

文章编号: 1009-3850(2007)04-0045-05

长武地区三角洲前缘短期基准面旋回与储层成因特征

陈金荣

(中国石化江汉油田分公司 勘探开发研究院, 湖北 潜江 433124)

摘要: 长武地区延长组 7、8 油组三角洲前缘储集砂体, 按成因可分为三大类 5 种类型, 各种类型砂体的成因明显受基准面升降、可容纳空间和沉积物补给量之间变化关系的影响。在基准面上升过程中, 可容纳空间/沉积物补给量的比值对砂体成因特征的控制作用主要表现为: 小于 1 时, 以截削式河道砂体为主; 大于 1 时, 则为完整式河道砂岩。在基准面下降过程中, 可容纳空间/沉积物补给量小于 1 时, 以孤立式河口坝砂体为主; 大于 1 时, 则以远砂坝砂体为主; 在水下坡折带沉积区, 则为复合式坝砂体。基准面升降过程中, 短期基准面旋回的规律性变化, 影响着不同成因的砂体类型的分布特点。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 长武地区; 延长组; 三角洲前缘; 短期基准面旋回
中图分类号: TE121.3 文献标识码: A

目前高分辨率层序地层学在我国油气勘探开发中都体现了广阔的应用前景, 地质学家在不断丰富该理论的同时, 也把该理论应用到我国陆相沉积盆地储层预测中^[1-9]。三角洲前缘的油气储层成因往往被解释成水下分流河道和河口坝砂体。在基准面旋回变化过程中, 由于可容纳空间与沉积物补给量的变化, 相同沉积体系域或相域中发生沉积物的体积分配作用, 导致沉积物的保存程度、地层的堆积样式、相序、相类型及岩石结构的变化。这些变化直接影响不同砂体类型的形成, 从而决定着储层成因的多样性。本文运用高分辨率层序地层原理和方法, 以长武地区三叠系延长组长 7 和长 8 油组为例, 分析三角洲前缘短期基准面旋回面升降过程中, 可容纳空间与沉积物补给量比值的变化对沉积物特征的影响, 分析不同等时性单元内沉积微相及砂体的空间展布, 建立短期基准面旋回层序剖面模型。研究水下分流河道和河口坝砂体内部的粒度、叠加式样等特征变化规律, 进而对储层砂体的成因进行详细划分。

长武地区位于鄂尔多斯盆地西南部伊陕斜坡与渭北隆起的交汇处, 面积为 1728.3km² (图 1)。该区三叠系延长组可划分为 10 个油组, 各油组有独特的生储盖组合特征, 其中三角洲前缘沉积阶段的长 7

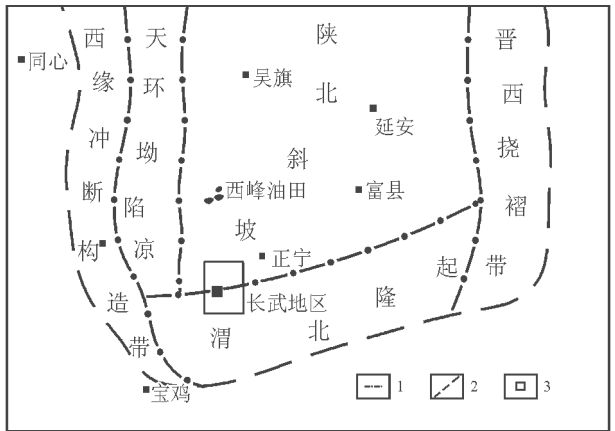


图 1 鄂尔多斯盆地南部区域构造单元划分
1. 构造分区线; 2. 断层; 3. 研究区位置
Fig. 1 Division of the tectonic units in southern Ordos Basin
1= tectonic boundary; 2= fault; 3= study area

和长 8 油组是主要的勘探目的层,以水下分流河道和河口坝沉积微相两种类型为主。这两种微相类型的砂体是长 7 和长 8 油组最重要的储集砂体类型。

1 短期基准面旋回结构类型

层序边界或为短期基准面下降期发育的小型冲刷面,或为短期基准面上升期欠补偿沉积或无沉积作用面,因而具不同的堆积样式和旋回结构。在长 7、长 8 油组中,可识别出 3 种短期基准面旋回层序的基本类型,即向上“变深”的非对称旋回(A)、向上变浅的非对称旋回(B)和向上“变深”复变浅的对称旋回(C)。

1.1 向上“变深”的非对称旋回

该类型发育于三角洲前缘水下分流河道沉积区,为长 7、长 8 油组中最常见的基本层序类型。岩性以灰褐色细—极细粒长石砂岩为主,砂岩分选性中等,呈次棱—次圆状,砂岩连续厚度超过 10m。层序中仅保存上升半旋回沉积记录,下降半旋回地表遭受河道下切的侵蚀作用而无沉积记录,因而具有向上“变深”的非对称旋回性质。按基准面上升半旋回保存的沉积厚度和岩相组合特征,以及下降期对沉积物的侵蚀冲刷强度,又可分为高可容纳空间和低可容纳空间两种短期旋回亚类型。其中完整的高可容纳空间短期旋回结构,自下而上为冲刷面(或砂、泥岩性突变面)→水下分流河道→分流河道间洼地→冲刷面所组成的序列,显示伴随基准面上升和可容纳空间增大时,沉积具有向上变细变薄和沉积方式由进积向垂向加积转化的特征。其成因一方面与沉积速率接近基准面上升速率,而基准面下降时对沉积物的冲刷侵蚀作用较弱有关;另一方面反映出水下分流河道横向迁移作用较弱,因而由粗变细的上升半旋回沉积记录能得到较完整的保存。低可容纳空间的短期旋回结构主要由一系列叠置河道砂体组成,单个砂体发育向上变细的韵律性,以及叠置砂体整体具有向上变细变薄的趋势为特征(图 2)。其成因,或与沉积速率大于基准面上升速度引起的强烈进积作用有关;或沉积速率虽小于基准面上升速率,但因基准面下降幅度大,对上升半旋回上部细粒的水下天然堤沉积有强烈侵蚀作用或为水下分流河道横向迁移活跃所造成的较强冲刷侵蚀作用,因而只保存下部的砂体有关。无论哪一种因素,只要在低可容纳空间的垂向演化过程中连续出现,都可能导致多个水下分流河道砂体的连续叠置作用。

1.2 向上“变浅”的非对称旋回

该类型发育于距河口较远的河口砂坝沉积区,

多发育于长 8 油组中。岩性以灰褐色、深灰色细粒长石砂岩为主,分选性中—好,磨圆度次棱—次圆,水平层理和波状交错层理发育,岩心中可以观察到明显的反粒序。上部砂岩与泥岩突变接触,下部逐渐向泥质砂岩、砂质泥岩、泥岩过渡,自然伽玛曲线呈漏斗形。层序中以出现下降半旋回的沉积记录为主,上升半旋回表现为欠补偿沉积的饥饿面或无沉积作用的间断面,因而具有向上变浅的非对称旋回性质。垂向上由河口砂坝砂体组成,单个砂体具有粒度向上变粗的反韵律性,或由泥岩与粉砂岩的韵律薄互层逐渐过渡为块状粉砂岩或细砂岩(图 3),显示伴随基准面下降和可容纳空间减少,沉积物增多变粗,沉积速率加快、水深变浅和能量趋于增高的进积特征。在河口坝砂体沉积后,自基准面上升初期至上升幅度达最高点位置期间,河口砂坝沉积区的沉积作用始终在连续进行,只不过此时的沉积物粒度极细(以泥岩为主),沉积速率极低、厚度极薄,并难以与下降半旋回的早时沉积相区分,因而在进行岩芯观察或测井解释时将其归并到下降半旋回的早期沉积中,并以其与下部砂岩的岩性变突面确定

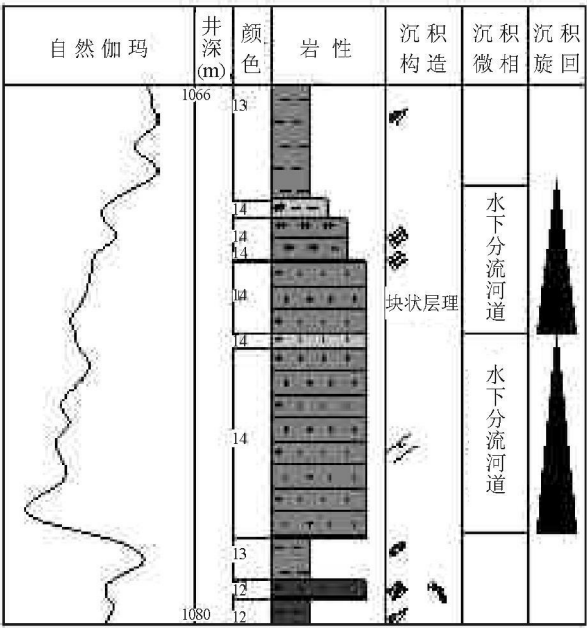


图 2 向上“变深”的非对称性短期基准面旋回层序剖面结构(W3 井)

Fig. 2 Vertical section of the “deepening”-upward asymmetric short-term base-level cycles through the W-3 well

为“无沉积”作用的层序分界面。

1.3 向上“变深”复变浅的对称旋回

该类型于距河口近的水下分流河道和河口砂坝沉积区都有发育,亦为长 7 油组中最常见的基本层

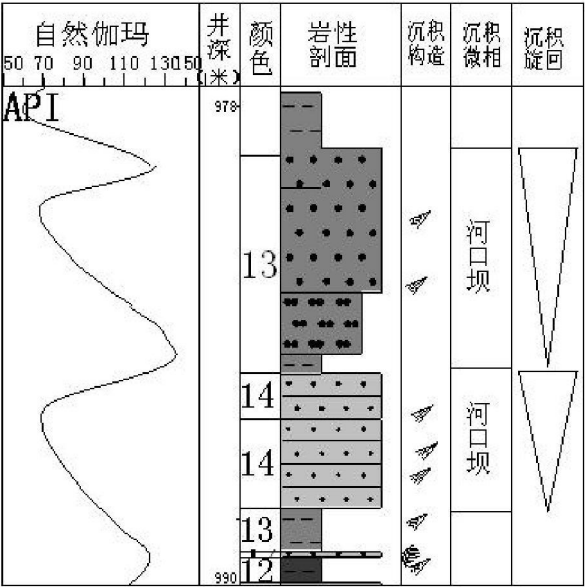


图3 向上“变深”复变浅的对称性短期基准面旋回层序剖面结构(W5井)
Fig.3 Vertical section of the “shallowing”-upward asymmetric short-term base-level cycles through the W-5 well

序类型。岩性为灰褐色细粒一中粒长石岩屑砂岩，与下伏泥岩突变接触，常有冲刷面；与上覆泥岩成渐变接触。由底部细砂岩向上变为粉砂岩、泥质粉砂岩，砂体常含有泥质条带，泥质条带从砂体底部至顶部呈现出薄—厚的规律。又由底部的泥质粉砂岩向上变为粉砂岩、细砂岩，砂岩厚度由下至上逐渐变厚。河道砂体常叠加于河口坝砂体之上，从而构成一个完整的旋回，反之，河口坝砂体常叠加于河道砂体之上。层序中同时发育基准面上升半旋回和下降半旋回沉积记录，具向上变深后复变浅的对称性旋回。但在不同的沉积区仍具有一定的不完全对称性，如在水下分流河道沉积区，由水下分流河道→分流河道间洼地组成的上升半旋回，下降半旋回由水下决口扇组成。在近河口的河口砂坝沉积区，上升半旋回由薄的水下分流河道→分流间洼地→湖湾（或前三角洲）的退积序列组成，下降半旋回由河口坝组成。两者的不完全对称性各自表现为分别发育上升半旋回或下降半旋回为主沉积（图4）。在垂向剖面上，这些不完全或完全对称的层序具有伴随基准面上升和下降，可容纳空间从增加到减少的过程中，由进积向垂向加积，退积转化后重新回到进积状态的完整旋回性。顶部层序分界面为弱侵蚀冲刷面或相关整合面，成因与基准面上升幅度大而下降幅度小，侵蚀弱，以及沉积速率中等或偏低有关。

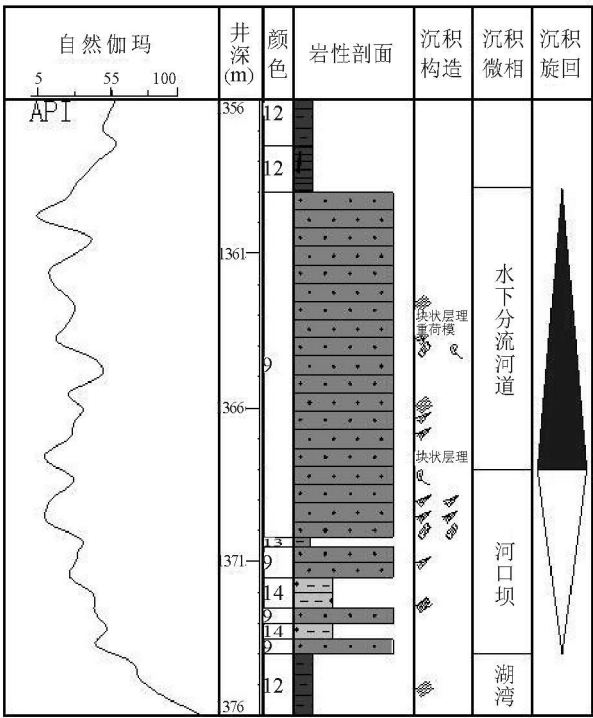


图4 向上“变深”复变浅的对称性短期基准面旋回层序剖面结构(W2井)
Fig.4 Vertical section of the “deepening” and then “shallowing”-upward symmetric short-term base-level cycles through the W-2 well

2 储层成因特征

长7、长8油组三角洲前缘储集砂体可分为三大类5种成因类型的储层砂体。

2.1 水下分流河道成因砂体

1. 截割式分流河道砂体

该成因类型砂体的底部，砂体间具明显的冲刷面。砂体的厚度变化大，粒度粗，分选好，泥质含量最低，以形成连续叠置的水下分流河道进积砂体为主，垂向上表现为由多个正韵律叠加构成的复合韵律。主要由灰色和深灰色细砂岩、粉砂岩组成，夹薄层的泥质粉砂岩、泥岩，层理发育，发育有大型槽状层理和块状层理。测井曲线（SP和GR）为箱形叠加，厚度大达15m。成因在于基准面缓慢上升过程中，可容纳空间远小于沉积物补给量，沉积作用以强烈进积的方式为主并很快充满可容纳空间，一旦基准面下降便遭受侵蚀冲刷。因而在这种情况下，在基准面上升期的早中期沉积中，保存的地层厚度取决于基准面上升幅度与下降幅度的差值，具低可容纳空间向上变深的非对称旋回结构。

2. 完整式分流河道砂体

该类型以形成水下分流河道进积砂体沉积为主,局部由分流河道间洼地所覆盖或阻隔,顶部为相关整合面。砂体位于下部,厚度一般中等到较厚,粒度中等,分选中等—较好,泥质含量中等—较低。可见块状层理及不太明显的正韵律,自然伽玛曲线呈钟形。如果基准面继续下降,沉积物便发生侵蚀冲刷,保存的厚度仍取决于基准面上升幅度与下降幅度的差值。其成因为基准面上升过程中,可容纳空间的递增大于沉积物的供给量,也就是高可容纳空间条件下,沉积物供给充沛,沉积作用表现为进积—垂向加积的方式,水深保持不变或略加深。基准面一旦开始下降,开始虽有沉积作用发生,但水深迅速变浅直至与基准面同处于同一位置。此时如果基准面下降停止,厚的上升期沉积物和薄的下降期沉积物可得到完整保存,具高可容纳空间向上变深的非对称旋回结构。该成因类型砂体可以单期存在,也可能多期叠加出现。

2.2 河口坝成因砂体

1. 孤立式河口坝砂体

孤立式河口坝砂体底部与浅湖泥直接接触,向上粒度逐渐变粗并表现为反粒序结构,岩性以灰褐色、深灰色细粒长石砂岩为主,分选性中—好,磨圆度次棱—次圆,水平层理和波状交错层理发育。岩心中可以观察到明显的反粒序,上部砂岩与泥岩突变接触,下部逐渐向泥质砂岩、砂质泥岩、泥岩过渡,自然伽玛曲线呈漏斗形,反韵律明显,粒度中值表现出同样反粒序特征。其成因是在低可容纳空间条件下,伴随着基准面下降到晚期,强烈的进积作用使可容纳空间迅速填满,水体变浅,位于顶部的砂体受侵蚀冲刷作用的改造,泥质成分被带走,粗粒物质保留下来,从而形成厚度大、分选好、无细粒沉积物夹层的孤立式河口坝砂体。短期基准面旋回表现为低可容纳空间、向上变浅的非对称型旋回。

2. 远砂坝砂体

远砂坝砂体位于靠湖而远离河口的位置。在基准面下降早期,可容纳空间/沉积物补给量远大于1,沉积物补给通量极小,处于欠补偿或饥饿状态,随着基准面的下降,可容纳空间缓慢递减,沉积物补给通量缓增,形成具反粒序的加积—弱进积序列,沉积了厚度较薄的远砂坝砂体。短期基准面旋回表现为高可容纳空间、向上变浅的非对称型旋回。

2.3 复合式坝砂体

上部为正粒序结构的分流河道砂体沉积,河道

底部具明显或弱冲刷面;下部是具反粒序结构的河口坝砂体,因此形象地被称为“坝上河”。主要为灰绿色细砂岩、粉细砂岩,发育交错层理、沙纹层理和平行层理,GR曲线下部漏斗形上部箱形,发育板状层理、槽状层理,交错层理和沙纹层理叠加式“坝上河”一般砂体较薄。上部为正常正粒序河道沉积,下部为反粒序河口坝沉积,中间夹有薄层泥岩河口坝区迁移河口坝主要为粉砂岩、细砂岩。岩性为石英砂岩和岩屑砂岩,分选性和磨圆度较好,发育沙纹层理、小型交错层理和水平层理。GR曲线为齿化箱形叠加河口坝与迁移河口坝相似,中间夹有泥岩沉积,反映了不连续沉积的河口坝环境河口坝。其成因在于:基准面由下降过程中,沉积于水下坡折带的河口坝砂体,部分填平补齐坡折带下游部位。而当基准面由降到升的转换时,低可容纳空间条件下的水下分流河道具较强烈的侵蚀冲刷作用,会对先期沉积于坡折带的河口坝砂体造成冲刷。河口坝遭受部分侵蚀,分流河道砂体直接与剩余河口坝砂体接触,分流河道砂体底部物性较好,河口坝砂体则顶部较好,两者相连,物性难以区分,因此称其为复合式坝砂体,短期基准面旋回表现为低可容纳空间、向上变浅和向上变深两种的非对称型旋回的叠加。

研究区内的长7、长8油组中,可容纳空间/沉积物补给量的比值对砂体成因特征的控制作用主要表现为以下两个方面:①可容纳空间/沉积物补给量的比值变化直接控制了主要储集砂体——水下分流河道和河口砂坝的几何形态、砂体的叠置关系、侧向连续性和相互截切关系等;②可容纳空间/沉积物补给量的比值直接影响沉积物沉积过程中的厚度、砂岩的粒度、分选性和泥质含量。

3 主要认识

通过对长武地区长7、长8油层组高分辨率层序地层学研究认为:

(1) 利用基准面升降原理,能够对三角洲前缘砂体成因类型进行精细刻画,通过研究将本区三角洲前缘储层砂体详细划分出水下分流河道、河口坝和复合式砂体三大类5种类型。

(2) 基准面升降过程中,可容纳空间(A)和沉积物补给量(s)的比值变化控制着三角洲前缘不同储层砂体的成因和垂向组合特征。在基准面上升过程中,可容纳空间/沉积物补给量小于1时,以截削式河道砂体为主;大于1时,则为完整式河道砂岩。在基准面下降过程中,可容纳空间/沉积物补给量小于

1 时, 以孤立式河口坝砂体为主; 大于 1 时, 则以远砂坝砂体为主; 在水下坡折带沉积区, 则为复合式坝砂体。短期基准面旋回规律变化影响着不同成因的砂体类型的分布特点。

参考文献:

[1] 邓宏文. 美国层序地层学研究中的新学派——高分辨率层序地

层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 87—97.

[2] 邓宏文, 王洪亮, 李熙. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177—184.

[3] 冯增昭. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.

[4] 蔡希源, 李思田, 等. 陆相盆地高精度层序地层学[M]. 地质出版社, 2004.

[5] 李凤杰, 等. 陕甘宁盆地拗陷型湖盆缓坡带三角洲前缘短期基准面旋回与储层成因分析[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 73—78.

[6] 于兴河. 碎屑岩系油气储层沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002. 211—212.

Short-term base-level cycles and reservoir genesis on the delta front in the Changwu region, Shaanxi

CHEN Jin-rong

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Jiangnan Oil Field Corporation, SINOPEC, Qianjiang 433124, Hubei, China)

Abstract: The Chang-7 and Chang-8 delta front reservoir sandstones in the Changwu region, Shaanxi may be divided into: (1) subaqueous distributary channel sandstones including truncated distributary channel sandstones and uninterrupted distributary channel sandstones; (2) channel-mouth bar sandstones including isolated channel-mouth bar sandstones and distal bar sandstones, and (3) composite bar sandstones. The genesis of the above-mentioned types of sandstones are markedly controlled by base-level changes, accommodation space and sediment supply. In the course of the base-level rising, the truncated distributary channel sandstones are accentuated when the accommodation space / sediment supply ratios are less than 1, while the ratios are greater than 1, the uninterrupted distributary channel sandstones predominate. In the course of the base-level falling, the isolated channel-mouth bar sandstones are dominated when the ratios are less than 1, while the distal bar sandstones prevail when the ratios are greater than 1. The composite bar sandstones are developed at the depositional-shoreline break. The regular changes of the short-term base-level cycles in the course of base-level rising or falling are responsible for the types and distribution of the above-mentioned sandstones.

Key words: Ordos Basin; Changwu region; Yanchang Formation; delta front; short-term base-level cycle