

珠江口盆地东沙隆起早中新世台缘带特征及勘探方向

曾清波, 张功成, 廖宗宝, 印斌浩, 王升兰, 纪沫
(中海油研究总院)

摘要 基于钻井、地震资料的系统分析,珠江口盆地东沙隆起早中新世大型碳酸盐岩台缘带沿L7井、H6井及F1井一带呈环带状分布。根据斜坡结构与沉积充填特征的差异,台缘带可划分为四个区段,不同区段具有不同的油气成藏条件。东南段,位于白云凹陷与东沙隆起的过渡带,斜坡横向宽度大、地势陡,礁滩发育,由于下伏地层缺乏有效输导砂体沟通烃源,该段存在一定勘探风险;中南段,斜坡类型转换为断坡,斜坡宽度、高差相对减小,台缘礁滩发育,位于构造脊附近的礁滩体为下一步勘探的有利目标;西段,斜坡宽度小、坡度缓,礁的规模相对减小,生物碎屑滩较发育,应以构造-岩性复合圈闭为突破目标;北段,斜坡规模小,且为背风带,礁滩相对不发育,与惠州凹陷邻接部位的小规模生物碎屑滩发育带具有一定的勘探潜力。

关键词 珠江口盆地;东沙隆起;中新世;构造特征;生物礁;生物碎屑滩;勘探潜力
中图分类号: TE121.2 **文献标识码**: A

海相碳酸盐岩是国内外油气勘探开发的重要领域^[1-2]。礁滩,特别是台缘礁滩与孤立台地礁滩,是碳酸盐岩储集体的主要类型,它们在油气勘探中占重要地位^[3-4]。碳酸盐岩台缘带面临广海,水动力条件强,它是礁滩型储层发育的有利区,同时,台缘带邻近广海烃源岩发育带,油气地质条件优越。近年来,在塔里木盆地塔中I号带的上奥陶统良里塔格组台缘礁滩体和四川盆地的二叠系长兴组与下三叠统飞仙关组台缘带储集体中相继发现了大型油气田^[5-8],这印证了台缘带巨大的油气勘探潜力。

珠江口盆地东沙隆起早中新世生物礁滩是珠江口盆地重要的勘探领域^[9],目前已发现了多个生物礁油气田或含油气构造。前人围绕早中新世生物礁开展了大量研究工作,在生物礁的平面分布、层序地层与沉积体系、礁滩储层特征及主控因素等方面取得了丰富的成果^[10-14],但这些研究多着眼于整个东沙隆起,未对隆起内不同礁滩发育带的结构充填与成藏条件开展系统对比解剖。本文基于新获得的

地震与钻井资料,结合前人研究成果,从钻井分析入手,通过井震结合,精细刻画了东沙隆起早中新世碳酸盐岩台缘带的结构与沉积充填特征,并综合已钻井的成败分析,指出了台缘带不同区段的成藏条件与勘探方向。

1 台缘带的识别

1.1 碳酸盐岩台地发育背景

东沙隆起位于珠江口盆地东部,其周缘分别与潮汕坳陷、珠Ⅱ坳陷、番禺低隆起、珠Ⅰ坳陷相邻(图1),是一个南北被坳陷夹持、由东北向西南倾没的大型鼻状隆起^[12],面积约 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。始新世至早渐新世(断陷期),东沙隆起为断隆区,未沉积文昌组、恩平组(图2)。晚渐新世至早中新世(坳陷期),受南海运动影响,盆地区域性整体沉降,海水自西南向东北侵入,东沙隆起逐渐淹没于水下,珠海组和珠江组下部的滨岸相砂岩(图2)超覆于隆起之上^[12]。珠江组沉积中晚期,东沙隆起整体被海水淹没,同时由于珠

收稿日期: 2014-10-28; 改回日期: 2014-12-25

本文受国家科技重大专项“南海深水区大中型油气田成藏主控因素与有利勘探方向”(编号: 2011ZX05025-006)资助

曾清波: 1983年生,工程师。2009年获中国地质大学(北京)博士学位。现从事沉积学、层序地层学相关研究工作。通讯地址: 100028北京市朝阳区太阳宫南街6号院中海油大厦; E-mail: zengqb@cnooc.com.cn

I 坳陷的隔挡作用,隆起区形成了浅水、温暖、远离碎屑物源的清水环境^[16],广泛发育了碳酸盐岩台地

(图1,图2),并在台地中西部发育了大规模的生物礁和生物碎屑滩(图1)。

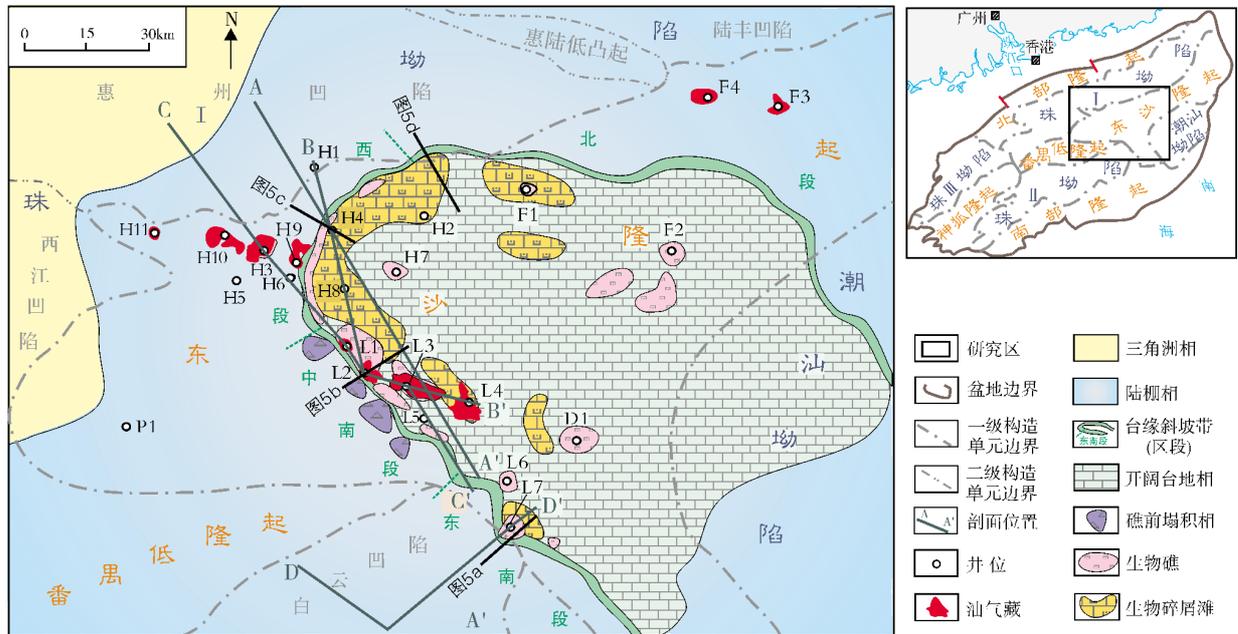


图1 珠江口盆地东沙隆起早中新世中晚期沉积环境与台缘带分布
油气藏分布引自文献^[15]

1.2 台缘带的识别

碳酸盐岩台缘带,顾名思义,是指碳酸盐岩台地的边缘。台缘带面临广海,但水体相对较浅,水动力条件强,能够为生物的生长发育提供足够养分,并将灰泥带走,有利于生物大量繁盛及碳酸盐岩的快速沉积。台缘带向海一侧过渡成陆棚或盆地相,由于陆棚或盆地为欠补偿的沉积环境,故沉积速度慢,地层厚度薄。而从台缘斜坡往台地方向,则可见到上覆碎屑岩地层(台缘带对应的强波组之上)厚度急剧变薄,且存在明显的地层上超现象(图3)。由此,可根据沉积相连井对比剖面、地震剖面等资料,分析目的层地层厚度与沉积充填的空间差异,进而可识别出碳酸盐岩台缘带。

沉积相连井对比剖面是揭示台缘带存在的最直接表现形式。由碳酸盐岩台地向陆棚或盆地的过渡,通常表现为由高能相带向低能相带的转换,在连井剖面上由台地内大套厚层碳酸盐岩逐渐转变为台缘带生物礁灰岩、生物碎屑灰岩,在斜坡部位转变为泥灰岩或泥岩,地层厚度也随之变薄。H1井

至L4井的连井剖面(图4)表明,早中新世早期,研究区主要接受了一套碎屑岩滨岸沉积(珠江组下段),随着海平面上升,东沙隆起逐渐淹没于水下,早中新世中晚期形成了分布广泛的碳酸盐岩台地(珠江组上段)。

台地发育早期,台缘带位于H4井以西一带。H4井钻遇大套厚层的生物碎屑滩沉积,岩性主要为生物碎屑灰岩,局部夹泥晶藻灰岩;测井响应上,GR曲线呈低值平直状,声波曲线呈低幅锯齿状。西北侧的H1井钻遇碎屑岩陆棚的大套厚层泥岩夹薄层粉砂岩沉积。

台地发育中晚期,随着海平面的进一步上升,台地边缘向东迁移至L2井一带。L2井钻遇了大套厚层的台缘礁灰岩,岩性为泥晶珊瑚藻灰岩、珊瑚藻-珊瑚灰岩,局部夹碎屑状泥晶生物碎屑灰岩;测井响应上,GR曲线呈低值平直状,声波曲线呈箱状起伏,值较低。L2井西侧的H4井则演变为陆棚相砂泥岩沉积,L2井以东为厚层的台地内礁滩相与滩间海沉积(图4)。

与钻井分析相对应,台缘带在地震剖面上存在

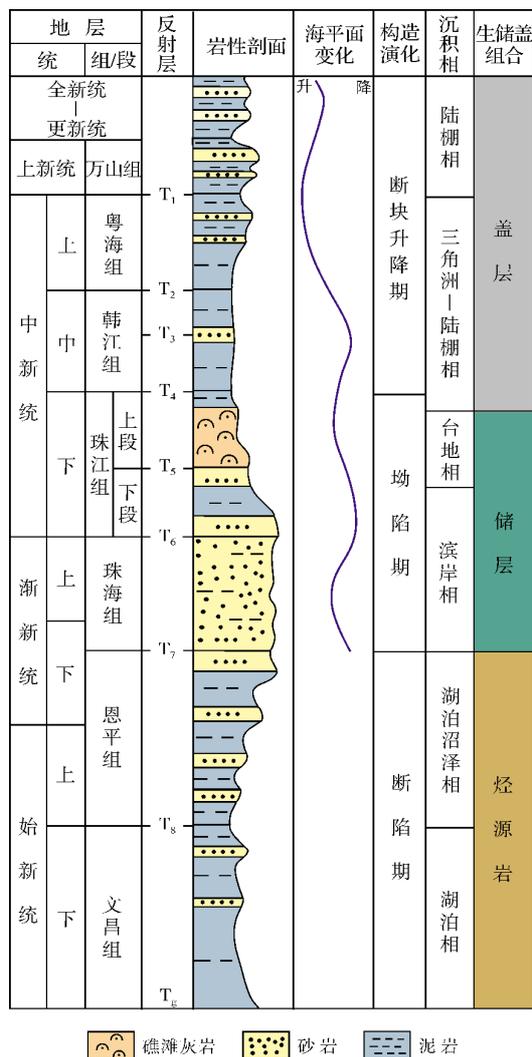


图2 珠江口盆地东部新生界地层综合柱状图

着明显的地层结构与沉积充填标志(图3):台缘带向海方向为陆棚沉积,表现为地层埋深迅速增大,地层厚度随之减薄;台缘斜坡部位可见多期次向台地地方向的地层上超,为超覆密集带;台地边缘的生物礁、生物碎屑滩的地震反射(强振幅波组)明显区别于斜坡及陆棚的泥质沉积。早中新世碳酸盐岩台缘带在东沙隆起中南部稳定存在,从隆起中南部的北西—南东向地震剖面上(图3)可清晰地识别出两期台缘带:早期台缘带位于东沙隆起与惠州凹陷邻接部位,可见台缘生物礁的丘状反射,往台地方向过渡为生物碎屑滩的席状亚平行中强振幅中等连续反射,向海一侧为陆棚相碎屑岩的席状平行强振幅连续反射,斜坡附近可见明显的地层上超;晚期随着海平面进一步上升,台缘带向东迁移至L3礁体一带。

2 台缘带地质结构特征

通过对研究区内珠江组灰岩段的单井以及连井的沉积相分析,本文结合精细地震相解释,明确了珠江组沉积中晚期的沉积环境与台缘带的平面分布(图1)。受控于东沙隆起东北高、西南低的古地貌,海水自西南向东北侵入,台地分布于隆起的中西部,台缘带围绕台地呈环带状分布:南部近北西向分布于L7井至H6井一带,西部北东向展布于H4井一带,北部近东西向分布于F1井以北一带。根据斜坡形态与沉积充填特点,可把台缘带进一步划分为四个区段(图1,表1,图5)。

台缘带东南段 位于白云凹陷与东沙隆起的过渡带(图1)。斜坡表现为大型、均一斜率的陡坡,横

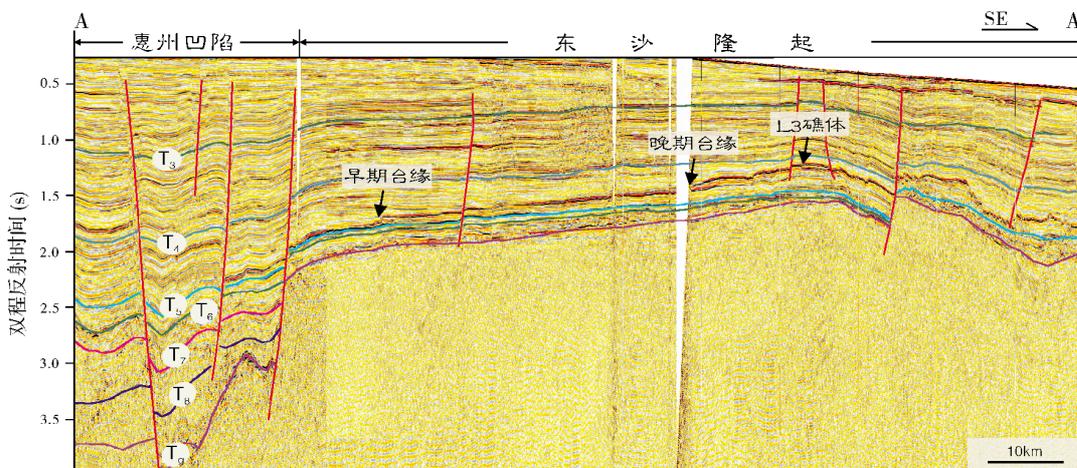


图3 东沙隆起区域地震剖面及珠江组上段碳酸盐岩台地 A—A'剖面位置见图1。地震反射层代号见图2

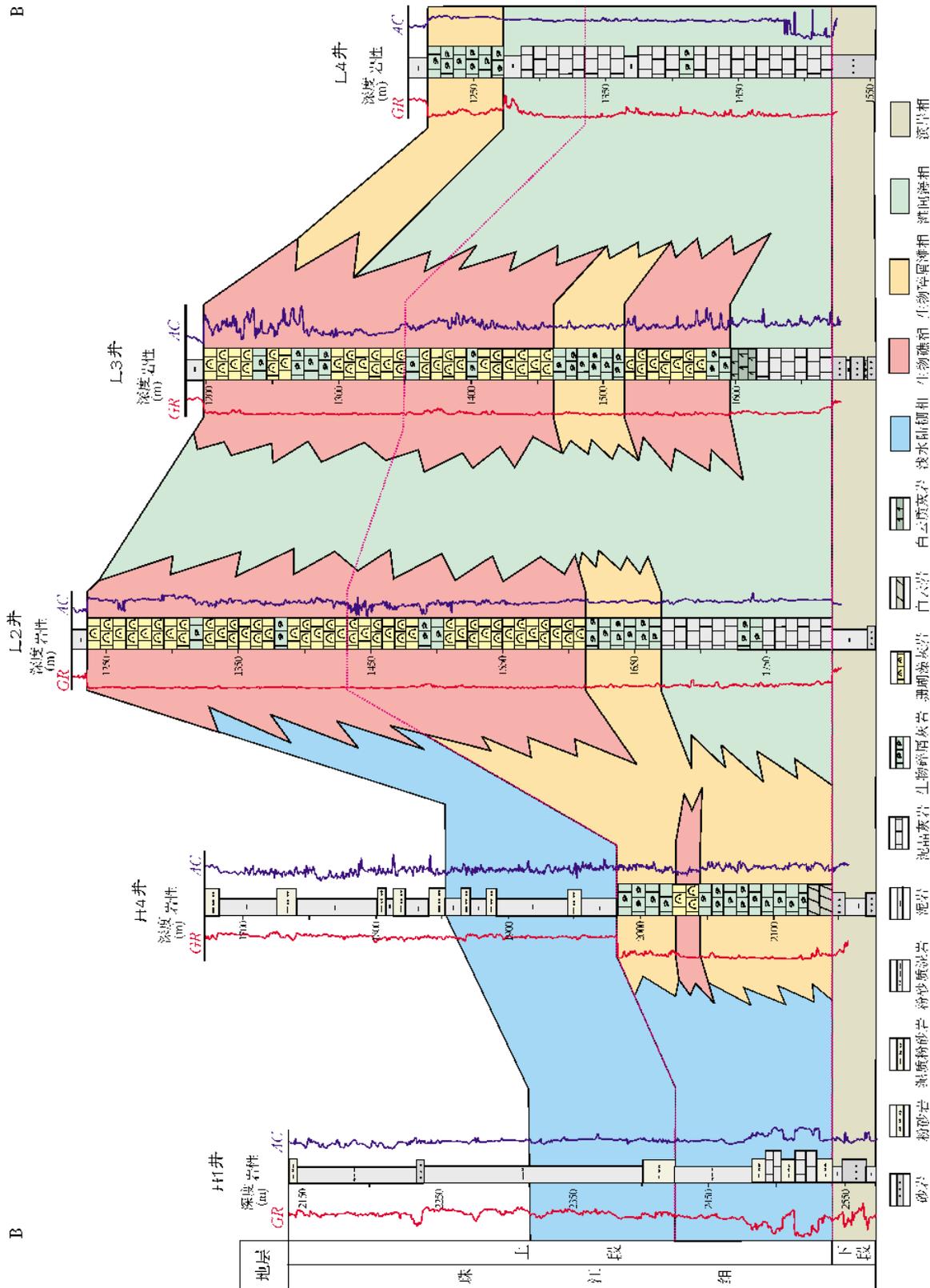


图4 东沙隆起珠江组沉积相连井对比剖面
B-B'剖面位置见图1。拉平珠江组上段底界

表1 东沙隆起早中新世台缘带四个区段的特征对比

区段	斜坡特征			沉积充填体	礁的规模		代表剖面
	结构类型	宽度(km)	高差(m)		宽度(km)	厚度(m)	
东南段	陡坡	7.0	1200	礁、滩	5.0	170	图 5a
中南段	断坡	2.0	180	礁、滩、礁前塌积	8.1	图 5b	
西段	缓斜坡	1.2	120	礁、滩	1.3	130	图 5c
北段	缓斜坡	1.1	140	滩	—	—	图 5d

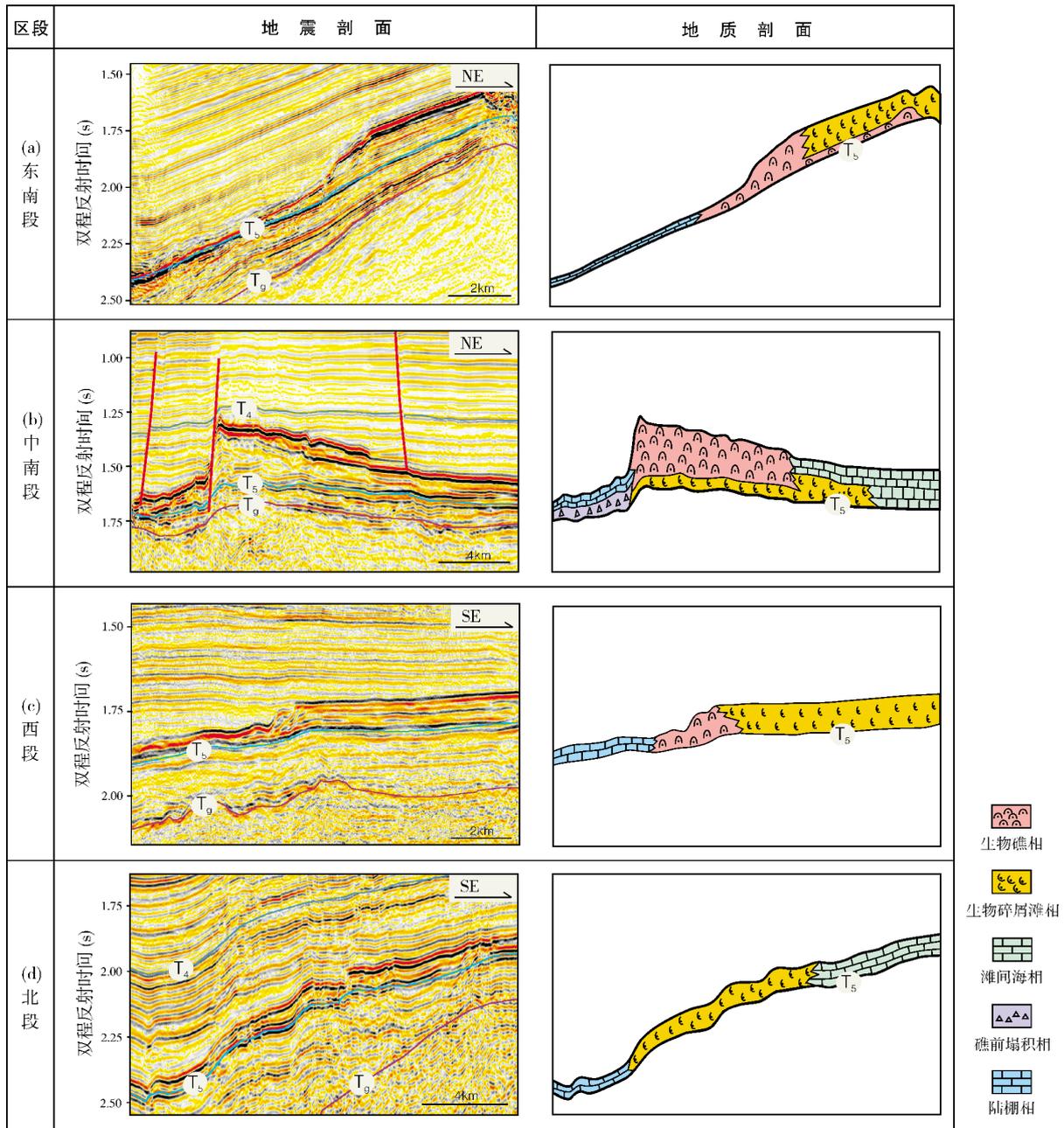


图5 东沙隆起台缘带不同区段结构与充填特征
剖面位置见图1。地震反射层代号见图2

向宽度大、地势陡,最宽可达7 km,地形高差达1 200 m(表1),斜坡部位可见多期次地层超覆(图5a)。斜坡顶部发育台缘礁滩相;向斜坡一侧见丘形体,内部以杂乱—弱振幅充填为主,为生物礁沉积,规模较大,横向宽约5 km,厚度约170 m(表1),呈两翼不对称丘状,顶部较平;丘形体东侧主要为席状亚平行中振幅中频中等连续反射,可见小型丘形体,主要为台缘滩沉积(图5a)。

台缘带中南段 位于东沙隆起中南部,东起L6井以西,西至L1井以西(图1)。斜坡表现为受单条或多条继承性断层控制的断坡,宽度约2 km,地形高差为180 m(表1),规模相对较小。台缘礁发育于断层上升盘,礁体呈丘状,两翼不对称,坡折下倾方向较陡,丘形体内部为一套杂乱—弱振幅反射(图5b);台缘礁规模较大,礁体宽8.1 km,高约420 m(表1)。向台地一侧过渡为席状平行中强振幅中频连续反射,为滩间海沉积;向海一侧则发育礁前塌积,地震响应为楔形杂乱充填(图5b)。

台缘带西段 位于东沙隆起西部H6井以东至H4井之间(图1)。斜坡表现为继承性的地貌倾斜,宽度变窄,约1.2 km,坡度较缓,高差减小至120 m(表1)。台缘带主要发育生物礁和生物碎屑滩,生物礁外形呈低幅丘状(图5c),规模较小,礁体宽1.3 km,高约130 m(表1),礁体向台地一侧分布有较广的生物碎屑滩。

台缘带北段 位于东沙隆起中北部,西起H1井以东,东至潮汕坳陷(图1)。斜坡规模较小,宽约1.1 km,高差140 m(表1)。该段早中新世处于背风带,生物礁相对不发育,仅西部临近惠州凹陷一带发育台缘滩,地震响应为席状亚平行中强振幅中频中等连续反射(图5d)。

从早中新世台缘带的斜坡形态看,东南段斜坡宽和陡,最大宽度达7 km,地形高差达1 200 m,往西,斜坡规模减小,横向宽度不断变窄,地形也逐渐变缓,西段斜坡宽约1.2 km,高差仅为120 m。受古地貌与海侵的影响,沿台缘带生物礁滩的发育程度存在差异:东南段、中南段生物礁滩发育,生物礁呈串珠状分布,大小不一;西段发育中小规模的生物礁和较大规模的生物碎屑滩;北段处于背风面,水动力条件较弱,礁滩相对不发育。

3 台缘带的勘探方向

碳酸盐岩台缘带在东沙隆起油气勘探中具有重

要意义,已发现多个生物礁油气田或含油气构造。考虑到烃源条件(与周缘生烃凹陷的距离)、输导条件(沟通烃源岩与礁滩体的珠海组—珠江组下段滨岸砂体的发育程度)的差异,台缘带不同区段的油气成藏条件有所不同。

台缘带中南段及西段是勘探重点,目前已发现L2、L3等多个油气田或含油气构造,主力含油层系为珠江组上段的生物礁滩灰岩。油源分析表明,L3油田的油气来源于惠州凹陷文昌组,原油含有丰富的C₃₀4-甲基萘烷,双杜松烷化合物的含量普遍很低,Pr/Ph值一般小于3,与惠州凹陷文昌组烃源岩特征^[17]一致。惠州凹陷文昌组以深湖—半深湖相沉积为主,最大厚度达2 400 m,有机质丰度高,有机碳含量平均为2.35%,S₁+S₂平均为11.81 mg/g,HI平均可达329 mg/g,有机质类型主要为Ⅱ₁型,是凹陷主要的烃源岩^[17]。输导与运移条件研究表明,早中新世晚期—中中新世,惠州凹陷内的断层活动微弱或不活动,文昌组烃源岩生成的油气以侧向运移为主,在由珠海组—珠江组下部滨岸砂岩组成的输导层内部穿越边界断层,向隆起上倾方向沿构造脊运移,并在合适的生物礁滩中聚集成藏^[15](图6,图7a)。从勘探成效上看,台缘带中南段已发现多个油气田或含油气构造,说明油气来源充足;同时,在位于构造脊方向上的圈闭中所钻的井均获得油气发现,如L1、L3、L4等,这表明构造脊是一个关键要素。因此,中南段下一步勘探应围绕构造脊附近的生物礁滩体展开。

台缘带西段礁滩体目前尚未获得商业油气发现。H4井为油气层井,钻遇了大套厚层生物碎屑灰岩,储层粒间孔隙发育,物性好,但由于所钻圈闭规模不大,故未形成商业规模。综合分析看,台缘带西段邻近惠州凹陷,油气来源较充足,也是油气运移的有利指向区(图6),捕获油气的几率大,因此,西段的生物礁滩构造-岩性复合圈闭应是下一步的勘探重点。

台缘带东南段处于白云凹陷与东沙隆起结合带,礁滩储层发育,同时邻近富生烃凹陷——白云凹陷^[18],捕获油气的几率大,但从目前的勘探结果来看,L6、L7两口探井均为干井,无油气显示。白云凹陷的烃源岩为文昌组与恩平组,恩平组是主力烃源岩,包括煤系三角洲与海相泥岩两种类型,凹陷东北部主要发育海相泥质烃源岩,有机质类型为Ⅱ₂—Ⅲ

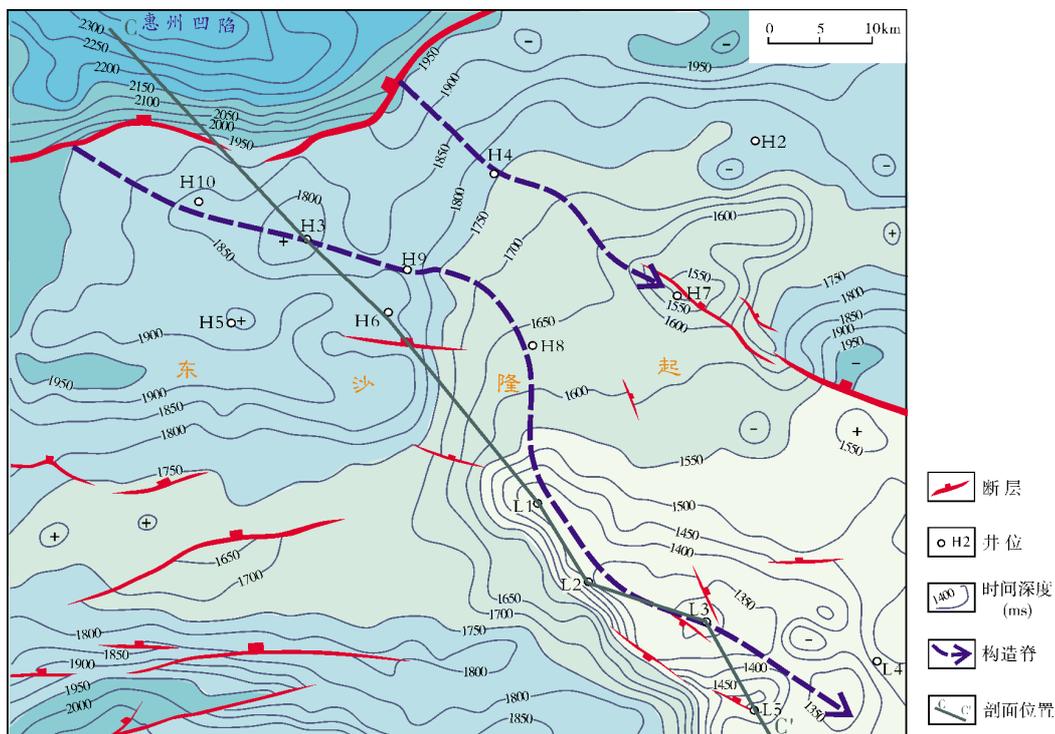


图6 东沙隆起中部珠江组上段底面时间构造图与构造脊分布

型,有机碳含量平均1.0%~1.5%,HI平均280 mg/g^[19]。从输导与油气运移条件分析,在白云凹陷东北部,向西面的番禺低隆起一侧是油气运移的主要方向,珠海组、珠江组沉积的早期发育三角洲砂岩,并存在油源断裂,这为油气运移提供了有利通道(图7b);东沙隆起一侧,珠海组、珠江组沉积时期水体较深,以泥质沉积为主,白云凹陷与东沙隆起结合带虽有滨岸相砂岩发育,但分布局限,加上断裂不发育,难以有效沟通烃源岩与上部的生物礁储层,这些因素阻碍了油气向东沙隆起运移。L6井在珠江组上段钻遇大套厚层礁灰岩,储集物性好,孔隙度20%~30%,渗透率大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,所钻圈闭落实可靠,综合分析认为,L6井的无油气显示与缺乏油气的有效运移有关。因此,台缘带东南段的油气勘探存在一定风险。

台缘带北段生物礁相对不发育,与惠州凹陷邻接部位发育有一定规模的生物碎屑滩,应具有一定的勘探潜力。F1井在珠江组上段钻遇厚层礁滩灰岩,在下段钻遇厚层三角洲相砂岩。F1井为油气显示井,推断这与该井点所在位置距离构造脊较远、且不在油气运移的主要路径上有关。因此,台缘带北段的油气勘探需要围绕构造脊展开。

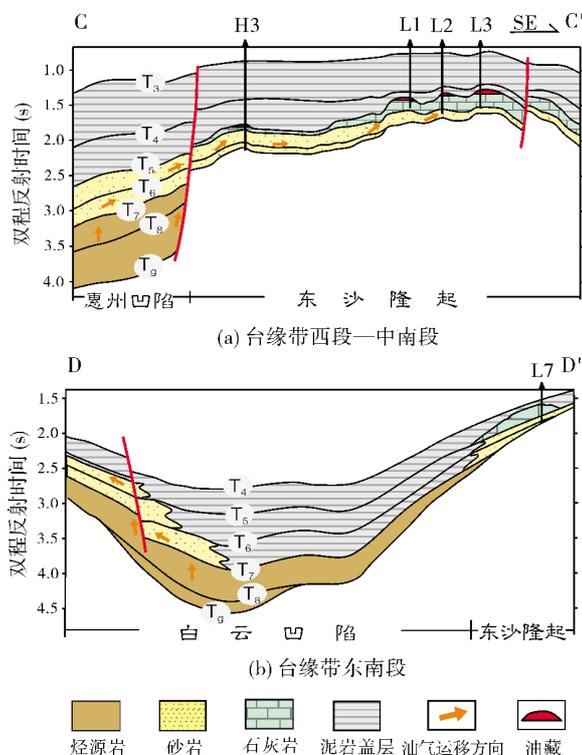


图7 东沙隆起中部珠江组生物礁滩油气成藏模式
C—C'、D—D'剖面位置见图1

4 结论

(1) 基于钻井、地震资料分析, 珠江口盆地东沙隆起早中新世台缘带沿L7井、H6井及F1井一带呈环带状分布。根据斜坡结构与沉积充填的差异, 台缘带可以划分为四个区段, 由东南段向北段, 斜坡宽度、高差逐渐变小, 台缘礁滩集中发育在东南段、中南段和西段, 北段礁滩规模较小乃至不发育。

(2) 台缘带中南段、西段油气成藏条件好, 位于构造脊附近的礁滩中所形成的构造-岩性复合圈闭是有利勘探目标; 台缘带东南段由于缺乏有利的输导体, 存在一定勘探风险; 台缘带北段与惠州凹陷邻接部位发育一定规模的生物碎屑滩, 具有一定的勘探潜力。

参考文献

- [1] 谷志东, 汪泽成, 胡素云, 等. 全球海相碳酸盐岩巨型油气田发育的构造环境及勘探启示[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(1): 106-116.
- [2] Horn M K. Giant oil and gas fields: Global inventories, tectonic settings, stratigraphic framework, and predictive parameters[M]. Texas: AAPG, 2005.
- [3] 赵宗举. 海相碳酸盐岩储集层类型、成藏模式及勘探思路[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(6): 692-703.
- [4] C&C Reservoirs. Hydrocarbon systems in carbonate[DB/CD]. Houston: C&C Reservoirs, 1998.
- [5] 赵宗举, 李宇平, 吴兴宁, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系特大型岩性油气藏成藏条件及勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2004, 9(5): 12-20.
- [6] 周新源, 王招明, 杨海军, 等. 中国海相油气田勘探实例之五: 塔中奥陶系大型凝析气田的勘探和发现[J]. 海相油气地质, 2006, 11(1): 45-51.
- [7] 廖凯飞, 秦莎, 梁智荣. 塔里木盆地古生代海相地层礁滩油气藏研究综述[J]. 长江大学学报: 自然科学版, 2013, 10(26): 65-67.
- [8] 朱光有, 张水昌, 梁英波. 四川盆地深部海相优质储集层的形成机理及其分布预测[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2): 161-166.
- [9] 龚再升. 生物礁是南海北部深水区的重要勘探领域[J]. 中国海上油气, 2009, 21(5): 289-295.
- [10] 汪瑞良, 周小康, 曾骅, 等. 珠江口盆地东部东沙隆起中新世碳酸盐岩与生物礁地震响应特征及其识别[J]. 石油天然气学报, 2012, 33(8): 63-68.
- [11] 付振群, 傅恒, 汪瑞良, 等. 珠江口盆地东部珠江组层序岩相古地理特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(3): 34-39.
- [12] 陈骥, 傅恒, 刘雁婷, 等. 珠江口盆地东沙隆起珠江组沉积环境及演化[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(2): 21-26.
- [13] 赵撼霆, 吴时国, 王玉波, 等. 南海珠江口盆地东沙隆起区生物礁演化模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2012, 32(1): 43-49.
- [14] 岳大力, 吴胜和, 林承焰, 等. 流花 11-1 油田礁灰岩油藏储层非均质性及剩余油分布规律[J]. 地质科技情报, 2005, 24(2): 90-94.
- [15] 吴娟, 叶加仁, 施和生, 等. 惠州凹陷典型油气聚集带成藏模式[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2012, 34(6): 17-22.
- [16] 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.
- [17] 李友川, 陶维祥, 孙玉梅, 等. 珠江口盆地惠州凹陷及其邻区原油分类和分布特征[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 830-834.
- [18] 张功成, 杨海长, 陈莹, 等. 白云凹陷——珠江口盆地深水一个巨大的富生气凹陷[J]. 天然气工业, 2014, 34(11): 11-24.
- [19] 李友川, 邓运华, 张功成, 等. 南海北部第三系海相烃源岩[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 219-225.

编辑: 董庸

Geological Feature and Prospecting Potential of Early Miocene Platform Margin Belt in Dongsha Uplift, Zhujiangkou Basin

Zeng Qingbo, Zhang Gongcheng, Liao Zongbao,
Yin Binhao, Wang Shenglan, Ji Mo

Abstract: Based on analysis of drilled and seismic data, the large early Miocene carbonate platform margin is distributed along a cyclical area from Well L7 to Well H6 and to Well F1 in Dongsha Uplift, Zhujiangkou Basin. On account of slope geometry and sedimentary filling characteristics, the platform margin can be divided into four zones, i.e. the southeast, the center-south, the west and north zones, each of which displays their own different condition of hydrocarbon accumulation. The slope is wide and steep and reef-shoals widely develop in the southeast zone where oil exploration will face some risk due to lack of effective sandbodies to conduct with the underlying strata although it is near hydrocarbon-rich Baiyun Sag. The slope is not so wide and steep but reef-shoals also widely develop in the center-south zone where the reef-shoals near ridges maybe are the favorable exploration targets. The slope is gentle but not wide and bioclast shoals develop in the west zone where the structural-lithologic traps that are distributed along structure ridges should be the breakthrough targets as the center-south zone. In the north zone, the slope gets small and reef-shoals do not develop because of locating in leeward so that the small-scaled bioclast shoals adjacent to Huizhou Sag maybe is of exploration potential.

Key words: Early Miocene; Reef shoal facies; Tectonic feature; Exploration potential; Dongsha Uplift; Zhujiangkou Basin
Zeng Qingbo: DSc., Geology Engineer. Add: CNOOC Research Institute, 6 Taiyanggong Nan Jie, Beijing, 100028, China