

珠江口盆地新近系 地层岩性圈闭形成条件及发育规律分析

杜家元^{1,2}, 陈维涛², 张昌民¹

(1. 长江大学“油气资源与勘探技术”教育部重点实验室 地球科学学院, 湖北 荆州 434023;

2. 中海石油(中国)有限公司 深圳分公司, 广州 510240)

摘要: 伴随勘探程度的提高, 地层岩性圈闭已经成为珠江口盆地油气勘探的重要新领域。为此, 对珠江口盆地新近系这一主力含油层段进行了地层岩性圈闭形成条件和发育规律的分析。认为盆地新近纪以来多期的海平面升降旋回, 多种沉积体系的共同发育, 2 种类型坡折及其对应的低位体, 以及 2 次构造运动为地层岩性圈闭的发育创造了十分有利的条件。在上述条件的综合作用下, 地层岩性圈闭的发育呈现出陆架区、坡折区各具特色、层序界面附近层段最为有利、油气运移通道是成藏主控因素等规律性特征。

关键词: 地层岩性圈闭; 形成条件; 发育规律; 新近系; 珠江口盆地

中图分类号: TE122.3⁺22

文献标识码: A

Formation conditions and development features of Neogene stratigraphic-lithologic traps in Pearl River Mouth Basin

Du Jiayuan^{1,2}, Chen Weitao², Zhang Changmin¹

(1. Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China;

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

Abstract: As exploration degree increases, stratigraphic-lithologic traps have become an important new field for oil and gas exploration in the Pearl River Mouth Basin. The formation conditions and development features of Neogene stratigraphic-lithologic traps were systematically investigated in this study. The basin has experienced several stages of sea level fluctuations ever since Neogene, resulting in the coexistence of multiple sedimentary systems. Two types of shelf edges and the corresponding low stand systems tracts as well as two significant tectonic movements provided favorable conditions for the development of stratigraphic-lithologic traps, which showed obviously different features in the continental shelf region and the shelf margin region. The intervals near to sequence boundary seem to have the most favorable potential. Oil and gas migration pathways play important roles in controlling final hydrocarbon accumulation.

Key words: stratigraphic-lithologic trap; formation condition; development feature; Neogene; Pearl River Mouth Basin

国内外多年来的油气勘探实践表明, 地层岩性油气藏在勘探中具有举足轻重的作用。据统计, 近几年我国新发现储量中, 地层岩性油气藏探明储量所占比例已经达到了 55% 以上, 并仍呈上升趋势^[1-3]。尤其是我国陆上油气勘探, 地层岩性油气藏已经成为当前最现实、最重要的领域^[4]。

珠江口盆地渐新世以来, 以海侵为背景, 沉积了巨厚的海陆过渡相和海相地层。特别是新近纪以来, 盆地转化为准被动大陆边缘盆地, 在多期次

相对海平面升降旋回的驱动下, 形成了以古珠江三角洲为主体、多种沉积类型共同发育的沉积体系展布特征和多层序、多旋回海相地层的叠置发育特征。加之盆地古地形的影响和构造运动的改造, 为珠江口盆地地层岩性圈闭的发育创造了十分有利的条件^[5-8]。

珠江口盆地的油气勘探始于上世纪 80 年代, 长期以来以构造圈闭勘探为主, 伴随着勘探程度的提高, 构造圈闭的勘探难度越来越大。在这种形势

收稿日期: 2013-04-15; 修订日期: 2014-08-01。

作者简介: 杜家元 (1964—), 男, 教授级高工, 从事石油地质勘探工作。E-mail: dujy@cnooc.com.cn。

通讯作者: 陈维涛 (1983—), 男, 工程师, 从事石油地质勘探工作。E-mail: chenwt2@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“近海隐蔽油气藏勘探技术”(2011ZX05023-002) 资助。

下,地层岩性油气藏的勘探越来越受到重视,并希望成为今后储量接替和增长的主要方面。但珠江口盆地长期以来一直以构造圈闭勘探为主,缺少对地层岩性油气藏的系统研究。为了扭转这一局面,有必要对珠江口盆地地层岩性圈闭的形成条件和发育规律进行系统的分析,夯实地层岩性圈闭勘探的基础工作,以期使珠江口盆地地层岩性油气藏的勘探从以往盲目的偶然钻遇转向有意识、有思路、有方法、有成效的系统行动。

1 区域地质概况

珠江口盆地位于南海北部大陆架,呈 NE 走向,大致平行华南大陆岸线的陆架和陆坡区,是华南大陆的水下延伸部分。由北向南珠江口盆地可划分为 5 个大型构造带,即北部隆起带、北部拗陷带、中央隆起带、南部拗陷带和南部隆起带。新生代以来,盆地经历了 3 个构造演化阶段:早始新世至中渐新世为伸展断陷阶段,形成了一系列半地堑、地堑和地垒;晚渐新世至中中新世为拗陷沉降阶段,盆地以整体沉降为主,构造活动平静;晚中新世以后为断块升降阶段,构造活化,老断层复活,并发育大量新的断层^[5-6]。盆地地层具有“下陆上海”的双层结构,下构造层为盆地断陷期形成的陆相沉积,自下而上分为神狐组、文昌组和恩平组,其中文昌组和恩平组是盆地主要的烃源岩发育层段;上构造层为盆地拗陷期形成的海陆交互相和海相沉积,是古珠江三角洲及滨岸沉积体系形成、发育的主要层段(图 1)。

新近系中新统是珠江口盆地目前主力含油层段,该层段钻遇探井、评价井数量最多,钻井、测井资料丰富;且埋深适中,地震反射特征清晰,为开展地层岩性圈闭勘探奠定了资料基础。因此,本文的分析也以中新统为主要研究层段。

2 地层岩性圈闭形成的有利条件

珠江口盆地新近纪以来主要发育被动大陆边缘盆地背景上的海陆过渡相沉积和开阔海相沉积。多期的海平面升降旋回、多种沉积类型的共同发育、多类型坡折和多类型低位体的层序结构特征以及多次构造运动,为地层岩性圈闭的发育提供了有利条件。

2.1 多期次海平面升降旋回形成多套储盖组合

海平面升降旋回对于层序发育和沉积展布具有重要的影响。海平面下降使得沉积体系向海迁移,进而粗碎屑沉积物在盆地区堆积;海平面上升使得沉积体系向岸迁移,细碎屑沉积物覆盖在先前发育的粗碎屑沉积物之上,从而形成一套完整的储盖组合。由于珠江口盆地所处南海北部陆架宽阔、地形坡度小,因此岸线进退迁移对相对海平面升降的响应敏感,同时,南海的持续扩张又使得相对海平面整体呈现出持续海侵的特征。这种海平面变化特点使得同一个三级层序内部向海延伸较远的高位晚期和低位期砂岩与向陆延伸较远的海侵期泥岩叠置在一起,频繁、剧烈的相对海平面变化形成多个三级层序、多套储盖组合(图 2);也使得在同一个层序内部三角洲类型伴随岸线进退发生有

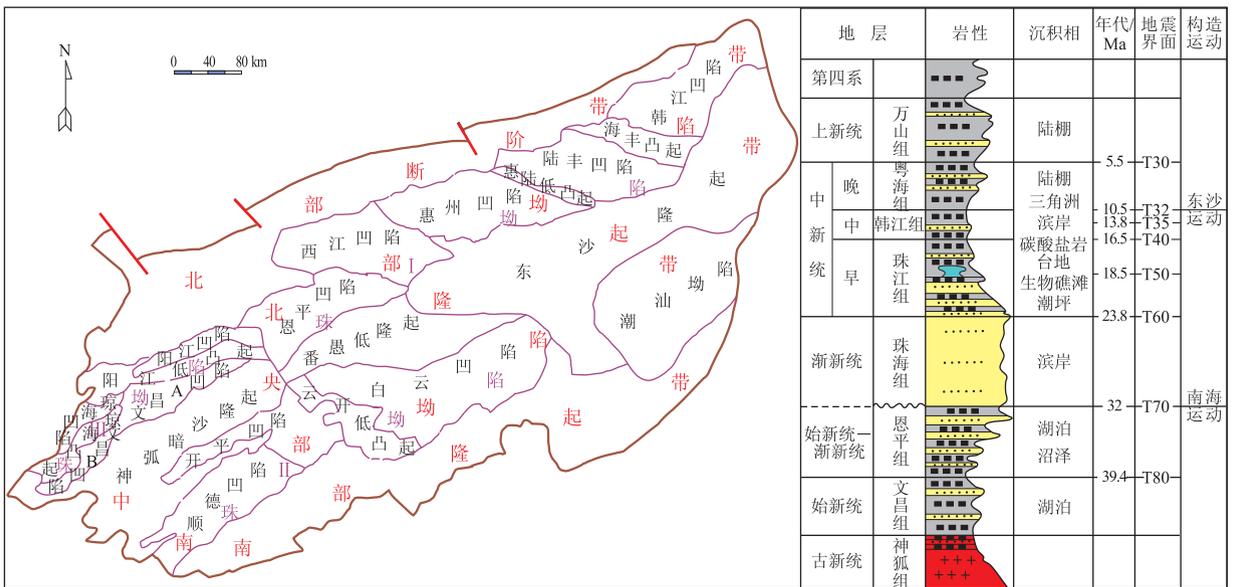


图 1 珠江口盆地构造区划及地层结构

Fig.1 Tectonic elements and stratigraphic column of Pearl River Mouth Basin

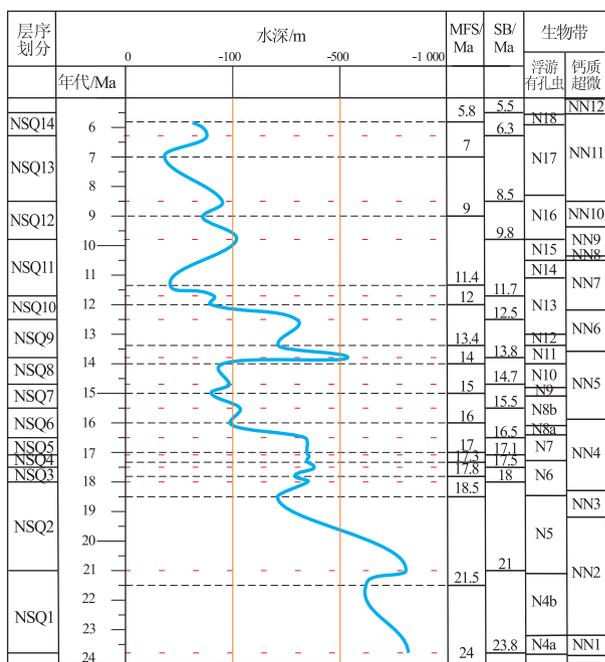


图2 珠江口盆地新近系三级层序划分及海平面升降曲线
Fig.2 Subdivision scheme of third-order sequences with corresponding sea level curves of Neogene, Pearl River Mouth Basin

规律的转化,形成多种类型的沉积体和多个岩性、地层尖灭带。持续海侵的特征使得部分层序海侵体系域较为发育,海侵退积砂岩形成良好的储层。因此,多期的海平面升降旋回在新近纪形成多套储盖组合,为地层岩性圈闭的发育创造了条件。

目前,珠江口盆地新近系从珠江组到粤海组划分了14个三级层序(图2),每个层序持续的时间为0.5~3.5 Ma,多数接近于1 Ma,对应着大约23.8~5.5 Ma期间珠江口盆地经历了15次明显的相对海平面升降旋回^[9-10]。围绕这15个层序界面上下砂岩最丰富、向海延伸远,而最大海泛面附近泥岩发育,两者构成储盖组合。其中23.8 Ma时期的南海进一步扩张事件导致珠江口盆地岸线迅速地向北迁移,以及之后18.5 Ma时期最大规模的海平面上升,在白云北坡陆架坡折区和珠一坳陷陆架区都形成了好的储盖组合。之后在18,17.5,16.5,13.8,10.5 Ma时期都发生过海平面强烈下降以及随后的大规模海侵事件,形成相对有利的多套储盖组合,而围绕这些时间点附近形成的层序界面上下是寻找地层岩性圈闭的有利层段。

2.2 沉积体系展布决定储集砂体类型多样

陆源碎屑岩储集体成因类型、规模、几何形态和分布规律受物源区地形、沉积盆地内部的水动力条件、气候带、构造活动性等多种因素的控制,这些因素的综合作用表现为沉积相带对碎屑岩储集体

的控制作用^[11]。古珠江三角洲是南海北部陆缘区发育的大型三角洲体系,从晚渐新世南海扩张时期开始发育,并成为新近纪以来珠江口盆地的主要沉积体系。同时,珠江口盆地还不同程度地发育着滨岸、浅海陆棚、半深海—深海及碳酸盐岩台地等沉积体系,这些沉积体系与三角洲沉积体系具有一定的耦合关系,伴随着珠江口盆地的演化发生着或此消彼长或同时消长的变化,河流、波浪、潮汐、化学沉积等共同作用,使得沉积体系的类型复杂多样,也就造就了丰富多样的储集砂体类型。

根据对珠江口盆地沉积相的分析,认为新近纪珠江口盆地发育四大沉积体系(图3)。(1)古珠江三角洲体系:是陆架区的沉积主体,其三角洲前缘的水下分流河道及河口坝相区是地层岩性圈闭发育的有利相带。此外,在海平面上升期发育的海侵退积三角洲、在三角洲前缘受潮汐改造形成的条带砂岩区也都发育大量的地层岩性圈闭,并已经有商业性岩性油气藏的发现。(2)滨岸—陆棚沉积体系:主要发育于北部隆起带古珠江三角洲影响较小的侧缘地区以及珠江组沉积早期东沙隆起区周

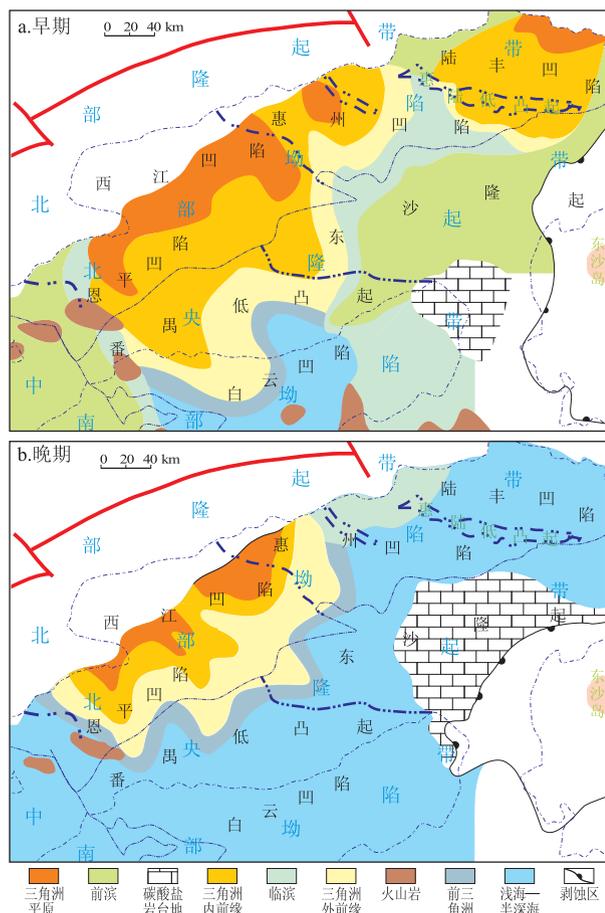


图3 珠江口盆地珠江组沉积早、晚期沉积相展布
Fig.3 Sedimentary facies of early and late Zhujiang Formation in Pearl River Mouth Basin

缘,由于珠江口盆地新近纪整体处于海侵背景之下,因此,滨岸—陆棚体系砂岩整体呈退积状并被浅海陆棚相泥岩所覆盖,其临滨相砂岩易于尖灭形成地层岩性圈闭。(3)碳酸盐岩沉积体系:主要发育于东沙隆起区,从早中新世开始东沙隆起逐渐被海水淹没并形成碳酸盐岩台地,之后伴随着海平面的持续上升以及古珠江三角洲的向海推移,碳酸盐岩发育的范围逐渐萎缩,但在这一过程中仍然为岩性圈闭的发育创造了很好的条件;其发育的有利层段主要位于珠江组,有利相带为生物礁、滩相,以及层序界面之下可能发育的淋滤带。(4)坡折区陆架边缘三角洲和深水重力流沉积体系:主要位于新近纪的东沙隆起南侧至白云凹陷,海平面强烈下降导致古珠江三角洲推移到白云北坡,为这一沉积体系的发育提供了物质来源;其沉积相特征是以陆架坡折带为界,向陆一侧主要发育牵引流形成的陆架边缘三角洲,向海一侧则发育重力流形成的斜坡扇、盆底扇以及水道充填相等沉积相类型^[9,12]。由于该区泥岩发育,含砂率较低,因此只要有好的储层就可形成地层岩性圈闭。

2.3 坡折带及低位体的发育

珠江口盆地新近纪时期,由于惠州凹陷和白云凹陷构造背景的差异,基底的沉降速率和沉积物供应速率均不同,从而形成 2 种不同类型的坡折及其对应的低位体系域:(1)白云凹陷发育陆架坡折,白云、荔湾一带陆坡上有内盆地^[9,13],发育有与陆架坡折相关的低位沉积,可形成岩性地层圈闭;(2)惠州地区发育沉积坡折,惠州凹陷与东沙隆起之间的过渡区发育小的洼陷,形成古珠江三角洲前缘背景上的沉积坡折,存在规模更小的低位体,也可形成地层岩性圈闭^[14-18]。这 2 种类型的坡折带对层序结构和沉积类型产生了重要的影响,并形成了围绕这 2 类坡折带而发育的地层接触关系的改变以及坡折带两侧沉积类型的改变,而这些变化的位置正好是地层圈闭和岩性圈闭发育的地区。

2.4 构造运动的影响

珠江口盆地新近纪以来经历了稳定拗陷沉降和断块升降运动 2 个阶段,白云运动和东沙运动是构造阶段转化的重要事件。这 2 次构造运动不仅影响了沉积盆地的演化,更导致先前地层产状的变化,使盆地中部分区域下倾的地层变为上倾,从而有利于形成上倾尖灭岩性圈闭。同时,构造运动造成老断层活化和新断层的形成,有利于油气的垂向运移。

惠西南东沙隆起倾没端是珠江组地层发生产

状倒转的最典型地区,沉积时期向东沙隆起下倾超覆或者平行披盖的地层在东沙运动的影响下变为上倾超覆,从而使得该区三角洲前缘尖灭砂体变为上倾尖灭,成为有利的地层岩性圈闭发育区。此外,白云运动和东沙运动都造成局部强烈抬升剥蚀,形成了区域不整合面,从而可形成不整合遮挡地层圈闭。构造运动还加剧了断层活动,有利于逆牵引背斜构造的形成和油气的垂向运移,因此,系统的研究构造活动对地层、断层和油气运移的影响有助于我们更好地圈定地层岩性圈闭发育的有利区带。

3 地层岩性圈闭发育规律

珠江口盆地新近系地层岩性圈闭的发育具有一定的规律性,主要体现在:(1)陆架区、坡折区构造背景不同而具有不同的地层岩性圈闭发育特征;(2)围绕层序界面上下是寻找地层岩性圈闭的有利层段;(3)“下生上储”的成藏样式使得油气运移通道成为新近系地层岩性圈闭成藏的重要控制因素。这些规律性的认识对于我们今后有针对性地开展地层岩性圈闭的勘探工作具有重要的指导意义。

3.1 陆架区、坡折区的地层岩性圈闭发育特征

南海运动和白云运动是珠江口盆地从断陷期向拗陷期转化的重要事件,伴随着白云凹陷和荔湾凹陷的强烈沉降以及珠江组沉积早期的强烈海侵,陆架坡折由珠海组沉积期位于白云凹陷南坡附近迁移到白云凹陷北坡,并从 21 Ma 以来一直维持在这一位置附近^[9,12]。因此新近纪以来的珠江口盆地整体上是陆架坡折位于白云北坡附近的准被动大陆边缘盆地,这一构造背景特点使得珠一拗陷和中央隆起带新近纪以来一直处于大陆架的构造背景,而白云凹陷和荔湾凹陷处于陆架坡折到陆坡的构造背景。

上述构造背景的差异决定了陆架区和坡折区具有不同的沉积体系类型和坡折类型,从而具有不同的地层岩性圈闭发育规律^[19-21]。从层序发育的特征来看,当海平面下降到陆架坡折附近时,在白云北坡形成低位体系域—海侵体系域—高位体系域三分的层序结构类型。低位体系域具有相对丰富的砂岩,并向陆架坡折上倾尖灭或具有透镜状结构,具有形成地层岩性圈闭的有利条件;海侵体系域和高位体系域在陆架坡折区以泥岩沉积为主,形成较好的盖层。而当海平面未下降到陆架坡折附近时,形成以沉积滨线坡折控制的陆架边缘体系域—海侵体系域—高位体系域的层序结构类型,陆架坡折附近以重力滑塌为主,沉积物粒度较细,储

层相对不发育。而不论海平面是否下降到陆架坡折,陆架区均以海侵体系域和高位体系域为主,形成地层岩性圈闭的有利储层主要为海侵体系域的海侵砂岩和高位体系域三角洲前缘砂岩。从沉积体系的展布特征来看,陆架坡折区以发育陆架边缘三角洲的层位最为有利,形成陆架边缘三角洲楔状体和以重力流为主的盆地扇、斜坡扇等一套沉积组合;陆架区以海侵体系域十分发育的层段最为有利,海侵退积三角洲前缘砂岩被早期高位泥岩所覆盖,形成有利的储盖组合,而高位体系域的三角洲前缘也是较为有利的区带。但不论哪个体系域,陆架区沉积体系均以牵引流为主,砂泥岩的有利配比是形成地层岩性圈闭的重要条件。

根据对珠江口盆地新近系层序地层和沉积体系的分析,结合对已发现地层岩性圈闭油气藏的解剖,分别以惠州凹陷和白云北坡地区为代表,建立地层岩性圈闭发育模式。其中惠州凹陷地层岩性圈闭的发育模式体现了陆架及其以上区域以海侵体系域为主的地层岩性圈闭发育的典型特征(图4);白云北坡地层岩性圈闭的发育模式代表了陆架坡折相关区域以低位体系域为主的地层岩性圈闭发育的典型特征(图5),两者有较大差别,在勘探中需要区别对待,在富烃区,2套地层岩性圈闭都具有好的勘探前景。

根据惠州凹陷新近系地层岩性圈闭的发育模式(图4),认为陆架区主要的地层岩性圈闭类型有:透镜状岩性圈闭(风暴砂、滨岸砂或被改造的三角洲前缘砂)、岩性上倾尖灭圈闭(海侵域三角洲退积砂)、不整合一岩性尖灭圈闭(高位域三角洲砂)、地层超覆圈闭(低位域砂)、生物礁岩性圈闭、构造一岩性复合圈闭(低位域砂)、生物礁岩性圈闭

闭、构造一岩性复合圈闭。在珠江口盆地,有构造背景的地层岩性圈闭或构造一岩性复合圈闭、海侵体系域的砂岩上倾尖灭圈闭具有相对好的成藏条件和成藏规模,岩性上倾尖灭方向向着远离古珠江物源有利于形成好的圈闭。在惠州凹陷及相类似的区域要重点关注符合上述条件的圈闭,并以上述圈闭类型带动其他类型圈闭的勘探,从而可以提高勘探效益,最大限度挖掘勘探潜力。

白云北坡地区新近纪总体上处于相对富泥环境,砂岩分布相对局限,有好的砂岩往往能形成地层岩性圈闭,具体包括(图5):下切水道砂体、斜坡扇砂体、盆底扇砂体、陆架边缘三角洲砂体、海侵期陆架三角洲砂体、高位期陆架三角洲砂体、构造一岩性复合圈闭。上述类型砂体形成的圈闭如果有好的烃源供给,容易形成地层岩性油气藏。

3.2 层序界面上下是地层岩性圈闭发育的有利层段

珠江口盆地相对宽缓的大陆架背景使得岸线迁移对海平面升降的响应敏感,围绕层序界面附近是砂岩储层最发育的地区。层序界面之下的高位体系域伴随着海平面下降向海延伸,高位体系域的有利砂岩在靠近层序界面附近更丰富;低位体系域在层序界面附近发育盆底扇、斜坡扇和低位楔状

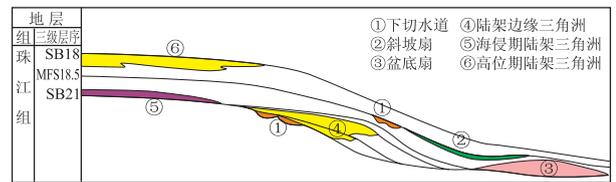


图5 珠江口盆地白云北坡地区新近系地层岩性圈闭发育模式
Fig.5 Development model of Neogene stratigraphic-lithologic traps in northern Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin

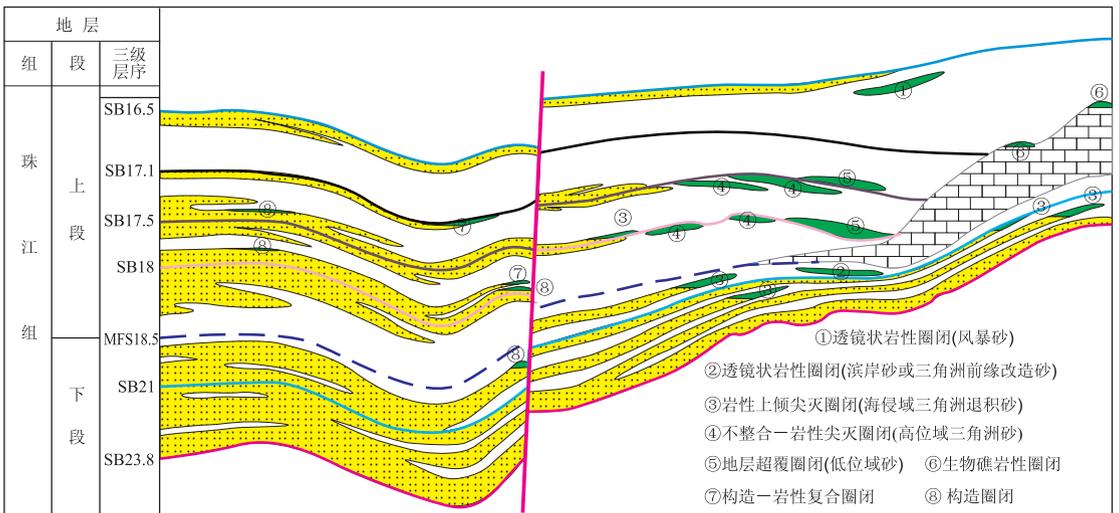


图4 珠江口盆地惠州凹陷新近系地层岩性圈闭发育模式

Fig.4 Development model of Neogene stratigraphic-lithologic traps in Huizhou Sag of Pearl River Mouth Basin

体,也是有利储层的分布区;海侵体系域除对层序界面附近的砂岩进行改造外,更伴随着海平面上升形成退积型海侵砂岩。因此,围绕层序界面附近存在 3 个体系域的砂岩分布,其被海侵晚期和高位早期的泥岩所覆盖,形成较好的储盖组合。尤其是在三角洲前缘区和陆架坡折附近,砂泥岩含量具有较好的比例,是发育地层岩性圈闭的有利区域。

上述储层发育特征与构造背景的叠合,形成了 2 个重要的地层岩性圈闭发育区带:一个是古珠江三角洲前缘向中央隆起带的上倾尖灭带(包括由沉积坡折控制的地层变化带),主要圈闭类型有高位体系域砂岩上倾尖灭圈闭、不整合面遮挡圈闭、层序界面之上低位体系域地层超覆圈闭和层序界面之上海侵体系域砂岩尖灭圈闭;另一个是白云北坡陆架坡折区地层岩性圈闭带,主要圈闭类型有退积式陆架边缘三角洲形成的上倾尖灭圈闭,上陆坡下切水道、斜坡扇、盆底扇等沉积体形成的岩性圈闭。

3.3 油气运移通道是成藏的重要控制因素

珠江口盆地的主力烃源岩层系是古近系文昌组和恩平组,因此新近系油气藏是典型的下生上储式油气藏,油气运移通道是控制新近系地层岩性圈闭成藏的关键因素。根据烃源岩与储层的发育层位与配置关系,认为珠江口盆地新近系油气藏的运移通道,在垂向上主要是以古近系洼陷周边发育的控洼断层为主,在深水区可能存在与活动热流体底辟作用相关的运移通道^[22];而在横向上,主要有凹陷与凹陷之间的古构造脊,以及珠海组和珠江组早期高含砂率的碎屑岩地层 2 种运移通道。

古近系的控洼断层在“盆地断块升降”构造演化阶段再次开启,而这次开启正好与烃源岩生排烃期相匹配,成为珠江口盆地新近系重要的油气成藏期。目前在惠州凹陷沿惠州 26 洼、西江 30 洼控洼断层的两侧发现的油气藏,以及在白云凹陷北坡发现的油气藏均是在上述成藏期形成的。西惠低凸起和惠陆低凸起是凹陷之间的古隆起带,在新近纪的构造活动中演化为构造脊,从而成为油气聚集和横向运移的重要通道;在西惠低凸起构造脊的顶部已经发现了一系列油气藏,更充分证明了构造脊的通道作用。因此,油气优势运移通道上的地层岩性圈闭具有相对有利的成藏条件,应成为勘探重点关注的地区。

4 结论

(1) 珠江口盆地经过近 30 年的油气勘探,已经进入由构造圈闭为主向构造和岩性并重的转型

阶段,新近系这一主力含油层段具有较多的探井、较好的地震资料品质和较扎实的研究基础,是我们进行地层岩性圈闭勘探突破的首选靶区。

(2) 珠江口盆地新近纪主要发育被动大陆边缘盆地背景上的海陆过渡相沉积和开阔海相沉积,多期次海平面升降旋回、以古珠江三角洲沉积为主体的多种沉积类型的共同发育、多类型坡折和多类型低位体的层序结构特征以及多期次的构造运动,为地层岩性圈闭的发育创造了有利条件。

(3) 在上述条件的共同作用下,陆架区和坡折区成为 2 个具有不同特征的勘探区带,层序界面上下是这 2 个区带寻找地层岩性圈闭的有利层位,而油气运移通道是圈闭成藏的主控因素。

参考文献:

- [1] 中国石油天然气股份有限公司.岩性地层油气藏勘探理论与实践[M].北京:石油工业出版社,2005:519-565.
China National Petroleum Corporation.Exploration theory and practice of lithologic-stratigraphic oil and gas reservoirs[M].Beijing: Petroleum Industry Press,2005:519-565.
- [2] 李富恒,邹才能,侯连华,等.地层油气藏形成机制与分布规律研究综述[J].岩性油气藏,2009,21(4):32-36.
Li Fuheng,Zou Caineng,Hou Lianhua,et al.Overview of research into formation mechanism and distribution law of stratigraphic reservoir[J].Lithologic Reservoirs,2009,21(4):32-36.
- [3] 隋风贵,王学军,卓勤功,等.陆相断陷盆地地层油藏勘探现状与研究方向:以济阳坳陷为例[J].油气地质与采收率,2007,14(1):1-6.
Sui Fenggui,Wang Xuejun,Zhuo Qingong,et al.Current exploration situation and research trend of stratigraphic reservoirs in continental fault basin:taking Jiyang Depression as an example[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency,2007,14(1):1-6.
- [4] 李群,郝建军,何金海,等.隐蔽圈闭解释模式的地层学意义及应用实例[J].石油实验地质,2012,34(6):571-574.
Li Qun,Gao Jianjun,He Jinhai,et al.Stratigraphic meaning and application case of interpretation mode of subtle trap[J].Petroleum Geology & Experiment,2012,34(6):571-574.
- [5] 陈长民,施和生,许仕策,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,2003:1-30,196-208.
Chen Changmin,Shi Hesheng,Xu Shice,et al.Hydrocarbon reservoir forming conditions of Tertiary in Pearl River Mouth Basin (eastern)[M].Beijing:Science Press,2003:1-30,196-208.
- [6] 于水明,施和生,梅廉夫,等.过渡动力学背景下的张扭性断陷:以珠江口盆地惠州凹陷古近纪断陷为例[J].石油实验地质,2009,31(5):485-489.
Yu Shuiming,Shi Hesheng,Mei Lianfu,et al.Analysis of tense-shearing characteristics of Huizhou Paleogene Fault Depression in Pearl River Mouth Basin[J].Petroleum Geology & Experiment,2009,31(5):485-489.
- [7] 邓广君,张迎朝,甘军.文昌 B 凹陷脉动式构造演化及其与油气成藏关系[J].断块油气田,2012,19(5):564-567.

- Deng Guangjun, Zhang Yingzhao, Gan Jun. Pulsating tectonic evolution and its relationship with hydrocarbon accumulation in Wenchang B Depression [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2012, 19(5): 564-567.
- [8] 宗奕, 梁建设, 郭刚. 珠江口盆地番禺低隆起文昌组断裂活动性特征及其对沉积的影响 [J]. *地球科学与环境学报*, 2012, 34(4): 30-35.
- Zong Yi, Liang Jianshe, Guo Gang. Characteristic of fault activity in Wenchang Formation of Panyu Low Uplift, Pearl River Mouth Basin and its influence on sedimentation [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2012, 34(4): 30-35.
- [9] 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: 23-64, 142-192.
- Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. The Pearl River deep water fan system & petroleum in South China Sea [M]. Beijing: Science Press, 2007: 23-64, 142-192.
- [10] 秦国权. 珠江口盆地新生代晚期层序地层划分和海平面变化 [J]. *中国海上油气(地质)*, 2002, 16(1): 1-18.
- Qin Guoquan. Late Cenozoic sequence stratigraphy and sea-level changes in Pearl River Mouth Basin, South China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2002, 16(1): 1-18.
- [11] 姜在兴. 沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 257-260, 320-374.
- Jiang Zaixing. *Sedimentology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 257-260, 320-374.
- [12] 庞雄, 彭大钧, 陈长民, 等. 三级“源—渠—汇”耦合研究珠江深水扇系统 [J]. *地质学报*, 2007, 81(6): 855-864.
- Pang Xiong, Peng Dajun, Chen Changmin, et al. Three hierarchies “Source-Conduit-Sink” coupling analysis of the Pearl River deep-water fan system [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(6): 855-864.
- [13] 李向阳, 张昌民, 张尚锋, 等. 白云凹陷北坡珠江组下段层序地层及有利区带预测 [J]. *断块油气田*, 2012, 19(2): 154-157.
- Li Xiangyang, Zhang Changmin, Zhang Shangfeng, et al. Sequence stratigraphy and prediction of favorable zone of Lower Zhujiang Formation in northern slope of Baiyun Sag [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2012, 19(2): 154-157.
- [14] 陈维涛, 杜家元, 龙更生, 等. 珠江口盆地惠州地区珠江组地层控砂机制及地层岩性圈闭发育模式分析 [J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(3): 449-458.
- Chen Weitao, Du Jiayuan, Long Gengsheng, et al. Factors controlling sandbody development and models of stratigraphic-lithologic traps of Zhujiang Formation in Huizhou area, Pearl River Mouth Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(3): 449-458.
- [15] 龙更生, 施和生, 杜家元. 珠江口盆地惠州地区中新统地层岩性圈闭形成条件分析 [J]. *中国海上油气*, 2006, 18(4): 229-235.
- Long Gengsheng, Shi Hesheng, Du Jiayuan. An analysis of creation conditions for Miocene stratigraphic and lithologic traps in Huizhou area, Pearl River Mouth basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2006, 18(4): 229-235.
- [16] 刘曾勤, 王英民, 施和生, 等. 惠州地区珠江组下部层序划分及沉积相展布特征 [J]. *海洋地质动态*, 2009, 26(5): 8-14.
- Liu Zengqin, Wang Yingmin, Shi Hesheng, et al. Sequence stratigraphy division and sedimentary facies distribution of Lower Zhujiang formation in Huizhou Area [J]. *Marine Geology Letter*, 2009, 26(5): 8-14.
- [17] 郑丹, 徐思煌, 尚小亮. 珠江口盆地惠州凹陷泥岩压实特征及其成因 [J]. *地球科学与环境学报*, 2010, 32(4): 372-377.
- Zheng Dan, Xu Sihuang, Shang Xiaoliang. Characteristics and genesis of mudstone compaction in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2010, 32(4): 372-377.
- [18] 余焯, 张昌民, 张尚锋, 等. 惠州凹陷新近系珠江组物源方向研究 [J]. *断块油气田*, 2012, 19(1): 17-21.
- Yu Ye, Zhang Changmin, Zhang Shangfeng, et al. Research on source direction of Neogene Zhujiang Formation in Huizhou Depression [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2012, 19(1): 17-21.
- [19] 肖传桃, 帅松青, 吴光太. 柴达木盆地西南区古近—新近纪坡折带及其对岩性圈闭的控制作用 [J]. *特种油气藏*, 2013, 20(1): 27-30.
- Xiao Chuantao, Shuai Songqing, Wu Guangtai. Paleogene-Neogene slope-break zone and its controls on lithologic traps of southwestern area of Qaidam Basin [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2012, 20(1): 27-30.
- [20] 胡纯心, 杨帅, 陆大潮, 等. 长岭凹陷多环坡折地貌发育特征及对沉积过程的控制 [J]. *石油实验地质*, 2013, 35(1): 17-23.
- Hu Chunxin, Yang Shuai, Lu Yongchao, et al. Characteristics of multiple-circular slope break geomorphology and its controlling on sedimentary process in Changling Sag, Songliao Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(1): 17-23.
- [21] 陈维涛, 杜家元, 龙更生, 等. 珠江口盆地海相层序地层发育的控制因素分析 [J]. *沉积学报*, 2012, 30(1): 73-83.
- Chen Weitao, Du Jiayuan, Long Gengsheng, et al. Analysis on controlling factors of marine sequence stratigraphy evolution in Pearl River Mouth Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(1): 73-83.
- [22] 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. Hydrocarbon resources reassessment in Zhu I depression, Pearl River Mouth basin [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2009, 21(1): 9-14.