



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 105181531 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 11

(21) 申请号 201510542270. X

CN 104865165 A, 2015. 08. 26,

(22) 申请日 2015. 08. 29

王春颖等. 《层状夹砂土柱室内积水入渗试验及模拟》. 《农业工程学报》. 2010, 第 26 卷 (第 11 期), 第 61-67 页.

(73) 专利权人 西安科技大学

地址 710054 陕西省西安市雁塔路中段 58 号

审查员 张瑞

(72) 发明人 毛正君

(74) 专利代理机构 西安创知专利事务所 61213

代理人 谭文琰

(51) Int. Cl.

G01N 13/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 103235018 A, 2013. 08. 07,

JP 11-160308 A, 1996. 06. 18,

CN 104266941 A, 2015. 01. 07,

CN 204855509 U, 2015. 12. 09,

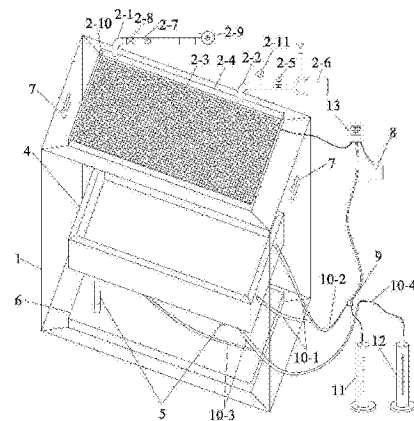
权利要求书7页 说明书16页 附图5页

(54) 发明名称

黄土水分迁移规律室内模拟系统及特征参数测定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种黄土水分迁移规律室内模拟系统,包括室内模拟系统箱体、黄土水分迁移规律特征参数测量系统、试验数据采集及控制器、冷热一体机、降雨模拟系统和地质模型系统;降雨模拟系统包括降雨槽、圆形降雨孔、降雨槽内压力控制管和进水管;地质模型系统包括底座、地质模型槽、经纬格栅板、陶土板和多个串联的半导体加热制冷片;黄土水分迁移规律特征参数测量系统包括土壤温度及含水率测量系统、降雨径流量测量系统和降雨出渗量测量系统;本发明还公开了一种黄土水分迁移规律特征参数测定方法。本发明使用操作方便,功能完备,为进一步研究降雨条件下黄土水分迁移规律提供了途径,实用性强,使用效果好,便于推广使用。



1. 一种黄土水分迁移规律室内模拟系统,其特征在于:包括室内模拟系统箱体(1)、黄土水分迁移规律特征参数测量系统和试验数据采集及控制器(13),以及设置在室内模拟系统箱体(1)内部的冷热一体机(7)、降雨模拟系统和地质模型系统;

所述降雨模拟系统包括嵌入安装在室内模拟系统箱体(1)顶部的降雨槽(2-4)和设置在降雨槽(2-4)底部的圆形降雨孔(2-3),所述降雨槽(2-4)的顶部设置有降雨槽内压力控制管(2-1)和与外部水源连接的进水管(2-2),所述进水管(2-2)上设置有进水电磁阀(2-5)、进水水泵(2-6)和用于对降雨量进行实时检测的第一流量传感器(2-11),所述降雨槽内压力控制管(2-1)上设置有压力控制电磁阀(2-7)和压力传感器(2-8),所述降雨槽内压力控制管(2-1)的端部连接有空气压缩机(2-9),所述降雨槽(2-4)的顶部内壁上设置有用于对降雨槽(2-4)的水位进行实时检测的水位传感器(2-10),所述降雨孔(2-3)的直径为0.5mm~1mm;

所述地质模型系统包括底座(6)和通过多个千斤顶(5)支撑安装在底座(6)上的地质模型槽(4),所述地质模型槽(4)的底部设置有用于在地质模型槽(4)内底部形成储水空间的经纬格栅板(4-2),所述经纬格栅板(4-2)上设置有多个出水孔洞,所述经纬格栅板(4-2)的顶部设置有陶土板(4-3),所述陶土板(4-3)的四周边沿均与地质模型槽(4)内壁粘接,所述陶土板(4-3)的顶部用于放置试验土样(4-1),所述试验土样(4-1)内埋设有多个串联的用于对试验土样(4-1)进行加热或制冷的半导体加热制冷片(4-4);

所述黄土水分迁移规律特征参数测量系统包括土壤温度及含水率测量系统、降雨径流量测量系统和降雨出渗量测量系统,所述土壤温度及含水率测量系统包括分多层埋设在试验土样(4-1)内的多个土壤温湿度传感器(33),每层所述土壤温湿度传感器(33)的数量均为多个,各层中多个所述土壤温湿度传感器(33)呈正方形网格均匀布设,多层中相邻两层的多个所述土壤温湿度传感器(33)均按相等间距上下相对布设;所述降雨径流量测量系统包括降雨径流量测量量杯(11)和设置在地质模型槽(4)侧面的多个降雨径流量测量孔,以及连接在所述降雨径流量测量孔上的降雨径流量测量分管(10-1)和与降雨径流量测量分管(10-1)连接并接入降雨径流量测量量杯(11)内的降雨径流量测量总管(10-2);所述降雨出渗量测量系统包括降雨出渗量测量量杯(12)和设置在地质模型槽(4)底面上的多个降雨出渗量测量孔,以及连接在所述降雨出渗量测量孔上的降雨出渗量测量分管(10-3)和与降雨出渗量测量分管(10-3)连接并接入降雨出渗量测量量杯(12)内的降雨出渗量测量总管(10-4);所述降雨径流量测量总管(10-2)上设置有用于对未渗入试验土样(4-1)内的水流量进行实时检测的第二流量传感器(9);

所述试验数据采集及控制器(13)包括微控制器(13-1)和与微控制器(13-1)相接且用于与计算机(8)连接的串口通信电路(13-2),所述微控制器(13-1)的输入端接有按键操作电路(13-3),所述微控制器(13-1)的输出端接有液晶显示器(13-5)、用于驱动进水电磁阀(2-5)的第一电磁阀驱动器(13-4)、用于驱动压力控制电磁阀(2-7)的第二电磁阀驱动器(13-7)、用于对进水水泵(2-6)的通断电进行控制的第一继电器(13-6)、用于对空气压缩机(2-9)的通断电进行控制的第二继电器(13-8)和用于驱动控制多个串联的半导体加热制冷片(4-4)的加热制冷驱动控制电路(13-9),所述进水电磁阀(2-5)与第一电磁阀驱动器(13-4)的输出端连接,所述压力控制电磁阀(2-7)与第二电磁阀驱动器(13-7)的输出端连接,所述第一继电器(13-6)串联在进水水泵(2-6)的供电回路中,所述第二继电器(13-8)串联在

空气压缩机(2-9)的供电回路中,所述半导体加热制冷片(4-4)与加热制冷驱动控制电路(13-9)的输出端连接,所述第一流量传感器(2-11)、水位传感器(2-10)、压力传感器(2-8)、第二流量传感器(9)和多个土壤温湿度传感器(33)均与微控制器(13-1)的输入端连接;

所述降雨槽(2-4)的侧壁上设置有雨量刻度;

各层中多个所述土壤温湿度传感器(33)呈 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的正方形网格均匀布设,多层中相邻两层的多个所述土壤温湿度传感器(33)均按 0.5m 的相等间距上下相对布设。

2.按照权利要求1所述的黄土水分迁移规律室内模拟系统,其特征在于:所述加热制冷驱动控制电路(13-9)包括光耦隔离芯片TLP521-1、运算放大器芯片TL084、继电器K1、三极管Q1、二极管D1、电阻R1和电阻R10,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第1引脚与+5V电源的输出端连接,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第2引脚与电阻R1的一端连接,所述电阻R1的另一端为加热制冷驱动控制电路(13-9)的第一输入端IN1,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第4引脚与+12V电源的输出端连接,所述运算放大器芯片TL084的第3引脚通过串联的电阻R3和电阻R2与光耦隔离芯片TLP521-1的第4引脚连接,且通过电阻R4接地,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第3引脚与电阻R3和电阻R2的连接端相接,所述运算放大器芯片TL084的第2引脚通过电阻R5接地,且通过电阻R7与运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述运算放大器芯片TL084的第5引脚通过电阻R6与运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述运算放大器芯片TL084的第6引脚通过电阻R9与运算放大器芯片TL084的第7引脚相接,且通过电阻R8接地;所述继电器K1的线圈的一端和二极管D1的阴极均与+12V电源的输出端连接,所述继电器K1的线圈的另一端和二极管D1的阳极均与三极管Q1的集电极相接,所述继电器K1的常开触点与所述运算放大器芯片TL084的第7引脚相接,所述继电器K1的常闭触点与所述运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述继电器K1的公共触点为加热制冷驱动控制电路(13-9)的输出端OUT,所述三极管Q1的发射极接地,所述三极管Q1的基极与电阻R10的一端相接,所述电阻R10的另一端为加热制冷驱动控制电路(13-9)的第二输入端IN2;所述加热制冷驱动控制电路(13-9)的第一输入端IN1和第二输入端IN2均与微控制器(13-1)的输出端连接,多个串联后的所述半导体加热制冷片(4-4)与加热制冷驱动控制电路(13-9)的输出端OUT连接。

3.一种利用如权利要求1所述的黄土水分迁移规律室内模拟系统进行黄土水分迁移规律特征参数测定的方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

步骤一、构建地质模型:操作多个千斤顶(5),使地质模型槽(4)处于水平放置后将试验土样(4-1)分层填装到地质模型槽(4)内陶土板(4-3)的顶部,并进行土样夯击填筑;然后,再操作多个千斤顶(5),调整地质模型槽(4)的坡度为试验坡度;

步骤二、准备降雨模拟系统:操作计算机(8),启动准备降雨模拟系统模式,计算机(8)通过串口通信电路(13-2)发送准备降雨模拟系统的信号给微控制器(13-1),微控制器(13-1)控制第一继电器(13-6)接通进水水泵(2-6)的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器(13-4)驱动进水电磁阀(2-5)打开,进水水泵(2-6)启动,所述外部水源流出的水通过进水管(2-2)流入降雨槽(2-4)内,所述水位传感器(2-10)对降雨槽(2-4)内的水位进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器(13-1),微控制器(13-1)将其接收到的水位检测值与预先通过操作按键操作电路(13-3)设定的水位设定值进行比对,当水位检测值达到水位设定值时,微控制器(13-1)控制第一继电器(13-6)断开进水水泵(2-6)的供电回路,并通过第一电

磁阀驱动器(13-4)驱动进水电磁阀(2-5)关闭,停止往降雨槽(2-4)内注水;

步骤三、测量降雨前试验土样的初始含水率:多个土壤温湿度传感器(33)分别对试验土样(4-1)的温度和湿度进行一次检测并将检测到的多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号和湿度信号传输给微控制器(13-1),微控制器(13-1)再将其接收到的多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号和湿度信号通过串口通信电路(13-2)实时传输给计算机(8),计算机(8)接收并记录多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号和湿度信号,并将各个测试点处试验土样(4-1)的湿度信号记录为各个测试点处降雨前试验土样的初始含水率 θ_0 ;

步骤四、模拟降雨:操作计算机(8),启动模拟降雨模式,计算机(8)通过串口通信电路(13-2)发送模拟降雨的信号给微控制器(13-1),微控制器(13-1)控制第二继电器(13-8)接通空气压缩机(2-9)的供电回路,并通过第二电磁阀驱动器(13-7)驱动压力控制电磁阀(2-7)打开,空气压缩机(2-9)启动,产生的压缩空气经过压力控制电磁阀(2-7)调节压力后通过降雨槽内压力控制管(2-1)进入降雨槽(2-4)内,将降雨槽(2-4)内的水从降雨孔(2-3)中喷出,模拟出了降雨;降雨模拟过程中,压力传感器(2-8)对经过降雨槽内压力控制管(2-1)的压缩空气压力进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器(13-1),微控制器(13-1)将其接收到的压力检测值与预先通过操作按键操作电路(13-3)设定的压力阈值进行比对,当压力检测值小于压力阈值时,通过第二电磁阀驱动器(13-7)驱动压力控制电磁阀(2-7)打开的开度增大,当压力检测值大于压力阈值时,通过第二电磁阀驱动器(13-7)驱动压力控制电磁阀(2-7)打开的开度减小,从而使经过降雨槽内压力控制管(2-1)的压缩空气压力维持在压力阈值范围内;同时,所述水位传感器(2-10)对降雨槽(2-4)内的水位进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器(13-1),微控制器(13-1)将其接收到的水位检测值与预先通过操作按键操作电路(13-3)设定的水位设定值进行比对,当水位检测值小于水位设定值时,微控制器(13-1)控制第一继电器(13-6)接通进水水泵(2-6)的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器(13-4)驱动进水电磁阀(2-5)打开,外部水源流出的水通过进水管(2-2)流入降雨槽(2-4)内,当水位检测值大于水位设定值时,微控制器(13-1)控制第一继电器(13-6)断开进水水泵(2-6)的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器(13-4)驱动进水电磁阀(2-5)关闭,停止往降雨槽(2-4)内注水,从而使降雨槽(2-4)内水位维持稳定,保证了降雨过程的持续进行;模拟降雨过程中,第一流量传感器(2-11)对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器(13-1),第二流量传感器(9)对未渗入试验土样(4-1)内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器(13-1),微控制器(13-1)将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样(4-1)内的水流量作差,当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样(4-1)内的水流量差值小于等于 1cm^3 时,说明达到了降雨入渗稳定;此时,微控制器(13-1)将其接收到的降雨量信号通过串口通信电路(13-2)实时传输给计算机(8),计算机(8)将其接收到的降雨量信号记录为降雨入渗前期降雨入渗稳定时的总降雨量 Q_2 ;

步骤五、进行降雨入渗观测并测量降雨入渗前期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率:调节冷热一体机(7)的温度为常温环境温度 T_1 ,从开始模拟降雨到达到降雨入渗稳定的过程中,未渗入试验土样(4-1)内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管(10-1)和降雨径流量测量总管(10-2)流入降雨径流量测量量杯(11)内;渗出试验土样(4-1)内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管(10-3)和降雨出渗量测量总管(10-4)流入降雨出渗量测量量杯(12)

内;同时,多个土壤温湿度传感器(33)分别对试验土样(4-1)的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号和湿度信号传输给微控制器(13-1),微控制器(13-1)再将其接收到的多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号和湿度信号通过串口通信电路(13-2)实时传输给计算机(8),计算机(8)接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号和湿度信号,且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列,当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时,说明该测试点处试验土样(4-1)的湿度已稳定,将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的稳定含水率 θ_f ,而且,计算机(8)还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列,并将各个测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的峰值含水率 θ_p ,将各个测试点处排列在最后的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的谷值含水率 θ_v ;而且,微控制器(13-1)还将其接收到的未渗入试验土样(4-1)内的水流量通过串口通信电路(13-2)传输给计算机(8),计算机(8)调用流量曲线绘制模块绘制出未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间t变化的曲线;查看显示在计算机(8)上的未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间t变化的曲线,当未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间t变化的曲线趋近于一条直线时,说明达到了降雨入渗稳定,此时,查看降雨径流量测量量杯(11)内未渗入试验土样(4-1)内的水的量,并将读数记录为降雨入渗前期的降雨径流量 Q_j ;查看降雨出渗量测量量杯(12)内渗出试验土样(4-1)内的水的量,并将读数记录为降雨入渗前期的降雨出渗量 Q_c ;

步骤六、降雨入渗前期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算:

步骤601、根据公式 $Q_r = Q_z - Q_j$,计算得到降雨入渗前期的降雨入渗量 Q_r ;

步骤602、根据公式 $\Delta S = Q_r - Q_c$ 计算得到降雨入渗前期的水分亏损量 ΔS ;

步骤603、根据公式 $V_r = \frac{Q_r}{t}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨入渗率 V_r ;

步骤604、根据公式 $V_c = \frac{Q_c}{t}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨出渗率 V_c ;

步骤605、根据公式 $\alpha = \frac{Q_c}{Q_r}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨入渗系数 α ;

其中,步骤603和步骤604中,t为时间;

步骤七、进行降雨条件下土壤冻融循环,测量降雨条件下土壤冻结期和降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率,并计算降雨条件下土壤冻结期和降雨条件下土壤消融期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数;具体过程为:

步骤701、降雨条件下土壤冻结期入渗模拟:调节冷热一体机(7)的温度为土壤冻结环境温度 T_2 ,并操作计算机(8),启动降雨条件下土壤冻结期入渗模拟模式,计算机(8)通过串口通信电路(13-2)发送降雨条件下土壤冻结期入渗模拟的信号给微控制器(13-1),微控制器(13-1)通过加热制冷驱动控制电路(13-9)控制半导体加热制冷片(4-4)进行制冷,半导体加热制冷片(4-4)制冷过程中,多个土壤温湿度传感器(33)分别对试验土样(4-1)的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号传输给微控制器(13-1),微控制器(13-1)对各个采样时刻多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号求平均,得到各个采样时刻试验土样(4-1)的平均温度,并分别将各个采样时刻试验土

样(4-1)的平均温度与预先通过操作按键操作电路(13-3)设定的土壤冻结温度 T_3 进行比对,当试验土样(4-1)的平均温度达到土壤冻结温度 T_3 时,微控制器(13-1)通过加热制冷驱动控制电路(13-9)控制半导体加热制冷片(4-4)停止制冷,从而使试验土样(4-1)的平均温度维持为土壤冻结温度 T_3 ;降雨条件下土壤冻结期入渗模拟过程中,第一流量传感器(2-11)对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器(13-1),第二流量传感器(9)对未渗入试验土样(4-1)内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器(13-1),微控制器(13-1)将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样(4-1)内的水流量作差,当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样(4-1)内的水流量差值小于等于 1cm^3 时,说明达到了降雨条件下土壤冻结期入渗稳定;此时,微控制器(13-1)将其接收到的降雨量信号通过串口通信电路(13-2)实时传输给计算机(8),计算机(8)将其接收到的降雨量信号记录为降雨条件下土壤冻结期入渗稳定时的总降雨量 Q'_z ;

步骤702、进行降雨条件下土壤冻结期入渗观测并测量降雨条件下土壤冻结期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率:从启动降雨条件下土壤冻结期入渗模拟模式到降雨条件下土壤冻结期入渗稳定的过程中,未渗入试验土样(4-1)内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管(10-1)和降雨径流量测量总管(10-2)流入降雨径流量测量量杯(11)内;渗出试验土样(4-1)内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管(10-3)和降雨出渗量测量总管(10-4)流入降雨出渗量测量量杯(12)内;同时,微控制器(13-1)还将其接收到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号通过串口通信电路(13-2)实时传输给计算机(8),计算机(8)接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号和湿度信号,且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列,当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时,说明该测试点处试验土样(4-1)的湿度已稳定,将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的稳定含水率 θ'_f ,而且,计算机(8)还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列,并将各个测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的峰值含水率 θ'_p ,将各个测试点处排列在最后的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的谷值含水率 θ'_v ;而且,微控制器(13-1)还将其接收到的未渗入试验土样(4-1)内的水流量通过串口通信电路(13-2)传输给计算机(8),计算机(8)调用流量曲线绘制模块绘制未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间 t 变化的曲线;查看显示在计算机(8)上的未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间 t 变化的曲线,当未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间 t 变化的曲线趋近于一条直线时,说明达到了降雨条件下土壤冻结期入渗稳定,此时,查看降雨径流量测量量杯(11)内未渗入试验土样(4-1)内的水的量,并将该读数记录为降雨条件下土壤冻结期的降雨径流量 Q'_j ;查看降雨出渗量测量量杯(12)内渗出试验土样(4-1)内的水的量,并将该读数记录为降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗量 Q'_c ;

步骤703、降雨条件下土壤冻结期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算:

步骤7031、根据公式 $Q'_r = Q'_z - Q'_j$,计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗量 Q'_r ;

步骤7032、根据公式 $\Delta S' = Q'_r - Q'_c$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的水分亏损量 $\Delta S'$;

步骤7033、根据公式 $V'_r = \frac{Q'_r}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗率 V'_r ；

步骤7034、根据公式 $V'_c = \frac{Q'_c}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗率 V'_c ；

步骤7035、根据公式 $\alpha' = \frac{Q'_c}{Q'_r}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗系数 α' ；

其中，步骤7033和步骤7034中， t 为时间；

步骤704、降雨条件下土壤消融期入渗模拟：调节冷热一体机(7)的温度为土壤消融环境温度 T_4 ，并操作计算机(8)，启动降雨条件下土壤消融期入渗模拟模式，计算机(8)通过串口通信电路(13-2)发送降雨条件下土壤消融期入渗模拟的信号给微控制器(13-1)，微控制器(13-1)通过加热制冷驱动控制电路(13-9)控制半导体加热制冷片(4-4)进行制热，半导体加热制冷片(4-4)制热过程中，多个土壤温湿度传感器(33)分别对试验土样(4-1)的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号传输给微控制器(13-1)，微控制器(13-1)对各个采样时刻多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号求平均，得到各个采样时刻试验土样(4-1)的平均温度，并分别将各个采样时刻试验土样(4-1)的平均温度与预先通过操作按键操作电路(13-3)设定的土壤消融温度 T_5 进行对比，当试验土样(4-1)的平均温度达到土壤消融温度 T_5 时，微控制器(13-1)通过加热制冷驱动控制电路(13-9)控制半导体加热制冷片(4-4)停止制热，从而使试验土样(4-1)的平均温度维持为土壤消融温度 T_5 ；降雨条件下土壤消融期入渗模拟过程中，第一流量传感器(2-11)对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器(13-1)，第二流量传感器(9)对未渗入试验土样(4-1)内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器(13-1)，微控制器(13-1)将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样(4-1)内的水流量作差，当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样(4-1)内的水流量差值小于等于 1cm^3 时，说明达到了降雨条件下土壤消融期入渗稳定；此时，微控制器(13-1)将其接收到的降雨量信号通过串口通信电路(13-2)实时传输给计算机(8)，计算机(8)将其接收到的降雨量信号记录为降雨条件下土壤消融期入渗稳定时的总降雨量 Q'_z ；

步骤705、进行降雨条件下土壤消融期入渗观测并测量降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率：从启动降雨条件下土壤消融期入渗模拟模式到降雨条件下土壤消融期入渗稳定的过程中，未渗入试验土样(4-1)内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管(10-1)和降雨径流量测量总管(10-2)流入降雨径流量测量量杯(11)内；渗出试验土样(4-1)内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管(10-3)和降雨出渗量测量总管(10-4)流入降雨出渗量测量量杯(12)内；同时，微控制器(13-1)还将其接收到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号通过串口通信电路(13-2)实时传输给计算机(8)，计算机(8)接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样(4-1)的温度信号和湿度信号，且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列，当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时，说明该测试点处试验土样(4-1)的湿度已稳定，将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的稳定含水率 θ''_f ，而且，计算机(8)还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列，并将各个

测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的峰值含水率 θ''_p ,将各个测试点处排列在最后的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率 θ''_v ;而且,微控制器(13-1)还将其接收到的未渗入试验土样(4-1)内的水流量通过串口通信电路(13-2)传输给计算机(8),计算机(8)调用流量曲线绘制模块绘制出未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间 t 变化的曲线;查看显示在计算机(8)上的未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间 t 变化的曲线,当未渗入试验土样(4-1)内的水流量随时间 t 变化的曲线趋近于一条直线时,说明达到了降雨条件下土壤消融期入渗稳定,此时,查看降雨径流量测量量杯(11)内未渗入试验土样(4-1)内的水的量,并将该读数记录为降雨条件下土壤消融期的降雨径流量 Q''_j ;查看降雨出渗量测量量杯(12)内渗出试验土样(4-1)内的水的量,并将该读数记录为降雨条件下土壤消融期的降雨出渗量 Q''_c ;

步骤706、降雨条件下土壤消融期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算:

步骤7061、根据公式 $Q''_r = Q''_z - Q''_j$,计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗量 Q''_r ;

步骤7062、根据公式 $\Delta S'' = Q''_r - Q''_c$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的水分亏损量 $\Delta S''$;

步骤7063、根据公式 $V''_r = \frac{Q''_r}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗率 V''_r ;

步骤7064、根据公式 $V''_c = \frac{Q''_c}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨出渗率 V''_c ;

步骤7065、根据公式 $\alpha'' = \frac{Q''_c}{Q''_z}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗系数 α'' ;

其中,步骤7063和步骤7064中, t 为时间;

循环执行步骤七,直到达到预先通过操作计算机(8)设定的循环次数 n ;其中, n 的取值为5~20次。

4.按照权利要求3所述的方法,其特征在于:步骤五中常温环境温度 T_1 的取值为 $0^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$,步骤701中土壤冻结环境温度 T_2 的取值为 $-25^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$,步骤701中土壤冻结温度 T_3 的取值为 $-30^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$,步骤704中土壤消融环境温度 T_4 的取值为 $-25^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$,步骤704中土壤消融温度 T_5 的取值为 $-30^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ 。

黄土水分迁移规律室内模拟系统及特征参数测定方法

技术领域

[0001] 本发明属于岩土工程技术领域,具体涉及一种黄土水分迁移规律室内模拟系统及特征参数测定方法。

背景技术

[0002] 黄土在我国分布广泛,主要分布在北纬30~49度,东经101~114度之间的北方几个省区,总面积大约有63万平方公里,同时这些区域存在不同程度的季节性冻融。由于地表的黄土大面积暴露于大气中,受到诸如温度、辐射、蒸发、降水、边坡的阴阳坡等外界因素的影响,以及在季节冻融区冻融过程会引起黄土的水分迁移和水分重分布,加剧黄土中水分的聚积,同时冻融过程会引发黄土土体结构发生变化,强度降低、变形增大,这会加剧黄土的湿陷变形。当然,含水量的增大不仅降低黄土的强度,而且导致了一系列病害的发生,如在路基工程出现沉陷、波浪、纵裂、水沟失稳等病害;水利工程出现冻胀、塌岸、砌体开裂等病害;市政工程出现沉陷、网裂等病害;在建筑工程中出现基坑边坡失稳,基坑支护结构破坏等病害;降水使黄土边坡体的水量分布发生变化并导致坡体滑动等病害。重视和应用黄土在冻融循环过程中水分迁移与分布的特性规律在新世纪黄土力学特性和应用的研究中占据重要的地位。因此对进行黄土在冻融循环过程中水分迁移问题的研究,具有重要的理论和实践意义。目前,许多学者对黄土的水分迁移进行了大量的研究,但对黄土在冻融循环过程中水分迁移机理阐述地还不透彻。现有技术中还没有能够方便地在室内进行黄土水分迁移规律模拟的系统,也不能很好地在室内进行黄土水分迁移规律特征参数的测定。

发明内容

[0003] 本发明所要解决的技术问题在于针对上述现有技术中的不足,提供了一种结构紧凑、设计新颖合理、实现方便、使用操作方便、为进一步研究降雨条件下黄土水分迁移规律提供了可行的黄土水分迁移规律室内模拟系统。

[0004] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案是:一种黄土水分迁移规律室内模拟系统,其特征在于:包括室内模拟系统箱体、黄土水分迁移规律特征参数测量系统和试验数据采集及控制器,以及设置在室内模拟系统箱体内部的冷热一体机、降雨模拟系统和地质模型系统;

[0005] 所述降雨模拟系统包括嵌入安装在室内模拟系统箱体顶部的降雨槽和设置在降雨槽底部的圆形降雨孔,所述降雨槽的顶部设置有降雨槽内压力控制管和与外部水源连接的进水管,所述进水管上设置有进水电磁阀、进水水泵和用于对降雨量进行实时检测的第一流量传感器,所述降雨槽内压力控制管上设置有压力控制电磁阀和压力传感器,所述降雨槽内压力控制管的端部连接有空气压缩机,所述降雨槽的顶部内壁上设置有用于对降雨槽的水位进行实时检测的水位传感器,所述降雨孔的直径为0.5mm~1mm;

[0006] 所述地质模型系统包括底座和通过多个千斤顶支撑安装在底座上的地质模型槽,所述地质模型槽的底部设置有用于在地质模型槽内底部形成储水空间的经纬格栅板,所述

经纬格栅板上设置有多个出水孔洞,所述经纬格栅板的顶部设置有陶土板,所述陶土板的四周边沿均与地质模型槽内壁粘接,所述陶土板的顶部用于放置试验土样,所述试验土样内埋设有多个串联的用于对试验土样进行加热或制冷的半导体加热制冷片;

[0007] 所述黄土水分迁移规律特征参数测量系统包括土壤温度及含水率测量系统、降雨径流量测量系统和降雨出渗量测量系统,所述土壤温度及含水率测量系统包括多层埋设在试验土样内的多个土壤温湿度传感器,每层所述土壤温湿度传感器的数量均为多个,各层中多个所述土壤温湿度传感器呈正方形网格均匀布设,多层中相邻两层的多个所述土壤温湿度传感器均按相等间距上下相对布设;所述降雨径流量测量系统包括降雨径流量测量量杯和设置在地质模型槽侧面的多个降雨径流量测量孔,以及连接在所述降雨径流量测量孔上的降雨径流量测量分管和与降雨径流量测量分管连接并接入降雨径流量测量量杯内的降雨径流量测量总管;所述降雨出渗量测量系统包括降雨出渗量测量量杯和设置在地质模型槽底面上的多个降雨出渗量测量孔,以及连接在所述降雨出渗量测量孔上的降雨出渗量测量分管和与降雨出渗量测量分管连接并接入降雨出渗量测量量杯内的降雨出渗量测量总管;所述降雨径流量测量总管上设置有用于对未渗入试验土样内的水流量进行实时检测的第二流量传感器;

[0008] 所述试验数据采集及控制器包括微控制器和与微控制器相接且用于与计算机连接的串口通信电路,所述微控制器的输入端接有按键操作电路,所述微控制器的输出端接有液晶显示器、用于驱动进水电磁阀的第一电磁阀驱动器、用于驱动压力控制电磁阀的第二电磁阀驱动器、用于对进水水泵的通断电进行控制的第一继电器、用于对空气压缩机的通断电进行控制的第二继电器和用于驱动控制多个串联的半导体加热制冷片的加热制冷驱动控制电路,所述进水电磁阀与第一电磁阀驱动器的输出端连接,所述压力控制电磁阀与第二电磁阀驱动器的输出端连接,所述第一继电器串联在进水水泵的供电回路中,所述第二继电器串联在空气压缩机的供电回路中,所述半导体加热制冷片与加热制冷驱动控制电路的输出端连接,所述第一流量传感器、水位传感器、压力传感器、第二流量传感器和多个土壤温湿度传感器均与微控制器的输入端连接。

[0009] 上述的黄土水分迁移规律室内模拟系统,其特征在于:所述降雨槽的侧壁上设置有雨量刻度。

[0010] 上述的黄土水分迁移规律室内模拟系统,其特征在于:各层中多个所述土壤温湿度传感器呈 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 的正方形网格均匀布设,多层中相邻两层的多个所述土壤温湿度传感器均按 0.5m 的相等间距上下相对布设。

[0011] 上述的黄土水分迁移规律室内模拟系统,其特征在于:所述加热制冷驱动控制电路包括光耦隔离芯片TLP521-1、运算放大器芯片TL084、继电器K1、三极管Q1、二极管D1、电阻R1和电阻R10,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第1引脚与+5V电源的输出端连接,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第2引脚与电阻R1的一端连接,所述电阻R1的另一端为加热制冷驱动控制电路的第一输入端IN1,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第4引脚与+12V电源的输出端连接,所述运算放大器芯片TL084的第3引脚通过串联的电阻R3和电阻R2与光耦隔离芯片TLP521-1的第4引脚连接,且通过电阻R4接地,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第3引脚与电阻R3和电阻R2的连接端相接,所述运算放大器芯片TL084的第2引脚通过电阻R5接地,且通过电阻R7与运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述运算放大器芯片TL084的第5引脚通

过电阻R6与运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述运算放大器芯片TL084的第6引脚通过电阻R9与运算放大器芯片TL084的第7引脚相接,且通过电阻R8接地;所述继电器K1的线圈的一端和二极管D1的阴极均与+12V电源的输出端连接,所述继电器K1的线圈的另一端和二极管D1的阳极均与三极管Q1的集电极相接,所述继电器K1的常开触点与所述运算放大器芯片TL084的第7引脚相接,所述继电器K1的常闭触点与所述运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述继电器K1的公共触点为加热制冷驱动控制电路的输出端OUT,所述三极管Q1的发射极接地,所述三极管Q1的基极与电阻R10的一端相接,所述电阻R10的另一端为加热制冷驱动控制电路的第二输入端IN2;所述加热制冷驱动控制电路的第一输入端IN1和第二输入端IN2均与微控制器的输出端连接,多个串联后的所述半导体加热制冷片与加热制冷驱动控制电路的输出端OUT连接。

[0012] 本发明还提供了一种方法步骤简单、功能完备、实用性强、使用效果好的黄土水分迁移规律特征参数测定方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

[0013] 步骤一、构建地质模型:操作多个千斤顶,使地质模型槽处于水平放置后将试验土样分层填装到地质模型槽内陶土板的顶部,并进行土样夯击填筑;然后,再操作多个千斤顶,调整地质模型槽的坡度为试验坡度;

[0014] 步骤二、准备降雨模拟系统:操作计算机,启动准备降雨模拟系统模式,计算机通过串口通信电路发送准备降雨模拟系统的信号给微控制器,微控制器控制第一继电器接通进水水泵的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器驱动进水电磁阀打开,进水水泵启动,所述外部水源流出的水通过进水管流入降雨槽内,所述水位传感器对降雨槽内的水位进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器,微控制器将其接收到的水位检测值与预先通过操作按键操作电路设定的水位设定值进行比对,当水位检测值达到水位设定值时,微控制器控制第一继电器断开进水水泵的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器驱动进水电磁阀关闭,停止往降雨槽内注水;

[0015] 步骤三、测量降雨前试验土样的初始含水率:多个土壤温湿度传感器分别对试验土样的温度和湿度进行一次检测并将检测到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号传输给微控制器,微控制器再将其接收到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号通过串口通信电路实时传输给计算机,计算机接收并记录多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号,并将各个测试点处试验土样的湿度信号记录为各个测试点处降雨前试验土样的初始含水率 θ_0 ;

[0016] 步骤四、模拟降雨:操作计算机,启动模拟降雨模式,计算机通过串口通信电路发送模拟降雨的信号给微控制器,微控制器控制第二继电器接通空气压缩机的供电回路,并通过第二电磁阀驱动器驱动压力控制电磁阀打开,空气压缩机启动,产生的压缩空气经过压力控制电磁阀调节压力后通过降雨槽内压力控制管进入降雨槽内,将降雨槽内的水从降雨孔中喷出,模拟出了降雨;降雨模拟过程中,压力传感器对经过降雨槽内压力控制管的压缩空气压力进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器,微控制器将其接收到的压力检测值与预先通过操作按键操作电路设定的压力阈值进行比对,当压力检测值小于压力阈值时,通过第二电磁阀驱动器驱动压力控制电磁阀打开的开度增大,当压力检测值大于压力阈值时,通过第二电磁阀驱动器驱动压力控制电磁阀打开的开度减小,从而使经过降雨槽内压力控制管的压缩空气压力维持在压力阈值范围内;同时,所述水位传感器对降雨槽

内的水位进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器,微控制器将其接收到的水位检测值与预先通过操作按键操作电路设定的水位设定值进行比对,当水位检测值小于水位设定值时,微控制器控制第一继电器接通进水水泵的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器驱动进水电磁阀打开,外部水源流出的水通过进水管流入降雨槽内,当水位检测值大于水位设定值时,微控制器控制第一继电器断开进水水泵的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器驱动进水电磁阀关闭,停止往降雨槽内注水,从而使降雨槽内水位维持稳定,保证了降雨过程的持续进行;模拟降雨过程中,第一流量传感器对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器,第二流量传感器对未渗入试验土样内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器,微控制器将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样内的水流量作差,当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样内的水流量差值小于等于 1cm^3 时,说明达到了降雨入渗稳定;此时,微控制器将其接收到的降雨量信号通过串口通信电路实时传输给计算机,计算机将其接收到的降雨量信号记录为降雨入渗前期降雨入渗稳定时的总降雨量 Q_z ;

[0017] 步骤五、进行降雨入渗观测并测量降雨入渗前期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率:调节冷热一体机的温度为常温环境温度 T_1 ,从开始模拟降雨到达降雨入渗稳定的过程中,未渗入试验土样内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管和降雨径流量测量总管流入降雨径流量测量量杯内;渗出试验土样内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管和降雨出渗量测量总管流入降雨出渗量测量量杯内;同时,多个土壤温湿度传感器分别对试验土样的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号传输给微控制器,微控制器再将其接收到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号通过串口通信电路实时传输给计算机,计算机接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号,且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列,当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时,说明该测试点处试验土样的湿度已稳定,将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的稳定含水率 θ_f ,而且,计算机还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列,并将各个测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的峰值含水率 θ_p ,将各个测试点处排列在最后的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的谷值含水率 θ_v ;而且,微控制器还将其接收到的未渗入试验土样内的水流量通过串口通信电路传输给计算机,计算机调用流量曲线绘制模块绘制出未渗入试验土样内的水流量随时间 t 变化的曲线;查看显示在计算机上的未渗入试验土样内的水流量随时间 t 变化的曲线,当未渗入试验土样内的水流量随时间 t 变化的曲线趋近于一条直线时,说明达到了降雨入渗稳定,此时,查看降雨径流量测量量杯内未渗入试验土样内的水的量,并将该读数记录为降雨入渗前期的降雨径流量 Q_j ;查看降雨出渗量测量量杯内渗出试验土样内的水的量,并将该读数记录为降雨入渗前期的降雨出渗量 Q_c ;

[0018] 步骤六、降雨入渗前期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算:

[0019] 步骤601、根据公式 $Q_r = Q_z - Q_j$,计算得到降雨入渗前期的降雨入渗量 Q_r ;

[0020] 步骤602、根据公式 $\Delta S = Q_r - Q_c$ 计算得到降雨入渗前期的水分亏损量 ΔS ;

[0021] 步骤603、根据公式 $V_r = \frac{Q_r}{t}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨入渗率 V_r ;

[0022] 步骤604、根据公式 $V_c = \frac{Q_c}{t}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨出渗率 V_c ;

[0023] 步骤605、根据公式 $\alpha = \frac{Q_c}{Q_r}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨入渗系数 α ;

[0024] 其中,步骤603和步骤604中,t为时间;

[0025] 步骤七、进行降雨条件下土壤冻融循环,测量降雨条件下土壤冻结期和降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率,并计算降雨条件下土壤冻结期和降雨条件下土壤消融期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数;具体过程为:

[0026] 步骤701、降雨条件下土壤冻结期入渗模拟:调节冷热一体机的温度为土壤冻结环境温度 T_2 ,并操作计算机,启动降雨条件下土壤冻结期入渗模拟模式,计算机通过串口通信电路发送降雨条件下土壤冻结期入渗模拟的信号给微控制器,微控制器通过加热制冷驱动控制电路控制半导体加热制冷片进行制冷,半导体加热制冷片制冷过程中,多个土壤温湿度传感器分别对试验土样的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号传输给微控制器,微控制器对各个采样时刻多个测试点处试验土样的温度信号求平均,得到各个采样时刻试验土样的平均温度,并分别将各个采样时刻试验土样的平均温度与预先通过操作按键操作电路设定的土壤冻结温度 T_3 进行比对,当试验土样的平均温度达到土壤冻结温度 T_3 时,微控制器通过加热制冷驱动控制电路控制半导体加热制冷片停止制冷,从而使试验土样的平均温度维持为土壤冻结温度 T_3 ;降雨条件下土壤冻结期入渗模拟过程中,第一流量传感器对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器,第二流量传感器对未渗入试验土样内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器,微控制器将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样内的水流量作差,当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样内的水流量差值小于等于 1cm^3 时,说明达到了降雨条件下土壤冻结期入渗稳定;此时,微控制器将其接收到的降雨量信号通过串口通信电路实时传输给计算机,计算机将其接收到的降雨量信号记录为降雨条件下土壤冻结期入渗稳定时的总降雨量 Q_z' ;

[0027] 步骤702、进行降雨条件下土壤冻结期入渗观测并测量降雨条件下土壤冻结期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率:从启动降雨条件下土壤冻结期入渗模拟模式到降雨条件下土壤冻结期入渗稳定的过程中,未渗入试验土样内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管和降雨径流量测量总管流入降雨径流量测量量杯内;渗出试验土样内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管和降雨出渗量测量总管流入降雨出渗量测量量杯内;同时,微控制器还将其接收到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号通过串口通信电路实时传输给计算机,计算机接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号,且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列,当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时,说明该测试点处试验土样的湿度已稳定,将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的稳定含水率 θ_f' ,而且,计算机还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列,并

将各个测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的峰值含水率 θ_p' ，将各个测试点处排列在最后的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的谷值含水率 θ_v' ；而且，微控制器还将其接收到的未渗入试验土样内的水流量通过串口通信电路传输给计算机，计算机调用流量曲线绘制模块绘制未渗入试验土样内的水流量随时间 t 变化的曲线；查看显示在计算机上的未渗入试验土样内的水流量随时间 t 变化的曲线，当未渗入试验土样内的水流量随时间 t 变化的曲线趋近于一条直线时，说明达到了降雨条件下土壤冻结期入渗稳定，此时，查看降雨径流量测量量杯内未渗入试验土样内的水的量，并将该读数记录为降雨条件下土壤冻结期的降雨径流量 Q_j' ；查看降雨出渗量测量量杯内渗出试验土样内的水的量，并将该读数记录为降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗量 Q_c' ；

[0028] 步骤703、降雨条件下土壤冻结期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算：

[0029] 步骤7031、根据公式 $Q_r' = Q_z' - Q_j'$ ，计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗量 Q_r' ；

[0030] 步骤7032、根据公式 $\Delta S' = Q_r' - Q_c'$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的水分亏损量 $\Delta S'$ ；

[0031] 步骤7033、根据公式 $V_r' = \frac{Q_r'}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗率 V_r' ；

[0032] 步骤7034、根据公式 $V_c' = \frac{Q_c'}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗率 V_c' ；

[0033] 步骤7035、根据公式 $\alpha' = \frac{Q_r'}{Q_z'}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗系数 α' ；

[0034] 其中，步骤7033和步骤7034中， t 为时间；

[0035] 步骤704、降雨条件下土壤消融期入渗模拟：调节冷热一体机的温度为土壤消融环境温度 T_4 ，并操作计算机，启动降雨条件下土壤消融期入渗模拟模式，计算机通过串口通信电路发送降雨条件下土壤消融期入渗模拟的信号给微控制器，微控制器通过加热制冷驱动控制电路控制半导体加热制冷片进行制热，半导体加热制冷片制热过程中，多个土壤温湿度传感器分别对试验土样的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号传输给微控制器，微控制器对各个采样时刻多个测试点处试验土样的温度信号求平均，得到各个采样时刻试验土样的平均温度，并分别将各个采样时刻试验土样的平均温度与预先通过操作按键操作电路设定的土壤消融温度 T_5 进行比对，当试验土样的平均温度达到土壤消融温度 T_5 时，微控制器通过加热制冷驱动控制电路控制半导体加热制冷片停止制热，从而使试验土样的平均温度维持为土壤消融温度 T_5 ；降雨条件下土壤消融期入渗模拟过程中，第一流量传感器对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器，第二流量传感器对未渗入试验土样内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器，微控制器将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样内的水流量作差，当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样内的水流量差值小于等于 1cm^3 时，说明达到了降雨条件下土壤消融期入渗稳定；此时，微控制器将其接收到的降雨量信号通过串口通信电路实时传输给计算机，计算机将其接收到的降雨量信号记录为降雨条件下土壤消融期入渗稳定时的总降雨量 Q_z'' ；

[0036] 步骤705、进行降雨条件下土壤消融期入渗观测并测量降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率：从启动降雨条件下土壤消融期入渗模拟模式到降雨条件下土壤消融期入渗稳定的过程中，未渗入试验土样内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管和降雨径流量测量总管流入降雨径流量测量量杯内；渗出试验土样内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管和降雨出渗量测量总管流入降雨出渗量测量量杯内；同时，微控制器还将其接收到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号通过串口通信电路实时传输给计算机，计算机接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号，且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列，当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时，说明该测试点处试验土样的湿度已稳定，将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的稳定含水率 θ_f'' ，而且，计算机还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列，并将各个测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的峰值含水率 θ_p'' ，将各个测试点处排列在最后的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率 θ_v'' ；而且，微控制器还将其接收到的未渗入试验土样内的水流量通过串口通信电路传输给计算机，计算机调用流量曲线绘制模块绘制出未渗入试验土样内的水流量随时间t变化的曲线；查看显示在计算机上的未渗入试验土样内的水流量随时间t变化的曲线，当未渗入试验土样内的水流量随时间t变化的曲线趋近于一条直线时，说明达到了降雨条件下土壤消融期入渗稳定，此时，查看降雨径流量测量量杯内未渗入试验土样内的水的量，并将该读数记录为降雨条件下土壤消融期的降雨径流量 Q_j'' ；查看降雨出渗量测量量杯内渗出试验土样内的水的量，并将该读数记录为降雨条件下土壤消融期的降雨出渗量 Q_c'' ；

[0037] 步骤706、降雨条件下土壤消融期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算：

[0038] 步骤7061、根据公式 $Q_r'' = Q_z'' - Q_j''$ ，计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗量 Q_r'' ；

[0039] 步骤7062、根据公式 $\Delta S'' = Q_r'' - Q_c''$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的水分亏损量 $\Delta S''$ ；

[0040] 步骤7063、根据公式 $V_r'' = \frac{Q_r''}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗率 V_r'' ；

[0041] 步骤7064、根据公式 $V_c'' = \frac{Q_c''}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨出渗率 V_c'' ；

[0042] 步骤7065、根据公式 $\alpha'' = \frac{Q_c''}{Q_z''}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗系数 α'' ；

[0043] 其中，步骤7063和步骤7064中，t为时间；

[0044] 循环执行步骤七，直到达到预先通过操作计算机设定的循环次数n；其中，n的取值为5~20次。

[0045] 上述的方法，其特征在于：步骤五中常温环境温度 T_1 的取值为 $0^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ ，步骤701中土壤冻结环境温度 T_2 的取值为 $-25^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ ，步骤701中土壤冻结温度 T_3 的取值为 $-30^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$ ，步骤704中土壤消融环境温度 T_4 的取值为 $-25^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ ，步骤704中土壤消融温度 T_5 的

取值为 $-30^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

[0046] 本发明与现有技术相比具有以下优点：

[0047] 1、本发明黄土水分迁移规律室内模拟系统的结构紧凑，设计新颖合理，实现方便。

[0048] 2、采用本发明进行黄土水分迁移规律特征参数测定的使用操作方便，方法步骤简单。

[0049] 3、本发明是专门针对降雨条件下黄土水分迁移规律室内模拟的试验仪器及降雨条件下黄土水分迁移规律特征参数室内测定的方法，能够研究不同坡度、不同降雨强度下黄土在降雨入渗过程中、降雨条件下冻结过程中以及降雨条件下消融过程中各特征参数的变化规律，以及黄土在降雨条件下冻融循环的水分迁移规律，功能完备，为进一步研究降雨条件下黄土水分迁移规律提供了途径。

[0050] 4、本发明降雨模拟系统的结构简单，设计新颖合理，能够有效模拟降雨强度，效果良好。

[0051] 5、本发明的地质模型系统，能够通过调节多个千斤顶的高度，能够实现不同坡度的工况模拟，与实际试验工况的一致性较好。

[0052] 6、本发明的实用性强，使用效果好，便于推广使用。

[0053] 综上所述，本发明使用操作方便，功能完备，为进一步研究降雨条件下黄土水分迁移规律提供了途径，实用性强，使用效果好，便于推广使用。

[0054] 下面通过附图和实施例，对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

附图说明

[0055] 图1为本发明黄土水分迁移规律室内模拟系统的结构示意图。

[0056] 图2为本发明冷热一体机、降雨模拟系统和地质模型系统在室内模拟系统箱体的布设位置示意图。

[0057] 图3为本发明地质模型系统的结构示意图。

[0058] 图4为本发明试验数据采集及控制器的电路原理框图。

[0059] 图5为本发明加热制冷驱动控制电路的电路原理图。

[0060] 图6为本发明黄土水分迁移规律特征参数测定方法的方法流程框图。

[0061] 附图标记说明：

[0062] 1—室内模拟系统箱体； 2-1—降雨槽内压力控制管； 2-2—进水管；

[0063] 2-3—圆形降雨孔； 2-4—降雨槽； 2-5—进水电磁阀；

[0064] 2-6—进水水泵； 2-7—压力控制电磁阀； 2-8—压力传感器；

[0065] 2-9—空气压缩机； 2-10—水位传感器；

[0066] 2-11—第一流量传感器； 4—地质模型槽；

[0067] 4-1—试验土样； 4-2—经纬格栅板； 4-3—陶土板；

[0068] 4-4—半导体加热制冷片； 5—千斤顶；

[0069] 6—底座； 7—冷热一体机； 8—计算机；

[0070] 9—第二流量传感器； 10-1—降雨径流量测量分管；

[0071] 10-2—降雨径流量测量总管； 10-3—降雨出渗量测量分管；

[0072] 10-4—降雨出渗量测量总管； 11—降雨径流量测量量杯；

- [0073] 12—降雨出渗量测量量杯； 13—控制器；
[0074] 13-1—微控制器； 13-2—串口通信电路；
[0075] 13-3—按键操作电路； 13-4—第一电磁阀驱动器；
[0076] 13-5—液晶显示器； 13-6—第一继电器；
[0077] 13-7—第二电磁阀驱动器； 13-8—第二继电器；
[0078] 13-9—加热制冷驱动控制电路； 33—土壤温湿度传感器。

具体实施方式

[0079] 如图1和图2所示,本发明的黄土水分迁移规律室内模拟系统,包括室内模拟系统箱体1、黄土水分迁移规律特征参数测量系统和试验数据采集及控制器13,以及设置在室内模拟系统箱体1内部的冷热一体机7、降雨模拟系统和地质模型系统;

[0080] 如图1和图2所示,所述降雨模拟系统包括嵌入安装在室内模拟系统箱体1顶部的降雨槽2-4和设置在降雨槽2-4底部的圆形降雨孔2-3,所述降雨槽2-4的顶部设置有降雨槽内压力控制管2-1和与外部水源连接的进水管2-2,所述进水管2-2上设置有进水电磁阀2-5、进水水泵2-6和用于对降雨量进行实时检测的第一流量传感器2-11,所述降雨槽内压力控制管2-1上设置有压力控制电磁阀2-7和压力传感器2-8,所述降雨槽内压力控制管2-1的端部连接有空气压缩机2-9,所述降雨槽2-4的顶部内壁上设置有用以对降雨槽2-4的水位进行实时检测的水位传感器2-10,所述降雨孔2-3的直径为0.5mm~1mm;具体实施时,所述水位传感器2-10为超声波水位传感器;

[0081] 如图1、图2和图3所示,所述地质模型系统包括底座6和通过多个千斤顶5支撑安装在底座6上的地质模型槽4,所述地质模型槽4的底部设置有用以在地质模型槽4内底部形成储水空间的经纬格栅板4-2,所述经纬格栅板4-2上设置有多多个出水孔洞,所述经纬格栅板4-2的顶部设置有陶土板4-3,所述陶土板4-3的四周边沿均与地质模型槽4内壁粘接,所述陶土板4-3的顶部用于放置试验土样4-1,所述试验土样4-1内埋设有多个串联的用于对试验土样4-1进行加热或制冷的半导体加热制冷片4-4;具体实施时,所述千斤顶5的数量为三个;使用时,通过调节多个千斤顶5的高度,能够实现不同坡度的工况模拟。

[0082] 如图1所示,所述黄土水分迁移规律特征参数测量系统包括土壤温度及含水率测量系统、降雨径流量测量系统和降雨出渗量测量系统,所述土壤温度及含水率测量系统包括分多层埋设在试验土样4-1内的多个土壤温湿度传感器33,每层所述土壤温湿度传感器33的数量均为多个,各层中多个所述土壤温湿度传感器33呈正方形网格均匀布设,多层中相邻两层的多个所述土壤温湿度传感器33均按相等间距上下相对布设;所述降雨径流量测量系统包括降雨径流量测量量杯11和设置在地质模型槽4侧面的多个降雨径流量测量孔,以及连接在所述降雨径流量测量孔上的降雨径流量测量分管10-1和与降雨径流量测量分管10-1连接并接入降雨径流量测量量杯11内的降雨径流量测量总管10-2;所述降雨出渗量测量系统包括降雨出渗量测量量杯12和设置在地质模型槽4底面上的多个降雨出渗量测量孔,以及连接在所述降雨出渗量测量孔上的降雨出渗量测量分管10-3和与降雨出渗量测量分管10-3连接并接入降雨出渗量测量量杯12内的降雨出渗量测量总管10-4;所述降雨径流量测量总管10-2上设置有用以对未渗入试验土样4-1内的水流量进行实时检测的第二流量传感器9;

[0083] 如图1和图4所示,所述试验数据采集及控制器13包括微控制器13-1和与微控制器13-1相接且用于与计算机8连接的串口通信电路13-2,所述微控制器13-1的输入端接有按键操作电路13-3,所述微控制器13-1的输出端接有液晶显示器13-5、用于驱动进水电磁阀2-5的第一电磁阀驱动器13-4、用于驱动压力控制电磁阀2-7的第二电磁阀驱动器13-7、用于对进水水泵2-6的通断电进行控制的第一继电器13-6、用于对空气压缩机2-9的通断电进行控制的第二继电器13-8和用于驱动控制多个串联的半导体加热制冷片4-4的加热制冷驱动控制电路13-9,所述进水电磁阀2-5与第一电磁阀驱动器13-4的输出端连接,所述压力控制电磁阀2-7与第二电磁阀驱动器13-7的输出端连接,所述第一继电器13-6串联在进水水泵2-6的供电回路中,所述第二继电器13-8串联在空气压缩机2-9的供电回路中,所述半导体加热制冷片4-4与加热制冷驱动控制电路13-9的输出端连接,所述第一流量传感器2-11、水位传感器2-10、压力传感器2-8、第二流量传感器9和多个土壤温湿度传感器33均与微控制器13-1的输入端连接。

[0084] 本实施例中,所述降雨槽2-4的侧壁上设置有雨量刻度。这样方便了人工读取降雨量。

[0085] 如图3所示,本实施例中,各层中多个所述土壤温湿度传感器33呈 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 的正方形网格均匀布设,多层中相邻两层的多个所述土壤温湿度传感器33均按 0.5m 的相等间距上下相对布设。

[0086] 如图5所示,本实施例中,所述加热制冷驱动控制电路13-9包括光耦隔离芯片TLP521-1、运算放大器芯片TL084、继电器K1、三极管Q1、二极管D1、电阻R1和电阻R10,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第1引脚与+5V电源的输出端连接,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第2引脚与电阻R1的一端连接,所述电阻R1的另一端为加热制冷驱动控制电路13-9的第一输入端IN1,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第4引脚与+12V电源的输出端连接,所述运算放大器芯片TL084的第3引脚通过串联的电阻R3和电阻R2与光耦隔离芯片TLP521-1的第4引脚连接,且通过电阻R4接地,所述光耦隔离芯片TLP521-1的第3引脚与电阻R3和电阻R2的连接端相接,所述运算放大器芯片TL084的第2引脚通过电阻R5接地,且通过电阻R7与运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述运算放大器芯片TL084的第5引脚通过电阻R6与运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述运算放大器芯片TL084的第6引脚通过电阻R9与运算放大器芯片TL084的第7引脚相接,且通过电阻R8接地;所述继电器K1的线圈的一端和二极管D1的阴极均与+12V电源的输出端连接,所述继电器K1的线圈的另一端和二极管D1的阳极均与三极管Q1的集电极相接,所述继电器K1的常开触点与所述运算放大器芯片TL084的第7引脚相接,所述继电器K1的常闭触点与所述运算放大器芯片TL084的第1引脚相接,所述继电器K1的公共触点为加热制冷驱动控制电路13-9的输出端OUT,所述三极管Q1的发射极接地,所述三极管Q1的基极与电阻R10的一端相接,所述电阻R10的另一端为加热制冷驱动控制电路13-9的第二输入端IN2;所述加热制冷驱动控制电路13-9的第一输入端IN1和第二输入端IN2均与微控制器13-1的输出端连接,多个串联后的所述半导体加热制冷片4-4与加热制冷驱动控制电路13-9的输出端OUT连接。

[0087] 如图6所示,本发明的黄土水分迁移规律特征参数测定方法,包括以下步骤:

[0088] 步骤一、构建地质模型:操作多个千斤顶5,使地质模型槽4处于水平放置后将试验土样4-1分层填装到地质模型槽4内陶土板4-3的顶部,并进行土样夯击填筑;然后,再操作

多个千斤顶5,调整地质模型槽4的坡度为试验坡度;

[0089] 步骤二、准备降雨模拟系统:操作计算机8,启动准备降雨模拟系统模式,计算机8通过串口通信电路13-2发送准备降雨模拟系统的信号给微控制器13-1,微控制器13-1控制第一继电器13-6接通进水水泵2-6的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器13-4驱动进水电磁阀2-5打开,进水水泵2-6启动,所述外部水源流出的水通过进水管2-2流入降雨槽2-4内,所述水位传感器2-10对降雨槽2-4内的水位进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器13-1,微控制器13-1将其接收到的水位检测值与预先通过操作按键操作电路13-3设定的水位设定值进行比对,当水位检测值达到水位设定值时,微控制器13-1控制第一继电器13-6断开进水水泵2-6的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器13-4驱动进水电磁阀2-5关闭,停止往降雨槽2-4内注水;

[0090] 步骤三、测量降雨前试验土样的初始含水率:多个土壤温湿度传感器33分别对试验土样4-1的温度和湿度进行一次检测并将检测到的多个测试点处试验土样4-1的温度信号和湿度信号传输给微控制器13-1,微控制器13-1再将其接收到的多个测试点处试验土样4-1的温度信号和湿度信号通过串口通信电路13-2实时传输给计算机8,计算机8接收并记录多个测试点处试验土样4-1的温度信号和湿度信号,并将各个测试点处试验土样4-1的湿度信号记录为各个测试点处降雨前试验土样的初始含水率 θ_0 ;

[0091] 步骤四、模拟降雨:操作计算机8,启动模拟降雨模式,计算机8通过串口通信电路13-2发送模拟降雨的信号给微控制器13-1,微控制器13-1控制第二继电器13-8接通空气压缩机2-9的供电回路,并通过第二电磁阀驱动器13-7驱动压力控制电磁阀2-7打开,空气压缩机2-9启动,产生的压缩空气经过压力控制电磁阀2-7调节压力后通过降雨槽内压力控制管2-1进入降雨槽2-4内,将降雨槽2-4内的水从降雨孔2-3中喷出,模拟出了降雨;降雨模拟过程中,压力传感器2-8对经过降雨槽内压力控制管2-1的压缩空气压力进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器13-1,微控制器13-1将其接收到的压力检测值与预先通过操作按键操作电路13-3设定的压力阈值进行比对,当压力检测值小于压力阈值时,通过第二电磁阀驱动器13-7驱动压力控制电磁阀2-7打开的开度增大,当压力检测值大于压力阈值时,通过第二电磁阀驱动器13-7驱动压力控制电磁阀2-7打开的开度减小,从而使经过降雨槽内压力控制管2-1的压缩空气压力维持在压力阈值范围内;同时,所述水位传感器2-10对降雨槽2-4内的水位进行实时检测并将检测到的信号输出给微控制器13-1,微控制器13-1将其接收到的水位检测值与预先通过操作按键操作电路13-3设定的水位设定值进行比对,当水位检测值小于水位设定值时,微控制器13-1控制第一继电器13-6接通进水水泵2-6的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器13-4驱动进水电磁阀2-5打开,外部水源流出的水通过进水管2-2流入降雨槽2-4内,当水位检测值大于水位设定值时,微控制器13-1控制第一继电器13-6断开进水水泵2-6的供电回路,并通过第一电磁阀驱动器13-4驱动进水电磁阀2-5关闭,停止往降雨槽2-4内注水,从而使降雨槽2-4内水位维持稳定,保证了降雨过程的持续进行;模拟降雨过程中,第一流量传感器2-11对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器13-1,第二流量传感器9对未渗入试验土样4-1内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器13-1,微控制器13-1将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样4-1内的水流量作差,当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样4-1内的水流量差值小于等于 1cm^3 时,说明达到了降雨入渗稳定;此时,微控制器13-1将其接收到的

降雨量信号通过串口通信电路13-2实时传输给计算机8,计算机8将其接收到的降雨量信号记录为降雨入渗前期降雨入渗稳定时的总降雨量 Q_z ;降雨入渗前期降雨入渗稳定时的总降雨量 Q_z 的单位为 cm^3 ;

[0092] 步骤五、进行降雨入渗观测并测量降雨入渗前期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率:调节冷热一体机7的温度为常温环境温度 T_1 ,从开始模拟降雨到达降雨入渗稳定的过程中,未渗入试验土样4-1内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管10-1和降雨径流量测量总管10-2流入降雨径流量测量量杯11内;渗出试验土样4-1内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管10-3和降雨出渗量测量总管10-4流入降雨出渗量测量量杯12内;同时,多个土壤温湿度传感器33分别对试验土样4-1的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样4-1的温度信号和湿度信号传输给微控制器13-1,微控制器13-1再将其接收到的多个测试点处试验土样4-1的温度信号和湿度信号通过串口通信电路13-2实时传输给计算机8,计算机8接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样4-1的温度信号和湿度信号,且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列,当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时,说明该测试点处试验土样4-1的湿度已稳定,将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的稳定含水率 θ_f ,而且,计算机8还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列,并将各个测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的峰值含水率 θ_p ,将各个测试点处排列在最后的湿度值记录为该测试点处降雨入渗前期试验土样的谷值含水率 θ_v ;而且,微控制器13-1还将其接收到的未渗入试验土样4-1内的水流量通过串口通信电路13-2传输给计算机8,计算机8调用流量曲线绘制模块绘制出未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线;查看显示在计算机8上的未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线,当未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线趋近于一条直线时,说明达到了降雨入渗稳定,此时,查看降雨径流量测量量杯11内未渗入试验土样4-1内的水的量,并将该读数记录为降雨入渗前期的降雨径流量 Q_j ;查看降雨出渗量测量量杯12内渗出试验土样4-1内的水的量,并将该读数记录为降雨入渗前期的降雨出渗量 Q_c ;降雨入渗前期的降雨径流量 Q_j 的单位为 cm^3 ,降雨入渗前期的降雨出渗量 Q_c 的单位为 cm^3 ;

[0093] 步骤六、降雨入渗前期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算:

[0094] 步骤601、根据公式 $Q_r = Q_z - Q_j$,计算得到降雨入渗前期的降雨入渗量 Q_r ;降雨入渗前期的降雨入渗量 Q_r 的单位为 cm^3 ;

[0095] 步骤602、根据公式 $\Delta S = Q_r - Q_c$ 计算得到降雨入渗前期的水分亏损量 ΔS ;水分亏损量 ΔS 的单位为 cm^3 ;

[0096] 步骤603、根据公式 $V_r = \frac{Q_r}{t}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨入渗率 V_r ;降雨入渗前期的降雨入渗率 V_r 的单位为 cm^3/s ;

[0097] 步骤604、根据公式 $V_c = \frac{Q_c}{t}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨出渗率 V_c ;降雨入渗前期的降雨出渗率 V_c 的单位为 cm^3/s ;

[0098] 步骤605、根据公式 $\alpha = \frac{Q_c}{Q_z}$ 计算得到降雨入渗前期的降雨入渗系数 α ;

[0099] 其中,步骤603和步骤604中, t 为时间,单位为s;

[0100] 步骤七、进行降雨条件下土壤冻融循环,测量降雨条件下土壤冻结期和降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率,并计算降雨条件下土壤冻结期和降雨条件下土壤消融期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数;具体过程为:

[0101] 步骤701、降雨条件下土壤冻结期入渗模拟:调节冷热一体机7的温度为土壤冻结环境温度 T_2 ,并操作计算机8,启动降雨条件下土壤冻结期入渗模拟模式,计算机8通过串口通信电路13-2发送降雨条件下土壤冻结期入渗模拟的信号给微控制器13-1,微控制器13-1通过加热制冷驱动控制电路13-9控制半导体加热制冷片4-4进行制冷,半导体加热制冷片4-4制冷过程中,多个土壤温湿度传感器33分别对试验土样4-1的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号传输给微控制器13-1,微控制器13-1对各个采样时刻多个测试点处试验土样4-1的温度信号求平均,得到各个采样时刻试验土样4-1的平均温度,并分别将各个采样时刻试验土样4-1的平均温度与预先通过操作按键操作电路13-3设定的土壤冻结温度 T_3 进行比对,当试验土样4-1的平均温度达到土壤冻结温度 T_3 时,微控制器13-1通过加热制冷驱动控制电路13-9控制半导体加热制冷片4-4停止制冷,从而使试验土样4-1的平均温度维持为土壤冻结温度 T_3 ;降雨条件下土壤冻结期入渗模拟过程中,第一流量传感器2-11对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器13-1,第二流量传感器9对未渗入试验土样4-1内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器13-1,微控制器13-1将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样4-1内的水流量作差,当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样4-1内的水流量差值小于等于 1cm^3 时,说明达到了降雨条件下土壤冻结期入渗稳定;此时,微控制器13-1将其接收到的降雨量信号通过串口通信电路13-2实时传输给计算机8,计算机8将其接收到的降雨量信号记录为降雨条件下土壤冻结期入渗稳定时的总降雨量 Q_z' ;降雨条件下土壤冻结期入渗稳定时的总降雨量 Q_z' 的单位为 cm^3 ;

[0102] 步骤702、进行降雨条件下土壤冻结期入渗观测并测量降雨条件下土壤冻结期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率:从启动降雨条件下土壤冻结期入渗模拟模式到降雨条件下土壤冻结期入渗稳定的过程中,未渗入试验土样4-1内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管10-1和降雨径流量测量总管10-2流入降雨径流量测量量杯11内;渗出试验土样4-1内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管10-3和降雨出渗量测量总管10-4流入降雨出渗量测量量杯12内;同时,微控制器13-1还将其接收到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号通过串口通信电路13-2实时传输给计算机8,计算机8接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样4-1的温度信号和湿度信号,且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列,当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时,说明该测试点处试验土样4-1的湿度已稳定,将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的稳定含水率 θ_f' ,而且,计算机8还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列,并将各个测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的峰值含水率 θ_p' ,将各个测试点处排列在

最后的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤冻结期试验土样的谷值含水率 θ_v' ；而且，微控制器13-1还将其接收到的未渗入试验土样4-1内的水流量通过串口通信电路13-2传输给计算机8，计算机8调用流量曲线绘制模块绘制未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线；查看显示在计算机8上的未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线，当未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线趋近于一条直线时，说明达到了降雨条件下土壤冻结期入渗稳定，此时，查看降雨径流量测量量杯11内未渗入试验土样4-1内的水的量，并将该读数记录为降雨条件下土壤冻结期的降雨径流量 Q_j' ；查看降雨出渗量测量量杯12内渗出试验土样4-1内的水的量，并将该读数记录为降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗量 Q_c' ；降雨条件下土壤冻结期的降雨径流量 Q_j' 的单位为 cm^3 ，降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗量 Q_c' 的单位为 cm^3 ；

[0103] 步骤703、降雨条件下土壤冻结期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算：

[0104] 步骤7031、根据公式 $Q_r' = Q_z' - Q_j'$ ，计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗量 Q_r' ；降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗量 Q_r' 的单位为 cm^3 ；

[0105] 步骤7032、根据公式 $\Delta S' = Q_r' - Q_c'$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的水分亏损量 $\Delta S'$ ；降雨条件下土壤冻结期的水分亏损量 $\Delta S'$ 的单位为 cm^3 ；

[0106] 步骤7033、根据公式 $V_r' = \frac{Q_r'}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗率 V_r' ；降雨入渗率 V_r' 的单位为 cm^3/s ；

[0107] 步骤7034、根据公式 $V_c' = \frac{Q_c'}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗率 V_c' ；降雨出渗率 V_c' 的单位为 cm^3/s ；

[0108] 步骤7035、根据公式 $\alpha' = \frac{Q_c'}{Q_z'}$ 计算得到降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗系数 α' ；

[0109] 其中，步骤7033和步骤7034中， t 为时间，单位为 s ；

[0110] 步骤704、降雨条件下土壤消融期入渗模拟：调节冷热一体机7的温度为土壤消融环境温度 T_4 ，并操作计算机8，启动降雨条件下土壤消融期入渗模拟模式，计算机8通过串口通信电路13-2发送降雨条件下土壤消融期入渗模拟的信号给微控制器13-1，微控制器13-1通过加热制冷驱动控制电路13-9控制半导体加热制冷片4-4进行制热，半导体加热制冷片4-4制热过程中，多个土壤温湿度传感器33分别对试验土样4-1的温度和湿度进行周期性检测并将检测到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号传输给微控制器13-1，微控制器13-1对各个采样时刻多个测试点处试验土样4-1的温度信号求平均，得到各个采样时刻试验土样4-1的平均温度，并分别将各个采样时刻试验土样4-1的平均温度与预先通过操作按键操作电路13-3设定的土壤消融温度 T_5 进行比对，当试验土样4-1的平均温度达到土壤消融温度 T_5 时，微控制器13-1通过加热制冷驱动控制电路13-9控制半导体加热制冷片4-4停止制热，从而使试验土样4-1的平均温度维持为土壤消融温度 T_5 ；降雨条件下土壤消融期入渗模拟过程中，第一流量传感器2-11对降雨量进行实时检测并将检测到的信号实时输出给微控制器13-1，第二流量传感器9对未渗入试验土样4-1内的水流量进行周期性检测并将检测到的信号输出给微控制器13-1，微控制器13-1将其相邻的两个采样时刻接收到的未渗入试验土样4-1内的水流量作差，当相邻的两个采样时刻的未渗入试验土样4-1内的水流

量差值小于等于 1cm^3 时,说明达到了降雨条件下土壤消融期入渗稳定;此时,微控制器13-1将其接收到的降雨量信号通过串口通信电路13-2实时传输给计算机8,计算机8将其接收到的降雨量信号记录为降雨条件下土壤消融期入渗稳定时的总降雨量 Q_z'' ;降雨条件下土壤消融期入渗稳定时的总降雨量 Q_z'' 的单位为 cm^3 ;

[0111] 步骤705、进行降雨条件下土壤消融期入渗观测并测量降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率、峰值含水率和稳定含水率:从启动降雨条件下土壤消融期入渗模拟模式到降雨条件下土壤消融期入渗稳定的过程中,未渗入试验土样4-1内的水从多个所述降雨径流量测量孔内流出并经过多根降雨径流量测量分管10-1和降雨径流量测量总管10-2流入降雨径流量测量量杯11内;渗出试验土样4-1内的水从多个所述降雨出渗量测量孔内流出并经过多根降雨出渗量测量分管10-3和降雨出渗量测量总管10-4流入降雨出渗量测量量杯12内;同时,微控制器13-1还将其接收到的多个测试点处试验土样的温度信号和湿度信号通过串口通信电路13-2实时传输给计算机8,计算机8接收并记录各个采样时刻多个测试点处试验土样4-1的温度信号和湿度信号,且对各个测试点处多个采样时刻的湿度按照时间先后顺序进行排列,当相邻两个采样时刻的湿度差值小于等于1%时,说明该测试点处试验土样4-1的湿度已稳定,将相邻两个采样时刻中后一个采样时刻的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的稳定含水率 θ_f'' ,而且,计算机8还对各个测试点处多个采样时刻的湿度进行从大到小排列,并将各个测试点处排列在最前的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的峰值含水率 θ_p'' ,将各个测试点处排列在最后的湿度值记录为该测试点处降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率 θ_v'' ;而且,微控制器13-1还将其接收到的未渗入试验土样4-1内的水流量通过串口通信电路13-2传输给计算机8,计算机8调用流量曲线绘制模块绘制出未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线;查看显示在计算机8上的未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线,当未渗入试验土样4-1内的水流量随时间 t 变化的曲线趋近于一条直线时,说明达到了降雨条件下土壤消融期入渗稳定,此时,查看降雨径流量测量量杯11内未渗入试验土样4-1内的水的量,并将该读数记录为降雨条件下土壤消融期的降雨径流量 Q_j'' ;查看降雨出渗量测量量杯12内渗出试验土样4-1内的水的量,并将该读数记录为降雨条件下土壤消融期的降雨出渗量 Q_c'' ;降雨条件下土壤消融期的降雨径流量 Q_j'' 的单位为 cm^3 ,降雨条件下土壤消融期的降雨出渗量 Q_c'' 的单位为 cm^3 ;

[0112] 步骤706、降雨条件下土壤消融期的黄土水分迁移规律降雨入渗特征参数计算:

[0113] 步骤7061、根据公式 $Q_r'' = Q_z'' - Q_j''$,计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗量 Q_r'' ;降雨条件下土壤消融期的降雨入渗量 Q_r'' 的单位为 cm^3 ;

[0114] 步骤7062、根据公式 $\Delta S'' = Q_r'' - Q_c''$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的水分亏损量 $\Delta S''$;降雨条件下土壤消融期的水分亏损量 $\Delta S''$ 的单位为 cm^3 ;

[0115] 步骤7063、根据公式 $V_r'' = \frac{Q_r''}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗率 V_r'' ;降雨条件下土壤消融期的降雨入渗率 V_r'' 的单位为 cm^3/s ;

[0116] 步骤7064、根据公式 $V_c'' = \frac{Q_c''}{t}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨出渗率 V_c'' ;降雨条件下土壤消融期的降雨出渗率 V_c'' 的单位为 cm^3/s ;

[0117] 步骤7065、根据公式 $\alpha'' = \frac{Q_c''}{Q_z''}$ 计算得到降雨条件下土壤消融期的降雨入渗系数 α'' ；

[0118] 其中，步骤7063和步骤7064中， t 为时间，单位为s；

[0119] 循环执行步骤七，直到达到预先通过操作计算机8设定的循环次数 n ；其中， n 的取值为5~20次。

[0120] 本实施例中，步骤五中常温环境温度 T_1 的取值为 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，步骤701中土壤冻结环境温度 T_2 的取值为 $-25^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，步骤701中土壤冻结温度 T_3 的取值为 $-30^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ ，步骤704中土壤消融环境温度 T_4 的取值为 $-25^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，步骤704中土壤消融温度 T_5 的取值为 $-30^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

[0121] 具体实施时，步骤303、步骤3041和步骤3043中多个土壤温湿度传感器33分别对试验土样4-1的温度和湿度进行周期性检测的检测周期为1s~10s；步骤302、步骤3041和步骤3043中第二流量传感器9对未渗入试验土样4-1内的水流量进行周期性检测的检测周期为1s~10s。

[0122] 综上所述，本发明能够研究不同坡度、不同降雨强度下黄土在降雨入渗过程中、降雨条件下冻结过程中以及降雨条件下消融过程中各特征参数(降雨前试验土样的初始含水率、降雨入渗前期试验土样的谷值含水率、降雨入渗前期试验土样的峰值含水率、降雨入渗前期试验土样的稳定含水率、降雨条件下土壤冻结期试验土样的谷值含水率、降雨条件下土壤冻结期试验土样的峰值含水率、降雨条件下土壤冻结期试验土样的稳定含水率、降雨条件下土壤消融期试验土样的谷值含水率、降雨条件下土壤消融期试验土样的峰值含水率、降雨条件下土壤消融期试验土样的稳定含水率、降雨入渗前期的降雨径流量、降雨入渗前期的降雨出渗量、降雨入渗前期的降雨入渗量、降雨入渗前期的水分亏损量、降雨入渗前期的降雨入渗率、降雨入渗前期的降雨出渗率、降雨入渗前期的降雨入渗系数、降雨条件下土壤冻结期的降雨径流量、降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗量、降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗量、降雨条件下土壤冻结期的水分亏损量、降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗率、降雨条件下土壤冻结期的降雨出渗率、降雨条件下土壤冻结期的降雨入渗系数、降雨条件下土壤消融期的降雨径流量、降雨条件下土壤消融期的降雨出渗量、降雨条件下土壤消融期的降雨入渗量、降雨条件下土壤消融期的水分亏损量、降雨条件下土壤消融期的降雨入渗率、降雨条件下土壤消融期的降雨出渗率和降雨条件下土壤消融期的降雨入渗系数)的变化规律，以及黄土在降雨条件下冻融循环的水分迁移规律，为进一步研究降雨条件下黄土水分迁移规律提供了途径。

[0123] 以上所述，仅是本发明的较佳实施例，并非对本发明作任何限制，凡是根据本发明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效结构变化，均仍属于本发明技术方案的保护范围内。

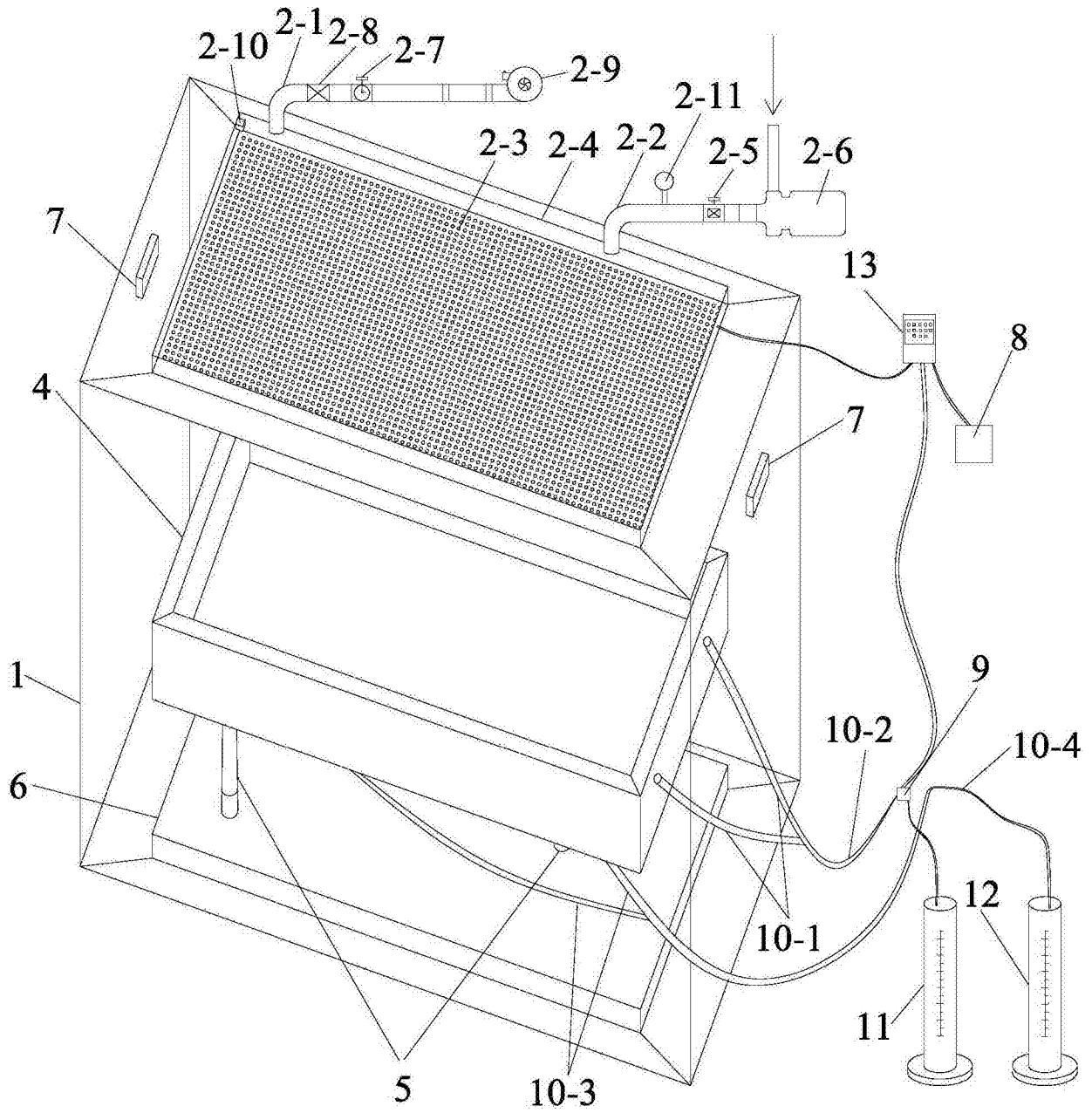


图1

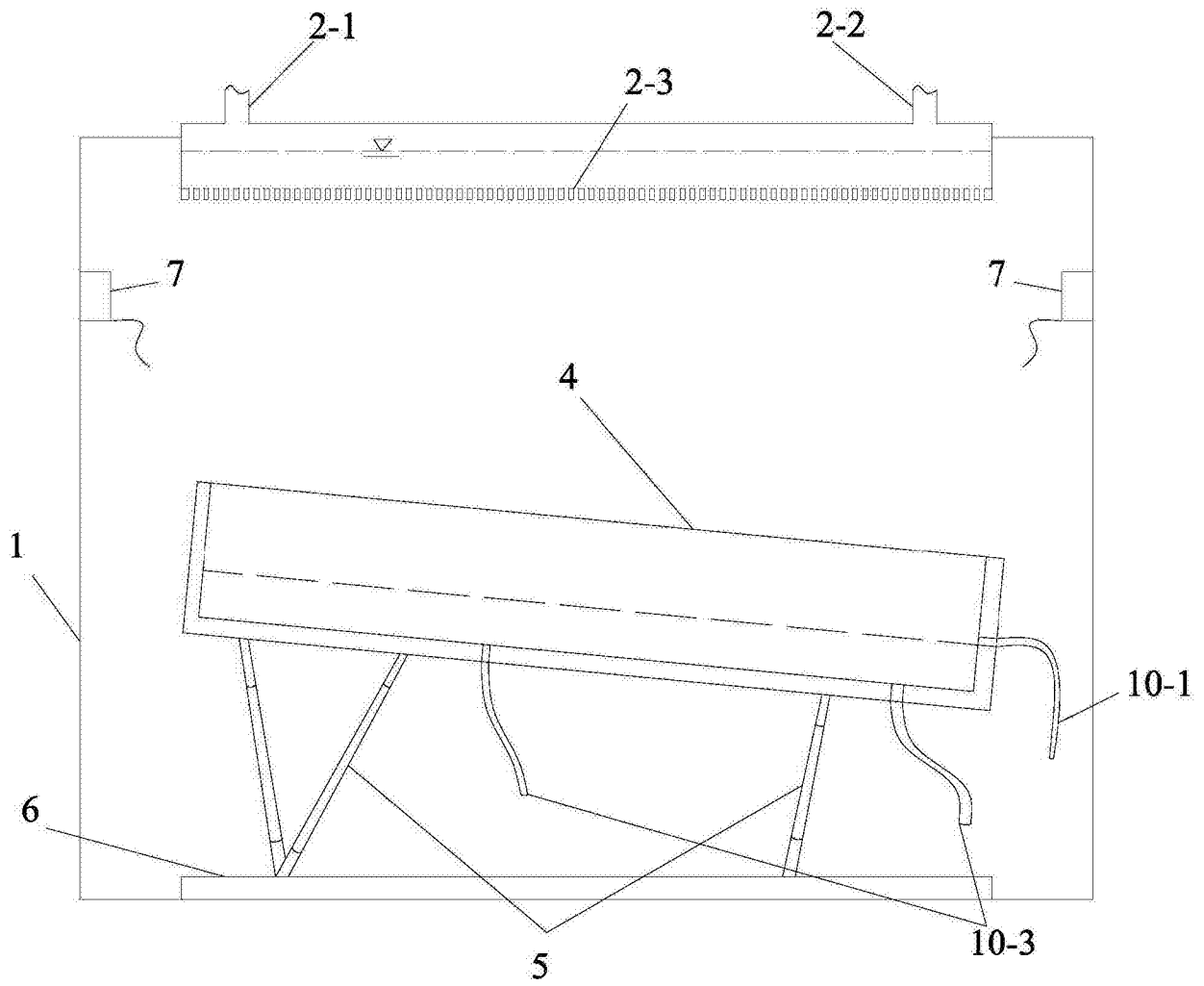


图2

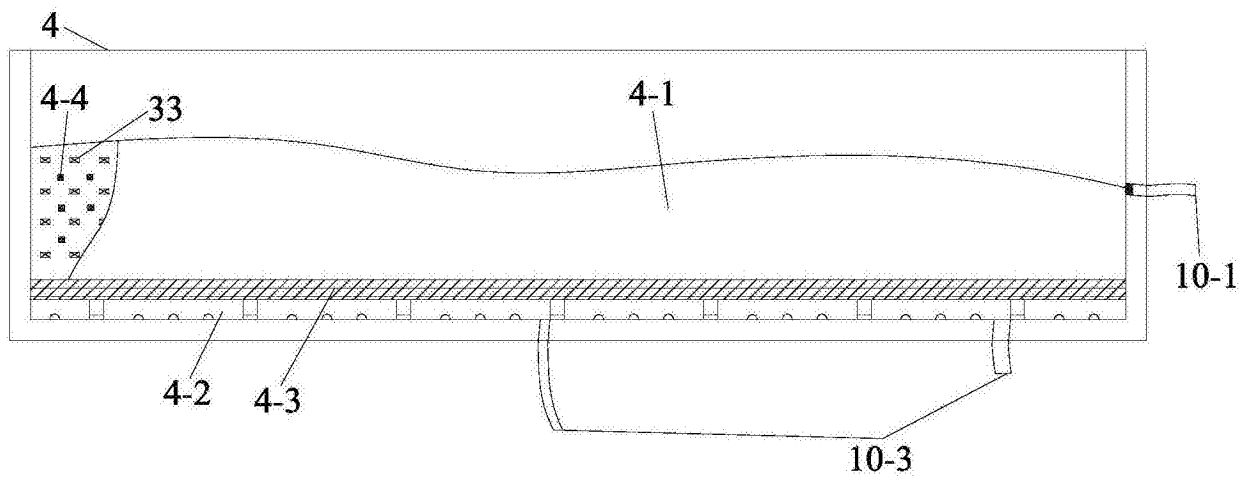


图3

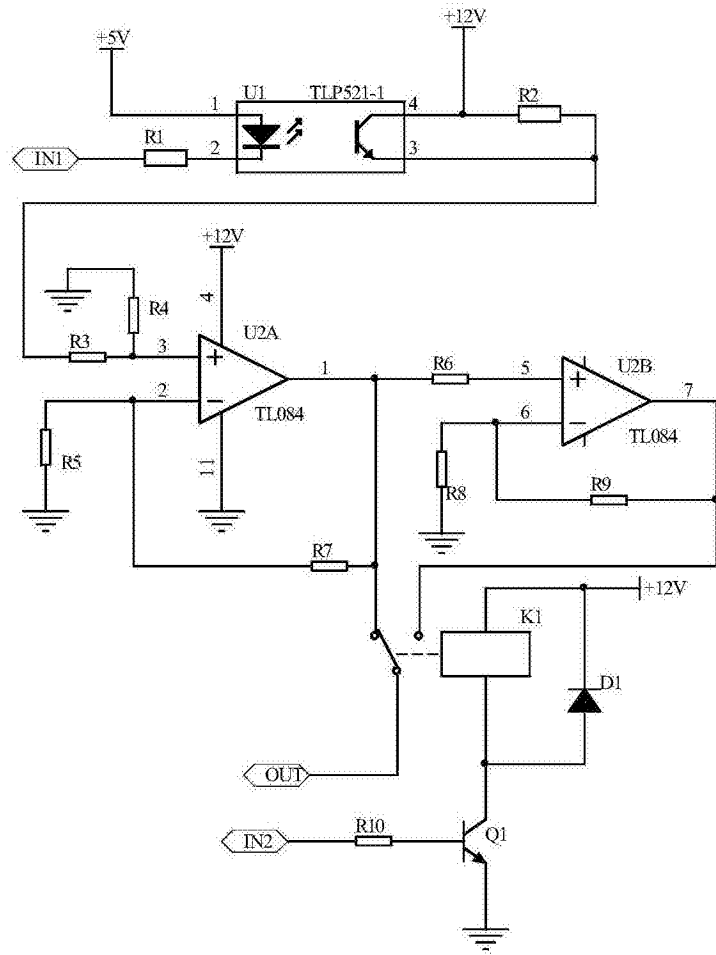


图4

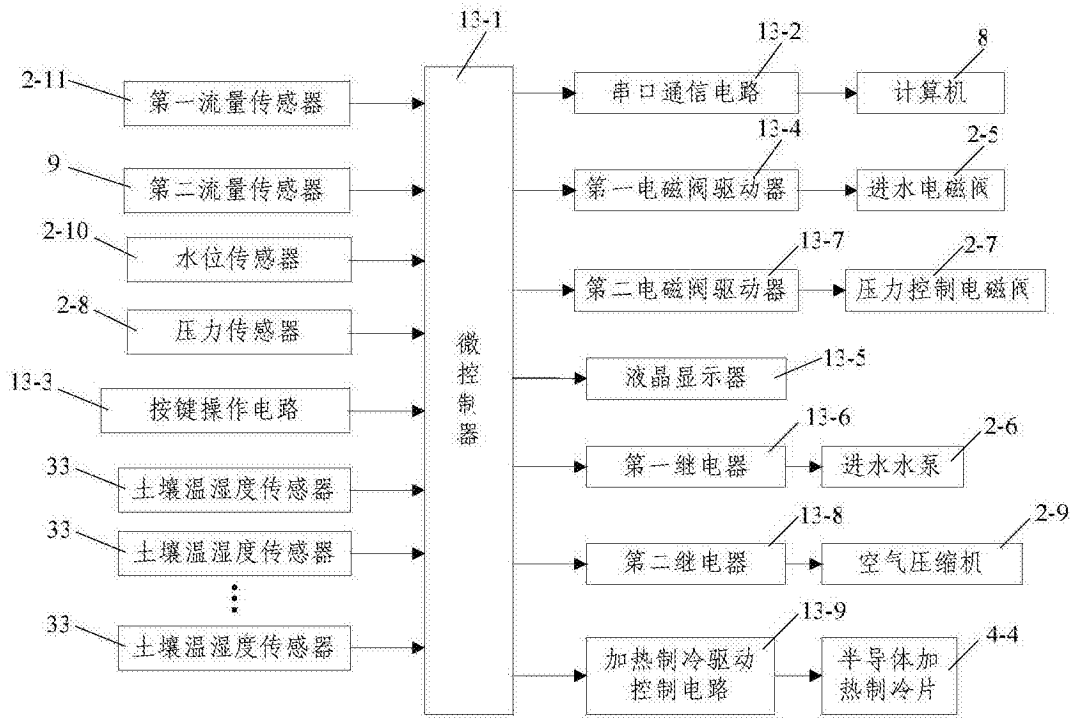


图5

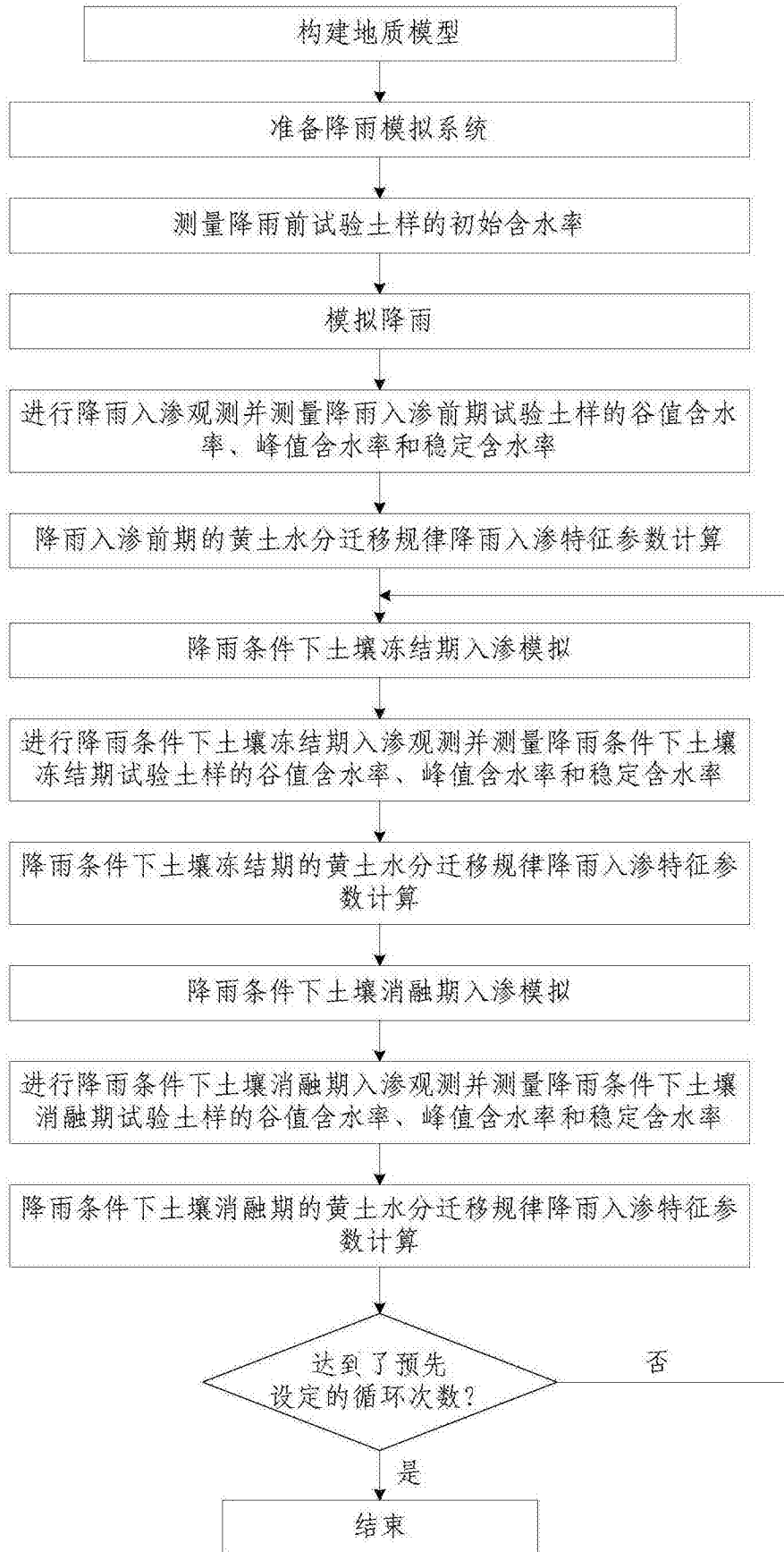


图6