

文章编号: 0253-9985(2007)05-0621-07

河流相层序地层划分方法 ——以松辽盆地地下白垩统扶余油层为例

邓宏文¹, 吴海波², 王 宁¹, Timothy A. Cross³

(1. 中国地质大学, 北京 100083 2. 中国石油 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712

3. 美国科罗拉多矿业学院, Evergreen, Colorado CO 80437-0994 USA)

摘要: 以松辽盆地地下白垩统泉头组扶余油层为例, 探讨了河流沉积体系的层序地层分析方法。首先确定河流的成因类型和相域(微相)的构成, 包括曲流河道、决口河道、决口扇、冲积平原和浅水湖泊, 识别河流演化过程中由于河流冲溢形成的自旋回沉积作用和基准面变化产生的异旋回沉积作用, 即基准面旋回; 然后运用河流沉积学理论分析构成河流相的不同相域的形成与基准面变化的关系, 识别基准面转换位置(基准面上升到下降或基准面下降到上升)的沉积学和地层学响应, 从而建立等时地层对比格架。

关键词: 自旋回; 异旋回; 基准面旋回; 旋回界面识别; 层序地层格架; 河流相; 扶余油层; 松辽盆地

中图分类号: 111.3 **文献标识码:** A

Division of fluvial sequence stratigraphy

— an example from the Lower Cretaceous Fuyu oil-bearing layer, the Songliao Basin

Deng Hongwen¹, Wu Hailuo², Wang Ning¹, Timothy A. Cross³

(1. China University of Geosciences Beijing 100083 China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration &

Development, Daqing Oilfield Limited Company, PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712 China;

3. Colorado School of Mines, Evergreen, Colorado CO 80437-0994 USA)

Abstract Taking Fuyu oil-bearing layer of the Lower Cretaceous Quantou Formation in the Songliao Basin as an example, this article discusses the analysis methods of sequence stratigraphy of fluvial sedimentary system. It starts with the identification of the genetic types of fluvial system and facies tracts (micro-facies), including meander channels, crevasse channels, crevasse fans, alluvial plains and shallow lakes, and recognition of the autocyclicity caused by fluvial overflow and the allocyclicity (base-level cycle) caused by base level changes. Then it analyzes the relation between the formation of different facies tracts and base-level change and identifies the sedimentologic and stratigraphic responses of turning points of base-level changes (i.e., the base level turning from ascending to descending or vice versa) by applying the fluvial sedimentology theory. Finally, it establishes a framework for isochronous stratigraphic correlation of fluvial sequences.

Key words autocyclicity; allocyclicity; base-level cycle; identification of cycle interfaces; sequence stratigraphic framework; fluvial facies; Fuyu oil-bearing layer; Songliao Basin

河流相是我国中、新生代陆相盆地重要的油气储集层系类型之一。河流相地层多形成于拗陷盆地的萎缩阶段或断陷盆地的断-拗转换阶段或拗陷阶段, 如渤海湾盆地新近系馆陶组和松辽盆地地下白垩统泉头组等。该时期盆地多为补偿或过

补偿沉积, 准平原化作用明显, 地震资料难以进行详细识别。由于河流相地层时空演化的复杂性和多变性, 其沉积剖面中岩性标志层通常也不发育。因此, 河流相等时地层单元的划分与对比一直是困扰石油地质工作者的难题。将海平面变化旋回

收稿日期: 2007-07-10

第一作者简介: 邓宏文(1946—), 女, 博士、教授, 储层沉积学、层序地层与成藏要素评价、油气田开发地质

与河流沉积结构联系起来进行河流相层序地层划分的方法^[1]也未必适合陆相盆地。

本文运用以基准面旋回为参照面的高分辨率层序地层分析方法,在研究区扶余油层 16 口取心井 1 350 m 岩心描述、46 口井的岩-电对比以及三维高分辨率地震资料的井-震标定的基础上,探讨了在曲流河沉积相中识别时间-地层单元界面、建立层序地层格架的思路与方法。

1 地质背景

肇源南地区位于松辽盆地东南部,跨越中央拗陷区和东南隆起区。由于白垩系沉积后的构造反转运动,整体形成单斜背景(图 1)。

下白垩统泉头组自下而上可以划分为 4 段,扶余油层属于泉(头组)四段、泉三段上部地层。泉三、泉四段沉积时期,气候较为干旱,盆地构造沉降相对稳定,地形平缓,盆地周缘大型河流体系十分发育,向拗陷中心部位汇集,因而在整个盆地范围内形成了广泛的河流相沉积。肇源南地区主要受盆地南部或东南方向的河流沉积体系控制。研究层段扶余油层一、二段厚度约 200 m,为冲积河流环境形成的砂泥互层沉积,总体上呈向上变

细旋回。泉四段沉积晚期,即扶(余油层)一段沉积时期,湖水扩张,在盆地中心部位形成了浅水湖区。青(山口组)一段沉积时期,松辽盆地大面积湖侵,形成 3 套广泛分布的油页岩发育段,研究区扶余油层整合过渡到上白垩统青山口组湖相地层。

2 相域(微相)类型

对于研究区扶余油层的河流沉积体系类型,一直存在争议。本次研究认为,它形成于曲流河沉积体系,地理位置上处于曲流河下游。由于距物源较远,地形十分平缓,河流能量低弱。曲流河道决口十分频繁,形成大面积的决口扇沉积,可占研究层段地层厚度的 70%~80%,决口扇上网状分布的决口河道十分发育。由此,研究层段发育两种成因的河道类型:即曲流河道和决口河道。二者均为研究层段的重要储层类型。曲流河道和决口河道砂岩粒度均较细,以粉细砂岩和粉砂岩为主。除此之外,研究区尚包括决口扇、潮湿和干旱冲积平原泥岩(古土壤)、河间小型湖泊、浅水开阔湖泊等相域类型(图 2)。

2.1 曲流河道

该微相以曲流河道侧向迁移形成的点砂坝沉积为主,沉积厚度一般为 8~10 m,个别可达 12 m;岩性以粉细砂岩为主,具粒度向上变细旋回,底部发育明显的冲刷面和滞留泥砾沉积;中、下部槽状交错层理发育,向上逐渐变为小型交错层理或波状交错层理,反映水流能量逐渐减弱。曲流河道微相纵向上可与河流相的各类微相组合。

2.2 决口河道

决口河道在成因上应属于决口扇复合体中的微相类型。河道厚度一般为 5~8 m,以粉砂岩、粉细砂岩为主,具向上变细旋回。河道砂岩中断续发育泥质夹层,泥砾发育,自然伽马和电阻率曲线呈明显的锯齿状,反映决口时期水动力条件的强弱交替过程。槽状交错层理仅出现在河道砂岩底部或下部,主要层理类型为复合层理、小型交错层理和波状层理,虫孔发育。决口河道纵向上与决口扇微相组合。

2.3 决口扇

该微相主要指决口扇复合体的细粒部分,以

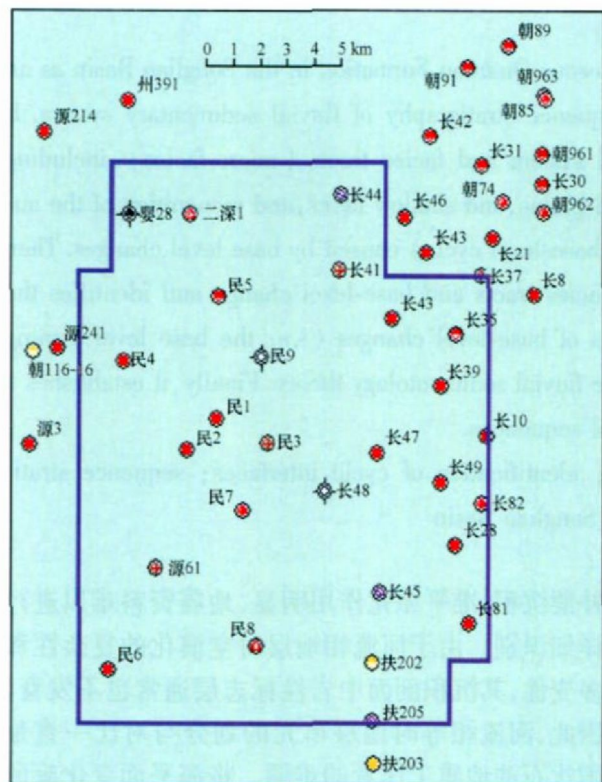


图 1 研究区区域位置

Fig. 1 Location of the study area

2.5 浅水湖泊

该微相分河间湖泊和开阔湖泊两种类型。前者主要出现在研究层段中部,即扶二¹段上部,以棕褐色泥岩为主,泥岩较纯,断续水平纹理、微波状层理、虫孔和生物扰动构造发育,应为河间低地间歇性湖泊沉积;后者主要出现在研究层段顶部,即扶一段上部,为灰绿色泥岩与泥质粉砂岩互层沉积,泥质粉砂岩中波状层理发育,呈向上变细旋回,次生黄铁矿断续分布,应为泉头组沉积晚期发育的浅水开阔湖相沉积。

3 基准面旋回的划分

3.1 基准面旋回的识别

与海相、湖相、海(湖)陆过渡相一样,河流相沉积同样具有旋回性。但与其他沉积环境相比,河流相的自旋回作用更加明显。河流相自旋回的形成常与河道的决口、决口扇朵叶体的迁移等沉积作用有关^[3]。自旋回作用通常只控制沉积相序的内部结构和各岩相的比例,与基准面旋回变化关系不明显。河流异旋回的形成则是沉积物供给、构造沉降以及海(湖)平面变化导致的可容纳空间(A/S 值)变化的产物。它控制地层的叠加样式,因而形成基准面变化旋回,即具有时间地层对

比意义的成因地层单元。因此,要对河流相进行等时地层单元划分,首先遇到的问题是识别与基准面变化相关的异旋回。

作者曾经在有关文章中讨论过冲积河流相的相域构成要素,包括河道、决口扇和冲积平原相的地层动力学(A/S)响应模式^[4-5]。河流沉积体系中不同相域类型的层序地层意义不同。如大型河道砂岩底部的冲刷面通常与基准面下降有关,大型河道的充填过程反映基准面上升、可容纳空间增大的过程;呈进积叠加样式的决口扇通常与基准面下降有联系等。但严格地说,构成河流相的任何一种单独的相域(微相)类型与基准面变化的旋回均没有任何直接的联系。特别是规模不大的决口河道,通常是河流自旋回作用的结果。只有相域(微相)的叠加样式才能反映 A/S 的增加或减少,从而提供基准面旋回变化的重要信息。如呈退积叠加样式的曲流河道旋回通常反映 A/S 值的逐渐增加;呈进积叠加样式的河道反映 A/S 值的逐渐减小;呈进积叠加样式的决口扇复合体往往与 A/S 的逐渐减小有关;厚层加积的潮湿冲积平原泥岩的发育常常处于基准面稳定上升时期,与 A/S 值较大有关等等^[6-7]。

3.2 旋回界面的识别

3.2.1 基准面下降与上升的转换面

河道类型的改变常常是基准面升降导致的可

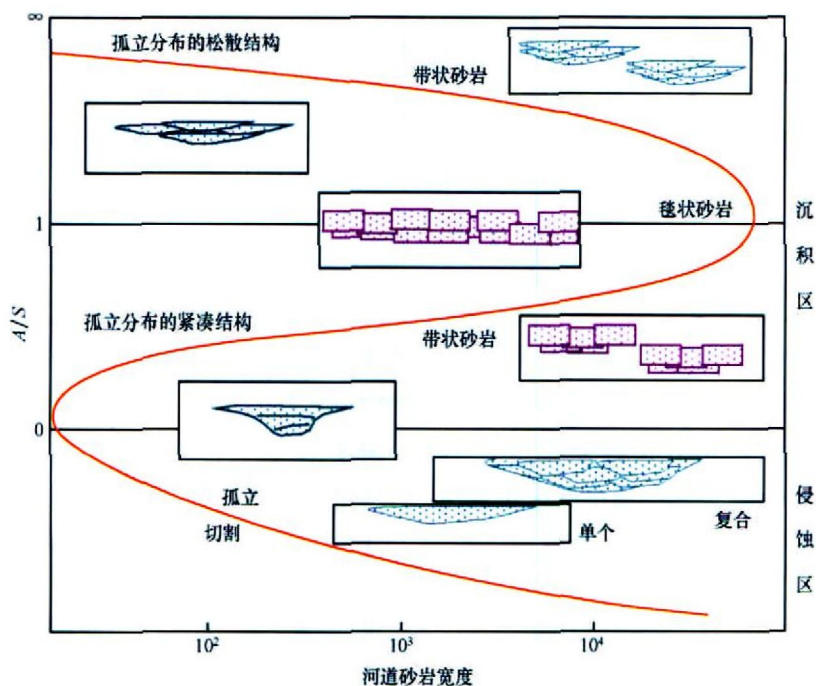


图 3 A/S 比值变化引起河道砂岩结构的变化

Fig. 3 Changes of channel sand structures resulted from the variation of A/S ratio

容纳空间变化的反映。在基准面变化过程中, 河道带砂岩结构类型的变化如图 3 所示。在河流相沉积剖面中, 大型相互叠置、彼此切割的辫状河道砂岩底部冲刷面是基准面下降的响应^[8~10]。

基准面下降到上升的转换是一个时间过程段。在基准面下降过程中, 可容纳空间增加速率与沉积物供给速率(A/S 值)趋于最小。在曲流河沉积体系中, 基准面下降的结果导致在一定范围内河道化作用明显, 曲流河道迁移。沉积剖面中可出现河道或点砂坝的相互叠置现象, 这是曲流河道迁移作用的结果, 可以作为基准面下降的重要标志(图 4)。

如前所述, 研究层段可以识别出两种河道类型: 曲流河道和决口河道。曲流河道底部冲刷面的形成也不均与基准面下降有关, 只有控制地层叠加样式的河道底部冲刷面才反映基准面的下降作用。而且, 由于基准面下降形成的河道规模较大, 在地层对比过程中, 受基准面下降控制的曲流河道在一定范围内具有可对比性。如, 研究层段界面 F1.2 和 F2.1 的形成与基准面下降作用密切相关, 可以作为基准面下降和上升的转换面。转换面附近的河道经常可以见到多期叠置现象。转换面之上的河道或决口河道或决口扇呈现退积叠加样式, 转换面之下则呈进积叠加样式(图 2)。发育在决口扇之上的规模较小的决口河道通常为

自旋回作用的结果, 与基准面旋回变化关系较小。

在河流体系中, 高 A/S 比值条件下通常产生孤立的、被冲积平原泥岩包围的、河道内各岩相渐变的河道带砂岩, 它应该是基准面上升过程的反映。将 16 口井岩心描述确定的不同类型河道标定到层序地层位置上, 从中可以看出曲流河道, 特别是叠置的曲流河道集中发育在基准面下降与上升的转换部位, 即界面 F1.2 和 F2.1 附近; 而决口河道与孤立的曲流河道发育的层序地层位置主要在中期基准面旋回的界面之间(图 5)。

由此总结出研究层段基准面下降到上升的转换面(旋回界面)的 4 个识别标志: 1) 控制地层叠加样式、具有地层意义的河道底部冲刷面; 2) 冲刷面之上的河道沉积常具有相互叠置的特征; 3) 河道冲刷面之下发育富含钙质结核的古土壤泥岩; 4) 河道规模较大, 在一定范围内具有可对比性。

3.2.2 基准面上升与下降的转换面

在河流沉积剖面中, 具有一定厚度和分布范围的潮湿冲积平原泥岩或河间湖泊泥岩段的发育常与基准面上升、可容纳空间增大有关, 形成最大湖/洪泛面, 是基准面上升与下降转换面的地层响应, 因此可作为河流相对比的标志层。

此外, 纵向上叠置的决口扇的厚度可以反映

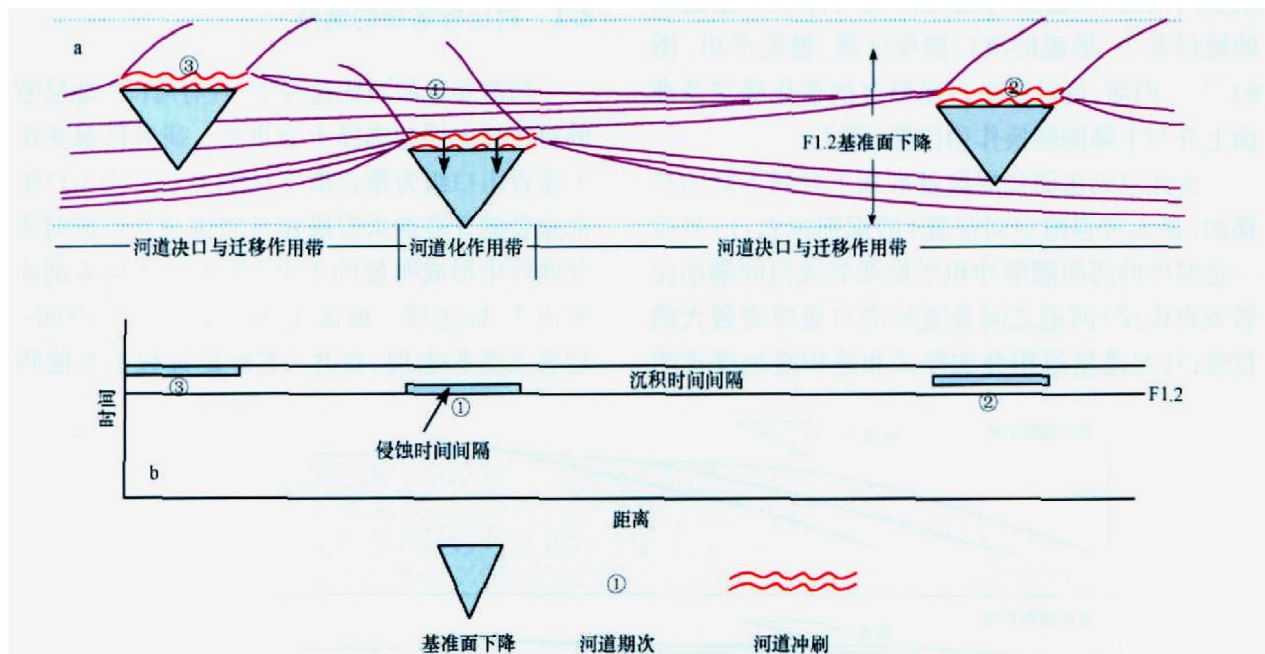


图 4 曲流河体系基准面下降导致界面 F1.2 附近河道化作用加强

Fig. 4 Sketch map showing the descending base-level of the meandering river system enhancing the channelization near the F1.2 interface

a. 河道决口、河流迁移和平原化示意图; b. 相应的时间-地层剖面

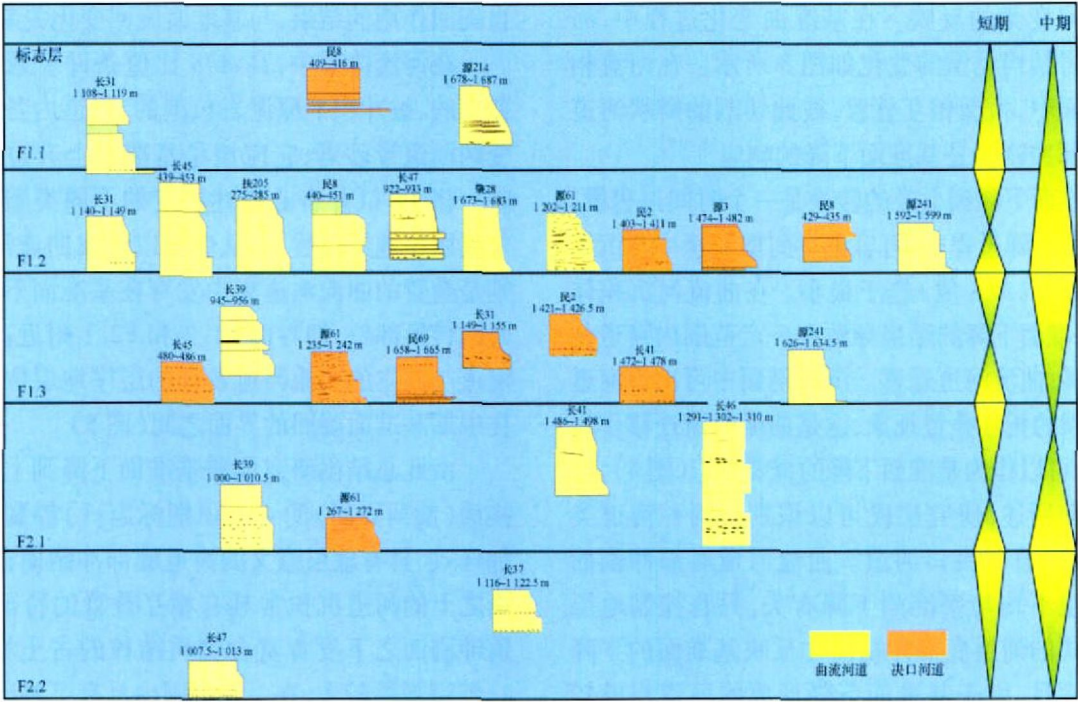


图 5 研究层段不同河道类型的层序地层意义

Fig. 5 Sequence stratigraphic significance of different channel types in the study intervals

基准面的变化。由于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。可容纳空间较低时,曲流河道天然堤与冲积平原之间的地形差小,形成的决口扇厚度薄、坡度平坦(图 6)^[11]。因而,可以用决口扇厚度的变化确定基准面上升与下降的转换作用位置(图 7)。

由此总结出研究层段基准面上升到下降的转换面(最大可容纳空间位置)的识别标志: 1)具有一定厚度的河间潮湿冲积平原泥岩或河间湖泊泥岩发育段; 2)河道之间叠置的决口扇厚度较大的位置; 3)河道呈退积叠加样式和进积叠加样式的

转换面; 4)与叠置的河道相比,孤立的曲流河道的出现与可容纳空间增大有关。

4 层序地层格架的建立

4.1 对比标志层的选择

河流相地层对比过程中,具有时间-地层意义的对比标志层的选择十分重要。研究区泉头组与上覆青山口组为整合渐变接触关系。青山口组底部发育的 3 套油页岩段在自然伽马和声波时差测井曲线中形成明显的 3 个“高尖”,在地震剖面上形成 T_2 标志层。地震 T_2 标志层为具有时间-地层意义的标志层,在井-震标定过程中不能将其

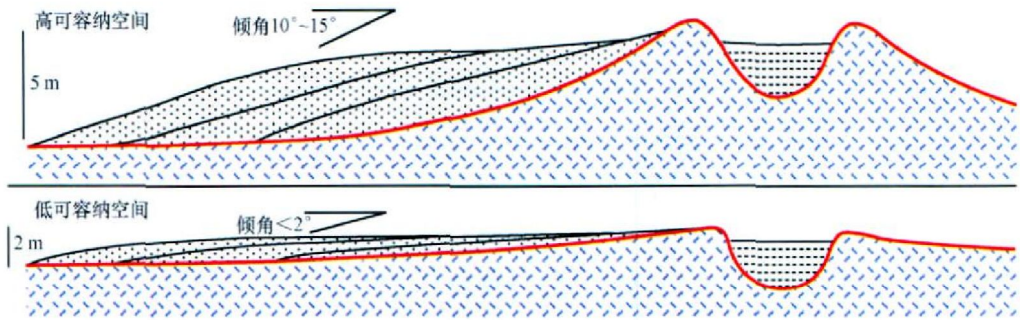


图 6 决口扇厚度变化与可容纳空间的关系^[11]

Fig. 6 Relationship between the thickness of crevasse fan and A/S ratio

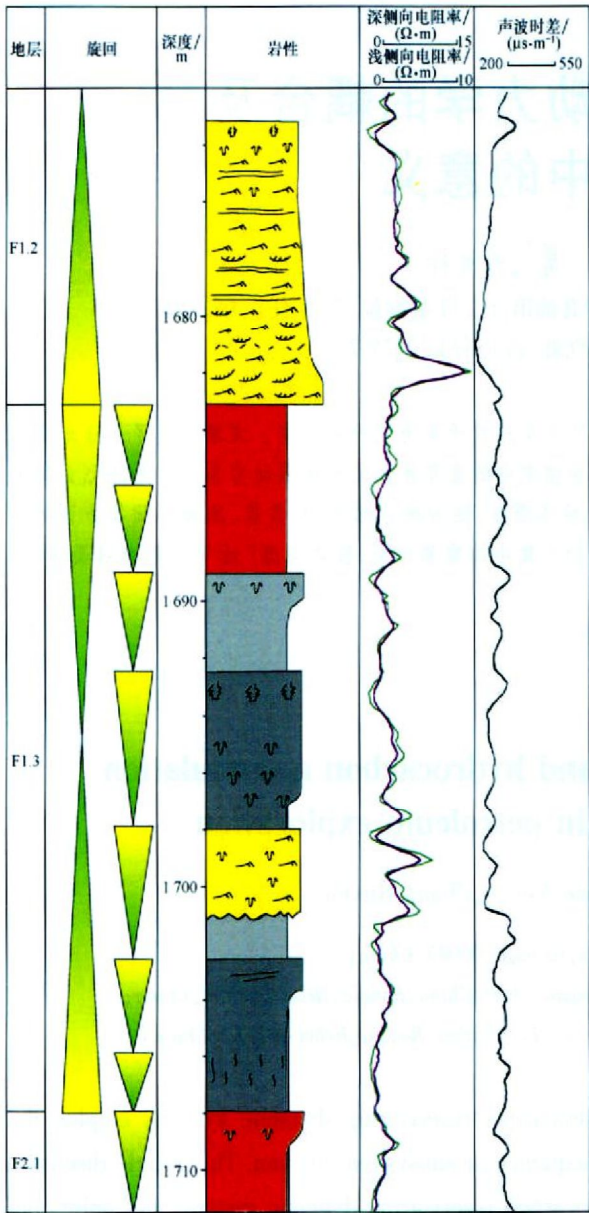


图 7 依据相域和决口扇厚度变化趋势识别基准面旋回
Fig. 7 Identification of base-level cycles based on facies-tract types and change trend of crevasse fan thickness

标定在泉头组顶部砂泥岩段与青山口油页岩的岩性界面上。因为尽管研究区泉头组沉积时期地形十分平缓,但南高北低的缓坡仍然存在,青山口组沉积早期湖泛期形成的油页岩在向斜坡超覆的过程中,在研究区边缘地带已经逐渐变为薄层砂泥互层沉积。因而,本次研究选择青山口组底部第二套油页岩作为扶余油层河流相对比的标志层。

4.2 层序地层格架的建立

在基准面旋回界面识别的基础上,研究层段扶一、扶二段可以划分出 3 个中期基准面变化旋回和 5 个短期基准面变化旋回。如果将泉三段上

部的不整合至泉四段与青山口组的界面作为一个三级层序,本次划分出的中期和短期基准面旋回大致相当于四级和五级层序(图 2)。井-震标定验证了该地层划分与对比方案的准确性,继而为地震反演和储层预测提供了时间-地层格架。在等时地层格架内测量河道底部与标志层的距离,运用等高程法可以进行河道砂岩的对比。

5 结束语

以多级次基准面旋回为参照面的高分辨率层序地层划分与对比方法在河流相等时地层格架的建立中具有实用性,其关键是将以河流沉积学为基础的沉积相精细研究与以层序地层原理为指导的反映基准面变化(A/S)的地层叠加样式分析相结合。在基准面旋回的识别过程中,要注意区分河流的自旋回和异旋回过程,识别基准面旋回的转换位置或转换带,即基准面上升与下降或基准面下降与上升的转换位置,划分时间-地层单元,建立时间地层对比格架。

参 考 文 献

1 Shanley K W, McCabe P J, Hettlinger R D. Tidal influence in Cretaceous fluvial strata from Utah, USA: a key to sequence stratigraphic interpretation[J]. Sedimentology, 1993, 35: 905- 930
2 杨力军, 邵龙义, 张鹏飞. 古土壤的类型及识别标志[J]. 中国煤田地质, 2002, 14(3): 1- 3
3 Emery D, Myers K J. Sequence stratigraphy[M]. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 1996: 111- 133
4 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[J]. 石油天然气地质, 1997, 18(2): 90- 95
5 邓宏文, 王红亮, 阎伟鹏, 等. 河流相层序地层构成模式探讨[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 373- 379
6 邓宏文, Cross T A, 王红亮, 等. 高分辨率层序地层学——原理及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 16- 24, 72- 78
7 李宏伟, 袁士义, 朱怡翔, 等. 河流相地层相分异与沉积物体积分配规律[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 356- 360
8 邓宏文, 王红亮, 李熙喆. 层序地层地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177- 184
9 方石, 刘招君, 胡显辉. 松辽盆地海合隆地区泉头组河流相层序地层学特征[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 33- 38
10 邓宏文, 王红亮. 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
11 Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. 地学前缘, 2000, 7(4): 322- 350

(编辑 李 军)