

文章编号:1673-5005(2012)02-0008-08

河流相地层高精度地层构型界面形成机制及识别方法

纪友亮, 周 勇, 吴胜和, 史长林, 岳大力

(中国石油大学 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249)

摘要:分析了河流相单砂层级别的高精度地层构型界面的形成机制及河流相自旋回对异旋回的改造和影响,总结了单砂层级别高精度地层构型界的识别标志,及在异旋回控制下进行自旋回对比高精度地层构型界面的对比方法。结果表明:一个单层主要由河道侵蚀前期沉积物掠夺可容空间并逐渐充填、洪水期形成洪泛泥岩后形成;共有 5 种河道砂体的叠置模式和对比模式,而且河道砂体的叠置模式受可容空间增加速率与沉积物供应速率比值控制。

关键词: 河流相地层; 单层; 界面形成机制; 界面识别; 方法

中图分类号: TE 121.34 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1673-5005.2012.02.002

Formation mechanism and recognizing method of high resolution strata architecture boundary in fluvial strata

Ji You-liang, ZHOU Yong, WU Sheng-he, SHI Chang-lin, YUE Da-li

(State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The formation mechanism and recognizing method of high resolution strata architecture boundary of single sand bed in fluvial strata were analyzed. The results show that the fluvial channel incises former sediments and gets accommodation first, and then the accommodation is filled, and after the flood mud is deposited, a single bed is formed. On the basis of the analysis, 5 types of superimposed style and correlation modes of channel sand body are summarized, and it is considered that the superimposed style of channel sand body is controlled by A/S . On the basis of the analysis of reforming and effects of auto cycle on different cycles in fluvial strata. The recognizing mark of high resolution strata architecture boundary of single sand body scale and the correlation method in fluvial strata were summarized, in which auto cycle was correlated under the control of different cycles.

Key words: fluvial strata; single bed; formation mechanism of interface; interface recognition technology; method

在油藏级别的地层单元划分与对比中,最关心的是单层及其更高频的地层单元,单层相当于 P. R. VAIL 的经典层序地层学单元中的“层组”和 T. M. CROSS 的高分辨率层序地层学单元中的“超短旋回”^[1]。把单层及其更高频的地层单元的界面称为高精度地层构型界面。在河流环境中,一个单层是一期河道及其对应的同期沉积,包括溢岸沉积(天然堤、决口扇)和泛滥平原的泥岩。这个单元的界面为河流相地层高精度地层构型界面中的最小异旋回界面。河流相地层高精度地层构型界面识别及对

比方法一直是油藏地质研究中的难题。学者们对单层级别地层单元(超短旋回或层组)界面的形成机制、分布模式的研究几乎没有涉及。因此,笔者分析河流相单砂层级别的高精度地层构型界面的形成机制及河流相自旋回对异旋回的改造和影响。

1 河流相地层高精度地层构型界面识别的意义及研究现状

在传统的油藏级别的地层对比方法中,往往采用标准层和标志层来进行对比,如果标准层和标志

收稿日期:2011-09-28

基金项目:国家“十二五”重大科技专项课题(2011ZX05009-003)

作者简介:纪友亮(1962-),男(汉族),山东博兴人,教授,博士,博士生导师,从事沉积学、储层地质学和层序地层学方面的研究。

层很稳定且很发育,则地层对比很容易进行,在这种情况下,没有必要进行旋回的划分和对比。不同的沉积环境中标准层和标志层往往差异很大,在有些沉积环境中标准层和标志层发育很差或不存在,在这种情况下,则必须识别各级旋回。

在河流相地层中,单层(层组、超短旋回)是最小的能够识别的异旋回,这些旋回也由于受到自旋回的干扰而很难识别^[1]。所以,分析单层界面的形成机制,总结其识别标志,对于准确进行等时性对比,建立构型单元,具有很重要的理论意义和实际意义。更高频的地层单元则主要受自旋回作用的控制,不能在大区域内对比。

在河流相层序地层学的地层单元划分和对比的方法中,目前存在几大学派,一是 T. M. Cross 的高分

辨率层序地层学学派,介绍了河流环境旋回发育的控制因素和级别划分,但从其列举的例子中,仅介绍到短旋回。高精度地层构型单元与层序地层学各学派划分的层序地层学单元及传统的岩性地层单元的对应关系见表 1。另一个是 Wright 的陆相层序地层学学派,介绍了河流环境层序发育的控制因素和层序结构,但仅划分到三级层序的体系域^[24]。中国学者在陆相湖盆层序地层学的研究中也形成了两大学派,5 种观点。不管哪个学派,哪种观点,采用怎样的术语(表 1),目的都是进行地层的划分和等时性对比。低频的层序地层单元(准层序及更低频的单元)在地震、测井剖面上很容易识别,目前已形成了一套成熟的识别层序地层单元或异旋回的方法。

表 1 地层-沉积构型分级方案
Table 1 Stata-sedimentary configuration grading scheme

构型级别	时间规模/a	Milanko vitch 旋回	层序地层	油层单元	地层内的沉积单元	T. M. Cross 的旋回	Miall 结构分级及界面分级
1 级	$10^7 \sim 10^8$	1	巨层序	含油层系/油组	(叠合)盆地充地充填体	巨旋回	
2 级	$10^7 \sim 10^8$	2	超层序	油组/砂组	盆地充填体	超长旋回	11
3 级	$10^6 \sim 10^7$	3	层序	砂组/小层	复合体系域	长旋回	10(8)
4 级	$10^5 \sim 10^6$	4	准层序组	小层/单层	体系域	中旋回	9(7)
5 级	$10^4 \sim 10^5$	5	准层序		叠置河道	短旋回	8(6)
6 级	$10^3 \sim 10^4$	6(最小可识别的异旋回)	层组		单河道及溢岸	超短旋回	
7 级	$10^3 \sim 10^4$				单河道	7 级旋回	7(5)
8 级	$10^2 \sim 10^3$				点坝/心滩	8 级旋回	6(4)
9 级	$10^0 \sim 10^1$		层(岩层)		侧积体/增生体	9 级旋回	5(3)
10 级	$10^{-1} \sim 10^{-1}$				层系组		4(2)
11 级	$10^{-1} \sim 10^{-5}$		纹层组		层系		3,2(1)
12 级	10^{-6}		纹层		纹层		1(0)

2 不同级别层序地层单元的形成机制

冲积—河流相地层主要由河道、决口扇、决口河道复合体、河道间、泛滥平原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(可容空间增加速率/沉积物供应速率)值变化的函数。在一个旋回的发育过程中,A/S 是在不断变化的。低 A/S 值条件下,形成相互叠置、彼此切割的河道砂

岩(图 1),高 A/S 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。随着基准面上升,可容纳空间增大,河道类型通常发生由辫状河向曲流河的过渡^[1,5-7]。

在基准面变化过程中,河道带砂岩结构类型的变化如图 1 所示。在 A/S 值为负值的情况下(冲刷带),河流切割形成河谷。当 A/S 值变为正值时,河道砂岩和其他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 值条件下,呈简单的冲刷—充填形态;当 A/S 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他相之中。

低 A/S 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。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 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。

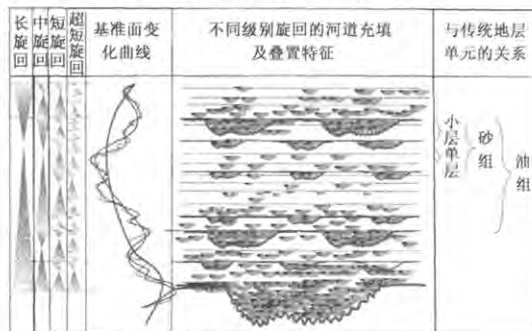


图1 可容空间变化规律与不同级别河流层序结构的关系

Fig.1 Relationship between accommodation variation rate and fluvial sequence structure of different scale

高 A/S 值条件下,河道带砂岩在冲积平原内孤立分布,侧向连通性较差。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。随着可容纳空间的增加,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。

河流环境不同级别的旋回中下切谷的深度和宽度、河道砂体的叠置关系是不同的,其特征见图1。

2.2 河流相地层高精度地层构型界面的形成机制

河流相一个单层的形成与三角洲及滨岸环境单层的形成机制有很大的不同,首先由河道侵蚀前期沉积,逐渐掠夺可容空间,然后发育河道砂体,当洪水泛滥时,形成同期溢岸沉积(天然堤、决口扇)、泛滥平原的泥岩和古土壤层。

如果盆地的 A/S 值小,则河道深,沉积的河道砂体的厚度和宽度大。如果盆地的 A/S 值大,则河道浅,沉积的河道砂体的厚度和宽度小。当可容空间持续增长时,大型洪水带来的泥岩形成厚层的泛滥平原沉积,将原来的河道填平。此时,一个层组(超短旋回、小层、单层)发育结束。底界面为河道及同期沉积的底界,顶界面为河道顶部洪泛平原沉

积的顶界面(图2、3)。

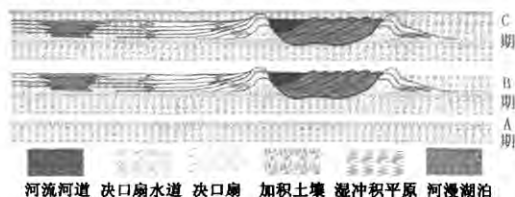


图2 河流环境一个单层(超短旋回、层组)的形成机制示意图

Fig.2 Schematic diagram of formation mechanism of a single layer (ultra-short cycle, bed set) in fluvial environment



图3 河流环境一个单层(超短旋回、层组)的地层格架和时间格架示意图

Fig.3 Schematic diagram of strata and time framework of a single layer (ultra-short cycle, bed set) in fluvial environment

2.3 河道砂体的叠置类型及等时对比模式

要准确地进行河流砂体的对比,搞清河道叠置和对比模式,首先要认识河道沉积厚砂的类型。

2.3.1 厚层河道砂的基本类型

目前在河流相地层中,厚层河道砂有4种基本类型:

(1)独立型河道厚砂。一次河流沉积旋回形成的厚砂体是独立的,顶、底都有泥岩分隔,泥岩厚度大于0.4 m(图4(a))。

(2)下切谷型厚砂。顶、底都有较厚的泥岩分隔,砂体厚度明显超过单元砂体平均厚度,为基准面快速下降时河道下切的产物。

(3)叠加型厚砂。后期河道的冲刷作用仅把前期河道顶部大段泥岩侵蚀掉(图4(b)),仍保留一部分较薄的泥岩或粉砂岩,这样几个相对完整的旋回互相叠置,形成厚砂岩,砂体之间保留明显的夹层,测井曲线有明显的回返,可在回返处劈分单层^[8-9]。

(4)切叠型厚砂。后期河道的冲刷作用把前期河道顶部泥岩和过渡性沉积物全部冲刷掉,甚至把河道上部的细粒沉积也冲刷掉,使两期河道砂体直

接接触,形成厚砂层(图 4(c)),其厚度明显大于独立河道厚砂层,相当于 2~3 期的厚度,其间无隔夹层。这类砂体在测井曲线(SP、GR)上往往表现为厚箱型,无明显回返,有时有锯齿状显示。

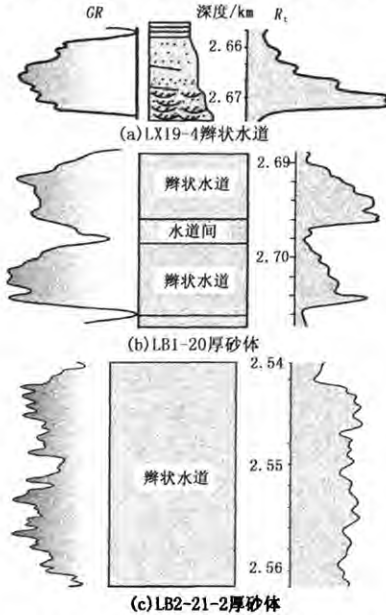


图 4 LX19-4 辫状水道砂体厚度, LB1-20 和 LB2-21-2 厚砂体类型

Fig. 4 Sand body thickness of braided river channel in well LX19-4, thick layer types of sand body in well LB1-20 and LB2-21-2

2.3.2 河道砂体的叠置类型和对比模式

河道砂体叠置方式的差异常常是基准面升降导致的可容空间变化的反映,在中期旋回地质过程中河道砂体的结构类型、叠加样式和相对保存程度都具有一定的规律性,因而可以作为河道砂体等时对比的重要依据。在中期基准面旋回上升早期,由于 A/S 值较低,发育向上“变细”非对称型短期旋回和超短期旋回结构的砂体,河道砂体经受沉积改造作用强烈,砂体保存不完整,砂体厚度和岩相变化剧烈,砂体相互切割、彼此叠置,是等时对比难度最大的位置。在中期基准面上升晚期和下降早期发育对称型短期旋回,河道砂体保存相对较完整,区域分布较稳定,可比性较强,尤其是中期洪泛面两侧的短期旋回和超短期旋回中的砂体,在区域上大多数具有较稳定的层位和等时性。针对这一特点,并根据孤东、孤岛等油田馆陶组河流相地层及野外露头剖面反映的河道沉积厚砂的类型,总结出了 5 种河道的叠置类型(图 5)^[10-11]。

(1) 大幅下切大面积叠置型河道及对比模式。发育于中期基准面上升早期或基准面下降末期的短旋回和超短旋回中, A/S 值较低,沉积作用以强烈充填河道的进积方式进行。基准面上升缓慢,每个短旋回或超短旋回末期形成的洪泛泥岩很薄,后期超短旋回中的河道对前期短旋回或超短旋回中的河道冲刷作用强烈,多期河道砂体相互切割、彼此叠置,形成厚度较大的砂体,砂岩的相类型比较单一,砂体垂向和侧向连通性好,砂体连片分布。这种情况下,划分单层(超短旋回,层组)的难度大,必须借助主河道附近的溢岸沉积或小型河道来划分(图 5、6)。

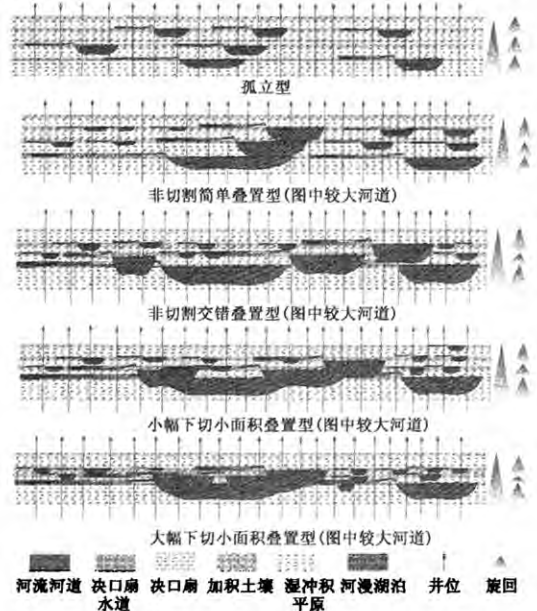


图 5 河道砂体的叠置类型

Fig. 5 Superimposed styles of channel sand bodies

(2) 小幅下切小面积叠置型河道及对比模式。发育于中期基准面上升早中期或基准面下降中晚期的短旋回和超短旋回中, A/S 值较低,沉积作用仍以强烈充填河道的进积方式进行。基准面上升加快,每个短旋回或超短旋回末期形成的洪泛泥岩较厚,导致河道有横向迁移或改道,后期超短旋回中的河道对前期短旋回或超短旋回中的部分河道及洪泛泥岩冲刷作用强烈,多期河道砂体虽相互切割但又彼此叠置,也形成厚度较大的砂体,砂岩的相类型比较单一,砂体垂向和侧向有一定的连通性,砂体错层切割叠置。这种情况下,划分单层(超短旋回,层组)的难度也较大,必须借助主河道附近的溢岸沉积或小型河道来划分(图 5、7)。

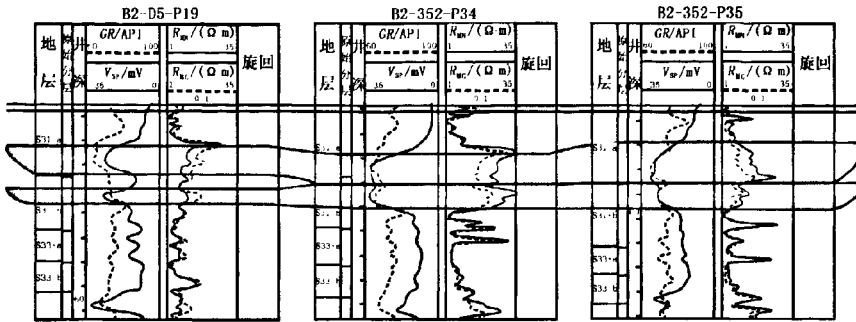


图6 大幅度下切、大面积叠置模式与实例

Fig.6 Strong incision and large area superimposed patterns of river channel and cases

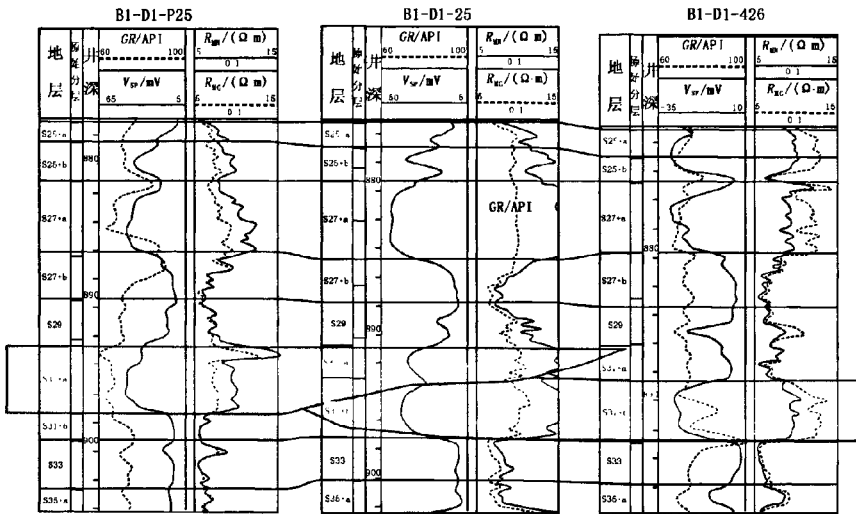


图7 小幅下切、小面积叠置模式与实例

Fig.7 Minor scale incision and small area superimposed patterns of river channel and cases

(3)非下切交错叠置型河道及对比模式。发育于中期基准面上升中期或基准面下降中期的短旋回和超短旋回中, A/S 值增大, 沉积作用仍以强烈充填河道的进积方式进行。基准面上升较快, 每个短旋回或超短旋回末期形成的洪泛泥岩较厚, 导致河道有大幅度横向迁移或改道, 后期超短旋回中的河道对前期短旋回或超短旋回中的部分洪泛泥岩冲刷作用强烈, 多期河道砂体虽未相互切割, 但仍彼此交错叠置, 也形成厚度较大的砂体, 砂岩的相类型比较单一, 砂体垂向和侧向无连通性, 砂体错层非切割交错叠置。这种情况下, 划分单层(超短旋回, 层组)的难度相对较大, 必须借助主河道附近的溢岸沉积或小型河道来划分(图5、8(a))。

(4)非下切层状叠置型河道及对比模式。发育于中期基准面上升晚期或基准面下降早期的短旋回

和超短旋回中, 基准面进一步上升, 可容空间增加, 物源供给较充足, A/S 值中等, 沉积作用的进积和加积作用相当。基准面高于沉积界面, 沉积物保存程度增加, 每个短旋回或超短旋回末期形成的洪泛泥岩较厚, 河道冲刷作用不明显, 多期河道垂向叠置, 砂体间垂向、侧向连通性较差。这种情况下, 划分单层(超短旋回, 层组)相对容易(图5、8(b))。

(5)孤立型河道及对比模式。发育于中期基准面上升到最大期的短旋回和超短旋回中, 基准面持续上升达到最高点位置时的广泛洪泛期, 沉积物补给量远小于可容空间的增量。沉积物粒度明显变细, 河道期次减少, 砂体叠置作用弱, 河道砂体形态发生很大改变, 横剖面上主要由孤立不对称的透镜状砂体组成(图5、8(c))。

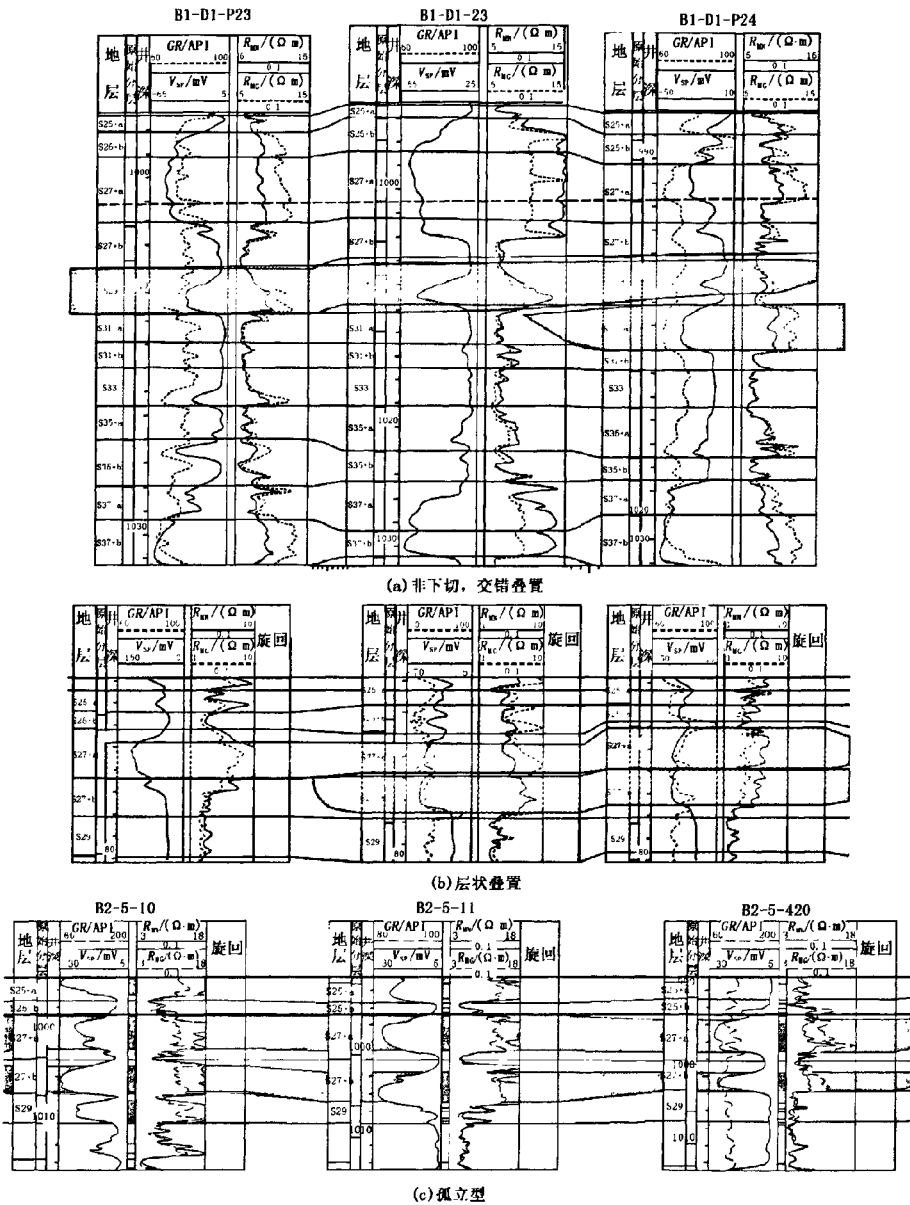


图8 非下切,交错叠置、层状叠置、孤立型模式与实例

Fig.8 Non-incision, cross superimposed patterns, layer superimposed patterns and isolated superimposed patterns of river channel and their cases

3 河流相地层高精度地层单元的对比方法

河流相储层侧向迁移快,厚度变化大,标志层连续性差,地层对比难度较大。为了解决河流相精细地层对比的问题,出现了很多地层对比的方法,常见的有切片法、等高程法、标志层法(如凝灰岩、古土

壤法)和高分辨率层序地层学对比法。对比流程一般为井震结合,模式指导,分级控制,旋回对比,三维闭合和动态验证等。运用这些方法和技术能够准确、有效地划分和对比油组(4级层序)、砂组(5级层序)、小层(5.5级层序)级别的地层单元,但对于单层(6级层序)级别的对比还存在许多困难,必须建立新的方法。

3.1 相控异旋回-自旋回分析与对比方法原理

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,且与其他沉积环境相比,河流相的自旋回作用更加明显。河流相河道砂体、河道的决口、决口扇朵叶体的迁移等都是自旋回沉积作用的结果(Selley, 2000)。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(Richard J. Muiola, 2007)。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,其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是识别基准面变化。基准面旋回界面,包括基准面下降到上升的转换面和基准面上升到下降的转换面,在识别基准面旋回界面的基础上,开展四级、五级基准面旋回对比,在四级、五级旋回控制下,进行六级旋回对比,六级基准面旋回受自旋回的影响大(图9,据郑荣才,2001,修改补充),所以六级层序用异旋回-自旋回分析对比^[11-14]。

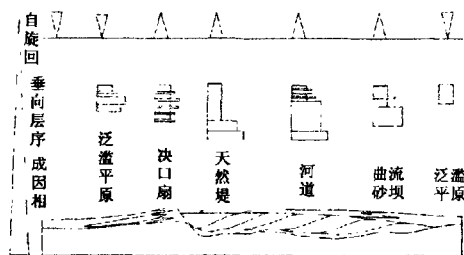


图9 曲流河成因相与自旋回关系

Fig. 9 Relationship between genetic facies and auto cycle of meandering river

曲流河六级层序岩性旋回是一个六级的基准面上升之后(大型洪水带来厚层泥岩)(图9),停止上升,河流相沉积不再受基准面变化的影响,无论盆地基准面上升还是下降,总是按照自旋回特征沉积,例如曲流河边滩总是正旋回、决口扇一般为反旋回,但它们是同期沉积的。因此,自旋回对比是分析河道、决口河道的形态,掌握同一条河道平面上的厚度变化与时空分布特征以及与相邻相域(决口河道、决口扇、冲积平原)的配置关系,进行单层的追踪。

3.2 对比流程

(1)在单井沉积相和高分辨率层序地层精细分析、划分的基础上,建立中期旋回等时地层格架,以中期旋回的二分时间单元为年代地层框架,选取最具等时对比意义的中期泛滥平原和旋回转化界面分

别作为时间—地层反演过程中逐层对比的起始点和终止点,然后将各短期旋回按其发育顺序和叠加样式分别标定在中期基准面的上升半旋回和下降半旋回两时间单元中。在短期旋回的逐层对比中同时存在岩层对岩层、界面对界面和界面对岩层的多种对比关系(图5),通常以选取普遍发育的洪泛面为相对更可靠的等时对比标志。

(2)在选定短期旋回的等时对比标志后,以中期泛滥平原为起点,以中期旋回的底、顶界面各为终点,分别对纳入中期基准面上升半旋回的短期旋回进行自上而下,纳入下降半旋回中的短期旋回层序进行自下而上的逐层对比。

(3)在完成短期旋回等时对比的基础上,依据河流沉积自旋回特点,在短期旋回内依次标出超短期旋回,在基准面上升短期旋回,仍然自上而下逐次对比,基准面下降短期旋回自上而下逐次对比,仍然存在岩层对岩层、界面对界面和界面对岩层的多种对比关系(图10)。



图10 河流相超短期旋回对比模式

Fig. 10 Ultra-short cycle correlation model of fluvial facies

4 结论

(1)一个单层主要由河道侵蚀前期沉积物掠夺可容空间并逐渐充填,洪水期形成洪泛泥岩后形成。

(2)一个中期基准面旋回发育过程中发育5种河道砂体的叠置模式 and 对比模式,即大幅下切大面积叠置型河道及对比模式、小幅下切小面积叠置型河道及对比模式、非下切交错叠置型河道及对比模式、非切割叠置型河道及对比模式、孤立型河道及对比模式。

(3)在对河流相自旋回对异旋回的改造和影响进行分析的基础上,得到在异旋回控制下进行自旋回对比高精度地层构型界面对比方法。

参考文献:

[1] 邓宏文,吴海波,王宁,等. 河流相层序地层划分方法:

- 以松辽盆地白垩统扶余油层为例[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(5): 621-627.
- DENG Hong-wen, WU Hai-bo, WANG Ning, et al. Division of fluvial sequence stratigraphy: an example from the Lower Cretaceous Fuyu oil-bearing layer, the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(5): 621-627.
- [2] 刘波. 基准面旋回与沉积旋回的对比方法探讨[J]. 沉积学报, 2002, 20(1): 112-117.
- LIU Bo. Discussion on the correlation methods of base-level cycle and sedimentary cycle sequence[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 112-117.
- [3] 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.
- LI Hong-wei, YUAN Shi-yi, ZHU Yi-xiang, et al. Facies differentiation and sedimentation volume partition of fluvial strata[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 356-360.
- [4] CROSS T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. Geo-science Frontier, 2000, 7(4): 322-350.
- [5] SHANLEY KW, MCCABE P J, HETTINGER R D. Tidal influence in cretaceous fluvial strata from Utah, USA: a key to sequence stratigraphic interpretation[J]. Sedimentology, 1993, 35: 905-930.
- [6] 袁新涛, 沈平平. 高分辨率层序框架内小层综合对比方法[J]. 石油学报, 2007, 28(6): 87-91.
- YUAN Xin-tao, SHEN Ping-ping. Continental strata correlation of high-resolution sequence in reservoir development phase[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(6): 87-91.
- [7] 张周良. 河流相地层的层序地层学与河流类型[J]. 地质论评, 1996, 42(增刊): 188-193.
- ZHANG Zhou-liang. Fluvial sequence stratigraphy and river types[J]. Geological Review, 1996, 42(sup): 188-193.
- [8] 邓宏文, 王红亮, 陶伟鹏, 等. 河流相层序地层构成模式探讨[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 373-379.
- DENG Hong-wen, WANG Hong-liang, YAN Wei-peng, et al. Architecture model of sequence stratigraphy in fluvial facies[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 373-379.
- [9] 国景星, 戴启德, 吴丽艳, 等. 冲积-河流相层序地层学研究[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2003, 27(4): 15-19.
- GUO Jing-xing, DAI Qi-de, WU Li-yan, et al. Study on alluvial-fluvial facies sequence stratigraphy[J]. Journal of the University of Petroleum, China(Edition of Natural Science), 2003, 27(4): 15-19.
- [10] 冯有良, 邱以钢. 高精度层序地层学在济阳坳陷下第三系隐蔽油气藏勘探中的应用[J]. 石油学报, 2003, 24(1): 49-52.
- FENG You-liang, QIU Yi-gang. Application of high-resolution sequence stratigraphy to exploration of Lower Tertiary subtle reservoirs in Jiyang Subbasin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(1): 49-52.
- [11] 吴胜和, 马晓芬, 王仲林. 温米油田开发阶段高分辨率层序地层学研究[J]. 石油学报, 1999, 20(5): 33-38.
- WU Sheng-he, MA Xiao-fen, WANG Zhong-lin. High resolution sequence stratigraphical research in reservoir development stage of Wenmi Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(5): 33-38.
- [12] WRIGHT V P, MARRIOTT S B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems the role of flood-plain sediment storage[J]. Sedimentary Geology, 1993, 86: 203-210.
- [13] 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分及研究意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-255.
- ZHENG Rong-cai, PENG Jun, WU Chao-rong. Grade division of base-level cycles of terrestrial basin and its implications[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249-255.
- [14] 岳大力, 吴胜和, 刘建民. 曲流河点坝地下储层构型精细解剖方法[J]. 石油学报, 2007, 28(4): 99-103.
- YUE Da-li, WU Sheng-he, LIU Jian-min. An accurate method for anatomizing architecture of subsurface reservoir in point bar of meandering river[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 99-103.

(编辑 沈玉英)