



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102353625 B

(45) 授权公告日 2013. 11. 06

(21) 申请号 201110255570. 1

US 4782501 A, 1988. 11. 01, 全文.

(22) 申请日 2011. 08. 31

闵令元 等. 覆压下岩石孔隙度和渗透率测定方法. 《SY/T 6385-1999 覆压下岩石孔隙度和渗透率测定方法》. 1999, 全文.

(73) 专利权人 中国石油大学(北京)

地址 102249 北京市昌平区府学路 18 号

吴凡 等. 孔隙度、渗透率与净覆压的规律研究和应用. 《西南石油学院学报》. 1999, 第 21 卷(第 4 期), 第 23-25 页.

(72) 发明人 栾国华 顾岱鸿 何顺利 朱华银

谢全 马俯波 申颖浩 李康

张璋 郭雪晶 吕志凯

审查员 谢百韬

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

公司 11127

代理人 赵燕力

(51) Int. Cl.

G01N 15/08(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101995373 A, 2011. 03. 30, 全文.

CN 1508531 A, 2004. 06. 30, 全文.

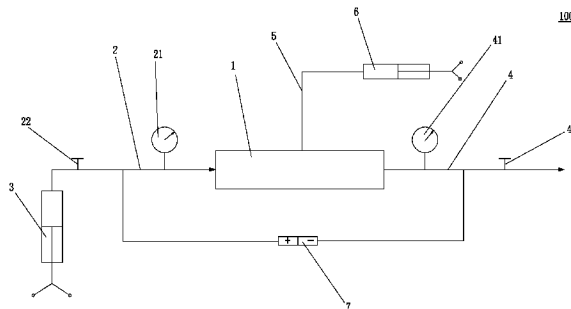
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法

(57) 摘要

本发明为一种渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法,在已知孔隙体积的岩心周围加围压,将已知压缩系数的单相流体饱和地注入该岩心中,并使该岩心两端压力符合地层真实情况;然后依次增加围压压力,并依次测定增加围压后岩心内部孔隙压力的变化,由此确定孔隙体积变化,进而确定覆压情况下的孔隙度变化。本发明的测定方法,适用于低渗透、超低渗透储层应力敏感研究领域的覆压孔隙度研究;可以在模拟真实储层上覆压力、孔隙压力、真实流体参数条件下实现对岩石的覆压孔隙度研究。该方法的测试设备简单,测试原理清晰;与气测覆压孔隙度方法相比,该方法测得的有效孔隙度,更能反映实际储层的覆压孔隙度特征,可实现了对储层覆压孔隙度的定量研究。



CN 102353625 B

1. 一种渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法,在已知孔隙体积的岩心周围加围压,将已知压缩系数的单相流体饱和地注入该岩心中,并使该岩心两端压力符合地层真实情况;然后依次增加围压压力,并依次测定增加围压后岩心内部孔隙压力的变化,由此来确定孔隙体积变化值,进而确定覆压情况下的孔隙度变化;

将所述岩心放置在一个水测覆压孔隙度测试装置的岩心夹持器中;所述岩心夹持器的一端通过上游管线与一恒压泵连通,上游管线中设有上游压力表,上游压力表与恒压泵之间设有上游阀门;所述岩心夹持器的另一端设有下游管线,该下游管线中依次设有下游压力表和下游阀门;所述岩心夹持器侧壁通过一管路与一围压泵连通;

该测定方法的测定步骤为:

(1) 设定初始围压压力值并保持恒定,启动恒压泵并调节岩心上下游压力符合地层的真实情况;

(2) 待流过岩心的流体为 2 ~ 3 倍的孔隙体积后,关闭下游阀门,调整恒压泵为恒压状态继续向岩心注入流体,直到将夹持器内岩心被实验流体充满且维持在地层压力附近,关闭上游阀门,待岩心两端压差逐渐稳定,此时,取上、下游压力表的压力平均值作为围压增加前的孔隙流体压力  $P_1$ ;

(3) 增加围压压力并保持稳定,待岩心上、下游压差逐渐稳定,此时,取上、下游压力表的压力平均值作为该围压压力下的孔隙流体压力  $P_2$ ;

(4) 根据公式:  $\Delta V = V \cdot \Delta P \cdot C_L$  计算出孔隙体积变化值,进而得到孔隙度变化值;

其中:  $V$ : 为初始状态下上、下阀门两端所封闭的总体积,是岩心的孔隙体积  $V_p$  与之间管线死体积  $V_d$  之和;

$\Delta P$ : 为围压压力增加前后的孔隙压力变化量  $\Delta P = P_2 - P_1$ ;

$C_L$ : 为测试流体的压缩系数;

(5) 增加围压压力,重复步骤 (3)-(4),由此测定出覆压与孔隙度的关系。

2. 如权利要求 1 所述的渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法,其特征在于:在所述岩心夹持器两端的上、下阀门之间设置一压差传感器。

## 渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法

### 技术领域

[0001] 本发明是关于一种石油地质行业中岩心孔隙度的测定方法,尤其涉及一种渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法。

### 背景技术

[0002] 目前,在石油地质行业岩心分析试验工作中,通常采用气测方法研究岩心的覆压孔隙度特征;实验介质一般采用氦气或氮气,测量对应的岩心气测孔隙度;其测试原理是根据波义尔(Boyle)定律,测定岩样的孔隙体积。

[0003] 如图3所示,为现有测量岩样孔隙体积的原理图。标准气室为已知体积 $V_k$ 的气室,岩心置于岩心室(岩心夹持器),由橡胶套包裹岩心并加围压,不留空隙。测定时关闭第一阀门,打开第三阀门,利用抽真空设备对岩样室抽真空;打开第二阀门,将气体充入标准气室,关闭第二阀门,待标准气室中的压力稳定后,从压力表中读取压力 $P_k$ ;关闭第三阀门,打开第一阀门使气体等温膨胀进入岩心孔隙体积,待标准气室、岩心室内的压力达到平衡后,读取压力表的压力为 $P_0$ 。根据波义尔(Boyle)定律可推得岩石孔隙体积 $V$ 计算公式:

$$[0004] \quad V_k P_k = p(V + V_k) \quad (1)$$

[0005] 则得:

$$[0006] \quad V = V_k(p_k - p)/p \quad (2)$$

[0007] 上述现有气测覆压孔隙度的实验方法,采用气体作为测试介质,由于气体的分子半径很小,能进入更细小的孔隙。根据边界层理论及核磁共振的研究结果,在低渗透、超低渗透储层中,在油藏现有的开采压力下,存在于死孔隙和极小孔道中的流体是不参与流动的。因此上述更细小的孔隙在油藏现有的开采压差下是不参与流动的,该类孔隙称之为无效孔隙。由于气体分子的特殊性,气测方法得到的覆压孔隙度特征反映的是岩心的绝对孔隙度(指岩石内总孔隙体积 $V_a$ 与岩石外表体积 $V_b$ 之比)与覆压之间的关系,这种由现有常规的气测覆压孔隙度方法得到的绝对孔隙度与储层的有效孔隙度(指的是在含流体的岩石中,可流动的孔隙体积 $V_t$ 与岩石外表体积 $V_b$ 之比)存在一定的偏差,这种偏差会随着测试过程中覆压的增加而增大;而对储层开发、开采效果起主要影响的是有效孔隙度。

[0008] 对于低渗透、超低渗透岩心来讲,油藏工程师们更关心的是在油藏实际压力下储层内能够参与流动的孔隙度与上覆压力变化的关系。一般情况下,常规的气测覆压孔隙度测试,气测覆压孔隙度测量装置的气源压力不会太高,无法模拟真实储层下的流体在孔隙中的压力,因此在该条件下测试得到的覆压孔隙度数据,不能真实的反应地层孔隙度随上覆压力变化的真实情况,无法模拟真实储层的流体压力,这种条件下测试得到的覆压与孔隙度之间的关系与实际地层的覆压孔隙度关系偏差较大,只能定性的描述储层的孔隙度应力敏感特征。

[0009] 因此,现有的气测覆压孔隙度测量方法制约了实验定量研究储层的应力敏感特征的深入开展,实验结果只能做定性的研究,限制了实验数据的应用。

[0010] 由此,本发明人凭借多年从事相关行业的经验与实践,提出一种渗流力学实验中

水测覆压孔隙度的测定方法,以克服现有技术的缺陷。

### 发明内容

[0011] 本发明的目的在于提供一种渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法,在保持地层压力的条件下,应用液体测试岩心覆压孔隙度,以实现岩心液测覆压有效孔隙度的测量;克服气测覆压孔隙度测试孔隙度高、测试条件与储层的真实条件相差较大的缺点,由此实现对储层覆压孔隙度的定量研究。

[0012] 本发明的目的是这样实现的,一种渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法,在已知孔隙体积的岩心周围加围压,将已知压缩系数的单相流体饱和地注入该岩心中,并使该岩心两端压力符合地层真实情况;然后依次增加围压压力,并依次测定增加围压后岩心内部孔隙压力的变化,由此来确定孔隙体积变化值,进而确定覆压情况下的孔隙度变化。

[0013] 在本发明的一较佳实施方式中,是将所述岩心放置在一个水测覆压孔隙度测试装置的岩心夹持器中;所述岩心夹持器的一端通过上游管线与一恒压泵连通,上游管线中设有上游压力表,上游压力表与恒压泵之间设有上游阀门;所述岩心夹持器的另一端设有下游管线,该下游管线中依次设有下游压力表和下游阀门;所述岩心夹持器侧壁通过一管路与一围压泵连通。

[0014] 在本发明的一较佳实施方式中,该测定方法的测定步骤为:

[0015] (1) 设定初始围压压力值并保持恒定,启动恒压泵并调节岩心上下游压力符合地层的真实情况;

[0016] (2) 待流过岩心的流体为 2 ~ 3 倍的孔隙体积后,关闭下游阀门,调整恒压泵为恒压状态继续向岩心注入流体,直到将夹持器内岩心被实验流体充满且维持在地层压力附近,关闭上游阀门,待岩心两端压差逐渐稳定,此时,取上、下游压力表的压力平均值作为围压增加前的孔隙流体压力  $P_1$ ;

[0017] (3) 增加围压压力并保持稳定,待岩心上、下游压差逐渐稳定,此时,取上、下游压力表的压力平均值作为该围压压力下的孔隙流体压力  $P_2$ ;

[0018] (4) 根据公式:  $\Delta V = V \cdot \Delta P \cdot C_L$  计算出孔隙体积变化值,进而得到孔隙度变化值;

[0019] 其中:  $V$ : 为初始状态下上、下阀门两端所封闭的总体积,是岩心的孔隙体积  $V_p$  与之间管线死体积  $V_0$  之和;

[0020]  $\Delta P$ : 为围压压力增加前后的孔隙压力变化量  $\Delta P = P_2 - P_1$ ;

[0021]  $C_L$ : 为测试流体的压缩系数;

[0022] (5) 增加围压压力,重复步骤 (3)-(4),由此测定出覆压与孔隙度的关系。

[0023] 在本发明的一较佳实施方式中,在所述岩心夹持器两端的上、下阀门之间设置一压差传感器。

[0024] 由上所述,本发明渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法,适用于目前低渗透、超低渗透储层应力敏感研究领域的覆压孔隙度研究;水测覆压孔隙度测定方法可以在模拟真实储层上覆压力、孔隙压力、真实流体参数条件下实现对岩石的覆压孔隙度研究。该方法的测试设备简单,测试原理清晰,其中在缺乏储层流体的参数情况下,可以采用室内实验室配置的性质稳定的测试流体;与现有的气测覆压孔隙度方法相比,本发明的测定方法测得的有效孔隙度,更能反映实际储层的覆压孔隙度特征,由此实现了对储层覆压孔隙度

的定量研究。

### 附图说明

[0025] 以下附图仅旨在于对本发明做示意性说明和解释,并不限定本发明的范围。其中:

[0026] 图 1:为用于本发明测定方法的水测覆压孔隙度测试装置的示意图。

[0027] 图 2:为覆压有效应力与孔隙度变化关系的示意图。

[0028] 图 3:为现有测量岩样孔隙体积的原理图。

### 具体实施方式

[0029] 为了对本发明的技术特征、目的和效果有更加清楚的理解,现对照附图说明本发明的具体实施方式。

[0030] 本发明提出一种渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法,在已知孔隙体积的岩心周围加围压,将已知压缩系数的单相流体饱和地注入该岩心中,并使该岩心两端压力符合地层真实情况;然后依次增加围压压力,并依次测定增加围压后岩心内部孔隙压力的变化,由此来确定孔隙体积变化值,进而确定覆压情况下的孔隙度变化。

[0031] 本发明中所述的覆压孔隙度,是指施加一定的有效应力时,岩样的孔隙度随应力变化而改变的性质。

[0032] 如图 1 所示,在本实施方式中,是将所述岩心放置在一个水测覆压孔隙度测试装置 100 的岩心夹持器 1 中;所述岩心夹持器 1 的一端通过上游管线 2 与一恒压泵 3 连通,上游管线 2 中设有上游压力表 21,上游压力表 21 与恒压泵 3 之间设有上游阀门 22;所述岩心夹持器 1 的另一端设有下游管线 4,该下游管线 4 中依次设有下游压力表 41 和下游阀门 42;所述岩心夹持器 1 侧壁通过一管路 5 与一围压泵 6 连通。为了比较快速、清楚地观察岩心两端的压差,在本实施方式中,在所述岩心夹持器 1 两端的上、下阀门 22、42 之间设置一压差传感器 7。

[0033] 在本实施方式中,该测定方法的测定步骤为:

[0034] (1) 设定初始围压压力值  $P_{c1}$  并保持恒定,启动恒压泵 3 并调节岩心上下游压力符合地层的真实情况;

[0035] (2) 待流过岩心的流体为 2~3 倍的孔隙体积  $V_p$  后,关闭下游阀门 42,调整恒压泵 3 为恒压状态继续向岩心注入流体,直到将夹持器 1 内岩心被实验流体充满且维持在地层压力附近,关闭上游阀门 22,待岩心两端压差逐渐稳定,此时,取上、下游压力表 21、41 的压力平均值作为围压增加前的孔隙流体压力  $P_1$ ;

[0036] (3) 增加围压压力值至  $P_{c2}$  并保持稳定,此时夹持器内的岩心孔隙被压缩,伴随孔隙体积的减小,孔隙内流体压力将会上升,待岩心上、下游压差逐渐稳定,此时,取上、下游压力表 21、41 的压力平均值作为该围压压力  $P_{c2}$  下的孔隙流体压力  $P_2$ ;

[0037] (4) 根据公式:  $\Delta V = V \cdot \Delta P \cdot C_t$  计算出孔隙体积变化值,进而得到孔隙度变化值;

[0038] 其中: $V$ :为初始状态下上、下游阀门 22、42 两端所封闭的总体积,是岩心的孔隙体积  $V_p$  与之间管线死体积  $V_d$  之和;

[0039]  $\Delta P$ :为围压压力增加前后的孔隙压力变化量  $\Delta P = P_2 - P_1$ ;

[0040]  $C_L$  :为测试流体的压缩系数 ;液体压缩系数 :定义为单位压力变化时引起的液体单位体积的变化量 ;

[0041] (5) 此时,保持围压压力值为  $P_{e2}$ , 打开上、下游阀门 22、42 ;然后关闭下游阀门 42, 调整恒压泵 3 为恒压状态再向岩心注入流体,直到将夹持器 1 内岩心被实验流体充满且维持在地层压力  $P_1$  ;

[0042] (6) 再增加围压压力值至  $P_{e3}$  并保持稳定,待岩心上、下游压差逐渐稳定,此时,取上、下游压力表 21、41 的压力平均值作为该围压压力  $P_{e3}$  下的孔隙流体压力  $P_2$  ;

[0043] (7) 根据公式 :  $\Delta V = V \cdot \Delta P \cdot C_L$  计算出孔隙体积变化值,进而得到孔隙度变化值 ;

[0044] (8) 重复步骤 (3)-(7),由此测定出覆压与孔隙度的关系。

[0045] 由上所述,本发明渗流力学实验中水测覆压孔隙度的测定方法,适用于目前低渗透、超低渗透储层应力敏感研究领域的覆压孔隙度研究 ;水测覆压孔隙度测定方法可以在模拟真实储层上覆压力、孔隙压力、真实流体参数条件下实现对岩石的覆压孔隙度研究。该方法的测试设备简单,测试原理清晰,其中在缺乏储层流体的参数情况下,可以采用室内实验室配置的性质稳定的测试流体 ;与现有的气测覆压孔隙度方法相比,本发明的测定方法测得的有效孔隙度,更能反映实际储层的覆压孔隙度特征,由此实现了对储层覆压孔隙度的定量研究。

[0046] 下面针对本发明的一具体试验作出描述 :

[0047] 低渗透岩心水测覆压孔隙度实验,模拟储层流体压力为 12MPa,测试流体为标准盐水,岩心直径为 3.828cm,长度为 8.77cm,初始孔隙体积为 11.24mL、渗透率为 2.62 ;标准盐水的压缩系数为  $C_L = 4.983 \times 10^{-4} \text{MPa}^{-1}$  ;死体积为 15.40mL ;

[0048] 根据上述测定方法的试验步骤得出以下试验数据 :

[0049] 表 1 水测覆压孔隙度实验数据

[0050]

围压 (MPa)	围压增加前 孔隙压力(MPa)	围压增加后 孔隙压力(MPa)	覆压孔隙 体积(mL)	有效应力 (MPa)	孔隙度变化(V/V <sub>0</sub> )
20.00	12	—	11.2400	8.000	1.00000
24.00	12	12.7533	11.2300	11.2467	0.99911
28.00	12	12.6933	11.2208	15.3067	0.99829
32.00	12	12.6483	11.2122	19.3517	0.99753
36.00	12	12.6108	11.2041	23.3892	0.99681
40.00	12	12.5959	11.1962	27.4041	0.99610
44.00	12	12.5886	11.1884	31.4114	0.99541

[0051] 如表 1 所示,即为模拟地层压力条件下,岩心水测覆压孔隙度数据,根据岩心有效应力的定义,可以得到孔隙度变化率数据与有效应力之间的关系如图 2 所示。

[0052] 本发明在岩心中模拟真实储层压力,通过测定围压变化条件下,孔隙体积减小,导致流体压力变化,来计算覆压孔隙度变化,该孔隙度对应的为岩心有效孔隙度,更能反映实际储层的覆压孔隙特征,由此实现了对储层覆压孔隙度的定量研究。

[0053] 以上所述仅为本发明示意性的具体实施方式,并非用以限定本发明的范围。任何本领域的技术人员,在不脱离本发明的构思和原则的前提下所作出的等同变化与修改,均应属于本发明保护的范围。

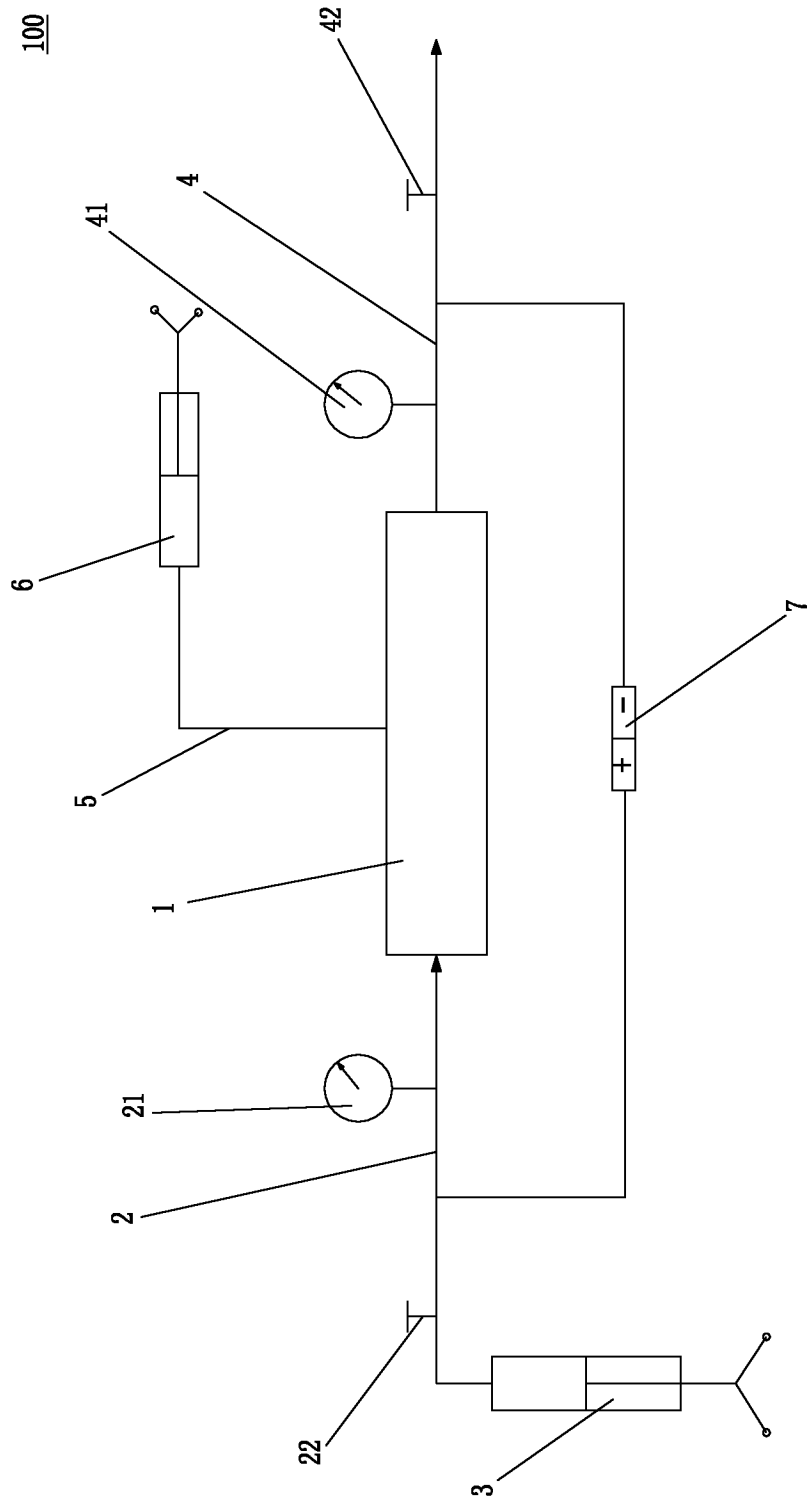


图 1



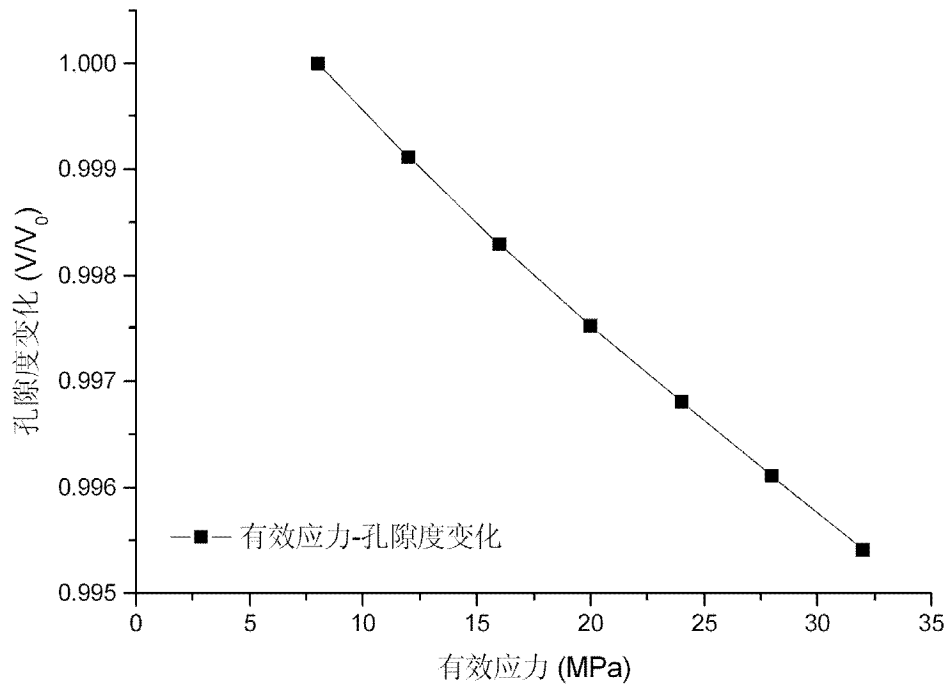


图 2

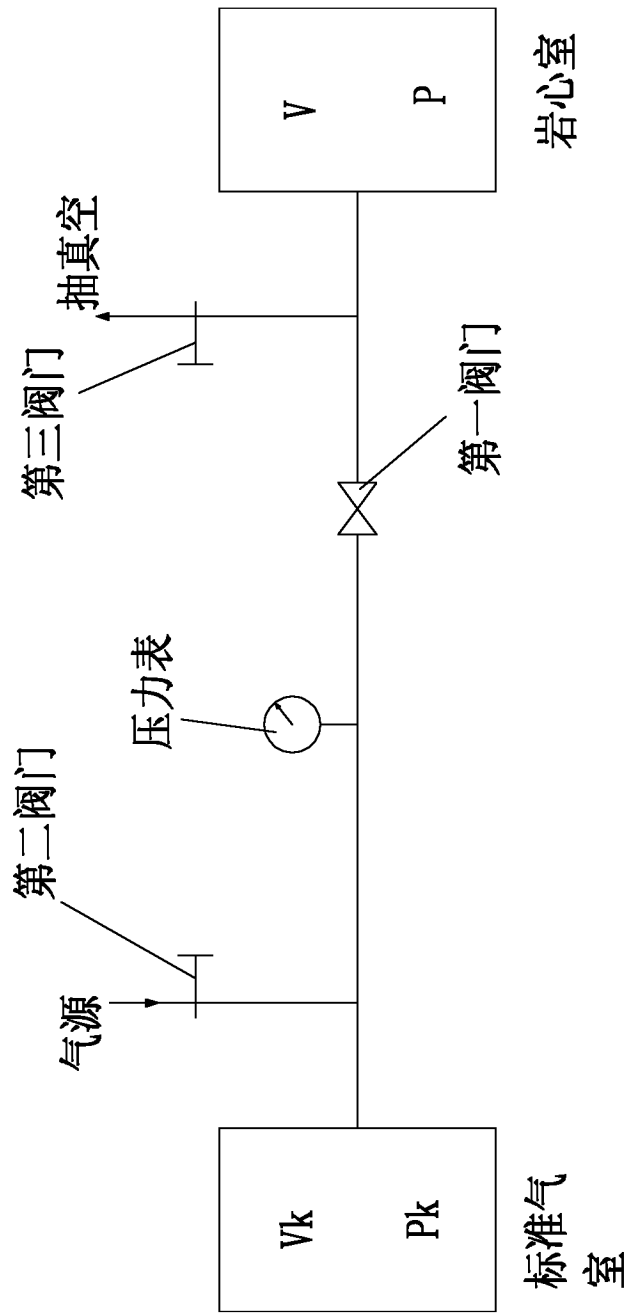


图 3