



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113686750 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 23

(21) 申请号 202110958903.0

(22) 申请日 2021.08.20

(71) 申请人 太原理工大学

地址 030024 山西省太原市万柏林区迎泽西大街79号

(72) 发明人 梁卫国 姚宏波 贺伟 姜玉龙

(74) 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限公司 14101

代理人 申艳玲

(51) Int. Cl.

G01N 15/08 (2006.01)

G01N 13/04 (2006.01)

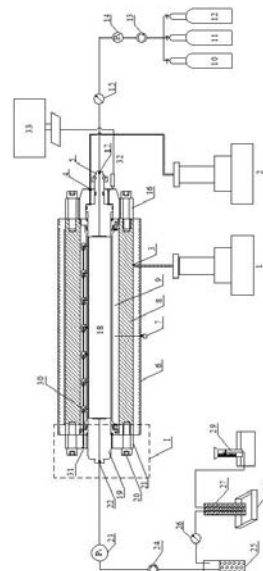
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54) 发明名称

一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置及应用

(57) 摘要

本发明公开了一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置及应用。该装置为一种能够高压封装大尺寸试件，试件尺寸为 $\Phi 100 \times (600 \sim 800\text{mm})$ ，试件轴压与围压可分别达50MPa，试件环境温度达100℃，渗透压可达40MPa；该试验装置包括原位环境模拟装置、流体注入控制装置、相态监测装置、流体分离与收集装置、变形测量与数据采集装置。本发明解决了以往渗透率计算过程中密度、粘度等取线性平均值得问题。同时还可解决注气驱替增产煤层气过程中混合流体浓度及相对渗流规律变化过程未知的问题，对地下数千米深处煤系地层CO₂封存过程中流体压力分布及驱替增产煤层气混合流体的相对渗流规律进行试验研究。



1. 一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,其特征在于包括五大装置:原位环境模拟装置、流体注入控制装置、相变监测装置、流体分离与收集装置、变形测量与数据采集装置;其中,

所述的原位环境模拟装置包括围压加载泵、轴压加载泵、围压注入口、轴压注入口、加热套以及试件腔;所述的原位环境模拟是将试件置于试件腔内,两端设有法兰盘I、II,法兰盘通过螺丝固定,外侧设有固定堵头及活塞式堵头;围压加载泵通过围压注入口与围压腔连通,对试件进行围压加载;轴压加载泵连接活塞式堵头上的轴压注入口,对试件腔内的岩心试件进行轴压加载,包裹在围压腔外壁的加热套对试件进行温度加热控制;

所述的流体注入控制装置主要包括三个气瓶以及依次连接的注入压力调节阀、注入压力传感器、质量流量计I、流体注入口;所述的流体注入控制装置主要由气瓶依次连接注入压力调节阀、注入压力传感器、质量流量计I及活塞式堵头上的流体注入口;

所述的相变监测装置主要包括试件腔壁上的内部压力接口及温度传感器;所述的布置在试件腔壁上的内部压力接口通过管线与外部压力传感器对应连接,对试件内部流体的压力分布进行测量,温度传感器设置在试件腔外壁上。

所述的流体分离与收集装置包括流体出口、出口压力传感器、回压阀、气体干燥器、质量流量计II、气体分离罐、CO₂称量天平、集气瓶;所述的固定堵头上的流体出口依次连接出口压力传感器、回压阀、气体干燥器、质量流量计II、气体分离罐、CO₂称量天平及集气瓶;

所述的变形测量与数据采集装置包括位移传感器、围压加载泵与计算机;所述的位移传感器对岩心试件轴向变形量进行监测,围压加载泵内液体体积变化对径向变形量进行监测,计算机用来采集各种实验数据。

2. 根据权利要求1所述的煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,其特征在于:试件腔内能够高压封装大尺寸试件,试件尺寸直径为 Φ 100mm,长度可调节范围600~800mm,岩心试件轴压与围压可达50MPa,温度达100℃,渗透压可达40MPa,能模拟埋藏深度达2000m的地质环境条件的装置。

3. 根据权利要求1所述的煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,其特征在于:通过布置在试件腔壁上的压力传感器监测CO₂在煤体内的压力分布,围压腔内的温度传感器监测试件的温度。

4. 根据权利要求1所述的煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,其特征在于:通过高精度LVDT位移传感器及围压泵,对不同性质流体渗流过程中的煤体变形特征进行测量。

5. 根据权利要求1所述的煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,其特征在于:通过质量流量计II对出口端流CO₂流量进行准确计量。

6. 一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验方法,采用权利要求1~5任一项所述的煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,其特征在于实施步骤如下:

(1) 将加工好的试件放入试件腔内,通过螺丝固定法兰盘I、II,之后安装固定堵头及活塞式堵头;将围压加载泵通过围压注入口与围压腔连通,轴压加载泵连接活塞式堵头上的轴压注入口,之后安装包裹在围压腔外壁的加热套;之后连接流体注入装置:将CO₂气瓶与He气瓶依次连接注入压力调节阀、注入压力传感器、质量流量计I,之后与活塞式堵头上的流体注入口相连接。之后依次连接固定堵头上的流体出口、出口压力传感器、回压阀、气体干燥器、质量流量计II、气体分离罐、CO₂称量天平、集气瓶;通过围压加载泵、轴压加载泵以

及加热套对试件施加轴压、围压、温度至目标值,打开He气瓶检查装置气密;

(2) 对试件进行抽真空,打开CO₂气瓶,开启流体注入控制装置,通过注入压力调节阀控制试件入口端CO₂压力,通过回压阀调节出口CO₂压力达到实验预设值;

(3) 在CO₂渗流平衡稳定过程中,通过均匀布置在试件腔壁上的7个内部压力接口通过管线连接外部压力传感器对运移过程中不同位置CO₂压力随时间的变化规律,根据Span-Wagner方程计算得到渗流过程中不同区段CO₂密度、浓度值;

(4) 通过入口处的质量流量计I与出口管路上的质量流量计II对气体渗流量及渗流过程中吸附量进行计量;根据质量守恒定律及达西定律计算复合相态CO₂的渗流特性:

$$\rho_1 Q_1 = \rho_0 Q_0 = \bar{\rho} Q \quad (1)$$

$$K = \frac{\mu_{(T,P)} Q_0 L}{(P_1 - P_2) A} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad (2)$$

式中,K为煤样渗透率; $\mu_{(T,P)}$ 为CO₂粘度,P₁为岩心夹持器入口压力,P₂为岩心夹持器出口压力,Q₁为入口CO₂流速,Q₀为出口CO₂流速,Q为CO₂平均流速,L为煤样试件长度,A为试件横截面积, ρ_1 为入口CO₂密度, ρ_0 为出口CO₂密度, $\bar{\rho}$ 为CO₂平均密度;

(5) 通过位移传感器及围压加载泵的流体体积变化对煤体渗流过程中的变形特征进行测量。

7. 一种煤系地层复合相态CO₂驱替CH₄的方法,采用权利要求1~5任一项所述的煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,其特征在于包括以下步骤:

(1) 将加工好的试件放入试件腔内,通过螺丝固定法兰盘I、II,之后安装固定堵头及活塞式堵头;将围压加载泵通过围压注入入口与围压腔连通,轴压加载泵连接活塞式堵头上的轴压注入入口,之后安装包裹在围压腔外壁的加热套;之后连接流体注入装置:将He气瓶与CH₄气瓶依次连接注入压力调节阀、注入压力传感器、质量流量计I,之后与活塞式堵头上的流体注入入口相连接;之后依次连接固定堵头上的流体出口、出口压力传感器、回压阀、气体干燥器、质量流量计II、气体分离罐、CO₂称量天平、集气瓶;通过围压加载泵、轴压加载泵以及加热套对试件施加轴压、围压、温度至目标值,打开He气瓶检查装置气密;

(2) 对试件进行抽真空,打开CH₄气瓶,开启流体注入控制装置,通过注入压力调节阀控制试件入口端CH₄压力达到实验预设CH₄饱和压力值,调节回压阀高于CH₄注入压力,吸附平衡24h,通过入口处的质量流量计I对CH₄吸附量进行计量;

(3) 关闭CH₄气瓶,打开CO₂气瓶,通过注入压力调节阀以恒定的CO₂压力进行注气,通过回压阀调节出口气体压力,实现不同压力条件下CO₂驱替CH₄实验;

(4) 产出混合气体通过气体干燥器去除可能存在的水分,通过气体分离罐将混合气体中的CO₂吸收,同时CO₂称量天平对其质量进行计量,之后通过集气瓶对CH₄的体积进行计量;

(5) 通过LVDT位移传感器及围压加载泵的液体体积变化对煤体驱替过程中的变形特征进行测量。

8. 根据权利要求6或7所述的方法,其特征在于:试件为原煤或型煤。

一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置及应用

技术领域

[0001] 本发明涉及一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置及应用,属于渗流试验装置领域。

背景技术

[0002] 随着工业的发展,能源需求越来越大。虽然世界各国都在大力发展新能源产业,但是化石能源仍然占据着主导地位。而化石能源的过度燃烧使得空气中的CO₂排放量急剧增加,温室效应日益严重,如何降低大气中的CO₂含量实现低碳经济成为了人们日益关注的焦点,同样也是科研人员的重要任务。二氧化碳捕集与封存技术受到越来越多学者的关注,被认为是最有效的降低碳排放的技术。目前全球范围地质封存CO₂潜力巨大。地质封存场所主要分为:废弃油气田、咸水层、深部不可采煤层;而向深部不可采煤层注入CO₂不仅可以实现温室气体的地质封存,同时还可以通过驱替置换增产煤层气,这大大增加了封存的经济性。我国煤层气资源十分丰富,是世界上继俄罗斯、加拿大之后的第三大煤层气储藏国,目前我国煤层气开发集中于浅部储层,而与浅部煤层气储层相比,深部储层具有地应力高、地温高、塑性变形特征明显及渗透性差的基本特点,这些基本特点严重制约着储层的力学特性、渗透性、改造方式与效果,最终影响煤层气资源的高效开采。

[0003] 当埋藏深度超过800m时,煤系地层的温度和压力很容易使CO₂达到超临界状态。CO₂地质封存或压裂过程中,由于煤层深度、运移距离和注入压力等因素,CO₂会产生一系列温度及压力的变化,导致CO₂在运移过程中发生超临界态-亚临界态或亚临界态-超临界态等复杂的相态变化,这种复杂的相态变化对煤岩体的宏观物理力学特性、孔裂隙结构的演化作用机理尚不清楚。但是国内外的室内实验研究都是采用小尺寸试件(Φ 50×100mm),既不能真实的反应煤体中丰富的孔裂隙结构对实验结果的影响,又不能准确的监测深部原位地层中CO₂渗流过程中的相态变化特性。为此需要改进传统的实验装置,建立尺寸较大(Φ 100×800mm)的渗流试验装置。

发明内容

[0004] 本发明目的是提供一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,模拟大埋深煤层的地质条件,克服了现有试验装置试件尺寸小、CO₂流动过程相态变化无法监测等不足,可以对地下数千米深处煤系地层CO₂渗流过程相态变化或驱替增产煤层气过程中混合流体的相对渗流规律进行准确测试的试验装置。本发明还可用于CO₂驱替煤层气过程进行实验研究,对CO₂在驱替增产煤层气过程中不同位置各组分流体的相对浓度与相对渗流规律进行科学研究。

[0005] 本发明提供了一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,该试验装置由五大装置组成:原位环境模拟装置、流体注入控制装置、相变监测装置、流体分离与收集装置、变形测量与数据采集装置;其中,

[0006] 所述的原位环境模拟装置包括围压加载泵、轴压加载泵、围压注入口、轴压注入

口、加热套以及试件腔；所述的原位环境模拟是将试件置于试件腔内，两端安装法兰盘I、II，通过螺丝固定。之后安装固定堵头及活塞式堵头。围压加载泵通过围压注入口与围压腔连通，对试件进行围压加载。轴压加载泵连接活塞式堵头上的轴压注入口，对试件腔内的岩心试件进行轴压加载，包裹在围压腔外壁的加热套对试件进行温度加热控制。

[0007] 所述的流体注入控制装置主要包括三个气瓶以及依次连接的注入压力调节阀、注入压力传感器、质量流量计I、流体注入口；所述的流体注入控制装置主要由气瓶依次连接注入压力调节阀、注入压力传感器、质量流量计I及活塞式堵头上的流体注入口。

[0008] 所述的相变监测装置主要包括试件腔壁上的7个内部压力接口及温度传感器；所述的布置在试件腔壁上的7个内部压力接口通过管线与外部压力传感器对应连接，对试件内部流体的压力分布进行测量。温度传感器设置在试件腔外壁上。

[0009] 所述的流体分离与收集装置包括流体出口、出口压力传感器、回压阀、气体干燥器、质量流量计II、气体分离罐、CO₂称量天平、集气瓶；所述的固定堵头上的流体出口依次连接出口压力传感器、回压阀、气体干燥器、质量流量计II、气体分离罐、CO₂称量天平及集气瓶。

[0010] 所述的变形测量与数据采集装置包括LVDT位移传感器、围压加载泵与计算机；所述的LVDT位移传感器对岩心试件轴向变形量进行监测，围压加载泵内液体体积变化对径向变形量进行监测，计算机用来采集各种实验数据。

[0011] 所述装置能够高压封装大尺寸试件，试件尺寸直径为 $\phi 100\text{mm}$ ，长度可调节范围600~800mm，岩心试件轴压与围压可达50MPa，温度达100℃，渗透压可达40MPa，可模拟埋藏深度达2000m的地质环境条件的装置。

[0012] 上述一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置，试件尺寸为 $\phi 100 \times (600 \sim 800)\text{mm}$ ，克服小尺寸试件内部CO₂渗流过程中相态变化不明显的缺点，同时能更真实的反应煤体中丰富的孔裂隙结构。

[0013] 上述一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置，所采用装置可以对CO₂在煤体中流动过程中的压力分布特征进行实时监测：通过布置在试件腔壁上（煤体轴线方向）的7个压力传感器监测CO₂在煤体内的压力分布，围压腔内的温度传感器监测试件的温度，根据Span-Wagner方程得到CO₂渗流过程中物性参数的变化规律，之后通过微分计算平均值，克服以往计算密度、粘度等取线性平均值的问题。

[0014] 上述一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置，所述变形测量装置通过高精度LVDT位移传感器及围压泵，对不同性质流体渗流过程中的煤体变形特征进行测量，从而揭示吸附性强弱不同的气体对煤体孔裂隙变形的影响。

[0015] 上述一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置，通过质量流量计II(26)对出口端流CO₂流量进行准确计量，根据质量守恒定律及所测的不同位置CO₂压力准确计算煤体不同区段复合相态CO₂的渗透率，揭示复合相态CO₂压力分布与相态及渗透率之间的关系。

[0016] 本发明提供了上述煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验方法，具体实施步骤如下：

[0017] (1) 将加工好的试件（原煤或者型煤）放入试件腔内，通过螺丝固定法兰盘I、II。之后安装固定堵头及活塞式堵头。将围压加载泵通过围压注入口与围压腔连通，轴压加载泵连接活塞式堵头上的轴压注入口，之后安装包裹在围压腔外壁的加热套。之后连接流体注入装置：将CO₂气瓶与He气瓶依次连接注入压力调节阀、注入压力传感器、质量流量计I，之

后与活塞式堵头上的流体注入口相连接。之后依次连接固定堵头上的流体出口、出口压力传感器、回压阀、气体干燥器、质量流量计 II、气体分离罐、CO₂称量天平、集气瓶。通过围压加载泵、轴压加载泵以及加热套对试件施加轴压、围压、温度至目标值，打开He气瓶检查装置气密。

[0018] (2) 对试件进行抽真空，打开CO₂气瓶，开启流体注入控制装置，通过注入压力调节阀控制试件入口端CO₂压力，通过回压阀调节出口CO₂压力达到实验预设值。

[0019] (3) 在CO₂渗流平衡稳定过程中，通过均匀布置在试件腔壁上的7个内部压力接口通过管线连接外部压力传感器对运移过程中不同位置CO₂压力随时间的变化规律，根据Span-Wagner方程计算得到渗流过程中不同区段CO₂密度、浓度值。

[0020] (4) 通过入口处的质量流量计 I 与出口管路上的质量流量计 II 对气体渗流量及渗流过程中吸附量进行计量。根据质量守恒定律及达西定律计算复合相态CO₂的渗流特性：

$$[0021] \quad \rho_1 Q_1 = \rho_0 Q_0 = \bar{\rho} Q \quad (1)$$

$$[0022] \quad K = \frac{\mu_{(T,P)} Q_0 L}{(P_1 - P_2) A} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad (2)$$

[0023] 式中，K为煤样渗透率； $\mu_{(T,P)}$ 为CO₂粘度，P₁为岩心夹持器入口压力，P₂为岩心夹持器出口压力，Q₁为入口CO₂流速，Q₀为出口CO₂流速，Q为CO₂平均流速，L为煤样试件长度，A为试件横截面积， ρ_1 为入口CO₂密度， ρ_0 为出口CO₂密度， $\bar{\rho}$ 为CO₂平均密度。

[0024] (5) 通过LVDT位移传感器及围压加载泵的流体体积变化对煤体渗流过程中的变形特征进行测量。

[0025] 上述煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置还可以进行CO₂驱替CH₄的实验研究，通过压力传感器快速接口可以对试件固定位置气体进行间断时间取样，借助气相色谱仪对所取样品进行相对浓度的检测，从而实现原位条件下CO₂驱替CH₄过程中试件不同位置二元混合流体相对浓度的变化进行取样，借助气相色谱仪对所取样品进行相对浓度的检测，直接准确的测量驱替过程中试件内部流体组分的变化，计算CO₂/CH₄相对渗透率。对驱替工程中注入量、驱替时间、驱替压力等参数提供实验理论支持。

[0026] 本发明提供了上述煤系地层复合相态CO₂驱替CH₄的应用实验，包括以下步骤：

[0027] (1) 将加工好的试件(原煤或者型煤)放入试件腔内，通过螺丝固定法兰盘 I、II。之后安装固定堵头及活塞式堵头。将围压加载泵通过围压注入口与围压腔连通，轴压加载泵连接活塞式堵头上的轴压注入口，之后安装包裹在围压腔外壁的加热套。之后连接流体注入装置：将He气瓶与CH₄气瓶依次连接注入压力调节阀、注入压力传感器、质量流量计 I，之后与活塞式堵头上的流体注入口相连接。之后依次连接固定堵头上的流体出口、出口压力传感器、回压阀、气体干燥器、质量流量计 II、气体分离罐、CO₂称量天平、集气瓶。通过围压加载泵、轴压加载泵以及加热套对试件施加轴压、围压、温度至目标值，打开He气瓶检查装置气密。

[0028] (2) 对试件进行抽真空，打开CH₄气瓶，开启流体注入控制装置，通过注入压力调节阀控制试件入口端CH₄压力达到实验预设CH₄饱和压力值，调节回压阀高于CH₄注入压力，吸附平衡24h，通过入口处的质量流量计 I 对CH₄吸附量进行计量。

[0029] (3) 关闭CH₄气瓶，打开CO₂气瓶，通过注入压力调节阀以恒定的CO₂压力进行注气，

通过回压阀调节出口气体压力,实现不同压力条件下CO₂驱替CH₄实验。

[0030] (4) 产出混合气体通过气体干燥器去除可能存在的水分,通过气体分离罐将混合气体中的CO₂吸收,同时CO₂称量天平对其质量进行计量,之后通过集气瓶对CH₄的体积进行计量。

[0031] (5) 通过LVDT位移传感器及围压加载泵的液体体积变化对煤体驱替过程中的变形特征进行测量。

[0032] 本发明的有益效果:

[0033] 与现有的渗流装置相比,该装置通过布置在试件长度方向上(煤体轴线上)的7个压力传感器揭示CO₂在煤体内渗流的压力衰减特性及相变过程,综合评价CO₂地质封存的效果;本发明是原位渗流装置的重要改进,主要用途为复合相态CO₂渗流过程相变与物性参数变化特性的实验测量,解决了以往渗透率计算过程中密度、粘度等取线性平均值的问题;同时可以对CO₂驱替CH₄过程中试件内部二元混合流体的相对浓度进行更直接准确的实验测量,从而对驱替工程中注入量、驱替时间、驱替压力等参数提供实验理论支持。

附图说明

[0034] 图1为煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置示意图。

[0035] 图中:1、围压加载泵;2、轴压加载泵;3、围压注入口;4、轴压注入口;5、活塞式堵头;6、加热套;7、温度传感器;8、夹持器壁;9、围压腔;10、CO₂气瓶;11、He气瓶;12、CH₄气瓶;13、注入压力调节阀;14、注入压力传感器;15、质量流量计I;16、法兰盘I;17、流体注入口;18、试件腔;19、固定堵头;20、螺丝;21、法兰盘II;22、流体出口;23、出口压力传感器;24、回压阀;25、气体干燥器;26、质量流量计II;27、气体分离罐;28、CO₂称量天平;29、集气瓶;30、内部压力接口;31、外部压力传感器;32、LVDT位移传感器;33、计算机。

具体实施方式

[0036] 下面通过实施例来进一步说明本发明,但不局限于以下实施例。

[0037] 实施例1:

[0038] 如图1所示,一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,该试验装置由五大装置组成:原位环境模拟装置、流体注入控制装置、相变监测装置、流体分离与收集装置、变形测量与数据采集装置;其中,

[0039] 所述的原位环境模拟装置包括围压加载泵1、轴压加载泵2、围压注入口3、轴压注入口4、加热套6以及试件腔18;所述的原位环境模拟是将试件置于试件腔18内,两端安装法兰盘I16、法兰盘II21,通过螺丝20固定。之后安装固定堵头19及活塞式堵头5。围压加载泵1通过围压注入口3与围压腔9连通,对试件进行围压加载。轴压加载泵2连接活塞式堵头5上的轴压注入口4,对试件腔18内的岩心试件进行轴压加载,包裹在围压腔9外壁的加热套6对试件进行温度加热控制。

[0040] 所述的流体注入控制装置主要包括三个气瓶:CO₂气瓶10、He气瓶11、CH₄气瓶12以及依次连接的注入压力调节阀13、注入压力传感器14、质量流量计I15、流体注入口17;所述的流体注入控制装置主要由气瓶依次连接注入压力调节阀13、注入压力传感器14、质量流量计I15及活塞式堵头5上的流体注入口17。

[0041] 所述的相变监测装置主要包括试件腔18壁上的7个内部压力接口30及温度传感器7;布置在试件腔18壁上的7个内部压力接口30通过管线与外部压力传感器31对应连接,对试件内部流体的压力分布进行测量。温度传感器7设置在试件腔外壁上。

[0042] 所述的流体分离与收集装置包括流体出口22、出口压力传感器23、回压阀24、气体干燥器25、质量流量计II 26、气体分离罐27、CO₂称量天平28、集气瓶29;所述的固定堵头19上的流体出口22依次连接出口压力传感器23、回压阀24、气体干燥器25、质量流量计II 26、气体分离罐27、CO₂称量天平28及集气瓶29。

[0043] 所述的变形测量与数据采集装置包括LVDT位移传感器32、围压加载泵1与计算机33;所述的LVDT位移传感器32对岩心试件轴向变形量进行监测,围压加载泵1内液体体积变化对径向变形量进行监测,计算机33用来采集各种实验数据。

[0044] 上述一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,试件尺寸为 $\phi 100 \times (600 \sim 800)$ mm,试件腔18能够高压封装大尺寸试件,试件尺寸直径为 $\phi 100$ mm,长度可调节范围600~800 mm,克服小尺寸试件内部CO₂渗流过程中相态变化不明显的缺点,同时能更真实的反应煤体中丰富的孔裂隙结构。岩心试件轴压与围压可达50 MPa,温度达100℃,渗透压可达40 MPa,可模拟埋藏深度达2000 m的地质环境条件的装置。

[0045] 上述一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,所采用装置可以对CO₂在煤体中流动过程中的压力分布特征进行实时监测:通过布置在试件腔壁上(煤体轴线方向)的7个压力传感器监测CO₂在煤体内的压力分布,围压腔内的温度传感器监测试件的温度,根据Span-Wagner方程得到CO₂渗流过程中物性参数的变化规律,之后通过微分计算平均值,克服以往计算密度、粘度等取线性平均值的问题。

[0046] 上述一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,变形测量装置通过高精度LVDT位移传感器及围压泵,对不同性质流体渗流过程中的煤体变形特征进行测量,从而揭示吸附性强弱不同的气体对煤体孔裂隙变形的影响。

[0047] 上述一种煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验装置,通过质量流量计II 26对出口端流CO₂流量进行准确计量,根据质量守恒定律及所测的不同位置CO₂压力准确计算煤体不同区段复合相态CO₂的渗透率,揭示复合相态CO₂压力分布与相态及渗透率之间的关系。

[0048] 本发明提供了上述煤系地层复合相态CO₂渗流特性试验方法,具体实施步骤如下:

[0049] (1) 将加工好的试件(原煤或者型煤)放入试件腔18内,通过螺丝20固定法兰盘I 16、法兰盘II 21。之后安装固定堵头19及活塞式堵头5。将围压加载泵1通过围压注入口3与围压腔9连通,轴压加载泵2连接活塞式堵头5上的轴压注入口4,之后安装包裹在围压腔9外壁的加热套6。之后连接流体注入装置:将CO₂气瓶10与He气瓶11依次连接注入压力调节阀13、注入压力传感器14、质量流量计I 15,之后与活塞式堵头5上的流体注入口17相连接。之后依次连接固定堵头上的流体出口22、出口压力传感器23、回压阀24、气体干燥器25、质量流量计II 26、气体分离罐27、CO₂称量天平28、集气瓶29。通过围压加载泵1、轴压加载泵2以及加热套6对试件施加轴压、围压、温度至目标值,打开He气瓶11检查装置气密。

[0050] (2) 对试件进行抽真空,打开CO₂气瓶10,开启流体注入控制装置,通过注入压力调节阀13控制试件入口端CO₂压力,通过回压阀24调节出口CO₂压力达到实验预设值。

[0051] (3) 在CO₂渗流平衡稳定过程中,通过均匀布置在试件腔18壁上的7个内部压力接口30通过管线连接外部压力传感器31对运移过程中不同位置CO₂压力随时间的变化规律,

根据Span-Wagner方程计算得到渗流过程中不同区段CO₂密度、浓度值。

[0052] (4) 通过入口处的质量流量计I15与出口管路上的质量流量计II 26对气体渗流量及渗流过程中吸附量进行计量。根据质量守恒定律及达西定律计算复合相态CO₂的渗流特性：

$$[0053] \quad \rho_1 Q_1 = \rho_0 Q_0 = \bar{\rho} Q \quad (1)$$

$$[0054] \quad K = \frac{\mu_{(T,P)} Q_0 L}{(P_1 - P_2) A} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad (2)$$

[0055] 式中,K为煤样渗透率; $\mu_{(T,P)}$ 为CO₂粘度, P_1 为岩心夹持器入口压力, P_2 为岩心夹持器出口压力, Q_1 为入口CO₂流速, Q_0 为出口CO₂流速, Q 为CO₂平均流速,L为煤样试件长度,A为试件横截面积, ρ_1 为入口CO₂密度, ρ_0 为出口CO₂密度, $\bar{\rho}$ 为CO₂平均密度。

[0056] (5) 通过LVDT位移传感器32及围压加载泵1的流体体积变化对煤体渗流过程中的变形特征进行测量。

[0057] 本发明提供了上述煤系地层复合相态CO₂驱替CH₄的应用实验,包括以下步骤:

[0058] (1) 将加工好的试件(原煤或者型煤)放入试件腔18内,通过螺丝20固定法兰盘I 16、II 21。之后安装固定堵头19及活塞式堵头5。将围压加载泵1通过围压注入口3与围压腔9连通,轴压加载泵2连接活塞式堵头5上的轴压注入口4,之后安装包裹在围压腔9外壁的加热套6。之后连接流体注入装置:将He气瓶11与CH₄气瓶12依次连接注入压力调节阀13、注入压力传感器14、质量流量计I15,之后与活塞式堵头5上的流体注入口17相连接。之后依次连接固定堵头上的流体出口22、出口压力传感器23、回压阀24、气体干燥器25、质量流量计II 26、气体分离罐27、CO₂称量天平28、集气瓶29。通过围压加载泵1、轴压加载泵2以及加热套6对试件施加轴压、围压、温度至目标值,打开He气瓶11检查装置气密。

[0059] (2) 对试件进行抽真空,打开CH₄气瓶12,开启流体注入控制装置,通过注入压力调节阀13控制试件入口端CH₄压力达到实验预设CH₄饱和压力值,调节回压阀24高于CH₄注入压力,吸附平衡24h,通过入口处的质量流量计I15对CH₄吸附量进行计量。

[0060] (3) 关闭CH₄气瓶12,打开CO₂气瓶10,通过注入压力调节阀13以恒定的CO₂压力进行注气,通过回压阀24调节出口气体压力,实现不同压力条件下CO₂驱替CH₄实验。

[0061] (4) 产出混合气体通过气体干燥器25去除可能存在的水分,通过气体分离罐27将混合气体中的CO₂吸收,同时CO₂称量天平28对其质量进行计量,之后通过集气瓶29对CH₄的体积进行计量。

[0062] (5) 通过LVDT位移传感器32及围压加载泵1的液体体积变化对煤体驱替过程中的变形特征进行测量。

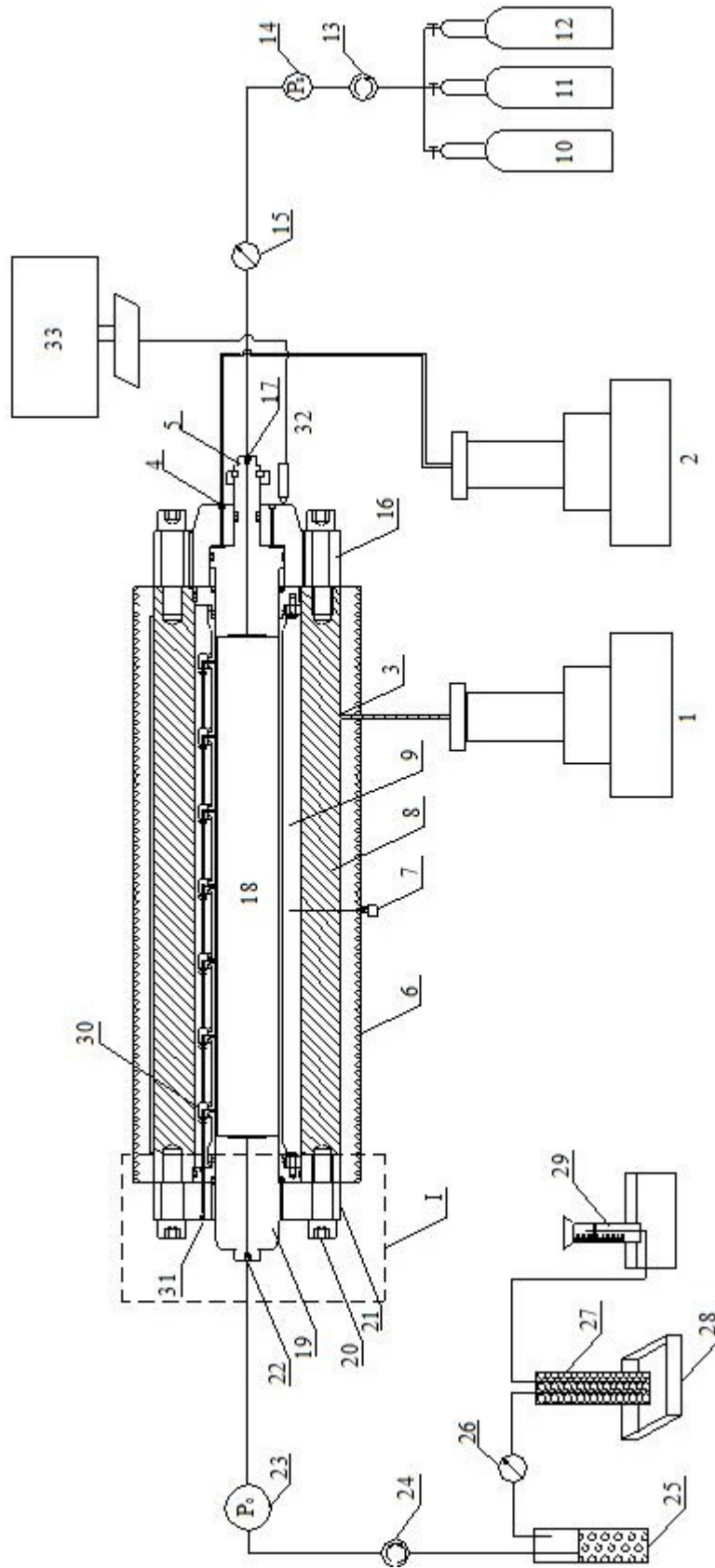


图1