

文章编号: 1000-0550(2006)04-0540-09

# 三级基准面旋回内三角洲砂体骨架模型的建立 ——以陕北安塞三角洲露头为例

张兴阳 罗平 顾家裕 罗忠 刘柳红 陈飞 张玄杰

(中国石油勘探开发研究院实验研究中心 中国石油与天然气集团公司油气储层重点实验室 北京 100083)

**摘要** 三角洲砂体是中国陆相盆地最重要的油气储集层之一,建立层序地层格架内三角洲砂体骨架露头地质模型,对于三角洲砂体分布预测有重要意义。对鄂尔多斯盆地东缘多个延长组曲流河三角洲露头剖面开展了深入的高分辨率层序地层学研究,正确识别出以长<sup>6</sup>下部下切河谷底面以及对应整合面为界面的三级基准面旋回,构建了三级基准面旋回格架内三角洲砂体骨架原型模型,建立了三级基准面旋回内三角洲平原分流河道(河流)样式响应模式图。该项研究表明,三级基准面旋回过程中,不同基准面升降速率下分流河道发生规律性的下切、充填、迁移、漫溢及河型改变,控制了层序地层格架内三角洲砂体的类型、形态、规模和连通性。这对于认识三角洲砂体的分布规律,分析三角洲砂体形成岩性地层圈闭的条件有重要帮助。深入开展多种地质背景下层序格架内三角洲砂体分布规律研究,有助于实现三角洲砂体分布“成因上可解释、时空上可预测”的层序地层学研究目标。

**关键词** 层序地层格架 基准面旋回 曲流河三角洲 鄂尔多斯盆地 砂体骨架模型

**第一作者简介** 张兴阳 男 1973年出生 博士 储层沉积地质

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

湖盆三角洲砂体是我国陆相盆地最主要的油气储集层,也是我国陆相地层岩性地层圈闭最主要的储集砂体类型。前人对鄂尔多斯盆地、青海油砂山、阜新盆地、吐哈盆地、滦平盆地发育的各种湖盆三角洲露头开展过深入细致的沉积体系、层序地层学及储层地质建模研究<sup>[1~5]</sup>。自基准面的概念提出以来,基准面升降对河流流动状态及其沉积产物的控制作用一直是的研究就一直没停止过,随着高分辨率层序地层学或基准面旋回层序地层学研究的深入,在层序地层格架内探讨基准面旋回对各类砂体发育特征的控制作用受到越来越多学者的重视<sup>[6~13]</sup>。

鄂尔多斯盆地延长组为内陆坳陷湖盆沉积,晚三叠世长<sup>6</sup>期鄂尔多斯盆地东北物源体系发育盐定、吴旗、志靖、安塞等 5 个大型曲流河三角洲,三角洲砂体上覆于长<sup>6</sup>暗色泥页岩(张家滩页岩)之上,是长庆油田最主要的产油层之一。其中,安塞三角洲东北物源方向的延河、清涧河、准宁河及大理河剖面上长<sup>6</sup>三角洲沉积出露良好(图 1),地层产状平缓,地层倾角小于 1°,非常便于地层与砂体的横向追踪。以延河、清涧河、准宁河及大理河露头剖面高分辨率层序地层学研究为基础,结合安塞油田钻井资料,建立高分辨率

层序地层格架内三角洲砂体骨架模型,探讨基准面升降对分流河道砂体发育特征的控制作用,以求明确层序地层格架内三角洲骨架砂体的分布规律,为油田井下类似三角洲砂体的分布预测提供参考。



图 1 研究区位置图

Fig 1 Location of the study area

## 1 三级基准面旋回界面的露头识别

基准面是一个势能面,反映了地球表面沉积作用与侵蚀作用之间的不平衡程度,基准面的上升和下降构成一个完整的基准面旋回<sup>[14~15]</sup>。基准面旋回级次的划分方案有多种<sup>[16]</sup>,本文所指的三级基准面旋回是相当于三级层序的一套区域性湖进—湖退沉积序列,与郑荣才等划分的长期基准面旋回相当<sup>[17]</sup>。

鄂尔多斯盆地上三叠统为一个湖盆从发生、发展演化至消亡的完整过程,总体为一个准二级基准面旋回。湖盆经历了三次大的沉降,形成以长<sub>9</sub>李家畔页岩、长<sub>8</sub>张家滩页岩及长<sub>4+5</sub>泥页岩为标志的三期大规模湖侵。露头上长<sub>7</sub>张家滩页岩为浅湖相泥页岩,代表湖盆最大湖侵期的沉积(图版 I -1)。长<sub>7</sub>张家滩页岩与长<sub>4+5</sub>泛滥盆地泥页岩及煤线(图版 I -2)之间为两次最大湖泛所界定的三级基准面下降半旋回与基准面上升半旋回沉积序列,由下至上包括长<sub>7</sub>上部、长<sub>6</sub><sup>3</sup>、长<sub>6</sub><sup>2</sup>、长<sub>6</sub><sup>1</sup>、长<sub>4+5</sub><sup>2</sup>几个岩性(亚)段(图 2)。

基准面旋回界面的识别是进行高分辨层序地层学研究的基础,三级基准面旋回界面为基准面下降到最低点、可容纳空间最小时形成的盆地范围的侵蚀界面及对应的整合面。前人对延长组层序界面的确定方案各不相同<sup>[18 19]</sup>,层序界面多划分在延长组某一岩性段的底部,多数学者将长<sub>6</sub>的底部划分为一个三级基准面旋回界面。对延河、清涧河、淮宁河及大理河剖面的地质调查表明:

(1)露头剖面上由长<sub>7</sub>上部为三角洲前缘相过渡为长<sub>6</sub><sup>3</sup>的三角洲平原相,长<sub>6</sub>与长<sub>7</sub>之间为连续沉积,不存在大的沉积间断面;

(2)清涧河剖面营田村露头上长<sub>6</sub><sup>1</sup>底部大型河道侵蚀谷侵蚀深度达 20 余米,宽度约 800 m,侵蚀沟谷内为多期河道砂岩的叠置,与下伏长<sub>6</sub><sup>2</sup>席状互层的砂岩泥质粉砂岩的界线清楚(图版 I -3);

(3)延河剖面朱家湾采石场长<sub>6</sub><sup>1</sup>底部砂岩叠置厚度达 25 m(图版 I -4),露头上叠置砂岩东西向延伸长度约 3 km,表现为低可容空间下叠置连片的砂体特征;

(4)长<sub>6</sub><sup>3</sup>下部分流河道侵蚀形态也较明显(图版 I -5),河道砂体横向延伸 170 m,为两至三期河道砂体的侧向叠置,为三角洲平原分流河道活化作用的结果,其底部界面与长<sub>6</sub><sup>1</sup>叠置状河道砂体底部大型侵蚀界面相比,为四级基准面下降期河道侵蚀后再充填的产物。

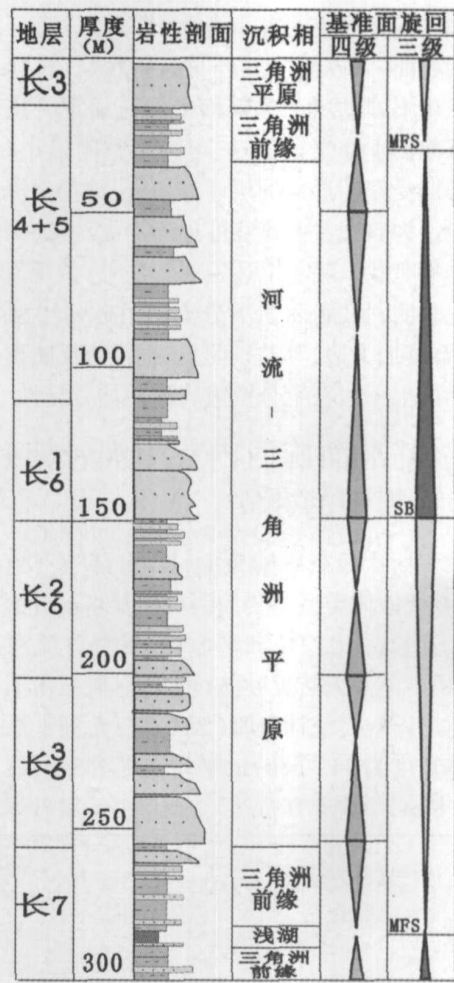


图 2 延河延长组露头沉积层序剖面图

Fig 2 Outcrop sequence stratigraphic histogram of Yanchang Formation along Yanhe River

(5)陕北长<sub>6</sub><sup>1</sup>与长<sub>6</sub><sup>2</sup>之间缺失区域性地层对比标志层,而长<sub>6</sub><sup>3</sup>与长<sub>7</sub>之间(K2沉凝灰岩)、长<sub>6</sub><sup>2</sup>与长<sub>6</sub><sup>3</sup>之间(K3沉凝灰岩)、长<sub>6</sub><sup>3</sup>与长<sub>4+5</sub>之间(K4炭质泥岩)之间均存在区域对比标志层。这可能是因为长<sub>6</sub><sup>1+2</sup>内部存在较大规模的侵蚀面,等时意义的凝灰岩、煤线或碳质泥岩受到侵蚀,平面上的不连续使得长<sub>6</sub><sup>1</sup>与长<sub>6</sub><sup>2</sup>之间缺失区域性地层对比标志层,从地层等时性与成因相关性的角度出发,大型侵蚀面及与其对应的古土壤面(层序界面)应为长<sub>6</sub><sup>1</sup>与长<sub>6</sub><sup>2</sup>之间的分界面。

除了上述宏观特征外,微观岩石薄片分析也表明,长<sub>6</sub><sup>1</sup>底面上下分流河道砂岩中浊沸石胶结物、石英加大边、等差别明显,也可能反映出基准面旋回界面上下岩石组份及成岩演化的差异性。

综合以上分析,我们认为长<sub>6</sub><sup>1</sup>底部的大型河流侵

蚀沟谷底界面及对应的古土壤面(整合面)为三级基准面旋回界面,该界面区域分布面积较广,在鄂尔多斯盆地东缘不同的露头的剖面上均有显现。该侵蚀沟谷为基准面下降至最低点、可容纳空间最小时,洪泛平原长期受侵蚀形成的层序界面,侵蚀沟谷深度可达 20 余米,为向湖盆方向宽度逐渐加大、侵蚀深度逐渐减小的喇叭状。除了上述宏观特征外,微观岩石薄片分析也表明,长<sub>6</sub>底面上下分流河道砂岩中浊沸石胶结物、石英加大边、等差别明显,也可能反映出基准面旋回界面上下岩石组分及成岩演化的差异性。

## 2 三级基准面旋回内三角洲骨架砂体露头地质模型的建立

鄂尔多斯盆地东缘露头上,长<sub>7</sub>上部为三角洲前缘沉积,骨架砂体类型主要为河口坝及水下分流河道砂体;长<sub>6</sub>及长<sub>4+5</sub>为三角洲平原相,发育分流河道砂体、决口扇砂体及天然堤砂体(图 3)。对三角洲平原露头砂体出露规模统计表明(表 1),三角洲平原分流河道砂体宽度为 24~680 m,平均宽度 143 m;厚度为 1.7~12.8 m,平均 5.0 m。天然堤/决口扇砂体宽度

为 12~661 m,平均宽度 121 m;厚度为 0.7~7.0 m,平均 2.1 m。三角洲平原分流河道砂体宽厚比为 10.6~68.2,平均宽厚比 25.4。天然堤/决口扇砂体宽厚比 7.0~41.0,平均厚比 67.4。河道砂体宽厚比较大,而溢岸砂体的宽厚比小(图 4)。

通过对鄂尔多斯盆地东缘延河剖面及清涧河剖面三角洲露头断面的写实(图 3),结合对准宁河剖面、永坪川剖面、大理河剖面等露头发育的特征,建立了鄂尔多斯盆地东缘露头长<sub>7</sub>-长<sub>4+5</sub>三角洲砂体骨架模型(图 5)。对此砂体骨架模型,首先值得注意的是,长<sub>6</sub>底部的透镜状分流河道砂体不仅是长<sub>7</sub>暗色泥岩以上首次出现较大厚度的砂体,其底面其也可能是三角洲平原相与三角洲前缘相带的界线,故在钻井剖面上极易划分为三级基准面旋回界面,而露头调查表明,长<sub>6</sub>底部的大型侵蚀界面是三级基准面旋回界面的可能性更大。其次,鄂尔多斯盆地东缘从延河向北经清涧河、准宁河至大理河剖面,宽厚比极大的分流河道砂体与频繁溢岸的席状溢岸砂体互层(图版 I-6),形成长<sub>2</sub>分布广泛的席状互层的泛滥平原砂体,偶夹透镜状分流河道砂体。

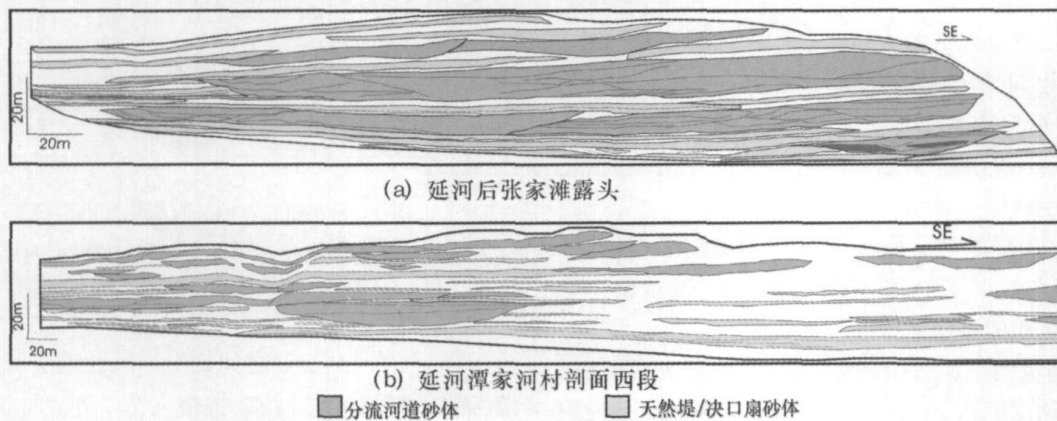


图 3 鄂尔多斯盆地东缘延河剖面长<sub>6</sub>三角洲平原砂体分布写实剖面

Fig 3 Delta plain sandbody distribution profile of Ch<sub>6</sub> outcrop along Yanhe River in eastern Ordos Basin

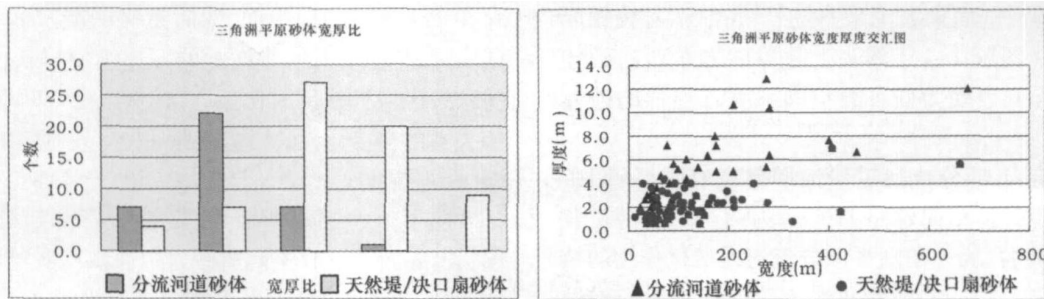


图 4 延河露头三角洲平原砂体出露宽厚比分布图(A)及宽厚交汇图

Fig 4 Width/thickness ratio and cross diagram of outcropped Ch<sub>6</sub> delta plain sandbody in Yanhe area

表 1 鄂尔多斯盆地东缘延河剖面三角洲平原砂体出露规模

Tabel 1 Outcropped scale of delta plain sandbody along Yanhe River in eastern Ordos basin

分流河道砂体			天然堤 决口扇砂体			天然堤 决口扇砂体			天然堤 决口扇砂体			天然堤 决口扇砂体		
序号	宽控	厚度	序号	宽度	厚度	序号	宽度	厚度	序号	宽度	厚度	序号	宽度	厚度
CH1	49	2.3	CH20	175	5.0	OB1	50	0.7	OB20	52	0.7	OB39	70.5	4.3
CH2	32	2.7	CH21	138	5.3	OB2	407	7.0	OB21	72.5	0.7	OB40	196	3.3
CH3	36	3.0	CH22	209	5.0	OB3	102	2.3	OB22	85	1.3	OB41	125	2.0
CH4	50	2.7	CH23	56	3.7	OB4	138	1.7	OB23	120	1.3	OB42	148	1.7
CH5	45	2.0	CH24	158	6.3	OB5	35.5	1.3	OB24	209	2.7	OB43	91.5	4.0
CH6	24	2.0	CH25	281	10.3	OB6	53	0.7	OB25	135	3.0	OB44	37	1.0
CH7	89	4.0	CH26	401	7.7	OB7	54.5	1.0	OB26	82	2.0	OB45	108	2.3
CH8	114	4.3	CH27	677	12.0	OB8	152	1.3	OB27	81	1.3	OB46	76.5	1.0
CH9	89	5.7	CH28	282	6.3	OB9	49	1.0	OB28	97	3.0	OB47	59	1.0
CH10	65	4.7	CH29	455	6.7	OB10	57.5	1.0	OB29	423	1.7	OB48	75.5	1.3
CH11	85	2.7	CH30	209	10.7	OB11	34.5	1.0	OB30	662	5.7	OB49	186	2.4
CH12	42	3.0	CH31	28	1.7	OB12	78	1.7	OB31	86.5	2.0	OB50	88.4	2.8
CH13	49	2.7	CH32	98	5.2	OB13	47	1.3	OB32	45	1.0	OB51	123	4.0
CH14	45	2.7	CH33	115	6.0	OB14	36.5	0.7	OB33	126	2.3	OB52	110	3.6
CH15	46	1.7	CH34	275	12.8	OB15	160	2.3	OB34	178	2.3	OB53	166	2.8
CH16	276	5.3	CH35	174	7.2	OB16	78	1.0	OB35	62.5	1.7	OB54	62	1.6
CH17	81	4.0	CU36	172	8.0	OB17	143.5	0.7	OB36	227	2.7	OB55	76.8	3.2
CH18	48	3.3	CH37	76	7.2	OB18	108.5	2.0	OB37	211	2.0	OB56	109	0.8
CH19	61	2.3	OB19	144.5	1.7	OB38	65.5	3.3	OB57	55.6	2.0			

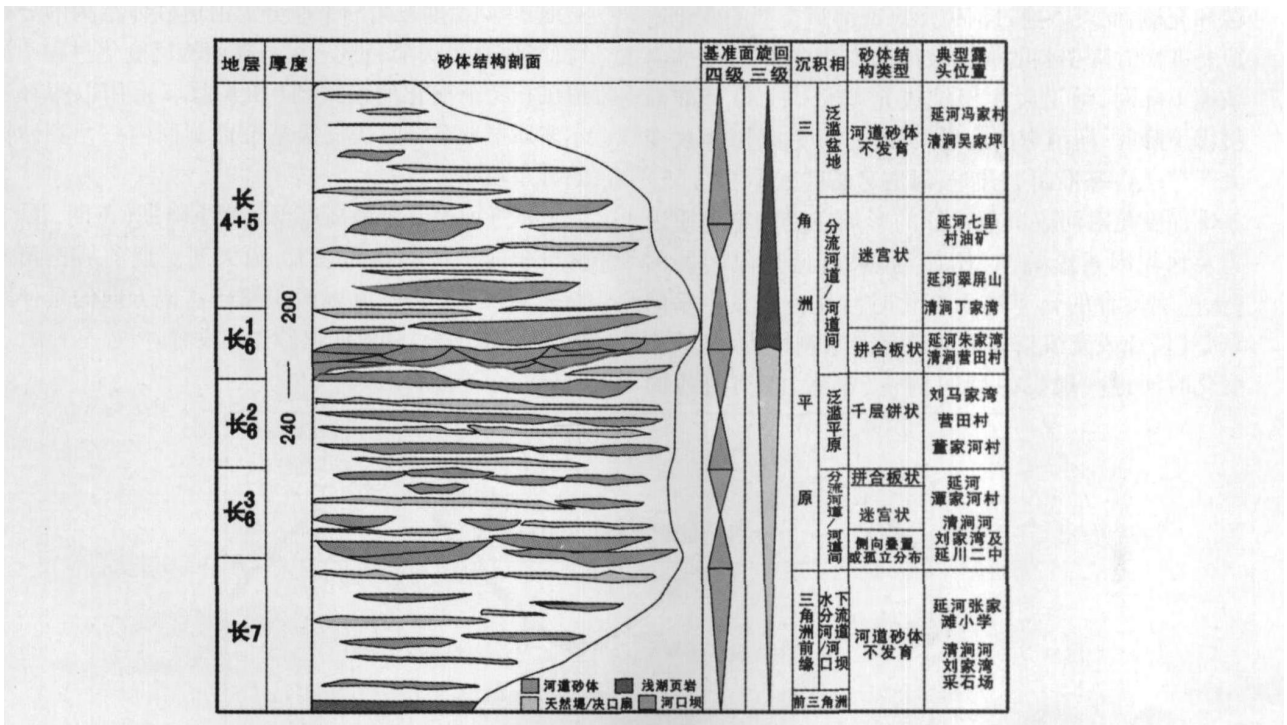


图 5 鄂尔多斯盆地东缘露头长<sub>7</sub>-长<sub>4+5</sub>三角洲砂体分布结构模式图

Fig 5 Delta sandbody architecture model of Ch<sub>7</sub>-Ch<sub>4+5</sub> outcrop in eastern Ordos Basin

与上述三级基准面旋回内砂体分布类似的实例还包括哥伦比亚中 Magdalena 盆地第三系陆相地层, 阿根廷 San Jorge 盆地白垩系陆相地层, 以及鄂尔多

斯盆地二叠系山西组河流相沉积层序<sup>[20]</sup>。对塔里木盆地库车河剖面的露头地质调查表明, 三级基准面旋回内中三叠统克拉玛依组的辫状河三角洲砂体以及

下白垩统巴西盖组曲流河三角洲砂体的分布特征也发育了与图 6 模型相似的砂体结构。如克拉玛依下组中部分流河道的侵蚀及砂体形态与延河潭家露头长<sup>3</sup>分流河道极为相似, 克拉玛依上组底界为区域上的侵蚀面, 侵蚀面上垂向叠置、横向延伸的砂体与鄂尔多斯盆地东缘长<sup>1</sup>底部砂体的发育特征极为相似。

### 3 三级基准面旋回内三角洲骨架砂体分布规律的成因解释

#### 3.1 基准面旋回对河流沉积特征的控制作用

以上露头实例说明, 鄂尔多斯盆地东缘露头三级基准面旋回内砂体的分布特征具有普遍性, 预示着存在内在的规律性, 国内外有关基准面旋回对河流发育特征控制作用的研究成果为我们解释这一规律性提供了可能。

目前的研究表明, 基准面升降对河流沉积特征具有以下影响: (1) 基准面变化时, 河道可以不发生侵蚀和充填, 而可以通过河道形态或河道类型的变化适应基准面升降引起的河床坡度的变化<sup>[6]</sup>; (2) 基准面快速下降时, 河道发生侵蚀或充填<sup>[6~9]</sup>; (3) 基准面缓慢下降时, 河道弯曲度增大, 河道深度变小、宽度变大<sup>[6~9]</sup>; (4) 基准面上升时, 河道弯曲度减小<sup>[10]</sup>; (5) 基准面变化对河流沉积特征的影响还受其它地质因素及地貌因素影响<sup>[6]</sup>, 例如, 如果河道是限制性的(天然堤发育的), 基准面变化时河道一般发生垂向调整(侵蚀或充填); 如果河道是非限制性的, 基准面变化时河道一般发生侧向调整(笔者注: 河道弯曲

度、宽度变化或侧向迁移)<sup>[6]</sup>。值得注意的是, 上述研究成果主要适用于近海(湖)地区。目前的研究已证实, 近海冲积环境下河流类型、河道弯度、河流的坡降、河流相沉积的砂体形态直至河流相发育特征均响应于海平面的变化<sup>[11~13, 21]</sup>。

根据基准面的运动规律, 一个完整的基准面运动周期是由两个过程(基准面快速上升和快速下降)和两种状态(基准面最大时期和最小时期的转换时期)所构成的<sup>[21]</sup>, 三级基准面旋回为一正弦曲线, 基准面升降的速率为正弦曲线上任一点的一阶导数。基准面长降速率决定的可容空间的增减速率, 从而间接控制可容空间增加速率( $\Delta A$ )与沉积物供给速率增加值( $\Delta S$ )的比值( $\Delta A/\Delta S$ ), 控制了沉积物的堆积速率、保存程度、叠加样式及内部结构。

#### 3.2 三级基准面旋回内三角洲砂体分布特征成因解释

三角洲平原分流河道的发育机制及沉积特征与近海河流相类似, 根据以上调研结果, 结合鄂尔多斯盆地东缘长<sup>6</sup>期三角洲平原分流河道砂体结构的分布特征, 建立了一个完整三级基准面旋回变化过程中河道沉积特征演化的模式图(图 6, 图 7), 用以解释鄂尔多斯盆地东缘露头三级基准面旋回内三角洲砂体的分布规律。

基准面上升至最高点至缓慢下降期(A期, 长<sup>7</sup>上部沉积期), 可容空间较大, 最大湖泛期前后三角洲萎缩, 河道的落差、流域面积和向盆地方向的延伸距离大大缩小<sup>[22]</sup>, 分流河道砂体不发育。

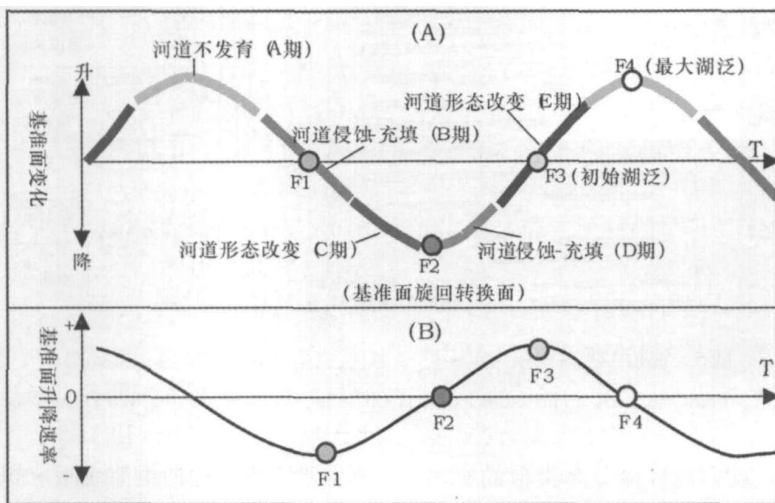


图 6 三级基准面旋回内河道响应模式图(A)与基准面升降速率曲线(B)

Fig 6 Fluvial channel style model(A) and base-level rise and fall rate curve(B) in a 3rd order base-level

层位	三级	河道形态模式图	河道类型	砂体结构
长 <sub>4+5</sub>			混合负载 曲流型	迷宫状
长 <sub>6<sup>1</sup></sub>			底荷负载 辫状型	拼合板状
长 <sub>6<sub>2</sub></sub>			悬浮负载 曲流型	席状互层
长 <sub>6<sub>3</sub></sub>			悬浮负载 顺直型	孤立或 侧向叠置

图 7 鄂尔多斯盆地东缘露头区三角洲平原分流河道演化及砂体形态

Fig 7 Delta plain distributary channel evolution and sandbody shape in the outcrop area along eastern margin of Ordos basin

基准面快速下降期(B期,长<sub>6<sub>3</sub></sub>沉积早期),河道坡降增大使得河道活化,河道易发生侵蚀下切(图 3B),此时仍有可容空间存在,在次级基准面上升时分流河道内充填发生沉积,形成单个河道孤立砂体或多个河道侧向叠置(图 5,图 7),叠置河道间发育溢岸沉积砂体,砂体叠置宽度 100 余米至 600 余米,叠置厚度 <15m,典型剖面如延河潭家河村剖面(图版 I-5,图 3)。

基准面缓慢下降期(C期,长<sub>6<sub>2</sub></sub>沉积期),分流河道弯曲度增大<sup>[13~16]</sup>,伴随分流河道宽度变大、深度变小,悬浮负载为主、宽厚比较大的分流河道砂体横向上极容易连片,形成分布广泛的席状砂体(图版 I-6)。在洪水期宽缓非限制性河流也容泛滥,从而形成分布广泛的泛滥平原沉积。席状分流河道砂体与泛滥平原砂体及泥页岩的频繁互层,形成长<sub>6<sub>2</sub></sub>席状互层状砂体结构(图 5,图 7),席状互层状砂体特征在鄂尔多斯盆地东缘延河至准宁河之间广泛分布,横向宽度可达百余公里。

基准面下降到最低至早期上升期(D期,长<sub>6<sub>1</sub></sub>沉积早期),基准面下降至最低时期的转换时期,三角洲平原区可容空间最小,发生大面积的侵蚀暴露,大范围的侵蚀沟谷底面形成三级基准面旋回界面,侵蚀沟谷深度可达 20 余米,如清涧河营田村露头(图版 I-3)。在随后基准面缓慢上升期,水流局限于大型侵蚀沟谷内,河道在侵蚀沟谷内频繁摆动迁移,河道类

型趋向于辫状河道性质(图 7)。由于可容空间仍然较小,河道细粒沉积单元发育程度及保存程度差,河道砂体彼此切割,相互叠置,形成拼合板状砂体结构类型。延河剖面朱家湾延长县县长<sub>6<sub>1</sub></sub>底部叠置的砂体宽度可达 3km,最厚处可达 26m(图版 I-4)。这类三级基准面旋回界面之上相互叠置的砂体为长期侵蚀后,河谷内河道沉积物溯源堆积的产物;而基准面快速下降期(B期,长<sub>6<sub>3</sub></sub>沉积早期)为河道多期活化侵蚀、多期充填的产物,河道类型趋向于曲流河性质。前者形成的砂体规模较后者要大,二者形成的背景、河道类型及形成机制各异。地震品质好剖面上可以识别出 D 期具有下切谷系统性质的叠置砂体,如苏里格气田盒 8 段底部侵蚀沟谷叠置砂岩在震剖面上表现为双向上超面。

基准面上升期(E期,长<sub>6<sub>1</sub></sub>沉积中晚期及长<sub>4+5</sub>沉积早期),可容空间增大,河道弯曲度增大(图 7),河道砂体呈透镜状发育于细粒泛滥平原沉积内,河道砂体彼此孤立,连通性差,形成迷宫状砂体结构(图 5,图版 I-7)。基准面继续上升(长<sub>4+5</sub>沉积中期),三角洲萎缩,三角洲平原分流河道废弃,分流河道砂体不发育。

以上分析表明,鄂尔多斯盆地东缘层序地层格架内长<sub>6</sub>三角洲平原分流河道类型、砂体形态及砂体结构演化受三级基准面旋回升降的控制明显,运用基准面旋回对河流沉积的控制作用对长<sub>6</sub>河道砂体结构的演化规律可以做出较为合理的解释。这一解释模式与 Shanley (1994)提出的冲积层序地层模式中河流砂体样式的演变规律有相似性<sup>[19]</sup>,但在基准面旋回升降中的解释存在差异。基准面旋回的级次、基准面旋回过程中优势河道砂体的积存程度、海陆过渡带与内陆湖盆边缘河流样式响应基准面升降的不同等因素可能是形成这种差异性的重要原因,需进一步深入讨论。

三级基准面旋回内三角洲砂体骨架露头模型的建立也有助于对安塞—延长地区延长组岩性地层圈闭形成条件的分析。三级基准面旋回界面上大型侵蚀谷中的叠置砂体的连通性最好,不利于原生沉积型岩性圈闭的形成,后期成岩作用的改造有利于成岩圈闭的发育。高可容空间下高弯曲度分流河道形成的夹于细粒泛滥平原沉积中的孤立状砂体易形成原生沉积型岩性圈闭。而基准面缓慢下降时悬浮荷载为主的宽缓河道沉积及漫溢沉积,可形成面积广泛、物性较差的席状砂岩、泥岩互层,不利于岩性地层圈闭



的形成。

## 4 结束语

利用鄂尔多斯盆地东缘露头建立了层序地层格架内长<sub>6</sub>期安塞三角洲平原砂体骨架模型,这有助于了解砂体的形态、规模、延伸方向、连通性及空间分布规律,有助于层序地层格架内三角洲砂体岩性地层圈闭形成条件分析。三级基准面旋回过程中,不同基准面升降速率下分流河道发生规律性的侵蚀、充填、迁移和漫溢,控制了层序地层格架内三角洲砂体构成单元的类型、砂体形态、规模和连通性。深入开展多种地质背景下层序格架内三角洲砂体分布研究,有助于实现三角洲砂体分布“成因上可解释、时空上可预测”的层序地层学研究目标。

通过本次露头的详细地质调查,识别出长<sub>61</sub>下部大型侵蚀谷底面为界面的三级基准面旋回,根据基准面旋回理论可以对露头三级基准面旋回内三角洲骨架砂体发育模型进行合理的解释,进一步确认了基准面旋回界面识别的正确性。露头样品成岩储层研究表明,基准面旋回界面上下砂岩的微观成岩特征及储集空间类型有明显差异,安塞油田长<sub>6</sub>油藏也多分布于长<sub>61</sub>基准面旋回界面之上。露头井下相结合,深入开展层序地层格架内三角洲砂体分布规律研究,探讨三级基准面旋回界面在三角洲砂体分布、盆地成岩流体及烃类流体运移中的作用机制,对于明确安塞三角洲岩性地层油气藏形成条件和分布规律有重要意义。

## 参考文献 (References)

- 1 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. 北京:地质出版社,1992 [Li Sitian, Cheng Shoutian, Yang Shigong et al. North-eastern Ordos Basin Sequence Stratigraphy and Depositional System Analysis. Beijing: Geological Publishing House 1992]
- 2 焦养泉,李思田,李祯,等. 曲流河与湖泊三角洲沉积体系及典型骨架砂体内部构成分析. 武汉:中国地质大学出版社,1995 [Jiao Yan-guan, Li Sitian, Li Zhen et al. Meandering River and Delta Systems and Architectures of Typical Framework Sandbodies. Wuhan: China University of Geosciences Press 1995]
- 3 林克湘,张昌民,雷卞军,刘怀波. 地面—地下对比建立储层精细地质模型. 北京:石油工业出版社,1995 [Lin Keyang, Zhang Changming, Lei Dianjun, Liu Huaibo. Establishment of Detailed Geological Model Based on Outcrop—Subsurface Correlation. Beijing: Petroleum Industry Press 1995]
- 4 贾爱林,穆龙新,陈亮,等. 扇三角洲储层露头精细研究方法. 石油学报,2000,21(4):105~108 [Jia Ailin, Mu Longxing, Chen Liang et al. Approach for detailed study of reservoir outcrop. Acta Petrole-

- 5 Sinica 2000, 21(4): 105~108]
- 5 穆龙新,贾爱林,陈亮,黄石岩. 储层精细研究方法:国内外露头储层和现代沉积及精细地质建模研究. 北京:石油工业出版社,2000 [Longxing, Jia Ailin, Chen Liang, Huang Shiyang. Approach for Detailed Study of Reservoir: Detailed Geological Modeling Study of Reservoir Outcrop and Modern Deposits. Beijing: Petroleum Industry Press 2000]
- 6 Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high-resolution stratigraphic correlation. Accepted for Publication in Norwegian Petroleum Society Forening Conference Volume 1996, 1~24
- 7 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 Stratigraphy—Principle and Application. Beijing: Geological Publishing House 2002]
- 8 王嗣敏,刘招军. 高分辨率层序地层学在陆相地层研究中若干问题的讨论. 地层学杂志,2004,28(2):179~184 [Wang Simin, Liu Zhaojun. Discussion on some problems of high resolution sequence stratigraphy in the study of continental stratigraphy. Journal of stratigraphy 2004, 28(2): 179~184]
- 9 郑荣才,彭军,吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义. 沉积学报,2001,19(2):249~255 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base level cycles of terrigenous basin and its implications. Acta Sedimentologica Sinica 2001, 19(2): 249~255]
- 10 郑荣才,彭军. 陕北志丹三角洲长<sub>6</sub>油层组高分辨率层序分析与等时对比. 沉积学报,2002,20(1):92~100 [Zheng Rongcai, Peng Jun. Analysis and isochronostratigraphic correlation of high-resolution sequence stratigraphy for Chang-6 oil reservoir set in Zhidan Delta, northern Ordos Basin. Acta Sedimentologica Sinica 2002, 20(1): 92~100]
- 11 吴志宇,赵虹,李文厚,李强. 安塞地区延长组层序地层特征. 天然气地球科学,2005,16(2):190~193 [Wu Zhiyu, Zhao Hong, Li Wenhou, Li Qiang. Sequence stratigraphy of Yangchang Formation in Ansai District. Natural Gas Geoscience 2005, 16(2): 190~193]
- 12 张周良. 河流相地层的层序地层学与河流类型. 地质论评,1996,42(增刊):188~193 [Zhang Zhouliang. Fluvial sequence stratigraphy and fluvial type. Geological Review, 1996, 42 (Supp): 188~193]
- 13 Schumm S A. River response to base level change: implications for sequence stratigraphy. Journal of Geology, 1993, 101: 279~294
- 14 Yoxall W H. The relationship between falling base level and lateral erosion in experimental streams. Geology Society of America Bulletin, 1969, V80: 1379~1384
- 15 Wood L J, Etheridge F G, Schumm S A. The effects of rate of base-level fluctuation on coastal plain, shelf and slope depositional systems: An experimental approach. Int Assoc Sediment Special Publishing 18, 1992b
- 16 Miall A D. The geology of fluvial deposits—sedimentary facies—basin analysis and petroleum geology. Springer, 1996
- 17 Marriott S B. The use of models of the interpretation of the effects of

- base-level changes on alluvial architecture. *Special Publishing in Tass Sediment* 1999, 28: 271~281
- 18 Wright V P, Marriott S B. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage. In: Cloetingh S et al eds. *Basin Analysis and Dynamics of Sedimentary Basin Evolution*. *Sedimentary Geology* 1993, 86: 203~210
- 19 Shanley K W. Alluvial architecture in a sequence stratigraphic framework. *Journal of Geology* 1994, 102(2): 105~109
- 20 Emery D, Myers K. *Sequence Stratigraphy*. Blackwell Science 1996
- 21 刘招军,董清水,王嗣敏,等. 陆相层序地层学导论与应用. 北京:石油工业出版社, 2002 [Liu Zhaojun, Dong Qingshui, Wang Simin et al. *Continental Sequence Stratigraphy Direction and Implication*. Beijing: Petroleum Industry Press 2002]
- 22 郑荣才,尹世民,彭军. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析. *沉积学报*, 2000, 18(3): 369~375 [Zheng Rongcai, Yin Shiming, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle. *Acta Sedimentologica Sinica* 2000, 18(3): 369~375]

## Establishment of the Delta Sandbody Framework Model in a 3<sup>rd</sup> Order Baselevel Cycle: taking Shanbei Ansai delta outcrop as example

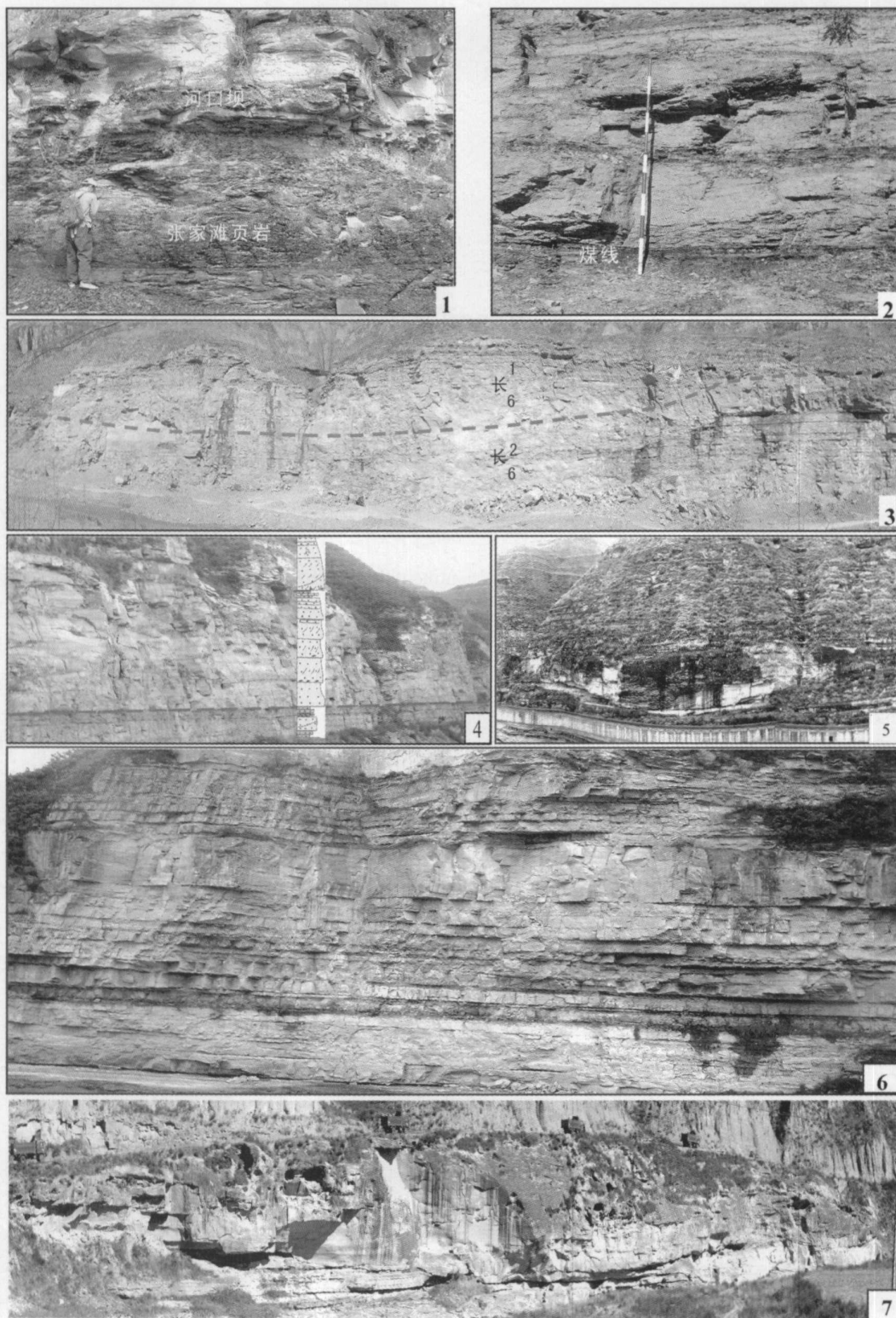
ZHANG Xing-yang LUO Ping GU Jia-yu LUO Zhong  
LIU Niu-hong CHEN Fei ZHANG Xuan-jie

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Key Laboratory for Oil and Gas Reservoir, CNPC, Beijing 100083)

**Abstract** Delta sandbody is one of the most important continental-basin hydrocarbon reservoir in China. The establishment of delta sandbody framework model in sequence stratigraphic framework is very important to the prediction of delta sandbody. Detailed high-resolution sequence stratigraphy study has been carried out on the Upper Triassic fluvial delta outcrops along the eastern margin of Ordos Basin. The basal surface of incised fluvial valley has been recognized as the boundary of a 3<sup>rd</sup> order base level cycle. Furthermore, delta sandbody framework prototype model and the evolutionary model of delta plain distributary channel style in a 3<sup>rd</sup> order base level cycle have been established. This study demonstrate that the incision, aggradation, migration, overflow and style change of delta plain distributary channel or fluvial channel should be happen regularly in response to different base-level rise and fall rate in a 3<sup>rd</sup> order base level cycle, which make difference to the type, shape, scale and connectivity of delta sandbody in sequence stratigraphic framework. The discovery of this rule is important to the prediction of delta sandbody and the stratigraphic-trap forming condition analysis. Furthermore study of sandbody distribution in sequence stratigraphic framework under different geological conditions is helpful to the realization of the study object of sequence stratigraphy—"interpretable in genesis and predictable in space-time".

**Key word** sequence stratigraphic framework baselevel cycle river delta Ordos Basin sandbody framework model





图版 I 说明: 1. 长<sub>7</sub>浅湖相深灰—灰黑色页岩, 延河张家滩; 2. 长<sub>4+5</sub>中部泛滥平原沼泽相泥页岩夹煤线, 清涧河胡家坪; 3. 长<sub>6</sub>底部大型河道侵蚀面及上覆叠置砂体, 清涧河营田村; 4. 长<sub>6</sub>底部叠置砂体, 延河朱家湾采石场; 5. 长<sub>6</sub>底部分流河道砂岩透镜体, 延河潭家村; 6. 长<sub>6</sub>泛滥平原席状砂岩—泥岩互层, 延河白家川; 7. 长<sub>6</sub>上部孤立分布的分流河道透镜体, 清涧河胡家坪。