

文章编号: 1000-0550(2004)03-0373-07

河流相层序地层构成模式探讨

邓宏文¹ 王红亮¹ 阎伟鹏¹ 苏宗富¹ 谢晓军¹ 宋国齐² 林会喜²

1(中国地质大学 北京 100083) 2(胜利油田地质科学研究所 山东东营 257015)

摘要 冲积—河流相是我国中、新生代陆相盆地重要油气储集层类型之一。由于河流相层序地层成因和相构成的复杂性,以被动大陆边缘地震地层学研究为基础、以三分体系域构成为地层预测模式的经典层序地层学分析方法并不一定适合河流相储层。本文以河流相沉积学研究为基础,运用以基准面旋回为参照面的高分辨率层序地层学理论和研究方法分析了河流相层序地层单元的构成,建立了主要储层的地质—地震解释模型,并以胜利油田垦东地区上第三系馆陶组为例说明河流相层序构成特征和地质—地震解释方法。

关键词 河流相 层序构成 地质—地震解释模型

第一作者简介 邓宏文 女 1946年出生 教授 博士生导师 沉积学和层序地层学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

大型拗陷湖盆发育的晚期或断陷湖盆发育的断—拗转换时期与拗陷阶段,盆地基底沉降速率明显降低,地形趋于平缓,盆地内河流—冲积平原相广泛发育。该时期盆地边缘通常不存在明显的地形波折,海(湖)平面升降对层序形成和发育的控制作用很小。由于地形坡降平缓,冲积—河流相地层在地震剖面多表现为水平或近于平行的强弱振幅交互的反射特征,很难运用地震地层学方法,即依据地震反射几何形态及反射终止类型,进行层序划分和地层充填样式解释。河流—冲积相地层层序形成和发育影响因素较多,相类型复杂、相带窄、相变迅速,因而层序地层研究难度较大。

本文探讨了如何运用地层过程—响应动力学原理和以基准面旋回为参照面的高分辨率层序地层学理论和方法研究冲积—河流相层序基本构建单元—成因层序(短期旋回)的构成,并通过地质—地震解释模式的建立为河流相主要储层平面分布预测提供科学依据和分析方法。

1 冲积—河流相层序形成的主控因素

构造因素:构造运动对陆相盆地层序形成与发育的影响比海相盆地明显大得多。陆相盆地冲积—河流相发育阶段一般处于拗(断)陷盆地发育晚期,基底沉降速率相对于拗陷或断陷强烈活动时期明显降低,但构造运动作为制约陆相盆地可容纳空间变化的主

要因素,仍为主控制着冲积—河流相层序界面的形成与层序构成。基底明显抬升通常导致河道下切作用的增强,层序界面形成;基底持续沉降、沉积可容纳空间增大可以引起河型的改变而导致层序结构与沉积相构成的变化。同时构造运动还通过控制源区的发育、源区剥蚀速率的变化而制约河流沉积物的补给速率;通过对沉积古地貌的控制影响着不同地区沉积可容纳空间的变化。

气候因素:除了近海(湖)盆的冲积—河流环境以外,在远离海(湖)盆的陆相冲积河流相地层中,海(湖)水面变化对层序形成发育影响很小,而气候的周期性变化对河流层序的形成与构成影响较大。冲积—河流相地层中气候的变化可以通过古生物组合、泥质岩的颜色、古土壤特征等加以确定。如渤海湾盆地上第三系河流相孢粉组合的变化反映了气候的干旱与潮湿旋回。通常潮湿气候下古土壤中可以发育根土岩,干旱气候沉积物暴露水面的典型标志是发育含钙质结核或钙质壳的古土壤。

沉积物补给:作为气候和构造运动的反映,沉积物补给量的变化在沉积可容纳空间较小的陆相盆地或冲积—河流相环境中直接控制着层序地层结构特征,典型表现是河道沉积旋回叠加样式的变化。呈进积叠加样式的冲积河道旋回常形成于沉积物补给量的增大、河道化作用的逐渐增强;呈退积叠加样式的冲积河道旋回一般与沉积物补给量减少、河道化作用

变弱有关。

此外,冲积—河流相地层,特别是曲流河沉积,砂泥交互沉积作用明显,差异压实作用对层序构成的时空演化控制也较其他沉积环境显著。主河道砂岩集中发育区与冲积平原泥岩发育区沉积差异压实作用的结果往往造成地层厚度差,产生沉积地形的变化,由此导致河道的改道作用,影响着河流相层序构成的改变^[1,2]。

在上述各控制要素中,构造和气候因素对冲积—河流相层序形成与发育宏观特征的影响可能更为明显。沉积基准面的变化是上述各控制要素综合作用的体现,因而,在河流相层序地层分析中,基准面,而不是海(湖)平面是层序研究的主要参照面。基准面相对于地表位置的可容纳空间大小控制了可堆积沉积物的潜力,由此导致河流相层序地层形成和层序发育特征的差异。

2 冲积—河流相构成要素的地层动力学响应模式

冲积—河流相地层主要由河道相、决口扇/决口河道复合体、河道间相、泛滥平原相等微相及其相组合构成。冲积—河流相沉积的相模式在基准面旋回控制的可容纳空间变化的动力学系统中是不断改变的,由此导致河流相地层层序构成的复杂性和多变性。

2.1 A/S 值动态变化系统中的河道沉积特征

2.1.1 A/S 比值变化与河道充填特征

河道类型的改变常常是基准面升降导致的可容纳空间变化的反映,因而可以作为层序地层划分的重要标志。层序地层学各学派都认为,河道带的结构是构造沉降、可容纳空间或 A/S 比值变化的函数。低 A/S 比值条件下,形成相互叠置、彼此切割的河道砂岩;高 A/S 比值条件下,产生孤立的,被冲积平原泥岩包围的、各相渐变的河道带砂岩。也就是说,随着基准面上升,可容纳空间增大,河道类型通常发生辫状河—曲流河的过渡^[3~6]。

在基准面变化过程中,河道带砂岩的结构类型的变化如图 1 所示。在 A/S 比值为负值的情况下(冲刷带),河流切割形成河谷。当 A/S 比值变为正值时,河道砂岩和其它沉积物开始在河谷内加积。充填前期侵蚀河谷内的河道砂岩在继冲刷之后最小的 A/S 比值条件下,呈简单的冲刷—充填形态;当 A/S 比值稍微增大时,呈复合冲刷—充填形态。这些砂

岩孤立地存在于河谷外的其它相之中。简单的、下切河谷充填砂岩具均质的、紧凑的内部结构,而复合的下切河谷充填的砂岩均质性变差,内部结构变松散。

低 A/S 比值条件下(层序界面附近),穿越冲积平原的河流并不受前期存在的下切河谷的限制,通常形成嵌入冲积平原的较直的流域。这种河流形成具均质、紧凑的内部结构、几何形态呈带状的河道带砂岩。这些河道砂岩孤立地存在冲积平原泥岩中。河道砂岩底部发育较明显的侵蚀冲刷面,砂岩相和底形类型较少。河道砂体的垂向加积作用较强,砂体具有明显的相互叠置、彼此切割特征。

中等的 A/S 比值条件下,河道砂岩相的多样性增加,具紧凑的内部结构和似毯状的几何形态。单个河道在侧向上和垂向上彼此叠置、呈多层状结构。砂岩侧向连续性好;随着可容纳空间增大,河道砂岩又变成带状几何形态特征,并下切到冲积平原泥岩内。砂岩的非均质性增强,内部结构松散。

高的 A/S 比值条件下,河道带砂岩在冲积平原内孤立分布,侧向连同性较差。由于河道侧向加积作用增强,发育向上变细的粒序,相多样性明显。砂岩内部结构松散,具直的、似带状的几何形态。随着可容纳空间增加,河流冲积平原相的泥质夹层逐渐增多,直至变为具有曲流河二元结构特征的不等厚砂泥互层。

2.1.2 河道的地质—地震解释模型

基准面上升早期,由于可容纳空间较低,主要发育辫状河道形成的相互切割、彼此叠置的河道砂岩。砂岩的相类型比较单一,厚度一般较大,均质性较强。

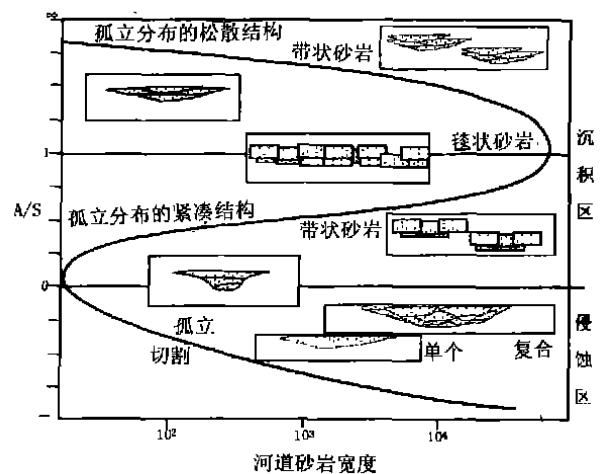


图 1 A/S 比值变化系统中河道砂岩结构的变化(据文献[3])

Fig. 1 Architecture change of fluvial channelbelt sandstones in different A/S condition(after Cross, 2000)

砂岩侧向连通性好,呈席状分布。在地震剖面上,如果下覆地层为泥岩,河道砂岩底部可以形成较强振幅反射,而砂岩内部表现为弱反射。随着可容纳空间增大,河道叠置程度与侧向连续性变差,在地震剖面上形成较高振幅、不连续反射。当河道下切作用较明显时,河道冲刷面产生上凹的形态、内部发育双向上超的河道充填反射。随着基准面的继续上升,A/S 值增大,孤立分布的河道砂岩增多,逐渐出现以弱反射为背景的不连续的强振幅反射(图 2、图 3)。

2.2 A/S 值动态变化系统中的决口扇沉积特征

决口扇/决口河道复合体形成于河道决口,河流洪水携带的悬浮沉积物向河间地区或泛滥平原的推进作用。可以将决口扇的形成过程理解为三角洲向海(湖)盆的进积,因而决口扇多发育于基准面下降半旋回时期。基准面下降期,随着可容纳空间的逐

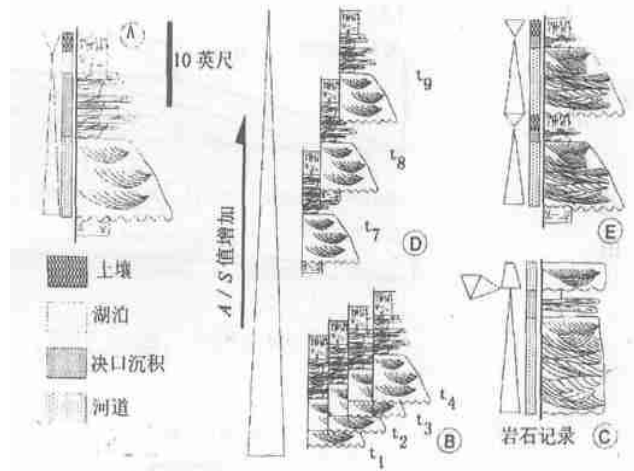


图 2 随 A/S 比值增加河道不同相域的相对保存程度及河道结构的变化(据文献[3])

Fig. 2 Relative preservation of facies tracts with increasing A/S

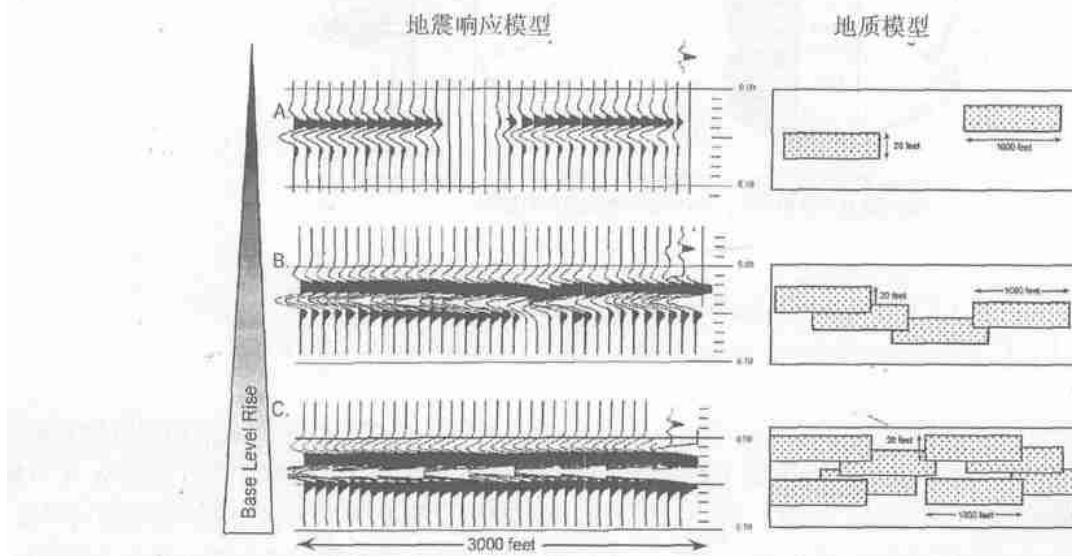


图 3 不同 A/S 比值条件下河道带砂岩的地震响应模型(预测模型据 Cross, 1996 内部资料修改)

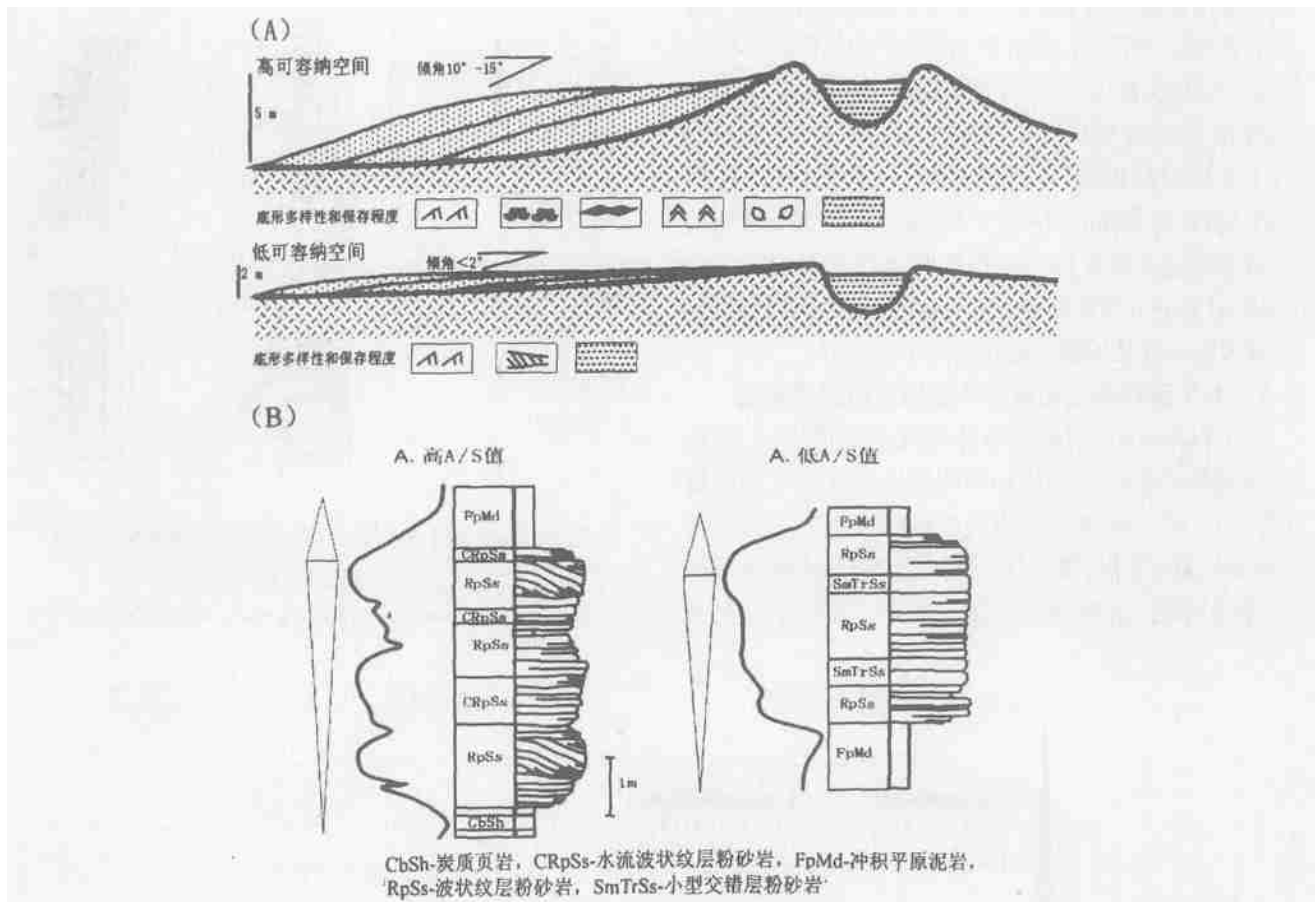
Fig. 3 Modeled seismic response for different channelbelt sandstone configuration in different A/S condition(after Cross, 1996)

渐降低,决口扇逐渐发育。决口扇向冲积平原前积的角度逐渐发生变化。由于在高可容纳空间条件下形成的河道可以建造较高的天然堤,与河间地区或冲积平原产生明显的地形差,为高角度进积决口扇的形成提供了局部空间。因而,高 A/S 比值条件下形成的决口扇通常临近河道分布,厚度较大,决口扇砂体的相类型丰富,均质型较差。当可容纳空间较低时,河道天然堤发育程度较差,河道带和冲积平原的加积作用减弱,河道天然堤与冲积平原之间的地形差小。由于地形起伏小,形成的决口扇厚度薄、坡度平坦,并与

冲积平原加积沉积物混合^[3]。因此,在基准面逐渐下降的过程中,决口扇砂体的前积角度逐渐减小。在地震剖面上,决口扇的上述沉积作用与沉积特征决定了其具前积反射结构,可以形成呈叠瓦状前积的反射层,反射角度变化往往与可容纳空间的变化有关(图 4、图 5)。

2.3 A/S 值动态变化系统中的冲积平原沉积特征

在冲积—河流相地层中,“最大洪泛面”处于基准面上升与下降的转换位置。在近海(湖)盆地的冲积相中,该基准面的转换位置较易识别,表现为海(湖)



A: 决口扇形态 B: 决口扇相构成
图 4 不同 A/S 条件下决口扇形态与相构成的变化(据文献[3])

Fig. 4 Crevasse configuration change in different A/S condition(after Cross, 2000)

泛层的出现或受潮汐影响的河道沉积;在受海(湖)影响较小的冲积相地层中,基准面上升伴随着地下水面的上升,形成河间湖泊、湖沼或沼泽。在这一地层位置,冲积平原相的垂向加积作用明显,暗色泥岩、碳质泥岩、煤层或碳酸盐(气候较为干旱时)发育。地震剖面上表现为亚平行—平行、较强振幅、连续的反射特征。因而,在基准面旋回变化过程中,随着可容纳空间的增加,加积的冲积平原相或泛滥盆地沉积逐渐发育,厚度增大,而河道作用则逐渐减弱。地震剖面上代表泛滥盆地厚层细粒沉积物的平行—亚平行、断续—较连续、中强振幅反射通常随可容纳空间的增加而逐渐增多。

2.4 冲积—河流相基准面旋回的构成模式

在冲积—河流相地层 A/S 比值变化的长期基准面旋回内,可以发育不同级次的次级基准面旋回。最短期的旋回(成因层序),由构成河流相的各种微相或微相组合构成。由于冲积—河流沉积环境沿斜坡

上下迁移,每种环境都与一定的地形梯度范围和能量条件有关。因而在特定的地理位置,在 A/S 比值增大或减小的较长期半旋回内,短期基准面旋回构成,包括相类型、相序、各相所占的比例也有明显的差异。例如:从高梯度/高能量到低梯度/低能量的变化表现为一系列从相互切割、叠置的河道砂岩为主的短期旋回到以决口扇为主的短期旋回,再到以垂向加积泛滥平原沉积为主的短期旋回。因而,在河流发育的不同时期、同一河流体系发育的不同地理位置,冲积—河流相的层序地层构成不同,由此形成不同规模、结构各异的短期旋回(图 6)。

构成河流相各个微相均发育的河流相理想的完整旋回的地质—地震解释模型如图 7 所示。基准面上升早期形成相互叠置的厚层河道砂岩,地震以弱—无反射为特征。随可容纳空间增大,河道叠置作用减弱,单个河道砂体形态逐渐明显,地震剖面上发育底部下凹,上部双向充填的河道反射。同时,随可容纳

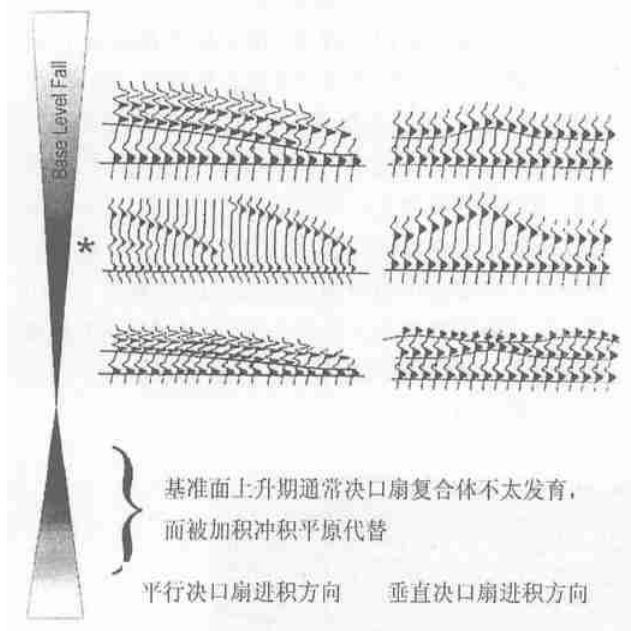


图 5 基准面变化过程中决口扇的地震响应模型
(预测模型,据 Cross,1996,内部资料修改)

Fig. 5 Modeled seismic response for different crevasse sandstone configuration(after Cross,1996)in different A/S condition

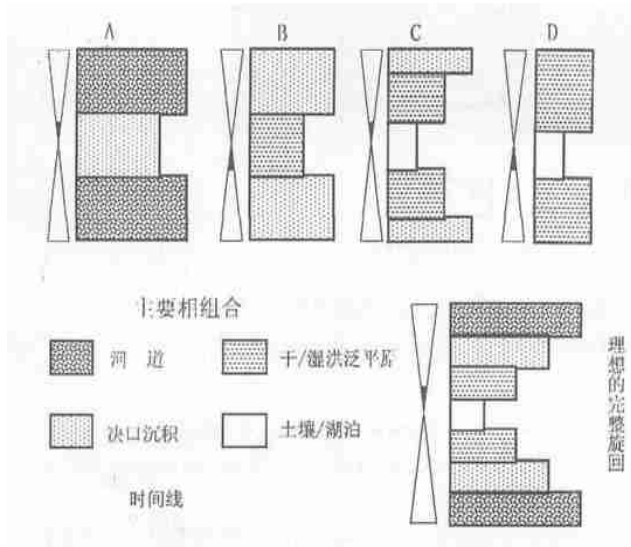


图 6 河流相短期旋回构成随地形的变化

Fig. 6 Component change of short-term cycle in fluvial facies with topography

空间增大,河间泥岩夹层逐渐增多,以具一定连续性的中强振幅为特征。基准面上升到下降转换位置发育分布较稳定的泛滥盆地泥岩相,地震剖面上表现为强振幅、连续反射。基准面下降期决口扇/决口河道复合体发育,地震呈前积叠瓦状反射特征。随基准面下降,可容纳空间进一步降低,河道又逐渐发育,直至

另一次河道化作用开始。

3 垦东地区馆陶组河流相层序地层构成

胜利油田滩海地区上第三系馆陶组河流相层序发育特征表明上述层序地层构成模式具有代表性。馆陶组为形成于上/下第三系区域不整合和馆陶组/明化镇组沉积作用转换面之间的一个长期基准面旋回(相当于三级层序),其内部可以进一步划分出 5 个中期基准面旋回。

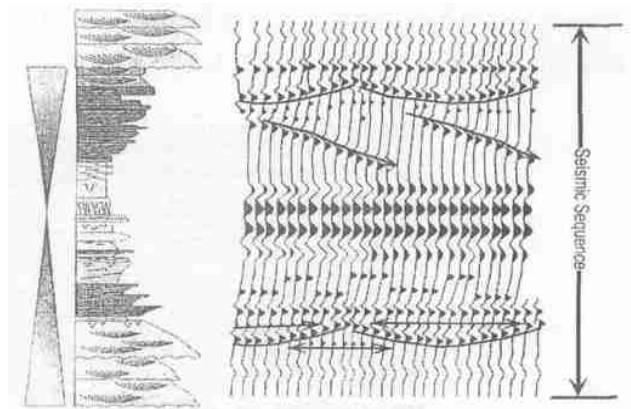


图 7 河流相层序地层构成的地质—地震响应模型
(预测模型,据 Cross,1996,内部资料修改)

Fig. 7 Modeled geological-seismic response in fluvial sequence stratigraphy(after Cross,1996)

图 8 为滩海地区东部垦东潜山披覆构造带垦东 10 井区河流相层序地层的地质—地震响应特征。该区位于垦东断裂以北的北部斜坡带西段,为研究区沉积古地形的中等梯度区。长期基准面上升早期,馆下段(下部两个中期旋回)以辫状河道砂砾岩发育为特征,在地震剖面上以弱反射为基调,夹少量连续性较差的中强振幅反射,波形变化较明显。初期由于可容纳空间过低,河道砂岩厚度较小,有时与夹层泥岩形成以强弱振幅交互反射。随着可容纳空间增加,辫状河道砂岩单层厚度明显增加,泥岩夹层出现频率少,地震以弱反射为主,代表夹层泥岩的中强振幅反射较少。向上伴随着可容纳空间增大,河道间泥质夹层增多,稳定性有所增加,在弱反射背景中,出现中等连续、波形较为稳定的中强振幅反射。

长期基准面上升中晚期(馆上段下部的两个旋回),早期砂岩仍具有辫状河道沉积特点,向上发育低弯度网状河流相沉积。在大致平行水流方向的主测线剖面上,该段沉积表现为河道砂岩与河间泥岩互层形成的具有一定连续性的强、弱振幅交互相;当与河

道斜交或垂直时,在地震剖面上可以见到底部下凹,上部双向超覆的地震反射。自下而上随着可容纳空间增加,河道作用减弱,河道规模变小的特征在钻/测井与地震剖面上均可以反映出来。与馆下段相反,河间或泛滥平原地区则以无—弱反射为背景,在此背景上发育代表小型、薄层河道砂岩的中弱振幅、连续性差的反射。基准面上升最大时期泛滥平原泥岩厚度增加,钻井揭示为灰绿色泥岩为主或灰绿色、红色泥岩与河间沉积的泥质粉砂岩不等厚互层。河道发育区,为灰绿色泥岩夹规模不大的河道砂岩沉积。在地震剖面上表现为弱反射或弱反射为背景,并出现不连

续、波形变化较大的中振幅反射。

长期基准面旋回下降期(馆上段上部旋回),河道作用减弱,决口扇/决口河道复合体发育。钻/测井剖面上表现为红色、灰绿色泥岩不等厚互层夹河道砂岩或决口扇复合体沉积。河间地区则为泛滥平原加积作用形成的红色泥岩夹薄层泥质粉砂岩沉积,或暴露水面时期形成的红色、暗紫色、棕黄色交互的古土壤泥岩。河道化作用较强的地区在地震剖面上为中等连续或连续性较差的强弱振幅交互反射,向上振幅逐渐增强。河间地区以弱反射为主,局部发育不连续的变振幅反射。

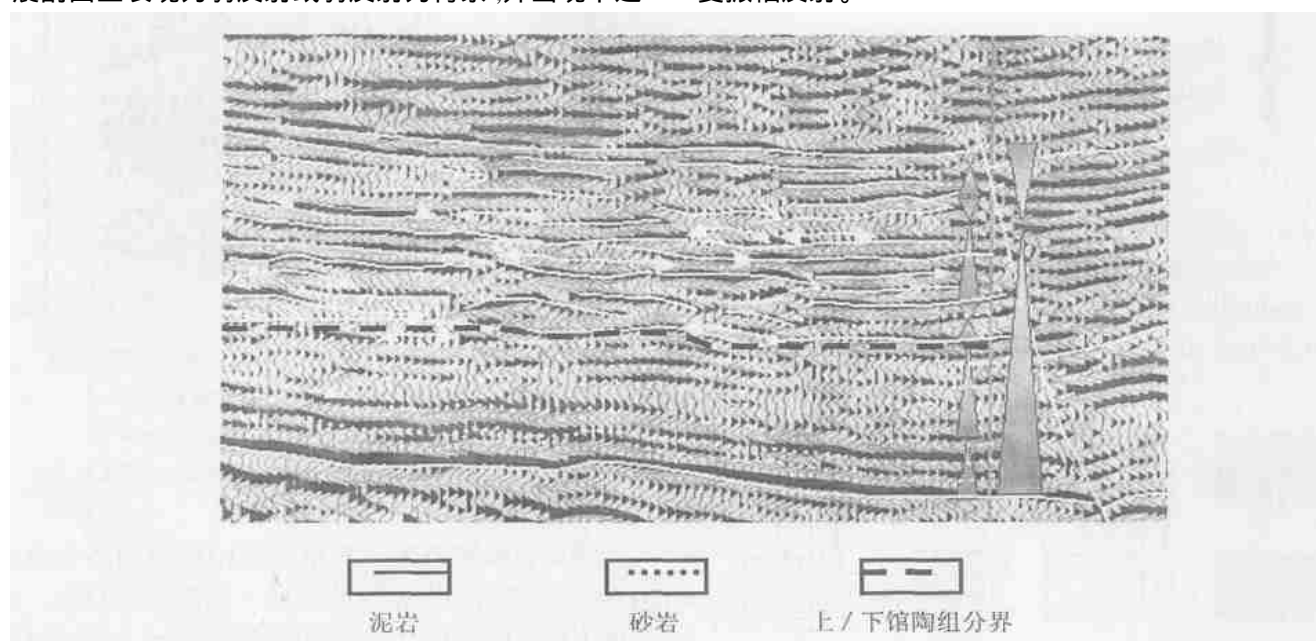


图8 研究区斜坡带冲积—河流相地质—地震解释(根据实际地震剖面解释)

Fig. 8 Geologic-seismic interpretation of fluvial facies in gentle slope in the study area

这里要强调的是,在同一基准面旋回内,沿地形梯度减小方向河流沉积可容纳空间变化的总趋势是逐渐增加。作为可容纳空间变化的沉积响应,沿物源补给方向,即由河流上游地貌高向地貌低处河流相基准面旋回的结构、沉积微相类型以及相的多样性也必然发育变化。这些变化通过不同地区的地质相—地震相解释可以确定,并依此对沿倾向剖面河流地层沉积相的变化加以预测。因而,建立研究区不同地形梯度区冲积—河流相地质—地震解释模型对于以地震剖面为基础的井间沉积相分布预测至关重要。

参考文献(References)

1 邓宏文,王红亮,李小孟.高分辨率层序地层对比在河流相中的应用.石油天然气地质,1997,18(2):90~95[Deng Hongwen, Wang

Hongliang and Li Xiaomeng. Application of high-resolution sequence stratigraphy correlation in fluvial facies. Oil and Gas Geology, 1997, 18(2):90~95]

- 2 邓宏文,王红亮,祝永军, Cross T A. 高分辨率层序地层学—原理及应用.北京:地质出版社,2002 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, Cross T A. High-resolution sequence stratigraphy-Principle and Application. Beijing: Geological Publishing House, 2002]
- 3 Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata. Earth Sciences Frontiers, 2000, 7(4):322~350
- 4 Shanley K W. River response to base-level changes; Implication for sequence stratigraphy. Journal of Geology, 1993, 101(3):279~294
- 5 Shanley K W, McCabe P J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata. AAPG Bulletin, 1994, 78:544~568
- 6 Shanley K W. Alluvial architecture in a sequence stratigraphy framework. Journal of Geology, 1994, 102(2):105~109

Architecture Model of Sequence Stratigraphy in Fluvial Facies

DEN G Hong-wen¹ WANG Hong-liang¹ YAN Wei-peng¹ SU Zong-fu¹
XIE Xiao-jun¹ SONG Guo-qi² LIN Hui-xi²

1(China University of Geosciences, Beijing 100083) 2(Shengli Petroleum Administration, Dongying Shandong 257015)

Abstract Fluvial facies stratum is one of important reservoirs in Meso-Cenozoic continental basin in China. Sequence stratigraphy conventional sequence stratigraphy interpretation techniques based on seismic stratigraphy in passive continental margin is generally considered difficult to be applied to fluvial facies due to the sequence complexity and multiple mixed facies. The paper studies sequence architecture of fluvial strata by using high-resolution sequence stratigraphy based on base-level cycle recognition. Geological-seismic response models of fluvial reservoirs have been established, which are also illustrated by an example in Guantao Formation, Upper Tertiary, Offshore area in Shengli Oilfield.

Key words fluvial facies, sequence architecture, geological-seismic interpretation model

欢迎订阅《沉积学报》

《沉积学报》是中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会、中国地质学会沉积地质专业委员会、中国科学院兰州地质研究所共同主办的综合性学术刊物,是全国自然科学核心期刊。主要刊载沉积学、沉积矿产、地球化学以及相关分支学科、交叉学科的基础和应用基础研究的创新性研究成果和高水平论文,介绍沉积学研究的新技术、新理论及国内外最新沉积学论著,同时也报导有关学术活动、学科研究动态及学术思想的讨论和争鸣。优先发表国家、省、部级重大科技项目及基金资助的在沉积学、地球化学前沿各分支领域以及学科交叉点上有创造性的研究成果。读者对象为大专院校地学专业的师生及科研院所的地学工作者。

《沉积学报》为季刊,16开本,每期180页,逢季末月20日出版。2005年起,本刊改为铜版纸印刷,每本定价30元,全年定价120元。国内外公开发行,欢迎广大读者到当地邮局订阅。

国内邮发代号:54-45

国外发行代号:Q832

同时欢迎各位专家学者踊跃投稿。

地址:兰州市东岗西路324号 中国科学院兰州地质研究所《沉积学报》编辑部

邮政编码:730000

联系电话:(0931)4960916 传真:(0931)8278667

E-mail: cjxb@ns.lzb.ac.cn