

doi:10.3799/dqkx.2011.088

万安盆地新生代层序地层格架与岩性地层圈闭

杨楚鹏,姚永坚*,李学杰,万玲,韩冰,万荣胜

国土资源部广州海洋地质调查局海洋地质科学发展与战略研究所,广东广州 510760

摘要: 利用地震、钻井及古生物等方面的资料进行综合研究,根据沉积层序边界特征和沉积旋回的组合关系,将万安盆地新生代地层划分为3个超层序、6个层序组和10个三级层序;进而分析万安盆地新生代沉积演化过程,认为万安盆地从古新世—始新世开始沉降,直至第四纪总体表现为逐渐海侵的过程,SSQ1和SSQ2层序组以陆相断陷湖盆沉积为主,SSQ3、SSQ4、SSQ5和SSQ6层序组为海陆过渡相和海相沉积;最后通过井震对比分析对典型剖面的岩相及沉积相进行解译,识别并预测了多种岩性地层圈闭,包括低位域中的盆底扇、浊积扇、塌积扇,海侵域中的上倾尖灭砂体以及高位域中的三角洲砂体和生物礁滩等岩性地层圈闭。

关键词: 油气地质;岩性地层圈闭;沉积;层序地层;万安盆地。

中图分类号: P539.2

文章编号: 1000-2383(2011)05-0845-08

收稿日期: 2011-04-30

Cenozoic Sequence Stratigraphy and Lithostratigraphic Traps in Wan'an Basin, the Southwestern South China Sea

YANG Chu-peng, YAO Yong-jian*, LI Xue-jie, WAN Ling, HAN Bing, WAN Rong-sheng

*Institute of Development Strategies for Marine Geosciences, Guangzhou Marine Geological Survey,
Ministry of Land & Resources of PRC, Guangzhou 510760, China*

Abstract: Wan'an basin, as a typical Cenozoic transtensional basin, is one of the most important petroliferous basins in the southwestern of South China Sea. In this study, using seismic, drilling and some palaeontologic data, the Cenozoic sequence stratum pattern in Wan'an basin is established, which is subdivided into three super-sequences, six secondary sequences and ten tertiary sequences. In this sequence, the depositional process of Cenozoic strata in Wan'an basin is interpreted as gradually transgression based on comparative study of seismic and drilling data. SSQ1 and SSQ2 sequences are predominantly composed of lacustrine deposits during syn-rift. And SSQ3, SSQ4, SSQ5 as well as SSQ6 sequences are characterized by transitional facies and marine deposit. According to the interpretation of the lithofacies and sedimentary facies from typical seismic profiles, several kinds of lithostratigraphic traps are recognized and predicted, including basin floor fan, turbidite fan and colluvial mass in low-stand system tracts; upward wedge-out sands in transgressive system tracts; and delta sands and biohermal suite in high-stand system tracts.

Key words: petroleum geology; lithostratigraphic traps; sedimentation; sequence stratigraphy; Wan'an basin.

0 引言

万安盆地是南沙海域重要的含油气盆地之一,是新生代走滑拉张盆地,位于南沙海域西南部万安走滑断裂西侧,大地构造上属于印支陆块上的昆高地块南缘(刘海龄,1999;刘宝明等,2006;姚伯初和刘振湖,

2006)。万安盆地可划分为北部拗陷、北部隆起、西北断阶带、中部拗陷、西部拗陷、西南斜坡、中部隆起、南部凹陷、东部隆起和东部拗陷10个二级构造单元(图1),盆地面积为 $8.5 \times 10 \text{ km}^2$ 。盆地基底为中生代晚期岩浆岩、火山岩以及前始新世沉积变质岩,其上由人骏群、西卫群、万安组、李准组、昆仑组、广雅组和第四系地层组成(图2)(杨木壮等,1996)。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(No. 2007CB4117);全球油气地质综合研究与区域优选专项(No. GT-YQ-QQ-1-02)。

作者简介: 杨楚鹏(1980—),男,工程师,主要从事油气地质与海洋地质研究工作。* 通讯作者:姚永坚, E-mail: yiyao@yahoo.com

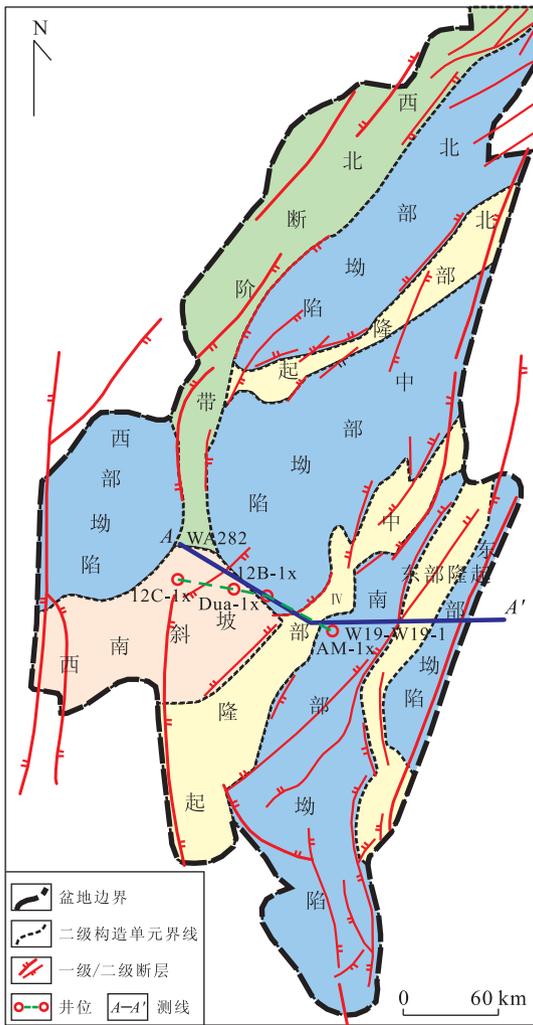


图 1 万安盆地构造分区(据杨木壮等,2003 略作修改)

Fig. 1 The tectonic subdivision of the Wan'an basin

在南海南部诸多盆地中,万安盆地以其丰富的油气资源成为南沙海域的勘探热点,国外有众多石油公司进行了油气勘探活动,相继在我国传统海域内发现了大熊、兰龙和万安西 21 等油气田。自 20 世纪 90 年代以来,我国对万安盆地进行了大规模的以油气勘探为主要目的的地球物理调查工作。到目前为止,我国已在万安盆地完成了重力、磁力、地震等地球物理普查工作,并在重点地区进行了油气资源详查(金庆焕等,2001)。但前人对该盆地的研究着重于构造、地层等区域地质问题(金庆焕和李唐根,2000;杨木壮等,2003;全志刚等,2005),在油气地质研究方面主要集中在对大型构造圈闭的评价研究方面(刘宝明,1999;张光学和杨木壮,1999;刘宝明等,2002;刘振湖,2005)。而关于较高层序级别框架下对隐蔽性地层岩性圈闭的研究鲜有报道。笔者以广州海洋地质调查局已有的地震资料为基础,结合收集

的国外钻井和测井资料,应用经典层序地层学方法对万安盆地新生代地层进行较为精细的层序划分,在层序格架下分析岩性地层圈闭发育类型和特征,预测隐蔽性圈闭的分布模式,以期能为该盆地油气资源评价及选区提供理论支持。

1 层序地层特征

1.1 层序界面及其特征

1.1.1 不整合界面特征 不整合面的存在表示界面上、下地层之间存在冲刷侵蚀或重要的沉积间断。不整合面往往对应于区域构造运动,如板块的俯冲碰撞和海盆的扩张闭合。万安盆地由地震和钻井揭示的区域性不整合面,主要有 T_{20} 、 T_{25} 、 T_{30} 、 T_{32} 、 T_{35} 、 T_{40} 、 T_{60} 、 T_{70} 、 T_{80} 和 T_g 。其中 T_{32} 、 T_{80} 和 T_g 这 3 个不整合界面是以上下反射层特征截然不同为特征,代表了 3 次强烈的构造运动和地层剥蚀,是盆地内最主要的 3 个区域性不整合,是盆地内的超层序界面(杨木壮等,2003)。其中 T_g 为古新统与基底之间的不整合面,为燕山运动末期形成的剥蚀不整合,钻井揭示基底至少有 43 Ma 的地层剥蚀期; T_{80} 对应西卫运动,为中晚始新世期间的最大海平面下降,从构造机制上看,界面以下为孤立窄盆沉积,界面之上为渐新统广盆沉积; T_{32} 对应万安运动,为中中新统与晚中新统间的最大海平面下降,万安运动在盆地中表现为一次典型的褶皱运动,形成一系列背斜构造(姚伯初等,2004)。另外, T_{20} 、 T_{30} 、 T_{40} 和 T_{60} 这 4 个界面受控于次级海平面下降,应该都是层序组或层序的界面。剖面上还有一些分布范围相对较小的地震反射界面,它们受控于三级或四级海平面下降,应为层序组内层序界面,如 T_{25} 、 T_{35} 、 T_{70} 。

1.1.2 识别标志 (1)地震反射特征。在地震剖面中反映地层不协调关系的地震反射终止(削蚀、削截、上超和下超)可代表区域性的侵蚀间断或无沉积型的间断。在万安盆地中识别出 T_{20} 、 T_{25} 、 T_{30} 、 T_{32} 、 T_{35} 、 T_{40} 、 T_{60} 、 T_{70} 、 T_{80} 和 T_g 共 10 个重要的地震反射界面,它们在地震剖面上均有明显的反映(图 3)。 T_{20} 为一套大型前积层的顶超面,反射同相轴具平直、高频、稳定强振幅和高连续的双相位反射特征。 T_{25} 在盆地内均有分布,反射波平直、稳定,可连续追踪。 T_{30} 与上覆地层呈整合、底超和上超接触,与下伏地层呈整合和顶超接触,在盆地西部斜坡及南部为中一低频、中振幅和连续的双相位反射波;在台地上为低频、强振幅和高连续的双相位强反射;在盆地东

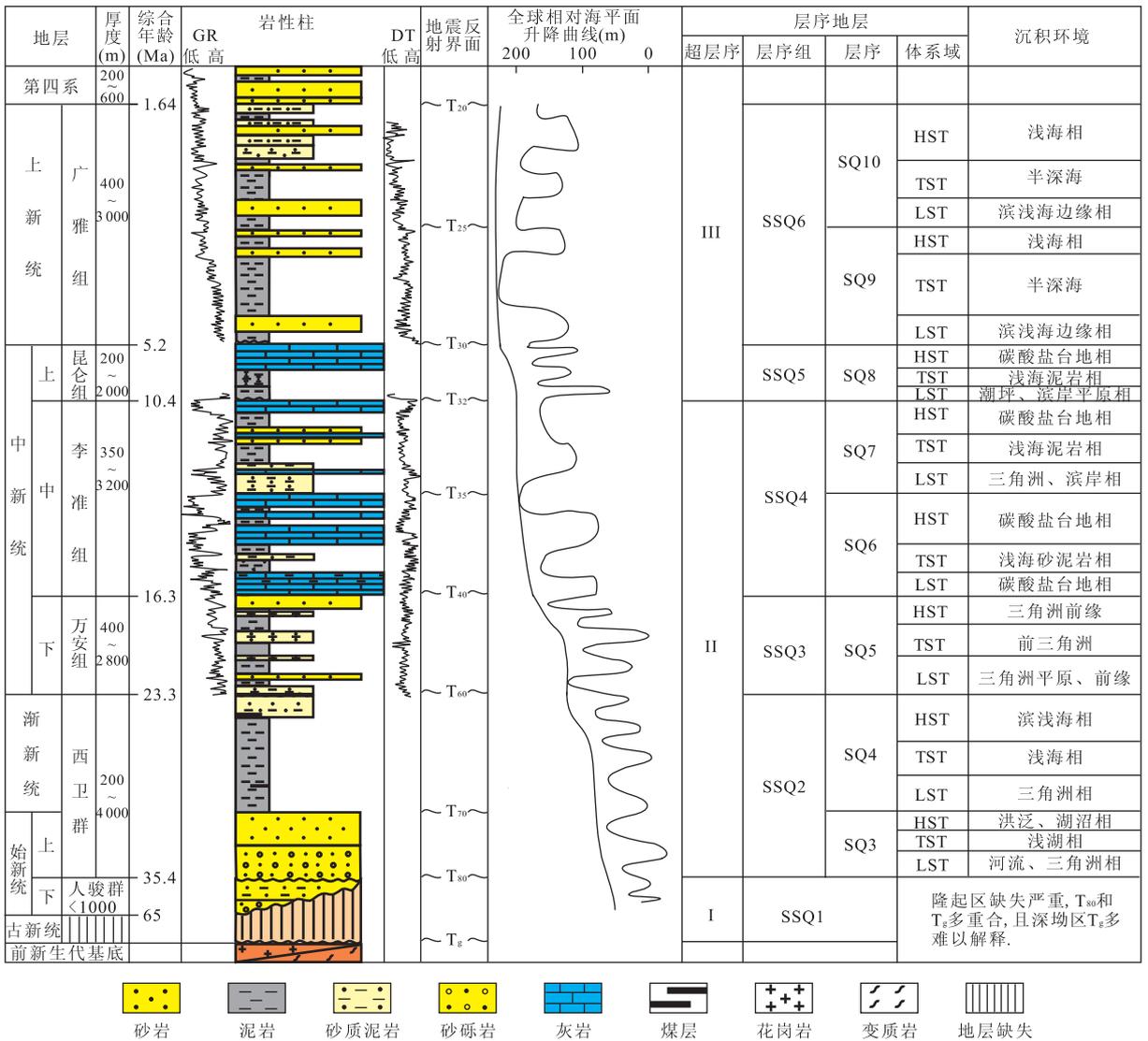


图 2 万安盆地综合地层柱状图及层序地层格架 (据杨木壮等, 2003 修改)
Fig. 2 Comprehensive stratigraphy and sequence framework of Wan'an basin

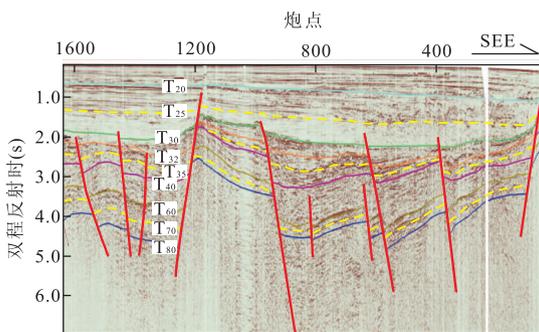


图 3 万安盆地主要地震界面反射特征 (WA282 测线)
Fig. 3 Seismic reflection characteristics from the Wan'an basin

部及中部拗陷, 振幅变弱, 连续性变差. T₃₂ 与上覆地层呈整合、上超或底超接触, 为中频、中连续—连续的双相位反射特征; 在盆地中北部, 该界面削截明

显; T₃₂ 之下为一套已发生不同程度变形且被断层错断, 具有较大倾角的反射层组; T₃₂ 之上为一套水平或近水平、未变形或轻微变形的反射层组. T₃₅ 总体表现为中—强振幅、连续的双相位反射, 局部见上超现象, 隆起上削截特征明显, 连续性变差. T₄₀ 在拗陷在内部具有中—强振幅、连续的双相位反射特征, 局部见上超现象, 隆起上反射波振幅变弱, 连续性变差. T₆₀ 与上覆地层呈整合或上超接触; 在隆起部位反射波特征明显, 中—低频, 中—强振幅, 连续双相位反射; 在拗陷内部反射能量变弱, 深拗部位特征不明显. T₇₀ 与上覆地层呈整合或上超接触, 盆地西部同相轴粗糙, 连续性差, 东部连续性好. T₈₀ 为上超面, 在隆起部位, 与基底反射面重合, 为低频、粗糙、强振幅、连续双相位反射, 其下无反射; 在深拗部位

砂、砾岩,与基底花岗岩直接接触,砂砾岩层之上是一套含碳质碎屑的砂岩和含褐煤薄层的泥页岩、砂质泥岩沉积。

SQ4 沉积时湖水面升到最高位置,过12C-1x、12B-1x、DUA-1x、AM-1x 连井剖面(图 5)揭示盆地发育多期进积型三角洲,沉积物呈叠瓦状不断向坳陷推进。在晚渐新世万安盆地发生海侵,万安盆地中东部已有海水进入而成为海湾环境,以海湾相砂质泥质沉积为主。

2.3 SSQ3 层序组特征

SSQ3 沉积早期,由于西南海盆的张裂运动,万安盆地进一步沉降,海水由东向西侵入,使海相沉积普遍覆盖全盆,甚至一些高断块也开始接受沉积。连井剖面揭示下中新统发育多期三角洲,这一时期主要发育为沼泽相、浅海相沉积(图 2,5)。

2.4 SSQ4 层序组特征

根据岩性变化特征可将 SSQ4 分为 SQ6 和 SQ7 这 2 个三级层序。SQ6 沉积早期万安盆地有一次快速海侵,主要由粗—细粒碎屑岩以及碳酸盐岩组成。图 5 中揭示 SQ6 底界面之上主要发育浅海相泥岩, SQ6 沉积中晚期发育碳酸盐台地和退积三角洲,盆地中部发育碳酸盐台地(图 4),盆地西部主要发育三角洲和滨岸沉积。

钻井揭示 SQ7 在盆地中部和南部主要发育灰岩沉积,总厚达到甚至超过 300 m,间夹泥质灰岩、泥岩,顶部甚至有褐煤夹层。说明中中新世早期的高海平面延续时间很长,同时在碳酸盐岩台地形成发育阶段,有多次淹没事件发生,至晚期才暴露出水面(图 4,5)。这一时期盆地西部主要为滨岸沉积,盆地东部为半深海沉积。

2.5 SSQ5 层序组特征

SSQ5 沉积早期,海平面由缓慢上升最终转为缓慢下降,沉积的地层厚度较大,早期阶段呈加积或进积结构,“S”形前积特征明显,由三角洲间湾和滨岸沉积物组成。晚中新世发育三角洲体系的粗—细碎屑沉积、浅海、半深海泥质沉积以及碳酸盐岩台地沉积。碳酸盐岩台地朝海盆方向厚度减小变薄,外陆架和斜坡带为浅海、半深海和碳酸盐沉积。在深水碳酸盐岩台地斜坡脚形成了盆底扇。盆底扇沉积物主要为粗碎屑砂质沉积,其中包括有陆源碎屑岩和碎屑灰岩。

2.6 SSQ6 层序组特征

SSQ6 沉积时期盆地处于区域沉降阶段,主要发育滨浅海—半深海细粒沉积。在盆地西部和中部的地震剖面上有很多三角洲前积“S”型结构,表明这一时期物源供给充足,沉积物不断向海推进,盆

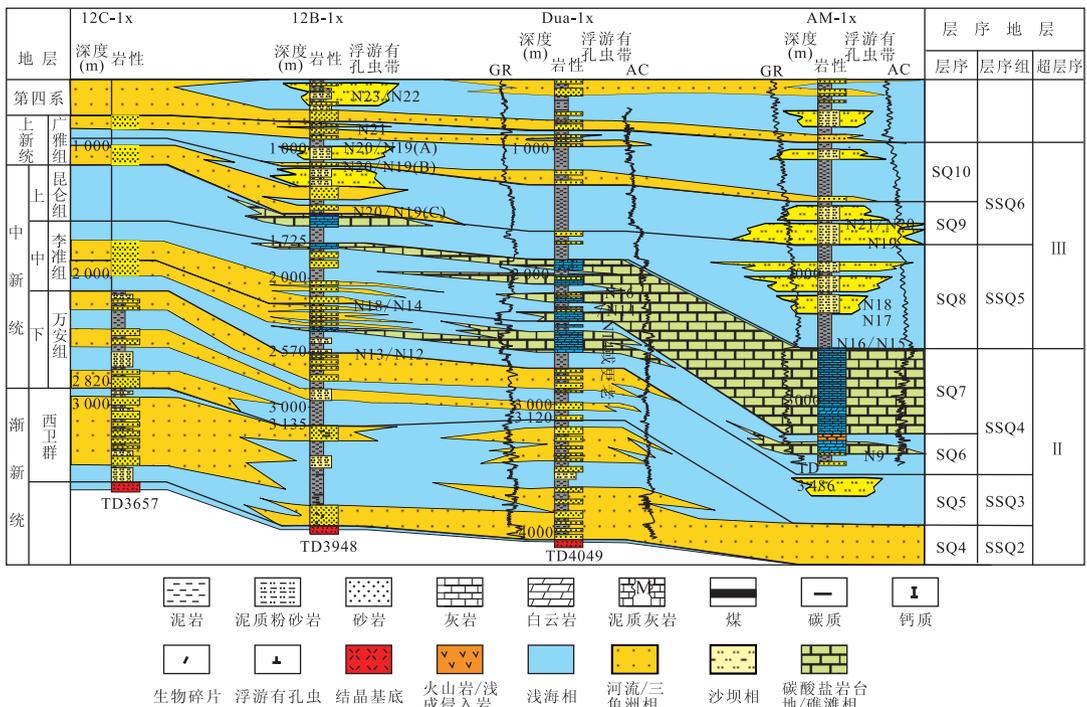


图 5 万安盆地过 12C-1x、12B-1x、Dua-1x、AM-1x 连井剖面(位置见图 1)

Fig. 5 Well correlation cross-section crossing 12C-1x, 12B-1x, Dua-1x and AM-1x in Wan'an basin

地东部为半深海的粘土沉积。

3 岩性地层圈闭发育及分布特征

万安盆地新生代期间经历了复杂的陆海变迁以及多次大规模的海水进退,沉积了逾万米的新生代地层,发育多类型的岩性地层圈闭。本次工作利用地震和钻井的对比分析结果,对典型剖面进行了岩性、沉积相解译,在三级层序的不同体系域中预测出多种不同的岩性地层圈闭,包括低水位体系域中的盆底扇、斜坡扇和塌积扇等,海侵体系域中的上倾尖灭砂体以及高水位体系域中的三角洲砂体和生物礁滩等(图 6)。

3.1 生物礁滩圈闭

生物礁滩常发育在碳酸盐盆地上及构造高部位,与台地共同构成碳酸盐岩隆。剖面上常具有明显的双层结构特征,即下部为台地灰岩,上部为礁灰岩(图 6)。从体系域分析可知(图 4),生物礁滩一般发育于高水位体系域的顶部。从万安盆地地层发育及沉积相特征来看,生物礁滩主要发育于上中新统的昆仑组,平面上主要分布于中部隆起及以南地区。地震反射剖面上,生物礁滩常呈台、滩、丘状地震相,顶界为高连续的双相位强反射,内部为中一弱振幅、中连续一断续,具平行一亚平行结构或杂乱反射特征,侧翼上超和顶部披盖现象明显。

生物礁滩以礁灰岩为主,储集物性很好,又常常被浅海泥岩所包围,只要具备充足的烃源,就可以形成较大的油气藏。由于万安盆地的主要生烃坳陷为

中部坳陷和北部坳陷,并以生气为主(刘振湖,2000;金庆焕等,2004)。因此,万安盆地的生物礁滩型油气藏主要分布于中部隆起上,且以大型气藏为主。

3.2 三角洲分流河道圈闭

万安盆地三角洲砂体主要发育于西卫群上部和万安组,分布于盆地西部,尤以西北断阶—北部隆起西部—西南斜坡一带最为发育。

三角洲沉积在地震反射剖面上,表现为变振幅,中连续地震相和强振幅,中连续地震相,具亚平行结构,楔状外形(图 6)。三角洲分流河道砂体与烃源岩互层,是有利的自生自储型油气聚集带(刘伯土和陈长胜,2002)。

3.3 浊积扇

浊积扇包括斜坡扇、滑塌扇和湖底扇,主要位于海盆(或湖盆)深水区,与水下扇主体不相连,具有典型深水浊积岩特征。浊积扇主要发育在三角洲前缘或前三角洲较深水环境。万安盆地东部深水区沉降快,水体较深,来源于盆地中部的三角洲砂体滑塌形成局部小规模浊积扇。此外,盆地中部的生物礁滑塌可形成碎屑灰岩型扇体。浊积扇主要由块状岩屑细砂岩、岩屑粉砂岩及含砾砂岩或生物碎屑灰岩组成,被灰黑色泥岩、页岩封盖,从而形成良好的透镜状砂岩圈闭。

3.4 砂岩上倾尖灭型圈闭

该岩性圈闭主要的形成条件是砂岩在上倾方向尖灭并相变为非渗透岩层,古构造、古地貌是控制其分布的重要因素。万安盆地隆起区的斜坡带是砂岩上倾尖灭型圈闭形成的有利地区,隆坳相间的构造格局使得这类圈闭在万安盆地广泛分布,且在垂向

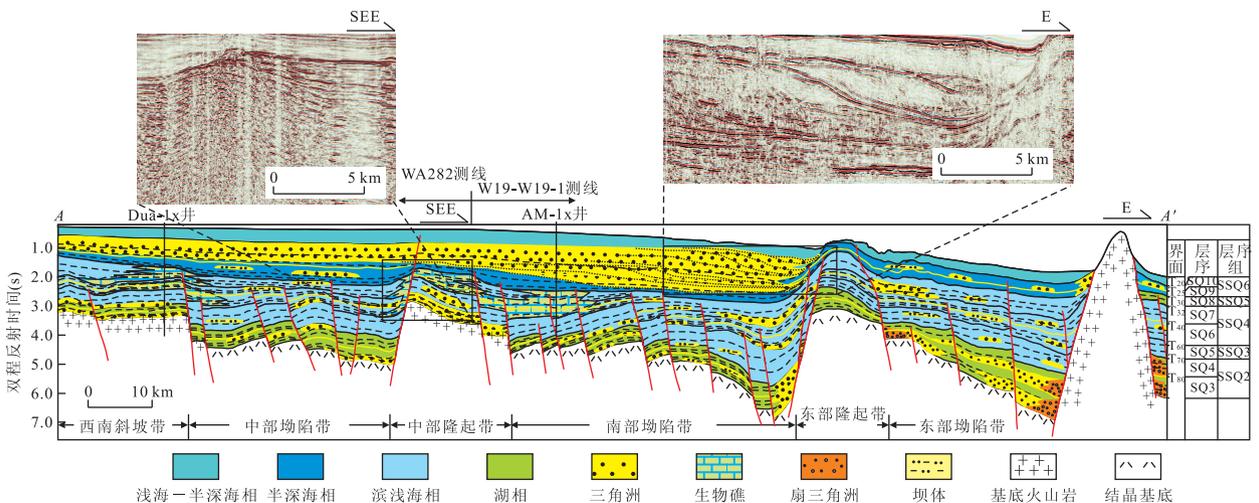


图 6 万安盆地层序充填格架及岩性地层圈闭分布模式(位置见图 1)

Fig. 6 Sequence framework and distribution of lithostratigraphic traps in Wan'an basin

上几乎每一层序的海侵体系域中均发育该类圈闭(图6)。另外,在宽缓斜坡带上,由于刺穿结构(底辟、侵入岩体)的牵引作用,砂体上倾则是由后期构造作用造成的。在寻找上倾尖灭砂体时既要考虑受古地貌控制的砂体原始沉积状态,又要重视后期的构造对砂体的改造作用,二者缺一不可。

4 结论

万安盆地新生界地层可划分为3个超层序、6个层序组和10个三级层序;在三级层序格架之下,利用井震联合对比分析万安盆地新生代沉积演化过程,认为万安盆地从古新世一始新世开始沉降,直至第四纪总体表现为逐渐海侵的过程;SSQ1和SSQ2层序组以陆相断陷湖盆沉积为主,SSQ3、SSQ4、SSQ5和SSQ6层序组为海陆过渡相和海相沉积,其中SSQ4、SSQ5层序组以广泛发育碳酸盐台地和生物礁沉积为特征。在以上研究的基础上,通过对典型剖面的岩相及沉积相解译,识别和预测了多种岩性地层圈闭,包括低水位体系域中的盆底扇、浊积扇、塌积扇,海侵体系域中的上倾尖灭砂体以及高水位体系域中的三角洲砂体和生物礁滩等岩性地层圈闭。

References

- He, Q., Tong, Z. G., Hu, G. C., 2005. Sediment filling and its effect on hydrocarbon accumulation in Wan'an basin. *China Offshore Oil and Gas*, 17(2): 80—83, 88 (in Chinese with English abstract).
- Hu, X. Q., Yang, M. Z., 2006. Analysis of accommodation changes in the Wan'an basin. *Marine Geology Letters*, 22(6): 29—32 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Q. H., Li, T. G., 2000. Regional geologic tectonics of the Nansha Sea area. *Marine geology & Quaternary Geology*, 20(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Q. H., Liu, Z. H., Chen, Q., 2004. The central depression of the Wan'an basin, South China Sea: a giant abundant hydrocarbon-generating depression. *Earth science—Journal of China University of Geosciences*, 29(5): 525—530 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Q. H., Wu, J. M., Xie, Q. Y., et al., 2001. Sedimentary basin analysis and oil-gas resource in west part of South China Sea. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Liu, B. M., 1999. Trap types and their genesis analyses of Wan'an basin in South China Sea. *Experimental Petroleum Geology*, 21(4): 302—306 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. M., Xia, B., Li, X. X., et al., 2006. Southeastern extension of the Red River fault zone (RRFZ) and its tectonic evolution significance in western South China Sea. *Science in China (Ser. D)*, 49(8): 57—68.
- Liu, B. M., Xia, B., Liu, Z. H., et al., 2002. Analysis on the enrichment and accumulation types of hydrocarbon in the southwestern sea area of the South China Sea. *Experimental Petroleum Geology*, 24(4): 322—333 (in Chinese with English abstract).
- Liu, B. T., Chen, C. S., 2002. Analysis on the Cenozoic petroleum system in the Wan'an basin, Nansha area. *Experimental Petroleum Geology*, 24(2): 110—114 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H. L., 1999. On an extension-contraction-type dextral strike-slip duplex system in western Nansha waters, South China Sea and its dynamic process. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 19(3): 11—17 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. H., 2000. Characteristics of petroleum charge system in Wan'an basin, South China Sea. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 14(5): 339—344 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Z. H., 2005. Distribution of sedimentary basins and petroleum potential in southern South China Sea. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 410—417 (in Chinese with English abstract).
- Tong, Z. G., Hu, G. C., He, Q., 2005. The tectonic subsidence and heat flow of the western Nansha area. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(3): 371—376 (in Chinese with English abstract).
- Yang, M. Z., Wang, M. J., Liang, J. Q., et al., 2003. Tectonic subsidence and its control on hydrocarbon resources in the Wan'an basin in the South China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 23(2): 85—88 (in Chinese with English abstract).
- Yang, M. Z., Wu, J. M., Yang, R., et al., 1996. Stratigraphic division and nomenclature of the southwestern Nansha Sea area. In: Yao, B. C., et al., eds., Geological research of South China Sea (Memoir 8). China University of Geosciences Press, Wuhan, 37—47 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., Liu, Z. H., 2006. Sedimentary basins and petroleum resources in Nansha offshore area, South China Sea. *China Offshore Oil and Gas*, 18(3): 150—160 (in Chinese with English abstract).
- Yao, B. C., Wan, L., Liu, Z. H., et al., 2004. Tectonic signif-

icance and its petroleum effect of the Wan'an tectonic movement in the south of the South China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 24(1): 69-77 (in Chinese with English abstract).

Zhang, G. X., Yang, M. Z., 1999. Tectonic styles and traps of Wan'an basin in South China Sea. *Tropic Oceanology*, 18(1): 1-6 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

贺清, 全志刚, 胡根成, 2005. 万安盆地沉积物充填演化及其对油气藏形成的作用. *中国海上油气*, 17(2): 80-83, 88.

胡小强, 杨木壮, 2006. 万安盆地可容纳空间变化分析. *海洋地质动态*, 22(6): 29-32.

金庆焕, 李唐根, 2000. 南沙海域区域地质构造. *海洋地质与第四纪地质*, 20(1): 1-8.

金庆焕, 刘振湖, 陈强, 2004. 万安盆地中部坳陷——一个巨大的富生烃凹陷. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(5): 525-530.

金庆焕, 吴进民, 谢秋元, 等, 2001. 南沙西部海域沉积盆地分析与油气资源. 武汉: 中国地质大学出版社.

刘宝明, 1999. 南海西南部含油气区圈闭类型与成因分析. *石油实验地质*, 21(4): 302-306.

刘宝明, 夏斌, 李绪宣, 等, 2006. 红河断裂带东南的延伸及其构造演化意义. *中国科学 D 辑(地球科学)*, 36(10): 914-924.

刘宝明, 夏斌, 刘振湖, 等, 2002. 南海西南部海区油气富集成藏类型分析. *石油实验地质*, 24(4): 322-333.

刘伯土, 陈长胜, 2002. 南沙海域万安盆地新生界含油气系统分析. *石油实验地质*, 24(2): 110-114.

刘海龄, 1999. 南沙西部海域伸缩型右旋走滑双重构造系统及其动力学过程. *海洋地质与第四纪地质*, 19(3): 11-17.

刘振湖, 2000. 南海万安盆地油气充载系统特征. *中国海上油气(地质)*, 14(5): 339-344.

刘振湖, 2005. 南海南沙海域沉积盆地与油气分布. *大地构造与成矿学*, 29(3): 410-417.

全志刚, 胡根成, 贺清, 2005. 南沙西部海区构造沉降与古热流. *大地构造与成矿学*, 29(3): 371-376.

杨木壮, 王明君, 梁金强, 等, 2003. 南海万安盆地构造沉降及其油气成藏控制作用. *海洋地质与第四纪地质*, 23(2): 85-88.

杨木壮, 吴进民, 杨锐, 等, 1996. 南沙海域西南部地层划分及命名. 见: 姚伯初, 等编, 南海地质研究(八). 武汉: 中国地质大学出版社, 37-47.

姚伯初, 刘振湖, 2006. 南沙海域沉积盆地及油气资源分布. *中国海上油气*, 18(3): 150-160.

姚伯初, 万玲, 刘振湖, 等, 2004. 南海南部海域新生代万安运动的构造意义及其油气资源效应. *海洋地质与第四纪地质*, 24(1): 69-77.

张光学, 杨木壮, 1999. 南海万安盆地的构造样式与构造圈闭. *热带海洋*, 18(1): 1-6.