

油气运移中断层精细刻画的优选方法 ——以南海北部珠江口盆地惠西南地区为例

李如山¹, 陈胜红¹, 胡兴豪², 李瑞彪¹, 邹雅铭¹, 李志晔¹

(1 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518054; 2 中国海洋石油国际有限公司, 北京 100027)

摘要: 油气运移是油气成藏的关键要素之一, 依据油气运移方式及动力和空间位置等可分为初次运移和二次运移 2 个阶段, 其中, 二次运移决定了油气主要运移方向以及源—汇—聚成藏的空间位置。二次运移包括: 油气通过储集层及不同类型载体的运移; 已形成油气聚集或油气藏在圈闭条件变化尤其是断层活动引起的再次运移。毋庸置疑, 断层作为油气运聚的主要载体其在油气运移和聚集中起到了非常重要的作用。然而前人对断层在油气运移输导作用的研究多集中在运聚机理的定性描述上, 对油气二次运移中断层运聚输导作用分析尚缺少宏观、立体及实际的手段。鉴于此, 在南海北部珠江口盆地惠西南转换带油气运移及断层对油气的封堵输导机制的研究中, 尝试在应用地球物理方法获取的高质量断层剖面分析基础上, 精细刻画断层走向以及微裂隙的分布特征, 深入剖析断层对油气封堵与输导作用的差异, 进而为油气运移路径分析等提供技术支持。采取的具体技术方法是: 首先, 对地震数据体做方差体属性分析, 并提取时间切片进而确定断层空间展布特征; 其次, 在方差属性体基础上实施蚂蚁体追踪技术, 进一步刻画断层微裂隙概貌, 深入分析不同断层及其不同部位对油气封堵与输导差异; 再次, 利用成像精度较高的三维可视化技术进一步分析断层空间上对油气封堵与输导的作用, 为剖析油气运移路径及方向提供新的思路与方法。总之, 这种地震与地质相结合的研究思路及方法, 大大提高了油气二次运移方向判识的精度及可靠性, 故对油气勘探目标的评价优选具有参考借鉴意义。

关键词: 油气运移; 二次运移; 方差体; 蚂蚁体; 三维可视化

中图分类号: TE311⁺.2

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2017.10007

1 研究区概况

南海北部珠江口盆地惠西南二级构造带具有满带含油的特征, 受区域盖层、断层和储层的联合控制, 油气主要分布在珠江组下段和珠海组内, 长期的转换带传递斜坡有利于油气运聚; 微裂隙发

育利于油气垂向运移; 断层内部滑动破碎带阻碍了油气的侧向运移; 盖层和储层控制了油气沿断面脊垂向运移过程中向转换带处发生侧向分流。油藏主要分布在与这些构造脊相关的圈闭上。在烃源岩排烃方向上及长期发育的大型转换带处, 油气更易运聚和大规模成藏。

惠西南已钻井表明, 在富泥的韩江—珠江组层段中, 断层圈闭可以依靠泥岩的对接(微裂隙较发育)而成藏; 在高含砂率的珠海组, 断层圈闭依然可以依靠泥岩涂抹(微裂隙欠发育)而成藏; 更为重要的是在文昌组钻遇了辫状三角洲砂体, 证实了惠西南转换带的存在, 而沿转换带入口是储

收稿日期: 2017-08-27

基金项目: “十二五”国家科技重大专项“南海东部海域大中型油气田形成条件与分布”(2011ZX05023-006-003)

作者简介: 李如山(1980—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地球物理采集、处理和解释工作。E-mail: 274504-0011@163.com

层发育的良好场所,揭示了断层输导和封堵机制与油气运移条件匹配良好,勘探地质风险低,是下一步勘探的潜力接替区。

2 油气输导体系及二次运移路径

油气输导体系指油气从烃源岩到圈闭的运移过程中所经历的所有路径网络及其相关围岩,包括连通砂体、断层、不整合及其组合。油气二次运

移通道多为连通的断层裂隙、不整合和砂体,故二次运移除了在断层裂隙带中运聚外,常常会在非均质的砂岩运载层中沿渗透率最大、毛细管阻力最小的砂体通道中运移。因此,油气运聚往往存在一个优势运移通道问题,而优势运移通道则决定了油气二次运聚主要方向。优势运移通道(图1)的构成在剖面上以垂向断层裂隙带为主,在平面上则以不整合面及砂体的侧向运移通道为主。

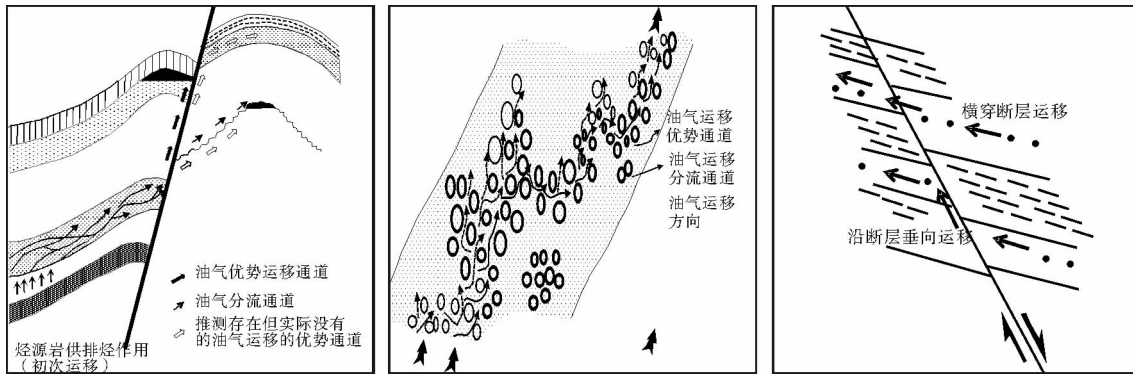


图1 油气运移优势通道地质概念模型及断裂带内部结构及优势通道(据文献[1-3])

Fig. 1 A conceptual geological model for dominant hydrocarbon migration pathway, internal structure of fault zone, and dominant pathways(from references [1-3])

二次运移即油气进入储层及载体之后的一切运移(图2)。包括在储集层内部、沿断层或不整合面、油气藏调整和破坏的再运移等。二次运移中,油气运移通道特点及构成、毛细管阻力大小、剩余流体压力分布等特点,决定了油气多以游离相为主,而油气浮力则为其主要运输动力。因此,对油气运聚成藏条件的研究,首先要搞清楚油气运聚输导的通道系统,以下重点分析探讨断层空间上的分布特点及其对油气运聚输导的控制作用。

3 断层走向与垂向分段模式

断层走向上的分段性^[4-6](图3)是指沿断层走向断裂带变形及内部结构发育的差异和特征。通常断层走向上中部断距较大,断裂带结构发育完整,由滑动破碎带^[7]和两盘诱导裂缝带^[8]组成(区域Ⅲ);往断层末端方向,由于所受应力逐渐减小,断距减小,结构发育不完整,缺失滑动破碎带或下盘诱导裂缝带(区域Ⅱ);至断层末端应力释放区仅发育一些微裂隙(区域Ⅰ)。

垂向分段性^[9-11](图3)反映了断层不同发育阶段断裂带内部结构的差异,即断裂发育初期断距小,地层仅形成塑性变形和一些错综复杂的微裂隙(相当于生长断层浅部,区域Ⅰ);断层继续发育,微裂隙逐渐增多并且在局部连通起来形成一个或多个大裂缝,即形成了滑动面,此时断层两盘地层主要沿着此滑动面错开(相当于生长断层中部,区域Ⅱ);断层进一步发育,断距增大,断裂

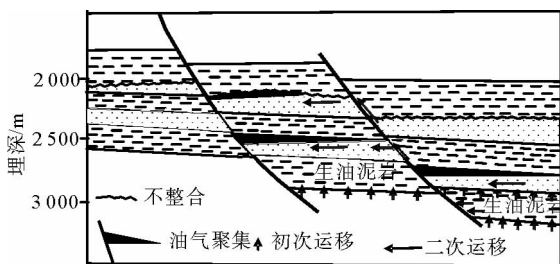
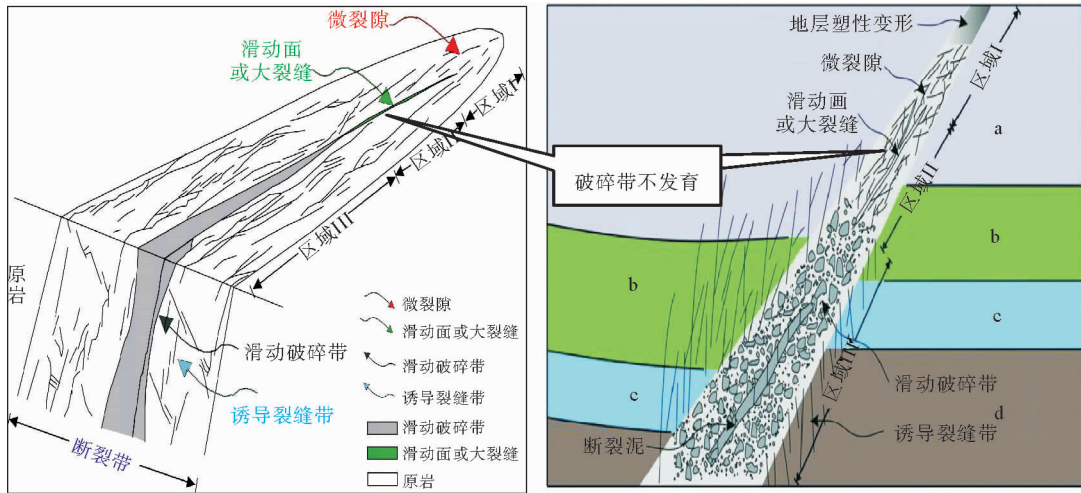


图2 油气的初次运移和二次运移路径(据文献[3])

Fig. 2 The pathways of hydrocarbon primary migration and secondary migration(from reference [3])



(a)断层发育晚期沉积的地层;(b)断层发育中期沉积的地层;(c)断层发育早期或之前沉积的地层;(d)断层发育前沉积的地层

图 3 生长断层走向分段性及垂向分段性断裂带内部结构模式

Fig. 3 Vertical segmentation of a growth fault and internal structure of a fault zone

带^[12]由发育大量棱角状断层角砾岩、细粒碎裂岩和断层泥的滑动破碎带及发育大量裂隙的诱导裂缝带组成(相当于生长断层中深部,区域III);断裂发育后期,断层滑动破碎带中条带状(或叶片状)泥岩广泛发育、断层长期静止及埋深过大使得大量裂隙闭合、成岩胶结作用增强,这些因素造成断裂带与围岩测井特征相似。

4 技术方法及思路

本文采取的主要技术方法及思路与工作流程具体如下:

(1)提取方差属性体,取得具有成像效果良好的能够细致刻画断层上下盘的方差体时间切片,分析断层上下盘的特征,实现对断阶带油气运移在断层倾向上的展布刻画。

(2)在方差体属性基础上进一步做蚂蚁体追踪,获取蚂蚁体属性时间切片,刻画断层高部位断层脊及两端微裂隙的发育情况,分析断层脊对油气汇聚及运移作用与微裂缝诱导缝的发育情况,刻画沿断层脊及断层微裂缝对油气输导与封堵机制的概貌,获取宏观与微观意义上的断层精细刻画,进行三维可视化,结合断层周围已知含油井的分布,推测判识断层对油气运移的封堵与输导作用,分析油气运移及断层输导与封堵的作用。具体技术流程如图 4 所示。

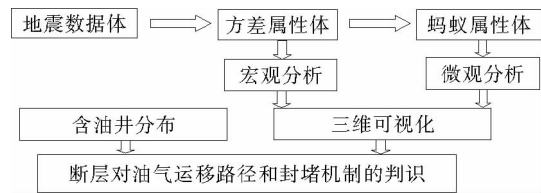


图 4 技术流程

Fig. 4 Technical flow chart

4.1 方差数据体技术方法

方差数据体技术的理论基础是误差分析理论,是利用相邻道地震信号之间的相似性来描述地层、岩性等的横向非均匀性,特别是在识别断层以及了解与储集层特征密切相关的砂体展布等方面非常有效。当地下存在断层或某个局部区域地层不连续变化时,一些地震道的反射特征就会与其附近地震道的反射特征出现差异,而导致地震道局部的不连续性。这样,通过检测各地震道之间的差异程度,即可检测出断层或不连续变化的信息^[13-15]。典型方差体时间切片如图 5。

实际时间切片效果分析表明(图 5a、b),随着深度的增加(红色圆圈标注的区域),断距拉大,下部断层不同发育阶段断裂带内部结构存在差异,即断裂发育初期断距小,地层仅形成塑性变形和一些错综复杂的微裂隙,是有利油气运移通道(深红色箭头标注);当断层继续发育,微裂隙逐渐增多并且在局部连通起来形成一个或多个大裂缝,

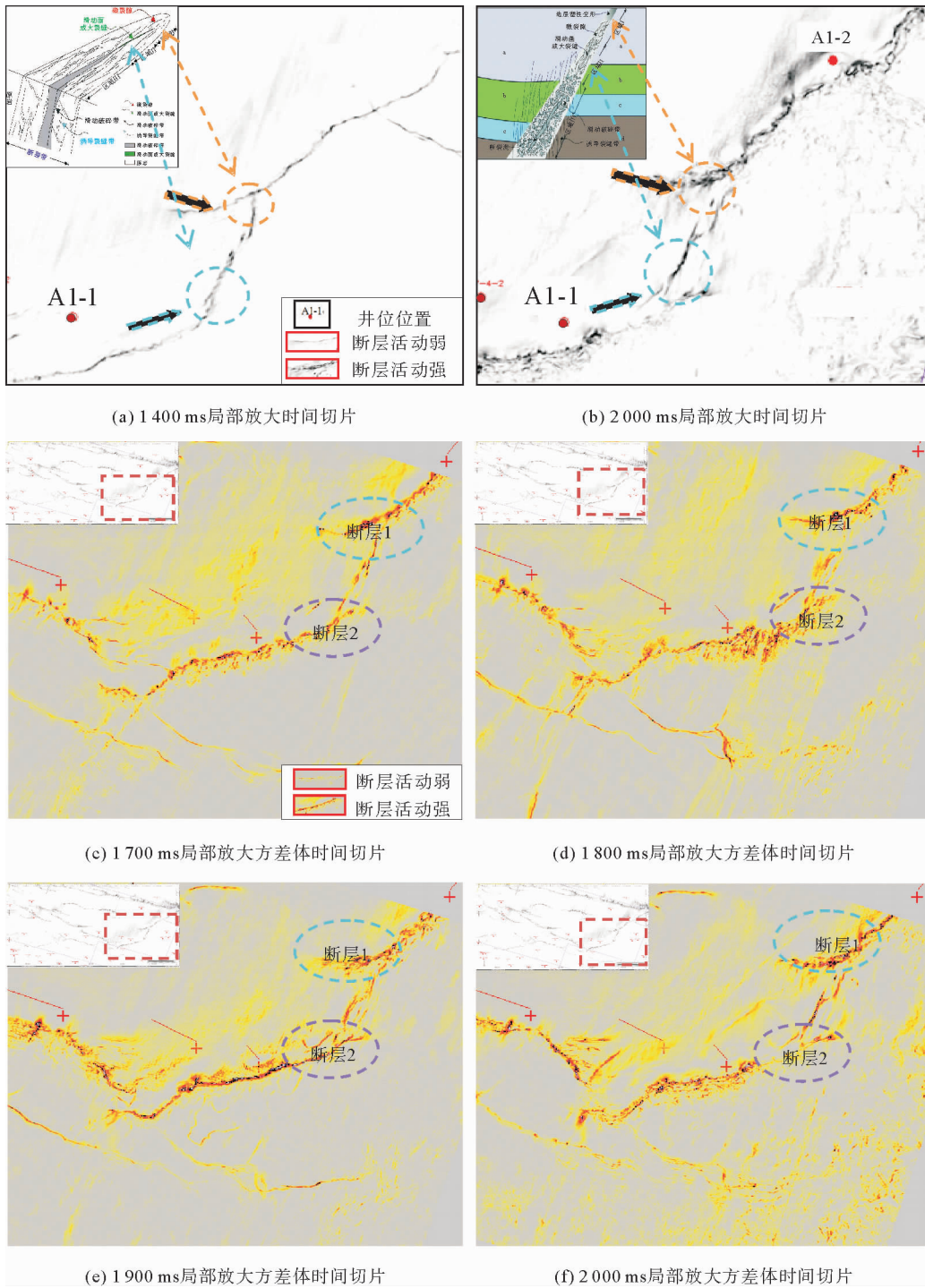


图 5 方差属性体时间切片

Fig. 5 The time slices of variance attributes

即形成了滑动面,此时断层两盘地层主要沿着此滑动面错开(如深蓝色标注区域)。由走向和垂向分段性可知,深红色箭头标注的油气运移通道比深蓝色好,是断裂带对上盘油气的纵向输导性强,

而对下盘油气的侧向封堵性强的结果。

实际方差体属性切片分析表明(图 5c-f),随着深度加深,标注的断层 1、2 断距加大。井 A1-1 过断层 1、2 之间的部分对断层 2 起封堵或输导作

用刻画的比较清晰。可以得出,方差属性体能够很好地刻画断层的宏观立体展布,为断层对油气输导与封堵机制的研究分析提供技术支持。

4.2 蚂蚁体追踪技术方法

蚂蚁追踪算法创立了一种新的断层属性,该算法首先根据实际地震资料进行合理的参数设置,使之突出具有断面特征的响应,然后运算并形成具有低噪音、清晰断裂痕迹的蚂蚁属性体。典型蚂蚁体切片及油气运移优势通道见图 6、7。

蚂蚁体追踪技术形成的蚂蚁体时间切片显示(图 6),断层末端应力释放区发育微裂隙,主动盘

(上盘)充分发育,易于形成油气运移的优势通道,而被动盘(下盘)为应力增压区,易于断层对油气的侧向封堵(颜色圆圈标注),可研判油气沿断层运移的输导与封堵机制。

油气运移优势通道及汇聚形成模式表明(图 7),蚂蚁体时间切片表征了断层末端的发育模式,推演到断层的整个三维上,断层主动盘末端微裂隙发育,纵向输导油气,侧向封堵油气,进而断裂带对主动盘油气的纵向输导性强,对被动盘油气的侧向封堵性强。断层诱导微裂隙发育好,油气运移条件充分,会形成油水界面的上浮,从而为油气藏成藏及储量计算提供地球物理技术支持。

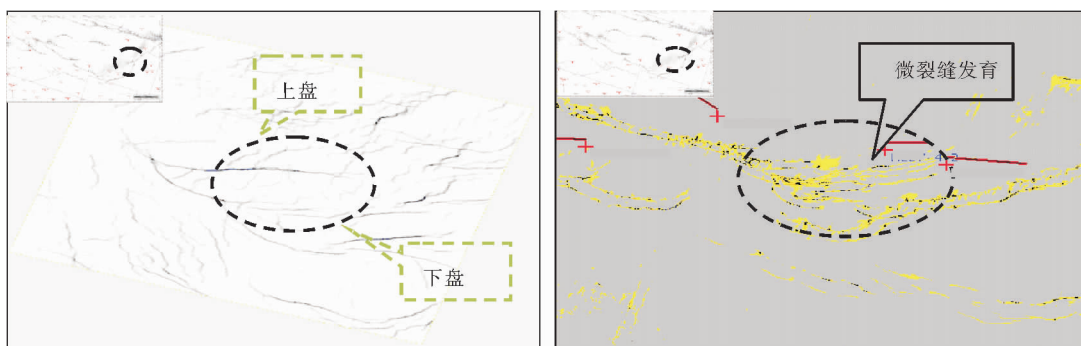


图 6 蚂蚁体时间切片
Fig. 6 Ant time slice

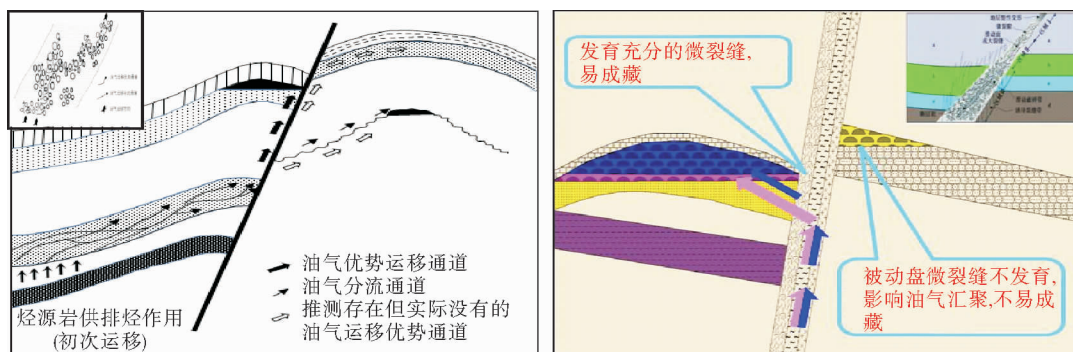


图 7 油气运移优势通道地质概念模型及汇聚形成模式示意图

Fig. 7 The conceptual geological model for dominant hydrocarbon migration pathway and accumulation

4.3 三维可视化技术

三维可视化是用于显示描述和理解地下及地面诸多地质现象特征的一种工具,广泛应用于地质和地球物理学的所有领域。三维可视化可实现

三维鸟瞰、三维立体、时间切片叠合,从图 8 中能够看出 B1-1 油田和 B1-2 油田就是油气沿断面脊运移成藏的。

储集层运载层、不整合面运载层和上覆盖层的构造起伏、断层面的构造起伏对优势运移通道

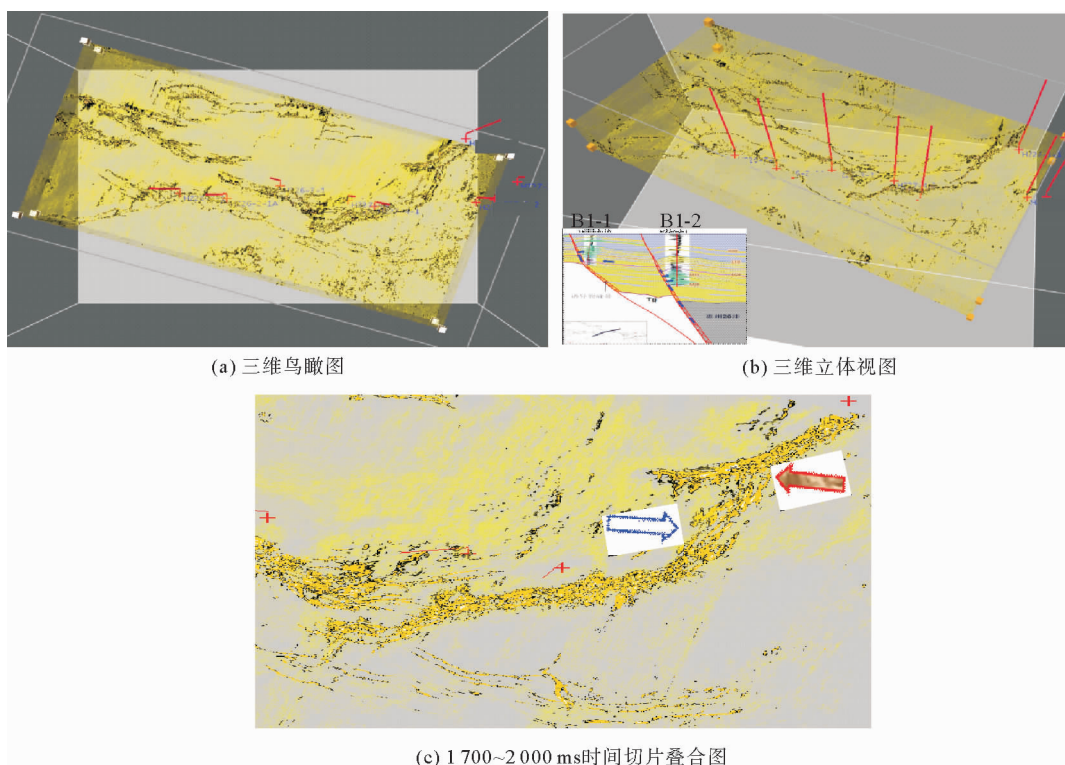


图8 三维立体显示

Fig. 8 Three-dimensional display

有控制作用。油气向运载层倾斜斜率最大的方向运移,在构造脊线的部分聚敛并向上倾方向运移,运载层顶面的构造脊线为优势通道。断层的几何形态和产状决定垂向运移油气的具体路径,向上弧形使流线汇集形成优势运移通道,而向下弧形则使流线向上呈发散状,不会形成优势通道。

5 结论与认识

(1)含油气盆地局部构造三级断裂的主动盘(上盘)的诱导裂缝带十分发育,而被动盘(下盘)诱导裂缝带不发育,这必然导致断裂带对上盘油气的纵向输导性强,而对下盘油气产生侧向封堵性强的结果。方差体在识别断层空间展布方面非常有效。

(2)蚂蚁体刻画断层高部位断层脊及两端微裂隙发育情况,实现了微观意义上对断层精细刻画,进而分析研究油气运移及断层输导与封堵作用。断层走向上中部断距较大,断裂带结构发育充分,由滑动破碎带和两盘诱导裂缝带组成;往断层末端方向由于所受应力逐渐减小,断距减小,结

构发育不完整,缺失滑动破碎带或下盘诱导裂缝带至断层末端应力释放区仅发育一些微裂隙。总之,蚂蚁体能够很好地刻画断层微裂缝。

(3)断层的几何形态和产状决定油气垂向运移的具体路径,向上弧形使流线汇集形成优势运移通道,而向下弧形则使流线向上呈发散状,不会形成优势通道。三维可视化获取断层的几何形态和产状及向上、向下弧形的空间展布,进而为油气运移方向及路径分析等提供有力技术支持。

参考文献:

- [1] 付广,付晓飞. 断裂输导系统及其组合对油气成藏的控制作用[J]. 世界地质, 2001, 20(4): 346-347.
- [2] 姜振学, 庞雄奇, 曾澍辉, 等. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究[J]. 地学前缘, 2005, 12(4): 507-515.
- [3] 蒋有录, 查明. 石油天然气地质与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [4] 罗胜元, 何生, 王浩. 断层内部结构及其对封闭性的影响[J]. 地球科学进展, 2012, 27(2): 154-164.
- [5] 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): 778-779.
- [6] 陈伟. 含油气盆地断裂带内部结构特征及其与油气运聚的关系[D]. 东营: 中国石油大学(华东), 2011: 81-82.

- [7] 杜春国,郝芳,邹华耀,等. 断裂输导体系研究现状及存在的问题[J]. 地质科技情报, 2007, 26(1): 51-55.
- [8] 高君,吕延防,田庆丰. 断裂带内部结构与油气运移及封闭[J]. 大庆石油学院学报, 2007, 31(2): 4-7.
- [9] 吕延防,沙子萱,付晓飞,等. 断层垂向封闭性定量评价方法及其应用[J]. 石油学报, 2007, 28(5): 34-38.
- [10] 付晓飞,方德庆,吕延防,等. 从断裂带内部结构出发评价断层垂向封闭性的方法[J]. 地球科学, 2005, 30(3): 328-336.
- [11] Yielding G, Freeman B, Needham D T. Quantitative fault seal prediction[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 897-917.
- [12] Gibson R G. Fault-zone seals in siliciclastic strata of the Columbus Basin, off shore Trinidad[J]. AAPG Bulletin, 1994, 78: 1372-1385.
- [13] 郭秀娟. 方差体技术在地震构造解释中的应用[J]. 价值工程, 2011, 30(4): 205-206.
- [14] 任亮. 低序级断裂地震识别技术研究[J]. 中国石油石化, 2016(S1): 190.
- [15] 赵牧华,杨文强,崔辉霞. 用方差体技术识别小断层及裂隙发育带[J]. 物探化探计算技术, 2006, 28(3): 216-218, 182-183.

OPTIMIZATION OF THE METHOD FOR DETAILED FAULT DESCRIPTION IN HYDROCARBON MIGRATION: TAKING SOUTHWEST HUIZHOU OF ZHUJIANGKOU BASIN, NORTH CHINA SOUTH SEA AS AN EXAMPLE

LI Rushan¹, CHEN Shenghong¹, HU Xinghao², LI Ruibiao¹, ZOU Yaming¹, LI Zhiye¹

(1 Shenzhen Branch of CNOOC(China) Limited, Shenzhen 518054, China; 2 CNOOC International Limited, Beijing 100027, China)

Abstract: Migration is one of the key elements to hydrocarbon accumulation. It includes two stages: primary and secondary migrations. The secondary migration is the process which determines the main migration directions of oil and gas, the spatial assemblage of source-reservoir-accumulation and the hydrocarbon migration through reservoir and other types of passages. Secondary migration is caused by the change of conditions prevailed in oil and gas accumulation, including the migration to a new reservoir along the pathways of faults and unconformities. Doubtlessly, faults play a very important role in hydrocarbon migration and accumulation. However, previous researches about faults and their effects on hydrocarbon migration and transportation are mainly qualitative which are too far from enough. Macroscopic, three dimensional and practical studies are obviously lacking. Therefore, in this paper, geophysical approaches are adopted firstly to obtain high quality fault profiles to describe in detail the faults strikes and microfractures distribution patterns, then to analyze the difference between hydrocarbon sealing and transportation caused by faults, and finally to provide necessary support for the analysis of oil and gas migration pathways. The adopted methods includes the followings: at first, conduct variance cube attribute analysis for seismic data and extract time slices to acquire the spatial distribution of faults; then, based on the variance attributes, using ant-tracking technique to characterize the microfracture overview, and analyze the difference between hydrocarbon sealing and transportation for different faults and/or the different parts of a fault; then use 3D visualization with high imaging precision to further analyze the effect of faults on hydrocarbon sealing and transportation spatially to supply new ideas and methods for the in-depth study of hydrocarbon migration pathways. Such a research idea and method brings seismic and geology closely, and can much enhance the precision and reliability of direction identification of hydrocarbon secondary migration. It has proved efficient to trap evaluation and optimization in hydrocarbon exploration.

Key words: hydrocarbon accumulation; secondary migration; variance cube; ant algorithm; 3D visualization