

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 5 月 16 日 (16.05.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/099472 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 15/08 (2006.01) **G01N 3/12** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/142844
- (22) 国际申请日: 2023 年 12 月 28 日 (28.12.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211391505.6 2022 年 11 月 8 日 (08.11.2022) CN
- (71) 申请人: 中国石油天然气股份有限公司 (**PETROCHINA COMPANY LIMITED**) [CN/CN];
中国北京市东城区东直门北大街 9 号, Beijing 100007 (CN)。
- (72) 发明人: 林森虎 (**LIN, Senhu**); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
罗霞 (**LUO, Xia**); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
侯连华 (**HOU, Lianhua**); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
庞正炼 (**PANG, Zhenglian**); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
赵忠英 (**ZHAO, Zhongying**); 中国

北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
赵江清 (**ZHAO, Jiangqing**); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
林世均 (**LIN, Shijun**); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
王国辉 (**WANG, Guohui**); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。
赵治文 (**ZHAO, Zhiwen**); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。

- (74) 代理人: 北京三友知识产权代理有限公司 (**BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.**); 中国北京市西城区金融街 35 号国际企业大厦 A 座 16 层, Beijing 100033 (CN)。
- (81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,

(54) **Title:** METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING OIL AND GAS BREAKTHROUGH PRESSURE IN COMPACTED ROCK SAMPLE

(54) 发明名称: 测量致密岩样中油、气突破压力的方法及装置

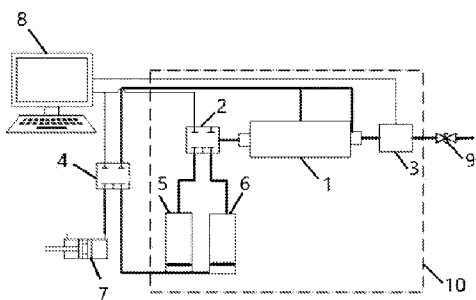


图 2

(57) **Abstract:** A method and apparatus for measuring oil and gas breakthrough pressure in a compacted rock sample. The apparatus comprises: a constant-temperature chamber (10); a rock sample holder (1), which is arranged in the constant-temperature chamber (10); an intake-end cavity (2) and an output-end cavity (3), which are in communication with the rock sample holder (1); a water-containing intermediate container (5) and an oil- or gas-containing intermediate container (6), which are in communication with the intake-end cavity (2); a pump (7), and a pressure reversing control module (4) connected to the pump (7); and a controller (8), which is used for sending various pressure control instructions to the pressure reversing control module (4) under the condition that the constant-temperature chamber (10) is controlled to simulate a stratum temperature, such that the pressure reversing control module (4) controls the pump (7) to complete various pressure operations under a simulated stratum condition, the water-containing intermediate container (5) and the oil- or gas-containing intermediate container (6) are controlled to operate in sequence, the intake-end pressure of the intake-end cavity (2) and the output-end pressure of the output-end cavity (3) are collected, and the difference between the intake-end pressure and the output-end pressure after the pressure of the intake-end cavity (2) and the pressure of the output-end cavity (3) tend to be stable is used as breakthrough pressure for oil and gas migration in a compacted rock sample.



PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第21条(3))。
- 在修改权利要求的期限届满之前进行, 在收到该修改后将重新公布(细则48.2(h))。
- 包括关于请求恢复一项或多项优先权要求的信息(细则26之二.3和48.2(b)(vii))。

(57) 摘要: 一种测量致密岩样中油、气突破压力的方法及装置, 装置包括: 恒温箱(10); 岩样夹持器(1), 设置在恒温箱(10)中; 与岩样夹持器(1)连通的进端腔(2)和出端腔(3); 与进端腔(2)连通的含水中间容器(5)和含油或气的中间容器(6); 泵(7)及与泵(7)连接的压力换向控制模块(4); 控制器(8), 用于在控制恒温箱(10)模拟地层温度条件下, 给压力换向控制模块(4)发送各种压力控制指令, 使得压力换向控制模块(4)控制泵(7)完成模拟地层条件下的各种压力操作, 控制含水中间容器(5)和含油或气中间容器(6)依次工作, 采集进端腔(2)的进端压力和出端腔(3)的出端压力, 将进端腔(2)及出端腔(3)的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

测量致密岩样中油、气突破压力的方法及装置

相关申请

本申请要求于 2022 年 11 月 8 日递交的申请号为 202211391505.6 的中国专利申请的优先权，并引用上述专利申请公开的内容作为本申请的一部分。

技术领域

本申请涉及地球（岩石）物理领域技术领域，尤其涉及一种测量致密岩样中油、气突破压力的方法及装置。

背景技术

本部分旨在为权利要求书中陈述的本申请实施例提供背景或上下文。此处的描述不因为包括在本部分中就承认是现有技术。

在石油、天然气勘探开发中需要测量盖层或储层岩石中油气突破压力或油气运移的最小启动压力，研究油气成藏条件，为油气勘探提供实验依据。目前主要用毛管压力曲线间接估算油气突破压力。直接测量的方法有：SY/T 5748-2013《岩石气体突破压力测定方法》和专利 ZL2017 1 0996335.7 “一种测量岩石电阻指示油气突破压力的新方法和装置”。

现有行业标准 SY/T 5748-2013《岩石气体突破压力测定方法》规定了用泊肃叶（Poiseuille）公式确定天然气藏盖层岩石样品的突破压力。并不适合原油突破压力的测量，再者在含水的致密岩石中测量天然气和原油的流动是十分困难和费时的事情，因为岩石被润湿性流体（水）饱和后，非润湿性流体（原油或气体）必须克服岩石毛管阻力才能排驱润湿性流体。岩石的毛管半径越小，则阻力越大，所需突破压力越高。这种方法受样品长度影响，随着长度的增加观察到气体在饱和样中形成连续流动的时间会增加，而且无法测量原油在含水岩样中的突破压力。用泊肃叶公式测量气体突破压力的条件是在饱和样中形成气体连续层状流动，由于盖层（通常是致密泥岩层）渗透率非常低，气体流动不符合“在水平圆管中作层流运动”的泊肃叶公式假设，导致测量的气体突破压力偏大和平衡时间过长。

一件中国专利（ZL2017 1 0996335.7）是利用油气进入岩石导致的电阻变化来确定油气突破压力。

事实上，油气在地层中的运移和赋存是一个十分漫长的过程（通常以百万年为计量单位），而现有的观察方法和实验手段是希望在短时间内（以小时或天为单位）得到观测结果。随着

对非常规油气藏的勘探和开发，发现油气在致密岩石中的运移和流动不符合达西定律和泊肃叶公式，基于该理论的测试方法其局限性就显现出来了。

现有行业标准 SY/T 5748-2013 规定的测定方法存在以下缺陷：

- 1) 对油气突破压力的定义不够严谨，在驱替压力下，长度 1 厘米样品等待时间为 30 分钟的依据不足。
- 2) 只能测量气体突破压力，不能测量原油突破压力。
- 3) 只能在有效压力下测量气体的突破压力，不能在模拟地层温度、压力下测量突破压力。
- 4) 只能测量出端为开发系统气体突破压力，不能在出端封闭系统下测量。

在致密的低渗透性样品（水相渗透率小于 0.01mD）中油气运移和流动不符合达西定律和泊肃叶公式，导致测量的突破压力明显大于地层实际情况。

发明内容

本申请实施例提供一种用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置，用以用压降法测量精确地测量致密岩样中油、气突破压力，该装置包括：

模拟地层温度的恒温箱；

岩样夹持器，设置在恒温箱中，用于夹持致密岩样；

进端腔，第一端与岩样夹持器的第一端连通；

出端腔，第一端与岩样夹持器的第二端连通；

装有饱和水的活塞式中间容器，第一端与进端腔的第二端连通；

装有油或气的活塞式中间容器，第一端与进端腔的第三端连通；

泵，用于给致密岩样提供模拟地层条件下的各种压力；

压力换向控制模块，与泵连接，用于在控制器的控制下控制泵（7）完成模拟地层条件下的各种压力操作；

控制器，与恒温箱、进端腔、出端腔、压力换向控制模块、装有饱和水的活塞式中间容器和装有油或气的活塞式中间容器连接，用于在控制恒温箱模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵完成模拟地层条件下的各种压力操作，控制装有饱和水的活塞式中间容器及装有油或气的活塞式中间容器依次工作，采集进端腔的进端压力和出端腔的出端压力，将进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

本申请实施例还提供一种用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制装置，用以用压降法测量精确地测量致密岩样中油、气突破压力，该控制装置包括：

压力控制单元，用于在控制恒温箱模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵完成模拟地层条件下的各种压力操作；

驱替控制单元，用于控制装有饱和水的活塞式中间容器及装有油或气的活塞式中间容器依次工作；

- 5 突破压力确定单元，用于采集进端腔的进端压力和出端腔的出端压力，将进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力

本申请实施例还提供一种用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法，用以用压降法测量精确地测量致密岩样中油、气突破压力，该控制方法包括：

- 10 在控制恒温箱模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵完成模拟地层条件下的各种压力操作；

控制装有饱和水的活塞式中间容器及装有油或气的活塞式中间容器依次工作；

采集进端腔的进端压力和出端腔的出端压力，将进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

- 15 本申请实施例还提供一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，处理器执行计算机程序时实现上述用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法。

本申请实施例还提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现上述用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法。

- 20 本申请实施例还提供一种计算机程序产品，计算机程序产品包括计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现上述用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法。

- 25 本申请实施例中，用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的方案中，装置包括：模拟地层温度的恒温箱；岩样夹持器，设置在恒温箱中，用于夹持致密岩样；进端腔，第一端与岩样夹持器的第一端连通；出端腔，第一端与岩样夹持器的第二端连通；装有饱和水的活塞式中间容器，第一端与进端腔的第二端连通；装有油或气的活塞式中间容器，第一端与进端腔的第三端连通；泵，用于给致密岩样提供模拟地层条件下的各种压力；压力换向控制模块，与泵连接，用于在控制器的控制下控制泵（7）完成模拟地层条件下的各种压力操作；控制器，与恒温箱、进端腔、出端腔、压力换向控制模块、装有饱和水的活塞式中间容器和装有油或气的活塞式中间容器连接，用于在控制恒温箱模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块发
30 送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵完成模拟地层条件下的各种压力操作，控制装有饱和水的活塞式中间容器及装有油或气的活塞式中间容器依次工作，采集进端腔的

进端压力和出端腔的出端压力，将进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力，该方案可以用压降法测量精确地测量致密岩样中油、气突破压力。

5 附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。在附图中：

10 图 1 为本申请实施例中用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的流程示意图。

图 2 为本申请实施例中用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的结构示意图。在图 2 中：1、岩样夹持器；2、进端腔，包括可调体积的稳压室、多通阀、绝缘短节和压力传感器等组成的进端体积；3、出端腔，包括阀、绝缘短节和压力传感器等出端体积；4、压力换向控制模块，包括气动阀、不锈钢压力管线和压力传感器，在计算机控制下完成对轴压、15 围压、孔压和驱替压力的加压、调压、卸压等功能；5、装有饱和水的活塞式中间容器，用于排驱样品中的气泡、测量水相渗透率；6、装有油或气的活塞式中间容器，提供进入含水岩样的油、气介质，便于测量相应介质的突破压力；7、泵，可以为双柱塞泵，为整个测量系统提供轴压、围压、孔隙压力、驱替压力，在计算机控制下实现压力的可调、稳压、卸压；8、计算机采集控制系统（控制器），包括计算机、电桥、控制箱（压力模块、电阻、温度、恒温箱、20 泵的控制电路板）和专用控制软件，实现测量系统自动控制、实时记录和数据分析；9、出端截止阀，有高压截止阀、不锈钢管线和废液缸组成，实现开放或闭合模式的突破压力测量；10、恒温箱，包括加热管、保温层、温控系统和夹持器绝缘系统等组成，为模拟地层温度提供长时间稳定的温度环境。图 2 中的细线为信号控制线，粗黑线为流体管线。

图 3 是某样品压降法测量突破压力监测图。在图 3 中①为进端压力下降曲线，在曲线前25 后各选了一段，每段回归一条出直线③和④，其延长线交点对应的压力值是渗流作用的压力阈值，图 3 中为 1.54MPa；②是出端压力上升曲线，同样确定绘出直线⑤和⑥，其延长线交点就是出端压力阈值，图中为 0.148MPa，两个压力之差为 1.392MPa 就是该样品在闭合系统下的油突破压力。

图 4 为本申请实施例中用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制器的结构30 示意图。

图 5 为本申请实施例中用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法的流

程示意图；

图 6 为本申请实施例中体积可变的进端腔的结构示意图。

具体实施方式

为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚明白，下面结合附图对本申请实施例做进一步详细说明。在此，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，但并不作为对本申请的限定。

发明人在模拟地层条件的油气运移、驱替实验中观察到：在驱动压力作用下，油气运移方式不仅有渗流，还有扩散、吸附、置换和互溶，渗流阶段的压降较快；扩散阶段的压降较慢，定义其拐点就是区分两个阶段流体的依据。渗流是短时间内观察油气运移的主要方式，当作用在油气端的压力大于某个阈值时开始进入含水岩石，如果这个压力没有连续能量补充会逐渐下降，并趋于稳定，最终接近岩石含水毛管压力，这个阈值就是油、气渗流运移的最小突破压力（启动压力）。根据这一现象，提出了一种测量岩石样品中油气运移最小突破压力的方案，研制了模拟地层条件下，用压降法测量油、气突破压力的实验装置，提出了在压降曲线上用切线法确定压力拐点的方法。通过实验验证了这种方法的可行性和稳定性，不管是在气驱还是油驱过程中，只要测量时间足够长，就能准确测量油、气的突破压力。当油气运移压力略大于突破压力，油气就能持续运移到岩石孔隙空间中，在自然界中这个过程十分缓慢（几十万年到几百万年）。

这种压降法得到的突破压力只与样品孔隙结构、流体性质和进端压力有关，而与样品长度无关，所以不需要引入压力梯度的概念。本申请实施例提出了一种测量致密岩样中油、气突破压力的方案，该方案为一种测量岩石样品中油气运移最小突破压力的方案，该方案适用于各类储层的油、气运移中最小突破压力的测定。下面对该测量岩石样品中油气运移最小突破压力的方案进行详细介绍。

图 2 为本申请实施例中用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的结构示意图，如图 2 所示，该装置包括：

模拟地层温度的恒温箱 10；

岩样夹持器 1，设置在恒温箱 10 中，用于夹持致密岩样；

进端腔 2，第一端与岩样夹持器 1 的第一端连通；

出端腔 3，第一端与岩样夹持器 1 的第二端连通；

装有饱和水的活塞式中间容器 5，第一端与进端腔 2 的第二端连通；

装有油或气的活塞式中间容器 6，第一端与进端腔 2 的第三端连通；

泵 7，用于给致密岩样提供模拟地层条件下的各种压力；

压力换向控制模块 4，与泵 7 连接，用于在控制器 8 的控制下控制泵 7 完成模拟地层条件下的各种压力操作；

控制器 8，与恒温箱 10、进端腔 2、出端腔 3、压力换向控制模块 4、装有饱和水的活塞式中间容器 5 和装有油或气的活塞式中间容器 6 连接，用于在控制恒温箱 10 模拟地层温度条件下（用于当恒温箱 10 模拟地层温度时），给压力换向控制模块 4 发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵 7 完成模拟地层条件下的各种压力操作，控制装有饱和水的活塞式中间容器 5 及装有油或气的活塞式中间容器 6 依次工作，采集进端腔 2 的进端压力和出端腔 3 的出端压力，当进端腔 2 及出端腔 3 的压力都趋于稳定后，将进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

在一个实施例中，上述测量致密岩样中油、气突破压力的装置还可以包括：出端截止阀 9，与出端腔 3 的第二端连接；在孔隙压力下测量突破压力、出端是封闭系统时，控制器 8 具体用于：

控制关闭出端截止阀 9，开启进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器 5 中的地层水通过进端腔 2 注入到致密岩样中，在出端腔 3 中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 连通的阀，开启进端腔 2 中与装有油或气的活塞式中间容器 6 连通的阀；

实时监测进端腔 2 的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；实时监测出端腔 3 的压力上升曲线，用切线法确定上升曲线的拐点压力，作为出端压力；在进端腔 2 及出端腔 3 的压力都趋于稳定后，将进端压力与出端压力的差值作为油、气的突破压力。

在一个实施例中，上述测量致密岩样中油、气突破压力的装置还可以包括：出端截止阀 9，与出端腔 3 的第二端连接；在有效压力下测量突破压力、出端是开放系统时，控制器 8 具体用于：

控制开启出端截止阀 9，开启进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器 5 中的地层水通过进端腔 2 注入到致密岩样中，在出端腔 3 中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 连通的阀，开启进端腔 2 中与装有油或气的活塞式中间容器 6 连通的阀；

实时监测进端腔 2 的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；其中，进端压力为致密岩样中油、气突破压力。

在一个实施例中，进端腔 2 为体积可变的进端腔，包括：阀体体积、管线体积、绝缘短

节体积、传感器体积和稳压室体积，稳压室体积根据致密岩样的孔隙体积调整，使得进端腔的体积大于或等于岩样孔隙体积与出端腔的体积之和。

为了便于理解本申请如何实施，下面结合图 1 至图 3 进行详细介绍。

本申请实施例的主要目的在于提供一种岩石油气突破压力的测量方案，以解决现有技术
5 没有考虑到的致密岩石和原油突破压力的测量问题。其在模拟地层条件下，用压降法测量致密岩样中油或气的突破压力。

本申请实施例提供了一种利用监测进端压力降的方法确定岩石突破压力方法。该方法包括：构建一个稳定的模拟地层环境，分别测量含水岩石样品进、出端流体压力；等待含水岩石样品进、出端流体压力都趋于稳定后，进出端的压力差就是油气注入石样的突破压力。如
10 图 2 所示，用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置包括：

1、模拟地层压力的岩样夹持器 1，模拟地层温度的恒温箱 10。

2、岩样上的轴向压力和径向围压、岩样的孔隙压力以及驱替压力均有泵 7 提供，由压力
换向控制模块 4 在计算机 8 控制下完成供压、稳压和放压等操作。

3、岩样温度、各种压力、电阻率（该电阻率在下面步骤 S102、S104 中用到，电阻率用
15 于监测油气是否到达样品端面 and 确定油气是否进入样品、以及油气注入、扩散是否达到平衡）等参数均有计算机（控制器）8 中的采集控制电路完成，自动分析测量数据，计算突破压力。

4、样品安装在岩样夹持器 1 中，其轴压和围压由泵 7 通过压力换向控制模块 4 提供，岩
样夹持器的一端与进端腔 2 连接，另一端与出端腔 3 连接。

5、根据岩样孔隙体积调整进端腔 2 体积 V_{in} 和出端腔 3 体积 V_{out} 。在下面步骤 S103 中会
20 调整进端腔 2 体积 V_{in} 和出端腔 3 体积 V_{out} ，其目的是防止进、出端压力突变引起的波动，起到稳压的同时便于实时监测压力变化。

6、进端的油或气通过活塞式中间容器 6 和进端腔（多通阀）2 进入夹持器中 1 的岩样。

7、在有效压力（有效压力是指地层上覆压力与地层流体压力之差，在实验室条件下就是
指围压与孔隙压力之差）下测量突破压力时，测量前打开出端截止阀 9，开始测量时关闭 9。

8、在孔隙压力下测量突破压力时，关闭出端截止阀 9，含水活塞式中间容器 5 中的地层
25 水不断注入到岩样中，使出端腔 3 中的压力达到设置的压力值，建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 的阀，开启进端腔 2 中与含油或气活塞式中间容器 6，缓慢增加。该步骤 8 与上面步骤 7 没有直接关系，步骤 7 和步骤 8 分别是两个测量状态。

9、实时监测进端腔 2 的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压
30 力 P_{in} 。

10、实时监测出端腔 3 的压力上升曲线，用切线法确定上升曲线的拐点压力，作为出端压力 P_{out} ， P_{in} 与 P_{out} 的差值就是油、气的突破压力 P_b 。

具体实施时，上述步骤 9 和步骤 10 执行的触发条件是：①当在有效压力下测量时，在加压后就开始执行；②在孔隙压力下测量，就需要孔隙压力达到稳定后执行。

5 实施例一

本申请实施例提供了一种岩样油、气突破压力的测量方法，如图 1 所示，该方法包括步骤如下：

步骤 S101，确定完全含水岩石样品的测量条件，如温度，施加于样品的围压、轴压。有效压力测量的是出端开放系统；在孔隙压力下测量的是出端封闭系统，两者模拟的地质情况不同，测量突破压力的方法和操作步骤也不同。在该步骤 S101 中，先同时加一个初始的轴压和围压，再加孔隙压力，使轴围压与孔隙压力之差小于等于地层有效压力，根据样品埋深逐步同时加压到相应的设计值（预设值）。在该步骤实施过程中，如果轴围压出现波动，需要由控制器和泵系统及时进行调整，例如进行供压、稳压和放压等操作，以提供稳定的测量压力。

15 步骤 S102，为了确保测量的是油或气的突破压力，需要使油或处于样品与探头之间。具体做法是，在加温、加压后，用饱和水在较低压力 P_w 下驱替样品，排出样品安装、加温中的气体，同时测量水相渗透率（两个目的：①排出样品安装过程中的气体，使样品完全饱和地层水；②参考测水相渗透率的压力，选择合适的进端压力 P_m ）。再利用探头上的双管结构，把管线中的水，用原油或气体替换掉。如果替换不完全，测量的就是水的启动压力。

20 步骤 S103，为了更精确测量压力下降过程，需要设计一个体积可变的进端腔，如图 6 所示，该腔体包括：阀体体积、管线体积、绝缘短节体积、传感器体积和稳压室体积，稳压室体积需要根据样品孔隙体积调整，使进端腔体体积 V_{in} 大于或等于岩样孔隙体积 V_p 与出端腔体体积 V_{out} 之和。该进端腔体体积是根据样品孔隙体积变化的，目的是起到稳压作用和便于检测，是发明人通过多次实验获取的测量技巧。

25 根据如下公式 $V_{in} \times P_{in} = (V_{in} + V_p + V_{out}) \times P_{out} + n \times P_w$ ，确定合适的进端腔体体积和测试压力，假设测试压力过高会导致①破坏岩石的孔隙结构②延长测量时间；如果进端腔体体积太小，没有后续流体的供压，会导致进端压降很快，无法检测压降过程， n 是与注入流体粘度有关的经验系数，通常为 1-3。

30 步骤 S104，如果是在出端开放系统下测量油、气突破压力，只需记录进端腔体的降压曲线，此时，对开放系统而言，出端是大气压，如果用相对压力传感器测量的压力就是“0”。如果是在出端闭合系统下测量突破压力，需要记录进端腔体的降压曲线和出端腔体的升压曲线。

步骤 S105, 数据处理和突破压力的确定。由于实测曲线不是光滑曲线, 需要进行滤波和拟合。在曲线前后各选择一段“平稳段”, 每段回归出一条直线, 然后求两条直线的交点, 定义该交点对应的压力值是渗流作用的压力阈值, 对于出端开放系统该值就是突破压力; 对出端闭合系统需要在进端降压曲线和出端升压曲线上分别确定压力阈值, 两者之差就是闭合系统下的突破压力。

实施例二

本申请实施例还提供了一种岩石油气突破压力的测量装置。如图 2 所示, 该装置可以包括:

岩样夹持器 1, 由高压釜、加压缸、探头、温度传感器、电极系、胶套、不锈钢高压管线组成。模拟地层压力环境、便于流体在岩样中的流动, 同时监测岩样的温度、电阻等参数。

进端腔 2, 包括可调体积的稳压室、多通阀、绝缘短节、高压管线和压力传感器。需要根据岩样孔隙体积调节稳压室体积, 其体积决定了进端注入压力的大小。

出端腔 3, 包括阀、绝缘短节、高压管线和压力传感器; 在开放系统下需打开出端截止阀 9、在封闭系统下需关闭出端截止阀 9。

压力换向控制模块 4, 包括空压机、电磁阀、气动阀、不锈钢压力管线和压力传感器, 在控制器的控制下完成对轴压、围压、孔压和驱替压力的加压、调压、卸压等功能。

装有饱和水的活塞式中间容器 5, 由高压腔、活塞、高压管线和堵头组成, 活塞起到泵与水的隔离作用。用于排驱样品中的气泡、测量水相渗透率。

装有油或气的活塞式中间容器 6, 由高压腔、活塞、高压管线和堵头组成, 起到泵与油、气的隔离作用。为测量油、气突破压力提供相应的介质。

泵 7, 可以为双柱塞泵; 成品件。为整个测量系统提供最高可达 140MPa 的压力源。在控制器的控制下实现轴压、围压、孔隙压力、驱替压力的加压、稳压、卸压。

计算机采集控制系统(控制器 8), 包括计算机、电桥、控制箱(压力模块、电阻、温度、恒温箱、泵的控制电路板)和专用控制软件, 控制双柱塞泵⑦、电磁阀、气动阀和恒温箱 10, 实时记录和监测温度、压力、电阻率等参数, 当检测条件变化时进行调整和补偿, 完成数据的实时记录, 同时进行人机交互的数据分析和绘图。

出端截止阀 9: 由高压截止阀、不锈钢管线和废液缸组成, 实现开放系统或封闭系统的突破压力测量。

恒温箱 10, 包括加热管、保温层、温控系统、控制面板和夹持器绝缘系统等组成, 采用热风循环, 阶梯式加温。最高温度 250℃。为模拟地层温度提供长时间稳定的温度环境。

本申请实施例由于采取以上技术方案, 具有以下特点:

1)明确了突破压力的定义：就是测量油、气在渗流状态下的最小驱动压力。

2)本申请实施例利用油气进入含水岩样过程中存在渗流和扩散等流动特性，通过监测岩样进、出端的压力变化确定油、气的突破压力。避免了泊肃叶法只能测量气体突破压力的局限，“在水平圆管中作层流运动”的泊肃叶公式假设其测量精度远大于实际流动特性的测量精度。

3)由于岩石是粘弹介质，所以不同的测量条件下获得的突破压力不同。能在模拟地层温度、上覆地层压力、侧向压力和孔隙压力下测量油、气运移的突破压力，使测量值更符合地层实际情况。

4)测量过程可控、结果直观、可靠。

5)观察到油气启动和运移过程中压力的微小变化，用实验方法证实了启动压力高于运移压力的理论假设。

6)测量时间与岩样渗透率和长度有关。

本申请实施例中还提供了一种测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制器的实施例所述。由于该控制器解决问题的原理与测量致密岩样中油、气突破压力的装置相似，因此该控制器的实施可以参见测量致密岩样中油、气突破压力的装置的实施，重复之处不再赘述。

图 4 为本申请实施例中用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制器的结构示意图，如图 4 所示，该控制器包括：

压力控制单元 01，用于在控制恒温箱 10 模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块 4 发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵 7 完成模拟地层条件下的各种压力操作；

驱替控制单元 02，用于控制装有饱和水的活塞式中间容器 5 及装有油或气的活塞式中间容器 6 依次工作；

突破压力确定单元 03，用于采集进端腔 2 的进端压力和出端腔 3 的出端压力，将进端腔 2 及出端腔 3 的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

在一个实施例中，用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置还包括：出端截止阀 9，与出端腔 3 的第二端连接；在孔隙压力下测量突破压力、出端是封闭系统时：

驱替控制单元具体用于：

控制关闭出端截止阀 9，开启进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器 5 中的地层水通过进端腔 2 注入到致密岩样中，在出端腔 3 中

的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 连通的阀，开启进端腔 2 中与装有油或气的活塞式中间容器 6 连通的阀；

突破压力确定单元具体用于：

实时监测进端腔 2 的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；

5 实时出端腔监测 3 的压力上升曲线，用切线法确定上升曲线的拐点压力，作为出端压力；

在进端腔 2 及出端腔 3 的压力都趋于稳定后，将进端压力与出端压力的差值作为油、气的突破压力。

在一个实施例中，用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置还包括：出端截止阀 9，与出端腔 3 的第二端连接；在有效压力下测量突破压力、出端是开放系统时：

10 驱替控制单元具体用于：

控制开启出端截止阀 9，开启进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器 5 中的地层水通过进端腔 2 注入到致密岩样中，在出端腔 3 中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔 2 中与装有饱和水的活塞式中间容器 5 连通的阀，开启进端腔 2 中与装有油或气的活塞式中间容器 6 连通的阀；

15 突破压力确定单元具体用于：

实时监测进端腔 2 的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；其中，进端压力为致密岩样中油、气突破压力。

在一个实施例中，进端腔 2 为体积可变的进端腔，包括：阀体体积、管线体积、绝缘短节体积、传感器体积和稳压室体积，稳压室体积根据致密岩样的孔隙体积调整，使得进端腔 20 的体积大于或等于岩样孔隙体积与出端腔的体积之和。

本申请实施例中还提供了一种测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法，如下面的实施例所述。由于该方法解决问题的原理与测量致密岩样中油、气突破压力的装置相似，因此该方法的实施可以参见测量致密岩样中油、气突破压力的装置的实施，重复之处不再赘述。

25 图 5 为本申请实施例中用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法的流程示意图，如图 5 所示，该控制方法包括如下步骤：

步骤 101：在控制恒温箱模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵完成模拟地层条件下的各种压力操作；

步骤 102：控制装有饱和水的活塞式中间容器及装有油或气的活塞式中间容器依次工作；

30 步骤 103：采集进端腔的进端压力和出端腔的出端压力，将进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

在一个实施例中，用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置还包括：出端截止阀，与出端腔的第二端连接；在孔隙压力下测量突破压力、出端是封闭系统时：

控制装有饱和水的活塞式中间容器及装有油或气的活塞式中间容器依次工作，包括：

5 控制关闭出端截止阀，开启进端腔中与装有饱和水的活塞式中间容器连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器中的地层水通过进端腔注入到致密岩样中，在出端腔中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔中与装有饱和水的活塞式中间容器连通的阀，开启进端腔中与装有油或气的活塞式中间容器连通的阀；

采集进端腔的进端压力和出端腔的出端压力，将进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力，包括：

10 实时监测进端腔的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；
实时出端腔监测的压力上升曲线，用切线法确定上升曲线的拐点压力，作为出端压力；
在进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后，将进端压力与出端压力的差值作为油、气的突破压力。

15 在一个实施例中，用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置还包括：出端截止阀，与出端腔的第二端连接；在有效压力下测量突破压力、出端是开放系统时：

控制装有饱和水的活塞式中间容器及装有油或气的活塞式中间容器依次工作，包括：

控制开启出端截止阀，开启进端腔中与装有饱和水的活塞式中间容器连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器中的地层水通过进端腔注入到致密岩样中，在出端腔中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔中与装有饱和水的活塞式中间容器连通的阀，
20 开启进端腔中与装有油或气的活塞式中间容器连通的阀；

采集进端腔的进端压力和出端腔的出端压力，将进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力，包括：

实时监测进端腔的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；其中，进端压力为致密岩样中油、气突破压力。

25 在一个实施例中，进端腔 2 为体积可变的进端腔，包括：阀体体积、管线体积、绝缘短节体积、传感器体积和稳压室体积，稳压室体积根据致密岩样的孔隙体积调整，使得进端腔的体积大于或等于岩样孔隙体积与出端腔的体积之和。

本申请实施例还提供一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现上述用压降法测量致密岩
30 样中油、气突破压力的装置的控制方法。

本申请实施例还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机

程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法。

本申请实施例还提供一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现上述用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法。

本申请实施例中，用压降法测量致密岩样中油、气突破压力的方案中，装置包括：模拟地层温度的恒温箱；岩样夹持器，设置在恒温箱中，用于夹持致密岩样；进端腔，一端与岩样夹持器的第一端连通；出端腔，一端与岩样夹持器的第二端连通；装有饱和水的活塞式中间容器，一端与进端腔的第二端连通；装有油或气的活塞式中间容器，一端与进端腔的第三端连通；泵，用于给致密岩样提供模拟地层条件下的各种压力；压力换向控制模块，与泵连接，用于在控制器的控制下控制泵完成模拟地层条件下的各种压力操作；控制器，与恒温箱、进端腔、出端腔、压力换向控制模块、装有饱和水的活塞式中间容器和装有油或气的活塞式中间容器连接，用于在控制恒温箱模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵完成模拟地层条件下的各种压力操作，控制装有饱和水的活塞式中间容器及装有油或气的活塞式中间容器依次工作，采集进端腔的进端压力和出端腔的出端压力，将进端腔及出端腔的压力都趋于稳定后进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力，该方案可以用压降法测量精确地测量致密岩样中油、气突破压力。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制

造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

5 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

10 以上所述的具体实施例，对本申请的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本申请的具体实施例而已，并不用于限定本申请的保护范围，凡在本申请的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的保护范围之内。

权利要求书

1. 一种测量致密岩样中油、气突破压力的装置，其特征在于，包括：

模拟地层温度的恒温箱（10）；

岩样夹持器（1），设置在所述恒温箱（10）中，用于夹持致密岩样；

5 进端腔（2），第一端与岩样夹持器（1）的第一端连通；

出端腔（3），第一端与岩样夹持器（1）的第二端连通；

装有饱和水的活塞式中间容器（5），第一端与进端腔（2）的第二端连通；

装有油或气的活塞式中间容器（6），第一端与进端腔（2）的第三端连通；

泵（7），用于给所述致密岩样提供模拟地层条件下的各种压力；

10 压力换向控制模块（4），与所述泵（7）连接，用于在控制器（8）的控制下控制泵（7）完成模拟地层条件下的各种压力操作；

控制器（8），与所述恒温箱（10）、进端腔（2）、出端腔（3）、压力换向控制模块（4）、装有饱和水的活塞式中间容器（5）和装有油或气的活塞式中间容器（6）连接，用于在控制恒温箱（10）模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块（4）发送各种压力控制指令，使得
15 压力换向控制模块控制泵（7）完成模拟地层条件下的各种压力操作，控制装有饱和水的活塞式中间容器（5）及装有油或气的活塞式中间容器（6）依次工作，采集进端腔（2）的进端压力和出端腔（3）的出端压力，将进端腔（2）及出端腔（3）的压力都趋于稳定后所述进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

2. 如权利要求1所述的测量致密岩样中油、气突破压力的装置，其特征在于，还包括：

20 出端截止阀（9），与所述出端腔（3）的第二端连接；在孔隙压力下测量突破压力、出端是封闭系统时，所述控制器（8）具体用于：

控制关闭出端截止阀（9），开启进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器（5）中的地层水通过进端腔（2）注入到致密岩样中，在出端腔（3）中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔（2）中与装
25 有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，开启进端腔（2）中与装有油或气的活塞式中间容器（6）连通的阀；

实时监测进端腔（2）的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；

实时出端腔监测（3）的压力上升曲线，用切线法确定上升曲线的拐点压力，作为出端压
30 力；

在进端腔（2）及出端腔（3）的压力都趋于稳定后，将进端压力与出端压力的差值作为油、气的突破压力。

3. 如权利要求 1 所述的测量致密岩样中油、气突破压力的装置，其特征在于，还包括：出端截止阀（9），与所述出端腔（3）的第二端连接；在有效压力下测量突破压力、出端是开放系统时，所述控制器（8）具体用于：

控制开启出端截止阀（9），开启进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器（5）中的地层水通过进端腔（2）注入到致密岩样中，在出端腔（3）中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，开启进端腔（2）中与装有油或气的活塞式中间容器（6）连通的阀；

实时监测进端腔（2）的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；其中，进端压力为致密岩样中油、气突破压力。

4. 如权利要求 1 所述的测量致密岩样中油、气突破压力的装置，其特征在于，进端腔（2）为体积可变的进端腔，包括：阀体体积、管线体积、绝缘短节体积、传感器体积和稳压室体积，稳压室体积根据致密岩样的孔隙体积调整，使得进端腔的体积大于或等于岩样孔隙体积与出端腔的体积之和。

5. 一种测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制单元，其特征在于，包括：

压力控制单元，用于在控制恒温箱（10）模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块（4）发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵（7）完成模拟地层条件下的各种压力操作；

驱替控制单元，用于控制装有饱和水的活塞式中间容器（5）及装有油或气的活塞式中间容器（6）依次工作；

突破压力确定单元，用于采集进端腔（2）的进端压力和出端腔（3）的出端压力，将进端腔（2）及出端腔（3）的压力都趋于稳定后所述进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

6. 如权利要求 5 所述的控制器，其特征在于，所述的测量致密岩样中油、气突破压力的装置还包括：出端截止阀（9），与所述出端腔（3）的第二端连接；在孔隙压力下测量突破压力、出端是封闭系统时：

所述驱替控制单元具体用于：

控制关闭出端截止阀（9），开启进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器（5）中的地层水通过进端腔（2）注入到致密岩样中，

在出端腔（3）中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，开启进端腔（2）中与装有油或气的活塞式中间容器（6）连通的阀；

所述突破压力确定单元具体用于：

5 实时监测进端腔（2）的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；

实时出端腔监测（3）的压力上升曲线，用切线法确定上升曲线的拐点压力，作为出端压力；

10 在进端腔（2）及出端腔（3）的压力都趋于稳定后，将进端压力与出端压力的差值作为油、气的突破压力。

7. 如权利要求5所述的控制器，其特征在于，所述的测量致密岩样中油、气突破压力的装置还包括：出端截止阀（9），与所述出端腔（3）的第二端连接；在有效压力下测量突破压力、出端是开放系统时：

所述驱替控制单元具体用于：

15 控制开启出端截止阀（9），开启进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器（5）中的地层水通过进端腔（2）注入到致密岩样中，在出端腔（3）中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，开启进端腔（2）中与装有油或气的活塞式中间容器（6）连通的阀；

20 所述突破压力确定单元具体用于：

实时监测进端腔（2）的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；其中，进端压力为致密岩样中油、气突破压力。

25 8. 如权利要求5所述的控制器，其特征在于，进端腔（2）为体积可变的进端腔，包括：阀体体积、管线体积、绝缘短节体积、传感器体积和稳压室体积，稳压室体积根据致密岩样的孔隙体积调整，使得进端腔的体积大于或等于岩样孔隙体积与出端腔的体积之和。

9. 一种测量致密岩样中油、气突破压力的装置的控制方法，其特征在于，包括：

在控制恒温箱（10）模拟地层温度条件下，给压力换向控制模块（4）发送各种压力控制指令，使得压力换向控制模块控制泵（7）完成模拟地层条件下的各种压力操作；

控制装有饱和水的活塞式中间容器（5）及装有油或气的活塞式中间容器（6）依次工作；

30 采集进端腔（2）的进端压力和出端腔（3）的出端压力，将进端腔（2）及出端腔（3）的压力都趋于稳定后所述进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力。

10. 如权利要求 9 所述的控制方法，其特征在于，所述的测量致密岩样中油、气突破压力的装置还包括：出端截止阀（9），与所述出端腔（3）的第二端连接；在孔隙压力下测量突破压力、出端是封闭系统时：

控制装有饱和水的活塞式中间容器（5）及装有油或气的活塞式中间容器（6）依次工作，
5 包括：

控制关闭出端截止阀（9），开启进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器（5）中的地层水通过进端腔（2）注入到致密岩样中，在出端腔（3）中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，开启进端腔（2）中与装有油或气的活塞式中间
10 容器（6）连通的阀；

采集进端腔（2）的进端压力和出端腔（3）的出端压力，将进端腔（2）及出端腔（3）的压力都趋于稳定后所述进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力，
包括：

实时监测进端腔（2）的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压
15 力；

实时出端腔监测（3）的压力上升曲线，用切线法确定上升曲线的拐点压力，作为出端压力；

在进端腔（2）及出端腔（3）的压力都趋于稳定后，将进端压力与出端压力的差值作为油、气的突破压力。

20 11. 如权利要求 9 所述的控制方法，其特征在于，所述的测量致密岩样中油、气突破压力的装置还包括：出端截止阀（9），与所述出端腔（3）的第二端连接；在有效压力下测量突破压力、出端是开放系统时：

控制装有饱和水的活塞式中间容器（5）及装有油或气的活塞式中间容器（6）依次工作，
包括：

25 控制开启出端截止阀（9），开启进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，装有饱和水的活塞式中间容器（5）中的地层水通过进端腔（2）注入到致密岩样中，在出端腔（3）中的压力达到设置的压力值建立稳定的孔隙压力后，关闭进端腔（2）中与装有饱和水的活塞式中间容器（5）连通的阀，开启进端腔（2）中与装有油或气的活塞式中间容器（6）连通的阀；

30 采集进端腔（2）的进端压力和出端腔（3）的出端压力，将进端腔（2）及出端腔（3）的压力都趋于稳定后所述进端压力和出端压力之差作为致密岩样中油、气运移的突破压力，

包括：

实时监测进端腔（2）的压力下降曲线，用切线法确定下降曲线的拐点压力，作为进端压力；其中，进端压力为致密岩样中油、气突破压力。

12. 如权利要求 9 所述的控制方法，其特征在于，进端腔（2）为体积可变的进端腔，包括：5 阀体体积、管线体积、绝缘短节体积、传感器体积和稳压室体积，稳压室体积根据致密岩样的孔隙体积调整，使得进端腔的体积大于或等于岩样孔隙体积与出端腔的体积之和。

13. 如权利要求 9 所述的控制方法，其特征在于，还包括：根据 $V_{in} \times P_{in} = (V_{in} + V_p + V_{out}) \times P_{out} + n \times P_w$ 确定进端腔（2）的体积；其中： V_{in} 为进端腔的体积， P_{in} 为进端压力， V_p 为岩10 样孔隙体积， V_{out} 为出端腔的体积， P_{out} 为出端压力， P_w 为驱替压力， n 为与注入流体粘度有关的经验系数。

14. 一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 9 至 13 任一所述方法。

15. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 9 至 13 任一所述方法。

16. 一种计算机程序产品，其特征在于，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 9 至 13 任一所述方法。

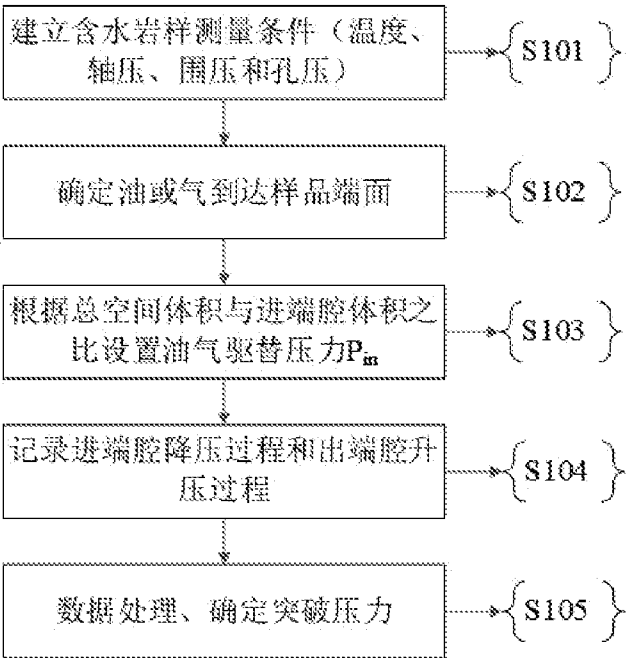


图 1

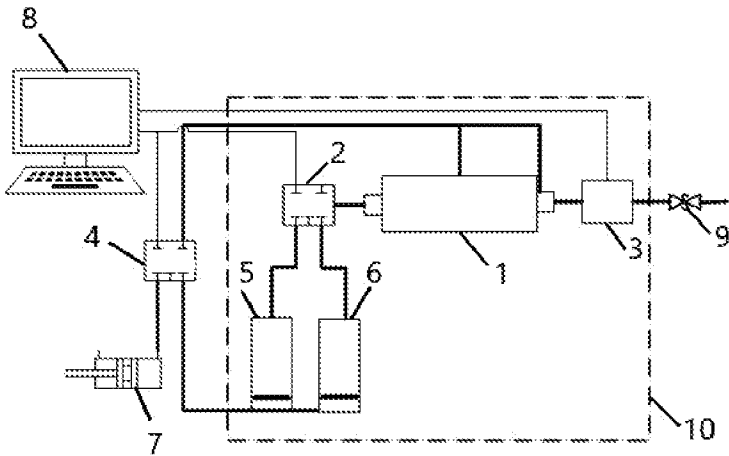


图 2

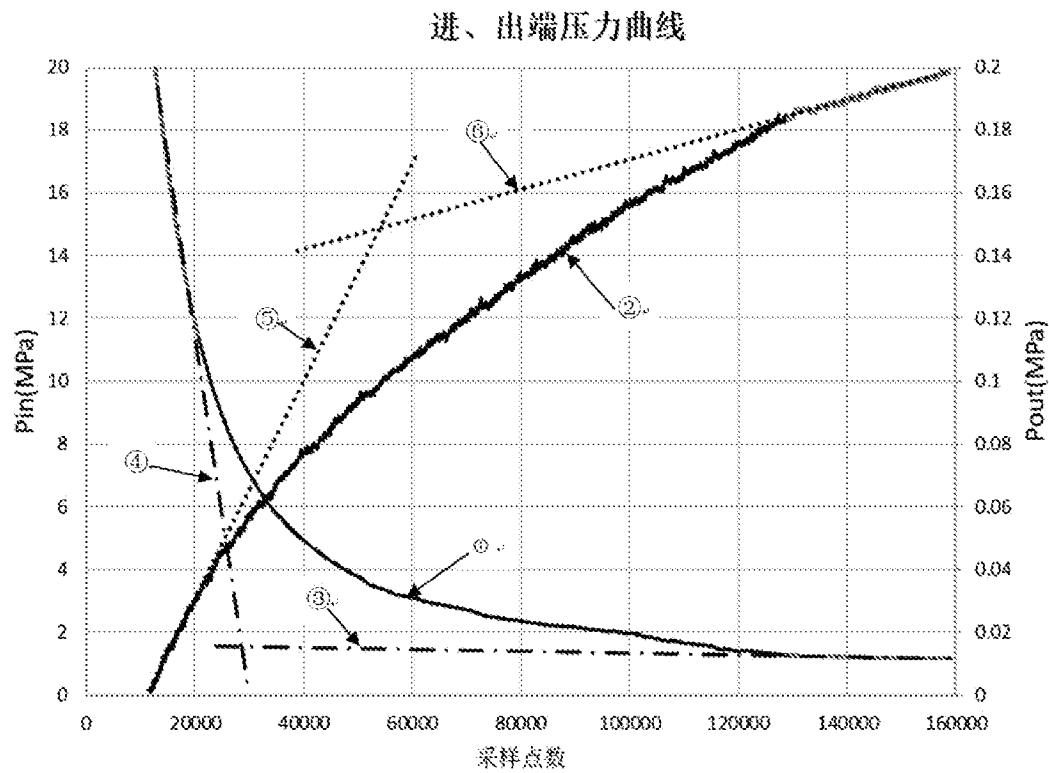


图 3

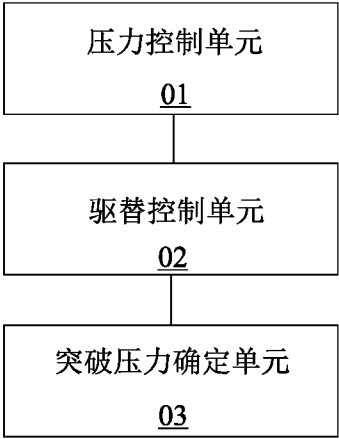


图 4

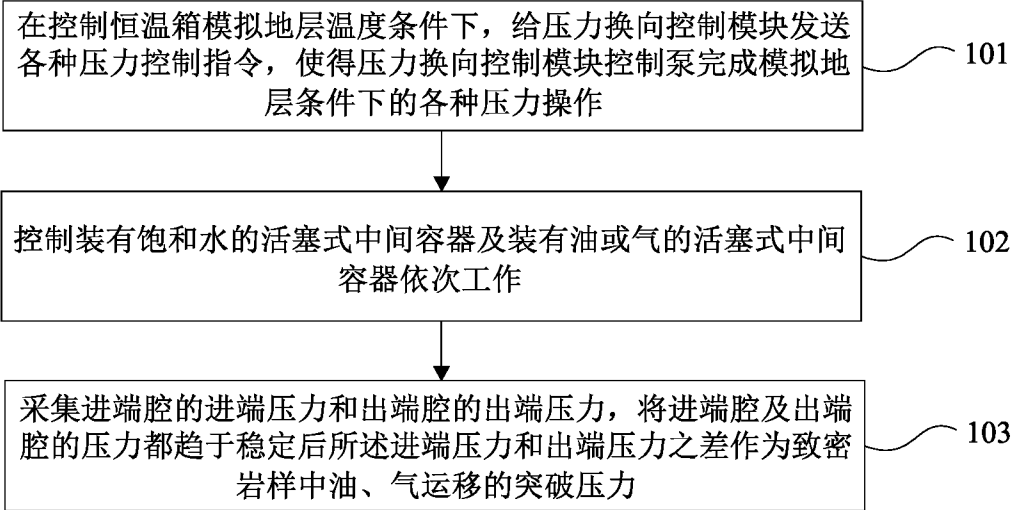


图 5

进端腔体
体积00

=

阀体体积
01

+

从截止阀到探头端面的所有
管线体积（含绝缘短节）
02

+

传感器
体积
03

+

稳压室
体积
04

图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142844

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N15/08(2006.01)i; G01N3/12(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:G01N15, G01N3

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, DWPI, ENTXT, ENTXTC, VEN, WPABS, WPABSC, CJFD: 岩心, 突破压力, 驱替, rock, core, breakthrough pressure, displac+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 109507241 A (BEIJING KANG PU RUI JI PETROLEUM ENGINEERING TECHNOLOGY CO., LTD.) 22 March 2019 (2019-03-22) description, paragraphs 11-54, and figures 1-2	1-4
Y	CN 109507241 A (BEIJING KANG PU RUI JI PETROLEUM ENGINEERING TECHNOLOGY CO., LTD.) 22 March 2019 (2019-03-22) description, paragraphs 11-54, and figures 1-2	5-16
Y	CN 115248177 A (INSTITUTE OF ROCK AND SOIL MECHANICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 28 October 2022 (2022-10-28) description, paragraph 59	5-16
Y	CN 112557199 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORP.) 26 March 2021 (2021-03-26) description, paragraphs 24-64, and figures 1-5	1-16
Y	CN 106442044 A (PETROCHINA CO., LTD.; DAQING OILFIELD CO., LTD.) 22 February 2017 (2017-02-22) description, paragraphs 23-71, and figures 1-3	1-16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 March 2024

Date of mailing of the international search report

26 March 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142844**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 112082945 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORP.) 15 December 2020 (2020-12-15) entire document	1-16
A	US 2019234856 A1 (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 01 August 2019 (2019-08-01) entire document	1-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/142844

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109507241	A	22 March 2019	None			
CN	115248177	A	28 October 2022	None			
CN	112557199	A	26 March 2021	None			
CN	106442044	A	22 February 2017	None			
CN	112082945	A	15 December 2020	None			
US	2019234856	A1	01 August 2019	US	10801942	B2	13 October 2020
				WO	2019033472	A1	21 February 2019

A. 主题的分类

G01N15/08(2006.01)i; G01N3/12(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC:G01N15, G01N3

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTEXT, DWPI, ENTXT, ENTXTC, VEN, WPABS, WPABSC, CJFD: 岩心, 突破压力, 驱替, rock, core, breakthrough pressure, displac+

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 109507241 A (北京康普瑞基石油工程技术有限公司) 2019年3月22日 (2019 - 03 - 22) 说明书第11-54段,附图1-2	1-4
Y	CN 109507241 A (北京康普瑞基石油工程技术有限公司) 2019年3月22日 (2019 - 03 - 22) 说明书第11-54段,附图1-2	5-16
Y	CN 115248177 A (中国科学院武汉岩土力学研究所) 2022年10月28日 (2022 - 10 - 28) 说明书第59段	5-16
Y	CN 112557199 A (中国石油天然气股份有限公司) 2021年3月26日 (2021 - 03 - 26) 说明书第24-64段,附图1-5	1-16
Y	CN 106442044 A (中国石油天然气股份有限公司 大庆油田有限责任公司) 2017年2月22日 (2017 - 02 - 22) 说明书第23-71段,附图1-3	1-16
A	CN 112082945 A (中国石油天然气股份有限公司) 2020年12月15日 (2020 - 12 - 15) 全文	1-16
A	US 2019234856 A1 (UNIV SOUTHWEST PETROLEUM) 2019年8月1日 (2019 - 08 - 01) 全文	1-16

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“p” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年3月25日

国际检索报告邮寄日期

2024年3月26日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

戴瑞烜

电话号码 (+86) 010-62089968

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/142844

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	109507241	A	2019年3月22日	无			
CN	115248177	A	2022年10月28日	无			
CN	112557199	A	2021年3月26日	无			
CN	106442044	A	2017年2月22日	无			
CN	112082945	A	2020年12月15日	无			
US	2019234856	A1	2019年8月1日	US	10801942	B2	2020年10月13日
				WO	2019033472	A1	2019年2月21日