·勘探技术·

基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术在叙利亚戈贝贝油田的应用

杨 渔[1],蒲海洋[2],胡学智[1],文光耀[2],李连明[3]
(1.振华石油控股有限公司,北京 100031; 2.中国石油天然气勘探开发公司,北京 100034;
3.中国石油川庆钻探工程有限公司 地质勘探开发研究院,四川 成都 610051)

摘要:叙利亚戈贝贝油田为已开发36 a的老油田,2004年之前其钻井成功率和油井产量均很低,主要原因是储层断裂体系分布规律及油藏地质特征不明确,而储层断裂体系识别是目前困扰石油开发的世界性难题之一。将基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术应用于戈贝贝油田,对断裂体系进行识别,结果表明,研究区的断裂带主要呈东西和南北走向,发育3个彼此不连通且相对独立的断裂连通体系;其油气分布及生产井产能主要受断裂体系控制,高产井和中产井一般位于断裂带及其附近,且在断裂带中生产井段越长,其产量越高。低产井特别是干井一般位于远离断裂带的区域。通过准确描述研究区的断裂带发育特征,新钻水平井成功率大幅提高,达95%,产油量由800 m^3/d提高至2 350 m^3/d。

关键词:断裂体系 蚂蚁算法 自动识别 三维地震 戈贝贝油田
中图分类号:P631.445 **文献标识码**:A **文章编号**:1009-9603(2013)02-0048-04

目前中外对裂缝性储层的研究主要是利用成像测井和多波多分量地震技术。在裂缝发育段,岩心收获率极低,成像测井技术是较好的裂缝检测手段;而多波多分量地震技术尚处于探索阶段,对井点之间的裂缝识别较好。目前对断裂体系的分布规律还缺乏较成熟的研究方法[1-3],虽然三维地震资料空间立体解释技术已发展多年,但其在断裂解释方面仍存在很大的主观性。

基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术是斯伦贝谢公司研发的一种复杂地震属性算法[4-6],其克服了解释的主观性,明确断裂体系的变化规律是其最主要的内容之一[7],有效地提高了断裂体系的解释精度,大幅缩减了人工解释时间。该技术利用三维地震数据体,清楚地显示断裂体系轮廓,在断裂检测属性体的基础上进一步增强断裂信息、压制非断裂信息,并利用智能搜索功能和三维可视化技术,自动提取断裂信息,使解释人员能够以更宽广的视野完成断裂体系的解释,增强了构造解释的客观性、准确性和可重复性。基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术的优势主要有以下4个方面:①提高了构造解释精度[8],改善地质细节描述;②缩短了人工解释时间[9-10];③可以提供客观、详尽、可重复的地层不连续性构造图;④能够充分利用地质模拟技术,更好地建立复杂构造模型,优化应用三维地质资料。

1 断裂自动识别技术的工作流程及主要成果

基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术的工作流程主要分为4个步骤:①利用边缘探测手段,增强边界特征,突出地震资料中特殊的地层不连续性,并通过噪声压制技术,对地震资料进行预处理;②建立蚂蚁追踪立方体[11],提取断裂信息;③采用人工交互操作,利用交互式立体网络和柱状图滤波器对断裂进行提取,提取的断裂须经过评价、校正和筛选,才能得到最终的断裂校验结果;④创建最终的断裂解释模型,确定的断裂面既可用于进一步的地震解释,也可直接用于断裂体系模拟。

采用基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术得到的成果主要包括3个方面:①从三维地震数据体中被独立抽提出来的、表现断裂体系空间分布的三维断裂模型[12]。该数据体全面展示了断裂体系的三维形态及其空间分布,可用于对断裂体系的研究,但无法用于观察断裂体系与地震反射相位之间的

收稿日期:2013-01-10。
作者简介:杨渔,男,高级工程师,硕士,从事油田生产管理与开发技术研究。联系电话:13269074173,E-mail:yyu@zhenhuaoil.com。

关系。②在三维地震数据体中直接对断层和裂缝系统进行增强，从而得到嵌入了断裂体系的三维地震数据体。利用该成果可将地震反射相位与断裂体系在同一剖面中展现出来，使二者之间的关系表现得更为清楚，简化了地震剖面中断裂体系解释步骤[13]。③对已识别出的断裂体系进行断裂连通性研究，区别出彼此连通和不连通的断裂体系，从而得出各独立的断裂连通体系的空间分布及其关系。该成果是代表独立的断裂连通体系的三维地震数据体，1个连通体系即为1个数据体。

2　断裂自动识别技术的应用

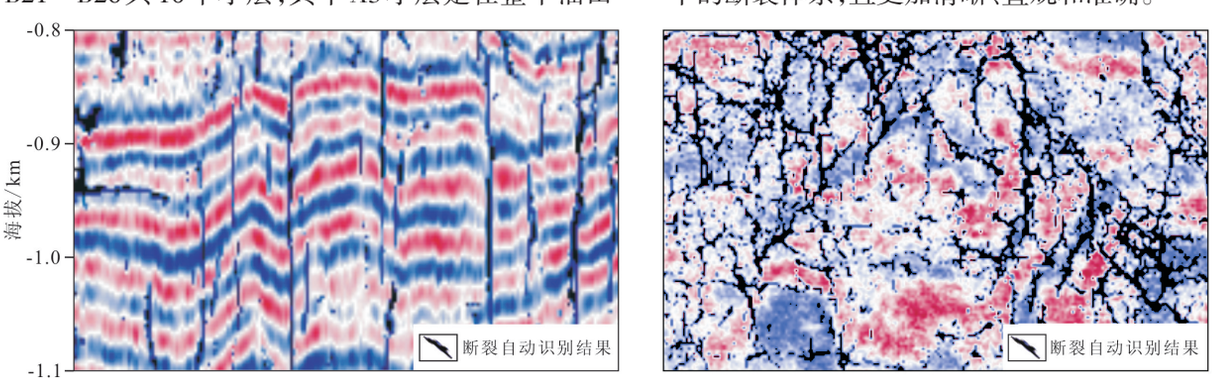
2.1　研究区地质概况

戈贝贝油田位于叙利亚东北部，紧邻叙利亚与伊拉克的边界，构造位置上处于阿拉伯地台西北边缘的托罗斯山前褶皱带南缘。该油田位于戈贝贝背斜构造上，主要产油层为古近系渐新统Chilou组，其岩性主要为灰岩，可进一步划分为A1—A3，B1，B21—B26共10个小层，其中A3小层是在整个油田分布稳定、厚度约为10 m的膏盐层。圈闭类型主要为受背斜控制的断层-裂缝圈闭。Chilou组顶部A1—A3和B1小层主要为带气顶的弱边底水层状孔隙型碳酸盐岩油藏，中、下部B21—B26小层主要为带边底水的块状裂缝性碳酸盐岩油藏。

2.2　断裂自动识别技术可靠性分析

2.2.1　断裂自动识别结果与原始地震资料对比

断裂自动识别结果与原始地震资料在垂向剖面上的对比结果表明，原始地震资料中可识别的断层（破裂面两侧有明显位移）和裂缝系统（破裂面两侧无明显位移）在断裂自动识别结果中均有所反映，且形态和分布更加清晰、直观（图1a）。通过对断裂自动识别结果与原始地震资料在水平切片上的对比（图1b）表明，原始地震资料中仅能识别出少量的断层和裂缝；而在断裂自动识别结果中，不仅能反映原始地震资料中识别的断层，还可以识别出裂缝，且除能观察到断裂的分布，还能清楚展现断裂与地震反射相位的关系。因此，基于蚂蚁算法的断裂自动识别结果可以客观地反映原始地震资料中的断裂体系，且更加清晰、直观和准确。



a—垂直剖面　　b—水平切片

图1　断裂自动识别结果与原始地震资料对比

2.2.2　断裂自动识别结果与人工解释结果对比

对比断裂自动识别结果与人工解释结果（图2）发现，对于较大的断裂体系，2种方法的解释结果几乎完全重合，进一步验证了断裂自动识别结果的准确性；但人工解释结果仅识别出大断层，对于小断层大多未解释。其原因为：①人工解释结果在很大程度上取决于解释人员的素质和经验，素质越高、经验越丰富，其解释结果越准确，但人工解释难免存在疏漏。②人工解释关注的主要是断层，而不是裂缝；仅解释破裂面两侧有明显错动的断层，而破裂面两侧没有明显错动的裂缝则一般不会解释。

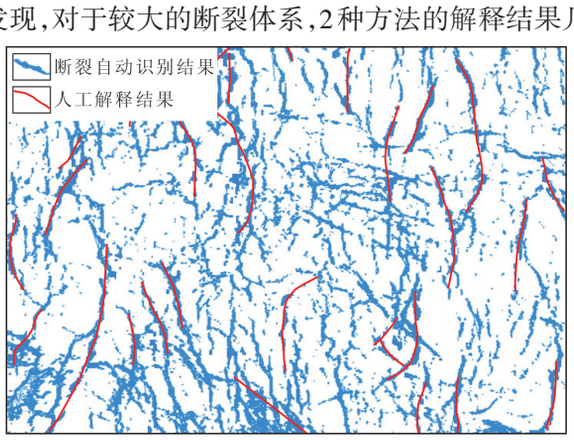


图2　断裂自动识别结果与人工解释结果对比

2.2.3　断裂自动识别结果与成像测井结果对比

通过戈贝贝油田H202井的断裂自动识别结果（过H202井垂向剖面）与成像测井结果对比（图3）可见，断裂自动识别结果中，随着颜色从白色—灰色—黑色—蓝色变化，表示其解释结果的可信度逐

渐增高，与成像测井的解释结果吻合程度较高；而孔隙度一般无明显变化，但裂缝发育程度随着解释结果可信度的增高而增高。其原因为孔隙度测井反映的是岩块基质的孔隙度，与断裂发育无明显关系；而断层与裂缝密切相关，断层发育时，裂缝往往也较为发育，而断裂自动识别结果中包括对裂缝的解释，与成像测井结果非常吻合。

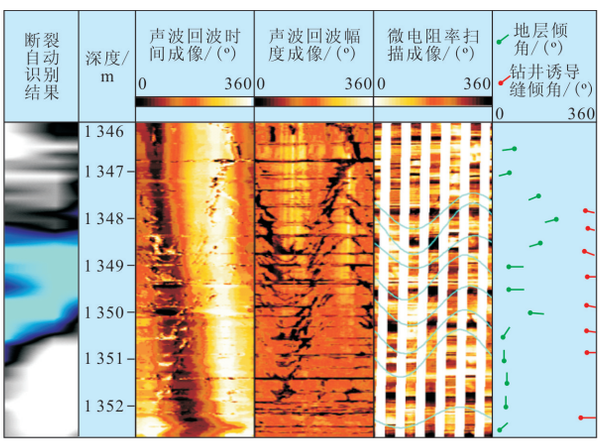


图3　戈贝贝油田H202井断裂自动识别结果与成像测井结果对比

2.2.4　断裂连通体系分析

对断裂体系识别的一项重大进展是不仅能将断裂体系从三维地震数据体中提取出来，而且可以对断裂体系的连通性进行分析，从而明确各独立断裂连通体系的空间分布及其关系。

首先，对提取出来的三维断裂数据体采用像素增强技术，对断裂附近的同相轴周围进行边缘锐化，以增强断裂特征；其次，屏蔽其他非断裂信息，采用高分辨率相干技术，提取断裂表征属性；然后，利用基于目标体的追踪技术，确定断裂带在三维空间的展布特征；最终，利用三维可视化技术对断裂连通体系进行三维空间的精细研究和对比。结果表明，戈贝贝油田发育3个彼此不连通且相互独立的断裂连通体系（图4），西侧断裂连通体系位于西区，中间断裂连通体系位于中西过渡区，东部断裂连通体系位于中区。结合各区实际生产资料和地层流体资料进行分析可以看出，3个断裂连通体系各自成藏，形成3套独立的油气水系统和压力系统，从而很好地解释了西区、中西过渡区和中区不同的油气水系统导致各区的开发特征存在明显差异。

2.3　应用效果

经过近10 a的开发实践，在戈贝贝油田应用基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术进行研究，结果（图2）表明，其断裂带主要为东西和南北走向，断裂通常成组成带出现，1个断裂带往往由若干个走向

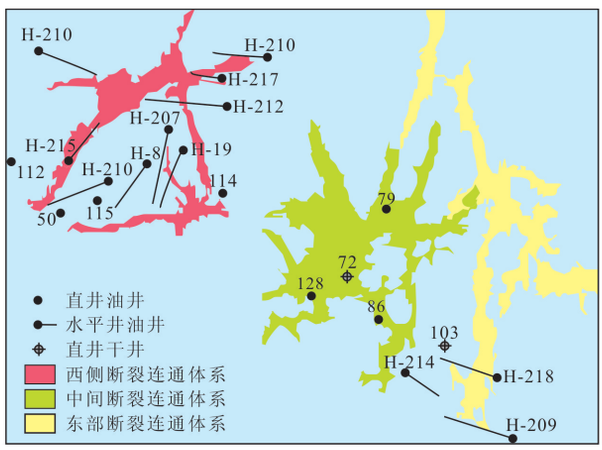


图4　戈贝贝油田3个独立的断裂连通体系

相近、性质相同的断裂组成，且每个断裂带都具有一定的宽度，有的断裂带宽度可达2 km。

戈贝贝油田的油气分布主要受断裂体系控制，并进一步明确了断裂体系分布对生产井产能的控制作用；高产井和中产井一般位于断裂带及其附近，低产井特别是干井一般位于远离断裂带的区域，进而明确研究区油气主要分布于断裂带的油气富集规律[14]。根据研究成果进行井位部署，使新钻水平井的成功率大幅提高；只要水平井水平段垂直或斜交断裂带，在避开气顶和边底水的情况下，均可获得很高的产油量。

为了研究油井产能与断裂带的关系，对中国接手戈贝贝油田管理以来的已钻井生产层段进行分析，结果表明，生产层段钻遇断裂带的井均为产油井，且在断裂带中生产井段越长，其产量越高；反之，生产层段未钻遇断裂带的井，则为低产井或干井。此外，戈贝贝油田西区和中区高产区的断裂带分布较密集，且很多断裂带均延伸至深部，钻遇这些大断裂带的井均为中或高产井；而中西过渡区的断裂带发育较少，且多为未延伸至深部的浅层断裂，位于该区域的井多为低产井或干井。究其原因为，研究区的油气主要来自深层，沿深大断裂带向上运移，在断裂带顶端及其附近聚集成藏；因此，钻遇深部大断裂带的井均为中或高产井，而浅层断裂带由于未与深部油源相连通，即使钻遇也不能获得高产。

3　结束语

利用基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术对戈贝贝油田断裂体系的分布特征进行研究，明确了研究区3个独立的断裂连通体系的空间分布规律，总

结出导致不同区块油气生产特征不同的原因以及油气主要分布于断裂带的油气富集规律。

近10 a来的开发实践证明，在戈贝贝油田应用基于蚂蚁算法的断裂自动识别技术取得了较好效果。准确地描述了研究区断裂带的空间展布，进而部署水平井井位；新钻水平井成功率达95%，在叙利亚国家石油公司认为没有油气分布的区域钻探了一批长期稳产的高产井；产油量由800 m^3/d提高至2 350 m^3/d，且截至2011年98%的产油量来自中国接手戈贝贝油田管理以来新钻探的水平井。

参考文献：

[1] 王延光.胜利油区时移地震技术应用研究与实践[J].油气地质与采收率,2012,19(1):50-54.

[2] 王希平,李海英,杨玉杰.蚂蚁体断裂自动追踪技术在塔河油田盐下地区的应用[J].石油实验地质,2012,34 (S1):50-52.

[3] 乐群星,魏法杰.蚂蚁算法的基本原理及其研究发展现状[J].北京航空航天大学学报:社会科学版,2005,18(4):5-8.

[4] 朱刚,马良,高岩.元胞蚂蚁算法的收敛性分析[J].系统仿真学报,2007,19(7):1 442-l 444.

[5] 刘中春.塔河油田缝洞型碳酸盐岩油藏提高采收率技术途径[J].油气地质与采收率,2012,19(6):66-68,86.

[6] 邬光辉,成丽芳,刘玉魁,等.塔里木盆地寒武—奥陶系走滑断裂体系特征及其控油作用[J].新疆石油地质,2011,32(3):239-243.

[7] 杨贵祥,黄捍东,高锐,等.地震反演成果的沉积学解释[J].石油实验地质,2009,31(4):415-419.

[8] 张玲,侯庆宇,庄丽,等.储量估算方法在缝洞型碳酸盐岩油藏的应用[J].油气地质与采收率,2012,9(1):24-27.

[9] 罗群.断裂带的输导与封闭性及其控藏特征[J].石油实验地质,2011,33(5):474-479.

[10] 刘成斋,王成礼,王鑫,等.地震数据体中非正常地震道的自动识别与评价方法[J].油气地质与采收率,2009,16(4):56-57,67.

[11] 段海滨,王道波,朱家强,等.蚁群算法理论及应用研究的进展[J].控制与决策,2004,19(12):1 321-1 325.

[12] 童亨茂.储层裂缝综合预测方法在戈贝贝油田的应用[J].海外勘探,2004,25(6):639-643.

[13] 王军,吕小伟,王立歆.基于正演模型的地震处理技术保幅性分析与评价[J].油气地质与采收率,2012,19(4):46-49.

[14] 赵从俊,欧振洲.川南区域构造体系特征与油气富集关系[J].石油实验地质,1981,3(3):166-170.

编辑　邹滋滟

（上接第44页）

查二段及下宗巴音组上段底部、上宗巴音组主要发育辫状河三角洲前缘沉积，下宗巴音组下段及中段主要发育半深湖—深湖沉积。研究区下白垩统湖盆水体经历了由浅—深—浅的演化过程，相应形成了辫状河三角洲前缘和滨浅湖、半深湖—深湖、辫状河三角洲前缘以及滨浅湖的相序组合。

靠近宗巴音断层的辫状河三角洲前缘亚相为研究区有利的沉积相带；宗巴音构造及宗巴音东构造为有利的勘探区带。

参考文献：

[1] 郭亚俊,赵志刚,胡金堂,等.东戈壁盆地宗巴音凹陷构造发育特征研究[J].中国石油勘探,2009,15(2):14-22.

[2] 刘传鹏,查明,李晓清,等.蒙古国东戈壁盆地宗巴音凹陷油气资源评价[J].油气地质与采收率,2009,16(1):38-40.

[3] 赵玉华,李晓清,程有义.蒙古国戈壁盆地群地质特征及含油气性[J].沉积与特提斯地质,2003,23(3):102-105.

[4] Prost G L. Tectonics and hydrocarbon systems of the East Gobibasin, Mongolia[J].AAPG Bulletin,2004,88(4):483-513.

[5] Johnson C L, Greene T J, Zinniker D A, et al. Geochemical characteristics and correlation of oil and nonmarine source rocks from Mongolia[J].AAPG Bulletin,2003,87(5):817-846.

[6] 王伟,张欣,张丽艳.蒙古国宗巴音油田查干组沉积相研究[J].天然气勘探与开发,2010,33(3):1-4,9.

[7] 王春田.东戈壁盆地宗巴音凹陷构造研究[D].青岛:中国海洋大学,2003.

[8] 朱本华,赵玉华,彭波.宗巴音凹陷地层特征[J].黑龙江科技信息,2008,2(9):137-138.

[9] 冯增昭.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,1993.

[10] 赵澄林,祝玉衡,季汉成,等.二连盆地储层沉积学[M].北京:石油工业出版社,1996.

[11] 姜本勇.蒙古国查干油田基本石油地质特征[J].油气地质与采收率,2010,17(2):45-47.

编辑　经雅丽