

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.351



# 松辽盆地中浅层幕式排烃与断距增长耦合

邵墨一<sup>1,2</sup>, 吴河勇<sup>2</sup>, 梁晓东<sup>2</sup>, 吴朝东<sup>1</sup>

1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871

2. 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:** 超压盆地幕式排烃作用是盆地流体研究中热点问题, 而源岩内排烃生长断层的报道很少. 研究表明松辽盆地凹陷中央主力烃源岩青山口组发育排烃生长断层, 这些浅层生长断层形成于嫩江组末期至明水组末期. 这种排烃生长断层的形成机制是幕式排烃过程中由于“泵压效应”使含烃流体从源岩向储集层注入的结果. 当源岩过剩压力达到源岩破裂极限时, 源岩发生断裂或使原有断层再次开启增长, 含烃流体发生向下或向上部储层的排烃作用, 随着烃类的排出, 过剩压力不断减小, 排烃过程趋于停止伴随超压流体释放, 研究区呈现向下排烃、向上排烃和上下双向排烃3种样式, 由于这一排烃过程是多次出现的, 随着多次反复的排烃, 排烃断层的断距也不断增长, 导致排烃期与断层断距增长具有良好的耦合关系, 研究成果为超压封存箱上下层油气勘探提供了新的思路.

**关键词:** 幕式排烃; 生长断层; 破裂压力; 排烃与断距增长耦合; 油田地质.

中图分类号: P641.4

文章编号: 1000-2383(2019)02-0551-08

收稿日期: 2018-12-13

## Coupling Characteristics between Episodic Hydrocarbon Expulsion and Fault Throw Increase for Middle-Shallow Formations in Songliao Basin

Shao Zhaoyi<sup>1,2</sup>, Wu Heyong<sup>2</sup>, Liang Xiaodong<sup>2</sup>, Wu Chaodong<sup>1</sup>

1. School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China

2. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing 163712, China

**Abstract:** The episodic hydrocarbon expulsion of overpressure basin is a hot issue in basin fluid research, there are few reports on hydrocarbon-bearing growth faults in source rocks. The study shows that the Qingshankou Formation, the main source rock of the central part of the Songliao basin, develops a hydrocarbon expulsion growth fault, these mid-shallow growth faults were formed at the end of the Nenjiang Formation to the end of the Mingshui Formation. When the excess pressure or overpressure of the source rock reached the bursting limit of the rock, the fractures appeared in the source rock or made the original fault open and grown, the hydrocarbon-bearing fluids were expelled towards the reservoirs either downward or upward, with the expulsion of hydrocarbons, the overpressure decreased gradually, the expelled process tended to be suspended and showed as the lower overpressure belt for the time being. When the source rock excess pressure reaches the source rock fracture limit, the source rock breaks or causes the original fault to start to grow again, the hydrocarbon-bearing fluid undergoes a hydrocarbon expulsion to the lower or upper reservoir, with the discharge of hydrocarbons, excessive pressure is decreasing. The hydrocarbon expulsion process tends to stop, with the release of overpressure fluid, the study area presents three types of hydrocarbons, hydrocarbons, upward hydrocarbons, and upper and lower hydrocarbons, since this hydrocarbon expulsion process occurs multiple times, with the repeated increase in hydrocarbon emissions, the fault distance of the hydrocarbon expulsion fault is also growing. Therefore, the hydrocarbon expulsion period has a good coupling relationship with the fault break growth period. The

**作者简介:** 邵墨一(1983-), 女, 博士, 主要从事石油地质、沉积储集层和层序地层研究工作. ORCID: 0000-0002-9191-1533. E-mail: 174602035@qq.com

**引用格式:** 邵墨一, 吴河勇, 梁晓东, 等, 2019. 松辽盆地中浅层幕式排烃与断距增长耦合. 地球科学, 44(2): 551-558.

research results provide a new idea for oil and gas exploration in the upper and lower layers of the overpressure storage tank.

**Key words:** episodic hydrocarbon expulsion/discharge; growth fault; breakdown/breaking/fracture pressure; hydrocarbon expulsion and fault throw increase coupling; petroleum geology.

松辽盆地北部中浅层主要生烃凹陷为齐家—古龙凹陷和三肇凹陷(申家年等,2009)。以往不同学者对该凹陷的油气来源、排烃动力、排烃期次及排烃机理等进行过较深入研究,多数学者认为青山口组一段泥岩是凹陷内发育的主要烃源岩(王雪,2006;申家年等,2007,2010;付广和雷林,2008;冯薇澍等,2013;谢明举,2013;李霞等,2014;辛仁臣等,2014),扶杨油层、萨尔图油层、葡萄花油层和高台子油层中的绝大部分油气都来自于该套烃源岩(蔡利学等,2008;王国民和付广,2008;闫建萍等,2008;周庆华等,2008;陈方文等,2012,2013,2014;马中振等,2013;王雅春等,2014);施立志等(2007)通过青一段烃源岩古流体压力恢复研究认为超压是青一段源岩排烃的主要动力;付广等(2007)利用声波时差建立的超压释放期次的研究方法,得到青山口组超压曾发生过3次释放,它们分别是嫩一段沉积末期、嫩四段沉积中后期和明水组沉积末期,目前正处于第4次演化过程中;付秀丽和庞雄奇(2008)运用排烃门限理论研究了青一段烃源岩的排烃特征,认为当源岩类型相同而所含有有机质类型不同时,其排烃门限也略有差异,大体上有机质类型从II型到I型,烃源岩排烃门限有逐渐变浅的趋势;罗群和宋子学(2008)进一步提出了超压间歇释放断裂幕式倒灌成藏机理模式,认为泄压区断裂不断活动而形成的泄压区流体流失和压力降低,是导致憋压区流体长距离沿断裂向下倒灌至泄压区的根本原因和动力机制。

上述排烃过程中含烃流体都是通过排烃断层进入到储集层中的(刘玉萍和雷琳,2009)。这些排烃断层在地震剖面上多具有上升盘地层薄下降盘地层厚的生长断层特征。尽管有些学者认识到青一段—扶余油层发育数量众多的“毛毛断层”,其成因机制尚缺乏合理的解释。本文通过对凹陷区青一段幕式排烃与断距关系研究,试图揭示幕式排烃与这些生长断裂系统断距的增长耦合关系。

## 1 排烃断层耦合分析

### 1.1 3场耦合排烃

笔者通过研究认为松辽盆地晚白垩世青山口组源岩的排烃事件是在地热场、地应力场和流体压力

场共同作用下完成的。对齐家—古龙凹陷青山口组一段烃源岩来说,其源岩自晚白垩世以来随着埋深变化3场耦合过程发生改变(卢双舫等,2009),嫩江组沉积时期,由于青口组一段泥岩压实排液不畅、粘土矿物转化及生烃作用等导致超压的不断积聚;嫩江组(73 MPa)到明水组末期(65 MPa),库拉板块向西俯冲,太平洋板块向北西俯冲,伊泽奈崎板块向北西俯冲,导致嫩江组末期主应力方向为近东西向,而明水组末期主应力方向为北西向。因此,在嫩江组沉积末期,由于依泽奈崎—库拉板块向欧亚板块近东西向的俯冲消减事件造成的挤压应力场作用,进一步增加了流体的过剩压力,结果在古龙凹陷南部青一段源岩埋深较大的区域首先达到了剪切破裂极限(刘琦等,2008),发生了源岩破裂排烃事件,青口组一段下部源岩首先成熟并向下伏扶余油层排烃,与此同时大庆长垣南部泉头组至嫩江组地层发生褶皱,形成近南北向断层及葡萄花构造雏形,并导致构造顶部的嫩江组上部地层遭受一定程度的剥蚀。随后该区再次发生沉降作用,沉积了四方台组和明水组地层。到明水组沉积末期,由于太平洋板块向欧亚板块的俯冲消减作用,形成了近北西向挤压应力场,形成了北东方向的大庆长垣,同时造成该区青一段源岩发生大规模的排烃作用形成了北西向排烃断层。

### 1.2 排烃断层分析

扶余油层顶面现存的近南北向断裂与北西向断裂,其延伸长度一般都在几公里范围内。现代地震观测表明,地震活动时,断裂的发震长度与其垂直落差具有明显正相关,即断裂越长,垂直落差就越大。松辽盆地向斜区内现今地震剖面上解释的断层垂直断距一般为十几米到几十米,类比这种规模的断层一次活动的垂直落差通常只有十几毫米到几十毫米,因此,用总断距除以每次断层活动的垂直落差就得到上千次的断层活动,显然这是光靠地震活动达不到的。

### 1.3 源岩增压破裂分析

根据前人的研究,当源岩内的局部压力为静水压力( $P_w$ )的1.4~2.4倍时,岩石产生破裂。由此当过剩压力增大到泥岩发生破裂所需要压力时,便产生裂缝,使其内大量孔隙流体排出,压力降低。当其

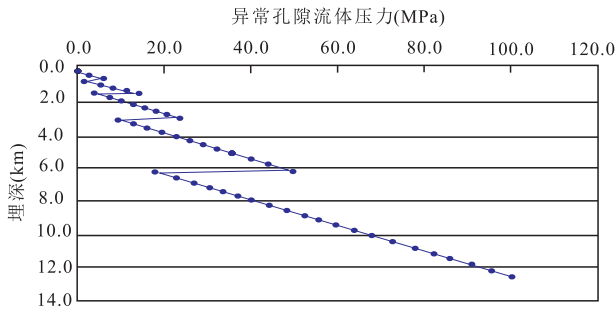


图1 古11井位模拟青山口组泥岩过剩压力随埋深演化曲线

Fig.1 Evolved curve of the mudstone excess pressure in Qingshankou Formation of Well Gu-11

流体压力下降至静水压力的1.2~1.3倍时,流体破裂面封闭,流体释放作用停止,如此周而复始。

通过选取泥岩不同的压实系数和不同的异常声波时差初值,对不同的演化阶段泥岩过剩压力释放深度和释放次数进行了理论计算,泥岩过剩压力释放深度大小主要受控于泥岩压实系数和声波时差初值,即泥岩压实系数和声波时差初值越小,过剩压力释放深度越大;反之则越小。

选取古龙凹陷最深处的古11井进行了模拟计算,该井青山口组和嫩一、二段泥岩声波时差明显偏离正常压实趋势线,表明这些层段存在欠压实现象。模拟计算表明古11井青山口组一段泥岩过剩压力演化(图1)可以分为5个演化阶段,在221.3 m处(约青二、三段沉积中期)开始欠压实,形成过剩压力,在568.4 m处曾发生过第1期破裂,在1125.7 m处发生第2期破裂,在2229.3 m发生的第3期破裂,目前正处于第4演化阶段,过剩压力为9.28 MPa左右,向下由于并未钻遇,为模拟计算数据,从模拟计算图中还可以看出,青山口组泥岩今后还应将发生两期释放。生排烃模拟表明松辽盆地北部两个生油凹陷中,大规模排烃时期生烃造成的过剩压力普遍在10~25 MPa,压力系数也在1.7以上,达到了源岩破裂排烃的条件;同时,广泛发育的断层也证实了顶盖破裂排烃的事件。

## 2 排烃断层类型与排烃生长断层成因机制

### 2.1 排烃断层类型

研究表明,松辽盆地北部排烃断层有两类(图2):超压主导型和构造主导型。前者主要发育在凹陷

的较深部位,断裂平面上表现为多边形或多叉式,排烃区断裂样式一般表现为三叉式或鸡爪式平面断层组合,显示幕式排烃期间天然水力破裂的特征,是由青一段源岩超压导致的天然水力破裂;后者主要发育在大庆长垣翼部,平面上表现为多条小断层组成的断裂密集带。这些断裂密集带两侧断层延伸较长,断距较大,密集带内部断层规模较小,断距也逐渐减小。地震剖面显示,密集带断层呈现为上升盘地层薄、下降盘地层厚的特征,是成藏期最大主应力起主导作用的破裂断层。

### 2.2 排烃生长断层成因机制

超压可能是生烃和多种因素共同作用的结果,欠压实作用和富有机质烃源岩生烃作用是研究区形成超压的主控因素。正是由于这种欠压实的存在,使得超压源岩幕式排烃之后断层两侧的断距才可能持续增长。从图2中可以看出,本区排烃断层主要发育在断层密集破裂带。密集带中的断层都呈现出晚期持续生长断层特征。通过排烃分析表明,这种晚期持续生长断层的成因机制是排烃过程中流体压力间歇

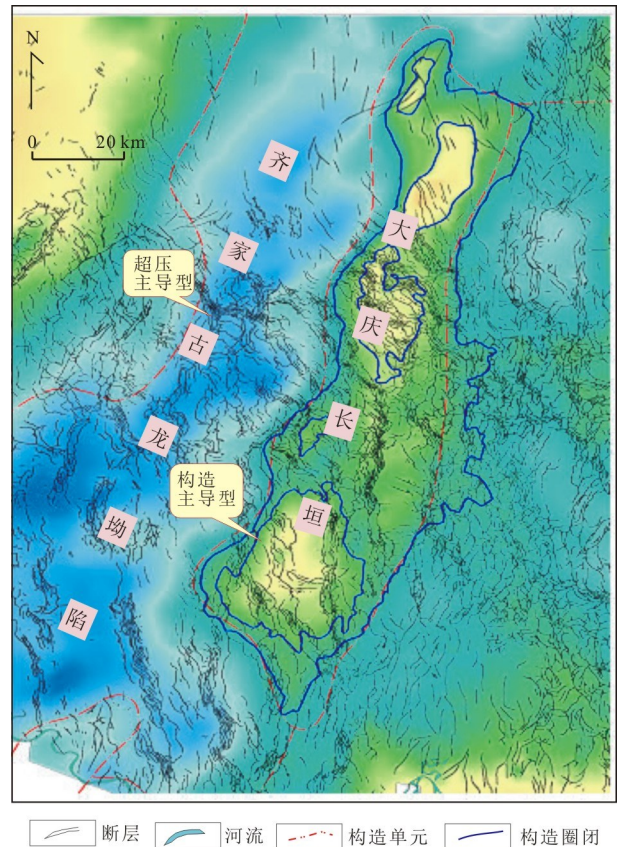


图2 古龙—三肇地区扶余油层顶面构造

Fig.2 Top structures of Fuyu oil reservoir in Gulong-Sanzhao region

释放与多次流体(油气水)交换(源岩向储集岩)的结果.首先,超压断层破裂带是 3 场耦合作用的主要场所,在这里,凹陷内青一段源岩超压不断积聚,当达到源岩破裂极限时,就发生剪切破裂,形成破裂断层与大量伴生裂缝,含烃流体就会注入这些断层与裂缝中,并在超压作用下,沿破裂断层向下排入到扶余油层(泉四段)或者向上排入到萨葡高油层;其次,上述超压破裂排烃是反复发生的,也就是说,当源岩内流体及油气沿破裂断层排出,源岩内压力降低,当流体压力下降到一定值时(通过声波时差计算压力系数,分析排烃曲线结果,压力系数一般在 1.2 左右),泄压作用会暂时停止,断层趋于封闭状态.随后,超压源岩区进入封闭状态,后续生烃作用导致源岩内进一步超压,当源内压力增大再次导致断层破裂,依次反复,构成封闭增压—破裂泄压—封闭增压多次反复的幕式排烃过程.在整个漫长(可达 8 MPa)的幕式排烃过程中,排烃断层活动十分活跃,每一条断层发生的排烃事件有数千次甚至上万次,沿同一断裂多次排烃事件导致断距逐渐增加.现代破裂理论也表明断层越小,其破裂极限就越低,发生破裂的频次就越高.

在凹陷内超压断层破裂带由于反复的排烃作用使得源岩层出现大量的断层与伴生裂缝,且这些断层与裂缝中都充填了含烃流体.这种具有高孔隙流体压力的含烃流体的存在抑制了压实作用的进行,一旦流体释放后会导致地层压实,因此造成了下降盘(破裂带)的地层厚度大于上升盘(超压源岩)的地层厚度,形成排烃生长断层(冯乔和张小莉,1997;李玉喜等,2003;王学滨等,2009).

### 3 排烃样式分析

为了开展排烃过程演化分析,研究人员选择了一条横切古龙凹陷—葡西的地震剖面(图 3).可以看出,泄压带 A 由 5 条泄压断层组成,它们都具备了生长断层特征.排烃研究表明,中央长垣构造应力场反转、断层产生与排烃过程是同时发生的,而且,每次断裂排烃一般只造成断层厘米级的断距增长,所以,现今所见到的数十米的断距是上千次断裂排烃—断距增长的耦合过程积累的结果.可以分别用 3 个类型(图 4~图 6)来阐述这种排烃断层断距增长—源岩排烃耦合过程.

类型 1:超压流体下排类型.随着凹陷持续的埋藏作用,青一段下部源岩形成超压,一方面由于欠压

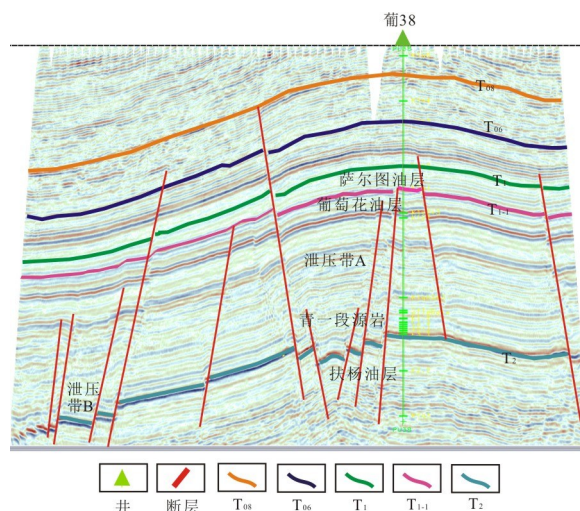


图 3 古龙凹陷过葡 38 井地震剖面

Fig.3 Seismic profile through Well Pu-38 in Gulong sag

实作用对超压贡献,另一方面烃源岩进入成熟阶段由于生烃作用,两者联合作用导致超压形成.青一段强超压导致流体向下伏地层排出,形成下凹构造样式,即正断裂样式.由于生烃作用的持续导致源岩内流体压力不断增加,这样可导致多幕向下排烃过程(图 4),这样导致正断裂下盘进一步下凹.

类型 2:超压流体上排类型.凹陷区青山口组泥岩厚度较大,形成了超压流体囊.研究区既存在超压流体向下排出样式,也存在超压流体向上排出样式.与向下排烃模式所不同的是,强超压向上突破封闭层首先形成拱张底辟型断裂系统,随着源岩内流体释放,形成塌陷式正断裂(图 5).

类型 3:超压流体上下双向排烃类型.早期随着凹陷持续的埋藏成烃作用,青一段下部源岩形成超压,向下多次排烃导致正断裂下盘下凹.多次泄压和封闭后随着埋深进一步加大,成烃作用加大,超压也进一步增大,在构造运动和超压作用下少部分断裂向上延伸.穿过青山口顶部源岩,开始向储层排烃,多次排烃和泄压后形成塌陷式正断裂.在构造运动和超压作用下可以向上发生多期断裂,穿过多套地层(图 6).

需要指出的是,大庆长垣形成及盆地演化过程中多期次构造反转作用对超压源岩多期次排烃作用都起到了积极的影响.有些构造主导型的断裂也可能成为超压流体泄压通道,并进一步导致断距增大.

研究结果表明,这种排烃断层在凹陷排烃过程中大量产生,是凹陷中青一段~扶余油层产生数量众多的所谓“毛毛断层”的主要原因,据统计凹陷中  $T_2$  断层密度为 0.68 条/ $\text{km}^2$ ,而  $T_{1-1}$  断层密度为

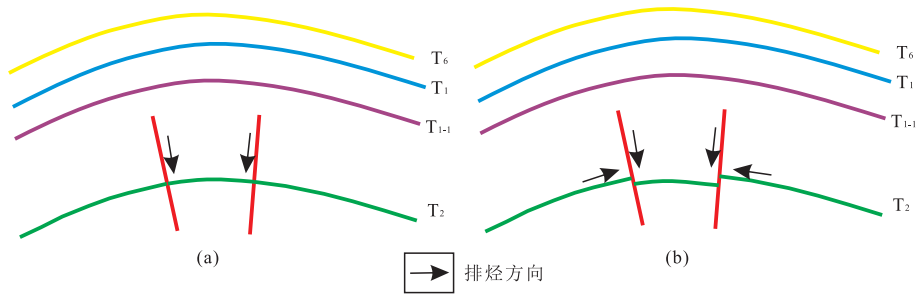


图 4 向下排烃样式,指示超压流体向下挤压过程

Fig.4 Type of hydrocarbons discharged downward, indicating overpressure fluid extrusion process

a.排烃前;b.排烃后

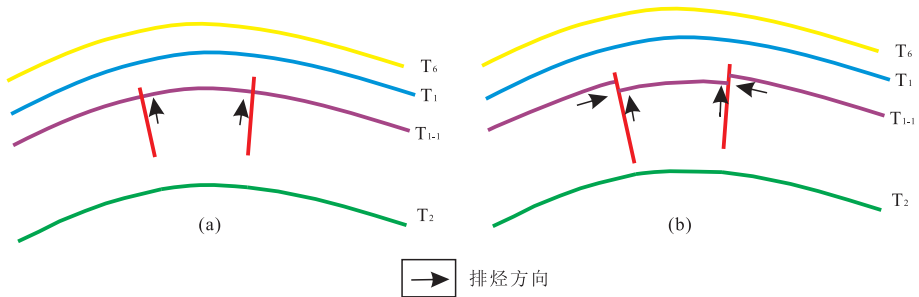


图 5 向上排烃样式,指示超压向上拱张然后泄压后向下塌陷过程

Fig.5 Type of hydrocarbons discharged upwards, indicating overpressure upward arch- after the pressure relief process then collapse downwardly

a.排烃前;b.排烃后

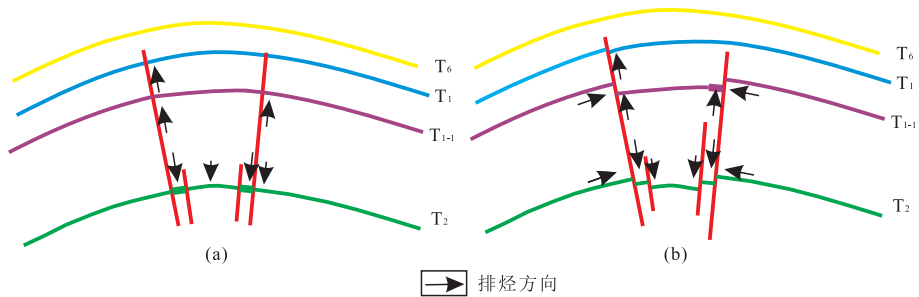


图 6 超压流体上下双向排烃样式(垂向叠置)

Fig.6 Type of two-way hydrocarbon expulsion (vertical stacking)

a.排烃前;b.排烃后

0.14 条/km<sup>2</sup>.而 T<sub>1-1</sub> 和 T<sub>1</sub> 时期构造运动和构造应力都远远大于 T<sub>2</sub> 时期,理应 T<sub>1-1</sub> 和 T<sub>1</sub> 断层密度大于 T<sub>2</sub> 断层密度,但实际情况却相反.这种由排烃引起的源岩破裂,产生数量众多的所谓“毛毛断层”是 T<sub>2</sub> 断层密度高的主要原因.

#### 4 排烃生长断层的地质意义

首先,排烃生长断层的发现为超压盆地幕式排烃过程提供了有力的证据.超压破裂断层密集带是

排烃生长断层集中发育区,是油气运移的主要输导通道.由于超压源岩盖层的反复破裂与大规模流体排出,使得排烃断层的断距增长与排烃过程构成了时空耦合效应.

其次,排烃生长断层的发现对于寻找泥页岩油气藏具有现实意义.这是因为排烃生长断层集中发育在超压破裂断层密集带上,使得这里的泥页岩大量发育了各种规模的断层和裂缝,具有较好的储集油气能力,同时这里又是油气运移的“中转站”,具有捕集油气的天然条件,容易形成泥页岩油气藏.

## 5 结论

(1) 松辽盆地中浅层油气成藏属于超压与构造共同控制的幕式成藏的结果, 排烃生长断层是油气运移的重要通道之一, 是连接源岩与砂岩运载层的纽带。

(2) 幕式排烃与流体充注过程中, 排烃断层的断距增长与排烃过程具有较好的耦合性, 这也是凹陷中青一段~扶余油层产生数量众多的“毛毛断层”的主要原因。

(3) 青山口组烃源岩排烃生长断层发育带(破裂断层密集带)既是油气输导的主要通道, 也是泥页岩油气藏的主要分布区。这一认识可有效地指导陆相湖盆页岩油勘探。

## References

- Cai, L. X., Jin, X. H., Xiao, W. L., 2008. Diagenetic Evolution and Its Effects on Hydrocarbon Migration: A Case from the Fuyang Reservoir in the Qijia-Gulong Sag, the West Songliao Basin. *Oil & Gas Geology*, 29(4): 460–465 (in Chinese with English abstract).
- Chen, F. W., Lu, S. F., Ding, X., 2014. Evaluation on Hydrocarbon-Generation Amount of Middle-Shallow Source Rocks of Qijia-Gulong Depression in Songliao Basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 32(6): 1181–1187 (in Chinese with English abstract).
- Chen, F. W., Lu, S. F., Huang, Z. K., et al., 2013. Sedimentary Characteristics and Favorable Exploration Zone of  $K_1qn^1$  in Gulong Depression of Songliao Basin. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 44(5): 1955–1963 (in Chinese with English abstract).
- Chen, F. W., Lu, S. F., Li, J. J., et al., 2012. Oil-Source Identification and Resource Evaluation of Oil-Source Area of Changchunling Anticline in Northern Songliao Basin. *Journal of China University of Petroleum*, 36(3): 26–31, 37 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Q., Zhang, X. L., 1997. The Relationship between Pore Fluid Pressure and Fluid Expulsion. *Geological Review*, 43(3): 297–302 (in Chinese with English abstract).
- Feng, W. S., Xue, H. T., Li, J. J., et al., 2013. Prediction and Resource Calculated of  $K_1qn^1$  Shale Gas in Qijia-Gulong Depression. *Science Technology and Engineering*, 13(9): 2331–2338 (in Chinese with English abstract).
- Fu, G., Lei, L., 2008. The Beginning and Release Depth of Mudstone Overpressure in Different Evolution Stages and Its Implication. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 15(6): 16–19, 95 (in Chinese with English abstract).
- Fu, G., Wang, Y. G., Su, Y. P., et al., 2007. The Expulsion Hydrocarbon Periods of Source Rock by Release of Overpressure—An Example of Qingshankou Formation in Gulong Sag. *Xinjiang Petroleum Geology*, 28(5): 538–541 (in Chinese with English abstract).
- Fu, X. L., Pang, X. Q., 2008. Hydrocarbon Expulsion Characteristics of the Qingqing Member of Source Rocks in Northern Songliao Basin. *Journal of Oil and Gas Technology*, 30(1): 166–169 (in Chinese).
- Li, X., Zhou, C. C., Zhao, J., et al., 2014. New Logging Evaluation Method for Shale Reservoirs: Taking Qingshankou Formation in Gulong Sag of Songliao Basin for Instance. *China Petroleum Exploration*, 19(3): 57–65 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. X., Pang, X. Q., Jiang, Z. X., 2003. Relationship of Stress & Strain to Abnormal Tectonic Pressure and Main Control Aspects on Abnormal Tectonic Pressure Forming. *Earth Science*, 28(2): 179–184 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Q., Lu, Y. R., Li, X. Z., 2008. The Effect of the Pore Water Pressure on the Rock Mechanics Parameters. *Acta Geoscientica Sinica*, 29(5): 660–664 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. P., Lei, L., 2009. Study on Hydrocarbon Accumulation for  $s_{2+3}$  Reservoirs in the Western Slope Area of Songliao Basin. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 16(5): 36–39, 106 (in Chinese with English abstract).
- Lu, S. F., Li, J. N., Liu, S. J., et al., 2009. Oil Generation Threshold Depth of Songliao Basin: Revision and Its Significance. *Petroleum Exploration and Development*, 36(2): 166–173 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Q., Song, Z. Q., 2008. Mechanism of Episode Petroleum Migration along Faults Down. *Xinjiang Petroleum Geology*, 29(2): 170–171 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Z. Z., Dai, G. W., Sheng, X. F., et al., 2013. Tight Sand Oil Reservoir of Continuous Type in Northern Songliao Basin and Its Geological Significance. *Journal of China University of Mining & Technology*, 42(2): 221–229 (in Chinese with English abstract).
- Shen, J. N., Cong, Y. S., Mao, L. Q., et al., 2009. Mechanism of Putaohua Oil Layer's Overpressure in the Gulong Sag, Songliao Basin. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 44(2): 502–512 (in Chinese with English abstract).
- Shen, J. N., Deng, B., Lu S. F., et al., 2007. Geochemistry of Condensate Oil-Gas of Qijia-Gulong Sag and Oil-Source Correlation: Its Revelation. *Geochimica*, 36(6): 539–548 (in Chinese with English abstract).
- Shen, J. N., Yu, Y., Sun, D., et al., 2010. Gas Origin of Song-

- zhannan Area in Songliao Basin. *Natural Gas Exploration & Development*, 33(2): 1-5, 7 (in Chinese with English abstract).
- Shi, L.Z., Wu, H.Y., Lin, T.F., et al., 2007. Characteristics of Hydrocarbon Migration in Fuyang Oil Layer in Daqing Placanticline and Its Western Area in Songliao Basin. *Acta Petrolei Sinica*, 28(6): 21-26, 31 (in Chinese with English abstract).
- Wang, G.M., Fu, G., 2008. Effectiveness of Restraining Concentration Seal of  $K_1n^{1-2}$  Mudstone Caprock in Gulong Sag. *Journal of Oil and Gas Technology*, 30(1): 22-25, 388 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X., 2006. Oil Sources of Fuyang Oil Formation in Qijia Sag and Daqing Placanticline, Songliao Basin. *Petroleum Exploration and Development*, 33(3): 294-298 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X.B., Zhao, F.C., Pan, Y.S., 2009. Effect of Pore Pressure on Failure Processes and Overall Deformational Characteristics of Rock Specimen with Random Defects. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 29(1): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y.C., Chen, C.G., Wang, L., et al., 2014. Accumulation Model and Main Controlling Factors of Fuyu Oil Layer in the Western Slope of the Northern Xingshugang Oilfield, Songliao Basin. *Oil & Gas Geology*, 35(5): 614-621 (in Chinese with English abstract).
- Xie, M.J., 2013. Analysis of Complementary of Reservoir Formation in the Middle and Lower Reaches of the West Zone of Changyuan Oilfield in Daqing Oilfield. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 10(20): 36-39, 161-162 (in Chinese with English abstract).
- Xin, R.C., Yang B., Wang, S.H., et al., 2014. Hydrocarbon Migration System of Fulaerji Oil Field, Songliao Basin, NE China. *Petroleum Exploration and Development*, 41(5): 554-562 (in Chinese with English abstract).
- Yan, J.P., Liu, C.Y., Guo, G.H., 2008. Determination of Oil/Gas Entrapment Stage and Time in Fuyang Reservoir of Songliao Basin. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 44(5): 26-29 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Q.H., Lü, Y.F., Wang, S., et al., 2008. Sealing of Aogula Faulted Zone and Its Control on Oil and Gas Migration and Accumulation of the West Slope of Songliao Basin. *Natural Gas Geoscience*, 19(2): 210-215 (in Chinese with English abstract).
- 层为例.石油与天然气地质, 29(4): 460-465.
- 陈方文, 卢双舫, 丁雪, 2014. 松辽盆地齐家—古龙凹陷中浅层烃源岩生烃量评价. 沉积学报, 32(6): 1181-1187.
- 陈方文, 卢双舫, 黄振凯, 等, 2013. 松辽盆地古龙凹陷青一段沉积特征及有利勘探区. 中南大学学报(自然科学版), 44(5): 1955-1963.
- 陈方文, 卢双舫, 李吉君, 等, 2012. 松辽盆地北部长春岭背斜油源识别及油源区资源评价. 中国石油大学学报(自然科学版), 36(3): 26-31, 37.
- 冯乔, 张小莉, 1997. 孔隙流体压力与流体排驱的关系. 地质论评, 43(3): 297-302.
- 冯薇澍, 薛海涛, 李吉君, 等, 2013. 齐家—古龙凹陷青一段页岩气有利区预测及资源潜力评价. 科学技术与工程, 13(9): 2331-2338.
- 付广, 雷林, 2008. 泥岩超压不同演化阶段开始及释放深度规律及其研究意义. 特种油气藏, 15(6): 16-19, 95.
- 付广, 王有功, 苏玉平, 等, 2007. 用超压释放法确定烃源岩排烃期次——以古龙凹陷青山口组为例. 新疆石油地质, 28(5): 538-541.
- 付秀丽, 庞雄奇, 2008. 松辽盆地北部青一段烃源岩排烃特征研究. 石油天然气学报, 30(1): 166-169.
- 李霞, 周灿灿, 赵杰, 等, 2014. 泥页岩油藏测井评价新方法——以松辽盆地古龙凹陷青山口组为例. 中国石油勘探, 19(3): 57-65.
- 李玉喜, 庞雄奇, 姜振学, 等, 2003. 应力、应变与构造超压关系及构造超压控制因素分析. 地球科学, 28(2): 179-184.
- 刘琦, 卢耀如, 李晓昭, 等, 2008. 孔隙水压力对岩石力学参数的影响. 地球学报, 29(5): 660-664.
- 刘玉萍, 雷琳, 2009. 松辽盆地西斜坡区萨二、三油层油气成藏规律. 特种油气藏, 16(5): 36-39, 106.
- 卢双舫, 李娇娜, 刘绍军, 等, 2009. 松辽盆地生油门限重新厘定及其意义. 石油勘探与开发, 36(2): 166-173.
- 罗群, 宋子学, 2008. 油气沿断裂向下幕式运移的机理. 新疆石油地质, 29(2): 170-171.
- 马中振, 戴国威, 盛晓峰, 等, 2013. 松辽盆地北部连续型致密砂岩油藏的认识及其地质意义. 中国矿业大学学报, 42(2): 221-229.
- 申家年, 丛永山, 毛立全, 等, 2009. 松辽盆地古龙凹陷葡萄花油层超压成因. 地质科学, 44(2): 502-512.
- 申家年, 邓冰, 卢双舫, 等, 2007. 齐家古龙凹陷凝析油气的地球化学剖析与油源对比及其启示. 地球化学, 36(6): 539-548.
- 申家年, 于勇, 孙东, 等, 2010. 松辽盆地宋站南地区天然气成因. 天然气勘探与开发, 33(2): 1-5, 7.
- 施立志, 吴河勇, 林铁锋, 等, 2007. 松辽盆地大庆长垣及其以西地区扶杨油层油气运移特征. 石油学报, 28(6): 21-26, 31.

#### 附中文参考文献

蔡利学, 金晓辉, 肖文玲, 2008. 成岩演化作用对油气运移方式的影响——以松辽盆地西部齐家—古龙凹陷扶杨油

- 王国民,付广,2008.古龙凹陷嫩一、二段泥岩盖层抑制浓度封闭有效性研究.石油天然气学报,30(1):22-25,388.
- 王雪,2006.松辽盆地齐家凹陷与大庆长垣扶杨油层油源.石油勘探与开发,33(3):294-298.
- 王学滨,赵福成,潘一山,2009.孔隙压力对含随机缺陷岩石破坏过程及全部变形特征的影响.防灾减灾工程学报,29(1):1-8.
- 王雅春,陈崇光,王璐,等,2014.杏北西斜坡区扶余油层成藏模式及主控因素.石油与天然气地质,35(5):614-621.
- 谢明举,2013.大庆油田长垣以西地区中下部含油层系成藏互补性浅析.长江大学学报(自科版),10(20):36-39,161-162.
- 辛仁臣,杨波,王树恒,等,2014.松辽盆地富拉尔基油田油气输导体系.石油勘探与开发,41(5):554-562.
- 闫建萍,刘池洋,郭桂红,等,2008.松辽盆地扶杨油层油气成藏期次和时限确定.兰州大学学报(自然科学版),44(5):26-29.
- 周庆华,吕延防,汪松,等,2008.松辽盆地敖古拉断裂带的封闭性及其对西斜坡油气运聚的控制作用研究.天然气地球科学,19(2):210-215.