

曲率蚂蚁体断层识别技术在桩海下古生界潜山的应用

魏新辉, 马永达, 张伟涛, 滕宝刚, 邓 涛, 晋晓会, 赵海波

(中国石化胜利油田分公司桩西采油厂 山东 东营 257237)

摘要:桩海下古生界潜山受三期构造运动影响,断层复杂多样,沿断层发育多期裂缝,形成受断层控制的裂缝型储层。因此断层识别是研究碳酸盐岩潜山油藏储层分布规律的前提,受地震资料分辨率限制,相干、曲率识别断层技术难以适用于古潜山高陡断层识别。利用曲率蚂蚁体融合属性消除了地层倾角影响,清晰地反映了不同走向断层平面展布及纵向发育特征,极大提高了桩海地区下古生界潜山断层的识别效果,通过与常规地震解释对比,每平方千米可增加3~4条断层,有效指导了勘探开发部署。

关键词:曲率蚂蚁体;断层识别;下古生界;桩海地区

中图分类号:P631.4 **文献标志码:**A

Application of curvature ant body fault identification technology in Lower Paleozoic buried hills of Zhuanghai area

WEI Xinhui, MA Yongda, ZHANG Weitao, TENG Baogang, DENG Tao, JIN Xiaohui, ZHAO Haibo

(SINOPEC Shengli Oilfield Company, Dongying 257237, China)

Abstract: The Lower Paleozoic buried hills in the Zhuanghai Area, influenced by three periods of tectonic activity, have complex and diverse faults, and multi-period fractures developed along the faults, forming fractured reservoirs controlled by the faults. As a result, fault identification is the premise for studying the distribution law of carbonate buried hill reservoirs. The coherent and curvature fault identification technique is challenging to apply to the identification of high and steep faults in ancient buried hills due to seismic data resolution limitations. The fusion property of the curvature ant body is used to eliminate the influence of stratum dip angle, to reflect the plane distribution and longitudinal development characteristics of faults with different strikes, and to greatly improve the recognition effect of Lower Paleozoic buried hill faults in the Zhuanghai Area. Compared with conventional seismic interpretation, 3 or 4 faults are added per square kilometer, effectively guiding the deployment of exploration and development.

Key words: curvature ant-body; fault identification; Lower Paleozoic; Zhuanghai area

桩海地区下古生界潜山经历了印支期、燕山期、喜山期等三次大规模的构造运动,在挤压、拉张、走滑等作用下,不同性质断层在桩海地区交汇,形成复杂的断裂系统,使裂缝更为发育,因此断层的识别是该区勘探开发研究的重点。经过怀远运动(地层部分剥蚀)、加里东运动(下古生界顶部剥蚀严重)等影响,地层残缺严重,加上多期的构造运动导致地层结构发生复杂的变化,断层识别及组合较为困难,而且受三维地震资料品质以及不同科研人员解释的差异使断层的识别出现不同的结果。目前在断层识别方法研究中,蚂蚁体追踪技术应用较多,针对复杂的下古生界潜山油藏的相关研究少见文献。因此在桩海地区下古生界碳酸盐岩潜山勘探开发实践中,改进了蚂蚁体追踪技术,在曲

率属性基础上进行蚂蚁体追踪,既能够有效识别断层,又提高了断裂识别精度,并且指导了桩海下古生界潜山油藏勘探开发。

1 断层识别技术分析

在三维地震数据中,断层、透镜体、特殊岩性体等轮廓表现为边缘特征,边缘检测能够描述地质体不连续性特征,但是倾斜地层会降低边缘检测准确性。桩海地区下古生界潜山经历多期构造运动,导致不同断块落差很大,地层倾角很大,地层倾角会

收稿日期:2021-09-10;改回日期:2021-12-20。

第一作者简介:魏新辉(1976—),高级工程师,现从事油气田开发管理工作。E-mail:weixinhui237.slyt@sinopec.com。

极大影响裂缝带或者断层检测效果。根据实际地层情况,在时间-频率域内首先计算地层倾角时差,然后沿地层倾角选取合适的分析时窗,对数据体中异常地质体进行不连续性检测。处理的资料显示,该方法能够准确地获得地层倾角估计值,而且能够

消除地层倾角在边缘检测中的不利影响,对断裂不连续性特征能取得较为准确的边缘检测效果。依据桩海地区下古生界潜山裂缝走向分布统计图可以看出东西向为裂缝优势走向(图1),因此需要关注东西走向断层的识别。

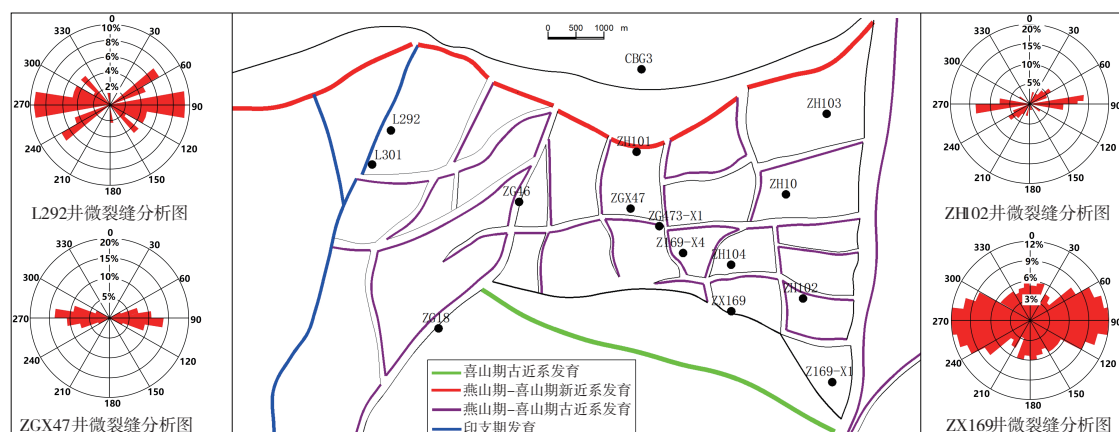


图1 桩海地区下古生界潜山顶面断层分布与微裂缝走向

受地震资料分辨率和信噪比影响,沿层相干切片识别断层和裂缝的效果差,古潜山顶面和内幕的断层和裂缝基本无法清晰识别,相干切片中异常边界更多的是反映了古生界地层中振幅能量差异,而能量差异与断层没有一一对应关系,因此相干切片识别断层效果差(图2)。虽然曲率属性是反映地层构造变形程度的地震属性,曲率切片识别断层有一定效果,但与人工解释方案存在较大差异,曲率异常更多的是反映了古生界地层构造变形差异,无法识别断层的构造格局(图3)。相干切片和曲率属性检测方法识别的断层和裂缝带被地层倾角、能量和局部构造变形干扰,在桩海地区应用中难以明确断层与其伴生裂缝带的相关性。

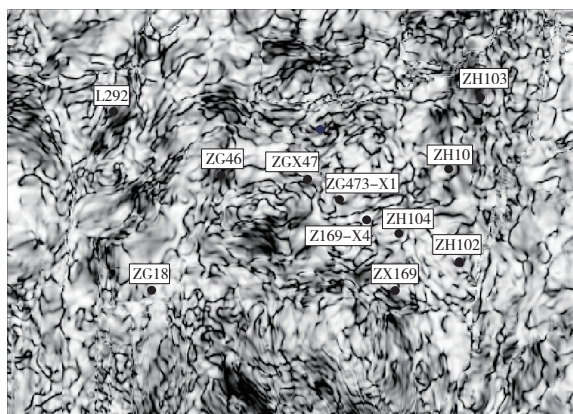


图2 桩海地区下古生界潜山Tg1沿层相干切片

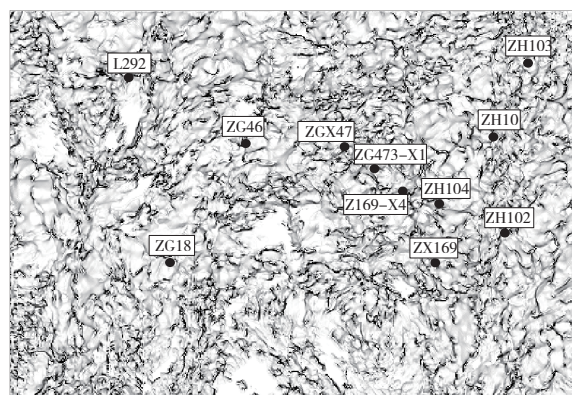


图3 桩海地区下古生界潜山Tg1沿层曲率切片

2 曲率蚂蚁体断层识别技术应用

蚂蚁体追踪技术被古潜山剧烈能量变化严重干扰,为了解决上述难题,引入不受反射振幅和波形影响的体曲率属性来改进蚂蚁体追踪,进而更好地预测次级断裂。因为体曲率属性只计算同相轴的形变程度,对反射振幅和异常能量不敏感,其对挠曲(没断开)、褶皱等横向变形更敏感,这些都是相干切片无法识别的次级断裂和裂缝带。

2.1 曲率蚂蚁体断层识别技术的要点

改进的蚂蚁体技术流程如下:首先利用构造导向滤波消除高频噪声,利用边缘增强处理突出断层的不连续性,在倾角和方位角约束下求取体曲率,将体曲率作为输入数据直接引导蚂蚁体追踪流程,

生成曲率蚂蚁融合属性体。构造导向滤波可提高地震信噪比,边缘增强处理保证断层断点不变形,利用蚂蚁体追踪优势将体曲率异常转化为纵向延伸与断层匹配的断层边界,消除因地层倾角引起的和断层无关的局部曲率异常,增强曲率蚂蚁体识别断层及裂缝的可靠性。

对比相干、曲率和曲率蚂蚁体切片,可发现曲率蚂蚁体消除了地层倾角影响,更能清晰预测古潜山次级断层及裂缝带发育情况。Tg1 和 Tg2 沿层曲率蚂蚁体切片(图4、图5)可以清楚地识别断裂整体构造格局和次级断裂展布特征,表明曲率蚂蚁体属性不受异常信号反射干扰,识别的异常信息只与次级断层和伴生裂缝相关,通过与常规地震解释对比,每平方千米增加断层3~4条。

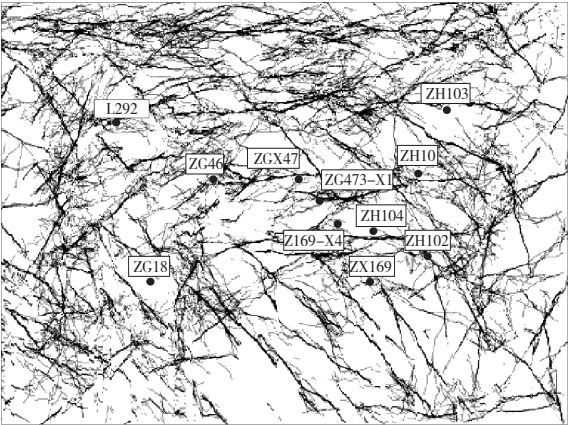


图4 桩海地区下古生界潜山Tg1沿层曲率蚂蚁体属性平面

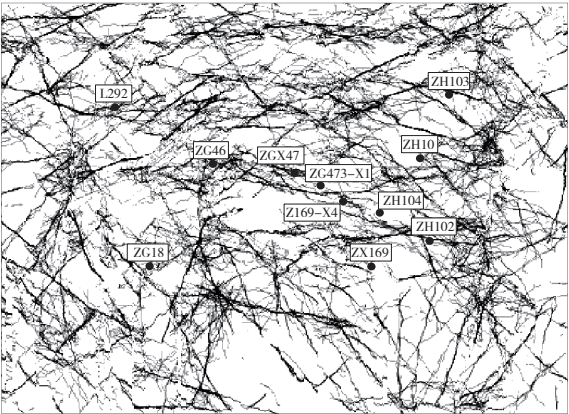


图5 桩海地区下古生界潜山Tg2曲率蚂蚁体属性平面

2.2 曲率蚂蚁体断层识别技术应用

曲率蚂蚁体属性预测的断层级别可以到中小级别断层,而构造解释、相干预测和曲率预测的是较大级别断层。人工解释断层为东西向和近南北向断层为主,曲率蚂蚁体识别断层以东西向、北西向为主,南北向断层次之,这表明曲率蚂蚁体基本反映了古生界地层次一级的中小级别断裂展布。

同时通过井震标定和测井解释、FMI 资料对比(图1),曲率蚂蚁体识别的断层与测井解释裂缝储层密集段吻合,进一步说明曲率蚂蚁体识别的断层级别更低。

借鉴前人研究成果,桩海地区下古生界潜山的开启裂缝总体以近东西向为主,北西西向为辅,成像测井资料显示主要裂缝发育方向与喜山期持续发育近东西向断层的走向具有较好的一致性。这些断层也是裂缝较为发育区,容易形成有利的裂缝型储集空间,部署的井位往往获得高产,例如在反射层 Tg1 的曲率蚂蚁体切片中,可发现高产井 ZG46、ZGX47、ZG473-X1、ZH10、Z169-X4、ZH104、ZH102 均处于从西向东延伸的同一断层带附近(图4),ZH104、ZG46 井在地震与曲率蚂蚁体剖面图上,显示钻遇断层或者断层附近(图6、图7),说明该区带勘探开发部署应重视近东西向断层发育带,尤其是多条断层交汇处。

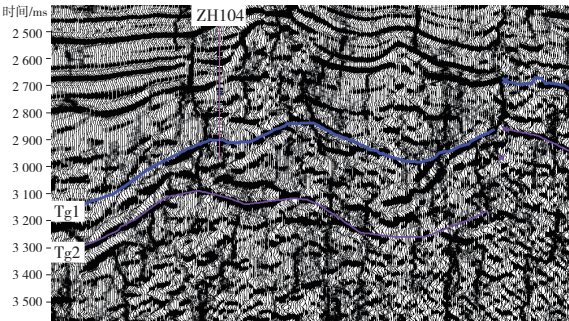


图6 过ZH104井南北向地震与曲率蚂蚁体剖面

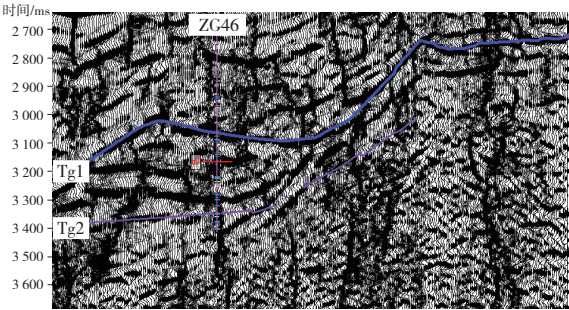


图7 过ZG46井南北向地震与曲率蚂蚁体剖面

另外潜山内幕反射层 Tg2 的曲率蚂蚁体切片表明裂缝带走向基本还是以东西向为主、北西西向为辅,裂缝带交汇带显著增多,更小级别裂缝的派生在近东西向和北西西向裂缝带,与之成小角度派生的裂缝带密集程度更明显(图5、图7),高产油井 ZGX47、ZX169、Z169-X1 等井也主要分布于近东西向裂缝带附近。ZGX47、ZH102 的 FMI 解释裂缝走向基本与上述裂缝带走向一致,表明贯穿桩海地区下古生界潜山的这条近东西向裂缝带是油气聚集

有利区带。

结合油田勘探开发生产实际情况,参考曲率蚂蚁体预测断层发育情况,在桩海地区部署了5口开发井并全部完钻,分别钻遇多套储层,测井显示各储层发育大量裂缝系统,试采均获较高产工业油流(日产20~42 t)。通过对桩海地区19口井钻遇的下古生界30套储层进行对比分析,其中25套储层与曲率蚂蚁体属性具有较好对应关系,符合率大于80%。进一步证实曲率蚂蚁体融合技术在碳酸盐岩潜山断层识别中对于预测裂缝发育带具有较高的可信度。

3 结论

(1) 桩海地区下古生界潜山油藏储层的发育程度与断裂系统密切相关,多期构造运动形成的潜山断裂更为复杂,提高断裂识别精度是预测该类潜山储层的关键。

(2) 曲率蚂蚁体融合技术克服了相干切片难以识别低级序的小断层及伴生裂缝带、曲率属性切片识别小断层纵向连续性差的不足之处,能更清晰地反映不同走向断层平面展布及纵向发育特征,极大提高了桩海地区下古生界潜山断裂的识别效果。

(3) 将曲率属性作为蚂蚁体追踪识别的基础输入数据,进而在优化的蚂蚁体算法参数下进行计算,得到的曲率蚂蚁体属性对小断裂的空间分辨能力更高,是可以获取不同尺度的裂缝预测结果。

(4) 近东西向断裂系统是桩海下古生界潜山油藏储层集中发育区,走向与实测裂缝的主缝方向基本一致,曲率蚂蚁体融合技术能够清晰识别该组断裂。

参考文献:

- [1] 张明振,樊明.利用断层影像法精确描述复杂断裂[J].科学技术与工程,2017,17(25):200-204.
- [2] 陈雪.蚂蚁追踪技术在准噶尔中部地区裂缝解释中的应用[J].内蒙古石油化工,2013,39(11):117-119.
- [3] 隆雨辰,李俊,王志章,等.综合蚂蚁体及曲率属性的断

裂识别方法及应用[J].油气藏评价与开发,2017,7(4):6-9,15.

- [4] 刘群,李海英,邓光校.地震断裂检测技术在塔河油田南部碳酸盐岩储层及油藏预测中的应用[J].石油与天然气地质,2013,34(2):202-206.
- [5] 殷文,李援,郭加树,等.基于改进蚁群追踪策略的地震层位自动识别方法[J].石油地球物理勘探,2017,52(3):553-561.
- [6] 张继标,戴俊生,冯建伟,等.蚂蚁追踪技术在大程庄地区断裂自动解释中的应用[J].石油天然气学报,2012,34(5):53-57.
- [7] 李振华,邱隆伟,齐赞,等.蚂蚁追踪技术在辛34断块解释中的应用[J].西安石油大学学报(自然科学版),2013,28(2):20-24.
- [8] 孙玮,刘树根,时华星,等.济阳坳陷桩海碳酸盐岩潜山构造演化及其对油气成藏的控制作用[J].油气地质与采收率,2008,15(3):23-25.
- [9] 马承杰.多尺度边缘检测技术在断层识别及裂缝发育带预测中的应用——以车排子地区排691井区为例[J].油气地质与采收率,2021,28(2):85-90.
- [10] 黄诚.叠合盆地内部小尺度走滑断裂幕式活动特征及期次判别——以塔里木盆地顺北地区为例[J].石油实验地质,2019,41(3):379-389.
- [11] 苏洲,张慧芳,李斌,等.利用多属性断裂分析技术识别断层——以牙哈断块潜山为例[J].石油地球物理勘探,2018,53(Z1):201-207,213.
- [12] 田雯,王永诗,景安语,等.济阳坳陷滩海地区下古生界碳酸盐岩储层特征及主控因素研究[J].地质论评,2021,67(S1):119-120.
- [13] 景安语.济阳坳陷埕岛地区下古生界潜山断裂特征及控藏作用[J].科学技术与工程,2020,20(15):6011-6017.
- [14] 田雯,王永诗,马立驰,等.桩海地区下古生界潜山构造裂缝发育特征及主控因素研究[J].地质论评,2019,65(S1):214-216.
- [15] 赵向原,胡向阳,肖开华,等.川西彭州地区雷口坡组碳酸盐岩储层裂缝特征及主控因素[J].石油与天然气地质,2018,39(1):30-39,152.

(编辑 刘义梅)