

· 综合研究 ·

海拉尔盆地乌东地区裂缝储层综合分析

刘俊峰*^{①②} 孟小红^① 王建民^③ 陈守田^③ 安朝晖^③

(①中国地质大学,北京 100083; ②大庆油田有限责任公司海拉尔石油勘探开发指挥部,内蒙古呼伦贝尔 021000; ③大庆钻探工程公司物探一公司,黑龙江大庆 163357)

刘俊峰,孟小红,王建民,陈守田,安朝晖. 海拉尔盆地乌东地区裂缝储层综合分析. 石油地球物理勘探, 2010, 45 (增刊1): 181~184

摘要 本文基于海拉尔盆地乌东地区三维地震资料,通过构造应力场分析、叠前地震属性方位各向异性分析和叠后地震衰减属性分析等方法,对该地区的裂缝储层进行了预测。利用叠后裂缝属性和构造应力场分析对宏观裂缝发育带进行了定性预测,总结出乌东地区裂缝方向以北北西向和北东东向为主,并利用叠前地震属性方位各向异性定量预测了该区裂缝密度。

关键词 海拉尔盆地 裂缝储层 地震预测方法 裂缝密度

1 引言

裂缝广泛存在于各类岩石中,但有关裂缝储层的研究和勘探仍处在探索之中^[1~2],至今仍未形成一套系统的、行之有效的针对裂缝储层勘探的理论和方法。裂缝本身不仅能作为油气储集的空间,改善储层的性能,还能作为油气运移的通道。对于次生油藏,裂缝的发育程度对油气的聚集具有更重要的意义,裂缝发育程度决定了油气层产能。

目前国内外裂缝储层研究主要涉及以下内容:利用岩心和地层成像 FMI 等测井资料确定裂缝发育段、分析井中裂缝的走向及裂缝密度、胶结物充填、含油气性等;通过正演模拟分析裂缝储层的测井及地震响应特征,确定可用于解决目标区地下裂缝的地震属性;运用叠后地震属性预测裂缝发育带(FRS 软件则可用叠前方位角道集地震属性预测裂缝发育带及裂缝方向)。

海拉尔盆地是一个复杂断陷盆地,它叠置在大兴安岭海西早期褶皱带海拉尔复向斜之上。盆地形成大致经历了初始断陷、强烈断陷、稳定断陷、断陷萎缩、拗陷等五个发育阶段^[3],自下而上形成了铜钵庙组、南屯组和大磨拐河组下段 3 套烃源岩,钻井揭示有基岩风化壳、铜钵庙组砂砾岩、南屯组和大磨拐

河组砂岩等四套储层^[4]。其中基岩风化壳即布达特群地层经后期多次构造运动和风化剥蚀形成了丰富的裂缝,是一套以裂缝和风化孔洞为特征的储层。已有勘探成果表明海拉尔盆地基岩风化壳储层与裂缝关系最为密切,成为目前勘探重点之一。研究区在构造区划上位于海拉尔盆地乌尔逊凹陷的东部,总体上为向西南倾的单斜。人们已经对该区铜钵庙组、南屯组、大磨拐河组砂岩储层进行了深入研究,而对于基岩风化壳裂缝储层还未开展过研究。本文通过构造应力场分析、叠前和叠后地震属性分析,总结出了该区裂缝储层地震综合预测方法,即利用反射强度、倾角方差和地震能量衰减梯度等叠后地震属性对裂缝发育带进行定性预测;通过应力场数值模拟,分析构造曲率、最大应变、最大应力和应力方向角等参数与裂缝的关系,判断构造裂缝的发育程度及空间展布;利用叠前方位角道集振幅(阻抗)、频率域衰减等属性对裂缝密度及裂缝方向进行了定量预测。

2 储层裂缝发育带的标定

储层裂缝发育带的标定包括两方面内容:一方面利用岩心和测井解释结果确定裂缝发育段;另一方面对裂缝段的地震响应特征进行标定,对地震属

* 内蒙古自治区呼伦贝尔市大庆油田有限责任公司海拉尔石油勘探开发指挥部,021000
本文于 2009 年 12 月 4 日收到,最终修改稿于 2010 年 9 月 12 日收到。

性赋予地质含义,确定对裂缝敏感的地震检测方法,为后续储层裂缝地震预测提供指导和依据。同时需要用已知井对地震预测结果进行验证。

结合岩心和测井解释的裂缝参数,对乌东地区裂缝发育带进行了标定。WU33井的裂缝集中段主要发育在基岩风化壳裂缝储层向下10~20ms范围

内。图1是该井段的地震波场正演模拟结果,结果表明,风化壳储层以强反射为特征,其反射振幅随炮检距的增大而减小;方位角振幅的椭圆拟合结果表明,各方位角的振幅变化也较明显,长短轴的比值为1.027,裂缝储层的各向异性特征明显,椭圆短轴的方向即为裂缝走向方向。

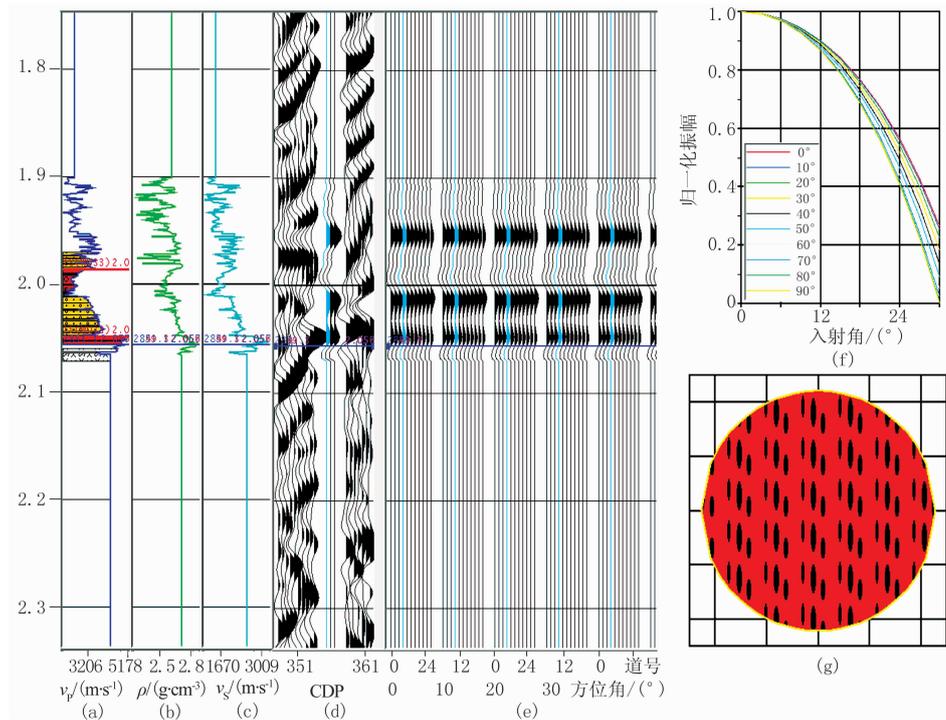


图1 WU33井含油裂缝储层的波场正演结果

($0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 方位角,间隔 10° ,每个方位角含 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 入射角,间隔 3°)

(a)声波;(b)密度;(c)横波测井曲线;(d)合成记录及井旁地震道;(e)入射角道集;(f) $10^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 方位角反射系数曲线图;(g)方位角反射系数椭圆图,椭圆代表各向异性,圆代表各向同性。

3 宏观裂缝发育带定性预测

高密度的裂缝会引起地震波的散射和地震能量的衰减,地震波的散射强度与裂缝的密度和空间分布变化成正比。在地震波散射的同时还会导致地震波主频率的下降。因此可根据地震能量和频率的衰减特征预测裂缝发育带。利用叠后地震属性可进行宏观裂缝发育带定性预测,通过对相干分析、边缘检测、反射强度、倾角方差、地震能量衰减梯度等多种叠后属性的分析预测裂缝。经过对比发现,以地震能量衰减梯度预测裂缝发育带的效果最好。

图2为乌东地区基岩顶面能量衰减梯度平面分布图,图中暖色调代表裂缝发育区,冷色调代表裂缝不发育区。从预测结果看,基岩风化壳裂缝储层

裂缝发育区在WU27、WU5、WD3井之间,裂缝发育带呈北北西向展布,且多集中在断层附近,与已知井吻合。

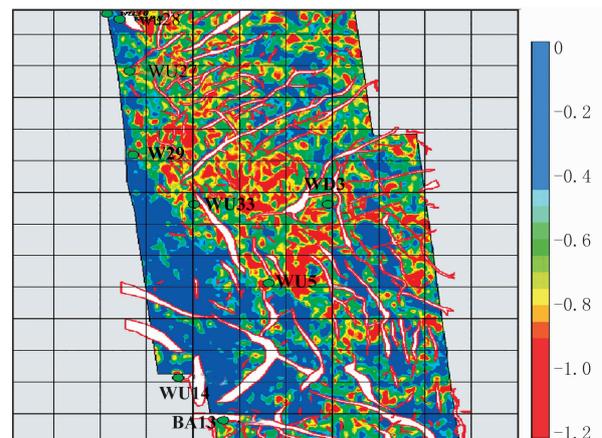


图2 乌东地区基岩顶面衰减梯度分布图

4 构造裂缝发育带定性预测

针对裂缝储层的构造特征,从构造力学角度出发,利用地层的几何信息(构造面)、岩性信息(速度、密度),估算出地层的应力场,包括地层面的曲率张量、变形张量和应力场张量,从而得到主曲率、主应变和主应力。分析应力场的变化特征,可以将其作为进一步判断裂缝的参考依据,同时也可反映构造对裂缝发育程度的影响。应用 FRS 软件对乌东地

区基岩风化壳顶面进行了应力场数值模拟。构造曲率表示构造面梯度变化的快慢。构造曲率大值区,表示构造面梯度变化快,可指示构造裂缝发育带;最大主应变表示形变的大小,其中张应变与裂缝密度有关;最大主应力分压应力和张应力,其中压应力平行裂缝方向,张应力垂直裂缝法向方向。应力大值区,表示受力作用强,可指示构造裂缝发育。构造曲率、最大主应变、最大主应力的预测结果是相似的,故可选取最大主应变和最大主应力方向相结合来进行应力场分析和裂缝预测。

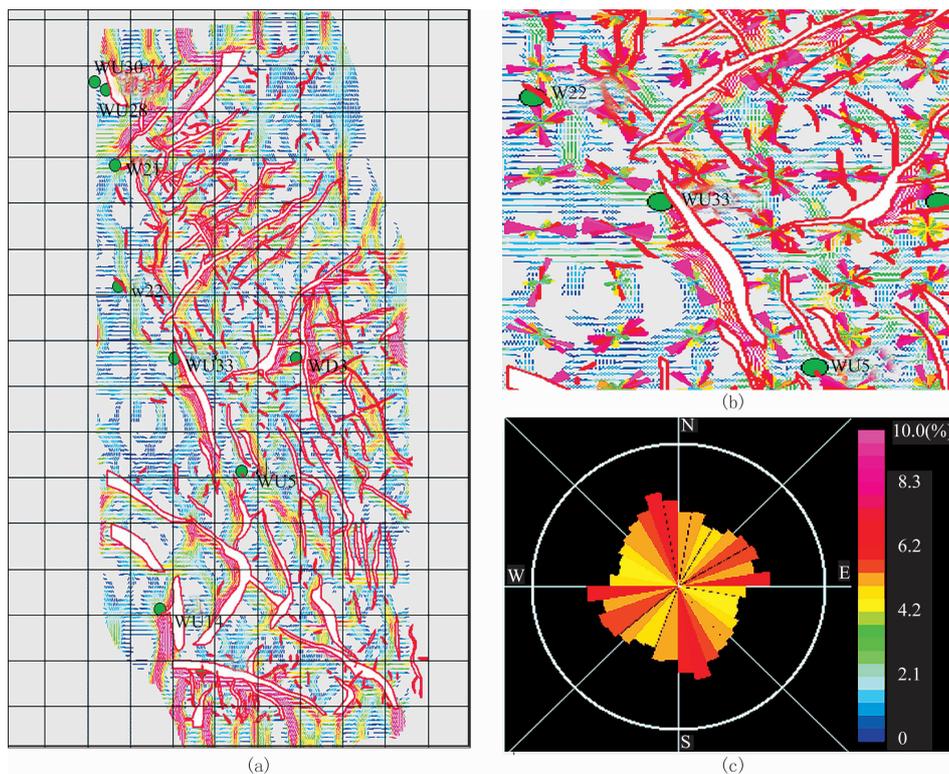


图 3 乌东地区基岩顶面构造应力场分布特征

(a) 基岩顶面构造应力场分布特征; (b) 乌 33 井附近局部放大图; (c) 应力玫瑰统计图, 暖色代表应力大。

从应用最大主应力方向与最大主应变应力场属性对乌东地区基岩风化壳裂缝储层构造裂缝发育带分布预测结果看出,基岩风化壳构造裂缝主要分布于断层附近,裂缝方向以北北西向和北东东向为主,与区域构造应力方向一致(图 3)。

5 定向裂缝发育带定量预测

叠前地震裂缝检测技术主要是基于地震波场的各向异性理论。理论研究表明,在相同的孔隙度条件下,细小的裂缝比圆形的孔隙对地震波速度的影

响更大。定向排列裂缝的存在可以引起明显的地震各向异性。因此可以通过研究叠前三维地震属性(振幅、能量、频率等)随方位角的变化特征来预测裂缝密度和裂缝方向。利用振幅的方位各向异性分析可以直接对方位角道集的振幅属性进行方位椭圆拟合,通常采用标定后的振幅(相对波阻抗)进行方位椭圆拟合。在进行频率域地震衰减属性的方位各向异性分析时,首先需要通过对瞬时谱分析技术将时间域的方位角道集地震数据变换到频率域,提取出各种衰减属性的数据体,然后对这些不同的频率域属性数据体分别进行椭圆拟合,再根据拟合出的椭圆

的长短轴比值来确定裂缝密度,依据正演模拟确定的椭圆短轴方向代表裂缝方向。

图4是根据地震相对阻抗随方位角变化得到的海拉尔盆地乌东地区基岩风化壳裂缝储层裂缝预测结果,左图为该属性方位椭圆的扁率,暖色调代表扁率大,指示裂缝密度大,冷色调代表扁率小,指示裂

缝密度小。裂缝密度高值区发育在北北西向断层的左侧。右下图为该属性的椭圆空间定向玫瑰统计结果图,代表裂缝方向,裂缝方向主要呈北北西向和北东东向两组。右上角图为裂缝密度和裂缝方向的放大后的叠合图。从裂缝密度高值区的裂缝方向来看主要为北北西向。

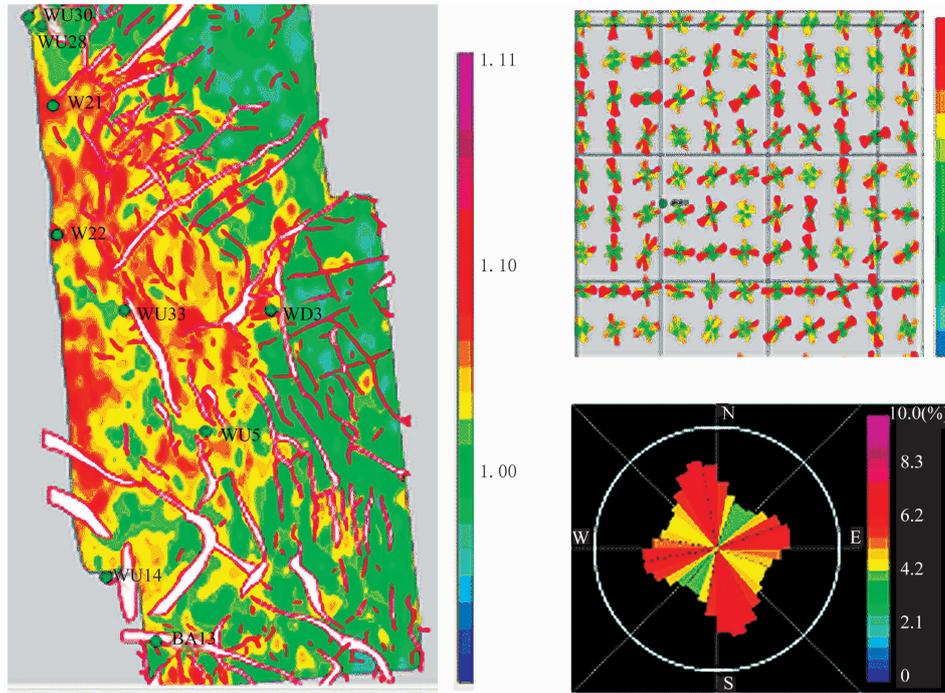


图4 乌东地区基岩风化壳顶面相对阻抗各向异性裂缝分布图

6 结论

(1)叠后地震衰减属性反映了裂缝的非均质性;叠前地震方位角道集上地震属性的差异则反映了裂缝的各向异性;构造应力场分析结果表明了构造裂缝的发育情况。利用叠后地震衰减属性可对裂缝发育带进行定性预测,通过构造应力场分析判断构造裂缝的发育程度,而对叠前方位角道集地震振幅、频率衰减属性的各向异性分析可用于裂缝密度的定量预测。

(2)综合叠后地震衰减属性、构造应力场和叠前地震方位各向异性分析结果可以看出该区的裂缝发育规律。乌东地区基岩风化壳构造裂缝发育,主要分布于断层附近,裂缝方向以北北西向和北东东向为主,与区域构造应力场方向一致。在北北西和北东东断层交错发育带裂缝的非均质性强,在北北西

断层发育带裂缝的各向异性强于非均质性。

(3)综合叠前叠后地震属性对裂缝密度的解释可信度更高,但由于地震分辨率的限制,地震预测裂缝密度的结果只对一定厚度的裂缝储层有效。尽管如此,通过地震方法预测裂缝密度和裂缝方向对井位部署,特别是研究潜山风化壳储层仍有重要参考价值。

参考文献

- [1] 张亚中,周晶,李建华.青西凹陷南次凹裂缝性储层地震综合预测.石油地球物理勘探,2009,44(2):225~230
- [2] 童亨茂.储层裂缝描述与预测研究进展.新疆石油学院学报,2004,25(5):9~14
- [3] 陈守田,刘招君.海拉尔盆地含油气系统.吉林大学学报(地球科学版),2002,32(2):151~154
- [4] 王建民,刘杰烈,陈守田.海拉尔盆地岩性—地层油气藏勘探前景.石油地球物理勘探,2006,41(4):439~441

(本文编辑:金文昱)