

文章编号: 1000-0550(2008)01-0077-09

# 湖盆无曝露缓坡带层序界面特征及成因<sup>①</sup> ——以松辽盆地他拉哈地区上白垩统为例

辛仁臣 张雪辉 张翼 郭涛 张春卉

(中国地质大学 海洋学院 北京 100083)

**摘要** 松辽盆地他拉哈地区在泉头组四段—嫩江组三段沉积时期为长期被湖水覆盖的缓坡带,层序地层学研究结果表明,层序界面在岩性—测井曲线特征上,有 7 种表现形式:(1)砂岩发育段内正反旋回的分界面;(2)砂岩发育段与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面;(3)含砂泥岩层(组)与砂岩发育段之间的正反旋回的分界面;(4)钙质含量较高层段内正反旋回的分界面;(5)钙质含量较高的层(组)与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面;(6)含砂泥岩层(组)与钙质含量较高的层(组)之间的正反旋回的分界面;(7)含砂泥岩层(组)内部的正反旋回的分界面。二级和三级层序界面以砂岩发育段内正反旋回的分界面为主,分别占 92% 和 39%。四级层序,7 种类型的界面出现的概率差别较小,表现形式具有真正的层序界面特征多样性。层序界面的特征取决于湖平面的升降、物源供应强度和蒸发作用的强度。

**关键词** 层序地层 层序界面 成因分析 缓坡带 松辽盆地

**第一作者简介** 辛仁臣 男 1964 年出生 副教授 层序地层学、沉积学 E-mail xinrenchen@163.com

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

## 0 引言

层序界面的识别是层序地层学研究的关键之一。自 20 世纪 70 年代以来,许多学者对层序界面的划分和层序界面的特征开展了大量卓有成效的研究工作。对层序界面特征的总结主要集中于陆上曝露和岸线上超的向下转移<sup>[1~4]</sup>,以及坡折控制的水下侵蚀及重力流沉积<sup>[5,6]</sup>,对于长期被水体覆盖的缓坡背景的层序界面特征的总结少见报道。

松辽盆地北部他拉哈地区位于齐家—古龙凹陷与西部斜坡的连接部位(图 1)。研究区面积约 400 km<sup>2</sup>,三维地震资料覆盖,完钻探井 50 口,取心 600 余 m。

地震、钻井和岩心资料综合研究表明,在泉头组四段(K<sub>2</sub>q<sup>4</sup>)青山口组(K<sub>2</sub>qn)、姚家组(K<sub>2</sub>y)和嫩江组一—三段(K<sub>2</sub>n<sup>1-3</sup>)沉积时期,长期被湖水覆盖,地层发育较全,没有明显的曝露和剥蚀现象。结合区域层序地层学研究成果<sup>[5,7,8]</sup>,以姚家组底界为界,界面之下的青山口组和界面之上的姚家组—嫩江组三段分别属于 2 个二级层序。泉头组四段到青山口组自下而上进一步划分为 SQq1-qn1、SQqn2、SQqn3 三个三级层序,姚家组—嫩江组三段自下而上进一步划分为

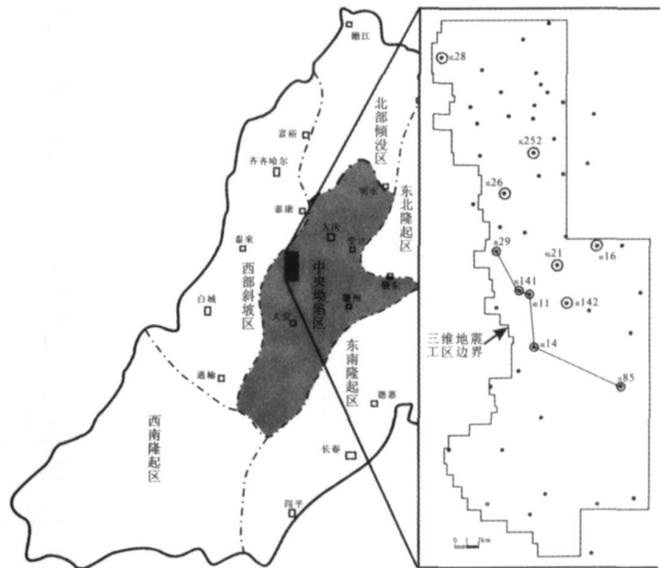


图 1 松辽盆地他拉哈地区位置及 3D 地震和钻井分布  
Fig 1 Location of Talaha region in Songliao Basin and the distribution of drilling wells and 3D seismic survey

SQy1-2、SQy3 和 SQn1-3 三个三级层序。从泉头组四段到嫩江组三段划分为 17 个四级层序 Cf3、Cf2、Cf1、Cg6、Cg5、Cg4、Cg3、Cg2、Cg1、Cp1-s3、Cs2、Cs1、

① 国家自然科学基金项目(批准号: 40272057)资助。

收稿日期: 2007-04-02 收修稿日期: 2007-05-14

Cs0, Ch23, Ch22, Ch21。由于研究区为缓坡带,不存在明显的坡折,因此,不论是三级层序,还是四级层序低位域均不发育,层序均由水进域和高位域构成。他拉哈地区泉头组四段到嫩江组三段的综合地层序列、二级、三级和四级层序名称及三级和四级层序发育的体系域名称及其特征见图 2。

众所周知,层序是以不整合面及其对应的整合面为界的相对连续沉积的一套地层<sup>[9]</sup>。基于这一基本

概念,普遍认为二级层序由区域性不整合面为界的一套地层,三级层序是由盆地边部大范围的不整合面及其对应的整合面为界的一套相对连续沉积的地层,在 Exxon 的层序地层理论中,把三级层序当作基本的层序地层单位<sup>[10]</sup>。

对于四级层序,目前存在不同理解。有的学者把四级层序理解为准层序组<sup>[2]</sup>。准层序组是一套成因上有联系的准层序,准层序是以海泛面和与之可以对

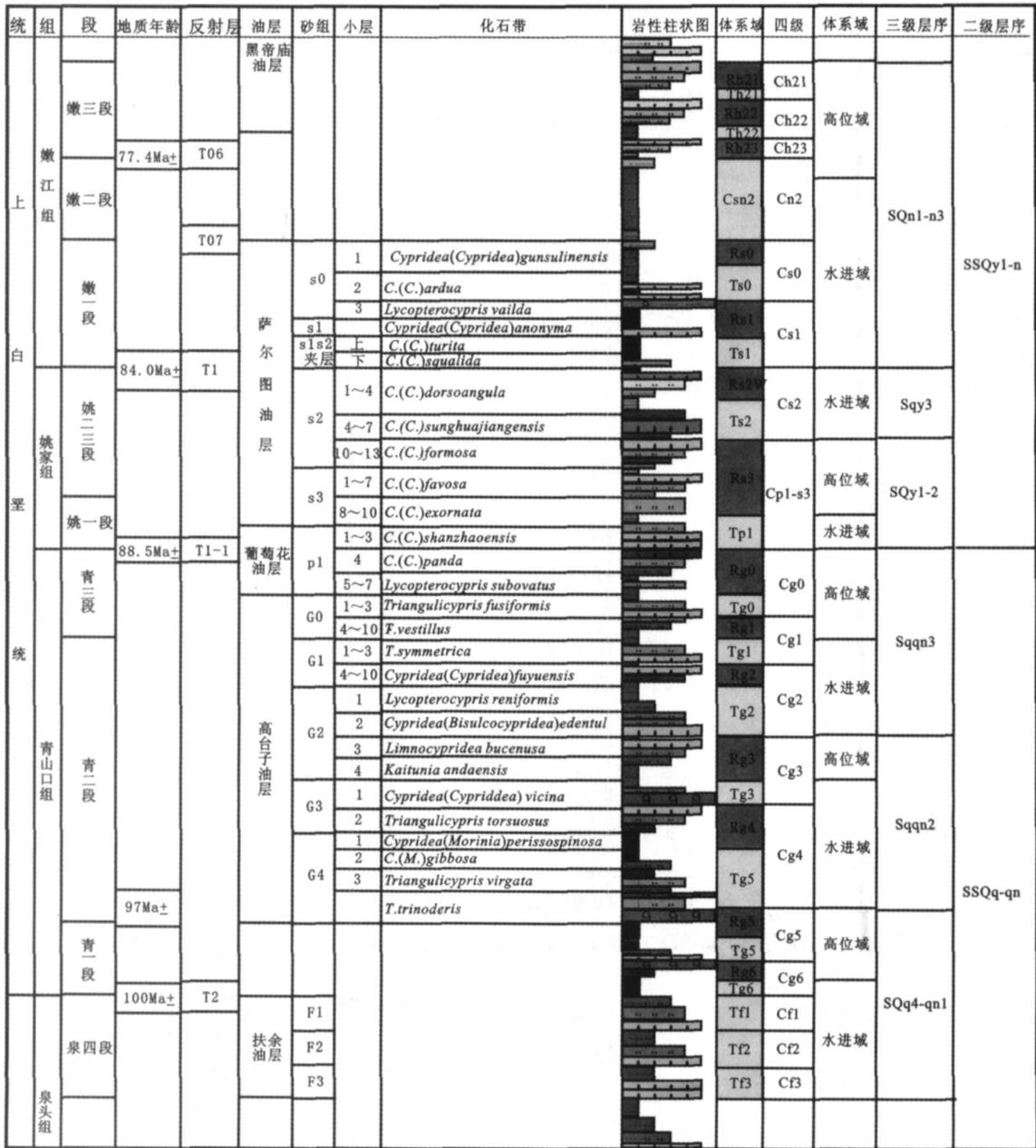


图 2 松辽盆地他拉哈地区泉四段—嫩三段高精度层序地层格架

(油层、砂组、小层和化石带的对比关系据文献<sup>[7,8]</sup>)

Fig 2 Precision framework of sequence stratigraphy of K<sub>2</sub> q<sub>4</sub> to K<sub>2</sub> n<sub>3</sub> in the Talaha region of Songliao Basin

比的面为界的成因上有联系的、相对整一的一套岩层或岩层组<sup>[2]</sup>,由此可见,准层序和准层序组与层序并不属于同一概念体系的定义。Van Wagner也认识到,当四级的海平面变化旋回中的下降期较明显时,可以水退界面划分出四级层序<sup>[3]</sup>,本文的四级层序就是指四级湖平面变化旋回中的下降期明显时,形成的水退界面为界的连续沉积的地层。这种四级层序具有层序的共同属性,不同级别的层序对应于不同级别的湖平面(海平面或基准面)升降旋回。

## 1 不同级别层序的地震反射特征

二级层序 SSQq-qn和 SSQy-n的分界面,命名为 SSBy。在他拉哈地区,三级层序 SQy1-2发育,SSBy与三级层序界面重合,SSBy主要以界面之下的顶超和界面之上的上超为特征(图 3),界面上下,地震反射波组特征差异明显,界面之下为一套中强振幅中高连续的反射波组,界面之上为中弱振幅中低连续反射波组(图 3)。

三级层序界面与二级层序界面的特征具有相似性,主要表现为界面之上的上超反射终止现象(图 3)。

四级层序界面在地震资料上主要表现为中高连续、中强振幅反射,界面之下很难见到削截和顶超,厚度较大的四级层序,界面之上见上超反射终止现象(图 3)。

## 2 层序界面的岩性—测井曲线特征及

## 其成因分析

利用岩心和钻井资料,研究了二级、三级、四级层序界面岩性—电性特征,可归纳为以下 7 种类型(图 4)。

### (1) 砂岩发育段内正反旋回的分界面

界面之下为砂岩向上增多,粒度变粗,泥质岩减少、电性曲线幅值向上增大的反旋回,界面之上砂岩向上减少,粒度变细,泥质岩向上增多、测井曲线幅值向上减小的正旋回(图 4A)。

这种层序界面特征反映了下伏层序的高位域和上覆层序的水进域,陆源砂质供应充分,且层序界面附近侵蚀较小,甚至没有侵蚀作用发生。

在陆源砂质供应充分条件下,高位域时期,粗相带随湖岸线向湖区中心迁移,从而形成界面之下的反旋回,水进域时期,粗相带随湖岸线向物源区方向迁移,从而形成界面之上的正旋回。

### (2) 砂岩发育段与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面

界面之下为砂质含量向上增多,泥质岩减少、电性曲线幅值向上略增大的反旋回,界面之上砂岩向上减少,粒度变细,泥质岩向上增多、电性曲线幅值向上明显减小的正旋回(图 4B)。

这种层序界面特征反映了下伏层序的高位域陆源碎屑以泥质供应为主,上覆层序的水进域,陆源物质供应充分,且层序界面附近侵蚀较小,或没有侵蚀作用发生。

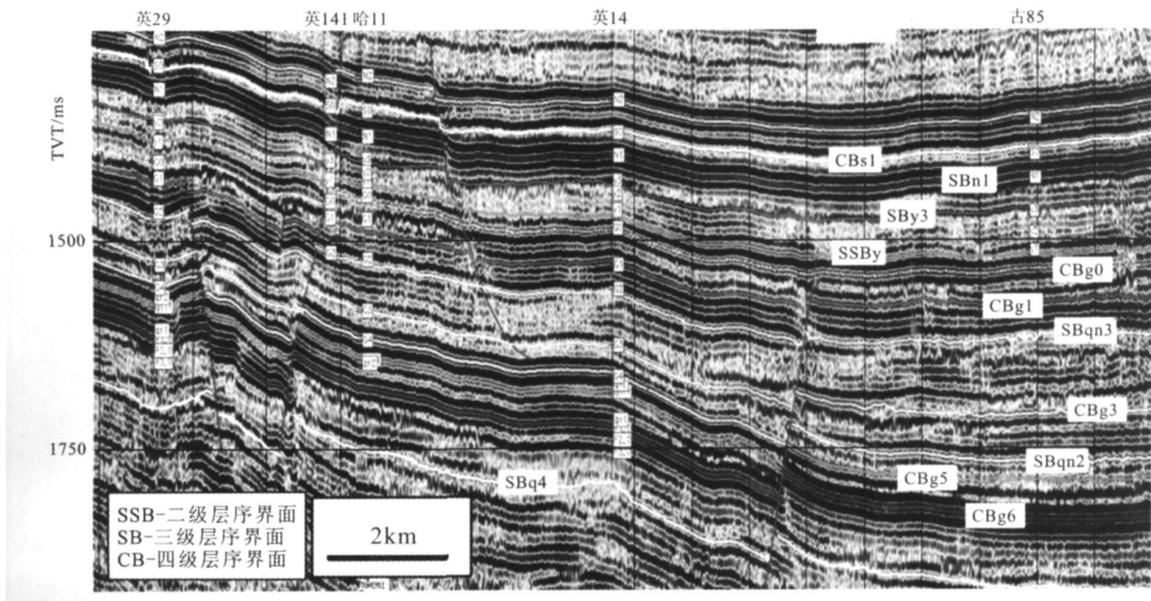


图 3 他拉哈地区 29—古 85 井任意线高精度层序地层格架(剖面位置见图 1)

Fig 3 The high-resolution sequence stratigraphic framework in any line across Ying 29 and

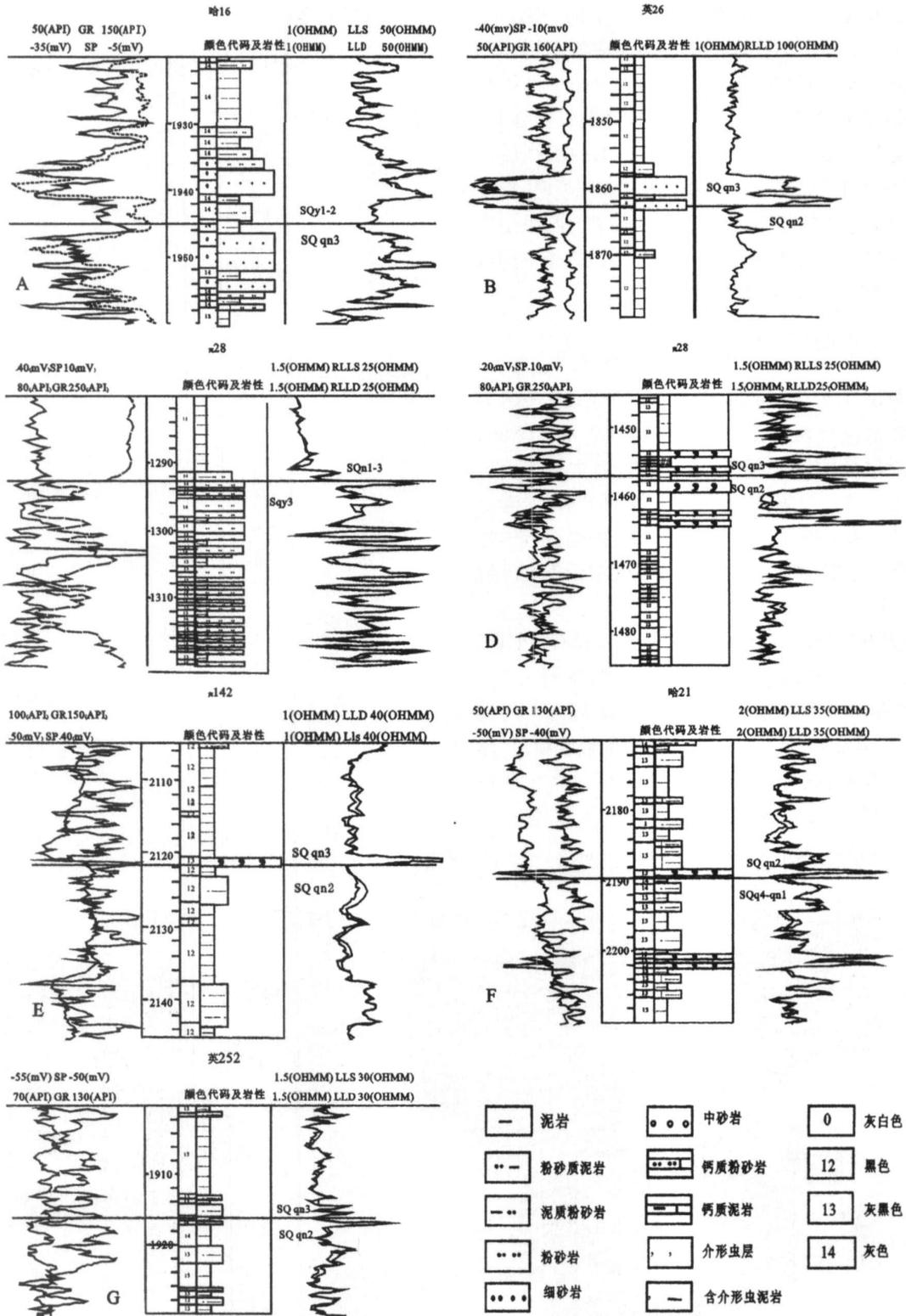


图 4 松辽盆地他拉哈地区上白垩统 ( $K_2d^1-K_2n^3$ ) 7 种类型层序界面

Fig 4 Seven types of sequence boundaries of Upper Cretaceous in Talaha region of Songliao Basin

高位域时期, 陆源砂质供应较少, 沉积物以泥质为主, 随湖岸线向湖区中心迁移, 沉积物容纳空间减小, 砂质混入物逐渐增多, 从而形成界面之下的砂质向上含量增高的反旋回。水进域时期, 陆源碎屑供应充分, 粗相带随湖岸线向岸方向迁移, 水体逐渐变深, 从而形成界面之上的砂岩向上含量减少的正旋回。

(3) 含砂泥岩层 (组) 与砂岩发育段之间的正反旋回的分界面

界面之下为砂质含量向上增多, 粒度向上变粗, 泥质岩减少、电性曲线幅值向上略有增大的反旋回, 界面之上砂质含量向上减少, 泥质岩向上增多、电性曲线幅值向上略减小的正旋回 (图 4C)。

这种层序界面特征反映了下伏层序的高位域陆源粗碎屑供应不充分, 上覆层序的水进域, 陆源碎屑供应较少, 且层序界面附近侵蚀较小, 或没有侵蚀作用发生。

高位域时期, 在陆源砂质供应较少条件下, 随湖岸线向湖区中心迁移, 粗碎屑逐渐向湖区推进, 从而形成界面之下的砂质向上含量增高的反旋回, 水进域时期, 陆源碎屑供应较少, 以泥质沉积为主, 初期有砂质混入, 随湖岸线向岸方向迁移, 水体逐渐变深, 可容纳空间增大, 砂质混入物逐渐减少, 从而形成界面之上的钙质向上含量减少的正旋回。

(4) 钙质含量较高层段内正反旋回的分界面

界面之下为钙质含量向上增多, 泥质岩减少、电性曲线幅值向上增大的反旋回, 界面之上钙质向上减少, 泥质岩向上增多、电性曲线幅值向上减小的正旋回, 钙质层在电测曲线上常具有自然电位幅值较小, 电阻曲线幅值较大的特征 (图 4D)。

这种层序界面特征反映了下伏层序的高位域和上覆层序的水进域, 陆源碎屑供应较少, 且层序界面附近侵蚀较小, 或没有侵蚀作用发生。

在陆源砂质供应较少条件下, 为“清水”沉积环境, 沉积作用以化学和生物—化学沉积作用为主, 从而形成钙质泥岩、泥灰岩、灰岩和介形虫层, 靠近岸线附近的清水浅水地带, 阳光、氧气充足、有机质丰富, 蒸发作用强烈, 有利于上述富含钙质岩类形成。

高位域时期, 随湖岸线向湖区中心迁移, 水体逐渐变浅, 蒸发作用增强, 水体矿化度逐渐提高, 从而形成界面之下的钙质向上含量增高的反旋回, 水进域时期, 随湖岸线向岸方向迁移, 水体逐渐变深, 水体矿化度逐渐降低, 从而形成界面之上的钙质向上含量减少的正旋回。

(5) 钙质含量较高的层 (组) 与含砂泥岩层 (组) 之间的正反旋回的分界面

即界面之下为含砂质泥岩段, 电性曲线幅值较小, 为低平状小幅度漏斗型曲线, 略显反旋回。界面之上为钙质向上减少, 泥质岩向上增多、电性曲线幅值向上减小的正旋回 (图 4E)。

这种层序界面特征反映了: 下伏层序的高位域供应陆源碎屑为大量泥质, 上覆层序的水进域, 陆源碎屑供应较少。

高位域时期, 在陆源泥质供应条件下, 随湖岸线向湖区中心迁移, 可容纳空间减小, 砂质混入物增高, 形成幅度较小的反旋回。水进域时期, 陆源碎屑供应较少, 初期, 由于水体盐度较高, 形成富含钙质泥岩, 随湖岸线向岸方向迁移, 水体逐渐变深, 从而形成界面之上的钙质向上含量减少的正旋回。

(6) 含砂泥岩层 (组) 与钙质含量较高的层 (组) 之间的正反旋回的分界面

即界面之下为钙质向上增多, 泥质岩向上减少、电性曲线幅值向上增大的反旋回, 界面之上的含砂质泥岩段, 电性曲线幅值较小, 为低平状小幅度钟型曲线, 略显为正旋回 (图 4F)。

这种层序界面特征反映了: 下伏层序的高位域陆源碎屑供应较少, 上覆层序的水进域, 供应陆源碎屑为大量泥质。

高位域时期, 陆源碎屑供应较少, 在“清水”的湖岸线附近, 由于水体盐度较高, 形成富含钙质泥岩, 或碳酸盐岩, 随湖岸线向湖盆方向迁移, 水体逐渐变浅, 从而形成界面之下的钙质向上含量增加的反旋回。水进域初期, 在陆源泥质供应充分条件下, 可容纳空间较小, 砂质混入物较多, 随湖岸线向岸方向迁移, 可容纳空间增大, 砂质混入物减少, 形成幅度较小的正旋回。

(7) 含砂泥岩层 (组) 内部的正反旋回的分界面

即界面之下为含砂质泥岩段, 电性曲线幅值较小, 为低平状小幅度漏斗型曲线, 略显反旋回。界面之上的含砂质泥岩段, 电性曲线幅值较小, 为低平状小幅度钟型曲线, 略显为正旋回 (图 4G)。

这种层序界面特征反映了下伏层序的高位域供应陆源碎屑为大量泥质, 上覆层序的水进域, 供应陆源碎屑为大量泥质, 最大湖 (海) 退期, 泥质沉积物中有大量砂质混入。

高位域时期, 在陆源泥质供应充分条件下, 随湖岸线向湖区中心迁移, 可容纳空间减小, 砂质混入物

最高点,形成幅度较小的反旋回。水进域初期,在陆源泥质供应充分条件下,可容纳空间较小,砂质混入物较多,随湖岸线向湖区中心迁移,可容空间增大,砂质混入物减少,形成幅度较小的正旋回。

### 3 不同级别层序界面的岩性—电性特征统计分析

50口探井 17个不同级别层序界面统计分析结果表明,泉头组四段、青山口组一段、青山口组二段、青山口组三段、嫩江组一段、嫩江组三段的四级层序界面特征有明显的差异(表 1)。

泉头组四段的底界为三级层序界面 SBq4 内发育 CBf2、CBf1 两个四级层序界面,均以 II—砂岩发育段与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面为主,分别占 55%、80%和 75%,其次是 I—砂岩发育段内正反旋回分界面,分别占 32%、7.5%和 15%。

青山口组一段发育 CBg6、CBg5 两个四级层序界面。CBg6 以 III—含砂泥岩层(组)与砂岩发育段之间的正反旋回的分界面为主,占 78%,其次是 VII—含砂泥岩层(组)内部的正反旋回的分界面,占 20%。CBg5 界面特征多变,常见 IV—钙质含量较高层段内正反旋回的分界面、V—钙质含量较高的层(组)与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面、VI—含砂泥岩层(组)与钙质含量较高的层(组)之间的正反旋回的分界面,出现的概率分别为 37%、23%、21%。其次是 I—砂岩发育段内正反旋回分界面和 II—砂岩发育段与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面,各占 7%。

青山口组二段底界为三级层序界面 SBq2 主要 IV—钙质含量较高层段内正反旋回的分界面和 I—砂岩发育段内正反旋回分界面,分别占 49%、33%。内部发育 CBg3 四级层序界面,界面特征多变,常见 VII—含砂泥岩层(组)内部的正反旋回的分界面、IV—钙质含量较高层段内正反旋回的分界面、VI—含砂泥岩层(组)与钙质含量较高的层(组)之间的正反旋回的分界面,出现的概率分别为 40%、28%、19%。其次 I—砂岩发育段内正反旋回分界面,占 7%。

青山口组三段底界为三级层序界面 SBq3 发育 CBg1、CBg0 两个四级层序界面。SBq3 三级层序界面和 CBg1 四级层序界面特征多变。SBq3 界面以 IV

—钙质含量较高层段内正反旋回的分界面和 V—钙质含量较高的层(组)与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面相对多见,分别占 41%和 32%。CBg1 界面常见 V—钙质含量较高的层(组)与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面、VII—含砂泥岩层(组)内部的正反旋回的分界面、I—砂岩发育段内正反旋回分界面、VI—含砂泥岩层(组)与钙质含量较高的层(组)之间的正反旋回的分界面,出现的概率分别为 27%、24%、16%、16%。其次是 IV—钙质含量较高层段内正反旋回的分界面,占 8.9%。CBg0 界面以 I—砂岩发育段内正反旋回分界面为主,占 70%,其次是 II—砂岩发育段与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面和 V—钙质含量较高的层(组)与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面,各占 8.5%。

姚家组底界为二级层序界面 SSBY1 内部发育一个三级层序界面 SBY3 均以 I—砂岩发育段内正反旋回分界面占绝对优势,50口探井出现的概率分别达 92%和 90%,II—砂岩发育段与含砂泥岩层(组)之间的正反旋回的分界面分别只占 8%和 10%。

嫩江组一段底界为三级层序界面 SBn1 常见 III—含砂泥岩层(组)与砂岩发育段之间的正反旋回的分界面;VII—含砂泥岩层(组)内部的正反旋回的分界面;I—砂岩发育段内正反旋回分界面,出现的概率分别为 48%、28%和 20%。内部发育 CBs0 四级层序界面,以 IV—钙质含量较高层段内正反旋回的分界面为主,占 68%,其次是 VI—含砂泥岩层(组)与钙质含量较高的层(组)之间的正反旋回的分界面和 VII—含砂泥岩层(组)内部的正反旋回的分界面,出现概率分别为 18%和 12%。

嫩江组三段发育 CBh23、CBh22、CBh21 三个四级层序界面。CBh23 界面特征稳定,均为 VII—含砂泥岩层(组)内部的正反旋回的分界面。CBh22 界面以 III—含砂泥岩层(组)与砂岩发育段之间的正反旋回的分界面为主,占 80%,其次是 I—砂岩发育段内正反旋回分界面,出现的概率为 12%。CBh21 界面以 III—含砂泥岩层(组)与砂岩发育段之间的正反旋回的分界面为主,占 86%,其次是 VII—含砂泥岩层(组)内部的正反旋回的分界面,出现的概率为 10%。

表 1 研究区上白垩统 ( $K_2q^4-K_2n^3$ ) 层序界面类型统计表

Table 1 Statistics of sequence boundary types of the Upper Cretaceous ( $K_2q^4-K_2n^3$ ) in the study area

界面 代码	I		II		III		IV		V		VI		VII		总 数
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	
SBn4	27	55	2	4	20	41	0	0	0	0	0	0	0	0	49
CBh21	2	4	0	0	42	86	0	0	0	0	0	0	5	10	49
CBh22	6	12	1	2	39	80	0	0	0	0	0	0	3	6	49
CBh23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	100	49
CBs0	0	0	0	0	0	0	34	68	1	2	9	18	6	12	50
SBn1	10	20	1	2	24	48	0	0	1	2	0	0	14	28	50
SB $\gamma$	45	90	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
SSBy1	46	92	4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
CBg0	33	70	4	8	2	4	2	4	4	8	0	0	2	4	47
CBg1	7	16	2	4	2	4	4	8	12	27	7	16	11	24	45
SBqn3	2	4	3	6	0	0	18	41	14	32	1	2	6	14	44
CBg3	3	7	1	2	1	2	12	28	1	2	8	19	17	40	43
SBqn2	14	33	0	0	1	2	21	49	6	14	1	2	0	0	43
CBg5	3	7	3	7	0	0	16	37	10	23	9	21	2	4	43
CBg6	1	2	0	0	32	78	0	0	0	0	0	0	8	20	41
CBf1	3	7	32	80	1	2	0	0	0	0	1	2	3	7	40
CBf2	6	15	30	75	1	2	0	0	0	0	0	0	3	7	40
SBq4	12	32	21	55	0	0	0	0	0	0	0	0	5	13	38

I—砂岩发育段内正旋回分界面; II—砂岩发育段与含砂泥岩层(组)之间的正旋回的分界面; III—含砂泥岩层(组)与砂岩发育段之间的正旋回的分界面; IV—钙质含量较高层段内正旋回的分界面; V—钙质含量较高的层(组)与含砂泥岩层(组)之间的正旋回的分界面; VI—含砂泥岩层(组)与钙质含量较高的层(组)之间的正旋回的分界面; VII—含砂泥岩层(组)内部的正旋回的分界面; SSB—二级层序界面; SB—三级层序界面; CB—四级层序界面

### 4 结论与讨论

综上所述,二级层序界面的岩性—电性特征较为单一,以砂岩发育段内正旋回的分界面占绝对优势,占 92%。三级层序界面尽管出现 7 种类型,但出

现的概率相差较大,砂岩发育段内正旋回的分界面相对比例较高,占 39%。四级层序界面中,7 种类型的界面出现的概率差别较小,表现形式具有真正的多样性(图 5)。不同级别层序界面特征与湖盆缓坡滨岸带沉积环境的变迁密切相关。

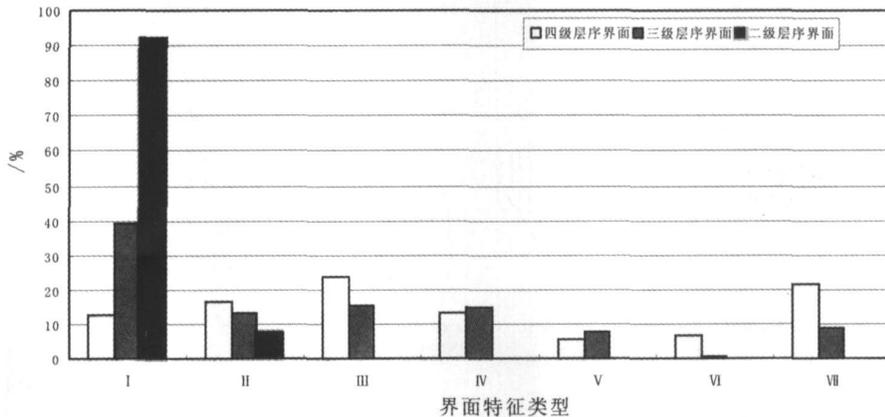


图 5 他拉哈西地区上白垩统 ( $K_2q^4-K_2n^3$ ) 不同级别层序界面类型概率直方图

Fig 5 Bar chart of probability of sequence boundary types of different order sequence of  $K_2q^4-K_2n^3$  in Tabaha region

I—砂岩发育段内正旋回分界面; II—砂岩发育段与含砂泥岩层(组)之间的正旋回的分界面; III—含砂泥岩层(组)与砂岩发育段之间的正旋回的分界面; IV—钙质含量较高层段内正旋回的分界面; V—钙质含量较高的层(组)与含砂泥岩层(组)之间的正旋回的分界面; VI—含砂泥岩层(组)与钙质含量较高的层(组)之间的正旋回的分界面; VII—含砂泥岩层(组)内部的正旋回的分界面

这种不同级别的层序界面特征与研究区所处的特定沉积背景密切相关。晚白垩世, 松辽盆地是一个大型拗陷湖盆<sup>[5]</sup>, 研究区又处于松辽盆地中央凹陷区的西部边缘, 向西与平缓的西部斜坡相接。在 SS-Byl 二级层序界面形成时期, 由于湖平面的大幅度下降, 湖岸线萎缩至研究区附近, 研究区以西部和西北部物源供应的粗碎屑沉积为主, 因此造成了 SSByl 二级层序界面上下砂岩十分发育。与 SSByl 二级层序界面相近的 SBy3 三级层序界面形成时期, 湖区范围扩展有限, 因此, 该三级层序界面上下砂岩仍十分发育。但在 SBq4-qn1、SBqn2、SBqn3 和 SBn1 三级层序界面和内部的四级层序界面形成时期, 湖平面相对较高, 松辽盆地的湖区面积较大, 湖岸线远离本区, 研究区仅局部受粗碎屑物源影响, 沉积环境具有多样性, 并导致了层序界面特征的多样性。

在湖盆缓坡滨岸带常见的沉积环境类型有三角洲、滨浅湖的砂泥质浅滩、和钙质浅滩(图6)。在有河流注入的滨浅湖地带, 河流带来的大量泥砂形成三角洲, 三角洲沉积具有沉积物粒度向河口方向逐渐变粗的总体特征。在泥沙供应较充分的滨浅湖地带, 由于湖浪和湖流的不均衡作用, 形成沙滩、泥滩和混合滩沉积, 通常情况下, 岸线附近湖浪和湖流作用相对较强, 造成岸线附近沉积物粒度较粗。在缺少泥沙供应的“清水”滨浅湖地带, 由于越靠近岸线, 水体越浅, 相对蒸发作用越强, 水体盐度越高, 越有利于钙质沉淀, 形成钙质浅滩。因此, 在“清水”滨浅湖地带的沉积物越靠近岸线钙质含量越高。

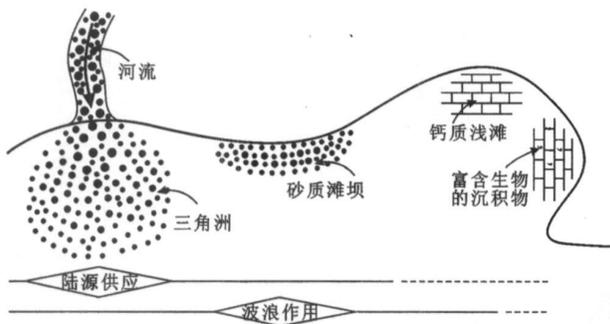


图6 湖盆缓坡滨岸带常见的沉积物类型

Fig 6 Sediments near shoreline in gentle slope of lacustrine basin

层序界面之下是湖平面下降, 湖岸线向湖区迁移过程形成的沉积序列。层序界面之上是湖平面上升, 湖岸线向岸迁移过程形成的沉积序列。由于岸线附

近沉积类型的多样性和岸线迁移过程的复杂性, 造成的不同级别层序界面特征的多样性。

## 参考文献 (References)

- 1 Van Wagner JC, Posamentier HW, Mithum R M et al An overview of fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions [M] // Wilgus C K, Hastings B S Kendall C G et al eds Sea-level change an integrated approach SEPM Special Publishing 1988 42: 39-45
- 2 Van Wagner JC, Mithum R M Jr, Campion K M, et al Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs cores and outcrops concepts for high-resolution correlation of time and facies [J]. AAPG Methods in Exploration Series 7, 1990: 35-75
- 3 Carpentier C, Lathuilière B, Ferry S et al Sequence stratigraphy and tectonosedimentary history of the Upper Jurassic of the Eastern Paris Basin (Lower and Middle Oxfordian, Northeastern France) [J]. Sedimentary Geology 2006 doi:10.1016/j.sedgeo.2006.10.004
- 4 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 [J]. 沉积学报, 1996 14(4): 50-60 [Wei Kuisheng, Ye Shufen, Guo Zhanqian. Sequence stratigraphic model of nonmarine sediments in Cretaceous Songliao Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 1996 14(4): 50-60]
- 5 辛仁臣, 蔡希源, 王英民. 松辽拗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 lowstand and characteristics of sequence boundary in deep-water lake Songliao depression basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2004 22(3): 387-392]
- 6 Hübscher C, Spiess V. Forced regression systems tracts on the Bengal Shelf [J]. Marine Geology 2005 (219): 207-218
- 7 高瑞祺, 张莹, 崔同翠. 松辽盆地白垩纪石油地层 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994: 11-47 [Gao Ruqian, Zhang Ying, Cui Tongcui. Cretaceous oil and gas strata of Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press 1994: 11-47]
- 8 叶得泉, 黄清华, 张莹, 等. 松辽盆地白垩纪介形类生物地层学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 53-98 [Ye Dequan, Huang Qinghua, Zhang Ying et al. Cretaceous stratigraphy in Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press 2002: 53-98]
- 9 Vail P R, Mithum Jr R M. Seismic stratigraphy and global changes in sea level part 1: overview [M] // Payton C E ed. Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir 1977 26: 51-212
- 10 Vail P R, Mithum R M, Thompson S. Global cycles of relative changes of sea level [M]. AAPG Memoir, 1977, (26): 99-116
- 11 林畅松, 刘景彦, 刘丽军, 等. 高精度层序地层分析: 建立沉积相和储层规模的等时地层格架 [J]. 现代地质, 2002 16(3): 276-281 [Lin Changsong, Liu Jingyan, Liu Lijun et al. High resolution sequence stratigraphy analysis: construction of chronostratigraphic sequence framework on facies and reservoir scale [J]. Geoscience 2002 16(3): 276-281]

# Characteristics and Genesis of Sequence Boundaries on Subaqueous Gentle Slope of Lacustrine Basin: a case study on Upper Cretaceous in Talaha region of Songliao Basin

XIN Ren-cheng ZHANG Xue-hui ZHANG Yi GUO Tao ZHANG Chun-hui

(School of Marine Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083)

**Abstract** Talaha region in Songliao Basin is the gentle slope which was covered with water in long term during the depositional periods of the Fourth Member of Quantou Formation to Third Member of Nenjing Formation. On the basis of sequence stratigraphy studies, it is found that there are 7 types of sequence boundaries manifestation in the drilling well data, such as: (1) boundary between upper-coarsening cycle and upper-finishing cycle within the sand-rich part of well profile; (2) boundary between upper-coarsening sand-rich cycle and upper-finishing mud-rich cycle of well profile; (3) boundary between upper-coarsening mud-rich cycle and upper-finishing sand-rich cycle of well profile; (4) boundary between upper-coarsening cycle and upper-finishing cycle within carbonate-rich part of well profile; (5) boundary between upper-coarsening carbonate-rich cycle and upper-finishing mud-rich cycle of well profile; (6) boundary between upper-coarsening mud-rich cycle and upper-finishing carbonate-rich cycle of well profile; (7) boundary between upper-coarsening cycle and upper-finishing cycle within mud-rich part of well profile. The second-order and third-order sequence boundaries dominated by the boundary between upper-coarsening cycle and upper-finishing cycle within the sand-rich part of well profile, respectively is 92% and 39%. The fourth-order sequence boundaries are provided with diversity, there are near equal probability of 7 types of sequence boundaries. The characteristics of sequence boundaries are controlled by fluctuation of lake level, supply of source and intensity of evaporation.

**Key words** sequence stratigraphy, sequence boundary, genetic analysis, gentle slope, Songliao Basin