



(43)申请公布日 2019.12.03

*F24S 40/90(2018.01)*

权利要求书4页 说明书11页 附图3页

A 3D perspective view of the internal structure of the device, showing various components labeled with numbers 1 through 14. The components include a main body (1), a control unit (2), a sensor (3), a display (4), a power source (5), a pump (6), a valve (7), a filter (8), a pressure sensor (9), a temperature sensor (10-1), a pressure sensor (10-2), a pressure sensor (10-3), a pressure sensor (11), a pressure sensor (12), a pressure sensor (13), and a pressure sensor (14).

1. 一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于:所述检测系统通过管道与单条测试回路(16)连接,单条测试回路(16)与其它回路隔离,所述检测系统均安装在箱体(14)内,并且为可移动的,包括:

HTF系统(1);

控制系统(2);以及

传感器系统(3);

其中所述控制系统(2)通过控制接线向所述HTF系统(1)发送控制信号,以控制所述HTF系统(1)完成所述检测系统内及所述单条测试回路(16)中HTF的循环;

所述传感器系统(3)的测量装置设置在系统内的管道上,用于测量单条测试回路(16)的流量及进出口温度,用于分析所述槽式光热电站单条回路的性能,同时对检测系统内各设备进行监控,从而使检测系统安全可靠运行。

2. 根据权利要求1所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于还包括:压缩空气或惰性气体系统(4),所述压缩空气或惰性气体系统(4)连接到膨胀罐(7)、冷却系统(6)、回路预热系统以及检测系统管道,用于密封HTF系统(1),维持所连接膨胀罐(7)、冷却系统(6)、回路预热系统、循环泵(5)、管道系统(15)以及单条测试回路(16)的压力以及向单条测试回路(16)注入或排空HTF。

3. 根据权利要求2所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于:所述压缩空气或惰性气体系统(4)包括一个或多个气瓶,每个所述气瓶配备一个单独的阀门,气瓶在所述性能检测系统上竖直向上放置,并放置于箱体(14)之中或箱体(14)之外靠近箱体(14)处,每个气瓶还设有单独的压力调节器,并且配有止回阀。

4. 根据权利要求3所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于:所述箱体(14)内设置气瓶隔热保温柜,并在所述气瓶隔热保温柜外侧设置第一电加热器(10-1)以加热水瓶隔热保温柜,从而保证气瓶表面温度达到最低要求,所述箱体(14)上方具有水平横梁,所述水平横梁上设置滑轮,滑轮上安装手动链式提升机,将气瓶从地面提升到所述性能检测系统上。

5. 根据权利要求1所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于:所述HTF系统(1)包括通过管路连接的循环泵(5)、膨胀罐(7)、冷却系统(6)以及第二电加热器(10-2);其中:

循环泵(5)用于驱动槽式光热电站回路性能检测系统及单条测试回路(16)中HTF的循环,所述循环泵(5)实时提供所需的流量和压差;

所述膨胀罐(7)用于存储测试用的HTF以及在HTF受热膨胀时吸收体积膨胀量,膨胀罐(7)水平安装,并与压缩空气或惰性气体系统(4)相连以保持系统的压力范围;

所述冷却系统(6)为空冷器或水冷器,用于耗散单条测试回路(16)所收集的热量,通过调整所述空冷器的风扇转速或所述水冷器的冷水流量达到调整散热量的目的以使出口温度达到设定要求;

所述第二电加热器(10-2),设置在所述HTF系统的管道(1)上,所述第二电加热器(10-2)采用热电阻形式,所述热电阻的电阻值与HTF特性和管道散热特性相关,第二电加热器(10-2)用于将HTF的温度保持在一个合适区间,所述第二电加热器(10-2)包含仪表以保证其在相应数据表中所示的运行范围内正确运行,所述仪表包括温度探头作为安全元件,所

述第二电加热器(10-2)还包括具有控制板的加热组,所述控制板允许接收来自温度探头的信号,所述温度探头用于测量所述HTF系统(1)内测量点的温度,所述温度探头控制热电阻在正常运行下的启停。

6. 根据权利要求1所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于:所述传感器系统(3)包括温度传感器、流量计、压力传感器及液位计,所述温度传感器至少包括两个,分别设置在所述单条测试回路(16)进出口,用于测量单条测试回路(16)进出口温度;所述流量计设置在所述循环泵下游设置的控制阀出口处,控制系统通过调节循环泵和控制阀控制在HTF系统和单条测试回路(16)内循环的HTF的流量,控制检测速度并确保检测过程与实际的槽式太阳能发电系统的工作过程符合,根据单条测试回路(16)的进出口温度以及回路内的HTF流量,计算得出回路的热学功率;部分所述压力传感器设置在所述膨胀罐内以及所述单条测试回路(16)进出口处,分别测量膨胀罐内的压力以及单条测试回路(16)的压力值,用于判断监测系统和单条测试回路(16)是否正常运行;所述液位计设置在膨胀罐上,测量膨胀罐内HTF的液位,当液位高于膨胀罐(7)总高度85%时,系统报警提示排出HTF,当液位低于膨胀罐(7)最低允许液位时,系统报警提示及时补充HTF。

7. 根据权利要求1所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于还包括:耗散分离系统(8),所述耗散分离系统(8)包括耗散分离罐,其内部储存一定量的水,可分离由膨胀罐(7)泄压阀接口管道排出的尾气中含有的HTF及其高温裂解产生的降解物,所述耗散分离系统(8)处于工作状态时,其内容物为水、HTF及所述降解物,耗散分离罐直接同外部环境相通。

8. 根据权利要求1所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于还包括HTF注入泵(9),用于将HTF注入到所述性能检测系统中,所述HTF注入泵(9)具有以HTF为介质且可以连续运行的特性。

9. 根据权利要求2所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于:所述管道系统(15)用于性能检测系统内部连接以及性能检测系统和单条测试回路(16)之间的连接,管道系统(15)根据其功能及通过其中的介质可分为以下四部分子系统:

HTF管道子系统,用于HTF系统(1)与检测系统其他部分连接;

耗散分离管道子系统,用于耗散分离罐(8)与检测系统其他部分连接;

膨胀罐管道子系统,用于膨胀罐(7)与检测系统其他部分连接,所述膨胀罐管道子系统与所述膨胀罐(7)密封连接;

气体管道子系统,用于压缩空气或惰性气体系统(4)与检测系统其他部分连接。

10. 根据权利要求7所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于还包括由预热风机(12)、第三电加热器(10-3)组成的单条测试回路预热系统,用于对单条测试回路(16)的空管道进行预热,从而避免在单条测试回路(16)进行HTF注入之前,因管道温度过低导致HTF凝固,所述单条测试回路预热系统通过预热风机(12)使第三电加热器(10-3)加热的空气或惰性气体通过回路管道达到预热的目的。

11. 根据权利要求10所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于还包括设置在单条测试回路(16)内的旋风分离装置(11),设置该旋风分离装置(11)使得在预热风机(12)带动下热电阻加热的空气或惰性气体通过回路管道的过程中,回路中存在的HTF液滴随气流运动,利用所述旋风分离装置(11)内设置的过滤器和分离器在其达到预热风机

(12) 前去除,将收集到的HTF通过分离器汇集后通过一个自动阀门将HTF输送到所述耗散分离系统(8)或单独的收纳容器中。

12. 根据权利要求1所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于所述回路性能检测系统配备风速仪,安装在测试系统的顶部或附近一定高度处,测量风速并传入到控制系统(2),避免测试过程中突然的大风损坏单条测试回路(16)上的集热器。

13. 根据权利要求1所述的一种槽式光热电站回路性能检测系统,其特征在于所述槽式光热电站回路测试系统配合气象站(13)使用,所述气象站(13)至少包括:风速风向计、温湿度计以及太阳辐照计,气象站(13)由回路测试系统集成或者由现场独立提供,气象站(13)用于记录测试系统运行所需的环境参数,所述环境参数用于确定单条测试回路(16)的热学性能;并确保高辐照高风速下的回路安全,气象站(13)的控制系统实时收集各传感器的数据信息,并进行数据信息处理。

14. 一种使用权利要求1-13任一所述的槽式光热电站回路性能检测系统进行的回路性能检测方法,其特征在于包括步骤:

步骤1,HTF新增:向膨胀罐中加入新的HTF;

步骤2:回路预热:使用压缩空气或惰性气体系统(4)、预热风机(12)以及第三电加热器(10-3)对单条测试回路(16)预热以提高待测回路温度,从而避免HTF发生凝固或者因为温差过大对单条测试回路(16)产生过大热应力而损坏回路部件;

步骤3:回路注入HTF:向含柔性软管的连接管道和回路中注入HTF,确保避免HTF凝固、避免出现热应力以及回路中残留空气或惰性气体气泡;

步骤4,聚焦跟踪并进行测试:集热器持续追踪太阳进行聚焦,加热HTF到指定温度,并记录各时间下的单条测试回路(16)输出数据,之后同对应时间下的DNI数据进行同步对照并进行计算;

步骤5:回路冷却:在对单条测试回路(16)和检测系统进行排空HTF操作之前,通过冷却系统使HTF温度迅速冷却下来;

步骤6:排空HTF:排空单条测试回路(16)、柔性软管及连接管道中的HTF,完成一个回路的测试。

15. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于所述步骤3和步骤4之间还包括:

普通保护:将集热器转到一个安全位置,对在回路中的HTF进行循环并启动防凝保护。

16. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于所述步骤1具体包括:

步骤11,设置HTF新增前的初始条件:将一段柔性软管一端连接HTF注入泵的进口,另一端浸入HTF桶中;

步骤12,手动启动自吸式HTF注入泵,直到HTF桶中的HTF泵送完毕或膨胀罐达到最大允许HTF注入量;

步骤13,去除HTF中的水分,此时HTF即为可供使用状态。

17. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于所述步骤2具体包括:

步骤21,设置单条测试回路(16)预热的初始条件:在启动预热模式前,通过包含柔性软管的管道将所述单条测试回路(16)和检测系统相连;

步骤22,控制系统(2)激活所述预热风机(12)和第三电加热器(10-3),使温度达到设定值,退出步骤2。

18. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于所述步骤3具体包括:

步骤31,进行向连接的柔性软管和回路中注入HTF的准备工作,包括:将一根柔性软管连接到单条检测回路的最高点排气口,并与HTF桶相连;

步骤32,准备工作就位后,打开单条检测回路的最高点排气口阀门,检测系统的控制系统(2)开始控制向膨胀罐(7)注入空气或惰性气体,推动HTF缓慢从低位到高位充满集热器回路;

步骤33,HTF通过单条检测回路的最高点排气口流出并进入HTF桶后,关闭最高点排气口阀门。

19. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于所述步骤6具体包括:

步骤61,在回路的最高点排气口阀门外侧连接气瓶,释放空气或惰性气体压力以推动HTF从回路返回到检测系统中,其中检测系统和单条测试回路(16)的进出口阀门设置为回路进出口同时开启并连接到膨胀罐,从而HTF进入膨胀罐(7),而空气或惰性气体最终进入耗散分离系统(8);

步骤62,在尽可能排空HTF后,关闭检测系统进出口阀门和回路进出口阀门,然后打开单条测试回路(16)的HTF排放口阀门以释放残存的HTF到移动式介质收集罐中;

步骤63,关闭回路的HTF排放口阀门和最高点排气口阀门,断开气瓶的连接。

20. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于所述检测方法还包括使得检测系统在检测过程处于散焦跟随或测试步骤中遇到强风时,自动进入紧急保护模式,控制集热器转到安全位置。

## 一种槽式光热电站回路性能检测系统及其检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及太阳能光热发电性能检测技术,且特别涉及一种槽式光热电站回路性能检测。

### 背景技术

[0002] 太阳能光热发电(Concentrated Solar Power, 简称为“CSP”)是一种太阳能聚光热发电技术,依靠各种聚光镜面将太阳的直接辐射(DNI)聚集,通过加热流体工质(heat transfer fluid, 下称“HTF”)收集热量,再经过热交换产生高温蒸汽,推动汽轮机发电。CSP目前主流的技术路线都是按照太阳能采集方式来划分的,主要分为塔式、槽式、菲涅尔式和碟式四类,目前全球范围内已建成或在建的项目,以槽式技术为最多。槽式太阳能热发电将众多槽式抛物面聚光集热器经过串并联的方式排列,通过流体工质收集热量达到较高温度,然后通过进一步换热产生蒸汽,驱动汽轮发电机组发电。槽式太阳能热发电主要由聚光集热装置(或称“镜场”)、换热系统、蓄热装置和汽轮发电装置四部分组成。其系统示意图如图1所示。

[0003] 虽然槽式技术经过多年的发展,技术成熟度较高,也基本实现了商业化,但在电站性能检测手段和方法尚有欠缺,目前槽式光热电站的镜场性能检测以分部件性能认证为主,而对组成槽式镜场的最小独立单元——单条回路尚无相应的性能检测手段和检测方法,更不用说通用的单回路性能检测标准。目前国内的光热电站建设方式以分岛分包与电站总承包相结合为主,有别于国外单一的电站总承包模式,当镜场分包商与项目业主或电站总包商进行交接时,需要对槽式镜场的单条回路进行单独的、完整的性能检测验收,从而确定交接前后的性能指标,做到权责划分清晰,防止后续发生法律纠纷和潜在的技术风险。由于国际上的光热项目以电站总承包模式为主,往往忽略对单条回路的性能检测步骤或者采用其他替代参数(如整个电站的年发电量)作为性能替代指标,因此目前也缺少专业的检测设备,所以会严重影响对槽式镜场性能的客观评价,并可能导致电站调试周期长,性能检测及验收困难,分包商与总包商互相推诿责任和产生一系列相关的利益纠纷等问题。

[0004] 目前已有的一些针对槽式回路的小型试验台和检测设备,但都是固定式而非移动式的,如需要检测,都必须将待测光热部件拆卸后运往试验台、检测设备所在地进行检测,而检测工作通常需要数天至数周,再加上中间运输,整个检测周期耗时会比较长。另外,由于送检的仅仅是部分光热部件,往往会出现无法准确、完整地衡量实际电站中各条回路运行指标的情况,因此对于槽式电站的回路性能检测,这种检测方式是不足的。

[0005] 总之,现有技术存在如下缺点:

[0006] 1、项目建设中缺乏对已安装至项目现场的单个槽式回路的总体光热转换效率进行检测的可靠方法;

[0007] 2、项目建成后可以对全场整体进行调试,但缺乏对具体每个分系统的性能进行测试的手段;

[0008] 3、在回路发生故障时,缺乏对单个回路进行系统隔离后的排空、注入传热工质手

段；

[0009] 4、集热场占地大，固定设备无法灵活测量集热场中任意位置的集热器回路性能；

[0010] 5、在系统性能验收方面因契约条款界限不明确带来相互推诿，时间延误，严重拖慢建设时间点。

## 发明内容

[0011] 为了克服现有技术存在的缺陷，本发明提供一种槽式光热电站回路性能检测系统，用于测试每个槽式回路的热学性能，整个系统配备了相应的设备和管道，同时还考虑了可移动性和容纳设备管道的容器，获得了便捷灵活的检测特性。

[0012] 本发明的目的在于提供一种槽式光热电站回路性能检测系统，所述检测系统通过管道与单条测试回路(16)连接，单条测试回路(16)与其它回路隔离，所述检测系统均安装在箱体(14)内，并且为可移动的，包括：

[0013] HTF系统(1)；

[0014] 控制系统(2)；以及

[0015] 传感器系统(3)；

[0016] 其中所述控制系统(2)通过控制接线向所述HTF系统(1)发送控制信号，以控制所述HTF系统(1)完成所述检测系统内及所述单条测试回路(16)中HTF的循环；

[0017] 所述传感器系统(3)的测量装置设置在系统内的管道上，用于测量单条测试回路(16)的流量及进出口温度，用于分析所述槽式光热电站单条回路的性能，同时对检测系统内各设备进行监控，从而使检测系统安全可靠运行。

[0018] 优选的，还包括：压缩空气或惰性气体系统(4)，所述压缩空气或惰性气体系统(4)连接到膨胀罐(7)、冷却系统(6)以及检测系统管道，用于密封HTF系统(1)，维持所连接膨胀罐(7)、冷却系统(6)、回路预热系统、循环泵(5)、管道系统(15)以及单条测试回路(16)的压力以及向单条测试回路(16)注入或排空HTF。

[0019] 优选的，所述压缩空气或惰性气体系统(4)包括一个或多个气瓶，每个所述气瓶配备一个单独的阀门，气瓶在所述性能检测系统上竖直向上放置，并放置于箱体(14)之中或箱体(14)之外靠近箱体(14)处，每个气瓶还设有单独的压力调节器，并且配有止回阀。

[0020] 优选的，所述箱体(14)内设置气瓶隔热保温柜，并在所述气瓶隔热保温柜外侧设置第一电加热器(10-1)以加热水瓶隔热保温柜，从而保证气瓶表面温度达到最低要求，所述箱体(14)上方具有水平横梁，所述水平横梁上设置滑轮，滑轮上安装手动链式提升机，将气瓶从地面提升到所述性能检测系统上。

[0021] 优选的，所述HTF系统(1)包括通过管路连接的循环泵(5)、膨胀罐(7)、冷却系统(6)以及第二电加热器(10-2)；其中：

[0022] 循环泵(5)用于驱动槽式光热电站回路性能检测系统及单条测试回路(16)中HTF的循环，所述循环泵(5)实时提供所需的流量和压差；

[0023] 所述膨胀罐(7)用于存储测试用的HTF以及在HTF受热膨胀时吸收体积膨胀量，膨胀罐(7)水平安装，并与压缩空气或惰性气体系统(4)相连以保持系统的压力范围；

[0024] 所述冷却系统(6)为空冷器或水冷器，用于耗散单条测试回路(16)所收集的热量，通过调整所述空冷器的风扇转速或所述水冷器的冷水流量达到调整散热量的目的以使出

口温度达到设定要求；

[0025] 所述第二电加热器(10-2),设置在所述HTF系统(1)的管道上,所述第二电加热器(10-2)采用热电阻形式,所述热电阻的电阻值与HTF特性和管道散热特性相关,第二电加热器(10-2)用于将HTF的温度保持在一个合适区间,所述第二电加热器(10-2)包含仪表以保证其在相应数据表中所示的运行范围内正确运行,所述仪表包括温度探头作为安全元件,所述第二电加热器(10-2)还包括具有控制板的加热组,所述控制板允许接收来自温度探头的信号,所述温度探头用于测量所述HTF系统(1)内测量点的温度,所述温度探头控制热电阻在正常运行下的启停。

[0026] 优选的,所述传感器系统(3)包括温度传感器、流量计、压力传感器及液位计,所述温度传感器至少包括两个,分别设置在所述单条测试回路(16)进出口,用于测量单条测试回路(16)进出口温度;所述流量计设置在所述循环泵下游设置的控制阀出口处,控制系统通过调节循环泵和控制阀控制在HTF系统和单条测试回路(16)内循环的HTF的流量,控制检测速度并确保检测过程与实际的槽式太阳能发电系统的工作过程符合,根据单条测试回路(16)的进出口温度以及回路内的HTF流量,计算得出回路的热学功率;所述最主要的压力传感器设置在所述膨胀罐内以及所述单条测试回路(16)进出口处,分别测量膨胀罐内的压力以及单条测试回路(16)的压力值,用于判断监测系统和单条测试回路(16)是否正常运行,检测系统其他位置必要时也应设置压力测点,以保证系统整体安全;所述液位计设置在膨胀罐,测量膨胀罐内HTF的液位,当液位高于膨胀罐(7)总高度85%时,系统报警提示排出HTF,当液位低于膨胀罐(7)最低允许液位时,系统报警提示及时补充HTF。

[0027] 优选的,还包括:耗散分离系统(8),所述耗散分离系统(8)包括耗散分离罐,其内部储存一定量的水,可分离由膨胀罐(7)泄压阀接口管道排出的尾气中含有的HTF及其高温裂解产生的降解物,所述耗散分离系统(8)处于工作状态时,其内容物为水、HTF及所述降解物,耗散分离罐直接同外部环境相通。

[0028] 优选的,还包括HTF注入泵(9),用于将HTF注入到所述性能检测系统中,所述HTF注入泵(9)具有以HTF为介质且可以连续运行的特性。

[0029] 优选的,所述管道系统(15)用于性能检测系统内部连接以及性能检测系统和单条测试回路(16)之间的连接,管道系统(15)根据其功能及通过其中的介质可分为以下四部分子系统:

[0030] HTF管道子系统,用于HTF系统(1)与检测系统其他部分连接;

[0031] 耗散分离管道子系统,用于耗散分离罐(8)与检测系统其他部分连接;

[0032] 膨胀罐管道子系统,用于膨胀罐(7)与检测系统其他部分连接,所述膨胀罐管道子系统与所述膨胀罐(7)密封连接;

[0033] 气体管道子系统,用于压缩空气或惰性气体系统(4)与检测系统其他部分连接;

[0034] 优选的,还包括由预热风机(12)、第三电加热器(10-3)组成的单条测试回路预热系统,用于对单条测试回路(16)的空管道进行预热,从而避免在单条测试回路(16)进行HTF注入之前,因管道温度过低导致HTF凝固,所述单条测试回路预热系统通过预热风机(12)使第三电加热器(10-3)加热的空气或惰性气体通过回路管道达到预热的目的。

[0035] 优选的,还包括设置在单条测试回路(16)内的旋风分离装置(11),设置该旋风分离装置(11)使得在预热风机(12)带动下热电阻加热的空气或惰性气体通过回路管道的过

程中,回路中存在的HTF液滴随气流运动,利用所述旋风分离装置(11)内设置的过滤器和分离器在其达到预热风机(12)前去除,将收集到的HTF通过分离器汇集后通过一个自动阀门将HTF输送到所述耗散分离系统(8)或单独的收纳容器中。

[0036] 优选的,所述回路性能检测系统配备安装风速仪,安装在测试系统的顶部或附近一定高度处,测量风速并传入到控制系统(2),避免测试过程中突然的大风损坏单条测试回路(16)上的集热器。

[0037] 优选的,所述槽式光热电站回路测试系统配合气象站(13)使用,所述气象站(13)至少包括:风速风向计、温湿度计以及太阳辐照计,气象站(13)由回路测试系统集成或者由现场独立提供,气象站(13)用于记录测试系统运行所需的环境参数,所述环境参数用于确定单条测试回路(16)的热学性能;并确保高辐照高风速下的回路安全,气象站(13)的控制系统实时收集各传感器的数据信息,并进行数据信息处理。

[0038] 本发明的目的还在于提供一种基于上述槽式光热电站回路性能检测系统进行的回路性能检测方法,包括步骤:

[0039] 步骤1,HTF新增:向膨胀罐中加入新的HTF;

[0040] 步骤2:回路预热:使用压缩空气或惰性气体系统(4)、预热风机(12)以及第三电加热器(10-3)对单条测试回路(16)预热以提高待测回路温度,从而避免HTF发生凝固或者因为温差过大对单条测试回路(16)产生过大热应力而损坏回路部件;

[0041] 步骤3:回路注入HTF:向连接的管道(含柔性软管)和回路中注入HTF,确保避免HTF凝固、避免出现热应力以及回路中残留空气或惰性气体气泡;

[0042] 步骤4,聚焦跟踪并进行测试:集热器持续追踪太阳进行聚焦,加热HTF到指定温度,并记录各时间下的单条测试回路(16)输出数据,之后同对应时间下的DNI数据进行同步对照并进行计算;

[0043] 步骤5:回路冷却:在对单条测试回路(16)和检测系统进行排空HTF操作之前,通过冷却系统使HTF温度迅速冷却下来;

[0044] 步骤6:排空HTF:排空单条测试回路(16)、柔性软管及连接管道中的HTF,完成一个回路的测试。

[0045] 优选的,所述步骤3和步骤4之间还包括:

[0046] 普通保护:将集热器转到一个安全位置,对在回路中的HTF进行循环并启动防凝保护;

[0047] 优选的,所述步骤1具体包括:

[0048] 步骤11,设置HTF新增前的初始条件:将一段柔性软管一端连接HTF注入泵的进口,另一端浸入HTF桶中;

[0049] 步骤12,手动启动自吸式HTF注入泵,直到HTF桶中的HTF泵送完毕或膨胀罐达到最大允许HTF注入量;

[0050] 步骤13,去除HTF中的水分,此时HTF即为可供使用状态。

[0051] 优选的,所述步骤2具体包括:

[0052] 步骤21,设置单条测试回路(16)预热的初始条件:在启动预热模式前,通过包含柔性软管的管道将所述单条测试回路(16)和检测系统相连;

[0053] 步骤22,控制系统(2)激活所述预热风机(12)和第三电加热器(10-3),使温度达到

设定值,退出步骤2;

[0054] 优选的,所述步骤3具体包括:

[0055] 步骤31,进行向连接的柔性软管和回路中注入HTF的准备工作,包括:将一根柔性软管连接到单条检测回路的最高点排气口,并与HTF桶相连;;

[0056] 步骤32,准备工作就位后,打开单条检测回路的最高点排气口阀门,检测系统的控制系统(2)开始控制向膨胀罐(7)注入空气或惰性气体,推动HTF缓慢从低位到高位充满集热器回路;

[0057] 步骤33,HTF通过单条检测回路的最高点排气口流出并进入HTF桶后,关闭最高点排气口阀门。

[0058] 优选的,所述步骤6具体包括:

[0059] 步骤61,在回路的最高点排气口阀门外侧连接气瓶,释放空气或惰性气体压力以推动HTF从回路返回到检测系统中,其中检测系统和单条测试回路(16)的进出口阀门设置为回路进出口同时开启并连接到膨胀罐,从而HTF进入膨胀罐(7),而空气或惰性气体最终进入耗散分离系统(8);

[0060] 步骤62,在尽可能排空HTF后,关闭检测系统进出口阀门和回路进出口阀门,然后打开单条测试回路(16)的HTF排放口阀门以释放残存的HTF到移动式介质收集罐中;

[0061] 步骤63,关闭回路的HTF排放口阀门和最高点排气口阀门,断开气瓶的连接。

[0062] 优选的,所述检测方法还包括使得检测系统在检测过程处于散焦跟随或测试步骤中遇到强风时,自动进入紧急保护模式,控制集热器转到安全位置。

[0063] 本发明的有益效果:该回路性能检测系统实现了槽式集热器单个回路性能的在线调试、在线检测、移动检测等验收和运维阶段等多个功能;通过标准集装箱式和模块化结构设计形式,兼顾便于移动和便于规模化生产的优点;子系统之间各自独立,根据不同测试工况通过控制系统配合工作,实现了槽式光热电站整体建设与单个回路调试验收同步进行的可能;采用移动检测的灵活形式,可进行单回路快速排空传热工质,大大缩短调试周期,提高调试效率,降低检测成本;形成了完整的样本数据以供电站后续多岛联调、整体联调时使用,降低了单个回路性能参数的不确定性,提升了联调效率。

[0064] 为了让本发明的上述和其它目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合附图,作详细说明如下。

## 附图说明

[0065] 图1所示为根据现有技术的槽式太阳能热发电系统结构图。

[0066] 图2所示为根据本发明实施例的槽式光热电站回路性能检测系统结构原理。

[0067] 图3所示为根据本发明实施例的槽式光热电站回路性能检测系统立体结构图。

[0068] 图4所示为根据本发明实施例的槽式光热电站回路性能检测系统正视图。

[0069] 图5所示为根据本发明实施例的槽式光热电站回路性能检测系统循环泵H-Q曲线图。

[0070] 其中附图标记分别表示:

[0071] 1-HTF系统;2-控制系统;3-传感器系统;4-压缩空气或惰性气体系统;5-循环泵;6-冷却系统;7-膨胀罐;8-耗散分离系统;9-HTF注入泵;10-1-第一电加热器;10-2-第二电

加热器;10-3-第三电加热器;11-旋风分离装置;12-预热风机;13-气象站;14-箱体;15-管道系统;16-单条测试回路

### 具体实施方式

[0072] 参见图2所示槽式光热电站回路性能检测系统结构框图,用于测试每个回路的热性能,整个系统配备了相应的设备和管道,同时还考虑了可移动性和容纳设备管道的容器,获得了便捷灵活的检测特性。如图3和4所示,本实施例提供一种槽式光热电站回路性能检测系统,检测系统通过包含软管的连接管道与单条测试回路(16)连接,检测系统均安装在箱体14内,箱体14可安装到标准集装箱骨架车或平板车上,并且可由牵引车头拖动进行任意移动。检测系统包括:

[0073] HTF (heat transfer fluid) 子系统1;

[0074] 控制系统2;以及

[0075] 传感器系统3;

[0076] 其中控制系统2通过控制接线向HTF系统1发送控制信号,以控制HTF系统1完成检测系统内及单条测试回路16中HTF的循环;

[0077] 传感器系统3分别设置在膨胀罐以及单条测试回路16处,用于收集数据以分析所述槽式光热电站单条回路的性能。

[0078] 本实施例中还包括:氮气系统4,氮气系统4包括多个氮气瓶,该槽式光热电站回路性能检测系统中多个系统需要用到氮气,如膨胀罐7、冷却系统6、回路预热系统、循环泵5以及管道系统15,用于密封HTF系统1,维持所连接膨胀罐7、冷却系统6、回路预热系统、循环泵、检测系统管道以及单条测试回路16的压力以及向单条测试回路16注入或排空HTF。每个氮气瓶配备一个单独的阀门。氮气瓶在性能检测系统上竖直向上放置,并放置于箱体14中。考虑到极端低温存在,箱体14进行隔热设置并增加第一电加热器10-1以保证氮气瓶表面温度达到最低要求。箱体14附近将安装手动链式提升机,将氮气瓶从地面提升到检测系统上。这个提升机将被安装在检测系统上方的水平横梁上的滑轮上。每个气瓶还设有单独的压力调节器,并且配有止回阀。预计测试一个回路的总用气量约为2000L,200bar。

[0079] HTF系统1主体包括:循环泵5;膨胀罐7;以及冷却系统6,本实施例中还设置了第二电加热器10-2;其中:循环泵5用于驱动槽式光热电站回路性能检测系统及单条测试回路16中HTF的循环,循环泵5设置为能实时提供所需的流量和压差。根据项目实际运行条件,本实施例选用市售导热油离心泵,本实施例中离心泵5的H-Q曲线如图5所示。膨胀罐7用于存储测试用的HTF以及在HTF受热膨胀时吸收多余的膨胀量。本实施例的膨胀罐为1个 $2\text{m}^3$ ,并采用水平方式安装膨胀罐7,安装后与压缩氮气系统4相连以保持系统的压力(4-13bar)。本实施例中,膨胀罐7采用与单条测试回路16内相同的Therminol VP-1导热油为HTF流体。当然也可以选择其它本领域技术人员可以选择的常用流体形式,或者根据太阳能热发电厂的具体运行特征和要求选择的流体形式,均在本申请的保护范围内。膨胀罐7的运行温度为30-400℃,设置人孔、HTF注油接口、N<sub>2</sub>接口、排空接口、备用接口、压力指示接口、压力传感接口、温度传感接口、泄压阀接口以及液位指示/传感接口,各接口之间均采用法兰连接的方式。

[0080] 本实施例中冷却系统6采用空冷器,主要用于耗散单条测试回路16集热器所收集

的热量。通过调整风扇转速达到调整散热量的目的以使出口温度达到设定要求。当然,为了节约整个系统的成本,冷却系统6也可以采用水冷设备,通过冷却水循环冷却,通过调整冷却水流量达到调整散热量的目的以使出口温度达到设定要求,只是性能测试系统的体积和占地面积更大。

[0081] 以下公式表示了本冷却系统6所采用的空冷器对应的HTF在不同温度下的特性:

[0082] 密度 (kg/m<sup>3</sup>) = -0.9078\*T (°C) + 0.0004\*T<sup>2</sup> (°C) - 2.3671\*10<sup>-6</sup>\*T<sup>3</sup> (°C) + 1083.25

[0083] 热容 (kJ/kg\*K) = 0.0024\*T (°C) + 5.9591\*10<sup>-6</sup>\*T<sup>2</sup> (°C) - 2.9881\*10<sup>-8</sup>\*T<sup>3</sup> (°C) + 4.4172\*10<sup>-11</sup>\*T<sup>4</sup> (°C) + 1.4982

[0084] 热导率 (W/m\*K) = -8.1948\*10<sup>-5</sup>\*T (°C) - 1.9226\*10<sup>-7</sup>\*T<sup>2</sup> (°C) + 2.5034\*10<sup>-11</sup>\*T<sup>3</sup> (°C) - 7.2974\*10<sup>-15</sup>\*T<sup>4</sup> (°C) + 0.1377

[0085] 运动粘性(mm<sup>2</sup>/s) =  $\exp(544.1492/(T(^{\circ}\text{C})+114.4301) - 2.5958)$

[0086] 焓 (kJ/kg) = 1.5113\*T (°C) + 1.2941\*10<sup>-3</sup>\*T<sup>2</sup> (°C) + 1.2370\*10<sup>-7</sup>\*T<sup>3</sup> (°C) - 0.6267

[0087] 本实施例中,性能检测系统拟选用的空冷器为1台,其设计环境温度为0°C-45°C,运行时进口温度为393°C,出口温度为293°C。内设风扇数量为3台。

[0088] 传感器系统3包括多个温度传感器、压力传感器、液位计及流量计,关键温度传感器包括两个,分别设置在单条测试回路16进出口,用于测量单条测试回路16进出口温度,根据进口温度是否在0-450摄氏度,出口温度是否在200-600摄氏度判断光热发电系统的性能,压力传感器设置在膨胀罐内以及单条测试回路16进出口处,分别测量膨胀罐内的压力以及单条测试回路16的压力值,作为膨胀罐是否正常工作以及槽式光热发电系统性能的指标;液位计设置在膨胀罐内壁,测量膨胀罐内HTF的液位,当液位高于膨胀罐7总高度85%时,系统报警提示排油,当液位低于膨胀罐7最低液位要求时,系统报警提示及时补充HTF;流量计设置在循环泵下游设置的控制阀出口处,控制系统通过调节循环泵和控制阀控制在HTF系统和单条测试回路16内循环的HTF的流量,控制检测的速度并确保检测过程与实际的槽式太阳能发电系统的工作过程符合度高。根据单条测试回路16的进口温度以及回路内的HTF流量,计算得出回路的光热转换效率,光热转换效率的计算方法包括:

$$[0089] \quad \eta = \frac{\dot{m}(T_{out} - T_{in})}{DNI \cdot A}$$

[0090] 其中,η——集热器效率,ṁ——导热油流量,T<sub>out</sub>——回路出口温度,T<sub>in</sub>——回路入口温度,DNI——太阳辐照度,A——回路镜面面积。

[0091] 测试系统设置了耗散分离系统8,耗散分离系统8包括耗散分离罐,其内部储存一定量的水,可分离由膨胀罐7泄压阀接口管道排出的尾气中含有的HTF,耗散分离系统8处于工作状态时,其内容物为水、HTF及其降解物,本实施例中,采用1台0.5m<sup>3</sup>的耗散分离罐。与膨胀罐不同,耗散分离罐直接同外部环境相通,不需要太高的工作压力,因此运行压力、内部设计压力和外部设计压力均选择为大气压。耗散分离罐内流体为水,Therminol VP-1及其降解物,运行的温度范围为0-85°C。与膨胀罐的设计方式相似,耗散分离罐保留人孔、膨胀罐接口、大气接口、排空接口、注水接口、液位指示接口、液位传感接口、温度指示接口、温度传感接口以及备用接口,各接口之间均采用法兰连接的方式。

[0092] 性能检测系统通过热介质注入泵9将HTF注入到所述性能检测系统中,具有以HTF为介质且可以连续运行的特性,本实施例热介质注入泵9采用1台连续运行的离心注油泵,并采用自吸式排压方式,进气压力需要大于3bar,运行温度高于80℃。

[0093] 性能检测系统通过复杂的管道系统实现性能检测系统内部连接以及性能检测系统和单条测试回路16之间的连接,管道系统根据其功能及通过其中的介质可分为以下四部分子系统:

[0094] HTF管道子系统,用于HTF系统1与检测系统其他部分连接;

[0095] 耗散分离管道子系统,用于耗散分离罐8与检测系统其他部分连接;

[0096] 膨胀罐管道子系统,用于膨胀罐7与检测系统其他部分连接,膨胀罐管道子系统与所述膨胀罐7的连接确保密封性,优选采用焊接连接,如选用法兰连接,必须按照ANSI的要求选用300级法兰、不锈钢和石墨螺旋垫圈。这些法兰材料必须适合于跟罐体材料进行强焊接,以保证在必要时进行焊接操作;

[0097] 氮气管道子系统,用于氮气系统4与检测系统其他部分连接;

[0098] 系统在膨胀罐7内采用插接方式设置第二电加热器10-2,本实施例中第二电加热器10-2采用热电阻形式,热电阻的电阻值与HTF特性相关。之所以设置第二电加热器10-2,是在低或零太阳辐照强度下,由于大气散热或其他因素会引起导热油的温度持续降低,直到系统中某点温度达到HTF的凝结温度(12℃)。要坚决避免导热油发生凝固情况的发生,因此系统中使用第二电加热器10-2以避免凝固风险发生,第二电加热器10-2将HTF,在本实施例中为导热油的温度保持在一个固定值。

[0099] 第一、第二以及第三电加热器10-1,10-2,10-3需包含必要的仪表以保证其在相应数据表中所示的运行范围内正确运行,仪表包括温度探头作为安全元件,第一、第二以及第三电加热器10-1,10-2,10-3还包括具有控制板的加热组,控制板允许接收来自温度探头的信号,温度探头用于测量膨胀罐7内和/或单条测试回路16测量点的温度,温度探头控制热电阻在正常运行下的启停,本实施例中温度探头选用热电偶,并配有4-20mA的信号输出,当然也可以选用现有技术常用的其他温度传感器形式,如热敏电阻,铂电阻等。第一、第二以及第三电加热器10-1,10-2,10-3通常水平布置,通过包裹缠绕或者插入电加热棒的形式设置,功率为20kW,电压400V。

[0100] 系统设置单条测试回路预热系统,对单条测试回路16的空管道进行预热,从而避免在单条测试回路16进行注油之前,环境温度过低导致的HTF凝固(环境温度例如为12摄氏度),单条测试回路预热系统通过预热风机12使热电阻加热的氮气通过回路管道。

[0101] 还包括设置在单条测试回路16内的旋风分离装置11,设置该旋风分离装置11使得在预热风机12带动下热电阻加热的氮气通过回路管道的过程中,回路中存在的HTF液滴随气流运动,利用旋风分离装置11内设置的过滤器和分离器在其达到预热风机12前去除,将收集到的HTF通过分离器汇集后通过一个自动阀门将HTF输送到所述耗散分离系统8或单独的收纳容器中。

[0102] 热电阻外部设置不锈钢或具有防腐功能的碳钢形成的护套材料。预热风机12采用鼠笼式,400Vac三相,50hz,绕组采用三角星形连接,预热电机12将通过连接在轴上的风扇和流向机匣翅片的气流进行自冷。预热风机12的叶轮和壳体为单级式,可其进口和出口引导到法兰一侧,以便连接到管道,叶轮在出厂时动态平衡,避免振动过大。

[0103] 在回路性能检测系统顶部增设风速仪,避免突然的大风损坏测试中的单条测试回路16上的集热器。

[0104] 槽式光热电站回路测试系统需要配合气象站13使用,气象站13与槽式光热电站回路测试系统集成或者由现场独立提供,气象站13用于记录测试系统运行所需的环境参数,该参数主要有两个用途:1) 确定单条测试回路16的热性能;2) 高辐照高风速下的回路安全。气象站13的控制系统实时收集各传感器的数据信息,并进行必要的处理。气象站具有足够的内存,可将处理后的数据临时存储至少48h,并带有时间戳。

[0105] 本实施例中气象站13组成包括:

[0106] a) 风速计

[0107] 杯式风速计

[0108] 测量范围:0.4m/s到50m/s

[0109] 测量初始阈值<0.5m/s

[0110] 在操作范围内线性度高

[0111] 精度 $\pm 0.5\text{m/s}$

[0112] b) 温度计

[0113] 气象站应包括温度监测,温度传感器应:

[0114] • 低功耗

[0115] • 易于现场校准

[0116] • 温度测量范围: $-40^{\circ}\text{C}$ ~ $50^{\circ}\text{C}$

[0117] • 温度测量精度: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$

[0118] • 温度测量元件Pt 100

[0119] • 传感器应配备防护罩,防止太阳辐射和降水

[0120] c) 太阳辐照计

[0121] • ISO9060标准:一级

[0122] • 检测器类型:热电堆

[0123] • 长期稳定性<1%/年

[0124] • 范围:0~2000W/m<sup>2</sup>

[0125] • 光谱范围(50%点):285~2800nm

[0126] • 视野:180°

[0127] • 无需电源

[0128] • 双层玻璃穹顶

[0129] • IP65

[0130] 使用槽式光热电站回路性能检测系统进行检测的具体使用方法,包括步骤:

[0131] 步骤1,HTF新增:向膨胀罐中加入新的HTF,具体包括:

[0132] 步骤11,设置HTF新增前的初始条件:将一段柔性软管一端连接HTF注入泵的进口,另一端浸入HTF桶中;

[0133] 步骤12,手动启动自吸式HTF注入泵,直到HTF桶中的HTF泵送完毕或膨胀罐达到最大允许HTF注入量;

[0134] 步骤13,去除HTF中的水分,此时HTF即为可供使用状态;

[0135] 步骤2:回路预热:使用氮气系统4、预热风机12以及第三电加热器10-3对单条测试回路16预热以提高待测回路温度,其目的是为了~~避免~~HTF发生凝固或者因为温差过大对单条测试回路16产生过大热应力而损坏回路部件;具体包括:

[0136] 步骤21,设置单条测试回路16预热的初始条件:在启动预热模式前,通过包含柔性软管的管道将所述单条测试回路16和检测系统相连;

[0137] 步骤22,控制系统2激活预热风机12和第三电加热器10-3,使温度达到设定值,退出步骤2;

[0138] 步骤3:回路注油:向连接的含柔性软管的管道和回路中注入HTF,确保避免HTF凝固、避免出现热应力以及回路中残留氮气气泡;具体包括:

[0139] 步骤31,进行向连接的柔性软管和回路中注入HTF的准备工作,包括:将一根柔性软管连接到单条检测回路的最高点排气口,并与HTF桶相连;;

[0140] 步骤32,准备工作就位后,打开单条检测回路的最高点排气口阀门,检测系统的控制系统2开始控制向膨胀罐7注入氮气,推动HTF缓慢从低位到高位充满集热器回路;

[0141] 步骤33,HTF通过单条检测回路的最高点排气口流出并进入HTF桶后,关闭最高点排气口阀门;

[0142] 步骤4,聚焦跟踪并进行测试:集热器持续追踪太阳进行聚焦,加热HTF到指定温度,并记录各时间下的单条测试回路16输出数据,之后同对应时间下的DNI数据进行同步对照并进行计算;

[0143] 步骤5:回路冷却:在对单条测试回路16和检测系统进行排空HTF操作之前,通过冷却系统使HTF温度迅速冷却下来;

[0144] 步骤6:排空HTF:排空单条测试回路16、柔性软管及连接管道中的HTF,完成一个回路的测试,具体包括:

[0145] 步骤61,在回路的最高点排气口阀门外侧连接氮气瓶,释放氮气压力以推动HTF从回路返回到检测系统中,其中检测系统和单条测试回路16的进出口阀门设置为回路进出口同时开启并连接到膨胀罐,从而HTF进入膨胀罐7,而氮气最终进入耗散分离系统8;

[0146] 步骤62,在尽可能排空HTF后,关闭检测系统进出口阀门和回路进出口阀门,然后打开单条测试回路16的HTF排油口阀门以释放残存的HTF到移动式介质收集罐中;

[0147] 步骤63,关闭回路的HTF排油口阀门和最高点排气口阀门,断开气瓶的连接。

[0148] 本实施例中,在步骤3和步骤4之间还增设普通保护步骤,即将集热器转到一个安全位置,对在回路中的HTF进行循环并启动防凝保护;

[0149] 本实施例中,检测方法还包括使得检测系统在检测过程处于散焦跟随或测试步骤中遇到强风时,自动进入紧急保护模式,控制集热器转到安全位置。

[0150] 本实施例中,检测方法还包括:所述性能检测系统处于所述步骤4的普通保护模式下,控制集热器进入便于清洗的位置从而进入清洗模式,清洗过程中出现强风,也会禁止集热器转动,以保证清洗的安全,包括:在风速不高时,检测设备控制集热器进入清洗位置,并启动防凝保护(导热油处于循环状态,电加热器和电伴热视具体情况开启或关闭),集热器保持在清洗位置,在清洗模式下,任何对集热器的转动操作都是禁止的。如遇到通讯失效、强风或其他紧急情形,操作员必须在确认清洗人员离开清洗区域后手动结束清洗模式。

[0151] 本实施例的单回路检测系统实现了集热回路调试、性能检测、吸能提升和运维多

个功能,实现模块化结构设计形式,子系统之间各自独立,根据不同测试工况通过控制系统配合工作,实现了槽式光热电站建设与调试同步进行,单回路快速排油,加大缩短调试周期,每一条单回路测试的时间效率高,成本低,并行成了完整的样本数据供整个电场完全交付联调的数据库,降低了回路性能参数的波动性,提升了联调效率,移动检测更为灵活的形式,降低了检测成本。

[0152] 虽然本发明已经参考特定的说明性实施例进行了描述,但是不会受到这些实施例的限定而仅仅受到附加权利要求的限定。本领域技术人员应当理解可以在不偏离本发明的保护范围和精神的情况下对本发明的实施例能够进行改动和修改。

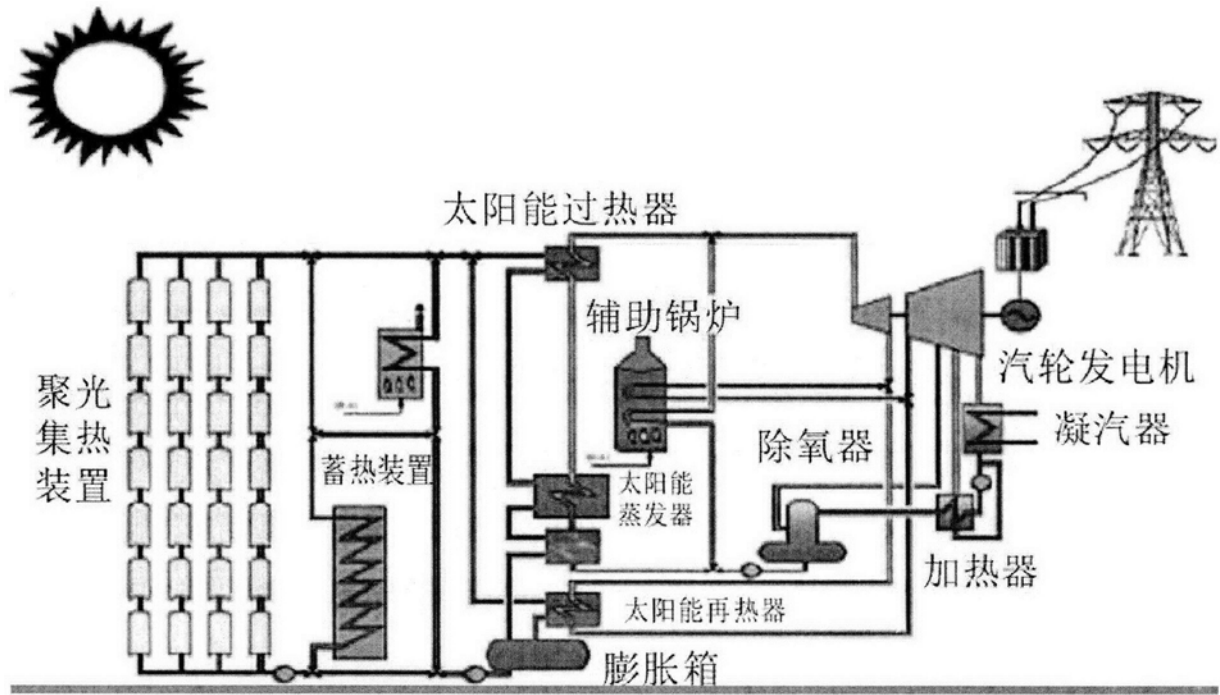


图1

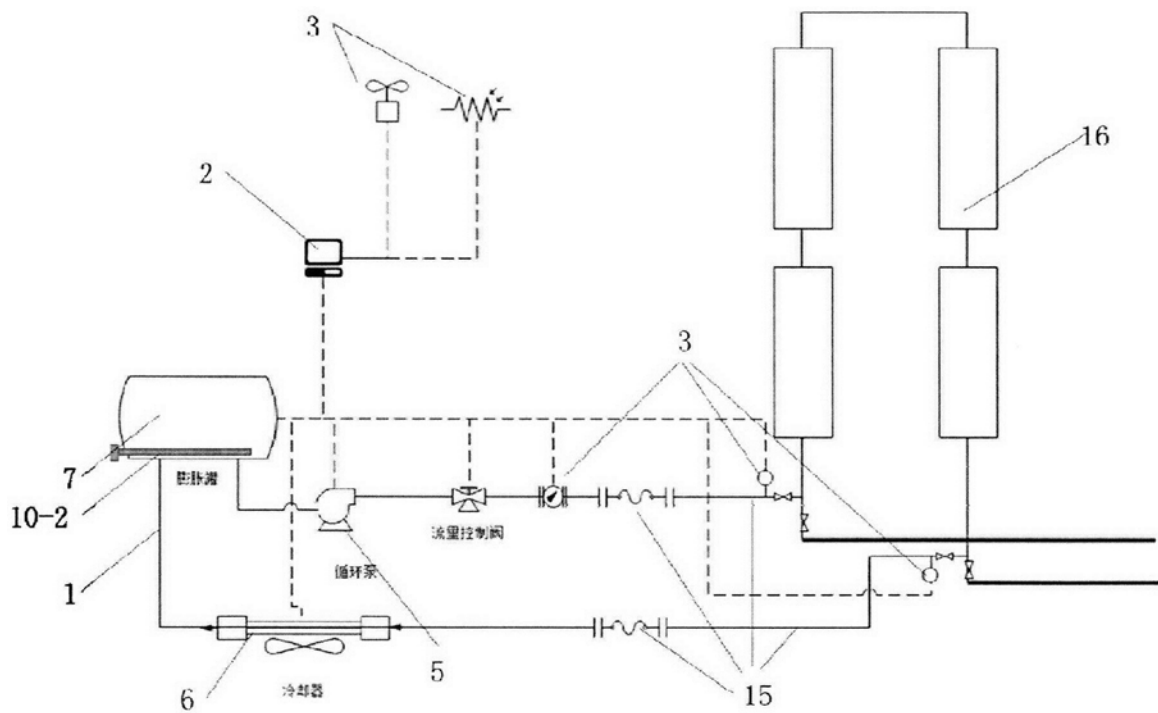


图2

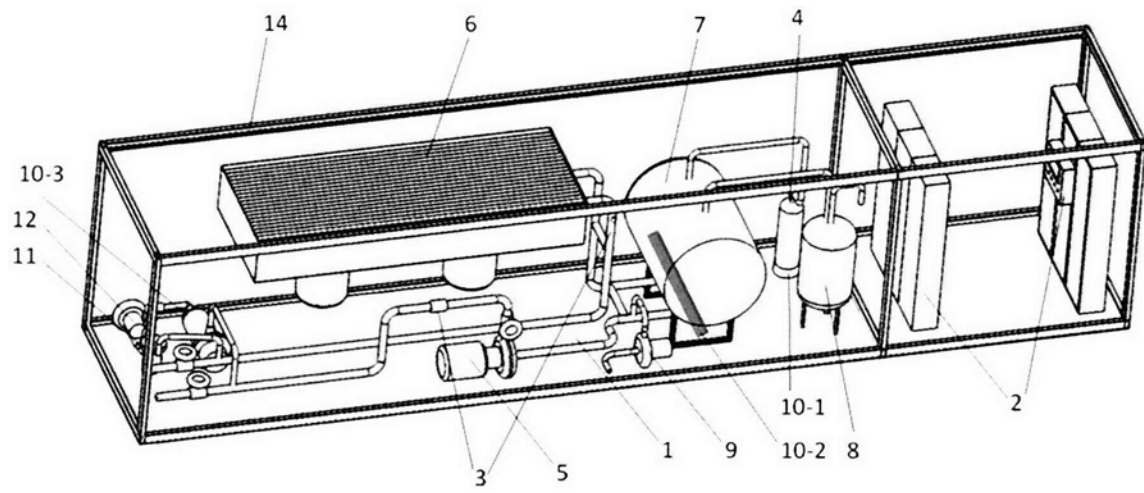


图3

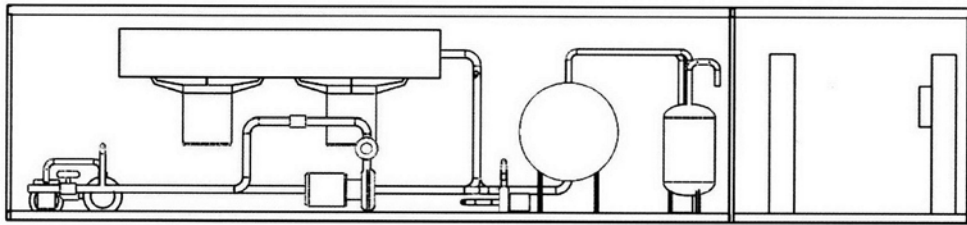


图4

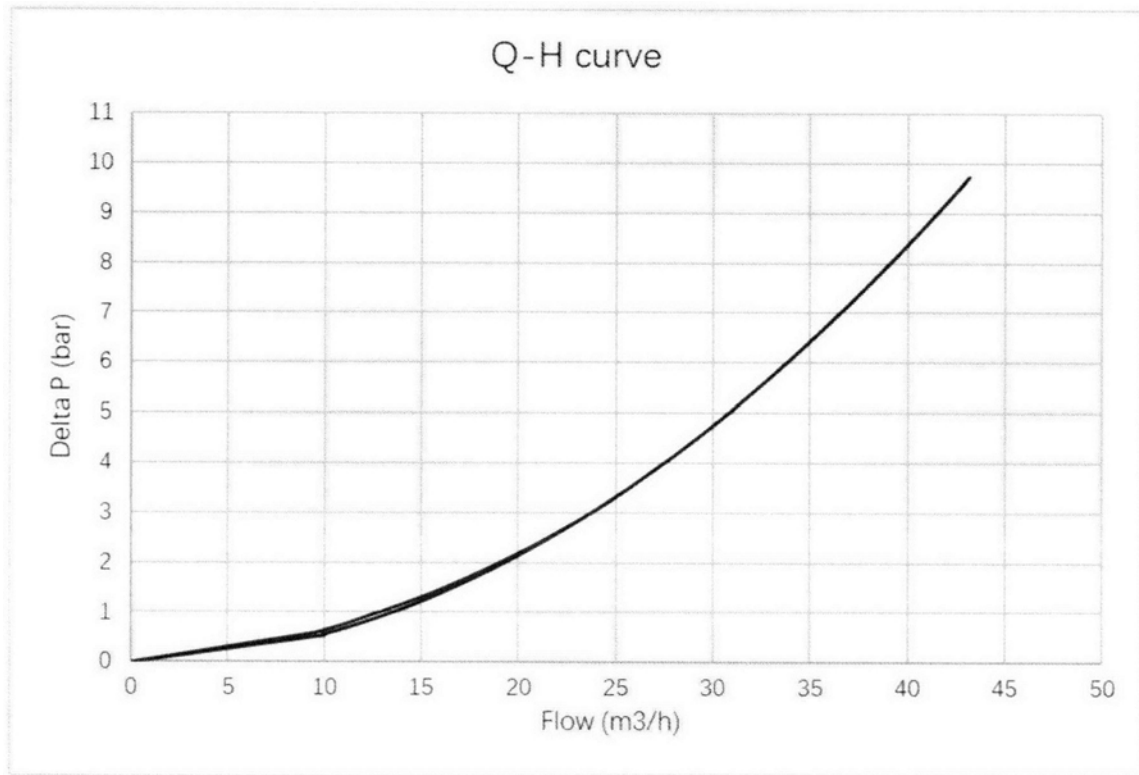


图5