

鄂尔多斯盆地东北部石盒子组层序 充填样式及过程分析

陈安清 陈洪德 林良彪 王 峻 徐胜林

(“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室(成都理工大学), 沉积地质研究院, 四川 成都 610059)

摘要: 本文根据野外露头、测井及钻井岩心等资料, 研究了鄂尔多斯盆地东北部石盒子组的层序充填样式和演化规律。于陆内坳陷盆地发展阶段的高潮期以充填辫状河三角洲为特征, 相对稳定期以充填曲流河三角洲为特征; 陆内坳陷盆地的成熟阶段以充填网结河三角洲为特征。各时期的三角洲具有“大平原、小前缘”的特点, 这为河道的形成演化和砂体富集提供了空间。提出研究区内最有利储集相带为辫状河三角洲的分流河道(A1 型)、水下分流河道(A2 型); 曲流河三角洲的分流河道(A2 型)、水下分流河道(A2 型)和网结河三角洲分流河道的结点(C1 型)亦是较有利储集体。总之, 基准面的旋回控制的古地理面貌和层序充填规律对鄂尔多斯盆地岩性油气藏的形成具有重要意义。

关键词: 石盒子组; 基准面旋回; 层序充填; 三角洲; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: P539.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)05-1046-09

鄂尔多斯盆地是中国西部大型含油气盆地之一。盆内主要为岩性油气藏, 勘探开发难度大。苏里格大气田的勘探开发表明, 深入认识该陆内坳陷盆地的层序充填过程中沉积体系的时空展布特征及演化规律是提高盆内岩性油气藏勘探开发效益的关键^[1-4]。盆地东北部地区(图 1)自发现上古生界气田以来, 不少学者针对储集砂体作了研究, 普遍认为二叠纪石盒子组主要发育一套自北而南的河流—三角洲—滨浅湖(海)沉积^[5-17]。但很少从基准面旋回变化的角度研究该地区的层序充填样式和时空演化特征。本文以高分辨率层序地层学理论为基础, 根据野外露头、钻井、测井及岩心资料, 进行层序充填样式与层序充填过程研究, 揭示盆地演化特征, 寻找有利储集砂体展布规律, 为气田储集相带预测、储层评价以及开发奠定基础。

1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地属华北地台西端的次级构造单

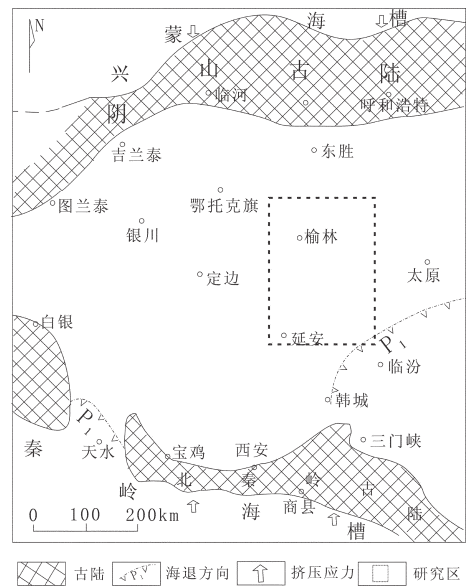


图 1 鄂尔多斯晚古生代原型盆地及研究区位置
(据张渝昌等^[17]资料修改, 1997)

Fig.1 Prototype of Ordos Basin in Late Paleozoic and location of the study area
(modified from Zhang Yu-chang et al^[17], 1997)

收稿日期: 2008-12-07; 改回日期: 2009-02-24

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40739901)与国家重大科技专项(2008ZX5002-001)资助。

作者简介: 陈安清, 男, 1981 年生, 博士生, 从事沉积学研究; E-mail: aqin@163.com。

通讯作者: 陈洪德, 男, 1956 年生, 博士生导师, 主要从事层序地层学与含油气盆地分析研究; E-mail: chd@cdu.edu.cn。

元,北邻兴蒙造山带,南面为秦岭造山带,西以贺兰山—六盘山为界,东以吕梁山为界,是一个多旋回克拉通叠合盆地^[7]。晚古生代盆地可划分为两大演化阶段和 4 种盆地类型:即晚石炭世至早二叠世早期以海相沉积为主的发育阶段,其中又可以分为本溪组陆表海盆地和裂隙盆地,以及太原组陆表海盆地和坳陷盆地两个次级发育阶段;早二叠世晚期至晚二叠世,区域构造由之前的拉张转化为抬升作用为主,海水逐渐向南退出,进入以陆相沉积为主的发展阶段,包括早期山西组具有过渡性质的近海湖盆和石盒子组开始的陆内坳陷盆地^[8]。

研究区内石盒子组通常以土黄、黄绿、灰绿等杂色为主,偶夹灰黑色泥岩,顶部常有紫色砂质泥岩。与以灰绿、灰、灰黑色为主的山西组,以紫色、紫红色为主的石千峰组易于区别。石盒子组底部,通常存在一层或多层土黄色含砾粗砂岩(骆驼脖子砂岩),可作为与山西组分界的标志;在上石盒子组顶部和石千峰组底部,一般也有厚层含砾粗砂岩存在,可作为两者间的分层界线标志。目前,对下石盒子组来说,以岩性组合或岩性旋回为主的地层划分和对比仍存在多种划分方案,包括二分(最早于 1922 年由那琳

提出,至今各省地质志仍普遍采用)、三分(华北石油分公司采用)、四分(原长庆油田分公司采用)、五分(长庆油田分公司现在采用)等;上石盒子组的研究程度相对较低,大都未分段,仅长庆油田分公司分为四段。本研究以高分辨率旋回层序为指导,采用下石盒子组五分,上石盒子组四分的方案,但具体的分段界线有所调整(表 1)。

2 高分辨率基准面旋回充填样式

高分辨率层序地层学是基于基准面旋回和可容纳空间变化原理,揭示基准面旋回层序与沉积动力学和地层响应过程的关系,及其相对应的沉积微相演化序列、保存状况和有利储集砂体的发育位置和产出特征^[19-24]。短期基准面旋回由成因上相联系的单一岩相或多个岩相组成的岩石地层单元加界面组成,相当于 Val 的准层序组或准层序,是进行层序分析最基本的成因地层单元。在盆地演化过程中,伴随着基准面的升降变化,可容纳空间和沉积物供应之间的比值发生相应的变化,从而表现为不同的地层充填样式。笔者通过对地表露头、岩心及测井曲线等资料的分析,在鄂尔多斯盆地东北部石盒子组

表 1 鄂尔多斯盆地东北部二叠纪石盒子组高分辨率层序地层划分

Table 1 Division of high-resolution sequence stratigraphy of Permian Shihezi Formation in northeast Ordos Basin

地 层 系 统				高分辨率层序地层				
系	统	阶	组	段	超长期	长期	中期	
二叠系	乐平统	长兴阶	石千峰组					
		茅口亚统	冷坞阶	上石盒子组	盒 1	SLC2	LSC9	MSC18 MSC17
					盒 2		LSC8	MSC16 MSC15
					盒 3		LSC7	MSC14 MSC13
	盒 4				LSC6		MSC12 MSC11	
	阳新统	孤峰阶	下石盒子组	盒 5	SLSC1	LSC5	MSC10 MSC9	
				盒 6		LSC4	MSC8 MSC7	
		栖霞亚统		祥播阶		盒 7	LSC3	MSC6 MSC5
						盒 8 _上	LSC2	MSC4 MSC3
						盒 8 _下	LSC1	MSC2 MSC1
罗甸阶						山西组		

别出3种基准面旋回类型,记录了沉积相带演变及A/S变化状态的层序充填响应过程(图2)。

2.1 向上变“深”的非对称型旋回(A型)

此类旋回通常出现在沉积物供给大于可容空间增长率的过补偿或超补偿沉积条件下,或者受到后期冲蚀作用的影响在沉积记录中仅保留基准面上升半旋回的沉积物,而下降半旋回的沉积,由于 $S \gg A$ 而出现溢出现象,或因遭受侵蚀残缺不全,使整个旋回层序呈非对称状态。它们在剖面结构上通常具有向上变细的特点,而缺少上部的向上变粗部分。A类旋回在石盒子组中非常发育,也是陆相地层中常见的旋回类型,从沉积作用过程来说,代表了河流的进积作用和加积作用的组合。这类旋回层按其沉积物供给率与可容空间增长率之间的比例大小关系,又可分为两个亚类:

低可容空间亚类(A1型):整层由粗中粒砂岩组成,顶部缺失泥质岩或仅有很薄的泥质岩层,剖面结构下粗上细,底部偶含砾。它们主要是 $A/S \ll 1$ 的条件下形成的,本区大都出现在具有多层叠置结构的辫状分流河道中。

高可容空间亚类(A2型):由细砂岩、粉砂岩、泥岩组成,也有仅由粉砂岩、泥岩组成,但均具有向上变细的特点,主要出现在曲流河环境中,包括河道、天然堤和边滩等沉积微相,主要是在 $A/S < 1$ 的条件下形成的。

2.2 向上变浅的非对称旋回(B型)

出现于沉积物供给量递增而可容空间递减的条件下($S < A$),因此在沉积记录中形成仅保留下降半旋回的向上变浅部分,而缺少上升半旋回,它们的剖面结构与A类相反,通常具有向上变粗的特点,下界面一般不甚清楚。此类旋回出现较少,一般仅出现于三角洲前缘部分或在湖盆地方向上,三角洲平原上的大型洼地边缘的决口扇中亦有出现。按层序的沉积序列、相组合和界面特征亦可分为两种亚类:

低可容空间亚类(B1型):由水进冲刷面与单一向上变粗的薄至中层状砂岩组成,形成于 $A/S \leq 1 \rightarrow A/S < 1$ 的沉积条件下,主要出现在沉积速率逐渐增高的三角洲前缘河口坝。

高可容空间亚类(B2型):由欠补偿沉积间断面、泥岩、粉砂岩、中砂岩夹泥岩组成向上变浅的序列,形成于 $A/S > 1 \rightarrow A/S \geq 1$ 的沉积条件下,主要出现在沉积速率较低的前三角洲和远砂坝。

2.3 向上变深复变浅的对称旋回(C型)

形成于沉积物供给率等于或略小于可容空间增长率($S \approx A$)的高可容空间条件下,即沉积与沉降处于相对均衡、结构上表现为向上变细而后变粗的对称型特点。相应于向上变“深”而后变浅,其间为最大洪泛面沉积。但应说明的是,在三角洲平原上,这种向上变“深”及洪泛面的出现,只是对应于这个时期的沉积物,而非实际的变深和最大洪泛期的沉积。

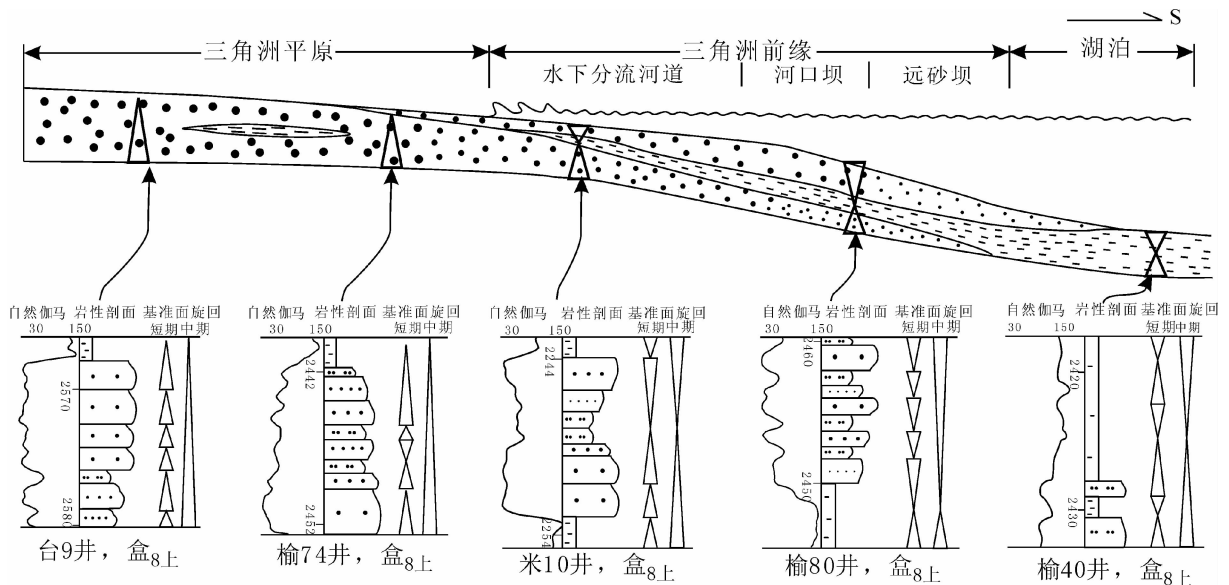


图2 榆林—米脂地区盒8上段不同结构类型的基准面旋回层序充填模式

Fig.2 Modes of sequence filling in different types of structures of He-8 Member of Yulin-Mizhi area

此类旋回可分为 3 种亚类型: 以上升半旋回为主要的不对称型(C1 类旋回)、上升与下降半旋回厚度近于相等的近完全或完全对称旋回 (C2 类旋回)、下降半旋回厚度为主的不完全对称型(C3 型)。石盒子组中晚期的网结河, 多发育该类型的沉积旋回。其中, 以 C1 类旋回居多, 这种不均等现象, 部分是由于下降旋回的一部已被剥蚀。三角洲前缘的外侧也可能出现上升半旋回<下降半旋回的不均等现象。对称型短期旋回的岩性组成, 其上升半旋回部分一般粗于下降部分, 但很少出现粗砂岩。

3 层序充填特征及过程

在基准面旋回充填样式和层序界面研究的基础上, 将石盒子组划分为 2 个超长期旋回、9 个长期旋回和 18 个中期旋回层序(表 1)。以中期基准面旋回为等时单元编制了层序岩相古地理图, 更好地反映了三角洲演化及砂体展布特征。来自北缘造山带的物源在盆地内形成由北而南有序展布的沉积相带。按 S. A. Schumm 等的河流分类^[25,26], 识别出了 3 种三角洲类型: 辫状河三角洲(braided river delta)、曲流河三角洲(meandering river delta)、网结河三角洲(anastomosed river delta)。早期由于构造活跃, 物源区抬升较快, 形成了较陡的坡度, 物源供给充分, 以发育大型辫状河三角洲为特征; 中晚期, 构造逐渐变稳定, 物源区抬升明显变慢, 物源补给减小, 沉积环境渐向曲流河三角洲和网结河三角洲转化(图 3)。

3.1 辫状河三角洲充填阶段

辫状河三角洲发育于中期旋回 MSC1~MSC4 期, 对应于盒 8 上、盒 8 下段, 为第一个超长期基准面旋回的开始期, 即基准面上升早期, 北缘裂谷系构造重新活跃, 物源区不断抬升, 坡降梯度较大, 重新成为一强物源供应期。该时期以湖盆边缘发育进积型辫状河三角洲为特征。层序结构在三角洲平原以低可容空间的向上“变深”的非对称 A1 型为主, 前缘发育低可容空间的向上变浅的非对称 B1 型和对称型为主。辫状河道的河床滞留和心滩极其发育(图 4-a), 主要由灰绿色含砾粗砂岩、粗砂岩及中粒石英砂岩、岩屑砂岩所组成, 结构成熟较低, 颗粒呈次圆一次棱角状, 分选较差, 冲刷构造发育, 具有较强水流快速堆积形成的大型槽状交错层理、块状层理、斜层理和冲刷充填构造等, 以及弱水流作用形成的小型波状、脉状及沙纹交错层理。野外剖面和绝大部

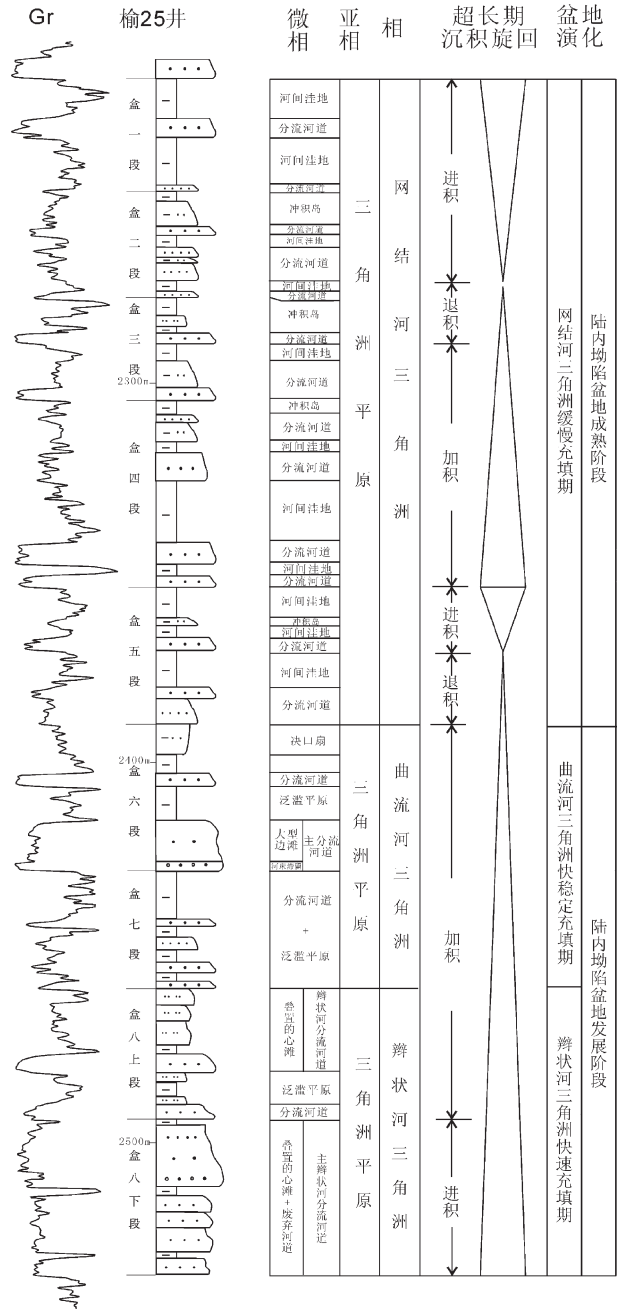


图 3 榆 25 井石盒子组的沉积环境演化序列
Fig.3 Sedimentary evolution of Shihezi Formation in well Yu25

分井的剖面结构表现为心滩砂体的连续叠置状, 砂泥比>>1, 有时可见废弃河道, 即具大规模交错层理的中粗粒砂岩, 突然覆盖以极薄的具水平纹层的粉砂岩、粉砂质泥岩沉积(图 4-b)。辫状河三角洲前缘水下分流河道一般由杂色的含砾砂岩、粗砂岩、砂岩等组成, 剖面结构上常呈叠置状。河口坝具反映多种水流混合作用的波状层理、斜波状交错层理以及不

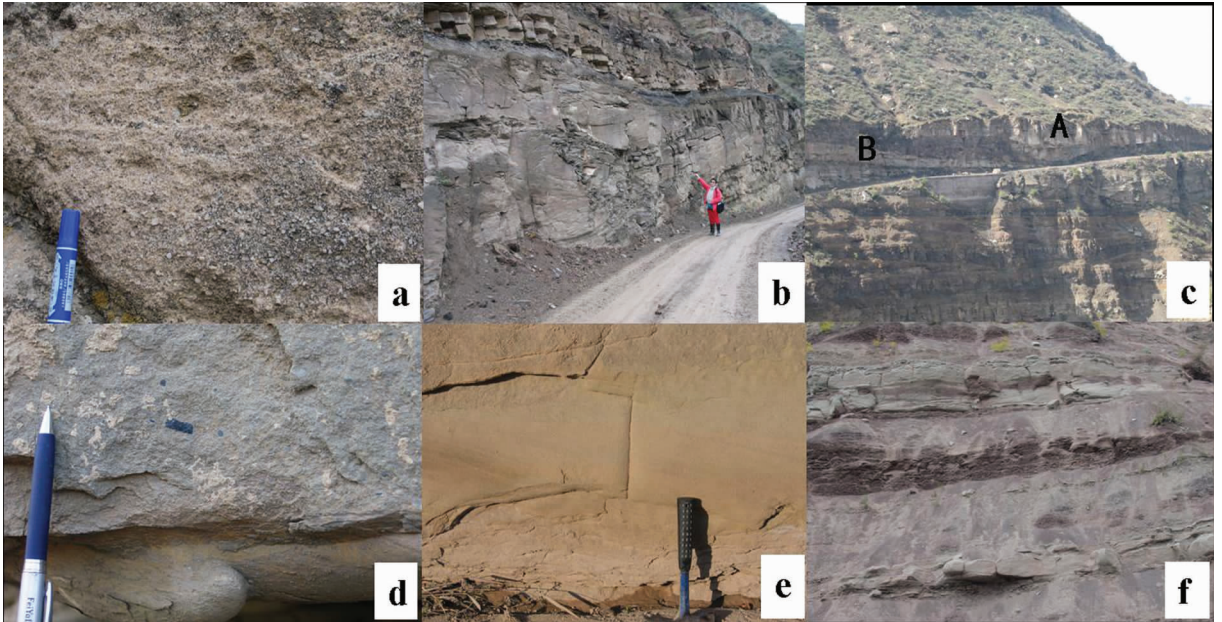


图4 鄂尔多斯盆地东北部石盒子组典型沉积特性照片

a—辫状河三角洲的砾质心滩沉积,发育斜层理,准噶尔旗龙王沟剖面, MSC1; b—叠置的辫状河三角洲分流河道,柳林成家沟剖面, MSC2; c—曲流河三角洲前缘剖面结构,发育水下分流河道(A)与穹窿状河口坝砂体(B),柳林成家沟剖面, MSC5; d—曲流河三角洲水下分流河道底部的重荷模构造,柳林成家沟剖面, MSC5; e—网结河三角洲分流河道的粉砂岩组成的板状斜层理,海则庙剖面, MSC11; f—紫色泥岩夹薄层透镜状中-细粒网结河三角洲分流河道砂岩,扒楼沟剖面, MSC14

Fig.4 Photographs of typical sedimentary characteristics of Shihezi Formation in northeast Ordos Basin

a—Inclined bedding, gravelly channel bar of braided river delta, Longwanggou section, MSC1; b— Superimposed distributary channels of braided river delta, Chengjiagou section MSC2; c—Field section of meandering river delta front, with submerged distributary channels (A) and domal mouth bar (B), Chengjiagou section, MSC5; d—Load cast of meandering river delta front, Chengjiagou section, MSC5; e—Siltstone and inclined bedding of distributary channel of anastomosed river delta, Haizemiao section, MSC11; f—Purple mudstone with lenticular fine-medium sandstone of distributary channel of anastomosed river delta, Palougou section, MSC14

太清晰的大型交错层理,显示出厚层的上粗下细的反韵律。

以上沉积特征显示中期旋回 MSC1~MSC4 处于鄂尔多斯晚古生代陆内盆地的发展高潮阶段。该时期三角洲最为发育,向南进积的最远,从北向南依次为三角洲平原、三角洲前缘、浅湖沉积环境(图5)。三角洲平原环境分布广泛,在通岗浪沟、响水、米脂、佳县、临县一带,三角洲前缘分布在李家岔、马家砭、清涧一带。研究区明显存在有东、西两个河流-三角洲系统,西部河流-三角洲系统是近北-南向分布,东部河流-三角洲系统呈北东-南西向分布,两者在常家沟附近汇合。分流河道砂体规模大,厚度一般在 8~11m。

3.2 曲流河三角洲充填阶段

曲流河三角洲发育于中期旋回 MSC5~MSC8 期,对应于盒 7、盒 6 段,为第一个超层序基准面上

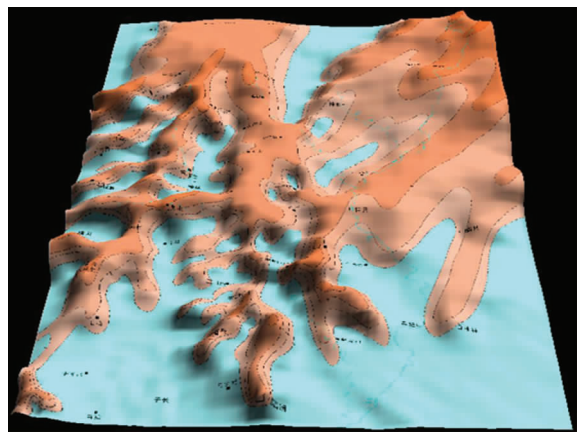


图5 中期旋回 MSC3 的辫状河三角洲三维展布模型

Fig.5 Three-dimensional model of braided river delta of MSC3

升中晚期,物源区构造活动有所减弱,沉积区与物源区坡降梯度减小,物源供给减少,此前的辫状河道不

断废弃,河流逐渐转变为以侧向迁移为特点的曲流河,盆地边缘发育加积型三角洲。层序结构在三角洲平原以高可容空间的向上“变深”的非对称 A2 型为主,前缘高可容空间的向上变浅的非对称 B2 型和对称型为主。河道砂岩以含砾粗砂岩、中粗粒砂岩为主,成分成熟度低,岩屑和长石含量高,分选差,颗粒呈次棱角-次圆状。野外露头 and 绝大部分井的分流河道的剖面结构中砂泥比 ≈ 1 ,具有典型的下粗上细的“二元结构”,自然伽马曲线呈典型的钟型或叠置的圣诞树型。下部河床滞留和边滩沉积中常见大型的板状斜层理、槽状层理和平行层理等。边滩上部细粒组分在剖面序列中占很大比例,表明漫滩沉积在主分流河道剖面序列中是很重要的组成部分。逆粒序的决口扇发育是曲流河三角洲的又一重要标志,常与粉砂质泥岩、暗色泥岩组成的河间湖泊沉积呈韵律交替沉积。三角洲前缘主要由水下分流河道、边滩、水下决口扇、河口坝、分流间湾沉积组成。水下分流河道以具正粒序的灰绿色细砂岩为主,与具反粒序穹窿状的河口坝砂体共存(图 4-c)。反映牵引流的沉积构造丰富多样。砂岩中主要有底冲刷、重荷膜(图 4-d)、平行层理、块状层理、中型交错层理、低角度交错层理,在粉砂岩中可见似浪成交错层理、层系厚的小型波纹层理、透镜状层理,粉砂质泥岩中见水

平纹层。

上述特征显示中期旋回 MSC5~MSC8 处于鄂尔多斯晚古生代陆内盆地发展阶段的相对稳定期,相带分布与前期的相似,略向北退缩(图 6)。浅湖相带的北界向北扩展至马家砭、寺上附近,而三角洲前缘的北界迁移至横山、临县以北。东、西两个河流-三角洲系统的分区依然明显,但河道分叉增多,河间洼地增加。砂体厚度一般为 5~8 m。

3.3 网结河三角洲充填阶段

前人对鄂尔多斯盆地晚古生代的研究主要集中在含气丰富的山西组和下石盒子组,而上石盒子组的研究较少^[1-16]。笔者根据前人对网结河的认识^[27,28],结合该地区的沉积、岩相古地理特征认为中期旋回 MSC9~MSC18 期(盒 5 段至盒 1 段)充填的三角洲类型为网结河三角洲。这是由于构造相对稳定的背景下,物源区的夷平化和盆地充填补齐,古地貌变得相对平坦,水流势能减小;另一方面,洪水作用导致平原的河道化,逐渐形成多个稳定的相互连通的窄河道,其结果是造成单个河道水流量减少,水流功率减小,形成具有较大侧向稳定性的网结河道。层序结构在三角洲平原以发育上升半旋回大于下降半旋回的 C1 型为主,前缘以发育 C2 型和 C3 型为主。砂体的侧向延展性差,厚度一般在 5 m 左右。盆地充

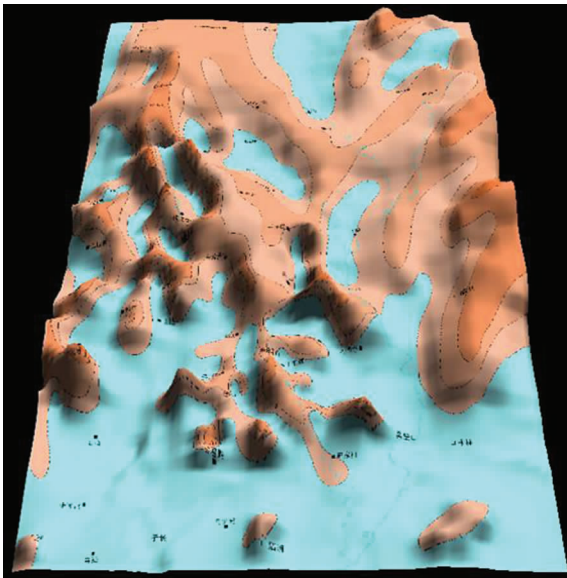


图 6 中期旋回 MSC7 的曲流河三角洲三维展布模型
Fig.6 Three-dimensional model of meandering river delta of MSC7

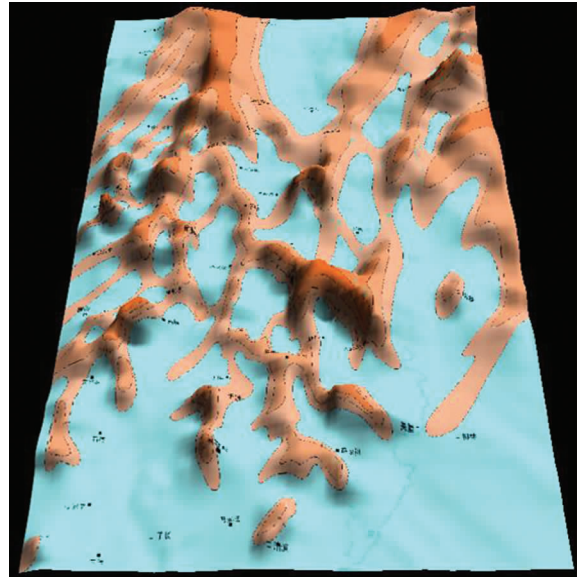


图 7 中期旋回 MSC15 的网结河三角洲三维展布模型
Fig.7 Three-dimensional model of anastomosed river delta of MSC15

填特征表现为以细粒沉积物的垂向加积为主。露头 and 绝大部分井的分流河道剖面结构上砂泥比 <1 。河道砂岩具有中小型槽状交错层理、板状斜层理(图 4-e), 单个河道砂体常被冲积岛和泛滥平原阻挡, 夹在泥岩之中, 窄而薄, 呈透镜状(图 4-f)。河漫沼泽、河漫湖环境的越岸沉积物垂向加积, 富含泥炭和粘土。

与前期的三角洲对比发现, 该时期三角洲的分流河道砂体厚度明显变薄, 宽度变窄, 河间洼地增多。浅湖相带的北界进一步向北扩展至李家岔—寺上以北, 而三角洲前缘相带的北界退缩至巴拉素、榆林、万镇以北, 东、西两大河流—三角洲系统呈网状交汇在一起(图 7)。网结河三角洲的形成表明鄂尔多斯晚古生代陆内盆地进入了成熟阶段。

4 结 论

(1) 石盒子组包括 3 种基准面旋回类型, 其时空分布及叠加样式记录了不同沉积相带中的层序充填响应。

(2) 石盒子组可划分为 2 个超长期旋回、9 个长期旋回和 18 个中期旋回(MSC1~MSC18)。旋回层序的充填样式及以中期旋回为等时单元编制的岩相古地理图揭示了陆内拗陷盆地的发展和成熟阶段的充填特征及过程, MSC1~MSC4 为盆地发展阶段的高潮期, 以充填辫状河三角洲为特征; MSC5~MSC8 为盆地发展阶段的相对稳定期, 以充填曲流河三角洲为特征; MSC9~MSC18 为盆地成熟阶段, 以充填网结河三角洲为特征。

(3) 各时期的三角洲皆具有“大平原、小前缘”的特点, 反映了鄂尔多斯克拉通陆内拗陷盆地北部具有北高南低、相对平坦的缓坡古地貌状况。在基准面旋回变化过程中, 宽缓的平原为三角洲的规律性演化和砂体集聚提供了空间, 使该地区发育了大量有利储集体。其中, 辫状河三角洲的分流河道(A1 型)、水下分流河道(A2 型)以及它们上游的河道是最有利的储集相带; 曲流河三角洲分流河道或水下分流河道(A2 型)、网结河三角洲分流河道的结点(C1 型)亦是较有利的储集相带。

总之, 由于构造活动与盆地演化间的耦合, 盆地充填的沉积物特征、沉积体系和层序结构都发生相应的协调变化, 直接影响着油气资源的形成和聚散。于陆内拗陷盆地发展阶段, 即超长期基准面的上升

期, 对应着相对构造活跃时期和强物源供应期, 形成了进积—加积的延展性好、规模较大、厚度较稳定、粒度较粗的有利于天然气运移聚集的辫状河和曲流河三角洲砂体; 陆内拗陷盆地的成熟阶段, 充填的网结河三角洲和浅湖相以发育厚层泥岩为主; 加上晚古生代的聚煤作用, 它们共同组成了以生储盖组合为特征的天然气藏。

参考文献(References):

- [1] 何自新, 付金华, 席胜利, 等. 苏里格大气田成藏地质特征 [J]. 石油学报, 2003, 24 (2):6-12.
He Zixin, Fu Jinhua, Xi Shengli, et al. Geological features of reservoir formation of Sulige gas field [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24 (2):6-12 (in Chinese with English abstract).
- [2] 何顺利, 兰朝利, 门成全. 苏里格气田储层的新型辫状河沉积模式 [J]. 石油学报, 2005, 26 (6):25-29.
He Shunli, Lan Chaoli, Men Chengquan. New braided river model in Sulige Gas Field of Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26 (6):25-29 (in Chinese with English abstract).
- [3] 文华国, 郑荣才, 高红灿, 等. 苏里格气田苏 6 井区下石盒子组盒 8 段沉积相特征 [J]. 沉积学报, 2007, 25(1):90-98.
Wen Huaguo, Zheng Rongcai, Gao Hongcan, et al. Sedimentary facies of the 8th member of Lower Shihezi Formation in Su6 Area, Sulige gas field [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1):90-98 (in Chinese with English abstract).
- [4] 朱筱敏, 孙超, 刘成林, 等. 鄂尔多斯盆地苏里格气田储层成岩作用与模拟 [J]. 中国地质, 2007, 34(2):276-282.
Zhu Xiaomin, Sun Chao, Liu Chenglin, et al. Reservoir diagenesis and fluid-rock interaction simulation of the Sulige gas field in the Ordos basin [J]. Geology in China, 2007, 34 (2):276-282 (in Chinese with English abstract).
- [5] 郝蜀民, 李良, 尤欢增. 大牛地气田石炭—二叠系海陆过渡沉积体系与近源成藏模式 [J]. 中国地质, 2007, 34(4):606-611.
Hao Shumin, Li Liang, You Huanzeng. Permo-Carboniferous paralic depositional systems in the Daniudi gas field and its near-source box-type gas accumulation-forming model [J]. Geology in China, 2007, 34(4):606-611 (in Chinese with English abstract).
- [6] 侯洪斌, 牟泽辉, 朱宏权. 鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气成藏条件与勘探方向 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004:9-27.
Hou Hongbin, Mou Zehui, Zhu Hongquan. Gas-pool Forming Conditions and Exploration Directions of the Upper Paleozoic Gas Reservoirs in the Northern Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004:9-27 (in Chinese).
- [7] 陈安清, 陈洪德, 向芳, 等. 鄂尔多斯东北部山西组—上石盒子组砂岩特征及物源分析 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34 (3):305-311.
Chen Anqing, Chen Hongde, Xiang Fang, et al. Sandstone characteristic and provenance analysis of the Permian Shanxi

- Formation-Shangshihezi Formation in Northeast of Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34 (3):305-311 (in Chinese with English abstract).
- [8] 闫小雄, 胡喜锋. 鄂尔多斯盆地东部地区上古生界沉积体系与有利储集相带展布[J]. 低渗透油气田, 2005, 10 (2):5-10.
- Yan Xiaoxiong, Hu Xifeng. The depositional system and distribution of Upper Palaeozoic in Eastern Ordos Basin [J]. Hyposmosis Oil & Gas Field, 2005, 10 (2):5-10 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李洁, 陈洪德, 侯中健, 等. 鄂尔多斯盆地东北部下石盒子组 8 段辫状河三角洲沉积特征 [J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(1): 27-32.
- Li Jie, Chen Hongde, Hou Zhongjian, et al. Sedimentary characteristics of the braided deltas in the eighth member of the lower Shihezi formation in the northeastern part of the Ordos basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2008, 28 (1): 27-32(in Chinese with English abstract).
- [10] 郭英海, 刘焕杰, 权彪, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化[J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 44-51.
- Guo Yinghai, Liu Huanjie, Quan Biao, et al. Late Palaeozoic sedimentary system and paleogeographic evolution of Ordos area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3):44-51 (in Chinese with English abstract).
- [11] 何义中, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地中部石炭-二叠系两类三角洲沉积机理探讨[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1):68-71.
- He Yizhong, Chen Hongde, Zhang Jinquan. Discussion on sedimentation mechanism of two kind deltas from Permian - Carboniferous of central Ordos basin[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1):68-71 (in Chinese with English abstract).
- [12] 侯中健, 陈洪德, 田景春, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代陆相沉积层序地层学研究[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3):114-123.
- Hou Zhongjian, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Study on sequence stratigraphy of continental deposits in Ordos basin during later Palaeozoic era [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(3):114-123 (in Chinese with English abstract).
- [13] 汪正江, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地晚古生代沉积体系演化与煤成气藏[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(2):18-23.
- Wang Zhengjiang, Chen Hongde, Zhang Jinquan. The Late Palaeozoic sedimentary systems and humic gas pools in the Ordos Basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(2), 18-23(in Chinese with English abstract).
- [14] 魏红红, 彭惠群, 李静群, 等. 鄂尔多斯盆地中部石炭-二叠系沉积相带与砂体展布[J]. 沉积学报, 1999, 17(3):403-408.
- Wei Honghong, Peng Huiqun, Li Jingqun, et al. Distribution of sedimentary facies belts and sandstone bodies of Permo Carboniferous in the central part of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (3):403-408 (in Chinese with English abstract).
- [15] 杨仁超, 韩作振, 李文厚, 等. 鄂尔多斯地区二叠系三角洲沉积特征及其模式 [J]. 西北大学学报 (自然科学版)[J], 2004, 34(3): 340-344.
- Yang Renchao, Han Zuozhen, Li Wenhong, et al. Sedimentary characteristics and models of deltas from Permian system in Ordos area[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2004,34(3): 340-344 (in Chinese with English abstract).
- [16] 付锁堂, 田景春, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(3): 236-241.
- Fu Suotang, Tian Jingchun, Chen Hongde, et al. The delta depositional system distribution of Late Paleozoic Era in Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 2003, 30 (3):236-241 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张渝昌, 张荷, 孙肇才, 等. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京: 南京大学出版社, 1997:276.
- Zhang Yuchang, Zhang He, Sun Zhaocai, et al. Prototype Analysis of Petroliferous Basins in China [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1997:276 (in Chinese).
- [18] 陈洪德, 侯中健, 田景春, 等. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积层序地层学与盆地构造演化研究[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3):16-24.
- Chen Hongde, Hou Zhongjian, Tian Jingchun, et al. Study on sequence stratigraphy of deposits and tectonn - sedimentary evolution in Ordos Basin during Late Palaeozoic [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21 (3):16-24 (in Chinese with English abstract).
- [19] Cross A T, Lessenger M A. Sediment Volume Partitioning: Rationale for Stratigraphic Model Evaluation and High-Resolution Stratigraphic Correlation[R]. Accepted for publication in Norwegian Petroleum Forening Conference Volume, 1996:1-24.
- [20] 邓宏文. 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.
- Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U.S.: high-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16 (2):89- 97(in Chinese with English abstract).
- [21] 郑荣才, 尹世民, 彭军. 基准面旋回结构和叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 2000, 18(3):369-375.
- Zheng Rongcai, Yin Shimin, Peng Jun. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18 (3):369-375 (in Chinese with English abstract).
- [22] 郑荣才. 四川盆地侏罗统大安寨段高分辨率层序地层学[J]. 沉积学报, 1998, 16 (2):42-49.
- Zheng Rongcai. High resolution sequence stratigraphy of Daanzhai formation, lower Jurassic in Sichuan basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2):42-49(in Chinese with English abstract).
- [23] 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层学研究思路[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27 (3):241-244.
- Zheng Rongcai, Wu Zhaorong, Ye Maocai. Research thinking of high-resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin[J].

- Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27 (3):241–244 (in Chinese with English abstract).
- [24] 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[J]. 沉积学报, 2001, 19 (2):249–255.
Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Zhaorong. Grade division of Base–Level Cycles of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19 (2):249–255 (in Chinese with English abstract).
- [25] Schumm–Stanley–A. Evolution and response of the fluvial system, sedimentologic implications[J]. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1981, 31:19–29.
- [26] Walker R G, James N P. Facies models:Response to sea level change[M] : Geological Association of Canada Publications, 1992: 1–375.
- [27] 王随继. 西江和北江三角洲区的水沙特点及河道演变特征[J]. 沉积学报, 2002, 20(3):376–381.
Wang Suiji. Hydrological characteristics and channel evolution of Xijiang and Beijiang Rivers on Zhujiang Delta Area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20 (3):376–381 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王随继. 赣江入湖三角洲上的网状河流体系研究 [J]. 地理科学, 2002, 22(2):202–207.
Wang Suiji. Study of the Anastomosing fluvial system on the Delta plain of the Ganjiang River [J]. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(2):202–207 (in Chinese with English abstract).

An analysis of sequence filling types and process of Shihezi Formation in northeast Ordos Basin

CHEN An–qing, CHEN Hong–de, LIN Liang–biao, WANG Jun, XU Sheng–lin

(State Key Laboratory of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation (Chengdu University of Technology),
Institute of Sedimentary Geology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: Based on data from field outcrops, well logs and drilling cores, this paper studied the sequence filling types and evolution of Shihezi Formation in northeast Ordos Basin. In the early development stage of the continental depression basin, the braided river delta and the meandering river delta were successively filled, and in the mature stage of the continental depression basin, the anastomosed river delta was filled. These deltas, characterized by “big plain, small front”, offered space for river evolution and sand enrichment. Distributary channels (A1 type), submerged distributary channels (A2 type) microfacies of the braided river delta are considered to be the most favorable facies belts for the formation of reservoirs. Distributary channel (A2 type) and submerged distributary channel (A2 type) microfacies of the meandering river delta, and nodes of distributary channels (C1 type) of the anastomosed river delta can also become favorable reservoirs. In conclusion, the palaeophysiography and sequence filling controlled by base–level cycles must have had played an important role in forming lithologic reservoirs in Ordos Basin.

Key words: Shihezi Formation; base–level cycle; sequence filling; delta; Ordos Basin

About the first author: CHEN An–qing, male, born in 1981, Ph.D candidate, engages in the study of sedimentary geology; E–mail: aqinth@163.com.