

琼东南盆地新近系坡折带特征及其对沉积体系的控制

田姗姗¹, 苏明¹, 何云龙¹, 柳永军²

1. 中国地质大学(武汉)资源学院海洋系, 武汉 430074
2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司勘探开发研究院, 天津 300452

摘要 坡折带是层序划分样式的重要依据。大量地震剖面的精细解剖表明, 琼东南盆地新近系的坡折带可以分为构造坡折带和沉积坡折带, 构造坡折带进一步分为断裂坡折带和挠曲坡折带。不同的坡折带类型控制的储层沉积特征是不同的: 构造坡折带的下倾方向一般发育一系列高成熟度、较高孔隙度的斜坡扇和盆底扇, 是研究区较好的储集体; 缓坡的沉积坡折带控制了斜坡扇裙和盆底扇的发育, 陡坡的沉积坡折带控制了滑塌体的发育, 沿陆坡向海方向形成了滑块、滑塌-泥石流、碎屑流-浊流的重力流演化序列。坡折带不但控制了储层的发育, 而且控制形成有利的输导系统发育, 坡折带及其控制的低位域砂体发育带是有利的勘探区带。

关键词 坡折带; 沉积体系; 储层; 琼东南盆地

中图分类号 TE122.1

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)10-0073-06

Patterns of Neogene Slope-break Zones and the Depositional System Under Their Control in Qiongdongnan Basin

TIAN Shanshan¹, SU Ming¹, HE Yunlong¹, LIU Yongjun²

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Institute of Exploration & Development Research, CNOOC Ltd.-Tianjin, Tianjin 300452, China

Abstract The slope-break is thought to be an important indicator to distinguish the patterns of sequences. Based on a comprehensive explanation of a large number of seismic sections in the Qiongdongnan basin, the neogene slope-break can be classified into two types: structural and sedimentary slope-break zones. The structural slope-break zones can be divided further into two patterns, the fracture slope break pattern and the flexure slope break pattern. Different patterns of slope-break are related with different reservoir sedimentary models. Structural slope-break zones, which are produced by the long-term activities of syndepositional faults, have always been an important factor in the depositional sequence development and the deposition process. Along the down dip direction of structural slope-break zones, a series of basin floor fan and slope fan are usually formed, which are characterized by high maturation and relatively high porosity. Gentle sedimentary slope-break controls the development of slope fan skirt and basin floor fan. Steep sedimentary slope-break controls the growth of slip block, to form the gravity flow evolutionary series from slider, slip-debris flow to debris flow-turbidity current along the slope in sea directions. Slope-break zones not only control the development of the reservoir, but also control the formation of the favorable conducting system, and the slope-break zones and low stand sand stones under their control are the favorable exploration zones.

Keywords slope-break zones; sedimentary system; reservoir; Qiongdongnan basin

0 引言

坡折带是指地形坡度发生突变的地带。在以被动大陆边缘为背景的沉积盆地中, 根据坡折带的特点, 将具有 I 型层序边界的层序分为具有陆架坡折、生长断层坡折的层序和无坡

折的缓坡层序。在陆相湖盆中, 存在与海相盆地陆架坡折相似的坡折带。伸展盆地中发育的同沉积断裂和断层转换带的作用等同于被动大陆边缘的陆架坡折。中国学者最早研究的是发育于陆相断陷盆地控盆断裂一侧的断裂坡折带^[1-6]。坡

收稿日期: 2010-03-08

作者简介: 田姗姗, 硕士研究生, 研究方向为沉积学与层序地层学, 电子信箱: tianshanshan-15@163.com

折带是构造活动的敏感地带、也是沉积物的主要卸载区,对沉积体系的发育和砂体分布起重要控制作用^[7-10]。本文在前人研究的基础上,重点研究了琼东南盆地新近系不同类型坡折带的演化规律及对储层沉积的控制作用,目的是指导确定有利的勘探区带。

1 地质概况

琼东南盆地位于海南岛与西沙群岛之间的海域,西与莺歌海盆地为邻,东北以神狐隆起与珠江口盆地珠三凹陷相接,北为海南隆起,南接永乐隆起,总体呈北东向延伸,海域面积约 $6.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地面积约 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,是一个在前第三系基底上发育起来的新生代陆缘张性含油气盆地(图 1)^[11]。

盆地内部主要发育有北北东(NNE)、北东(NE)、近东西

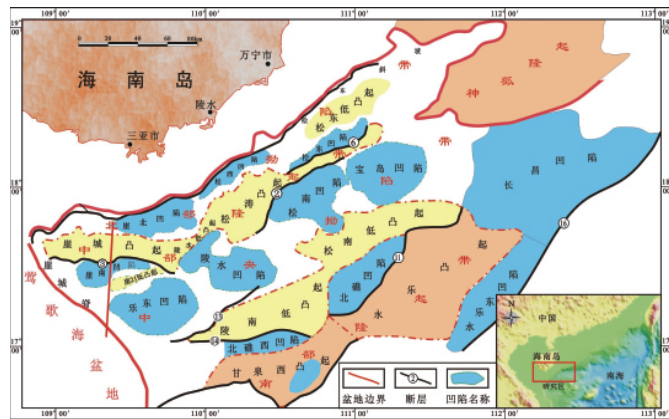


图 1 琼东南盆地区域位置及构造区划图

Fig. 1 Regional location and tectonic division of the Qiongdongnan (QDN) basin

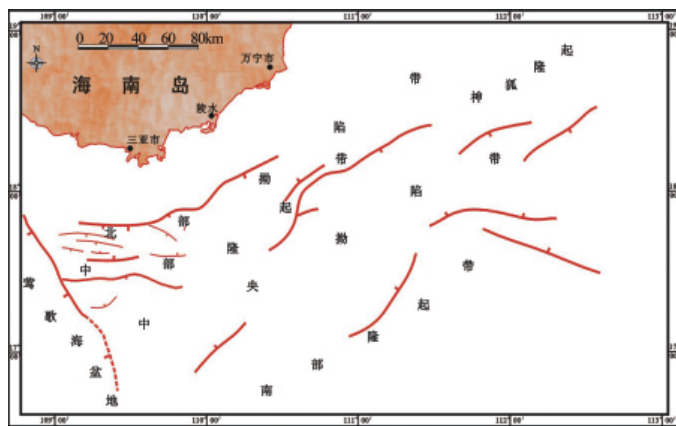
(EW)、北西—北西西(NW—NWW)向 4 组断裂。断裂系统的空间展布具有一定规律性,自西向东表现为由以近 EW 向为主转变为以 NE 向为主。琼东南盆地基底由前古近系的火成岩、变质岩及沉积岩组成,底界的绝对年龄约 65Ma;盆地充填序列主要为新生代地层,最大沉积厚度达 12km^[12-15]。结合区域地质背景及地震资料,以三亚组底界面 S60、黄流组底界面 S40 为界将盆地新近系充填划分为上、中、下 3 套构造层。下构造层是早期裂陷作用形成的半地堑充填的产物,中构造层是盆地演化热沉降期充填的产物,上构造层是盆地演化加速沉降期充填产物,其中,中、上构造层的沉积充填为新近系的地层。本次研究的对象主要为新近系的三亚组、梅山组、黄流组和莺歌海组。

2 坡折带类型及其特征

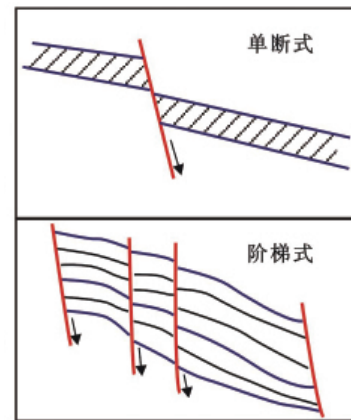
根据成因机制,坡折带可分为构造坡折带和沉积坡折带。

2.1 构造坡折带

构造坡折带是指由于断裂和挠曲作用等同沉积构造长期活动引起的地形坡度发生明显突变的地带。根据构造作用的不同,构造坡折带可分为断裂坡折带和挠曲坡折带。断裂坡折带是同生断裂活动形成的地形突变地带,挠曲坡折带则是盆地中央和边缘差异沉降而引起地形坡度突变的地带。在新近系,琼东南盆地进入裂后沉降期,以 S40 为界分为热沉降期和加速沉降期;在热沉降阶段,盆地内的部分断裂表现出一定的活动性,主要为近 EW 向和 NE 向的正断层,控制了不同层段的初始沉积坡度变化(图 2(a))。在盆地演化过程中,三亚组和梅山组的低位体系域的形成主要受控于构造坡折带。根据断层的展布,断裂坡折带可以分为单断式和阶梯式(图 2(b))。



(a) 三亚组沉积期活动的主要断层
(a) Main active faults in the Sanya formation



(b) 盆地内断裂坡折带的类型
(b) Types of fracture slope break zones in the basin

图 2 琼东南盆地三亚组活动的主要断层及断裂坡折带类型

Fig. 2 Main active faults and the types of fracture slope break zones in the Sanya formation in the QDN basin

2.2 沉积坡折带

沉积坡折带是不同地区沉积速率差异造成地形坡度突变而形成的。Wagoner 等^[16]提出的 I 类层序,即所谓陆架陆坡型层序中发育的陆架坡折就属于沉积坡折,陆架坡折的形成主要受控于全球海平面升降变化。琼东南盆地,从黄流组开始发育典型的陆架坡折,并且由于海平面上升和充足的物源供给,陆架坡折不断向海推进。

3 坡折带对沉积体系的控制

碎屑物质在搬运过程中被卸载的原因主要是动能减小,可容纳空间增大。盆地中坡折带是可容纳空间突然增加的部位;经过坡折带,地形坡度明显变小,因此坡折带是碎屑物质富集的主要场所。

3.1 构造坡折带对沉积的控制

构造坡折带制约着盆地充填的可容纳空间,控制着低位

体系域的发育部位(如盆底扇和斜坡扇等)。琼东南盆地低水位期沉积物发育主要发育在具有构造坡折带的部位:低位期;坡折带之上为暴露剥蚀、下切水道和冲积-滨岸平原沉积;坡折之下为低位三角洲和低位扇沉积(图 3),同沉积的断层活动和基底隆起形成了断裂坡折和挠曲坡折,断层之下可容纳空间突然增大,沉积物在此卸载,形成了低位三角洲,之后三角洲沉积被再次搬运,经过 B 点,由于地形坡度由陡变缓,沉积物动能减小,在坡脚处卸载形成了盆底扇。

阶梯式断裂坡折带对沉积的控制作用也很明显(图 4),近于平行排列的两条正断层控制了二阶坡折带的形成;一阶坡折带角度较大,物源供应充足,为沉积物体积分配提供良好的卸载和保存场所,形成了斜坡扇,在地震反射上呈丘状,具有典型的双向下超结构;二阶坡折带角度变缓,物源供应不足,在坡折带之下形成了薄层的盆底扇,在地震反射上振幅也较斜坡扇弱。

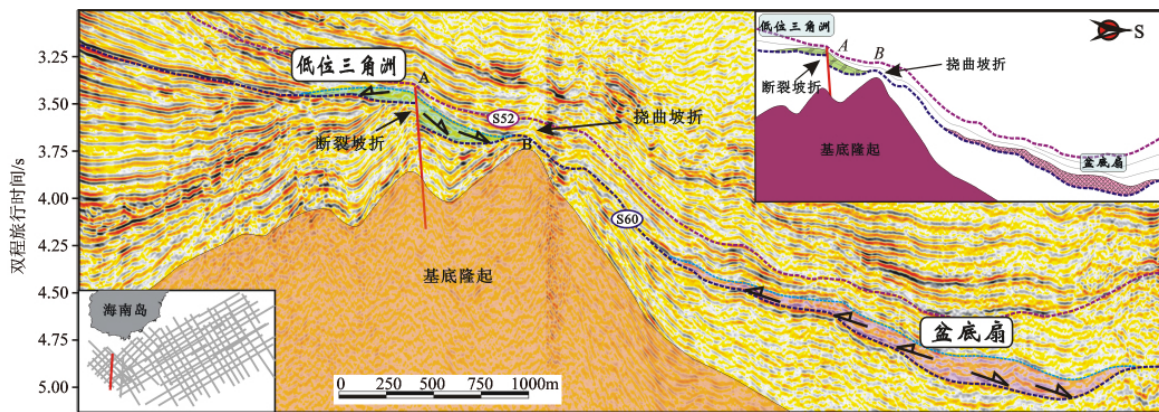


图 3 琼东南盆地三亚组二段断裂坡折带和挠曲坡折带对沉积体系的控制

Fig. 3 Fracture and flexure slope break zones and the sedimentary system under their control in the second section of the Sanya formation in the QDN basin

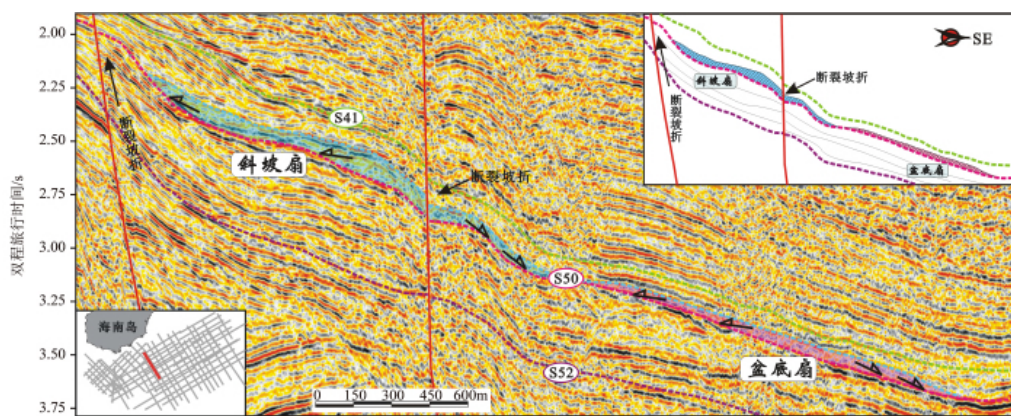


图 4 琼东南盆地梅山组二段阶梯式坡折带对沉积体系的控制

Fig. 4 Stair-like slope break and the sedimentary system under its control in the second section of the Meishan formation in the QDN basin

3.2 沉积坡折带对沉积的控制

在构造活动强烈的盆地中,构造坡折带往往控制了沉积坡折带的发育,使二者重合。只有在构造坡折带不发育的情

况下,沉积坡折带才会显著地表现出来。

琼东南盆地梅山组沉积后发生了区域性大海退,之前沉积的梅山组一段地层遭受强烈剥蚀,形成了 S40 区域性不整

合界面,同时也为黄流组二段沉积提供了物源。随后,盆地自黄流组开始进入裂后快速沉降阶段,除崖城区以外,盆地大部分地区出现了明显的陆架坡折。陆架坡折控制了低位期沉积体的展布。

黄流组二段低位期沉积主要沿陆架坡折分布,斜坡扇和盆底扇较发育。陵水和宝岛凹陷发育的斜坡扇规模最大,呈朵状,在松南凹陷发育一个长条形的斜坡扇,斜坡扇主要受上陆坡坡折点的控制。图5中AA'剖面在坡折之下发育斜坡扇,地震上可见双向下超的反射结构,振幅强,反射较连续,可明显分为3个期次:在沉积开始初期,向前推进较远,形成了第一期斜坡扇;后在其上覆盖了第二期次;之后由于海平面上

升,沉积物向岸退积,第三期斜坡扇沉积。在与AA'剖面垂直的CC'剖面上,可见下切水道的发育,并具有明显的期次和垂向及侧向迁移。BB'剖面的斜坡扇厚度小,地震反射的振幅较弱,主要原因是物源供给不充足。由此可见,黄流组发育的低位期沉积物源主要来自海南隆起区,远离物源区,形成的扇体规模较小且厚度薄。图5(d)是沉积坡折带(陆架坡折)控砂模式图,在上坡折点(A点)由于坡度突然变大,可容纳空间增大,沉积物在此卸载,在斜坡上形成斜坡扇;在下坡折点(B点)坡度由陡变缓,沉积水动力减弱,在坡脚处形成盆底扇,形成盆底扇有2种情况,一是在斜坡上没有卸载的沉积物在此沉积,二是形成的斜坡扇被再次搬运到坡脚形成盆底扇。

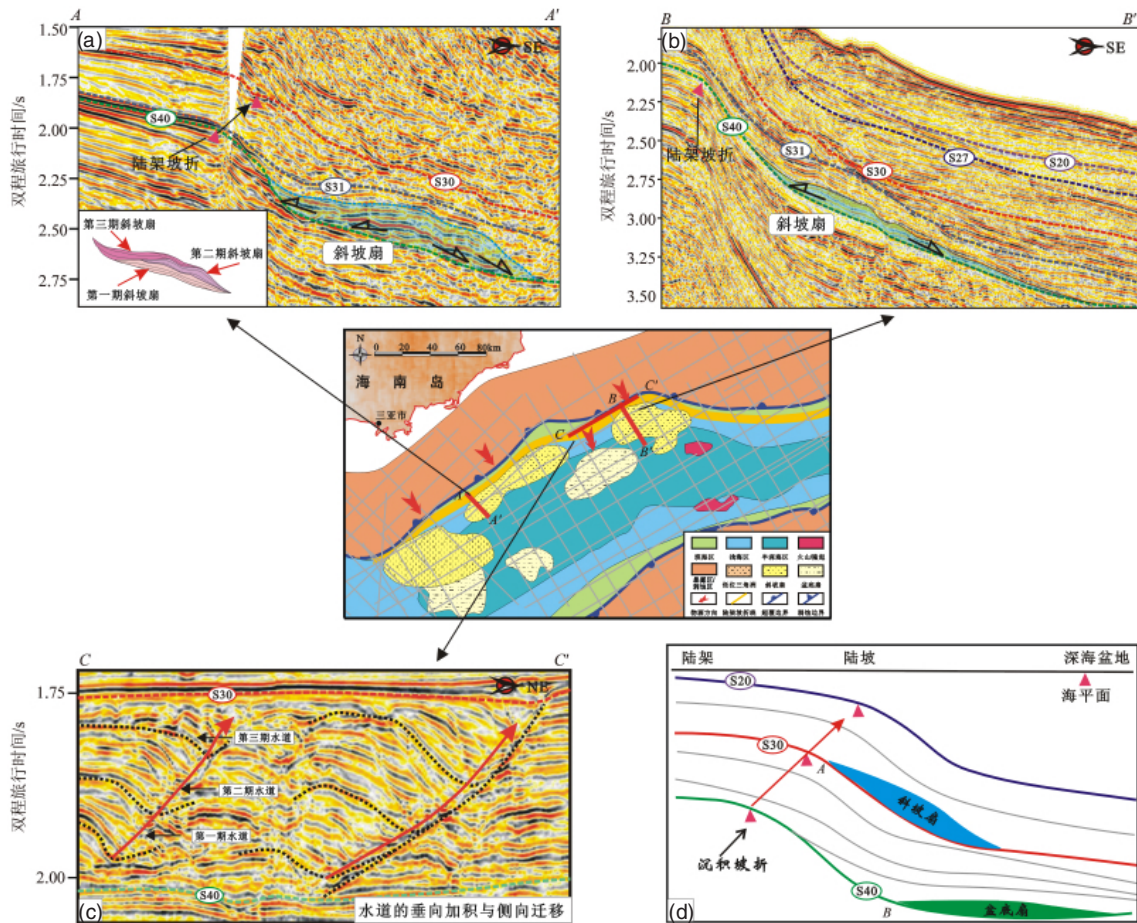


图5 琼东南盆地黄流组二段低位砂体分布图及特征剖面解剖

Fig. 5 Distribution of lowstand sandstone and the meticulous depiction of characteristic section in the second section of the Huangliu formation in the QDN basin

3.3 坡折带控制的储层沉积特征

1) 构造坡折带控制的储层沉积特征。琼东南盆地的构造坡折带主要发育在滨浅海环境下的三亚组和梅山组,重力流沉积只可能发育在构造坡折发育区,通常发育于构造坡折带的下倾方向。在低位体系域时期,由于挠曲坡折的存在,导致盆地中央形成一系列斜坡扇和盆底扇,地震反射结构一般呈变振幅下超、楔形、丘型或透镜状,下超在层序的底界面上(图3)。通过地震剖面识别出来的斜坡扇和盆底扇沉积主要

是三角洲前缘远端、风暴浪、远滨砂坝和浊流沉积,其中浊流沉积呈朵状或席状分布于盆底扇中,岩性一般为块状细砂岩-粉砂岩,也有的是泥质粉砂岩或泥岩。由于二次搬运沉积,且搬运距离较长,单个的细粒浊积体分选好,结构成熟度和成分成熟度高,孔隙度也较高,是较好的储集体。

2) 沉积坡折带控制的储层沉积特征。研究区的沉积坡折带主要发育于黄流组和莺歌海组,该时期形成的陆架坡折即为典型的沉积坡折。盆地在该时期进入裂后快速沉降阶段,

水深快速增大, 先存断裂活动形成初始陆坡体系, 东部自 10.5Ma 开始发育陆坡体系, 并不断向西迁移, 到莺歌海组延至莺歌海盆地形成统一陆坡体系。缓坡的沉积坡折带沉积物以进积形式不断向海推进, 重力流沉积没有相对固定的浊积水道, 而是在下陆坡形成以朵状或薄层浊流组合为主的斜坡扇裙或盆底扇; 陡坡的沉积坡折带主要发育重力流沉积, 在上陆坡区域形成的沉积体以滑块或滑塌体为主, 在下陆坡区域形成的斜坡扇以杂乱反射的滑塌沉积和近平行反射的碎屑颗粒流互层为主, 而在下陆坡底部和深海平原形成的盆底扇则以浊流沉积为主, 沿陆坡向海方向形成了滑块、滑塌-泥石流、碎屑流-浊流的重力流演化序列。

4 坡折带的演化及其油气地质意义

琼东南盆地具有典型的“下断上凹”的双层结构, 在早中新世盆地进入了典型的裂后拗陷期, 盆地沉降较缓慢, 该时期 (S60~S40) 断层活动性减弱但仍控制着原始沉积地形, 形成断裂或挠曲坡折带。之后 (S40~S20) 断层活动停止, 但地形上仍然存在坡度变化带, 由于区域海平面上升和物源供给充足, 形成了典型的陆架陆坡体系。

琼东南盆地的坡折带演化是盆地构造演化的响应: 前期由于断裂活动或者基底的隆起形成构造坡折带, 其下发育低位域沉积; 后期断层停止活动, 在其上发育沉积坡折带, 并且由于沉积坡折坡度的不同, 控制了不同的沉积类型^[17] (图 6)。缓坡的沉积坡折带沉积物以进积的形式不断向海推进, 陡坡坡折处发育滑脱面或者滑塌断层, 形成滑塌体。

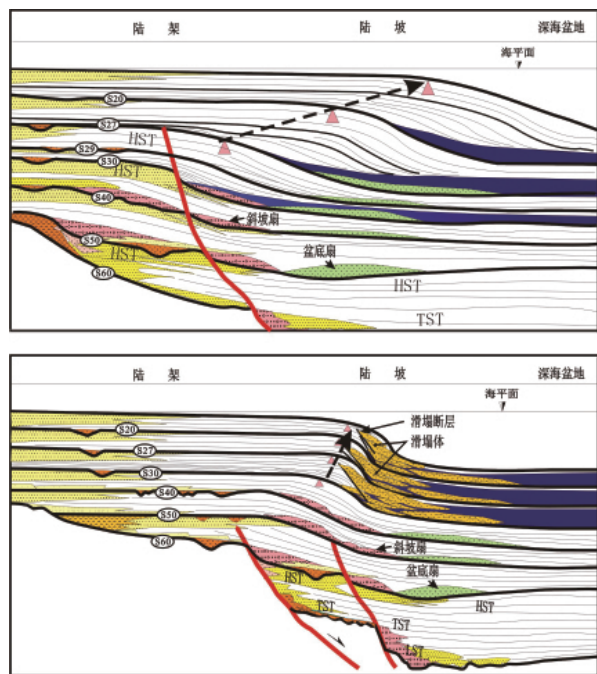


图 6 琼东南盆地坡折带演化模式
Fig. 6 Evolution model of slope break zones in the QDN basin

坡折带的发育和演化具有重要的油气地质意义。构造坡折带是极其重要的油气圈闭形成的有利部位。构造坡折带之下不但发育了较厚的低位域砂体, 而且也是海侵域和高位域早期优质烃源岩发育的主要部位, 一旦确定控制砂体的构造坡折带, 沿坡折带走向的碎屑体系供给部位可能会找到加厚的砂岩体; 构造坡折带内的同沉积断裂是重要的油气通道, 使得位于坡折断裂两侧的砂体与油源层沟通; 断裂的生长系数大, 容易造成侧向岩性封堵, 形成有利的断层封闭。后期断层停止活动, 在构造坡折带上发育沉积坡折带, 受沉积坡折带控制形成的一系列的低位扇体和滑塌体可以作为良好的油气储层。

5 结论

1) 琼东南盆地坡折带演化是盆地构造演化的响应。前期由于断裂活动形成构造坡折带, 其下发育低位域沉积; 后期断层停止活动, 在其上发育沉积坡折带。构造坡折带可分为断裂和挠曲坡折带, 发育的主要层段是三亚组和梅山组; 黄流组之后盆地开始发育典型的陆架陆坡体系, 即沉积坡折带。

2) 不同的坡折带类型控制的储层沉积特征不同。构造坡折带的下倾方向一般发育一系列斜坡扇和盆底扇, 这些扇体结构成熟度和成分成熟度高、孔隙度较高, 应是研究区较好的储集体。缓坡的沉积坡折带控制了盆底扇和斜坡扇的发育, 并且由于物源供给充足, 不断向海推进; 陡坡的沉积坡折带控制了滑塌体的发育, 沿陆坡向海方向形成了滑块、滑塌-泥石流、碎屑流-浊流的重力流演化序列。

3) 坡折带是极其重要的油气圈闭形成的有利部位。构造坡折带往往是砂岩厚度和砂岩层数的加厚带, 坡折带内的同沉积断裂是重要的油气通道, 由于这些断裂的生长系数大, 容易造成侧向岩性封堵, 形成有利的断层封闭; 而在陆架坡折背景下发育的低位扇体及滑塌体也可以作为良好的储集体。

参考文献 (References)

- [1] Vail P R, Audemard F, Bowman S A, et al. The stratigraphic signature to tectonics, eustasy and sedimentation: An overview [C]//Cycles and Events in Stratigraphy. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1991: 615-659.
- [2] 林畅松, 潘元林, 肖建新. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念 [J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-265.
Lin Changsong, Pan Yuanlin, Xiao Jianxin. Earth Science - Journal of China University of Geosciences, 2000, 25(3): 260-265.
- [3] 谢玉洪, 王振峰, 解习农, 等. 莺歌海盆地坡折带特征及其对沉积体系的控制 [J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2004, 29(5): 569-574.
Xie Yuhong, Wang Zhenfeng, Xie Xinong, et al. Earth Science - Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 569-574.
- [4] 赵忠新, 王华, 陆永潮. 断坡带对沉积体系的控制作用——以琼东南盆地为例 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(1): 25-27.
Zhao Zhongxin, Wang Hua, Lu Yongchao. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 25-27.
- [5] 冯有良, 徐秀生. 同沉积构造坡折带对岩性油气藏富集带的控制作用——以渤海湾盆地古近系为例 [J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(1): 22-25.

- Feng Youliang, Xu Xiusheng. *Petroleum Exploration and Development*, 2006, 33(1): 22-25.
- [6] 徐长贵. 渤海古近系坡折带成因类型及其对沉积体系的控制作用[J]. 中国海上油气, 2006, 18(6): 365-370.
Xu Changgui. *China Offshore Oil and Gas*, 2006, 18(6): 365-370.
- [7] 邱以钢, 刘景彦. 沾化凹陷渤南深层湖底扇高精度层序地层格架[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 144.
Qiu Yigang, Liu Jingyan. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 144.
- [8] 谁汉生, 王明明. 渤海湾盆地隐蔽油气藏 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 497-506.
Qiao Hansheng, Wang Mingming. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 497-506.
- [9] 林畅松, 张燕梅, 刘景彦, 等. 高精度层序地层学和储层预测 [J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 111-117.
Lin Changsong, Zhang Yanmei, Liu Jingyan, et al. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(3): 111-117.
- [10] 樊太亮, 吕延, 丁明华. 层序地层体制中的陆相储层发育规律 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 315-321.
Fan Tailiang, Lv Yan, Ding Minghua. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 315-321.
- [11] 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 等. 南海北部大陆边缘盆地分布与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
Gong Zaisheng, Li Sitian, Xie Taijun, et al. The distribution of basin and the hydrocarbon accumulation of the continental margin in northern

- South China Sea[M]. Beijing: Science Press, 1997.
- [12] 魏魁生, 崔早云, 叶淑芬, 等. 琼东南盆地高精度层序地层学研究[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260-265.
Wei Kuisheng, Cui Hanyun, Ye Shufen, et al. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(1): 59-66.
- [13] 龚再升, 杨甲明, 杨祖序, 等. 中国近海大油气田[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
Gong Zaisheng, Yang Jiaming, Yang Zuxu, et al. The large scale field of China offshore[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.
- [14] 周小鹰, 魏魁生. QDN 盆地层序地层及生储盖组合分析[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 244-248.
Zhou Xiaoying, Wei Kuisheng. *Oil & Gas Geology*, 2000, 21 (3): 244-248.
- [15] 肖军, 王华, 陆永潮, 等. 琼东南盆地构造坡折带特征及其对沉积的控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(3): 55-62.
Xiao Jun, Wang Hua, Lu Yongchao, et al. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23(3): 55-62.
- [16] Wagoner V J C, Mitcheum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops[M]. Tulsa: American Association of Petroleum Engineers, 1990.
- [17] Xie X N, Dietmar M R, Ren J Y, et al. Stratigraphic architecture and evolution of the continental slope system in offshore Hainan, northern South China Sea[J]. *Marine Geology*, 2008, 247(3-4): 129-144.

(责任编辑 刘志远)

第二十五届世界纯电动车、混合动力车和燃料电池车大会暨展览会

时间: 2010年11月5-9日

地点: 广东·深圳

主办单位: 中国电工技术学会
中国汽车工程学会
亚太电动车协会

联系人: 中国电工技术学会
联系电话: 010-68595355, 68594993
传真: 010-68595110
通信地址: 北京市三里河路46号 (100823)

会议网站: <http://www.evs25.org/event/2009ddc/index.html>