

文章编号:1001-6112(2011)06-0607-06

南海西部深水区台缘 结构、生物礁发育特征及控制因素分析

陈雷¹, 陆永潮¹, 王振峰², 孙志鹏²

(1. 中国地质大学(武汉)构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074;

2. 中海石油有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘要:生物礁是良好的油气聚集场所,其内部结构和生长环境一直是学者关注的焦点。通过对南海西部深水区南部隆起的台地结构解剖,识别出对称和不对称 2 种台缘结构,提炼出了断控型、断挠型及缓坡型 3 种台缘样式。同时通过地震剖面分析了不同台缘结构控制下的生物礁发育形态和识别特征。最后通过研究发现研究区的台缘结构及生物礁的形成主要受控于区域构造格局差异、古地貌格局、古季风和海平面升降旋回变化。

关键词:控制因素;生物礁;台缘结构;琼东南盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Structure of carbonate platform margin and characteristics of reef and their controlling factors in western deep-water region of South China Sea

Chen Lei¹, Lu Yongchao¹, Wang Zhenfeng², Sun Zhipeng²

(1. Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources of Ministry of Education, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. Zhanjiang Branch Company, CNOOC, Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: Reefs are favorable for petroleum accumulation and their inner structure and generation environment have been the study focuses of geologists. Studies of the structure of the carbonate platform margin of the southern uplift of the western deep-water region of the South China Sea have indicated that, there are 2 types of platform margin structure (symmetrical and asymmetrical) and 3 types of platform margin style (fault-controlling, faulted flexure and carbonate ramp). Based on the analyses of seismic profiles, the generation styles and features of reef controlled by different platform margin structures have been studied. The structures of carbonate platform margin and the characteristics of reef are mainly controlled by regional tectonic differences, palaeogeomorphologies, ancient monsoons and sea level changes.

Key words: controlling factors; reef; structure of carbonate platform margin; Qiongdongnan Basin

1 研究现状

台缘坡折是台地边缘向台前斜坡明显弯折的地带,它是区分台前斜坡体系、台地及台缘礁滩体系的沉积边界线。不同的台缘坡折背景下台缘内的礁滩结构、生物礁形态具有明显的差异。因此,深入研究碳酸盐岩台地边缘的结构,准确厘定台缘坡折边界,对确定台缘生物礁体发育位置和精确刻画生物礁体结构具有重要的意义,同时对碳酸盐岩油气勘探具有一定指导作用。近年来,多位学者针对国外碳酸盐岩台地结构特征及控制因素进行了

多方研究和探讨,也提出了一些可为借鉴的成果^[1-4],但国内对碳酸盐岩台地结构的关注较弱,处在探索阶段^[5]。

南海西部深水区位于琼东南盆地南部(图 1),水深介于 300~3 000 m 之间,覆盖了琼东南盆地中央拗陷带和南部隆起带(永乐隆起)以及珠江口盆地西部的长昌凹陷和南部隆起区(永乐隆起东部)。受华南板块、印支板块和太平洋板块共同作用,南海西部深水区第三纪经历了古近纪断陷、断拗转换和新近纪拗陷 3 大构造演化和沉积充填阶段^[6],发育了 T₇⁰, T₆⁰ 等区域不整合面。生物礁主

收稿日期:2011-08-25;修订日期:2011-10-20。

作者简介:陈雷(1985—),男,博士,从事能源地质工程研究。E-mail:cl211@126.com。

基金项目:十二五国家重大专项基金(2011ZX05025)

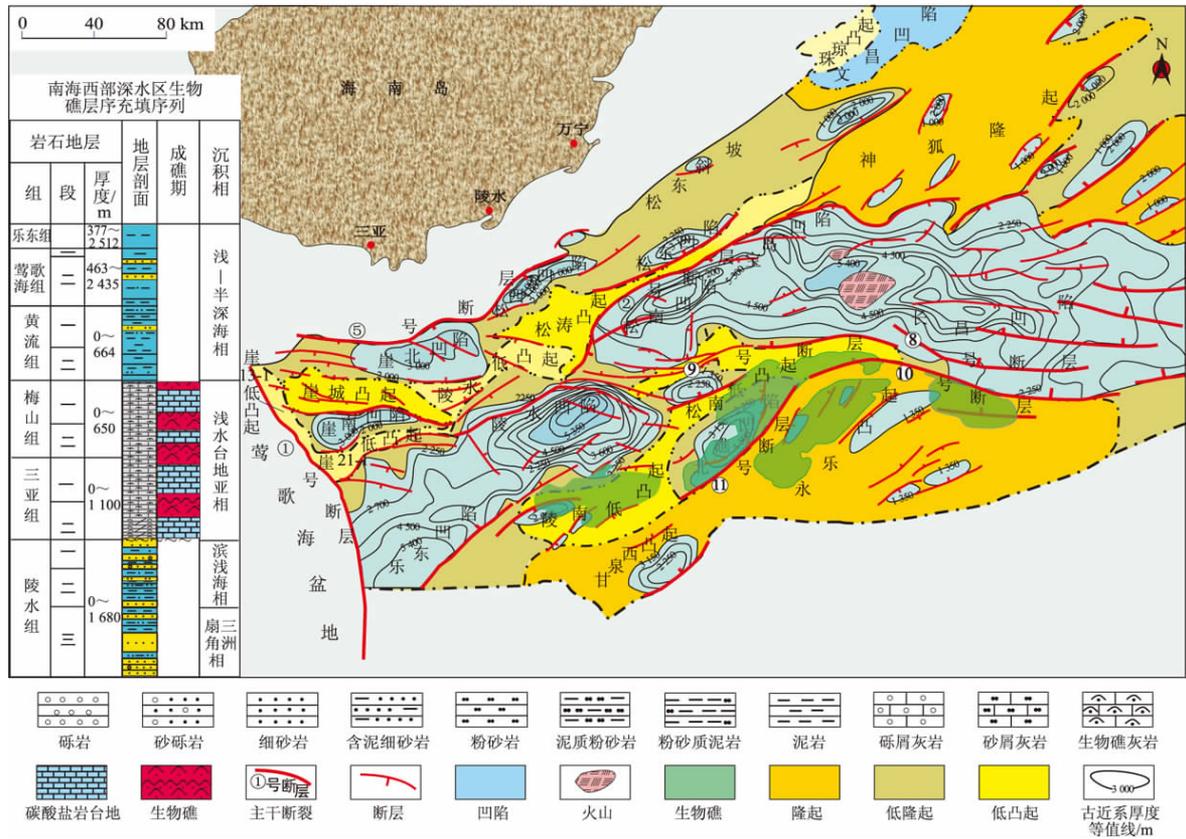


图 1 南海西部深水区域地质背景和梅山组生物礁分布
据参考文献[8]修改。

Fig. 1 Regional tectonic background and distribution of reefs in Meishan Formation, western deep-water region, South China Sea

要发育于三亚组一段和梅山组沉积地层^[7]。

2 深水区台缘结构分析

不同类型的台缘结构对应了与台缘结构接触的台内及台缘向台缘斜坡、深水盆地相过渡的沉积格局的不同,形成了具有各自特点的台地边缘结构特征。

南海西部深水区南部隆起台地边缘的台缘坡折往往追寻下伏隐蔽断裂走向发育,并直接控制了台地边缘和台前斜坡的沉积分界。由于南部隆起的北侧和东侧台缘坡折主要受控于其台缘斜坡带的两大隐伏的弧形帚状断裂体系及其间的转换带:即北侧隐伏帚状断裂体系(由 9 号、10 号、11 号断裂及伴生断裂组成)和东侧隐伏帚状断裂体系(由 8 号、10 号断裂及伴生断裂组成)及两大隐伏断裂体系间的转换带,同时结合地震资料所控制的隐伏帚状弧形断裂体系特征,古地貌、台缘内部及台缘斜坡的沉积体系的精细解剖,在南部隆起边缘可识别出对称和非对称 2 种台缘结构,归纳出 3 种台缘样式(图 2):①断控型;②断挠型;③缓坡型。

断控型台缘主要表现为台缘坡折主要受控于下陆上缓的隐伏牵引断裂,从而导致台缘坡折上下

地形地貌差异巨大。通常坡折下为台缘陡斜坡发育区,斜坡较陡较窄;坡折上为较宽缓平坦的台缘发育区(图 2a)。

断挠型台缘主要表现为台缘坡折主要受控于深部陡直的走滑伸展断裂(终止于 T_0^9 界面),在 T_0^9 后的两盘的隐伏不均一沉降而发生挠曲弯折。其台缘坡折主要沿该深部隐伏断裂控制的挠曲弯折的主背斜轴分布,形成台缘向台缘斜坡明显弯折的坡坪和坡面台缘地貌格局。其中坡坪上常常是台缘生物礁的主要生长部位,沿坡面可见同生滑塌沉积(图 2b)。

缓坡型台缘主要表现为无明显的台缘坡折,为低起伏的沉积斜坡,随着海平面的阶段上升,沿斜坡面形成台缘生物礁(图 2c)。

西侧断控型台缘和东侧断挠型台缘沉积差异很大,主要表现在台缘的礁体形态、台缘斜坡和盆地沉积体系的差异。东侧断挠型台缘的单个礁体形态不对称,台缘斜坡的斜坡扇及前积滑塌体规模较小,坡脚不发育盆底扇(图 2b);而西侧断控型台缘的单个礁体形态规则对称,台缘斜坡的斜坡扇和前积滑塌体发育,坡脚发育规模较大的盆底扇(图

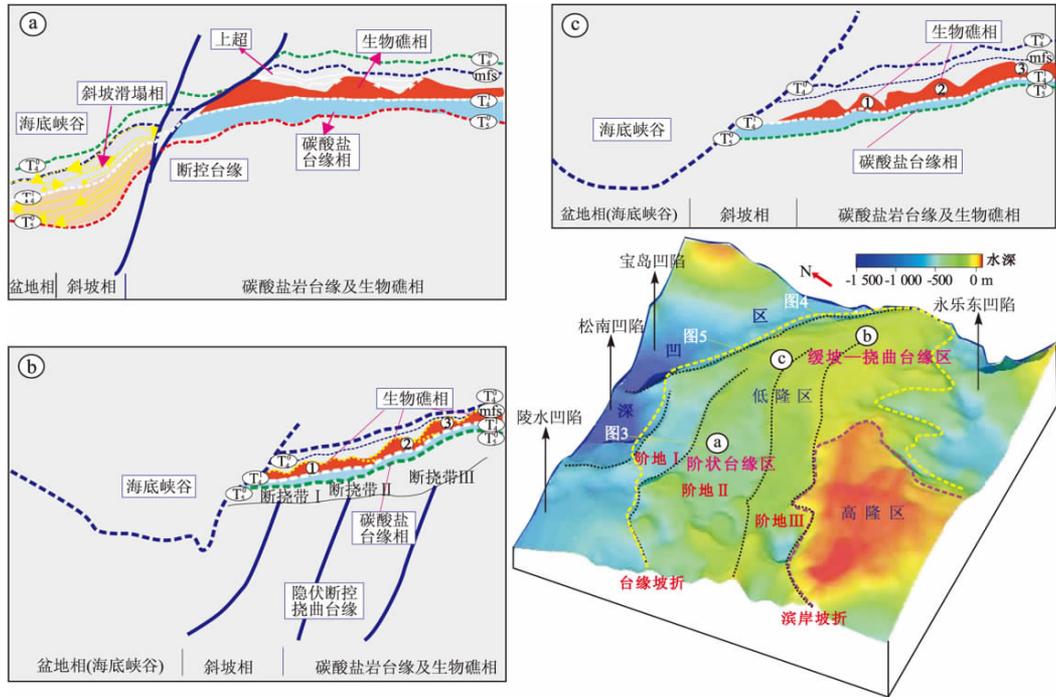


图 2 南海西部深水区南部隆起台地边缘台缘结构类型

a. 断控台缘结构、生物礁及沉积相构成特征; b. 断挠台缘结构、生物礁及沉积相构成特征; c. 缓坡台缘结构、生物礁及沉积相构成特征

Fig. 2 Structural types of carbonate platform margin, southern uplift, western deep-water region, South China Sea

2a)。而缓坡型台缘礁体形态极不对称且礁前斜坡坡扇和滑塌体不出现。坡折不同的台缘结构也与台地的生长方向相对应,台地生长的方向对应了台缘前礁体发育的方向和部位(图 2c)。

3 不同类型台缘结构与生物礁发育

3.1 断控型台缘结构与生物礁发育

隐伏牵引断裂控制了台缘坡折的形成,从而进

一步控制了台缘地貌。坡折下为台缘陡斜坡发育区,斜坡较陡较窄,坡折上为较宽缓平坦的台缘发育区(图 3)。

发育在断控型台缘上的生物礁礁体的外部轮廓清晰,整体形态呈丘形,丘体较为对称,迎风面、背风面坡度差别不大;其内部反射趋于成层,但大多数层不连续,强弱不一,与丘体外部的地震反射结构有明显差异;两相邻礁丘之间双向上超现象明

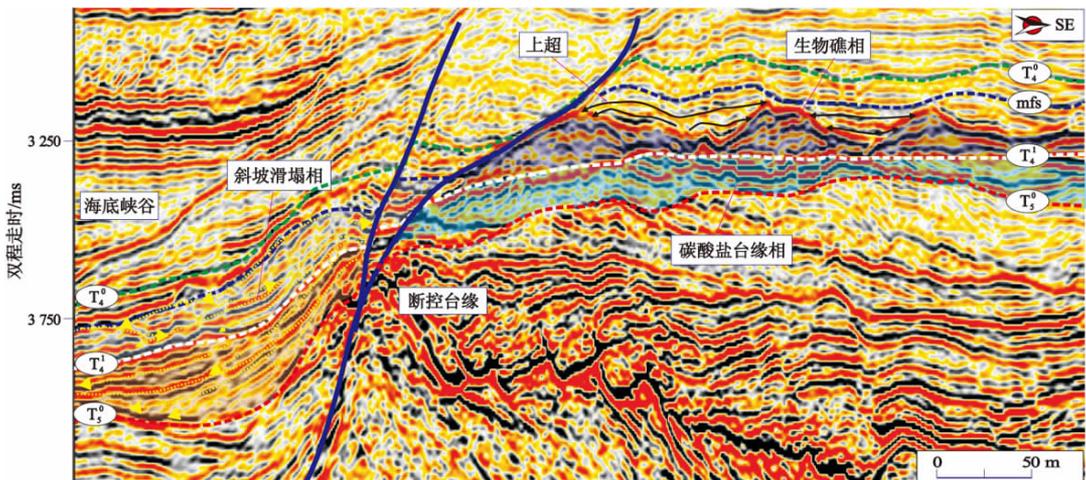


图 3 南海西部深水区南部隆起区断控型台缘结构特征

剖面位置见图 2。

Fig. 3 Structural characteristics of fault-controlling carbonate platform margin,

显,反映了礁体生长过程中海平面是不断上升的。丘体上部是一明显的连续性强轴反射,代表着最大海平面,礁体停止生长。同时可以看到,由东部向西部,控坡断层角度逐渐变缓;沉积相带分界清晰,从北至南依次发育碳酸盐岩台地生物礁相、斜坡滑塌相和深盆海底峡谷(图 3)。

3.2 断挠型台缘结构与生物礁发育

该台缘结构主要表现为台缘坡折受走滑伸展断裂控制,形成向台缘斜坡明显弯折的坡坪和坡面台缘地貌格局,其中坡坪上常常是台缘生物礁的主要生长部位,沿坡面可见同生滑塌沉积。

在此类台缘结构中,生物礁表现为沿挠曲弯折

的主背斜轴分布,生物礁生长在断控挠曲台缘之上。礁体外部轮廓清晰,整体形态呈丘形不对称,礁体沿挠曲坡折带向隆起退积生长,可进一步划分出 3 个高频生长单元,下部隐伏断层发育(图 4)。

3.3 缓坡型台缘结构与生物礁分布

缓坡型台缘结构主要发育在东北侧的两大深部隐伏帚状弧形断裂体系的构造转换带部位,早期深部断裂至该转换带部位消失。该台缘结构主要特征是无明显的台缘坡折,为低起伏的沉积斜坡,随着海平面的不断上升,沿斜坡面形成台缘生物礁(图 5)。

生物礁多沿斜坡向南退积生长,礁体外部形态清晰,呈丘形,但不对称,礁前礁后坡度差别较大,

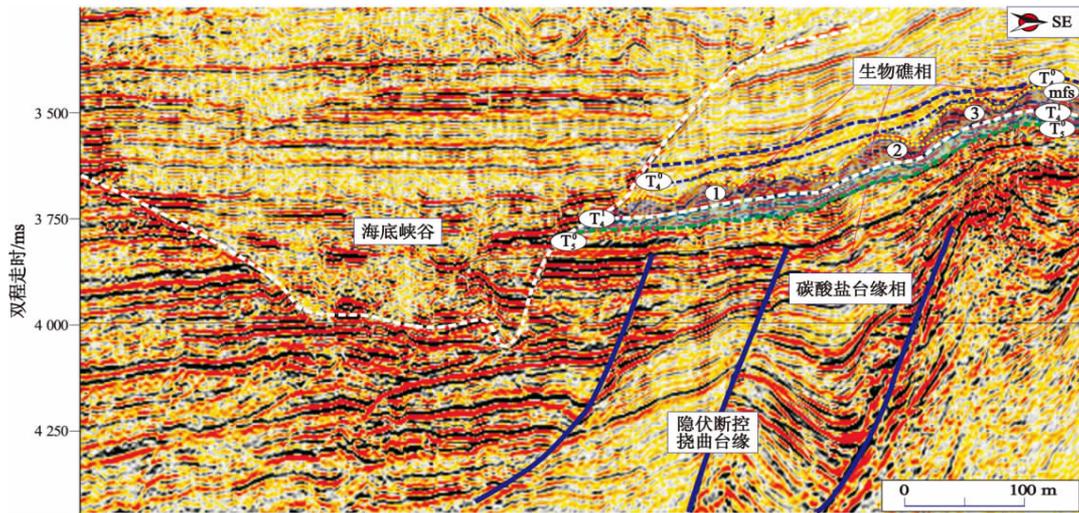


图 4 南海西部深水南部隆起区断挠型台缘结构特征

剖面位置见图 2。

Fig. 4 Structural characteristics of faulted flexure carbonate platform margin, southern uplift, western deep-water region, South China Sea

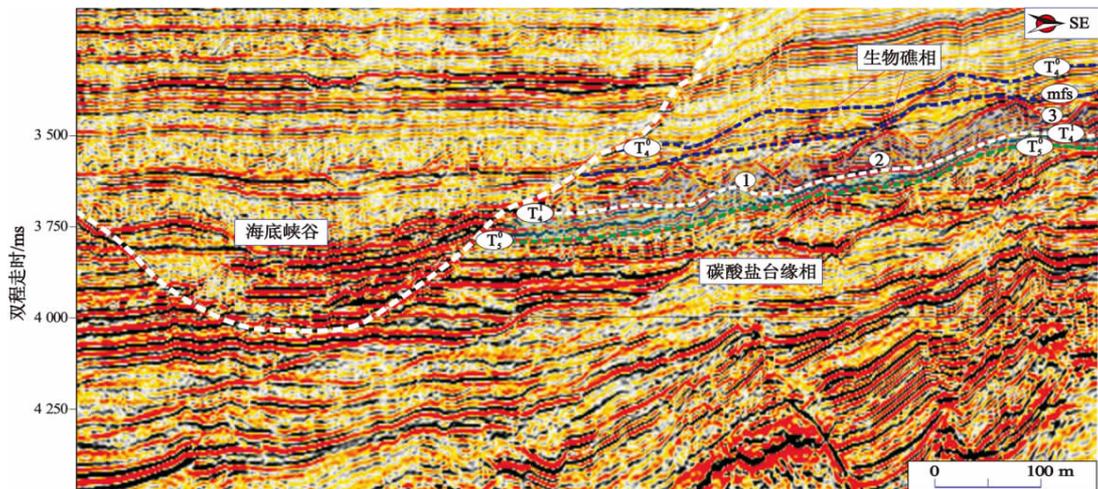


图 5 南海西部深水南部隆起区缓坡型台缘结构特征

剖面位置见图 2。

Fig. 5 Structural characteristics of ramp carbonate platform margin,

迎风面陡,背风面缓,进积现象明显;礁体内部反射多为杂乱或空白弱反射,成层性不好;整个礁区可进一步划分出 3 个高频生长单元;相邻礁丘之间地层双向上超;沉积相由南至北依次为碳酸岩台缘生物礁相、斜坡相和海底峡谷,斜坡向盆地方向不发育滑塌相(图 5)。

4 台缘结构形成的控制因素

4.1 台地边缘构造(断裂)活动及古地貌格局

台地边缘的构造格局及构造活动对台地边缘的沉积结构起着重要的影响,环南部隆起断陷期和断拗期的断裂活动直接控制了拗陷主生礁期台缘结构、台缘—斜坡沉积体系的展布和生物礁的分布。

同时,不同的地貌格局也影响到碳酸盐沉积的速率,缓坡型台缘使得台内向台缘—深盆区沉积物供给表现为缓慢渐变的特点,而陡坡型台地边缘则表现为沉积物供给快速渐变甚至是突变的特点。

台缘地貌格局的差异导致了台地边缘受到波浪改造带的宽度不同,一般无断层带会形成较宽的波浪改造带,而断崖一侧往往由于水体的突然加深,缩小了波浪改造带的宽度,从而影响着波浪改造的强度。总体上,陡坡带波浪改造的强度较缓坡带的强烈,体现在台缘与台内的结构上非常明显,这种差异在南部隆起北侧和西北侧断控台缘、东侧断拗型台缘和东北侧的沉积斜坡型台缘中均有很好的反映(图 3—5)。

4.2 构造沉降(局部和区域)速率差异性

不同区域沉积物供给速率将导致沉积结构的不同,如果构造沉降速率小于沉积物供给,将导致相对的水体变浅,会造成沉积体具有前积特点;构

造沉降速率与沉积物供给速率相似,将导致水体稳定,从而形成加积的沉积结构;当构造沉降速率大于沉积物供给速率时,将导致水体的相对加深,从而可以形成退积的沉积结构,导致台地的淹没。

南部隆起东侧和东北侧的梅山组海进体系域中台地边缘生物礁表现为退积结构,这反映了该地区构造沉降与海平面的变化大于生物礁生长和碳酸盐岩生产力,从而形成了向隆起区推进的台缘礁体退积结构。

4.3 季风变化

季风的变化的不但在很大程度上影响着搬运到盆地区域的沉积物数量,同时也影响台地内沉积物的进积方向^[9-11]。在单信风的影响下,沉积物会沿着背风方向伸展,而迎风的一面岸外搬运量很小,以垂直的加积方式生长为主^[10]。

前人研究发现在中新世时期,南海的季风强度有过 3 次明显的加强^[12],本文认为研究区也受到了季风和洋流的影响。从实际地震剖面 and 反演地震剖面中礁体内部前积结构特征可以看出,南部隆起梅山期东北侧、北侧和西北侧均具有向西北前积结构发育,显示其台缘环礁主要受东南季风的影响(图 6)。

4.4 海平面变化的控制作用

不同周期的海平面变化是控制碳酸盐岩沉积的主要控制因素^[13-15]。短周期海平面变化的记录常保存于台地顶部和盆地区域的沉积旋回中^[1,16],而长周期的海平面变化通常通过地震波识别出的沉积层序反映出来^[2,14-15]。

构造、古气候、生物礁生长等各种因素导致了相对海平面的变化,相对海平面的变化最终导致了

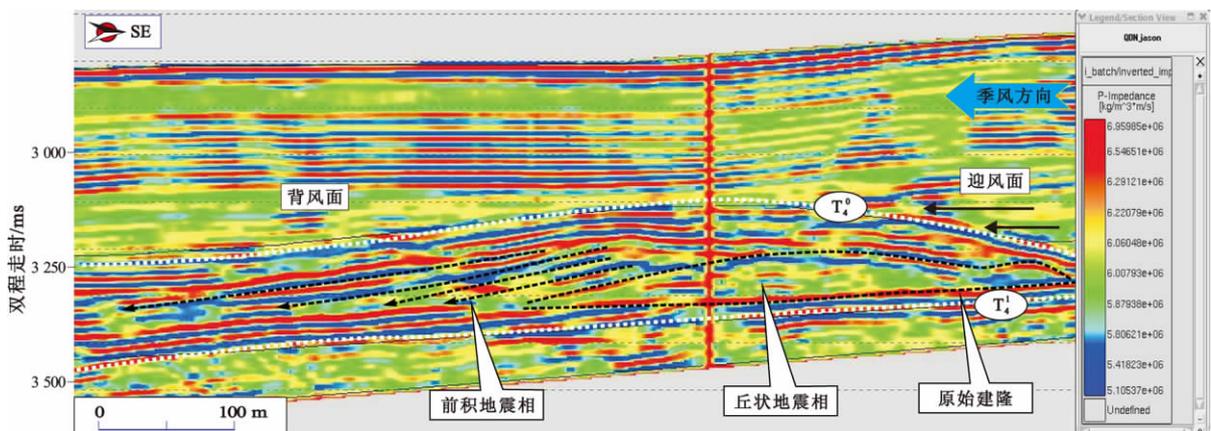


图 6 南海西部深水区南部隆起台缘礁体生长的内部反射结构特征
前积层指示季风方向。

Fig. 6 Structural characteristics of internal reflection of reef on carbonate platform margin, southern uplift, western deep water region, South China Sea

台地结构的不对称性。总体上,梅山组沉积期发育在南部隆起边缘上呈环带状分布的礁体反映了相对海平面的持续上升过程,台缘被有序的淹没,在古海水适宜的条件下各级台缘逐渐发育生物礁直至被淹没,并上升到上一台缘底界,从而形成南部隆起上呈环带状退积结构台缘礁滩体。

5 结论

南海西部深水区发育 2 种台缘结构,3 种台缘样式。台缘结构及生物礁几何样式和堆积过程受控于构造活动及其引起的古地貌格局的差异性,同时也受古季风和古洋流的影响。此外,沉积速率的相对变化加之全球海平面的升降影响了沉积物生成量的变化,进而也影响着生物礁的生长。多种因素叠加造成了台地边缘沉积的不对称性的差异和多样性。

参考文献:

[1] Droxler A W, Schlager W, Jourdan A. Quaternary carbonate cycles in the western North Atlantic and their correlation with aragonite cycles in the Bahamas [J]. Geological Society of America, 1983, 15(6): 562.

[2] Eberli G P. Sea-level controlled architecture of Neogene carbonate sequences along the Bahamas Transect [J]. Geological Society of America, 2001, 33(6): 99.

[3] Cruz F E, Eberli G P. Controls of the antecedent topography on Holocene carbonate shoals; Ocean Cay, western Great Bahama Bank [C]//2008 AAPG annual convention & exhibition. San Antonio; AAPG, 2008.

[4] Isern A R, Anselmetti F. The influence of carbonate platform morphology and sea level on fifth-order petrophysical cyclicality in slope and basin sediments adjacent to the Great Bahama Bank [J]. Marine Geology, 2001, 177(3-4): 381-394.

[5] 顾家裕, 马锋, 季丽丹. 碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素 [J]. 古地理学报, 2009, 11(1): 21-27.

[6] 魏喜, 邓晋福, 谢文彦, 等. 南海盆地演化对生物礁的控制及礁油气藏勘探潜力分析 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 245-252.

[7] 张永贵, 宋在超, 周小进, 等. 琼东南盆地南部中新统生物礁的识别 [J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 307-310.

[8] 佟殿军, 任建业, 雷超, 等. 琼东南盆地深水区岩石圈伸展模式及其对裂后期沉降的控制 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2009, 34(6): 963-974.

[9] Hine A C, Neumann A C. Shallow carbonate-bank-margin growth and structure, Little Bahama Bank, Bahamas [J]. AAPG Bulletin, 1977, 61(3): 376-406.

[10] Eberli G P, Ginsburg R N. Cenozoic progradation of north-western Great Bahama Bank, a record of lateral platform growth and sea-level fluctuations [J]. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 2010, 44: 339-351.

[11] Steven L, Bachel, Randal D, et al. 印度尼西亚东纳土纳海中新统一上新统瑟吉蒂加台地的地震地层演化: 孤立碳酸盐岩台地的起源、生长和消亡 [M]//Eberli G P, Jose L M. 编, 蔡希源, 李思田, 郑和荣, 等译. 碳酸盐岩储层和沉积体系的地震成像 (AAPG 论文集 81). 北京: 地质出版社, 2007: 281-298.

[12] 万世明, 李安春, 胥可辉, 等. 南海北部中新世以来粘土矿物特征及东亚古季风记录 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2008, 33(3): 289-300.

[13] Kendall C G St C, Schlager W. Carbonates and relative changes in sea level [J]. Marine Geology, 1981, 44(1-2): 181-212.

[14] Sarg J F. Carbonate sequence stratigraphy and controls on carbonate platform development; case study from Permian of West Texas - New Mexico [J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(12): 1522.

[15] Handford C R, Loucks R G. Carbonate depositional sequences and systems tracts; responses of carbonate platforms to relative sea-level changes [J]. AAPG Memoir 57, 1993, 57: 3-31.

[16] Goldhammer R K, Dunn P A, Hardie L A. High frequency glacio-eustatic sea level oscillations with Milankovitch characteristics recorded in Middle Triassic platform carbonates in northern Italy [J]. American Journal of Science, 1987, 287(9): 853-892.

(编辑 黄娟)