

吴哲,王文勇,张忠涛,等. 张扭性断裂带的生长过程与油气穿断运移评价——以珠江口盆地恩平凹陷为例[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(1): 50-58.

张扭性断裂带的生长过程与油气穿断运移评价

——以珠江口盆地恩平凹陷为例

吴哲¹, 王文勇¹, 张忠涛¹, 许新明¹, 黄焱², 吴婷婷¹, 王超³

(1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司研究院, 深圳 518054;

2 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092; 3 斯伦贝谢 SIS 部门, 天津 300452)

摘要:张扭性断裂带是珠江口盆地普遍发育的断裂类型,是沟通深部烃源岩与中浅部储层的关键,是油气运移、聚集分析的核心环节。以恩平凹陷 E18 雁列式断裂带为例,基于三维地震、测井和钻井地质数据,采用 $T-x$ 图、 $T-z$ 图及活动速率图方法,恢复 E18 断裂带的生长过程及分段特征,并依据岩性对接、泥岩涂抹、断层岩发育特征,评价油气穿断侧向运移的条件。结果表明,E18 断裂带在裂陷期是单一断裂,裂后期表现为雁列形态,活动过程包含 4 个阶段,活动中心由西部转移至中部,大规模生排烃时期最大活动速率可达 20 m/Ma,形成 2 个良好的垂向疏导中心,分段特征明显;油气容易穿透 E18 断裂带珠海组和韩江组下段 2 套地层发生侧向运移,并且连接部位是最有利于油气穿断运移的部位。E18 断裂带生长过程和油气穿断侧向运移的评价有助于认识 E18a 油田和 E18f 油田的成藏过程。

关键词:恩平凹陷;张扭性断裂带;生长过程;分段疏导;断层封堵;油气穿断运移;油气成藏

中图分类号:P618.13;P744

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.078

0 引言

恩平凹陷是珠江口盆地已钻探证实的富生烃凹陷,其油气成藏特征明显受断裂活动控制^[1-3]。张扭性断裂带是恩平凹陷新近系普遍发育的一种断裂类型,体现了走滑与伸展的共同作用,在平面上表现为雁列式或帚状断裂组合。这些张扭性断裂(系)是油气从深部古近系烃源岩向中浅层储层和圈闭运移的重要通道,同时还构成浅层油气成藏的封堵条件。前人对中国东部张扭性断裂与油

气成藏的关系开展过大量研究^[4-7]。近年来,有关断裂生长-连接过程和断裂带内部结构特征表征的研究逐渐增多^[8-12],已认识到断裂不同部位、不同时期活动强度具有差异性,断裂存在沿走向和垂向的生长-连接过程,断裂不同连接类型对油气成藏具有差异控制作用,断裂性质、断距、活动时间、埋深、围岩岩性等因素都会影响断裂带内部结构的各向异性和非均质性。随着油气勘探逐渐走向精细化,断裂精细刻画是精细勘探背景下的必要需求^[13],断裂生长-过程精细刻画及油气穿断运移的评价分析变得越来越重要。

本文以珠江口盆地恩平凹陷 E18 断裂系为例,基于三维地震、测井及钻井地质等数据,通过恢复 E18 断裂带的生长过程及分段性,并综合岩性对接、泥岩涂抹、断裂带内部结构以及油气柱高度等特征,分析雁列式断裂带的油气穿断运移条件,深入探讨 E18 断裂带在油气成藏过程中的作用。

收稿日期:2019-04-08

资助项目:国家重大科技专项“珠江口盆地陆缘深水区油气地质及勘探关键技术”(2016ZX05026-003)

作者简介:吴哲(1986—),男,博士,工程师,主要从事海洋石油地质、含油气盆地研究.E-mail:wuzhemelody@126.com

1 地质背景

恩平凹陷位于珠一坳陷西部,其北部及西北部与海南隆起相邻,东北部为恩西低凸起,南部及东南部为番禺低隆起,西部和西南部分别与珠三坳陷及神狐暗沙隆起相接(图 1)。恩平凹陷总体呈 NE 走向,面积约 5 000 km²。内部包含恩平 17 洼、恩平 18 洼和恩平 12 洼 3 个箕状半地堑^[2,14]。以 10 个地震反射界面 T_g(65 Ma)、T₈₀(38 Ma)、T₇₀(32 Ma)、T₆₀(23 Ma)、T₅₀(19.1 Ma)、T₄₀(16 Ma)、T₃₅(13.8 Ma)、T₃₂(10 Ma)、T₃₀(5.3 Ma)和 T₂₀(2.6 Ma)为界,从下往上依次划分出 11 套地层:基底、文昌组、恩平组、珠海组、珠江组下段、珠江组上段、韩江组下段、韩江组

上段、粤海组、万山组和第四系。恩平凹陷断裂发育由深至浅整体呈 NE—EW—NWW—NW 向顺时针旋转的特征,认为经历了区域应力场从 SE 向拉张(文昌组沉积期)至 SN 向拉张(恩平组沉积期),再至 NEE 向右旋走滑作用(23 Ma 以来)的转变^[15-17]。恩平凹陷新近系断裂主要为 NWW 向,表现出明显的张扭特征,它们在平面上往往成带分布,呈右行左阶雁列式排列,断裂带的走向多呈近 EW 向。剖面上,组成这些断裂带的断裂一般表现为高角度、同向倾斜,且断距不大。恩平凹陷已发现 A1、A2、A3、A6、E15、E18a、E18f 等多个油田,大多围绕其南部隆起带分布。本文详细解剖的 E18 张扭性断裂带位于南部隆起带,该断裂带控制了南部 E18a 和北部 E18f 两个油田的油气聚集过程。

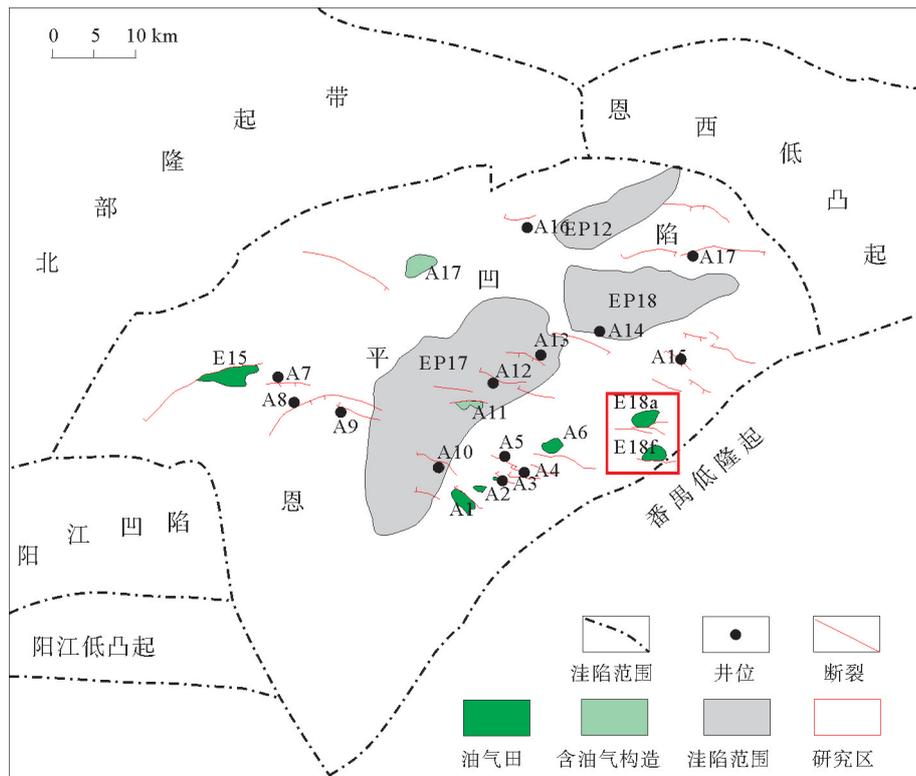


图 1 恩平凹陷区划简图和油气分布图(据文献[2-3]修改)

Fig.1 Tectonic and hydrocarbon distribution map of the Enping Sag (modified from references [2-3])

2 E18 断裂带生长过程的重建

首先根据地震资料描述 E18 断裂带的平面和剖面形态特征(图 2)。然后,沿该断裂带大致

等间距地挑选 17 条垂直于断裂带走向的剖面逐层进行断距测量,再通过时深转换得到各层位的断距数据,依次编制该断裂带的 $T-x$ 图(垂向断距与沿断裂走向方向上的横向距离之间的关系)、 $T-z$ 图(垂向断距与埋深之间的关系)及断裂活动

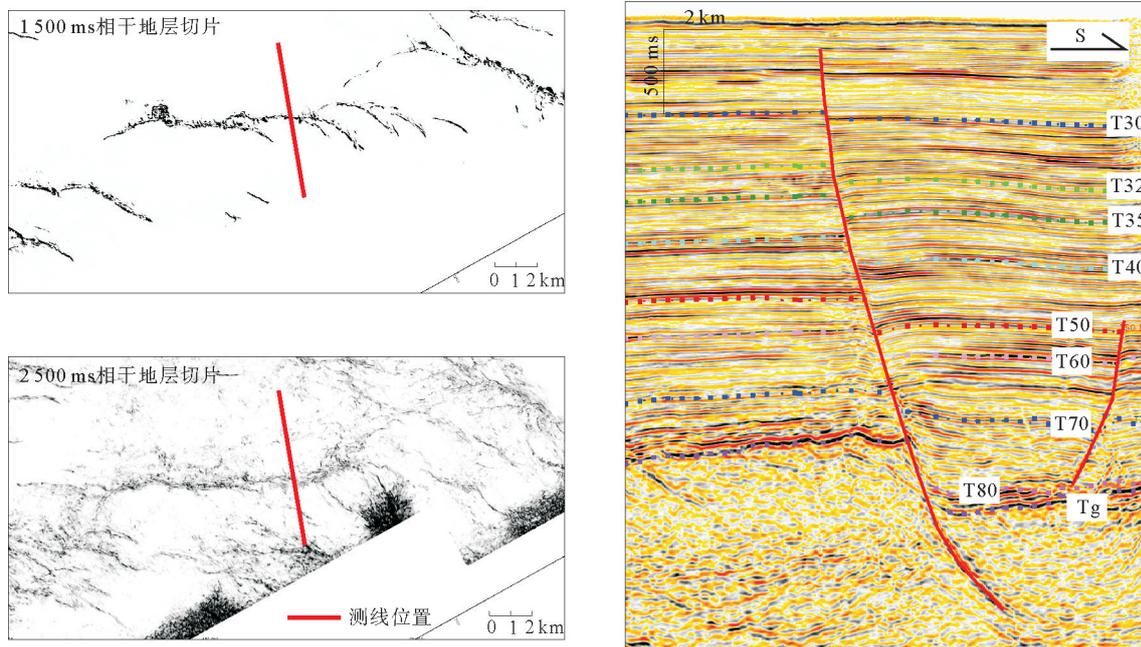


图2 E18断裂带浅层(1 500 ms)、深部(2 500 ms)相干地层切片及典型地震剖面(断裂位置见图1)

Fig.2 Shallow (1 500 ms) and deep (2 500 ms) coherent stratigraphic slices, and a typical seismic section cross the E18 fault system (location of the fracture shown in Fig.1)

速率图(某一地层单元上下盘的厚度差与对应的沉积时间的比值)(图3),成图过程是基于 Matlab 软件实现。最后,依据以上数据,结合每一时期的相干切片图特征,还原断裂带地质历史时期的生长-连接过程(图4)。

E18 断裂带在深部(2 500 ms)相干时间切片上表现为单一断裂的特征,呈 EW 走向,断面南倾,从 $T-x$ 图可发现最大断距约 1 200 m,位于断裂西部,向东部减小,没有明显的分段特征。E18 断裂带在浅部(1 500 ms)相干时间切片上主要由 3 条近 NW—EW 向次级断裂呈右行左阶雁列式排列,分别为西次断裂、中次断裂和东次断裂,断裂带整体呈 EW 向,倾角较陡,长度可达到 16 km。从西向东位于 3 条次级断裂中间部位的断距高值分别为 336、333 和 155 m,断距值向两侧端点逐渐减小。 $T-x$ 图反映出该断裂带在浅部存在明显的分段特征,相邻断裂之间部分重叠,表现为“硬连接”类型^[18]。

E18 断裂带在裂陷期(56~32 Ma)和裂后阶段(32 Ma 以来)的活动强度相当,其演化过程可以划分为 4 个阶段:①裂陷期(56~32 Ma),该断

裂带在文昌期 SE 向拉张向恩平期 SN 向拉张转换的过程中形成,呈 EW 向的单一断裂,其活动中心在断裂带西部,最大活动速率可达 32 m/Ma,向东断裂活动强度减小,中部部位的最大活动速率为 17 m/Ma,而东部位置只有 13 m/Ma;②裂后早期(32~19 Ma),E18 断裂带基本没有活动,处于构造宁静期;③裂后中期(19~10 Ma),恩平凹陷应力场方向发生明显转变,由 SN 向拉张转变为受 NEE 向右旋走滑作用的控制^[17],E18 断裂带重新活动,形成明显的右行左阶雁列式排列,断层活动中心逐渐由断裂带的西部转移至中部,该断裂带的活动性从 19 Ma 到 10 Ma 经历了一个由强变弱的过程,平均活动速率从 16.9 m/Ma 减弱至 6.6 m/Ma,活动中心最大活动速率能够达到 33.5 m/Ma;④裂后晚期(10 Ma 以来)的断裂活动性再次增强,对应珠江口盆地新构造运动时期,该断裂带活动中心集中在西次断裂和中次断裂的中间部位,最大活动速率分别能够达到 20.8 m/Ma 和 21.4 m/Ma,该时期的断裂活动正好与恩平凹陷大规模生排烃时期相匹配^[16],形成 2 个优质垂向疏导中心。

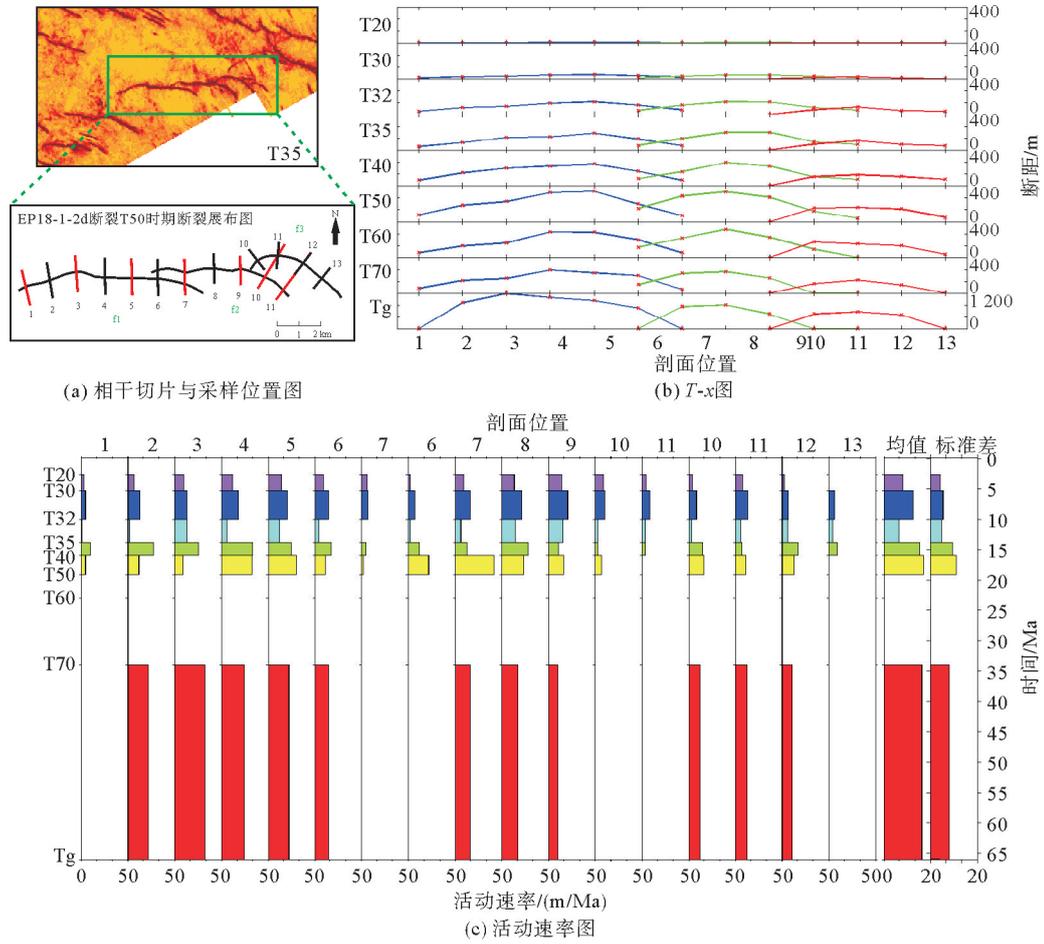


图 3 E18 断裂带活动性能精细刻画

Fig.3 Fine fault slip-rate of the E18 fault system

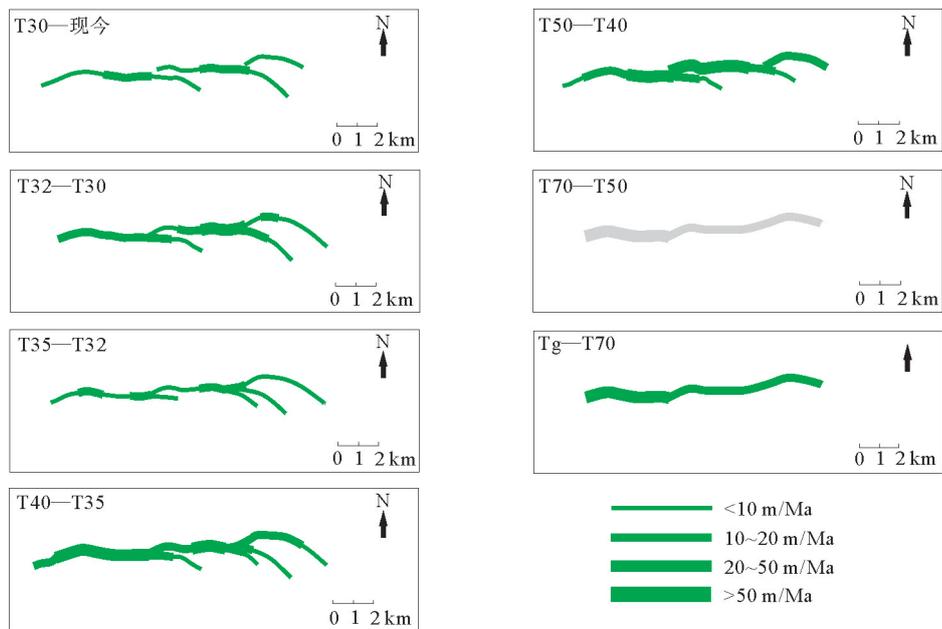


图 4 E18 断裂带生长-连接过程

Fig.4 Growth process of the E18 fault system

3 油气穿断裂面运移的评价

断裂面的可渗透性能 (fault transmissibility)^[19] 反映油气穿断裂面侧向运移的可能性,它与断层的断距、活动时间、油气柱高度、应力方向、渗透率各向异性等因素有关。付晓飞等^[20] 提出油气能否穿断裂运移,主要取决于断裂的侧向封闭能力,包括岩性对接、泥岩涂抹、断层岩发育特征等^[17]。本文主要利用岩性对接、泥岩涂抹、断层岩发育特征 3 种指标来评价油气穿断裂面的可能性,并讨论油柱高度、断裂性质和活动时间等因素对油气穿断运移的影响。制作 Allan 图反映岩性对接情况,是将断裂两盘砂、泥岩的几何形态投影到断面上,直观展现上下盘砂岩层、泥岩层沿断面的空间接触关系^[21-22]。当断面两侧砂岩层与砂岩层对接时,断裂需要依靠泥岩涂抹进行封堵。断裂发生位移错动时,泥岩涂抹在上、下盘滑动位置形成较薄的泥质层,具有一定断裂封堵能力^[19],通常采

用黏土涂抹潜力 CSP(垂直断距与泥岩厚度比值)、泥岩涂抹因子 SSF(泥岩厚度平方与涂抹距离比值的累积)以及断裂泥比率 SGR(累积泥岩厚度与垂直断距比值)3 种参数表征泥岩涂抹性能。Yielding 等^[23] 认识到 SGR 值与排替压力差、烃柱高度密切相关,并已得到地质露头的佐证。

利用英国 Badleys 公司开发的 TrapTester6.1 软件制作岩性对接和泥岩涂抹图。首先,将地震解释(断裂解释、层位解释)和井数据(井轨迹、测井曲线、层位拾取数据)输入至 TrapTester 解释数据库中。然后,编辑层位和断裂数据,从断裂原始数据和基于井的断裂拾取创建断裂三角网格面。最后,计算断裂面属性(断距、储层带、封堵图等),其中断裂封堵属性计算是在井上拾取标志层,使泥质含量曲线在三维体内等比例插值得到,如图 5a 所示 E18 断裂带 SGR 封堵性能计算结果。同时,还基于断层岩厚度与断距具有一定的线性相关性^[24],利用断裂面断距分布图反映断层岩的发育情况。

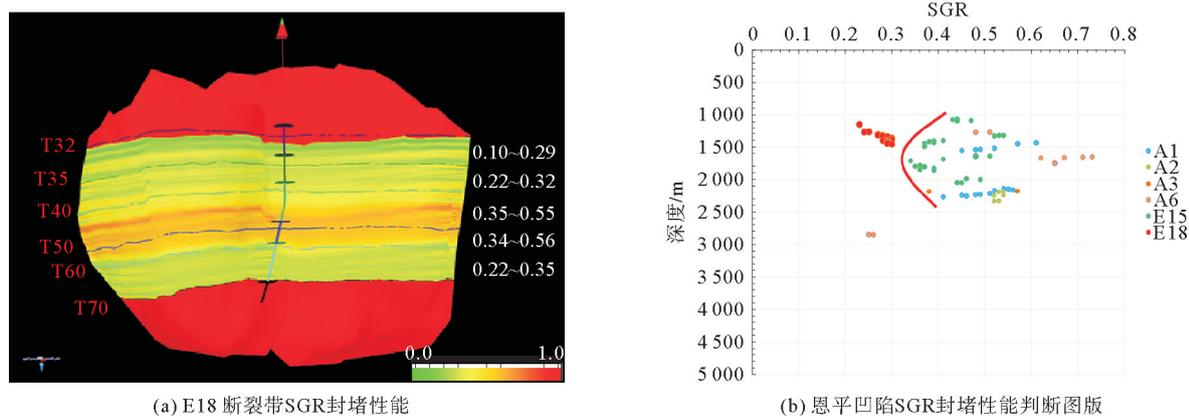


图 5 E18 断裂带 SGR 封堵性能计算(a)及判别图版(b)

Fig.5 Shale smearing characteristics (a) and discrimination chart (b) of the E18 fault system

判断断裂面泥岩涂抹封堵能力,需要有可参考的评价图版。通过统计恩平凹陷 6 口井(A1、A2、A3、A6、E15、E18a)47 个断层圈闭油层数据,建立恩平凹陷 SGR 封堵性能评价图版(图 5b),发现 SGR 临界值在 3 000 m 以上具有先变小、后逐渐变大的特点,转折位置为 1 700~1 800 m,临界值大致为 0.32,即当 SGR 数值 <0.32 时,断裂不容易封堵油气,油气可穿断裂面运移。Yield-

ing 等^[23] 的研究成果还指出,相同埋深情况下封堵同样烃柱高度,稠油所需的 SGR 值最小,轻质油次之,天然气对断裂侧向封堵性能的要求最高。也就是说,低 SGR 值可以封堵一定规模的稠油油藏,这种情况存在于恩平地区的勘探实践中,如图 5b 中红色圆点所代表的稠油层。

从 E18 断裂带封堵性能计算结果看,整体上该断裂带 SGR 值普遍低于恩平凹陷临界值 0.32

(图 5a),如图中的绿色部位,也反映了砂-砂对接的部位较多,断裂面封堵性能不佳。因此,E18 断裂带只具有封堵规模稠油的能力,但是容易导致轻质油穿透断裂面继续向南运移。通过精细分析 E18 断裂带垂向上和走向上的封堵性能差别,并对比 E18f 控圈断裂的封堵情况(图 6)后,发现具有明显的分段封堵特征:T70—T60 层段,E18 断裂带封堵性能差(SGR 值介于 0.22~0.35),图 5a 中绿色低值区分布范围较广,而 E18f 断裂封堵性能好(SGR 值介于 0.45~0.55);T60—T50 层段,两者封堵性能都较好(SGR 值介于 0.34~

0.56);T50—T40 层段,两者封堵性能都中等;T40—T35 层段,E18 断裂带整体封堵性能不佳(SGR 值介于 0.22~0.32),同样,EP18f 断裂也具有封堵性能不佳的特征(SGR 值介于 0.19~0.35)。由于断裂带垂向上封堵性能的差异,认为轻质油容易穿透 E18 断裂带 T70—T60 和 T40—T35 两套地层发生侧向运移。

断层岩和裂缝发育特征是断裂带内部结构特征分析的重要内容^[9],有必要从断裂带内部结构特征的角度分析沿断裂走向的封堵性能差别。一般情况下,断裂面断距分布与断层岩厚度具有一

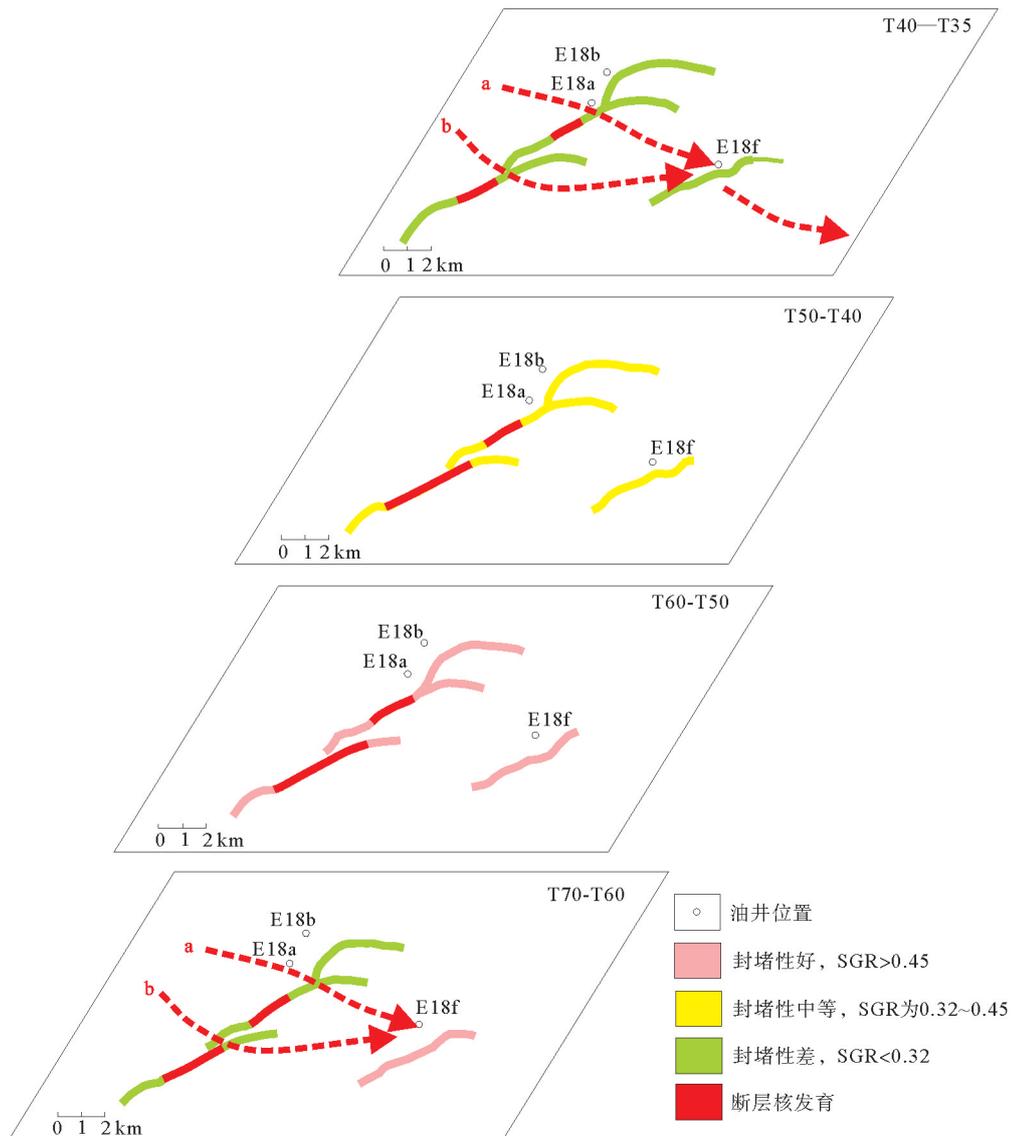


图 6 综合泥岩涂抹和断裂核发育特征的油气穿断裂面运移模式图(断裂位置见图 1)

Fig.6 Evaluation of hydrocarbon lateral migration across fault based on the characteristics of shale smearing and internal structure (location of the fault shown in Fig.1)

定的正相关性(1:100的相关性最高)^[24],所以断裂中间部位往往发育较厚的断层岩。以E18断裂带为例,T50—T60层的断距最大可达340 m,相对应的断层岩厚度约为3.4 m,不利于油气穿断裂面中部运移。而在断裂的边部,由于断距较小,断层岩往往较少发育,有利于油气穿断裂面运移。值得注意的是,断裂连接部位破碎程度高,裂缝多发育,存在转换砂体,有利于油气穿断裂面运移,并且“软连接”部位(两条断裂未完全连接,有一定的开放转换砂体空间)优于“硬连接”(两条断裂完全连接在一起)部位。结合E18断裂带断裂生长-连接过程(图4),油气可能穿透断裂面继续向前运移的路径有a和b两种方式(图5)。考虑油柱高度的影响后,认为油柱高度最大的路径a最适合油气穿透E18断裂带,并且在油气穿断裂面后,地层呈上倾形态,有利于油气向南继续运移。

4 油气勘探意义

恩平凹陷油气主要源自文昌组中深湖相烃源岩,其中恩平17注生烃量最多,超过 $60 \times 10^8 \text{ t}^{[1-2]}$ 。恩平凹陷生成的油气通过不整合面、砂体、构造脊和断裂体系组成的“复合疏导体系”聚集成藏^[1,16]。恩平凹陷南带新近系受古珠江三角洲物源和海平面变化共同影响,发育珠江组下段、珠江组上段及韩江组下段3套优质储盖组合,含砂率适中,已被多口钻井证实,如珠江组沉积期主要发育三角洲平原相,含砂率介于53%~73%;韩江组沉积期主要沉积三角洲前缘相,含砂率介于35%~60%。恩平17注南部翘倾构造带是油气运移的优势区带,已发现的A1、A2、A3、A6、E18a及E18f 6个油田都位于南部构造带,断裂活动是恩平凹陷南带油气成藏的主控因素。

E18a圈闭位于局部基底隆起背景上,控圈断裂E18断裂带是长期活动断裂,断裂活动形成断块升降,活动强烈的部位往往形成圈闭高位,并且持续的断裂活动能起到增容扩幅效果。流体包裹体测试数据表明恩平凹陷大规模油气充注发生在10 Ma以来,与该时期的断裂活动相匹配。从E18断裂带生长过程的重建结果看(图4),10~5 Ma的最大活动速率和平均活动速率分别为21.4和

12.5 m/Ma,具有2个优质油气垂向疏导中心,位于断裂带西支和中支的中部位置,垂向疏导油气聚集成藏,形成E18a油田。E18a油田韩江组下段为主要含油层,有油层53.4 m,油气充满度达到42.8%,地层原油密度为0.921 g/cc。

评价油气穿断运移的条件,除了考虑岩性对接、泥岩涂抹、断层岩发育特征,还需要考虑应力封堵的作用^[23]。珠江口盆地现今构造应力场最大水平主应力方向为NWW向(295°),E18断裂带是一条近EW向张扭性断裂带,最大主应力与E18断裂走向之间形成约25°的夹角,相比NWW向纯张性断裂更有利于油气侧向封堵。因此,认为E18断裂带不仅能够封堵规模稠油聚集成藏,而且轻质油容易穿透断裂面继续向南运移。这样的认识促使研究人员沿着E18a油气运移路径向南顺藤摸瓜,发现了E18f油田。E18f油田的主要含油层系是韩江组下段和韩江组上段,平均孔隙度25.4%,平均渗透率 $3\ 240.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,地面原油密度为0.862 g/cc,并在埋深948 m位置发现规模油层。从E18a到E18f油田的油层垂向分布特征看,油层具有由近至远,逐渐爬升,向浅层聚集的特点。E18f油田的勘探成功,证实了油气穿断裂运移的成藏模式,也说明了珠江口盆地新构造运动影响下超浅层油气规模富集的可能性,大幅拓宽了恩平凹陷乃至整个盆地勘探层系。

值得注意的是,油气能否穿透断裂面侧向运移反映的是断裂面封堵性能与油气柱高度之间的相互关系。珠江口盆地勘探实践表明,油气穿断裂面运移的情形不是经常出现,往往只是发生在油气充注强烈的情形下,即油气大量聚集形成一定的烃柱高度后,所产生的排替压力远远大于断裂面的封堵性能时,容易促使油气穿透断裂面发生侧向运移,并且SGR低值层段和断裂连接部位是油气最容易穿断裂面运移的层段和部位。如果将这样的经验认识应用于珠江口盆地的精细勘探实践中,可望促进更多断层圈闭的评价和油气发现。

5 结论

(1)E18断裂带的形成演化包含4个活动阶段,具有明显的分段活动特征,大规模生排烃时期

断裂最大活动速率可达 21.4 m/Ma,具有 2 个疏导中心,油气垂向疏导性能良好。

(2)珠海组和韩江组下段是油气穿透 E18 断裂带发生侧向运移的层段,并且油气烃柱高度最大的断裂连接处是最有利于油气横向穿断运移的部位。

(3)恩平凹陷发育多排近 EW 向张扭性断裂带,是油气运移、聚集分析的关键。针对张扭性断裂带开展生长过程精细刻画和油气穿断运移条件的评价,是走向精细勘探的必然要求。

参考文献:

- [1] 刘丽华,陈胜红,于水明,等.恩平凹陷成藏条件分析及商业性突破[J].中国海上油气,2011,23(2):76-80.
- [2] 许新明,刘贤来,陈胜红,等.张扭性断陷盆地构造样式与油气成藏的关系——以珠江口盆地恩平凹陷新生界为例[J].海洋地质前沿,2015,31(1):31-36,42.
- [3] 米立军.认识创新推动南海东部海域油气勘探不断取得突破——南海东部海域近年主要勘探进展回顾[J].中国海上油气,2018,30(1):1-10.
- [4] 邓运华.张一扭断裂与油气运移分析——以渤海油区为例[J].中国石油勘探,2004,9(2):33-37.
- [5] 万桂梅,汤良杰,周心怀,等.郯庐断裂带在渤海海域渤东地区的构造特征[J].石油学报,2009,30(3):342-346.
- [6] 于水明,施和生,梅廉夫,等.过渡动力学背景下的张扭性断陷——以珠江口盆地惠州凹陷古近纪断陷为例[J].石油实验地质,2009,31(5):485-489.
- [7] 彭光荣,刘从印,吴建耀,等.西江南半地堑晚期断裂系统基本特征及其控藏作用[J].科技导报,2013,31(2):30-36.
- [8] Morley C K, Gabdi S, Seusutthiya K. Fault superimposition and linkage resulting from stress changes during rifting: examples from 3D seismic data, Phitsanulok Basin, Thailand[J]. Journal of Structural Geology, 2007, 29(4): 646-663.
- [9] 陈伟,吴智平,侯峰,等.断裂带内部结构特征及其与油气运聚关系[J].石油学报,2010,31(5):774-780.
- [10] Tvedt A B M, Rotevatn A, Jackson C A L, et al. Growth of normal faults in multilayer sequences: a 3D seismic case study from the Egersund Basin, Norwegian North Sea[J]. Journal of Structural Geology, 2013, 55(5):1-20.
- [11] Fossen H, Rotevatn A. Fault linkage and relay structures in extensional settings—A review[J]. Earth-Science Reviews, 2016, 154:14-28.
- [12] 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.
- [13] 薛永安.精细勘探背景下渤海油田勘探新思路与新进展[J].中国海上油气,2017,29(2):1-8.
- [14] 许新明,刘丽华,陈胜红,等.珠江口盆地恩平凹陷新近系油气成藏主控因素分析[J].地质科技情报,2015,34(1):100-106.
- [15] 王家豪,刘丽华,陈胜红,等.珠江口盆地恩平凹陷琼琼运动二幕的构造—沉积响应及区域构造意义[J].石油学报,2011,32(4):588-595.
- [16] 许新明,陈胜红,王福国,等.珠江口盆地恩平凹陷断层特征及其对新近系油气成藏的影响[J].现代地质,2014,28(3):543-550.
- [17] 胡阳,吴智平,钟志洪,等.珠一坳陷新生代断裂体系特征及其转型机制[J].地质科学,2016,51(2):494-509.
- [18] Kim Y S, Sanderson D J. The relationship between displacement and length of faults: a review[J]. Earth-Science Reviews, 2005, 68(3/4):317-334.
- [19] Walker C, Anderson G. Simple and efficient representation of faults and fault transmissibility in a reservoir simulator—Case study from the Mad Dog Field, Gulf of Mexico [C] // Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, 2016, 66:1073.
- [20] 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.
- [21] Allan U S. Model for hydrocarbon migration and entrapment: abstract[J]. AAPG Bulletin, 1986, 70(7):803-811.
- [22] 任森林,刘琳,徐雷.断层封闭性研究方法[J].岩性油气藏,2011,23(5):101-105,126.
- [23] Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(6):897-917.
- [24] Fisher Q J, Knipe R J. The permeability of faults within siliciclastic petroleum reservoirs of the North Sea and Norwegian Continental Shelf[J]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18(10):1063-1081.

GROWTH PROCESS OF TRANSTENSIONAL FAULTS AND ITS CONTRIBUTION TO HYDROCARBON LATERAL MIGRATION ACROSS THE FAULTS: A CASE FROM ENPING SAG OF PEARL RIVER MOUTH BASIN

WU Zhe¹, WANG Wenyong¹, ZHANG Zhongtao¹, XU Xinming¹,
HUANG Ke², WU Tingting¹, WANG Chao³

(1 Shenzhen Branch of China National Offshore Oil Corporation, Shenzhen 518054, China;

2 School of Ocean and Earth Science, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3 Schlumberger SIS, Tianjin 300452, China)

Abstract: Transtensional faults, widely developed in the Pearl River Mouth Basin as links between the deep source rocks and shallow reservoirs, are the key to the analysis of hydrocarbon migration and accumulation. Using 3D seismic and drilling data, the growth process and fault transmissibility for the E18 transtensional fault system in the Enping Sag of the Pearl River Mouth Basin are studied in this paper. With Throw-x profiles, Throw-depth profiles, and fault slip-rate diagrams, the growth process of the E18 fault system in each period is restored for sectional activities of the echelon fault system. Evaluation of hydrocarbon lateral migration across the echelon fault system is also studied according to the characteristics of lithological juxtaposition, shale smearing, internal structure (fault cores), and column height. The results show that the E18 fault system was a single fault in rifting period, with a activity center in the western section. However, during post-rifting dextral strike-slip stage, it became dextral left-step in echelon, having an activity center in the central part. Then, two great vertical migration centers of the E18 fault system are determined, with the maximum activity rate up to 20 m/Ma, corresponding a massive hydrocarbon expulsion period (10 Ma-Now). Finally, it is concluded that the linking sections of the E18 fault system in the Zhuhai Formation and lower Hanjiang Formation are the favorable locations for hydrocarbon lateral migration across the fault surface. Accurate analysis of the E18 fault system would help to understand the formation of E18a and E18f oil fields.

Key words: Enping Depression; transtensional fault; growth process; sectional activity; fault seal; hydrocarbon lateral migration across fault; hydrocarbon accumulation