



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106290118 A

(43)申请公布日 2017. 01. 04

(21)申请号 201610944473.6

(22)申请日 2016.10.26

(71)申请人 中国科学院武汉岩土力学研究所
地址 430071 湖北省武汉市武昌区水果湖街小洪山2号

(72)发明人 胡大伟 王冲 魏天宇 周辉
张传庆 杨凡杰 卢景景 朱勇

(74)专利代理机构 武汉华旭知识产权事务所
42214

代理人 周宗贵

(51) Int. Cl.
G01N 15/08(2006.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图2页

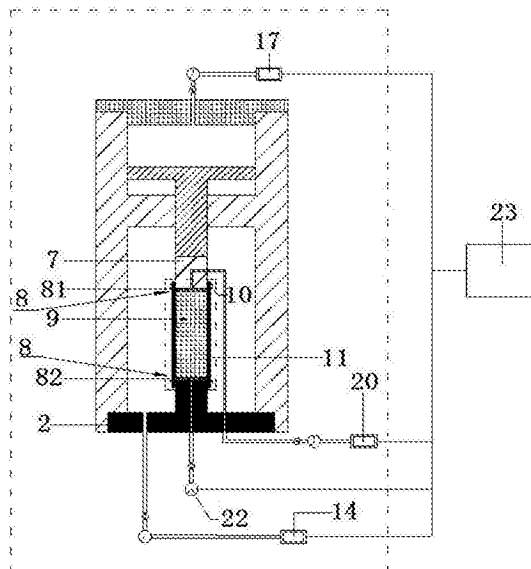
(54)发明名称

三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法。它包括如下步骤:选取超低渗岩石,制得试样;用橡胶套将试样上下两端的透水垫板、试样包裹于上游孔隙压垫块与围压室底座之间;给试样施加围压以及轴压至特定值,同时给试样施加渗透压,使得试样饱和;待试样渗透压加压饱和后,给试样施加振幅、频率已知正弦压力波,同时记录下游孔隙压力波情况并将数据实时传输到数据测量及采集系统;改变围压、轴压大小,将波形互相关方法用于渗透率的测量,对不同围压、轴压情况下的试样进行渗透率分析,得出不同围压、轴压条件下的渗透率。克服了现有技术测量精度差、仅仅能提供围压、无法真实模拟深部岩体在三轴应力作用下的受力状态的缺点。

CN 106290118 A



1. 三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法,其特征在于:包括如下步骤:

步骤1:选取超低渗岩石,并加工成标准的圆柱体实验构件,得到试样(9);

步骤2:用橡胶套(11)将试样(9)上下两端的透水垫板(8)、试样(9)包裹于上游孔隙压垫块(7)与围压室底座(2)之间,并用二个卡箍(10)箍紧橡胶套(11)上下两端;

步骤3:通过围压闭环伺服计量泵(14)、轴压闭环伺服计量泵(17)给试样(9)施加围压以及轴压至特定值,同时通过渗透压闭环伺服计量泵(20)给试样(9)施加渗透压,使得试样(9)饱和;

步骤4:待试样(9)渗透压加压饱和后,通过渗透压闭环伺服计量泵(20)给试样(9)施加振幅、频率已知正弦压力波,同时通过下游孔隙压传感器(22)记录下游孔隙压力波(II)的情况并将数据实时传输到数据测量及采集系统(23);

步骤5:改变围压、轴压大小,将波形互相关方法用于渗透率的测量,对不同围压、轴压情况下的试样(9)进行渗透率分析,得出不同围压、轴压条件下的渗透率;

渗透率计算方式如公式①所示:

$$k = \frac{\pi \eta L \beta}{TS \psi^2 \gamma} V \quad \text{①}$$

其中, η 为渗透压介质粘滞系数, L 为试件长度, β 为渗透压介质压缩系数, T 为孔隙压力震荡周期, S 为试件横截面积, V 为上游孔隙压容器体积, ψ 、 γ 为公式推导过程中产生的二个无量纲值,

ψ 以及 γ 由测量所得的上下游幅值比 α 、相位延迟 θ 求得;其中, ψ 、 γ 计算方式如公式②所示:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \sqrt{(X_D \div A)^2 + (Y_D \div A)^2} \\ \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{-Y_D}{X_D} \right) \\ X_D &= \cosh \psi \cos \psi + \psi \gamma (\sinh \psi \cos \psi - \cosh \psi \sin \psi) \\ Y_D &= \sinh \psi \sin \psi + \psi \gamma (\cosh \psi \sin \psi - \sinh \psi \cos \psi) \\ A &= X_D^2 + Y_D^2 \end{aligned} \right\} \quad \text{②}$$

其中, α 为上下游幅值比、 θ 为相位延迟,

根据Fischer研究结论,上下游幅值比 α 、相位延迟 θ 可以表示为 ψ 、 γ 的函数,为使函数形式简单,特将含 ψ 、 γ 的函数式表示为 A 、 X_D 、 Y_D 、 A 、 X_D 、 Y_D 是一个过程变量。

2. 根据权利要求1所述的三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法,其特征在于:在所述步骤1中,选取的所述超低渗岩石包括页岩、致密砂岩;所述试样(9)为被加工成直径5mm、长10mm的所述圆柱体实验构件。

3. 根据权利要求1或2所述的三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法,其特征在于:所述透水垫板(8)包括上透水垫板(81)、下透水垫板(82),所述上透水垫板(81)设置于所述试样(9)上端,所述下透水垫板(82)设置于所述试样(9)下端;在所述步骤3中,确保所述试样(9)充分饱和,所述试样(9)的饱和可以采用液体饱和或气饱和。

4. 根据权利要求3所述的三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法,其特征在于:在

所述步骤5中,在数据记录以及处理时,利用信号处理技术中的互相关函数分析方法提高信噪比。

5.根据权利要求4所述的三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法,其特征在于:运输孔隙介质的仪器内部管道直径小于1mm,且外部运输管道相应的直径大于或等于2mm。

三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及岩土工程技术中的岩石力学测试领域,更具体地说是三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法。

背景技术

[0002] 渗透率是岩石重要的物理参数之一,对于了解非常规油气田及核废料储存的深部岩体的物理特性尤其重要;而伴随着近些年页岩气、致密砂岩油气等的开采,迫切地需要一种测量三轴应力状态下超低渗岩体渗透率的装置,这对现今实验原理及实验仪器都提出了不小的挑战。

[0003] 目前大多数测量岩石渗透率的实验仪器都采用稳态法或者压力脉冲法等原理,对于非常规油气田储层中的超低渗岩体,该种测试方法存在测量原理落后、测量精度差的缺点,因此并不适用这种超低渗岩体渗透率的测量;目前测量超低渗岩石渗透率比较流行的方法是压力震荡法,该方法的原理是通过在岩石试样上游施加已知渗透压力波,在下游测量相应渗透压力波,通过对比两者之间的波形得出超低渗岩石渗透率。

[0004] 目前国内少量采用压力震荡法测量超低渗岩体渗透率的仪器中则存在着一定缺点;申请号为201310518094.7的专利《一种测量超低渗岩石渗透率应力敏感性的互相关技术》中采用了压力震荡法测量超低渗岩石的渗透率,但该装置仅仅能提供围压,不能提供三轴应力的试验状态,无法真实模拟深部岩体在三轴应力作用下的受力状态。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了提供三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法。

[0006] 为了实现上述目的,本发明的技术方案为:三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法,其特征在于:包括如下步骤:

[0007] 步骤1:选取超低渗岩石,并加工成标准的圆柱体实验构件,得到试样;

[0008] 步骤2:用橡胶套将试样上下两端的透水垫板、试样包裹于上游孔隙压垫块与围压室底座之间,并用二个卡箍箍紧橡胶套上下两端;

[0009] 步骤3:通过围压闭环伺服计量泵、轴压闭环伺服计量泵给试样施加围压以及轴压至特定值,同时通过渗透压闭环伺服计量泵给试样施加渗透压,使得试样饱和;

[0010] 步骤4:待试样渗透压加压饱和后,通过渗透压闭环伺服计量泵给试样施加振幅、频率已知正弦压力波,同时通过下游孔隙压传感器记录下游孔隙压力波的情况并将数据实时传输到数据测量及采集系统;

[0011] 步骤5:改变围压、轴压大小,将波形互相关方法用于渗透率的测量,对不同围压、轴压情况下的试样进行渗透率分析,得出不同围压、轴压条件下的渗透率;

[0012] 渗透率计算方式如公式①所示:

$$k = \frac{\pi \eta L \beta}{T S \psi^2 \gamma} V \quad \textcircled{1}$$

[0014] 其中, η 为渗透压介质粘滞系数, L 为试件长度, β 为渗透压介质压缩系数, T 为孔隙压力震荡周期, S 为试件横截面积, V 为上游孔隙压容器体积, ψ 、 γ 为公式推导过程中产生的二个无量纲值,

[0015] ψ 以及 γ 由测量所得的上下游幅值比 α 、相位延迟 θ 求得;其中, ψ 、 γ 计算方式如公式②所示:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \sqrt{(X_D \div A)^2 + (Y_D \div A)^2} \\ \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{-Y_D}{X_D}\right) \\ [0016] \quad X_D &= \cosh \psi \cos \psi + \psi \gamma (\sinh \psi \cos \psi - \cosh \psi \sin \psi) \\ Y_D &= \sinh \psi \sin \psi + \psi \gamma (\cosh \psi \sin \psi - \sinh \psi \cos \psi) \\ A &= X_D^2 + Y_D^2 \end{aligned} \right\} \textcircled{2}$$

[0017] 其中, α 为上下游幅值比、 θ 为相位延迟,

[0018] 根据Fischer研究结论,上下游幅值比 α 、相位延迟 θ 可以表示为 ψ 、 γ 的函数,为使函数形式简单,特将含 ψ 、 γ 的函数式表示为 A 、 X_D 、 Y_D 、 A 、 X_D 、 Y_D 是一个过程变量。

[0019] 在上述技术方案中,在所述步骤1中,选取的所述超低渗岩石包括页岩、致密砂岩,所述试样为被加工成直径5mm、长10mm的所述圆柱体实验构件。页岩或者所述致密砂岩要确保内部完整性,不得有较大损伤。

[0020] 在上述技术方案中,所述透水垫板包括上透水垫板、下透水垫板,所述上透水垫板设置于所述试样上端,所述下透水垫板设置于所述试样下端;在所述步骤3中,确保所述试样充分饱和,所述试样的饱和可以采用液体饱和或气饱和。保证测试室的密封性;使围压室与实验室严格隔离,防止在施加渗透压过程中由于密封不到位对测量结果产生影响;防止饱和不充分对后续实验产生影响。

[0021] 在上述技术方案中,在所述步骤5中,在数据记录以及处理时,利用信号处理技术中的互相关函数分析方法提高信噪比。由于实验仪器本身、温度以及其他电信号的干扰,会对测量的孔隙压正弦压力波产生干扰;对于超低渗岩石渗透率的测量,这种干扰一定程度上影响了实验结果的准确性,因此利用互相关函数分析方法(如采用快速傅里叶(FFT)变换)提高信噪比,从而提高实验精度。

[0022] 在上述技术方案中,运输孔隙介质的仪器内部管道直径小于1mm,而外部运输管道则相应的直径为大于或等于2mm。

[0023] 由于在超低渗岩石渗透率的测量实验中,比储流率(比储流率为每单位体积渗流系统储存流体的能力)对实验结果影响比对一般岩石渗透率的测量结果影响大,故要充分考虑比储流率对实验结果的影响;为此,运输孔隙介质的仪器内部管道直径必须足够小,而外部运输管道则相应的直径可以稍大。

[0024] 本发明具有如下优点:

[0025] (1)能很好地测量超低渗岩石渗透率;

[0026] (2)能提供三轴应力的试验状态,能真实地模拟好岩体的三轴应力状态;

[0027] (3)测试室内测试试样由橡胶套严密包裹,其中试样上下部各放置一块透水垫板,

透水垫板与试样大小相同,且橡胶套通过两个卡箍将试样以及两块透水垫板严格密封在上孔隙压头和围压室底座之间;保证测试室的密封性;使围压室与实验室严格隔离,防止在施加渗透压过程中由于密封不到位对测量结果产生影响;

[0028] (4)实现电脑对数据全过程的实时监测与控制,配合相关软件自动计算出实验结果,省时省力,避免了人为误差;采用信号处理技术对数据进行处理,测量精度高;

[0029] (5)操作简单、原理先进成熟。

附图说明

[0030] 图1为本发明实验装置结构示意图。

[0031] 图2为本发明实施三轴应力状态下测量超低渗岩石渗透率孔隙压波形相关图。

[0032] 图中2-围压室底座,7-上游孔隙压垫块,8-透水垫板,81-上透水垫板,82-下透水垫板,9-试样,10-卡箍,11-橡胶套,14-围压闭环伺服计量泵,17-轴压闭环伺服计量泵,20-渗透压闭环伺服计量泵,22-下游孔隙压传感器,23-数据采集及处理系统,I-上孔隙压力波,II-下孔隙压力波。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图详细说明本发明的实施情况,但它们并不构成对本发明的限定,仅作举例而已。同时通过说明使本发明的优点更加清楚和容易理解。

[0034] 参阅附图可知:三轴应力作用下超低渗岩石渗透率测量方法,其特征在于:包括如下步骤:

[0035] 步骤1:选取超低渗岩石,并加工成标准的圆柱体实验构件,得到试样9;

[0036] 步骤2:用橡胶套11将试样9上下两端的透水垫板8、试样9包裹于上游孔隙压垫块7与围压室底座2之间,并用二个卡箍10箍紧橡胶套11上下两端;

[0037] 步骤3:通过围压闭环伺服计量泵14、轴压闭环伺服计量泵17给试样9施加围压以及轴压至特定值,同时通过渗透压闭环伺服计量泵20给试样9施加渗透压,使得试样9饱和;

[0038] 步骤4:待试样9渗透压加压饱和后,通过渗透压闭环伺服计量泵20给试样9施加振幅、频率已知正弦压力波,同时通过下游孔隙压传感器22记录下游孔隙压力波II的情况并将数据实时传输到数据测量及采集系统23;

[0039] 步骤5:改变围压、轴压大小,将波形互相关方法用于渗透率的测量,对不同围压、轴压情况下的试样9进行渗透率分析,得出不同围压、轴压条件下的渗透率;

[0040] 渗透率计算方式如公式①所示:

$$[0041] \quad k = \frac{\pi \eta L \beta}{T S \psi^2 \gamma} V \quad \textcircled{1}$$

[0042] 其中, η 为渗透压介质粘滞系数, L 为试件长度, β 为渗透压介质压缩系数, T 为孔隙压力震荡周期, S 为试件横截面积, V 为上游孔隙压容器体积, ψ 、 γ 为公式推导过程中产生的二个无量纲值,

[0043] ψ 以及 γ 由测量所得的上下游幅值比 α 、相位延迟 θ 求得;其中, ψ 、 γ 计算方式如公式②所示:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \sqrt{(X_D \div A)^2 + (Y_D \div A)^2} \\
 \theta &= \tan^{-1}\left(\frac{-Y_D}{X_D}\right) \\
 [0044] \quad X_D &= \cosh \psi \cos \psi + \psi \gamma (\sinh \psi \cos \psi - \cosh \psi \sin \psi) \\
 Y_D &= \sinh \psi \sin \psi + \psi \gamma (\cosh \psi \sin \psi - \sinh \psi \cos \psi) \\
 A &= X_D^2 + Y_D^2
 \end{aligned} \tag{2}$$

[0045] 其中, α 为上下游幅值比、 θ 为相位延迟,

[0046] 根据Fischer研究结论,上下游幅值比 α 、相位延迟 θ 可以表示为 ψ 、 γ 的函数,为使函数形式简单,特将含 ψ 、 γ 的函数式表示为 A 、 X_D 、 Y_D 、 A 、 X_D 、 Y_D 是一个过程变量。

[0047] 在所述步骤1中,选取的所述超低渗岩石包括页岩、致密砂岩;所述试样9为被加工成直径5mm、长10mm的所述圆柱体实验构件。

[0048] 所述透水垫板8包括上透水垫板81、下透水垫板82,所述上透水垫板81设置于所述试样9上端,所述下透水垫板82设置于所述试样9下端;在所述步骤3中,确保所述试样9充分饱和,所述试样9的饱和可以采用液体饱和或气饱和。

[0049] 在所述步骤5中,在数据记录以及处理时,利用信号处理技术中的互相关函数分析方法提高信噪比。

[0050] 运输孔隙介质的仪器内部管道直径小于1mm,且外部运输管道相应的直径大于或等于2mm。

[0051] 图2中I为上孔隙压力波,由渗透压伺服泵通过渗透管路给岩石试样施加振幅及频率已知的正弦渗透压力波,其振幅及频率的控制由三轴压力系统24中伺服泵的伺服控制模块进行控制,其振幅及频率的测量由上渗透压传感器19测得,最终形成上渗透压的渗透压-时间图像;由于岩石试样渗透率的影响,上游正弦渗透压力波在通过岩石试样内部时,其振幅会发生衰减,相位也会发生滞后效应,也就是图中的下游孔隙压力波II;同样的,下孔隙压的测量由下渗透压传感器22测得,最终形成下渗透压的渗透压-时间图像;这样就可以直观的得到上、下孔隙压振幅的幅值比 α 以及相位延迟 θ ,通过渗透率与上、下孔隙压振幅的幅值比 α 以及相位延迟 θ 的关系,最终计算出岩石试样的渗透率。

[0052] 其它未说明的部分均属于现有技术。

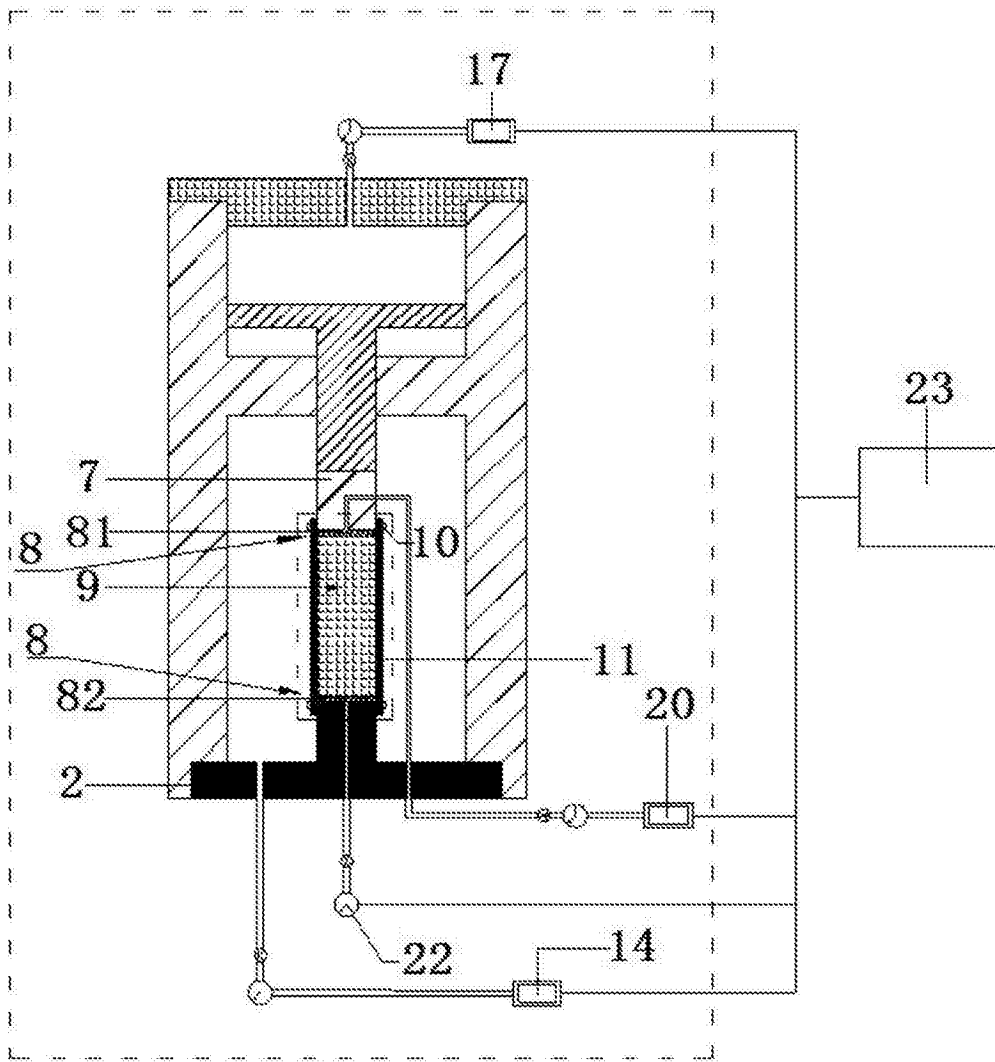


图1

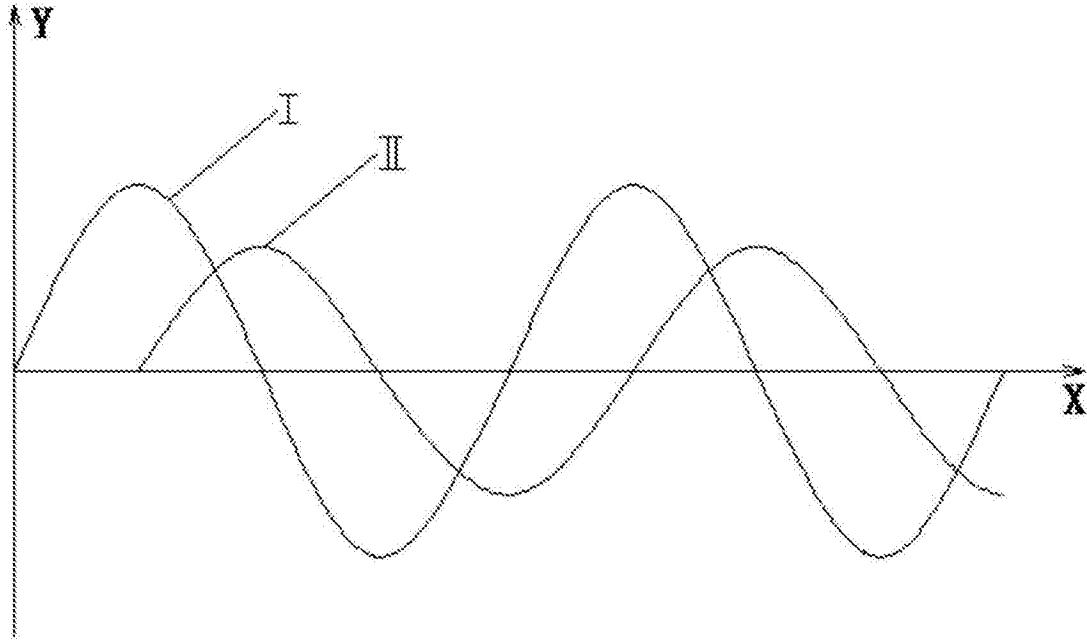


图2