

文章编号:1672-9854(2007)-01-0037-06

安哥拉下刚果盆地吉拉索尔深水油田

吕福亮, 贺训云, 武金云, 孙国忠, 王根海

(中国石油勘探开发研究院杭州地质研究所)



吕福亮

摘 要 吉拉索尔油田位于西非安哥拉 17 号深水区块, 水深 1 200~1 400 m, 距安哥拉海岸 150 km。1996 年发现, 2001 年投产, 是安哥拉投入开发的第一个深水油田。油田面积约 140 km², 地质储量约为 15.5×10⁸ bbl, 可采储量约 7.25×10⁸ bbl, 为轻质油。油田所在的下刚果盆地主要经历了裂谷期、过渡期和热沉降期三个阶段的构造演化, 相应沉积了裂谷期陆相地层、过渡期蒸发岩层和热沉降期海相地层。主要烃源岩为下白垩统 Bucomazi 组湖相页岩, 有机质丰度高, 类型好, 成熟度适中, 为很好的烃源岩。盆地深水区主要储层为上渐新统一中新统河道充填浊积砂岩复合体, 砂岩固结差, 物性良好。吉拉索尔油田主要由几个河道浊积砂岩复合体叠置组成, 其中夹几个薄层席状砂岩, 复合体之间被海相泥页岩分隔。上覆第三系泥岩为其主要盖层。

关键词 安哥拉; 下刚果盆地; 吉拉索尔油田; 深水油田; 油气勘探; 深水勘探; 白垩纪

中图分类号 TE122.11

文献标识码 A

吕福亮 1963 年出生, 高级工程师, 1989 年中国石油大学(北京)硕士毕业。主要从事石油地质综合研究、储层评价研究等。通讯地址: 310023 杭州市西溪路 920 号; 电话: (0571)85224985

1 油田概况

1.1 油田位置

吉拉索尔 (Girassol) 油田位于西非安哥拉 17 号区块, 水深 1 200~1 400 m, 离安哥拉海岸 150 km, 位于索约和罗安达之间 (图 1)。吉拉索尔油田是 17 号区块的第一个深水油气发现 (发现于 1996 年)。随后又在此区块发现了 Dalia、Rosa、Lirio、Jasmin、Cravo 以及 Orquidea 等油田 (图 1)。

吉拉索尔油田面积约 140 km² (10 km × 14 km), 储层主要为物性极好的第三系浊流河道砂体, 单井产量很高。储层埋深较浅, 顶部位于海平面以下 2 450 m、海底以下 1 100 m 左右。油田地质储量约为 15.5 × 10⁸ bbl 原油, 可采储量约为 7.25 × 10⁸ bbl。

吉拉索尔油田亦是 17 号区块第一个投产的深

水油田。油田总共投资 28 亿美元, 开发方案包括了紧邻吉拉索尔油田西北的 Jasmin 油田, 共计划钻探 40 口井, 其中包括 24 口生产井 (已钻 23 口), 14 口注水井 (已钻 12 口), 2 口注气井 (图 2)。B3 复合体为最主要的钻探目标, 共钻 8 口生产井, 其次为 B2 复合体和 Jasmin 油田, 各钻探 5 口, B1 复合体钻探 2 口, 另外三个席状砂岩层 (S2、S3、S6) 各钻探 1~2 口生产井。B3 复合体共钻 5 口注水井, B2 钻了 3 口, 其它钻探目标共钻探了 6 口注水井。2 口注水井均位于 B3 复合体。截至 2006 年初, 已完钻 37 口, 尚剩下 1 口钻探 S6 席状砂岩层的生产井、1 口钻探 B2 复合体的注水井和 1 口钻探 Jasmin 油田的注水井未钻。

2002 年, 吉拉索尔油田在投产后不久, 产量便达到稳产的 20 × 10⁴ bbl/d。该油田最高峰产量曾达到 23 × 10⁴ bbl/d。

收稿日期: 2006-07-10

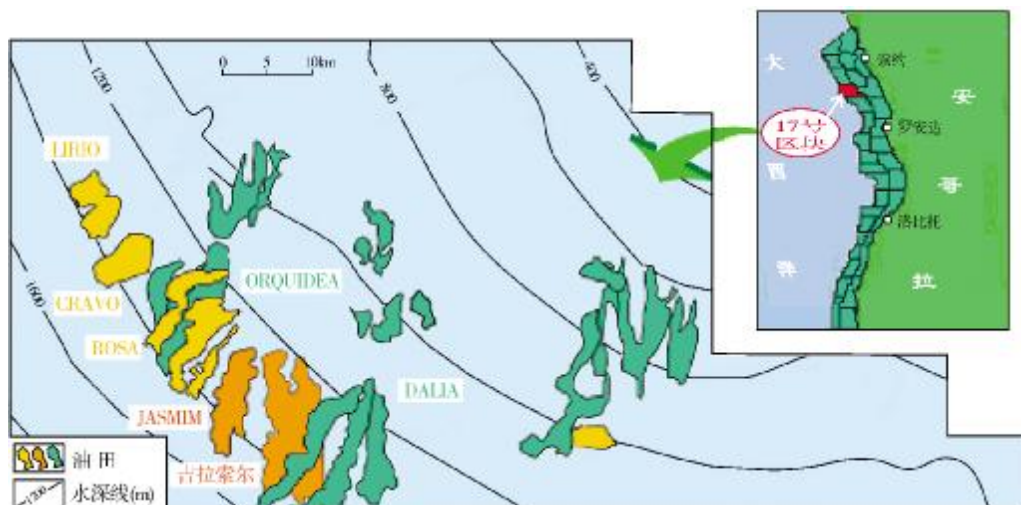


图1 吉拉索尔油田位置图(据道达尔公司波城研究中心)

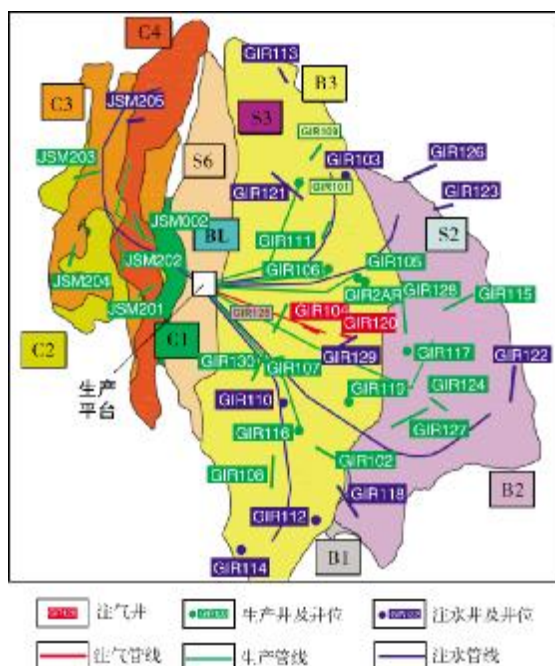


图2 吉拉索尔油田开发布井图(据道达尔公司波城研究中心)

B1、B2、B3: 吉拉索尔油田砂岩复合体; S2、S3、S6: 席状砂;

C1、C2、C3、C4: Jasmim 油田砂岩复合体; BL: 底部舌状砂层

1.2 油藏主要特征

吉拉索尔油田由几个发育在隆起背景下(与深部盐岩层滑移变形有关)的浊流河道砂岩复合体及几个薄层席状砂岩油藏构成(图3),具有统一的油水界面,其中最主要的产层为B3复合体,其次为B2复合体,另外B1复合体和S2、S3、S6薄层砂岩也含油。通

过高分辨率三维地震解释,B3复合体可再细分为4个层序,B1、B2复合体可再细分为上、下2个层序(图3)。

油藏走向北东—北北东,油柱高达250m。产层为第三系上渐新统一中新统,埋深约1100m。储层砂岩固结差,物性很好,孔隙度一般为20%~33%,最高可达40%,渗透率一般为0.4~4D,最高可达10D。原油比重为32°API,气油比为110~130 m³/m³,B3复合体黏度为1Pa·s(油藏状况),B1复合体黏度为1.3 Pa·s(油藏状况),油藏温度58~69℃,平均62℃,初始油藏压力为255~275 Pa,平均265 Pa,油藏水体盐度为115~120 g/L。

所有浊积复合体地层压力正常。B3复合体储层物性极佳,因此该复合体的油井产量很高,可达4×10⁴ bbl/d。油藏压力通过注入海水或回注伴生的天然气得到维持。

2 勘探历史

1992年12月,安哥拉国家石油公司与当时的法国Elf石油公司等几家国际石油公司签订了17号深水区块的产量分成协议。根据该协议,Elf公司为该区块的作业者,合作伙伴为美国埃克森美孚旗下的埃索、英国的BP、挪威国家石油公司和挪威海德鲁石油公司。

1993年,开始17号区块的勘探活动,通过前期类比评价,对其油气地质条件进行了研究。1994年1月,开始做二维地震,通过地震解释,认为位于海

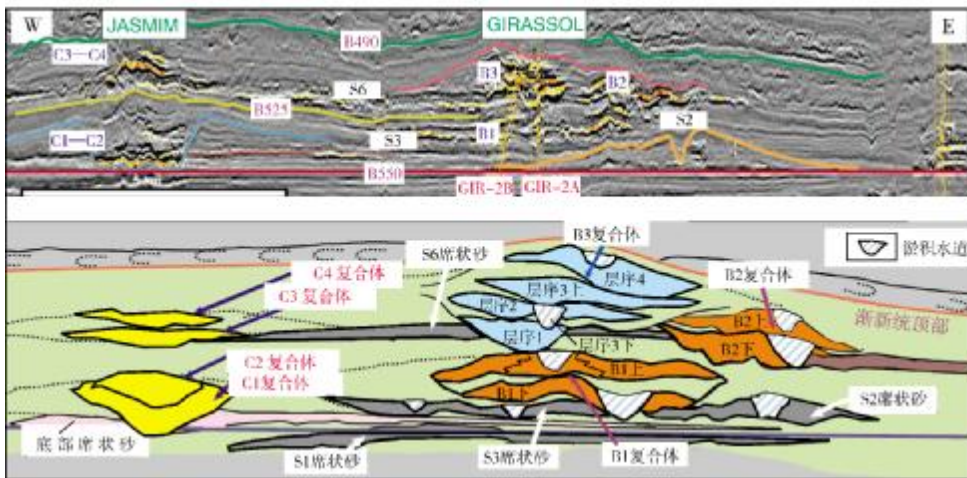


图3 吉拉索尔油田剖面图(据道达尔公司波城研究中心,略有修改)

底 3 000 ~ 4 000 m 深处的白垩系地层为主要目的层,但勘探家们认为其含油气潜力很低,于是便把注意力集中在更浅的第三纪地层上。1995 年,作为合同承诺的一部分,Elf 公司决定钻探 4 口针对第三系的探井。1996 年初,钻探了该区块的第一口钻井 Margarita-1 井,虽没有获得成功,但获得了油气显示,并揭示了具体的地层和构造情况。随后,Neddrill 3 号钻井船在 1 300 m 水深处开钻了一口探井 GIR-1 井,在海面 2 500 m 以下深处钻遇一个砂岩尚未固结、但富含油砂的油藏,从而发现了吉拉索尔油田。随后进行了测试,日产 32° API 的原油 1.25×10^4 bbl。接着由 Jim Cunningham 半潜式钻井平台钻探了两口评价井: GIR-2A 和 GIR-2B (图 3),进一步证实了该区极其丰富的油气地质储量。

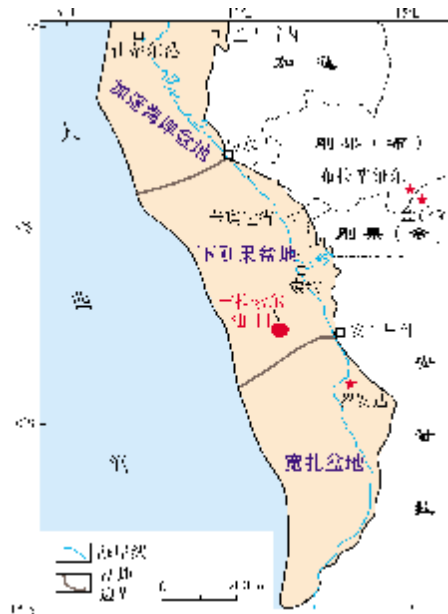
两年后的 1998 年 7 月,Elf 公司获得了安哥拉国家石油公司及该项目合作伙伴的正式授权,启动该油田的开发项目。2001 年 12 月,油田正式投产。2002 年 4 月,油田产量达到稳产期的 20×10^4 bbl/d。2002 年和 2004 年分别进行了四维地震和示踪剂实验,对油田开发动态进行了有效监控和管理。

从 1996 年发现油田至油田的开发,广泛应用了常规三维地震、高分辨率三维地震以及四维地震等高新技术,对吉拉索尔油田地下地质条件进行了研究,摸清了油田地质特征,为后期快速、高效、可靠的开发奠定了基础。

3 盆地演化与油气系统

油田所在的下刚果盆地为一早期裂谷盆地与晚

期被动大陆边缘盆地相叠加的中新生代复合盆地,盆地北部以马永贝高原为界,南部以安布里什高原为界,东界为前寒武系基底,西界为大陆边缘,面积约 $16.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,近 90% 位于海上^[1](图 4)。盆地基底为前寒武系结晶基岩,上覆白垩系至第三系沉积地层,局部发育侏罗系。盆地具有一套厚度较大、分布稳定的下白垩统阿普第期(Aptian)蒸发岩。

图4 下刚果盆地位置图^[1]

3.1 盆地演化

下刚果盆地为西非被动大陆边缘裂谷盆地之一,形成于晚侏罗世冈瓦纳古陆分裂时期。当时,非

洲与南美洲开始分离,形成一系列北西—南东向的克拉通内裂谷盆地,进一步的拉裂形成与海岸平行的地堑和地垒。下刚果盆地的形成演化与盆地北部的加蓬盆地、南美的巴西东部沿海盆地及美国墨西哥湾地区相似^[2-4]。早白垩世纽康姆期(Neocomian)末,开始了第二次主要裂谷阶段,产生各种不整合,并在其上形成深地堑湖,沉积了富含有机质的页岩地层,成为区域性烃源岩。在湖盆周边沉积了碳酸盐岩,可作为良好储层。以后又沉积了一些硅质碎屑岩,也可成为储层^[5]。早白垩世的巴雷姆期(Barremian)到早阿普第期为准平原化阶段,隆起高部位地区遭受剥蚀。

阿普第期早期海侵砂岩沉积超覆在准平原之上,其上为潟湖沉积。海侵之后沉积了阿普第阶Loeme组蒸发岩,局部厚达1000m,形成很厚的盐岩层序。以后大西洋加深,海水正常进入盆地,蒸发岩沉积结束。由于地壳进一步拉伸以及海水进入,导致地层向西倾斜,产生重力推动力,顺盐岩下滑并形成相关构造与断裂。

在晚白垩世和第三纪期间,大西洋继续加深,上覆白垩系和第三系沉积厚度增加,使盐岩下滑的重力源头不断加大。森诺曼期(Senonian)不整合广泛发育,之后上白垩统硅质碎屑岩和盐堆积连接在一起,有时被加速下滑的第三系分开,导致地层分布不连续。渐新世海退,导致广泛的侵蚀,形成侵蚀河道和峡谷,其中充填了中新统海相河道砂和浊积岩,以及Malembo组泥灰质页岩。中新统在刚果河口处沉积了厚达3000m的地层,反映了下刚果盆地向西进积,并形成现今的陆棚边缘。这些第三系的古河道充填砂体已成为下刚果盆地当前热门的勘探目的层。

根据盆地裂谷期—过渡期—后裂谷期的构造演化序列,相应沉积了三套地层。

(1) 盐下裂谷期陆相地层,由早白垩世纽康姆—巴雷姆阶的河湖相沉积地层组成,地堑中沉积厚度可达4000m;(2) 南大西洋裂谷张开后的早白垩世阿普第期沉积,发育一套盆地广泛分布的含盐地层;(3) 早白垩世阿尔布(Albian)期至中新世海相盐上地层,海水全面进入盆地,沉积一套斜坡水道冲刷、台地浊积岩,因盐层受重力向盆地中心滑移变形,该地层发生相关挠曲变形,成为盐上圈闭主要发育层位。

3.2 含油气系统

3.2.1 烃源岩

盆地主要烃源岩为盐下下白垩统巴雷姆阶Bucomazi组中下部层段页岩。另外Chela组页岩为盐下次要烃源岩,有机质类型主要为以生气为主的III型。Bucomazi组页岩为良好的生油母质,1989年发现的Kokongo油田,其主要烃源岩为Bucomazi组盐湖相还原环境页岩,平均有机碳为6%,I型干酪根,次要烃源岩干酪根类型为II型,平均有机碳含量为2%。与Bucomazi组相当、相邻加蓬盆地南部的Melania组烃源岩其生烃潜量可达46 t/km²,是世界上已知烃源岩层段中含烃最丰富的层段之一,TOC含量可高达20%,有机质类型以I型和II型为主^[6]。盆地具有较高的地温梯度,在盆地坳陷较深部位的烃源岩由于埋深较大,且地热流值较高,因而已经成熟,但盆地东西两翼的烃源岩层则尚未成熟。

盆地盐上烃源岩推测为上白垩统Labe组、始新统Landana组一部分和渐新统Malembo组一部分,很可能以Labe组为主。在下刚果盆地北部的加蓬盆地,盐上烃源岩Azile组泥质岩TOC平均为3%~5%,干酪根类型主要为I型和II型,生烃潜力大于10 mg/g,热模拟最大产油率大于400 mgHC/g TOC,属好生油岩^[6]。但这些盐上烃源岩能否成为有效烃源岩的关键是它们是否成熟。

3.2.2 储集层

盆地浅水近岸地区主要有盐下和盐上两套储集层。盐下储集层主要为早白垩世碎屑岩,其次为碳酸盐岩。Lucula砂岩为最主要的产油层。碳酸盐岩储集层主要为湖相的Toca碳酸盐岩储层。

盐上储集层主要为阿尔布阶的碳酸盐岩以及阿尔布阶和森诺阶的硅质碎屑岩。在卡宾达地区,Pinda砂岩和白云质砂岩是最好的储集层,沉积于滨岸砂坝、浅滩和充填河道,砂岩平均孔隙度和渗透率分别为22%和150 mD。森诺阶的Vermelha组是卡宾达地区最重要的盐上储集层,沉积于海岸环境,固结中等至差,极细至粗粒长石石英砂岩,平均孔隙度和渗透率分别为25%和1D^[1]。上白垩统区域分布的白云岩、含砂白云质灰岩和砂岩亦可作为储层。

盆地深水区主要为盐上的第三系河道浊流砂岩复合体储集层,孔隙度和渗透率都很高,是当前主要

勘探目的层。

深水油气勘探大都位于陆坡向深水盆地的过渡地带,这往往是陆坡向前推进的结果。越往深水区,储盖层时代越新。如巴西坎波斯盆地,大于 200 m 水深的油田基本上是以始新世以来沉积的浊积岩为储层,始新统储层由中粗粒的砂层组成,具有 26%~30% 的孔隙度和高达 1 D 的渗透率,砂层最大厚度 90 m;渐新统储层平均孔隙度 25%~30%,渗透率达 2~3 D。近来的大发现主要还是在渐新统一中新统浊积岩中。在墨西哥湾也因陆坡推进具有类似的特征,在湾岸和浅水区,储层从上侏罗统一直到中新统,而深水区则主要是上新统一更新统浊积岩作为储层。而且上新统一更新统储层由于处于低地温,成岩作用弱,砂岩有极好的物性,孔隙度大于 30%,80% 的砂岩渗透率大于 100 mD。下刚果盆地也与此类似,储层随着盆地向深水处发展,时代变新,在深水区主要是第三系渐新统一中新统的浊积岩成为油气藏的主要储层^[7]。这些深水浊积体系与大型三角洲的发育及海平面的变化所引起陆坡的推进密切相关。吉拉索尔等一系列深水油田就是这样,油气储层主要为渐新统和中新统浊积砂岩。

3.2.3 盖层

盆地区域盖层为阿普第期发育的蒸发岩及第三系海相泥岩。阿普第期发育的盐岩层基本切断了盐下和盐上烃类运移的通道。盐上盖层有上阿尔布阶页岩,但主要盖层为下森诺阶页岩。Labe 组中的厚层海相页岩以及第三系 Malembo 页岩均为重要的区域盖层,对封堵浊积砂岩复合体非常重要。

3.2.4 油气生成和运移

晚白垩世—第三纪,在盆地沉降轴部高热流值地区,烃源岩完全成熟后大量生烃,生成的油气通过断裂或沿着盐层重力下滑形成的盐窗,往上运移至上覆的下白垩统储层以及盐上的上白垩统和第三系储层中。

4 构造与圈闭

大西洋两侧富产油气的盆地,其最典型的构造特征是发育在早白垩世阿普第期蒸发岩之上的薄皮拉伸构造及深水区的盐构造^[8]。

下刚果盆地在浅水区的圈闭主要有断陷期形成的侏罗纪—早白垩世的倾斜断块、地堑、披覆褶皱、

转换断层等;在深水、超深水区,主要有热沉降期形成的盐塑性运动或滑脱运动形成的、和盐体刺穿有关的构造—地层圈闭,如龟背斜、盐岩构造以及三角洲砂体或浊积砂体形成的复合圈闭等,形成于阿普第期和阿普第早期之后。

吉拉索尔油田主要发育在隆起背景上的上渐新统一中新统浊流河道砂岩透镜复合体中,圈闭类型为构造—地层圈闭,油田由几个不同时期的河道砂岩透镜复合体和几个席状薄层砂岩层在垂向上叠置而成(图 3)。

吉拉索尔上渐新统浊积体系 B 沉积于 17 号区块外缘,它们由未固结的细至粗粒砂岩组成,这些砂岩在通过刚果河河口后在吉拉索尔地区沉积下来。

吉拉索尔构造演化受重力构造牵引影响,可分为两个主要阶段。

(1)晚白垩世至渐新世,以发育受盐脊围限的北西—南东向地槽为特征。上渐新统则在北西—南东向展布的盆地(图 4)中发育北东—南西向展布的河道体系沉积(如吉拉索尔、Rosa、Lirio 油田)(图 1)。

(2)中新世至现今,对应圈闭的形成和油气充注期,以前期地槽的反转为特征。首先通过进一步的地层弯曲,形成对称的龟背斜,然后在大陆边缘发育滚动向斜。由于深部盐层的运动,发生地层反转以及盆地沉降中心的横向迁移,从而导致晚期的褶皱和浊流河道被一系列断层切割(图 5)。

5 储集层结构

吉拉索尔油田储层主要由几个浊积复合体组成,另发育几个展布广泛的席状薄层砂岩层。浊积复合体为浊积河道砂在不同时期浊流河道充填沉积中的垂向叠置(图 3)。吉拉索尔 B 体系由三个不同的浊积复合体 B1、B2 和 B3 组成,其中主要复合体为 B3 复合体,第一批开发井都以它为钻探目标。每个复合体厚 50~100 m,几千米宽,几十千米长。每个浊积复合体通过局部盖层与其它浊积体分隔开,这些盖层在吉拉索尔地区分布规模较大。

在具有统一油水界面的局部圈闭中,所有的浊积复合体均含油。

在获得并解释高分辨率三维地震资料后,对吉拉索尔构造有了进一步了解。复合体 B1、B2、B3 可被细分为不同的层序,每个层序厚 10~30 m,1~2 km

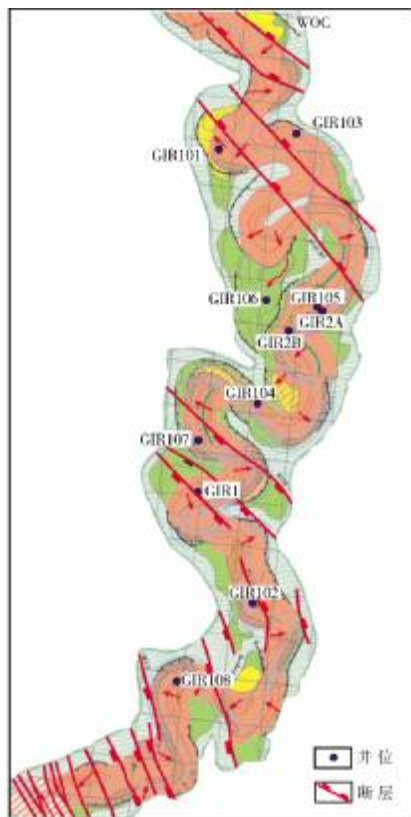


图5 吉拉索尔油田 B3 复合体层序 4 平面展布及断层分布
(据道达尔公司波城研究中心)

宽,数千米长。这些层序被数米厚的页岩分隔,而这些页岩可作为良好的垂向封盖。这些内部封盖有时被后期沉积的层序侵蚀,在一些井中发现砂层已合并在一起。

6 储集层性质

对 B3 浊积层序的详细分析表明,下部层序的河道相对平直,沉积砂岩成熟度低,非均质性较强。相对而言,上部层序的河道更弯曲,沉积砂岩成熟度更高。

通过对开发井进行广泛的随钻测井评价、取心以及测井解释,很好地了解了储层物性。细—中粒砂岩具有非常好的孔隙度(30%~40%)和良好的渗透率(1~5D),中—粗粒砂岩具有良好的孔隙度(20%~30%)和非常好的渗透率(3~10D),粗砂岩和砾岩具有较好的孔隙度(15%~20%)和渗透率(100mD~1D)。

感谢法国道达尔公司波城研究中心提供的有关资料。

参考文献

- [1] 谯汉生,于兴河. 裂谷盆地石油地质[M]. 北京:石油工业出版社,2004.
- [2] C&C Reservoir 公司. 美国得克萨斯州法尔韦油田[J]. 张跃平,译,海相油气地质,2006,11(1):52-62.
- [3] 李国玉. 世界油区考察报告集[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
- [4] 张波. 非洲加蓬×区块油气成藏条件及勘探潜力分析[J]. 海相油气地质, 2006,11(1):30-34.
- [5] 李国玉,金之均. 世界含油气盆地图集:下册[M]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [6] 李莉,吴慕宁,李大荣. 加蓬含盐盆地及邻区油气勘探现状和前景[J]. 中国石油勘探,2005,10(3):57-63.
- [7] Anderson J E. Controls on turbidite sand deposition during gravity-driven extension of a passive margin: Examples from Miocene sediments in Block 4, Angola[J]. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17(10): 1165-1203.
- [8] 吴时国,袁圣强. 世界深水油气勘探进展与我国南海深水油气前景[J]. 天然气地球科学,2005,16(6):693-699.

编辑:金顺爱

Girassol Deepwater Oil Field in Lower Congo Basin, Angola

Lu Fuliang, He Xunyun, Wu Jinyun, Sun Guozhong, Wang Genhai

Abstract: Girassol Oil Field in Lower Congo Basin, located at offshore Block 17 with water depth of 1250~1400m, is 150km far from the coast of Angola in Africa. It was discovered by ELF Corp. in 1996 and oil (light oil) yield began in late 2001. It is the first deepwater field that was put into production in Angola. The field covers an area of about 140km² and has about 1550 MMBO of oil reserves in-place and estimated 725 MMBO of recoverable reserves. Corresponding to three tectonic evolution stages of rifting, transition and thermal depression undergone in Lower Congo Basin, continental, evaporite and marine sequences deposited. Lower Cretaceous Bucumazi lacustrine shale is the excellent source rock with a high TOC value and moderate maturity (Type-I kerogen). Main reservoir is the Upper Oligocene-Miocene superimposed turbiditic complex interbedded with several thin-layered sandstone and marine mudstone and shale in channels. The reservoir is characteristic of good property due to poorly-consolidated sandstone.

Key words: Cretaceous; Oil and gas exploration; Deepwater exploration; Girassol Field; Lower Congo Basin

Lu Fuliang: male, Senior Geologist. Add: Hangzhou Institute of Petroleum Geology, RIPED, PetroChina, Hangzhou, Zhejiang, 310023 China