

文章编号: 1001-6112(2011)02-0165-06

松辽盆地安达地区 石油地质特征及勘探方向分析

赵 波

(中国石油与天然气股份有限公司 大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

摘要: 综合应用地质、钻井、地震和地球化学资料, 系统分析了安达地区构造演化、烃源岩、沉积、储盖组合、油水关系及油藏类型和油气成藏特征, 研究了本区的石油地质特征, 认为烃源岩有机质丰度高, 具有较好的生、排烃能力; 分流河道砂体储层物性好, 为油气聚集提供较好的储集空间; 良好的储盖组合有利于油气的聚集与保存; 油源断裂为油气的运移提供了重要的通道; 青山口组一段泥岩超压为油气的运移提供了动力。研究区总体呈下水、上油的油水分布特征, 以断层—岩性和岩性—构造油藏为主。区内扶余油层油气成藏受成熟烃源岩、青山口组一段超压、优势运移通道和储集条件控制。根据上述认识明确了研究区下一步的勘探方向, 有效地指导了该区的油气勘探。

关键词: 石油地质特征; 油气成藏; 主控因素; 勘探方向; 安达地区; 松辽盆地

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

Petroleum geologic features and exploration targets in Anda region, Songliao Basin

Zhao Bo

(Research Institute of Petroleum Exploration & Production,
SINOPEC Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

Abstract: Based on geologic, drilling, seismic and geochemical data, it was analyzed in this paper the tectonic evolution, source rock, sediment, reservoir—cap combination, oil—water relationship as well as accumulation type and characteristics in Anda region. Petroleum geologic features in the region were concluded as follows. Organic matter abundance of source rock is high, favorable for hydrocarbon generation and migration. Physical properties of sandbody reservoir in distributary channel are good, providing room for hydrocarbon accumulation. The favorable combination of reservoir and cap rock helps hydrocarbon accumulation and preservation. Fracture which leads to source rock works as pathway for hydrocarbon migration. Overpressure in mudstone in the 1st member of the Qingshankou Formation drives hydrocarbon to migrate. In the study area, water locates at the bottom and oil locates at the top. Reservoirs are mainly fault—lithology and lithology—tectonic ones. The Fuyu oil layer in the region is controlled by mature source rock, overpressure in the 1st member of the Qingshankou Formation, favorable migration pathway and reserve condition. Further exploration target in the region was pointed out.

Key words: petroleum geologic characteristics; hydrocarbon accumulation; main controlling factor; exploration target; Anda region; Songliao Basin

安达地区勘探工作始于上世纪 60 年代, 其中 D22, D23, DS2 等井主要于扶余油层见不同油气显示, 但均未获工业油流。近 2 年对研究区开展石油地质综合研究, D9, D24, D25 和 D32 井于扶余油层获得工业油流, 给该区油气勘探带来了良好的勘探前景。由于本区勘探程度低、探井成功率不高, 很有必要对其石油地质特征进行综合分析, 总结油气聚

集规律, 从而有效地指导本区的勘探部署工作, 使本区成为大庆油田下一个增储上产的有利接替区。

1 地质背景

松辽盆地是大型陆相断陷—拗陷型盆地, 具有先断后拗的双层结构^[1-3]。盆地主要经历了热隆张裂、裂陷、拗陷和萎缩褶皱 4 个构造演化阶段^[4-6]。

收稿日期: 2010-04-09; 修订日期: 2011-02-09。

作者简介: 赵波(1979—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事沉积学与石油地质学研究。E-mail: bzhaob@petrochina.com.cn。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973 计划”项目(2009CB219300)资助。

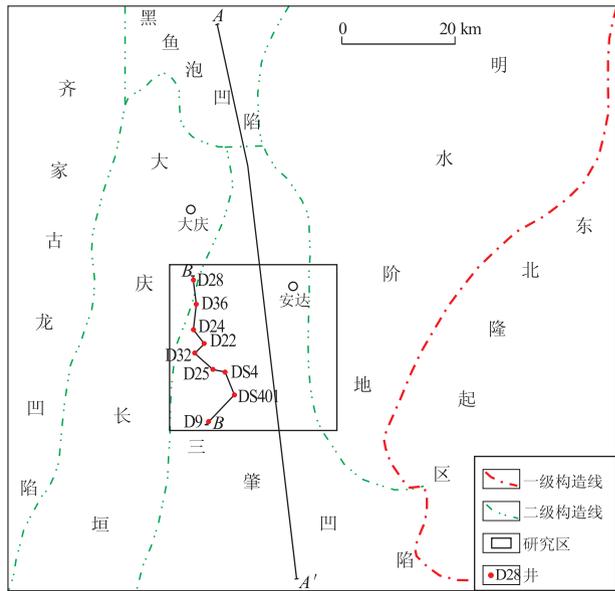


图 1 松辽盆地安达地区构造和地理位置

Fig. 1 Tectonic units and geographic location of Anda region, Songliao Basin

勘探证实,盆地内发育上、中、下和深部 4 套白垩系含油气组合,即上部含油组合:黑帝庙油层(嫩江组三段一四段);中部含油组合:萨尔图油层(姚家组二、三段)、葡萄花油层(姚家组一段)和高台子油层(青山口组二、三段);下部含油组合:扶余和杨大城子油层(泉头组三、四段);深部含气组合:泉头组一、二段及以下地层^[7]。研究区构造属于松辽盆地北部中央拗陷区三肇拗陷的北部,西接大庆长垣,东邻明水阶地,北为黑鱼泡凹陷(图 1)。研究区构造面貌总体呈东、北部高中间低的向斜构造,勘探面积约 1 350 km²。

2 石油地质特征

2.1 构造演化特征

松辽盆地经历了晚侏罗世地幔上隆、陆壳拗陷,早白垩世大规模岩浆上涌、引张裂陷,晚白垩世盆地挤压、构造反转和新生代较小幅度伸展断陷等多阶段的构造演化^[3,8]。本次研究的目的是层为泉头组四段(扶余油层一组,以下简称 F I 油层),隶属于松辽盆地演化的拗陷阶段沉积。

南北向古构造发育史(图 2)证实研究区登娄库组沉积前,黑鱼泡凹陷、安达地区及三肇凹陷为 3 个相对独立的断陷;泉头组沉积时期,主要对早期的古地貌进行填平补齐,这一时期黑鱼泡凹陷、安达地区及三肇凹陷发育 3 个沉积、沉降中心,但彼此相互连通,整体上为北高、南低的斜坡,最大沉积、沉降中心在三肇凹陷;到了青山口组、姚家组及

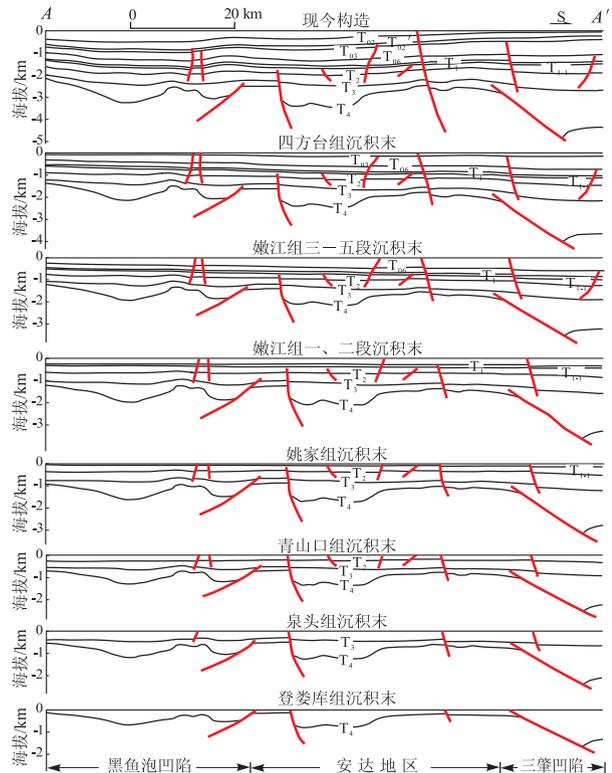


图 2 松辽盆地安达地区构造发育史剖面
剖面位置见图 1。

Fig. 2 Profile of tectonic evolution in Anda region, Songliao Basin

嫩江组一、二段沉积时期,继续对早期的古地貌进行填平补齐,南北地势差异逐渐减小,嫩江组一、二段沉积时期已无明显的沉积、沉降中心。嫩江组三一五段沉积时期,由于安达地区和三肇凹陷的差异沉降再次形成 2 个沉积、沉降中心,这一时期整体为北高南低的一斜坡,最大沉积、沉降中心位于三肇凹陷;四方台组沉积时期加强了嫩江组末期的古地貌格局,黑鱼泡凹陷、安达地区、三肇凹陷形态清楚,同时在南部的隆升作用下,沉积、沉降中心开始由南部向北部迁移,明水组至今浅部地层的沉积、沉降中心已由三肇凹陷转移到黑鱼泡凹陷,但深部的青山口组及泉头组地层受早期沉降作用的影响,在安达地区和三肇地区仍是 2 个凹陷形态。

通过构造发育史分析,研究区与油气成藏有关的青山口组和泉头组地层受早期古地貌及晚期构造沉降的影响,在安达地区和三肇地区始终是 2 个凹陷形态,三肇凹陷的油很难通过三肇与安达之间的低凸起运移到安达地区,事实也证实了该论点^[11]。因此,安达地区应该作为一个独立的生烃凹陷进行评价研究。

2.2 烃源岩特征

本区烃源岩为青山口组一段暗色泥岩,泥岩主

要分布在研究区内部,厚度在 80 m 左右,东部及南部暗色泥岩厚度相对较薄,在 50 m 左右。松辽盆地青山口组一段泥岩有机质丰度相对较高,其数量之高不亚于海相生油岩^[2,10],为烃源岩的形成和演化提供了很好的条件。

研究区青山口组一段烃源岩有机质丰度高,氯仿沥青“A”含量为 0.1%~0.885%,有机碳含量为 2%~4.653%。依据石油天然气行业 1995 年对陆相生油岩有机质的评价指标,本区青山口组一段烃源岩达到“好”以上,具较好的生、排烃能力;R_o 值在 0.5%~0.94%,整体上自中心向周边递减趋势,源岩处于低熟到成熟演化阶段。通过油—油和油—岩对比分析,研究区扶余油层的原油主要来自安达地区青山口组一段烃源岩的自生油,源岩具有较大的供烃能力^[9]。

2.3 沉积特征

安达地区 F I 沉积时期为一套浅水三角洲为背景,以三角洲平原和三角洲前缘亚相为主体,分流河道微相为骨架的沉积。岩性以紫红色泥岩、粉砂质泥岩,灰绿色夹灰色泥岩和灰色粉砂岩、泥质粉砂岩为主,物源主要来自北部讷河—依安和青冈—拜泉水系。通过研究区测井、地震和岩心资料,将 F I 油层细分为 3 个油层(F I₁, F I₂ 和 F I₃ 油层)^[11]。

2.4 储盖组合特征

良好的储盖组合是油气聚集成藏的必要条件^[12]。F I₃ 油层的地层厚度为 18~30 m,平均厚度为 23.4 m,砂岩厚度与地层厚度比值(即“砂地比”)为 14.5%~46.9%,平均值为 29.9%。F I₂ 油层的地层厚度为 22.5~32.5 m,平均厚度为 28.7 m,砂地比为 11.5%~58%,平均值为 27.3%。F I₁ 油层的地层厚度为 18~26.5 m,平均厚度为 21.3 m,砂

地比为 12.5%~46.5%,平均值为 32.5%。通过研究区 15 口井 300 个 F I 油层储层物性资料分析,表明 F I 油层各小层分流河道砂岩的平均孔隙度均在 12% 以上,渗透率主要分布在 (0.2~100) × 10⁻³ μm²。其中, F I₃ 油层储层物性相对较好,孔隙度分布在 10%~25% 的占 85%,平均值为 16.1%;渗透率分布在 (0.1~10) × 10⁻³ μm² 的占 56.6%, (10~100) × 10⁻³ μm² 的占 24.3%。F I₂ 油层储层物性次之,孔隙度分布在 10%~25% 的占 85%,平均值为 15.2%;渗透率分布在 (0.1~10) × 10⁻³ μm² 的占 68.6%, (10~100) × 10⁻³ μm² 的占 15.4%。F I₁ 油层储层物性相对较差,孔隙度分布在 10%~20% 的占 70%,平均值为 12.4%;渗透率分布在 (0.02~0.1) × 10⁻³ μm² 的占 47.5%, (0.1~10) × 10⁻³ μm² 的占 47.5%。由此可知,该套储层砂岩比较发育,总体表现为低孔低渗特征。

研究区区域盖层为青山口组泥岩,即扶余油层的顶面为青山口组一段厚层泥岩。青山口组一段泥岩不仅为扶余油层提供油源,还起到了很好的封盖作用。

2.5 油水关系及油藏类型

安达地区总体上呈下水、上油受构造控制的油水分布特征,以岩性—构造、断层—岩性油藏为主(图 3)。斜坡部位以构造油藏为主,低部位以构造—岩性和断层—岩性油藏为主。本区 F I 油层自中心向南部隆起部位含油性变好,因此,构造对油气聚集有一定的诱导作用。

3 油气成藏主控因素

通过安达地区的实际地质资料分析,成熟烃源

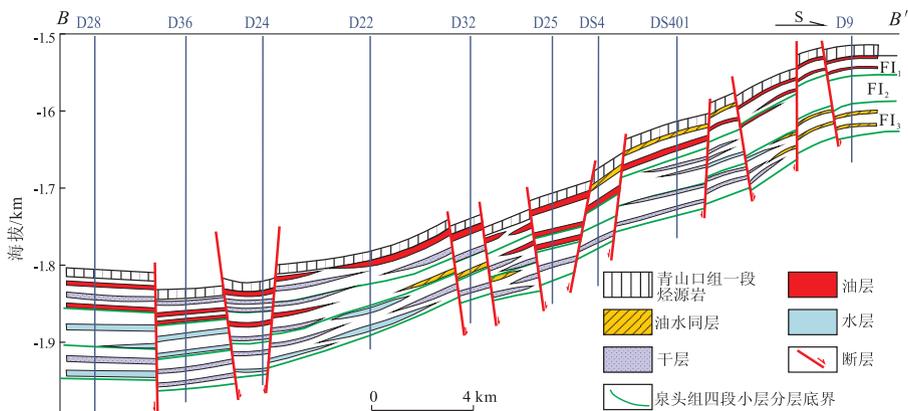


图 3 松辽盆地安达地区 D28 井—D9 井 F I 油层油藏剖面
剖面位置见图 1。

Fig. 3 Profile of F I oil layer from Well D28 to Well D9 in Anda region, Songliao Basin

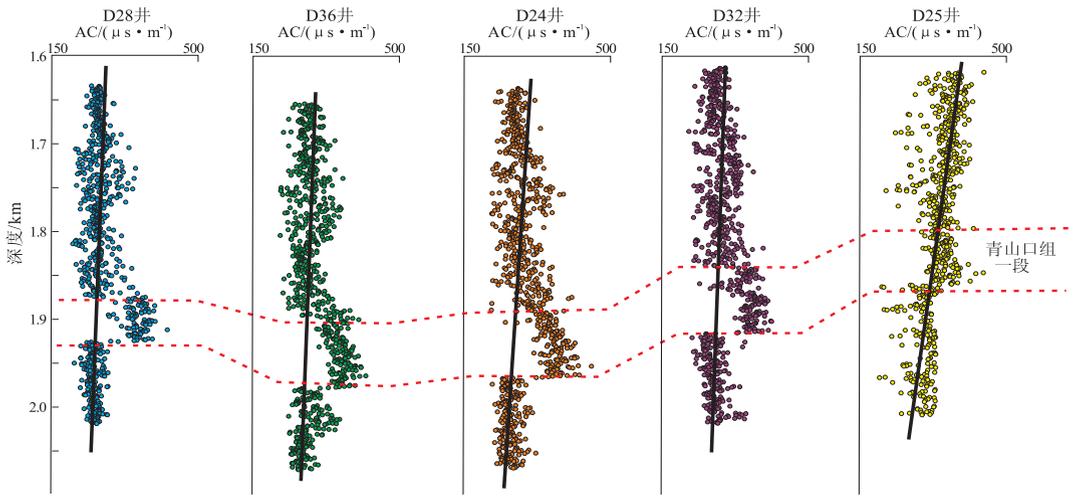


图 4 松辽盆地安达地区超压分布剖面

Fig. 4 Distribution of overpressure in Anda region, Songliao Basin

岩、青山口组一段超压、优势运移通道和储集条件主要控制着研究区的油气成藏。

3.1 成熟烃源岩的发育控制了 F I 油层成藏范围

研究区现今所发现的油显示探井均位于 R_0 大于 0.7% (生油门限) 的区域内, 而 $R_0 < 0.7%$ 的东部地区即是构造高部位, 烃源岩比较发育, 且断裂也比较发育区, 却没有一口井见油显示。这充分表明研究区的烃源岩演化程度相对较低, 受成熟度影响, 该区油气横向运移距离很有限, 未成熟区探井均未见油显示。因此, 安达地区成熟烃源岩的发育范围直接控制了该区油气成藏的分布范围。

3.2 青山口组一段超压发育程度的大小控制了 F I 油层的成藏

对钻井、测井资料分析表明, 安达地区青山口组一段存在明显的欠压实现象, 表现为超压特征(图 4)。已有研究成果表明源岩超压主要起到 2 方面作用: 一是为油气运移提供了重要的源动力; 二是作为盖层可以增强下伏储层内油气的封盖能力^[13-14]。然而, 对油气成藏形成与分布起作用的超压值应是油气主要成藏期泥岩中的超压值, 只有此时的超压才能成为油气运移的动力和油气聚集与保存的遮挡力。盆地模拟恢复的地压史表明, 青山口组一段超压自青山口组沉积末期开始形成, 至明水组沉积末期超压值最大^[15]。明水组末期正是青山口组一段有机质生排烃高峰期^[2], 超压为油气的初次运移创造了动力条件。由于上覆的嫩江组一、二段大套泥岩层的成岩程度相对比青山口组泥岩低, 塑性更强, 每次断层活动开启后很快造成断层裂缝愈合^[15]。因此, 青山口组一段超压流体向扶余油层释放成为必然。另外, 扶余油层具有常压或偏低压

特点^[16]。以上分析充分说明了青山口组一段源岩超压可对下伏扶余油层油气的聚集与保存起到关键作用。本文根据等效深度法^[17], 利用声波时差资料对研究区超压分布进行了研究, 表明该区超压呈环带状分布, 南部高、北部和东部低(图 5)。统计本区 F I 油层见到油显示井 29 口, 其中 9 口井位于超压大于 12 MPa 区域内, 其余 20 口井均在 10~12 MPa 区域内, 而小于 10 MPa 的区域未见一口油显示井(图 5), 这与三肇凹陷的研究结果相一致^[2, 18]。此外, 从图 3 可见油主要富集在 F I 油层中上部的砂岩中, 说明距离源岩近的储层, 成藏能量强, 且近断层的砂体更容易被油充注。可见, 安达地区青山口组一段超压对于 F I 油层的成藏

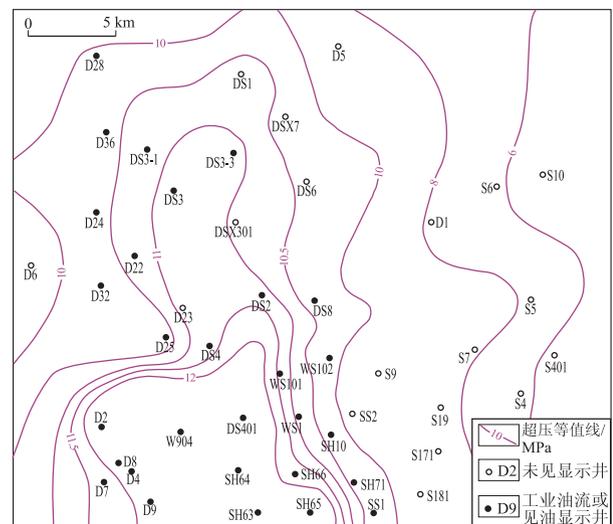


图 5 松辽盆地安达地区青山口组一段泥岩超压分布范围见图 1 研究区。

Fig. 5 Distribution of overpressure in mudstone in 1st member of Qingshankou Formation, Anda region, Songliao Basin

具有明显的控制作用,大于 10 MPa 的区域应该是 F I 油层成藏的主要有利区。

3.3 优势运移通道控制油气的垂向运移

众所周知,断层是油气运移的通道^[19]。根据盆地演化的期次,可将研究区的断裂分为 4 类:裂陷期断裂、坳陷早期断裂、坳陷晚期断裂及继承性断裂。坳陷早期断裂主要指断穿 T₂ 界面(青山口组一段底面)的断裂(以下简称 T₂ 断层),这一类断裂沟通了青山口组一段烃源岩及泉头组四段地层,这一类断层在研究区极其发育,构成了网格状的断层密集带(图 6)。断层封闭性研究表明,现今垂向封闭的断层在断层活动期处于开启状态^[20]。青山口组一段源岩在明水组末期达到生油高峰,此时也是盆地重要的构造活动时期^[22]。因此 T₂ 断层无疑在源岩成熟之后活动并开启过,构成了青山口组一段油气向下运移的输导通道。正是由于油气

生成一超压形成一断层开启这一过程的多次重复,才使青山口组一段生成的大量油气注入到下伏的扶余油层中。本文通过 T₂ 断层与青山口组一段烃源岩成熟度及 F I 油层的油气显示井叠合看(图 6),在研究区西部、中部、南部的成熟烃源岩范围内,T₂ 断层比较发育的地区,F I 油层油气显示也比较发育。另外,从图 3 也可以看出,钻遇 F I 油层见油显示的探井均有断层沟通源岩和储层。因此,T₂ 断层对于 F I 油层的油气成藏起到了优势运移通道作用。

3.4 储集条件对油气成藏的控制作用

本区 F I 油层沉积时期,河流作用占据优势,发育分流河道、分流间湾和河口坝等沉积微相,油层物性较差,平均孔隙度为 13.9%,平均渗透率为 $2.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,整体表现为低孔低渗特征。通过已钻井的测井、录井资料并结合岩心资料,发现物性相对

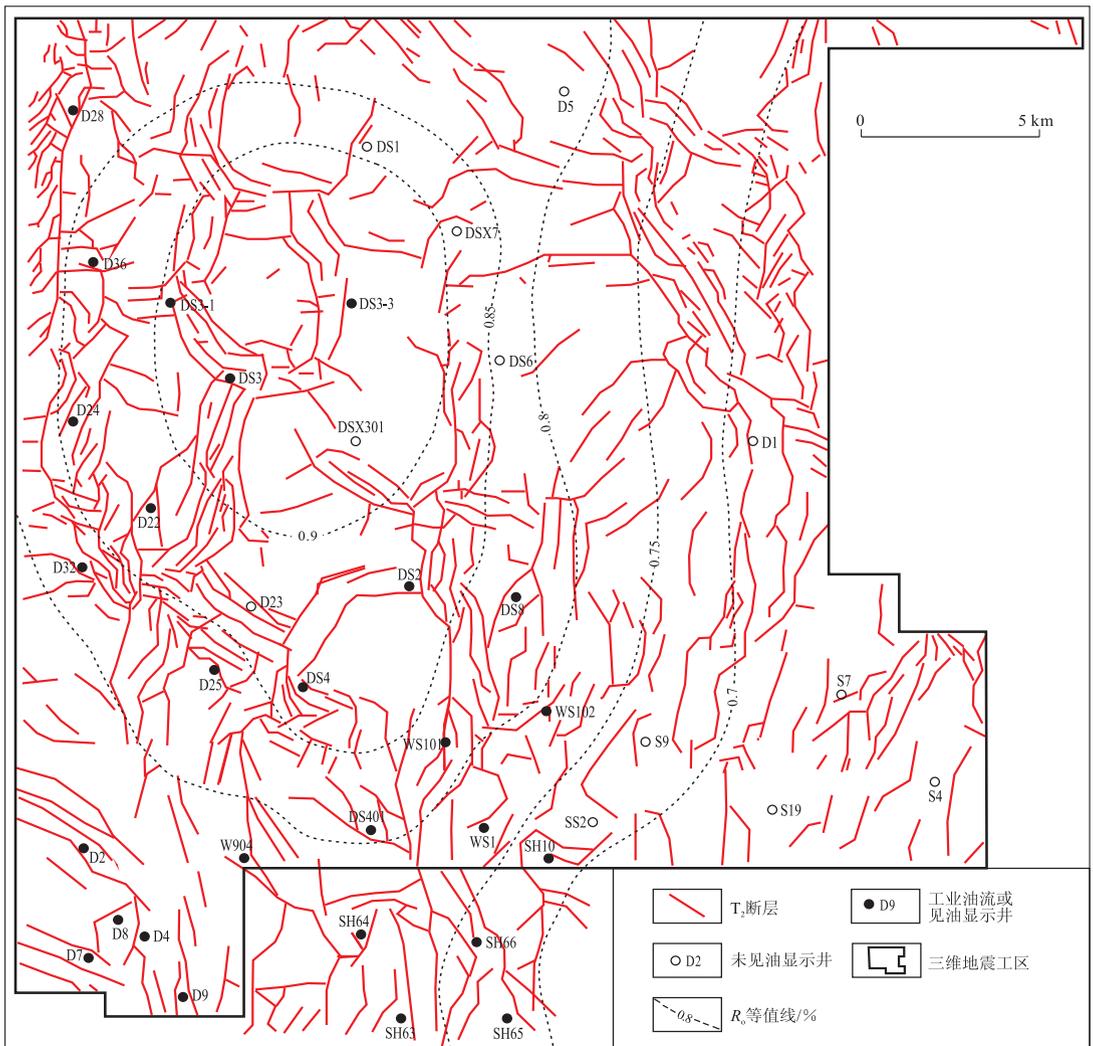


图 6 松辽盆地安达地区 T₂ 断层与青山口组一段及 F I 油层油显示井叠合
Fig. 6 Overlap of T₂ faults, R₀ of 1st member of Qingkoushan Formation and oil-showing wells of F I oil layer in Anda region, Songliao Basin

较好的分流河道砂体是本区 F I 油层油气聚集的载体^[11], 油气绝大部分聚集在分流河道砂体中的交错层理粉砂岩、细砂岩中, 说明分流河道砂体为 F I 油层的油气成藏提供了良好的储集条件。

4 勘探方向分析

综合上述分析, 安达地区青山口组一段成熟烃源岩的分布、超压发育程度及油源断裂主要控制了 F I 油层的油气成藏, 进而将研究区划分为 2 个有利勘探区。

4.1 南部有利勘探区

该区青山口组一段烃源岩 R_o 值在 0.7%~0.8%, 超压发育程度大, 大于 11.5 MPa, 油源断裂比较发育, 为油气显示最为丰富的地区。目前该区内有工业油流井 1 口, 即 D9 井, 油显示井 10 口, 占整个研究区油显示井的 37.9%, 油气显示发现率为 100%, 是 F I 油层成藏较有利勘探地区。

4.2 中西部有利勘探区

该区青山口组一段烃源岩 R_o 值在 0.7%~0.9%, 超压值在 10~11.5 MPa。从油气运移通道及圈闭的角度看, 油源断裂发育, 构造圈闭发育。目前该区的探井主要集中在中西部, 工业油流井 3 口, 即 D24, D25 和 D32 井, 油气显示井 15 口, 占整个研究区油显示井的 62.1%; 油气显示发现率为 78.3%。虽然该区钻井有 23 口, 但深层火山岩气藏探井占一半以上, 所以从烃源岩成熟度、勘探面积及中浅层探井密度上来看, 该区是安达地区 F I 油层最有潜力的勘探地区。

5 结论与建议

5.1 结论

1) 构造演化表明安达地区为一独立生烃凹陷, 青山口组一段泥岩有机质丰度高, 具有较好的生、排烃能力, 浅水三角洲沉积环境下的分流河道砂体为油气聚集提供了良好的储集空间, 上覆的青山口组泥岩为研究区提供良好的区域性盖层。

2) 本区油气以垂向运移为主, F I 油层的油气成藏主要受成熟烃源岩、青山口组一段超压、优势运移通道和储集条件 4 个因素控制。

3) 综合 F I 油层的油气成藏主控因素, 将安达地区进一步划分为 2 个有利勘探地区。

5.2 建议

1) 安达地区 F I 油层找油的基本思路, 应在成熟烃源岩、超压、油源断层和良好的储集层等均具

的条件下, 寻找断层—岩性和岩性—构造油藏。

2) 安达地区下一步勘探重点应对本区南部地区的斜坡带和中西部地区的构造低部位发育较好的储集层岩性、构造圈闭继续进行探索, 争取在安达地区油的勘探取得好的效果, 成为大庆油田下一个增储上产的有利接替区。

参考文献:

- [1] 胡望水, 吕炳全, 张文军, 等. 松辽盆地构造演化及成盆动力学探讨[J]. 地质科学, 2005, 40(1): 16-31.
- [2] 高瑞琪, 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: 1-60.
- [3] 李娟, 舒良树. 松辽盆地中、新生代构造特征及其演化[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2002, 38(4): 525-531.
- [4] 翟光明, 王志武. 中国石油地质志·卷二(上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 1-177.
- [5] 余和中, 韩守华. 松辽盆地构造样式分析[J]. 大庆石油地质与开发, 1997, 16(1): 1-4.
- [6] 吴福元, 孙德有, 李惠民, 等. 松辽盆地基底岩石的锆石 U-Pb 年龄[J]. 科学通报, 2000, 45(6): 656-660.
- [7] 杨继良. 发展石油地质理论, 寻找更多的油气藏[J]. 大庆石油地质与开发, 1999, 18(6): 1-2.
- [8] Ren Jianye, Tamaki K, Li Sitian, et al. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas[J]. Tectonophysics, 2002, 344(3-4): 175-205.
- [9] 赵波, 王革, 王雪, 等. 安达向斜达 9 井扶余油层油流的确定[J]. 大庆石油地质与开发, 2008, 27(6): 39-42.
- [10] 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: 1-157.
- [11] 赵波, 冯子辉, 梁江平. 松辽盆地安达地区泉头组四段沉积特征与油气分布关系[J]. 石油实验地质, 2010, 32(1): 35-40.
- [12] 张厚福, 方朝亮, 高先志, 等. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999: 101-124.
- [13] 郭泽清, 钟建华, 刘卫红, 等. 柴达木盆地西部第三系异常高压与油气成藏[J]. 石油学报, 2004, 25(4): 13-18.
- [14] 陈中红, 查明. 断陷湖盆超压分布特征及其与油气成藏的关系[J]. 石油学报, 2008, 29(4): 509-215.
- [15] 吕延防, 李建民, 付晓飞, 等. 松辽盆地三肇凹陷油气下排的地质条件及找油方向[J]. 地质科学, 2009, 44(2): 525-533.
- [16] 向才富, 冯志强, 吴河勇, 等. 松辽盆地异常压力系统及其形成原因探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(11): 1752-1759.
- [17] 付广, 苏玉平. 泥岩盖层抑制浓度封闭形成与演化及其研究意义[J]. 沉积学报, 2006, 24(1): 141-147.
- [18] 萧德铭, 迟元林, 蒙启安, 等. 松辽盆地北部向斜区岩性油藏勘探认识与实践[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 96-138.
- [19] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 3 版. 北京: 石油工业出版社, 2004: 50-153.
- [20] 吕延防, 沙子莹, 付晓飞, 等. 断层封闭性定量评价方法及其应用[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 34-38.
- [21] 王革, 赵波, 刘丽娟. 滨北石油地质条件与勘探方向研究[R]. 大庆: 大庆油田勘探开发研究院, 2007.