

文章编号: 1000-0550(2009) 02-0289-10

鄂尔多斯盆地上古生界层序地层划分及演化¹

张满郎 李熙喆 谷江锐 谢武仁

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007)

摘要 利用露头、岩心、钻测井、地震资料,进行层序界面识别,建立鄂尔多斯盆地上古生界的层序地层格架,将其划分为 5 个二级层序、19 个三级层序,并分析了层序的体系域构成及其基本特征。二级层序对应于特定的构造—沉积演化阶段:SS1—裂陷海湾与局限海共存阶段;SS2—统一陆表海阶段;SS3—近海平原沼泽、三角洲阶段;SS4—近海湖盆沉积阶段;SS5—内陆红色碎屑岩沉积阶段。建立了三种层序格架中的沉积砂体发育模式(包括太原组的海陆交互相潮坪—三角洲模式,山西组的近海平原沼泽—三角洲模式、下石盒子组的辫状河—辫状三角洲模式),并对层序格架中的主要砂体类型及分布进行分析预测。

关键词 鄂尔多斯盆地 晚古生代 层序划分 沉积演化 砂体类型 层序地层模式

第一作者简介 张满郎 男 1963 年出生 博士 副研究员 沉积储层及岩性油气藏 E-mail: zhangnanlang@163.com

中图分类号 P539.2 文献标识码 A

鄂尔多斯盆地晚古生代具有多物源、相变快,沉积速率低的特点^[1]。在宽缓斜坡背景下,发育石炭—二叠系海陆交互相、陆相煤系地层,煤系烃源岩及河流、三角洲砂岩储集体分布广泛,为大型岩性气藏的形成创造了条件^[2]。在层序地层研究方面却面临较大的挑战,学者们提出了多种层序地层划分方案^[3-9],但这些划分方案分歧较大,最少的仅划分 3 个层序,最多的划分 28 个层序。究其原因,除了层序地层划分标准不同外^[10],研究范围局限于盆地局部,所用资料较为单一也是造成层序地层划分分歧较大的主要原因。

为了开展全盆地上古生界沉积储层与岩性气藏研究,我们制定了层序地层划分对比的基本原则:① 界面间断原则,即层序内部不存在比层序界面更重要的沉积间断;② 统一性原则,即通过地震大剖面网的层序标定、追踪,通过连井剖面对比、闭合,以便在全盆地进行统一的层序地层划分对比;③ 等时性原则,突破岩石地层单元的束缚,将岩石地层、生物地层及年代地层统一于等时的层序地层格架中;④ 从低频到高频逐级划分对比原则:盆地充填序列—二级层序—三级层序—体系域—准层序组—准层序—砂体成因组合;⑤ 实用性与综合性原则:通过露头、岩心、钻测井、地震资料四位一体,综合分析、相互标定,确保层序格架的可靠性;层序划分适应于含油气盆地工

业制图的需要,确保层序划分对比的实用性与可操作性;进行单井分析—联井剖面对比—平面系列成图,建立全盆地上古生界层序地层立体格架;在旋回对比、分级控制的原则下,分别进行层序、体系域、乃至准层序组沉积制图,分析沉积体系及有利储集相带的展布。

1 层序地层划分与界面识别标志

1.1 层序地层划分

对地震、钻井、测井、露头、岩心及古生物资料进行综合研究,建立层序界面识别标志,分析沉积旋回的组合关系。通过点(关键井分析)—线(井震剖面)—面(平面图)的分析与编图,全面、系统地对整个鄂尔多斯盆地上古生界进行层序地层划分对比,建立了全盆地的上古生界层序地层划分、对比格架(表 1)。

鄂尔多斯盆地上古生界沉积地层可划分 5 个二级层序、19 个三级层序。其中,山西组、石盒子组、石千峰组发育陆相碎屑岩沉积层序,三级层序的延伸年限为 2~3 Ma,本溪组、晋祠组和太原组发育海相、海陆交互相碎屑岩、碳酸盐岩含煤沉积,三级层序延伸年限约 5 Ma。主要含气层段山 2 段—盒 8 段划分为 5 个三级层序,即 SQ8—SQ12。

1.2 地震反射界面特征

区内可以识别的主要地震反射界面包括 T₁₀'、

¹ 中国石油天然气股份有限公司重大科技创新项目“岩性地层油气藏勘探理论与实践”研究成果。
收稿日期: 2008-03-06 收修修改稿日期: 2008-07-10

表 1 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层划分

Table 1 Sequence stratigraphic division of Upper Paleozoic in Ordos Basin

岩石地层①		标志层			层序地层				构造沉积演化
		岩性	测井	地震	层序	体系域	二级层序	界面特征	
石千峰组 (P _{3q})				T ₇	SQ19	HST	SS5	区域不整合面	陆内红色碎屑沉积阶段
						TST			
						LST			
					SQ18	HST			
						TST			
						LST			
					SQ17	HST			
						TST			
						LST			
				T ₈			区域不整合面		
上石盒子组 P _{2h} ¹	盒 1 段	硅质岩	K ₁	T _s	SQ16	HST	SS4	古土壤层	近海湖盆沉积阶段
	盒 2 段					TST			
	盒 3 段				LST				
	盒 4 段				HST				
下石盒子组 P _{2h} ²	盒 5 段	桃花泥岩	K ₂		SQ14	TST			
						LST			
	盒 6 段	HST							
			TST						
	盒 7 段	LST							
	盒 8 上段	HST							
			TST						
	盒 8 下段	骆驼脖子砂岩	K ₃	SQ11	LST				
HST									
				T _s			区域下切面		
山西组 P _{1s}	山 1 段	01 [#] ~03 [#] 煤 砂岩	K ₄	T ₉₋₁	SQ10	HST	SS3	河道下切面	近海平原沼泽与三角洲沉积
						TST			
						LST			
	山 2 段	1 [#] 、2 [#] 煤 冀家沟砂岩			SQ9	HST			
						TST			
						LST			
3 [#] 、4 [#] 煤 北岔沟砂岩	SQ8	HST							
		TST							
		LST							
				T _s			区域海退面		
太原组 P _{1t}	太 1 段	5 [#] 煤 东大窑灰岩	K ₄	T ₉₋₂	SQ7	HST	SS2	统一陆表海沉积阶段	
						TST			
					太 2 段	6 [#] 煤 七里沟砂岩 斜道灰岩			
	TST								
	LST								
	7 [#] 煤 毛儿沟灰岩 桥头砂岩 庙沟灰岩	SQ5			HST				
TST									
LST									
8 [#] 、9 [#] 煤 吴家峪灰岩 10 [#] 、11 [#] 煤 晋祠砂岩	SQ4	HST							
		TST							
		LST							
				T ₉₋₂			构造体制及海侵方向转换面	裂隙海湾与局限陆表海共存	
晋祠组 C _{2jc}		K ₅	T ₉₋₂	SQ3	HST	SS1	构造体制及海侵方向转换面		
					TST				
本溪组 C _{2b}	本 1 段	畔沟灰岩	K ₅	T ₁₀ ¹	SQ2	HST	SS1	构造体制及海侵方向转换面	
	本 2 段	铁铝岩层				TST			
				T ₁₀ ¹	SQ1	HST		区域不整合面	
				T ₁₀ ¹	SQ1	TST		区域不整合面	

¹ 袁效奇, 解丽琴, 贺静, 等. 鄂尔多斯油气区石炭—二叠系划分对比、古环境研究及油气远景评价. 长庆油田分公司勘探开发研究院, 2003

T_{9-2} 、 T_{9-1} 、 T_8 、 T_7 地震反射同相轴。据此可将上古生界划分为 5 个地震层序, 相当于二级层序 SS1—SS5 它们分别对应于一定的构造—沉积演化阶段。二级层序界面特征描述如下:

SS1 底界, 奥陶系顶部不整合面为一个区域性上超/削蚀界面, 对应地震反射波组 T_{10}' , 为一个波谷, 当波谷变宽时, 它对应于波谷的下拐点, 当为复波时, T_{10}' 对应于下波谷。其上 20~80 ms 处有 T_{9-2} 波峰相伴, 在伊盟隆起附近缺失本溪组, T_{10}' 与 T_{9-2} 合二为一。

SS2 底界, 对应于 T_{9-2} 波组, 为一个区域稳定, 易于追踪对比的强振幅、高连续性反射同相轴, 对应于石炭系 9[#]、8[#] 主力煤层反射, 代表广泛泥炭沼泽化事件及区域构造体制转换面^[3, 11]。区域构造格局由南隆北倾、沉积相东西分异转变为北升南降, 沉积相南北分异。

SS3 底界, 区域性海退面, 为太原组顶界或山西组底界, 对应 T_{9-1} —山西组主力煤层反射 (4[#]、3[#] 煤层), 具上超/顶超特征。 T_{9-1} 与 T_{9-2} 形成平行的强振幅高连续反射, 以前的研究资料中统称 T_9 反射。在工区北部地层厚度较薄, 山西组煤层不太发育时, 形成复合波组。 T_{9-1} 煤层反射之下为北岔沟砂岩, 砂岩底界的侵蚀不整合面为严格的 SS3 底界, 但在地震剖面上 T_{9-1} 反射更易于识别, 可以作为一个辅助的识别标志。

SS4 底界, 对应 T_5 —石盒子组底界, 由于骆驼脖子砂岩的密度较低, 与下伏泥岩形成低阻抗界面, 表现为一个连续性较差的波谷。在伊盟隆起区可见到其对下伏地层的削蚀作用, 在苏里格、天环北等地区的地震剖面上可以看到充填上超, 反映侵蚀充填作用。

SS5 底界, 对应 T_8 波组, 石千峰组底界/上石盒子组顶界, 该界面对应一个较弱的反射波峰, 具有上超/削蚀特征, 其上部为不连续的叠瓦状反射 (石千峰组河道砂岩的响应), 其下部为弱反射 (上石盒子组大套泥岩的地震响应)。

SS5 顶界, 即石千峰组顶界, 对应 T_7 反射同相轴, 中—弱振幅, 连续性较差, 代表二叠系与三叠系之间的区域不整合面。

1.3 钻测井层序地层划分步骤

(1) 分析自然伽马曲线台阶, 本溪组—太原组高峰跳跃, 山西组泥岩处于一个较高台阶, SQ11 (盒 8) 为过渡带, 盒 7 开始泥岩稳定在一个低自然伽马基

线;

(2) 区内石炭—二叠系可识别出 K_1 (石盒子组顶部硅质层)、 K_2 (上下石盒子分界, 即桃花泥岩)、 K_3 (石盒子组底部骆驼脖子砂岩)、 K_4 (6[#] 煤层底)、 K_5 (9[#] 煤层底) 等测井标志层, 根据测井曲线台阶及标志层划分二级层序;

(3) 根据自然伽马、电阻率、声波时差、密度等测井曲线组合特征进行岩性归位, 识别砂岩、灰岩、泥岩、泥灰岩、煤层、炭质泥岩等各种岩性, 结合录井资料, 建立粒序及岩性序列;

(4) 根据测井曲线特征、粒序及岩性序列, 划分沉积旋回, 判断加积、退积、进积等沉积地层叠置样式, 依此划分三级层序及体系域;

(5) 通过交叉剖面检查层序划分的合理性。

1.4 层序界面类型与识别标志

三级层序界面类型丰富 (表 2), 除了与二级层序界面相同的: ① 区域不整合面 (T_{10}' 、 T_8 、 T_7), ④ 构造体制转换面 (T_{9-2}), ④ 区域海退面 (T_{9-1}) 外, 还发育 1/4 河道下切面 (表现为箱型、钟型测井曲线底部突变面, 岩心及露头上可见到砂岩底部的冲刷侵蚀面, 如 SQ11 底界), 1/2 区域暴露面 (古土壤层发育, 因赋存较多放射性元素, 测井响应表现为自然伽马高异常), 3/4 煤层顶界面 (如 SQ3 顶部的 8[#]、9[#] 煤层, SQ5 顶部的 7[#] 煤层, SQ6 顶部的 6[#] 煤层, 这些煤层一般位于沉积旋回的上部, 代表 HST 晚期海退/湖退, 沼泽化的产物), ⑧ 灰岩底界 (灰岩—黑色页岩—粉砂岩及细砂岩—煤层构成约旦尔旋回, 灰岩经常直接覆盖于煤层之上, 代表新的海进—海退旋回的开始), 以及 ⑦ 地层叠置样式转换面。

图 1 列出了几种典型的层序界面 (A—SQ11 底部河道侵蚀面, B—SQ9 底部暴露面, C—地震剖面上的上超与削截)。

2 层序结构及演化

2.1 层序结构

SQ1—SQ7 为海相及海陆交互相层序, SQ8—SQ19 为陆相湖盆沉积层序。

海相层序 (SQ1—SQ7) 发育于克拉通陆表海环境、该时期沉积地形坡度平缓, 研究区不发育滨岸地形坡折带、因而低位体系域不发育 (图 2A)。海水较浅且进退频繁, 大范围内为泻湖、潮坪环境, 东南部发育潮下带灰岩, 中南部发育孤立的障壁岛。北部靠近物源区发育扇三角洲沉积。海侵体系域主要发育潮

下带灰岩及泻湖泥岩, 形成退积序列, 高位体系域发育潮坪相砂质泥岩、煤层及障壁岛砂岩, 呈弱进积或加积序列。一般而言, 灰岩底界反映出大规模的海侵已经开始, 首次海泛面应该位于灰岩底界之下的某个位置^[11, 12]。分布面积最广、岩性最纯的灰岩层位代表最大海泛面位置, 灰岩顶界海水已经变浅, 其上的碎屑岩及较厚煤层反映海平面降低, 发生陆源碎屑物质进积与沼泽化事件。

陆相层序 (SQ 8—SQ 19) 发育低位、湖侵及高位体系域。低位体系域一般为砂砾岩、砂岩组成的冲积—河流沉积, 底界为河道侵蚀面, 河道砂岩与河漫泥岩构成下粗上细的序列, 具二元沉积结构。湖侵体系域一般为河漫、决口扇、三角洲平原及前缘泥岩, 煤层及炭质泥岩、泥质粉砂岩沉积, 砂岩厚度薄, 构成向上变

细的退积序列, 湖岸线向陆迁移。高位体系域主要为砂泥薄互层夹煤层组成的滨浅湖及三角洲沉积, 在三角洲前缘河口坝区发育向上变粗的进积序列 (图 2B)。北部高位体系域沉积多被冲刷侵蚀, 保存较少。首次湖泛面可以见到高伽马泥岩或泥炭沉积, 为退积—加积转换面。最大湖泛面为进积—退积转换面, 一般发育黑色泥岩、煤层或炭质泥岩。总体而言, 低位体系域分布局限, 有些地段层序底界为土壤暴露面, 首次湖泛面与层序底面界重合。

2.2 层序地层演化

上古生界可划分为 5 个二级层序, 分别对应不同的构造—沉积演化阶段。

就古气候而言, 本溪—太原期 (SS1—SS2) 为湿热—温湿气候, 在奥陶系灰岩风化壳之上形成灰色、

表 2 层序地层界面类型及识别标志

Table 2 Identification and classification of sequence stratigraphic boundaries

界面类型	地震反射	测井曲线	露头、岩心	典型实例
区域不整合面	削蚀、上超 T_{10}' 、 T_8 、 T_7	自然伽马台阶, 曲线形态突变	风化壳, 低角度不整合, 区域性河道侵蚀面	奥陶系顶风化壳, 石千峰、石盒子顶底不整合
区域海退面	顶超、下超、高连续强振幅煤层反射 T_{9-1}	自然伽马台阶	山西组底部煤层, 局部被北岔沟砂岩冲刷	山西组底 / 太原组顶
构造体制转换面 (海侵方向转化面)	顶超、下超、高连续强振幅煤层反射 T_{9-2}	低伽马、低密度、高电阻、高声波时差的测井曲线尖峰, 上下为高峰跳跃	本溪期南高北低, 海侵来自东北方向; 太原期南低北高, 海侵来自东南方向, 由南向北灰岩厚度减薄, 层数减少	SQ3 顶部的 8 [#] 、9 [#] 煤层
河道下切面	双向上超、下切充填, 低连续弱振幅反射 T_s	箱型、钟型测井曲线底部突变面	砂砾岩底部的冲刷侵蚀面	SQ11 (底界)
区域暴露面		孤立的自然伽马高尖峰	根土层或古土壤层	SQ8—19
灰岩底界		低伽马、高密度、高电阻、低声波时差的测井曲线尖峰	作为约旦尔旋回的底界, 代表海进—海退旋回的开始。灰岩底界反映大规模的海侵已经开始。严格的层序界面应位于灰岩底界之下的某个位置	SQ1—7
煤层顶界	高连续强振幅反射	低伽马、低密度、高电阻、高声波时差的测井曲线尖峰	煤层顶界面, 一般位于沉积旋回的上部, 代表 HST 晚期水退、沼泽化的产物	SQ8 顶部的 3 [#] 、4 [#] 煤层, SQ6 顶部的 6 [#] 煤层
地层叠置样式转换面	SB—低连续弱振幅、充填上超, MFS—高连续中强振幅反射	SB—钟型、箱型曲线底界, MFS—漏斗型曲线底界	SB 界面由下至上一般出现进积向加积 (或退积) 的转换, MFS 界面由下至上表现为退积向进积 (或加积) 的转换	各层序均可见到

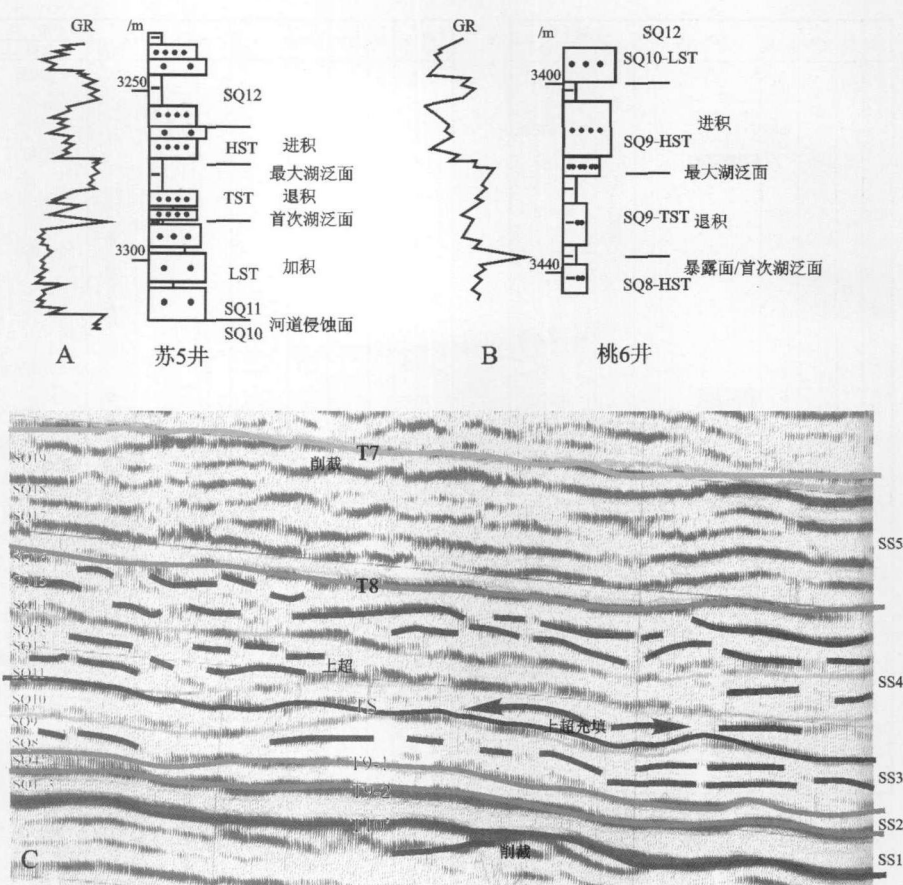


图 1 典型层序地层界面特征

Fig 1 Characteristics of typical sequence stratigraphic boundary

深灰色泻湖相铝土岩、潮下带生物灰岩、含生物屑泥晶灰岩及黑色潮坪相泥炭沉积; 山西期 (SS3) 为温湿气候, 发育深灰泥岩、黑色炭质泥岩及煤层, 形成最重要的含煤层系; 石盒子组 (SS4) 岩性为灰色、绿色、褐灰色夹紫色、杂色, 反映半干旱气候; 石千峰组 (SS5) 岩性以红色、紫红及杂色为主, 为典型的干旱气候。

就海(湖)平面及水深变化而言, 本溪期 (SS1) 经历一个完整的海平面升降旋回, 盆地总体沉降, 海平面升高导致华北海、祁连海东西对进、融合连通, 而后又发生大规模海退、沼泽化, 形成区域广布的 8[#]-9[#] 煤层; 太原期 (SS2) 从庙沟期开始海侵, 毛儿沟期海侵范围迅速扩张; 鄂尔多斯地区的岩性编图表明, 斜道灰岩的厚度最大, 分布范围最广, 反映斜道灰岩沉积期可能达到最大海侵; 东大窑期迅速海退, 海水向盆地东南方向退出; 反映本溪期—太原期—山西期沉积格局由东西分异向南北分异的演化; 至山西早期, 北部物源区显著抬升, 河流三角洲大规模向盆地中央进积, 进入近海沼泽、三角洲阶段; 山西期 (SS3) 在近海湖盆背景的基础上发生湖进—湖退旋回, 山西中晚

期湖平面最高, 沉积较厚的湖相泥岩, 山西末期南北物源区再一次强烈抬升; 石盒子 (SS4) 早期河流三角洲向湖盆进积, 形成重要的储集砂体, 中期湖盆扩张, 形成上石盒子巨厚的湖相泥岩, 而后湖平面迅速下降; 石千峰期 (SS5) 与石盒子期类似, 因为气候干旱, 水体极浅, 成为间歇性湖泊。

(1) SS1(本溪组—晋祠组沉积期) 裂陷海湾与局限海共存阶段

晚石炭世早期, 鄂尔多斯西缘早古生代活动并闭合的贺兰古拗拉槽因发生横向拉伸再次复活, 形成狭窄的北东向张剪性裂陷盆地, 并接受了靖远组和羊虎沟组以泻湖—潮坪沉积为主的、巨厚的裂陷海湾充填; 晚石炭世末, 随地台的持续沉降, 华北海水自北东东方向侵入本区形成受限陆表海, 本溪组 (相当于盆地西缘羊虎沟组上段) 沉积时以中央古隆起相隔, 西缘的裂陷活动已经减弱, 裂陷盆地已逐渐得到补偿, 厚度差别逐渐缩小转化为拗陷盆地, 海湾持续发育但沉积地层厚度变薄, 羊虎沟组上段潮坪沉积发育; 古隆起以东本溪组在奥陶系风化壳基底之上形成

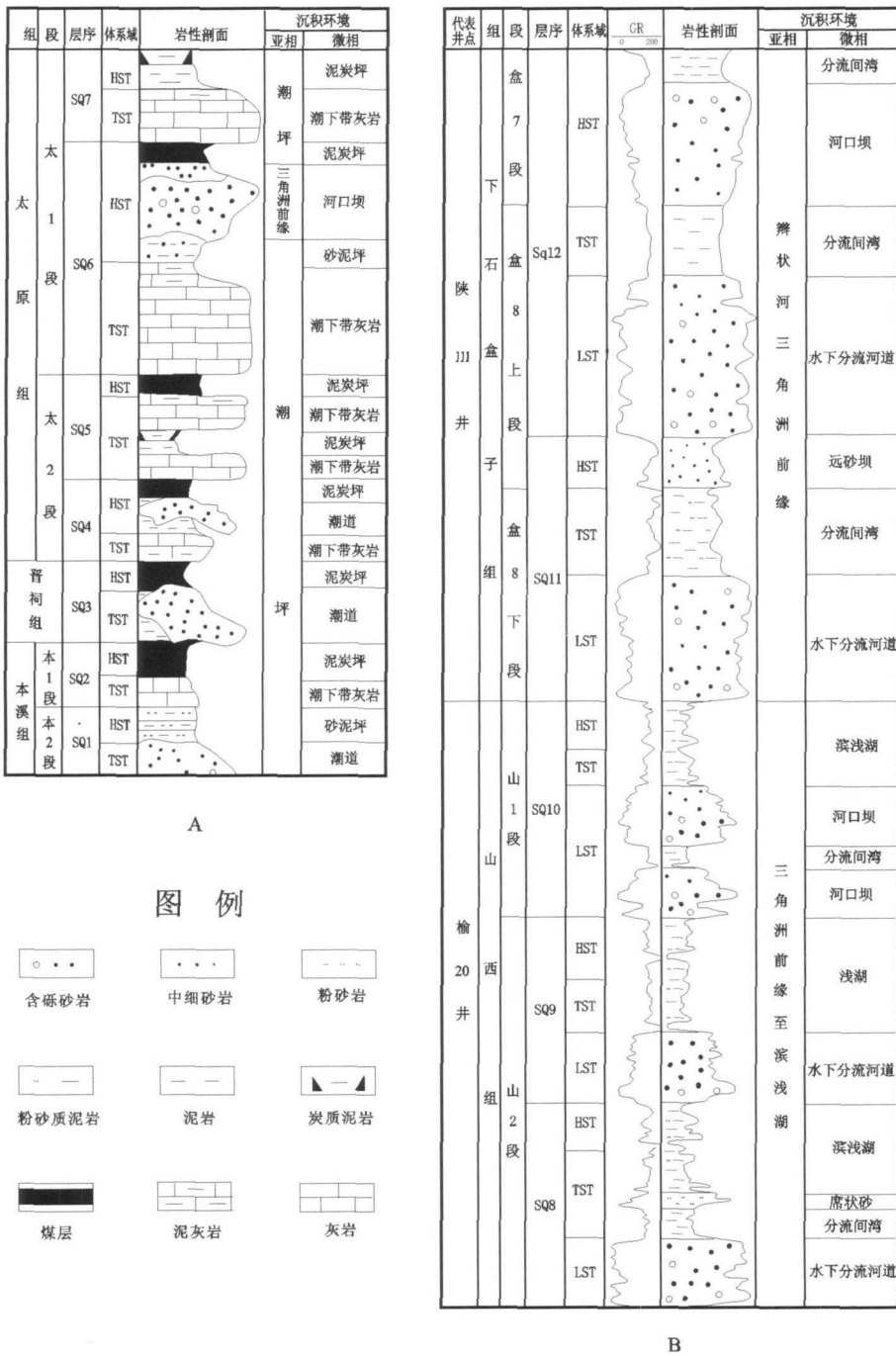


图 2 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层划分及沉积相特征

Fig 2 Sequence stratigraphic division and sedimentary facies of Upper Paleozoic in Ordos Basin

填平补齐式的陆表海障壁砂坝—泻湖—潮坪沉积充填;本溪组晋祠段沉积期,中央古隆起部分潜入水下,华北海域与祁连海域开始连通,晋祠段沉积末期,形成广泛分布、区域上可对比的 δ_1 — δ_2 煤层。

(2) SS2(太原组沉积期)统一陆表海阶段

晚石炭世末,由于西伯利亚板块向南拼合挤压,兴蒙海槽向南俯冲、消减,包括本区在内的华北地台出现了北升南降的构造格局。早二叠世早期,华北

海、祁连海东西对进,汇合形成统一的华北陆表海盆地,来自北缘大青山脉的陆缘碎屑物自北而南源源不断的涌入盆地中来,平面上形成三角洲与潮坪相交错,剖面上出现陆相碎屑岩、煤层、浅海灰岩共存的特有的约旦尔旋回。在东部的陆表海盆地中,岩性岩相类型复杂,自北而南依次出现冲积扇—河流—三角洲平原及前缘—潮坪泻湖—浅海陆棚相等。该期中央隆起已经没入水下,全区连成整体。太原组包括庙沟灰

岩、毛儿沟灰岩、斜道灰岩和东大窑灰岩等多套海陆交互的灰岩夹碎屑岩及煤岩地层, 发育潮下带生物灰岩、泻湖—潮坪砂泥岩夹煤层、障壁砂坝和三角洲砂岩。华北海自东南方向侵入, 灰岩厚度向北西方向变薄, 毛儿沟灰岩—斜道灰岩沉积期达到最大海侵, 其灰岩厚度最大、分布最广, 至东大窑期海水开始向东南退却, 该期灰岩厚度薄, 布局限于盆地东南部。

(3) SS3(山西组沉积期) 近海平原沼泽—三角洲阶段

早二叠世晚期, 鄂尔多斯北缘抬升, 在区域海退陆表海背景基础上, 发育大面积的近海平原泥炭沼泽, 河流、三角洲大范围向盆内迁移, 形成了山西组自生自储的含煤碎屑岩组合。该时期气候潮湿, 岩石类型以灰、灰黑色为主。东南部间或受海侵影响, 在山西组中发育海相沉积夹层。

(4) SS4(石盒子组沉积期) 近海湖盆沉积阶段

中二叠世石盒子组沉积期, 鄂尔多斯地区仍为大华北盆地的一部分, 南华北地区发育代表海相沉积的海绵岩^[11], 鄂尔多斯地区亦发育类似的硅质岩^[11], 反映该区仍受海水的影响, 具有近海湖盆的性质。

中二叠世早石盒子期, 盆地北部构造活动进一步加剧, 陆源碎屑供给充分, 区域上河流下切充填发育,

河流—三角洲向湖盆推进, 自北而南有序地分布着冲积扇—辫状河—辫状河三角洲沉积相, 三角洲前缘相带直抵中南部; 而该区南缘物源供给相对较弱, 仅发育规模较小的三角洲平原及前缘相带, 湖盆区主要分布在延安—环县一带, 使整个地区在南北方向上成为不对称的箕状外形; 至晚石盒子期, 随着南缘构造活动的逐渐加强, 南缘的三角洲相带加宽, 北部的河流冲积体系萎缩, 湖盆自南而北扩展; 下石盒子组由多个河流旋回组成, 构成了上古生界最主要的储集岩系, 上石盒子组发育巨厚的湖相泥岩, 构成上古生界区域盖层。

(5) SS5(石千峰组沉积期) 内陆红色碎屑岩沉积阶段

晚二叠世晚期, 区域上秦岭海槽再度发生向北的俯冲、消减, 兴蒙海槽因西伯利亚板块与华北板块对接碰撞而消亡, 华北地台整体抬升, 研究区转化为内陆坳陷, 形成内陆湖泊和河流充填, 此外, 由于气候趋于干旱, 形成石千峰组红色碎屑岩沉积建造。

3 层序地层模式

综合重点层段层序格架中的砂体类型及分布特点, 建立了三种层序地层模式(图 3—图 5)。

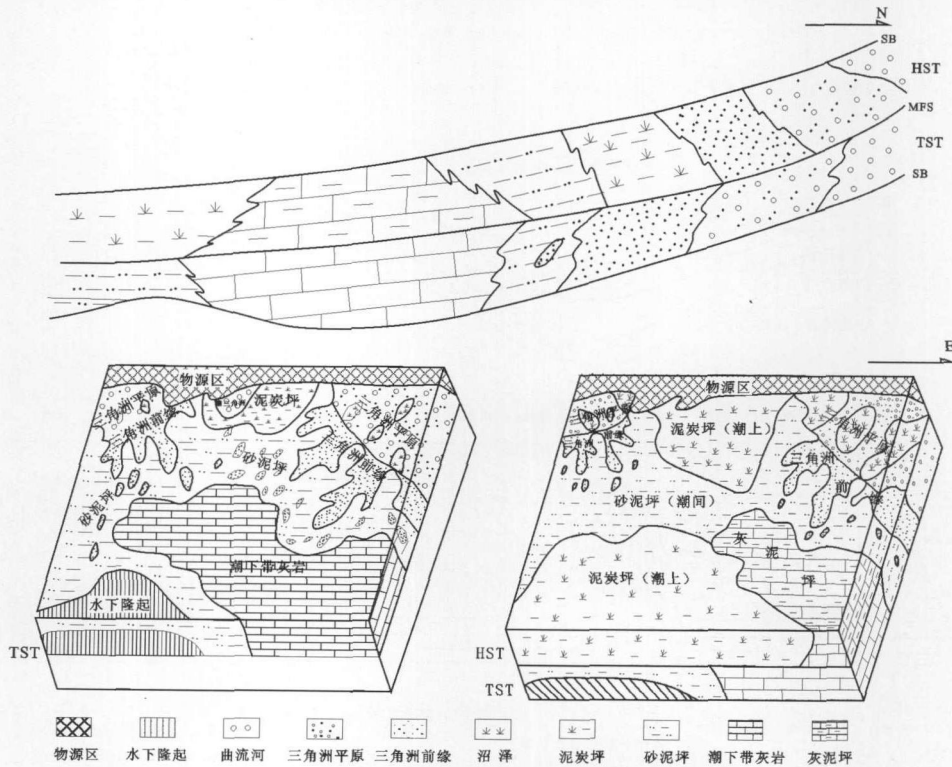


图 3 太原组海陆交互相潮坪—三角洲层序地层模式

Fig 3 Tidal flat-delta sequence stratigraphic model of marine-continental alternative deposition in Taiyuan Formation

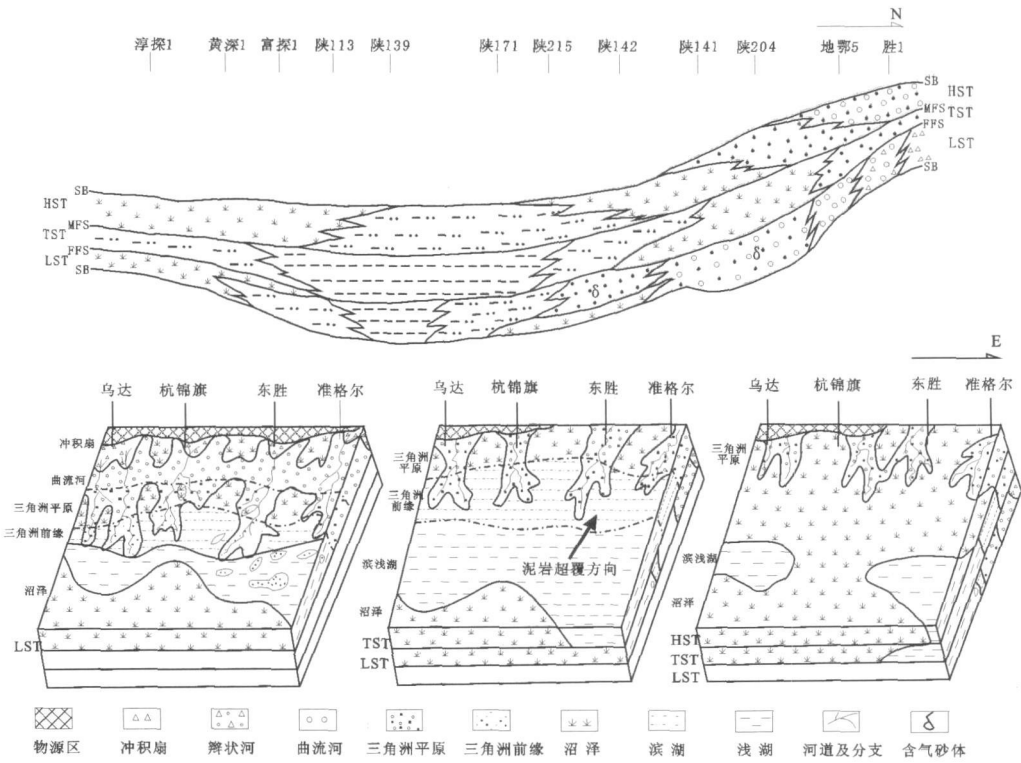


图 4 山西组近海平原沼泽—三角洲层序地层模式

Fig. 4 Sequence stratigraphic model of offshore plain swamp-delta deposition in Shanxi Formation

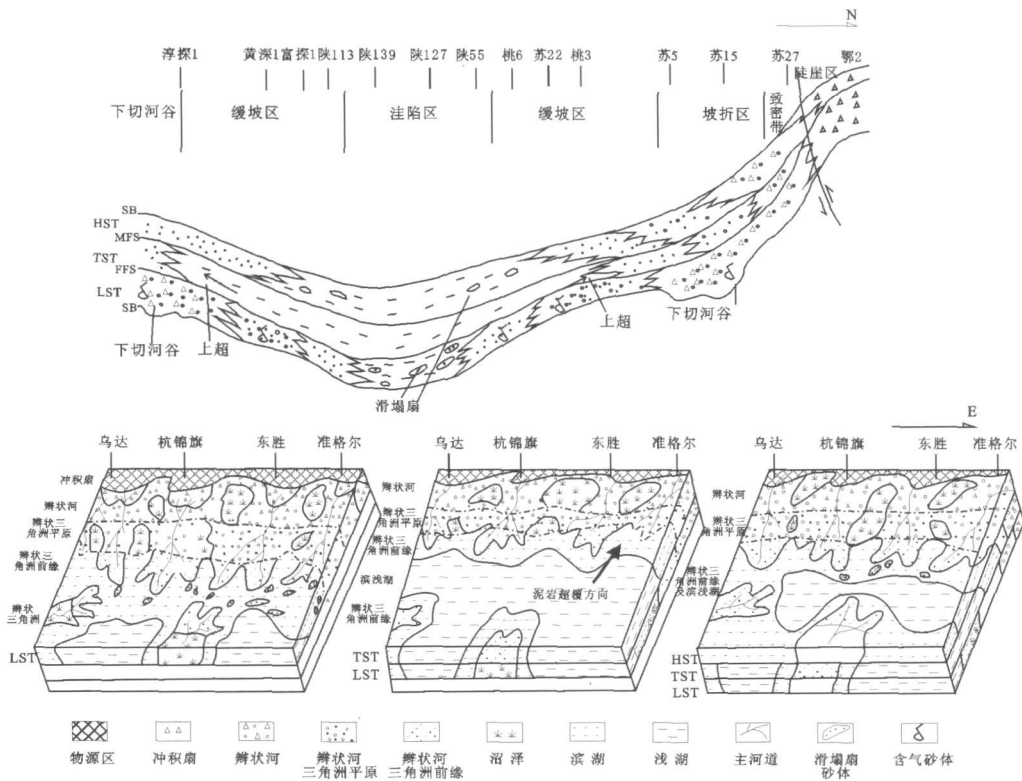


图 5 下石盒子组辫状河—辫状三角洲层序地层模式

Fig. 5 Sequence stratigraphic model of braided river-braided delta deposition in lower Shihezi Formation

(1) 太原组 (SQ4—7) 海陆交互相潮坪—三角洲层序地层模式: 属于克拉通陆表海环境, 区内缺乏滨岸坡折带, LST 不发育。盆地中部 TST 发育潮下带碳酸盐岩沉积, 东北部和西北部发育三角洲沉积, 其它广大地区为潮坪沉积。有利储集砂体为 TST 三角洲前缘水下分流河道、河口坝及潮道砂体, TST 的裂缝灰岩也发生天然气的聚集。HST 主要为潮坪 (灰泥坪、砂泥坪、泥炭坪), 三角洲萎缩, 泥炭沼泽发育, 为烃源岩及盖层的形成时期。

(2) 山西组近海平原沼泽—三角洲层序地层模式: 以山 2 段 (SQ8) 沉积为代表, 形成于区域海退、地形较为平缓的背景之上, 稳定、平缓的克拉通背景决定了主力砂层发育于 LST 时期, 砂体类型主要为曲流河边滩、三角洲平原分流河道、前缘水下分流河道及河口坝砂体。TST—HST 以退积—加积为主, 发育滨浅湖泥岩及沼泽沉积, TST、HST 泥岩向北超覆形成有效圈闭。

(3) 下石盒子组辫状河—辫状三角洲层序地层模式: 以盒 8 段 (SQ11—12) 沉积为代表, 从北部向中南部依次发育陡崖区—坡折区—缓坡区—洼陷区等古地貌单元, 其中坡度变化大的陡崖区和坡折区主要分布于盆地北部, 分别发育冲积扇、辫状河心滩、三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道、河口坝、前缘滑塌扇等砂体类型, 圈闭类型有下切河谷、砂岩上倾尖灭、泥岩超覆及透镜状砂体圈闭等。

4 主要结论

(1) 利用露头、岩心、钻测井、地震资料, 建立层序界面的识别标志, 通过上述资料四位一体, 综合分析、相互标定, 建立了鄂尔多斯盆地上古生界层序地层格架。上古生界被划分为 5 个二级层序、19 个三级层序。

(2) SQ1—SQ7 为海相—海陆交互相层序, 每个三级层序可划分为海侵和高位两个体系域; 由于研究区不发育滨岸地形坡折带, 低位体系域不发育; SQ8—SQ19 为陆相层序, 一般发育低位、湖侵及高位三个体系域。

(3) 二级层序与构造—沉积演化阶段相对应: SS1—裂陷海湾与局限海共存阶段; SS2—统一陆表海阶段; SS3—近海平原沼泽、三角洲阶段; SS4—近海湖盆三角洲沉积阶段; SS5—内陆红色碎屑岩沉积阶段。

(4) 建立了层序格架中的沉积砂体发育模式: 太原组 (SQ4—7) 海陆交互相潮坪—三角洲层序地层模

式, 有利储集砂体为 TST 三角洲前缘水下分流河道、河口坝及潮道砂体, TST 的裂缝灰岩也发生天然气的聚集; 山 2 段 (SQ8) 近海平原沼泽—三角洲层序地层模式, 有利储集砂体为 LST 中的曲流河边滩、三角洲平原分流河道、前缘水下分流河道及河口坝砂体; 盒 8 段 (SQ11—12) 辫状河—辫状三角洲层序地层模式, 在 LST 中发育冲积扇、辫状河心滩、三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道、河口坝、前缘滑塌扇等砂体类型。

参考文献 (References)

- 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 Paleozoic sedimentary system and paleogeography evolution of Ordos Area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 44-51]
- 付金华, 段晓文, 席胜利. 鄂尔多斯盆地上古生界气藏特征 [J]. 天然气工业, 2000, 20(6): 16-20 [Fu Jinhua, Duan Xiaowen and Xi Shengli. Characteristics of Upper Paleozoic gas reservoirs in Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6): 16-20]
- 尚冠雄. 华北地台晚古生代煤地质学研究 [M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1997: 3-12 [Shang Guangxiong. Studies of Coal Geology of Late Paleozoic in North China Platform [M]. Taiyuan: Press of Science and Technology of Shanxi Province, 1997: 3-12]
- 李增学, 李守春, 魏久传. 内表海含煤盆地层序地层分析的思路和方法 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(1): 1-7 [Li Zengxue, Li Shouchun, Wei Jiuchuan. The thought and method of sequence stratigraphic analysis in epicontinental coal-bearing basin [J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(1): 1-7]
- 陈世锐, 刘焕杰. 华北石炭—二叠纪层序地层格架及其特征 [J]. 沉积学报, 1999, 17(1): 63-69 [Chen Shirui, Liu Huanjie. Sequence stratigraphic framework and its characteristics of the Carboniferous-Permian in north China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(1): 63-69]
- 李宝芳, 温显端, 李贵东. 华北石炭、二叠系高分辨率层序分析 [J]. 地学前缘, 1999, 6(增刊): 81-92 [Li Baofang, Wen Xianduan and Li Guidong. High resolution sequence stratigraphy analysis of Carboniferous and Permian System in north China [J]. Earth Science Frontiers China University of Geosciences, 1999, 6(Suppl): 81-92]
- 樊太亮, 郭齐军, 吴贤顺. 鄂尔多斯盆地北部上古生界层序地层特征与储层发育规律 [J]. 现代地质, 1999, 13(1): 32-36 [Fan Tailiang, Guo Qijun, Wu Xianshun. Features of sequence stratigraphy and distribution regularities of reservoir in Upper Paleozoic of north Ordos Basin [J]. Geoscience, 1999, 13(1): 32-36]
- 翟爱军, 邓宏文, 邓祖佑. 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测 [J]. 石油天然气地质, 1999, 20(4): 336-340 [Zhai Aijun, Deng Hongwen, Deng Zuyou. Sequence stratigraphy and reservoir prediction of Upper Paleozoic in Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(4): 336-340]

- 9 贾进华, 刘焕杰, 郭英海. 鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世沉积体系与高频层序旋回 [J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 397-402 [Jia Jinhua, Liu Huanjie, Guo Yinghai. Late Carboniferous depositional systems and high-resolution sequence cycles of the western Ordos basin-taking Hulusitai as an example [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 397-402]
- 10 王英民. 对层序地层学工业化应用中层序分级混乱问题的探讨 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 9-15 [Wang Yingmin. Analysis of the mess in sequence hierarchy applied in the industrialized application of sequence stratigraphy [J]. Lithologic Reservoir, 2007, 19(1): 9-15]
- 11 邵龙义, 张鹏飞, 窦建伟, 等. 含煤岩系层序地层分析的新认识——兼论河北南部晚古生代层序地层格架 [J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1): 1-5 [Shao Longyi, Zhang Pengfei, Dou Jianwei et al. New considerations on coal measures sequence stratigraphy: a case study from the Late Paleozoic coal measures in South Hebei [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 1999, 28(1): 1-5]
- 12 邵龙义, 窦建伟, 张鹏飞. 含煤岩系沉积学和层序地层学研究现状和展望 [J]. 煤田地质与勘探, 1998, 26(1): 67-72 [Shao Longyi, Dou Jianwei, Zhang Pengfei. The status and prospect of sedimentology and sequence stratigraphy research on the coal-bearing strata [J]. Coal Geology & Exploration, 1998, 26(1): 67-72]

Sequence Division and Evolution of Upper Paleozoic in the Ordos Basin

ZHANG Manlang LIXI zhe GU Jiang-ni XIE Wu-ren

(Langfang Branch of PetroChina Exploration and Development Research Institute, Langfang Hebei 065007)

Abstract Through integrated studies of outcrops, cores, drilling well logging and seismic data, sequence interfaces are identified and sequence framework of the Upper Paleozoic of Ordos Basin is established. The Upper Paleozoic of Ordos Basin can be divided into 5 second order sequences and 19 third order sequences, the basic characteristics and constitution of system tracts of which are also analyzed. Each second order sequence corresponds to specific tectonic-deposition evolution stages: SS1 corresponds to rift bay and restricted epicontinental sea coexistence stage; SS2 corresponds to unified epicontinental sea stage; SS3 corresponds to offshore plain swamp-delta stage; SS4 corresponds to seaside lake basin deposition stage; SS5 corresponds to inland red clastic rock deposition stage. Three models are established for the development of sedimentary sandbodies in sequence frameworks (including tidal flat-delta model of marine-continental alternative deposition in Taiyuan Formation, offshore plain swamp-delta model in Shanxi Formation and braided river-braided delta model in lower Shihezi Formation). The main sandbody types and their distribution in sequence frameworks are analyzed and predicted.

Key words Ordos Basin, Upper Paleozoic, sequence division, sedimentary evolution, sandbody types, sequence stratigraphic model