

松辽盆地三肇地区上生下储“注入式”成藏机制

迟元林¹⁾ 萧德铭²⁾ 殷进根²⁾

1) 长春科技大学, 130026; 2) 大庆石油管理局, 黑龙江安达, 163712

内容提要 三肇地区位于松辽盆地中部, 是一个继承性深断陷—坳陷区。在上部坳陷中沉积了一套“上泥下砂”的地层。巨厚泥岩段底部的青山口组一段黑色泥岩是本区最主要的生油岩, 在嫩江期(Campanian)末期进入生油门限, 明水期(Maastrichtian)末期—早第三纪晚期(Chattian)达到生烃、排烃高峰。在上覆大段泥岩封闭作用下, 青一段地层形成超压, 迫使油气向下排泄到下伏的扶扬油层储层。同时期, 大量断开青一段生油岩和扶扬油层储层的 T₂ 层断层复活开启, 成为青一段油气向下运移的良好通道。扶扬油层沉积时期, 南北物源水系多条分流河道的迁移交汇和多期河道的纵向错叠, 形成了大面积分布、纵向错叠、平面连片的低水位体系域砂体堆叠格局, 为形成大面积岩性油藏提供了丰富的储集空间。嫩江期(Campanian)末期—早第三纪末期(Chattian)盆地发生反转, 三肇地区周边褶皱隆起, 使之成为一个低缓的三角形凹陷。青一段泥岩大量生烃、排烃和超压高峰的形成与断层复活开启同步发展, 促使青一段油气向下部扶扬油层储层大量运移, 构成了区内特殊的“注入式”油气运移成藏模式, 在三肇凹陷内形成了大面积分布的岩性油藏。

关键词 油气运移 成藏机理 地层超压 松辽盆地

松辽盆地是一个中、新生代大型陆相含油气盆地。具有下断上坳双层叠合的沉积结构, 构成两套生烃层系。下部断陷层序为含煤碎屑岩系, 以生气为主; 上部坳陷层序有青山口组一段和嫩江组一段两套生油层, 为高水位体系域黑色泥岩, 以生油为主, 也是两套区域性盖层(付广等, 1998)。在青一段主要生油岩之上和其下分别形成了中部含油组合(即萨尔图、葡萄花、高台子油层, 简称萨葡高油层)和下部含油组合(即扶余、杨大城子油层, 简称扶杨油层), 是盆地中两套最重要产层。在盆地中部三肇(即肇州、肇源和肇东三县)凹陷中部含油组合储层不发育, 下部组合储层发育, 发现了榆树林、肇州—肇源、头台—茂兴和朝阳沟油田等多个大型岩性油藏和构造-岩性复合油藏, 找到 10 亿多吨石油地质储量。油与油源岩对比结果表明, 扶杨油层(下部组合)的油气 90% 以上来自上覆青一段生油岩(高瑞祺等, 1997)。笔者对其成藏机理研究表明, 这些油藏是青一段泥岩生成的油气在地层超压作用下, 沿断层通道向下“注入式”运移形成的。

1 地质概况

三肇地区位于松辽盆地中部, 西界、东北和东南边界分别为 NNE 向黑鱼泡—头台断裂、NW 向滨洲断裂和 ENE 向松花江断裂, 形成一个三角形的继承性深断陷—坳陷区。在盆地发展演化过程中, 三肇地区内部保持相对稳定, 继承性地发展成为深断陷和坳陷中心。三肇地区上部地壳(盆地基底)中发育有一系列向下消失于拆离带的高角度和低角度基底断层。它们与

基底拆离带一起构成拆离—滑脱系统^①。这些基底断层的继承性活动,控制了三肇地区的基底沉降和 T₂ 层(青山口组底面)附近大量盖层伸展断层的发育^{②③}。

松辽盆地发展经历了断陷期、拗陷期和反转期 3 个阶段(高瑞祺等,1997)。晚侏罗世晚期至早白垩世早期,三肇地区以杏山断陷为主体发育成为深断陷区,沉积了厚达 5000 m 的下部断陷层序(高瑞祺,1980;刘招君等,1992;高瑞祺等,1995;王璞珪等,1995),西部、东北部分别为古中央断隆带和东北断隆区。早白垩世登娄库期—嫩江期为拗陷期,在深部热收缩沉降和区域性伸展作用下盆地整体持续沉降。3 条深断裂带围限的三肇地区基底沉降最强,长期为沉降、沉积中心,下部登娄库组和泉头组为砂岩、粉砂岩和砂泥岩河湖交互沉积,上部青山口组、姚家组和嫩江组均以泥质岩沉积为主,构成了一套“厚泥下砂”的特殊地层层序。早白垩世登娄库期—青山口期以三肇地区为中心盆地沉积范围逐渐向外扩大,沉积了一套河、湖相地层。至泉头组三、四段(扶杨油层)沉积时期,盆地南北 3 条物源水系越过滨洲断裂和松花江断裂形成多支分流河道,从西南部、西部和西北部汇入三肇地区,在昌五—太平川一带汇合后东流出盆。物源的长期稳定和多条分流河道的不断改道,形成了纵向上错叠、平面叠置连片的低水位体系域河道砂体堆叠格架。其上沉积的青一段高水位体系域黑色泥岩,是盆地内最好的生油岩。青山口组沉积时期盆地沉降最强,事件性强烈伸展,形成了三肇地区大量断开青山口组泥岩和扶杨油层砂体的 T₂ 层断层。为青一段油气向下运移提供了有利通道。青二、三段至嫩江组三段沉积时期盆地持续沉降,沉积了厚达千米的大段湖相泥岩,封闭了青一段泥岩生成油气的向上扩散,促进了青一段地层超压的形成和油气的向下排泄。这套“厚泥下砂”的地层结构奠定了上生下储“注入式”油气运移模式的物质基础。

早白垩世末—早第三纪盆地发生反转,三肇地区周边褶皱隆起,西侧和东南侧分别形成了大庆长垣背斜和朝阳沟、长春岭背斜带;东北侧抬升形成东北隆起。三肇地区形成一个相对低缓的三角形凹陷。沿边界断裂的走滑作用,减缓了构造应力对凹陷内部的影响。凹陷内部相对稳定的构造环境,为青一段地层超压形成、油气向下运移和形成大面积岩性油藏都提供了有利的构造条件。

2 错叠连片的低水位体系域河道砂体是良好的储集空间

泉头组三、四段为低水位体系域沉积期,三肇地区 NW 向和 NE 向两组网格状分布的次级基底断裂带继承性活动,沿断裂带沉降相对强烈,古地形偏低,控制着扶余、杨大城子油层南、北汇流物源水系分流河道摆动,形成扶、杨油层砂岩发育带。扶、杨油层 8 个油层组砂体展布与断裂带关系研究表明,枯水期(如扶 I 组、杨 II 组、杨 V 组)河道砂体明显受控于继承性活动断裂带,洪水期断裂带对砂体的控制作用减弱。西南部怀德—长春物源水系从扶余经肇源、肇州、朝阳沟流向榆树林南部地区,形成 NE 向古松花江水系,控制着南部和西部 NE 向河道摆动带。北部有两个物源水系,拜泉—青冈水系的西面两支分流河道从安达、宋站流向榆树林南部,控制着升平、榆树林地区;讷河—依安水系的东支经大庆流向宋芳屯—模范屯和肇州地区,与南部古松花江水系汇合,控制着三肇凹陷西部地区古分流河道。北部物源形成多支 NW 向、

① 朱德丰等,1993. 松辽盆地北部深断裂结构及其作用研究. 大庆石油管理局勘探开发研究院.

② 殷进根等,1994. 两江地区构造特征与发育史研究. 大庆石油管理局勘探开发研究院.

③ 殷进根等,1999. 松辽盆地深层构造与形成机制研究. 大庆石油管理局勘探开发研究院.

NNW 向分流河道摆动带。靠近主干断裂,沿朝阳沟—太平川一带和沿升平—昌五地区一带长期是南北物源的河道摆动带,扶余、杨大城子油层形成了多层河道砂体发育带,分流河道的不断迁移改造、南北物源多条分流河道交汇和多期河道砂体的纵向错叠,形成了大面积错叠连片的砂体分布格局。河道砂体单层呈透镜状或薄层状,厚度 3~5 m,最厚 10 m,泥质含量 8%~15%,呈正韵律,孔隙度 10%~15%,渗透率为 $0.1 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平面上呈短条带状,长 1~5 km,宽 0.5~0.7 km。多条砂体纵向错叠,平面叠置连片。单砂体与单砂体之间平面和纵向连通性很差或不连通(高瑞祺等,1997)。这些河道砂体为形成大面积岩性油藏提供了有利储层空间。

3 地层超压是青一段油气向下运移的动力

青山口组—嫩江组沉积时期,盆地沉降最强烈,三肇地区沉积了大套湖相地层,青山口组—嫩二段,上千米厚的地层几乎全是泥岩,既是良好的生油层,也是良好的区域性盖层。其中青一段黑色泥岩厚 80~100 m,是三肇地区主要生油岩,也是扶、杨油层的主要油源岩。根据原油与烃源岩的生物标志化合物对比和芳烃组分核磁共振氢谱对比表明(冯子辉等,1992),扶余和大部分杨大城子油层的原油与青一段腐泥型成熟生油岩有“亲缘”关系,另一部分杨大城子油层原油与泉头组一、二段腐植型生油岩接近。据青山口组泥岩生烃强度和流体下排厚度计算,有 90% 以上的扶、杨油层原油来自上覆青一段泥岩。

青一段泥岩现今 R_o 值为 0.6%~1.12%,大部分在 0.75%~1.0% 之间,属成熟生油岩。有机质热演化史研究表明,青一段泥岩镜质组反射率在四方台期末期为 0.50%~0.67%,明水期末期为 0.71%~0.84%,第三纪末期达 0.99%~1.12%。青一段泥岩嫩江期末期开始生烃,生烃高峰和大量排烃在明水期末期至第三纪。

青一段生油岩有机质演化和粘土矿物成岩作用研究表明(杨万里等,1985),青一段泥岩在 1100 m 深度进入生烃门限,1800 m 深度(明水期末期)达到生油高峰。粘土矿物成岩大量脱水深度在 1200~1500 m,早于青一段泥岩大量生烃、排烃和地层超压高峰形成。这样,以水为载体的油气初次运移受到限制,生成的油气大部分滞留在生油岩中。

油层地层水地球化学和古水动力场研究表明(楼章华等,1994;楼章华,1998),由于上覆地层的不断加厚,青一段泥岩被压缩不断将泥岩中的赋存水释放出来,压出水大部分进入上覆地层。当地层存在超压

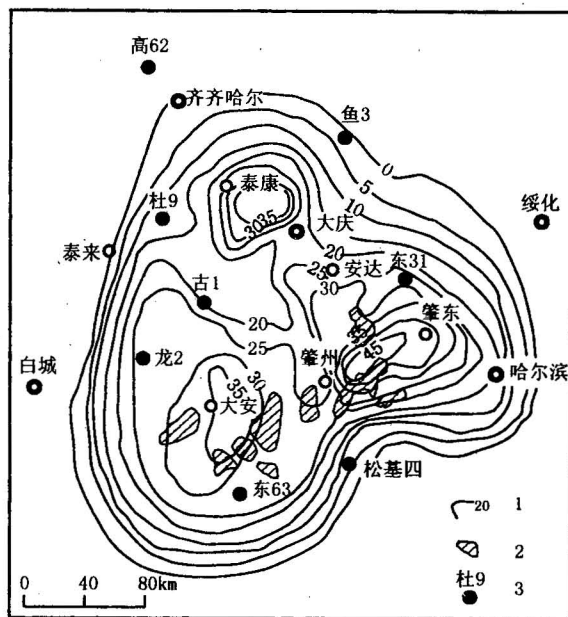


图 1 三肇地区青山口组泥岩流体下排厚度图
Fig. 1 Thickness of downward expulsion of fluids from mudstone of the Qingshankou Formation in the Sanzhao area

1—流体下排厚度(m); 2—扶杨油层油田; 3—探井
1—Thickness (m) of downward expulsion of fluids;
2—Fuyang oil field; 3—well

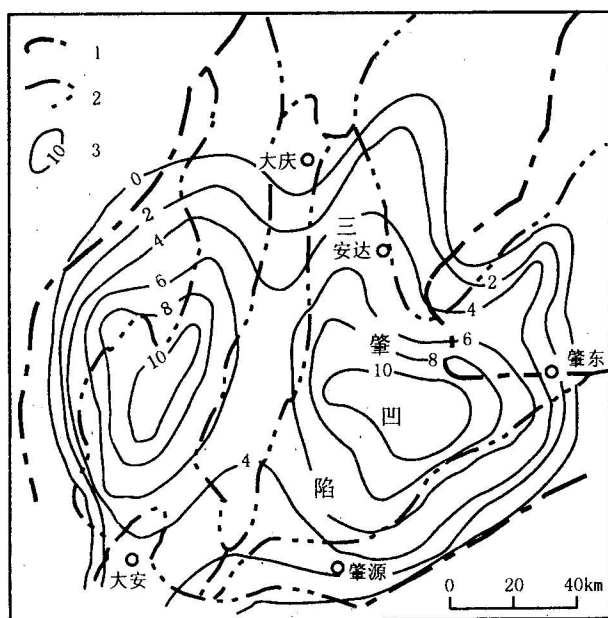


图 2 松辽盆地北部青一段地层超压分布图

Fig. 2 Overpressure distribution of Member 1 of the Qingshankou Formation in northern Songliao basin

1—一级构造单元界线; 2—二级构造单元界线; 3—地层超压(MPa)
1—Boundary of primary tectonic unit; 2—boundary of secondary tectonic unit; 3—overpressure isoline (MPa)

时压出水开始下排,进入下伏地层。泥岩中排出水的体积与被交替储层空隙体积之比称之为沉积水交替强度。青山口组泥岩成熟前后,三肇地区扶、杨油层交替强度都较大,最大分别达 12 和 13。青一段泥岩成熟前压出水的下排交替作用淡化了扶、杨油层地层水,使扶、杨油层地层水矿化度比萨、葡、高油层地层水明显低。明水期后,青一段泥岩成熟后下排作用则促进了油气向扶杨油层注入。以青一段泥岩异常超压计算,三肇地区青山口组一段泥岩流体在超压作用下排厚度可达 25~45 m(图 1)。

青一段泥岩的排驱压力达 10 MPa 以上。青一段泥岩自身是良好区域性盖层,其上青二、三段—嫩江组二段近千米厚的大段地层几乎全部为泥岩,封盖了青一段生成的油气向上扩散,促使青一段地层形成超压。现今青一段地层普遍存在地层超压,三肇内部排驱压力一般为 6~11 MPa(图 2),压力梯度一般为 1.12 MPa/100m,在榆树林等地区达到

1.5 MPa/100m。纵向上从姚家组向下至青一段压力梯度逐渐增大,在青一段底部和扶、杨油层中压力梯度突然降低(图 3)。这种情况被解释为青一段地层超压流体向下部扶、杨油层排放的结果。根据盆地模拟恢复的地压史表明,青一段地层超压形成于嫩江期末期(图 4a),到明水期末期达到高峰(图 4b),徐家围子—榆树林和肇州东部地层超压均在 10 MPa 以上,最高达 25 MPa,压力梯度在 1.5 MPa/100m 以上。青一段泥岩应力破裂实验表明,当超压大于青一段泥岩围压 10 MPa 时泥岩产生微裂缝,排放异常高压流体,流体超压可达 10 MPa 以上。超压流体以 T_2 层断层为通道,向下排注到扶、杨油层储层中。以青一段泥岩底部最大异常地层压力与泉头组正常地层压力对比,在三肇凹陷中部超压作用下青一段流体垂直向下注入运移深度可达 300 余米。

4 断层是油气向下运移的良好通道

三肇地区油气以向下垂向运移为主, T_2 层断层是油气向下运移的良好通道。青山口期盆地伸展,导致 NE 向和 NW 向两组基底断裂带继承性活动,形成了大量断开青一段生油岩和扶杨油层储层的 T_2 层断层,构成网格状断层发育密集带。据不完全统计,三肇地区 T_2 层断层有 4230 条,主要为近 SN 向走向,均为正断层,一般断距 20~60 m,最大 150 m。断层长度 2~5 km,最长达 25 km。在东西方向测线上 T_2 层断层的发育密度为 0.5~1.8 条/km。在断层发育密集带上断层的发育密度为 1.0~1.8 条/km。少数向上延伸断至嫩江组地层的断层,并未破

坏上覆巨厚泥岩段的封盖能力和青一段泥岩的区域性地层超压。构造发育史研究表明,在嫩江期末期、明水期末期和早第三纪末期构造运动,大部分 T_2 层断层都曾复活开启,有利于青山口组油气在超压作用下向下垂向运移。青一段泥岩在明水期末期至第三纪早期达到生烃、排烃高峰,地层超压也在明水期末达到高值(可达 25 MPa)。明水期末期 T_2 层断层复活开启与青一段泥岩大量生烃、排烃和地层超产高峰期的有机配合,使之成为油气向下排泄、垂向运移的良好通道。构成了青一段泥岩“注入式”的油气向下运移模式。

一方面,三肇凹陷内部区域性的地层超压,既是油气垂直向下注入的动力,也促进了油气进入扶杨储层后沿断层向下部层位砂体的水平运移。另一方面, T_2 层断层既是油气向下运移的通道,也是油气在透镜砂体之间侧向运移的通道。扶杨油层短条带状和透镜状河道砂体,

利于形成岩性油气藏,而不利油气沿储层侧向运移,沿 T_2 层断层垂向运移至砂岩储层中的异常高压流体,得不到进一步排释。而在有断层连通的砂体之间,藉以断层为通道侧向运移。尤其是存在与地层走向高角度相交断层和砂岩发育带匹配较好的构造斜坡部位,垂向运移来的异常高压流体将沿断层向构造斜坡上倾方向侧向运移,在深度相近、层位更低的砂体中聚集,使生油岩下面的含油高度增大。含油高度最大的部位往往在构造陡坡的上方,远离陡坡油柱高度又逐渐变小。如榆树林油田位于三肇凹陷东北陡坡之南西倾尚家鼻状构造的前缘,向西南方向为三肇凹陷中心。该部位发育有大量近 SN 向—NNE 向 T_2 层断层,断层走向与斜坡倾向近于平行。该区是扶杨油层多期河道砂岩发育带,砂体展布方向为 NW 向,与断层走向垂直。断层、砂体和构造地形的有机匹配,在三肇凹陷中部油气从青山口组注入到扶杨油层砂体中,而后沿断层通道水平运移至榆树林地区层位更低的杨 V 组砂体中成藏。在明水期末期,三肇凹陷中心地层超压可达到 25 MPa,油气向下垂向运移深度达 300 m 以上。凹陷中心与榆树林地区有 200 m 的构造高差,油气沿断层在砂体之间侧向运移的结果,形成了距青一段泥岩底有近 500 m 的油柱深度。同样,三肇凹陷东南部朝阳沟油田的情形也与之类似。由于 T_2 层断层长度一般不大,油气沿断层向低层位水平运移主要发生在离凹陷中心较近、砂体发育和存在倾向断层的构造陡坡部位。

嫩江期(Campanian)末期、明水期(Maastrichtian)末期—早第三纪晚期(Chattian)盆地经历了 3 个阶段的收缩反转, T_2 层断层都曾复活开启。此期间正值青一段泥岩成熟至大量生烃、排烃,和地层超压形成、达到高峰,三者和时间上同步发展与有机匹配,是青一段油气以断层为

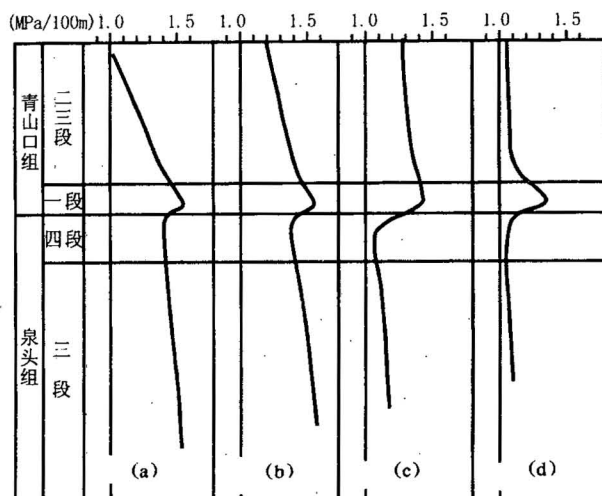


图3 三肇地区青一段及邻层压力梯度纵向变化图
Fig. 3 Vertical variation of the pressure gradient within the 1st member of the Qingshankou Formation and its neighbour in the Sanzhao area
(a) 榆树林; (b) 宋芳屯—模范屯;
(c) 升平—宋站; (d) 茂兴—肇源
(a) —Yushulin; (b) —Songfangtun—Mofantun;
(c) —Shengping—Songzhan; (d) —Maoxing—Zhaoyuan

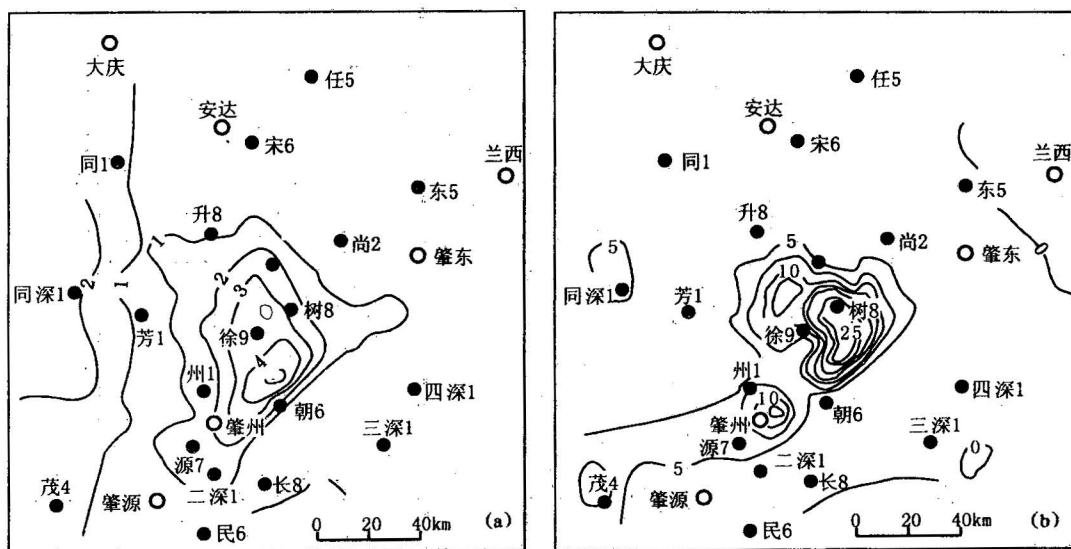


图 4 三肇地区青一段地层超压演化图 (MPa)

Fig. 4 Overpressure evolution of Member 1 of the Qingshankou Formation in the Sanzhao area (MPa)

(a)—嫩江期末期; (b)—明水期末期

(a)—Late stage of Nenjiang Age; (b)—late stage of Mingshui Age

通道、以超压为动力向下“注入式”运移成藏的关键。

5 结论

特殊的构造背景决定了三肇地区构造活动的相对稳定、深断陷区—坳陷中心—复向斜区的持续发展以及“厚泥下砂”地层层序的形成。它们是青一段地层超压形成和油气向下注入式运移的基本条件。青山口组—嫩二段巨厚泥岩段形成了强封盖能力的区域盖层;青一段泥岩粘土矿物成岩脱水早于大量生烃、排烃,限制了以水为载体的油气初次运移,使生成的油气大部分滞留在青一段生油岩中;这些都有利于青一段地层形成超压,构成油气向下运移的动力。扶杨油层发育的低水位体系域河道砂体提供了有利的储集空间,砂体纵向错叠和平面叠置成片有利于凹陷内形成大面积岩性油藏。断通青一段生油岩和扶杨油层透镜砂岩的大量 T_2 层断层,提供了油气向下运移的通道。晚白垩世—第三纪晚期,青一段生油岩大量生烃、排烃和地层超压高峰形成、释放与 T_2 层断层开启同步发展,是青一段油气大量向下“注入式”运移成藏的关键。

以上石油地质条件共同决定了三肇地区油气以向下垂直运移为主,侧向运移为辅的油气运移模式。构造与砂体、断层展布的匹配,决定了三肇凹陷由内向外,由岩性油藏—构造-岩性复合油藏—构造油藏的环状展布。

参 考 文 献

- 冯子辉,李振广. 1992. 松辽盆地原油的核磁共振(NMR)谱及其有机地球化学特征. 地球化学, (4): 399~407.
- 付广,陈章明,王朋岩等. 1998. 松辽盆地三肇凹陷青山口组泥岩盖层封闭能力形成时期. 地质论评, 44(3): 295~301.
- 高瑞祺. 1980. 松辽盆地白垩纪陆相沉积特征. 地质学报, 54(1): 9~23.
- 高瑞祺,萧德铭. 1995. 大庆探区油气勘探新进展. 北京: 石油工业出版社.

- 高瑞祺,蔡希源.1997.松辽盆地油气田形成条件与分布规律.北京:石油工业出版社.
- 刘招君,王东坡,刘立等.1992.松辽盆地白垩纪沉积特征.地质学报,66(4):327~338.
- 楼章华,高瑞祺.1994.扶、杨油层水化学场特征及其成因.大庆石油地质与开发,13(1):21~25.
- 楼章华.1998.松辽盆地储层成岩反应与孔隙流体地球化学性质及成因.地质学报,72(2):144~152.
- 王璞珺,杜小弟,王俊等.1995.松辽盆地白垩纪年代地层研究时代划分.地质学报,69(4):372~381.
- 杨万里,高瑞祺,郭庆福等.1985.松辽盆地陆相油气生成和聚集.哈尔滨:黑龙江科学技术出版社.

The Injection Pattern of Oil and Gas Migration and Accumulation in the Sanzhao Area of Songliao Basin

Chi Yuanlin¹⁾ Xiao Deming²⁾ Yin Jinyin²⁾

1) Changchun University of Science & Technology, 130026

2) Daqing Petroleum Administration Bureau, Anda, Heilongjiang, 163712

Abstract

This paper analyses and discusses the controlling factor and mechanism of the down-injection pattern of oil migration and accumulation in the Sanzhao area of the Songliao basin. The Sanzhao depression is a continuous subsidence area, developed on the down fault-depression. There are the thick mudstone layer composed of the Qingshankou—Yaojia Formation (K_1qn+y) and Members 1 and 2 of the Nenjiang Formation (K_1n_{1-2}) in the upper part, and the sandstone layer composed of Members 3 and 4 of the Quantou Formation (K_1q_{3-4}) in the lower, deposited during the depression stage. The former is more than 1000 m thick, forming two sets of source rocks and regional caprocks. The latter, underlying the major oil source bed K_1qn , consists of deposits of a low-stand fluvial-shallow water delta system and is characterized by a large-area distribution, low permeability, thinly interbedded sand/shale formation, providing enormous reservoir space. K_1qn_1 (Member 1 of the Qingshankou Formation), at the bottom of the mudstone layer, consists of about 100 m-thick black mudstone and has fairly good hydrocarbon-generating and sealing conditions. Its oil-generating peak (Maastrichtian—Paleogene) is later than its diagenetic dehydration stage, and tends to form overpressure of the formation. Oil and gas migrate downwards into the Fuyu and Yangdachengzi (Q_{3-4}) reservoirs by the overpressure along the faults which cut off the K_1qn_1 mudstone and the K_1q_{3-4} sandstone, forming the large-sized lithologic oil-field in the Sanzhao depression. The key to the oil/gas injection migration downward is that hydrocarbons generate on a large scale, and the overpressure reaches the peak, and the faults reactivate synchronously.

Key words: oil and gas migration; accumulation mechanism; formation overpressure; Songliao basin

作者简介

迟元林,男,1963年生。1985年毕业于长春地质学院地质系矿产普查专业。现任大庆石油管理局勘探开发研究院副院长,高级工程师,攻读长春科技大学岩石学专业博士。长期从事石油地质勘探综合研究工作。通讯地址:163712,大庆石油管理局勘探开发研究院;电话:(0459) 5596295;E-mail:ylchi@yjy.dq.cncp.com.cn。