

文章编号: 1000-0550(2008) 04-0624-08

# 酒泉盆地青西凹陷下沟组高分辨率层序分析<sup>1</sup>

汪满福<sup>1</sup> 王俊涛<sup>1</sup> 唐 飞<sup>1</sup> 郑爱萍<sup>1</sup> 程晓珍<sup>1</sup> 文华国<sup>2</sup>

(1. 中国石油玉门油田分公司 甘肃酒泉 735019)

2 成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室 成都 610059)

**摘 要** 主要应用 Cross 的高分辨率层序地层学理论及其技术方法,对酒西坳陷青西凹陷下沟组进行了层序地层划分,从中划分为 2 个长期和 5 个中期数十个短期基准面旋回层序,分析了不同级次的基准面旋回结构、叠加样式、分布模式,及其与储集砂体的发育关系,探讨了地层格架中生、储、盖组合和有利储集相带和铁白云石—钠长石质喷流岩的平面分布规律。

**关键词** 青西凹陷 高分辨率层序地层 扇三角洲 湖底扇 等时地层格架 喷流岩

**第一作者简介** 汪满福 男 1966 年出生 高级工程师 石油地质勘探 E-mail ymwangn@petrochina.com.cn

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

青西凹陷位于酒泉断陷盆地西部,属典型“小而肥”的富油凹陷,在下白垩统下沟组已发现鸭尔峡油藏、柳沟庄油藏和窟窿山油藏<sup>[1~4]</sup>。早白垩世时期以青西凹陷为中心的湖泊周围古地形高差比较大,具多物源沉积特点<sup>[4]</sup>。因此,合理的层序地层划分和有利储集相带的平面预测研究显得十分重要。



图 1 酒西盆地青西凹陷下白垩统构造位置图

Fig. 1 Simplified map showing the tectonic location of Qingsi Sag in Jiuquan Basin

## 1 层序界面特征及识别标志

层序界面不仅将界面所穿越地区的新、老地层分开,使层序具有年代地层意义,同时确定界面的地质属性、发育规模和区域等时对比,是对层序进行划分、

确定层序级别和成因类型,以及建立区域等时地层格架的基础<sup>[5]</sup>。

### 1.1 地震层序界面特征及识别标志

在地震剖面中反映地层不协调关系的地震反射终止—削蚀、削截与上超,可代表区域性的侵蚀间断或无沉积型的间断。而在持续稳定沉降的盆内,则表现为上、下平行的整一强反射界面。通过对野外露头或钻井岩芯中的宏观标志与地震剖面中具削蚀、削截与上超特征的反射界面进行井—震对比分析,可确定青西凹陷下白垩统赤金堡组、下沟组和中沟组发育有如下几个重要的层序界面: 1 下白垩统赤金堡组底部广泛发育的角度不整合面,相当 T<sub>g</sub>反射界面(图 2),

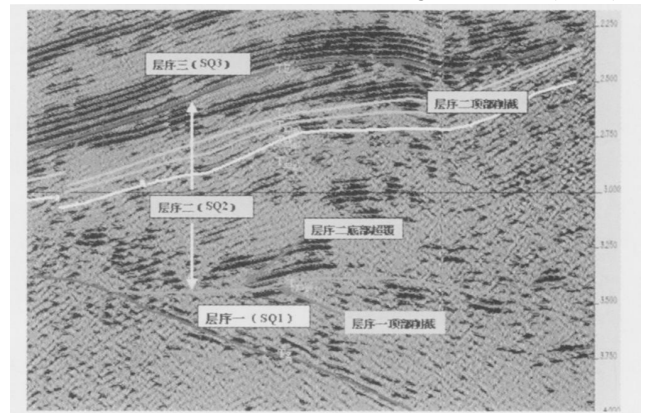


图 2 青西凹陷地震层序划分图

Fig. 2 Seismic sequence analysis of Xigou Formation in Qingsi Sag

<sup>1</sup> 国家自然科学基金(批准号: 40672073)和高等学校博士学科点专项科研基金(编号: 20060616014)资助。

收稿日期: 2007-09-13 收修改稿日期: 2007-12-10

该界面对下伏地层削蚀、削截作用强烈, 也为穿越整个青西凹陷乃至整个酒泉盆地的区域性沉积超覆面; ④下白垩统下沟组底部发育的构造不整合面, 相当  $TK_1g^0$  反射界面 (图 2), 在青西凹陷演化史中, 该界面代表沉积盆地从强烈裂陷阶段进入裂陷盆地扩张阶段的重要构造转换面和下沟组上超面; ④中沟组底部发育的平行不整合面, 相当  $TK_2z$  反射界面 (图 2), 该界面代表青南断陷由断陷盆地阶段, 转向以稳定沉降作用为主的坳陷阶段之构造转换面; ④中沟组顶部穿越整个酒泉盆地的角度不整合面, 相当  $TE$  反射界面 (图 2), 该界面代表酒泉断陷盆地沉积演化史的结束和进入构造反转的喜山期前陆盆地演化阶段<sup>[5]</sup>。

1.2 测井层序界面特征及识别标志

经钻井岩芯与测井曲线的对比关系统计, 青西凹陷下沟组测井组合类型可分为 3 类: ①底部突变、向上渐变的退积式组合, 常为赤金堡组、下沟组和中沟组底部高级别层序界面的表现形式; ④下部渐变、顶部突变的进积式组合, 常为赤金堡组、下沟组和中沟组顶部较高级别层序界面的表现形式; ④自下而上均变的加积式组合, 为下沟组内级别较低的层序界面主要表现形式。由测井相特征反映的层序界面和层序

演化特征, 与地表露头、钻井岩性剖面 and 地震中识别的层序界面和层序特征具有较好的对应关系。

1.3 最大湖泛面特征及识别标志

指长期基准面旋回中湖水位上涨达最高点位置、湖域范围最大和沉积速率最低时期发育的沉积界面, 代表长期基准面持续上升的进积→退积序列折向下降的加积→进积序列的相转换面。青西凹陷下白垩统赤金堡组、下沟组和中沟组中所发育的各个较长周期基准面旋回层序中, 无一例外地发育有最大湖泛面。

2 层序划分、结构类型及叠加样式

青西凹陷下白垩统赤金堡组、下沟组和中沟组巨厚的沉积充填体层序分析, 采用更适合陆相层序分析的高分辨率层序地层理论体系和技术方法<sup>[6-9]</sup>, 将下白垩统赤金堡组、下沟组和中沟组划分为 1 个巨旋回层序, 3 个超长期, 6 个长期旋回层序 (表 1), 其中下沟组发育有 2 个保存较好的长期旋回层序 ( $K_1gL1$  和  $K_1gL2$ ), 可细分为 5 个中期 ( $K_1gM1$  至  $K_1gM5$ ) 和 25 ~ 30 个短期旋回层序。

表 1 酒泉盆地下白垩统地层与高分辨率层序划分方案及其对比关系

Table 1 Comparison between stratum and high-resolution sequence stratigraphy division of the Lower Cretaceous in Jiuquan Basin

地 层 系 统		构造演化阶段划分		基准面旋回					
系	统	组	段	超长期	长期	中期			
白 垩 系	下 白 垩 统	下第三系	柳沟庄组	前陆盆地阶段					
			中沟组	上段	坳陷充填期	萎缩充填阶段	SLSC3	$K_1d2$	$K_1M5$ $K_1M4$ $K_1M3$
				下段		持续坳陷阶段		$K_1d1$	$K_1M2$ $K_1M1$
			下沟组	$K_1g3^2$	裂陷扩张期	稳定充填阶段	SLSC2	$K_1gL2$	$K_1gM5$
				$K_1g3^1$		裂陷鼎盛阶段			$K_1gM4$
				$K_1g2^1$					$K_1gM3$
				$K_1g1^1$		裂陷扩张阶段		$K_1gL1$	$K_1gM2$ $K_1gM1$ $K_1cM6$
				$K_1g^0$					$K_1cM5$ $K_1cM4$ $K_1cM3$
			赤金堡组	上段	强烈裂陷期	强烈裂陷阶段	SLSC1	$K_1cL2$	$K_1cM5$ $K_1cM4$ $K_1cM3$
				下段		初始裂陷阶段		$K_1cL1$	$K_1cM2$ $K_1cM1$

### 2 1 短期旋回层序

短期层序是钻井岩芯和测井剖面中所能识别的小层序地层单元, 相当于 Vail 经典层序中的 (n) 级层序<sup>[9]</sup>, 是进行层序地层分析的基础, 层序厚度为数米至数十米级, 可划分为如下 2 种基本类型。

#### 2 1.1 向上变深非对称型 (简称 A 型)

此类型形成于沉积物补给率远大于可容纳空间增长率的高补偿条件下, 以仅保存上升半旋回沉积记录和发育向上加深变细的沉积序列, 而下降半旋回表现为侵蚀冲刷作用为特征<sup>[8]</sup>。

此类型主要出现在青西凹陷下沟组冲积扇、扇三角洲和湖底扇等沉积体系中, 层序的主体主要由水道化砂体组成, 成因类型包括冲积扇沉积体系中的泥石流和辫状河道砂体, 扇三角洲沉积体系中的分流河道砂体 (图 3), 以及湖底扇沉积体系中的分流水道砂体等。不同沉积体系的水道化砂体成因特征和岩性组合虽然差异很大, 但向上变深的非对称型旋回结构却非常一致。

#### 2 1.2 对称型旋回层序 (简称 C 型)

此类型为研究区内最发育的结构类型, 形成于沉积物补给率接近至略低于可容纳空间增长率的低补偿条件下, 以上升和下降两个半旋回的沉积记录保存较完整和具备二分时间单元分界线, 即层序界面和洪泛面<sup>[8]</sup>, 以及发育由粗变细复变粗的韵律性旋回为显著特征 (图 3)。

#### 2 1.3 短期旋回结构类型的分布模式

在青西凹陷下沟组中, 各沉积体系内不同结构类型的短期旋回层序于各相带分布具有相似的规律, 明显受基准面上升期有效可容纳空间向陆方向迁移, 而下降期间则向盆地方向顺源迁移的双向变化过程和可容纳空间机制控制<sup>[9,10]</sup>, 不同结构类型的短期旋回分布 (图 5) 有如下几个基本特点:

① 具非对称 A 型结构的短期旋回层序主要分布在青南断陷的东部、西南部。其沉积体系靠近物源区一侧, 如冲积扇的扇根、扇三角洲平原地区、以及湖底扇的内扇和近内扇的中扇水道发育区, 大多数由多个水道化砂体连续叠加组成 A 型旋回结构;

④ 具对称 C 型结构的短期旋回层序主要分布在远物源的中、下游部位或河口外侧, 虽然在各沉积体系都有发育, 但在扇三角洲前缘和湖底扇更为广泛, 其上升半旋回主要由充填水道的砂砾岩与堤泛沉积的泥、粉砂岩叠加组成向上变细的水进沉积序列, 厚度自上游朝下游方向逐渐减薄, 以水道化砂体的厚度

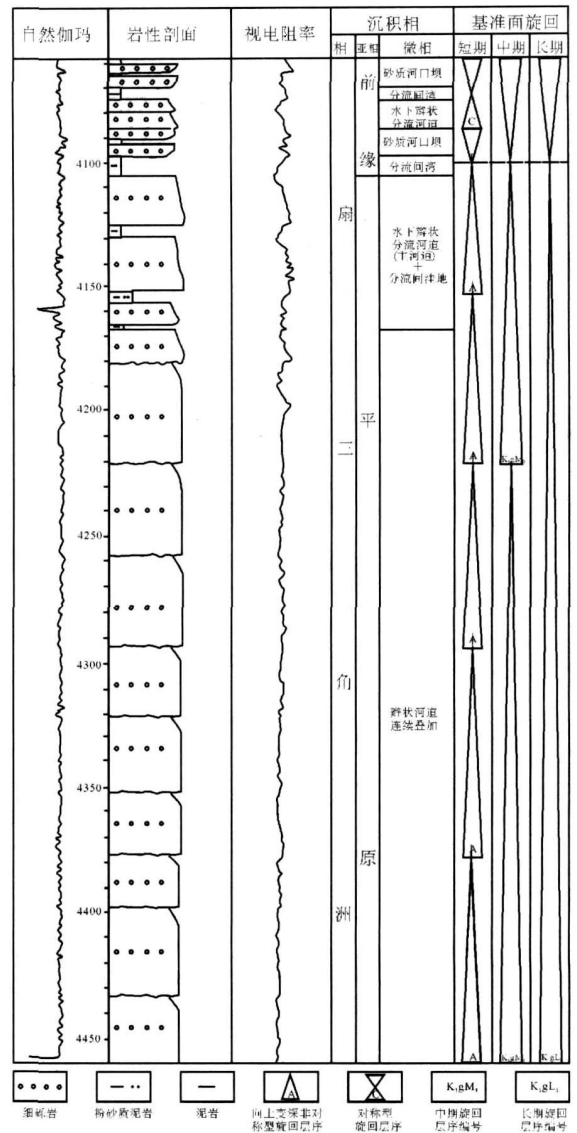


图 3 K<sub>1</sub>gL<sub>1</sub> 层序扇三角洲沉积体系短、中、长期旋回层序结构和叠加样式 (隆 7 井)

Fig. 3 The structure types and stacking patterns of short-term, middle-term, long-term cyclic sequences in fan delta sedimentary system of K<sub>1</sub>gL<sub>1</sub> sequence (from Well Long-7)

减薄最明显。下降半旋回则相反浅一半深湖泥岩和溢堤沉积的泥、粉砂岩, 水道化砂体或河口坝、分流河道砂体叠加组成向上变粗的水退沉积序列, 厚度自上游向下游方向加厚, 以位于三角洲河口部位 (或湖底扇的扇中) 的砂体厚度加大最为明显。

### 2 2 中期旋回层序

中期旋回层序属于长期旋回层序地层过程中的次一级沉积旋回产物, 相当于 Vail 经典层序中的 (n) 级层序, 层序厚度为数百米至近百米级, 一般由 2~ 8

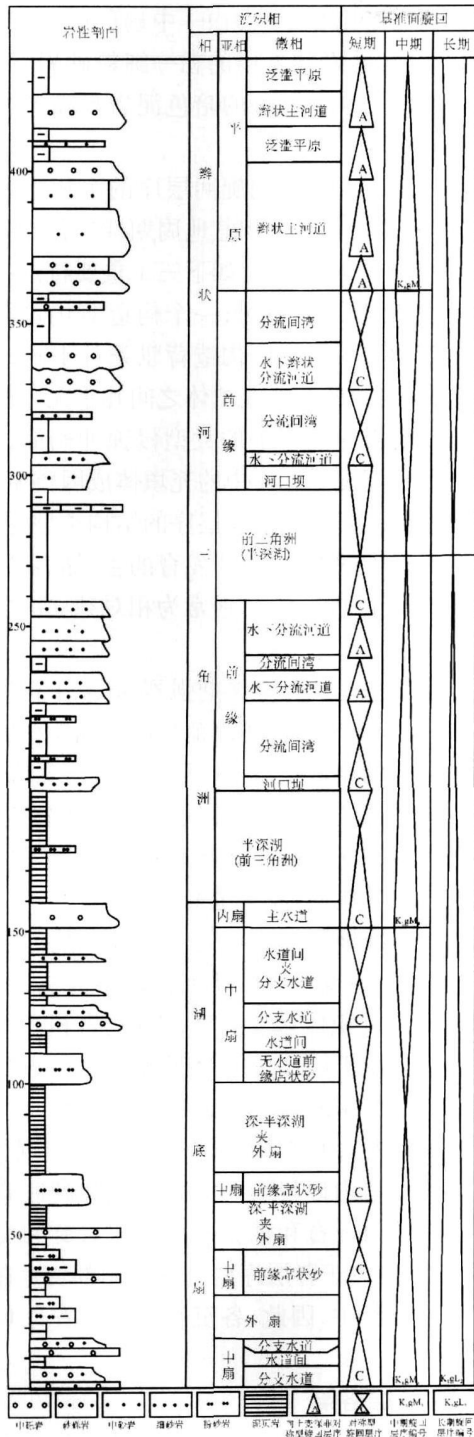


图 4 红柳峡剖面  $K_1g_2$  层序湖底扇  $\rightarrow$  三角洲沉积体系短、中、长期旋回层序结构和叠加样式

Fig 4 The structure types and stacking patterns of short-term, middle-term, long-term cyclic sequences in sublacustrine fan  $\rightarrow$  delta sedimentary system of  $K_1g_2$  sequence from Hongluxia field section

个短期旋回层序叠加组成, 大多数具有较完整的湖进一湖退旋回结构, 此类层序为一类最具等时对比意义的层序, 依此可从下沟组中划分出 5 个中期旋回层序 ( $K_1gM1 \sim K_1gM5$ )。按旋回结构特征也可分为 2 种类型: 其一为仅保存上升半旋回沉积记录的向上变深非对称型, 下降半旋回以下切侵蚀作用为主, 表现为冲刷面; 其二为上升和下降半旋回沉积记录都得到较好保存的对称型, 为下沟组最发育的结构类型。

2.2.1 向上变深非对称型中期旋回层序

由 5~8 个单一 A 型或由多个 A 型和 C 型短期旋回叠加组成, 对应的沉积相演化为多个连续叠置的水道化砂体  $\rightarrow$  溢堤沉积的泥、粉砂岩组成向上持续加深的湖进序列, 顶为相当中期下降半旋回时间跨度的大型侵蚀冲刷面 (图 3  $K_1gM1$  和图 4  $K_1gM5$ )。

2.2.2 对称型中期旋回层序

青西凹陷下沟组中期对称型旋回的结构有 2 种变化, 其一为三角洲平原的洪泛沉积区, 为 3~5 个 C 型短期旋回叠加样式, 对应的沉积相演化为天然堤  $\rightarrow$  分流间  $\rightarrow$  决口扇微相的泥、粉砂岩薄互层组成的不明显湖进一湖退序列, 顶界面大多为弱侵蚀冲刷面, 厚度较小但层位稳定; 其二为砂、砾质沉积活跃的辫状河扇三角洲分流河道沉积区, 其上升半旋回主要由 3~5 个 A 型  $\rightarrow$  C 型短期旋回层序叠加组成 (图 3  $K_1gM2$  和图 4  $K_1gM4$ ), 对应的沉积相演化为连续叠置水道化砂体  $\rightarrow$  溢堤沉积的泥、粉砂岩组成向上逐渐加深变细的湖进序列。下降半旋回由 1~3 个 C 型, 偶含 A 型的短期旋回层序叠加样式, 在三角洲相区, 对应的沉积相演化为前三角洲泥岩  $\rightarrow$  远砂坝、河口坝泥、粉岩  $\rightarrow$  分流河道砂、砾岩组成向上变浅加粗的湖退序列, 顶部大多为低幅下切的侵蚀冲刷面。在湖底扇相区, 则由半深湖一半深湖泥岩  $\rightarrow$  外扇泥、粉砂岩  $\rightarrow$  中扇和内扇连续叠置的水道化砂体, 组成向上变浅加粗的湖退序列, 顶或为整合界面, 或为冲刷面 (图 4  $K_1gM3$ )。

2.3 长期旋回层序

依据大型侵蚀冲刷面发育位置<sup>[9, 10]</sup>, 可将青西凹陷下沟组划分为 2 个长期旋回层序 ( $K_1gL1$  和  $K_1gL2$ ), 此 2 个长期旋回层序分别由 2 和 3 个中期旋回叠加组成 (图 3 和 4), 均属于对称型旋回结构, 相当于 Val 经典层序中的  $\text{C}_2$  级层序, 层序厚度一般为百余米级。扇三角洲沉积体系于 2 个长期旋回层序中广泛发育, 其上升半旋回由分流河道砾岩、含砾中一粗粒砂岩和天然堤粉砂岩、分流间或前扇三角洲泥岩

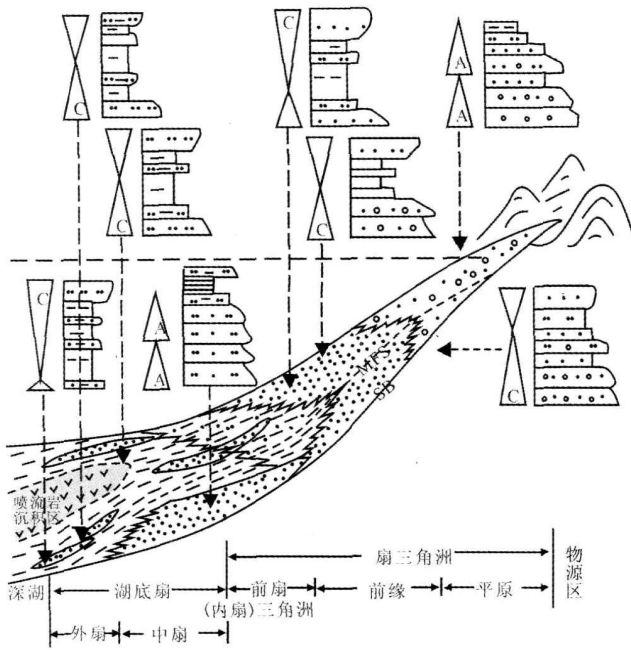


图 5 湖底扇三角洲湖底扇沉积不同结构类型的短期旋回层序分布模式

Fig 5 Distribution pattern of the different structure types of short-term cyclic sequences in fan delta sublacustrine fan sedimentary system

的韵律交替组成区域性湖进序列, 有利储层发育的砂体主要出现在长期基准面上升半旋回的早、中期, 往往由若干个砂、砾岩体连续叠加组成。最大湖泛期在盆缘以广泛发育(扇)三角洲前缘和分流间的砂、泥岩互层组合为主, 盆内则以沉积大套前(扇)三角洲相和半深湖—深湖相暗色泥岩、泥云岩与目前仅于酒泉盆地首次发现的铁白云石—钠长石质喷流岩<sup>[11-14]</sup>的互层组合为主, 系下沟组最重要的烃源岩发育层位, 也是喷流岩为基质岩的裂缝性储层的发育层位。而下降半旋回主体由前扇三角洲或分流间、天然堤和远砂坝、河口坝或决口扇微相的泥、粉—细砂岩韵律薄互层, 以及上部的水下—水上分流河道砂、砾岩, 组成区域性湖退序列, 顶以大型下切侵蚀冲刷面表明基准面有大幅度的下降, 有利储层发育的砂体主要出现在上部, 往往为单个分隔较强的砂体组成。而扇三角洲沉积体系的分布相对较局限, 主要分布于  $K_1g_{L1}$  层序的下降半旋回和  $K_1g_{L2}$  层序的上升半旋回, 前者由大套深—半深湖相的暗色泥岩、泥云岩与铁白云石和钠长石质喷流岩互层, 与加积至进积的近源湖底扇外至中扇和内扇的粉—细粒砂岩、中—粗粒砂岩和砾质粗砂岩, 组成区域性湖退序列, 有利储层发育的砂体也主要出现在上部, 往往由若干个砂、砾岩体连续叠

加组成。而后者则相反, 由内—中扇的砾岩、砾质粗砂岩、中—粗粒砂岩和外扇的粉—细粒砂岩、泥质粉砂岩和大套深—半深湖相的暗色泥岩与喷流岩组成区域性湖进序列。

青西凹陷下沟组长期旋回层序的沉积序列和层序结构, 受发育位置和沉积盆地周期性拉张断陷和拗陷活动的控制非常明显, 有如下三个重要特点:

① 青西凹陷早白垩世每一个构造演化阶段或活动强度的变动均视为不同构造背景条件下的凹陷发展演化期, 凹陷内的沉积充填体之间几乎无一例外地发育有不整合界面或相关的大型侵蚀冲刷面, 被上、下两个相邻长期旋回层序中的充填体成因类型、沉积相配置、相带展布规律, 以及层序的结构类型、叠加样式往往具有很大的差异性, 所发育的生、储、盖组合和油气地质特征也明显不同, 通常为相对独立的含油气系统或子系统;

④ 伴随沉积盆地赤金堡期强烈断陷、下沟期断陷扩张、中沟期稳定拗陷和萎缩消亡的湖盆扩张和盆内与盆缘隆起带的淹没过程, 出现自盆内向盆缘, 或构造低部位向高部位各长期旋回层序的沉积超覆作用, 其中断陷扩张期充填的下沟组呈阶梯状逐层上超的沉积超覆作用最典型, 厚度也最大;

④ 盆地边缘地区下沟组的 2 个长期旋回层序以发育规模较大的(扇)三角洲沉积体系为主, 局部为冲积扇—河流沉积体系发育区, 岩性、岩相和厚度变化非常复杂。由于层序的下降半旋回大多数处于有较强下切侵蚀作用的非均衡地层过程中, 因此, 各沉积体系中都发育 C 型层序结构为主, 可出现少量 A 型层序结构。盆内以发育半深—深湖和湖底扇沉积体系与大套铁白云石和钠长石质喷流岩旋回交替的韵律沉积为主, 由于各层序的沉积作用都发生在水下的均衡地层过程中, 因此, 各沉积体系仅发育 C 型层序结构。

## 2.4 层序地层格架

在青西凹陷下沟组两个长期旋回层序中, 包括 3 个层序界面和 2 个具有重要等时对比意义的长期湖泛面, 在此 5 个界面为标志的长期旋回层序等时对比基础上, 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层序地层格架(图 6), 非常清晰地描述了地层格架中自盆缘浅水的扇三角洲沉积体系到盆内半深—深湖—湖底扇沉积体系的相带展布格局和演化趋势, 以及铁白云石和钠长石质喷流岩的分布特征。

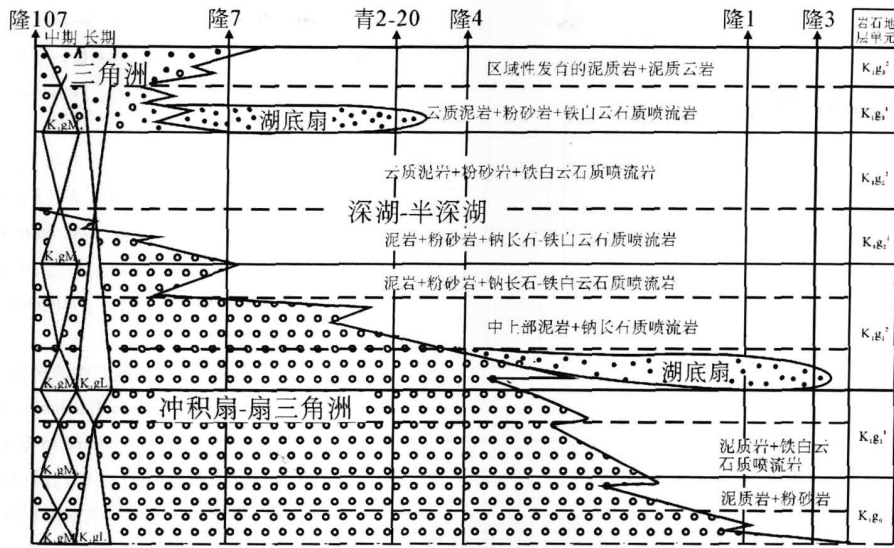


图 6 青西凹陷下沟组时间—地层格架和地层格架中的相带展布规律(剖面位置见图 7)

Fig. 6 The age-stratigraphic framework and the facies belts spreading rule in the stratigraphic framework of Xigou Formation, Lower Cretaceous in Qingxi Sag, Jiuquan Basin

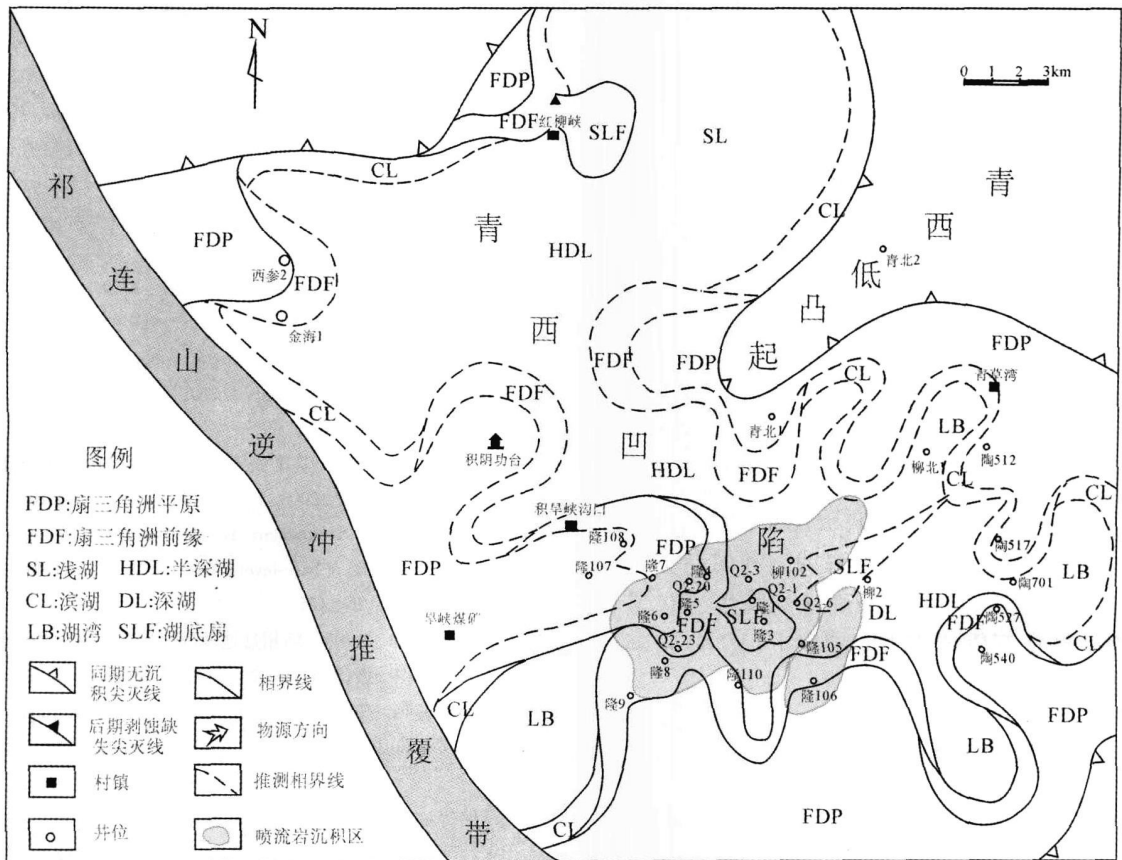


图 7 青西凹陷下沟组 K<sub>1</sub>g<sub>3</sub> 层序—岩相古地理图(编图层位相当于 K<sub>1</sub>g<sub>2</sub> 亚段, 详见图 6)

Fig. 7 Sedimentary facies and palaeogeography map of the K<sub>1</sub>g<sub>3</sub> sequence of Xigou Formation, Lower Cretaceous in Qingxi Sag, Jiuquan Basin

### 3 层序地层与油气藏的关系

#### 3.1 短期旋回与砂体发育关系

短期基准面旋回过程中的  $A/S$  值变化, 对砂体的发育位置、相序、结构类型和几何形态有直接的控制作用, 最有利储集砂体发育的短期旋回层序以 A 型结构为主, 具备 C 型结构的层序, 储集砂体在层序的中、下部和顶部均有发育, 以位于层序下部的砂体储集物性较好。

#### 3.2 中期旋回与砂体发育关系

具备向上变深非对称型结构的中期旋回层序, 通常具备多个 A 型、C 型短期旋回层序叠加样式, 层序的中、下部主体为连续叠置的水道化砂砾岩体, 砂砾岩体间底冲刷作用极为发育, 泥、粉砂岩的夹层极少, 为一类最有利于储集砂体发育的中期旋回层序结构; 具备对称型结构的中期旋回层序, 有利储集砂体主要发育于中期旋回层序的中下部, 也由数个 A 型和 C 型短期旋回层序叠加组成, 岩性特征与前者相似, 砂体间底冲刷面发育, 但泥、粉砂岩夹层明显增多和加厚, 物性变差。

#### 3.3 长期旋回与生、储、盖组合关系

在长期基准面旋回过程中, 有利于储集砂体发育的位置主要出现在低  $A/S$  值条件下的长期旋回层序中、下部, 如  $K_1gL1$  和  $K_1gL2$  上升半旋回中有利储层发育的(扇)三角洲分流河道砂体(或湖底扇内一中扇分支水道砂体)主要出现在长期基准面上升初期和早期时间段的中、短期旋回层序中, 部分出现在长期基准面下降中和晚期时间段的中、短期旋回层序中, 而于长期基准面由上升折向下降的湖泛期沉积的大套暗色泥岩和铁白云石—钠长石质喷流岩, 则是最重要的烃源岩和盖层的主要发育期。利用高分辨率层序分析结果<sup>[15-16]</sup>, 可更加准确地刻画生、储、盖和铁白云石—钠长石质喷流岩在剖面上(图 6)和平面上(图 7)的展布特征。

#### 参考文献 (References)

- 1 陈建平, 陈建军, 张立平, 等. 酒西盆地油气形成与勘探方向新认识 (一) [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(1): 19-22 [Chen Jianping, Chen Jianjun, Zhang Liping, et al. New opinions on oil and gas generation and exploration in Jiuxi basin (iv): Oil and gas migration, pool formation and exploration target [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(1): 19-22]
- 2 陈建平, 陈建军, 张立平, 等. 酒西盆地油气形成与勘探方向新认识 (二) [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(2): 15-18 [Chen Jianping,

Chen Jianjun, Zhang Liping, et al. New opinions on oil and gas generation and exploration in Jiuxi basin (iii): Oil and gas migration, pool formation and exploration target [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(2): 15-18]

- 3 陈建平, 陈建军, 张立平, 等. 酒西盆地油气形成与勘探方向新认识 (三) [J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(3): 12-16 [Chen Jianping, Chen Jianjun, Zhang Liping, et al. New opinions on oil and gas generation and exploration in Jiuxi basin (iii): Oil and gas migration, pool formation and exploration target [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(2): 12-16]
- 4 马国福, 魏军, 汪满福. 酒西盆地青西地区油气藏裂缝研究 [J]. 新疆石油地质, 2002, 23(1): 44-46 [Ma Guofu, Wei Jun, Wang Manfu. A study on petroleum reservoir fractures in Qingxi Area of Jiuxi Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(1): 44-46]
- 5 王成善, 郑荣才, 朱利东, 等. 酒泉盆地沉积特征与层序地层学研究 [R]. 成都理工大学, 2004 [Wang Chengshan, Zheng Rongcai, Zhu Lidong, et al. Sedimentary characteristics and study on sequence stratigraphy in Jiuquan Basin [R]. Chengdu University of Technology, 2004]
- 6 文华国, 郑荣才, 叶泰然, 等. 酒西盆地青西凹陷下白垩统沉积特征与有利勘探区预测 [J]. 沉积与特提斯地质, 2005, 25(4): 71-77 [Wen Huaguo, Zheng Rongcai, Ye Tairan, et al. Sedimentary characteristics of the Lower Cretaceous strata and prediction of the favorable exploration areas in the Qingxi depression, Jiuxi Basin, Gansu [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2005, 25(4): 71-77]
- 7 Cross T A. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis [C] // The Interstate Oil and Gas Compact Commission 1993 Annual Bulletin, 1994, 24-39
- 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]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S.: high-resolution sequence stratigraphy [J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89-97]
- 9 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, 19(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]
- 10 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 cycles of terrigenous basin and its implications [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 245-249]
- 11 范铭涛, 杨麟科, 方国玉, 等. 青西凹陷下白垩统湖相喷流岩成因探讨及其意义 [J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 560-564 [Fan Mingtao, Yang Linko, Fang Guoyu, et al. Origin of lacustrine hydrothermal sedimentary rock (Lower Cretaceous) in Qingxi Sag and its significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(4): 560-564]
- 12 郑荣才, 王成善, 朱利东, 等. 酒西盆地首例湖相“白烟型”喷流岩—热水沉积白云岩的发现及其意义 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(1): 1-7 [Zheng Rongcai, Wang Chengshan,

- Zhu Lilong *et al.* Discovery of the first example of “white smoke type” of exhalative rock (hydrothermal sedimentary dolostone) in Jiuxi Basin and its significance [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2003, 30(1): 1-7]
- 13 郑荣才, 文华国, 范铭涛, 等. 酒西盆地地下沟组湖相白烟型喷流岩石学特征 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(12): 3027-3038 [Zheng Rongcai, Wen Huaguo, Fan Mingtao *et al.* Lithological characteristics of sublacustrine white smoke type exhalative rock of the Xiaogou Formation in Jiuxi Basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(12): 3027-3038]
- 14 郑荣才, 文华国, 高红灿, 等. 酒西盆地青西凹陷下沟组湖相喷流岩稀土元素地球化学特征 [J]. *矿物岩石*, 2006, 26(4): 41-47 [Zheng Rongcai, Wen Huaguo, Gao Hongcan *et al.* Rare earth elemental characteristics of lacustrine exhalative rock in the Xiaogou Formation Lower Cretaceous in Qingxi Sag, Jiuxi Basin [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2006, 26(4): 41-47]
- 15 郑荣才, 吴朝容. 辽河盆地西部凹陷深层沙河街组生储盖组合的层序分析 [J]. *成都理工学院学报*, 1999, 26(4): 348-356 [Zheng Rongcai, Wu Chaorong. Sequence analysis of source-reservoir-cap rock assemblages in Shahejie Formation from deep bed of west depression, Liaohed basin China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1999, 26(4): 348-356]
- 16 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特征 [J]. *成都理工学院学报*, 1999, 26(4): 375-381 [Wu Chaorong, Zheng Rongcai. High resolution sequence stratigraphic characteristics of Shahejie Formation in Liaohed oil field [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1999, 26(4): 375-381]

## High-resolution Sequence Stratigraphy Analysis of Xiaogou Formation Lower Cretaceous in Qingxi Sag, Jiuxi Basin

WANG Man-fu<sup>1</sup> WANG Jiu-tao<sup>1</sup> TANG Fei<sup>1</sup> ZHENG Ai-ping<sup>1</sup>  
CHENG Xiao-zhen<sup>1</sup> WEN Huaguo<sup>2</sup>

(1. Yumen Oilfield Company of CNPC, Jiuxi, Gansu 735019;

2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

**Abstract** Based on the theory and technology of Cross's high-resolution sequence stratigraphy, and two long-term, five middle-term and above ten short-term cyclic sequences from Xiaogou Formation of Lower Cretaceous in Qingxi Sag, Jiuxi Basin were classified. The structure types, stacking patterns, distributing mode and development relation to reservoir sand body of short-term, middle-term, long-term cyclic sequences are analyzed. The source-reservoir-seal associations and the plane distribution rule of ferrodomite-albite exhalative rock in the chrono-stratigraphic framework are discussed in detail.

**Key words** Qingxi Sag, high-resolution sequence stratigraphy, fan delta, sublacustrine fan, chrono-stratigraphic framework, exhalative rock