



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103913772 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 09

(21) 申请号 201410131339. 5

(22) 申请日 2014. 04. 02

(71) 申请人 西南石油大学

地址 610500 四川省成都市新都区新都大道  
8号

(72) 发明人 潘树林 尹成 吴波 高磊  
朱仕军 丁峰 赵虎 廖细明

(74) 专利代理机构 济南日新专利代理事务所  
37224

代理人 崔晓艳

(51) Int. Cl.

G01V 1/28 (2006. 01)

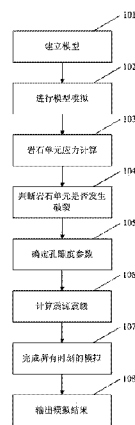
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,该基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法包括:为初始水力压裂的压力赋值,使用有限元素法进行模型模拟;根据时间变化进行每一特定时刻的岩石单元应力计算;根据应力计算结果,结合岩石破裂准则,判断当前岩石单元是否发生破裂;计算孔隙度参数;若岩石单元发生破裂,结合微震震源机制计算震源震级;以及完成所有时刻的模拟。该基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法计算结果能够真实的反映出地下储层的实际变化情况,可以用该方法进行地下裂缝及压裂过程中微震事件的预测。



1. 基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,其特征在于,该基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法包括:

步骤 1,为初始水力压裂的压力赋值,使用有限元素法进行模型模拟;

步骤 2,根据时间变化进行每一特定时刻的岩石单元应力计算;

步骤 3,根据应力计算结果,结合岩石破裂准则,判断当前岩石单元是否发生破裂;

步骤 4,计算孔隙度参数;

步骤 5,若岩石单元发生破裂,结合微震震源机制计算震源震级;以及

步骤 6,重复步骤 2、步骤 3、步骤 4 和步骤 5,完成所有时刻的模拟。

2. 根据权利要求 1 所述的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,其特征在于,该基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法还包括,在步骤 1 之前,建立地下储层的渗流-应力-损伤耦合模型,为模型赋储层地质力学参数。

3. 根据权利要求 1 所述的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,其特征在于,在建立地下储层的渗流-应力-损伤耦合模型的步骤中,该渗流-应力-损伤耦合模型采用的储层参数控制方程为:

$$\dot{\sigma}_{ij} = 2G\dot{\varepsilon}_{ij} + \left( K - \frac{2G}{3} \right) \dot{\varepsilon}_{kk} \delta_{ij} + \alpha \dot{p} \delta_{ij} + \gamma_1 \dot{T} \delta_{ij} \quad (1)$$

$$\dot{\zeta} = \alpha \dot{\varepsilon}_{ii} + \beta \dot{p} - \gamma_2 \dot{T} \quad (2) \text{ 式中 } \sigma_{ij}, \sigma_{ij} \text{ 和 } \varepsilon_{ij}$$

分别表示总应力和总应变,  $p$  和  $T$  分别表示孔隙压力和温度,  $\alpha$  表示 Biot 系数,  $\zeta$  表示孔隙流体含量,  $\delta_{ij}$  表示 Kronecker 符号,  $K$  表示体积模量,  $G$  表示剪切模量,  $\gamma_1, \gamma_2, \beta$  的值通过下面公式给出:

$$\beta = \frac{\alpha - \phi}{K_s} + \frac{\phi}{K_f} \quad (3)$$

$$\gamma_1 = K \alpha_m \quad (4)$$

$$\gamma_2 = \alpha \alpha_m + (\alpha_f - \alpha_m) \phi \quad (5)$$

$\phi$  表示孔隙度,  $\alpha_m$  和  $\alpha_f$  分别表示岩石和流体的热膨胀系数,岩石的体积模量用  $K_s$  表示,流体的体积模量使用  $K_f$  表示;假设流体在岩石孔隙中流动遵循达西定律,热传导遵循傅里叶定律;则有以下式:

$$J^f = -\rho_f \frac{k}{\eta} \nabla p \quad (6)$$

$$J^T = -k^T \nabla T \quad (7) \rho_f \text{ 表示流体密度, } k \text{ 表示}$$

渗透率,  $\eta$  表示粘滞系数,  $k^T$  表示热传导系数,  $J^f$  和  $J^T$  分别表示流体流量和热量;下式(8)(9)为空隙中流体流动和应力平衡方程;

$$\sigma_{i,j,j} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_f} \nabla J^f \quad (9)$$

将前面的控制方程(1)(2)带入平衡方程(8)(9),得到关于岩石形变和流体流动状态

的场方程(10)(11)；

$$\left(K + \frac{G}{3}\right) \nabla(\nabla \cdot u) + G \nabla^2 u + m(\alpha \nabla p + \gamma_1 \nabla T) = 0 \quad (10)$$

$$\alpha(\nabla \cdot u) + \beta \dot{p} - \frac{k}{\eta} \nabla^2 p - \gamma_2 \dot{T} = 0 \quad (11)$$

$$\dot{T} + v(\nabla T) - c^T \nabla^2 T = 0 \quad (12)$$

$u$  为位移量,当模型为二维时  $m=[1, 1, 0]^T$ ,模型为三维时  $m=[1, 1, 1, 0, 0, 0]^T$ ,  $c^T$  为热扩散系数,流体的速度和孔隙压力遵循达西定律  $v = -\frac{k}{\eta} \nabla p$ 。

4. 根据权利要求1所述的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,其特征在于,在步骤3,在模型中,储层岩石受应力作用后的过程可以描述为弹性形变和破裂两个阶段;受较小应力时,岩石发生弹性形变,这一阶段岩石内部不发生破裂;而当岩石受力增大达到岩石的破坏准则时,岩石开始破裂,随着破裂的不断发展,最终形成裂缝。

5. 根据权利要求4所述的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,其特征在于,在步骤3,在弹性形变-破裂机制中,弹性模量的减小代表了岩石发生破裂的过程,

$$E = (1-d)E_0 \quad (13)$$

$d$  表示岩石内部发生破裂的程度,可以称为岩石破裂系数, $E_0$  表示岩石的初始岩性模量, $E$  为当前岩性模量;如果岩石受压力发生了破裂,岩石破裂系数可以通过岩石的剩余压力来表述:

$$d = 1 - \frac{f_{cr}}{E_0 \bar{\varepsilon}} \quad (14)$$

$f_{cr}$  为岩石的残余压力, $\bar{\varepsilon}$  为对应压力下发生的应变,则  $E_0 \bar{\varepsilon}$  表示了初始压应力。

6. 根据权利要求1所述的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,其特征在于,在步骤4,获得某一时刻各个地下单元的实际受力情况,并且对比实际受力大小和岩石单元保持不破裂所承受的最大应力,进行是否破裂的判断,如果未发生破裂,则岩石单元发生形变,孔隙度参数根据形变发生改变;如果岩石破裂,则孔隙度发生突变,转化为一个较大的数值,该数值为常数。

7. 根据权利要求1所述的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,其特征在于,在步骤5,如果发生破裂则根据应力的变化情况模拟出微震事件的强度,微震事件震源位置为当前计算单元位置,震动时刻为当前时间。

8. 根据权利要求1所述的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,其特征在于,该基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法还包括,在步骤5之后,将所有模拟结果输出,作为分析和解释储层压力的依据。

## 基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及石油工程中水力压裂模拟及地震勘探方法中的微地震模拟,特别是涉及到一种基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法。

### 背景技术

[0002] 水力压裂是提高致密油气、页岩气等非常规油气资源产量的重要手段。在压裂的过程中,监测压裂效果,对压裂方案提出完善,对于提高产量,降低成本有着重要的意义。微地震监测技术是目前被认可的用来实时监测压裂效果的唯一有效手段。在向低渗透率储层注水或注气的过程中,会引起流体压力前缘的移动和孔隙流体压力的变化,从而引发微地震事件。通过微地震监测,可以实时地调整、优化设计方案,有效地提高油气采收率,实现油田的整体开发的科学化管理。通过水力压裂下的微地震监测,可以对压裂范围、裂缝发育方向和大小进行有效的追踪,定位,客观的评价压裂工程的效果,尤其通过一系列裂缝属性分析,定位主裂缝的构造走向,以及次生裂缝的分布,近似计算出裂缝的长度、宽度、高度;通过微地震监测,可以对岩石内部流体前缘进行成像。油藏工程师通过对裂缝成像和驱动前缘波及状况的分析,对下一步的生产开发提供有效的指导。对于一次开发而言,准确的裂缝方位和分布范围将有助于从井中最有效地开发出移动油气。对储层的二次开发而言,有助于确定采油井位,提高采油率,节约成本,增加效益。

[0003] 目前对于微地震产生的机理了解不够,使得微地震资料在实际应用中效果有待进一步完善。常规的微地震正演技术是假设震源和传播介质已知,研究其走时以及振幅和频率等传播规律的方法,没有结合储层地质力学参数。为此我们发明了一种新的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,解决了以上技术问题。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种可以进行地下裂缝及压裂过程中微震事件的预测的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法。

[0005] 本发明的目的可通过如下技术措施来实现:基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,该基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法包括:步骤1,为初始水力压裂的压力赋值,使用有限元素法进行模型模拟;步骤2,根据时间变化进行每一特定时刻的岩石单元应力计算;步骤3,根据应力计算结果,结合岩石破裂准则,判断当前岩石单元是否发生破裂;步骤4,计算孔隙度参数;步骤5,若岩石单元发生破裂,结合微震震源机制计算震源震级;以及步骤6,重复步骤2、步骤3、步骤4和步骤5,完成所有时刻的模拟。

[0006] 本发明的目的还可通过如下技术措施来实现:

[0007] 该基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法还包括,在步骤1之前,建立地下储层的渗流-应力-损伤耦合模型,为模型赋储层地质力学参数。

[0008] 在建立地下储层的渗流-应力-损伤耦合模型的步骤中,该渗流-应力-损伤耦合模型采用的储层参数控制方程为:

$$[0009] \quad \dot{\sigma}_{ij} = 2G\dot{\varepsilon}_{ij} + \left(K - \frac{2G}{3}\right)\dot{\varepsilon}_{kk}\delta_{ij} + \alpha\dot{p}\delta_{ij} + \gamma_1\dot{T}\delta_{ij} \quad (1)$$

$$[0010] \quad \dot{\zeta} = \alpha\dot{\varepsilon}_{ii} + \beta\dot{p} - \gamma_2\dot{T} \quad (2)$$

[0011] 式中  $\sigma_{ij}$   $\varepsilon_{ij}$  开口  $\varepsilon_{ij}$  分别表示总应力和总应变,  $p$  和  $T$  分别表示孔隙压力和温度,  $\alpha$  表示 Biot 系数,  $\zeta$  表示孔隙流体含量,  $\delta_{ij}$  表示 Kronecker 符号,  $K$  表示体积模量,  $G$  表示剪切模量,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\beta$  的值通过下面公式给出:

$$[0012] \quad \beta = \frac{\alpha - \phi}{K_s} + \frac{\phi}{K_f} \quad (3)$$

$$[0013] \quad \gamma_1 = K\alpha_m \quad (4)$$

$$[0014] \quad \gamma_2 = \alpha\alpha_m + (\alpha_f - \alpha_m)\phi \quad (5)$$

[0015]  $\phi$  表示孔隙度,  $\alpha_m$  和  $\alpha_f$  分别表示岩石和流体的热膨胀系数, 岩石的体积模量用  $K_s$  表示, 流体的体积模量使用  $K_f$  表示; 假设流体在岩石孔隙中流动遵循达西定律, 热传导遵循傅里叶定律; 则有以下式:

$$[0016] \quad J^f = -\rho_f \frac{k}{\eta} \nabla p \quad (6)$$

$$[0017] \quad J^T = -k^T \nabla T \quad (7) \quad \rho_f \text{ 表示流体密度,}$$

$k$  表示渗透率,  $\eta$  表示粘滞系数,  $k^T$  表示热传导系数,  $J^f$  和  $J^T$  分别表示流体流量和热量; 下式(8)(9)为空隙中流体流动和应力平衡方程:

$$[0018] \quad \sigma_{ij,j} = 0 \quad (8)$$

$$[0019] \quad \frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_f} \nabla J^f \quad (9)$$

[0020] 将前面的控制方程(1)(2)带入平衡方程(8)(9), 得到关于岩石形变和流体流动状态的场方程(10)(11);

$$[0021] \quad \left(K + \frac{G}{3}\right) \nabla(\nabla \cdot u) + G \nabla^2 u + m(\alpha \nabla p + \gamma_1 \nabla T) = 0 \quad (10)$$

$$[0022] \quad \alpha(\nabla \cdot \dot{u}) + \beta \dot{p} - \frac{k}{\eta} \nabla^2 p - \gamma_2 \dot{T} = 0 \quad (11)$$

$$[0023] \quad \dot{T} + v(\nabla T) - c^T \nabla^2 T = 0 \quad (12)$$

[0024]  $u$  为位移量, 当模型为二维时  $m=[1, 1, 0]^T$ , 模型为三维时  $m=[1, 1, 1, 0, 0, 0]^T$ ,  $c^T$  为热扩散系数, 流体的速度和孔隙压力遵循达西定律  $v = -\frac{k}{\eta} \nabla p$ 。

[0025] 在步骤 3, 在模型中, 储层岩石受应力作用后的过程可以描述为弹性形变和破裂两个阶段; 受较小应力时, 岩石发生弹性形变, 这一阶段岩石内部不发生破裂; 而当岩石受力增大达到岩石的破坏准则时, 岩石开始破裂, 随着破裂的不断发展, 最终形成裂缝。

[0026] 在步骤 3, 在弹性形变 - 破裂机制中, 弹性模量的减小代表了岩石发生破裂的过

程,

$$[0027] \quad E=(1-d)E_0 \quad (13)$$

[0028]  $d$  表示岩石内部发生破裂的程度,可以称为岩石破裂系数, $E_0$  表示岩石的初始岩性模量, $E$  为当前岩性模量;如果岩石受压力发生了破裂,岩石破裂系数可以通过岩石的剩余压力来表述:

$$[0029] \quad d=1-\frac{f_{cr}}{E_0\bar{\varepsilon}} \quad (14)$$

[0030]  $f_{cr}$  为岩石的残余压力, $\bar{\varepsilon}$  为对应压力下发生的应变,则 $E_0\bar{\varepsilon}$  表示了初始压应力。

[0031] 在步骤 4,获得某一时刻各个地下单元的实际受力情况,并且对比实际受力大小和岩石单元保持不破裂所承受的最大应力,进行是否破裂的判断,如果未发生破裂,则岩石单元发生形变,孔隙度参数根据形变发生改变;如果岩石破裂,则孔隙度发生突变,转化为一个较大的数值,该数值为常数。

[0032] 在步骤 5,如果发生破裂则根据应力的变化情况模拟出微震事件的强度,微震事件震源位置为当前计算单元位置,震动时刻为当前时间。

[0033] 该基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法还包括,在步骤 5 之后,将所有模拟结果输出,作为分析和解释储层压力的依据。

[0034] 本发明中的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法,与常规的微地震模拟算法相比,考虑了压裂过程中储层地质力学参数的变化,因此计算结果能够真实的反映出地下储层的实际变化情况,可以用该方法进行地下裂缝及压裂过程中微震事件的预测。正演是模拟水力压裂实施过程中,储层受应力变化后的情况。使用该技术可以模拟出实际施工作业时,地下储层裂缝的产生、发育以及压裂过程中微震事件的震源位置、震源强度等信息。这些信息对于指导压裂作业有着重要的意义。

## 附图说明

[0035] 图 1 为本发明的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法的一具体实施例的流程图;

[0036] 图 2 为本发明的一具体实施例中模型弹性模量分布图;

[0037] 图 3 为本发明的一具体实施例中模型原始地应力分布图;

[0038] 图 4 为本发明的一具体实施例中正演模拟获得的模型微震事件示意图。

## 具体实施方式

[0039] 为使本发明的上述和其他目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举出较佳实施例,并配合所附图式,作详细说明如下。

[0040] 如图 1 所示,图 1 为本发明的基于储层地质力学参数的微地震事件正演模拟方法的一具体实施例的流程图。

[0041] 在步骤 101,建立地下储层的渗流-应力-损伤耦合模型,为模型赋储层地质力学参数。

[0042] 对水力压裂模拟必须结合流体压力,岩石受压力形变和岩石破裂过程的描述。地

下裂缝的生成本质为岩石破裂,其产生和发展主要受岩石受到的张力影响。储层岩石的渗透率和应力是一个耦合的函数,当岩石破裂后,渗透率急剧增加;

[0043] 本发明模型采用的储层参数控制方程如下式:

$$[0044] \quad \dot{\sigma}_{ij} = 2G\dot{\varepsilon}_{ij} + \left(K - \frac{2G}{3}\right)\dot{\varepsilon}_{kk}\delta_{ij} + \alpha\dot{p}\delta_{ij} + \gamma_1\dot{T}\delta_{ij} \quad (1)$$

$$[0045] \quad \dot{\zeta} = \alpha\dot{\varepsilon}_{ii} + \beta\dot{p} - \gamma_2\dot{T} \quad (2)$$

式中  $\sigma_{ij}$  和  $\varepsilon_{ij}$  分别表示总应力和总应变,  $p$  和  $T$  分别表示孔隙压力和温度,  $\alpha$  表示 Biot 系数,  $\zeta$  表示孔隙流体含量,  $\delta_{ij}$  表示 Kronecker 符号,  $K$  表示体积模量,  $G$  表示剪切模量,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\beta$  的值通过下面公式给出:

$$[0046] \quad \beta = \frac{\alpha - \phi}{K_s} + \frac{\phi}{K_f} \quad (3)$$

$$[0047] \quad \gamma_1 = K\alpha_m \quad (4)$$

$$[0048] \quad \gamma_2 = \alpha\alpha_m + (\alpha_f - \alpha_m)\phi \quad (5)$$

[0049]  $\phi$  表示孔隙度,  $\alpha_m$  和  $\alpha_f$  分别表示岩石和流体的热膨胀系数, 岩石的体积模量用  $K_s$  表示, 流体的体积模量使用  $K_f$  表示。假设流体在岩石孔隙中流动遵循达西定律, 热传导遵循傅里叶定律。则有以下式:

$$[0050] \quad J^f = -\rho_f \frac{k}{\eta} \nabla p \quad (6)$$

$$[0051] \quad J^T = -k^T \nabla T \quad (7)$$

[0052]  $\rho_f$  表示流体密度,  $k$  表示渗透率,  $\eta$  表示粘滞系数,  $k^T$  表示热传导系数,  $J^f$  和  $J^T$  分别表示流体流量和热量。下式(8)(9)为空隙中流体流动和应力平衡方程。

$$[0053] \quad \sigma_{ij,j} = 0 \quad (8)$$

$$[0054] \quad \frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_f} \nabla J^f \quad (9)$$

[0055] 将前面的控制方程(1)(2)带入平衡方程(8)(9), 得到关于岩石形变和流体流动状态的场方程(10)(11)。

$$[0056] \quad \left(K + \frac{G}{3}\right) \nabla(\nabla \cdot u) + G \nabla^2 u + m(\alpha \nabla p + \gamma_1 \nabla T) = 0 \quad (10)$$

$$[0057] \quad \alpha(\nabla \cdot \dot{u}) + \beta \dot{p} - \frac{k}{\eta} \nabla^2 p - \gamma_2 \dot{T} = 0 \quad (11)$$

$$[0058] \quad \dot{T} + \nu(\nabla T) - c^T \nabla^2 T = 0 \quad (12)$$

[0059]  $u$  为位移量, 当模型为二维时  $m = [1, 1, 0]^T$ , 模型为三维时  $m = [1, 1, 1, 0, 0, 0]^T$ ,  $c^T$  为热扩散系数, 流体的速度和孔隙压力遵循达西定律  $v = -\frac{k}{\eta} \nabla p$ 。

[0060] 流程进入到步骤 102。

[0061] 在步骤 102,为初始水力压裂的压力赋值,对储层地质力学参数赋初值。使用方程(10)-(12)对个网格单元进行描述,使用有限元素法进行模型模拟。流程进入到步骤 103。

[0062] 在步骤 103,根据时间变化进行每一特定时刻的岩石单元应力计算。流程进入到步骤 104。

[0063] 在步骤 104,根据应力计算结果,结合岩石破裂准则,判断当前岩石单元是否发生破裂。在模型中,储层岩石受应力作用后的过程可以描述为弹性形变和破裂两个阶段。受较小应力时,岩石发生弹性形变,这一阶段岩石内部不发生破裂。而当岩石受力增大达到岩石的破坏准则时,岩石开始破裂,随着破裂的不断发展,最终形成裂缝。在弹性形变-破裂机制中,弹性模量的减小代表了岩石发生破裂的过程。

$$[0064] \quad E=(1-d)E_0 \quad (13)$$

[0065]  $d$  表示岩石内部发生破裂的程度,可以称为岩石破裂系数, $E_0$  表示岩石的初始岩性模量, $E$  为当前岩性模量。如果岩石受压力发生了破裂,岩石破裂系数可以通过岩石的剩余压力来表述:

$$[0066] \quad d=1-\frac{f_{cr}}{E_0\bar{\varepsilon}} \quad (14)$$

[0067]  $f_{cr}$  为岩石的残余压力, $\bar{\varepsilon}$  为对应压力下发生的应变,则  $E_0\bar{\varepsilon}$  表示了初始压应力。

[0068] 在进行储层地质力学参数描述时,流体的初始压力,及储层的初始地质力学参数如泊松比、弹性模量、初始地应力等都作为已知条件。需要求解的是流体压力改变后,储层内部应力及应变的变化情况。使用有限元素法求解方程(10)(11),并在求解的过程中加入摩尔-库伦岩石破裂判断准则,就可以获得在一定压裂条件下储层的响应。流程进入到步骤 105。

[0069] 在步骤 105,进行计算,获得某一时刻各个地下单元的实际受力情况,并且对比实际受力大小和岩石单元保持不破裂所承受的最大应力,进行是否破裂的判断,如果未发生破裂,则岩石单元发生形变,孔隙度参数根据形变发生改变。如果岩石破裂,则孔隙度发生突变,转化为一个较大的数值(该数值为常数)。流程进入到步骤 106。

[0070] 在步骤 106,若岩石单元发生破裂,结合震源机制来最终获得微地震事件信息。如果发生破裂则根据应力的变化情况模拟出微震事件的强度,微震事件震源位置为当前计算单元位置,震动时刻为当前时间。流程进入到步骤 107。

[0071] 在步骤 107,重复步骤 103 到步骤 106,完成所有时刻的模拟。流程进入到步骤 108。

[0072] 在步骤 108,将所有模拟结果输出,作为分析和解释储层压力的依据。流程结束。

[0073] 为了验证算法,建立了一个 500 米宽,500 米长的一个二维模型,划分最小网格单元为边长 5 米的正方形。地质力学参数使用了某工区已知参数。图 2 为模型的弹性模量分布图,图 3 为地下应力的分布图。对该模型使用发明算法进行模拟。获得了图 4 所示的微震事件分布结果图。

[0074] 本发明提供一种油气田水力压裂过程中,基于储层地质力学参数的微地震事件模拟方法,主要应用于对水力压裂时产生微地震事件特征的分析 and 预测进一步压裂地下储层的变化及将要生成的微地震事件信息等。该方法主要流程是通过建立渗流-应力-损伤耦合的储层地质力学参数模型来描述储层的状态,通过对模型表述方程在边界条件下进行求



解,从而实现对水力压裂过程地下储层变化的数值模拟,模拟将获得地下储层参数的变化,包括地质力学参数改变、地下裂缝分布,并且结合微地震震源机制原理,获得压裂过程中微地震事件产生的位置、时间和震级等信息,正演获得的微地震事件信息,对于处理和解释水力压裂过程中为了监控地下裂缝发育产生而采集的实际微地震资料具有重要意义。为了能够使用数学方程描述储层的受力及破裂情况,方法做以下假设:储层同时具有弹性和脆性,并且其状态使用弹性损伤力学进行描述;储层岩石受到的正应力和切应力遵循摩尔-库仑破裂准则;储层的渗透率是应力造成的弹性形变的函数,在岩石发生破裂或断层生成时,渗透率将急剧增加。在这些假设条件下,建立起符合研究要求的数学描述方程。在给定的边界条件下,就可以根据方程求解储层破裂情况,了解和掌握地下裂缝的分布。

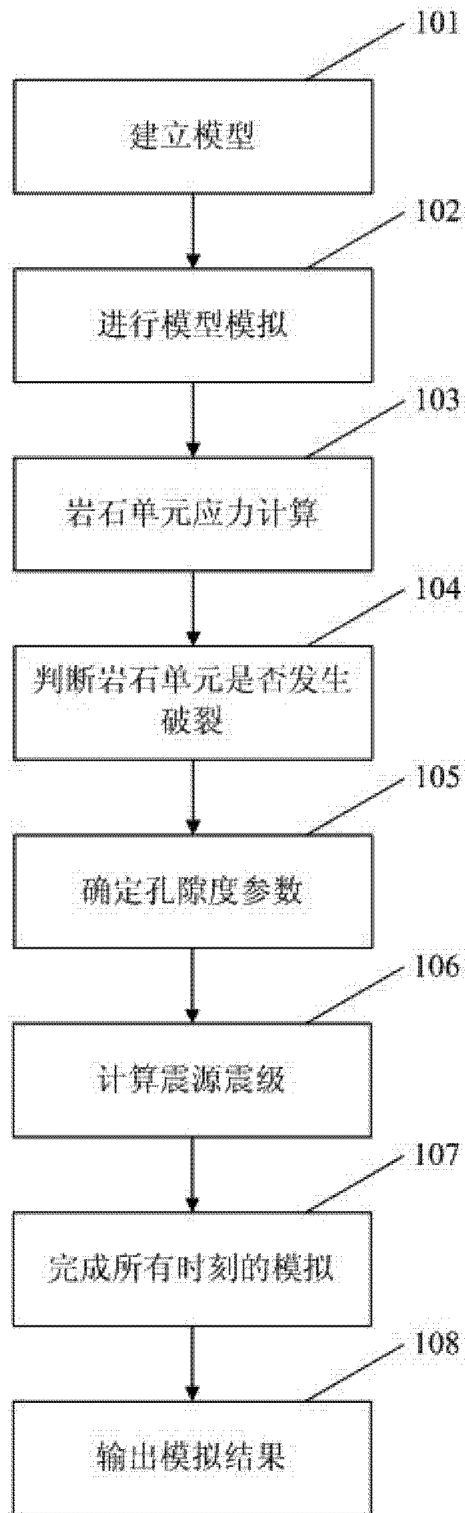


图 1

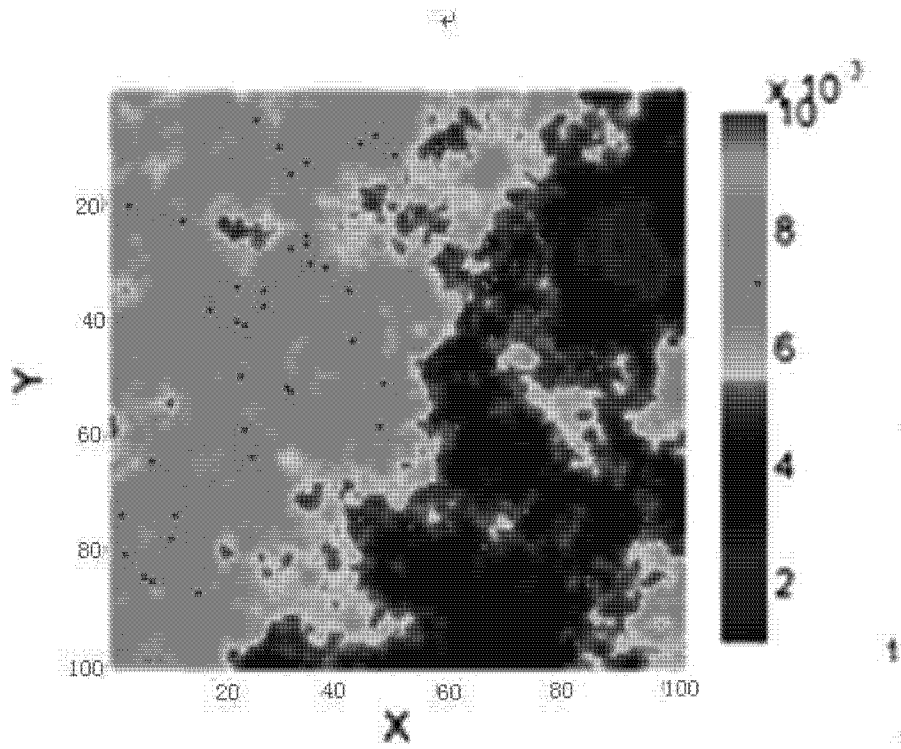


图 2

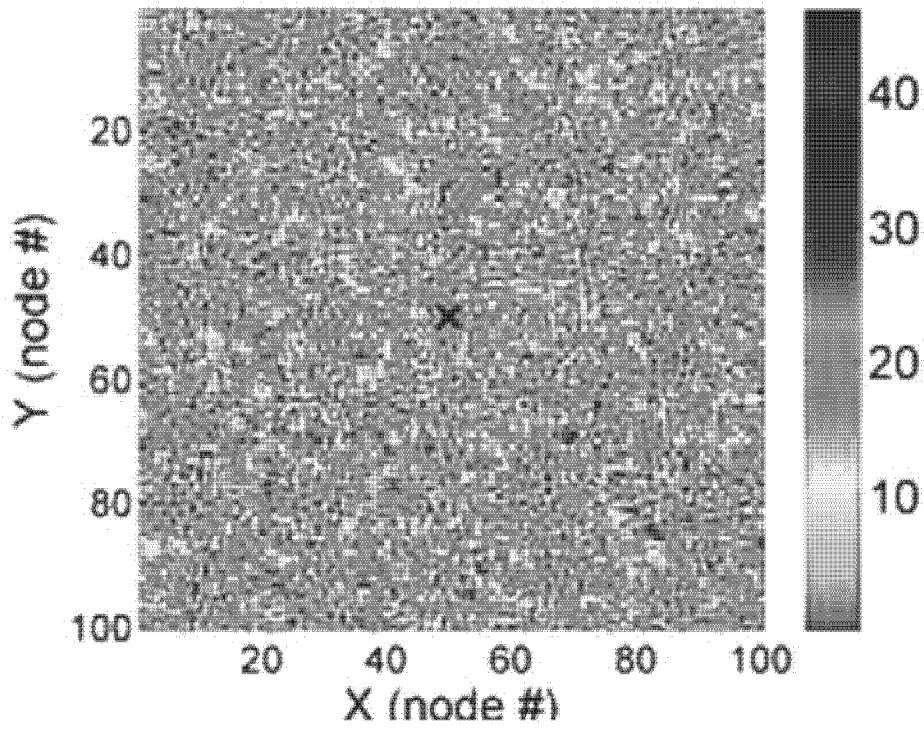


图 3

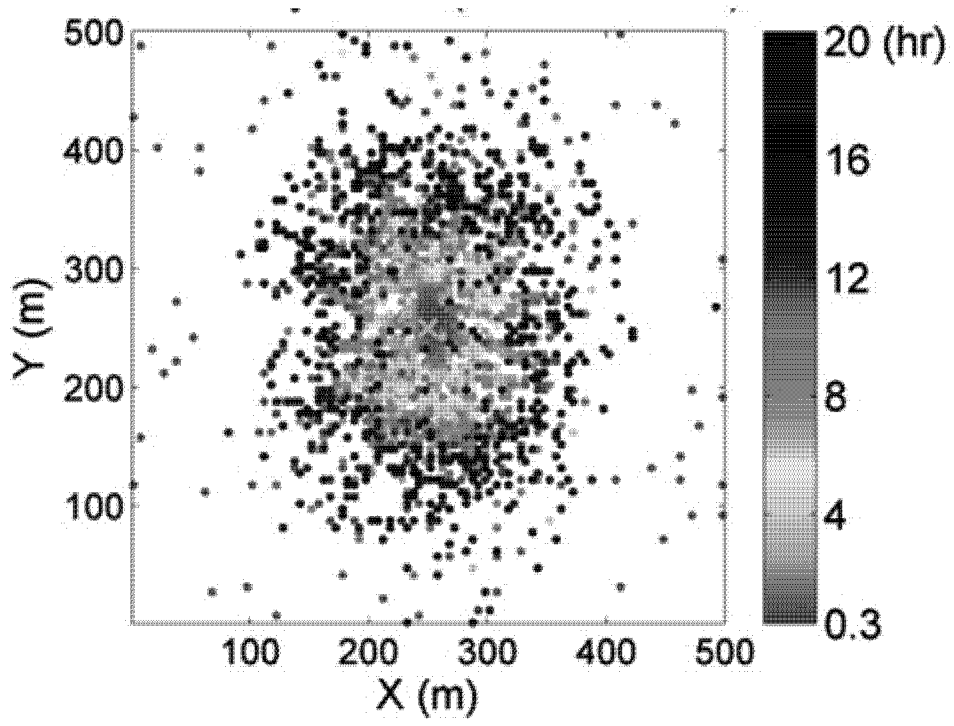


图 4