

梨树断陷苏家屯地区营城组沉积特征

杨特波^{1,2},王宏语²,樊太亮²,刘振华³,郝悦娟²,魏源¹,杨帆²

(1. 中国石油长庆油田分公司,陕西西安710021; 2. 中国地质大学能源学院,北京100083;

3. 河北工程大学资源学院,河北邯郸056038)

摘要:松辽盆地梨树断陷苏家屯地区营城组具有形成油气藏的良好条件,且研究程度低。为了研究其沉积微相与砂体储集条件,以指明有利储集相带,应用沉积学与高分辨率层序地层学理论方法,通过分析岩心、录井、测井、地震资料、古地貌特征,认为研究区主要发育湖泊相和辫状河三角洲相,并进一步识别出了分流河道、水下分流河道、水下分流间湾、河口坝、远砂坝、席状砂、泥坪、滩坝等8种沉积微相,并描述了主要沉积微相砂体特征。同时,将营城组划分为4段、6个四级层序和7个砂组,阐明了各砂组沉积相分布特征和时空演化规律。研究认为,营一段末期(SG2)湖侵至最大湖泛面,沉积于其上的SG3砂组进积体系是最有利的油气储集层。沉积微相平面展布与储层分析表明,该区存在两支主辫状水道,分流河道砂体叠置且储层物性好,其与后期鼻状构造相组合是构造-岩性圈闭与岩性圈闭发育的最有利区。

关键词:沉积特征;岩性圈闭;营城组;苏家屯地区;梨树断陷;松辽盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sedimentary characteristics of Yingcheng Formation in Sujiatun area, Lishu Rift in Songliao Basin

Yang Tebo^{1,2}, Wang Hongyu², Fan Tailiang², Liu Zhenhua³, Hao Yuejuan², Wei Yuan¹, Yang Fan²

(1. Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021, China; 2. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. School of Resources, Hebei Engineering University, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: The Yingcheng Formation in Sujiatun area, Lishu Rift in Songliao Basin, has good conditions for the formation of petroleum reservoirs. However, the level of research is low in this area. The paper is to identify favorable reservoir facies belt through study of sedimentary microfacies and sandstone reservoir conditions. The theories of sedimentology and high-resolution sequence stratigraphy were applied and the cores, mud logging, well logging, seismic data and palaeogeomorphology data were integrated. The study revealed that lacustrine and braided river delta sedimentary facies are predominant in the study area. Furthermore, eight sedimentary microfacies were identified, including distributary channel, underwater distributary channel, underwater interdistributary, mouth bar, distal bar, sheet-like sand, mudflats and bank bars. And the main characteristics of sandstones of sedimentary microfacies are described. The Yingcheng Formation was divided into 4 Members, 6 fourth-order sequences and 7 sand groups. The sedimentary facies distribution and their temporal and spatial evolution of each sand group (SG) were discussed. The transgressive surface to maximum lake flooding surface occurred at the end of deposition of the Ying-1 Member (SG2), and the overlying SG3 is the most favorable reservoir. Analyses of plain distribution of sedimentary facies and reservoir reveal two main braided channels with good stacked distributary channel sand bodies and reservoir properties. The main braided channels in combination with late nose structure are the most favorable areas for the development of structural-lithologic traps and lithology traps.

Key words: sedimentary characteristics, lithologic trap, Yingcheng Formation, Sujiatun area, Lishu Rift, Songliao Basin

近年来,围绕梨树断陷中央构造带、东部斜坡带和北部斜坡带中东部等地区探明了众多油气田(图1),油气勘探成果丰硕;而对于其北部斜坡带西部苏家屯地区的勘探研究尚浅。自皮家气田的发现、L2井与SW33X井(2011年)在营城组获得重大油气突破之

后,苏家屯地区营城组的勘探研究突显其重要意义。沙河子组—营城组是梨树断陷主要的烃源岩地层^[1-2];同时,研究区分布于沙河子组—营城组的断层活动于烃源岩成熟生烃之前^[3-4],烃源岩生烃期,断层不具有垂向输导作用,有利于侧向封堵成藏^[4];并且,

收稿日期:2012-06-12;修订日期:2013-04-23。

第一作者简介:杨特波(1987—),男,硕士研究生,沉积、层序地层学与隐蔽油气藏勘探。E-mail:296126235@qq.com。

基金项目:国家重大科技专项(2011ZX05009-02)。

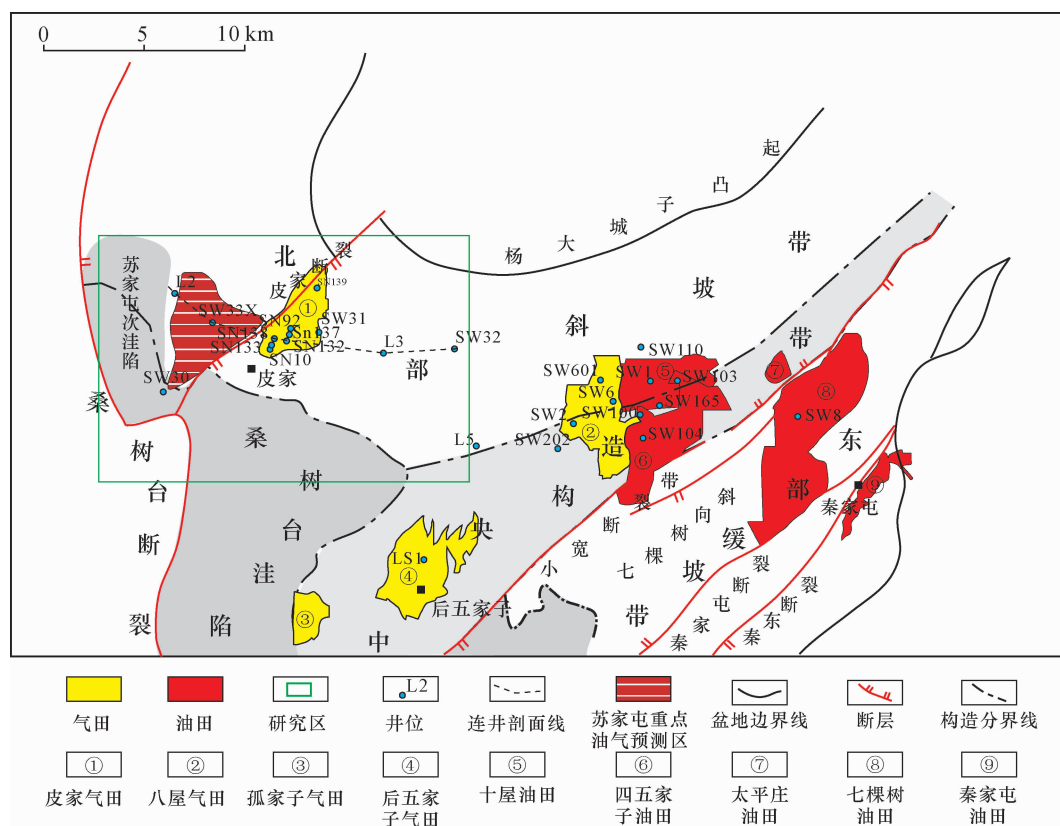


图1 梨树断陷油气田分布与苏家屯地区构造位置

Fig. 1 Location of Sujiatun area and oil-gas field distribution in the Lishu Rift

由构造演化可知,苏家屯-皮家地区沙河子组-营城组等深部油气藏受嫩江末期及后期构造运动影响微弱,原生油气藏保存条件良好^[5-6]。所以,营城组具有形成自生自储原生油气藏以及地层岩性等隐蔽油气藏的良好条件。因而,对苏家屯地区的营城组沉积相展布及演化特征的研究对该区深部营城组寻找大油气田具有非常重要的意义。

1 地质概况

梨树断陷位于松辽盆地东南隆起区,为断坳叠置型复合盆地,面积近 2 300 km²,基底最大埋深愈万米^[7]。盆地下部是受西边界弧形断裂(桑树台大断裂)所控制的总体为西断东超的箕状断陷,发育上侏罗统火石岭组(J_3h)、下白垩统沙河子组(K_1sh)、营城组(K_1yc)和登娄库组(K_1d);上部为统一的坳陷地层沉积,发育中白垩统泉头组(K_2q)、青山口组(K_2qn)、姚家组(K_2y)、嫩江组(K_2n)。对于下部断陷期,又分为初始裂陷期——火石岭组(J_3h)、快速裂陷期——沙河子组(K_1sh)与营城组(K_1yc)、裂陷萎缩期——登娄库组(K_1d)^[4]。其中快速裂陷期沉积了梨树断陷主要的烃源岩层系地层。

苏家屯地区位于梨树断陷北部斜坡区西部(图

1),其营城组沉积期地貌为一个北高南低并向东南桑树台洼陷和西南苏家屯次洼陷倾覆的斜坡;区内发育皮家同沉积走滑断裂;地层从 J_3-K_2 发育齐全。研究区共经过 4 次构造运动即火石岭组沉积末期、营城组沉积末期、登娄库组沉积末期、嫩家组沉积末期构造运动改造。其中,营城组沉积末期、登娄库组沉积末期构造运动对地层展布改造强烈,褶皱幅度较大、断裂发育^[6]。并且,营城组沉积末期构造运动对营城组沉积末期地层展布和沉积相的发育及演化特征具有重要的意义。

营城组是研究区最重要的烃源岩层和深部油气储集层。营城组沉积期梨树断陷沉降速率较大,达到 180~370 m/Ma,物源供给相对不足,梨树断陷整体上形成一个欠补偿的深湖、半深湖沉积环境^[8]。然而,苏家屯地区地处断陷北部的上倾斜坡上,是主要的物源过路区,深湖-半深湖相泥质岩沉积厚度有限,主要发育为滨浅湖与辫状河三角洲沉积体系。另外,苏家屯-皮家地区南部由于位于构造斜坡较陡部位,三角洲沉积体系向南一直延续至深洼陷区^[9],三角洲相砂体连续、叠片发育。

2 沉积微相类型识别

研究区营城组砂岩主要以石英长石砂岩和岩屑长

石砂岩为主,且多为细砂到粉砂岩,仅在坡上靠近物源的SN139井区岩心中发现含砾细砂岩和粗砂岩。砂岩中长石、岩屑含量高,成分成熟度中等,分选中等-较差,磨圆一般,总体上具有快速堆积的特征。经薄片镜下观察,碎屑颗粒中石英含量为40.4%,长石含量为38.5%,岩屑含量为21.1%。填隙物主要是泥质和方解石等碳酸盐矿物^[10]。营城组下部为大套的深-浅湖相泥岩,泥岩颜色以灰黑色、黑色为主,为本区最主要烃源岩;向上逐渐变为灰绿色、灰色泥岩,部分井区出现棕红色泥岩。在营城组中、上部,发育多套分流水道滞留沉积的含砾细砂岩,其中普遍含有水道冲刷带起的泥砾。滞留沉积砂体向上迅速变细,单层厚度薄,一般小于2~3 m。反映沉积期能量较强,砂体沉积速度快,且与稳定期泥岩层快速交替。

根据研究区岩心特征、录井资料和测井曲线特征、单井岩相组合特征的分析,发现研究区主要发育湖泊相和辫状河三角洲相,并进一步识别出分流河道、水下分流河道、水下分流间湾、河口坝、远砂坝、席状砂、泥坪、滩坝等8种沉积微相。主要沉积微相的识别标志如表1。

3 层序划分与沉积相特征及演化

本文采用以基准面为参照面的高分辨率层序地层分析方法^[11-14],通过沉积作用转换面的识别^[15-17],将研究区营城组自下而上划分为SQ5和SQ6等2个三级层序,6个四级层序沉积旋回。以2个四级短期半旋回组合为一个砂组,水泛泥岩为界,共划分为7个砂组;以最大水泛面和主要水泛面为界自下而上分为4段(图2)。在单井高频层序划分基础上,通过选取对标准特征井(SW31井)的沉积相和沉积微相特征分析,对营城组内部的沉积相纵向演化进行研究。并根据高分辨率层序地层的对比原则,开展骨干剖面钻井的短期旋回对比和沉积微相分析及全区沉积微相平面分布研究。

研究指出,营城组下部营一段以退积-加积为主,广泛发育湖泊相及其各种微相;从营二段开始,以进积为主,辫状河三角洲前缘相广泛发育,并以水下分流河道微相和分流间湾微相为主,河口坝也有发育,河道砂体厚度薄,多为3~5 m,交替频繁,垂向组合呈多期河道砂体叠置。营三段以加积为主,营四段以加积-退积为主。营一段最大水泛之后,在营二段初期的测井曲线SP和GR上出现明显的低值突变,表现为明显的“台阶”,这是营二段初期大面积湖退,砂体进积在湖相泥岩之上的岩性突变面的反映,如SW31井上

2 910~2 915 m之间的岩性突变冲刷面,这个“台阶”在全区可以对比。

对连井沉积相剖面图的分析可知(图3),苏家屯-皮家地区在横向上地层和砂组主要表现为中间地区(SW33X井区和SN132井区两支主河道)厚、两边地区(L2井区和SW32井区)薄;自营二段向上,中间地区主要发育水下分流河道微相,表现为主河道叠置地区;而两边地区多发育为河口坝、远砂坝和湖相泥沉积,表现为边缘相。沉积相自下而上演化特征为:营一段由南向北总体上大范围湖侵,发育了两套浅湖、半深湖泥岩沉积和期间小范围湖退沉积的三角洲前缘外扇沉积,且以外扇远砂坝和滩坝微相为主,相当于SG1-SG2砂组;营一段末期湖侵范围达到最大。营二段早期开始出现大面积的湖退进积体系,三角洲前缘相带由此在北部斜坡带广泛发育,以水下分流河道和分流间湾微相为主,相当于SG3砂组。营二段后期无大范围的湖侵和湖退,只是高频振荡,前缘相与湖相在北坡交替沉积,前缘相以水下分流河道微相、分流间湾和河口坝微相为主,相当于SG4砂组。在营三段中后期出现部分辫状河三角洲平原沉积,以分流河道微相为主,相当于SG5砂组。之后,由于营城组沉积末期构造运动使研究区北部抬升,营四段开始出现沉积体系向湖盆内快速推进,沉积体系北部被大范围快速剥蚀,大面积平原相带被剥蚀(SG6和SG7砂组),主要发育水下分流河道、分流间湾微相和残留的分流河道微相砂体。

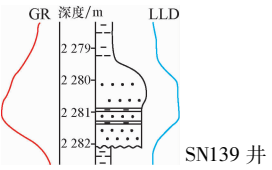
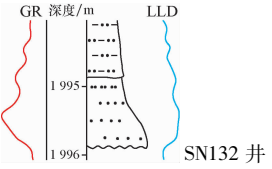
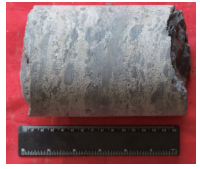
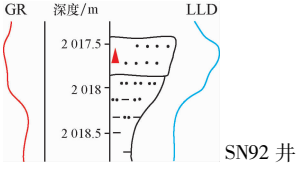
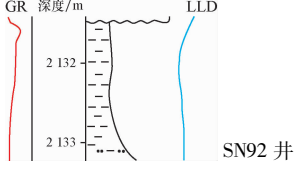
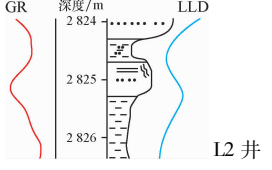
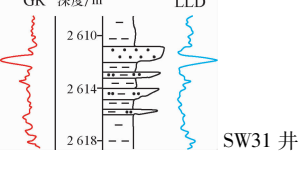
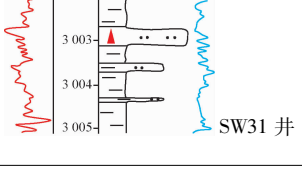
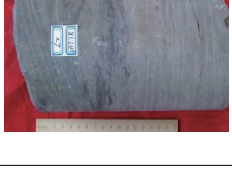
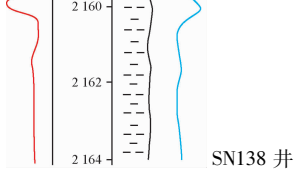
4 沉积微相平面展布与有利储集相带

研究区营二段SG3砂组为营城组初次大规模的湖退进积沉积体系,砂体发育厚度大,坡上大面积分布水下分流河道微相,是营城组砂体展布面积最大和厚度最厚的砂组;且其沉积于营一段大套烃源岩之上,是最有利的油气储集层。根据SG3砂组在各个单井沉积微相和连井沉积微相发育特征,并使用属性聚类分析剔除断层影响之后结合平面地震属性图^[18-19],勾画出了沉积微相平面展布(图4)。

砂体沉积微相特征从微观上控制了砂体的成分、粘土矿物特征、孔喉渗透率变化^[20],砂体的成分、粘土矿物特征又在一定程度上控制着储层的成岩作用;成岩作用也反过来对孔喉渗透率有影响^[21-22]。这些因素共同控制了苏家屯-皮家地区油气聚集的有利储集相带^[23]。首先,研究区营城组埋藏深,经过了压实、胶结、交代和溶解作用^[24]。由于其储层的成分成熟度和结构成熟度较低,机械压实作用使得颗粒间的原生孔隙极度减小或丧失。其次,储层砂岩中长石、岩屑和碳

表1 苏家屯-皮家地区营城组沉积微相类型及识别特征

Table 1 Types and characteristics of sedimentary microfacies in Yingcheng Formation in Sujiatun-Pijia area

沉积微相	沉积及构造特征	测井曲线特征	岩心素描与测井识别	岩心照片
分流水道	中、细砂岩,含砾及泥砾,厚度较大,向上正韵律;灰色或紫红色泥岩,具底部冲刷面,交错层理、递变层理	钟形、箱形	 SN139 井	
水下分流河道	自下而上为灰色含泥砾中砂岩、细砂岩过渡为粉砂岩,底部常发育冲刷面,交错层理	钟形	 SN132 井	
河口坝	中厚层细砂岩、薄层粉砂岩,分选性较好,交错层理、波状层理,逆粒序	漏斗形	 SN92 井	
水下分流间湾	泥质粉砂岩、泥岩,水平层理,含植物碎屑	低平或微齿状	 SN92 井	
远砂坝	薄层粉砂岩、泥质粉砂岩、水平层理、波状层理,包卷构造	漏斗形、指形	 L2 井	
前缘席状砂	薄层细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩,分选较好,水平层理、韵律纹层	薄层指状、齿状	 SW31 井	
滩坝	中-厚层泥岩夹薄层细砂岩、粉砂岩,水平层理、波状层理	尖峰状、指形	 SW31 井	
泥坪	厚层泥岩偶夹薄层粉砂岩,水平层理,见裂缝充填方解石	低幅平直	 SN138 井	

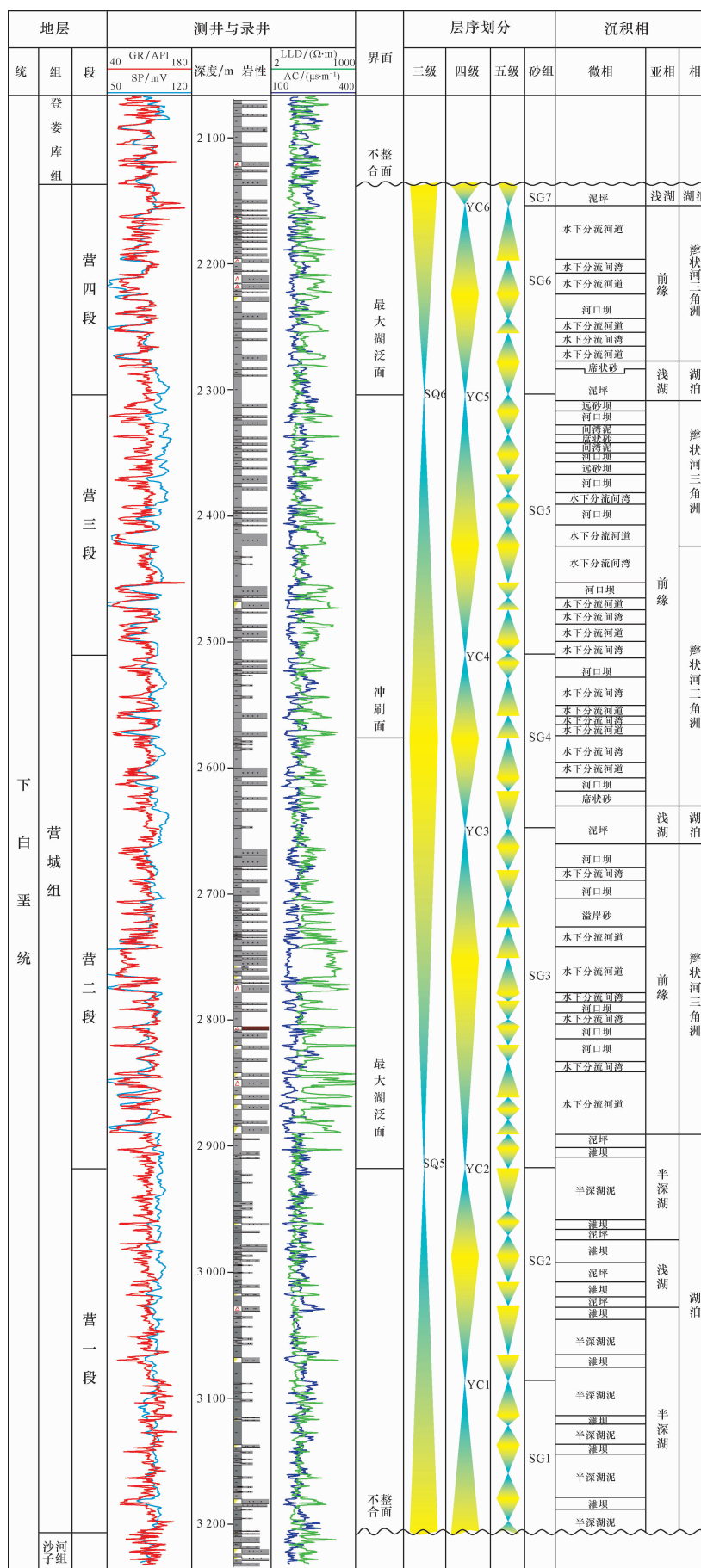


图2 苏家屯地区 SW31 井营城组高频层序与沉积相分析

Fig. 2 Analysis of high-frequency sequences and sedimentary facies of Yingcheng Formation in Well SW31 in Sujiatun area

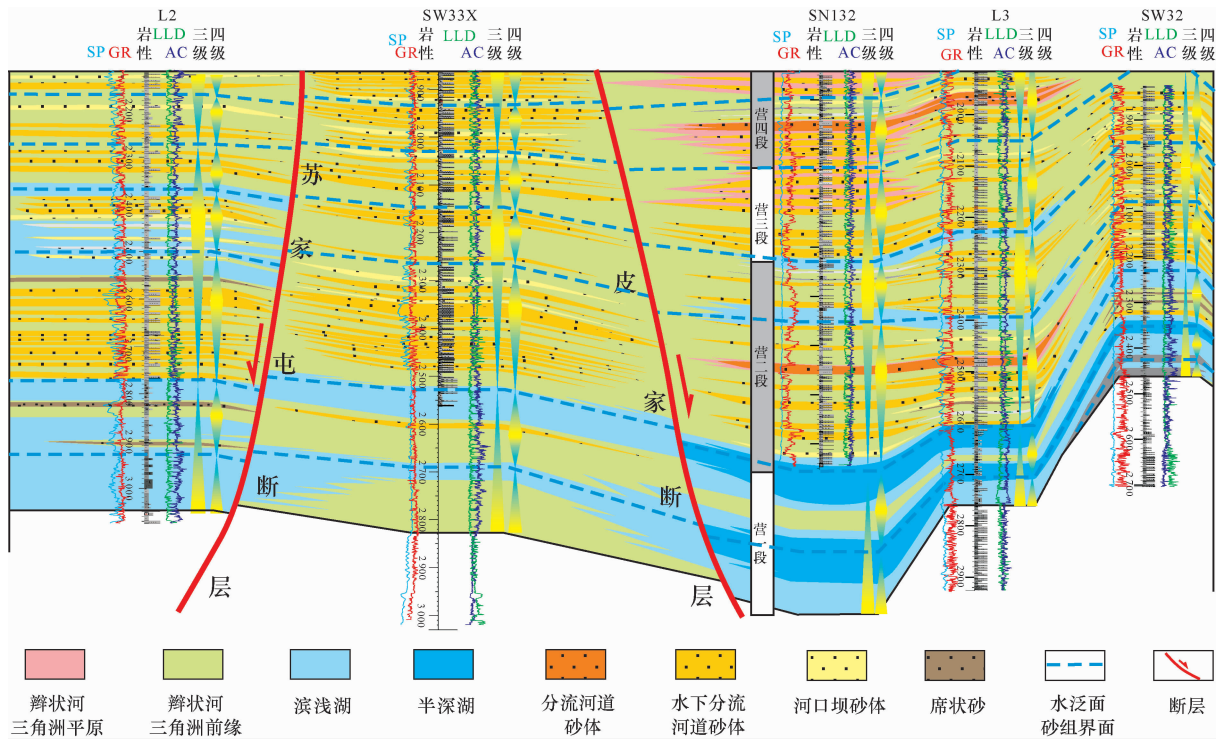


图3 苏家屯地区 L2—SW33X—SN132—L3—SW32 连井高频层序与沉积相对比剖面
Fig. 3 Correlation profile of high-frequency sequences and sedimentary facies across Well L2 - SW33X - SN132 - L3 - SW32 in Sujiatun area

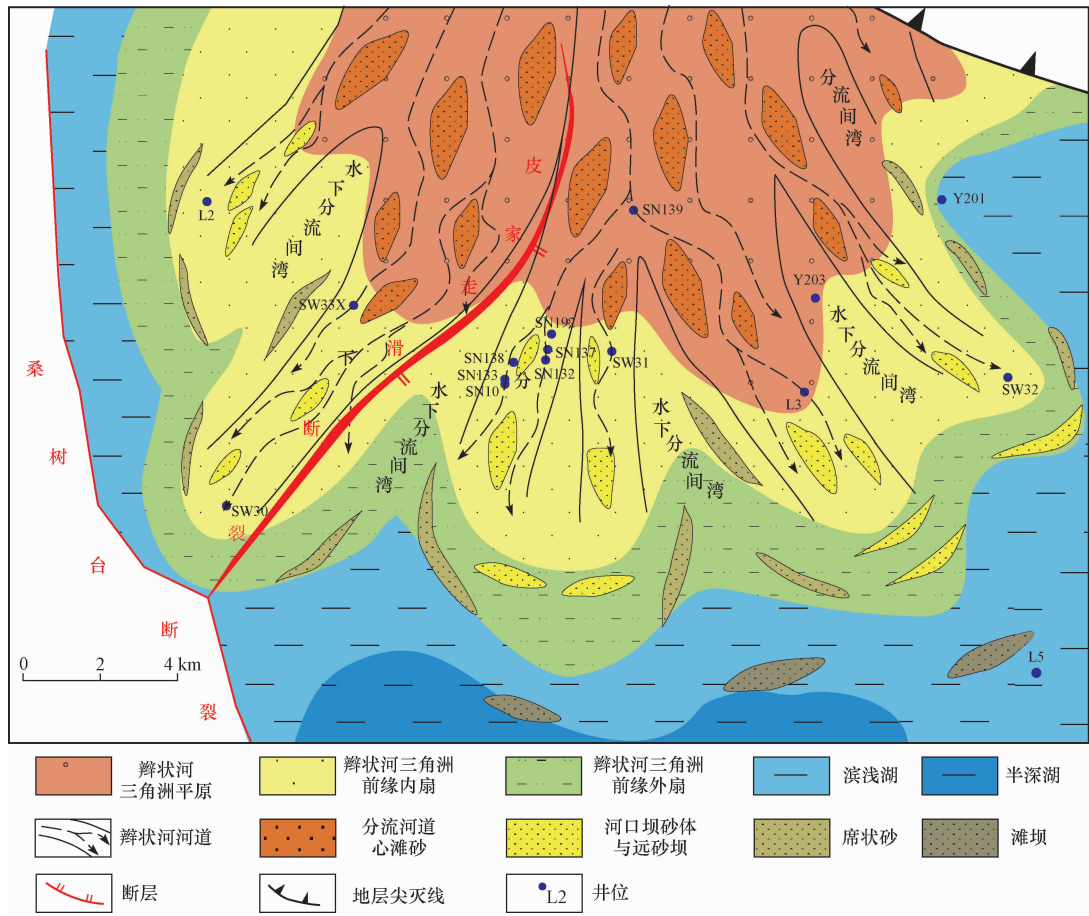


图4 苏家屯地区 SG3 砂组沉积微相展布
Fig. 4 Distribution of sedimentary microfacies of SG3 sand group in Sujiatun area

酸盐胶结物等不稳定可溶组分多,溶蚀作用溶解砂岩中的不稳定组分,可形成大量次生孔隙,改善储层孔隙及喉道的大小和连通性^[25-26]。营城组平均孔隙度为8.2%,平均渗透率为 $0.24 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,总体上属于低孔、低渗储层^[26]。所以,营城组砂岩中溶解作用形成的次生孔隙发育带决定了其有利储集相带的发育。因此,沉积微相通过控制砂岩成分,进而影响成岩作用次生孔隙的发育,从而控制有利储集相带。

辫状河三角洲前缘水下分流河道与河口坝微相等以细砂岩为主,石英、长石等刚性颗粒含量高,机械压实后为点接触或线接触,保存有部分原生孔隙;且距离生烃区近,后期油气注入储层后占据孔隙空间,改变了孔隙介质的地球化学环境,能够使胶结作用和矿物的形成、转化受到抑制甚至停止^[27]。另外,原油中携带有一定数量的有机酸,有机酸进入储层后溶解于孔隙水中使孔隙水的pH值降低,促进了长石和岩屑的溶解以及次生孔隙的形成^[25-27]。因此,前缘水下分流河道、河口坝微相发育区为研究区最有利储层^[28-29]。另外,研究区在营城组沉积末期与登娄库组沉积末期的两次构造运动中形成了多处构造鼻^[6],鼻状构造背景配合先期水下分流河道微相砂体在上倾部位容易形成构造-岩性圈闭。辫状河三角洲平原分流河道微相以含砾细砂岩和粗砂岩为主,配合后期鼻状构造背景,在砂体上倾部位同样可形成构造-岩性圈闭^[29]。但是由于分流河道砂体泥质和塑性岩屑含量高,压实后充填堵塞孔隙,原油及有机酸进入困难,长石和岩屑的溶解有限,次生孔隙发育有限,所以储层性能一般。前缘远砂坝、席状砂和滨浅湖滩坝微相以粉砂岩、粉砂质泥岩为主,这些部位的砂岩常常与湖相泥岩直接接触,泥岩中富含 HCO_3^- 的压实水能轻易地运移进去并形成碳酸盐致密胶结层^[30],砂岩绝大多数孔隙和喉道被碳酸盐胶结物或假杂基化的塑性颗粒充填(如SN138和L2等井下部岩心泥岩裂缝中方解石充填,砂岩薄片铁方解石胶结),物性很差,通常为致密储层,储集性最差;但是因为此类砂体往往被相邻泥岩生油层包围,从而易形成砂岩透镜型圈闭,再配合后期构造裂缝的改造容易含气,具有一定的前景。

5 结论

1) 研究区营城组可化分为4段、6个四级层序和7个砂组。自下而上的沉积相演化特征为:营一段主要为湖侵过程,以退积-加积为主,发育滨浅湖和半深湖相;营二段大面积湖退,以进积为主,发育大范围三角洲前缘亚相;营三段发育较小的水进水退交替旋回,以加积为主,发育三角洲前缘亚相、滨浅湖相和部分平

原亚相;营四段以加积-退积为主,发育前缘亚相和平原亚相。

2) 沉积微相展布特征表明:主要有两支主辫状水道——皮家断裂以西SW33X井区和断裂以东SN139井区,向水下延伸分为多支辫状水下分流河道入湖;以远砂坝和席状砂微相的分布作为辫状河三角洲的延伸范围边界。

3) 沉积微相影响成岩作用并控制有利储集相带。前缘水下分流河道和河口坝微相发育区为最有利储集相带,三角洲平原分流河道微相发育区次之;配合后期鼻状构造,有利于形成构造-岩性圈闭。远砂坝、席状砂和滨浅湖滩坝微相储集性能较差,亦可形成砂岩透镜体圈闭。

参 考 文 献

- [1] 喻顺,吕修祥,柳广弟,等. 松辽盆地十屋断陷天然气来源及成藏分析[J]. 地质科技情报,2011,30(1):90-95.
Yu Shun, Lü Xiuxiang, Liu Guangdi, et al. Natural gas resource and accumulation in the Shiwu Fault Depression, Songliao Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 2011, 30(1): 90-95.
- [2] 曹鉴华,姜传金,赵福海,等. 松辽盆地北部徐家围子断陷丰乐地区深层营城组有利火山岩储集体预测[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(4): 520-525.
Cao Jianhua, Jiang Chuanjin, Zhao Fuhai, et al. Volcanic reservoir prediction of Yingcheng Formation in Fengle area, Xujiaweizi fault depression, northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(4): 520-525.
- [3] 高东. 十屋断陷含油气系统及勘探潜力分析[J]. 石油物探, 2004, 43(2): 196-201.
Gao Dong. Petroleum system in Shiwu Faulted Sag and analysis of exploration prospect[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2004, 43(2): 196-201.
- [4] 王德海,郭峰,任国选,等. 松辽盆地东南隆起区断层与油气运移及成藏[J]. 石油实验地质, 2006, 28(4): 1-5.
Wang Dehai, Guo Feng, Ren Guoxuan, et al. The relationship between faults and oil-gas migration and reservoiring in the southeast uplift of the Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(4): 1-5.
- [5] 赵勇刚,张树林. 松南十屋断陷深层油气成藏条件与模式研究[J]. 海洋石油, 2009, 29(1): 21-25.
Zhao Yonggang, Zhang Shulin. Study on petroleum accumulation of deep zone in Shiwu Fault Depression, south of Songliao Basin[J]. Offshore Oil, 2009, 29(1): 21-25.
- [6] 李晓东,刘福春,王德海,等. 十屋断陷皮家地区油气成藏与分布规律研究[J]. 录井技术, 2001, 12(3): 35-40.
Li Xiaodong, Liu Fuchun, Wang Dehai, et al. The research for hydrocarbon reservoir & its distribution regulation of Shiwu Rift in Pijia Area[J]. Logging Technology, 2001, 12(3): 35-40.
- [7] 赵德力,肖学,魏分粮,等. 十屋断陷北部营城组油气成藏主控因素探讨[J]. 石油天然气学报, 2009, 31(4): 45-48.
Zhao Deli, Xiao Xue, Wei Fenliang, et al. On the main controlling factors of hydrocarbon accumulation in Yingcheng Formation in the North of Shiwu Fault Depression[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 31(4): 45-48.
- [8] 张玉明. 松辽盆地南部十屋断陷北部深层油气成藏条件[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(3): 53-56.

- Zhang Yuming. Conditions of hydrocarbon accumulation of deep reservoirs in the North of Shiwu Fault Depression in the South of Songliao Basin [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2006, 28 (3): 53–56.
- [9] Patranabis-Deb S, Chaudhuri A K. A retreating fan-delta system in the Neoproterozoic Chattisgarh rift basin, central India; major controls on its evolution [J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91 (6): 785–808.
- [10] 董福湘. 松辽盆地十屋断陷沙河子组—营城组扇三角洲和辫状河三角洲发育的控制因素研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2004.
- Dong Fuxiang. Controlling factors of fan-deltaic and braided river-deltaic development in the Shahezi-Yingcheng Formation of Shiwu faulted-basin, Songliao Basin [D]. Changchun: Jilin University, 2004.
- [11] 邓宏文, 王红亮, 李熙喆. 层序地层基准面的识别、对比技术及应用 [J]. *石油与天然气地质*, 1996, 17 (3): 177–184.
- Deng Hongwen, Wang Hongliang, Li Xizhe. Identification and correlation techniques of sequence stratigraphic base-levels and their application [J]. *Oil & Gas Geology*, 1996, 17 (3): 177–184.
- [12] 王红亮, 邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用 [J]. *石油与天然气地质*, 1997, 18 (2): 96–102.
- Wang Hongliang, Deng Hongwen. Application of base-level principle in prediction of lacustrine reservoirs [J]. *Oil & Gas Geology*, 1997, 18 (2): 96–102.
- [13] 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 chrono stratigraphic sequence framework on facies and reservoir scale [J]. *Geoscience*, 2002, 16 (3): 276–281.
- [14] 田世存, 刘国臣, 汤磊, 等. 南苏丹答腊盆地 B 区块层序地层格架及有利成藏带 [J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34 (1): 68–76.
- Tian Shicun, Liu Guochen, Tang Lei, et al. Sequence stratigraphic framework and play fairways in Block B of the South Sumatra Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34 (1): 68–76.
- [15] 王红亮. “转换面”的概念及其层序地层学意义 [J]. *地学前缘*, 2008, 15 (2): 35–42.
- Wang Hongliang. Concept of “Turnaround Surface” and its significance to sequence stratigraphy [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15 (2): 35–42.
- [16] Ritchie B D, Gawthorpe R L, Hardy S. Three dimensional numerical modeling of deltaic depositional sequence 1: influence of the rate and magnitude of sea-level change [J]. *Journal of Sedimentary Reservoir*, 2004, 74: 203–220.
- [17] Ritchie B D, Gawthorpe R L, Hardy S. Three dimensional numerical modeling of deltaic depositional sequence 2: influence of local controls [J]. *Journal of Sedimentary Reservoir*, 2004, 74: 221–238.
- [18] 陈方鸿, 王树平, 李志政. 三维可视化地震相分析在沉积相研究中的应用 [J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32 (3): 73–75.
- Chen Fanghong, Wang Shuping, Li Zhizheng. Waveform classification seismic facies analysis in sedimentary facies research [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32 (3): 73–75.
- [19] 王亮, 牛成民, 杨波等. 莱州湾凹陷沙三段含油气系统与有利勘探方向 [J]. *断块油气田*, 2011, 18 (5): 545–548.
- Wang Liang, Niu Chengmin, Yang Bo, et al. Petroleum system and favorable exploration targets of the third member of Shahejie Formation in Laizhouwan Depression [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2011, 18 (5): 545–548.
- [20] 秦敬, 张金亮. 安塞油田杏河地区长 6 油层沉积微相研究 [J]. *西北地质*, 2004, 37 (4): 15–21.
- Qin Jing, Zhang Jinliang. Sedimentary microfacies of Chang-6 reservoir of Yanchang Formation in Xinghe area of Ansai Oilfield [J]. *North Western Geology*, 2004, 37 (4): 15–21.
- [21] 钟大康, 周立建, 姚泾利, 等. 储层岩石学特征对成岩作用及孔隙发育的影响——以鄂尔多斯盆地陇东地区三叠系延长组为例 [J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33 (6): 890–899.
- Zhong Dakang, Zhou Lijian, Yao Jinli, et al. Influences of petrologic features on diagenesis and pore development: an example from the Triassic Yanchang Formation in Longdong area, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33 (6): 890–899.
- [22] 李潍莲, 刘震, 王伟, 等. 镇泾地区延长组八段低渗岩性油藏形成过程动态分析 [J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33 (6): 845–852.
- Li Weilian, Liu Zhen, Wang Wei, et al. Hydrocarbon accumulation process of Chang-8 low-permeability lithological reservoirs in Zhenjing area, Ordos Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33 (6): 845–852.
- [23] 刘双莲, 李浩, 周小鹰. 大牛地气田大 12—大 66 井区沉积微相与储层产能关系 [J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33 (1): 45–49.
- Liu Shuanglian, Li Hao, Zhou Xiaoying. Relationship between sedimentary microfacies and reservoir productivity in Da12–Da66 well-block, Daniudi gas field [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33 (1): 45–49.
- [24] 朱陆忠, 赵秀梅, 王春喜. 十屋断陷成岩作用及储层评价 [J]. *天然气工业*, 2000, 20 (增刊): 30–33.
- Zhu Luzhong, Zhao Xiumei, Wang Chunxi. Diageneses and reservoir evaluation for Shiwu Fault Depression [J]. *Nature Gas Industry* 2000, 20 (S1): 30–33.
- [25] Bloch S, Lander R H, Bonnell L. Anomalous high porosity and permeability in deeply buried sandstone reservoirs: origin and predictability [J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86 (2): 301–328.
- [26] 付兆辉, 秦伟军, 李敏. 渤海湾盆地垦东凸起构造演化及对沉积的控制作用 [J]. *石油地质与工程*, 2011, 25 (4): 7–10.
- Fu Zhaohui, Qing Weijun, Li Min. Tectonic evolution and its controlling effect on sedimentation of the Kandong uplift in Bohai Bay Basin [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2011, 25 (4): 7–10.
- [27] 李艳霞, 刘洪军, 袁东山, 等. 石油充注对储层成岩矿物演化的影响 [J]. *石油与天然气地质*, 2003, 24 (3): 274–280.
- Li Yanxia, Liu Hongjun, Yuan Dongshan, et al. Effect of oil charging on reservoir's diagenetic mineral evolution [J]. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24 (3): 274–280.
- [28] Helland-Hansen, W. Facies and stacking patterns of shelf-deltas within the Palaeogene Battfjellet Formation, Nordenskiöld Land, Svalbard: implications for subsurface reservoir prediction [J]. *Sedimentology*, 2010, 57: 190–208.
- [29] 郭涛, 王军, 石文龙, 等. 辽西低凸起中南段古近系东营组层序地层及地层—岩性油气藏勘探意义 [J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33 (2): 248–255.
- Guo Tao, Wang Jun, Shi Wenlong, et al. Sequence stratigraphy of the Paleogene Dongying Formation and its significance for stratigraphic-lithologic reservoirs exploration in the central-south Liaoxi salient [J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33 (2): 248–255.
- [30] 李红, 柳益群, 刘林玉. 鄂尔多斯盆地西峰油田延长组长 8₁ 低渗透储层成岩作用 [J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27 (2): 209–217.
- Li Hong, Liu Yiqun, Liu Linyu. Diagenesis of Chang 8₁ reservoir with low permeability in Xifeng oilfield, Ordos basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27 (2): 209–217.