



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111272632 A

(43)申请公布日 2020.06.12

(21)申请号 202010158134.1

(22)申请日 2020.03.09

(71)申请人 成都理工大学

地址 610000 四川省成都市二仙桥东三路1号

(72)发明人 杨斌 常坤 张浩 范宇 宋毅
章江 潘冠昌

(74)专利代理机构 北京中索知识产权代理有限公司 11640

代理人 房立普

(51)Int.Cl.

G01N 15/08(2006.01)

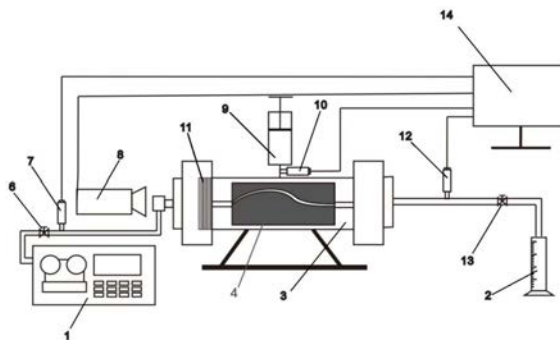
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,通过裂缝岩心的渗透率与裂缝宽度的关系公式和渗透率与净围压值的关系公式相结合,建立了基于应力敏感系数的预测高围压条件下裂缝宽度预测模型;将裂缝宽度预测模型与裂缝可视化装置相结合,首先进行应力敏感测试得出应力敏感系数,然后观测低围压条件下的裂缝宽度变化,在选定基准数据的条件下通过裂缝宽度预测模型,利用不同净围压预测对应的裂缝宽度,最后利用观测得到的低围压条件下的裂缝宽度对预测结果进行校正,增加预测的准确程度。本发明对围压设备要求低、预测范围广等特点,能够根据地层应力条件下测量的裂缝应力敏感系数准确的预测高围压下的裂缝宽度。



1. 一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、将裂缝岩心烘干备用并测量裂缝岩心的长度和直径;

S2、将裂缝岩心放入岩心夹持器中,通过围压泵对岩心夹持器增加围压至10MPa,使用平流泵向岩心夹持器注入氯化钾溶液,计算裂缝岩心的初始渗透率;

S3、缓慢增加围压泵的围压,将不同围压作为有效应力试验点,计算各个有效应力试验点所对应围压的裂缝岩心的渗透率;

S4、利用显微摄像头采集裂缝岩心图像并分别测量5MPa、10MPa、15MPa、20MPa围压下的裂缝宽度;

S5、将10MPa围压下的裂缝宽度设为基准值,利用应力敏感系数方程和高尔夫-拉特公式建立裂缝宽度模型,根据裂缝岩心的渗透率,利用裂缝宽度模型计算不同净围压值下的裂缝宽度;所述裂缝宽度模型为:

$$\frac{w}{w^*} = (1 - S_s \lg \frac{\sigma'}{\sigma^*})^{3/2} \quad (3)$$

式中, w^* 为参考裂缝宽度值, μm ,对应净围压值为 σ^* ,MPa; w' 为各个裂缝宽度, μm ,对应净围压值为 σ' ; S_s 为应力敏感系数,无量纲。

2. 根据权利要求1所述的一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,其特征在于,步骤S1中,所述裂缝岩心为天然裂缝岩心或人造裂缝岩心中的一种,烘干温度为 60°C 。

3. 根据权利要求1所述的一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,其特征在于,步骤S3中,所述有效应力试验点对应的围压分别为10MPa、15MPa、20MPa、25MPa、30MPa、40MPa和50MPa。

4. 根据权利要求1所述的一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,其特征在于,步骤S5中,

所述应力敏感系数方程为:

$$S_s = [1 - (\frac{k}{k^*})^{\frac{1}{3}}] / \lg \frac{\sigma'}{\sigma^*} \quad (1)$$

式中, σ^* 为参考有效应力,MPa,对应渗透率为 K^* ,mD; σ' 为各个围压下的有效应力,MPa,对应渗透率为 K ,mD; S_s 为应力敏感系数,无量纲;

所述高尔夫-拉特公式为:

$$k = \frac{\phi}{12} w^2 \quad (2)$$

式中, K 为渗透率,mD; ϕ 为裂缝孔隙度,%; w 对应裂缝宽度, μm 。

5. 根据权利要求1所述的一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,其特征在于,步骤S5中,建立裂缝宽度模型的条件为:

- 1)、在围压增大的过程中裂缝岩心均匀压缩;
- 2)、岩心骨架与裂缝空隙等比例缩小,孔隙度无变化。

一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及油气田开发实验方法技术领域,具体涉及一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法。

背景技术

[0002] 随着世界对油气资源需要量不断增大,深层油气藏勘探是当前和未来油气勘探发展的最重要领域之一。在钻井过程中,“井漏”是最常见最普遍的井下复杂情况之一。地层裂缝是导致井漏的主要原因之一,因此堵漏的关键在于明确发生井漏的裂缝的宽度,选择合适尺寸的堵漏材料,进行有效的封堵。

[0003] 岩石裂缝可视化是最直观的测量方法,可以直接测量地层应力条件下的裂缝宽度。但目前的裂缝宽度可视化仪器的测量压力范围有限,一般上限为20MPa,远远不能满足深层油气藏的地层应力条件,无法得到相应地层应力条件下的裂缝宽度。面对目前裂缝可视化仪器应用范围的问题,亟需一种可以预测高围压下裂缝宽度的实验测试方法。

发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明提供一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,该方法具有围压设备要求低、预测范围广等特点,能够根据地层应力条件下测量的裂缝应力敏感系数准确的预测高围压下的裂缝宽度。

[0005] 本发明采用下述的技术方案:

[0006] 一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,利用裂缝可视化装置,包括以下步骤:

[0007] S1、将裂缝岩心烘干备用并测量裂缝岩心的长度和直径;

[0008] S2、将裂缝岩心放入岩心夹持器中,通过围压泵对岩心夹持器增加围压至10MPa,使用平流泵向岩心夹持器注入氯化钾溶液,计算裂缝岩心的初始渗透率;

[0009] S3、缓慢增加围压泵的围压,将不同围压作为有效应力试验点,计算各个有效应力试验点所对应围压的裂缝岩心的渗透率;

[0010] S4、利用显微摄像头采集裂缝岩心图像并分别测量5MPa、10MPa、15MPa、20MPa围压下的裂缝岩心的裂缝宽度;

[0011] S5、将10MPa围压下的裂缝宽度为设为基准值,利用应力敏感系数方程和高尔夫-拉特公式建立裂缝宽度模型,利用裂缝岩心的渗透率,通过裂缝宽度模型计算不同净围压值下的裂缝宽度,明确地层压力条件下储层岩石裂缝的宽度;所述裂缝宽度模型为:

$$[0012] \quad \frac{w}{w^*} = (1 - S_s \lg \frac{\sigma'}{\sigma^*})^{3/2} \quad (3)$$

[0013] 式中, w^* 为参考裂缝宽度值, μm ,对应净围压值为 σ^* ,MPa; w' 为各个裂缝宽度, μm ,对应净围压值为 σ' ; S_s 为应力敏感系数,无量纲。

[0014] 优选的,步骤S1中,所述裂缝岩心为天然裂缝岩心或人造裂缝岩心中的一种,烘干

温度为60℃。

[0015] 优选的,步骤S3中,所述有效应力试验点对应的围压分别为10MPa、15MPa、20MPa、25MPa、30MPa、40MPa和50MPa。

[0016] 优选的,步骤S5中,

[0017] 所述应力敏感系数方程为:

$$[0018] \quad S_s = [1 - (\frac{k}{k^*})^{\frac{1}{3}}] / \lg \frac{\sigma'}{\sigma^*} \quad (1)$$

[0019] 式中, σ^* 为参考有效应力,MPa,对应渗透率为 K^* ,mD; σ' 为各个围压下的有效应力,MPa,对应渗透率为 K ,mD; S_s 为应力敏感系数,无量纲;

[0020] 所述高尔福-拉特公式为:

$$[0021] \quad k = \frac{\phi}{12} w^2 \quad (2)$$

[0022] 式中, K 为渗透率,mD; ϕ 为裂缝孔隙度,%; w 对应裂缝宽度, μm 。

[0023] 优选的,步骤S5中,建立裂缝宽度模型的条件为:

[0024] 3)、在围压增大的过程中裂缝岩心均匀压缩;

[0025] 4)、岩心骨架与裂缝空隙等比例缩小,孔隙度无变化。

[0026] 本发明的有益效果是:

[0027] 本发明利用建立的裂缝宽度模型,通过测试裂缝岩心的应力敏感系数,选取一定围压下的裂缝宽度为基准值,并基于裂缝可视化装置在低围压实验条件下预测高围压条件下的裂缝宽度;本发明对围压设备要求低,具有预测范围广等特点。

附图说明

[0028] 为了更清楚地说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅涉及本发明的一些实施例,而非对本发明的限制。

[0029] 图1为本发明裂缝可视化装置的结构示意图;

[0030] 图2为本发明岩心A的应力敏感图;

[0031] 图3为本发明岩心B的应力敏感图;

[0032] 图4为本发明岩心A的岩心裂缝宽度预测曲线图;

[0033] 图5为本发明岩心B的岩心裂缝宽度预测曲线图;

[0034] 图6为本发明岩心夹持器的剖面结构示意图。

[0035] 图中所示:

[0036] 其中,1—平流泵,2—量筒,3—岩心夹持器,4—裂缝岩心,6—第一阀门,7—第一压力传感器,8—显微摄像头,9—围压泵,10—第二压力传感器;

[0037] 11—岩心顶塞连接件,12—第三压力传感器,13—第二阀门,14—电脑,15—橡胶套,16—岩心夹持器外壳,17—围压阀;

具体实施方式

[0038] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例

的附图,对本发明实施例的技术方案进行清楚、完整地描述。

[0039] 除非另外定义,本公开使用的技术术语或者科学术语应当为本公开所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本公开中使用的“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同,而不排除其他元件或者物件。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于表示相对位置关系,当被描述对象的绝对位置改变后,则该相对位置关系也可能相应地改变。

[0040] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0041] 如图1、图6所示,裂缝可视化装置包括依次通过管线连接的平流泵1、岩心夹持器3,量筒2,所述量筒2用于记录液体的流出量,所述岩心夹持器3上安装有围压泵9用于为岩心夹持器3提供围压,岩心夹持器3内放置裂缝岩心4,所述平流泵1与岩心夹持器3之间,围压泵9与岩心夹持器3之间,岩心夹持器3与量筒2之间的管线上分别设有第一压力传感器7、第二压力传感器10、第三压力传感器12;所述平流泵1与岩心夹持器3之间,岩心夹持器3与量筒2之间的管线上还分别设置有第一阀门6和第二阀门13;所述第一压力传感器7、第二压力传感器10、第三压力传感器12均与电脑14相连,电脑14通过数据采集卡采集第一压力传感器7、第二压力传感器10、第三压力传感器12上的数据。所述岩心夹持器3旁设置有显微摄像头8,用于观察岩心夹持器3内裂缝岩心4的裂缝宽度。

[0042] 所述岩心顶塞连接件11焊接在岩心夹持器3的左端面,岩心顶塞套设在岩心顶塞连接件11外,岩心顶塞通过螺纹连接岩心顶塞连接件11,平流泵1与岩心夹持器3连接的管线伸入岩心顶塞连接件11内并与裂缝岩心4连通,岩心顶塞用于固定管线。由于岩心夹持器外壳16与裂缝岩心4之间设置有橡胶套,围压泵9通过围压阀17向裂缝岩心4施压,通过显微摄像头8(显微镜摄像头)从左端即可观察到裂缝岩心4的变化。

[0043] 如图2至图5所示,一种基于应力敏感系数预测裂缝宽度的方法,利用裂缝可视化装置,包括以下步骤:

[0044] S1、将天然裂缝岩心或人造裂缝岩心在60℃烘干备用,并测量裂缝岩心4的长度和直径;

[0045] S2、将裂缝岩心4放入岩心夹持器3中,通过围压泵9对岩心夹持器3增加围压至10MPa,使用平流泵1将3%氯化钾溶液注入岩心夹持器3,打开第一阀门6和第二阀门13,打开平流泵1,在10MPa驱替压力条件下测试液体流量,计算裂缝岩心4的初始渗透率;

[0046] S3、选择有效应力实验点 σ_i 分别为10MPa、15MPa、20MPa、25MPa、30MPa、40MPa和50MPa围压,缓慢增加围压泵9的围压;在围压增加过程中,每一个围压实验持续30min后,测量压力、流量、时间,利用温度计读取室温并记录数据,计算所有围压条件下裂缝岩心4的渗透率;

[0047] S4、关闭第一阀门6,利用显微摄像头8采集裂缝岩心4的图像并分别测量5MPa、10MPa、15MPa、20MPa围压下的裂缝宽度;无围压下的裂缝宽度无法表现裂缝表面微凸体之间的接触关系,不符合围压与裂缝宽度变化的规律,不能作为基准值,因此选取5-10MPa围压条件下的裂缝宽度作为基准值进行预测。

[0048] S5、选取10MPa围压下的裂缝宽度为基准值,通过裂缝岩心4的渗透率利用应力敏感系数方程计算裂缝岩心的应力敏感系数 S_s ,将应力敏感系数方程和高尔夫-拉特公式结合,在围压增大的过程中裂缝岩心均匀压缩,空隙与骨架等比例缩小,孔隙度 ϕ 无变化的条

件下建立裂缝宽度模型,根据裂缝宽度模型计算不同净围压值下的裂缝宽度,明确地层压力条件下储层岩石裂缝的宽度;

[0049] 所述应力敏感系数方程为:

$$[0050] \quad S_s = [1 - (\frac{k}{k^*})^{\frac{1}{3}}] / \lg \frac{\sigma'}{\sigma^*} \quad (1)$$

[0051] 式中, σ^* 为参考有效应力,MPa,对应渗透率为 K^* ,mD; σ' 为各个围压下的有效应力,MPa,对应渗透率为 K ,mD; S_s 为应力敏感系数,无量纲;

[0052] 所述高尔-拉特公式为:

$$[0053] \quad k = \frac{\phi}{12} w^2 \quad (2)$$

[0054] 式中, K 为渗透率,mD; ϕ 为裂缝孔隙度,%; w 对应裂缝宽度, μm 。

[0055] 优选的,步骤S5中,建立裂缝宽度模型的条件为:

[0056] 所述裂缝宽度模型为:

$$[0057] \quad \frac{w}{w^*} = (1 - S_s \lg \frac{\sigma'}{\sigma^*})^{3/2} \quad (3)$$

[0058] 式中, w^* 为参考裂缝宽度值, μm ,对应净围压值为 σ^* ,MPa; w' 为各个裂缝宽度, μm ,对应净围压值为 σ' ; S_s 为应力敏感系数,无量纲。

[0059] 计算实例

[0060] S1、按照SYT5358-2010标准岩样制备方法准备裂缝岩心,首先采用氮气钻取并切割直径为2.53cm,长度为4.84cm的岩心A进行人工造缝,再选取直径为2.548cm,长度为3.765cm的天然裂缝岩心B,60℃烘干备用;

[0061] S2、将岩心A放入岩心夹持器3中,并通过围压泵9对岩心夹持器3增加围压至10MPa,打开第一阀门6,第二阀门13,打开平流泵1,将3%氯化钾溶液泵入岩心夹持器3中,在10MPa驱替压力条件下测试液体流量,计算岩心裂缝的初始渗透率 K^* ;

[0062] S3、选择有效应力实验点 σ_i 分别为10MPa、15MPa、20MPa、25MPa、30MPa、40MPa和50MPa的围压,依次按所选有效应力实验点 σ_i 围压数值缓慢增加围压;

[0063] S4、增压过程中,每一个压力点实验持续30min后,测量压力、流量、时间及温度,待岩心夹持器3出口端的液体流动状态趋于稳定后,记录检测数据,计算岩心A的渗透率;

[0064] S5、重复步骤S3-S4,直到所有有效应力点做完;该岩心在围压为10MPa、15MPa、20MPa、25MPa、30MPa、40MPa和50MPa的渗透率分别为50.01mD,22.69mD,17.45mD,11.46mD,8.60mD,5.60mD,6.71mD;岩心B重复步骤S2-S4,岩心B在围压为10MPa、15MPa、20MPa、25MPa、30MPa、40MPa和50MPa的渗透率分别为22.65mD、7.23mD、4.34mD、4.70mD、0.89mD、1.47mD、1.10mD;

[0065] S6、利用裂缝岩心4的渗透率,通过应力敏感系数方程计算应力敏感系数 S_s 。岩心A的应力敏感系数 S_s 为0.87,应力敏感图如图2所示;岩心B的应力敏感系数 S_s 为1.07,应力敏感图如图3所示。

[0066] S7、关闭第一阀门6,将岩心夹持器3入口端的岩心顶塞11旋开,取下平流泵1与岩心夹持器3之间的管线(此时,从左端可以看到岩心夹持器3内部的岩心);利用显微摄像头8

采集岩心的图像,分别测量5MPa、10MPa、15MPa、20MPa围压条件下的裂缝宽度;测量得到岩心A的裂缝宽度分别为34.949 μm ,28.724 μm ,24.502 μm ,19.939 μm ,测量得到岩心B的裂缝宽度分别为15.243 μm 、13.433 μm 、13.425 μm 、7.427 μm ;

[0067] S8、两块岩心分别选取10MPa围压下的裂缝宽度28.724 μm 、13.4325 μm 为基准值,通过裂缝宽度模型预测不同净围压值下的裂缝宽度。岩心A和岩心B的预测曲线与实验曲线对比分别如图4、图5所示。预测裂缝宽度与实验所得的实际缝宽误差范围较小,说明该预测方法具有可行性。

[0068] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制,虽然本发明已以较佳实施例揭露如上,然而并非用以限定本发明,任何熟悉本专业的技术人员,在不脱离本发明技术方案范围内,当可利用上述揭示的技术内容作出些许更动或修饰为等同变化的等效实施例,但凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属于本发明技术方案的范围内。

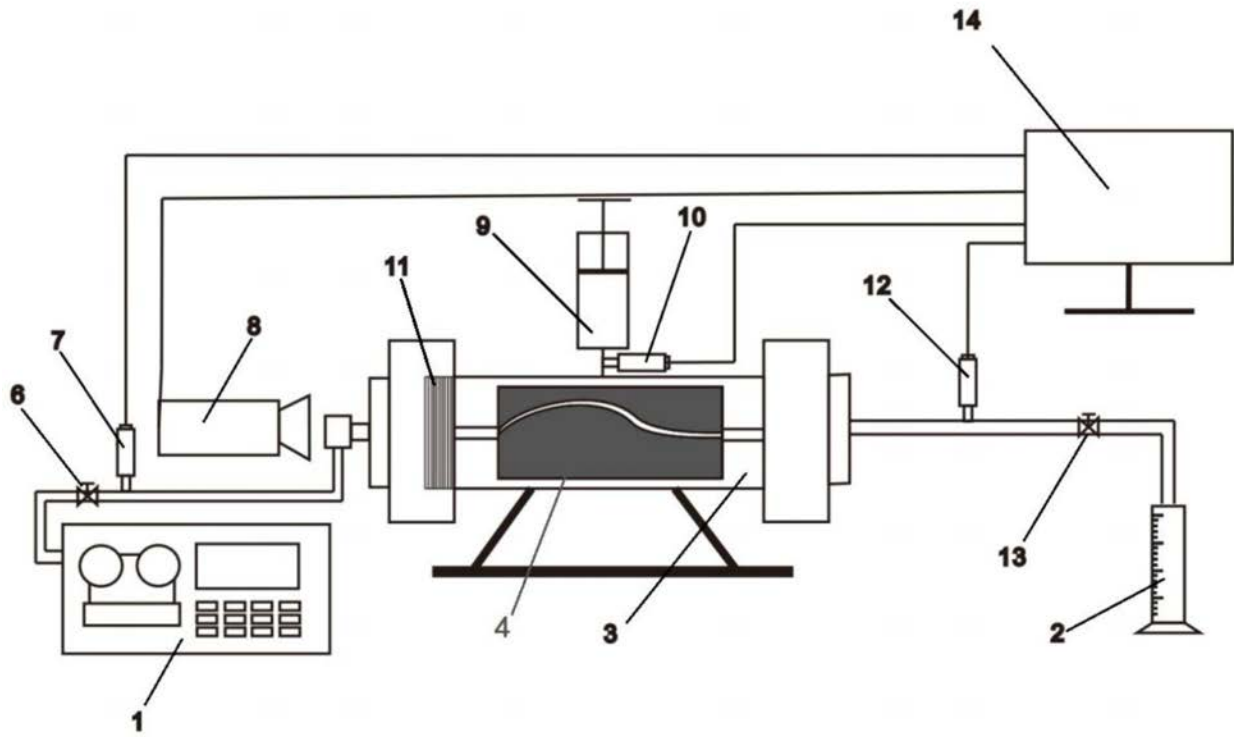


图1

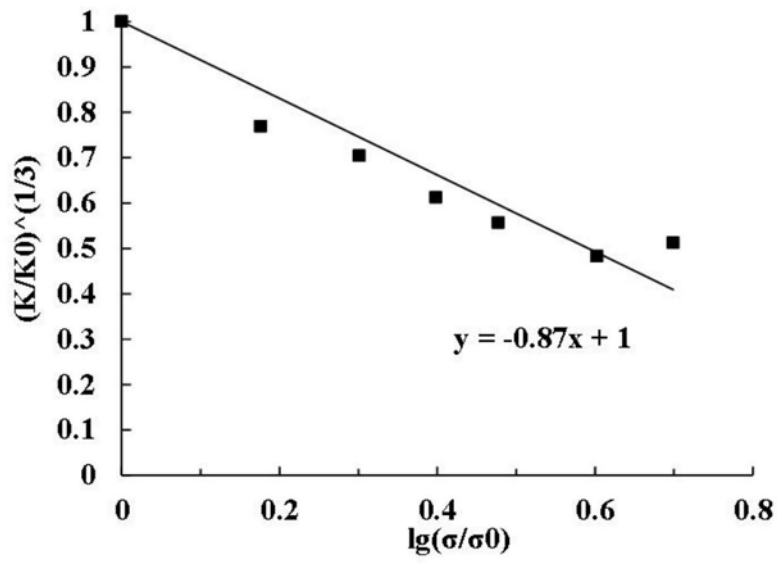


图2

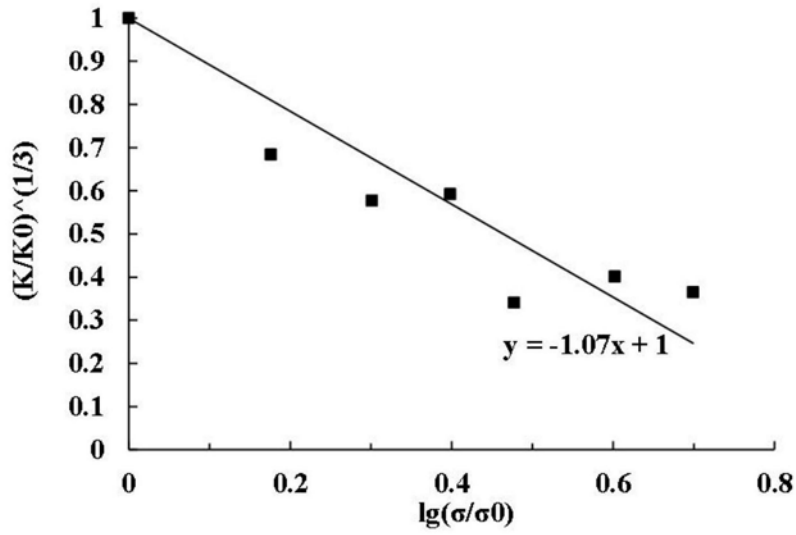


图3

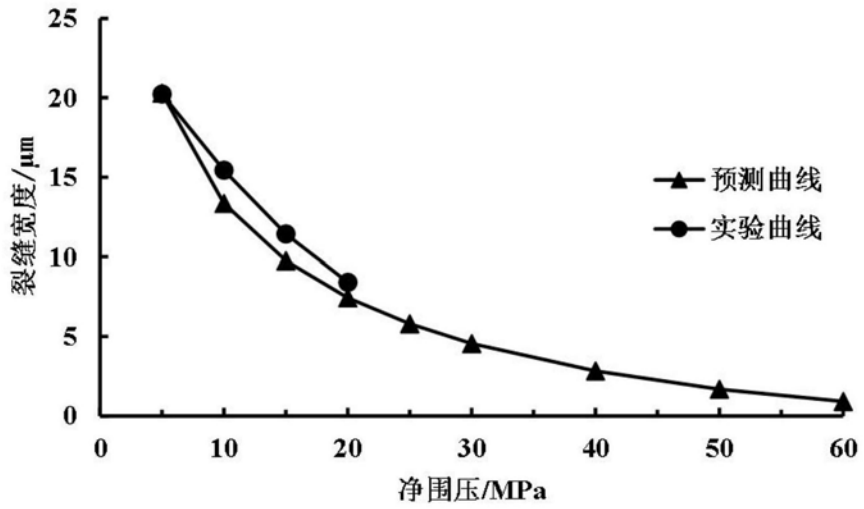


图4

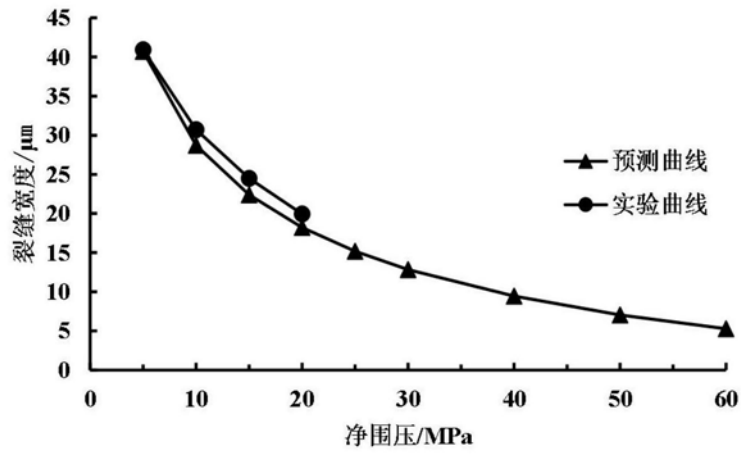


图5

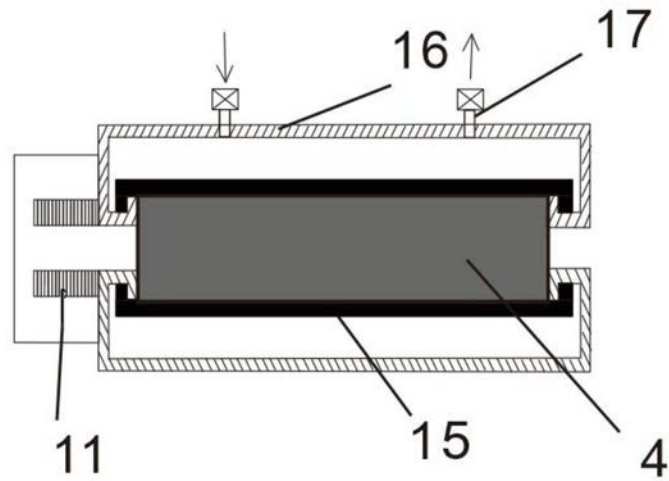


图6