

中国海相油气田勘探实例之十四

珠江口盆地深水区流花 16-2 轻质油田的发现与勘探

孙金山¹, 刘鑫², 杜克拯², 蒋钱涛¹

(1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司勘探部; 2 中海油能源发展监督监理深圳分公司)

摘要 流花 16-2 油田发现于 2010 年 5 月。它是南海北部珠江口盆地近年发现的中型轻质油田,也是该区自营勘探以来发现的储量最大的油田。油田位于珠江口盆地番禺低凸起东端海域深水区,流花 16-2 构造为断块圈闭,储层为下中新统珠江组下段及上渐新统珠海组海相中细砂岩和生物碎屑灰岩,盖层为珠江组上段巨厚层海相泥岩,具有良好的储盖组合。油源来自油田南面的白云凹陷东凹古近系恩平组—文昌组烃源岩。油藏具有埋深浅、储量丰度高、原油密度低、测试产能高等特点。论述了油田的发现与勘探历程以及油田的基本地质特征,总结了取得勘探突破的实践认识与启示。

关键词 流花 16-2 油田; 珠江口盆地; 古近系; 油藏特征; 海洋油气勘探; 油气勘探史; 勘探启示

中图分类号: TE122.14

文献标识码: A

流花 16-2 油田是中国海洋石油总公司在珠江口盆地番禺低隆起南部—白云东凹北坡地区发现的第一个整装块状中型油田,也是南海北部自营勘探以来发现的最大整装优质油田,其油藏厚度大、丰度高、埋藏浅。流花 16-2 油田的发现,不仅使南海北部油气区原油储量得到增长,而且还开拓了在南海北部海域番禺低隆起南部—白云凹陷北坡油气富集区寻找石油的新局面,同时也给石油地质勘探工作者留下深刻的启示和思考。

1 油田概况

流花 16-2 油田位于南海北部海域深水区,北距香港约 240 km,西距海南省文昌市约 530 km。其构造处于珠江口盆地中央隆起带番禺低隆起东端(图 1)。

珠江口盆地为一个新生代被动大陆边缘盆地,沉积构造具有“下陆相上海相”的双层结构。下构造层为断(裂)陷期充填的古近纪陆相沉积,上构造层为坳陷期形成的新近纪、第四纪海相及海陆交互相

沉积,这种下陆相上海相的两大沉积体系构成了“陆相生海相储”的成藏体系。

番禺低隆起的东北侧和西北侧,以转换断层或隐伏断层分别与东沙隆起和珠一坳陷相连,西以转换断层与神狐暗沙隆起相接,南邻珠二坳陷白云凹陷。番禺低隆起与白云凹陷之间无明显界线,逐渐过渡至白云凹陷北坡(图 1a)。

在海洋油气勘探中,通常将海水深度小于 300 m (≈1000 ft)的区域称为近海,300~1500 m 称为深水,大于 1500 m (≈5000 ft)称为超深水。珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷北坡的水深位于 200~2000 m 之间,属近海至深水范围。

流花 16-2 油田发现于 2010 年,2011 年完成评价工作,其主力油层为下中新统珠江组下段高水位体系域海侵滨岸砂岩,盖层为珠江组上段于 18.5 Ma 后形成的最大海泛期(mfs)巨厚层泥岩。流花 16-2 是一个具有块状底水的整装油田,并具有原油密度低、含蜡和含硫量低、正常温压系统的特点。油田的基本参数见表 1。

收稿日期: 2012-08-16; 改回日期: 2013-01-04

孙金山: 1962 年生,工程师。1983 年毕业于广东石油化工学院。现任中国海油深圳分公司勘探部作业总监。曾在中原油田、塔里木油田工作,长期从事石油天然气勘探地质监督与管理工作。通讯地址: 518067 广东省深圳市南山区工业 2 路 1 号海洋石油大厦 9 楼。电话: (0755)26022321

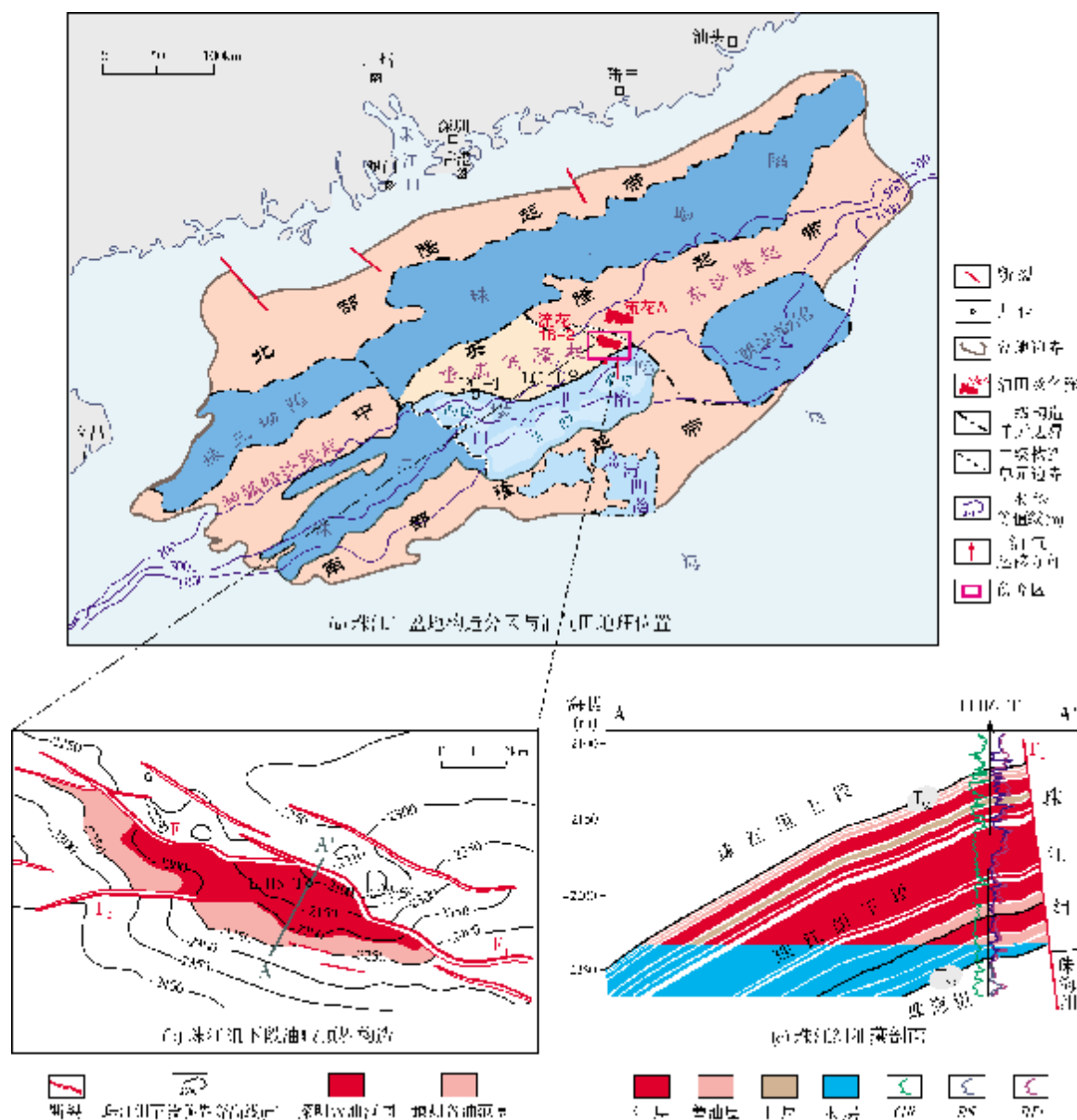


图 1 珠江口盆地构造分区与流花 16-2 油田构造示意图

2 勘探发现历程

2.1 从合作勘探到自营勘探

番禺低隆起的油气勘探始于20世纪80年代,经历了对外合作勘探、自营勘探和自营合作勘探三个阶段。合作勘探期间,英国石油公司(BP)、阿莫科(Amoco)等跨国石油公司先后钻探了流花21-1、番禺33-1等11个构造,仅发现少许油气显示,因未获

得商业性油气流而均告失利。从2000年开始,中国海洋石油总公司深圳分公司在番禺低隆起开展自营勘探,首先在LC-1井(位置见图1a)新近系粤海组发现气层而获得突破,至2005年已发现多个商业性气田和含气构造,这些气田和含气构造的发现,证实了该区域的巨大勘探潜力,自营勘探随后又发现了番禺35-1、35-2气田。番禺天然气富集区初具规模之后,国外石油公司如加拿大哈斯基能源公司(Husky Energy Inc.)、美国科麦奇石油公司(Kerr-McGee Corp.)等

表1 珠江口盆地流花16-2油田基本参数表

油田名称		流花16-2油田
油田地理位置		南海北部,距香港约240km
油田海域水深		370~410m
区域构造位置		珠江口盆地中央隆起带中部番禺低凸起东端,邻近白云凹陷东凹北坡
发现井(完钻时间)		LH16-T井(2010年5月)
发现井完钻井深(层位)		2466.0m(上渐新统珠海组)
发现井产量		原油555.4m ³ /d
首次产油时间		—
探明地质储量(时间)		商业性储量(2011年4月)
储量丰度		约300×10 ⁴ m ³ /km ²
发现依据		白云凹陷北坡发现番禺35-2等气田,白云凹陷深水区发现荔湾3-1气田。流花16-2构造位于番禺低隆起东端,紧邻白云凹陷北坡,其地震属性和储盖组合特征与已发现气田相同
油藏特征	圈闭类型	翘倾半背斜
	圈闭形成时间	中中新世末(10.0Ma以前)
	圈闭面积	—
	圈闭高度	210m
	油藏埋深	海拔-2080m
	油柱高度	131.5m
	石油来源	白云凹陷东凹古近系文昌组—恩平组陆相烃源岩
	油藏类型	轻质原生油藏
	原油性质	溶解气油比:1.2~12.9m ³ /m ³ 密度:0.8011~0.8068g/cm ³ 黏度:1.373~1.673mPa·s 凝固点:-5.0℃ 含蜡量:4.99%~5.94% 含硫量:0.03%~0.04%
	地层压力	21.249MPa
压力系数	1.013	
盖层时代与岩性	下中新统珠江组上段巨厚层海相泥岩	
储集层特征	层位	下中新统珠江组下段
	主要岩性	中—细粒岩屑长石砂岩、生物碎屑灰岩
	沉积环境	高水位海侵体系域三角洲滨岸沉积、台地边缘滩
	总厚度	258.5m
	有效厚度	209.5m
	孔隙类型	粒间孔、粒间和粒内溶孔,晶间微孔
	孔隙度	11%~25%
	渗透率	(10~200)×10 ⁻³ μm ²
	含油饱和度	30%~60%

纷至沓来,并于2006年6月在深水区白云凹陷发现了荔湾3-1深水气田(水深大于1 000 m),产层为珠江组和珠海组砂岩。至此,珠江口盆地深水区油气勘探进入实质性的阶段,标志着我国拉开了海洋深水油气勘探的序幕。

2.2 综合研究确定有利区带

番禺低隆起—白云凹陷北坡地区近年的勘探成果证实了白云凹陷也具有烃源潜力。但因白云凹陷沉积构造演化的差异性,且没有探井直接钻遇凹陷深部位烃源岩,从而产生了一些疑问:

(1)以往在番禺低隆起和白云凹陷北坡地区珠江组—珠海组所发现的烃类皆为天然气,仅在番禺35-1构造和流花29-1构造的深层(古近系)发现油显示,那么深层的油显示是否意味着有液态烃的商业性聚集?

(2)白云凹陷面积巨大,自西向东可分为西凹、主凹和东凹等三个次凹(图1),各次凹的面积、构造格局以及沉积物埋藏深度均有不同。已发现的油气均来源于白云凹陷主凹^[1],那么西凹和东凹是否也具有生烃潜力?是生气还是生油?

所以,在白云凹陷的东凹、西凹及其周边能否找到具商业性开发价值的油气田是回答上述疑问的关键之一。

珠江口盆地油气勘探近三十年,发现的油气田都位于珠一坳陷以及中央隆起带的番禺低隆起和东沙隆起的近海浅水区域,而邻近番禺低隆起南部—东沙隆起西段油气富集区的白云凹陷深水区域勘探程度却较低。番禺低隆起与白云凹陷两者南北相邻,番禺低隆起向南逐渐过渡为白云凹陷北部斜坡(水深小于800 m)。番禺低隆起(面积8.4×10⁴ km²)上发育有四排北倾反向断层,与断层伴生形成了多个断鼻状构造,且各排构造都有油气发现。白云凹陷则为一个长期继承性发育的凹陷,新生界新近系由凹陷中部向北部斜坡逐层超覆。综合地质研究表明,白云凹陷北坡具有较好的油气成藏条件和勘探潜力^[2]。

白云凹陷整体呈NEE向展布,水深为200~2000 m,面积大于2×10⁴ km²,是珠江口盆地沉积和沉降中心,新生界的沉积厚度大于11 000 m。该凹陷以面积巨大、古近系沉积巨厚并发育深水沉积地层而成为珠江口盆地最具特点的凹陷。白云凹陷中,西

凹、主凹和东凹的构造发育、沉积背景、热演化程度各具特征,分别对应三个子含油气系统。多年的研究成果及勘探实践表明,白云凹陷具有巨大的油气资源和勘探潜力。目前已获得的一系列天然气发现,如番禺35-1、荔湾3-1等气田,已证实了白云主凹以生气为主,且生烃量巨大,而西凹和东凹两个含油气系统的生油潜力尚待证实。白云东凹北坡—番禺低隆起东部地区是最有潜力的勘探区带之一。

白云凹陷及周边地区的主要沉积物源来自古珠江三角洲。始新世—早渐新世(30 Ma之前),该区域发育陆相河流—湖泊沉积,沉积了文昌组浅湖—深湖相砂泥岩、恩平组浅湖—沼泽相含煤系泥页岩;晚渐新世(30 Ma)—早中新世(18.5 Ma,对应最大海泛面mfs18.5)为三角洲平原—三角洲前

缘相沉积,再到前三角洲—深水陆坡相沉积,沉积了珠海组—珠江组下段海陆过渡相粗碎屑岩和海相碎屑岩;早中新世—中中新世(13.8 Ma,对应层序边界SB13.8),为海相三角洲前缘—前三角洲—深水陆坡相沉积,沉积了珠江组上段—韩江组下段巨厚的海相陆坡地层,以泥岩为主;13.8 Ma之后,为三角洲前缘末端远砂坝—前三角洲—深水陆坡相沉积(图2)。

在古近系始新统至渐新统中,发育了文昌组、恩平组和珠海组三套烃源岩,其中以恩平组含煤系泥页岩的贡献最大^[3],它以生气为主。文昌组的生烃潜力还未被证实。珠江组下段砂岩储层物性好,分布连续,与上覆的大套泥岩形成本区最重要的储盖组合(图2),目前已发现的油气储量90%集中在此段,是勘探的主要目的层段。

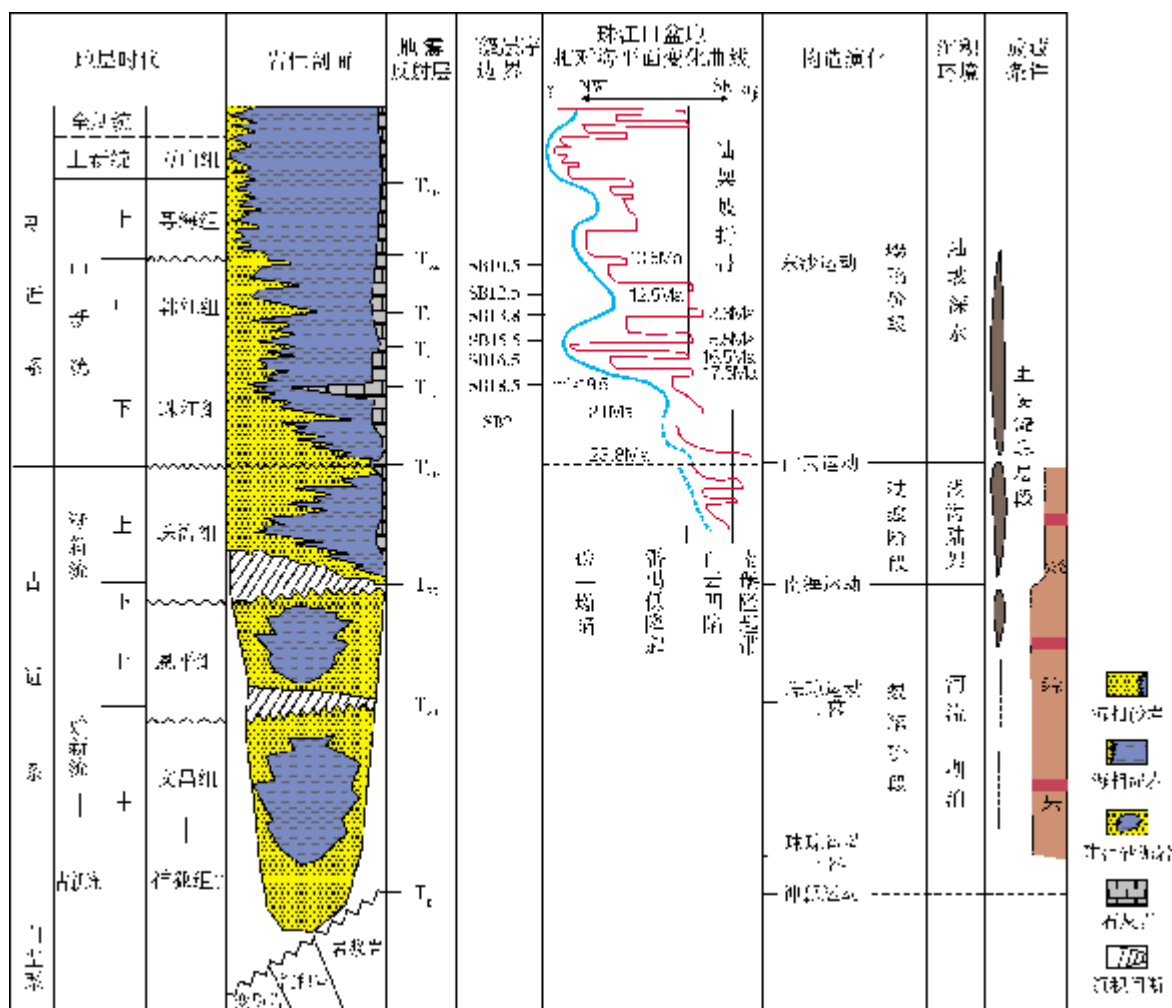


图2 珠江口盆地白云凹陷地质综合柱状图

2.3 精细研究确定钻探目标

2003年在番禺低隆起东南部—白云凹陷东北斜坡区采集的二维地震资料覆盖了流花16-2目标区。因该区位于现今陆架与陆坡过渡带,海水深度在150~450 m之间,局部海底地形崎岖,浅部地层存在多套低速地质异常体,为消除这些因素对地震成像的影响,采用了水深校正、异常体速度校正和变速成图的“三步时深转换法”等技术^[4],发现了流花16-2构造,并得到较准确真实的深度构造图(图1b)。

流花16-2构造的形态为一翘倾半背斜^[5],主要受两条NNW向北掉反向断层控制,也呈NNW向展布,构造形态较为简单。有效圈闭以F₁断层为界分为南北两块,南块位于断层上升盘,是流花16-2构造的主体;北块位于下降盘,面积较小(图1b)。

从邻区钻井和地震反射上分析判断,T₅₀(即mfs 18.5,为珠江组上/下段分界)之上的地层是大套泥岩,之下才有储层(图1,图2)。2006年,研究人员先后用了叠后波阻抗等多种方法反演储层,并和周边井进行类比分析,预测了储层的物性和展布,同时使用AVO分析和Proni吸收分析分别预测了储层的含气性和含油性。结合该区域油气成藏地质条件,认为位于白云凹陷北坡、番禺低隆起东端的流花16-2构造油气成藏条

件好^[6],被确定为该区域首个钻探目标。

2.4 流花16-2油田的发现

预探井LH16-T井位于深水区长花404 m处(位置见图1),2010年4月开钻,当年5月完钻,完钻井深2 466.0 m,完钻层位为上渐新统珠海组。

当LH16-T井钻入T₅₀层之下的珠江组下段时,钻遇了一套上部为灰色荧光生物碎屑灰岩、中下部为浅灰色荧光细砂岩的储层。对生物碎屑灰岩和细砂岩荧光直照都为暗黄色(D级、面积5%),四氯化碳滴照荧光为乳白色,反应慢;气测值显示全烃含量最高仅为1.383 3%、C₁含量最高仅为0.040 8%,但组分齐全;地球化学分析、实时流体录井FLAIR均显示为异常,FLAIR测得甲基环己烷值高,地球化学分析解释为油层,且具明显轻质油特点^[7]。

从LH16-T井测井曲线(图1c)上看,录井显示段自然伽马(GR)值、电阻率值在砂层中部(井深2174.5 m)有一明显拐点,拐点之上表现为低GR、高电阻,深电阻率(RD)高值达11.8 Ω·m(表2),为油层特征,而拐点之下则表现为GR升高、电阻率明显下降的趋势,RD仅3.3 Ω·m,是上部RD高值的27.9%(见表2),与周围泥岩甚至水层的电阻率相近,难以认定其为油层。

表 2 珠江口盆地流花 16-2 油田 LH16-T 井下中新统珠江组下段油藏测井参数表

层号	深度 (m)	油层厚度 (m)	测 井 参 数						结论
			声波时差 (μs/ft)	中子 (%)	深电阻率 (Ω·m)	浅电阻率 (Ω·m)	孔隙度 (%)	含水饱和度 (%)	
1	2149.8~2174.5	19.2	89.0~90.6	20.3~21.8	11.8~13.4	8.9~9.9	20.7~21.1	28.9~30.2	油层
2	2174.5~2191.1	16.0	86.2~92.3	19.0~23.5	3.3~4.0	3.0~3.2	17.0~21.0	56.5~63.0	油层

为此,在 LH16-T 井低电阻井段,从井壁取心 5 颗,岩心分析均为油迹或油斑细砂岩。为进一步证实其是否属于低阻油层,在该低电阻显示井段又选取了 3 个深度点使用模块式地层动态测试器(MDT)测压并进行泵抽取样^[8],结果表明确为油层。然后在其之下某一深度处泵抽出纯水样,并利用测压资料回归出水界面,证实了流花 16-2 构造为低阻油藏^[9]。

全井在下中新统珠江组共发现油层 8 层,完钻后对油层段进行钻杆测试,经折算获得 555.4 m³/d 的高产油流。经钻后分析,重新落实构造(图 1)及油层参数,评价流花 16-2 构造为低阻轻质油藏,其探

明储量加控制储量已完全具备商业油田开发规模。

3 基本地质特征

3.1 沉积构造特征

流花 16-2 油田位于番禺低隆起最东端,南临生烃丰富的白云凹陷东凹。

白云东凹在古近纪时期,断裂和内部的小隆起将凹陷分割为多个次洼,具有断陷期半地堑或地堑的特征。白云东凹古近纪沉积面积达 1 200 km²,其西次洼面积为 436 km²,最大厚度 4000 m,最大埋深

近10000m;东次洼面积达486km²,最大厚度3000m,最大埋深8000m。从生烃能力上看,西次洼明显好于东次洼,而东次洼的北部又好于南部。

如前所述,白云凹陷发育文昌组、恩平组和珠海组三套烃源岩,其中以恩平组浅湖相—沼泽相含煤系泥页岩为主力烃源岩。盆地模拟研究表明,恩平组烃源岩在晚中新世粤海期(10.0 Ma)进入主生油期^[3],一直到现在,白云东凹均处在生油及排油阶段,成藏门限与主生油期相近。本区圈闭定型期为粤海晚期(5.0 Ma),此时白云东凹以恩平组为烃源岩的成油体系进入主成藏期,构造圈闭定型与油气运聚成藏在时间和空间上是匹配的。

番禺低隆起—白云凹陷北坡地区有众多的正向和反向断层发育,且大多数为张性断层,其中有多条是深入烃源灶内部的油源断层。深部烃类流体沿这些断裂垂向运移到珠海组和珠江组下部的高渗透性砂岩中,由于高渗透性砂岩上覆有珠江组上部的巨厚层纯泥岩,突破压力大,烃类流体就只能沿运移阻力较小的高渗透砂岩横向运移至构造脊后继续运移到有利的构造和圈闭中聚集成藏^[6]。

珠海组—珠江组下部广布的海相高渗透性砂岩与发育的张性断裂体系和构造脊的时空耦合,构成番禺低隆起—白云凹陷北坡油气成藏的有效输导体系^[10,11]。T₉₀不整合面在油气横向运移中也起到重要作用。

3.2 储盖组合特征

流花16-2油田储层主要发育在珠江组下段及珠海组,岩性主要为生物碎屑灰岩和中细砂岩,局部粗砂并含砾。珠江组下段顶部为灰岩,中下部砂岩发育,物性较好,为主要含油层段;珠海组岩性变化较大,中细砂岩为主,局部粗粒,白云质含量大,物性较差。

灰岩储层位于层序界面mfs18.5(T₅₀)之下,在本地区普遍发育,由东北向西南逐渐减薄,灰岩储层的形成分布主要受东沙隆起构造活动及地形影响。流

花16-2构造的灰岩厚度仅为10m左右,岩性为生物碎屑灰岩,孔隙较发育,为台地边缘滩沉积产物^[12]。流花16-2构造珠江组下段灰岩储层之下,砂岩储层丰富,分布连续,厚度大,物性优良。

mfs18.5层序界面之上沉积了厚度上千米的泥岩,其间仅夹薄层粉砂岩,盖层条件非常优良。T₅₀层之上的巨厚泥岩与下部颗粒灰岩、砂岩的岩性组合构成了流花16-2油田良好的储盖组合。

综上所述,流花16-2构造T₅₀以上有巨厚的泥岩作盖层,T₅₀以下主要储层的岩性以砂岩为主,物性中等至较好,两者形成良好的储盖组合。

3.3 油源运移特征

流花16-2构造位于生烃潜力巨大的白云凹陷的北坡,番禺低隆起的东部,其北侧约33km处是目前珠江口盆地最大的油田——流花A海相生物礁油田^[13](图1)。虽然目前尚未对流花16-2油藏的油源进行分析研究,但通过对东沙隆起西部流花A油田4口井(A-1、A-2、A-3和A-4井)与白云凹陷西北部PC-1井(井位见图1a)的原油有机地球化学特征对比,这些井的油样有四个相似点,分别是 $\alpha\alpha\alpha$ (R)生物型甾烷组分的C₂₇和C₂₉含量值、正构甾烷指纹、4-甲基C₃₀甾烷丰度和碳同位素含量值(表3),说明它们有共同的油源。而PC-1井已证实油气来自于白云凹陷^[3],流花16-2区块恰位于流花A油田的南方,油气若从白云凹陷运移至流花A油田,必然途经流花16-2区块,从而认为流花A油田的原油应来自于白云凹陷古近系烃源岩的贡献。

白云凹陷恩平组浅湖相—沼泽相烃源岩地球化学分析表明,Pr/Ph为1.65~5.9,具C₂₉甾烷优势,贫4-甲基甾烷系列,富含陆源三萜烷生物标志物(如W和T树脂化合物含量高,奥利烷含量中等)。油气地球化学特征分析表明,流花16-2油藏的原油来自白云东凹恩平组浅湖—沼泽相烃源岩^①。

表3 珠江口盆地东沙隆起流花A油田与白云凹陷PC-1井原油油源地球化学指标对比

地区/井名	地 层	$\alpha\alpha\alpha$ (R)生物型甾烷组分		正构甾烷	4-甲基C ₃₀ 甾烷丰度	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
		C ₂₇ (%)	C ₂₉ (%)	指纹	4-甲基C ₃₀ 甾烷 C ₂₉ 甾烷	全 油
白云凹陷PC-1井	恩平组	31	38	相似	0.78	-27.2
流花A油田A-1、A-2、A-3、A-4井	珠江组	33~41	38~48	相似	1.41~2.33	-26.4~-26.9

① 朱俊章,颜承志,张志琳,等. 白云凹陷油气形成与富集区带预测. 中海油深圳分公司研究院,2011.

3.4 油藏特征

3.4.1 碳酸盐岩和碎屑岩储集体兼具，储集空间类型多样

流花 16-2 油田储层岩石类型为珠江组下段碳酸盐岩、细砂岩及珠海组中、细砂岩，储集体以细砂岩为主。

碳酸盐岩储集体为生物碎屑灰岩（生物碎屑主要为有孔虫、棘屑和藻屑），成分主要为方解石和微量陆源碎屑，见海绿石。碎屑岩储集体为砂岩，以细

砂岩为主，局部粗砂并含砾，泥质胶结，成分以石英为主，次为长石和岩屑，岩屑有变质岩屑和岩浆岩屑两类，且以前者为主，砂岩铸体薄片定名为岩屑长石砂岩和长石岩屑砂岩。

据 LH16-T 井珠江组下段井壁岩心及其铸体薄片分析(表 4)：生物碎屑灰岩主要发育有晶间微孔、粒间溶孔和粒内溶孔三种孔隙类型，局部见由压溶作用形成并被泥质充填的缝合线，渗透性较差；砂岩主要发育有粒间孔、微孔和长石溶孔三种孔隙类型，渗透性较好。

表 4 流花 16-2 油田 LH16-T 井储集体井壁岩心储集空间类型与物性参数

岩 性	样品数 (块)	孔隙类型	孔隙度(%)		水平渗透率($\times 10^{-4} \mu\text{m}^2$)	
			范围值	平均值	范围值	平均值
生物碎屑灰岩	5	晶间微孔，粒间溶孔，粒内溶孔	12.2~19.0	17.2	0.163~20.0	7.1
中—细砂岩	45	粒间孔，微孔，长石溶孔	15.1~25.4	17.0	1.37~201.0	43.12

LH16-T 井含油层段井壁岩心实测得到的储集层孔隙度主要集中在 15%~25% 之间，渗透率主要集中在 $(10\sim 200)\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间，孔隙度、渗透率值都随深度增加有减小趋势。

3.4.2 轻质原生油藏，具底水和正常温压

流花 16-2 油田原油溶解气油比仅为 $1.2\sim 12.9 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ，地面原油密度(20℃时)为 $0.8011\sim 0.8068 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，原油黏度为 $1.373\sim 1.673 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ，凝固点为 $-5.0\text{ }^\circ\text{C}$ ，含蜡量 4.99%~5.94%，胶质含量 1.74%~2.44%，沥青质含量 0.71%~0.76%，含硫量为 0.03 %~0.04 %，因而具有密度低、黏度低、含硫量低、胶质沥青质含量少、含蜡量中等的特点，为典型的轻质原油^[13]。原油正构烷烃摩尔分数对数—碳数关系以及宏晶蜡晶析作用表明，油藏油源单一，为 I 期石油充注，没有遭受气洗等次生改造，为原生油藏。原油色谱分析 Pr/Ph 值为 5.17，认为油源源自于白云凹陷东凹浅湖—沼泽相烃源岩。

含油层段为珠江组下段(T₅₀之下)的生物碎屑灰岩和中—细砂岩储层，虽为单一储层，但岩性复杂。油层上部生物碎屑灰岩物性较差，中部和下部中—细粒砂岩储层物性好。油层埋藏深度 -2080.0~-2211.5m，含油高度达 131.5m。油藏模式简单，为一大型整装的块状底水油藏。油水系统也简单，油水界面清晰，压力系数 1.013，压力梯度为 1.013 MPa/100m，温度梯度为 5.09℃/100m，属于正常压力温度系统。

3.4.3 储量丰度高，单层储量规模大

流花 16-2 油田的油藏厚度巨大(258.5m)、产烃丰度高^[14] (近 $300\times 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$)，圈闭充满程度约为 70%。

4 勘探认识与启示

(1) 先进的地震处理预测技术和圈闭预审是发现油田的关键

圈闭评价与预测是探井实施的依据和基础。当利用二维地震资料，通过“三步时深转换法”等技术发现流花 16-2 构造目标时，因受合作勘探期周边所钻探井失利的影响，该构造圈闭未受到重视。后期，研究人员加强区域地质和成藏条件研究，精细剖析周边探井失利原因，对该目标的圈闭有效性进行多角度预测和评价，并用叠后波阻抗等属性反演储层，采用 AVO 分析和 Proni 吸收分析分别预测储层的含烃性，故对其成藏条件有了较乐观的认识。2010 年 5 月获得突破，发现了流花 16-2 油田。

(2) 构造脊是控制流花 16-2 油藏形成的主控因素

番禺—流花地区进行油气勘探已经多年，钻探了流花 18-1 等多个构造圈闭，但其中仅流花 16-2 构造有油气聚集成藏。经研究分析，已钻各构造的成因和演化、储盖组合及岩性岩相等特点均相同，不同点在于流花 16-2 构造有构造脊与生烃凹陷相连，而其它构造或是有凹槽与生烃凹陷相隔(如流花 16-1 构造)或是没有构造脊与之相通(如流花 21-3 构造)。

(3) 证实白云凹陷既生气也生油，白云东凹北坡深水区是石油勘探的重要地区之一

突破了白云凹陷“只生气不生油”的传统认识，白云凹陷勘探进入油气并举阶段。勘探证实了白云东凹的生烃潜力，这对白云西凹和白云主凹的石油勘探也具有重要的指导性意义。

流花 16-2 油田周边还有多个具有相同沉积和成因背景的翘倾半背斜和断背斜构造, 这些构造都位于番禺低隆起—白云东凹北坡区域, 向东延伸到东沙隆起东南部, 同时又都是 NW 向断层的伴生构造, 控制圈闭的断层都属于同一类断层。这些构造与流花 16-2 油田具有相似的石油地质和成藏条件, 只要有圈闭就能聚集油气。同时, 由于有流花 16-2 油田的存在, 其周边构造的商业性油气储量规模门限可大大降低, 一旦获得油气发现, 便可进行联合开发, 以取得较好的经济效益。所以白云凹陷北坡是石油勘探的重要地区之一。

(4) 录井和测井相结合是发现低阻油层的有效手段

油气的存在既有含油显示、荧光、气测异常等直接标志, 也有地球物理、有机地球化学方面的间接标志, 到目前为止, 尚没有一门学科、一门专业能独立担负起油气层的识别工作。而录井工程、地球物理、地球化学方法本身, 亦有许多分支学科, 它们各有所长, 又分别有各自的不足之处。通过低阻油气层在 LH16-T 井的发现和证实过程, 我们得出以下启示:

① 应充分利用各种录井项目捕捉到的油气信息, 综合研究判断油气显示异常的层位性质。

② 以 MDT、核磁共振等测井新技术为手段, 进一步证实录井有油气显示层位的含油性。

③ 在 MDT、核磁测井、岩心(壁心)描述的基础上建立合理的测井解释模型, 可确定其含油气性质及含油气饱和度等参数, 为后续试油、试采工程提供科学的参考和依据。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 张忠涛, 秦成岗, 高鹏, 等. 珠江口盆地白云凹陷北坡陆架坡折带地质特征及油气勘探潜力[J]. 天然气工业, 2011, 31(5): 39-44.
- [3] 米立军, 张功成, 傅宁, 等. 珠江口盆地白云凹陷北坡—番禺低隆起油气来源及成藏分析[J]. 中国海上油气, 2006, 18(3): 161-168.
- [4] 秦成岗, 施和生, 张忠涛, 等. 珠江口盆地番禺低隆起—白云凹陷北坡 SQ21.0 层序陆架坡折带沉积特征及油气勘探潜力[J]. 中国海上油气, 2011, 23(1): 91-94.
- [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: 205-208.
- [6] 张忠涛, 秦成岗, 高鹏, 等. 珠江口盆地番禺—流花地区天然气藏特征及主控因素分析[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 778-783.
- [7] 杨少坤, 李建周, 孙金山, 等. LH6 低阻油藏的录井识别和测井测试评价[C]//首届中国石油工业录井技术交流会论文集编委会. 首届中国石油工业录井技术交流会论文集. 东营: 中国石油大学出版社, 2011: 336-340.
- [8] 孙建孟, 陈钢花, 杨玉征, 等. 低阻油气层评价方法[J]. 石油学报, 1998, 19(3): 83-88.
- [9] 廖明光, 苏崇华, 唐洪, 等. 砂泥岩薄互层低阻油层地质成因——以珠江口盆地 A 油藏 M1 油组为例[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(2): 154-157.
- [10] 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.
- [11] 徐长贵, 周心怀, 邓津辉, 等. 辽西凹陷锦州 25-1 大型轻质油田发现的地质意义[J]. 中国海上油气, 2010, 22(1): 7-11.
- [12] 陈曦, 傅恒, 刘雁婷, 等. 珠江口盆地东沙隆起珠江组沉积环境及演化[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(2): 21-26.
- [13] 胡诚, 郑荣才, 戴朝成. 珠江口盆地珠江组流花生物礁及储层特征[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(3): 59-65.
- [14] 中国海洋石油总公司. Q/HS 1206-2007 油气层、油气(藏)田及油气性质分类规范[S]. 北京: 中国海洋石油总公司, 2007.

编辑: 赵国宪

Cases of Discovery and Exploration of Marine Fields in China, Part 14: Liuhua 16-2 Light Oil Field in Pearl River Mouth Basin, Northern South China Sea

Sun Jinshan, Liu Xin, Du Kezheng, Jiang Qiantao

Abstract: Liuhua 16-2 Oil Field was discovered in May 2010 in Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea. It is a middle scale one that yields commercial light crude oil. It is also the one with the largest petroleum reserves in the basin since self-supporting exploration by CNOOC. The Liuhua 16-2 is a fault block trap locating in deep-water area at the east end of Panyu Low Uplift, Pearl River Mouth Basin. Reservoirs are composed of the lower Miocene lower Zhujiang marine sandstone and the lower Oligocene Zhuhai bioclastic limestone and the cap is composed of the thick upper Zhujiang marine mudstone, both of which are of a good reservoir-cap assemblage. It is indicated that the oil in Liuhua 16-2 reservoirs derives from the Paleocene Enping and Wenchang mudstone source rocks in the east of Baiyun Depression to the south of this oil field. The oil pools of it are characterized of shallow buried depth, high oil reserves abundance, low oil density and high tested oil output. The exploration and exploitation history of the oil field and the general geological characteristics are reviewed, and also the experience and enlightenment during exploration and development are discussed and summarized.

Key words: Paleogene; Zhujiang Formation; Reservoir characteristics; Offshore petroleum exploration; Exploration history; Liuhua 16-2 Oil Field; Pearl River Mouth Basin

Sun Jinshan: male, Engineer, Engineering Majordomo. Add: Exploration Dept. of CNOOC Shenzhen Branch, Floor 9 of Offshore Petroleum Office Mansion, 1 Gongye Er Lu, Shenzhen, Guangdong, 518067, China