

(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
2017 年 8 月 3 日 (03.08.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/128479 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 15/08 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/074814
- (22) 国际申请日: 2016 年 2 月 29 日 (29.02.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610050808.X 2016 年 1 月 25 日 (25.01.2016) CN
- (71) 申请人: 中国矿业大学 (CHINA UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省徐州市大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。
- (72) 发明人: 杨圣奇 (YANG, Shengqi); 中国江苏省徐州市大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。 徐鹏 (XU, Peng); 中国江苏省徐州市大学路 1 号, Jiangsu 221116 (CN)。
- (74) 代理人: 南京瑞弘专利商标事务所 (普通合伙) (NANJING RUIHONG PATENT & TRADEMARK OFFICE (ORDINARY PARTNERSHIP)); 中国江苏省南京市太平门街 1 号 304 室, Jiangsu 210016 (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, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)。
- 根据细则 4.17 的声明:
— 发明人资格(细则 4.17(iv))
- 本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: FULLY-AUTOMATED SYSTEM FOR TESTING GAS PERMEABILITY OF ROCK AND ESTIMATION METHOD

(54) 发明名称: 岩石全自动气体渗透率测试系统及测算方法

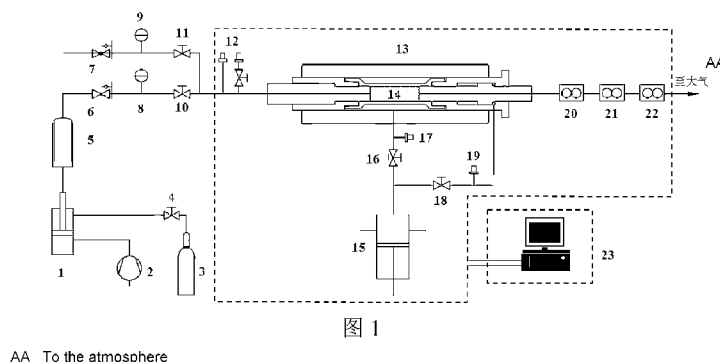


图 1

(57) Abstract: The present invention relates to a system and method for testing the gas permeability of rock, and disclosed are a fully-automated system for testing the gas permeability of rock and an estimation method. A rock core (14) to be tested is placed within a triaxial rock core clamping device (13). A confining pressure is applied in a radial direction of the rock core (14) to be tested by using a confining pressure application system, an axial pressure is applied in an axial direction of the rock core (14) to be tested by using the confining pressure application system, a gas permeation pressure is applied at the left end of the rock core to be tested by using a permeation gas pressurization system (1), and the right end of the rock core (14) to be tested communicates with the atmosphere via a high/middle/low outlet gas flowmeter. The permeability of the rock core to be tested is obtained through data acquisition and automatic calculation by processing software. In this way, a confining pressure, an axial pressure, and a gas permeation pressure of a rock sample can be independently adjusted. By means of the test system, a stable value of gas permeability of a high-, medium-, or low-permeability rock sample can be automatically calculated and stored. The fully-automated system for testing gas permeability of rock and the estimation method of the present invention enable accurate and reasonable analysis of the influence patterns of a confining pressure, an axial pressure, and a permeation pressure on the permeability of rock.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2017/128479 A1

一种岩石全自动气体渗透率测试系统及测算方法，属于岩石气体渗透率测试系统及方法。三轴岩心夹持装置(13)内放置有待测岩心(14)，所述待测岩心(14)的环向通过围压加载系统加载有围压，所述待测岩心(14)的轴向通过围压加载系统加载有轴压，所述待测岩心的左端通过渗流气体增压系统(1)加载有气体渗流压，所述待测岩心(14)的右端通过高/中/低出口气体流量计与大气连通，所述待测岩心渗透率通过数据采集、处理软件自动计算得出。能够独立调节岩样围压、轴压及气体渗流压力，采用该测试系统，能自动计算并储存高、中、低渗岩样气体渗透率稳定值。该岩石全自动气体渗透率测试系统及测算方法能精确合理分析围压、轴压及渗流压力对岩渗透率的影响规律。

说明书

岩石全自动气体渗透率测试系统及测算方法

技术领域

本发明有涉及一种岩石气体渗透率测试系统及方法，特别是一种岩石全自动气体渗透率测试系统及测算方法。

背景技术

渗透率表征了岩石空隙内流体的流动能力，是储层岩石的一个重要物性参数。

目前常规的岩石渗透率测试方法有液体测量法和气体测量法，两种方法都是基于Darcy定律。但气体测量法与液体测量法相比，动力粘度系数更小，相同条件下气体渗透率测试时间更短，因此多采用惰性气体作为岩石渗透率测试介质。

常用的渗透率测试方法主要为稳态法和压力脉冲法。压力脉冲法对压力表精度要求较高，测试时间长，而对于中高渗岩样来说，采用稳态法测试岩石渗透率时间较短，因此稳态法广泛用于石油工业渗透率测试。

致密岩石由于其结构致密，较低渗透压力作用下导致流体流动速率小，使得通过岩样的流量过小，普通岩石气体渗透率测试系统无法准确计量和测定气体流量，进而难以准确测得渗透率。另一方面，已有的岩石气体渗透率测试装置自动化程度较低，多靠人为读取压力表及流量计数据进而计算得到岩石渗透率，在耗费大量人力物力的同时，也影响了试验结果的客观性。此外，现有岩石气体渗透率测试装置不能提供三轴压缩应力，无法全面探究轴压、围压、静水压力及渗透压力对岩石渗透率的影响规律，这些都大大制约了稳态法在致密岩石介质渗流规律研究中的应用。

发明内容

发明目的，本发明的目的是要提供一种岩石全自动气体渗透率测试系统及测算方法，解决现有技术的测量压力范围小，试验周期长，测试精度差，测量结果客观性较低的问题。

技术方案，本发明的目的是这样实现的，岩石全自动气体渗透率测试系统包括：渗流气体增压系统、三轴岩心夹持装置、恒速恒压泵加压装置、高/中/低出口气体流量计及数据采集处理系统；

空压机与渗流气体增压系统连接，氮气瓶通过控制阀与渗流气体增压系统连接，渗流气体增压系统的输出通过缓冲容器同时与低压减压阀或高压减压阀连接，渗流气体增压系统、空压机，氮气瓶通过控制阀输出氮气，加压后的氮气稳压存入缓冲容器中，通过低压减压阀或高压减压阀调整至设定值；

低压减压阀和高压减压阀分别与第一连通阀和第二连通阀连接，在低压减压阀、高压减压阀和第一连通阀、第二连通阀之间连接有第一气体压力表与第二气体压力表，第一连通阀、第二连通阀输出端与三轴岩心夹持装置连接，在第一连通阀、第二连通阀和三轴岩心夹持装置之间连接有第一压力传感器，第一气体压力表与第二气体压力表实时显示压力值，通过开关或闭合连通阀与将气体压力输送至三轴岩心夹持装置内，输入的渗透气体压

说明书

力由第一压力传感器实时传入数据采集处理系统；

三轴岩心夹持装置内放置有待测岩心；

恒速恒压泵能提供稳定的流体压力，恒速恒压泵通过围压阀与三轴岩心夹持装置相连通，在围压阀与三轴岩心夹持装置之间连接有第二压力传感器，恒速恒压泵为待测岩心施加围压，围压由第二压力传感器实时传入数据采集处理系统；

恒速恒压泵通过轴压阀与三轴岩心夹持装置相连通，在轴压阀与三轴岩心夹持装置之间连接有第三压力传感器；恒速恒压泵为待测岩心施加轴压，轴压由第三压力传感器实时传入数据采集处理系统；

三轴岩心夹持装置出口端通过第一气体流量计、第二气体流量计和第三气体流量计与大气相连通，三个气体流量计的量程不同，同时，三个气体流量计与数据采集、处理系统相连通；数据采集处理系统综合处理并储存岩心气体渗透压力、围压、轴压及出口气体流量。

所述的三轴岩心夹持装置内放置有待测岩心，待测岩心的环向通过围压加载系统加载有围压，待测岩心的轴向通过围压加载系统加载有轴压，待测岩心的左端通过渗流气体增压系统加载有气体渗流压，待测岩心的右端通过高/中/低出口气体流量计与大气连通，待测岩心渗透率通过数据采集、处理软件自动计算得出。

进一步完善上述技术方案，所述渗流气体增压系统包括：空压机、气源瓶、缓冲容器及气压调节装置，所述气源瓶提供惰性渗透气体，渗透气体通过所述空压机增压，岩心气体渗透压通过所述气压调节装置调整至设定值，气体增压系统通过气压调节装置与三轴岩心夹持装置的入口端相连，气体增压系统为三轴岩心夹持装置提供稳定渗透气压，气体增压系统最大气体输出压力为 48MPa。

进一步完善上述技术方案，所述三轴岩心夹持装置内放有待测岩心，所述待测岩心大小满足国际岩石力学试验标准，三轴岩心夹持装置通过气体增压系统为待测岩心施加渗透气压，三轴岩心夹持装置通过恒速恒压泵加压系统为待测岩心施加恒定围压及轴压。

进一步完善上述技术方案，所述的恒速恒压泵通过围压阀为三轴岩心夹持装置提供稳定围压，进而为待测岩心施加恒定围压，恒速恒压泵通过轴压阀为三轴岩心夹持装置提供稳定轴压，进而为待测岩心施加恒定轴压；的恒速恒压泵加压系统压力输出范围为 0~60MPa，亦即待测岩心所受轴压及围压范围为 0~60MPa。

进一步完善上述技术方案，所述高/中/低出口气体流量计及数据采集处理系统，包括 5sccm、100sccm 和 3000sccm 三个不同测量精度气体流量计，能够同时满足低渗及高渗透率岩心渗透率测试要求；所述数据采集处理系统，采用 window 下 VB 自主编程开发，可实时采集测试并存储围压、轴压、测试气体渗流压力、气体流量值，并采用内置算法自动识别气体渗流稳定状态并计算所述测试岩心气体渗透率，同时可以和压力/体积控制器进行数据通信，集中控制围压及轴压。

岩石全自动气体渗透率测算方法，包括如下步骤：

(1) 选取天然岩石，将岩心加工为符合国际岩石力学学会试验规程标准尺寸的待测

说明书

岩心，测量并记录试样的直径和高度；

(2) 将岩心用专用橡胶套装好后放入三轴岩心夹持装置内，旋紧三轴岩心夹持装置的气体进出口接触端，装好岩心的三轴岩心夹持装置密封性较好，气体进出口接触端与岩心接触紧密；

(3) 打开岩石全自动气体渗透率测试系统，录入岩心尺寸及试验温度、标准大气压参数，开始岩心气体渗透测试；

(4) 打开围压阀，按照试验方案，通过恒速恒压泵对岩心施加围压至设定值 σ_3 ，随后关闭围压阀，打开轴压阀，通过恒速恒压泵对岩心施加轴压至设定值 σ_1 ，此后，岩心所受轴压及围压均稳定保持在试验设定值；

(5) 在渗透气体无泄漏的条件下，通过气体增压系统将气体压力增大，略超过试验设定最大值，并存储于缓冲容器中；

(6) 根据试验气压范围，选择高压或低压减压阀调节氮气渗透压力；

(7) 点击数据采集处理系统中操作界面上的“开始”按钮，系统自动监测气体出口端气体流量，自动识别岩石渗流稳定状态，并计算得到稳定后岩心气体渗透率后，系统自动保存渗透率测算结果并暂停；

(8) 重复步骤(3)~(7)，分别进行不同应力条件下岩心渗透率测试试验，记录试验结果；

(9) 完成试验后，点击数据采集处理系统中操作界面上的“结束”按钮，并导出试验结果。

有益效果，由于采用了上述方案，该岩石全自动气体渗透率测试系统包括气体增压系统，极大增大了气体渗透压力测试范围，为低渗岩石渗透率稳态法测试提供了基础，结合三个不同测量精度气体流量计，能够同时满足高渗透率岩石、低渗透率岩石及极低渗透率岩石的渗透率测试要求。系统内三轴岩心夹持装置，能同时为待测岩心施加稳定轴压及围压，可以满足岩石在三轴压力条件下渗透率特性研究及测试要求。系统由自主开发数据处理软件集中控制，同时自动识别气体渗流稳定状态并计算所述待测岩心气体渗透率。基于该岩石渗透率测试系统的岩石气体渗透率测算方法，自动化程度高，避免了人为操作带来的主观误差，测试精度高、范围广，克服了以往测量压力范围小，试验周期长，测试精度差，测量结果客观性较低等缺点。

岩石渗透率测算方法基于岩石全自动气体渗透率测试系统，操作简便，计算结果可靠，在每次进行气体渗透率试验时，只需要测量出岩心的基本参数（高度、直径），然后录入测试系统中，设定试验压力，系统便可自动计算并储存岩心气体渗透率。

附图说明

图1为本发明所述岩石全自动气体渗透率测试系统的结构示意图。

图2为本发明实施例红砂岩不同轴向偏应力作用下的气体渗透率图。

图1中，1、渗流气体增压系统；2、空压机；3、氮气瓶；4、控制阀；5、缓冲容器；6、低压减压阀；7、高压减压阀；8、第一气体压力表；9、第二压力表；10、第一连通阀；

说明书

11、第二连通阀；12、第一压力传感器；13、三轴岩心夹持装置；14、待测岩心；15、恒速恒压泵；16、围压阀；17、第二压力传感器；18、轴压阀；19、第三压力传感器；20、第一气体流量计；21、第二气体流量计；22、第三气体流量计；23、数据采集处理系统。

具体实施方式

岩石全自动气体渗透率测试系统包括：渗流气体增压系统、三轴岩心夹持装置、恒速恒压泵加压装置、高/中/低出口气体流量计及数据采集处理系统；

空压机 2 与渗流气体增压系统 1 连接，氮气瓶 3 通过控制阀 4 与渗流气体增压系统 1 连接，渗流气体增压系统 1 的输出通过缓冲容器 5 同时与低压减压阀 6 或高压减压阀 7 连接，渗流气体增压系统 1、空压机 2，氮气瓶 3 通过控制阀 4 输出氮气，加压后的氮气稳压存入缓冲容器 5 中，通过低压减压阀 6 或高压减压阀 7 调整至设定值；

低压减压阀 6 和高压减压阀 7 分别与第一连通阀 10 和第二连通阀 11 连接，在低压减压阀 6、高压减压阀 7 和第一连通阀 10、第二连通阀 11 之间连接有第一气体压力表 8 与第二气体压力表 9，第一连通阀 10、第二连通阀 11 输出端与三轴岩心夹持装置 13 连接，在第一连通阀 10、第二连通阀 11 和三轴岩心夹持装置 13 之间连接有第一压力传感器 12，第一气体压力表 8 与第二气体压力表 9 实时显示压力值，通过开关或闭合连通阀 10 与 11 将气体压力输送至三轴岩心夹持装置 13 内，输入的渗透气体压力由第一压力传感器 12 实时传入数据采集处理系统 23；

三轴岩心夹持装置 13 内放置有待测岩心 14；

恒速恒压泵 15 能提供稳定的流体压力，恒速恒压泵 15 通过围压阀 16 与三轴岩心夹持装置 13 相连通，在围压阀 16 与三轴岩心夹持装置 13 之间连接有第二压力传感器 17，恒速恒压泵 15 为待测岩心 14 施加围压，围压由第二压力传感器 17 实时传入数据采集处理系统 23；

恒速恒压泵 15 通过轴压阀 18 与三轴岩心夹持装置 13 相连通，在轴压阀 18 与三轴岩心夹持装置 13 之间连接有第三压力传感器 19；恒速恒压泵 15 为待测岩心 14 施加轴压，轴压由第三压力传感器 19 实时传入数据采集处理系统 23；

三轴岩心夹持装置 13 出口端通过第一气体流量计 20、第二气体流量计 21 和第三气体流量计 22 与大气相连通，三个气体流量计的量程不同，同时，三个气体流量计与数据采集、处理系统 23 相连通；数据采集、处理系统 23 综合处理并储存岩心气体渗透压力、围压、轴压及出口气体流量。

所述的三轴岩心夹持装置内放置有待测岩心 14，所述待测岩心 14 的环向通过围压加载系统加载有围压，所述待测岩心的轴向通过围压加载系统加载有轴压，所述待测岩心 14 的左端通过渗流气体增压系统加载有气体渗流压，所述待测岩心 14 的右端通过高/中/低出口气体流量计与大气连通，所述待测岩石渗透率通过数据采集、处理软件自动计算得出。

进一步完善上述技术方案，所述渗流气体增压系统包括：空压机、气源瓶、缓冲容器及气压调节装置，所述气源瓶提供惰性渗透气体，渗透气体通过所述空压机增压，岩心气

说明书

体渗透压通过所述气压调节装置调整至设定值,气体增压系统通过气压调节装置与三轴岩心夹持装置的入口端相连,气体增压系统为三轴岩心夹持装置提供稳定渗透气压,气体增压系统最大气体输出压力为 48MPa。

进一步完善上述技术方案,所述三轴岩心夹持装置内放有待测岩心,所述待测岩心大小满足国际岩石力学试验标准,三轴岩心夹持装置通过气体增压系统为待测岩心施加渗透气压,三轴岩心夹持装置通过恒速恒压泵加压系统为待测岩心施加恒定围压及轴压。

进一步完善上述技术方案,所述的恒速恒压泵 15 通过围压阀 16 为三轴岩心夹持装置提供稳定围压,进而为待测岩心施加恒定围压,恒速恒压泵通过轴压阀为三轴岩心夹持装置提供稳定轴压,进而为待测岩心施加恒定轴压;的恒速恒压泵加压系统压力输出范围为 0~60MPa,亦即待测岩心所受轴压及围压范围为 0~60MPa。

进一步完善上述技术方案,所述高/中/低出口气体流量计及数据采集处理系统,包括 5sccm、100sccm 和 3000sccm 三个不同测量精度气体流量计,能够同时满足低渗及高渗透率岩心渗透率测试要求;所述数据采集、处理系统,采用 window 下 VB 自主编程开发,可实时采集测试并存储围压、轴压、测试气体渗流压力、气体流量值,并采用内置算法自动识别气体渗流稳定状态并计算所述待测岩心气体渗透率,同时可以和压力/体积控制器进行数据通信,集中控制围压及轴压。

岩石全自动气体渗透率测算方法,包括如下步骤:

(1) 选取天然岩石,将天然岩石加工为符合国际岩石力学学会试验规程标准尺寸的待测岩心,测量并记录试样的直径和高度;

(2) 将待测岩心用专用橡胶套装好后放入三轴岩心夹持装置内,旋紧三轴岩心夹持装置的气体进出口接触端,装好待测岩心的三轴岩心夹持装置密封性较好,气体进出口接触端与岩心接触紧密;

(3) 打开岩石全自动气体渗透率测试系统,录入待测岩心尺寸及试验温度、标准大气压参数,开始待测岩心气体渗透测试;

(4) 打开围压阀,按照试验方案,通过恒速恒压泵对岩心施加围压至设定值 σ_3 ,随后关闭围压阀,打开轴压阀,通过恒速恒压泵对岩心施加轴压至设定值 σ_1 ,此后,岩心所受轴压及围压均稳定保持在试验设定值;

(5) 在渗透气体无泄漏的条件下,通过气体增压系统将气体压力增大,略超过试验设定最大值,并存储于缓冲容器中;

(6) 根据试验气压范围,选择高压或低压减压阀调节氮气渗透压力;

(7) 点击数据采集处理系统中操作面板上的“开始”按钮,系统自动监测气体出口端气体流量,自动识别岩石渗流稳定状态,并计算得到稳定后岩石气体渗透率后,系统自动保存渗透率测算结果并暂停;

(8) 重复步骤(3)~(7),分别进行不同应力条件下岩石渗透率测试试验,记录试验结果;

(9) 完成试验后,点击数据采集处理系统中操作面板中的“结束”按钮,并导出试

说明书

验结果。

为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，实施例中对附图作简单的介绍，显而易见的，附图仅仅是本发明的一些实施例，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。

下面结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

实施例：如图 1 所示，一种岩石全自动气体渗透率测试系统，包括渗流气体增压系统 1、空压机 2，氮气瓶 3 通过控制阀 4 输出氮气，加压后的氮气稳压存入缓冲容器 5 中，通过低压减压阀 6 或高压减压阀 7 调整至设定值，气体压力表 8 与 9 实时显示压力值，通过开关或闭合连通阀 10 与 11 将气体压力输送至三轴岩心夹持装置 13 内，输入的渗透气体压力由压力传感器 12 实时传入数据采集、处理系统 23；三轴岩心夹持装置 13 内放置有待测岩心 14；恒速恒压泵 15 能提供稳定的流体压力，恒速恒压泵 15 通过围压阀 16 与三轴岩心夹持装置 13 相连通，为待测岩心 14 施加围压，围压由压力传感器 17 实时传入数据采集、处理系统 23，恒速恒压泵 15 通过轴压阀 18 与三轴岩心夹持装置 13 相连通，为待测岩心 14 施加轴压，轴压由压力传感器 19 实时传入数据采集、处理系统 23；三轴岩心夹持装置 13 出口端通过三个不同量程的气体流量计 20、21 和 22 与大气相连通，同时，气体流量计 20、21 及 22 与数据采集、处理系统 23 相连通；数据采集、处理系统 23 综合处理并储存岩心气体渗透压力、围压、轴压及出口气体流量。

利用上述岩石全自动气体渗透率测试系统对红砂岩进行不同偏应力下气体渗透率测量的步骤如下：

(1) 选取完整均一的红砂岩，按照国际岩石力学试验标准将岩样加工为直径为 50mm 长度为 100mm 的圆柱形，将加工后的试样干燥后测量并记录试样的直径和高度；

(2) 将岩样用专用橡胶套装好后放入三轴岩心夹持装置内，旋紧三轴岩心夹持装置的气体进出口接触端，装好岩心的三轴岩心夹持装置密封性较好，气体进出口接触端与岩心接触紧密；

(3) 打开岩石全自动气体渗透率测试系统，录入岩心尺寸及试验温度、标准大气压等参数，开始岩石气体渗透测试；

(4) 打开围压阀，按照试验方案，通过恒速恒压泵对岩心施加围压至设定值 σ_3 ，随后关闭围压阀，打开轴压阀，通过恒速恒压泵对岩心施加轴压至设定值 σ_1 ，此后，岩心所受轴压及围压均稳定保持在试验设定值；

(5) 打开控制阀 4，通过气体增压系统将氮气压力增大至 20MPa，并存储于缓冲容器中；

(6) 根据试验气压范围，合理选择高压或低压减压阀调节氮气渗透压力，本次试验采用 5MPa 的气体渗透压力，因此选用高压减压阀将缓冲容器中的氮气压力调节并稳定至

说明书

5MPa;

(7) 点击数据采集处理系统中操作界面上的“开始”按钮，系统自动监测气体出口端气体流量，自动识别岩心渗流稳定状态，并计算得到稳定后岩心气体渗透率；

(8) 重复步骤(4)~(7)，分别进行静水压力为 25.3MPa，轴向偏应力为 17.69MPa、14.30MPa、10.56MPa、6.04MPa、2.27MPa、-1.78MPa、-5.73MPa、-9.47MPa 和-13.64MPa 条件下红砂岩渗透试验；

(9) 完成试验后，点击数据采集处理系统中操作界面上的“结束”按钮，并导出试验结果；

(10) 导出渗透率计算结果及相应应力状态，即可得到岩石试样在不同应力条件下的渗透率，通过该测算方法得到岩心试样在不同应力状态下的渗透率如表 1 所示。

表 1 红砂岩渗透试验加载方案

加载步	1	2	3	4	5	6	7	8	9
轴压/MPa	43.01	39.59	35.85	31.02	27.39	23.38	19.35	15.47	11.49
围压/MPa	16.48	18.14	20.01	21.96	23.98	26.05	27.94	29.67	31.95
轴向偏压/MPa	17.69	14.30	10.56	6.04	2.27	-1.78	-5.73	-9.47	-13.64
静水压力/MPa	25.32	25.29	25.29	24.98	25.12	25.16	25.08	24.94	25.13
渗透率/ 10^{-7}m^2	1.39	1.37	1.37	1.36	1.33	1.32	1.31	1.31	1.30

如上所述，尽管参照特定的实施例已经表示和表述了本发明，但其不得解释为对本发明自身的限制，在不脱离所附权利要求定义的本发明的精神和范围前提下，可对其在形式上和细节上做出各种变化。

权利要求书

1.一种岩石全自动气体渗透率测试系统，其特征在于，岩石全自动气体渗透率测试系统包括：渗流气体增压系统、三轴岩心夹持装置、恒速恒压泵加压装置、高/中/低出口气体流量计及数据采集处理系统；空压机与渗流气体增压系统连接，氮气瓶通过控制阀与渗流气体增压系统连接，渗流气体增压系统的输出通过缓冲容器同时与低压减压阀或高压减压阀连接；

低压减压阀和高压减压阀分别与第一连通阀和第二连通阀连接，在低压减压阀、高压减压阀和第一连通阀、第二连通阀之间连接有第一气体压力表与第二气体压力表，第一连通阀、第二连通阀输出端与三轴岩心夹持装置连接，在第一连通阀、第二连通阀和三轴岩心夹持装置之间连接有第一压力传感器；

三轴岩心夹持装置内放置有待测岩心；

恒速恒压泵能提供稳定的流体压力，恒速恒压泵通过围压阀与三轴岩心夹持装置相连接，在围压阀与三轴岩心夹持装置之间连接有第二压力传感器；

恒速恒压泵通过轴压阀与三轴岩心夹持装置相连接，在轴压阀与三轴岩心夹持装置之间连接有第三压力传感器；恒速恒压泵为待测岩心施加轴压，轴压由第三压力传感器实时传入数据采集处理系统；

三轴岩心夹持装置出口端通过第一气体流量计、第二气体流量计和第三气体流量计与大气相连接，三个气体流量计与数据采集处理系统相连接；

所述的三轴岩心夹持装置内放置有待测岩心，待测岩心的环向通过围压加载系统加载有围压，待测岩心的轴向通过围压加载系统加载有轴压，待测岩心的左端通过渗流气体增压系统加载有气体渗流压，待测岩心的右端通过高/中/低出口气体流量计与大气连接，待测岩心渗透率通过数据采集、处理软件自动计算得出。

2.一种岩石全自动气体渗透率测算方法，其特征在于，岩石全自动气体渗透率测算方法，包括如下步骤：

(1) 选取天然岩石，将岩石加工为符合国际岩石力学学会试验规程的标准尺寸即待测岩心，测量并记录试样的直径和高度；

(2) 将岩心用专用橡胶套装好后放入三轴岩心夹持装置内，旋紧三轴岩心夹持装置的气体进出口接触端，装好岩心的三轴岩心夹持装置密封性较好，气体进出口接触端与岩心接触紧密；

(3) 打开岩石全自动气体渗透率测试系统，录入岩心尺寸及试验温度、标准大气压参数，开始岩心气体渗透测试；

(4) 打开围压阀，按照试验方案，通过恒速恒压泵对岩心施加围压至设定值 σ_3 ，随后关闭围压阀，打开轴压阀，通过恒速恒压泵对岩心施加轴压至设定值 σ_1 ，此后，岩心所受轴压及围压均稳定保持在试验设定值；

(5) 在渗透气体无泄漏的条件下，通过气体增压系统将气体压力增大，略超过试验设定最大值，并存储于缓冲容器中；

权利要求书

(6) 根据试验气压范围, 选择高压或低压减压阀调节氮气渗透压力;

(7) 点击数据采集处理系统中操作界面中的“开始”按钮, 系统自动监测气体出口端气体流量, 自动识别岩心渗流稳定状态, 并计算得到稳定后岩心气体渗透率后, 系统自动保存渗透率测算结果并暂停;

(8) 重复步骤(3)~(7), 分别进行不同应力条件下岩心渗透率测试试验, 记录试验结果;

(9) 完成试验后, 点击数据采集处理系统中操作界面上的“结束”按钮, 并导出试验结果。

说明书附图

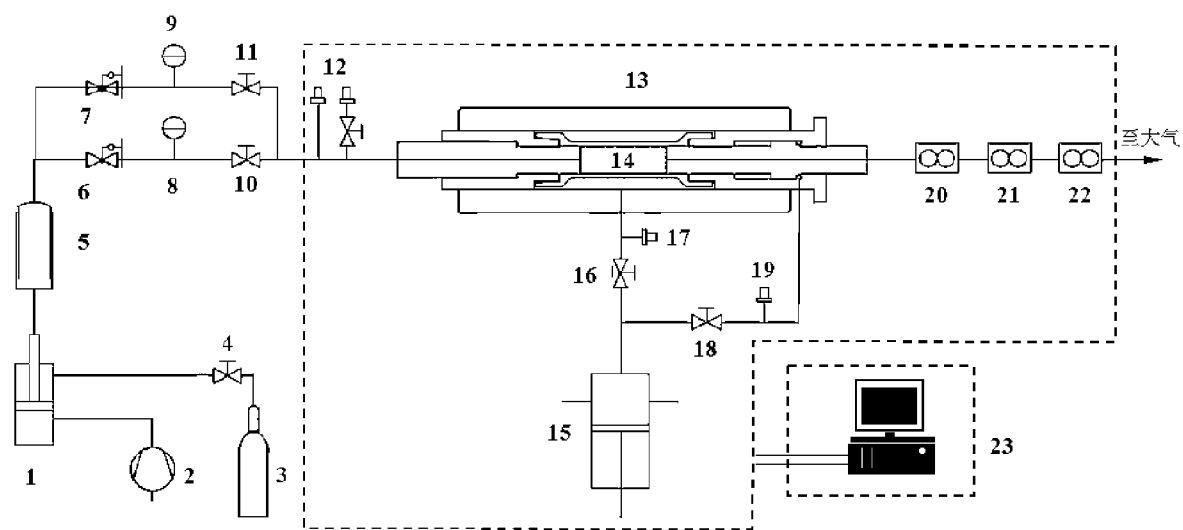


图 1

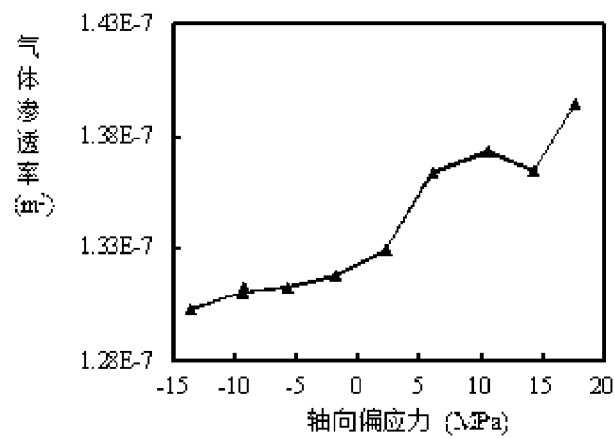


图 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/074814

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 15/08 (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)

G01N

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)

CNABS; CNTXT; VEN; CNKI: rock core, permeability, core, pump, flowmeter, sensor, triaxial, clamp, grip

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 102156087 A (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY), 17 August 2011 (17.08.2011), description, paragraphs [0020]-[0027], and figure 1	1-2
Y	CN 101852714 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING CAMPUS), 06 October 2010 (06.10.2010), description, paragraphs [0047]-[0071], and figure 2	1-2
A	CN 104122181 A (CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION), 29 October 2014 (29.10.2014), the whole document	1-2
A	US 2003/0000287 A1 (TAIWAN SEMICONDUCTOR MFG CO., LTD.), 02 January 2003 (02.01.2003), the whole document	1-2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 21 October 2016 (21.10.2016)	Date of mailing of the international search report 02 November 2016 (02.11.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer DAI, Ruixuan Telephone No.: (86-10) 62084135

International application No.
PCT/CN2016/074814

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2016/074814

A. 主题的分类

G01N 15/08(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)

G01N

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))

CNABS; CNTXT; VEN; CNKI; 渗透率, 岩心, 岩芯, 泵, 流量计, 传感器, 三轴, 夹持, permeability, core, pump, flowmeter, sensor, triaxial, clamp, grip

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
Y	CN 102156087 A (西南石油大学) 2011年 8月 17日 (2011-08-17) 说明书第[0020]至[0027]段, 图1	1-2
Y	CN 101852714 A (国石油大学北京) 2010年 10月 6日 (2010-10-06) 说明书第[0047]至[0071]段, 图2	1-2
A	CN 104122181 A (中国石油天然气集团公司) 2014年 10月 29日 (2014-10-29) 全文	1-2
A	US 2003/0000287 A1 (TAIWAN SEMICONDUCTOR MFG CO LTD) 2003年 1月 2日 (2003-01-02) 全文	1-2

☐ 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

“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

2016年 10月 21日

国际检索报告邮寄日期

2016年 11月 2日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

戴瑞烜

电话号码 (86-10)62084135

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/074814

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	102156087	A	2011年 8月 17日	无	
CN	101852714	A	2010年 10月 6日	无	
CN	104122181	A	2014年 10月 29日	无	
US	2003/0000287	A1	2003年 1月 2日	US 6543275 B2	2003年 4月 8日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)