



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580037939.4

[43] 公开日 2007年10月10日

[11] 公开号 CN 101053291A

[22] 申请日 2005.8.30

[21] 申请号 200580037939.4

[30] 优先权

[32] 2004.9.1 [33] US [31] 10/931,189

[86] 国际申请 PCT/US2005/030967 2005.8.30

[87] 国际公布 WO2006/028846 英 2006.3.16

[85] 进入国家阶段日期 2007.5.8

[71] 申请人 惠普开发有限公司

地址 美国德克萨斯州

[72] 发明人 R·夏马 C·E·巴什

C·D·帕特尔

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 程天正 刘红

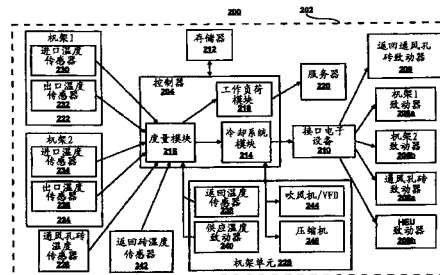
权利要求书4页 说明书38页 附图13页

[54] 发明名称

基于再循环指数的 CRAC 单元控制

[57] 摘要

一种空气调节单元(228), 可以根据设计成量化再循环级别的性能指数对其进行控制。对于空气调节单元控制而言, 确定(704, 804)性能指数设定值, 并且测量(706, 806)一次迭代的性能指数。此外, 确定测得的一次迭代性能指数等于还是超过性能指数设定值(708, 808)。而且, 响应于测得的一次迭代的性能指数等于或者超过性能指数设定值(710, 810)来提高空气调节单元(228)的供应空气温度。



1. 一种用于根据设计成量化再循环级别的性能指数来控制空气调节单元 (228) 的方法 (700, 800), 所述方法 (700, 800) 包括:

确定 (704, 804) 性能指数设定值;

测量 (706, 806) 一次迭代的性能指数;

确定 (708, 808) 测得的一次迭代的性能指数等于还是超过性能指数设定值; 以及

响应于测得的一次迭代的性能指数等于或超过性能指数设定值来提高 (710, 810) 空气调节单元 (228) 的供应空气温度。

2. 根据权利要求 1 所述的方法 (700, 800), 其中测量 (706, 806) 性能指数 (RHI) 的步骤包括求解以下等式:

$$RHI = \frac{\sum_k M_k C_p ((T_{in}^c)_k - T_{ref})}{\sum_j \sum_i m'_{i,j} C_p ((T'_{out})_{i,j} - T_{ref})}$$

其中 M_k 是通过空气调节单元 (228) 的冷却流体的质量流速, C_p 为特定的空气热量, T_{in}^c 是单独的空气调节单元进口温度, $m'_{i,j}$ 是通过第 j 行机架中的第 i 个机架的质量流速, 并且 $(T'_{in})_{i,j}$ 和 $(T'_{out})_{i,j}$ 是第 j 行机架中第 i 个机架的平均进口和出口温度, T_{ref} 表示空气调节单元 (228) 提供的空气的温度。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法 (800), 还包括:

响应于测得的一次迭代的性能指数落到性能指数设定值以下而确定 (816) 空气调节单元 (228) 的流速;

确定 (818) 流速等于还是超过最大流速设定值;

响应于流速落到最大流速设定值以下而提高 (822) 空气调节单元 (228) 提供的空气的流速;

响应于提高的空气调节单元 (228) 提供的空气流速而测量 (824) 二次迭代的性能指数;

响应于提高空气调节单元 (228) 提供的空气流速的步骤而检查 (826) 热管理;

确定 (828) 测得的二次迭代的性能指数是否超过测得的一次迭代的性能指数;

响应于测得的二次迭代的性能指数超过了测得的一次迭代的性能指数而确定(830)测得的二次迭代的性能指数是否基本上等于最大性能指数;

响应于测得的二次迭代的性能指数落到最大性能指数以下而确定(832)空气调节单元提供的空气流速得到提高的次数等于还是超过预定的迭代次数; 以及

响应于空气调节单元提供的空气流速得到提高的次数落到预定迭代次数以下而提高(822)空气调节单元提供的空气流速。

4. 根据权利要求3所述的方法(800), 还包括:

响应于二次迭代的性能指数基本上等于最大性能指数而把性能指数设定值设定(814)成等于测得的一次迭代的性能指数。

5. 根据权利要求1所述的方法(800), 还包括:

响应于测得的一次迭代的性能指数落到性能指数设定值以下而确定(834)空气调节单元(228)的流速;

确定(836)该流速等于最小流速设定值还是落到该设定值以下;

响应于该流速超过最小流速设定值而降低(842)空气调节单元提供的空气的流速;

测量(844)二次迭代的性能指数;

1) 热管理;

确定(848)测得的二次迭代的性能指数是否超过测得的一次迭代的性能指数;

响应于测得的二次迭代的性能指数超过测得的一次迭代的性能指数而确定(850)测得的二次迭代的性能指数是否基本上等于最大性能指数;

响应于测得的二次迭代的性能指数落到最大性能指数以下而确定(852)空气调节单元(228)提供的空气的流速得到降低的次数等于还是超过预定的迭代次数;

响应于空气调节单元提供的空气的流速得到降低的次数落到预定迭代次数以下而降低(842)该空气调节单元提供的空气的流速;

响应于空气调节单元(228)提供的空气的流速得到降低的次数等于预定迭代次数而把性能指数设定值设定(814)成等于测得的一次迭代的性能指数。

6. 根据权利要求5所述的方法(800), 还包括:

响应于测得的二次迭代的性能指数落到测得的一次迭代的性能指数以下而把性能指数设定值重设(854)成预定的性能指数设定值。

7. 一种用于根据设计成量化再循环级别的性能指数来控制空气调节单元(228)的系统(202), 所述系统(202)包括:

第一温度传感器(230)和第二温度传感器(232), 其中将第一温度传感器(230)和第二温度传感器(232)检测到的温度测量值被用于计算性能指数;

控制器(204), 被配置成用于确定算得的一次迭代的性能指数等于还是超过性能指数设定值;

所述控制器(204)还被配置成用于响应于算得的性能指数等于或是超过性能指数设定值来提高空气调节单元(228)的供应空气温度。

8. 根据权利要求7所述的系统(202), 其中该控制器被配置成用于通过以下等式计算性能指数(RHI):

$$RHI = \frac{\sum_k M_k C_p ((T_{in}^c)_k - T_{ref})}{\sum_j \sum_i m'_{i,j} C_p ((T'_{out})_{i,j} - T_{ref})}$$

其中 M_k 是通过空气调节单元(228)的冷却流体的质量流速, C_p 是特定的空气热量, T_{in}^c 是单独的空气调节单元进口温度, $m'_{i,j}$ 是通过第 j 行机架中的第 i 个机架的质量流速, 并且 $(T'_{in})_{i,j}$ 和 $(T'_{out})_{i,j}$ 是第 j 行机架中第 i 个机架的平均进口和出口温度, T_{ref} 表示空气调节单元(228)提供的空气的温度。

9. 一种具有用于根据设计成量化再循环级别的性能指数来控制空气调节单元(228)的系统(202)的数据中心(100), 所述数据中心(100)包括:

用于确定(204)性能指数设定值的装置;

用于测量数据中心(100)中多个位置处的温度(230-240)的装置;

用于计算(216)一次迭代的性能指数的装置;

用于确定(216)算得的一次迭代的性能指数等于还是超过性能指数设定值的装置;

用于响应于测得的一次迭代的性能指数等于或是超过性能指数设

定值而提高(214)空气调节单元(228)的供应空气温度的装置。

10. 根据权利要求9所述的数据中心(100), 还包括:

用于不定地从数据中心(100)中的一个或多个位置接收(166, 209)热气流的装置;

用于将接收到的热气流引导(164)到空气调节单元(228)的装置。

基于再循环指数的 CRAC 单元控制

相关申请的交叉引用

本申请是 2003 年 5 月 29 日提交的，名称为“Air Re-Circulation Index (空气再循环指数)”的第 10/446854 号美国专利申请的继续申请。该申请中公开的内容在本文中全部引入作为参考，并且本申请要求享有该申请的申请日。

背景技术

数据中心可以定义为容纳了设置在多个机架中的计算机系统的场所，例如一个房间。标准机架，例如电子机柜定义为 78 英寸（2 米）长、24 英寸（0.61 米）宽并且 30 英寸（0.76 米）深的电子工业协会（EIA）外壳。这些机架配置为容纳多个计算机系统，大约为 40 个，机架的未来配置设计成容纳 200 个或更多个系统。该计算机系统通常包括多个组件，例如一个或多个印刷电路板（PCB）、大容量存储设备、电源、处理器、微控制器、半导体设备等等，这些组件会在各个组件工作过程中散发大量的热。例如，包含多个微处理器的典型计算机系统会散发大约 250W 的功率。因此，包含 40 个这种计算机系统的机架会散发大约 10KW 的功率。

将机架中各个组件散发的热传递到数据中心的冷却空气所需的功率通常等于操纵这些组件所需的功率的约 10%。然而，去除数据中心的多个机架散发的热所需的功率通常等于操纵机架中各个组件所需功率的约 50%。机架与数据中心之间消除各种热负荷所需功率量的一致性源于例如数据中心的冷却空气所需的附加热力学工作。其一，通常利用风扇来冷却机架，风扇用于使冷却流体、如空气、调节空气等在散热组件上移动；然而，数据中心通常实施逆功率循环来冷却热回流空气。除了涉及在数据中心和冷凝器中移动冷却流体的工作之外，实现降温所需的其他工作通常总计达功率要求的 50%。因此，除了冷却机架出现的问题之外，冷却数据中心存在诸多问题。

常规的数据中心通常通过一个或多个空气调节单元工作来进行冷却。例如，空气调节单元的压缩机通常需要所需工作能量的大约至少 30% 以充分冷却数据中心。其他组件、例如冷凝器、空气推进器（风

扇或者吹风机)通常消耗总工作能量的另外 20%。例如,具有 100 个机架的高密度数据中心,每个机架具有 10KW 的最大功耗,该数据中心通常需要 1MW 的冷却能力。具有 1MW 除热能力的空气调节单元除了驱动空气移动设备、如风扇和吹风机所需的功率之外,通常需要至少 300KW 的输入压缩机功率。常规的数据中心空气调节单元不会根据数据中心的分布需要而改变其冷却流体输出。取而代之的是,这些空气调节单元通常以最大压缩机功率或者接近最大压缩机功率工作,即使在该数据中心内的热负荷降低时也是如此。

空气调节单元基本上连续的工作通常设计成根据最差情况工作。例如,通常将空气调节系统设计为最大能力附近,并且利用冗余使得数据中心可以基本上连续地保持联机。然而,数据中心中的计算机系统通常利用最大冷却能力的约 30-50%。在这方面,常规的冷却系统通常试图冷却未以可能造成其温度超过预定温度范围的级别工作的组件。因此,常规的冷却系统通常导致比充分冷却数据中心机架中包含的发热组件所必须的多得多的工作成本。

另一个影响冷却系统效率的因素是数据中心的空气再循环的水平。也就是说,常规的冷却系统未设计成减少冷却流体与热空气的混和。因此,输送到机架的冷却流体通常与组件生成的热空气混和,由此降低从各个组件到冷却流体的热传递效率。此外,热空气与冷却流体混和,由此降低返回到空气调节单元的空气的温度并且因而降低空气调节单元处热传递的效率。

发明内容

根据一个实施例,本发明涉及一种用于根据设计成量化再循环水平的性能指数来控制空气调节单元的方法。在本方法中,确定性能指数设定值,并且测量一次迭代的性能指数。此外,确定测得的一次迭代性能指数等于还是超过性能指数设定值。本方法还包括响应于测得的一次迭代性能指数等于还是超过性能指数设定值来提高空气调节单元的供应空气温度。

附图说明

本领域技术人员根据以下参照附图的说明,可以理解本发明的特征,在附图中:

图 1A 表示了根据本发明实施例的数据中心的简化透视图;

图 1B 表示了根据本发明实施例的图 1A 所示数据中心侧视图的简化表示；

图 1C 为根据本发明实施例的数据中心上部的横截面图；

图 1D 为根据本发明实施例的具有降低顶板的数据中心的简化示意表示；

图 2 为根据本发明实施例的冷却系统的框图；

图 3 表示了根据本发明实施例的计算机系统；

图 4A 和 4B 一起图示了根据本发明实施例的冷却系统工作模式的流程图；

图 4C 和 4D 分别表示了根据本发明可选实施例的图 4A 和 4B 分别所示的工作模式的可选步骤；

图 5 表示了根据本发明另一个实施例的冷却系统工作模式的示例性流程图；

图 6 表示了根据本发明实施例的设计和部署数据中心布局的工作模式的示例性流程图；

图 7 表示了根据本发明实施例的基本上基于 RHI 值的冷却系统工作模式的流程图；

图 8A 和 8B 一起图示了根据本发明另一实施例的基本上基于 RHI 值的冷却系统工作模式的流程图。

具体实施方式

为了简化和说明起见，主要参照本发明的示例性实施例来描述本发明。在以下的说明中，所阐述的各种具体细节是为了提供对本发明的全面理解。然而，本领域技术人员可以理解，本发明的实现不限于这些具体细节。在其他情况下，没有具体描述公知方法和结构为的是不必要地模糊了本发明。

在本说明书自始至终，提到了“冷却流体”和“热冷却流体”。为了简单起见，“冷却流体”总体上可以定义为已经被冷却设备、例如计算机房空气调节 (CRAC) 单元冷却的空气。此外，“热冷却流体”总体上可以定义为例如通过接收来自发热/散热组件的热而加热的冷却流体。然而，应当容易理解，术语“冷却流体”无意表示仅包含冷却空气的空气，“热冷却流体”无意表示仅包含已经加热的空气。取而代之的是，本发明的实施例可以利用包含热冷却流体和冷却流体的混

合物的空气工作。此外，冷却流体和热冷却流体可以表示不同于空气的气体，例如本领域技术人员已知的用于数据中心的冷却剂和其他类型的气体。

可以根据数据中心内的各种环境条件来计算无量纲且可缩放的参数。可以实现这些参数来控制传送到数据中心各个位置的一种或多种冷却流体、热冷却流体去除以及工作负荷安排，从而提供对数据中心中的组件的高效冷却。一方面，可以通过减少数据中心的空气再循环的量来提高冷却效率。也就是说，通过减少热冷却流体与冷却流体的再循环（反之亦然），可以提高冷却流体冷却数据中心的各组件的潜力，优于已知的冷却系统。通过本发明实施例的工作可以获得的效率提高的一个结果是可以减少操作冷却系统所需能量的量，从而减少相关的工作成本。

无量纲参数可以用于为数据中心冷却系统确定可缩放的“性能指数”。此外，该性能指数可以量化在该数据中心各个位置发生的再循环量。在这方面，本说明书自始至终公开的参数是供热指数（SHI）和返回热指数（RHI）。SHI 和 RHI 可以用作一个或多个组件、机架、机架群或者数据中心总体上的热量管理和能量效率的指标。

根据整个数据中心各个位置处测得的温度来计算 SHI 和 RHI。例如，可以实现 CRAC 单元提供的冷却流体的温度来确定 SHI 和 RHI。可以将 CRAC 单元提供的冷却流体的温度视为基准温度，原因在于此时的冷却流体的温度基本上是可以控制的。此外，这些指数可以基于各个进口和出口处的温度。例如，可以在供风孔的进口、机架进口、机架出口、返回风孔的入口等处测量温度。如下文中更详细描述，这些不同位置处的温度是数据中心几何布局的函数。此外，这些温度可以根据供风孔以及机架进口和出口的各种操作加以改变。

根据本发明的其他实施例，可以通过使用计算流体动态建模来计算 SHI 和 RHI。可以进行这种建模来确定基本上优化的数据中心布局。因此，根据本发明的这个实施例，可以为基本上最佳的冷却系统能量使用来设计数据中心的布局。这可能要求将机架定位到相对于供风孔和 CRAC 单元的预定配置中。这还可能要求使用具有不同配置的机架来控制通过该机架的空气流。

可以在操纵数据中心冷却系统的过程中实现 SHI 和 RHI 中的一个

或两个。例如，可以使用 SHI 和 RHI 中的一个或两个来控制传送到机架的冷却流体和/或从机架去除的热冷却流体。另一个实例，可以使用 SHI 和 RHI 中的一个或两个来确定在这些机架之间基本上最佳的计算负荷分布。也就是说，根据 SHI 和 RHI 计算中的一个或两个，利用位于机架中的一个或多个组件、如服务器、计算机等进行的计算工作负荷可以由一个或多个其他组件共享。可选的是，计算工作负荷可以分布在更少数量的组件之间。

另一个实例，RHI 可以用于控制数据中心中一个或多个 CRAC 单元的供应。RHI 可以用于相对于数据中心的空气传送基础结构来对 CRAC 性能进行基准测量。一般而言，当 CRAC 单元在较高供应温度工作时，其消耗较少能量。高 RHI 水平总体上表示 CRAC 单元正在接收较高温度的热冷却流体，并且正在传送一定级别的冷却。因此，当经冷却的冷却流体在提供到 CRAC 单元之前再循环成热冷却流体时，该 CRAC 单元为传送相同级别的冷却而消耗了更大量的能量。

RHI 设定值可以用作 CRAC 单元控制的基础。因此，例如如果特定 CRAC 单元的 RHI 级别超过了预定的 RHI 设定值，则可以提高 CRAC 单元提供的冷却流体的温度。因为传送较高温度冷却流体所需的能量小于传送较低温度冷却流体所需的能量，所以可以使该 CRAC 工作在降低的能量级别。此外，如果 RHI 级别低于 RHI 设定值，则可以提高或降低 CRAC 单元提供的冷却流体的流速，以使 RHI 级别大于 RHI 设定值。

首先参照图 1A，示出了可以采用本发明各个实例的数据中心 100 的简化透视图。术语“数据中心”总体上表示可以放置能够发热的一个或多个组件的房间或者其他空间。在这个方面，术语“数据中心”不意味着将本发明限制为通信或处理数据所在的任何特定类型的房间，也不应解释为使用术语“数据中心”将本发明限制为不同于上文中其定义的任何方面。

本领域技术人员应当容易理解，图 1A 所绘制的数据中心 100 表示了一般化的图示，并且可以在不背离本发明范围的情况下添加其他组件，或者去除或修改现有组件。例如，数据中心 100 可以包括任意数量的机架和各种其他组件。此外，应当理解，发热/散热组件可以位于数据中心 100 中，而不是封闭在机架中。

该数据中心 100 被绘制为具有排列在平行行中且对齐的多个机架 102-108，例如电子机柜。每行机架 102-108 表示为包含定位于高起的地板 110 上的四个机架 (a-d)。多条电线和通信线路 (未示出) 可以放置在高起的地板 110 下的空间 112 中。该空间 112 还可以起到强制通风系统的作用，用于将冷却流体从一个或多个计算机房空气调节 (CRAC) 单元 114 传送到机架 102-108。所述冷却流体可以通过位于机架 102-108 的一些或全部之间的通风孔砖 (tile) 116 从空间 112 传送到机架 102-108。所示的通风孔砖 116 位于机架 102 与 104 和 106 与 108 之间。

如前所述，该 CRAC 单元 114 总体上操作来向空间 112 中提供经冷却的冷却流体。包含在空间 112 中的冷却流体可以包括由一个或多个 CRAC 单元 114 提供的冷却流体。因此，冷却流体的特性，例如温度、压强、流速等等基本上会受到一个或多个 CRAC 单元 114 的影响。例如，一个 CRAC 单元 114 提供的冷却流体可以与另一个 CRAC 单元 114 提供的冷却流体混和。在这方面，例如如果这些 CRAC 单元 114 提供的冷却流体的温度或者容积流速由于冷却流体的混和而不同，则位于空间 112 中不同区域的冷却流体和提供给机架 102-108 的冷却流体的特性就可能会变化。在某些情况下，影响的程度在更接近 CRAC 单元 114 的位置处会更高，而在比较远离 CRAC 单元 114 的位置会更低。因此，可以按照能够使提供到机架 102-108 中的冷却流体的温度和容积流速相对于不同 CRAC 单元 114 的影响受到控制的方式使该 CRAC 单元 114 工作。

机架 102-108 总体上配置为封闭多个能够发热/散热的组件 (未示出)，例如处理器、微控制器、高速视频卡、存储器、半导体设备等等。这些组件可以是具有多个子系统 (未示出) 的元件，例如计算机、服务器等。可以实现这些子系统和组件以实施各种电子功能，例如计算、切换、路由选择、显示等。在这些电子功能的实现过程中，该组件并且因此该子系统总体上可能会散发较大量的热。因为通常已经知道了机架 102-108 包括 40 个或更多的子系统，所以它们可以将相当大量的热传递到冷却流体，从而使子系统和组件总体上维持在预定的工作温度范围内。

尽管所示的数据中心 100 包含四行机架 102-108 和两个 CRAC 单

元 114，但是应当理解该数据中心 100 可以包括任意数量的机架和 CRAC 单元，例如 100 个或更多的机架和 4 个或更多的 CRAC 单元。因此，对四行机架 102-108 和两个 CRAC 单元 114 的描述仅仅是为了说明和简化，无意在任何方面限制本发明。此外，还可以基本上垂直于机架 102-108 来放置 CRAC 单元 114。

现在参照图 1B，示出了图 1A 所示的数据中心的侧视图的简化图示。在图 1B 中，可以看到机架 102a、104a、106a 和 108a。在共同转让的 2001 年 10 月 5 日提交的美国专利 No.6, 574, 104 中可以找到相对于图 1B 所图示的实施例的更详细的说明，该专利文献全文引入作为参考。

如图 1B 所示，机架 102 与 104 和机架 106 与 108 之间的区域可以包括冷却通道 118。将这些通道视为“冷却通道”是因为它们配置为从通风孔砖 116 接收冷却流体。此外，机架 102-108 总体上从冷却通道 118 接收冷却流体。机架 104 与 106 之间的通道以及机架 102 和 108 后侧上的通道视为热通道 120。将这些通道视为“热通道”是因为它们配置为接收受到机架 102-108 中的组件加热的冷却流体。通过例如利用机架 102-108 使冷却通道 118 与热通道 120 基本上分开，可以基本上防止冷却流体在传送到机架 102-108 中之前与加热的冷却流体再循环。此外，还可以基本上防止热的冷却流体在返回到 CRAC 单元 114 之前与冷却流体再循环。然而，在数据中心 100 中可能存在发生冷却流体与热的冷却流体再循环的区域。例如，经冷却的冷却流体可以与一个或多个机架 102-108 侧面附近或者顶部上的热冷却流体混和。

可以将面对冷却通道 118 的机架 102-108 的侧面视为机架的前部，并且可以将背对冷却通道 118 的机架 102-108 的侧面视为机架 102-108 的后部。为了简化而不是限制，在本说明中将采用这种命名法来描述机架 102-108 的各个侧面。

根据本发明的另一个实施例，可以使机架 102-108 的后侧彼此相邻（未示出）地来放置这些机架。在这个实施例中，可以在每个通道 118 和 120 中提供通风孔砖 116。此外，机架 102-108 可以在其顶板上包括出口，从而能使热的冷却流体流出机架 102-108。

如上文中所述，CRAC 单元 114 通常用于冷却接收到的热冷却流体。此外，CRAC 单元 114 通过例如下文中所述的过程向机架 102-108

提供已经冷却的冷却流体。CRAC 单元 114 通常包括用于将冷却流体（例如空气）提供到空间 112（在一个实例中，该空间通常用作强制通风系统）中的各个风扇 122。该风扇 122 还可以用于从数据中心 100 吸引冷却流体（例如，如箭头 124 所示）。在工作过程中，热冷却流体进入 CRAC 单元 114，如箭头 124 所示，并且通过冷却线圈 126、压缩机 128 和冷凝器 130 按照本领域技术人员一般公知的方式的工作冷却该热冷却流体。在冷却系统效率方面，通常希望的是返回热冷却流体是由数据中心 100 中比较热的部分空气构成的。此外，采用风扇 122 将经冷却的冷却流体提供到空间 112 中。可以改变风扇 122 的速度，从而改变将经冷却的冷却流体提供到空间 112 的体积流速，和/或改变热的冷却流体返回到 CRAC 单元 114 中的体积流速。

一个方面，可以采用可变频率驱动器（VFD）123 来控制风扇 122 的速度。该 VFD 123 可以包括可以从任何制造商购买到的任意相当适合的 VFD。该 VFD123 通常用于可变地控制交流（AC）感应电动机的速度。更特别的是，该 VFD123 可以用于将功率从固定电压/固定频率转变为可变电压/可变频率。通过控制风扇 122 的电压/频率级别，还可以改变 CRAC 单元 114 提供的冷却流体的体积流速。

尽管所示的 VFD123 与风扇 122 相邻放置，但是可以在不背离本发明范围的情况下，将该 VFD123 放置在相对于风扇 122 的任意相当适合的位置。例如，可以将 VFD123 放置在任意一个 CRAC 单元 114 之外，或者相对于 CRAC 单元 114 的各个其他位置。

尽管本说明书中提到使用风扇 122 从数据中心 100 吸引热的冷却流体，但是应当理解可以在不背离本发明范围的情况下实现空气去除的任何其他相当合适的方式。例如，可以利用风扇或者与风扇 122 分开的吹风机（未示出）从数据中心 100 吸引热冷却流体。

此外，根据冷却机架 102-108 中的热负荷所需的冷却流体，可以使该 CRAC 单元 114 工作在不同级别。例如，可以修改压缩机 128 的各个容量（施加到冷却剂上的工作量）和/或风扇 122 的速度，从而控制传送到机架 102-108 的冷却流体流的量。在这方面，压缩机 128 可以包括可变容量压缩机，风扇 122 可以包括可变速度风扇。因此，可以控制压缩机 128，从而提高或者降低冷却剂流过该压缩机的质量流速。

因为本发明实施例所要采用的特定类型的压缩机 128 和风扇 122

可以根据个体需要而变化，所以本发明不限于任何特定类型的压缩机或者风扇。取而代之的是，可以采用能够实现本发明某些方面的任何合理适当类型的压缩机 128 和风扇 122。压缩机 128 和风扇 122 的选择可以取决于多种因素，例如冷却需求、成本、运行成本等。

本领域技术人员应当理解，可以利用恒定速度的压缩机和/或恒定速度的风扇来实现本发明的实施例。一方面，可以根据空间 112 中冷却流体的压强来实现对冷却流体传送到机架 102-108 的控制。根据本实施例，可以通过操纵例如位于数据中心 100 中不同位置的多个通风孔砖 116 来控制空间 112 内的压强。也就是说，通过选择性地控制冷却流体通过通风孔砖 116 的输出，可以将空间 112 内的压强基本上保持为是恒定的。例如，如果在该空间 112 的一个位置中的冷却流体的压强超过了预定值，则可以使基本上位于该位置附近的通风孔能够让更大的冷却流体从中流过，从而降低该位置中的压强。可以在转让给本发明受让人的 2002 年 11 月 26 日提交的美国申请 No.10/303,761 和 2003 年 1 月 27 日提交的美国申请 No.10/351,427 中找到有关本实施例的更详细的说明，上述两个申请全部引入作为参考。

此外，或者作为压缩机 128 的可选方式，可以在 CRAC 单元 114 中采用热交换器来冷却流体供应。该热交换器可以包括冷水热交换器、离心冷却器（例如 YORK 制造的冷却器）等等，其通常用于当冷却流体在该热交换器上通过时冷却该冷却流体。该热交换器可以包括多个空气调节机。可以向这些空气调节机提供由泵驱动并且由冷凝器或冷却塔冷却的水。可以根据散热需要来改变该热交换器容量。因此，如果例如不必将冷却流体维持在较低温度，则可以降低该热交换器容量。

在工作中，冷却流体总体上从各个风扇 122 流出，并且流入到空间 112 中，如箭头 132 所示。该冷却流体通过多个通风孔砖 116 流出高起的地板 110，并且流入到机架 102-108 的各个区域中，如箭头 134 所示。通风孔砖 116 可以包括如 6,574,104 专利中公开并描述的可动态控制的通风孔砖。如该专利中所述，将该通风孔砖 116 称为“可动态控制的”是因为它们通常用于控制流过该砖的冷却流体的速度、体积流速和方向中的至少一个。此外，在转让给本发明受让人的 2003 年 1 月 27 日提交的美国共同未决申请 No.10/351,427 中可以找到有关可动

态控制的通风孔砖 116 的特定实例，该申请全部引入作为参考。

随着冷却流体流出通风孔砖 116，冷却流体可以流入机架 102-108 中。该机架 102-108 通常包括位于其前侧面上的进口（未示出），用以从通风孔砖 116 接收冷却流体。该进口通常包括一个或多个开口，从而使冷却流体进入机架 102-108。此外，或者可选的是，一部分或全部机架 102-108 的前侧面可以包括用于基本上控制冷却流体流入机架 102-108 中的设备。同在 2003 年 4 月 30 日申请的共同未决且共同转让美国专利申请 No.10/425, 621 和 10/425, 624 中，描述了适当设备的实例，上述申请全部引入作为参考。

随着冷却流体流过机架 102-108，其可能会因为吸收从位于机架 102-108 中的组件散发的热而变热。热冷却流体可以通过位于机架 102-108 后侧面上的一个或多个出口而离开机架 102-108。附加或者可选的是，一些或者全部机架 102-108 的后侧面可以包括用于基本上控制冷却流体流入机架 102-108 中和/或控制热冷却流体流出机架 102-108 的设备。同样，在共同未决和共同转让的美国专利申请 No.10/425, 621 和 10/425, 624 中描述了适当设备的实例。

通过上述设备按照与以上标识的共同未决申请中提出的一致方式的操作，冷却流体流过机架 102-108 可以基本上与冷却流体流过通风孔砖 116 之间保持平衡。此外，可以实现通过机架 102-108 与通风孔砖 116 的空气流之间的比例关系。在一个方面，通过按照那些共同未决申请中所述的方式控制空气流，与已知冷却系统相比，基本上可以降低或消除热冷却流体与冷却流体中间再循环的程度。

当冷却要求根据机架 102-108 中的热负荷以及冷却流体的体积流速的随后变化改变时，CRAC 单元 114 可以改变提供给机架 102-108 的冷却的流体量。例如，如果机架 102-108 中的热负荷总体上提高，则一个或多个 CRAC 单元 114 可以用于降低冷却流体的温度和/或提高冷却流体的供应。可选的是，如果机架 102-108 中的热负荷总体上降低，则一个或多个 CRAC 单元 114 可以用于提高冷却流体的温度和/或降低冷却流体的供应量。在这方面，基本上可以优化一个或多个 CRAC 单元 114 所利用的能量的量，从而总体上将数据中心 100 中的组件维持在预定工作温度范围内。

可选的是，可能出现流到机架 102-108 的附加冷却流体造成组件温

度上升的情况。例如当较大量的热冷却流体再循环到传送到机架 102-108 中的冷却流体中时可能出现这种情况。在这种情况下，并且如下文中更详细所述的，可以响应于组件温度的上升而减少冷却流体传送。此外，可以响应于组件温度的下降而减少冷却流体传送。因此，应当理解，当数据中心 100 中的温度变化时，本发明不限于一种操作方式。

通过通风孔砖 116、上述设备以及 CRAC 单元 114 的操作，可以实现冷却流体流和温度的全局和区域控制。例如，通风孔砖 116 和上述设备总体上对流到机架 102-108 的冷却流体流提供局部或者区域控制。此外，CRAC 单元 114 总体上提供对贯穿该数据中心 100 的各个部分的冷却流体和温度的全局控制。通过对冷却流体的局部和全局控制，与常规数据中心冷却系统相比，可以在相当大的程度上减少在将机架 102-108 的组件维持在预定工作温度范围内过程中 CRAC 单元 114 消耗的能量。

可以将多个温度传感器 136-144、例如电热调节器、热电偶等放置在整个数据中心 100 的不同位置处。例如，可以在机架 102-108 的进口处提供温度传感器（进口温度传感器）136，以检测传送到机架 102-108 中的冷却流体的温度。还可以在机架 102-108 的出口处提供温度传感器（出口温度传感器）138，以检测从机架 102-108 排出的热冷却流体的温度。还可以在通风孔砖 116 处放置温度传感器（通风孔砖温度传感器）140，以检测从空间 112 提供的冷却流体的温度。此外，可以分别在 CRAC 单元 114 的进口和出口附近放置温度传感器（返回温度传感器、供应温度传感器）142、144，以分别检测进入 CRAC 单元 114 的热冷却流体和传送到空间 112 的冷却流体的温度。

温度传感器 136-144 可以相互通信和/或与计算设备 145 通信，该计算设备配置为控制数据中心冷却系统的工作。该计算设备 145 可以包括独立的计算系统，其可以包括处理器、输入装置等。可选的是，该计算设备 145 可以包括一个或多个 CRAC 单元 114 的一部分、封闭在机架中的组件（如服务器）等。无论如何，该数据中心冷却系统总体上包括 CRAC 单元 114、通风孔砖 116、返回砖（图 1D）等。可以通过有线协议（例如 IEEE 802.3 等）、无线协议（例如 IEEE 801.11b、801.11g）、无线串行连接、蓝牙等或者其组合，实现各个传感器 136-144 与计算设备 145 之间的通信。附加或者可选的是，一个或多个温度

传感器 136-144 可以包括如 2003 年 7 月 9 日提交的共同未决和共同转让的美国专利申请 No.10/620, 272 中所述的位置获知设备, 该申请的名称为“位置获知设备 (LOCATION AWARE DEVICES)”, 该申请全部引入作为参考。如该申请中所述, 将这些设备称为“位置获知”是因为它们可以用于确定其相对于其他传感器和/或设备的一般位置, 并且通过无线通信相互通信。

根据另一个实施例, 可以提供移动设备 146, 以收集或测量数据中心 100 中的至少一种环境条件 (例如温度、压强、气流、湿度、位置等)。更特别的是, 该移动设备 146 可以配置为在机架 102-108 周围移动, 以确定处于整个数据中心 100 的各个位置处的一种或多种环境条件。在这方面, 该移动设备 146 就可以使在数据中心 100 的各个位置处数据中心中的温度能够检测到, 同时需要基本上更少的温度传感器。在 2002 年 5 月 31 日提交的共同未决和共同转让的美国专利申请 No.10/157, 892 中可以找到对该移动设备 146 及其可操作性的更详细的描述, 该申请全文引入作为参考。

如 10/157, 892 申请中所述, 该移动设备 146 可以是配置为在数据中心 100 的机架 102-108 周围推动的自力推进机构。此外, 该移动设备 146 总体上包括配置为检测不同高度的一种或多种环境条件的多个传感器。该移动设备 146 可以将环境条件信息发送到例如计算设备 145, 其可以利用该信息来确定冷却流体传送到数据中心 100 中的机架 102-108 的量。此外, 该移动设备 146 可以将环境条件信息发送到配置为操纵通风孔砖 116 的通风孔控制器 (未示出)。

根据另一个实施例, 该移动设备 146 可以从温度传感器接收环境信息, 该传感器包括类似于上文中所述的位置获知设备的配置。例如, 该传感器可以将温度测量值发送到移动设备 146, 该测量值表示热点, 例如温度在很多程度上超过正常值的位置。该移动设备 146 可以改变其行程路线, 移动到检测到的热点, 从而检验该传感器测得的温度测量值。

图 1C 为根据本发明的数据中心 100 的上部的横截面图。如图 1C 所示, 可以在数据中心 100 中提供热交换器单元 (HEU) 150 和 152。在 2002 年 8 月 2 日提交的共同未决美国申请 No.10/210, 040 中公开并描述了该 HEU 150 和 152, 该申请转让给了本发明的受让人, 该申请

全文引入作为参考。如 10/210, 040 申请中所述的, 该 HEU 150 和 152 总体上用于从机架 102-108 接收热冷却流体, 冷却接收到的冷却流体, 并且按照基本上受控的方式将经冷却的冷却流体传送回机架 102a-108a。该 HEU 150 和 152 配置为具有从一个或多个 CRAC 单元 114 流过该 HEU 的冷却剂, 从而冷却接收到的热冷却流体。该 HEU 150 和 152 总体上包括接收热冷却流体的开口以及将经冷却的空气返回到机架 102-108 的一个或多个风扇。此外, 该 HEU 150 和 152 还可以包括温度传感器(未示出), 或者可以将温度传感器放置在 HEU 150 和 152 的附近。

图 1D 表示了具有降低顶板 160 的数据中心 100 的简化示意图。图 1D 所绘制的数据中心包含相对于图 1B 所述的所有元件。因此, 本文将不在此描述对共用元件的详细说明。取而代之的是, 根据上文中相对于图 1B 提供的说明来对这些元件进行适当的说明。此外, 下文中仅描述与图 1B 中所述元件不同的元件。在 2002 年 10 月 2 日提交的共同未决和共同转让的美国专利申请 No.10/262, 879 中可以找到对图 1D 中包含的元件的更详细说明, 该申请的名称为“Cooling of Data Centers (数据中心的冷却)”, 该申请全部引入作为参考。

如图 1D 所示, 该数据中心 100 包括与图 1B 所示的数据中心相比, 用于在相当大的程度上将热冷却流体更多地集中返回到 CRAC 单元 114 的系统。该系统包括降低的顶板 160, 其形成返回强制通风系统(plenum) 162, 其配置为将热冷却流体引导并传送到一个或多个 CRAC 单元 114。此外, 提供管道 164 用以热冷却流体流从返回强制通风系统 162 引导到 CRAC 单元 114, 如箭头 165 所示。沿着降低顶板 160 的开口放置多个返回通风孔砖 166, 从而实现总体上如箭头 168 所示的热冷却流体的接收。该返回通风孔砖 166 总体上用于控制从数据中心 100 的不同位置去除热冷却流体。在一种情况中, 将返回通风孔砖 166 基本上放置在热通道 120 上, 从而能够去除机架 102-108 中加热的冷却流体。通过基本上控制数据中心 100 中去除热冷却流体的位置, 并且通过基本上使所去除的热冷却流体与数据中心 100 中包含的冷却流体分离, 基本上可以减少冷却流体与所去除的热冷却流体之间再循环的程度。因此, 一个方面, 基本上可以将返回到 CRAC 单元 114 的热冷却流体的温度维持在比较高的温度。

如上文所述，CRAC 单元 114 总体上以较高的效率工作在较高的返回温度。此外，通过可控地从数据中心 100 去除热冷却流体，可以以最高的级别来维持提供给一个或多个 CRAC 单元 114 的热冷却流体的温度。在一种情况中，可以将返回通风孔砖 166 配置为可动态控制的通风孔砖，其能够控制从数据中心 100 去除的热冷却流体的体积流速和方向中的至少之一。例如，该返回通风孔砖 166 可以包括 6,574,104 专利中公开并描述的可动态控制通风孔砖。在本实例中，通过控制热冷却流体去除的方向和/或体积流速，可以以一般确保返回强制通风系统 162 中包含的热冷却流体基本上处于其可能的最高温度的方式操纵该返回通风孔砖 166。另一个实例，该返回通风孔砖 166 还可以包括配置为改变从数据中心 100 去除热冷却流体的速度的风扇（未示出）。

可以将返回通风孔砖 166 用于改变热冷却流体去除的速度所采用的方式例如可以基于在各个返回通风孔砖 166 附近检测到的热冷却流体的温度。可以由温度传感器 170（返回通风孔砖温度传感器）检测温度。因此，例如如果特定返回通风孔砖 166 附近的热冷却流体的温度低于预定温度水平，则该返回通风孔砖 166 可以用于降低或者停止从该区域去除热冷却流体。

根据一个实例，可以实现一个或多个传感器 136-144、移动设备 146 和/或位于 HEU 150 和 152 附近的温度传感器检测温度，从而确定数据中心 100 中的再循环度量。可以将这些度量定义为供热指数（SHI）和返回热指数（RHI）。可以将 SHI 定义为热冷却流体渗入到冷却流体中的量度，并且可以根据以下等式来确定：

$$\text{公式 (1): } SHI = \frac{\delta Q}{Q + \delta Q}$$

其中 Q 表示从数据中心 100 的机架 102-108 中的所有组件散发的总热量， δQ 表示在进入机架 102-108 之前冷却流体的焓的升高。

通过平均由出口温度传感器 138 检测到的机架 102-108 出口处的温度减去进口温度传感器 140 检测到的机架 102-108 进口处的温度而获得的值，可以确定总散热量。可以由以下等式来确定总散热量 Q 和焓 δQ 的升高：

$$\text{公式 (2): } Q = \sum_j \sum_i m'_{ij} C_p ((T'_{out})_{ij} - (T'_{in})_{ij})$$

$$\text{公式 (3): } \delta Q = \sum_j \sum_i m'_{ij} C_p ((T'_{in})_{ij} - T_{ref})$$

其中 m'_{ij} 为通过第 j 行机架中的第 i 个机架的质量流速， C_p 为特定的空气热量， $(T'_{in})_{ij}$ 和 $(T'_{out})_{ij}$ 为第 j 行机架中的第 i 个机架的平均进口和出口温度。此外， T_{ref} 表示通风孔砖 116 的冷却流体温度，假设其对于所有冷却通道 118 为相同的。

等式 1 中的分子表示冷却通道中的冷却流体在进入机架 102-108 之前得到的可感觉的热量，而分母表示冷却流体离开机架排放装置获得的总的可感觉热量。因为质量流速的和对于等式 2 和 3 而言是相等的，所以可以把 SHI 写成是机架进口、机架出口和 CRAC 单元 114 出口温度的函数。因此，SHI 可以如下表示：

$$\text{公式 (4): } SHI = \left[\frac{\sum_j \sum_i ((T'_{in})_{ij} - T_{ref})}{\sum_j \sum_i ((T'_{out})_{ij} - T_{ref})} \right]$$

还可以对通道中的机架群计算 SHI，以估计热量到特定冷却通道中的渗入。此外，可以对个别的机架计算 SHI，从而隔离易受热点影响的区域。等式 1 和 3 表示较高的 δQ 产生较大的 $(T'_{in})_{ij}$ ，因此产生较大的 SHI。当机架的进口温度 T'_{in} 相对于 T_{ref} 升高时，系统对故障和可靠性问题变得更加脆弱。增大的 T'_{in} 还表示由于混和造成的熵增加，以及数据中心 100 的能量效率降低。因此，SHI 可以是机架、机架群或者数据中心中热管理和能量效率的指标。

为零的 SHI 表示热冷却流体未再循环到经冷却的冷却流体中的完美系统。因此，如下文中所述，操纵数据中心冷却系统的组件的一个目的是使 SHI 最小化。

从机架 102-108 排除的热冷却流体抽到数据中心 100 的顶板空间中。可选的是，可以将热冷却流体抽到图 1D 所示的返回强制通风系统 162 中。然后，热冷却流体流到一个或多个 CRAC 单元 114 的进口中。

在一部分或者全部的这种流动过程中，热冷却流体可以与来自冷却通道 118 的冷却流体混和，并且因此可以失去其一部分热量。在这种过程中损失的热量等于冷却通道 118 中冷却流体获取的二次热。出于数据中心 100 中的总体热平衡，来自所有机架 102-108 的总散热 (Q) 应当等于一个或多个 CRAC 单元 114 的总冷却负荷。因此，可以如下写出机架排放与 CRAC 单元 114 返回之间的数据中心 100 中的热平衡：

$$\text{公式 (5): } \delta Q = \sum_j \sum_i m'_{i,j} C_p ((T'_{out})_{i,j} - T_{ref}) - \sum_k M_k C_p ((T^c_{in})_k - T_{ref})$$

其中 M_k 为通过 CRAC 单元、例如 CRAC 单元 114 的冷却流体的质量流速，并且 T^c_{in} 为单独的 CRAC 单元进口温度。

在等式 5 中，右手侧的第一项表示从机架 102-108 排放的热冷却流体的总焓 ($Q + \delta Q$)。第二项表示由于热冷却流体与冷却流体流的混和造成的焓的增加。使等式 5 相对于总排放冷却流体焓归一化并且重新排列，产生了：

$$\text{公式 (6): } SHI + RHI = 1$$

其中 RHI 为返回热指数，并且由以下等式限定：

$$\text{公式 (7): } RHI = \left[\frac{Q}{Q + \delta Q} \right] = \frac{\sum_k M_k C_p ((T^c_{in})_k - T_{ref})}{\sum_j \sum_i m'_{i,j} C_p ((T'_{out})_{i,j} - T_{ref})}$$

在等式 7 中，分子表示 CRAC 单元 114 提取的总热量，分母表示在机架排放时的总焓升高。因为 CRAC 单元 114 提取的热量也等于机架的散热，所以分子表示数据中心 100 中的有效散热。

如果机架 102-108 上的热负荷恒定，则 T^c_{in} 的增长总体上导致机架 102-108 返回侧上 T'_{out} 的增长。对于等式 7 而言，明显的是这种温度的变化会降低 RHI，这表示冷却流体在达到 CRAC 单元 114 之前经历了较大程度的混和。来自机架排气装置的热冷却流体可以与热通道中、顶板空间中或者机架与墙壁之间的空间中的冷却流体混和。为了调查每行中的局部混和，可以以通道排气装置与机架排气装置之间的基于

通道的控制体积评价 RHI，或者能够通过已知温度和等式 6 从 SHI 的计算来推导 RHI。较大的 RHI 值总体上表示具有低混和级别的更好通道设计。

根据本发明的实施例，可以按照总体上提高 RHI 值的方式操纵数据中心冷却系统组件，例如 CRAC 单元 114。下文中更详细地描述可以操纵 CRAC 单元 114 以总体上提高 RHI 值的方式。

本发明人发表的两篇论文中，可以找到对于以上等式以及可以将 SHI 和 RHI 用于数据中心环境中的实例的更详细说明。第一篇论文发表在 2002 年 6 月 24 日的美国航空与航天学会，其名称为“Dimensionless Parameters for Evaluation of Thermal Design and Performance of Large-Scale Data Centers(用于评价大规模数据中心热设计和性能的无量纲参数)”。第二篇论文发表在国际供热、通风、空气调节和制冷研究期刊 2003 年 4 月刊上，其名称为“Efficient Thermal Management of Data Centers-Immediate and Long-Term Research Needs (数据中心的有效热管理 - 即时和长期研究需要)”。这些论文全部引入作为参考。

图 2 为根据本发明实施例的冷却系统 202 的框图 200。应当理解，以下对于框图 200 的说明仅仅是可以操纵该冷却系统 202 的诸多方式中的一种。此外，应当理解，该冷却系统 202 可以包括附加的组件，并且可以在不背离该冷却系统 202 范围的基础上去除和/或修改一些所述组件。

该冷却系统 202 包括配置为控制冷却系统 202 工作的控制器 204。该控制器 204 例如可以包括图 1B 和 1D 所示的计算设备 145。可选的是，该控制器 204 可以包括作为一个或多个 CRAC 单元 114 的一部分、数据中心 100、100 中的组件等任一项的计算设备。

例如，该控制器 204 可以控制第一机架 222 和第二机架 224 的致动器 206a、206b、通风孔砖致动器 208a、返回通风孔砖致动器 209 和/或 HEU 致动器 208b，以改变数据中心 100、100 中的气流特性。另外，例如，该控制器 204 可以控制在数据中心 100、100 中的各个服务器 220 上所安排的工作负荷。该控制器 204 可以包括微处理器、微控制器、专用集成电路 (ASIC) 等。

可以将第一机架致动器 206a 和第二机架致动器 206b 配置为操纵

用于改变通过机架、例如机架 102-108 的气流的装置。在共同未决的美国专利申请 No.10/425, 621 和 No.10/425, 624 中可以找到适当的致动器 206a、206b 和装置的实例，上述申请的名称分别为“Louvered Rack（百叶窗式机架）”和“Electronics Rack Having an Angled Panel（具有有角板的电子机架）”，它们都是在 2003 年 4 月 30 日所提交的。这些申请公开的内容全部引入作为参考。如这些专利申请中所述，可以在机架上提供放百叶窗组装件或者有角板，并且可以操纵它们以改变通过机架的气流。

通风孔砖致动器 208a 可以包括配置为改变通过通风孔砖 116 的气流的致动器。在 2003 年 2 月 28 日提交的共同未决和共同转让的美国专利申请 No.10/375, 003 中可以找到用于改变通过其的冷却流体流的适当通风孔砖致动器 208a 和通风孔砖的实例，该申请名称为“Cooling of Data Centers（数据中心的冷却）”，该申请公开的内容全部引入作为参考。美国专利 No.6, 574, 104 中公开了对这种通风孔各种操纵模式的探论。

HEU 致动器 208b 可以包括用于改变流入和流出 HEU150 和 152 的冷却流体的致动器。例如，HEU 致动器 208b 可以用于操纵 HEU150 和 152 的一个或多个风扇。在上述申请 No. 10/210, 040 中可以找到适当的 HEU 致动器 208b 的实例。此外，返回通风孔砖致动器 209 可以包括如上参照图 1D 所述的致动器。

可以提供接口电子设备 210，以起到控制器 204 与第一机架致动器 206a、第二机架致动器 206b、通风孔砖致动器 208a、返回通风孔砖致动器 209 和 HEU 致动器 208b 之间的接口。该接口电子设备 210 可以指示第一机架致动器 206a、第二机架致动器 206b、通风孔砖致动器 208a 和/或返回通风孔砖致动器 209 去改变其操纵以改变通过其的气流。例如，接口电子设备 210 可以改变提供给通风孔砖致动器 208a 的电压，用以根据来自控制器 204 的指令来改变通风孔砖致动器 208a 驱动轴的旋转方向和/或幅度。

该控制器 204 还可以与用于存储提供冷却系统 202 的功能性的计算机软件的存储器 212 相接口。可以以易失和非易失存储器（例如 DRAM、EEPROM、闪存等）的组合实现该存储器 212。该存储器 212 还可以配置为提供存储器，用于包含关于可以响应于例如算得的 SHI

决定操纵机架致动器 206a 和 206b、通风孔砖致动器 208a、返回通风孔砖致动器 209 和 HEU 致动器 208b 所采用的方式的数据/信息。

该控制器 204 可以包含配置为将控制信号发送到接口电子设备 210 的冷却系统模块 214。该冷却系统模块 214 可以从配置为计算 SHI 和/或 RHI 的度量模块 216 接收命令。可以例如按照以上参照图 1B 所述的方式计算 SHI 和 RHI。如下文中更详细描述，该冷却系统模块 214 还可以配置为根据算得的 SHI 或者 RHI 级别控制一个或多个 CRAC 单元 228 的操作。该控制器 204 还可以包括配置为与度量模块 216 通信的工作负荷模块 218。该工作负荷模块 218 可以用于响应于算得的 SHI 和/或 RHI 在多个服务器 220 之间分配工作负荷。

一方面，该冷却系统模块 214 可以发送用于机架致动器 206a 和 206b、通风孔砖致动器 208a、返回通风孔砖致动器 209 和/或 HEU 致动器 208b 的指令，使它们按照总体上降低 SHI 的方式操纵。此外，可以引导这些指令，以总体上提高 RHI。附加或者可选的是，工作负荷模块 218 可以将工作负荷分布在各个服务器 220 之间，从而总体上降低 SHI 值和/或总体上增大 RHI 值。

如上所述，可以根据该数据中心 100、100 不同位置处的冷却流体和热冷却流体的温度来计算 SHI 值和 RHI 值。一方面，可以在机架进口和出口、供风孔砖和 CRAC 单元 228 的进口和出口中的一个或多个位置处检测计算 SHI 过程中实施的温度。

为了简化说明并且不是为了限定，图 2 表示了两个机架 222 和 224、通风孔砖温度传感器 226 和 CRAC 单元 228。然而，应当理解，可以在不背离冷却系统 202 的范围的情况下，在具有任意数量的机架、通风孔砖和 CRAC 单元的数据中心 100 中应用以下对于框图 200 的说明。

所示的第一机架 222 具有第一进口温度传感器 230 和第一出口温度传感器 232。所示的第二机架 224 具有第二进口温度传感器 234 和第二出口温度传感器 236。所示的温度传感器 230-236 与控制器 204 通信，更特别的是与度量模块 216 通信。还图示了通风孔砖温度传感器 226 和返回砖温度传感器 242 与度量模块 216 通信。此外，所示的 CRAC 单元 228 包括返回温度传感器 238 和供应温度传感器 240，这些传感器也与度量模块 216 通信。该温度传感器 226 和 230-242 可以包括以上参

照例如图 1D 所述的各个温度传感器 136-144 和 170 中的一个或多个。

温度传感器 226、230-242 可以包括用于检测温度和/或温度变化的热电偶、热敏电阻或者其他器件。第一和第二进口温度传感器 230 和 234 用于检测分别通过第一和第二机架 222、224 的进口进入的冷却流体的温度。第一和第二出口温度传感器 232、236 用于检测分别通过第一和第二机架 222、224 不同位置处的出口排放的热冷却流体的温度。通风孔砖传感器 226 用于检测通过通风孔砖、例如通风孔砖 116 释放的冷却流体的温度。返回通风孔砖温度传感器 242 用于检测从数据中心 100 去除的热冷却流体的温度。返回温度传感器 238 和供应温度传感器 240 用于检测流入 CRAC 单元 228 的热冷却流体和流出 CRAC 单元 228 的经冷却的冷却流体的各温度。

控制器 204 可以通过有线连接或者无线协议（例如 IEEE 801.11b、801.11g）、无线串行连接、蓝牙等或其组合从传感器 226 和 230-242 接收检测到的温度。度量模块 216 可以根据接收到的检测温度计算 SHI 和/或 RHI 值。一方面，该度量模块 216 可以确定在该数据中心 100、100 不同位置处的 SHI 值和/或 RHI 值。例如，该度量模块 216 可以确定一个或多个组件、一个机架、机架群、多个机架群或者整个数据中心 100、100 的 SHI 值和/或 RHI 值。该度量模块 216 还可以将 SHI 值和/或 RHI 值提供给冷却系统模块 214 和工作负荷模块 218。

如以上参照 2003 年 7 月 9 日提交的名称为“Location Aware Device（位置获知设备）”的共同未决美国专利申请 No.10/620, 272 中所述的，温度传感器 226、230-242 可以包括位置获知设备。通过利用该申请中所示的位置获知设备，该控制器 204 可以确定并存储各个传感器的位置。此外，该控制器 204 可以从这些传感器无线地接收温度信息，并且用于基本上自动地确定重新配置该数据中心的情况下的传感器位置。

如上文中所述，该度量模块 216 可以用于根据上文中所述的等式计算 SHI 和/或 RHI。RHI 值可以用于控制一个或多个 CRAC 单元 228 的操作。更特别的是，根据算得的 RHI 值，该冷却系统模块 214 可以操作吹风机/VFD244 和/或压缩机 246，用以改变由一个或多个 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的特性。如下文中更详细描述，冷却系统模块 214 可以按照多种方式操作吹风机/VFD244 和压缩机 246，用以使

一个或多个 CRAC 单元 228 能够以基本上最优化的能量效率方式工作，同时维持希望的热管理目标。

图 3 图示了计算机系统 300，其可以起到计算设备 145 和控制器 204 中的任意一个或两个的作用。在这方面，该计算机系统 300 可以用作执行控制器 204 中包含的一个或多个模块的平台。

该计算机系统 300 包括一个或多个控制器，例如处理器 302。该处理器 302 可以用于执行程序或模块（例如冷却系统 202 的模块 216-218）。来自处理器 302 的命令和数据在通信总线 304 上传送。该计算机系统 300 还包括主存储器 306 和辅助存储器 208，该主存储器例如存储器 212（如随机存取存储器（RAM）），其中在运行时期间可以执行冷却系统 202 的程序编码。该辅助存储器 308 包括例如一个或多个硬盘驱动器 310 和/或可拆卸存储驱动器 312，其中可以存储用于供应系统的程序编码的副本，所述可拆卸存储驱动器代表软盘驱动器、磁带驱动器、紧致磁盘驱动器等。

该可拆卸存储驱动器 310 按照已知的方式从可拆卸存储单元 314 读取和/或写入该可拆卸存储单元。用户输入和输出设备可以包括键盘 316、鼠标 318 和显示器 320。显示适配器 322 可以与通信总线 304 和显示器 320 相对接，并且可以从处理器 302 接收显示数据，并且将该显示数据转变为显示器 320 的显示命令。此外，该处理器 302 可以通过网络适配器 324 在网络、例如互联网、LAN 等上通信。

本领域技术人员可以理解，可以在计算机系统 300 中添加或取代其他已知的电子组件。此外，该计算机系统 300 可以包括用于数据中心的机架中的系统板或刀片、常规的“白盒”服务器或者计算设备等。而且，图 3 中的一个或多个组件可以是可选的（例如用户输入设备、辅助存储器等）。

图 4A 和 4B 一起图示了冷却系统的工作模式 400 和 450 的流程图，该冷却系统例如冷却系统 202。应当理解，以下对于工作模式 400 和 450 的说明仅仅是实现本发明实施例可以采用的多种方式之中的两种。本领域技术人员还可以理解，工作模式 400 和 450 表示一般化的图示，可以在不背离本发明范围的情况下添加其他步骤或者去除或修改现有的步骤。参照图 2 所示的框图 200 对工作模式 400 和 450 进行说明，并且由此参照该图中提到的元件。

控制器 204 可以执行工作模式 400 以根据算得的 SHI 值控制通过数据中心 100 的气流。在步骤 402 可以响应于多种激励启动工作模式 400。例如，可以响应于预定经过的时间、响应于接收到发送的信号和/或响应于检测到环境条件（例如温度、湿度、位置等）的变化，来启动该工作模式 400。

在步骤 404，控制器 204 可以从进口温度传感器 230 和 234 接收机架进口温度测量值。该控制器 204 还可以从出口温度传感器 232 和 236 接收机架出口温度测量值。应当理解，在步骤 404，该控制器 204 可以从任意数量的机架，例如机架 102-108 接收进口和出口温度测量值。

在步骤 406，该控制器 204 可以从通风孔温度传感器 226 和 CRAC 单元供应温度传感器 240 中的一个或两个接收基准温度 T_{ref} 。在理想条件下，例如当冷却流体从 CRAC 单元 228 出口流到通风孔砖 116 时，没有热量传递到该冷却流体中，则在 CRAC 单元 228 出口和通风孔砖 116 处冷却流体的温度是相同的。可以将基准温度 T_{ref} 当作 CRAC 单元 228 出口处的冷却流体温度，或者通风孔砖 116 处的冷却流体温度。因此，可以理解在经冷却的冷却流体从 CRAC 单元 228 流到通风孔砖 116 的过程中没有发生热传递的情况下，可以将任意温度用于确定 SHI 值。

此外，当 HEU 150 和 152 用于数据中心 100 中以向机架 102-108 提供冷却流体时，可以将基准温度 T_{ref} 当作 HEU 150 和 152 出口处冷却流体的温度。因此应当理解，该温度可以用于确定 SHI 值。

该控制器 204 可以在步骤 408 启动定时器，用以追踪计算 SHI 值的时间，如步骤 410 所示。还可以在步骤 404 和 406 接收温度测量值之前启动该定时器，以追踪接收到那些测量值的时间。在步骤 410，该控制器 204，更特别的是该度量模块 216 可以根据上文中列出的等式进行计算，用以确定第 j 行中的第 i 个机架的 SHI 值。如上文中所述，可以根据机架进口温度、机架出口温度和基准温度来计算 SHI 值。此外，可以对数据中心 100、100 中单独的机架、机架群（例如特定行中的所有机架）或者所有机架进行步骤 410 及其后面的步骤。

在步骤 412，该度量模块 216 可以确定算得的 SHI 值超过还是等于最大设定的 SHI 值 ($SHI_{max, set}$)。可以将最大设定 SHI 值存储在存储器 212 中，并且可以将其定义为 SHI 阈值，控制器 204 可以使用该

阈值来确定是否操纵影响通过机架的气流的致动器。可以根据多种因素来选择该最大设定 SHI 值。这些因素包括例如可接受的再循环级别、数据中心配置的功能极限等。此外，不同机架或者不同机架群之间的该最大设定 SHI 值可能不同。

此外，该度量模块 216 可以确定 SHI 值增大的级别。可以根据例如先前对给定组件、机架和/或机架群进行的 SHI 值计算来做出确定。如果确定了 SHI 值超过正常的增大，则控制器 204 可以用于引起警报发声或者其它信号，以表示 SHI 值出现了这样的增长。确定 SHI 值超过正常时的级别可以取决于多个因素，并且可能在各个组件、各个机架和/或各个机架群之间不同。这些因素中的一部分可以包括组件或机架的定位、机架组件位置的气流特性、可接受的散热特性等。

因此，数据中心的机架或者区域的一部分可以具有低于最大设定 SHI 值的 SHI 值，而数据中心的其它机架或者区域可以具有超过其各自最大设定 SHI 值的 SHI 值。对于具有降低到最大设定 SHI 值以下的 SHI 值的机架或机架群而言，可以重复步骤 404-412。可以按照基本上连续的方式重复这些步骤。可选的是，控制器 204 可以进入如步骤 402 所示的空载或者休眠状态，并且可以响应于以上所阐述的一种或多种条件启动控制方案 400。

对于具有等于或超过最大设定 SHI 值的 SHI 值的那些机架或机架群而言，在步骤 414，该控制器 204 可以操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b，用以提高通过一个或多个机架或机架群的气流。如上文中所述，可以配置致动器 206a 和 206b，以改变通过各个机架 222 和 224 的气流。在这方面，致动器 206a 和 206b 可以控制如共同未决美国专利申请 No.10/425, 621 中阐述的可移动百叶窗和/或如共同未决美国专利申请 No.10/425, 624 中阐述的有角板的操作。此外，如共同未决美国专利 No.6, 574, 104 和美国专利申请 No.10/375, 003 中阐述的，通风孔致动器 208a 可以控制提供给机架 222 和 224 的冷却流体传递到冷却通道 118。

而且，在步骤 414，控制器 204 并且更具体的是度量模块 216 可以确定要操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b 时所针对的级别。这种确定可以基于过去的性能因素而考虑。例如，控制器 204 可以在存储器 212 中存储对于给定组件、机架和/或机架群的各种致动器

206a、206b、208a、208b 操纵算得的 SHI 值。该度量模块 216 可以利用该信息来确定致动器 206a、206b、208a、208b 操纵的级别。

在步骤 416，该控制器 204 可以在比步骤 404 稍晚时（例如 $t+1$ 时）再次从传感器 226、230-236、240 接收温度测量值。将这些温度测量值用于计算 $t+1$ 时的 SHI 值，如步骤 418 所示。在步骤 420，将 t 时算得的 SHI 值与 $t+1$ 时算得的 SHI 值进行比较，来确定步骤 414 实施的操作是否产生了想要的降低 SHI 并且因此降低热冷却流体再循环到经冷却的冷却流体中的效果。

如果已经降低了 SHI 值，也就是说 t 时的 SHI 值超过了 $t+1$ 时的值，则控制器 204 可以重复步骤 404-420。可以根据预设时间表重复这些步骤，或者只要数据中心以及因此冷却系统在工作中就重复这些步骤。可选的是，控制器 204 可以进入如步骤 402 所示的空载或者休眠状态，并且可以响应于以上所阐述的一个或多个条件启动该操纵模式 400。

如果还没有降低 SHI 值，也就是说 t 时的 SHI 值小于或者等于 $t+1$ 时的值，则可以确定致动器 206a、206b、208a、208b 的操纵实际上造成了 SHI 值的增大。因此，在步骤 422，控制器 204 可以操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b 来降低通过机架的气流。一方面，SHI 值的增大可以表示热冷却流体与经冷却的冷却流体的再循环可能已经由于通过机架的气流增大而造成了提高。在这种情况下，如图 4B 所示，可以调用第二方案（操作模式 450），下文中将对此进行更详细的描述。

根据将视为第一方案的图 4A 所示的操纵模式 400，当 SHI 值超过或者等于最大设定 SHI 值时，可以提高传递到机架的冷却流体（步骤 404-414）。

图 4B 图示了在第一方案没有产生希望的降低 SHI 值的效果的情况下的第二方案、操作模式 450。可以在第一控制方案的步骤 422 之后启动第二方案。一般而言，根据第二方案，该控制器 204 按照与第一方案相反的方式工作。也就是说，例如在第二方案下，控制器 204 可以操纵致动器 206a、206b、208a、208b 以响应于 t 时的 SHI 值超过或等于最大设定 SHI 值来降低冷却流体流向机架。

如图 4B 所示，在步骤 452 和 454，该控制器 204 可以再次从传感

器 226、230-236、240 接收温度信息。此外，在步骤 456，该控制器 204 可以在根据检测到的温度信息计算第 j 行中的第 i 个机架的 SHI 值之前启动定时器，或者控制器 204 可以在其接收到温度信息之前启动定时器。在步骤 456，控制器 204，更特别的是度量模块 216 可以进行上文中列出的计算，来确定 SHI 值。此外，可以对数据中心中的各个机架、机架群（例如特定行中的所有机架）或者所有机架执行步骤 456 及其后的步骤。在步骤 460，该控制器 204 可以将算得的 SHI 值与最大设定 SHI 值进行比较以确定 SHI 值是否在希望的值以下。

对于 SHI 值落到最大设定 SHI 值以下的机架或者机架群而言，可以重复步骤 452-460。可以按照基本上连续的方式重复这些步骤。可选的是，该控制器 204 可以进入空载或者休眠状态，例如步骤 402，并且可以响应于以上相对于步骤 402 所阐述的一个或多个条件启动工作模式 450。

对于 SHI 值等于或超过最大设定 SHI 值的机架或者机架群而言，在步骤 462，该控制器 204 可以操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b，以降低通过这些机架或机架群中的一个或多个的气流。如上所述，可以将致动器 206a 和 206b 配置为改变冷却流体流过各个机架 222 和 224 的流动。这方面，致动器 206a 和 206b 可以控制如共同未决美国专利申请 No.10/425, 621 中提出的可移动百叶窗和/或共同未决美国专利申请 No.10/425, 624 中提出的有角板的操作。此外，如共同未决美国专利 No.6, 574, 104 和美国专利申请 No.10/375, 003 中提出的，通风孔致动器 208a 可以控制提供给机架 222 和 224 的冷却流体传递到冷却通道 118。

在步骤 464，该控制器 204 可以在比步骤 452 稍晚时，例如 $t+1$ 时再次从传感器 226、230-236、240 接收温度测量值。这些温度测量值用于计算 $t+1$ 时的 SHI 值，如步骤 466 所示。在步骤 468，将时间 t 时算得的 SHI 值与时间 $t+1$ 时算得的 SHI 值进行比较，以确定在步骤 462 实施的操纵是否产生了希望的降低 SHI 并且因此降低热冷却流体再循环到经冷却的冷却流体中的效果。

如果已经降低了 SHI，也就是说 t 时的 SHI 值超过了 $t+1$ 时的 SHI 值，则控制器 204 可以重复步骤 452-468。可以根据预设时间表重复这些步骤，或者只要数据中心并且因此冷却系统在工作中就可以重复这

些步骤。可选的是，该控制器 204 可以进入例如步骤 402 的空载或者休眠状态，并且可以响应于以上相对于步骤 402 所述的一个或多个条件启动工作模式 450。

如果没有降低 SHI，也就是说 t 时的 SHI 值小于或等于 $t+1$ 时的 SHI 值，则可以确定致动器 206a、206b、208a、208b 的操纵实际上造成了 SHI 值的增大。因此，在步骤 470，该控制器 204 可以操纵致动器 206a、206b、208a、208b 中的一个或多个，以提高通过机架的气流。一方面，SHI 值的增大可以表示热冷却流体与经冷却的冷却流体的再循环可能已经由于通过机架的气流增大而造成了提高。在这种情况下，如图 4A 所示，可以调用第一方案（操作模式 400）。

通过响应于第一方案实施工作模式 450 产生了不希望的结果以及响应于第二方案实施工作模式 450 产生了不希望的结果，该控制器 204 基本上可以学习到响应于各种 SHI 值计算操作致动器 206a、206b、208a、208b 的最佳方式。这方面，该控制器 204 基本上可以用于改变数据中心中可能造成 SHI 值变化的条件。

可以以预定时间间隔等重复该第一和第二方案任意数次，例如只要数据中心在工作中就重复。因此，对于该数据中心的各部分，该控制器 204 可以随着 SHI 值的变化改变冷却流体传送到机架中的量。此外，控制器 204 可以根据迭代过程改变通过机架的气流。也就是说，该控制器 204 可以在每次保证变化时以预定量改变气流，并且重复这个过程直到 SHI 值处于最大设定 SHI 值以下为止。

一方面，通过控制冷却流体传送量来降低 SHI 值，因此降低热冷却流体再循环到经冷却的冷却流体中，可以基本上优化将机架中组件的温度维持在预定范围内所需的能量的量。

图 4C 和 4D 分别图示了根据本发明可选实施例的图 4A 和 4B 所示工作模式的可选步骤。参照图 4C，示出了可以取代步骤 414-420 实施的步骤 424 和 426。根据本实施例，在步骤 412 之后，可以在步骤 424 确定一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b 的设定值。该致动器设定值可以基于例如供风孔打开的程度、有角板的角度、可移动百叶窗的角度等。因此，例如可以根据致动器设定值来确定通过一个或多个通风孔 116 和一个或多个机架 102-108 的气流。

在步骤 426，将所确定的致动器设定值与预定的最大致动器设定值

进行比较。该预定的最大致动器设定值可以基于多种因素。例如，该预定最大致动器设定值可以与上述气流设备的最大打开位置相关。可选的是，该预定最大致动器设定值可以与希望的通过气流设备的气流级别相关。也就是说，例如可以把该预定最大致动器设定值设定成基本上防止潜在损坏级别的冷却流体流过一个或多个机架 102-108，例如有少量或没有冷却流体流过一个或多个机架 102-108 的情况就是这样。

在步骤 422，如果所确定的致动器设定值大于预定最大致动器设定值，则控制器 204 可以操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b 以降低流到一个或多个机架 102-108 的冷却流体。可选的是，在步骤 414，如果所确定的致动器设定值低于预定的最大致动器设定值，则控制器 204 可以操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b，以提高流到一个或多个机架 102-108 的冷却流体。

现在参照图 4D，图示了可以取代步骤 462-468 实施的步骤 472 和 474。根据本实施例，在步骤 460 之后，可以在步骤 472 确定一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b 的设定值。该致动器设定值可以基于例如通风孔砖 116 打开的程度、有角板的角板的角度、可移动百叶窗的角度等等。因此，例如可以根据该致动器设定值来确定通过一个或多个通风孔砖 116 和一个或多个机架 102-108 的气流。

在步骤 474，将所确定的致动器设定值与预定的最小致动器设定值相比较。该预定的最小致动器设定可以基于多种因素。例如，该预定的最小致动器设定值可以与上述气流设备的最小打开位置相关。可选的是，该预定的最小致动器设定值可以与希望的流过气流设备的冷却流体级别相关。也就是说，例如可以把该预定的最小致动器设定值设定成基本上防止潜在损坏级别的冷却流体流过一个或多个机架 102-108，例如少量或者没有冷却流体流过一个或多个机架的情况就是这样。在步骤 470，如果所确定的致动器设定值小于该预定的最小致动器设定值，则控制器 204 可以操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b，以提高流到一个或多个机架 102-108 的冷却流体。可选的是，在步骤 462，如果所确定的致动器设定值大于该预定的最小致动器设定值，则控制器 204 可以操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b 以提高流到一个或多个机架 102-108 的冷却流体。

在实施了工作模式 400 和 450 中所示的步骤之后,控制器 204 可以确定当检测到 SHI 的变化时实施了工作模式 400 和 450 中的哪一个模式。例如,控制器 204 可以在工作模式 400 的先前实施、例如步骤 402-420 导致组件、机架或机架群的 SHI 降低时实施工作模式 400。可选的是,控制器 204 可以在工作模式 450 的先前实施,例如步骤 452-468 导致组件、机架或机架群的 SHI 降低时实施工作模式 450。此外,控制器 204 可以响应于对各种组件、机架或机架群的 SHI 确定来实施工作模式 400 或 450。一方面,控制器 204 基本上学习到了工作模式 400 或 450 中的哪一个响应于算得的 SHI 超过预定最大设定的 SHI 值而实施例如对一个或多个致动器的操纵,以提高或降低冷却流体流。

图 5 图示了根据另一实施方式的冷却系统,例如冷却系统 202 的工作模式 500 的流程图。应当理解,以下对于工作模式 500 的说明仅仅是可以操纵本发明实施例所采用的多种不同方式中的一种。本领域技术人员还应当理解,工作模式 500 表示了一种一般化的图示,可以在不背离本发明范围的情况下,添加其它步骤或者去除或修改现有步骤。参照图 2 所示的框图 200 对工作模式 500 进行说明,因此参照了该框图中引用的元件。

控制器 204 可以实施工作模式 500,以根据算得的 SHI 值控制通过各个服务器 220 的工作负荷。在步骤 502,可以响应于接收到工作负荷安排请求而启动工作模式 500。例如,可以响应于对要由一个或多个服务器 220 执行的请求来启动工作模式 500。

在步骤 504,控制器 204 并且更特别的是工作负荷模块 218 可以识别具有满足规定的性能策略的过量容量的装备,例如一个或多个服务器 220。例如,工作负荷模块 218 可以确定哪些服务器 220 能够执行所请求的任务。

在步骤 506,工作负荷模块 218 可以接收在步骤 504 中所识别的那个装置的 SHI 值。工作负荷 218 可以从度量模块 218 接收该信息,该模块可以按照上文中所述方式计算 SHI 值。此外,该工作负荷模块 218 可以请求该工作负荷模块 218 响应于接收到工作负荷请求而执行 SHI 计算。

在步骤 508,该工作负荷模块 218 可以将工作负荷安排在具有最低 SHI 值的一个或多个装备上。这方面,基本上可以优化热从机架中的

装备传递到冷却流体的热传递效率。

图 6 图示了设计和部署数据中心布局的工作模式 600 的流程图。应当理解，以下对于工作模式 600 的说明仅仅是可以操纵实施例所采用的多种不同方式中的一种。本领域技术人员还应当理解，操纵模式 600 表示一般化的图示，并且可以在不背离本发明范围的情况下添加其它步骤或者可以去除或修改现有步骤。

可以利用存储在例如存储器 212 中并且由控制器 204 执行的软件来实施工作模式 600 中概括的一部分步骤。该软件可以包括计算流体动力学 (CFD) 工具，其设计成根据所输入的温度计算所提出的数据中心不同位置处的气流动力。可以对 CFD 工具进行编程以根据预测的机架进口和出口处的温度以及预测的基准温度来确定该数据中心不同位置的 SHI 值。

在步骤 602，根据所提出的该数据中心的布局或配置以及所提出的机架中的发热，可以计算 SHI 值。在步骤 604，根据算得的 SHI 值，可以重新配置数据中心的布局或配置，以使 SHI 值最小化。步骤 604 可以包括迭代过程，其中将各种数据中心配置输入该工具中，以确定哪种布局产生了最小的 SHI 值。在步骤 606，一旦确定了具有最小化的 SHI 值配置的布局，则可以部署具有该布局的数据中心。

如上文中列出的共同未决申请中更详细描述，可以实施 CFD 工具来监测冷却流体的温度以及数据中心 100 中的气流。根据本发明的实施例，可以实施 CFD 工具来计算该数据中心 100 不同位置的 SHI 值，从而确定数据中心 100 中热冷却流体再循环的级别。例如，可以将传送到机架中的冷却流体的温度、从机架排放的热冷却流体的温度和基准温度输入到 CFD 工具中。该 CFD 工具可以按照类似于上文中提出的等式的方式利用所输入的温度信息计算 SHI 值。该 CFD 工具还可以在数据中心 400 中生成 SHI 值的数字模型。可以将 SHI 值的该数字模型用于生成在数据中心 100 的不同位置的 SHI 值的图。

通过将不同时间该数据中心 100 中 SHI 值的数字模型进行比较，该 CFD 工具可以确定该数据中心 100 中 SHI 值的变化。如果 SHI 值的数字模型表明冷却流体正与热冷却流体再循环，则该控制器 204 可以操纵一个或多个致动器 206a、206b、208a、208b，以按照上文中参照图 4A 和 4B 所述的方式减小或消除再循环。

如 2003 年 1 月 22 日提交的、名称为“Agent Based Control Method and System for Energy Management (基于代理的控制方法和能量管理的系统)”的共同未决和共同转让的申请 No.10/345, 723 (代理案号 No.100200080) 中所述的(在此将其全文引入以供参考), 可以将致动器 206a、206b、208a、208b 的运动视为可以在机架代理之间交换或者分配以分布冷却流体的资源。这些资源可以处于资源金字塔的最低层, 并且可以首先响应于控制信号进行分配。可以利用适当的温度条件、偏差和机架操作参数来驱动多层和多代理的控制系统。

图 7 图示了基本上基于 RHI 值的冷却系统、例如冷却系统 202 的工作模式 700 的流程图。应当理解, 以下对于工作模式 700 的说明仅仅是可以操纵该冷却系统所采用的多种不同方式中的一种。本领域技术人员还应当理解, 工作模式 700 表示了一般化的图示, 可以在不背离本发明范围的情况下添加其它步骤或者去除或修改现有步骤。对于工作模式 700 的说明参照图 2 所示的框图 200, 并且因此参照该框图中引用的元件。

一方面, 控制器 204 可以实现工作模式 700 来根据算得的 RHI 值控制一个或多个 CRAC 单元 228。更特别的是, 例如可以实现工作模式 700 来控制一个或多个 CRAC 单元 228, 使得基本上使它们的能量消耗最小化。此外, 可以按照总体上保持有益的热管理级别的方式操作一个或多个 CRAC 单元 228。尽管特别参照了单个 CRAC 单元 228, 但是应当理解, 可以应用参照工作模式 700 概括的概念来控制任何数量合理适当的 CRAC 单元 228。相应的是, 对于单个 CRAC 单元 228 的说明是为了简化说明的目的, 不表示将工作模式 700 限制为单个 CRAC 单元 228。

在步骤 702, 可以响应于多种激励来启动工作模式 700。例如, 可以响应于预定经历的时间、响应于接收到发送的信号和/或响应于检测到环境条件(例如温度、湿度、位置等)的变化启动工作模式 700。此外, 用户可以手动启动工作模式 700。

在步骤 704, 可以确定 RHI 设定值 (RHI_{set})。该 RHI 设定值可以构成例如在数据中心 100、100 中产生可接受结果的最小 RHI 级别。可以根据对数据中心 100、100 中各种 RHI 级别效果的测试来确定 RHI 设定值, 从而确定它们是否是可接受的。此外或可选的是, RHI 设定

值可以基于制造商对于数据中心 100 中包含的组件的技术规格。例如，RHI 设定值基本上可以基于数据中心 100、100 中可接受的温度级别。此外，该 RHI 设定值对于不同 CRAC 单元 228 可以是不同的，这是因为它们影响的区域可能不同。

无论如何，在步骤 706，可以测量 CRAC 单元 228 的 RHI_i 值。下标“i”表示 RHI 迭代的迭代指数。因此，对于一次迭代而言，“i”等于 1，对于二次迭代而言，“i”等于 2 等等依此类推。如上文中所述，根据等式 (7) 来计算 RHI 值。因此，可以使用数据中心 100、100 不同位置处的冷却流体的温度来确定 RHI 值。更特别的是，RHI 值基于返回到 CRAC 单元 228 中的热冷却流体的温度 (T_{in}^C)、从一个或多个机架排放的热冷却流体的温度 (T_{out}) 以及经冷却的冷却流体的基准温度 (T_{ref})。该基准温度 (T_{ref}) 表示通风孔砖 116 冷却流体温度，其还可以当作 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的供应温度。此外，测量所排放的热冷却流体温度 (T_{out}) 所在的一个或机架可以基于 CRAC 单元 228 对一个或多个机架中特定机架的影响。

在步骤 708，可以确定在步骤 706 确定的 RHI_i 值等于还是大于步骤 704 确定的 RHI_{SET} 值。在步骤 710，如果 RHI_i 值大于或等于 RHI_{SET} 值，则提高了 CRAC 单元 228 提供冷却流体时的温度。可以将 CRAC 单元 228 的供应冷却流体温度增长的级别设定为预定温度增长。例如，该供应冷却流体温度可以提高大约 1 到 5 或更多的摄氏度。可选的是，增长的级别可以基于例如 RHI_i 值超过 RHI_{SET} 值时所处的级别。在这种情况下，供应冷却流体温度的增长基本上可以与 RHI_i 值超过 RHI_{SET} 值时所处的级别成比例。一方面，当 RHI_i 值超过 RHI_{SET} 值时，通过提高 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的温度，该 CRAC 单元 228 总体上就消耗更少的能量。

可以在任意合理适当的时间量之内重复步骤 706-710。例如，只要数据中心 100 在工作中，就可以在预定的时间段或者迭代等之内重复这些步骤。此外，可以根据例如用户的判断终止工作模式 700。

以下参照图 8A 和 8B 描述工作模式 700 可以采用的其它步骤。

图 8A 和 8B 图示了基本上基于 RHI 值的冷却系统 (例如冷却系统 202) 的工作模式 800 的流程图。应当理解，以下对于工作模式 800 的说明仅仅是可以操纵冷却系统所采用的多种不同方式中的一种。本领

域技术人员还应当理解，工作模式 800 表示了一般化的图示，可以在不背离本发明范围的情况下添加其它步骤或者去除或修改现有步骤。参照图 2 所示的框图 200 说明工作模式 800，因此参照该框图中引用的元件。

一方面，该控制器 204 可以实现工作模式 800 来根据算得的 RHI 值控制一个或多个 CRAC 单元 228。更特别的是，例如可以实现工作模式 800 来控制一个或多个 CRAC 单元 228，从而基本上使它们的能量消耗级别最小化。此外，可以按照总体上保持有利热管理级别的方式操纵一个或多个 CRAC 单元 228。尽管特别参照了单一 CRAC 单元 228，但是应当理解可以应用相对于工作模式 800 概括的概念，以控制任意数量合理适当的 CRAC 单元 228。相应的是，对于单一 CRAC 单元 228 的操作的说明是为了简化说明，不表示将工作模式 800 限制为单一 CRAC 单元 228。

在步骤 802，可以响应于多种激励启动工作模式 800。例如，可以响应于预定经历的时间、响应于接收到发送的信号的和/或响应于检测到环境条件（例如温度、湿度、位置等）的变化来启动工作模式 800。此外，用户可以手动启动工作模式 800。

在步骤 804，可以如上文中参照步骤 704（图 7）所述的方式确定 RHI 设定值（ RHI_{SET} ）。此外，在步骤 806，可以如参照步骤 706（图 7）所述的方式测量 CRAC 单元 228 的 RHI_1 值。

在步骤 808，将在步骤 806 确定的 RHI_1 值与在步骤 804 对值“j”等于 1 确定的 RHI_{SET} 值进行比较。在一个实例中，值“j”可以表示 CRAC 单元 228 流速变化的迭代次数。在其它实例中，值“j”可以表示各种其它的标准，例如 CRAC 单元 228 消耗的能量、维修建议等。此外，基本上可以用硬件和控制要求来限制“j”递增的速率。下文中提供值“j”的其它实例。

如果在步骤 808， RHI_1 值大于或等于 RHI_{SET} 值，则如步骤 810 所示，提高由 CRAC 单元 228 提供冷却流体时的温度。可以将 CRAC 单元 228 的供应冷却流体温度的增长级别设定为预定的温度增长。例如，供应冷却流体温度可以提高大约 1 到 5 或更多摄氏度。可选的是，增长的级别可以基于例如 RHI_1 值超过 RHI_{SET} 时所处的级别。在这种情况下，供应冷却流体温度的增长可以基本上与 RHI_1 值超过 RHI_{SET} 值

时所处的级别成比例。一方面，通过在 RHI_i 值超过 RHI_{SET} 值时提高 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的温度，CRAC 单元 228 总体上就消耗更少的能量。

在步骤 812，可以检查数据中心 100、100 的热管理。例如，可以检查位于受到 CRAC 单元 228 影响的区域中不同位置处的 SHI 级别，以确定提高了的供应冷却流体温度是否不利地影响了再循环级别。此外或可选的是，热管理检查可以包括监测一个或多个机架的进口温度，以确定其温度是否超过了预定的温度级别，例如约 25 摄氏度。尽管没有特别图示，但是步骤 812 还可以包括在该检查表明热管理存在问题的情况下改进热管理的步骤。例如，如果一个或多个机架的进口温度超过预定温度级别，则可以改变传送到该一个或多个机架的冷却气流。例如，可以通过操纵相关的通风孔砖 116 和 CRAC 单元 228 中的一项或两项来提高冷却气流的体积流速。另外，例如，如果在不同位置处的 SHI 级别超过最大 SHI 设定值，则可以执行图 4A 和 4B 概括的一个或多个步骤来降低在那些区域处的 SHI 级别。

尽管图 8A 中没有明确表示，但是可以在步骤 810 与 812 之间允许让预定量的时间经过。可以使用步骤 810 与 812 之间的延迟来基本上使供应冷却流体温度的变化的影响能够检测到。一方面，该控制器 204 可以访问定时器或者时钟，以确定在执行步骤 810 之后何时执行步骤 812。该延迟的长度可以基于冷却流体温度变化之间的已知长度的时间及其对各种热管理关系的影响。可选的是，该延迟的长度可以是预设的时间量，例如约 2、5、10 或更多分钟。

在步骤 814，设定 RHI_{SET} 值，使其等于 RHI_i 值。执行该步骤，用以例如改变用其比较随后测得的 RHI_i 值的的条件。一方面，将 RHI_{SET} 值设定为 RHI_i 值，从而使得工作模式 800 能够按照启发的方式来执行。此外，在步骤 806 再次测量另一迭代的 RHI_i 值，并且可以重复步骤 808-814。

再次参照步骤 808，如果在步骤 806 测得的 RHI_i 值小于在步骤 804 确定的 RHI_{SET} 值，则在步骤 816 可以确定 CRAC 单元 228 提供冷却流体时的流速。可以直接通过利用风速计检测所提供的冷却流体的流速，或者可以基于对吹风机旋转的检测来计算该流速。无论如何，在步骤 818 可以将所确定的流速 (FR) 与最大流速设定值 (FR_{MAX}) 进

行比较。该最大流速设定值可以表示希望 CRAC 单元 228 提供的最高冷却流体的流速，并且其可以基于例如制造商规定的吹风机操纵、对于不同流速时数据中心 100、100 中冷却的影响的测试等。

在步骤 820，如果所确定的流速低于最大流速设定值，则可以将值“j”设为 $j = j + 1$ 。此外，如步骤 822 所示，提高 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的流速。可以将 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的流速增长的级别设为预定流速增长。例如，增长的级别可以基于例如 RHI_i 值降低到 RHI_{SET} 值以下时所处的级别。在这种情况下，流速的增长基本上可以与 RHI_i 值落到 RHI_{SET} 值以下时所处的级别成比例。一方面，当 RHI_i 值落到 RHI_{SET} 值以下时，可以通过提高 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的流速来提高 RHI 级别，从而提高 CRAC 单元 228 的效率。另外例如，流速增长的级别可以基于流速 (FR) 与最大流速设定值 (FR_{MAX}) 之差。在这个实例中，流速的增长基本上可以等于流速差的一部分。可选的是，该增长基本上可以等于流速之差的增加值。

在步骤 824，对 RHI_i 值可以再次测量，在这种情况下这会产生 RHI_{i+1} 值。尽管图 8A 中没有明确表示，但是可以在步骤 822 与 824 之间允许让预定量的时间经过。可以使用步骤 822 与 824 之间的延迟来使冷却流体流速变化的影响能够检测到。一方面，控制器 204 可以访问定时器或时钟，以确定在执行步骤 822 之后执行步骤 824 的时间。该延迟的长度可以基于冷却流体流速变化之间的已知时间长度及其对 RHI 测量值的影响。可选的是，该延迟的长度可以为预设量的时间，例如约 2、5、10 或更多分钟。

在步骤 826，可以检查数据中心 100 的热管理。例如，可以检查受到 CRAC 单元 228 影响的区域中不同位置处的 SHI 级别，以确定提高的供应冷却流体温度是否不利地影响了再循环级别。此外，可以按照如上文中参照步骤 812 所述的方式执行步骤 826 的热管理检查。

在步骤 828，确定 RHI_{i+1} 值是否超过了 RHI_i 值。换句话说，确定 CRAC 单元 228 流速的增长是否产生了更大的 RHI 值。更大的 RHI 值可以表示增大的流速产生正 RHI 测量值。在步骤 830，如果 RHI_{i+1} 超过了 RHI_i 值，则确定 RHI_{i+1} 值是否已经基本上达到了最大 RHI 值 (RHI_{MAX})。如步骤 832 所示，如果确定了 RHI_{i+1} 基本上没有达到最大 RHI 值，则可以确定迭代次数“j”满足还是超过了值“n”。

如上文所述, 值“j”在某些情况下可以表示 CRAC 单元 228 流速变化迭代的次数。在其它实例中, 值“j”可以表示各种其它的标准, 诸如像 CRAC 单元 228 消耗的能量、维修建议等。此外, 基本上可以用硬件和控制要求来限制“j”增长的速率。值“n”可以表示预定的迭代次数, 并且可以根据多种不同标准来设定该值。例如, 可以比较任意地选择迭代次数“n”, 或者可以基于测试来选择。例如, 可以根据在步骤 818 确定的流速 (FR) 与最大流速设定值 (FR_{MAX}) 之差来确定迭代次数“n”。可以适当地增加这些流速之差, 并且可以使用增长的次数来设定迭代次数“n”。因此, 例如如果在流速达到最大流速设定值之前具有 10 次增长, 则迭代次数“n”可以等于 10。

如果值“j”落到迭代次数“n”以下, 则如步骤 820 所示, 该值“j”可以增长一次。此外, 可以重复步骤 822-832, 直到如以上参照步骤 830 所示的 RHI_{i+1} 等于 RHI_{MAX} 值, 或者“j”值满足或超过“n”值为止。如果在步骤 832 该值“j”满足或超过值“n”, 也就是说例如该流速已经达到或超过最大流速设定值, 或者如果 RHI_{i+1} 值已经基本上达到了最大 RHI 值, 则将 RHI_{SET} 值设为等于 RHI_i 值, 如步骤 814 所示。此外, 在步骤 806 再次测量另一迭代的 RHI_i 值, 并且可以重复步骤 808-832。在这方面, 例如如果 RHI 值等于或超过设定值 RHI 值, 则可以提高 CRAC 单元 228 供应温度, 从而降低与操作 CRAC 单元 228 相关的能量成本。此外, 如果 RHI 值落到设定值 RHI 值以下, 则可以采取步骤提高 RHI, 从而提高 CRAC 单元 228 的效率。

通过对 CRAC 单元 228 流速设定的不同增长分析 RHI_{i+1} 的变化, 可以确定 RHI 值是否达到最大 RHI 值。例如, 如果在步骤 828, 随后迭代的 RHI 值等于或小于先前迭代的 RHI 值, 则可以确定 RHI_{i+1} 值已经达到了最大 RHI 值。

然而, 在步骤 828, 如果 RHI_{i+1} 值等于或落到 RHI_i 值以下, 这表示增长的流速没有产生正的 RHI 测量值, 则可以如下文中所述执行循环 B。

如图 8A 所示, 步骤 820-832 成为循环 A, 其包括通过提高 CRAC 单元 228 提供的空气流速来提高 RHI 的步骤。相反, 图 8B 所示的循环 B 包括通过降低 CRAC 单元 228 提供的空气流速来提高 RHI 的步骤 840-852。尽管所示并描述的循环 A 是在循环 B 之前执行的, 但是应当

理解可以在不背离工作模式 800 的范围的情况下，可以在循环 A 之前执行循环 B。因此，参照图 8B，在步骤 834 可以确定 CRAC 单元 228 提供的空气的流速 (FR)。在这方面，如果在循环 A 之前执行循环 B，则可以在步骤 808 之后执行步骤 834。上文中参照步骤 816 描述了检测流速 (FR) 可以采用的各种方式。然而，在循环 A 之后执行循环 B 并且已经知道流速的情况下可以省略步骤 834。

无论如何，在步骤 836，可以将流速 (FR) 与最小流速设定值 (FR_{MIN}) 进行比较。该最小流速设定值可以表示希望 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的最低流速，并且其可以基于例如制造商规定的吹风机操作、不同流速时对数据中心 100 中冷却的影响的测试等。如果流速 (FR) 低于或等于最小流速设定值 (FR_{MIN})，则可以如步骤 838 所示那样执行步骤 820-832 (图 8A)，以提高 CRAC 单元 228 流速。

在步骤 840，如果流速 (FR) 超过最小流速设定值 (FR_{MIN})，则可以将值 “j” 设为 “j+1”。如果在循环 A 之后执行循环 B，则可以重设值 “j”，使得在循环 B 中确定迭代 “j” 的过程中不包括循环 A 中执行的迭代。否则，可以在步骤 808 之后将值 “j” 设为 “j+1”。

在步骤 842，降低 CRAC 单元 228 提供冷却流体时的流速。此外，在步骤 818，如果 CRAC 单元 228 提供的冷却流体的流速 (FR) 等于或超过最大流速设定值 (FR_{MAX})，则可以执行步骤 842。可以将 CRAC 单元 228 提供的冷却流体流速降低的级别设为预定流速降低。例如，降低级别可以基于例如 RHI_i 值落到 RHI_{SET} 值以下时所处的级别。在这种情况下，流速的降低基本上可以与 RHI_i 值落到 RHI_{SET} 值以下的级别成比例。一方面，当 RHI_i 值落到 RHI_{SET} 值以下时，可以通过降低 CRAC 单元 228 提供的冷却流体流速来提高 RHI 级别，由此提高 CRAC 单元 228 的效率。另外例如，流速增长的级别可以基于流速 (FR) 与最小流速设定值 (FR_{MIN}) 之差。在本实例中，流速的降低基本上可以等于流速之差的一部分。可选的是，该降低基本上可以等于流速之差的增值。

在步骤 844，可以再次测量 RHI_i 值，在这种情况下这会产生 RHI_{i+1} 值。尽管图 8B 中没有明确表示，但是可以在步骤 842 与 844 之间允许预定量的时间经过。可以使用步骤 842 与 844 之间的延迟来使冷却流体流速变化的影响能够检测到。一方面，该控制器 204 可以访问定时

器或者时钟，以确定在执行步骤 842 之后执行步骤 844 的时间。该延迟的长度可以基于冷却流体流速变化之间的已知长度时间，及其对于 RHI 测量值的影响。可选的是，该延迟的长度可以为预设量的时间，例如约 2、5、10 或更多分钟。

在步骤 846，可以检查数据中心 100、100 的热管理。可以按照上文中参照步骤 812 和 826 所述的方式执行步骤 846 的热管理检查。

在步骤 848，确定 RHI_{i+1} 值是否超过 RHI_i 值。换句话说，确定 CRAC 单元 228 流速的降低是否产生了更大的 RHI 值。更大的 RHI 值可以表示降低的流速产生了正的 RHI 测量值。在步骤 850，如果 RHI_{i+1} 值超过了 RHI_i 值，则确定 RHI_{i+1} 值是否基本上已经达到了最大 RHI 值 (RHI_{MAX})。如步骤 852 所示，如果确定了 RHI_{i+1} 基本上还没有达到最大 RHI 值，则可以确定迭代次数“j”满足还是超过了值“n”。

如上文中所述，在某些情况下，值“j”可以表示 CRAC 单元 228 流速变化的迭代次数。在其它实例中，值“j”可以表示各种其它的标准，诸如像 CRAC 单元 228 消耗的能量、维修建议等。此外，“j”增长的速率基本上可以用硬件和控制要求限制。值“n”可以表示预定的迭代次数，并且可以根据多个不同标准进行设定。例如，可以比较任意地选择迭代次数“n”，或者可以基于测试进行选择。例如，可以根据步骤 836 确定的流速 (FR) 与最小流速设定值 (FR_{MIN}) 之差来确定迭代次数“n”。可以适当增长这些流速之间的差，并且可以使用增长的次数来设定迭代次数“n”。因此，例如如果在流速达到最小流速设定值之前具有 10 次增长，则迭代次数“n”可以等于 10。

如果值“j”落到迭代次数“n”以下，则如步骤 840 所示，值“j”可以增长一次。此外，可以重复步骤 842-852，直到以上参照步骤 850 所示的 RHI_{i+1} 等于 RHI_{MAX} 或者“j”值满足或超过“n”值为止。

如果在步骤 852 值“j”等于或超过值“n”，或者如果 RHI_{i+1} 值已经基本上达到了最大 RHI 值，则如步骤 814 所示以及上文中参照步骤 830 详细描述，设定 RHI_{SET} 值，使其等于 RHI_i 值。此外，在步骤 806 再次测量另一迭代的 RHI_i 值，并且可以重复步骤 808-850。这方面，例如如果 RHI 值等于或超过设定值 RHI 值，则可以提高 CRAC 单元 228 供应温度，从而降低与操作 CRAC 单元 228 有关的能量成本。此外，如果 RHI 值落到设定值 RHI 值以下，则可以采取步骤来提高 RHI，

从而提高 CRAC 单元 228 的效率。

然而，如果在步骤 848， RHI_{i+1} 值等于或落到 RHI_i 值以下，这表示降低的流速不会产生正的 RHI 测量值，则可以设定 RHI_{SET} 值，使其等于在步骤 804 确定的初始 RHI_{SET} 值，并且可以重复步骤 806-852。

尽管已经以在循环 B 之前执行循环 A 描述了工作模式 800，但是应当理解可以在不背离本发明范围的情况下修改工作模式 800 中执行一部分步骤的顺序。在这方面和某些情况下，可以在循环 A 之前执行循环 B。

工作模式 400、450、500、600、700 和 800 中所示的操作可以作为实用程序、程序或子程序包含在任何希望的计算机可访问媒质中。此外，工作模式 400、450、500、600、700 和 800 可以具体化为计算机程序，其能够以有源和无源的各种形式存在。例如，它们可以作为包括源代码、目标代码、可执行代码或其它格式的程序指令的软件程序存在。能够在计算机可读媒质上配备以上任意的工作模式，该媒质包括存储设备和压缩或未压缩形式的信号。

示范性计算机可读存储设备包括常规的计算机系统 RAM、ROM、EPROM、EEPROM，和磁盘或光盘，或磁带。示范性计算机可读信号（无论是否用载波调制过了）都是把能作为计算机程序主机或运行该计算机程序的计算机系统配置成去访问的信号，包括通过互联网或者其它网络下载的信号。前面的具体实例包括 CD ROM 上或通过互联网下载的程序发行。在某种意义上，互联网本身作为抽象实体，就是一种计算机可读媒质。计算机网络总体上也是这样。因此，可以理解能够执行上述功能的任意电子设备都可以实施以上列举的那些功能。

根据本发明的某些实施例，可以相当大程度地降低与将数据中心内的环境条件保持在预定工作参数内相关的能量的量以及因此降低成本。一方面，通过按照基本上提高 RHI 值的方式操纵冷却系统，与常规冷却系统相比可以以更加高效的方式操作该冷却系统。

本文中所述和所示的是本发明的优选实施例及其变形。本文中使用的术语、说明和附图仅仅是为了说明，无意限制本发明。本领域技术人员可以认识到在本发明的精神和范围内，许多变化都是可能的，本发明的范围是由以下权利要求书及其等价物限定的，其中的所有术语除非特别指明均应表示其最广泛合理的意义。

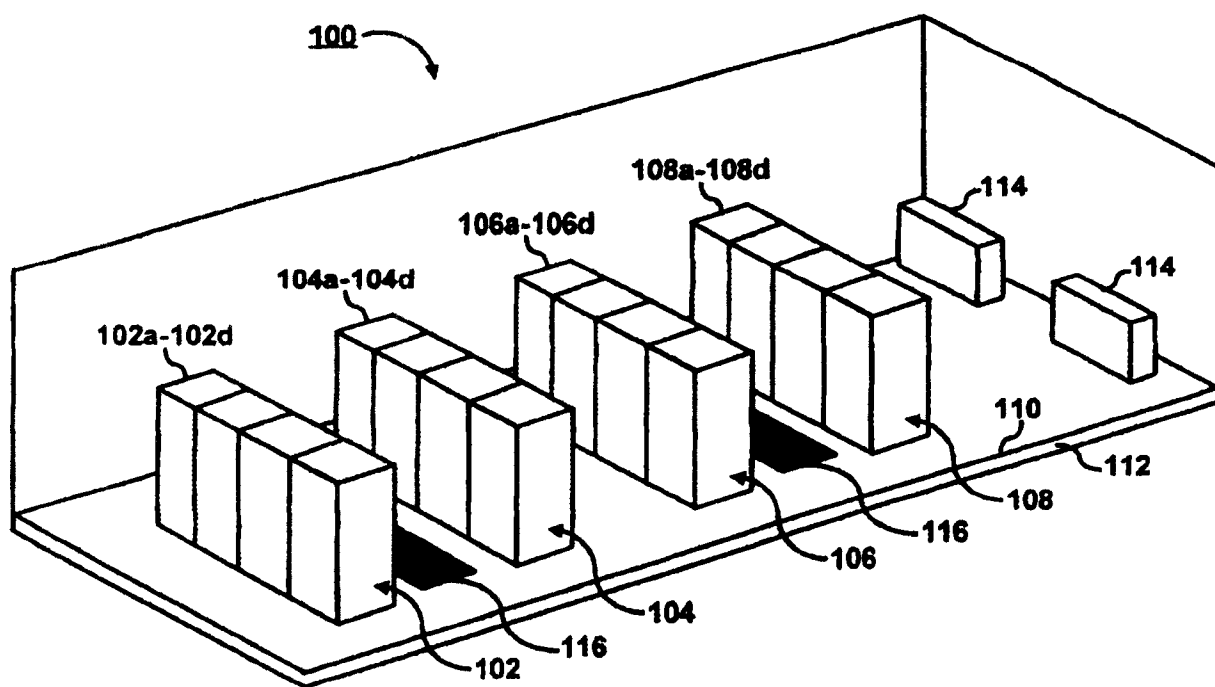


图 1A

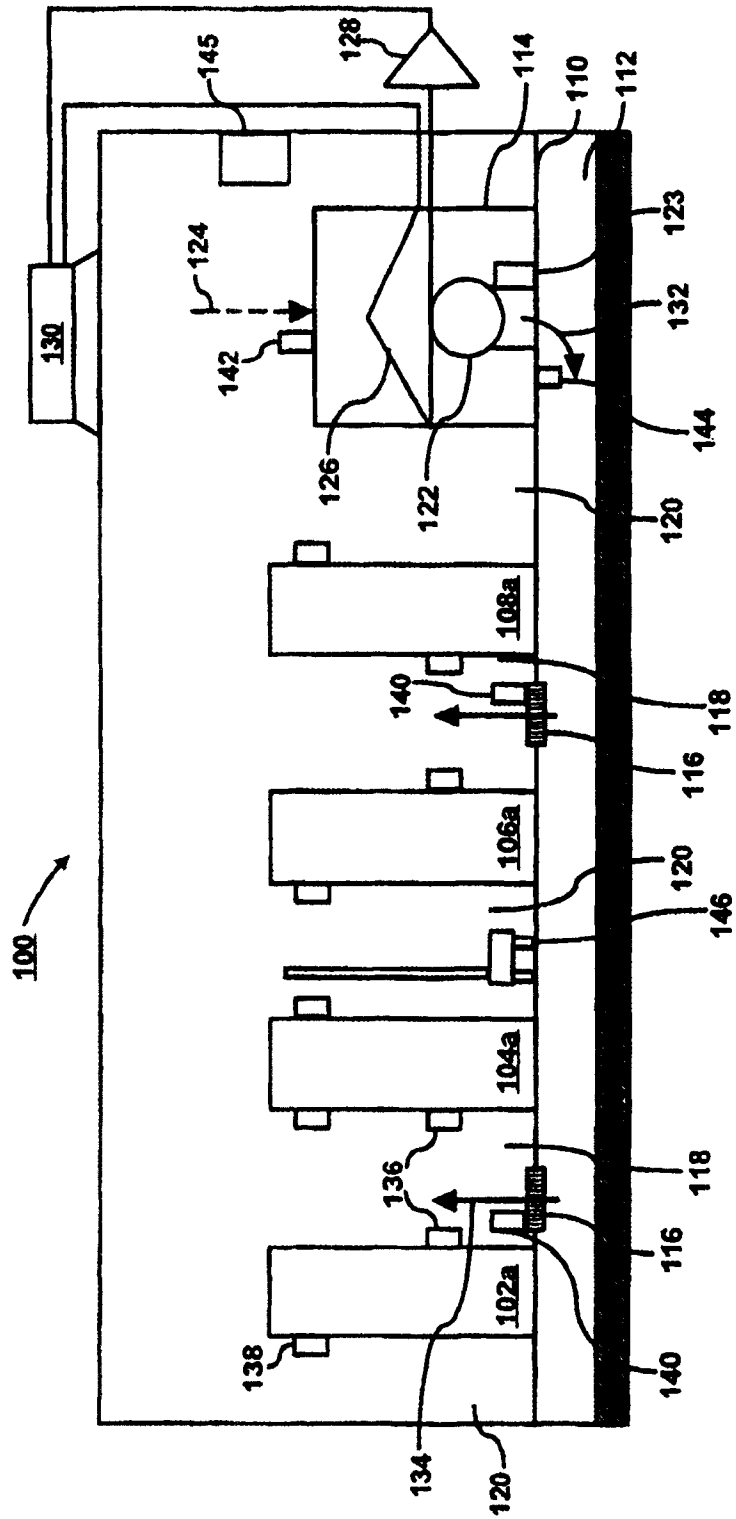


图 1B

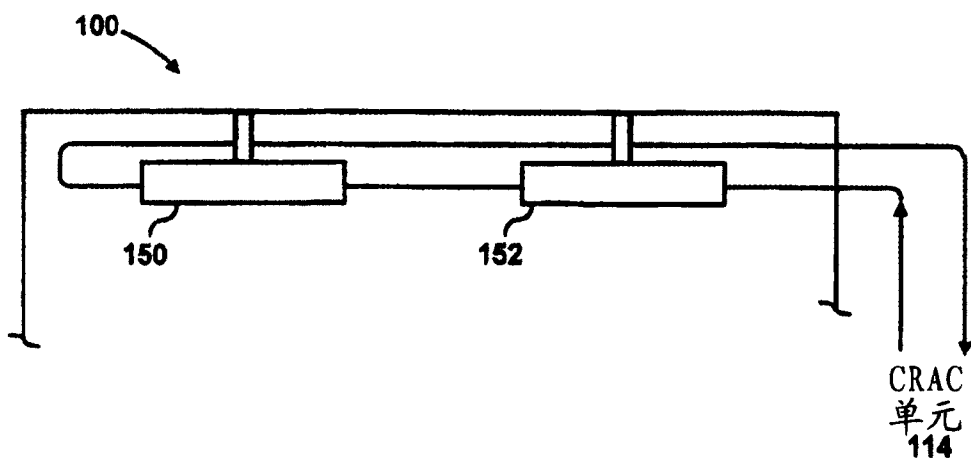


图 10

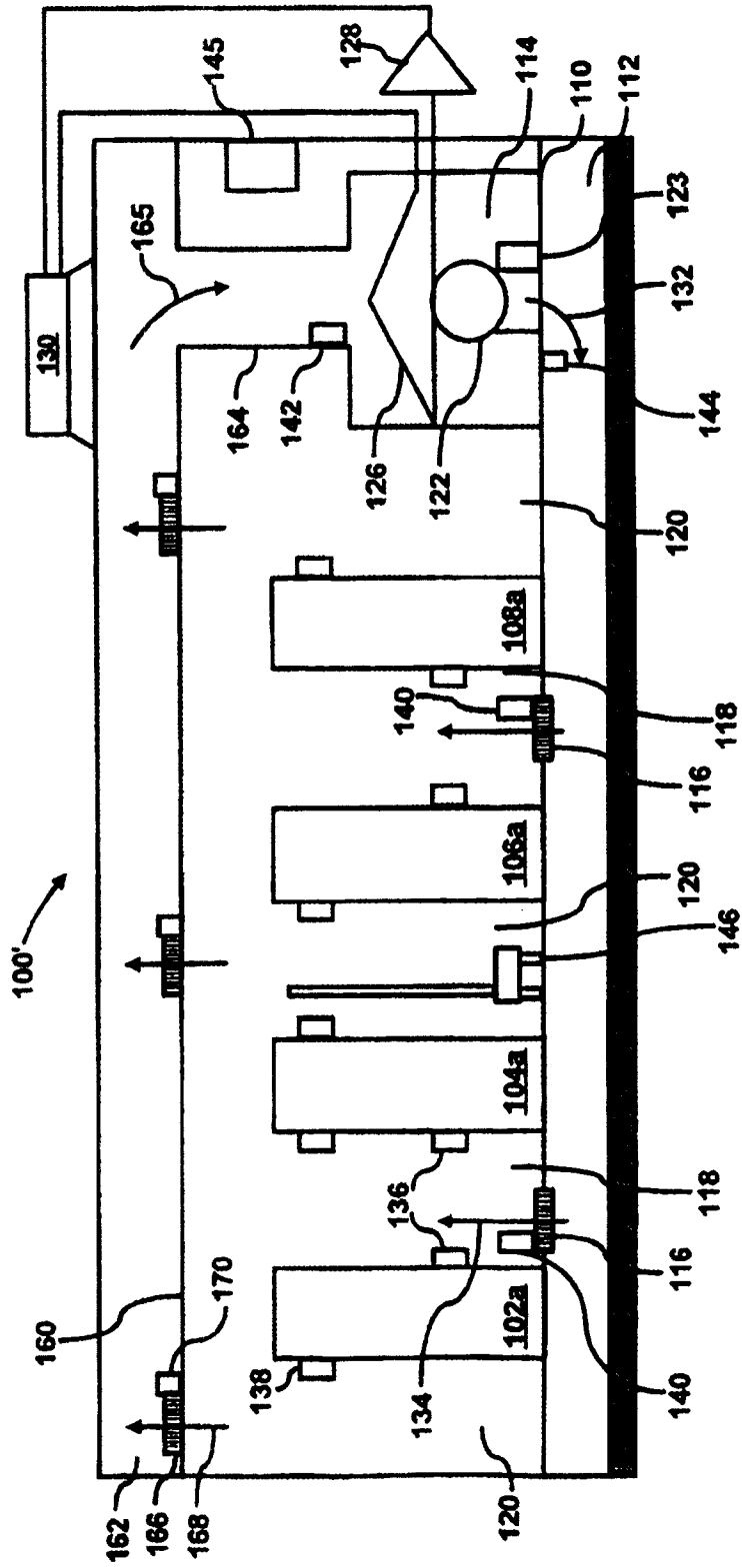


图 1D

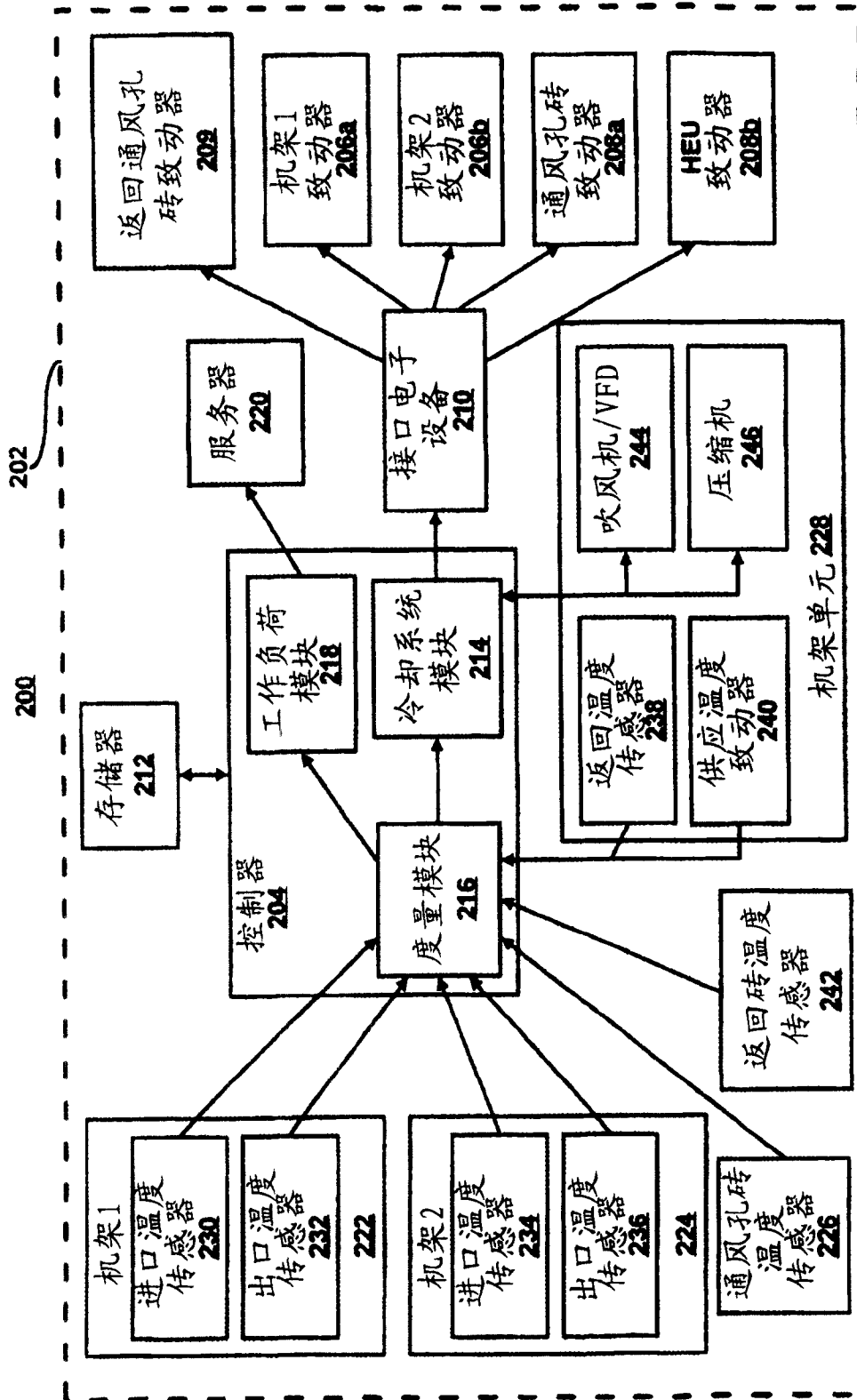


图 2

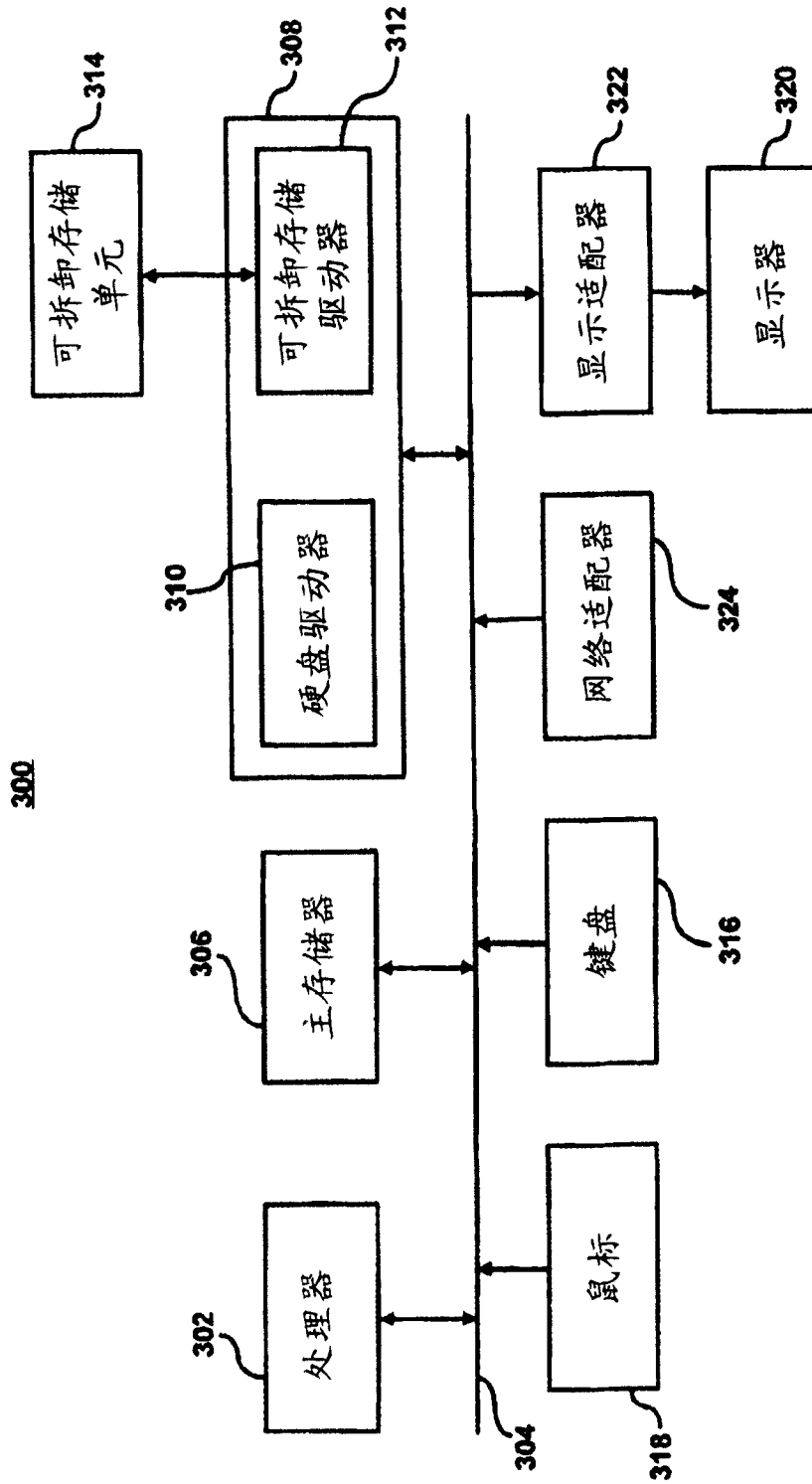


图 3

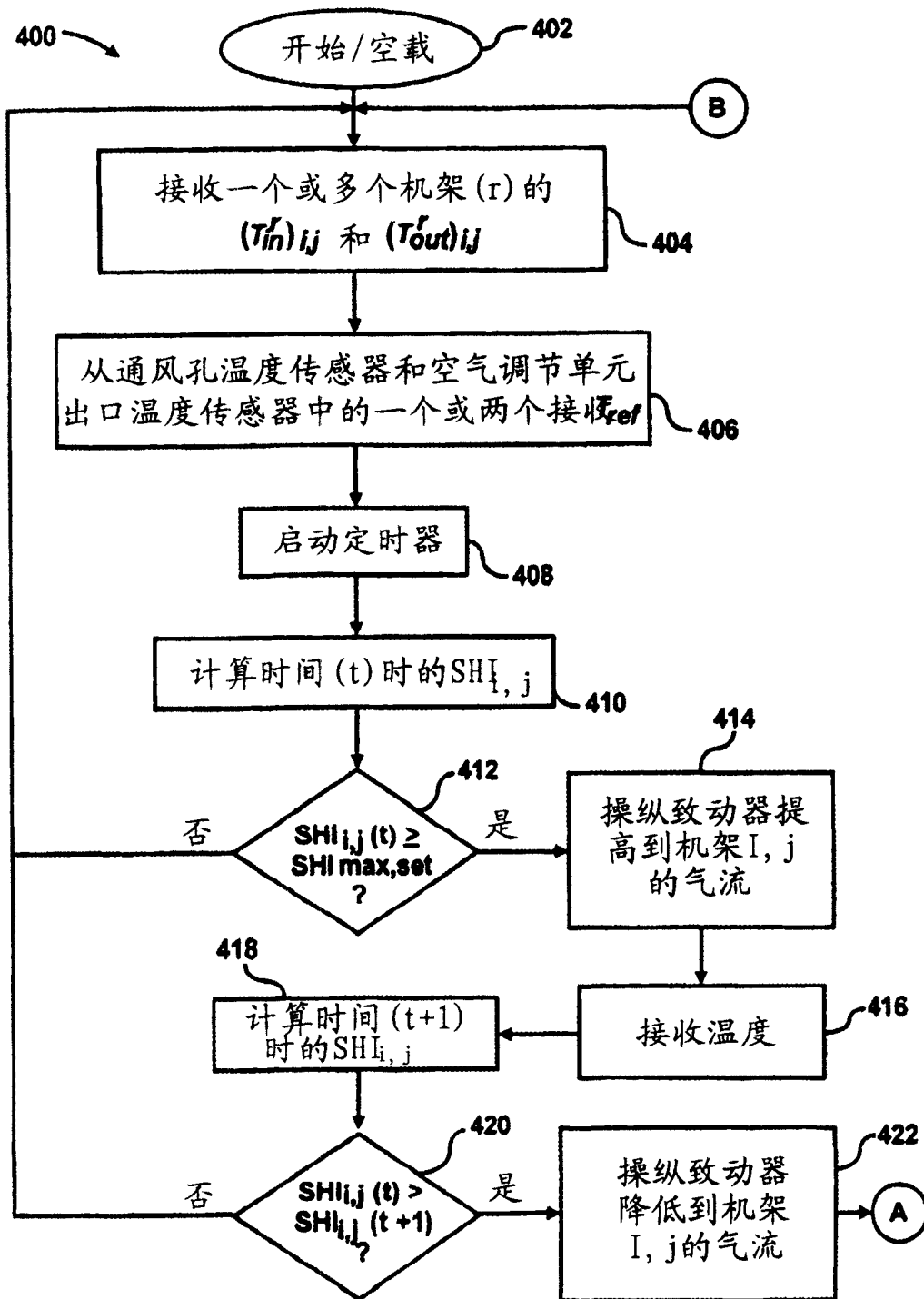


图 4A

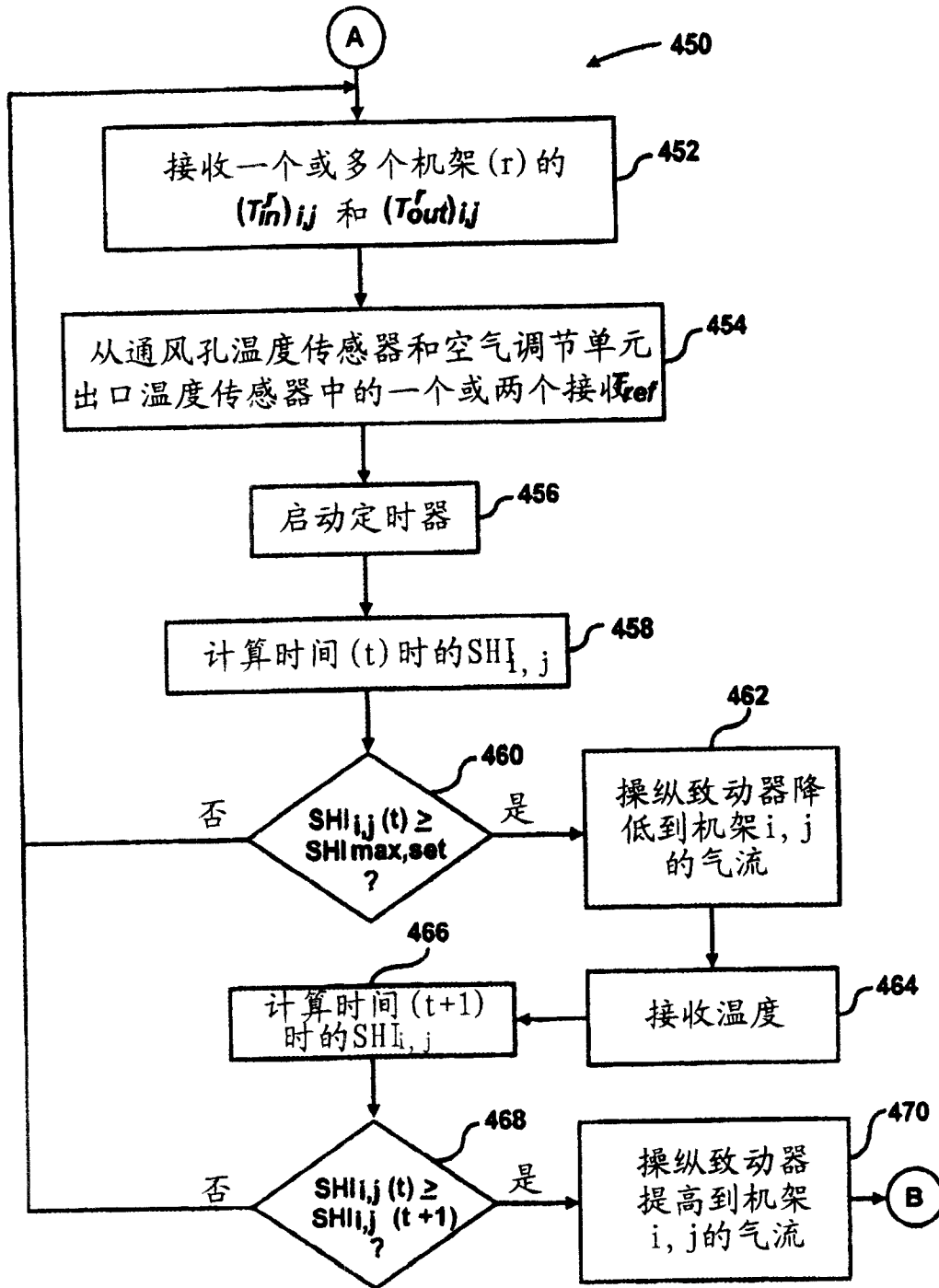


图 4B

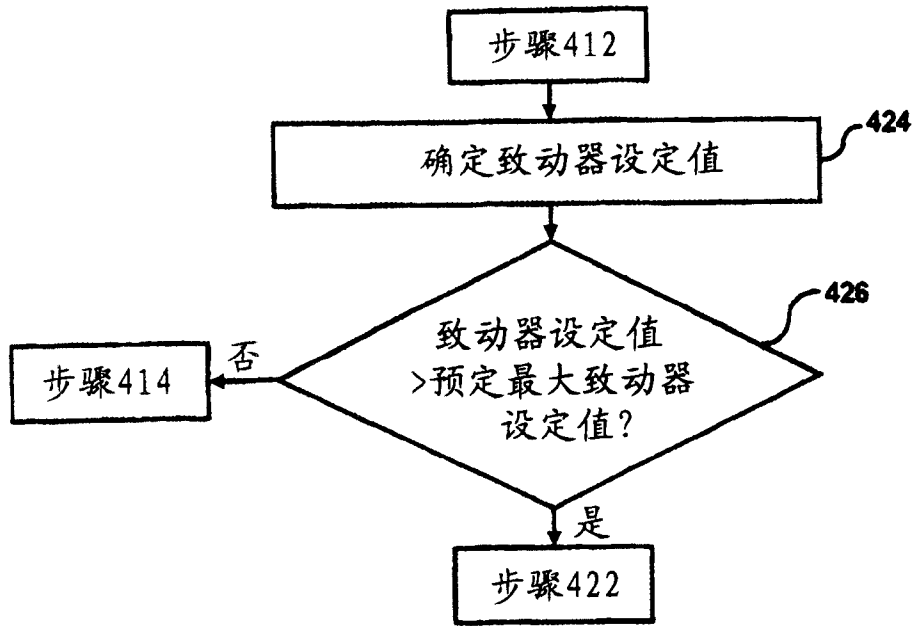


图 4C

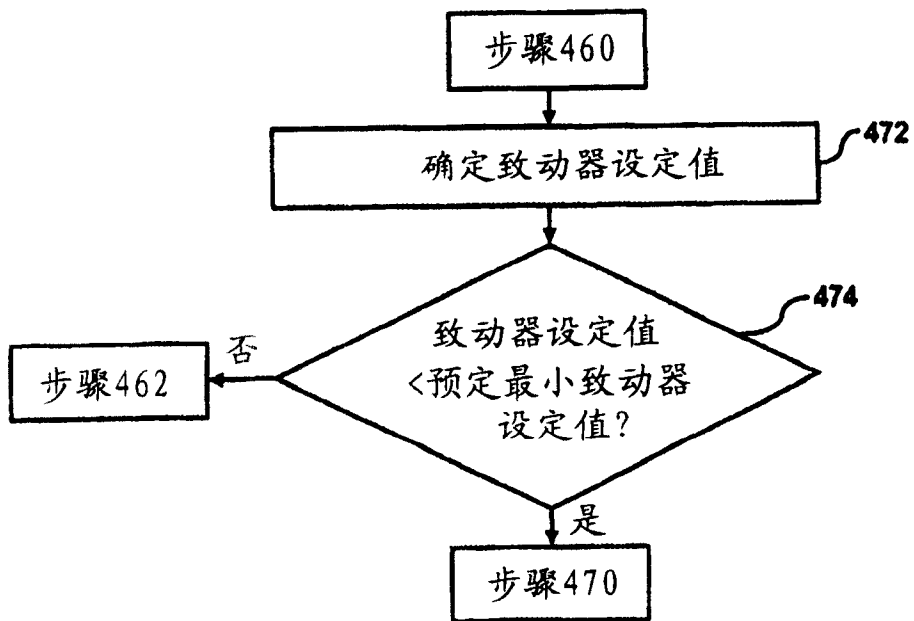


图 4D

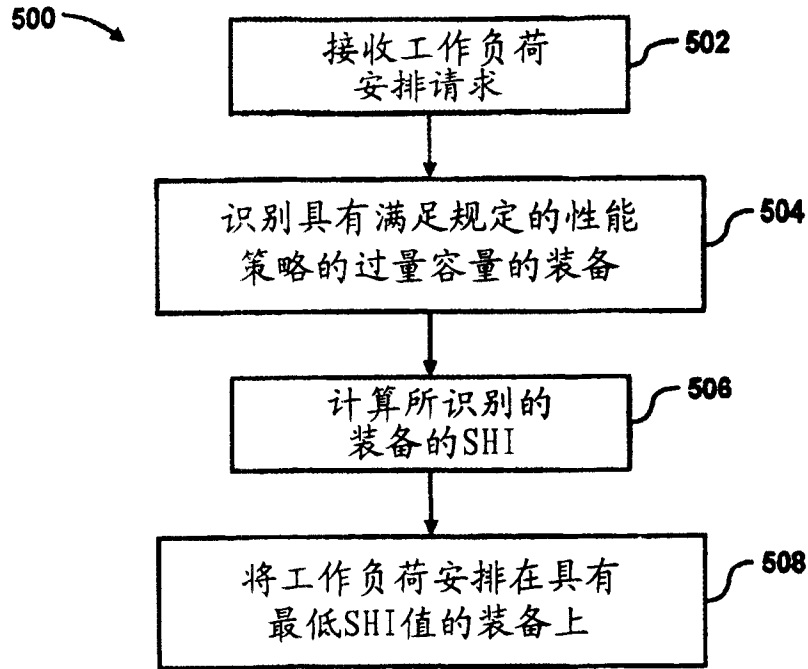


图 5

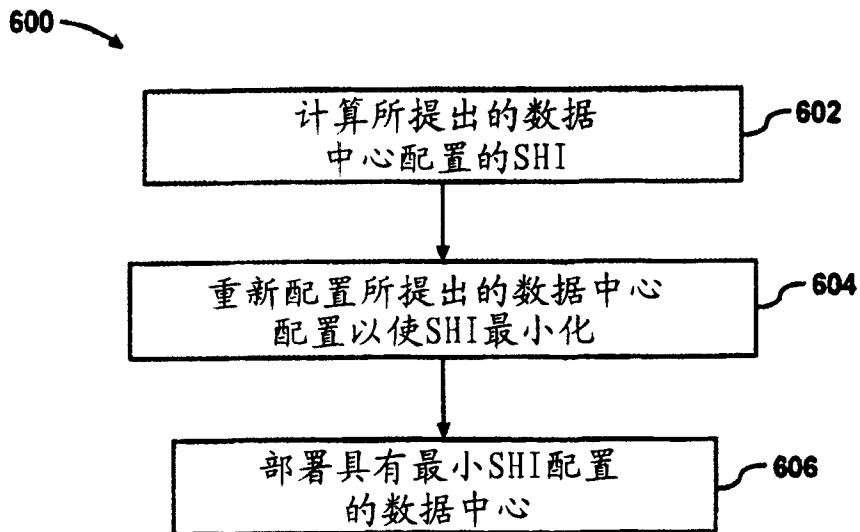


图 6

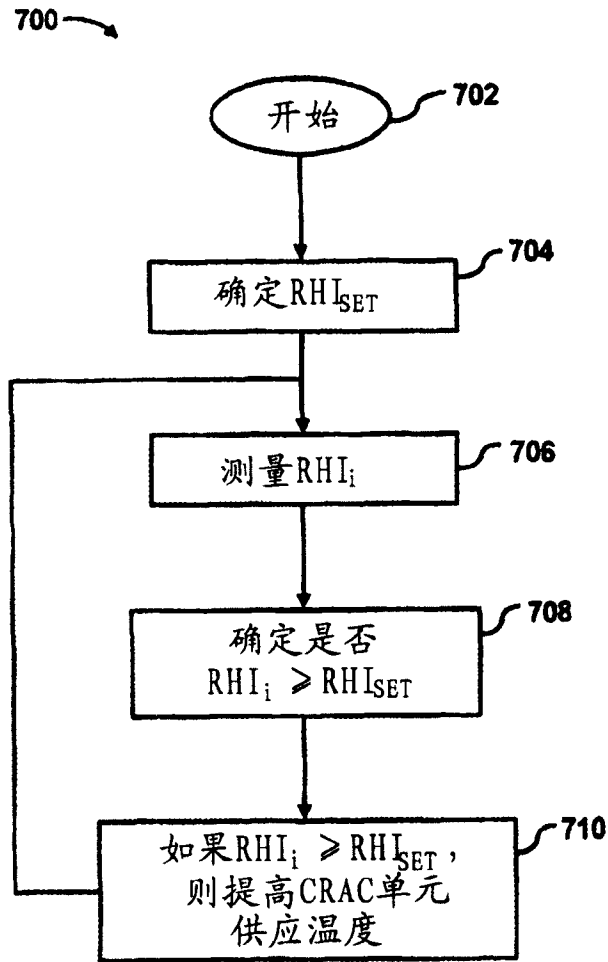


图 7

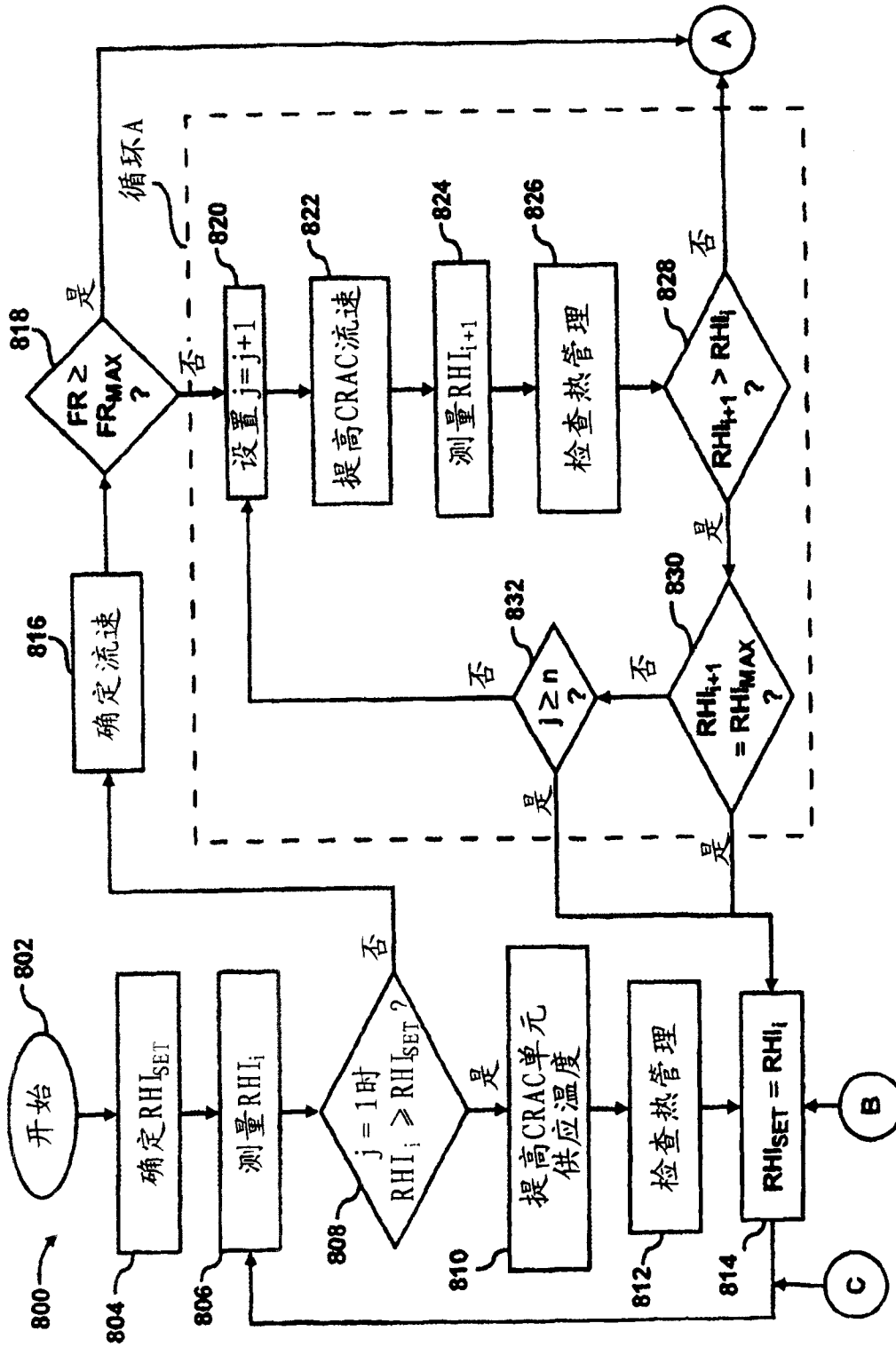


图 8A

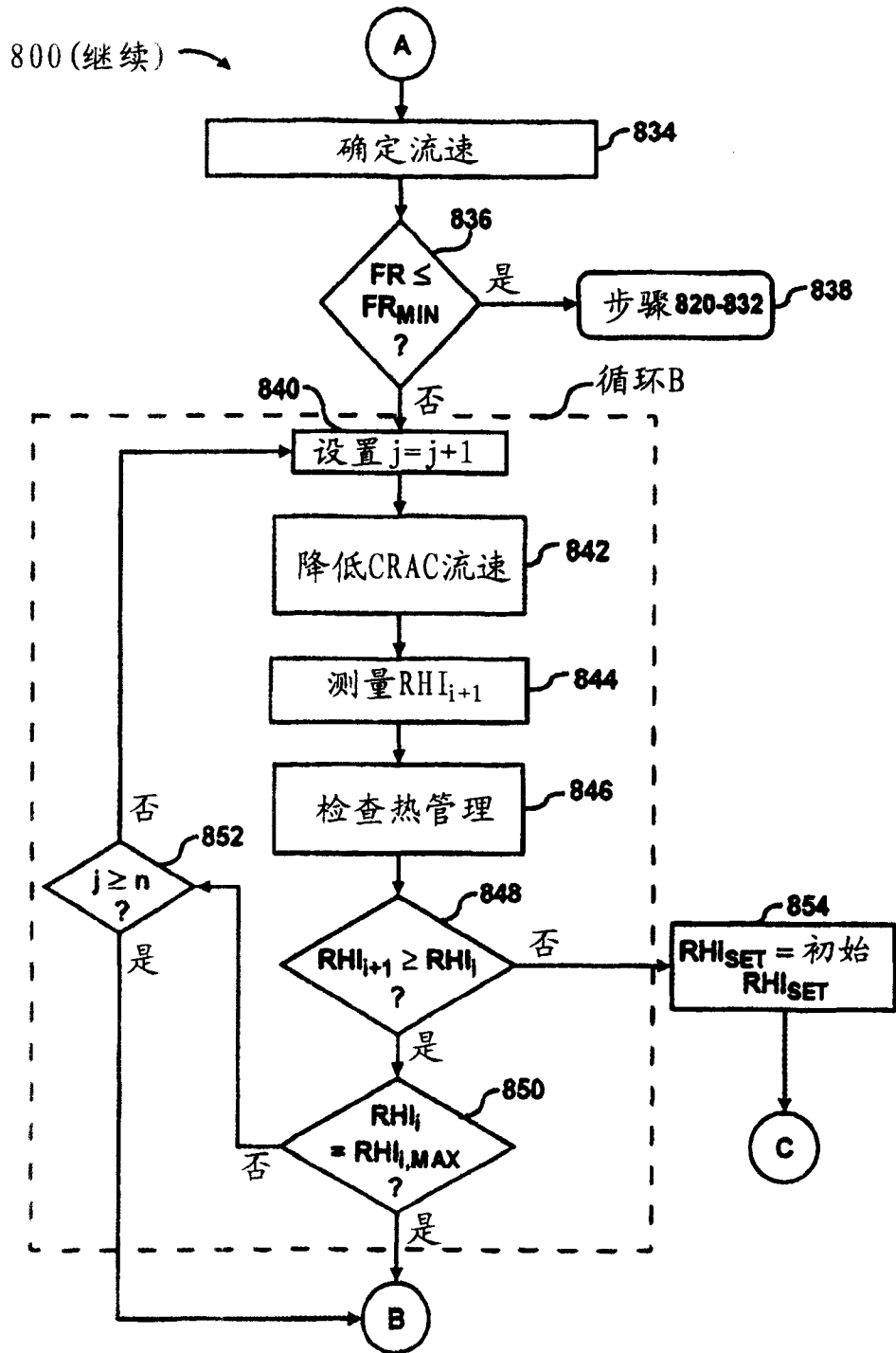


图 8B