

高角度裂缝预测方法、计算机设备及计算机可读存储介质

技术领域

本发明涉及油气勘探技术领域，特别涉及一种高角度裂缝预测方法、计算机设备及
5 计算机可读存储介质。

背景技术

目前对于页岩气勘探开发至关重要的裂缝分布密度、裂缝方向等甜点参数仍然无法
求取，只能依靠钻井信息进行点状估算，无法开展整个区域定量化裂缝预测，随着宽方
10 位地震数据的应用，推动了地震各向异性研究，可以有效解决 HTI（Horizontal
Transverse Isotropy，是描述各向同性介质中分布着一组平行的定向排列的垂直裂隙所构
成的各向异性介质模型，它属于方位各向异性，地震波在该类介质中传播，速度随方向
变化的特性不仅表现在随着相位角的变化而变化，而且随着观测方位的变化而变化。一
般认为方位各向异性是由应力和定向排列的垂直裂隙所引起的）介质裂缝的定量预测问
15 题，对页岩气具体的勘探、开发具有重要作用。

现阶段对于利用宽方位地震数据预测裂缝的方法很多，方位的振幅随偏移距变化
（AVA_z）预测的成果是反映界面信息，不适用于储层内部裂缝信息的预测；纵波快慢速
度各向异性分析（VVA_z）是基于宽方位地震处理的速度差异信息，属于地层层段信
息，其成果分辨率过低，仅能较好控制裂缝的分布规律；比较适用于储层内部裂缝预测
20 的方法是各向异性反演，该方法的裂缝预测成果反映的是储层层段内裂缝的信息，适用
于开展储层内部层段的裂缝的定量的研究，但是该方法在方位各向异性反演裂缝预测过
程中采用各向同性低频模型不合理，低频信息的来源局限，容易造成裂缝预测成果规律
性不强，使方位地震数据的各向异性信息受到压制。

发明内容

本发明实施例提供了一种高角度裂缝预测方法、计算机设备及计算机可读存储介
质，把纵波快慢速度的各向异性差异信息融合到低频模型中来求取地层的各向异性信
息，从而预测所求裂缝信息，解决了现有方法中存在的各向异性反演裂缝预测过程中无
法提供合理低频模型的技术问题。

30 本发明实施例提供了一种高角度裂缝预测方法，该方法包括：

基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演，获得第一各向异性强度；

对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向；

- 5 将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度；

根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向，建立方位纵波各向异性低频模型；

- 10 基于所述方位纵波各向异性低频模型，对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向；

对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果。

本发明实施例还提供了一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现：

- 15 基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演，获得第一各向异性强度；

对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向；

将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度；

- 20 根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向，建立方位纵波各向异性低频模型；

基于所述方位纵波各向异性低频模型，对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向；

对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果。

- 25 本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序用于执行：

基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演，获得第一各向异性强度；

- 30 对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向；

将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度；

根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向，建立方位纵波各向异性低频模型；

- 5 基于所述方位纵波各向异性低频模型，对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向；

对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果。

- 在本发明实施例中，基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演，获得第一各向异性强度，然后对目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向，将第一各向异性强度与纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度，根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向建立方位纵波各向异性低频模型，达到了融合纵波速度差异的各向异性分析成果到方位各向异性低频建立过程中，这样解决了现有方法中存在的各向异性反演裂缝预测过程中无法提供合理低频模型的技术问题。然后基于方位纵波各向异性低频模型对目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向，对第二各向异性强度和第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果，实现裂缝的定量预测，既能具有裂缝分布的整体合理性，又保证裂缝预测精度。
- 10
- 15

20 附图说明

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

- 25 图 1 是本发明实施例提供的一种高角度裂缝预测方法流程图；
- 图 2 是本发明实施例提供的一种具体的高角度裂缝预测方法处理流程图；
- 图 3 是本发明实施例提供的一种最优化的测井解释结果示意图；
- 图 4 是本发明实施例提供的一种裂缝型储层地震岩石物理解释模板示意图；
- 图 5 是本发明实施例提供的一种各向同性低频模型剖面的示意图；
- 30 图 6 是本发明实施例提供的一种快纵波速度剖面（由 a 表示）和慢纵波速度剖面

(由 **b** 表示) 的示意图;

图 7 是本发明实施例提供的一种快慢纵波速度分析获得的裂缝方位角统计分析裂缝方位角示意图, 认为这个方向是垂直于各向异性的方向;

图 8 是本发明实施例提供的一种纵波快慢速度差异的各向异性与第一各向异性强度
5 的拟合关系示意图;

图 9 是本发明实施例提供的一种各向异性强度对比剖面示意图 (a 即上面的图: 快慢纵波速度分析获得的各向异性 (J) 剖面; **b**: 是 J 与第一各向异性强度 (b_1) 拟合, 校正后获得的基于纵波快慢速度差异的各向异性强度 (b_{1v}) 剖面;

图 10 是本发明实施例提供的一种方位各向异性低频模型示意图;

10 图 11 是本发明实施例提供的一种各向异性强度剖面图 (上面的图: 第一次各向异性反演获得的第一各向异性强度 (b_1); 中间的图: 快慢纵波速度分析校正后获得的各向异性强度 (b_{1v}); 下面的图: 第二次各向异性反演获得的第二各向异性强度 (b_{12}));

图 12 是本发明实施例提供的一种裂缝综合分析平面图 (a 图: 第一次各向异性反演
15 获得的裂缝密度和方向; **b** 图: 快慢纵波速度分析校正后获得的裂缝密度和方向; **c** 图: 第二次各向异性反演获得的裂缝密度和方向);

图 13 是本发明实施例提供的一种裂缝方位角统计分析示意图 (a: 第一次各向异性反演获得的裂缝方位角统计分析直方图; **b**: 快慢纵波速度分析获得的裂缝方位角统计分析直方图; **c**: 第二次各向异性反演获得的裂缝方位角统计分析直方图);

20 图 14 是本发明实施例提供的一种计算机设备的系统构成的示意框图。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例仅是本发明一部分实施例, 而不是全部的实施例。基于
25 本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例, 都属于本发明保护的范围。

在本发明实施例中, 提供了一种高角度裂缝预测方法, 如图 1 所示, 该方法包括:

步骤 101: 基于已构建的各向同性低频模型, 对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演, 获得第一各向异性强度;

30 步骤 102: 对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析, 获

得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向；

步骤 103：将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度；

步骤 104：根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向，建立方位纵波各向异性低频模型；

步骤 105：基于所述方位纵波各向异性低频模型，对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向；

步骤 106：对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果。

10 在本发明实施例中，如图 2 所示，步骤 101 具体按照如下方式实现：

（1）获得目标区域的测井数据，包括：测井纵、横波曲线、密度曲线，纵横波阻抗，纵横波速度比和岩石矿物成分曲线、孔隙度曲线、含水饱和度曲线、钻井分层等数据，如图 3 所示。根据所述测井数据完成针对裂缝型储层的测井评价及分析，储层的裂缝会导致地层的各向异性，故需要建立基于裂缝的岩石物理建模，确定对于该裂缝引起的各向异性储层的敏感性弹性参数，该流程选择纵横波速度比作为该类储层裂缝的敏感弹性参数，如图 4 所示，随着裂缝孔隙度有微小变化时，地层的纵横波速度比有较大的变化特征，其中， ϕ_{frac} 是指裂缝孔隙度， Sw_t 是指含水饱和度， ϕ_t 是指地层总孔隙度；

20 （2）获得目标区域的地震层位数据，利用构造解释成果，主要是地震层位数据建立构造框架模型，并集合测井数据建立各向同性低频模型，如图 5 所示；

（3）获得目标区域的宽方位地震数据，宽方位地震数据质量的好坏直接关系到后续的反演效果，故需要对宽方位地震数据的质量进行评估，重点是关注宽方位地震数据的方位与偏移距的分布特点，制定最有利的方位及偏移距的划分原则。具体的，对所述目标区域的宽方位地震数据按照先分方位角再分偏移距的方式进行分叠加，形成多方位分叠加数据；

25 （4）基于已构建的各向同性低频模型，对所述多方位分叠加数据进行多方位叠前各向异性反演，对每一个方位进行一次叠前反演，得到分方位的裂缝的敏感弹性参数数据（纵横波速度比数据）；

（5）根据分方位的纵横波速度比数据，确定第一各向异性强度。

30 其中，按照如下公式确定第一各向异性强度：

$$\log\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_1 = b_0 + b_1 \cdot \cos[2(\omega - \phi)] + b_2 \cdot \cos[4(\omega - \phi)];$$

其中, V_p 表示纵波速度, V_s 表示横波速度, b_1 表示第一各向异性强度, ω 表示地震数据的方位角, 即工区测网方位角, ϕ 表示第一各向异性方向, b_0 表示各向同性背景, b_2 表示第一次方位各向异性反演中高阶噪音的影响的各向异性, $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_1$ 表示基于各

5 项同性低频模型第一次方位各向异性反演后获得的纵横波速度比。

在本发明实施例中, 如图 2 所示, 步骤 102 具体按照如下方式实现:

(1) 对所述目标区域的宽方位地震数据进行处理, 获得快纵波速度、慢纵波速度和快纵波速度方向, 如图 6 中的 a 和 b 所示为快、慢纵波速度剖面;

(2) 开展纵波各向异性分析, 获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度的方向。从快慢纵波来讲, 快纵波是沿着地层中的各向同性方向传播, 一般认为快纵波传播的方向相当于裂缝发育的方向, 各向异性的方向应该是垂直于裂缝的方向。如图 7 所示为快纵波速度方向分析获得的裂缝方位角统计分析图。

其中, 按照如下公式确定纵波快慢速度差异的各向异性:

$$J = \frac{Vp^{NMO}_{fast} - Vp^{NMO}_{slow}}{Vp^{NMO}_{fast}};$$

15 其中, J 表示纵波快慢速度差异的各向异性, Vp^{NMO}_{fast} 表示快纵波速度, Vp^{NMO}_{slow} 表示慢纵波速度。这里认为快纵波传播的方向相当于裂缝的发育方向。

(3) 分析从纵波速度各向异性分析得到的各向异性参数, 通过对于层段内快纵波速度直方图分析, 可以得到层段内发生各向异性的主体方位角, 如图 7 所示, 并将该确定方位作为建立各向异性低频模型的输入。

20 在本发明实施例中, 如图 2 所示, 步骤 103 具体按照如下方式实现:

对比步骤 101 中的第一次方位各向异性反演成果与步骤 102 中的纵波快慢速度各向异性分析的成果, 首先针对第一各向异性反演成果与纵波快慢速度各向异性分析的表征裂缝强度的成果进行分析, 由于两个成果对于反映裂缝强度的值域不相同, 所以需要纵波快慢速度各向异性分析成果中的纵波快慢速度差异的各向异性 (J) 的值域校正到与第一次方位各向异性反演获得的第一各向异性强度 (b_1) 具有相同的值域范围, 通过两者交会分析的方法拟合得到两者关系式, 将纵波快慢速度差异的各向异性 (J) 转化

为与第一各向异性强度 (b_1) 具有相同的值域特征的基于纵波快慢速度差异的各向异性强度 (b_{1v}), 如图 8 所示。图 9 中的 a 所示是快慢纵波速度差异引起的各向异性 (J), 图 9 中的 b 所示是把快慢纵波速度差异引起的各向异性校正到第一各向异性强度 (b_1) 的值域范围内, 校正以后形成的基于纵波快慢速度差异的各向异性强度 (b_{1v}) 的剖面对

5 比分析示意图。

其中拟合公式如下:

$$b_{1v} = -0.23 \times J - 0.005。$$

在本发明实施例中, 如图 2 所示, 步骤 104 具体按照如下方式实现:

10 将基于纵波快慢速度差异的各向异性强度 (b_{1v}) 和快纵波速度方向融合到已构建的方位各向同性低频模型中。通过拟合各向异性纵横波速度比的近似关系式 (下面公式), 建立方位纵波各向异性低频模型, 如图 10 所示;

其中, 方位纵波各向异性低频模型的近似关系式如下:

$$\left(\frac{V_p}{V_s} \right)_{01} \approx e^{2b_{1v} \cdot \cos^2(\omega - \phi_v)} \cdot \left(\frac{V_p}{V_s} \right)_0;$$

15 其中, V_p 表示纵波速度, V_s 表示横波速度, b_{1v} 表示基于纵波快慢速度差异的各向异性强度, ω 表示地震数据的方位角, ϕ_v 表示垂直于快纵波速度的方向, $\left(\frac{V_p}{V_s} \right)_{01}$ 表示

方位纵波各向异性低频模型, $\left(\frac{V_p}{V_s} \right)_0$ 表示各项同性低频模型。

在本发明实施例中, 步骤 105 具体按照如下方式实现:

基于所述方位纵波各向异性低频模型, 按照如下公式对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演, 获得第二各向异性强度和第二各向异性方向:

$$20 \quad \log \left(\frac{V_p}{V_s} \right)_2 = b_0 + b_{12} \cdot \cos[2(\omega - \phi_2)] + b_{22} \cdot \cos[4(\omega - \phi_2)];$$

其中, V_p 表示纵波速度, V_s 表示横波速度, b_0 表示各向同性背景, b_{12} 表示第二各向异性强度, ω 表示地震数据的方位角, ϕ_2 表示第二各向异性方向, b_{22} 表示第二次方位各向异性反演中高阶噪音影响的各向异性; $\left(\frac{V_p}{V_s} \right)_2$ 表示第二次方位各向异性反演后获

得的纵横波速度比。

在本发明实施例中，步骤 106 具体按照如下方式实现：

对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果，各向异性强度一定程度上反映裂缝的密度，而各向异性方向与裂缝的方向在方位上近似
5 垂直，故得到裂缝密度以及裂缝方向。

下面将第一次各向异性反演获得数据和第二次各向异性反演获得数据进行比较来说明本发明方法的优点。

图 11 是本发明实施例提供的一种各向异性强度剖面图（上面的图：第一次各向异性反演获得的第一各向异性强度（ b_1 ）；中间的图：快慢纵波速度分析校正后获得的各向异性强度（ b_{1v} ）；下面的图：第二次各向异性反演获得的第二各向异性强度（ b_{12} ））；
10

图 12 是本发明实施例提供的一种裂缝综合分析平面图（a 图：第一次各向异性反演获得的裂缝密度和方向；b 图：快慢纵波速度分析校正后获得的裂缝密度和方向；c 图：第二次各向异性反演获得的裂缝密度和方向）；由图 12 可知，第一次各向异性反演后获得的裂缝方向比较散乱，预测裂缝的规律性不强；基于纵波快慢速度引起的各向异性校正后，获得的裂缝方向只是反映大致的规律性，但分辨率低；第二次各向异性反演后获得的裂缝方位规律性比较强，而且预测裂缝的分辨率有提高。
15

图 13 是本发明实施例提供的一种裂缝方位角统计分析示意图（a：第一次各向异性反演获得的裂缝方位角统计分析直方图；b：快慢纵波速度分析获得的裂缝方位角统计分析直方图；c：第二次各向异性反演获得的裂缝方位角统计分析直方图）；由图 13 可知，第一次各向异性反演后获得的裂缝方向比较散乱，基于纵波快慢速度引起的各向异性校正后，获得的裂缝方向只是反映大致的规律性；第二次各向异性反演后获得的裂缝方位规律性比较强。
20

本发明还提出一种计算机设备，该计算机设备可以是台式计算机、平板电脑及移动终端等，本实施例不限于此。在本实施例中，该计算机设备可以完成高角度裂缝预测方法的实施。
25

图 14 为本发明实施例的计算机设备 500 的系统构成的示意框图。如图 14 所示，该计算机设备 500 可以包括处理器 100 和存储器 140；存储器 140 耦合到处理器 100。值得注意的是，该图是示例性的；还可以使用其他类型的结构，来补充或代替该结构，以实现电信功能或其他功能。
30

一实施例中，实现高角度裂缝预测功能的计算机程序可以被集成到处理器 100 中。
其中，处理器 100 可以被配置为进行如下控制：

基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演，获得第一各向异性强度；

- 5 对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向；

将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度；

- 10 根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向，建立方位纵波各向异性低频模型；

基于所述方位纵波各向异性低频模型，对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向；

对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果。

在本发明实施例中，所述处理器执行所述计算机程序时实现：

- 15 对所述目标区域的宽方位地震数据按照先分方位角再分偏移距的方式进行分叠加，形成多方位分叠加数据；

基于已构建的各向同性低频模型，对所述多方位分叠加数据进行方位各向异性反演，获得分方位的纵横波速度比；

根据分方位的纵横波速度比，确定第一各向异性强度。

- 20 在本发明实施例中，所述处理器执行所述计算机程序时实现：

对所述目标区域的宽方位地震数据进行处理，获得快纵波速度、慢纵波速度和快纵波速度方向；

根据所述快纵波速度和慢纵波速度确定纵波快慢速度差异的各向异性。

- 25 按照如下公式将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度：

$$b_{1v} = -0.23 \times J - 0.005;$$

其中， b_{1v} 表示基于纵波快慢速度差异的各向异性强度； J 表示纵波快慢速度差异的各向异性。

在本发明实施例中，所述处理器执行所述计算机程序时实现：

- 30 按照如下公式建立方位纵波各向异性低频模型；

$$\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_{01} \approx e^{2b_{1v} \cdot \cos^2(\omega - \phi_v)} \cdot \left(\frac{V_p}{V_s}\right)_0;$$

其中, V_p 表示纵波速度, V_s 表示横波速度, b_{1v} 表示基于纵波快慢速度差异的各向异性强度, ω 表示地震数据的方位角, ϕ_v 表示垂直于快纵波速度的方向, $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_{01}$ 表示方位纵波各向异性低频模型, $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_0$ 表示各项同性低频模型。

5 在另一个实施方式中, 高角度裂缝预测的功能可以与处理器 100 分开配置, 例如可以将高角度裂缝预测的功能配置到与处理器 100 连接的芯片上, 通过处理器的控制来实现高角度裂缝预测的功能。

如图 14 所示, 该计算机设备 500 还可以包括: 输入单元 120、显示器 160、电源 170。值得注意的是, 计算机设备 500 也并不是必须要包括图 14 中所示的所有部件; 此外, 计算机设备 500 还可以包括图 14 中没有示出的部件, 可以参考现有技术。

其中, 处理器 100 有时也称为控制器或操作控件, 可以包括微处理器或其他处理器装置和/或逻辑装置, 该处理器 100 接收输入并控制计算机设备 500 的各个部件的操作。

输入单元 120 向处理器 100 提供输入。该输入单元 120 例如为按键或触摸输入装置。

15 存储器 140, 例如可以是缓存器、闪存、硬驱、可移动介质、易失性存储器、非易失性存储器或其它合适装置中的一种或更多种。可存储执行有关信息的程序, 并且处理器 100 可执行该存储器 140 存储的该程序, 以实现信息存储或处理等。

该存储器 140 可以是固态存储器, 例如, 只读存储器 (ROM)、随机存取存储器 (RAM)、SIM 卡等。还可以是这样的存储器, 其即使在断电时也保存信息, 可被选择性地擦除且设有更多数据, 该存储器的示例有时被称为 EPROM 等。存储器 140 还可以是某种其它类型的装置。存储器 140 包括缓冲存储器 141 (有时被称为缓冲器)。存储器 140 可以包括应用/功能存储部 142, 该应用/功能存储部 142 用于存储应用程序和功能程序或用于通过处理器 100 执行电子设备的操作的流程。

20 存储器 140 还可以包括数据存储部 143, 该数据存储部 143 用于存储数据, 例如联系人、数字数据、图片、声音和/或其他由电子设备使用的数据。存储器 140 的驱动

程序存储部 144 可以包括电子设备的用于通信功能和/或用于执行电子设备的其他功能（如消息传送应用、通讯录应用等）的各种驱动程序。

显示器 160 用于进行图像和文字等显示对象的显示。该显示器例如可为 LCD 显示器，但并不限于此。

5 电源 170 用于向计算机设备 500 提供电力。

本发明实施例还提供了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序用于执行上述任一所述高角度裂缝预测方法的计算机程序。

所述计算机可读存储介质可以包括用于存储信息的物理装置，可以将信息数字化后
10 再以利用电、磁或者光学等方式的媒体加以存储。本实施例所述的计算机可读存储介质可以包括：利用电能方式存储信息的装置如，各式存储器，如 RAM、ROM 等；利用磁能方式存储信息的装置如，硬盘、软盘、磁带、磁芯存储器、磁泡存储器、U 盘；利用光学方式存储信息的装置如，CD 或 DVD。当然，还有其他方式的可读存储介质，例如量子存储器、石墨烯存储器等等。

15 综上所述，本发明提出的高角度裂缝预测方法、计算机设备及计算机可读存储介质具有如下有益效果：

基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演，获得第一各向异性强度，然后对目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向，将第一各向异性强度与纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度，根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向建立方位纵波各向异性低频模型，达到了融合纵波速度差异的各向异性分析成果到方位各向异性低频建立过程中，这样解决了现有方法中存在的各向异性反演裂缝预测过程中无法提供合理
20 低频模型的技术问题。然后基于方位纵波各向异性低频模型对目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向，对第二各向异性强度和第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果，实现裂缝的定量预测，既能具有裂缝分布的整体合理性，又保证裂缝预测精度。

以上所述仅为本发明的优选实施例而已，并不用于限制本发明，对于本领域的技术人员来说，本发明实施例可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。
30

权利要求

1. 一种高角度裂缝预测方法，其特征在于，包括：

5 基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演，获得第一各向异性强度；

对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向；

将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度；

10 根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向，建立方位纵波各向异性低频模型；

基于所述方位纵波各向异性低频模型，对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向；

对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果。

15 2. 如权利要求 1 所述的高角度裂缝预测方法，其特征在于，基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演，获得第一各向异性强度，包括：

对所述目标区域的宽方位地震数据按照先分方位角再分偏移距的方式进行分叠加，形成多方位分叠加数据；

20 基于已构建的各向同性低频模型，对所述多方位分叠加数据进行方位各向异性反演，获得分方位的纵横波速度比；

根据分方位的纵横波速度比，确定第一各向异性强度。

3. 如权利要求 1 所述的高角度裂缝预测方法，其特征在于对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向，包括：

25 对所述目标区域的宽方位地震数据进行处理，获得快纵波速度、慢纵波速度和快纵波速度方向；

根据所述快纵波速度和慢纵波速度确定纵波快慢速度差异的各向异性。

4. 如权利要求 3 所述的高角度裂缝预测方法，其特征在于，按照如下公式将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度：

30 第一各向异性强度与纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度；

$$b_{1v} = -0.23 \times J - 0.005;$$

其中, b_{1v} 表示基于纵波快慢速度差异的各向异性强度; J 表示纵波快慢速度差异的各向异性。

5. 如权利要求 4 所述的高角度裂缝预测方法, 其特征在于, 根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向, 按照如下公式建立方位纵波各向异性低频模型:

$$\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_{01} \approx e^{2b_{1v} \cdot \cos^2(\omega - \phi_v)} \cdot \left(\frac{V_p}{V_s}\right)_0;$$

其中, V_p 表示纵波速度, V_s 表示横波速度, b_{1v} 表示基于纵波快慢速度差异的各向异性强度, ω 表示地震数据的方位角, ϕ_v 表示垂直于快纵波速度的方向, $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_{01}$ 表示

- 10 方位纵波各向异性低频模型, $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_0$ 表示各项同性低频模型。

6. 一种计算机设备, 包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序, 其特征在于, 所述处理器执行所述计算机程序时实现:

基于已构建的各向同性低频模型, 对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各向异性反演, 获得第一各向异性强度;

- 15 对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析, 获得纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向;

将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合, 获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度;

- 20 根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向, 建立方位纵波各向异性低频模型;

基于所述方位纵波各向异性低频模型, 对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演, 获得第二各向异性强度和第二各向异性方向;

对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析, 获得裂缝预测结果。

7. 如权利要求 6 所述的计算机设备, 其特征在于, 所述处理器执行所述计算机程序时实现:

对所述目标区域的宽方位地震数据按照先分方位角再分偏移距的方式进行分叠加,

形成多方位分叠加数据；

基于已构建的各向同性低频模型，对所述多方位分叠加数据进行方位各向异性反演，获得分方位的纵横波速度比；

根据分方位的纵横波速度比，确定第一各向异性强度。

- 5 8. 如权利要求 6 所述的计算机设备，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现：

对所述目标区域的宽方位地震数据进行处理，获得快纵波速度、慢纵波速度和快纵波速度方向；

根据所述快纵波速度和慢纵波速度确定纵波快慢速度差异的各向异性。

- 10 9. 如权利要求 8 所述的计算机设备，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现：

按照如下公式将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度：

$$b_{1v} = -0.23 \times J - 0.005;$$

- 15 其中， b_{1v} 表示基于纵波快慢速度差异的各向异性强度； J 表示纵波快慢速度差异的各向异性。

10. 如权利要求 9 所述的计算机设备，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现：

按照如下公式建立方位纵波各向异性低频模型；

20
$$\left(\frac{V_p}{V_s} \right)_{01} \approx e^{2b_{1v} \cdot \cos^2(\omega - \phi_v)} \cdot \left(\frac{V_p}{V_s} \right)_0;$$

其中， V_p 表示纵波速度， V_s 表示横波速度， b_{1v} 表示基于纵波快慢速度差异的各向异性强度， ω 表示地震数据的方位角， ϕ_v 表示垂直于快纵波速度的方向， $\left(\frac{V_p}{V_s} \right)_{01}$ 表示

方位纵波各向异性低频模型， $\left(\frac{V_p}{V_s} \right)_0$ 表示各项同性低频模型。

11. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序用于执行：
- 25

基于已构建的各向同性低频模型，对目标区域的宽方位地震数据进行第一次方位各

向异性反演，获得第一各向异性强度；

根据第一各向异性方向，对所述目标区域的宽方位地震数据进行纵波快慢速度各向异性分析，获得纵波快慢速度差异的各向异性和快纵波速度方向；

5 将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度；

根据基于纵波快慢速度差异的各向异性强度和快纵波速度方向，建立方位纵波各向异性低频模型；

基于所述方位纵波各向异性低频模型，对所述目标区域的宽方位地震数据进行第二次方位各向异性反演，获得第二各向异性强度和第二各向异性方向；

10 对所述第二各向异性强度和所述第二各向异性方向进行分析，获得裂缝预测结果。

12. 如权利要求 11 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机程序用于执行：

对所述目标区域的宽方位地震数据按照先分方位角再分偏移距的方式进行分叠加，形成多方位分叠加数据；

15 基于已构建的各向同性低频模型，对所述多方位分叠加数据进行方位各向异性反演，获得分方位的纵横波速度比；

根据分方位的纵横波速度比，确定第一各向异性强度。

13. 如权利要求 11 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机程序用于执行：

20 对所述目标区域的宽方位地震数据进行处理，获得快纵波速度、慢纵波速度和快纵波速度方向；

根据所述快纵波速度和慢纵波速度确定纵波快慢速度差异的各向异性。

14. 如权利要求 13 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机程序用于执行：

25 按照如下公式将所述第一各向异性强度与所述纵波快慢速度差异的各向异性进行拟合，获得基于纵波快慢速度差异的各向异性强度：

$$b_{lv} = -0.23 \times J - 0.005;$$

其中， b_{lv} 表示基于纵波快慢速度差异的各向异性强度； J 表示纵波快慢速度差异的各向异性。

30 15. 如权利要求 14 所述的计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机程序用于

执行:

按照如下公式建立方位纵波各向异性低频模型;

$$\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_{01} \approx e^{2b_{1v} \cdot \cos^2(\omega - \phi_v)} \cdot \left(\frac{V_p}{V_s}\right)_0;$$

其中, V_p 表示纵波速度, V_s 表示横波速度, b_{1v} 表示基于纵波快慢速度差异的各向

- 5 异性强度, ω 表示地震数据的方位角, ϕ_v 表示垂直于快纵波速度的方向, $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_{01}$ 表示方位纵波各向异性低频模型, $\left(\frac{V_p}{V_s}\right)_0$ 表示各项同性低频模型。