

文章编号: 1000-0550(2006) 02-0251-08

鄂尔多斯盆地东北部山西组高分辨层序地层学研究

梁积伟 李文厚

(西北大学大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质系 西安 710069)

摘要 依据 4 个露头剖面、35 口井的岩心和 302 口井的测井资料,按照基准面旋回的原理对鄂尔多斯盆地东北部山西组进行了高分辨率层序地层划分。作为晚古生代长期基准面下降旋回的组成部分,山西组构成一个中期基准面旋回(MSC2),自下而上划分为五个短期旋回(SSC1、SSC2、SSC3、SSC4、SSC5);探讨了各短期旋回的层序结构、叠加样式和空间变化;建立了研究区山西组高分辨率层序地层对比格架。通过对基准面旋回期间体积分配和相分异的分析,讨论了短期基准面旋回过程中有利储集砂体的沉积相类型和控制因素;指出中期基准面旋回的早期的短期基准面上升半旋回形成最有利储集砂体,沉积微相为三角洲平原分流河道和三角洲前缘水下分流河道。应用单因素综合作图法,研究了储集砂体的空间展布。

关键词 山西组 高分辨率层序地层 基准面旋回 层序地层格架 储集体
第一作者简介 梁积伟 男 1969 年出生 博士研究生 沉积学与盆地分析
中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

以基准面变化为驱动机制的高分辨率层序地层学^[1]自提出以来,其理论、概念和方法经过沉积学家和地层学家的研究^[2-9]日臻完善,为非海相地层进行层序地层分析提供了一种新的手段。在中国广泛分布的陆相含油气盆地的油气地质研究中已经得到了应用^[10-12]。

山西组是鄂尔多斯盆地陕 141 气田的主要含气层位^[14]。随着勘探开发的深入,要求对储层的空间展布和控制因素进行细致的研究。山西组为一套陆相碎屑岩含煤建造。应用高分辨率层序地层学可以准确地划分和对比地层,研究储集砂体的展布及预测有利区块。

研究区北至鄂尔多斯市,南达靖边一米脂,西迄苏里格庙,东抵晋西挠褶带,面积 50 000 km²。构造单元包括伊盟隆起(a)、晋西挠褶带(b)和陕北斜坡(c)(图 1)。

1 地质背景

晚古生代,鄂尔多斯盆地是大华北盆地的组成部分。山西组发育于太原组广泛海退的背景上^[14,15],盆地的古地理境观是北高南低,北部为伊盟古陆,南部为近海内陆湖泊。盆地的沉积充填在北方为陆、南方为湖的古地理背景上展开,古地形坡度小于 1°。沉积类型为具典型的陆相三角洲沉积^[16]。物源主要

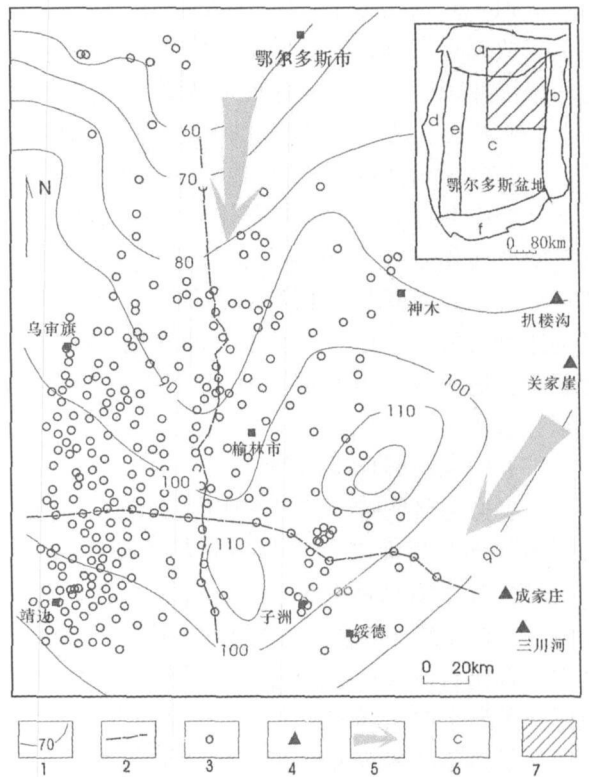


图 1 研究区井位、露头分布图
1 地层厚度; 2 剖面位置; 3 井位; 4 露头; 5. 物源方向;
6 构造单元; 7 研究区位置

Fig 1 Well and outcrop locations in the study area

国家重点基础研究发展计划(973计划项目(2003CB214602)资助。
收稿日期: 2005-04-21; 收修修改稿日期: 2005-08-01

来自于盆地北部的浅变质岩结晶基底^[17, 18], 气候温暖湿润^[19, 20], 陆生植物繁盛。

2 高分辨率层序地层划分和对比

2.1 层序界面的识别

层序界面的识别是层序地层划分和对比的关键, 按照中期旋回和短期旋回的界面识别标志^[11, 12], 山西组可识别出 2 个中期界面和 6 个短期界面:

2.1.1 中期旋回界面

(1) 中期旋回底界面 MS1

MS1 为北岔沟砂岩之底, 在地震剖面上不易识别。该界面代表了沉积环境由海到陆的沧桑剧变。界面之下太原组岩性为灰岩、泥岩、煤层偶夹纯石英砂岩和粉砂岩, 含蕨、海百合茎、珊瑚和腕足类化石^[19], 属于海相沉积。界面之上山西组岩性为砂砾岩、砂岩、泥岩夹煤层, 化石以华夏植物群的典型分子真蕨、种子蕨和楔叶纲为主, 鳞木繁盛^[21, 22], 属于陆相沉积。北岔沟砂岩对下伏太原组进行了冲刷, 底部滞留砾石发育, 代表了基准面下降于地表之下的侵蚀冲刷面。该界面有铁质结核、风化壳粘土等陆上暴露特征, 是一个沉积间断面。在界面附近, 褐铁矿、黄铁矿等特殊成分的矿物有明显的含量变化。在测井响应上自然伽玛及自然电位曲线在界面附近均有明显变化, 自然伽玛电位曲线突变为箱状、指状或钟形。该界面既是海相和陆相的重要转换面, 也是构造变动面, 具有平行不整合的性质。在研究区乃至全盆地 MS1 界面特征明显, 分布稳定, 可以进行追索和对比。

(2) 中期旋回顶界面 MS2

顶界面为骆驼脖子砂岩的底面, 在地震剖面上为 T₃ 反射界面。界面之下山西组为灰色细砂岩、粉砂岩、泥岩, 含丰富植物化石, 种类繁多^[21, 22]。界面之上的下石盒子组为黄褐色含砾砂岩、粗砂岩、细砂岩, 基本不含化石或仅见少量化石。在该界面之下, 山西组以三角洲平原沼泽相为主^[14], 在界面之上, 石盒子组底部是典型的河流沉积^[22]。该界面代表了气候由温暖湿润向干旱炎热的转换, 以及沉积环境由近海湖盆向内陆湖盆的转换^[15]。骆驼脖子砂岩底部含有大量的滞留沉积, 对山西组顶部的细碎屑岩地层进行了强烈的冲刷, 是基准面下降于地表之下的侵蚀冲刷面, 但是由于基准面下降幅度小, 而且地形平缓, 所以在盆地内不是形成深切谷, 而是以河道的横向迁移形成叠加连片的席状砂体。具有型层序界面性质。

在界面附近自然伽玛由山西组的低幅度锯齿状变为下石盒子组的高幅度箱状。该界面在直观上特征明显, 易于识别, 在测井响应上表现为多个测井参数所反映的测井相组合的转换面和突变面, 标志明显, 可以在全区域进行追索的对比。

2.1.2 短期旋回界面

短期旋回的界面在露头上表现为小规模冲刷面和间歇暴露面, 在缺乏明显冲刷和暴露的区域表现为基准面由下降到上升的转换面, 在测井剖面上表现为同一沉积体系的进积—推进组合的测井相突变面和转换面。顶底界面限定短期的的基准面上升—下降旋回。在山西组可识别出 6 个短期界面 (图 2)。

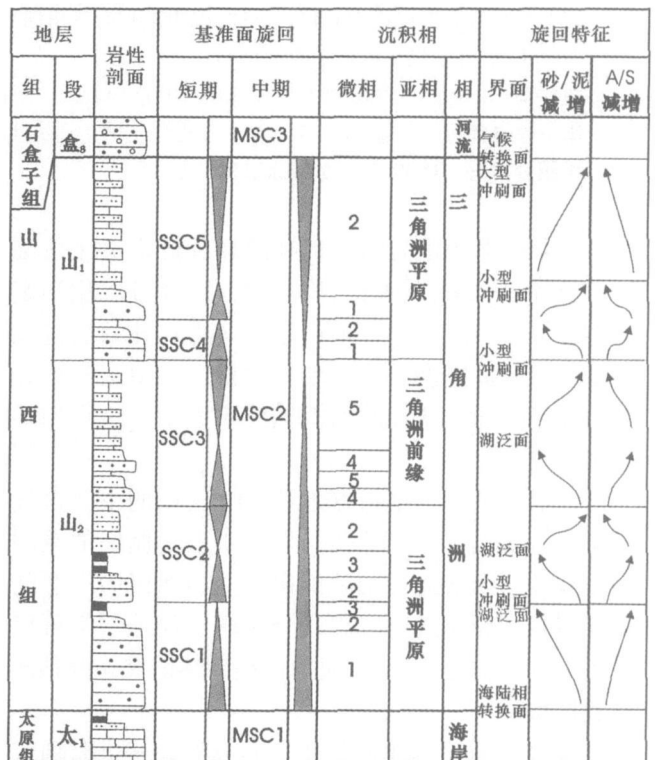


图 2 柳林成家庄剖面高分辨率层序地层划分

1. 分流河道; 2. 洼地; 3. 沼泽; 4. 水下分流河道; 5. 分流间湾

Fig 2 Profile of high resolution sequence stratigraphy division of Chen jiazhuang in Liulin County

2.2 最大湖泛面的识别

最大湖泛面是基准面上升到最高点时的沉积界面。在三角洲沉积体系中, 基准面上升到最高点时, 可容纳空间最大, 而沉积物供应极少, 或无沉积物供应, A/S 比值达到最大, 湖盆整体处于欠补偿沉积状态, 沉积速率缓慢, 此时如果覆水较深, 则形成广布的前三角洲泥质沉积。如果覆水较浅则形成三角洲前

缘的粉砂质、泥质沉积。如果基准面与地表接近一致,并能在较长时期内缓慢持续上升,则形成区域性分布的厚煤层^[31]。煤层与泥岩、粉砂岩在垂向上紧邻,横向上逐渐过渡,标志清晰,层位稳定,是进行等时地层对比的重要标志。在测井响应上最大湖泛面的自然伽马、自然电位、声波时差、深感应、电阻率、密度、井径等测井曲线均有十分明显的反映。如自然伽马在该段中多表现为高值,声波时差和深感应高幅度正异常,低电阻率,低密度,大井径。

2.3 高分辨率层序地层划分

2.3.1 露头剖面高分辨率层序地层划分

露头剖面是最直观、最完整的地层记录,它比测井和地震剖面具有更高的分辨率,是基准面旋回,尤其是高分辨率的短期基准面旋回(成因层序)识别的基础^[3]。本次工作测制 4 条野外剖面,描述了 35 口井的岩心。露头剖面和岩心可以识别出 9 种沉积微相(表 1)。依据岩相类型或相组合在垂向剖面上的转换位置、地层剖面中的冲刷现象及其滞留沉积、砂泥岩厚度的旋回性变化^[3],对露头剖面进行了高分辨率层序地层的划分(图 2)。划分了 5 个短期旋回,构成一个中期旋回^[23]。

表 1 露头、岩心沉积微相的岩性及主要特征

Table 1 Lithology and main features of outcrop and core microfacies

| 露头、岩心沉积微相 | 岩性 | 主要特征 |
|------------|------------------------|---|
| 分流河道 | 含砾粗砂岩,粗砂岩, 中砂岩,少量泥岩 | 板状和槽状交错层理砂岩,向上变细,底部为冲刷面,见滞留砾石,顶部夹泥质条带,以冲积点和砂坝为主,砂体厚度 1~5m,多个砂体可以叠加成巨厚砂体 |
| 决口扇 | 细砂岩,泥岩 | 波状层理和块状层理,砂泥互层,向上变粗变厚,砂层厚度 5~20cm |
| 天然堤 | 泥质粉砂岩, 粉砂质泥岩,泥岩 | 透镜状层理和压扁层理,爬升沙纹层理和水平层理细砂岩、粉砂岩夹泥岩和砂泥岩薄互层组成,见植物碎片。 |
| 古土壤 | 根土岩 | 灰色块状或角砾化泥岩,结构不均匀,发育垂直裂缝,见植物根系 |
| 泥炭沼泽 洼地 | 煤,碳质泥岩 泥岩,泥质粉砂岩 | 块状层理,水平层理。由煤层、煤线和碳质泥岩组成,最大厚度可达 10m 发育包卷层理和火焰状构造,砂泥岩薄互层构成。见植物碎片、黄铁矿颗粒 |
| 水下分流河道 | 中砂岩,细砂岩 | 板状和槽状交错层理、粒序层理砂岩,向上变细,底部渐变或发育小型冲刷面。厚度 0.8~3m,砂岩结构成熟度高。多个正韵律砂体构成厚度很大的砂体。 |
| 河口坝 | 中砂岩,细砂岩 | 低角度斜层理,局部见波状层理,向上变粗,厚度 1~6m。受流水水力改造往往保存不完整。 |
| 分流间湾 | 泥岩,泥质粉砂岩 | 水平层理,透镜状层理,泥岩和泥质粉砂岩为主,夹煤线和碳质泥岩。见流水波痕和浪成波痕,发育虫孔和生物扰动构造 |

2.3.2 测井高分辨率层序地层划分

测井曲线资料丰富,连续完整,包含多方面的地质信息,对垂向上的岩性变化反映明显,能够很好的显示旋回结构。测井高分辨率层序地层的划分,首先是在对取心井段进行大量的细致的岩心描述的基础上,进行岩心标定建立测井资料的岩性响应模型,以岩电响应模型为标准,进行全区域所有井的基准面旋回划分和等时对比。图 3 为根据测井曲线确定的短期旋回及依据短期旋回相组合的变化和叠加样式识别的中期旋回。每一个短期旋回的顶底都以自然伽马和自然电位的突变为特征,以声波时差和深感应的高幅度异常指示的煤层作为基准面上升和下降的拐点。

结合露头剖面和单井的研究,山西组的 5 个短期旋回有如下特征:

中期基准面旋回的上升半旋回由 3 个短期旋回 SSC1、SSC2、SSC3 构成,在区域上普遍发育 3~5 层

煤,旋回的对称性向上变好。

中期基准面旋回的下降半旋回由 2 个短期旋回 SSC4、SSC5 构成,旋回不对称,以下降半旋回为主,基本不含煤。

SSC1 底部为北岔沟砂岩,顶部为 5#煤,厚度 5~38.8m,构成一个向上变细的序列。只发育上升半旋回,下降半旋回缺失。自然伽马呈钟状,声波时差和深感应由下部的低幅平缓变为上部的高幅度正异常。自下而上沉积相由三角洲平原的分流河道向泥炭沼泽微相过渡。

SSC2 由一个基本对称的上升半旋回和下降半旋回构成,厚度 3~31.5m,上升半旋回底部为中砂岩,向上为粉砂岩、煤层(4#煤)。煤层形成于基准面上升的最大时期。下降半旋回由粉砂岩砂质泥岩和泥岩组成。自然伽马由下部的钟状变为上部的漏斗状,在上升半旋回和下降半旋回的转换位置,声波时差和深感应为密集的高幅度锯齿状。属于三角洲平

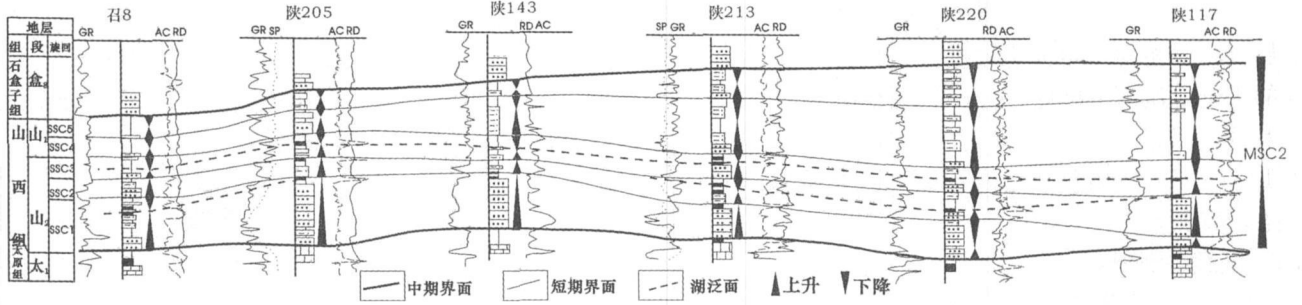


图 4 召 8—陕 171 井山西组高分辨率层序地层对比剖面图

Fig. 4 Correlation framework of high-resolution sequence stratigraphy of Zhao 8—Shan 171

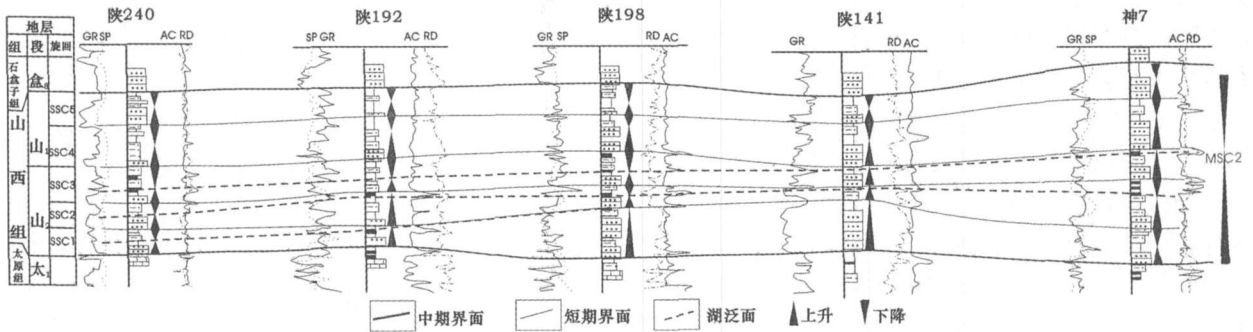


图 5 陕 240—神 7 井山西组高分辨率层序地层对比剖面图

Fig. 5 Correlation framework of high-resolution sequence stratigraphy of Shan 240—Shen 7

变好。另一方面,受差异压实作用的影响,在同一短期旋回内,分流间湾泥质沉积分布区的可容纳空间增加大于河道分布区,这种受自旋回机制控制的容纳空间变化,往往造成河道的迁移改道和三角洲前缘叶状体的废弃和横向摆动。旋回对称性的好坏受体积分配和 A/S 比值所决定的沉积物保存程度控制。

3 基准面旋回对储层发育的影响

在勘探阶段,进行高分辨率层序地层研究的目的是阐明生储盖组合在纵向上(即时间上)的配置关系和研究储层在横向上(即空间上)的展布规律,为进一步的勘探开发选择靶区。

3.1 有利储层在旋回中的位置

储层的发育受基准面旋回期间沉积物供应和容纳空间的变化有关。SSC1 早期,由于新增容纳空间低,而沉积物供应充足,低 A/S 比值导致三角洲平原分流河道沉积发育,由于新增的容纳空间不足以接纳源源不断的沉积物,使沉积向盆地方向进积,河道改道频繁,沉积了以巨厚的砂砾岩、砂岩为主的地层,即北岔沟砂岩,成为山西组最主要的储层。砂体内部具自旋回结构,发育高流态水动力条件下的低

角度的交错层理和平行层理,常冲刷或不完全切割河口坝乃至先期形成的较深水沉积物,河控作用显著。SSC2 和 SSC3 时期,容纳空间持续增加,沉积物供应相对减小,不利于储层的形成。SSC4 和 SSC5 时期,沉积物供应充足,容纳空间较小,河道频繁改道和泛滥,形成的砂体亦可以成为储层,但是非均质性强,储集性能差。

3.2 生储盖组合的配置关系

储层往往发育于短期基准面上升半旋回的早期,其中以中期基准面旋回上升半旋回早期形成最有利储层,中期旋回下降半旋回也能形成较有利储层。基准面上升半旋回和下降半旋回的转折部位,容纳空间的增加和沉积物的供应保持了较长时期的平衡状态,形成区域性分布的煤层和炭质泥岩^[24, 25],而成为良好的烃源岩。基准面上升最大时期的泥岩、炭质泥岩和煤层又是良好的盖层。三角洲平原的分流间洼地和沼泽在侧向上和上倾方向上的遮挡,构成了局部的圈闭。差异压实形成的披覆盖层和成岩作用造成的地层内的非均质性又强化了局部圈闭。炭质泥岩和煤层即具有物性圈闭又具有烃浓度圈闭的特点。因而山西组气藏具有多因素的封盖保存条件,有地

层—岩性圈闭,也有构造圈闭和烃浓度圈闭^[26~28]。储层沉积微相为三角洲平原的分流河道和三角洲前缘的水下分流河道砂体,在垂向上和横向上与气源岩相互叠置和穿插,煤层具有持续的生气能力,加之临界泥岩盖层的封堵及区域盖层的存在,形成良好的生储盖配置关系。

3.3 储层的物性

储层的物性与源岩类型、沉积时的水动力条件、成岩作用和后期改造有关。对于具有同样的源岩类型和经历了相同成岩作用和后期改造的碎屑岩储层,沉积时的水动力条件所决定的碎屑岩结构成熟度和成分成熟度对储层物性影响最大。研究表明,孔隙度和渗透率与石英含量呈正相关,而与岩屑含量呈负相关^[29]。SSC1的北岔沟砂岩在 S207S—220 一线为纯石英砂岩,在其他井区也是石英砂岩或岩屑石英砂岩,具有很高的成分成熟度。碎屑分选较好,磨圆呈次圆,孔隙度 3.47%~9.8%,渗透率达 $0.4 \times 10^{-3} \sim 3.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由于基准面变化直接影响沉积时的水动力条件,因此也直接影响储层的物性。中期基准面上升半旋回早期的短期基准面上升半旋回,水动力强,对下伏地层进行冲刷。较强的水动力条件使得碎屑颗粒的分选性升高,泥质难以保留。在中期基准面上升半旋回的晚期,水动力弱,不能形成良好的储层。在中期基准面下降半旋回期间,沉积速率快,碎屑颗粒的分选性差,泥质含量高,储层的物性差。在砂层厚度大,碎屑岩成熟度高的区域天然气产能高,如 S141、S211、Y30 井无阻流量均大于 $70 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。

3.4 储层的空间展布

山西组的气藏属于岩性气藏,天然气成藏的关键因素是有利砂体的展布。因此,勘探的有利区块应当是在选择有利相带主体部位的基础上,进一步寻找与微相、岩性有关的高质量储集岩发育带。

在层序划分和基准面旋回分析的基础上,对研究区的所有勘探井和部分开发井的测井资料进行短期旋回的分析和沉积微相的识别,用单因素优势相综合作图的方法^[30],以密集的数据编制了山西组主要储层段的砂体厚度等值线图(图 6)。可以看出,北部形成三条南北向延伸的砂体,西部和中部砂体在 S205—S207 井处汇合,砂体厚度急剧增加,该砂体带南北长 53 km,东西宽 24~41 km,形成一个厚度很大的砂体,厚度普遍大于 12 m,最厚达 33 m,是该区最好的储层。在 S217 井以南进入三角洲前缘,发生河道的迁移、改道和分叉,形成五个呈放射状展开的指

状砂体,砂体厚度大于 10 m,碎屑分选好也是最有利储层之一。东部砂体较薄,厚度 6 m,在米脂—子洲一带进入三角洲前缘,砂体厚度增大,达 8 m,分布稳定,物性较好,成为良好的储层。

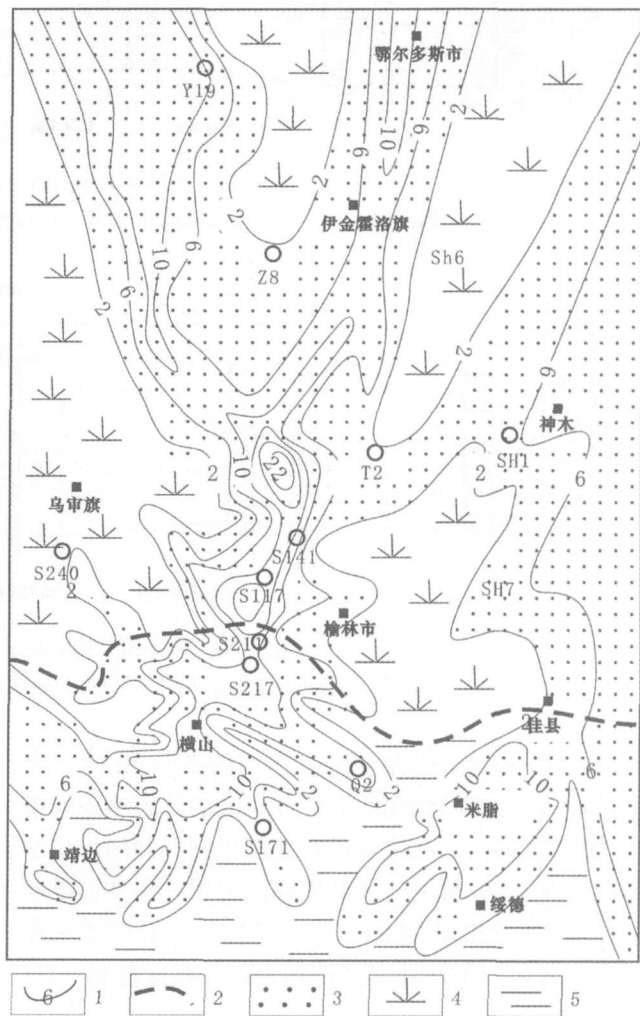


图 6 储层展布图

1 砂体厚度等值线; 2. 湖岸线; 3 河道砂; 4 沼泽 5 湖相泥
Fig 6 Distribution of the reservoir sandbody

4 结论与认识

按照高分辨率层序地层学的方法,通过露头、岩心和测井资料的分析,把研究区山西组划分为 1 个中期旋回(MSC2)和 5 个短期旋回,从下到上为 SSC1、SSC2、SSC3、SSC4、SSC5。中期旋回受天文因素的控制,与偏心率周期中气候波动引起的基准面升降和物质供给变化有关^[12]。

储集砂体和生储盖组合受基准面旋回和沉积物体积分配的控制。储集砂体发育于基准面上升的早期,其中又以中期基准面上升早期的短期基准面上升

早期形成最有利储集砂体。基准面上升和下降的转折部位形成烃源岩和盖层。对储集砂体沉积微相研究表明,三角洲平原分流河道和三角洲前缘水下分流河道砂体为主要储集砂体,个别区域有残余的向上变粗河口坝序列。在沉积微相分析和高分辨率层序地层划分的基础上,以密集数据控制的单因素分析综合作图方法,研究了储层的空间展布,指出了 3 个有利区块。研究完成后,喜闻其中一个有利区块中钻遇高产工业气流,某单井天然气产能大于 $100^4 \text{m}^3/\text{d}$,表明高分辨率层序地层学方法对于预测储层分布有重要的指导意义。

参考文献 (References)

- 1 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 July 1996 1~24
- 2 邓宏文,王洪亮,宁宁.沉积物体积分配原理——高分辨率层序地层学的理论基础.地质前缘,2000,7(4):305~313[Deng Hongwen, Wang Hongliang, Ning Ning. Sediment volume partition principle: theory basis for high-resolution sequence stratigraphy. Geoscience Frontier, 2000, 7(4): 305~313]
- 3 邓宏文,王洪亮,李熙喆.层序地层基准面的识别、对比技术及应用.石油与天然气地质,1996,17(3):177~184[Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application. Oil & Gas Geology, 1996, 17(3): 177~184]
- 4 Gareth T George. Characterisation and high resolution sequence stratigraphy of storm-dominated braid delta and shoreface sequences from the Basal Grit Group (Namurian) of the South Wales Variscan peripheral foreland basin. Marine and Petroleum Geology, 2000, 17: 445~475
- 5 Van der Werf W, Johnson S. High resolution stratigraphic analysis of a turbidite system, TanquaKaroo Basin, South Africa. Marine and Petroleum Geology, 2003, 20: 45~69
- 6 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):369~374[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): 369~374]
- 7 郑荣才,吴朝容,叶茂才.浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路.成都理工学院学报,2000,27(3):241~244[Zheng Rongcai, Wu Chaorong, Ye Mao cai. Research thinking of high-resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(3): 241~244]
- 8 杨明慧,夏文臣.非海相前陆盆地含煤沉积层序地层分析.煤田地质与勘探,1998,26(3):1~4[Yang Minghui, Xia Wenchen. The sequence stratigraphic analysis of coal-bearing strata in non-marine foreland basin. Coal Geology & Exploration, 1998, 26(3): 1~4]
- 9 王嗣敏,刘招君.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):179~183[Wang Siming, Liu Zhaojun. Discussion on some problems of high resolution sequence stratigraphy in the study of continental stratigraphy. Journal of Stratigraphy, 2004, 28(2): 179~183]
- 10 邓宏文,王洪亮,李小孟.高分辨率层序地层对比在河流相中的应用.石油与天然气地质,1997,18(2):90~95[Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xiaomeng. Application of high-resolution sequence stratigraphic correlation to fluvial facies. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2): 90~95]
- 11 盘昌林,郑荣才,彭军.百色盆地百49块百岗组三段高分辨率层序地层学分析.成都理工大学学报(自然科学版),2003,30(3):263~269[Pan Changlin, Zheng Rongcai, Peng Jun. Analysis of high-resolution sequence stratigraphy of the third section of Baigang Formation in block Bai 49 of Tangzhao oil field. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2003, 30(3): 263~269]
- 12 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]
- 13 戴金星,夏新宇,洪峰,等.中国煤成大中型气田形成的主要控制因素.科学通报,1999,44(22):2455~2464[Dai Jinxin, Xia Xinyu, Hong Feng, et al. Main control factors of large-meso-scale coal origin gas field in China. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(22): 2455~2464]
- 14 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.沉积学报,1998,16(3):44~50[Guo Yinghai, Liu Huanjie, Quan Biao, et al. Late Paleozoic sedimentary system and paleogeographic evolution of Ordos area. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 44~50]
- 15 郭英海,刘焕杰.鄂尔多斯地区晚古生代的海侵.中国矿业大学学报,1999(3):126~129[Guo Yinghai, Liu Huanjie. Transgression of Late Paleozoic era in Ordos Area. Journal of China University of Mining & Technology, 1999(3): 126~129]
- 16 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.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 kinds of deltas from Permian-Carboniferous in central Ordos basin. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 68~71]
- 17 汪正江,张锦泉,陈洪德.鄂尔多斯盆地晚古生代陆源碎屑沉积源区分析.成都理工学院学报,2001,28(1):7~12[Wang Zhengjiang, Zhang Jingquan, Chen Hongde. Study of the depositional provenance of the terrigenous detritus in Ordos basin in Late Paleozoic era. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(1): 7~12]
- 18 席胜利,王怀厂,秦伯平.鄂尔多斯盆地北部山西组、石盒子组物源分析.天然气工业,2002,22(2):21~24[Xi Shengli, Wang Huaihang, Qin Boping. Analysis of the material sources of Shanxi Formation and Shezhi Formation in north Ordos basin. Natural Gas Industry, 2002, 22(2): 21~24]

- 19 汪曾荫. 华北地台晚古生代年代地层系统. 中国煤田地质, 1995, 7(3): 17~23 [Wang Cengying. Chronostratigraphy system of late Paleozoic in north China platform. Coal Geology of China, 1995, 7(3): 17~23]
- 20 何锡麟, 张玉谨, 朱梅丽, 等. 内蒙准格尔旗晚古生代含煤地层与生物群. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社, 1990. 44~67 [He Xilin, Zhu Yujing, Zhu Meili et al. Late Paleozoic Coal-bearing Strata and Biota of Jungerqi in inner Mongolia. Xuzhou, Jiangsu province. Press of China University of Mining & Technology, 1990. 44~67]
- 21 陈钟惠. 鄂尔多斯盆地东缘晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989. 13~14 [Chen Zhonghui. Sedimentary Environment and Coal Accumulation of Late Paleozoic Coal-bearing Strata in Eastern Margin of Ordos Basin. Wuhan China University of Geosciences Press, 1989. 13~14]
- 22 聂武军, 刘棣民, 袁芳政, 等. 鄂北下二叠统含气层段沉积相划分及古地理演化. 天然气工业, 2001, 21卷(增刊): 45~48 [Nie Wujun, Liu Dimin, Yuan Fangzheng et al. Sedimentary facies division and paleogeographic evolution of gas bearing intervals in lower Permian in north Ordos basin. Natural Gas Industry, 2001, 21 (Suppl): 45~48]
- 23 邓宏文, 王洪亮, 祝永军, 等. 高分辨率层序地层学—原理及应用. 北京: 地质出版社, 2002. 49~50 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun et al. High resolution sequence stratigraphy—principle and application. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 49~50]
- 24 彭立才, 杨慧珠. 柴达木盆地大煤沟侏罗系剖面高分辨率含煤层序分析. 西安石油学院学报(自然科学版), 2002, 17(1): 6~10 [Peng Licai, Yang Huizhu. High-resolution coal-bearing sequence analysis of Jurassic section in Dameigou, Qaidam Basin. Journal of Xi'an Petroleum Institute (Natural Science Edition), 2002, 17(1): 6~10]
- 25 杜振川, 金瞰昆. 含煤岩系高分辨率层序地层格架及特征研究——以河北石炭—二叠纪为例. 中国矿业大学学报, 2001, 30(4): 407~411 [Du Zhenchuan, Jin Kankun. High-resolution sequence stratigraphic framework and its characteristic——case study of C-P coal measures in Hebei. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(4): 407~411]
- 26 赵林, 夏新宇, 戴金星. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气的运移与聚集. 地质地球化学, 2000, 28(3): 48~53 [Zhao Lin, Xia Xinyu. Dai Jinxing. Migration and accumulation of natural gases in upper Paleozoic in Ordos basin. Geology Geochemistry, 2000, 28(3): 48~53]
- 27 赵林, 夏新宇, 戴金星, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气富集的主要控制因素. 石油实验地质, 2000, 22(2): 136~139 [Zhao Lin, Xia Xinyu, Dai Jinxing et al. Major factors controlling the enrichment of the upper Paleozoic natural gas in the Ordos basin. Experimental Petroleum Geology, 2000, 22(2): 136~139]
- 28 洪峰, 宋岩, 赵林. 鄂尔多斯盆地北部天然气藏控制因素. 天然气工业, 1998, 18(5): 22~25 [Hong Feng, Song Yan, Zhao Lin. Controlling factors of gas reservoir formation in the north of Ordos basin. Natural Gas Industry, 1998, 18(5): 22~25]
- 29 王向黎, 孟军田. 塔巴庙地区下二叠统气藏储层地质特征. 天然气工业, 2001, 21(增刊): 49~52 [Wang Xiangli, Meng Juntian. Reservoir bed geological characteristics of lower Permian gas reservoir in Tabamiao region. Natural Gas Industry, 2001, 21(Suppl): 49~52]
- 30 冯增昭. 单因素分析综合作图法—岩相古地理学方法论. 沉积学报, 1992, 10(3): 70~77 [Feng Zengzhao. Single factor analysis and comprehensive mapping method—methodology of lithofacies paleogeography. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 70~77]
- 31 Aitken J F, Flint S S. The application of high-resolution sequence stratigraphy to fluvial systems—a case study from the Upper Carboniferous Breathitt Group, eastern Kentucky, USA. Sedimentology, 1995, 42: 3~30]

High-Resolution Sequence Stratigraphy of Shanxi Formation (Permian) in Northwestern Portion of Ordos Basin

LIANG Jiwei LIW en-hou

(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract High-resolution sequence stratigraphy division of Shanxi Formation in northwestern part of Ordos basin has been put forward according to principle of base level cycle based on 4 outcrops and 35 core description and 305 well logs. As a component of long-term base-level decreasing cycle, Shanxi Formation constitutes a medium-term cycle which can be subdivided into 5 short-term cycles in ascending order (SSC1, SSC2, SSC3, SSC4, SSC5). Based on the sequence structure and stack style and space variation, the high-resolution sequence stratigraphy correlation framework is established to discuss sedimentary facies styles and controlling factors and physical property. The most favorable reservoir bodies were formed during early stage of semi-ascending cycle of short-term base-level cycle. Reservoir bodies are mainly composed of delta plain distributary channel and delta front sub-aqueous channel. Here, the monofactor mapping method is adopted to study space distribution of the reservoir bed.

Key words Ordos basin, high resolution sequence stratigraphy, base-level cycle, sequence stratigraphy framework, reservoir bed