

油源断裂与区域性泥岩盖层配置渗漏时期预测方法及应用

刘云鑫¹, 张金宝², 于英华¹

1 东北石油大学; 2 中国石油大庆油田有限责任公司勘探事业部

摘要 为了研究含油气盆地油源断裂与区域性泥岩盖层配置(断盖配置)之上的油气分布规律,在油气渗漏机制定性分析的基础上,建立了一套渗漏时期分布预测方法。首先,确定断盖配置油气渗漏部位,即断层上下盘盖层的断接厚度小于断裂分段生长连接所需的最小断接厚度(断接厚度下限)的部位;其次,确定断盖配置封闭性开始破坏时期,即观察点的断接厚度开始小于断接厚度下限的地质时期;然后,确定断层岩封闭的开始时期,即断层岩排替压力开始大于下伏储层岩石排替压力的地质时期;最后,将前三者结合可确定断盖配置油气渗漏的时空分布,渗漏时期即为断层封闭性开始破坏到断层岩封闭开始之间的时期。实例应用结果表明:对于渤海湾盆地黄骅坳陷歧口凹陷南大港断裂与沙河街组一段中亚段泥岩盖层的配置,向上覆东营组三段的油气渗漏主要分布在中东部,渗漏从馆陶组沉积中期持续至第四纪早期,持续时期相对较长,这对于下伏沙河街组三段烃源岩生成的油气在东三段聚集成藏十分有利。分析结果与目前南大港断裂处东三段油气显示主要位于中东部相吻合,证明此方法对断盖配置渗漏时期分布的预测是可行的。

关键词 油源断裂; 泥岩盖层; 渗漏部位; 渗漏时期; 预测方法; 南大港断裂

中图分类号: TE122.1 **文献标识码**: A

0 前言

油气勘探实践表明,含油气盆地中油源断裂处区域性泥岩盖层之上油气聚集的数量,受到油源断裂与区域性泥岩盖层配置(简称断盖配置)渗漏时期长短的影响:渗漏时期越长的部位,油气显示情况越好;反之,油气显示情况越差^[1-2]。因此,对断盖配置渗漏时期作出准确预测,对指导油气勘探意义重大。

关于断盖配置渗漏时期的研究大致分为2个阶段。初期,利用断裂活动时期和区域性泥岩盖层(简称盖层)形成时期,将两者的重合时期作为断盖配置渗漏时期^[3-6]。后来的研究发现,并非断裂活动时期内盖层均被油源断裂破坏而发生油气渗漏,只有油源断裂在盖层内分段生长上下连接时油气才能渗漏^[7-9]。故利用断盖配置封闭开始时期与油源

断裂活动时期,可以更加准确地预测出断盖配置渗漏时期^[10-11]。然而,这种方法给出的是整个断盖配置渗漏时期,并不能给出不同部位的具体时期,不利于准确反映盖层之上油源断裂处的油气聚集规律^[12-14]。本文基于断盖配置渗漏机制,通过确定断盖配置渗漏部位、封闭性开始破坏时期和断层岩封闭开始形成时期,建立一套断盖配置渗漏时期预测方法,可为认识含油气盆地盖层之上受油源断裂控制的油气聚集规律提供理论依据。

1 断盖配置渗漏机制

断盖配置之所以发生渗漏,是因为油源断裂对盖层破坏程度相对较大,即盖层的断接厚度(盖层厚度减去油源断裂的断距)相对较小,油源断裂从上、从下向盖层内分段生长之间的距离相对较小,当断接厚度减小至一定值时,分段生长的断裂发生

收稿日期:2023-04-11; 改回日期:2023-08-21

本文受国家自然科学基金项目“富泥三角洲特征及形成机理研究——以海拉尔盆地大磨拐河组三角洲为例”(编号:41572126)、黑龙江省自然科学基金项目“页岩露头储层模型定量表征”(编号:LH2022D013)和“富泥三角洲沉积模拟研究”(编号:LH2023D005)联合资助

第一作者: 刘云鑫, 硕士, 讲师, 主要从事地球物理勘探、储层预测相关科研教学工作。通信地址:163453 黑龙江省大庆市让胡路区西柳街4号; E-mail: ddrhkssk@163.com

通信作者: 于英华, 博士, 教授, 主要从事油气成藏与储层地质教学与研究。通信地址:163318 黑龙江省大庆市高新技术产业开发区学府街99号; E-mail: yyhyhq2008@163.com

连接,成为油气穿过盖层向上渗漏的输导通道,如图1a所示。反之,若油源断裂对盖层的破坏程度相对较小,盖层的断接厚度相对较大,则油源断裂在盖层内分段生长相距较远,上下不能连接,油气不能沿断裂穿过盖层向上渗漏,如图1b所示。

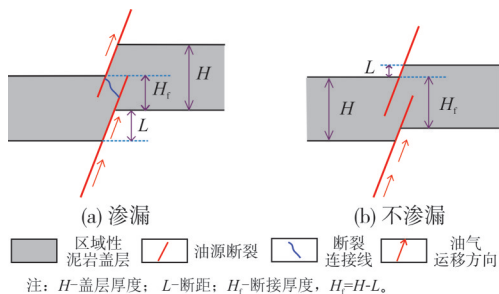


图1 断盖配置渗漏机制示意图

Fig. 1 Schematic diagram of leakage mechanism in oil source fracture-regional mudstone caprock configuration

2 断盖配置渗漏部位预测

首先,通过井震(尤其是三维地震资料)得到油源断裂在盖层内的断距和被其断开的盖层厚度,由后者减去前者求取盖层的断接厚度(H_f),如图1所示。其次,统计研究区已知井点处盖层的断接厚度与油气显示之间的关系,选取油气显示仅分布在盖层之下的钻井处的最小断接厚度值,作为研究区断裂在盖层内分段生长并上下连接的断接厚度下限(H_{f-1})。最后,通过精细地震解释得到断盖配置渗漏部位,即 $H_f < H_{f-1}$ 的部位,如图2所示。

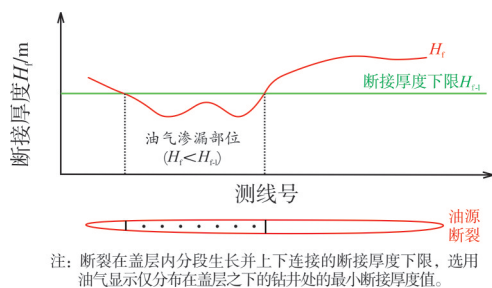
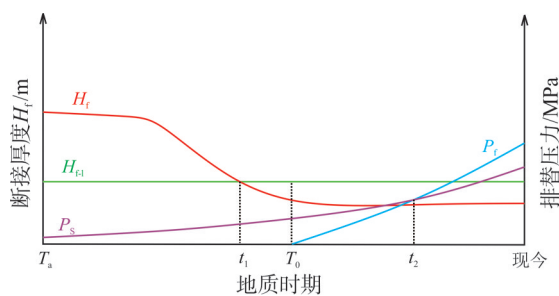


图2 断盖配置渗漏部位厘定示意图

Fig. 2 Schematic diagram for determining the leakage location in oil source fracture-regional mudstone caprock configuration

3 断盖配置渗漏时期预测方法

要得到断盖配置渗漏时期,就需要确定断盖配置封闭性开始破坏(断接厚度等于断裂分段生长连接的断接厚度下限)的时期 t_1 和盖层内断层岩封闭开始(断层岩排替压力等于下伏储层岩石排替压力)的时期 t_2 ,如图3所示。



注: T_a —油源断裂开始活动时期; t_1 —断盖配置封闭性开始破坏时期;
 T_0 —油源断裂停止活动时期; t_2 —断层岩封闭开始时期;
 $t_1 \sim t_2$ —断盖配置渗漏时期; P_s —储层岩石排替压力;
 P_f —断层岩排替压力; H_{f-1} —断裂分段生长连接的断接厚度下限。

图3 断盖配置渗漏时期厘定示意图

Fig. 3 Schematic diagram for determining the leakage period in oil source fracture-regional mudstone caprock configuration

3.1 断盖配置封闭性开始破坏时期

要得到断盖配置封闭性开始破坏的时期,就需要确定出油源断裂活动时期、断接厚度随时间变化的关系。首先,通过地震解释成果计算出油源断裂在不同地层中的生长指数(对于同一套地层,上盘地层厚度除以下盘地层厚度),利用断裂生长指数大于1这一标准确定油源断裂活动时期^[15]。其次,应用断裂古断距恢复方法^[16]和骨架不变的地层古厚度恢复方法^[17],恢复上述不同时期油源断裂在盖层内的古断距,以及被错开的盖层古厚度;将后者减去前者可求取不同时期盖层的古断接厚度,得到断接厚度随时间的变化关系。最后,将油源断裂活动时期、断接厚度随时间的变化关系,与断裂分段生长上下连接所要求的断接厚度下限组合,便可以确定出断盖配置封闭性开始破坏时期,如图3中的 t_1 。

3.2 断层岩封闭开始时期

要确定断层岩封闭的开始时期,就需要明确断层岩排替压力、下伏储层岩石排替压力随时间的变化关系。

(1) 断层岩排替压力随时间的变化关系

在假定断层岩物质均来自围岩的条件下,利用井震标定和地震解释成果获得油源断裂的断距和被错断岩层的厚度、泥质含量,由式(1)求取油源断裂在盖层内的断层岩的泥质含量:

$$R_f = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n H_i R_i \quad (1)$$

式中: R_f —断层岩泥质含量,%; H_i —被断裂错断第 i 层岩层的厚度,m; R_i —被断裂错断第 i 层岩层的泥质含量,%; n —被断裂错断岩层的层数; L —油源断

裂的断距, m 。

利用油源断裂的埋深、倾角、停止活动时期,以及与其具有相同埋深的围岩的压实成岩时期,由式(2)求取断层岩去压实埋深。在假设断层岩与围岩的压实成岩速率相等的条件下,应用地层骨架不变的古埋深恢复方法^[17],对不同地质时期断层岩的古埋深进行恢复:

$$Z_f = \frac{T_0 Z}{T \cos \theta} \quad (2)$$

式中: Z_f —断层岩压实埋深, m ; Z —断裂埋深, m ; T_0 —断裂停止活动至今时间, Ma ; T —与断层岩相同埋深围岩压实成岩时间, Ma ; θ —断裂倾角, 度($^\circ$)。

在假设不同时期断层岩的泥质含量近似不变的情况下,将各地质时期断层岩的古埋深与泥质含量代入经验关系式(3)^[18-19],可以得到不同地质时期断层岩的排替压力,明确断层岩排替压力随时间的变化关系(如图3所示):

$$P_f = a \left(\frac{Z_f R_f}{100} \right)^b \quad (3)$$

式中: P_f —断层岩实测排替压力, MPa ; Z_f —断层岩压实成岩埋深, m ; R_f —断层岩泥质含量, %; a, b —与地区有关的常数, 无量纲。

(2) 下伏储层岩石排替压力随时间的变化关系

通过钻井资料获得下伏储层岩石的埋深。基于自然伽马测井资料,应用岩石泥质含量计算方法^[20-22]获得下伏储层岩石的泥质含量(R_s)。由地层骨架不变的地层古埋深恢复方法^[17],对下伏储层岩石不同地质时期的古埋深(Z_s)进行恢复,参照式(2)。在假定不同地质时期下伏储层岩石泥质含量近似不变的条件下,将下伏储层岩石不同地质时期的古埋深与泥质含量代入经验关系式(4)^[18-19],可以得到不同地质时期下伏储层岩石的排替压力,明确下伏储层岩石排替压力随时间的变化关系(如图3所示):

$$P_s = c \left(\frac{Z_s R_s}{100} \right)^d \quad (4)$$

式中: P_s —储层岩石实测排替压力, MPa ; Z_s —储层岩石压实成岩埋深, m ; R_s —储层岩石泥质含量, %; c, d —与地区有关常数, 无量纲。

(3) 确定断层岩封闭开始时期

如图3所示,选取断层岩排替压力增加至与下伏储层岩石排替压力相等的节点所对应的时期,即为断层岩封闭开始形成的时期 t_2 。

综上所述,将已确定出的断盖配置渗漏部位和封闭性开始破坏时期、断层岩封闭开始形成时期叠合,便可以得到断盖配置渗漏时期分布,如图4所示。通常断盖配置渗漏时期越长,由下伏储层向上渗漏的油气越多;反之,则越少。

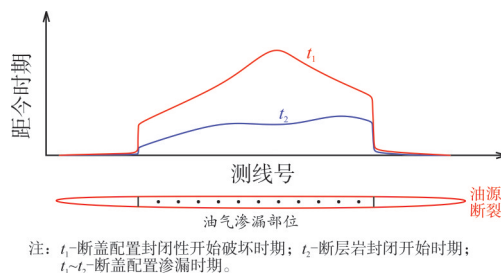


图4 断盖配置渗漏时空分布厘定示意图

Fig. 4 Schematic diagram for determining the spatiotemporal distribution of leakage in oil source fracture-regional mudstone caprock configuration

4 应用实例

本文以渤海湾盆地黄骅坳陷歧口凹陷南大港断裂作为实例,采用前文所述的方法对南大港断裂在沙河街组一段中亚段(简称沙一中亚段)泥岩盖层配置中向东营组三段(简称东三段)的渗漏时期进行预测,并将研究结果与目前南大港断裂处浅层东三段内油气显示情况进行比较,证实此方法对于预测断盖配置渗漏时期的可行性。

南大港断裂发育于歧口凹陷歧南斜坡区内,是一条北东走向的正断层^[23](图5a),平面延伸长度约为34.3 km,以倾角45°~50°向东南方向倾斜;该断裂从下部基底向上断至近地表,具有长期继承性发育的特征(图5b)。歧南斜坡区目前钻探揭示的地层有古近系(孔店组、沙河街组和东营组)、新近系(馆陶组和明化镇组)。目前南大港断裂的油气显示主要分布于沙一下亚段,少量分布于东三段(图5c)。研究认为东三段的油气主要来自下伏沙三段烃源岩,而研究区东三段与沙三段之间发育有沙一中亚段泥岩盖层,推断在油气成藏期(明化镇组沉积中晚期)活动的南大港断裂充当了油源断裂。在南大港断裂中东部东三段普遍见到油气显示,除了与圈闭和砂体有关外,更重要的是受到南大港断裂与沙一中亚段断盖配置向东三段长时期渗漏的影响。

基于井震标定及三维地震精细解释,按照前述方法可以得到南大港断裂与沙一中亚段盖层配置向浅层东三段的渗漏部位(主要位于中部,少量分布在西部,图6)。

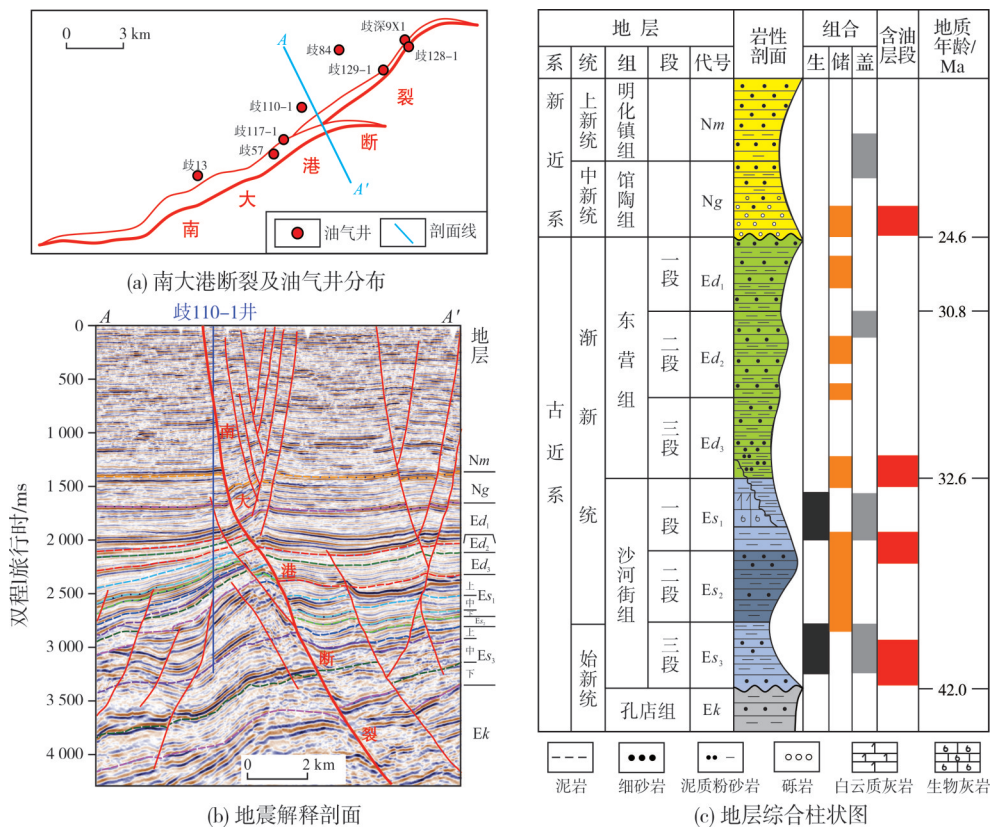


图5 南大港断裂断盖配置与油气分布

Fig. 5 The Nandagang fault-caprock configuration and oil and gas distribution

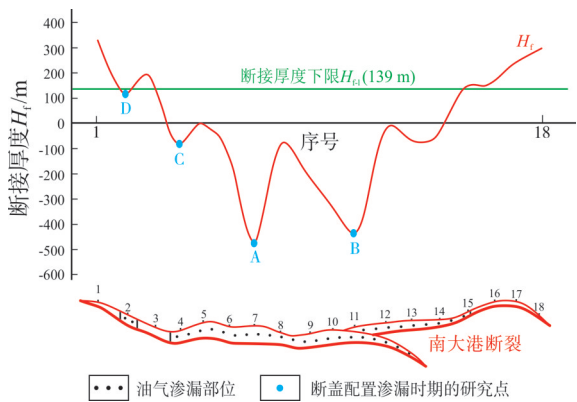


图6 南大港断裂与沙一中亚段盖层配置渗漏部位厘定图

南大港断裂的活动时期有沙三段沉积时期、沙一段沉积时期和馆陶组至明化镇组沉积时期^[23]。选取A、B、C、D等4个点(图6)作为代表,按照前述方法可以得到各点南大港断裂与沙一中亚段盖层配置断接厚度随时间的变化关系(图7)。由图7可以看出,南大港断裂与沙一中亚段盖层配置封闭性开始破坏的时期主要为馆陶组沉积中期至明化镇组沉积中期。

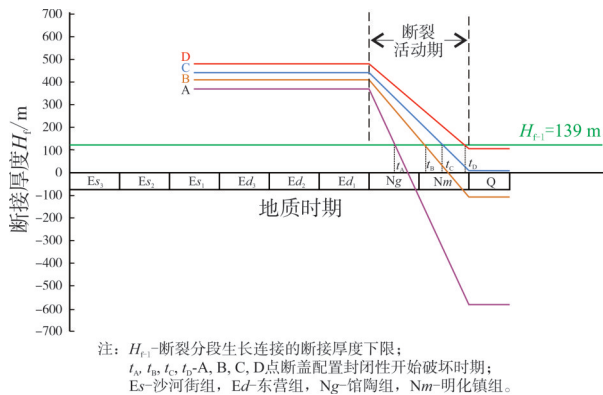


图7 南大港断裂与沙一中亚段盖层配置封闭性开始破坏时期厘定图

基于钻井、测井、地震及测试资料,按照前述方法由式(5)可以得到南大港断裂在沙一中亚段盖层配置内断层岩排替压力随时间的变化关系(如图8所示):

$$P_f = 0.28 \left(\frac{Z_f R_f}{100} \right)^{1.415} \quad (5)$$

式中: P_f —歧口凹陷断层岩排替压力,MPa; Z_f —歧

口凹陷断层岩压实成岩埋深, m ; R_t —歧口凹陷断层岩泥质含量, %。

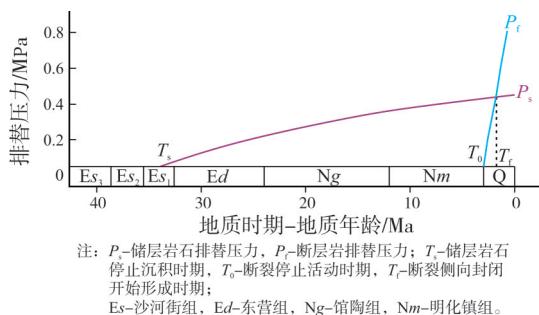


图8 南大港断裂与沙一中亚段盖层配置断层岩封闭开始时期厘定图

Fig. 8 Determination of the starting time of fault rock sealing in the Nandagang fault—caprock configuration of the middle section of Shahejie Member 1

基于钻井、测井资料,按照前述方法由式(6)可以得到沙一下亚段储层岩石排替压力随时间的变化关系(如图8所示):

$$P_s = 0.197 \left(\frac{Z_s R_s}{100} \right)^{1.312} \quad (6)$$

式中: P_s —歧口凹陷储层岩石排替压力, MPa; Z_s —歧口凹陷储层岩石压实成岩埋深, m ; R_s —歧口凹陷储层岩石泥质含量, %。

如图8所示,南大港断裂在沙一中亚段盖层内断层岩排替压力逐渐增加,直至与沙一下亚段储层岩石排替压力相等所对应的时期,即为断层岩封闭开始形成的时期,约在第四纪早期。

将上述确定出的南大港断裂与沙一中亚段盖层配置渗漏部位封闭性开始破坏的时期和断层岩封闭性开始形成的时期叠合,便可以得到断盖配置向浅层东三段渗漏的时期分布(图9)。由图9可以看出,南大港断裂在沙一中亚段盖层配置向东三段的油气渗漏主要分布在中部,少量分布在西部;渗漏时期为馆陶组沉积中期至第四纪早期,中部较东部、西部的渗漏时期相对更长。研究区沙三段烃源岩在沙一段沉积时期开始生烃,在馆陶组沉积末期达到生烃高峰期,至今仍可生成一定量的油气^[24-25]。南大港断裂与沙一段断盖配置渗漏时期处于沙三段烃源岩生烃期内,故油气可向上渗漏至浅层东三段。

由图9可以看出,南大港断裂处东三段目前已发现的油气显示主要分布在中东部,正好位于南大港断裂与沙一中亚段盖层配置向浅层东三段渗漏

过一段时期的部位,来源于下伏沙三段烃源岩的油气在东三段聚集成藏,为这一地区的油气勘探获得发现奠定资源基础。

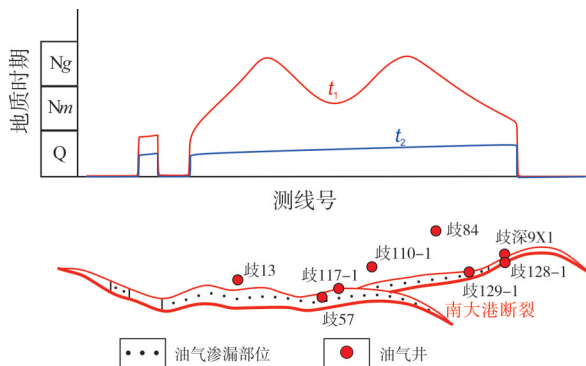


图9 南大港断裂与沙一中亚段盖层配置渗漏时空分布与东三段油气分布关系图

Fig. 9 Relationship between leakage spatiotemporal distribution and the oil and gas distribution of Dongying Member 3 in the Nandagang fault—caprock configuration of the middle section of Shahejie Member 1

5 结论

合理有效地预测油源断裂与区域性泥岩盖层配置(断盖配置)渗漏时期,对明确断盖配置之上的油气分布规律具有重要意义。

(1)断盖配置渗漏时期为封闭性开始破坏的时期至断层岩封闭开始的时期。油气渗漏部位,即为断接厚度小于断裂分段生长连接所需的断接厚度下限;封闭性开始破坏时期,即为断接厚度开始小于断接厚度下限的地质时期;断层岩封闭开始时期,为断层岩排替压力开始大于下伏储层岩石排替压力的地质时期。

(2)该方法应用于渤海湾盆地歧口凹陷南大港断裂与沙河街组一段中亚段区域泥岩盖层的断盖配置分析,结果表明向上覆东营组三段的油气渗漏主要分布在中东部,渗漏时期为从馆陶组沉积早期至第四纪早期。这一认识与目前南大港断裂处东三段油气显示主要位于中东部相吻合,证明此方法具有推广价值。

参考文献

- [1] 刘震, 陈艳鹏, 赵阳, 等. 陆相断陷盆地油气藏形成控制因素及分布规律概述[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 121-127, 133.
LIU Zhen, CHEN Yanpeng, ZHAO Yang, et al. Distribution and controlling factors of hydrocarbon reservoirs in continental fault basins [J]. Lithologic reservoirs, 2007, 19(2): 121-

- 127, 133.
- [2] 付广, 周亮, 安立刚. 油源断裂输导油气能力定量评价与油气聚集: 以南堡凹陷东一段为例[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(4): 8-12.
- FU Guang, ZHOU Liang, AN Ligang. Quantitative evaluation for hydrocarbon transport ability of faults connected with source rocks and relation with hydrocarbon accumulation: an example from Ed¹ of Nanpu Depression [J]. Lithologic reservoirs, 2012, 24(4): 8-12.
- [3] 袁红旗, 曹文瑞, 于英华, 等. 断盖配置渗漏油气时期确定方法及其应用[J]. 地质论评, 2021, 67(2): 420-428.
- YUAN Hongqi, CAO Wenrui, YU Yinghua, et al. Determination method and application of leakage period for oil and gas of fault-caprock configuration [J]. Geological review, 2021, 67(2): 420-428.
- [4] 付广, 梁木桂, 邹倩, 等. 源断盖时间匹配有效性的研究方法及其应用[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2020, 44(1): 25-33.
- FU Guang, LIANG Mugui, ZOU Qian, et al. Research method and its application to effectiveness of time matching of source-fault-caprock [J]. Journal of China University of Petroleum (edition of natural science), 2020, 44(1): 25-33.
- [5] 梁木桂, 付广, 董金梦, 等. 被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期厘定方法及其应用[J]. 工程科学学报, 2022, 44(8): 1425-1432.
- LIANG Mugui, FU Guang, DONG Jinneng, et al. Determination method and its application of effective period for transporting oil and gas by the oil source fault of reservoir separated by caprock [J]. Chinese journal of engineering, 2022, 44(8): 1425-1432.
- [6] 付广, 陈雪晴, 邓玮, 等. 油源断裂输导油气时间有效性研究方法及其应用[J]. 岩性油气藏, 2016, 28(6): 9-15.
- FU Guang, CHEN Xueqing, DENG Wei, et al. Research method of time effectiveness of hydrocarbon transporting by oil-source fault and its application [J]. Lithologic reservoirs, 2016, 28(6): 9-15.
- [7] 付广, 张博为, 吴伟. 区域性泥岩盖层阻止油气沿输导断裂运移机制及其判别方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2016, 40(3): 36-43.
- FU Guang, ZHANG Bowei, WU Wei. Mechanism and detection of regional mudstone caprock sealing oil and gas migration along transporting fault [J]. Journal of China University of Petroleum (edition of natural science), 2016, 40(3): 36-43.
- [8] 胡欣蕾, 付广. 油源断裂对下生上储式油气成藏与分布的控制作用: 以南堡凹陷中浅层为例[J]. 断块油气田, 2014, 21(3): 273-277.
- HU Xinlei, FU Guang. Control of fault connecting source rock and reservoir on lower generation and upper storage pattern oil-gas accumulation and distribution: taking middle-shallow area of Nanpu Depression as an example [J]. Fault-block oil and gas field, 2014, 21(3): 273-277.
- [9] 黄鹤, 徐衍彬. 油气穿过断盖配置散失部位的预测方法[J]. 特种油气藏, 2018, 25(5): 19-23.
- HUANG He, XU Yanbin. Loss prediction of hydrocarbon across fault-caprock configuration [J]. Special oil & gas reservoirs, 2018, 25(5): 19-23.
- [10] 付广, 杨敬博. 断盖配置对沿断裂运移油气的封闭作用: 以南堡凹陷中浅层为例[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2013, 38(4): 783-791.
- FU Guang, YANG Jingbo. Sealing of matching between fault and caprock to oil-gas migration along faults: an example from middle and shallow strata in Nanpu Depression [J]. Earth science (Journal of China University of Geosciences), 2013, 38(4): 783-791.
- [11] 付广, 李志新. 齐家—鸳鸯沟地区沙河街组油气富集规律研究[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(6): 1-5.
- FU Guang, LI Zhixin. Study on oil and gas enrichment rule of Shahejie Formation in Qijia-Yuanyangou area [J]. Lithologic reservoirs, 2011, 23(6): 1-5.
- [12] 王昌勇, 郑荣才, 王成玉, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组中段岩性油藏成藏规律研究[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 84-89, 94.
- WANG Changyong, ZHENG Rongcai, WANG Chengyu, et al. Hydrocarbon accumulation law of lithologic reservoirs of middle Yanchang Formation in Jiuyan area, Ordos Basin [J]. Lithologic reservoirs, 2010, 22(2): 84-89, 94.
- [13] 刘护创, 王文慧, 陈俊男. 台北凹陷西部差异逆冲推覆体系与油气聚集规律[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(2): 45-49.
- LIU Huchuang, WANG Wenhui, CHEN Junnan. Hydrocarbon accumulation and related differential thrust system in western Taipei Sag [J]. Lithologic reservoirs, 2007, 19(2): 45-49.
- [14] 付广, 董金梦, 彭万涛. 断盖配置渗漏与封闭转换时期的确定方法及其应用[J]. 沉积学报, 2020, 38(4): 868-875.
- FU Guang, DONG Jinneng, PENG Wantao. Determination method and application for the conversion period of fault-caprock configuration leakage and sealing [J]. Acta sedimentologica sinica, 2020, 38(4): 868-875.
- [15] 陈刚, 戴俊生, 叶兴树, 等. 生长指数与断层落差的对比研究[J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(3): 20-23.
- CHEN Gang, DAI Junsheng, YE Xingshu, et al. A comparison of the fault growth index with fault throw [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(3): 20-23.
- [16] 付晓飞, 孙兵, 王海学, 等. 断层分段生长定量表征及在油气成藏研究中的应用[J]. 中国矿业大学学报, 2015, 44(2): 271-281.
- FU Xiaofei, SUN Bing, WANG Haixue, et al. Fault segmentation growth quantitative characterization and its application on sag hydrocarbon accumulation research [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2015, 44(2): 271-281.
- [17] 谭开俊, 卫平生, 吕锡敏. 地层古厚度定量恢复方法研究及应用: 以准噶尔盆地陆东地区为例[J]. 天然气工业, 2005, 25(10): 24-26.
- TAN Kaijun, WEI Pingsheng, LÜ Ximin. Research on quantitative resumption method of stratum paleothickness and its application: taking Ludong area in Zhunge'er Basin as an example [J]. Natural gas industry, 2005, 25(10): 24-26.
- [18] 付晓飞, 李坤, 董柔, 等. 断层封闭性研究综述[J]. 能源技术与管理, 2021, 46(3): 24-26, 171.
- FU Xiaofei, LI Kun, DONG Rou, et al. Literature review on

- fault sealing[J]. Energy technology and management, 2021, 46(3): 24–26, 171.
- [19] 张阳. 断层泥比率法在储气库断层侧向封闭性定量评价中的应用: 以中原文23储气库为例[J]. 录井工程, 2019, 30(3): 39–44, 51, 185.
- ZHANG Yang. Application of fault gouge ratio method in quantitative evaluation of fault lateral sealing of gas storage: a case study of Zhongyuan Wen 23 gas storage[J]. Mud logging engineering, 2019, 30(3): 39–44, 51, 185.
- [20] 吴国平, 苏江玉, 成实, 等. 基于自然伽马测井信号的维纳滤波法求取泥质含量[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2008, 33(4): 572–576.
- WU Guoping, SU Jiangyu, CHENG Shi, et al. A method for obtaining shaliness using Wiener filtering based on logging data natural gamma ray[J]. Earth science (Journal of China University of Geosciences), 2008, 33(4): 572–576.
- [21] SMITH D A. Theoretical consideration of sealing and non-sealing faults I[J]. AAPG bulletin, 1966, 50(2): 363–374.
- [22] ALLAN U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment within faulted structures I[J]. AAPG bulletin, 1989, 73(7): 803–811.
- [23] 付广, 范晨铄, 梁木桂. 上覆不同储盖组合油源断裂输导油气时期厘定方法及其应用[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(1): 15–22.
- FU Guang, FAN Chenshuo, LIANG Mugui. Determination method of hydrocarbon transport time of overlying combination of different reservoir-cap assemblages by oil source faults and its application[J]. Natural gas geoscience, 2023, 34(1): 15–22.
- [24] 付广, 于桐, 梁木桂. 三种主要源储配置油源断裂厘定方法及其应用[J]. 沉积学报, 2023, 41(3): 909–918.
- FU Guang, YU Tong, LIANG Mugui. Methods of determining oil-source faults in three major source-reservoir configurations and their application[J]. Acta sedimentologica sinica, 2023, 41(3): 909–918.
- [25] 张晶, 李双文, 刘化清, 等. 歧口凹陷歧南斜坡深部储层特征及综合评价[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(6): 46–52.
- ZHANG Jing, LI Shuangwen, LIU Huaqing, et al. Characteristics and comprehensive evaluation of deep reservoirs in Qinan ramp, Qikou Sag[J]. Lithologic reservoirs, 2013, 25(6): 46–52.

编辑:董庸

Prediction method and application of leakage period in oil source fracture-regional mudstone caprock configuration

LIU Yunxin, ZHANG Jinbao, YU Yinghua

Abstract: In order to study the distribution pattern of oil and gas above the oil source fault-regional mudstone caprock configuration (fault-caprock configuration) in petroliferous basins, a set of prediction methods for the distribution of leakage periods was established based on qualitative analysis of the leakage mechanism. Firstly, determine the location of oil and gas leakage in the fault-caprock configuration, that is, where the joint thickness of caprock between upper and lower walls of fault (H_f) is less than the minimum required for the fracture segment connection (H_{f-1}). Secondly, determine the beginning time of sealing failure, that is, according to a study spot in the fault, when its H_f is firstly less than the H_{f-1} . Then, determine the starting time of fault rock sealing, that is, when the displacement pressure of fault rock is firstly greater than that of the underlying reservoir rock. Finally, the combination of the three can determine the spatiotemporal distribution of oil and gas leakage in the fault-caprock configuration. The leakage period is between the beginning time of sealing failure and the beginning time of fault rock sealing. The application results of the example show that for the fault-caprock configuration of the Nandagang fault and the mudstone caprock in the middle section of the Shahejie Member 1 in the Qikou Sag, Huanghua Depression, Bohai Bay Basin, the oil and gas leakage to the overlying Dongying Member 3 is mainly distributed in the central and eastern parts, from the middle period of Guantao Formation to the early Quaternary with a relatively long duration. This is very favorable for the hydrocarbon's accumulation in Dongying Member 3 generated by the source rocks of underlying Shahejie Member 3. The analysis results are consistent with the current oil and gas display in Dongying Member 3 at the Nandagang fault, proving that this method is feasible for predicting the distribution of leakage periods in fault-caprock configuration.

Key words: oil source fault; mudstone caprock; leakage location; leakage period; prediction method; Nandagang fault

LIU Yunxin, First author: MSc, Lecturer, mainly engaged in geophysical exploration, reservoir prediction related research and teaching work. Add: No. 4 Xiliu Street, Ranghulu District, Daqing, Heilongjiang 163453, China

YU Yinghua, Corresponding author: PhD, Professor, mainly engaged in teaching and research on oil and gas accumulation and reservoir geology. Add: No. 99 Xuefu Street, High-tech Industrial Development Zone, Daqing, Heilongjiang 163318, China