

澳大利亚大澳湾盆地东部海域 勘探潜力

于圣杰, 杨松岭, 许晓明, 周浩玮

(中海油研究总院)

摘要 澳大利亚南缘大澳湾盆地为陆相裂谷与海相被动大陆边缘的叠合盆地, 经历了由中晚侏罗世至早白垩世的裂陷期、早白垩世到晚白垩世桑托尼期的过渡期、以及其后的漂移期共三期构造演化。盆地东部海域发育五套烃源岩(岩相主要为白垩系湖相泥岩、三角洲相煤系和海相泥岩)和四套储盖组合, 形成了四套成藏组合。Ceduna坳陷的Hammerhead群三角洲前缘砂岩储层与前三角洲泥岩可形成自储自盖组合, 是有利的勘探区带。

关键词 澳大利亚; 大澳湾盆地; Ceduna 坳陷; 白垩纪; 烃源岩; 成藏组合; 勘探前景

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

1 概况

澳大利亚油气资源丰富, 财税条款优越, 一直都是一些油公司的重点关注区之一^[1], 目前澳大利亚西北陆架油气富集区基本被国外的大型石油公司所占据, 进入难度比较大, 因此澳大利亚南缘沉积盆地的油气勘探潜力开始受到重视^[2], 大澳大利亚湾盆地(Great Australian Bight Basin, 后文简称大澳湾盆地)就是其中之一。

大澳湾盆地位于澳大利亚南缘海上, 水深从200 m到超过4 000 m, 面积超过 $80 \times 10^4 \text{ km}^2$, 据澳大利亚地球科学局资料^①, 盆地可划分为6个坳陷区(图1)。盆地的勘探程度低, 截至到2013年, 共有二维地震资料66 000 km, 主要覆盖Ceduna、Duntroon坳陷, 测网密度为 $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$, Eyre坳陷的地震测网较稀疏($20 \text{ km} \times 20 \text{ km}$), 总体品质较差, 尤其是深层; 钻探活动大多位于水深1 500 m以内的区域, 目前共有9口探井, 尚无商业油气发现, 仅在Duntroon坳陷的

Greenly-1井(井位见图1)的上白垩统Tiger群见少量的气显示。

考虑到盆地东部海域钻井较多、地震资料较丰富, 本次仅选择Ceduna、Duntroon和Eyre这三个地层厚度较大的坳陷作为研究主体, 并依托文献调研和占有的有限资料, 对研究区的石油地质条件、成藏组合和勘探潜力进行初步分析。

2 盆地构造演化与沉积充填

大澳湾盆地是一个裂谷—被动大陆边缘的叠合盆地, 经历了三个构造—沉积演化阶段(图2)。

裂陷期(165~140 Ma) 大致始于中侏罗世卡洛夫期, 在冈瓦纳超级大陆内部, 南极洲板块与澳洲板块之间发生了一系列岩石圈伸展, 裂谷规模逐渐扩大^[3-4], 在北西—南东走向与近南北走向的伸展作用与转换伸展作用机制下, 盆地内形成了一系列地堑和半地堑^[5], 发育了上侏罗统Sea Lion群、Minke群和下白垩统Southern Right群的河湖相碎屑岩沉积(图2)。

收稿日期: 2014-07-28; 改回日期: 2015-05-13

本文受国家“十二五”重大专项“亚太地区油气资源评价及未来战略发展方向”(编号: 2011ZX05028-006)资助

于圣杰: 1984年生, 工程师。2010年毕业于中国地质大学(北京), 获硕士学位。现主要从事石油地质综合研究。通讯地址: 100028 北京市朝阳区太阳宫南街6号院中海油大厦A座805; E-mail: feiesi@163.com

① Bradshaw, B. E. Geology and Petroleum Potential of the Bremer Sub-basin, Offshore Southwestern Australia [R]. Geoscience Australia, 2005.

② IHS公司. 大澳湾盆地研究报告 [R]. 2012.

③ Blevin J M, Cathro D. Australian Southern Margin Synthesis [R]. Geoscience Australia, 2008.

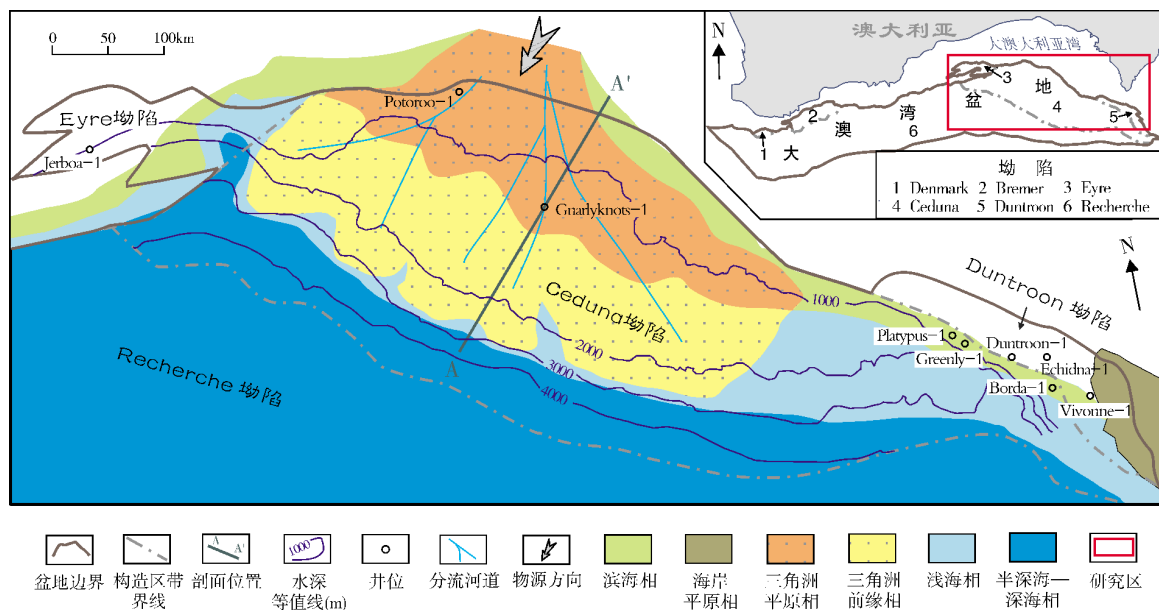


图1 大澳湾盆地构造区划及东部海域晚白垩世Hammerhead群沉积相
(构造单元划分据文献①)

过渡期 (140~83 Ma) 早白垩世瓦兰今期—阿尔布期,盆地处于一个慢速的裂后沉降阶段,受西部海侵的影响,古地理环境由陆相逐步过渡到海相^[3],Bronze Whaler群由下部的湖相三角洲逐步过渡到上部的海岸平原环境(图2)。

阿尔布晚期—晚白垩世圣通期,受下部地壳的伸展作用与重力驱动的生长断层控制,盆地的沉降速率加大,进入了一个快速沉降阶段,形成了巨大的可容空间,整个盆地逐渐由陆相完全转变为海相环境,发育了Blue Whale群、White Pointer群和Tiger群的滨浅海相及三角洲沉积(图2)。

漂移期 (83 Ma~现今) 晚白垩世圣通期晚期,南极洲板块与澳洲板块分离,盆地进入被动大陆边缘的漂移期。晚白垩世发育了Hammerhead群大型海相三角洲(图1),从始新世开始,发育了Wobbecong群碎屑岩沉积及其后的开阔海碳酸盐岩沉积(图2)。

3 盆地成藏组合

从裂谷期到漂移期的构造-沉积演化,形成了陆相、海陆过渡相及海相沉积,多套生储盖组合发育,继承性、多期次发育的断裂可沟通油源,盆地纵

向上具有多套层系油气成藏的特点(图3)。

3.1 烃源条件

大澳湾盆地共发育五套烃源岩,自下而上包括裂陷期的Sea Lion群、Minke群湖相泥岩,过渡期的Bronze Whaler群湖相三角洲煤系地层、Blue Whale群海相泥页岩、White Pointer群海相三角洲煤系地层、以及Tiger群海相泥页岩(表1)。综合评价是依据中海油的烃源岩地球化学定量评价规范^④(Q/HS1017-2006)进行的。

通过已钻井的烃源岩岩样分析,盆地生烃门限深度为3 500 m($R_0=0.7\%$)(图4),按趋势线外推,则生烃高峰深度约为6 000 m($R_0=1.3\%$)。

需要说明的是,由于深层地震资料品质较差,Sea Lion群、Minke群及Bronze Whaler群难以准确识别,推测它们局限于裂陷期的地堑、半地堑内。Blue Whale群海相泥页岩埋深大、成熟范围广,可作为盆地的一套主力烃源岩。除钻井揭示了Tiger群内陆架区滨浅海相泥页岩外,2007年澳大利亚地球科学局在Ceduna坳陷西北缘海底的海沟中抓斗采样,取到了外陆架区灰黑色泥岩样品,其有机质丰度为2%~6.9%,HI为274~479 mg/g,壳质组含量占到70%。

④ 李友川,付宁,孙玉梅,等. 中国海洋石油总公司企业标准Q/HS 1017-2006:烃源岩定量评价规范[S].

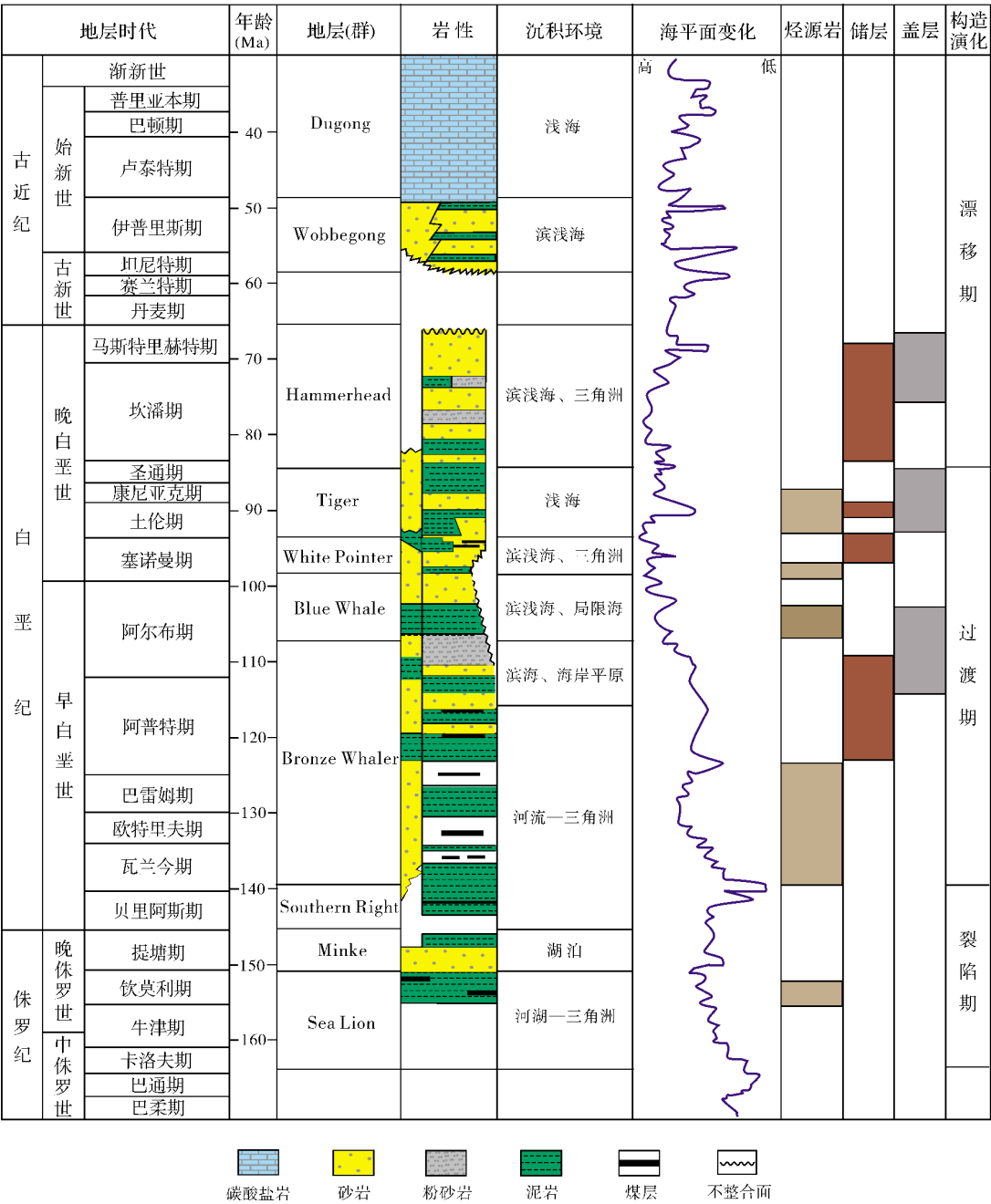


图2 大澳湾盆地地层综合柱状图(据文献②修改)

据 Totterdell^[6],上侏罗统烃源岩、下白垩统 Bronze Whaler群与Blue Whale群在中晚白垩世生排烃,上白垩统White Pointer群、Tiger群烃源岩在晚白垩世开始生排烃。

3.2 储盖组合

大澳湾盆地发育四套储盖组合,自下而上分别

是 Bronze Whaler 群自储自盖组合、White Pointer 群—Tiger 群下储上盖组合、Tiger 群自储自盖组合、Hammerhead 群自储自盖组合(图 2)。其中,Bronze Whaler 群、White Pointer 群三角洲砂岩储层发育,Tiger 群浅海陆架砂岩储层发育,Hammerhead 群三角洲前缘砂体(图 1)、浊积砂体可与前三角洲泥岩形成良好的配置^[7]。

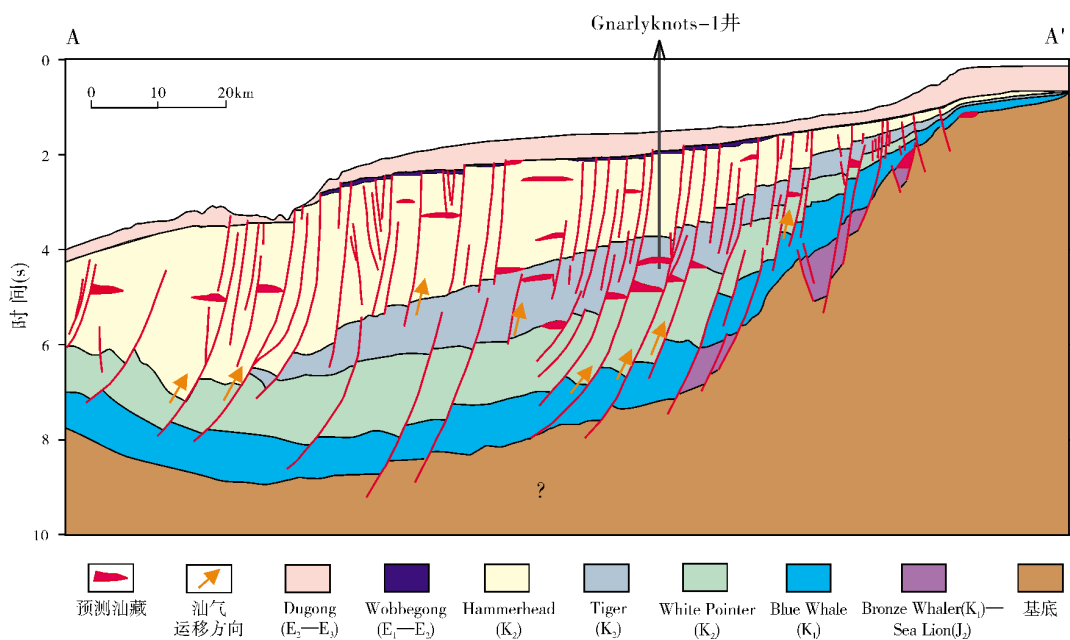


图3 大澳湾盆地典型地质剖面及成藏模式

剖面位置见图1

表 1 大澳湾盆地研究区烃源岩地化指标与评价

构造阶段	地层	沉积环境	岩性	有机质类型	TOC (%)		S ₁ +S ₂ (mg/g)		HI (mg/g)		综合评价
					范围	平均	范围	平均	范围	平均	
过渡期	Tiger 群 (K ₂)	浅海(外陆架)	泥岩	II	2.0~6.9	*	*	*	274.0~479.0	*	好
		浅海	泥岩	III	0.4~1.7	1.2	0.6~4.6	2.0	41.0~167.0	119.0	中等
	White Pointer 群 (K ₂)	三角洲平原	煤层	III	46.9~70.5	61.1	97.3~163.9	130.0	97.0~275.0	181.0	中等
		三角洲平原	泥岩		0.7~5.8	1.6	0.6~4.4	1.9	76.0~146.0	96.0	
	Blue Whale 群 (K ₁)	滨浅海	泥页岩	II ₂ -III	0.5~1.4	1.0	1.3~2.2	1.7	76.8~191.0	108.0	中等
	Bronze Whaler 群 (K ₁)	三角洲平原	煤层	II ₂ -III	40.9~69.1	55.6	94.5~237.0	163.5	128.6~323.0	236.0	中等
		三角洲平原	泥岩		0.6~2.3	1.2	0.8~4.4	2.2	81.0~220.0	140.0	
裂陷期	Minke/Sea Lion 群 (J ₂)	滨浅海—半深湖	泥岩	II ₂ -III	1.0~3.5	1.7	1.5~3.3	2.3	106.8~226.5	151.0	中等

* 海沟抓斗取样分析, 暂无对应数据

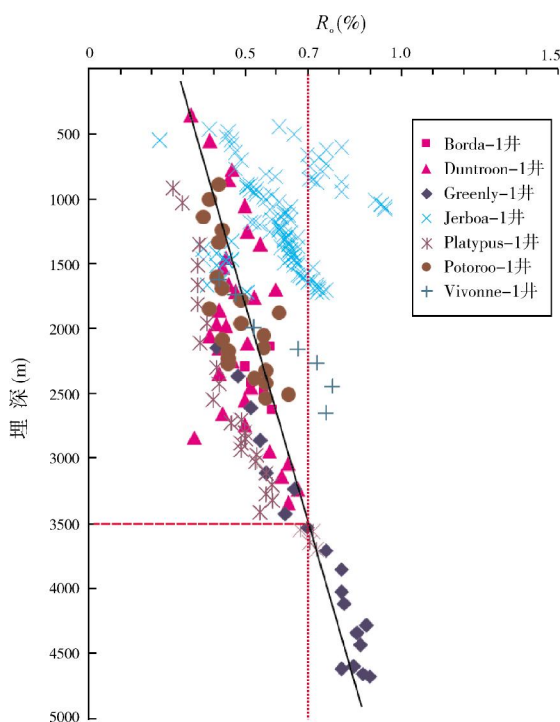
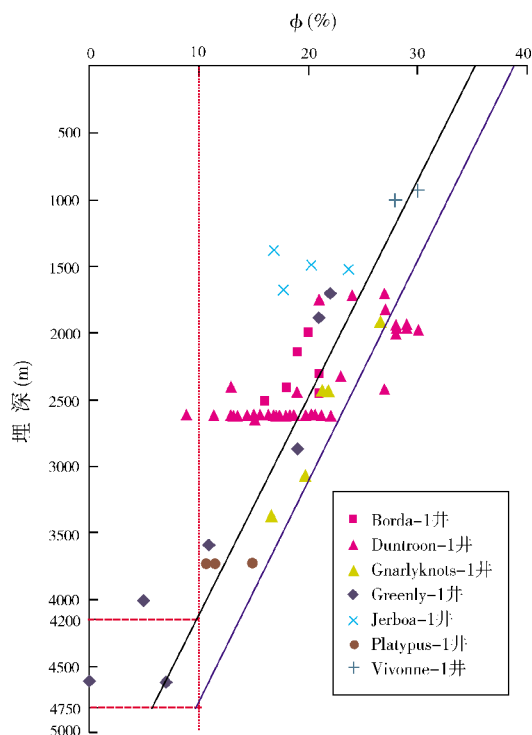
由钻井岩心的孔隙度与深度关系(图5)可见, 储层孔隙度为10%时, 由浅水区钻井数据拟合的黑色趋势线反映对应的埋深下限为4 200 m, 而依据 Gnarlyknobs-1井数据拟合的蓝色趋势线(仅由黄色的散点拟合)则反映对应的深度下限达到4 750 m (去水深), 由此推测, 向深水区, 储层门限变深。

3.3 成藏组合

按四套储层的层位划分, 盆地共发育四套成藏

组合: 下白垩统Bronze Whaler群, 上白垩统White Pointer群、Tiger群、Hammerhead群(图3)。

Bronze Whaler群成藏组合 烃源岩主要有下伏Minke群、Sea Lion群湖相泥岩和Bronze Whaler群河湖相三角洲煤系烃源岩。储层主要为Bronze Whaler群滨海相砂岩。该套储盖组合主要发育于Duntroon坳陷, 储层为Bronze Whaler群的三角洲砂岩, 盖层为群内的三角洲和滨岸的泥岩。断层可沟通下伏或自身煤系烃源岩, 油气在断背斜、断块中聚集成藏。

图4 大澳湾盆地烃源岩 R_o —埋深关系

黑色趋势线由浅水区钻井数据拟合;蓝色趋势线依据深水区(水深>1000m)Gnarlyknots-1井数据拟合

图5 大澳湾盆地孔隙度—埋深关系

White Pointer群成藏组合 烃源岩主要有下伏Blue Whale群海相泥岩和White Pointer群三角洲煤系烃源岩。储层为White Pointer群三角洲平原与前缘亚相砂岩。盖层包括Tiger群海相泥岩区域盖层与White Pointer群内部局部泥岩盖层。断层可沟通下伏Blue Whale群和White Pointer群煤系烃源岩,油气在断块圈闭中聚集成藏。

Tiger群成藏组合 烃源岩主要有下伏Blue Whale群海相泥岩、White Pointer群三角洲煤系烃源岩和Tiger群海相泥岩。Tiger群浅海相滩坝砂岩储层与Tiger群内部的泥岩形成自储自盖组合。断层可沟通下伏烃源岩和Tiger群海相泥岩,油气在断块圈闭中聚集。

Hammerhead群成藏组合 烃源岩有下伏Blue Whale群海相泥岩、White Pointer群三角洲煤系烃源岩和Tiger群海相泥岩。Hammerhead群三角洲前缘亚相砂岩储层与前三角洲泥岩形成自储自盖组合。断层可沟通下伏烃源,油气在背斜和断块圈闭中聚集成藏。Ceduna坳陷西部的Hammerhead群三角洲前缘相带(图1)是有利的勘探区带。

4 勘探潜力讨论

近年来大澳湾盆地的油气勘探受到国际大型能源公司的持续关注:据澳大利亚地球科学局发布的消息,BP公司在2011年获得Ceduna坳陷深水的四个勘探区块,勘探义务工作量为4口探井和 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 三维地震采集;雪佛龙公司2013年在Ceduna坳陷的深水区获得两个勘探区块,勘探义务工作量为4口探井和 $2.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ 三维地震采集;同年10月,桑托斯和墨菲石油公司联合在Ceduna坳陷深水区获得了一个勘探区块,勘探义务工作量为1口探井和 4600 km^2 三维地震采集。这从一个侧面反映出了Ceduna坳陷可能具有较大的勘探潜力。结合本次研究,盆地东部海域发育五套烃源岩、四套储盖组合,形成了四套成藏组合,研究区的勘探潜力值得我们进一步关注并寻找合作勘探的机会。

5 结语

大澳湾盆地为中生代裂谷—被动陆缘叠合盆地,经历了裂陷期、过渡期、漂移期三个演化阶段。按主要储层划分,盆地纵向上共发育四套成藏组合:下白垩统Bronze Whaler群、上白垩统White Pointer

群、Tiger群及Hammerhead群。Ceduna坳陷的Hammerhead群三角洲前缘区砂岩储层与前三三角洲泥岩形成自储自盖组合,断裂可沟通下伏烃源,是有利的勘探区带,值得进一步关注。

参考文献

- [1] 朱伟林,胡平,季洪泉,等. 澳大利亚含油气盆地[M]. 北京: 科学出版社,2013:52-57.
- [2] 范春花,蔡文杰. 澳大利亚南缘Otway盆地油气地质特征[J]. 特种油气藏,2013,20(3):56-59.
- [3] Totterdell J M, Bradshaw B E, Willcox J B. The Petroleum Geology of South Australia(vol.5): Great Australian Bight[M]. Australia: Geoscience Australia, 2005: 1-57.
- [4] Nicolas E. Interactions between continental breakup dynamics and large-scale delta system evolution: Insights from the Cretaceous Ceduna delta system, Bight Basin, Southern Australian margin [J]. Tectonics, 2009, 28(6): 10.
- [5] Totterdell J M, Blevin J E, Struckmeyer H I M. A new sequence framework for the Great Australian Bight: Starting with a clean slate[J]. APPEA Journal, 2000, 40(1): 95-117.
- [6] Totterdell J M. Mid - Late Cretaceous organic-rich rocks from the eastern Bight Basin: Implications for prospectivity[C]// PESA Eastern Australasian Basins Symposium III, 2008: 137-158.
- [7] Andrew A K. Seismic stratigraphy of a large Cretaceous shelf-margin delta complex, offshore southern Australia[J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(6): 935-963.

编辑:董庸

Exploration Potential in Eastern Sea Area of Great Australian Bight Basin, Australia

Yu Shengjie, Yang Songling, Xu Xiaoming, Zhou Haowei

Abstract: Great Australian Bight Basin is a superimposed basin, which evolved from J₂-K₁ rifting period, through K₁₋₂ transitional period to K₂-Q drifting period. Five sets of source rocks are distinguished in the eastern sea area of basin. These source rocks commonly are Cretaceous lacustrine mudstones, deltaic coal-measures and marine mudstones in lithology. It is shown that four sets of reservoir-cap assemblages and four associated plays develop also in the eastern sea area. The plays are Lower Cretaceous Bronze Whaler Group play and Upper Cretaceous White Pointer Group, Tiger Group and Hammerhead Group plays, in which the Upper Cretaceous Hammerhead play is regarded as the best potential zone for exploration in offshore Ceduna Depression because the Hammerhead delta front sandstone is identified as a good reservoir and the Hammerhead prodeltaic mudstone as a good source rock.

Key words: Cretaceous; Source rock; Play; Ceduna Depression; Great Australian Bight Basin; Australia

Yu Shengjie: MSc., Geology Engineer. Add: CNOOC Research Institute, 6 Taiyanggong Nan Jie, Beijing, 100028, China