

# 准噶尔盆地莫索湾地区断层控油作用

吴孔友<sup>1</sup>, 查明<sup>1</sup>, 王绪龙<sup>2</sup>, 郭志强<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学, 山东 东营 257061; 2. 新疆油田公司, 新疆 克拉玛依 834000;  
3. 华北油田二连分公司, 内蒙古 锡林浩特 026017)

**摘要:**莫索湾地区三叠系以上地层整体近单斜形态, 圈闭大都与断层相关, 并且断层在纵向上可划分为深、浅 2 套断层系统。深部断裂发育在石炭系至二叠系中, 为逆断层; 浅部断裂发育在侏罗系中, 为张性和张扭性断层。侏罗纪晚期, 浅部断裂开始发育, 并断至地表, 导致油气散失。白垩纪至第三纪, 随上覆地层增厚, 断层封闭性增强。通过断面两侧岩性配置、泥岩涂抹因子等分析, 莫北凸起断层封闭性好于莫索湾凸起, 且  $J_1 s_2^1$  砂层组的泥岩涂抹效应要好于  $J_1 s_2^2$  砂层组。油气沿断层垂向运移过程中, 将向两侧储层分流, 分流系数与储层倾角、厚度、渗透率等有关。莫索湾地区沿断层运移的油气将优先进入厚度大、渗透率高的  $J_1 s_2^2$  储层, 厚度小、渗透率低的  $J_1 s_2^1$  储层有利于捕获后期高成熟的油或气。

**关键词:**准噶尔盆地; 莫索湾地区; 断层系统; 封闭性; 控油作用

中图分类号: P542<sup>+</sup>.31

文献标识码: A

## 0 引言

莫索湾地区位于准噶尔盆地腹部中央拗陷内, 包括莫索湾凸起和莫北凸起 2 个构造单元, 勘探面积近 7000km<sup>2</sup>。该区三面临凹, 东邻东道海子凹陷, 西连盆 1 井西凹陷, 南为北天山山前凹陷, 且每个凹陷均发育着石炭系、二叠系和侏罗系多套成熟烃源岩, 是油气运移的有利指向区, 具有良好的油气成藏条件<sup>[1-2]</sup>。构造特征分析表明, 莫索湾地区三叠系以上地层整体近单斜形态, 侏罗系内断层发育, 圈闭大都与断层相关, 同时莫索湾凸起与莫北凸起发育的断裂特征和性质存在较明显差异。目前已在侏罗系中发现了大量油气, 这些油气主要分布于莫北凸起上, 而莫索湾凸起主体部位(盆参 2 井区)尽管油气显示异常活跃<sup>[3]</sup>, 累计层段厚度达 1000m, 却未能获得工业油流。是什么因素控制了该区的油气成藏? 断层在油气运移与聚集中起什么作用? 这些问题成为困扰油气勘探工作的重要因素。本文从断层基本特征、组合样式和封闭性分析入手, 研究莫索湾地区断层对油气成藏的控制作用。

# 1 断层特征和组合样式

莫索湾地区发育的断层在纵向上以三叠系为界可划分为两套断层系统<sup>[4]</sup>，即深部断层系统和浅部断层系统。深部断层系统主要发育在石炭系至二叠系中，部分切入三叠系，断层走向主要为北西向和北东向，以北西向为主，全部为逆冲断层。它们开始形成于石炭纪末期，其中北东向断层主要受扎伊尔山隆升产生的北西向挤压应力控制，北西向断层主要受克拉美丽山隆升产生的北东向挤压应力控制。

莫索湾地区浅部断层系统主要发育在侏罗纪地层之中，部分向下切入三叠系、向上断开白垩系底部。该断层系统断层的性质、特征及规模在莫索湾凸起和莫北凸起上存在较明显的差异。莫索湾凸起上的浅部断层断距小、延伸短、逆牵引不发育，走向主要集中于北东向和北西向，两组断裂在平面上组合成“X”型（图 1），显示以走滑活动为主的构造特征<sup>[4]</sup>，而且在芳 2 井区垂直于浅部断裂走向的剖面上，可解释出明显的负花状构造，因此，应属张扭性断裂系统。莫北凸起上的浅部断层，尤其是起控油作用的断层，走向近南北向，与区域最大主应力近平行，处于凸起与凹陷（盆 1 井西凹陷）接触部位，断距大、延伸远、逆牵引构造明显，以伸展活动为主。深、浅断层系统具有承生关系，深部断裂一定程度上影响了浅部断裂的发育，平面上深、浅断层位置相近（图 1），剖面上组合成“Y”字型、“<”型、“>”型和“花”状<sup>[5]</sup>。

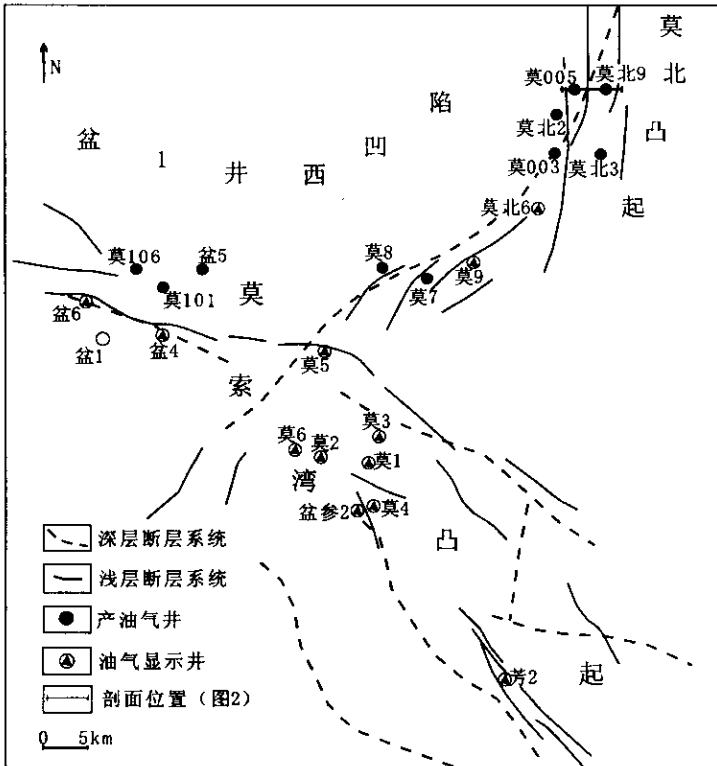


图 1 莫索湾地区断层分布平面图

Fig.1 Plan view of fault distribution in the Mosuowan area

## 2 断层的封闭性分析

莫索湾地区侏罗系主要储集层为三工河组二段 ( $J_1 s_2$ ), 包括  $J_1 s_1^1$  和  $J_1 s_2^2$  两个砂层组。 $J_1 s_1^1$  砂层组以三角洲前缘-滨浅湖沉积相为主, 岩性为粗砂岩、中砂岩和细砂岩, 在全区分布不稳定, 厚度介于 8~32m 之间。 $J_1 s_2^2$  砂层组以辫状河三角洲前缘沉积相为主, 岩性为砂砾岩、粗砂岩和中砂岩。该砂层由盆参 2 井区向盆 5 井区和莫北 2 井区逐渐增厚, 在莫索湾凸起厚度介于 26~52m 之间, 在莫北凸起厚度近 70m, 是研究区主力含油层系。发育在莫索湾凸起上的侏罗系中的断层具张扭性质, 既具有走向位移, 又具有倾向位移, 断距一般小于 20m, 断层很难将厚层砂体错开, 因此  $J_1 s_2^2$  砂层组沿断面两侧常砂岩与砂岩对置<sup>[6]</sup>, 封闭性差, 厚度较小的  $J_1 s_1^1$  砂层组往往封闭性较好, 由于其物性较差, 以聚集高熟油或气为主。莫北凸起发育的断裂主要为伸展性的正断层, 断距大, 一般大于 80m, 有的甚至达 150m, 因此能将砂体错开, 沿断层面两侧往往是砂岩与泥岩对置<sup>[6]</sup>, 且发育明显的逆牵引背斜, 封闭性好 (图 2)。利用 Yielding 等<sup>[7]</sup>提出的泥岩削刮比 (SGR: Shale Gouge Ratio) 计算公式 (1):

$$SGR = \frac{\sum(\text{泥岩厚度})}{\text{断距}} \times 100\% \quad (1)$$

对研究区主要断层的泥岩涂抹效应进行了评价。结果显示, 莫索湾凸起侏罗系中的断层的 SGR 值介于 0.12~0.5 之间, 而莫北凸起侏罗系中的断层的 SGR 值介于 0.25~0.86 之间, 同时, 总体上  $J_1 s_1^1$  砂层组的涂抹效应要好于  $J_1 s_2^2$  砂层组。

## 3 断层对油气成藏的控制作用

### 3.1 断层特征、封闭性与油气成藏

莫索湾凸起与莫北凸起浅部断层系统的构造属性和组合样式不同, 其控油作用也存在一定的差异。莫索湾凸起浅部断层既为正断层, 又具有走滑性质, 属张扭性断裂系统, 在平面上局部密集分布。由于该断裂系统断距小, 断面陡, 牵引或逆牵引构造不发育, 岩性配置不当 (砂体未能被完全错开), 断层封闭性较差, 很难对油气形成侧向封堵, 这也是莫索湾凸起断块或断鼻圈闭至今未能见到工业性油气流的主要原因。而莫北凸起上发育的断裂, 断距大, 逆牵引构造明显, 断层封闭性好, 且靠近生烃中心, 因此在断裂的下降盘发现了大量油气。

### 3.2 断层演化与油气成藏

研究区深部断层系统的主要活动时期为石炭纪晚期至二叠纪末期, 个别断层持续到三叠纪早期; 浅部断层系统形成于燕山运动 I 幕, 主要活动期为侏罗纪中、晚期<sup>[4,5]</sup>。烃源岩分析表明, 周缘凹陷的主力烃源岩为下二叠统风城组 ( $P_1 f$ ) 和中二叠统下乌尔禾组 ( $P_2 w$ )。风城组从二叠纪晚期开始生油, 三叠纪末至侏罗纪早期达到生油高峰, 之后生油量逐渐降低, 早白垩世末期进入第二个生油高峰。下乌尔禾组生烃始于三叠纪晚期, 侏罗纪是主要生油期, 早白垩世达到生油高峰, 其后生油量逐渐降低 (图 3)。

深部断层系统强烈活动时期, 烃源岩尚未成熟, 对成藏为无效期。中、晚侏罗世, 莫索

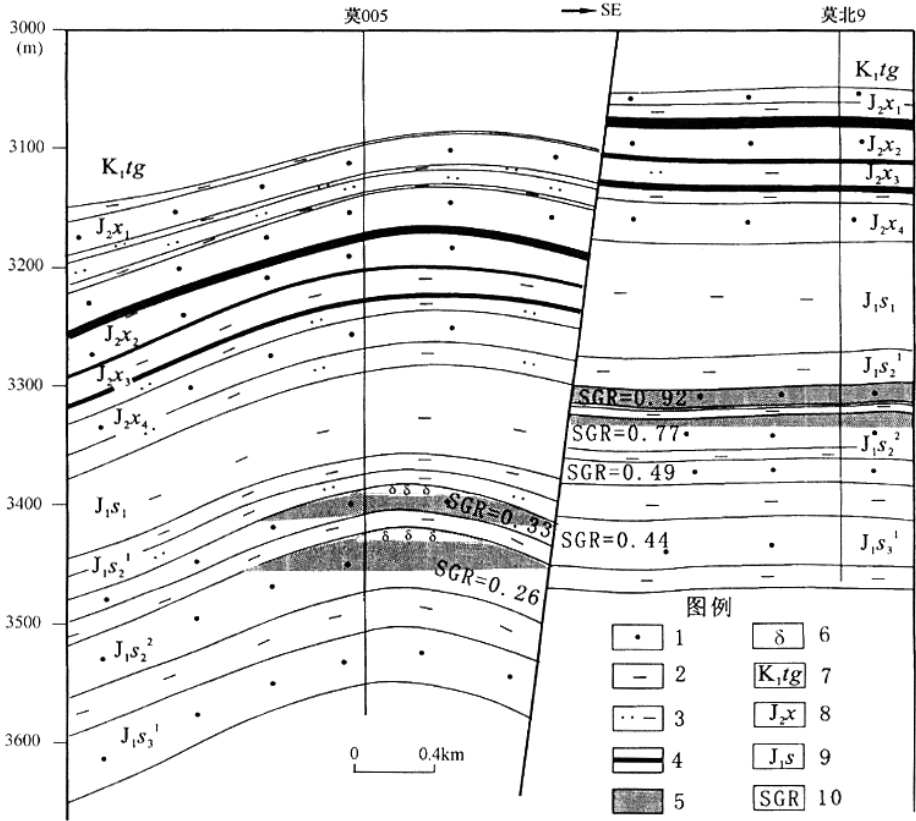


图 2 断层剖面特征和封闭性定量评价图

Fig.2 Characteristics of the fault section and quantitative evaluation of the sealing properties of faults

- 1. 砂岩; 2. 泥岩; 3. 粉砂质泥岩; 4. 煤层; 5. 油; 6. 气; 7. 白垩系吐谷鲁群;
- 8. 侏罗系西山窑组; 9. 侏罗系三工河组; 10. 泥岩割削比

湾地区发生了较为强烈的构造活动，基底上拱使盖层形成巨型莫索湾背斜，同时形成了众多“通天”的张性和张扭性断层，各深大断裂再次活动，此时油气也开始大量生成，并沿着断层不断向浅部运聚。进入浅层的油气一部分沿两侧储层进行分流，一部分散失至地表<sup>[8]</sup>。由于断层封闭性差，进入储层中的油气遭受氧化和生物降解。侏罗纪以后，断裂活动基本停止，随上覆地层沉积增厚，断面所受压应力增大，断层的封闭性增强，断距大、岩性配置适当的断层可对油气起侧向封堵作用，形成油气藏（图 4）。

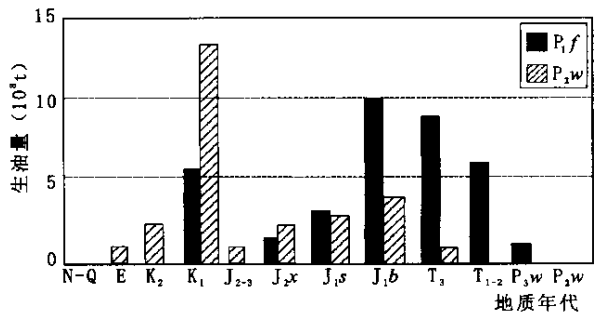


图 3 盆 1 井西凹陷二叠系烃源岩排油强度图 (据新疆石油管理局, 2003)

Fig.3 Oil-expelling intension of Permian source rock in the well Pen-1 western depression (after Xinjiang Petroleum Administration, 2003)

### 3.3 断层的垂向输导与油气的纵向分配

莫7井区位于莫索湾凸起与莫北凸起结合部位, 紧邻盆1井西凹陷, 是风城组和下乌尔禾组生成油气的有利指向区。该区油气富集, 目前已有莫7、莫8、莫11、莫108井4口出油井, 产油气层集中在侏罗系三工河组  $J_1s_1^1$  和  $J_1s_2^2$  砂层组中。对各井储层物性的对比分析表明,  $J_1s_2^2$  物性明显要好于  $J_1s_1^1$ , 而且试油成果显示, 储层物性相对较好的  $J_1s_2^2$  主要为油层, 储层物性相对较差的  $J_1s_1^1$  则为气层 (表1), 说明三工河组为油藏还是气藏, 与储层物性有一定的关系。

钻井揭示莫7井圈闭类型为断背斜, 莫8井和莫11井圈闭为受断层控制的断鼻构造。来自盆1井西凹陷的油气沿断层向上运移过程中, 遇到储层时将向两侧分流, 分流的多少与储层的倾角、厚度和渗透率有关<sup>[9]</sup>, 具体见公式(2):

$$r = \frac{k_r H_r}{k_f H_f} \sin \theta_r \quad (2)$$

式中:  $r$ —为储层分流系数;  $k_r$ —渗透率,  $\mu\text{m}^2$ ;  $k_f$ —断裂带的渗透率,  $\mu\text{m}^2$ ;  $H_r$ —储层厚度,  $\text{m}$ ;  $\theta_r$ —储层倾角, 度;  $H_f$ —断裂带的宽度,  $\text{m}$ 。

表1 莫7井区侏罗系三工河组储层微观结构与油、气关系

Table 1 Relationship between microstructures and hydrocarbons of the main reservoir in the Jurassic Sangonghe Formation, Mo-7 well area

井号	层位	孔隙度 (%)	渗透率 ( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )	平均毛管半径 ( $\mu\text{m}$ )	试油结果			结论
		变化范围	变化范围	变化范围	日产气	日产油	油密度	
		平均值 (样品数)	平均值 (样品数)	平均值 (样品数)	( $\text{m}^3$ )	( $\text{t}$ )	( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	
莫7	$J_1s_1^1$	2.2 ~ 16.0 11.11 (29)	0.441 ~ 157 5.65 (29)	0.08 ~ 9.02 3.23 (17)	70330	11.75	0.7925	气层
	$J_1s_2^2$	—	—	—	60420	11.39	0.7806	油气层
莫108	$J_1s_1^1$	10.8 ~ 14 12.84 (5)	0.49 ~ 4.78 2.69 (5)	1.38 ~ 1.76 1.57 (2)	10370	4.11	0.825	气层
	$J_1s_2^2$	9.7 ~ 16.6 13.778 (12)	0.237 ~ 69.8 16.255 (12)	0.19 ~ 1.97 1.08 (2)		0.54	0.870	含油水层
莫8	$J_1s_1^1$	9.3 ~ 13.6 11.636 (24)	0.34 ~ 26.8 4.305 (24)	0.6 ~ 2.72 1.38 (5)	50690	8.09	0.792	气层
	$J_1s_2^2$	8.3 ~ 14.5 10.636 (22)	0.137 ~ 124 20.48 (22)	2.89 ~ 7.3 5.26 (4)	2310	9.91	0.870	油层
莫11	$J_1s_1^1$	9.3 ~ 13.6 11.00 (7)	9.15 ~ 602 10.375 (7)	0.15 ~ 4.37 1.38 (8)	303120	72.8	0.7962	气层
	$J_1s_2^2$	2.3 ~ 14.3 9.66 (27)	0.016 ~ 340 16.5 (27)	0.15 ~ 21.85 7.56 (12)	96030	107.87	0.836	油气同层

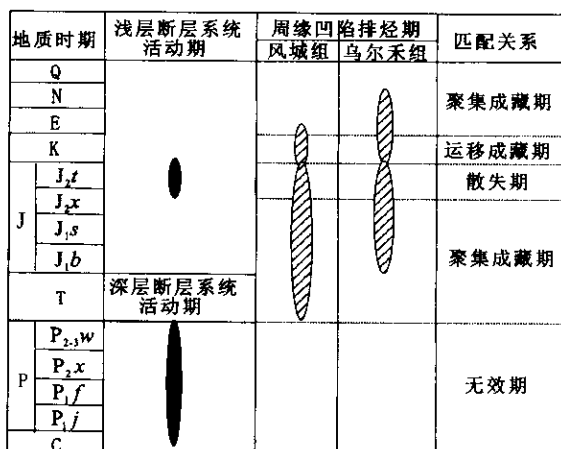


图4 莫索湾地区断裂活动期与油气运移期的配置关系图

Fig.4 Relationship of the faulting stage and hydrocarbon migration period in the Mosuowan area

莫索湾地区侏罗系及以上地层构造平缓，分流量主要与储层厚度和渗透率有关。当以油为主的烃类流体沿断裂向上运移时，砂体厚、孔渗性好的  $J_1 s_2^2$  进入的原油多，而砂体薄、孔渗性差的  $J_1 s_2^1$  进入的原油少。随地层埋深增大，烃源岩热演化程度增高，以生气或凝析油为主，当其沿断裂向上运移时，因气的排替能力强，可以注入孔渗性较差的储层，在  $J_1 s_2^1$  中聚集成藏。而  $J_1 s_2^2$  砂体因早期注入的原油影响其孔渗性和储集空间，分流量减少，同时断层封闭性较  $J_1 s_2^1$  差，导致轻组分易散失，以聚集油为主。例如莫8井  $J_1 s_2^1$  与  $J_1 s_2^2$  产出的天然气组分相近，干燥系数基本相同（ $J_1 s_2^1$  为 96.03， $J_1 s_2^2$  为 95.45），显示应属晚期高成熟天然气同一期充注的产物。然而  $J_1 s_2^1$  日产气高达  $50690\text{m}^3$ ， $J_1 s_2^2$  日产气仅为  $2310\text{m}^3$ ，且在总离子流质量-色谱图上， $J_1 s_2^2$  明显缺失轻组分。

## 4 结论

(1) 莫索湾地区在纵向上以三叠系为界可划分为深、浅两套断层系统。深部断层系统发育在石炭系至二叠系中，规模较大，全部为逆断层。浅部断层系统发育在侏罗系中，莫索湾凸起上的断层规模小，平面上组合成“X”型，属张扭性质；莫北凸起上的断层规模较大，逆牵引构造发育，以伸展活动为主。

(2) 由于断层性质及规模的差异，莫索湾凸起上侏罗系中的断层的封闭性较莫北凸起上的差，且  $J_1 s_2^1$  砂层组的泥岩涂抹效应要好于  $J_1 s_2^2$  砂层组。

(3) 莫索湾地区深部断裂的晚期活动，为油气的垂向运移提供了良好的通道。侏罗纪晚期，浅部断裂断至地表，导致油气散失，侏罗纪以后，断裂活动基本停止，随上覆地层增厚，断面所受压应力增大，断层的封闭性增强，断距大、岩性配置适当的断层可对油气起侧向封堵作用。

(4) 油气沿断裂垂向运移过程中，将优先进入厚度大、渗透率高的储层，厚度小、渗透率低的储层有利于捕获晚期高成熟的油或气。

## 参 考 文 献

- [1] 夏显佰, 陈布科, 王 鑫, 等. 准噶尔盆地马桥凸起区  $J_1 s$  沉积物源分析 [J]. 江汉石油学院学报, 2003, 25 (3): 13~14.
- [2] 刘得光. 准噶尔盆地马桥凸起异常高压成因及油气成藏模式 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25 (1): 21~24.
- [3] 王绪龙, 刘得光. 准噶尔盆地腹部马桥凸起侏罗系原油油源分析 [J]. 新疆石油地质, 1995, 16 (1): 33~37.
- [4] 李振宏, 汤良杰, 丁文龙. 准噶尔盆地腹部地区断裂特征分析 [J]. 石油勘探与开发, 2002, 29 (1): 40~45.
- [5] 丁文龙, 金之钧, 张义杰. 新疆准噶尔盆地断裂控油气作用机理研究 [J]. 地学前缘, 2002, 9 (3): 421.
- [6] 吕延防, 付 广, 等. 断层封闭性研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002, 31~33.
- [7] Yielding. G., Freeman. B., and Needham. D. Quantitative fault seal prediction [J]. AAPG Bulletin, 1977, 81: 897~917.
- [8] 谭明友, 张云银, 宋传春. 准噶尔盆地油气幕式成藏规律探讨 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31 (1): 28~31.
- [9] 柳广弟, 吴孔友, 查 明. 断裂带作为油气散失通道的输导能力 [J]. 石油大学学报 (自然科学版), 2002, 26 (1): 11~16.

## FAULT CONTROLS ON OIL AND GAS IN THE MOSUOWAN AREA , JUNGGAR BASIN

WU Kong-you<sup>1</sup> , ZHA Ming<sup>1</sup> , WANG Xu-long<sup>2</sup> , GUO Zhi-qiang<sup>3</sup>

(1. *University of Petroleum , Dongying 257061 , Shandong ; 2. Xinjiang Oilfield Company , Karamay 834000 , Xinjiang ;*

*3. Eren Branch , North China Oilfield , Xilinhote 026017 , Inner Mongolia )*

**Abstract :** The strata overlying the Triassic in the Mosuowan on the whole occur as a monocline and the traps are mostly related to faults , which may fall into the deep and shallow fault systems . Deep faults are reversed ones developed in the Carboniferous to Permian , while shallow faults are tensional and tension-shear ones developed in the Jurassic . In the Late Jurassic , shallow faults were initiated and extended upward to the surface , thus causing dissipation of hydrocarbon . From the Cretaceous to Tertiary , fault sealing built up with thickening of the overlying strata . According to an analysis of the lithological combination and mudstone smear factor , the fault sealing properties of the Mobei uplift is better than those of the Mosuowan uplift , and the smear effect of mudstone in the first sandstone set (  $J_1 s_2^1$  ) of the Second Member of the Lower Jurassic Sangonghe Formation is better than that of the second sandstone set (  $J_1 s_2^2$  ) of the Second Member of the Lower Jurassic Sangonghe Formation . The hydrocarbon is diverted toward the reservoirs on two sides of the fault when it moves vertically along the fault , and the coefficient of diversion is related to the obliquity , thickness and permeability of the reservoirs . The hydrocarbon will preferentially enters the thicker and more permeable  $J_1 s_2^2$  reservoir ; however , the thin and less permeable  $J_1 s_2^1$  reservoir prefers to entrap the late-stage highly mature hydrocarbon .

**Key words :** Mosuowan area ; fault system ; sealing property ; control of oil and gas