



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104729948 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 24

(21) 申请号 201510113407.X

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2015. 03. 16

G01N 5/02(2006. 01)

G01N 15/08(2006. 01)

(66) 本国优先权数据

201410159494. 8 2014. 04. 21 CN

(71) 申请人 河南理工大学

地址 454003 河南省焦作市高新区世纪大道
2001 号

(72) 发明人 王登科 魏建平 付启超 刘勇
姚邦华 夏玉玲

(74) 专利代理机构 郑州联科专利事务所（普通
合伙）41104

代理人 王聚才 杨海霞

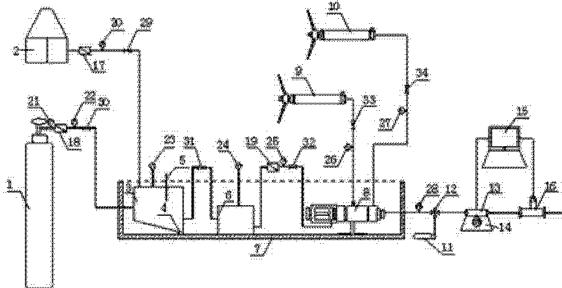
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

含瓦斯煤水气两相渗流实验系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种含瓦斯煤水气两相渗流实验系统和方法，该实验系统主要包括气体混合装置，所述气体混合装置包括顺次连接的混合罐和吸附罐，所述混合罐底部设有集液口；所述混合罐的出口分别连接水蒸气输送管路和高压瓦斯输送管路；所述吸附罐连接煤样夹持器的进气口，煤样夹持器的出气口管路通过四通阀分为两个支路，其中一个支路连接真空泵，另一支路顺次连接水汽计量装置和气体流量计。该实验系统首次采用水蒸气和瓦斯气体相协同运动，实现含瓦斯煤中水气两相的渗透行为，同时通过数据实时连续采集装置准确观测到含瓦斯煤的渗透率以及其含水率等的变化趋势，具有操作简便、测量准确等优点；克服了液态水与瓦斯气体难以直接混合的不足。



1. 一种含瓦斯煤水气两相渗流实验系统,其特征在于,包括气体混合装置,所述气体混合装置包括顺次连接的混合罐和吸附罐,所述混合罐底部设有集液口;所述混合罐的进口分别连接水蒸气输送管路和高压瓦斯输送管路;所述吸附罐连接煤样夹持器的进气口,煤样夹持器的出气口管路通过四通阀分为两个支路,其中一个支路连接真空泵,另一支路顺次连接水汽计量装置和气体流量计。

2. 如权利要求1所述含瓦斯煤水气两相渗流实验系统,其特征在于,所述水蒸气输送管路上依次设有水蒸气发生器、减压阀、压力表和开关;所述高压瓦斯输送管路上依次设有高压瓦斯罐、第一压力表、减压阀、第二压力表和开关;所述混合罐设有压力表和温度计;所述吸附罐设有压力表。

3. 如权利要求2所述含瓦斯煤水气两相渗流实验系统,其特征在于,所述吸附罐与煤样夹持器进气口之间的管路上依次设有减压阀、压力表和开关;所述煤样夹持器出气口与四通阀之间的管路上设有压力表。

4. 如权利要求3所述含瓦斯煤水气两相渗流实验系统,其特征在于,所述水汽计量装置由精密电子天平和置于精密电子天平上、且装有干燥剂的密封管组成。

5. 如权利要求4所述含瓦斯煤水气两相渗流实验系统,其特征在于,所述水汽计量装置和气体流量计分别连接至数据实时采集装置。

6. 采用权利要求1至4任一所述实验系统进行含瓦斯煤水气两相渗流实验的方法,其特征在于,包括如下步骤:

1) 组装好实验系统,并检测实验系统的密封性;

2) 将准备好的干燥煤样装入煤样夹持器,并将气体混合装置和煤样夹持器放入恒温水浴池中,用以使气体混合装置中的气体及干燥煤样均保持恒定实验温度;

3) 真空脱气:先对煤样施加预定的围压和轴压,然后对气体混合装置和煤样夹持器进行真空脱气,并维持真空状态不低于3h;

4) 水气两相吸附:通过水蒸气发生器和高压瓦斯罐向气体混合装置内充入水蒸气和瓦斯气体,待气体混合装置内的气体压力稳定后,再次对煤样施加预定的围压和轴压,然后向煤样中充入水蒸气和瓦斯混合气体,进行煤样吸附;

5) 水气两相渗流:待煤样吸附平衡后,从煤样内部出来的水蒸气及瓦斯通过水汽计量装置和气体流量计进行两相渗流实验;

6) 数据采集及处理:当气体流量计的流量稳定后,记录下气体流量数据,同时记录在水气两相渗流实验前后精密电子天平测得的液态水的质量变化值;然后将精密电子天平测得的质量变化量换算成标准状况下水蒸气的气体体积流量 Q_1 ,气体流量计测得的瓦斯气体体积流量换算成标准状况下瓦斯气体体积流量 Q_2 ,得到标况下的气体气体体积流量 $Q_0=Q_1+Q_2$;利用拟压法评估含瓦斯煤水气两相渗流渗透率大小,具体公式如下:

$$K_g = \frac{2Q_0 p_0 L (\bar{\mu} \bar{Z}) T}{A (p_i^2 - p_e^2) T_0}$$

式中: K_g 为渗透率; Q_0 为标准状况下的气体体积流量; $\bar{\mu}$ 和 \bar{Z} 分别为平均气体动力黏度和平均压缩因子; L 为多孔介质渗流长度; A 为多孔介质横截面积; p_0 为标准状况下的气体压力; p_i 为进气端压力; p_e 为出气端压力; T 为实验环境绝对温度; T_0 为标准状况下绝对温度。

含瓦斯煤水气两相渗流实验系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于不同载荷、不同温度、不同含水率和不同瓦斯压力的水气两相介质条件下的含瓦斯煤渗流实验技术，是一种模拟真实煤矿环境条件的含瓦斯煤水气两相渗流实验系统和方法。

背景技术

[0002] 煤层中瓦斯气体的吸附-解吸-渗流特性受煤层瓦斯压力、地应力、煤体物理力学性质、围岩结构、地下水和地温等诸多因素的影响，尤其是随着煤矿开采深度逐年加深，这种多因素耦合关系表现得更加明显。以往的含瓦斯煤水气两相吸附-解吸-渗流实验系统都是采用液态水进行实验，由于液态水与瓦斯气体很难均匀混合，无法做到真正意义上的水气两相渗流。

[0003] 国内已公开的专利文献 CN201210409446.0 公开了一种受载含瓦斯煤水气两相吸附-解吸-渗流实验系统和方法，该试验系统能够对于在不同的恒定外部加载压力和不同瓦斯压力下进行含瓦斯煤水气两相吸附-解吸-渗流实验，但是没有考虑液态水对煤体的渗流特性的影响，也没有考虑温度对实验的影响；已公开的专利文献 CN201210283984. X 公开了一种变温条件下受载含瓦斯煤吸附-解吸-渗流实验系统，这套试验装置功能比较齐全，既能够实现多种影响因素对含瓦斯煤渗流特性的综合作用，同时也考虑了温度对实验的影响，取得了较好的进展，但是却仍然没有克服液态水对煤体渗流特性的影响。

发明内容

[0004] 本发明为了克服现有实验技术的不足，提供一种含瓦斯煤水气两相渗流实验系统和方法，通过改变不同的加载条件、加载路径和实验温度，可以模拟煤矿井下条件，实现含瓦斯煤水气两相的渗流实验和其他条件下的瓦斯吸附解吸实验。

[0005] 一种含瓦斯煤水气两相渗流实验系统，其包括气体混合装置，所述气体混合装置包括顺次连接的混合罐和吸附罐，所述混合罐底部设有集液口；所述混合罐的进口分别连接水蒸气输送管路和高压瓦斯输送管路；所述吸附罐连接煤样夹持器的进气口，煤样夹持器的出气口管路通过四通阀分为两个支路，其中一个支路连接真空泵，另一支路顺次连接水汽计量装置和气体流量计。

[0006] 具体来说，所述水蒸气输送管路上依次设有水蒸气发生器、减压阀、压力表和开关；所述高压瓦斯输送管路上依次设有高压瓦斯罐、第一压力表、减压阀、第二压力表和开关；所述混合罐设有压力表和温度计；所述吸附罐设有压力表。

[0007] 所述吸附罐与煤样夹持器进气口之间的管路上依次设有减压阀、压力表和开关；所述煤样夹持器出气口与四通阀之间的管路上设有压力表。

[0008] 所述的水汽计量装置由精密电子天平和置于精密电子天平上、且装有干燥剂的密封管组成。

[0009] 所述水汽计量装置和气体流量计分别连接至数据实时采集装置。数据实时采集装

置主要由导线和数据采集系统组成,可用于对整个实验过程的数据变化的监控和采集。

[0010] 采用上述实验系统进行含瓦斯煤水气两相渗流实验的方法,其包括如下步骤:

1) 组装好实验系统,并检测实验系统的密封性;

2) 将准备好的干燥煤样装入煤样夹持器,并将气体混合装置和煤样夹持器放入恒温水浴池中,用以使气体混合装置中的气体及干燥煤样均保持恒定实验温度;

3) 真空脱气:先对煤样施加预定的围压和轴压,然后对气体混合装置和煤样夹持器进行真空脱气,并维持真空状态不低于3h;

4) 水气两相吸附:通过水蒸气发生器和高压瓦斯罐向气体混合装置内充入水蒸气和瓦斯气体,待气体混合装置内的气体压力稳定后,再次对煤样施加预定的围压和轴压,然后向煤样中充入水蒸气和瓦斯混合气体,进行煤样吸附;

5) 水气两相渗流:待煤样吸附平衡后,从煤样内部出来的水蒸气及瓦斯通过水汽计量装置和气体流量计进行两相渗流实验;

6) 数据采集及处理:当气体流量计的流量稳定后,记录下气体流量数据,同时记录在水气两相渗流实验前后精密电子天平测得的液态水的质量变化值;然后将精密电子天平测得的质量变化量换算成标准状况下水蒸气的气体体积流量 Q_1 ,气体流量计测得的瓦斯气体体积流量换算成标准状况下瓦斯气体体积流量 Q_2 ,得到标况下的气体气体体积流量 $Q_0=Q_1+Q_2$;利用拟压法评估含瓦斯煤水气两相渗流渗透率大小,具体公式如下:

$$K_g = \frac{2Q_0 p_0 L(\bar{\mu} \bar{Z}) T}{A(p_i^2 - p_e^2) T_0}$$

式中: K_g 为渗透率; Q_0 为标准状况下的气体体积流量; $\bar{\mu}$ 和 \bar{Z} 分别为平均气体动力黏度和平均压缩因子; L 为多孔介质渗流长度; A 为多孔介质横截面积; p_0 为标准状况下的气体压力; p_i 为进气端压力; p_e 为出气端压力; T 为实验环境绝对温度; T_0 为标准状况下绝对温度。

[0011] 本发明中,高压瓦斯输送管路用于提供不同瓦斯压力的瓦斯气体,水蒸气输送管路用于提供高压水蒸气源。气体混合装置用于充分混合瓦斯气体和水蒸气,形成混合均匀的水气两相气体;其中,混合罐用于气体充分混合后充入吸附罐中备用,吸附罐向煤样提供恒定气体压力和恒定温度的水气两相气源。煤样夹持器用于夹持、固定密封煤样并连接围压计量泵和轴压计量泵,可对煤样实施围压和轴压,也可称为煤层岩心夹持器、三轴应力煤心夹持器或直接参照使用专利号为ZL201020128142.3的“多功能真三轴应力煤心夹持器”也可,此为本领域常规技术,故此不再赘述。真空泵用于对气体混合装置及煤样进行抽真空,同时也进行煤样的气密性检验。恒温水浴池为实验提供恒定的温度环境,确保实验数据的准确性。水汽计量装置和气体流量计用于计量和实时监测渗流过程中的水蒸气质量和瓦斯气体的流量大小。吸附罐与煤样夹持器之间管路上的压力表、煤样夹持器与四通阀之间管路上的压力表主要用于计量水气两相流过煤样前后的瓦斯压力大小。

[0012] 压力表、精密电子天平、气体流量计等用于计量实验过程中的瓦斯压力、围压、轴压、瓦斯气体流量等实验数据,记录并监测实验过程中的重要数据的变化,为实验分析提供准确真实的原始数据。

[0013] 和现有技术相比,本发明的有益效果:

1、本发明的实验系统和方法能进行不同轴压、不同围压、不同瓦斯压力和不同温度条

件下含瓦斯煤水气两相介质的吸附、解吸和渗流实验，主要用于模拟井下真实条件下含瓦斯煤水气两相渗透率的快速测定和对含瓦斯煤水气两相介质的吸附-解吸-渗流特性及规律的研究，为煤矿瓦斯灾害防治提供研究手段和实验平台。该实验系统首次采用水蒸气和瓦斯气体相协同运动，实现含瓦斯煤中水气两相的渗透行为，同时通过数据实时采集装置，准确观测到含瓦斯煤的渗透率以及其含水率等的变化趋势，具有结构合理、操作简便、测量准确、价格低廉等优点，克服了液态水与瓦斯气体难以直接混合的不足。

[0014] 2、本发明的实验系统和方法既考虑了瓦斯气体的吸附-解吸-渗流过程，又考虑了温度、地应力和瓦斯压力对含瓦斯煤水气两相渗流的综合影响，通过数据的采集和处理可以得到各种组合实验条件下准确的实验数据和结果。此外，通过用水蒸气代替液态蒸馏水，实现了真正意义上的水气两相渗流过程，完善了系统的实验功能；通过围压加载装置和轴压加载装置，实现了对煤样施加三维载荷，提供实验所需的应力环境；计量装置能够连续地、准确地检测和采集各种实验参数大小，确保原始数据的可靠性。

附图说明

[0015] 图 1 为本发明的实验系统组成示意图。

具体实施方式

[0016] 以下通过具体实施例来说明本发明的技术方案，但本发明的保护范围不限于此。

实施例 1

如图 1 所示，一种含瓦斯煤水气两相渗流实验系统，其包括气体混合装置，所述气体混合装置包括顺次连接的混合罐 3 和吸附罐 6，所述混合罐 3 底部设有集液口 4；所述混合罐 3 的进口分别连接水蒸气输送管路和高压瓦斯输送管路；所述吸附罐 6 连接煤样夹持器 8 的进气口，煤样夹持器 8 的出气口管路通过四通阀 12 分为一个密闭口和两个支路，其中一个支路连接真空泵 11，另一支路顺次连接水汽计量装置和气体流量计 16。

[0018] 所述水蒸气输送管路上依次设有水蒸气发生器 2、第一减压阀 17、第三压力表 20 和第一开关 29；所述高压瓦斯输送管路上依次设有高压瓦斯罐 1、第一压力表 21、第二减压阀 18、第二压力表 22 和第二开关 30；所述混合罐 3 设有第四压力表 23 和温度计 5；所述吸附罐 6 设有第五压力表 24。所述吸附罐 6 与煤样夹持器 8 进气口之间的管路上依次设有第三减压阀 19、第六压力表 25 和第四开关 32；所述煤样夹持器 8 出气口与四通阀 12 之间的管路上设有第九压力表 28。所述的水汽计量装置由精密电子天平 14 和置于精密电子天平 14 上、且装有干燥剂的密封管 13 组成。所述水汽计量装置和气体流量计 16 分别连接至数据实时采集装置 15。

[0019] 本发明中，高压瓦斯罐 1，第一压力表 21、第二减压阀 18、第二压力表 22 和第二开关 30 组成高压气源装置，高压瓦斯罐 1 中的瓦斯经过减压阀减压后进入到混合罐 3 中为实验提供瓦斯气源。水蒸气发生器 2、第一减压阀 17、第三压力表 20 和第一开关 29 组成水蒸气发生装置，水蒸气发生器 2 中产生的高压水蒸气被导入到混合罐 3 中，与瓦斯气体充分混合后参与实验。

[0020] 瓦斯气体和高压水蒸气在混合罐 3 中充分混合，凝结的液体水从集液口 4 收集排出，混合气体进入到吸附罐 6 中，通过第三减压阀 19 减压后导入到煤样夹持器 8 中参与实

验。

[0021] 煤样夹持器 8 能提供三轴压力, 其主要作用是放置煤样及提供实验所需应力环境, 既可以实现对煤样施加围压, 又可以实现对煤样施加轴压。施加围压时, 通过围压计量泵 9、第五开关 33 和第七压力表 26 实现, 可使煤样保持恒定大小的围压; 施加轴压时, 通过轴压计量泵 10、第六开关 34 和第八压力表 27 实现, 可使煤样保持恒定的轴压。

[0022] 本发明提供的实验系统能实现如下主要实验功能:

- (1) (变温条件下) 含瓦斯煤水气两相渗流实验;
- (2) (变温条件下) 含瓦斯煤水气两相吸附实验;
- (3) (变温条件下) 含瓦斯煤水气两相解吸实验。

[0023] 本实验的含瓦斯煤水气两相吸附、解吸、渗流实验皆是用水蒸气代替液态水进行实验, 是一种颇具特色的实验方法。下面主要介绍本发明含瓦斯煤水气两相渗流实验的实施方法, 具体叙述如下:

1) 组装好实验系统, 并检测实验系统的密封性; 具体为:

关闭第一开关 29、第二开关 30、第五开关 33、第六开关 34, 打开第三开关 31、第四开关 32, 将四通阀 12 的开关接通到密封口端口, 打开第二开关 30, 向管道内充入一定压力的气体后关闭第二开关 30, 静置 24h, 观察第四压力表 23、第五压力表 24、第六压力表 25、第七压力表 26、第八压力表 27、第九压力表 28 的示数是否下降。若压力表示数一致且不下降, 表明系统密封性良好, 否则进行调试, 直到系统密封性良好为止。

[0024] 2) 将准备好的干燥煤样装入煤样夹持器, 并将气体混合装置和煤样夹持器放入恒温水浴池中, 用以使气体混合装置中的气体及干燥煤样均保持恒定实验温度。具体为:

取一准备好的实验煤样(尺寸在 $\Phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 左右)预先放入高温马弗炉里恒温干燥 12h, 排除水分对实验结果造成的影响, 煤样冷却后称重记录, 计为干燥煤样。将干燥煤样装入煤样夹持器 8, 并将气体混合装置和煤样夹持器 8 一起放入恒温水浴池 7 中, 用以使气体混合装置中的气体及干燥煤样均保持恒定实验温度;

3) 真空脱气: 先对煤样施加预定的轴压和围压, 然后对气体混合装置和煤样夹持器进行真空脱气, 并维持真空状态 3h。具体为:

在保证系统连接正确, 气密性完好, 干燥煤样温度已达到预定温度(温度计测定)的情况下, 先对煤样施加预定轴压, 然后施加预定围压。为排除煤样和系统中杂质气体对实验结果造成影响, 关闭第一开关 29、第二开关 30, 打开第三开关 31、第四开关 32、第五开关 33 和第六开关 34, 将四通阀 12 接通真空泵 11, 对实验系统抽真空, 直到系统内部达到要求的负压(绝对压力小于 50Pa)时, 将四通阀 12 调节到密封口端口, 然后关闭真空泵 11。关闭真空泵 11 后系统真空度在 3h 内一直保持稳定, 即完成真空脱气。

[0025] 4) 水气两相吸附: 通过水蒸气发生器 2 和高压瓦斯罐 1 向气体混合装置内充入水蒸气和瓦斯气体, 待气体混合装置内的气体压力稳定后, 再次对煤样施加预定的围压和轴压, 然后向煤样中充入水蒸气和瓦斯混合气体, 进行煤样吸附。具体为:

关闭所有开关, 通过调节第一减压阀 17 和第二减压阀 18, 当第三压力表 20 和第二压力表 22 的示数一样时, 表明释放出来的高压水蒸气和高压瓦斯的气体压力相同, 然后打开第一开关 29 和第二开关 30, 同时向混合罐 3 中充入水蒸气和瓦斯气体和进行充分混合; 打开第三开关 31, 待混合罐 3 和吸附罐 6 中的气体压力稳定后, 记录下第四压力表 23 和第五压

力表 24 的读数,同时关闭第一开关 29、第二开关 30 和第三开关 31 ;打开第五开关 33 和第六开关 34 ,利用围压计量泵 9 和轴压计量泵 10 对煤样施加预定的围压和轴压。通过第三减压阀 19 和第六压力表 25 ,调节确定渗流实验的混合气体压力,然后关闭第五开关 33 和第六开关 34 ;打开第四开关 32 ,往煤样中充入已经调好压力大小的水蒸气和瓦斯混合气体,让煤样充分吸附。当第六压力表 25 和第九压力表 28 的读数一样且保持不变时(记录好压力表读数),表明煤样吸附已达到平衡,煤样的水气两相吸附完成。

[0026] 5) 水气两相渗流 :待煤样吸附平衡后,从煤样内部出来的水蒸气及瓦斯通过水汽计量装置和气体流量计 16 进行两相渗流实验。具体为 :

煤样达到吸附平衡后,将四通阀 12 接通到水汽计量装置,同时打开精密电子天平 14 、气体流量计 16 和数据实时采集装置 15 ,开始含瓦斯煤的水气两相渗流实验。

[0027] 6) 数据采集及处理 :当气体流量计 16 的流量稳定后,记录下气体流量数据,同时记录在水气两相渗流实验前后精密电子天平的质量变化值,将精密电子天平测得的液态水质量和气体流量计测得的瓦斯气体体积流量换算成标准状况下的水气两相流体积流量,即标况下的气体体积流量 Q_0 。通过第三减压阀 19 可调节入口气体压力来改变含瓦斯煤水气两相渗流实验的气体压力;在实验过程中出现吸附罐 6 中的混合气体不够用时,可以打开第一开关 29 、第二开关 30 和第三开关 31 ,往吸附罐中充入足够的混合气体,以保证渗流实验的顺利完成。

[0028] 利用拟压法计算含瓦斯煤水气两相渗流渗透率大小,具体公式如下 :

$$K_g = \frac{2Q_0 p_0 L(\bar{\mu} \bar{Z})}{A(p_i^2 - p_e^2)} \frac{T}{T_0}$$

式中 : K_g 为渗透率; Q_0 为标准状况下的气体体积流量; $\bar{\mu}$ 和 \bar{Z} 分别为平均气体动力黏度和平均压缩因子; L 为多孔介质渗流长度; A 为多孔介质横截面积; p_0 为标准状况下的气体压力; p_i 为进气端压力; p_e 为出气端压力; T 为实验环境绝对温度; T_0 为标准状况下绝对温度。

[0029] 当一种实验条件下的水气两相渗流结束之后,可以通过改变实验温度、围压、轴压和瓦斯压力大小来得出不同实验条件下的含瓦斯煤水气两相渗流特性及其规律。本发明创造性地利用水蒸气代替液态水进行含瓦斯煤水气两相渗流实验,成功克服了水气两相均匀混合问题。

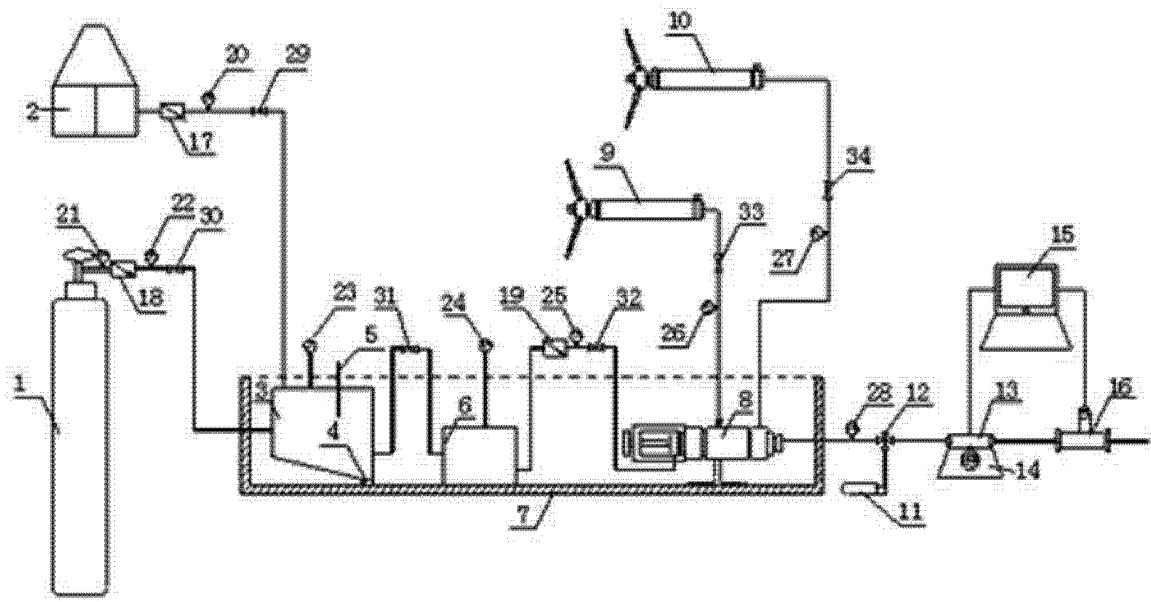


图 1