



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102445371 B

(45) 授权公告日 2013.06.19

(21) 申请号 201110353136.7

(22) 申请日 2011.11.10

(73) 专利权人 大连理工大学

地址 116024 辽宁省大连市高新园区凌工路  
2号

(72) 发明人 宋永臣 李洋辉 刘卫国 于锋  
王锐 聂雄飞

(74) 专利代理机构 大连星海专利事务所 21208  
代理人 花向阳

(51) Int. Cl.

G01N 1/28(2006.01)

G01N 3/00(2006.01)

G01N 15/08(2006.01)

(56) 对比文件

CN 2633414 Y, 2004.08.18, 全文.

JP 2005-60957 A, 2005.03.10, 全文.

CN 101451985 A, 2009.06.10, 全文.

CN 201859081 U, 2011.06.08, 全文.

JP 2005-200555 A, 2005.07.28, 全文.

郝永卯等. 天然气水合物降压开采试验研究. 《石油勘探与开发》. 2006, 第33卷(第2期), 217-220.

Michael Eaton et al.. A novel high-pressure apparatus to study hydrate-sediment interactions.

《Journal of Petroleum Science and Engineering》. 2007, (第56期), 101-107.

宋永臣等. 天然气水合物生成与分解实验检测技术进展. 《天然气工业》. 2008, 第28卷(第8期), 111-113.

审查员 付婧

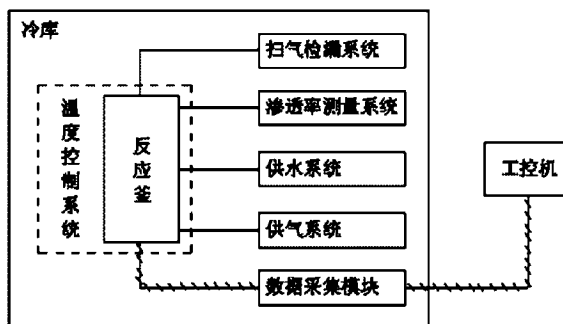
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置

(57) 摘要

一种用于水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置,属天然气水合物基础性测量领域。该装置主要包含一个反应釜、冷库、扫气检漏系统、温度控制系统、供气系统、供水系统、渗透率测量系统及计算机数据采集系统。反应釜采用可压缩式设计,可以模拟不同应力状态;其优点是:冷库和恒温槽能够实现温度的快速和精确控制;供气系统增压和保压快捷方便;数据采集系统具备数据存储、实时分析功能;能够模拟不同水合物沉积物储层的温度、压力、历史沉积条件及应力状态;水合物沉积物试样可以较方便的整体取出,并可直接放入低温高压三轴试验机进行力学特性试验的研究。对天然气水合物的钻探及安全开采起重要的指导作用。



CN 102445371 B

1. 一种水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置,它主要包含一个反应釜(1)、扫气检漏系统、温度控制系统、供气系统、供水系统、渗透率测量系统及计算机数据采集系统;其特征在于:所述反应釜(1)、扫气检漏系统、温度控制系统、供气系统、供水系统和渗透率测量系统集成设置在冷库(23)中;所述反应釜(1)采用高耐压结构,底盘(39)与底座(37)之间放置下隔热板(38),并用螺栓固定连接;在底座(37)的中心位置放置第一渗流垫(36);内罩筒(34)采用组合式结构,放置在底座(37)中部位置;外罩筒(33)套在内罩筒(34)外,相互之间为间隙配合,且外罩筒(33)与底座(37)之间通过第一密封圈(40)密封;冷却罩筒(32)套在外罩筒(33)外,固定在固定盘(31)上,且同样放置在底座(37)上;压板(27)放置在内罩筒(34)和外罩筒(33)上,压板(27)与外罩筒(33)之间通过第二密封圈(40a)密封,并用连接杆(30)将压板(27)与底座(37)固定;压板(27)上装有起吊螺母(29)和吊环螺钉(28);活塞(26)与内罩筒(34)、外罩筒(33)、压板(27)及底座(37)形成封闭的压力室,活塞(26)与压板(27)之间通过第三密封圈(40b)密封;在活塞(26)的底部安装有第二渗流垫(36a);上隔热板(25)放置在活塞(26)的上部;所述底座(37)设有底座管道(37a),与供气系统、供水系统连接,并设置一个第二压力变送器(5a);所述冷却罩筒(32)通过固定盘(31)上的管道接口(31a)与温度控制系统连接;所述活塞(26)设有安装温度传感器(2)的活塞通孔(26b)以及活塞管道接口(26a),活塞管道接口(26a)与扫气检漏系统和渗透率测量系统连接,并设置一个第一压力变送器(5);所述底座管道(37a)与所述活塞管道接口(26a)之间连接一个压差变送器(6);所述活塞通孔(26b)底部设置有温度传感器(2)。

2. 根据权利要求1所述的水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置,其特征在于:所述扫气检漏系统主要包含一个氮气瓶(16),经第一减压阀(17)及第一止回阀(18)与活塞管道接口(26a)连接。

3. 根据权利要求1所述的水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置,其特征在于:所述温度控制系统主要包含一个恒温槽(3)、一个循环泵(4),与所述固定盘(31)上的固定盘管道接口(31a)连接。

4. 根据权利要求1所述的水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置,其特征在于:所述供气系统主要包含一个经第二减压阀(17a)与甲烷气瓶连接的恒压泵(20),恒压泵(20)经第二止回阀(18a)与底座管道(37a)连接。

5. 根据权利要求1所述的水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置,其特征在于:所述供水系统主要包含一个蒸馏水罐(21)和一个电动计量泵(22),电动计量泵(22)与底座管道(37a)连接;一个量筒(15)与活塞管道接口(26a)连接;一个真空泵(14)与活塞管道接口(26a)连接。

6. 根据权利要求1所述的水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置,其特征在于:所述渗透率测量系统主要包含一个回收气囊(9),其经一个流量计(11)和一个气液分离器(12)与活塞管道接口(26a)连接。

## 水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置，属天然气水合物基础物性测量领域。

### 背景技术

[0002] 天然气水合物具有分布广、资源量大、埋藏浅、能量密度高、洁净等特点，是地球上尚未开发的最大未知能源库，被认为是 21 世纪最理想的、具有商业开发前景的新能源。天然气水合物的安全开采受到各国科学家和政府的广泛重视，已成为石油天然气工业新的研究热点，并有可能对环境科学和能源工业的发展产生深远的影响。2007 年 5 月，我国在南海北部的神狐海域正式采集到天然气水合物实物样品，成为继美国、日本、印度之后第 4 个通过国家级研发计划采集到天然气水合物实物样品的国家。2008 年 11 月，我国在青海祁连山地区发现水合物实物样品。这为我国海域及冻土区存在天然气水合物矿藏提供了强有力的证据。研究天然气水合物的基础物性、机械特性对水合物的全开采及解决我国的能源问题具有重大的现实意义。

[0003] 原状的水合物沉积物岩芯获取难度较大，成本高。在钻孔取芯过程中，载荷的变化会造成沉积物结构的扰动；温度和压力的改变会使部分水合物发生分解。取得的岩芯不能真实的反应水合物沉积物储层条件。而实验室人工合成水合物沉积物试样具有参数可控性、成本低等特点。在实验室里，根据我国海域及冻土区域的地热、地貌及沉积条件等参数资料，我们可以控制沉积物的颗粒级配、初始孔隙率、水合物生成温度、压力及饱和度等参数，进而模拟自然界中天然气水合物沉积物储层环境制备试样。获得的实验参数与储层的实际情况很接近，可以用来指导水合物的安全开采。近年来，国内外许多研究机构进行了天然气水合物沉积物的实验模拟工作，设计制作了多套水合物沉积物实验室模拟装置，能够初步还原重塑天然水合物沉积物，并能在反应釜内进行相平衡、渗透率等相关参数的测量。但是当前使用的水合物沉积物模拟装置，无法进行沉积物骨架的压缩固结，无法真实模拟水合物沉积物的历史沉积条件及应力状态。并且受其尺寸及设计方面的因素影响，生成的水合物沉积物试样无法整体取出，或取其部分经过液氮冷却、车床加工等工序才能放入低温高压三轴试验机中进行力学特性等进一步的研究工作。

### 发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术中存在的问题，本发明提供一种水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置。该装置能够模拟自然条件下天然气水合物储层的温度、压力、沉积历史条件、饱和度、孔隙度等参数，能够进行水合物的生成与分解，能够进行渗透率等参数的测量。获得的相应尺寸的水合物沉积物试样能较方便的取出并放入低温高压三轴试验机进行力学性能测试等进一步的研究。对我国海域及冻土区域天然气水合物的勘探和安全开采起重要的指导作用。

[0005] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案是：一种水合物沉积物原位生成与分

解及其渗透率测量一体化装置,它主要包含一个反应釜、扫气检漏系统、温度控制系统、供气系统、供水系统、渗透率测量系统及计算机数据采集系统。所述反应釜、扫气检漏系统、温度控制系统、供气系统、供水系统和渗透率测量系统集成设置在冷库中;所述反应釜采用高耐压结构,底盘与底座之间放置下隔热板,并用螺栓固定连接;在底座的中心位置放置第一渗流垫;内罩筒采用组合式结构,放置在底座中部位置;外罩筒套在内罩筒外,相互之间为间隙配合,且外罩筒与底座之间通过第一密封圈密封;冷却罩筒套在外罩筒外,固定在固定盘上,且同样放置在底座上;压板放置在内罩筒和外罩筒上,压板与外罩筒之间通过第二密封圈密封,并用连接杆将压板与底座固定;压板上装有起吊螺母和吊环螺钉;活塞与内罩筒、外罩筒、压板及底座形成封闭的压力室,活塞与压板之间通过第三密封圈密封;在活塞的底部安装有第二渗流垫;上隔热板放置在活塞的上部。

[0006] 所述底座设有底座管道,与供气系统、供水系统连接,并设置一个第二压力变送器;所述冷却罩筒通过固定盘上的管道接口与温度控制系统连接;所述活塞设有安装温度传感器的活塞通孔以及活塞管道接口,活塞管道接口与扫气检漏系统和渗透率测量系统连接,并设置一个第一压力变送器;所述底座管道与所述活塞管道接口之间连接一个压差变送器;所述活塞通孔底部设置有温度传感器。

[0007] 所述扫气检漏系统主要包含一个氮气瓶,经第一减压阀及第一止回阀与活塞管道接口连接。

[0008] 所述温度控制系统主要包含一个恒温槽、一个循环泵,与所述固定盘上的固定盘管道接口连接。

[0009] 所述供气系统主要包含一个经第二减压阀与甲烷气瓶连接的恒压泵,恒压泵经第二止回阀与底座管道连接。

[0010] 所述供水系统主要包含一个蒸馏水罐和一个电动计量泵,电动计量泵与底座管道连接;一个量筒与活塞管道接口连接;一个真空泵与活塞管道接口连接。

[0011] 所述渗透率测量系统主要包含一个回收气囊经一个流量计和一个气液分离器与活塞管道接口连接。

[0012] 所述计算机数据采集系统主要包含一个温度传感器、流量计、第一压力变送器、第二压力变送器和差压变送器采用电气连接的数据采集模块,并把采集的数据传给工控机处理。

[0013] 本发明的有益效果是:这种天然气水合物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置主要包含一个反应釜、冷库、真空泵、扫气检漏系统、温度控制系统、供气系统、供水系统、渗透率测量系统及计算机数据采集系统。扫气检漏系统用于实验开始前的检漏过程,为实验开始做准备;温度控制系统控制水合物生成与分解过程中的温度;供气系统向反应釜内供给水合物反应需要的高压甲烷气体;供水系统向反应釜内提供反应需要的蒸馏水;渗透率测量系统用于测量水合物沉积物的渗透率;计算机数据采集系统采集温度、压力等检测数据。其优点是:

[0014] 1. 反应釜设计压力为 0 ~ 20MPa,设计温度为 -10℃ ~ 室温,可以模拟自然条件下海底及冻土地域天然气水合物储层的温度、压力条件,满足室内试验研究需要;

[0015] 2. 活塞轴向最大载荷为 100kN,试样直径为 61.8mm,可以对沉积物进行压缩固结,控制水合物沉积物试样的初始密度,模拟地下 0-1000m 地层的应力状态;

- [0016] 3. 内罩筒采用组合式结构,水合物沉积物试样生成后方便取出,试样尺寸符合三轴试验标准,能够直接放入三轴试验机进行力学特性试验;
- [0017] 4. 冷库和恒温槽能够实现温度的快速及精确控制,满足高精度试验需求;
- [0018] 5. 数据采集系统具备数据存储、实时数据和图像分析软件支持;
- [0019] 6. 反应釜采用可拆卸方式,试验后便于清洗;
- [0020] 7. 系统造价相对低廉;
- [0021] 8. 对海底及冻土地域的天然气水合物的生成与分解均能进行模拟,对天然气水合物的基础物性研究、勘探及安全开采起重要的指导作用。

### 附图说明

[0022] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0023] 图 1 是一种用于水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置工作原理图。

[0024] 图 2 是一种用于水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置的系统图。

[0025] 图 3 是反应釜的结构图。

[0026] 图中:1、反应釜,2、温度传感器,3、恒温槽,4、循环泵,5、5a、压力变送器,6、压差变送器,7、数据采集模块,8、工控机,9、回收气囊,10、10a、10b、10c、10d、10e、10f、10g、10h、针阀,11、流量计,12、气液分离器,13、安全阀,14、真空泵,15、量筒,16、氮气瓶,17、第一减压阀,17a、第二减压阀,18、第一止回阀,18a、第二止回阀,19、甲烷气瓶,20、恒压泵,21、蒸馏水罐,22、电动计量泵,23、冷库,24、压头,25、上隔热板,26、活塞,26a、活塞管道接口,26b、活塞通孔,27、压板,28、吊环螺钉,29、起吊螺母,30、连接杆,31、固定盘,31a、固定盘管道接口,32、冷却罩筒,33、外罩筒,34、内罩筒,35、水合物沉积物,36、第一渗流垫,36a、第二渗流垫,37、底座,37a、底座管道,38、下隔热板,39、底盘,40、第一密封圈,40a、第二密封圈,40b、第三密封圈。

### 具体实施方式

[0027] 图 1 所示为一种用于水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置的工作原理图,其工作过程为:装置经扫气检漏系统检查不泄露之后进行试验,供气系统向反应釜供给甲烷气,并通过恒压泵控制反应釜内压力,供水系统向反应釜供给蒸馏水,冷库和恒温槽控制反应所需的温度,反应过程中的工作参数如温度、压力信号等均由计算机数据采集系统采集并分析。待水合物生成后,渗透率测量系统用来测量水合物沉积物的渗透率或可以将水合物沉积物取出放入三轴试验机进行力学特性试验。

[0028] 图 2 为一种用于水合物沉积物原位生成与分解及其渗透率测量一体化装置的系统图,下面按各个系统功能加以说明:

[0029] 1. 扫气检漏系统工作过程为:氮气瓶 16 经第一减压阀 17、针阀 10e 和止回阀 18 可向整个系统提供检漏和扫气用气体。

[0030] 2. 温度控制系统的工作过程为:检漏完成后,打开冷库 23 进行一级控温,提供合适的环境温度,温度控制范围是  $-10^{\circ}\text{C}$ ~室温;然后打开恒温槽 3 经循环泵 4 向冷却罩筒 32

提供制冷液,进而控制反应釜内 1 温度,温度控制范围是  $-10^{\circ}\text{C}$ ~室温。

[0031] 3. 供气系统的工作过程为:甲烷气瓶 19 经第二减压阀 17a 和针阀 10f 向恒压泵 20 注入甲烷气体达到设定压力并维持设定压力,然后恒压泵 20 经针阀 10g 和第二止回阀 18a 向反应釜 1 提供设定压力的甲烷气体。

[0032] 4. 供水系统的工作过程为:实验过程中需要饱和多孔介质(沉积物)时,先用真空泵 14 将反应釜 1 抽真空,然后蒸馏水罐 21 经电动计量泵 22 和针阀 10h 向反应釜 1 提供蒸馏水;打开针阀 10b、针阀 10d 可以向量筒 15 进行排水操作。

[0033] 5. 渗透率测量系统的工作过程为:恒压泵 20 通过针阀 10g 和止回阀 18a 向反应釜 1 通甲烷气体,甲烷气体经反应釜 1、针阀 10b、针阀 10a、气液分离器 12、流量计 11 和针阀 10 进入回收气囊 9;通过数据采集系统获得温度传感器 2 的温度信号、第一压力变送器 5、第二压力变送器 5a、压差变送器 6 的压力信号以及流量计 11 的流量信号,结合水合物沉积物 35 的横截面积、高度和甲烷气体的粘度等基础数据、然后利用达西定律计算水合物沉积物 35 的渗透率。

[0034] 6. 计算机数据采集系统的工作过程为:温度传感器 2、第一压力变送器 5、第二压力变送器 5a、压差变送器 6 采集得到反应釜 1 温度及其上下管道接口的压力等模拟信号,这些信号被传输到数据采集模块 7 进行数据处理得到数字信号,数字信号传入工控机 8 后再进行数据显示和存储。

[0035] 7. 其他工作系统:安全阀 13 可以维持系统在安全压力范围内进行。

[0036] 图 3 所示为反应釜的结构图。先将固定盘 31 和冷却罩筒 32 放置在底座 37 上,然后将外罩筒 33 和内罩筒 34 放置在冷却罩筒 32 内,在底座 37 中间放置有防止水合物沉积物进入管道的第一渗流垫 36;放置好后,将一定量的黏土或砂土放入内罩筒 34 中,然后同样在黏土或砂土的上表面放置渗流垫防止水合物沉积物进入并堵塞管道。用连接杆 30 将压板 27 固定在外罩筒 33 的上表面,防止反应釜内气体或蒸馏水从底座 37 和外罩筒 33 之间以及压板 27 和外罩筒 33 之间泄露溢出。安装活塞 26,上隔热板 25,用压头 24 压缩活塞 26,使填入的黏土或砂土达到预定的初始密实度,模拟特定的应力状态,并维持此应力状态。最后将反应釜底座 37 和活塞 26 的管道接口按图 2 所示接入管道系统准备试验。

[0037] 上述检测装置进行了天然气水合物的原位生成与分解及其渗透率的测量试验。实验所用的甲烷气来源于大连大特气体有限公司,纯度 99.9%。所用的水为蒸馏水。先将反应釜 1 用蒸馏水清洗干净,然后干燥,放入一定量的砂土并用活塞 26 压实并维持一定的压力。按图 2 连接管路,通过氮气瓶 16 检查管路是否有泄漏,若无泄漏则可进行下一步试验。

[0038] 打开真空泵 14 将反应釜 1 抽真空,达到一定的真空度后关闭真空泵 14,然后蒸馏水罐 21 经电动计量泵 22 和针阀 10h 向反应釜 1 提供蒸馏水,这时候反应釜 1 中砂土被蒸馏水饱和。甲烷气瓶 19 经第二减压阀 17a 和针阀 10f 向恒压泵 20 注入甲烷气体达到设定压力并维持设定压力,然后恒压泵 20 经针阀 10g 和第二止回阀 18a 向反应釜 1 提供设定压力的甲烷气体。部分气体和蒸馏水经针阀 10b、针阀 10d 排到量筒 15,通过量筒 15 得到拍出的蒸馏水体积,并通过得到的蒸馏水体积计算并控制水合物沉积物的饱和度。开启冷库 23 获得低温环境,同时开启恒温槽 3 和循环泵 4,控制和维持反应釜内水合物沉积物生成与分解需要的温度环境。维持系统温度和压力 24 小时,保证水合物沉积物孔隙中的蒸馏水全部反应完全,此时水合物沉积物的原位生成试验完成。升高恒温槽 3 的温度或降低恒压泵

20 的压力,可以使反应釜 1 内天然气水合物沉积物发生分解,模拟自然条件下水合物沉积物的分解状况。温度传感器 2、第一压力变送器 5、第二压力变送器 5a、压差变送器 6 采集得到反应釜 1 温度及其上下管道接口的压力等模拟信号,这些信号被传输到数据采集模块 7 进行数据处理得到数字信号,数字信号传入工控机 8 后再进行数据显示和存储。水合物生成后,进行了渗透率测量试验。恒压泵 20 通过针阀 10g 和止回阀 18a 向反应釜 1 通甲烷气体,甲烷气体经反应釜 1、针阀 10b、针阀 10a、气液分离器 12、流量计 11 和针阀 10 进入回收气囊 9;通过数据采集系统获得温度传感器 2 的温度信号、第一压力变送器 5、第二压力变送器 5a、压差变送器 6 的压力信号以及流量计 11 的流量信号,结合水合物沉积物 35 的横截面积、高度和甲烷气气体的粘度等基础数据、然后利用达西定律计算水合物沉积物 35 的渗透率。用压头 24 取出活塞 26,卸下连接杆 30 和压板 27,然后用压头 24 连接吊环螺钉 28 和起吊螺母 29,可以取出外罩筒 33、内罩筒 34 及天然气水合物沉积物 35,然后取出内罩筒 34,可以完整的得到生成的水合物沉积物试样,然后放入低温高压三轴试验机进行力学特性试验。本系统工作状态良好,可以获得较高的水合物饱和度,模拟自然条件下水合物沉积物的生成与分解环境及应力状态,对天然气水合物的基础物性研究、勘探及安全开采起重要的指导作用。





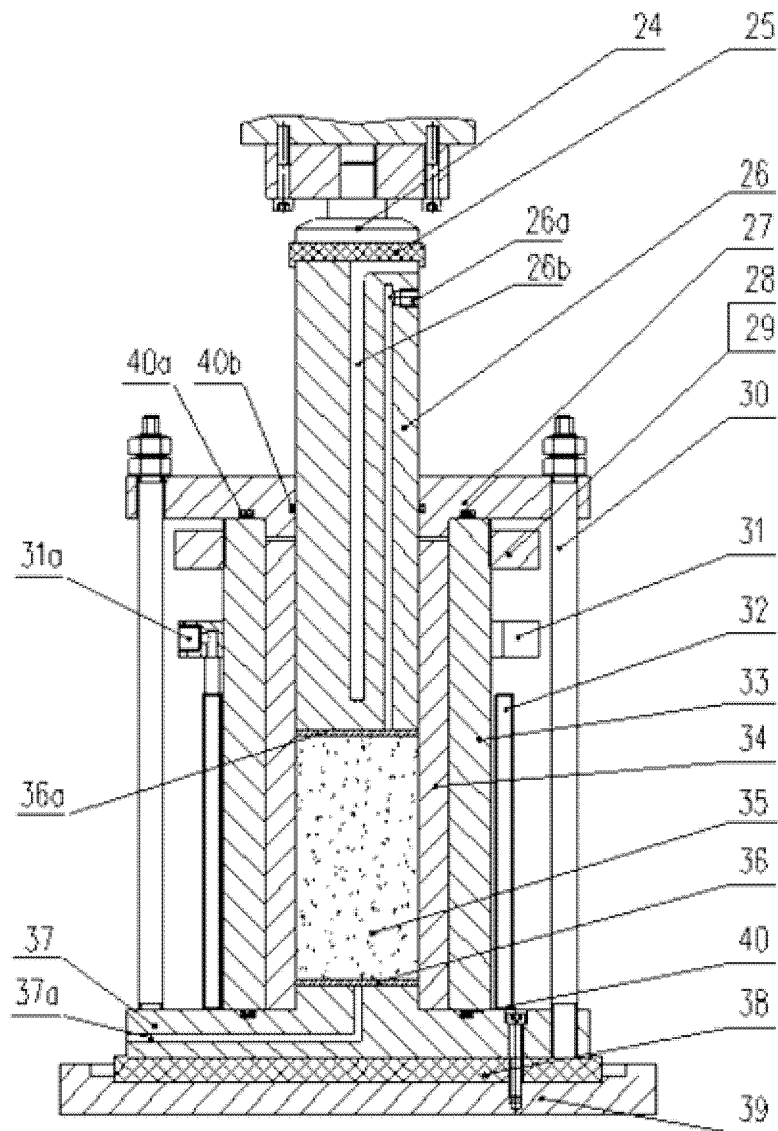


图 3