



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110927358 B

(45) 授权公告日 2021.03.05

(21) 申请号 201911030419.0

审查员 罗平

(22) 申请日 2019.10.28

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110927358 A

(43) 申请公布日 2020.03.27

(73) 专利权人 中国科学院广州能源研究所

地址 510640 广东省广州市天河区五山能源路2号

(72) 发明人 李栋梁 姚远欣 梁德青

(74) 专利代理机构 广州科粤专利商标代理有限公司

公司 44001

代理人 周友元 莫瑶江

(51) Int.Cl.

G01N 33/24 (2006.01)

G01N 15/08 (2006.01)

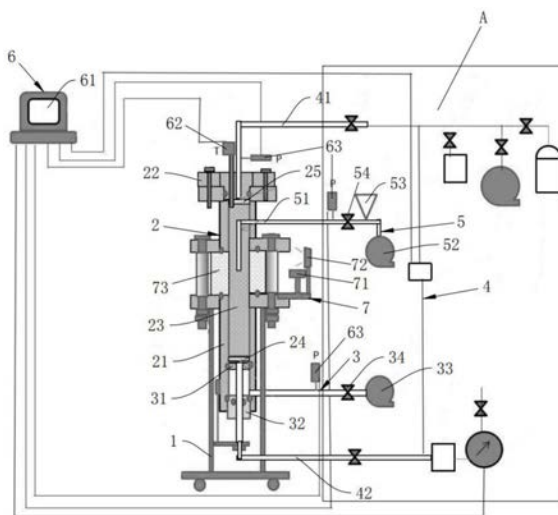
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种天然气水合物矿藏压裂实验装置

(57) 摘要

本发明公开了一种天然气水合物矿藏压裂实验装置,包括支架以及设置在支架上用于合成样品并对其进行压裂改造的反应器,反应器上设置有样品合成系统、渗透率测试系统以及数据采集及控制系统,反应器中上还设有用于进行压裂改造的水力压裂系统。本发明可在高压低温条件下原位合成天然气水合物沉积物,对沉积物进行压裂实验,并测量其渗透率,扩展了目前所存在实验测试装置的使用范围,同时请能合理模拟储层地应力以及温压条件,可以较完整地还原出注液、压裂、加支撑剂等水力压裂常规操作步骤,还可以测量压裂前后和不同压裂条件下储层渗透率的变化并观察压裂效果,对天然气水合物沉积物的压裂机理和压裂前后储层渗透率变化的研究有一定的指导作用。



1. 一种天然气水合物矿藏压裂实验装置,其特征在于:包括支架(1)以及设置在支架(1)上用于合成样品并对其进行压裂改造的反应器(2),所述反应器(2)上设置有样品合成系统(3)、渗透率测试系统(4)以及数据采集及控制系统(6),所述反应器(2)中上还设有用于进行压裂改造的水力压裂系统(5);

所述反应器(2)包括反应器筒体(21)和设置在反应器筒体(21)一端的反应器端盖(22),所述反应器筒体(21)内用于放置水合物沉积物样品(23),所述样品合成系统(3)设置在反应器筒体(21)远离反应器端盖(22)的一端,所述样品合成系统(3)、反应器筒体(21)以及反应器端盖(22)之间的空间形成内腔,所述反应器端盖(22)与水合物沉积物样品(23)之间设置有第一透水板(25),所述样品合成系统(3)与水合物沉积物样品(23)之间设置有第二透水板(24);

所述渗透率测试系统(4)包括连接至反应器端盖(22)的一端的内腔内的第一输气管道(41)、与第一输气管道(41)连接的第一恒压系统(43)、连接至样品合成系统(3)一端的内腔内的第二输气管道(42)、与第二输气管道(42)连接的第二恒压系统(44)以及与第二恒压系统(44)连接的流量计,所述第一输气管道(41)上设有第一阀门(411),所述第二输气管道(42)上设有第二阀门(421),所述第一恒压系统(43)与第一输气管道(41)支架(1)设有恒压阀门(431),所述流量计连接有流量阀门,所述第一恒压系统(43)和第二恒压系统(44)之间连接有差压传感器(45),所述差压传感器(45)和流量计均连接至数据采集及控制系统(6)。

2. 根据权利要求1所述的天然气水合物矿藏压裂实验装置,其特征在于:所述样品合成系统(3)包括与第二透水板(24)相抵的活塞(31)、设置在反应器筒体(21)远离反应器端盖(22)的一端的密封塞(32)以及连接在活塞(31)与密封塞(32)之间的反应器筒体(21)的侧壁上的手动增压泵(33),所述手动增压泵(33)与反应器筒体(21)之间设置有增压阀门(34)。

3. 根据权利要求1所述的天然气水合物矿藏压裂实验装置,其特征在于:所述渗透率测试系统(4)还连接有抽真空系统(46)和用以给反应供气和提供测试渗透率的气体的气瓶(47),所述抽真空系统(46)和气瓶(47)均连接至第一输气管道(41),所述抽真空系统(46)与第一输气管道(41)之间设置有抽真空阀门(461),所述气瓶(47)与第一输气管道(41)之间设置有供气阀门(471)。

4. 根据权利要求1所述的天然气水合物矿藏压裂实验装置,其特征在于:所述水力压裂系统(5)包括从反应器筒体(21)的侧壁连接至内腔内的水力射流管(51)以及与水力射流管(51)连接的压裂泵系统(52),所述水力射流管(51)的出口方向与反应器(2)的轴线方向一致,所述水力射流管(51)上设有加砂装置(53),所述加砂装置(53)和反应器筒体(21)的侧壁之间设有压裂阀门(54)。

5. 根据权利要求1所述的天然气水合物矿藏压裂实验装置,其特征在于:所述数据采集及控制系统(6)包括计算机(61)以及与计算机(61)连接的温度传感器(62)和压力传感器(63),所述温度传感器(62)设置在反应器端盖(22)上,以采集内腔内部的温度参数数据,所述压力传感器(63)连接设置在样品合成系统(3)、渗透率测试系统(4)以及水力压裂系统(5)上,以采集各系统压力参数数据。

6. 根据权利要求1所述的天然气水合物矿藏压裂实验装置,其特征在于:还包括设置在反应器筒体(21)上内腔对应位置处的侧壁上的摄影照明系统(7),所述摄影照明系统(7)包

括设置在反应器筒体 (21) 的侧壁的用于观测内腔内部情况的蓝宝石筒 (73) 以及连接在反应器筒体 (21) 上的摄像机 (71) 和照明灯 (72), 所述摄像机 (71) 的镜头正对蓝宝石筒 (73), 以观测内腔内部情况。

一种天然气水合物矿藏压裂实验装置

技术领域

[0001] 本发明涉及到一种天然气水合物矿藏压裂实验装置,其装置是一种可以在高压低温条件下原位合成天然气水合物沉积物,对沉积物进行压裂实验,并测量其渗透率的装置。

背景技术

[0002] 天然气水合物是一种由烷烃(如甲烷、乙烷等)与水在一定的高压低温条件下形成的冰状固体,俗称可燃冰,广泛分布于冻土带地表以下和大陆边缘海底之下的沉积物中。全球范围内天然气水合物储量巨大,相当于 2×10^5 亿吨油当量,是全球常规化石能源总碳量的2倍,被视为石油时代之后重要的替代能源。

[0003] 在天然气水合物开采过程中,利用降压、注热、注化学试剂等开采方法使水合物分解后,其储层的渗透率大小会直接影响水合物分解后孔隙间气、水的渗流速率,进而影响产气开采效率,所以提高储层渗透率对实现天然气水合物的商业化开采有着重要意义。

[0004] 储层改造技术中的水力压裂增产技术在石油天然气工业中已得到了广泛应用,可以极大提高油气储层的渗透率,实现了低渗、特低渗油气田油气生产中的增产增注。由于天然气水合物储层的低渗特性与页岩气田等低渗气田的性质类似,为了实现天然气水合物矿藏的天然气增产,当前已有一些研究正在探索利用水力压裂法提高水合物储层渗透率的可行性,而现有对天然气水合物沉积物进行水力压裂的模拟实验较少,并且缺乏较完整水力压裂过程的模拟并可以测量压裂后储层渗透率变化的实验装置,也无法模拟真实的地应力以及储层温压条件,制约着天然气水合物矿藏水力压裂法增产技术的发展。天然气水合物沉积物在常规贮藏条件下的渗透率非常低,不利于天然气生产,因此需要实验装置模拟使用水力压裂法对天然气水合物矿藏进行储层改造,产生高渗透率的压裂通道以提高储层渗透率。

发明内容

[0005] 针对现有技术的不足,本发明提供一种天然气水合物矿藏压裂实验装置。

[0006] 为实现上述目的,本发明的技术方案为:

[0007] 一种天然气水合物矿藏压裂实验装置,包括支架以及设置在支架上用于合成样品并对其进行压裂改造的反应器,所述反应器上设置有样品合成系统、渗透率测试系统以及数据采集及控制系统,所述反应器中还设有用于进行压裂改造的水力压裂系统。

[0008] 进一步地,所述反应器包括反应器筒体和设置在反应器筒体一端的反应器端盖,所述反应器筒体内用于放置水合物沉积物样品,所述样品合成系统设置在反应器筒体远离反应器端盖的一端,所述样品合成系统、反应器筒体以及反应器端盖之间的空间形成内腔,所述反应器端盖与水合物沉积物样品之间设置有第一透水板,所述样品合成系统与水合物沉积物样品之间设置有第二透水板。

[0009] 进一步地,所述样品合成系统包括与第二透水板相抵的活塞、设置在反应器筒体远离反应器端盖的一端的密封塞以及连接在活塞与密封塞之间的反应器筒体的侧壁上的

手动增压泵,所述手动增压泵与反应器筒体之间设置有增压阀门。

[0010] 进一步地,所述渗透率测试系统包括连接至反应器端盖的一端的内腔内的第一输气管道、与第一输气管道连接的第一恒压系统、连接至样品合成系统一端的内腔内的第二输气管道、与第二输气管道连接的第二恒压系统以及与第二恒压系统连接的流量计,所述第一输气管道上设有第一阀门,所述第二输气管道上设有第二阀门,所述第一恒压系统与第一输气管道支架设有恒压阀门,所述流量计连接有流量阀门,所述第一恒压系统和第二恒压系统之间连接有差压传感器,所述差压传感器和流量计均连接至数据采集及控制系统。

[0011] 进一步地,所述渗透率测试系统还连接有抽真空系统和用以给反应供气和提供测试渗透率的气体的气瓶,所述抽真空系统和气瓶均连接至第一输气管道,所述抽真空系统与第一输气管道之间设置有抽真空阀门,所述气瓶与第一输气管道之间设置有供气阀门。

[0012] 进一步地,所述水力压裂系统包括从反应器筒体的侧壁连接至内腔内的水力射流管以及与水力射流管连接的压裂泵系统,所述水力射流管的出口方向与反应器的轴线方向一致,所述水力射流管上设有加砂装置,所述加砂装置和反应器筒体的侧壁之间设有压裂阀门。

[0013] 进一步地,所述数据采集及控制系统包括计算机以及与计算机连接的温度传感器和压力传感器,所述温度传感器设置在反应器端盖上,以采集内腔内部的温度参数数据,所述压力传感器连接设置在样品合成系统、渗透率测试系统以及水力压裂系统上,以采集各系统压力参数数据。

[0014] 进一步地,还包括设置在反应器筒体上内腔对应位置处的侧壁上的摄影照明系统,所述摄影照明系统包括设置在反应器筒体的侧壁的用于观测内腔内部情况的蓝宝石筒以及连接在反应器筒体上的摄像机和照明灯,所述摄像机的镜头正对蓝宝石筒,以观测内腔内部情况。

[0015] 本发明与现有技术相比,具有如下优点:

[0016] 本发明可以在高压低温条件下原位合成天然气水合物沉积物,对沉积物进行压裂实验,并测量其渗透率,扩展了目前所存在实验测试装置的使用范围,提高了实验测试的精确度和便利度。本申请这样的设计支持原位合成水合物沉积物样品,能合理模拟储层地应力以及温压条件,可以较完整地还原出注液、压裂、加支撑剂等水力压裂常规操作步骤,还可以测量压裂前后和不同压裂条件下储层渗透率的变化并观察压裂效果,对天然气水合物沉积物的压裂机理和压裂前后储层渗透率变化的研究有一定的指导作用。

附图说明

[0017] 图1为天然气水合物矿藏压裂实验装置的整体连接结构示意图;

[0018] 图2为图1中A部分渗透率测试系统的连接结构放大示意图;

[0019] 附图标记说明:1、支架;2、反应器;21、反应器筒体;22、反应器端盖;23、水合物沉积物样品;24、第二透水板;25、第一透水板;3、样品合成系统;31、活塞;32、密封塞;33、手动增压泵;34、增压阀门;4、渗透率测试系统;41、第一输气管道;411、第一阀门;42、第二输气管道;421、第二阀门;43、第一恒压系统;431、恒压阀门;44、第二恒压系统;45、差压传感器;46、抽真空系统;461、抽真空阀门;47、气瓶;471、供气阀门;5、水力压裂系统;51、水力射流

管;52、压裂泵系统;53、加砂装置;54、压裂阀门;6、数据采集及控制系统;61、计算机;62、温度传感器;63、压力传感器;7、摄影照明系统;71、摄像机;72、照明灯;73、蓝宝石筒。

具体实施方式

[0020] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0021] 实施例

[0022] 如图1所示,一种天然气水合物矿藏压裂实验装置,包括支架1以及设置在支架1上用于合成样品并对其进行压裂改造的反应器2,反应器2上设置有样品合成系统3、渗透率测试系统4、摄影照明系统7以及数据采集及控制系统6,反应器2中上还设有用于进行压裂改造的水力压裂系统5。

[0023] 反应器2的结构包括反应器筒体21和设置在反应器筒体21一端的反应器端盖22,反应器筒体21为圆柱筒状结构,并竖直固定设置在支架1上,反应器端盖22设置在反应器筒体21的顶部,反应器筒体21内用于放置水合物沉积物样品23。反应器端盖22与反应器筒体21之间通过螺栓固定连接,反应器筒体21与支架1之间通过螺母和螺栓固定连接,以确保反应器筒体21在合成样品、进行渗透率测试以及水力压裂的时候能保持固定,支架1底部加设有轮子,以便于整体的移动,为了使提高装置使用时的稳定,轮子可以加设有刹车,以避免滑动。

[0024] 样品合成系统3包括滑动设置在反应器筒体21内部的活塞31、密封设置在反应器筒体21底部的密封塞32以及手动增压泵33,活塞31和密封塞32之间的反应器筒体21内部空间形成一个密闭空间,手动增压泵33与该密闭空间链接,加压时活塞31向上活动,减压时活塞31向下活动,手动增压泵33与反应器筒体21之间还设置有增压阀门34。

[0025] 活塞31、反应器筒体21以及反应器端盖22之间的内部空间形成内腔,内腔用于放置合成水合物沉淀物的水合物沉积物样品23,反应器端盖22与水合物沉积物样品23之间设置有第一透水板25,活塞31与水合物沉积物样品23之间设置有第二透水板24。第一透水板25和第二透水板24的渗透率远大于水合物沉积物的渗透率,可以很好地阻挡沉积物砂砾进入管道并有效传递轴压。

[0026] 如图2所示,渗透率测试系统4包括连接至反应器端盖22的一端的内腔内的第一输气管道41、与第一输气管道41连接的第一恒压系统43、连接至样品合成系统3一端的内腔内的第二输气管道42、与第二输气管道42连接的第二恒压系统44以及与第二恒压系统44连接的流量计,第一恒压系统43与第二恒压系统44分部用于调节反应器2两端内部的压力值,流量计则是用于渗透率测试的时候,记录流速,以计算沉积物渗透率。第一输气管道41上设有第一阀门411,第二输气管道42上设有第二阀门421,第一阀门411与第二阀门421均用于控制反应器2内部空间的密闭,第一恒压系统43与第一输气管道41支架1设有恒压阀门431,流量计连接有流量阀门,第一恒压系统43和第二恒压系统44之间连接有差压传感器45,差压传感器45用于反映反应器2的顶部与底部之间的压差,差压传感器45和流量计均连接至数据采集及控制系统6,以便于整体数据的监控与测试。

[0027] 渗透率测试系统4还连接有抽真空系统46和用以给反应供气和提供测试渗透率的气体的气瓶47,气瓶47提供的气体为过饱和气体(如甲烷),抽真空系统46和气瓶47均连接

至第一输气管道41,抽真空系统46与第一输气管道41之间设置有抽真空阀门461,气瓶47与第一输气管道41之间设置有供气阀门471。抽真空系统46用于将反应器2内部的空气抽出,然后利用气瓶47对反应器2内部进行供气,以保证内部的气体的纯净,排出其他气体的干扰。

[0028] 如图1所示,水力压裂系统5设置在反应器筒体21的侧边,其包括从反应器筒体21的侧壁连接至内腔内的水力射流管51以及与水力射流管51连接的压裂泵系统52,水力射流管51上设有加砂装置53,压裂泵系统52将压裂液与支撑剂通过水力射流管51高压设入打入水合物沉积物内,水力射流管51的出口方向应与反应器2的轴线方向一致,加砂装置53和反应器筒体21的侧壁之间设有压裂阀门54。

[0029] 摄影照明系统7设置在反应器筒体21上内腔对应位置处的侧壁上,其包括设置在反应器筒体21的侧壁的用于观测内腔内部情况的蓝宝石筒73以及连接在反应器筒体21上的摄像机71和照明灯72,该端部为的反应器筒体21的侧壁直接采用蓝宝石筒73来替代,并利用螺栓螺母将蓝宝石筒73与反应器2固定,使其固定在相应的位置处,以更好地观测内部情况,摄像机71的镜头正对蓝宝石筒73,用以观测并记录内腔内部情况。

[0030] 数据采集及控制系统6包括计算机61以及与计算机61连接的温度传感器62和压力传感器63,温度传感器62设置在反应器端盖22上,以采集内腔内部的温度参数数据,压力传感器63连接设置在样品合成系统3、渗透率测试系统4以及水力压裂系统5上,以采集各系统压力参数数据,同时计算机61还与差压传感器45和流量计连接,可全程拍摄测试过程,以记录压裂过程中的压裂裂缝变化和压裂效果。

[0031] 本装置具体的实验步骤分为以下6步:

[0032] (1) 装样

[0033] 测试前先拧紧固定蓝宝石筒73的螺栓,卸开反应器端盖22外的螺栓,取下反应器端盖22,安装好反应器2下部的第二透水板24。将水力射流管51管孔包覆一层薄橡胶膜防止沉积物砂进入水力射流管51,之后向内腔中放入一定含水率的水合物沉积物样品23,堆实并安装好反应器2上部的第一透水板25,盖上反应器端盖22拧紧螺栓,数据采集和控制系统和计算机61开始监测反应进程。

[0034] (2) 样品合成

[0035] 为排除装置中残余空气的干扰,关闭恒压阀门431、供气阀门471、压裂阀门54、增压阀门34、第二阀门421,连接抽真空系统46到第一输气管道41,打开抽真空系统46、第一阀门411和抽真空阀门461开始对装置抽真空,约15分钟后抽真空完毕;抽真空完毕后,关闭抽真空系统46和抽真空阀门461。打开供气阀门471、恒压阀门431和恒压系统,连接气瓶47打入过饱和气体(例如甲烷),并维持一定的孔隙压力。之后打开增压阀门34,并利用手动调压泵推进活塞31,对水合物沉积物样品23施加一定的轴压,形成水合物沉积物样品23,将反应器2内温度降至1℃,等压力平衡后,打开恒温浴。

[0036] (3) 压裂前水合物沉积物渗透率测试

[0037] 反应完成后,关闭供气阀门471、增压阀门34和第一阀门411,将水合物沉积物预冷一段时间,打开第一阀门411、第二阀门421、流量计和流量阀门,并打开供气阀门471将一定压力的气体打入反应器2内,然后同时打开位于反应器2两端的第一恒压系统43、第二恒压系统44以及阀门,打开差压传感器45,通过观察差压传感器45不断调整反应器2两端的恒压

压力,使反应器2上端始终比反应器2下端大出一定的稳定压力值,进行气体渗流实验,当流量计显示的排气流量稳定后测算平均流速,用以计算沉积物渗透率。

[0038] (4) 水力压裂测试

[0039] 渗透率测试结束后,关闭气瓶47,供气阀门471、流量计、流量阀门、第二阀门421、第一阀门411,等到反应器2两端压力再次相等,打开照明灯72和摄像机71,打开连接压裂泵系统52的压裂阀门54,然后迅速打开压裂泵系统52和加砂装置53,控制加砂速率,压裂泵系统52以一定压力将已着色的压裂液和支撑剂打入水力射流管51,水力射流管51射出的高压液流冲破薄橡胶膜,冲击水合物沉积物样品23,将水合物沉积物样品23压裂出裂缝,摄像机71在蓝宝石筒73前记录下压裂的过程,之后停止压裂作业,关闭阀门和压裂泵系统52。

[0040] (5) 压裂后水合物沉积物渗透率测试

[0041] 压裂测试完成后,打开气瓶47阀门将一定压力的气体打入反应器2,打开流量计阀门,然后同时打开反应器2两端恒压系统,通过观察差压传感器45不断调整两端恒压压力,使反应器2上端始终比反应器2下端大出一定的稳定压力值,进行气体渗流实验,起初会排出部分压裂液,当流量计排气流量稳定后测算平均流速,以计算沉积物渗透率。

[0042] 压裂测试完成后,打开第一阀门411、第二阀门421、流量计和流量阀门,并打开供气阀门471将一定压力的气体打入反应器2,然后同时打开反应器2两端第一恒压系统43、第二恒压系统44、恒压阀门431和第二阀门421,打开差压传感器45,通过观察差压传感器45不断调整反应器2两端恒压压力,使反应器2上端始终比反应器2下端大出一定的稳定压力值,进行气体渗流实验。起初将排出部分压裂液,当流量计排气流量稳定后测算平均流速,用以计算沉积物渗透率。

[0043] (6) 改变温压条件

[0044] 改变沉积物和压裂液的温度或压力,进行下一轮测试。

[0045] 以上则是本装置具体的所有使用步骤,本发明可以在高压低温条件下原位合成天然气水合物沉积物,对沉积物进行压裂实验,并测量其渗透率,扩展了目前所存在实验测试装置的使用范围,提高了实验测试的精确度和便利度。本申请这样的设计支持原位合成水合物沉积物样品23,能合理模拟储层地应力以及温压条件,可以较完整地还原出注液、压裂、加支撑剂等水力压裂常规操作步骤,还可以测量压裂前后和不同压裂条件下储层渗透率的变化并观察压裂效果,对天然气水合物沉积物的压裂机理和压裂前后储层渗透率变化的研究有一定的指导作用。

[0046] 上述实施例只是为了说明本发明的技术构思及特点,其目的是在于让本领域内的普通技术人员能够了解本发明的内容并据以实施,并不能以此限制本发明的保护范围。凡是根据本发明内容的实质所做出的等效的变化或修饰,都应涵盖在本发明的保护范围内。

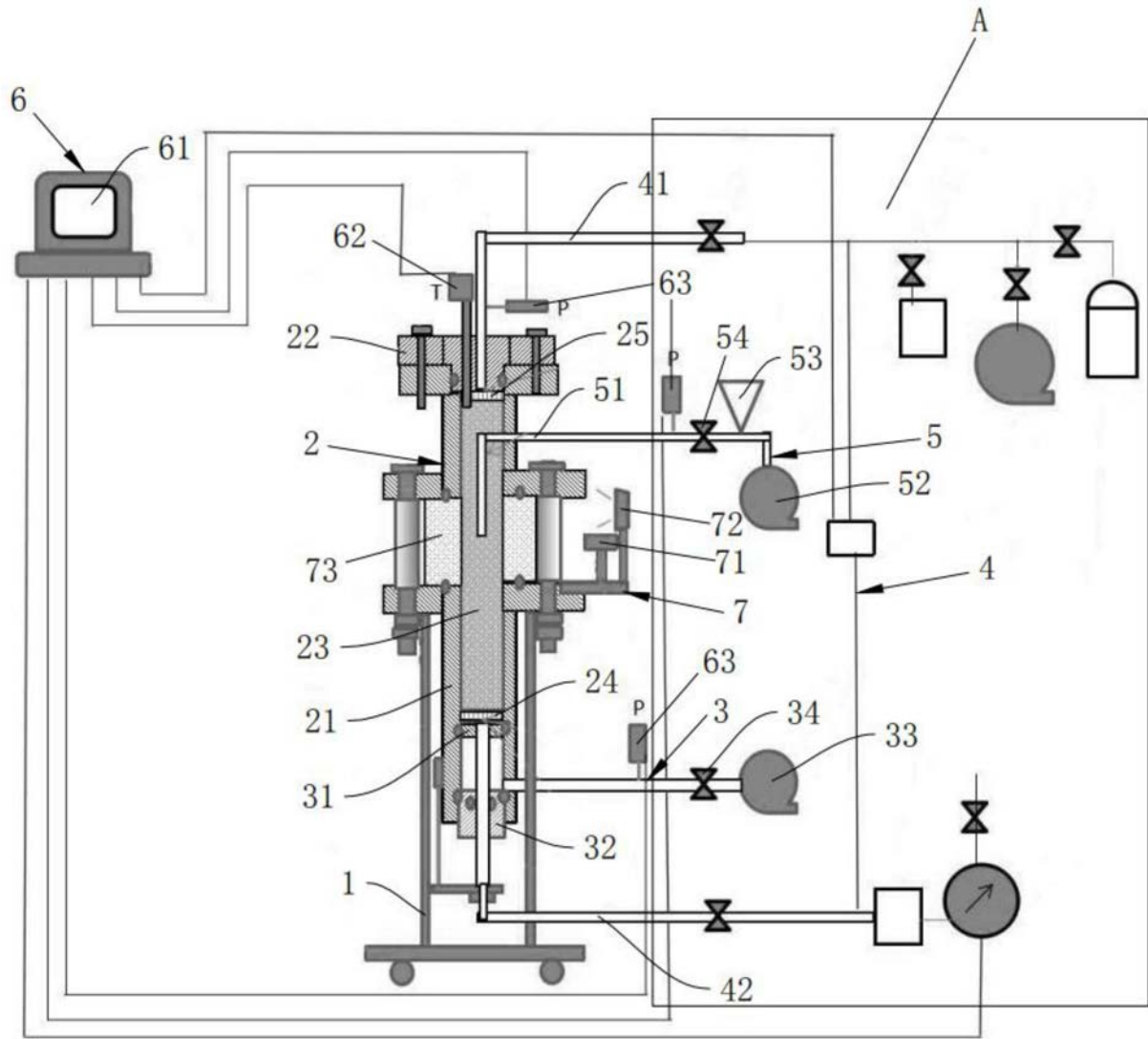
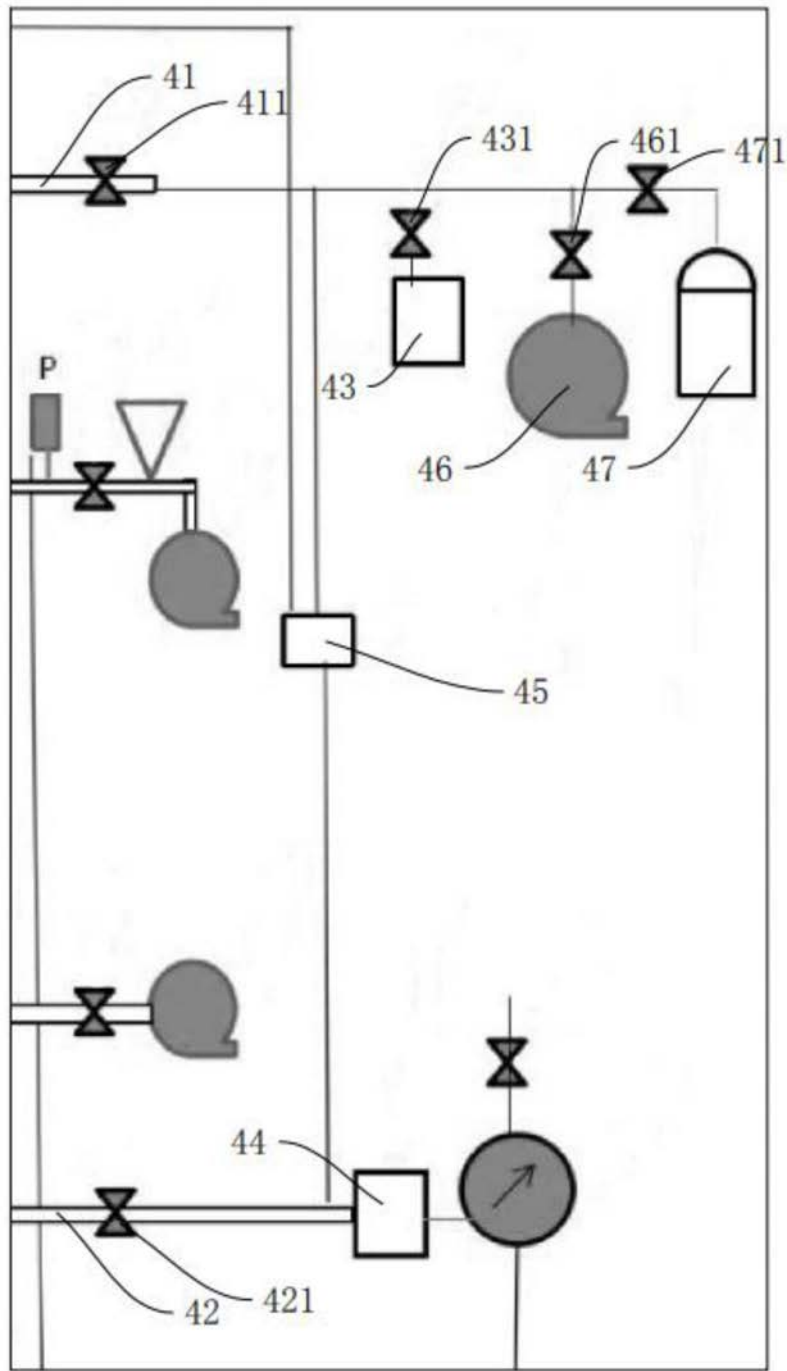


图1



A

图2