



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

梁木桂 付广 董金梦 李乔乔

Determination method and its application of effective period for transporting oil and gas by the oil source fault of reservoir separated by caprock

LIANG Mu-gui, FU Guang, DONG Jin-meng, LI Qiao-qiao

引用本文:

梁木桂, 付广, 董金梦, 李乔乔. 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. doi: 10.13374/j.issn2095–9389.2021.01.28.001

LIANG Mu-gui, FU Guang, DONG Jin-meng, LI Qiao-qiao. 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. doi: 10.13374/j.issn2095–9389.2021.01.28.001

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13374/j.issn2095–9389.2021.01.28.001>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

油气资源开发的大数据智能平台及应用分析

Big data intelligent platform and application analysis for oil and gas resource development
工程科学学报. 2021, 43(2): 179 <https://doi.org/10.13374/j.issn2095–9389.2020.07.21.001>

基于云理论的油气管道滑坡危险性综合评价

Comprehensive evaluation of landslide risks of oil and gas pipelines based on cloud theory
工程科学学报. 2018, 40(4): 427 <https://doi.org/10.13374/j.issn2095–9389.2018.04.005>

中国致密油藏开发理论研究进展

Research progress on tight oil exploration in China
工程科学学报. 2019, 41(9): 1103 <https://doi.org/10.13374/j.issn2095–9389.2019.09.001>

煤层深孔聚能爆破有效致裂范围探讨

Effective fracture zone under deep-hole cumulative blasting in coal seam
工程科学学报. 2019, 41(5): 582 <https://doi.org/10.13374/j.issn2095–9389.2019.05.004>

准Z源逆变器的小波调制方法

A wavelet modulation method for a quasi-Z-source inverter
工程科学学报. 2017, 39(12): 1881 <https://doi.org/10.13374/j.issn2095–9389.2017.12.015>

复杂压裂缝页岩气储层压力传播动边界研究

Moving boundary analysis of fractured shale gas reservoir
工程科学学报. 2019, 41(11): 1387 <https://doi.org/10.13374/j.issn2095–9389.2019.06.21.002>

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

梁木桂¹⁾, 付 广^{1)✉}, 董金梦¹⁾, 李乔乔²⁾

1) 东北石油大学地球科学院, 大庆 163318 2) 大庆油田有限责任公司第一采油厂, 大庆 163001

✉通信作者, E-mail: fuguang2008@126.com

摘 要 为了准确研究含油气盆地被盖层分隔储层油源断裂在油气成藏中的作用, 在被盖层分隔储层油源断裂输导油气机理及有效时期研究的基础上, 通过断裂停止活动时期、断裂开始破坏泥岩盖层封闭能力时期和断裂填充物开始封闭时期确定出油源断裂输导油气时期, 利用源岩地化特征确定出源岩排烃时期, 将二者叠合建立了一套被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期的厘定方法。应用结果表明: 在测线 L2 处 F1 油源断裂向东一段储层输导油气有效时期相对较长, 为 5.3 Ma, 较有利于油气在东一段储层中运聚成藏(目前构造高部位尚未钻探); 在测线 L8 处 F1 油源断裂向东一段储层输导油气有效时期相对较短, 为 2.4 Ma, 且主要为断裂填充物输导油气, 不利于油气在东一段储层中大规模运聚成藏, 和 F1 油源断裂在测线 L8 附近东一段虽已发现油气, 但规模有限一致。该方法可有效用于厘定被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期。

关键词 被盖层分隔储层; 油源断裂; 输导油气; 有效时期; 厘定方法

分类号 TE122.1

Determination method and its application of effective period for transporting oil and gas by the oil source fault of reservoir separated by caprock

LIANG Mu-gui¹⁾, FU Guang^{1)✉}, DONG Jin-meng¹⁾, LI Qiao-qiao²⁾

1) School of Earth Sciences, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China

2) No.1 Oil Production Plant, Daqing Oilfield Co., Ltd, Daqing 163001, China

✉ Corresponding author, E-mail: fuguang2008@126.com

ABSTRACT In the combination of source rock and reservoir separated by the caprock of a petroliferous basin, the scale of oil and gas accumulation is controlled by the relative length of the effective period of oil and gas transported by the oil source fault. The accurate determination of the effective period of oil and gas transported by the oil source fault in the combination of source rock and reservoir separated by caprock plays an essential role in identifying the oil and gas distributions and guiding oil and gas exploration. Based on a study of the oil–gas transport mechanism and the effective period by the oil source fault of reservoir separated by caprock, a set of determination methods of the effective period for transporting oil and gas by the oil source fault of the reservoir separated by caprock was established herein by coupling the period for transporting oil and gas by the oil source fault and that when the source rocks expelled hydrocarbon. The period for transporting oil and gas by the oil source fault was determined by determining the period when the faults started to destroy the sealing capacity of the mudstone caprock, the period when the faults stopped their activity, and the period when the fault fillers began sealing. The geochemical characteristics of the source rock were used to determine the period when the source rocks expelled hydrocarbon. The application results show that at line L2, the effective period for transporting oil and gas from the F1 oil source

收稿日期: 2021–01–28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41872157, 42072157)

fault to the reservoir of the 1st member of Dongying Formation (E_3d_1) is relatively long (*i.e.*, time: 5.3 Ma). This is conducive to transporting the oil and gas generated by the source rocks of the 1st member of Shahejie Formation (E_3s_1) to the 3rd member of Dongying Formation (E_3d_3) through the mudstone caprock of the 2nd member of Dongying Formation (E_3d_2) to accumulate in the reservoir of E_3d_1 (the upper part of the structure has not been drilled yet). At line L8, the effective period for transporting oil and gas from the F1 oil source fault to the reservoir of E_3d_1 is relatively short (*i.e.*, time: 2.4 Ma). Oil and gas are mainly transported by fault fillers, which is not conducive to transporting the oil and gas generated by the source rocks of E_3s_1 to the E_3d_1 through the mudstone caprock of E_3d_2 to accumulate in the reservoir of E_3d_1 . The results are coincident with the fact that small-scale oil and gas have been found near line L8 of the F1 oil source fault in E_3d_1 of the Nanpu 5th structure, suggesting that the method is feasible for application in the determination of the effective period for transporting oil and gas by the oil source fault of a reservoir separated by caprock.

KEY WORDS reservoir separated by caprock; oil source fault; transporting oil and gas; effective period; determination method

油气勘探实践表明, 油源断裂(沟通源岩和目的储层, 且在油气成藏时期活动的断裂^[1]) 在含油气盆地内被盖层(通常是区域性盖层)分隔储层油气运聚成藏中起着至关重要的作用, 不仅表现在其分布控制着油气的分布, 更重要的是其输导油气有效时期决定着油气的规模。由此不难看出, 准确地厘定出被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期, 对于正确认识含油气盆地被盖层分隔储层油源断裂在油气成藏中的作用至关重要。

前人对油源断裂及其输导油气作用的研究可归纳为: (1) 利用断裂穿层性与源岩和目的储层之间关系, 结合油气成藏时期, 确定油源断裂的类型和分布特征^[2-8]; (2) 根据油源断裂分布与不同等级源岩分布之间的空间配置关系, 确定油源断裂输导油气的空间有效性^[9-14], 认为位于优质源岩分布区内的油源断裂, 其输导油气的空间有效性好; (3) 根据油源断裂活动时期与源岩排烃时期之间的时间匹配关系, 确定油源断裂输导油气的时期有效性^[15-19], 明确提出只有与源岩排烃时期同期的断裂活动时期, 才是油源断裂输导油气的有效时期。这些研究成果对认识油源断裂在油气运聚成藏中的作用具有重要价值。

然而, 对于被盖层分隔储层油源断裂, 并非一经活动就能破坏盖层, 使其输导的油气穿过盖层运移至目的储层中, 只有当油源断裂破坏盖层达到一定程度后, 其输导的油气才可以穿过盖层运移至目的储层中。因此, 只有盖层封闭能力被油源断裂破坏后的断裂活动时期, 才是油源断裂输导油气时期。此外, 断裂输导油气也并非仅发生在其活动时期, 当其停止活动后, 断裂填充物在一段时间内仍具有一定的孔渗性, 虽然输导油气能力弱, 但仍可输导油气, 因此这一段时间也应为断裂输导油气时期。只有全面地考虑了以上各种因素的影响, 才能准确地厘定出被盖层分隔储层油源断

裂输导油气有效时期和正确地认识油源断裂在油气成藏中的作用; 否则, 可能会低估或高估油气富集程度, 给油气勘探带来一定风险。

1 被盖层分隔储层油源断裂输导油气机理及有效时期

在含油气盆地中, 下伏源岩和上覆目的储层之间通常发育有泥岩盖层。油源断裂能否输导源岩生成的油气进入到目的储层中, 主要取决于泥岩盖层的封闭性和断裂填充物的封闭性。在断裂活动时期, 倘若油源断裂在泥岩盖层内分段生长上下不连接, 那么油源断裂伴生裂缝输导的油气不能穿过泥岩盖层, 只能被封盖在泥岩盖层之下, 此时期应为泥岩盖层封闭时期, 如图 1 中的 T_a 所示。只有油源断裂在泥岩盖层内分段生长上下连接, 油源断裂伴生裂缝输导的油气才能穿过泥岩盖层, 继续沿着伴生裂缝运移至目的储层中, 从此时期开始一直至断裂停止活动时期应为油源断裂伴生裂缝输导油气时期, 如图 1 中的 T_b 所示。当断裂停止活动后, 油源断裂伴生裂缝逐渐紧闭愈合, 失去输导油气能力。然而, 此时期断裂填充物仍具有一定的孔渗性, 尽管其输导油气能力明显弱于油源断裂伴生裂缝输导油气能力, 但其依然可以输导油气穿过泥岩盖层向上运移, 此时期应为断裂填充物输导油气时期, 如图 1 中的 T_c 所示。当断裂填充物封闭能力达到一定程度后, 断裂填充物孔渗性明显变差, 失去输导油气能力, 此时期应为断裂填充物封闭时期, 如图 1 中的 T_d 所示。由此可知, 被盖层分隔储层油源断裂输导油气时期应为伴生裂缝输导油气时期和断裂填充物输导油气时期之和。

然而, 被盖层分隔储层油源断裂能否有效地输导油气, 除了要求油源断裂处于输导油气时期外, 还必须要求源岩处于排烃时期。只有处于二者

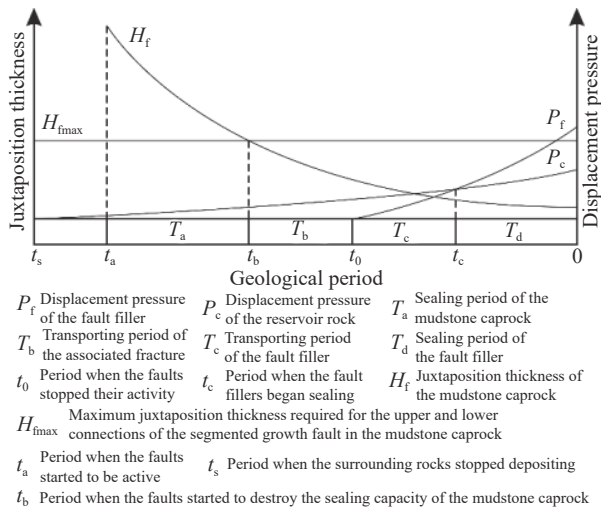


图1 被盖层分隔储层油源断裂输导油气时期构成示意

Fig.1 Composition of the period for transporting oil and gas by the oil source fault of the reservoir separated by caprock

的重合时期,油源断裂才能输导油气;否则,油源断裂不能输导油气.由此可知,被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期应为油源断裂输导油气时期和源岩排烃时期的重合时期,二者的重合时期越长,油源断裂输导油气有效时期越长;反之则越短(图2).

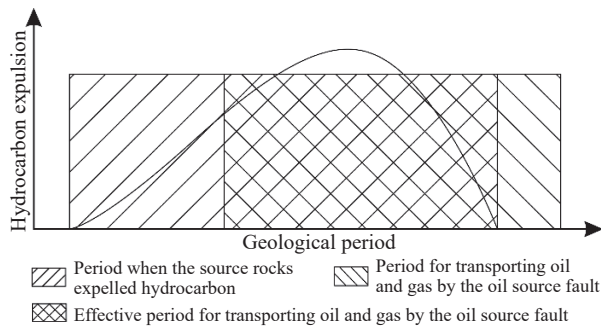


图2 被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期厘定示意

Fig.2 Determination of the effective period for transporting oil and gas by the oil source fault of the reservoir separated by caprock

2 被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期厘定方法

由上述分析可知,只要确定出油源断裂输导油气时期和源岩排烃时期,取二者的重合时期即可厘定出被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期.

2.1 油源断裂输导油气时期确定方法

由图1中可以看出,只需确定出断裂停止活动时期、断裂开始破坏泥岩盖层封闭能力时期和断裂填充物开始封闭时期,即可得到伴生裂缝输导油气时期(断裂开始破坏泥岩盖层封闭能力时期

至断裂停止活动时期)和断裂填充物输导油气时期(断裂停止活动时期至断裂填充物开始封闭时期),取二者之和即可得到被盖层分隔储层油源断裂输导油气时期.

断裂停止活动时期可利用断裂生长指数法^[20]、断裂活动速率法^[21]和地层伸展率法^[22]等进行确定.当断裂生长指数小于1或者断裂活动速率或地层伸展率相对较小时,即为断裂停止活动时期.

断裂开始破坏泥岩盖层封闭能力时期可以按照以下步骤进行确定:首先,由井震资料读取断裂在泥岩盖层内断距和被其错断泥岩盖层厚度,利用最大断距相减法^[23]和地层古厚度恢复方法^[24]分别恢复不同地质时期的古断距和古厚度,得到泥岩盖层古断接厚度(盖层厚度减去断裂断距),并作出其古断接厚度随时间变化关系图(图1).然后,根据试油成果和测井解释等资料统计研究区泥岩盖层上下的油气显示特征,作出其与泥岩盖层断接厚度之间关系图,当油气仅在泥岩盖层之下分布时,其所对应的最大断接厚度即为断裂在泥岩盖层内分段生长上下连接所需的最大断接厚度^[25-26].最后,取泥岩盖层断接厚度等于断裂在其内分段生长上下连接所需的最大断接厚度所对应的时期,即为断裂开始破坏泥岩盖层封闭能力时期(图1).

由图1中可以看出,断裂填充物开始封闭时期应为断裂填充物和储层岩石二者排替压力相等时所对应的时期.由此可知,只需确定出断裂填充物排替压力随时间变化关系和储层岩石排替压力随时间变化关系,即可确定出断裂填充物开始封闭时期.断裂填充物排替压力由于受限于钻井和取心,通过实测样品获取是不可能的,只能借助于围岩实测排替压力数据.在认为断裂是围岩中倾斜岩层,其成分来自两盘被错断地层岩石的前提下,断裂填充物排替压力与围岩一样,也是取决于压实埋深和泥质体积分数,是二者的函数^[27].因此,只要确定出断裂填充物泥质体积分数,按照围岩实测排替压力与其压实埋深及泥质体积分数之间关系^[28],便可以得到断裂填充物排替压力与其压实埋深之间关系.具体方法如下:首先利用断裂在盖层内断距和被其错断地层岩层厚度和泥质体积分数,根据断裂填充物泥质体积分数求取方法^[27]计算断裂填充物泥质体积分数,将计算结果代入研究区围岩实测排替压力与其压实埋深和泥质体积分数之间关系式中,得到与断裂填充物具有相同泥质体积分数围岩排替压力随其压实埋深变化

关系;然后将该变化关系由围岩停止沉积时期(t_s)移至断裂填充物开始压实时期(t_0),作为断裂填充物排替压力随其压实埋深变化关系;最后利用地层古埋深恢复方法^[29]恢复断裂填充物古压实埋深,便可以得到断裂填充物排替压力随时间变化关系(图 3)。储层岩石排替压力可按如下步骤获取:首先利用自然伽马测井资料,由岩层泥质体积分数计算方法^[30],求得储层岩石的泥质体积分数;然后将求取结果代入研究区储层岩石实测排替压力与其压实埋深和泥质体积分数之间关系式中,得到储层岩石排替压力随其压实埋深变化关系;最后利用地层古埋深恢复方法^[29]恢复储层岩石古压实埋深,便可以得到储层岩石排替压力随时间变化关系(图 1)。

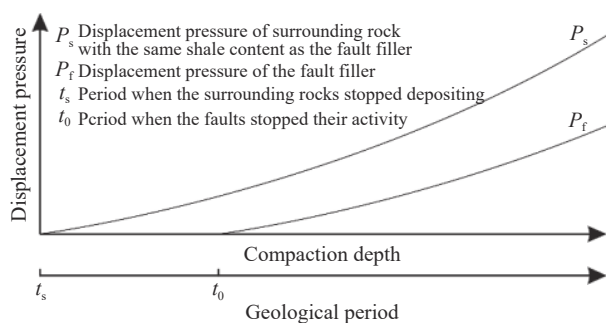


图 3 断裂填充物排替压力预测示意

Fig.3 Prediction of the displacement pressure of the fault filler

2.2 源岩排烃时期确定方法

利用源岩的地化特征,由源岩排烃量的计算方法^[31]求取源岩在各地质时期的排烃量,作源岩排烃量随地质时期的变化关系,即可确定出源岩排烃时期(图 2)。

2.3 油源断裂输导油气有效时期厘定方法

将油源断裂输导油气时期和源岩排烃时期叠合,取二者的重合时期即为被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期(图 2)。

3 实例应用

本文以渤海湾盆地南堡凹陷南堡 5 号构造 F1 油源断裂为例,采用以上方法厘定其在被东二段(E_{3d_2})泥岩盖层分隔东一段(E_{3d_1})储层中的输导油气有效时期,并根据厘定结果与 F1 油源断裂附近东一段油气之间关系,检验上述方法的可行性。

南堡 5 号构造位于南堡凹陷西北部,勘探面积约 350 km² (图 4(a))。该构造整体上表现为东低西高的构造形态,是一个发育在中、古生界基岩鼻状构造背景上,受北部西南庄断裂及其派生断裂控制而形成的潜山坡覆断背斜构造^[32],其上发育一系列北东东~北东向展布的断裂(图 4(a))。南堡 5 号构造从下至上发育的地层有孔店组(E_{2k})、沙河街组(E_{3s})、东营组(E_{3d})、馆陶组(N_{1g})、明化镇组(N_{2m})及第四系(Q),其中沙河街组和东营组是其油气的主要储层,东一段是本次研究的目的储层。目前在东一段见到了少量油气,其主要来自下伏沙一段(E_{3s_1})~东三段(E_{3d_3})源岩。由于源岩和目的储层之间被东二段泥岩盖层分隔,沙一段~东三段源岩中的油气只有沿着油源断裂(沟通沙一段~东三段源岩和东一段储层,且在油气成藏期——馆陶组至明化镇组沉积时期^[33]活动的断裂)才能穿过东二段泥岩盖层向上覆东一段储层中聚集成藏。F1 断裂位于南堡 5 号构造中部,为一

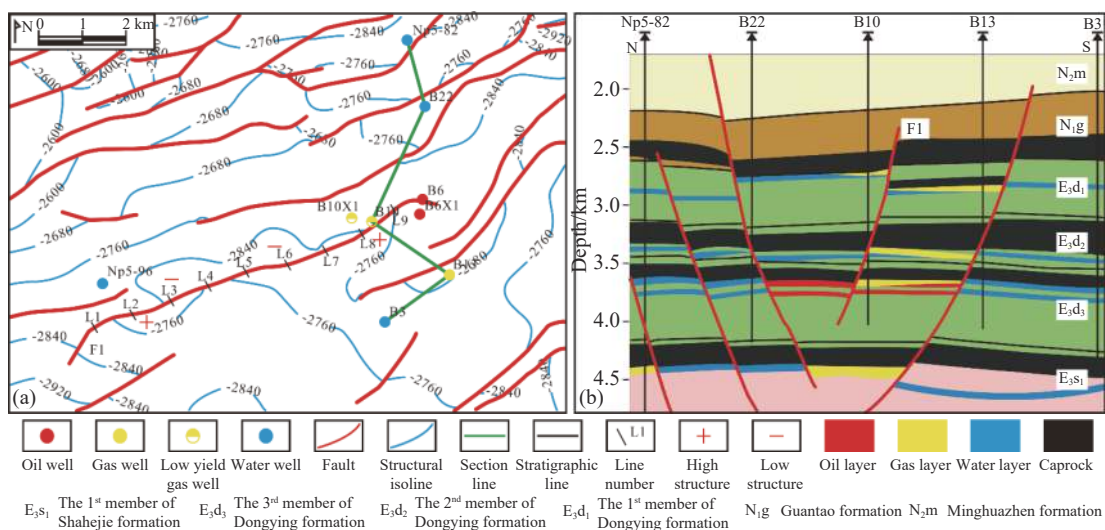


图 4 南堡 5 号构造 F1 油源断裂与油气分布关系。(a)平面图;(b)剖面图

Fig.4 Distribution of the F1 oil source fault and hydrocarbon in Nanpu 5th structure: (a) plan; (b) section views

北东走向的正断裂 (图 4(a))。该断裂向西北倾斜, 倾角平均为 25°, 断距最大可达 185 m, 最小为 20 m, 从东三段下部一直断至馆陶组上部 (图 4(b))。由断裂生长指数计算结果可以看出, F1 断裂主要在馆下段 (N_1g^L) 沉积时期活动 (图 5)。由此可知, F1 断裂应是南堡 5 号构造中被东二段泥岩盖层分隔东一段储层油源断裂, 准确地厘定出其输导油气有效时期, 对于正确认识南堡 5 号构造东一段油气富集程度和有效指导其勘探至关重要。

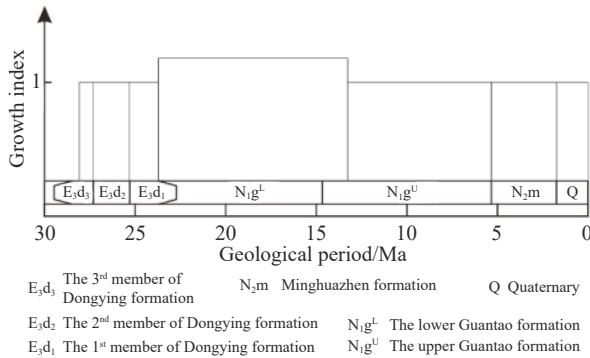


图 5 F1 油源断裂在不同层位生长指数分布

Fig.5 Distribution of the growth index of the F1 oil source fault in different layers

由图 4 中可以看出, F1 油源断裂破坏了东二段泥岩盖层, 但在不同测线处 F1 油源断裂破坏东二段泥岩盖层的程度不同。在测线 L1、L3、L4、L5、L6、L7 和 L9 处, 东二段泥岩盖层断接厚度大于南堡凹陷断裂在泥岩盖层内分段生长上下连接所需的最大断接厚度 (约为 120 m^[18]), F1 油源断裂在东二段泥岩盖层内分段生长上下未连接, 不能将下伏沙一段~东三段源岩生成的油气输导至东一段储层中, 不存在输导油气时期; 而在测线 L2 和 L8 处, 东二段泥岩盖层断接厚度分别为 25 和 118 m, 均小于南堡凹陷断裂在泥岩盖层内分段生长上下连接所需的最大断接厚度, F1 油源断裂在东二段泥岩盖层内分段生长上下连接, 可将下伏沙一段~东三段源岩生成的油气输导至东一段储层中 (图 6)。因此, 需要研究在测线 L2 和 L8 处的 F1 油源断裂在东一段储层内输导油气有效时期。

由图 5 中可以看出, F1 油源断裂主要在馆下段沉积时期 (约为距今 23.8 ~ 13.3 Ma) 生长指数大于 1。换句话说, F1 油源断裂活动时期为馆下段沉积时期, 其停止活动时期为距今 13.3 Ma。

根据上述断裂开始破坏泥岩盖层封闭能力时期确定方法, 可以得到在测线 L2 和 L8 处 F1 油源断裂开始破坏东二段泥岩盖层封闭能力时期分别约为距今 16.0 和 13.6 Ma (图 7)。

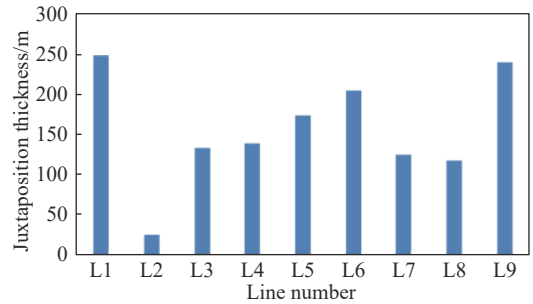


图 6 南堡 5 号构造 F1 油源断裂不同测线处东二段泥岩盖层断接厚度

Fig.6 Juxtaposition thickness of the mudstone caprock of E_3d_2 in the F1 oil source fault of the Nanpu 5th structure

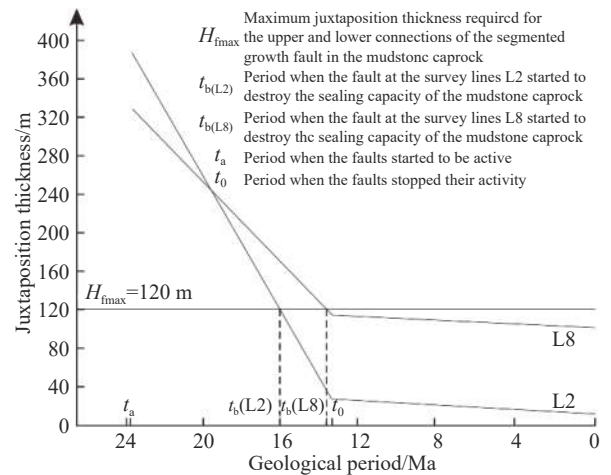


图 7 F1 油源断裂开始破坏东二段泥岩盖层封闭能力时期厘定

Fig.7 Determination of the period when the F1 oil source fault started to destroy the sealing capacity of the mudstone caprock of E_3d_2

由断裂填充物泥质体积分数求取方法^[27], 计算得到在东二段泥岩盖层内测线 L2 和 L8 处 F1 油源断裂填充物泥质体积分数分别为 51.38% 和 63.80%, 将计算结果代入式 (1)^[34] 中, 根据上述断裂填充物排替压力计算方法得到在测线 L2 和 L8 处 F1 油源断裂填充物排替压力随时间变化关系 (图 8)。根据岩层泥质体积分数计算方法^[30], 计算得到 F1 油源断裂在测线 L2 和 L8 处东三段储层岩石泥质体积分数皆为 17.00%, 将计算结果代入式 (2)^[7] 中, 由上述储层岩石排替压力计算方法得到在 F1 油源断裂测线 L2 和 L8 处储层岩石排替压力随时间变化关系 (图 8)。由图 8 中断裂填充物排替压力与储层岩石排替压力相等时所对应时期, 便可以得到在东二段泥岩盖层内测线 L2 和 L8 处 F1 油源断裂填充物开始封闭时期分别约为距今 10.7 和 11.2 Ma。

$$P_s = 0.031 \left(\frac{Z_s R_s}{100} \right)^{1.507} \quad (1)$$

式中: P_s 为南堡凹陷围岩实测排替压力, MPa; Z_s 为

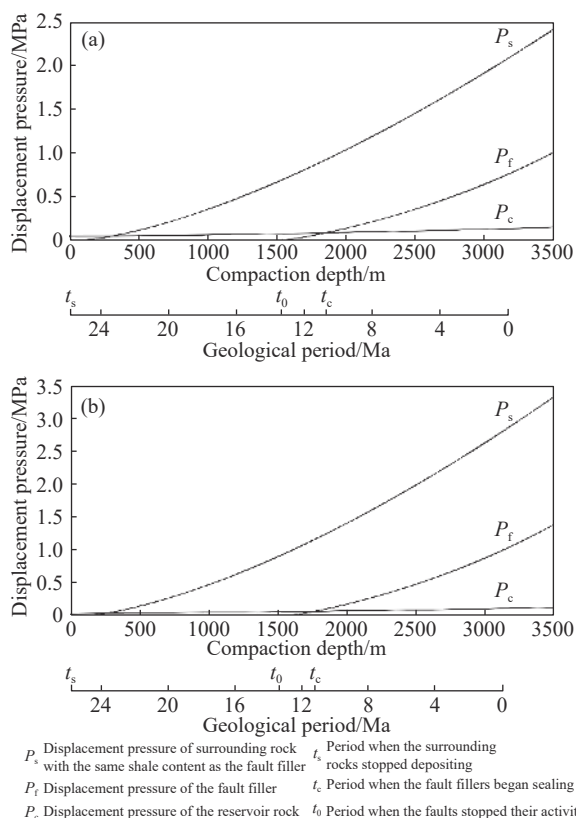


图 8 在东二段泥岩盖层内 F1 油源断裂填充物开始封闭时期厘定。(a)测线 L2; (b)测线 L8

Fig.8 Determination of the period when the F1 oil source fault fillers began sealing in the mudstone caprock of E_3d_2 : (a) line L2; (b) line L8

南堡凹陷围岩压实埋深, m ; R_s 为南堡凹陷围岩泥质体积分数, %.

$$P_c = 0.0593e^{1.662 \times 10^{-3} Z_c R_c} \quad (2)$$

式中: P_c 为南堡凹陷储层岩石实测排替压力, MPa; Z_c 为南堡凹陷储层岩石压实埋深, m ; R_c 为南堡凹陷储层岩石泥质体积分数, %.

综合上述研究可知, 伴生裂缝输导油气时期在 F1 油源断裂测线 L2 和 L8 处分别为距今 16.0 ~ 13.3 Ma 和 13.6 ~ 13.3 Ma, 断裂填充物输导油气时期在 F1 油源断裂测线 L2 和 L8 处分别为距今 13.3 ~ 10.7 Ma 和 13.3 ~ 11.2 Ma, F1 油源断裂在测线 L2 和 L8 处输导油气时期分别为距今 16.0 ~ 10.7 Ma 和 13.6 ~ 11.2 Ma (图 9).

由南堡凹陷源岩排烃量模拟结果^[31]可知, 沙一段 ~ 东三段源岩在东三段沉积时期开始向外排烃, 在明化镇组沉积早期达到排烃高峰期, 至今仍向外排烃 (图 9).

将上述 F1 油源断裂输导油气时期与沙一段 ~ 东三段源岩排烃时期叠合可以看出, 在测线 L2 和 L8 处 F1 油源断裂在东一段储层内输导油气有效时期分别为距今 16.0 ~ 10.7 Ma 和 13.6 ~ 11.2 Ma

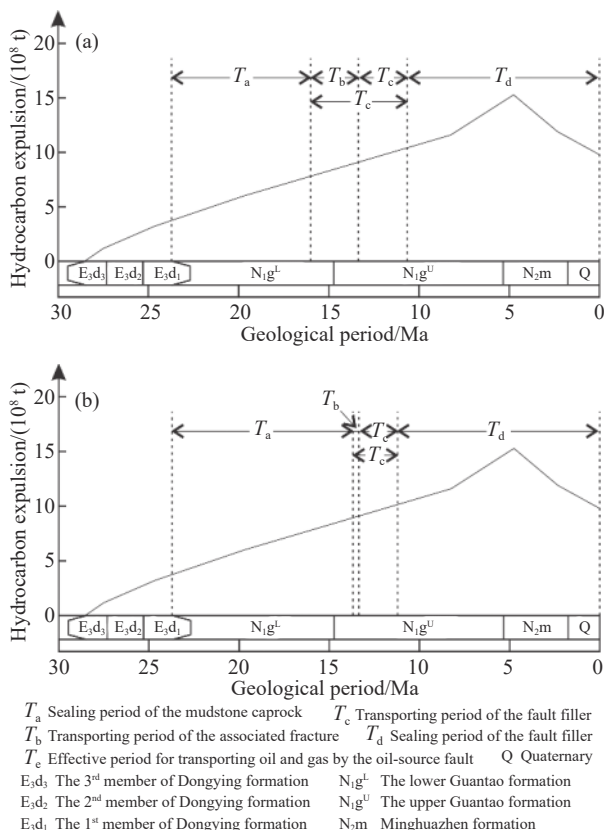


图 9 F1 油源断裂向东一段储层输导油气有效时期厘定。(a)测线 L2; (b)测线 L8

Fig.9 Determination of the effective period for transporting oil and gas from the F1 oil source fault to the reservoir of E_3d_1 : (a) line L2; (b) line L8

(图 9).

由图 9 中可以看出, 在测线 L2 处 F1 油源断裂在东一段储层内输导油气有效时期相对较长 (为 5.3 Ma), 较有利于其输导沙一段 ~ 东三段源岩生成的油气穿过东二段泥岩盖层向东一段储层中聚集成藏. 但目前测线 L2 附近仅上盘钻有 Np5-96 井, 东一段未见到油气, 这是因为此井钻在了构造的低部位 (图 4(a)), 不利于油气成藏; 若钻到测线 L2 东侧下盘构造高部位 (图 4(a)), 东一段应能获得油气显示. 在测线 L8 处 F1 油源断裂在东一段储层内输导油气有效时期相对较短 (为 2.4 Ma), 且主要为断裂填充物输导油气, 造成其输导油气量有限, 不利于油气在东一段储层中大规模运聚成藏, 这可能是目前南堡 5 号构造东一段 F1 油源断裂在测线 L8 附近已发现油气, 但规模有限的根本原因 (图 4(a)).

4 结论

(1) 被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期应为油源断裂输导油气时期和源岩排烃时期的重合时期.

(2)通过断裂停止活动时期、断裂开始破坏泥岩盖层封闭能力时期和断裂填充物开始封闭时期确定油源断裂输导油气时期,利用源岩地化特征确定源岩排烃时期,将二者叠合建立了被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期的厘定方法,且其在实际应用中行之有效。

(3)在测线 L2 处 F1 油源断裂在东一段储层内输导油气有效时期相对较长,为 5.3 Ma,较有利于油气在东一段储层中运聚成藏(目前构造高部位尚未钻探);在测线 L8 处 F1 油源断裂在东一段储层内输导油气有效时期相对较短,为 2.4 Ma,且主要为断裂填充物输导油气,不利于油气在东一段储层中大规模运聚成藏。

(4)该方法仅可用于砂泥岩地层中被盖层分隔储层油源断裂输导油气有效时期的厘定。

参 考 文 献

- [1] Zhang B W, Fu G, Zhang J H, et al. Fracture development in oil-migrating fault transition zones and its control on hydrocarbon migration and accumulation: A case study of Es₂ oil formation of Yilunpu structure of Wen'an slope of Jizhong depression. *J Jilin Univ (Earth Sci Ed)*, 2017, 47(2): 370
(张博为, 付广, 张居和, 等. 油源断裂转换带裂缝发育及其对油气控制作用——以冀中坳陷文安斜坡议论堡地区沙二段为例. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(2): 370)
- [2] Wang C, Lü Y F, Wang Q, et al. Evaluations of oil and gas lateral migration across faults: A case study of Shigezhuang nose structure of Wen'an slope in Baxian sag, Jizhong depression, Bohai Bay Basin, *China Petroleum Explor Dev*, 2017, 44(6): 880
(王超, 吕延防, 王权, 等. 油气跨断层侧向运移评价方法——以渤海湾盆地冀中坳陷霸县凹陷文安斜坡史各庄鼻状构造带为例. 石油勘探与开发, 2017, 44(6): 880)
- [3] Bouvier J D, Kaars-Sijpesteijn C H, Kluesner D F, et al. Three-dimensional seismic interpretation and fault sealing investigations, Nun River Field, Nigeria. *AAPG bulletin*, 1989, 73(11): 1397
- [4] Knipe R J, Jones G, Fisher Q J. Faulting, fault sealing and fluid flow in hydrocarbon reservoirs: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 1998, 147(1): vii
- [5] Fu G, Han G, Li S Z. A prediction method for fracture lateral-connected hydrocarbon migration. *Oil Geophys Prospect*, 2017, 52(6): 1298
(付广, 韩刚, 李世朝. 断裂侧接输导油气运移部位预测方法及其应用. 石油地球物理勘探, 2017, 52(6): 1298)
- [6] Zhan M W, Fu G, Qiu C Y, et al. A new predicting method for comprehensive damage degree of mudstone caprock by fault and its application. *J Jilin Univ (Earth Sci Ed)*, 2017, 47(6): 1687
(展铭望, 付广, 仇翠莹, 等. 一种新的断裂破坏泥岩盖层程度的综合研究方法. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(6): 1687)
- [7] Fu G, Zhan M W. Geological conditions for lateral sealing of active faults and relevant research methods. *Nat Gas Ind*, 2016, 36(10): 28
(付广, 展铭望. 活动期断裂侧向封闭的地质条件及其研究方法. 天然气工业, 2016, 36(10): 28)
- [8] Meng S W, Sun D X, Yu J Q, et al. Fabrication of a three-dimensional simulated reservoir core model based on area projection micro-stereolithography. *Chin J Eng*, 2021, 43(11): 1552
(孟思炜, 孙大兴, 俞佳庆, 等. 基于面投影微立体光刻技术的三维模拟储层岩心模型制造. 工程科学学报, 2021, 43(11): 1552)
- [9] Hu X L, Lü Y F, Sun Y H, et al. Comprehensive quantitative evaluation of vertical sealing ability of faults in caprock: An example of Ed₂ mudstone caprock in nanpu sag. *J Jilin Univ (Earth Sci Ed)*, 2018, 48(3): 705
(胡欣蕾, 吕延防, 孙永河, 等. 泥岩盖层内断层垂向封闭能力综合定量评价: 以南堡凹陷5号构造东二段泥岩盖层为例. 吉林大学学报(地球科学版), 2018, 48(3): 705)
- [10] Lü Y F, Xu C L, Fu G, et al. Oil-controlling models of caprock-fault combination and prediction of favorable horizons for hydrocarbon accumulation in middle-shallow sequences of Nanpu sag. *Oil Gas Geol*, 2014, 35(1): 86
(吕延防, 许辰璐, 付广, 等. 南堡凹陷中浅层盖-断组合控油模式及有利含油层位预测. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 86)
- [11] Lü Y F, Huang J S, Fu G, et al. Quantitative study on fault sealing ability in sandstone and mudstone thin interbed. *Acta Petrolei Sin*, 2009, 30(6): 824
(吕延防, 黄劲松, 付广, 等. 砂泥岩薄互层段中断层封闭性的定量研究. 石油学报, 2009, 30(6): 824)
- [12] Fristad T, Groth A, Yielding G, et al. Quantitative fault seal prediction: A case study from Oseberg Syd. *Nor Petroleum Soc Special Publ*, 1997, 7: 107
- [13] Fulljames J R, Zijerveld L J J, Franssen R C M W. Fault seal processes: Systematic analysis of fault seals over geological and production time scales. *Nor Petroleum Soc Special Publ*, 1997, 7: 51
- [14] Zhu W Y, Chen Z, Song Z Y, et al. Research progress in theories and technologies of shale gas development in China. *Chin J Eng*, 2021, 43(10): 1397
(朱维耀, 陈震, 宋智勇, 等. 中国页岩气开发理论与技术研究进展. 工程科学学报, 2021, 43(10): 1397)
- [15] Shi J J, Fu G, Lü Y F, et al. Comprehensive evaluation of regional seal in the middle of the first member of Shahejie Fm in the Qikou Sag. *Oil Gas Geol*, 2011, 32(5): 671
(史集建, 付广, 吕延防, 等. 歧口凹陷沙河街组一段中部区域盖层封气能力综合评价. 石油与天然气地质, 2011, 32(5): 671)
- [16] Wang W, Fu G, Hu X L. A method study of destruction degree of faults to caprock comprehensive sealing gas ability and its application. *J Jilin Univ (Earth Sci Ed)*, 2017, 47(3): 685
(王伟, 付广, 胡欣蕾. 断裂对盖层封气综合能力破坏程度的研究方法及其应用. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(3):

- 685)
- [17] Jiang G P, Fu G, Sun T W. Seismic data is used to determine the transportation oil-gas ability of oil source faults and the difference of oil-gas accumulation. *Prog Geophys*, 2017, 32(1): 160
(姜贵璞, 付广, 孙同文. 利用地震资料确定油源断裂输导油气能力及油气富集的差异性. *地球物理学进展*, 2017, 32(1): 160)
- [18] Fu G, Zhang B W, Wu W. Mechanism and detection of regional mudstone caprock sealing oil and gas migration along transporting fault. *J China Univ Petroleum (Ed Nat Sci)*, 2016, 40(3): 36
(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. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2016, 40(3): 36)
- [19] Færseth R B. Shale smear along large faults: Continuity of smear and the fault seal capacity. *J Geol Soc*, 2006, 163(5): 741
- [20] Zhao M F, Liu Z R, Xin Q L, et al. Fault activity features and its control over oil of Linnan area in Huimin depression. *Petroleum Explor Dev*, 2000, 27(6): 9
(赵密福, 刘泽容, 信荃麟, 等. 惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用. *石油勘探与开发*, 2000, 27(6): 9)
- [21] Li Q Y, Luo F Z, Miao C Z. Research on fault activity ratio and its application. *Fault Block Oil Gas Field*, 2000, 7(2): 15
(李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨. *断块油气田*, 2000, 7(2): 15)
- [22] Hu M, Fu G, Lü Y F, et al. The fault activity period and its relationship to deep gas accumulation in the Xujiaweizi depression, Songliao basin. *Geol Rev*, 2010, 56(5): 710
(胡明, 付广, 吕延防, 等. 松辽盆地徐家围子断陷断裂活动时期及其与深层气成藏关系分析. *地质论评*, 2010, 56(5): 710)
- [23] Liu Z, Lü Y F, Sun Y H, et al. Characteristics and significance of syngenetic fault segmentation in hydrocarbon accumulation: An example of Yuanyanggou fault in western sag, Liaohde depression. *J China Univ Min Technol*, 2012, 41(5): 793
(刘哲, 吕延防, 孙永河, 等. 同生断裂分段生长特征及其石油地质意义——以辽河西部凹陷鸳鸯沟断裂为例. *中国矿业大学学报*, 2012, 41(5): 793)
- [24] Tan K J, Wei P S, Lü X M, et al. Research on quantitative resumption method of stratum paleothickness and its application—aking ludong area in zhunge'er basin as an example. *Nat Gas Ind*, 2005, 25(10): 24
(谭开俊, 卫平生, 吕锡敏, 等. 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. *天然气工业*, 2005, 25(10): 24)
- [25] Fu G, Wang H R, Hu X L. Prediction method and application of caprock faulted-contact thickness lower limit for oil-gas sealing in fault zone. *J China Univ Petroleum (Ed Nat Sci)*, 2015, 39(3): 30
(付广, 王浩然, 胡欣蕾. 断裂带盖层油气封盖断接厚度下限的预测方法及其应用. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2015, 39(3): 30)
- [26] Fu G, Dong J M, Peng W T. Determination method and application for the conversion period of fault-caprock configuration leakage and sealing. *Acta Sedimentol Sin*, 2020, 38(4): 868
(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. *沉积学报*, 2020, 38(4): 868)
- [27] Shi J J, Li L L, Fu G, et al. Quantitative evaluation method and application of vertical sealing property of faults in caprock. *J Jilin Univ (Earth Sci Ed)*, 2012, 42(Suppl 2): 162
(史集建, 李丽丽, 付广, 等. 盖层内断层垂向封闭性定量评价方法及应用. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(增刊2): 162)
- [28] Fu G, Yang M, Lü Y F, et al. A quantitative evaluation method for ancient lateral sealing of fault. *Acta Petrolei Sin*, 2013, 34(Suppl 1): 78
(付广, 杨勉, 吕延防, 等. 断层古侧向封闭性定量评价方法及其应用. *石油学报*, 2013, 34(增刊1): 78)
- [29] Shao X J, Liu Z, Cui W F. Restoration of the paleoburial depth of strata in deposition basin. *Petroleum Explor Dev*, 1999, 26(3): 53
(邵新军, 刘震, 崔文富. 沉积盆地地层古埋深的恢复. *石油勘探与开发*, 1999, 26(3): 53)
- [30] Wu G P, Su J Y, Cheng S, et al. A method for obtaining shaliness using Wiener filtering based on logging data natural gamma ray. *Earth Sci*, 2008, 33(4): 572
(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. *地球科学*, 2008, 33(4): 572)
- [31] Fan B J, Dong Y X, Pang X Q. Establishment of effective source rock and hydrocarbon expulsion quantity: Taking Nanpu sag for example. *J Central South Univ (Sci Technol)*, 2012, 43(1): 229
(范柏江, 董月霞, 庞雄奇. 有效源岩的精确厘定及其排烃量: 以南堡凹陷为例. *中南大学学报(自然科学版)*, 2012, 43(1): 229)
- [32] Tang J C, Li H, Zhang H Y, et al. Sandbody identification in the first member of Sha-1 of Nanpu Structure 5. *Oil Geophys Prospect*, 2016, 51(Suppl 1): 64
(唐建超, 李赫, 张洪宇, 等. 南堡凹陷5号构造沙一段砂体精细识别. *石油地球物理勘探*, 2016, 51(增刊1): 64)
- [33] Liu Z, Fu G, Lü Y F, et al. Quantitative evaluation for control of faults on hydrocarbon accumulation in Nanpu sag. *J China Univ Petroleum (Ed Nat Sci)*, 2013, 37(1): 27
(刘哲, 付广, 吕延防, 等. 南堡凹陷断裂对油气成藏控制作用的定量评价. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2013, 37(1): 27)
- [34] Fu G, Liang M G, Zou Q, et al. Research method and its application to effectiveness of time matching of source-fault-caprock. *J China Univ Petroleum (Ed Nat Sci)*, 2020, 44(1): 25
(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. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2020, 44(1): 25)