

珠江口盆地惠州凹陷珠江组 K 系列 陆架砂脊沉积演化与成因

丁琳^{1,2}, 张昌民¹, 杜家元^{1,2}, 施和生², 罗明², 王湘蜀², 贾培蒙²

[1. 长江大学 油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 武汉 430100; 2. 中海石油(中国)有限公司 深圳分公司, 广东 广州 510240]

摘要:依据地震沉积学和层序地层学基本原理,对珠江口盆地惠州凹陷珠江组上段 MFS18.5-SB17.5 地层(K 层系)进行了高精度层序地层格架划分,共划分出 8 个砂层或砂层组。通过以层序界面、最大海泛面及次一级海泛面作为约束条件提取地层切片的研究方法,结合钻/测井、岩心和区域沉积背景,在研究区开展精细的地震相和沉积相研究。惠州凹陷珠江组 K 系列地层主要分布两大沉积体系,西侧为三角洲前缘河口坝-席状砂沉积体系和东南侧为陆架砂脊沉积体系,其中陆架砂脊主要具备以下几个特点:(1)分布在三角洲朵体前端;(2)平行于岸线呈 NEE 方向,且为条带状展布;(3)向两翼减薄,部分砂脊一翼较厚并具有尖锐边缘,另一翼逐渐变薄,并具有不规则边缘。探讨了这些在陆架上沉积的条带状砂脊成因的机制,指出这些平行于岸线的指状砂脊是三角洲前缘砂受波浪搬运和改造的产物,其在侧向相变为泥岩,是地层岩性油气藏勘探的一个重要领域。

关键词:三角洲前缘;陆架砂脊;珠江组;惠州凹陷;珠江口盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Depositional evolution and genesis of K set of shelf sand ridges in the Zhujiang Formation of Huizhou sag, Pear River Mouth Basin

Ding Lin^{1,2}, Zhang Changmin¹, Du Jiayuan^{1,2}, Shi Hesheng², Luo Ming², Wang Xiangshu², Jia Peimeng²

(1. Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100, China;

2. Shenzhen Branch of CNOOC, Guangzhou, Guangdong 510240, China)

Abstract: Based on the principles of seismic sedimentology and sequence stratigraphy, a high resolution sequence stratigraphy framework was established for the MFS18.5-SB17.5 (K set) in Huizhou sag of Pearl River Mouth Basin with 8 sand layers or sand groups recognized. Based on the time-slices of seismic attributes under the constraint of sequence boundary surface, maximum flooding surface and the sub-flooding surface, we studied in detail the seismic facies and sedimentary facies in combination with the well logging and drilling data, cores and regional sedimentary backgrounds. Two depositional systems were recognized in K set of Zhujiang Formation in Huizhou sag, namely the river mouth bar of delta front-sheet sand depositional system in the west, and the shelf ridges system in the southeast. The shelf ridges are characterized by the follows: being located in the front of delta lobes; parallel to the coast in NEE direction, and in stripped distribution; and thinning towards to both edges. Some ridges are thick in one limb and having sharp edges, while the other limb thinning gradually and having irregular edges. This paper discussed the formation mechanism of those striped ridges on the shelf, and pointed out that the striped ridges were resulted from transportation and transformation of delta front sands by waves. And they laterally change into mudstone, thus are important domains for exploration of lithologic reservoirs.

Key words: delta front, shelf sand ridge, Zhujiang Formation, Huizhou sag, Pearl River Mouth Basin

在现代陆架上已经发现有砂脊沉积物,但现今文献中缺少古代陆架砂脊的确定性实例。国内外关于古陆架砂脊的研究也有限,根据砂脊的分布特征以及水动力条件,Posamentier 认为陆架砂脊沉积物是陆架环

境下海侵体系域沉积物被水流作用侵蚀改造的^[1],国内学者普遍认为陆架砂脊受到古地貌和古水流的控制,分为潮控和浪控两类,且认为这种类型的砂体是岩性地层圈闭勘探的一个主要方向^[2-6]。在珠江口盆地

收稿日期:2013-12-30;修订日期:2014-03-20。

第一作者简介:丁琳(1981—),女,博士研究生、工程师,层序地层学、沉积学。E-mail:dinglin@cnooc.com.cn。

基金项目:国家“十二五”科技重大专项(2011ZX05023-002)。

惠州凹陷,珠江组 K 系列砂体分布具有明显的东西分带性,尤其在东部陆架地区,呈北东向分布的条带状砂体特征明显,在地震剖面上对应着反射明显的中强振幅,在均方根振幅属性图上表现为条带状强振幅^[7],钻探结果证实这些强振幅条带与砂体有良好的对应关系,且可形成商业性油气藏。分析这些具有振幅异常条带的砂体类型、成因及演化规律,对于珠江口盆地相似沉积特点区域的油气勘探具有重要的指导意义。

1 区域地质背景

珠江口盆地位于南海北部华南大陆南缘,呈北东走向,大致平行于华南大陆岸线陆架和陆坡区,属于拉伸性盆地,是南中国海扩张的结果,盆地主要由北部隆起带、北部坳陷带、中央隆起带、南部坳陷带和南部隆起带组成^[8]。珠江口盆地新生代主要有 5 次重要的构造运动,即神狐运动、珠琼运动一幕、珠琼运动二幕、南海运动以及东沙运动,其中南海运动是盆地断陷、断坳向坳陷转化时期,坳陷开始并进入沉降阶段,沉积了珠江组(粗碎屑岩)和珠江组(海相细碎屑岩)^[9]。

惠州凹陷位于珠江口盆地中东部,南北分别毗邻东沙隆起和北部隆起带,东西分别以惠陆低凸起和西惠低凸起与陆丰凹陷和西江凹陷相隔(图 1)。根据 Vail 层序划分方案,惠州地区珠江组在区域上可划分为 5 个三级层序,其沉积时期一直处于陆架背景,层序结构主要以海侵体系域和高位体系域为主^[10],其中 K

系列砂体主要分布在 $MFS_{18.5} - SB_{17.5}$, $MFS_{18.5} - SB_{18}$ 位于三级层序的高位体系域, $SB_{18} - SB_{17.5}$ 是珠江组三级层序的顶底界线,主要由海侵体系域和高位体系域组成。

2 K 系列砂体沉积演化及成因

2.1 精细层序地层分析

若要分析砂组或单砂体的分布和沉积规律,三级层序的时间精度显然是不够的,必须对层序内部进行高精度分析,找出同样具有对比意义的次一级界面—四级层序界面。地震沉积学基于高精度三维地震资料、现代沉积环境、露头 and 钻井岩心资料建立的层序地层格架和沉积模式的联合反馈,适应了地层岩性圈闭精细勘探开发的需求,并在油气精细勘探开发中发挥了积极作用^[11-13]。

本文以三级层序内能够识别的海泛面为界面,划分珠江组 $MFS_{18.5} - SB_{17.5}$ 的四级层序,这种界面选择的优势主要体现在(以河口坝类型为例)(图 2):(1)海泛界面比较容易追踪对比;(2)以一个海泛界面为开始到下一个海泛界面为结束代表了一个河口坝从它的发生、发展到最后的消亡这样一次比较完整的沉积幕;(3)在这个四级层序内具备了相对比较完整的储盖组合。

层序内的海泛界面分为 3 种类型:(1)最大海泛界面(MFS),该界面在三级层序内规模最大,在地震剖面上容易识别追踪,可作为一个区域性的盖层控制油气的

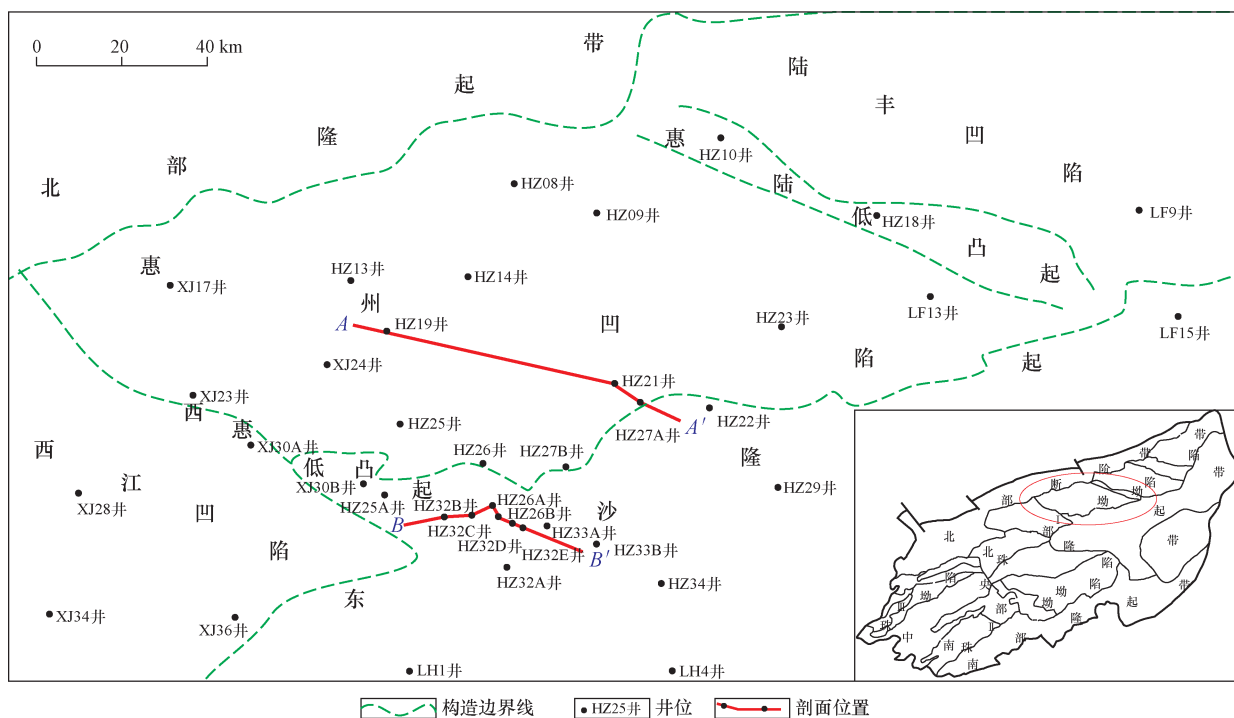


图 1 珠江口盆地惠州凹陷构造格局

Fig. 1 Structure framework of Huizhou sag in Pearl River Mouth Basin

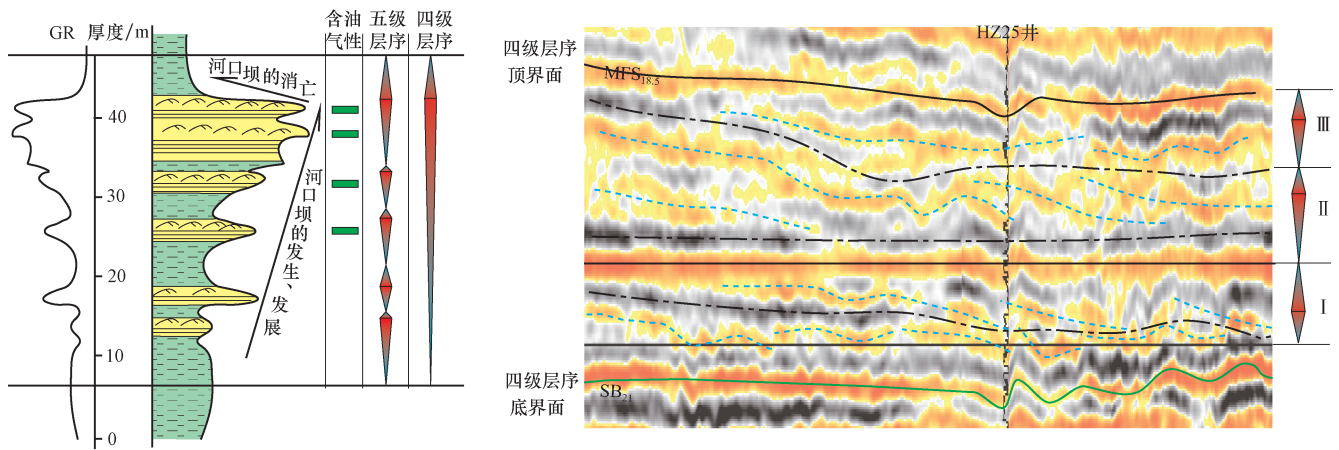


图2 高精度层序地层划分

Fig. 2 Division of high-resolution sequence stratigraphy

分布;(2)次级海泛界面,除最大海泛界面外的可在地震剖面上比较容易追踪对比的,在一定范围内可作为盖层控制油气分布的界面;(3)局部海泛界面,此界面在地震上不容易追踪对比,仅在钻井上可以识别,在局部地区可以作为盖层控制油气的分布。

根据以上方法和原则,在 $MFS_{18.5} - SB_{17.5}$ 之间,共识别了2个四级界面 FS_1 和 FS_2 。其中, FS_2 是三级层序 $SB_{18} - SB_{17.5}$ 的最大海泛面,分布广泛; FS_1 则为高位体系域 $SB_{18.5} - SB_{18}$ 的次级海泛面,受到构造抬升的影响,分布较为局限,在地震剖面上,其表现为连续、低频的中弱反射,在区域上易于追踪,井上都表现为一套稳定沉积的厚层泥岩。此外,在钻井剖面上还可以识别出更小级别的海泛界面,这些界面在地震剖面上无法追踪对比,在井上对应的泥岩层厚度较小,只在局部地区分布,说明了更高精度内砂体的一次小旋回,可以利用这些局部海泛界面作为砂层或砂层组分界面,联合各

种地球物理手段来确定薄层沉积砂体形态、边界、成因等这些在地层岩性圈闭中比较关注的问题。基于层序或体系域内部这些不同级别的海泛界面,我们将珠江组 $MFS_{18.5} - SB_{17.5}$ 之间进一步划分为4个四级层序以及8个砂层组(图3)。

2.2 相对海平面升降变化

相对海平面升降是由绝对的海平面变化、构造沉降与沉积物供应等共同作用的结果。相对海平面变化可以反映出一个盆地内部可容纳空间的变化,可容纳空间与沉积物供给的比值决定层序内部准层序组的堆积样式^[14]。当沉积速率等于可容纳空间腾空速率即海平面相对稳定时,层序内部的沉积物将出现加积的沉积现象;当沉积速率小于可容纳空间腾空速率即相对海平面升高时,层序内部的沉积物将出现退积的沉积现象;当沉积速率大于可容纳空间腾空速率即相对

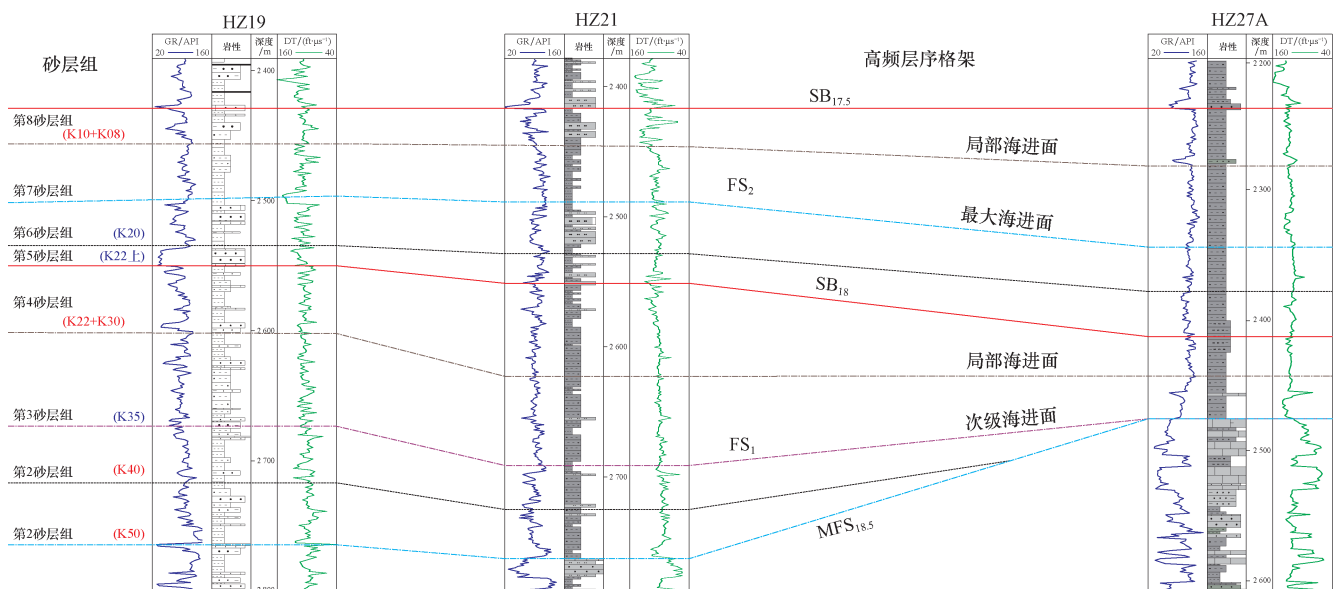


图3 惠州凹陷珠江组K层系高频层序格架(剖面位置见图1A—A')

Fig. 3 High-resolution sequence stratigraphic framework of K set in Huizhou sag(see Fig. 1 for A—A' location)

海平面降低时,层序内部的沉积物会出现向盆地方向进积的沉积现象^[15]。根据层序内部沉积物不同的叠置样式,可以找出相对海平面升降规律。

在惠州凹陷内部 HZ21 井区 $SB_{18.5} - FS_1$ 之间, K50 和 K40 两套砂体在地震剖面上有非常明显的进积现象,其中 K50 时期,受到东沙隆起侧向遮挡, HZ21 井区沉积环境相对闭塞,受潮汐影响较大, K40 沉积末期时,由于海泛,东沙隆起侧向的遮挡作用减弱,沉积环境相对开阔,此时,受波浪作用开始加强。在 $FS_1 - SB_{18}$ 之间的 K35, K30 及 K22 砂体又开始向前推进,进积现象明显,说明在经历了一次小规模海泛之后,海平面又开始大规模下降。在 $SB_{18} - FS_2$ 之间,海水的大量涌入使得东沙隆起大部分沉没于水下,从而 HZ21 井区的沉积环境更加开阔,此时期, HZ21 - 1 井区三角洲侧缘受浪控作用非常明显, HZ21 构造和 HZ27A 构造上的沉积环境已经有了比较明显的分异,前者仍然以三角洲侧缘沉积作用为主,而后者则主要沉积被波浪改造的砂脊与砂席。 $FS_2 - SB_{17.5}$ 早期沉积于海平面大规模上升之后, HZ21 井区沉积环境以受波浪改造的陆架砂脊为主,晚期随着海平面的下降,砂体进积,使得 HZ21 井区又出现三角洲侧缘 - 陆架砂脊沉积体系的共存。

2.3 K 系列砂体沉积演化

在上述高精度层序格架内,利用层序界面、最大海泛面、次级海泛面等界面约束下的属性切片法(等分法),得到反应各砂层组的地震相平面分布图(图4)。在此基础上,再利用测井、沉积体形态、沉积背景将上述地震相转换成为沉积相(图5)。

K50 和 K40 沉积时期,相对海平面下降,三角洲侧缘进积作用为主, K50 及 K40 沉积早期,受到潮汐作用影响,三角洲侧缘水下分流河道被潮汐改造而有河口湾的形态, K40 沉积晚期,随着沉积环境的开放,其南部已经出现了被波浪改造的痕迹,出现北西-南东向的条带砂脊。 K30 沉积时期属于次级海泛过后进积,三角洲侧缘已经完全受浪控作用,形成的条带状砂脊增多,随着海平面的持续下降,三角洲侧缘往 HZ21 构造推进,条带砂脊的分布范围进一步扩大到东沙隆起之上,且随着沉积物供应量的增多,受波浪改造砂脊的厚度增加,而沉积物越往北则越远离三角洲侧缘,因而 HZ21 井区的 K22 沉积体的粒度较细,偏南的 HZ27B 井粒度比前者粗。由于经历了最大海泛, K20 沉积时期,三角洲侧缘沉积明显有回缩,沉积微相在 HZ21 井区主要为席状砂及浪控砂脊。 K10 和 K08 沉积时期,相对海平面持续下降,三角洲侧缘推进到 HZ21 井区,在其前端依然受到波浪改造,与 K22 相比,此时的条带砂脊的方向更偏向于 NEE 向。

2.4 K 系列条带状砂体成因

珠江组 K 层系的沉积微相具有典型的分带特点,靠近物源方向,沉积体系以三角洲前缘近端或远端沉积为主,而在三角洲前缘的外侧,则是由一系列北东向分布的条带状陆架砂脊沉积,条带砂脊之间由陆架泥岩将其分隔。这种条带状砂脊的展布与地震属性切片中所展示的振幅异常体方向一致(图4),多为北东向 30° 左右,平面上表现为振幅的明暗交替,这些条带沿着走向逐渐变窄而尖灭,有些条带一侧呈尖锐边缘,极易识别。在地震剖面上,表现为典型进积型的叠瓦状

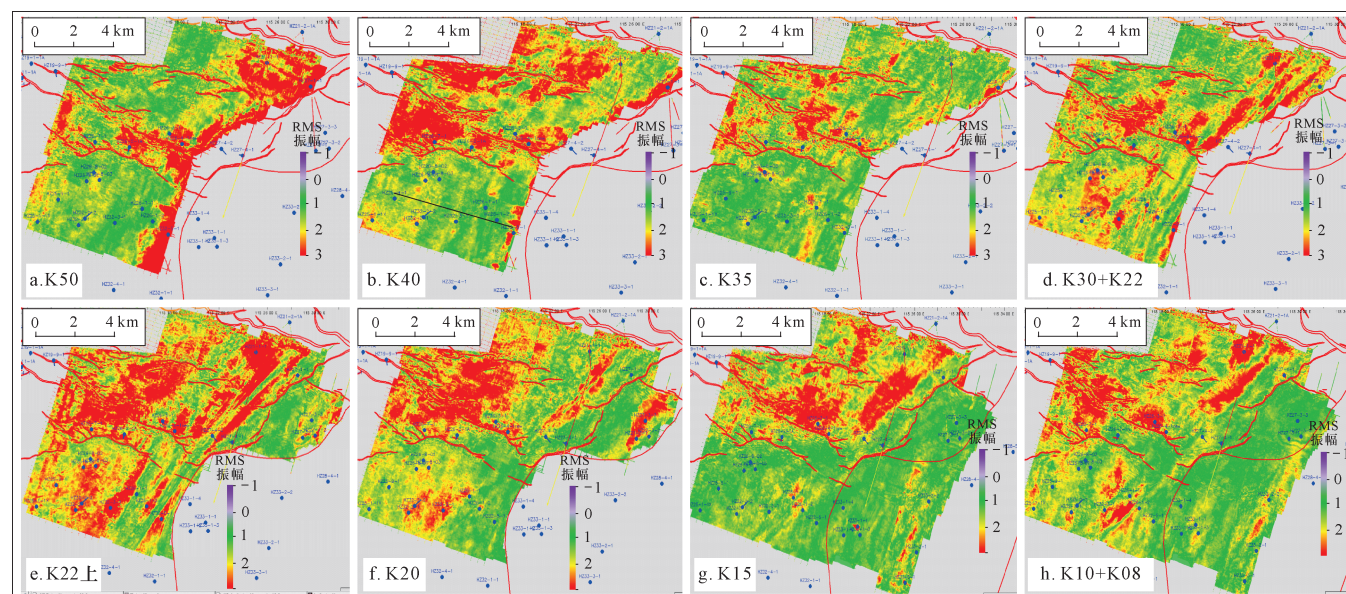


图4 惠州凹陷 K 系列砂体地震振幅切片

Fig. 4 Amplitude slices of K set sands in Huizhou sag

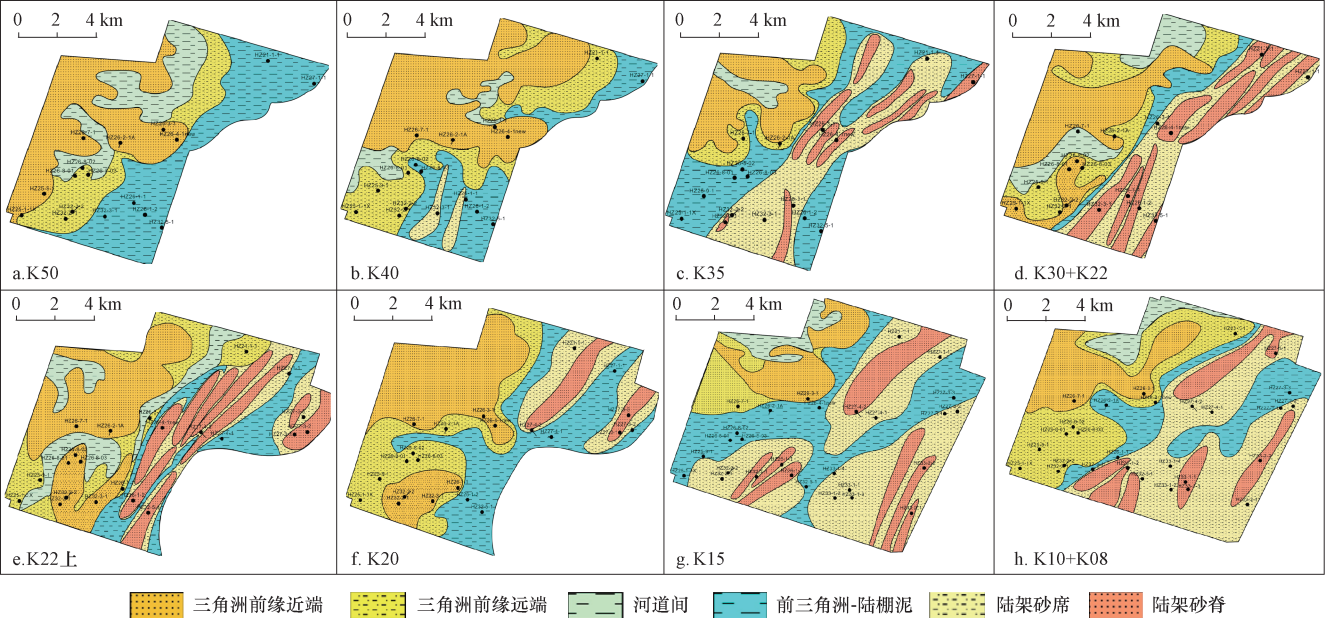


图 5 惠州凹陷珠江组 K 系列砂体沉积相平面分布

Fig. 5 Plane view of sedimentary facies of K set of Zhujiang Formation in Huizhou sag

反射特征(图 6a)。叠瓦状地震反射对浪控三角洲具有很好的指示意义^[16-18],根据陆架砂脊总是顺次排列在三角洲前缘前端的沉积特点,对惠州凹陷珠江组 K 系列条带状砂体建立了如下沉积模式:三角洲前缘沉积不断向海盆中心推进的过程中,由于受到了波浪的作用,将三角洲前缘的粗粒沉积物搬运到远离前三角洲沉积区域的沉积空间沉积下来,在沉积物供给充足条件下,波浪作用会继续搬运同期沉积的粗粒沉积物,从而在三角洲前端外侧形成一系列平行于岸线的砂

脊。沉积物供应越充足的朵体就越容易形成这种砂脊(图 6b)。在砂脊之间可能会形成较为细微的高地形,受到后期北东-南西向潮流的冲刷和改造,导致有些条带砂脊之间的分界异常清晰。

这种沉积模式在 HZ26 构造与 HZ32 构造 K22 油藏的成藏机理中得到了验证。惠州凹陷珠江组 K22 砂体在平面上表现为明显呈北东向展布的条带状砂脊(图 7),根据实钻结果,HZ32C K22 上属于三角洲前缘河口坝沉积,物性较好;HZ26B K22 属于受到波浪改造

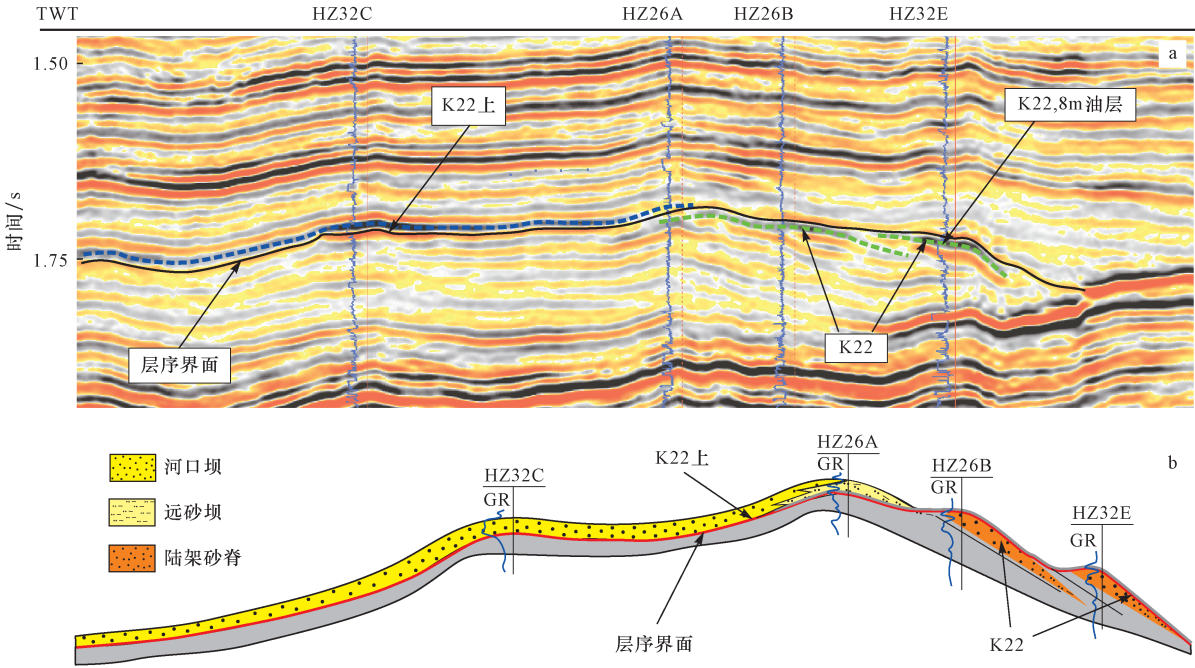


图 6 珠江组 K22 砂体地震反射特征(a)及惠州凹陷陆架砂脊沉积模式(b)(剖面位置见图 1B—B')

Fig. 6 Characteristics of seismic reflection of K22 sand in the Zhujiang Formation(a) and depositional pattern of shelf sand ridges in Huizhou Sag(b) (see Fig. 1 for B—B' location)

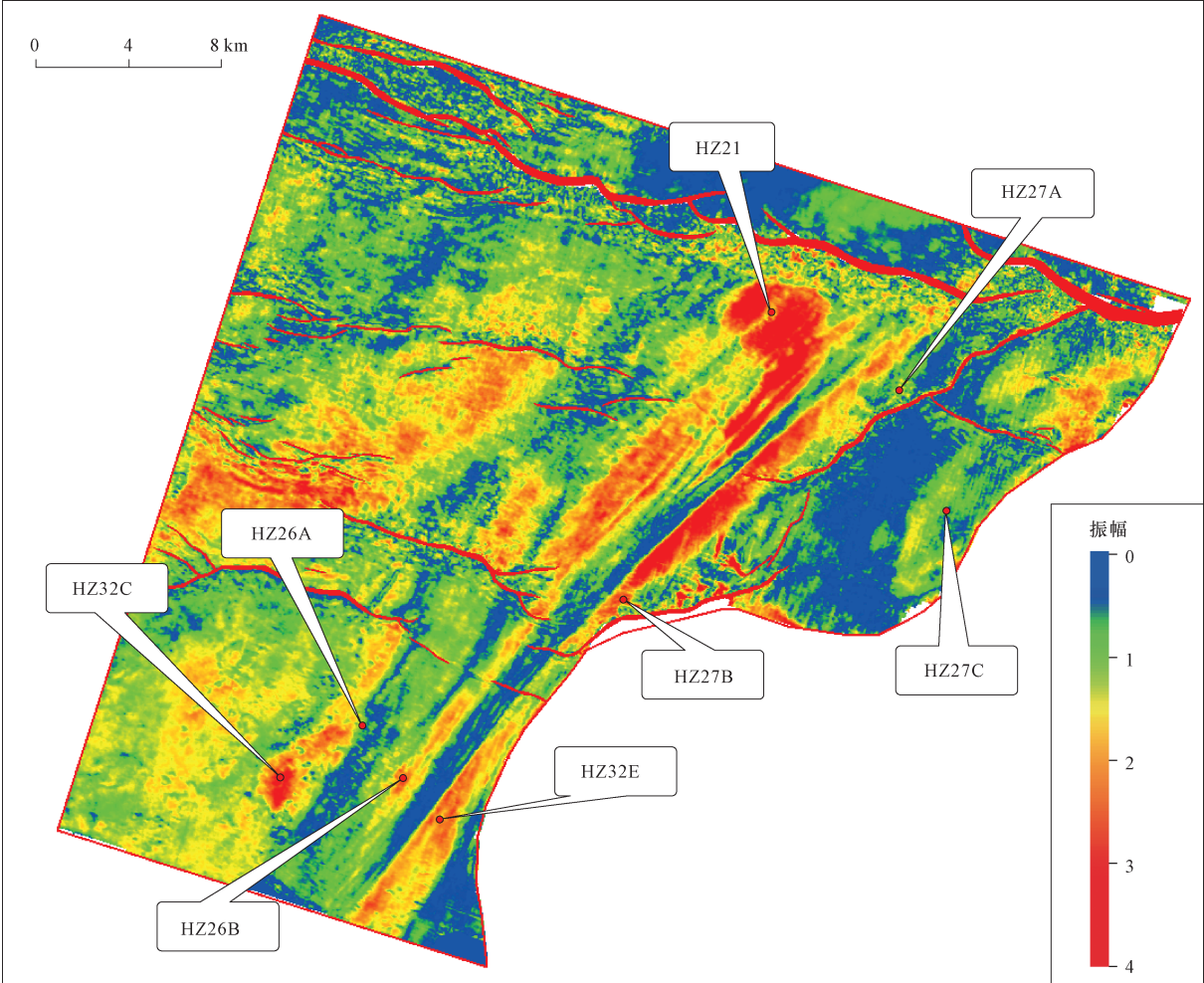


图 7 惠州凹陷珠江组 K 系列砂体(K22)地震振幅切片

Fig. 7 Seismic amplitude slice of K22 sand in the Zhujiang Formation in Huizhou sag

表 1 不同沉积微相砂体物性

Table 1 Physical properties of sand bodies of different sedimentary micro-facies

井号	HZ32C	HZ26B	HZ32E
沉积微相	河口坝	陆架砂脊	陆架砂脊
厚度/m	15.1	11.0	62.7
孔隙度/%	17.6	24.3	
渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)	161	1 491	
油水界面 海拔/m	-2 000.5 (ODT)	-2 009.2	-2 045.0

的陆架砂脊沉积,物性较之前者更好;同时,钻井证实 HZ32C、HZ26B 与 HZ32E 构造分属于不同的油水系统(图 6;表 1),证实 3 口井所钻遇的为不同砂体,更重要的是说明了砂脊之间、三角洲前缘和砂脊之间的泥岩沉积有良好的侧向封堵的能力。在 HZ21 东侧和 HZ27A 西侧的条带砂脊在上倾方向上尖灭在陆架泥岩中,陆架砂脊本身经过波浪淘洗,物性很好,是地层岩性圈闭勘探的一个重要领域。

3 结论

1) 惠州凹陷珠江组 K 系列砂体西部沉积微相以三角洲侧缘河口坝和席状砂为主,且粒度偏细;东南侧沉积微相主要为经波浪改造的滩砂脊和坝砂脊。

2) 珠江组 K 系列陆架砂脊呈 NE 向分布在三角洲前缘远端且平行于岸线沿三角洲朵体走向依次排列,地震上为典型的前积型叠瓦状反射特征,砂脊形态与地震强振幅异常有良好的对应关系。分析其为陆架上受波浪改造的三角洲成因砂,物性极好。

3) 陆架砂脊常呈线性孤立或集群展布,其直接沉积在陆架泥岩之上并以一个突变界面与泥岩分开,砂脊之间的泥岩隔层钻井证实对油气有一定的封堵作用,因而陆架砂脊具有较重要的勘探前景。

参 考 文 献

[1] 曾洪流,朱筱敏,董艳蕾,等译,地震沉积学[M].北京:石油工业出版社,2011:178-201.
Zeng Hongliu, Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, et al translated [M]. Col-

- lected works of seismic sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2011: 178–201.
- [2] 李俊良, 王海荣, 张建新, 等. 珠江口盆地西部珠江组潮流砂脊的分布、形态和水动力机制[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 671–677.
- Li Junliang, Wang Hairong, Zhang Jianxin, et al. Distribution, geometry and hydrodynamic mechanism of tidal sand ridges in the Zhujiang Formation, the western Zhujiangkou Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 671–677.
- [3] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 312–318.
- Yu Xinghe. Oil and gas reservoir geology of Clastic rock[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 312–318.
- [4] 夏东升, 刘振夏. 潮流砂脊的形成机制和发育条件[J]. 海洋学报, 1984, 6(3): 361–36.
- Xia Dongsheng, Liu Zhenxia. Formation mechanism and development conditions of tidal sand ridges[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1984, 6(3): 361–36.
- [5] 刘振夏, 夏东兴. 中国陆架潮流沉积体系和模式[J]. 海洋与湖沼, 1998, 28(2): 141–147.
- Liu Zhenxia, Xia Dongxing. Tidal depositional systems and patterns of China's continental shelf[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1998, 28(2): 141–147.
- [6] 魏水建, 王英民, 施和生, 等. 珠江口盆地惠州凹陷陆架砂沉积成因探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2008, (7): 144–148.
- Wei Shuijian, Wang Yingmin, Shi Hesheng, et al. Analyze the formation of shelf sand in Huizhou sag of Pearl River basin[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2008, (7): 144–148.
- [7] 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): 952–963.
- Wang Yongfeng, Wang Yingmin, Li Dong, et al. Characteristics of reservoirs in the Pearl River Mouth Basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2011, 46(6): 952–963.
- [8] 施和生, 朱俊章, 姜正龙, 等. 珠江口盆地珠一坳陷油气资源再评价[J]. 中国海上油气, 2009, 21(1): 9–14.
- Shi Hesheng, Zhu Junzhang, Jiang Zhenglong, et al. Hydrocarbon resources reassessment in Zhu I depression, Pearl River Mouth basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2009, 21(1): 9–14.
- [9] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 5–8.
- Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. Tertiary hydrocarbon accumulation condition in Pearl River Mouth Basin[M]. Beijing: Science Press, 2003: 5–8.
- [10] 陈维涛, 杜家元, 龙更生, 等. 珠江口盆地惠州地区珠江组控砂机制及地层-岩性圈闭发育模式[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 449–458.
- Chen Weitao, Du Jiayuan, Long Gengsheng, et al. Factors controlling sandbody development and models of stratigraphic-lithologic traps of Zhujiang Formation in Huizhou area, Pear River Mouth Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 449–458.
- [11] 朱筱敏, 董艳蕾, 胡廷惠, 等. 精细层序地层格架与地震沉积学研究—以泌阳凹陷核桃园组为例[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 615–624.
- Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, Hu Tinghui, et al. Seismic sedimentology study of fine sequence stratigraphic framework: a case study of the Hetaoyuan Formation in the Biyang Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 615–624.
- [12] 赵东娜, 朱筱敏, 董艳蕾, 等. 地震沉积学在湖盆缓坡滩坝砂体预测中的应用—以准噶尔盆地车排子地区下白垩统为例[J]. 石油勘探与开发, 2014, 01: 55–61.
- Zhao Dongna, Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, et al. Application of seismic sedimentology to prediction of beach and bar sandbodies in gentle slope of lacustrine basin: a case study of the Lower Cretaceous in Chepaizi area, Junggar Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 01: 55–61.
- [13] 林正良, 王华, 李红敬, 等. 地震沉积学研究现状及进展综述[J]. 地质科技情报, 2009, 28(5): 131–137.
- Lin Zhengliang, Wang Hua, Li Hongjing, et al. Current status and progress of seismic sedimentology[J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(5): 131–137.
- [14] 于兴河. 油田开发中后期储层面临的问题与基于沉积成因的地质表征方法[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 1–14.
- Yu Xinghe. Existing problems and sedimentogenesis-based methods of reservoir characterization during the middle and later periods of oil-field development[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(2): 1–14.
- [15] Wilgus C K, Posamentier H W, Hasting B. S. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东译. 层序地层学原理(海平面变化综合分析)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 49–54.
- Wilgus C K, Posamentier H W, Hasting B S. Xu Huaida, Wei Kuisheng, Hong Weisheng, et al translated. The principle of sequence stratigraphy[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 49–54.
- [16] Berg O R. Seismic detection and evaluation of delta and turbidite sequences; their application to the exploration for the subtle trap[C]// Michel T, Halbouty. The deliberate search for the subtle traps. AAPG bulletin, 32: 57–75.
- [17] 锅谷淳, 邹文. 湖成三角洲和海成三角洲的沉积层序—现代三角洲典型实例的比较研究[J]. 国外油气勘探, 1994, 6(4): 410–417.
- Guo Guchun, Zou Wen. Sedimentary sequences of Lake delta and Marine delta-correlative research of the typical examples of modern delta[J]. Oil & Gas Prospecting Abroad, 1994, 6(4): 410–417.
- [18] Joseph J Lambiase. 张闻林, 沈人烨, 译. 现代巴拉姆三角洲沉积相展布及沉积作用: 婆罗洲北西储集砂体研究[J]. 天然气勘探与开发, 2003, 26(3): 55–64.
- Joseph J Lambiase. Zhang Wenlin, Shen Renye translated. Depositional distribution and sedimentation deposition of Modern Baram delta: the research of reservoir sands in northwest Borneo[J]. Natural Gas Exploration & Development, 2003, 26(3): 55–64.

(编辑 张亚雄)