



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 203422371 U

(45) 授权公告日 2014. 02. 05

(21) 申请号 201320448068. 7

(22) 申请日 2013. 07. 25

(73) 专利权人 中国石油天然气股份有限公司

地址 100007 北京市东城区东直门北大街 9  
号

(72) 发明人 王克文 俞军 徐红军 孙文杰

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限  
公司 11127

代理人 王天尧

(51) Int. Cl.

G01N 33/24 (2006. 01)

G01N 15/08 (2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

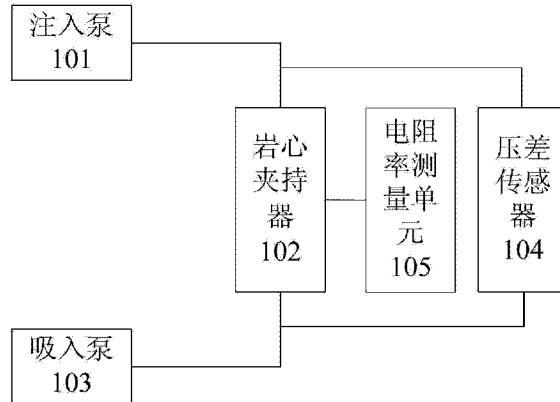
权利要求书1页 说明书9页 附图6页

(54) 实用新型名称

岩心测量系统

(57) 摘要

本实用新型提供了一种岩心测量系统，该系统包括：岩心夹持器；注入泵，与岩心夹持器的流体注入口相连，用于按照恒定速度驱替非润湿相进入固定在岩心夹持器中的待测岩心；吸入泵，与岩心夹持器的流体输出口相连，用于收集待测岩心被驱替出的待测岩心中原本的流体；压差传感器，两端分别与流体注入口和流体输出口相连，用于测量待测岩心被驱替的过程中待测岩心两端的流体压力差；电阻率测量单元，与待测岩心相连，用于测量待测岩心被驱替的过程中待测岩心的电阻率。本实用新型解决了采用恒压差法对岩心进行测量而导致的无法同时确定岩心电阻率及与喉道相连的孔隙的信息、获得的数据点少的技术问题，同时相较于恒压差法也缩短了测量周期。



1. 一种岩心测量系统,其特征在于,包括:岩心夹持器、注入泵、吸入泵、压差传感器及电阻率测量单元,其中:

所述岩心夹持器,用于固定放入所述岩心夹持器中的待测岩心;

所述注入泵,与所述岩心夹持器的流体注入口相连,用于按照恒定速度驱替非润湿相进入固定在所述岩心夹持器中的待测岩心,以驱替出所述待测岩心中原本的流体;

所述吸入泵,与所述岩心夹持器的流体输出口相连,用于收集所述待测岩心被驱替出的所述待测岩心中原本的流体;

所述压差传感器,两端分别与所述流体注入口和所述流体输出口相连,用于测量所述待测岩心被驱替的过程中所述待测岩心两端的流体压力差;

所述电阻率测量单元,与所述岩心夹持器中的待测岩心相连,用于测量所述待测岩心被驱替的过程中所述待测岩心的电阻率。

2. 如权利要求1所述的岩心测量系统,其特征在于,所述压差传感器包括并联的量程各不相同的多个压差传感器。

3. 如权利要求1所述的岩心测量系统,其特征在于,还包括:围压泵,与所述岩心夹持器的侧壁相连,用于为所述岩心夹持器提供固定所述待测岩心的压力。

4. 如权利要求1所述的岩心测量系统,其特征在于,所述岩心夹持器中设置有允许所述待测岩心被驱替出的所述待测岩心中原本的流体通过且禁止所述非润湿相通过的半渗透隔板,其中,所述半渗透隔板设置在所述待测岩心的末端。

5. 如权利要求1所述的岩心测量系统,其特征在于,还包括:第一液体储集器和第二液体储集器,其中:

第一液体储集器,与所述岩心夹持器的流体注入口相连,用于读取从所述注入泵中流出的非润湿相的体积;

第二液体储集器,与所述岩心夹持器的流体输出口相连,用于读取所述待测岩心被驱替出的所述待测岩心中原本的流体的体积。

6. 如权利要求1至5中任一项所述的岩心测量系统,其特征在于,所述非润湿相包括:气和/或油。

## 岩心测量系统

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及石油勘探领域,特别涉及一种岩心测量系统。

### 背景技术

[0002] 目前,为了测量岩石的电阻率、毛管压力等特性一般采用的方法是恒压差法,恒压差法的基本原理是:将待测试的岩心装入岩心夹持器,在岩心的两端由低到高(非连续)施加恒定的压差,采用非润湿相来驱替岩心中的盐水,根据毛管压力理论,岩心在受到两个相互不相溶的流体界面张力、接触角及孔喉半径的影响,在一定的压差作用下,岩心中的非润湿相和水的分布将达到平衡状态,岩心中的含水饱和度也会达到某一定值,然后,分别记录下在不同压差条件下非润湿相和水的分布平衡时岩心的含水饱和度和电阻率,并绘制含水饱和度与毛管压力和电阻率的关系。

[0003] 然而,通过上述的恒压差法来测量岩石的电阻率和毛管压力会存在以下方面的不足:

[0004] 1) 恒压差法,在实验的过程中,是选择不同的恒定压差进行测量的,在每个恒定压差下,系统达到平衡后,该压差反映的是在该压差下,驱替流体能够进入的最小喉道半径,从而使得获得的毛管压力曲线只能反映岩心的喉道信息,而无法有效反映岩心中与喉道相连的孔隙的信息;

[0005] 2) 获得的实验数据点较少,由于压差是非连续增加的,电阻率测量数据只有在非润湿相与水达到平衡状态时才是有效的,因此只能获得有限个有效的数据点,通常状况下,只能获得 6 到 8 个有效的数据点;

[0006] 3) 采用恒压差法进行测量所需要的实验周期较长,一般需要 3 周以上的测量时间。

[0007] 目前非均质复杂储层逐渐成为油气勘探的重要对象,由于非均质复杂储层非均质强,孔喉配置关系复杂,关于复杂储层电性的影响因素及规律认识还很不完善,因此开展非均质复杂储层电性机理研究对提高复杂储层油气勘探的效率非常重要。然而,目前的实验方法,要么是对岩心的孔隙结构、电阻率进行分开测量,要么是只能通过恒压法同时测得喉道半径及电阻率,无法同时测得岩心的孔喉分布及电阻率,这在一定程度上制约了对复杂储层电性规律的研究及认识。

[0008] 针对上述问题,目前尚未提出有效的解决方案。

### 实用新型内容

[0009] 本实用新型提供了一种岩心测量系统,以至少解决相关技术中采用恒压差法对岩心进行测量而导致的无法同时确定岩心电阻率及与喉道相连的孔隙的信息、获得的数据点少、测量所需周期长的技术问题。

[0010] 本实用新型实施例提供了一种岩心测量系统,包括:岩心夹持器、注入泵、吸入泵、压差传感器及电阻率测量单元,其中:岩心夹持器,用于固定放入岩心夹持器中的待测岩

心；注入泵，与岩心夹持器的流体注入口相连，用于按照恒定速度驱替非润湿相进入固定在岩心夹持器中的待测岩心，以驱替出待测岩心中原本的流体；吸入泵，与岩心夹持器的流体输出口相连，用于收集待测岩心被驱替出的待测岩心中原本的流体；压差传感器，两端分别与流体主入口和流体输出口相连，用于测量待测岩心被驱替的过程中待测岩心两端的流体压力差；电阻率测量单元，与所述岩心夹持器中的待测岩心相连，用于测量所述待测岩心被驱替的过程中所述待测岩心的电阻率。

[0011] 在一个实施例中，压差传感器包括并联的量程各不相同的多个压差传感器。

[0012] 在一个实施例中，上述岩心测量系统还包括：围压泵，与岩心夹持器的侧壁相连，用于为岩心夹持器提供固定待测岩心的压力。

[0013] 在一个实施例中，岩心夹持器中设置有允许待测岩心被驱替出的待测岩心中原本的流体通过，禁止非润湿相通过的半渗透隔板，其中，半渗透隔板设置在待测岩心的末端。

[0014] 在一个实施例中，上述岩心测量系统还包括：第一液体储集器和第二液体储集器，其中：第一液体储集器，与注入泵相连，用于读取从注入泵中流出的非润湿相的体积；第二液体储集器，与岩心夹持器的流体输出口相连，用于读取待测岩心被驱替出的待测岩心中原本的流体的体积。

[0015] 在一个实施例中，非润湿相包括：气和 / 或油。

[0016] 在本实用新型实施例中，在岩心测量系统中设置了注入泵、吸入泵、压差传感器和电阻率测量单元，注入泵恒速驱替非润湿相到岩心中，然后将岩心中原本的流体驱替至吸入泵中，并在驱替的过程中通过压差传感器获取岩心两端的压力差，从而获得岩心的相关数据以实现对岩心的测量，采用恒速驱替的方式可以获取连续的压力曲线同时在驱替的过程中测量岩心的电阻率，从而可以解决相关技术中采用恒压差法对岩心进行测量而导致的无法同时确定岩心电阻率及与喉道相连的孔隙的信息、获得的数据点少的技术问题，同时相较于恒压差法也缩短了测量周期。

## 附图说明

[0017] 此处所说明的附图用来提供对本实用新型的进一步理解，构成本申请的一部分，并不构成对本实用新型的限定。在附图中：

- [0018] 图 1 是本实用新型实施例的岩心测量系统的一种结构框图；
- [0019] 图 2 是本实用新型实施例的岩心测量系统的具体实施例的结构框图；
- [0020] 图 3 是本实用新型实施例的基于岩心测量系统进行岩心测量一种方法的流程图；
- [0021] 图 4 是本实用新型实施例的岩心中喉道和孔隙的结构示意图；
- [0022] 图 5 是本实用新型实施例的岩心测量系统的一个具体实例；
- [0023] 图 6 是本实用新型实施例的岩心的电阻率和毛管压力的测量方法的一种流程图；
- [0024] 图 7 是本实用新型实施例的岩心毛管压力和非润湿相体积的整体趋势示意图；
- [0025] 图 8 是本实用新型实施例的岩心毛管压力和非润湿相体积的曲线示意图；
- [0026] 图 9 是本实用新型实施例的毛管压力和含油饱和度的曲线示意图；
- [0027] 图 10 是本实用新型实施例的岩心的喉道半径分布直方图；
- [0028] 图 11 是本实用新型实施例的岩心的孔隙半径分布直方图；
- [0029] 图 12 是本实用新型实施例的电阻增大率与含水饱和度的曲线示意图。

## 具体实施方式

[0030] 为使本实用新型的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施方式和附图,对本实用新型做进一步详细说明。在此,本实用新型的示意性实施方式及其说明用于解释本实用新型,但并不作为对本实用新型的限定。

[0031] 在本实用新型实施例中,提供了一种岩心测量系统,如图 1 所示,该岩心测量系统包括:注入泵 101、岩心夹持器 102、吸入泵 103、压差传感器 104 和电阻率测量单元 105。下面结合图 1 对该系统中的各个组成部分进行具体描述:

[0032] 1) 岩心夹持器 102,用于固定放入岩心夹持器 102 中的待测岩心;

[0033] 2) 注入泵 101,与岩心夹持器 102 的流体注入口相连,用于按照恒定速度驱替非润湿相进入固定在岩心夹持器 102 中的待测岩心,以驱替出所述待测岩心中原本的流体;

[0034] 3) 吸入泵 103,与岩心夹持器 102 的流体输出口相连,用于收集待测岩心被驱替出的所述待测岩心中原本的流体;

[0035] 4) 压差传感器 104,两端分别与所述流体注入口和所述流体输出口相连,用于测量待测岩心被驱替的过程中待测岩心两端的流体压力差;

[0036] 5) 电阻率测量单元 105,与所述岩心夹持器中的待测岩心相连,用于测量所述待测岩心被驱替的过程中所述待测岩心的电阻率。

[0037] 在上述实施方式中,在岩心测量系统中设置了注入泵、吸入泵、压差传感器和电阻率测量单元,注入泵恒速驱替非润湿相到岩心中,然后将岩心中原本的流体驱替至吸入泵中,并在驱替的过程中通过压差传感器获取岩心两端的压力差,从而获得岩心的相关数据以实现对岩心的测量,采用恒速驱替的方式可以获取连续的压力曲线同时在驱替的过程中测量岩心的电阻率,从而可以解决相关技术中采用恒压差法对岩心进行测量而导致的无法同时确定岩心的电阻率及与喉道相连的孔隙的信息、获得的数据点少的技术问题,同时相较于恒压差法也缩短了测量周期。

[0038] 上述非润湿相可以是油、气等非润湿相。其中,润湿性是指流体附着在固体上的性质,是一种吸附作用。不同流体与不同岩石会表现出不同的润湿性。易附着在岩石上的流体称为润湿流体,反之称为非润湿流体。在多相流体共存且不相溶的流体中,润湿体又称之为润湿相,非润湿体称为非润湿相。

[0039] 实施时采用压差传感器测量待测岩心被驱替的过程中待测岩心两端的流体压力差,在一个实施例中,考虑到岩心两侧的压力差有时会比较大,有时会比较小,对于在压力差比较大的时候就可以适当选择精度稍微低一些的压差传感器,对于压力差比较小的时候就可以选择精度比较高的压差传感器。图 2 为岩心测量系统的一个具体实例,如图 2 所示,在本例中,压差传感器可以包括:并联的量程各不相同的第一压差传感器 201、第二压差传感器 202 和第三压差传感器 203。这三个压差传感器对应着不同的量程,按照当前压差所在的量程范围来选择相应的压差传感器读数作为最终的测量结果。大量程的压差传感器其精度相应低一些,小量程的压差传感器其精度相应高一些。值得注意的是,上述采用三个不同量程的压差传感器仅是一个具体的实施方式,本实用新型实施例不限于此,还可以根据实际需要采用其它数量的压差传感器,例如,可以采用一个、两个、四个等等都可以,对于具体的压差传感器的数量在此不作具体限定。

[0040] 为了使得岩心被固定在岩心夹持器中而不会因为流体的压力过大而使得岩心脱离岩心夹持器，在测量的时候需要对岩心施加围压，可以在系统中设置围压泵，该围压泵与岩心夹持器 102 的侧壁相连，用于为岩心夹持器 102 提供固定所述待测岩心的压力。即，围压泵通过向岩心夹持器的侧壁施加压力，从而使得待测岩心可以固定在岩心夹持器中，并防止驱替流体经岩心与套筒之间的空隙从出口端流出。

[0041] 下面以待测岩心中原本的流体为水为例进行说明，在实施时，一种可能的情况是待测岩心中的水不饱和的，这样就会导致测得的注入进行待测岩心中的非润湿相的体积偏大，而测得的从待测岩心中排除的岩心中原本的流体的体积偏小，使得测量结果不准确。为了使得测量结果更为准确，在对待测岩心进行测量之前，可以先向待测岩心中注入水，直至待测岩心中的水处于饱和状态，然后通过注入泵将预先选择的非润湿相(例如可以是气或者油)驱替到待测岩心中，从而使得待测岩心中的水在压力的作用下被排出岩心，根据排除的水的体积变化以及注入的非润湿相的体积变化来确定岩心中的孔隙和喉道的状态。

[0042] 为了使得进入吸入泵的都是待测岩心中原本的流体，可以在岩心的下部设置一个半渗透隔板，该半渗透隔板放置在待测岩心的末端(所谓待测岩心的末端就是待测岩心与夹持器输出口靠近的一端)。该半渗透隔板的作用是：这种半渗透隔板仅允许待测岩心中原本的流体通过，对于被驱替进待测岩心的非润湿相是不允许通过的。实施时，如果待测岩心中原本的流体是水，那么半渗透隔板可以选用聚酯润湿材质的隔板。

[0043] 在一个实施例中，上述的电阻率测量单元可以是 RCL 电阻测量仪，RCL 电阻测量仪与岩心夹持器中的待测岩心相连，用于测量所述待测岩心被驱替的过程中所述待测岩心的电阻。通过上述方式可以同时获得岩心的电阻率、以及孔隙和喉道的相关信息，对于复杂储层岩石电性规律的研究具有重要的意义，同时也可解决相关技术中采用恒压差测量方法所得到的电阻率的实验数据点少的问题。此处的电阻率的实验数据点少仅是上述实验数据点少的一个方面，因为采用恒压差测量方法的时候仅在预设的几个压力点的时候才能采集到压力、压力差、电阻等参数，压力不是连续的，因此获得无论是压力、压力差、电阻等的数据点都是有限的。

[0044] 在实验测量过程中得到的数据一般都是实时的，因此可以在系统中设置一个存储器用于存储采集到的数据，以便后续计算时使用。上述岩心测量系统中还可以设置有：处理器，与注入泵、吸入泵和压力传感器相连，用于根据从注入泵中流出的非润湿相的体积、吸入泵所收集的流体的体积、以及待测岩心被驱替的过程中待测岩心两端的压力差，计算得到待测岩心的喉道的半径分布和 / 或孔隙的半径分布。上述处理器可以是设置在岩心测量系统中的，也可以是一个独立的计算器，或者是在岩心测量系统中仅获得测得的数据，然后将数据传送到一个远程的计算机上进行处理，对此，本实用新型不作限定。之所以通过测得的压差以及流体的体积可以确定喉道的半径分布和 / 或孔隙的半径分布，主要是因为在非润湿相进入到岩心的每一个喉道处都会憋住，此时整个毛细管系统的压力将会升高，当非润湿相进入到孔隙后，压力就会得到释放，整个毛细管系统的压力将会降低，在确定这段过程中的非润湿相的体积、岩心中被驱替出的原本的流体的体积以及这个过程中压力差的变化就可以得到孔隙或者是喉道的信息。

[0045] 为了可以读取到注入岩心或者是从岩心中排出的流体的体积，在上述岩心测量系统还可以设置有第一液体储集器和第二液体储集器，其中，所述第一液体储集器，与所述岩心

夹持器的流体注入口相连,用于读取从所述注入泵中流出所述待测岩心的非润湿相的体积;第二液体储集器,与所述岩心夹持器的流体输出口相连,用于读取所述待测岩心被驱替出的所述待测岩心中原本的流体的体积。

[0046] 基于上述的岩心测量系统,本实用新型实施例还提供了一种利用该岩心测量系统进行岩心测量的方法,如图 3 所示,可以包括以下步骤:

[0047] 步骤 301:将非润湿相以恒定的速度驱替进待测岩心,以驱替出待测岩心中原本的流体;

[0048] 步骤 302:获取在驱替过程中待测岩心两端的流体压力差。

[0049] 在通过上述岩心测量系统获取到测量数据之后,还可以根据以下信息确定待测岩心的喉道的半径分布和 / 或孔隙的半径分布:驱替进待测岩心的非润湿相的体积,被驱替出的待测岩心中原本的流体的体积以及驱替过程中待测岩心两端的流体压力差。

[0050] 岩心一般是由直径大小不同的毛细管束组成,也可以认为是如图 4 所示,由直径不同的喉道和孔隙构成,其中,喉道半径对应图 4 中的 d,孔隙半径对应图 4 中的 D。在确定或者是计算待测岩心的喉道半径或者是孔隙半径时可以按照以下公式进行:

$$[0051] p_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{R}$$

[0052] 其中,  $p_c$  表示毛细管压力,  $R$  表示孔隙或者喉道的半径,  $\sigma$  表示界面张力,  $\theta$  表示静态接触角。在通过压差传感器的读数、注入泵中非润湿相的体积变化或者是吸入泵中流体的体积变化计算得到毛细管压力曲线之后,便可根据上述公式计算得到孔隙或者是喉道的半径分布曲线。

[0053] 采用上述岩心测量系统进行岩心测量的过程中,界面张力与接触角是保持不变的,在非润湿相进入到岩心的每一个喉道处都会憋住,此时整个毛细管系统的压力将会升高,当非润湿相进入到孔隙后,压力就会得到释放,整个毛细管系统的压力将会降低,在确定这段过程中的非润湿相的体积、岩心中被驱替出的原本的流体的体积以及这个过程中压力差的变化就可以得到孔隙或者是喉道的信息。

[0054] 在一个实施例中,可以根据以下信息计算得到孔隙的毛管压力曲线和喉道的毛管压力曲线:驱替进所述待测岩心的所述非润湿相的体积、被驱替出的所述待测岩心中原本的流体的体积以及驱替过程中所述待测岩心两端的压力差。

[0055] 基于上述计算得到的孔隙的毛管压力曲线和喉道的毛管压力曲线可以进行如下操作:

[0056] 1) 将喉道的毛管压力曲线转换为喉道的半径分布直方图;

[0057] 2) 将孔隙的毛管压力曲线转换为孔隙的半径分布直方图;

[0058] 即,先计算得到喉道的毛管压力曲线或者是孔隙的毛管压力曲线,根据计算得到的压力曲线再最终确定喉道或者是孔隙的半径分布,以最终确定岩心中喉道或者是孔隙的结构。

[0059] 通过上述岩心测量系统进行岩心测量的过程中,非润湿相的驱替速度可以低至 0.0001cc/min,从而保证能够以恒定的低速向岩心注入驱替流体,泵的体积计量精度为 0.0001cc,从而保证了准确测量驱替过程中流体体积的变化。以非常低的速度将非润湿相注入到岩石的孔隙体积内,低速保证了准静态的驱替过程,在此过程中,界面张力与接触角

是保持不变的,非润湿相所经历的每一个孔隙形状的变化,都会引起系统毛管压力的改变。通过检测非润湿相的注入过程中压力的涨落将岩石内部的喉道和孔隙分开,获取岩心中喉道和孔隙的结构信息。通过这种方式不仅能够分别给出喉道和孔隙的发育情况,而且可以得到孔喉比的大小及其分布特征。该岩心测量系统更适用于孔喉性质差别很大的高孔低渗储层。考虑到汞的非润湿性,可以采用汞作为驱替的流体,然而考虑到汞的强毒性及对岩心的永久破坏,可以选择气和 / 或油作为用于驱替的非润湿相。

[0060] 为了实现对电阻率、毛管压力的联合测试,通过上述岩心测量系统测得的数据才可以用于以下的计算和处理步骤中:

[0061] 1) 根据以下信息计算得到所述待测岩心被驱替过程中所述待测岩心两端的电阻率增大曲线;驱替进所述待测岩心的所述非润湿相的体积,被驱替出的所述待测岩心中原本的流体的体积以及驱替过程中所述待测岩心的电阻;

[0062] 2) 根据喉道的毛管压力曲线、孔隙的毛管压力曲线以及所述电阻率增大曲线得到所述待测岩心的喉道和孔隙的结构与所述待测岩心电阻率之间的关系。

[0063] 通过上述岩心测量系统进行岩心测量的时候,还可以先向待测岩心中注入所述流体至所述待测岩心处于饱和状态,对处于饱和状态的待测岩心进行驱替,使得驱替出来的水的体积就可以表明岩心中孔隙和喉道的状态和结构,从而保证了测量所得到的结果的准确性。

[0064] 下面举一具体实施例说明本实用新型实施例的岩心测量系统。

[0065] 在本例中,提出了一种岩心测量系统,可以采用非润湿相(油或气)恒速驱替法对岩石电阻率和毛管压力进行联合测量,其中,该待测岩心中原本的流体为水,同时设计了恒速驱替电阻率、毛管压力联测实验装置,在该岩心测量系统中,主要包括:仪器支架、岩心夹持器、驱替系统、压差测量系统、电阻绝缘器、RCL 电阻测量仪和计算机等组成。其中,驱替系统和压差传感器是该测量装置的两大核心部件。为了实现恒速毛管压力测量,该岩心测量系统可以采用两个高精度 QUIZIX 泵组成,其中一个 QUIZIX 泵作为注入泵,用于驱替非润湿相(油或气)进入岩心,另外一个 QUIZIX 泵作为吸入泵,用于收集岩心被驱替所排出的流体,并提供孔隙压力。泵的驱替速度可低至 0.0001cc/min,从而保证能够以恒定的低速向岩心注入驱替流体,泵的体积计量精度可以设定为 0.0001cc,以保证准确测量驱替过程中流体体积的变化。还需要为注入泵和吸入泵设置液体储集器,用于分别放置注入液体和吸出液体。

[0066] 通常压差传感器的量程越大,测量的精度越低,为了解决测量过程中需要量程大,同时也要保证足够精度的矛盾,针对低孔渗透岩心,本岩心测量系统中的压差测量系统可以含有三个不同量程的压差传感器,数据处理时,在测量值比较低的时候,选用低量程的压差传感器进行测量,在测量值比较高的时候选用高量程压差传感器进行测量以同时满足高压差及高精度的实验要求。即使当前的压差超出了压差传感器的工作范围,压差传感器也仅会达到满刻度的状态,并不会造成压差传感器的损坏,因此,实施时可以是三个压差传感器同时进行测量,按照需求读取对应的压差传感器上的数值即可。

[0067] 在岩心末端串联一个半渗透隔板,为了满足低孔渗透岩心的测量要求,半渗透隔板可以采用聚脂水润湿材质,其突破压力为 1000psi。在实验的过程中,可以采用 RCL (RCL 是一种测量 resistances (电阻)、capacitances (电容) 及 inductances (电感) 的仪器) 电

阻测量仪实时测量岩心电阻。整个测量过程优选的在恒温的条件下进行，恒温条件可通过恒温箱实现。

[0068] 如图 5 所示,是本例的岩心测量系统的一个具体实例,其中,1 表示注入泵(相当于图 1 中的 101)、2 表示吸入泵(相当于图 1 中的 103)、3 表示绝缘器、4 表示活塞容器、5 表示岩心夹持器(相当于图 1 中的 102)、6 表示手动阀 1、7 表示手动阀 2、8 表示手动阀 3、9 表示 RCL 表(相当于图 1 中的 105)、10 表示手动阀 4、11 表示低量程压差传感器、12 表示中量程压差传感器、13 表示高量程压差传感器、14 表示自动阀 1、15 表示自动阀 2、16 表示自动阀 3、17 表示围压泵。

[0069] 在测量时,将待测岩心和半渗透隔板装入岩心夹持器,先通过活塞容器 4 向待测岩心中注入水直至待测岩心中的水处于饱和状态,启动围压泵 17,给岩心夹持器 5 施加一定的围压;打开手动阀 7、8、10,自动阀 14、15、16;设置注入泵 1、吸入泵 2 为恒压模式,且设置注入泵 1 和吸入泵 2 为相同的压力值,以建立系统压力平衡。关闭手动阀 10,自动阀 14、15、16;设置注入泵为恒速模式,例如,可以设置注入泵的注入速度为 0.0001cc/min,采样间隔为 5 秒。系统自动记录压差、体积、岩心电阻等实验数据。在测量完毕后,打开手动阀 10,使得系统的压力恢复平衡;卸载岩心夹持器 5 的围压,待液体释放完毕,即可以将岩心取出,至此,一次测量过程就完成了。如果需要再次测量,重复上述操作即可。图 5 所示的结构具有结构合理、性能稳定可靠、操作简单、岩心毛管压力和电阻率测量精度高、实验信息丰富的特点。

[0070] 具体的,可以按照如图 6 所示的步骤使用该岩心测量系统以实现对岩心的电阻率和毛管压力的测量:

[0071] 步骤 601 :岩样准备,具体可以包括:

[0072] 1) 将待测的岩心样品制作成端面平行(+/-0.005 英寸)的圆柱体,并对待测岩心进行洗油、洗盐、和干燥处理;

[0073] 2) 测量样品及隔板的长度和直径,测量岩心干重;

[0074] 3) 测量岩心的孔隙度和渗透率;

[0075] 4) 通过实验用的地层水对岩心抽真空,并向其中注水直至饱和,测量饱和后的岩心的湿重及半渗透隔板的电阻。

[0076] 步骤 602 :岩样加载,具体可以包括:

[0077] 1) 对仪器进行检查,以确定仪器没有问题,将饱和的岩心和半渗透隔板放入岩心夹持器的套筒内(隔板放置在岩心的后端)并固定好;

[0078] 2) 连接管线、电路和各个部件,将管线和容器内抽真空填充满相应的流体(油、气或者水);

[0079] 3) 开启围压系统,给岩心加载一定大小的围压。

[0080] 步骤 603 :恒速驱替测量,具体可以包括:

[0081] 1) 设置泵 1 和泵 2 为恒压模式,且设定泵 1 和泵 2 的压力为某一相同的数值,等待一段时间后,使岩心上下两端的压差为零以建立一个平衡的系统;

[0082] 2) 将驱替泵泵 1 设置为恒速模式,速度为 0.0001cc/min,泵 2 保持先前设定的恒压模式,通过计算机控制软件设置采样间隔为 5 秒,进而开始进行恒速驱替以及数据的实时采集。其中,泵 2 采用恒压模式保证了岩心出口端的压力恒定,而泵 1 是恒速模式,也就

说岩心进口端的压力是变化的,从而可以有效监测出岩心两端压差的变化。

[0083] 3) 在恒速驱替过程中,计算机控制软件根据设定的采样间隔记录实验过程中泵 1 体积的累积变化、泵 2 体积的累积变化、泵 1 的压力、泵 2 的压力、压差传感器的读数、RCL 电阻测量仪测得的岩心两端的电阻、温度等数据。这些数据可以通过数据传输线传输至电脑中,电脑中的控制软件实时采集上述数据。

[0084] 步骤 604 :数据处理分析,具体可以包括 :

[0085] 1)根据采集到的压差传感器的读数、泵 1 体积的累积变化、泵 2 体积的累积变化和恒速驱替时毛细管压力的求取方法计算得到孔隙、喉道及总的毛管压力曲线;

[0086] 2)根据泵 1 体积的累积变化、泵 2 体积的累积变化、岩心两端的电阻变化可以得到恒速驱替过程中的电阻增大率曲线;利用获得的毛细管压力以及电阻增大率曲线可以进一步分析储层岩石的孔隙结构特征及孔隙结构对岩石电阻率影响的规律。

[0087] 通过上述岩心测量系统进行恒速驱替电阻率、毛管压力的联合测量所得到的岩心毛管压力和非润湿相体积(即泵 1 体积的累积变化)的关系可以如图 7 所示。在恒速驱替的过程中,随着非润湿相饱和度的增加,岩心上下两端的压力差随时间变化,由于非润湿相(油或者气)由喉道进入孔隙时,产生的压力将下降,因此,压差在整个实验过程中并不是如图 7 所示的始终随时间(即,驱替进岩心的非润湿相的体积)的增大而增大的,将图 7 方框部分放大后可以得到如图 8 所示的示意图,其中图 8 中方框所对应的曲线是图 7 中方框中的曲线放大后的示意图,由图 8 可以看出压差并非一直处于增大的状态,而是处于波动上升的状态,这主要就是由于喉道和孔隙的交替出现的原因,其中,压差由低向高的线段代表孔喉的信息,而由高到低的线段反映孔隙的信息。

[0088] 如图 9 所示是经过数据处理后得到的总毛管压力(图 9 中“- · -”对应的曲线)、孔隙毛管压力(图 9 中“——”对应的曲线)、喉道毛管压力(图 9 中“- · · -”对应的曲线)与岩心含油饱和度之间的对应关系。然后,再利用总毛管压力曲线就可以得到常规毛管压力曲线所对应的孔隙结构信息;利用孔隙毛管压力曲线和喉道毛管压力曲线转化可以得到如图 10 所示的喉道半径分布直方图、如图 11 所示的孔隙半径分布直方图,这些信息是仅根据常规毛管压力曲线所无法得到的。通过上述岩心测量系统测量得到的数据所绘制出的电阻增大率与含水饱和度之间的对应关系可以如图 12 所示(其中,  $n=1.7767$ 、 $b=0.9909$ ,  $n$  表示饱和度指数,  $b$  表示岩性系数,  $n$  和  $b$  都是实验得到的数据),如图 12 所示的曲线符合地层电

阻率(RI)随含水饱和度( $S_w$ )变化的规律  $RI = \frac{b}{S_w^n}$ ,由此可以说明上述岩心测量系统的和其对应的测量方法是合理的。

[0089] 通过本实用新型实施例上述的岩心测量系统,可以测量得到岩心的电阻率和毛管压力,能够同时获得岩心的电阻率、孔隙喉道及孔隙体等孔隙结构的相关信息,这对复杂储层岩石电性规律研究具有重要的意义。此外,还可以解决常规恒压差电阻率和毛管压力联合测量方法中存在的实验数据点少、实验周期较长的问题。

[0090] 从以上的描述中,可以看出,本实用新型实施例实现了如下技术效果:在岩心测量系统中设置了注入泵、吸入泵、压差传感器和电阻率测量单元,注入泵恒速驱替非润湿相到岩心中,然后将岩心中原本的流体驱替至吸入泵中,并在驱替的过程中通过压差传感器获取岩心两端的压力差同时在驱替的过程中测量岩心的电阻率,从而获得岩心的相关数据以

实现对岩心的测量,采用恒速驱替的方式可以获取连续的压力曲线从而可以解决相关技术中采用恒压差法对岩心进行测量而导致的无法同时确定岩心电阻率及与喉道相连的孔隙的信息、获得的数据点少的技术问题,同时相较于恒压差法也缩短了测量周期。

[0091] 以上所述仅为本实用新型的优选实施例而已,并不用于限制本实用新型,对于本领域的技术人员来说,本实用新型可以有各种更改和变化。凡在本实用新型的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本实用新型的保护范围之内。

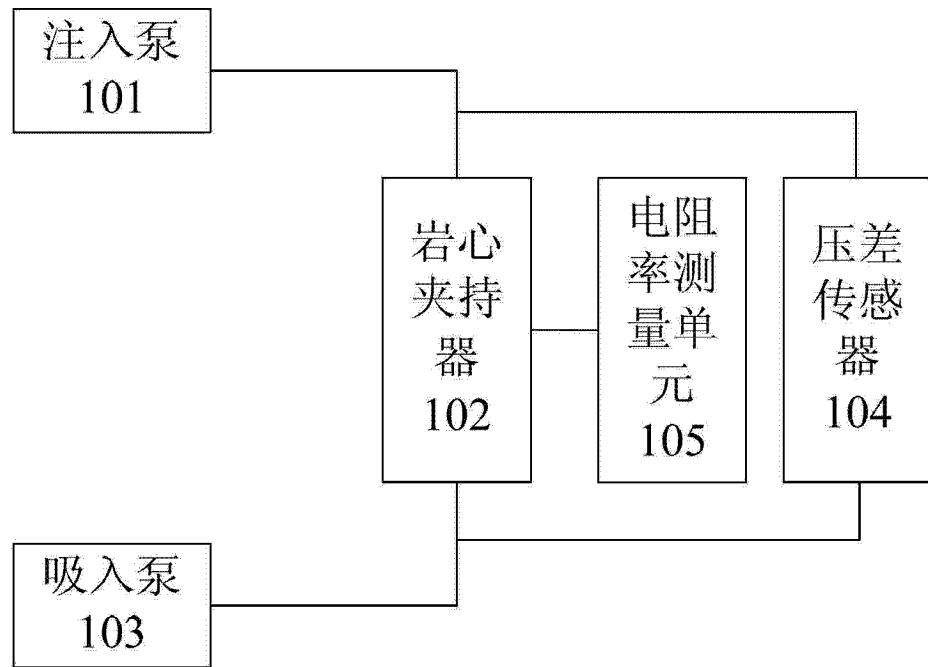


图 1

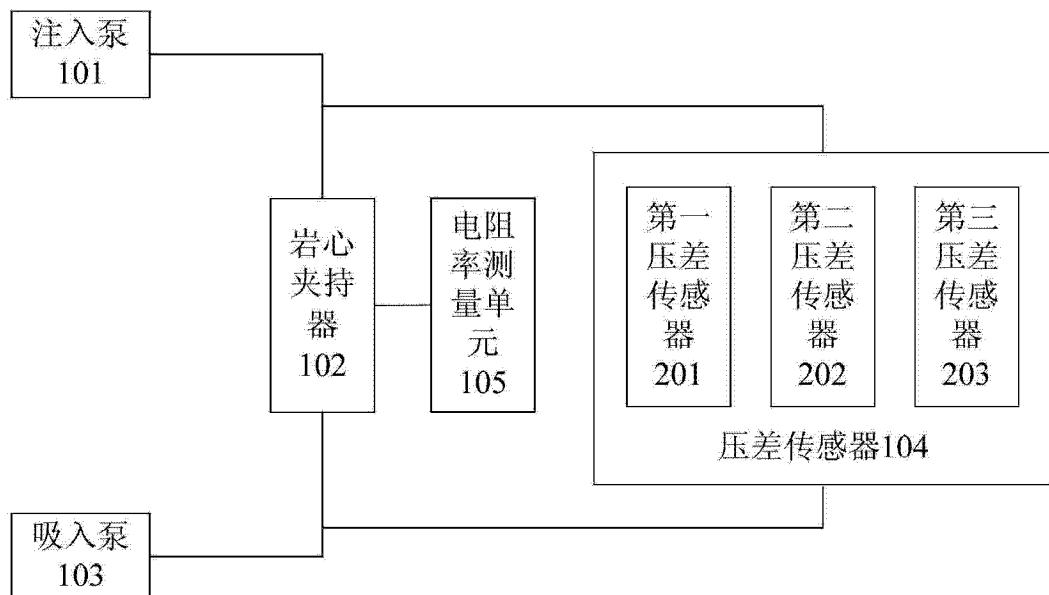


图 2

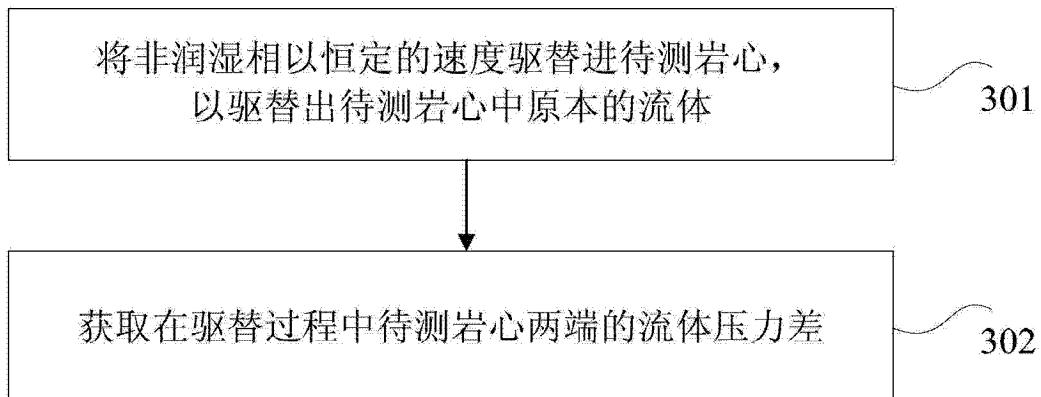


图 3

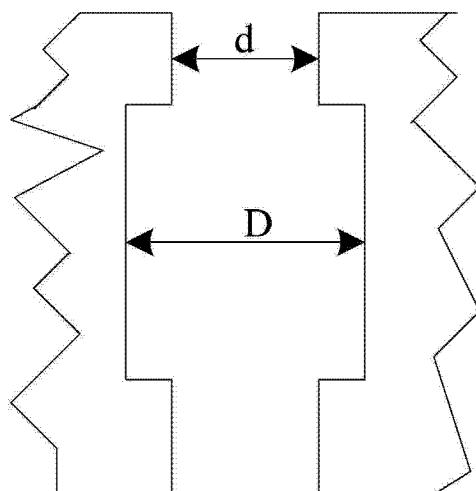


图 4

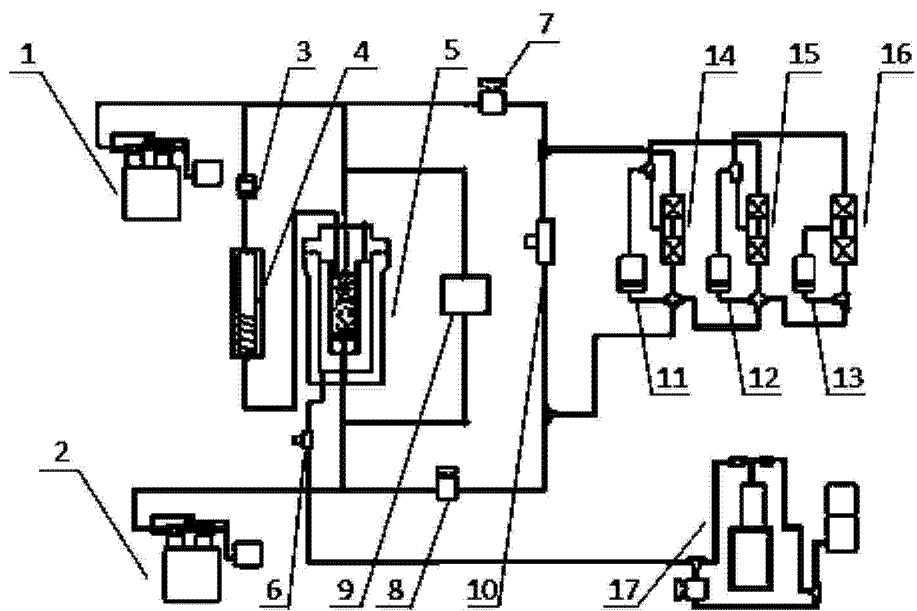


图 5

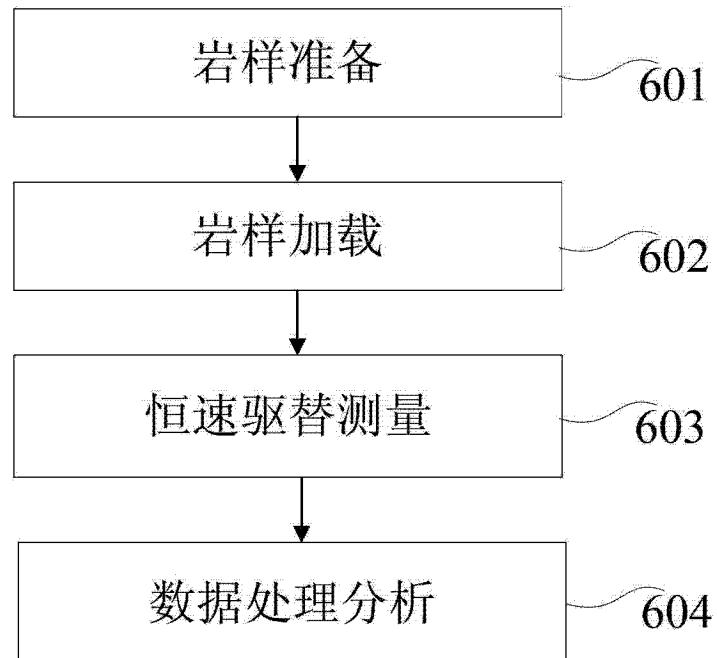


图 6

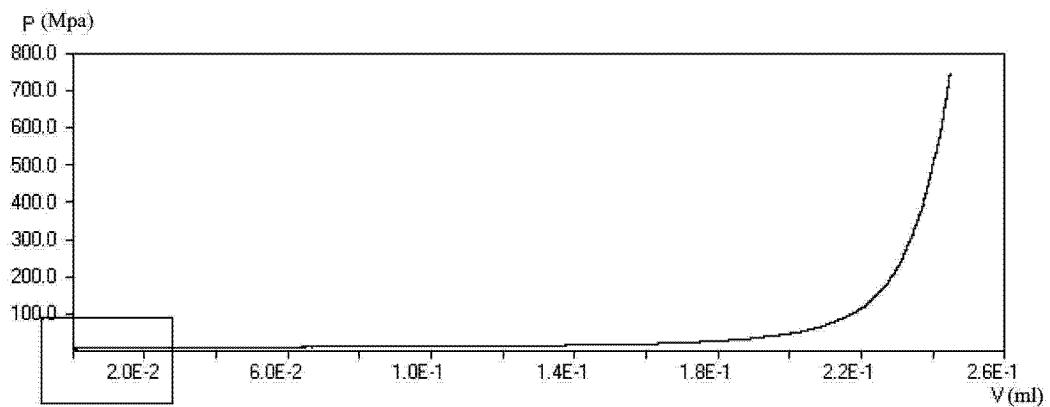


图 7

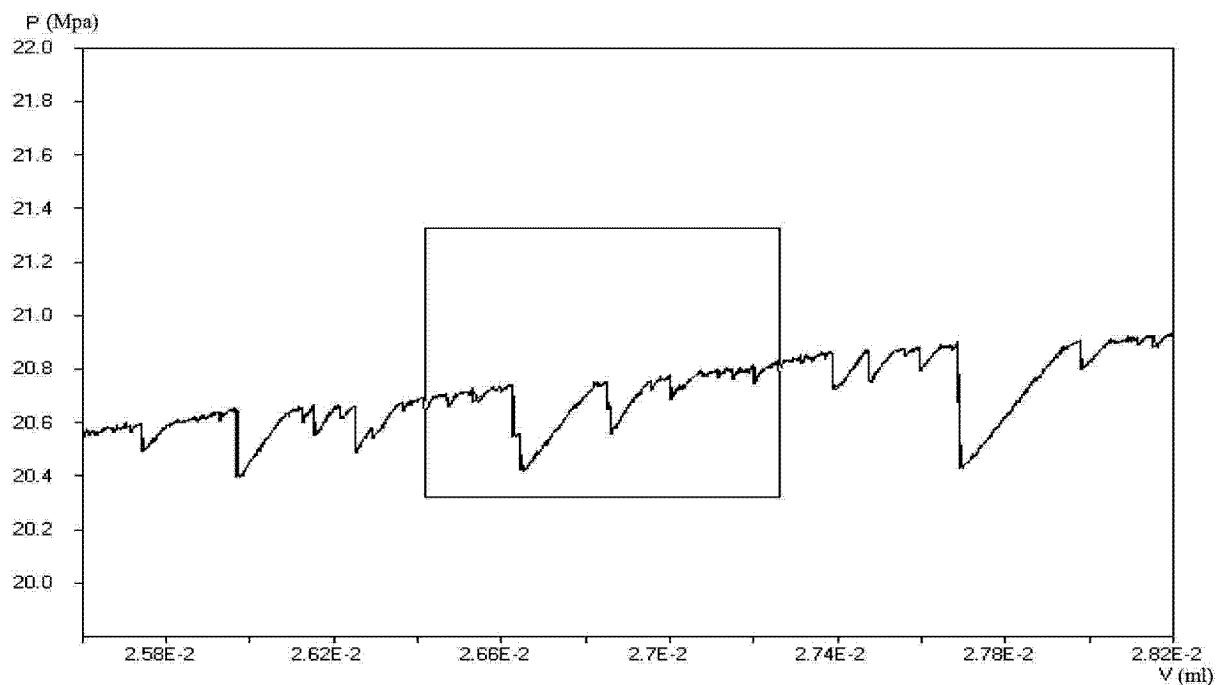


图 8

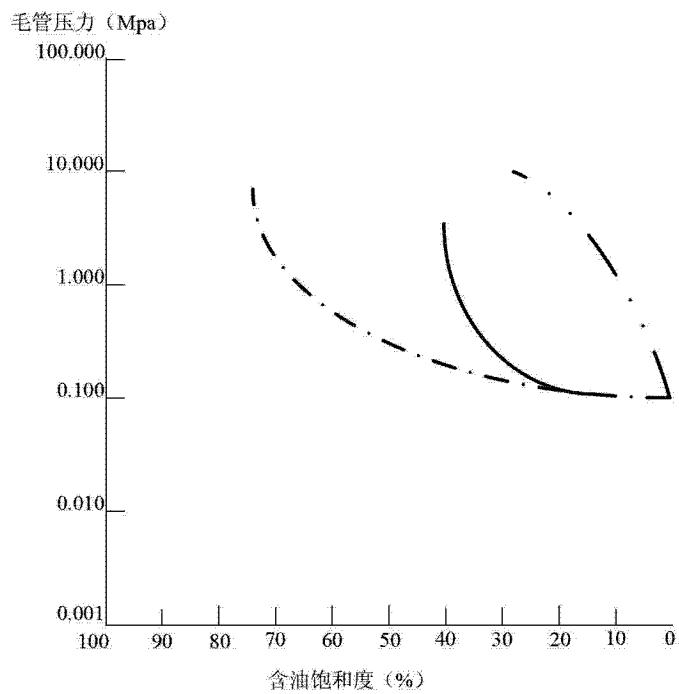


图 9

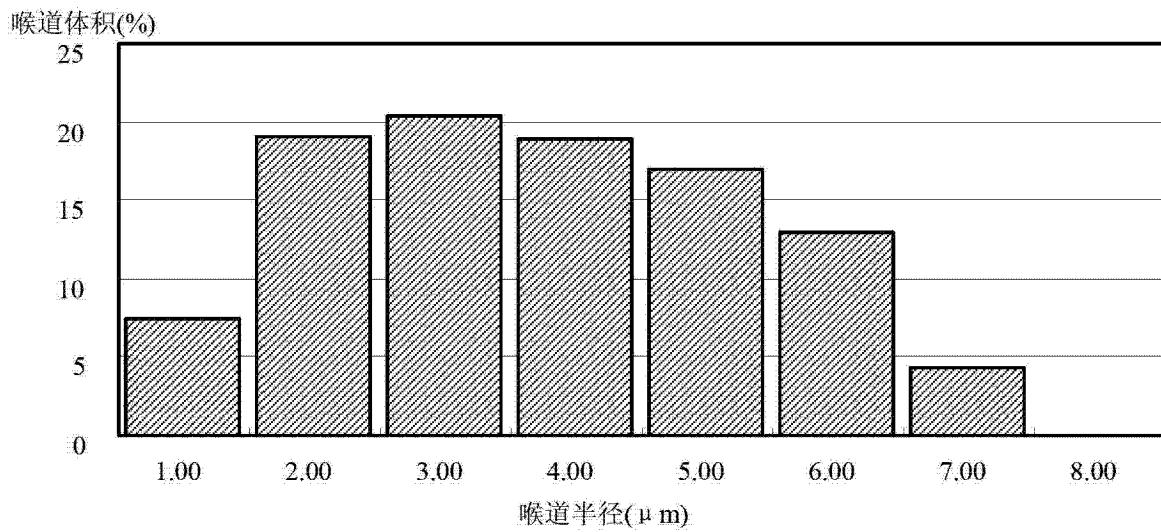


图 10

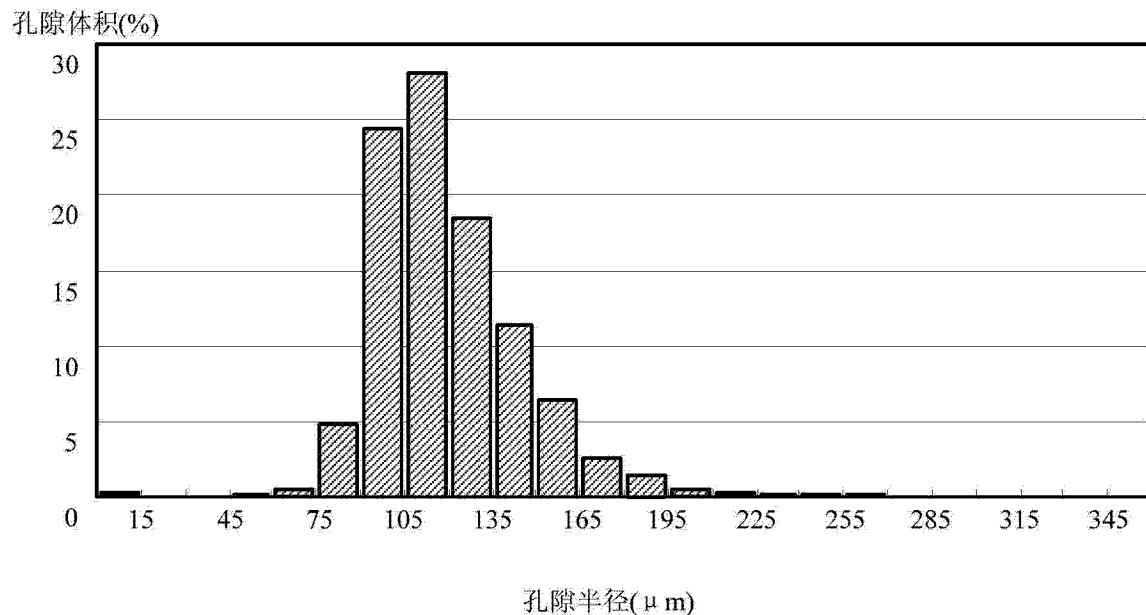


图 11

### 电阻增大率RI

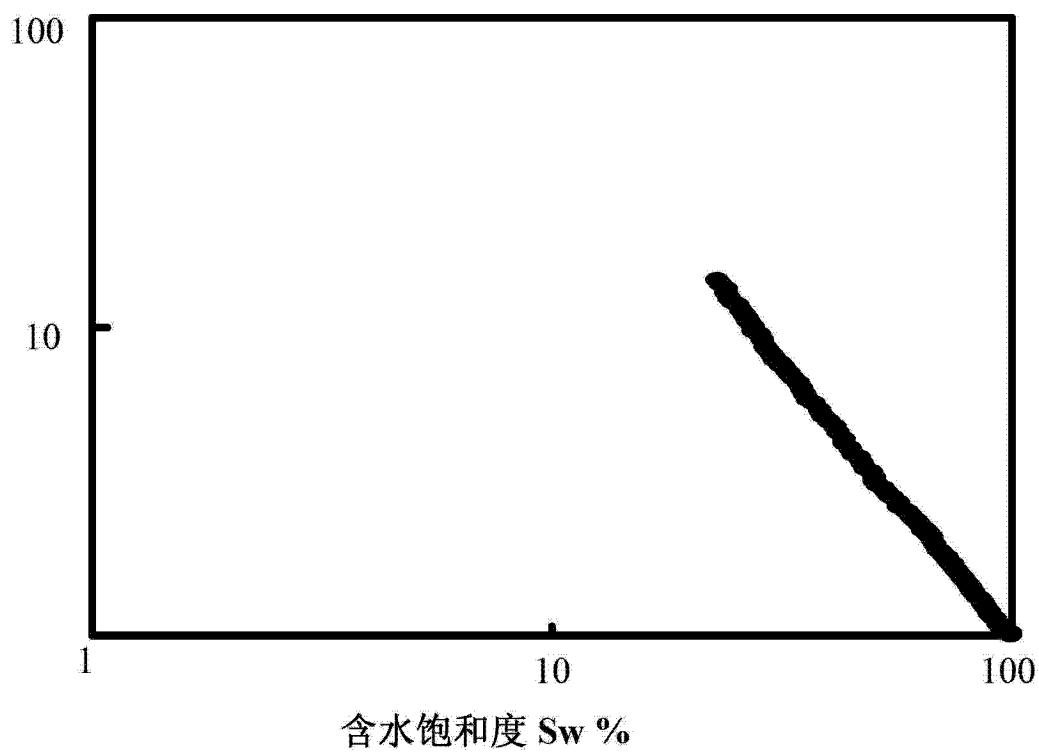


图 12