



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101556256 B

(45) 授权公告日 2012.06.27

(21) 申请号 200910068781.7

(22) 申请日 2009.05.11

(73) 专利权人 天津科技大学

地址 300457 天津市经济技术开发区第十三大街 29 号

(72) 发明人 杨世凤 赵继民

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限公司 12209

代理人 王来佳

(51) Int. Cl.

G01N 25/20(2006.01)

审查员 赵晓宇

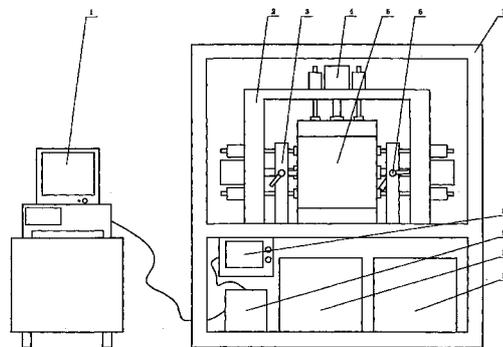
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 6 页

(54) 发明名称

双平板式隔热材料导热系数测定仪

(57) 摘要

本发明涉及一种双平板式隔热材料导热系数测定仪,由支架、隔热材料试件夹装部件和温度检测传输显示控制模块组成,所述的试件夹装部件安装在支架内,该部件包括密闭的隔热箱、设置在该隔热箱内的中部加热单元和冷却单元,所述冷却单元对称设置在中部加热单元的两侧,该两个冷却单元与中部加热单元之间分别形成一可放置隔热材料试件的检测区,该冷却单元的外侧端面与隔热箱的内壁相接触,在加热单元和冷却单元的表面均设置有温度传感器,该温度传感器的输出端电连接温度检测传输显示控制模块。本发明结构简单、成本低,采用微处理器为核心的智能测控系统,大大简化了硬件电路,人机交互界面友好,能迅速、准确的完成隔热材料试件的导热系数的测定。



1. 一种双平板式隔热材料导热系数测定仪,其特征在于:由支架、隔热材料试件夹装部件和温度检测传输显示控制模块组成,所述的试件夹装部件安装在支架内,该部件包括密闭的隔热箱、设置在该隔热箱内的中部加热单元和冷却单元,所述冷却单元对称设置在中部加热单元的两侧,该两个冷却单元与中部加热单元之间分别形成一可放置隔热材料试件的检测区,该冷却单元的外侧端面与隔热箱的内壁相接触,在加热单元和冷却单元的表面均设置有温度传感器,该温度传感器的输出端电连接温度检测传输显示控制模块;

所述的中部加热单元由两块热板、计量加热器和防护加热器组成,计量加热器夹装在两块相对安装的热板之间,在该计量加热器外缘外侧的两块热板之间安装有一间隔环绕计量加热器的防护加热器。

2. 根据权利要求1所述的双平板式隔热材料导热系数测定仪,其特征在于:所述的每个冷却单元均由依次固装的蒸发式制冷器、绝热板、冷板加热器和冷板组成,蒸发式制冷器的外侧端面与隔热箱的内壁相接触。

3. 根据权利要求2所述的双平板式隔热材料导热系数测定仪,其特征在于:所述的蒸发式制冷器通过密封隔热管与设置在支架内的制冷压缩机连接。

4. 根据权利要求1所述的双平板式隔热材料导热系数测定仪,其特征在于:所述密闭的隔热箱由左面板、右面板、前面板、后面板、上面板和下面板组成,下面板固装在支架上,后面板与下面板固定连接,左面板和右面板的外侧端面均连接有可带动二者移动的气缸,上面板的上端面连接一带动其移动的气缸,前面板为可拆卸的活动部件并通过设置在其两侧端面外侧的可转动的卡锁与其它面板形成一密闭的隔热箱,所述的气缸均通过密封气管与设置在支架内的空气压缩机连接,在密封气管上设置有电连接温度检测传输显示控制模块的电磁阀。

5. 根据权利要求1所述的双平板式隔热材料导热系数测定仪,其特征在于:所述温度检测传输显示控制模块由温度检测传输控制模块、嵌入式显示模块和上位机组成,该温度检测传输控制模块通过串口连接嵌入式显示模块和上位机,各模块的具体结构是:

所述温度检测传输控制模块由计量加热器温度传感器模块、防护加热器温度传感器模块、冷板加热器温度传感器模块,霍尔电流传感器模块、第一处理器模块、第二处理器模块、第三处理器模块、交流调压模块和直流继电器模块组成,两块热板对应于计量加热器安装位置的外侧端面设置至少一个计量加热器温度传感器模块,两块热板对应于防护加热器安装位置的外侧端面设置至少一个防护加热器温度传感器模块,两块冷板与热板相对的内侧端面分别设置至少一个冷板加热器温度传感器模块,每个计量加热器温度传感器模块、防护加热器温度传感器模块和冷板加热器温度传感器模块的输出端均连接第一处理器模块的输入/输出接口,霍尔电流传感器模块将计量加热器的电流数值通过放大模块和A/D模块电连接第二处理器模块的输入/输出接口,第一处理器模块和第二处理器模块通过二者的输入/输出接口连接第三处理器模块的输入/输出接口,第三处理器模块的输入/输出接口还通过D/A模块连接交流调压模块,该交流调压的输入端连接市电,其输出端分别连接两块冷板加热器、计量加热器和防护加热器,第三处理器模块的输入/输出接口还电连接直流继电器模块,该直流继电器模块由三个直流继电器组成,该三个直流继电器的线圈均通过电压转换模块连接第三处理器模块的输入/输出接口连接,该三个直流继电器的常开触点分别连接隔热箱上面板气管上的电磁阀、隔热箱左右面板气管上的电磁阀和制冷压

缩机；

所述嵌入式显示模块由嵌入式处理器模块、显示模块、串口模块、USB 接口模块、串口模块、SDRAM 模块和 NANDFLASH 模块组成，显示模块连接嵌入式处理器模块的视频接口，USB 接口模块连接嵌入式处理器模块的 USB 接口，SDRAM 模块和 NANDFLASH 模块连接嵌入式处理器模块的数据接口，嵌入式处理器模块电连接串口模块；

所述上位机为带有串口的计算机。

6. 根据权利要求 5 所述的双平板式隔热材料导热系数测定仪，其特征在于：所述每个温度传感器模块使用的芯片是 DS18B20。

7. 根据权利要求 5 所述的双平板式隔热材料导热系数测定仪，其特征在于：所述霍尔电流传感器是磁平衡霍尔电流传感器。

8. 根据权利要求 5 所述的双平板式隔热材料导热系数测定仪，其特征在于：所述第一处理器模块和第二处理器模块使用的芯片是 Atmega162，第三处理器模块使用的芯片是 Atmega16。

9. 根据权利要求 5 所述的双平板式隔热材料导热系数测定仪，其特征在于：所述嵌入式处理器模块的触摸屏接口还电连接一触摸屏模块。

## 双平板式隔热材料导热系数测定仪

### 技术领域

[0001] 本发明涉及隔热材料导热系数测量的一种导热系数测定仪,尤其是一种双平板式隔热材料导热系数测定仪。

### 背景技术

[0002] 导热系数(或热阻)是确定保温材料主要热工性能的重要参数,是鉴别材料保温性能好坏的主要标志。近几年来,随着建筑节能法规的出台,我国对建筑节能越来越重视,因此,准确测定该参数是十分必要的,对于合理选材具有十分重要意义。导热系数高的物质有优良的导热性能。在热流密度和厚度相同时,物质高温侧壁面与低温侧壁面间的温度差,随导热系数增大而减小。例如,锅炉炉管在未结水垢时,由于钢的导热系数高,钢管的内壁温差不大。而钢管内壁温度又与管中水温接近,因此,管壁温度(内外壁温度平均值)不会很高。但当炉管内壁结水垢时,由于水垢的导热系数很小,水垢内外侧温差随水垢厚度增大而迅速增大,从而把管壁金属温度迅速抬高。当水垢厚度达到相当大(一般为1~3毫米)后,会使炉管管壁温度超过允许值,造成炉管过热损坏。对锅炉炉墙及管道的保温材料来讲,则要求导热系数越低越好。一般常把导热系数小于 $0.8 \times 10^3 \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}$ ,容重小于 $1000 \text{kg}/\text{m}^3$ 的材料统称为保温材料或隔热材料。例如石棉、珍珠岩等。此外,在建筑工程上采用保温材料,可以防止和减少建筑物及某些供热设备的热量散失,或隔绝和减少外界热量的传入。这种材料一般都是轻质、疏松和多孔的材料,所以也能起到吸声隔音的作用。

[0003] 测定材料导热系数方法可分为两大类,稳态法和非稳态法。对于良导体,常用流体换热法测量所传递的热量,计算导热系数;对于不良导体多采用稳态法,通过测量传热速率,间接测量所传递的热量,计算导热系数。两类方法的都各有特点和适用条件,不同材料根据自身的特性和使用条件,可选用不同的方法测定。根据稳态导热原理建立起来的方法,在国内外已很成熟,80年代末,我国已参照国际标准制定了一系列国家标准,防护热板法及圆球法导热系数测定仪也正式投入生产。

[0004] 美国EKO公司在热导率仪的研制方面具有很长的历史,并且一直处于世界领先的位置。1950年研制出测试金属、陶瓷等材料的热导率仪,并被众多钢铁厂家所采用。1981年,研制出测量高温(1000度)条件下,火箭外壁材料的热导率仪,为航空领域作出了巨大贡献。同时EKO公司不断进行技术的革新。温度控制部分,由原来的热电回路式改为热传感器,不仅缩短了测量时间,测量精度也得到大幅度的提高(以10度调温为例,可实现 $10 \text{度} \pm 0.01 \text{度}$ )。EKO导热仪采用热流计法测量,热导率测定范围为 $0.005 \sim 0.8 \text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ,在温度方面同时采用和热流计的双重控制,温度精度可以达到 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ,同时采用循环水浴进行散热,适用于长时间使用。两种厚度测试程序,降低了热接触电阻的影响。HC-074200/300/400采用固定热流的方式进行测定,主要用于生产管理及一般性研究。HC-074304附加有金属监视板(guard plate),防止了材料侧面的热损失,因此主要用于新材料研发等方面的精密性测量。HC-074600/630/637可对边长为760mm大型样品的热导率进行无损测量,因此能够进行实际产品材料性质的测定。作为新材料开发的重要工具,导热系数测定仪已被众多研究

人员所采用,例如对真空隔热材料、双层玻璃等隔热材料方面的开发,检测。

[0005] 此外还有德国耐驰仪器公司, GHP 系列保护热板法导热仪,应用于建筑材料、填充材料、粉末材料、石膏板、纤维板与橡胶等领域,其技术参数为:导热系数测量范围:  $0.007 \sim 2.0\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ,温度范围:  $-160 \sim 650^\circ\text{C}$ 。

[0006] 我国目前大部分的导热仪也采用保护热板法,如东南大学电子仪器厂,智能型双平板导热率测定装置,其技术参数为:导热系数测量范围:  $0.03 \sim 0.5\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ,试件平均温度:常温型  $60 \sim 200^\circ\text{C}$ ,高温型  $60 \sim 500^\circ\text{C}$ ,低温型  $-120 \sim 100^\circ\text{C}$ ,试件尺寸:直径 100、200、300(mm),厚度  $15 \sim 50\text{mm}$ (不超过直径的  $1/6$ ),准确度(偏差):小于  $\pm 2\%$ (一般来说小于  $\pm 1\%$ ),精密度:优于  $\pm 1\%$ 。

[0007] 上述各个厂商生产的导热系数测定仪的详细结构和具体电路在此不做详细描述,但是实践证明,现有的平板式导热系数测定仪存在着如下问题:

[0008] 1. 就检测、控制系统而言,某些仪器仍属于模拟式仪表,无论是信号的识别功能、测试值的离散度、可比性,还是数据的检测处理方式都大大落后于微处理器为核心的智能测控系统;

[0009] 2. 多数测定仪用冷却水浴来控制被测样品冷面温度,其上下水套在均温板内和在进、出水处由于水流速度的差异,致使各点的换热系数不一样,所以冷面各点和上下冷的温度也会出现差异,这样就会使导热系数测量产生误差;

[0010] 3. 有些测定仪进入稳态的时间太长,控制速度有待提高;

[0011] 4. 有些测定仪人机对话界面过于粗糙,没有热工测量基础的人很难迅速掌握操作方法;

[0012] 5. 多数测定仪一次测量只能得到在给定平均温度和温差下的导热系数。如果物质的导热系数随温度的变化呈线性关系,则可以通过两次以上的测量求出这种关系;但物质的导热系数随温度的变化呈现出非线性关系时,这种方法就无能为力或者过于费时费力了。

## 发明内容

[0013] 本发明的目的在于提供一种结构简单、成本低,采用微处理器为核心,控制效果好,人机交互设备丰富、界面友好且能迅速、准确完成隔热材料试件导热系数测定的双平板式隔热材料导热系数测定仪。

[0014] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0015] 一种双平板式隔热材料导热系数测定仪,其特征在于:由支架、隔热材料试件夹装部件和温度检测传输显示控制模块组成,所述的试件夹装部件安装在支架内,该部件包括密闭的隔热箱、设置在该隔热箱内的中部加热单元和冷却单元,所述冷却单元对称设置在中部加热单元的两侧,该两个冷却单元与中部加热单元之间分别形成一可放置隔热材料试件的检测区,该冷却单元的外侧端面与隔热箱的内壁相接触,在加热单元和冷却单元的表面均设置有温度传感器,该温度传感器的输出端电连接温度检测传输显示控制模块。

[0016] 而且,所述的中部加热单元由两块热板、计量加热器和防护加热器组成,计量加热器夹装在两块相对安装的热板之间,在该计量加热器外缘外侧的两块热板之间安装有一间隔环绕计量加热器的防护加热器。

[0017] 而且,所述的每个冷却单元均由依次固装的蒸发式制冷器、绝热板、冷板加热器和冷板组成,蒸发式制冷器的外侧端面与隔热箱的内壁相接触。

[0018] 而且,所述的蒸发式制冷器通过密封隔热管与设置在支架内的制冷压缩机连接。

[0019] 而且,所述密闭的隔热箱由左面板、右面板、前面板、后面板、上面板和下面板组成,下面板固装在支架上,后面板与下面板固定连接,左面板和右面板的外侧端面均连接有可带动二者移动的气缸,上面板的上面连接一带动其移动的气缸,前面板为可拆卸的活动部件并通过设置在其两侧端面外侧的可转动的卡锁与其它面板形成一密闭的隔热箱,所述的气缸均通过密封气管与设置在支架内的空气压缩机连接,在密封气管上设置有电连接温度检测传输显示控制模块的电磁阀。

[0020] 而且,所述温度检测传输显示控制模块由温度检测传输控制模块、嵌入式显示模块和上位机组成,该温度检测传输控制模块通过串口连接嵌入式显示模块和上位机,各模块的具体结构是:

[0021] 所述温度检测传输控制模块由计量加热器温度传感器模块、防护加热器温度传感器模块、冷板加热器温度传感器模块,霍尔电流传感器模块、第一处理器模块、第二处理器模块、第三处理器模块、交流调压模块和直流继电器模块组成,两块热板对应于计量加热器安装位置的外侧端面设置至少一个计量加热器温度传感器模块,两块热板对应于防护加热器安装位置的外侧端面设置至少一个防护加热器温度传感器模块,两块冷板与热板相对的内侧端面分别设置至少一个冷板加热器温度传感器模块,每个计量加热器温度传感器模块、防护加热器温度传感器模块和冷板加热器温度传感器模块的输出端均连接第一处理器模块的输入/输出接口,霍尔电流传感器模块将计量加热器的电流数值通过放大模块和 A/D 模块电连接第二处理器模块的输入/输出接口,第一处理器模块和第二处理器模块通过二者的输入/输出接口连接第三处理器模块的输入/输出接口,第三处理器模块的输入/输出接口还通过 D/A 模块连接交流调压模块,该交流调压的输入端连接市电,其输出端分别连接两块冷板加热器、计量加热器和防护加热器,第三处理器模块的输入/输出接口还电连接直流继电器模块,该直流继电器模块由三个直流继电器组成,该三个直流继电器的线圈均通过电压转换模块连接第三处理器模块的输入/输出接口连接,该三个直流继电器的常开触点分别连接隔热箱上面板气管上的电磁阀、隔热箱左右面板气管上的电磁阀和制冷压缩机;

[0022] 所述嵌入式显示模块由嵌入式处理器模块、显示模块、串口模块、USB 接口模块、串口模块、SDRAM 模块和 NANDFLASH 模块组成,显示模块连接嵌入式处理器模块的视频接口,USB 接口模块连接嵌入式处理器模块的 USB 接口,SDRAM 模块和 NANDFLASH 模块连接嵌入式处理器模块的数据接口,嵌入式处理器模块电连接串口模块;

[0023] 所述上位机为带有串口的计算机。

[0024] 而且,所述每个温度传感器模块使用的芯片是 DS18B20。

[0025] 而且,所述霍尔电流传感器是磁平衡霍尔电流传感器。

[0026] 而且,所述第一处理器模块和第二处理器模块使用的芯片是 Atmega162,第三处理器模块使用的芯片是 Atmega16。

[0027] 而且,所述嵌入式处理器模块的触摸屏接口还电连接一触摸屏模块。

[0028] 本发明的优点和有益效果为:

[0029] 1、本测定仪由支架、隔热材料试件夹装部件和温度检测传输显示控制模块组成，其中隔热材料试件夹装部件中的密闭的隔热箱内安装有中部加热单元和以中部加热单元对称设置的两个制冷单元，该两个制冷单元与中部加热单元之间分别形成一个可放置隔热材料试件的检测区，该结构可以在一次测量过程中同时对两块相同的隔热材料试件进行导热系数的测定，通过两组数据的比对，使最后得到的导热系数结果更精确。

[0030] 2、本测定仪中的中部加热单元由两块热板和安装在热板间的计量加热器组成，计量加热器产生的热量为导热系数计算中的重要数据，在计量加热器外缘外侧的两块热板之间还安装有一间隔环绕计量加热器的防护加热器，该防护加热器使隔热材料试件边缘处的温度与计量加热器处的隔热材料试件表面温度相同，其作用是使热量沿隔热材料的截面传播，不向隔热材料试件的边缘处传导。

[0031] 3、本测定仪中的与隔热材料试件两端面接触的热板和冷板均为铜材料制成，安装该热板和冷板后，使隔热材料试件两侧表面的温度均匀，没有温差且无热流通过，这样热量由隔热材料试件的高温端面向低温端面传导时更均匀、稳定。

[0032] 4、本测定仪中冷却单元中的冷板外侧的制冷器是蒸发式制冷器，通过隔热管与设置在支架内的制冷压缩机连接，其工作原理与空调机的制冷方式相同，通过氟利昂的气化——液化的循环过程实现降温，使用蒸发式制冷器对冷板进行降温后，避免了使用冷却水浴来降低温度造成的导热系数测量误差的问题。

[0033] 5、本测定仪中密闭的隔热箱由六块面板组成，其中下面板和后面板为固定安装方式，左、右面板可在气缸的带动下做水平移动，上面板可在气缸的带动下做竖直移动，前面板为可拆卸的安装方式并通过其两侧端面外侧的可转动的卡锁与其它面板形成一密闭的隔热箱。在测试时，首先取下前面板，将隔热材料试件放入中部加热单元和冷却单元之间的检测区，安装前面板并用其两侧的卡锁锁紧，然后控制左、右面板水平移动卡紧，最后控制上面板竖直移动卡紧，该结构使用灵活，可以测试不同厚度的隔热材料试件，而且由于水平和竖直方向上可以卡紧隔热材料试件使测试过程中各不见接触的更紧密，热量传输传输的更稳定。

[0034] 6、本测定仪中的温度检测传输显示控制模块由温度检测传输控制模块、嵌入式显示模块和上位机组成，该温度检测传输控制模块通过串口连接嵌入式显示模块和上位机。温度检测传输控制模块中以三个微处理器为控制中心完成检测各点温度、测量计量加热器的电流、控制各加热器的工作、制冷压缩机和气缸的动作并实现与上位机、嵌入式显示模块之间数据信号及控制信号的传递。嵌入式显示模块负责在液晶屏上显示温度、时间等数据信息。上位机负责计算导热系数、热阻、打印及数据存储等工作。可以看出，整个隔热材料时间导热系数的测定过程是自动完成的，其自动化水平高，控制过程中传递的信号均为数字信号，其准确率高、抗干扰能力强。

[0035] 7、本测定仪中对计量加热器的温度控制非常重要，其目的是使隔热材料时间热面的温度达到预先设定的数值，由于温度具有非线性、慢时变、大滞后等特点，往往难以建立精确的数学模型，常规 PID 控制算法对于具有非线性、参数时变性和模型不确定性的控制对象难以实现有效的控制，所以本测定仪中将模糊控制和 PID 控制相结合，其控温精度小于  $0.3^{\circ}\text{C}$ 、与理想 PID 响应曲线非常吻合、有适当的超调、响应快，并且静差消除时间短。

[0036] 8、本测定仪既可以测出在给定温差和平均温度下材料的导热系数（传统方法）；

又可以选择测量给定温度差和温度范围下的多点的稳态导热系数,描绘出导热系数随温度的变化曲线。此外,上述测量完成后,热板通常会达到较高温度,用户可以选择结束测量,也可以选择测量材料在非稳态条件下的热扩散特性。系统控制冷板自始至终保持在设定温度下,通过材料的热扩散,热板温度下降速度很快,最终趋于冷板温度,系统通过对热板温度采样就可描述出当加热器不加热时热板的降温规律曲线。

[0037] 9、本发明结构简单、成本低,采用微处理器为核心的智能测控系统,充分利用当前先进的集成电路技术和电源技术,通过合理地选择元器件,提高测量精度的同时又大大简化了硬件电路,其对计量加热器的控制采用模糊-PID 复合控制算法,大大改善了控制效果,并且人机交互设备丰富、界面友好,包括按键、液晶显示器、打印机、蜂鸣器等,可以由无热工测量基础知识的人进行操作,能迅速、准确的完成对隔热材料试件的导热系数的测定。

### 附图说明

- [0038] 图 1 是本发明的结构示意图；  
[0039] 图 2 是隔热材料试件夹装部件中隔热箱的结构示意图；  
[0040] 图 3 是隔热箱与中部加热单元、冷却单元连接关系的示意图（拆除隔热箱前面板）；  
[0041] 图 4 是中部加热单元的结构示意图；  
[0042] 图 5 是冷却单元的结构示意图；  
[0043] 图 6 是冷却单元中冷板表面设置的温度传感器的示意图；  
[0044] 图 7 是温度检测传输显示控制模块的电路方框图；  
[0045] 图 8 是温度检测传输控制模块的电路方框图；  
[0046] 图 9 是嵌入式显示模块的电路方框图；  
[0047] 图 10 是模糊 PID 控制器的结构图；  
[0048] 图 11 是  $e$ 、 $ec$ 、 $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  隶属度函数图；  
[0049] 图 12 是上位机控制程序的工作流程图；  
[0050] 图 13 是温度检测传输控制模块中控制程序的工作流程图；  
[0051] 图 14 是嵌入式模块控制程序的工作流程图；  
[0052] 图 15 是应用实施例 1 的测试结果图。

### 具体实施方式

[0053] 下面结合附图并通过具体实施例对本发明作进一步详述,以下实施例只是描述性的,不是限定性的,不能以此限定本发明的保护范围。

[0054] 本发明所依据的原理是根据傅立叶导热定律中的单层平壁导热的导热系数计算公式和热阻计算公式,见公式 (I) 和 (II),

$$[0055] \quad \lambda = \frac{Q \times d}{A \times (T_1 - T_2)} \text{ 公式 (I)}$$

[0056] 其中：

[0057]  $\lambda$  为隔热材料试件的导热系数,  $Q$  为稳态后加热单元总的热流量,  $d$  为隔热材料试件的厚度,  $A$  为隔热材料试件的被加热端面的表面积,  $T_1$  为隔热材料试件热面的稳态温度,

$T_2$  为隔热材料试件冷面的稳态温度。

$$[0058] \quad R = \frac{A \times (T_1 - T_2)}{Q} \text{ 公式 (II)}$$

[0059] 其中：

[0060] R 为隔热材料试件的热阻, A 为隔热材料试件的被加热端面的表面积,  $T_1$  为隔热材料试件热面的稳态温度,  $T_2$  为隔热材料试件冷面的稳态温度, Q 为稳态后加热单元总的热流量。

[0061] 由公式 (I) 和 (II) 可知, 只要得到各变量的数值即可以计算得到隔热材料试件的导热系数, 为了得到上述各变量的数值, 本发明使用如下结构实现隔热材料试件的导热系数的测定：

[0062] 一种双平板式隔热材料导热系数测定仪, 如图 1~9 所示, 由支架 7、隔热材料试件夹装部件和温度检测传输显示控制模块组成, 该试件夹装部件由密闭的隔热箱 5、气缸 4、卡锁 6、空气压缩机 10、制冷压缩机 11 组成, 隔热箱安装在支架中部的水平工作台上, 气缸设置有三个, 分别是安装在气缸支架 2 上部的上气缸、安装在气缸支架两侧的左气缸和右气缸, 卡锁转动安装在卡锁架 3 上, 空气压缩机和制冷压缩机安装在支架底部的水平工作台上。本实施例中, 隔热箱的结构如图 2 所示, 隔热箱是由左面板 14、右面板 17、前面板 12、后面板 18、上面板 15 和下面板 19 组成的密闭腔体, 其中下面板固装在支架中部水平工作台上, 后面板固定安装在下面板的后端, 左面板和右面板的外侧端面分别与左气缸和右气缸的活塞柱前端连接并能做水平移动, 上面板的上面与上气缸的活塞柱前端连接并能做垂直移动, 前面板为可拆卸安装方式的活动部件, 在其水平两侧端面外侧的支架水平工作台上安装有两根垂直卡锁架, 该卡锁架上转动安装的卡锁旋转后, 其前端的凸起可卡在前面板水平两侧端面上制出的凹槽 13 内并锁紧前面板, 由此各面板形成一密闭的隔热箱。上述各气缸均通过密封气管与空气压缩机连接, 在密封气管上设置有电连接温度检测传输显示控制模块的电磁阀。

[0063] 在隔热箱内设置有中部加热单元 22、左冷却单元 20 和右冷却单元 23, 其连接关系是: 中部加热单元竖直设置在隔热箱的中部, 可以是固定安装在隔热箱的下面板上, 也可以是放置在上面, 在中部加热单元的左侧间隔设置有可水平移动的左冷却单元, 在中部加热单元的右侧间隔设置有可水平移动的右冷却单元, 左、右冷却单元和中部加热单元之间分别形成以可放置隔热材料试件的检测区 21, 左、右冷却单元的外侧端面分别与隔热箱左、右面板的内壁相接触。

[0064] 中部加热单元的结构如图 4 所示：

[0065] 中部加热单元由左热板 24、右热板 27、计量加热器 26 和防护加热器 25 组成, 计量加热器夹装在相对安装的左、右热板之间, 在该计量加热器外缘外侧的两块热板之间安装有一间隔环绕计量加热器的防护加热器。

[0066] 左、右冷却单元的结构如图 5 所示, 由于左、右冷却单元内部结构相同, 下面以左冷却单元为例进行说明：

[0067] 左冷却单元由依次固装的蒸发式制冷器 28、绝热板 29、冷板加热器 30 和冷板 31 组成, 蒸发式制冷器的外侧端面与隔热箱左面板的内壁相接触, 蒸发式制冷器通过密封隔热管与制冷压缩机连接。

[0068] 上述热板和冷板均由铜材料制成,厚度较薄,其主要目的是使隔热材料试件的热面和冷面上温度均匀且无热流通过。

[0069] 在热板和冷板上均安装有温度传感器,每个温度传感器的输出端电连接温度检测传输显示控制模块。

[0070] 左、右冷却单元的两块冷板与热板相对的端面上均按图 6 所示,均布设置有八个冷板加热器温度传感器 32,在中部加热单元的左热板和右热板对应防护加热器安装位置的外侧端面上均设置有八个防护加热器温度传感器,在左热板和右热板对应计量加热器安装位置的外侧端面上均设置有八个计量加热器温度传感器,这样中部制冷单元和左、右冷却单元上共有六十四温度传感器,每次检测温度时排除错误的输入,再对各温度取平均值以使该各温度数值更精确。

[0071] 下面对本发明的控制电路部分进行描述:

[0072] 温度检测传输显示控制模块如图 7 所示,由温度检测传输控制模块 9、嵌入式显示模块 8 和上位机 1 组成,该温度检测传输控制模块通过串口连接嵌入式显示模块和上位机,各模块的具体结构是:

[0073] 温度检测传输控制模块如图 8 所示,由计量加热器温度传感器模块、防护加热器温度传感器模块、冷板加热器温度传感器模块,霍尔电流传感器模块、第一处理器模块、第二处理器模块、第三处理器模块、交流调压模块和直流继电器模块组成,各模块的连接关系是:

[0074] 左热板对应于计量加热器安装位置的外侧端面分别设置有左侧计量加热器温度传感器模块 1 ~ M(M = 8),右热板对应于计量加热器安装位置的外侧端面分别设置有右侧计量加热器温度传感器模块 1 ~ N(N = 8),左热板对应于防护加热器安装位置的外侧端面设置有左侧防护加热器温度传感器模块 1 ~ X(X = 8),右热板对应于防护加热器安装位置的外侧端面设置有右侧防护加热器温度传感器模块 1 ~ Y(Y = 8),左冷板与左热板相对的端面设置有左侧冷板加热器温度传感器模块 1 ~ O(O = 8),右冷板与左热板相对的端面设置有右侧冷板加热器温度传感器模块 1 ~ P(P = 8),上述每个温度传感器模块的输出端均连接第一处理器模块的输入/输出接口,霍尔电流传感器模块将计量加热器的电流数值通过放大模块和 A/D 模块电连接第二处理器模块的输入/输出接口,第一处理器模块和第二处理器模块通过二者的输入/输出接口连接第三处理器模块的输入/输出接口,第三处理器模块的输入/输出接口还通过 D/A 模块连接交流调压模块,该交流调压的输入端连接市电,其输出端分别连接左侧冷板加热器和右侧冷板加热器、计量加热器和防护加热器,第三处理器模块的输入/输出接口还电连接直流继电器模块,该直流继电器模块由三个直流继电器组成,该三个直流继电器的线圈均通过电压转换模块连接第三处理器模块的输入/输出接口连接,该三个直流继电器的常开触点分别连接上气缸气管上的电磁阀、左右气缸气管上的电磁阀和制冷压缩机,第三处理器模块通过两个 RS232 端口分别连接嵌入式显示模块和上位机。

[0075] 该温度检测传输控制模块中,各温度传感器模块使用的芯片是 DS18B20。第一处理器模块和第二处理器模块使用的芯片是 Atmega162,第三处理器模块使用的芯片是 Atmega16。霍尔电流传感器是磁平衡霍尔电流传感器。放大模块将霍尔电流传感器输出的毫安级信号放大 50 倍。交流调压模块使用的是北京市灵通光电子厂的光电隔离单相交流

调压模 LTVDS-220V-10A。D/A 模块使用的芯片是 Maxim 公司的 MAX525。电压转换模块使用的芯片是 ULN2803A,其主要目的是将微处理器的 5V 输出提升至 12V。直流继电器使用的是 JZC-49F-12V。

[0076] 嵌入式显示模块如图 9 所示,由嵌入式处理器模块、显示模块、USB 接口模块、串口模块、SDRAM 模块和 NANDFLASH 模块组成,显示模块连接嵌入式处理器模块的视频接口,USB 接口模块连接嵌入式处理器模块的 USB 接口,SDRAM 模块和 NANDFLASH 模块连接嵌入式处理器模块的数据接口,嵌入式处理器模块还电连接一串口模块,嵌入式处理器模块通过该串口模块连接温度检测传输控制模块中第三处理器模块的串口,该嵌入式处理器模块的触摸屏接口还电连接一触摸屏模块。

[0077] 嵌入式处理器模块使用的芯片是 Samsung 公司推出的 16/32 位 RISC 处理器 S3C2410A。显示模块使用的是日本 Sharp 公司的 LQ080V3DG01TFT-LCD 模块,USB 接口模块使用的芯片是 CH341、串口模块使用的模块是 max3232、触摸屏模块使用的是四线电阻式触摸屏。

[0078] 本实施例中使用的上位机为带有串口的计算机,可以是组装机,也可以是原装的品牌机,它可以安装在支架上,也可以通过串口数据线设置在离现场一定距离的其它地方。

[0079] 由于导热系数测定过程中对热板计量加热器的恒温性能要求较高,常规 PID 控制算法难以实现精确控制,本发明对计量加热器的温度控制采用了模糊 PID 算法,下面对模糊 PID 控制算法进行描述:

[0080] 模糊 PID 控制系统结构:

[0081] 模糊 PID 控制系统结构主要由 PID 调节器和模糊控制系统两部分组成,其结构如图 10 所示,PID 调节器完成对系统的控制,模糊控制器实现对 PID 三个参数的自动校正,PID 控制器可以用以下函数表示:

$$[0082] \quad u(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D ec(k)$$

[0083] 其中: $e(k)$  为系统误差, $ec(k)$  为系统误差变化率, $K_p$  为比例作用系数(影响系统的响应速度和精度), $K_I$  为积分作用系数(影响系统的稳态精度), $K_D$  为微分作用系数(影响系统的动态特性)。

[0084] 模糊 PID 控制器的设计:

[0085] 本系统采用双输入三输出控制结构,假设热板计量加热器温度传感器模块检测的实际温度为  $T_r$ ,设定稳态热面温度为  $T_0$ ,选择实际温度与设定温度的误差  $e(k) = T_r - T_0$  及误差变化率  $ec(k) = e(k) - e(k-1)$  作为输入变量,控制器对其进行模糊化、模糊推理、解模糊后即可得到该时刻的  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ ,实时调整控制器的 PID 参数。

[0086] 模糊 PID 参数自整定控制器是在 PID 参数预整定的基础上,利用模糊规则实时在线整定 PID 的 3 个参数,以实现优化控制,模糊 PID 参数自整定控制器的设计可以按以下三步完成:

[0087] (1) 控制系统模糊化

[0088] 模糊控制器的输入、输出变量都是精确量,模糊推理是针对模糊量进行的,因此控制器首先要对输入量进行模糊化处理。在模糊控制器中选取误差  $e$ ,误差变化率  $ec$  及参数  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  的论域为  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ,其模糊子集分为七级,分别为:

{NB, NM, NS, 0, PS, PM, PB}, 子集元素对应为负大、负中、负小、正小、正中和正大。隶属度函数曲线形状较陡的模糊子集其输出变化比较剧烈,控制灵敏度也比较高;相反隶属度函数曲线形状较平缓,控制特性也较平缓,系统稳定性较好。因此,在选择模糊集的隶属函数时,在偏差较大的区域采用形状比较平缓的隶属函数,在偏差较小或接近于零附近的区域采用形状比较陡的隶属度函数。系统采用灵敏性强的三角形隶属函数,为增强系统的鲁棒性,在 0 值附近的函数形状取得更陡,具体的隶属度函数如图 11 所示。

[0089] (2) 模糊推理

[0090] 根据经验,可分别总结出模糊控制器的控制规则,如表 1 至表 3 所示。

[0091] 表 1 $K_p$  的模糊控制规则表

<i>e</i>	<i>ec</i>						
	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>
<i>NM</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>ZO</i>	<i>NS</i>
[0092] <i>NS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>ZO</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>ZO</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>ZO</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>
<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>ZO</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NB</i>
<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>ZO</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>
<i>PB</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>

[0093] 表 2 $K_I$  的模糊控制规则表

<i>e</i>	<i>ec</i>						
	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>
<i>NM</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>
[0094] <i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>
<i>ZO</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>	<i>ZO</i>	<i>NS</i>
<i>PS</i>	<i>PB</i>	<i>NS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>
<i>PM</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>
<i>PB</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>

[0095] 表 3 $K_D$  的模糊控制规则表

<i>e</i>	<i>ec</i>						
	<i>NB</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>NB</i>	<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>PS</i>
<i>NM</i>	<i>PS</i>	<i>NS</i>	<i>NM</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
[0096] <i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NB</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>
<i>ZO</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>
<i>PS</i>	<i>NM</i>	<i>NS</i>	<i>ZO</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PM</i>	<i>PB</i>
<i>PM</i>	<i>PB</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>	<i>PB</i>
<i>PB</i>	<i>PB</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PM</i>	<i>PS</i>	<i>PS</i>	<i>PB</i>

[0097] 模糊规则确定以后,接着进行模糊推理。采用马丹尼极小运算法,由表 1 至表 3 可知,各参数的调节规则可写成条件语句的形式:

[0098]  $R_1$ :if  $E$  is  $A_1$  and  $EC$  is  $B_1$ , then  $U$  is  $C_1$

[0099]  $R_2$ :if  $E$  is  $A_2$  and  $EC$  is  $B_2$ , then  $U$  is  $C_2$

[0100] . . .

[0101] 根据上述规则及隶属度函数,按以下函数进行模糊推理。

[0102]

$$\mu_c(z) = [\omega_1 \wedge \mu_{c_1}(U)] \vee [\omega_2 \wedge \mu_{c_2}(U)]$$

[0103] 式中

[0104]

$$\omega_1 = \mu_{A_1}(E) \wedge \mu_{B_1}(EC)$$

[0105]

$$\omega_2 = \mu_{A_2}(E) \wedge \mu_{B_2}(EC)$$

[0106] (3) 模糊控制量的精确化

[0107] 模糊量的精确化又称解模糊,使用加权平均法,其计算公式如下:

[0108] 
$$u' = \frac{\sum_{i=1}^m k_i u_i}{\sum_{i=1}^m k_i}$$
 公式 (III)

[0109] 取隶属度函数  $\mu(x)$  作为权系数  $k_i$ ,  $u_i$  对应参数  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$  的论域  $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ ,  $m$  根据论域元素的个数取值为 13。

[0110] 采用公式 (III) 所示的加权平均法,对每个模糊子集进行去模糊化,可分别得出对应于每组  $e$ 、 $ec$  的  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ ,计算得出模糊判决表,将该表存入存储器中,供软件查询使用。系统运行时,根据每一时刻的  $e$ 、 $ec$  可在模糊判决表中查出相应的输出控制量  $K_p$ 、 $K_I$ 、 $K_D$ ,进而求出控制输出量  $u$ 。

[0111] 使用该模糊 PID 控制算法后,隔热材料时间热面的温度控制精度小于  $0.3^\circ\text{C}$ 、与理想 PID 响应曲线非常吻合、有适当的超调、响应快,并且静差消除时间短。

[0112] 上位机控制程序的工作流程图如图 12 所示:

[0113] 1. 程序开始;

[0114] 2. 上位机向温度检测传输控制模块发出夹紧上面板和左右面板的指令、测试开始

指令、热面和冷面设定温度 T1 和 T2,初始化串口准备接受数据;

[0115] 3. A01:

[0116] 自动接收来自温度检测传输控制模块的输出信息,包括:

[0117] (1). 根据各温度传感器模块输出的温度信息计算得到热面和冷面两端的稳态温度平均值 T1 和 T2 并显示在显示屏上;

[0118] (2). 根据霍尔电流传感器输出的计量加热器电流值和计量加热器电阻运算后计算得到计量加热器的发热功率 Q;

[0119] (3). 稳态后,根据公式

$$[0120] \lambda = (Q \times d) \div [A \times (T1 - T2)]$$

[0121] 计算得到隔热材料试件的导热系数并显示在显示屏上;

[0122] 稳态后,根据公式

$$[0123] R = A \times (T1 - T2) \div Q$$

[0124] 计算得到隔热材料试件的热阻并显示在显示屏上;

[0125] (4). 根据测试的要求绘制导热系数等相关数据的曲线,打印曲线,保存数据。

[0126] 4. 工作是否完成:

[0127] 未完成工作,程序跳转至 A01 处继续执行;

[0128] 已完成工作,程序结束。

[0129] 温度检测传输控制模块中控制程序的工作流程图如图 13 所示:

[0130] 1. 程序开始;

[0131] 2. 接收上位机发出的夹紧上面板和左右面板的指令、测试开始指令并驱动相关设备工作,接收热面和冷面设定温度 T1 和 T2 存储

[0132] 3. A02:

[0133] 自动工作,其工作内容包括:

[0134] (1). 根据上位机设定的热面和冷面两端的稳态温度控制各加热器、蒸发式制冷器协同工作使热量在隔热材料试件中的传导趋于稳态,各加热器的温度采集通过各温度传感器模块实现,各加热器发出的热量的大小由交流调压模块调整各加热器的电压实现,各冷板的降温由电磁阀控制蒸发式制冷器是否工作实现;

[0135] (2). 将上述调整控制过程中的各温度传感器测量的实时温度信号分别通过串口发送至上位机和嵌入式显示模块;

[0136] (3). 将霍尔电流传感器输出的计量加热器电流值发送至上位机和嵌入式显示模块。

[0137] 4. 工作是否完成:

[0138] 未完成工作,程序跳转至 A02 处继续执行;

[0139] 已完成工作,程序结束。

[0140] 嵌入式模块控制程序的工作流程图如图 14 所示:

[0141] 1. 程序开始;

[0142] 2. 自动接收来自温度检测传输控制模块的输出信息,包括:

[0143] (1). 各温度传感器模块输出的各温度的实时数值并显示在显示屏上;

[0144] (2). 上位机发送的导热系数的数值;

[0145] (3). 根据测试的要求显示相关数据的曲线。

[0146] 3. 工作是否完成：

[0147] 未完成工作,程序跳转至 A02 处继续执行；

[0148] 已完成工作,程序结束。

[0149] 应用实施例

[0150] 本应用实施中的隔热材料时间是主要成份为矿渣岩棉的标准板,冷板温度、计量加热器处的热板温度及防护加热器处的热板温度分别为 15℃、35℃、35℃,测试过程中的导热系数曲线见图 15,该曲线中导热系数的计算结果逐渐由开始的大数值过渡到稳态数值,通过实测,得到标准版的导热系数稳态数值为 0.03399W/(m·K),热阻为 29.42m<sup>2</sup>·K/W,符合测试标准,达到了测试要求。

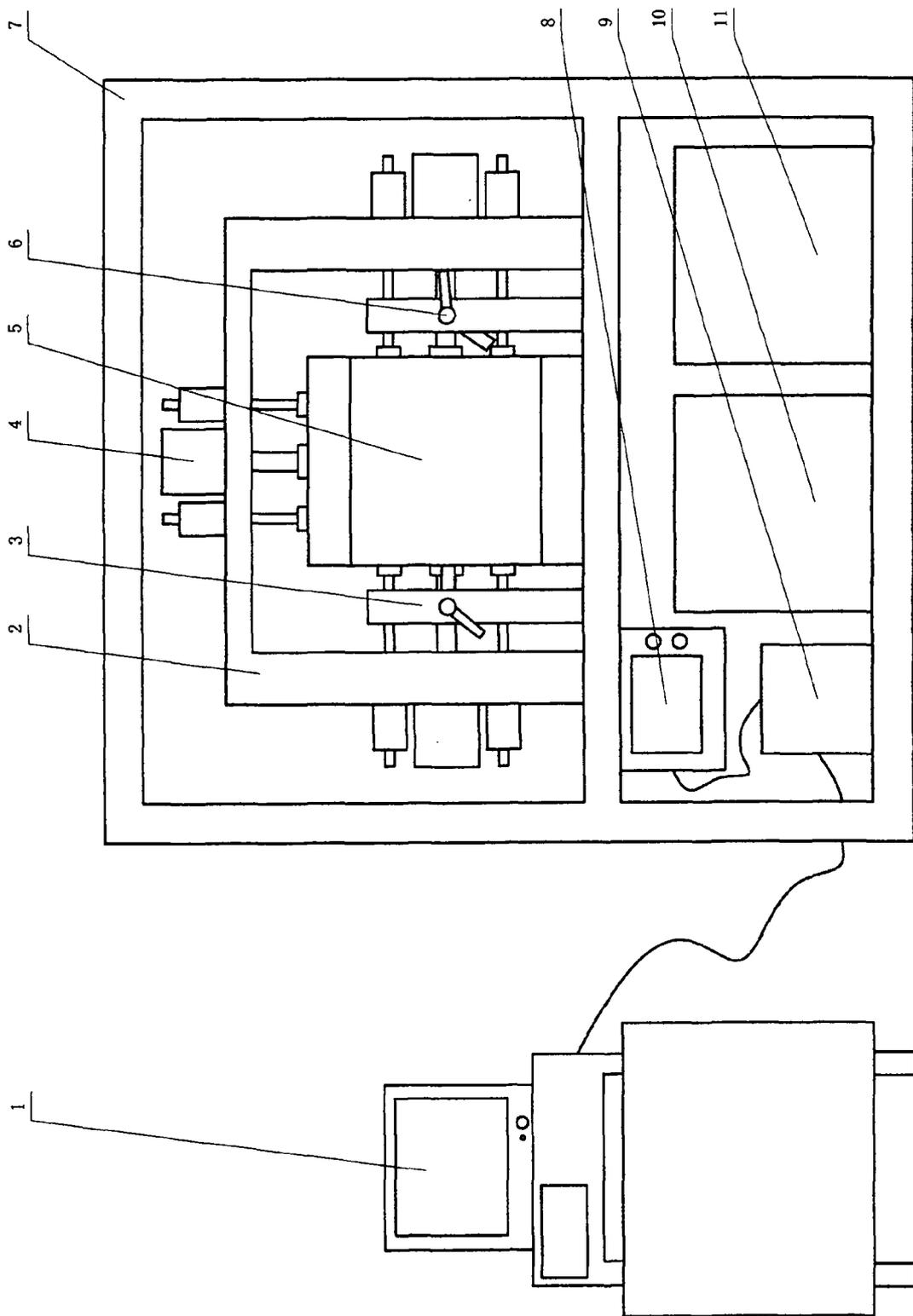


图1

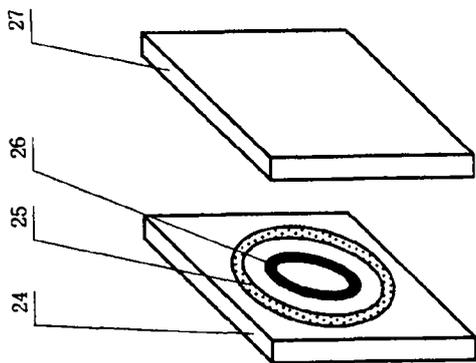


图4

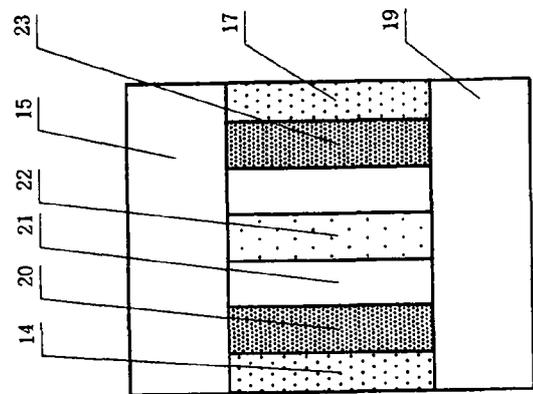


图3

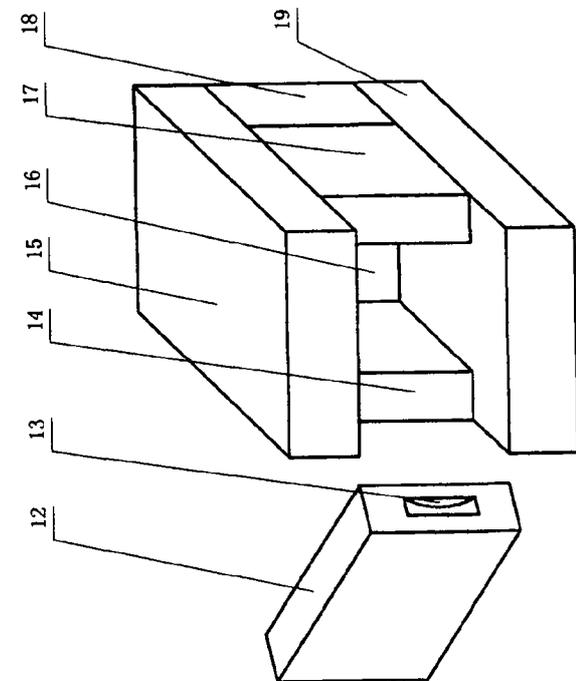


图2

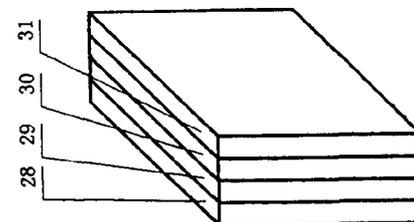


图5

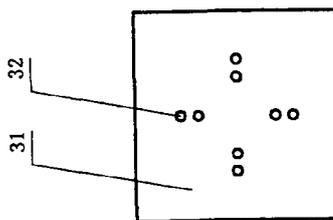


图6

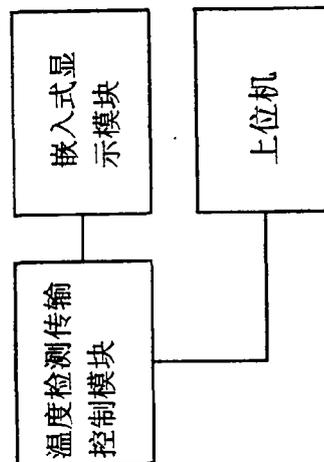


图7

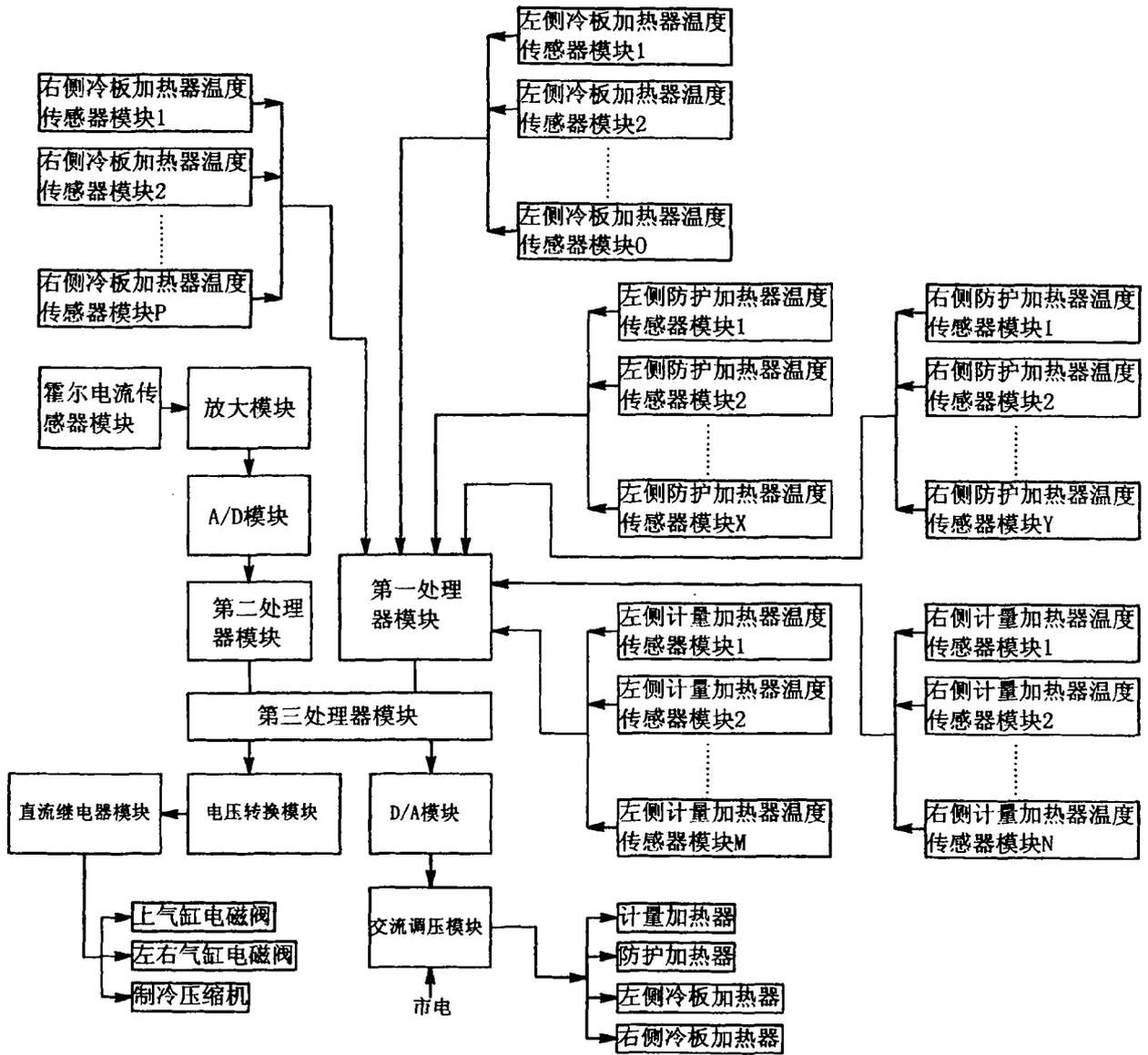


图8

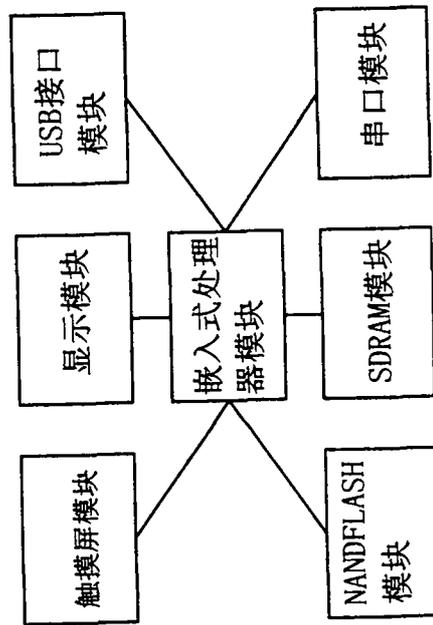
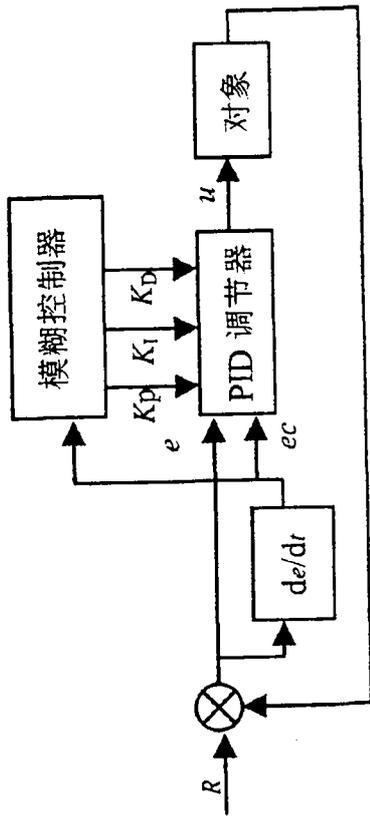


图10

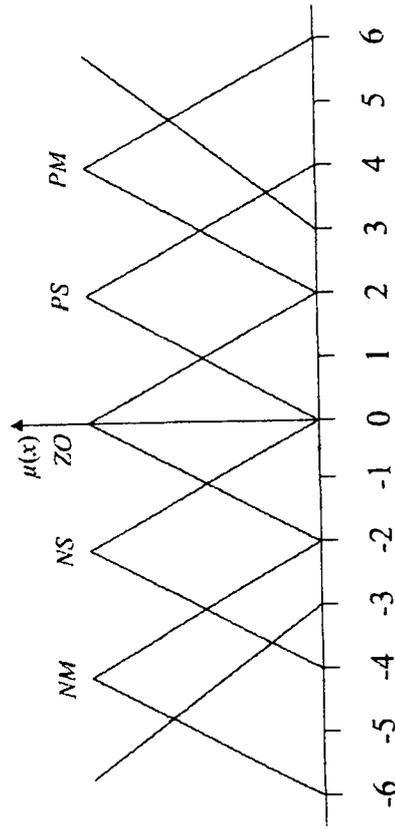


图11

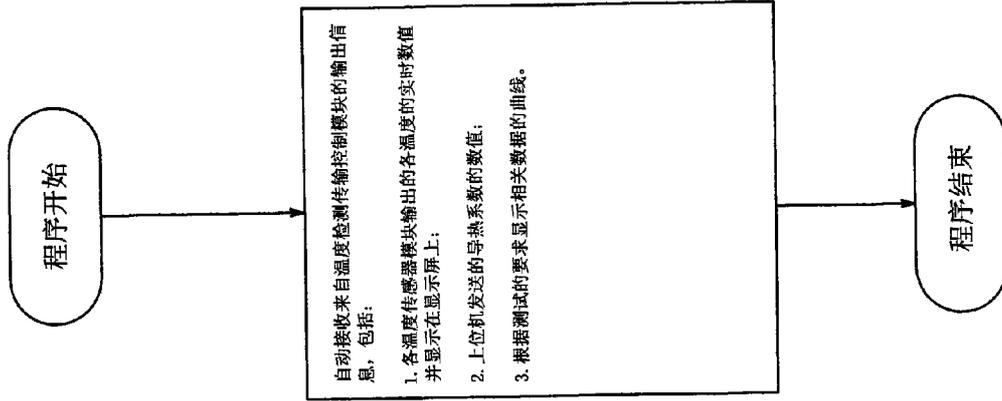


图14

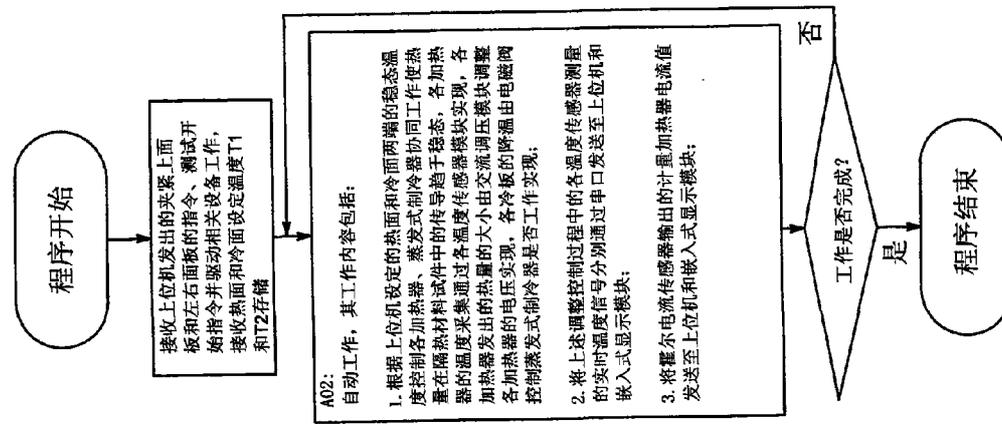


图13

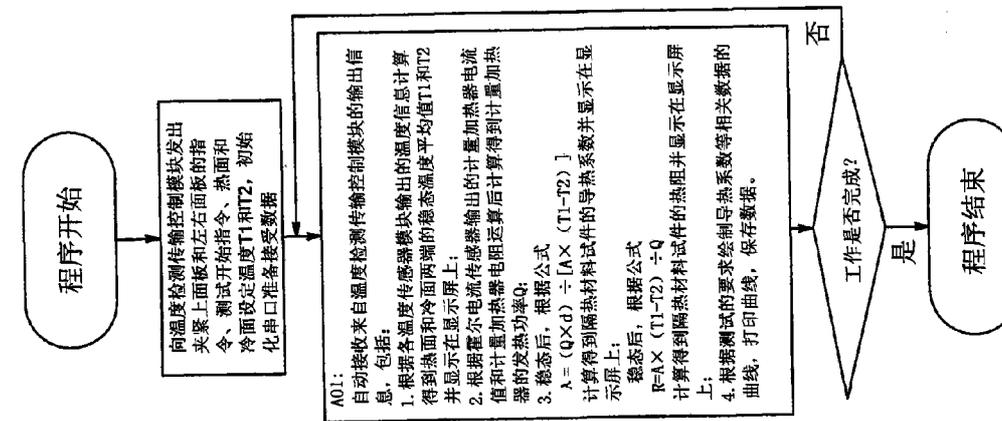


图12

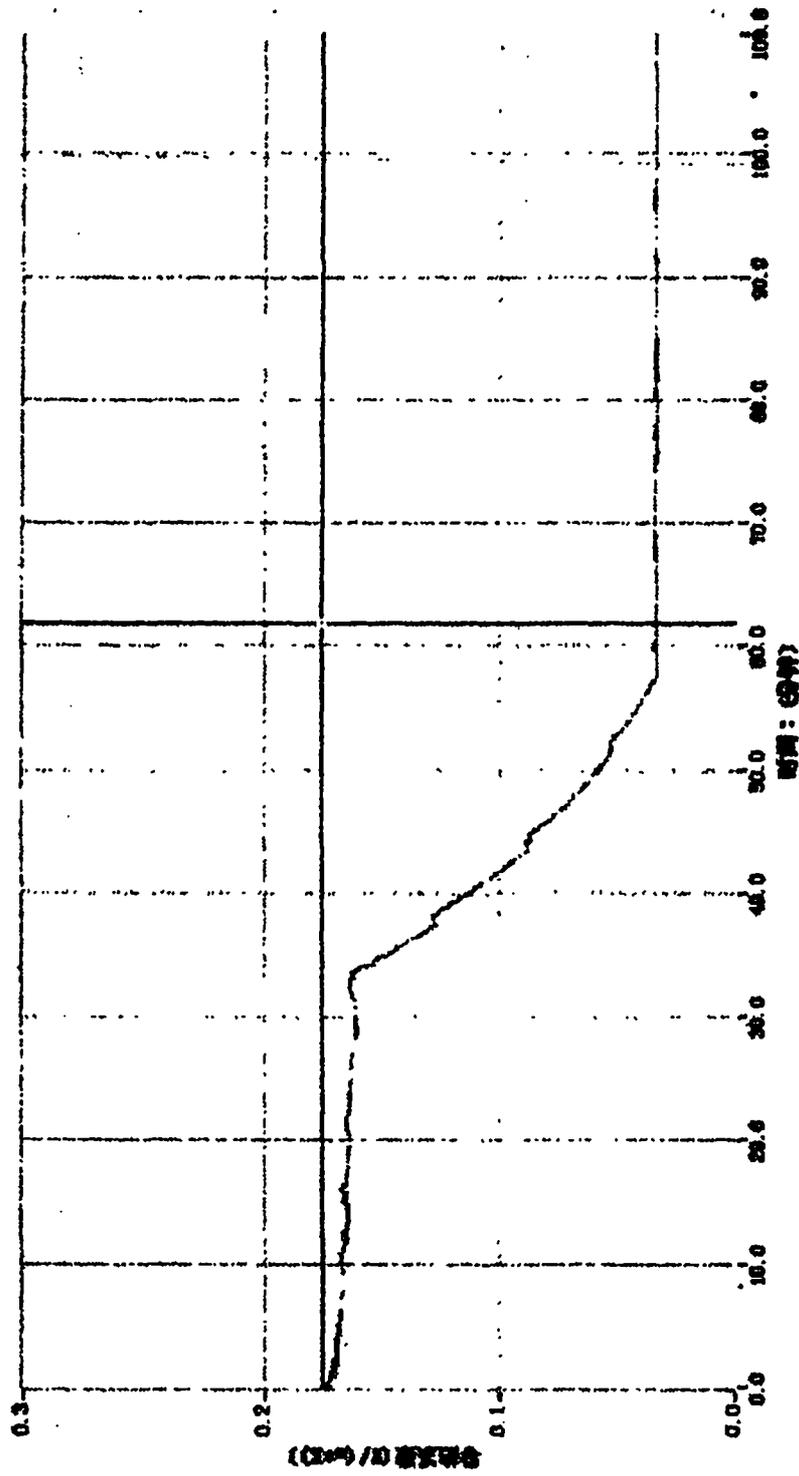


图 15