



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 212722694 U

(45) 授权公告日 2021.03.16

(21) 申请号 202021587734.1

(22) 申请日 2020.08.04

(73) 专利权人 中国地质大学(北京)

地址 100083 北京市海淀区学院路29号中
国地质大学(北京)工程技术学院探工
楼503

(72) 发明人 唐云龙 张治 岳文 杨义勇
康嘉杰 付志强

(51) Int. Cl.

G01N 25/20 (2006.01)

G05B 11/42 (2006.01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

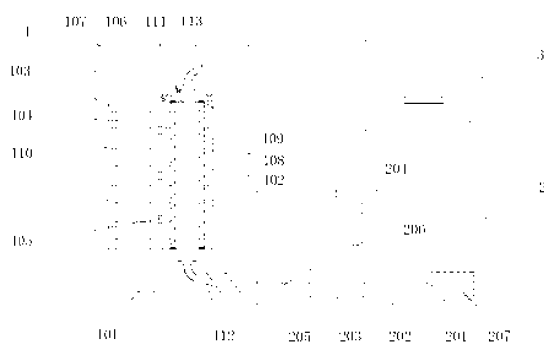
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置

(57) 摘要

本实用新型提供了一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,属于地热资源开采效率优化技术领域。本实验装置由地热采热模拟系统、工质循环系统及控制系统组成,地热采热模拟系统包括一个底座,底座与一个固定壳体固联,固定壳体通过转轴与一个活动壳体连接,两壳体上设有梯度加热模块,壳体内部可放入一实验管段,壳体上端面通过螺栓与一顶盖连接,顶盖上设有一个温度传感器,底座与顶盖上分别设有入水管与出水管,工质循环系统包括一个工质槽、一个工质泵、一个工质加热器、一个工质冷却器以及电磁阀,控制系统对地热采热模拟系统及工质循环系统进行控制。本实验装置能够准确模拟带有温度梯度的地热采集过程,进而对地热资源的开采效率进行研究。



1. 一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,包括地热采热模拟系统、工质循环系统及控制系统,所述地热采热模拟系统包括一个底座,所述底座底部连接着一个入水管,所述底座上端面固联着一个固定壳体,所述固定壳体通过转轴与一个活动壳体连接,所述固定壳体及所述活动壳体内侧设置有梯度加热模块,所述固定壳体及所述活动壳体内部可放入一个实验管段,所述固定壳体及所述活动壳体上端面可通过螺栓与一个顶盖连接,所述顶盖上端设有出水管,所述控制系统包括PID温控组件、传感器、处理器和操作面板。

2. 根据权利要求1所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述工质循环系统包括一个工质槽,所述工质槽内装有工质,所述工质槽连接有一个工质冷却器,所述工质槽通过一个工质泵与一个工质加热器相连接。

3. 根据权利要求2所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述工质加热器通过一个进给电磁阀与所述入水管相连,所述工质冷却器与所述出水管相连,所述工质槽通过一个反流电磁阀与所述入水管相连,所述工质冷却器、所述工质加热器、所述工质泵、所述进给电磁阀及所述反流电磁阀与所述控制系统电性连接。

4. 根据权利要求1所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述固定壳体及所述活动壳体为半圆筒状,所述固定壳体及所述活动壳体内侧在高度方向上等间距安装有4至6对所述梯度加热模块,所述固定壳体上的每个所述梯度加热模块分别与所述活动壳体上的每个所述梯度加热模块位于同一高度,所述的每块梯度加热模块上设有加热模块传感器,所述梯度加热模块和所述加热模块传感器与所述控制系统电性连接。

5. 根据权利要求1所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述固定壳体及所述活动壳体上设有2至3对锁扣。

6. 根据权利要求1所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述实验管段内侧自上端面开始涂有隔热涂层,所述隔热涂层的厚度为0.1至1毫米。

7. 根据权利要求1所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述实验管段的上端面和下端面垫有密封垫。

8. 根据权利要求1所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述顶盖的侧面设有温度传感器,所述温度传感器与所述控制系统电性连接。

9. 根据权利要求2所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述固定壳体及所述活动壳体的材料为隔热材料,所述工质可以但不仅限于是水。

10. 根据权利要求1至4任意一项所述的一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,所述控制系统采用PID算法对所述梯度加热模块进行控制,所述的每对梯度加热模块采用一个PID控制系统来控制,再将所有的PID控制系统进行集合、作为总控。

一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置。

背景技术

[0002] 当前,能源短缺已成为制约全球经济可持续发展的重要问题之一,而地热资源具有储量大、分布广、清洁环保、稳定性好等特点,受到世界各国的高度认同与重视。地热能主要来自于地壳内部的熔岩和放射性物质衰变,资源十分丰富,是地球上一种不可多得的可再生能源。由于地热资源开采的工程量巨大,因此如何提升地热资源的开采效率,一直是地热领域的重要课题。

[0003] 在地热资源开采过程中,伴随着地热井深度的增加,地层温度越来越高。在近地面端的管体内部涂覆隔热涂层,防止热量在地层温度较低的管段从管体内部大量散发到地层中,是提升地热资源开采效率的行之有效的方法;然而涂覆隔热涂层的管段长度过长,反而会阻碍深层管段的采热过程。而为了在实验室研究并提升地热资源的开采效率,常用做法是搭建实验平台,在某一固定温度下对岩体及管体进行加热,以研究在这一固定温度下岩体和管体之间的传热规律,但这一方法忽视了地层所具有的温度梯度,不能用来研究在一个比较长的深度范围内地热资源的采热效率。综上所述,开发一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置、并用其来优化管体隔热涂层的长度比例成为必要。

实用新型内容

[0004] 本实用新型是针对现有的技术存在的上述问题,提供一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,本实用新型要解决的技术问题是:用一台自动化程度较高的设备实现具有温度梯度的地热资源开采模拟,并可用来研究管体内侧隔热涂层的长度比例优化方案。

[0005] 本实用新型的目的可通过下列技术方案来实现:

[0006] 一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,包括地热采热模拟系统、工质循环系统及控制系统,所述地热采热模拟系统包括一个底座,所述底座底部连接着一个入水管,所述底座上端面固联着一个固定壳体,所述固定壳体通过转轴与一个活动壳体连接,所述固定壳体及所述活动壳体上设有2至3对锁扣,所述固定壳体及所述活动壳体内侧设置有梯度加热模块,所述固定壳体及所述活动壳体内部可放入一个实验管段,所述固定壳体及所述活动壳体上端面可通过螺栓与一个顶盖连接,所述顶盖上端设有出水管,所述工质循环系统包括一个工质槽,所述工质槽内装有工质,所述工质槽连接有一个工质冷却器,所述工质槽通过一个工质泵与一个工质加热器相连接,所述控制系统包括PID温控组件、传感器、处理器和操作面板。

[0007] 所述工质加热器通过一个进给电磁阀与所述入水管相连,所述工质冷却器与所述出水管相连,所述工质槽通过一个反流电磁阀与所述入水管相连,所述工质冷却器、所述工质加热器、所述工质泵、所述进给电磁阀及所述反流电磁阀受所述控制系统控制,所述工质加热器的加热温度由用户设置。

[0008] 所述固定壳体及所述活动壳体为半圆筒状,所述固定壳体及所述活动壳体内侧在高度方向上等间距安装有4至6对所述梯度加热模块,所述固定壳体上的每个所述梯度加热模块分别与位于同一高度上的所述活动壳体上的每个所述梯度加热模块为一对,所述的每块梯度加热模块上设有加热模块传感器,所述梯度加热模块及所述加热模块传感器受所述控制系统控制,当实验进行时,用户根据所需要的地层温度情况进行设置,控制系统根据用户的设置,使每对所述梯度加热模块具有不同的加热温度,形成从上往下温度越来越高的加热温度场,从而实现通过所述梯度加热模块对所述实验管段进行梯度加热。

[0009] 所述实验管段内侧自上端面开始涂有隔热涂层,所述隔热涂层的厚度为0.1至1毫米,所述实验管段的上端面和下端面垫有密封垫。

[0010] 所述顶盖的侧面设有温度传感器,所述温度传感器将采集到的出口温度数据传递给所述控制系统以便进行后续分析。

[0011] 所述固定壳体及所述活动壳体的材料为隔热材料,所述工质可以但不仅限于是水。

[0012] 所述控制系统采用PID算法对所述梯度加热模块进行控制,所述的每对梯度加热模块采用一个PID控制系统来控制,再将所有的PID控制系统进行集合、作为总控,PID控制器是一种线性控制器,根据给定值 $r_{in}(t)$ 与实际输出值 $y_{out}(t)$ 构成偏差:

[0013] $error(t) = r_{in}(t) - y_{out}(t)$

[0014] PID的控制规律为:

[0015] $u(t) = k_p(error(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t error(t)dt + \frac{T_D derror(t)}{dt})$

[0016] 或写成传递函数的形式

[0017] $G(s) \approx \frac{U(s)}{E(s)} = k_p(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s)$

[0018] 式中, k_p 为比例系数, T_I 为积分时间常数, T_D 为微分时间常数;

[0019] 简单来说,PID控制器各校正环节的作用如下:

[0020] (1) 比例环节:成比例地反映控制系统的偏差信号 $error(t)$,偏差一旦产生,控制器立即产生作用,以减少偏差;

[0021] (2) 积分环节:主要用于消除静差,提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数 T_I , T_I 越大,积分作用越弱,反之则越强;

[0022] (3) 微分环节:反应偏差信号的变换趋势(变化速率),并能在偏差信号变得太大之前,在系统中引入一个有效的早期修正信号,从而加快系统的动作速度,减少调节时间;

[0023] 如图4所示,在PID算法中, S_v 为用户设定温度值, P_v 是所述加热模块传感器读数, Out 是PID算法计算后的总输出值,对开机以来所述加热模块传感器的所有采样点的数据序列 $X_1、X_2、X_3 \dots X_k$ 进行分析,可挖掘出三方面信息:

[0024] 比例控制: $P_{out} = K_p \cdot E_k + Out_0$;

[0025] 积分控制: $I_{out} = K_p \cdot S_k + Out_0$;

[0026] 微分控制: $D_{out} = K_p \cdot D_k + Out_0$

[0027] 则可以得到PID算法的数学模型为:

[0028] $PID_{out} = P_{out} + I_{out} + D_{out}$

[0029] $PID_{out} = K_p (E_k + S_k + D_k) + Out_0$

[0030] 在需要进行试验时,用户预先准备好涂有一定长度比例所述隔热涂层的所述实验管段,将所述实验管段放入所述固定壳体的内侧,并在所述实验管段的上下端面各垫一个所述密封垫,关闭所述活动壳体,将所述锁扣锁紧,盖上所述顶盖并拧紧所述螺栓,用户在所述控制系统上进行实验参数设置,实验开始,所述控制系统控制所述进给电磁阀打开,所述工质泵、所述工质加热器、所述工质冷却器及所述温度传感器启动,所述梯度加热模块按照设置好的温度形成梯度温度场,所述工质从所述工质槽中泵入所述工质加热器进行加热,并随后经由所述入水管进入所述实验管段内部,再从所述出水管流出,进入所述工质冷却器冷却至室温,再返回到所述工质槽中,所述温度传感器全程记录出口处的温度,并将数据传递给所述控制系统,以便进行后续分析。

[0031] 实验结束以后,所述控制系统控制所述工质泵、所述工质加热器、所述工质冷却器、所述温度传感器、所述梯度加热模块及所述进给电磁阀关闭,并打开所述反流电磁阀,所述实验管段中的所述工质经由所述反流电磁阀直接回到所述工质槽中,之后可以打开所述顶盖及所述活动壳体,将所述实验管段取出。

[0032] 通过对涂有不同长度的所述隔热涂层的所述实验管段进行实验,可以得出在设定的温度梯度和流量下,所述隔热涂层的长度对采热效率的影响,可以对实际生产活动中隔热涂层的长度比例进行评估与优化。

[0033] 与现有技术相比,本实用新型具有以下优点:

[0034] 1、本实验装置用于模拟地热资源开采过程,通过实验对管体内隔热涂层的长度比例进行优化,装置特有的梯度加热模块可以模拟地层的温度场,有助于研究真实工况下地热资源的开采效率,避免了采用其他实验方法忽视地层所具有的温度梯度、不能用来研究在一个比较长的深度范围内地热资源的采热效率的问题;

[0035] 2、本实验装置由控制系统、地热采热模拟系统和工质循环系统组成,地热采热模拟系统和工质循环系统受控制系统精确控制,用户只需在试验前设置好流量、工质加热温度、温度场数据以及实验时间等参数,实验装置即可自动进行实验直至实验时间结束,自动化程度及实验精度高,且操作简单;

[0036] 3、本实验装置工质槽、工质加热器及工质冷却器的设计,可以使得实验过程中工质在系统中循环流动,反流电磁阀的设计可以保证实验结束后工质再次返回工质槽中,实现工质的循环利用,避免造成浪费,绿色环保。

[0037] 4、本实验装置采用PID控制算法对梯度加热模块进行控制,控制精度高,温差变化小,保证了实验过程中的稳定性,增强了实验的精度。

附图说明

[0038] 图1是实施例本实验装置的结构示意图。

[0039] 图2是实施例本地热采热模拟系统的示意图。

[0040] 图3是实施例本实验管段的示意图。

[0041] 图4是实施例本PID控制算法流程示意图。

[0042] 图中,1、地热采热模拟系统;2、工质循环系统;3、控制系统;101、底座;102、固定壳体;103、活动壳体;104、梯度加热模块;105、转轴;106、顶盖;107、螺栓;108、实验管段;109、

密封垫;110、锁扣;111、温度传感器;112、入水管;113、出水管;114、隔热涂层;115、加热模块传感器;201、工质槽;202、工质泵;203、工质加热器;204、工质冷却器;205、进给电磁阀;206、反流电磁阀;207、工质。

具体实施方式

[0043] 以下是本实用新型的具体实施例并结合附图,对本实用新型的技术方案作进一步的描述,但本实用新型并不限于这些实施例。

[0044] 一种模拟地热资源开采效率优化的实验装置,其特征在于,包括地热采热模拟系统1、工质循环系统2及控制系统3,所述地热采热模拟系统1包括一个底座101,所述底座101底部连接着一个入水管112,所述底座101上端面固联着一个固定壳体102,所述固定壳体102通过转轴105与一个活动壳体103连接,所述固定壳体102及所述活动壳体103上设有2至3对锁扣110,所述固定壳体102及所述活动壳体103内侧设置有梯度加热模块104,所述固定壳体102及所述活动壳体103内部可放入一个实验管段108,所述固定壳体102及所述活动壳体103上端面可通过螺栓107与一个顶盖106连接,所述顶盖106上端设有出水管113,所述工质循环系统2包括一个工质槽201,所述工质槽201内装有工质207,所述工质槽201连接有一个工质冷却器204,所述工质槽201通过一个工质泵202与一个工质加热器203相连接,所述控制系统3包括PID温控组件、传感器、处理器和操作面板。

[0045] 所述工质加热器203通过一个进给电磁阀205与所述入水管112相连,所述工质冷却器204与所述出水管113相连,所述工质槽201通过一个反流电磁阀206与所述入水管112相连,所述工质冷却器204、所述工质加热器203、所述工质泵202、所述进给电磁阀205及所述反流电磁阀206受所述控制系统3控制,所述工质加热器203的加热温度由用户设置。

[0046] 所述固定壳体102及所述活动壳体103为半圆筒状,所述固定壳体102及所述活动壳体103内侧在高度方向上等间距安装有4至6对所述梯度加热模块104,所述固定壳体102上的每个所述梯度加热模块104分别与位于同一高度上的所述活动壳体103上的每个所述梯度加热模块104为一对,所述的每块梯度加热模块104上设有加热模块传感器115,所述梯度加热模块104及所述加热模块传感器115受所述控制系统3控制,当实验进行时,用户根据所需要的地层温度情况进行设置,控制系统根据用户的设置,使每对所述梯度加热模块104具有不同的加热温度,形成从上往下温度越来越高的加热温度场,从而实现通过所述梯度加热模块104对所述实验管段108进行梯度加热。

[0047] 所述实验管段108内侧自上端面开始涂有隔热涂层114,所述隔热涂层114的厚度为0.1至1毫米,所述实验管段108的上端面和下端面垫有密封垫109。

[0048] 所述顶盖106的侧面设有温度传感器111,所述温度传感器111将采集到的出口温度数据传递给所述控制系统3以便进行后续分析。

[0049] 所述固定壳体102及所述活动壳体103的材料为隔热材料,所述工质207可以但不限于是水。

[0050] 所述控制系统3采用PID算法对所述梯度加热模块104进行控制,所述的每对梯度加热模块104采用一个PID控制系统来控制,再将所有的PID控制系统进行集合、作为总控,PID控制器是一种线性控制器,根据给定值 $r_{in}(t)$ 与实际输出值 $y_{out}(t)$ 构成偏差:

[0051] $error(t) = r_{in}(t) - y_{out}(t)$

[0052] PID的控制规律为:

$$[0053] \quad u(t) = k_p(\text{error}(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \text{error}(t) dt + \frac{T_d d\text{error}(t)}{dt})$$

[0054] 或写成传递函数的形式

$$[0055] \quad G(s) \approx \frac{U(s)}{E(s)} = k_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$$

[0056] 式中, k_p 为比例系数, T_i 为积分时间常数, T_d 为微分时间常数;

[0057] 简单来说, PID控制器各校正环节的作用如下:

[0058] (1) 比例环节: 成比例地反映控制系统的偏差信号 $\text{error}(t)$, 偏差一旦产生, 控制器立即产生作用, 以减少偏差;

[0059] (2) 积分环节: 主要用于消除静差, 提高系统的无差度。积分作用的强弱取决于积分时间常数 T_i , T_i 越大, 积分作用越弱, 反之则越强;

[0060] (3) 微分环节: 反应偏差信号的变换趋势(变化速率), 并能在偏差信号变得太大之前, 在系统中引入一个有效的早期修正信号, 从而加快系统的动作速度, 减少调节时间;

[0061] 如图4所示, 在PID算法中, S_v 为用户设定温度值, P_v 是所述加热模块传感器115读数, Out 是PID算法计算后的总输出值, 对开机以来所述加热模块传感器115的所有采样点的数据序列 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ 进行分析, 可挖掘出三方面信息:

[0062] 比例控制: $P_{out} = K_p \cdot E_k + Out_0$;

[0063] 积分控制: $I_{out} = K_p \cdot S_k + Out_0$;

[0064] 微分控制: $D_{out} = K_p \cdot D_k + Out_0$

[0065] 则可以得到PID算法的数学模型为:

$$[0066] \quad PID_{out} = P_{out} + I_{out} + D_{out}$$

$$[0067] \quad PID_{out} = K_p (E_k + S_k + D_k) + Out_0$$

[0068] 若基于STM32进行算法开发, 则进一步有:

$$[0069] \quad S_k = \frac{1}{T_i} \cdot \sum_{k=0}^n E_k \cdot T$$

$$[0070] \quad D_k = T_d \cdot \left(\frac{E_k - E_{k-1}}{T} \right)$$

[0071] 其中 T 为采样周期, T_i 为积分常数, T_d 为微分常数;

[0072] 则有位置式PID算法表达式:

$$[0073] \quad Out = (K_p \cdot E_k) + \left(K_p \cdot \frac{T}{T_i} \cdot \sum_{k=0}^n E_k \right) + \left(K_p \cdot \frac{T_d}{T} \cdot (E_k - E_{k-1}) \right)$$

[0074] 此公式不仅仅可以用来实现所述梯度加热模块104的温度控制, 也可用于实现所述进给电磁阀205阀门角度大小的控制, 程序设计时可以利用编程语言方便实现这个计算公式。

[0075] 本实用新型的工作原理如下: 在需要进行试验时, 用户将所述实验管段108放入所述固定壳体102的内侧, 并在所述实验管段108的上下端面各垫一个所述密封垫109, 关闭所述活动壳体103, 将所述锁扣110锁紧, 盖上所述顶盖106并拧紧所述螺栓107, 用户在所述控

制系统3上进行实验参数设置,实验开始,所述控制系统3控制所述进给电磁阀205打开,所述工质泵202、所述工质加热器203、所述工质冷却器204及所述温度传感器111启动,所述梯度加热模块104按照设置好的温度形成梯度温度场,所述工质207从所述工质槽201中泵入所述工质加热器203进行加热,并随后经由所述入水管112进入所述实验管段108内部,再从所述出水管113流出,进入所述工质冷却器204冷却至室温,再返回到所述工质槽201中,所述温度传感器111全程记录出口处的温度,并将数据传递给所述控制系统3,以便进行后续分析。

[0076] 实验结束以后,所述控制系统3控制所述工质泵202、所述工质加热器203、所述工质冷却器204、所述温度传感器111、所述梯度加热模块104及所述进给电磁阀205关闭,并打开所述反流电磁阀206,所述实验管段108中的所述工质207经由所述反流电磁阀206直接回到所述工质槽201中,之后可以打开所述顶盖106及所述活动壳体103,将所述实验管段108取出。

[0077] 通过对涂有不同长度的所述隔热涂层114的所述实验管段108进行实验,可以得出在设定的温度梯度和流量下,所述隔热涂层114的长度对采热效率的影响,可以对实际生产活动中隔热涂层的长度比例进行评估与优化。

[0078] 本文中所描述的具体实施例仅仅是对本实用新型精神作举例说明。本实用新型所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似的方式替代,但并不会偏离本实用新型的精神或者超越所附权利要求书所定义的范围。

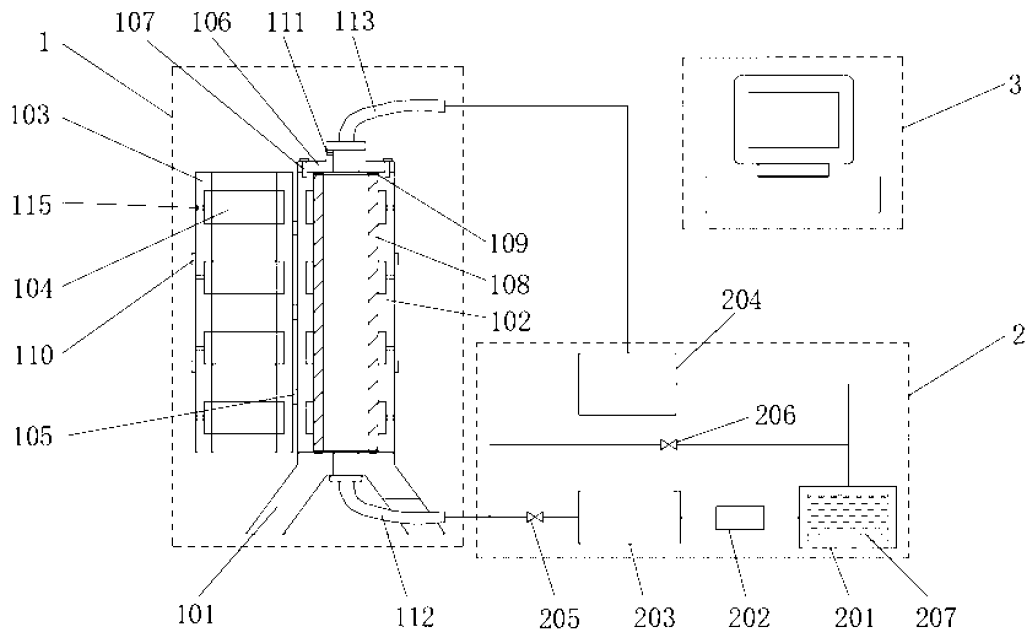


图1

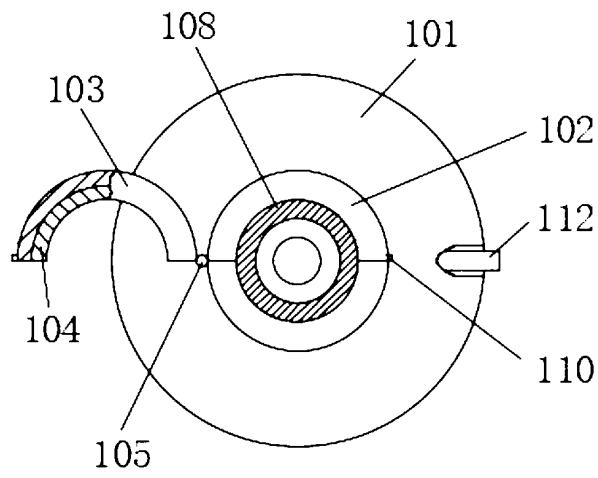


图2

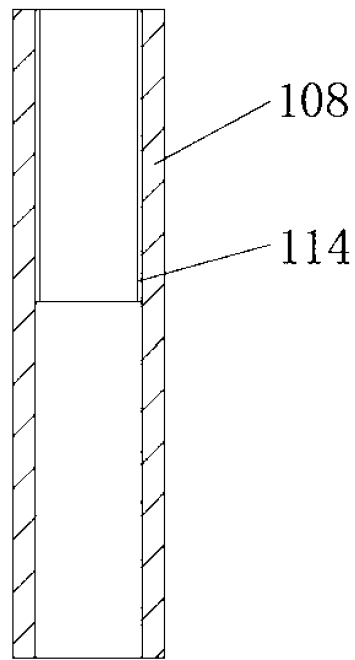


图3

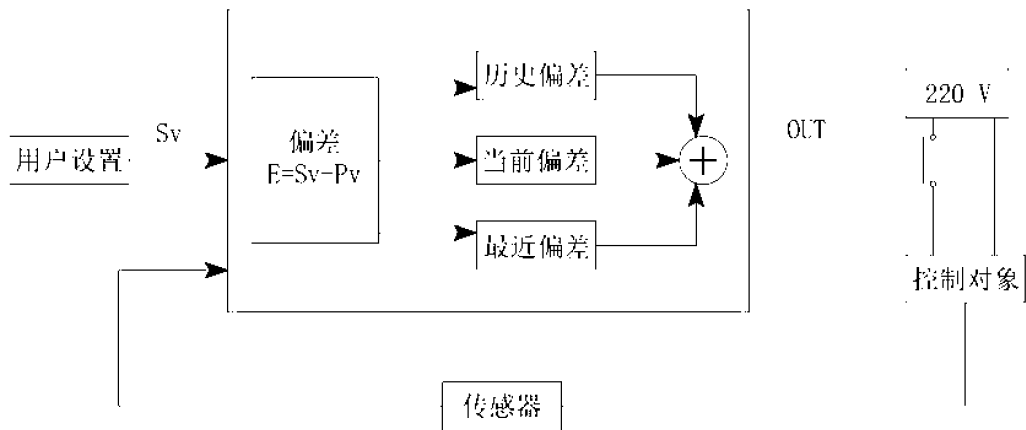


图4