

文章编号: 1000-0550(2004)03-0387-06

松辽拗陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式

辛仁臣^{1,2} 蔡希源³ 王英民^{1,2}

1(中国地质大学海洋地质研究中心 北京 102249) 2(石油大学教育部石油天然气成藏机理重点实验室
北京 102249) 3(中国石油化工集团公司西北石油勘探指挥部 乌鲁木齐 830000)

摘要 白垩系青山口组到嫩江组沉积时期,松辽盆地为深水拗陷湖盆,沿长轴方向为缓坡,而在短轴方向为陡坡。缓坡条件下,三级层序界面表现为沉积相带的迁移,地震剖面上的超削反射终止特征不明显,陡坡条件下,三级层序界面不仅表现为沉积相带的迁移,而且在地震剖面上的超削反射终止特征十分明显。在层序内部均可识别出低位域、水进域和高位域。在层序的低位域,沿盆地长轴方向,三角洲水下分流河道十分发育,在河口的前方形成分布较广、相对较薄的河口坝、远砂坝沉积及湖底扇;沿短轴方向,三角洲水下分流河道不发育,而发育河口坝和远砂坝,向湖区方向,过渡为前三角洲和深湖沉积,在前三角洲和深湖沉积区发育大量重力流成因的湖底扇。

关键词 层序格架 低位域 沉积模式 拗陷深水湖盆 松辽盆地

第一作者简介 辛仁臣 男 1964年出生 副教授 沉积及石油地质

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 地质背景

1.1 概况

松辽盆地处于中国东北部,总面积逾 $2.87 \times 10^5 \text{ km}^2$,基底为古生代和前寒武纪的变质岩系及火成岩系;沉积盖层主要由中、新生代碎屑沉积岩系组成,最大厚度逾万米。中生代地层自下而上发育有火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组、泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组及明水组。泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组及明水组地层沉积时期为拗陷期,在白垩系青山口组到嫩江组沉积时期,松辽盆地处于深水拗陷湖盆阶段。

1.2 湖平面变化

大量研究成果表明,青山口组和嫩江组沉积时期,松辽盆地遭受了2次大规模的海侵^[1~5],形成了水域宽阔的松辽深水拗陷湖盆。在深水拗陷湖盆阶段,松辽盆地的湖平面变化表现为明显的两进一退特征。青山口组沉积末期发生了构造整体抬升、与此同时,全球海平面大幅度下降^[6],造成松辽盆地湖平面大规模下降,湖区面积大幅度萎缩^[4],姚家组一段沉积时期湖区面积不足 $10\,000 \text{ km}^2$,姚家组二、三段沉积时期,湖泊再次扩展,到嫩江组沉积早期,达到第二

次湖区发育的鼎盛时期。上述不同时期松辽深水拗陷湖盆湖区面积见表1。

表1 松辽深水拗陷湖盆的湖区面积
Table 1 Lake acreage of Songliao depression basin

时 期	湖区面积/ km^2
青山口组一段沉积时期	88000
青山口组二、三段沉积早期	68000
青山口组二、三段沉积晚期	35000
姚家组一段沉积时期	9800
姚家组二、三段沉积时期	19000
嫩江组一段沉积时期	> 120000

1.3 盆地边坡地形

青山口—姚家组地层等厚图清楚地反映了在拗陷深水湖盆阶段,松辽盆地沿长轴方向为缓坡,而在短轴方向为陡坡(图1)。不同坡降对湖平面升降的敏感性明显不同,在湖平面变化过程中,缓坡部位湖岸线的变迁幅度大。而在陡坡部位湖岸线的变迁幅度小。由于盆地边坡地形控制了相应部位的水体条件,从而决定不同边坡地形条件下的层序构成模式和沉积体系特征。

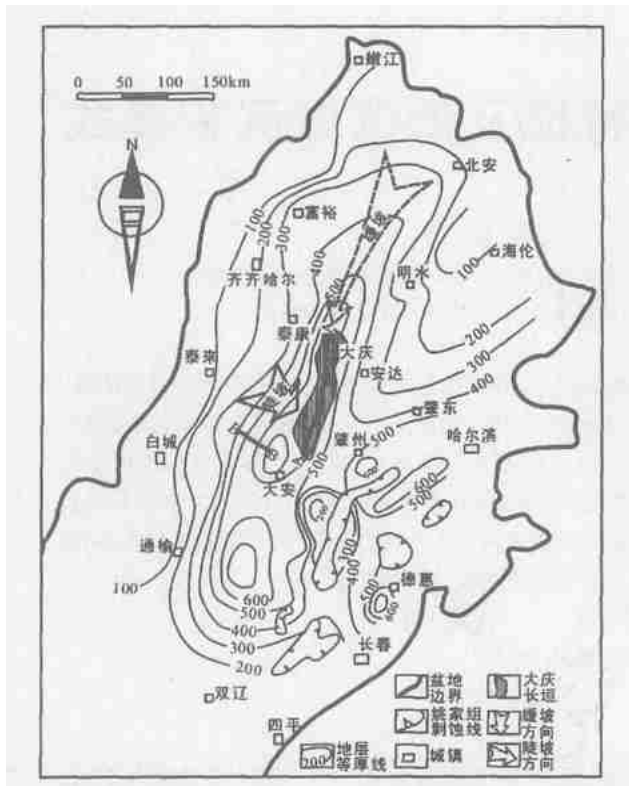


图 1 松辽盆地青山口—姚家组地层厚度图,反映相应沉积时期的古地形(据大庆研究院,1996 改编)

Fig. 1 Isopach map of Qingshankou Yaojia Formations of Songliao basin, which reflects paleotopography of the same period (modified from data of Daqing Petroleum Institute, 1996)

2 层序地层格架

以松辽盆地为解剖对象,许多学者对坳陷深水湖盆层序构成特征进行研究从层序跨越的地质年龄、地层厚度与海相盆地和断陷盆地的研究经验对比分析出发,认为存在大范围暴露和侵蚀特征的青山口组和姚家组的分界面为超层序界面^[9~12]。

2.1 超层序界面

超层序界面在岩心、测井和地震资料上都有显著特征。

岩芯记录层序边界的表现型式有:古土壤及根土岩;浅水相直接覆盖在深水相沉积之上;河床滞留砾岩;水进滞留砾岩;钙质结核;界面之上覆盖风暴成因的介屑层及砂质风暴岩;界面之上覆盖三角洲前缘席状砂或分流河道沉积与浊积扇;界面之上覆盖滑塌及碎屑流沉积(水下侵蚀);层序边界之上发育鲕粒、生物屑灰岩;沉积旋回突变部位^[8,9]。另外据任延广等的研究成果,深水部位层序界面为与不整合面对应的整合面,可根据有机碳的含量来确定,其有机碳含量

显著降低。

测井响应特征表现为:退积/前积渐变型式;退积/加积突变型式;加积/前积型;前积/前积型。

在反射地震剖面上在边界之下具有明显的削截结构及顶超结构,在界面之上具有滨岸上超、深水沉积向斜坡地带的上超及向盆地方向下超,下切谷发育。或仅在近岸局部地区见削截,无下切谷,主要靠沉积滨线向盆地的迁移来识别,层序边界之上地层型式为准加积或准前积式^[10]。

2.2 三级层序界面

三级层序界面的暴露和侵蚀特征仅发育于盆地的边缘地带,在盆地内部,不同边坡条件三级层序界面的表现特征明显不同。在三级层序界面限定的层序内部,可进一步识别出低位域、水进域和高位域。

在盆地内部的缓坡条件下,三级层序界面主要表现为沉积相带的迁移,地震剖面上的超削反射终止特征不明显。

图 2 是盆地缓坡部位 A—A 剖面(剖面位置见图 1)青山口组上部和姚家组层序格架分析剖面,图中可见,在青山口组的上部、青山口组与姚家组之间及姚家组层序界面(SB—层序界面,SSB—超层序界面)附近存在明显沉积相带迁移,三级层序界面附近河流—三角洲体系明显向湖区推进,在三级层序界面之间的层序内部存在明显的湖区扩展。

盆地缓坡部位层序体系域仅河流—三角洲体系明显向湖区推进的高位域和湖区向外扩展的水进域。

在盆地缓坡部位地震剖面上,深水坳陷期沉积地层 T1 与 T2(相当于青山口组—姚家组)地震反射时间厚度近等,内部反射结构为平行、亚平行和波状,超削反射终止特征不明显(图 3)。因此在地震剖面上识别三级层序界面较为困难。

在盆地内部的陡坡条件下,三级层序界面不仅表现为沉积相带的迁移,而且可在层序内部识别出低位域、水进域和高位域,在地震剖面上的超削反射终止特征十分明显。

图 4 是盆地陡坡部位 B—B 剖面(剖面位置见图 1)青山口组上部和姚家组层序格架分析剖面,图中可见,在青山口组的上部、青山口组与姚家组之间及姚家组层序界面(SB—层序界面,SSB—超层序界面)附近存在明显沉积相带迁移,三级层序界面附近河

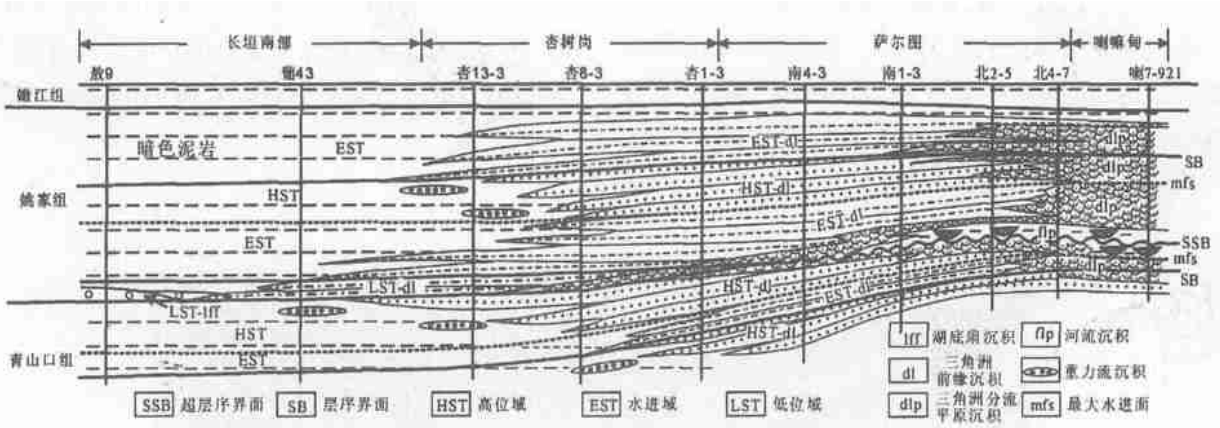


图 2 松辽盆地缓坡带 A—A 剖面层序格架(剖面位置见图 1)

Fig. 2 Sequence stratigraphic framework of A—A profile (see Fig. 1) of gentle slope in Songliao basin

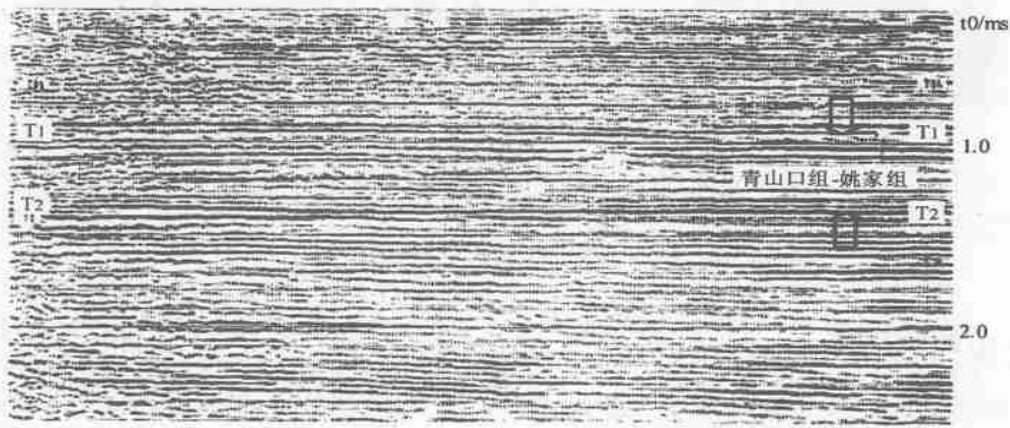


图 3 松辽盆地缓坡带地震剖面(大庆长垣北工区,472.0 测线,桩号 80.0 - 86.0)

Fig. 3 Seismic profile of gentle slope in Songliao basin (North Daqing Changyuan, Line 472.0, CDP80.0 - 86.0)

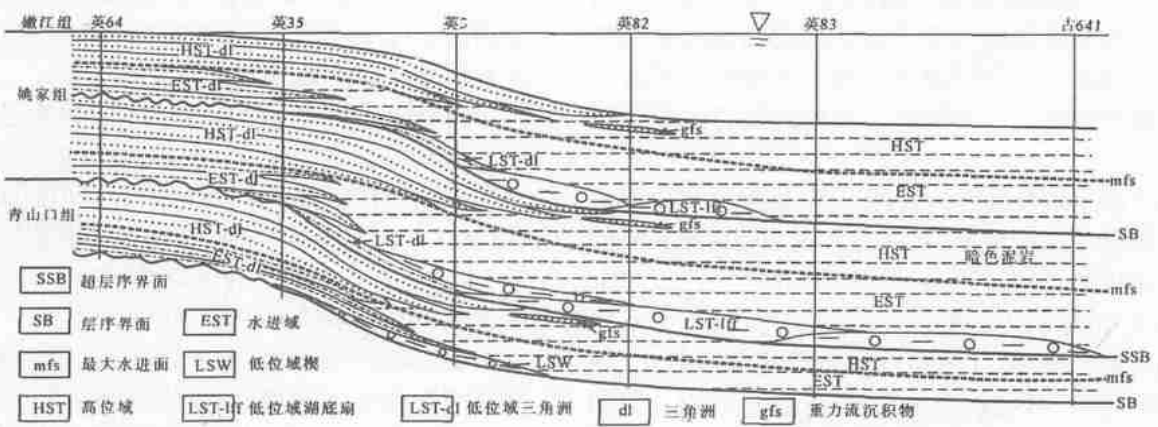


图 4 松辽盆地陡坡带 B—B 剖面层序地层格架(剖面位置见图 1)

Fig. 4 Sequence stratigraphic framework of B - B profile (see Fig. 1) of steep slope in Songliao basin

流—三角洲体系明显向湖区推进,在姚家组 2 个层序界面之上的低位域,深湖区发育大量的湖底扇沉积,

在三级层序界面之间的层序内部存在明显的湖区扩展。青山口组上部层序由水进域和高位域构成,姚家

组的2个层序由低位域、水进域和高位域构成。

在盆地陡坡部位地震剖面上,深水拗陷期沉积地层地震反射时间厚度变化较大,高部位地震反射时间厚度小,低部位地震反射时间厚度大,呈明显的楔形体。内部反射结构多变,超削反射终止特征十分明显

(图5)。在青山口组与姚家组分界的超层序界面之下,可见削截反射终止现象,其上可见明显的上超。在青山口组和姚家组内部的三级层序界面上可见明显的上超。

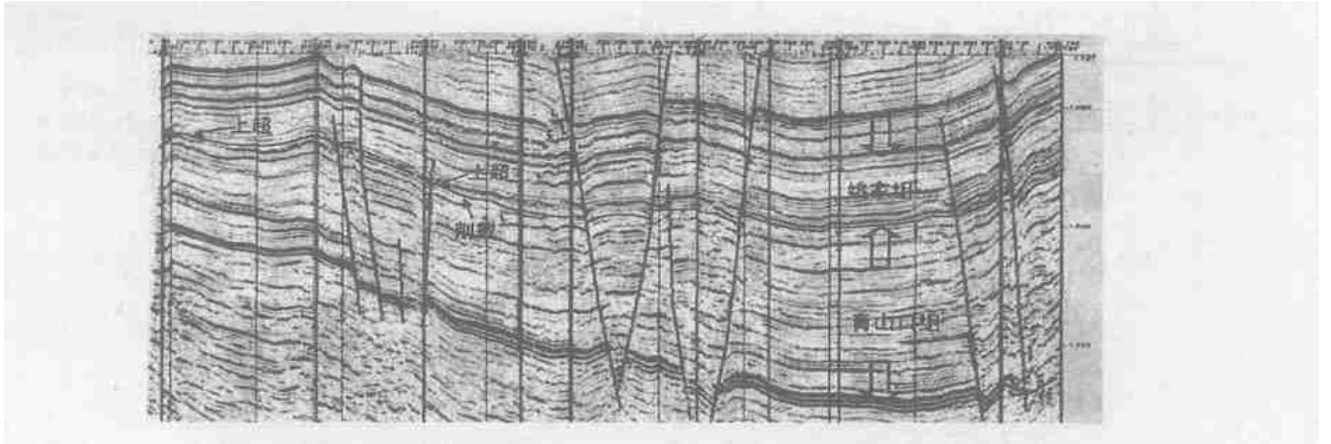


图5 松辽盆地陡坡带地震剖面(英台3D工区,沿B-B剖面任意线,剖面位置见图1)

Fig. 5 Seismic profile of steep slope in Songliao basin (Yingtai 3D area, along B - B, see Fig. 1)

3 低位域沉积模式

松辽盆地长轴缓坡和短轴陡坡地带的沉积体系特征存在明显差异。

沿盆地长轴方向坡降平缓,集水面积大,河流源远流长,湖泊接纳迳流量与载荷量大,所形成的北部河流—三角洲复合体占据了松辽盆地北部的绝大部分地带。储量和产量居国内各油田之首的大庆油田的储层和产层就是北部河流—三角洲复合体的砂岩体。

由于沿盆地长轴方向坡降平缓,湖盆水体由湖盆边缘向湖盆中央缓慢加深,湖泊水体不能形成明显的顶托作用以抵消河流能量,河流入湖后,往往以水下分流河道形式继续向湖区流动,并逐渐削减河流能量。当河流消失后,在河口的前方形成分布较广、相对较薄的河口坝、远砂坝及重力流沉积,大庆油田的地质人员通常将这种相对较薄的河口坝和远砂坝沉积称为席状砂(图6)。

正因如此,沿盆地长轴方向缓坡地带各层序的水进域和高位域均呈河流—三角洲分流平原—三角洲前缘席状砂—前三角洲+湖泊的平面相带分布格局^[7],但不同层序、不同体系域各沉积相带发育部位

存在明显的迁移,垂向上不同体系域的砂体叠覆、连通,在深水拗陷期北部三角洲复合体的主体部位形成巨厚的复合砂体。

沿盆地短轴方向坡降陡,河流源近流短,所形成的三角洲复合体规模较小,如英台三角洲复合体。

由于沿短轴方向盆地坡降总体上相对较陡,湖盆水体由湖盆边缘向湖盆中央快速加深,河流入湖后,受湖泊水体顶托作用,河流能量消失,河流载荷在河流入湖处大量卸载。

河流卸载的碎屑物质往往在河口附近形成河口坝和远砂坝,向湖区方向,过渡为前三角洲和深湖沉积,在前三角洲和深湖沉积区发育重力流成因的湖底扇(图7)。松辽拗陷深水湖盆陡坡多数层序的低位域、水进域和高位域均为河口坝—远砂坝—前三角洲+深湖(可夹湖底扇)的相带分布格局。

英台陡坡部位姚家组下部层序的低位域沉积特征研究表明,当河口盆地边坡的倾角较大,河流卸载的碎屑物质不能在河口附近堆积时,碎屑物质则在自身重力作用下,沿陡坡向深湖区滑动,形成湖底扇。

4 结论

松辽盆地在青山口组到嫩江组沉积时期为大型拗陷深水湖盆,盆地长轴呈近南北向,短轴为近东西向。

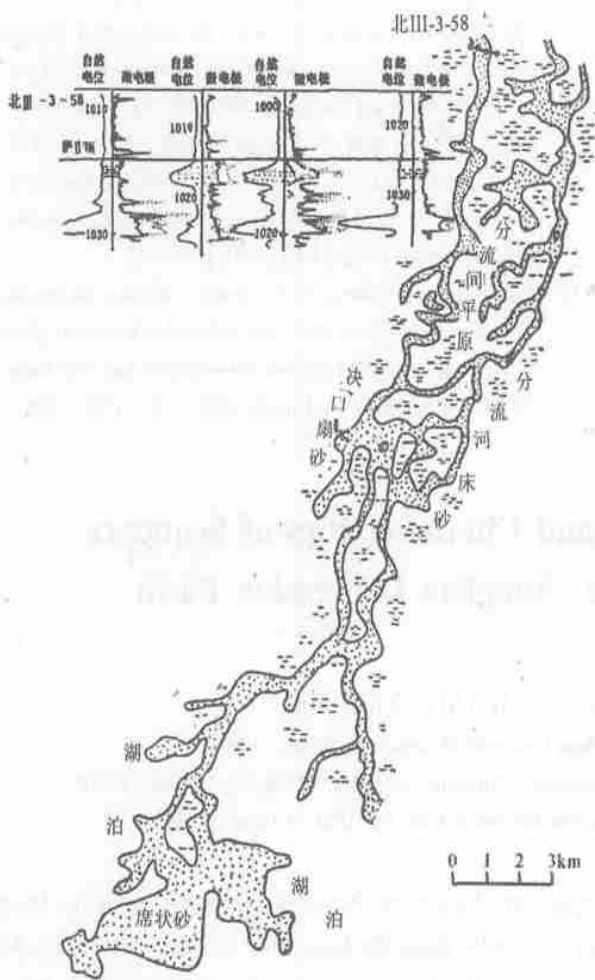


图 6 深水拗陷湖盆缓坡区(大庆长垣地区)姚家组上部层序水进域沉积体系平面图(据王衡鉴等^[7],1985 改编)
Fig. 6 Depositional systems of TST sequence of upper Yaojia Formation in the gentle slope area of deep depressed lake (modified from Wang, *et al.*, 1985)

盆地长轴方向为缓坡,短轴方向盆地西部为陡坡。受坡度影响,层序界面和低位域沉积模式存在明显差异,缓坡条件下,三级层序界面表现为沉积相带的迁移,地震剖面上的超削反射终止特征不明显,陡坡条件下,三级层序界面不仅表现为沉积相带的迁移,而且在地震剖面上的超削反射终止特征十分明显。在层序内部均可识别出低位域、水进域和高位域。在层序的低位域,沿盆地长轴方向,三角洲水下分流河道十分发育,在河口的前方形成分布较广、相对较薄的河口坝、远砂坝沉积及湖底扇;沿短轴方向,三角洲水下分流河道不发育,而发育河口坝和远砂坝,向湖区方向,过渡为前三角洲和深湖沉积,在前三角洲和深湖沉积区发育大量重力流成因的湖底扇。

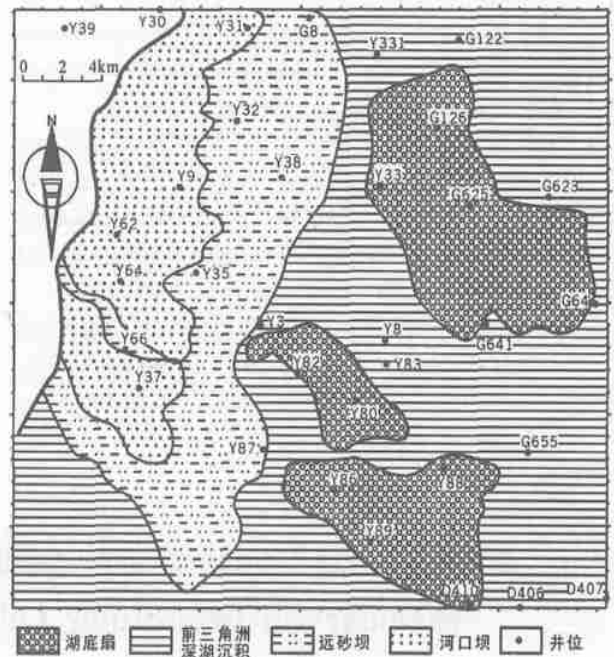


图 7 深水拗陷湖盆陡坡(英台地区)姚家组下部层序低位域晚期沉积体系平面图
Fig. 7 Depositional systems of LST sequence of Lower Yaojia Formation in the Yingtai steep slope area of deep depressed lake

参考文献 (References)

- 高瑞祺, 萧德铭. 松辽及其外围盆地油气勘探新进展. 北京: 石油工业出版社, 1995. 19 ~ 24 [Gao R Q, Xiao D M. The advancement of oil and gas exploration in Songliao basin and its periphery basins. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 19 ~ 24]
- 叶淑芬, 魏魁生. 松辽盆地白垩系的密集段及海水进侵的新证. 地球科学, 1996, 21(3): 267 ~ 271 [Ye S F, Wei K S. Condensed section and new evidence of marine inundation in Cretaceous, Songliao basin. Earth Science, 1996, 21(3): 267 ~ 271]
- 魏魁生, 叶淑芬, 郭占谦, 等. 松辽盆地白垩系非海相沉积层序模式. 沉积学报, 1996, 14(4): 50 ~ 60 [Wei K S, Ye S F, Guo Z Q, *et al.* Sequence stratigraphic model of nonmarine sediments in Cretaceous, Songliao basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(4): 50 ~ 60]
- 高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律. 北京: 石油工业出版社, 1997. 47 ~ 103 [Gao R Q, Cai X Y. The formation conditions and distribution of oil and gas pools of Songliao basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. 47 ~ 103]
- 蔡希源, 陈章明, 王玉华, 等. 松辽两江地区石油地质特征分析. 北京: 石油工业出版社, 1999. 35 ~ 56 [Cai X Y, Chen Z M, Wang Y H, *et al.* Analysis of petroleum geologic characteristics of Liangjiang area in Songliao basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999. 35 ~ 56]
- Wilgus C K, Hastings B S, Kendall C G, *et al.* Sea-level changes: An integrated approach. Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner. 42, 1998. 1 ~ 300
- 王衡鉴, 曹文富. 松辽盆地白垩系沉积相模式. 见: 杨万里主编. 松

- 辽陆相盆地石油地质. 北京:石油工业出版社,1985. 127 ~ 140 [Wang H J, Cao W F. Sedimentologic model of Cretaceous of Songliao basin. In : Yang W L, eds. Petroleum geology of Songliao continental basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1985. 127 ~ 140]
- 8 任延广,徐宏. 松辽盆地层序地层特征及含油气性. 见:大庆油田勘探开发研究论文集. 北京:石油工业出版社,1995. 132 ~ 146 [Ren Y, Xu H. Sequence stratigraphy and hydrocarbon accumulations of Songliao Basin. Collected Papers of Daqing Oil Field Exploration and Development. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 132 ~ 146]
- 9 魏魁生. 非海相层序地层学—以松辽盆地为例. 北京:地质出版社,1996. 46 ~ 94 [Wei K S. Non-marine basin Sequence stratigraphy—a case study of Songliao Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 46 ~ 94]
- 10 王嗣敏,刘招君,董清水,等. 陆相盆地层序地层形成机制分析—以松辽盆地为例. 长春科技大学学报,2000,30(2):139 ~ 144 [Wang S M, Liu ZJ, Dong Q S, *et al.* The mechanism of formation analysis of continental sequence stratigraphy, Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30(2): 139 ~ 144]
- 11 刘招君,董清水,王嗣敏,等. 陆相层序地层学导论与应用. 北京:石油工业出版社,2002. 113 ~ 137 [Liu ZJ, Dong Q S, Wang S M, *et al.* Introduction to continental sequence stratigraphy & application. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002. 113 ~ 137]
- 12 Liangqing Xue, Galloway W E. Genetic Sequence Stratigraphic Framework, Depositional Style, and Hydrocarbon Occurrence of the Upper Cretaceous QYN Formations in the Songliao Lacustrine Basin, Northeastern China. AAPG Bulletin, 1993, (10): 1792 ~ 1808

Depositional Model of Lowstand and Characteristics of Sequence Boundary in Deep-water Lake, Songliao Depression Basin

XIN Ren-chen^{1,2} CAI Xi-yuan³ WANG Ying-min^{1,2}

1 (Institute of Marine Geology and Geophysics, China University of Geoscience, Beijing 100083)

2 (Ministry of Education Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Petroleum University, Changping Beijing 102249)

3 (Headquarter of Prospect for Oil and Gas of Western New Developed Area, SINOPEC, Urumqi 830000)

Abstract During the depositional stage of Cretaceous Qingshankou, Yaojia and Nenjiang Formation, Songliao basin was a depression lake with deep-water, the slope of the basin was gentle along the long-axis, and was steep along the short-axis. The migration of depositional facies is characteristics of the third-order sequence boundary in gentle slope, but the onlap and truncation in seismic profile is not clear. In the steep slope, the third-order sequence boundary displayed as migration of depositional facies, but the onlap and truncation in seismic profile is very clear. The LST, TST and HST can be recognized in the third-order sequence. Along the long-axis, the distributary channel of delta developed very well, but mouth-bar, distal-bar and lake-floor-fan sediments are thin. Along the short-axis, mouth-bar, distal-bar and lake-floor-fan sediments developed in order along the lake-direction, but lack of the sediments from distributary channel of delta.

Key words framework of sequence stratigraphy, lowstand system tract, depositional model, depression deep-water lacustrine basin, Songliao basin