

文章编号: 1000-0550(2009)05-0931-08

# 淀南地区古近系沙河街组层序地层模式<sup>①</sup>

姜在兴<sup>1</sup> 向树安<sup>1</sup> 陈秀艳<sup>1</sup> 张锐锋<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)北京 100083; 2. 中国石油华北油田分公司 河北任丘 062552)

**摘要** 应用层序地层学原理,通过地震剖面、电测曲线、岩石类型组合等层序地层界面划分标志,将淀南地区古近系沙河街组划分为 6 个三级层序、17 个体域。除层序 I 缺少低位域外,层序 II 至层序 VI 均由低位域、湖侵域和高位域三个个体域构成。在层序地层单元划分和对比的基础上,建立了断层坡折与沉积坡折两种层序地层模式,研究了与岩性油藏分布的关系,认为坡折带附近是岩性圈闭成藏极为有利的部位,坡折带下倾方向是低位扇、地层超覆等油藏发育的有利部位,坡折带上倾方向是地层不整合、滩坝透镜体等油藏发育的有利部位。

**关键词** 层序地层模式 坡折带 岩性地层油藏 淀南地区

**第一作者简介** 姜在兴 男 1962 年出生 教授 博士生导师 E-mail: jiangzx@cugb.edu.cn

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

层序地层学是根据地震、钻井及露头资料,结合有关的沉积环境以及岩相古地理解释,对地层层序格架进行解释的科学。其核心思想是建立更为精确的等时层序地层和岩相格架,并将沉积体系的研究放在等时地层格架中进行,进而达到更有效地预测储层分布、储盖组合等目的<sup>[1]</sup>。目前,层序地层学不仅作为一种地学理论得到广泛的认可,而且作为一种新的油气勘探思路和方法,已被世界各大石油公司普遍采用<sup>[2]</sup>。

淀南地区的沙河街组是勘探主要目的层,随着勘探程度的不断加大,勘探对象逐渐转向了岩性地层等隐蔽性油气藏。但是,由于该区构造演化期次多、物源供给体系和沉积相变化剧烈,给工区的层序结构、沉积体系类型及隐蔽圈闭分布规律的认识带来了困难,制约了区内地层岩性油气藏的勘探<sup>[3]</sup>。为此,本文应用层序地层学方法对该区沙河街组层序地层格架以及层序格架中的岩性油藏分布规律进行了预测,以期对该区岩性地层油藏的勘探提供依据。

## 1 地质概况

淀南地区位于冀中坳陷中部饶阳凹陷蠡县斜坡带的北端,东临任西洼槽,北接淀北洼槽和郑州洼槽,为一前古近纪古隆起上发育起来的一个大型宽缓斜坡。其倾向上的古地形起伏不大,原始坡度很小,坡降一般  $< 1 \sim 3 \text{ m/km}^{[3]}$ 。斜坡走向上受北西向基底

古断裂的影响,古地形的差异相对较显著,具有北高南低的特点,斜坡北段的高阳地区地势较高,凹凸相间的格局较分明,一系列小的局部高地集中分布,显示台地型地貌特征(图 1)。

工区古近系下伏地层为雾迷山组雁岭潜山,其上地层依次为孔店组、沙河街组和东营组,且由围斜部位向潜山逐渐超覆减薄。通过对该区古近系发育的同沉积断裂及古地形研究发现,该区坡折发育<sup>[3]</sup>,对层序、沉积体系及砂体发育有较大影响,有类似被动大陆 I 型层序坡折的作用。在低水位期,坡折以上为剥蚀区或暴露区,坡折带以下为沉积区<sup>[4-9]</sup>。这些坡折制约着盆地充填可容纳空间的变化,控制了层序发育及体系域的构成,同时也控制了岩性地层油藏的分布。

## 2 层序地层格架

建立层序地层格架的关键是识别和划分层序地层界面<sup>[7]</sup>。首先要在研究层段的内部识别出各级层序地层界面,包括不整合面,沉积作用转换面或较大的湖泛面,其方法是利用岩心观察、录井及测井曲线,通过相序、相的分异性以及曲线的组合特征和叠加样式分析,在单井上进行层序界面识别和层序划分,然后结合地震资料削截、上超、下超等层序界面标志,分析钻井层序界面与地震层序界面的关系,进行全区联井剖面及骨干剖面的横向层序地层单元等时对比,最终井一震结合建立高精度层序地层等时格架。

① 国家自然科学基金资助项目(编号: 40672078),教育部“长江学者与创新团队发展计划油气沉积地质创新团队”(编号: JRT0684),高校博士点基金(批准号: 200804910004)项目资助。

收稿日期: 2009-02-22 收修修改稿日期: 2009-08-10

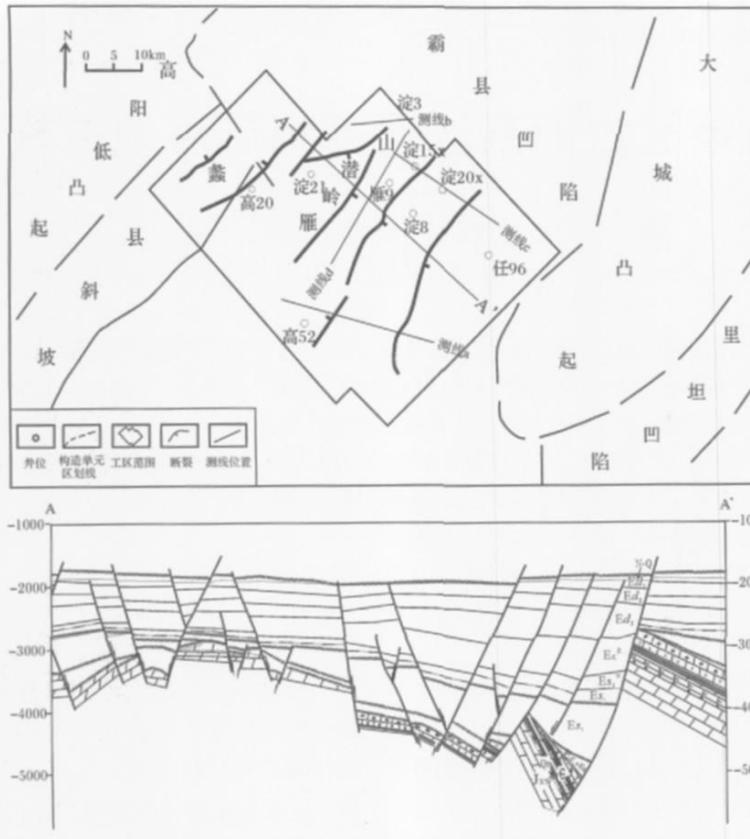


图 1 工区构造概略图

Fig 1 Map showing structural outline in the study area

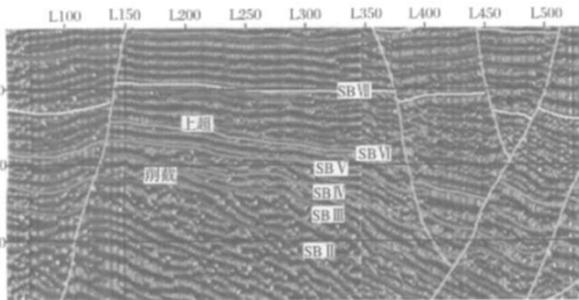


图 2 层序界面在地震剖面上的反射特征 (测线位置见图 1)

Fig 2 The seismic reflection characteristics of sequence boundary

## 2 1 层序界面的识别

### 2 1.1 地震反射标志

在地震地层学上,地震反射界面反应的是地层沉积表面的年代地层界面,地层不同形式的尖灭在地震资料上表现为对应不同的地震同相轴反射终止类型。用地震资料进行层序地层学分析正是利用了地震反射终止来识别层序、体系域等地层单元,因此地震反射终止类型是识别层序的标志之一。运用地震资料

解释层序的发育以及空间展布是一项最直观、最有效的研究方法。通过对研究区 15 条过井地震剖面进行对比追踪,发现所标定的主要层序界面与过井地震剖面中削截、上超等地震反射界面对应(图 2)。在地震反射剖面上,在近盆地边界处,层序界面附近的地震反射具有削截和上超的特征。

### 2 1.2 沉积环境的突变

层序边界处沉积环境发生了变化,故沉积相类型和地层叠置样式也会发生相应变化。如层序 V 的底界面下部岩性为灰色、深灰色泥岩与钙质粉砂岩,反映为半深湖沉积环境;而界面之上则为红色泥岩夹有板状、楔状交错层理的中粗粒砂岩,反映了陆上三角洲平原亚相氧化沉积环境(图 3)。

### 2 1.3 岩性、岩相和颜色的突变

由于层序边界上存在不整合,其下伏地层常常暴露在地表,局部遭受风化剥蚀,且上下的地层存在一定程度的沉积差异,所以在岩性剖面上也存在一定的差异。如研究区沙二段与沙一段不整合接触关系,界面之上为杂色、红色泥岩,界面之下为灰色砂岩、泥岩,颜色的突变特征是识别层序顶界面最直接的标志

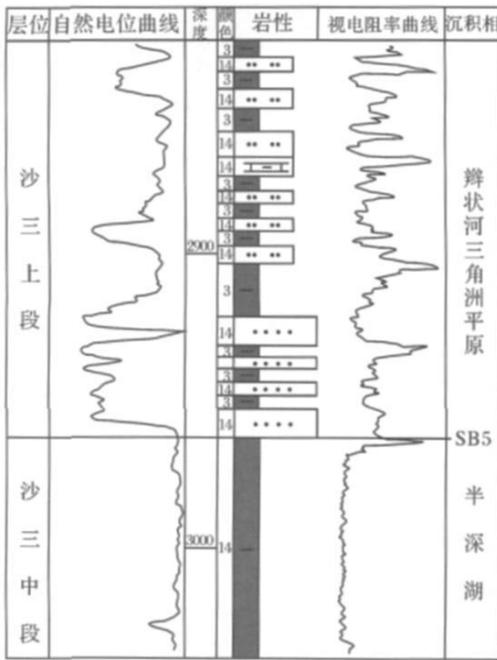


图 3 雁 112 井层序界面岩性电性特征

Fig 3 The log response and lithologic characteristics of sequence boundary Well Yan 112

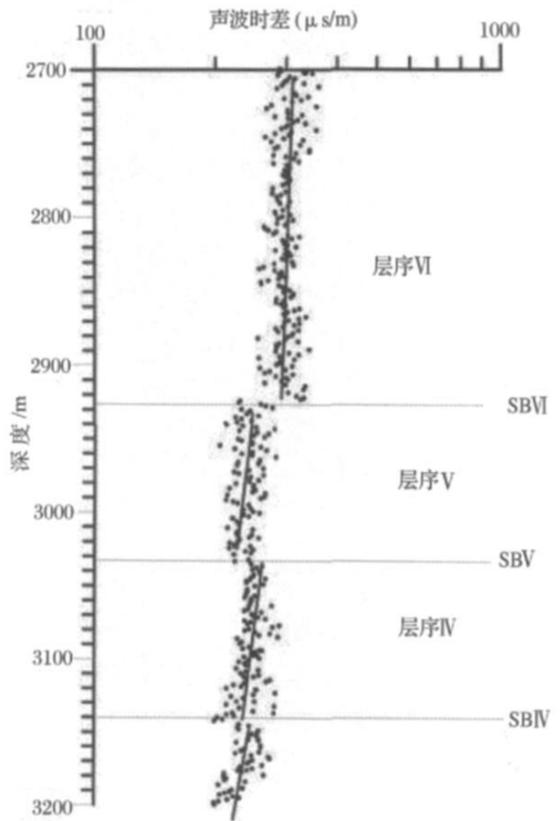


图 4 层序界面泥页岩声波时差特征 (淀 8 井)

Fig 4 Acoustic time characteristics of the shale near the sequence Well Dian 8

(图 3)。

### 2.1.4 测井曲线标志

层序界面在电性上往往也有明显的特征,除自然电位曲线和视电阻率曲线有幅值差异外,其测井曲线形态也有明显变化。如层序 V 底界面之下自然电位为高值,视电阻率曲线为低值,形态为平直型。界面上自然电位为低值,呈箱型和钟型组合形式。视电阻曲线值为高值,曲线形态为中高齿型或指型组合,界面处呈突变关系(图 3)。

此外,由于层序界面往往是不整合面,地层间断造成断面上下沉积物特征和沉积物的压实作用效果出现明显的差异,这种差异可体现为泥岩声波时差随深度变化出现坎值变化<sup>[8]</sup>。图 4 所示的淀 8 井 2 925 m 处有一不整合面,该位置也正好是层序 VI 与层序 V 间的层序界面,由图可以看出,界面上下的声波时差一深度对数关系曲线存在明显的错断;同时,界面上下泥岩压实作用不一,因存在不整合面,导致界面之下泥页岩的声波时差值低于界面之上泥页岩的声波时差值。

### 2.2 体系域界面的识别

层序地层中,体系域是同期沉积体系的组合。根据不同的层序类型及每个层序中湖平面变化的相对位置,可将其划分为不同的类型。在陆相三分层序中,

常划分为低位域、湖侵域和高位域。低位域底界为层序下边界,顶界面为初次湖泛面。湖侵域以初次湖泛面为底界,顶部以最大湖泛面为界。高位域的底界为最大湖泛面,顶界为层序的上边界。

#### 2.2.1 初次湖泛面的识别

初次湖泛面主要通过其上、下地层岩性、古生物、测井资料的综合分析来确定的。主要特征有:①上下地层岩性和沉积相类型明显不同。初次湖泛面界面之下主要为浅灰色中砂岩或粗砂岩,主要为三角洲前缘或平原河道沉积环境,而界面之上则主要为灰黑色、灰色泥岩,主要为三角洲前缘或湖相沉积环境;②地层叠置样式存在明显差异。在工区各个沉积层序中,初次湖泛面之下的低位域主要呈加积到弱进积式地层叠置样式,而界面之上的湖侵域则呈退积式。如淀 18 井,层序 V 低位域的自然电位曲线为低值的齿化指型,而湖侵域的自然电位曲线值明显增高,形态为钟型。

#### 2.2.2 最大湖泛面的识别

最大湖泛面得识别主要有以下标志:①地震反

射,最大湖泛面常为强振幅、高连续的反射同相轴,在全区稳定分布,形成地震反射标志层(图 5)。②岩石类型单一,常是厚层质纯的暗色泥岩、油页岩,水平纹理(页理)发育,有机质含量高(图 5)。③测井响应,最大湖泛面附近易于形成密集段,密集段在微电极、视电阻率、自然伽马等曲线上均有十分明显的特征,密集段形成的油页岩在微电极曲线上表现为高幅齿化,视电阻率曲线显示为高阻,自然伽马曲线则表现为平直(图 5)。④上下地层叠置样式明显不同。界面之上主要为加积至进积式,自然伽马曲线上呈平直—漏斗状组合;而界面之下则为退积式,自然伽马曲线形态为钟形(图 5)。

### 2.3 层序划分

根据上述层序划分标志,将工区古近系沙河街组自沙四段至沙一段共划分出 6 个三级层序,17 个体系域,除层序 I 缺少低位域外,其余层序地层均发育完整。各三级层序大致对应关系为:层序 I 大致相当于沙四段,层序 II 大致相当于沙三下亚段,层序 III 大致相当于沙三中亚段,层序 IV 大致相当于沙三上亚

段,层序 V 大致相当于沙二段,层序 VI 大致相当于沙一段(表 1)。

### 2.4 工区层序构成及体系域特征

层序地层中,体系域是构成层序的基本单元。研究区内古地貌特征明显,坡折较发育,层序类型类似被动大陆边缘 I 型层序。层序构成主要由低位域、湖侵域和高位域组成。

#### 2.4.1 低位域

除层序 I 外,层序 II 至层序 VI 均发育低位域。在陆相湖泊相层序中,低位域形成于层序发育早期,位于层序的底部,底界与层序底界一致,顶界为初次湖泛面<sup>[9]</sup>。

低位域沉积时湖盆范围较小,水体浅,工区大部分暴露于水面而未接受沉积,仅于雁岭潜山围斜部位有分布,主要由一些小型三角洲前缘相以及滨浅湖滩坝相构成(图 6),岩性为细砂岩夹少量粉砂岩,粒度相对较细,测井响应为齿化箱形,在地震剖面上显示短的楔形,内部为短波状—杂乱结构。

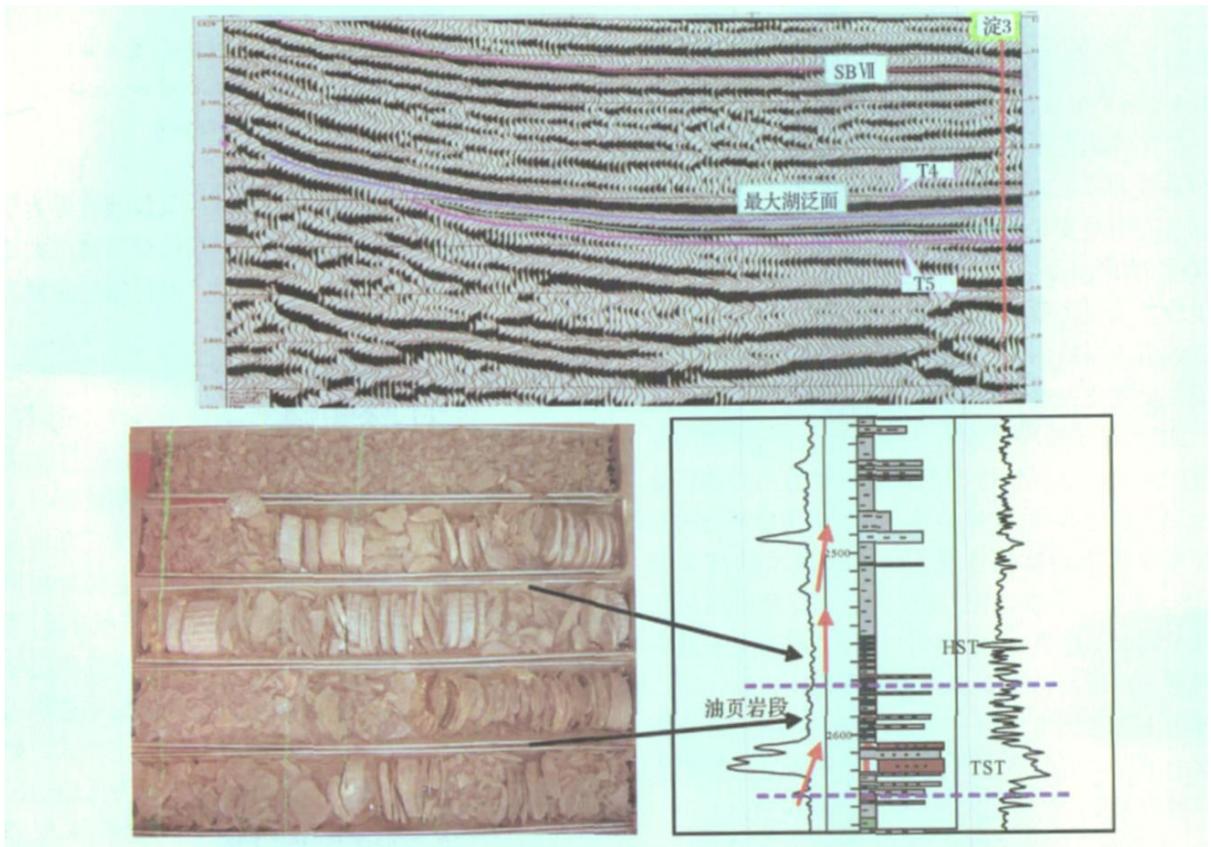


图 5 最大湖泛面在地震和测井上响应(淀 3 井)

Fig 5 Seismic and log response of the max flooding surface

表 1 研究区层序地层划分表  
Table 1 sequence subdivision table of the study area

地层				厚度 /m	层序		地震反射界面	与下伏地层接触关系	沉积环境
系	组	段	亚段		三级	体系域			
古近系	沙河街组	沙一段	E <sub>5</sub> <sup>上</sup>	200~600	VI	HST TST LST	T4	上超	滨浅湖滩坝
			E <sub>5</sub> <sup>中</sup>	0~400	V	HST TST LST	T5	局部不整合	辫状河三角洲
		沙二段	E <sub>5</sub> <sup>上</sup>	100~400	IV	HST TST LST	T6-1	不整合	辫状河三角洲滨浅湖
			E <sub>5</sub> <sup>中</sup>	0~500	III	HST TST LST	T6-2	不整合	
		沙四段	E <sub>5</sub> <sup>下</sup>	0~400	II	HST TST LST	T6	不整合	
		沙四段	E <sub>5</sub>	100~400	I	HST TST	T7	角度不整合	河流相

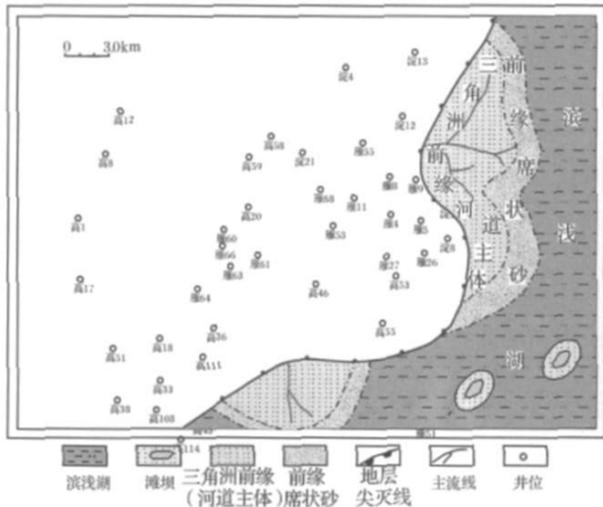


图 6 层序 VI 低位域沉积相图

Fig 6 Sedimentary facies map of the LST of Sequence VI

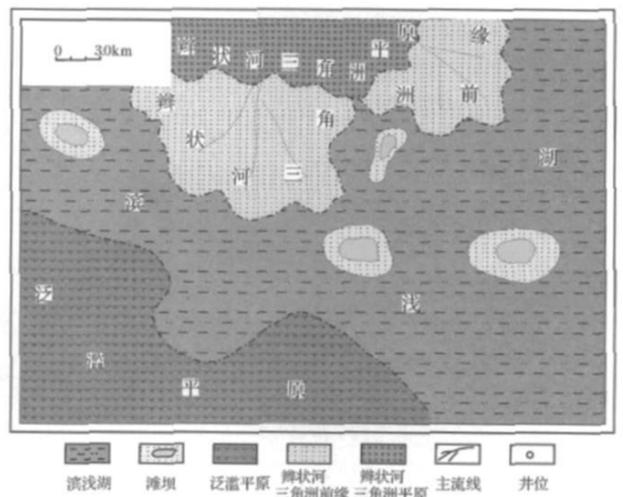


图 7 层序 IV 湖侵域沉积相图

Fig 7 Sedimentary facies map of the TST of Sequence IV

2.4.2 湖侵域

湖侵域各层序均有发育。湖侵域是在湖平面较快上升时形成的,随着湖平面的持续上升,湖盆水域扩大,水体变深,主要由湖泊沉积体系与退积型辫状河三角洲构成(图 7)。在工区发育多个朵叶状三角洲,物源来自北部,岩性以中一细砂岩为主,夹泥质粉砂岩和泥岩,垂向上表现为退积式特征。在三角洲前缘的前方,因受湖浪改造,前缘沉积物被再次搬运,形成位于三角洲前方的、由互层浅灰色中厚层粉细砂岩和灰色泥岩构成的滩坝沉积,电性特征为箱型和

钟型;地震剖面上表现为低频弱振幅反射。

2.4.3 高位域

与湖侵域相同,高位域各层序均有发育。高位域代表性的沉积是进积型的辫状河三角洲,其以沉积速率快、砂体发育为特征,该时期沉积物供给相对增多,主要由巨厚的辫状河三角洲和浅水湖泊体系组成(图 8)。物源供给充足,岩性以细砂岩—中砂岩为主,厚度大,辫状河三角洲具明显进积结构。电性曲线上表现为箱型和漏斗型。地震相主要为斜交前积反射相。

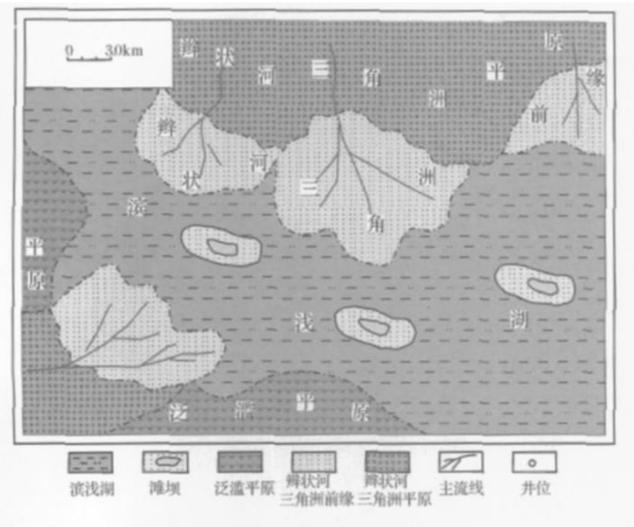


图 8 层序 V 高位域沉积相图

Fig 8 Sedimentary facies map of the HST of Sequence V

### 3 层序地层模式与岩性油藏

#### 3.1 层序地层模式

受构造活动影响,工区东部发育一系列近北东及北北东向的同沉积断裂,而北部受郑州洼槽和淀北洼槽的影响,断裂不发育,主要受古地貌的控制,在工区的东部和北部形成了广泛的坡折带(图 1)。这种坡折的形成主要有两种类型:其一是由断层的活动而形成的断层坡折;其二是由沉积作用形成的沉积坡折。

根据 40 多口井的剖面对比和地震剖面层序格架解释,建立了断层坡折和沉积坡折两种层序地层模式(图 9),工区北部发育沉积坡折,而东部主要发育断层坡折。

#### 3.1.1 断层坡折层序地层模式

断层坡折是断层的活动使得断层上盘地层下降,下盘地层上升,从而在断层的上盘与下盘之间形成一个明显的坡折(图 9a)。坡折为断层面,坡折规模受断层活动强度的控制,这类坡折在工区东部较常见。

断层坡折的层序地层模式主要特点如下:

(1)坡折面为断层面,坡折面上倾向方向(上升盘)为陆上沉积,一般持续位于水上,有时位于水下(特别是高位期和湖侵期),紧邻物源区;坡折面下倾方向(下降盘)为深湖一半深湖沉积,在低位期也露出水面。

(2)层序底界面由两部分组成,一部分为断层面,即断层不整合面;另一部分为地层单元内部的不整合面或整合面。

(3)断层活动的强度或落差控制了坡折的规模,断层的产状控制坡折的角度。

(4)低位域在工区一般发育小型三角洲或低位滩坝沉积,湖侵域发育退积型三角洲或滩坝沉积,高位域发育进积型三角洲或扇三角洲沉积。

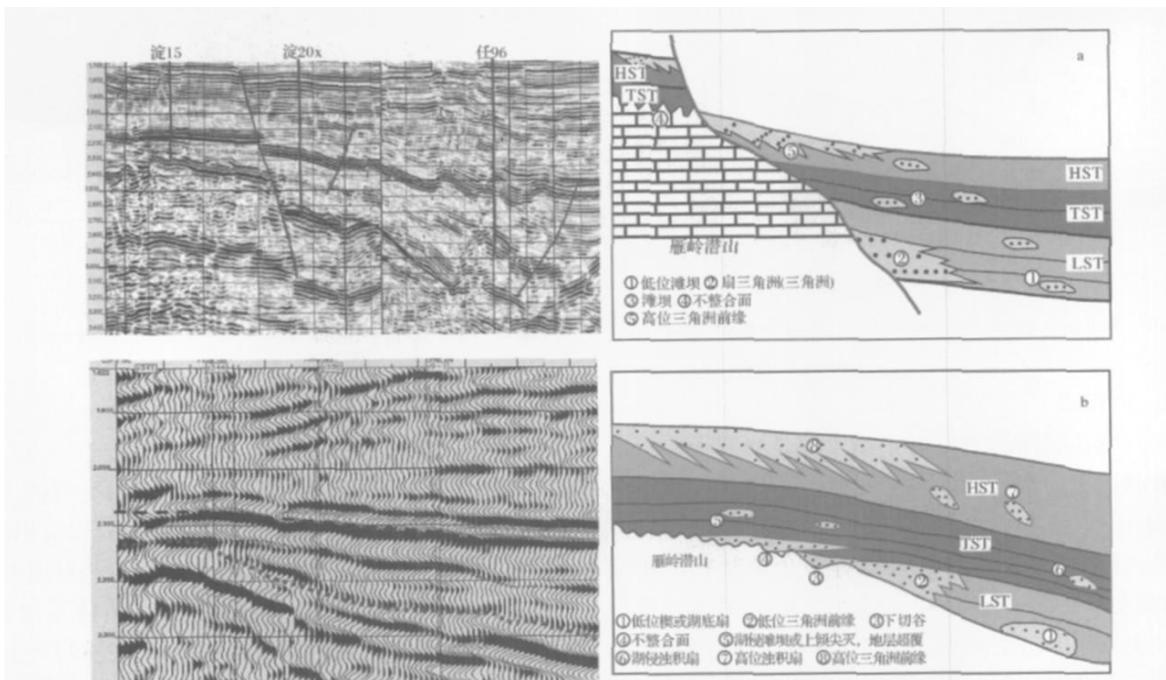


图 9 研究区层序地层模式

a 断层坡折及层序地层模式(测线位置见图 1); b 沉积坡折及层序地层模式(测线位置见图 1)

Fig.9 Sequence stratigraphic model of the study area

### 3.1.2 沉积坡折层序地层模式

沉积坡折是指由于不同地区沉积速率差异而造成地形坡度突变带, 沉积古地形的坡度变化与断层无关。这类坡折的形成可能有两种机制, 其一是沉积物堆积作用, 特别是浅水三角洲前积作用形成的前积坡折; 其二是出现在沉积盆地基底之上, 由于基底遭受侵蚀作用所形成的坡折。工区沙河街组下伏地层是雁岭潜山, 为一继承性古隆起。沙河街组沉积时, 各套地层向高部位逐渐减薄(图 9b)。本区北部坡折属此类。这类坡折的规模、坡度变化等要明显小于断层坡折。

沉积坡折层序地层模式主要特征如下:

(1) 坡折带之上多为不整合, 坡折带之下多为整合。

(2) 坡折以上对湖平面的升降变化响应明显, 且相带分布宽, 随着湖平面的升降变化, 相带也随之发生明显的迁移, 沉积作用受沉积物供给量的控制明显。

(3) 低位域主要发育河流、三角洲沉积, 河流的下切作用较明显。湖侵域可见明显的地层上超, 主要为滨浅湖一半深湖沉积。高位域的沉积主要受沉积物供给量的控制, 沉积物供给充足时, 可发育加积一进积三角洲沉积, 沉积物供给不充足时, 主要发育滨浅湖、滩坝沉积。

## 3.2 层序格架内岩性油藏发育规律

### 3.2.1 断层坡折与岩性油藏

低水位期, 由于边界断层活动较强, 易形成多级断坡。工区北部牛驼镇凸起作为物源区提供物源, 在断层根部发育大量低位扇砂体, 包括水下扇、小型低位三角洲和低位扇三角洲, 其上被初始湖侵泥岩覆盖, 具有良好的成藏条件。湖侵期, 由于湖水淹没范围大, 断坡的高部位上接受湖侵期的沉积, 在这个部位, 湖侵域多为扇三角洲和湖滩砂体, 层层向湖岸方向上超, 砂体沿断坡呈扇群状分布。断层坡折带由于断层面的产状一般较大, 地层在断层面上一般呈上超结构, 因此, 易形成地层上超油气藏。同时, 在断层坡折面上扇体前部也常发育有滩坝, 易形成透镜状岩性油气藏。高位域主要发育进积型的三角洲, 其以沉积速率快, 砂体发育为特征。三角洲前缘砂体受河流、湖泊等多种作用的改选, 细粒沉积物被淘洗干净, 从而形成物性良好的储集体。该储集体下伏优质生油密集段, 上覆湖泛面泥岩或与上伏层序低位域不整合面相连, 易形成地层油气藏及地层与构造配置的复合

油气藏。另外, 由于进积三角洲不断向湖盆中央推进, 三角洲前缘沉积界面不断变陡, 其沉积物易向前滑塌形成规模不大, 但储集性能良好的、又被烃源岩包裹的岩性油气藏(图 9a)。

### 3.2.2 沉积坡折与岩性油藏

坡折带之下的低位域发育低位扇沉积, 常覆于湖侵泥岩之下, 易形成岩性油藏。坡折带之上一般为不整合面分布区, 湖侵域可在该区形成地层不整合、地层超覆等油气藏。

对于沉积作用形成的坡折, 不整合面之下是前一层序的高位域沉积, 且砂体发育, 易形成地层不整合面遮挡砂岩油气藏。若为多期剥蚀作用所形成的坡折, 不整合面之下为基岩岩石, 其长期暴露风化, 在不整合面的遮挡下, 可形成潜山油气藏, 如工区所在的雁岭潜山油气藏(图 9b)。

## 4 结论

(1) 淀南地区沙河街组可划分为六个三级层序。除层序 I 缺少低位域外, 其余层序均由低位域、湖侵域和高位域组成。

(2) 工区低位域主要发育小型三角洲前缘相以及滨浅湖滩坝相沉积, 湖侵域主要发育湖泊沉积体系与退积型辫状河三角洲沉积, 高位域代表性沉积是进积型的辫状河三角洲为主。

(3) 工区发育断层坡折与沉积坡折两种不同成因的层序地层模式, 坡折带附近是岩性圈闭成藏极为有利的部位, 其中坡折带下倾方向是低位扇、地层超覆油藏的有利部位, 坡折带上倾方向是发育地层不整合、滩坝透镜体等油藏的有利部位。

致谢 在研究过程中始终得到了华北油田分公司的大力支持和帮助, 在此一并表示衷心的感谢!

## 参考文献 (References)

- Vail P R, Mitchum R M, Todd R G et al. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. C] // Payton C E. Seismic Stratigraphy: Application of Hydrocarbon Exploration. AAPG Memoir 1977. 26: 49-212
- Mitchum R M, Vail P R, Thompsons. The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. C] // Payton C E ed. Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration. AAPG Bulletin 1997. 26: 53-62
- Du Jinhui, Zou Weihong, Fei Baosheng et al. Ancient buried hill complex oil accumulation area in Jizhong Depression (in Chinese) [M]. Beijing: Science Press 2002
- Lin Changsong, Pan Yuanliu, Xiao Jianxin et al. Structural slope-

- break zone: Key concept for stratigraphic sequence analysis and petroleum forecasting in fault subsidence basin (in Chinese) [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geoscience)* 2000, 25(3): 260-266
- 5 Wang Yingmin, Jin Wudi, Liu Shuhui, et al. Genetic types, distribution and exploration significance of multistage slope breaks in rift lacustrine basin (in Chinese) [J]. *Oil & Gas Geology* 2003, 24(3): 199-203
- 6 Liu Hai, Wang Yingmin, Wang Yuan. Characteristics of slope breaks and their control on tectonic traps in downwarped lake basin (in Chinese) [J]. *Acta Petroli Sinica* 2004, 25(2): 30-34
- 7 Cao Yingchang. Classification and identification of stratigraphic units in a rift lake basin (in Chinese) [J]. *Journal of the University of Petroleum, China* 1996, 20(4): 6-10
- 8 Wyllie M R J, Gregory A R, Gardner L W. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media [J]. *Geophysics* 1956, V(2): 41-70
- 9 Ji Youliang, Du Jinhua, Zhao Xianzheng, et al. Sequence stratigraphic and evolution models of the Paleogene in Raoyang Sag, Jizhong Depression (in Chinese) [J]. *Journal of Palaeogeography* 2006, 8(3): 397-403

## The Sequence Stratigraphy Model of Shahejie Formation in Diannan Area

JIANG Zai-xing<sup>1</sup> XIANG Shu-an<sup>1</sup> CHEN Xiu-yan<sup>1</sup> ZHANG Rui-feng<sup>2</sup>

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083; 2 North China Company, Petrochina, Renqiu Hebei 062552)

**Abstract** With the application of the principles of sequence stratigraphy, Shahejie formation of Paleogene in Diannan Area is divided into six 3rd order sequences, seventeen system tracts by the identification marks of sequence boundary including seismic section, well logging curves, litho-combination and so on. Without lowstand systems tract in the sequence I, the sequence II to sequence VI are all composed of lowstand systems tract, transgressive systems tract and highstand systems tract. Based on the division and correlation of the sequence stratigraphy units, two sequence stratigraphic models with different genesis including the fault slope-break and sedimentary slope-break are established. The relations between themodels and the distinction of lithologic hydrocarbon reservoir indicate that low stand fan and stratigraphic overlap hydrocarbon reservoirs are usually located below the slope-break, and unconformity beach-dam lens reservoirs are usually located on the top of slope-break.

**Key words** sequence stratigraphy model, slope-break, lithologic-stratigraphic reservoirs, Shahejie Formation, Diannan area