

亚诺斯盆地 LB 区块油气成藏特征与富集规律

冯方¹, 王晓杰¹, 胡俊峰¹, 胡平², 王焕²

(1. 中国石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083; 2. 北京温菲尔德石油技术开发有限公司, 北京 100191)

摘要: 在区域油气成藏条件、运聚特征研究的基础上, 总结亚诺斯盆地 LB 区块成藏主控因素及成藏模式, 探讨局部油气富集的影响因素, 预测有利勘探方向。LB 区块是油气运聚的优势指向区, 主力储层卡沃内拉组内部发育多套储盖组合, 圈闭类型主要为与正断层伴生的低幅断背斜、断鼻构造; 区块油气成藏的主控因素是构造与储层, 它源油气沿 C7 层块状砂岩侧向运移, 首先在层内构造圈闭中聚集成藏, 部分油气被后期断层作用垂向输导到 C5 层, 并在该层底部紧邻断层的构造、岩性圈闭内再次聚集成藏, 局部油气富集受构造背景、圈闭幅度及储层质量等因素共同控制; 区内预测发育有 C7 层远离断层的低幅背斜型油藏、C5 层断层下降盘岩性上倾尖灭型油藏。

关键词: 储盖组合; 主控因素; 成藏模式; 富集规律; 亚诺斯盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Hydrocarbon accumulation characteristics and enrichment controls of LB block in Llanos Basin

Feng Fang¹, Wang Xiaojie¹, Hu Junfeng¹, Hu Ping², Wang Huan²

(1. SINOPEC International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100083, China;

2. Beijing Winfield Petroleum Technology Co. LTD., Beijing 100191, China)

Abstract: Based on the analysis of hydrocarbon generation, migration and accumulation, the controlling elements and pattern of reservoirs in the LB block of the Llanos Basin were summarized. The influencing factors for local hydrocarbon enrichment were identified, and favorable exploration targets were predicted. The LB block had a good potential for hydrocarbon migration and accumulation. In the major reservoir (the Carbonera Formation), multiple sets of reservoir-cap assemblages developed. Traps included faulted noses and faulted anticlines associated with normal faults. Structure and reservoir were the main controlling factors of hydrocarbon accumulation. Hydrocarbon migrated laterally along massive sandstones in the C7 section of the Carbonera Formation. Firstly, they accumulated in structural traps in the C7 section, and then partially migrated upwards into the C5 section through faults and accumulated in structural and lithologic traps adjacent to the faults at the bottom of C5. Local hydrocarbon enrichment was affected by various factors, such as tectonic background, trap amplitude and reservoir quality. Low-amplitude faulted anticline reservoirs developed far away from faults in the C7 section and lithologic updip pinch-out reservoirs in the downthrown side of faults in the C5 section were predicted.

Key words: reservoir-cap assemblage; controlling factor; accumulation pattern; enrichment regulation; Llanos Basin

LB 区块位于南美洲哥伦比亚中北部, 构造上属于亚诺斯前陆盆地东部斜坡带, 区块面积 284.8 km² (图 1), 是一个勘探开发综合区块。截至 2013 年 9 月, 区内共完成三维地震采集面积 140 km², 完钻各类钻井 13 口, 获油气发现井 12 口, 勘探成功率很高。LB 区块于 2007 年 10 月开始投入商业开发, 采用天然能量开发, 电潜泵采油; 截至 2013 年 9 月, 累积产油 726.3×10³ bbl, 在产井 7 口, 日产油

约 700 bbl/d, 综合含水率 92.1%。笔者在区域油气地质条件研究的基础上, 通过分析区块油气成藏特征, 总结成藏模式及富集规律, 指出有利勘探方向及目标, 以期为此类区块的勘探潜力评价及滚动开发提供技术参考。

1 区域地质背景

亚诺斯盆地位于南美洲西北部 (图 1), 是受安

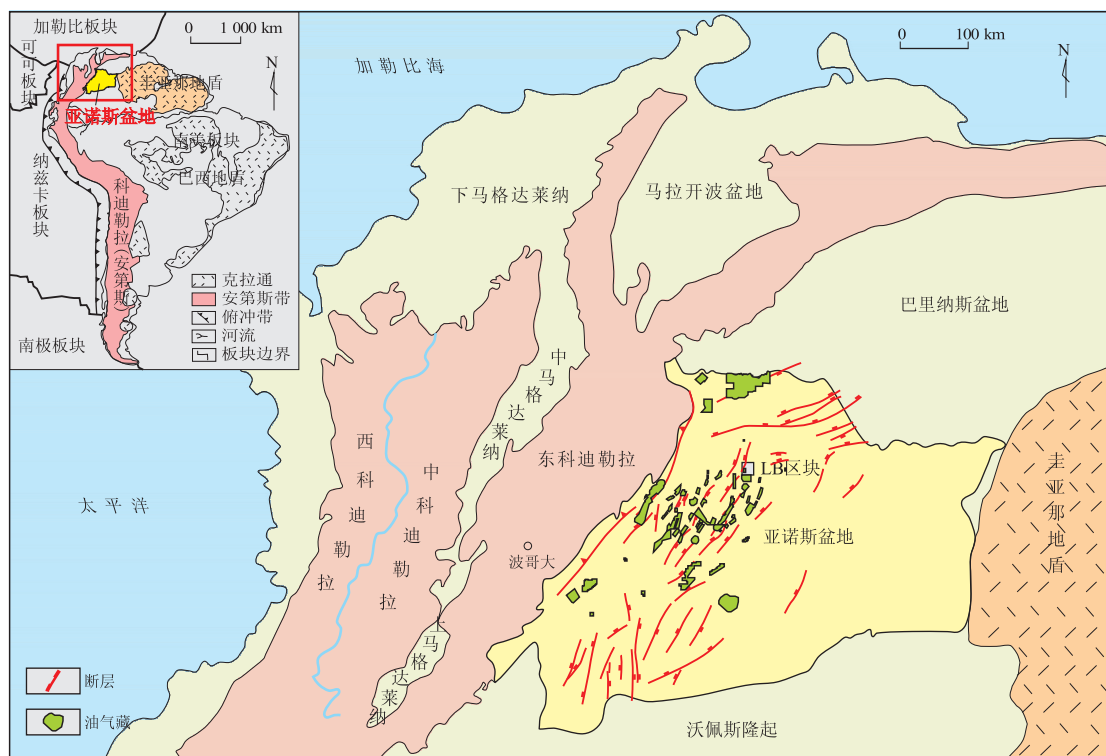


图 1 亚诺斯盆地 LB 区块位置

Fig.1 Location of LB block in Llanos Basin

第斯褶皱带和圭亚那地盾共同控制形成的新生代富油气前陆盆地^[1-2]。截至 2012 年,盆内已发现油气田 266 个,累计探明石油可采储量 $10\,297 \times 10^6$ bbl, 剩余石油可采储量 $5\,041.5 \times 10^6$ bbl; 累计探明天然气可采储量 11.4×10^{12} ft³, 剩余天然气可采储量 4.3×10^{12} ft³ (引自 IHS 数据库)。

南美亚诺斯盆地是在前寒武纪结晶基底之上,经历了古生代被动大陆边缘、中生代弧后裂谷及新生代前陆盆地等 3 个主要构造演化阶段而形成的,以新生代前陆盆地变形为主的非典型叠合盆地^[3-7]。盆地基底由前寒武系岩浆岩和变质岩组成,古生界主要为被动大陆边缘滨浅海相碳酸盐岩沉积;中生代弧后裂谷作用发育了陆相—滨浅海相碎屑岩沉积,地层由老到新分别为白垩系下统乌内组(Une)、上统加切塔组(Gacheta)及瓜达卢佩组(Guadalupe),其中加切塔组海相页岩是亚诺斯盆地的主要烃源岩^[8];新生代以来受纳兹卡板块向南美板块俯冲、科迪勒拉造山作用的影响,伴随着海平面的升降,依次发育了古近系古新统巴科组(Barco)、洛斯—科沃斯组(Los Cuervos)、始新统米拉多尔组(Mirador)、渐新统一中新统卡沃内拉组(Carbonera)、莱昂组(Leon)、瓜亚沃组(Guayabo)等海陆交互沉积,在盆地西侧形成了一系列沉积、沉降中心,地层厚度大,向东逐渐超覆减薄。

前陆褶皱—冲断带的构造样式多样,具有分层、分带和分段特征^[9],亚诺斯盆地根据其结构特征自西向东可划分为山前逆掩推覆带、前渊带、斜坡带等 5 个二级构造单元, LB 区块位于亚诺斯盆地斜坡带西北部(图 1), 钻井揭示最老地层为上白垩统瓜达卢佩组,主要含油层系为渐新统一中新统卡沃内拉组,分布范围广泛而稳定,地层厚度约 300 m。

2 成藏条件

2.1 烃源岩

亚诺斯盆地烃源条件优越,主力烃源岩为上白垩统加切塔组深海—浅海相页岩,主要分布在盆地西部,最大厚度达到 600 ft;干酪根类型以 II 型为主,有机碳含量 1%~30%,平均 2.2%,生烃潜力巨大,是世界上有机质丰度最高的烃源岩之一^[9]。烃源岩在盆地前渊带普遍达到成熟—过成熟阶段,镜质体反射率为 0.6%~1.25%;斜坡带演化程度较低,镜质体反射率一般低于 0.6%。烃源岩在晚渐新世进入生油窗,中中新世开始大量排烃。

2.2 储盖条件

研究表明,亚诺斯盆地上白垩统一渐新统的滨—浅海相和河流—三角洲相石英砂岩是主要的油气储集层^[10-11],上白垩统一更新统发育多套页岩盖层,其中上白垩统、古新统和渐新统页岩为半区域性

盖层,中新一更新统厚层页岩为区域性盖层^[10]。

LB 区块主要储层为渐新统一中新统卡沃内拉组 C7 段、C5 段、C3 段及 C1 段三角洲前缘水下分流河道、河口坝微相砂岩,埋深 1 400~1 700 m,已发现油气层分别位于 C7 段顶部及 C5 段底部(图 2)。C7 段为块状细砂岩夹泥岩,砂岩厚度大且分布稳定,岩心分析孔隙度为 12.0%~31.8%,平均 26.9%;渗透率为(1~3 000)×10⁻³ μm²,平均 1 400×10⁻³ μm²。C5 段为薄层状粉一细砂岩与泥岩互层,底部砂岩厚度 5~20 ft,横向变化快,仅在部分井钻遇,测井解释孔隙度为 23%~26%,渗透率为(590~1 300)×

10⁻³ μm²。

区域盖层为新近系中新统莱昂组海相页岩,厚度一般大于 500 ft,分布稳定,盆地已发现的油气藏均在该套地层之下。卡沃内拉组内 C6 段、C4 段及 C2 段泥岩对其下方的 C7 段、C5 段及 C3 段砂岩储层也起到了很好的封盖作用,是良好的局部盖层(图 2)。

LB 区块已发现含油的储盖组合有:C7 段顶部三角洲前缘水下分流河道砂岩/C6 段前三角洲泥岩;C5 段底部三角洲前缘水下分流河道砂岩/上覆三角洲前缘水下分流河道间泥岩(图 2)。

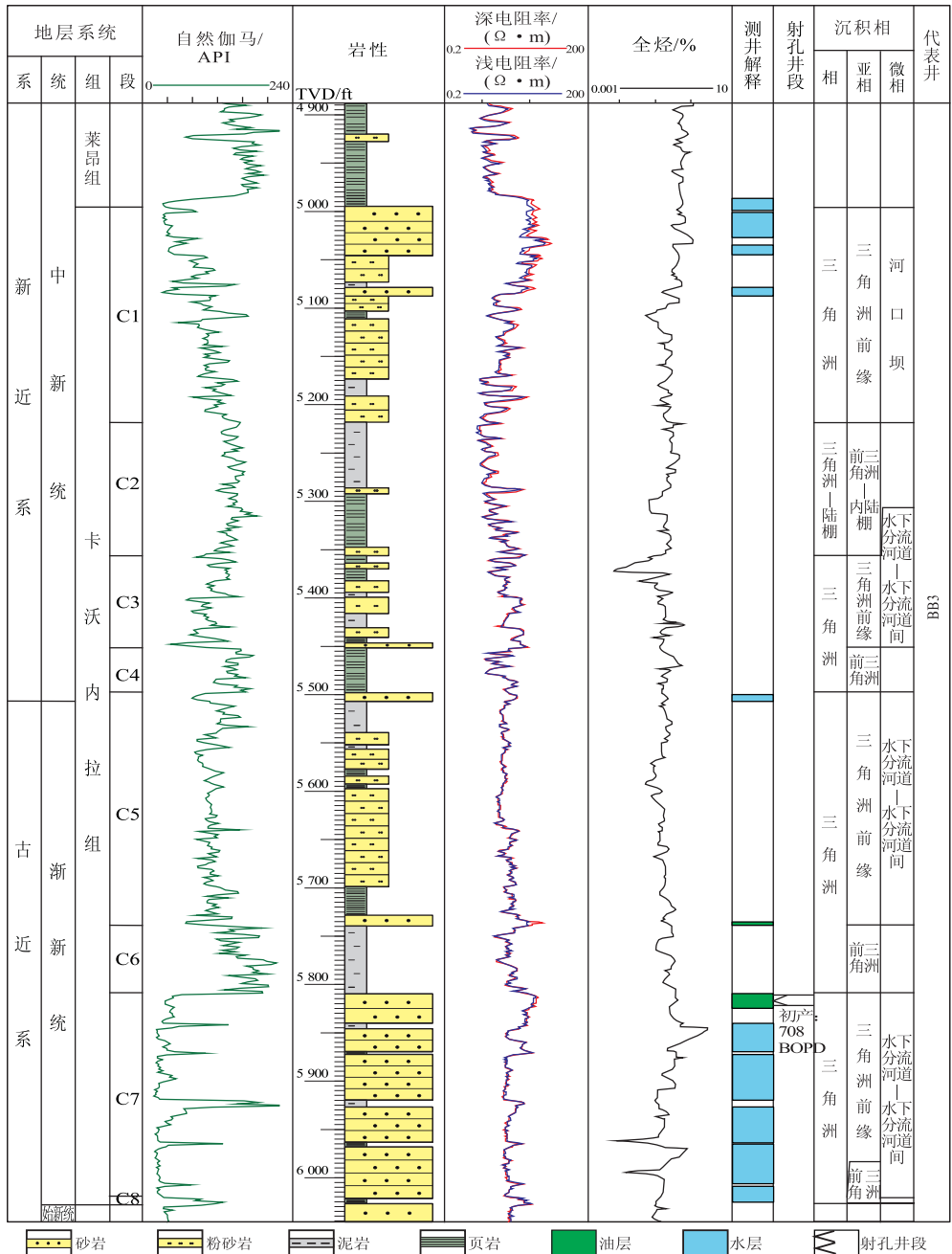


图 2 亚诺斯盆地 LB 区块地层综合柱状图

Fig.2 Stratigraphic column of LB block, Llanos Basin

2.3 圈闭特征

前陆盆地斜坡带为克拉通与造山带之间的过渡带,是沉降速率变化带或相变带,常见超覆及不整合面,可形成构造—地层圈闭^[12-14]。LB 区块主要目的层卡沃内拉组 C7 段呈北低南高、西低东高的变化趋势,整体起伏变化不大。受中新世时期东科迪勒拉逆冲造山作用的影响,区内发育数条规模不等的近南北向高角度正断层,断距一般在 20~120 ft,已发现圈闭多为与正断层相关的断背斜、断鼻,均分布在正断层上升盘(图 3)。圈闭规模不大,面积一般 0.2~0.5 km²,幅度一般小于 40 ft,圈闭识别与描述难度较大。

3 成藏特征

盆地模拟结果认为,主力生烃中心位于盆地西部的前渊带,LB 区块位于盆地东部斜坡带,距离生烃中心至少在 100km 以上,为典型的“它源型”油

气聚集,是油气运移的重要指向区^[15]。研究表明,上白垩统加切塔组海相页岩于晚渐新世进入生油窗,自晚中新世开始,成熟油气大规模地沿不整合面—骨架砂体—断裂系统组成的复式输导体系向盆地周围油气低势区呈阶梯状运移,并在沿途的构造、岩性圈闭内聚集成藏,不整合面、骨架砂体是油气侧向运移的主要介质,断裂系统是油气垂向运移的主要通道^[16-19]。

3.1 成藏主控因素

LB 区块已证实存在的油气藏主要有构造、岩性—构造复合 2 种类型,其中构造油气藏主要发育在 C7 段顶部地层,岩性—构造油气藏主要发育在 C5 段底部(图 4)。区块油气成藏主控因素是构造与储层:C7 段构造圈闭控制了油气聚集,C5 段成藏受控于构造因素及储层发育程度。

(1) 构造圈闭控制了 C7 段油气聚集:LB 区块 C7 段岩性为块状细砂岩夹泥岩,分布范围广,物性较好,因此不存在储层条件风险。该区累计钻探井 10 口,除了 BB2、BB4 井钻在构造较低部位外,其余各井均在 C7 构造圈闭内发现了商业价值油流,并先后投入了开发,单井初期产量均在 100 bbl/d 以上。区内已发现油气藏集中分布于正断层上升盘的低幅背斜、断背斜、断鼻等构造圈闭中,高角度反向正断层不仅控制了构造圈闭的形成,同时也是油气垂向运移和再分配的主要通道。

(2) 构造因素及储层发育程度控制了 C5 段油气聚集:LB 区块 C5 段储层整体不够发育,仅有 BB4、BB1、BW1 及 BB3 井在 C5 段底部钻遇了 5~20 ft 厚度不等的粉—细砂岩,泥质较重。BB1 井 C5 油藏测井解释油层厚度 16.5 ft,泥质含量 23.8%,孔隙度 24.6%,渗透率 $825.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,含油饱和度 51.3%,试油初期产液 785 bbl/d,含水 4.5%,证实为油层;BW1 及 BB3 井测井解释 C5 段底部油层厚度分别为 10.1 和 2.8 ft;

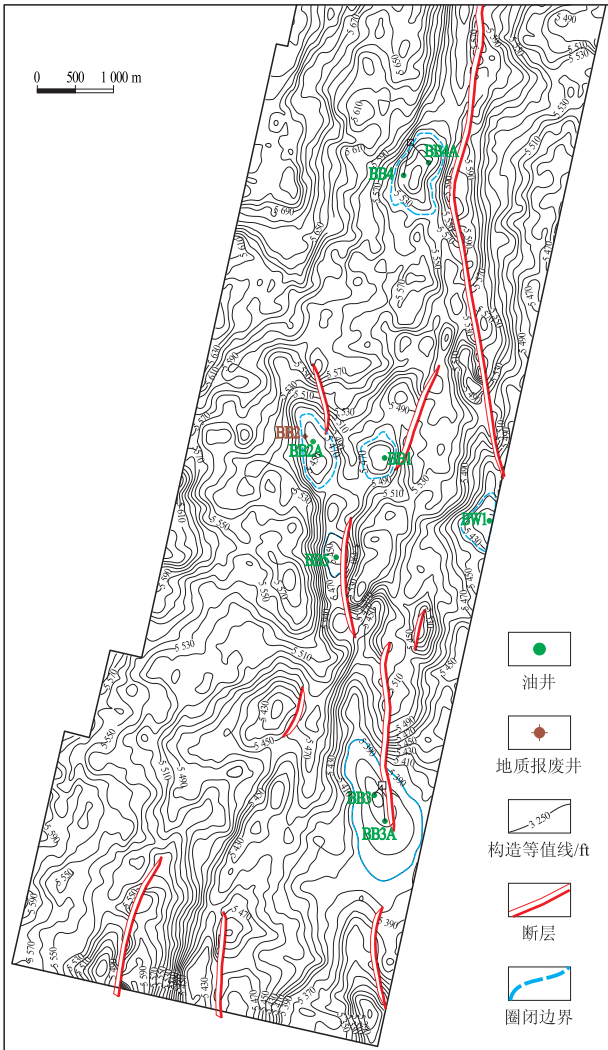


图 3 亚诺斯盆地 LB 区块圈闭分布

Fig.3 Trap distribution in LB block, Llanos Basin

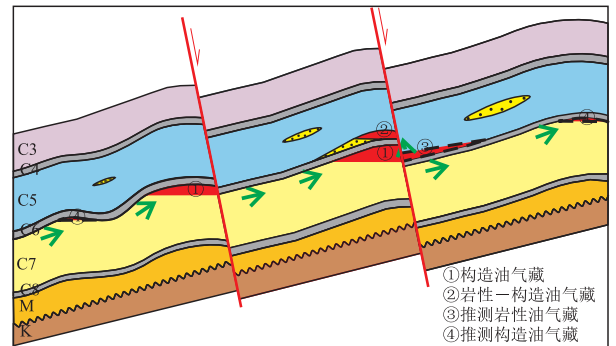


图 4 亚诺斯盆地 LB 区块油气成藏模式

Fig.4 Model of hydrocarbon migration and accumulation in LB block, Llanos Basin

BB1、BW1 及 BB3 井所处的构造位置均为紧靠断层。BB4 井圈闭并不靠近主断层,结果虽然在 C5 底部构造遇砂体厚度 16.9 ft,物性较好,但测井解释为纯水层,表明 C5 段油气成藏不仅受控于储层分布,同时受控于构造高部位、与主断层距离等构造因素。

3.2 成藏模式

LB 区块油气运移具有“C7 段侧向运移为主、断层垂向输导为辅”的复合特征,主要成藏模式为:油气沿 C7 段块状砂岩侧向运移,首先在 C7 层低幅背斜圈闭内聚集成藏,超出溢出点的油气继续沿 C7 层向构造更高部位侧向运移;后期断层作用使早先形成的油藏发生调整和再分配,部分油气被断层垂向输导到 C5 层,并在 C5 层底部靠近断层处的岩性—构造、岩性上倾尖灭型圈闭内再次聚集成藏(图 4)。

4 油气富集规律

4.1 构造背景及圈闭幅度决定油气富集程度

构造背景控制了油气聚集的优势方向,不同构造位置的圈闭含油性存在差异,构造高带的圈闭油气富集程度明显好于构造低带区圈闭^[12,18]。LB

区块已上钻的 C7 层构造圈闭均发现了油气藏,但是储层含油性、油藏规模及富集程度存在明显差异。具体表现为构造背景相对较高的 BW1、BB3 井油层厚度更大、油气充注更饱满,而位于相对低位的 BB4、BB3、BB2A 井油层厚度减薄,反映出油气向构造高部位富集的趋势特征(图 5)。

统计表明, LB 区块 C7 层构造圈闭油气充满度达到 100%,圈闭幅度越大,则油气充注强度越大、油柱越高、油层厚度越大(表 1),圈闭幅度与油层厚度正相关特征明显(图 6a)。

4.2 储层质量影响油气饱和度

储层物性对圈闭油气饱和程度具有明显的控制作用,储层泥质含量越低,孔、渗条件越好,则油藏含油饱和度越高,油水过渡带厚度占比越小。BW1 井 C7 油藏储层质量相对较差,表现为泥质含量高、储层物性差,导致油气饱和程度较差,测井解释含油饱和度仅为 47.9%,油水过渡带厚度占比接近 50%。BB1 井 C7 油藏储层物性相对较好,表现为泥质含量低、储层物性好,油气饱和程度高,测井解释含油饱和度达到 50.6%,油水过渡带厚度占比仅为 37.5%(表 1)。统计表明,C7 油藏储层自然伽马相对值越大,则泥质含量越高,物性越差,油水

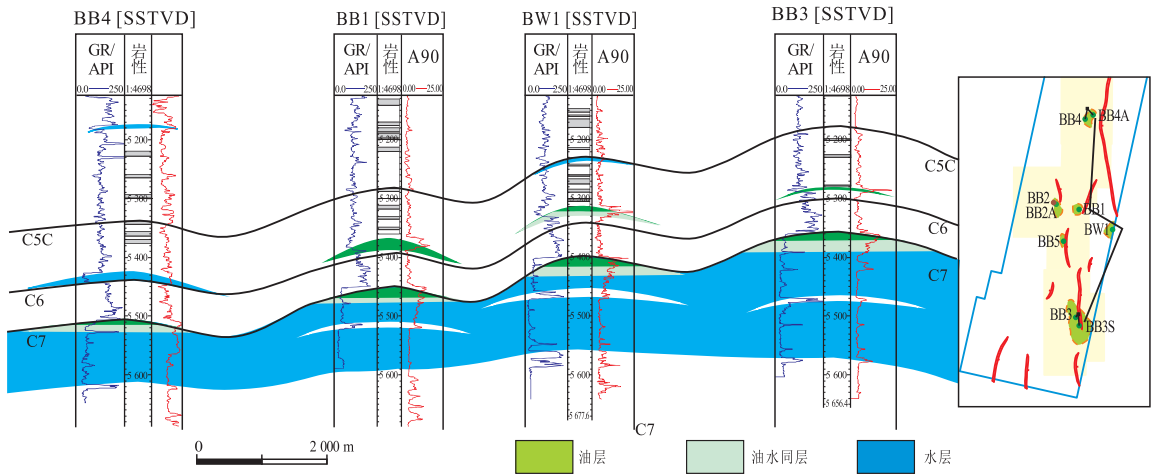


图 5 亚诺斯盆地 LB 区块油藏分布

Fig.5 Distribution of reservoirs in LB block, Llanos Basin

表 1 亚诺斯盆地 LB 油田 C7 油藏地质参数统计

Table 1 Geologic parameters of C7 section in LB block, Llanos Basin

井号	圈闭面积/km ²	圈闭幅度/ft	油层厚度/ft	过渡带厚度/ft	孔隙度/%	渗透率/10 ⁻³ μm ²	泥质含量/%	含水饱和度/%
BB2A	0.31	19	8	11	23.7	554.1	11.7	50.3
BB1	0.23	32	20	12	27.4	1 482.7	4.6	49.4
BB5	0.11	16.8	10	6.8	24.4	728.2	7.2	52.6
BW1	0.38	34.3	17.3	17	23.6	553	10.4	52.1
BB3	0.69	32.6	13.6	19	25.1	873.6	5.1	45.9

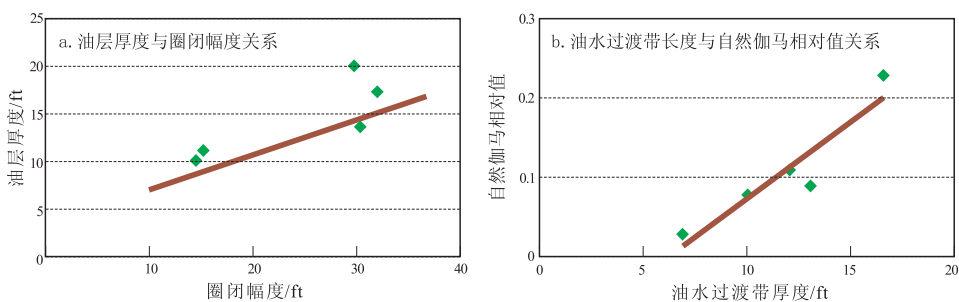


图 6 亚诺斯盆地 LB 区块 C7 油藏油层厚度与圈闭幅度、储层质量关系

Fig.6 Reservoir thickness vs. trap amplitude (a) and oil-water transition zone thickness vs. GR (b) of C7 section LB block, Llanos Basin

过渡带厚度越大,油气饱和程度越差(图 6b)。

对于 C5 段油藏,储层泥质含量较高,储层物性较 C7 段要差,储层质量对油气饱和程度的影响作用更为突出。该层油藏测井解释油层孔隙度一般为 20%~23%,泥质含量一般小于 30%,含油饱和度一般为 50%左右;BW1 井 C5 段储层泥质含量降至 17.4%,孔隙度达到 26.5%,含油饱和度增至 61.9%。

4.3 平面油气富集特征

平面上,已发现油气藏均位于近南北向正断层发育区的上升盘,受圈闭规模的影响,呈现为大小不一的平面分布特征。尤以区块中—南部区域更为富集,其中中部油藏规模较小,南部油藏规模较大(图 5)。

5 勘探方向

LB 区块主力目的层卡沃内拉组自北向南构造呈趋势抬升,区块南部为 C7 段构造圈闭发育有利区,C5 段岩性—构造复合圈闭主要发育在区块中部 BB1—BW1 井区。LB 区块有利勘探方向主要集中在区块中部及南部区域:区块中部 BB1—BW1 井区一带应以滚动勘探 C5 段岩性—构造复合圈闭目标为主,兼探 C7 段构造圈闭目标;区块南部 BB3—BB3A 井区以南应以甩开勘探 C7 段构造圈闭目标为主,兼探 C5 段岩性—构造复合圈闭目标(图 3)。

6 结论

(1) LB 区块位于亚诺斯前陆盆地斜坡构造带,构造整体不发育,圈闭类型以与正断层相关的低幅断背斜、断鼻圈闭为主,亦发育岩性—构造复合圈闭,圈闭规模不大;主要含油气储层为卡沃内拉组 C7 段、C5 段三角洲前缘水下分流河道微相砂岩,其中 C7 段砂岩厚度大且分布稳定,C5 段砂岩薄且横向变化快。

(2) LB 区块远离生烃中心,属于“它源型”油气聚集,不整合面—骨架砂体—断裂组合组成的复合输导体系是盆内油气长距离运移的主要通道。区块成藏主控因素是构造与储层:C7 段构造圈闭控制了油气聚集,C5 段成藏受控于构造因素及储层发育程度;局部油气富集受控于圈闭发育的构造背景、圈闭幅度以及储层物性等因素。

(3) 远源油气沿 C7 段块状砂岩侧向运移,首先在层内低幅背斜圈闭内聚集成藏,后期断层作用使早先形成的油藏发生调整和再分配,部分油气被断层垂向输导到 C5 段,并在有效圈闭内再次聚集成藏。区内已证实的油气藏类型有构造型、岩性—构造复合型,推测还应发育 C7 段低幅背斜构造型及 C5 段岩性上倾尖灭型油藏。

参考文献:

- [1] 朱毅秀,刘洛夫,金强.亚诺斯盆地油气地质特征及有利区带预测[J].新疆石油地质,2004,25(1):110-113.
Zhu Yixiu, Liu Luofu, Jin Qiang. Petroleum geology and favorable zones for hydrocarbon exploration in Llanos Basin, Colombia[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2004, 25(1): 110-113.
- [2] 刘亚明,张春雷.哥伦比亚油气地质与勘探[J].石油实验地质,2011,33(3):226-232.
Liu Yaming, Zhang Chunlei. Petroleum geology and exploration in Colombia[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 226-232.
- [3] Villamil T, Muñoz J, Sánchez J. The Gibraltar discovery, Northern Llanos Foothills, Colombia: Case history of an exploration success in a frontier area [J]. Journal of Petroleum Geology, 2004, 27(4): 321-333.
- [4] Cooper M A, Addison F T, Alvarez R, et al. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, eastern Cordillera and middle Magdalena valley, Colombia[J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(10): 1421-1443.
- [5] Warren E A, Pulham A J. Anomalous porosity and permeability preservation in deeply buried Tertiary and Mesozoic sandstones in the Cusiana Field, Llanos Foothills, Colombia[J]. Journal of Sedimentary Research, 2001, 71(1): 2-14.

- [6] Bachu S, Ramon J C, Villegas M E, et al. Geothermal regime and thermal history of the Llanos Basin, Colombia [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(1): 116-129.
- [7] Cazier E C, Hayward A B, Espinosa G, et al. Petroleum geology of the Cusiana Field, Llanos Basin foothills, Colombia [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(10): 1444-1463.
- [8] 张金伟, 闫爱英, 柳文秀, 等. 亚诺斯盆地 Cabiona 区块油气成藏规律 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(4): 24-26.
Zhang Jinwei, Yan Aiyang, Liu Wenxiu, et al. Study on reservoir occurrence rule in Cabiona block of Colombia [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(4): 24-26.
- [9] Summa L L, Goodman E D, Richardson M, et al. Hydrocarbon systems of Northeastern Venezuela: plate through molecular scale-analysis of the genesis and evolution of the Eastern Venezuela basin [J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20(3/4): 323-349.
- [10] 张金伟. 哥伦比亚 D 区块油藏类型及成藏控制因素 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2014, 36(7): 22-26.
Zhang Jinwei. The reservoir type and main control factors on hydrocarbon accumulation in block D of Columbia [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2014, 36(7): 22-26.
- [11] 时保宏, 郑飞, 张艳, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长 7 油层组石油成藏条件分析 [J]. 石油实验地质, 2014, 36(3): 285-290.
Shi Baohong, Zheng Fei, Zhang Yan, et al. Hydrocarbon accumulation conditions of Chang7 section, Yanchang Formation, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(3): 285-290.
- [12] 陈发景, 汪新文, 陈昭年. 前陆盆地分析 [M]. 北京: 地质出版社, 2007.
Chen Fajing, Wang Xinwen, Chen Zhaonian. Analysis of foreland basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [13] 田纳新, 陈文学, 殷进垠, 等. 安第斯山前典型前陆盆地油气成藏特征及主控因素 [J]. 新疆石油地质, 2011, 32(6): 692-695.
Tian Naxin, Chen Wenxue, Yin Jinyin, et al. Hydrocarbon accumulation features and main controlling factors in typical foreland basins in pediment of the Andes [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2011, 32(6): 692-695.
- [14] 周新源. 前陆盆地油气分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
Zhou Xinyuan. Occurrence of oil and gas in foreland basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [15] 沈朴, 张善文, 王永诗, 等. 非烃源岩层系断层和砂体对油气运聚的控制作用 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2012, 36(3): 32-37.
Shen Pu, Zhang Shanwen, Wang Yongshi, et al. Control of hydrocarbon migration and accumulation by fault and sand body in non-source rocks layers [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2012, 36(3): 32-37.
- [16] 刘传虎. 准噶尔盆地隐蔽油气藏类型及有利勘探区带 [J]. 石油实验地质, 2014, 36(1): 25-32.
Liu Chuanhu. Subtle reservoir type and favorable exploration belts in Junggar Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 25-32.
- [17] 刘延莉, 徐向华. 墨西哥湾盆地油气分布规律及成藏主控因素分析 [J]. 石油实验地质, 2014, 36(2): 200-205.
Liu Yanli, Xu Xianghua. Petroleum distribution rules and controlling factor analysis of Gulf of Mexico Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 200-205.
- [18] Pratsch J C. The location of major oil and gas fields: examples from the Andean Foreland [J]. Journal of Petroleum Geology, 1994, 17(3): 327-338.
- [19] 马立驰. 济阳拗陷青东凹陷油藏特征及分布规律 [J]. 石油实验地质, 2014, 36(1): 39-45.
Ma Lichi. Characteristics and distribution of reservoirs in Qingdong Sag, Jiyang Depression [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(1): 39-45.

(编辑 韩 彧)

(上接第 56 页)

- [4] Meisling K E, Cobbold P R, Mount V S. Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos Basins, Southeastern Brazil [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(11): 1903-1924.
- [5] Martins-Neto M A. Tectonics and sedimentation in a Paleozoic/Mesozoic rift-sag basin (Espinaco basin, southeastern Brazil) [J]. Precambrian Research, 2000, 103(3/4): 147-173.
- [6] Roberts A M, Kusznir N J. Tectonic, magmatic and depositional processes at passive continental margins [J]. Journal of the Geological Society, 1997, 154(3): 435-440.
- [7] Cainelli C. Shelf processes and canyon/channel evolution controlling turbidite systems: Examples from the Sergipe-Alagoas Basin, Brazil [C]. // GCSSEPM Foundation 15th Annual Research Conference Submarine Fans and Turbidite Systems, Houston, 1994.
- [8] Modica C J, Brush E R. Postrift sequence stratigraphy, paleogeography, and fill history of the deep-water Santos Basin, offshore southeast Brazil [J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(7): 923-945.
- [9] Gallagher K, Brown R. The onshore record of passive margin evolution [J]. Journal of the Geological Society, 1997, 154(3): 451-457.
- [10] Gibbons M J, Williams A K, Piggott N, et al. Petroleum geochemistry of the Southern Santos Basin, offshore Brazil [J]. Journal of the Geological Society, 1983, 140(3): 423-430.
- [11] Braitenberg C, Ebbing J. Satellite gravity and geoid studies reveal the tectonic setting and isostatic state of large-scale basin structures [C]. // Abstracts 33rd International Geological Congress. Oslo, Norway, 2008.
- [12] 杨福忠, 魏春光, 尹继全, 等. 南美西北部典型含油气盆地构造特征 [J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(2): 230-235.
Yang Fuzhong, Wei Chunguang, Yin Jiquan, et al. Structural characteristics of typical oil-bearing basins in Northwest of South America [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2009, 33(2): 230-235.

(编辑 徐文明)