权　利　要　求　书

1、一种干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，包括：

S1：建立所述目标干热岩井的井壁几何模型；

S2：获取目标干热岩井所在地层的岩石的矿物参数，根据所述矿物参数判断矿物类别；并根据所述矿物类别建立的岩石有限元模型，对所述岩石有限元模型进行判定、赋值；

S3：根据赋值后的所述岩石有限元模型和井壁几何模型，建立岩石非均质性的井壁几何模型；

S4：对所述岩石非均质性的井壁几何模型施加边界载荷，并根据损伤判据建立损伤模型；

S5：根据所述损伤模型进行所述目标干热岩井的井壁失稳模拟，得到不同工况下的井壁周围的破坏和应力分布，分析并判断不同工况下所述目标干热岩井的井壁失稳的机理。

2.根据权利要求 1 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，所述矿物参数包括岩石的矿物成分、矿物的质量分数、不同矿物的密度以及矿物颗粒的粒径大小；

所述矿物参数为含有坐标的矿物参数。

3.根据权利要求 2 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，所述岩石有限元模型基于 Voronoi 细分技术建立；

建立的岩石有限元模型，并利用所述矿物参数对所述岩石有限元模型

进行判定赋值，包括：

在 MATLAB 中进行 Voronoi 镶嵌形成 Voronoi 多边形，一个多边形包含了多个矿物颗粒，进行网格划分处理，确定每个网格点的矿物类别，再分别对该矿物类别的矿物进行材料属性赋值；

进行相邻所述矿物之间的胶结物判定，根据判定结果，对所述胶结物进行材料属性赋值，得到赋值后的岩石有限元模型；

其中，所述矿物和胶结物的材料属性均包括杨氏模量、密度、孔隙率、比热容。

4.根据权利要求 1 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，所述损伤判据为：

$$F_1 = \sigma_1 - \sigma_t$$

$$F_2 = -\sigma_3 + \sigma_1 \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi} - \sigma_c$$

式中，σ_t 为单轴抗拉强度；σ_c为单轴抗压强度，分别表示岩石在受到单轴拉伸和压缩载荷下，受到最大的拉应力和最大压力；其值分别由巴西实验法和单轴压缩实验法获得；σ_1、σ_3 为第一主应力、第三主应力，MPa；

F_1、F_2 为拉伸和剪切破坏判据表达式，当 $F_1 \geq 0$ 或 $F_2 \geq 0$ 时，井周围岩发生拉伸破坏或者剪切破坏；当 $F_1 \geq 0$、 $F_2 \geq 0$ 均不满足时，井周围岩不发生破坏。

5.根据权利要求 4 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，所述损伤判据还包括井周围岩破坏程度的判断，包括：

引入状态变量 D1、D2 来分别表示拉伸破坏和剪切破坏的井周围岩破坏程度，且 D1、D2 的大小都为 0-1 之间，当 D1=D2=0 时，表示岩石未发生拉伸和剪切破坏，当 D1=D2=1 时，表示岩石发生完全破坏；

所述周围岩破坏程度中拉伸破坏程度为：

$$\mathrm{D1}=1-\left|\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_1}\right|^m,\ F_1=0\quad d\mathrm{F}_1>0$$

所述周围岩破坏程度中剪切破坏程度为：

$$\mathrm{D2}=1-\left|\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_3}\right|^m,\ \mathrm{F}_2=0\quad d\mathrm{F}_2>0$$

式中，ε_t 为发生拉伸损伤时的最大拉伸应变；ε_c 为发生剪切损伤时发生的最大压应变；ε_1 为第一主应变；ε_3 为第三主应变；m 为一个发生损伤时的演化系数，无量纲，这里取 m=2；$d\mathrm{F}_1>0$ 和 $d\mathrm{F}_2>0$ 表示状态变量 D1、D2 是累积增加；其中 ε_t、ε_c 由巴西实验和单轴压缩实验得到的应力-应变曲线得出。

6.根据权利要求 4 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，所述损伤判据的获得包括以下步骤：

基于岩石最大拉应力理论和莫尔-库伦理论，建立干热岩井壁围岩发生拉伸和剪切破坏公式；

根据岩石抗拉强度和抗压强度，结合岩石破坏强度理论，建立干热岩井壁围岩发生拉伸破坏和剪切破坏的判据，得到损伤判据。

7.根据权利要求 6 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，所述干热岩井壁围岩发生拉伸和剪切破坏公式为：

当井周岩石发生拉伸破坏时，由最大拉应力理论，当井壁处第一主应力超过岩石的抗拉强度时，该处就会发生拉伸破坏，破坏条件为：

$$\sigma_1=\sigma_t$$

式中，σ_1 为第一主应力，MPa；σ_t 为岩石抗拉强度，MPa；

当井周岩石发生剪切破坏时，根据莫尔-库伦理论，在岩石某一斜面上的剪应力大于或者等于内聚力和摩擦阻力之和时，岩石会沿着斜面发生剪切滑移破坏，其表达式为：

$$\tau_f = \sigma \tan\varphi + c$$

$$\tau_f = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\cos\varphi$$

$$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) + \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\sin\varphi$$

则用主应力表示为：

$$\sigma_1 = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\sigma_3 + 2c\frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi}$$

式中τ_f为剪切面上的剪切强度，σ为剪切面上的正应力，φ为内摩擦角，c 为内聚力，σ_1、σ_3 为第一主应力、第三主应力；其中，φ、c 由岩石单轴压缩实验测得。

8.根据权利要求 1 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，所述井壁几何模型为考虑最大拉应力准则和莫尔库伦准则而建立的二维有限元模型。

9. 根据权利要求 1 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，所述损伤模型采用 COMSOL Multiphysics 多场耦合软件建立。

10.根据权利要求 9 所述的干热岩井壁失稳评价方法，其特征在于，采用 COMSOL Multiphysics 多场耦合软件建立所述损伤模型，包括：

在 COMSOL Multiphysics 多场耦合软件中进行柱坐标下应力转换，转换表达式为：

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{2}\left(\sigma_x + \sigma_y\right) + \frac{1}{2}\left(\sigma_x - \sigma_y\right)\cos 2\theta + \tau_{xy}\sin 2\theta$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{2}\left(\sigma_x + \sigma_y\right) - \frac{1}{2}\left(\sigma_x - \sigma_y\right)\cos 2\theta - \tau_{xy}\sin 2\theta$$

$$\sigma_{zz} = \sigma_z$$

$$\tau_{\theta z} = \tau_{yz}\cos\theta - \tau_{xz}\sin\theta$$

$$\sigma_i = \sigma_{rr}$$

$$\sigma_j = \frac{\sigma_{\theta\theta} + \sigma_{zz}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{zz}}{2}\right)^2 + \tau_{\theta z}{}^2}$$

$$\sigma_k = \frac{\sigma_{\theta\theta} + \sigma_{zz}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{zz}}{2}\right)^2 + \tau_{\theta z}{}^2}$$

$$\sigma_1 = \max(\sigma_i, \sigma_j, \sigma_k)$$

$$\sigma_3 = \min(\sigma_i, \sigma_j, \sigma_k)$$

将所有的应力参数替换为对应的应变，得到柱坐标下的应变表达式：

$$\varepsilon_{rr} = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y\right) + \frac{1}{2}\left(\varepsilon_x - \varepsilon_y\right)\cos 2\theta + \gamma_{xy}\sin 2\theta$$

$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_x + \varepsilon_y\right) - \frac{1}{2}\left(\varepsilon_x - \varepsilon_y\right)\cos 2\theta - \gamma_{xy}\sin 2\theta$$

$$\varepsilon_{zz} = \varepsilon_z$$

$$\gamma_{\theta z} = \gamma_{yz}\cos\theta - \gamma_{xz}\sin\theta$$

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{rr}$$

$$\varepsilon_j = \frac{\varepsilon_{\theta\theta} + \varepsilon_{zz}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{\theta\theta} - \varepsilon_{zz}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{\theta z}}{2}\right)^2}$$

$$\varepsilon_k = \frac{\varepsilon_{\theta\theta} + \varepsilon_{zz}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{\theta\theta} - \varepsilon_{zz}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{\theta z}}{2}\right)^2}$$

$$\varepsilon_1 = \max(\varepsilon_i, \varepsilon_j, \varepsilon_k)$$

$$\varepsilon_3 = \min(\varepsilon_i, \varepsilon_j, \varepsilon_k)$$

式中，σ_x、σ_y、σ_z、τ_{xy}、τ_{yz}、τ_{xz}为直角坐标系下任意一点的应力分量；$\tau_{\theta z}$为剪应力；ε_x、ε_y、ε_z、γ_{xy}、γ_{yz}、γ_{xz}为直角坐标系下任意一点的形变分量；$\gamma_{\theta z}$为剪应变；σ_{rr}、$\sigma_{\theta\theta}$、σ_{zz}、ε_{rr}、$\varepsilon_{\theta\theta}$、$\varepsilon_{zz}$分别为径向应力、切向应力、轴向应力、径向应变、切向应变、轴向应变；σ_i、σ_j、σ_k为柱坐标系下三个主应力；ε_i、ε_j、ε_k为柱坐标系下三个主应变。