

文章编号: 1000-0550(2008) 05-0744-09

惠州凹陷古近系珠海组海相三角洲高分辨率层序地层学研究¹

魏钦廉¹ 郑荣才² 施和生³ 杜家元³ 李潇雨²

(1. 西安石油大学油气资源学院 西安 710065 2 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都 610059

3. 中国海洋石油总公司深圳分公司 广州 510240)

摘要 通过岩心、录井、测井、微体古生物等资料综合研究, 识别出惠州凹陷珠海组发育海相三角洲沉积相类型。利用高分辨率层序地层学理论和技术方法, 综合测井、地震和岩芯资料对惠州凹陷古近系珠海组地层海相三角洲沉积体系进行高分辨率层序地层学分析, 从中识别出短期、中期、长期 3 个级别的基准面旋回层序, 进一步分析短期旋回层序结构, 划分出向上“变深”非对称型、向上变浅非对称型、对称型 3 种基本结构类型。依据等时地层对比法则并利用地震资料约束进行不同级次基准面旋回层序的联井对比, 建立了珠海组的等时地层格架, 在等时地层格架内进行了单砂体的对比, 最后在等时地层格架内分析了储层的时空展布规律。

关键词 高分辨率层序地层 基准面旋回 珠海组 海相三角洲 惠州凹陷

第一作者简介 魏钦廉 男 1976 年出生 博士 讲师 层序地层学 E-mail: 028wq@163.com

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

0 引言

高分辨率层序地层学自问世以来以其全新的概念、技术方法及其显著的实际应用效果, 已引起广大地质工作者的高度重视^[1-3], 但国内大量的研究成果主要集中在陆相地层, 而有关海相地层的研究成果报道很少^[4-6]。珠江口盆地惠州凹陷具有良好的勘探前景^[7], 但由于钻井少、地震资料品质相对较差, 制约了对地下地质的深入认识, 如何应用新的技术手段来进一步扩大勘探成果和发现新的含油气区, 已成为该区勘探中亟待解决的问题。惠州凹陷古近系珠海组为海相三角洲前缘沉积体系, 对该沉积体系进行高分辨率层序地层学特征研究, 不仅大大提高了预测储集层、隔层的准确性, 更有效地识别隐蔽油气藏, 特别是地层一岩性油气藏, 而且丰富了高分辨率层序地层学理论体系的研究内容。

1 区域地质概况

珠江口盆地是中国南海北部最大的中生代被动大陆边缘沉积盆地, 由北向南可划分为北部断阶带、北部拗陷带、中央隆起带、南部拗陷带和南部隆起带 5 个 NE 向展布的大型构造单元, 各个构造单元又

可划分为若干个次级拗陷和低隆起。研究区位于北部拗陷带, 自东向西依次为珠一拗陷和珠三拗陷, 惠州凹陷属于珠一拗陷中部更次级构造单元(图 1)。珠江口盆地沉积基底为前第三纪变质岩和火山岩, 新生界充填体具有下断上拗的双层结构, 自下而上依次为断陷期充填的古近系神狐组、文昌组、恩平组和珠海组, 拗陷期充填的新近系珠江组、韩江组、粤海组和万山组。地层特征为: 神狐组为冲积—洪积相杂色泥岩、砂岩夹火山碎屑岩沉积; 文昌组为湖相泥岩夹砂岩, 恩平组为河湖、沼泽和三角洲相砂泥岩夹煤层, 珠海组沉积中见有孔虫、双壳类和海相沟鞭藻化石(图 2), 砂岩中含有海绿石, 为典型的海陆过渡相砂泥岩沉积^[8]。新近纪盆地由断陷转化为拗陷, 分隔的拗陷连成统一的盆地, 此后盆地在全球海平面持续上升的背景中稳定沉降, 在广泛海侵过程中形成珠江组、韩江组、粤海组和万山组大套连续的海相三角洲、浅—深水陆棚和海底浊积扇相的中—细粒砂岩、粉砂岩、泥岩, 局部发育台地相碳酸盐岩^[8]。

2 沉积相特征

三角洲沉积体系包括三角洲平原、三角洲前缘和前三三角洲三个亚相, 但在研究区内多数井钻余遇的珠

¹ 国家自然科学基金项目(批准号: 40272057)资助。

收稿日期: 2007-07-11; 收修修改稿日期: 2007-11-01

海组主要位于三角洲前缘和前三角洲亚相带, 反映研究区珠海组属于向海长距离延伸的、地形较为平缓的三角洲进积叶状体前端部位。

主要由水下主河道、水下分流河道、分流间湾、水下天然堤、水下决口扇、分流间湾及河口坝等微相组成 (图 6)。

2 1 三角洲前缘亚相

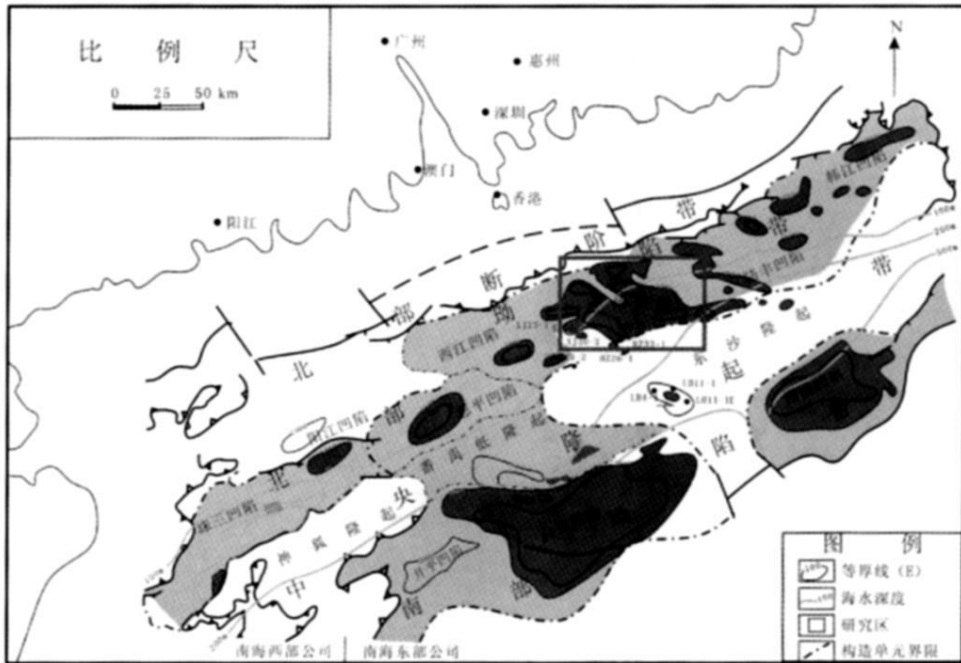


图 1 惠州凹陷构造及位置图

Fig. 1 Tectonic location of Huizhou depression

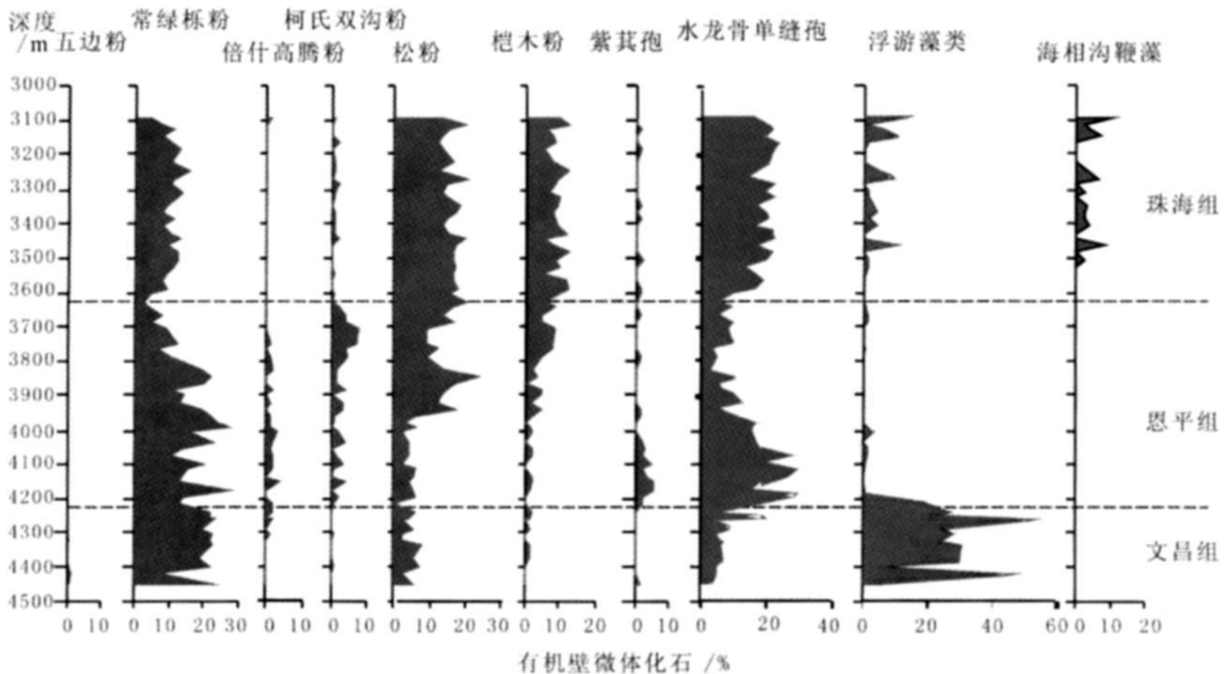


图 2 HZ21-1-1 井微体古生物特征(据吴国喧,2007)

Fig. 2 Character of micropaleontology of Well HZ21-1-1(after Wu Guoxuan,2007)

2.1.1 水下河道微相

该微相是入海河道的水下延伸部分,具河流沉积特征,岩性主要为浅灰色和浅褐色中—粗粒长石石英砂岩、岩屑砂岩和石英砂岩。按粒度和沉积构造特征可分为水下主河道和分流河道两种亚类型:

(1)水下主河道亚类型:岩性较粗,主要为浅灰色、灰白色含砾中—粗粒长石石英砂岩,砾石直径 2~3 mm,最大 7 mm,次圆状,分选中等,往往由多个略显正韵律结构和块状层理的单砂岩连续叠置而成,单砂岩之间被非常发育的底冲刷构造截切割。

(2)水下分流河道亚类型:岩性主要为灰白色、浅灰色细—中粒长石石英砂岩,分选中等,以发育块状层理、细层具粒序的槽状交错层理(图 3A)和平行层理(图 3B)为主,局部发育板状交错层理和沙纹层理。往往由多个分流河道砂体连续叠置而成,砂体之间常夹有泥质条带。单个砂体厚 0.5~2.0 m,均为正韵律旋回,底部普遍发育有冲刷面,冲刷面上常见顺层分布的细砾岩(图 3C),与下伏岩层往往呈岩性或粒度突变接触关系。

2.1.2 分流间湾微相

该微相系指四周被水下分流河道包围,与海相通的楔形低能沉积环境,通常以接受洪泛期溢出水道的细粒悬浮物质垂向加积作用为主,因此,在垂向演化序列上总是与分流河道交替发育。岩性主要为褐灰色、橄榄灰色薄层状泥岩与粉砂质泥岩互层组合,夹薄层粉砂岩和煤层,发育水平层理(图 3D),虫管、虫迹和生物扰动构造极其发育。

2.1.3 水下天然堤

该微相是陆上天然堤在水下的延伸部分,发育在分流河道的两侧。岩性主要为浅灰—深灰色粉砂岩、粉砂质泥岩夹浅灰色细粒砂岩,以发育流水形成的波状层理或浪成沙纹层理为主(图 3E)。

2.1.4 水下决口扇

水下决口扇微相是洪水期河水越过水下天然堤后,于水下分流河道两侧发生悬移荷载快速加积作用的产物,具有沿水下分流河道两侧分布的特点。垂向剖面上,水下决口扇大多直接覆盖在分流间湾的泥岩之上,岩性为棕灰色粉砂岩与灰黑色泥岩互层组合,泥质含量较高,分选差,发育波状层理和水平层理。测井相特征明显,或呈中幅指形和低幅钟形组成向上幅度加大的漏斗形包络线,代表近分流河道较粗粒的扇头部位置,往往与上覆水下分流河道冲刷接触关系。或呈低幅漏斗形或指形、钟形,代表远离分流河

道较细粒的扇尾部位置。

2.1.5 河口坝微相

该微相是河流进入海洋时,由河流携带来的大量底载荷和悬移荷载在河口处快速堆积而成,位于水下分流河道前端或侧翼,剖面上往往与水下分流河道交替发育或连续叠加。岩性主要为浅灰色、灰色中—细粒砂岩与泥质粉砂岩互层,砂岩的泥质含量较高,往往呈纹层状分布。发育流水或浪成沙纹层理为主(图 3F),少量板状交错层理,虫管、虫迹和生物扰动构造极其发育。

2.1.6 远砂坝微相

该微相位于河口坝向前三角洲过渡的远端部位,因此,又可称之为末端砂坝,与河口坝的区分主要在于沉积物更细。岩性以灰色泥质粉砂岩与薄层粉砂质泥岩或泥岩互层组合为主。

2.2 前三角洲亚相

此亚相占据三角洲前方较深水位置,平面上和垂向上与远砂坝或陆棚相邻发育,以接收洪水期涌入海洋的悬移质沉积物为主,因此,间歇性的沉积速度率较高,堆积厚度较大和沉积物粒度细。岩性以褐灰色、橄榄灰色泥岩为主,夹薄层粉砂质泥岩,水平层理和虫管及生物扰动构造极发育。

3 高分辨率层序地层划分与对比

3.1 层序界面识别

层序是以顶、底不整合面及与之相关的整合界面为界的内部叠置有序的一套沉积组合^[9,10],界面识别是层序分析的关键。根据钻井岩心、测井和地震资料,在珠海组中可识别出层序界面和海泛面两类转换面,其中层序界面又可细分为 3 个不同层次和旋回级次的不整合面:

3.1.1 层序界面

①大面积剥蚀面(或大型侵蚀冲刷不整合面),发育在珠海组底部、中部和顶部,在岩芯中表现为侵蚀冲刷面,测井曲线上表现为突变面,地震剖面上表现为大型削截削蚀面(图 4),成因与区域构造运动或海平面大幅度下降形成的冲刷侵蚀面有关,可作为长期基准面旋回层序底、顶界面;

④较大范围内的大型底冲刷面,岩芯中表现为侵蚀冲刷面,测井曲线表现为突变面,地震上为一定范围的削截或超覆,成因与受气候和物源供给量变化控制有关,此类侵蚀冲刷不整合面和与之对应的整合面可作为中期基准面旋回层序界面;

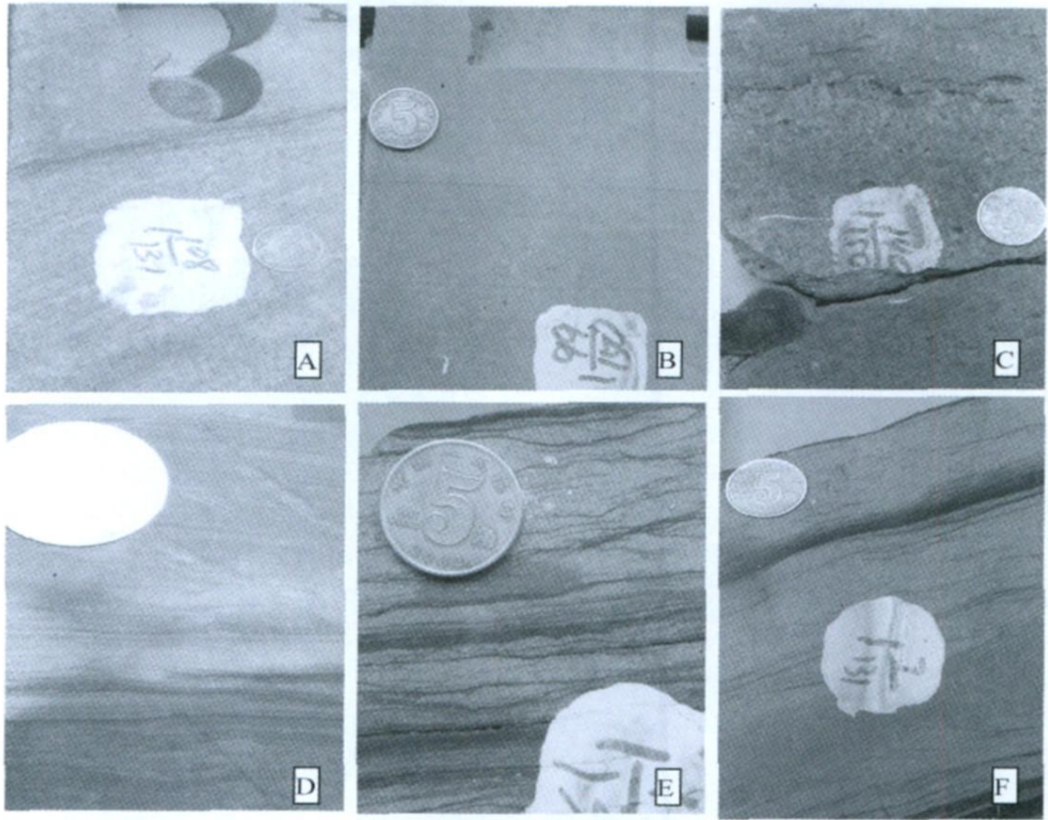


图 3 不同微相沉积的岩性和原生沉积构造标志

Fig. 3 Lithology and primary sedimentary structures of the different sedimentary micro-facies

A. 灰色中—细粒砂岩,发育细层具粒序的槽状交错层理,HZ9-1-1井,井深3 919~3 920 m; B. 浅灰色细粒砂岩,发育平行层理,HZ19-2-1井,井深3 684.5 m; C. 浅黄灰色含砾中—粗粒砂岩,下部和上部各发育一底冲刷面,底部冲刷面上富集细砾岩,HZ19-2-1井,井深3 689~3 691 m; D. 深灰色泥质粉砂岩,具水平层理,上部发育菱铁矿; E. 灰黑色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩,具浪成沙纹层和生物扰动构造,HZ19-1-1井,井深3 905.0~3 905.05 m; F. 浅灰绿色泥质粉砂岩,发育典型的浪成沙纹层理,HZ19-1-1井,井深3 905~3 906 m

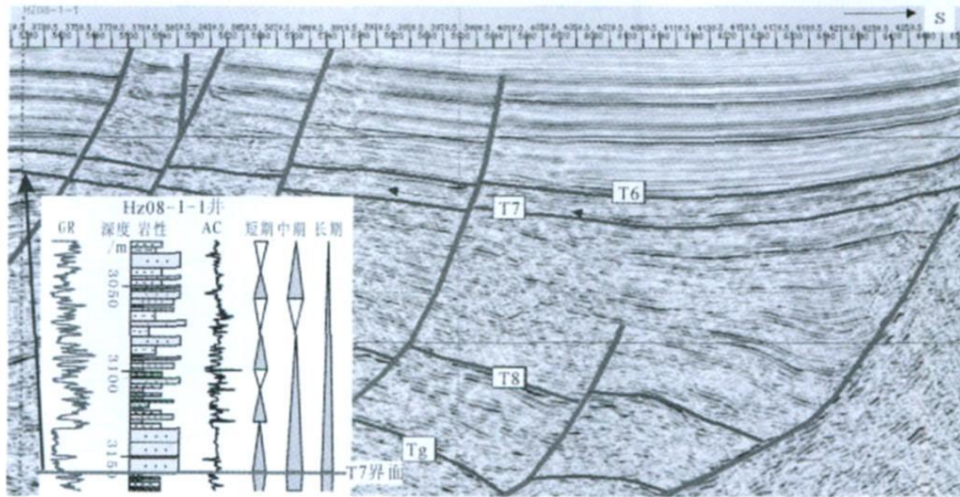


图 4 珠海组底部、中部和上部的不整合面(层序界面)

Fig. 4 Regional unconformity on the bottom of Zhuhai Formation

(四)局部小型侵蚀冲刷面和相关整合界面,受气候影响的容纳空间与沉积物供给比值控制,属低级别的层序分界面。岩性剖面上表现为沉积物间歇暴露或局部冲刷作用、过路作用,或沉积物供应突然减小、终止等原因造成的小型间断面,在地震上不能识别,测井曲线和单向移动的顶、底突变面或加速渐变面,如钟形曲线底部或漏斗形曲线顶部的突变位置,可作为短期基准面旋回的层序界面,珠海组广泛发育此类界面。

3.1.2 海泛面

海泛面,代表基准面上升达最高位置时的沉积界面,是基准面由上升转为下降的二分时间单元转换面,不同级别的基准面旋回都可发育有相对应的海泛面,都是进行区域等时地层对比的重要等标志,其中以长期基准面旋回的海泛面为最大海泛面,也是最重要的区域等时对比标志。海泛面在岩芯中表现为较纯的暗色泥、页岩段,测井曲线上具高自然伽马、低自然电位和电阻率及形状似直线的特征。地震剖面

中一般只能识别最大海泛面,表现为中强振幅的连续平行反射结构。

3.2 各级基准面旋回划分

基准面旋回的识别主要依据:①单一相物理性质的变化;④相序与相组合变化;④旋回叠加样式的改变;④地层几何形态与接触关系等沉积与地层特征^[9, 11, 12]。这些特征是对 A(容纳空间) / S(沉积物供应) 比值变化的响应,记录了基准面的升降变化。因此,不同层次和级别的基准面旋回划分原则,与不同规模水深变化幅度的、彼此间具成因联系的地层按一定的方式叠加所组成的海(或湖)进—海(或湖)退沉积序列相关连^[9],本次研究采用这一层序级别划分原则,将珠海组划分为长期、中期、短期三个级别的基准面旋回层序。

3.2.1 短期旋回层序

短期旋回层序为一套具低幅水深变化的、彼此间成因联系极为密切,或由相似岩性、岩相地层叠加组成的韵律性海进—海退沉积序列^[9],是分析水动力

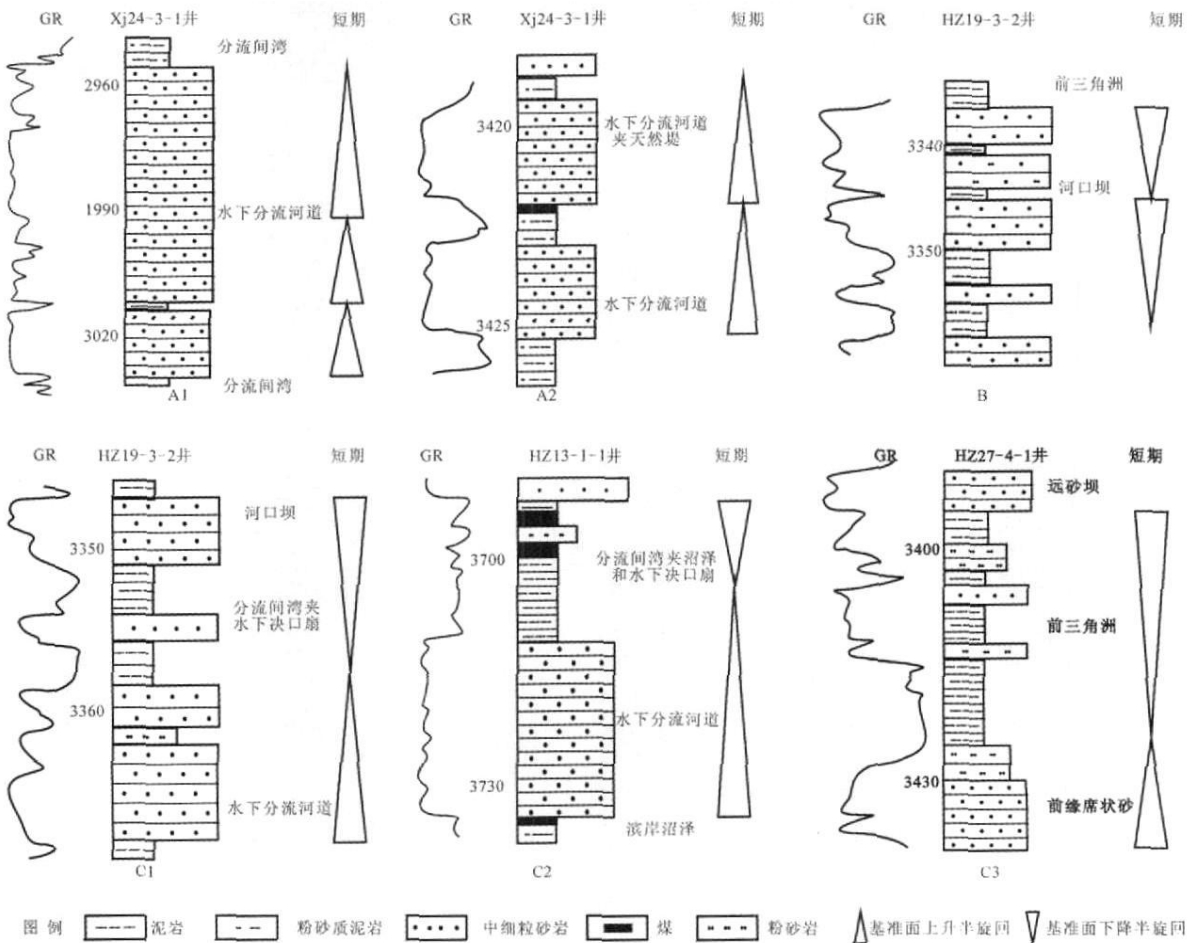


图 5 短期基准面旋回结构类型和沉积微相的相序

和地层叠加样式(进积、加积或退积)过程的基础。惠州凹陷珠海组最常见的短期旋回相序有,可划分为向上“变深”的非对称型、向上变浅的非对称型和向上“变深”复变浅的对称型三种结构类型:①向上“变深”的非对称型,此类型是珠海组中最为发育和最有利储层发育的结构类型,又可细分为低和高可容纳空间两种亚类型。低可容纳空间向上“变深”非对称亚类型一般由两期分流河道相互切割叠置构成,相类型简单,砂岩相对较纯,一般厚 10 m 左右(图 5-A1);高可容纳空间向上“变深”非对称亚类型一般由水下分流河道砂岩、溢岸粉砂岩、河间洼地泥岩、泥质粉砂岩组成,微相类型丰富,岩性变化较复杂,单层砂体厚 5 ~ 10 m,且随着短期基准面的上升岩性变细,砂层厚度变薄(图 5-A2);④向上变浅非对称型,此类型旋回内岩性有随着基准面下降逐渐变粗、单层砂体厚度逐渐增大、而泥质沉积含量减少的变化特点,砂体类型大多数为远砂坝向河口坝(或前缘席状砂)过渡的组合(图 5-B);④向上“变深”复变浅的对称型,可细分

为完全对称型(图 5-C1)、以上升半旋回为主的不完全对称型(图 5-C2)和以下降半旋回为主的不完全对称型(图 5-C3)三种亚类型。在此类型基准面旋回内,有随着基准面上升,岩性变细,砂层变薄,而随着基准面下降,岩性复变粗加厚的变化特点,对应的沉积微相为水下分流河道→水下天然堤→分流间湾(或前三角洲)→水下决口扇(或远砂坝→河口砂坝→前缘席状砂)的演化序列,砂岩主要发育于对称旋回的下部和顶部,相当湖泛面的中部和上部以泥岩和粉砂岩为主。

3 2 2 中期旋回层序

中期旋回为一套水深变化幅度不大的、彼此间成因联系密切的地层叠加所组成的海进—海退沉积序列,旋回底、顶部为局部不整合或与之可对比的整合面^[9]。确定底冲刷面的性质和依据多个微相叠加组成的垂相演化序列是识别中期旋回的依据,研究区珠海组被识别出 6 个中期基准面旋回,依次命名为 MSC1、MSC2、……、MSC6(图 6)。各中期基准面旋回

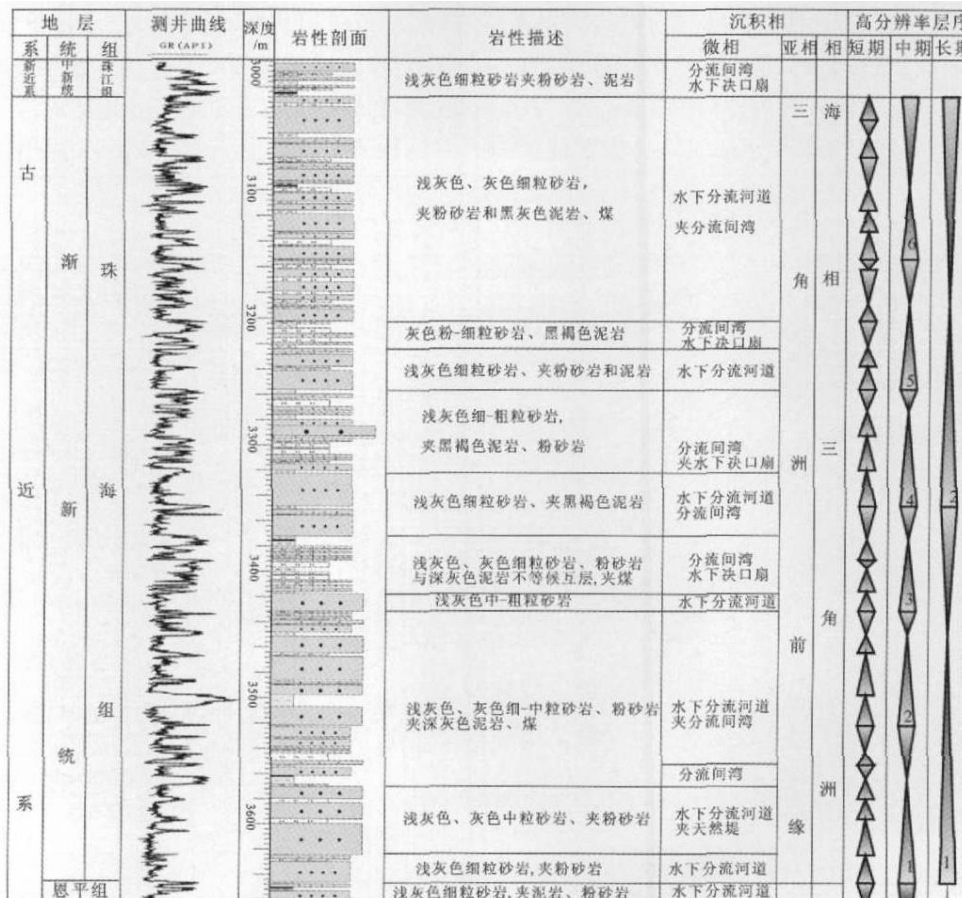


图 6 HZ21-1-1 井珠海组各级次基准面旋回综合柱状图

Fig 6 Base-level cycles synthetrical Column of Well HZ21-1-1

的沉积演化大多为:大型底冲刷面→三角洲前缘分流河道→分流间湾的相序,大多为反映中期基准面升、降过程为中等水深变化规模的海侵→海退过程。其上升半旋回主要由主动进积→加积→退积型短期旋回构成,伴随中期基准面上升和 A/S 比值逐渐增大过程,砂岩厚度向上减小,粒度变细,物性变差,由连续叠置砂体逐渐变为横向延续性变差的透镜状孤立砂体。中期下降半旋回主要由加积→强迫进积型短期旋回构成,伴随中期基准面下降和 A/S 比值逐渐减小过程,砂岩厚度向上加大,粒度变粗,物性变好,砂体的几何形态由透镜状逐渐过渡为条带状和层状,横向连续性变好,局部呈连片席状分布。

3.2.3 长期旋回层序

长期旋回为一套具较大水深变化幅度的、彼此间具成因联系的地层所组成的区域性海进—海退沉积序列^[9],旋回的底、顶面为区域不整合面或与之可对比的整合面。珠海组被识别出 2 个长期旋回层序,依次命名为 LSC1 和 LSC2(图 6)。2 个长期旋回的沉积演化序列基本一致,自下而上为:区域性底冲刷面→三角洲前缘→前三角洲→三角洲前缘的相序,具有比中期旋回更大规模区域性海侵→海退旋回性,其上升和下降半旋回结构和砂体分布规律与中期旋回

有较大相似性,仅以其发育规模更大而已。

3.3 等时地层格架

根据旋回等时对比法则^[11],以单井剖面各级次基准面旋回划分为基础^[15],以基准面上升转为下降或由下降转为上升的转换面为优选等时地层对比位置进行联井剖面对比,建立珠海组高时间精度分辨率的等时地层格架,并对地层格架中的砂体进行劈分和等时追踪对比(图 7)。

3.4 高分辨率层序地层格架中的储层分布规律

在建立珠海组高分辨率等时地层格架及格架内砂体等时对比的基础上,对地层格架中的沉积体系、砂体分布特征进行了分析,结果表明砂体分布规律与基准面变化密切相关。如图 8 所示:(a)为 2 个长期基准面的沉积体系演化过程情况,图 8(b)为砂岩厚度分布过程情况。不难看出:在 LSC1 基准面上升的相域中,凹陷西部至北部为一个连续发育的、规模巨大的三角洲裙带沉积区,水下分流河道非常发育,均是有利的储层发育相带,南部由 2 个自南东向北西延伸的三角洲组成裙带沉积区,也是有利的储层发育带,而凹陷的其它部位为前三角洲—浅海陆棚沉积环境,不利储层发育;LSC1 下降相域继承了其上升相域的沉积展布特征的基本格局,但在凹陷的北部 HZ08

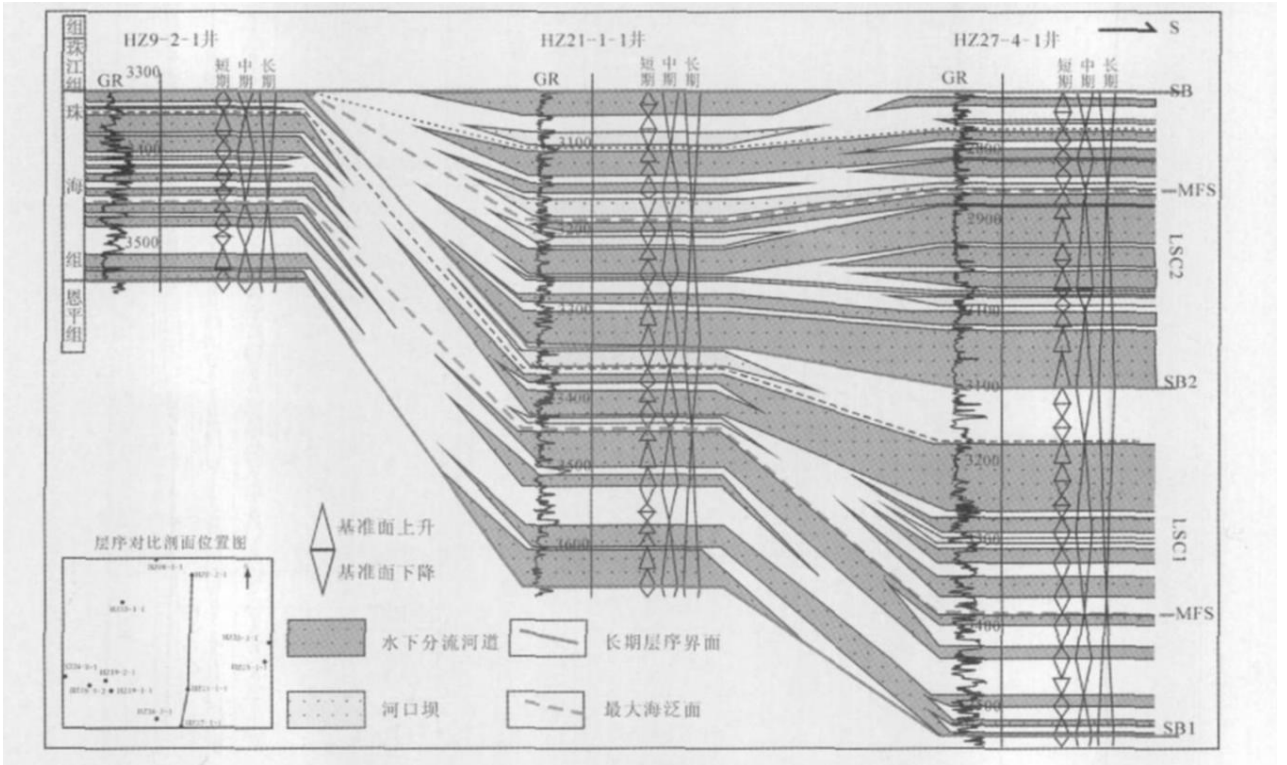


图 7 高分辨率层序地层格架及地层格架中的砂体展布图

Fig 7 High resolution sequence stratigraphic framework and sandstone distribution

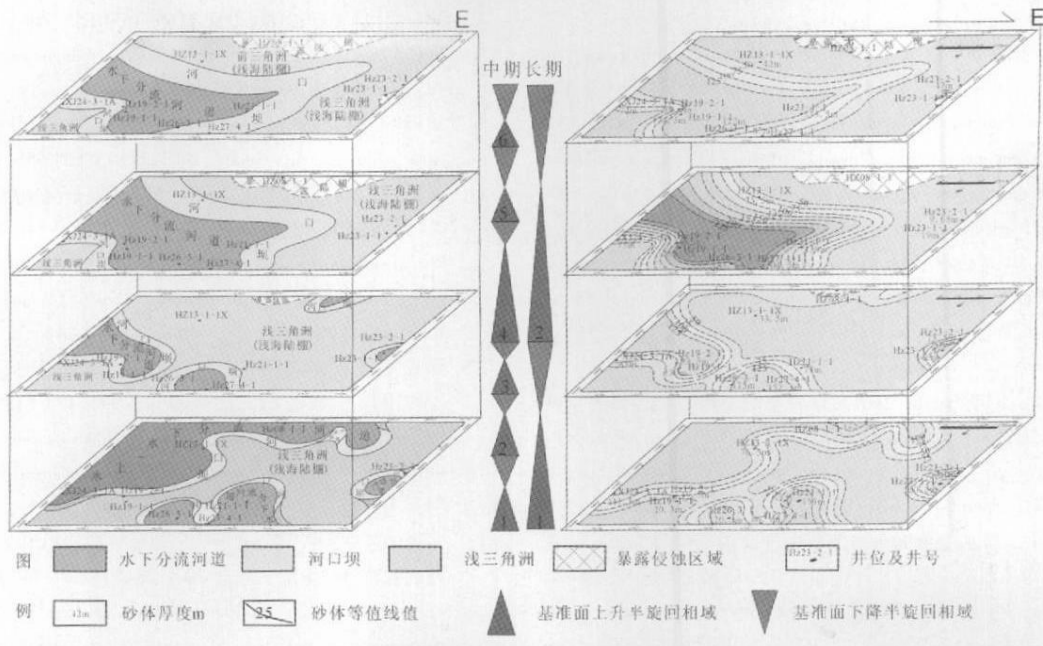


图 8 长期旋回 LSC1~ LSC2 沉积及砂体发育演化图

Fig 8 Evolvement of depositional system (a) and sandstone distribution (b) from Long scale cycle LSC1 to LSC2

-1-1 井区一带因受大幅度的海平面下降影响发生暴露而形成局部的侵蚀缺失区, 向盆地方向延伸的三角洲规模较前期大幅缩小, 因水下分流河道不太发育而不太有利储层发育。LSC2 基准面上升相域, 在基准面总体处于上升状态的背景下, 由于受 LSC1 基准面下降期惠州凹陷北抬南断的构造伸展活动影响, 凹陷西部的 XJ24-3-1 井区三角洲沉积体系大幅度向南东方向延伸, 并将前期发育在南部的 HZ26-3-1 井区的三角洲兼并, 形成斜跨整个凹陷中偏西南部的规模巨大的三角洲沉积体系, 水下分流河道发育, 为有利于储层发育区, 而凹陷的北部 HZ08-1-1 一带为陆棚暴露剥蚀区, 缺失下降相域的沉积记录, 其它地方则以发育前三角洲—浅海陆棚沉积体系为主, 为不利储层发育区; LSC2 长期层序下降相域完全继承了上升相域的格局, 特点为凹陷中偏西南部的三角洲沉积体系发育规模明显缩小, 砂体厚度减薄, 泥质夹层增多, 因此不太有利储层发育。凹陷的北部一带仍为大面积的陆棚暴露剥蚀区, 下降相域的沉积记录未得到保存, 并凹陷东部 HZ23-1-1 井区也开始出现小面积陆棚暴露剥蚀区。

4 结论

(1) 根据对地震、测井和岩心等资料的综合分析, 惠州凹陷古近系珠海组可以划分为 2 个长期, 6

个中期, 18~24 个短期旋回层序, 在此基础上建立等时地层格架和在地层格架中对砂体进行劈分与等时追踪对比, 有效地提高了小层砂体分布规律的描述精度;

(2) 珠海组短期基准面旋回可分为向上“变深”的非对称型、向上变浅的非对称型和向上“变深”复变浅的对称型三种结构类型, 最有利储层发育的是向上“变深”非对称型短期旋回结构。

(3) 储层主要发育于中、长期基准面上升半旋回相域下部的水下分流河道和河口坝砂体中, 这些砂体与前三角洲泥岩呈指状交叉接触关系, 具备优越的生储盖组合条件, 对形成岩性油气藏非常有利。

(4) 从砂体展布特征看, 惠州凹陷中偏西南部的三角洲沉积体系储层发育条件明显优于东北部, 其中 XJ24~HZ21 井区是该凹陷最有利储层发育区。

参考文献 (References)

- 1 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学 [J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in USA: high-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89-97]
- 2 Cross T. A stratigraphic architecture correlation concepts volumetric partitioning facies differentiation and reservoir compartmentalization from the perspective of high resolution sequence stratigraphy [R]. Research report of the genetic stratigraphy research group DGGE CSM,

- 1994: 28-41
- 3 Cross T A. High resolution stratigraphic correlation from the perception of base-level cycles and sediment accommodation [C]// Proceeding of Northwestern European Sequence Stratigraphy Congress 1994 105-123
 - 4 Saylor B Z. Sequence stratigraphy and carbonate-siliciclastic mixing in terminal proterozoic foreland basin, unis formation Nam Group Namibia [J]. Journal of Sedimentary Research 2003, 73(2): 264-279
 - 5 Bergan K M, Walker R G. High-resolution sequence stratigraphy analysis of the Shannon sandstone in Waxing using a template for regional correlation [J]. Journal of Sedimentary Research 1995, 65(2): 255-264
 - 6 汪彦, 彭军, 游季伟, 等. 中国高分辨率层序地层学的研究现状 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 352-356 [Wang Yan, Peng Jun, You Liwei *et al*. Current status of high resolution sequence stratigraphy in China [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3): 352-356]
 - 7 陈长民. 珠江口盆地东部石油地质条件及油气藏形成条件初探 [J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(2): 73-83 [Chen Changmin. Petroleum geology and conditions for hydrocarbon accumulation in the eastern Pearl River Mouth Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(2): 73-83]
 - 8 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 [Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, *et al*. The Conditions of Hydrocarbon Accumulation of the Tertiary Petroleum System in the Pearl River Mouth Basin [M]. Beijing: Science Press 2003]
 - 9 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义 [J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-255 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2001, 19(2): 249-255]
 - 10 郑荣才, 彭军, 彭光明, 等. 高分辨率层序分析在油藏开发工程中的应用 [J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 654-655 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Peng Guangning *et al*. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy of the second member of Nandu Formation in Lun-35 block of Baise Basin and its application in development of oil reservoir [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2003, 21(4): 654-655]
 - 11 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路 [J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(3): 241-244 [Zheng Rongcai, Wu Chaorong, Ye Mao Cai. Research thinking of high-resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(3): 241-244]
 - 12 邓宏文, 王洪亮, 李熙喆. 层序地层学基准面的识别、对比技术及应用 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177-184 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base levels and their application [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177-184]
 - 13 王嗣敏, 刘招君. 高分辨率层序地层学在陆相地层研究中若干问题的讨论 [J]. 地层学杂志, 2004, 28(2): 179-184 [Wang Simin, Liu Zhaojun. Discussion on some problems of high resolution sequence stratigraphy in the study of continental stratigraphy [J]. Journal of Stratigraphy, 2004, 28(2): 179-184]
 - 14 周丽清, 邵德艳, 刘玉刚, 等. 洪泛面、异旋回、自旋回及油藏范围内小层对比 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(6): 75-77 [Zhou Liqing, Shao Deyang, Liu Yugang *et al*. The flooding surfaces, allocycles, autocycles and their correlation with in reservoirs [J]. Petroleum Exploration & Development 1999, 26(6): 75-77]
 - 15 张明禄, 郑荣才, 达世攀, 等. 砂体等时对比的高分辨率层序分析技术 [J]. 矿物岩石, 2005, 24(1): 113-118 [Zhang Minglu, Zheng Rongcai, Da Shipan *et al*. Isochronic correlation of sandy bodies by high resolution sequence technique [J]. Journal of Mineral Petrology, 2005, 24(1): 113-118]

High Resolution Sequence Stratigraphic Characteristics of the Paleogene Zhuhai Formation in Huizhou Depression Marine Delta

WEI Qi-lian¹ ZHENG Rong-cai² SHI Hesheng³ DU Jia-yuan³ LI Xiao-yu²

(1. School of Petroleum Resource, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065)

(2. State Key Laboratory for Oil and Gas Deposit Geology and Development Project, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

(3. CNOOC (China) Ltd-Shenzhen, Guangzhou 510240)

Abstract By the research of core, logging profiles and micropaleontology marine delta facies of Zhuhai Formation have been recognized in Huizhou Depression. On the basis of integrating well data and seismic data combined with the high resolution sequence stratigraphic theory, the marine delta sedimentary system of Zhuhai Formation from Huizhou depression of Pearl River Mouth basin was divided into short-term, middle-term and long-term base-level cycle. The structure of the short-term base-level cycle could be subdivided into asymmetric up-deepening, asymmetric up-shallowing and symmetric basic structure types. The base-level cycles of different order are correlated in the restriction of seismic interpretations and method of cycle isochrostratigraphy correlation. Isochronous stratigraphic frameworks are established and single sand-body is correlated with them. Finally, the distribution and evolution of reservoir are analyzed with in isochronous stratigraphic frameworks.

Key words high resolution sequence stratigraphy, base-level cycles, Zhuhai Formation, marine delta, Huizhou depression.