

文章编号: 1000-0550(2010) 03-0489-08

松辽盆地北部深层层序地层格架建立与模式研究 ——以古龙—常家围子断陷沙河子组为例

潘春孚 纪友亮
(中国石油大学(北京) 北京 102249)

摘要 松辽盆地北部徐家围子等地区深层勘探相继取得了一系列重大突破,但由于古龙—常家围子断陷深层地质认识程度较低,该区还处于深层勘探初期阶段。古龙—常家围子断陷区沙河子组充填了一套扇三角洲和湖泊沉积,是该区重要的储层和生油层。综合利用测井、钻井、地震等资料,将层序地层学原理应用于陆相断陷湖盆沉积,识别出沙河子组三级层序顶底界面,将其划分为 2 个三级层序,并在层序内部识别出高水位体系域、水进体系域、低水位体系域,建立了该区高精度的等时层序地层格架。根据沙河子组地质结构和地层发育的构造背景,建立了沙河子组层序地层模式:双向多断阶层序模式、双箕状不对称层序模式。

关键词 层序 体系域 层序格架 层序模式

第一作者简介 潘春孚 男 1983 年出生 博士研究生 层序地层与沉积储层 E-mail panchunful1@sina.com

中图分类号 TE121.3 **文献标识码** A

许多学者对古龙—常家围子断陷中浅层石油地质特征,储层特征,油气聚集规律,成藏期次等方面做了很多研究工作^[1-4],但对登娄库组以下至基底的深层认识程度较低^[5,6],尤其是对作为深层重要生油层和储层的沙河子组层序格架建立、体系域的划分和层序地层学模式建立方面存在不足。本文从层序地层学的角度对沙河子组地层进行分析认识,综合利用区内钻井、测井、地震等资料建立了该区沙河子组层序地层格架,并根据沙河子组地质结构和地层发育的构造背景,总结出层序地层学模式,为该区以后的油气勘探工作提供依据。

1 区域地质概况

古龙—常家围子断陷区横跨古龙断陷、常家围子断陷和大庆断阶带三个二级构造单元,西北部与西部斜坡区接壤,东北部与大庆长垣接壤,东南与徐家围子相邻,主体位于古龙—常家围子断陷内,整体呈两隆三断一斜坡的构造格局(如图 1)。古龙—常家围子断陷区深层主要经历断陷期、断拗转换期两个演化阶段,钻遇的沉积地层主要为火石岭组、沙河子组、营城组、登娄库组。通过对沙河子组沉积时期的断层特征、古地形等盆地结构背景对层序和沉积体系的控制作用研究发现:多个断阶和箕状断裂等形成多种断裂坡折及断陷中多个小规模古隆起的存在对同期层序

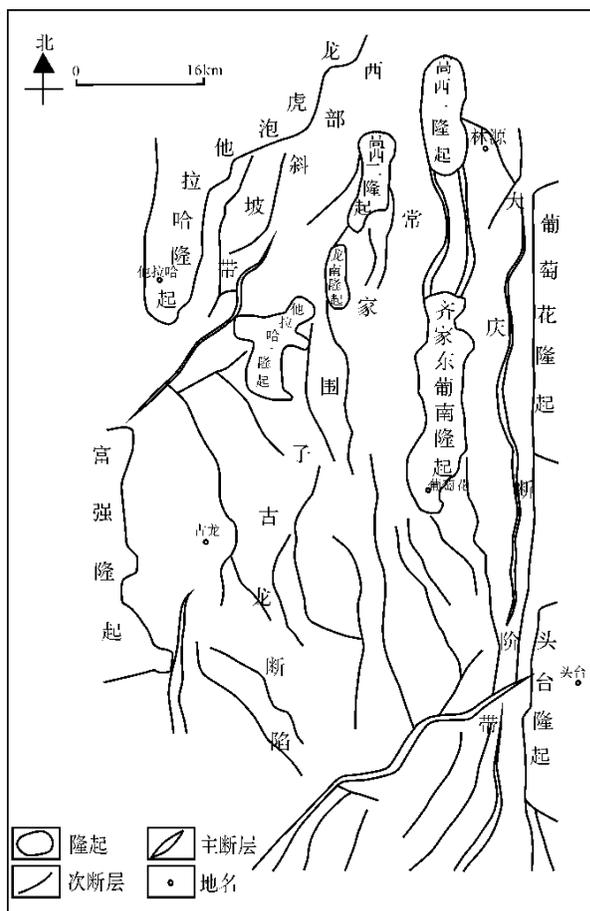


图 1 古龙—常家围子断陷构造单元划分示意图

Fig 1 Sketch map of tectonic division of

Gulong-Changjiawazi fault depression

层序和沉积体系的发育产生了深刻影响,在小规模古隆起为剥蚀区,低位期坡折带以上为剥蚀区或暴露区,坡折带以下为沉积区。坡折带控制了层序发育及体系域构成,断陷中的小规模古隆起为层序提供了近物源。

2 层序地层格架的建立

层序地层格架的建立首先对钻、测井资料进行层序界面的识别和划分,通过合成地震记录在地震剖面上进行层位标定,根据地质层位对应的地震层位反射特征,在全区进行追踪对比解释建立层序地层格架。

2.1 层序界面的识别标志及特征

层序是一套相对整合的、成因上有联系的、以不整合和(或)与之可对比的整合为界的地层单元^[7]。不同级别层序界面的识别是进行层序划分及层序地层格架建立的基础^[8]。层序界面的识别标志很多,界面上下岩性组合、古生物组合、测井曲线形态及地震反射特征等均是识别层序界面的主要标志。

古龙—常家围子断陷沙河子组层序界面就是从地震反射特征、岩性组合、测井曲线形态特征等方面进行研究的。

2.1.1 地震剖面标志及特征

层序界面为不整合面及其对应的整合面,层序界面在盆地边缘地区的地震剖面上反射终止类型多为上超、顶超和削截,在盆地内部,层序界面上下地震相类型有明显差异。如反射终端结构不明显,则根据地震相的特征差异来识别层序界面^[8]。在研究区选取若干条骨干地震剖面,在断陷边缘主要根据地震反射轴的上超、削截反射终止类型来识别划分层序界

面,以区域不整合面作为控制界面结合地震相特征的差异性向断陷内部追踪进行对比追踪层序界面;以骨干地震剖面为基础,推广对比整个断陷。在研究区地震剖面上共识别划分出沙河子组的 3 个三级层序界面 SB1、SB2、SB3,且以地震反射界面 T_{41a} 为界将该区沙河子组地层划分为 2 个三级层序:层序 iv (SQ1) 和层序 ⑤ (SQ2)。

(1) SQ1 顶、底界面: SQ1 底界面 SB1 相当于 T_4 地震反射界面,为区域性不整合面,在盆地内部其下部主要表现为强相位反射,上部为相对较弱的相位特征,在盆地边缘可见到削截和上超反射终止现象; SQ1 顶界面 SB2 相当于 T_{41a} 地震反射界面,为区域性不整合面,在盆地内部其下部主要表现为相对较弱的相位反射,而上部表现为多相位强振幅反射(如图 2)。

(2) SQ2 顶、底界面: SQ2 底界面相当于 SQ1 顶界面,在盆地边缘可见到削截和上超反射终止现象; SQ2 顶界面相当于 T_4 地震反射界面,为区域性不整合面,在盆地内部其下部表现为较弱振幅低连续反射,上部为一套较连续的强振幅反射,在盆地边缘可见到削截和上超反射终止现象(如图 2)。

2.1.2 岩性和测井曲线识别标志及特征

由于层序边界上、下地层的沉积环境往往突变,所以层序边界处的岩性、测井曲线的绝对值及形态等通常有剧烈的变化。¹ SQ1 底界面 SB1 在 psh1 井岩性上表现为火山岩向砂岩突变;测井曲线表现为伽马曲线由低值突变为高值,深、浅侧向曲线由高值突变为低值;伽马曲线界面之下呈幅度较平缓的微齿化箱型组合,界面之上呈幅度起伏较大的尖峰状箱型组合。

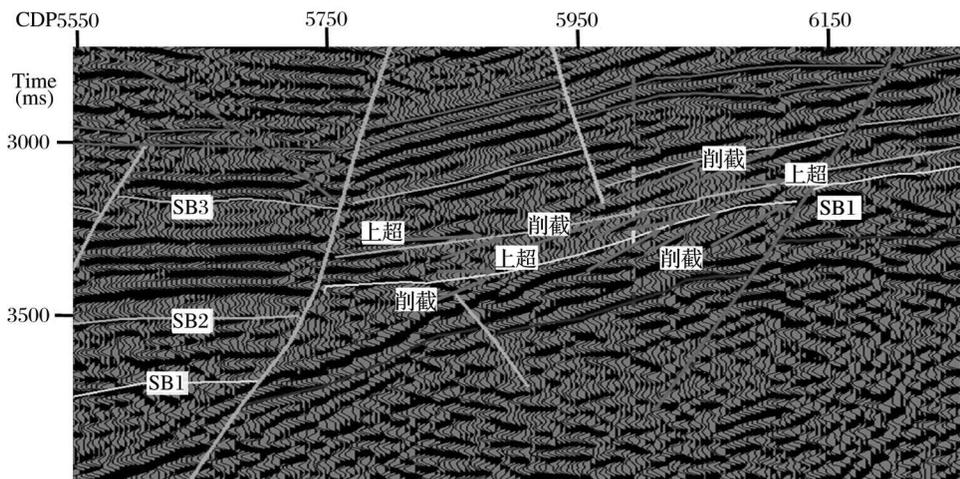


图 2 古龙—常家围子断陷东缘沙河子组层序界面地震特征(削截、上超)

Fig 2 The seismic characteristic of sequence boundaries of Shahezi Formation in the eastern

margin of the Gulong-Changjiawazi fault depression (truncation, onlap)

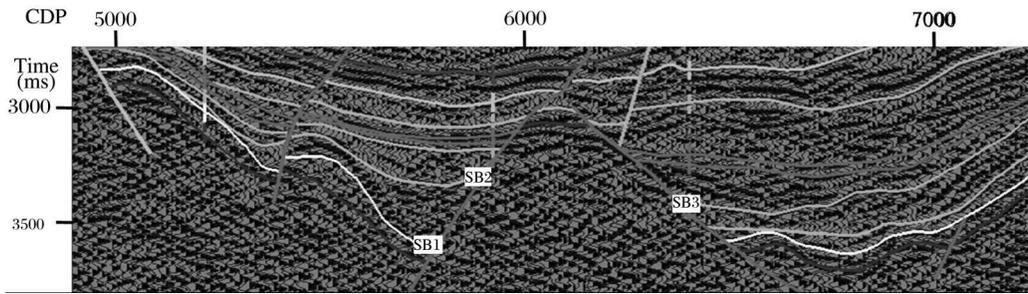


图 3 古龙—常家围子断陷沙河子组层序地层格架

Fig 3 The sequence stratigraphic framework of Shahezi Formation of Guibang-Changjiawazi fault depression

④SQ1顶界面 SB2在 psh1 岩性上表现为火山岩突变为泥岩;测井曲线表现为伽马曲线由低值突变为高值,深、浅侧向曲线由高值突变为低值;伽马曲线界面之下呈幅度变化频率较小的尖峰状箱型组合,界面之上呈幅度变化频率较大的锯齿状钟型组合。(四)SQ2顶界面 SB3在 psh1 岩性上表现为泥岩突变为砂岩;测井曲线表现为伽马曲线由高值突变为低值,深、浅侧向曲线由低值突变为高值;伽马曲线界面之下呈锯齿状漏斗型组合,界面之上呈锯齿状钟型组合(如图 2)。

根据上述钻井、测井、地震等资料的综合分析,对沙河子组地层的 3 个三级层序界面 SB1、SB2、SB3 进行了识别和确定(相当于地震反射界面 T_{41} 、 T_{41a} 、 T_{42}),将其划分为 2 个三级层序:层序 iv 和层序 ⑤。在全区范围内建立了沙河子组的层序地层格架(如图 3)。

2.2 体系域的划分与特征

2.2.1 体系域划分

在陆相断陷湖盆中,体系域为同期沉积体系的组合,是构成层序的基本单位。体系域的划分主要是最大湖泛面和首次湖泛面的识别。

(1) 首次湖泛面:是 iv 型层序内部初次跨越盆地坡折的湖泛面,在地震剖面上对应于首次越过坡折带的第一个滨岸上超点所对应的同相轴。穿过该界面水体突然加深,岩石粒度变细,泥岩含量增多,泥岩颜色常由浅变深,常由界面下的加积型或弱退积型准层序组突变为界面上的退积型准层序组(如图 4)。

(2) 最大湖泛面:最大湖泛面是一个层序中最大湖侵时形成的界面,是最远滨岸上超点所对应的界面,对应于地震剖面上上超点接近盆地边缘最远处的同相轴。穿过该界面砂泥岩比率变大,泥岩颜色常由深变浅,常由界面下的退积型准层序组转变为界面上的加积型准层序组至前积型准层序组(如图 4)。

根据钻测井资料及地震资料对最大湖泛面和首

次湖泛面的识别,认为本区沙河子组层序 iv 和层序 ⑤ 均可划分为:低位体系域、水进体系域和高位体系域。

2.2.2 体系域特征

低位体系域:在湖泊相层序中,低位体系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,顶界为初始湖泛面。低位体系域湖水范围较小,多分布于坡折带之下,湖盆和周围物源区高差大,洪水期洪水携带大量物质迅速入湖,在盆地边缘形成冲积扇或扇三角洲沉积体系。在两个层序中均表现为扇三角洲平原特别发育,水体较浅,表现为单层砂体厚,测井曲线呈极尖锐锯齿状特征,加积式准层序组序列(如图 4)。

水进体系域:该时期湖水范围逐渐扩展。该区湖泊层序中,水进体系域底界面为初始湖泛面,顶界面为最大湖泛面。该区水进体系域沉积体系类型主要为深湖、半深湖、滨浅湖、扇三角洲沉积。在地震剖面上可见到连续上超的楔形沉积体。在 SQ1 陡坡处与低水位体系域较难区分(如图 4 所示,层序 iv 底界面向上至最大湖泛面,砂岩粒度逐渐变细,厚度减薄,泥岩颜色由红变黑,表明整体为不断的水进过程;总体表现为退积型准层序组,并无准层序组类型转换面的出现),也主要反映了深湖半深湖的沉积环境,较低位域水体有所加深;在 SQ2 中主要反映为水体加深的扇三角洲前缘和半深湖—深湖沉积环境,表现为泥岩颜色加深,厚度增加,砂岩变薄,测井曲线为较平缓的低幅指状,准层序表现为退积式序列特征。

高位体系域:高位体系域位于层序的最上部,底界面为最大湖泛面,顶界面为层序边界。该区高位体系域主要发育扇三角洲平原和扇三角洲前缘沉积,此时水体逐渐变浅,扇三角洲范围逐渐变大。在地震剖面上可见到底超的楔形前积反射结构。在 SQ1 中主要反映了扇三角洲平原的沉积环境;SQ2 中泥岩颜色向上变浅,砂泥比增大,测井曲线为稍尖锐低幅锯齿状,准层序表现为进积式序列特征(如图 4)。

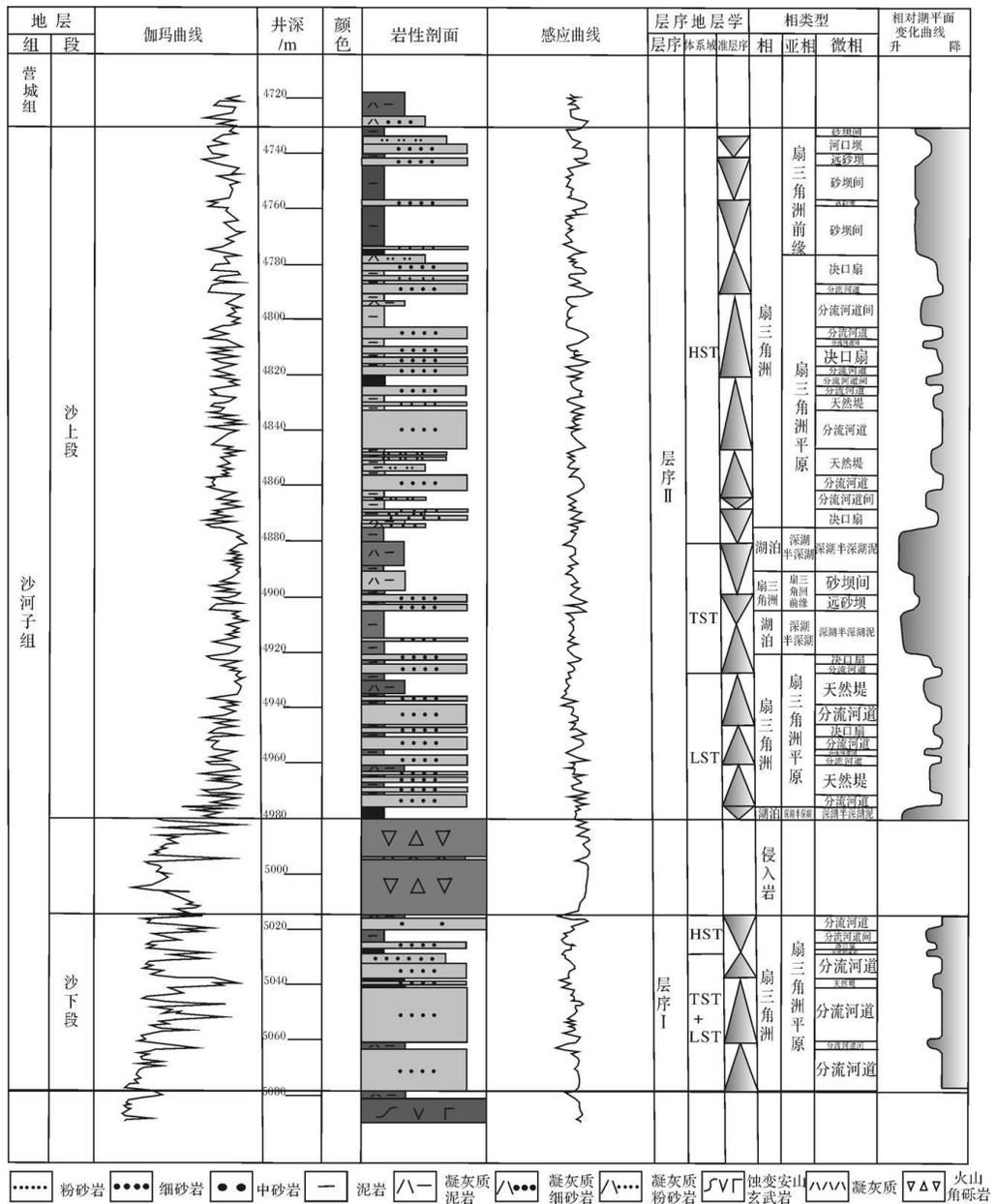


图 4 Psh1井沙河子组层序地层学分析图

Fig 4 The sequence stratigraphic analysis of Shahezi Formation of Well Psh1

3 沉积体系类型及分布

本文主要根据录井、测井资料结合地震相, 确定该区层序 iv 和层序 ④ 均发育有扇三角洲、湖泊相沉积体系类型。

3.1 扇三角洲沉积

扇三角洲沉积是古龙—常家围子断陷地区沙河子组比较典型、分布较广泛的沉积相类型, 主要发育在层序 iv 和 ④ 的低位体系域和高位体系域, 层序 iv 时期受古基底隆起影响沿缺失区主要呈窄条带状分布, 小部分呈裙带状分布 (如图 6a), 层序 ④ 时期扇三角洲沉积区面积显著增大, 沿缺失区范围已变宽呈裙带

状分布 (如图 6b)。

3.1.1 岩性与测井特征

扇三角洲主要发育有扇三角洲平原和扇三角洲前缘亚相。扇三角洲平原和扇三角洲前缘主要由灰白色中砂岩、细砂岩、粉砂岩、凝灰质细砂岩、凝灰质粉砂岩、灰黑色凝灰质泥岩及灰色、黑色泥岩组成。扇三角洲前缘亚相总体呈由下向上由细变粗的反粒序沉积特征, 电测曲线呈齿状、漏斗形; 扇三角洲平原亚相总体呈正粒序沉积特征, 电测曲线呈指状、圣诞树形 (如图 4)。

3.1.2 地震反射特征

扇三角洲地震反射最显著的特征是前积地震反

射,与其上覆和下伏的平坦同相轴成角度或切线相交。本区层序 iv 和 ⑤ 中可见到表现为扇三角洲沉积的楔状前积中强振幅中高连续反射结构地震相,楔状杂乱中弱振幅中低连续反射结构在层序 iv 和 ⑤ 中比较常见(如图 5a、b)。

3.2 湖泊沉积

湖泊沉积是该区沙河子组沉积时期广泛分布的沉积相类型,发育在层序 iv 和 ⑤ 的各个体系域中均有不同程度的发育,层序 iv 时期受古地貌影响呈宽条带状分布(如图 6a),层序 ⑤ 时期在全区范围已变宽连片分布(如图 6b)。

3.2.1 岩性与测井特征

湖泊沉积主要厚层灰色、灰黑色泥岩,灰色、灰白色凝灰质泥岩加薄层细砂岩组成,电测曲线呈齿状、低平特征(如图 4)。

3.2.2 地震反射特征

本区层序 iv 和 ⑤ 中湖泊相在地震上主要表现为席状亚平行中弱振幅中高连续反射结构地震相(如图 5c)。

4 沙河子组层序地层模式

不同的古地形和盆地结构决定层序的结构类

型^[9]。根据古龙—常家围子断陷地震剖面所显示的沙河子组不同时期不同部位沉积相发育的特点(如图 6a、b),总结出如下的层序模式(如图 7)。

4.1 多断阶层序模式

在沙河子地层发育时期,盆地正处于断陷初期,断层活动强烈,此层序发育模式位于古常断陷的南部地区(如图 8(1))。在层序 iv、⑤ 发育之前,由于断层的强烈活动,形成了多个断阶。在盆地边缘古基底隆起遭受剥蚀,在多次控陷断阶发育了大量近源快速堆积的扇三角洲(如图 5a)。沉积层序则主要发育了扇三角洲和湖泊相。在多个断阶的活动过程中,层序的发育有如下特点:在缓坡区发育低位、水进及高位体系域,主要以湖底扇、扇三角洲、深湖半深相沉积为主,地层上超、下超和顶界面削截明显,易形成岩性油气藏和地层不整合遮挡油气藏。在陡坡带主控陷断阶的下降盘,低位、水进及高位体系域都发育,但低位和水进不好区分,湖底扇和扇三角洲发育,易形成断层遮挡型的构造岩性油气藏。在断阶的上升盘仅发育水进及高位体系域,三角洲前缘相、平原相和浅湖相发育,地层上超和下超现象明显,若上部遮挡条

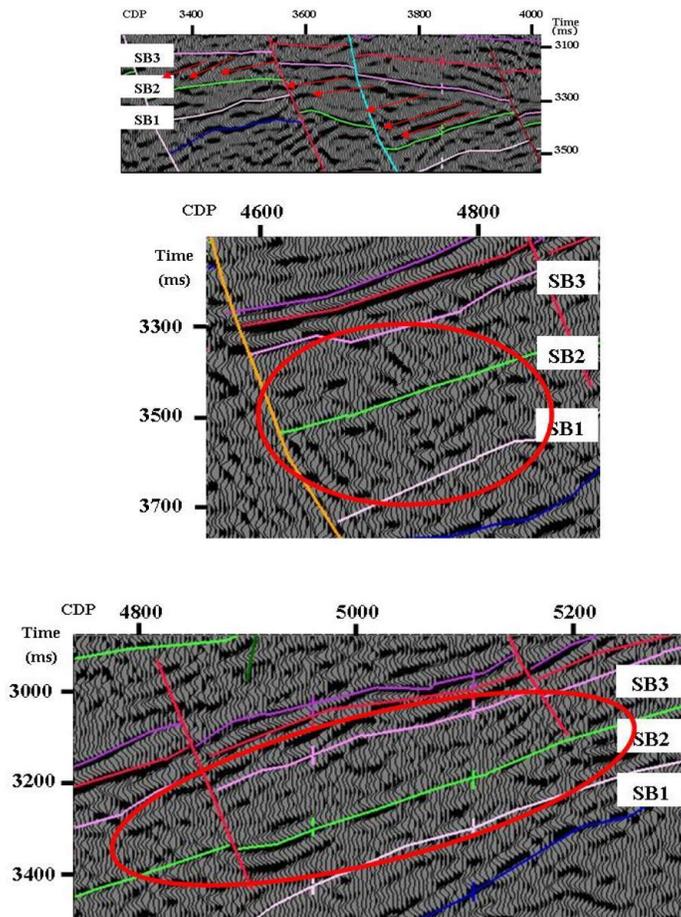


图 5 a 楔状前积中强振幅中高连续地震相; b 楔状杂乱中弱振幅中低连续地震相; c 席状亚平行中弱振幅中高连续地震相

Fig 5 a The seismic facies of edge like prograding middle and high amplitude middle and high consistence

b The seismic facies of edge like chaotic middle and weak amplitude middle and low consistence

c The seismic facies of sheet subparallel middle and weak amplitude middle and high consistence

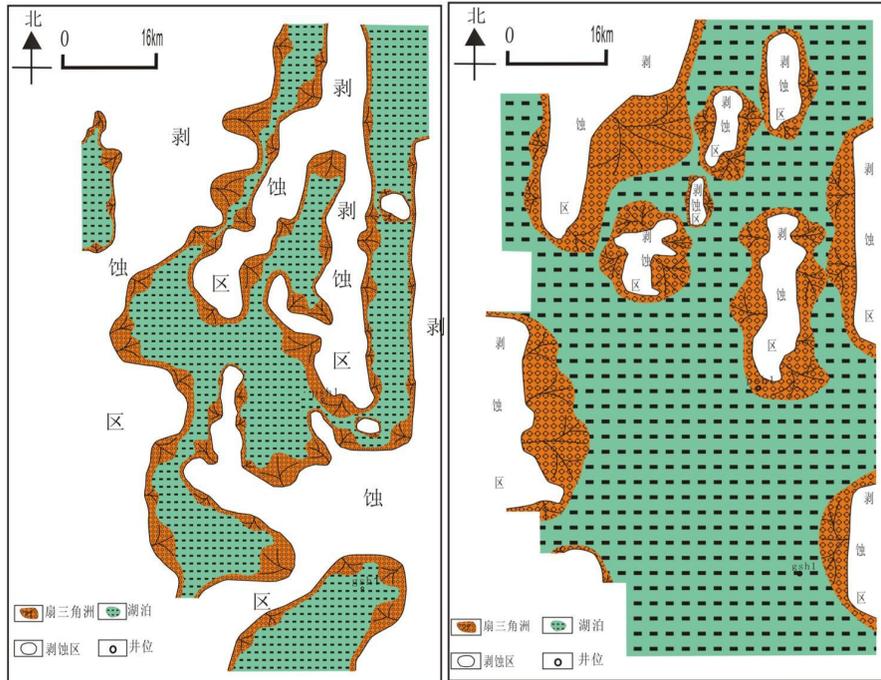


图 6 a 古常断陷层序 iv 时期沉积相; b 古常断陷层序 V 时期沉积相

Fig 6 a The sedimentary facies of sequence iv of Gulong-Changjiawizi fault depression

b The sedimentary facies of sequence V of Gulong-Changjiawizi fault depression

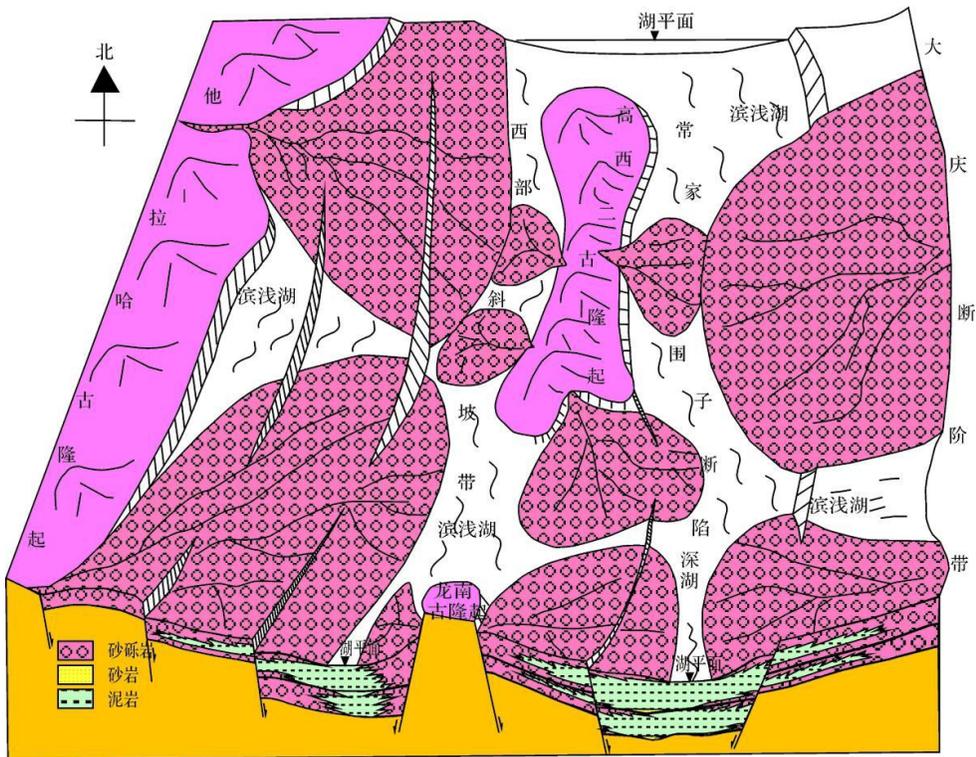


图 7 古—常断陷沙河子组沉积体系模式图

Fig 7 The depositional system model of Shahezi Formation of Gulong-Changjiawizi fault depression

件良好, 易形成构造岩性复合油气藏。

4.2 双箕状不对称断裂层序模式

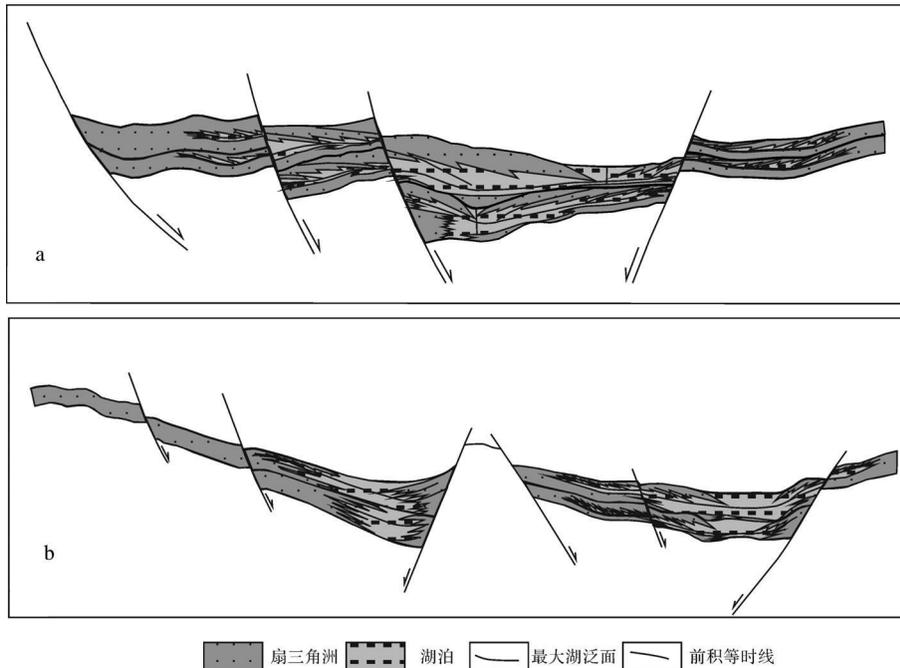


图 8 古一常断陷沙河子组层序地层模式

Fig. 8 The sequence stratigraphic models of Shahezi Formation of Gulong-Changjiav eizi fault depression

此层序发育模式多位于古一常断陷盆地中北部存在古基底隆起区。在层序 iv、⑦发育期, 由于多个盆地古基底隆起的存在, 将古常断陷分割为两个不对称断阶洼槽, 每个断阶洼槽的层序发育特点和成藏特点类似箕状斜坡模式。在缓坡区发育低位、水进及高位体系域, 主要以冲积扇、扇三角洲、湖泊相沉积为主, 地层上超、下超和削截现象明显, 易形成岩性尖灭油气藏和地层不整合遮挡油气藏。在陡坡带, 低位、水进及高位体系域都发育, 湖底扇、冲积扇、扇三角洲和湖泊相都有发育, 但在坡度极陡地带层序 iv 沉积期间, 由于断裂强烈活动, 沉积物快速堆积, 三个体系域划分比较困难, 易形成断层遮挡型的构造岩性油气藏。在高位体系域的顶部, 三角洲前缘相、平原相和浅湖发育, 若上部遮挡条件良好, 易形成地层不整合遮挡型的油气藏 (图 8b)。

5 主要认识

通过上述分析, 取得了以下主要认识:

(1) 在层序地层划分原则和层序界面识别标志的基础上, 综合分析研究区的地震资料结合相关的钻测井等资料, 将古龙一常家围子断陷区沙河子组可划分为两个三级层序, 即 SQ1 和 SQ2 在各层序内对低水位体系域、水进体系域和高水位体系域进行了识别和划分, 并建立了该区沙河子组层序地层格架。

(2) 古龙一常家围子断陷地区沙河子组层序地层特征表现为: SQ1 和 SQ2 在斜坡发育较薄, 仅发育水进和高位域; 在凹陷内发育较厚, 且层序内部体系域发育完整。其中在断陷内部坡度极陡地带 SQ1 低位体系域和水进体系域难以分别; SQ2 内的低位体系域时期水体较浅, 在盆地内部主要发育扇三角洲平原; 水进时期, 水体不断加深, 断陷内部为深湖相, 在斜坡带上主要发育扇三角洲平原前缘和半深湖—深湖沉积; 高水位时期, 水体逐渐变浅, 在斜坡带上主要发育扇三角洲平原、前缘和浅湖相。

(3) 古龙一常家围子断陷主要发育双向多断阶层序模式和双箕状不对称断裂层序模式。在沙河子地层发育时期, 盆地正处于断陷初期, 断层活动强烈, 双向多断阶层序发育模式位于古常断陷的南部地区; 双箕状不对称断裂层序发育模式多位于古一常断陷盆地中北部古基底隆起区。在层序 iv、⑦发育期, 由于多个盆地古基底隆起的存在, 将古常断陷分割为两个不对称断阶洼槽, 每个断阶洼槽的层序发育特点和成藏特点类似箕状斜坡模式。

参考文献 (References)

- 1 马安来, 李贤庆, 熊波, 等. 松辽盆地齐家古龙地区烃源岩有机岩石学研究 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 26-28 [Ma Anlai, Li Xianqing, Xiongbo, et al. Organic petrology of the source rocks in Qijia-Gulong region, Songliao basin [J]. Petroleum Exploration and De-

- velopment 2002, 29(4): 26-28]
- 2 付广, 王有功, 苏玉平. 用超压释放法确定烃源岩排烃期次——以古龙凹陷青山口组为例 [J]. 新疆石油地质, 2007, 28(5): 538-541 [Fu Guang, Wang Yougong, Su Yuying. The expulsion hydrocarbon periods of source rock by release of overpressure. An example of Qingshankou Formation in Gulong sag [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007, 28(5): 538-541]
 - 3 李如一, 林铁锋. 松辽盆地北部古龙地区葡萄花油层储层特征研究 [J]. 大庆石油勘探与开发, 2008, 27(3): 32-35. [Li Ruyi, Lin Tiefeng. Reservoir characteristics of Putaohua reservoir in Gulong area in northern Songliao Basin [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2008, 27(3): 32-35]
 - 4 张顺, 安广柱, 赵波, 等. 松辽盆地古龙凹陷嫩江组二—三段层序地层及油气藏分布规律 [J]. 石油学报, 2006, 27(增刊): 38-41 [Zhang Shun, An Guangzhu, Zhao Bo, et al. Sequence stratigraphy and distribution law of oil-gas reservoirs of the 2nd and 3rd members of Nenjiang Formation in Gulong Sag, Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(Supplement): 38-41]
 - 5 侯启军. 松辽盆地古龙地区天然气勘探方向 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 38-41 [Hou Qijun. Natural gas play targets in Gulong area, Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5): 38-41]
 - 6 王玉华, 雷茂盛, 雷裕红, 等. 高精度重磁资料在松辽盆地古龙断陷火山岩气藏勘探中的应用 [J]. 石油地球物理勘探, 2008, 43(1): 107-112 [Wang Yuhua, Lei Maosheng, Lei Yuhong, et al. Application of high-precision gravity and magnetic data in exploration of volcanic gas reservoir in Gulong fault depression of Songliao Basin [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2008, 43(1): 107-112]
 - 7 Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy [J]. AAPG Studies in Geology, 1987, 27(1): 1-10
 - 8 顾家裕, 陆相湖盆层序地层学模式 [J]. 石油勘探与开发, 1995, 22(4): 12-17 [Gu Jiayu. Sequence stratigraphic models of the tenuous lacustrine basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1995, 22(4): 12-17]
 - 9 纪友亮, 杜金虎, 赵贤正, 等. 冀中拗陷饶阳凹陷古近系层序地层学及模式演化 [J]. 古地理学报, 2006, 8(3): 397-406 [Ji Youliang, Du Jinhua, Zhao Xianzheng, et al. Sequence stratigraphy and evolution models of the Paleogene in Raoyang Sag, Jizhong Depression [J]. Journal of Paleogeography, 2006, 8(3): 397-406]

The Establishment of Sequence Stratigraphic Framework and Its Models of Deep Formation in Northern Songliao Basin: Taking the Shahezi Formation of Gulong-Changjiaweizi Fault Depression as an example

PAN Chun-fu JI You-liang

(China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249)

Abstract The deep exploration of Northern Songliao Basin has got a series of breakthrough such as Xujiawezhi and so on. For the recognition of deep geology of Gulong-Changjiaweizi Fault Depression is lower, it is still at the early stage of deep exploration. The Shahezi Formation of the fault depression of Gulong-Changjiaweizi was filled by a suite of fan delta and lacustrine deposits, is the important reservoir bed and source bed. We utilized multipurpose the data of logging, drilling, seismic and so on, applied the theory of sequence stratigraphy to continental fault depression of lake basin deposit, identified the top and bottom surfaces of the third-order sequences of Shahezi Formation, divided it into 2 the third-order sequences, and distinguished from highland systems tract, transgression systems tracts, lowstand systems tracts, established the high precision isochronous sequence stratigraphic framework. Based on the geologic configuration of Shahezi Formation and the tectonic background of the strata development, author established the sequence stratigraphic modes of Shahezi Formation: two-way multistage fault terrace sequence stratigraphic model, double half-graben asymmetric sequence stratigraphic model.

Key words sequence, systems tract, sequence stratigraphic framework, sequence stratigraphic model