



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101032196 B

(45) 授权公告日 2011.04.13

(21) 申请号 200580023995.2

代理人 王岳 刘杰

(22) 申请日 2005.05.24

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H05K 7/20 (2006.01)

10/853,522 2004.05.26 US

(56) 对比文件

(85) PCT申请进入国家阶段日

US 6374627 A, 2002.04.23, 全文.

2007.01.16

EP 0741269 A, 1996.11.06, 全文.

(86) PCT申请的申请数据

US 4406397 A, 1983.09.27, 全文.

PCT/US2005/018298 2005.05.24

审查员 徐佳颖

(87) PCT申请的公布数据

WO2005/120144 EN 2005.12.15

(73) 专利权人 惠普开发有限公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 C · 巴什 R · 夏马

A · H · 贝特尔马尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

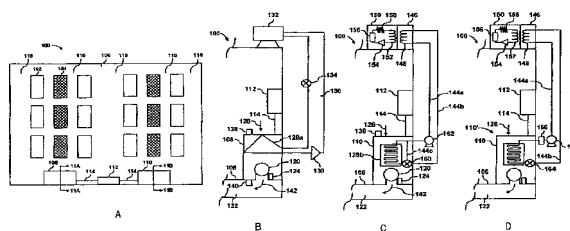
权利要求书 2 页 说明书 17 页 附图 7 页

(54) 发明名称

使用传热水平操作的能量高效 CRAC 部件及方法

(57) 摘要

一种用于控制一个或多个计算机机房空调 CRAC 部件 (108, 110, 110') 以便能量高效操作的方法 (450), 其中检测被返回到所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 中的空气的温度 T_{rat} 和由所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 所提供的空气的温度 T_{sat} 。根据 T_{rat} 和 T_{sat} 来计算热传递速率 Q 并且确定 Q 是否在预定的调整点传热范围之内。另外, 响应于 Q 在预定的调整点传热范围内来减少一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 的至少一个操作以便由此增加一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 的效率。



1. 一种用于控制一个或多个计算机机房空调 CRAC 部件 (108, 110, 110') 以便能
量高效操作的方法 (450), 所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 被配置为接收
返回空气, 冷却所接收的空气并且提供所冷却的空气, 所述方法包括:

检测 (456) 返回到所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 的温度的
Trat;

检测 (458) 由所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 所提供的空气的温
度 Tsat;

根据所述 Trat 和 Tsat 来计算 (460) 热传递速率 Q;

确定 (462) 所述 Q 是否在预定的调整点传热范围之内; 并且

响应于 Q 在预定的调整点传热范围内来减少 (426) 一个或多个 CRAC 部件 (108,
110, 110') 的至少一个操作, 以便由此增加所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110,
110') 的效率。

2. 如权利要求 1 所述的方法, 其中所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110')
各包括冷却系统 (128a, 150) 和吹风机 (120), 所述方法还包括:

检测 (416) 所述冷却系统 (128a, 150) 的功率消耗;

检测 (418) 所述吹风机 (120) 的功率消耗; 并且

其中减少所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 的至少一个操作的步骤包
括降低所述冷却系统 (128a, 150) 和吹风机 (120) 中至少一个的功率消耗。

3. 如权利要求 2 所述的方法, 还包括:

计算 (420) 与所述冷却系统 (128a, 150) 功率消耗和吹风机 (120) 功率消耗相关联
的成本; 并且

其中减少所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 的至少一个操作的步骤包
括降低与操作所述冷却系统 (128a, 150) 和吹风机 (120) 中至少一个相关联的成本。

4. 如权利要求 1-3 中任何一个所述的方法, 还包括:

响应于所述 Q 在调整点传热范围之外来确定 (466) 所述 Q 是否在最小调整点传热水
平之下; 如果所述 Q 不在最小调整点传热水平之下, 则,

确定 (466) 由一个或多个 CRAC 部件所提供的冷却液的流率;

把所述流率与流率调整点相比较 (468); 并且

响应于所述流率低于流率调整点来增加 (470) 所述一个或多个 CRAC 部件 (108,
110, 110') 的体积流率。

5. 如权利要求 4 所述的方法, 还包括:

响应于所述 Q 在最小调整点传热水平之下来使 (414) 所述一个或多个 CRAC 部件
(108, 110, 110') 进入降低功率模式;

当所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 处于降低功率模式时检测 (456,
458) 所述 Trat 和 Tsat;

当所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110, 110') 处于降低功率模式中时计算 (460)
所述 Q; 并且

响应于所述 Q 超过预定义的传热水平来使所述一个或多个 CRAC 部件 (108, 110,
110') 退出降低功率模式。

6. 一种计算机机房空调 CRAC 部件 (108, 110, 110'), 包括 :
- 第一传感器 (138), 被配置为检测返回空气的温度 T_{rat} ;
- 第二传感器 (140), 被配置为检测所提供空气的温度 T_{sat} ; 和
- 控制器 (204), 被配置为根据所述 T_{rat} 和 T_{sat} 来计算热传递速率 Q , 其中所述控制器 (204) 还被配置为确定所述 Q 是否在预定的调整点传热范围之内, 所述控制器 (204) 进一步被配置为响应于所述 Q 在预定的调整点传热范围内来减少所述 CRAC 部件 (108, 110, 110') 的至少一个操作。
7. 如权利要求 6 所述的 CRAC 部件 (108, 110, 110'), 还包括 :
- 冷却系统 (128a, 130, 150) ;
- 吹风机 (120) ; 和
- 功率计 (206), 被配置为检测所述冷却系统 (128a, 130, 150)。

使用传热水平操作的能量高效 CRAC 部件及方法

背景技术

[0001] 数据中心可以被定义为例如房间之类的场所，其容纳在多个机架中布置的计算机系统。例如电子设备柜之类的标准机架被定义为电子工业协会 (EIA) 外壳，78 英寸 (2 米) 高，24 英寸 (0.61 米) 宽并且 30 英寸 (0.76 米) 深。这些机架被配置为容纳多个计算机系统，大约四十 (40) 个系统，将来的机架配置被设计成用于容纳 200 或更多个系统。计算机系统典型情况下包括多个印刷电路板 (PCB)、海量存储设备、电源、处理器、微控制器和半导体设备，在它们操作期间耗散相对大量的热。例如，包括多个微处理器的典型计算机系统耗散近似 250W 的功率。从而，包含此类四十个 (40) 计算机系统的机架耗散近似 10KW 的功率。

[0002] 把由机架中组件所耗散的热转送到在数据中心中所包含的冷空气所要求的功率通常大约等于操作所述组件所需要功率的百分之十。然而，移除由数据中心中多个机架所耗散的热所要求的功率通常大约等于操作所述所述机架中组件所需要功率的百分之五十。耗散在机架和数据中心之间各个热负载所要求功率量的不一致例如是由于在所述数据中心中冷却空气所需要的附加热力学工作。依照一个方面，典型情况下利用可操作来穿过热耗散组件移动冷却空气的风扇来冷却机架；而数据中心常常执行逆功率循环以便冷却加热的回流空气。除与在数据中心和冷凝器中移动冷却液相关联的工作之外，实现温度下降所要求的附加工作常常增加多达百分之五十的功率要求。因而，数据中心的冷却给出了除冷却机架所面临问题之外的问题。

[0003] 典型情况下通过操作一个或多个计算机机房空调 (computer roomair conditioning CRAC) 部件来冷却常规的数据中心。例如，CRAC 部件的压缩器典型情况下最少消耗所要求操作能量大约百分之三十 (30) 的能量以便充分冷却数据中心。例如冷凝器和空气移动器 (风扇) 之类的其它组件，一般会另外消耗所要求整个操作能量的百分之二十 (20)。作为一个例子，具有 100 个机架的高密度数据中心通常要求 1MW 的冷却能力，每个机架具有最大 10KW 的功耗。具有 1MW 热量排除能力的 CRAC 部件通常除驱动空气移动设备 (例如风扇和吹风机) 所需要的功率之外最少要求 300KW 的输入压缩器功率。常规的数据中心 CRAC 部件并不根据数据中心的分布需要而改变它们的冷却液输出。作为替代，这些 CRAC 部件通常即使在数据中心内的热负载被降低时也在最大压缩器功率级或其附近操作。

[0004] CRAC 部件基本上连续的操作通常被设计成用于依照最坏情况下来操作。例如，CRAC 部件典型情况下在最大能力周围设计并且利用冗余使得数据中心可以按照基本上持续不断地保持在线。然而，数据中心中的计算机系统只可以利用最大冷却功率的大约 30-50%。在这方面，常规的冷却系统常常试图冷却那些可能还没有在会使其温度超过预定温度范围的水平上操作的组件。从而，许多常规的冷却系统常常承担比足以冷却在数据中心的机架中所包含的热产生组件所必须的操作费用更大的操作费用量。

[0005] 其它类型的常规 CRAC 部件被配置为改变冷却液温度以及向数据中心所提供的冷却液的体积流率。这些类型的 CRAC 部件常常包括被配置为在向数据中心递送冷却液

之前改变所接收冷却液的温度的冷却系统。冷却系统包括可变容量压缩器和冷水系统。另外，这些 CRAC 部件还包括具有可变频率驱动器的吹风机，被配置为改变递送到数据中心中的冷却液的体积流率。

[0006] 冷却系统冷却从数据中心所接收的冷却液的温度常常是根据所检测的、返回到 CRAC 部件中冷却液的温度的。另外，吹风机的速度常常与冷却系统的操作相关。在这方面，当冷却系统可操作来降低冷却液的温度时，所述吹风机还可操作来增加所冷却的冷却液的体积流率。依照这种方式操作冷却系统是低效的，这是因为典型情况下不必一定使用冷却液温度的降低和冷却液体积流率的增加来把数据中心中的组件维持在预定的温度范围内。

发明内容

[0007] 公开了一种用于控制一个或多个计算机机房空调 (CRAC) 部件以便能量高效操作的方法。在所述方法中，检测返回到一个或多个 CRAC 部件中的空气 (Trat) 的温度和由所述一个或多个 CRAC 部件所提供的空气 (Tsar) 的温度。根据 Trat 和 Tsar 来计算热传递速率 (Q) 并且确定 Q 是否在预定的调整点传热范围之内。另外，响应于 Q 在预定的调整点传热范围内来减少一个或多个 CRAC 部件的至少一个操作以便由此增加一个或多个 CRAC 部件的效率。

附图说明

[0008] 参考附图根据以下描述，本发明的特征对那些本领域技术人员将变得更加清楚，其中：

[0009] 图 1A 依照本发明实施例示出了数据中心的简化平面图；

[0010] 图 1B 依照实施例示出了沿图 1A 的 IIA-IIA 线所获取的截面侧视图；

[0011] 图 1C 依照另一实施例示出了沿图 1A 的 IIB-IIB 线所获取的截面侧视图；

[0012] 图 1D 依照进一步的实施例示出了沿图 1A 的 IIB-IIB 线所获取的截面侧视图；

[0013] 图 2A-2C 是可操作来依照各个实施例控制 CRAC 部件的 CRAC 控制系统的各自框图；

[0014] 图 3 依照实施例图示了各个冷却系统操作级及与其操作相关联成本的图表；

[0015] 图 4A 和 4B 依照各个实施例分别图示了根据调整点温度和调整点热传递确定的 CRAC 部件控制方法的操作模式的流程图；和

[0016] 图 5 依照实施例图示了被用为在本公开中所描述的各个操作的平台的计算机系统。

具体实施方式

[0017] 为了简单和说明性目的，主要参照其示例性实施例来描述本发明。在下面描述中，阐明了许多具体细节以便对本发明提供更彻底的了解。然而，本领域普通技术人员应当清楚，可以在并不限于这些具体细节的情况下实施本发明。在其它实例中，没有详细描述公知的方法和结构以免不必要地模糊本发明。

[0018] 遍及本公开，涉及“冷却液”和“加热的冷却液”。为了简明，“冷却液”

通常可以被定义为已经由例如空调部件之类的冷却设备所冷却的空气。另外,“加热的冷却液”通常可以被定义为已经被加热的冷却液。然而应当容易地看出,术语“冷却液”并不意在标示只包含冷却流体的空气而且“加热的冷却液”只包含已经被加热的冷却液。作为替代,本发明的实施例可以用包含加热的冷却液和冷却液的混合物的空气来操作。另外,冷却液和加热的冷却液可以标示除空气之外的气体,例如冷冻剂及本领域普通技术人员已知可以用来冷却电子组件的其它类型气体。

[0019] 依照一个例子,计算机机房空调(CRAC)部件包括能够能量高效地冷却并且向数据中心提供冷却液的系统。另外,依照通常优化与冷却在数据中心中所包含组件相关联的成本的方式来操作 CRAC 部件的系统。从而 CRAC 部件可以包括可变控制的系统,其被设计并可操作来在基本上优化的成本结构下冷却组件。

[0020] 在一个例子中,可变控制的系统包括具有二路或三路阀的冷流体系统,用于经由冷却管可变地控制冷流体(例如水、冷冻剂或其它冷却剂等)的流动。在另一例子中,可变控制的系统包括可变容量压缩机,被设计成用于可变地控制冷冻剂的冷却,所述冷冻剂被配置为从数据中心所接收的冷却液中吸收热量。在上面任何一个例子中,可变控制的系统包括具有可变频率驱动器的吹风机,被配置为控制利用在冷却管中所包含的液体经由热传递来冷却的冷却液的输出。

[0021] 可以依照总体上优化其能量利用同时维持数据中心中组件的热管理要求的方式来操作可变控制的系统。依照一个方面,可以依照基本上独立的方式来操作可变控制的系统以能够基本上优化能量利用。例如,可变控制的系统可操作来响应于所冷却的冷却液温度的降低来减少所冷却的冷却液的输出。另外,可变控制的系统可操作来响应于所冷却的冷却液温度的增加来增加所冷却的冷却液的输出。由于可以通过这些操作来使可变控制的系统的能量需要最小化,所以也可以基本上使与把组件维持在热管理所涉及范围内相关联的成本最小化。

[0022] 首先参考图 1A,依照本发明实施例示出了数据中心 100 的简化平面图。术语“数据中心”总体上意在标示房间或其它空间,并且不意在把本发明限制为其中传送或处理数据的任何特定类型的房间,也不应当把术语“数据中心”的使用在除上述定义之外的任何方面解释为限制本发明。

[0023] 如图 1A 所示,数据中心 100 包括例如电子设备柜之类的多个机架 102,通常位于基本上并行的行中。机架 102 均容纳一个或多个组件(未示出)。这些组件例如可以包括被设计成用于执行各种操作的计算机、服务器、监视器、硬盘驱动器、盘片驱动器等。所述组件的一些操作例如可以包括计算、切换、路由、显示等。这些组件可以包括用于执行这些功能的子系统(未示出),例如处理器、微控制器、高速视频卡、存储器、半导体设备等。在执行这些电子功能中,所述组件,并由此所述子系统通常耗散相对大量的热。因为已知机架 102 包括超过四十个(40)或更多的子系统,所以它们可能耗散相当大量的热。因此,冷却液通常被提供来围绕组件流动并流过组件以借助对流来吸收所耗散的热量,以便把子系统和组件通常维持在预定的操作温度范围内。

[0024] 冷却液被图示为经由数据中心 100 的底板 106 中的通风瓦管(venttile)104 提供。如图 1B-1D 中所见,底板 106 是其下具有空间的凸起底板。所述空间通常使电源线、通信线路及其它线路(未示出)能够位于底板 106 下面,使得所述线路和通信线路基本上远

离于底板 106 的上表面。所述空间还可以作为用于从计算机机房空调 (CRAC) 部件 108 和 110 向机架 102 递送冷却液的通风系统起作用。通风瓦管 104 被图示为位于机架 102 的邻近行对之间。

[0025] 空气或其它冷却液由 CRAC 部件 108 和 110 所接收, 借助在 CRAC 部件 108 和 110 内的热传递冷却并且提供到底板 106 下的空间中。所冷却的冷却液从底板 106 下的空间提供, 经由通风瓦管 104 并且经由机架 102 流动以便冷却在机架 102 中所容纳的组件。CRAC 部件 108 和 110 可以控制向机架 102 所提供的冷却液的各个特性。例如, CRAC 部件 108 和 110 可以包含可变控制的系统 (未示出), 被配置为改变向机架 102 所提供的冷却液的温度。另外, CRAC 部件 108 和 110 可以包含被配置为改变向机架 102 所提供的冷却液的体积流率的系统。可以使用依照各种配置所布置的各种类型系统以便控制冷却液的温度和体积流率。在图 1B-1D 中图示了适当组件和配置的例子, 在下面非常详细地描述了它们。

[0026] 在机架 102 之间的通道 116 被认为是冷却通道 116, 在所述机架 102 之间具有通风瓦管 104。这些通道 116 被认为是“冷却通道”, 这是因为它们被配置为从通风瓦管 104 接收冷却液。另外, 定位机架 102 以便从冷却通道 116 接收冷却液。在不具有通风瓦管 104 的机架 102 之间的通道 118 被认为是热通道 118。这些通道被认为是“热通道”, 这是因为它们被定位来接收由机架 102 中的组件所加热的冷却液。

[0027] 图 1A 中还图示了计算设备 112。计算设备 112 可以包括被配置为控制 CRAC 部件 108 和 110 操作的计算机系统、控制器、微处理器等。更特别地是, 计算设备 112 可以被配置为从传感器 (未示出) 接收输入并且改变在 CRAC 部件 108 和 110 中所包含的各个可变控制系统的操作。计算设备 112 还可以被配置为从用户接收输入, 所述用户例如数据中心人员、管理员、管理者等。从用户所接收的输入可以包括各个调整点 (setpoint), 借此计算设备 112 可以确定怎样以及何时操纵可变控制系统的操作。在一个实例中, 计算设备 112 可以把由传感器所检测的条件 (例如温度、湿度、压力等) 与那些条件的预定调整点相比较, 并且响应于在所述调整点和所检测条件之间的差异来控制可变控制的系统。

[0028] 计算设备 112 被图示为经由有线通信线路 114 与 CRAC 部件 108 和 110 通信。然而应当理解的是, 在不脱离本发明的范围内, 可以经由诸如 IEEE 802.11b、802.11g、无线串行连接、蓝牙等或其组合之类的无线协议来实现在 CRAC 部件 108 和 110 与计算设备 112 之间的通信。另外, 尽管单个计算设备 112 被图示为控制 CRAC 部件 108 和 110, 然而每个 CRAC 部件 108 和 110 可以包括它们自己的计算设备 112。此外, 计算设备 112 可以包括控制器, 所述控制器被整体地形成每个 CRAC 部件 108 和 110 或形成它们的一部分。从而, 尽管数据中心 100 已经被图示为包含确定配置, 然而应当容易地理解, 在不脱离本发明范围的情况下所述数据中心 100 可以包含各种其它配置。

[0029] 在图 1A 中所描绘的数据中心 100 表示普遍插图, 并且在不脱离本发明范围的情况下可以添加其它组件或移除或修改现有的组件。例如, 数据中心 100 可以包括任意数目的机架和已知被容纳在数据中心中的各种其它设备。从而, 尽管数据中心 100 被图示为包含四行机架 102, 然而应当理解的是, 在不脱离本发明范围的情况下, 所述数据中心 100 可以包括任意数目的机架, 例如 100 个机架。因而四行机架 102 的描绘仅用于说明性

和简要描述的目的，并且不意在任何方面限制本发明。另外，数据中心 100 可以包括任意数目的 CRAC 部件 108 和 110，均具有多个不同类型的冷却系统。

[0030] 数据中心 100 还可以包括被配置有回路的较低顶板（未示出），用于从数据中心 100 内接收加热的冷却液。较低的顶板还可以包括或形成用于把加热的冷却液导向 CRAC 部件 108 和 110 的通风系统。在 2002 年 4 月 17 日提交的一并待决且共同受让的美国专利申请序号 10/262,879 中可以找到具有较低顶板的数据中心 100 的例子，在此通过全面引用加以结合以供参考。

[0031] 在图 1B-1D 中，示出了具有三个示例性 CRAC 部件 108、110 和 110 的数据中心 100 的简化部分。图 1B-1D 表示普遍插图，并且在不脱离本发明范围的情况下可以添加其它组件或移除或修改现有的组件。另外，例如尽管 CRAC 部件 108 和 110 被图示为彼此具有不同的配置，然而在不脱离本发明范围的情况下在图 1A 中所图示的数据中心 100 中所使用的 CRAC 部件 108 和 110 可以具有相同类型的配置。

[0032] 首先特别参考图 1B，示出了沿图 1A 的线 IIA-IIA 所获取的截面的侧视图。如同所示，CRAC 部件 108 包括蒸气压缩类型的空调部件。更特别地是，CRAC 部件 108 包括吹风机 120 或风扇，用于把空气或其它冷却液递送到空间 122 中。空间 122 可以在凸起底板 106 下面产生并且可以包括通风系统或作为通风系统起作用。吹风机 120 还可操作来通过通常经由 CRAC 部件 108 强加气流来从数据中心 100 抽取加热的冷却液。在这方面，CRAC 部件 108 可以包括一个或多个开口，以用于从数据中心 100 接收所加热的冷却液。可变频率驱动器 (VFD) 124 被示为邻近于吹风机 120。VFD 124 通常可操作来控制吹风机 120 以便改变流入和流出 CRAC 部件 108 的冷却液的体积流率。

[0033] VFD 124 可以包括可从任意数目的制造商可商业上获得的任何合理适当的 VFD。VFD 124 通常可操作来可变地控制交流电 (AC) 感应电动机的速度。更特别地是，VFD 124 可操作来把功率从固定电压 / 固定频率转换到可变电压 / 可变频率。通过控制吹风机 120 的电压 / 频率等级，也可以改变由 CRAC 部件 108 所提供的冷却液的体积流率。

[0034] 尽管 VFD 124 被图示为邻近于吹风机 120，然而在不脱离本发明范围的情况下可以相对于吹风机 120 在任何合理适当的位置定位所述 VFD 124。VFD 120 例如可以位于 CRAC 部件 108 以外或相对于 CRAC 部件 108 的各种其它位置。

[0035] 在操作中，所加热的冷却液（被示为箭头 126）进入 CRAC 部件 108 并且借助冷却管 128a、压缩器 130、冷凝器 132 和膨胀阀 134 的操作来冷却，上述装置可以在蒸气压缩循环下操作。举例来说，可以把例如 R-134a 等制冷剂包含在制冷剂管路 136 中，所述制冷剂管路 136 通常在包含 CRAC 部件 108 的冷却系统的各个组件之间形成循环。更特别地是，制冷剂被提供到冷却管 128a 中，在那里它经由对流从数据中心 100 所接收的冷却液中吸收热量。然后所冷却的冷却液流出 CRAC 部件 108 并且流入空间 122，如箭头 142 所表明。

[0036] 所加热的制冷剂流入压缩器 130 中，所述压缩器 130 压缩或加压所述制冷剂。压缩器 130 可以包括可变容量压缩器或者它可以包括具有热气旁路（未示出）的恒定容量压缩器。在任何方面，所加压的制冷剂然后流入冷凝器 132，其中制冷剂中的一些热量被耗散到数据中心 100 周围的空气中。尽管未示出，然而冷凝器 132 可以包括通常用于增强

制冷剂热耗散的风扇。然后制冷剂流过膨胀阀 134 并且经由冷却管 128a 流回。基本上可以按照需要连续地重复此过程以便冷却液被抽到 CRAC 部件 108 中的冷却液。就冷却系统效率而言,通常希望向 CRAC 部件 108 所提供的加热的冷却液由房间 100 中相对温暖的空气部分组成。

[0037] 已经依照相对简化的方式描述了在图 1B 中所图示的冷却系统。因此应当理解的是,在不脱离本发明范围的情况下包括 CRAC 部件 108 的冷却系统可以包括附加组件。例如,可以包括三路阀以便允许一些制冷剂绕过压缩机 130 并且返回到冷却管 128a 中。例如可以使用三路阀来把离开冷却管 128a 的一些制冷剂转移回到制冷剂管路 136 中以重新进入冷却管 128,以便总体上确保所述制冷剂在进入压缩机 130 之前几乎完全处于气态形式。

[0038] 如上文所描述,计算设备 112 可以被配置为控制 CRAC 部件 108 的各个操作。例如,计算设备 112 可以被配置为控制压缩机 130 的操作以便由此控制流过冷却管 128a 的制冷剂的温度和流量。计算设备 112 还可以被配置为控制 VFD 124。更特别地是,计算设备 112 可以控制吹风机 122 的马达速度以便由此控制由 CRAC 部件 108 所提供的冷却的冷却液的体积流率。通过控制制冷剂的温度和通过 CRAC 部件 108 的气流速率,计算设备 112 通常能够控制在加热的冷却液和所述制冷剂之间的传热水平以便由此控制向数据中心 100 所提供冷却液的温度。

[0039] 依照一个例子,计算设备 112 被配置为基本上独立地控制压缩机 130 和 VFD 124。计算设备 112 可以被配置为确定根据例如由传感器 138 和 140 所获得的环境条件测量来控制压缩机 130 和 VFD 124 的方式。如图 1B 所示,传感器 138 位于 CRAC 部件 108 的入口并且从而被配置为测量返回到 CRAC 部件 108 的冷却液的一个或多个条件。

[0040] 另外,传感器 140 位于 CRAC 部件 108 的出口并且从而被配置为测量由 CRAC 部件 108 所提供的冷却液的一个或多个条件。作为选择,如果机架 102 或通风瓦管 104 位于在 CRAC 部件 108 排气口相对临近的地方,那么传感器 140 可以位于机架 102 的入口或通风瓦管 104 的附近。更特别地是,传感器 140 可以位于基本上 CRAC 部件 108 下游的位置,其中由所述 CRAC 部件 108 所提供的冷却液的温度从所述冷却液退出 CRAC 部件 108 时不会改变超出确定的等级。依照一个方面,计算设备 112 可以被配置为控制压缩机 130 和 VFD 124 以便基本上使 CRAC 部件 110 的能量使用最小化,如下面非常详细地描述。

[0041] 现在特别参考图 1C,示出了沿图 1A 的线 IIB-IIB 所获取的截面的侧视图。如同所示,CRAC 部件 110 包括冷却器类型的空调部件。更特别地是,CRAC 部件 110 包括吹风机 120 或风扇,用于把空气或其它冷却液递送到空间 122 中。如在上文相对于图 1B 所描述,空间 122 可以在凸起底板 106 下面产生并且可以包括通风系统或作为通风系统起作用。吹风机 120 还可操作来通过通常经由 CRAC 部件 110 强加气流来从数据中心 100 抽取加热的冷却液。在这方面,CRAC 部件 110 可以包括一个或多个开口,以用于从数据中心 100 接收所加热的冷却液。可变频率驱动器 (VFD) 124 被示为邻近于吹风机 120。VFD 124 通常可操作来控制吹风机 120 以便改变流入和流出 CRAC 部件 110 的冷却液的体积流率,如上面所描述。

[0042] 箭头 126 表明由 CRAC 部件 110 所接收的加热的冷却液。加热的冷却液流过冷

却管 128b 并且与在所述冷却管 128b 中所包含的冷却剂交换热量。冷却剂可以包括能够依照重复方式被加热并冷却的水或其它液体。加热的冷却液流过冷却管 128b 的速度以及在所述冷却管 128b 中所包含的冷却剂温度总体上影响冷却液的温度。从而例如当冷却剂的温度在吹风机 120 以恒定等级操作的情况下降低时,冷却液的温度也降低。然后所冷却的冷却液流出 CRAC 部件 110 并且流入空间 122,如箭头 142 所表明。

[0043] 可以借助包括 CRAC 部件 110 的冷却系统的操作来控制冷却管 128b 中所包含的冷却剂的温度。在操作中,冷却剂从被接收到 CRAC 部件 110 的冷却液中接收热量。可以通过对流来实现从冷却液到冷却管 128b 中冷却剂的热传递。然后加热的冷却剂流出冷却管 128b 并且流入第一冷却剂管 144a。加热的冷却剂流过第一冷却剂管 144a 并且流入热交换器 146,所述热交换器 146 还可以包括线圈 148。利用致冷电路 150 通过热传递来冷却加热的冷却剂,所述致冷电路 150 包括蒸发器 152、压缩器 154、冷凝器 156 和膨胀阀 158。致冷电路 150 可以在本领域普通技术人员通常已知的蒸气压缩循环下操作。

[0044] 所冷却的冷却剂经由第二冷却剂管 144b 返回到冷却管 128b。通常从冷却管 128b 上游沿着第二冷却剂管 144b 提供三路阀 160。三路阀 160 通常可操作来控制被提供到冷却管 128b 中冷却的冷却剂量。三路阀 160 可以通过经由第三冷却剂管 144c 把一些或所有冷却的冷却剂转移回到第一冷却剂管 144a 中,由此绕过冷却管 128b 来控制把所冷却的冷却剂递送到所述冷却管 128b 中。从而三路阀 160 可以基本上通过控制被递送到冷却管 128b 的冷却的冷却剂量来控制被递送到冷却管 128b 中的冷却剂的温度。因此依照一个方面,三路阀 160 还可以控制被提供到空间 122 的冷却液的温度。

[0045] 泵 162 被图示为沿着第一冷却剂管 144a 定位。然而,在不脱离本发明范围的情况下可以沿着第二冷却剂管 144b 定位泵 162。泵 162 通常可操作来加压在冷却剂管 144a-144c 中所包含的冷却剂,使得所述冷却剂可以沿着由所述冷却剂管 144a-144c 所创建的电路流动。可以除三路阀 160 之外或代替所述三路阀 160 来控制泵 162 以便能够减少能量使用。在一个方面,因为泵 162 可操作来改变冷却剂在冷却剂管 144a-144c 中的流率,所以可以减少泵 162 操作,例如与冷却液的温度的增加成相当比例。另外,被配置为使在冷却剂管 144a 和 144b 中的冷却剂流量能够基本上恒定且可预测的阀可以位于泵 162 的上游。所述阀可以包括被配置为对于确定的压力范围递送恒定流的弹簧阀。可从 CA 的 Irvine 的 GRISWOLD CONTROLS 获得适当的阀。

[0046] 在操作中,在冷却剂管 144a-144c 中所包含的冷却剂的温度通常指示了操作 CRAC 部件 110 中所消耗的能量。更特别地是,当进入热交换器 146 的冷却剂温度较低时,致冷电路 150 通常要求较少能量。相比之下,当进入热交换器 146 的冷却剂温度较高时,致冷电路 150 通常消耗更大的能量。另外,从热交换器 146 所提供的冷却剂所要求的温度通常还指示了由致冷电路 150 所消耗的能量。即,由致冷电路 150 降低冷却剂温度所要求的工作越多,能量消耗越大。

[0047] 在一个例子中,致冷电路 150 可操作来把冷却剂基本上冷却到最高温度,其中三路阀 160 可以保持在通常全开位置以从而基本上使所有冷却剂流入冷却管 128b 中。在这方面,由于相对地没有冷却剂从冷却管 128b 转移出来,所以可以基本上使致冷电路 150 所消耗的能量最小化。此外,因为在致冷电路 150 中所包含的制冷剂温度可能更高并且因为在更高温度下的冷却剂通常从其周围获得较少能量,所以致冷电路 150 的能量消

耗可能更低。当使用多个 CRAC 部件 110 来冷却数据中心 100 中的组件时，可以依照此方式来操作至少一个 CRAC 部件 110 以便由此降低所述至少一个 CRAC 部件 110 的能量使用。

[0048] 计算设备 112 被配置为基本上独立地控制三路阀 160 和 VFD 124 以便由此控制冷却液的温度和所提供冷却液的体积流率。计算设备 112 可以被配置为根据例如由传感器 138 和 140 所获得的环境条件测量来确定控制三路阀 160 和 VFD 124 的方式。依照一个方面，计算设备 112 可以被配置为控制三路阀 160 和 VFD 124 以便基本上使 CRAC 部件 110 的能量使用最小化，如下面非常详细地描述。

[0049] 尽管在图 1B 和 1C 涉及使用吹风机 120 来从数据中心 100 抽取加热的冷却液，然而应当理解的是，在不脱离本发明范围的情况下可以实现从数据中心 100 移除冷却液的任何其它合理适当的方式。举例来说，可以使用独立的风扇或吹风机（未示出）来从数据中心 100 抽取加热的冷却液。另外如本领域普通技术人员所知，CRAC 部件 108 和 110 可以包括增湿器和 / 或减湿器。

[0050] 另外，一个或多个隔离阀（未示出）可以位于沿着冷却剂管 144a-144c 的各个位置以便由此例如能够预防性维护。

[0051] 图 1D 依照另一例子描绘了沿图 1A 的 IIB-IIB 线所获取的截面侧视图。在图 1D 中，示出了 CRAC 部件 110。CRAC 部件 110 包括在图 1C 中所图示的所有组件并且从而不再重申那些组件的具体引用标记。作为替代，在下面论述只在图 1D 中所描绘的那些元素，所述元素不同于在图 1C 中所描绘的组件。

[0052] 在 CRAC 部件 110 和 CRAC 部件 110 之间的主要差异在于 CRAC 部件 110 包括二路阀 164 来代替三路阀 160。另外，CRAC 部件 110 不包括在图 1C 中所图示的第三冷却剂管 144c。CRAC 部件 110 还包括沿着第一冷却剂管 144a 定位的质量流量传感器 166。质量流量传感器 166 被配置为检测流过第一冷却剂管 144a 的液体的质量流率。由于二路阀 164 不能够恒定通过冷却剂管 144a 和 144b 的冷却剂流，如在 CRAC 部件 110 的三路阀 160 的情况下，所以在所述 CRAC 部件 110 中可能要求质量流量传感器 166。另外，利用二路阀 164，二路阀 164 中的阀孔开口可能要求校准。

[0053] 可以除二路阀 164 之外或代替所述二路阀 164 来控制泵 162 以便能够减少能量使用。在一个方面，因为泵 162 可操作来改变冷却剂在冷却剂管 144a-144c 中的流率，所以可以减少泵 162 操作，例如与冷却液的温度的增加成相当比例。

[0054] 另外，从热交换器 146 所提供的冷却剂的温度通常还指示了由致冷电路 150 所消耗的能量。即，由致冷电路 150 降低冷却剂温度所要求的工作越多，能量消耗越大。在一个例子中，致冷电路 150 被操作来把冷却剂基本上冷却到最高温度，其中二路阀 164 可以保持在通常全开位置以从而基本上使所有冷却剂流入冷却管 128b 中。因为在致冷电路 150 中所包含的制冷剂温度可能更高并且因为在更高温度下的冷却剂通常从其周围获得较少能量，所以致冷电路 150 所消耗的能量可能更低。当使用多个 CRAC 部件 110 来冷却数据中心 100 中的组件时，可以依照此方式来操作至少一个 CRAC 部件 110 以便由此降低所述至少一个 CRAC 部件 110 的能量使用。

[0055] 图 2A-2C 是可操作来控制 CRAC 部件 108、110 和 110 的 CRAC 控制系统 202、252 和 252 的各自框图 200、250 和 250。框图 200、250、250 的以下描述是可以配置这

种 CRAC 控制系统 202、252、252 的各种不同方式中的某些方式。另外应当理解的是，在不脱离本发明范围的情况下框图 200、250、250 可以包括附加组件而且这里所描述的一些组件可以被移除和 / 或修改。

[0056] 首先参考图 2A，CRAC 控制系统 202 包括用于控制所述 CRAC 控制系统 202 操作的控制器 204。控制器 204 可以包括计算设备 112 并且从而还可以包括微处理器、微控制器、专用集成电路 (ASIC) 等。控制器 204 通常被配置为从入口温度传感器 138、出口温度传感器 140 和可选功率计 206 接收温度测量。

[0057] 如上文所描述，入口温度传感器 138 通常可操作来检测由 CRAC 部件 108 所接收的加热的冷却液的温度。另外，出口温度传感器 140 被配置为检测由 CRAC 部件 108 所提供冷却的冷却液的温度。在通常意义上，控制器 204 可以基本上根据由温度传感器 138 和 140 所检测的温度来确定控制 CRAC 部件 108 的方式。

[0058] 例如可以通过以太网类型连接或通过有线协议 (诸如 IEEE 802.3) 或无线协议 (诸如 IEEE 802.11b、802.11g、无线串行连接、蓝牙等) 或其组合来实现在传感器 138 和 140 以及控制器 204 之间的通信。

[0059] 从温度传感器 138 和 140 所接收的温度信息可以被存储在存储器 208 中。另外，用于操作 CRAC 部件 108 的各个控制模式可以被存储在存储器 208 中。在这方面，存储器 208 可以包括传统的存储设备，诸如易失性或非易失性存储器，诸如 DRAM、EEPROM、闪存存储器或其组合等。从而控制器 204 可以访问在存储器 208 中所存储的信息以便确定可以操作 CRAC 部件 108 的方式。

[0060] 可选功率计 206 可以检测 CRAC 部件 108 的功率消耗并且从而可以被定位或被配置为测量所述 CRAC 部件 108 的功率消耗。功率计 206 可以包括能够测量 CRAC 部件 108 功率消耗的、任何合理适当且可买到的功率计。控制器 204 可以接收所检测的功率消耗并且还可以把此信息存储在存储器 208 中。功率计 206 被认为是可选的，这是因为控制器 204 可以被配置为根据各个组件的操作来计算 CRAC 部件 108 的功率消耗，所述各个组件例如压缩机 130、吹风机 120 等。作为一个例子，控制器 204 可以被配置为根据其当前操作负载来确定所述压缩机 130 的功率消耗。可以使用在功率消耗级和压缩机 130 的操作负载之间的相关性来进行此确定。

[0061] 现在参考图 2B，CRAC 控制系统 252 包括与在上文相对于 CRAC 控制系统 202 所描述的那些组件类似的组件。因此，将只描述那些不同于在上文相对于 CRAC 控制系统 202 所描述的元素组件。更特别地是，CRAC 控制系统 252 包括 CRAC 部件 110 而不是 CRAC 部件 108。在这方面，CRAC 控制系统 252 被配置为控制三路阀 160 以便改变向数据中心 100 所提供的冷却液的温度。

[0062] 作为一个例子，控制器 204 可操作来依照基本上使 CRAC 部件 110 的功率消耗最小化同时把由 CRAC 部件 110 所提供的冷却液温度维持在阈值调整点温度范围内的方式来控制三路阀 160 和吹风机 120。从而控制器 204 可以确定三路阀 160 和吹风机 120 的各个操作条件以便基本上使与它们操作相关联的功率消耗最小化。尽管遍及本公开参考吹风机 120 的控制，然而控制器 204 可以控制 VFD 124 由此控制吹风机 120 速度。

[0063] 如在图 2C 中所描述，CRAC 控制系统 252 包括与在上文相对于 CRAC 控制系统 202 和 252 所描述的那些组件类似的组件。因此，将只描述那些不同于在上文相对于

CRAC 控制系统 202 和 252 所描述的元素组件。如同所示, CRAC 控制系统 252 包括 CRAC 部件 110 而不是 CRAC 部件 108 和 110。在这方面, CRAC 控制系统 252 被配置为控制二路阀 164 以便改变冷却剂的温度由此改变向 CRAC 部件 110 所提供的冷却液的温度。

[0064] 另外, 控制器 204 可以控制吹风机 120 以便控制由 CRAC 部件 110 所提供的冷却液的体积流率。在这方面, 控制器 204 可以依照基本上使 CRAC 部件 110 的功率消耗最小化同时把由 CRAC 部件 110 所提供的冷却液温度维持在阈值调整点温度范围内的方式来控制由所述 CRAC 部件 110 所提供的冷却液的温度和体积流率。从而控制器 204 可以确定二路阀 164 和吹风机 120 的各个操作条件以便基本上使与它们操作相关联的功率消耗最小化。

[0065] 在每个 CRAC 控制系统 202、252、252 中, 控制器 204 可以被配置为从例如技术人员、管理员等用户接收输入。如在下面非常详细地描述, 控制器 204 可以包括用于从用户接收输入的一个或多个输入设备, 例如键盘、鼠标、盘片驱动器等。所述输入例如可以采用 CRAC 部件 108、110、110 的预定操作调整点形式。举例来说, 用户可以向控制器 204 输入调整点温度 (Tset) 范围。调整点温度 (Tset) 范围可以是基于在数据中心 100 中所想要的热量排除特性的。依照一个方面, 调整点温度 (Tset) 范围可以包括确保在数据中心 100 中所容纳组件的安全操作条件的温度。组件的安全操作条件可以是基于由组件制造商所提供的说明。作为选择, 可以通过测试组件或通过历史数据来确定安全操作条件。例如, 可以在各个温度操作组件以便确定组件的性能特征将要下降的温度或何时所述组件开始失败。

[0066] 调整点温度 (Tset) 范围的最大调整点温度 (Tset, max) 可以构成用于所述组件的安全操作条件的上限。换句话说, 如果返回到 CRAC 部件 108、110、110 的加热的冷却液在最大调整点温度 (Tset, max) 以上, 那么可以确定组件的温度可能在安全操作条件之上。作为另一例子, 调整点温度 (Tset) 范围的最小调整点温度 (Tmin, set) 可以构成用于表明 CRAC 部件 108、110、110 的操作可能停止的温度的下限。另外, 控制器 204 可以把所输入的阈值调整点温度 (Tset) 范围存储到存储器 208 中。

[0067] 另外, 控制器 204 可以利用从传感器 138、140、功率计 206 中的一个或两个所接收的信息以及用户接收的输入来确定操作压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 以及 CRAC 部件 108 的吹风机 120 的方式。在一个例子中, 控制器 204 可以操作压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 以便基本上使各自的 CRAC 部件 108、110、110 的功率消耗最小化, 同时把返回到所述 CRAC 部件 108、110、110 的加热的冷却液的温度维持在调整点温度 (Tset) 范围内。从而, 例如只要返回到所述 CRAC 部件 108、110、110 的加热的冷却液的温度保持在调整点温度 (Tset) 范围内, 那么控制器 204 就可以操纵压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 操作到各个级。

[0068] 作为另一例子, 控制器 204 可以根据 CRAC 部件 108 的负载来确定操作压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 的方式。在这种情况下, 控制器 204 可以被配置为计算从加热的冷却液到 CRAC 部件 108、110、110 的制冷剂的热传递。可以根据下面方程式来计算热传递速率 (Q) :

[0069] 方程式 (1) : $Q = mC_p(T_{out} - T_{in})$,

[0070] 其中 m 是冷却液的质量流率, C_p 是所述冷却液的热容量, T_{out} 是所提供冷却的冷却液的温度, 并且 T_{in} 是由 CRAC 部件 108、110、110 所接收的加热的冷却液的温度。

[0071] 依照此例子, 可以代替调整点温度 (T_{set}) 范围来使用调整点传热 (caloric heat transfer) (Q_{set}) 范围。从而例如控制器 204 可以被配置为只要热传递速率 (Q) 在调整点热传递 (Q_{set}) 范围之内, 那么就通过改变压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 的操作来基本上使 CRAC 部件 108、110、110 的功率消耗最小化。依照一个方面, 热传递 (Q_{set}) 范围可以包括确保在数据中心 100 中所容纳组件的安全操作条件的热传递速率。组件的安全操作条件可以是基于由组件制造商所提供的说明的。作为选择, 可以通过测试组件或通过历史数据来确定安全操作条件。例如, 可以在各个温度操作组件以便确定组件的性能特征将要下降的温度或何时所述组件开始失败。

[0072] 在与上文描述的那些方式类似的方式中, 如果所计算的热传递速率 (Q) 在最大调整点传热水平 ($Q_{set, max}$) 之上, 那么可能未充分地冷却数据中心 100 中的组件。另外, 如果所计算的热传递速率 (Q) 在最小调整点传热水平 ($Q_{set, min}$) 之下, 那么当 CRAC 部件 108 可能不必要地抽取功率时可能停止 CRAC 部件 108、110、110 的操作。

[0073] 在操作中, CRAC 控制系统 202、252、252 的控制器 204 可以确定压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 操作, 以便当返回到所述 CRAC 部件 108、110、110 的加热的冷却液的温度在调整点温度 (T_{set}) 范围之内时, 基本上使 CRAC 部件 108、110、110 的功率消耗最小化。另外, 当热传递在调整点热传递 (Q_{set}) 范围之内时可以改变这些系统的操作。更特别地是, 控制器 204 可以确定当从组件所接收的冷却液的温度在可接受范围内时, 压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 操作的哪些组合基本上使 CRAC 部件 108、110、110 的功率消耗级最小化。

[0074] 从而例如, 如果从组件所提供的冷却液的温度是可接受的, 那么控制器 204 可以选择压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 的操作级, 其基本上使与它们操作相关联的成本最小化。可以按照在图 3 中所图示的图表 300 来考虑这些操作级和成本。在图表 300 中, 图示了两个 x 轴 302 和 304 以及 y 轴 306。第一 x 轴 302 标示吹风机 120 的速度并且第二 x 轴 304 标示由各自 CRAC 部件 108、110、110 所提供的冷却液的温度 ($T_{cf, out}$)。 y 轴 306 标示能量消耗以及从而与各个冷却液温度 (即, 压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164、操作) 和吹风机 120 速度相关联的成本。

[0075] 与在各个级操作压缩机 130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 相关联的功率消耗级或成本可以基于制造商所提供的说明的。另外或者作为选择, 可以通过测试来确定功率消耗级或成本。例如就测试而言, 功率计 206 可以用来在不同的操作级测量压缩机 130、制冷电路 150 (在各个三路阀 160 和二路阀 164 设置下) 和吹风机 120 的功率抽取。在功率消耗级或成本以及压缩机 130、制冷电路 150 和吹风机 120 的操作级之间的相关性可以被存储在存储器 208 中。此信息例如可以采用查找表的形式或通过其它可搜索手段来存储。

[0076] 如在图表 300 中所示, 压缩机 130 (或在 CRAC 部件 110、110 的情况下的制冷电路 150) 的能量消耗级随着由 CRAC 部件 108 所提供的冷却液温度 ($T_{cf, out}$) 在恒定的 CRAC 部件负载时降低而降低。另外, 吹风机 120 的能量消耗级随吹风机 120 的速度增加而增加。从而, CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以被配置为改变压缩机

130、三路阀 160 或二路阀 164 和吹风机 120 的操作,使得它们消耗最少功率量同时把返回到 CRAC 部件 108、110、110 中的冷却液温度维持在调整点温度范围内。

[0077] 图 4A 和 4B 分别图示了根据调整点温度和调整点热传递确定的 CRAC 部件控制方法的操作模式 400 和 450 的流程图。应当理解,操作模式 400 和 450 的以下描述是其中可以实现 CRAC 部件控制的各种不同方式中的两种方式。本领域普通技术人员还应当清楚,操作模式 400 和 450 表示普遍插图,而且在不脱离本发明范围的情况下可以添加其它步骤或可以移除、修改或重新布置现有的步骤。

[0078] 分别参考在图 2A-2C 中所图示的框图 200、250、250 来描述操作模式 400 和 450,并且从而引用其中所引用的元素。然而应当理解,操作模式 400 和 450 不局限于在框图 200、250、250 中所阐明的元素。作为替代应当理解的是,可以由 CRAC 部件控制系统来实施操作模式 400 和 450,所述 CRAC 部件控制系统具有与在框图 200、250、250 中所阐明配置不同的配置。

[0079] 操作模式 400 和 450 例如分别通过激活一个或多个 CRAC 部件 108、110、110、激活数据中心 100 中的一个或多个组件等来开始或起始于步骤 402 和 452。另外或者作为选择,可以在预定的时段之后等手动地开始操作模式 400。应当理解可以取决于 CRAC 部件 108、110、110 的配置来执行操作模式 400 和 450 中的一个或两个。例如,那些被配置为根据调整点温度来操作的 CRAC 部件 108、110、110 可以执行操作模式 400,而那些被配置为根据调整点热来操作的 CRAC 部件 108、110、110 可以执行操作模式 450。另外,操作模式 400 和 450 的执行可以是用户指定的。

[0080] 首先参考图 4A 的操作模式 400,一个或多个 CRAC 控制系统 200、250、250 的控制器 204 可以接收调整点温度 (T_{set}) 范围,如在步骤 404 所表明。调整点温度 (T_{set}) 范围可以由 CRAC 制造商提供或者它们可以借助任何已知的输入装置由用户指定并输入到计算设备 112 中。然而,对于例如控制器 204 先前已经接收调整点温度 (T_{set}) 范围的情况来说可以省略步骤 404。

[0081] 在步骤 406,一个或多个传感器 138 可以检测返回空气 (T_{rat}) 的温度。可以在步骤 408 比较所检测的返回空气温度 (T_{rat}) 和调整点温度 (T_{set}) 范围。更特别地是,在步骤 408,可以确定返回到 CRAC 部件 108、110、110 中的加热的冷却液的温度是否在调整点温度 (T_{set}) 范围之内。对于那些已经检测出返回空气温度 (T_{rat}) 在调整点温度 (T_{set}) 范围之外的 CRAC 部件 108、110、110 来说,在步骤 410,那些 CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以确定所检测的返回空气温度 (T_{rat}) 是否在最小调整点温度级 ($T_{set, min}$) 之下。CRAC 部件 108、110、110 的最小调整点温度级 ($T_{set, min}$) 对于每个 CRAC 部件 108、110、110 来说可能是相同的,或者它们可以对于每个 CRAC 部件 108、110、110 来说改变。在这方面,例如可以依照基本上独立的方式来操作每个 CRAC 部件 108、110、110。

[0082] 在步骤 410,对于那些已经检测到返回空气温度 (T_{rat}) 不在最小调整点温度级 ($T_{set, min}$) 之下的 CRAC 部件 108、110、110 来说,所检测的返回空气温度 (T_{rat}) 被认为在最大调整点温度级 ($T_{set, max}$) 之上,这是由于它们在所述调整点温度 (T_{set}) 范围之外。因此那些 CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以降低温度和 / 或增加向数据中心 100 所提供的冷却液的体积流率,如在步骤 412 所表明。可以要求所降低的温度

和 / 或所增加的冷却液体积流率把所检测的返回空气温度 (Trat) 带入最大调整点温度级 (Tset, max) 内。

[0083] 另外在步骤 412, 那些 CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以根据与每个动作相关联的成本来降低致冷剂 / 冷却剂的温度和 / 或增加所提供的冷却液的体积流率。例如, 如果与降低致冷剂 / 冷却剂的温度相关联的成本相对小于增加体积流率, 那么控制器 204 可以使所述致冷剂 / 冷却剂温度降低同时维持体积流率级。作为另一例子, 如果控制器 204 确定动作组合与最低成本相关联, 那么控制器 204 可以发现基本上最优的动作组合以便以最低成本达到所想要的结果。

[0084] 作为另一例子在步骤 412, 那些 CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以根据每个动作的已知效率来降低致冷剂 / 冷却剂的温度和 / 或增加所提供的冷却液的体积流率。从而例如控制器 204 可以访问用于表明由 CRAC 部件 108、110、110 所采取各个动作影响的历史数据。举例来说, 如果确定把致冷剂 / 冷却剂温度降低到确定级要求 X 能量并且把体积流率增加到另一确定级要求相同的能量, 并且增加所述体积流率更为有效, 那么控制器 204 可以决定增加所述体积流率, 这是因为此动作是更为高效的。

[0085] 在步骤 410, 对于那些已经检测到返回空气温度 (Trat) 在最小调整点温度位 (Tset, min) 之下的 CRAC 部件 108、110、110 来说, 那些 CRAC 部件 108、110、110 可以进入睡眠模式, 如在步骤 414 所表明。睡眠模式可以包括断电模式, 其中 CRAC 部件 108、110、110 与当 CRAC 部件 108、110、110 完全工作时相比抽取减少的功率量。所降低的功率量可以包括处于在完全工作模式和完全停机模式之间某处的功率状态。另外, 睡眠模式可以构成节能模式, 其中 CRAC 部件 108、110、110 可以在相对短时间内被重新激活或者带回到完全工作状态。CRAC 部件 108、110、110 的降低功率状态可以对于不同类型的 CRAC 部件改变。

[0086] 在任何方面, 睡眠模式可以包括这样的模式, 其中被定位来向用于检测在 CRAC 部件 108、110、110 入口周围冷却液的温度的温度传感器 138 提供的功率保持活动。另外, 睡眠模式还可以包括提供少量功率以便使吹风机能够基本上连续使相对少量的冷却液流过 CRAC 部件 108、110、110。在这方面, 当 CRAC 部件 108、110、110 处于睡眠模式中时, 可以基本上连续地监视被提供到 CRAC 部件 108、110、110 中的冷却液的温度。

[0087] 例如当所检测的返回空气温度 (Trat) 超过最大调整点温度 (Tset, max) 时, CRAC 部件 108、110、110 可以退出睡眠模式, 如在步骤 412 所表明。作为选择, CRAC 部件 108、110、110 可以被配置为当返回空气温度 (Trat) 超过另一预定义温度时退出睡眠模式, 例如可以依照所述 CRAC 部件 108、110、110 向其递送冷却液组件的操作要求来定义所述预定义的温度。作为另一候选, CRAC 部件 108、110、110 可以响应于收到调整点温度范围等而在预定时段之后通过手工苏醒来退出睡眠模式。

[0088] 在另一例子中, 多个 CRAC 部件 108、110、110 可以被联网或配置为彼此通信。例如, 相同的控制器 204 可以控制多个 CRAC 部件 108、110、110。在任何方面, CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以被配置为向其它 CRAC 部件 108、110、110 传送它们的状态。CRAC 部件 108、110、110 的状态可以由控制器 204 用来确定 CRAC 部件 108、110、110 的提供级。举例来说, 如果 CRAC 部件 108、110、110 之一处于睡眠模

式中并且邻近 CRAC 部件 108、110、110 的提供级太高，例如到邻近 CRAC 部件 108、110、110 中的返回空气温度 (Trat) 在预定义级之上，那么 CRAC 部件 108、110、110 可以被带出所述睡眠模式中。在这种情况下，在睡眠模式期间可以不需要测量返回空气温度 (Trat) 由此使该 CRAC 部件 108、110、110 当处于所述睡眠模式时能够抽取较少功率。

[0089] 返回参考步骤 408，对于那些具有返回空气温度 (Trat) 在调整点温度 (Tset) 范围内的 CRAC 部件 108、110、110 来说，在步骤 416，那些 CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以确定各自冷却系统的功率消耗。冷却系统例如可以包括图 1B 中的压缩机 130 或图 1C 和 1D 中的致冷电路 150。在步骤 418，控制器 204 还可以确定吹风机 120 的功率消耗。

[0090] 可以使用功率计 206 来确定冷却系统组件的功率消耗。作为选择，可以根据各个组件的操作来计算功率消耗，所述各个组件例如压缩机 130、吹风机 120 等。作为一个例子，控制器 204 可以被配置为根据压缩机 130 的当前操作负载来确定其功率消耗。可以使用在功率消耗级和压缩机 130 的操作负载之间的相关性来进行此确定。

[0091] 在步骤 420，可以使冷却系统和吹风机 120 的功率消耗与成本函数相关。例如，可以确定与由冷却系统和吹风机 120 所消耗的功率相关联的成本。另外，可以利用由冷却系统和吹风机 120 所消耗的功率来确定所述冷却系统和吹风机 120 的操作。冷却系统的功率消耗可以包括确定在冷凝器 132 或致冷电路 150 以外的条件。即例如，由冷却系统所承担的成本可以依照外部条件而改变。例如，如果周围条件相对热和 / 或潮湿，那么冷却系统可能消耗更大的能量以便能够在制冷剂和 / 或冷却剂之间进行足够的热传递以便由此把制冷剂和 / 或冷却剂维持在所想要的温度。

[0092] 在步骤 422，控制器 204 可以确定是否可以降低成本。控制器 204 例如可以通过确定 CRAC 部件 108、110、110 的输出要求基本上在调整点温度范围内维持冷却液温度并且向数据中心中的组件递送来查明是否可以降低成本。

[0093] 如果无法降低成本，即控制器 204 确定 CRAC 部件 108、110、110 在最优能级上或附近操作，那么在步骤 406，所述控制器 204 例如可以不改变冷却系统操作并且操作模式 400 可以继续。然而，如果控制器 204 确定可以降低成本，那么在步骤 424，所述控制器 204 可以确定能够降低与操作冷却系统相关联的成本的方案。控制器 204 可以根据与增加致冷剂 / 冷却剂温度和 / 或降低所提供冷却液的体积流率相关联的成本来确定可以怎样降低成本。例如，如果与增加致冷剂 / 冷却剂的温度相关联的成本节省与减少体积流率相关联的成本节省相比相对较高，那么控制器 204 可以使所述致冷剂 / 冷却剂温度增加同时维持体积流率级。在候选方式中，如果与减少体积流率相关联的成本节省与增加致冷剂 / 冷却剂温度相关联的成本节省相比相对较高，那么控制器 204 可以使体积流率减少同时维持致冷剂 / 冷却剂的温度级。作为另一例子，如果控制器 204 确定动作组合产生最大的成本节省，那么控制器 204 可以发现基本上最优的动作组合以便以最大的成本节省达到所想要的结果。

[0094] 在步骤 426，控制器 204 可以实现在步骤 424 所确定的降低成本方案。降低成本方案可以依照迭代过程实现或可以依照历史数据来实现。如果实现迭代过程，那么控制器 204 可以逐渐地使冷却液温度增加和 / 或使体积流率减少，直到 CRAC 部件 108、110、110 在最优级上或附近操作。如果依赖历史数据，那么控制器 204 可以知道怎样根据先前

执行的操作来操纵 CRAC 部件 108、110、110 以便到达基本上最优的性能等级。

[0095] 另外，操作模式 400 可以继续由此能够基本上连续监视并控制 CRAC 部件 108、110、110。依照一个方面，可以基本上连续地修改 CRAC 部件 108、110、110 的操作以便能够节省能量和成本。

[0096] 现在参考图 4B 的操作模式 450，在步骤 454，一个或多个 CRAC 控制系统 200、250、250 的控制器 204 可以接收调整点热传递 (Q_{set}) 范围。CRAC 部件 108、110、110 的热传递速率 (Q) 可以用来确定 CRAC 部件 108、110、110 上的工作负荷并且通过在上文所列举的方程式 (1) 来确定。在这方面，并且在下面非常详细地描述，如果 CRAC 部件 108、110、110 的热传递速率 (Q) 在预定义的范围之内，那么可以改变压缩器 130、三路阀 160 或二路阀 164 的操作以便基本上使它们的能量消耗最小化。应当理解，对于其中例如控制器 204 先前已经接收调整点热传递 (Q_{set}) 范围的情况来说可以省略步骤 454。

[0097] 在步骤 456，一个或多个传感器 138 可以检测返回空气的温度 (T_{rat}) 并且在步骤 458，一个或多个传感器 140 可以检测所提供空气的温度 (T_{sat})。在步骤 460，控制器 204 可以计算热传递速率 (Q)。另外，在步骤 462，控制器 204 可以确定所计算的热传递速率 (Q) 是否在调整点热传递 (Q_{set}) 范围之内。

[0098] 对于那些已经计算热传递速率 (Q) 在 Q_{set} 范围内的 CRAC 部件 108、110、110 来说，可以在步骤 464 执行在图 4A 的框 A 中所阐明的步骤 416-426。然而，对于那些已经计算热传递速率 (Q) 在 Q_{set} 范围之外的 CRAC 部件 108、110、110 来说，在步骤 466，那些 CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以确定所计算的热传递速率 (Q) 是否在最小调整点传热水平 ($Q_{set, min}$) 之下。CRAC 部件 108、110、110 的 $Q_{set, min}$ 对于每个 CRAC 部件 108、110、110 来说可能是相同的，或者它们可以对于每个 CRAC 部件 108、110、110 来说改变。在这方面，例如可以依照基本上独立的方式来操作每个 CRAC 部件 108、110、110。

[0099] 在步骤 466，对于那些已经计算热传递速率 (Q) 不在最小调整点传热水平 ($Q_{set, min}$) 之下的 CRAC 部件 108、110、110 来说，所计算的热传递速率 (Q) 被认为是在最大调整点传热水平 ($Q_{set, max}$) 之上，这是由于它们在所述调整点热传递 (Q_{set}) 范围之外。那些 CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以确定由那些 CRAC 部件 108、110、110 所提供的冷却液的流率 (FR) 是否在流率调整点 (FR_{set}) 之下。可以通过使用例如风速计来检测由 CRAC 部件 108、110、110 所提供的冷却液的流率 (FR)。另外或者作为选择，可以根据 VFD 的速度来确定流率 (FR)。在任何方面，流率调整点 (FR_{set}) 例如可以是基于历史数据的，所述历史数据例如用于表明由 CRAC 部件 108、110、110 所提供的冷却液流率对于给定 CRAC 部件 108、110、110 来说是最优的。最优的流率例如可以是基于其中 CRAC 部件 108、110、110 被配置为递送冷却液区域的配置和气流模式的。在这方面，流率调整点可以对于每个 CRAC 部件 108、110、110 改变并且还可以随气流模式改变而改变。

[0100] 如果在步骤 468 确定流率 (FR) 超过流率调整点 (FR_{set})，那么可以不改变所述流率。然而如果确定流率 (FR) 没有超过流率调整点 (FR_{set})，那么可以如在步骤 470 所表明，可以增加 CRAC 部件 108、110、110 的体积流率。体积流率中的增加级可以是基于各个因素的。例如，增加级可以是基于增加的调整百分比的并且可以基于迭代过程的，

其中在每个循环期间执行增加级直到流率 (FR) 等于或超过流率调整点 (FRset)。作为另一例子, 增加级可以是基于历史数据的, 所述历史数据用于表明在受 CRAC 部件 108、110、110 所影响的区域中响应于各个 VFD 速度的温度变化级。

[0101] 在步骤 466, 对于那些热传递速率 (Q) 在最小调整点传热水平 (Qset, min) 之下的 CRAC 部件 108、110、110 来说, 那些 CRAC 部件 108、110、110 可以进入睡眠模式, 如在步骤 414 所表明。睡眠模式可以包括断电模式, 其中 CRAC 部件 108、110、110 与当 CRAC 部件 108、110、110 完全工作时相比抽取减少的功率量。所降低的功率量可以包括处于在完全工作模式和完全停机模式之间某处的功率状态。另外, 睡眠模式可以构成节能模式, 其中 CRAC 部件 108、110、110 可以在相对短时间内被重新激活或者带回到完全工作状态。CRAC 部件 108、110、110 的降低功率状态可以对于不同类型的 CRAC 部件改变。

[0102] 在任何方面, 睡眠模式可以包括这样的模式, 其中向被定位来用于检测在 CRAC 部件 108、110、110 入口周围冷却液的温度的温度传感器 138 所提供的功率保持活动。另外, 睡眠模式还可以包括提供少量功率以便使吹风机能够基本上连续使相对少量的冷却液流过 CRAC 部件 108、110、110。在这方面, 当 CRAC 部件 108、110、110 处于睡眠模式中时, 可以基本上连续地监视被提供到 CRAC 部件 108、110、110 中的冷却液的温度。

[0103] 例如当所计算的热传递速率 (Q) 超过最大调整点传热水平 (Qset, max) 时, CRAC 部件 108、110、110 可以退出睡眠模式, 如在步骤 412 所表明。作为选择, CRAC 部件 108、110、110 可以被配置为当返回空气温度 (Trat) 超过另一预定义温度时退出睡眠模式, 例如可以依照所述 CRAC 部件 108、110、110 向其递送冷却液组件的操作要求来定义所述预定义的温度。作为另一候选, CRAC 部件 108、110、110 可以响应于收到调整点温度范围等而在预定时段之后通过手工苏醒来退出睡眠模式。

[0104] 在另一例子中, 多个 CRAC 部件 108、110、110 可以被联网或配置为彼此通信。例如, 相同的控制器 204 可以控制多个 CRAC 部件 108、110、110。在任何方面, CRAC 部件 108、110、110 的控制器 204 可以被配置为向其它 CRAC 部件 108、110、110 传送它们的状态。CRAC 部件 108、110、110 的状态可以由控制器 204 用来确定 CRAC 部件 108、110、110 的提供级。举例来说, 如果 CRAC 部件 108、110、110 之一处于睡眠模式中并且邻近 CRAC 部件 108、110、110 的提供级太高, 例如到邻近 CRAC 部件 108、110、110 中的返回空气温度 (Trat) 在预定义级之上, 那么 CRAC 部件 108、110、110 可以被带出所述睡眠模式中。在这种情况下, 在睡眠模式期间可以不需要测量返回空气温度 (Trat) 由此使该 CRAC 部件 108、110、110 当处于所述睡眠模式时能够抽取较少功率。

[0105] 通过操作模式 400 和 450 的操作, 可以基本上使 CRAC 部件 108、110、110 的能量消耗级以及由此与它们操作相关联的成本最小化。在一个方面, CRAC 部件 108、110、110 可以依照总体上使它们能够能量高效操作的方式来基本上彼此独立地操作。

[0106] 在操作模式 400 和 450 中所阐明的操作可以被作为实用程序、程序或子程序包含在任何想要的计算机可访问介质中。另外, 操作模式 400 和 450 可以由计算机程序包含, 所述计算机程序可以依照活动和不活动的形式存在。例如, 它可以作为由源代码、对象代码、可执行代码或其它格式的程序指令所组成的软件程序存在。任何上述代码可以

以压缩或未压缩形式包含在计算机可读介质上，所述计算机可读介质包括存储设备和信号。

[0107] 示例性的计算机可读存储设备包括常规的计算机系统 RAM、ROM、EPROM、EEPROM 和磁或光盘或磁带。示例性的计算机可读信号（无论是否使用载波调制）是包括经由因特网或其它网络下载信号的信号，为计算机程序作主机或执行所述计算机程序的计算机系统可以被配置为访问所述信号。上述信号的具体例子包括在 CD ROM 上的程序分布或经由因特网下载的程序分布。在某种意义上，因特网本身作为抽象实体就是计算机可读介质。通常对计算机网络来说也一样。因此应当理解能够执行上述功能的任何电子设备可以执行上面所列举的那些功能。

[0108] 图 5 依照本发明实施例图示了示例性的计算机系统 500。计算机系统 500 例如可以包括控制器 204 和 / 或计算设备 112。在这方面，计算机系统 500 可以被用于执行在上文相对于 CRAC 控制系统 202、252、252 的各个组件所描述的一个或多个功能的平台。

[0109] 计算机系统 500 包括诸如处理器 502 之类的一个或多个控制器。处理器 502 可以用来执行在操作模式 400 和 450 中所描述的一些或所有步骤。经由通信总线 504 传送来自处理器 502 的命令和数据。计算机系统 500 还包括诸如随机存取存储器 (RAM) 之类的主存储器 506 和辅助存储器 508，在所述主存储器 506 中可以在运行期期间执行例如用于控制器 204 和 / 或计算设备 112 的控制器程序代码。辅助存储器 508 例如包括一个或多个硬盘驱动器 510 和 / 或可拆卸存储驱动器 512，代表是软盘驱动器、磁带驱动器、光盘驱动器等，其中可以存储用于提供系统的程序代码的拷贝。

[0110] 可拆卸存储驱动器 510 依照公知的方式从可拆卸存储部件 514 读取和 / 或向其中写入。用户输入和输出设备可以包括键盘 516、鼠标 518 和显示器 520。显示适配器 522 可以与通信总线 504 和显示器 520 对接并且可以接收来自处理器 502 的显示数据并且把所述显示数据转换为用于所述显示器 520 的显示指令。另外，处理器 502 可以通过网络转接器 524 经由例如因特网、LAN 等网络进行通信。

[0111] 一个本领域普通技术人员应当清楚，在计算机系统 500 中可以添加或替换其它已知的电子组件。另外，计算机系统 500 可以包括在数据中心的机架中所使用的系统板或板片，常规的“白盒”服务器或计算设备等。在图 5 中的一个或多个组件也可以是可选的（例如，用户输入设备、辅助存储器等）。

[0112] 这里所描述并图示的是本发明的优选实施例以及其变化。这里所使用的术语、描述和图形仅以举例形式进行阐明而并不意味着进行限制。那些本领域技术人员在意在由以下权利要求及其等效物所定义的本发明的精神和范围内应当认识到许多变化是可以的——其中所有术语除非另有陈述否则意思是最宽泛的合理意义。

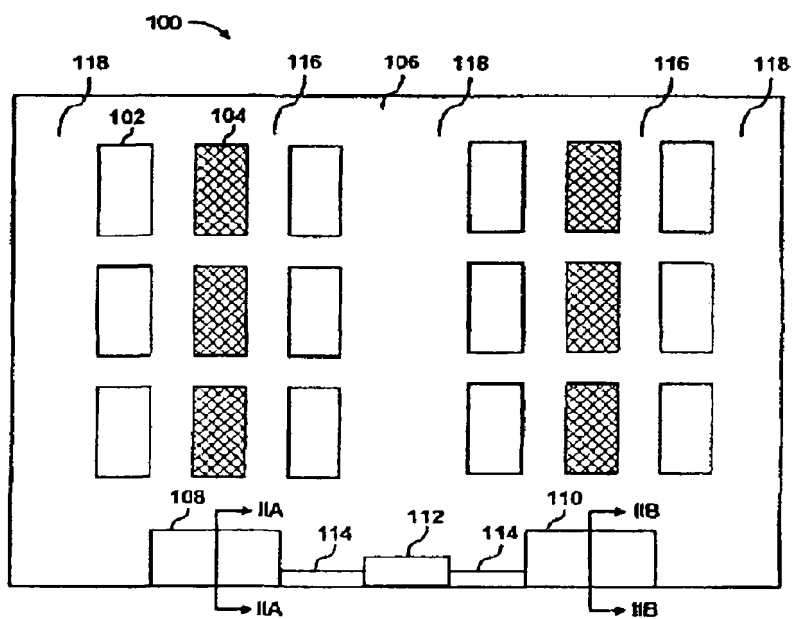


图 1A

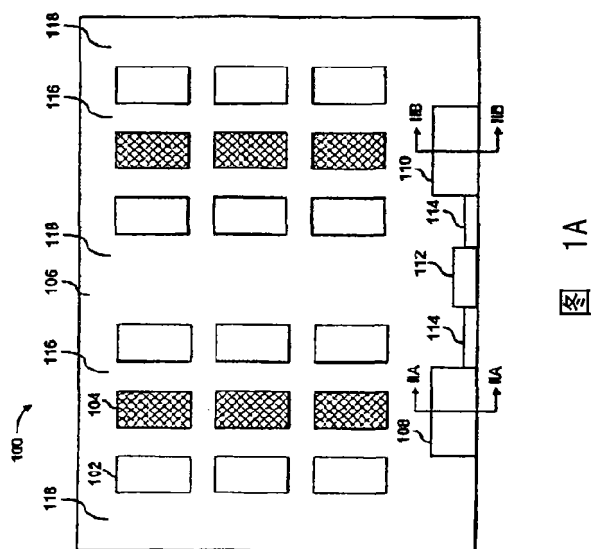


图 1A

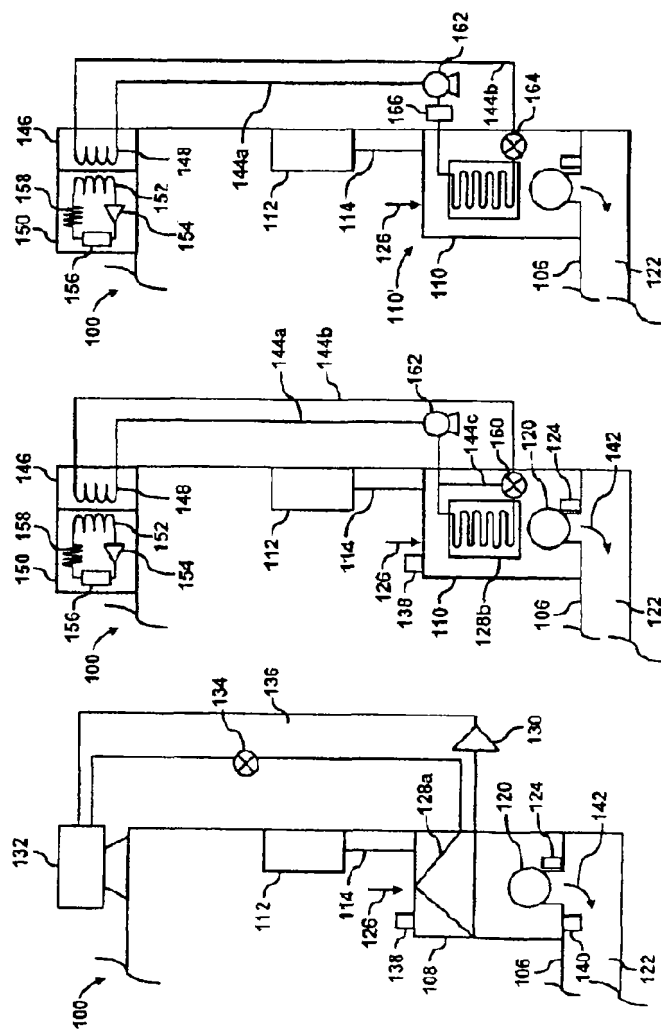


图 1B

图 1C

图 1D

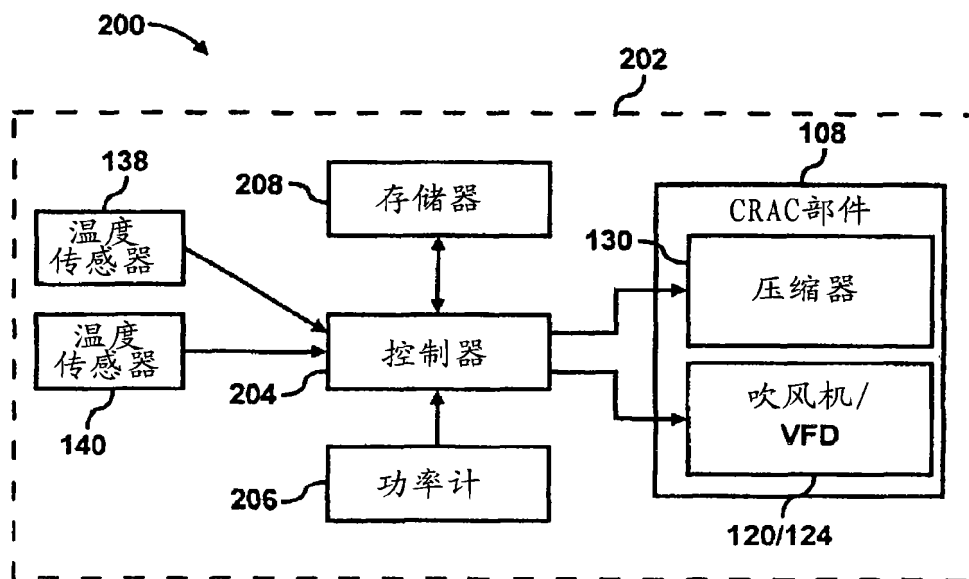


图 2A

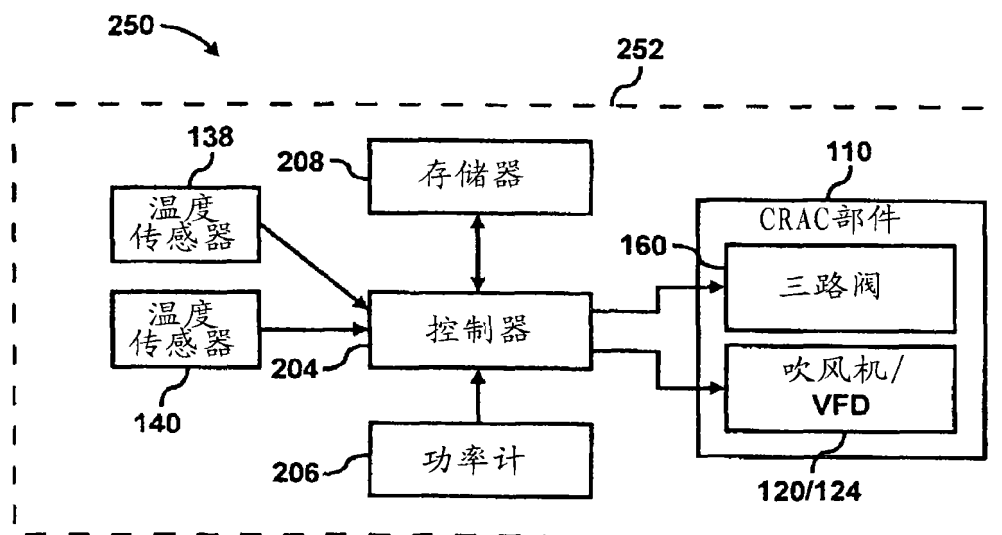


图 2B

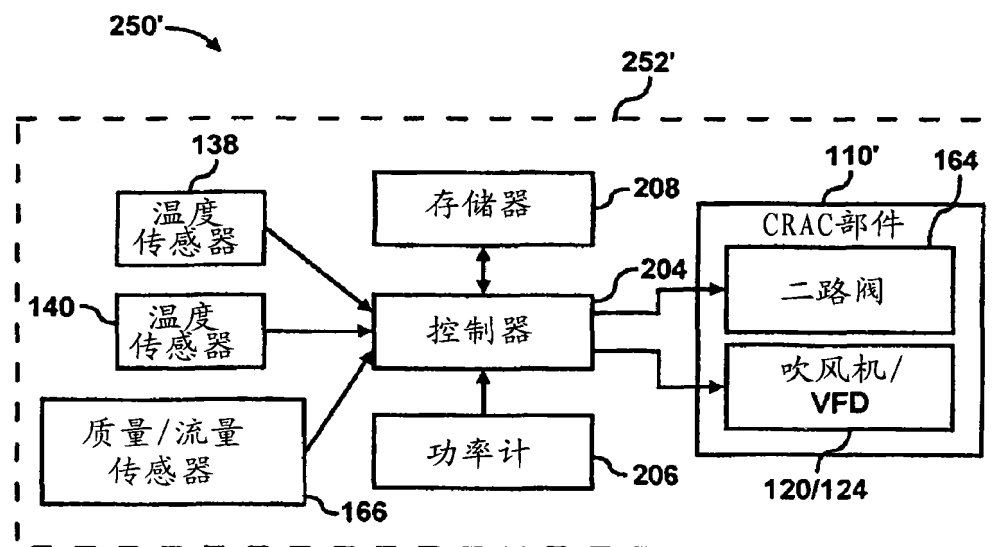


图 2C

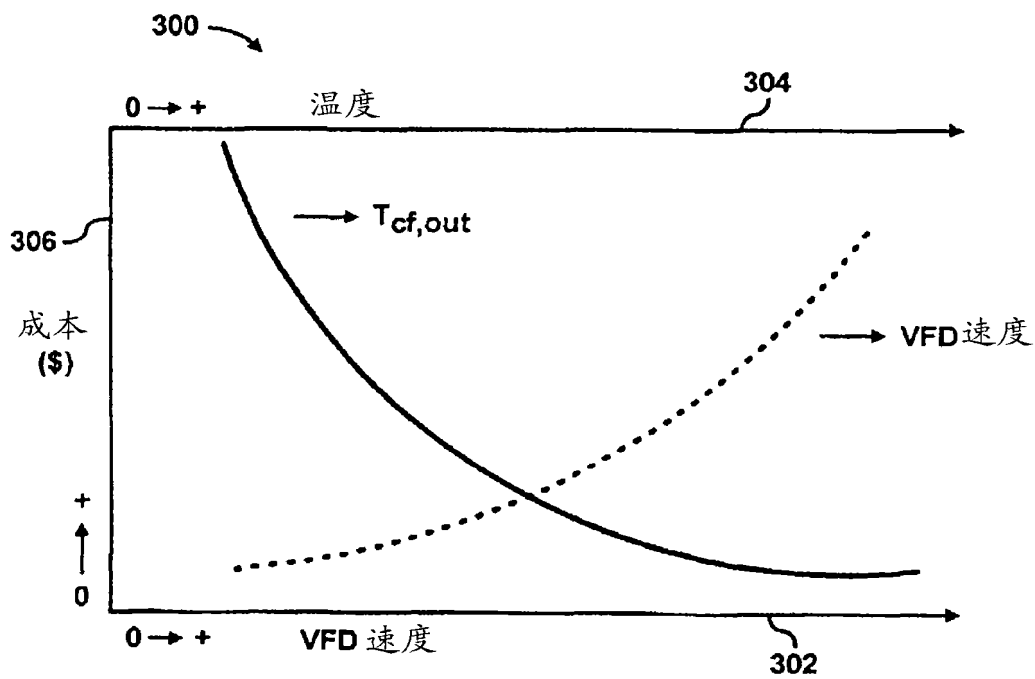


图 3

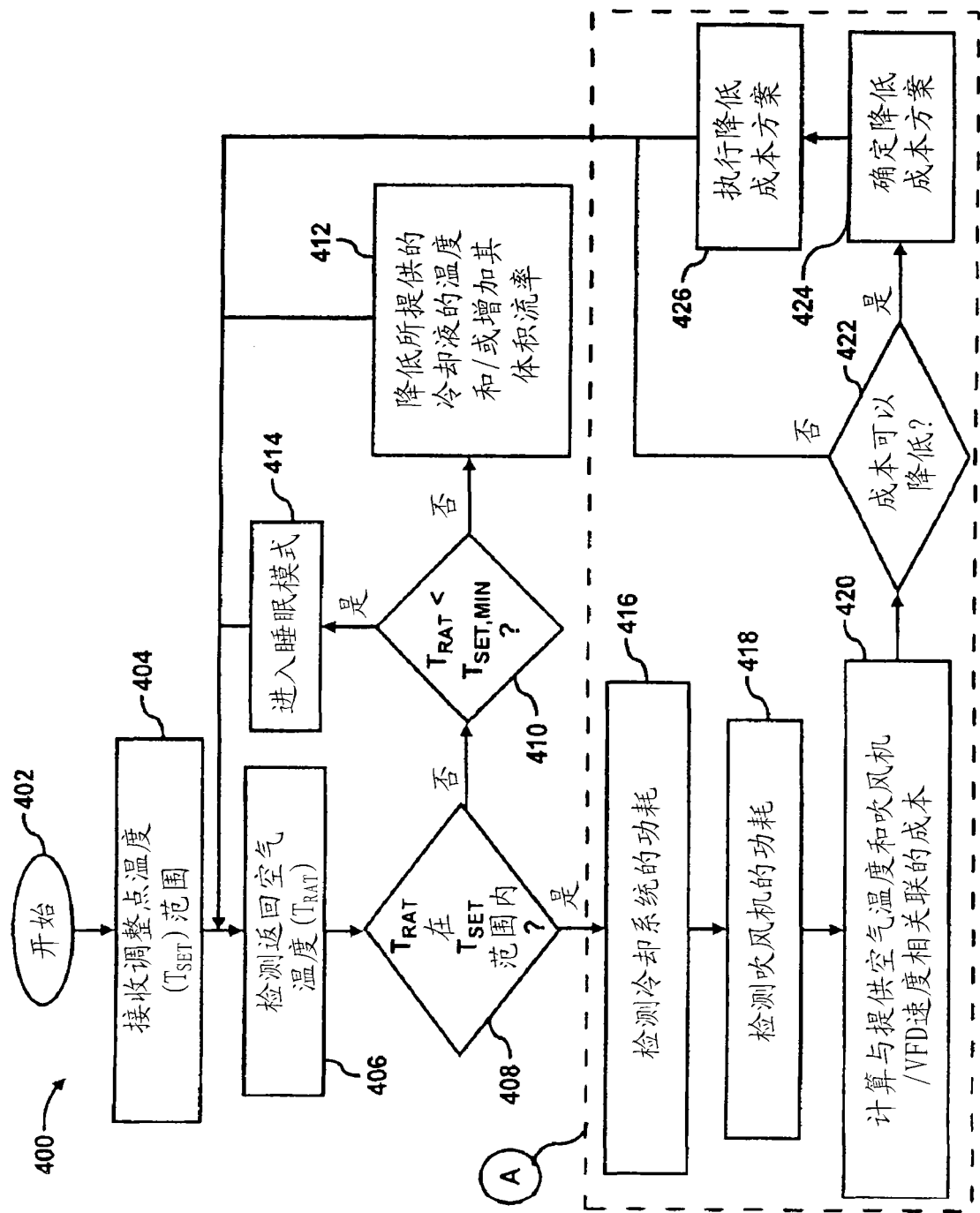


图 4A

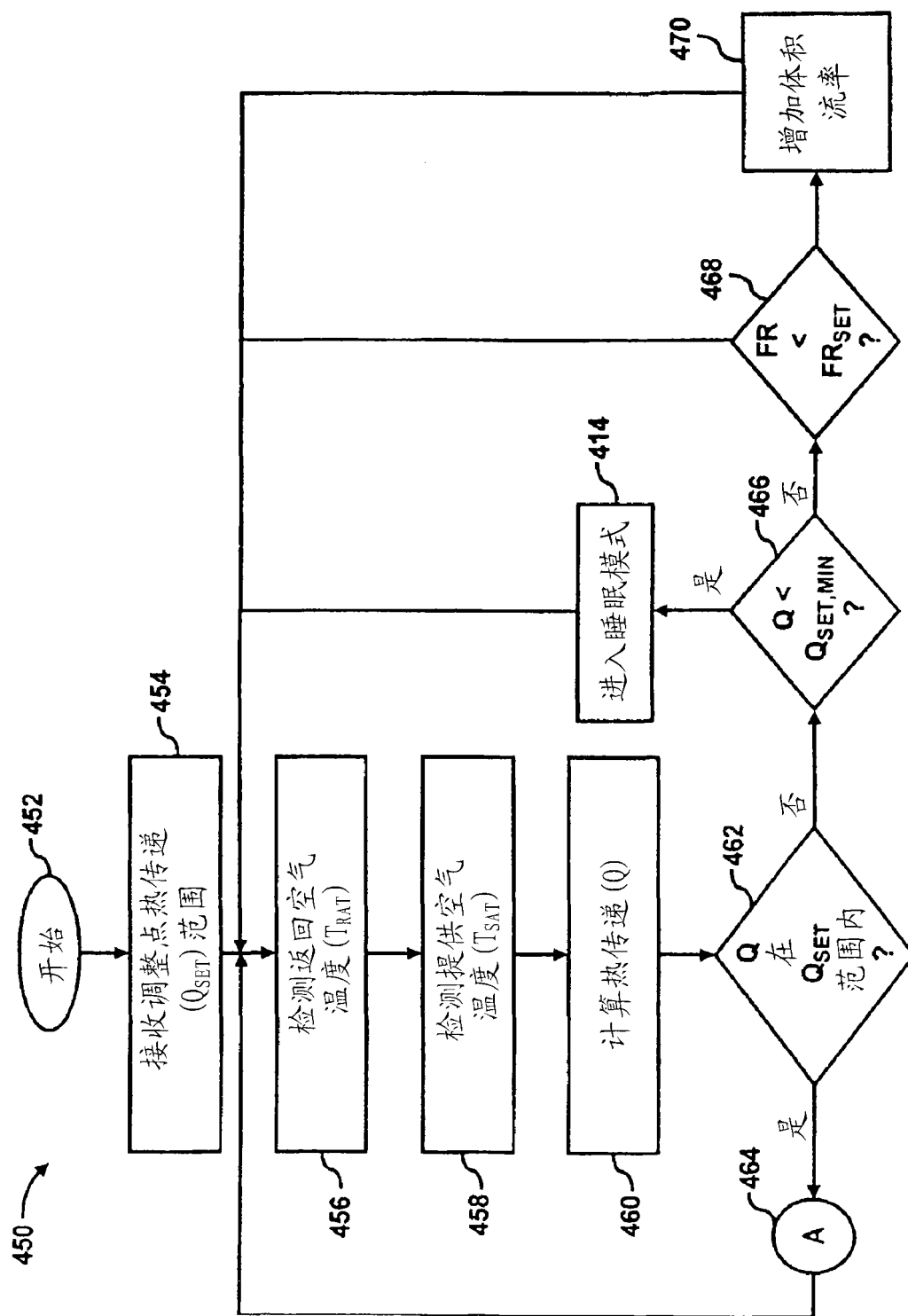


图 4B

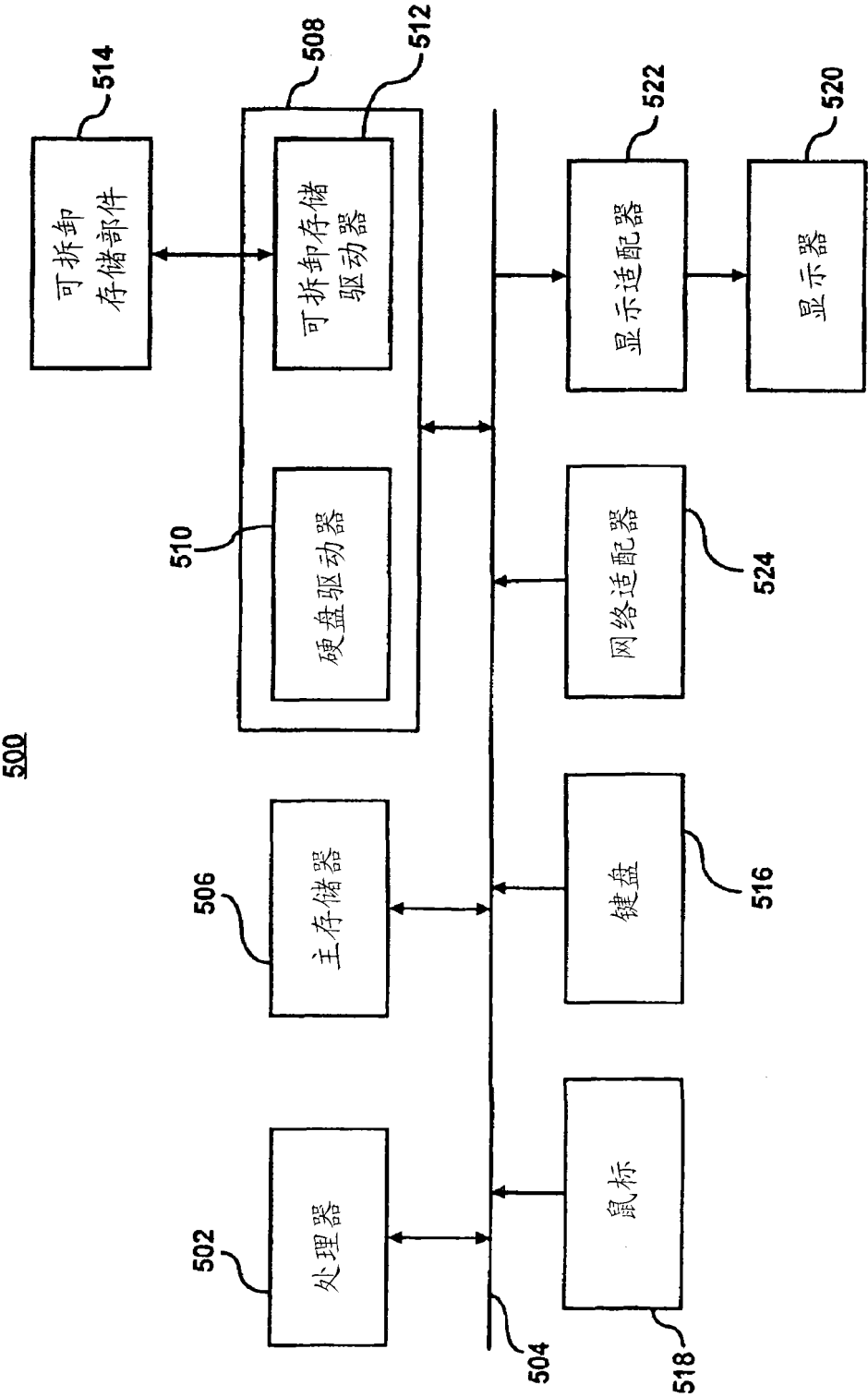


图 5