

## 断-砂配置侧向输导油气能力研究方法的改进及应用

付红军<sup>1,2</sup>,姜洪福<sup>2</sup>,王运增<sup>2</sup>,李昂<sup>3</sup>,付广<sup>1</sup>,胡慧婷<sup>1</sup>,樊自立<sup>4</sup>

(1. 东北石油大学,黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油 大庆油田有限责任公司 海拉尔石油勘探开发指挥部,黑龙江 大庆 163712; 3. 加拿大阿尔伯塔大学,阿尔伯塔 埃德蒙顿 T6G 2R3; 4. 中国石油 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:**为了更准确地研究下生上储组合中断裂发育区油气分布规律,在前人断-砂配置侧向输导油气能力定量研究的基础上,不仅考虑断-砂接触长度和砂体物性对断-砂配置侧向输导油气能力的影响,而且考虑了砂体倾角对断-砂配置侧向输导油气能力的影响,改进了断-砂配置侧向输导油气能力定量研究方法。选取渤海湾盆地南堡凹陷5个典型区块中浅层内12条油源断裂为例,利用改进前、后断-砂配置侧向输导油气能力定量研究方法,对其与16口井中浅层67个砂层配置形成的侧向输导油气能力进行了定量研究。结果表明,改进后方法研究得到的断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值与砂体中的油气柱高度之间为成正比关系,其值越大,砂体中油气柱越高;反之则越低。当断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值大于0.4,油气钻探为油层或同层,小于0.4则为水层或干层,二者吻合关系好,表明改进后方法用于定量研究断-砂配置侧向输导油气能力是可行的。由于改进后方法研究得到的断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值明显低于改进前方法得到的断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值,表明改进前方法的评价结果可能过高地评估了断-砂配置侧向输导油气能力,给油气勘探带来风险。

**关键词:**断-砂配置;侧向输导;下生上储组合;断裂;南堡凹陷;渤海湾盆地

**中图分类号:**TE122.1

**文献标识码:**A

## Improvement and application of the method for quantifying lateral transport capacity of fault-sandstone configuration

Fu Hongjun<sup>1,2</sup>, Jiang Hongfu<sup>2</sup>, Wang Yunzeng<sup>2</sup>, Li Ang<sup>3</sup>, Fu Guang<sup>1</sup>, Hu Huiting<sup>1</sup>, Fan Zili<sup>4</sup>

(1. Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 2. Hailaier Petroleum Exploration and Development Headquarters of Daqing Oilfield Co., Ltd., PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712, China; 3. University of Alberta, AB Edmonton T6G 1C1, Canada; 4. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Co., Ltd., PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163712, China)

**Abstract:** In order to more precisely reveal the hydrocarbon distribution of fault zones in the upper source rock-lower reservoir assemblage, we present an improved method of quantifying the lateral transport capacity of the fault-sandstone configuration, considering both the effect of fault-sandstone contact length and physical property of sand bodies, and the effect of dip angles of sand bodies. Twelve faults in the middle-shallow layers were selected from five typical blocks in Nanpu Sag, Bohai Bay Basin, to quantitatively estimate and compare the lateral transport capacity of the configurations of the 12 faults and 67 sandstone layers in 16 wells by using the original and improved methods, respectively. The results show that: the parameter values obtained by using the improved method correlate positively with the height of oil-gas column in sand bodies, that is, the bigger the values are, the higher the oil-gas column becomes; and vice versa. When the parameter value is over 0.4, the sandstone reservoir contains oil or both oil and gas, while when its value is less than 0.4, the sandstone reservoir contains water or is dry, indicating the applicability of the improved method. The parameter values obtained with the improved method are remarkably lower than that worked out by the original method, indicating an overestimation by the original method and thus resulting in risks to oil-gas exploration.

**Key words:** fault-sandstone configuration, lateral transport, upper source rock-lower reservoir assemblage, fault, Nanpu Sag, Bohai Bay Basin

收稿日期:2018-06-13;修订日期:2019-06-24。

第一作者简介:付红军(1980—),男,博士、高级工程师,油气藏地质。E-mail:63970597@qq.com。

通讯作者简介:付广(1962—),男,博士、教授,油气藏形成与保存。E-mail:fuguang2008@126.com。

基金项目:国家自然科学基金项目(41872157)。

油气勘探的实践表明,断裂对含油气盆地生上储组合中断裂发育区油气的运聚成藏起着非常重要的作用,断裂不仅是油气从下伏源岩向上覆目的储层中运移的输导通道,而且其与砂体的配置控制着油气的成藏与分布。因为沿断裂向上运移的油气进入到目的储层后,由于受到上覆盖层的阻挡,油气将向断裂两侧砂体中发生侧向运移和聚集,这是下生上储组合中断裂发育区油气成藏的主要模式。然而,油气钻探揭示,并非断裂两侧目的层砂体中均有油气分布,这可能是油气沿断裂向两侧砂体发生侧向运移后,因断裂附近无圈闭聚集而散失了。但这种可能性不大,因为对于陆相沉积地层而言,其相变快,即使断裂附近无构造圈闭发育,也会有岩性圈闭发育,使沿断裂运移的油气向两侧砂体中发生侧向运移后,在断裂附近聚集成藏。断裂附近砂体中无油气分布,主要是由于沿断裂运移油气没有向其发生侧向运移造成的。沿断裂运移油气到底向两侧哪些砂体中发生侧向运移,是决定断裂附近油气分布的重要因素。关于断裂和砂体本身作为通道输导油气能力的研究,前人曾做过大量的研究<sup>[1-9]</sup>,但对断-砂配置侧向输导油气能力的研究目前主要是一些定性的研究<sup>[10-14]</sup>,缺少定量研究。有些文献<sup>[15]</sup>虽然对断-砂配置侧向输导油气能力进行了定量研究,但其只考虑了断-砂接触长度和砂体物性(泥质含量)对其侧向输导油气能力的影响,而没有考虑对断-砂配置侧向输导油气能力有重要影响的砂体倾角(因砂体倾角大小不同,油气沿断-砂配置侧向输导油气能力也不同)的影响,这无疑使得研究结果与地下实际情况出现偏差,影响下生上储组合中断裂发育区油气分布的正确认识,给油气勘探带来风险。因此,开展改进断-砂配置侧向输导油气能力的研究方法,对于正确认识下生上储组合中断裂发育区油气分布规律和指导油气勘探均具有重要意义。

## 1 断-砂配置侧向输导油气机理及其影响因素

沿断裂向上运移油气进入上覆目的储层后,由于受到其上覆盖层的阻挡,油气沿断裂向上运移受阻,不是停止向上运移,就是向上运移速度减缓,使油气全部或部分在盖层之下向断裂两侧砂体中发生侧向运移(图1)。油气到底向断裂两侧哪些砂体中发生侧向运移,主要受到砂体本身发育程度的影响,如断-砂接触长度、砂体物性和倾角等。砂体孔渗性越好,侧向输导油气能力越强;反之则越弱。然而,实际应用中砂体孔

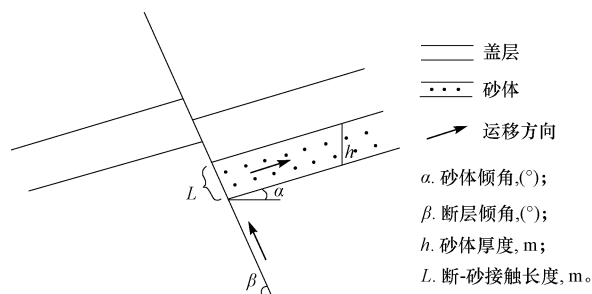


图1 断-砂配置侧向输导油气运移模式

Fig. 1 The mode of hydrocarbon migration through lateral transport of the juxtaposed fault-sandstone

渗资料往往非常有限(只能通过探井岩心测试获得),无法用以反映研究区某一砂体的物性空间变化规律,比较实用的方法是利用泥质含量(可用自然伽马测井曲线计算得到)来反映砂体的物性好坏。砂体中泥质含量越低,砂体纯度越高,孔渗性越好,侧向输导油气能力越强;反之侧向输导油气能力越差。砂体倾角越大,油气沿其运移的浮力越大,侧向输导油气能力越强;反之则越弱。断-砂接触长度越大,沿断裂运移油气向砂体中侧向运移量越大,侧向输导能力越强;反之则越弱。

## 2 改进前断-砂配置侧向输导油气能力定量研究方法

文献[15]在上述断-砂配置侧向输导油气运移机理的基础上,主要通过断-砂接触长度和砂体物性(可用其泥质含量表示)两个方面来定量研究深度相近的断-砂配置侧向输导油气能力,认为断-砂接触长度越大,砂体中泥质含量越低,断-砂配置侧向输导油气能力越强;反之则越弱。在砂体上倾条件下,断裂与砂体接触面积(长度)越大,越有利于沿断裂运移油气向砂体中侧向运移。由图1根据断-砂配置关系及断裂、砂体本身发育特征,便可以得到断-砂接触长度与断裂倾角、砂体倾角和砂岩厚度之间的函数关系如式(1)所示。

$$L = \frac{h \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

式中:  $L$ ——断-砂接触长度, m;

$h$ ——砂体钻遇厚度, m;

$\alpha$ ——砂体倾角, ( $^{\circ}$ );

$\beta$ ——断裂倾角, ( $^{\circ}$ )。

砂体中的泥质含量也是影响断-砂配置侧向输导油气能力的重要因素,其泥质含量越低,砂体物性越好,侧向输导油气能力越强;反之则越弱。砂体中

泥质含量可利用其自然伽马测井资料,由式(2)计算求得。

$$V_{sh} = \frac{2^{GCUR \cdot I_{GR}} - 1}{2^{GCUR} - 1} \quad (2)$$

$$\text{其中} \quad I_{GR} = \frac{GR - GR_{\min}}{GR_{\max} - GR_{\min}} \quad (3)$$

式中:  $V_{sh}$ ——砂体中泥质含量,小数;

$GR$ ——砂体自然伽马测井值;

$GR_{\min}$ ——砂岩层自然伽马测井值;

$GR_{\max}$ ——泥岩层自然伽马测井值;

$I_{GR}$ ——自然伽马相对值;

$GCUR$ ——与地层年代有关的经验系数,新地层为3.7,老地层为2.0。

综合上述两个因素对断-砂配置侧向输导油气能力的影响,便可以得到断-砂配置侧向输导油气能力评价参数的计算公式为:

$$T_{\text{前}} = \frac{h \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} (1 - V_{sh}) \quad (4)$$

式中:  $T_{\text{前}}$ ——改进前断-砂配置侧向输导油气能力评价参数。

由式(4)中可以看出,  $T_{\text{前}}$ 与砂体钻遇厚度  $h$ 、砂体倾角的余弦值  $\cos \alpha$  成正比,与砂体中泥质含量  $V_{sh}$  和断-砂倾角之和的正弦值  $\sin(\alpha + \beta)$  成反比,其值越大,断-砂配置侧向输导油气能力越强;反之则越弱。

### 3 改进后断-砂配置侧向输导油气能力定量研究方法

由上述可知,改进前断-砂配置侧向输导油气能力定量研究方法仅仅考虑了断-砂接触长度和砂体泥质含量对断-砂配置侧向输导油气能力的影响,而没有考虑砂体倾角对断-砂配置侧向输导油气能力的影响。砂体倾角除了影响断-砂接触长度(如式1)外,还在一定程度上可直接影响断-砂配置侧向输导油气运移能力的强弱,砂体倾角越大,油气沿砂体侧向运移的浮力越大,断-砂配置侧向输导油气能力越强;反之则越弱。由此看出,如果不考虑砂体倾角对断-砂配置侧向输导油气能力的影响,所得到的评价结果必然与实际产生偏差,影响对下生上储组合中断裂发育区油气分布的正确认识。因此,本文在定量评价断-砂配置侧向输导油气能力时(在断层活动强度、油气运移动力、烃源岩排烃强度等影响条件相同或相似环境下),除了考虑断-砂接触长度和砂体中泥质含量的影

响外,还要考虑砂体倾角的影响。因此,在定量研究断-砂配置侧向输导油气能力时,应在改进前评价参数计算公式中增加  $\sin \alpha$  一项,来表现砂体倾角的影响,其计算公式为:

$$T_{\text{后}} = \frac{h \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} (1 - V_{sh}) \sin \alpha \quad (5)$$

式中:  $T_{\text{后}}$ ——改进后断-砂配置侧向输导油气能力评价参数。

由公式(5)只要确定出评价参数( $T_{\text{后}}$ )值,便可以据此对断-砂配置侧向输导油气能力进行研究,  $T_{\text{后}}$  值越大,表明断-砂配置侧向输导油气能力越强;反之则越弱。

### 4 实例应用

本文选取渤海湾盆地南堡凹陷5个典型区块中浅层内12条油源断裂为例,利用改进前与改进后两种定量研究方法对其与16口井中浅层67个砂体配置形成的侧向输导油气能力进行了评价,并通过评价结果与目前已发现油气分布之间关系分析,验证改进后断-砂配置侧向输导油气能力评价方法较改进前断-砂配置侧向输导油气能力评价结果的合理性。

南堡凹陷从下至上发育的地层有古近系的孔店组、沙河街组、东营组,新近系的馆陶组、明化镇组及第四系。截至目前为止,南堡凹陷中浅层(东营组二段至明化镇组)已找到了大量油气,主要分布在柳赞、高尚堡、老爷庙、南堡1号、2号、3号、4号和5号(图2)。油气源对比结果表明,其油气主要来自下伏沙三段或沙一段一东三段源岩,由于下伏沙三段或沙一段一东三段源岩与上覆中浅层之间被多套泥岩相隔,沙三段或沙一段一东三段源岩生成的油气只能通过V型和VI型(图3)油源断裂向上覆中浅层中运移聚集,使目前找到的中浅层油气藏主要分布在油源断裂附近(图2)。油气在沿V型和VI型油源断裂由下至上运移过程中,到达中浅层后向其两侧哪些砂体中发生侧向运移聚集,是指导中浅层油气勘探的关键。

为了研究南堡凹陷5个典型区块内V型和VI型油源断裂与中浅层砂体配置的侧向输导能力,选取其中12条油源断裂为例,利用上述改进前、后定量研究方法对其与16口井中浅层67个砂体配置形成的侧向输导油气能力进行定量评价(表1)。可以看出,利用改进前的方法得到的67个砂层断-砂配置侧向输导油气能力评价参数介于0.7~26.1。再利用改进后的研

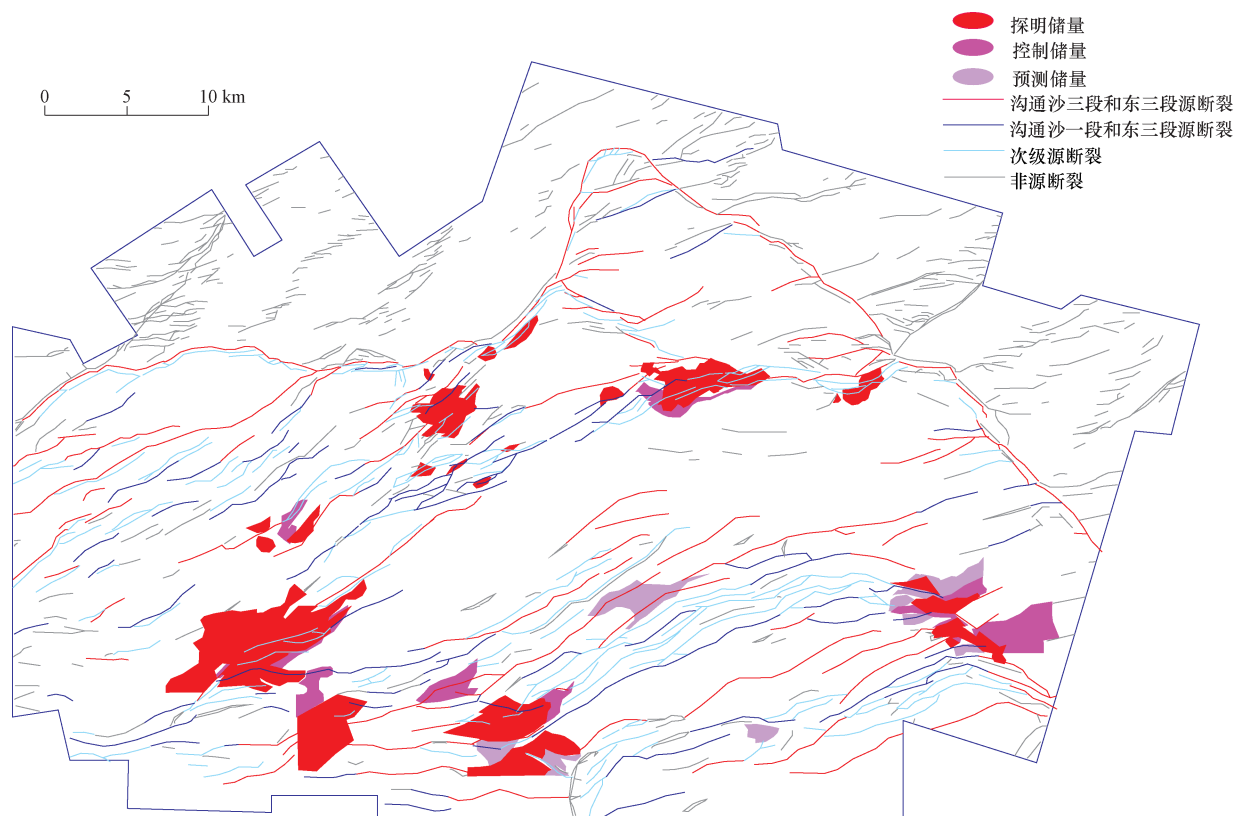


图2 南堡凹陷中浅层油源断裂与油藏分布关系

Fig.2 The relationship between source rock-rooted faults and oil reservoir distribution in the middle-to-shallow strata of Nanpu Sag

究方法对上述12条油源断裂与16口井中浅层67个砂层配置形成的侧向输导油气能力评价进行了定量评价,其结果介于0.1~9.6,其值明显小于改进前方法得到的断-砂配置侧向输导油气能力评价结果,这主要是由于改进后方法考虑了砂体倾角的影响, $\sin\alpha$ 值小于1造成的。

由图4中可以看出,改进后方法计算得到的侧向输导油气能力评价参数值与目前砂层内已发现的油柱高度之间均具有正比关系,即断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值越大,砂层内油柱高度越大;反之则越小。当断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值大于0.4时,油气钻探为油层或油水同层,当断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值小于0.4时,几乎全为水层或干层。改进后方法得到油层或油水层的断-砂配置侧向输导油气能力评价参数下限值也明显低于改进前方法得到的下限值(图4)。图4b改进后的断-砂配置侧向输导油气能力评价参数与油柱高度之间的关系数据更散,趋于包络线,这是因为改进后,增加了砂体倾角来体现浮力的影响, $\sin\alpha$ 曲线形态为正弦曲线,计算出的数据更加符合实际的缘故。

为了验证改进后方法的评价结果在南堡凹陷中

浅层内是否具有普遍适用性,本文选取NP1-5井为例,利用改进后方法对其中浅层东营组断-砂配置侧向输导油气能力进行了定量评价,结果如表2所示。NP1-5井东营组1~6和8号砂层断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值均大于0.4,试油结果均为油层。而7和9~11号砂层断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值均小于0.4,试油结果均为干层,这进一步证实改进后断-砂配置侧向输导油气能力研究方法在南堡凹陷中浅层应用中具有普遍适用性。

## 5 结论

1) 断-砂配置侧向输导油气能力主要受到断-砂接触长度、砂体泥质含量和倾角的影响,断-砂接触长度越大,砂体泥质含量越低,砂体倾角越大,断-砂配置侧向输导油气能力越强;反之则越弱。

2) 改进后断-砂配置侧向输导油气能力定量研究方法较改进前断-砂配置侧向输导油气能力定量研究方法多考虑了砂体倾角的影响,符合地下实际情况,而改进前方法的评价结果可能过高地评估了断-砂配置侧向输导油气能力,给油气勘探带来风险。

表1 改进前后南堡凹陷5个典型区块12条断裂与16口井中浅层67个砂层形成的侧向输导油气能力评价参数计算结果  
 Table 1 Statistics showing the estimated lateral transport capacity of the configurations of 12 faults and 67 middle-to-shallow sandstone layers in 16 wells in five typical blocks of Nanpu Sag before and after parameter modification

| 砂体序号 | 层位                | Z/m     | h/m  | $\alpha/(^{\circ})$ | $\beta/(^{\circ})$ | $V_{sh}/\%$ | $T_{前}$    | $T_{后}$   | Ho/m  | 含油气性 |
|------|-------------------|---------|------|---------------------|--------------------|-------------|------------|-----------|-------|------|
| 1    | Ed <sup>III</sup> | 2 700.2 | 9.6  | 10.9                | 68.7               | 11.35       | 8.497 704  | 1.606 072 | 7.81  | 油层   |
| 2    | Ed <sup>III</sup> | 2 713.4 | 13.3 | 10.9                | 68.7               | 16.85       | 11.042 450 | 2.087 032 | 13.20 | 油层   |
| 3    | Ed <sup>III</sup> | 2 731.6 | 17.0 | 10.9                | 68.7               | 20.08       | 13.566 130 | 2.564 009 | 15.20 | 油层   |
| 4    | Ed <sup>III</sup> | 2 762.7 | 8.3  | 10.9                | 68.7               | 25.97       | 6.135 323  | 1.159 581 | 6.20  | 油层   |
| 5    | Ed <sup>III</sup> | 2 774.8 | 9.9  | 10.9                | 68.7               | 16.37       | 8.267 019  | 1.562 473 | 8.60  | 油层   |
| 6    | Ed <sup>III</sup> | 2 814.6 | 2.7  | 10.9                | 68.7               | 21.36       | 2.120 112  | 0.400 703 | 2.60  | 油层   |
| 7    | Ed <sup>III</sup> | 2 828.3 | 1.9  | 10.9                | 68.7               | 26.56       | 1.393 278  | 0.263 331 | 0     | 干层   |
| 8    | Ed <sup>III</sup> | 2 845.0 | 7.5  | 10.9                | 68.7               | 23.08       | 5.760 394  | 1.088 719 | 3.20  | 同层   |
| 9    | Ed <sup>III</sup> | 2 860.8 | 2.4  | 10.9                | 68.7               | 25.75       | 1.779 342  | 0.336 297 | 0     | 干层   |
| 10   | Ed <sup>III</sup> | 2 885.0 | 2.3  | 10.9                | 68.7               | 24.68       | 1.729 776  | 0.326 929 | 0     | 干层   |
| 11   | Ed <sup>III</sup> | 2 915.4 | 2.7  | 10.9                | 68.7               | 29.44       | 1.902 278  | 0.359 532 | 0     | 干层   |
| 12   | Ed <sup>2</sup>   | 2 992.6 | 4.0  | 9.5                 | 50.0               | 57.56       | 1.943 831  | 0.320 664 | 0     | 水层   |
| 13   | Ed <sup>2</sup>   | 3 022.0 | 3.9  | 9.5                 | 50.0               | 59.68       | 1.800 563  | 0.297 029 | 0     | 干层   |
| 14   | Ed <sup>2</sup>   | 3 091.1 | 2.6  | 9.5                 | 50.0               | 51.74       | 1.436 759  | 0.237 014 | 0     | 水层   |
| 15   | Ed <sup>2</sup>   | 3 103.5 | 3.7  | 9.5                 | 50.0               | 58.61       | 1.753 559  | 0.289 275 | 0     | 水层   |
| 16   | Ed <sup>2</sup>   | 3 120.4 | 3.7  | 9.5                 | 50.0               | 60.32       | 1.681 112  | 0.277 324 | 0     | 水层   |
| 17   | Ed <sup>2</sup>   | 3 223.9 | 11.7 | 9.5                 | 50.0               | 61.39       | 5.172 599  | 0.853 296 | 2.73  | 同层   |
| 18   | Ed <sup>2</sup>   | 3 258.0 | 4.0  | 9.5                 | 50.0               | 25.51       | 3.411 781  | 0.562 823 | 4.00  | 油层   |
| 19   | Ed <sup>2</sup>   | 3 275.8 | 3.1  | 9.5                 | 50.0               | 24.31       | 2.686 726  | 0.443 215 | 3.00  | 油层   |
| 20   | Ed <sup>2</sup>   | 3 289.8 | 5.3  | 9.5                 | 50.0               | 28.26       | 4.353 719  | 0.718 210 | 5.20  | 油层   |
| 21   | Ed <sup>2</sup>   | 3 307.3 | 4.7  | 9.5                 | 50.0               | 28.36       | 3.855 464  | 0.636 015 | 4.50  | 油层   |
| 22   | Ed <sup>2</sup>   | 3 317.8 | 14.1 | 9.5                 | 50.0               | 18.64       | 13.135 700 | 2.166 927 | 14.10 | 油层   |
| 23   | Ed <sup>2</sup>   | 3 348.0 | 8.2  | 9.5                 | 50.0               | 18.47       | 7.655 163  | 1.262 832 | 8.20  | 油层   |
| 24   | Ed <sup>2</sup>   | 3 374.5 | 4.0  | 9.5                 | 50.0               | 16.97       | 3.802 929  | 0.627 349 | 4.00  | 油层   |
| 25   | Ed <sup>2</sup>   | 3 456.7 | 2.1  | 9.5                 | 50.0               | 24.98       | 1.803 929  | 0.297 585 | 0     | 干层   |
| 26   | Ed <sup>2</sup>   | 3 489.0 | 1.1  | 9.5                 | 50.0               | 24.79       | 0.947 309  | 0.156 272 | 0     | 干层   |
| 27   | Ed <sup>11</sup>  | 2 526.3 | 4.6  | 17.0                | 74.8               | 55.68       | 1.950 641  | 0.570 032 | 0     | 干层   |
| 28   | Ed <sup>11</sup>  | 2 548.0 | 4.9  | 17.0                | 74.8               | 13.64       | 4.048 819  | 1.183 178 | 5.40  | 油层   |
| 29   | Ed <sup>11</sup>  | 2 562.8 | 4.1  | 17.0                | 74.8               | 53.50       | 1.824 133  | 0.533 062 | 0     | 干层   |
| 30   | Ed <sup>III</sup> | 2 592.3 | 6.4  | 17.0                | 74.8               | 14.68       | 5.224 570  | 1.526 765 | 6.00  | 同层   |
| 31   | Ed <sup>III</sup> | 2 605.2 | 6.1  | 17.0                | 74.8               | 19.90       | 4.675 005  | 1.366 167 | 4.60  | 同层   |
| 32   | Ed <sup>III</sup> | 2 623.0 | 3.8  | 17.0                | 74.8               | 15.09       | 3.087 181  | 0.902 160 | 3.80  | 油层   |
| 33   | Ed <sup>III</sup> | 2 637.0 | 6.5  | 17.0                | 74.8               | 15.70       | 5.242 768  | 1.532 083 | 8.20  | 油层   |
| 34   | Ed <sup>III</sup> | 2 649.5 | 8.0  | 17.0                | 74.8               | 14.74       | 6.526 119  | 1.907 114 | 8.60  | 油层   |
| 35   | Ed <sup>III</sup> | 2 666.6 | 3.4  | 17.0                | 74.8               | 11.77       | 2.870 218  | 0.838 758 | 4.20  | 油层   |
| 36   | Ed <sup>III</sup> | 2 684.0 | 4.6  | 17.0                | 74.8               | 13.22       | 3.819 418  | 1.116 140 | 5.00  | 油层   |
| 37   | Ed <sup>11②</sup> | 2 379.8 | 7.1  | 29.5                | 66.4               | 8.48        | 5.685 962  | 2.798 610 | 7.20  | 油层   |
| 38   | Ed <sup>11②</sup> | 2 390.0 | 24.0 | 29.5                | 66.4               | 8.17        | 19.285 260 | 9.492 134 | 24.60 | 油层   |
| 39   | Ed <sup>11②</sup> | 2 415.0 | 8.5  | 29.5                | 66.4               | 6.85        | 6.928 375  | 3.410 121 | 4.20  | 同层   |
| 40   | Ed <sup>11①</sup> | 2 476.0 | 16.1 | 29.5                | 66.4               | 9.79        | 12.708 960 | 6.255 306 | 15.60 | 油层   |
| 41   | Ed <sup>11①</sup> | 2 495.0 | 13.3 | 29.5                | 66.4               | 8.85        | 10.608 110 | 5.221 272 | 12.80 | 油层   |
| 42   | Ed <sup>11①</sup> | 2 521.0 | 4.4  | 29.5                | 66.4               | 10.64       | 3.440 531  | 1.693 417 | 3.60  | 油层   |
| 43   | Ed <sup>11①</sup> | 2 512.0 | 2.0  | 29.5                | 66.4               | 16.07       | 1.468 848  | 0.722 962 | 0     | 干层   |
| 44   | Ed <sup>11②</sup> | 2 540.0 | 13.0 | 29.5                | 66.4               | 10.64       | 10.165 200 | 5.003 277 | 12.00 | 油层   |
| 45   | Ed <sup>11②</sup> | 2 559.0 | 14.0 | 29.5                | 66.4               | 10.64       | 10.947 140 | 5.388 144 | 12.40 | 油层   |
| 46   | Ed <sup>2</sup>   | 2 602.0 | 8.5  | 29.5                | 66.4               | 10.64       | 6.646 480  | 3.271 373 | 8.60  | 油层   |
| 47   | Ed <sup>2</sup>   | 2 624.0 | 16.5 | 29.5                | 66.4               | 10.64       | 12.901 990 | 6.350 313 | 9.60  | 同层   |
| 48   | Ed <sup>3②</sup>  | 2 734.0 | 18.4 | 29.5                | 66.4               | 25.89       | 11.932 300 | 5.873 036 | 7.80  | 油层   |
| 49   | Ed <sup>3②</sup>  | 2 751.0 | 31.9 | 29.5                | 66.4               | 30.17       | 19.492 270 | 9.594 023 | 9.00  | 油层   |

续表 1

| 砂体序号 | 层位                | Z/m     | h/m  | $\alpha/(^{\circ})$ | $\beta/(^{\circ})$ | $V_{sh}/\%$ | $T_{前}$    | $T_{后}$   | Ho/m  | 含油气性 |
|------|-------------------|---------|------|---------------------|--------------------|-------------|------------|-----------|-------|------|
| 50   | Ed <sup>3②</sup>  | 2 771.0 | 6.1  | 29.5                | 66.4               | 18.04       | 4.374 832  | 2.153 277 | 6.00  | 油层   |
| 51   | Ed <sup>3②</sup>  | 2 780.0 | 6.1  | 29.5                | 66.4               | 14.77       | 4.549 377  | 2.239 187 | 6.00  | 油层   |
| 52   | Ed <sup>3②</sup>  | 2 787.0 | 2.0  | 29.5                | 66.4               | 23.14       | 1.345 117  | 0.662 062 | 0     | 水层   |
| 53   | Ed <sup>3②</sup>  | 2 789.0 | 1.5  | 29.5                | 66.4               | 31.49       | 0.899 238  | 0.442 602 | 0     | 水层   |
| 54   | Ed <sup>3②</sup>  | 2 792.0 | 1.0  | 29.5                | 66.4               | 23.03       | 0.673 521  | 0.331 505 | 0     | 干层   |
| 55   | Ng <sup>IV①</sup> | 2 319.0 | 8.2  | 11.6                | 53.8               | 18.56       | 7.196 760  | 1.446 386 | 7.85  | 油层   |
| 56   | Ng <sup>IV①</sup> | 2 344.0 | 5.7  | 11.6                | 53.8               | 8.89        | 5.596 627  | 1.124 795 | 5.10  | 油层   |
| 57   | Ng <sup>IV①</sup> | 2 360.0 | 9.4  | 11.6                | 53.8               | 20.43       | 8.060 512  | 1.619 981 | 5.29  | 同层   |
| 58   | Ed <sup>IⅢ②</sup> | 2 630.0 | 29.1 | 11.6                | 53.8               | 16.70       | 26.123 020 | 5.250 136 | 22.50 | 油层   |
| 59   | Ed <sup>IⅢ②</sup> | 2 671.0 | 2.2  | 11.6                | 53.8               | 16.08       | 1.971 548  | 0.396 237 | 0     | 水层   |
| 60   | Ed <sup>IⅢ②</sup> | 2 678.0 | 2.7  | 11.6                | 53.8               | 22.68       | 2.249 785  | 0.452 156 | 1.76  | 油层   |
| 61   | Ed <sup>IⅢ②</sup> | 2 702.0 | 2.6  | 11.6                | 53.8               | 41.56       | 1.631 156  | 0.327 825 | 0     | 干层   |
| 62   | Ed <sup>IⅢ②</sup> | 2 706.0 | 0.7  | 11.6                | 53.8               | 9.58        | 0.721 077  | 0.144 920 | 0     | 干层   |
| 63   | Ed <sup>IⅢ②</sup> | 2 710.0 | 1.1  | 11.6                | 53.8               | 21.12       | 0.943 573  | 0.189 637 | 0     | 干层   |
| 64   | Ed <sup>2</sup>   | 3 035.0 | 12.8 | 8.2                 | 60.6               | 44.65       | 7.523 242  | 1.072 492 | 4.00  | 油层   |
| 65   | Ed <sup>2</sup>   | 3 126.0 | 10.3 | 8.2                 | 60.6               | 49.07       | 5.565 017  | 0.793 333 | 3.50  | 同层   |
| 66   | Ed <sup>3</sup>   | 2 775.0 | 6.3  | 23.0                | 54.7               | 34.28       | 3.901 684  | 1.523 778 | 2.90  | 同层   |
| 67   | Ed <sup>3</sup>   | 2 781.0 | 12.7 | 23.0                | 54.7               | 58.12       | 5.012 154  | 1.957 465 | 4.00  | 油层   |

注:Z. 埋藏深度;Ho. 油柱高度;h. 钻遇砂岩厚度。

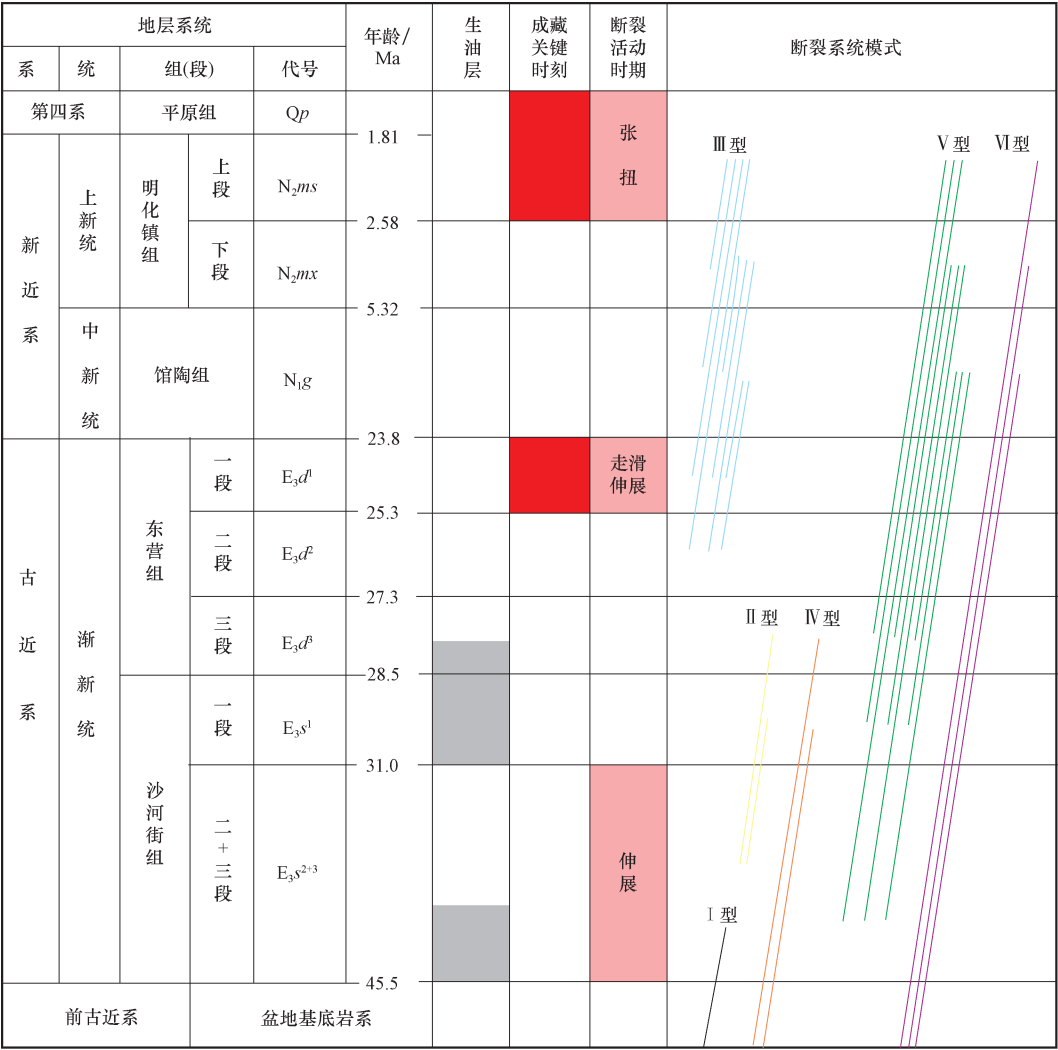


图 3 南堡凹陷中浅层断裂系统划分模式

Fig. 3 The scheme showing the fault grouping in the middle-to-shallow strata of Nanpu Sag

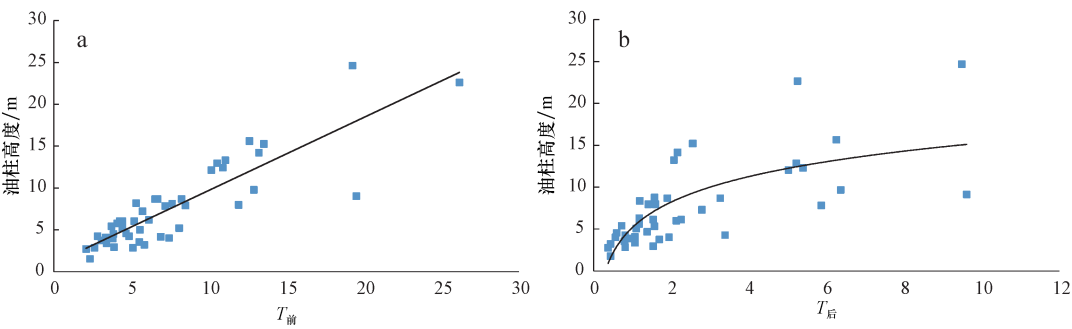


图 4 南堡凹陷 5 个典型区块 12 条断裂与 16 口井中浅层 67 个砂层形成的侧向输导油气能力评价参数改进前、后计算结果与油柱高度关系

Fig. 4 The scatter diagram of relation between oil column height and the estimated lateral transport capacity of configurations of 12 faults and 67 middle-to-shallow sand layers in 16 wells of five typical blocks of Nanpu Sag before and after modification  
a. 改进前方法;b. 改进后方法

表 2 南堡 1-5 井东营组 11 个砂层中断-砂配置侧向输导油气能力评价参数计算结果与油柱高度之间关系  
Table 2 The relationship between the oil column height and the estimated lateral transport capacity of in the fault-sandstone configurations in 11 sandstone layers of the Dongying Formation in Wells 1-5 in Nanpu Sag

| 南堡 1-5 井 |    |    |     |      |    | 砂地比  | 砂层<br>序号 | 含油<br>气性 | 油柱高度/m | $T_{后}$ |
|----------|----|----|-----|------|----|------|----------|----------|--------|---------|
| GR       | 岩性 | 解释 | 砂层名 | R11d | 地层 |      |          |          |        |         |
|          |    |    |     |      |    | >20% | 1        | 油层       | 7.81   | 1.61    |
|          |    |    |     |      |    |      | 2        | 油层       | 13.20  | 2.09    |
|          |    |    |     |      |    |      | 3        | 油层       | 15.20  | 2.56    |
|          |    |    |     |      |    |      | 4        | 油层       | 6.20   | 1.16    |
|          |    |    |     |      |    |      | 5        | 油层       | 8.60   | 1.56    |
|          |    |    |     |      |    |      | 6        | 油层       | 2.60   | 0.40    |
|          |    |    |     |      |    |      | 7        | 干层       | 0      | 0.26    |
|          |    |    |     |      |    |      | 8        | 同层       | 3.20   | 1.09    |
|          |    |    |     |      |    |      | 9        | 干层       | 0      | 0.34    |
|          |    |    |     |      |    |      | 10       | 干层       | 0      | 0.33    |
|          |    |    |     |      |    |      | 11       | 干层       | 0      | 0.36    |

3) 改进后方法在南堡凹陷 5 个典型区块 12 条油源断裂与 16 口井中浅层 67 个砂层形成侧向输导油气能力评价中的应用结果表明,改进后方法研究得到的断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值与砂体中的油气柱高度之间为正比关系,其值越大,砂体中油气柱越高;反之则越低。当断-砂配置侧向输导油气能力评价参数值大于 0.4,油气钻探为油层或同层;当断-砂配置侧向输导油气能力评价参数小于 0.4,油气钻探为干层或水层,表明其用于断-砂配置侧向输导油气能力评价是可行的。

## 参 考 文 献

- [1] 罗晓容,张刘平,杨华,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区长8<sup>1</sup>段低渗油藏成藏过程[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6),770-778.  
Luo Xiaorong, Zhang Liuping, Yang Hua, et al. Oil accumulation process in the low permeability Chang-81 member of Longdong area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology,2010,31(6),770-778.
- [2] 张卫海,刘景新,吴智平,等. 辽河东部凹陷北部古近系输导体系及其对油气运移的影响[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2005,29(5),19-22.  
Zhang Weihai, Liu Jingxin, Wu Zhiping, et al. Paleogene passage system in the northern part of Liaohe eastern depression and its effect on hydrocarbon migration[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science),2005,29(5),19-22.
- [3] 刘显阳,惠潇,李士祥. 鄂尔多斯盆地中生界低渗透岩性油藏形成规律综述[J]. 沉积学报,2012,30(5),964-974.  
Liu Xianyang, Hui Xiao, Li Shixiang. Summary of formation rule for low permeability lithologic reservoir of Mesozoic in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2012,30(5),964-974.
- [4] 蒋有录,张一伟,冉隆辉,等. 川东地区志留系—石炭系含气系统天然气运移聚集机理[J]. 石油学报,2001,22(1),25-30.  
Jiang Youlu, Zhang Yiwei, Ran Longhui, et al. Migration and accumulation mechanism of natural gas in the Silurian-Carboniferous petroleum system of east part in Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2001,22(1),25-30.
- [5] 孙同文,付广,吕延防,等. 断裂输导流体的机制及输导形式探讨[J]. 地质评论,2012,58(6),1081-1090.  
Sun Tongwen, Fu Guang, Lü Yanfan, et al. A discussion on fault conduit fluid mechanism and fault conduit form[J]. Geological Review,2012,58(6),1081-1090.
- [6] 明海会,金振奎,金之钧,等. 泌阳凹陷安棚油田深层系油气分布规律及控制因素[J]. 沉积学报,2005,23(2),329-336.  
Ming Haihui, Jin Zhenkui, Jin Zhijun, et al. Study on the distribution of hydrocarbon and controlling factors of the deep burial strata in Anpeng Oilfield of Biyang Sag[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2005,23(2),329-336.
- [7] 付晓飞,许鹏,魏长柱,等. 张性断裂带内部结构特征及油气运移和保存研究[J]. 地学前缘,2012,19(6),200-212.  
Fu Xiaofei, Xu Peng, Wei Changzhu, et al. Internal structure of normal fault zone and hydrocarbon migration and conservation[J]. Earth Science Frontiers,2012,19(6),200-212.
- [8] 武芳芳,朱光有,张水昌,等. 塔里木盆地油气输导体系及对油气成藏的控制作用[J]. 石油学报,2009,30(3),332-341.  
Wu Fangfang, Zhu Guangyou, Zhang Shuichang, et al. Types of hydrocarbon migration pathways and its controlling effects on hydrocarbon distribution in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica,2009,30(3),332-341.
- [9] 吕修祥,周新源,李建交,等. 塔里木盆地塔北隆起碳酸盐岩油气成藏特点[J]. 地质学报,2007,81(8),1057-1064.  
Lü Xiuxiang, Zhou Xinyuan, Li Jianjiao, et al. Hydrocarbon accumulation characteristics of the carbonate rock in the northern uplift of the Tarim Basin[J]. Acta Geologica Sinica,2007,81(8),1057-1064.
- [10] 丁文龙,金之钧,张义杰,等. 准噶尔盆地腹部断裂控油的物理模拟实验及其成藏意义[J]. 地球科学—中国地质大学学报,2007,81(8),1057-1064.  
Ding Wenlong, Jin Zhijun, Zhang Yijie, et al. Experimental simulation of fault controlling oil migration and accumulation in the central part of Junggar Basin and its significance for petroleum geology[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences),2007,81(8),1057-1064.
- [11] 雷裕红,罗晓容,潘坚,等. 大庆油田西部地区姚一段油气成藏动力学过程模拟[J]. 石油学报,2010,31(2),204-210.  
Lei Yuhong, Luo Xiaorong, Pan Jian, et al. Simulation on hydrocarbon migration and accumulation dynamics of the first member of Yaojia Formation in the west of Daqing Oilfield[J]. Acta Petrolei Sinica,2010,31(2),204-210.
- [12] 康永尚,曾联波,张义杰,等. 中国西部盆地台盆区高角度断层的成因及控油气作用分析[J]. 地球科学—中国地质大学学报,2005,30(4),460-466.  
Kang Yongshang, Zeng Lianbo, Zhang Yijie, et al. Formation mechanism of high-obliquity faults in platform areas of Chinese western basins and their control on petroleum migration and occurrence[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences),2005,30(4),460-466.
- [13] 柳广弟,孙明亮. 剩余压力差在超压盆地天然气高效成藏中的意义[J]. 石油与天然气地质,2007,28(2),203-208.  
Liu Guangdi, Sun Mingliang. Significance of excess differential pressure in highly efficient gas accumulation in over-pressured basins[J]. Oil and Gas Geology,2007,28(2),203-208.
- [14] 杨智,何生,王锦喜,等. 断层泥比率(SGR)及其在断层侧向封闭性评价中的应用[J]. 天然气地球科学,2005,16(3),347-351.  
Yang Zhi, He Sheng, Wang Jinxi, et al. Shale gouge ratio and its application in the fault seal estimation across the faulted zone[J]. Natural Gas Geoscience,2005,16(3),347-351.
- [15] 付广,孙同文,吕延防. 南堡凹陷断-砂配置侧向输导油气能力评价方法[J]. 中国矿业大学学报,2014,43(1),79-87.  
Fu Guang, Sun Tongwen, Lü Yanfan. An evaluation method of oil-gas lateral transporting ability of fault-sandstone configuration in Nanpu depression[J]. Journal of China University of Mining & Technology,2014,43(1),79-87.

(编辑 董立)