

珠江口盆地重要不整合界面与珠江沉积体系演化分析^①

王永凤¹ 李冬² 王英民³ 徐强²

(1.石油化工管理干部学院 北京 100012;2.中海油研究总院 北京 100027;3.中国石油大学(北京) 北京 102249)

摘要 以珠江口盆地二维地震资料、钻井资料为基础,结合南海扩张演化历史,重点研究了盆地内部重要不整合面、盆地演化以及对珠江沉积体系演化的控制作用,旨在为南海北部珠江沉积体系深水油气勘探提供支持和参考。研究表明:珠江口盆地除基底外,发育三个重要的不整合面,即破裂不整合、陆坡跃迁不整合和陆坡坡度突变不整合;据此将珠江口盆地珠江沉积体系演化划分为四个阶段:裂陷期主要发育河流、湖泊相沉积;断陷陆坡期主要发育陆架边缘三角洲沉积(前积层较陡);拗陷缓陆坡期发育陆架边缘三角洲沉积(前积层较缓);拗陷陡陆坡期主要为三角洲—海底峡谷—海底扇沉积。断陷陆坡期与拗陷缓陆坡期陆架边缘三角洲的勘探,应沿陆架坡折横向去勘探;而拗陷陡陆坡期三角洲—海底峡谷—海底扇,应采取纵向勘探的思路,垂直于陆架坡折方向寻找油气。

关键词 珠江口盆地 不整合 沉积体系演化 陆架边缘三角洲

第一作者简介 王永凤 女 1983年生 博士 中级工程师 地震沉积学、层序地层学、深水油气勘探研究以及石油勘探开发培训 E-mail:wangyongf4@163.com

中图分类号 TE121.3 **文献标识码** A

0 引言

珠江口盆地是我国重要的油气生产基地,特别是2006年白云凹陷荔湾3-1深水大气田的发现,标志着我国已经成功由浅水油气勘探迈进了深水油气勘探领域^[1-9]。多年勘探表明白云深水区油气分布特征较为复杂,除了烃源条件和构造条件复杂等因素外,大型储集体的分布规律尚没有明确的认识,而这些储集体不仅制约着油气的勘探方向,还直接关系到深水油气勘探的成败^[6]。因此,对于作为珠江口盆地主要大型沉积体系——珠江沉积体系演化规律的研究显得格外重要。

本文从南海扩张历史以及珠江口盆地构造演化分析入手,重点探讨了南海扩张对珠江沉积体系演化的控制作用,旨在明确珠江沉积体系的演化历史与展布规律,指明南海深水区油气勘探方向。

1 区域地质概况

珠江口盆地位于南海北部陆架区,为南海北部最大的新生代盆地。依据裂陷期构造特征,可将珠江口盆地可划分为3个隆起、2个拗陷,共5个大型构造单元,以及多个次级构造单元,具体分布情况见图1。

珠江口盆地自开始形成至今,经历了裂陷期、拗陷期和新构造运动,共发生7次主要的构造运动,分别为神狐运动(65 Ma)、珠琼运动一幕(50 Ma)、珠琼运动二幕(35 Ma左右)、南海运动(30 Ma或32 Ma)、白云运动(23.8 Ma)、东沙运动(10.5 Ma)和台湾造山运动(5.5 Ma),并形成了一系列的区域不整合面,见图2。

2 南海扩张与重要不整合界面

珠江口盆地为发育于南海北部的被动大陆边缘盆地,其形成与南海扩张密不可分。与典型被动大陆边缘相比,南海经历了完整的洋中脊开闭旋回^[10-12],即自古新世65 Ma开始形成以来,经历了裂谷期、漂移期以及漂移后期。而世界上诸多被动大陆边缘仍处于漂移期,尚不发育漂移后期层序,故漂移后期层序是南海特有的沉积层序。可见,利用典型被动大陆边缘盆地中破裂不整合将珠江口盆地进行演化阶段的划分显然是不合理的。所以,在珠江口盆地内部寻找与洋中脊扩张作用相对应的重要不整合界面来合理划分珠江口盆地演化阶段,总结其沉积演化规律是非常必要的。

在珠江口盆地演化过程中经历了诸多构造运动(例如神狐运动、珠琼运动等),并形成了一系列的不

^①国家重点基础研究发展计划(973)“南海深水盆地油气资源形成与分布基础性研究”(编号:2009CB2194078)资助
收稿日期:2014-03-25;收修改稿日期:2014-06-10

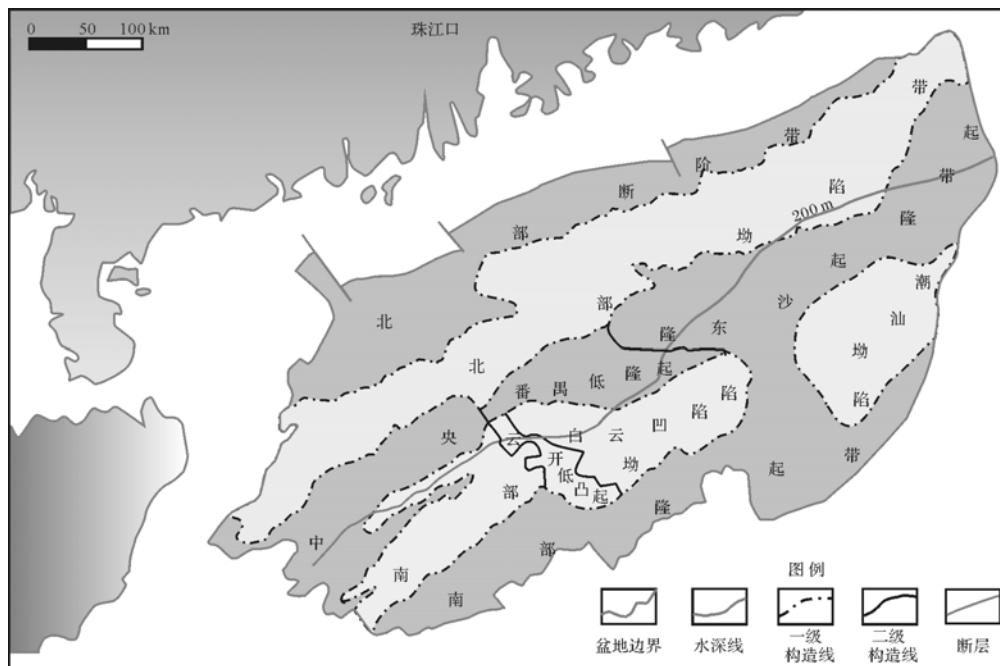


图1 珠江口盆地构造单元划分图^[9]

Fig.1 Tectonic unit compartmentalization of the Pearl River Mouth Basin

整合界面,这些构造运动与不整合界面对珠江口盆地的形成与演化起着重要的控制作用。通过本文的研究发现其中三个构造运动(T_g、T₇和T₆)以及一个不整合界面(SB13.8)对珠江口盆地演化与沉积具有重要的控制作用,即神狐运动代表着盆地进入裂陷期;南海运动代表着盆地裂陷期的结束,洋中脊的初次打开;白云运动对应着盆地深水区突然扩大;而SB13.8对应着盆地整体坡度变陡。进而根据该4个界面可将珠江口盆地演化划分为4个阶段。由于与神狐运动对应的不整合界面为基底反射,区域上特征明显,本文不作为重点,将其它三个不整合界面归类为珠江口盆地的重要不整合界面,将其特征分述如下文。

2.1 破裂不整合面(T₇)

关于破裂不整合的成因,Flavey^[14]认为洋中脊的打开,导致区域性的拉张应力在新产生的洋中脊处得以释放,加上洋中脊的侧向扩张力,造成了整体发生区域性的抬升。此次区域性抬升导致了裂谷区大范围遭受剥蚀,形成了地震反射特征明显的破裂不整合面。而对于珠江口盆地来说,T₇界面(32 Ma)为公认的破裂不整合面,为珠海组的底界面,在地震上表现为断拗转换面特征,全盆地可追踪对比,下削上超特征明显(图3)。根据Briais等^[15]研究的南海磁异常条带图也可看出,南海最古老的磁异常条带编号为

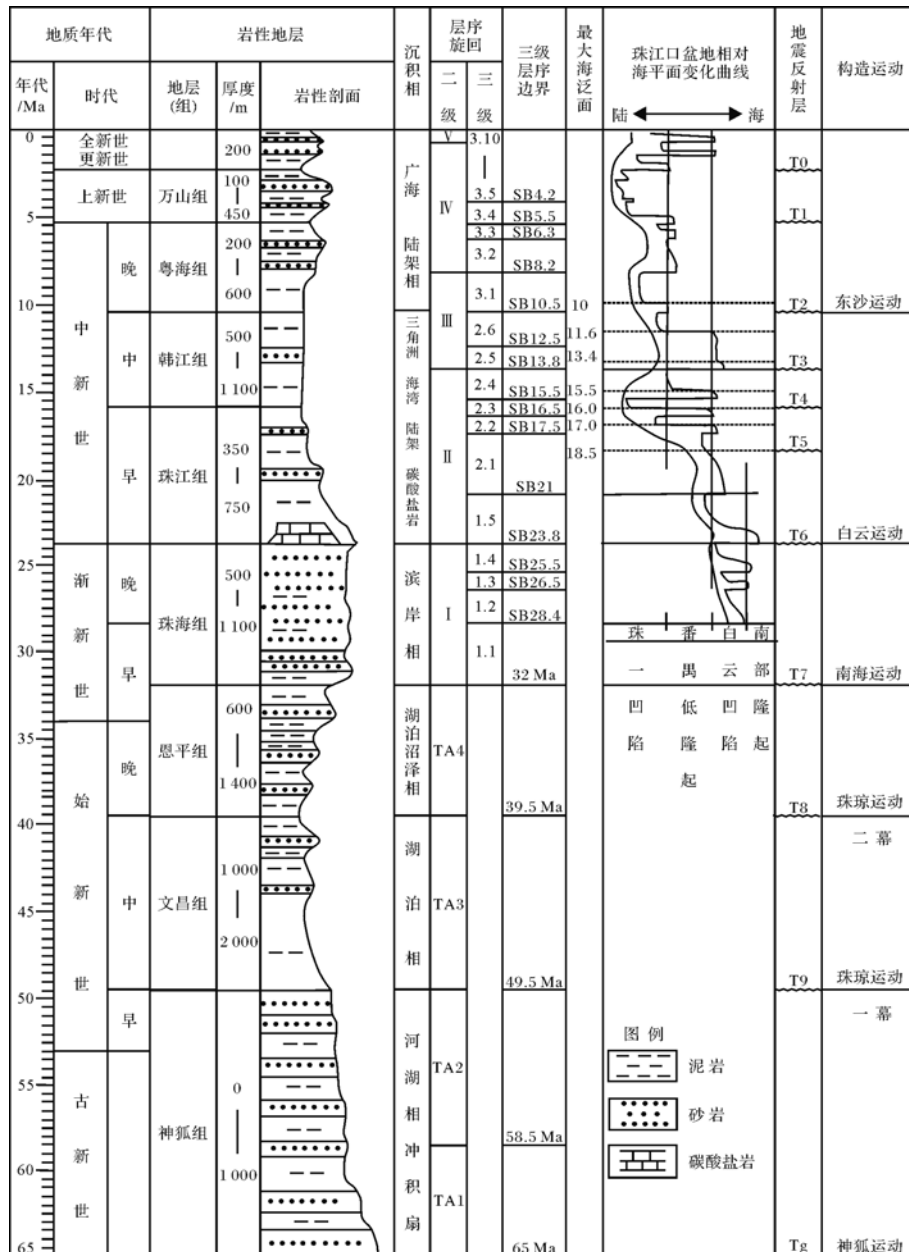
11(32 Ma),指示了南海在32 Ma洋中脊开始形成,区域性拉张应力消失,致使裂谷区发生区域性抬升而遭受剥蚀,形成区域性的破裂不整合面。随后伴随着南海进入漂移期,在破裂不整合面T₇之上沉积了拗陷期产物。

2.2 陆坡跃迁不整合(T₆或SB23.8)

渐新世末期发生的白云运动,导致了洋中脊的扩张位置向南发生跃迁^[16],新的大洋中脊在南部产生。此次洋中脊的二次打开造成了珠江口盆地再次发生区域性抬升,地层再次遭受剥蚀,形成SB23.8。在23.8 Ma南海洋中脊发生跃迁之后,南海进入了“剪刀式”扩张阶段,洋中脊由东向西逐渐扩展,“喇叭口”逐渐形成。而珠江口盆地陆架坡折带也由早期洋中脊附近向北发生大规模的跃迁,跃迁至白云凹陷北部。因此将SB23.8界面称之为陆坡跃迁不整合。

2.3 陆坡坡度突变不整合(SB13.8)

在早中新世末期(16.5 Ma),南海洋中脊停止扩张,区域挤压力消失。由于洋壳的密度大于陆壳,必将引起洋壳的下沉,故16.5 Ma之后南海北部整体向南发生掀斜,且陆坡坡度逐渐增加,直至13.8 Ma陆坡坡度突然增大,形成了SB13.8。在珠江口盆地,SB13.8界面较易识别,该界面之下的地层在地震反射剖面上多呈现连续性较好的地震反射特征,而位于SB13.8界面之上的地层,在坡折带之下一般表现为



图中“相对海平面变化曲线”一项中,虚线表示最大海泛面,实线表示层序界面和不整合面。

图2 珠江口盆地地层发育特征及相对海平面变化^[13]

Fig. 2 Characteristics of strata development and relative sea-level change in the Pearl River Mouth Basin

连续性差、杂乱反射、下切水道以及迁移性水道发育的特征(图3)。除此之外,SB13.8还是一个陆坡坡度突变的一个分界面;界面之下,陆坡的坡度较小;界面之上,陆坡的坡度较大。因此,将SB13.8命名为陆坡坡度突变不整合面。

3 珠江沉积体系演化与油气勘探方向

3.1 珠江沉积体系演化

以上述重要不整合界面为界,可将珠江口盆地演

化阶段划分为四个演化阶段,分别为裂陷期、断陷陆坡期、拗陷缓陆坡期和拗陷陡陆坡期。裂陷期主要发育河流、湖泊相沉积,为主要烃源岩发育期,不是勘探的重点层位。所以下面重点对后三个阶段进行阐述。
3.1.1 断陷陆坡—陆架边缘三角洲阶段(32~23.8 Ma)

南海(32 Ma)洋中脊开始扩张之后,标志着南海漂移期的开始。由于洋壳刚刚生成,陆架坡折位于新生洋壳附近,盆地整体表现为断陷窄陆坡、宽陆架

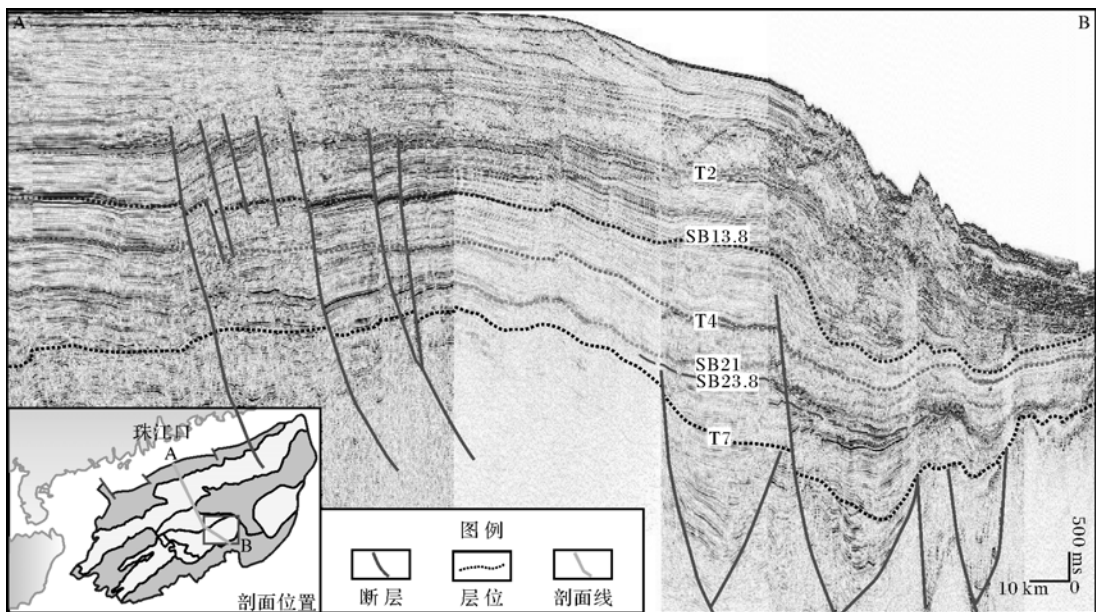


图 3 珠江口盆地主要不整合界面地震反射特征

Fig.3 Seismic reflection characteristics of the main unconformities in the Pearl River Mouth Basin

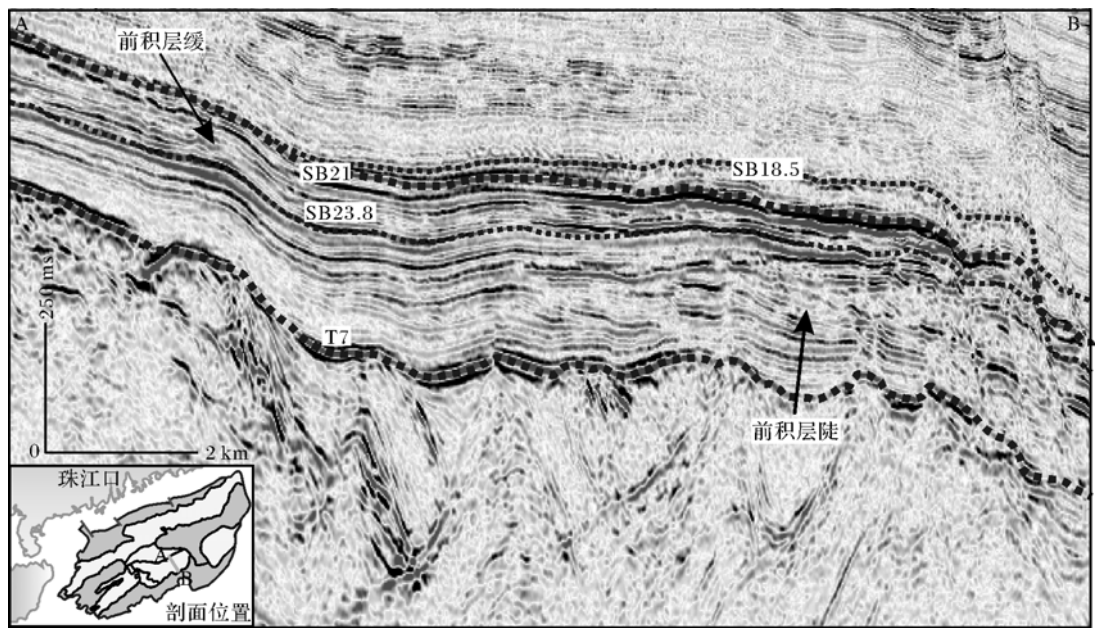


图 4 不同时期陆架边缘三角洲前积地震反射特征对比

Fig.4 Foreset seismic reflection characteristic comparison of different period shelf-margin deltas

的特征。此时,珠江沉积体系在珠江口盆地白云凹陷发育了珠海组陆架边缘三角洲沉积^[17-19](图 4)。该阶段发育的陆架边缘三角洲与典型陆架边缘三角洲相比,较为独特,是发育在陆架之上深凹陷内部、具高角度前积的大型三角洲(图 5)。三角洲前积层高差可达 500 m,标志着在广泛宽陆架背景之上,存在水深至少达 500 m 的深凹陷,并在深凹陷坡折带处形成

陆架边缘三角洲。此后,随着 23.8 Ma 南海洋中脊扩张轴向南跃迁,在白云运动的作用下,陆架坡折向北发生大规模的跃迁,标志着该阶段结束。

3.1.2 拗陷缓陆坡—陆架边缘三角洲阶段(23.8 ~ 13.8 Ma)

23.8 Ma 之后,陆架坡折跃迁到了白云凹陷北坡,与现今陆架坡折带位置基本一致,白云凹陷为陆

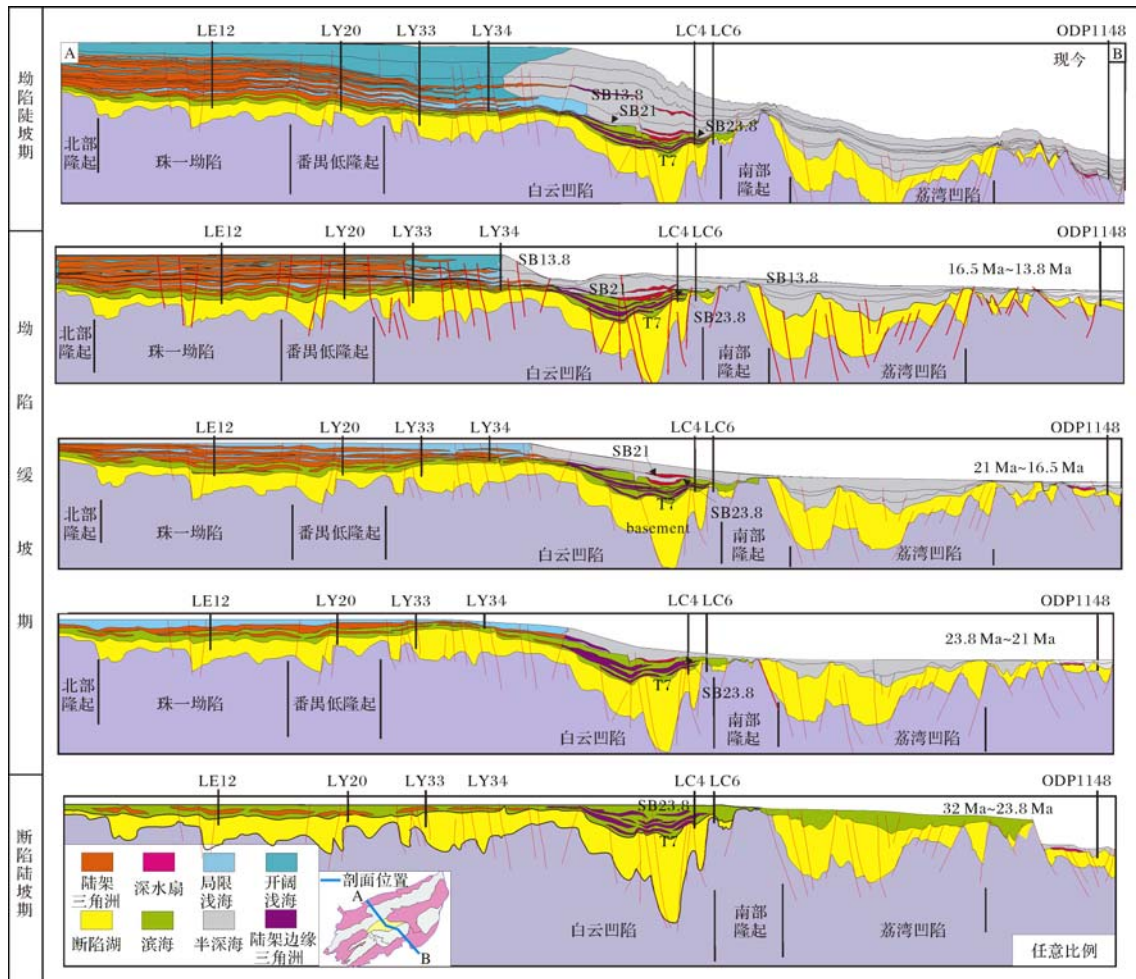


图5 珠江口盆地古地貌以及沉积演化^[20]

Fig.5 Paleogeomorphology and sedimentary evolution of the Pearl River Mouth Basin^[20]

坡深水环境。珠江口盆地整体上形成了宽陆架—宽缓陆坡的沉积背景,标志着珠江口盆地进入到了拗陷缓陆坡阶段。该阶段,珠江三角洲发育在陆架边缘,跨越陆架坡折发育,为典型的陆架边缘三角洲(图4,5)。

该时期的陆架边缘三角洲前积层高差有所减小(图4),但是前积层横向延伸距离增加,主要是由于陆坡较缓所致。

3.1.3 拗陷陡陆坡—三角洲—海底峡谷—海底扇阶段(13.8~现今)

从区域地震剖面上可以看出(图3),13.8Ma之后,深水区地震相特征发生突变:13.8Ma之前陆坡坡度较缓;13.8Ma之后,陆坡坡度变大,珠江口盆地进入到了拗陷陡陆坡演化阶段。在陡陆坡环境中,沉积物重力流流速较快,下切侵蚀能力强,容易形成峡谷,并在峡谷末端发育深水扇沉积,组成“峡谷—深水扇”体系(图5,6)。因此,13.8Ma之后,珠江口盆

地开始发育“峡谷—深水扇”体系,并在多种因素影响下,“峡谷—深水扇”体系发生侧向迁移。

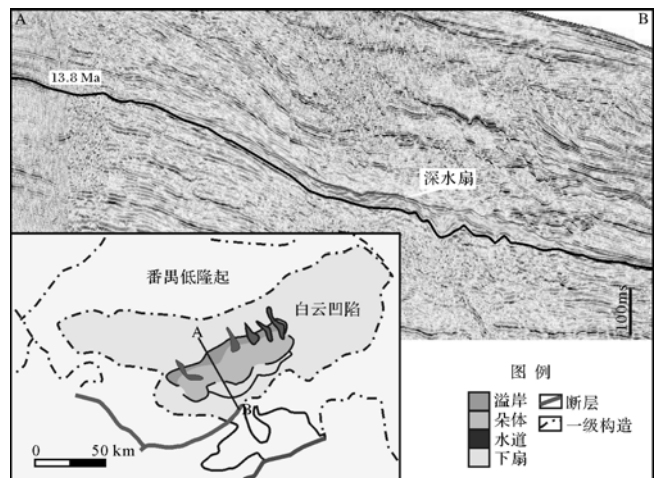


图6 SQ13.8深水扇地震反射特征

Fig.6 Seismic reflection characteristics of deepwater fans developed in SQ13.8

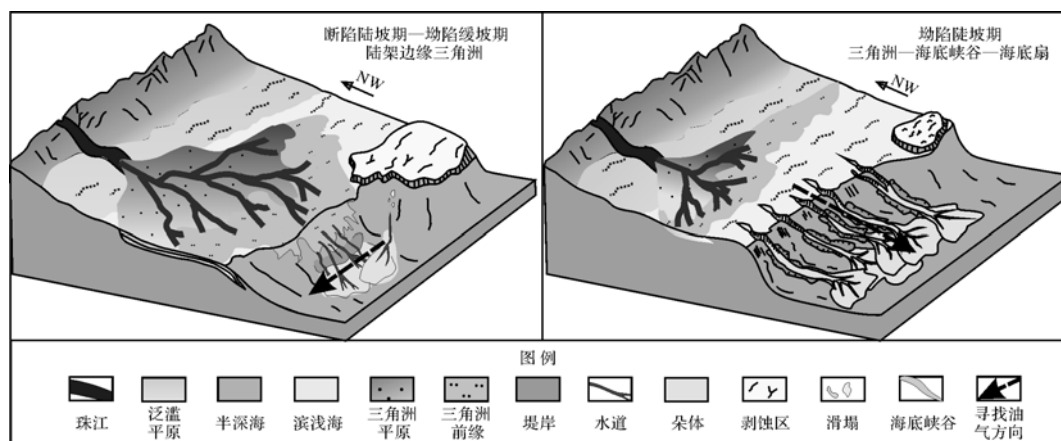


图7 珠江沉积体系深水油气勘探方向示意图

Fig.7 Diagram showing deep-water exploration direction of Pearl River sedimentary system

3.2 深水油气勘探方向探讨

深水油气勘探中, 烃源条件是基础, 大型储集体的发育时关键。珠江口白云凹陷是一个富烃凹陷, 为我国深水油气勘探事业提供了重要的保障。而由大型珠江水系供应而形成的碎屑岩沉积, 为珠江口盆地大型储集体的发育奠定了重要的基础。通过上述对珠江沉积体系的演化分析, 可以看出: 破裂不整合之后发育了大型的陆架边缘三角洲和海底峡谷—深水扇沉积, 这两个沉积体也是目前世界上深水碎屑岩勘探的重要目标。然而, 陆架边缘三角洲和海底峡谷—深水扇沉积展布模式不同, 必将导致两者勘探方向有所不同。

在缓陆坡阶段, 储层主要在陆架坡折带附近发育, 主要为陆架边缘三角洲砂体, 三角洲主体主要发育于陆架坡折带边缘, 并沿着坡折带走向附近发育。因此, 对陆架边缘三角洲的勘探应该沿着陆架坡折(或坡折带)的延伸方向, 即应采取横向寻找的思路; 在陡陆坡阶段, 储层主要发育在陆架坡折带的下方, 与陆架坡折之间往往有峡谷水道相沟通, 为典型的深水砂体沉积, 其主要垂直于陆架发育, 应采取纵向的勘探思路, 垂直于陆架坡折方向寻找油气(图7)。

4 结论

(1) 在珠江口盆地发育的众多不整合面之间, 除了基底以外, 发育了三个重要的不整合面, 这些重要的不整合面与南海扩张历史息息相关: 破裂不整合面(T7), 与南海中脊打开事件相对应; 陆坡跃迁不整合面(T6/SB23.8)是由于白云运动洋中脊向南跃迁而形成; 陆坡坡度突变不整合(SB13.8)响应于南海

扩张停止事件。

(2) 依据重要不整合面可将珠江口盆地演化划分为四个阶段: 裂陷期主要发育河流、湖泊相沉积; 断陷陆坡期, 主要发育陆架边缘三角洲沉积(前积层较陡); 拗陷缓陆坡期, 发育陆架边缘三角洲沉积(前积层较缓); 拗陷陡陆坡期, 主要表现为三角洲—海底峡谷—海底扇的组合。

(3) 针对不同阶段沉积体, 油气勘探方向有所不同: 断陷陆坡期与拗陷缓陆坡期陆架边缘三角洲的勘探, 应该沿着陆架坡折带横向去寻找; 而对于拗陷陡陆坡期三角洲—海底峡谷—海底扇, 应采取纵向的勘探思路, 即垂直于陆架坡折方向寻找油气。

参考文献 (References)

- 1 彭大钧, 陈长民, 庞雄, 等. 南海珠江口盆地深水扇系统的发现[J]. 石油学报, 2004, 25(5): 17-23. [Peng Dajun, Chen Changmin, Pang Xiong, et al. Discovery of deep-water fan system in South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 17-23.]
- 2 庞雄, 彭大钧, 陈长民, 等. 三级“源—渠—汇”耦合研究珠江深水扇系统[J]. 地质学报, 2006, 81(6): 857-864. [Pang Xiong, Peng Dajun, Chen Changmin, et al. Three hierarchies “Source-Conduit-Sink” coupling analysis of the Pearl River deep-water fan system [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 81(6): 857-864.]
- 3 张功成, 米立军, 吴时国, 等. 深水区—南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. 石油学报, 2007, 28(2): 15-21. [Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, et al. Deepwater area—the new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(2): 15-21.]
- 4 朱伟林, 张功成, 高乐. 南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向[J]. 石油学报, 2008, 29(1): 1-9. [Zhu Weilin, Zhang Gongcheng, Gao Le. Geological characteristics and exploration objectives of hydrocarbons in the northern continental margin basin of South

- China Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(1): 1-9.]
- 5 朱伟林. 南海北部深水油气勘探关键地质问题[J]. *地质学报*, 2009, 83(8): 1059-1064. [Zhu Weilin. Some key geological issues on oil and gas exploration in the northern deepwater area of the South China Sea[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(8): 1059-1064.]
 - 6 施和生, 柳保军, 颜承志, 等. 珠江口盆地白云—荔湾深水油气成藏条件与勘探潜力[J]. *中国海上油气*, 2010, 22(6): 369-374. [Shi Hesheng, Liu Baojun, Yan Chengzhi, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potential in Baiyun-Liwan deepwater area, Pearl River Mouth Basin[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2010, 22(6): 369-374.]
 - 7 朱伟林, 钟锴, 李友川, 等. 南海北部深水油气成藏与勘探[J]. *科学通报*, 2012, 57(20): 1833-1841. [Zhu Weilin, Zhong Kai, Li Youchuan, et al. Characteristics of hydrocarbon accumulation and exploration potential of the northern South China Sea deepwater basins[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(20): 1833-1841.]
 - 8 庞雄. 深水重力流沉积的层序地层结构与控制因素—南海北部白云深水重力流沉积层序地层学研究思路[J]. *中国海上油气*, 2012, 24(2): 1-8. [Pang Xiong. Sequence stratigraphic configuration of deepwater gravity-flow sediments and its controls: a line of thinking in sequence stratigraphy of gravity-flow sediments in Baiyun deepwater area, the northern South China Sea[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2012, 24(2): 1-8.]
 - 9 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统及油气[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 204. [Pang Xiong, Chen Changmin, Peng Dajun, et al. The Pearl River Deep-water Fan System & Petroleum in South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 2007: 204.]
 - 10 栾锡武, 张亮. 南海构造演化模式: 综合作用下的被动扩张[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2009, 29(6): 59-74. [Luan Xiwu, Zhang Liang. Tectonic evolution modes of South China Sea: passive spreading under complex actions[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29(6): 59-74.]
 - 11 姚伯初. 南海海盆新生代的构造演化史[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1996, 16(2): 1-13. [Yao Bochu. Tectonic evolution of the South China Sea in Cenozoic[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, 16(2): 1-13.]
 - 12 刘昭蜀, 赵岩, 李希宗, 等. 珠江口盆地的扩张旋回及其与含油气性的关系[J]. *热带海洋学报*, 1995, 14(3): 8-15. [Liu Zhaoshu, Zhao Yan, Li Xizong, et al. Spreading cycle and relation to the hydrocarbon potential of Zhujiang River Mouth Basin[J]. *Tropic Oceanology*, 1995, 14(3): 8-15.]
 - 13 赵中贤, 周蒂, 廖杰. 珠江口盆地第三纪古地理及沉积演化[J]. *热带海洋学报*, 2009, 28(6): 52-60. [Zhao Zhongxian, Zhou Di, Liao Jie. Tertiary paleogeography and depositional evolution in the Pearl River Mouth Basin of the northern South China Sea[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2009, 28(6): 52-60.]
 - 14 Flavey D S. The development of continental margins in plate tectonic theory[J]. *Australian Petroleum Exploration Associate Journal*, 1974, 14(1): 95-86.
 - 15 Briaix A, Patriat P, Tapponier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and sea floor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1993, 98(B4): 6299-6328.
 - 16 庞雄, 陈长民, 邵磊, 等. 白云运动: 南海北部渐新统一中新统重大地质事件及其意义[J]. *地质论评*, 2007, 53(2): 145-151. [Pang Xiong, Chen Changmin, Shao Lei, et al. Baiyun movement: a great tectonic event on the Oligocene-Miocene boundary in the northern South China Sea and its implications[J]. *Geological Review*, 2007, 53(2): 145-151.]
 - 17 吴景富, 徐强, 祝彦贺, 等. 南海白云凹陷深水渐新世—中新世陆架边缘三角洲形成及演化[J]. *地球科学*, 2010, 35(4): 681-690. [Wu Jingfu, Xu Qiang, Zhu Yanhe, et al. Generation and evolution of the shelf-edge delta in Oligocene and Miocene of Baiyun sag in the South China Sea[J]. *Earth Science*, 2010, 35(4): 681-690.]
 - 18 徐强, 王英民, 王丹, 等. 南海白云凹陷深水渐新世—中新世断阶陆架坡折沉积过程响应[J]. *沉积学报*, 2010, 28(5): 906-916. [Xu Qiang, Wang Yingmin, Wang Dang, et al. Sedimentary responses of retreating shelf break from Oligocene to Miocene, in deep water area of Baiyun depression, South China Sea[J]. *Acta sedimentologica Sinica*, 2010, 28(5): 906-916.]
 - 19 王永凤, 王英民, 李冬, 等. 陆架边缘三角洲沉积特征研究及其油气意义[J]. *海洋地质前沿*, 2011, 27(7): 28-33. [Wang Yongfeng, Wang Yingmin, Li Dong, et al. Depositional characteristics of shelf-margin deltas and their petroleum significance[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2011, 27(7): 28-33.]
 - 20 王永凤, 王英民, 李冬, 等. 珠江口盆地储层特征[J]. *石油地球物理勘探*, 2011, 46(6): 952-960. [Wang Yongfeng, Wang Yingmin, Li Dong, et al. Characteristics of reservoirs in the Pearl River Mouth Basin[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2011, 46(6): 952-960.]

Major Unconformities and Sedimentary System Evolution in Pearl River Mouth Basin

WANG YongFeng¹ LI Dong² Wang YingMin³ Xu Qiang²

(1. Sinopec Management Institute, Beijing 100012; 2. CNOOC Research Institute, Beijing 100027;
3. China University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract: Combined with the South China Sea spreading history, based on regional 2D seismic and drilling data, the paper focuses on the research of major unconformities, evolution of the Pearl River Mouth Basin and its controlling effect on the evolution of the Pearl River sedimentary system, aiming to provide support for the deep-water hydrocarbon exploration in the basin. Results show that: besides the basement, three major unconformity surfaces are recognized in the basin, i.e. breakup unconformity, slope-migrating unconformity and slope-gradient-jumped unconformity; according to the above three unconformities, the evolution of the Pearl River sedimentary system can be divided into four stages: rifting stage mainly develops depositional system of fluvial, lacustrine; fault-slope stage mainly develops shelf-margin delta (steep foreset); gentle-slope depression stage also develops shelf-margin delta (gentle foreset); steep-slope depression stage mainly develops delta-submarine canyon-submarine fan; the exploration of shelf-margin delta developed in faulted-slope stage and gentle-slope depression stage should focus along the shelf break; the exploration for delta-submarine canyon-submarine fan in steep-slope depression stage should adopt vertical exploration ideas, that is, searching for oil and gas perpendicular to the strike of the shelf break.

Key words: Pearl River Mouth Basin; unconformity; sedimentary system evolution; the shelf-margin delta