

油源断裂输导油气时期厘定方法的改进及其应用

——以渤海湾盆地歧口凹陷南大港断裂为例

付广, 李佳静, 于桐

(东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要:油源断裂输导油气时期对于正确认识油源断裂在油气成藏中的贡献至关重要。以往其厘定要么是仅仅依据油源断裂活动时期, 要么是把油源断裂活动时期与烃源岩排烃时期相结合, 所得结果往往难以反映地下的实际情况。为此在油源断裂输导油气机理研究的基础上, 对以往的方法进行了改进, 提出了通过确定油源断裂活动时期与烃源岩内、外油气聚集时期的叠合时间来厘定油源断裂输导油气时期的方法, 并以渤海湾盆地歧口凹陷南大港断裂为例对改进前、后方法的应用效果进行了对比。结果表明: 利用改进后方法厘定出的南大港油源断裂输导油气时期为新近系明化镇组沉积时期, 明显短于利用改进前方法厘定出的新近系馆陶组-明化镇组沉积时期。与改进前方法相比, 改进后方法给出的油源断裂输导油气时期可更合理地解释南大港断裂附近古近系沙河街组一段目前已发现的油气分布, 因而更符合地下油源断裂输导油气机理。

关键词:下生上储式; 输导油气时期; 油源断裂; 南大港断裂; 歧口凹陷; 渤海湾盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Improvement of method for timing of hydrocarbon migration along source rock-rooted faults and its application: A case of the South Dagang fault in Qikou Sag, Bohai Bay Basin

Fu Guang, Li Jiajing, Yu Tong

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

Abstract: Timing of hydrocarbon migration along source rock-rooted faults is critical for understanding the contributions made by the faults to hydrocarbon accumulation. The previous timing has been based only on the activating periods of the related faults, or on both the related faults' activity period and hydrocarbon expulsion period, and the results obtained often cannot reflect the actual situation underground. In the study, we improve the method for timing of hydrocarbon migration along the source rock-rooted faults by defining the overlapping time of the faulting and hydrocarbon accumulation inside and outside the source rocks, coupled with study on hydrocarbon migration mechanism of source rock-rooted faults. Then a case study on South Dagang fault in Qikou Sag, Bohai Bay Basin, is carried out to comparatively analyze the effects of both the original and improved methods. The results show that the South Dagang fault is estimated as being active in hydrocarbon migration during the depositional period of the Neogene Minghuazhen Formation according to the improved method, which is much shorter than the deposition period of Guantao Formation to Minghuazhen Formation of the Neogene as confirmed to be hydrocarbon migration period of the fault by the original method. Compared to the original one, the hydrocarbon migration period of the South Dagang fault determined with the improved method is more reasonable in explaining the oil and gas distribution discovered in the first member of the Paleogene Shahejie Formation (Es¹) near the South Dagang fault. It proves that the improved method is better consistent with the hydrocarbon migration mechanism of the source rock-rooted faults underground.

收稿日期: 2022-04-01; 修订日期: 2022-09-05。

第一作者简介: 付广 (1962—), 男, 教授、博士生导师, 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, 42072157)。

Key words: lower source rock and upper reservoir combination, hydrocarbon migration period, source rock-rooted fault, South Dagang fault, Qikou Sag, Bohai Bay Basin

引用格式:付广,李佳静,于桐. 油源断裂输导油气时期厘定方法的改进及其应用——以渤海湾盆地歧口凹陷南大港断裂为例[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(6): 1481-1488. DOI: 10. 11743/ogg20220616.

Fu Guang, Li Jiajing, Yu Tong. Improvement of method for timing of hydrocarbon migration along source rock-rooted faults and its application: A case of the South Dagang fault in Qikou Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2022, 43(6): 1481-1488. DOI: 10. 11743/ogg20220616.

随着油气勘探的深入,人们发现在含油气盆地下生上储式生-储-盖组合中,同是油源断裂但其附近油气富集程度明显不同。这除了受到圈闭和砂体发育程度的影响外,还主要受到了油源断裂输导油气时期长短的影响。油源断裂输导油气时期越长,输导油气量越多,油气越富集;反之油气越少。由此不难看出,能否准确地厘定出油源断裂输导油气时期对于正确认识含油气盆地下生上储式油源断裂附近油气分布规律及指导油气勘探至关重要。

关于油源断裂输导油气时期前人曾做过一定研究与探讨,归纳起来主要有以下两个方面:①根据断裂不同时期生长指数,结合地层剖面伸展率确定油源断裂活动时期,进而厘定油源断裂输导油气时期^[1-7],将断裂生长指数大于1,且地层剖面伸展率相对较大时期作为油源断裂活动时期,即为油源断裂输导油气时期;②根据油源断裂活动时期和烃源岩排烃时期,厘定油源断裂输导油气时期^[8-16],认为只有烃源岩排烃时期之内的油源断裂活动时期,才是油源断裂输导油气时期。上述这些研究成果对正确认识含油气盆地下生上储式油源断裂附近油气分布规律及指导油气勘探起到了非常重要的作用。然而,这些研究认为油源断裂输导油气主要来自烃源岩直接生成排出的油气,而油源断裂活动时期相对较短,烃源岩生成排出的油气量有限,难以满足油源断裂短时期内大量输导油气形成油气藏的需要,故造成上述依据烃源岩排烃时期厘定出的油源断裂输导油气时期难以反映地下的实际情况,用其指导油气勘探可能带来一定风险。在前人研究的基础上,本文在考虑烃源岩内砂体和烃源岩外圈闭中先期已聚集油气对油源断裂输导油气时期影响的基础上,通过确定油源断裂活动时期与烃源岩内、外油气聚集时期的叠合时间,预测油源断裂输导油气时期,改进以往仅通过油源断裂活动时期或结合油源断裂活动时期和烃源岩排烃时期预测油源断裂输导油气时期的方法,以期更准确地认识油源断裂在油气成藏中的作用。

1 油源断裂输导油气机理及时期

油源断裂之所以能输导油气是因为其在活动时期伴生大量裂缝,这些伴生裂缝较围岩具有相对较高的孔渗性,是油源断裂输导油气运移的有利通道。同时由于油源断裂活动开启,地层孔隙流体压力降低,在断裂伴生裂缝与围岩地层之间产生地层孔隙流体压力差,驱使烃源岩内、外已聚集油气向油源断裂伴生裂缝中汇聚运移,进入到油源断裂伴生裂缝中的油气仍具有一定的剩余地层孔隙流体压力差,在这个压力差和浮力的作用下,油气沿油源断裂伴生裂缝向上覆地层输导运移(图1)。

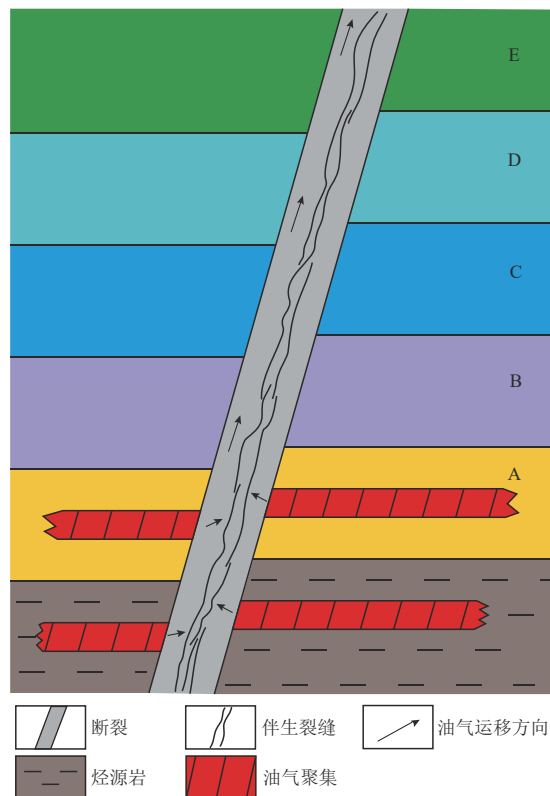


图1 油源断裂输导油气机理示意图

Fig. 1 Schematic sketch showing hydrocarbon migration mechanism in a source rock-rooted fault

(A,B,C,D,E为地层。)

由上可以得到,油源断裂输导油气时期应是油源断裂活动时期与烃源岩内、外油气聚集时期的叠合时间。

2 改进前、后油源断裂输导油气时期的厘定方法

2.1 改进前的油源断裂输导油气时期厘定方法

油源断裂输导油气时期主要受到油源断裂活动时期与烃源岩排烃时期的控制,应为二者的叠合时间^[10]。只要确定出油源断裂活动时期与烃源岩排烃时期,便可以厘定出油源断裂输导油气时期。

利用地震资料读取油源断裂两盘同一地层厚度,由上盘地层厚度除以下盘地层厚度求取断裂生长指数;再利用两盘地层厚度相减求取断层古落差值。断裂生长指数大于1^[17]且断层古落差值相对较大^[18]的地层所对应的地质时期即为油源断裂活动时期(图2中的3,4,6和7时期)。

根据烃源岩地化参数,利用生烃潜力法^[19]求取烃源岩在不同地质时期的排烃量,作出烃源岩排烃量演化曲线,便可以得到烃源岩排烃时期(图3中的 t_1 — t_2 时期),再将已确定出的油源断裂活动时期与烃源岩排烃

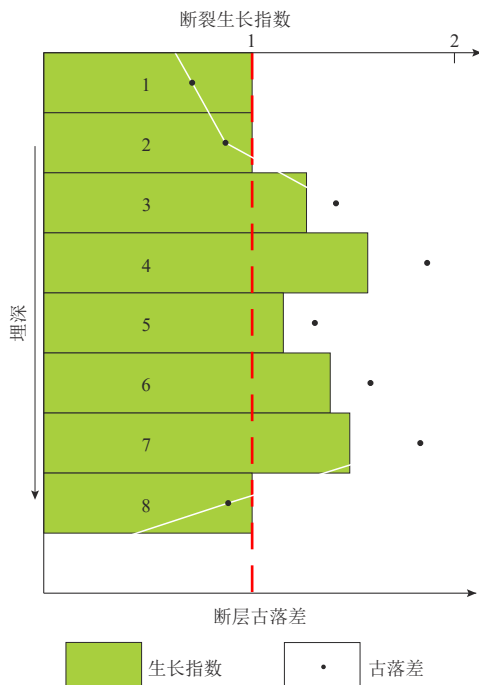


图2 利用生长指数和断层古落差厘定断裂活动时期示意图

Fig. 2 Schematic sketch showing the determination of faulting period by growth index and paleo-fault fall

(1—8. 地层序号;3,4,6和7地层相应的地质时期为断裂活动时期。)

时期叠合,二者重合时间即为油源断裂输导油气时期(图3)。

2.2 改进后的油源断裂输导油气时期厘定方法

改进前方法认为油源断裂输导油气主要来自烃源岩直接生成排出的油气,但由于油源断裂活动时期相对较短,烃源岩难以在此较短时期内为油源断裂输导提供成藏所需的充足油气,故油源断裂输导的油气通常情况下不会是来自烃源岩直接生成排出的油气,而是主要来自烃源岩内、外已聚集油气(只有烃源岩品质特别好,又处于大量生排烃时期,且断裂活动时期相对较长的情况下,断裂输导烃源岩生成的油气可能形成油气藏)。只有在烃源岩内、外存在已聚集油气的情况下,才能为油源断裂输导提供成藏所需的大量油气。由此不难看出,油源断裂输导油气时期应主要是油源断裂活动时期与烃源岩内、外油气聚集时期的叠合时间,油源断裂活动时期可以按上述方法确定。烃源岩油气聚集分为两部分,其中烃源岩生成的油气直接在其内砂体中聚集形成的是源内油气聚集,若烃源岩生成的油气排出源外,在适当的圈闭中聚集,则形成源外油气聚集。无论是源内还是源外油气聚集,一旦形成便可作为油源断裂输导提供油气来源,直至完全枯竭。故可以将烃源岩内、外油气聚集开始时间至其终止时间作为烃源岩内、外油气聚集时期。烃源岩内、外油气聚集开始时间可以利用烃源岩内、外油气聚集储层流体包裹体均一温度,结合储层埋藏史和热史恢复结果得到的油气充注开始时间来确定^[20]。若下伏油气聚集至今还存在,其终止时间应为现今;若下伏油气聚集未至现今已枯竭,那么可以通过对断裂带内沥青伴生石英流体包裹体进行⁴⁰Ar/³⁹Ar同位素测年实验^[21]确定

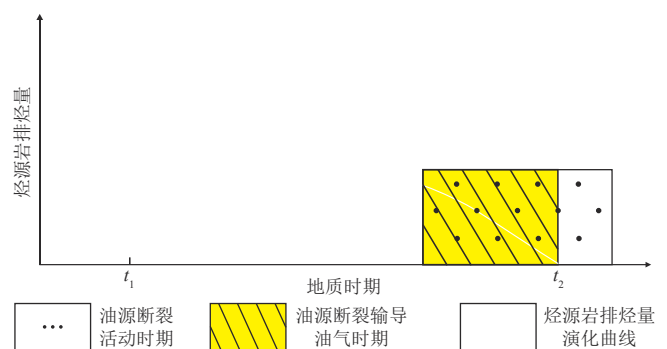


图3 改进前油源断裂输导油气时期厘定示意图

Fig. 3 Schematic sketch showing the determination of hydrocarbon migration period in a source rock-rooted fault with the original method

(t_1 为烃源岩开始排烃时间, t_2 为烃源岩终止排烃时间。)

油气藏终止时间,再依据油气充注开始时间及其终止时间,可得到烃源岩内、外油气聚集时期。将油源断裂活动时期与烃源岩内、外油气聚集时期叠合,便可以得到油源断裂输导油气时期(图4)。

3 实例应用

本文选取渤海湾盆地黄骅坳陷歧口凹陷南大港断裂为例,利用上述改进前、后方法厘定其输导油气至古近系沙河街组一段(沙一段)储层的时期,并基于厘定结果与目前南大港断裂附近沙一段已发现油气分布的关系,阐述改进后方法较改进前方法的合理性。

南大港断裂位于歧口凹陷歧南斜坡区,是一条北

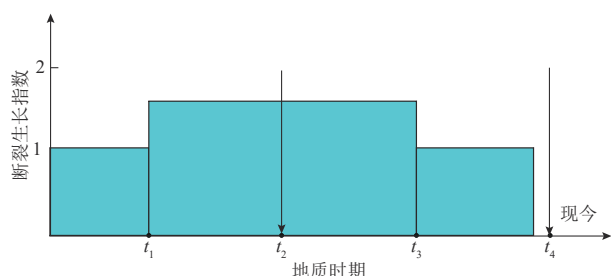
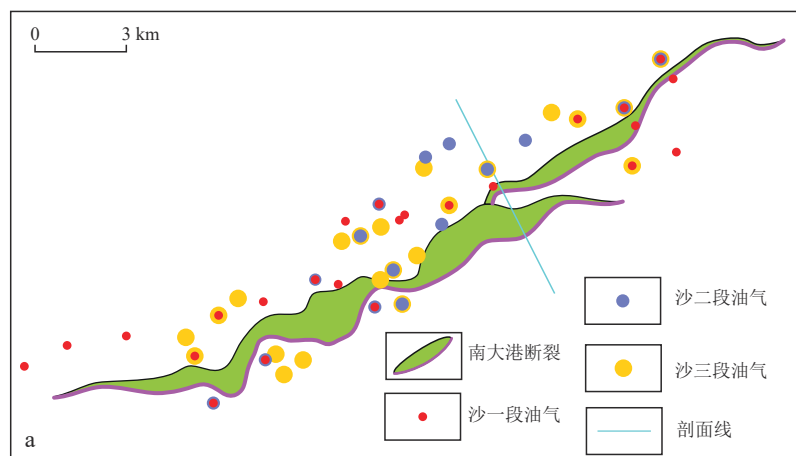


图4 改进后油源断裂输导油气时期厘定示意图

Fig. 4 Schematic sketch showing the determination of hydrocarbon migration period in a source rock-rooted fault with the improved method

(t_1 — t_3 为油源断裂活动时期; t_2 — t_4 为烃源岩内、外油气聚集时期;
 t_2 — t_3 为改进后油源断裂输导油气时期。)



东向的正断层,平面延伸长度约为34.3 km,断层面朝南东方向倾斜,倾角介于 $45^\circ \sim 50^\circ$ (图5)。南大港断裂附近油气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)及少量第四系。目前南大港断裂已发现油气主要分布在沙一段,其次是沙河街组三段(沙三段),少量分布在东营组。由于南大港断裂位于凹陷边部,沙一段烃源岩埋深相对较浅,至今尚未成熟,无法为沙一段油气成藏提供油气来源,故南大港断裂附近沙一段油气主要是通过南大港断裂输导的来自下伏沙三段烃源岩内、外已聚集油气,属于下生上储式生-储-盖组合。由图5b可以看出,南大港断裂从下伏基岩向上一直断至上覆明化镇组顶部,连接了沙三段烃源岩和上覆沙一段储层,且在油气成藏期——明化镇组沉积早期^[22]活动,应是沙一段储层的油源断裂。由图5a可以看出,南大港断裂附近沙一段目前已发现的油气最为富集,这除了受到其圈闭和砂体发育的影响外,还主要受到了南大港断裂输导油气至沙一段储层时期长短的影响。

利用地震资料读取南大港断裂两盘不同层位地层厚度,计算其不同层位的生长指数和断层古落差值,结果如图6所示。南大港断裂生长指数最大时期为沙一段,其次是沙三段,再次是东营组和馆陶组,明化镇组最小;南大港断裂两侧断层古落差值最大为沙一段,其次是沙三段,再次是馆陶组和明化镇组下部,沙河街组二段(沙二段)和东营组相对较小。据此,可以得到南大港断裂有3个活动时期,即沙三段沉

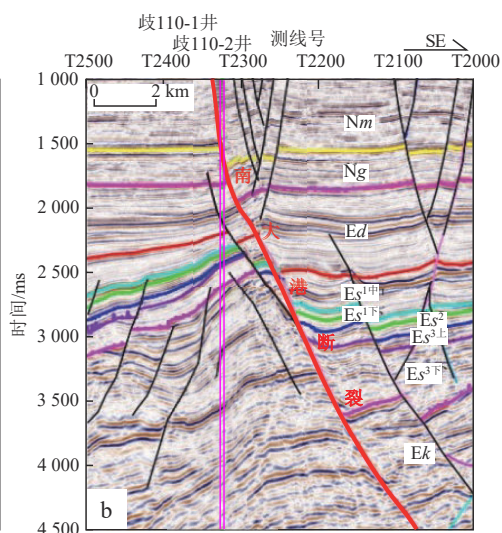


图5 渤海湾盆地歧口凹陷南大港断裂及其附近油气分布

Fig. 5 Hydrocarbon distribution around the South Dagang fault in the Qikou Sag of Bohai Bay Basin

a. 南大港断裂及其附近沙河街组油气平面分布;b. 过南大港断裂剖面

Nm. 新近系明化镇组;Ng. 新近系馆陶组;Ed. 古近系东营组;Es^{1上}. 古近系沙一中亚段;Es^{1下}. 古近系沙一下亚段;Es². 古近系沙二段;Es^{3上}. 古近系沙三上亚段;Es^{3下}. 古近系沙三下亚段;Ek. 古近系孔店组

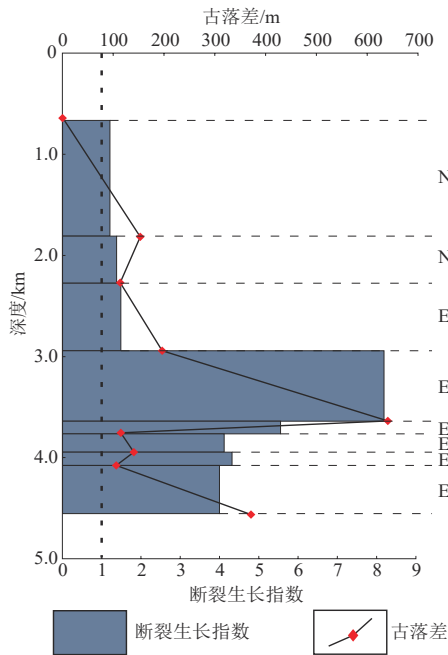


图6 渤海湾盆地歧口凹陷南大港断裂活动时期厘定

Fig. 6 Timing of the active periods of the South Dagang fault in the Qikou Sag of Bohai Bay Basin

积时期、沙一段沉积时期和馆陶组至明化镇组沉积时期。

根据烃源岩发育及地化特征,采用生烃潜力法^[19]计算歧口凹陷沙三段烃源岩排烃量,得到其随时间变化关系,如图7所示。歧口凹陷沙三段烃源岩在沙河街组沉积末期开始向外排烃,在馆陶组沉积末期达到排烃高峰期,之后沙三段烃源岩排烃量逐渐减小,但至今仍有一定排烃量。

将上述已确定出的南大港断裂活动时期与沙三段烃源岩排烃时期叠合,便可以得到方法改进前的南大港断裂输导油气至沙一段储层时期应为馆陶组—明化镇组沉积时期(图7)。

由于南大港断裂所在地区沙三段烃源岩内、外储

层(沙三段和沙二段)目前已发现了大量油气,可以为南大港断裂向沙一段输导提供油气来源。歧口凹陷歧南2井沙三段烃源岩内、外储层(沙三段和沙二段)流体包裹体均一温度主要有2个峰值,一个为100~105℃,另一个在120~140℃^[20](图8a)。结合歧口凹陷沙三段烃源岩内、外储层(沙三段和沙二段)埋藏史和热史恢复结果,可以得到其油气充注开始时间主要有两个,一个是东营组沉积晚期,另一个则为明化镇组沉积早期(图8b)。由于东营组沉积晚期沙三段烃源岩尚未大量排烃,因而不是其油气聚集开始时间,而明化镇组沉积早期烃源岩大量排烃,故而是其油气聚集开始时间。另因南大港断裂所在地区沙三段和沙二段储层目前仍有大量油气分布,表明其油气藏至今仍未被完全破坏,故可以得到沙三段和沙二段油气藏终止时间应为现今,即由此确定其油气聚集时期应为明化镇组沉积早期至现今。

将上述已确定出的南大港断裂活动时期与沙三段烃源岩内、外储层(沙三段和沙二段)油气聚集时期叠合,便可以得到方法改进后的南大港断裂输导油气至沙一段储层时期应为明化镇的组沉积时期(图9)。

对比图7和图9可以看出,改进前、后方法厘定出的南大港断裂输导油气至沙一段储层时期相差较大,改进后方法明显短于改进前方法。由图5a中可以看出,南大港断裂附近沙一段储层目前已发现了大量油气,可用改进后方法厘定出的南大港断裂输导油气至沙一段储层时期对其进行合理的解释,因为南大港断裂输导的油气来自下伏沙三段烃源岩内、外储层(沙三段和沙二段)已聚集油气,油气供给充足,可以在短时期内大规模聚集成藏。而用改进前方法厘定出的南大港断裂输导油气至沙一段储层时期是无法解释南大港断裂附近沙一段已发现的大量油气,因为改进前方法厘定出的南大港断裂输导油气至沙一段储层的时期虽

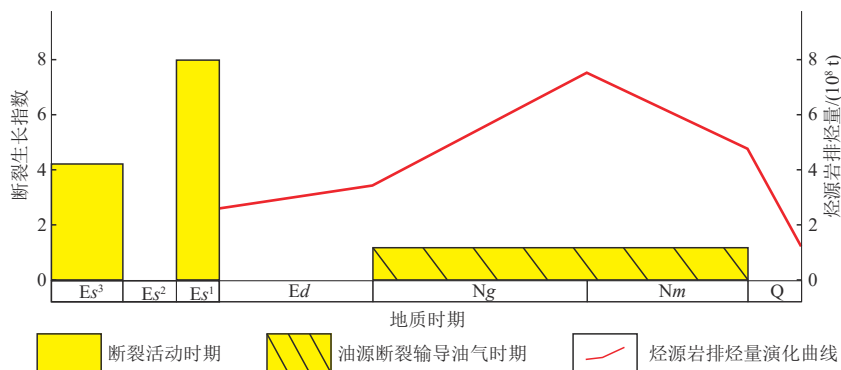


图7 改进前方法厘定出的南大港断裂输导油气至沙一段储层的时期

Fig. 7 Timing of hydrocarbon migration to the Es¹ reservoir along the South Dagang fault with the original method

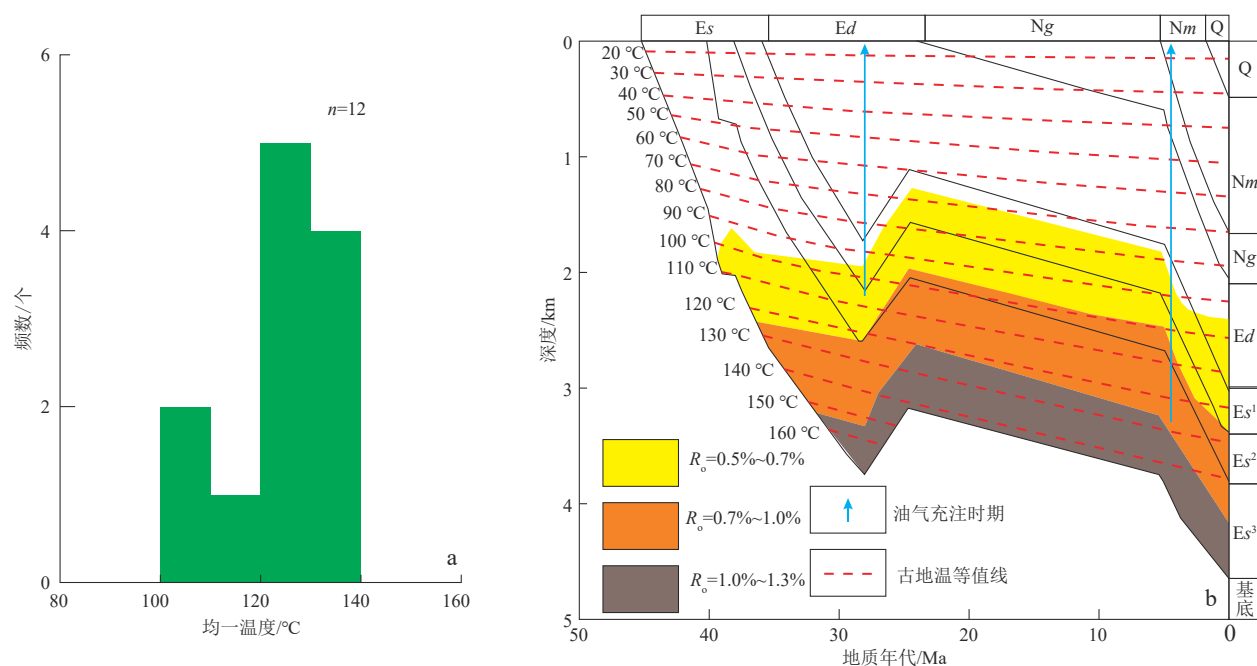


图8 歧口凹陷歧南2井沙三段烃源岩内、外储层(沙三段和沙二段)油气聚集时期

Fig. 8 Hydrocarbon accumulation periods of reservoirs inside and outside the source rocks of the Es^3 (Es^3 and Es^2 reservoirs) in Well Qi'nan 2 in the Qikou Sag

a. 流体包裹体均一温度分布; b. 埋藏史-热史恢复和油气充注时期

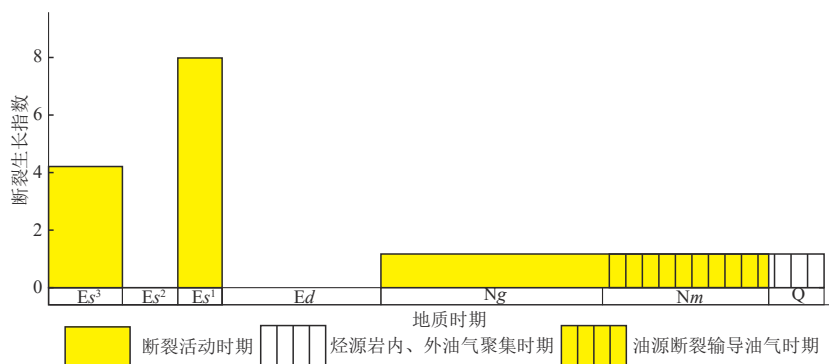


图9 改进后方法厘定出的南大港断裂输导油气至沙一段储层的时期

Fig. 9 Timing of hydrocarbon migration to the Es^1 reservoir along the South Dagang fault with the improved method

长,但油气主要来自沙三段烃源岩,此时期南大港断裂输导至沙一段的油气量仍有限,难以大量聚集成藏,与目前沙一段已发现大量油气(图5a)相矛盾,同时与目前利用储层流体包裹体均一温度确定出的南大港断裂附近沙一段油气成藏期^[23]也相矛盾,故可认为改进后方法厘定出的南大港断裂输导油气至沙一段储层的时期更符合实际。

4 结论

1) 油源断裂输导油气时期应主要是油源断裂活动时期与下伏烃源岩内、外油气聚集时期的叠合时间,

只有下伏烃源岩内、外油气聚集后,油源断裂才能大量输导油气至储层内聚集成藏;否则没有足够多的油气可供油源断裂输导进入储层聚集成藏。

2) 通过确定油源断裂活动时期与烃源岩内、外油气聚集时期的叠合时间,改进了以往仅通过油源断裂活动时期或结合油源断裂活动时期和烃源岩排烃时期预测油源断裂输导油气时期的方法。实例应用结果表明,改进后方法厘定出的渤海湾盆地歧口凹陷南大港断裂输导油气至沙一段储层的时期为明化镇组沉积时期,明显较改进前方法厘定出的南大港断裂输导油气至沙一段储层的时期(馆陶组—明化镇组沉积时期)要短,与改进前方法相比,改进后方法厘定出的南大港断

裂输导油气至沙一段储层时期与油气分布关系更吻合,更符合断裂输导油气机理。

3) 改进后的油源断裂输导油气时期厘定方法可应用于砂泥岩含油气盆地中下生上储式油源断裂输导时期的厘定。

参考文献

- [1] 赵密福,刘泽容,信基麟,等. 惠民凹陷临南地区断层活动特征及控油作用[J]. 石油勘探与开发,2000,27(6):9-11.
Zhao Mifu, Liu Zerong, Xin Quanlin, et al. Fault activity features and its control over oil of Linnan area in Huimin Depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(6): 9-11.
- [2] 张守仁,万天丰. 柴西北地区断裂活动及构造演化[J]. 石油勘探与开发,2004,31(2):46-49.
Zhang Shouren, Wan Tianfeng. Faulting and tectonic evolution in the Northwest Qaidam Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(2): 46-49.
- [3] 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[J]. 地质论评,2010,56(5):710-718.
Hu Ming, Fu Guang, Lyu Yanfang, et al. The fault activity period and its relationship to deep gas accumulation in the Xujiaweizi Depression, Songliao Basin[J]. Geological Review, 2010, 56(5): 710-718.
- [4] 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.
- [5] 吴智平,胡阳,钟志洪. 珠一坳陷番禺4注新生代断裂特征及其区域动力背景[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2015,39(4):1-9.
Wu Zhiping, Hu Yang, Zhong Zhihong. Seismic data is used to determine the transportation oil-gas ability of oil source faults and the difference of oil-gas accumulation [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2015, 39(4): 1-9.
- [6] 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[J]. 地球物理学进展,2017,32(1):160-166.
Jiang Guipu, Fu Guang, Sun Tongwen. Seismic data is used to determine the transportation oil-gas ability of oil source faults and the difference of oil-gas accumulation[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2017, 32(1): 160-166.
- [7] 张伟忠,查明,韩宏伟,等. 东营凹陷边界断层活动性与沉积演化耦合关系的量化表征[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2017,41(4):18-26.
Zhang Weizhong, Zha Ming, Han Hongwei, et al. Quantitative research of coupling relationship between boundary fault activity and sedimentary evolution in Dongying Depression [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2017, 41(4): 18-26.
- [8] 李明刚,漆家福,童亨茂,等. 辽河西部凹陷新生代断裂构造特征与油气成藏[J]. 石油勘探与开发,2010,37(3):281-288.
Li Minggang, Qi Jiafu, Tong Hengmao, et al. Cenozoic fault structure and hydrocarbon accumulation in Western Sag, Liaohe Depression [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(3): 281-288.
- [9] 孙同文,付广,吕延防,等. 南堡1号构造中浅层油气富集主控因素分析[J]. 天然气地球科学,2014,25(7):1042-1051.
Sun Tongwen, Fu Guang, Lyu Yanfang, et al. Main controlling factors on the hydrocarbon accumulation in the middle-shallow layer of 1st Structure, Nanpu Sag [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25(7): 1042-1051.
- [10] 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.
- [11] 王浩然,付广,孙同文. 油源断裂古转换带恢复及其输导油气的有利条件——以南堡凹陷2号构造F10断裂为例[J]. 天然气地球科学,2016,27(10):1848-1854.
Wang Haoran, Fu Guang, Sun Tongwen. Recovery of oil-source fault ancient transfer zone and its favorable conditions to oil-gas transportation: Taking fault F10 in No. 2 Structure of Nanpu Sag as an example [J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(10): 1848-1854.
- [12] 王军,吴奎,樊建华,等. 辽中凹陷走滑断裂带原油来源、运移及分布层系[J]. 新疆石油地质,2017,38(6):707-714.
Wang Jun, Wu Kui, Fan Jianhua, et al. Origin, migration and distribution of oil in strike-slip fault zone of Liaozhong Sag [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2017, 38(6): 707-714.
- [13] 付广,彭万涛,徐衍彬,等. 断砂配置输导油气时间有效性研究方法及其应用[J]. 新疆石油地质,2019,40(2):156-160.
Fu Guang, Peng Wantao, Xu Yanbin, et al. A method to study time effectiveness of fault-sand configuration transporting hydrocarbon and its application [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019, 40(2): 156-160.
- [14] 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.
- [15] 薛永安,王奇,牛成民,等. 渤海海域渤中凹陷渤中19-6深层潜山凝析气藏的充注成藏过程[J]. 石油与天然气地质,2020,41(5):891-902.
Xue Yong'an, Wang Qi, Niu Chengmin, et al. Hydrocarbon charging and accumulation of BZ 19-6 gas condensate field in deep

- buried hills of Bozhong Depression, Bohai Sea [J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(5): 891-902.
- [16] 杨海风,徐长贵,牛成民,等. 渤海湾盆地黄河口凹陷新近系油气富集模式与成藏主控因素定量评价[J]. *石油与天然气地质*, 2020,41(2):259-269.
- Yang Haifeng, Xu Changgui, Niu Chengmin, et al. Quantitative evaluation of hydrocarbon accumulation pattern and the controlling factors in the Neogene of Huanghekou Sag, Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2020, 41(2): 259-269.
- [17] Thorsen C E. Age of growth faulting in southeast Louisiana [J]. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, 1963, 13: 103-110.
- [18] 赵勇,戴俊生. 应用落差分析研究生长断层[J]. *石油勘探与开发*, 2003,30(3):13-15.
- Zhao Yong, Dai Junsheng. Identification of growth fault by fault fall analysis [J]. *Petroleum Exploration and Development*. 2003, 30(3): 13-15.
- [19] 郭继刚,庞雄奇,刘丹丹,等. 库车坳陷中、下侏罗统煤系烃源岩排烃特征及资源潜力评价[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(2):327-334.
- Guo Jigang, Pang Xiongqi, Liu Dandan, et al. Hydrocarbon expulsion for middle-lower Jurassic coal measures and evaluation of potential resource in Kuqa Depression [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(2): 327-334.
- [20] 张杰,邱楠生,王昕,等. 黄骅坳陷歧口凹陷热史和油气成藏史[J]. *石油与天然气地质*, 2005,26(4):505-511.
- Zhang Jie, Qiu Nansheng, Wang Xin, et al. Thermal evolution and reservoiring history in Qikou Sag, Huanghua Depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(4): 505-511.
- [21] 刘昭茜,梅廉夫,邱华宁,等. 中扬子地块南缘半坑古油藏成藏期及破坏期的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学约束[J]. *科学通报*, 2011,56(33):2782-2790.
- Liu Zhaoqian, Mei Lianfu, Qiu Huaning, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology constraints on hydrocarbon accumulation and destruction periods in the Bankeng Paleoreservoir in the southern margin of the middle Yangtze Block [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2011, 56(33): 2782-2790.
- [22] 陈思谦,刘池阳,张东东,等. 歧口凹陷南大港断裂活动性分析及其油气意义[J]. *石油地质与工程*, 2012,26(4):1-5.
- Chen Siqian, Liu Chiyang, Zhang Dongdong, et al. The activity and its hydrocarbon significance of Nandagang Fault in Qikou Depression [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2012, 26(4): 1-5.
- [23] 蒋有录,苏圣民,刘华,等. 渤海湾盆地油气成藏期差异性及其主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2021,42(6):1255-1264.
- Jiang Youlu, Su Shengmin, Liu Hua, et al. Differences in hydrocarbon accumulation stages and main controlling factors in the Bohai Bay Basin [J]. *Oil & Gas Geology*, 2021, 42(6): 1255-1264.

(编辑 梁 慧)

(上接第1412页)

- reservoir assessment technology to the exploration of sandstone-type uranium deposits [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2005, 25(3): 131-135.
- [40] 王宝萍,李艳承,董小刚. 鄂尔多斯盆地伊陕斜坡西部山西组古沉积环境及烃源岩评价[J]. *非常规油气*, 2017,4(1): 14-22.
- Wang Baoping, Li Yancheng, Dong Xiaogang. Sedimentary paleoenvironment analysis and evaluation of source rock of Shanxi Formation in the West of Yishaan slope, Ordos Basin [J]. *Unconventional Oil & Gas*, 2017, 4(1): 14-22.
- [41] 赵晨帆,于兴河,付超,等. 曲流河三角洲—辫状河三角洲控制因素及演化过程探讨[J]. *沉积学报*, 2019,37(4): 768-784.
- Zhao Chenfan, Yu Xinghe, Fu Chao, et al. Control factors and evolution progress of depositional system transition from meandering river delta to braided river delta: Case study of Shan2 member to He8 member, Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2019, 37(4): 768-784.
- [42] Sadler P M, Osleger D A, Montanez I P, et al. On the labeling, length, and objective basis of Fischer plots. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1993, 63(3): 360-368.
- [43] 胡受权,陈国能. Fischer图解及其沉积响应的计算机模拟——以泌阳凹陷下第三系核三上段为例[J]. *石油与天然气地质*, 1999,20(1): 70-75.
- Hu Shouquan, Chen Guoneng. Fischer diagram and its computer simulation of sedimentary response: a case study on the Upper Member of Eh3 in Biyang fault-depression [J]. *Oil & Gas Geology*, 1999, 20(1): 70-75.
- [44] 夏辉,林畅松,刘永福,等. 塔里木盆地英买力地区白垩系舒善河组相对湖平面变化[J]. *天然气地球科学*, 2019,30(11): 1579-1589.
- Xia Hui, Lin Changsong, Liu Yongfu, et al. A research on relative lacustrine level changes of Cretaceous Shushanhe Formation in the Yingmaili area of Tarim Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2019, 30(11): 1579-1589.
- [45] 伊海生. 测井曲线旋回分析在碳酸盐岩层序地层研究中的应用[J]. *古地理学报*, 2011,13(4): 456-466.
- Yi Haisheng. Application of well log cycle analysis in studies of sequence stratigraphy of carbonate rocks [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2011, 13(4): 456-466.

(编辑 董 立)