

文章编号 :1000-0550(2002)01-0092-09

陕北志丹三角洲长 6 油层组 高分辨率层序分析与等时对比

郑荣才¹ 彭 军²

¹(“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 成都理工学院分室 成都 610059)
²(“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 西南石油学院分室 四川南充 637001)

摘要 以高分辨率层序地层学理论体系为指导思想,通过基准面旋回结构和叠加样式的沉积动力学分析,采用多级次基准面旋回划分方案,本文详细地讨论了陕北志丹三角洲上三叠统延长组长 6 油层组高分辨率层序地层学特征,从该油层组中识别出四种具不同成因、产状特征、发育规模和识别标志的基准面旋回界面,以界面的成因和级别为依据,将长 6 油层组划分为超短期、短期、中期和长期四个级次的旋回层序,其中超短期、短期旋回层序可细分为向上“变深”非对称型、向上变浅非对称型、对称型三种基本层序类型和更多的亚类型,在三角洲的不同沉积相带具有不同结构和叠加样式的分布模式。而中期、长期旋回层序以发育具完整湖进—湖退旋回的对称型结构为主,区域分布较稳定,根据多级次旋回层序划分结果,运用旋回等时对比法则对各级次旋回层序进行等时对比和建立不同时间尺度的时间—地层格架,讨论了不同时间尺度的层序地层格架在油气勘探开发各阶段的研究意义。

关键词 鄂尔多斯盆地 高分辨率 层序地层 基准面旋回 等时地层 对比技术 地层格架

第一作者简介 郑荣才 男 1950 年出生 教授 沉积学和石油地质学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

高分辨率层序地层学理论自其问世以来^[1],以该学派全新的概念、技术方法和实际应用效果,及其相对“Vail 学派”经典的层序地层学理论^[2]更适合中国中、新生代广泛发育的陆相含油气盆地层序分析,业已引起我国众多从事陆相盆地层序分析和储层预测研究的沉积学和石油地质工作者重视,发表有一系列相关研究成果^[3~14],已初步形成针对我国陆相盆地层序发育特征的研究思路^[3,4]。然而在大部分的研究成果中,尚存在简单套用该理论体系,基准面旋回级次的划分缺乏明确标准和随意性较大,以及在油气勘探开发各阶段的切入点不够明确和实际应用中可操作性较差等技术难题。本文以鄂尔多斯盆地北部志丹三角洲上三叠统延长组长 6 油层组为例,在 Cross 的理论体系基础上,进一步通过基准面旋回结构和叠加样式的沉积动力学分析方法^[13],采用多级次旋回层序划分方案^[14],探讨湖泊三角洲的高分辨率层序发育特征和等时对比技术,以及不同时间尺度的层序地层格架在油气勘探开发各阶段的研究意义。

依据百余口钻井岩芯和测井剖面的沉积学特征综合研究^①,证明鄂尔多斯盆地北部上三叠统延长组为一具河流→浅至半深湖→三角洲→河流→沼泽相沉积演化序列的湖进—湖退巨旋回,自上而下可划分为长

1 至长 10 等 10 个油层组,各油层组的生储盖组合特征各异,以位于湖退早期三角洲沉积阶段的长 6 油层组为最佳,亦为油气充满度和勘探成功率最高的主力产层,目前已进入早期整体开发阶段。长 6 油层组按地层的旋回性,又可细分为 3 个油层和 6 个小层(表 1),以及众多的单砂层和砂体。平面上,以长 6 油层组为主的志丹三角洲呈向半深湖方向强烈推进的鸟足状(图 1),储层主要由推进在半深湖—前三角洲暗色泥岩之上的三角洲前缘河口坝和水下分流河道砂体组成,物性参数孔隙度为 4.47%~15.47%,平均 10.76%,渗透率为 $0.27 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 56.68 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $5.59 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,以物性相对较好的水下分流河道砂体为储层骨架砂体和具有砂、泥岩薄互层组合的迷宫状结构和非均质性较强为显著特征^[9]。

1 基准面旋回界面类型及成因特征

界面识别是划分层序和进行区域等时地层对比、建立时间—地层格局的依据。在高分辨率层序地层学理论体系中^[1],完整的层序由基准面上升和下降 2 个半旋回时间单元叠加组成,分界线分别相当基准面上升达高点位置后折向下降的转换面,或下降达低点位置后折向上升的转换面。前者为具重要等时对比意义

① 王允斌,郑荣才等.鄂尔多斯盆地靖安地区长 6 油层组沉积微相和储层特征研究,1998

表 1 长 6 油层组中的油层和小层划分及岩性组合特征简表

Table 1 Classification and lithologic association of oil-bearing-horizon and small layer in Chang-6 Oil Reservoir Set

油层组	油层	小层	厚度/m	岩性组合特征	沉积相	标志层位置
长 4+5 油层组			80~110	浅灰色粉—细砂岩与暗色泥岩互层,局部夹煤层	三角洲平原	$\overline{K5}$
长 6 油层组	长 6 ₁	长 6 ₁ ¹	9.0~34.3	暗色泥岩、粉砂岩、细—中粒砂岩互层,砂岩主要产于中下部,局部夹碳质页岩和煤线,顶为薄层沉凝灰岩	三角洲前缘	$\overline{K4}$
		长 6 ₁ ²	9.4~41.7	暗色泥岩、粉砂岩、细—中粒砂岩,砂岩主要产于中部和下部,中—厚层状为主,上部以暗色泥岩为主	三角洲前缘→前三角洲	
	长 6 ₂	长 6 ₂ ¹	8.4~36.9	中、下部以厚层块状细—中粒砂岩为主,上部为暗色泥岩、粉砂岩、细—中粒砂岩薄互层,顶以暗色泥岩为主	三角洲前缘→前三角洲	
		长 6 ₂ ²	8.0~38.0	黑色泥岩、粉砂岩薄互层,底部和顶部夹少量细粒砂岩,普遍含有碳屑和植物碎片化石,顶为薄层沉凝灰岩	分流间湾→前三角洲	$\overline{K3}$
	长 6 ₃	长 6 ₃ ¹	20.5~27.3	顶、底为暗色泥岩,中部和中上部以薄—中层状细粒砂岩为主,含有丰富的植物碎片和螺蚌化石	前三角洲→三角洲前缘→前三角洲	
		长 6 ₃ ²	14.5~23.9	自下而上由暗色泥岩夹薄层粉砂岩渐变为粉砂岩、细粒砂岩与暗色泥岩薄互层,上部砂岩增多,底为薄层沉凝灰岩	前三角洲→三角洲前缘	$\overline{K2}$
长 7 油层组			80~100	以暗色泥岩、碳质页岩为主,夹油页岩和薄层粉砂岩	半深湖	K1—

注: \overline{K} 全区发育的沉凝灰岩标志层, \underline{K} 表示标志层位于底部, \overline{K} 表示标志层位于顶部, \overline{K} —表示标志层位于中部。

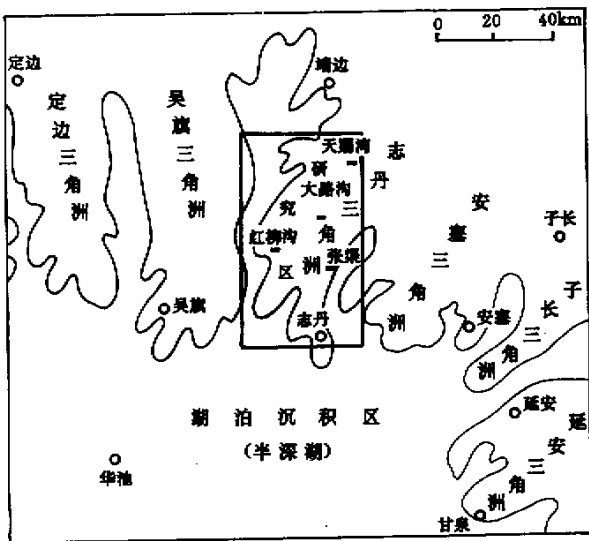


图 1 鄂尔多斯盆地晚三叠世长 6 期古地理示意图

Fig. 1 Palaeogeographic sketch of Chang-6 Epoch, Late Triassic in Northern Ordos Basin

的湖泛面,以中、低频旋回中的最大湖泛面区域等时对比性最好。后者为旋回界面,通常表现为不同成因和

产出规模的构造不整合面或侵蚀冲刷面,在长周期的低频旋回中往往具有较大跨度的穿时性,但随旋回周期的频率增高,穿时跨度逐渐缩小而等时性增强。在陆相含油气盆地中普遍发育的六类基准面旋回界面中^[14],延长组中可识别的界面有五类,分别为受构造因素控制的 II 和 III 类及受天文周期气候波动因素控制的 IV、V、VI 类,除延长组的底、顶发育有区域构造不整合面为标志的 II 类界面之外,长 6 油层组中的界面主要为规模依次变小的 III 至 VI 类,产状上以表现为侵蚀冲刷面为主,次为相关整合面,局部为欠补偿沉积间断面或水进冲刷面(图 2 和表 2)。此外,延长组中发育有 K0 至 K9 以沉凝灰岩或凝灰质泥岩为特征的 10 个区域性等时对比标志层,产于长 6 油层组的标志层为 K2、K3 和 K4(表 1),分别代表 3 个长周期旋回的最大湖泛期沉积。以上旋回界面的识别和 3 个标志层,为长 6 油层组的高分辨率层序划分和等时对比,建立时间—地层格架提供了重要依据。

2 不同级次的旋回层序划分和特征

依据不同级次基准面旋回界面的发育状况和由不

表2 各类基准面旋回界面的划分、识别标志和层序地层学意义

Table 2 Classification, discriminating marker and sequence significance of various base-level cycle boundary

界面类型	界面成因的动力学因素	产状分布及等时性	识别标志		层序地层学意义
			地表剖面或钻井岩芯	测井剖面	
II类	与盆地构造演化各阶段应力场转换有关的基准面升降	遍及盆地的构造不整合面,限于延长组底、顶面,具较大幅度的穿时性	地表剖面表现为与下伏中三叠统纸坊组,上覆下侏罗统富县组呈假整合接触关系,界面上发育有底砾岩	反映不同沉积体系的测井相组合突变转换面	超长期基准面旋回层序(低频构造充填层序)分界面
III类	与盆地同一构造演化阶段中次级构造周期性活动有关的基准面升降	限于盆地范围内的次级构造不整合面,自边缘向盆内方向穿时性逐渐缩小	古暴露作用或大型侵蚀冲刷面,界面两侧常出现岩性和岩相突变现象	反映同一或相邻沉积体系,由进积向退积转换的测井相组合,或为电性突变面	长期基准面旋回层序(低频沉积层序)分界面
IV类	与天文偏心率周期有关的气候波动引起的基准面升降	限于盆地边缘发育的沉积不整合或盆内的相关整合面,盆缘具低幅穿时性,盆内等时	盆缘的间歇暴露面,较大规模的侵蚀冲刷面,界面两侧有时可出现岩性、岩相突变现象	反映同一沉积体系内相似或相邻相带由进积向退积转换的测井相组合,偶为电性突变面	中期基准面旋回层序(较高频沉积层序或沉积体系域)分界面
V类	与天文斜率周期有关的气候波动引起的基准面升降	局部发育的沉积不整合面,主体以相关整合为主,区内基本等时	间歇暴露面和小型冲刷面,非沉积作用间断面,界面两侧具相似的岩性和岩相组合	反映韵律性沉积旋回的进积向退积转换的测井相组合	短期基准面旋回层序(高频沉积层序或准层序组)分界面
VI类	与天文岁差周期有关的气候波动引起的基准面升降	分布范围极为有限的沉积不整合面,主体以相关整合面为主,区内基本等时	小型冲刷面和间歇暴露面,以前者为主,界面两侧的岩性、岩相基本一致	反映单一岩性或数个岩性组成的退积、进积或退积→进积的测井相类型	超短期基准面旋回层序(最高频沉积层序或准层序)分界面

同级次基准面升降变化记录的地层过程响应特征,可从长6油层组中划分出超短期、短期、中期、长期4个级次的旋回层序,各级次旋回层序的沉积序列、结构类型和叠加样式综合于图3中,特征简述如下。

2.1 超短期旋回层序

此类层序是根据岩芯或测井等实际资料划分的最小成因地层单元,层序厚度不足1m至数米,以VI类界面为层序边界(表2)。界面成因类型多样化,主要表现为可容纳空间与沉积物供给量比值(以下简称A/S比值)和沉积动力学条件迅速变化过程中形成的小型冲刷面、水进冲刷面,或为稳定条件下形成的欠补偿沉积间断面和整合面,所限定的层序往往具有不同的旋回结构,可细分为如下几种基本层序类型。

2.1.1 向上“变深”的非对称型

此类型于水下分流河道沉积区最常见,以层序中仅保存基准面上升半旋回沉积记录,下降半旋回则处于侵蚀冲刷状态而具有向上“变深”非对称型结构。按层序的沉积相组合特征,可分为低可容纳空间和高可容纳空间两种亚类型:前者由底冲刷与单一向上变细

的分流河道厚层块状砂岩组成(图4A-1),形成于水浅流急、缓慢湖进快速湖退和 $A/S \ll 1$ 的沉积条件下^[13],主要出现在水下分流河道彼此叠置和侧向迁移非常活跃的水下平原上游部位;后者由底冲刷→水下分流河道厚层块状砂岩→水下天然堤薄层粉砂岩→分流间湾泥岩组成向上加深变细的层序(图4A-2),形成于水较深但流较急、缓慢湖进快速湖退和 $A/S < 1$ 的沉积条件下^[13],主要出现在水下分流河道下切作用较弱和河道相对较稳定的水下平原中下游部位。

2.1.2 向上变浅的非对称型

此类型常见于远砂坝—河口坝沉积区,以层序中仅发育基准面下降半旋回沉积记录,上升半旋回则表现为水进冲刷面或欠补偿沉积间断面而具有向上变浅的非对称型结构。按层序的沉积相组合和界面特征,亦可分为低可容纳空间和高可容纳空间两种亚类型:前者由水进冲刷面与单一向上变粗的河口坝中厚层状砂岩组成(图4B-1),形成于水较浅流较急、快速湖进缓慢湖退和 $A/S < 1$ 的沉积条件下^[13],主要出现在沉积速率较高的近河口部位;后者由欠补偿沉积间断面

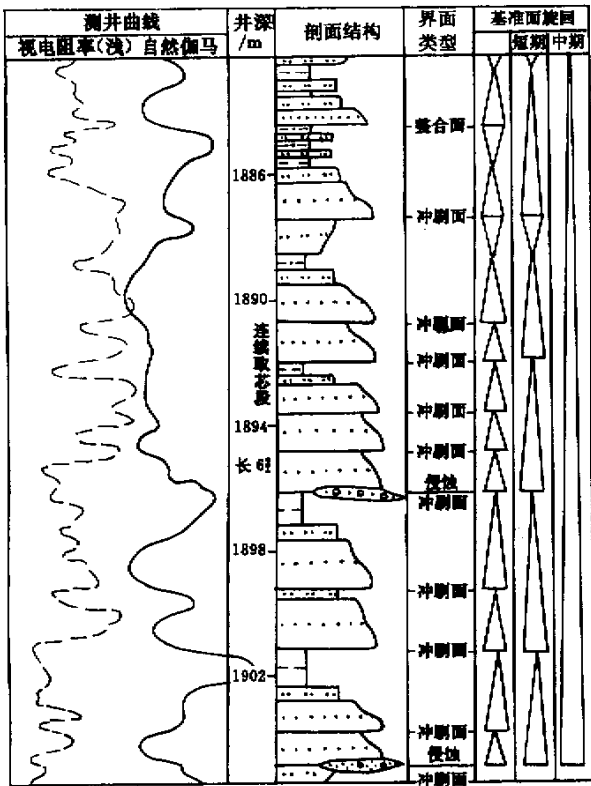


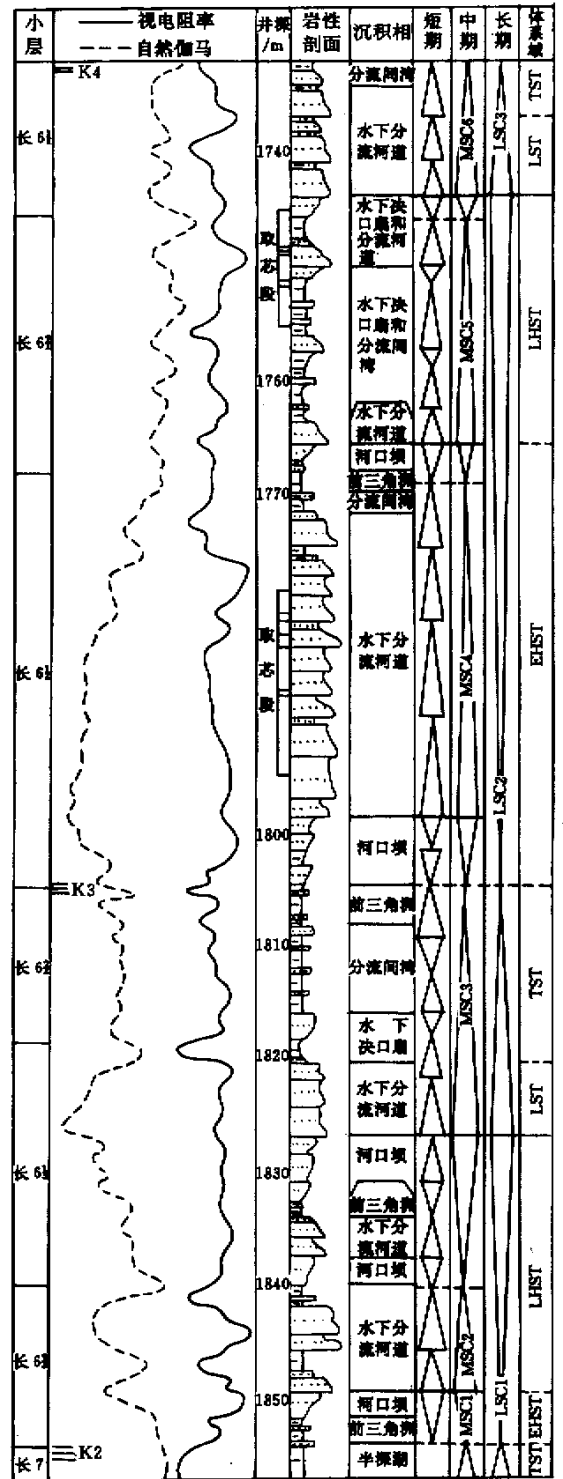
图 2 长 6 油层组各类基准面旋回界面的识别标志和产出特征(据 ZJ39 井)

Fig. 2 Discriminating markers and occurrence characteristics of various base-level cycle boundaries in Chang-6 Oil Reservoir Set (from Well ZJ39)

→远砂坝薄互层泥、粉砂岩→河口坝薄层砂岩夹泥岩组成向上变浅和略趋加粗的层序(图 4B-2),形成于水深流缓、快速湖进缓慢湖退和 $A/S > 1$ 的沉积条件下^[13],主要出现在沉积速率较低的远河口部位。

2.1.3 向上变深复变浅的对称型

此类型发育于水下分流河道与河口坝交替作用的河口及相邻两侧,以层序中同时保存有基准面上升和下降半旋回沉积记录而具有向上变深后复变浅的对称型结构。但在河口及相邻两侧对称性有所变化,沉积相组合和界面特征亦有所差异,大致可分为三种基本亚类型:①上升半旋回厚度大于下降半旋回的不完全对称型,自下而上由冲刷面→水下天然堤薄层粉砂岩→分流间湾泥岩→决口扇(或决口河道)中一薄层砂岩组成层序(图 4C-1),常见于河口内侧;②上升与下降半旋回厚度近于相等的完全对称型,自下而上由弱冲刷面(或砂、泥岩性突变面)→水下分流河道中层状砂岩→水下天然堤薄层粉砂岩→分流间湾或前三角洲泥岩→河口坝中厚层砂岩组成层序(图 4C-2),常见于河



LST: 低湖水位体系域; TST: 湖进体系域; EHST: 高湖水位早期体系域; LHST: 低湖水位晚期体系域
图 3 长 6 油层组沉积相和高分辨率层序地层综合柱状图
Fig. 3 Generalized column of the sedimentary facies and high-resolution sequence stratigraphy of Chang-6 Oil Reservoir Set

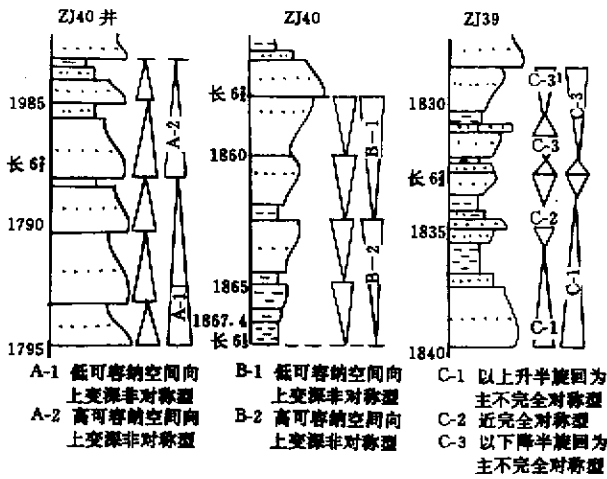


图4 几种超短期和短期旋回层序结构

Fig.4 Several profiles of sequence structures

of supershort-term and short-term base-level cycle

口部位;③下降半旋回厚度大于上升半旋回的不完全对称型,见于水下平原中的堤泛沉积区或河口处,前者由相关整合面→水下堤泛薄层粉砂岩→分流间湾泥岩→决口扇(或决口河道)中厚层粉—细砂岩组成层序(图4C-3)。后者由相关整合面(或水进冲刷面)→水下分流河道薄—中层砂岩→分流间湾或前三角洲泥岩→河口坝中厚层砂岩组成层序(图4C-2)。需指出的是,此三种亚类型都形成于水较深流较缓、缓慢湖进和湖退,以及 $A/S \geq 1$ 的中等—高可容纳空间沉积条件下^[13]。

2.1.4 超短期旋回层序分布模式

通过对不同结构的超短期旋回层序在三角洲不同沉积相带的分布状况统计,提出超短期旋回层序分布模式(图5),由该模式中沿三角洲生长轴线方向的旋回结构变化规律,可反映当基准面处于低幅上升期时,沉积作用主要发育在水下平原沉积区,水下分流河道砂体的沉积强度自上游向下游和河口方向减弱,而溢堤沉积作用有所增强。伴随湖水位的上升和有效可容纳空间向陆方向迁移,向河口方向的沉积物供给量减少,河口坝和湖泊沉积区逐渐进入欠补偿沉积状态;当基准面处于低幅下降期时,伴随湖水位的下降和有效可容纳空间向盆内方向迁移,水下平原沉积区进入侵蚀冲刷状态,侵蚀强度和幅度自上游向河口方向降低,由侵蚀产生的再搬运沉积物逐渐增多,并与来自物源区的沉积物共同向盆内方向搬运,造成河口坝和湖泊沉积区沉积物供给量递增,沉积强度渐趋增高,以近河口的河口坝沉积区最强。

2.2 短期旋回层序

此类层序厚数米至近十米,以V类界面为层序边界(表2)。一般由数个具相似结构和岩性组合的超短期旋回层序叠加而成,个别与单个超短期旋回层序相当。层序的结构和分布规律与超短期旋回层序基本一致(图4和5),亦可细分出向上“变深”非对称型、向上变浅非对称型、对称型3类层序,以及低或高可容纳空间,对称或不完全对称等7个亚类型,显示此类层序与

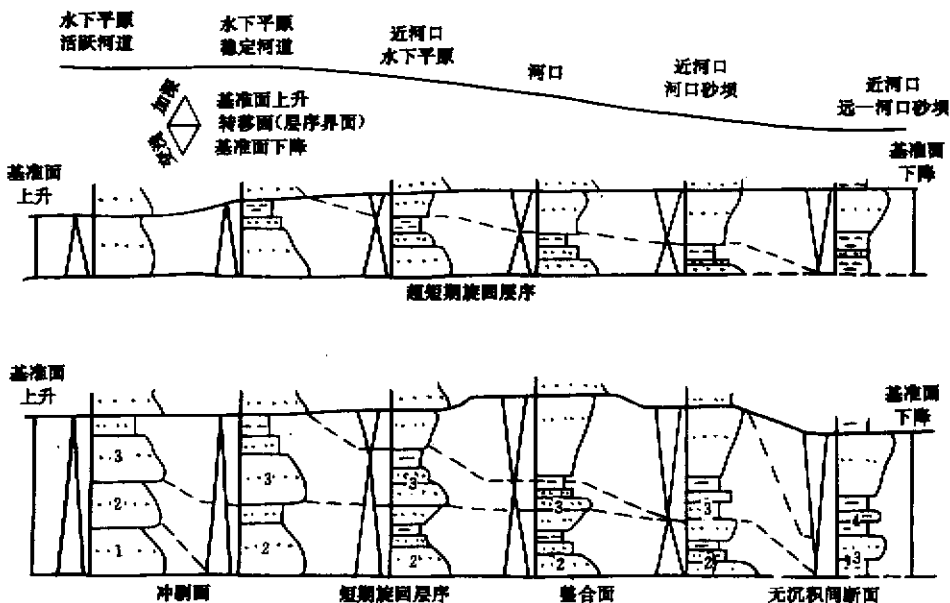


图5 长6油层组不同沉积相带的超短期和短期基准面旋回对称性变化及分布模式

Fig.5 Distribution pattern and symmetry variation of supershort-term and short-term base-level cycle in different facies belts

超短期旋回层序有相似的沉积动力学形成条件。

2.3 中期旋回层序

此类层序厚数十米,以Ⅳ类界面为层序边界(表 2)。在以 K2 和 K4 为分层标志的长 6 油层组中可划分出 6 个中期旋回层序,自下而上分别命名为 MSC1, MSC2, …… MSC6, 其中 MSC1 的上升半旋回位于长 7 油层组,进入长 6 油层组的为下降半旋回,而 MSC6 于长 6 油层组内为上升半旋回,下降半旋回进入长 4+5 油层组(图 3)。层序结构以上升半旋回为主的不完全对称型为主,次为对称型,部分为下降半旋回为主的不完全对称型。在沉积演化序列中,一个中期旋回层序代表一次较大幅度的湖进—湖退过程,与之相对应的是三角洲沉积体系的一次由强烈进积到加积和退积后,重新回到进积状态的一个生长旋回(图 6),各生长旋回的界面出现在前期进积的河口坝砂体与后期强烈进积的水下分流河道砂体之间,以具有较大下切幅度的侵蚀冲刷面为标志。因此,中期旋回层序的主体虽然与各小层或油层大体相当,但界面位置与传统的砂岩底界或泥岩顶界为分层界线的位置并不一致(图 3)。在垂向剖面上,各中期旋回的上升半旋回主要由一系列代表水体逐渐向上加深的非对称型短期旋回层序叠加组成,局部于上部出现上升半旋回为主的不完全对称型或对称型。而下降半旋回主要由一系列代表水体向上变浅的非对称型短期旋回叠加组成,局部于下部出现对称型和下降半旋回为主的不完全对称型。中期湖泛面,由发育于基准面上升折向下降转换带上的泥岩顶面组成(图 6)。在平行三角洲推进方向的纵向剖面上,不同沉积相带中的中周期旋回层序结构较稳定,一般都以上升半旋回为主的不完全对称型和对称型为主,仅在 MSC2 层序出现自水下平原上游向河口坝方向由上升半旋回为主的不完全对称型经对称型到下降半旋回为主的不完全对称型的结构变化和分布模式,此特征与 MSC1 至 MSC6 叠加组成的三角洲 6 个生长旋回依次向盆内方向的推进距离逐渐加大,以及各中期基准面上升半旋回中作为储层骨架砂体的水下分流河道发育范围和沉积强度逐渐扩展和增强的沉积演化特征是一致的。

2.4 长期旋回层序

此类层序厚近百半至百余米,以Ⅲ类界面为层序边界(表 2)。在长 6 及相邻的油层组中,如以 K2、K3、K4 的顶界为长期湖泛面,可划分出 3 个长期旋回层序,自下而上分别命名为 LSC1, LSC2, LSC3(图 3)。其中 LSC1 为一缓慢湖进和湖退的对称型旋回,其上升半旋回位于长 7 油层组上部,由大套半深湖至前三角洲相的暗色泥岩夹油页岩组成,该泥岩段也系研究

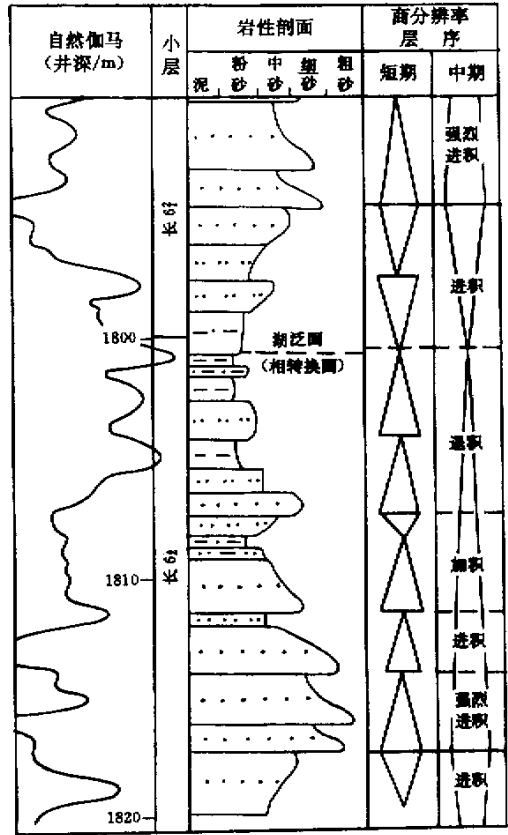


图 6 长 6 油层组中的中期旋回层序剖面
 Fig. 6 Profile of middle-term cycle sequence structure in Chang-6 Oil Reservoir Set

区最重要的烃源岩系。进入长 6 油层组的为下降半旋回,属该层序的高湖水位期沉积,由分别代表高湖水位早期、晚期志丹三角洲开始向盆内方向短距离推进的 MSC1 下降半旋回和 MSC2 二个生长旋回叠加组成(图 3),以河口坝砂体沉积强度大于水下分流河道砂体为显著特征;LSC2 为一快速湖进缓慢湖退和下降半旋回厚度远大于上升半旋回的不完全对称型旋回,由 MSC3、MSC4、MSC5 叠加组成(图 3),区域分布很稳定。该层序的低湖水位期沉积发育于 MSC3 上升半旋回下部,由数个短期水下分流河道砂体连续叠置构成强烈进积体,代表志丹三角洲向湖盆方向进一步推进的第三个生长旋回。之后因受快速湖进影响,水体迅速加深沦为前三角洲,以 K3 顶部的最大湖泛面为界,由 MSC3 上升半旋回上部的暗色泥岩夹薄层粉砂岩段,组成该层序的湖泛期沉积。高湖水位早期和晚期沉积,各由 MSC3 下降半旋回叠加 MSC4 和 MSC5 组成,以 MSC4 和 MSC5 上升半旋回中连续叠置的短期水下分流河道砂体极其发育和进积作用强

烈,以及下降半旋回被后期水道大幅度下切侵蚀而保存极不完整为显著特点,因此可分别代表志丹三角洲于长6期沉积演化史中推进距离和发育规模最大、储集砂体最发育、物性最好、最具油气勘探开发潜力的第四和第五个生长旋回;LSC3亦为一快速湖进缓慢湖退的不完全对称型旋回,以K4标志层顶部的最大湖泛面为界,其下降半旋回进入长4+5油层组,位于长6油层组的上升半旋回与MSC6的上升半旋回相当,由下部数个短期水下分流河道砂体连续叠置组成相当志丹三角洲第六个生长旋回的低湖水位期进积体,上部由分流间湾至前三角洲相的暗色泥岩段组成水体迅速加深的湖泛期沉积。需指出的是,志丹三角洲的沉积演化史从长7油层组上部开始一直延续到长4+5油层组中上部,共发育有四个长期旋回层序。其中三角洲前缘沉积阶段主要发育于相当长6油层组的LSC1下降半旋回至LSC3上升半旋回,该阶段也是水下分流河道储集砂体最发育和生储盖组合条件最佳的时期。而相当长4+5油层组中下部的LSC3下降半旋回至LSC4层序,则为三角洲前缘向三角洲平原过渡的沉积阶段,相当长6期三角洲的分布范围内,其储层和生储盖条件都较差(推测长4+5油层组的有利相带已推进到长6期三角洲发育范围的南侧),因受篇幅限制本文不再予以讨论。

3 高分辨率层序的等时对比和研究意义

高分辨率层序对比,以基准面旋回转换面为优选时间地层对比位置^[1],应用这一旋回等时对比法则对长6油层组各级次旋回层序进行等时对比和建立相应的时间—地层格架。

3.1 中、长期旋回层序等时对比及研究意义

在长6油层组中,长期基准面旋回的转换面包括3个具有重要等时对比意义的长期湖泛面和LSC2与LSC3底部的2个层序界面。在上述界面为标志的长期旋回层序等时对比基础上,在同一长期旋回层序中先标定各中期旋回层序的发育位置和叠加样式,然后选取中期湖泛面和层序界面为优选时间—地层对比位置,对旋回结构和发育数量基本一致的中期旋回层序进行自下而上的逐层对比,建立以长期旋回层序为框架,中期旋回层序为等时地层对比单元的地层格架。此方法亦同样适用于建立以超长期旋回层序为框架,长期旋回层序为等时地层对比单元的地层格架。由上述方法建立的中、长期时间尺度的地层格架,主要适用于油气勘探阶段的生储盖组合描述和对有利储集相带进行区域预测和评价^[5-8,10,11],同时也是对短期和超

短期旋回层序进行高精度等时对比的基础^[12]。

3.2 短期、超短期旋回层序等时对比技术和研究意义

由于同一中期旋回层序中不同沉积相带的短期旋回层序结构和叠加样式的变化错综复杂,且层序的发育数量亦不尽一致,因而短期旋回层序的等时对比难度极大。本次研究根据中期基准面旋回界面对短期旋回层序发育和保存状况有直接控制作用关系,提出以动力学分析为基础的等时对比技术方法。具体方法及理论依据如下:在已建立的中、长期旋回层序的等时地层格架基础上,以中期旋回层序的二分时间单元为框架,选取最具等时对比意义的中期湖泛面为对称轴,然后将各短期旋回层序按其发育顺序和叠加样式分别标定在中期基准面的上升半旋回和下降半旋回两时间单元中。鉴于短期旋回层序有非对称型和对称型之分,前者由单一时间单元(上升或下降半旋回时间单元)加层序界面组成,而后者则由二个时间单元和分隔时间单元的层序界面和短期湖泛面(即二分时间单元分界线)组成。对二个同期相邻但具不同旋回结构的层序而言,其中非对称型层序界面的时间跨度可能相当或超出相邻对称旋回中的某个时间单元跨度(图5)。因此,在短期旋回层序的对比中同时存在岩层对岩层、界面对界面和界面对岩层的多种对比关系,因而选取普遍发育的层序界面为相对更可靠的等时对比标志。在选定短期旋回层序的等时对比标志后,以中期湖泛面提供的对称轴为起点,以中期旋回层序的底、顶界面各为终点,分别对纳入中期基准面上升半旋回的短期旋回层序进行自上而下,纳入下降半旋回中的短期旋回层序进行自下而上的逐层对比,对比结果可能出现三种情况:①由自上而下,或自下而上的逐层对比结果,各部位的短期旋回层序同时到达中期旋回层序的底界面或顶界面,说明所对比的短期旋回层序是基本等时和均衡发育的,也可说明作为中期旋回层序界面发育要素的侵蚀冲刷作用较弱;②对发育于中期基准面上升期的短期旋回层序进行自上而下的逐层对比结果,各部位的层序不能同时到达中期旋回层序的底界面,有的部位多出一个或数个短期旋回层序,这些多余的层序应属于层序界面上低洼部位的优先充填物,通常由分流水道下切砂体组成,其充填厚度越大和短期旋回层序发育数量越多,说明中期旋回层序界面曾遭受的下切侵蚀幅度越大和延时越长;③对发育于中期基准面下降期的短期旋回层序进行自下而上的逐层对比结果,各部位的短期旋回层序不能同时到达中期旋回层序的顶界面,有的部位少了一个或数个短期旋回层序,这些层序的缺失与界面曾发生地表暴露和遭受侵蚀冲刷作用有关,显然缺失的短期旋回层序越多,亦

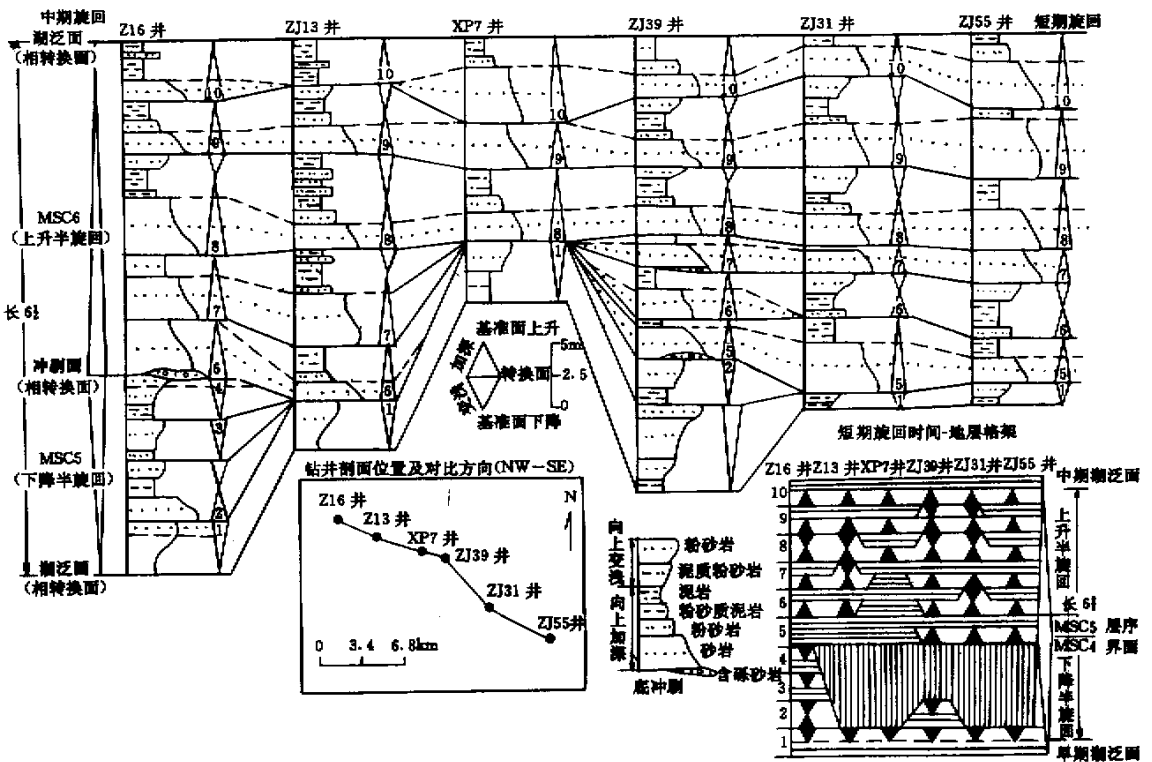


图 7 MSC4 中的短期旋回层序等时对比及地层格架(垂直三角洲长生方向)

Fig. 7 Isochronostratigraphic correlation and stratigraphic framework of short-term cycle sequence in MSC4

表明中期旋回层序界面所遭受的侵蚀冲刷作用越强,其侵蚀幅度可利用界面上的优先充填物厚度或侵蚀缺失的短期旋回层序数及其估算厚度进行度量(据本次研究,由中、长期旋回界面暴露造成的水道下切侵蚀幅度最大可达 8~14 m)。在长 6 油层组的短期旋回层序的等时对比中,第一种情况较为少见,常见的是与中期基准面下降到地表之下的低点位置时,界面普遍遭受程度不同的下切侵蚀作用,致使三角洲不同部位的同一中期上升或下降半旋回内所发育或保存的短期旋回层序结构和数量非常不一致的后二种情况。因此,只有在详细剖析中期旋回层序界面的成因特征及其对短期旋回层序发育及保存状况的控制作用,才有可能建立以中期旋回层序为框架,短期旋回层序为等时地层对比单元的高精度地层格架。在短期旋回层序的等时对比基础上,上述技术方法亦适用于建立以中、短期旋回层序为框架,超短期旋回层序为等时地层对比单元和精度更高的地层格架。图 7 即为采用上述技术方法所建立的短期基准面层序地层格架。由上述方法建立的短期和超短期时间尺度的地层格架,在油气开发各阶段有着广阔的应用前景,不仅可用以了解储、隔层在地层格架中的时空分布规律,描述储集砂体的几何形态和相互关系,对储层进行更有效的三维预测

和评价,同时亦可用以对米级小层砂体或单砂体的追踪对比,编制大比例尺的等时沉积微相图或单砂体分布图,表征储集砂体的非均质性和储层结构,从而为油气藏精细描述、流体流动单元划分、储层建模和流体流动数值模拟,乃至注采工艺的布置或调整,提供更为可靠的地质模型。

参 考 文 献

- 1 Cross T A., Lessenger M A. Sediment Volume Partitioning: Rationale for Stratigraphic Model Evaluation and High-Resolution Stratigraphic Correlation [R]. Accepted for publication in Norwegian Petroleum-Forneing Conference Volume, July, 1996, 1~24
- 2 Vail P R. Seismic Stratigraphy Interpretation Using Sequence Stratigraphy. Part 1: Seismic Stratigraphy Interpretation Procedure [A]. In: Bally A W, ed. Atlas of Seismic Stratigraphy [C]. American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology, 1987, 27: 1~10
- 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 [J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(3): 177~184
- 4 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 浅淡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
- 5 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 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 90~95
- 6 王洪亮, 邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96~102

- 7 邓宏文,徐长贵,王洪亮. 陆东凹陷上侏罗统层序地层与生储盖组合 [J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(4): 275~284
- 8 郑荣才. 四川盆地下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
- 9 杜春艳,郑荣才. 陕北长 6 油层组短期基准面旋回与储层非均质性的关系[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(1): 17~22
- 10 郑荣才,吴朝容. 西部凹陷深层沙河街组生储盖的层序分析[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(4): 17~22
- 11 吴朝容,郑荣才. 辽河油田西部洼陷沙河街组高分辨率层序地层学[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(4): 375~381
- 12 柳梅清,陈亦军,郑荣才. 川西新场气田蓬莱镇组陆相地层高分辨率层序地层学研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(1): 50~56
- 13 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
- 14 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

Analysis and Isochrone Stratigraphic Correlation of High-Resolution Sequence Stratigraphy for Chang-6 Oil Reservoir Set in Zhidan Delta, Northern Ordos Basin

ZHENG Rong-cai¹ PENG Jun²

1(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

2(Southwest Petroleum Institute, Nanchong Sichuan 637001)

Abstract On the basis of sedimentary comprehensive study of core and well logging, taking the high-resolution sequence stratigraphy theory from Cross T A. As an instruction through the technique of sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle and using the classification system of six-grade division scheme of base-level cycle, the authors discuss in detail the high-resolution sequence stratigraphic characteristics of Chang-6 Oil Reservoir Set, Upper Triassic in Zhidan Delta developed in Northern Ordos Basin. In the study mentioned above, four grades and genetic types of base-level cycle interface can be recognized from the formation, which is of different occurrence characteristics, developmental scales and discriminating markers. Depending on the genetic characteristics of base-level cycle interface, the formation may be divided into four order cycle sequences supershort-term, short-term, middle-term and long-term cycle sequences. Among these sequences, the cycle sequences of supershort-term and short-term may be subdivided further into three basic types of sequence structure, including up-deepening non-symmetry, up-shallowening non-symmetry and symmetry from up-deepening to up-shallowening, and into seven subtypes of low or high accommodation and non-complete or nearly complete symmetry. These basic sequence types and subtypes are of various stacking and distribution patterns in different facies belts of Zhidan Delta. The middle-term and long-term cycle sequences are usually of symmetric structures which develop complete depositional sequence of lacustrine transgressive-regressive cycle and distribute stably in the different facies belts of the delta. According to the high-resolution isochrone stratigraphic correlation of the turnaround boundaries of the multi-order base-level cycles of Chang-6 Oil Reservoir Set, the chronostrata unit frameworks in different time scale can be built, which have different application significance in each stage of hydrocarbon exploration and development.

Key words Ordos Basin, high-resolution, sequence stratigraphy, base-level cycle, Isochrone stratigraphy, correlation technique, chronostrata unit framework