



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104596905 B

(45)授权公告日 2017.05.24

(21)申请号 201410853506.7

(22)申请日 2014.12.31

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104596905 A

(43)申请公布日 2015.05.06

(73)专利权人 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 朱海燕 刘清友 陶雷

(74)专利代理机构 成都金英专利代理事务所
(普通合伙) 51218

代理人 袁英

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

(56)对比文件

CN 202330236 U, 2012.07.11,
 CN 202330233 U, 2012.07.11,
 CN 103760085 A, 2014.04.30,
 US 5265461 A, 1993.11.30,
 CN 104132880 A, 2014.11.05,
 US 2013/0144533 A1, 2013.06.06,
 JP 特開2005-291862 A, 2005.10.20,
 孙明贵 等. 破碎岩石非Darcy流的渗透特性
 试验研究.《安徽理工大学学报(自然科学版)》
 .2003, 第23卷(第2期), 第11-13页.
 张天军 等. 多种矿物成分破碎岩石渗透试
 验.《辽宁工程技术大学学报(自然科学版)》
 .2014, 第33卷(第4期), 第465-469页.

审查员 伍智勇

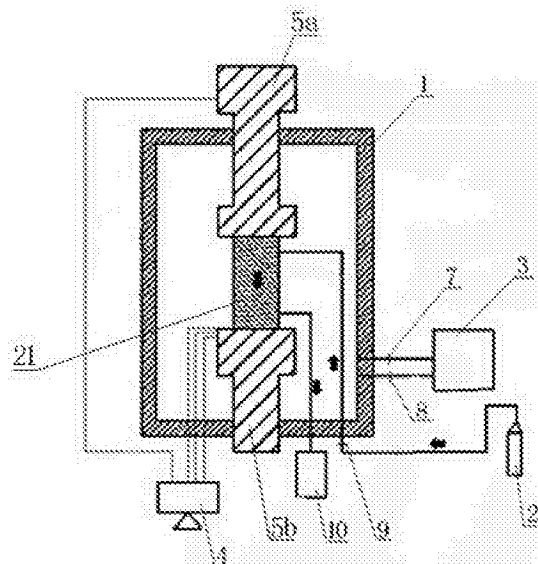
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种测定岩石破裂过程中渗透率的装置及其方法

(57)摘要

本发明公开了一种测定岩石破裂过程中渗透率的装置,它包括三轴试验舱(1)、岩心夹持装置、二氧化碳气瓶(2)、流量监测装置、液压油围压加载系统(3)和计算机(4),液压油围压加载系统(3)由油泵、加压泵和油箱组成,岩心夹持装置由岩心夹持器(11)、气垫(12)、绝缘自粘密封带(13)和热缩套(14)组成,岩心夹持器(11)的上、下端分别设置有与进气阀(9)连接的进气口(15)和与出气阀(10)连接的出气口(16),二氧化碳气瓶(2)与进气阀(9)连接,流量监测装置由玻璃量管(17)和橡胶软管(18)组成;它还包括了测定方法。本发明的有益效果是:改装便捷易行、操作安全简单、测量误差小、工作效率高和二氧化碳利用率高。



1.一种测定岩石破裂过程中渗透率的方法,它采用测定岩石破裂过程中渗透率的装置,该装置包括三轴试验舱(1)、岩心夹持装置、二氧化碳气瓶(2)、流量监测装置、液压油围压加载系统(3)和安装有控制器的计算机(4),所述的三轴试验舱(1)内且位于三轴试验舱(1)的上、下两端分别设置有轴压加载实验台上压杆(5a)和轴压加载实验台下压杆(5b),轴压加载实验台上压杆(5a)固定于三轴试验舱(1)上,轴压加载实验台下压杆(5b)可上、下活动以加载轴压,轴压加载实验台下压杆(5b)与轴压加载装置连接,三轴试验舱(1)外壁上设置有连通三轴试验舱(1)的进油阀(7)和回油阀(8),三轴试验舱(1)的底部设置有进气阀(9)和出气阀(10),所述的液压油围压加载系统(3)由油泵、加压泵和油箱组成,加压泵和油泵的吸引口均与油箱连接,加压泵和油泵的出油口均与进油阀(7)连接,油泵还与回油阀(8)连接,所述的岩心夹持装置由岩心夹持器(11)、气垫(12)、绝缘自粘密封带(13)和热缩套(14)组成,岩心夹持器(11)的上、下端分别设置有与进气阀(9)连接的进气口(15)和与出气阀(10)连接的出气口(16),二氧化碳气瓶(2)与进气阀(9)连接,所述的流量监测装置由玻璃量管(17)和橡胶软管(18)组成,所述的玻璃量管(17)固定在固定夹持装置(19)上,玻璃量管(17)中有有色液滴气泡在气体的推动下可向上滑动,

其特征在于:该方法包括以下步骤:

S1、塑封岩心:先将端面磨平后的岩心(6)的两端加装气垫(12),再先后用绝缘自粘密封带(13)和热缩套(14)将岩心(6)包裹固定于岩心夹持器(11)之间,从而实现了岩心的塑封;

S2、加装传感器:在岩心夹持器(11)上端的下部和岩心夹持器(11)下部的上部安装轴向位移传感器(20);

S3、加围压并注气:

S(1):先将S2中的岩心夹持器(11)置于轴压加载实验台上压杆(5a)和轴压加载实验台下压杆(5b)之间,再将轴向位移传感器(20)与计算机(4)连接,然后关闭三轴试验舱(1),启动油泵使液压油充满三轴试验舱(1)同时开启加压油泵,加压油泵中活塞按照加载速率50mm/min将岩心(6)围压提升至5MPa,随后关闭加压油泵和进油阀(7),使整个实验过程中围压稳定在5MPa;

S(2):关紧三轴试验舱(1)的进气阀(9)和出气阀(10),打开二氧化碳气瓶(2)的阀门,并调节二氧化碳气瓶(2)使二氧化碳进入三轴试验舱(1)的压力为2MPa;

S(3):打开三轴试验舱(1)的进气阀(9),上述S(2)中压力为2 MPa的二氧化碳顺次经进气阀(9)和进气口(15)进入到岩心(6)中,保持岩心进口端压力稳定在2 MPa;

S4、出口流量监测:打开三轴试验舱(1)的出气阀(10),将流量监测装置中橡胶软管(18)的一端与玻璃量管(17)连接,橡胶软管(18)的另一端与出气阀(10)连接,按照需要变更流量监测装置中玻璃量管(17)的量程,开始计算出口端气体流量;

S5、轴压加载开始实验:在计算机(4)中输入岩心(6)初始尺寸参数,对轴向位移传感器(20)清零,开始执行实验程序,采用应变控制实验,其控制速率为0.04mm/min,增加轴向荷载直到试样发生破坏,在施加轴向载荷的过程中记录下岩心(6)中围压、二氧化碳压力、各级应力下的应力、应变值以及测得出口端流量数据;

S6、实验结束:

S(1):岩心失效破坏后,停止加载轴向载荷,关闭二氧化碳气瓶(2)阀门,同时打开回油

阀(8)并启动油泵将三轴试验舱(1)内液压油抽回油箱;

S(2):打开三轴试验舱(1),拆卸岩心夹持器(11)与三轴试验舱(1)连接的各传感器的数据线和气体进出管线;

S(3):取回岩心夹持器(11)并切下位于岩心(6)上、下端的气垫(12),保存好实验后的岩心(6)和实验数据,准备下次实验;

S(4):计算岩心(6)在超临界二氧化碳条件下的弹性模量、抗压强度,最后绘制岩心(6)在超临界二氧化碳条件下的应力应变曲线,从而实现了测定此时岩石的三轴强度;

S(5):通过各组出口端流量数据计算出不同应力应变下渗透率数据,并将渗透率-应变曲线绘制在应力应变曲线图上,即可分析得到岩石在破裂过程中渗透率的变化规律。

一种测定岩石破裂过程中渗透率的装置及其方法

技术领域

[0001] 本发明涉及石油开发的技术领域,特别是一种测定岩石破裂过程中渗透率的装置及其方法。

背景技术

[0002] 随着国内油气田开发的不断发展,以及海外业务的不断扩大,国内外非常规特种油气藏开发技术要求越来越高,运用水力压裂开发非常规油气资源早已受到社会各界广泛的关注。全面了解和掌握岩石在水力压裂时受到三向应力载荷直至破裂过程中力学参数的变化和岩石渗透率的变化,对编制油气田开发方案、指导现场施工提供重要依据。

[0003] 所面对的地层环境越来越复杂,地层岩石力学性质和渗透性质受各向应力载荷影响较大,岩石在不同应力下的力学响应和渗透率变化难以准确预测。而实验室可获取的常规条件下利用标准尺寸岩心直接测量出来的静态渗透率不能满足研究岩石孔缝形态特征随应力加载而变化的实际要求,且常规岩石力学三轴强度实验条件下气体难以进入到高温高压试验舱内塑封后的岩心中,根本不能实现“边加载应力,边测量渗透率”。另一方面,由于非常规油气藏岩石致密、渗透率低,一般流量计难以准确测量气体通过岩石的气流甚至监测不到流量。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现岩石在三向应力加载至破裂过程中渗透率难以测量的问题,提供一种改装便捷易行、操作安全简单、测量误差小、工作效率高和二氧化碳利用率高的测定岩石破裂过程中渗透率的装置及其方法。

[0005] 本发明的目的通过以下技术方案来实现:一种测定岩石破裂过程中渗透率的装置,它包括三轴试验舱、岩心夹持装置、二氧化碳气瓶、流量监测装置、液压油围压加载系统和安装有数据采集器和控制器的计算机,所述的三轴试验舱内且位于三轴试验舱的上、下两端分别设置有轴压加载实验台上压杆和轴压加载实验台下压杆,轴压加载实验台上压杆固定于三轴试验舱上,轴压加载实验台下压杆可上、下活动以加载轴压,轴压加载实验台下压杆与轴压加载装置连接,三轴试验舱外壁上设置有连通三轴试验舱的进油阀和回油阀,三轴试验舱的底部设置有进气阀和出气阀,所述的液压油围压加载系统由油泵、加压泵和油箱组成,加压泵和油泵的吸引口均与油箱连接,加压泵和油泵的出油口均与进油阀连接,油泵还与回油阀连接,所述的岩心夹持装置由岩心夹持器、气垫、绝缘自粘密封带和热缩套组成,岩心夹持器的上、下端分别设置有与进气阀连接的进气口和与出气阀连接的出气口,二氧化碳气瓶与进气阀连接,所述的流量监测装置由玻璃量管和橡胶软管组成。

[0006] 所述的玻璃量管固定在固定夹持装置上,玻璃管中有有色液滴气泡在气体的推动下可向上滑动。

[0007] 一种测定岩石破裂过程中渗透率的方法,它包括以下步骤:

[0008] S1、塑封岩心:先将端面磨平后的岩心的两端加装气垫,再先后用绝缘自粘密封带

和热缩套将岩心包裹固定于岩心夹持器之间,从而实现了岩心的塑封;

[0009] S2、加装传感器:在岩心夹持器上端的下部和岩心夹持器下部的上部安装轴向位移传感器;

[0010] S3、加围压并注气:

[0011] S(1):先将S2中的岩心夹持器置于轴压加载实验台上压杆和轴压加载实验台下压杆之间,再将轴向位移传感器与计算机连接,然后关闭三轴试验舱,启动油泵使液压油充满三轴试验舱同时开启加压油泵,加压油泵中活塞按照加载速率50mm/min将岩心围压提升至5MPa,随后关闭加压油泵和进油阀,使整个实验过程中围压稳定在5MPa;

[0012] S(2):关紧三轴试验舱的进气阀和出气阀,打开二氧化碳气瓶的阀门,并调节二氧化碳气瓶使二氧化碳进入三轴试验舱的压力为2MPa;

[0013] S(3):打开三轴试验舱的进气阀,上述S(2)中压力为2MPa的二氧化碳顺次经进气阀和进气口进入到岩心中,保持岩心进口端压力稳定在2MPa;

[0014] S4、出口流量监测:打开三轴试验舱的出气阀,将流量监测装置中橡胶软管的一端与玻璃量管连接,橡胶软管的另一端与出气阀连接,按照需要变更流量监测装置中玻璃量管的量程,开始计算出口端气体流量;

[0015] S5、轴压加载开始实验:在计算机中输入岩心初始尺寸参数,对轴向位移传感器清零,开始执行实验程序,采用应变控制实验,其控制速率为0.04mm/min,增加轴向荷载直到试样发生破坏,在施加轴向载荷的过程中记录下岩心中围压、二氧化碳压力、各级应力下的应力、应变值以及测得出口端流量数据;

[0016] S6、实验结束:

[0017] S(1):岩心失效破坏后,停止加载轴向载荷,关闭二氧化碳气瓶阀门,同时打开回油阀并启动油泵将三轴试验舱内液压油抽回油箱;

[0018] S(2):打开三轴试验舱,拆卸岩心夹持器与三轴试验舱连接的各传感器的数据线和气体进出管线;

[0019] S(3):取回岩心夹持器并切下位于岩心上、下端的气垫,保存好实验后的岩心和实验数据,准备下次实验;

[0020] S(4):计算岩心在超临界二氧化碳条件下的弹性模量、抗压强度,最后绘制岩心在超临界二氧化碳条件下的应力应变曲线,从而实现了测定此时岩石的三轴强度;

[0021] S(5)通过各组出口端流量数据计算出不同应力应变下渗透率数据,并将渗透率-应变曲线绘制在应力应变曲线图上,即可分析得到岩石在破裂过程中渗透率的变化规律。

[0022] 本发明具有以下优点:(1)本发明用于测定岩石在破裂过程中渗透率的变化,并实时监测记录岩石的围压、岩心中二氧化碳的压力、轴向应力、轴向应变数据、二氧化碳通过岩心的流量,并根据这些数据计算岩石轴压加载至破裂过程中的弹性模量、抗压强度、二氧化碳的流量,同时绘制岩石的应力应变曲线,计算并绘制岩石在破裂过程中的二氧化碳气测渗透率变化曲线图。(2)本发明实现了不同气流强度下流量监测装置的量程可调节满足不同的流量监测需求。(3)实验过程简便,需要的仪器设备都很容易制得,实验效率较高。(4)数据处理方便易操作,数据结果最终曲线图较直观地反映了岩石在受到应力作用直至破裂时渗透率变化趋势,为流固耦合分析提供实验数据依据。

附图说明

[0023] 图1为本发明的结构示意图；

[0024] 图2为本发明的岩心夹持装置与轴向位移传感器的安装示意图；

[0025] 图3为本发明的流量监测装置的结构示意图；

[0026] 图4为本发明经实验后绘制的应力应变曲线和渗透率-应变曲线；

[0027] 图中,1-三轴试验舱,2-二氧化碳气瓶,3-液压油围压加载系统,4-计算机,5a-轴压加载实验台上压杆,5b-轴压加载实验台下压杆,6-岩心,7-进油阀,8-回油阀,9-进气阀,10-出气阀,11-岩心夹持器,12-气垫,13-绝缘自粘密封带,14-热缩套,15-进气口,16-出气口,17-玻璃量管,18-橡胶软管,19-固定夹持装置,20-轴向位移传感器,21-岩心及岩心夹持装置。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图对本发明做进一步的描述,本发明的保护范围不局限于以下所述:

[0029] 如图1-3所示,一种测定岩石破裂过程中渗透率的装置,它包括三轴试验舱1、岩心夹持装置、二氧化碳气瓶2、流量监测装置、液压油围压加载系统3和安装有控制器的计算机4,所述的三轴试验舱1内且位于三轴试验舱1的上、下端分别设置有轴压加载实验台上压杆5a和轴压加载实验台下压杆5b,轴压加载实验台上压杆5a固定于三轴试验舱1上,轴压加载实验台下压杆5b可上、下活动以加载轴压,轴压加载实验台下压杆5b与轴压加载装置连接,三轴试验舱1外壁上设置有连通三轴试验舱1的进油阀7和回油阀8,三轴试验舱1的底部设置有进气阀9和出气阀10,所述的液压油围压加载系统3由油泵、加压泵和油箱组成,加压泵和油泵的吸引口均与油箱连接,加压泵和油泵的出油口均与进油阀7连接,油泵还与回油阀8连接,所述的岩心夹持装置由岩心夹持器11、气垫12、绝缘自粘密封带13和热缩套14组成,岩心夹持器11的上、下端分别设置有与进气阀9连接的进气口15和与出气阀10连接的出气口16,二氧化碳气瓶2与进气阀9连接,所述的流量监测装置由玻璃量管17和橡胶软管18组成。

[0030] 所述的玻璃量管17固定在固定夹持装置19上,玻璃管中有有色液滴气泡在气体的推动下可向上滑动。

[0031] 一种测定岩石破裂过程中渗透率的方法,它包括以下步骤:

[0032] S1、塑封岩心:

[0033] S(1):取出直径为25mm、长度为50mm的岩心样本,通过磨石机磨平岩心6的两个端面,使两端面均垂直于岩心6轴线,轴向角度偏差不超过 0.05° ;

[0034] S(2):将岩心6两端的顶部均重叠放置直径25mm的气垫12,再将气垫12放置于岩心夹持器11中间;

[0035] S(3):用绝缘自粘密封带13将岩心夹持器11、气垫12和岩心6的侧面均匀缠绕包裹为整体,目的是为了防止实验过程中二氧化碳气体沿岩心侧面窜流,造成二氧化碳损耗,增大测量误差;

[0036] S(4):将热缩套14套在岩心夹持器11中间,用 300°C 到 500°C 热风机从岩心夹持器11中部向其上、下两端均匀加热并旋转,使热缩套14在高温的作用下均匀无气泡的收紧包

裹岩心6、气垫12和岩心夹持器11的上下端部分,用以在加载围压时隔绝液压油。

[0037] S2、加装传感器:在岩心夹持器11上端的下部和岩心夹持器11下部的上部安装轴向位移传感器20。

[0038] S3、加围压并注气:

[0039] S(1):先将S2中的岩心夹持器11置于轴压加载实验台上压杆5a和轴压加载实验台下压杆5b之间,再将轴向位移传感器20与计算机4连接,然后关闭三轴试验舱1并排除三轴试验舱1内的空气,启动油泵使液压油充满三轴试验舱1同时开启加压油泵,加压油泵中活塞按照加载速率50mm/min将岩心6围压提升至5MPa,随后关闭加压油泵和进油阀7,使整个实验过程中围压稳定在5MPa;

[0040] S(2):关紧三轴试验舱1的进气阀9和出气阀10,打开二氧化碳气瓶2的阀门,并调节二氧化碳气瓶2使二氧化碳进入三轴试验舱1的压力为2MPa(若气瓶中二氧化碳气压不足需增加气体增压装置);

[0041] S(3):打开三轴试验舱1的进气阀9,上述S(2)中压力为2MPa的二氧化碳顺次经进气阀9和进气口15进入到岩心6中,保持岩心6进口端压力稳定在2MPa。

[0042] S4、出口流量监测:

[0043] S(1):打开三轴试验舱1的出气阀10,将出气阀10连接到橡胶软管18上;

[0044] S(2):根据气体出口端流量大小选择1ml~50ml玻璃量管17,观察气泡在一定时间内(秒表测得)通过玻璃量管17的体积,计算出口端气体流量并与当时应力应变值对应记录;

[0045] S(3):定时重复测量直至岩样破坏后流量稳定结束实验,特别是应力在峰值附近时应适当增加测量组数,力求更准确地反映岩石破裂时孔缝系统形变规律及渗透率变化。

[0046] S5、轴压加载开始实验:在计算机4中输入岩心6初始尺寸参数,对轴向位移传感器20清零,开始执行实验程序,采用应变控制实验,其控制速率为0.04mm/min,增加轴向荷载直到试样发生破坏,在施加轴向载荷的过程中记录下岩心6中围压、二氧化碳压力、各级应力下的应力、应变值以及测得出口端流量数据。

[0047] S6、实验结束:

[0048] S(1):岩心失效破坏后,停止加载轴向载荷,关闭二氧化碳气瓶2阀门,同时打开回油阀8并启动油泵将三轴试验舱1内液压油抽回油箱;

[0049] S(2):打开三轴试验舱1,拆卸岩心夹持器11与三轴试验舱1连接的各传感器的数据线和气体进出管线;

[0050] S(3):取回岩心夹持器11并切下位于岩心6上、下端的气垫12,保存好实验后的岩心6和实验数据,准备下次实验;

[0051] S(4):计算岩石在破裂过程中的弹性模量、抗压强度,绘制岩石应力应变曲线,求解岩石不同阶段的渗透率,并将渗透率-应变曲线绘制在应力应变曲线图上。求解弹性模量的方法为:应变=加载过程中轴向变形/岩心试件的长度;画出加载过程中的应力、应变图;求取曲线中直线段的斜率,即为弹性模量。轴向应变=加载过程中轴向变形/岩心试件的长度。按照气测达西公式(式1)用测得的流量计算岩石应力加载过程中的渗透率,并绘制渗透率-应变曲线。

$$k = \frac{2P_0 Q_0 \mu L}{A(P_1^2 - P_2^2)} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_0 = \frac{V}{t}$$

[0053] 其中:k-气测计算得渗透率 (mD), P_0 -大气压力 (MPa), Q_0 -流过岩样横截面积的流量 (ml/s), μ -二氧化碳气体粘度 (mPa · s), L-岩心长度 (cm), A-岩心横截面积 (cm²), P_1 、 P_2 -岩心气体进、出口端气压 (MPa), V-测量流量时玻璃管中气泡在一定时间内流过的体积 (ml), t-气泡流动的时间 (s),即可分析得到岩石在破裂过程中渗透率的变化规律。

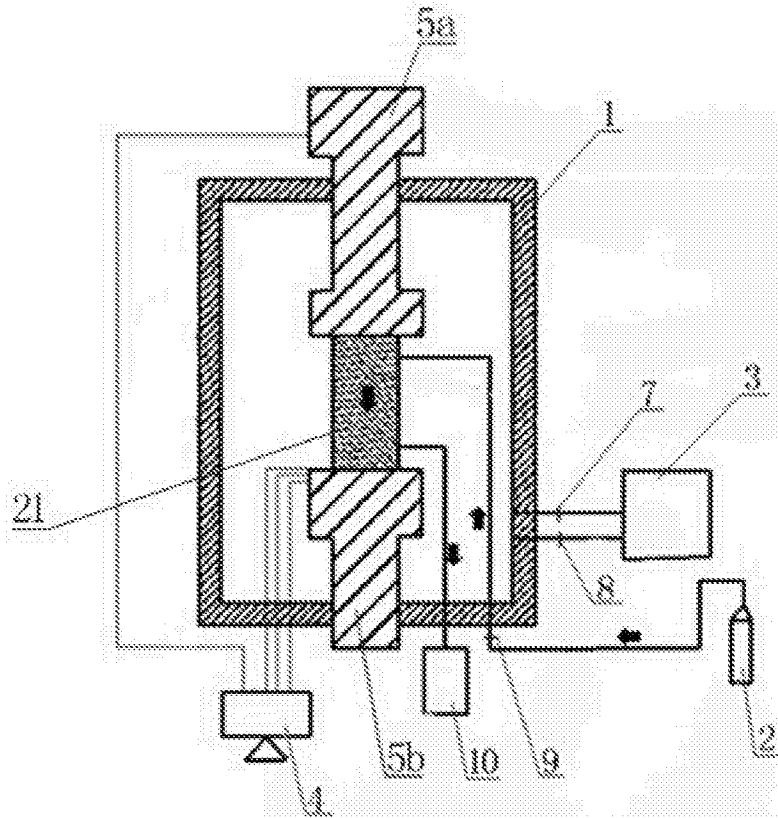


图1

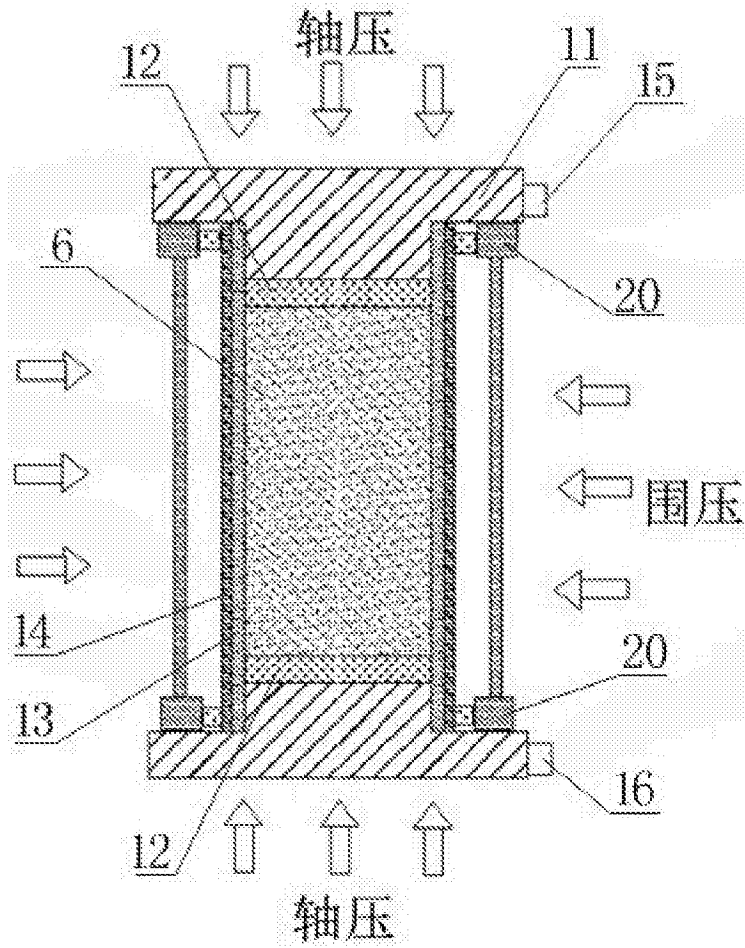


图2

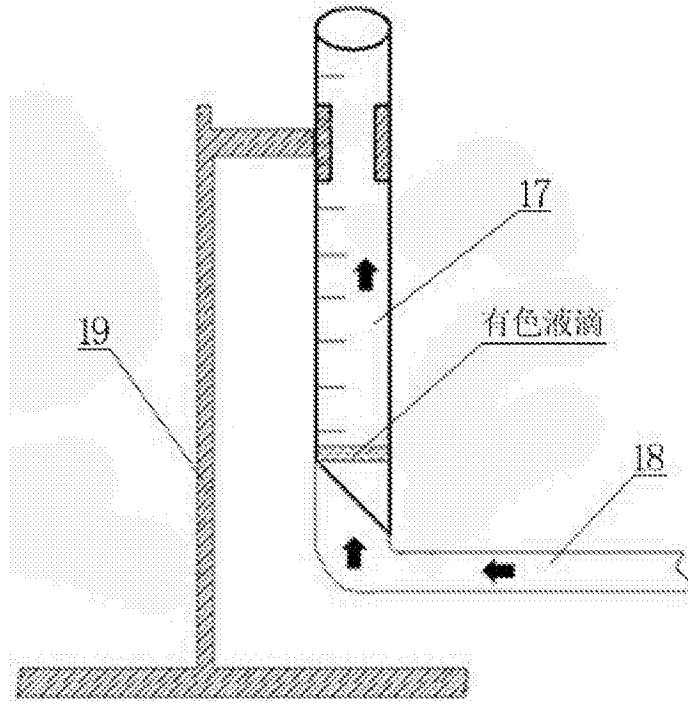


图3

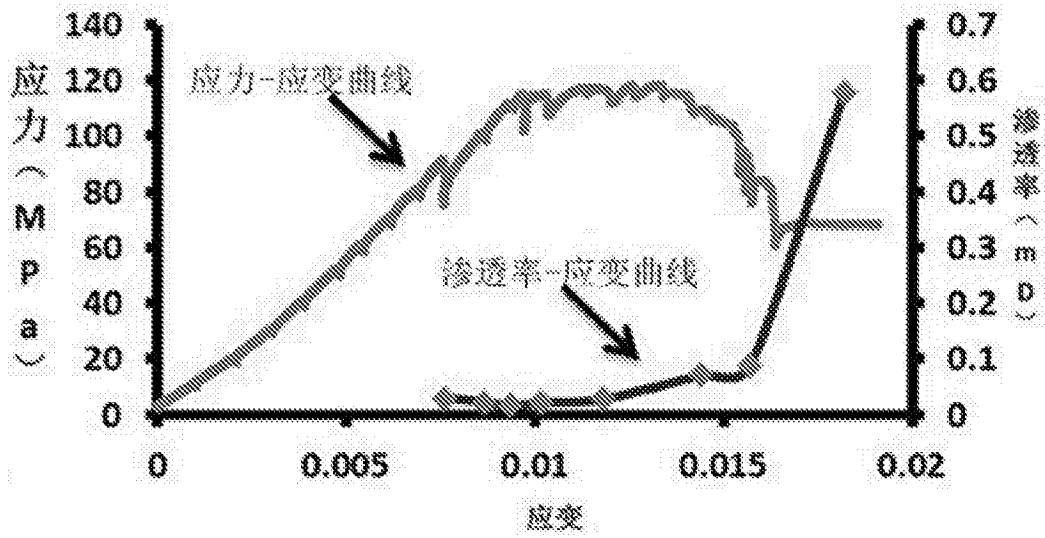


图4