



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104777269 B

(45)授权公告日 2016.08.31

(21)申请号 201510130087.9

(22)申请日 2015.03.24

(73)专利权人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市大学路1号中国矿业大学南湖校区

专利权人 徐州联众新能源科技有限公司

(72)发明人 桑树勋 刘世奇 贾金龙 赵刚强
王文峰 曹丽文 刘会虎 徐宏杰
刘长江 周效志 黄华州 王冉

(74)专利代理机构 徐州市淮海专利事务所
32205

代理人 华德明

(51)Int.Cl.

G01N 33/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 101915713 A,2010.12.15,全文.

CN 103233704 A,2013.08.07,全文.

US 2011209882 A1,2011.09.01,全文.

CN 103306665 A,2013.09.18,全文.

CN 102967525 A,2013.03.13,说明书第5-12、17-24段,图1.

CN 104062204 A,2014.09.24,说明书第6-19、39-54、57-70、78-79段,图1.

CN 103278615 A,2013.09.04,全文.

岳立新.超临界CO₂提高煤层渗透性的增透规律研究.《中国矿业大学学报》.2014,第43卷(第2期),全文.

杨宏民等.煤层注氮驱替甲烷促排瓦斯的试验研究.《煤炭学报》.2010,第35卷(第5期),全文.

梁卫国等.超临界CO₂驱替煤层CH₄装置及实验研究.《煤炭学报》.2014,第39卷(第8期),全文.

审查员 袁丽

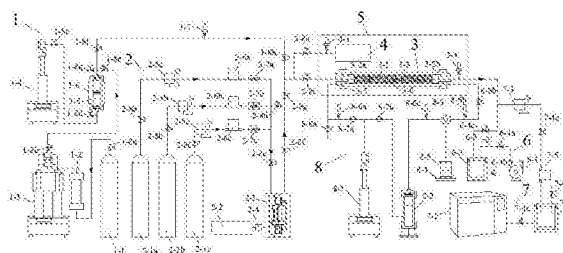
权利要求书2页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法

(57)摘要

本发明公开了一种超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法,属于煤层气开采领域,在样品室(3)和参照缸(4)中模拟深部煤层高温、高压、密封环境,由加压系统(2)和恒温系统提供压力、气源和温度,由超临界二氧化碳生成与注入系统(1)提供超临界CO₂,由环压跟踪与测量系统(8)提供环压,由电气控制及监控系统监控试验过程,通过气体样品采集系统(7)完成试验气体样品的收集及组分分析,方法的具体步骤为:试样装罐、气密性检查、进行驱替试验、采集试验中的气体样品、试验系统清理。本方法能够在试验室内实现超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验,且控温精度高、温度波动性小、安全可靠。



1. 一种超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法,其特征在于:在样品室(3)和参照缸(4)中模拟深部煤层高温、高压、密封环境,由加压系统(2)向样品室(3)和参照缸(4)提供压力和气源,由恒温系统向样品室(3)和参照缸(4)提供温度,由超临界二氧化碳生成与注入系统(1)产生并向样品室(3)提供超临界二氧化碳,由环压跟踪与测量系统(8)为样品室(3)提供环压,由电气控制及监控系统进行整个试验过程的监控和数据采集、显示、存储,通过气体样品采集系统(7)完成试验中与试验后试验样品的收集、冷凝、泄压、气液分离、气体组分分析功能,具体步骤如下:

(a)试样装罐:对煤样进行预处理;接通电源,接通超临界二氧化碳生成与注入系统(1)和加压系统(2);将煤样放入热缩管(3-1)内前,在热缩管(3-1)内壁涂凡士林,每放入一段煤样,加入一个型煤垫片(3-3),放置时,型煤垫片(3-3)的轴线与热缩管(3-1)的轴线重合;将热缩管(3-1)套在垫块(3-2a)上进行密封并对热缩管(3-1)进行热缩,最后用两个O型圈(3-2b)分别套在两个垫块(3-2a)外的热缩管上,进一步密封热缩管(3-1);将热缩管(3-1)放入夹持器(3-5)中并置于恒温空气浴(5)内;

(b)气密性检查:打开抽真空系统(6)中真空泵(6-1)和真空容器(6-2)之间管路上的阀门(6-4a)以及真空容器(6-2)和样品室(3)之间管路上的阀门(6-4c),利用抽真空系统(6)对装置抽真空;关闭所有阀门,由环压跟踪泵(8-1)对环形空间(3-6)加围压至2MPa,向参照缸(4)和样品室(3)注入高纯氦气,打开抽真空系统(6)中真空容器(6-2)和样品室(3)之间管路上的阀门(6-4c)以及真空容器(6-2)上靠近底部处的阀门(6-4b),待装置内部空气被替换出去后关闭真空容器(6-2)上靠近底部处的阀门(6-4b),打开真空泵(6-1)和真空容器(6-2)之间管路上的阀门(6-4a),对装置进行抽真空处理;关闭所有阀门,使恒温空气浴(5)对参照缸(4)和样品室(3)加热至要求温度;通过气体增压泵(2-3)向参照缸(4)注入高纯氦气,使参照缸(4)内压力高于试验最高压力1MPa,关闭加压系统(2)与样品室(3)和参照缸(4)连接的总管路上的阀门(2-8g),打开参照缸(4)入口处管路上的阀门(2-8h)和样品室(3)入口处管路上的阀门(2-8i),同时增加热缩管(3-1)外的环形空间(3-6)内的围压,保证热缩管(3-1)内的压力和环形空间(3-6)内的围压同时升高至参照缸(4)和样品室(3)平衡后的压力,关闭参照缸(4)入口处管路上的阀门(2-8h)和样品室(3)入口处管路上的阀门(2-8i);系统采集参照缸(4)和样品室(3)内的压力数据,观察压力是否平稳,若压力不平稳,则重复步骤(a);若参照缸(4)和样品室(3)内的压力平稳,打开抽真空系统(6)中真空容器(6-2)和样品室(3)之间管路上的阀门(6-4c)以及真空容器(6-2)上靠近底部处的阀门(6-4b),将热缩管(3-1)内的气体慢慢泄放,同时,通过环压跟踪泵(8-1)卸掉环形空间(3-6)内的围压;

(c)进行驱替模拟:由环压跟踪泵(8-1)对环形空间(3-6)加围压至2MPa,打开抽真空系统(6)中真空泵(6-1)和真空容器(6-2)之间管路上的阀门(6-4a)以及真空容器(6-2)和样品室(3)之间管路上的阀门(6-4c),利用抽真空系统(6)对装置抽真空,向参照缸(4)和样品室(3)注入高纯甲烷,再抽真空,重复3-5次;

关闭所有阀门,设置并调节系统温度,使参照缸(4)和样品室(3)的温度稳定在试验温度;

向参照缸(4)注入甲烷气体,使其压力达到试验设计压力,关闭加压系统(2)与样品室(3)和参照缸(4)连接的总管路上的阀门(2-8g),打开参照缸(4)入口处管路上的阀门(2-

8h)和样品室(3)入口处管路上的阀门(2-8i),同时增加环形空间(3-6)内的围压;

停止注入气体,待热缩管(3-1)内压力和环形空间(3-6)内的围压稳定;一旦热缩管(3-1)内压力下降,继续注入甲烷,直至热缩管(3-1)内压力和环形空间(3-6)内的围压稳定在试验设计压力;

热缩管(3-1)内压力稳定在试验设计压力,且温度稳定后,根据试验设计,利用超临界二氧化碳生成与注入系统(1)向装置内注入超临界CO₂,同时增加环形空间(3-6)内的围压,至热缩管(3-1)内压力和环形空间(3-6)内的围压达到试验设计压力;

打开气体样品采集系统(7)中气液分离容器(7-2)和调压阀IV(7-3)之间管路上的阀门(7-4a)和气相色谱仪(7-1)与气液分离容器(7-2)之间管路上的阀门(7-4c),用气相色谱仪(7-1)检测产出气体的组分变化;

启动控制软件自动采集样品室(3)内的时间、压力、温度相关数据;

(d)采集试验中的气体样品:打开气体样品采集系统(7)中气液分离容器(7-2)和调压阀IV(7-3)之间管路上的阀门(7-4a)和气液分离容器(7-2)上部的阀门(7-4b),通过气液分离容器(7-2)上部的阀门(7-4b)采集气体样品;

(e)试验系统清理:试验结束后,打开抽真空系统(6)中真空容器(6-2)和样品室(3)之间管路上的阀门(6-4c)以及真空容器(6-2)上靠近底部处的阀门(6-4b),将热缩管(3-1)内的气体慢慢泄放;同时,通过环压跟踪泵(8-1)卸掉环形空间(3-6)内的围压;解除气路连接,冷却降温;取出夹持器(3-5)上的热缩管(3-1),取出密封件,取出煤样及型煤垫片(3-3)。

2. 根据权利要求1所述的一种超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法,其特征是:所述的试验压力为0.1MPa~25MPa,试验温度为室温~150℃。

3. 根据权利要求2所述的一种超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法,其特征是:样品室(3)和参照缸(4)保压过程中,管路和容器密封圈无泄漏时,压力波动范围在0.05MPa以下,温度波动在0.5℃以内。

4. 根据权利要求1所述的一种超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法,其特征是:对热缩管(3-1)进行热缩时,先将热缩管(3-1)两侧棱热缩至平滑,再采用从一端到另一端螺旋式上升的路径对热缩管(3-1)进行整体热缩。

一种超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于在试验室内模拟深部煤层CO₂地质存储与CH₄强化开采过程的试验方法,特别是涉及一种用于实现超临界CO₂注入与驱替煤中CH₄,并测量竞争吸附过程中煤岩样品自由体积膨胀量的试验方法,属于煤层气开采领域。

背景技术

[0002] 随着我国国民经济的发展,传统能源的供应量逐渐减少,而且在生产生活中排放的大量二氧化碳所产生的温室效应已经严重威胁到整个自然的生态安全,人类对新型、清洁能源的需求越来越大,因而煤层气作为一种新型、清洁能源受到了广泛关注。我国具有丰富的煤层气资源,煤层气开发对缓解我国油气资源紧张现状、减轻矿井灾害程度、减少温室气体排放等具有重要意义。如何从煤层中开采煤层气及提高煤层气产量是当前研究的重要的课题,利用竞争吸附优势原理,将CO₂注入煤层可有效置换或驱替煤层CH₄,这已成为新的煤层气强化开发方式。煤层CO₂地质存储与CH₄强化开采(CO₂-ECBM,即CO₂Geological Storage-Enhanced Coal Bed Methane Recovery)技术融温室气体减排与新能源开发为一体,受到全球高度关注。超临界CO₂可与煤中吸附态CH₄发生竞争吸附,导致吸附态CH₄被置换和驱替出来,同时,煤吸附CH₄或CO₂后,会发生膨胀变形,改变煤层渗透性、储存能力,对有效地应用煤层CO₂-ECBM技术尤为关键。

[0003] 鉴于此,在试验室内模拟深部煤层高温、高压、密封环境对于研究CO₂-ECBM技术至关重要,设计一种可用于在试验室内模拟深部煤层环境,实现模拟超临界CO₂注入与驱替煤中CH₄的过程的试验方法,是煤层CO₂地质存储与CH₄强化开采研究亟待解决的一项课题,对具体的深部煤层中煤层气的开采具有重要的理论指导作用。而现有的试验方法并没有模拟深部煤层高温高压的试验环境,且试验方法中也没有实时采集试验样品以实时得到试验数据。

发明内容

[0004] 为了解决上述问题,本发明提供一种超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法,该方法能够在试验室内模拟深部煤层高温高压的环境,实现超临界CO₂注入与驱替煤中CH₄的模拟试验,并能够在试验的过程中采集气体样品进行数据分析。

[0005] 为了达到上述目的,本超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法在样品室和参照缸中模拟深部煤层高温、高压、密封环境,由加压系统向样品室和参照缸提供压力和气源,由恒温系统向样品室和参照缸提供温度,由超临界二氧化碳生成与注入系统产生并向样品室提供超临界二氧化碳,由环压跟踪与测量系统为样品室提供环压,由电气控制及监控系统进行整个试验过程的监控和数据采集、显示、存储,通过气体样品采集系统完成试验中与试验后试验样品的收集、冷凝、泄压、气液分离、气体组分分析等功能,具体步骤如下:

[0006] (a)试样装罐:对煤样进行预处理;接通电源,接通超临界二氧化碳生成与注入系

统和加压系统；将煤样放入热缩管内前，在热缩管内壁涂凡士林，每放入一段煤样，加入一个型煤垫片，放置时，型煤垫片的轴线与热缩管的轴线重合；将热缩管套在垫块上进行密封并对热缩管进行热缩，最后用两个O型圈分别套在两个垫块外的热缩管上，进一步密封热缩管；将热缩管放入夹持器中并置于恒温空气浴内；

[0007] (b)气密性检查：打开抽真空系统中真空泵和真空容器之间管路上的阀门以及真空容器和样品室之间管路上的阀门，利用抽真空系统对装置抽真空；关闭所有阀门，由环压跟踪泵对环形空间加围压至2MPa，向参照缸和样品室注入高纯氦气，打开抽真空系统中真空容器和样品室之间管路上的阀门以及真空容器上靠近底部处的阀门，待装置内部空气被替换出去后关闭真空容器上靠近底部处的阀门，打开真空泵和真空容器之间管路上的阀门，对装置进行抽真空处理；关闭所有阀门，使恒温空气浴对参照缸和样品室加热至要求温度；通过气体增压泵向参照缸注入高纯氦气，使参照缸内压力高于试验最高压力1MPa，关闭加压系统与样品室和参照缸连接的总管路上的阀门，打开参照缸入口处管路上的阀门和样品室入口处管路上的阀门，同时增加热缩管外的环形空间内的围压，保证热缩管内的压力和环形空间内的围压同时升高至参照缸和样品室平衡后的压力，关闭参照缸入口处管路上的阀门和样品室入口处管路上的阀门；系统采集参照缸和样品室内的压力数据，观察压力是否平稳，若压力不平稳，则重复步骤(a)；若参照缸和样品室内的压力平稳，打开抽真空系统中真空容器和样品室之间管路上的阀门以及真空容器上靠近底部处的阀门，将热缩管内的气体慢慢泄放，同时，通过环压跟踪泵卸掉环形空间内的围压；

[0008] (c)进行驱替模拟：由环压跟踪泵对环形空间加围压至2MPa，打开抽真空系统中真空泵和真空容器之间管路上的阀门以及真空容器和样品室之间管路上的阀门，利用抽真空系统对装置抽真空，向参照缸和样品室注入高纯甲烷，再抽真空，重复3-5次；

[0009] 关闭所有阀门，设置并调节系统温度，使参照缸和样品室的温度稳定在试验温度；

[0010] 向参照缸注入甲烷气体，使其压力达到试验设计压力，关闭加压系统与样品室和参照缸连接的总管路上的阀门，打开参照缸入口处管路上的阀门和样品室入口处管路上的阀门，同时增加环形空间内的围压；

[0011] 停止注入气体，待热缩管内压力和环形空间内的围压稳定；一旦热缩管内压力下降，继续注入甲烷，直至热缩管内压力和环形空间内的围压稳定在试验设计压力；

[0012] 热缩管内压力稳定在试验设计压力，且温度稳定后，根据试验设计，利用超临界二氧化碳生成与注入系统向装置内注入超临界CO₂，同时增加环形空间内的围压，至热缩管内压力和环形空间内的围压达到试验设计压力；

[0013] 打开气体样品采集系统中气液分离容器和调压阀IV之间管路上的阀门和气相色谱仪与气液分离容器之间管路上的阀门，用气相色谱仪检测产出气体的组分变化；

[0014] 启动控制软件自动采集样品室内的时间、压力、温度等相关数据；

[0015] (d)采集试验中的气体样品：打开气体样品采集系统中气液分离容器和调压阀IV之间管路上的阀门和气液分离容器上部的阀门，通过气液分离容器上部的阀门采集气体样品；

[0016] (e)试验系统清理：试验结束后，打开抽真空系统中真空容器和样品室之间管路上的阀门以及真空容器上靠近底部处的阀门，将热缩管内的气体慢慢泄放；同时，通过环压跟踪泵卸掉环形空间内的围压；解除气路连接，冷却降温；取出夹持器上的热缩管，取出密封

件,取出煤样及型煤垫片;

[0017] 进一步的,所述的试验压力为0.1MPa~25MPa,试验温度为室温~150℃;

[0018] 进一步的,样品室和参照缸保压过程中,管路和容器密封圈无泄漏时,压力波动范围在0.05MPa以下,温度波动在0.5℃以内;

[0019] 进一步的,对热缩管进行热缩时,先将热缩管两侧棱热缩至平滑,再采用从一端到另一端螺旋式上升的路径对热缩管进行整体热缩。

[0020] 本发明通过超临界二氧化碳生成与注入系统能够生成超临界二氧化碳并将其注入到参照缸和样品室内,加压系统加压和恒温系统加热保持恒温能够使得样品室内的压力和温度能够达到深部煤层的压力和温度,通过参照缸能够标定样品室容积以得到准确的测量数据,抽真空系统能够在试验开始之前排空整个装置内的空气,使得试验装置内尽可能达到真空的状态,保证试验数据的可靠性;气体样品采集系统能够在试验的过程中和试验后采集气体样品,便于及时分析数据;通过环压跟踪与测量系统能够为样品室提供围压以保护样品室不会因内外压差过大而破裂,电气控制及监控系统能够使试验人员远距离的操作试验装置及控制试验流程,对压力容器外状态进行视频监控,并且能够拍摄、录制试验过程,能够保障系统安全。本试验方法控温精度高,热平衡时间短,温度波动性小,均匀性好,数据显示准确、直观,结构紧凑。本发明便于控制、操作简单、安全可靠,能够实现模拟高温高压环境下超临界CO₂注入与CH₄强化驱替的试验研究。

附图说明

[0021] 图1是本发明所使用的装置的结构示意图。

[0022] 图中:1、超临界二氧化碳生成与注入系统,1-1、高压二氧化碳气瓶,1-2、制冷系统,1-3、二氧化碳泵,1-4、注入泵,1-5、活塞容器,1-6、加热系统,1-7、压力传感器VI,1-8a~1-8h、阀门;2、加压系统,2-1a、氦气高压气瓶,2-1b、甲烷高压气瓶,2-1c、混合气体高压气瓶,2-2、空压机,2-3、气体增压泵,2-4、电磁阀,2-5a、调压阀I,2-5b、调压阀II,2-5c、调压阀III,2-6a、气体流量计I,2-6b、气体流量计II,2-6c、气体流量计III,2-7a、单向阀I,2-7b、单向阀II,2-7c、单向阀III,2-8a~2-8i、阀门;3、样品室,3-1、热缩管,3-2a、3-2b、垫块和O型圈,3-3、型煤垫片,3-4、压力传感器I,3-5、夹持器,3-6、环形空间;4、参照缸,4-1、压力传感器II;5、恒温空气浴;6、抽真空系统,6-1、真空泵,6-2、真空容器,6-3、真空表,6-4a~6-4c、阀门;7、气体样品采集系统,7-1、气相色谱仪,7-2、气液分离容器,7-3、调压阀IV,7-4a~7-4c、阀门,7-5、气体流量计IV;8、环压跟踪与测量系统,8-1、环压跟踪泵,8-2、回压缓冲容器,8-3、回压阀,8-4、高精度电子天平,8-5、烧杯,8-6a、压力传感器III,8-6b、压力传感器IV,8-6c、压力传感器V,8-7a、双向阀I,8-7b、双向阀II,8-8a、8-8b、阀门。

具体实施方式

[0023] 下面结合附图对本发明作进一步说明。

[0024] 如图1所示为本发明所使用的试验装置的结构示意图,试验装置包括:

[0025] 样品室3,该装置的反应室,用于装入试样及模拟地层高温、高压、密封环境,遇热可径向上自由形变,不阻碍煤岩形变;

[0026] 参照缸4,用于标定样品室容积,以得到精确检测数据;

[0027] 超临界二氧化碳生成与注入系统1,用于生成超临界二氧化碳,并且将超临界二氧化碳注入到样品室3和参照缸4中;

[0028] 加压系统2,用于向样品室3和参照缸4中注入试验用气体,且可调节样品室3和参照缸4中的压力;

[0029] 恒温系统,用于为样品室3和参照缸4提供高温环境并且在试验过程中保持恒温,其温度可调整;

[0030] 抽真空系统6,与样品室3连接,用于排空样品室3和参照缸4内的气体;

[0031] 气体样品采集系统7,与样品室3连接,用于收集试验中与试验后的气体,进行冷凝、降压、气液分离、气体组分测量等操作;

[0032] 环压跟踪与测量系统8,用于为样品室3提供环压以保护样品室3;

[0033] 电气控制及监控系统,用于对试验过程进行监控,实时采集、显示及存储数据。

[0034] 所述的样品室3包括热缩管3-1、垫块3-2a、O型圈3-2b、型煤垫片3-3、压力传感器I3-4以及夹持器3-5,样品室3由夹持器3-5固定于恒温系统内,热缩管3-1两端采用垫块3-2a和O型圈3-2b密封,型煤垫片3-3有一定目数的孔,放置于热缩管3-1内隔开相邻的两段煤样,放置时,型煤垫片3-3的轴线与热缩管3-1的轴线重合,压力传感器I3-4与热缩管3-1连接,热缩管3-1外设有环形空间3-6;样品室3内的最高工作压力可达25MPa,最高工作温度可达150℃,使得试验过程中样品室3能够满足模拟不同深部煤层的压力和温度的需要;热缩管3-1用于放煤岩样品,遇热可在径向发生自由形变且不阻碍煤岩形变,本试验所使用的热缩管3-1的内径为50mm、长度为1000±10mm,轴向与径向的长度比为20:1;相邻两段煤样之间放置的型煤垫片3-3可以使气体快速充满整个热缩管3-1空间,垫块3-2a和O型圈3-2b用来密封热缩管3-1,压力传感器I3-4用于测量热缩管3-1内的压力以用于实验数据分析,热缩管3-1外的环形空间3-6中可注入硅油给热缩管3-1增加围压;

[0035] 所述的参照缸4上连接有压力传感器II4-1,与样品室3之间连通;参照缸4用于标定样品室容积,以得到精确检测数据;采用耐高压不锈钢罐做为参照缸4,以保证在试验要求的大温差范围、超高压强条件下缸体仍具有良好的密封性;样品室3和参照缸4保压过程中,管路和容器密封圈无泄漏时,压力波动范围在0.05MPa以下,温度波动在0.5℃以内,使样品室3的压力和温度环境稳定,保证试验的精度;

[0036] 所述的恒温系统为恒温空气浴5,恒温空气浴5包裹整个样品室3和参照缸4;试验过程中恒温空气浴5将样品室3和参照缸4加热至设定温度后保持恒温,试验结束后,依靠空气对流实现冷却;

[0037] 所述的超临界二氧化碳生成与注入系统1包括高压二氧化碳气瓶1-1、制冷系统1-2、二氧化碳泵1-3、注入泵1-4、活塞容器1-5、加热系统1-6和多个控制气体进出的阀门1-8a~1-8c、1-8e、1-8f、1-8h,高压二氧化碳气瓶1-1与制冷系统1-2的进气口连接,制冷系统1-2的出气口与二氧化碳泵1-3的进气口连接,活塞容器1-5的一端与二氧化碳泵1-3的出气口、样品室3的进气口和参照缸4的进气口连接,另一端与注入泵1-4连接,加热系统1-6包裹在活塞容器1-5外;高压二氧化碳气瓶1-1向装置提供气态二氧化碳,由阀门1-8a控制气体供给,经制冷系统1-2冷却后的液态二氧化碳由二氧化碳泵1-3泵注至与之连接的活塞容器1-5内,由阀门1-8b和阀门1-8e控制液态二氧化碳供给,加热系统1-6对活塞容器1-5中的液态二氧化碳加热形成超临界二氧化碳,阀门1-8c控制注入泵1-4与活塞容器1-5的连接,注

入泵1-4为活塞容器1-5提供动力,将超临界二氧化碳注入到样品室3和参照缸4中,注入管路上的阀门1-8f和阀门1-8h控制二氧化碳供给;

[0038] 所述的加压系统2包括氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b、混合气体高压气瓶2-1c、空压机2-2、气体增压泵2-3、电磁阀2-4、和多个控制气体进出的阀门2-8a~2-8i,氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b和混合气体高压气瓶2-1c与气体增压泵2-3连接,气体增压泵2-3和空压机2-2之间安装有电磁阀2-4,气体增压泵2-3出气口通过管路与样品室3和参照缸4连接;氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b和混合气体高压气瓶2-1c分别向装置提供氦气、甲烷和混合气体,由设在高压气瓶出口处的阀门2-8a~2-8c控制气体供给,在阀门2-8a~2-8c和气体增压泵2-3之间的管路上有阀门2-8e,控制气体供给,保证系统安全,气体增压泵2-3为气体增压,并向样品室3和参照缸4提供高压气体,电磁阀2-4控制空压机2-2向气体增压泵2-3提供动力,由管路中的2-8f、2-8g、2-8h、2-8i控制气体增压泵2-3向样品室3和参照缸4的供气,其中,阀门2-8f设在气体增压泵2-3出口处的管路上,阀门2-8h设在参照缸4入口处的管路上,阀门2-8i设在样品室3入口处的阀门上,阀门2-8g设在加压系统2与样品室3和参照缸4连接的总管路上,若关闭阀门2-8g,则氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b和混合气体高压气瓶2-1c中的气体都不能注入到样品室3和参照缸4中,阀门2-8d设在氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b、混合气体高压气瓶2-1c与样品室3和参照缸4连接的总管路上,若关闭阀门2-8d,则未经气体增压泵2-3升压的氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b和混合气体高压气瓶2-1c中的气体都不能注入到样品室3和参照缸4中;

[0039] 所述的抽真空系统6包括真空泵6-1,真空泵6-1和样品室3连接且其连接管路上设有控制管路闭合和开启的阀门6-4c,真空泵6-1用于排空整个试验装置中的空气,使得试验装置内尽可能达到真空的状态,保证试验数据的可靠性;

[0040] 所述的气体样品采集系统7包括气相色谱仪7-1、气液分离容器7-2和调压阀IV7-3,气相色谱仪7-1与气液分离容器7-2连接且连接管路上设有阀门7-4c,调压阀IV7-3一端与样品室3连接,另一端与气液分离容器7-2连接且连接管路上设有阀门7-4a,气液分离容器7-2上还设有阀门7-4b;从样品室3流出的气体样品经调压阀IV7-3减小压力后,经过控制管路闭合和开启的阀门7-4a后进入气液分离容器7-2中进行气液分离,经气液分离后的液体留在气液分离容器7-2,气体既可由气液分离容器7-2上部的阀门7-4b流出,也可以经过控制管路闭合和开启的阀门7-4c后流入到气相色谱仪7-1中进行气体成分检测;

[0041] 所述的环压跟踪与测量系统8包括环压跟踪泵8-1、回压缓冲容器8-2、回压阀8-3、高精度电子天平8-4、烧杯8-5和压力传感器III8-6a,环压跟踪泵8-1通过管路与样品室3的环行空间3-6连接且连接管路上设有压力传感器III8-6a,在环压跟踪泵8-1和压力传感器III8-6a之间的管路上设有双向阀I8-7a,回压缓冲容器8-2与环压跟踪泵8-1连接且连接管路上设有双向阀II8-7b,回压阀8-3一端与环行空间3-6连接且连接管路上设有阀门8-8b,另一端与回压缓冲容器8-2连接且连接管路上设有支路,高精度电子天平8-4和烧杯8-5放置于支路出口处,阀门8-8a设在与环形空间3-6连接管路的出口处;环压跟踪泵8-1用于向环形空间3-6中注入硅油并控制回压阀8-3闭合与开启,压力传感器III8-6a反馈环形空间3-6中的压力,由双向阀I8-7a控制环压跟踪泵8-1和环形空间3-6之间管路的闭合与开启,回压缓冲容器8-2能够确保环形空间3-6中的流体平稳流出,由双向阀II8-7b控制回压缓冲容器8-2和环压跟踪泵8-1之间管路的闭合与开启,回压时,经回压阀8-3流出的液体经管路

流入烧杯8-5,可由高精度电子天平8-4计量其常温常压下的质量进而进行相关数据分析,需要时,环形空间3-6中的硅油可通过阀门8-8a直接流出,实现对环形空间3-6卸压,以确保系统安全;本环压跟踪与测量系统8可实现环形空间3-6中的压力与样品室内气体压力同步上升,以防止热缩管3-1由于内外压差过大而破裂;

[0042] 所述的电气控制及监控系统,由工控机、显示器及变送仪表、高速摄像机、继电保护和报警电路以及电气控制电路、配电电路等电气元件及控制软件组成,主要功能是:对电气设备的配电,系统的安全保护和报警等功能;对整个试验模拟装置的压力、温度等进行采集、处理和显示;对压力容器外状态进行视频监控,以保障系统安全。

[0043] 所述的活塞容器1-5上部和下部分别设有阀门1-8d、1-8g,分别用来对活塞容器1-5和注入泵1-4卸压以确保系统安全。

[0044] 所述的超临界二氧化碳生成与注入系统1还包括压力传感器VI1-7,压力传感器VI1-7设在阀门1-8f和阀门1-8h之间,用来反馈向样品室3和参照缸4注入超临界二氧化碳的管路中的压力。

[0045] 所述的加压系统2还包括气体流量计I2-6a、气体流量计II2-6b和气体流量计III2-6c,气体流量计I2-6a、气体流量计II2-6b和气体流量计III2-6c分别设在氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b、混合气体高压气瓶2-1c与气体增压泵2-3连接的管路上,在气体流量计I2-6a、气体流量计II2-6b和气体流量计III2-6c与气体增压泵2-3之间的连接管路上分别设有单向阀I2-7a、单向阀II2-7b和单向阀III2-7c,在氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b、混合气体高压气瓶2-1c与气体流量计I2-6a、气体流量计II2-6b、气体流量计III2-6c之间的连接管路上分别设有调压阀I2-5a、调压阀II2-5b、调压阀III2-5c,气体流量计I2-6a、气体流量计II2-6b和气体流量计III2-6c分别监控氦气、甲烷和混合气体的流量,由于装置中所使用的气体流量控制器都是高精度的,所以量程较短且较灵敏,调压阀I2-5a、调压阀II2-5b和调压阀III2-5c用于减小高压气瓶中流出的气体的压力,防止由于流经气体流量计I2-6a、气体流量计II2-6b和气体流量计III2-6c的气体压力过大而使气体流量计I2-6a、气体流量计II2-6b和气体流量计III2-6c损坏,单向阀I2-7a、单向阀II2-7b和单向阀III2-7c用于控制气体单向流动,防止气体回流而影响气体流量计I2-6a、气体流量计II2-6b和气体流量计III2-6c记录数据的精确度。

[0046] 所述的抽真空系统6还包括与真空泵6-1和样品室3连接的真空容器6-2,真空容器6-2与真空泵6-1之间的连接管路上设有阀门6-4a,真空容器6-2靠近底部处设有阀门6-4b;抽真空时,从整个装置中抽出的气体中混有的水留存在真空容器6-2中,打开阀门6-4b后倾斜真空容器6-2时,可使真空容器6-2内残存的冷凝水流出,阀门6-4a用于控制连接管路的闭合和开启。

[0047] 所述的抽真空系统6还包括设在真空容器6-2和阀门6-4a之间连接管路上的真空表6-3,用于测定并显示装置中的压力以判断装置是否达到真空,方便试验。

[0048] 所述的气体样品采集系统7还包括设在调压阀IV7-3和气液分离容器7-2之间连接管路上的气体流量计IV7-5,用来监控气体的流量,如果参照缸4出现故障,可以通过气体流量计记录的数据来分析煤岩吸附气体的量。

[0049] 所述的环压跟踪与测量系统8还包括压力传感器IV8-6b和压力传感器V8-6c,压力传感器IV8-6b设在回压阀8-3与环形空间3-6的连接管路上,压力传感器V8-6c设在回压阀

8-3与回压缓冲容器8-2的连接管路上;两个压力传感器分别用来反馈回压阀8-3两侧管路中的压力,可以根据压力调节试验进程,保证系统的安全。

[0050] 该装置还包括爆破装置,爆破装置与样品室3连接,超压时,可以自动泄压,保证安全。

[0051] 当发生停电及突发事故时,还可手动对装置泄压,避免发生事故。

[0052] 整个装置中的管路采用316L管线。

[0053] 本发明为确保安全,划分为控制区、试验区,控制区与试验区隔离,确保人员操作处于安全区域。整个操作控制系统在一个单独的房间,样品室、参照缸及空压机等可通过摄像头在控制室内观察到,本发明采用先升温后加压的操作程序,在控制系统设定需要的压力值,当压力值达到目标值时,加压系统自动停止,使升压过程得以控制,确保试验安全。

[0054] 本发明的超临界CO₂注入与煤层气强化驱替模拟试验方法,步骤如下:

[0055] (a)试样装罐:对煤样进行平衡水分或其他预处理;接通电源,接通超临界二氧化碳生成与注入系统1和加压系统2中的氦气高压气瓶2-1a、甲烷高压气瓶2-1b、混合气体高压气瓶2-1c、高压二氧化碳气瓶1-1、空压机2-2和气体增压泵2-3、制冷系统1-2,二氧化碳泵1-3,注入泵1-4,活塞容器1-5,加热系统1-6;将煤样放入热缩管3-1内前,在热缩管3-1内壁涂凡士林,消除煤样与热缩管3-1内壁的缝隙,使试验气体完全通过煤样后再排出,每放入一段煤样,加入一个型煤垫片3-3;将热缩管3-1套在垫块3-2a上进行密封,从一端到另一端将热缩管3-1两侧棱热缩至平滑,然后整体热缩,热缩路径为从一端到另一端螺旋式上升,使热缩管3-1热缩均匀,从而使热缩管3-1和煤样完全贴合,最后用两个O型圈3-2b分别套在两个垫块3-2a外的热缩管上,进一步密封热缩管3-1;将热缩管3-1放入夹持器3-5中并置于恒温空气浴5内;

[0056] (b)气密性检查:打开抽真空系统6中真空泵6-1和真空容器6-2之间管路上的阀门6-4a以及真空容器6-2和样品室3之间管路上的阀门6-4c,利用抽真空系统6对装置抽真空;关闭所有阀门,运行控制软件,由环压跟踪泵8-1对环形空间3-6注入硅油加围压至2MPa左右,向参照缸4和样品室3注入纯度为99.99%的高纯氦气,打开抽真空系统6中真空容器6-2和样品室3之间管路上的阀门6-4c以及真空容器6-2上靠近底部处的阀门6-4b,将装置内部空气替换出去,然后关闭真空容器6-2上靠近底部处的阀门6-4b,打开真空泵6-1和真空容器6-2之间管路上的阀门6-4a,对装置进行抽真空处理;关闭所有阀门,运行控制软件,使恒温空气浴5对参照缸4和样品室3加热至要求温度;通过气体增压泵2-3向参照缸4注入高纯氦气,使参照缸4内压力高于试验最高压力1MPa,关闭加压系统2与样品室3和参照缸4连接的总管路上的阀门2-8g,打开参照缸4入口处管路上的阀门2-8h和样品室3入口处管路上的阀门2-8i,使参照缸4和样品室3压力平衡,同时向热缩管3-1外的环形空间3-6内注入硅油增加围压,保证热缩管3-1内的压力和环形空间3-6内的围压同时升高至参照缸4和样品室3平衡后的压力,关闭参照缸4入口处管路上的阀门2-8h和样品室3入口处管路上的阀门2-8i;系统采集参照缸4和样品室3内的压力数据,压力平稳则视为系统气密性良好;如有漏气现象,重复步骤(a);若参照缸4和样品室3内的压力平稳,打开抽真空系统6中真空容器6-2和样品室3之间管路上的阀门6-4c以及真空容器6-2上靠近底部处的阀门6-4b,将热缩管3-1内的气体慢慢泄放,同时,通过环压跟踪泵8-1卸掉环形空间3-6内的围压;

[0057] (c)进行驱替模拟:由环压跟踪泵8-1向环形空间3-6注入硅油增加围压至2MPa左

右,打开抽真空系统6中空泵6-1和真空容器6-2之间管路上的阀门6-4a以及真空容器6-2和样品室3之间管路上的阀门6-4c,对装置抽真空,运行控制软件,执行手动操作程序,向参照缸4和样品室3注入少量纯度为99.99%的高纯甲烷,清洗管路,再抽真空,重复3-5次,确保管路内氦气清洗干净;

[0058] 关闭所有阀门,设置并调节系统温度,使参照缸4和样品室3的温度稳定在试验温度;

[0059] 向参照缸4注入甲烷气体,使其压力达到试验设计压力,关闭加压系统2与样品室3和参照缸4连接的总管路上的阀门2-8g,打开参照缸4入口处管路上的阀门2-8h和样品室3入口处管路上的阀门2-8i,使参照缸4和样品室3压力平衡,同时增加环形空间3-6内的围压;

[0060] 停止注入气体,待热缩管3-1内压力和环形空间3-6内的围压稳定(30min内压力变化小于0.05MPa);一旦热缩管3-1内压力下降,继续注入甲烷,直至热缩管3-1内压力和环形空间3-6内的围压稳定在试验设计压力(30min内压力变化小于0.05MPa);

[0061] 热缩管3-1内压力稳定在试验设计压力,且温度稳定后,根据试验设计,利用超临界二氧化碳生成与注入系统1向装置内注入超临界CO₂,同时增加环形空间3-6内的围压,至热缩管3-1内压力和环形空间3-6内的围压稳定在试验设计压力;

[0062] 打开气体样品采集系统7中气液分离容器7-2和调压阀IV7-3之间管路上的阀门7-4a和气相色谱仪7-1与气液分离容器7-2之间管路上的阀门7-4c,用气相色谱仪7-1检测产出气体的组分变化;

[0063] 启动控制软件自动采集样品室3内的时间、压力、温度等相关数据;

[0064] (d)采集试验中的气体样品:打开气体样品采集系统7中气液分离容器7-2和调压阀IV7-3之间管路上的阀门7-4a和气液分离容器7-2上部的阀门7-4b,试验气体经过调压阀IV7-3、气体流量计IV7-5进入气液分离容器7-2,通过气液分离容器7-2上部的阀门7-4b采集试验中或试验后的气体样品,冷凝后的液体留在气液分离容器7-2中;

[0065] (e)试验系统清理:试验结束后,打开抽真空系统6中真空容器6-2和样品室3之间管路上的阀门6-4c以及真空容器6-2上靠近底部处的阀门6-4b,将热缩管3-1内的气体慢慢泄放;同时,通过环压跟踪泵8-1将环形空间3-6内的围压卸掉;解除气路连接,冷却降温;取出夹持器3-5上的热缩管3-1,取出垫块3-2a和O型圈3-2b,取出样品及型煤垫片3-3。

[0066] 本试验方法的试验压力为0.1MPa~25MPa,试验温度为室温~150℃,能够模拟不同深度煤层的压力和温度。

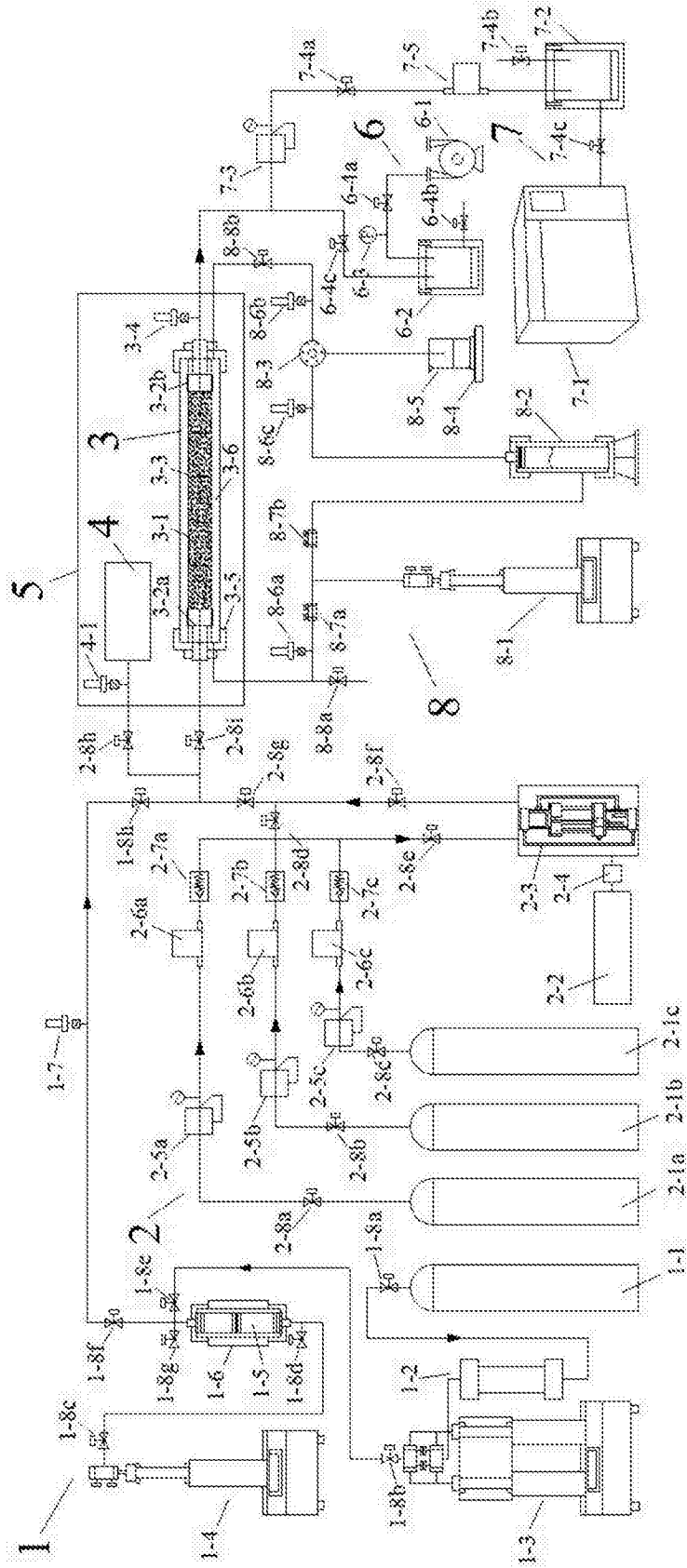


图1