



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113820249 B

(45) 授权公告日 2022.03.01

(21) 申请号 202111385375.0

CN 112112641 A, 2020.12.22

(22) 申请日 2021.11.22

CN 110687613 A, 2020.01.14

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110865014 A, 2020.03.06

申请公布号 CN 113820249 A

US 2016313267 A1, 2016.10.27

US 2019101665 A1, 2019.04.04

(43) 申请公布日 2021.12.21

Liu Yang等.Experimental Investigation of the Pressure Decay Characteristics of Oil Reservoirs after Fracturing Operations.《ACS Omega》.2020,

(73) 专利权人 中国矿业大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路丁11号

肖文联等.页岩带压渗吸核磁共振响应特征实验研究.《西南石油大学学报(自然科学版)》.2019,

(72) 发明人 杨柳 蔡建超 张征延 高敬威

孟思炜 徐建春

汪先珍等.核磁共振法确定润湿性指数.《国外油田工程》.2007,

(74) 专利代理机构 北京动力号知识产权代理有限公司 11775

代理人 梁艳

唐守琴.油层润湿性和相渗透率测井评价方法研究.《中国优秀博硕士学位论文全文数据库(硕士)基础科学辑》.2010,

(51) Int. Cl.

G01N 13/00 (2006.01)

G01N 24/08 (2006.01)

Liu Yang等.Effects of Fracture Characteristics on Spontaneous Imbibition in a Tight Reservoir.《Energy Fuels》.2021,

(56) 对比文件

CN 209460105 U, 2019.10.01

FR 3079931 A1, 2019.10.11

CN 110595953 A, 2019.12.20

CN 109030292 A, 2018.12.18

审查员 钟爱芝

权利要求书2页 说明书8页 附图5页

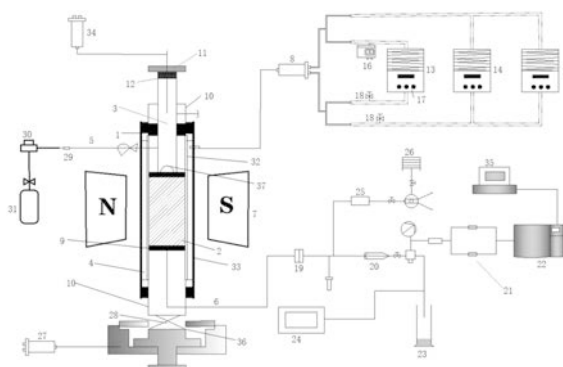
(54) 发明名称

基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置和方法

吸入样品的流体的赋存及运移规律的研究,以及对水油润湿性的评价。

(57) 摘要

本发明公开了一种基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置和方法,包括:轴压加载设备、夹持器、围压液温控设备和核磁共振仪;所述夹持器包括样品部、滴液部和围压部;轴压加载设备用于对所述样品部加载轴压;样品部位于所述核磁共振仪的检查腔中;围压液温控设备通过管路和围压泵与所述围压部连通,为所述围压部提供不同温度的围压液。本发明采用油水滴定自发渗吸的方式,并通过测定样品的核磁共振T2谱,实现了对沉积物样品在多种复杂的压力和温度环境下(包括高压低压、高温低温、以及压力和温度的任意组合、压力温度的快速变化等)的渗



1. 一种基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,其特征在于,包括:轴压加载设备、夹持器、围压液温控设备和核磁共振仪;

所述夹持器包括样品部、滴液部和围压部,所述滴液部位于所述样品部上方,所述围压部位于所述样品部周围,所述样品部用于放置样品,所述滴液部用于滴入液体,所述围压部用于注入围压液;

所述轴压加载设备位于所述样品部的下方,用于对所述样品部加载轴压;

所述滴液部连接有气体进口,所述样品部的底端连接有气体出口;

所述样品部位于所述核磁共振仪的检查腔中;

所述围压液温控设备通过管路和围压泵与所述围压部连通,为所述围压部提供不同温度的围压液;

所述滴液部的顶端设置有封闭塞,所述封闭塞朝向所述滴液部的一端设置有高速摄像机,所述高速摄像机用于记录液滴渗入样品的过程,当滴液部中滴入液滴时,开始计时,液滴完全渗入样品内以后,停止计时,记录本次的渗吸时间;当前一个液滴渗入样品后,会滴入下一个液滴;在液滴渗入样品后,会测定样品的核磁共振;

所述装置采用如下方法进行沉积物润湿性的评价,包括:

对同一地层的两个沉积物样品分别进行水滴和油滴渗吸试验,并在每次渗吸后,测定样品的核磁共振T2谱、计算核磁共振T2谱面积;

根据不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积;

利用如下公式计算样品的宏观润湿指数:

$$WI_w = \frac{I_w}{I_w + I_o}$$

$$WI_o = 1 - \frac{I_w}{I_w + I_o}$$

式中, I_w 为单位孔隙体积的最大吸水体积, I_o 为单位孔隙体积的最大吸油体积, WI_w 为水润湿指数, WI_o 为油润湿指数;

$$I_w = \frac{4V_{wmax}}{\pi\phi d_w d_w l_w}$$

$$I_o = \frac{4V_{omax}}{\pi\phi d_o d_o l_o}$$

式中, V_{wmax} 和 V_{omax} 分别为最大吸水体积和最大吸油体积; d_w 和 d_o 分别为用于吸水和吸油的样品直径; l_w 和 l_o 分别为用于吸水和吸油的样品长度, ϕ 为样品孔隙度;

所述对同一地层的两个沉积物样品分别进行水滴和油滴渗吸试验包括:

利用干燥甲烷气对沉积物样品进行风干;

在原始地应力和温度条件下,在样品上方间歇式滴入水滴或油滴,并使水滴或油滴自发渗吸至样品中;

测定从样品中流出的气体的流量、压力及成分;

在样品下方有水滴或油滴出现时,停止试验。

2. 如权利要求1所述的基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,其特征在于,所述

样品部的顶部和底部均设置有多孔垫块。

3. 如权利要求1所述的基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,其特征在于,所述样品部的上部和下部均设置有丝堵,所述滴液部穿设在上部的丝堵中,所述轴压加载设备位于下部的丝堵的下方。

4. 如权利要求1所述的基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,其特征在于,所述围压液温控设备包括加热器、制冷器、自然冷却器、温度控制器和温度传感器,所述温度传感器设置在所述加热器、制冷器和自然冷却器中;所述加热器、制冷器和自然冷却器的进口、出口分别通过管路与所述围压泵连接,所述加热器、制冷器和自然冷却器的进口管路上分别设置有循环泵;所述循环泵和所述温度传感器均与所述温度控制器数据连接。

5. 如权利要求1所述的基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,其特征在于,所述气体出口的管路上设置有过滤器、气液分离器、气体流量压力计和气相色谱仪,与所述气液分离器连接的支路上设置有电子天平和电导率仪;所述过滤器和气液分离器之间通过支路连接有回压容器和回压泵。

6. 如权利要求1所述的基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,其特征在于,所述根据不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积包括:

分别测量渗吸试验结束时样品的质量以及烘干后样品的质量,并计算质量差;

计算质量差和最大的核磁共振T2谱面积的比值;

利用比值和不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积。

7. 如权利要求1所述的基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,其特征在于,所述方法还包括:

基于最后一次渗吸后测得的核磁共振T2谱,在相同的T2弛豫时间下,计算水润湿指数和油润湿指数;

确定水润湿指数、油润湿指数与T2弛豫时间的关系;

利用水润湿指数、油润湿指数与T2弛豫时间的关系评价样品的微观孔隙孔道的非均质性。

基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及岩石润湿性评价技术领域,尤其涉及一种基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置和方法。

背景技术

[0002] 水合物是一种低温高压下生成的冰状甲烷-水复合晶体,主要赋存于海底及高山上,分解后能够生产大量的甲烷气,是一种重要的清洁能源。研究发现,我国的水合物资源储量丰富,是传统油气等化石资源两倍以上,对改善我国的能源进出口结构和降低环境污染具有重要意义。水合物井往往产量低,且投产后,产量迅速递减,这与其特殊的气水渗流机理有关。根据水合物的分子式可知,1m³的水合物可以产生0.8 m³的水和164m³甲烷气。然而,国内外的现场试采发现,分解水产出的比例低于1%,导致大量的水滞留在沉积物孔隙中。然而,沉积物发育亲水性的粘土矿物和亲油性的有机物残骸,具有混合润湿的特点,使得滞留水主要赋存于粘土矿物层间孔隙中,可为气体渗流留出通道。因此,研究海底沉积物的润湿性对了解气水赋存及产出规律具有重要意义。

[0003] 目前,对岩石润湿性评价主要集中在砂岩和页岩上,对于水合物沉积物润湿特性进行研究的较少。常用的储层润湿性评价方法有三种,即润湿角测定法,自吸法(Amott法)和离心机法(USBM法)。另外,自发渗吸速率法也逐渐成为一种广泛使用的润湿性评价方法。

[0004] 但是,上述润湿性评价方法在使用过程中,需要将待评价物放置于水中,而水合物沉积物比较松散,放置于水中骨架容易分散,因此,无法采用上述方法来评价润湿性。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术中存在的问题,本发明提供了如下技术方案。

[0006] 本发明一方面提供了一种基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,包括:轴压加载设备、夹持器、围压液温控设备和核磁共振仪;

[0007] 所述夹持器包括样品部、滴液部和围压部,所述滴液部位于所述样品部上方,所述围压部位于所述样品部周围,所述样品部用于放置样品,所述滴液部用于滴入液体,所述围压部用于注入围压液;

[0008] 所述轴压加载设备位于所述样品部的下方,用于对所述样品部加载轴压;

[0009] 所述滴液部连接有气体进口,所述样品部的底端连接有气体出口;

[0010] 所述样品部位于所述核磁共振仪的检查腔中;

[0011] 所述围压液温控设备通过管路和围压泵与所述围压部连通,为所述围压部提供不同温度的围压液。

[0012] 优选地,所述样品部的顶部和底部均设置有多孔垫块。

[0013] 优选地,所述样品部的上部和下部均设置有丝堵,所述滴液部穿设在上部的丝堵中,所述轴压加载设备位于下部的丝堵的下方。

[0014] 优选地,所述滴液部的顶端设置有封闭塞,所述封闭塞朝向所述滴液部的一端设

置有高速摄像机,所述高速摄像机用于记录液滴渗吸入样品的过程。

[0015] 优选地,所述围压液温控设备包括加热器、制冷器、自然冷却器、温度控制器和温度传感器,所述温度传感器设置在所述加热器、制冷器和自然冷却器中;所述加热器、制冷器和自然冷却器的进口、出口分别通过管路与所述围压泵连接,所述加热器、制冷器和自然冷却器的进口管路上分别设置有循环泵;所述循环泵和所述温度传感器均与所述温度控制器数据连接。

[0016] 优选地,所述气体出口的管路上设置有过滤器、气液分离器、气体流量压力计和气相色谱仪,与所述气液分离器连接的支路上设置有电子天平和电导率仪;所述过滤器和气液分离器之间通过支路连接有回压容器和回压泵。

[0017] 本发明另一方面提供了一种基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的方法,包括:

[0018] 对同一地层的两个海底沉积物样品分别进行水滴和油滴渗吸试验,并在每次渗吸后,测定样品的核磁共振T2谱、计算核磁共振T2谱面积;

[0019] 根据不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积;

[0020] 利用如下公式计算样品的宏观润湿指数:

$$[0021] \quad WI_w = \frac{I_w}{I_w + I_o}$$

$$[0022] \quad WI_o = 1 - \frac{I_w}{I_w + I_o}$$

[0023] 式中, I_w 为单位孔隙体积的最大吸水体积, I_o 为单位孔隙体积的最大吸油体积, WI_w 为水润湿指数, WI_o 为油润湿指数;

$$[0024] \quad I_w = \frac{4V_{wmax}}{\pi\phi d_w d_w l_w}$$

$$[0025] \quad I_o = \frac{4V_{omax}}{\pi\phi d_o d_o l_o}$$

[0026] 式中, V_{wmax} 和 V_{omax} 分别为最大吸水体积和最大吸油体积; d_w 和 d_o 分别为用于吸水和吸油的样品直径; l_w 和 l_o 分别为用于吸水和吸油的样品长度, ϕ 为样品孔隙度。

[0027] 优选地,所述对同一地层的两个海底沉积物样品分别进行水滴和油滴渗吸试验包括:

[0028] 利用干燥甲烷气对海底沉积物样品进行风干;

[0029] 在原始地应力和温度条件下,在样品上方间歇式滴入水滴或油滴,并使水滴或油滴自发渗吸至样品中;

[0030] 测定从样品中流出的气体的流量、压力及成分;

[0031] 在样品下方有水滴或油滴出现时,停止试验。

[0032] 优选地,所述根据不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积包括:

[0033] 分别测量渗吸试验结束时样品的质量以及烘干后样品的质量,并计算质量差;

[0034] 计算质量差和最大的核磁共振T2谱面积的比值;

[0035] 利用比值和不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积。

[0036] 优选地,所述方法还包括:

[0037] 基于最后一次渗吸后测得的核磁共振T2谱,在相同的T2弛豫时间下,计算水润湿指数和油润湿指数;

[0038] 确定水润湿指数、油润湿指数与T2弛豫时间的关系;

[0039] 利用水润湿指数、油润湿指数与T2弛豫时间的关系评价样品的微观孔隙孔道的非均质性。

[0040] 本发明的有益效果是:本发明提供的基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置和方法,通过设置轴压加载设备对样品施加轴向压力,通过在夹持器中的样品部放置样品,在滴液部向样品中滴入液体,在围压部向样品注入围压液,通过设置围压液温控设备对围压液的温度进行调节,通过设置核磁共振仪测定样品的核磁共振谱。最终,通过采用油水滴定自发渗吸的方式,并通过测定样品的核磁共振T2谱,对海底沉积物样品在多种复杂的压力和温度环境下(包括高压低压、高温低温、以及压力和温度的任意组合、压力温度的快速变化等)的渗吸入样品的流体的赋存及运移规律进行研究,以及水油润湿性进行评价,避免了由于骨架分散而无法顺利进行渗吸,导致研究及评价无法完成的问题。

附图说明

[0041] 图1为本发明所述基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置的结构示意图;

[0042] 图2为本发明所述单位样品体积的自发吸水/吸油体积与无量纲时间的关系曲线;

[0043] 图3为本发明所述不同渗吸时间的单位样品体积吸水的核磁共振T2谱;

[0044] 图4为本发明所述不同渗吸时间的单位样品体积吸油的核磁共振T2谱;

[0045] 图5为本发明所述水润湿指数与T2弛豫时间的关系曲线;

[0046] 图6为本发明所述油润湿指数与T2弛豫时间的关系曲线。

[0047] 附图标记说明:

[0048] 1-夹持器,2-样品部,3-滴液部,4-围压部,5-气体进口,6-气体出口,7-核磁共振仪,8-围压泵,9-多孔垫块,10-丝堵,11-封闭塞,12-高速摄像机,13-加热器,14-制冷器,15-自然冷却器,16-温度控制器,17-温度传感器,18-循环泵,19-过滤器,20-气液分离器,21-气体流量压力计,22-气相色谱仪,23-电子天平,24-电导率仪,25-回压容器,26-回压泵,27-轴压泵,28-轴压位移计,29-干燥器,30-增压机,31-气瓶,32-氟胶套,33-无磁外壳,34- SC0泵,35-数据采集和处理设备,36-声发射器,37-液滴。

具体实施方式

[0049] 为了更好的理解上述技术方案,下面将结合说明书附图以及具体的实施方式对上述技术方案做详细的说明。

[0050] 实施例一

[0051] 如图1所示,本发明实施例提供了一种基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的装置,包括:轴压加载设备、夹持器1、围压液温控设备和核磁共振仪7。

[0052] 其中,所述夹持器包括样品部2、滴液部3和围压部4,所述滴液部3位于所述样品部

2上方,所述围压部4位于所述样品部2周围,所述样品部2用于放置样品,所述滴液部3用于滴入液体,所述围压部4用于注入围压液。所述轴压加载设备位于所述样品部2的下方,用于对所述样品部2加载轴压。所述滴液部3连接有气体进口5,所述样品部2的底端连接有气体出口6。所述样品部2位于所述核磁共振仪7的检查腔中。所述围压液温控设备通过管路和围压泵8与所述围压部4连通,为所述围压部4提供不同温度的围压液。

[0053] 其中,样品部和围压部之间设置有氟胶套32。在实际使用过程中,围压液一般使用无核磁信号的氘水,氟胶套可以用于隔离样品部中放置的样品与围压部中注入的围压液。围压部的外围可以采用无磁外壳33,用于封闭围压液并承受围压。

[0054] 在本发明实施例中,滴液部可以通过伸入空腔中的管路与外界液体(比如水或油)源连接,并可以在连接的管路上设置SC0泵34(高压高精度柱塞泵),使得进入到滴液部中的液体呈现为液滴37,并能精确的控制液滴的流量。

[0055] 上述装置在使用过程中,可以将样品放置在样品部中,通过轴压加载设备可以对样品施加轴向压力,通过向围压部中注入围压液对样品施加围压。从而使得样品承受不同的轴压和围压,满足样品所在的复杂的压力环境。另外,可以通过围压温控设备改变注入到围压部中的围压液的温度,进而改变样品的温度,满足样品所在的复杂的温度环境。通过滴入液体渗吸的方式,避免了现有技术中将样品放置于水中骨架容易分散而无法继续进行渗吸的难题。上述装置中,通过设置核磁共振仪,可以在液体渗吸入样品后,测定样品的核磁共振谱,利用谱面积计算润湿指数,从而对样品的水油润湿性进行评价。

[0056] 使用上述装置的具体实例可以参见实施例二中的具体实例的说明,在此不再赘述。

[0057] 本实施例中,所述样品部2的顶部和底部均设置有多孔垫块9。

[0058] 在实际应用中,根据滴液不同,采用不同性质的垫块。比如如果滴水,则采用亲水垫块;如果滴油,则采用亲油垫块。

[0059] 在样品的顶部设置多孔垫块,可以使得液滴在渗吸入样品之前,可以通过多孔垫块进行分散,进而能够以更加均匀的方式进行渗吸。同时,多孔垫块还可以起到缓冲液滴落下时对样品造成的冲击力,避免液滴直接落在样品表面造成对样品的冲击,长时间之后使得样品表面发生分散,破坏样品的结构。

[0060] 在样品的底部设置多孔垫块,可以使得气体、液体可以均匀分散的离开样品,避免对样品结构的破坏,同时可以使得气体和液体能够在样品内部更加均匀分散,使得后续得到的对气体液体的成分、质量等的分析数据更加准确。

[0061] 在本发明的一个优选实施例中,所述样品部2的上部和下部均设置有丝堵10,所述滴液部3穿设在上部的丝堵中,所述轴压加载设备位于下部的丝堵的下方。

[0062] 采用丝堵的结构,可以对样品部中的样品以及滴液部等进行保护,以免受到外部因素的影响。另外,上部的丝堵可以用于施加轴压,下部的丝堵可以用于承接样品。

[0063] 本实施例中,所述滴液部3的顶端设置有封闭塞11,所述封闭塞11朝向所述滴液部3的一端设置有高速摄像机12,所述高速摄像机12用于记录液滴渗吸入样品的过程。

[0064] 其中,封闭塞用于封闭滴液部,避免流体蒸发或者灰尘落入。高速摄像机可以用于拍摄下快速变化的场景,在本实施例中,用于记录液滴渗吸入样品的过程。当前一个液滴渗吸入样品后,会滴入下一个液滴。而且在液滴渗吸入样品后,会测定样品的核磁共振,因此,

本实施例中,利用高速摄像机确定渗吸的时间具有非常重要的意义。

[0065] 在本发明的一个优选实施例中,所述围压液温控设备包括加热器13、制冷器14、自然冷却器15、温度控制器16和温度传感器17,所述温度传感器17设置在所述加热器13、制冷器14和自然冷却器15中;所述加热器13、制冷器14和自然冷却器15的进口、出口分别通过管路与所述围压泵8连接,所述加热器13、制冷器14和自然冷却器15的进口管路上分别设置有循环泵18;所述循环泵18和所述温度传感器17均与所述温度控制器16数据连接。

[0066] 其中,加热器可以采用电阻率加热器,用于对围压液进行加热,提高围压液的温度;制冷器可以采用制冷剂对围压液进行制冷,降低围压液的温度;自然冷却器用于对高温围压液进行自然冷却,以降低围压液的温度。加热器、制冷器、自然冷却器中围压液的温度可以通过温度传感器进行监测。加热器、制冷器、自然冷却器可以通过进口管路上的循环泵的开闭控制围压液的流入。温度控制器可以根据温度传感器监测的数据与预设的温度进行比较,若监测的数据达到了预设的温度,则可以停止对应的加热器、制冷器、自然冷却器的工作。

[0067] 在实际使用过程中,若样品的液滴渗吸需要在较高温度下进行,加热器开始工作,温度传感器监测到加热器中的温度达到预设的温度时,即可开启围压泵和加热器进口管路上的循环泵,将围压液注入到围压部中,使得样品的环境温度上升,随着围压液不断在加热器中循环,温度不断升高,当达到样品的环境温度时,即可关闭加热器进口管路上的循环泵,停止围压液在加热器中的循环。

[0068] 同理,若样品的液滴渗吸需要在较低温度下进行,制冷器或自然冷却器可以开始工作,使得围压液在制冷器或自然冷却器中循环,当达到样品要求的环境温度时,则关闭进口管路上的循环泵,停止围压液的循环。

[0069] 因此,通过采用围压液温控设备,可以实现样品的复杂环境温度(高温、低温和温差骤变等)的快速有效的控制。

[0070] 在本发明的另一个优选实施例中,所述气体出口6的管路上设置有过滤器19、气液分离器20、气体流量压力计21和气相色谱仪22,与所述气液分离器20连接的支路上设置有电子天平23和电导率仪24;所述过滤器19和气液分离器20之间通过支路连接有回压容器25和回压泵26。

[0071] 当液滴渗吸入样品中后,样品的孔隙中原来存在的气体就会被排出,并从样品底端的气体出口离开,进入到过滤器和气液分离器,经过气液分离之后,气体经过气体流量压力计可以测得流量和压力,最后进入气相色谱仪,测得气体成分。经过气液分离之后,液体会进入电子天平和电导率仪中,测定重量和电导率。

[0072] 其中,回压容器和回压泵可以用于保持系统孔隙压力。

[0073] 在本发明实施例中,所述轴压加载设备包括轴压泵27和轴压位移计28。其中,轴压泵用于对样品部中放置的样品施加轴压,轴压位移计用于测量样品的轴向变形。

[0074] 在本发明实施例中,滴液部连接的气体进口依次连接有干燥器29、增压机30和气瓶31。

[0075] 本发明提供的装置,还可以包括数据采集和处理设备35,用于采集并处理各种数据,比如采集核磁共振T2谱,计算普面积,又比如采集出口气体的流量、压力和成分等。

[0076] 实施例二

[0077] 本发明实施例提供了一种基于渗吸核磁共振评价沉积物润湿性的方法,包括:

[0078] 对同一地层的两个海底沉积物样品分别进行水滴和油滴渗吸试验,并在每次渗吸后,测定样品的核磁共振T2谱、计算核磁共振T2谱面积;

[0079] 根据不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积;

[0080] 利用如下公式计算样品的宏观润湿指数:

$$[0081] \quad WI_w = \frac{I_w}{I_w + I_o}$$

$$[0082] \quad WI_o = 1 - \frac{I_w}{I_w + I_o}$$

[0083] 式中, I_w 为单位孔隙体积的最大吸水体积, I_o 为单位孔隙体积的最大吸油体积, WI_w 为水润湿指数, WI_o 为油润湿指数;

$$[0084] \quad I_w = \frac{4V_{wmax}}{\pi\phi d_w d_w l_w}$$

$$[0085] \quad I_o = \frac{4V_{omax}}{\pi\phi d_o d_o l_o}$$

[0086] 式中, V_{wmax} 和 V_{omax} 分别为最大吸水体积和最大吸油体积; d_w 和 d_o 分别为用于吸水和吸油的样品直径; l_w 和 l_o 分别为用于吸水和吸油的样品长度, ϕ 为样品孔隙度。

[0087] 其中,所述对同一地层的两个海底沉积物样品分别进行水滴和油滴渗吸试验包括:

[0088] 利用干燥甲烷气对海底沉积物样品进行风干;

[0089] 在原始地应力和温度条件下,在样品上方间歇式滴入水滴或油滴,并使水滴或油滴自发渗吸至样品中;

[0090] 测定从样品中流出的气体的流量、压力及成分;

[0091] 在样品下方有水滴或油滴出现时,停止试验。

[0092] 在本发明实施例中,所述根据不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积包括:

[0093] 分别测量渗吸试验结束时样品的质量以及烘干后样品的质量,并计算质量差;

[0094] 计算质量差和最大的核磁共振T2谱面积的比值;

[0095] 利用比值和不同时刻的核磁共振T2谱面积,计算对应时刻吸入样品中的水体积或油体积。

[0096] 在本发明实施例中,所述方法还包括:

[0097] 基于最后一次渗吸后测得的核磁共振T2谱,在相同的T2弛豫时间下,计算水润湿指数和油润湿指数;

[0098] 确定水润湿指数、油润湿指数与T2弛豫时间的关系;

[0099] 利用水润湿指数、油润湿指数与T2弛豫时间的关系评价样品的微观孔隙孔道的非均质性。

[0100] 具体实例:

[0101] 在本发明的具体实例中,利用实施例一提供的装置进行海底沉积物润湿性评价,采用如下步骤:

[0102] 步骤一,从同一水合物地层中,取两块海底沉积物样品加工成圆柱形,测定两块样品质量,直径 d_w 和长度 l_w ,分别用于滴水 and 滴油试验。

[0103] 步骤二,将其中一块样品置于夹持器中,保证样品位于核磁共振的范围内。对样品施加围压和轴压,并通过围压液温控设备提升注入到围压部的围压液的温度至60~80℃。采用气瓶和气体增压机,向滴液部中连续通入干燥甲烷气,风干样品,直到核磁共振信号不再发生变化,停止通入甲烷气;

[0104] 步骤三,将制冷器调整到海底温度(2~4℃),通过围压液循环,降低样品的环境温度,待温度传感器监测到的数据恒定在目标温度时,开始后续实验;

[0105] 步骤四,采用SC0泵向滴液部中滴入水,保证水垂直降落到底部,不能碰触空腔壁,开始计时,记录当前时刻 t_0 。关闭封闭塞,避免流体蒸发和尘埃落入,通过内置的高速摄像机,观测水滴渗入样品的情况,当水滴完全渗入样品内以后,停止计时,记录当前时刻 t_1 ,则渗吸时间为 t_1-t_0 ;记录从样品流出的气体的流量、压力及成分;记录声发射器36的数据,用于分析液体渗入过程中对样品结构引起的损伤。其中,气体的流量、压力可以通过高精度流量压力计测得,并可将数据发送至数据采集和处理设备中,气体成分可以通过气相色谱仪测得并可以发送至数据采集和处理设备中,声发射数据也可以通过数据采集和处理设备采集。在本发明实施例中,在试验中的相关数据都可以通过数据采集和处理设备进行采集和处理。实现数据记录的精准性以及数据处理的自动化。

[0106] 步骤五,测定本次渗吸后样品的核磁共振T2谱,并计算谱面积,注意测定核磁共振的时间,不计入渗吸时间。

[0107] 步骤六,重复步骤四,渗吸开始和结束时刻分别记录为 t_2 和 t_3 ,渗吸时间为 t_3-t_2 ;测定本次渗吸后样品的核磁共振T2谱,并计算谱面积。

[0108] 步骤七,持续滴入水,直到样品的底端观测到有水滴产出,即停止试验。测定样品中流出的水的电导率。

[0109] 步骤八,取出样品,测量样品质量 m_1 ,放置于120℃烘干箱中,直至样品质量不在发生变化,测量质量为 m_0 。通过 m_1-m_0 差值和T2谱的最大谱面积,计算两者比例系数。根据计算得到的比例系数以及不同时刻的核磁共振T2谱的面积,计算吸入样品中的水的体积 V_w ;

[0110] 步骤九,绘制单位样品体积的自发吸水体积与无量纲时间的关系曲线(如图2)、以及不同渗吸时间的单位样品体积吸水的核磁共振T2谱(如图3)。其中无量纲时间 t_D 的公式为

$$[0111] \quad t_D = t \sqrt{k/\phi} \frac{\sigma}{\mu L_c} \frac{1}{L_c}$$

[0112] 式中, μ 表示流体粘度, σ 表示流体界面张力, k 表示渗透率, ϕ 表示孔隙度, L_c 是取决于样品形状和边界条件的特征长度。考虑两个样品取自相同地层,孔隙度和渗透率区别不大,可以不用测量,假定为某一个常数,不会对分析结果产生影响。

[0113] 步骤十,取另一块样品,重复步骤二至九,开展滴油试验,确定吸入样品中的油的体积 V_o ,并绘制单位样品体积的自发吸油体积与无量纲时间的关系曲线(如图2)、以及不同渗吸时间的单位样品体积吸油的核磁共振T2谱(如图4)。

[0114] 步骤十一,根据如下公式计算沉积物样品的宏观润湿指数,水和油的润湿指数定义如下:

$$[0115] \quad WI_w = \frac{I_w}{I_w + I_o}$$

$$[0116] \quad WI_o = 1 - \frac{I_w}{I_w + I_o}$$

[0117] 式中, I_w 单位孔隙体积的最大吸水体积; I_o 单位孔隙体积的最大吸油体积; WI_w 水润湿指数, WI_o 油润湿指数。

$$[0118] \quad I_w = \frac{4V_{wmax}}{\pi\phi d_w d_w l_w}$$

$$[0119] \quad I_o = \frac{4V_{omax}}{\pi\phi d_o d_o l_o}$$

[0120] 式中, V_{wmax} 和 V_{omax} 分别为最大吸入水和油的体积; d_w 和 d_o 分别为用于吸水和吸油的样品直径; l_w 和 l_o 分别为用于吸水和吸油的样品长度。

[0121] 经计算,样品 I_w 为1.323, I_o 为0.575, WI_w 为0.697, WI_o 为0.303。

[0122] 步骤十二,取最终的水和油核磁共振T2曲线,在相同T2值下,计算水和油的润湿指数。绘制润湿指数与T2弛豫时间的关系图(如图5、6),T2弛豫时间与孔径呈正相关关系,因此,润湿指数与T2弛豫时间的关系可以用于评价微观孔隙吼道的润湿非均质性。由图5、6可知,大部分的孔隙以水湿为主,仅有弛豫时间为0.5~7ms和500~1000ms的孔隙呈现出油湿。

[0123] 尽管已描述了本发明的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明范围的所有变更和修改。显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

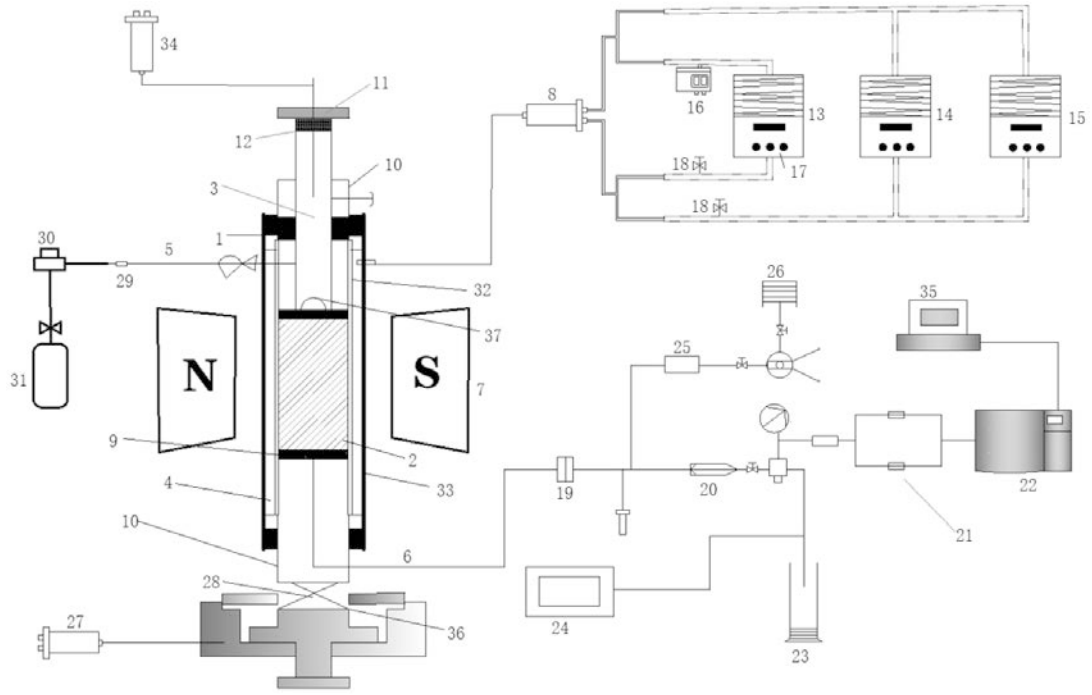


图1

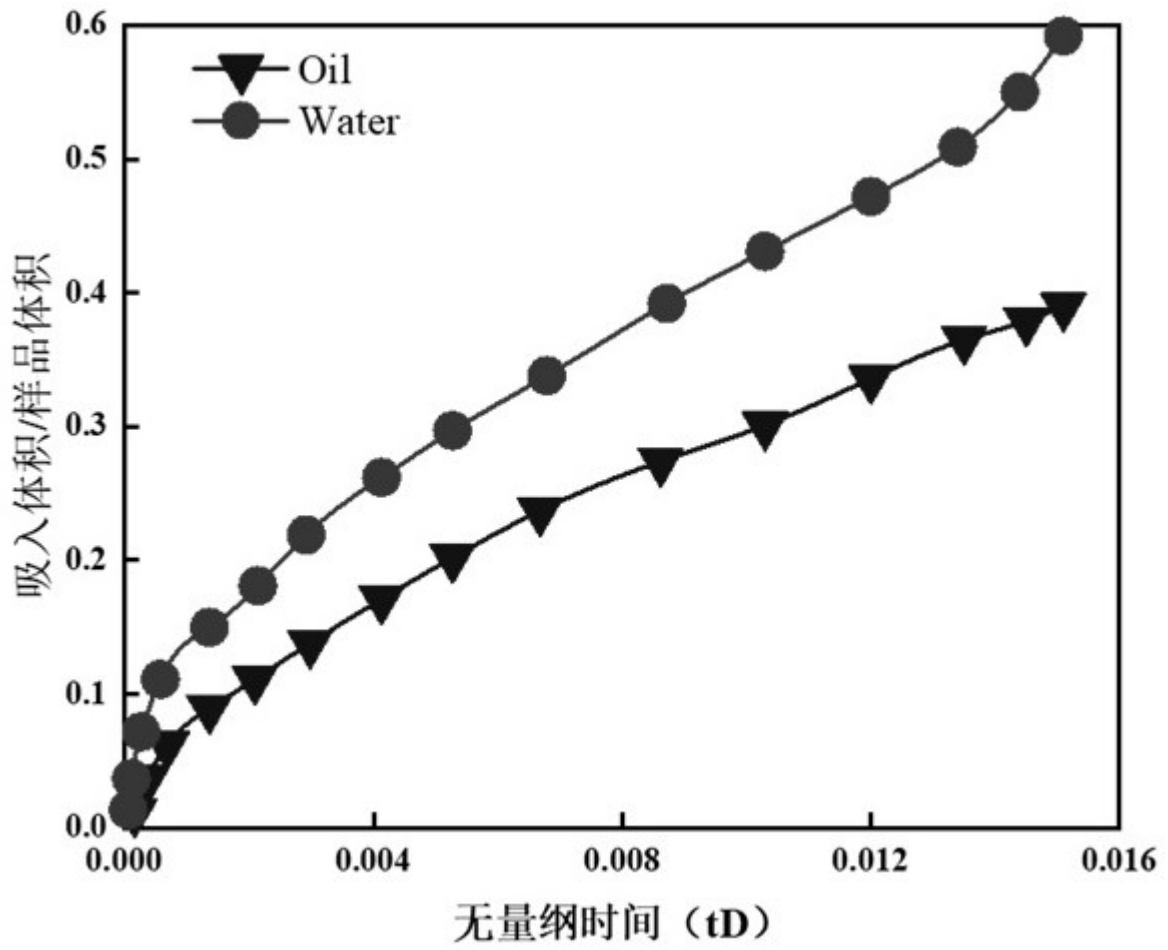


图2

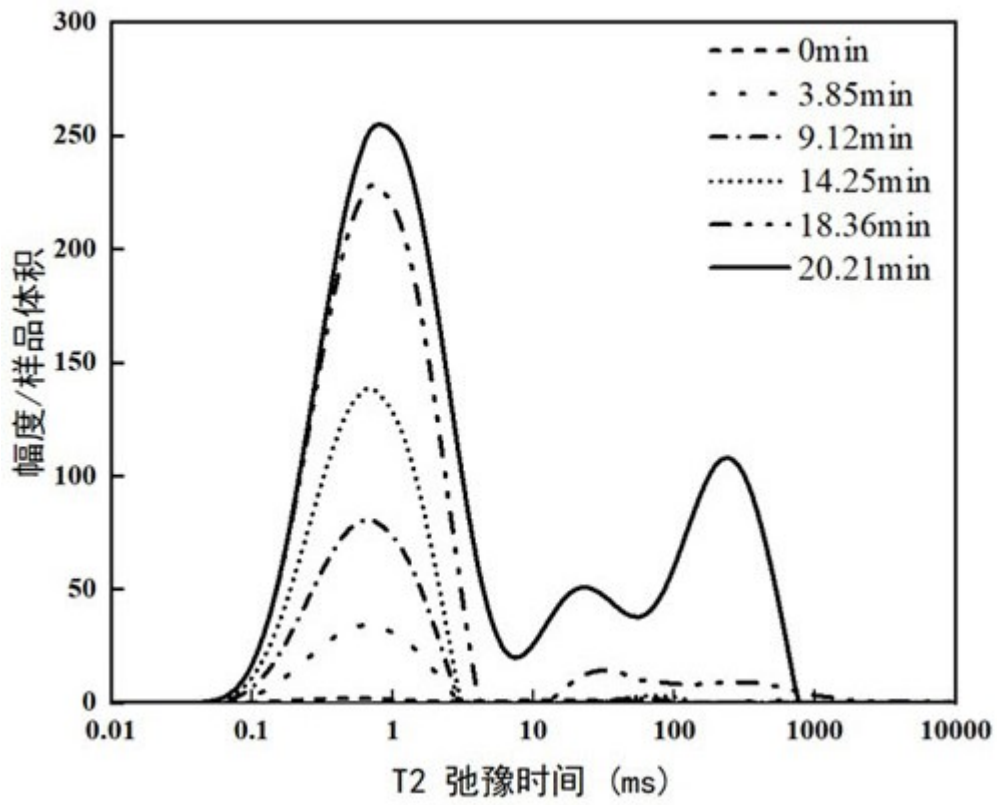


图3

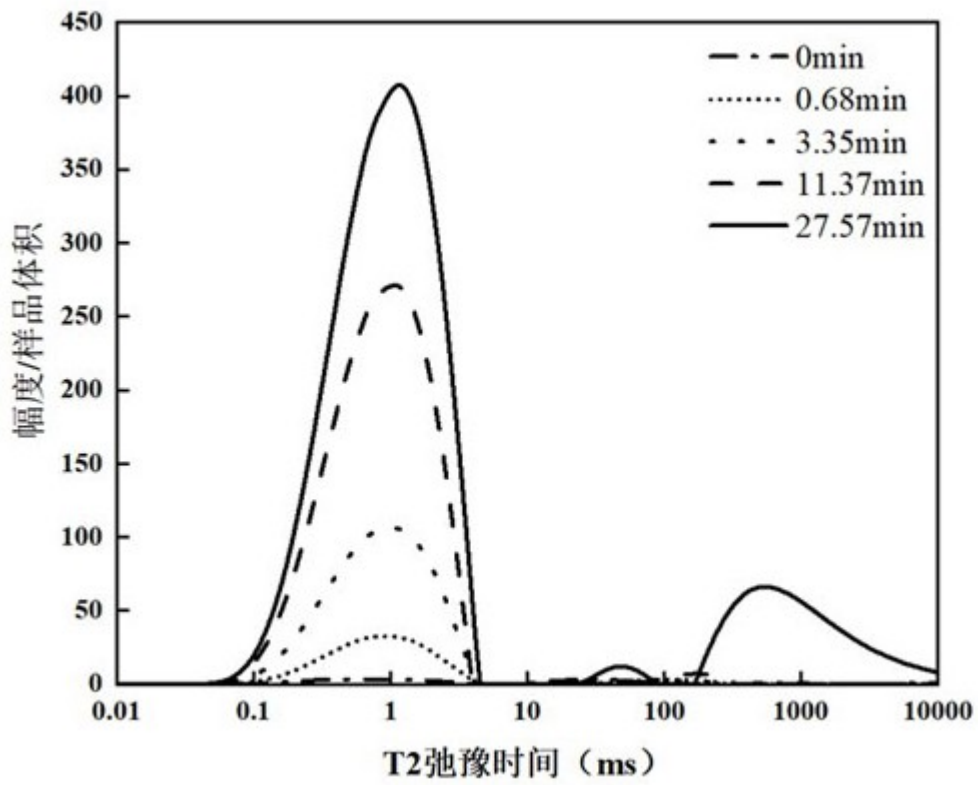


图4

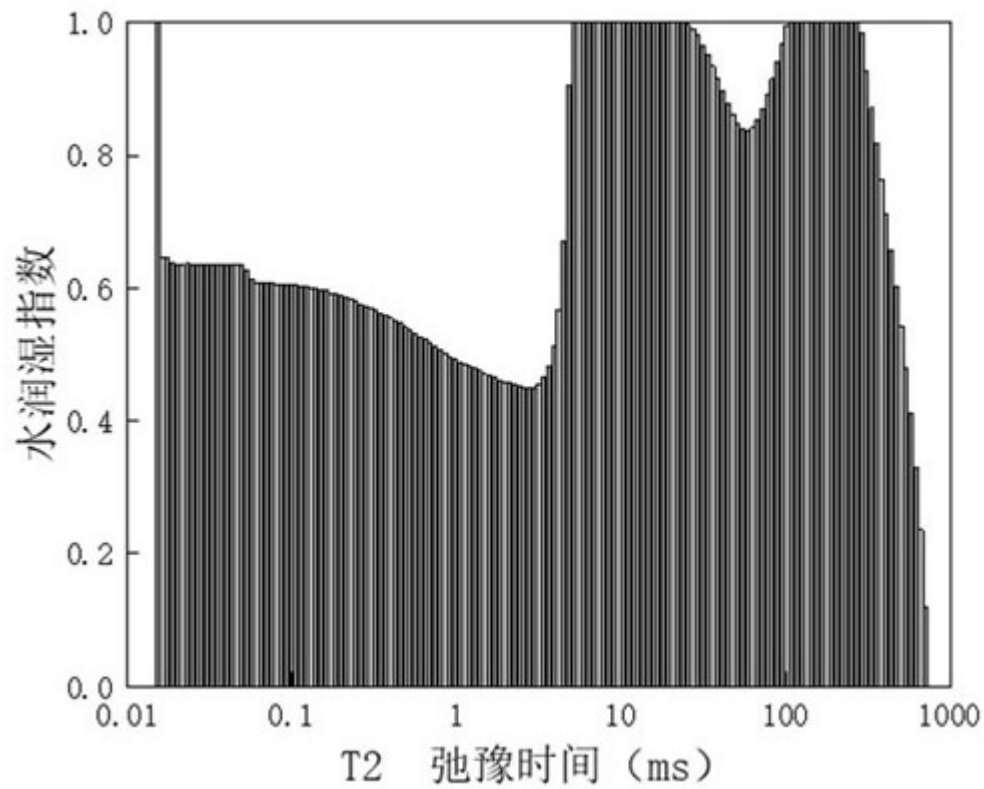


图5

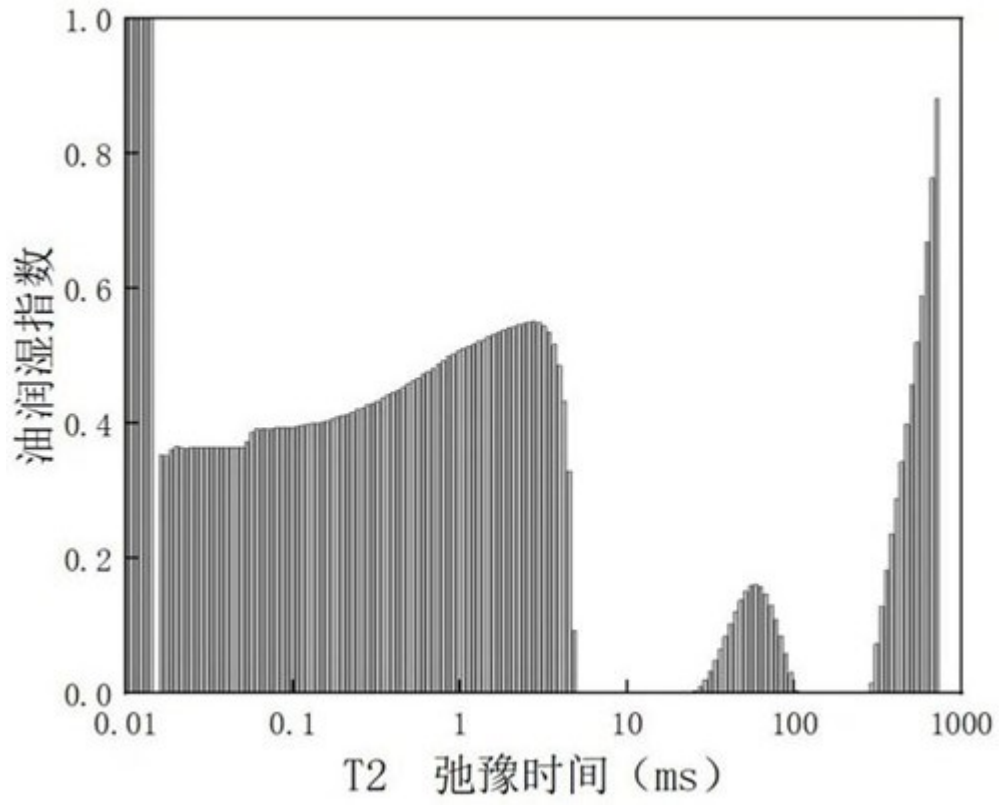


图6