

# 开鲁盆地陆西凹陷下白垩统层序地层学和油气评价

朱筱敏 王贵文 李滨阳 马立驰  
孙月平 雷安贵 程建平

1(石油大学(北京)资源与信息学院 北京昌平 102249)

2(辽河油田勘探开发研究院 辽宁盘锦 124010)

**摘要** 开鲁盆地陆西凹陷是一个典型的中生代单断箕状盆地,充填了厚达 3 000 余米的下白垩统并表现出良好的沉积旋回特征。依据钻井取心资料、测井和地震资料以及分析化验资料,将下白垩统划分成周期为 4~6 Ma 的 3 个沉积层序并总结了层序边界和体系域边界的识别标志。考虑箕状盆地结构、构造活动特征以及沉积物供源方式,分别论述了盆地陡坡、深洼和缓坡的层序地层样式,指出不同地形区的层序地层叠置样式主控因素是有差异的。依据盆地缓坡地形变化带,可以将一个沉积层序细分成低位、湖侵和高位体系域。研究区层序 III 高位和低位体系域富含油气资源,是今后寻找隐蔽圈闭的主要层段。

**关键词** 层序边界 湖泛面和体系域 层序地层样式 油气评价

**第一作者简介** 朱筱敏 男 1960 年出生 教授 博士生导师 沉积地质学

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

## 1 地质背景

开鲁盆地陆西凹陷位于内蒙古自治区东南部哲里木盟和昭乌达盟交界处,它是在海西褶皱基底上发展起来的中生代单断箕状盆地<sup>[1]</sup>。陆西凹陷北依西部斜坡,南靠舍伯吐凸起,呈南断北超构造格局。它主要发育了白垩系,总厚度约 4 000 余米,其中下白垩统(油田传统地层划分为上侏罗统)厚约 3 000 余米,自下而上包括义县组、九佛堂组、沙海组和阜新组。

由于控制盆地发展的陆西凹陷南侧西绍根等几条主要断层的发育时期、活动强度具有明显的阶段差异性,以及沉积物供给和湖平面相对变化的周期性,研究区下白垩统表现出明显的垂向沉积旋回特征。根据下白垩统岩性组合、沉积相和古水深的垂向变化,可以将下白垩统划分成三个较大规模的沉积旋回。总体看来,九佛堂组沉积厚度最大(1 356 m),沉积速率较高(226.3 m/Ma),沙海组沉积厚度较薄(497 m),沉积速率最低(99.4 m/Ma)。

## 2 层序划分与年代标定

### 2.1 层序边界特征

准确合理地划分层序,其关键是如何准确地识别和追踪层序的边界<sup>[2~6]</sup>。实际工作中,我们常以下述依据来划分层序。①首先依据地震反射终止关系,识别分布面积较大的地层不整合关系,特别是构造运动形成的不整合界面,如姚家组与阜新组之间的不整

合,建立等时地震层序格架;②厚度薄、分布范围较小的古土壤层或风化壳;③古生物化石断代处;④地震反射剖面上的上超点向盆地中央的迁移;⑤地层颜色、岩性、粒度、沉积相、电测曲线的垂向突变以及地层产状的不一致。总之,要综合利用不同类型的资料来识别层序的边界。

### 2.2 体系域边界特征

最大和初次湖泛面是在一个层序内细分高位、湖侵体系域和低位体系域的界面。初次湖泛面是在湖平面下降到最低点后,由于受盆地构造作用、气候变化等因素影响使湖平面又再次上升的第一个特定湖泛界面。对于陆西凹陷来说,马家铺高垒带附近是一个缓坡与深洼区的过渡地带,由于断层活动,在地形上有一个比较明显的变化带,我们将从低位状况的湖平面首次越过这个地形变化带的湖平面称为首次湖泛面(图 1)。首次湖泛面的确定依据如下:①首次越过地形变化带的第一个湖岸上超点对应的界面,这个上超点可以超覆在前一个层序顶界面之上,这是识别首次湖泛面最重要的标志。②存在湖泛滞留沉积。当湖泛面初次大幅度上升时,湖平面越过地形变化带,冲蚀缓坡河流沉积物,残留下较粗粒的沉积物。③沉积相类型发生突变,第一个上超点附近多为滨湖相或三角洲沉积,

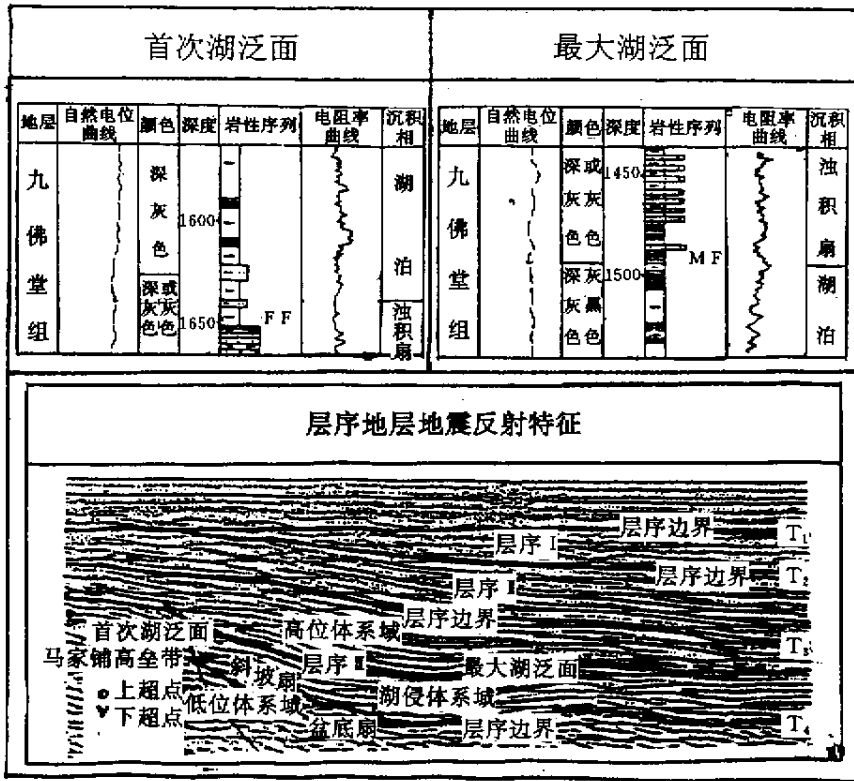


图 1 首次和最大湖泛面及其识别标志 (据陆参 3 井和 704.8 测线)

Fig. 1 Markers of first and maximum flooding surfaces in Luxi depression (After Well Lucan3 and line 704.8)

而首次湖泛面之下多为浊流沉积。④准层序的叠置样式发生变化。首次湖泛面之下的准层序多为进积式叠置样式,而首次湖泛面之上的准层序多为退积式叠置样式。⑤沉积物的颜色、岩性、结构和古生物组合发生变化等(图 1)。

最大湖泛面是在盆地基底下沉明显,湖平面上升达到最大位置时形成的沉积界面,随着湖平面的快速上升,可容空间快速加大,湖岸线不断向陆地方向迁移,相对可容空间增长来说,沉积物供给速率较低,盆地处于欠补偿状态,缺乏大量的粗碎屑沉积,而以机械悬浮沉积为主。因此,识别最大湖泛面的依据如下:①最远湖岸上超点对应最大湖泛面位置,最大湖泛面对应的位置之上常存在上覆沉积层的系列下超点。最大湖泛面对应的地震反射界面常由 2~3 个强振幅、高连续的反射同相轴组成,在全区稳定分布,形成地震反射标志层(图 1)。②岩石类型单一,常是厚层质纯的暗色泥岩、油页岩,其中常发育反映稳定沉积环境的水平层理。③最大湖泛面沉积物中富含较深水环境的介形虫化石。④最大湖泛时期,湖盆边缘被沼泽化,形成泥碳层或煤层,因此可将泥碳层或煤层作为最大湖泛面的识别标志。⑤最大湖泛面上覆与下伏的沉积序列不同。最大湖泛面之下准层序常

呈退积式叠置样式,而最大湖泛面之上准层序多呈进积式叠置样式。⑥最大湖泛面沉积物有机质丰度高,常构成主力烃源岩。⑦具有明显的电测曲线典型响应,自然电位多为低值平直基线,视电阻率曲线呈低幅尖刀状、锯齿状(图 1)。

### 2.3 层序和体系域的划分







根据地震剖面反射终止关系以及层序边界、最大和首次湖泛面的综合识别标志,考虑盆地构造演化的阶段性、古水深和古气候变化的旋回性,可将研究区下白垩统划分为三个周期为百万年级的沉积层序(图 1 表 1)。然后根据湖平面升降变化曲线特征以及沉积序列叠置样式,可以在各层序内识别出低位、湖侵、高位体系域,其中层序 II(沙海组)仅发育湖侵和高位体系域,层序 III(九佛堂组)和层序 I(阜新组)发育完整的低位、湖侵和高位体系域(义县组不作为研究对象)。

## 3 体系域特征和层序地层模式

陆相断陷盆地复杂的构造运动、多物源和近物源的供源方式、快速的相变以及多变的盆地结构造成陆相断陷盆地层序地层堆砌样式和体系域类型的复杂性和多样性。由于陆西凹陷几条主要断裂的差异活

动,使得断陷盆地在地形上表现出陡坡、深洼和缓坡 地沉降的三分特征。在盆地陡坡带、深洼区和缓坡带,因盆

表 1 陆西凹陷下白垩统层序划分  
Table 1 Sequence division of lower Cretaceous in Luxi depression

地层	地质时间 /Ma	层序划分	层序周期 /Ma	体系域类型	岩性序列	沉积旋回 深水 浅水	湖平面 相对变化	岩性特征	层序顶/底 接触关系	地震标志层	
阜新组	132	I	4	HST				温湿气候浅湖灰色泥岩夹薄层粉砂岩	削蚀/下超、上超	T1	
				TST						LST	T2
				沙海组						136	II
TST	HST	T4									
九佛堂组	141	III	6		HST				温湿气候浅湖至半深湖砂砾岩和泥岩		
				TST	LST						
				147							

幅度、沉积物供给等层序构型主控因素存在明显的差异,所以这些地区的层序地层堆砌样式和体系域特征有所不同。故本文在考虑盆地结构和古地形的基础上,分别叙述陡坡带、深洼区和缓坡带的层序地层模式。

### 3.1 陡坡层序地层模式

陡坡带是指控制盆地生成发展的盆地边界断层较强烈活动所形成的地形坡折较大的地区,其沉积界面是盆地边界西绍根断层面,其下降盘常为较深水的湖盆,其上升盘常为地形起伏较明显的物源区。该带层序地层堆砌样式主要受控于断层活动和物源供给的多少,湖平面绝对升降变化的影响属于从属地位。陡坡层序的边界就是盆地边界西绍根断裂,随着湖平面和水深的变化,沉积物或向岸边上超、或岸边上超点向湖盆中央迁移。在陡坡识别体系域类型主要考虑湖平面的变化、沉积相组合以及准层序的叠置样式。以层序 III(九佛堂组)为例,低位体系域形成时期,湖盆水体范围较小,地形高差大,物源区风化产物被水动力很强的洪水搬运入湖形成近岸水下扇,所以此时的扇体沉积物粒度较粗,砂地比值可达 0.7~0.8。垂向上表现为多个进积式准层序组的叠置样式。

湖侵体系域发育时期,西绍根断裂活动强烈,湖平面快速上升,对山区洪水产生一定的顶托作用,因此这时的洪水型近岸水下扇向湖盆中央推进的距离较短,浊积扇相对不发育,故湖侵体系域向上表现出暗色泥岩加厚、砂岩厚度减薄、粒度变细、砂地比值降低的退积式准层序组叠置样式。高位体系域发育时期,湖平面处于相对静止和开始下降阶段,湖盆水体紧靠物源区,山区洪水携带沉积物快速入湖形成进积式准层序叠置样式,自下而上,砂岩厚度加大,粒度变粗,砂地比值在 0.5~0.6 左右(图 2)。

### 3.2 深洼区层序地层模式

深洼区是指位于盆地中央的、缺少断裂活动的、基底整体下沉作用比较明显的、地形较平坦的地区。它远离沉积物源区,地层的堆砌样式主要受湖平面升降变化的控制。在层序 III(九佛堂组)沉积时期,湖盆水体较深,深洼区五十家子庙洼陷自身沉积了暗色质纯厚层深水泥岩,其南侧为包日温都近岸水下扇,西侧为马家铺三角洲,故洼陷边缘浊积扇发育。低位体系域沉积时期,马家铺三角洲和包日温都近岸水下扇不断向湖盆中央推进,其前缘及其远端的浊积扇进入五十家子庙洼陷,随着湖平面的上升,三角洲、近岸水

下扇向岸退积,从而形成由多个退积式准层序组组成的低位体系域,砂地比值为0.2左右。湖侵体系域沉积时期,马家铺三角洲继续向西退积,包日温都近岸水下扇的规模也有所减小,所以在深洼区形成了分布

广、厚度大、质地纯、富含有机质的深湖相沉积,总体显示退积式准层序组叠置样式,砂地比值低,为0.05~0.1。高位体系域沉积时期,在五十家子庙深水泥岩之上,又沉

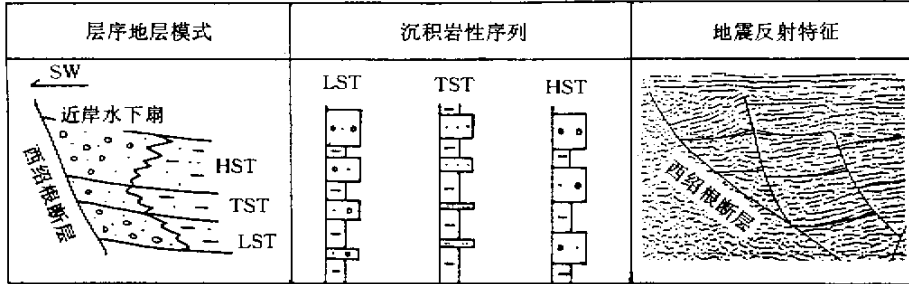


图2 陆西凹陷陡坡层序地层堆砌样式

Fig.2 Sequence style on steep slope in Luxi depression

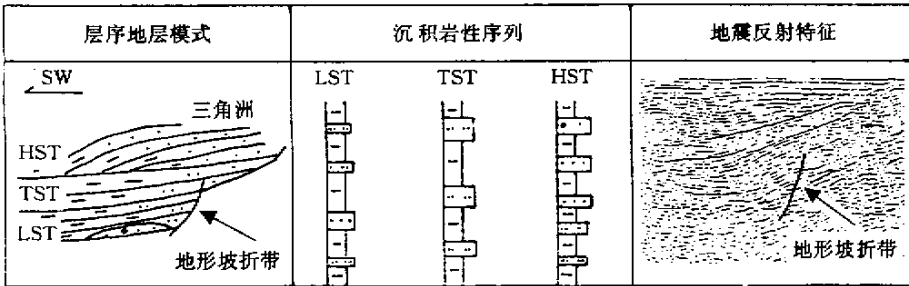


图3 陆西凹陷缓坡地层堆砌样式

Fig.3 Sequence style on gentle slope in Luxi depression

积马家铺三角洲和包日温都近岸水下扇前缘远端沉积物和浊积扇,总体构成进积式准层序组叠置样式,砂地比值增大,为0.1~0.2。

### 3.3 马北斜坡带层序地层模式

马北斜坡带处于盆地缓坡,断裂活动较弱,地形坡度相对较缓,随着湖平面的大幅度升降变化,马北斜坡带可大面积出露地表遭受剥蚀形成层序界面,也可被后期沉积物不断上超形成层序界面。马北斜坡带层序边界和层序叠置样式主要受控于湖平面的升降变化和沉积物的供给速率。低位体系域是在湖平面大幅度下降并低于地形变化带时形成的沉积体系结合体,由于水域小,距物源较远,沉积物供给不足,在地形变化带之下主要沉积了互层的滨浅湖灰色泥岩与灰绿色、褐色砂岩或砂砾岩,砂地比值0.3。湖侵体系域时期,湖平面已上升越过地形变化带并向陆地一侧不断上超。随着湖盆水体范围扩大,与物源之间的距离缩短,同时由于温暖潮湿的气候造成河流规模加大,沉积物供给增加,扇三角洲较前期发育,但在

湖平面快速上升造成的湖水顶托作用下,多形成垂向上砂岩厚度和泥岩厚度基本不变的加积式准层序组叠置样式,平均砂地比值为0.4。在高位体系域沉积时期,扇三角洲向湖盆中央推进,其前缘多发育浊积扇,形成进积式准层序组叠置样式,砂地比值0.5(图3)。

### 3.4 盆地层序地层模式

陆西凹陷下白垩统沉积时期,由于盆地边界深大断裂的差异活动形成了盆地断拗箕状结构,使得盆地的古地形具有缓坡、深洼和陡坡的分异特点。在不同的地形区,层序地层的形成背景和主控因素是有差别的。盆地陡坡区临近物源,加之盆地边界断裂的强烈活动,地形高差大,重力流沉积作用明显,在这个地区形成的层序及其叠置样式主要受控于盆地深大断裂的活动幅度和阶段性,沉积类型以近岸水下扇和辫状河三角洲为主。盆地深洼区是盆地的沉积中心,远离物源供给区,构造活动弱,地势较平坦,所以层序的叠置样式主要受湖平面升降变化造成的古水深的控制,

以发育厚层暗色泥岩和浊积扇为特征。盆地缓坡区断裂较少且活动较弱,地势相对平缓单一,湖平面的升降变化以及沉积物供给的多少控制了缓坡区层序地层的叠置样式(表2)。

考虑到湖盆构造演化的阶段性和沉积旋回特征,可在各个层序中识别出低位、湖侵和高位体系域。由

于各体系域形成时的古地理背景不同、体系域准层序组叠置样式的控制因素不同,所以在同一个层序中不同沉积部位的体系域叠置样式和沉积相类型就不同(图4)。在盆地缓坡带,地形坡度较缓、可容空间的变化明显受湖平面绝对升降变化的影响。一般说来,低

表2 陆西凹陷不同地区层序地层特征对比

Table 2 Comparison among sequence characteristics in different regions of Luxi depression

地区	特征		
	陡坡带	深洼区	缓坡带
古水深	半深水	半深水—深水	低位期浅水,湖侵和高位期半深水
物源供给	充足	不充足	比较充足
距物源距离	近	远	较远
沉积相	近岸水下扇,半深湖	湖泊,浊积扇	扇三角洲,滨浅湖
地层叠置样式主控因素	边界断层活动幅度和阶段性	湖平面升降变化	湖平面升降变化,沉积物供给

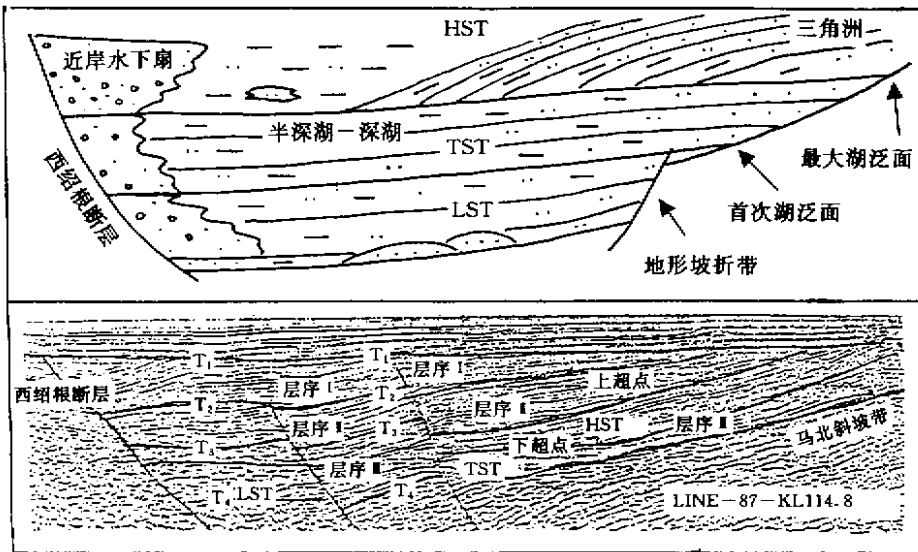


图4 陆西凹陷下白垩统层序划分及层序地层模式(据114.8测线)

Fig. 4 Sequence division and style of lower Cretaceous in Luxi depression( After line 114.8 )

位期扇三角洲前缘向盆地中央进积较多,而在湖侵和高位期,扇三角洲明显向陆退却。在盆地深洼区,无论湖平面如何升降变化,对湖泊沉积物缺少明显影响,湖泊水体深浅的变化只在一定程度上影响盆地深洼区沉积物粒度粗细的变化及地层叠置样式。盆地陡坡区构造活动作用明显,在一个层序形成期间,构造沉降作用会造成陡坡区水体深浅的变化,使近岸水下扇或辫状河三角洲沉积体发生退积或进积,从而形成由不同亚相沉积物组成的地层叠置序列(图4)。

#### 4 湖平面升降变化曲线特征

根据盆地湖岸上超点迁移规律,编制的湖平面升降曲线应是湖平面绝对升降、盆地基底沉降以及沉积物供给速率等多种影响参数的综合效应。陆西凹陷下白垩统湖平面升降变化周期与层序周期、沉积物垂向旋回和古水深旋回具有良好的对应关系,旋回周期为4~6 Ma(表1)。研究区湖平面升降曲线具有明显的旋回性和不对称性,即具有快速的湖平面上升、湖平面相对静止和快速湖平面下降的旋回特点。湖平

面快速上升和相对静止期持续时间较长,而快速湖平面下降持续时间相对较短。在陆西凹陷早白垩世湖平面升降旋回中,沙海组沉积时期,湖平面升降幅度最大,阜新组沉积时期湖平面升降幅度最小,在九佛堂组沉积时期的湖侵之后,缺少明显的快速水退。总之,湖平面升降变化主要受控于构造活动的强度和古水深变化。在湖平面上升最明显的沙海组和九佛堂组沉积时期,盆地边界断裂活动比较强烈,古水深较大,反之亦然。

## 5 有利含油气区综合评价

陆西凹陷构造圈闭丰富,如包日温都背斜、马家铺半背斜等。同时,存在许多的岩性圈闭和构造—岩性圈闭,为油气聚集成藏提供了良好的圈闭条件。沙海组和阜新组大面积分布的厚层泥岩为油气保存提供了有效的盖层。目前,已在陆西凹陷南部包日温都断裂背斜构造带和马家铺高垒带发现了多个具有工业价值的岩性油气藏,显示了陆西凹陷下白垩统良好的隐蔽圈闭油气勘探前景。

从下部层序Ⅲ至上部层序Ⅰ,沉积物粒度变细,砂岩百分含量降低,含油性变差,最有利的含油气层序为层序Ⅲ。层序Ⅲ低位体系域沉积时水动力较强,砂体多为重力流成因的砂砾岩,近岸水下扇中水道或浊积扇中扇辫状水道,可作为良好的储集层。湖侵体系域水动力有所减弱,沉积物供给不足,形成欠补偿沉积,发育一套细碎屑岩沉积,五十家子庙洼陷中沉积了巨厚的暗色泥岩和油页岩,为主要生油岩。高位体系域时期沉积物供给充足,沉积体向湖盆方向进积,发育有大量砂体,此类砂体距油源近,有的直接与生油岩间互,且砂体单层厚度大,物性、连通性较好,因此具有很好的成藏条件,是最有利的含油气层段。

目前发现的下白垩统油气藏集中在九佛堂组,尚未在沙海组和阜新组发现有工业价值的油气藏。九佛堂组的三套主力油层均存在于高位体系域,占油气总产量的80%以上,而湖侵和低位体系域中相对较

少,与层序地层学的研究结果相符。

综合层序地层学和石油地质分析结果,我们认为马家铺三角洲和包日温都断裂背斜构造带是油气勘探最有利地区,层序Ⅲ高位体系域(基本相当于九佛堂组上段)为最有利的勘探层段。五十家子庙洼陷内的浊积扇砂体在各个时期均有发育,可形成岩性油气藏;马家铺三角洲在九佛堂期和沙海期持续发育,其前缘亚相有较好的储集物性,应予以充分的注意,尤其是位于近油源的浊积扇砂体,其中扇亚相的辫状水道砂体物性较好,且具有一定的规模,可形成有工业开采价值的岩性油气藏。包日温都断裂背斜构造带包14、15、16井钻遇的九佛堂组顶部的浊积扇砂体油藏就属于此种类型。

### 参考文献 (References)

- 1 张一伟等. 勘探早期盆地分析与油气评价[M]. 北京:地质出版社, 1998 [Zhang Yiwei, et al. Basin Analysis and Hydrocarbon Evaluation during Early Stage of Exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House 1998. 1~117]
- 2 朱筱敏. 层序地层学[M]. 东营:石油大学出版社, 2000. 1~20 [Zhu Xiaomin. Sequence Stratigraphy[M]. Shandong Dongying: Press of University of Petroleum, 2000. 1~207]
- 3 张强. 走滑环境中陆相盆地充填层序特征—以云南先锋盆地为例[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 11~22 [Zhang Qiang. The Sequence stratigraphical Features of the Intracontinental Strike-Slip Basin-Xianfen Basin in Yunnan Province China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 11~22]
- 4 杨玉峰. 乌尔逊凹陷下部白垩统层序地层发育特征[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 422~429 [Yang Yufeng. Sequence Stratigraphy of Lower Cretaceous in the Northern Wuerxun Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 422~429]
- 5 胡受权. 试论控制断陷湖盆陆相层序发育的影响因素[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 256~262 [Hu Shouquan. Study on Influential Factors of Terrigenous Sequence Formation and Development in Fault-depressed Lacustrine basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 256~262]
- 6 许淑梅. 歧口凹陷滩海区下第三系层序地层分析及沉积体系研究[J]. 沉积学报, 2001, 19(3): 363~367 [Xu Shumei. An Analysis on Sequence Stratigraphy and Sedimentary System of Early Neocene in Qikou Sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(3): 363~367]

## Lower Cretaceous Sequence Stratigraphy and Hydrocarbon Evaluation of Luxi Depression in Kailu Basin

ZHU Xiao-min WANG Gui-wen LI Bin-yang MA Li-chi  
SUN Yue-ping LEI An-gui CHENG Jian-ping

1 (University of Petroleum, Changping Beijing 102249)

2 (Exploration and Development Institute, Liaohe Oilfield, Panjin Liaoning 124010)

**Abstract** Luxi depression is a typical Mesozoic faulted-down basin with more than 3 000 m lower Cretaceous in thickness. The fillings of lower Cretaceous were deposited in semi-saltwater lacustrine and were characterized by clastic cycles in vertical profile. According to the characteristics of sequence boundary and flooding surface from core, well logging, seismic data and results of example analysis in laboratory, the lower Cretaceous in the study area could be divided into three depositional sequences with period 4~6 Ma. There was a special topographic break on gentle slope in Luxi depression during Cretaceous; so, a sequence could be made up of lowstand, transgressive

(Continued on page 567)

## The Sedimentary Characteristics of Simao Triassic Rear Arc Foreland Basin , Yunnan Province

TAN Fu-wen

( Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources , Chengdu 610082 )

**Abstract** Simao basin locates in East part of Paleo-Tethys tectonic zone. To its west is Lancangjiang orogenic belt and east is Ailao-shan orogenic belt. Based on the late Paleozoic fold basement , Simao Triassic sedimentary basin formed in the early continental-island arc collision stage after the close of Paleo-Tethys ocean. Lots of viewpoints have been given to interpret its property , such as rear-land basin , "delayed " back-arc basin , rift basin and foreland basin. In this paper , the authors argue , on the basis of the study of the texture , property , stacking pattern , the provenance ( or paleo-current directions ) of the deposits , the earth dynamics of the basin and the transfer mode of the basin center , that Simao Triassic basin was a rear-arc foreland basin. Its development started before Anisian of Middle Triassic and controlled mainly by Lancangjiang orogenic belt. In Late Triassic , effected by Ailao-shan orogenic belt , the basin had the properties of complex foreland basin. At the end of Triassic , it transformed into an intracontinental downwarped basin.

**Key words** Tethys , Simao basin , foreland basin , Triassic

---

( Continued from page 536 )

and highstand systems tracts like Vail 's marine sequence model. Because of the difference of basin texture , fault activity and material supply , the main controlled factors of sequence style were different in steep slope , deep-water area and gentle slope. The major controlled factor of sequence style on steep slope was fault activity and material supply , and the nearshore subaqueous fan was main sedimentary type ; the factor controlled sequence style in deep water area was relative change of lake level , the sedimentary facies was characteristic of shallow-deep lake ; the factor controlled sequence style on gentle slope was relative change of lake level and material supply , fan-delta or river-dominated delta was major sedimentary type. Therefore , the sequence models were established separately on steep slope , deep-water area and gentle slope. A sequence was made up of lowstand , transgressive and highstand systems tracts with topographic break on gentle slope of Luxi depression. Lastly , authors analyzed the condition of hydrocarbon accumulation in different sequence framework , and pointed out that the lowstand and highstand systems tracts of sequence III were rich in hydrocarbon resource , and were the main section for finding new hidden traps.

**Key words** sequence boundary , flooding surface , systems tract , sequence style , hydrocarbon evaluation