



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 205067401 U

(45) 授权公告日 2016. 03. 02

(21) 申请号 201520845065. 6

(22) 申请日 2015. 10. 28

(73) 专利权人 中国农业大学

地址 100083 北京市海淀区清华东路 17 号

(72) 发明人 袁小艳 高明 桂心哲 赵淑梅

王建平 李桂朋

(74) 专利代理机构 北京中安信知识产权代理事

务所(普通合伙) 11248

代理人 徐林

(51) Int. Cl.

G01N 25/20(2006. 01)

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

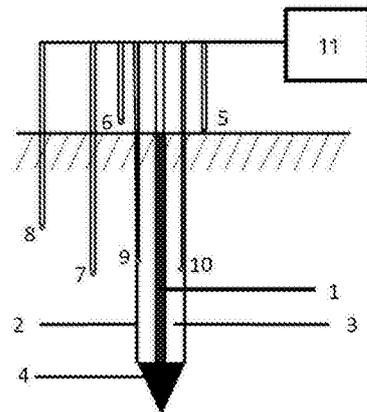
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 实用新型名称

一种热导率测量仪

(57) 摘要

本实用新型涉及一种热导率测量仪, 尤其涉及一种散状材料热导率测量仪。该测量仪包括热源、多个温度传感器、温度控制器 (12) 和信号处理器 (11)。所述温度控制器 (12), 与热源加热棒 (1) 相连; 所述信号处理器 (11) 与多个温度传感器相连, 还与热源的加热棒 (1) 相连。本实用新型的热导率测量仪, 可在现场直接测量被测媒质的热导率, 减少了人为干扰对测试过程带来的各种影响, 从而避免了因采样而改变环境对测量结果所带来的不利影响, 大大提高了被测媒质热导率的测量精度。



1. 一种热导率测量仪,其特征在于:

包括:热源、地表温度传感器(5)、大气温度传感器(6)、第一温度传感器(7)、第二温度传感器(8)、加热套管表面温度传感器(9)、加热套管内壁温度传感器(10)、信号处理器(11)和温度控制器(12),其中,

所述热源包括:加热棒(1)、加热套管(2)、增强填充剂(3)和锥形钻头(4),其中,加热棒(1)位于加热套管(2)的内部,增强填充剂(3)位于加热套管(2)内部除加热棒(1)以外的空间中,锥形钻头(4)设置在加热套管(2)的下端;

所述温度控制器(12),与热源加热棒(1)相连;

地表温度传感器(5)的温度感应探头位于地表;大气温度传感器(6)的温度感应探头位于空气中;第一温度传感器(7)和第二温度传感器(8)的温度感应探头位于被测材料中;加热套管表面温度传感器(9)的温度感应探头紧贴于加热套管(2)的外壁;加热套管内壁温度传感器(10)与温度控制器(12)连接,其温度感应探头固定于加热套管(2)的内壁;

所述信号处理器(11)与地表温度传感器(5)、大气温度传感器(6)、第一温度传感器(7)、第二温度传感器(8)、加热套管表面温度传感器(9)和加热套管内壁温度传感器(10)相连,所述信号处理器(11)包括数据采集模块(14)、数据存储与处理模块(15)、人机交互模块(16)、电源模块(17)以及辅助装置(18),数据采集模块(14)、人机交互模块(16)、电源模块(17)以及辅助装置(18)通过数据存储与处理模块(15)彼此互相连接。

2. 如权利要求1所述的热导率测量仪,其特征在于:

所述加热套管(2)外径D与加热套管(2)的长度H之比小于0.1。

3. 如权利要求1所述的热导率测量仪,其特征在于:

所述增强填充剂(3)为导热树脂。

4. 如权利要求1所述的热导率测量仪,其特征在于:

所述加热棒(1)的温度高于环境温度 20°C - 30°C 。

5. 如权利要求1所述的热导率测量仪,其特征在于:

所述信号处理器(11)还具有外部通信接口,与上位机(13)连接。

6. 如权利要求1所述的热导率测量仪,其特征在于:

所述数据采集模块(14)包括抗混叠滤波模块(19)、多路切换开关(20)、A/D转换模块(21)和电压采集模块(22),其中,抗混叠滤波模块(19)依次连接多路切换开关(20)和A/D转换模块(21),电压采集模块(22)连接A/D转换模块(21);

所述数据存储与处理模块(15)包括MCU核心控制器(23)、FLASH存储模块(24)和晶振及复位电路(25),MCU核心控制器(23)分别与FLASH存储模块(24)和晶振及复位电路(25)连接;

人机交互模块(16)包括液晶显示模块(26)和键盘接口模块(27),两者分别与数据存储与处理模块(15)的MCU核心控制器(23)连接;

电源模块(17)包括5V电源转换模块(28);

辅助装置(18)包括内部温度传感器(29)、时钟模块(30)和串口通信模块(31),三者分别与数据存储与处理模块(15)的MCU核心控制器(23)。

一种热导率测量仪

技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种热导率测量仪,尤其涉及一种散状材料热导率测量仪。

背景技术

[0002] 热导率又称“导热系数”,反映材料导热能力的大小,是热物理特性的一个重要指标。获得材料的热导率可以按照原理不同分为稳态导热和非稳态导热两大类。前者可以在试样的温度场达到稳定以后,直接测量获得试样的热导率。后者是在试样的非稳态导热过程中测定热扩散系数 a ,并在已知试样的密度 ρ 和试样的比热容 c 的条件下,利用 $\lambda = a/c\rho$,计算得到试样的热导率 λ 。

[0003] 稳态导热测定法的特点是原理简单,可直接测得热导率,但其达到温度平衡需要较长时间,目前稳态导热主要有稳态圆柱法、热流计法、防护热板法。但上述方法均有其各自的缺陷,如防护热板法一般需要 7 小时以上才能达到稳定状态,且对自然界中含水的天然材料(如随机分布的土壤)的热导率不能测定,试样的厚度和面积对结果有较大影响,测试设备的绝热性能影响测定结果的准确性;其他方法对散状随机材料(如土壤、沙石)的热导率干扰大,需要取样制成标准试件才能测试,无疑干扰了所测材料的原始环境,从而导致其测量精度不够高。

[0004] 非稳态热导率测试仪有常功率瞬态平面热源法、热线法、热探针法、热带法、激光闪射法等。常功率瞬态平面热源法可将测试时间控制在 20 分钟左右,可测含水量在 40-60%之间的试样并能在 -40°C 条件下测试,可获得热导率 λ 和导温系数 a 数值,其数据处理较稳态法复杂;热线法可测量固体和液体的热导率,也可测试各向异性或非均质材料的热导率,热线法可粗略测得试样的比热和热扩散率,但其制造比较精巧,需要穿透被测材料;热探针法可在现场测量湿润土壤的热导率而且对于土壤的密度和孔隙度影响较小,可获得较准确的测量值,但探针的直径一般为 1-2mm 且结构较复杂,需要精细的做工;热带法可测松散材料、多孔介质材料,还可用于测量金属材料,但其测试对材料原始状态有较大干扰。

[0005] 总之,大自然环境中的现场材料如土壤、沙石的热导率因其散乱无规则,受多参数影响难以测量,准确获得其热导率有助于准确设计如地源热泵埋管、土壤加热冷却埋管的准确尺寸,避免埋管间距过大或不足。土壤、沙石天然材料的热导率通常与其成分、密度、含水率、温度等有关。目前通常采用常规实验室取样测试法,如对土壤进行取样在实验室测得,取样测试法影响土壤的密度和含水率,对原材料产生人为干扰,不能准确测定原样材料的热导率。目前的现场实验井测试法测试土壤热导率用于获得土壤源热泵地埋管周围土壤的平均热导率,要求实验井与工程预先设计的井孔尺寸和结构相同,井内的换热器布置方式也与预先设计保持一致,这导致测试工作量巨大,测试工具的费用也很高,不易推广使用。

发明内容

[0006] 本实用新型提供了一种热导率测量仪,可解决现有技术中散状材料的热导率测量精度较差的问题。

[0007] 为实现上述目的,本实用新型的技术方案如下:

[0008] 一种热导率测量仪,包括:热源、地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9、加热套管内壁温度传感器 10、信号处理器 11 和温度控制器 12,其中,

[0009] 所述热源包括:加热棒 1、加热套管 2、增强填充剂 3 和锥形钻头 4,其中,加热棒 1 位于加热套管 2 的内部,增强填充剂 3 位于加热套管 2 内部除加热棒 1 以外的空间中,锥形钻头 4 设置在加热套管 2 的下端;

[0010] 所述温度控制器 12,与热源加热棒 1 相连;

[0011] 地表温度传感器 5 的温度感应探头位于地表;大气温度传感器 6 的温度感应探头位于空气中;第一温度传感器 7 和第二温度传感器 8 的温度感应探头位于被测材料中;加热套管表面温度传感器 9 的温度感应探头紧贴于加热套管 2 的外壁;加热套管内壁温度传感器 10 与温度控制器 12 连接,其温度感应探头固定于加热套管 2 的内壁;

[0012] 所述信号处理器 11 与地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9 和加热套管内壁温度传感器 10 相连,所述信号处理器 11 包括数据采集模块 14、数据存储与处理模块 15、人机交互模块 16、电源模块 17 以及辅助装置 18,数据采集模块 14、人机交互模块 16、电源模块 17 以及辅助装置 18 通过数据存储与处理模块 15 彼此互相连接。

[0013] 所述加热套管 2 外径 D 与加热套管 2 的长度 H 之比小于 0.1。

[0014] 所述增强填充剂 3 为导热树脂。

[0015] 所述加热棒 1 的温度高于环境温度 20℃ -30℃。

[0016] 所述信号处理器 11 还具有外部通信接口,与上位机 13 连接。

[0017] 所述数据采集模块 14 包括抗混叠滤波模块 19、多路切换开关 20、A/D 转换模块 21 和电压采集模块 22,其中,抗混叠滤波模块 19 依次连接多路切换开关 20 和 A/D 转换模块 21,电压采集模块 22 连接 A/D 转换模块 21;

[0018] 所述数据存储与处理模块 15 包括 MCU 核心控制器 23、FLASH 存储模块 24 和晶振及复位电路 25,MCU 核心控制器 23 分别与 FLASH 存储模块 24 和晶振及复位电路 25 连接;

[0019] 人机交互模块 16 包括液晶显示模块 26 和键盘接口模块 27,两者分别与数据存储与处理模块 15 的 MCU 核心控制器 23 连接;

[0020] 电源模块 17 包括 5V 电源转换模块 28;

[0021] 辅助装置 18 包括内部温度传感器 29、时钟模块 30 和串口通信模块 31,三者分别与数据存储与处理模块 15 的 MCU 核心控制器 23。

[0022] 本实用新型的有益效果在于:

[0023] 本实用新型的热导率测量仪,可在现场直接测量被测媒质的热导率,因无需将待测媒质送入实验室,减少了人为干扰对测试过程带来的各种影响,从而避免了因采样而改变改变环境对测量结果所带来的不利影响,大大提高了被测媒质热导率的测量精度。此外,本实用新型可测量浅地层热导率,这也有助于研究农业水土变化规律如土壤表层蒸腾作用、传热随土壤水分变化等规律。

附图说明

- [0024] 图 1 示出了本实用新型的热导率测量仪的温度传感器的布置示意图；
 [0025] 图 2 示出了本实用新型的热导率测量仪的整体示意图；
 [0026] 图 3 示出了本实用新型的热导率测量仪的信号处理器 11 各个模块的关系示意图；
 [0027] 图 4 示出了采用本实用新型的热导率测量仪测量热导率的流程图。

附图标记

- | | | | | |
|--------|----|-------------|----|-------------|
| [0029] | 1 | 加热棒 | 2 | 加热套管 |
| [0030] | 3 | 增强填充剂 | 4 | 锥形钻头 |
| [0031] | 5 | 地表温度传感器 | 6 | 大气温度传感器 |
| [0032] | 7 | 第一温度传感器 | 8 | 第二温度传感器 |
| [0033] | 9 | 加热套管表面温度传感器 | 10 | 加热套管内壁温度传感器 |
| [0034] | 11 | 信号处理器 | 12 | 温度控制器 |
| [0035] | 13 | 上位机 | 14 | 数据采集模块 |
| [0036] | 15 | 数据存储与处理模块 | 16 | 人机交互模块 |
| [0037] | 17 | 电源模块 | 18 | 辅助装置 |
| [0038] | 19 | 抗混叠滤波模块 | 20 | 多路切换开关 |
| [0039] | 21 | A/D 转换模块 | 22 | 电压采集模块 |
| [0040] | 23 | MCU 核心控制器 | 24 | FLASH 存储模块 |
| [0041] | 25 | 晶振及复位电路 | 26 | 液晶显示模块 |
| [0042] | 27 | 键盘接口模块 | 28 | 5V 电源转换模块 |
| [0043] | 29 | 内部温度传感器 | 30 | 时钟模块 |
| [0044] | 31 | 串口通信模块 | | |

具体实施方式

[0045] 下面结合附图和实施例,对本实用新型的具体实施方式作进一步详细描述。

[0046] 本实用新型的热导率测量仪的理论基础为稳态映像法,理论表明,当将一个细杆作为热源垂直埋入地下并控制该细杆的温度时,该细杆对埋设于其周围的材料产生稳定的温度场分布,而且其温度场分布与热导率呈确定关系。本实用新型是在此理论上开发的一种测量仪,其原理是:埋设合理尺寸的细杆、对细杆加热并控制细杆的温度,然后根据平均加热量以及周边测试点的温度场,经计算测出热导率值。因此,在测定散状天然材料如土壤的热导率时,可保持土壤原有的状态,测定结果更符合土壤现场情况。

[0047] 如图 1-2 所示,本实用新型的热导率测量仪包括:热源、地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9、加热套管内壁温度传感器 10、信号处理器 11 和温度控制器 12。

[0048] 热源,以预定温度向周围散热,包括:加热棒 1、加热套管 2、增强填充剂 3 和锥形钻头 4,其中,加热棒 1 位于加热套管 2 的内部,增强填充剂 3 位于加热套管 2 内部除加热棒 1 以外的空间中,锥形钻头 4 设置在加热套管 2 的下端,以便进入待测媒质;其中,加热套管 2

外径D与加热套管2的长度H之比小于0.1,以保证测试系统符合细杆模型条件,减少误差。增强填充剂3为导热树脂,以增强加热棒1与加热套管2的传热性能及加热套管2管壁的温度均匀性。为了提高测量精度,加热棒1的温度高于环境温度 $20^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}$ 。

[0049] 温度控制器12,与热源的加热棒1相连,用于为加热棒1提供热功率并控制加热棒1的温度,使加热棒1温度高于环境温度 $20^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}$,从而使稳态映像法测量时的温度测量环境参数始终保持在要求范围内。

[0050] 地表温度传感器5、大气温度传感器6、第一温度传感器7、第二温度传感器8、加热套管表面温度传感器9和加热套管内壁温度传感器10用于检测因热源发出的热量而产生的温度场变化。其中,地表温度传感器5的温度感应探头位于地表,用于测量土壤表面温度;大气温度传感器6的温度感应探头位于空气中,用于测量环境温度,从而判断环境温度是否恒定以符合稳态映像法模型要求;第一温度传感器7和第二温度传感器8的温度感应探头位于被测材料中,用于测量被测材料的温度;加热套管表面温度传感器9的温度感应探头紧贴于加热套管2的外壁,用于测量加热套管2表面的温度;加热套管内壁温度传感器10与温度控制器12连接,其温度感应探头固定于加热套管2的内壁,用于将热源的温度信号提供给温度控制器12从而通过温度控制器12控制加热棒1的温度。

[0051] 所述信号处理器11与地表温度传感器5、大气温度传感器6、第一温度传感器7、第二温度传感器8、加热套管表面温度传感器9和加热套管内壁温度传感器10相连,用于采集、存储温度传感器的温度;这样,信号处理器11就可根据热源的温度和地表温度传感器5、大气温度传感器6、第一温度传感器7、第二温度传感器8的温度计算所测媒质的热导率。信号处理器11还具有外部通信接口,与上位机13连接,进行通信,以方便分析处理。

[0052] 如图3所示,所述信号处理器11包括数据采集模块14、数据存储与处理模块15、人机交互模块16、电源模块17以及辅助装置18。其中,数据采集模块14、人机交互模块16、电源模块17以及辅助装置18通过数据存储与处理模块15彼此互相连接。

[0053] 地表温度传感器5、大气温度传感器6、第一温度传感器7、第二温度传感器8、加热套管表面温度传感器9和加热套管内壁温度传感器10的温度信号或加热棒1的电压信号经由数据采集模块14进行采集,转换为数字信号后传送入数据存储与处理模块15,由数据存储与处理模块15进行数据的存储与计算,最后由人机交互模块16显示测量结果,或经由辅助装置18中的串口通信模块31与上位机13相连,在上位机13分析显示测量结果。

[0054] 其中:

[0055] 数据采集模块14用于地表温度传感器5、大气温度传感器6、第一温度传感器7、第二温度传感器8、加热套管表面温度传感器9和加热套管内壁温度传感器10的温度信号和加热棒1的电压信号的调理、采集与转换,包括抗混叠滤波模块19、多路切换开关20、A/D转换模块21和电压采集模块22,其中,抗混叠滤波模块19依次连接多路切换开关20和A/D转换模块21,电压采集模块22连接A/D转换模块21。地表温度传感器5、大气温度传感器6、第一温度传感器7、第二温度传感器8、加热套管表面温度传感器9和加热套管内壁温度传感器10的温度信号经过抗混叠滤波模块19进行信号调理,再由多路切换开关20分时输入A/D转换模块21,转换为数字信号后传入数据存储与处理模块15;加热棒1的电压信号通过含有抗混叠滤波的电压采集模块22进行采集,再由A/D转换模块21进行模数转换,最后转换为数字信号后传入数据存储与处理模块15。

[0056] 数据存储与处理模块 15 包括 MCU 核心控制器 23、FLASH 存储模块 24 和晶振及复位电路 25,其中,MCU 核心控制器 23 分别与 FLASH 存储模块 24 和晶振及复位电路 25 连接。来自数据采集模块 14 的数据首先被保存入 FLASH 存储模块 24,每隔一定时间间隔,由 MCU 核心控制器 23 进行热导率的计算及测量结束条件的判定,晶振及复位电路 25 为 MCU 核心控制器 23 的正常工作提供支持。

[0057] 人机交互模块 16 用于测量仪的人机交互操作,包括液晶显示模块 26 和键盘接口模块 27,两者分别与数据存储与处理模块 15 的 MCU 核心控制器 23 连接。

[0058] 电源模块 17 用于为各个模块提供电能,包括 5V 电源转换模块 28,主要是把 220v 电压转换为 5v 电压,提供给各个模块使用。

[0059] 辅助装置 18 用于给 MCU 核心控制器 23 提供辅助功能,如实时时钟、机箱温度传感、温度补偿、串口通信,包括内部温度传感器 29、时钟模块 30 和串口通信模块 31,三者分别与数据存储与处理模块 15 的 MCU 核心控制器 23 连接。内部温度传感器 29 可以检测地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9 和加热套管内壁温度传感器 10 的内部节点温度,用于地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9 和加热套管内壁温度传感器 10 的温度补偿。时钟模块 30 提供实时时钟,保证系统时钟运行无误。串口通信模块 31 用于连接上位机 13 进行数据通信。

[0060] 采用本实用新型的热导率测量仪测量热导率的测量方法,包括如下步骤,如图 4 所示:

[0061] a、测量仪的布置:将包括加热棒 1、加热套管 2、增强填充剂 3 和锥形钻头 4 的热源和温度感应探头位于加热套管 2 内壁的加热套管内壁温度传感器 10 一起插入被测材料中,地表温度传感器 5 的温度感应探头放置于地表,大气温度传感器 6 的温度感应探头放置于空气中,第一温度传感器 7 和第二温度传感器 8 的温度感应探头放置于被测材料中,加热套管表面温度传感器 9 的温度感应探头紧贴于加热套管 2 的外壁,并将加热棒 1 以及地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9 和加热套管内壁温度传感器 10 连接至信号处理器 11;在测量期间对所测量地表进行遮阴防风,以防止不良天气对土壤温度的过度干扰,以便使地表温度应保持较为恒定,波动幅度不超过 2℃,从而提高了测量精度;

[0062] b、读取配置:启动测量仪,MCU 核心控制器 23 读取配置数据;

[0063] c、参数设置:设置温度控制器 12 的温度、测试时间、加热棒的电阻值和地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9 和加热套管内壁温度传感器 10 的位置参数,对地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9 和加热套管内壁温度传感器 10 调零,开启温度控制器 12,温度控制器 12 通过加热套管内壁温度传感器 10 感应加热套管 2 的温度,并对加热棒 1 加热;

[0064] d、数据采集:地表温度传感器 5、大气温度传感器 6、第一温度传感器 7、第二温度传感器 8、加热套管表面温度传感器 9 和加热套管内壁温度传感器 10 的温度信息为每秒采集一次,每分钟计算一次平均值,存储在 FLASH 存储模块 24 中;

[0065] e、热导率计算:变化第一温度传感器 7 的位置得到第一温度传感器 7 的温度

$T(x_1, y_1)$, 变化第二温度传感器 8 位置得到第二温度传感器 8 的温度 $T(x_2, y_2)$,

[0066] 信号处理器 11 获得第一温度传感器 7 的温度和第二温度传感器 8 的温度, 信号处理器 11 计算被测材料热导率, 并将热导率结果输出, 其中,

[0067] 热导率的计算方法如下:

[0068]

$$\lambda = \frac{q}{4\pi} \left\{ \frac{\ln \left[\frac{(y_1 + H) + \sqrt{x_2^2 + (y_2 - H)^2}}{(y_1 - H) + \sqrt{x_1^2 + (y_1 - H)^2}} \right] - \ln \left[\frac{(y_2 + H) + \sqrt{x_2^2 + (y_2 - H)^2}}{(y_2 - H) + \sqrt{x_1^2 + (y_1 - H)^2}} \right]}{T(x_1, y_1) - T(x_2, y_2)} \right\}$$

[0069] 其中, λ 为热导率, q 为热功率, 由温度控制器 12 供给加热棒 1, H 为加热棒 1 的长度, $T(x_1, y_1)$ 为第一温度传感器 7 在 (x_1, y_1) 处的温度, $T(x_2, y_2)$ 为第二温度传感器 8 在 (x_2, y_2) 处的温度, x_1 、 x_2 分别为第一温度传感器 7 和第二温度传感器 8 的测量点距加热棒 1 中心轴的距离, y_1 、 y_2 分别为第一温度传感器 7 和第二温度传感器 8 的测量点距地面的距离, 这样 $T(x_1, y_1)$ 是指距地面为 y_1 、距加热棒 1 中心轴为 x_1 处的温度, $T(x_2, y_2)$ 是指距地面为 y_2 、距加热棒 1 中心轴为 x_2 处的温度, 其中 (x_1, y_1) 分别确定了距地面为 y_1 、距加热棒 1 中心轴为 x_1 处的周线, (x_2, y_2) 分别确定了距地面为 y_2 、距加热棒 1 中心轴为 x_2 处的周线, 即第一温度传感器 7 的坐标 (x_1, y_1) 、第二温度传感器 8 的坐标 (x_2, y_2) 是以加热棒 1 中心轴与地面的交点为坐标原点, 测量点坐标满足如下关系: $x_1 \neq x_2$ 且 $x_1 < x_2$, $x_1 \geq 5D$, $x_2 > 5D$ 并按照测试数据调整能够满足: $T(x_1, y_1) - T(x_2, y_2) \geq 5^\circ\text{C}$, 其中, D 为加热套管 2 的外径;

[0070] 例如, 第一温度传感器 7 的坐标为 $(10, 30)$, 即其距加热棒 1 的中心轴为 10cm, 距地面深度为 30cm; 第二温度传感器 8 的坐标为 $(20, 30)$, 即其距加热棒 1 的中心轴为 20cm, 距地面深度 30cm;

[0071] 热导率的计算默认采用 30 分钟的滑动滤波方法进行数据的平滑与计算, 在测试 30 分钟以内时, 无热导率信息输出, 测试时间大于 30 分钟, 则开始输出热导率信息, 直至测试时间结束或者测量结果达到收敛条件。

[0072] 测量结果收敛条件为 5 分钟内输出热导率波动范围小于或等于 3%。

[0073] 在测量过程中, 如果测量环境不符合数据模型要求, 在液晶显示模块 26 的显示界面会提示测量者改善测量环境, 该提示会一直持续至测量环境符合要求为止。

[0074] 采用本实用新型的热导率测量仪测量热导率的测量方法, 在步骤 a 之后, 步骤 b 之前, 还包括如下步骤: 在上位机 13 设置端口通信速率后, 启动上位机 13。

[0075] 采用本实用新型的热导率测量仪和测量方法测量热导率的实施例 1、实施例 2 的测量结果如表 2 所示。

[0076] 表 2: 实施例 1、实施例 2 的测量结果

[0077]

实施例	实施测得 热导率 (MIN)* (W/(mK))	实施测得热 导率 (MAX)* (W/(mK))	土壤质量含水率		非稳态平面热源 法取样测试热导 率 $\lambda / (W/(mK))$
			土壤表面 (0cm)	土壤测点 (30cm)	
实施例 1	0.587	0.632	0.81%	2.21%	0.495
实施例 2	0.920	1.057	28.78%	18.94%	0.876

[0078] *所记录的热导率均为收敛条件下的热导率值。土壤质量含水率为实施例的土壤含水量 (g) 与干燥土壤之比。

[0079] 本实用新型的实施例 1 和实施例 2 测得的土壤热导率高于按非稳态平面热源法取样在实验室测得的热导率值,这是由于非稳态平面热源法的取样扰动导致空隙度增加含水率可能下降并伴有仪器本身的不适用性,数据小于实施例测得数值,逻辑表明,本实用新型的热导率测量仪和测量方法更与真实接近,测得的数据更合理。

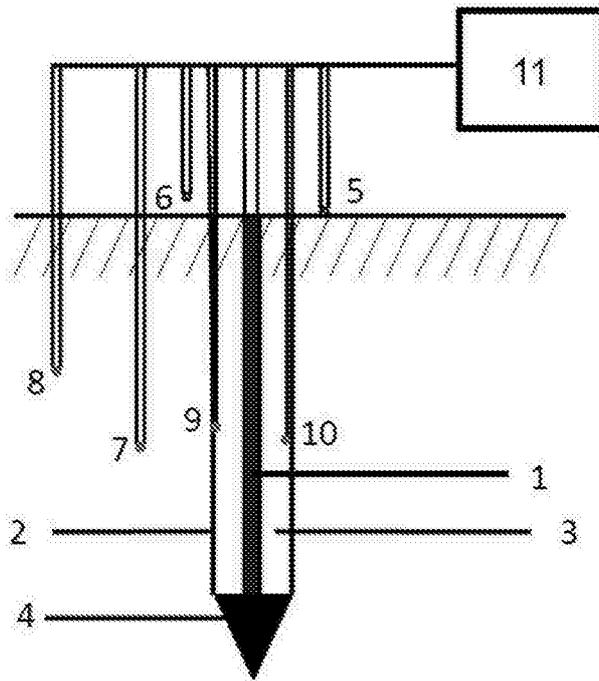


图 1

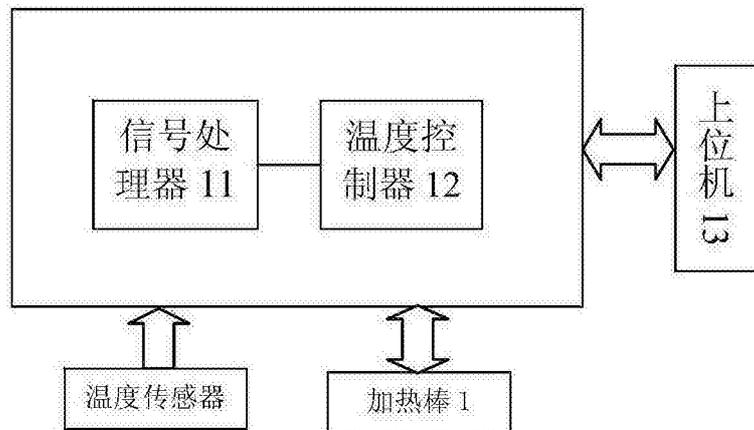


图 2

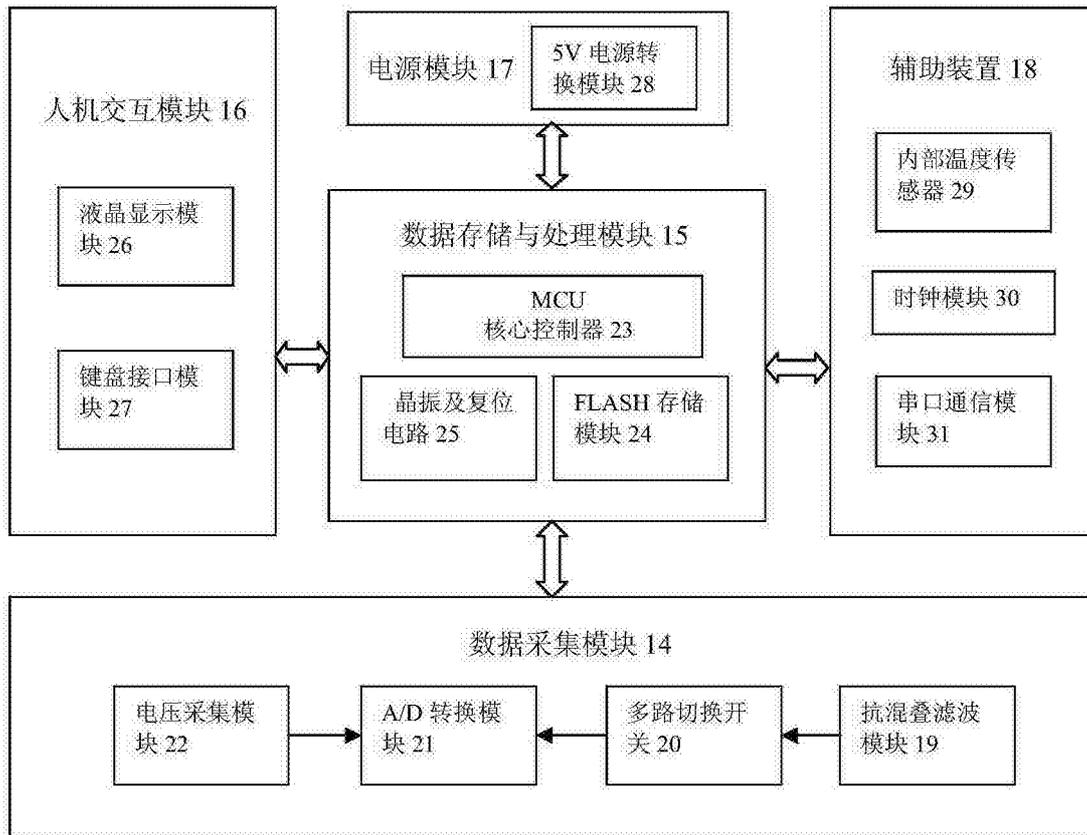


图 3

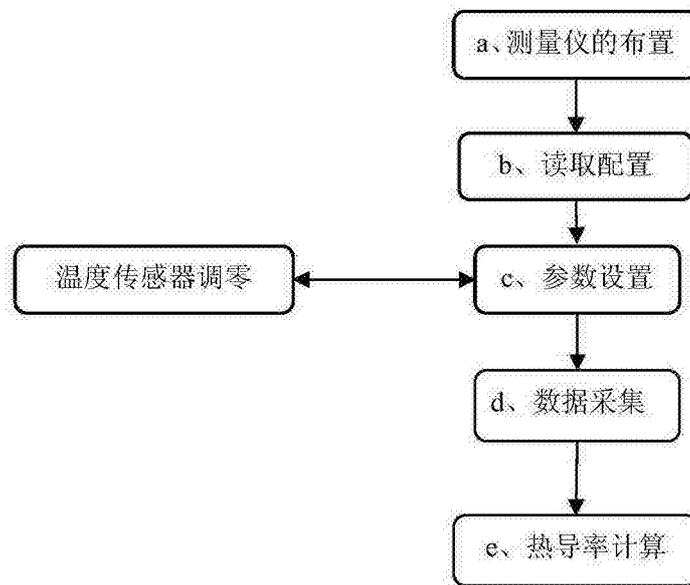


图 4