



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 105842073 A

(43)申请公布日 2016.08.10

(21)申请号 201610168679.4

(22)申请日 2016.03.22

(71)申请人 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 关进安 梁德青 万丽华 武文志

(74)专利代理机构 广州科粤专利商标代理有限公司 44001

代理人 莫瑶江

(51) Int. Cl.

G01N 3/12(2006.01)

G01N 3/24(2006.01)

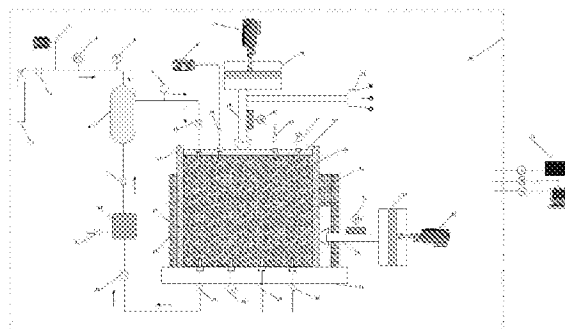
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

## (54)发明名称

含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统

## (57)摘要

本发明公开了一种含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,具体包括温度环境模拟装置、水合物生成装置、剪切装置、加载装置、测量与数据处理仪器和辅助仪器等几个子系统,其主要特色是将水合物反应容器与力学测试用的剪切盒设计成一体化的反应剪切盒,该反应剪切盒与普通土工直剪仪一样为方型,实验中先根据目的和要求在反应剪切盒里制作含水合物沉积物试样,然后再原位对试样进行在线固结和剪切测试。本实验系统能生成含水合物沉积试样,并原位开展非饱和与饱和试样的固结和剪切测试,具有仪器一体化和实验分步话的优点,仪器操作简便,测量数据准确。



1. 一种含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,包括反应直剪盒、高压气瓶(1)、水平荷载施加设备、垂直荷载施加设备和高低温试验箱(35);

所述反应直剪盒包括上下两个剪切盒,上剪切盒(11)与下剪切盒(12)密闭连接成水合物反应容器;

所述反应剪切盒上分别设置进气口、进水口和放水放气口,其中,进气口连接所述高压气瓶(1);

所述水平荷载施加设备从水平方向上向所述下剪切盒(12)施加载荷,所述垂直荷载施加设备从垂直方向上向所述上剪切盒(11)施加载荷;

以上所有设备均放置于所述高低温试验箱(35)。

2. 根据权利要求1所述的含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,所述水平荷载施加设备包括依次连接的单缸恒压恒速泵(24)、减速机(23)和连杆(25),连杆(25)还与所述下剪切盒(12)连接;

所述垂直荷载施加设备包括依次连接的单缸恒压恒速泵(19)、减速机(20)和连杆(18),连杆(18)还与所述上剪切盒(11)连接。

3. 根据权利要求2所述的含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,还包括手动环压泵(21),与所述连杆(25)垂直连接。

4. 根据权利要求1或2或3所述的含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,

还包括缓冲罐(6)和气液分离器(34),所述反应剪切盒上还设置出气口;

所述缓冲罐(6)分别连接所述高压气瓶(1)、所述气液分离器(34)和所述反应剪切盒的进气口,所述气液分离器(34)还连接所述反应剪切盒的出气口,且所述气液分离器(34)上还设置吹水口。

5. 根据权利要求4所述的含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,在所述高压气瓶(1)到所述缓冲罐(6)之间的管路上增设增压泵(3)。

6. 根据权利要求5所述的含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,还包括真空泵(8),及底座与支架(13);

所述反应剪切盒放置于所述底座与支架(13)上,并增设抽真空接口连接所述真空泵(8)。

7. 根据权利要求6所述的含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,在所述连杆(16)上还设置位移传感器(15);

在所述连杆(25)上还设置位移传感器(22);

在所述反应剪切盒上还设置压力检测接口,用以连接压力传感器(17);

在所述反应剪切盒上还设置温度检测接口,用以连接温度传感器(30);

在所述高压气瓶(1)到所述缓冲罐(6)之间的管路上还设置压力表(4)和温度计(5);

在所述反应剪切盒的进气口和所述缓冲罐(6)之间还设置气体流量计(9);

在所述反应剪切盒的出气口和所述气液分离器(34)之间还设置气体流量计(32);

上述位移传感器(15)、位移传感器(22)、压力传感器(17)和温度传感器(30)分别通过数据采集卡(36)连接主机电脑。

8. 根据权利要求7所述的含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,所述反应剪切盒的进气口、进水口、压力检测接口和抽真空接口设置在所述上剪切盒(11)的顶部;

所述反应剪切盒的出气口、放水放气口、温度检测接口,及备用接口设置在所述下剪切盒(12)的底部。

9. 根据权利要求8所述的含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,其特征在于,所述高低温试验箱(35)为大型步入式可编程高低温试验箱。

## 含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及新能源技术领域,具体涉及一种能够实现在高压低温下反应生成含水合物沉积物试样并随后原位测试其固结和剪切等力学特性的一体化实验系统。

### 背景技术

[0002] 天然气水合物是一种冰状的类洁净化合物,它一般由水分子包络气体分子组成固态广泛分布于水深大于300m的海底沉积层和大陆冻土层中。天然气水合物的能量密度非常高,一般情况下1体积的水合物可以释放约164个体积的天然气体,被视为人类21世纪的有巨大开发前景的高清洁可持续新型能源物质。

[0003] 当前,对天然气水合物的资源含量的认识,已经由最初仅根据当地热力学环境等条件估算发展到最近的由当地气源条件、地层结构、水合物聚集和产状等综合判定其开采潜力这一阶段,Boswell(2009)在具体分析了不同类型的水合物资源潜力后指出全球水合物资源应该呈金字塔型分布,由塔尖到塔底水合物的开发难度越来越大,随后,Frye(2008)、Fujii et al.(2008)、Boswell and Collett(2011)和Anderson et al.(2014)等人采用TRRs(Technically Recoverable Resources)和ERRs(Economically Recoverable Resources)两个概念进一步探讨了墨西哥湾、南海海槽和阿拉斯加北坡的水合物资源分布。各国政府机构、油气公司及相应科学界都投入大量人力物力开展沉积物内水合物储层的勘探和开采研究,如在南海海槽和阿拉斯加Mount Elbert区域的试采水合物钻井都取得了初步成功和宝贵数据,令人鼓舞的是,继2007年5月中国地调局在我国南海北部神狐海域钻采出高饱和度的岩心样品后,在2013年夏开展的GSGM-2科研调查中又在南海东沙海域发现了高丰度的海底水合物储藏,加上祁连山冻土区已勘探出的冻土带含水合物层,这些充实的科学调查结果都说明了我国也拥有巨大的水合物资源利用潜力。

[0004] 目前国内外常见且有效的开采水合物技术主要包括注热法(蒸汽、热水或盐水)、注化学剂法(甲醇、乙醇等)、降压法、CO<sub>2</sub>气体置换法及混合法等,然而,无论哪种方法都不可避免的涉及到当地地层的力学性质等方面,以避免诸如井壁倒塌、地层变形等施工事故,这也说明含水合物沉积物的力学及工程地质性质是水合物研究领域内必须开展的课题。含水合物沉积物是由水合物固体、沉积物骨架、残余孔隙水和残余游离气等组成的多相各向异性介质,其应力-应变关系与时间变量有关,具有复杂的诸如蠕变、应力松弛、长期强度和弹性后效等流变性质,水合物的一个重要特征就是其不稳定性,其赋存必须保证低温和高压等热力学环境,这样导致实地钻取并保存含水合物沉积物很困难,这样,实验室内模拟含水合物沉积物流变实验成为该类研究的可行和首选方案。

[0005] 当前,国内外一般使用改造的土工三轴力学仪器测试含水合物沉积物的强度-变形等力学性质,如国内Yu et al.(2011)、魏厚振等(2011)、刘芳等(2013)、孙中明等(2013)、Lu et al.(2014)等搭建了水合物三轴仪实验平台并利用这些平台测试了含甲烷/二氧化碳水合物沉积物的在不同水合物含量下的应力-应变关系等力学性质,国外Hyodo et al.(2013)、Yoneda et al.(2013)使用高压三轴仪实验测试了含甲烷水合物沉积砂在

不同温压等条件下分解时的力学性质,这些研究的结果为认识各种不同条件下的含水合物沉积物应力-应变-变形等力学性质提供了重要的参考,然而,对于水合物试样的蠕变特性等研究力学实验则很少开展。于该性质的研究通常可以分为间接法和直接法,直接法是直接施加剪力的试验测试,包括直接剪切和扭剪试验,间接法是利用单轴或三轴压缩与拉伸荷载进行蠕变试验,包括一位固结(渗透)试验和三轴剪切试验。

## 发明内容

[0006] 针对现有技术的不足,本发明的目的在于提供一种含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,以便满足对含水合物沉积物原位在线的流变力学性质测试研究。

[0007] 为了实现上述目的,本发明采取的技术方案是:

[0008] 一种含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,包括反应直剪盒、高压气瓶1、水平荷载施加设备、垂直荷载施加设备和高低温试验箱35;

[0009] 所述反应直剪盒包括上下两个剪切盒,上剪切盒11与下剪切盒12密闭连接成水合物反应容器;

[0010] 所述反应剪切盒上分别设置进气口、进水口和放水放气口,其中,进气口连接所述高压气瓶1;

[0011] 所述水平荷载施加设备从水平方向上向所述下剪切盒12施加载荷,所述垂直荷载施加设备从垂直方向上向所述上剪切盒11施加载荷;

[0012] 以上所有设备均放置于所述高低温试验箱35。

[0013] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0014] 本发明含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统,将水合物反应容器与力学测试用的剪切盒设计成一体化的反应剪切盒,实验中先根据目的和要求在反应剪切盒里制作含水合物沉积物试样,然后再原位对试样进行在线固结和剪切测试。本实验系统能生成含水合物沉积试样,并原位开展非饱和与饱和试样的固结和剪切测试,具有仪器一体化和实验分步化的优点,仪器操作简便,测量数据准确。

## 附图说明

[0015] 图1为本发明含水合物沉积物原位在线固结与剪切实验系统实施例的结构示意图。

[0016] 附图标记说明:1-高压气瓶,2、7、14、16、28、29、31、33-单向截止阀,3-增压泵,4-压力表,5-温度计,6-耐高压缓冲罐,8-真空泵,9、32-气体流量计,10-减压阀,11-上剪切盒,12-下剪切盒,13-底座及支架,15-垂直位移传感器,16-单向截止阀,17-压力传感器,18-连杆,19-单缸轴向伺服加载恒速恒压泵,20-减速机,21-手动回压泵,22-水平位移传感器,23-减速机,24-单缸水平伺服加载恒速恒压泵,25-连杆,26-含水合物沉积物试样,27-上剪切盒盖,30-温度传感器,34-气液分离器,35-大型步入式可编程高低温试验箱,36-带数据采集卡的主机电脑。

## 具体实施方式

[0017] 下面结合具体实施方式对本发明作进一步的说明。

[0018] 本实施例的主要目的是用于水合物沉积物形成实验和试样固结、快剪与慢剪蠕变实验。该实验系统按功能主要可分为含水合物沉积物形成实验系统部分和试样固结与剪切力学测试系统部分,可以分步骤开展相应实验研究。首先使用水合物形成系统生成不同水合物含量的沉积物试样,接着使用固结剪切系统开展原位下的排水/不排水的含水合物沉积物试样的固结、快剪、蠕变慢剪实验。整套实验系统具体又由温压环境提供装置、水合物生成装置、剪切加载施加装置、测量与数据采集处理仪器和辅助仪器等几部分组成。

[0019] 上述的水合物形成实验系统部分,主要由温压环境提供装置和水合物生成装置组成,温度压力装置包括可编程高低温试验箱、高压气瓶和增压泵组成,可编程高低温试验箱的温度调控范围为 $-20^{\circ}\text{C}$ - $70^{\circ}\text{C}$ ,在实验过程中将试验箱温度调节至所需温度,10MPa以内压力一般由高压气瓶自带即可满足需要,另外再设置一增压泵,以用于需要10MPa及以上压力的实验环境,水合物生成装置为一体化设计的方型反应直剪盒,其尺寸为 $60\times 50\times 50\text{mm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),由上剪切盒与下剪切盒两部分密闭成反应器,反应直剪盒上下测均设有进水进气孔,实验过程中可以根据水合物反应的需要进水、进气、排水及排气,气液分离器用于分离从反应直剪盒出来的流动含水气流;

[0020] 上述的试样固结和剪切力学测试系统部分,主要由剪切装置和加载装置组成,剪切装置是一体化设计的反应直剪盒,下剪切盒放置在固定底座的导轨上,通过连接杆与水平荷载施加设备连接,上剪切盒通过连接杆与垂直荷载施加设备连接,加载装置主要包括2台单缸恒速恒压泵、2台减速机和1台手动环压泵,单缸恒速恒压泵由进口的伺服系统控制,其中1台单缸恒速恒压泵与上剪切盒连接,用于水合物生成实验和固结与剪切实验的轴向压力加载,两者之间通过减速机内集成的气动阀进行自动切换,另一台单缸恒速恒压泵与下剪切盒连接,用于水合物生成实验的围压加载和固结剪切系统的水平剪切压力加载,两者之间通过也是通过减速机内集成的气动阀进行自动切换,此外手动环压泵为备用,通过连接杆连接剪切盒上下端,必要时手动施加轴向压力,既可以用于密闭上下剪切盒也可以需要时与轴向压力单缸恒速恒压泵交替使用;

[0021] 上测量与数据采集处理仪器,主要包括气体流量计、位移传感器、压力传感器、温度传感器、数据采集卡、自动化控制软件和主机等几部分设备,2个气体流量计用于显示水合物反应过程中的进气及出气量,2支拉杆式位移传感器放置于连接两个单缸恒速恒压泵和反应直剪盒的两个连杆上,精度能达到 $\mu\text{m}$ 级别,一只用于测量垂直固结和剪切实验时的轴向位移,另一只用于测量横向剪切时的水平位移,它们均能满足慢剪蠕变时的测试要求,压力表用于显示进气时的管路气压,安放于反应直剪盒的压力传感器和温度传感器用于监控和测量实验进行时的温度和压力,数据采集卡与电脑主机连接,通过自动化控制软件实时采集各种电信号并转换成相应的数据;

[0022] 上述的辅助仪器包括缓冲罐、真空泵、反应直剪盒移动放置支架、控制柜和管阀件等,真空泵用于系统环路实验前抽真空,耐高压缓冲罐位于高压气瓶和反应直剪盒之间,用于缓冲高压气流,移动放置架用于直剪反应盒的固定,铝型材制作的移动控制柜用于放置2台单缸台式恒速恒压泵,柜内安装了电子电器及电脑主机,柜面可以设置仪器控制面板(两台单缸泵的PLC显示屏也安装在此面板上),另外还有一些管路阀件,包括是8个单向截止阀、1个减压阀以及316钢制作的管路。

[0023] 用于生成含水合物沉积物试样26的一体化设计的耐高压反应剪切盒是整个系统

的核心,它由上剪切盒11、下剪切盒12、上剪切盒盖27及支架13组成,在反应剪切盒上下部设计有8个接口,1个接口通过减压阀10(接口与单向阀或减压阀连接,以下简称接口)与缓冲罐6连接,从高压气瓶1出来的反应气体由此进入反应直剪里反应,整个系统气体可以循环利用,反应直剪盒里的气体通过接口31经气液分离器34可再次进入缓冲罐6里,接口14与真空泵8连接,接口17放置压力传感器,接口30放置温度传感器,接口16为进水口,接口28为备用口,接口29为放水放气口,一个垂向施加荷载的单缸恒压恒速泵19和减速机20通过连杆18与上剪切盒盖27连接,垂向位移传感器15安置在连杆18上,此外连杆还与手动环压泵21连接,另一个施加水平荷载的单缸恒压恒速泵24和减速机23通过连杆25与可移动的下剪切盒侧盖连接,水平位移传感器22安置在该连杆25上,上述这些装置均放置于大型步入式可编程高低温试验箱35内,气体回路通过316钢材制成的管路连接,传感器等通过自带电线连入试验箱36外的集成数据采集卡的电脑主机36上。

[0024] 本实施例的含水合物沉积物试样的固结与剪切力学性质测试过程包括:

[0025] (a)采用高压氮气检查各个仪器及连接的气密性:连接整个气体循环回路,打开回路上的阀门,关闭反应容器上的进水和排水排气接口阀门,打开高压氮气瓶1通入高压气体,开动增压泵3,观察压力表4,使表压稳定在12MPa,让高压气体能够充满缓冲罐6、反应剪切盒及气液分离器34,时刻观察压力传感器17和压力表4的读数,保持2个小时样子,用洗洁净水延缝检测气密性。气密性良好进入下一步。

[0026] (b)生成含CO<sub>2</sub>水合物沉积物试样。将不同粒径、不同含水量的湿沉积细砂放入反应直剪盒内,使用高压CO<sub>2</sub>气瓶1供气,一般新出厂的气瓶都能达到或接近10MPa压力,如果气源以前被使用过,则压力很可能不足,此时需要使用增压泵3,观察压力表4使整个气体循环回路能达到8MPa,开动大型步入式可编程高低温试验箱35,使箱内温度下降并稳定在1℃,在此过程中还需观察气体流量计9与32,一是让循环的反应气流保持在可控的合理范围内,二是可以估算参与反应的CO<sub>2</sub>量,通过主机可观察温度传感器30和压力传感器17的数值及变化,并通过变化曲线判断水合物的生成过程。当生成完不同含量的CO<sub>2</sub>水合物沉积物试样后,关闭气源1及增压泵3,静置至少半小时,同时气液分离器34可以打开放空接口33放水。

[0027] (c)含水合物沉积物固结测试。待步骤b完成后,根据需要打开接口29约30s,放掉试样里可能多余的水与气,关闭接口29,由单缸恒速恒压泵24提供6MPa的加载围压,开动单缸恒速恒压泵19和减速机20,按照土工固结实验指导,分5级施加垂向荷载,开展试样的固结测试,记录垂直位移传感器15的实时变化数据,待测试完成后即可得到该水合物饱和度下试样的压缩曲线;

[0028] (d)含水合物沉积物快剪及慢剪蠕变测试。待步骤b完成后,根据需要打开接口29约30s,放掉试样里可能多余的水与气,关闭接口29,开动单缸恒速恒压泵19,或根据需要由手动环压泵21,提供至少6MPa的加载围压,开动单缸恒速恒压泵24和减速机23,按照土工剪切实验指导,分5级施加水平荷载,根据实验目的开展试样的水平快剪或水平慢剪蠕变测试,记录水平位移传感器22的实时变化数据,待测试完成后即可得到该水合物饱和度下试样的抗剪强度。

[0029] 综上,本实施例是一种能实现生成水合物沉积物试样并原位在线测试该试样的固结与剪切力学性质的一体化实验系统。该实验系统按功能主要可分为含水合物沉积物形成

实验部分和试样固结与剪切力学测试部分,其中水合物形成实验部分为提供高压低温环境用于形成排水/不排水下的含水合物沉积物试样,固结与剪切实验部分为设计成应变控制式直剪仪,采用气压加垂直压力,采用伺服电机控制水平位移和加载轴向剪切力,实验过程中的压力、位移、温度等均有感应原件原位测量并采集卡自动采集。本实验系统采用分步式一体化设计,先在反应剪切盒里生成含水合物沉积物试样,接着可以原位开展:1)非饱和或饱和样品的固结实验,测试水合物-沉积物多孔介质试样在侧限和轴向施力下的变形与压力的关系,测试水合物-水-沉积物多孔介质试样在侧限和轴向施力下的变形与压力关系,分施加载荷,通过这些测试得到相应的压缩曲线和土-水曲线,并得到压缩系数、压缩模量等数据;2)非饱和与饱和试样的直接剪切实验,测试水合物-沉积物多孔介质试样的固结快剪、固结慢剪实验,测试水合物-沉积物多孔介质-水三态下试样的排水快剪、慢剪蠕变实验,可以分级施加和改变载荷,进行蠕变实验室测量精度可以达到 $\mu\text{m}$ 级别,满足了对含水合物沉积物原位在线的流变力学性质测试研究。

[0030] 上列详细说明是针对本发明可行实施例的具体说明,该实施例并非用以限制本发明的专利范围,凡未脱离本发明所为的等效实施或变更,均应包含于本案的专利范围内。



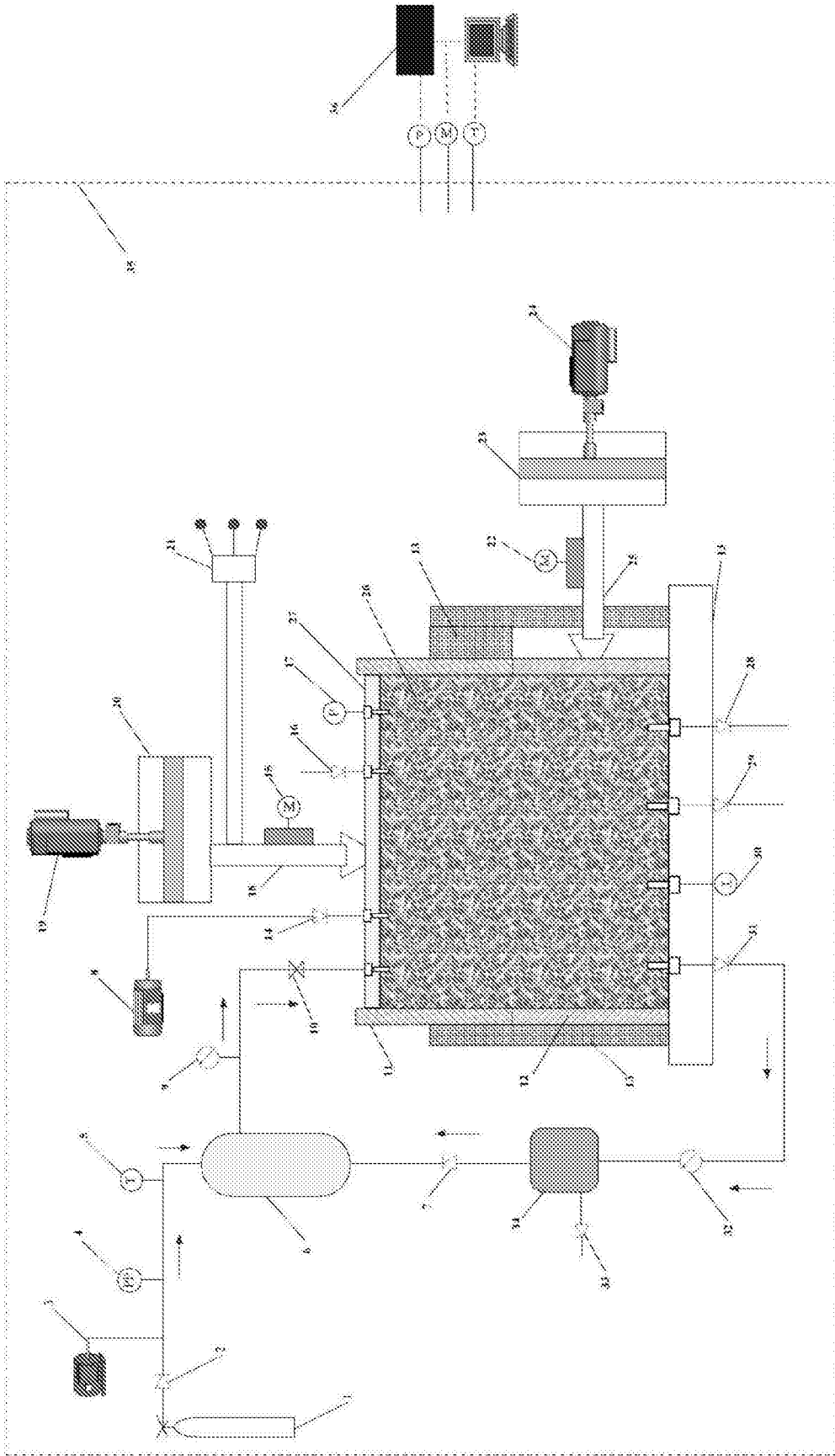


图1