

文章编号: 1000-0550(2008) 02-0355-06

# 三肇凹陷青山口组源岩生成油向下“倒灌”运移层位及其研究意义<sup>1</sup>

付 广 王有功  
(大庆石油学院 黑龙江大庆 163318)

**摘 要** 为了研究三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移层位,对油向下“倒灌”运移机制及条件进行了研究,得到三肇凹陷扶杨油层同时具备<sup>1</sup> 青山口组源岩目前应具有足够大的超压;④存在连通青山口组源岩和扶杨油层的 T2 断裂 2 个条件,青山口组源岩生成的油能够在超压的作用下在嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和古近系沉积末期通过 T2 断裂向下伏扶杨油层中“倒灌”运移。利用压力封闭原理,对三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移距离进行了研究,得到三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移距离一般大于 500 m,而三肇凹陷扶杨油层厚度最大只有 500 m,表明三肇凹陷青山口组源岩生成的油可以向下“倒灌”运移至整个扶杨油层的任何部位。目前三肇凹陷扶杨油层从上至下均含油,且已找到的油藏均分布于青山口组源岩生成的油能够向下“倒灌”运移分布范围内或附近,这表明青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移层位控制着油气富集层位,青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移分布范围控制着三肇凹陷扶杨油层油藏形成与分布范围。青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移分布范围及其附近应是三肇凹陷扶杨油层下一步勘探的有利地区。

**关键词** 三肇凹陷 青山口组源岩 超压 扶杨油层 “倒灌”运移 层位

**第一作者简介** 付广 男 1962 年出生 教授 油气藏形成与保存 E-mail: fuguang2008@126.com

**中图分类号** TE122.1 **文献标识码** A

三肇凹陷位于松辽盆地北部中央坳陷区内,西部紧邻大庆长垣,东部紧邻朝阳沟阶地,北部与绥化凹陷、绥棱背斜带和安达向斜南部相邻,是一个长期继承性发育的坳陷。扶余和杨大城子油层是该凹陷中部组合的主要产油气层,目前已发现了宋芳屯、榆树林、肇州、升平、朝阳沟东、汪家屯、宋站、羊草、长春岭等油气田,充分展示了该凹陷扶杨油层含油气远景。油源对比结果<sup>[1-2]</sup>表明,该凹陷扶杨油层油主要来自上覆青山口组源岩,属于上生下储式生储盖组合。由于该凹陷扶杨油层与上覆青山口组源岩之间被多套泥岩层所隔,青山口组源岩生成排出的油要从上部运移至下伏的扶杨油层,首先要克服浮力和毛细管力的阻挡作用,这除了要求青山口组源岩要有足够大的超压外,还必须具有连通青山口组和扶杨油层的断裂,才能使青山口组源岩生成排出的油向下“倒灌”运移穿过多套泥岩层进入扶杨油层中。关于三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移问题,虽然已有学者<sup>[1-15]</sup>进行过研究和探讨,但主要是研究油气向下“倒灌”运移的可能性,而对油气向下运移距离

和层位,尤其是层位研究的甚少,这无疑不利于该凹陷扶杨油层油藏与分布规律的认识和勘探的深入。因此,本文通过三肇凹陷青山口组超压源岩生成的油向下“倒灌”运移距离和层位研究,阐明其对该凹陷扶杨油层油藏层位及分布的控制作用。

## 1 油向下“倒灌”运移机制及条件

由文献<sup>[3]</sup>可知,油气要发生向下“倒灌”运移必须满足 2 个条件即<sup>1</sup> 源岩具有足够大的超压;④存在连通源岩和下伏储集层的断层。只有同时具备这 2 个条件,源岩中生成排出的油气方可在超压的作用下,形成源储压差,克服浮力和毛细管力的阻挡作用,向下伏储集层中“倒灌”运移;否则 2 个条件缺少哪一个,均无法发生或无油气的向下“倒灌”运移。

### 1.1 油气向下“倒灌”运移动力来源

三肇凹陷青山口组为深湖相沉积,暗色泥岩发育,平均厚度达到 300 m,高值区主要分布在凹陷南部,向北青山口组暗色泥岩厚度逐渐减小,在凹陷边部减小至 180m 左右。青山口组暗色泥岩有机质丰

<sup>1</sup> 国家重点基础研究发展规划项目(编号:2001CB209104)和博士学科点专项科研基金(20060220002)资助。

收稿日期:2007-03-30 收修修改稿日期:2007-08-29

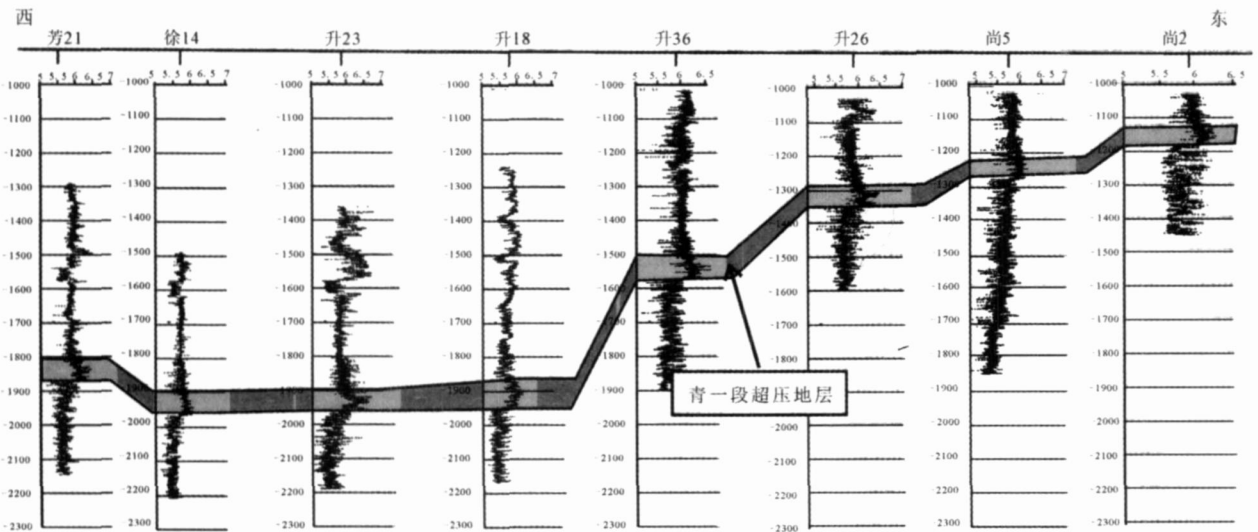


图 1 三肇凹陷青山口组源岩超压分布对比图

Fig 1 Comparison for the distribution of overpressure of  $K_1qn$  source rock in Sanzhao depression

富,有机碳含量平均为 3.125%, 氯仿沥青“ A ”平均为 0.5%, 生烃潜力  $S_1 + S_2$  平均为 24 mg/g。有机质类型以 iv 型和  $\text{I}_A$  型干酪根为主, 镜质体反射率为 0.6% ~ 1.2%, 大部分在 0.75% ~ 1.0% 之间, 属于成熟源岩。有机质热演化史表明, 青山口组源岩镜质体反射率在四方台组沉积末期为 0.50% ~ 0.67%, 明水组沉积末期为 0.71% ~ 0.84%, 新近系沉积末期达 0.98% ~ 1.12%, 这表明三肇凹陷青山口组源岩在嫩江组沉积末期开始生烃, 在明水组沉积末期、古近系和新近系沉积末期达到生烃高峰<sup>[4]</sup>。由此看出, 目前青山口组源岩可以为油向下运移提供大量油。

由图 1 中可以看出, 三肇凹陷青山口组源岩由于厚度大, 沉积速率快, 目前普遍欠压实, 具有超压。由等效深度法<sup>[14, 15]</sup>, 利用声波时差资料对其超压值大小及分布进行了研究, 结果如图 2 所示, 由图 2 中可以看出, 三肇凹陷青山口组源岩超压值最大值可达到 20 MPa, 主要分布在三肇凹陷中心的徐 8 井和徐 9 井处, 次极值点分布在芳 21 井处, 超压值可达 16 MPa, 由 3 个高值区向其凹陷四周青山口组源岩超压值逐渐减小, 在凹陷边部排烃边界处减小至 8 MPa 以下。

由式 1 可以计算出三肇凹陷青山口组源岩超压开始形成深度, 再由地层厚度和沉积速率便可以确定其开始形成时期, 如图 3 所示。由图 3 中可以看出, 三肇凹陷青山口组源岩超压最早形成于青二、三段沉积时期, 大部分开始形成于嫩四段沉积时期, 其次是

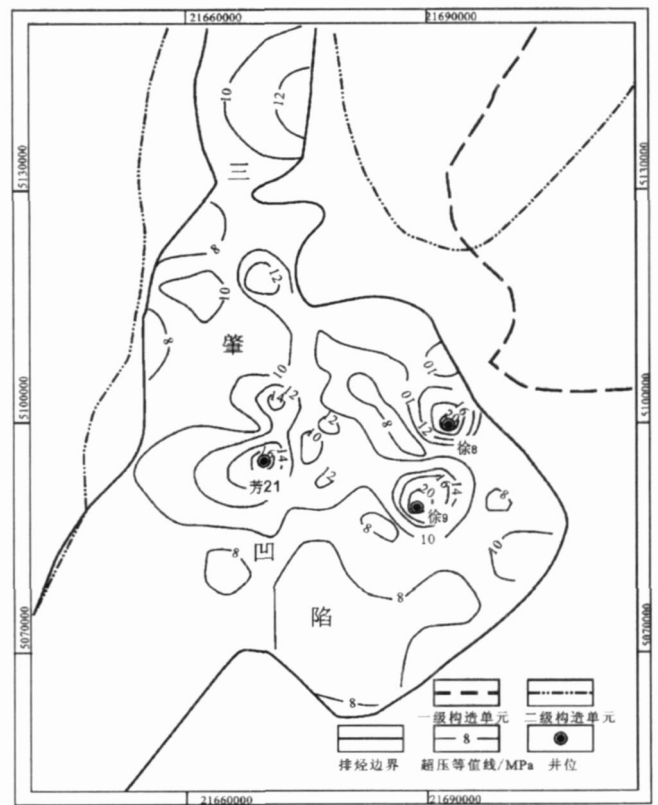


图 2 三肇凹陷青山口组源岩超压平面分布图

Fig 2 The distribution of overpressure of  $K_1qn$  source rock in Sanzhao depression

嫩二段、嫩五段和嫩三段沉积时期, 姚一段、姚二、三段和嫩一段沉积时期也有部分地区超压开始形成。

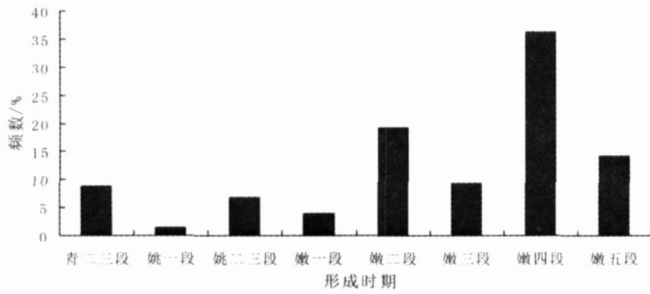


图 3 三肇凹陷青山口组源岩超压开始形成时期分布图  
Fig 3 The distribution of formation period of overpressure of  $K_1qn$  source rock in Sanzhao depression

$$Z_0 = -\frac{1}{c} h \frac{\Delta t}{\Delta t_0} \quad (1)$$

式中:  $Z_0$ —超压开始形成深度, m;  $c$ —泥岩正常压实趋势线斜率;  $\Delta t$ —深度  $Z$  处的声波时差值,  $\mu s/m$ ;  $\Delta t_0$ —外推地表处泥岩声波时差值,  $\mu s/m$ 。

### 1.2 油向下“倒灌”运移的输导通道

青山口组沉积时期松辽盆地伸展, 导致 NE 向和 NW 向两组基底断裂带继承性活动, 在三肇凹陷形成了大量断开青山口组和扶杨油层的 T2 断裂, 构成了网格状的断裂发育密集带。据不完全统计, 三肇凹陷 T2 断裂有 4 230 条, 主要为近 SN 向分布, 均为正断层, 一般断距 20~60 m, 最大 150 m, 断层长度 2~5 km, 在东西方向测线上 T2 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密度为 1.0~1.8 条/km。少数断层向上延伸至嫩江组地层, 并未破坏上覆巨厚的泥岩层段。构造发育史研究表明, 在嫩江组末期、明水组末期和古近系末期构造活动, 大部分 T2 断层都曾复活开启<sup>[4]</sup>。

综合上述分析可以看出, 三肇凹陷青山口组源岩生成的油具备了向下“倒灌”运移的 2 个条件, 且青山口组源岩大量生烃期与 T2 断层活动时期及超压形成时期有着较好的时间匹配关系, 有利于上覆青山口组源岩生成排出的油在超压的作用下在嫩江组沉积末期、明水组沉积末期和古近系沉积末期通过 T2 断层向下伏扶杨油层中“倒灌”运移。

## 2 油向下“倒灌”运移距离和层位

由上可知, 油气能否向下发生“倒灌”运移及运移距离大小和层位的多少, 关键取决于源岩超压值的大小, 超压值越大, 形成的源储压差越大, 油气向下“倒灌”运移的距离越大, 穿越的地层层位越多; 相反, 油气向下“倒灌”运移的距离越小, 形成的源储压

差越小, 穿越的地层层位越少。

根据压力封闭原理, 在超压的作用下油气向下“倒灌”运移的最大理论距离计算公式为:

$$l = \frac{\Delta P}{(\rho_w - \rho_o)g} \quad (2)$$

式中:  $l$ —油气向下“倒灌”运移距离, m;  $\Delta P$ —源岩中超压值, Pa;  $\rho_o$ —油密度,  $g/cm^3$ ;  $\rho_w$ —地层水密度,  $g/cm^3$ ;  $g$ —重力加速度,  $m/s^2$ 。

如果油气向下“倒灌”距离  $l$  与其所能穿过的地层厚度之间满足式 3, 则油气向下“倒灌”的层位为第  $n$  层。

$$\sum_{i=1}^{n-1} h_i < l < \sum_{i=1}^n h_i \quad (3)$$

式中:  $n$ —为油气向下“倒灌”运移层数;  $h_i$ —油气向下“倒灌”运移穿过第  $i$  层地层厚度, (m);  $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。

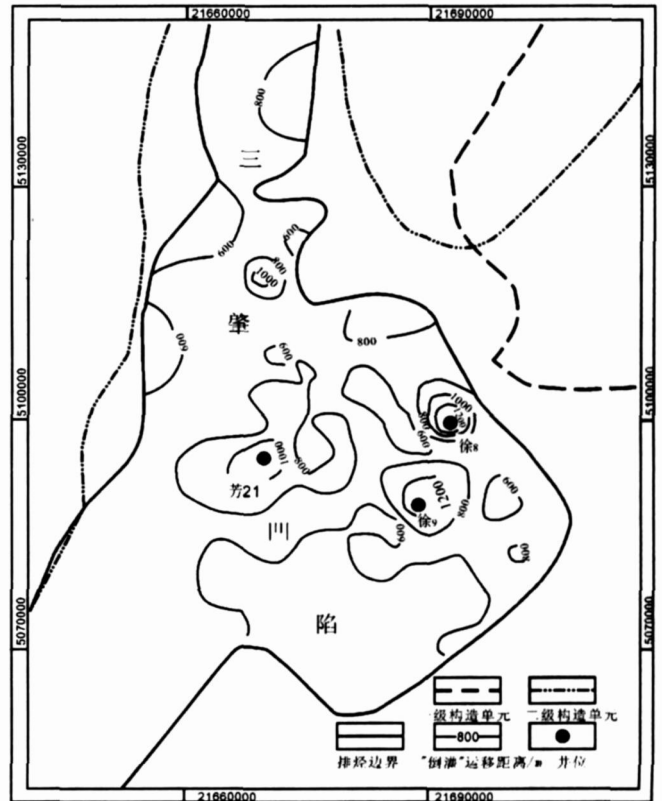


图 4 三肇凹陷青山口组源岩生成油向下“倒灌”运移距离分布图

Fig 4 The distribution of migration distance downward of oil from  $K_1qn$  source rock in Sanzhao depression

由式 2 根据图 2 中三肇凹陷青山口组源岩超压值大小, 便可以计算得到其生成的油油向下“倒灌”

运移距离大小及分布如图 4 所示。由图 4 中可以看出,三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移的最大距离可达到 1 700 m, 主要分布在徐 8 井和徐 9 井处, 次极值点分布在芳 21 井处, 向下“倒灌”运移距离为 1 200 m。由 3 个高值区向凹陷四周边界青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移距离逐渐减小, 在凹陷边部的排烃边界降为 600 m 以下。根据图 4 中三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移距离和扶余油层、杨大城子油层地层厚度(图 5), 由式 3 可以得到三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移距离均大于扶杨油层地层厚度(最大厚度 500 m, 大部分地区小于 400 m), 其生成排出的油在超压的作用下均可以向下“倒灌”运移进入扶杨油层中的任何部位。

### 3 研究意义

根据该区扶杨油层油分布层位和区域与青山口组源岩生成油向下“倒灌”运移层位及分布范围之间关系研究得到, 三肇凹陷扶杨油层油成藏与分布应受以下 2 个因素的控制。

#### 3.1 油向下“倒灌”运移层位控制着油富集层位

由上可知, 从理论上说, 三肇凹陷青山口组源岩生成油在超压的作用下均可以向下“倒灌”运移至扶杨油层中的任何部位, 只要有砂岩储层存在, 沿断裂向下“倒灌”运移进入扶杨油层中的油便可进入其内进行侧向运移, 再在断块、断层遮挡和断块-岩性等圈闭中聚集形成油藏, 如图 6 所示, 这可能是造成三肇凹陷目前扶杨油层从上至下均含油的一个重要原因。

#### 3.2 油向下“倒灌”运移分布范围控制油气聚集的分布范围

由上三肇凹陷扶杨油层油成藏条件可知, 只有位于青山口组源岩生成油向下“倒灌”运移分布范围内或及附近的扶杨油层才能获得油进行运聚成藏。否则其它条件再好, 也无法形成油聚集。由图 7 中可以看出, 三肇凹陷扶杨油层目前已发现的油藏如宋芳屯、榆树林、肇州、升平和朝阳沟东油田等均分布在青山口组源岩生成油向下“倒灌”运移分布范围内或其附近, 这充分说明青山口组源岩生成油向下“倒灌”运移分布范围控制着三肇凹陷扶杨油层油气成藏与分布的范围。因此, 三肇凹陷扶杨油层油成藏与分布的有利地区应是青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移分布范围及其附近, 是该区油下一步勘探的有利



图 5 三肇凹陷扶杨油层地层厚度分布图  
Fig. 5 The distribution of thickness of F, Y oil layers in Sanzhao depression

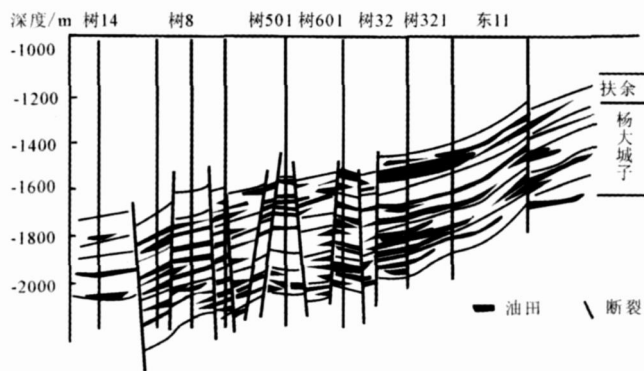


图 6 榆树林油田扶杨油层油藏剖面图  
Fig. 6 The section of oil reservoirs of F, Y oil layers in Yushulin oilfield

地区。

### 4 结论

- (1) 三肇凹陷青山口组源岩同时满足 ① 具有足够大的超压; ④ 存在连通扶杨油层的 T2 断裂 2 个条件, 其生成的油可以在超压的作用下在嫩江组沉积末

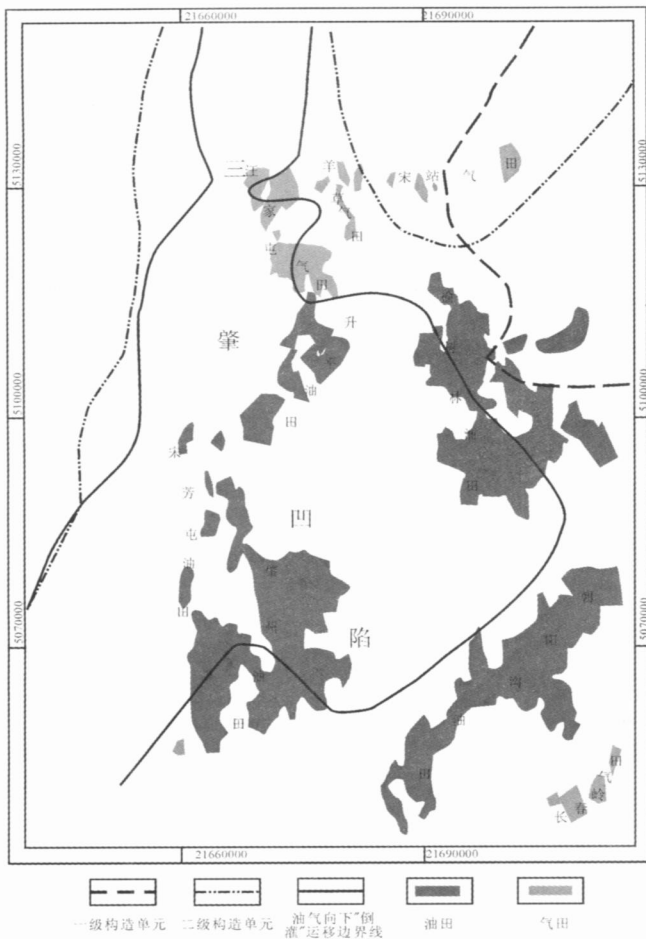


图 7 三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移范围与扶杨油层油藏关系图

Fig 7 The relation between the distribution of migration areas downward of oil from K<sub>1</sub>qn source rock and oil reservoirs of F<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub> oil layers in Sanzhao depression

期、明水组沉积末期和古近系沉积末期通过 T2 断裂向下伏扶杨油层中“倒灌”运移。

(2) 三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移距离一般大于 500 m, 均大于扶杨油层地层厚度, 可以向下“倒灌”运移至扶杨油层任何部位。

(3) 三肇凹陷青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移层位控制着扶杨油层油富集层, 其向下“倒灌”运移分布范围控制着油成藏与分布的范围。青山口组源岩生成的油向下“倒灌”运移分布范围及其附近是三肇凹陷扶杨油层下一步油勘探的有利地区。

### 参考文献 (References)

1 霍秋立, 冯子辉, 付丽. 松辽盆地三肇凹陷扶杨油层石油运移方式 [J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(3): 25-27 [Huo Qiuli, Feng Zhihui, Fu Li. The migration model of oil in Fuyang oil layer of Sanzhao depression, Songliao basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(3): 25-27]

2 蔡希源, 陈章明, 王玉华, 等. 松辽盆地两江地区石油地质分析 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999, 117-141 [Cai Xiyuan, Chen Zhangming, Wang Yuhua, et al. Analysis on Petroleum Geology in Two Rivers of Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999, 117-141]

3 邹才能, 贾承造, 赵文智, 等. 松辽盆地南部岩性—地层油气成藏动力和分布规律 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4): 125-130 [Zou Caineng, Jia Chengzao, Zhao Wenzhi, et al. Accumulation dynamics and distribution of litho-stratigraphic reservoirs in South Songliao Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 125-130]

4 迟元林, 萧德铭, 殷进垠. 松辽盆地三肇地区上生下储“注入式”成藏机制 [J]. 地质学报, 2000, 74(4): 371-377 [Chi Yuanlin, Xiao Deming, Yin Jinyin. The injection pattern of oil and gas migration and accumulation in the Sanzhao Area of Songliao Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(4): 371-377]

5 付广, 张云峰, 杜春国. 松辽盆地北部岩性油藏成藏机制及主控因素 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(5): 22-24 [Fu Guang, Zhang Yunfeng, Du Chunguo. Formation mechanism and main controlling factors for lithologic reservoirs in northern Songliao basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(5): 22-24]

6 付广, 孟庆芬. 松辽盆地北部异常高压在油气成藏与保存中的作用 [J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(1): 23-25 [Fu Guang, Meng Qingfen. Role of abnormal high pressure in the formation and preservation of oil and gas reservoirs in the north of Songliao Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(1): 23-25]

7 杨喜贵, 付广. 松辽盆地北部扶杨油层油气成藏与分布的主控因素 [J]. 特种油气藏, 2002, 9(2): 8-11 [Yang Xigui, Fu Guang. Dominating factors of formation and distribution of Fuyang reservoirs in north of Songliao basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2002, 9(2): 8-11]

8 林景晔, 张革, 杨庆杰, 等. 大庆长垣扶余杨大城子油层勘探潜力分析 [J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(3): 16-18 [Lin Jingye, Zhang Ge, Yang Qingjie, et al. Analysis on exploration potential of Fuyang Reservoir in Daqing Placanticline [J]. Development, 2003, 22(3): 16-18]

9 向才富, 冯志强, 吴河勇, 等. 松辽盆地西部斜坡带油气运聚的动力因素探讨 [J]. 沉积学报, 2005, 23(4): 719-725 [Xiang Caifu, Feng Zhiqiang, Wu Heyong, et al. Discussion on the dynamic factors controlling hydrocarbon migration from depression to West Slope Zone of the Songliao Basin, Northeast China [J]. 2005, 23(4): 719-725]

10 孟庆武, 蔡希源, 李伟, 汪家屯—升平地区深层超压分析 [J]. 大庆石油地质与开发, 1999, 18(6): 3-5 [Meng Qingwu, Cai Xiyuan, Li Ti. Analysis of deep overpressure in Wangjiatun—Shengping Area [J]. Petroleum Geology & Oilfield in Daqing, 1999, 18(6): 3-5]

11 王保林, 王洪宇. 超压源岩天然气扩散特征及作用 [J]. 大庆石油学院院报, 2005, 29(4): 15-16 [Wang Baolin, Wang Hongyu. Analysis of gas diffusion characteristics of pressured source rock and its effect [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2005, 29(4): 15-16]

- 16]
- 12 付广, 吕延防, 杨勉, 等. 超压泥岩盖层封闭油气机理的新认识. 天然气地质研究与应用 [C] // 宋岩, 魏国齐, 洪峰, 等. 北京: 石油工业出版社, 2000: 219-223 [Fu Guang Lv Yangfang Yangmian *et al* New understanding to seal mechanism of overpressured mudstone caprock for oil and gas Research and application of gas geology [C] // Song Yan Wei Guoqi Hong Feng *et al* Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 219-223]
- 13 王宏语, 康西栋, 李军, 等. 松辽盆地徐家围子地区深层异常压力及其成因 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2002, 32(1): 39-42 [Wang Hongyu Kang Xidong Lijun, *et al*. The distribution of anomalous pressure in the deep zone of Xujiaweiizi Songliao Basin and its genesis [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2002, 32(1): 39-42]
- 14 付广, 王兴涛, 方纯昌. 利用声波时差资料研究欠压实浓度盖层抑制浓度封闭作用形成时期及其研究意义 [J]. 石油地球物理勘探, 2001, 36(3): 279-284 [Fu Guang Wang Xingtiao Fang Chuchang Determining forming period of restrained seal action of undercompacted concentration caprock by using interval travel time data and its significance [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2001, 36(3): 279-284]
- 15 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 [Fu Guang Su Yuping Recovering to formation and evolution of restraining concentration seal of mudstone caprock and its significance [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(1): 141-147]

## Migration Horizons Downward of Oil from $K_1qn$ Source Rock of F, Y Oil Layer in Sanzhao Depression and Its Significance

FU Guang WANG You-gong

(Daqing Petroleum Institute, Daqing Heilongjiang 163318)

**Abstract** To study migration horizons downward of oil from  $K_1qn$  source rock in Sanzhao depression The mechanism and condition of oil migration downward was studied. It was considered that two conditions in F, Y oil layers, they are ① enough high overpressure and ② faults connected  $k_1qn$  source rock and F, Y oil layers. Oil from  $k_1qn$  source rock can migrate downward into F, Y oil layer in the end of  $K_1n$ ,  $K_2m$ , and E sedimentary period under the action of overpressure. The migration distance downward of oil from  $k_1qn$  source rock in Sanzhao depression was studied by the principle of pressure seal. The migration distance downward of oil from  $k_1qn$  source rock is generally more than 500m, the maximum thickness of F, Y oil layers is only 500m, it indicates that oil from  $K_1qn$  source rock can migrate downward into all F, Y oil layers. There is oil from top of F oil layer to bottom of Y oil layer now, and oil reservoirs found in F, Y oil layers of Sanzhao sag distribute in the migration areas downward of oil from  $K_1qn$  source rock. It indicates that the migration horizon downward of oil from  $K_1qn$  source rock controls the oil accumulation horizons, the migration areas downward of oil from  $K_1qn$  source rock controls oil accumulation areas. The migration areas downward of oil from  $K_1qn$  source rock and its around should be favorable areas for oil exploration in F, Y oil layers of Sanzhao depression.

**Key words** Sanzhao depression,  $K_1qn$  source rock, overpressure, F, Y oil layer, migration downward horizons