

文章编号: 1000-0550(2010) 02-0235-08

# 松辽盆地南部上白垩统中部组合层序界面的识别标志及高分辨率层序地层格架

石兰亭<sup>1,2</sup> 潘树新<sup>2</sup> 郭维华<sup>2</sup> 王建功<sup>2</sup> 王天奇<sup>2</sup> 董丽红<sup>3</sup>

(1 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;

2 中国石油勘探开发研究院西北分院 兰州 730020 3 中国石油吉林油田分公司 吉林松原 430080)

**摘要** 系统总结了松辽盆地南部中部组合层序界面的岩心、测井、生物、地震等识别方法;统计了盆地短轴方向不同相带层序界面及短期基准面旋回的分布特征,并分析了层序界面和短期旋回模式在不同相带的分布规律。中部组合青山口组和姚家组共划分为 4 个长期旋回和 10 个中期旋回。在层序地层学、沉积学原理的指导下,采用岩心、测井、地震三位一体,点、线、面紧密结合,以岩心、测井层序划分为基础,以地震技术为手段进行层序地层的立体拓展,建立层序地层格架,为下一步勘探提供了重要的依据。

**关键词** 层序地层学 层序界面识别 中部组合 松辽盆地南部

**第一作者简介** 石兰亭 男 1963 年出生 博士 石油地质 E-mail yxyq@petrochina.com.cn

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

## 0 前言

松辽盆地地跨黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区,整体呈北北东向展布,长轴约 750 km,短轴 330~370 km,总面积超过 287 000 km<sup>2</sup>(图 1)。主要充填中、新生代碎屑岩沉积,其中白垩纪地层为主要的沉积岩系<sup>[1]</sup>。

松辽盆地南部晚白垩世地层底部为青山口组(K<sub>2</sub>qn)和姚家组(K<sub>2</sub>y),它们形成于松辽盆地演化的拗陷期。青山口组高台子油层和姚家组葡萄花、萨尔图油层统称为松辽盆地中部含油气组合,是松辽盆地最主要的油气产层。青山口组自下而上分为青一段、青二段和青三段,姚家组分为姚一段和姚二加三段。青一段(K<sub>2</sub>qn<sup>1</sup>)经历了一次大的湖侵,该时期湖盆面积较大,沉积了一套富有机质的半深湖—深湖亚相黑色泥岩。青二、三段(K<sub>2</sub>qn<sup>2,3</sup>)到姚二加三段(K<sub>2</sub>y<sup>2+3</sup>)沉积时期,总体上为水退,湖盆收缩,沉积物富砂。对于松辽盆地南部青山口组和姚家组,前人在层序地层、沉积演化等研究方面取得了有意义的成果<sup>[2-7]</sup>。本文系统总结了松辽盆地南部中部组合层序界面的岩心、测井、生物、地震等识别方法,统计和分析了不同沉积相带层序界面的识别方法及短期旋回的分布模式。在层序地层学、沉积学原理的指导

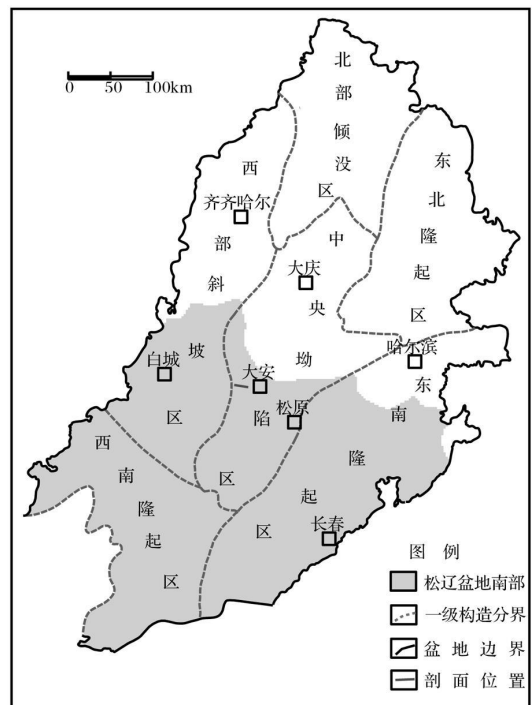


图 1 松辽盆地地理位置及构造分布

Fig 1 Location and tectonic division of Songliao Basin

下,采用岩心、测井、地震三位一体,点、线、面紧密结合,以岩心、钻测井层序划分为基础,以地震技术为手

段进行层序地层的立体拓展,建立层序地层格架,为下一步勘探提供了重要的依据。

### 1 中部组合层序界面的识别标志

#### 1.1 岩心资料识别层序界面

岩心资料是识别高频层序界面及进行短期旋回识别行之有效的方法,本区所识别出的岩心标志主要

有以下四种类型:古暴露标志、冲刷面、岩相的突变、碳酸盐沉积等。

#### 1 古暴露标志

古暴露标志有很多种,常见的有钙质结核、铁质结核、古土壤层、红土层、干裂、根茎化石等,它们代表基准面下降到最低点,沉积物暴露地表时遗留的“痕迹”,可作为鉴别层序界面的标志(图 2-a h c)。



图 2 岩心资料识别层序界面

Fig 2 Core identification marks of sequence boundary

a 花 13 / 1 183 2~ 1 183 35 m /钙帽; b 坨 24 / 685 9 m 泥岩中干裂现象; c 黑 51 植物根茎化石; d 庙 7 / 1 309. 8 m 曲流河冲刷面; e 方 37 / 1 103 4 m 辫状河道冲刷面; f 情 6 / 1 858 8 m /分流河道冲刷面; g 孤 41 / 1 513 m 岩相

© 1994-2024 突变界面: na 海 60 / 1 775. 6 m 深水相直接覆盖在浅水相之上; g: 姚家火车站 | 碳酸盐岩与湖相泥岩互层沉积 / www.cnki.net

④中刷面及河床滞留沉积

地层剖面中的冲刷现象及上覆的河道滞留沉积, 其产出位置或代表基准面下降到地表以下引起的侵蚀冲刷作用, 或代表基准面上升初期时的水进冲刷面, 后者与前者区别是水进冲刷面之上多见盆内碎屑, 且幅度较小。不同成因和规模级别的侵蚀冲刷面, 是划分不同级次层序界面的重要证据 (图 2-d e f)。

(四)岩相的突变接触

浅水沉积物直接覆盖于深水沉积物之上, 或者深水相沉积物直接覆盖于浅水相沉积物之上, 分别代表两种沉积环境之间往往呈缺失过渡状态而呈突变接触关系 (图 2-g h)。也就是说二者的接触关系不符合瓦尔特相律, 这些部位往往就是层序界面。

¼ 浅湖中的碳酸盐沉积

浅湖碳酸盐沉积可作为气候干旱、蒸发量增加、基准面下降、可容纳空间减小的结果, 可作为层序界面的识别标志 (图 2-i)。

1.2 测井资料识别层序关键界面

测井资料具有很高的纵向分辨率, 是层序地层学研究不可缺少的一种资料。划分层序的关键在于不

同级别层序界面和湖泛面的识别。另外, 测井曲线形态、幅度及其反映的短期旋回叠加样式的变化均与基准面升降和可容纳空间的变化有关, 是识别基准面旋回的重要手段。

松辽盆地南部层序界面和湖泛面的测井响应具有以下特征:

1)河道响应曲线

河流下切作用形成的下切河道, 在测井曲线上表现为加积的“箱状”或退积的正旋回, 自然电位和电阻常为典型的钟形, 层序界面经常位于正旋回的底部 (图 3-a)。另外由于河床滞留沉积含砂砾岩或泥砾岩, 常具钙质胶结, 电阻曲线在冲刷面底部呈明显的“尖峰”状 (图 3-b)。

2)河口坝、沿岸坝的测井响应特征

坝体在测井曲线上表现为加积的“箱状”或进积型的反旋回, 层序界面位于坝体的顶部 (图 3-c)。另外, 坝体顶部在“太阳泵”的作用下, 常形成钙质结核层, 其测井响应特征见图 3-d。

3)泥岩基质转换点

当区域或局部构造运动发生时, 往往造成上下地层沉积相、可容纳空间、水体物化性质、物源等的变

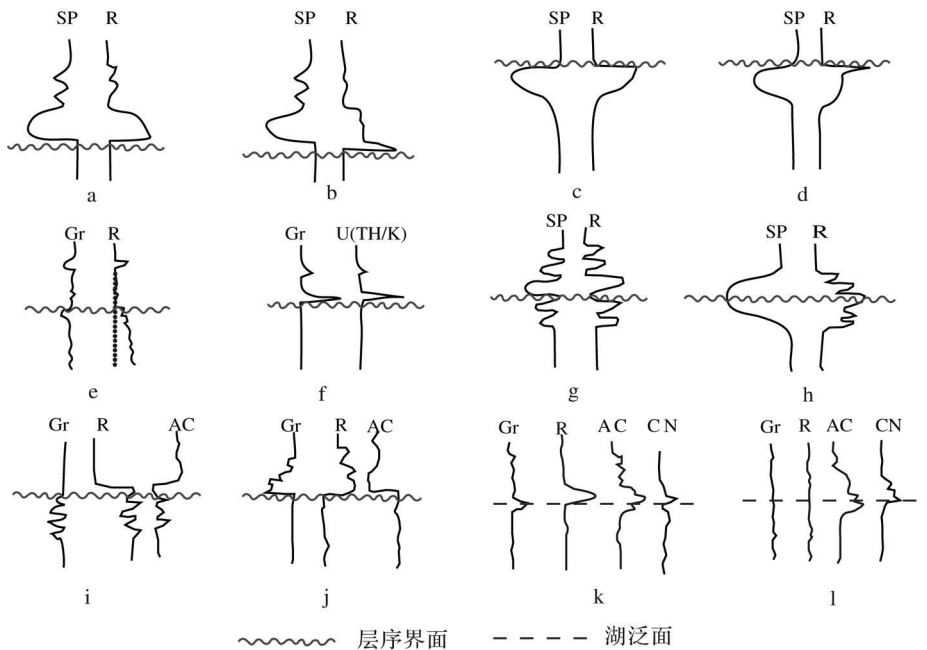


图 3 层序关键界面的测井识别

- a 典型的河道; b 滞留沉积强烈钙质胶结的河道; c 河口坝 沿岸坝; d 具钙帽的河口坝 沿岸坝;
- e 泥岩基质的转化点; f 能谱异常; g 沉积旋回的转化 (席状砂转换); h 沉积旋回的转化 (河道切割河口坝);
- i 深水相覆盖在浅水相; j 浅水相直接覆盖在浅水相; k 油页岩; l 纯泥岩

Fig 3 Log identification marks of sequence key boundary

化,因此测井曲线的泥岩基值就会发生明显的改变,层序界面经常位于泥岩基值转换处(见图 3-e)。如姚家组沉积时期,由于基准面的下降以及可容纳空间的降低,造成姚家组的含砂量及地层水矿化度的明显增高。姚家组与青山口组相比,姚家组整体表现为高阻、低声波的特征。

#### 4) 能谱法识别层序界面

不整合面常常造成某些特殊元素的富集或贫乏,一般来说,层序界面更有利于 U、Th 及其它放射性元素富集。因此层序界面通常位于 Gr 基值、U、Th 含量由小变大的部位(见图 3-f)。松辽盆地南部嫩江组底部、姚家组底部都普遍具有这种特征。

#### 5) 沉积旋回的转换面

层序界面位于反映进积的反旋回和反映加积或退积的正旋回的曲线之间(见图 3-g, h),反映了基准面下降到最低部位后逐渐升高的变化。

#### 6) 层序界面位于深水相与浅水相的转换部位

深水相直接覆盖在浅水相或者浅水相直接覆盖在深水相反映了一种环境的突变,这种突变在测井曲线上具有明显的测井响应特征。深水相具有高伽马、低电阻、高声波的特点,浅水相一般具有低伽马、高电阻、低声波的特点。图 3-i 是深水相直接覆盖在浅水

相之上,典型的界面为松辽盆地的 T1 和 T2 界面,图 3-j 是浅水相直接覆盖在深水相之上,典型的界面为松辽盆地的 T03 界面。

#### 7) 湖泛面的测井响应特征

本区的湖泛面分为两种类型,一种是油页岩,一种是纯泥岩。二者都具有典型的测井响应特征,油页岩具有高伽马、高电阻、高中子、高声波及低密度等 4 高 1 低的特征(见图 3-k),典型的油页岩如嫩二段底部的油页岩。纯泥岩湖泛面一般具有高声波及高中子的特征,尤其中子测井响应更为明显。

### 1.3 介形资料在层序划分及界面识别中的应用

湖泊面积的进退是构造、气候综合作用的结果,这种变化必然导致湖泊生态环境的改变,从而造成生物种群、生物特征和生物丰度的明显响应。高瑞祺等、叶得泉等和梁江平等<sup>[8]</sup>利用大量古生物分析鉴定资料,系统进行了松辽盆地中部含油气组合介形类化石的古生物学和古生物地层学研究<sup>[8]</sup>。把介形类化石古生物学和古生物地层学研究成果与层序地层格架相结合进行综合分析,清楚展示了介形类个体种属的产生、繁盛、绝灭以及个体形状、大小、壳饰等变化与层序发育有一定的响应关系(见表 1)。因此,可以利用介形虫资料进行层序的划分,

表 1 松辽盆地中部组合介形虫分布与层序格架

Table 1 Sequence-stratigraphic framework and its response to cypridea of them idle oil bearing beds of Songliao basin

介形类化石优势种(峰值)	地层	四级层序	标准化石图版
<i>C.(C.)formos</i> <i>CCsunghuajiangens</i> <i>C.(C.)dorsoangul</i>	姚二加三	Ys	
<i>CCshanzhaoens</i> <i>C.(C.)exornat</i> <i>Cypridea(Cypridea)favosa</i>	姚一段	Yx	
<i>Triangulicyprisvestilus</i> Ding <i>Triangulicyprifusiformis</i> Ye	青三段	Qn3d	
<i>Triangulicypris symmetrica</i> Ye		Qn3s	
<i>Cypridea fuyuensis</i> Ding		Qn3z	
<i>Cypridea edentula</i> Ye		Qn3x	
<i>Cypridea vicina</i> Ye		Qn2s	
<i>Cypridea nota</i> Ye	青二段	Qn2x	
<i>Triangulicypris symmetrica</i> <i>Triangulicypristoruosus</i> <i>Limnocyprideacopiosa</i>	青一段	Qn1s-Qn1x	

同时也可以对多物源地层对比起到辅助作用。

另外, 青山口组一、二段经常发育厚度可达 5~15 cm 的介形虫层, 这些介形虫层经常与前积及退覆现象相伴生, 一般位于进积型反旋回砂岩的顶部。其成因可能是由于基准面的下降造成水体变浅、矿化度增高等, 导致了介形虫的大量死亡。因此介形虫层可以作为层序界面识别的一个辅助标志。

### 1.4 地震资料识别层序界面

地震反射界面基本是等时的或平行于地层内的时间面, 因而可以运用地震反射剖面进行基准面旋回分析。但因受地震分辨率的限制, 地震反射剖面通常只能用以识别较低级别的层序界面和中长期旋回, 主要标志如下:

1) 区域分布的不整合面或者反映地层不协调关系的地震反射结构, 如超覆、前积、削蚀等, 是层序界面的良好标志。其中地层上超代表基准面上升或  $A/S$  增大, 前积、退覆、及削蚀都是可容纳空间降低或  $A/S$  减小的结果。

2) 中期或长期基准面旋回上升到下降转换位置(最大可容纳空间)通常对应高振幅、连续反射的界面或一组反射。

### 1.5 不同相带层序界面的分布特征及短期旋回的分布规律

从松南西斜坡到长岭洼陷, 不同相带(冲积扇、河流相、三角洲及湖泊相)层序界面类型和基准面短期旋回截然不同(见图 4)。白城、安广平安镇地区层序界面主要为古土壤层和河道冲刷面, 短期旋回结构

主要为向上“变深”的非对称型; 红岗阶地层序界面类型多样, 主要有暴露型、旋回转换型等, 短期旋回结构主要为对称型; 长岭洼陷层序界面主要有碳酸盐沉积层及泥岩基值的转换点等, 短期旋回结构主要为以下降半旋回为主的不完全对称性和向上“变浅”的非对称性为主。

层序界面和短期旋回结构的这种分布规律是沉积物体积分配和相分异的必然结果。当基准面上升时, 伴随可容纳空间增大和有效可容纳空间向斜坡高部位迁移, 沉积作用主要发生在向斜坡方向上超的各类河道沉积中, 而向盆地方向沉积物供给量减少、粒度变细, 甚至深水区进入欠补偿沉积状态; 当基准面下降时, 伴随可容纳空间减小和有效可容纳空间向盆地方向迁移, 西斜坡地区整体进入侵蚀冲刷和沉积路过状态, 侵蚀强度和幅度自上游向河口方向逐渐降低, 因此基准面下降半旋回由侵蚀面所代替, 而向盆地方向沉积强度逐渐增强, 三角洲前缘水下分流河道、河口坝、沿岸坝沉积极为发育。总体而言, 从白城地区到长岭洼陷, 基准面短期旋回由上升半旋回为主的非对称性, 向对称型和下降半旋回为主的非对称性逐渐转化。

## 2 层序地层格架的建立

层序划分方案建立后, 在地震层序、岩心和连井高分辨率层序分析的基础上, 综合前人的研究成果, 将松辽盆地南部中部组合划分为四个长期旋回和十个中期旋回(见表 2), 其中长期旋回层序以  $\text{④}$  级层序

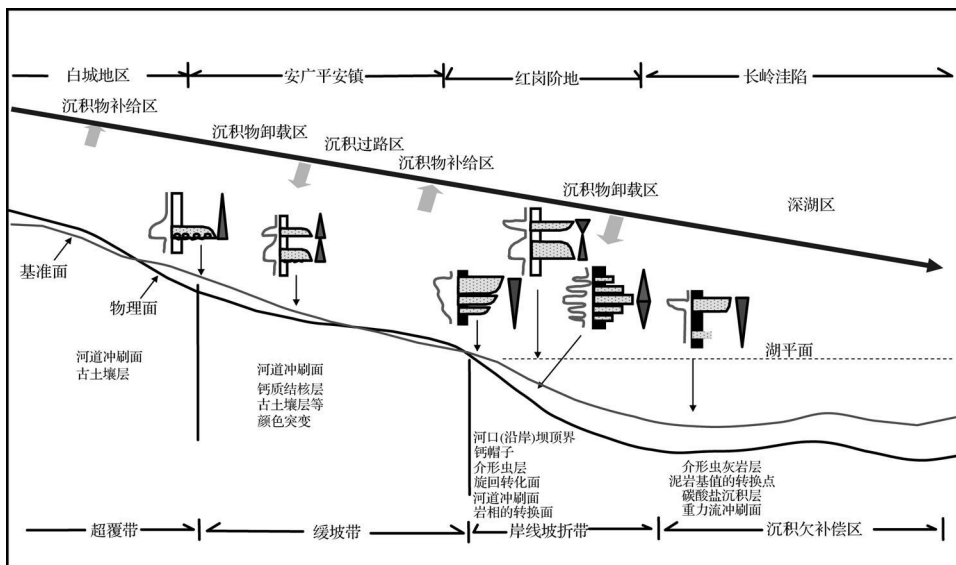


图 4 松辽盆地南部拗陷期短轴方向层序界面和短期旋回结构分布模式

界面为层序边界, 与 Vail 的 ④级旋回相当; 中期旋回层序以 ③级层序界面为层序边界, 与 Vail 的 ⑤级旋回层序或体系域相当。在层序划分过程中, 岩心、测井和地震确定的层序界面及基准面旋回要互相验证,

选择了一系列能揭示全区地层结构的多条连井剖面进行了层序地层的划分与对比, 并以合成记录为桥梁, 建立了井震一致的层序对比剖面 (如图 5)。

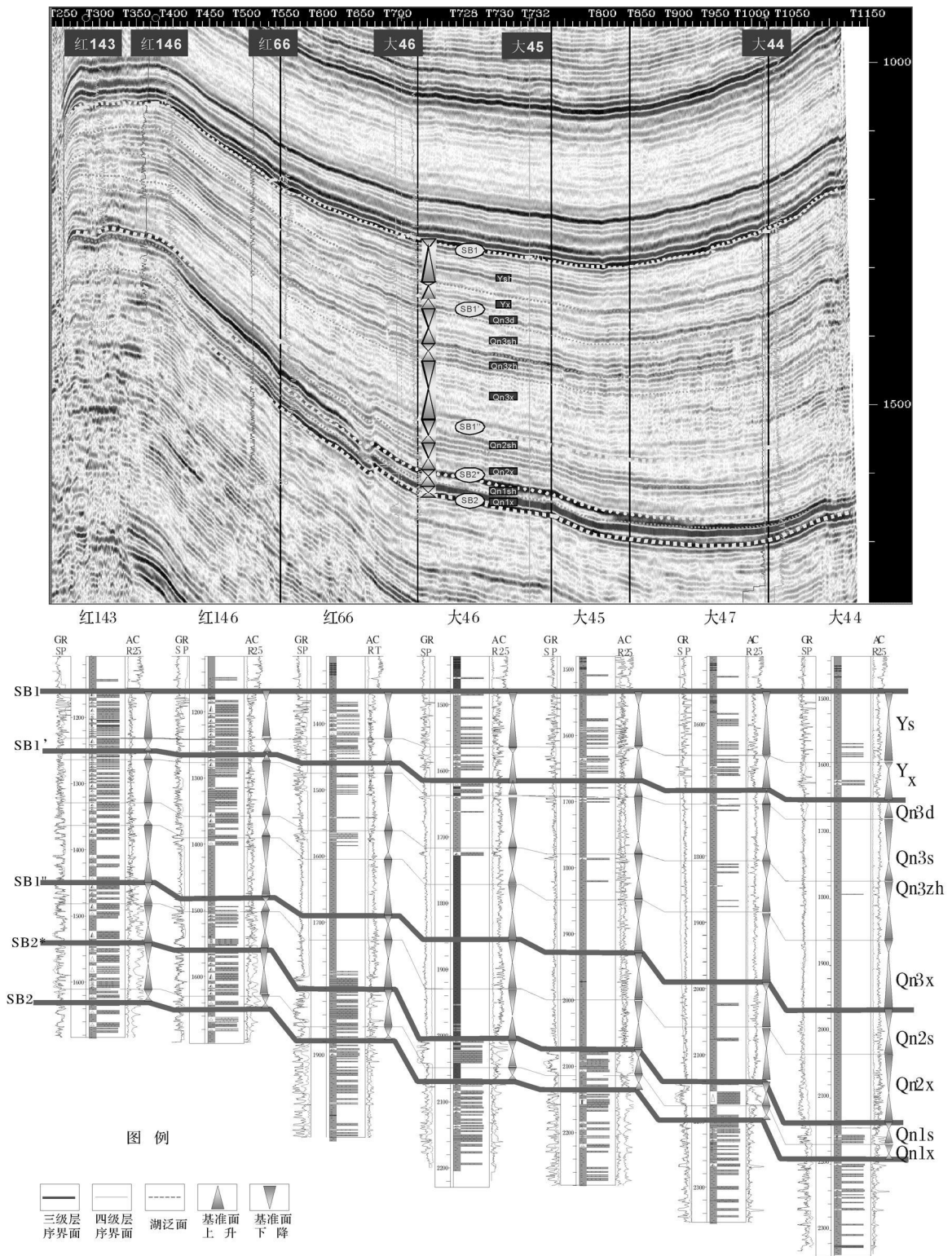


图 5 红岗北—大安地区井震一致的高分辨率层序地层格架

Fig. 5 Sequence stratigraphic framework from Honggangbei to Daan

表 2 松辽盆地南部中部组合层序地层划分方案

Table 2 Sequence division scheme of the middle oil bearing beds south Songliao Basin

地层系统		界面反射轴	三级层序界面的地震特征	三级层序界面	基准面旋回		高分辨率层序划分	
组	段(代号)				长期	中期	长期	中期
嫩江组	$K_2n^1$							
姚家组	$K_2y^{2-3}$	$T_1$	局部削截	SBI			Syao	姚上(Ysh)
	$K_2y^1$		地层超覆					姚下(Yx)
青山口组	$K_2qn^3$	$T_1'$	局部削截	SBI'			Sqn3	青三顶(Qn3d)
			超覆、下切谷	SBI''				青三上(Qn3sh)
								青三中(Qn3zh)
								青三下(Qn3x)
	$K_2qn^2$	$T_1''$	局部削截	SBI''			Sqn2	青二上(Qn2sh)
$K_2qn^1$			退覆、前积	SB2*			Sqn1	青二下(Qn2x)
		$T_2^*$						青一上(Qn1sh)
泉头组	$K_2q^4$	$T_2$	局部削截	SB2				青一下(Qn1x)

### 3 认识与结论

系统总结了松辽盆地南部中部组合层序界面的岩心、测井及地震等识别方法。在基准面旋回过程中,由于体积分配和相分异的控制,不同相带的层序界面的类型及短期基准面旋回类型均不相同,短期旋回从水上高部位到水下低部位,由上升半旋回为主的非对称性,向对称型和下降半旋回为主的非对称性逐渐转化。

在综合分析前人研究成果的基础上,运用高分辨率层序地层学理论与研究方法,松辽盆地南部中部组合共识别出 4 个长期基准面旋回和 10 个中期基准面旋回。通过井震对比建立层序格架,不仅提高了地震层序分析的纵向分辨率,也提高了测井层序横向的可对比性。

#### 参考文献 (References)

- 翟光明, 王志武, 主编. 中国石油地质志(卷 2) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993 55-305 [Zhai Guangming Wang Zhiwu. Petroleum Geology of China (Vol 2) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 55-305]
- 魏魁生. 非海相层序地层学——以松辽盆地为例 [M]. 北京: 地质出版社, 1996: 46-94 [Wei Kuisheng. Non-marine Basin Sequence Stratigraphy: A case study of Songliao Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 46-94]
- 刘招君, 董清水, 王嗣敏, 等. 陆相层序地层学导论与应用 [M]. 北

- 京: 石油工业出版社, 2002: 113-137 [Liu Zhaojun, Dong Qingshui Wang Simin, et al. Introduction to Continental Sequence Stratigraphy and Application [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 113-137]
- 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽坳陷深水湖盆层序界面特征及低位域沉积模式 [J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 387-392 [Xin Renchen, Cai Xiyuan, Wang Yingmin. Depositional model of low stand and characteristics of sequence boundary in deep water lake, Songliao Depression Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(3): 387-392]
- 邹才能, 池英柳, 李明, 等. 陆相层序地层学分析技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004 [Zou Caineng, Chi Yingliu, Li Ming, et al. Analysis Technology on Terrestrial Sequence Stratigraphic [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004]
- 赵应成, 王天琦, 田光荣, 等. 低渗透油田富集区预测技术研究——以松辽盆地扶扬油层为例 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 21-26 [Zhao Yingcheng, Wang Tianqi, Tian Guangrong, et al. Prediction technique study for hydrocarbon-rich areas in low permeable oil field: Case on Fuyang reservoir in Songliao Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 21-26]
- 卫平生, 潘树新, 王建功, 等. 湖岸线和岩性地层油气藏的关系研究——论“坳陷盆地湖岸线控油” [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 27-32 [Wei Pingsheng, Pan Shuxin, Wang Jianguo, et al. Study of the relationship between lithostratigraphic reservoirs and lakeshore line: Introduction on lakeshore line controlling oil/gas reservoirs in sag basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 27-32]
- 梁江平, 辛仁臣, 王树恒, 等. 松辽盆地中部含油组层序地层格架及介形类特征的响应 [J]. 地层学杂志, 2005, 29(4): 405-409 [Liang Jiangping, Xin Renchen, Wang Shuheng, et al. Sequence stratigraphic framework and its response to Cypridea of the middle oil-bearing beds of

the Songliao Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2005, 29(4): 405-409]

## Sequence Boundary Characteristics and Its High Resolution Sequence Stratigraphic Framework of the Middle Oil-Bearing Beds in the South of Songliao Basin

SHI Lan-ting<sup>1, 2</sup> PAN Shu-xin<sup>2</sup> GUO Wei-hua<sup>2</sup>  
WANG Jian-gong<sup>2</sup> WANG Tian-qi<sup>2</sup> DONG Li-hong<sup>3</sup>

(1 Sedimentary Institute of Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059;

2 Research Institute of Petroleum Exploration & Development-Northwest(NWGD), Petrochina Lanzhou, 730020;

3 Jilin Oilfield CNPC, Songyuan Jilin 138001)

**Abstract** The character of sequence boundary is summarized according to well log seismic sections and rock cores in this paper. The distribution rules of sequence boundary and short-term cycle in difference sedimentary facies are studied abne from west to east. From Qingshankou Formation to Yaojiazui Formation, can be divided into 4 long term base level cycles and 10 short term base level cycles. Based on the fundamental principle of sequence stratigraphy and sedimentary, the sequence stratigraphic framework of the middle oil-bearing beds can server for future exploration and development.

**Key words** sequence stratigraphy sequence boundary the middle oil bearing beds the South of Songliao Basin