



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110829158 A

(43)申请公布日 2020.02.21

(21)申请号 201911125928.1

(22)申请日 2019.11.18

(71)申请人 中国人民解放军国防科技大学

地址 410073 湖南省长沙市开福区德雅路
109号

(72)发明人 韩凯 崔文达 姜兆凯 李霄
杜少军 奚小明 王小林 陈敏孙
刘昊

(74)专利代理机构 长沙国科天河知识产权代理
有限公司 43225

代理人 邱轶

(51)Int.Cl.

H01S 3/04(2006.01)

H01S 3/042(2006.01)

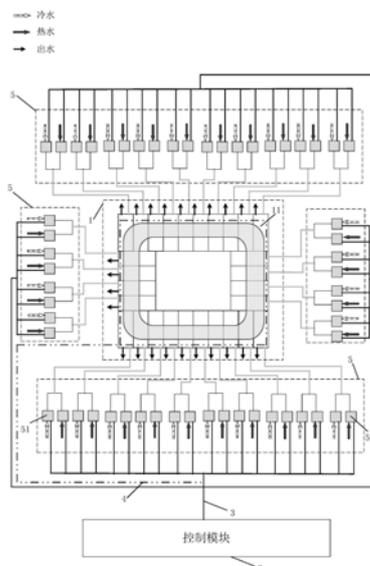
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置

(57)摘要

本发明提供了一种温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,包括模块化水冷盘(1)、控制模块(2)、控制总线(3)、数据总线(4)和温度快速调控模块(5);模块化水冷盘(1)包括多个光纤调温件(11),以将其上固定的高功率激光器光纤温度调节至指定范值或范围内;温度快速调控模块(5)的数量与光纤调温件(11)相同,与光纤调温件(11)一一对应连接;控制模块(2)通过控制总线(3)连接多个温度快速调控模块(5);控制模块(2)通过数据总线(4)连接光纤调温件(11),用于获取光纤调温件(11)的温度数据,并以此形成控制温度快速调控模块(5)的调控指令。



1. 一种温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,其特征在于,包括模块化水冷盘(1)、控制模块(2)、控制总线(3)、数据总线(4)和温度快速调控模块(5);

所述模块化水冷盘(1)由多个光纤调温件(11)连接形成,高功率激光器的光纤固定在相连的多个光纤调温件(11)上,以通过控制每个光纤调温件内温度不同实现对光纤进行分段、分时温度控制;

所述温度快速调控模块(5)的数量与光纤调温件(11)相同,与模块化水冷盘(1)上的光纤调温件(11)一一对应连接,用于对光纤调温件(11)进行温度调节控制;

所述控制模块(2)通过控制总线(3)连接多个温度快速调控模块(5),以通过控制温度快速调控模块(5)实现多个光纤调温件(11)的分别温度调控;控制模块(2)通过数据总线(4)连接光纤调温件(11),用于获取光纤调温件(11)的温度数据,并以此形成控制温度快速调控模块(5)的调控指令。

2. 如权利要求1所述的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,其特征在于,所述光纤调温件(11)包括散热基底(111)、水流通道(112)、光纤凹槽(115)、导轨槽(113)、温度传感器(116),入水口(117)以及出水口(118);

所述散热基底(111)由高热导率材料制作,所述高热导率是指导热系数大于200W/mK,散热基底(111)用于安装设置其他部件且传导热量;

所述水流通道(112)均匀分布在光纤调温件(11)内部,与光纤调温件(11)表面的入水口(117)和出水口(118)连接,以通过水流进出进行温度调节和控制;

所述光纤凹槽(115)设置在光纤调温件(11)的上表面,用于嵌入和固定光纤;

所述导轨槽(113)设置在光纤调温件(11)下部,以通过光学导轨将多个光纤调温件(11)串联形成回型排列的模块化水冷盘(1);

所述温度传感器(116)设置在散热基底(111)表面且与控制模块(2)通过数据总线(4)相连接,用于测量散热基底(111)的温度,并将获得的温度数据传输给控制模块(2)。

3. 如权利要求2所述的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,其特征在于,

所述温度快速调控模块(5)包括冷水电子流量阀(51)和热水电子流量阀(52);

所述冷水电子流量阀(51)连通冷水管,所述热水电子流量阀(52)连通热水管道,冷水电子流量阀(51)和热水电子流量阀(52)的另一端均连通至光纤调温件(11)的入水口(117);

控制模块(2)经控制总线(3)与所述冷水电子流量阀(51)和热水电子流量阀(52)连接,以控制流量阀的开启度从而调节控制进入光纤调温件(11)的入水口(117)的温度。

4. 如权利要求2所述的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,其特征在于,所述散热基底(111)为四棱台结构,所述四棱台结构的上、下表面与侧面之间的角度大于 90° 或小于 90° ,以使多个光纤调温件(11)组合连接时,相邻两个光纤调温件(11)的侧边之间存在空隙,从而有效地隔离热量的传输,使光纤调温件(11)保持各自的温度。

5. 如权利要求2所述的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,其特征在于,所述导轨槽(113)的垂直方向设置有导轨槽螺孔(114),以使螺母穿过导轨槽螺孔(114)将光学导轨固定在导轨槽(113)上。

6. 如权利要求2所述的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,其特征在于,所述光纤凹槽(115)的宽度小于2mm。

7. 一种实现高功率光纤激光器温度分布时空调制的热管理方法,其特征在于,它利用如权利要求1-6所述的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,首先将预先设定的各光纤调温件(11)的温度分布输入控制模块(2),控制模块(2)发出控制信号至各温度快速调控模块(5),温度快速调控模块(5)对与其连接的光纤调温件(11)的温度进行调节,光纤调温件(11)将实时温度发送给控制模块(2),控制模块(2)根据接收到的数据进行实时调控温度快速调控模块(5)的工作状态,直至各光纤调温件(11)的温度达到预先设定的温度。

8. 如权利要求7所述的实现高功率激光器温度分布时空调制的热管理方法,其特征在于,它具体包括以下步骤:

S1、根据需要拟合的温度曲线设置各个水冷盘的温度值 T_i ,其中 i 代表第 i 个水冷盘;

S2、控制模块(2)打开冷水电子流量阀(51)进行温度标定,当各温度传感器(116)传回控制模块(2)的温度数据均为冷水温度 T_0 时标定完成;

S3、将 T_i 输入控制模块(2),控制模块(2)发出控制信号至各冷水电子流量阀(51)和热水电子流量阀(52),进行热水和冷水进水流量的控制;

S4、温度传感器(116)通过数据总线(4)传回各光纤调温件的温度 T_i' 至控制模块(2),所述控制模块(2)比较回传的温度值 T_i' 与 T_i ,得到温度控制误差 $\Delta T_i = T_i - T_i'$,输出控制信号,直至使各光纤调温件(11)温度保持在设定温度 T_i 。

9. 如权利要求8所述的实现高功率激光器温度分布时空调制的热管理方法,其特征在于,

所述步骤S3中:在无热损耗条件下,根据温度 T_i 将冷水流量 u_i^c 和热水流量 u_i^h 初始比值设为 $u_i^c / u_i^h = (T_1 - T_i) / (T_i - T_0)$, T_0 为冷水温度, T_1 为热水温度,控制模块(2)发出流量控制信号 U_i^c 和 U_i^h ,其中 U_i^c 为施加于各冷水电子流量阀(51)的控制信号, U_i^h 为施加于各热水电子流量阀(52)的控制信号;

初始信号满足 $U_i^c / U_i^h = K_0 u_i^c / u_i^h$, K_0 为初始控制系数;

所述步骤S4中,根据温度控制误差 $\Delta T_i = T_i - T_i'$ 输出的控制信号 $U_i^c / U_i^h = K_0 u_i^c / u_i^h + K_1 \Delta T$, K_1 为动态控制系数, $K_1 = 0.001$,且当温度控制误差 ΔT_i 小于 0.1°C 时,控制信号保持恒定。

一种温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置

技术领域

[0001] 本发明总体地涉及激光器技术领域,具体地涉及一种温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置。

背景技术

[0002] 高功率单模光纤激光器由于纤芯的截面小,作用距离长,运行过程中容易产生受激布里渊散射效应,成为窄线宽光纤激光器和放大器功率提升的主要限制因素。目前抑制受激布里渊散射(SBS)效应主要有改变光纤形状、光纤掺杂浓度或者光纤温度分布,其中,沿光纤的温度调控是一种抑制受激布里渊散射的简捷有效的手段,然而,当前主要技术方案是通过局部加热首段或末段增益光纤实现局域温度调控,在高功率运行条件下,采用此种方案的SBS抑制效果并不理想,因此,如何实现沿光纤方向的连续温度调制是更有效地抑制SBS效应急需解决的问题。

[0003] 按照与激光器增益模块直接接触的热沉的散热方式分类,高功率光纤激光器采用的温控/散热手段主要有风冷、液冷以及TEC散热。风冷散热主要应用于较低功率的激光器模块,直接采用风冷散热方式结构简单,但是无法实现高精度的温度控制,受限于风扇体积,散热模块的集成化程度通常无法做到很高,不适用于沿光纤的连续温度调控;TEC散热的优势在于体积小、温控精度高,缺点在于制冷功率有限、制冷效率较低,通常用于中小功率激光器模块的散热,用于较大功率激光器时,需要加装风冷或液冷散热模块用以TEC热端的散热,维持TEC的散热效率,从而使得整体散热模块体积较大,不适用于沿光纤的连续温度调控。

[0004] 液冷散热是目前广泛应用于高功率光纤激光器的温控方式,现阶段主要采用水冷方式,将增益光纤置于整块水冷盘上,通过盘绕光纤实现整段光纤的高效散热。与上述两种方式相比,水冷散热的制冷功率、制冷效率高,适用于高功率光纤激光器,同时水冷盘设计灵活,通过调节水温也能较为容易地实现温度控制,但是目前仍缺乏一种能够在高功率条件下实现沿光纤方向温度连续调制的技术方案。

发明内容

[0005] 本发明的发明目的是:针对上述问题,提供了一种温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,该装置可实现激光器光纤温度分布的可时空调制的,本发明的水冷盘能够简捷方便地实现沿光纤方向的温度连续调制,有效抑制SBS效应。

[0006] 本发明的技术方案是,一种温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,包括模块化水冷盘、控制模块、控制总线、数据总线和温度快速调控模块;所述模块化水冷盘由多个光纤调温件连接形成,高功率激光器的光纤固定在相连的多个光纤调温件上,以通过控制每个光纤调温件内温度不同实现对光纤进行分段、分时温度控制;所述温度快速调控模块的数量与光纤调温件相同,与模块化水冷盘上的光纤调温件一一对应连接,

用于对光纤调温件进行温度调节控制;所述控制模块通过控制总线连接多个温度快速调控模块,以通过控制温度快速调控模块实现多个光纤调温件的分别温度调控;控制模块通过数据总线连接光纤调温件,用于获取光纤调温件的温度数据,并以此形成控制温度快速调控模块的调控指令。

[0007] 进一步的,上述光纤调温件包括散热基底、水流通道、光纤凹槽、导轨槽、导轨槽螺孔,温度传感器,入水口以及出水口;所述散热基底由高热导率材料制作,所述高热导率是指导热系数大于200W/mK,散热基底用于安装设置其他部件且传导热量;所述水流通道均匀分布在光纤调温件内部,与光纤调温件表面的入水口和出水口连接,以通过水流进出进行温度调节和控制;所述光纤凹槽设置在光纤调温件的上表面,用于嵌入和固定光纤;所述导轨槽设置在光纤调温件下部,以通过光学导轨将多个光纤调温件串联形成回型排列的模块化水冷盘;所述温度传感器设置在散热基底表面且与控制模块相连接,用于测量散热基底的温度,并经获得的温度数据传输给控制模块。

[0008] 更进一步的,上述温度快速调控模块包括冷水电子流量阀和热水电子流量阀;所述冷水电子流量阀连通冷水管道,所述热水电子流量阀连通热水管道,冷水电子流量阀和热水电子流量阀的另一端均连通至光纤调温件的入水口;控制模块经控制总线与所述冷水电子流量阀和热水电子流量阀连接,以控制流量阀的开启度从而调节控制进入光纤调温件的入水口的温度。

[0009] 更进一步的,上述散热基底为四棱台结构,所述四棱台结构的上、下表面与侧面之间的角度大于 90° 或小于 90° ,以使多个光纤调温件组合连接时,相邻两个光纤调温件的侧边之间存在空隙,从而有效地隔离热量的传输,使光纤调温件保持各自的温度。

[0010] 更进一步的,上述导轨槽的垂直方向设置有导轨槽螺孔,以使螺母穿过导轨槽螺孔将光学导轨固定在导轨槽上。

[0011] 更进一步的,上述光纤凹槽的宽度小于2mm。

[0012] 本发明同时提供了利用上述温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置实现高功率激光器温度分布时空调制的热管理方法,首先将预先设定的各光纤调温件的温度分布输入控制模块,控制模块发出控制信号至各温度快速调控模块,温度快速调控模块对与其连接的光纤调温件的温度进行调节,光纤调温件将实时温度发送给控制模块,控制模块根据接收到的数据进行实时调控温度快速调控模块的工作状态,直至各光纤调温件的温度达到预先设定的温度。

[0013] 进一步的,本发明方法它具体包括以下步骤:

[0014] S1、根据需要拟合的温度曲线设置各个水冷盘的温度值 T_i ,其中 i 代表第 i 个水冷盘;

[0015] S2、控制模块打开冷水电子流量阀进行温度标定,当各温度传感器传回控制模块的温度数据均为冷水温度 T_0 时标定完成;

[0016] S3、将 T_i 输入控制模块,控制模块发出控制信号至各冷水电子流量阀和热水电子流量阀,进行热水和冷水进水流量的控制;

[0017] S4、温度传感器通过数据总线传回各光纤调温件的温度 T_i' 至控制模块,所述控制模块比较回传的温度值 T_i' 与 T_i ,得到温度控制误差 $\Delta T_i = T_i - T_i'$,输出控制信号,直至使各光纤调温件温度保持在设定温度 T_i 。

[0018] 进一步的,上述步骤S3中:在无热损耗条件下,根据温度 T_i 将冷水流量 u_i^c 和热水流量 u_i^h 初始比值设为 $u_i^c / u_i^h = (T_1 - T_i) / (T_i - T_0)$, T_0 为冷水温度, T_1 为热水温度,控制模块发出流量控制信号 U_i^c 和 U_i^h ,其中 U_i^c 为施加于各冷水电子流量阀的控制信号, U_i^h 为施加于各热水电子流量阀的控制信号;初始信号满足 $U_i^c / U_i^h = K_0 u_i^c / u_i^h$, K_0 为初始控制系数;所述步骤S4中,根据温度控制误差 $\Delta T_i = T_i - T_i'$ 输出的控制信号 $U_i^c / U_i^h = K_0 u_i^c / u_i^h + K_1 \Delta T$, K_1 为动态控制系数, $K_1 = 0.001$,且当温度控制误差 ΔT_i 小于 0.1°C 时,控制信号保持恒定。

[0019] 本发明总体上实现了模块化,主要由多个光纤调温件组合而成,每个光纤调温件的入水口通过管道连接两个电子流量阀,所述电子流量阀分别与冷水源和热水源连接,冷水流和热水流通过管道分别流入电子流量阀,电子流量阀与控制模块连接;每个光纤调温件上装有温度传感器,能够实时测量光纤调温件的温度并与控制模块数据连接;控制模块通过比较设定温度与温度传感器的数据,发出控制信号实时调整冷水和热水的流量比例,从而快速控制流入每个光纤调温件的水流温度。

[0020] 本发明的每个光纤调温件由高导热率金属制成,主要包括散热基底、水流通通道、进水口,出水口,光纤凹槽,导轨槽以及温度传感器。散热基底由长方体金属块加工而成,根据长方体的尺寸,长侧边和宽侧边均切削一定的角度,当两个光纤调温件组合到一起时,相邻的侧边之间会存在切削角度造成的空隙,从而有效的隔离热量的传输,使两个光纤调温件保持各自的温度;水流通通道均匀分布在每个光纤调温件内部,出水口和入水口均位于光纤调温件后侧面;每个光纤调温件下方加工有导轨槽,导轨槽的侧面有螺孔,可以通过光学导轨和固定螺母将两个光纤调温件紧固到一起,多个光纤调温件通过导轨组合到一起,形成回型水冷盘;每个光纤调温件的上表面刻有光纤凹槽,用于固定光纤;优选的,所述光纤凹槽宽度小于 2mm ,每个光纤调温件上的所有光纤凹槽与相邻光纤调温件上的光纤凹槽对齐,最终形成畅通的环形通道。光纤沿环形通道安装,由于各个光纤调温件的温度可以单独设定,因此光纤环绕一周通过不同的温度区域,从而实现沿光纤的特定的温度分布,光纤上每段温度的分布长度与光纤在每个光纤调温件上的路径长度相对应;激光器运行过程中,利用控制模块和电子流量阀实时控制冷水管路和热水管路的流量,实时刷新水冷盘的温度分布,用以研究温度变化过程中高功率光纤激光器的输出特性。

[0021] 本发明的有益效果如下:

[0022] 光纤调温件可以灵活组合,配合控制模块,可以编程实现沿光纤的任意温度分布的水冷盘。

[0023] 通过编程方法调整冷水和热水的比例实现温度的快速调控,从而实现整个水冷盘在不同位置、不同时刻的实时温度调制,为抑制SBS效应的研究提供灵活便捷的实验条件。

附图说明

[0024] 从下面结合附图对本发明实施例的详细描述中,本发明的这些和/或其它方面和优点将变得更加清楚并更容易理解,其中:

[0025] 附图1为本发明实施例的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置的结构示意图

[0026] 附图2为本发明实施例的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置中光纤调温件的结构示意图；

[0027] 附图3为本发明实施例的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置中水冷盘的俯视图；

[0028] 附图4为本发明实施例的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置中水冷盘的前视图；

[0029] 附图5为本发明实施例的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置中水冷盘的左视图；

[0030] 附图6为本发明实施例的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置中温度曲线拟合示意图。

具体实施方式

[0031] 为了使本领域技术人员更好地理解本发明，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

[0032] 实施例1

[0033] 一种温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置，其结构示意图如图1所示，包括模块化水冷盘1、控制模块2、控制总线3，数据总线4，水温快速调控模块5：控制模块2连接控制总线3和数据总线4，水温快速调控模块5由多个与光纤调温件2对应的冷水电子流量阀51和热水电子流量阀52组成，控制总线3分别连接水温快速调控模块5的冷水电子流量阀51和热水电子流量阀52，数据总线4分别连接各个光纤调温件上的温度传感器116。冷水电子流量阀51连接冷水管，优选的，冷水管中冷水温度 $T_0=5^{\circ}\text{C}$ ；热水电子流量阀52连接热水管道，优选的，热水温度 $T_1=100^{\circ}\text{C}$ ；

[0034] 模块化水冷盘1由多个能够编程控制温度的光纤调温件11组合而成，光纤调温件11的一个具体实施例的结构如图2所示，优选的，光纤调温件11选用不锈钢材质，尺寸为长15cm，宽5cm，高5cm；所述光纤调温件11上表面刻有宽度1mm，深度0.5mm的光纤凹槽115，下方加工有导轨槽113和导轨槽螺孔114，将导轨穿过多个光纤调温件11的导轨槽113，使其紧固在一起；两较长的侧面切削角度为 $\alpha=0.5^{\circ}$ ，前后侧面的切削角度 $\beta=0.5^{\circ}$ 。水流通路112位于所述光纤调温件11内部，距上表面5mm，出水口118和入水口117位于所述光纤调温件11的后表面；进一步地，所述光纤调温件11上表面放置温度传感器116，用以探测光纤调温件温度。

[0035] 多个光纤调温件11组合而成的模块化水冷盘1的俯视、前视和左视分别如图3-图5所示，所述模块化水冷盘1由28个光纤调温件11组合成环形，出水口118和入水口117所在的侧面均朝向外侧，所有光纤调温件11通过横向导轨组12以及纵向导轨组13紧固在一起；优选的，横向导轨组12以及纵向导轨组13均使用低热导率ABS材料。相邻两个光纤调温件的光纤凹槽115中每个槽线都严格对齐，最终组合成为附图2中的环形通道14。如附图2中侧视图所示，每个光纤调温件之间存在 $\alpha+\beta=1^{\circ}$ 的夹角，可以有效隔绝模块之间的热量传输，使不同模块之间具有设定好的温度差；入水口117和出水口118均位于水冷盘外侧，可以方便地外接入水和出水管道。

[0036] 实施例2

[0037] 一种实现高功率激光器温度分布时空调制的热管理方法,它使用上述实施例1的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置,具体方法过程如下,首先是进行每个温度模块11的设定温度 T_i 的拟合获得,附图6为在某一实施例中水冷盘的温度拟合曲线,横坐标为光纤调温件数量,单位:个,纵坐标为温度,单位: $^{\circ}\text{C}$,温度曲线分为28个区间,代表28个光纤调温件,优选的,取每个区间温度分布的中位数 T_i ($i=1,2,\dots,28$)作为对应光纤调温件的设定温度(如图6所示,其中的温度曲线被离散化了28段,每一段都有一个最小值和一个最大值,中位数就是取它们的中间值)。在某一具体实施例中,首先,控制模块2打开冷水电子流量阀51进行温度标定,当各温度传感器116传回控制模块2的温度数据均为冷水温度 $T_0=5^{\circ}\text{C}$ 时标定完成。然后,将事先确定的温度分布 T_i ($i=1,2,\dots,28$)输入控制模块2,控制模块2发出控制信号至各冷水电子流量阀51和个热水电子流量阀52,在无热损耗条件下,根据设置温度 T_i ($i=1,2,\dots,28$)将冷水流量 u_i^c 和热水流量 u_i^h 初始比值设为 $u_i^c/u_i^h=(T_1-T_i)/(T_i-T_0)$,控制模块2发出流量控制信号 U_i^c 和 U_i^h ,其中 U_i^c 为施加于各冷水电子流量阀51的控制信号, U_i^h 为施加于各热水电子流量阀52的控制信号,进一步地,初始信号满足 $U_i^c/U_i^h=K_0u_i^c/u_i^h$, K_0 为初始控制系数,优选的 $K_0=0.01$ 。温度传感器116通过数据总线4传回各光纤调温件的温度 T_i' 至控制模块2,控制模块2比较回传的温度值 T_i' 与输入的温度设置值 T_i ($i=1,2,\dots,28$)得到温度控制误差 $\Delta T_i=T_i-T_i'$,输出控制信号 $U_i^c/U_i^h=K_0u_i^c/u_i^h+K_1\Delta T$, K_1 为动态控制系数,优选的, $K_1=0.001$ 。最后,当温度控制误差 ΔT_i 小于 0.1°C 时,控制信号保持恒定,使各光纤调温件11温度保持在设定温度 T_i 。激光器工作过程中可随时更改需拟合的温度分布曲线,快速改变沿光纤方向的温度分布,优选的,温度调制频率设为1Hz。

[0038] 本发明提供的温度分布可时空调制的高功率光纤激光器模块化热管理装置能够快速灵活地实现沿光纤方向的温度连续调制。本发明提出的水冷盘结构为抑制高功率光纤激光器中的SBS效应,提高光纤激光器输出功率提供了一种有效的解决方案。

[0039] 以上已经描述了本发明的各实施例,上述说明是示例性的,并非穷尽性的,并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下,对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

- ⇐ 冷水
- ⇐ 热水
- 出水

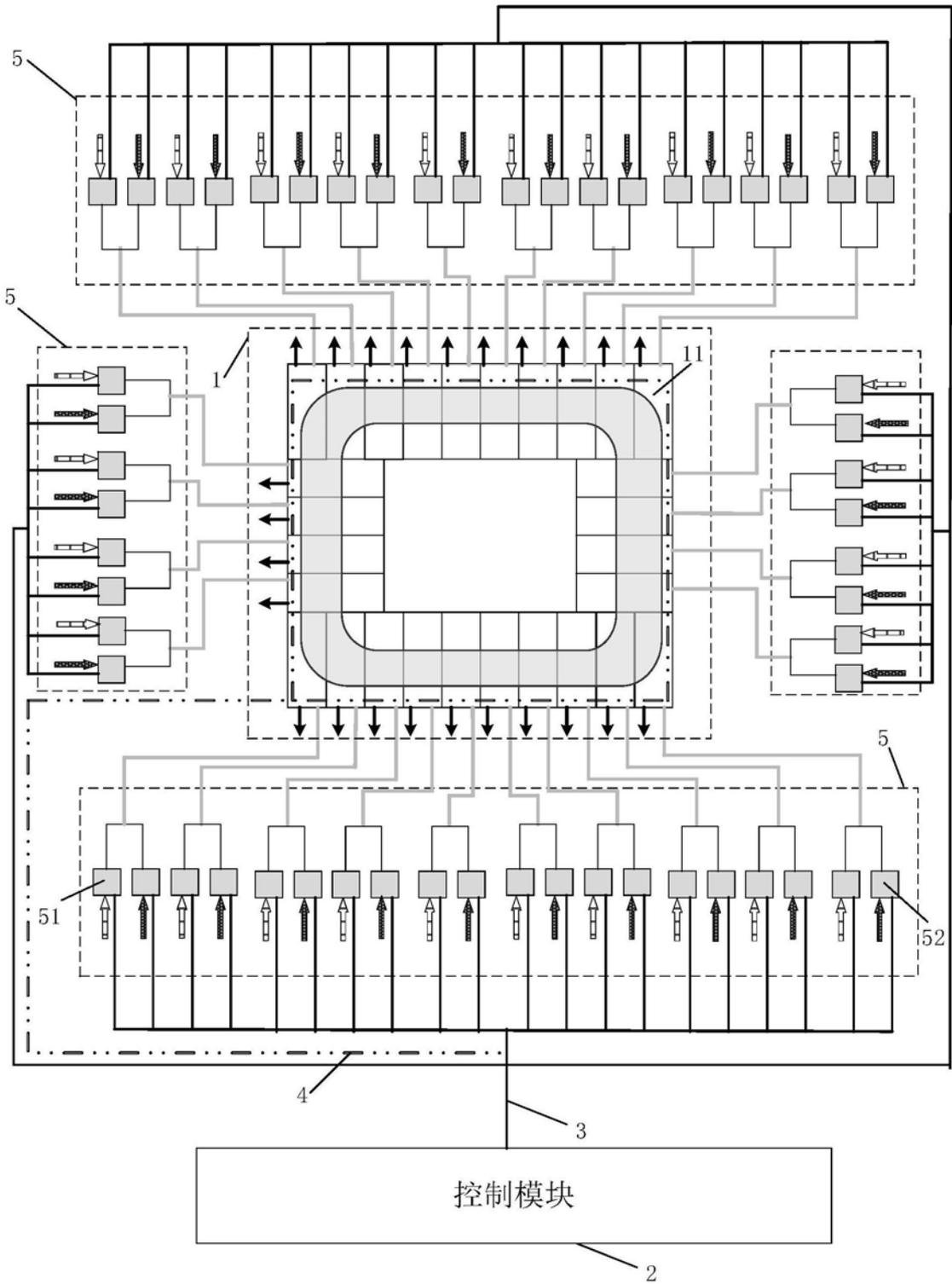


图1

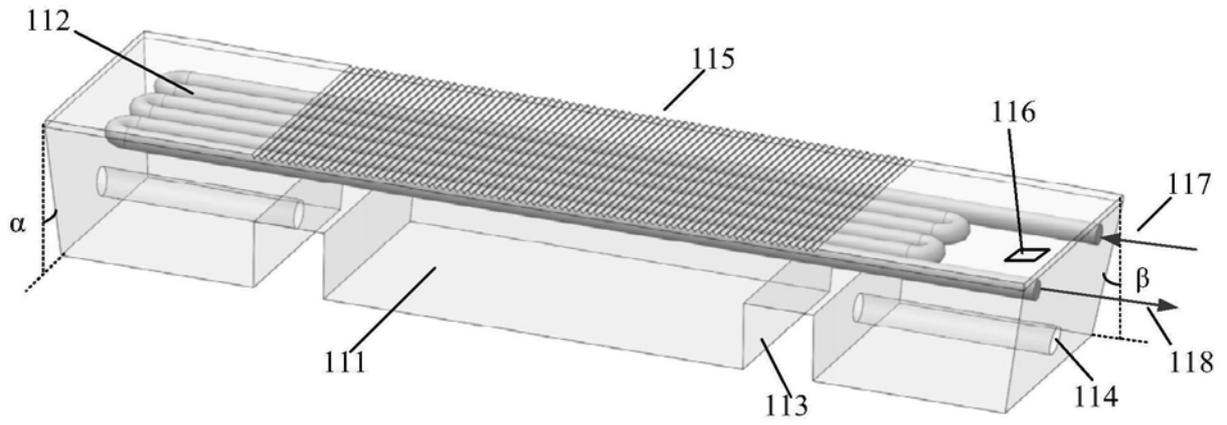


图2

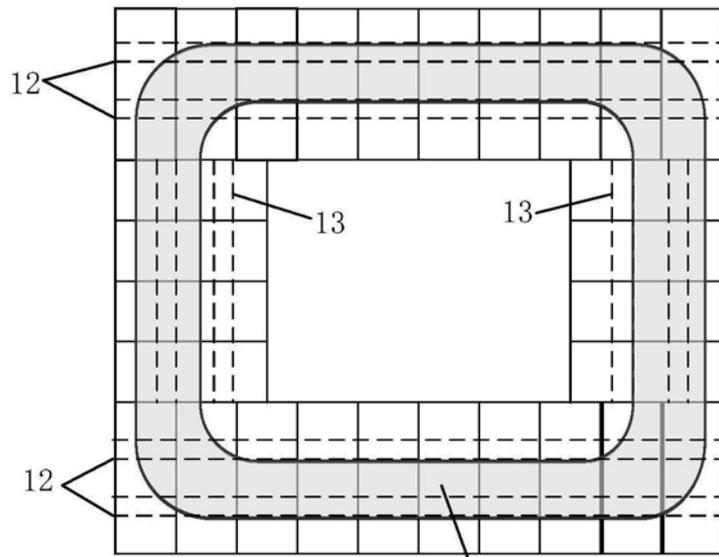


图3

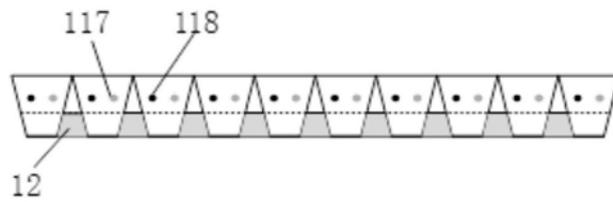


图4

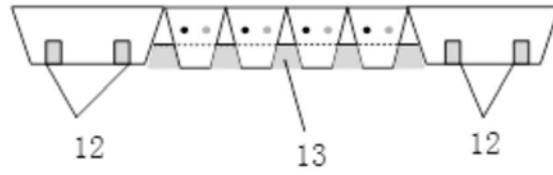


图5

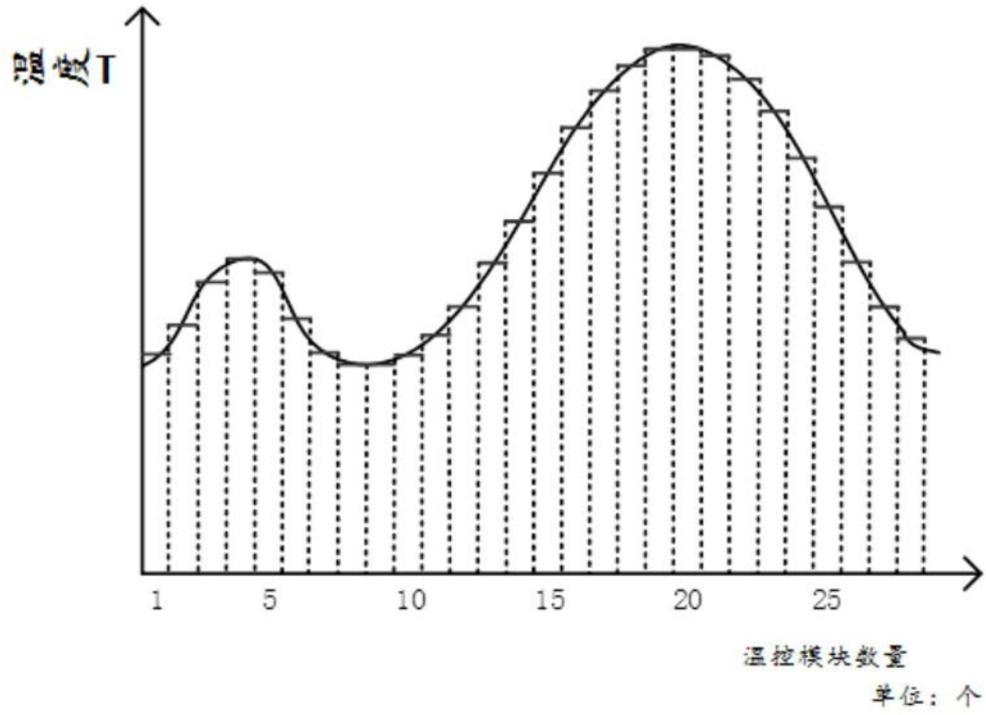


图6