



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105577032 B

(45)授权公告日 2017. 10. 20

(21)申请号 201510928887.5 *H02S 20/32*(2014.01)

(22)申请日 2015.12.15 *H02S 40/22*(2014.01)

(65)同一申请的已公布的文献号 *H02K 7/10*(2006.01)

申请公布号 CN 105577032 A *H02S 10/30*(2014.01)

(43)申请公布日 2016.05.11 *F24J 2/46*(2006.01)

(73)专利权人 中国计量学院 *F24D 17/02*(2006.01)

地址 310018 浙江省杭州市下沙高教园  
学源街258号

(72)发明人 毛佳妮 江述帆 项超鹏 方奇  
袁启荣 王玉刚 周静伟

(74)专利代理机构 浙江杭州金通专利事务所有  
限公司 33100

代理人 王佳健

(51)Int.Cl.  
*H02N 11/00*(2006.01)

审查员 姜涛

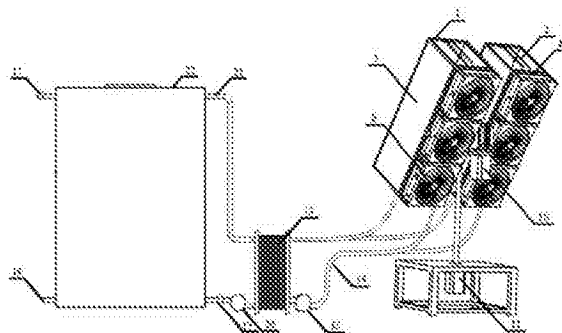
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

单元式太阳能全光谱利用的光电-热电-热水复合系统

(57)摘要

本发明公开了一种针对中低温区太阳辐射能全光谱开发利用的光电-热电-热水一体化集成系统。本发明包括菲涅尔透镜聚光模块、太阳光线双轴自动追踪模块、分光-反射模块、蓄热模块、光电-热电复合发电子系统、以及热水子系统。具体主要包括菲涅尔透镜聚光组件、高度角-方位角二维驱动的步进电机和涡轮减速器、双轴联动的支撑运动构件、PLC追光控制模块、分光-反射镜组、光伏发电模块、半导体温差发电模块、钒钛黑瓷复合陶瓷板蓄热模块、强制对流式风冷散热组件、储热水箱、板式换热器及其油侧和水侧工质的循环连接管。本发明结构紧凑,装配灵活,方便根据功率需求将复合能量单元集成使用,有望为单户实现电力和热水的自给自足。



1. 单元式太阳能全光谱利用的光电-热电-热水复合系统,其特征在于:包括菲涅尔透镜聚光模块、太阳光线双轴自动追踪模块、分光-反射模块、光伏发电子系统、蓄热模块、半导体温差发电子系统以及循环加热式热水子系统;

所述菲涅尔透镜聚光模块,是由若干块点聚焦式菲涅尔透镜阵列排布组成,同时采用箱式一体化结构进行封装,方便与复合式发电系统的支撑运动构件同步实现联动转动;

所述太阳光线双轴自动追踪模块,是由底座、水平和俯仰运动机构、支撑支架、步进电机+涡轮减速器、PLC 追光控制模块组件组成;

所述分光-反射模块,是由多个光谱分光-反射镜组成,其将聚焦后的若干束太阳入射光进行光谱分离,得到短波部分与长波部分,然后分别入射到光伏电池板和钒钛黑瓷复合陶瓷板,作为光-电转换过程和热-电转换过程的入射光源;

所述蓄热模块,主要以钒钛黑瓷复合陶瓷板作为基体材料,并在陶瓷板的内部布置铜盘管且充注导热油,陶瓷板的外侧采用聚酯泡沫进行保温;作为光热利用环节的关键组件,它将大部分聚光-集热获得的热能传递给半导体温差发电堆,作为热-电转换环节必需的热能供给;同时,还将小部分光-热转换获得的热能,通过板式换热器,将热能传递到用户侧的水箱中,作为热水供应的稳定热源,将水温加热到设定值;

所述光伏发电子系统,是由光伏电池板组成,将接收到的短波辐射能直接转换为电能输出;其中,部分发电量用于提供复合发电机组电控器件的功率消耗,其余发电量采用锂离子蓄电池进行储存;

所述半导体温差发电子系统,是由若干块半导体温差发电片经过串、并联构成半导体温差发电堆;然后以钒钛黑瓷复合陶瓷板的底面作为吸热端,以强制对流式风冷散热组件作为散热端,即可维持半导体温差发电堆在热-电转换过程需要的理想工作温差,从而将复合陶瓷板接收到的长波辐射能直接转换为电能输出;

所述循环加热式热水子系统,采用落地式储水箱储存热水,水箱内部设置有电子水位计、温度传感器以及温控阀门,以便准确控制水箱的实时水位,同时能够按照用户预设的水温提供热水输出。

2. 如权利要求1所述的单元式太阳能全光谱利用的光电-热电-热水复合系统,其特征在于:太阳光线双轴自动追踪模块,是通过PLC 中控器编程控制两个步进电机的启停,具体包括:一是通过控制装置底座下方的水平方向运动步进电机,驱动主轴及其支撑轴承相对于底座实现水平转动,同时还带动主轴上方固定左右两侧的支架实现整体水平转动;二是通过控制主轴上侧的俯仰方向运动步进电机+涡轮减速器结构,分别驱动左、右两侧的联轴器转动,进而带动左、右两侧的复合发电方阵在俯仰角方向同步转动;最终保证菲涅尔透镜聚光模块与太阳运转位置始终保持最佳角度,获得最大采光效率。

## 单元式太阳能全光谱利用的光电-热电-热水复合系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及太阳能复合利用技术领域,特别是一种针对中低温区太阳辐射能全光谱开发利用的光电-热电-光热复合利用技术,具体涉及一套小型单元式太阳能复合利用装置,它将光伏子系统、半导体温差发电电子系统和热水子系统进行一体化集成,最终为单户提供电力和热水的自给自足。

### 背景技术

[0002] 分析太阳辐射光谱的分布特点得到:99%的太阳辐射能量主要集中在可被利用的200~3400nm的波长范围。其中,以紫外和可见光为主的短波部分(波长在200至800nm之间)约占太阳辐射能量的58%,其余以红外光为主的长波部分(波长在800至3400nm之间)约占太阳辐射能量的42%。目前,利用相关能量材料将太阳辐射能直接转换为电能的方法有两种:一是光伏发电技术,它是利用光-电转换材料,将紫外光为主的短波辐射能直接转换为电能,其关键能量转换元件为光伏电池;二是热电发电技术(也被称为半导体温差发电技术),它是利用热-电转换材料,将红外光为主的长波辐射能直接转换为电能,其关键能量转换元件为半导体温差发电片。可见,上述2类太阳能直接发电技术,均只在各自对应的特殊光谱范围内实现太阳辐射能的有效转换。由此,利用光谱分光-反射原理,即可实现光伏发电技术与半导体温差发电技术的集成开发。该太阳能全光谱复合利用技术,既能在光伏发电环节有效避免长波的热效应副作用,对光伏电池板的发电效率和使用寿命产生不利影响,还能在常规光伏电量输出的基础上,借助光-热转换过程输出比例可观的额外温差发电量、以及集热体余热利用获得热水输出。该一体化太阳能复合利用技术,有望能最大程度地提高中低温区太阳辐射能的综合利用率,体现了节能思想。

[0003] 尽管太阳辐射能的总量可观,但就地球表面单位面积分布的辐射能而言,太阳能实际属于低能量密度的分布式能源,热能供应不稳定且非连续性。尤其对于以光-热转换利用为基础的太阳能温差发电技术,更离不开“储能”。如果“储能”不足,就不能持续稳定供电。于是,开发出兼具聚光与蓄热两种功能的高性能集热体,成为光-热转换利用环节的技术关键。

### 发明内容

[0004] 本发明针对现有技术的不足,提供了一种单元式太阳能全光谱利用的光电-热电-热水复合系统。其主要包括7个基本模块,分别为:阵列式菲涅尔透镜聚光模块、太阳光线双轴自动追踪模块、分光-分散模块、光伏发电电子系统、蓄热模块、半导体温差发电电子系统以及循环加热式热水子系统。

[0005] 上述7个基本模块的结构组成及其功能特点为:(1)阵列式菲涅尔透镜聚光模块,其特征在于,由若干块点聚焦式菲涅尔透镜阵列排布组成,同时采用箱式一体化结构进行封装,与复合式发电系统的支撑运动构件同步实现联动转动;(2)太阳光线双轴自动追踪模块,其特征在于,由装置底座、水平运动构件、俯仰运动构件、转动支撑支架、步进电机、涡轮

减速器、PLC 追光控制模块等组件组成。结合时钟控制原理,驱动俯仰步进电机和水平步进电机分别实现高度角和方位角2个自由度方向的独立自动追踪,从而保证聚光器与太阳运转位置始终保持最佳角度,以获得最大采光效率;(3)分光-反射模块,其特征在于,由多个光谱分光-反射镜组成,可将聚焦后的若干束太阳入射光进行光谱分离,得到短波光束与长波光束,然后分别入射到光伏电池板和钒钛黑瓷复合陶瓷板的光线接受面,作为后续光-电转换过程和热-电转换过程的入射光源;(4)蓄热模块,其特征在于,以钒钛黑瓷复合陶瓷板作为蓄热模块的基体材料和结构材料,且其内部充注循环流动的导热油,外侧面采用聚酯泡沫进行保温。蓄热模块作为光热利用部分的关键组件,可以将聚光-集热获得的大部分热能传递给半导体温差发电堆,作为热-电转换环节必需的热能供给;同时,还将小部分光-热转换获得的能量通过铝制板式换热器传递到用户侧水箱中,作为热水供应的稳定热源,使自来水温度加热到设定温度值;(5)光伏发电子系统,其特征在于,是由太阳能电池板组成,可以直接将接收到的短波辐射能转换为电能输出。其中,部分发电量用于提供复合发电机组电控器件的功率消耗,其余发电量采用锂离子蓄电池进行储存;(6)半导体温差发电子系统,其特征在于由若干块半导体温差发电片经过串、并联组合成半导体温差发电堆,然后刷涂导热硅脂后贴附于钒钛黑瓷复合陶瓷板底部,以复合陶瓷板的底面作为发电堆的吸热端,以强制对流式风冷散热组件作为发电堆的散热端,维持温差发电过程的理想工作温差,实现将复合陶瓷板接收到的长波辐射能直接转换为电能输出;(7)循环加热式热水子系统,其特征在于,热水供应系统采用落地式储水箱储存热水,同时水箱与集热体之间设置1个板式换热器,靠近水箱侧为水路循环,靠近集热体导热油侧为油路循环,具体接管方法为:水箱一侧的进、出水管直接与板式换热器水侧的进、出口接管相通,而板式换热器油侧的进、出口接管直接与复合陶瓷板导热油的进、出口接管相通。通过上述2种工质的循环,即可将部分导热油的热量通过热交换传递到循环水中。此外,水箱还布置有1个电子水位计、1个温度传感器以及2个温控阀门,以便准确控制水箱的实时水位以及按照预设温度提供热水输出。

[0006] 本发明的工作过程如下:首先,利用太阳光线双轴自动追光系统,驱动阵列布置的多焦点聚焦式菲涅尔透镜组对入射光线进行聚焦。接着,采用分光-反射组件,将聚焦光线分离为若干短波光束和长波光束,分别进行光-电转换利用和光-热转换利用。其中,光-热转换环节还包括半导体温差发电过程和热水输出过程。具体实现过程为:分光处理后的短波光波,经光线反射组件垂直入射到光伏电池板的光线接收面,进行光-电转换,实现短波辐射光谱的直接发电利用。同时,分光处理后的长波光波,垂直入射到钒钛黑瓷复合陶瓷板的光线接收面,将所携带的辐射热能通过导热传递到陶瓷板内部的循环导热油中进行热量储存,使蓄热模块的平均蓄热温度达到200℃。然后,借助贴附在复合陶瓷板底部的半导体温差发电子系统(由半导体温差发电堆和冷侧强迫对流式风冷散热系统组成)直接进行热-电转换发电;同时复合陶瓷板储存的部分热量,通过循环流动的导热油经过板式换热器传递给蓄热水箱,使水箱中的水温上升到热水供应的预设温度值。通过这2个光-热转换过程,实现对于长波辐射光谱的直接发电利用和热水输出。

[0007] 本发明提出在光热利用环节采用钒钛黑瓷复合陶瓷板来聚光和蓄热。同时,为了避免复合陶瓷板的蓄热温度超过半导体温差发电堆能承受的最高理论工作温度250℃,本发明设计采用水冷方式对复合陶瓷板进行热控,水循环携带的热能被引入储热水箱作为热

水使用。

[0008] 综上所述,本发明的出发点是以中低温区太阳辐射能的全光谱开发利用为前提,将光谱分光-反射原理结合余热回收利用技术,提出将光伏-热电-热水3个子系统一体化集成。此外,在光热利用环节设计了一种新型集热体结构,能够同时保证半导体温差发电堆的电输出和用户的热水供应。总体来看,该一体化太阳能复合利用装置,既能提高太阳辐射能的综合利用率,又能实现光伏发电堆和温差发电堆的主动热控,在供能效率、经济性提高以及能源供给安全性等方面具有极大的社会效益和广阔的市场前景。

## 附图说明

[0009] 图1为本发明的工作原理示意图;

[0010] 图2为本发明的复合发电单元的封装结构示意图;

[0011] 图3为本发明的复合发电单元的内部结构示意图;

[0012] 图4为本发明的热水子系统的内部结构及其管道连接示意图;

[0013] 图5为本发明的整体结构及其主要管道连接示意图;

[0014] 其中:1、菲涅尔太阳能聚光器;2、分光-反射镜;3、光伏电池板;4、钒钛黑瓷复合陶瓷板;5、导热油循环系统的进油口;6、半导体温差发电堆;7、导热油循环系统的出油口;8、强制对流风冷散热组件(风扇+铝制散热翅片);9、涡轮减速器;10、仰角步进电机;11、水平角步进电机;12、油泵;13、板式换热器;14、导热油循环系统的连接管段;15、带温控阀的自来水补给口;16、水位传感器;17、温度传感器;18、热水出水口;19、带温控阀的循环水出水口;20、水泵;21、带温控阀的循环水进水口;22、储热水箱。

## 具体实施方式

[0015] 本技术方案中,针对太阳光线的实时追踪,系统首先根据所在地的经度值和纬度值,完成太阳高度角和方位角相关的初始位置运算。然后,将计算得到的数据存入PLC可编程序控制器的数据库中。随后,输出控制信号,实现步进电机的启停和光线的同步跟踪。光线跟踪的执行过程为:通过固定在装置底座下方的水平步进电机,驱动主轴及其支撑轴承,相对于装置底座实现水平转动,从而带动主轴上方固定左、右两侧复合式发电方阵的支撑运动支架,实现在水平方向上的整体联动;水平转动完成后,控制模块随即发出指令,通过固定在主轴上侧的俯仰步进电机,驱动联轴器的左、右输出臂同时转动,从而带动两侧的复合式发电方阵,实现在俯仰方向上的同步联动。该主动式机械追光方法,不仅能随时启停系统,还能适应各种天气环境进行大范围的光线实时追踪。与目前较为成熟的被动式光控追光方法相比,有效避免了阴雨天气状况造成的追踪滞后。

[0016] 本技术方案中,太阳光线双轴跟踪系统的主要功能模块包括控制模块、机械传动模块和操作模块三个部分。其中,控制模块由PLC可编程序控制器组成,具体原理为:采用PLC编写时钟计算控制程序,计算太阳所处的经度坐标和纬度坐标,输出控制信号来实现步进电机的启停和实时光线跟踪。机械传动模块由电机和固定复合式发电方阵的支撑结构组成,主要通过步进电机带动固定发电方阵的支架从初始水平角和仰角,按照水平角 $4^{\circ}/\text{h}$ 和仰角 $6^{\circ}/\text{h}$ 分别转动。同时,预先设定好仰角转动滞后于水平转动10秒钟,以避免步进电机同时驱动两个方向转动而导致定位失效和功耗剧增。当菲涅尔聚光器与太阳光线垂直时,PLC

控制中心无移动信号输出,此时步进电机停止追日驱动,进入等待模式。该运行周期设定为:在设定时间段的设定的限位角度时,立即执行限位开关带动的自我保护程序而反方向运行 10 秒后停止转动、随后快速回复到早餐设定的初始位置。此外,操作模块由2个常开按钮及其系列参数设定键负责追光装置的自动运行和人机交互切换,便于用户实时调整系统的工作状态和系统复位。

[0017] 本技术方案中,装置的人机交互切换模式的控制程序,主要通过下面的运行判断方式来保证系统的正常运转:当系统在人工启动模式下开启时,PLC控制器通过控制模块的日期查询功能,确定当日太阳的具体日出日落时间,如果工作人员在太阳出升前开启系统,系统会进入待机状态;当系统时间等于当天日出时间时,就会全天自动运行。至到日落时间,系统自动复位,回到复位状态;如果工作人员在日出之后启动系统,PLC通过程序计算会持续开启步进电机运转,直到与当时当地的时间相匹配,然后自动运行。如果在一天中出现无太阳、阴雨天或出现意外故障,可以通过内置的湿度传感器和光线传感器输出信号到PLC控制中心,发出停止追踪命令,系统会自动运行到复位状态,以减少驱动能耗,等到日出或故障排除时再开启系统,随后系统会自动转到相应的水平角和高度角位置。该追踪控制方法,虽然存在一定的时间累积误差,但追踪过程不存在追踪死区、追踪范围广,保证了系统稳定实现高度角-方位角的二维光线追踪,提高了太阳能装置的聚光效率。由于计算得到19:00之后的太阳高度角为负值,能接受的太阳辐射强度几乎为0,所以确定系统的白天工况时间为6:00-19:00。

[0018] 本技术方案中,相对于常规涂层式太阳能吸收材料,装置中的蓄热模块采用钒钛黑瓷复合陶瓷板作为基体材料,其性能更可靠,环境更友好,且尚未发现有性能衰减现象。同时,复合陶瓷板的阳光吸收率和红外辐射率分别高达0.95和0.9。另外,复合陶瓷板中铜盘管内充注的导热油为理想热载体,导热效果好、流动状态稳定。在夏季工况下(以太阳辐射强度达到 $800\text{W}/\text{m}^2$ - $1000\text{W}/\text{m}^2$ 为例),经过24h的空晒测试得到:复合陶瓷板吸收长波辐射能后,陶瓷基体的平均温度将从环境温度很快升高到 $280^\circ\text{C}$ 左右,且陶瓷板内部的导热油温度将稳定在 $135^\circ\text{C}$ 左右。该蓄热模块能够顺利为半导体温差电堆持续提供 $80^\circ\text{C}$ - $105^\circ\text{C}$ 的理想端面工作温差,对应的单片半导体发电片的电功率输出为 $3.8\text{W}$ - $5\text{W}$ ,发电效率为4.8%-5.3%,而且通过板式换热器间接热交换获得 $40^\circ\text{C}$ - $50^\circ\text{C}$ 的热水温度。

[0019] 下面结合附图对本发明作进一步描述:

[0020] 如图1和图5所示,首先由菲涅尔太阳能聚光器1将入射光线进行实时聚焦,然后通过分光-反射镜2将长波与短波分离。短波被光伏电池板3吸收,进行光伏发电。长波部分被钒钛黑瓷复合陶瓷板4吸收进行蓄热,其中的大部分热能传递给半导体温差发电堆6,进行温差发电,另外小部分热能通过板式换热器13传递给水系统制热水。为了让半导体温差发电堆的冷端能及时散热,选用强制对流风冷散热组件8(风扇+铝制散热翅片)进行散热。

[0021] 如图2和图3所示,选取3行\*2列菲涅尔聚光透镜(直径为120mm、焦距为300mm、厚度为3mm、聚光比为1000、材料为PMMA)阵列排布,组装成多焦点聚光式菲涅尔太阳能聚光器1。选则钒钛黑瓷复合陶瓷板4(由提钒尾渣和普通陶瓷按一定配比烧制而成)作为蓄热模块的基体材料和结构材料。为了保证聚光组件和复合陶瓷板始终保持合适的聚光距离,两者的侧面采用箱式一体化结构进行封装固定。然后,在涡轮减速器9、仰角步进电机10和水平角步进电机11的驱动下,实现方位角-高度角双轴方向的同步追踪。在本方案中,根据

正上方菲涅尔太阳能聚光器所对应的面积,确定复合陶瓷板的尺寸为900mm×900mm×25mm。同时,经过优化计算得到,当陶瓷板内的铜盘管管径为5且管内导热油流速为0.2时,导热油温升效果最佳。

[0022] 如图2和图3所示,选用TEG-1-127-1.4-1.6型的若干块半导体温差发电片,按照串-并联混联的方式连接成半导体温差发电堆6。然后刷涂导热硅脂,贴附在复合陶瓷板4的底面。

[0023] 如图4所示,钒钛黑瓷复合陶瓷板4将部分热能,通过导热油循环系统14、油泵12、经过板式换热器13传递给水循环系统,进入储热水箱22。其中,复合陶瓷板的导热油进口5和导热油出口7与板式换热的一侧连接,形成导热油侧的油路循环系统。而板式换热器的另一侧与水循环系统的进水口19和出水口21连接,形成水侧的水路循环系统。于是,导热油的部分热量传递给水,并通过水箱22中的温度传感器17感知水温度,并控制入水口温控阀19与循环水出口温控阀21的开闭。当温度传感器17感知水温过高时开启入水口温控阀19,将水注入水箱22中。并在水箱22中设置水位传感器16。当温度传感器17感知温度过低时循环水出口温控阀21开启,通过循环水泵20将水箱22中的水吸入板式换热器13,与导热油进行换热,并从循环水出口21排出重新进入水箱22。当用户需要使用热水时,开启热水出口阀门18进入热水输送管道,自来水补给口12补充消耗的热水。

[0024] 在本发明中,1个复合发电单元的建造成本不超过2万元/kW,光热利用部分的半导体温差发电量的贡献率达到11%以上。每度电的成本为0.56元,相比传统光伏或光热发电节约了50%以上,经济效益和节能效果显著。此外,随着复合发电单元的成倍集成,系统的发电效率将得到显著提高,发电成本将大幅降低。

[0025] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围不仅局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

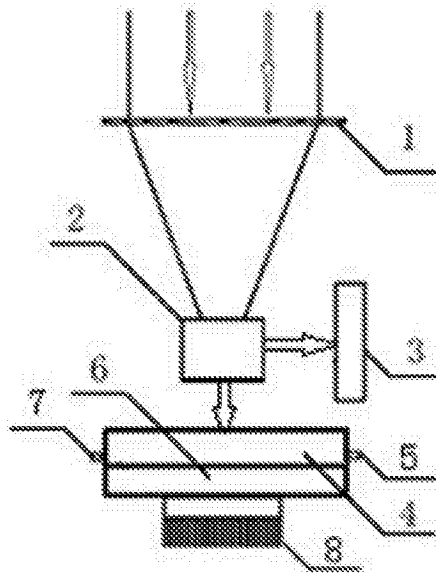


图1

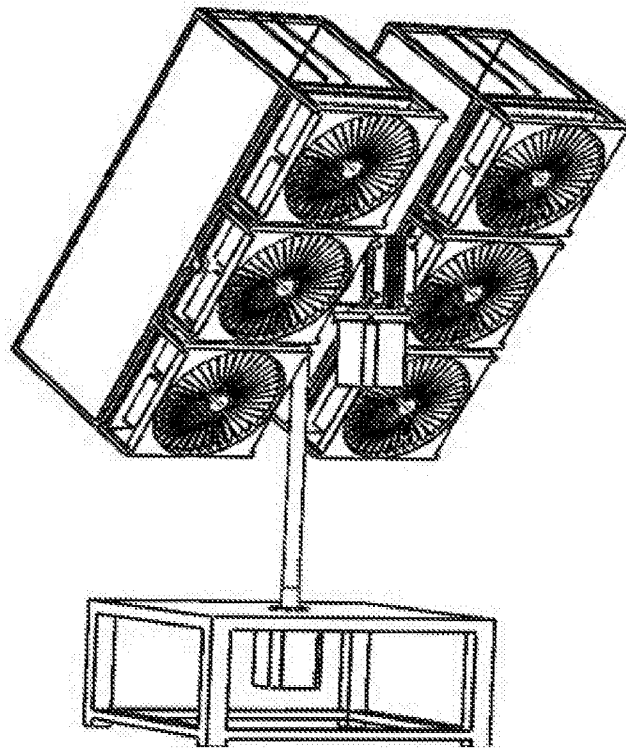


图2



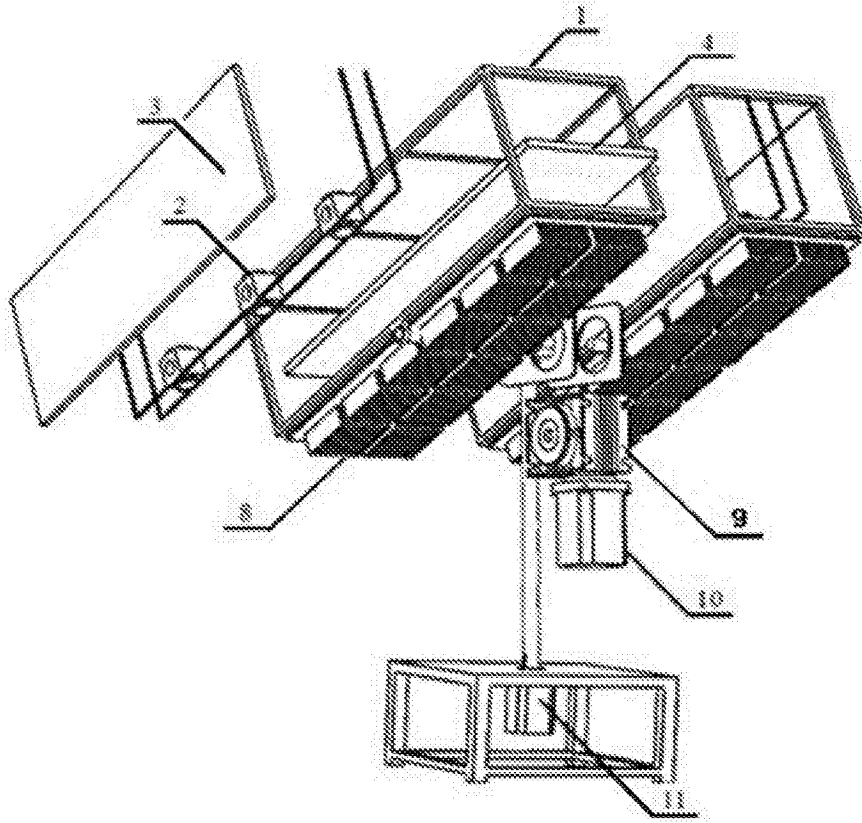


图3

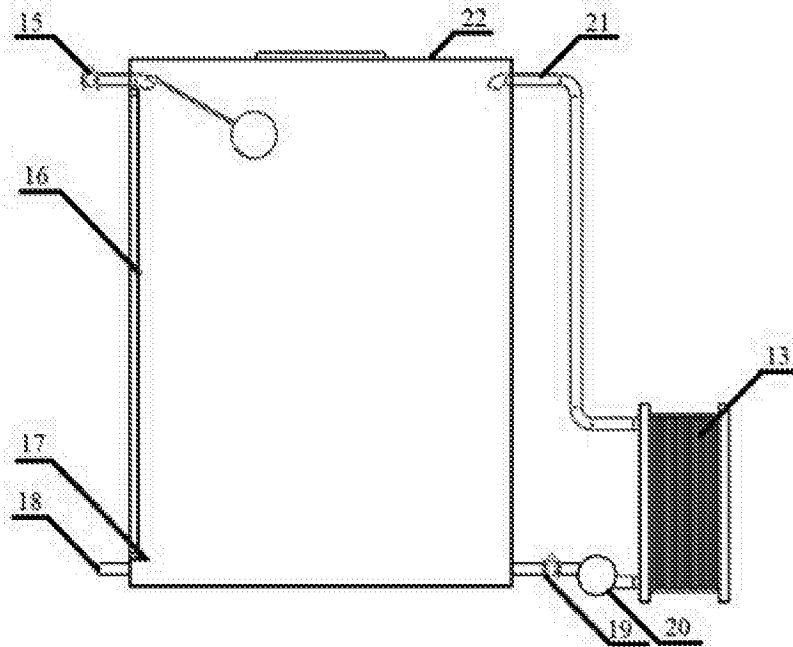


图4

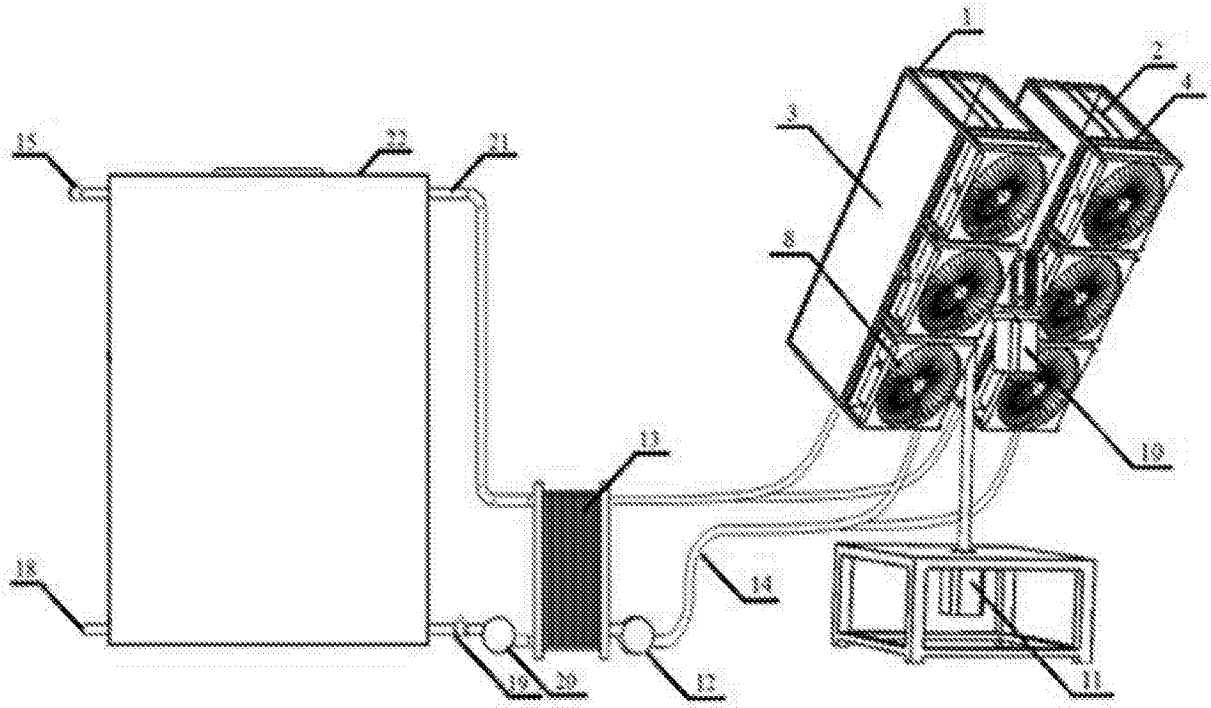


图5