



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105300867 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 03

(21) 申请号 201510655433. 5

(22) 申请日 2015. 10. 12

(71) 申请人 中国地质大学(武汉)

地址 430000 湖北省武汉市洪山区鲁磨路  
388 号地质资源环境工业技术研究院

(72) 发明人 骆进 程超杰 项伟 赵海丰  
贾甲

(74) 专利代理机构 北京华沛德权律师事务所  
11302

代理人 房德权

(51) Int. Cl.

G01N 15/08(2006. 01)

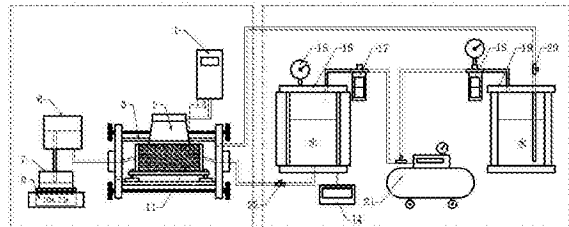
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置

(57) 摘要

本发明公开一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置,所述测试装置包括:定水头控制系统,包括:渗流系统水罐;气压表,设置于所述渗流系统水罐上;第一水阀,设置于所述渗流系统水罐的出水端;空气压缩机,与所述渗流系统水罐连接;第一压力调节阀,设置于所述空气压缩机和所述渗流系统水罐之间;岩土测试系统,包括:导热特性测试仪;测试盒,与所述渗流系统水罐的出水端连接;测试传感器,与所述导热特性测试仪,通过该测试装置,为分析渗流作用下岩土体热物性质提供可靠物理实验方法,提供量化分析评价渗流作用对导热系数、热扩散系数等参数影响,为地源热泵系统设计提供更可靠的实验数据,且该装置操作方便、测试精准。



1. 一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置,其特征在于,所述测试装置包括:  
定水头控制系统,包括:  
渗流系统水罐;  
气压表,设置于所述渗流系统水罐上,用于测试所述渗流系统水罐内的气压;  
第一水阀,设置于所述渗流系统水罐的出水端;  
空气压缩机,与所述渗流系统水罐连接;  
第一压力调节阀,设置于所述空气压缩机和所述渗流系统水罐之间;  
温度控制器,与所述渗流系统水罐连接,控制所述渗流系统水罐的温度;  
岩土测试系统,包括:  
导热特性测试仪;  
测试盒,用于放置待测试岩土,与所述渗流系统水罐的出水端连接;  
测试传感器,与所述导热特性测试仪,且所述测试传感器设置于所述测试盒内;  
水样收集器,与所述测试盒连接,用于收集所述测试盒内的水样,  
电子天平;  
量杯,置于所述电子天平上,用于盛装所述水样收集器收集的水样。
2. 如权利要求 1 所述的测试装置,其特征在于,所述测试岩土为岩样样品;  
所述定水头控制系统还包括:围压系统水罐、第二压力调节阀、第二水阀,所述空气压缩机设置于所述渗流系统水罐和所述围压系统水罐之间,所述第二压力调节阀设置于所述空气压缩机和所述围压系统水罐之间,所述第二水阀设置于所述围压系统水罐的出水端;  
所述测试盒内设置有橡胶套,所述岩样样品设置于所述橡胶套内,所述围压系统水罐的出水端与所述测试盒连接,所述渗流系统水罐的出水端具体与所述橡胶套端口密封固定装置连接;  
所述水样收集器具体与所述橡胶套出水口端密封固定装置连接,收集所述橡胶套内的水样。
3. 如权利要求 2 所述的测试装置,其特征在于,所述测试传感器为圆柱状的传感器。
4. 如权利要求 1 所述的测试装置,其特征在于,所述定水头控制系统还包括用于控制所述渗流系统水罐的温度的温度控制器。
5. 如权利要求 4 所述的测试装置,其特征在于,所述测试传感器为探针传感器。
6. 如权利要求 5 所述的测试装置,其特征在于,所述岩土测试系统还包括用于固定所述测试传感器的卡环以及用于密封的密封圈。

## 一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及岩土热扩散特性测试及时领域,尤其涉及一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置。

### 背景技术

[0002] 地热资源是一种典型的清洁能源,也被称为“绿色能源”和“可再生能源”,具有巨大的利用价值。地源热泵技术是利用浅层地下温度近乎恒定的特性,向大地要“冷暖”的一项环保技术,也是浅层地热资源利用的常用手段。地源热泵利用地表浅层土壤或水源的地热能作为冷(热)源,冬季通过热泵机组将低热能传递转移到需供暖的建筑物内,夏季通过热泵机组将建筑物内的热量散失转移到地下土壤或水源中,从而实现冬季供暖、夏季制冷的效果。地下岩体或土体的导热性质是决定了地热资源利用的效率的关键因素,同时也是地源热泵系统设计所依靠的重要技术参数。

[0003] 在地源热泵系统设计中,如果对换热井的换热能力以及地下岩土体的热扩散系数了解不充分,盲目地增加或减少换热井的数量,极易造成机组选型过大,增加成本;或者导致用户供热或者制冷量不足,使热泵机组运行不稳定,从而影响系统使用寿命。换热井的设计跟场区岩土介质的特性有着紧密的联系,因此影响地埋管地源热泵系统设计的主要因素之一就是岩土体的热物性参数,其中包括岩土体的初始温度、导热系数、比热容、热扩散系数等。

[0004] 岩土体为三相介质,根据空隙被水填充的程度可分为非饱和以及饱和岩土体,研究表明随着含水率的增加,岩土介质的导热系数呈增加趋势。故浅层地热资源的开采利用通常会选择地下水位埋深较浅的地段,有利于开采效率的提高并降低成本。热响应试验是场区岩土体热物性测试的常用手段,其通过测试仪器,对项目所在地的测试孔进行一定时间的连续加热,获得岩土综合热物性参数及岩土初始平均温度。

[0005] 对于工程设计而言,最为关心的是地埋管换热系统的换热能力,这主要反映在地埋管换热器深度范围内的综合岩土导热系数和综合比热容两个参数上。由于地质结构的复杂性和差异性,因此通过现场试验得到的岩土热物性参数,是一个反映了地下水流等因素影响的综合值。大量原位测试试验表明,地下水渗流作用有利于提高岩土体综合热物性参数,因此水的流动对岩土介质的导热性能有着重要的影响,故测试和定量评价渗流作用对岩土介质热扩散特性的影响有着重要的意义。

[0006] 现有岩土体热物性参数测试方法主要为原位测试方面,其中岩土热响应试验最为常见,包括测试岩土初始平均温度,地埋管换热器的循环水进出口温度、流量及试验过程中向地埋管换热器施加的加热功率。其测试过程包含了:制作场区测试孔及平整场地;测试岩土体初始温度;测试仪器与测试孔管道连接;设备检验;启动电加热、水泵等试验设备,待设备稳定后开始读取记录试验数据;最后提取试验数据,分析计算得出岩土体综合热物性参数。综合热物性参数是一个反映了地下水流等因素影响的综合值。对于室内测试试验主要为稳态测试,即测试不同含水率及密度下土样、岩样的热物性参数,是一个静态的参数

值,不能反映渗流作用对测试结果的影响。

[0007] 以上的原位试验及室内试验都存在有一定的利弊,就原位试验而言,其测试所得的参数是一个包含多因素影响下的综合值,在一定意义上更能反映场区的岩土体综合性质,对浅层地源热泵系统设计提供更为有利的参数。但是由于测试周期较短,而地下水位的涨落及地下水渗流随着季节的不同有一定的周期性变化,其对场区的热物性参数有很大的影响,而原位试验所得的综合热物性参数很难反映地下水渗流对其所测参数的影响,故可能会导致设计偏于保守,从而造成系统设计偏大,造成投资浪费。目前的室内试验以静态测试为主,只能得到诸如不同含水率、密度、岩土体孔隙结构等因素对材料热物性参数的影响,由于没有专门的渗流控制装置,不能测试出渗流作用的影响。

## 发明内容

[0008] 本申请提供一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置,解决了现有技术中由于没有专门的渗流控制装置,不能测试出渗流作用的影响的技术问题。

[0009] 本申请提供一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置,所述测试装置包括:定水头控制系统,包括:渗流系统水罐;气压表,设置于所述渗流系统水罐上,用于测试所述渗流系统水罐内的气压;第一水阀,设置于所述渗流系统水罐的出水端;空气压缩机,与所述渗流系统水罐连接;第一压力调节阀,设置于所述空气压缩机和所述渗流系统水罐之间;温度控制器,与所述渗流系统水罐连接,控制所述渗流系统水罐的温度;岩土测试系统,包括:导热特性测试仪;测试盒,用于放置待测试岩土,与所述渗流系统水罐的出水端连接;测试传感器,与所述导热特性测试仪,且所述测试传感器设置于所述测试盒内;水样收集器,与所述测试盒连接,用于收集所述测试盒内的水样;电子天平;量杯,置于所述电子天平上,用于盛装所述水样收集器收集的水样。

[0010] 优选地,所述测试岩土为岩样样品;

[0011] 所述定水头控制系统还包括:围压系统水罐、第二压力调节阀、第二水阀,所述空气压缩机设置于所述渗流系统水罐和所述围压系统水罐之间,所述第二压力调节阀设置于所述空气压缩机和所述围压系统水罐之间,所述第二水阀设置于所述围压系统水罐的出水端;

[0012] 所述测试盒内设置有橡胶套,所述岩样样品设置于所述橡胶套内,所述围压系统水罐的出水端与所述测试盒连接,所述渗流系统水罐的出水端具体与所述橡胶套进水口端密封固定装置连接;

[0013] 所述水样收集器具体与所述橡胶套出水口端密封固定装置连接,收集所述橡胶套内的水样。

[0014] 优选地,所述测试传感器为圆柱状的传感器。

[0015] 优选地,所述定水头控制系统还包括用于控制所述渗流系统水罐的温度的温度控制器。

[0016] 优选地,所述测试传感器为探针传感器。

[0017] 优选地,所述岩土测试系统还包括用于固定所述测试传感器的卡环以及用于密封的密封圈。

[0018] 本申请有益效果如下:

[0019] 通过本申请提供的测试装置,为分析渗流作用下岩土体热物性质提供可靠物理实验方法,提供定量化分析评价渗流作用对导热系数、热扩散系数等参数影响,为地源热泵系统设计提供更可靠的实验数据,且该装置操作方便、测试精准,解决了现有技术中由于没有专门的渗流控制装置,不能测试出渗流作用的影响的技术问题。

### 附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例。

[0021] 图 1 为本申请较佳实施方式一种流固耦合条件下岩体热扩散特性测试装置的结构示意图;

[0022] 图 2 为图 1 中测试装置的测试盒的结构示意图;

[0023] 图 3 为本申请另一较佳实施方式一种流固耦合条件下土体热扩散特性测试装置的结构示意图。

### 具体实施方式

[0024] 本申请实施例通过提供一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置,解决了现有技术中由于没有专门的渗流控制装置,不能测试出渗流作用的影响的技术问题。

[0025] 本申请实施例中的技术方案为解决上述技术问题,总体思路如下:

[0026] 一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置,所述测试装置包括:定水头控制系统,包括:渗流系统水罐;气压表,设置于所述渗流系统水罐上,用于测试所述渗流系统水罐内的气压;第一水阀,设置于所述渗流系统水罐的出水端;空气压缩机,与所述渗流系统水罐连接;第一压力调节阀,设置于所述空气压缩机和所述渗流系统水罐之间;岩土测试系统,包括:导热特性测试仪;测试盒,用于放置待测试岩土,与所述渗流系统水罐的出水端连接;测试传感器,与所述导热特性测试仪,且所述测试传感器设置于所述测试盒内;水样收集器,与所述测试盒连接,用于收集所述测试盒内的水样;电子天平;量杯,置于所述电子天平上,用于盛装所述水样收集器收集的水样。

[0027] 通过本申请提供的测试装置,为分析渗流作用下岩土体热物性质提供可靠物理实验方法,提供定量化分析评价渗流作用对导热系数、热扩散系数等参数影响,为地源热泵系统设计提供更可靠的实验数据,且该装置操作方便、测试精准,解决了现有技术中由于没有专门的渗流控制装置,不能测试出渗流作用的影响的技术问题。

[0028] 为了更好的理解上述技术方案,下面将结合说明书附图以及具体的实施方式对上述技术方案进行详细的说明。

[0029] 为了解决现有技术中由于没有专门的渗流控制装置,不能测试出渗流作用的影响的技术问题,本申请提供一种流固耦合条件下岩土热扩散特性测试装置。如图 1 所示,所述流固测试装置包括:定水头控制系统和岩样测试系统。

[0030] 所述定水头控制系统包括:渗流系统水罐 16、气压表 15、第一压力调节阀 17、围压系统水罐 19、第二压力调节阀 18、空气压缩机 21、第二水阀 20 和第一水阀 22。所述气压表 15 设置于所述渗流系统水罐 16,用于测试所述渗流系统水罐 16 内的气压。所述第一水阀

22 设置于所述渗流系统水罐 16 的出水端。所述空气压缩机 21 设置于所述渗流系统水罐 16 和所述围压系统水罐 19 之间,所述第一压力调节阀 17 设置于所述空气压缩机 21 和所述渗流系统水罐 16 之间,所述第二压力调节阀 18 设置于所述空气压缩机 21 和所述围压系统水罐 19 之间。第二水阀 20 设置于所述围压系统水罐 19 的出水端。在本实施方式中,所述定水头控制系统还包括用于控制所述渗流系统水罐 16 的温度的温度控制器 14。

[0031] 所述岩土测试系统包括:导热特性测试仪 1、测试传感器 2、测试盒 3、水样收集器 6、量杯 7、电子天平 8。所述测试传感器 2 与所述导热特性测试仪 1 连接,且所述测试传感器 2 设置于所述测试盒 3 内,所述测试盒 3 内用于放置待测试岩土 11。所述测试岩土 11 为岩样样品,在所述测试岩土 11 为岩样样品时,所述测试盒 3 内设置有橡胶套 13,所述岩样样品设置于所述橡胶套 13 内。所述围压系统水罐 19 的出水端与所述测试盒 3 连接,所述渗流系统水罐 16 的出水端与所述橡胶套 13 连接。在本实施方式中,所述测试传感器 2 为圆柱状的传感器。

[0032] 所述水样收集器 6 与所述橡胶套 13 连接,收集所述橡胶套 13 内的水样,并将收集的水样置于量杯 7 内,所述量杯 7 设置于所述电子天平 8 上,所述电子天平 8 用于称所述量杯 7 内水样的重量。

[0033] 如图 2 所示,所述测试盒 3 包括:测试盒端盖 32、测试盒拉杆 33、测试箱体固定压杆及压片 34、围压阻隔套环 35、密封垫片压环 36、传感器压盖 38、手动调节压盖顶杆 39、压杆反力支撑梁 310、硅胶密封垫圈 311、密封橡胶圈 312、测试盒箱体 313、样品端口密封卡环 314、透水石 316、渗流出水连接管 317、岩样密封端 318、围压排水口 319、高度调节螺母 320、岩样支撑底座 321、测试盒支架 322、围压进水口 323 和渗流进水连接管 324。在本实施方式中,所述透水石 316 的形状为方形,在其它实施方式中,所述透水石 316 也可以为圆形或其它形状。

[0034] 在其它实施方式中,可以采用如图 3 所示的测试装置。所述测试装置包括:定水头控制系统和土样测试系统。

[0035] 所述定水头控制系统包括:渗流系统水罐 16、气压表 15、第一压力调节阀 17 空气压缩机 21 和第一水阀 22。所述气压表 15 设置于所述渗流系统水罐 16,用于测试所述渗流系统水罐 16 内的气压。所述第一水阀 22 设置于所述渗流系统水罐 16 的出水端。所述空气压缩机 21 与所述渗流系统水罐 16 连接,所述第一压力调节阀 17 设置于所述空气压缩机 21 和所述渗流系统水罐 16 之间。

[0036] 所述土样测试系统包括:导热特性测试仪 1、测试传感器 2、测试盒 3、水样收集器 6、量杯 7、电子天平 8。所述测试传感器 2 与所述导热特性测试仪 1,且所述测试传感器 2 设置于所述测试盒 3 内,所述测试盒 3 内用于放置待测试岩土 11。所述渗流系统水罐 16 的出水端与所述测试盒 3 连接。在本实施方式中,所述测试传感器 2 为探针传感器。所述岩土测试系统还包括用于固定测试传感器 2 的卡环 10 以及用于密封的密封圈 12。所述测试盒 3 内也设置有透水石 316,在本实施方式中,所述透水石 316 为圆形。

[0037] 所述水样收集器 6 与测试盒 3 连接,收集所述测试盒 3 内的水样,并将收集的水样置于量杯 7 内,所述量杯 7 设置于所述电子天平 8 上,所述电子天平 8 用于称所述量杯 7 内水样的重量。

[0038] 使用上述测试装置进行测试的步骤如下:

[0039] 步骤一:按照试验要求制作土样或符合测试尺寸岩样样品,装入测试盒3中,连接各个部件,安装并密封测试传感器;

[0040] 步骤二:1、对于土样测试:设定较小的定水头,对土样进行饱和,当出水端水样收集器6中长时间不再有气泡排除,可认为土样已饱和,此时关闭第一水阀22,打开导热特性测试仪1,测量饱和状态下的土样的热物性参数。2、对于岩样测试:打开第二水阀20向测试盒中充入围压水,此时设定一个较小压力,同时打开第一水阀22以一个小于围压水的压力对岩样进行饱和。当出水端水样收集器中长时间不再有气泡排除,可认为岩样饱和,此时关闭第一水阀22,打开导热特性测试仪1,测量饱和状态下的岩体热物性参数。

[0041] 步骤三:将量杯6中的水清空,电子天平8至零,分别按梯次设定不同的水头,测量出水口流量,同时当流量稳定时利用导热特性测试仪1测量热物性参数。备注:岩样测试中,围压水头时刻都要略大于渗流水头,保证渗透路径的唯一性。每次调整完水头后需要将量杯6及电子天平8至零方可继续测试。

[0042] 步骤四:导出数据,进行处理,得到渗流速率与导热系数、热扩散系数、比热容等之间的关系曲线,以此分析岩土介质在渗流作用下的热物性质。

[0043] 本发明主要有两点:其一为试样及测试传感器2的密封,土样测试系统中测试传感器2从试样筒中部的特质小孔插入土体,通过密封圈12密封孔隙,卡环10固定测试传感器2,防止测试过程中水压泄露或测试传感器;岩样测试系统中测试传感器2为圆柱状,通过特质的圆柱筒将围压隔开,将岩样顶端的橡胶套开一尺寸适当的圆形孔使岩样与传感器紧密贴合,孔隙部分采用硅胶垫片密封,可以防止渗透水压泄露。其二,为压力水头及渗流速率的精确控制,采用空气压力可以控制较高的水头,完成渗透系数较小的定水头渗流实验,形成稳定的渗流速率,其渗透流量可以通过电子天平精确测量并记录,为研究渗流作用下岩土介质的热物性参数变化提供支持。

[0044] 渗流作用对岩土体热物性参数的影响直接决定着浅层地源热泵系统冷热周期负荷下运行的长期稳定性,对于系统的维护和使用有着重要的参考意义。因此其室内试验数据可以对系统的评价以及对原位测试所得的综合热物性参数的分析提供支撑。

[0045] 通过本申请提供的测试装置,为分析渗流作用下岩土体热物性质提供可靠物理实验方法,提供定量化分析评价渗流作用对导热系数、热扩散系数等参数影响,为地源热泵系统设计提供更可靠的实验数据,且该装置操作方便、测试精准,解决了现有技术中无法测试渗流作用下岩土的热物性参数,进而导致无法定量化研究渗流作用对导热系数、热扩散系数等参数影响的技术问题。

[0046] 在测试岩样时,该测试装置通过各种密封装置实现了围压和渗透压力的控制,并保证了测试传感器在试样渗透过程中进行测试,围压可以保证水流在岩体中的渗流路径的稳定和确定性,测试探头的安装和密封设计能保证实验过程中的流量流速可控、可测。

[0047] 尽管已描述了本发明的优选实施例,但本领域内的技术人员一旦得知了基本创造性概念,则可对这些实施例作出另外的变更和修改。所以,所附权利要求意欲解释为包括优选实施例以及落入本发明范围的所有变更和修改。

[0048] 显然,本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

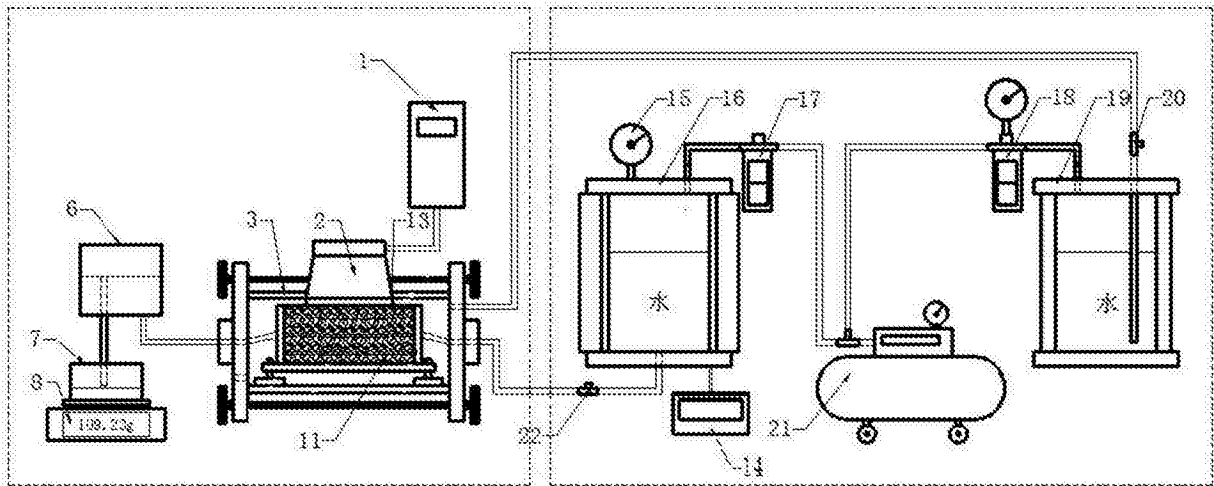


图 1

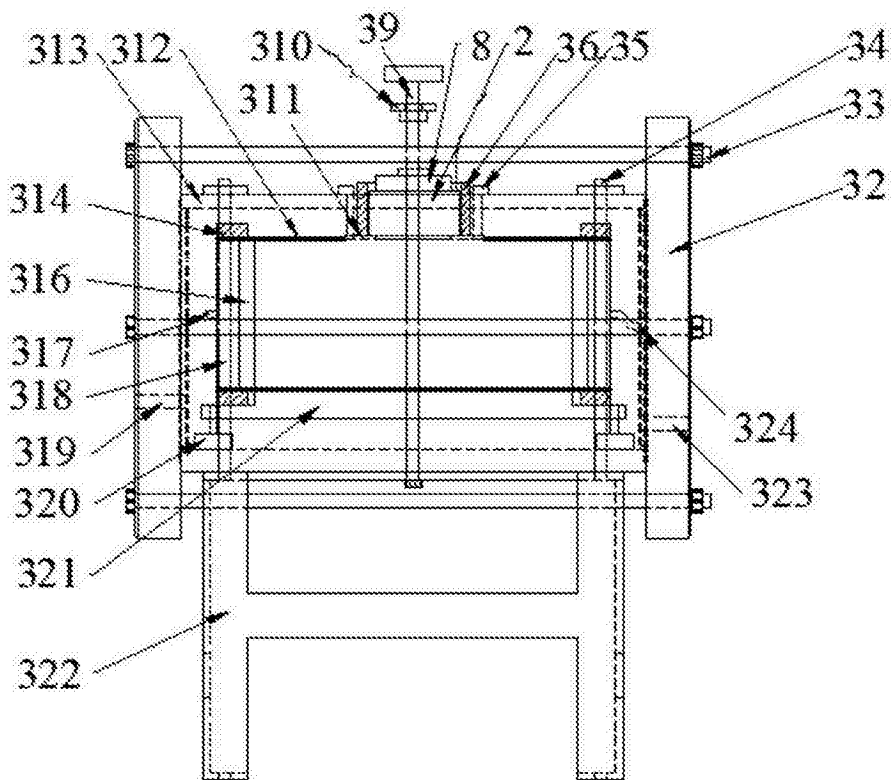


图 2



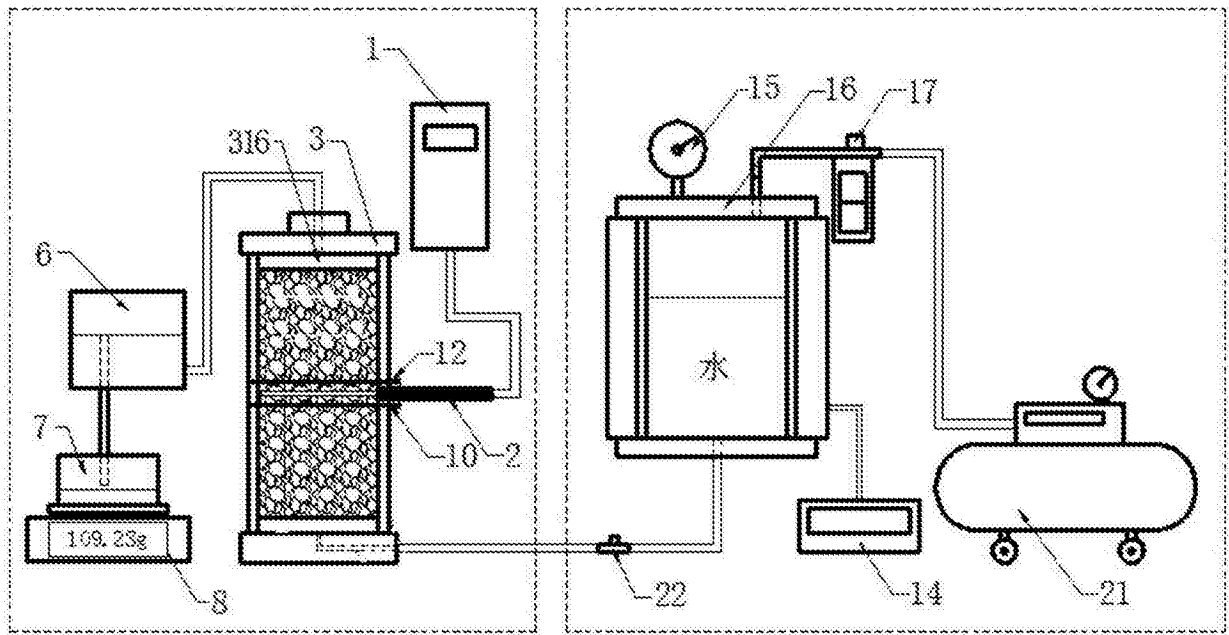


图 3