

• 地质研究 •

# 综合预测大港油田C区中生代 潜山油藏裂缝发育特征

庄红妹 王晶晶 何川 周连敏

(中国石油大港油田分公司勘探开发研究院)

庄红妹,王晶晶,何川,周连敏. 综合预测大港油田C区中生代潜山油藏裂缝发育特征. 2018,29(1):103-107

**摘要** 裂缝的准确描述和预测是裂缝型储集层有效评价的关键。大港油田C区中生代潜山油藏受构造应力场影响,同时由于后期新生代的构造断裂运动对中生代地层的改造作用,电阻率较高的硬地层中裂缝普遍发育。利用FMI成像测井及岩心裂缝观察等多项技术资料,分析裂缝类型、产状及发育密度等特征,并在此基础上开展蚂蚁追踪裂缝识别,通过多项技术数据综合应用识别出了各级裂缝数据,范围从厘米级到百米级,并总结出裂缝分布规律。研究认为C区主要以高导缝发育为主,且在距离主断层较近的区域裂缝更加发育,其走向与主断层一致。落实研究区的裂缝分布特征对后期油藏产能评价、储量评价和储集层压裂及酸化等都具有重要的指导意义。

**关键词** 裂缝 岩心分析 FMI成像测井 蚂蚁体追踪 分布特征 高导缝

中图分类号:TE 132.1 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1672-9803.2018.01.022

## 0 引言

近年来,裂缝型储集层的研究越来越受到石油地质工作者的重视<sup>[1-4]</sup>。目前裂缝解释及识别的方法主要有地震解释、测井解释、岩心分析、蚂蚁追踪4类,各种方法均有其优缺点。从20世纪50年代以来开展的对各向异性介质中波的传播规律研究,基于裂缝介质中波的运动学、动力学特征检测寻找裂缝,其中主要有多分量与各向异性检测裂缝技术、方位AVO检测裂缝技术、裂缝边缘检测技术、测井约束的波阻反演裂缝预测、地震多属性参数裂缝预测、构造应力场数值模拟技术裂缝预测、非线性裂缝预测等多种方法,然而由于地震的多解性导致裂缝预测不确定性较强。测井方法是地下储集层裂缝的预测途径之一,通过常规测井方法来识别裂缝(带)已有较多的研究,主要是通过成像测井数据,然而成像测井数据受井眼影响很大,存在明显的误判情况(如井壁坍塌严重位置)。岩心裂缝识别主要是对岩心裂缝特征参数进行识别,裂缝特征参数包括裂缝基本参数(裂缝长度、裂缝开度、裂缝倾角和裂缝充

填情况等)和裂缝密度,受取心横向与纵向范围的影响,岩心识别具有局限性。蚂蚁追踪裂缝检测技术基于蚁群利用分泌物尽快找到食物源的原理,在地震数据体中寻找裂缝痕迹,进而完成裂缝的追踪和识别,该方法依然具有不确定性<sup>[5-8]</sup>。

本文拟综合利用多项技术方法对大港油田C区开展裂缝研究。中生代潜山油藏受构造应力场影响,裂缝普遍发育,给该区精细开发带来了难题。本次研究通过分析岩心、成像测井、地震等多种资料,总结了各级裂缝的发育特征及分布规律,为该区后期开发提供了合理的地质依据。

## 1 区域概况

大港油田C区位于大港油田南部滩海区,地处河北省黄骅市赵家堡村东13 km、水深线2~5 m之间的海域。区域构造位于埕宁隆起向歧口凹陷过渡的斜坡部位,处于歧口凹陷以南,埕宁隆起以北,西邻盐山凹陷,东接海中隆起(图1)。

目前该区钻至中生界地层的井位较少,仅有3口,井资料的缺乏造成储集层综合评价的难点加大。

庄红妹 工程师,1974年生,1994年毕业于原天津市大港油田石油学校,2006年7月毕业于长江大学石油工程专业,现在中国石油大港油田分公司勘探开发研究院从事油田开发地质工作。通信地址:300280 天津市滨海新区大港油田勘探开发研究院(新院)。电话:(022)63965657。E-mail:18461996@qq.com



图1 大港油田C区块构造位置

前人研究表明,C区中生代侏罗系潜山油藏地层顶部遭受不同程度的剥蚀,储集层自北东向西南方向减薄,岩性多样(砾岩、含砾砂岩、中粗砂岩、中细砂岩),裂缝普遍发育,增大了开发难度。

## 2 裂缝识别方法

针对C区各级裂缝均较为发育的特点,本次研究采取了不同的技术手段(表1)。对于大型裂缝数据采用地震解释,收集整理了区内中生界潜山的地震解释资料,不漏掉断距5~10 m、延伸长度50~100 m的小断层数据;针对地震解释不能识别的中型裂缝,主要采用蚂蚁追踪技术来进行识别;对于小型裂缝和微裂缝主要是利用测井资料和岩心分析进行描述。针对不同级别的裂缝数据,采取有针对性

表1 不同级别裂缝预测技术的研究精度

| 裂缝级别 | 预测技术 | 研究精度/m       |
|------|------|--------------|
| 大型裂缝 | 地震解释 | 50.00~100.00 |
| 中型裂缝 | 蚂蚁追踪 | 10.00~50.00  |
| 小型裂缝 | 测井解释 | 0.10~10.00   |
| 微裂缝  | 岩心分析 | 0.01~0.10    |

的研究方式,保证了裂缝研究的精度及可靠性<sup>[9]</sup>。

## 3 裂缝发育特征

在力学性质上,构造裂缝主要为剪切裂缝,裂缝产状稳定,裂缝面平直光滑,常见滑动擦痕甚至阶步,裂缝多成雁列式排列,有时可见羽饰构造,成岩裂缝一般顺着微层理面分布,是储集层岩石在成岩过程中由于压实或压溶等地质作用而产生的天然裂缝。在裂缝特征分析中主要应用岩心观察、FMI成像测井等较为直观的资料,综合分析区域内的裂缝发育特征。

### 3.1 岩心裂缝特征

除野外露头观察之外,岩心裂缝描述是最直观也最真实的裂缝描述手段和方法,利用岩心资料可以获得裂缝的产状、密度、孔隙度、渗透率等参数。本次研究选取了W1井的取心资料(图2),分析结果显示C区裂缝在砾岩、粗砂岩和细砂岩等硬地层中较为发育,泥岩中较少发育,这与前人的研究成果基本吻合。在分析岩心资料的过程中,还获取了裂缝的产状、密度等参数,为单井裂缝综合评价提供了基础数据。

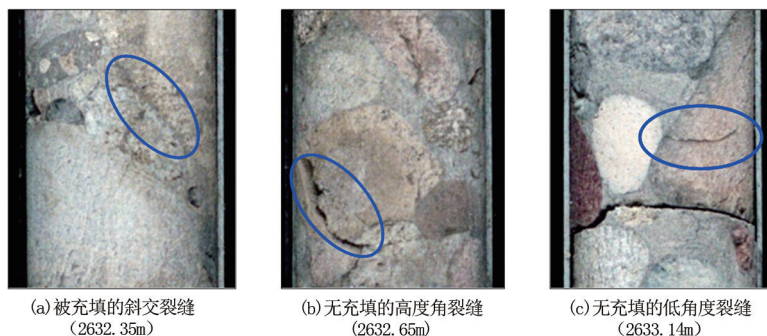


图2 W1井岩心裂缝类型

按照裂缝倾角,构造裂缝可以进一步分为低角度裂缝( $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ )、斜交裂缝( $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ )和高角度裂缝( $>60^{\circ}$ ),低角度裂缝的直井钻遇率高,而斜交裂缝与高角度裂缝的直井钻遇率依次降低。

高角度裂缝为典型的构造裂缝,其方向性明显,

裂缝面上见擦痕等典型特征,表明其主要为剪切裂缝;斜交裂缝与高角度裂缝常成组发育,且常伴随矿物充填,分布较规则,规律性明显并具有相应的裂缝面特征,反映斜交裂缝同样以构造成因的剪切裂缝为主;低角度裂缝常常与微层理面呈小角度相交或

顺微层理面分布。

### 3.2 测井裂缝特征

应用测井资料进行裂缝识别和裂缝参数计算,是评价地层裂缝的重要组成部分<sup>[10-12]</sup>。近年来,一些新测井技术也应用到裂缝识别的研究中,如成像测井、CT扫描技术等。新技术的使用进一步提高了裂缝识别与预测的有效性,本次裂缝特征研究主要是应用FMI成像测井进行。

FMI成像测井的纵向分辨率很高,约为5 mm,径向探测深度为5 cm,因此成像测井图和实际岩心照片一样,能清晰、直观地反映宏观地质现象,如裂

缝、缝合线、泥质条带、溶蚀孔洞、层理、致密地层等,也可以反映如压裂缝、井壁崩落等在钻井过程中产生的地质特征。本次利用FMI成像测井开展C区裂缝发育特征研究,主要识别出的裂缝分为高导缝、高阻缝和诱导缝。高导缝在成像测井图像上往往表现为连续的褐黑色正弦曲线,表明裂缝未被高电阻率矿物充填(图3a);高阻缝在成像测井图像上表现为晕圈状的亮黄—白色正弦曲线,反映裂缝被高电阻率矿物充填,属于无效缝(图3b);诱导缝特征是由地应力作用下产生的裂缝,在钻井过程中由于应力释放而形成的应力释放缝(图3c)。

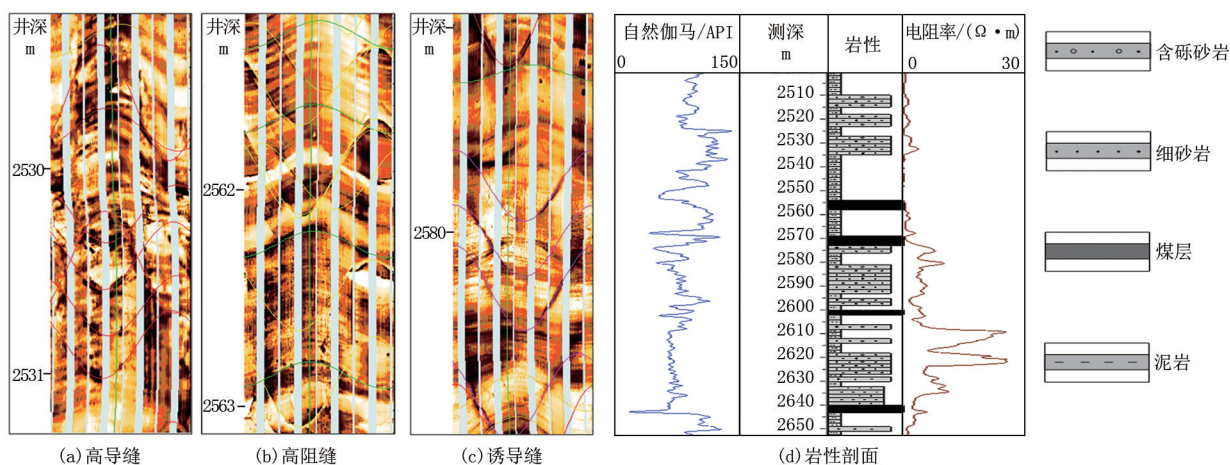


图3 W1井裂缝FMI成像测井图

高导缝作为以构造作用为主形成的天然裂缝,有利于提高页岩气的储集空间,就本次FMI成像测井解释来看,高导缝在砂岩中最为发育。

### 3.3 单井裂缝综合评价

利用岩心和测井资料进行裂缝识别,分别对单井裂缝的倾角、方位及裂缝类型进行统计(图4),计算单井裂缝强度发育曲线,并建成单井裂缝玫瑰花图和蝌蚪图。分析认为,研究区裂缝主要在中生界中下部Mz 1-3小层较为发育,其中砾岩、粗砂岩和细砂岩等较为发育,顶部的泥岩中很少发育。利用单层单井裂缝预测结果进行分析,裂缝倾角基本在45°~86°之间,属于中高角度缝,裂缝以北北东走向为主,与C区主断裂方向基本一致。

## 4 裂缝分布预测

由于C区取心和FMI成像测井资料相对较少,本次裂缝分布预测还利用地震资料覆盖范围广的优势,采用目前较为流行的蚂蚁追踪技术进行裂缝分布预测,预测的裂缝发育范围从米级到百米级,解决

了岩心和成像测井相对资料偏少的难题,也使得预测结果更加可靠。

### 4.1 蚂蚁追踪的基本原理

蚂蚁追踪技术的实质是通过在地震数据体中传播数量庞大的蚂蚁,使其自动寻找断裂痕迹,待发现所要寻找的目标后再自动传递信号,召集周围的蚂蚁聚集过来,对断裂处进行追踪辨别,最终获得想要的信息。基于“蚂蚁追踪”算法建立了一种突出断裂面特征的断层和裂缝解释技术,在地震体目的层段中设定大量的电子“蚂蚁”,这种电子“蚂蚁”可以根据不同的信息素追踪微断层或裂缝<sup>[13-15]</sup>。

蚂蚁体追踪是一种较为新型的断层解释算法,为裂缝研究提供了新的方法,其工作流程主要包括3个步骤:地震信号去噪;提高地震数据的空间不连续性;生成蚂蚁追踪体。其工作原理为在地震属性体中发现满足预设断裂条件的断裂痕迹的蚂蚁将“释放”某种信号,召集其他区域的蚂蚁集中在该断裂处对其进行追踪,直到完成该断裂的追踪和识别。本次研究利用三维地震数据建立的C区蚂蚁体(图5),

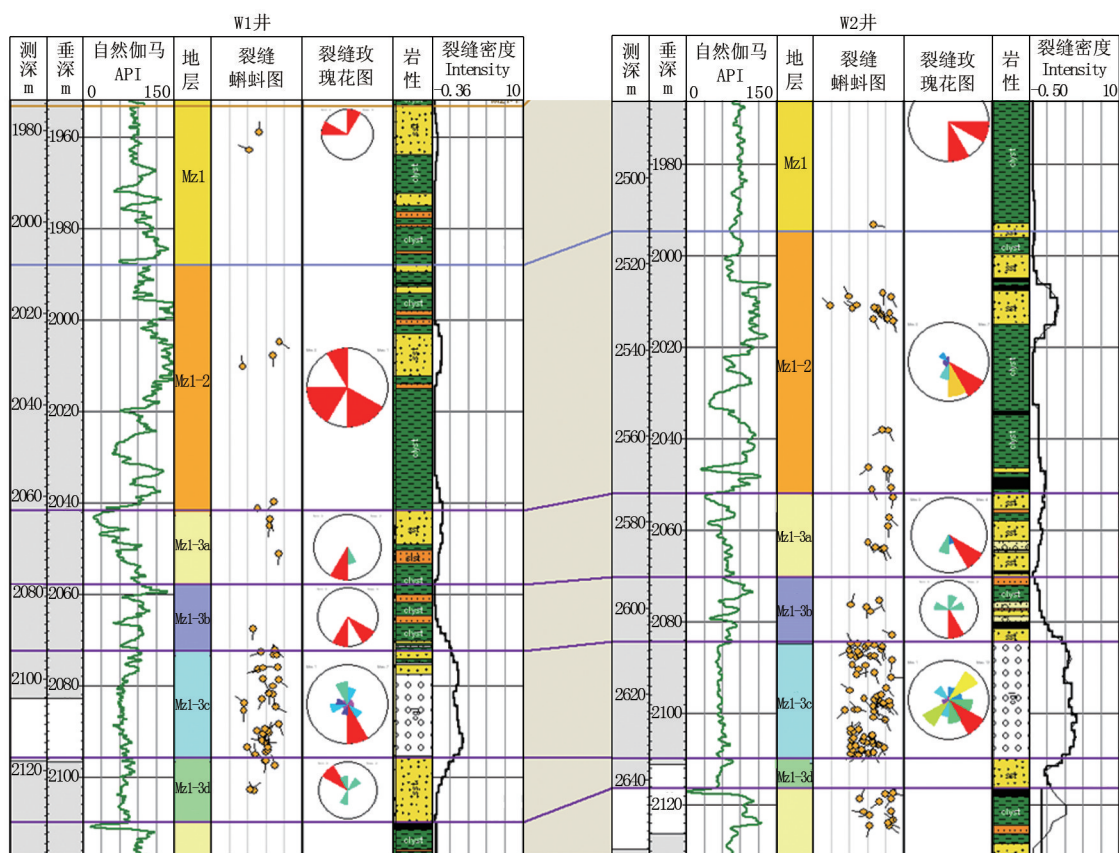


图4 C区中生代连井裂缝综合评价图

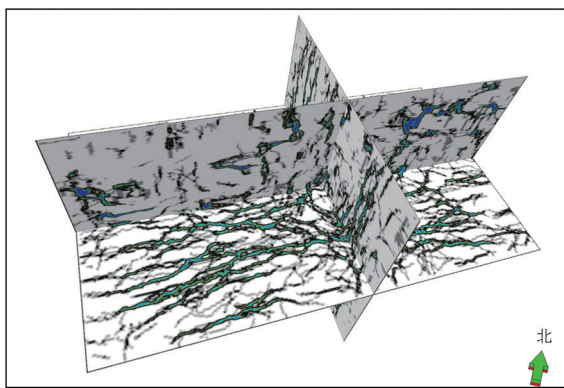


图5 C区蚂蚁追踪后的蚂蚁属性体

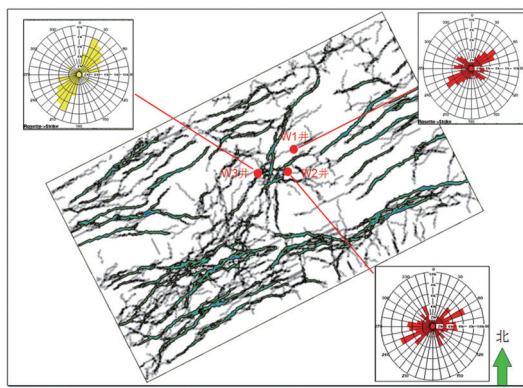


图6 Mz1-3 小层上移 5 ms 的蚂蚁属性水平切片

可以识别区内尺度较大的裂缝,弥补了单井资料少而不能预测裂缝分布的欠缺。

#### 4.2 效果分析

通过提取裂缝数据体和沿层切片(图6)可知,研究区裂缝主要发育于中生界及以下潜山地层。C区裂缝发育主要受中生代构造应力场影响,及后期新生代发育构造断裂运动对中生代地层的改造作用。裂缝的发育程度和有效程度还与岩性有关,同时裂缝系统对油气富集具有重要的控制作用。

通过分析各条裂缝的走向和倾向,认为裂缝的倾角较大,属于中高角度缝,其主要方向为东北东—西南西和北北东—南南西,与C区的主断裂发育方向基本一致。利用蚂蚁体分析裂缝发育特征结果与之前单井裂缝综合评价结果相吻合,也反映了构造断裂运动是造成裂缝较为发育的主要原因。

断裂解释的精确度直接关系着含油断块的精确落实。通过蚂蚁追踪技术对研究区进行精细断裂追踪得到的属性体剖面,对断裂的显示要明显优于常

规地震数据体剖面或其他地震属性体剖面,对于肉眼难以识别的小断层和中型裂缝也有清晰反映。这表明蚂蚁追踪技术不仅是地震剖面上断层、裂缝系统的客观反映,而且较人工解释结果更加快速和准确,极大地提高了裂缝分布预测的精度。

## 5 结 论

本文在裂缝分布规律研究的过程中,充分利用岩心裂缝观察、FMI 成像测井和蚂蚁追踪技术等方法,多项技术数据协同应用,保证了结果的可靠性。本次研究成果对大港油田 C 区的后期油藏注水开发、储集层压裂及酸化等都具有重要的指导意义,也为具有相似地质条件的区域提供了借鉴参考意义,并最终形成了以下几点认识:

(1)通过对研究区 W 1 井的取心资料分析,认为研究区裂缝主要是在砾岩、粗砂岩和细砂岩等硬地层较为发育,泥岩中很少发育。

(2)利用 FMI 成像测井开展研究区裂缝发育特征研究,主要识别出的裂缝分为高导缝、高阻缝和诱导缝,其中高导缝作为有效裂缝最为发育。

(3)在研究区取心和 FMI 成像测井资料较少的情况下,本次研究采用目前较为流行的蚂蚁追踪技术进行裂缝分布预测,结果显示在距离断层发育较近的部位,裂缝相对更加发育,裂缝的主要发育走向为:东北东—西南西以及北北东—南南西,与主断层走向一致。

## 参 考 文 献

- [1] 吴炎. 辽河油田元古界潜山水平井钻井裂缝型储集层识别方法[J]. 录井工程, 2017, 28(2): 42-45.
- [2] 贺振华, 胡光岷, 黄德济. 致密储层裂缝发育带的地震识别及相应策略[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 40(2): 190-195.
- [3] 桂先志, 段天友, 易远元, 等. 裂缝性储层纵波地震检测研究方法[J]. 石油天然气学报: 江汉石油学院学报, 2007, 29(4): 75-79.
- [4] 王芳川, 赵靖舟, 丁文龙, 等. 渝东南地区龙马溪组页岩裂缝发育特征[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(4): 760-770.
- [5] 吕文雅, 曾联波, 张俊辉, 等. 川中地区中下侏罗统致密油储层裂缝发育特征[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(2): 226-234.
- [6] 赵辉, 司马立强, 颜其彬, 等. 川中大安寨段裂缝评价及储层产能预测方法[J]. 测井技术, 2008, 32(3): 277-280.
- [7] 阙留杰, 陈钉钉, 祝国伟, 等. 应用测井、录井资料识别泥岩裂缝方法[J]. 录井工程, 2015, 26(2): 29-33.
- [8] 梁晓伟, 韩永林, 王海红, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统延长组裂缝特征及其地质意义[J]. 岩性油气藏, 2009, 21(2): 49-52.
- [9] 侯加根, 马晓强, 刘钰铭, 等. 缝洞型碳酸盐岩储层多类多尺度建模方法研究: 以塔河油田四区奥陶系油藏为例[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 59-66.
- [10] 何新兵, 董京智, 邱田民, 等. 红河油田水平井储集层裂缝录井识别技术研究[J]. 录井工程, 2014, 25(4): 15-21.
- [11] 柳建华. FMI 成像测井技术在塔河碳酸盐岩油田的应用[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(6): 487-489.
- [12] 李启翠, 楼一珊, 史文专, 等. FMI 成像测井在四川盆地页岩气地层中的应用[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(6): 58-60.
- [13] 程超, 杨洪伟, 周大勇, 等. 蚂蚁追踪技术在任丘潜山油藏的应用[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(2): 48-52.
- [14] 郝秀敏, 杨浩岭, 乔珊. 蚂蚁追踪技术在深西潜山油藏的应用[J]. 内蒙古石油化工, 2013(1): 114-116.
- [15] 张淑娟, 王延斌, 梁星如, 等. 蚂蚁追踪技术在潜山油藏裂缝预测中的应用[J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 51-54.

(返修收稿日期 2018-03-02 编辑 唐艳军)