

# 松辽盆地白垩系非海相沉积层序模式<sup>①</sup>

魏魁生<sup>1</sup> 叶淑芬<sup>1</sup> 郭占谦<sup>2</sup> 徐宏<sup>2</sup> 任延广<sup>2</sup> 王玉华<sup>2</sup> 孙显义<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (中国地质大学, 北京 100083) <sup>2</sup> (大庆石油局勘探开发研究院, 大庆 163712)

**提 要** 本文阐述了层序地层学在松辽盆地应用的主要依据,总结了白垩系层序地层的基本特征,归纳出层序边界的识别标志。在岩芯中层序边界附近见古土壤或根土层、河床滞留砾岩、水进滞留砾岩、水下滑塌、钙质结核及相变现象,层序边界之上覆盖风暴岩、三角洲前缘席状流沉积、冲积扇、鲕粒灰岩、生物屑灰岩、物性良好的砂岩和火山岩。层序边界的测井响应特征为退积/前积渐变型、退积/加积突变型、加积/前积型、前积/前积型等。在地震剖面上,层序边界处见削截、上超、顶超等反射结构。根据地震、测井和岩芯资料的综合解释,重点论述了主要含油层系的体系域特征,由此提炼出松辽盆地白垩系层序地层理想模式。低水位体系域由滞后平衡表面之下的冲积扇、河口砂坝、“下切谷”充填物、滑塌、碎屑流沉积、浊积岩及三角洲前缘席状流沉积组成;水进体系域发育风暴岩、沙滩、砂坝、三角洲前缘席状砂、叠层石和碳酸盐浅滩;典型的密集段形成于海泛期,赋存于水进体系域顶部和高水位体系域底部;高水位体系域主要有三角洲、扇三角洲和曲流河体系域组成。经对比,松辽盆地与海相基准面变化的二级旋回趋近,但三级旋回高于后者。

**关键词** 层序地层学 松辽盆地 非海相沉积 层序边界 体系域 模式

**第一作者简介** 魏魁生 男 39岁 副教授 层序地层、地震地层和沉积学

## 1 区域地质概况

松辽盆地位于东北三省境内,总面积逾 287000 km<sup>2</sup>,呈北北东向展布,属于天山—兴蒙海西褶皱带一部分,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。白垩系地层是盆地内主要的沉积岩系,厚达 5000余米。分布广泛,包括八个含油层、五套含油层系<sup>[1]</sup>。本文研究的层段主要为中、下部含油组合,包括萨尔图、葡萄花、高台子油层及扶余与扬大城子含油层的部分地层,研究范围主要为松辽盆地北部

## 2 盆地性质及演化

关于松辽盆地的类型划分,存在不同的观点。作者赞同杨万里等(1985)的观点,即

① 本文由地质行业基金(名称:层序地层学在油气藏预测中的应用 编号 920010)及自然科学基金提供资助(名称:松辽北部中生界陆相薄互层油藏层序特征及评价系统 编号:49070117)

属于近海构造外流盆地, 白垩纪时湖泊的出口处大约在现今宾县地堑附近<sup>[2]</sup>。由地球动力学及板块构造运动分析, 松辽盆地形成早期 (登娄库组形成以前), 由于地幔隆起使地壳破裂, 以裂陷作用为主; 中、晚期太平洋板块向欧亚大陆俯冲, 中国东部处于挤压状态, 并向压张作用转化, 引起地壳大幅度沉降及褶皱。尽管中、晚期盆地以拗陷作用为主, 但是断裂作用仍然存在, 甚至边界断裂迄今仍在活动, 表明在总体以拗陷作用为主的背景下, 仍然含局部的断陷作用。

### 3 松辽盆地白垩系沉积特征及层序地层基本特征

(1) 松辽盆地白垩纪时与外海有联系。作者首次在青山口组与嫩江组发现了钙质超微化石<sup>[3]</sup>, 证明松辽盆地白垩纪时与外海有联系。海水进侵揭示海湖盆曾发生过近似同期的基准面变化; (2) 沉积地层普遍具有旋回性, 这是基准面发生周期性变化的物质记录<sup>[4]</sup>。同时地

层中存在着不整合, 能够根据长期积累的地震、测井和岩芯资料建立层序地层的空间分布形式<sup>[6]</sup>; (3) 三角洲体系广为发育, 前高水位期三角洲体系的下超坡折或风暴面可作为“陆架坡折”的参照物; (4) 断陷期 (泉头组之下) 发育 I 型层序, 拗陷期 (泉头组之上) I 型与 II 型层序并存; (5) 白垩系共识别出 7 个超层序, 周期为 11.29 Ma; 登娄库组以上地层划分了 47 个层序, 时间跨度为 1.28 Ma; 共含 342 个准层序, 周期为 17.5 万年; (6) 由钻井资料分析, 准层序为向上变粗或向上变细的成因地层单元, 岩芯中见含 6 个砂泥韵律层; (7) 层序边界处具有根土层等暴露标志及削截反射结构, 微体和超微古生物甚少或缺失; (8) 典型的最大洪泛面 (mfs) 为连续性好的高振幅反射波; (9) 首次洪泛面 (ffs) 上具有水下侵蚀滞留砾石及外源砾石; (10) 低水位体系域 (LST) 含冲积扇、洪积岩等沉积体系, 在深凹地带 (例如齐家—古龙凹陷) 见浊流沉积; 相当于陆架边缘体系域 (SMST) 的沉积发育于区域性水进期 (如嫩江组), 以三角洲穿时分布多见; (11) 典型层序的体系域的沉积序列 LST 呈加积型, TST (水进体系域) 呈退积式, HST (高水位体系域) 为加积式和前积式; (12) 基准面变化与海平面升降的二级旋回变化趋势非常相似, 但前者的三级旋回或高频层序频率高于后者 (图 1)。

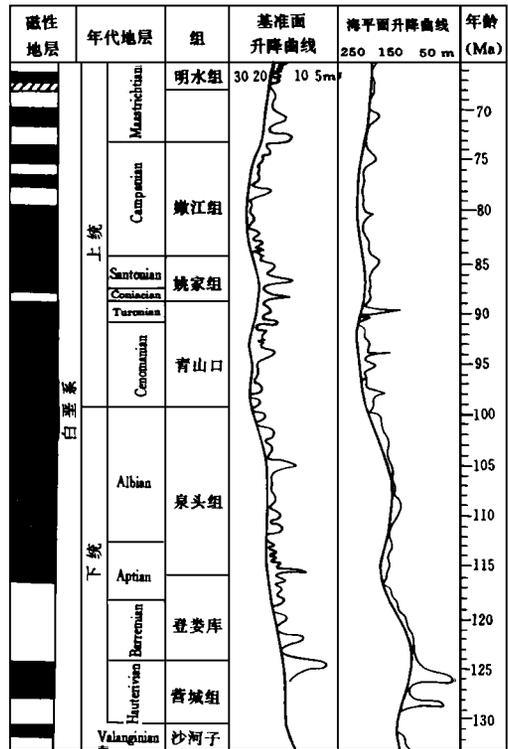


图 1 基准面升降曲线及其

与 Haq (1988) 的海平面升降曲线的对比

Fig. 1 Relative base level curves of Songliao Basin and the comparison with Haq's (1988) curve

## 4 层序划分及层序边界的识别标志

层序划分的关键是层序界面的识别,区内层序界面附近的地质记录见下述

### 4.1 岩芯记录中层序边界的识别特征

由取芯井观察,松辽盆地白垩系层序边界的表现型式如下:

(1) 古土壤及根土岩(图版I-1);(2) 浅水相直接覆盖在深水相沉积之上(图版I-2);(3) 河床滞留砾岩;(4) 水进滞留砾岩;(5) 钙质结核;(6) 界面之上覆盖风暴成因的介屑层及砂质风暴岩(图版I-3);(7) 界面之上覆盖三角洲臆缘席状流沉积或分流河道(图版I-4)与冲积扇;(8) 界面之上覆盖滑塌及碎屑流沉积(水下侵蚀);(9) 层序边界之上发育鲕粒、生物屑灰岩;(10) 层序边界之上发育储集物性良好的砂岩;(11) 沉积旋回突变部位;(12) 其它特征,层序边界及首次洪泛面附近,具有火山喷发作用的产物,尤其是在断陷和断坳作用期。层序边界还可能位于深水泥质沉积之间或位于碳酸盐沉积之间,这样需要借助测井、地震资料进行横向对比。

### 4.2 层序边界的测井响应特征

(1) 退积前积渐变型式,见于D432井钻深1160 m、1079 m、1047 m等处,D408井钻深986.6 m、967.2 m等处;(2) 退积加积突变型式,见于D432井层序边界深度为1231.5 m和1326.5 m处及D408井909 m处;(3) 加积前积型,在D408井884.6 m处为这种类型;(4) 前积前积型,在J17井1333 m处就有这种类型。

### 4.3 层序边界在反射地震剖面上的响应

I型层序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。

II型层序边界仅在近岸局部地区见削截结构,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。

## 5 体系域

层序地层学不仅需要研究沉积物在时间上的方向性、持续性和周期性,而且需要探索沉积物在空间分布型式,包括层序内体系域的分布特点及各体系域内沉积体系的展布<sup>[7-8]</sup>。

### 5.1 总体特征

非海相沉积层序的发育与盆地性质及其演化阶段相联系。松辽盆地断陷期(相当于登娄库组及其以下地层)发育的沉积层序主要由低水位和水进体系域组成,包括冲积扇、洪积扇、扇三角洲、河流—三角洲及部分深水沉积,其中LST多见,TST有时缺失。在断坳期或早期坳陷作用阶段,三个体系域齐全,特征相对显著,但是其内涵与海相者不尽相同,例如LST盆底扇多由三角洲前缘席状砂或冲积扇组成,斜坡扇不发育或不典型。在盆地发育末期及消亡之后(明水组顶部及以上地层)主要发育高水位体系域的河流沉积。

### 5.2 主要含油层系的层序的体系域特征

主要含油层系形成于坳陷作用阶段。根据盆地不同部位(中央、坡折带、沿岸带)的

地震、测井资料,特别是岩芯资料的综合分析,体系域及地层分布型式具有以下特点。

### 5.2.1 低水位体系域 (LST)

LST在原滨岸带常缺失(湖相沉积)或发育不完整。低水位期基准面下降到退覆坡折之下,水域面积大幅度减小,因而在坡折带以上部分区域发育河流及下切谷(图版I-5)、沼泽等体系;在坡折带附近发育河口砂坝与水下分流河道(图版I-6),三角洲前缘席状流沉积(图版I-7),向湖盆中央出现沙滩、鲕粒滩等沉积物,介形虫灰岩的出现及河流体系的消失标志着坡折带的赋存位置;由于松辽盆地范围广阔,所以低水期在深水盆地也发育浊积岩及其相伴生的滑塌、碎屑流等沉积,坡折带附近洪积岩非常普遍(表1-3)。

表 1 D408井部分层序的比例向组合特征

Table 1 Depositional system tracts of some sequences in D-408 Well

井段 (m)	体系域	沉积体系及子体系	井段 (m)	体系域	沉积体系及子体系
830.2-844.6	HST	暗色泥岩	886-909	HST	水上河道及天然堤
	TST	沙滩、介屑滩			三角洲平原
	LST	沼泽、植物屑、垂直钻孔 洪积岩、三角洲平原 河道、碳质岩			介屑滩 暗色泥岩
		TST		沙滩及洪泛平原	
844.6-857.2	HST	水下河道、砂坝(脉状透镜状) 根土层 油页岩、暗色泥岩、水平纹层	909-937.4	HST	碳酸盐岩 暗色泥岩、黄铁矿
	TST	水下天然堤 鲕粒灰岩、海绿石		TST	浊积岩 沙滩砂坝 风暴岩 浊积岩及滑塌 沙滩及碳酸盐浅滩
	LST	根土层 水上、水下分流河道			滑塌及洪积岩、河道、堤
		LST			
857.2-870.4	HST	指状砂坝 天然堤 暗色泥岩	937.4-950	HST	水下分流河道 暗色泥岩
	TST	沙滩、三角洲前缘席状砂		TST	泥流 沙滩 滑塌及叠层石
	LST	心滩、钙质结核			LST
870.4-886	HST	指状砂坝 暗色泥岩			
	TST	砂质风暴岩			
	LST	心滩、大型大型斜层理 河床滞留砾岩			

### 5.2.2 陆架边缘体系域 (SMST)

为避免与海相层序中的术语混淆,可称湖坡边缘体系域(Gentle lake slope systems tract),为便于交流,本文仍采用原代号SMST。SMST形成于II型层序的基准面下降期,发育于盆地拗陷作用晚期,湖泊水域相对广阔,基准面发生过短期振荡性下降,地层记录

以三角洲体系的连续发育并向湖推进为特征，即层序边界上、下均发育三角洲体系

### 5.2.3 水进体系域 (TST)

水进期由于风暴流、灾变性洪水及海水的涌入，基准面升到退覆坡折以上，此时水域的分带性已经很明显。TST下部发育风暴岩，近岸一侧发育河口砂坝及三角洲前缘席状砂（由于波浪作用改造）。TST最典型的沉积体系是沙滩砂坝及碳酸盐浅滩，在深水地带发育浊积岩（图版I-8），下切谷被充填。纵向上密集段附近浊流沉积比较常见。在水进高潮期，地势高差缩小，盆地处于欠补偿环境，密集段开始形成，微体、超微生物富集。在TST内出现浊积岩，可能是由于灾变性洪水突发入湖，使基准面迅速升高而造成的（表1-3）。

### 5.2.4 高水位体系域 (HST)

高水位期，基准面缓慢上升、静止或缓慢下降，沉积物供应因素活跃，形成了水退式沉积。早期，仍然有浊流及碳酸盐沉积（如穹窿状叠层石；中、晚期主要发育三角洲（以指状砂坝为主体）、扇三角洲及曲流河沉积，滨岸带以上有冲积扇体系（表1-3）。

## 6 松辽盆地非海相沉积层序模式

非海相沉积盆地一般经历了裂隙、深化（拗陷和断拗）及消亡三大发展历程，各阶段发育的层序地层特征不尽相同。本文以松辽盆地为背景，讨论非海相层序的沉积模式。

### 6.1 断陷期层序地层模式

断陷期火山活动强，断裂作用活跃，基准面升降迅速，主要发育冲积扇、河流、火山岩及三角洲、扇三角洲体系。其中以LST最为发育，并在层序边界及首次洪泛面附近出现火山岩或侵入岩。TST以“漫出”地堑或半地堑式盆地为特征，HST不发育甚至缺失。在断陷作用晚期，TST的沉积体向外超覆，HST开始发育（图2）。LST仍局限在地堑式凹地内。断阶式半地堑盆地，LST有逐阶搬运的特征，TST末期才形成统一沉积局面。

表2 J17井部分层序的纵向组合特征

Table 2 Depositional system tracts of some sequences in J-17 Well

井段 (m)	体系域	沉积体系及子体系
1714.2-1758	HST	指状砂坝 远砂坝 灰色泥岩
	TST	细粒浊积岩
	LST	沙滩 河口砂坝 水上、水下分流河道
1758-1787	HST	三角洲前缘 夹浊积岩 介屑滩 暗色泥岩
	TST	泥质浊积岩 介形虫灰岩
	LST	沙滩 介屑滩 斜交、垂直钻孔泥岩
1787-1827.4	HST	水下分流河道 介形虫灰岩 暗色泥岩
	TST	介形虫灰岩 泥质浊积岩 砂坝
	LST	沙滩 介屑灰岩 远砂坝

## 6.2 拗陷期层序地层模式

绝大多数含油气层与拗陷阶段有关。该期层序中的三个体系域齐全,甚至出现II型层序,是本文讨论的主体。

### 6.2.1 低水位期体系域

松辽盆地属于大型近海内陆盆地,即使在低水位期,水域也相当广阔,甚至比渤海湾盆地的箕状凹陷某些水进高潮期范围还大,因而体系域内各种沉积体系均可能发育。

在低水位期,基准面下降速度大于构造沉降速度,基准面下降到退覆坡折之下,可容纳空间迅速减小,新增空间呈负向增长。在坡折之上的山前部位,甚至在前高水位期的浅水、半深水地带,均可能发育冲积扇体系。平衡表面之下的冲积扇体系,海相中仅赋存于高水位体系域。在封闭、半封闭的内陆盆地,基准面的变化有其自身的特征,LST存在高水位滞后的平衡表面,特别是在缓坡背景。对于三角洲体系而言,仅在河口发育河口砂坝;平原地带河流沉积多见,相当一部分河流下切侵蚀,形成“深切谷”,沉积物呈过路作用,只有一部分发生充填,形成水上水下河道沉积及相伴生的天然堤沉积。河流之间发育沼泽及三角洲平原沉积。在湖域地带,河口砂坝侧翼及邻近部位出现砂滩沉积。灾变性洪水在滨浅湖部位形成洪积岩或三角洲前缘席状流沉积,在深湖区形成浊积岩,有时在浊积岩底部发育碎屑流沉积。对于内源沉积,碳酸盐岩极不发育,仅在少数情况下或在前深湖区出现鲕粒灰岩,坡折带部位(滨线附近)有藻纹层和零散的或混杂成层的介屑堆积。介形虫灰岩极少见,环境使残存的介形虫幼仔立即死亡,成虫也在拼力挣扎,随后消亡。上述浊流沉积相当于盆底扇;滑塌碎屑流沉积、洪水事件或三角洲前缘席状流沉积等相当于斜坡扇,三角洲体系的河口砂坝为低水位缓坡楔状体,下切河道沉积为下切谷的早期充填物(图3)。低水位期以沉积物过路作用及充填作用为主,注入盆地的水流速度很低,末期局部地区(滨、浅湖地带)出露水面,因而层序界面及首次洪泛面附近均有暴露标志。由于低水位末期相对可容纳空间最小,基准面最低,故某些暴露标志比层序边界处更明显。

表3 D432井部分层序的纵向组合特征

Table 3 Depositional system tracts of some sequences in D-432 Well

井段 (m)	体系域	沉积体系及子体系
1104-1139.7	HST	水下分流河道 远砂坝、暗色泥岩
	TST	浊积岩 介壳风暴岩
	LST	浊积岩 鲕粒滩
1139.7-1160	HST	鲕粒滩 浊积岩 暗色泥岩
	TST	生物屑滩 鲕粒滩 叠层石 浊积岩 风暴岩
	LST	河口砂坝
1183-1204	HST	远砂坝、指状砂坝 介形虫灰岩
	TST	介形虫灰岩 鲕粒灰岩
	LST	含介形虫砂质泥岩 河口砂坝
1204-1216.4	HST	指状砂坝、暗色泥岩
	TST	浊积岩 介形虫灰岩

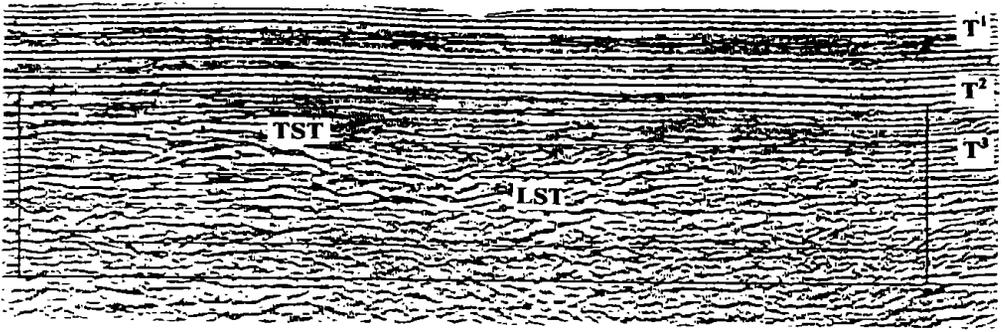


图 2 断陷作用晚期的沉积型式，谷内为 LST，“上岸”沉积即 TST，T<sub>2</sub> 之上为水道

Fig. 2 Depositional pattern of LST in a incised valley and TST above it

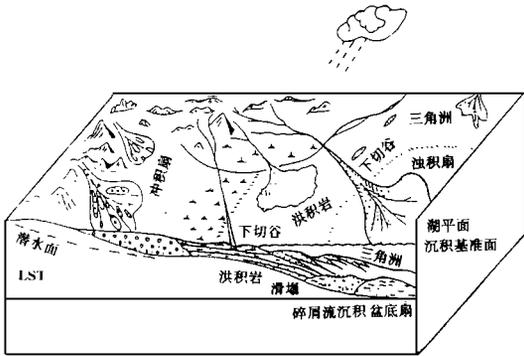


图 3 拗陷作用阶段低水位期沉积模式

Fig. 3 Model of lowstand

system tracts in depression stage

上部为沙滩沉积。二是基准面迅速上升，由浅水向深水环境(纵向由下至上)依次出现洪积岩、风暴岩和浊积岩，下切谷之上或堤岸也见浊积岩。这种现象与浊流成因有关，湖泊浊积岩属于洪水型，少见滑塌型，因而于水进期发育。由于海泛的影响，水进砂底部多见含海绿石。水进期的碳酸盐沉积相对发育，水进初期的生物屑灰岩中也含海绿石，并见蓝绿藻、沟鞭藻类生物，在 TST 上部偶见有孔虫。TST 发育碳酸盐岩，是与海水的进侵及受海洋气候的影响分不开的。海水涌入湖盆，使基准面迅速升高，气候温暖潮湿，水质清澈并提高了含盐度，陆源碎屑注入受到遏制为碳酸盐岩的沉积提供了适应的环境条件。

在古地理位置上，碳酸盐岩在坡折带附近发育鲕粒滩、核形石滩及生物碎屑灰岩，形成一个小碳酸盐台地，起到一个“障壁”的作用。由障壁向深水盆地方向发育介形虫灰岩、柱状叠层石和介屑风暴岩，深水地带具有钙质浊积岩(图 5)。风暴浪基面附近见小型迭锥状叠层石，岩芯中这种叠层石很小，单层仅 1 cm 左右，大部分已白云岩化，风化面上见迭

### 6.2.2 水进体系域

当气候转暖、湿润，灾变性洪水、风暴及海水进侵，使基准面上升速度超过沉积物供给速度或者由于构造沉降速度增快，使新增容纳空间持续增大，基准面上升并向外扩张，形成水进期的沉积(图 4)。水进期有两种沉积背景：一是基准面相对缓慢上升，滨浅湖沙滩砂坝体系发育，与三角洲体系相联系的沉积物是受波浪作用改造的三角洲前缘席状砂。下切谷发生充填，下部为洪积岩，

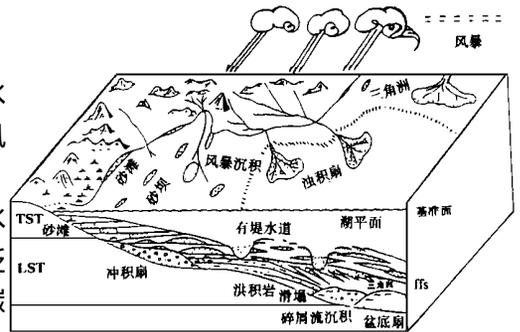


图 4 拗陷作用阶段水进期的沉积模式

Fig. 4 Model of transgressive system

tracts in depression stage

锥构造, 围岩为暗色泥岩, 常出现于密集段附近的上、下层位。由障壁向陆出现生物屑灰岩、穹状叠层石、含介屑砾屑风暴岩。障壁后方形成一个“局限台地”环境, 范围较为广阔, 陆源碎屑和碳酸盐岩混积或交替出现。近陆部位碎屑沉积发育, 也见介屑滩和鲕粒灰岩。在水进高潮期, 新增容纳空间增至最大, 补偿速率非常低, 主要发育暗色泥页岩、油页岩和泥灰岩, 见火山灰, 微体和超微生物相对繁盛。根据稳定同位素分析、古生物、自生矿物(莓状黄铁矿、白云石等)和地球化学指标, 此时盆地处于缺氧还原环境, 形成的沉积即密集段。

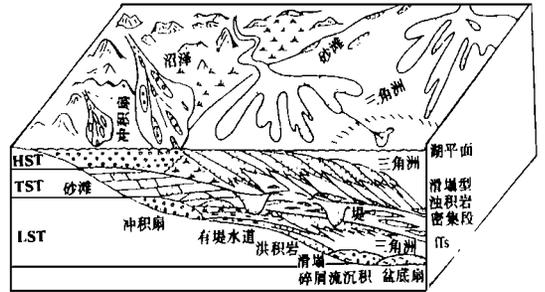
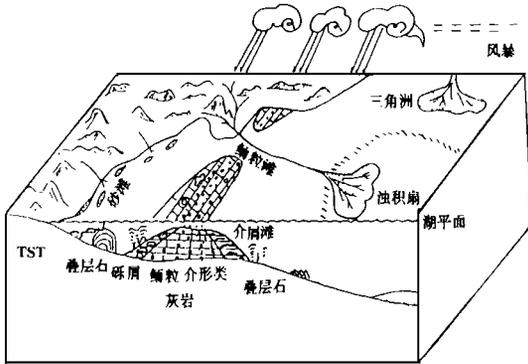


图 5 拗陷作用阶段水进期的碳酸盐沉积模式

Fig. 5 Model of transgressive system tracts with carbonate deposits in depression stage

图 6 拗陷作用阶段高水位期的沉积模式

Fig. 6 Model of highstand system tracts in depression stage

### 6.2.3 高水位体系域

高水位期, 基准面上升或构造沉降的速度变缓或保持静止不动, 而沉积物供应速度维持原态甚至逐渐增加, 使新增容纳空间增长速度降低, 可容纳空间变小, 形成了一系列的水退式沉积(图 6)。在高水位早期, 水体深度仍然很大, 因而洪水入湖能够形成密度差而构成浊流沉积, 纵向上赋存于密集段上方。HST典型的沉积体系是三角洲和扇三角洲体系。由于碎屑沉积物向湖推进很快, 所以三角洲体系的指状砂坝发育。在三角洲坡角部位可以由滑塌或液化引起浊流作用形成浊积岩。在高水位晚期, 可容纳空间变小, 河流沉积广泛发育。高水位期的碳酸盐沉积仍然存在, 但是纵向序列变化与 TST相反, 晚期几乎全部被碎屑岩取代, 只有在坡折带部位当基准面突然下降又突然上升的情况下才可能出现碳酸盐岩的“连续”沉积。

### 6.3 湖泊消亡之后的层序地层模式

湖泊消亡之后, 原“盆地”位于相邻盆地坡折带之上, 因而发育的河流、冲积、洪积、坡积及沼泽等深积主要形成于高水位期

### 6.4 模式对比

将本文模式与 Vail 模式比较, 发现两者之间既有共同之处, 又有一定差异, 主要表现在: (1) Vail 的模式是针对单物源海相被动大陆边缘盆地提出的; 本文的模式以非海相沉积盆地为背景, 探索了多物源的不同古地理位置的层序地层分布型式; (2) Vail 的模式中含两种类型的层序, 即 I 型和 II 型层序; 内陆盆地断陷期河流下切作用广泛, 故 I 型层序发育; 拗陷期 I 型和 II 型层序均发育; (3) 湖盆形成初期, LST 发育; 深化期, 三个体系域

齐全,但是其内涵与海相模式不尽相同;湖泊消亡扣仅发育高水痊期河流 冲积体系;(4) Vail 模式中低水位盆底扇体系往往是重力流形成的海底扇类,但是非海相低水位盆底扇类是冲积扇、洪水事件或三角洲前缘席状流沉积,以断陷期显著;松辽盆地范围广阔,低水位期也见形成浊流沉积;(5) 湖泊受气候因素影响大,浊流往往与灾变性洪水和风暴流相关联,因而在水进期发育片汜状浊积体系;(6) 近海内陆盆地受海水周期性侵袭,有意义的密集段往往形成于海泛最大、时间最长的时期,因而含海相超微化石、有孔虫等,这种密集段生油潜力最大;(7) 两者之间有某些共同特点,如一个完整的层序均由 LST TST HST 组成,高水位体系域均由河流、三角洲、滨岸等体系组成,水进体系域沙滩、砂坝等体系发育,均由密集段分隔了水乾高水位体系域,II 型层序低水位期由边缘楔状体构成等等。模式具有理想化的色彩和出处的局限性,对于不同性质的盆地并非完全类同。

致谢 本文承蒙刘光鼎院士和徐怀大教授的指导,大庆石油局勘探开发研究院有关人员给予作者很大的帮助和支持,博士生历大亮、夏松尧也参加了部分基础工作,文中引用了大庆油田和国内外一些学者的部分资料,在此,一并表示衷心的感谢!

#### 参 考 文 献

- [1] 翟光明,王志武主编.中国石油地质志一卷二.北京:石油工业出版社,1993.
- [2] 杨万里等.松辽陆相盆地石油地质.北京:石油工业出版社,1985.
- [3] 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.
- [4] 魏魁生,徐怀大.华北地区典型箕状断陷盆地层序地层学模式及其与油气赋存关系.地球科学,1993,18(2):139-149.
- [5] 魏魁生,徐怀大.二连非海相沉积盆地层序地层学特征.地球科学,1994,19(2):181-193.
- [6] 魏魁生,徐怀大.中国东部中生代非海相沉积层序地层学特征.中国博士后首届界学术大会论文集,北京:国防工业出版社,1993,2073-2076.
- [7] J C Van Wagoner, et al. Sliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: Concepts for high-resolution correlation of time and facies. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, (7): 1-52.
- [8] C K 威尔格斯等(美国)编,徐怀大,魏魁生,洪卫东等译.层序地层学原理(海平面变化综合分析).北京:石油工业出版社,1993,1-515.

## Sequence Stratigraphic Model of Nonmarine Sediments in Cretaceous, Songliao Basin

*Wei Kuisheng<sup>1</sup> Ye Shufen<sup>1</sup> Guo Zhanqian<sup>2</sup> Xu Hong<sup>2</sup>  
Ren Yanguang<sup>2</sup> Wang Yuhua<sup>2</sup> and Sun Xianyi<sup>2</sup>*

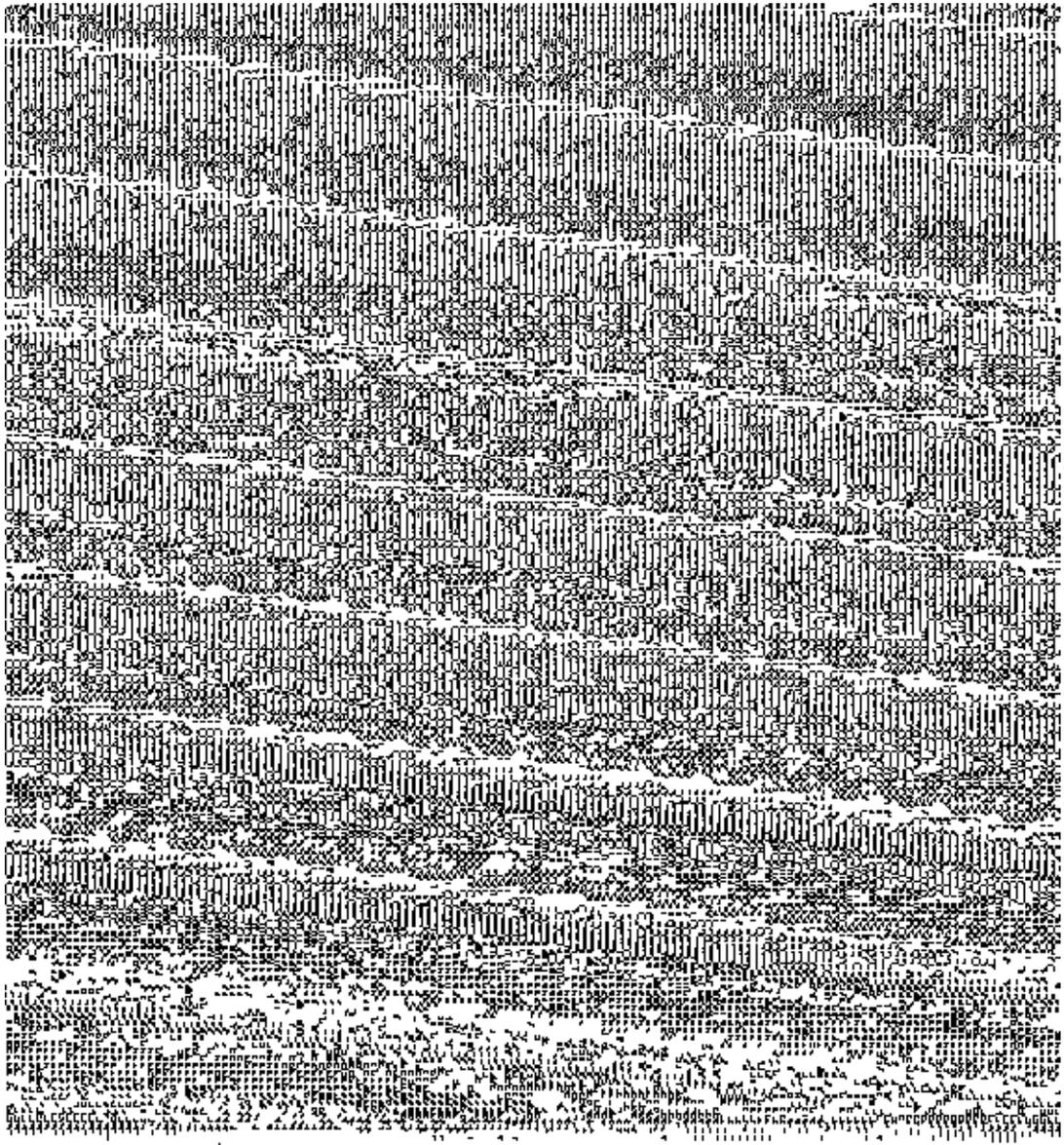
<sup>1</sup> (China University of Geosciences, Beijing 100083)

<sup>2</sup> (Exploration and Development Research Institute of Daqing Petroleum Exploration Bureau, Daqing 163712)

### Abstract

The main foundations of using the basic concepts of sequence stratigraphy in Songliao Basin and the fundamental characteristics of nonmarine sequences in Cretaceous are dealt with in the present paper. Around the sequence boundaries some erosional or exposure evidences in cores were found such as palaeosol or rootlet bed, fluvial lag conglomerate, transgressive lag conglomerate, subaqueous slumping, caliche nodules as well as geological record of the facies that changed abruptly, and there were tempestite, alluvial fan, deltaic front sheet flow deposit, oolitic limestone, bioclastic limestone, sandstone with excellent porosity and penetrability and volcanics upon the sequence boundaries. The logging responses of sequence boundaries were characteristic of progradation to retrogradation gradually, aggradation to retrogradation abruptly, progradation to aggradation or progradation to progradation and so on. It could be seen that on the seismic sections there were some reflecting configurations of truncation, onlap and downlap near the sequence boundaries. On the basis of the comprehensive interpretations of cores, well logs and seismic lines, the paper principally demonstrated the features of depositional system tracts of the major oil payzones. Based on these studies mentioned above, the authors constructed the idealized models of sequence stratigraphy for the nonmarine Songliao Basin. The lowstand system tract was composed of alluvial fan, river mouth bar, "incised valley" gullies, slumping, debris flow deposit, turbidite and deltaic front flow deposits. The transgressive system tract consisted of tempestite, sand bank and sand bar, carbonate shoal, sheet sandstone in deltaic front, stromatolite and so forth. The typical condensed section, which is located on the top of TST and on the bottom of HST, was composed of dark shales with marine nannofossils. The highstand system tract was mainly made up of delta, fan delta and meandering stream systems.

**Key words** sequence stratigraphy Songliao Basin nonmarine deposits sequence boundary system tract, model.



图版说明 (I) I -1 层序边界处的根土层, D432井, 姚三段, 1047 m I -2 层序边界处河流溢岸沉积与根土层覆盖在暗色泥岩之上, D408井, 姚家组, 885.0 m I -4 层序边界之上的水下分流河道沉积, D408井, 姚家组, 869 m I -5 低水位体系域中的下切河谷沉积, D408井, 青山口组, 950 m I -6 低水位体系域中的水下分流河道沉积, D408井, 姚家组, 884 m I -7 低水位体系域的三角洲前缘席状流沉积, D408井, 青山口组, 932 m I -8 水进体系域的浊流沉积, D432井, 青山口组, 1146 m 注: 深度指照片岩芯底界深度