

鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组 不同级次层序界面的识别

党 犇¹⁻³ 赵 虹³ 李文厚² 陈永胜³ 郑小杰³ 燕州泉³ 贾玉琴³

(1.长庆油田分公司, 陕西 西安 710021; 2. 西北大学地质系, 陕西 西安 710069;
3. 长安大学资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要:以高分辨率层序地层学理论为指导,通过对鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组典型露头剖面及岩心观察、描述的基础上,结合大量测井曲线,详细地分析了延长组不同级次层序界面的识别标志。结果表明:鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组由 1 个超长期旋回,4 个长期旋回,9 个中期旋回及若干个短期旋回组成。由于印支运动的影响,在研究区形成了两个区域性的构造运动升降面(SLSB2 和 SLSB1),该界面为超长期旋回的顶、底界面。长期旋回层序为一套区域性湖进-湖退沉积序列,界面是低角度的侵蚀不整合面和与其相应的整合面。研究区 3 个长期旋回层序界面自下而上依次为:区域性基准面抬升所形成的水进界面,相当于“李家畔页岩”;区域性的泥岩、凝灰岩标志层,相当于长 6 油层组底部的 k2 标志层;区域性的相转换界面,相当于长 4+5 和长 3 的分界面。中期旋回和短期旋回层序界面主要为不同级次的湖泛面、冲刷侵蚀面、岩石类型或相组合的转换面、岩石相内部的层理变化界面、砂泥岩厚度旋回性变化界面等。在界面识别的基础上,对研究区沉积旋回及界面的空间配置进行了分析,认为不同级次界面的识别是高精度层序地层研究的核心,对于油田勘探和开发具有至关重要的作用。

关键词:层序界面、高分辨率层序地层、湖泛面、延长组、鄂尔多斯盆地、陕西地区

中图分类号:P588.21^{2.3} **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)03-0414-08

20 世纪 80 年代以来,以地层过程-响应动力学原理为指导,以多级次基准面旋回为参照的高分辨率层序地层学理论与技术,由于其广泛适用于不同构造类型的盆地、不同沉积环境的地层,以及在以不整合面为界的三级层序中可以进行高精度等时地层单元划分与对比的特点,在油气勘探开发中发挥着日益重要的作用,并逐渐被国内外许多学者所接受^[1-22]。

高分辨率层序地层学就是利用岩心、露头、测井和高分辨率地震剖面来识别准层序级的层序地层单元^[9,10]。在高分辨率层序地层学研究中,关键是层序界面的识别。层序界面作为地史演化的一种负记录,能够提供许多有用的信息^[8],因此层序界面堪称层序地层学研究中的灵魂和生命^[9]。

本文是笔者在广泛查阅和分析前人资料的基础上,以高分辨率层序地层学理论为指导,通过对陕北地区典型剖面的详细观察,以及对典型井段岩心的详细描述,再结合大量的测井曲线,重点探讨了鄂尔多斯盆地陕北地区晚三叠世延

组不同级次层序界面的特征及其识别标志。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地是发育在华北克拉通之上并位于其西部的一个多旋回叠合型盆地^[23],是中国形成历史最早、演化时间最长的沉积盆地,同时也是中国陆上第二大沉积盆地和重要的能源基地。该盆地周边为断裂、褶皱构造带,内部主体为陕北斜坡,其上地层产状平缓,构造简单。上三叠统延长组是鄂尔多斯盆地内陆湖盆形成后的第一套生储油岩系,也是陕北地区主要的勘探开发目的层系。延长组是一套以河流-湖泊相为特征的陆源碎屑岩系,它的沉积特征基本上记录了这个大型淡水湖盆从发生、发展到消亡的历史。该套地层与下伏中三叠统的纸坊组、上覆下侏罗统的富县组或延安组均呈平行不整合接触。根据岩性及古生物组合,前人将延长组自下而上划分为 5 段($T_3y^1-T_3y^5$),再根据其岩性、电性及含油性

收稿日期:2007-02-12; 改回日期:2007-03-25

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2003CB214602)、教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IR T0559)资助。

作者简介:党犇,男,1966 年生,博士后,副教授,主要从事油气地质综合研究;E-mail:dangben@chd.edu.cn。

的差异,将 5 个岩性段又进一步划分为 10 个油层组(自上而下为长 1—长 10)。

2 层序级次的划分

层序是顶底以不整合或与之相对应的整合面为界、具有成因联系的一套地层,而层序界面就是指不整合或与之相对应的整合面。以 Cross T.A.^[14]为代表的高分辨率层序地层学认为层序界面取决于海平面变化、构造沉降、沉积负荷、沉积通量和沉积地形等综合因素制约的基准面升降过程,界面对应于基准面下降达最低点位置。

在对陕北地区上三叠统延长组露头剖面、钻井岩心及测井曲线综合分析的基础上,根据层序界面、基准面升降、沉积旋回等的发育特征,建立了研究区上三叠统延长组的层序地层格架,将鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组划分为 1 个超长期旋回(SLSC)、4 个长期旋回(LSC)和 9 个中期旋回(MSC)(图 1)。

3 不同级次层序界面识别标志

在陆相盆地中,层序界面通常形成于基准面下降与上升的转换位置,即盆地发育过程中可容纳空间和沉积物补给比值最小的位置。通常出现在河道沉积物的底部,该时期物源补给充分、砂体发育、砂体成因类型和展布样式在界面附近发生变化。另外由于强烈的垂向侵蚀作用造成界面起伏不平,界面上下岩性、岩相均有明显差异,一般是上粗下细,上浅下深,界面之上通常呈加积和退积叠加样式,界面以下由于可容纳空间和沉积物补给比值逐渐降低,砂岩呈进积叠加样式。在钻、测井剖面上,层序界面出现在地层叠加样式的转换处。研究区不同级次层序界面具有不同的特征。

3.1 超长期旋回层序界面的识别

超长期旋回层序的形成受控于构造演化的周期性,也可称之为“构造层序”,相当于三级层序组,界面常常是较为明显的区域性不整合面和与之相对应的整合面^[16]。

鄂尔多斯盆地上三叠统沉积之后,由于晚期印支运动的影响,经历了一次明显的抬升剥蚀,在其顶部形成一个区域性的剥蚀面(不整合面)(图 2)。侏罗系延安组或富县组底部切割河谷的侵蚀面即是延长组超长期旋回层序的顶界面(SLSB2),该界面在岩-电特征上有明显的响应(图 3-a)。界面之上为富县组或延安组的河流相沉积,岩性为一套灰白色细—中粒砂岩、砂砾岩、含砾粗砂岩,发育板状、槽状交错层理,底部滞留沉积明显,自然伽马曲线呈明显齿状箱形;界面之下为延长组顶部长 1 的湖沼相沉积,主要为灰色、黄灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、炭质页岩及煤线等,自然伽马曲线齿状正偏。

由于早期印支运动的影响,上三叠统延长组的底界面为一假整合面(SLSB1),该界面在岩-电特征上也有明显响应(图 3-b)。界面之下为中三叠世纸坊组干燥炎热环境下的湖相沉积,岩性主要为紫褐色、紫红色粉砂质泥岩与淡红色长石砂岩互层,自然伽马曲线齿状正偏。界面之上为延长组顶部长 10 的河流相沉积,岩性为肉红色、灰绿色厚层块状细—粗粒长石砂岩夹粉砂质泥岩,砂体下部发育大型板状、槽状交错层理和平行层理,底部见大量河床滞留沉积,反映了水动力条件较强、基准面迅速下降的特征,自然伽马曲线呈齿状箱形或钟形。

3.2 长期旋回层序界面的识别

长期旋回层序受构造幕式性强弱变化的控制,为一套具有较大水深变化幅度的、彼此间具有成因联系的地层所组成的区域性湖进—湖退沉积序列,相当于三级层序^[17]。界面是低

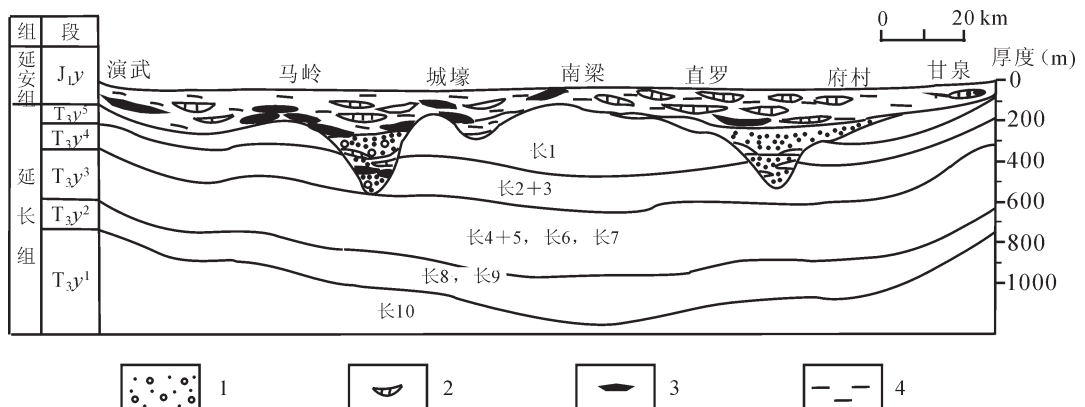


图 2 鄂尔多斯盆地延长组顶部区域性不整合剖面示意图(据参考文献[17]修改)

1—河流充填沉积;2—砂岩透镜体;3—油层;4—泥岩

Fig.2 Regional unconformity at the top of the Yanchang Formation in the Ordos basin

1—River filling sediments;2—Sandstone lens;3—Oil layer;4—Mudstone

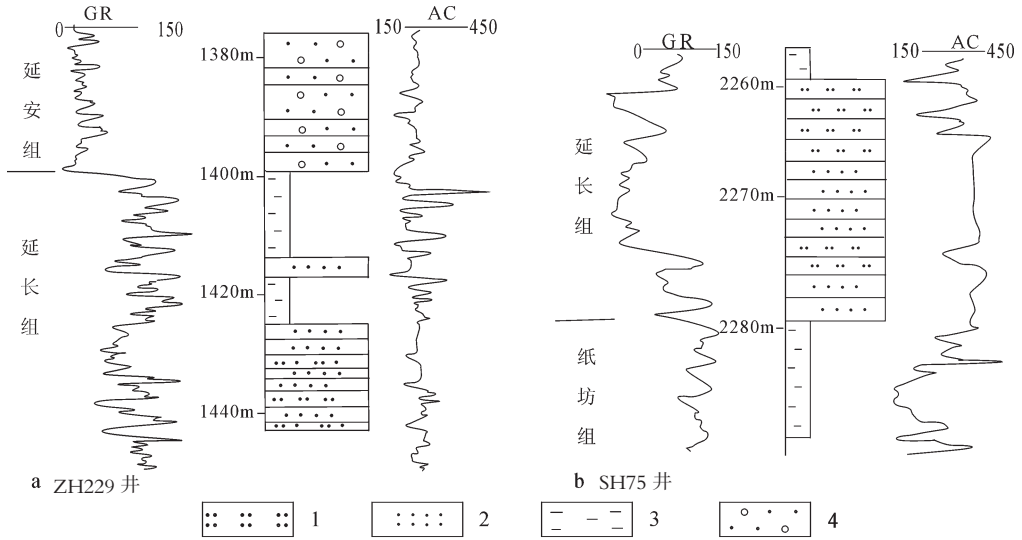


图 3 超长期旋回层序界面岩-电特征

1—粉砂岩;2—细砂岩;3—泥岩;4—含砾砂岩

Fig.3 Lithological and electrical characteristics of super-long cyclic sequence boundaries.

1—Siltstone; 2—Fine sandstone; 3—Mudstone; 4—Pebbled sandstone

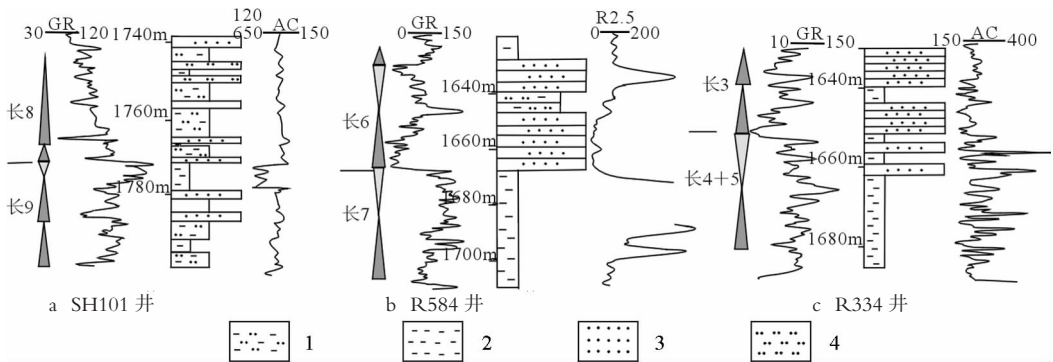


图 4 长期旋回层序界面岩-电特征

1—泥质粉砂岩;2—泥岩;3—细砂岩;4—粉砂岩

Fig. 4. Lithological and electrical characteristics of long cyclic sequence boundaries.

1—Muddy siltstone; 2—Mudstone; 3—Fine sandstone; 4—Siltstone

角度的侵蚀不整合面和与其相应的整合面^[7]。

鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组存在 3 个长期旋回层序界面,自下而上依次为 LSB1、LSB2 和 LSB3,其岩-电特征表现如下:

LSB1 界面:为区域性基准面抬升所形成的水进界面,位于长 9 油层组的顶部,俗称“李家畔”页岩,该套页岩在陕北地区分布广,厚度薄,且岩、电特征明显。岩性为灰黑色泥、页岩及含凝灰岩质泥、页岩。电性表现为高自然伽马、高声波时差等特点(图 4-a),电阻率在盆地南部表现为高阻段,而在东北部则为低阻段,这是由于东北部泥岩的凝灰质含量高的缘

故。低阻特征在盆地的中部、东部及东北部分布比较稳定。

界面之上为长 8 水下分流河道砂体,河道横剖面呈透镜状,砂体的槽状交错层理十分发育。自然电位曲线呈箱状负异常,视电阻率曲线也呈突变,表明当时基准面下降较快。界面之下长 9 总体发育以泥质为主的浅湖相细粒沉积,自然电位曲线正异常,视电阻率曲线呈齿状或峰状。界面以下构成一基准面抬升的退积地层叠加样式,与界面上部长 8 油层组因三角洲向盆内推进而形成的进积地层叠加样式明显不同,两者之间具有侵蚀切割以及向盆地方向迁移的层序边界特征。

LSB2 界面:为区域性的泥岩、凝灰岩标志层,习称 k2 标

志层,位于长6油层组的底部。全区均有分布,岩性为灰黑色泥岩、炭质泥岩、粉砂质泥岩,局部可见到凝灰岩,东部特征比较典型。电性特征表现为高声波时差、高自然伽马、高自然电位、低电阻、低密度、尖刀状大井径^[2]。该界面上下分别构成一对称旋回,界面以下基准面上升到最高,形成张家滩页岩,之后基准面复下降达到最低。界面以上基准面上升到最高,形成长4+5中部的标志层k5,之后基准面复下降达到最低。

总体来看该界面之上主要为长6三角洲前缘的水下分流河道砂体,砂体横向迁移,反映基准面下降引起的河道摆动。该界面以下则发育长7浅湖-深湖相细粒沉积。界面之上自然电位曲线呈箱状,视电阻率曲线呈峰状高阻,与下伏地层呈突变关系(图4-b)。

LSB3界面:为区域性的相转换界面,即基准面下降形成的长4+5上部进积型三角洲顶积层面和长3底部曲流河沉积间歇期形成的大面积平原沼泽化界面。界面之上长3油层组的底部表现为泥岩、炭质泥岩,习称k6标志层。全区均有分布,岩性主要为深灰色、灰黑色泥岩及炭质泥岩。电性特征表现为高声波时差、高自然伽马。该界面之上为长3的曲流河河道沉积,砂体多期切割叠置,厚度大,旋回顶部常冲刷缺失,表现为不对称旋回或单旋回。发育直立虫孔反映沉积时陆上暴露的特征。自然电位曲线呈指状,视电阻率曲线呈峰状高阻。该界面之下为长4+5的细粒三角洲沉积,岩性为泥质和粉砂质沉积,夹有多层煤线,测井曲线呈特征的“细脖子”(图4-c)。

通过上述界面可将延长组超长期旋回划分为4个长期旋回,自下而上依次为LSC1、LSC2、LSC3和LSC4。其中LSC1为一基准面上升的退积地层叠加样式,相当于长10和长9,为湖盆初始扩张时期沉积;LSC2为一对称基准面旋回,相当于长8和长7,为湖盆逐渐鼎盛期沉积,最大水进面位于长7张家滩页岩段;LSC3为一对称基准面旋回,相当于长6和长4+5,为湖盆萎缩时期沉积,最大水进面位于长4+5中部;LSC4为一基准面以下降为主的进积地层叠加样式,相当于长3、长2和长1,为湖盆萎缩消亡时期沉积。整个长期旋回的划分与鄂尔多斯盆地延长组内陆湖盆发生、演化、衰退到消亡的沉积背景相一致。

3.3 中、短期旋回层序界面的识别

中、短期旋回层序主要受天文因素的影响,为一套水深变化幅度不大,彼此间具有密切成因联系的地层叠加或相似岩性、岩相地层叠加的湖进-湖退沉积序列^[21],分别相当于四级层序(准层序组)和五级层序(准层序)。界面为受可容纳空间及沉积物供给比值变化控制的局部冲刷面、沉积间断面及相应整合面。

在长期基准面旋回上升或下降过程中,发育了多个次一级、但具有较好区域性对比的湖泛面和冲刷面,代表了中期基准面旋回层序界面。而短期基准面旋回常以频繁发育的底冲刷面、岩相类型或相组合转换面、层理变化界面及旋回变化界面等为层序界面。

根据岩石相组合内部所记录的基准面变化信息,识别基准面旋回的转换点,然后通过岩石序列中水深变化或沉积地貌的保存程度或沉积物被侵蚀的趋势来确定层序形成过程中的基准面的变化方向,从而判断层序界面。研究区中、短期层序界面的识别标志主要有:

(1)湖泛面:湖泛面为基准面上升至最大,开始下降的转换位置。各级次旋回中,均可发育级次和规模与之相当的湖泛面,通常以湖泛面作为重要的等时对比界面。在测井和录井资料上该界面下为退积型准层序组,界面上为进积型准层序组。陕北地区延长组存在4个明显的湖泛面,自下而上依次为位于LSC1顶部的“李家畔页岩”段,LSC2中部的“张家滩页岩”段,位于(LSC3)中部的炭质泥岩段,以及位于LSC4上部的煤线或煤层。

(2)冲刷侵蚀面:反映了基准面下降到最低位置后上升过程的开始。在鄂尔多斯盆地陕北地区晚三叠世延长组的野外剖面或岩心中常见到起伏不平、上有滞留沉积的冲刷面。一般为较强水流流经尚未固结的沉积物表面时,对下伏沉积物侵蚀冲刷而形成的凹凸不平的面。冲刷面上可见大量再沉积的泥砾。

(3)岩相类型或相组合的转换面:反映了可容纳空间与沉积物供给(即A/S值)的变化。陕北地区晚三叠世延长组主要为泥岩与砂岩的突变界面。如水体向上变深的相序或相组合(细砂岩-粉砂岩-泥岩)变为水体逐渐变浅的相序或相组合(泥岩-粉砂岩-细砂岩)的转换,说明了A/S值由增大到减小,基准面由上升到下降的转换面,反之亦然。

(4)岩相内部的层理变化界面:反映沉积物形成过程中水动力条件的变化,如,高角度交错层理-平行层理-沙纹层理-水平层理,反映了一个水体逐渐变深、可容纳空间逐渐增大的退积旋回。因此,可利用层理构造变化特点,来反映基准面的升降变化。一般反映水动力条件减弱、水体变深的层序,可作为基准面上升旋回,而反映水动力条件增强、水体变浅的层序,则作为基准面下降旋回。此类界面在研究区也很普遍。

(5)砂、泥岩厚度旋回性变化界面:反映了水动力条件的增大或减小,通过砂、泥岩厚度旋回性变化,反映基准面的升降变化。在砂、泥岩互层的剖面中,砂岩厚度有规律的增加或减少。砂岩厚度减小,泥岩厚度增加,反映了基准面上升,水动力条件减弱的特点。反之,则反映了基准面下降,水动力条件增强的特点。此类界面在研究区较普遍。

4 界面的空间配置及其研究意义

通过上述不同级次界面特征的识别,可以建立鄂尔多斯盆地陕北地区延长组高精度层序地层格架(图5)。从图5中可以看出,整个延长组由1个完整的超长期旋回SLSC、4个长期旋回(自下而上依次为LSC1、LSC2、LSC3及LSC4)、9个中期旋回(自下而上依次为MSC1、MSC2、MSC3、MSC4、MSC5、MSC6、MSC7、MSC8及MSC9)旋回组成,中期旋回

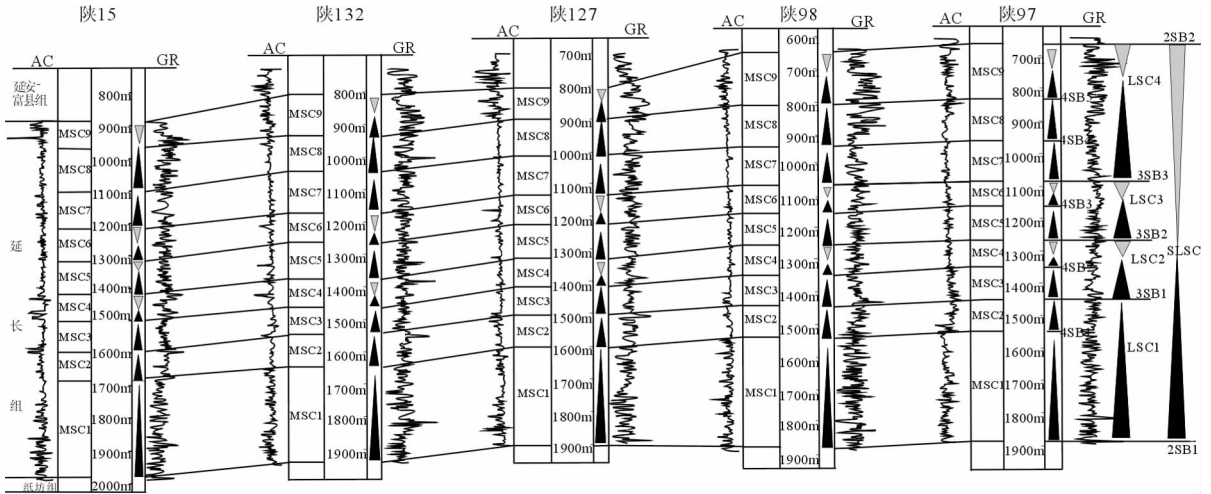


图 5 陕 15—陕 97 剖面不同级次基准面旋回及界面空间配置

Fig.5 Spatial distribution of different orders of base-level cycles and sequence boundaries in sections Shan15-Shan97

下面可进一步划分为若干个短期旋回。

超长期旋回 SLSC 反映了湖盆发生、发展、衰退到消亡的一个完整的过程。层序界面为构造运动升降造成的区域性平行不整合面(SLSB1、SLSB2)。

长期旋回是次一级基准面升降变化,沉积体系变化的反映。其中 LSC1 以河流沉积为主导,基准面上升,下部发育巨厚砂体,河道具多期冲刷的特点,冲刷面上滞留沉积发育。上部发育浅湖亚相沉积,形成“李家畔页岩”段,上界面以“李家畔页岩”顶为标志。LSC2 形成时湖盆基准面上升,至长 7 基准面上升达到最高处,形成长 7 下部“张家滩页岩”为标志的最大湖泛面,成为鄂尔多斯盆地最重要的烃源岩层。随后基准面下降形成长 7 上部的三角洲前缘—浅湖沉积。LSC3 为盆地东北部三角洲建设的高峰期,由于物源充足,发育一系列的三角洲沉积,骨架砂体为水下分流河道。基准面上升至长 4+5 时,三角洲萎缩后退,以浅湖亚相沉积为主。LSC4 沉积时河流沉积占主导地位,河道沉积为其骨架相。基准面上升至长 1 期,沉积相发生重大变化,以湖泊沼泽相为主,沉积物以泥岩为主。

根据中、短期旋回界面的判别标志可进一步细分层序,在高频层序格架下可以对研究区沉积微相的展布特征、砂体的分布规律以及储集层的非均质性等进行详细而深入的研究,进而对油藏富集因素作出合理的分析,最终预测有利含油区块。因此层序界面的识别在油田开发过程中具有深远的意义。

5 结论

(1) 由于印支运动的影响,在鄂尔多斯盆地陕北地区延长组顶底面形成了两个区域性的假整合面 (SLSB2 和 SLSB1),该界面为超长期旋回 SLSC 的顶、底界面。

(2) 长期旋回层序受构造幕式性强弱变化的控制,为一

套区域性湖进—湖退沉积序列。研究区 3 个长期旋回层序界面自下而上依次为:区域性基准面抬升所形成的水进界面,相当于“李家畔页岩”;区域性的泥岩、凝灰岩标志层,相当于长 6 油层组的底部的 k2 标志层;区域性的相转换界面,相当于长 4+5 和长 3 的分界面。

(3) 中期旋回和短期旋回层序界面主要为不同级次的湖泛面、冲刷侵蚀面、岩石类型或相组合的转换面、岩石相内部的层理变化界面、砂、泥岩厚度旋回性变化界面等。

(4) 研究区沉积旋回及界面的空间配置分析表明,不同级别界面的识别是高精度层序地层研究的核心,对于油田勘探和开发具有至关重要的作用。

总之,层序界面是研究层序地层的基础和关键。

参考文献 (References):

[1] Cross T A. High-resolution stratigraphic correlation from the perspectives of base-level cycles and sediment accommodation [C] //Dolson J(ed). Unconformity Related to Hydrocarbon Exploration and Accumulation in Clastic and Carbonate Setting. Short Course Notes. Rocky Mountain Association of Geologist. 1991;28-41.

[2] Cross T A. Applications of high-resolution sequence stratigraphy in petroleum exploration and production. Short Course Notes: Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, Alberta, August 15, 1993; 290.

[3] Cross T A. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis: The Interstate Oil and Gas Compact Commission 1993 Annual Bulletin.1994;24-39.

[4] Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(4): 322-350.

[5] Emery D, Myers K J. Sequence stratigraphy [M]. Blackwell Science, 1996:1-297.

- [6] Van Wagoner J C, Mitchum R M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies [J]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, (7):1-55.
- [7] Xue L, Galloway W E. High-resolution depositional framework of the Paleocene middle Wilcox strata, Texas Coastal Plain [J]. AAPG Bulletin, 1995, 79(2):205-230.
- [8] 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]. 石油天然气地质, 1995, 16(2):90-97.
Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphy in U.S.: High-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2):90-97(in Chinese with English abstract)
- [9] 邓宏文, 王红亮, 祝永军, 等. 高分辨率层序地层学—原理及应用[M]. 北京:地质出版社, 2002:3-24.
Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhu Yongjun, et al. High-Resolution Sequence Stratigraphy—Principle and Application[M]. Beijing:Geology Publishing House, 2002:3-24(in Chinese).
- [10] 靳松, 朱筱敏, 钟大康. 扇三角洲高分辨率层序地层对比及砂体分布规律[J]. 中国地质, 2006, 33(1):212-220
Jin Song, Zhu Xiaomin, Zhong Dakang. High-resolution sequence stratigraphic correlation of fan deltas and distributeon characteristics of sandbodies [J]. Geology in China, 2006, 33(1): 212-220(in Chinese with English abstract)
- [11] 林畅松, 张燕梅, 刘景彦, 等. 高精度层序地层学和储层预测[J]. 地质学前沿, 2000, 7(3):111-117.
Lin Changsong, Zhang Yanmei, Liu Jingyan, et al. High-resolution sequence stratigraphy and reservoir prediction [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3):111-117(in Chinese with English abstract).
- [12] 林畅松, 刘景彦, 刘丽军, 等. 高精度层序地层分析:建立沉积相和储层规模的等时地层格架[J]. 现代地质, 2002, 16(3):276-281.
Lin Changsong, Liu Jingyan, Liu Lijun, et al. High-resolution sequence stratigraphy analysis: construction of chronostratigraphic sequence framework on facies and reservoir scale [J]. Geosciences, 2002, 16(3):276-281(in Chinese with English abstract).
- [13] 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[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(3):241-244.
Zheng Rongcai, Wu Chaorong, 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).
- [14] 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[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).
- [15] 薛良清. 层序地层学研究现状、方法与前景[J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(5):8-13.
Xue Liangqing. Sequence stratigraphy current status, method and prospect [J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(5): 8-13(in Chinese).
- [16] 蔡希源, 李思田. 陆相盆地高精度层序地层学——隐蔽油气藏勘探基础、方法与实践[M]. 北京:地质出版社, 2003:21-30.
Cai Xiyuan, Li Sitian. High-Resolution Sequence Stratigraphy in Terrigenous Basin—the Base, Method and Application of Subtle Reservoir Exploration [M]:Beijing: Geological Publishing House, 2003:21-30(in Chinese).
- [17] 杨俊杰, 李克勤, 张东生, 等. 长庆油田石油地质志 [M]. 石油工业出版社, 1987:237.
Yang Junjie, Li Keqin, Zhang Dongsheng, et al. Changqing Oilfield Petroleum Geology of China [M]:Beijing:Petroleum Industry Press, 1987:237(in Chinese with English preface).
- [18] 覃建雄, 夏竹, 田景春. 西昌复合盆地层序界面研究及意义[J]. 地球学报, 2003, 24(2):143-150.
Qin Jianxiong, Xia Zhu, Tian Jingchun. The sequence stratigraphic bounding in Xichang composite basin and its significance [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24(2):143-150(in Chinese with English abstract).
- [19] 许效松. 层序地层学在沉积学和油储勘查中研究的关键点[J]. 岩相古地理, 1996, 16(6):55-62.
Xu Xiaosong. Keys of sequence stratigraphy in researching sedimentology and oil exploration [J]. Seimentary Facies and Palaeogeography, 1996, 16(6):55-62(in Chinese).
- [20] 孙肇才, 谢秋元. 叠合盆地的发展特征及其含油性—以鄂尔多斯盆地为例[J]. 石油实验地质, 1980, 2(1):13-21.
Sun Zhaocai, Xie Qiuyuan. Development characteristics of superimposed basin and its oil-bearing property: taking Ordos Basin as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment. 1980, 2 (1):13-21 (in Chinese with English abstract).
- [21] 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 Chaorong. 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).
- [22] 赵虹, 党彝, 靳文奇, 等. 安塞油田长 6 油层组精细地层划分与对比[J]. 西北大学学报(自然科学版). 2004, 34(4):461-464.
Zhao Hong, Dang Ben, Jin Wenqi, et al. Fine strata classification and correlation of Chang 6 oil-bearing formation of Yanchang Formation in Ansai oilfield [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2004, 34(4):461-464 (in Chinese with English abstract).

Identification of sequence boundaries of different orders in the Upper Triassic Yanchang Formation in northern Shaanxi, Ordos basin

DANG Ben¹⁻³, ZHAO Hong³, LI Wen-Hou², CHEN Yong-Sheng³, ZHENG Xiao-Jie³,
YAN Zhou-Quan³, JIA Yu-Qin³

(1. Petro China Changqing oilfield company, Xi'an 710020, Shaanxi, China;

2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi, China;

3. College of Earth Sciences and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;)

Abstract: The indications for identification of sequence boundaries of different order are analyzed in detail according to the theory of high-resolution sequence stratigraphy and on the basis of the observations and descriptions of the main field outcrops and cores of the Upper Triassic Yanchang Formation in northern Shaanxi, Ordos basin, combined with abundant well logging curves. The results indicate that there are one super long-duration depositional cycle, four long-duration depositional cycles, nine medium-duration cycles and some short-duration cycles in the Yanchang Formation. Affected by the Indosinian movement, two regional uplift and subsidence surfaces (SLSB2 and SLSB1) of tectonic movement formed in the study area and the two sequence boundaries are the top and bottom of a super long-duration cycle. The long-duration cyclic sequence is a regional lake transgressive-regressive depositional sequence and its boundary is a low-angle erosion unconformity and its corresponding conformity. There are three long-duration cyclic sequence boundaries in the study area; they are in ascending order: (1) the transgressive boundary formed by regional base-level elevation, which is approximately equivalent to the "Lijiapan shale"; (2) the regional marker bed of mudstone and tuff, which is approximately equivalent to marker bed k2 located at the bottom of oil layer set Chang 6; and (3) the regional facies transition boundary, which is approximately equivalent to the boundary between layer sets Chang 4+5 and Chang 3. The medium- and short-duration cyclic sequence boundaries are lake flooding surfaces of different orders, erosion surfaces, transition surfaces of rock types or facies groupings, surfaces of bedding change within rock facies and boundaries of cyclic change in thickness of sandstone and mudstone. On the basis of identifying boundaries, the depositional cycles and spatial distribution of boundaries in the study area are analyzed. The identification of boundaries of different orders is the key to the study of high-resolution sequence stratigraphy and plays an important role in petroleum exploration and exploitation.

Key words: sequence boundary; high-resolution sequence stratigraphy; lake flooding surface; Yanchang Formation; Ordos basin; north Shaanxi

About the first author: DANG Ben, male, born in 1966, Ph.D, associate professor, mainly engages in the comprehensive research on oil and gas geology; E-mail: dangben@chd.edu.cn.