doi:10.3799/dqkx.2014.129

## 辽西凹陷北洼沙河街组沉积层序结构与有利砂体分布

常艳艳1,林畅松2,周心怀3,夏世强1

1.中国地质大学能源学院,北京 100083

2.中国地质大学海洋学院,北京 100083

3.中国海洋石油有限责任公司天津分公司,天津 300452

摘要:综合地震、测井及岩心等资料表明,辽西凹陷北洼古近系沙河街组存在完整的地层序列,其可划分为5个三级层序.沙一段和沙二段之间不存在不整合层序界面;SQs3-1(沙三上段)在相对隆起区遭受剥蚀,但在坳陷带内发育完整.沙河街组发育的主要沉积体系包括扇三角洲、辫状河三角洲、近岸水下扇、滨浅湖滩坝等,其分布受到了同沉积断裂、次级古隆起、古坳陷分布的制约.研究区内有利的储集体包括分布于古隆起边缘低位体系域的砂体、洼陷中部的深水重力流砂体、古隆起高部位的碳酸盐岩等.它们与下部沙三段发育的大套暗色泥岩及上覆的沙一段泥质层可形成良好的生储盖组合,并在古隆起边缘、次级洼陷带、断裂坡折带及缓坡边缘形成岩性地层圈闭.

关键词:沙河街组;层序格架;岩性一地层圈闭;辽西凹陷;石油地质;沉积学. 中图分类号:TE121.3 **文章编号:**1000-2383(2014)10-1371-10 **收稿日期:**2014-01-15

## Depositional Sequences and Prediction of Favorable Reservoir Sand of Shahejie Formation of Liaoxi Depression

Chang Yanyan<sup>1</sup>, Lin Changsong<sup>2</sup>, Zhou Xinhuai<sup>3</sup>, Xia Shiqiang<sup>1</sup>

1.School of Energy Resource, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
2.School of Ocean Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
3.Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin 300452, China

Abstract: The existence of a complete stratigraphic sequence in Paleogene Shahejie Formation in northern Liaoxi depression is confirmed and five sequences are identified in this paper by comprehensive analysis of seismic profiles, well logs and cores data. It is found that there is not any unconformity surface between Member 1 and Member 2 of Shahejie Formation, so they form the highstand system tract and lowstand-transgressive system tract of the sequence respectively. SQs3-1 (the upper submember of Member 3) is nearly denudated in uplift area and widely distributed in the depression zone. All kinds of sedimentary facies have been recognized in the study area, including the fan delta system, braided delta system, nearshore subaqueous fan system and beach-bar system. The sedimentary system distribution is controlled by syndepositional fault, paleo-uplift and depression. The favorable sand bodies in the study area consist of those developed in the lowstand system tract at the edge of the paleouplift, deep water gravity flow sand in the center of the sub-sag and carbonate in the upper part of the paleouplift. With the underlying massive dark mudstone and shale in the third sequence of Shahejie Formation and the overlying pelolithic layer of the first sequence of Shahejie Formation, they can form good reservoir-cap assemblages and form litho-stratigraphic traps in the uplift, sub-sag, fault slope break and the gentle slope belt.

Key words: Shahejie Formation; sequence stratigraphy architecture; litho-stratigraphic trap; Liaoxi depression; petroleum geology; sedimentology.

盆地沉积层序的结构和沉积体系的空间配置研 究,是预测砂体和岩性地层油气藏分布的基础(林畅 松等,2002,2005).大量研究表明,源于被动大陆边缘盆地研究的层序地层学理论也可应用到湖盆的沉

基金项目:国家重大科技专项(No.2011ZX05023-002-004).

积充填分析中来.然而,由于断陷湖盆受盆地构造作 用的影响,其层序和沉积体系发育分布比海相盆地 更加复杂,需要开展更为精细的层序和沉积结构研 究(Catuneanu et al.,2003,2009;Ayhan and Nemec,2005).近年来,通过建立湖盆沉积层序的对比格 架,结合岩心、测井、地震资料分析,特别是基于高分 辨三维地震资料的地震一沉积结构和地震沉积学分 析,研究人员可以对沉积体系和储集砂体作精细刻 画,为盆内的油气勘探提供重要基础.这项研究已成 为国内外近十余年来含油气盆地沉积充填和油气勘 探研究的重点课题.

辽西凹陷位于渤海湾盆地的北端,是盆内重要 的油气勘探开发区之一.勘探区内已发现旅大 5-2、 锦州 9-3、锦州 4-2 等多个商业开发油气田.由于受 盆地裂陷作用和复杂构造古地貌的的影响,区内古 近系沙河街组地层厚度变化大,沉积体系的发育分 布十分复杂(徐长贵等,2005,2008;周心怀和余一 欣,2008).随着勘探程度不断提高,勘探发现难度不 断增大(徐长贵,2012).因此,区内古近系沙河街组 层序地层和沉积体系的精细研究,及主要体系域沉 积相构成和有利储集砂体分布特征的深入调查,对 预测有利岩性地层圈闭带的发育、分布等具有重要 的意义.

#### 1 区域地质背景

辽西凹陷是渤海湾盆地东北部的辽东湾坳陷中 的一个次级构造单元(图1).辽西凹陷位于辽东湾地



图 1 辽西凹陷的区域位置 Fig.1 The location of Liaoxi depression in Bohai bay basin, Northeast China

区的西部,面积约为3800km<sup>2</sup>,西起燕山褶皱带,东 到辽西低凸起,北部与辽河西部凹陷相连.平面上呈 北东向的条带状,主要受到北东、北东东向断裂活动 的控制.总体呈东断西超的箕状凹陷,可划分为西侧 缓坡带、中部洼陷、洼间隆起带、东侧陡坡带等次级 构造单元.辽西凹陷以中生界火山岩和太古界的变 质岩为基底,发育有古近系、新近系和第四系地层, 厚度可达5000m,以砂泥岩沉积序列为主.

辽西凹陷古近纪沉积充填包括孔店组、沙河街 组和东营组,其中沙河街组自下而上分为沙四段、沙 三段、沙二段及沙一段,是区内重要的含油气层.辽 西凹陷古近系沙河街组沉积期经历了盆地的初始裂 陷、强烈裂陷及裂一拗过渡期.构造隆起和湖平面下 降在地层中留下了可进行区域性追踪对比的冲刷或 间断不整合界面(朱筱敏等,2008).沙四段形成于盆 地初始裂陷期,差异沉降明显.该段地层出露范围局 限,与下伏的孔店组或中生界为不整合接触,以泥岩 与碳酸盐岩互层为主,沉积厚度可达 200~300 m. 沙三段与下伏沉积呈部分微角度不整合或整合接 触,发育深灰色泥岩夹中、厚层细砂岩,局部发育含 砾砂岩和油页岩,垂向上具有总体的水进一水退旋 回特征,代表强烈裂陷期的近源碎屑充填.该时期深 湖沉积面积大,可以作为有利的生油层系.沙二段与 下伏地层呈明显的削蚀不整合接触,沉积厚度约为 100 m,以含砾砂岩、细砂岩以及泥岩为主.该沉积期 沉积环境稳定,沉积速率相对较低,是本地区重要的 储集层系之一.沙一段为特殊岩性段,沉积期出现明 显的水进,暗色泥岩和油页岩广泛发育,底部为生物 碎屑灰岩和碎屑云岩,以湖泊和碳酸盐生物滩环境 为主(袁波等,2008;田立新等,2011).

## 2 层序地层格架

#### 2.1 层序地层单元

辽西凹陷沙河街组层序地层的划分和对比研究 一直是油气勘探领域和学术界探讨的一个热点,前 人已做过大量的工作并提出了多种划分方案(李德 江等,2007;冯有良等,2010).一般认为研究区的沙 一段和沙二段各自可以构成一个三级层序,沙三上 段沉积均被剥蚀,沙二段与沙三中段沉积直接接触. 但本文根据多口钻井资料分析和最新地震资料的综 合分析发现,沙一段和沙二段之间并不存在不整合 层序界面;同时沙三上段虽然在相对隆起区遭受剥 蚀,但在坳陷带内发育完整.辽西凹陷沙一、沙二段 沉积不同于渤海海域其他凹陷,其分布范围广,但沉 积厚度薄,约为100 m 左右.单井、岩心资料分析表 明,沙二段一沙一段趋向干沉积环境的渐变,总体表 现为一完整的水进一水退旋回,具有三级层序内完 整的体系域发育特点:沙二段以扇/辫状河三角洲沉 积为主,作为三级层序的低位一水进体系域;沙一段 广泛发育浅湖,局部为碳酸盐岩台地沉积,作为高位 域沉积,并且在三维地震剖面中,沙二、沙一段之间 为整合接触,不存在明显的层序界面特征,因此将其 划分为一个三级层序.据此,在区内沙河街组中划分 出 5 个 三 级 层 序 单 元 (SQs2、SQs3-1、SQs3-2、 SQs3-3和 SQs4),各层序内部可依据初始和最大湖 泛面进一步划分出低位、水进和高位体系域,部分与 四级层序相当.沙一段和沙二段构成一个三级层序 SQs2, 沙三上段构成 SQs3-1, 沙三中段构成 SQs3-2,沙三下段构成 SQs3-3,沙四段构成 SQs4 (图2).

依据渤海研究院提供的古地磁等测年数据,可 对沙河街组地层中各三级层序边界的形成时间加以 厘定:界面 SBs2、SBs3-3、SBs4 对应的地质时期分 别约为 38 Ma、42 Ma 和 50 Ma(李建平等,2012).其 中,SBs2 界面以明显的削蚀不整合和以及局部下切 为特征;SBs3-1 界面为明显的上超不整合;SBs3-2、 SBs3-3 界面为局部上超和削蚀界面.SBs4 界面在辽 西凹陷局部地区发育.

#### 2.2 主要层序界面特征

层序边界一般包括侵蚀不整合面、沉积间断面 及其对应的整合面,这些界面是确定裂陷湖盆层序 地层样式的关键.区内各层序界面在地震剖面上均 可依据不整合接触进行追踪对比(图 3).不同层位、 不同空间部位由于沉积过程的差异而使层序界面在 钻井资料上的特征也存在明显差异,反映出界面上 下沉积相和层序的叠加样式明显不同.研究表明,辽 西凹陷沙河街组三级层序的界面存在下列两种 形式:

(1) 在沙三段中 3 个三级层序界面均为大型超 覆不整合面及与其对应的整合面,在界面上一般发 育河道砂砾岩充填.层序具有向上变细或向上变细 再变粗的粒度结构,主要由近岸水下扇和扇三角洲 等沉积组成,厚度一般为 100~300 m.其中,SBs3-3 界面在地震剖面上振幅和连续性变化较大,界面上 下的反射波组特征存在细微的差异,可见上超下削 现象,在部分凸起部位可与基底重合.SBs3-2 和 SBs3-1 界面之上可见非常明显的上超反射终止现



图 2 辽西凹陷古近系沙河街组层序地层序列和沉积演化

Fig.2 The sequence classification and depositional evolution of Paleogene Shahejie Formation in Liaoxi depression



图 3 辽西凹陷沙河街组典型剖面层序划分和对比(层序界面标志参见正文) Fig.3 3D seismic profile of the Shahejie Formation in Liaoxi depression

象,深凹部位为中强振幅反射,斜坡部位为中弱振幅 反射.SBs3-2界面在钻井资料上特征明显,一般划分 在沙三中浅湖或半深湖泥岩的底部.界面之上 GR 曲线大致呈箱形高值,而 RD 曲线则呈箱形低值. SBs3-1测井曲线上表现为界面之下为幅值较大的 漏斗形曲线或齿状漏斗形曲线,界面之上为幅值较 大的钟形、齿化钟形、箱形或齿化箱形曲线.这些特 征反映了从进积向退积转换的一个过程,是主裂陷 幕式伸展期不同阶段的产物,与盆地的构造演化、沉 积物的供给、湖平面变化及气候等因素变化密切

#### 相关.

(2)SBs2界面是渤海海域古近系内范围最广、 规模最大、识别特征最明显的一个不整合层序界面. 地震剖面上一般表现为强振幅较连续反射,界面下 有非常明显的削蚀现象.该界面是在沙三期的强裂 陷后热沉降阶段形成的,在全区范围内广泛分布,在 盆地边缘可见下切充填现象.在钻井上钻遇该界面 的井也很多,多表现为上覆的沙二段扇三角洲砂岩 沉积直接覆盖在沙三段上的半深湖泥岩沉积之上, 界面之上GR曲线呈钟形,反映扇三角洲前缘水下 辫状河道正韵律沉积特征,界面之下 GR 呈低幅高值,电阻率为箱形低值,反映湖相泥岩沉积(图4).

## 3 沉积体系类型及特征

沉积相的确定主要依据岩心和测井资料,并结 合地震反射结构、地震相及地震属性分析来完成.在 辽西凹陷北部沙河街组中识别出扇三角洲、近岸水 下扇、辫状河三角洲、滩坝、滨浅湖及半深湖-深湖 5种主要沉积体系类型.

#### 3.1 扇三角洲体系

辽西凹陷沙河街组砂砾岩储层形成于湿润的亚 热带气候条件下,辽西低凸起的大面积出露为其提 供了良好的物质基础.在古构造和古气候的共同影 响下,扇三角洲在该地区广泛发育,其空间分布很 小,但是发育体积较大,主要集中在凸起西侧和北侧 的陡坡断裂边缘,尤以 SQs2 和 SQs3-1 最为发育. 扇三角洲的进积会形成明显的向上变粗的垂向序 列,测井上呈典型的块状、箱形及漏斗形响应特征, 反映了近源的特点.剖面上,扇三角洲多呈楔形或帚 状反射结构,收敛点指向扇根物源处.根据沉积环境 和沉积物特征,可将扇三角洲分为扇三角洲平原、扇 三角洲前缘和前扇三角洲 3 个亚相带,总体向上变 粗(图 5).

3.1.1 扇三角洲平原沉积 扇三角洲平原由泥石 流和水道沉积组成,具有下粗上细的正韵律旋回.泥 石流沉积由砾石、砂、泥混杂堆积而成,分选极差,砾 石长轴往往不具定向性.水道沉积由砂砾岩、粗砂岩 组成,沉积物分选、磨圆较好,成分以石英、长石为 主,可见大型斜层理及交错层理.砂岩中常见底冲刷 和槽状交错层理.在测井曲线上表现为箱型、钟形并 带有参差不齐的锯齿状.在地震剖面中具有高振幅、 较连续、亚平行反射的特征.研究区平原相带分布 窄,向湖方向很快过渡到水下部分.

3.1.2 扇三角洲前缘沉积 扇三角洲前缘的岩性 剖面可以看到多套砂体的叠置,主要发育分流水道、 河口坝和席状砂沉积,其特点是以中型规模的反旋 回沉积和小规模的中、细粒正旋回沉积为主.分流河 道沉积物以砂为主,泥质极少.河口坝主要由砂砾岩 和粗砂岩组成,夹有薄层暗色粉砂质沉积,可见大型 斜层理和交错层理.席状砂的砂质纯,分选好,广泛



图 4 辽西凹陷连井层序划分对比 Fig.4 Well log correlation of the Shahejie Formation in Liaoxi depression



图 5 辽西凹陷典型扇三角洲地震剖面及单井相特征(图例同图 4) Fig.5 Seismic reflection feature and corefacies analysis of fan-delta in Liaoxi depression

发育交错层理.总体上,电测曲线呈现出典型的中高 幅齿状钟形和漏斗形组合,地震剖面中为斜角前积 层,具有中一高振幅.

3.1.3 前扇三角洲沉积 前扇三角洲沉积主要是 细粉砂岩和泥质沉积物,泥质较纯,可见块状层理、 水平层理.电测曲线总体为较平缓的低幅,偶见小锯 齿状波形,横向上与滨浅湖、半深湖泥质沉积呈过渡 关系.在地震剖面上为低振幅,中一低连续性反射.

#### 3.2 辫状河三角洲体系

本区辫状河三角洲体系主要发育在 SQs3-1 和 SQs2 中,既出现在低水位体系域,又出现在高水位 体系域.它的形成主要是由凹陷西侧河流携带碎屑 物进入相对开阔的湖泊水体中形成的,在地震剖面 上以斜交型前积结构为特征.相对于凹陷内扇三角 由凸起供源的近源陡坡沉积特点,辫状河三角洲发 育的部位更为平缓,沙河街组沉积期通常形成在凹 陷湖盆的短轴方向,物源区相对较远.其沉积物以河 流体系的高度河道化、较强的水动力条件和很好的 侧向连续性为特征,河口坝微相较扇三角洲体系中 更为发育.测井曲线上,总体具有反旋回沉积特征, 呈漏斗型形状,岩性以细砂岩为主,粒度向上变粗, 反映出水体向上变浅的特点.

3.2.1 辫状河三角洲平原沉积 辫状河三角洲平 原为三角洲沉积体的顶积层,主要由辫状河道和河 道间沉积组成.其中辫状河道主要岩石类型有砂砾 岩、粗砂岩和中砂岩,发育不同规模交错层理.辫状 河道底部内常见有强烈的冲刷现象,内部充填较粗 的碎屑颗粒,向上逐渐变细.测井曲线以钟形、箱形 高幅特征为主.在地震剖面上为高振幅、连续性较 好、平行或亚平行反射.

3.2.2 辫状河三角洲前缘沉积 三角洲前缘以含 砾粗砂岩为主,砾石为火山岩或变质岩,可进一步划 分为水下分流河道、河口坝和远砂坝.岩心上可见不 同规模的交错层理、波状层理和生物扰动构造,具有 多个由砂砾岩过渡为砂岩的正韵律旋回.概率曲线 以两段式为主,跳跃组分约占 50%~80%,悬浮组 分约占 10%~20%,含有少量滚动组分,反映出分 选较差、牵引流机制.电测曲线主要具有齿状低值和 指状高值两种形态.

**3.2.3 前三角洲亚相沉积** 前三角洲主要由泥岩 组成,夹薄层粉砂岩,地震反射特征主要以低振幅亚 平行为主.

#### 3.3 近岸水下扇体系

近岸水下扇体系主要分布在辽西凸起西北侧 SQs3-3和SQs3-2大规模水进沉积期,与深湖相伴 生,地震剖面上以楔状或悬挂状的变振幅前积反射 或杂乱反射为特征,从近端到远端连续性增强.在钻 井剖面上,一般为向上变细的正旋回形态,扇体上、 下均为深灰色泥岩沉积,水平层理,反映了深水沉积 背景.

#### 3.4 滨浅湖沉积体系

研究区发育的滨浅湖沉积主要类型包括沙滩、 沙坝以及碳酸盐岩滩坝.其中沙滩、沙坝以细一粉砂 岩沉积为主,可见小型交错层理与波状层理,主要发 育于水进体系域,电测曲线一般呈中幅指状或锯齿 状波形.碳酸盐岩滩坝主要发育于 SQs2 的高水位体 系域中,多分布在古隆起边缘相对较高的部位,展布 范围总体在5km<sup>2</sup>左右,以生物碎屑灰岩为主.SQs2 末期,凹陷处于裂后稳定的热沉降阶段,该时期古隆 起大面积被淹没,缺乏物源且水体相对清浅、阳光充 足、环境安静,有利于碳酸盐岩的生长.在地震剖面 上其一般呈透镜状不连续分布,中部厚度大,横向稳 定性差,发育区有同相轴小幅度弯曲或振幅异常 现象.

#### 3.5 深湖一半深湖沉积

深湖一半深湖是位于湖泊浪基面之下、湖水较为平静的湖区,主要发育于研究区 SQs3-2、SQs3-3 中.其沉积物主要为暗色泥岩,间或有页岩.具水平 层理,低角度交错层理和块状层理.在地震剖面上表 现为强振幅、高连续平行反射结构.深湖一半深湖沉 积中常夹有浊流沉积.

# 4 沉积体系的发育演化与有利储集砂体的分布预测

#### 4.1 沙河街组沉积体系发育和演化

笔者以大量的钻井和密集的地震剖面为基础, 并结合均方根振幅属性进行了平面沉积体系域与古 隆起分布编图,揭示了辽西凹陷内沙河街组不同层 序发育阶段沉积体系展布的内在联系(图 6).

SQs4 层序沉积于辽东湾坳陷的裂陷 I 幕,即初 始裂陷期,统一的盆地还没有形成.该时期辽西凹陷

东侧以断裂为边界,西侧坡度则相对较缓.凹陷与源 区的距离短、高差大,该层序的沉积体系类型以凸起 供源的扇三角洲沉积为主.

SQs3-3 层序进入坳陷第1次快速断陷期,该沉积期的古隆起分布范围大,可见南北两个凸起,分布面积均可达100 m<sup>2</sup> 以上.该沉积期沉积体系类型与SQs4 相似,以扇三角洲为主,物源充足,具有近源和短源特点,沉积规模较早期的大.在凸起的西北部发育有小型的近岸水下扇体系.

SQs3-2 层序为湖侵期的沉积,地层厚度较大, 沉积范围相对较广.洼陷内古隆起出露范围明显缩 小,大部分沉没水下,在 JZ20 井区一带古隆起持续 出露水面,并形成该沉积期的局部物源.沉积相以深 湖、半深湖为主,凹陷东侧发育断裂坡折和断裂带控 制的近岸水下扇一扇三角洲.

SQs3-1 层序继承了前期的古地貌特征和隆坳 格局分布,该层序沉积期低位域及高位域中均有砂 质沉积体发育,结合钻井、岩心和测井曲线形态表 明,隆起边缘陡坡带主要发育冲积扇一扇三角洲水 下分流河道一近端河口坝,中部为广阔的前席状 砂-前三角洲泥质沉积,具有中一弱振幅的反射特 征.凹陷西侧开始发育辫状河三角洲沉积体系,由西 部古水系供源,分布范围明显大于扇三角洲沉积.该 时期北部古隆起分布范围大,南部出露4个小的隆 起,其中3个相对较大的隆起在该时期提供物 源.由该层序沉积期沉积相图可以看出北部隆起出



图 6 辽西凹陷沙河街组 SQs3-1 沉积相(a)和 SQs2 沉积相(b)

Fig.6 The depositional pattern of SQs3-1(a) and SQs2 (b) of the Shahejie Formation in Liaoxi depression

露面积远大于南部隆起,其供源形成的砂质沉积体 面积却小于南部.通过对南北部古隆起的分析认为 北部凸起坡度陡,深度大,其汇水面积小,沉积物快 速堆积,导致分布面积较小.南部凸起深度浅,坡度 较缓,同时该地区广泛发育断裂坡折,使得沉积物扩 散快、分布面积大.

SQs2 层序为稳定热沉降阶段,构造活动较弱, 古隆起范围进一步缩小,作为盆内物源的作用也有 所减弱.该时期湖盆范围较早期沉积时变大,水体较 浅,地层厚度稳定,各体系域发育齐全.研究区西侧 水系携带大量物源形成近源辫状河三角洲体系.滨 浅湖滩坝在该时期较发育,呈椭圆状、条带状 NE-SW 向展布,尤其在辫状河三角洲前缘或隆起边缘 地形较平坦的地区分布较广.总体上,SQs2 层序扇 三角洲分布更为分散,单个扇体面积均较小,辫状河 三角洲增多,碳酸盐岩滩坝发育.

#### 4.2 有利储集砂体分布预测

研究区内沙河街组各层序中发育的三角洲前缘 水下水道、河口坝、下切谷砂质充填、滨浅湖一滩坝 等砂体均可形成重要的储集砂体(图 7).SQs2 低 位一水进体系域扇三角洲前缘、高位域碳酸盐岩、 SQs3-1 的河口坝砂体等构成了目前已发现油气藏 的重要储集砂体类型.结合层序结构和储集砂体分 布研究表明,区内有利的岩性地层圈闭包括下列几 种类型.

(1)古隆起边缘低位域砂体.位于初始水进面以下的低位楔、下切水道、扇三角洲前缘等砂体是形成 岩性地层圈闭的有利部位.辽西凹陷一号、二号、三 号断层在沙河街组沉积早期活动强烈,下降盘扇三 角洲砂体发育,紧邻辽西凹陷沙三成熟烃源岩,其上 又有沙一段泥岩的封盖,具备良好的成藏条件,可形 成砂砾岩扇体岩性油气藏、砂岩上倾尖灭油气藏.如 SQs2 层序中,低位域一水进域扇三角洲、近岸水下 扇发育良好,上覆高位域(沙一段)的泥质层具有较 好的封盖条件,二者可形成良好的储盖组合.同时, 位于隆起边缘构造高部位,有利于油气运移和聚集.

(2)水进域上超砂体.缓坡带地层超覆、退覆现象明显,是地层超覆圈闭发育的良好区带.辽西凹陷滩坝沉积主要分布于 SQs2 层序内湖盆中央隆起区和湖岸缓坡区,滩坝向上上超并尖灭于层序界面,其上是上覆水进域泥质盖层,可形成有利的地层超覆圈闭.

(3)古隆起高部位碳酸盐岩储层.辽西凸起在沉 积期经历了多次隆升、沉降旋回,随着构造活动的不 同和湖平面幅度的变化,古隆起或淹没或出露. SQs2层序晚期,古隆起再次被淹没,但相对高的古 地貌形态依然存在,水下古隆起地带水体清浅、阳光 充足、有利于碳酸盐岩的生长.经钻井证实,SQs2层 序高位域广泛发育浅湖、局限碳酸盐岩台地沉积,生 物碎屑礁、滩是极为有利的储集砂体,也是寻找碳酸 盐岩背景下岩性地层圈闭的有利部位.

(4) 洼陷内深水重力流砂体. 洼陷内深水重力流 体系与其上覆的巨厚泥岩形成良好的储盖组合, 但 油气运移存在风险, 是寻找有构造背景的岩性地层 圈闭带的有利部位. 如辽西凹陷 JZ25 井区 SQs3-2 层序内, 该时期西部物源充足, 深水重力流砂体发



Fig.7 Depositional systems and systems tracts in lacustrine sequence framework of the Liaoxi depression ①古隆起边缘低位域砂体;②水进域上超砂体;③古隆起高部位碳酸盐岩储层;④洼陷内深水重力流砂体

育.层状砂岩体的顶部和底部均被不渗透的泥岩包 围,它在横向上呈楔状尖灭,且直接与沙三烃源岩接 触,容易形成砂岩透镜体或砂岩上倾尖灭岩性油 气藏.

## 5 结论

(1)通过局部不整合和相应的整合面将辽西凹陷古近系沙河街组划分为5个三级层序,分别为 SQs2、SQs3-1、SQs3-2、SQs3-3和SQs4.各三级层序顶底界面均以明显的削蚀不整合、上超不整合和其对应的整合接触关系为特征.

(2)在层序划分上与前人研究成果有两点不同: 沙一段和沙二段之间不存在明显的层序界面,作为 1个三级层序更为合适,沙二段作为层序的低位一 水进体系域,沙一段为层序的高位域;辽西凹陷北洼 沙三上段沉积存在,整个沙三段具有总体的水进一 水退旋回,可划分出3个三级层序,与区域上的沙三 下、沙三中及沙三上的地层对应,其中 SQs3-1 应该 对应沙三上段沉积.

(3) 辽西凹陷北洼沙河街组发育扇三角洲、辫状 河三角洲、滨浅湖及半深湖一深湖等沉积相类型,局 部地区发育下切水道、重力流沉积.SQs3-2、SQs3-3 层序内低位域和早期水进域主要由扇三角洲、近岸 水下扇及半深湖一深湖相沉积组成;SQs3-1、SQs2 层序高位域内发育辫状河三角洲沉积,总体由西向 东进积.滨浅湖砂坝沉积分布于 SQs2 层序东部斜坡 上超带,多形成于低位域或早期水进域,碳酸盐岩滩 坝多分布于 SQs2 高位域隆起相对较高的部位.

(4)区内有利的砂岩储集体包括古隆起边缘低 位域砂体、洼陷内深水重力流砂体、古隆起高部位碳 酸盐岩和水进域上超砂体.其中,SQs2 层序内低位 域扇三角洲可形成砂砾岩扇体岩性油气藏、砂岩上 倾尖灭油气藏;水进域滩坝砂体可形成有利的地层 超覆圈闭;高位域的碳酸盐岩台地沉积、生物碎屑 礁、滩也是极为有利的岩性地层圈闭发育部位.

致谢:论文研究得到了中国海洋石油有限责任 公司天津分公司的资料支持,勘探开发研究院周心 怀总地质师和杜晓峰经理在研究工作中给予大力支 持和帮助;得到辽东湾项目队工作人员的通力合作; 审稿专家对稿件认真审阅并提出了宝贵的建议.在 此向以上单位和个人表示衷心感谢!

#### References

- Ayhan, I., Nemec, W., 2005. Early Miocene Lacustrine Deposits and Sequence Stratigraphy of the Ermenek Basin, Central Taurides, Turkey. *Sedimentary Geology*, 173 (1-4):233-275.doi:10.1016/j.sedgeo.2003.07.007
- Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J.P., et al., 2009. Towards the Standardization of Sequence Stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92(1-2):1-33.doi:10.1016/ j.earscirev.2008.10.003
- Catuneanu, O., Heredia, E., Ortega, V., et al., 2003. Seismic Stratigraphy of the Neogene Sequences in the Gulf of Mexico.AAPG Annual Convention, 12:27-28.
- Feng, Y.L., Zhou, H.M., Ren, J.Y., et al., 2010. Paleogene Sequence Stratigraphy in the East of the Bohai Bay Basin and Its Response to Structural Movement. *Science in China (Series D)*, 40(10):1356-1376 (in Chinese).
- Li, D.J., Zhu, X. M., Dong, Y. L., et al., 2007. Sequence Stratigraphy and Depositional System of Paleogene Shahejie Formation in Liaodong Bay Depression. *Petroleum Exploration and Development*, 34(6):669-676 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. P., Liu, S. L., Gong, Y. J., et al., 2012. A Paleomagnetic Column of Oligocene Chronostratigraphy and Its Geological Significance in Bohai Water. *China Offshore Oil* and Gas, 24 (Suppl. 1): 29 - 33, 42 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C. S., Liu, J. Y., Liu, L. J., et al., 2002. High Resolution Sequence Stratigraphy Analysis: Construction of Chronostratigraphic Sequence Framework on Facies and Reservoir Scale. *Geoscience*, 16(3): 276-281 (in Chinese with English abstract).
- Lin, C.S., Liu, J. Y., Zhang, Y.Z., et al., 2005. Sequence Stratigraphy and Tectono-stratigraphic Analysis of Tectonically Active Basins: A Case Study on the Cenozoic-Mesozoic Lacustrine Basins in China. Earth Science Frontiers, 12(4): 365 374 (in Chinese with English abstract).
- Tian, L. X., Xu, C. G., Jiang, S. K., 2011. Hydrocarbon Accumulation Conditions and Process of Jinzhou 25-1 Large-Scale Light Gas-Oil Field in Liaodong Bay. Journal of China University of Petroleum (Natural Science Edition), 35 (4): 47 - 52 (in Chinese with English abstract).
- Xu,C.G.,2012. The Practice and Effects of Secondary Exploration Guided by the Geological Innovation in Offshore Oil-Bearing Areas: A Case of the Northern Liaodong Bay. *China Offshore Oil and Gas*,24 (Suppl.1):1-6(in Chinese with English abstract).

- Xu, C.G., Xu, X.S., Qiu, D.Z., et al., 2005. Structural and Sequence Stratigraphic Frameworks and Palaeogeography of the Paleogene in Central-Southern Liaoxi Sag, Liaodongwan Bay Area. Journal of Palaeogeography, 7(4):449-459 (in Chinese with English abstract).
- Xu, C.G., Yu, S., Lin, C.S., et al., 2008. Structural Styles of the Paleogene Lacustrine Basin Margin and Their Control on Sedimentary Sequences in Bohai Sea Area. Journal of Palaeogeography, 10(6):627-635 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, B., Chen, S. Y., Yuan, W. F., 2008. The Establishment of the Hierarchical Framework of Shahejie Formation, Huanxiling Area in Liaoxi Sag. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 30(2):27-30,34 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, X. H., Yu, Y. X., Wei, G., et al., 2008. Relationship between JZ25-1S Transfer Zone and Hydrocarbon Accumulation in Liaodongwan Offshore of Bohai Bay Basin. Acta Petrolei Sinica, 29(6):837-840 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, X. M., Dong, Y. L., Yang, J. S., et al., 2008. The Sequence Stratigraphic Framework and Depositional System Distribution of Paleogene in Liaodong Bay Area. Science in China (Series D), 38 (Suppl.1):1-10 (in Chinese).

#### 附中文参考文献

- 冯有良,周海民,任建业,等,2010.渤海湾盆地东部古近系层 序地层及其对构造活动的响应.中国科学(D辑),4 (10):1356-1376.
- 李德江,朱筱敏,董艳蕾,等,2007.辽东湾坳陷古近系沙河街

组层序地层分析.石油勘探与开发,34(6):669-676.

- 李建平,刘士磊,龚莹杰,等,2012.渤海海域渐新统古地磁年 代地层柱的建立及其地质意义.中国海上油气,24(增 刊1):29-33,42.
- 林畅松,刘景彦,刘丽军,等,2002.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.现代地质,16 (3):276-281.
- 林畅松,刘景彦,张英志,等,2005.构造活动盆地的层序地层 与构造地层分析——以中国中、新生代构造活动湖盆 分析为例.地学前缘,12(4):365-374.
- 田立新,徐长贵,江尚昆,2011.辽东湾地区锦州 25-1 大型轻 质油气田成藏条件与成藏过程.中国石油大学学报(自 然科学版),35(4):47-52.
- 徐长贵,2012.以地质认识创新为主导的海上油区二次勘探 实践与成效:以辽东湾北部地区为例.中国海上油气, 24(增刊1):1-6.
- 徐长贵,许效松,丘东洲,等,2005.辽东湾地区辽西凹陷中南 部古近系构造格架与层序地层格架及古地理分析.古 地理学报,7(4):449-459.
- 徐长贵,于水,林畅松,等,2008.渤海海域古近系湖盆边缘构 造样式及其对沉积层序的控制作用.古地理学报,10 (6):627-635.
- 袁波,陈世悦,袁文芳,等,2008.辽西凹陷欢喜岭地区沙河街 组层序格架的建立.西南石油大学学报(自然科学版), 30(2):27-30,34.
- 周心怀,余一欣,魏刚,等,2008.渤海辽东湾海域 JZ25-1S 转 换带与油气成藏的关系.石油学报,29(6):837-840.
- 朱筱敏,董艳蕾,杨俊生,等,2008.辽东湾地区古近系层序地 层格架与沉积体系分布.中国科学(D辑),38(增刊1): 1-10.