000 m,一般多为3 000 m左右,古近系厚度一般大于5 000 m。根据该区生烃门槛,古近系文昌组-恩平组中深湖相及煤系烃源岩均已达到成熟生烃之油窗阶段,可提供丰富的油源。该区上渐新统珠海组海相泥岩埋藏浅,加之所处地温场及大地热流较低,地温梯度和大地热流分别为3.4°C/100 m和65.4 mWm<sup>-2</sup><sup>[20]</sup>,远低于南部深水区珠二坳陷白云凹陷,故上渐新统珠海组海相泥岩埋藏浅、成熟度及有机质丰度较低、生烃潜力差,在北部浅水区只能作为潜在烃源岩。因此,其与南部深水区白云凹陷相比,惠州凹陷仅发育始新统文昌组和下渐新统恩平组两套陆相烃源岩。加之,该区地温场及大地热流较低,烃源岩有机质热演化程度多处在油窗范围,故油气成因类型及其烃类产物均以石油为主伴生少量油田气(溶解气/油型气),属于珠江口盆地北部陆架浅水区典型的富生油凹陷。目前盆地大多数油田及年产千万吨以上原油产能均主要产自该生油凹陷。

北部陆架浅水区惠州凹陷生烃与运聚成藏机制及含油气系统,明显不同于相邻南部深水区的白云凹陷,目前的研究表明,其主要存在两种类型,即上渐新统及中新统三角洲-滨岸砂和生物礁外源型油气运聚成藏机制,及含油气系统和始新统及下渐新统半地堑洼陷滨浅湖相砂岩自源型油气运聚成藏机制及含油气系统。以下分别对这两种不同类型油气运聚成藏机制进行分析与阐述。

#### 2.1.1 古近系半地堑洼陷自源型

古近系半地堑洼陷自源型油气运聚成藏机制属于以半地堑生烃洼陷为核心和基本单元的油气运聚

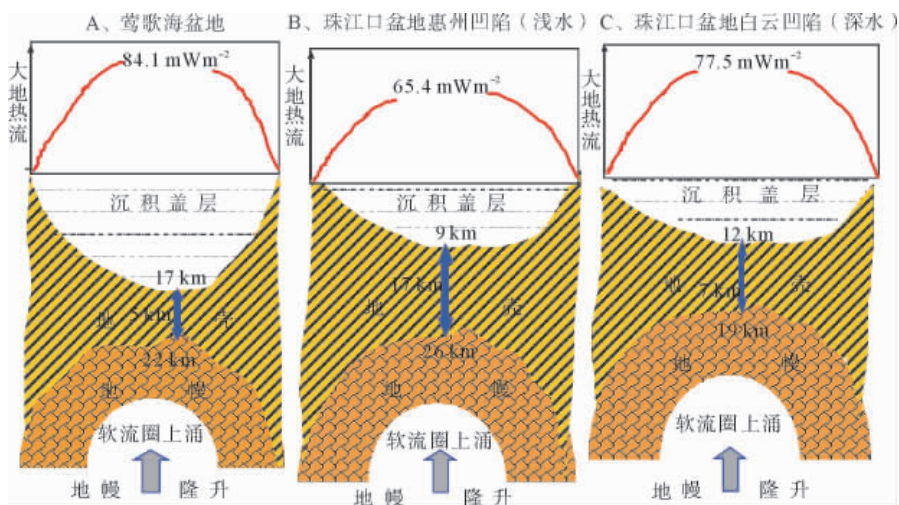


图2 南海北部边缘盆地及浅水/深水富烃凹陷深部圈层结构与大地热流分布特征对比

Fig. 2 Comparison between deep layered structure and heat flow distribution pattern for the northern South China Sea marginal basin and shallow / deep water hydrocarbon-rich depressions

成藏之含油气系统。该系统与上渐新统及中新统三角洲-滨岸砂及生物礁外源型油气运聚成藏机制,及含油气系统一样,主要通过下构造层断陷裂谷期始新统-下渐新统湖相及煤系烃源岩供给油气源,通常在那些上覆中新统地层相对稳定封盖及纵向断裂活动相对不活跃的半地堑洼陷区,在其沉积充填的古近系河湖相及扇三角洲砂岩和滨浅湖相砂岩与相邻泥岩所构成的陆相储盖组合中富集成藏,形成自生自储的古近系近源原生油气藏(图3)。必须强调指出,该自源型原生油气藏的储盖组合及断裂和砂体、不整合等构成的油气运聚通道,均必须与其有利构造发育带有效配置,方可构成“源(烃源系统)-汇(运聚供给通道)-聚(圈闭聚集保存系统)”三位一体紧密结合的有效油气运聚成藏体系,进而形成商业性油气聚集和高产油气藏。由图3可看出,半地堑洼陷中广泛发育的始新统文昌组湖相及下渐新统恩平组煤系烃源岩,必须通过断裂及砂体和不整合面等运聚通道与不同类型圈闭的有效配置,方可形成不同类型的半地堑自源型原生油气藏。同时,油气亦可通过纵向断裂及不整合面等运聚系统向上覆的新近系珠江组、韩江组砂体及圈闭中运聚而富集成藏,形成新近系外源型油气藏。总之,半地堑自源型油气藏及其运聚成藏机制,必须由半地堑洼陷陆相烃源供给系统与低势区构造脊砂体、不整合面及断裂通道和局部构造圈闭、各种岩性圈闭等关键因素的有效配置与紧密结合方可形成。

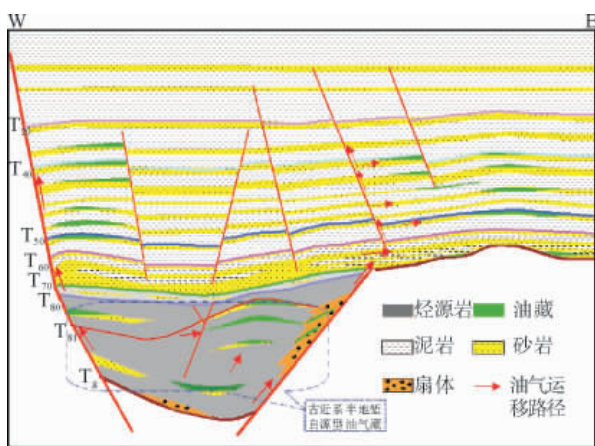


图3 珠江口盆地浅水区惠州凹陷古近系半地堑自源型油气运聚成藏机制

Fig. 3 The migration and accumulation mechanism for the autochthonous oil and gas in the Paleogene half graben in Huizhou depression of Pearl River Mouth Basin

半地堑洼陷自源型油气运聚成藏机制及含油气

系统中的烃源、储集层质量及运聚通道与圈闭保存条件,是这种类型油气藏形成的主要控制因素。惠州凹陷及邻区迄今为止的油气勘探表明,目前在古近系地层中勘探发现的半地堑洼陷自源型油气藏的油气储量仅占该区发现总油气储量的12.3%,而87.7%的油气储量都集中在新近系三角洲砂岩及礁灰岩外源型油气藏之含油系统之中。深入剖析其原因主要存在以下几种可能:其一,始新统及下渐新统烃源岩生烃时间晚,在早中新世珠江组末期区域盖层形成之后其油气方大量生成,并伴随着后期构造运动及断裂的幕式活动,促使大量油气向上覆上渐新统珠海组及下中新统珠江组三角洲体系和礁灰岩含油气系统运聚成藏,导致古近系半地堑自源型原生油气藏规模、数量及油气储量明显减少;其二,古近系烃源岩早期生烃少,储集层储集物性较差,而后期大量生烃时(中新世中晚期)由于构造运动强烈及断裂幕式活动的破坏,导致半地堑自源型原生油气藏已遭受不同程度的破坏,其古油气藏未能完全保存下来;其三,古近系半地堑洼陷自源型油气藏的勘探及研究程度极低,探井少、地震资料品质差,制约了含油气圈闭及储集层的评价与落实,影响了其油气勘探成功率和油气藏的发现与油气储量的增长。总之,半地堑洼陷自源型油气藏及含油气系统的烃源供给基本充足,且具有油气运聚路径短、运聚散失损耗少的优势及特点,这是上覆上渐新统珠海组和下中新统珠江组三角洲砂岩及礁灰岩外源型油气藏及含油气系统所不能比拟的。而且,根据盆模生烃结果<sup>[21]</sup>,在新近系下中新统珠江组沉积前(18 Ma),古近系烃源岩已有近一半的生烃量(42%)生成及排出,并近水楼台优先运聚于半地堑洼陷自源型油气藏中及其含油气系统。因此,半地堑洼陷自源型砂岩油气藏具备了充足的烃源物质基础及近距离运聚成藏的良好条件,而要形成这种自源型原生油气藏则主要取决于其砂岩储层储集物性及圈闭保存条件和运聚通道系统与之有效配置。在烃源供给充分、储层发育且储集物性较好、圈闭保存条件佳且与断裂及砂体和不整合运聚通道配置好的有利区带,即可形成这种半地堑自源型原生砂岩油气藏(图3)。

总之,惠州凹陷半地堑自源型油气藏的资源潜力及勘探前景不容忽视。近年来,惠州凹陷及邻区通过地质地球物理解释及分析研究<sup>[21-22]</sup>,已发现和划分出了10个有利的半地堑成油单元,其中就有8个富油气半地堑。而半地堑洼陷内始新统文昌组则有16个油气汇聚单元,其中富油气汇聚单元就有10个。恩平组亦有11个油气汇聚单元,其中富油

气汇聚单元 5 个。上述这些富油气汇聚单元内有 7 种类型的二级构造带共 29 个,其中富油气二级构造带就有 10 个。同时烃源供给条件好,能够提供烃源的生烃次注有 21 个,而富生烃注陷就有 11 个。诚然,这些有利油气富集的二级构造带及含油气圈闭目标,其油气运聚成藏条件均较复杂,属于必须深入探索反复勘探实践方可认识其规律性的复杂地质体。因此,古近系半地堑自源型油气藏的勘探具有一定的阶段性和挑战性,需要采取和优选滚动油气勘探的技术方法和经验,方能高效高水平进行油气勘探开发活动并保持其持续发展,形成不断推进、持续接替的良性循环。

### 2.1.2 上渐新统及中新统三角洲砂岩/礁灰岩外源型

上渐新统及中新统三角洲砂岩/礁灰岩外源型油气运聚成藏机制及含油气系统,属北部裂陷带陆架浅水区最主要的油气运聚成藏机制及成藏组合类型。迄今为止,该区油气勘探所获近 10 亿 t 石油地质储量及大多数油藏,均主要分布于这种三角洲-滨岸砂岩及礁灰岩油气藏的成藏组合之中。这种三角洲-滨岸砂及生物礁外源型油气运聚成藏机制及含油气系统,本身不具备烃源条件,主要由下构造层陆相断陷裂谷期沉积充填的始新统文昌组-下渐新统恩平组湖相及煤系烃源岩提供烃源,以其上覆海相拗陷期沉积的上渐新统珠海组及下中新统珠江组三角洲-滨岸砂和生物礁为主要油气储集层,且与其上覆的下中新统上部及中中新统广海相泥岩组成了良好储盖组合,并通过中新世晚期活动的纵向断裂沟通深部古近系陆相烃源供给系统,同时,与上覆具有上渐新统珠海组三角洲-滨岸砂储层的圈闭和下中新统珠江组生物礁圈闭连通而形成下生上储、陆生海储的油气成藏组合类型<sup>[23-26]</sup>。对于这种主要由外部(深部)沉积体系提供烃源的上渐新统及中新统三角洲砂岩/礁灰岩油气藏及其成藏组合类型,本文称之为陆架边缘三角洲砂岩及礁灰岩外源型油气藏。以下拟重点对其油气运聚成藏机制及模式进行深入分析与阐述。

上渐新统及中新统三角洲砂岩外源型油气运聚成藏机制及含油气系统,主要由外部烃源供给运聚系统、三角洲-滨岸砂岩等储层与广泛分布的海侵泥岩之成藏储盖组合、不同类型构造圈闭/非构造圈闭及良好的保存条件等主要控制因素所构成。由图 4 可以看出,上渐新统及中新统三角洲砂岩外源型油气运聚成藏机制及含油气系统具有以下重要特点及规律性。其一,上渐新统及中新统海相三角洲-滨岸

砂岩外源型油气藏的烃源供给,主要由惠州凹陷深部古近系湖相烃源岩及煤系烃源岩通过纵向断裂及砂体输送上来,在其上覆的上渐新统珠海组-下中新统珠江组海相三角洲-滨岸砂岩中富集成藏,亦即烃源必须依靠下伏深部的古近系陆相断陷沉积的湖相及煤系烃源岩所提供,进而构成了下生上储、陆生海储的成藏储盖组合类型。其二,三角洲-滨岸砂岩外源型油气藏的油气储层——上渐新统及新近系三角洲-滨岸砂体储集层,其物源供给及砂体发育展布规模、储集物性与古珠江流域三角洲物源供给体系密切相关。古珠江流域水系长约 2 千多 km,流域面积达 40 多万 km<sup>2</sup>,但整个古珠江三角洲体系展布规模亦并不大,其与世界上大型河流三角洲物源供给体系如密西西比、刚果河和尼日尔河等大型河流三角洲体系相比明显偏小,因此,其物源供给规模及输送量以及储集层类型及储集物性和展布规模及分布特征等,均受到了极大的影响和制约。而且,上述国外几个著名的三角洲体系内本身均具有良好的生烃条件,其三角洲体系的油气储层多呈指状直接插入相邻生烃岩中,或被生烃岩所完全包围,构成了非常好的自生自储的三角洲体系之生储盖成藏组合类型。很显然对于这种本身具备生烃条件、展布规模巨大的三角洲体系,只要找到了三角洲体系中的砂体就能找到油气藏。世界上著名的三角洲,如西非的尼日利亚三角洲、美国密西西比三角洲、印尼坎佩拉三角洲和我国松辽盆地的大庆三角洲、渤海湾盆地济阳拗陷东营三角洲等都是本身具有生烃条件的富油气三角洲体系,其中,每个三角洲体系都能找到十几亿或几十亿吨的油气地质储量,油气资源潜力巨大。而目前的南海北部边缘盆地上渐新统-下中新统珠江三角洲体系由于本身不具备生烃条件,迄今为止仅找到不足 10 亿 t 石油地质储量,虽其与国内外典型的富油气三角洲自源型油气藏存在明显的差异,但就目前勘探程度及剩余资源基础而言,尚具有一定的资源潜力。须强调指出的是,对于自身不具有生烃能力的三角洲体系,仅有砂体储层存在而没有烃源供给肯定找不到油气藏,在这种外源型砂岩油气藏的成藏控制因素中,其烃源供给比砂体储集层更重要,其油气源和油气运移通道系统是控制该三角洲砂岩油气藏的主控因素。其三,纵向断裂、砂体及不整合面构成的油气运聚通道网络系统,是控制这种下生上储、陆生海储的外源型三角洲砂岩油气藏形成的主要控制因素之一,这对于外源型砂岩油气藏至关重要。只有具备非常畅通、高效的油气运聚通道系统,方可将其深部油气源源不断输送至浅

层,及侧向上的含油气圈闭的储层中富集成藏。其四,油气大量生成及运聚时期与断裂、砂体及不整合构成的有效运聚通道系统与含油气圈闭形成时间基本匹配,是形成这种外源型三角洲砂岩油气藏的重要控制因素。据邱华宁等研究<sup>[27]</sup>,惠州凹陷古近系烃源岩大量成熟生烃时间主要为中中新世晚期(即 $12.1 \pm 2.2$  Ma),其与该区纵向断裂活动时间及新近系大量含油气,圈闭形成时间基本一致或吻合,因此,该区油气大规模运聚时间与运聚通道系统及含油气圈闭形成时期配置甚佳,进而控制了该区新近系油气藏的形成与分布。其五,三角洲体系沉积充填特征与该区构造及断裂活动的匹配关系不甚明显,并不与同生构造断裂带同步而受同生构造带所控制。该区珠江三角洲由于其前三三角洲和三角洲前缘泥岩相带不发育,故没有形成相应的滚动构造带。因此,珠江三角洲沉积往往大面积的覆盖在始新世断陷期的古地形和古构造之上,明显地受半地堑阶段的古地形、古构造和半地堑洼陷烃源供给系统的控制。

生物礁滩外源型油气运聚成藏机制亦具下生上储、陆生海储的油气成藏组合特征(图4),其烃源供给主要由惠州凹陷深部始新统文昌组中深湖相烃源岩所提供,并通过切割凹陷深部中深湖相烃源岩的纵向断裂通道、不整合面与上覆上渐新统及中新统砂体所构成的油气运聚供给之网络系统,将中深湖相烃源岩生成的大量油气,从凹陷深部输送至凹陷南东方向一侧的东沙隆起上发育的生物礁滩及其他不同类型的构造/非构造圈闭中富集成藏,形成了由下中新统生物礁滩灰岩油气储层与其上覆海侵泥岩

所组成的储盖组合类型及其生物礁滩含油气圈闭之油气藏。

根据珠江口盆地东部东沙隆起上 LH11-1、4-1、4-2 及 LH12-1 等生物礁滩油气藏,西部神狐隆起区琼海凸起 QH36-1 含油气生物礁的形成条件及分布规律剖析,该区生物礁滩外源型油气藏一般具有以下特点:生物礁滩及生物礁油气藏形成条件苛刻、分布非常局限,在该区主要分布在东沙隆起和神狐隆起琼海低凸起这些偏离或远离古珠江三角洲物源体系之物源供给方向、具备生物礁形成发育环境的中新世浅水碳酸盐岩台地之局部地区,而盆地广大区域(包括深水区)尚不具有生物礁及生物礁油气藏形成的基本地质条件,故其形成外源型生物礁油气藏的可能性较小。

## 2.2 深水区白云富生烃凹陷

### 2.2.1 陆架边缘三角洲砂岩混源型

白云凹陷晚渐新世裂后断拗转换阶段,由于南海张裂及扩张作用逐渐减弱,海侵规模及范围不大,当时的陆架坡折带位于白云凹陷的南侧,而陆坡深水区仅限于白云凹陷以南的地区<sup>[28-29]</sup>,因此,在白云凹陷及其以北的广大陆架地区发育了上渐新统珠海组陆架边缘三角洲砂岩沉积,这些陆架边缘三角洲砂岩与上覆下中新统珠江组海侵泥岩构成了良好的储盖组合类型,当其通过纵向断裂这个桥梁与深部始新统文昌组中深湖相烃源岩和下渐新统恩平组湖相及煤系烃源岩沟通,则可将其陆相断陷期烃源岩生成的大量烃类输送到上覆陆架三角洲砂岩发育的局部构造圈闭中聚集成藏(图5),形成该区下生上

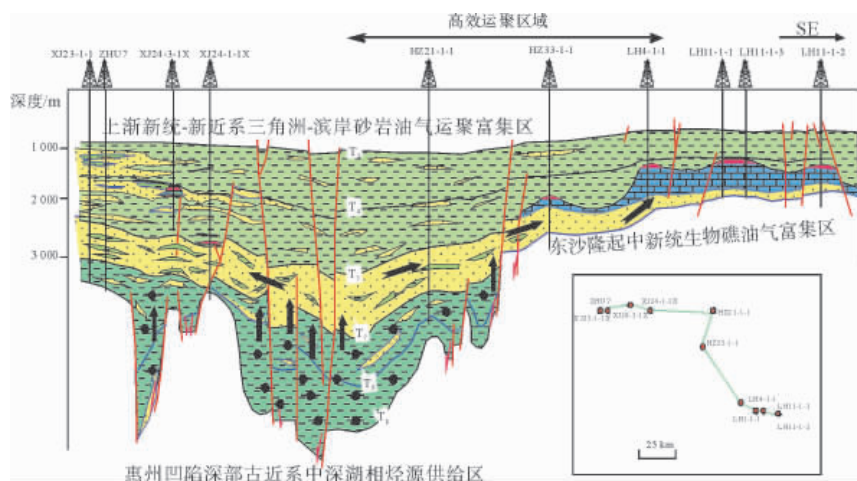


图4 珠江口盆地浅水区惠州凹陷三角洲砂岩和生物礁外源型油气运聚成藏机制(据中海油南海东部公司,修改,1998)

Fig. 4 The migration and accumulation mechanism for the allochthonous oil and gas in the deltaic sandstone and reefs in Huizhou depression of Pearl River Mouth Basin(modified after CNOOC Nanhai East Corporation, 1998)

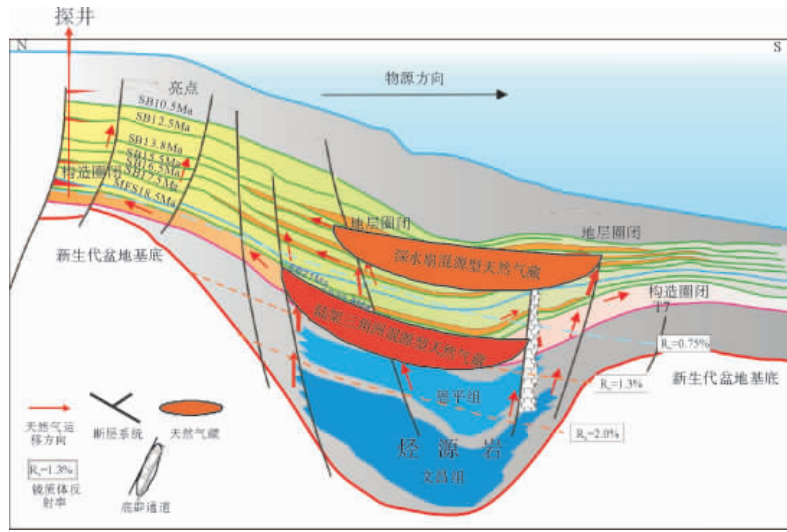


图 5 珠江口盆深水区白云凹陷深水扇系统及陆架三角洲砂岩混源型天然气运聚成藏机制(据庞雄,2007,修改)  
 Fig. 5 The migration and accumulation mechanism of the gas of mixed origin in the deep-water fan systems and shelf sandstone in Baiyun depression of deepwater area(modified after Pang Xiong, 2007)

储、陆生海储及海生海储典型的陆架边缘三角洲砂岩混源型天然气藏。

上述这种陆架边缘三角洲砂岩混源型天然气运聚成藏机制具有以下重要地质特点:其一,古近纪陆相断陷沉积的巨厚始新统及下渐新统湖相及煤系烃源岩展布规模大、有机质丰度高,生源母质类型多为 II 1 型和 II 2 及 III 型,由于深水区地温场及大地热流高,有机质处于成熟-高熟热演化阶段,产烃率较高,且以产大量天然气及轻质油为主,同时,上渐新统珠海组部分海相烃源岩已达低熟,亦可供给烃气源,故其烃源供给系统具混源特征。其二,纵向断裂发育且直接切割古近系大套陆相烃源岩并与上覆砂体及不整合面和底辟一起构成了天然气向上或侧向运移的有效运聚通道,为深部古近系陆相烃源供给的大量天然气向上覆上渐新统珠海组陆架浅水三角洲砂岩发育的圈闭中运聚成藏提供了优越的运聚条件。其三,在有利区域构造背景及构造区带上形成的不同类型构造-岩性复合圈闭和发育的陆架浅水三角洲砂岩,为天然气运聚成藏提供了储集和富集场所。加之,这些构造-岩性复合圈闭多在中中新世晚期新构造运动时期形成,因此,其与古近系陆相烃源岩大量成熟生排烃时期及天然气大规模运聚时间基本一致,故极有利于天然气快速运聚与高效富集成藏,进而大大减少了天然气运聚成藏过程中的大量散失与损耗。

2.2.2 深水扇系统混源型

深水区白云凹陷晚渐新世裂后大规模海相拗陷时期(23.8~10.5 Ma)形成了下-中中新统珠江组-

韩江组各种低位深水扇等深水沉积类型。据庞雄研究<sup>[30]</sup>,在 23.8~10.5 Ma 之间的沉积层序中,广泛发育了 6 个层序的由古珠江物源沉积体系供给形成的深水低位扇系统各种类型的储层(盆底扇、斜坡扇、低位楔等低位深水沉积物),且这些中新统深水扇沉积系统的发育展布规模大,虽然,该区深水扇储层砂岩由于距离物源供给区较远,其砂岩粒度总体上偏细,但已具备了作为天然气储集层的基本物性条件。由图 5 所示可以看出,中新统珠江-韩江组深水扇混源型天然气系统本身不具备烃源条件,而其相邻区域深部的上渐新统珠海组及部分下中新统珠江组泥岩有机质已处于低成熟-成熟范围,达到了低熟或成熟生烃门槛,故具有一定的烃源供给能力和条件。因此,白云深水区中新统珠江-韩江组深水扇系统天然气气藏的烃源供给,不仅主要来自深部的陆相断陷沉积的始新统文昌组中深湖相及下渐新统恩平组煤系及中深湖相烃源岩,且尚有来自其浅部的上渐新统珠海组海相烃源岩的贡献,并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<sup>[31-33]</sup>,故其具有多烃源混合供给的油气成藏系统特点。该区天然气成藏的运聚通道系统则主要由纵向断裂、不整合、底辟及砂体共同组成。中新统深水扇系统形成的圈闭类型,主要为深水沉积环境下所形成的盆底扇、斜坡扇、低位楔等各种类型的深水低位沉积物所构成,且具有构造背景的岩性圈闭或岩性与其他地质因素共同控制所形成的复合圈闭。

2.2.3 半地堑洼陷自源型

前已论及,深水区白云凹陷油气勘探及油气地

质综合研究程度较低,受钻探深度的限制,目前,深水探井尚未揭示始新统文昌组及下渐新统恩平组地层。因此,对于该区古近系半地堑洼陷油气地质条件的认识尚不甚清楚,但根据相邻的北部陆架浅水区分析推测,其可能与北部陆架浅水区的半地堑洼陷油气地质条件及成藏控制因素基本类似。深水区古近纪半地堑洼陷仍然是其主要的生烃供烃及运聚成藏的基本地质单元,而古近系本身的始新统文昌组及下渐新统恩平组滨浅湖相砂岩和上覆上渐新统珠海组陆架浅水三角洲或扇三角洲砂岩及其构造/岩性圈闭,则为重要的油气储集层及含油气圈闭,并由此构成了白云深水区深部为古近系半地堑洼陷三角洲砂岩及滨浅湖相砂岩自源型近源原生油气藏及其油气成藏机制,而浅层及海底则为陆架边缘三角洲砂岩混源型油气藏及深水扇混源型天然气气藏和天然气水合物富集区(图6)。

必须强调指出的是,上渐新统珠海组扇三角洲或陆架浅水三角洲砂岩混源型油气藏,明显不同于相邻的北部陆架浅水区惠州、西江及陆丰等凹陷油气富集区,由于白云深水区新生界沉积充填规模大,深部的上渐新统珠海组泥岩有机质已基本成熟具备了生烃能力,故能够直接提供部分烃气源,供给其本身同沉积的三角洲砂岩储集层及其所构成的不同类型的圈闭,因此,深水区能够形成上渐新统珠海组三角洲砂岩及中新统珠江组深水扇混源型(具有珠海组烃源供给)油气藏。鉴于白云深水区油气勘探程度及研究程度低,以及地质资料基础较薄弱,此处对

该区古近系半地堑洼陷自源型油气运聚成藏机制及特点,暂不进行深入探究和阐述。

### 3 结论

(1)珠江口盆地浅水区与深水区地质背景及油气成藏地质条件均存在明显差异,导致其具有“北油南气”的运聚富集规律。浅水区北部裂陷带和东沙隆起及以北的广大地区,为盆地的主要石油富集区,形成了文昌、恩平、西江、惠州、陆丰和流花等六大油田群系统;南部深水区即南部裂陷带及南部隆起区,为盆地的重要的天然气富集区,油气勘探程度尚低,目前已发现邻近深水的白云北坡-番禺低隆起中小气田群和典型深水区的荔湾-流花天然气富集区及LW3-1、LH34-2及LH29-1等中型气田。充分表明珠江口盆地深水区天然气资源丰富勘探潜力大。

(2)研究区存在3种油气运聚成藏机制。浅水区以外源型成藏组合及运聚成藏机制为主,迄今勘探发现的大中型油田群均属于此类;深水区则多属混源型成藏组合及运聚成藏机制,目前勘探发现的荔湾-流花天然气富集区即为其典型实例。半地堑洼陷自源型油气成藏机制在浅水区已被勘探证实,但尚未获重大突破。深水区上渐新统陆架边缘三角洲砂岩混源型和中新统深水扇系统混源型,天然气运聚成藏机制及含气系统时空上相互叠置,且与深水海底天然气水合物及浅层气和深部常规油气存在共生组合叠置的展布关系。

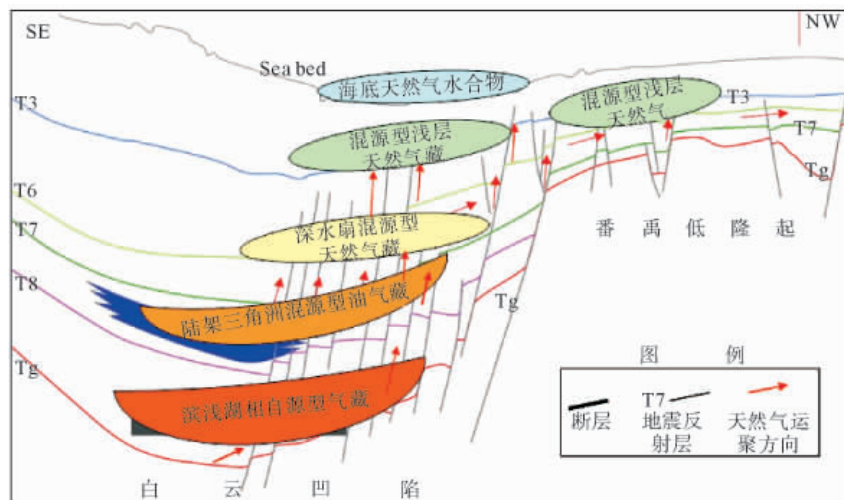


图6 珠江口盆地白云凹陷半地堑洼陷自源型油气成藏机制与浅层气/水合物叠置特征(据中海油资料修改,2007)

Fig.6 The migration and accumulation mechanism of autochthonous oil and gas in the half graben and its overlapping with shallow gas/hydrate in the Baiyun depression (modified after CNOOC data, 2007)



## 参考文献 (References)

- [1] 陈斯忠,李泽松. 珠江口盆地(东部)油气勘探开发的回顾与展望[J]. 中国海上油气(地质) 1992, 6(2): 21-30. [CHEN Sizhong, LI Zesong. The Retrospect and Prospect of oil and gas exploration and development in the Pearl River Mouth Basin (eastern) [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology) 1992, 6(2): 21-30.]
- [2] 陈长民. 珠江口盆地东部石油地质条件及油气藏形成条件初探[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(2): 73-83. [CHEN Changmin. The preliminary study of petroleum geology and reservoir conditions in the Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(2): 73-83.]
- [3] 陈长民,施和生,等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-266. [CHEN Changmin, SHI Hesheng, et al. The formation conditions of Tertiary reservoir in the Pearl River Mouth Basin (eastern) [M]. Beijing: Science Press, 2003: 1-266.]
- [4] 龚再升,李思田. 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, 1997: 1-510. [GONG Zaisheng, LI Sitian. The basin analysis and hydrocarbon accumulation in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 1997: 1-510.]
- [5] 龚再升. 中国近海大油气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 1-223. [GONG ZaiSheng. The oil and gas fields on Chinese offshore [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997: 1-223.]
- [6] 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: 1-339. [GONG Zaisheng, LI Sitian. The oil and gas accumulation dynamics in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2004: 1-339.]
- [7] 庞雄,陈长民,彭大钧,等. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-360. [PANG Xiong, CHEN Changmin, PENG Dajun, et al. The Pearl River deep-water fan systems and oil and gas in South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2007: 1-360.]
- [8] 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: 1-185. [HE Jiaxiong, LIU Hailing, YAO Yongjian, et al. The petroleum geology and resources prospects in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 1-185.]
- [9] 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: 1-391. [ZHU Weilin, ZHANG Gongcheng, YANG Shaokun, et al. The gas geology in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 1-391.]
- [10] 姚伯初,万玲,刘振湖,等. 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, 2004, 29(5): 543-549. [YAO Bochu, WAN Ling, LIU Zhenhu, et al. The oil and gas dynamic and petroleum resources in Cenozoic sedimentary basins of South China Sea [J]. Earth Sciences, 2004, 29(5): 543-549.]
- [11] 姚伯初,万玲. 中国南海海域岩石圈三维结构及演化[M]. 北京: 地质出版社, 2006, 1-222. [YAO Bochu, WAN Ling. The three-dimensional structure and evolution of the lithosphere in South China Sea [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006, 1-222.]
- [12] 何家雄,陈胜红,刘海龄,等. 南海北部边缘盆地区域地质与油气运聚成藏规律及特点[J]. 西南石油大学学报, 2008, 30(5): 91-98. [HE Jiaxiong, CHEN Shenghong, LIU Hailing, et al. The regional geology and regulars and characteristics of migration and accumulation in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [J]. Southwest Petroleum University, 2008, 30(5): 91-98.]
- [13] 何家雄,吴文海,祝有海,等. 南海北部边缘盆地油气成因及运聚规律与勘探方向[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 7-17. [HE Jiaxiong, WU Wenhai, ZHU Youhai, et al. The origin of oil and gas and characteristics of migration and accumulation and exploration direction in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 7-17.]
- [14] 马文宏,何家雄,姚永坚,等. 南海北部边缘盆地第三系沉积及主要烃源岩发育特征[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 41-48. [MA Wenhong, HE Jiaxiong, YAO Yongjian, et al. The tertiary sediments and the main source rocks characteristics in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1): 41-48.]
- [15] 何家雄,陈胜红,崔莎莎,等. 南海北部大陆边缘深水盆地烃源岩早期评价与预测[J]. 中国地质, 2009, 36(2): 404-415. [HE JiXiong, CHEN Shenghong, CUI Shasha, et al. The early evaluation and prediction of hydrocarbon source rocks in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [J]. China Geology, 2009, 36(2): 404-415.]
- [16] 何家雄,陈胜红,刘士林,等. 珠江口盆地白云凹陷北坡番禺低隆起油气成因类型及烃源探讨[J]. 石油学报, 2009, 30(1): 16-21. [HE Jiaxiong, CHEN Shenghong, LIU Shilin, et al. The discussion of oil and gas origin and hydrocarbon source rocks in Panyu low Uplift of Pearl River Mouth Basin [J]. Petroleum University, 2009, 30(1): 16-21.]
- [17] 傅宁,米立军,张功成,等. 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, et al. The hydrocarbon source rocks and oil and gas origin in Baiyun depression of Pearl River Mouth Basin [J]. Petroleum, 2007, 28(3): 32-38.]
- [18] 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. [ZHANG Gongcheng, MI Lijun, WU Shiguo, et al. Deep water - The new field of oil and gas exploration in the continental margin basin of northern South China Sea [J]. Petroleum, 2007, 28(2): 15-21.]
- [19] 何家雄,颜文,马文宏,等. 南海准被动陆缘深水油气与水合物共生地质意义[J]. 西南石油大学学报, 2010, 32(6): 5-10. [HE Jiaxiong, YAN Wen, MA Wenhong, et al. The symbi-

- otic geological significance between deep-water oil and gas and hydrate in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [J]. Southwest Petroleum University, 2010, 32 (6) :5-10. ]
- [20] 饶春涛,李平鲁.珠江口盆地热流研究[J].中国海上油气(地质),1991,5(6),7-17. [RAO Chuntao, LI Pinglu. The flow studies in Pearl River Mouth Basin heat [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1991,5 (6) ,7-17. ]
- [21] 施和生,朱俊章,姜正龙,等.珠江口盆地珠一坳陷油气资源再评价[J].中国海上油气,2009,21(1):9-14. [SHI Hesheng, ZHU Junzhang, JIANG Zhenglong, et al. The re-evaluation of oil and gas resources in Zhuyi depression of Pearl River Mouth Basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2009,21 (1) :9-14. ]
- [22] 施和生,于水明,梅廉夫,等.珠江口盆地惠州凹陷古近纪幕式裂陷特征[J].天然气工业,2009,29(1):35-40. [SHI Hesheng, YU Shuiming, MEI Lianfu, et al. The screen rift characteristics of Huizhou depression of Pearl River Mouth Basin in Paleogene [J]. Gas Industry, 2009,29 (1) :35-40. ]
- [23] 朱伟林.中国近海新生代含油气盆地古湖泊学与烃源条件[M].北京:地质出版社,2009:1-237. [ZHU Weilin, The Studies of ancient lakes and hydrocarbon source rocks conditions in Cenozoic oil and gas basins on Chinese offshore. [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009:1-237. ]
- [24] 何家雄,施小斌,阎贫,等.南海北部边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J].新疆石油地质,2007,28(2):[HE Jiaxiong, SHI Xiaobin, YAN Pin, et al. The petroleum geology characteristics and exploration direction in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007,28 (2): ]
- [25] 龚再升.中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J].石油与天然气地质,2004,25(2):133-138. [GONG Zaisheng, The new tectonic movement and oil and gas accumulation in Chinese offshore basin[J]. Oil and Gas Geology, 2004,25 (2) :133-138. ]
- [26] 张功成.中国近海天然气地质特征与勘探新领域[J].中国海上油气,2005,17(5):290-296. [ZHANG Gongcheng. The natural gas geological characteristics and new exploration field on Chinese offshore [J]. China Offshore Oil and Gas, 2005, 17 (5) :290-296. ]
- [27] 邱华宁,吴河勇,冯子辉,等.油气成藏 40Ar-39Ar 定年难题与可行性分析[J].地球化学,2009,38(4):405-411. [QIU Huaning, WU Heyong, FENG Zihui, et al. The feasibility analysis of hydrocarbon accumulation 40Ar-39Ar dating [J]. Geochemistry, 2009,38 (4) :405-411. ]
- [28] 庞雄,申俊,袁立忠,等.南海北部珠江深水扇系统及其油气勘探前景[J].石油学报,2006,27(3):11-16. [PANG Xiong, SHEN Jun, YUAN Lizhong, etc. The Pearl River deep-water fan systems and oil and gas exploration prospects in northern South China Sea [J]. Petroleum, 2006,27 (3) :11-16. ]
- [29] 彭大钧,庞雄,陈长民,等.从浅水陆架走向深水陆坡——南海深水扇系统的研究[J].沉积学报,2005,23(1):1-11. [PENG Dajun, PANG Xiong, CHEN Changmin, et al. From the shallow shelf to deep slope—The research of deep-water fan systems in South China Sea [J]. Sedimentary University, 2005,23 (1) :1-11. ]
- [30] 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. [PANG Xiong, CHEN Changmin, ZHU Ming, et al. The discuss of oil and gas accumulation conditions in Baiyun depression of northern slope of the South China Sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006,18 (3) :145-149. ]
- [31] 朱伟林.南海北部深水区油气勘探关键地质问题[J].地质学报,2009,83(8):1059-1064. [ZHU Weilin. The key geological problems about oil and gas exploration in deepwater area of northern South China Sea, the [J]. Geology, 2009,83 (8) :1059-1064. ]
- [32] 何家雄,陈胜红,马文宏,等.南海北部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):740-750. [HE Jiaxiong, CHEN Shenghong, MA Wenhong, et al. The early evaluation and prediction of oil and gas accumulation conditions in deepwater area in the Continental Margin Basin of northern South China Sea [J]. Natural Gas Geoscience, 2008,19 (6) :740-750. ]
- [33] 何家雄,颜文,马文宏,等.南海北部准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,2010,21(6):897-908. [HE Jiaxiong, YAN Wen, MA Wenhong, et al. The analogy between deepwater area of South China Sea and world. [J]. Natural Gas Geoscience, 2010,21 (6) :897-908. ]

## THE MECHANISM AND CHARACTERISTICS OF OIL AND GAS MIGRATION AND ACCUMULATION IN SHALLOW AND DEEP WATER OF ZHUJIANGKOU BASIN, NORTHEASTERN SOUTH CHINA SEA

HE Jiaxiong<sup>1</sup>, MA Wenhong<sup>2</sup>, CHEN Shenghong<sup>3</sup>, GONG Xiaofeng<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, CAS, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 2. Zhanjiang Branch, CNOOC, Zhanjiang, Guangdong 524057, China; 3. Shenzhen Branch, CNOOC, Guangzhou, Guangdong 524057)

**Abstract:** The geological conditions for oil and gas accumulation are of significant difference in shallow and deep waters in the ZhuJiangKou Basin. The difference is resulted mainly from the different mechanism of migration and accumulation of oil and gas and their distribution pattern. ① oil occurs in the north and gas in the south. In the northern part of the basin, including the rift zone, the DongSha uplift zone and the area further to the north, there are low geothermal gradient and low heat flow, and the thermal evolution of source rocks is within the oil window. A large amount of oil with a small amount of oil type gas was accumulated in the shallow water of north continental shelf, which mainly contains the Wenchang, Yun Ping, Xijiang, Huizhou, Lufeng and Liuhua oil fields. To the contrary, The geothermal gradient and heat flow are high in the deep water of the south rift zone and south uplift zone, where the thermal evolution of source rocks had dropped into a mature or over mature stage. Thus there mainly produce natural gas and a small amount of condensate oil, such as the cases in the gas reservoirs of LW3-1, LH34-2 and LH29-1 and the oil reservoir of LH16-2 in the eastern Baiyun depression as well as the group of small gas reservoirs in the Panyu uplift of Baiyun depression. There also oil and gas hydrate occur sometimes. ② The area of shallow water is dominated by the allochthonous hydrocarbon accumulated in the Oligocene and Miocene deltaic sandstone and Miocene reef limestone, whereas the hydrocarbon of mixed source dominates the area of deep water. So far, some large oil fields of these types have been discovered in the basin. The mechanism of hydrocarbon migration and accumulation in the half-grabens has been verified by exploration but no breakthrough has been achieved so far. In the area of deep water, The hydrocarbon of mixed sources has been verified in the Oligocene deltaic sandstone and deep-water fan systems, characterized by the coexistence of gas hydrates in seafloor and shallow gas and conventional oil and gas in the deep.

**Key words:** Zhujiangkou basin; shallow water; deep water; mechanism of hydrocarbon migration and accumulation.