

王伟,程涛,刘琼,等.巴西塞尔西培-阿拉戈斯盆地油气地质特征及勘探方向[J].海洋地质前沿,2020,36(4):61-67.

巴西塞尔西培-阿拉戈斯盆地油气地质特征及勘探方向

王伟,程涛,刘琼,许晓明,盖海洋

(中国海洋石油国际有限公司,北京 100028)

摘要:塞尔西培-阿拉戈斯盆地是巴西东部重要的含油气盆地,经历了 3 期构造-沉积演化阶段。根据已掌握的资料,全面总结了盆地的油气地质特征及油气成藏模式,预测了勘探方向:①盆地发育 3 套烃源岩,其中过渡期烃源岩最为重要,裂谷期次之,漂移期烃源岩生烃潜力最小。②盆地发育 3 套储层,分别为裂谷早期的三角洲-风成砂岩、裂谷晚期的河流-三角洲相砾质砂岩或砾岩和漂移期的浊积砂岩。目前 3 套储层均已证实。③最终优选出 2 套潜力层系的有利区带:盐下裂谷层系有利区带在北部和中央隆起带;盐上漂移层系有利区带在塞尔西培次盆地南部深水以及 Sao Francisco 河口外深水区域。

关键词:塞尔西培-阿拉戈斯盆地;油气地质;勘探方向;巴西;含油气盆地

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.088

0 引言

被动大陆边缘盆地是世界上非常重要的含油气盆地。南美洲东海岸发育了世界上著名的南大西洋被动大陆边缘盆地群^[1]。近年来,南美洲特别是巴西取得了一系列的油气勘探突破。本文的研究对象塞尔西培-阿拉戈斯盆地正是南美洲东部被动陆缘含油气盆地群中重要的一个。盆地是一个典型的被动大陆边缘含盐盆地,油气资源丰富,截至 2019 年初盆地共发现油气田 115 个,探明和控制石油(含凝析油)储量为 4.3 亿 m³,天然气储量为 1 472.5 亿 m³。

有关塞尔西培-阿拉戈斯盆地的研究,国内很少有文献涉及,仅有高兴等^[2]2011 年粗略的介绍盆地的油气地质特征。国外 Kifumbi 等^[3]2017

年研究了盆地盐下裂陷早期的地层特征;Hugo 等^[4]2019 年研究了盆地盐下裂陷早期沉积相展布特征;Valle 等^[5]2019 年分析了盆地白垩纪碳酸盐台地演化特征;Antonietto 等^[6]2016 年研究了阿尔比-阿普特期盆地地层展布特征。Bradley^[7]曾对盆地地质和地球物理方面做了一定的研究。本文尝试从区域构造-沉积演化、基本石油地质特征等方面开展综合分析,厘清盆地油气地质特征及成藏规律,并探讨盆地勘探潜力,以期对未来勘探提供参考。

1 区域地质背景

1.1 构造背景

塞尔西培-阿拉戈斯盆地位于巴西东部海域,东北面与朴楠木布克盆地相邻,西南面是巴黑苏尔盆地。盆地面积为 37 580 km²,其中海域面积为 22 000 km²。盆地由南部的塞尔西培和北部的阿拉戈斯 2 个次盆地组成,整体表现为凹陷、凸起和台地相间的构造格局(图 1)。

收稿日期:2019-04-11

资助项目:国家重大专项“非洲重点区油气勘探潜力综合评价”(2017ZX05032-002)

作者简介:王伟(1986—),男,硕士,工程师,主要从事海外油气勘探地质评价研究工作.E-mail:wangwei45@cnooc.com.cn

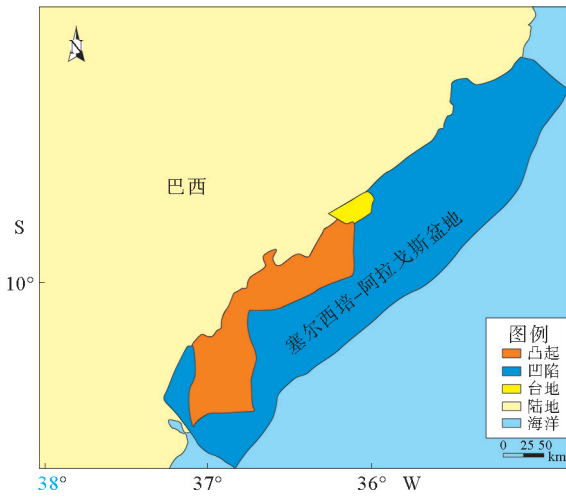


图1 塞尔西培-阿拉戈斯盆地构造单元划分
Fig.1 Tectonic units of the Sergipe-Alagoas Basin

1.2 构造-沉积演化

前人研究表明^[3-8],巴西东海岸大陆边缘自早寒武世冈瓦纳大陆形成以后,基本上处于稳定的克拉通内部。在海西运动的后期,随着晚三叠—晚侏罗世时北美陆块从欧洲和非洲陆块的快速分离,北大西洋逐渐拉开;到了晚侏罗—早白垩世,在冈瓦纳大陆西部(南美与非洲板块缝合处)开始发育大陆裂谷系,非洲和南美板块自南向北逐渐裂开,南大西洋形成;到早白垩世巴雷姆期发育裂谷,并在阿尔比期,非洲和南美最终分离。正是在这种大的区域构造背景之下,盆地的构造-沉积演化也可以划分出被动大陆边缘盆地典型的3个演化阶段(图2)。

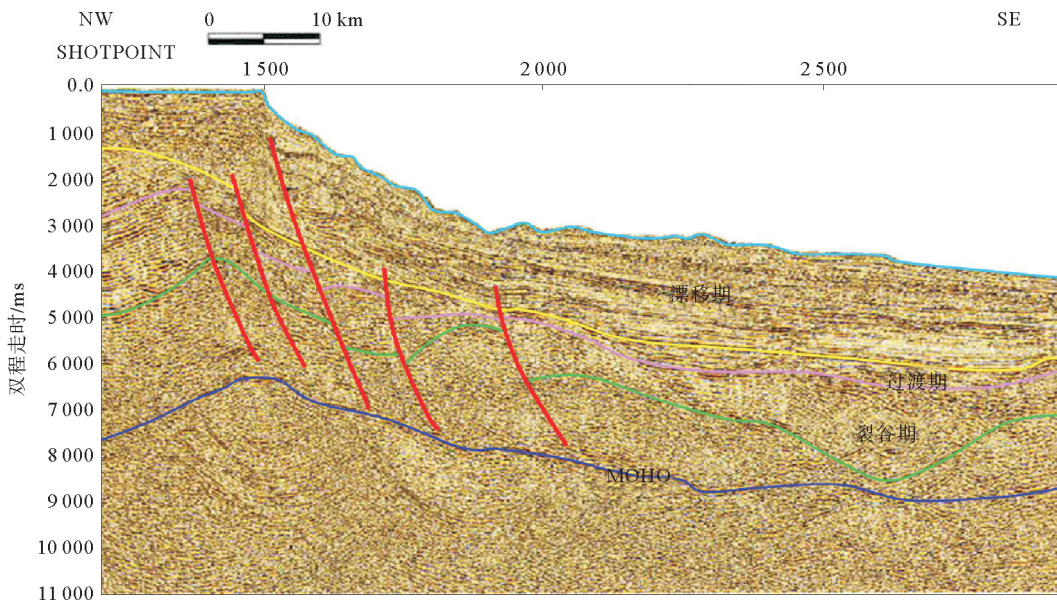


图2 塞尔西培-阿拉戈斯盆地典型地震剖面
Fig.2 A typical seismic profile in the Sergipe-Alagoas Basin

1.2.1 裂谷期

盆地裂谷过程始于早白垩世贝利阿斯期,终于早白垩世巴列姆期。早期裂谷作用受SN和NNE—SSW走向的铲式正断层的控制,沿着这些正断层,形成了一个地堑式湖盆沉积体系。这时期盆地以陆相冲积扇、河流-三角洲体系和湖相泥页岩以及湖相介壳灰岩沉积为主(图3a、3b、3c)。

1.2.2 过渡期

过渡期始于早白垩世阿普特早期,该时期陆壳拉伸,拉分盆地逐步发育,洋中脊还未出现,热

沉降作用开始,此时海水开始进入由裂陷作用形成的地堑中,盆地逐渐转入局限海沉积环境,在近陆浅水区为河流-三角洲沉积,深水区广泛沉积了一套蒸发岩(图3d)。

1.2.3 漂移期

阿尔比期时洋中脊显现,南美洲板块与非洲板块彻底分开,中段大西洋被动大陆边缘形成,大陆板块进入漂移阶段。自晚白垩世阿尔比期开始,盆地沉积了一套浅水碳酸盐岩台地沉积,土仑期之后主要为开阔海相沉积,在靠岸近浅海区主要发育河流-

三角洲沉积体系,在深水区以海相泥页岩沉积为主; 局部发育盆底扇或深水浊积扇沉积(图 3e,3f)。

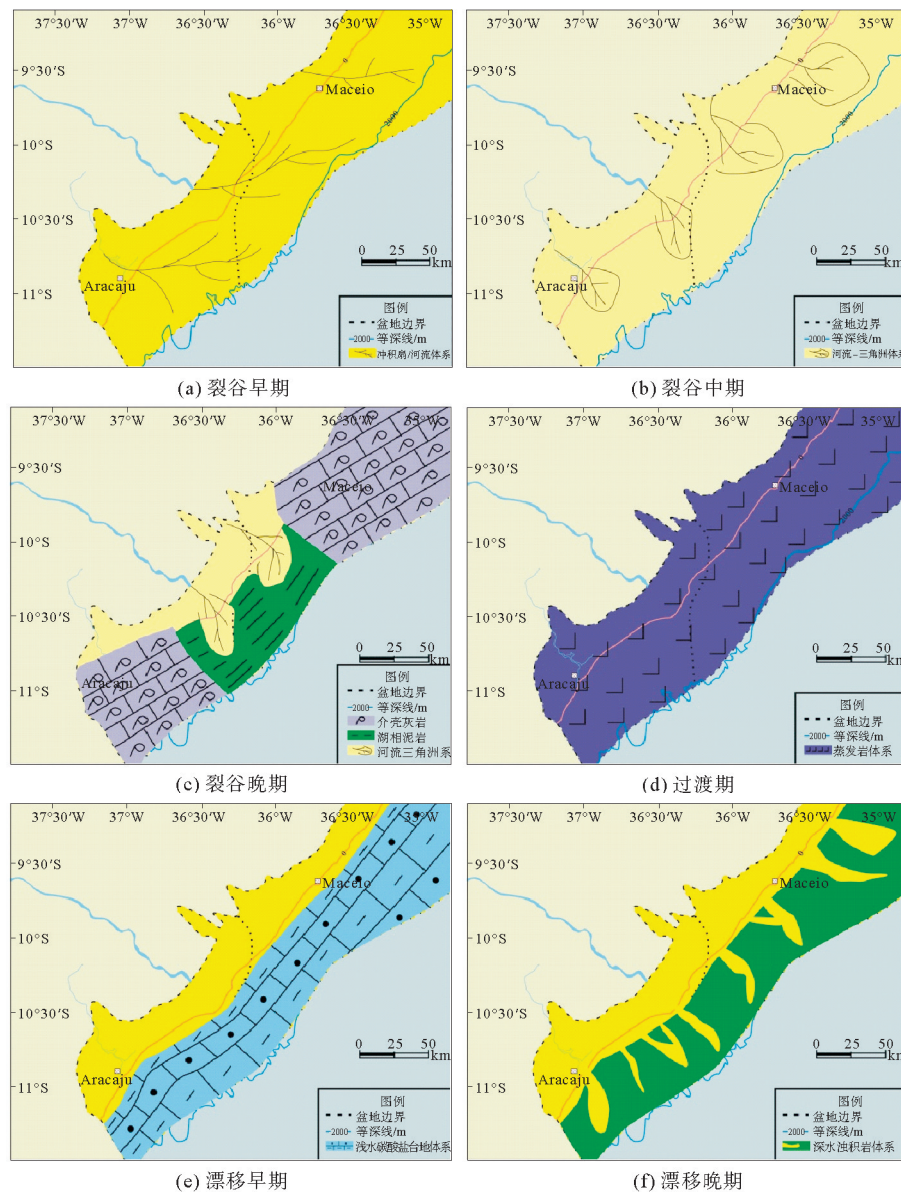


图 3 塞尔西培-阿拉戈斯盆地沉积演化模式图

Fig.3 Sedimentary evolution of the Sergipe-Alagoas Basin

2 油气地质特征及成藏规律

2.1 烃源岩

塞尔西培-阿拉戈斯盆地在发展演化过程中,发育了多套烃源岩。主力烃源岩主要有 3 套:裂谷期贝利阿斯-凡兰吟阶的 Barra de Itiuba 组烃源岩、过渡期中-晚阿普特阶的 Ibura 段烃源岩和

被动陆缘期阿尔比阶的 Riachuelo 组烃源岩。

裂谷期贝利阿斯-凡兰吟阶烃源岩在盆地中主要分布在阿拉戈斯次盆地中,在塞尔西培次盆地中分布不广泛。该套烃源岩主要为湖相钙质黑色页岩,TOC 平均为 2%,部分可达 4%;氢指数(HI)为 200~400 mgHC/gTOC;生烃潜力($S_1 + S_2$)为 3~20 mg/g。烃源岩有机质类型为 II 型,含石蜡和石蜡环烷烃,高 API 度和低含硫量(<0.5%)。该套烃源岩在盆地中普遍都能进入

生油窗,在海域里能进入生气窗。

漂移早期阿尔比阶的 Riachuelo 组烃源岩在盆地中主要分布在塞尔西培次盆地中,阿拉戈斯次盆地漂移期地层较薄,所以该烃源岩分布不广泛。该套烃源岩主要为开阔海环境下的钙质泥岩或泥灰岩。TOC 含量最高可达 12%,氢指数高达 790 mgHC/gTOC,生烃潜力为 6~20 mg/g,有机质类型主要为 II 型,包括 40%~60%无定型组分(可能主要是浮游植物和细菌)、约 20%~30%的草本植物(花粉和孢子)和 20%~30%的木本植物和煤系有机质,但因其埋藏较浅,处于未成熟—低成熟阶段,故其生烃潜力较小。该套烃源岩在盆地海域部分仅有一小部分能进入生油窗。

整体上,下白垩统特别是过渡期的阿普特阶烃源岩对盆地储量贡献最大,其次是裂谷期贝利阿斯-凡兰吟阶烃源岩,贡献最小的是漂移期阿尔比阶烃源岩。

2.2 储盖组合

盆地的主力储集层有 3 套,分别为裂谷期 Barra de Itiuba 组河流-三角洲相砂岩和 Muribeca 组砾质砂岩和砾岩以及被动陆缘期 Calumbi 组浊积砂岩。

裂谷期 Barra de Itiuba 组储层主要分布在阿拉戈斯次盆地中,为三角洲或风成环境下的砂岩。该套储层在盆地 X 井中 4 351~4 369 m 处是风成砂岩,孔隙度 11.5%,渗透率 $13.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

裂谷期 Muribeca 组 Carmopolis 段储层主要分布在塞尔西培次盆地的阿拉卡茹高地附近, Maceio 段储层主要分布在阿拉戈斯次盆地中。该套储层是一套非常重要的储层,为冲积扇或三角洲环境下的砾质砂岩和砾岩。孔隙度 5%~33%,平均 15%,渗透率为 $(0.1 \sim 1\ 000) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。Carmopolis 段储层在塞尔西培次盆地阿拉卡茹高地附近的 Carmopolis 油田中表现为大套泥岩中夹夹着砂岩或者砾岩,自然伽马曲线呈指状。该套储层在阿拉卡茹高地周围发现的系列油田中均有发育,如 Carmopolis、Riachuelo 和 Siririzinho 等。但在物性特征方面仍然存在不小的差异,存在着低孔高渗和高孔低渗等类型,且深度越深,孔隙度越小,大约在 2 000 m 以下孔隙度 < 10%。

近几年,盆地漂移期的深水浊积砂岩储层越来越受到勘探人员重视,同时也取得了不小的突破。深水浊积砂岩主要发育在盆地的陆坡以及深海平原中。盆地发育了 2 套深水浊积砂岩,一套是上白垩统的深水砂岩,另外一套则是古近系的深水砂岩。古近纪早期的峡谷在地震剖面上显示明显的下切特征,内部为杂乱的地震反射特征,在钻井上也揭示了砂岩。该套浊积储层孔隙度最高达 33%,平均 22%,渗透率为 $(60 \sim 1\ 000) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,厚度大约为 3~37 m。

整体上,下白垩统特别是阿普特阶 Muribeca 组的储层对盆地储量贡献最大,其次是漂移期的 Calumbi 组的浊积砂岩储层。

盆地的区域盖层发育 3 套:裂谷期的 Barra de Itiuba 组湖相页岩、过渡期的 Ibura 段页岩和蒸发岩和被动陆缘期的 Calumbi 组的页岩。局部盖层则是层间盖层。

2.3 成藏模式

盆地成藏模式主要有上生下储、自生自储和下生上储 3 种类型(图 4)。

(1)裂谷期自生自储模式:油气来自裂谷期的优质湖相烃源岩,断层和不整合面是油气运移的主要通道。储层主要为裂谷期的河流-三角洲体系的砂岩,裂谷期的层间湖相泥岩或漂移早期的海相泥岩充当层间盖层或区域性盖层。

(2)裂谷期上生下储模式:油气来自过渡期的优质烃源岩,断层和不整合面是油气运移的主要通道。储层主要为裂谷晚期的河流-三角洲体系的砂岩,过渡期的蒸发岩充当层间盖层或区域性盖层。

(3)漂移期下生上储模式:该种成藏模式的油气来自过渡期的烃源岩,通过断层沟通运移至漂移晚期沉积的浊积扇砂岩,而漂移早期沉积的大套海相泥岩充当盖层或顶、底板层。

3 勘探方向探讨

在成藏条件评价的基础上结合勘探程度、目的层埋深、海域裂谷层系发育情况等条件对上述两套勘探层系开展了勘探潜力评价,并初步优选出了不同层系的有利勘探区带。

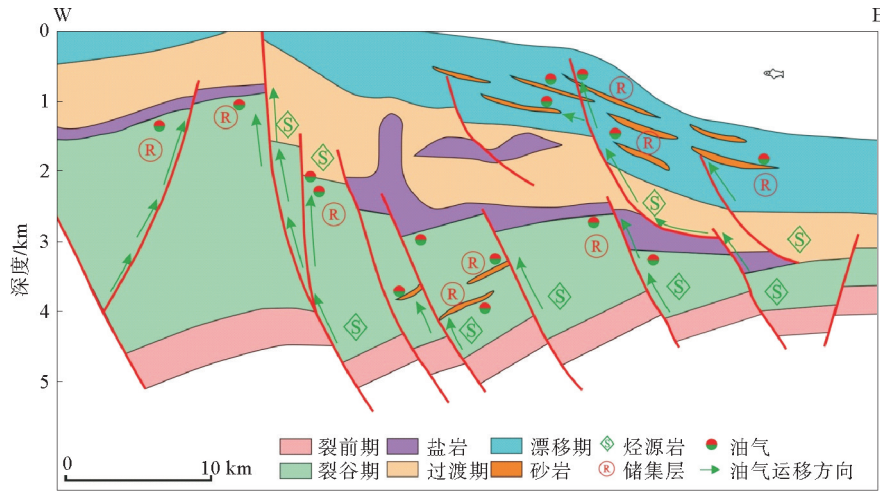


图 4 塞尔西培-阿拉戈斯盆地油气成藏模式图

Fig.4 Hydrocarbon accumulation model of the Sergipe-Alagoas Basin

3.1 盐下裂谷层系勘探潜力及有利区带

在塞尔西培次盆地中,过渡期和裂谷期的烃源岩主要分布在中央坳陷带中,但裂谷期烃源岩分布范围较小些。这两套烃源岩都可以成熟生油生气,并且向周缘的北部隆起带运移汇聚。储层主要是裂谷晚期的河流-三角洲相砾质砂岩或者砾岩,储集性能优质。盖层是过渡期的蒸发岩区域盖层。圈闭的类型主要为构造圈闭,如披覆背斜、滚动背斜等。油气成藏条件都得到了很好的配置,因此,在塞尔西培次盆地中北部隆起带是盐下油气的最有利的运聚带。

在阿拉戈斯次盆地中,过渡期地层厚度较小,裂谷期地层厚度较大。中央坳陷带和南部坳陷带中裂谷期的烃源岩可以生油生气。储层是裂谷晚期的 Maceio 段砂岩。构造圈闭在该区也普遍发育,因此,可以初步推断中央隆起带是油气的有利聚集带(图 5a)。

3.2 盐上漂移层系勘探潜力及有利区带

漂移期成藏组合在盆地中已有大量油气藏证实,发现了 43 个油气藏或者油气发现,累计探明石油可采储量约 1 亿 m³。其关键成藏要素主要为浊积砂岩的分布以及深大断裂的发育。

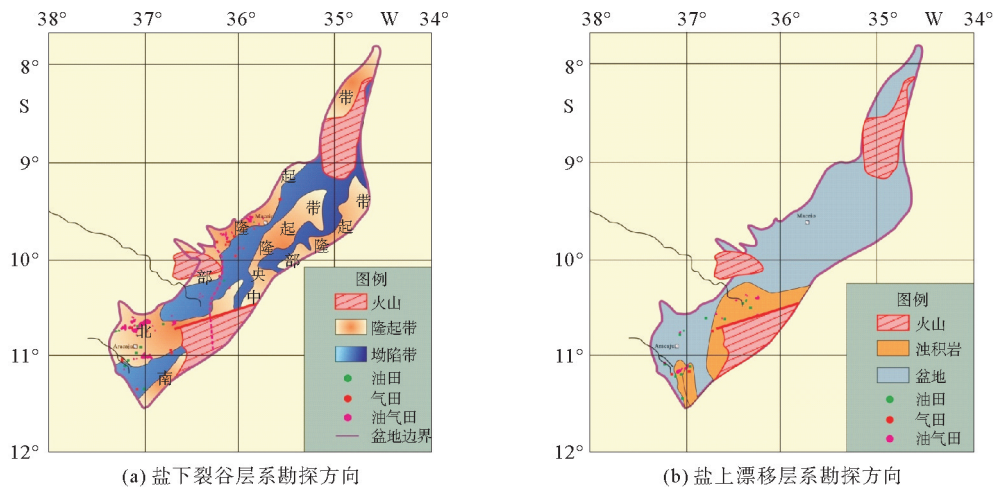


图 5 塞尔西培-阿拉戈斯盆地勘探方向预测图

Fig.5 Exploration Potential in the Sergipe-Alagoas Basin

塞尔西培次盆地的南部深水区域以及 Sao Francisco 河口外的深水区域裂谷期和过渡期的烃源岩发育,并且达到了生油生气的成熟条件。储层有浊积砂岩,物性条件较好,并且周围有深大断裂,能使裂谷期和过渡期烃源岩生成的油气向上运移到漂移期浊积砂岩储层中。从现有的油田分布来看,这两个区域中已经发现了不少深水砂岩油气田。因此,综上所述,这两个区域推测是盆地盐上漂移层系油气的有利聚集带(图 5b)。

4 结论

(1)盆地主要烃源岩为过渡期阿普特阶泥岩,次要烃源岩为裂谷期贝利阿斯阶-巴雷姆阶钙质黑色页岩,裂后期阿尔比阶烃源岩生烃潜力不大。

(2)盆地储层主要为裂谷早期和晚期的河流-三角洲相或冲积扇砂岩以及漂移期的深水浊积砂岩。盆地的区域盖层为过渡期的蒸发岩。

(3)盆地油气成藏模式主要有上生下储、自生自储和下生上储 3 种类型。

(4)通过油气成藏条件初步评价,预测出盐下和盐上层系各两个有利区带。盐下裂谷层系有利区带在北部和中央隆起带;盐上漂移层系有利区带在塞尔西培南部深水和 Sao Francisco 河口外深水区域。

参考文献:

- [1] 朱伟林,白国平,胡根成,等.南美洲含油气盆地[M].北京:科学出版社,2012:300-305.
- [2] 高兴,朱毅秀,杨程宇.巴西塞尔西培-阿拉戈斯盆地油气地质特征[J].内蒙古石油化工,2011,37(15):113-115.
- [3] Kifumbi C, Santos S, Claiton M, et al. High resolution stratigraphy of initial stages of rifting, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil[J]. Brazilian Journal of Geology, 2017, 47:657-671.
- [4] Hugo R, Felipe T, Luisa S, et al. Facies distribution as a response to early rift tectonic activity in the Sergipe-Alagoas Basin, northeastern Brazil[J]. Sedimentary Geology, 2019, 383:216-237.
- [5] Valle B, Dal' Bó P, Mendes M, et al. Stratigraphic evolution of a Brazilian carbonate platform during the Cretaceous; the late Albian-early Turonian of the Sergipe-Alagoas Basin[J]. Facies, 2019, 65:1-6.
- [6] Antonietto L, do Carmo D, Viviers M, et al. Ostracoda (Arthropoda, Crustacea) from the Riachuelo Formation, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil, Upper Aptian-Albian[J]. European journal of taxonomy, 2016, 244:1-57.
- [7] Melton B. A geological and geophysical study of the Sergipe-Alagoas Basin[D]. College Station: Texas A & M University, 2008.
- [8] Jandyson M, Flávia M, Rennan G, et al. Chemical aspects of onshore crude oils from the Carmópolis Field, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil; a case study on the industrial process for water-oil separation[J]. Energy and Fuels, 2015, 3: 1315-1322.
- [9] Kinoshita E. Seismic-geometric facies model of lacustrine carbonates of Morro do Chaves Formation, Sergipe-Alagoas Basin[J]. Boletim de Geociencias, 2010, 25:98-105.
- [10] Antunes A, Francelino A. Applying filter and seismic attributes for enhancing faults in the 3D seismic survey of alto de Siririzinho (Sergipe-Alagoas basin, Northeast Brazil) [J]. Revista Brasileira De Geofisica, 2013, 31:109-123.
- [11] IHS. Sergipe-Alagoas basin monitor [EB/OL].2019:1-16.
- [12] Angelica V, Meunier A. Burial and thermal conditions of diagenesis in the lower cretaceous barra de ituba formation, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil [J]. Bulletin Society Geology France, 1996, 5:597-607.
- [13] Mohriak W, Bassetto M, Vieira I. Crustal architecture and tectonic evolution of the Sergipe-Alagoas and Jacuibe basins, offshore northeastern Brazil[J]. Tectonophysics, 1998, 288:199-220.
- [14] Garry D, Stuart S, Jeffrey K. Modelling the tectonic development of the Tucano and Sergipe-Alagoas rift basins, Brazil [J]. Tectonophysics, 1992, 215:133-160.
- [15] Destro N. Release fault: a variety of cross fault in linked extensional fault systems, in the Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil [J]. Structural Geology, 1995, 5:615-629.
- [16] Pinheiro J, Schnurle P, Evain M, et al. Lithospheric structuration onshore-offshore of the Sergipe-Alagoas passive margin, NE Brazil, based on wide-angle seismic data [J]. Journal of South American Earth Sciences, 2018, 88: 649-672.

PETROLEUM GEOLOGICAL FEATURES AND EXPLORATION POTENTIAL OF THE SERGIPE-ALAGOAS BASIN OF BRAZIL

WANG Wei, CHENG Tao, LIU Qiong, XU Xiaoming, GAI Haiyang
(CNOOC International Limited, Beijing 100028, China)

Abstract: The Sergipe-Alagoas Basin is an important petroliferous basin in eastern Brazil, and has undergone three tectonic and sedimentary evolution stages. According to the data available, petroleum geological features and the hydrocarbon accumulation model of the basin are comprehensively summarized, and the exploration potential predicted in this paper. ① There are three sets of source rocks developed in the basin, of which the source rocks formed in the transitional period are the most important, followed by that formed in the rift period. The source rock deposited in the drift period is the one with lowest hydrocarbon generation potential. ② There are three sets of reservoirs confirmed in the basin, i.e. the deltaic-aeolian sandstone deposited in the early rift period, the fluvial-deltaic pebbly sandstone or conglomerate in the late rift period, and the sandstone in the drift period. ③ Finally, two favorable exploration zones are predicted, which includes the favorable zone of the subsalt rift system in the north of the basin and on the central uplift, and the favorable zone of the drift system in the deep water of the southern part of the Sergipe sub-basin and deep water area outside the Sao Francisco river mouth.

Key words: Sergipe-Alagoas Basin; petroleum geological features; exploration potential; Brazil; petroliferous basin