

鄂尔多斯盆地东缘本溪组—太原组层序地层特征

沈玉林¹⁾, 郭英海¹⁾, 李壮福¹⁾, 魏新善²⁾, 贾志刚³⁾

1) 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏徐州 221008;

2) 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西西安 710021;

3) 陕西省煤田地质局, 陕西西安 710054

摘 要: 在垂向沉积序列、岩性组合、泥岩样品的地球化学测试、测井响应等综合研究的基础上, 在鄂尔多斯盆地东缘本溪组—太原组中识别出区域不整合面、区域构造体制转换面、沉积体制转换面、海侵面等层序界面类型。本溪组—太原组形成于陆表海背景之下, 陆表海基底平缓, 层序结构大多为二元体系域结构, 在构造变动、区域海平面下降及差异性压实作用等因素的控制下形成了以 K_1 砂岩和桥头砂岩为代表的低位体系域河道下切充填。建立了区域层序地层格架以及陆表海背景下的缓坡盆地边缘型层序地层模式和陆表海背景下的缓坡型层序地层模式。

关键词: 鄂尔多斯盆地东缘; 陆表海; 层序地层模式; 桥头砂岩

中图分类号: P534.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2009)02-187-07

Sequence Stratigraphy of Benxi-Taiyuan Formation in Eastern Ordos Basin

SHEN Yu-lin¹⁾, GUO Ying-hai¹⁾, LI Zhuang-fu¹⁾, WEI Xin-shan²⁾, JIA Zhi-gang³⁾

1) School of Resources and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008;

2) Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021;

3) Shaanxi Bureau of Coalfield Geology, Xi'an, Shaanxi 710054

Abstract: Based on a study of the vertical sedimentary sequence, the assemblage of vertical lithology, geochemical analyses of mudstone samples, and logging characteristics, the authors recognized such sequence stratigraphy interfaces as regional unconformity, regional tectonic regime interface, sedimentary system interface and transgression surface. The Benxi-Taiyuan Formation was formed in an epicontinental sea that had subdued floor, so most of the sequence structures in Benxi-Taiyuan Formation are of dual system character. Tectonic disturbance, sea level change and differential compaction provided enough accommodation space for the distribution of K_1 sandstone and Qiaotou sandstone. The framework and model of sequence stratigraphy in Benxi-Taiyuan Formation within eastern Ordos basin are established in this paper, which contains type model of ramp marginal basin and type of ramp in an epicontinental sea background.

Key words: eastern Ordos Basin; epicontinental sea; model of sequence stratigraphy; Qiaotou sandstone

近年来随着油气勘探工作的深入开展, 层序地层学在诸如小层对比、含油气系统、圈闭预测、储层和油气藏精细描述等方面的研究显示出强大的生命力, 对指导油气勘探具有重要意义。随着鄂尔多斯地区勘探开发的深入进行, 结合上古生界天然气勘探, 对鄂尔多斯盆地晚古生代的层序地层开展了

大量卓有成效的工作(桂学智, 1993; 武法东等, 1994; 邵龙义等, 1998; 李宝芳等, 1999, 2000; 翟爱军等, 1999; 樊太亮等, 1999; 郭英海等, 1999, 2004; 陈洪德等, 2001; 姜焯等, 2001, 2002; 郑荣才等, 2002), 目前仍认为在鄂尔多斯盆地东缘陆表海背景下, 盆地基底平缓, 层序地层结构大多为二元体系域结构,

收稿日期: 2008-04-15; 改回日期: 2008-11-02。

第一作者简介: 沈玉林, 男, 1981年生。博士研究生, 沉积地质学专业。通讯地址: 221008, 江苏省徐州市解放南路。E-mail: yulinsh@sohu.com。

低位体系发育在盆地边缘或缺失(李宝芳等, 1999, 2000; 郭英海等, 2004; 陈洪德等, 2001; 郑荣才等, 2002; 沈玉林等, 2006, 2007), 但尚未建立鄂尔多斯盆地陆表海背景下的层序地层模式。本次工作通过 5 条露头剖面、100 余口钻测井资料的综合研究, 在研究区本溪组 - 太原组中识别出 8 个层序界面, 建立了陆表海背景下的两种层序地层模式。

研究区位于鄂尔多斯盆地东缘, 在现今的构造格局中处在陕北斜坡和晋西挠褶带之间(图 1)。研究区晚古生代地层自老而新依次为上石炭统本溪组、晋祠组, 下二叠统太原组、山西组, 中二叠统石盒子组和上二叠统石千峰组(表 1)。研究区内太原组内部的主要对比标志层如表 1 所示。受构造沉降、海平面变化、沉积物供给影响, 沉积体系、沉积相及组合类型多样化。研究表明(郭英海等, 1998, 2000, 2004; 沈玉林等, 2006, 2007), 晚石炭世-早二叠世本区为碳酸盐潮坪—障壁—泻湖—浅水三角洲沉积, 伴有河流沉积, 三角洲以河控浅水三角洲为主, 形成陆源碎屑岩夹碳酸盐岩的含煤混合沉积; 中、晚二叠世, 随盆地北缘的抬升、海水退缩, 区域上以河流—三角洲—湖泊体系沉积为主, 形成陆源碎屑岩沉积建造。沉积组合及空间配置: 碳酸盐潮坪—障壁—泻湖—浅水三角洲 - 河流沉积组合, 空间上自中部向边缘依次展布, 主要分布在晋祠组和太原组; 滨浅湖—浅水三角洲—河流沉积组合, 以浅水三角洲、河流沉积为主, 见于山西组; 河流—三角洲—湖泊沉积组合, 以石盒子组较为发育。其中,

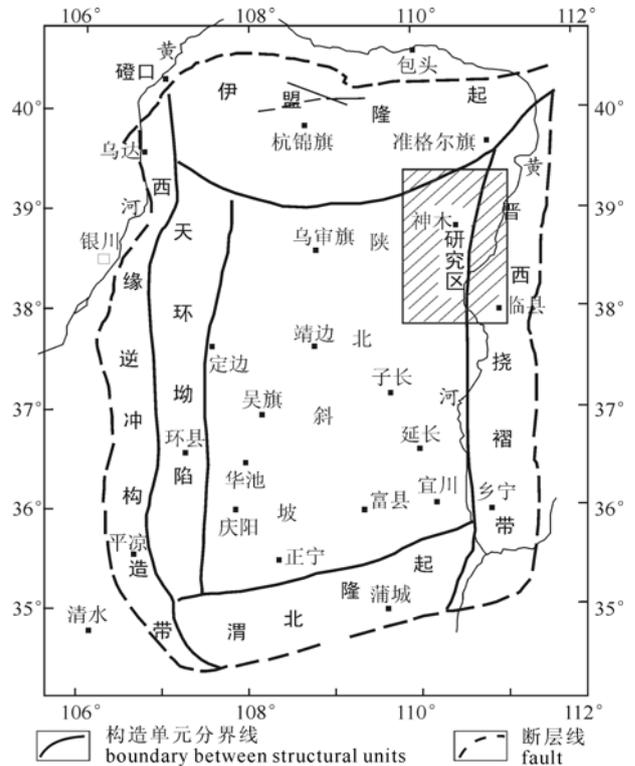


图 1 研究区位置及区域构造单元划分
Fig. 1 Location of the study area and division of structural units in Ordos basin

下石盒子组以河流沉积组合为主, 上石盒子组和石千峰组以湖泊沉积为主。

1 层序界面类型及识别

通过区域构造变动、岩性组合、沉积相构成、测井曲线特征、岩石物性等综合研究, 区内晚古生代地层中存在的区域不整合面、水道下切谷、低水位期暴露面、构造体制转换面等特征界面可作为层序界面, 标志着沉积间断。研究区本溪组—太原组中主要存在以下层序界面:

1.1 二级层序界面及其特征

1.1.1 上古生界与下古生界分界面

为区域不整合面, 对应于地震剖面中的 T_{10} 反射波组。研究区在加里东构造期, 于中奥陶世抬升, 经过长达 140 Ma 的风化剥蚀, 形成全区范围的不整合。晚石炭世早期下沉, 上古生界与下古生界呈平行不整合接触, 其间的界面是长期暴露并遭受风化剥蚀形成的不整合面, 其上发育风化壳, 是良好的层序界面。

1.1.2 太原组主煤层底面

为一区域沉积间断面。在隐伏区为 9#煤层底面, 在河东煤田地区为 13#煤层底面, 在地震反射中对应于 T_{9-2} 波组。其特征: 为一区域构造体制转换

表 1 研究区上古生界地层表(据郭英海等, 2004 修改)
Table 1 Stratigraphic table of Upper Paleozoic in Ordos Basin (modified from Guo et al., 2004)

系	统	组	标志层
石炭系	上统	石千峰组	K_8 砂岩
		上石盒子组	
	中统	下石盒子组	K_5 砂岩
二叠系	中统	山西组	K_3 砂岩
		太原组	L_5 灰岩(上土门页岩)
			10#煤
	下统	太原组	L_4 灰岩(下土门页岩)
			11#煤
		太原组	$L_{2,3}$ 灰岩
石炭系	上统	晋祠组	L_0 灰岩
		本溪组	K_1 砂岩
		太原组	L_b 灰岩
		太原组	铁铝岩

面。晚石炭世末, 受海西运动第三幕的影响, 古构造格局由南隆北倾转为北隆南倾(尚冠雄, 1997); 海侵方向转换面。界面之下晚石炭世海水主要来自东及东北方向, 界面之上即早二叠世早期海水转由南及南东方向侵入; 古生物组合突变面。前人古生物资料研究(何锡麟等, 1990; 王玉净等, 1992; 桂学智, 1993; 汪增荫, 1995; 尚冠雄, 1997)表明, 界面之下发育的蜓类 *Triticites* 带在界面之上消失, 取而代之的是以 *Sphaeroschwagerina*-*Pseudoschwagerina* 带的出现和空前的繁盛; 牙形刺 *Idiognathodus* 仅有个别分子见及, 而以 *Streptognathodus* 为主的组合; 微量元素含量突变面 13JHJ 煤层底板泥岩样品中反映深水环境的微量元素 Zn、P、Sr、Ni、Li、Cu、V 等的含量处于低谷, Sr/Ba 也相对较低, 反映出海平面处于最低位置时, 沉积水体中的微量元素含量受陆源碎屑物质注入的控制, 也可能在 13#煤层形成之前存在短暂的暴露, 经受淡水的风化淋滤(李宝芳等, 1999, 2000)。

1.1.3 北岔沟砂岩底面

该界面为山西组与太原组的分界面, 与地震剖面中的 $T_{9.1}$ 反射波组相对应。其特征: 为区域性海退面。界面之下太原期海侵范围达到晚古生代的最大规模和最大范围, 并形成了以庙沟灰岩-东大窑灰岩为代表的海相灰岩; 界面之上海水南撤, 以海相生物碎屑灰岩为代表的区域性海侵事件不复再有; 河道下切面。“北岔沟砂岩”的下切常造成太原组上部地层部分缺失, 如东大窑灰岩之上的海相泥岩自研究区南部向北变薄、尖灭。

上述 3 个界面均与区域构造变动相对应, 不仅构成三级层序边界, 而且也是二级层序界面的响应。本溪组—太原组沉积经历的地质年限为 28 Ma (308 ~ 280 Ma), 这 3 个界面限定的两个沉积单元平均时限为 14 Ma。由此将榆林地区本溪组—太原组划分为 2 个二级层序, 与其内的三个地震反射波组所限定的 2 个地震层序大体相当。

1.2 三级层序界面及其特征

本溪组—太原组中存在以下三级层序界面:

1.2.1 K₁ 砂岩底面

为一沉积体系转换界面。界面之下为障壁砂坝—泻湖及碳酸盐潮坪沉积, 界面之上在研究区北部为曲流河沉积, 向南演变为三角洲—障壁砂坝沉积; 并对下伏地层存在下蚀作用, 以河曲梁家碛剖面最为典型, 对本溪组 L_b 灰岩造成冲刷(图 2)。此外, 桥头剖面 K_1 砂岩下伏泥岩微量元素含量在层序界面

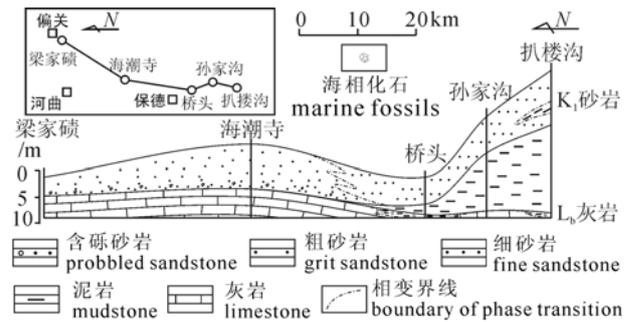


图 2 鄂尔多斯盆地东缘 K_1 砂岩沉积断面图
Fig. 2 Sedimentary section of K_1 sandstone in eastern Ordos basin

附近变化急剧, 主要表现为反映深水环境的微量元素 Zn、P、Sr、Ni、Li、Cu、V 等的含量处于低谷, 暗示着相对海平面的下降, 可作为层序界面识别的辅助标志。

1.2.2 桥头砂岩底面

为一沉积体系转换面, 界面之下为潮坪沉积, 界面之上在研究区北部为河流沉积, 向南过渡为三角洲沉积, 最终尖灭于南部的潮坪沉积之中, 在南部绥德—柳林一线以南井区未见桥头砂岩沉积。在研究区北部表现为河道下切特征, 地震反射中对应于 $T_{9.2}$ 与 $T_{9.1}$ 波组之间的连续性强的波谷。在研究区北部地区河道下蚀作用明显, 切割下伏 L_1 灰岩及其相当层位的海相泥岩(图 3)。

1.2.3 L_b 、 L_4 、 L_5 灰岩底面

为区域海侵冲刷面。界面上、下沉积体系发生改变, 界面之下为障壁砂坝—泻湖沉积, 界面之上为碳酸盐潮坪沉积, 而且这 3 套灰岩常对下伏地层造成冲刷。

由此可将鄂尔多斯盆地东缘本溪组—太原组划分两个二级层序, 与地震层序相当, 并依据冲刷间断面、沉积体系转换面、地层叠加样式、古土壤层等特征, 可将本溪组—太原组进一步划分为 7 个三级层序、16 个体系域, 建立了研究区的层序地层格架。

2 层序地层特征

此以研究区中北部地区桥头剖面为例介绍研究区层序地层的发育特征。

(1)层序 1 底界为奥陶系风化面(区域不整合面), 顶界为 L_b 灰岩底面。该层序由水进体系域和高位体系域构成。水进体系域由铝质泥岩组成, 高位体系域由铁质泥岩组成。

(2)层序 2 底界为 L_b 灰岩底面, 顶界为 K_1 砂岩底面。层序结构包括水进体系域和高位体系域。水

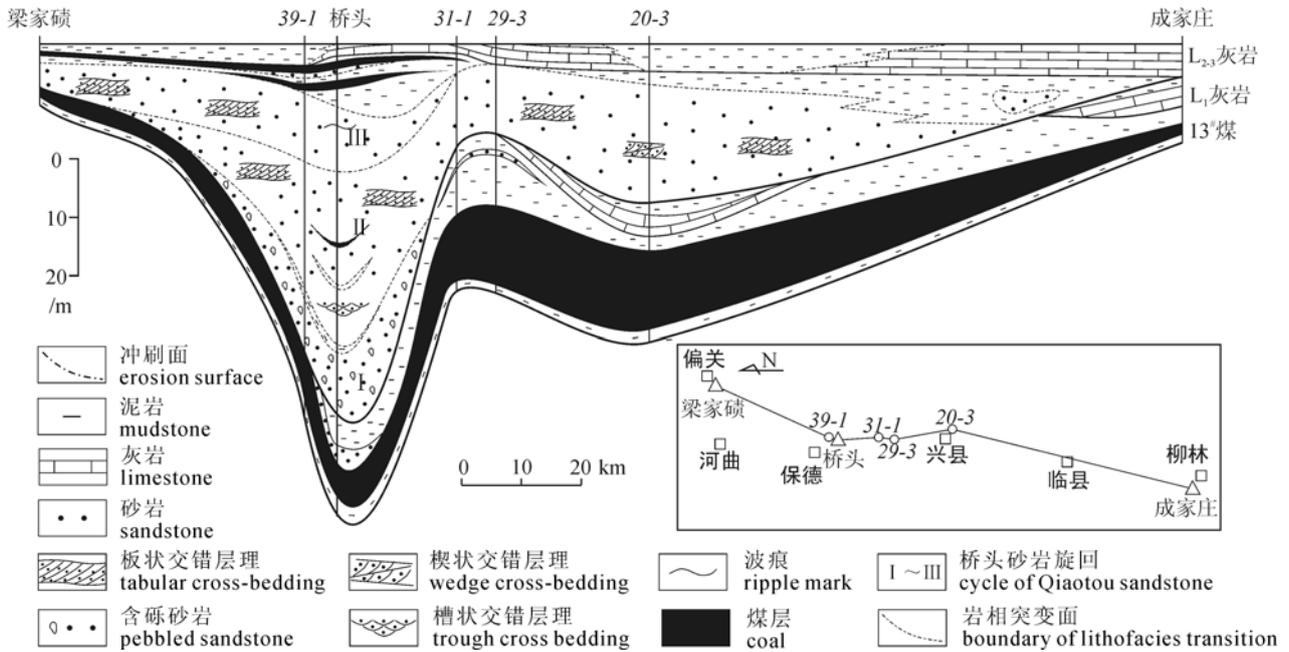


图3 鄂尔多斯盆地东缘桥头砂岩沉积断面图
 Fig. 3 Sedimentary section of Qiaotou sandstone in eastern Ordos basin

进体系域主要由 L_b 灰岩组成，在局部地区相变为海相泥岩沉积， L_b 灰岩为本溪组最大海侵沉积充填，其顶面代表最大海侵面。高位体系域由泻湖亚相铁质泥岩及铝质泥岩组成，在北部井区因受 K_1 砂岩的冲刷而保存不全。

(3) 层序3底界为 K_1 砂岩底面，为河道下切面，顶界为 13#煤层底面，大致与晋祠组相当。层序结构包括低位体系域、水进体系域和高位体系域。低位体系域为含砾粗砂岩、粗砂岩河道充填沉积，水进体系域因受扒楼沟期海侵作用的影响，为河漫湖泊泥岩夹煤层及泥坪泥岩沉积，高位体系域由泥质粉砂岩及砂质泥岩组成。

(4) 层序4底界为 13#煤层底面，顶界为桥头砂岩底面。包括水进体系域和高位体系域。水进体系域为区域稳定的 13#煤层，高位体系域为桥头砂岩，常因河道下切而保存不全，甚至缺失。在研究区南部井区由 L_1 灰岩及泥坪相泥岩组成，构成海退背景下沉积。

(5) 层序5底界为桥头砂岩底面，顶界为 L_4 灰岩(在桥头剖面相变为下土门页岩，间夹三层叠锥灰岩)底面。层序结构包括低位体系域、水进体系域和高位体系域。低位体系域在桥头剖面由河流回春形成的河道砂岩充填组成，水进体系域由区域海平面上升的背景下形成的潮坪亚相泥岩、煤层及碳酸盐潮坪石灰岩组成，高位体系域由潮坪亚相粉砂质泥

岩及煤层组成。 L_{2-3} 灰岩顶面代表了该层序的最大海泛面。

(6) 层序6底界为 L_4 灰岩底面，顶界为 L_5 灰岩(在桥头剖面相变为上土门页岩)底面。层序结构包括水进体系域和高位体系域。水进体系域由 L_4 灰岩或其相变的粉砂质泥岩、页岩组成，高位体系域由潮坪亚相粉砂质泥岩及薄煤层组成。 L_4 灰岩为区域分布广泛、质地纯净的生物灰岩沉积，是整个鄂尔多斯地区晚古生代最大海侵期的产物(郭英海等, 1999)。

(7) 层序7底界为 L_5 灰岩的底面，顶界为“北岔沟砂岩”底面或相当层位。层序结构包括水进体系域和高位体系域。水进体系域主要由 L_5 灰岩及其相变的海相泥岩组成，与 L_4 灰岩相比，因东大窑期海侵规模有限， L_5 灰岩分布很局限，高位体系域因上覆北岔沟砂岩的下切而保存不全。

3 层序地层模式

SQ1 充填沉积形成于下古生界准平原化风化基底之上，为研究区晚古生代填平补齐阶段。SQ2 受区域南高北低的古构造格局及区域海平面变动的控制，张家沟期海侵形成的碳酸盐岩沉积由北向南超覆。SQ3 随着区域古构造格局的改变，南北差异缩小，北部物源区逐渐控制研究区的沉积充填，受区域构造格局及差异性压实作用的控制，在海平面下

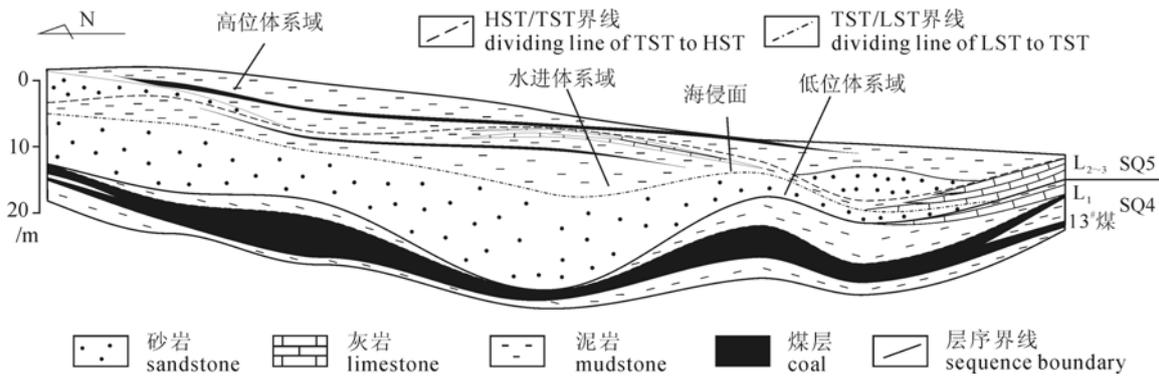


图 4 具缓坡边缘的盆地内沉积的 I 型层序地层分布模式
 Fig. 4 Distribution pattern of type I sequence stratigraphy in the basin with ramp margin

降期间形成了河道下切充填的低位体系域沉积(K₁砂岩)。水进体系域扒楼沟期海侵形成的碳酸盐岩沉积主要由北向南超覆, 研究区南部吴堡附近有小规模海侵。晚石炭世末, 研究区构造体制发生转变, 由南隆北倾转为北隆南倾(尚冠雄, 1997), 在构造转型期残留海背景下形成了区域稳定发育的主煤层(13#煤层), 煤层顶面代表了最大海侵面。高位体系域沉积时期, 区域构造格局渐趋稳定, 北高南低的古地貌格局日趋明显, 形成了碎屑潮坪的泥质粉砂岩及泥岩沉积, 局部井区出现 L₁ 灰岩及相应层位的海相泥岩沉积, 由于古构造体制的改变, 海水改由 SE 方向侵入, 碳酸盐岩沉积由南往北超覆。随着北高南低的地形差异的加剧, 在庙沟期海侵结束后, 海平面下降至最低位置时, 河流下切作用显著, 并于海平面上升初期, 加之差异性压实作用形成的地形负地形, 形成了区域分布连片、南北向展布的 SQ5 低位体系域河道下切充填沉积(桥头砂岩), 受毛儿沟期海侵作用的影响, 水进体系域形成往北超覆的 L₂₋₃ 灰岩沉积, 高位体系域在区域海退的背景下, 在研究区中北部地区形成了向研究区南部进积“上马兰砂岩”沉积, 但该套砂岩的展布相对较为局限。SQ6 受北部物源区抬升的影响, 水进体系域碳酸盐岩(L₄ 灰岩)沉积往北常相变为“七里沟砂岩”沉积, 高位体系域形成陆相碎屑沉积向研究区南部进积。SQ7 水进体系域因北部物源区的持续抬升, 碳酸盐岩(L₅ 灰岩)沉积局限在研究区南部井区, 往北相变为海相泥岩或碎屑潮坪沉积, 高位体系域常因上部北岔沟砂岩的冲刷而保存不全。本溪组与晋祠组碳酸盐岩沉积主要由北向南超覆, 超覆点随海侵规模、古构造格局的差异规律性变动。太原组碳酸盐岩沉积由南向北超覆, 超覆点迁移受海侵规模及北部物源区抬升强弱的控制。由此, 本溪组 - 太原组

可概括为两种层序地层模式:

3.1 陆表海背景下的缓坡盆地边缘 I 型层序地层模式

SQ3、SQ5 层序结构包括低位体系域、水进体系域和高位体系域, 形成于陆表海背景下、北高南低的古斜坡上, 沉积基底平缓, 研究区(甚至鄂尔多斯地区)内不存在坡折带和与之有关的盆底扇和斜坡扇, 随着海平面相对下降(分别对应扒楼沟期、庙沟期海平面相对下降), 河流深切作用可下切至低水位滨岸的障壁砂坝—泻湖沉积乃至开阔潮下沉积, 但不会继续向下切入, 低位体系域是由厚度相对薄的低水位楔构成(图 4)。

3.2 陆表海背景下的缓坡 II 型层序地层模式

陆表海背景条件下形成的 SQ1、SQ2、SQ4、SQ6 和 SQ7 由水进体系域和高位体系域组成, 缺失低位体系域, 水进体系域和高位体系域与 I 型层序中的相似。其特征为陆上暴露和沉积滨线坡折向陆方向的上超向下迁移、没有与河流复活相伴的陆上侵蚀作用以及沉积相向盆地的迁移(图 5)。

4 结论

(1) 在垂向沉积序列、岩性组合、泥岩样品的地球化学测试、测井响应等综合研究的基础上, 在本溪组—太原组中识别出区域不整合面、区域构造体制转换面、河道下切面、沉积体制转换面、海侵面等层序界面类型;

(2) 将研究区本溪组—太原组划分为 7 个三级沉积层序, 并依据岩性组合、沉积相构成、测井响应等特征划分出 16 个体系域。本溪组—太原组形成于陆表海背景之下, 陆表海基底平缓, 层序结构大多为二元体系域结构, 在构造变动、区域海平面下降及差异性压实作用等因素的控制下形成了以 K₁

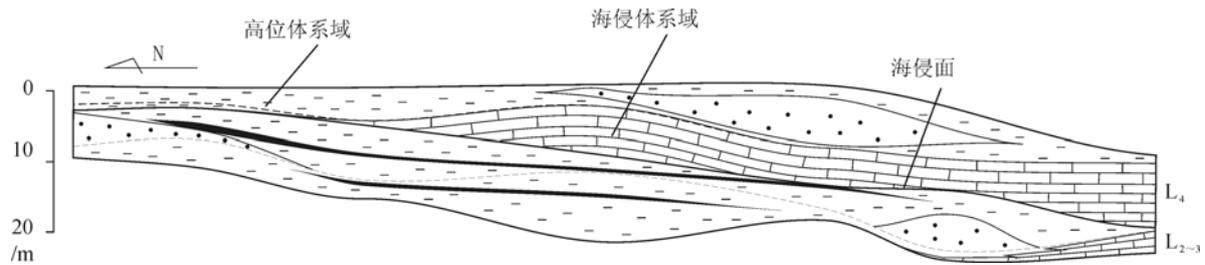


图5 II型层序地层分布模式(图例同图4)

Fig. 5 Distribution pattern of type II sequence stratigraphy (for legend see Fig 4)

砂岩、桥头砂岩为代表的低位体系域的河道下切充填;建立了区域层序地层格架、以及陆表海背景下的缓坡盆地边缘型层序地层模式和陆表海背景下的缓坡型层序地层模式。

参考文献:

- 陈洪德, 侯中健, 田景春, 刘文均, 张锦泉. 2001. 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]. 21(3): 16-22.
- 樊太亮, 郭齐军, 吴贤顺. 1999. 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. 13(1): 32-36.
- 桂学智主编. 1993. 河东煤田晚古生代聚煤规律与煤炭资源评价[M]. 太原: 山西科学技术出版社.
- 郭英海, 刘焕杰, 陈孟晋, 著. 2004. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积演化[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社.
- 郭英海, 刘焕杰, 权彪, 汪泽成, 钱凯. 1998. 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, 16(3): 44-51.
- 郭英海, 刘焕杰. 1999. 鄂尔多斯地区晚古生代的海侵[J]. 中国矿业大学学报, 28(2): 126-129.
- 郭英海, 刘焕杰. 2000. 陕甘宁地区晚古生代的沉积体系[J]. 古地理学报, 2(1): 19-30.
- 何锡麟, 朱美丽, 范炳恒著. 1995. 山西太原东山晚古生代地层划分对比及古生物研究[M]. 长春: 吉林大学出版社.
- 姜焯, 李宝芳, 王绍昌. 2001. 鄂尔多斯陆表海层序地层中的低位体系域沉积——以太原组上段桥头砂岩为例[J]. 现代地质, 15(4): 425-430.
- 姜焯, 李宝芳. 2002. 鄂尔多斯东北部太原组上部灰岩段高分辨率层序地层分析[J]. 煤田地质与勘探, 30(3): 5-8.
- 李宝芳, 温显端, 李贵东. 1999. 华北石炭、二叠系高分辨率层序地层分析[J]. 地学前缘, 6(增刊): 81-94.
- 李宝芳, 温显端, 李贵东. 2000. 中朝地台石炭系、二叠系层序地层和岩相古地理[A]. 见: 王鸿祯等著. 中国层序地层研究. 广州: 广东科学技术出版社, 206-226.
- 尚冠雄主编. 1997. 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.
- 邵龙义, 窦建伟, 张鹏飞. 1998. 含煤岩系沉积学和层序地层研究现状和展望[J]. 煤田地质与勘探, 26(1): 4-9.
- 沈玉林, 郭英海, 李壮福, 孙锦锦. 2007. 鄂尔多斯盆地北部苏里格庙含油气区上古生界层序地层研究[J]. 地球学报, 28(1): 72-78.
- 沈玉林, 郭英海, 李壮福. 2006. 鄂尔多斯盆地苏里格庙地区二叠系山西组及下石盒子组盒八段沉积相[J]. 古地理学报, 8(1): 53-62.
- 汪曾荫. 1995. 华北地台晚古生代年代地层系统[J]. 中国煤田地质, 7(3): 17-23.
- 王玉净, 袁效奇, 耿国仓. 1992. 鄂尔多斯盆地石炭纪蜓类研究新进展及其古地理面貌初探[J]. 微体古生物学报, 9(2): 127-150.
- 武法东, 陈钟惠, 张守良, 葛立刚. 1994. 华北晚古生代含煤盆地层序地层初探[J]. 中国煤田地质, 6(1): 11-18.
- 翟爱军, 邓宏文, 邓祖佑. 1999. 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测[J]. 石油与天然气地质, 20(4): 336-340.
- 郑荣才, 文华国, 梁西文. 2002. 鄂尔多斯盆地上古生界高分辨率层序地层分析[J]. 矿物岩石, 22(4): 66-74.

References:

- CHEN Hong-de, HOU Zhong-jian, TIAN Jing-chun, LIU Wen-jun, ZHANG Jin-quan. 2001. Study on sequence stratigraphy of deposits and tectono-sedimentary evolution in Ordos basin during late Palaeozoic[J]. Journal of Mineral petrol, 21(3): 16-22(in Chinese with English abstract).
- FAN Tai-liang, GUO Qi-jun, WU Xian-shun. 1999. Features of sequence stratigraphy and distribution regularities of reservoir in upper Paleozoic of north Ordos basin[J]. Geoscience, 13(1): 32-36(in Chinese with English abstract).
- GUI Xue-zhi (ed.). 1993. Late Paleozoic coal accumulation and evaluation of coal resources of Hedong coalfield in Shanxi[M]. Taiyuan, Shanxi province, China: Shanxi science and technology press (in Chinese with English abstract).
- GUO Ying-hai, LIU Huan-jie, CHEN Meng-jin(eds). 2004. The sedimentary evolution of late Paleozoic in Ordos basin[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press (in Chinese).
- GUO Ying-hai, LIU Huan-jie, QUAN Biao, WANG Ze-cheng, QIAN Kai. 1998. Late Paleozoic sedimentary system and paleogeographic evolution of Ordos area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 16(3): 44-51(in Chinese with English abstract).
- GUO Ying-hai, LIU Huan-jie. 1999. Transgression of late Paleozoic era in Ordos area[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 28(2): 126-129(in Chinese with English abstract).
- GUO Ying-hai, LIU Huan-jie. 2000. The late Palaeozoic depositional systems of Shaanxi-Gansu-Ningxia area[J]. Journal of Palaeogeography, 2(1): 19-30(in Chinese with English abstract).
- HE Xi-lin, ZHU Mei-li, FAN Bing-heng(eds). 1995. The late Pa-

- leozoic stratigraphic classification, correlation and biota from eastern hill of Taiyuan city, Shanxi province[M]. Changchun: Jilin University Press (in Chinese).
- JIANG Ye, LI Bao-fang, WANG Shao-chang. 2001. Lowstand system tract sandstone in the sequence of epicontinental sea in Ordos: a case of Qiaotou sandstone of upper Taiyuan formation[J]. *Modern Geoscience*, 15(4): 425-430(in Chinese with English abstract).
- JIANG Ye, LI Bao-fang. 2002. High-resolution sequence analysis on limestone member, upper Taiyuan formation, northeastern Ordos[J]. *Coal Geology & Exploration*, 30(3): 5-8 (in Chinese with English abstract).
- LI Bao-fang, WEN Xian-duan, LI Gui-dong. 1999. High resolution sequence stratigraphy analysis on the Permo-Carboniferous in north China platform[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(Suppl): 81-94(in Chinese with English abstract).
- LI Bao-fang, WEN Xian-duan, LI Gui-dong. 2000. Upper carboniferous and lower Permian sequence stratigraphy and sea-level changes on Sino-Korea platform[A]. In: Wang Hong-zhen, et al. (eds). *Research on the sequence stratigraphy of China*. Guangzhou, China: Guangdong Science & Technology Press, 206-226(in Chinese with English abstract).
- SHANG Guan-xiong (ed.). 1997. Late paleozoic coal geology of north China platform[J]. Taiyuan, Shanxi province, China: Shanxi science and technology press (in Chinese).
- SHAO Long-yi, DOU Jian-wei, ZHANG Peng-fei. 1998. The status and prospect of sedimentology and sequence stratigraphy research on the coal-bearing strata[J]. *Coal Geology & Exploration*, 26(1): 4-9(in Chinese with English abstract).
- SHEN Yu-lin, GUO Ying-hai, LI Zhuang-fu, SUN Fen-jin. 2007. Sequence stratigraphy study in upper Paleozoic of suligemiao oil and gas-bearing area, north Ordos basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(1): 72-78(in Chinese with English abstract).
- SHEN Yu-lin, GUO Ying-hai, LI Zhuang-fu. 2006. Sedimentary facies of the Shanxi formation and member 8 of Xiashihezi formation of Permian in suligemiao area, Ordos basin[J]. *Journal of paleogeography*, 8(1): 53-62(in Chinese with English abstract).
- WANG Yu-jing, YUAN Xiao-qi, GEN Guo-cang. 1992. A new advance of carboniferous fusulinid study and preliminary exploration of the paleogeography in the Ordos basin[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 9(2): 127-150(in Chinese with English abstract).
- WANG Zeng-yin. 1995. The Paleozoic chronostratigraphic scale of north China platform[J]. *China Coal Geology*, 7(3): 17-23(in Chinese).
- WU Fa-dong, CHEN Zhong-hui, ZHANG Shou-liang, GE Li-gang. 1994. Primary study on the sequence stratigraphy of coal-bearing strata of upper Paleozoic in north China[J]. *China Coal Geology*, 6(1): 11-18(in Chinese with English abstract).
- ZHAI Ai-jun, DENG Hong-wen, DENG Zu-you. 1999. Sequence stratigraphy and reservoir prediction of upper Paleozoic in Ordos basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 20(4): 336-340(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Rong-cai, WEN Hua-guo, LIANG Xi-wen. 2002. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy for upper Paleozoic in Ordos basin[J]. *Journal of Mineral Petrol*, 22(4): 66-74(in Chinese with English abstract).