

# Analysis of Lateral Blocking of Faults in the Saertu Reservoir in Xiaolinke-Halahai Fault Zone

Jijian Shi, Fukang Guo\*

School of Geoscience, Northeast Petroleum University, Daqing Heilongjiang  
Email: \*181175109@qq.com

Received: Sep. 7<sup>th</sup>, 2020; accepted: Nov. 10<sup>th</sup>, 2020; published: Dec. 15<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

The Xiaolinke-Halahai fault zone has been drilled oil flow in the Saertu oil layer, but the research on the fault sealability in this area has not been in-depth. In order to reveal the effectiveness of the fault block trap in the study area, the lateral sealability of the fault in the area was evaluated based on the fault distance and the largest single sand body thickness distribution in the area and the SGR lower limit method. The research shows that the Xiaolinke-Halahai fault zone is closed by fault rocks in the  $S_0$ ,  $S_1$  and  $S_3$  oil layer groups, while the fault rocks in the  $S_2$  oil layer group are mainly closed by fault rocks, and a small amount of lithology is butt closed; according to the oil and gas lower limit of weak, medium, and strong lateral faults in the Saertu reservoirs of the Xiaolinke-Halahai fault zone, the quantitative evaluation shows that most of the faults in the study area show moderate lateral sealing capacity, the  $S_3$  oil layer group has the largest number of faults with weak sealing capacity, the number of faults developed in the  $S_4$  and  $S_2$  oil layer groups is the second, the number of faults with weak sealing capacity developed in  $S_1$  oil layer group is the least and the only one; a small number of faults with strong sealing capacity are developed in the central area of the  $S_0$  and  $S_1$  reservoir groups.

## Keywords

Oil and Gas Exploration, The Saertu Reservoir, Fault, Lateral Sealing Ability

---

---

\*通信作者。

# 小林克 - 哈拉海断裂带萨尔图油层断层侧向封堵性分析

史集建, 郭富康\*

东北石油大学地球科学学院, 黑龙江 大庆  
Email: \*181175109@qq.com

收稿日期: 2020年9月7日; 录用日期: 2020年11月10日; 发布日期: 2020年12月15日

## 摘要

小林克 - 哈拉海断裂带在萨尔图油层已经钻获油流, 但对该地区断层封堵性研究尚未深入。为了揭示研究区内该断块圈闭的有效性, 根据该地区断层断距和最大单砂体厚度分布和基于断面SGR下限法评价该区的断层侧向封堵性。研究得到小林克 - 哈拉海断裂带在 $S_0$ 、 $S_1$ 和 $S_3$ 油层组断层侧向封闭类型均为断层岩封闭, 而在 $S_2$ 油层组内断层侧向封闭类型以断层岩封闭为主, 夹杂少量岩性对接封闭。根据小林克 - 哈拉海断裂带各萨尔图油层组的断层侧向弱、中等、强封闭区域油气下限, 定量评价得到研究区断层多呈现出中等侧向封闭能力,  $S_3$ 油层组发育的弱封闭能力断层条数最多,  $S_4$ 、 $S_2$ 油层组次之,  $S_1$ 油层组最少仅发育1条; 在 $S_0$ 和 $S_1$ 油层组内中部地区发育少量强封闭能力断层。

## 关键词

油气勘探, 萨尔图油层, 断层, 侧向封堵性

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

小林克 - 哈拉海断裂带位于齐家 - 古龙凹陷与西斜坡的交界处, 与齐家 - 古龙凹陷生成的油气向西斜坡区的运移方向相垂直, 其对油气运移的输导或封堵作用将直接影响着其东西两侧油气勘探前景[1]。目前小林克 - 哈拉海断裂带附近在萨尔图油层获得了多口工业油流井, 充分展现了其附近油气勘探前景。然而, 由于受到研究手段和认识限制, 目前针对影响该地区油气勘探的关键因素——断层封堵性的研究工作仍不够深入[2] [3] [4] [5] [6], 影响了萨尔图油层下一步油气勘探目标的选择。

## 2. 断层侧向封堵类型及研究进展

断层侧向封闭的本质是指断裂带与围岩之间存在着渗透能力的差异, 因此, 前人根据引起断裂带与围岩差异渗透的因素, 可将断层封闭划分为对接封闭和断层岩封闭两类[7] [8]。岩性对接封闭型断层的封闭能力主要取决于砂泥岩并置区域的大小, 一般采用 Allan 图解法分析, 它考虑了上下盘沉积地层在断面处的对接情况, 也可称为断面剖面图法[7]。断层岩封闭性断层的封闭能力的定量评价技术, 主要基于

泥岩/层状硅酸盐涂抹的连续性或断层岩的平均泥质含量建立, 例如适用于剪切环境塑性泥岩的泥岩涂抹势法(CSP) [9], 适用于挤压环境泥岩的泥岩涂抹参数法(SSF) [10]和普遍适用的断层泥比率法(SGR) [11]。虽然利用断层岩 SGR 值能从一定角度厘定断层封闭能力, 但封闭能力并不仅受 SGR 值的影响, 还与断层岩的成岩作用密切相关[12], 且 SGR 值与断层封闭能力并不总是呈正比关系。因此, 从断层封闭机理出发国内学者建立了定量评价断层封闭能力的断 - 储替置压力差法[13]。

通过前人的研究, 根据最大单砂体厚度与断层垂直断距的相对大小, 可以判断层封闭类型[14]。当断层垂直断距大于最大单砂体厚度时, 表现为断层岩封闭; 反之则为对接封闭。通过统计萨尔图油层内断层断距和最大单砂体厚度的分布(图 1), 可以发现, 受构造运动及沉积特征等因素影响, 小林克 - 哈拉海断裂带在 S<sub>0</sub>、S<sub>1</sub> 和 S<sub>3</sub> 油层组断层侧向封闭类型均为断层岩封闭, 而在 S<sub>2</sub> 油层组内断层侧向封闭类型以断层岩封闭为主, 夹杂少量岩性对接封闭, 分别为 S<sub>2</sub> 油层组的塔 32 井和葡萄花油层组的龙 28、英 42 井附近断层(表 1)。

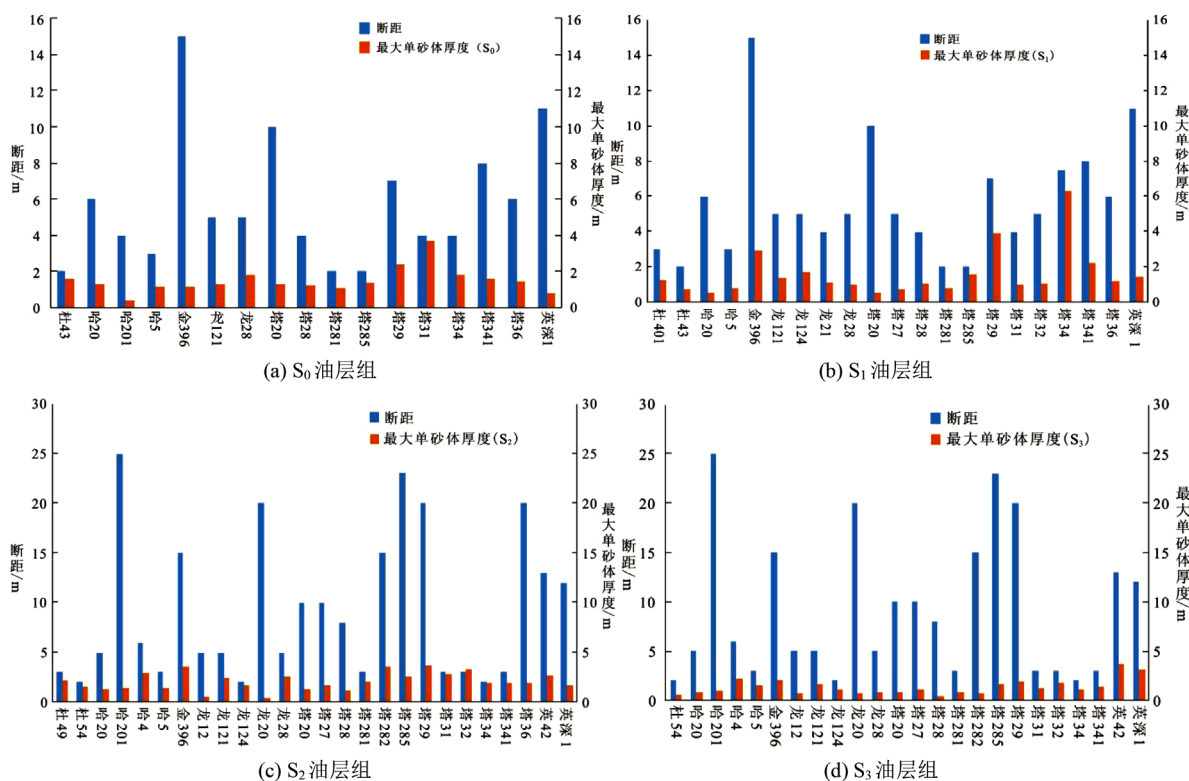


Figure 1. The relationship between the fault distance and the thickness of the largest single sand body in the Saertu reservoir group in the Xiaolinke-Halahai fault zone

图 1. 小林克 - 哈拉海断裂带各萨尔图油层组断距与最大单砂体厚度关系图

Table 1. Summary table of lateral sealing types of faults in the Saertu reservoir group in Xiaolinke-Halahai fault zone  
表 1. 小林克 - 哈拉海断裂带各萨尔图油层组断层侧向封闭类型汇总表

油层组	断距/m	最大单砂体厚度/m	侧向封闭类型
S <sub>0</sub>	2~15	0.42~3.68	均为断层岩封闭
S <sub>1</sub>	2~15	0.51~6.31	均为断层岩封闭
S <sub>2</sub>	2~25	0.46~3.67	断层岩封闭为主; 塔 32 井附近断层为岩性对接封闭
S <sub>3</sub>	2~25	0.44~3.62	均为断层岩封闭

### 3. 断层侧向封堵性评价方法

油气在成藏过程中能否在断层型圈闭内聚集成藏, 断层侧向封闭性质至关重要。当断层侧向呈封闭状态时, 油气可在断层相关圈闭内聚集成藏; 反之当断层侧向呈开启状态时, 断层则不能侧向遮挡油气聚集成藏, 油气将穿过断裂带发生侧向运移。由于小林子-哈拉海断裂带主要为断层岩封闭类型, 因此, 综合前人研究成果[15] [16], 本次主要基于断面 SGR 下限法评价该区的断层侧向封堵性, 使考虑因素更加全面, 预测准确性也更高。具体流程为:

#### 3.1. 封闭性影响参数的获取

断层岩型断层能否形成侧向封闭的关键因素是断裂带内断层岩泥质含量的比重及其成岩程度的相对大小。

##### ① 断层岩泥质含量

截止到目前, SGR 法(式(1))是综合考虑了各种地质因素(断层断距、走向、倾角、以及所断移砂泥岩地层对断裂带细粒物质的供给)的一种算法。通过拟合野外实测数据与实验室计算结果, 可以发现 SGR 值与断裂带内细粒物质具有很好的线性关系, 也就是说随着 SGR 值增大, 断裂带内细粒物质也随之增多, 进而说明断层侧向封闭能力越强。

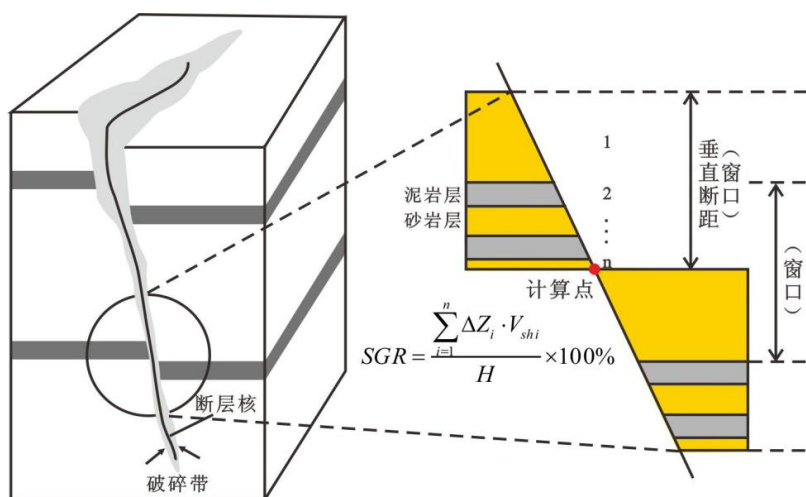


Figure 2. Diagram of calculation mode of fault lateral sealing attribute value

图 2. 断层侧向封闭属性值计算模式图

由图 2 的模式图可以确定:

$$SGR = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i V_{shi}}{D} \times 100\% \quad (1)$$

式中: SGR——目的点断层岩泥质含量, %;

$n$ ——滑过断点的砂泥岩层层数;

$i$ ——滑过断点的第  $i$  层岩层;

$\Delta Z_i$ ——滑过断点的第  $i$  层岩层厚度, m;

$D$ ——断层垂直断距, m;

$V_{shi}$ ——滑过断点的第  $i$  层岩层泥质含量, %。

由式(1)可知, SGR 值的大小与  $V_{sh}$ 、 $\Delta Z$  和  $D$  值三者之间是密切相关的。其中,  $V_{sh}$  值来源于测井解释成果,  $\Delta Z$  值主要依据岩心录井资料对于岩心的描述,  $D$  值则主要根据地震解释来获取。

② 压实成岩程度

断层侧向封闭性除受控于断面 SGR 值外, 还要受断层岩成岩程度的影响。Grauls (1994)等提出断层岩压实成岩程度越高, 岩石越致密, 孔渗性越差, 断层越容易形成侧向封闭能力。其大小可用断层岩的埋藏深度来表示, 一般情况下埋深越大, 表明岩石所承受的上覆沉积载荷与区域主压应力越大, 断层停止活动后经历的承压时间越长, 压实成岩程度越高, 断层侧向封闭能力越强。

3.2. 封闭性评价方法

对于相同深度下的断面 SGR 值, 只有当该值大于等于断层侧向封闭油气下限时, 断层才具有侧向封闭油气的的能力; 反之断层表现为开启断层, 不具备侧向封闭油气的的能力。同理, 对于相同的断面 SGR 值, 其不同深度表现的封闭属性也不相同, 断面埋深越大断层封闭所需的断面 SGR 下限值越小。所以确定断层侧向封闭油气的 SGR&H 下限值是评价断层侧向封闭性的关键, 其具体步骤和方法如下(图 3):

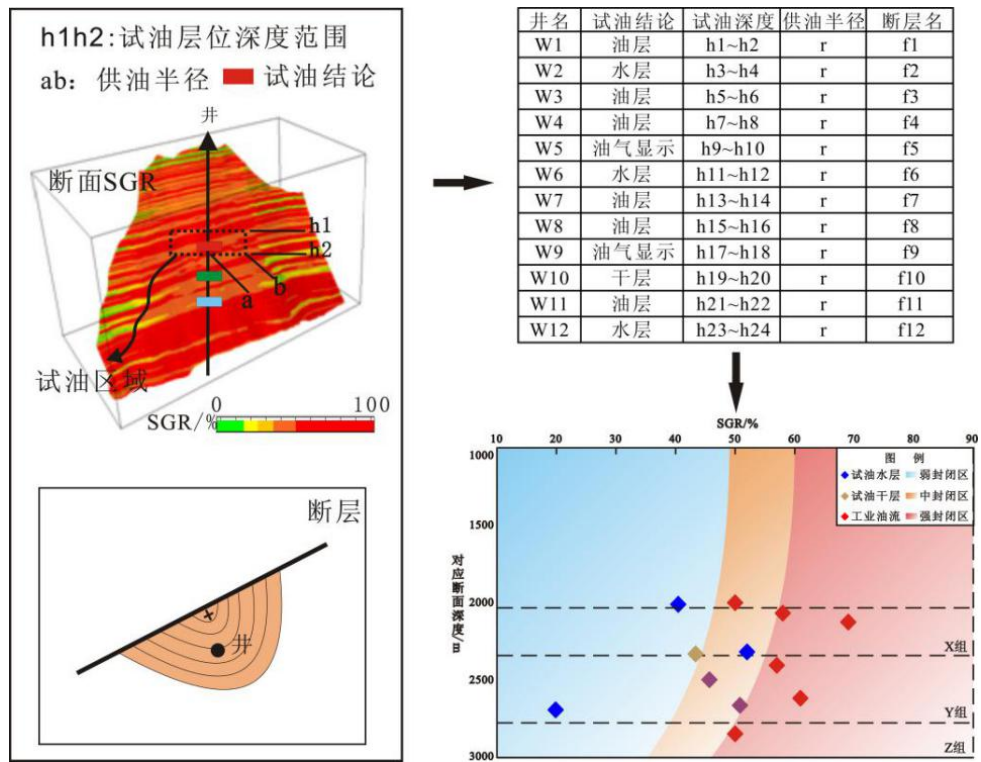


Figure 3. Flow chart of SGR&H lower limit method for lateral sealing of faults

图 3. 断层侧向封闭油气 SGR&H 下限法流程模式图

① 利用小林克 - 哈拉海断裂带内断层和地层的地震解释数据, 构建小林克 - 哈拉海断裂带内断层的三维地质模型, 计算出断面内任意一点的垂直断距大小; 同时, 利用录井、测井资料计算被错断地层内的泥质含量, 依据公式(1)计算得出断层岩的 SGR 值(图 4)。

② 根据试油资料确定试油层位在断面上的深度范围, 再依据开发资料确定该井试油层位沿断面走向上的控制范围, 即 2 倍的供油半径(供油半径是指在多井生产时, 油水井在地下控制一定范围的含油面积的半径), 二者在断面上控制的区域即为试油区域。

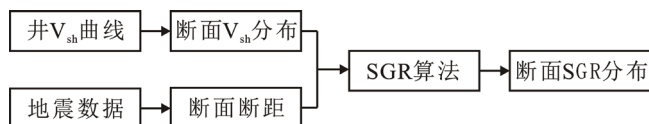


Figure 4. Flow chart for calculating section SGR value  
图 4. 断面 SGR 值计算流程图

③ 选取小林克 - 哈拉海断裂带的探明储量范围内试油井, 确定不同试油井在不同层位、不同深度处对应断面上的试油区域, 同时筛选出每一口井试油层位所在试油区域内断面最小 SGR 值及试油深度, 以试油结论为系列、断面最小 SGR 值为横坐标、试油深度为纵坐标绘制断层侧向封闭性评价图版, 厘定小林克 - 哈拉海断裂带不同层位断层侧向弱封闭区、断层侧向中等封闭区和断层侧向强封闭区之间的界限。

④ 以此界限值作为标准判断不同断层在不同地层、不同深度(层位)内的封闭属性, 也就是说当目标断层断面最小 SGR 值与试油深度点投影在小林克 - 哈拉海断裂带断层侧向弱封闭区内时, 断层侧向不封闭; 当散点投影在断层侧向中等封闭区内时, 断层侧向封闭且能力中等; 当散点投影在断层侧向强封闭区内时, 断层侧向封闭且能力较强, 其中中等~强封闭能力的断层是遮挡油气并聚集成藏的有利断层。

#### 4. 断层封堵性评价结果

依据上述断层侧向封闭下限确定理论和方法, 在小林克 - 哈拉海断裂带选取典型的 26 个试油/试气结论不同的点, 按照其试油/气深度、结论及目标区域断面最小 SGR 值绘制断层岩型断层侧向封闭下限厘定模版(图 5)。同时, 根据各层位深度中值, 确定小林克 - 哈拉海断裂带不同油层组内断层侧向弱、中等、强封闭区的界限值(表 2)。

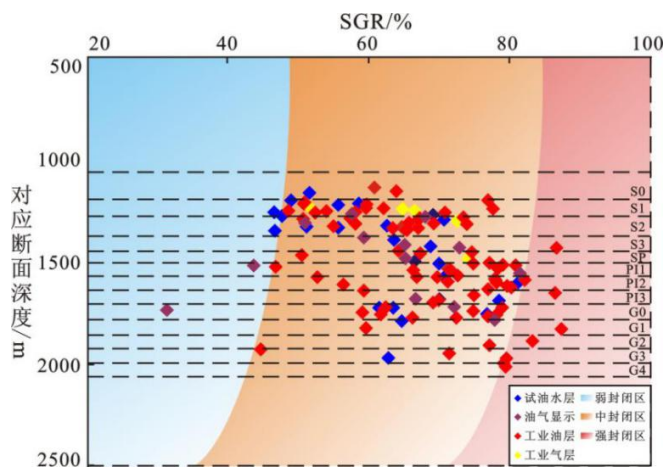


Figure 5. Determination of the lower limit of the fault lateral sealing oil and gas in the Xiaolinke-Halahai fault zone  
图 5. 小林克 - 哈拉海断裂带断层侧向封闭油气下限厘定图

Table 2. Statistical table of the limits of lateral sealing intervals of different oil layer faults in the Xiaolinke-Halahai fault zone  
表 2. 小林克 - 哈拉海断裂带不同油层断层侧向封闭区间界限统计表

油层组	弱-中等封闭断层 SGR 界限/%	中等 - 强封闭断层 SGR 界限/%
S <sub>0</sub>	47.5	84
S <sub>1</sub>	47.3	83.5
S <sub>2</sub>	47	83
S <sub>3</sub>	46.5	82.5

根据已建立的断层侧向封闭 SGR&H 下限, 评价不同油层组内各主要断层的侧向封闭性。由表 2 确定的下限值可知, 随着埋藏深度的增加, 断层岩压实成岩程度越高, 断层越容易形成侧向封闭, 对应的下限值越小。从整体来看, 平面上, 中部及北部断层的 SGR 值明显较南部断层低, 这主要是受断层错断地层物性的影响, 在小林克 - 哈拉海断裂带中北部地层的砂地比明显高于南部, 因而滑入断裂带内的泥质成分较少, 断层岩 SGR 值偏低; 剖面上, 断层岩 SGR 值自上而下逐渐增大, 在 S<sub>0</sub> 油层组上部的嫩一、二段盖层段部位, 断层岩 SGR 值有明显的升高(图 6)。

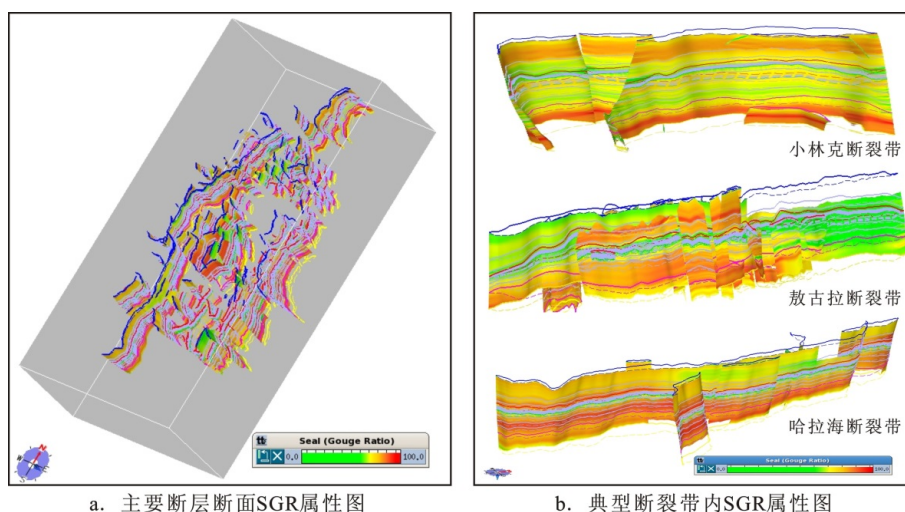


Figure 6. SGR attribute map of the section of the Xiaolinke-Halahai fault zone  
图 6. 小林克 - 哈拉海断裂带断面 SGR 属性图

以此, 根据小林克 - 哈拉海断裂带各萨尔图油层组的断层侧向弱、中等、强封闭区域油气下限, 刻画小林克 - 哈拉海断裂带内各主要断层的封闭属性。

总体上, 小林克 - 哈拉海断裂带在各萨尔图油层组内, 断层多呈现出中等侧向封闭能力, 控制储量区的分布, 仅在塔 34、金 27 区块的局部地区发育弱封闭能力的断层(图 7), 其中 S<sub>3</sub> 油层组发育的弱封闭能力断层条数最多, S<sub>4</sub>、S<sub>2</sub> 油层组次之, S<sub>1</sub> 油层组最少仅发育 1 条; 除此之外, 且仅在 S<sub>0</sub> 和 S<sub>1</sub> 油层组内中部地区发育少量强封闭能力断层, 这与 S<sub>0</sub> 油层组上部发育的嫩江组泥岩盖层滑入断裂带内有关, 导致断层岩 SGR 值较下部油层组有所增大。

## 5. 断层侧向封堵性对油气聚集的控制作用

以敖古拉断裂 F5 和 F6 为典型断层进行分析。塔 11 井与塔 32 井分别位于敖古拉断裂带两侧, 受敖古拉断裂 F5 分割。根据构造地质建模, 绘制 F5 断层的断面 SGR 随深度的变化曲线, 通过比较确定, 实际 SGR 值均大于断层侧向封闭下限值, 表明断层侧向封闭(图 8(a))。这与目前塔 11 井在 S<sub>0</sub>~S<sub>1</sub> 油层组钻遇油气相吻合。同时, 位于断层东侧的塔 11 井地层水水型为 NaHCO<sub>3</sub>, 矿化度为 7532 g/L, 而位于断层西侧的塔 32 井地层水水型依旧为 NaHCO<sub>3</sub>, 但矿化度为 5840 g/L, 断层两侧地层水矿化度的差异也证实断层侧向不连通, 是封闭的。

同理, 塔 34 区块的龙 182-6 井受上倾方向的 F6 断层控制, 通过断面属性分析, 确定 F6 断层 SGR 值变化范围较大, 其在萨尔图油层不同深度存在多处断面实际 SGR 值小于断层侧向封闭下限的部位(图 8(b)), 表征断层侧向不封闭。这些部位与 S<sub>0</sub>、S<sub>2</sub> 油层组录井见油气层但尚无工业油气聚集的部位相吻合, 也证明了断层封闭性结果评价的准确。

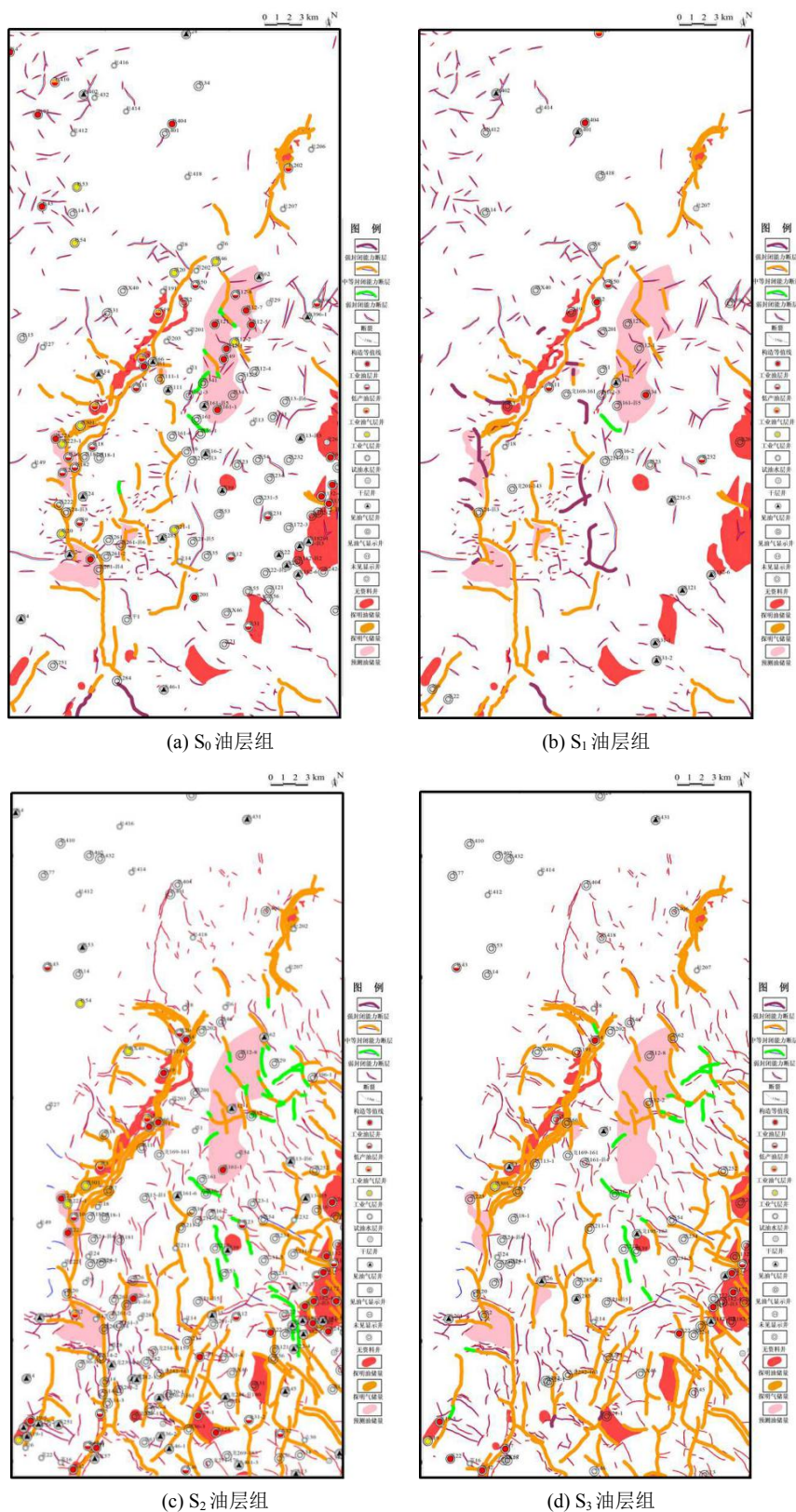


Figure 7. Lateral sealing of fault in the Saertu oil layer of the Xiaolinke-Halahai fault zone  
图 7. 小林克-哈拉海断裂带萨尔图油层断层侧向封闭性厘定图



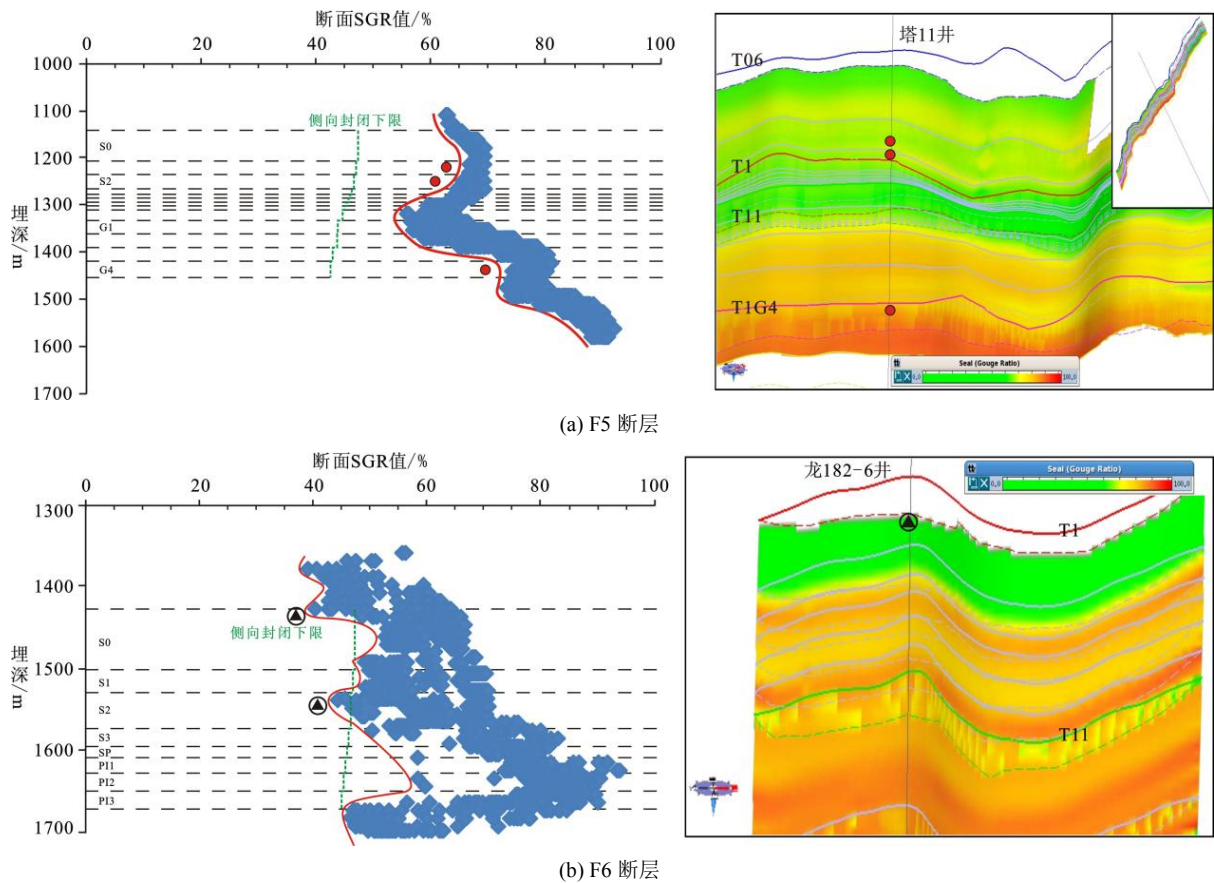


Figure 8. SGR distribution map of the F5 and F6 fault section of the Xiaolinke-Halahai fault zone  
 图 8. 小林克 - 哈拉海断裂带断层断面 SGR 分布图

## 6. 结论

- 1) 小林克 - 哈拉海断裂带在萨尔图油层内断层侧向封闭类型以断层岩封闭为主, 只在 S<sub>2</sub> 油层组内夹杂少量岩性对接封闭。
- 2) 平面上, 小林克 - 哈拉海断裂带中部及北部断层的 SGR 值明显较南部断层低; 剖面上, 断层岩 SGR 值自上而下逐渐增大, 在 S<sub>0</sub> 油层组上部的嫩一、二段盖层段部位, 断层岩 SGR 值有明显的升高。
- 3) 根据小林克 - 哈拉海断裂带各萨尔图油层组的断层侧向弱、中等、强封闭区域油气下限, 定量评价得到研究区断层多呈现出中等侧向封闭能力, S<sub>3</sub> 油层组发育的弱封闭能力断层条数最多, S<sub>4</sub>、S<sub>2</sub> 油层组次之, S<sub>1</sub> 油层组最少仅发育 1 条; 在 S<sub>0</sub> 和 S<sub>1</sub> 油层组内中部地区发育少量强封闭能力断层。

## 基金项目

本项目由“致密砂岩储层分级评价研究——以松辽盆地徐家围子断陷沙河子组为例”(编号: QC2017034); 国家自然科学基金项目(No. 41702153)资助。

## 参考文献

- [1] 万军, 吕延防. 小林克-敖古拉断裂的封闭性[J]. 天然气工业, 2008(1): 50-53+165.
- [2] 吕延防, 张发强, 吴春霞, 等. 断层涂抹层分布规律的物理模拟实验研究[J]. 石油勘探与开发, 2001(1): 30-32+14-13+6.

- [3] 孙波, 陶文芳, 张善文, 等. 济阳坳陷断层活动差异性与油气富集关系[J]. 特种油气藏, 2015, 22(3): 18-21+151.
- [4] 付晓飞, 吕延防, 付广, 等. 逆掩断层垂向封闭性定量模拟实验及评价方法[J]. 地质科学, 2004(2): 223-233.
- [5] 匡建超, 曾剑毅, 储昭奎, 等. 川西龙门山前缘主要断层封堵性评价[J]. 天然气工业, 2008, 28(11): 42-45+136.
- [6] 洪国郎, 金强, 程付启, 等. 改进的断层封闭性计算参数的获取方法及应用——以辽西凸起中南段为例[J]. 油气地质与采收率, 2018, 25(3): 50-54+60.
- [7] Allan, U.S. (1989) Model for Hydrocarbon and Entrapment with in Faulted Structures. *AAPG Bulletin*, **73**, 803-811. <https://doi.org/10.1306/44B4A271-170A-11D7-8645000102C1865D>
- [8] Knipe, R.J. (1997) Juxtaposition and Seal Diagrams to Help Analyze Fault Seals in Hydrocarbon Reservoirs. *AAPG Bulletin*, **81**, 187-195. <https://doi.org/10.1306/3B05B376-172A-11D7-8645000102C1865D>
- [9] Fulljames, J.R., Zijerveld, L.J.J. and Franssen, R.C.M.W. (1997) Fault Seal Processes: Systematic Analysis of Fault Seals over Geological and Production Time Scales. *Norwegian Petroleum Society Special Publications*, **7**, 51-59. [https://doi.org/10.1016/S0928-8937\(97\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S0928-8937(97)80006-9)
- [10] Lindsay, N.G., Murphy, F.C., Walsh, J.J., et al. (2009) Outcrop Studies of Shale Smears on Fault Surface. In: *The Geological Modelling of Hydrocarbon Reservoirs and Outcrop Analogues*, Blackwell Publishing Ltd., Hoboken, 113-123. <https://doi.org/10.1002/9781444303957.ch6>
- [11] Yielding, G. (2002) Shale Gouge Ratio-Calibration by Geohistory. In: Koestler, A.G. and Hunsdale, R., Eds., *Hydrocarbon Seal Quantification*, NPF Special Publication, Vol. 11, Elsevier, Amsterdam, 1-15. [https://doi.org/10.1016/S0928-8937\(02\)80003-0](https://doi.org/10.1016/S0928-8937(02)80003-0)
- [12] Grauls, D.J. and Baleix, J.M. (1994) Role of Overpressures and *in Situ* Stresses in Fault-Controlled Hydrocarbon Migration: A Case Study. *Marine and Petroleum Geology*, **11**, 734-742. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(94\)90026-4](https://doi.org/10.1016/0264-8172(94)90026-4)
- [13] 吕延防, 王伟, 胡欣蕾, 等. 断层侧向封闭性定量评价方法[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(2): 1-7.
- [14] 付晓飞, 李文龙, 吕延防, 等. 断层侧向封闭性及对断圈油水关系的控制[J]. 地质论评, 2011, 57(3): 387-397.
- [15] 张津宁, 张金功, 杨乾政, 等. 应用断点移动法分析断层活动性[J]. 地质科技情报, 2016, 35(1): 38-43.
- [16] 王志伟. 新北油田右旋走滑应力场内断层封堵性及其对成藏的控制作用[J]. 地质科技情报, 2019, 38(4): 145-152.