

文章编号: 1009-3850(2001)02-0031-08

浅海陆棚环境的层序地层学研究

刘 豪¹, 王英民¹, 王 媛¹, 张哨楠²

(1. 石油大学 盆地中心, 北京 102249; 2. 成都理工学院石油系, 四川 成都 610059)

摘要: 对于海相沉积盆地而言, 在一个三级海平面变化周期内形成的层序, 具有全球可对比性的等时地层单元, 跨时约 0.3~3Ma。在三维高分辨率地震、岩心和测井解释资料基础之上, 通过岩石地层旋回特征、可容空间以及层序地层关键界面识别, 将珠江口盆地渐新世晚期的珠海组二段分为 S₁ 和 S₂ 两个三级层序。由于拗陷处于浅海陆棚环境, 每个层序中的低水位体系域不发育, 局部以受断层控制的水下峡谷充填为特征。

关键词: 珠江口盆地; 构造层序; Fischer 曲线; 层序地层学

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

Sequence stratigraphy of shallow-marine shelf environments

LIU Hao¹, WANG Ying-min¹, WANG Yuan¹, ZHANG Shao-nan²

(1. *Centre for Basin Research, China University of Petroleum, Beijing 102249, China*; 2. *Department of Petroleum, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*)

Abstract: The depositional sequences spanning about 0.3—3 Ma formed within the third-order cycles of eustatic changes in a marine basin are thought to be comparable on a global scale. The Zhujiang River mouth basin studied here is a marginal extensional basin in which a succession of vertically cyclic siliciclastic sediments laid down. The second member of the late Oligocene Zhuhai Formation may be further divided,

on the basis of the three-dimensional high-resolution seismic section, drilling core and well logs data in integration with the recognition of stratigraphic cycles, accommodation spaces and key boundaries, into two third-order sequences: S_1 and S_2 . These sequences are commonly lack in the low stand systems tract and locally filled with fault-confined submarine canyon sediments.

Key words: Zhujiang River mouth basin; tectonic sequence; Fischer curve; sequence stratigraphy

1 前言

层序(sequence)是层序地层学的基本研究单位和研究重点,在 Exxon 术语体系中,层序是在海平面升降曲线上相邻两个全球海平面下降转折点(inflexion point)之间沉积的,在成因上有联系的一系列等时沉积体,其顶底以不整合面和与之相对应的整合面为界。

珠江口盆地属大陆边缘张性盆地,它是一个以新生代为主的沉积盆地。珠江口盆地新生代是在幕式构造运动控制下,形成一套陆源碎屑岩系。在垂向上具有显著的旋回性,与三个构造层序(SS_1 , SS_2 , SS_3)相对应的长周期旋回主要受燕山期运动控制,分别与盆地所经历的拗陷及后期改造、热均衡沉降和断陷三大阶段相对应(海洋石油总公司, 1999)。其中珠海组二段在构造层序 SS_2 中,可划分为两个三级层序。

2 沉积层序的旋回特征

2.1 岩石地层旋回特征

层序地层学的理论基础是海平面周期性变化所造成的旋回式地层层序(Vail, 1977, 1990)。为了定量研究珠海组二段内的旋回信息,我们对研究区内文昌 1 井珠海组二段的电阻率测井曲线作了滤波技术处理(图 1),获得了 3 个不同频带范围内的旋回响应特征。假设该井的珠海组二段没有受到剥蚀,地层的厚度与沉积时间呈线性关系,则这三条曲线分别代表了低频、中频和高频层序旋回的发育情况。低通滤波的结果显示,珠海组二段由两个低频旋回构成,以井深 4080m 作为这两个上旋回的分界点。通过分析,发现上部旋回共有 7 个中频旋回(准层序组), 25 个高频旋回(准层序)。该低频层序的延续时间应大致为 2.4Ma,与目前普遍所采用的三级层序的年限 0.3 ~ 3Ma 相当(Vail, 1991),则每个高频旋回的平均延续时间为 9 万年左右,与天文旋回中的偏心率周期(10 万年)极为接近^[1~3]。

2.2 可容空间的识别

可容空间变化是形成沉积层序的本质因素。在时间进程中,随着可容空间的周期性变化,沉积物的堆叠样式以及沉积体系域的发育也呈现为周期性的变化,并且理论上,层序边界是在可容空间增长速率相对缓慢期间形成的。因此,描绘可容空间的演化历史是划分层序级次和对比沉积层序的一种较为客观的方法。目前,分析可容空间的最重要的方法是 Fischer 图解法。由于珠三拗陷的西部紧靠物源区——神狐隆起,长期物源充足,因此,用这种方法求取可容空间的变化曲线是可行的。

在研究区内,我们以珠海组二段发育较全的文昌2井为代表,对其进行了米级旋回的划分。在约600m厚的砂泥岩剖面中,共划分出50个小层序。然后,在对其进行岩性反演的基础上,完成沉积真厚度的恢复,进而计算当时的实际可容空间变化曲线(图2)。从图中可以

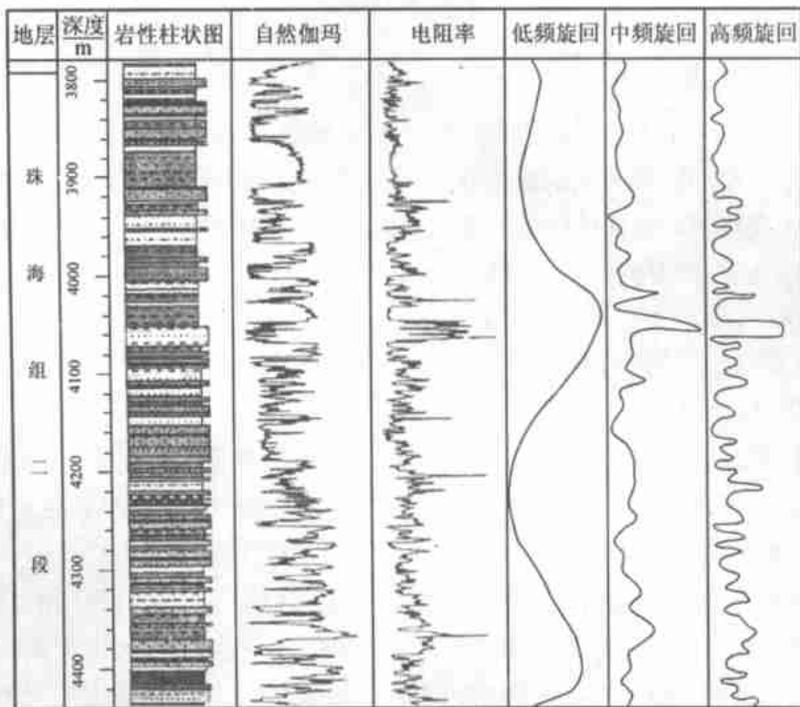


图 1 文昌渐新统珠海组二段沉积旋回分析

Fig.1 Depositional cycles in the second member of the late Oligocene Zhuhai Formation in Wenchang

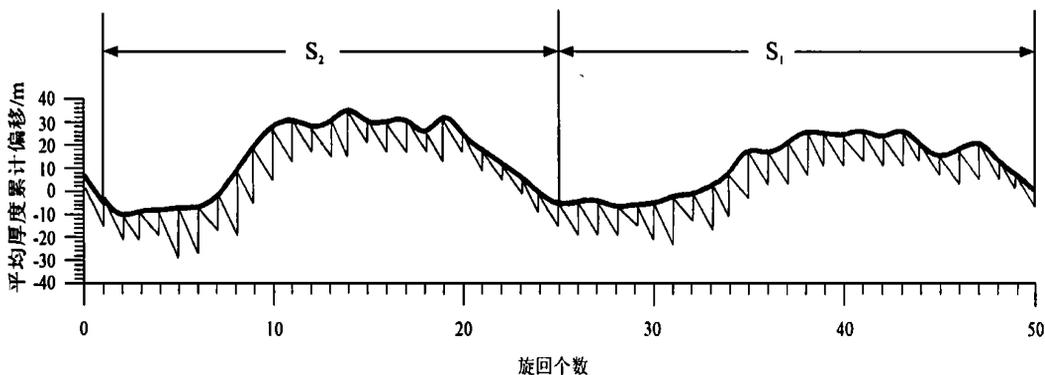


图 2 文昌渐新统珠海组二段可容空间变化识别

Fig.2 Curves showing the accommodation spaces variations in the second member of the late Oligocene Zhuhai Formation in Wenchang

明显看出,在文昌 2 井的珠海组二段内存在两个完整的可容空间变化旋回,下部旋回由 25 个小层序构成,上部旋回由 24 个小层序构成。其特征与滤波分析的结果基本吻合。

上述旋回特征分析结果表明,珠海组二段由两个低频旋回构成,平均跨时约 2.4Ma,与 Vail 的三级层序相当。每个三级层序又都由 24~26 个高频旋回组成。这种高频旋回在平均延续的长短上,可与米兰科维奇旋回中的偏心率周期相类比。

3 层序关键界面的识别

层序是顶、底以不整合或与之相当的整合面为界的,内部叠置有序的沉积组合^[4,5]。在层序地层研究中,层序边界的识别是关键,因为它在各个地方都把上面的新地层与下面的老地层分开,使得层序具有年代地层学的含义。同时,层序内部的关键界面(初始海泛面、最大海泛面)对于确定层序的样式十分重要。

3.1 层序边界

在研究区珠海组二段中,共识别出了三个与珠海组二段地层相关的不整合界面 SB₁, SB₂ 和 SB₃(图 3)。

SB₁ 界面 该界面是珠海组二段的底界与构造层序界面 SS₂ 重合,为一级古构造运动面,主要特征是下伏地层剥蚀严重,上覆地层有明显的上超现象(图 3)。在地震剖面上为特征突出的 T7 波组所代表,在珠三坳陷中具有良好的可对比性。

在测井曲线上,SB₁ 界面是一个以截断为特征的“跳相”面。在界面两侧,测井曲线样式发生明显突变。界面之下的恩平组为一套向上变细的暗灰色砂泥岩,电测曲线以钟形为主;界面之上的珠海组的底砂岩与三工河组泥岩直接接触,在电阻率曲线上表现为异常高阻,向上电测曲线以指状或漏斗形为特征。其上的骨架相对比也显示出明显的退积特征,说明在层序界面之上是一个突然的水侵过程。

SB₂ 界面 该界面是珠海组二段内部的层序界面,与地震剖面上的 T62 波组相对应。其特征是,相对于下伏层序,该界面是削载面;界面之上的地震反射波,以平行-亚平行-微反射结构为主,可见明显的上超反射结构(图 3),层序界面的上、下两种反射结构都有较清楚的显示。在文昌 1 井的测井曲线上,SB₂ 界面是一个连续的培养面,其下电阻率曲线为典型的漏斗型(图 4),向上逐渐过渡为微齿化的块状进积型。从岩屑录井看,界面之上为灰色/灰白色的中细砂岩,之下为一套由泥质砂岩和泥岩组成的,向上变粗的薄互层序列,砂岩的颜色以黄褐色为主,泥岩的颜色为灰绿色/灰色,说明在层序界面附近的沉积环境发生了较大的改变。界面以下沉积环境变化较快,浅水相的砂岩经常与深水相的泥岩直接接触,反映了一种中深水的低能环境;界面之上则主要为浅水的高能环境。从自然伽玛曲线看,界面附近的砂岩也存在明显的差异,其上自然伽玛曲线为大型块状、中幅特征;之下自然伽玛读数明显偏高,说明泥质含量相对较高,沉积物分选较差。

SB₃ 界面 SB₃ 界面是珠海组一段和二段的分界,由地震剖面上特征突出的 T61 波组所代表,在珠三坳陷具有良好的可对比性(图 3)。该界面在坳陷中部地区曾遭受强烈的剥蚀,因而 SB₃ 界面又是一个地震反射特征明显的不整合构造运动面,界面之下珠海组二段地层与界面不同程度地呈角度不整合接触,在界面之上,珠海组一段地层的地震反射以大型的上

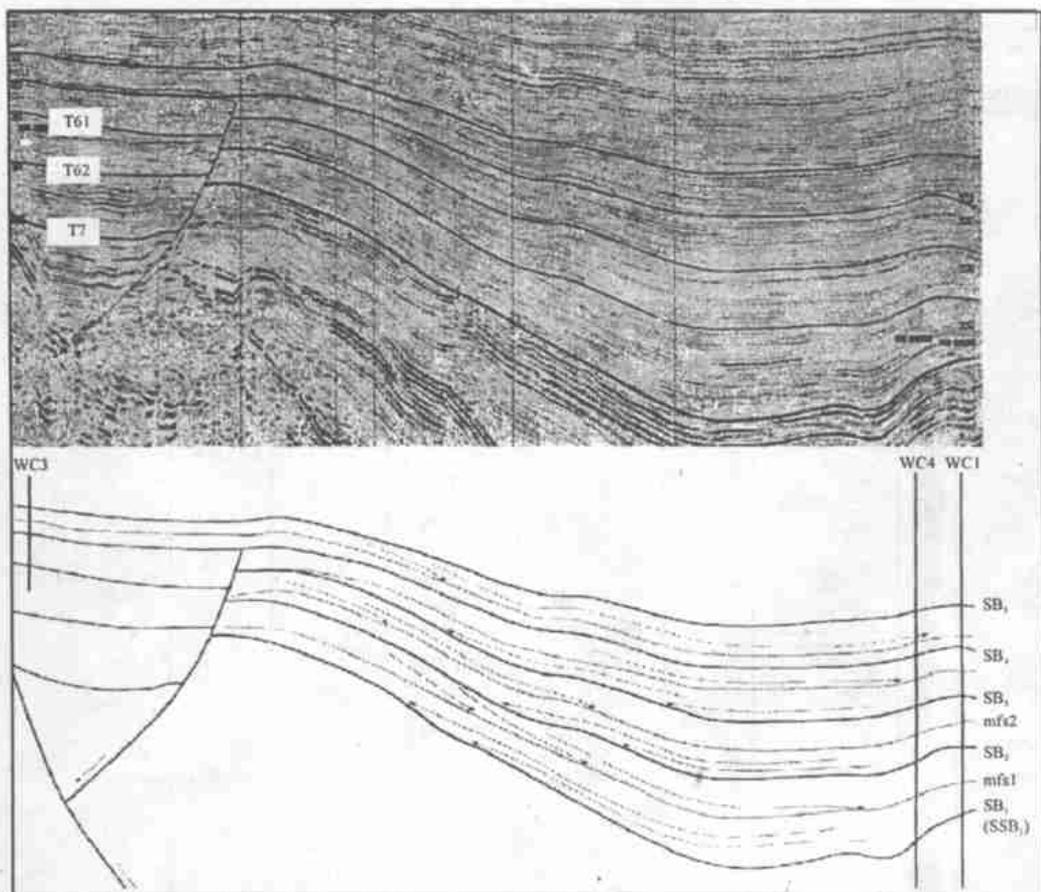


图 3 珠江口盆地珠三坳陷珠海组层序地层格架

Fig. 3 Sequence stratigraphic framework of the Zhuhai Formation in the Zhusan depression, Zhujiang River mouth basin

超结构为特征,反映了在这一时期该区曾受广泛海侵,坳陷的沉积环境也逐渐由海陆交互相过渡到滨浅海和浅海相环境。在测井曲线上,SB₃界面上下的测井曲线样式有显著差异,表现为突变接触。界面之上,自然伽玛、声波速度高,中子密度和电阻率测井曲线均为低值,以灰绿色泥岩夹薄层砂岩为主;界面之下,各种测井曲线特征类似,均为高幅度箱状,岩性为灰白色砂岩。反映了在珠海组二段末期地层的堆叠方式以加积型为主,后由于遭受大规模海侵,沉积物供应突减,因而在SB₃上下造成岩相突变。

3.2 最大海泛面

在本区珠海组二段地层中,可识别出 mfs₁ 和 mfs₂ 两个最大海泛面,在测井曲线和地震反射剖面上,它们都具有明显的响应特征。

mfs₁ 在 S₁ 层序中,代表最大海泛面 mfs₁ 的地层(凝缩段 CS)是一套约 2~6m 厚的深灰色/灰绿色泥岩,具有低阻、高伽玛的特征,并且在横向上连续稳定,可比性强(图 4)。由凹起向盆地内部,低阻层段的厚度有逐渐增大的趋势。在密集段之上,由一套总体向上变粗的

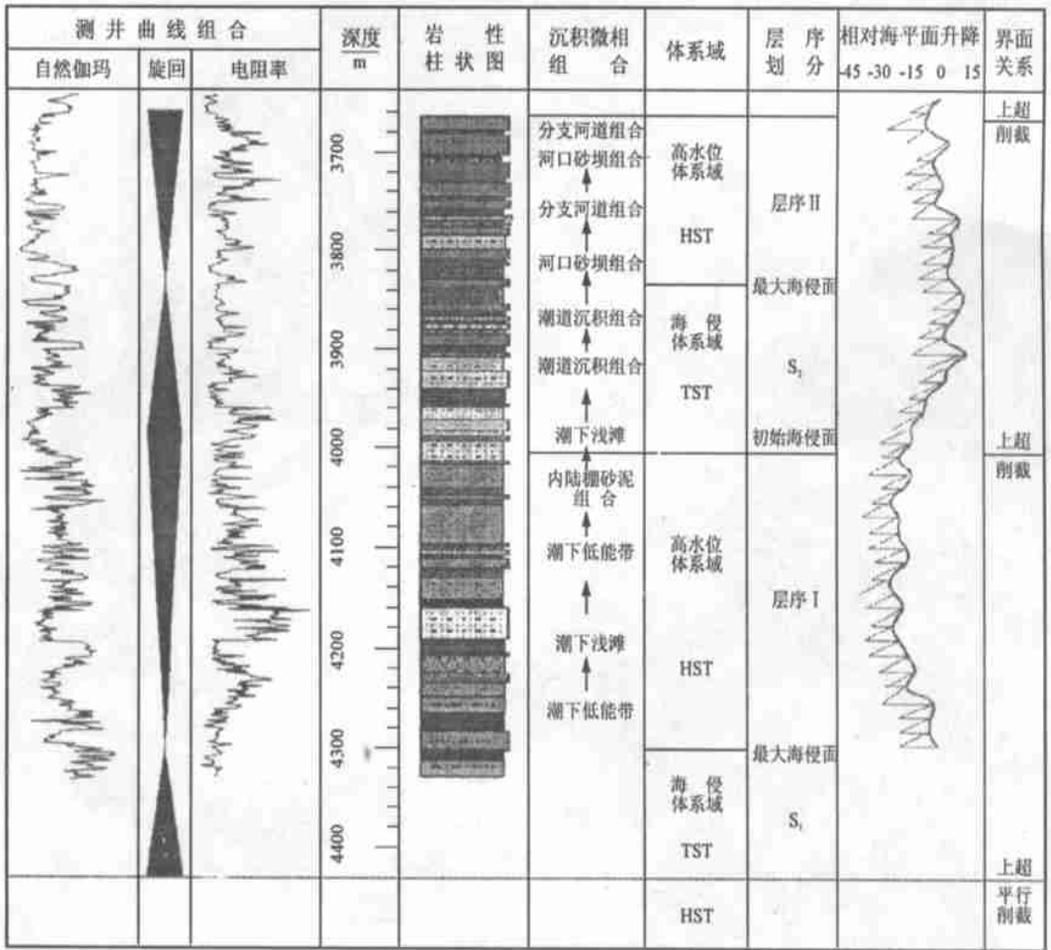


图 4 文昌渐新世晚期的珠海组二段层序地层划分

Fig. 4 Sequence stratigraphic division of the second member of the late Oligocene Zhuhai Formation in Wenchang

地层叠置而成, 向盆地方向具有明显的进积特征。与此相反, 其下地层以退积为特征, 测井曲线样式以钟形为主。

在地震剖面上, mfs_1 为本区 S_1 层序内反射波能量最强的一根同相轴(图 3), 它将 S_1 层序分为反射特征具有明显差异的上、下两部分, 下部反射波能量普遍较强, 上部为一套呈“S”型进积特征的反射波。在盆地方向。该界面为一特征较明显的波组, 靠近陆向, 最大海泛面所对应的凝缩段逐渐与层序界面一致, 最终为层序界面所替代。

mfs_2 由该界面所确定的凝缩段, 是一套暗色泥岩, 在文昌 1 井厚约 10m, 本套泥岩以低电阻、高伽玛、低速为特征, 在自然电位和中子密度测井上也具明显的低值特征。凝缩段之下, 自然伽玛曲线为钟形, 砂岩厚度向上减薄。 mfs_2 之上, 是一套较为稳定的河口坝组合, 向上逐渐过渡为三角洲平原亚相的分支河道组合, 电阻率曲线过渡为强烈齿化的漏斗形+

箱形。说明在 mf_{s2} 界面上下,地层的演化趋势不同。

从图 4 上也可分析文昌 2 井最大海泛面 mf_{s2} 测井曲线上的响应特征。在该井,代表凝缩段的是一套泥岩夹薄互层泥质粉砂岩,总厚度达 12m。凝缩段之下为向上变细的分支河道沉积组合,表明凝缩段是在水域逐渐扩大、水体逐渐加深的背景下沉积的。海泛面之上,地层的测井响应特征与文昌 1 井类似。

在地震反射剖面中, mf_{s2} 之上发育明显的“S”型前积结构(图 3),由其形成的聚敛面即为最大洪泛面。

3.3 初始海泛面

初始海泛面是低水位体系域与水侵体系域的分界面,在层序中它代表了第一个重要的水侵事件,是良好的等时界面。一般认为在盆地中,由于沉积速率较高,在初始海泛面上往往是不能形成特征明显的沉积,因此,识别难度较大。研究区是处于大型陆棚缓坡环境,在本区珠海组二段的所有地层中,低水位体系域普遍不发育,层序大多以海侵体系域和高水位体系域出现,初始海泛面往往与层序界面重合。

4 沉积体系域

体系域是指一套彼此有联系的同时期沉积体系的组合,每种体系域有其特有的沉积体系类型及空间配置关系,并在层序中占据一定位置。对沉积体系域的划分和命名,目前存在两种倾向,一种是以沉积体系的特征为标准,另一种是以海平面变化曲线为标准。笔者倾向于后一种,无论是在海相盆地还是在陆相盆地,层序内部的各种界面特征始终是地层自然属性的一部分。纵观本区珠海组二段层序,它们有一个共同的特征:高水位体系域和水进体系域较发育,为优势体系域,而低水位体系域沉积较薄,甚至不发育。

4.1 低水位体系域

由于整个珠三拗陷位于一大型陆棚缓坡环境,在珠三拗陷文昌 8、9、10 区珠海组二段层序地层中,低水位体系域往往不发育,局部地区可见代表低水位体系域的峡谷侵蚀充填沉积现象。在神狐隆起南部珠二拗陷,逐渐过渡为广海环境,沿陆棚坡折以下的斜坡上可发育完整的低水位体系域沉积,而在本区被侵蚀作用面为沉积物过路面所取代。

4.2 海侵体系域

该体系域形成于长期基准面上升期间,其顶、底分别以初始海泛面和最大海泛面为界。在本区该体系域以退积型的三角洲沉积为特征,由于三角洲叶体不断向岸退缩,形成向上变细的正旋回。在地震剖面上,以上超反射结构为特征。

4.3 高水位体系域

该体系域以最大海泛面与海侵体系域分开,根据体系域内的地层叠样式可分为上、下两部分,下部的地层型式以加积为主;上部为进积地层型式,在地震剖面上具有特征的“S”型反射。自下而上反映了一个进积的三角洲沉积序列,物源来自南东方向。在整个高水位体系域期间,三角洲不断向北西推进,上部叶体的粗相带盖在下部叶体的细相带之上,从测井上看形成了一个典型的反旋回。

5 层序划分

通过对珠三拗陷渐新世晚期的珠海组二段层序的关键界面识别,可以将其划分为 S_1 和 S_2 两个层序(图 3, 4), 通过层序划分并结合地震、岩心综合分析认为:

(1) 层序的划分与可容空间的旋回分析吻合良好, 在可容空间变化曲线上, 层序 S_1 和 S_2 具有上升翼缓下降翼陡的特点, 且上升幅度较下降幅度大。表明珠海组二段的两个层序是在一个总体水进的背景上发育的, 在区域性海侵条件下, 两套层序经历了海平面缓慢上升和迅速下降。

(2) 因为在区域性海侵条件下, 两套层序经历了海平面缓慢上升和迅速下降, 该段所划分出两个层序的海侵体系域和高水位体系域发育较好, 而低水位体系域则主要出现在陆棚坡折以下。在地震剖面上低水位体系域多以峡谷充填等形式出现, 而在测井曲线上往往因为一孔之限, 划分低水位体系域较困难。

(3) 测井、岩相的综合分析表明, S_1 层序和 S_2 层序中沉积环境不同。 S_1 层序主要为滨、浅海沉积, 而 S_2 层序主要为河流三角洲后期受潮汐改造的沉积。在岩性上和 S_2 层序普遍较 S_1 层序粗。 S_1 层序的岩性主要为浅绿灰色砂岩、粉砂岩与浅灰色/深灰色泥页岩互层, 含薄煤层及沥青, 层序 S_2 以灰白色砂岩为主夹薄层泥岩, 自下而上有明显细一粗的变化趋势。

(4) 在地震对比图上, 两个层序的界面均各自对应一个反射波峰。在地震剖面上, S_1 层序的底界(SB_1) 为强振幅、高连续性的同相轴, 表现出较为强烈的盆地构造转换沉积事件。层序 S_2 底界地震反射相对较弱, 属于中强振幅、中等连续性, 表明该层序界面为沉积盆地内部的层序界面。 S_2 层序顶、底界面皆很好对应一个反射波组, 在 S_2 层序内部的反射波能量相对较强, 层序底界面(SB_2) 与一根连续性中等的反射同相轴对应, 在最大海泛面之上发育大型的前积结构。层序 S_2 的这种内部反射特征表明, 在 S_2 层序形成时, 珠三拗陷可能由于高频的海平面波动使得该区水体进退频繁, 沉积环境反复变迁, 造成层序内部反射波能量较强, 反射结构丰富。

参考文献:

- [1] KOSS J E, ETHRIDGE F G and SCHUMM S A. An experimental study of the effects of base-level change on fluvial, coastal plain and shelf systems [J]. Journal of Sedimentary Research, 1994, 64(2): 90-98.
- [2] MIALL A D. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphy correlation [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61(4): 497-505.
- [3] O' MARA P T and TURNER B R. Sequence stratigraphy of coastal alluvial plain; Westphalian B coal measures in Northumberland and the Southern North Sea [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 42(1): 33-62.
- [4] 李思田,程守田,杨士恭,等. 鄂尔多斯盆地东北部层序地层及沉积体系分析[M]. 北京:地质出版社,1992. 1-12.
- [5] 解习农,程守田,等. 陆相盆地幕式构造旋回与层序构成[J]. 地球科学,1996,21(1): 27-33.