

Sedimentary Facies and Favorable Areas Prediction of F11 Oil Formation of Fuyu Oil Layers in North Qijia Area of Songliao Basin

Junwen Li*, Guohui Li, Qingshi Zhang, Qingjie Yang

Exploration and Development Research Institute, Daqing Oilfield Co. Ltd., Daqing Heilongjiang
Email: *dqlijunwen@petrochina.com.cn

Received: Apr. 29th, 2019; accepted: May 10th, 2019; published: May 17th, 2019

Abstract

Fuyu oil layers in north Qijia area of Songliao Basin is known for its great potential petroleum resources. However, the types and characteristics of the sedimentary facies are complicated to some extent. This will have a great effect on drilling success rate. By using well drilling, core describing, logging and data analyzing of well and testing, sedimentary facies distribution and evolution of F11 oil formation have been studied carefully. The authors consider that shallow water delta of F11 oil formation in the study area can be divided into delta-plain subfacies, delta-front subfacies and shallow lake subfacies; distributary channel, underwater distributary channel, inter distributary channel-mouth bar and sheet sandstone are the main sedimentary microfacies. Delta-plain subfacies and delta-front subfacies are the main sedimentary during F11-3, F11-2, and the distributary channels are crossed and joined. Delta-front subfacies are the main sedimentary during F11-1, and the distributary channels are crossed and joined much more distinctly. The relationship between sedimentary microfacies and oil accumulation is indicated that underwater distributary channel and sheet sandstone are the main reservoir sands. Based on sedimentary facies, fracture characteristic and test results, four favorable areas are predicted finally. The study results can provide direction for the next exploration and development.

Keywords

Songliao Basin, North Qijia Area, F11 Oil Formation, Sedimentary Facies, Favorable Areas

松辽盆地齐家北地区扶余油层F11油层组沉积相及有利区预测

李君文*, 李国会, 张庆石, 杨庆杰

大庆油田有限责任公司勘探开发研究院, 黑龙江 大庆

*通讯作者。

摘要

松辽盆地齐家北地区扶余油层石油资源潜力大, 但沉积相类型及特征复杂, 严重影响该区钻井成功率。作者应用钻井、岩心、测井、测试分析等相关资料, 对研究区扶余油层F11油层组的沉积微相特征及演化规律进行了详细研究。研究认为: 本区发育浅水三角洲沉积, 识别出三角洲平原、三角洲前缘及浅湖亚相, 主要由三角洲平原分流河道、水下分流河道、分流间湾、河口坝、席状砂等微相构成; F11-3、F11-2沉积期以三角洲平原-三角洲前缘沉积为主, 河道多交叉汇合; F11-1沉积期以三角洲前缘为主, 河道交叉汇合更为明显。结合沉积微相与油气的关系, 指出研究区最有利储集砂体为水下分流河道和席状砂。依据沉积相、断裂特征及测试结果预测了4个有利区, 为下步勘探开发指明了方向。

关键词

松辽盆地, 齐家北地区, F11油层组, 沉积相, 有利区

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

齐家北地区位于松辽盆地北部齐家-古龙凹陷北段, 勘探面积 3500 km², 白垩系泉头组三、四段的扶余油层为研究区重点勘探层位。按照三次资评的资源量估算, 该区具有石油远景资源量 1.0 亿吨, 因此, 扶余油层作为油气产能的接替重要层位, 对它的勘探评价显得日益重要[1][2][3][4]。前人关于齐家北地区的构造、沉积、储层及烃源岩等方面做了大量的工作[1]-[14], 发现了齐家北油田, 其油气主要集中在鼻状构造的主体部位, 多为构造油藏。近年来, 随着甩开预探, 采油厂滚动开发, 在鼻状构造带边部、斜坡带及凹陷区发现了岩性油藏, 勘探实践表明断层-岩性、岩性油藏及微幅度油藏已成为该区扶余油层挖潜增储的重要勘探领域。区中扶余油层主力含油层 F11 油层组具有沉积相类型复杂、砂体厚度变化快、油藏规模小、隐蔽性强、油水关系复杂的特点, 导致钻井成功率低、勘探效益差, 这就要求加强该区精细的地质研究, 弄清砂体及沉积微相展布特征, 为下一步的成藏分析及精细勘探开发提供地质依据。

笔者在对研究区 105 口探井资料研究的基础上, 通过大量钻井岩心的观察、测井资料、单井相及测试分析资料对该区沉积相进行研究, 详细探讨了 F11-1、F11-2 和 F11-3 沉积期沉积相平面展布特征及演化规律, 并预测有利区。近三年来, 在沉积认识及成藏分析成果指导下, 部署了 J91、J461 等探井获得了高产工业油流, 进一步拓展了齐家北地区的勘探前景。

2. 地质概况

齐家北地区构造上横跨泰康隆起带、龙虎泡大安阶地、齐家古龙凹陷、大庆长垣四个二级构造单元(图 1), 总体呈西北部高、东南部低缓, 中间拗两侧隆的构造格局。松辽盆地演化大致经历了热隆张裂、裂陷、拗陷、和萎缩褶皱四个阶段[1][3], 拗陷期沉积了早白垩世泉头组、晚白垩世青山口组、姚家组和

嫩江组地层。其中泉头组三、四段沉积时期气候干旱,盆地稳定沉降,古地形相对平坦,发育河流-浅水三角洲-湖泊为主的陆相碎屑岩沉积。发源于盆地周边的讷河、拜泉、怀德、保康、白城及齐齐哈尔等6条水系向盆地中心汇集[1][2],齐家北地区位于西北部齐齐哈尔沉积体系和北部讷河-依安沉积体系前端的交汇地带,主要发育河道砂、三角洲平原分流河道、三角洲前缘砂体,纵向上砂体错叠分布、厚度大,为油气提供了良好的储集空间,与上覆青一段大面积分布的湖相烃源岩相互匹配形成了良好的生储盖组合。区中扶余油层对应于泉三段上部及泉四段地层,可细分为FI1、FI2、FI3、FI11、FI12和FI13共6个油层组。研究区主力油层为FI1油层组,地层厚度25~40m,自下而上可进一步细分为FI1-3、FI1-2、FI1-1共3个砂层组。

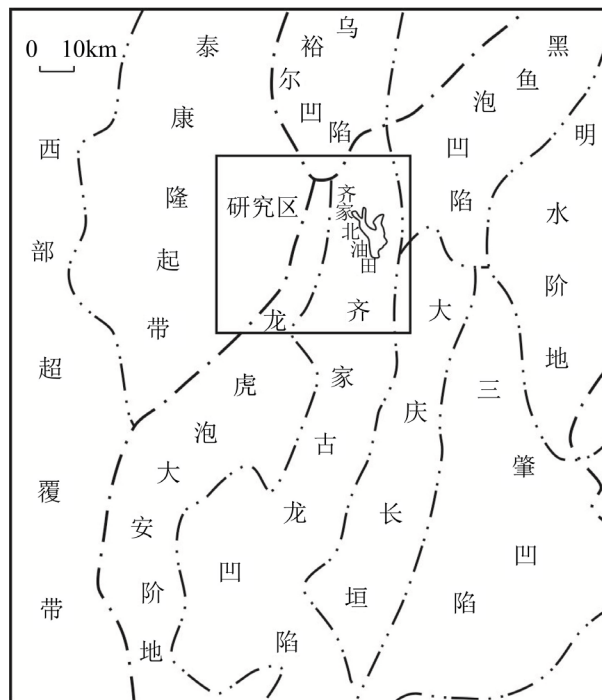


Figure 1. Location map of north Qijia area
图 1. 齐家北地区区域位置图

3. 沉积相类型及特征

根据岩心、沉积构造、剖面结构、岩性组合、测井曲线及地震等资料综合分析,确定研究区FI1油层组为浅水湖泊三角洲沉积体系,根据其沉积特征,可划分为三角洲平原亚相、三角洲前缘亚相和浅湖等亚相类型,主要由三角洲平原分流河道、水下分流河道、河口坝、分流间湾及席状砂等微相构成。

3.1. 三角洲平原亚相

1) 分流河道。岩性主要为浅灰色、浅灰绿色细-中粒砂岩或钙质胶结细砂岩及粉砂岩夹薄层泥岩,砂体底部可见冲刷面及冲刷泥砾,略具定向性,如D37井井深1819.5m处为钙质胶结细砂岩,见泥砾,泥砾大小不一,最大达 0.5×3.0 cm,一般为 1.5×0.3 cm。岩性剖面呈下粗上细的正旋回沉积特征,分流河道砂体厚度一般为2~3.5m,多期河道叠加厚度可达5~8m。发育板状交错层理、块状层理、平行层理,反映水动力较强的特点,偶见碳屑。自然伽玛曲线呈中-高幅箱形或齿化箱型、钟形,顶底突变接触关系。

2) 分流间洼地。分流河道之间发育分流间洼地沉积,主要为杂色、紫红色泥岩、灰绿色泥岩、薄层

粉砂质泥岩组成，往往富含钙结核或钙结层，厚度较大，发育水平层理。自然伽玛曲线表现为低幅值变化的直线形或微齿形。

3) 决口扇。主要为浅灰色粉砂岩、泥质粉砂岩为主，泥质含量较高，沉积砂体厚度一般小于 1.5 m，见交错层理、砂纹层理。自然伽玛曲线呈中低幅指状或漏斗形，底部呈突变顶部呈渐变关系。

3.2. 三角洲前缘亚相

三角洲前缘亚相是三角洲沉积的主体部分，发育于湖水面至浪基面之间，系三角洲平原分流河道进入湖盆内的水下沉积区。由水下分流河道、河口坝、席状砂、分流间湾等微相组成。

1) 水下分流河道。岩性主要为灰色、浅灰绿色细砂岩、粉砂岩中夹薄层泥质粉砂岩组成，可见炭化植物碎片，砂岩底部可见冲刷面，其上可见冲刷泥砾呈扁平状、长条状或撕裂状，略呈定向排列。单个水下分流河道一般具有向上变细正粒序剖面结构，经开发区砂体解剖表明，水下分流河道单砂体厚 1.5~3 m，叠加厚度 4~7 m，砂体宽度 300~500 m，砂体中上部物性较好，研究区水下分流河道砂体孔隙度为 12%~20%，渗透率为 1~110 mD，为区中最有利的储集砂体类型。沉积构造上自下而上主要发育底部冲刷构造、板状交错层理、平行层理、波状交错层理等(图 2)。自然伽玛曲线表现为箱形、齿化箱形及钟形。与三角洲平原分流河道区别在于其分流河道间的泥质沉积颜色较深，前缘水下分流河道砂体厚度上薄些，冲刷面规模较平原分流河道小，常出现下部是水下分流河道上部为席状砂沉积微相组合(图 3)。

2) 河口坝。岩性主要为灰、深灰色粉砂岩、泥质粉砂岩及细砂岩组成，单砂体厚度一般 1.5~2 m，叠加后厚度可达 3~4 m。自下而上发育水平层理、波纹层理、变形层理及平行层理等，常见滑塌变形构造、包卷层理等。具有典型的粒度向上变粗逆粒序结构。自然伽玛曲线呈漏斗形或多个漏斗形叠加。

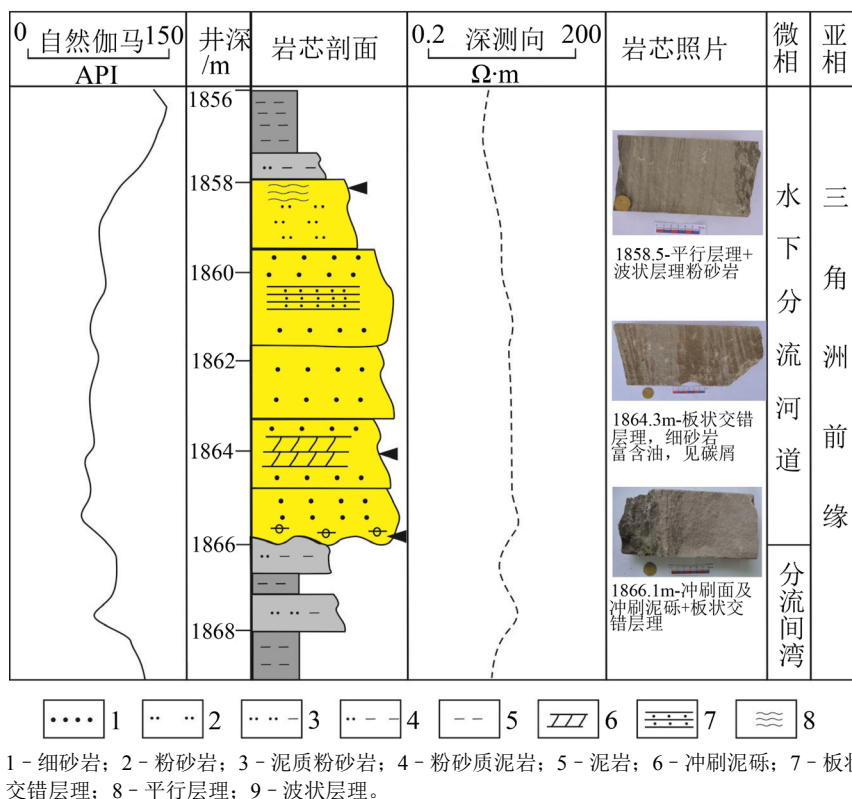


Figure 2. Sedimentary microfacies map of underwater distributary channel of F11 oil Formation in north Qijia area (D36 well)
图 2. 齐家北地区 F11 油层组水下分流河道沉积微相图(D36 井)

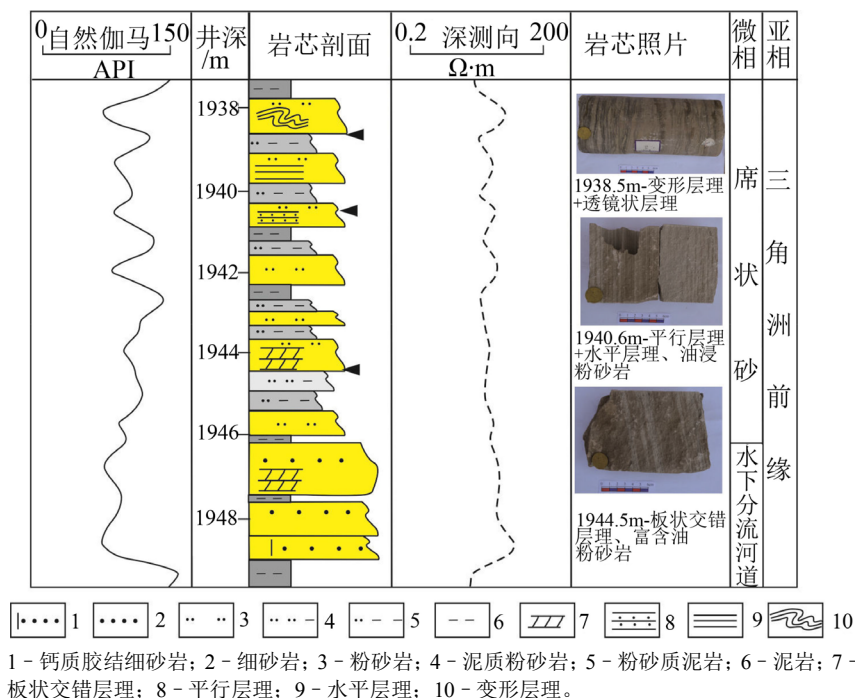


Figure 3. Sedimentary microfacies map of sheet sand of FI1 oil formation in north Qijia area (J57 well)

图 3. 齐家北地区 FI1 油层组席状砂沉积微相图(J57 井)

3) 席状砂。发育于前缘分流河道末端，呈片状或席状发育，岩性以粉砂岩为主夹薄层深灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩，砂体分布面积范围大，厚度一般 0.8~1.5 m，砂质较纯，其孔隙度为 11%~16%，渗透率为 1~70 mD，为区中有利的储集砂体类型。常发育平行层理、水平层理、波状层理、变形层理及透镜状层理(图 3)。自然伽玛曲线呈齿状、指状。

4) 分流间湾。前缘分流河道之间与湖水相通的低洼地区即为分流间湾。岩性主要为一套细粒悬浮成因的泥岩、粉砂质泥岩所组成。发育水平层理、砂纹层理和透镜状层理，常见大量植物碎屑、根系。与前三角洲泥及浅湖不易区分，常结合相序加以区分。

3.3. 浅湖亚相

齐家北地区扶余油层浅湖亚相能识别出浅湖泥及席状砂微相，主要分布在 FI 油层组沉积末期，岩性较细，主要以泥岩、粉砂质泥岩及泥质粉砂岩条带为主，以大片泥坪堆积为主，常见炭化植物碎屑，泥岩颜色主要为红褐色、褐色、灰色、灰绿色，其泥岩颜色偏红可能与当时炎热干旱的气候条件有关，导致滨浅湖砂坝基本不发育。

4. 沉积相展布特征及演化

齐家北地区 FI1-3 沉积时期，物源主要来自盆地北部及西北部，砂体走向呈近南北和北西南东西方向，河道砂体呈多级次分叉汇合，砂体厚度 3~5 m，局部达 6~8 m，砂地比一般为 20%~40%；研究区大部分发育三角洲平原亚相，其次为三角洲前缘亚相，东南部发育浅湖沉积；沉积微相以三角洲平原分流河道、三角洲前缘水下分流河道、席状砂、河口坝和分流间洼地为主(图 4)。FI1-2 沉积时期沉积相基本继承了 FI1-3 沉积期的展布格局，砂体也呈近南北和北西南东西向展布，砂体厚度变化不大(图 5)。与 FI1-3 相比而言，浅湖面积略有变大，相应的前缘席状砂分布面积进一步扩大，由于该时期物源供应有所减弱，湖平面缓慢上升，导致三角洲平原分流河道延伸距离长，而前缘水下分流河道延伸距离相对短些，同样以

三角洲平原的分流河道和三角洲前缘的水下分流河道及席状砂为主。F11-1 沉积时期由于湖进规模进一步扩大,湖岸线往东北方向发生迁移,随着北部物源供应增强,研究区大面积发育三角洲前缘亚相,以三角洲前缘的水下分流河道和席状砂为主,区中发育多条呈北西南东向或近南北向展布水下分流河道,河道交叉汇合更强且延伸距离较远(图 6)。研究区中部砂体最为发育,厚度 3~7 m,砂地比为 20%~50%,水下分流河道末端及席状砂砂体厚度 1~2.5 m。

通过以上研究表明, F11 沉积期齐家北地区经历早期缓慢的湖侵,晚期快速湖侵的过程,形成了浅水三角洲沉积体系。齐家北地区主要受北部及西北部物源控制,发育三角洲平原、三角洲前缘及浅湖亚相,其中平原分流河道和下水分流河道沉积微相占绝对优势,并且垂向上形成了多期水下分流河道相互叠置、平面上交叉汇合的复合砂体。F11-3 和 F11-2 沉积时表现为缓慢水进缓慢岸退,导致三角洲前缘砂岩延伸距离短,分布范围小。F11-1 沉积期表现为快速湖侵快速岸退,研究区三角洲前缘亚相向南部延伸距离远,在三角洲向前推进过程中,水下分流河道砂体发生强烈的横向迁移,砂体交叉汇合更加为明显,砂体厚度明显增大。

5. 有利区预测

通过扶余油层 12 口试油探井累计 21 层的沉积微相类型、砂体厚度等统计结果表明(见表 1),含水工业油流及低产油水层为水下分流河道砂体占 50%,有效厚度 2.5~3.6 m,其孔隙度 15%~20%;含水工业油流及低产油水层为席状砂砂体占 35%,有效厚度 0.8~2.2 m,孔隙度 11%~16%;含水工业油流为河口坝砂体占 15%,有效厚度 1.2~2 m,其孔隙度 10%~15%。区内中高产井 D37、J57 及 J79 井储层砂体类型为水下分流河道砂体。综上可知,水下分流河道砂体物性最好,为研究区中最有利储集砂体类型,其次为席状砂。

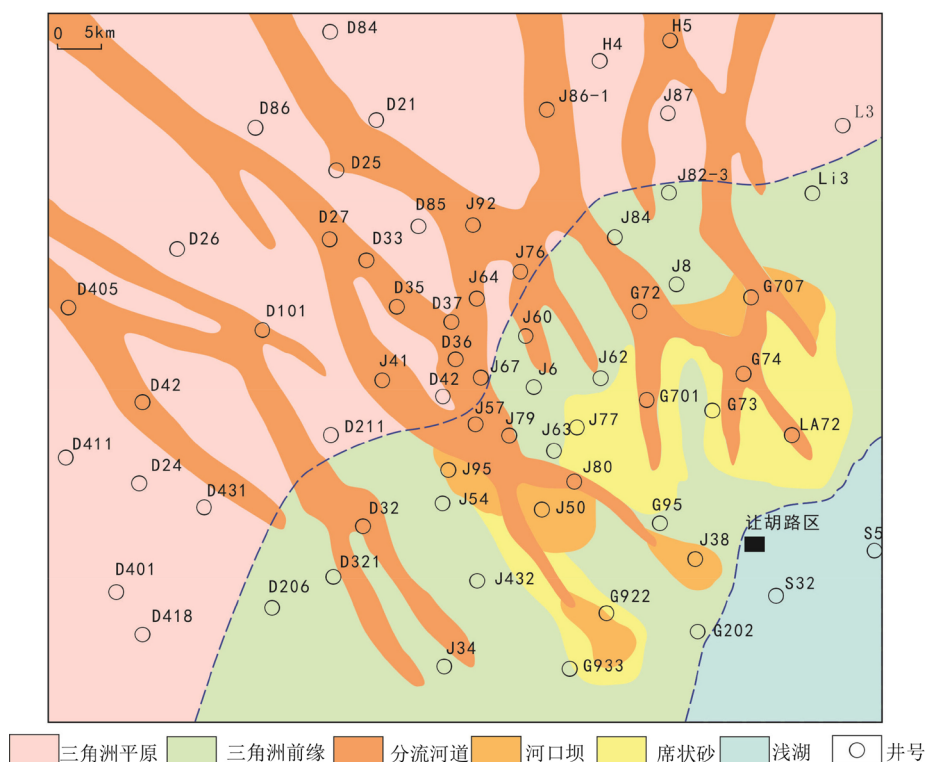


Figure 4. The distribution map of sedimentary facies in the depositional time of F11-3 oil Formation in north Qijia area
图 4. 齐家北地区 F11-3 期沉积相展布图

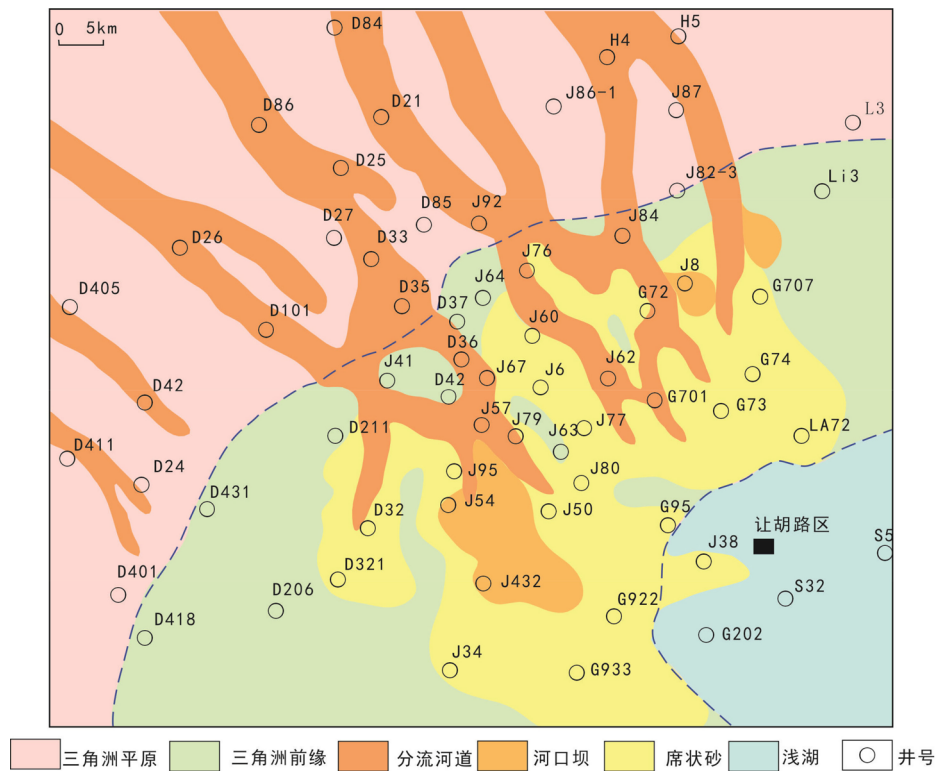


Figure 5. The distribution map of sedimentary facies in the depositional time of F11-2 oil Formation in north Qijia area
图 5. 齐家北地区 F11-2 期沉积相展布图

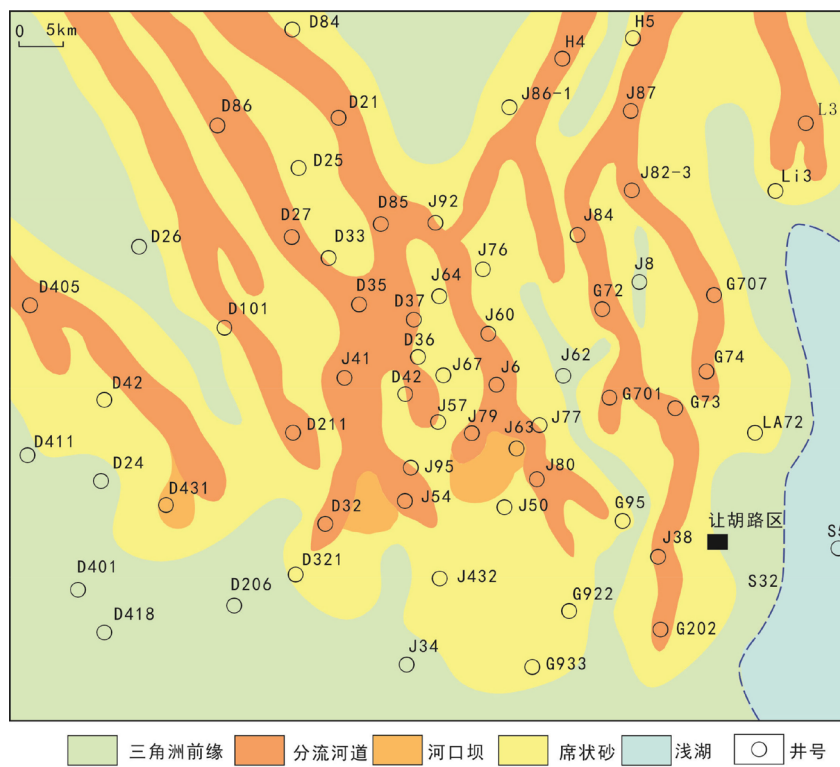


Figure 6. The distribution map of sedimentary facies in the oil depositional time of F11-1 oil Formation in north Qijia area
图 6. 齐家北地区 F11-1 期沉积相展布图

Table 1. Statistics of reservoir sandstone-body layers with oil in F11 oil formation for north Qijia area
表 1. 齐家北地区 F11 油层组合油井段储层砂体类型统计表

井号	有效厚度(m)	有效孔隙度(%)	层数	试油结论	储层砂体类型	油藏类型
D36	6.0	17.5	2	含水工业油层	水下分流河道、席状砂	断层 - 岩性油藏
D37	6.6	16.5	2	含水高产工业油层	分流河道	断层 - 岩性油藏
J42	3.1	17.8	2	含水工业油层	水下分流河道	断层 - 岩性油藏
J50	2.2	11.0	1	低产油水层	席状砂	岩性油藏
J57	7.3	16.6	2	含水高产工业油层	水下分流河道	岩性油藏
J58	3.2	12.3	1	低产油水层	水下分流河道	岩性油藏
J6	4.3	14.9	1	低产油层	水下分流河道	断层 - 岩性油藏
J63	3.2	11.1	2	含水工业油层	河口坝	岩性油藏
J67	1.0	14.5	2	低产油水层	席状砂	岩性油藏
J79	3.2	16.2	1	含水高产工业油层	水下分流河道	岩性油藏
J80	2.7	11.9	3	低产油水层	河口坝、席状砂	岩性油藏
J95	4.0	15.8	2	含水工业油层	席状砂	断层 - 岩性油藏

研究区中已发现的油藏类型以岩性、断层岩性油藏为主，工业油流井及低产油流井均分布在水下分流河道及席状砂砂体之中，沉积微相分布控制着油藏的分布。已发现的油藏主要集中在断裂带附近或构造高点，据统计区中扶余油层厚度与断裂具有明显的相关性，断裂密集带部位油层厚度大，一般 4~12 m，断裂不发育处的油层厚度一般只有 2~6 m。断层的发育在一定程度上也控制了纵向上油气成藏的深度，区中扶余油层油气主要富集在 F11 油层的中上部，下部油气主要分布在断裂带附近且厚度较薄。研究区的油源主要来自上覆青一段的湖相暗色泥岩，从现有探井揭示油气分布上，油气显示及工业油流井主要分布在 $R_0 > 0.8$ 的有效烃源岩范围内，而当烃源岩 $R_0 < 0.8$ 时，只在零星的构造高部位获工业油层或低产油层，断裂附近见含油显示，绝大多数探井的砂岩储层以水层或干层为主。且区中青一段暗色泥岩生油时期地层存在超压[14]，为来自青一段的油气向下运移到扶余油层中提供了充足的动力。

综上可知，油气成藏主要受构造、沉积及源岩控制。因此，依据区中断裂分布、油藏类型、试油成果及测试资料综合分析，预测出齐家北地区四个有利区(图 7)。有利区 I 区位于 J92-D42 井区，处于平原及前缘交汇处，分流河道砂体发育，区中密集分布近南北向断裂切割呈北西南东向展布河道砂体，加上上覆青山口组青一段烃源岩 R_0 大于 0.8，在断层附近有利于油气富集，易形成断层 - 岩性油藏，是寻找断层 - 岩性油藏的有利地区，勘探重点是落实断层与砂体匹配关系；有利区 II 区位于 J84-G73 井区，主要发育水下分流河道及席状砂砂体，位于青一段生油主体区内，北西南东向砂体与近南北向断层的良好配置，并伴有生排烃期的构造隆起，整体成藏条件优越，有利于油气大量富集成藏，是寻找断层 - 岩性油藏最有利地区；有利区 III 区位于 J57-J432 井区，主要发育三角洲前缘亚相的水下分流河道、河口坝和席状砂等砂体，该区断裂相对不发育，但仍处于青一段生油主体区内，且青一段暗色泥岩生油时期地层存在超压[14]，石油运聚动力较充足，超压作用有利于生成的油气沿断裂或微裂隙下排进入下部储层，油气在该区具有连片分布特征，是寻找大面积岩性油藏或局部断层 - 岩性油藏最有利区；有利区 IV 区位于 G95-G922 井区，处于三角洲前缘和滨浅湖的交替沉积区，主要发育三角洲前缘末端河道、席状砂及砂坝等砂体，砂体厚度相对薄，但紧邻上覆青一段优质烃源岩，北西南东向及近南北断裂与条带状或透镜状砂体相互切割，易于形成断层 - 岩性油藏，局部形成岩性油藏。

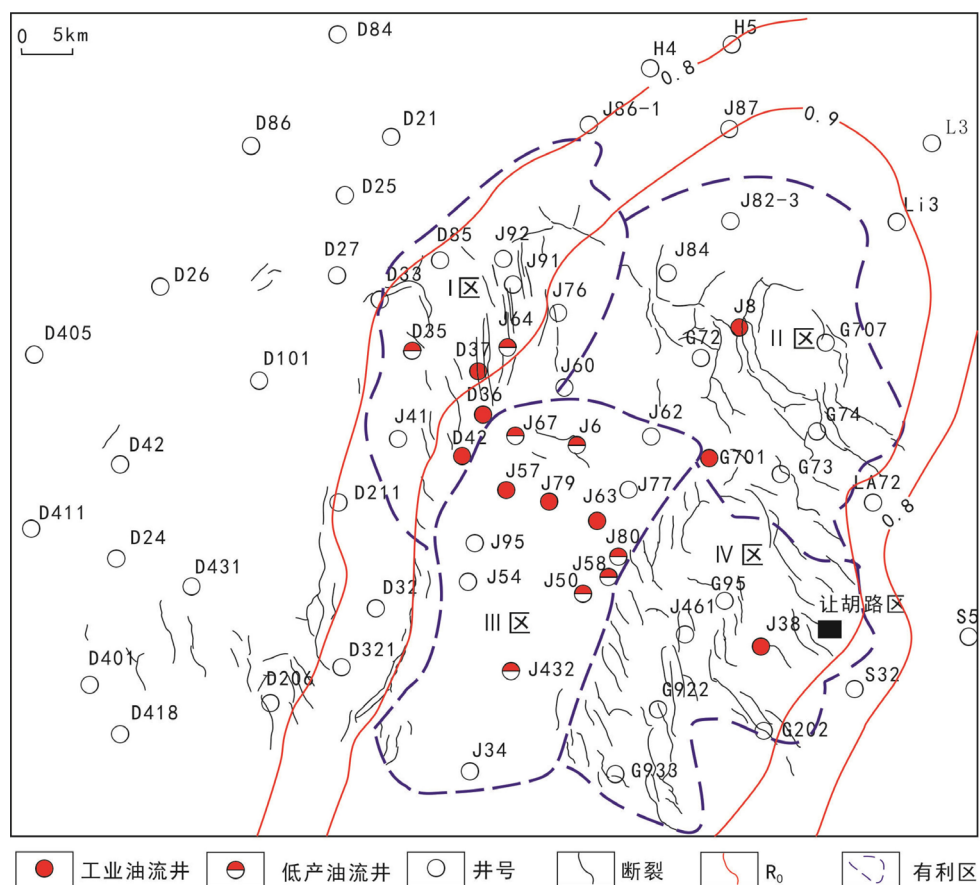


Figure 7. The prediction map of favorable areas of F11 formation in north Qijia area

图 7. 齐家北地区 F11 油层组有利区预测图

6. 结论

1) F11 油层组主体为三角洲平原、三角洲前缘亚相沉积，主要由三角洲平原分流河道、前缘水下分流河道、分流间湾、河口坝及席状砂等微相构成。其中水下分流河道、席状砂和河口坝砂体为有利储集砂体类型。

2) F11-3、F11-2 沉积期以角洲平原 - 三角洲前缘沉积为主，河道砂体分叉汇合明显。F11-1 沉积期以三角洲前缘沉积为主，水下分流河道砂体发生强烈的横向迁移，河道砂体交叉汇合更为明显。

3) 依据沉积相、断裂特征、烃源岩及试油成果，预测出了 4 个有利区，明确了不同有利区主要发育的油藏类型及勘探重点，为下步勘探部署指明了方向。

基金项目

国家“十三五”科技重大专项“大型岩性油气藏形成主控因素与有利区带评价”(2017ZX05001-002)。

参考文献

- [1] 侯启军, 冯志强, 冯子辉, 等. 松辽盆地陆相石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009: 9-180.
- [2] 杨万里, 高瑞祺, 郭庆福, 等. 松辽盆地陆相油气生成运移和聚集[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1985: 1-100.
- [3] 高瑞祺, 蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 10-40.

- [4] 邹才能, 杨智, 张国生, 等. 常规 - 非常规油气“有序聚集”理论认识及实践意义[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(1): 14-27.
- [5] 于丹, 冯志朋. 松辽盆地齐家北地区断裂特征及对油气运聚的控制作用[J]. 西部探矿工程, 2018(8): 90-96.
- [6] 王始波, 李忠权, 王丽丽, 等. 松辽盆地朝长地区扶余油层沉积特征[J]. 大庆石油地质与开发, 2011, 30(5): 1-7.
- [7] 张庆国, 鲍志东, 那未红, 等. 松辽盆地中央坳陷南部下白垩统泉头组四段沉积相[J]. 古地理学报, 2007, 9(3): 267-276.
- [8] 孙春燕, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 松辽盆地兴城地区泉四段浅水三角洲沉积特征[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(3): 66-74.
- [9] 王秀娟, 郭艳平, 郭思强, 等. 齐家北地区 F11 油层成岩特征及有利储层预测[J]. 大庆石油地质与开发, 2012, 31(4): 1-6.
- [10] 蒙启安, 白雪峰, 梁江平, 等. 松辽盆地北部扶余油层致密油特征及勘探对策[J]. 大庆石油地质与开发, 2014, 33(5): 23-29.
- [11] 侯启军, 冯子辉, 邹玉良. 松辽盆地齐家 - 古龙凹陷油气成藏期次研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 27(4): 390-394.
- [12] 潘树新, 王天琦, 田光荣, 等. 松辽盆地扶余油层成藏动力探讨[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(2): 126-132.
- [13] 霍秋立, 曾花森, 张晓畅, 等. 松辽盆地北部青山口组一段有效烃源岩评价图版的建立及意义[J]. 石油学报, 2012, 33(3): 379-384.
- [14] 姜龙, 张秀云, 马晓红. 松辽盆地北部青一段泥岩超压及意义[J]. 大庆石油地质与开发, 2013, 32(3): 25-28.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ag@hanspub.org