



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108917205 B

(45)授权公告日 2020.09.11

(21)申请号 201710551039.6

(22)申请日 2017.07.07

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108917205 A

(43)申请公布日 2018.11.30

(30)优先权数据

17163689.7 2017.03.29 EP

(73)专利权人 考克利尔维修工程有限责任公司

地址 比利时瑟兰

(72)发明人 A·德蒂耶 S·温南德

(74)专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所

有限公司 11038

代理人 魏小薇

(51)Int.Cl.

F24S 23/70(2018.01)

F24S 50/40(2018.01)

G01J 5/00(2006.01)

G01B 13/24(2006.01)

(56)对比文件

CN 101886846 A, 2010.11.17

JP 2013134014 A, 2013.07.08

CN 106225261 A, 2016.12.14

审查员 邓娜

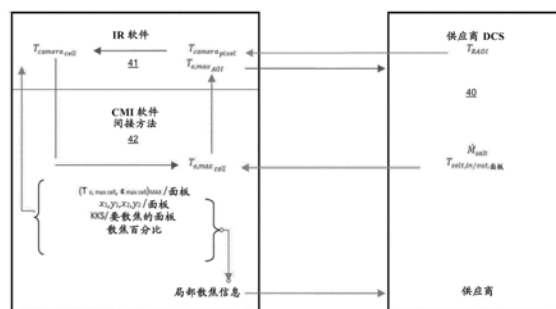
权利要求书3页 说明书17页 附图13页

(54)发明名称

用于太阳能接收器的热-机械监测的系统和
方法

(57)摘要

一种聚光太阳能发电设施,其中每个接收器面板包括用于运输传热流体的多个热交换器管,这些管部分暴露在接收器的外表面上并且包括热-机械监测系统,以确保操作中的太阳能接收器面板管的完整性,热-机械监测系统包括数据处理系统,用于依据由成像设备提供的温度分别计算和/或供给每个热交换器管中的最高温度、温度分布和/或吸收功率分布以及分派给每个热交换器管的理论机械应变,以便控制位于太阳能接收器上的区域的操作点是否在定义了预定义的温度和应变阈值的2D空间理论应变/ T_{max} 的操作包络内,并且以便在包络之外的时候在超出预定义的温度和应变阈值的情况下发出警报,并且进一步要求定日镜辐射在区域上散焦。



1. 一种聚光太阳能发电设施,其包括:多个定日镜或定日镜场;位于中心塔(1)顶部并具有用接收器面板(30)覆盖的外表面的基本上圆柱形的熔融盐太阳能接收器;以及与所述太阳能接收器(3)相邻的热屏蔽件(2),所述定日镜将太阳能反射到所述接收器(3)的所述外表面,每个接收器面板(30)包括用于运输熔融盐的多个热交换器管(6),所述多个热交换器管(6)部分地暴露在所述接收器的所述外表面上,并且包括热-机械监测系统,以确保操作中的太阳能接收器面板管的完整性,所述热-机械监测系统至少包括:

- 多个热成像设备(7,7A,7B),其位于地面上并且各自安装在固定和定向设备(8)上,用于测量由所述接收器(3)的所述外表面发射的红外辐射并提供取决于所述外表面的区域中的面板温度的信号;

- 对于每个热成像设备(7,7A,7B),感兴趣的参考区域(12)位于与其热成像设备(7,7A,7B)相对布置的热屏蔽件(2)上,并且包含用于测量与所述感兴趣的参考区域(12)对应的参考温度的一个或多个温度传感器(13);

- 用于测量所述热交换器管(6)中的熔融盐的流量率的一个或多个流量计(22),以及分别布置在所述热交换器管(6)的入口和出口处的温度传感器(23),由所述流量计(22)和所述温度传感器(23)提供的测量结果旨在计算由所述接收器中的所述熔融盐吸收的能量平衡以及由所述热交换器管(6)经受的机械应变;

数据处理系统,用于依据由所述热成像设备(7,7A,7B)提供的温度、考虑到所述感兴趣的参考区域的所述参考温度和所述熔融盐在所述热交换器管(6)的所述入口和所述出口处的温度分别计算和/或供给每个热交换器管(6)中的最高温度、温度分布和/或吸收功率分布以及分派给每个热交换器管(6)的理论机械应变,以便控制位于所述太阳能接收器(3)上的区域的操作点是否在定义了预定义的温度和应变阈值的2D空间理论应变/ $T_{\max}$ 中的操作包络(16)内,并且以便在超出所述预定义的温度和应变阈值,同时在所述包络(16)之外的情况下发出警报,并且进一步要求定日镜辐射在所述太阳能接收器(3)上的区域上散焦,所述数据处理系统包括用于控制热成像设备的第一控制装置(41)、用于控制操作中的面板管完整性的第二控制装置(42)以及连接到第一控制装置和第二控制装置(41,42)、流量计(22)、管温度传感器(23)和感兴趣的参考区域参考温度传感器(13)的分布式控制系统(40),所述分布式控制系统(40)能够将测得的所述感兴趣的参考区域(12)的参考温度传送到第一控制装置(41),将测得的所述熔融盐的流量率和入口/出口温度传送到第一控制装置(41)和/或第二控制装置(42),并且所述分布式控制系统能够从第二控制装置(42)接收用于使定日镜辐射在一个或多个面板(30)上散焦的局部面板散焦信息;

其中用于控制操作中的面板管完整性的第二控制装置(42)是能够与第一控制装置(41)通信并且用于以下操作的装置:

- 通过引入基于由所述热成像设备测得的温度、在所考虑的面板中的熔融盐流量以及入口和出口面板熔融盐温度的数学校正,计算每个热交换器管(6)上的经校正的最高温度;

- 利用用于计算管中的理论应变水平的数学蠕变疲劳模型,计算热交换器管(6)中的理论应变水平;

- 比较由所述计算出的经校正的最高温度和所述计算出的应变水平定义的点的定位与允许的太阳能接收器操作包络;

- 当所述计算出的经校正的最高温度和/或所述计算出的应变水平的定位在所述操作

包络之外时,生成警报并根据实际误差水平请求定日镜散焦和/或关断。

2. 根据权利要求1所述的聚光太阳能发电设施,其中所述热成像设备(7,7A,7B)是设置有专用透镜的IR相机,其数量至少为四个,并且位于地面上,在距聚光太阳能发电塔脚既定距离处并且围绕所述聚光太阳能发电塔彼此具有规则的角度间隔,所述太阳能接收器(3)上要监测的区域与相机透镜的轴线之间的角度优选地包括在45°和90°之间。

3. 根据权利要求2所述的聚光太阳能发电设施,其中,出于冗余的目的,每个面板(30)都在两个IR相机的视场上,每个IR相机能够监测四个面板(30),两个相邻的面板(31,31')以及在最近的IR相机发生故障的情况下所述相邻的面板(31,31')之外的两个面板(32,32')。

4. 根据权利要求1所述的聚光太阳能发电设施,其中所述热成像设备(7,7A,7B)的所述固定和定向设备(8)由热成像设备壳体(70)、桅杆(9)、位置调节系统(10)、远程机柜(11)和用于将所述热成像设备(7,7A,7B)维持在预定义的温度范围里的冷却/加热装置组成。

5. 根据权利要求2所述的聚光太阳能发电设施,其中用于控制IR相机的第一控制装置(41)是用于以下操作的装置:

- 检测热点并释放自动警报;
- 记录、分析和储存温度测量结果;
- 为操作者提供表面温度显示,包括将圆柱形图像变换成矩形平面图像;
- 将IR相机测量结果与由感兴趣的参考区域的传感器给出的参考温度进行比较,并基于由温度参考给出的趋势,用于通过调节透射率和/或发射率参数来校准IR相机。

6. 根据权利要求2所述的聚光太阳能发电设施,其中用于控制IR相机的第一控制装置(41)和用于控制操作中的面板管完整性的第二控制装置(42)处于储存在主PC(43)的存储器中的可读指令的形式,所述第一控制装置(41)和所述第二控制装置(42)通过也储存在所述主PC(43)中的DLL(45)进行通信,并且其中用于控制IR相机的第一控制装置(41)也处于储存在从PC(44)的存储器中的可读指令的形式。

7. 根据权利要求6所述的聚光太阳能发电设施,其中原始IR相机数据在所述主PC(43)和所述从PC(44)上进行后处理,并且其中经后处理的数据由第一控制装置(41)在两个PC之间交换,所述第二控制装置(42)通过所述DLL来处理IR相机的来自第一控制装置(41)的数据。

8. 根据权利要求2所述的聚光太阳能发电设施,其中位于(x,y)中的热交换器管(6)的最高外壁温度 $T_{0,max}$ 由以下方程式给出:

$$T_{0,max}(x,y) = A \cdot T_{camera,cell}(x,y) + B \cdot T_{salt}(x,y),$$

其中, $T_{camera,cell}(x,y)$ 是单元(x,y)中由IR相机得到的外壁温度, $T_{salt}(x,y)$ 是单元(x,y)中熔融盐的温度, $T_{0,max}(x,y)$ 是单元(x,y)中外壁的最高温度,并且,

A和B通过在数据 T_{salt} 、 $T_{0,max}$ 和 T_{camera} 上的线性最小二乘拟合获得,一个单元格包括 $i \times j$ 个像素,其中i、j是大于0的整数。

9. 如权利要求2至8中任一项所述的聚光太阳能发电设施,还包括用于优化由太阳能接收器、IR相机和定日镜场制成的系统的操作的闭环控制装置。

10. 一种如前述权利要求中任一项所述的聚光太阳能发电设施的用途,用于优化由所

述太阳能接收器 (3) 和/或所使用的太阳能接收器 (3) 表面接收的太阳能功率。

用于太阳能接收器的热-机械监测的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及聚光太阳能发电 (CSP) 设施 (plant) 或系统的技术领域。特别地, 本发明涉及用于具有中心塔的CSP设施的熔融盐太阳能接收器 (MSSR) 的热-机械监测。

[0002] 本发明提供的解决方案可以用在需要热-机械监测的任何应用中。

背景技术

[0003] 在本发明的框架中, 用于CSP塔设施1 (图1) 的外部太阳能接收器3由太阳能接收器面板30和吸收面板组成, 吸收面板制成热屏蔽件2并附接在钢结构周围, 从而创建位于一定高度 (例如在申请人的Atacama项目的情况下是例如大约230m) 的外部多边形。在上述示例中, 根据具有大约20m的直径的多边形布置, 还安置了16个大约18m高的太阳能接收器面板30。根据在不同点处具有控制的特定循环, 传热流体 (HTF) 通过这些接收器面板30从冷罐4流动到热罐5 (图2)。

[0004] 太阳能接收器面板30由在垂直位置布置的直焊管6 (图3) 制成, 以促进排干和通气, 管6未沿其长度彼此焊接。这些管6具有暴露于太阳能辐射的前面和不暴露于太阳能辐射的背面。

[0005] 支撑系统沿着管长度在不同位置处被焊接到管的背部区域。支撑系统允许水平和垂直膨胀, 并且防止由于每个管的前面与背面之间的高热差而造成的管的弯曲。

[0006] 现有技术

[0007] 在CSP塔技术中使用的太阳能接收器的热监测由IR相机执行, 从而允许捕获接收器表面的热图像, 如在其它领域 (如具有控制和检测局部过热点的制造过程) 中已知的。

[0008] 在关于IR相机的制造的专利中, 以下专利可以被引用:

[0009] -FLIR的专利US 2008/0265162 A1和Brightsource的专利US 20130088604 A1;

[0010] -西屋电气公司 (Westinghouse Electric Corporation) 的专利US 5,689,734A公开了用于观察位于具有污染物 (例如, 油、水、颗粒物等) 的区域中的物体的加压相机系统。该系统能够被内部加压到环境压力之上, 从而防止污染物进入相机系统并弄脏 (fouling) 相机。该系统包括具有内部和观察端口的壳体。电子传感器被安置在壳体中, 与端口相对, 用于感测物体并用于生成沿着连接到传感器的导体行进的电输出信号。

[0011] 在涉及这种相机在制造过程中的用途的专利中, 涉及在金属熔化期间的温度控制的Ircon专利WO 2004/020926 A1可以被引用。

[0012] 在太阳能领域中, 涉及定日镜 (heliostat) 控制的以下专利可以被引用: SolarReserve (US 2013/0104963 A1)、Brightsource (US 8,360,051 B2、US 9,222,702 B2和US 2013/0139804 A1)、eSolar (WO2010/017415 A2)。

[0013] 关于CSP塔技术中太阳能接收器面板的热监测, 仅识别出两个相关专利。第一个是在2004年提交的SolarReserve专利 (US 2004/0086021 A1)。在该专利中, 提出的解决方案包括借助于IR相机捕获太阳能接收器的热图像。这些IR相机位于离太阳能接收器一定距离处, 并位于地面上或一个特定的高度水平处。IR相机的连接可以是无线连接。第二个由

Brightsource于2009年提交(US 8,931,475 B2)。这个专利是对由SolarReserve提出的专利的改进。

[0014] 在这后一个专利中,Brightsource提出了一种用于直接监测太阳能接收器的能量通量的系统和方法,包括:

[0015] -通过使用一个或多个IR相机实现的IR辐射的测量。每个太阳能接收器管的外表面最小由一个像素控制;

[0016] -热电偶,其被安装成用于:

[0017] ○进、出流体温度测量;

[0018] ○管表面温度测量;

[0019] -用于气候控制(温度、风速、湿度)的气象站;

[0020] -流量变送器,其被校准以向控制系统发送信号;

[0021] -控制系统,其接收所有信号、重新计算温度(基于接收到的信号)、重新校准流量并重定向定日镜;

[0022] -一种方法,包括:

[0023] ○基于IR相机测量结果来确定接收器上的能量通量分布;

[0024] ○基于来自流量变送器、热电偶和气象站的数据来重新计算通量分布;

[0025] ○在达到临界温度的情况下生成警报信号;以及

[0026] ○根据这些测量结果使定日镜对焦/散焦。

[0027] 基于专利分析,上面提到的Brightsource专利看上去是这个领域中最相关和完整的专利。但是,所提出的解决方案仅仅受限于太阳能接收器面板管的热监测。这种解决方案无法:

[0028] -以高准确度重新计算每个太阳能接收器管上的最高温度;

[0029] -确保对太阳能接收器管的热-机械监测。

[0030] 总而言之,现有技术的解决方案并不令人满意,因为它们仅限于太阳能接收器的热监测。事实上,没有能够提供管温度和热机械变形分析并用于进一步允许太阳能接收器的安全操作条件的具体的系统和方法。

[0031] 本发明的目的

[0032] 本发明意在提供用于通过避免在接收非常高的热通量水平时在组成接收器表面的管上的过多的热-机械负荷来确保太阳能接收器面板管的完整性的解决方案。

[0033] 特别地,本发明意在实现一种热机械监测,这种热机械监测将确保太阳能接收器面板管的完整性并且能够在超出操作包络、每个面板定义的最高温度以及基于软件计算而散焦定日镜的情况下生成警报,系统通过局部散焦请求或总体散焦请求作用于定日镜场上,或者如果需要的话完全关断定日镜场。

[0034] 本发明的另一个目标是能够给予整个装置的简化保证的完整范围,并因此提出与主要竞争者相似的责任范围。

发明内容

[0035] 本发明的第一方面涉及聚光太阳能发电(CSP)设施,其包括多个定日镜或定日镜场、位于中心塔顶部并具有用接收器面板覆盖的外表面的基本上圆柱形的太阳能接收器

(优选地为熔融盐太阳能接收器(MSSR))以及与太阳能接收器相邻的热屏蔽件,定日镜将太阳能反射到接收器的所述外表面,每个接收器面板包括用于运输传热流体的多个热交换器管,这些热交换器管部分地暴露在接收器的外表面上并且包括热-机械监测系统,以确保操作中的太阳能接收器面板管的完整性,所述热-机械监测系统至少包括:

[0036] -多个热成像设备,其位于地面上并且各自安装在固定和定向设备上,用于测量由接收器的外表面发射的红外辐射并提供取决于所述外表面的区域中的面板温度的信号;

[0037] -对于每个热成像设备,感兴趣的参考区域RAOI位于与其热成像设备相对布置的热屏蔽件上,并且包含用于测量与所述RAOI对应的参考温度的一个或多个温度传感器;

[0038] -用于测量热交换器管中的传热流体的流量率(flow rate)的一个或多个流量计,以及分别布置在交换器管的入口和出口处的温度传感器,由流量计和温度传感器提供的测量结果旨在用于计算由接收器中的传热流体吸收的能量平衡以及由交换器管经受的机械应变;

[0039] -数据处理系统,用于依据由成像设备提供的温度、考虑到RAOI的参考温度和所述管的入口和出口处的传热流体的温度来分别计算和/或供给每个热交换器管中的最高温度、温度分布和/或吸收功率分布以及分派给每个热交换器管的理论机械应变,以便控制位于太阳能接收器上的区域的操作点是否在定义了预定义的温度和应变阈值的2D空间理论应变/ T_{max} 的操作包络内,并且以便在超出所述预定义的温度和应变阈值,同时在所述包络之外的情况下发出警报,并且进一步要求定日镜辐射在所述区域上散焦。

[0040] 根据优选实施例,根据本发明的聚光太阳能发电(CSP)设施还包括以下特征之一或其合适的组合:

[0041] -数据处理系统包括用于控制IR相机的第一控制装置、用于控制操作中的面板管完整性的第二控制装置以及连接到第一控制装置和第二控制装置、流量计、管温度传感器和RAOI参考温度传感器的分布式控制系统DCS,所述DCS能够将测得的RAOI的参考温度传送到第一控制装置、将测得的传热流体的流量率和入口/出口温度传送到第一控制装置和/或第二控制装置,并且所述DCS能够从第二控制装置接收用于使定日镜辐射在一个或多个面板上散焦的局部面板散焦信息;

[0042] -传热流体是熔融盐;

[0043] -热成像设备是设置有专用透镜的IR相机,其数量至少为四个,并且位于地面上,在距CSP塔脚既定距离处并且围绕CSP塔彼此具有规则的角度间隔,太阳能接收器上要监测的区域与相机透镜的轴线之间的角度优选地包括在 45° 和 90° 之间;

[0044] -出于冗余的目的,每个面板都在两个相机的视场上,每个相机能够监测四个面板(优选地是相邻的面板),并且在最近的相机发生故障的情况下,监测紧挨在相邻面板之外的面板;

[0045] -热成像设备的固定和定向设备由热成像设备壳体、桅杆、位置调节系统、远程机柜和用于将热成像设备维持在预定义的温度范围里的冷却/加热装置组成;

[0046] -用于控制IR相机的第一控制装置是用于以下操作的装置:

[0047] ○检测热点并释放自动警报;

[0048] ○记录、分析和储存温度测量结果;

[0049] ○为操作者提供表面温度显示,包括将圆柱形图像变换成矩形平面图像;

[0050] ○将IR相机测量结果与由RAOI的传感器给出的参考温度进行比较,并基于由温度参考给出的趋势,用于通过调节透射率和/或发射率参数来校准IR相机;

[0051] -用于控制操作中的面板完整性的第二控制装置是能够与第一装置通信并且用于以下操作的装置:

[0052] ○通过引入基于所考虑的面板中的熔融盐流量、入口和出口面板熔融盐温度以及由IR相机测得的温度的数学校正,计算每个换热器管上的经校正的最高温度;

[0053] ○利用专用的数学蠕变疲劳(creep-fatigue)模型,计算管中的理论应变水平;

[0054] ○将由所述计算出的经校正的最高温度与所述计算出的应变水平定义的点的定位与所允许的太阳能接收器操作包络进行比较;

[0055] ○当所述计算出的经校正的最高温度和/或所述计算出的应变水平的定位在所述操作包络之外时,生成警报并根据实际误差水平请求定日镜散焦和/或关断;

[0056] -用于控制IR相机的第一控制装置和用于控制操作中的面板完整性的第二控制装置是处于储存在主PC(PC master)的存储器中的可读指令的形式,所述第一控制装置和所述第二控制装置通过也储存在主PC中的DLL进行通信,并且其中用于控制IR相机的第一控制装置也处于储存在从PC(PC slave)的存储器中的可读指令的形式;

[0057] -在主PC上和从PC上对原始IR相机数据进行后处理,并且其中经后处理的数据由第一控制装置在两个PC之间交换,所述第二装置通过DLL处理来自第一装置的IR相机的数据;

[0058] -位于(x,y)的管的最高外壁温度 $T_{0,max}$ 由以下方程式给出:

$$T_{0,max}(x,y) = A \cdot T_{camera,cell}(x,y) + B \cdot T_{salt}(x,y),$$

[0060] 其中A和B是通过在数据 T_{salt} 、 $T_{0,max}$ 和 T_{camera} 上的线性最小二乘拟合获得的,一个单元格包括 $i \times j$ 个像素(i 、 j 是大于0的整数);

[0061] -CSP设施还包括用于优化由太阳能接收器、IR相机和定日镜场制成的系统的操作的闭环控制装置。

[0062] 本发明的第二方面涉及如上所述的聚光太阳能发电(CSP)设施的用途,用来优化由太阳能接收器和/或所使用的太阳能接收器表面接收的太阳能功率。

[0063] 本发明的第三方面涉及用于热-机械监测如上所述的聚光太阳能发电(CSP)设施的太阳能接收器的方法,以确保太阳能接收器面板管的完整性和/或优化太阳能接收器的功率负荷,该方法至少包括以下步骤:

[0064] -从热成像设备获取原始数据;

[0065] -通过位于热屏蔽件上的RAOI的参考温度来校正所述原始数据,以得到处于像素水平的经校正的温度;

[0066] -在每个接收器面板的入口和出口处获取熔融盐质量流量数据和熔融盐温度;

[0067] -估计吸收功率;

[0068] -将太阳能接收器离散化在单元格(x,y)中;

[0069] -在单元格水平,根据下式计算换热器管的管顶部(即,对于90°角的视线方向)上的最高外部温度:

[0070]
$$T_{o,max}(x,y) = A \cdot T_{camera,cell}(x,y) + B \cdot T_{salt}(x,y),$$

[0071] 其中A系数和B系数由最小二乘法确定；

[0072] -计算每个交换器管中的单元格最高内部温度；

[0073] -计算在任何视线角下每个交换器管的单元格吸收功率、最高外部和内部温度；

[0074] -计算管中的理论应变水平；

[0075] -将实际的管热-机械负荷与操作应变/温度包络进行比较；

[0076] -如果所述定位是在所述操作包络之外，那么根据预定义的准则，给出警报信号并且有可能计算功率减小率并请求定日镜辐射散焦。

附图说明

[0077] 图1表示具有太阳能接收器和热屏蔽件的CSP塔。

[0078] 图2分别表示太阳能接收器的P&ID以及熔融盐冷罐和热罐。

[0079] 图3表示太阳能接收器面板的设计。

[0080] 图4表示具有相关联透镜的IR相机，相关联透镜具有其支撑系统。

[0081] 图5表示围绕太阳能塔的IR相机地面定位的示例。

[0082] 图6表示RAOI利用热电偶的位置的原理。

[0083] 图7表示IR相机软件、CMI软件和DCS之间的通信协议。

[0084] 图8表示对于一个管的温度分布或吸收功率分布。

[0085] 图9表示在示出对于由客户定义的所有操作条件的依据 $T_{0,max}$ 的理论合金应变 ϵ_{alloy} 的图中的操作包络标识。

[0086] 图10示出了图9的操作包络，具有安全和不安全的区域标识。

[0087] 图11表示监测系统的P&ID。

[0088] 图12表示管离散化的示例。

[0089] 图13表示输入相机温度图的示例。

[0090] 图14表示面板散焦区域的示例。

具体实施方式

[0091] 本发明的详细描述

[0092] 关于太阳能接收器管6的高热负荷和高应变水平，太阳能接收器管6的热-机械监测对于确保太阳能接收器表面的完整性非常重要。与任何直接测量(热电偶、通量传感器、应变仪等)相反，间接测量是针对其唯一可能的解决方案。

[0093] 在本发明中提出了一种专用的热-机械监测系统和方法，用于：

[0094] -确保太阳能接收器面板管的完整性，对于太阳能接收器，每个面板定义最高温度以及2D空间中的操作包络(理论应变， T_{0max})；

[0095] -控制定日镜场：

[0096] ○在第一步中的散焦请求；

[0097] ○在后续步骤中关于控制循环的集成。

[0098] 热-机械监测系统基于与安装在特定支撑系统8(图4)中的专用透镜相关联的红外

(IR) 相机7、7A、7B等。相机集合7、8位于定日镜场中,处于地平面并且距支撑太阳能接收器的塔脚有一定距离L(图5)。预计上面提到的专用透镜具有适于太阳能接收器的尺寸的视场。

[0099] 另外,具有温度变送器或热电偶13(图6)的感兴趣的参考区域(RAOI)12位于太阳能接收器热屏蔽件2上,所述热电偶13用于校正由IR相机输送的原始温度。使用包括温度变送器13的RAOI作为相机的参考,以考虑大气污染(见下文)。

[0100] 热-机械监测方法还基于用于数据分析的所谓IR相机软件(来自IR相机供应商)和所谓的CMI软件(来自申请人),并且基于利用这些软件、DCS 40(用于分布式控制系统)和监测系统之间的适应的通信协议的计算(图7)。

[0101] 以下列出的点描述了建立用于选择相机和相关联的透镜、其在太阳能场中的位置、包括相机外壳(例如,用于确保相机的热保护)的相机的数量的主要指导原则所应当考虑的准则示例:

[0102] -至少有4个相机,每个相机具有相关联的透镜,每个相机具有一个备用的,或者4个相机作为选项,以确保系统冗余(图5,相机7A和7B确保对于相机7的冗余,反之亦然)。在上面的示例中,每个相机和塔脚之间的距离为大约240米;

[0103] -至少 640×480 像素的相机分辨率;

[0104] -暴露的太阳能接收器表面的覆盖;

[0105] -对于相机/透镜系统的以下分辨率:1像素=+/-一个管直径(例如,50.8mm);

[0106] -确保相机(即,相关电子设备)的热完整性的壳体:-15°C至50°C(根据来自IR相机供应商的信息)。由于其尺寸相对较大,透镜随温度而变形。因此,供应商将系统维持在30°C至50°C的温度范围内。在这个温度范围内,预期相机系统能够校正由透镜变形引起的误差;

[0107] -+/-2%的准确度,这个准确度表征了相机本身(而不是相机及其透镜组成的系统)

[0108] 本发明的优选实施例的描述

[0109] 硬件

[0110] 所提出的解决方案包括用于确保太阳能接收器的热-机械监测的系统和方法。

[0111] 根据优选实施例,上述系统由以下部分组成:

[0112] 1. 具有特定透镜的IR相机

[0113] 每个具有专用透镜的八(8)个红外(IR)相机位于定日镜场中,处于地平面,并且围绕塔近似以每45°的角度间隔分布,以得到太阳能接收器面板表面的全局图像。每个面板在两个相机的视场(FOV)中(图5)以确保系统冗余(例如,面板31:相机7和7A;面板31':相机7和7B)。而且,每个相机监测4个面板,优选地监测面板31和31',但在最近的相机发生故障的情况下也监测32和32'。

[0114] 具有专用透镜的这种IR相机解决方案优于具有更高分辨率的IR相机,以确保合理的预算,并确保足够的视场(FOV),并避免看到天空(即,看到太阳的风险)。

[0115] 推荐要监测的表面与透镜轴线之间的角度包括在45°C至90°C之间,最优为90°C(但在当前应用中不可能)。小于45°C的角度将意味着相机接收到的热信息开始受到“天空温度”(太阳能接收器表面上的反射)的影响,并且然后可预见准确度的劣化。

[0116] 对于敏感区域的一个像素,IR相机给出由太阳能接收器表面上的对应表面发射的

能量的平均值,并且然后给出温度平均值。

[0117] 由于空气污染(灰尘、湿度、CO₂等),IR相机与太阳能接收器表面之间的距离影响测量的精度/准确度,这证明使用RAOI来校正IR相机的测量结果的必要。

[0118] 2. 用于支撑和保护IR相机与相关联透镜的集合的专用系统

[0119] 如图4中所示,每个相机系统集合7与支撑件8以及壳体系统相关联,其中支撑件8允许该集合(即,IR相机和透镜)的固定和定向,以及壳体系统确保该集合的保护和在取决于现场条件的预定义温度处的加热/冷却。根据优选实施例,系统8包括具有锩窗口的壳体70、位置调节系统10、远程机柜11以及不锈钢的桅杆9,所述壳体由高度抛光的不锈钢制成,从而允许将相机和透镜保持在恰当的温度范围内。系统8的主要目的是将IR相机电气设备维持在可接受的温度的范围内,并且将透镜维持在一定的温度范围内,以便相机能够校正透镜变形。

[0120] 3. RAOI (感兴趣的参考区域)

[0121] RAOI是安装在热屏蔽件2上的用于IR相机校准的温度参考区。有独特的RAOI区与每个相机相关联。温度参考由热电偶(例如,每个RAOI上安装的5个热电偶)给出,热电偶将提供要与IR相机测量结果进行比较的温度数据。IR相机的校准将通过调节透射率和/或发射率参数进行。每个RAOI必须位于每个IR相机的前面。就材料和涂层而言,每个RAOI将类似于管表面。RAOI位于热屏蔽件上,它的温度值就等于管的温度值(500℃至700℃)。

[0122] 4. IR相机软件(由IR相机供应商提供)

[0123] 这是用于在具有既定感兴趣区域(AOI场)的太阳能接收器上的永久红外热点检测的专门软件,除了其它的之外,尤其具有以下特征:

[0124] -热点的早期检测,自动开始测量和数据储存;

[0125] -使用感兴趣的参考区域(RAOI),其具有用于IR温度测量校正的热电偶;

[0126] -在阈值被超过的情况下,在既定的预警报和主警报限制处的可靠的自动警报释放;

[0127] -在操作员屏幕上的实时图像的自动缩放;

[0128] -针对接收器上既定的区域的检测、图形和数字可视化和趋势图;

[0129] -温度趋势记录和分析;

[0130] -软件适应:矩形形式的每个相机图像的圆柱形表面变换;

[0131] -针对塔移动的软件适应:由于塔的移动的AOI测量点的校正,用于每根管的精确定位和定义;

[0132] -定义校正区域(形状:矩形、椭圆形、多边形),用于基于各种校正模型来局部校正测量路径的透射和发射率值。

[0133] IR相机软件将:

[0134] -基于RAOI中的热电偶测量结果来拟合线;

[0135] -比较由RAOI热电偶给出的热分布,以及由IR相机给出的热分布;

[0136] -校正IR相机的发射率和/或透射率参数,以使由IR相机给出的热分布沿着由热电偶给出的趋势。

[0137] 5. CMI软件

[0138] 这是由申请人考虑到确保太阳能接收器的完整性而开发并且与来自IR相机供应

商的软件互补的软件。

[0139] 由于IR相机的分辨率(1像素=21mm²),并考虑到一个管的直径为50.8mm,IR相机软件不能检测到管温度分布上的最高温度,而是仅检测到平均温度。

[0140] 暴露于太阳射线的管上的温度分布或吸收功率分布是正弦曲线分布14、15(图8)。因此,将在IR相机无法检测到的管的非常小的表面上达到最高温度。因此,IR软件将提供与由管发射的能量的量相关的一种“平均温度”。该做法将导致就接收器完整性监测而言不可接受的最高管温度的低估。

[0141] 在这方面,根据本发明的改进是引入数学校正,以计算管上的最高局部温度。这种校正基于:

[0142] -由IR相机(IR相机软件)给出的温度;

[0143] -管面板入口和出口处的熔融盐温度;

[0144] -在所考虑的面板中的熔融盐流量。

[0145] 由于仅了解管上的最高温度不足以确保接收器的完整性,因此申请人开发出了能够计算管中的理论应变水平的数学模型(所谓的CMI软件)。对于管中的温度和应变水平二者的评估将允许通过与已经通过管在几种热-机械负荷下的寿命分析被验证的太阳能接收器操作包络16相比较来确保接收器的完整性(疲劳蠕变评估)(图9和图10)。因此,定义了操作包络16(图9和10)来覆盖太阳能接收器的所有操作点。

[0146] 每当既定的限制被超过时,CMI软件将生成警报并且将要求区域散焦(图10)到设施的DCS 40。

[0147] 因此,CMI软件是分别安装在相同的主/从计算机PC1 43和PC2 44上的IR供应商软件的插件。

[0148] 6. 设施的DCS(客户)或分布式控制系统(图11)

[0149] 在DCS中,控制器的层次结构通过通信网络连接起来,以进行命令和监测。使用用于储存例如4字节数字的两个寄存器(可以取决于DCS数据结构进行调整适应)。

[0150] IR相机软件需要来自DCS的地址以得到由安装在RAOI上的热电偶给出的温度测量结果。

[0151] CMI软件也需要来自DCS 40的地址以得到对于每个面板的入口和出口盐温度。对于入口和出口盐温度,分别必需有多个寄存器。这些寄存器中的信息是通过PC1 43和PC2 44中的CMI软件从DCS 40读取的。而且,CMI软件需要由两个太阳能接收器电路的流量变送器给DCS 40进行质量流量测量。

[0152] CMI软件还需要能够在DCS寄存器中写入散焦信息,诸如功率减小率和关键区域的定位。

[0153] CMI软件还需要DCS 40的寄存器信息能够在其中写入警报状态。该信息中的每一个都需要1位(0或1)被写入寄存器。

[0154] 在正常操作中,主PC 43(PC1)中的CMI软件将这些数据写入DCS 40,而从PC 44处于待机状态。在主PC 43发生故障或主PC 43中的IR软件发生故障的情况下,从PC 44将接替主PC的角色(图11)。

[0155] IR供应商软件需要DCS的寄存器地址能够写信息,诸如每个AOI的带有其坐标的最低/最高/平均温度和每个面板的所有AOI的最低/最高温度。

[0156] 来自主PC 43的IR相机软件将以上数据写入DCS 40寄存器和从DCS 40寄存器写出。如果这个PC失败,那么PC2 44将代替PC1来写这种数据。

[0157] 7. 计算机PC1和PC2 (图11)

[0158] 这些计算机对于后处理和管理8个IR相机的数据是必需的。每个PC 43、44分别对4个相机的原始数据进行后处理,以确保冗余。

[0159] PC1 43和PC2 44之间的IR相机经后处理数据交换仅仅通过每个PC的IR软件进行。两个PC都可以相互传送来自其4个相应的IR相机的数据。

[0160] CMI软件单独在PC1 43和PC2 44上运行,并通过DLL 45来分别处理位于相同PC中的来自IR软件的8个IR相机的数据。

[0161] PC1 (主PC 43) 上的IR相机软件和CMI软件分别向DCS 40写入和从其读取信息。

[0162] 8. HTF温度变送器

[0163] 温度变送器可用于16个面板。在面板的入口和出口处,对于每个测量点,可用3个热电偶,并且应用规则“3中取2”,以确保传热流体(熔融盐)的可靠的温度测量。

[0164] 9. 流量变送器

[0165] 流量变送器可用于2个电路。而且,由于包括两对超声波探头的流量计设计,也存在一定的冗余(本征冗余)。

[0166] 功能方面 (软件)

[0167] 为了确保CSP塔设施的熔融盐太阳能接收器的完整性,提出了一种基于数学模型的热-机械监测方法。该数学模型基于被应用于离散化管的热平衡。

[0168] 太阳能接收器面板的管被离散化。这些段的位置由从0°到180°范围内的角度 α 来标识(图12)。

[0169] 热平衡考虑到以下热传递和传递模式:

[0170] -太阳能接收器面板的管在其周长的180°上接收聚集的热通量,

[0171] -考虑到通过管厚度的导热性,

[0172] -强制对流由应用在管的离散化元件的内直径上的传热系数建模;

[0173] -考虑到外直径上的不同热损失:施加在管上的涂层的反射率,发射率、导热性、强制对流和自然对流。

[0174] 管的热平衡可以根据直接方法或间接方法来构建和使用。直接方法和间接方法主要使用相同的经典热方程,但不以相同的次序,并且不使用相同的输入且不产生相同的输出。

[0175] 经典的热方程基于热传递理论,并且还使用一些经验方程,这些经验方程基于VDI Heat Atlas,第二版,G1部分,4.1节。

[0176] 申请人开发的软件的原创性基于以下可能性:

[0177] -在由相机执行的测量上应用校正;

[0178] -能够评估太阳能接收器表面的每个区域的热-机械负荷,并将其与太阳能接收器的操作包络进行比较。

[0179] 以下两个部分将更精确地定义具有直接和间接方法的CMI软件的原创性。

[0180] 1. CMI软件的直接方法

[0181] 直接方法主要用于定义和计算:

- [0182] -基于太阳能接收器表面上的入射通量图的太阳能接收器效率；
- [0183] -在间接方法中使用的校正因子:A系数和B系数(用于IR相机热-机械监测)-见下文。
- [0184] 直接方法基于表1中绘制的以下体系架构和步骤。

[0185]	输入	1. 入射通量图	$\varphi_{(x,y)}$	$[W/m^2]$
		2. 估值 - 效率	$\varepsilon_{(x,y)}$	[-]
		3. 盐质量流量	$\dot{M}_{salt}$	$[kg/s]$
		4. 太阳能接收器离散化- 对于每个单元格 (x, y)		
		a. 吸收功率 (表面 $\delta_l \cdot d_o \cdot n_{tube, cell}$)	$\dot{Q}_{salt(x,y)}$	$[W]$
		b. 盐温度	$T_{salt(x,y)}$	$[^{\circ}C]$
		c. 在 $T_{salt(x,y)}$ 处的盐特性	$Cp, \rho, v, \mu, \lambda, \omega$	
		d. 内部传热系数	$h_{i(x,y)}$	$[W/m^2/K]$
		e. 管离散化 - 对于每个 α		
		i. 吸收功率 (表面 $\delta_l \cdot r_o \cdot \delta_{\alpha}$)	$\dot{Q}_{salt(x,y,\alpha)}$	$[W]$
		ii. 内壁温度	$T_{i(x,y,\alpha)}$	$[^{\circ}C]$
		iii. 外壁温度	$T_{o(x,y,\alpha)}$	$[^{\circ}C]$
		iv. 外壁自然对流损失	$\dot{Q}_{loss,NC(x,y,\alpha)}$	$[W]$
		v. 外壁 IR 辐射损失	$\dot{Q}_{loss,rad(x,y,\alpha)}$	$[W]$
		vi. 外壁强制对流损失 (单元格水平)	$\dot{Q}_{loss,FC(x,y,\alpha)}$	$[W]$
	输出	f. IR 相机看到的外壁平均温度	$T_{camera(x,y)}$	$[^{\circ}C]$
		g. 金属特性	$\lambda, \alpha, E, v, R_p, R_r$	
		h. 应力/应变水平	ε, σ	
		i. 效率	$\varepsilon_{(x,y)}$	[-]
		5. 外壁强制对流损失 (全局)	$\dot{Q}_{loss,FC(x,y)}$	$[W]$
		6. A 系数&B 系数	A & B	[-]

[0186] 表1

[0187] 在直接方法中,过程是:

[0188] -通过使用用于从管到IR相机的辐射传递的简化方程(未示出),根据相机进行的测量来计算/评估外壁平均温度;

[0189] -计算A系数和B系数。

[0190] 如图5中所示,每个相机覆盖在其正前面的大于90°的太阳能接收器表面。基于此并为了确保冗余:

[0191] 每个相机专用于四个面板

[0192] 计算将对于两种配置并行地执行:

[0193] -配置1:面板31和31';

[0194] -配置2:面板32和32'。

[0195] 每个面板是在两个相机的视场(FOV)上

[0196] 获得的结果取决于以下条件:

[0197] -在正常条件下:结果来自“配置1”计算;

[0198] -在正常条件下的相机发生故障的情况下:结果来自“配置2”计算。

[0199] 根据上面提到的简化方程式(未示出),可以通过使用离散化方法来评估管上的值 $T_{camera, tube(x,y)}$ 。这个方程式考虑到面板平面与管切线平面之间的角度 α_1 以及相机轴线与直线相机管轴线(未示出)之间的角度 α_2 。还应当注意到相机不是“看到”半管的整个表面。事实上,取决于角度 α_1 和 α_2 ,一些区域被管本身或被其相邻管隐藏,于是不能被相机“看到”。在上面提到的具有边界的方程式(未示出)中考虑了该现象:

[0200] $-\alpha_3$:在相邻管的阴影中的角度;

[0201] $-\alpha_4$:被管本身隐藏的角度。

[0202] 要注意的另一个重要的点是相机温度必须以如上定义的“单元格水平”或离散化水平(而不是像素水平或管水平)考虑,并且必须表示考虑到处于像素水平的 T_{camera} 的从管到IR相机的辐射传递。

[0203] 为了简化关系,考虑单元格离散化、从一个单元格到另一个单元格和然后从一个管到另一个管的热通量的小变化以及两种配置(见图5),则在关于 10×10 像素的温度整合(integration)中考虑管的温度,其中 10×10 像素将被认为是对于两种配置的一个 $200 \times 200 \text{mm}^2$ 的单元格的表示。

[0204] 因此,我们可以定义遵守单元格与相机之间的全局功率平衡的处于单元格水平的 T_{camera} 。处于单元格水平的 T_{camera} 可以通过使用与先前相同的但是在单元格水平整合的离散化方法并且考虑到直接来自相机的处于像素水平的 T_{camera} 来评估。

[0205] 最后,在 (x,y) 轴中,上面提到的关系在单元格水平可以写成:

$$[0206] \quad T_{camera, cell(x,y)} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} (T_{camera, pixel_i,j})^4}{10 \times 10} \right]^{1/4}$$

[0207] 其中 $T_{camera, pixel_i,j}$ 是所考虑的单元格中的像素温度。

[0208] 至于考虑A系数和B系数的评估,在用直接方法得到的温度值上使用线性最小二乘法:

$$[0209] \quad \text{直接方法} \rightarrow \begin{cases} T_{salt(x,y)} \\ T_{o,max(x,y)} \\ T_{camera(x,y)} \end{cases} \rightarrow \text{线性最小二乘法}$$

$\rightarrow A \& B$ 系数

[0210] 管的最高外壁温度是为了执行热-机械监测的非常重要的参数,并且可以通过使用来自直接方法(见上文)的A系数和B系数来评估:

$$[0211] \quad T_{o,max(x,y)} = A \cdot T_{camera, cell(x,y)} + B \cdot T_{salt(x,y)}$$

[0212] 暴露于正常太阳能通量的半管上的外壁温度遵循在管顶上具有最大值的正弦曲线分布:

- [0213] $T_{o(x,y,90)} = T_{o,max(x,y)}$
- [0214] 2. CMI软件的间接方法
- [0215] 基于相机温度图、面板的进/出盐温度、盐质量流量、A系数和
- [0216] B系数以及操作包络,间接方法被用来
- [0217] -通过计算以下参数来确保热-机械监测:
- [0218] • 每个单元格上的最高温度,
- [0219] • 每个单元格上的应变水平,以及
- [0220] -将最高温度和应变与操作包络进行比较。
- [0221] 为了能够进行这种比较,必须计算以下参数:
- [0222] -内部传热系数,以符合每个面板的盐温度,
- [0223] -吸收通量图。
- [0224] CMI软件中使用的间接方法基于表2中绘制的体系架构和步骤。

输入

1. 针对每个 RAOI, 热屏蔽件上的参考温度必须由 DCS 发送到 IR 软件 → 根据 RAOI 的相机测量结果的 1 °校正

2. 在单元格水平的相机温度图 $T_{camera,cell(x,y)}$ [°C]
然后, IR 软件将由相机给出的像素温度转换成单元格温度: 因此, 一个单元格的温度是从大约 10×10 像素温度获得的“平均值”。

计算在单元格水平的相机温度

在单元格水平的相机温度图 (由 IR 供应商输入):

$$T_{camera,cell(x,y)} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} (T_{camera,pixel_{i,j}})^4}{10.10} \right]^{1/4}$$

3. 除了相机温度, CMI 还需要从 DCS 接收处理信息, 以计算每个单元格上的最高壁温度:

- 每个电路的盐质量流量
- 在每个面板的入口和出口处的盐温度

4. 估值 - 吸收功率 (表面 $\delta_l \cdot d_o \cdot n_{tube,cell}$) $\dot{Q}_{salt(x,y)}$ [W]

[0225]

[0226]	直接 方法	5. 太阳能接收器离散化 - 对于每个单元格(x, y) a. 盐温度 $T_{salt,out(x,y)}$ [°C] b. 在 $T_{salt,avg(x,y)}$ 处的盐特性 $Cp, \rho, \nu, \mu, \lambda, \omega$ c. 内部传热系数 $h_{i(x,y)}$ [W/m²/K] d. 在管顶上的管离散化 - 对于 $\alpha = 90^\circ$ i. 最高外壁温度 $T_{o,max(x,y)}$ [°C] $T_{o,max(x,y)} = A \cdot T_{camera,cell(x,y)} + B \cdot T_{salt(x,y)}$ ii. 最高内壁温度 $T_{i,max(x,y)}$ [°C] iii. 吸收功率 (表面 $\delta_l, d_o, n_{tube,cell}$) $\dot{Q}_{salt(x,y)}$ [W]	
		6. 太阳能接收器离散化 - 对于每个单元格(x, y) a. 吸收功率 (表面 $\delta_l, d_o, n_{tube,cell}$) $\dot{Q}_{salt(x,y)}$ [W] b. 盐温度 $T_{salt(x,y)}$ [°C] c. 在 $T_{salt(x,y)}$ 处的盐特性 $Cp, \rho, \nu, \mu, \lambda, \omega$ d. 内部传热系数 $h_{i(x,y)}$ [W/m²/K] e. 管离散化 - 对于每个 α i. 吸收功率 (表面 δ_l, r_o, δ_a) $\dot{Q}_{salt(x,y,\alpha)}$ [W] ii. 内壁温度 $T_{i(x,y,\alpha)}$ [°C] iii. 外壁温度 $T_{o(x,y,\alpha)}$ [°C] f. 金属特性 $\lambda, \alpha, E, \nu, Rp, Rr$	
	输出	7. 应力/应变水平 ε, σ 8. 管热-机械负荷与操作包络的比较 9. 功率减小率计算 10. 准则和对 DCS 的散焦请求	

[0227] 表2

[0228] 逐个单元格地计算步骤5若干次,直到吸收功率收敛。然后,基于这个功率值,可以使用直接方法(步骤6)。

[0229] 当已经计算出面板(19×92个单元格)时,将其出口平均盐温度与来自DCS的处理值进行比较。如果值不匹配,那么利用内部传热系数的经校正值得到这个面板的每个单元格再次执行计算,应用校正因子。

[0230] 下面的点更精确地定义了先前描述的间接方法的一些步骤:

[0231] 处于所有水平的相机温度图

[0232] 相机温度图(图13)具有与用于直接方法的入射通量图相同的特点。它示出了在太阳能接收器(面板为19×92个单元格)的单元格上的温度 $T_{camera,cell}$ [°C]。

[0233] 估值-吸收功率

[0234] 对于第一次运行,对于每个单元格由盐吸收的功率被定义如下:

$$[0235] \quad \dot{Q}_{salt(x,y)} = \frac{\dot{Q}_{salt,panel}}{n_{cell,panel}} = \frac{\dot{M}_{salt,circuit} \cdot (h_{salt,out,panel} - h_{salt,in,panel})}{19 \times 92}$$

[0236] 根据来自DCS的处理值,计算焓(enthalpies)。

[0237] 最高外壁温度(参见直接方法)

[0238] 经典热方程

[0239] 基于传热理论的经典热方程和基于VDI Heat Atlas第二版,G1部分,4.1节的一些经验方程式被用于计算:

[0240] -管顶上的吸收功率;

[0241] -最高内壁温度;

[0242] -被单元格吸收的功率;

[0243] -内部传热系数。

[0244] 内部传热系数是根据直接方法计算的。但是,如果所获得的结果与现实不匹配,那么该内部传热系数必须被校正。因此,内部传热由以下经修正的方程式定义:

$$[0245] \quad h_{i(x,y)} = \frac{Nu_{salt(x,y)} \cdot \lambda_{salt(x,y)}}{d_i} \cdot f_{hi}$$

[0246] 其中,

[0247] - f_{hi} 内部传热系数校正因子(每个面板一个)。

[0248] 这个校正因子在每个面板计算结束时更新。对一个面板的每个单元格使用相同的校正因子。

[0249] 基于吸收功率的直接方法

[0250] 一旦已经评估了吸收功率,就可以使用直接方法。

[0251] 理论应变相对于温度包络

[0252] 计算与最高外壁温度相关联的理论应变,以与经验证的包络进行比较。

[0253] 一旦知道在单元格的代表性半管周围的外部温度分布,就可以评估管合金(其可以是例如基于镍的或不锈钢合金)的金属特性,并且计算单元格上的理论应变(未示出)。该计算适用于不同的操作通量图,给出了图9的图表。为每个通量图计算每个面板的一个关键点($\epsilon_{\text{alloy,max}} | T_{o,\text{max}}$) (总共 9×16 个点)。每个面板的最高外壁温度和理论应变被用来绘制图9的每个点(每个面板1个点 $\times$ 16个面板 $\times$ 9个通量图)。

[0254] 已经执行了基于寿命评估的专门研究来验证在图10上标识的包络,该包络被定义为太阳能接收器的操作包络。

[0255] 每个单元格都需要符合在 $T_{o,\text{max}(x,y)}$ 处评估的以下准则:

$$[0256] \quad \epsilon_{\text{alloy}(x,y)} \leq \epsilon_{\text{alloy envelop}} \quad \circ$$

[0257] 如果一个或多个单元格不符合该准则,那么该信息被发送到DCS,以执行选择性聚焦。

[0258] 根据图10上给出的表示来定义 $d\epsilon_{\text{alloy}230}$ 。

$$[0259] \quad d\epsilon_{\text{alloy}} = \epsilon_{\text{alloy}(x,y)} - \epsilon_{\text{alloy envelop}}$$

[0260] 这可以通过计算热-机械趋势线与操作包络之间的交点来确定(参见图10)。

[0261] 热-机械趋势线由下式给出:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{\text{alloy}(x,y)} &= f(T_{o,\max(x,y)}, T_{i,\max(x,y)}, T_{\text{salt}(x,y)}) \cong C_1 \cdot \Delta T_{(x,y)} \\
 &= C_1 \cdot T_{o,\max(x,y)} - C_1 \cdot T_{\text{salt}(x,y)}
 \end{aligned}$$

[0263] 而操作包络由下式给出：

$$\varepsilon_{\text{alloy envelop}} = a \cdot T_{o,\max(x,y)} - b$$

[0265] 功率减小率

[0266] 已经发现了理论强度减小和功率变化之间的相关性，用来评估功率减小率。

[0267] 可以看出，对于一个单元格，管顶上的功率减小是理论强度变化的函数，其形式如下：

$$d\dot{Q}_{\text{salt}(x,y)} = 2 \cdot n_{\text{tube, cell}} \cdot \frac{d\varepsilon_{\text{alloy}(x,y)}}{1,150 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{\delta_l}{\Lambda_{(x,y)} + H_{i(x,y)}}$$

[0269] 准则和对DCS的散焦请求

[0270] 当与操作包络相比，在管内最高温度和应变方面的限度被超过时，由CMI软件生成局部散焦信号。警报也会被生成。

[0271] 根据优选实施例，关于应变 $\Delta \varepsilon$ 的准则是根据与测量不确定性相关的数量级定义的：

[0272] -最大：0.025%；

[0273] -平均：0.017%

[0274] 由CMI软件向DCS给出的散焦百分比将基于以下条件触发三个警报之一：

[0275] 1) SR PANEL MAX 1: ε_1 = 标称包络 + 0.015% ; $t_1 > 15$ 秒

[0276] →向DCS发出警报

[0277] 2) SR PANEL MAX 2: ε_2 = 标称包络 + 0.03% ; $t_1 + t_2 > 30$ 秒

[0278] →向DCS发出警报

[0279] 3) SR PANEL MAX 3: ε_3 = 标称包络 + 0.05% ; $t_1 + t_2 + t_3 > 45$ 秒

[0280] →向DCS发出警报+关断请求DCS。

[0281] 如果 $\Delta \varepsilon > 0.015\%$ ，那么散焦被激活：

[0282] - $0\% < \Delta \varepsilon < 0.015\%$ →无动作；

[0283] - $0.015\% < \Delta \varepsilon < 0.03\%$ →警报1+散焦；

[0284] - $0.030\% < \Delta \varepsilon < 0.05\%$ →警报2+散焦；

[0285] - $\Delta \varepsilon > 0.05\%$ →警报3+关断请求DCS。

[0286] 发送到DCS的信息是有问题区域位置和入射功率减小率：

[0287] -区域位置-两个坐标，以定义有问题区域的浮动边界角：

[0288] ○左上角 (x_1, y_1) ；

[0289] ○右下角 (x_2, y_2) 。

[0290] -功率减小率：

[0291] ○百分比值

[0292] ○有问题区域的最大值。

[0293] 仍然在本发明的框架中,可以使用具有更高分辨率的IR相机。但是,出于以下原因,不推荐这种解决方案:

[0294] -更复杂的设计(集成了用于相机敏感区域的冷却系统);

[0295] -更适应实验室应用而不是工业设计(寿命受到影响);

[0296] -在成本方面:比具有 1024×768 像素的相机贵至少6倍。

[0297] 进一步的观点

[0298] 与本发明相关的进一步的观点是(例如对于在 565°C 处的熔融盐流量(kg/s))提供简化的保证和具有闭环的定日镜控制优化。

[0299] 附图标记

- [0300] 1 CSP塔设施
- [0301] 2 吸收面板(热屏蔽件)
- [0302] 3 太阳能接收器
- [0303] 4 熔融盐的冷罐
- [0304] 5 熔融盐的热罐
- [0305] 6 接收器管
- [0306] 7 IR相机监测系统
- [0307] 7A 相邻IR相机监测系统
- [0308] 7B 相邻IR相机监测系统
- [0309] 8 固定和定向IR相机设备
- [0310] 9 支撑系统(桅杆)
- [0311] 10 位置调节系统
- [0312] 11 远程机柜
- [0313] 12 感兴趣的参考区域(RAOI)
- [0314] 13 热电偶
- [0315] 14 管吸收功率分布
- [0316] 15 管温度分布
- [0317] 16 操作包络
- [0318] 20 PID
- [0319] 21 压力传感器
- [0320] 22 流量计
- [0321] 23 温度传感器
- [0322] 30 接收器面板
- [0323] 31,31' 与配置1对应的面板(一个相机)
- [0324] 32,32' 与配置2对应的面板(一个相机)
- [0325] 40 DCS
- [0326] 41 IR相机软件
- [0327] 42 CMI软件
- [0328] 43 主PC
- [0329] 44 从PC

[0330] 45 DLL

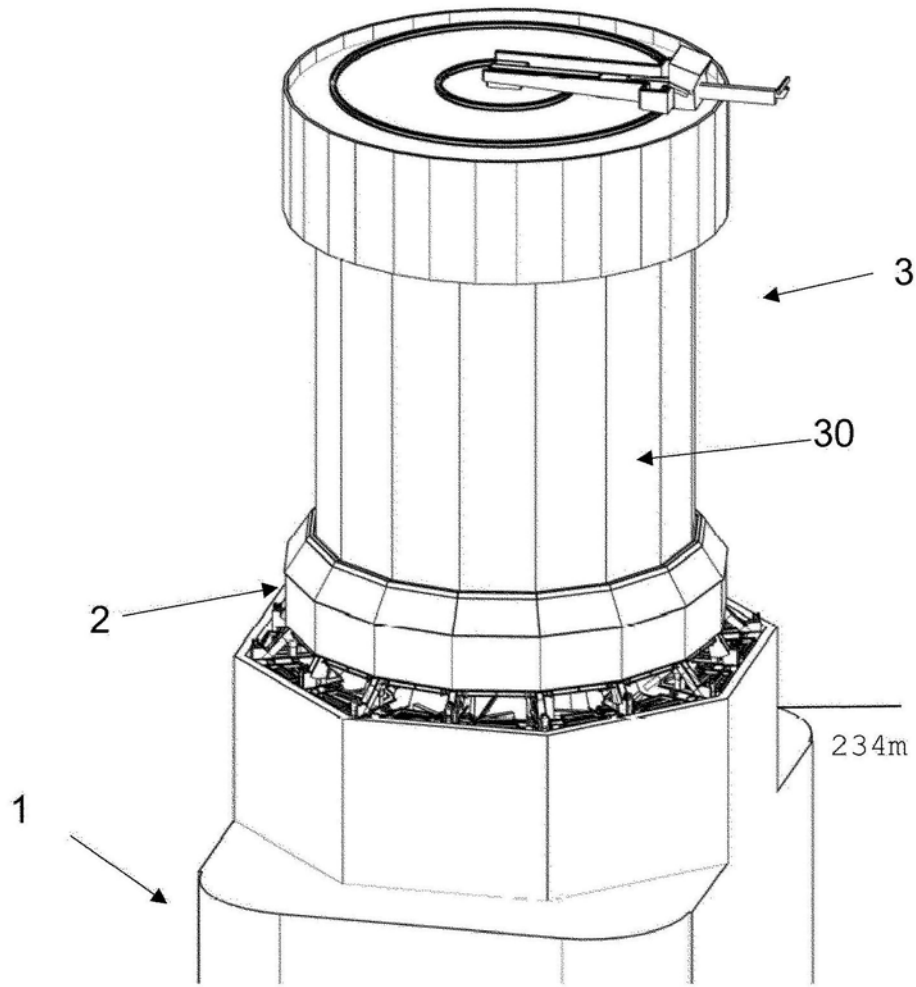


图1

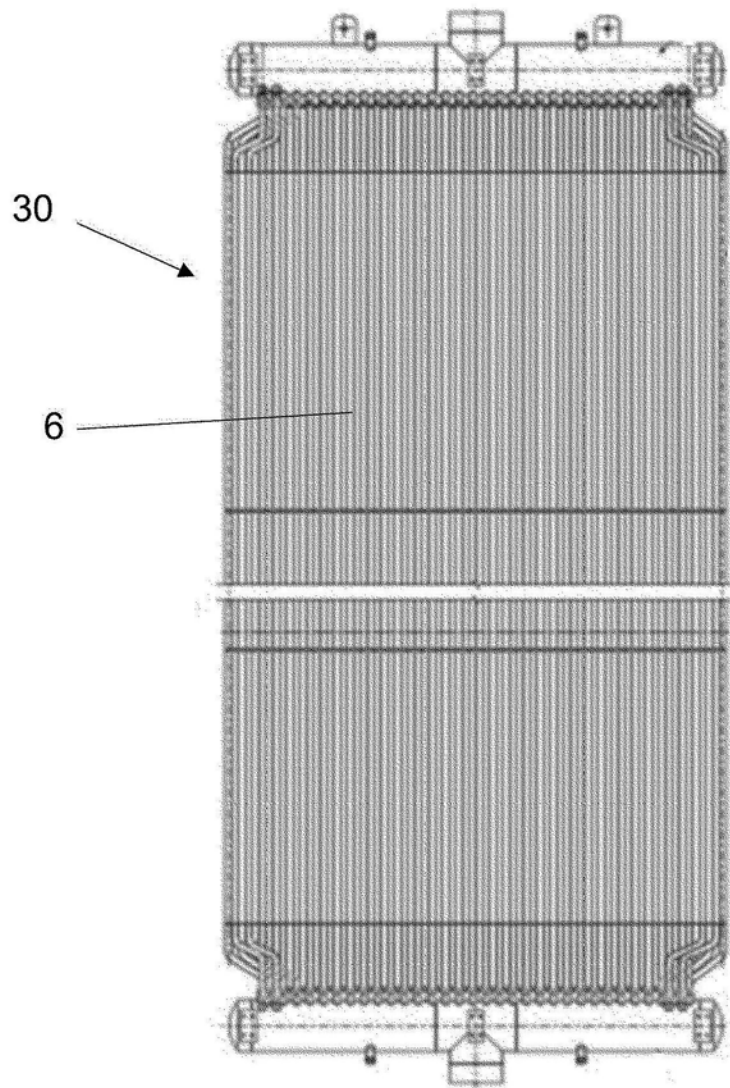


图3

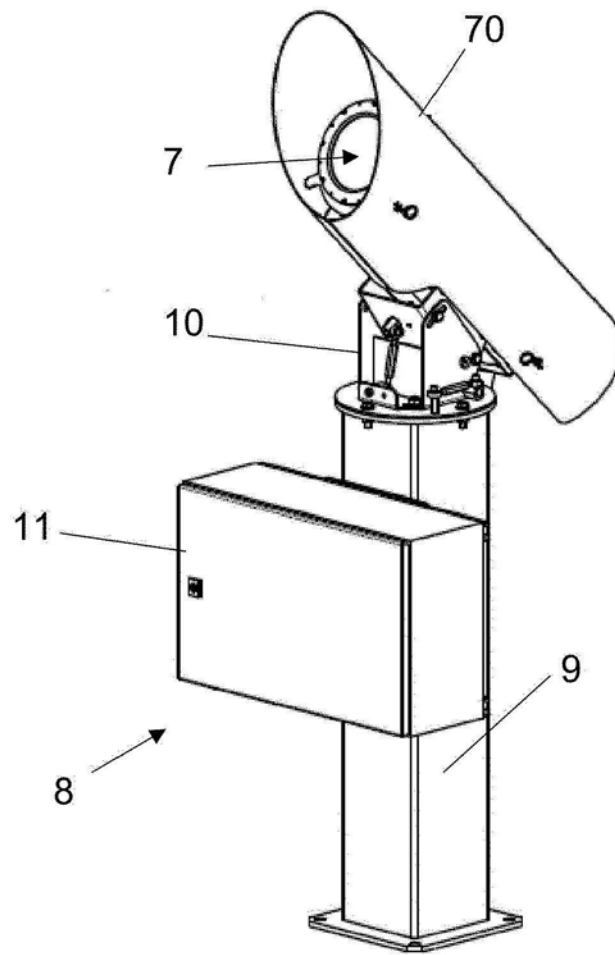


图4

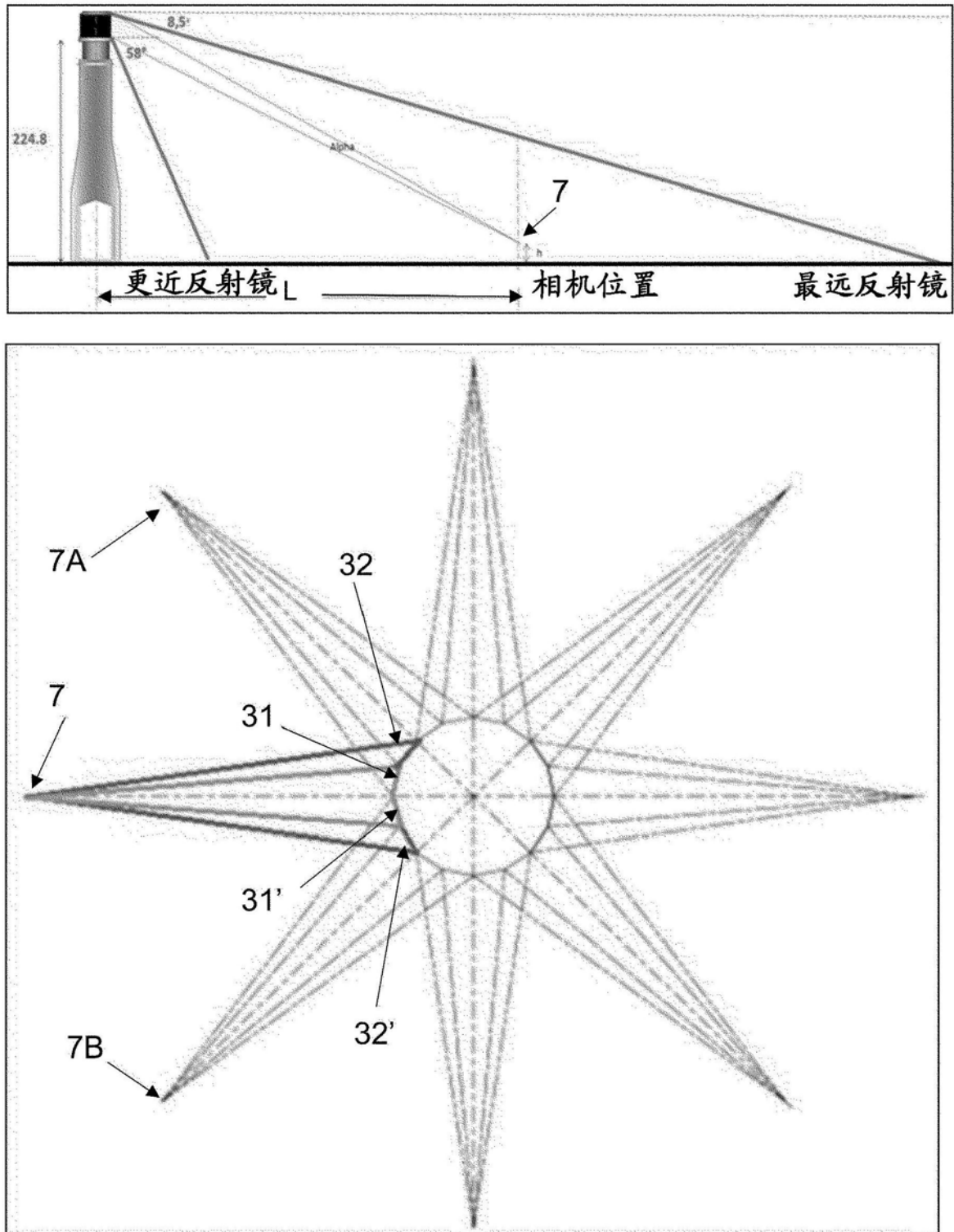


图5

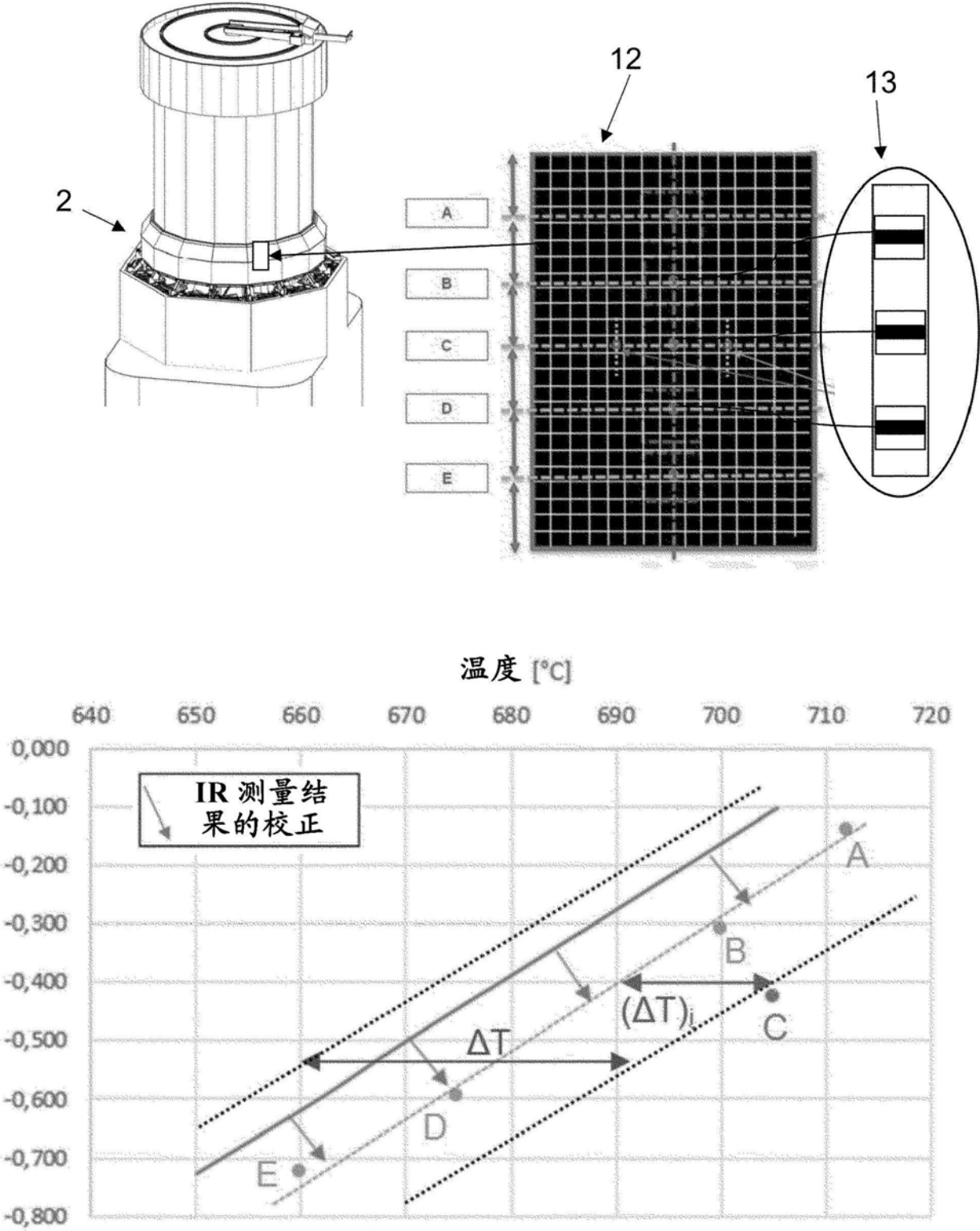


图6

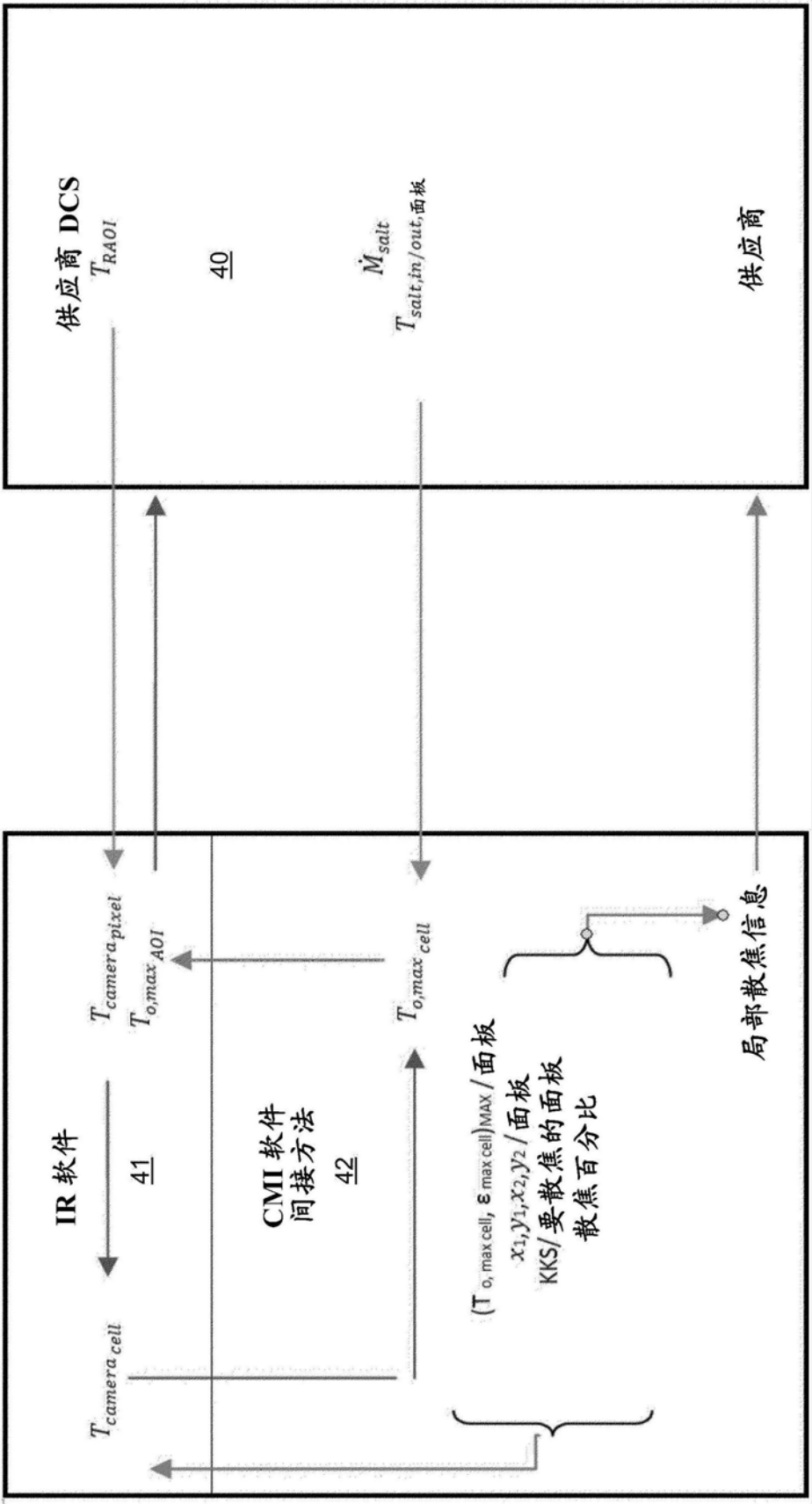


图7

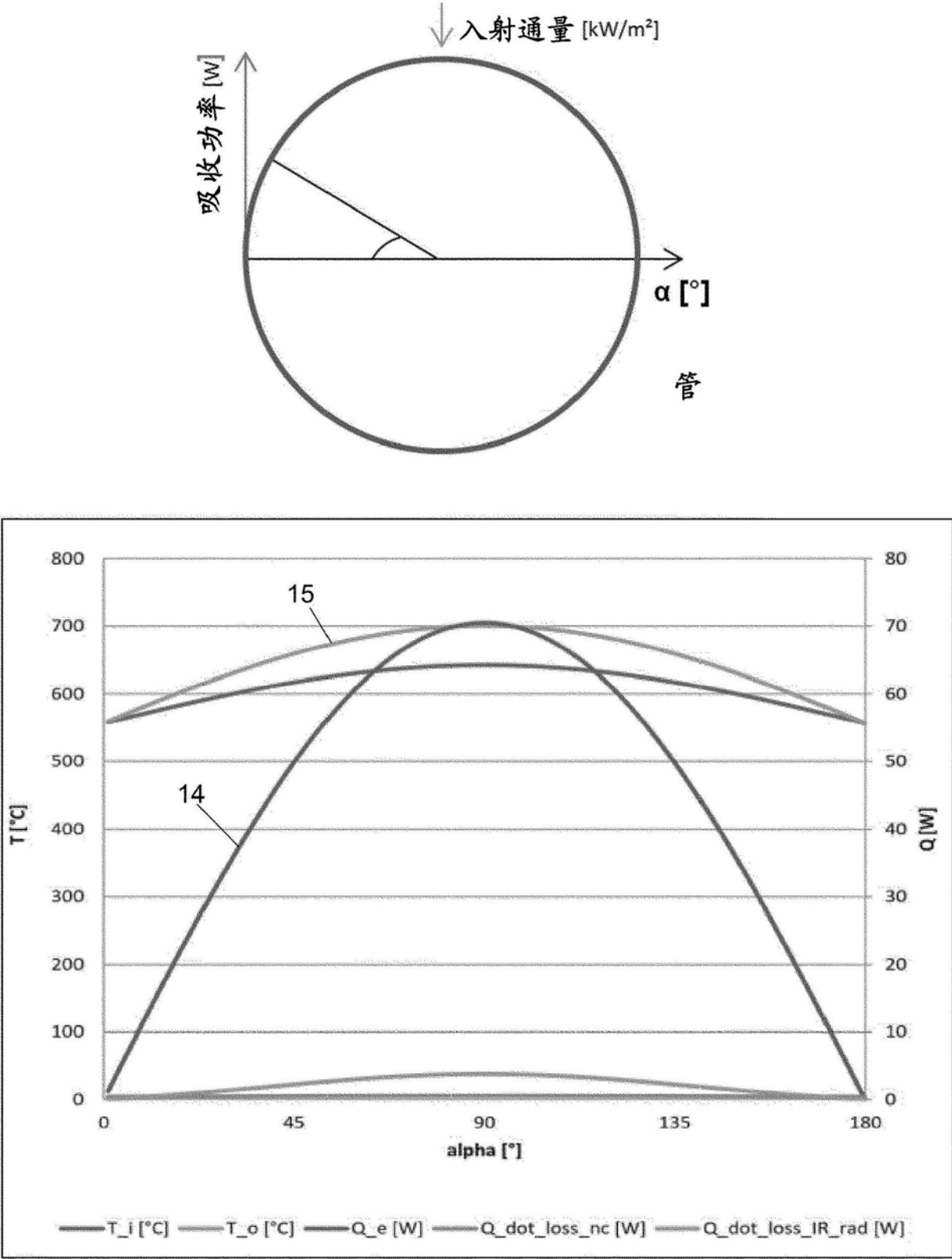


图8

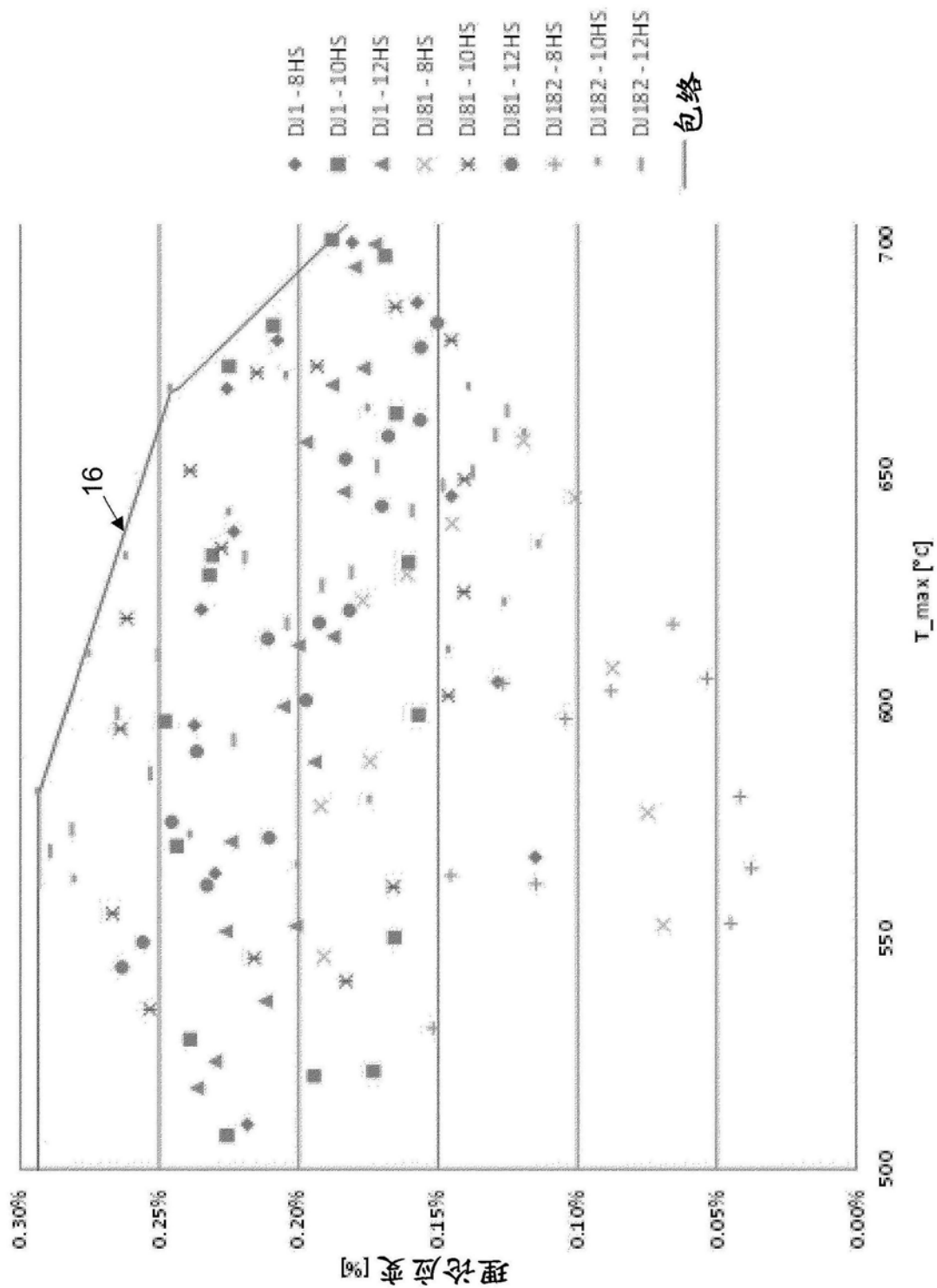


图9

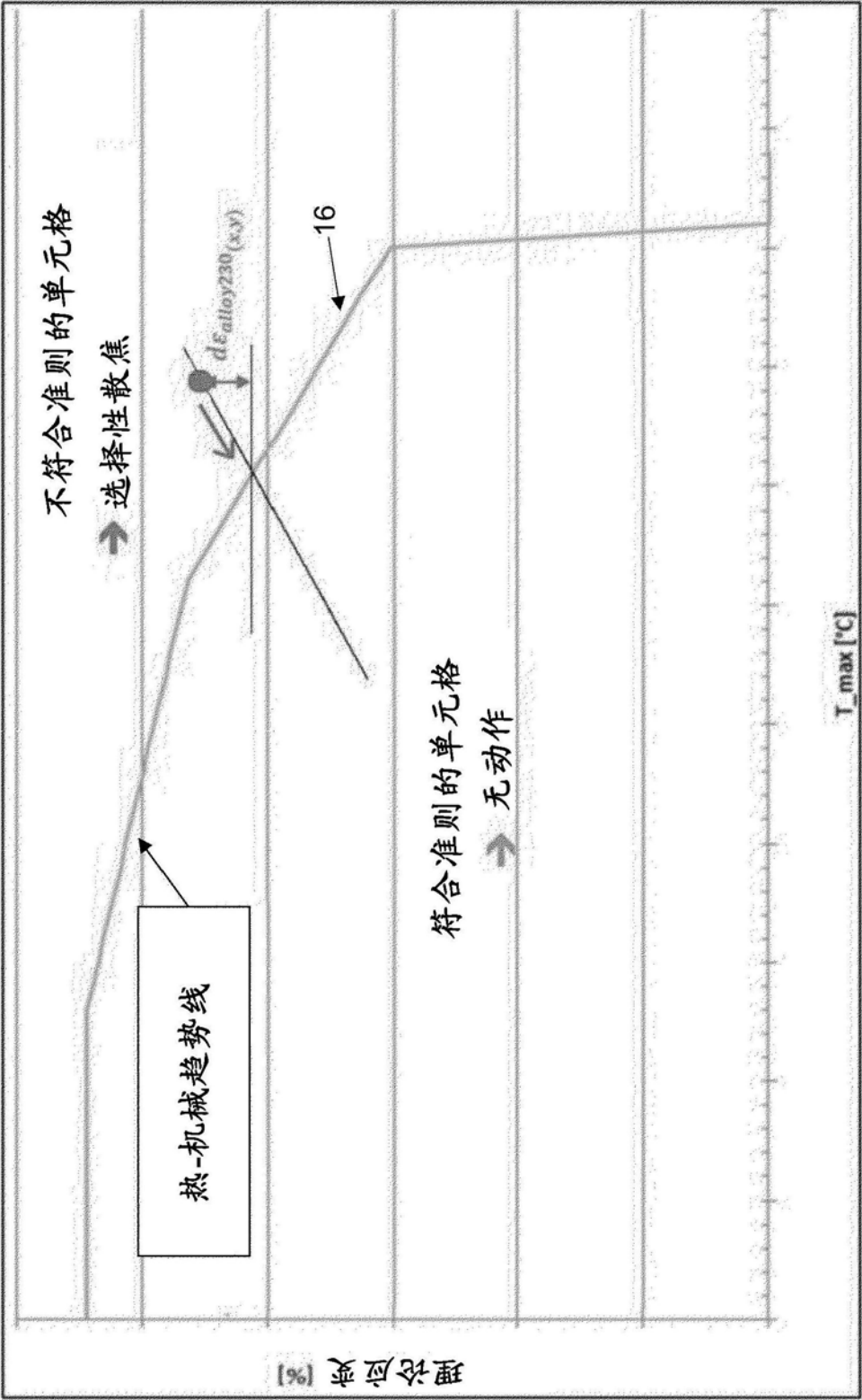


图10

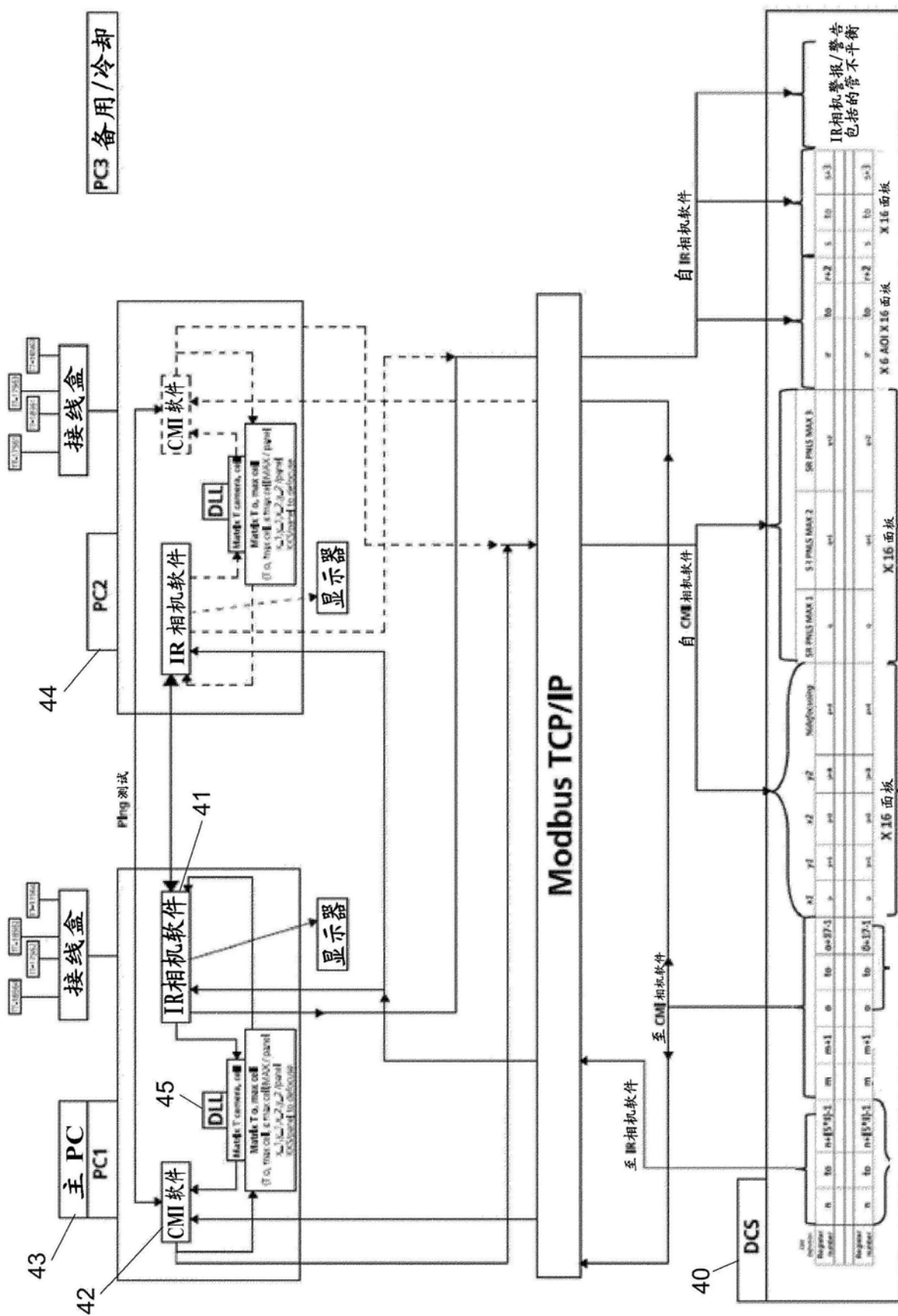


图11

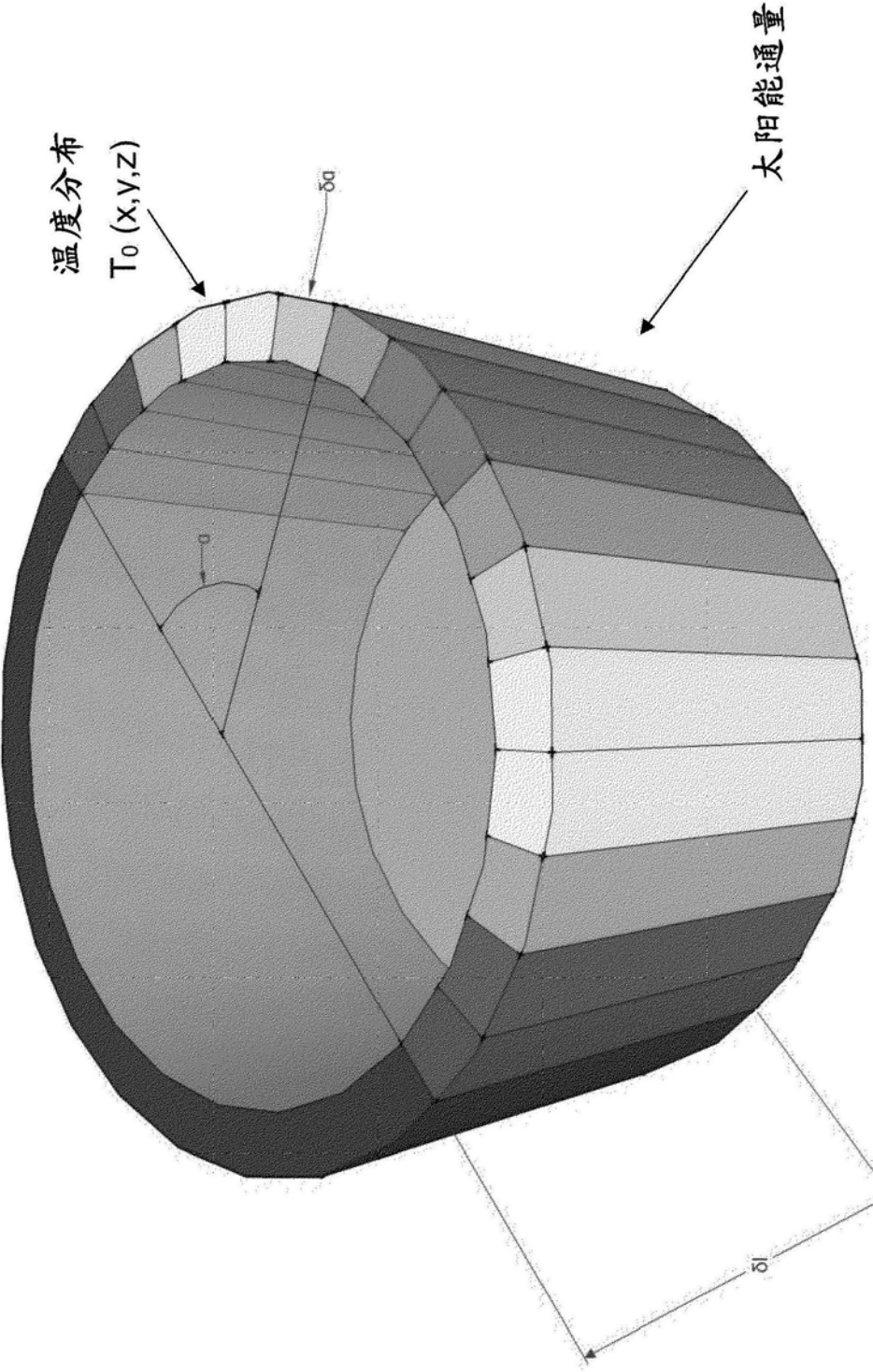


图12

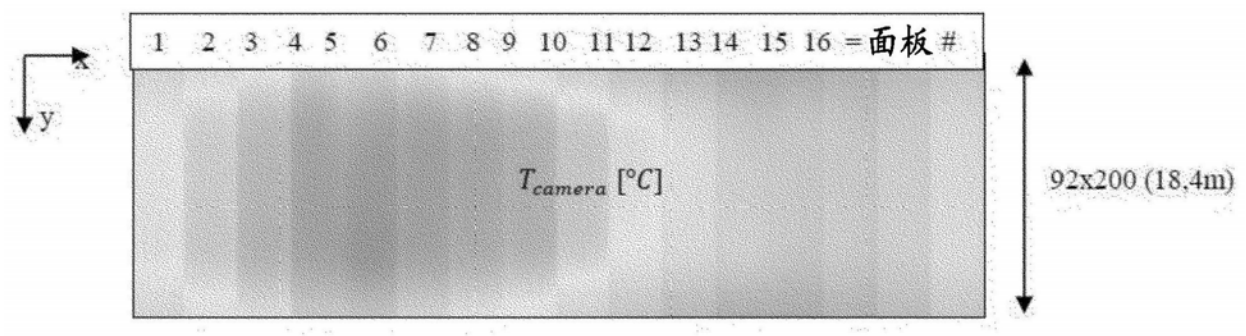


图13

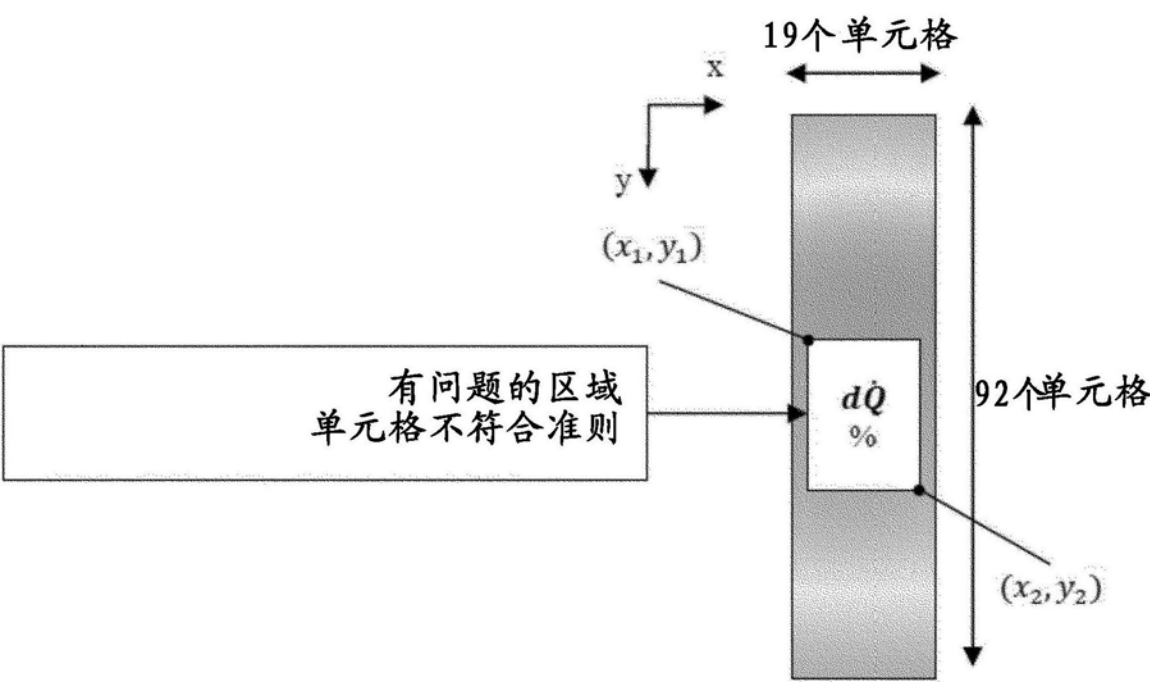


图14