

# 权 利 要 求 书

---

1、一种高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，包括：

S1：建立电极钻头几何模型，获取目标待钻井所在地层的岩石的矿物参数，建立非均质岩石有限元模型；所述非均质岩石有限元模型中利用根  
5 据 Voronoi 算法生成细化区域；

S2：建立岩石几何模型，将所述电极钻头几何模型导入所述岩石几何模型，形成基本电脉冲破岩数值模型；其中，所述岩石几何模型与所述非均质岩石有限元模型在外形尺寸、空间坐标、细化区域赋值上一致；

S3：根据电磁场控制方程、击穿场控制方程、电路结构参数控制方程、  
10 流固传热控制方程、热力膨胀方程以及带电粒子受力方程建立动态损伤模型；根据所述动态损伤模型和所述基本电脉冲破岩数值模型进行电脉冲破岩的数值模拟，模拟在不同磁场状态下所述岩石的损伤分布情况。

2.根据权利要求 1 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，电磁场控制方程为：

$$15 \quad \nabla \times \mathbf{D} = \alpha$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

式中， $\mathbf{D}$ 为电位移矢量； $\mathbf{B}$ 是磁通密度，T； $\mathbf{E}$ 是电场强度，V/m； $\mathbf{H}$ 是  
20 磁场强度，A/m； $\alpha$ 是电荷密度，C/m<sup>3</sup>； $t$ 为时间，s； $\mathbf{J}$ 是电流密度，A/m<sup>2</sup>。

3.根据权利要求 1 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，  
击穿场控制方程为：

$$\frac{dD_e}{dt} = \frac{1}{\tau_0} \cdot \frac{|E|}{|E_{pc}|} \text{sgn}[F(|E| - |E_{pc}|)] \quad (D_e < 1)$$

5 式中， $|E|$  为电场强度大小，（V/m）； $|E_{pc}|$  为局部电场强度，（V/m），  
其是与岩石性质相关的量，其为与岩石空间分布有关的函数； $\tau_0$  为迟滞时间，  
（s）； $D_e$  为表征电击穿过程中岩石状态转变的状态量，介于 0 和 1 之间，  
其初始量为 0，当  $D_e=0$ ，岩石为规则岩石（电阻）；当  $D_e=1$ ，岩石已经完  
成了向等离子状态的变形； $F$  和  $\text{sgn}$  分别为逻辑函数和符号函数；其中，

$$F(a) = \begin{cases} 1, a \geq 0 \\ 0, a < 0 \end{cases}; \quad \text{sgn}(b) = \begin{cases} 1, b \geq 0 \\ 0, b = 0 \\ -1, b < 0 \end{cases}$$

10 式中， $a$  和  $b$  分别为逻辑函数  $F$  和符号函数  $\text{sgn}$  的自变量。

4.根据权利要求 1 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，  
电路结构参数控制方程为：

$$\varphi_{in}(t) = U_R + U_L + U_C + \varphi_d$$

15 式中， $\varphi_{in}(t)$  为原始输出电压，V； $U_R$  为回路等效电阻两端电压，V；  
 $U_L$  为回路电感两端的电压，V； $U_C$  为电容两端的电压，V； $\varphi_d$  为加载在高压  
电极两端的电压，V。

5.根据权利要求 1 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，  
流固传热控制方程为：

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + q_t$$

式中， $T$  为温度，K； $\rho$  为密度， $\text{kg/m}^3$ ； $c_p$  为恒压热容， $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ； $k$  为导热系数， $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ； $q_t$  为热源， $\text{W/m}^3$ ，其为焦耳热源。

6.根据权利要求 1 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，热力膨胀方程为：

$$\sigma_{\text{th}} = \mathbf{C}:\varepsilon_{\text{th}}$$

式中， $\sigma_{\text{th}}$  为热应力，Pa； $\mathbf{C}$  为各向同性弹性矩阵，其为材料弹性模量  $E_t$  (Pa) 和泊松比  $\mu$  的函数； $\varepsilon_{\text{th}}$  为热应变。

7.根据权利要求 1 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，带电粒子受力方程为：

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{q}{m}(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

式中  $m$  和  $q$  分别表示带电粒子的质量和电荷； $\mathbf{E}$  是电场强度， $\text{V/m}$ ； $\mathbf{B}$  是磁通密度，T； $\mathbf{v}$  是离子速度， $\text{m/s}$ 。

8.根据权利要求 1 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，所述电脉冲破岩的数值模拟包括自激磁场电脉冲破岩模拟、外磁场电脉冲破岩模拟，得到岩石的损伤分布。

9.根据权利要求 8 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，所述自激磁场电脉冲破岩模拟包括在有自激磁场的环境中进行电脉冲破岩模拟、在无自激磁场的环境中进行电脉冲破岩模拟、在不同电压下产生的自激磁场的环境中进行电脉冲破岩模拟，得到岩石的损伤分布；

所述外磁场电脉冲破岩模拟包括在有外加磁场的环境中进行电脉冲破

岩模拟、在无外加磁场的环境中进行电脉冲破岩模拟、在不同磁感应强度的下的外加磁场的环境中进行电脉冲破岩模拟，得到岩石的损伤分布。

10.根据权利要求 1 所述的高压电脉冲破岩数值模拟方法，其特征在于，非均质岩石有限元模型的建立包括：

- 5       建立电极钻头几何模型和目标待钻井所在地层的岩石的岩石有限元模型，并对所述岩石有限元模型中与所述电极钻头几何模型直接接触的区域进行细分，并基于 Voronoi 算法建立细分区域；

获取所述细分区域的材料属性包括分组信息、材料参数和力学参数；  
对所述细分区域进行材料属性赋值，建立非均质岩石有限元模型；

- 10       所述材料属性的获取包括：

根据所述矿物参数，采用 PFC2D 软件生成二维 Voronoi 的中心点坐标，然后在 Abaqus/Explicit 软件中根据所述中心点坐标生成晶粒形状为二维 Voronoi 的几何模型；

- 15       在 Abaqus/Explicit 软件中根据所述二维 Voronoi 的几何模型建立相应尺寸的岩石模型并划分网格单元，再根据岩石有限元模型的网格划分结果，赋予每个单元相应的矿物参数；

其中，所述矿物参数包括岩石的矿物成分、矿物的体积分数、矿物材料种类、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。