



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101589656 B

(45) 授权公告日 2013. 05. 01

(21) 申请号 200880002857. X

(22) 申请日 2008. 01. 24

(30) 优先权数据

60/897, 076 2007. 01. 24 US

60/938, 034 2007. 05. 15 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 07. 22

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/051908 2008. 01. 24

(87) PCT申请的公布数据

W02008/092001 EN 2008. 07. 31

(73) 专利权人 美国能量变换公司

地址 美国罗得岛州

(72) 发明人 J·W·范吉尔德

S·K·沙瑞瓦斯塔瓦 张轩杭

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 过晓东

(51) Int. Cl.

H05K 7/20 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 2004/240514 A1, 2004. 12. 02, 全文.

US 2005/267639 A1, 2005. 12. 01, 全文.

W0 2006/119248 A2, 2006. 11. 09, 说明书第
15-61 页, 附图 1-18.

审查员 曹阳

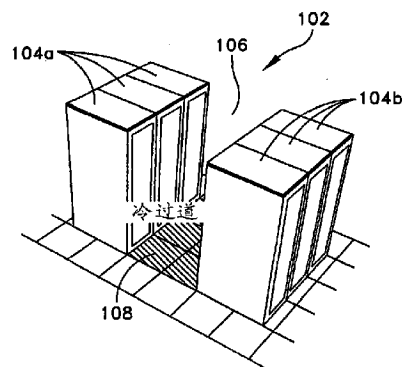
权利要求书3页 说明书27页 附图14页

(54) 发明名称

设备支架冷却性能的评估系统和方法

(57) 摘要

本发明的各个方面指向用来设计和分析数据中心的系统和方法。一个方面指向确定数据中心的冷却特性的方法。该方法包括接收与数据中心的设备配置有关的数据, 识别设备配置的支架群, 和确定至少一个支架群的至少一个设备支架的捕获指数。



冷过道(架空地板)群

1. 一种确定数据中心冷却特性的方法,该方法包括:
接收涉及数据中心的设备的配置的数据;
识别该设备配置的支架群,而且针对每个支架群确定该支架群是否是热过道群或是冷过道群;以及
为至少一个支架群是热过道群的至少一个设备支架确定热过道捕获指数或为至少一个支架群是冷过道群的至少一个设备支架确定冷过道捕获指数。
2. 根据权利要求1的方法,其中接收数据进一步包括接收涉及与设备相关联的气流和功率的信息。
3. 根据权利要求2的方法,其中与气流有关的信息包括那至少一个支架群可用的冷却空气的气流。
4. 根据权利要求3的方法,其中与气流有关的信息包括冷却空气的温度。
5. 根据权利要求2的方法,其中与气流有关的信息包括冷却器抽走的支架排放热风的气流。
6. 根据权利要求5的方法,其中与气流有关的信息包括支架热空气的排气温度。
7. 根据权利要求1的方法,其中支架群包括至少一个热过道群。
8. 根据权利要求1的方法,其中支架群包括至少一个冷过道群。
9. 根据权利要求1的方法,进一步包括选择选定的计算模型以用于根据设备配置的至少一部分确定所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数以及使用该选定的计算模型计算所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数。
10. 根据权利要求9的方法,其中选定的计算模型是代数模型。
11. 根据权利要求10的方法,其中代数模型以在支架处总捕获气流与总供应气流之比为基础计算热过道群中支架的热过道捕获指数,其中总捕获气流是基于在热过道群中所有冷却器的气流和从冷却器到支架的水平距离计算的,而总供应气流是基于该支架的气流、相邻支架的气流和相邻支架离开该支架的水平距离计算的。
12. 根据权利要求11的方法,其中总供应气流和总捕获气流是使用给该支架对面的成排支架的计算气流加权的耦合系数进一步计算的。
13. 根据权利要求10的方法,其中代数模型基于在该支架处总供应气流与总捕获气流之比计算有架空地板的冷过道群的支架的冷过道捕获指数,其中总捕获气流是基于该支架的气流、相邻支架的气流和相邻支架离开该支架的水平距离计算的,其中总供应气流是基于在该支架处与架空地板的地板砖的气流相关联的供应气流和地板砖离开该支架的几何学距离计算的。
14. 根据权利要求13的方法,其中总捕获气流是使用耦合系数进一步计算的以便给该支架对面的一排支架的计算气流加权。
15. 根据权利要求10的方法,其中代数模型基于在该支架处总供应气流与总捕获气流之比计算有架空地板和至少一个冷却器的冷过道群中的支架的冷过道捕获指数,其中总捕获气流是基于该支架的气流、相邻支架的气流和相邻支架离开该支架的水平距离计算的,而总供应气流是基于(1)在该支架处与架空地板的地板砖的气流和地板砖离开该支架的几何学距离有关的供应气流和(2)在冷过道群中冷却器的气流、冷却器的气流路径和冷却器离开该支架的水平距离计算的。

16. 根据权利要求 9 的方法,其中选定的计算模型是流体动力学计算模型。

17. 根据权利要求 9 的方法,其中选定的计算模型是神经网络模型。

18. 根据权利要求 9 的方法,其中选定的计算模型是 PDA-CFD 模型。

19. 根据权利要求 1 的方法,其中数据中心包括安排在一排设备支架中的至少一个行内冷却单元,而且该方法进一步包括基于与该行内冷却单元相关联的群内每个支架的热过道捕获指数确定回到那至少一个行内冷却单元的空气的温度。

20. 根据权利要求 1 的方法,进一步包括确定至少一个支架群的总逸失功率和提供总逸失功率的指示。

21. 根据权利要求 1 的方法,进一步包括将所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数与阈值进行比较和提供所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数是否在该阈值以下的指示。

22. 根据权利要求 21 的方法,进一步包括基于那至少一个群的支架有小于阈值的捕获指数的指示优化那至少一个群的布局并提供优化的布局图。

23. 一种数据中心管理系统,其中包括:

储存数据的存储器;以及

控制器,该控制器与存储器耦合并且被配置用以:

接收涉及数据中心设备配置的数据;

识别该设备配置的支架群,并且针对每个支架群确定该支架群究竟是热过道群还是冷过道群;以及

为至少一个支架群是热过道群的至少一个设备支架确定热过道捕获指数或为至少一个支架群是冷过道群的至少一个设备支架确定冷过道捕获指数。

24. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成接收涉及与设备相关联的气流和功率的信息。

25. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成以那至少一个支架群可利用的冷却空气气流为基础确定所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数。

26. 根据权利要求 25 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成以冷却空气的温度为基础确定所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数。

27. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成以冷却器抽走支架排放热风的气流为基础确定所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数。

28. 根据权利要求 27 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成以支架排放热风的温度为基础确定所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数。

29. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成确定有行内冷却器的热过道群的至少一个支架的热过道捕获指数。

30. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成确定一个接收来自架空地板的多孔地板砖的冷却空气的冷过道群的至少一个支架的冷过道捕获指数。

31. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成以群内与行内冷却单元相关联的每个支架的热过道捕获指数为基础确定返回至少一个行内冷却单元的空气的温度。

32. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成确定至少一个支架群的总逸失功率并且提供总逸失功率的指示。

33. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成把所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数与阈值进行比较并且提供所述冷过道捕获指数或热过道捕获指数是否低于阈值的指示。

34. 根据权利要求 33 的数据中心管理系统,其中控制器被进一步配置成以至少一个群的支架有小于阈值的捕获指数的指示为基础优化少一个群的布局并且提供优化的布局图。

35. 根据权利要求 23 的数据中心管理系统,进一步包括与控制器耦合的图解式输出装置,而且控制器被配置成把至少一个支架群的布局的图解式输出提供给图解式输出装置。

设备支架冷却性能的评估系统和方法

技术领域

[0001] 本发明的至少一个实施方案通常涉及用来分析和管理设备功率和冷却的方法和系统。

背景技术

[0002] 用于计算机、通信和其它电子设备的集中式数据中心已被使用许多年,最近随着英特网的逐渐增加的使用,为英特网服务供应商 (ISP)、应用程序服务供应商 (ASP) 和英特网内容供应商提供主机租赁服务的大规模数据中心正变得更盛行。典型的集中式数据中心包含很多设备支架,这些设备支架需要电力、冷却和与外部通信设施的连接。在现代的数据中心和网络室中,用于这些设施的计算设备的逐渐增加的密度已经增加了那些设施的供电和冷却系统的负担。过去,数据设备中用于每个设备机箱的典型的耗电量是大约 1 千瓦。随着在设备支架中服务器托板和其它高功率密度设备的使用,设备支架有 10 千瓦、甚至高达 25 千瓦的功率吸取并非罕见。

[0003] 通常,计算机设备消耗的功率被转变成热,而且设备的冷却需求是基于设备的功率需求确定的。典型的数据中心利用架空地板下面的强制通风空间分配通过数据中心的冷却空气。一个或多个计算机室空调机 (CRAC) 或计算机室空气处理器 (CRAH) 通常沿着数据室的外围分布,而且这些单元抽取从房间或天花板强制通风室返回的空气并且在架空地板之下分配冷却空气。多孔的地板砖可能被放在待冷却的设备支架的前面或下面以允许来自地板下面的冷却空气冷却该支架里面的设备。最近,行内冷却器已经用来从数据中心热过道抽取暖风并使凉风返回数据中心冷过道。

[0004] 随着计算机设备的冷却和功率需求逐渐增加,在最初设计设备之时和在可能添加新设备或替换设备之前确定在该设备中是否有可利用的适当的功率和冷却对于数据中心管理者是必不可少的。通常,数据中心管理者可能知道或能确定数据中心的总冷却能力就总功率提取而言是否是充份的。然而,设备中危险区域可能发展,尤其是在使用高功率密度设备的地方,而且只在设备水平分析冷却能力可能是不够的。为了尝试识别危险区域,数据中心管理者可能诉诸遍及设备的人工温度测量和尝试实现固定以纠正危险区域。这样的固定可能包括多孔地板嵌板的重新排列或替换、机箱的重新排列、和 / 或增加冷却能力。无论如何,这些固定通常是以反复试验为基础上进行的,而且当一些危险区域可能被消除的时候,该固定可能导致由于冷却空气在设备中变向而出现其它危险区域。这种尝试法能导致料想不到的设备故障,这在关键的数据中心中是无法接收的。为了避免这样的故障,数据中心管理者通常加大安全系数地设计设备而且无法充分发挥设备的全部能力。

发明内容

[0005] 无量纲的捕获指数 (CI) 是在至少一个实施方案中使用的冷却性能衡量标准而且以与供应给支架的凉风和从支架除去的热空气相关联的气流图为基础。捕获指数通常是逐支架的衡量标准,其数值在零和 100% 之间;较高的数值通常暗示冷却体系结构有好的冷

却性能和可缩放性。在一些实施方案中,捕获指数提供关于支架入口温度和其它冷却指标的附加信息。捕获指数的两个变量可能被用于至少一个实施方案,一个用于冷过道分析,而另一个用于热过道分析。

[0006] 本发明的一个方面指向确定数据中心冷却特性的方法。该方法包括接收涉及数据中心设备配置的数据,识别该设备配置的支架群并且针对每个支架群确定该支架群究竟是热过道群还是冷过道群,以及以确认至少一个支架群为热过道群或冷过道群为基础确定至少一个的支架群的至少一个设备支架的捕获指数。

[0007] 在该方法中,接收数据可能进一步包括接收涉及与设备相关联的气流和功率的信息,包括那至少一个支架群可利用的冷却空气气流和冷却空气的温度。此外,涉及气流的信息可能包括冷却器抽走支架排放热风的气流,而且可能包括支架排放热风的温度。支架群可能包括至少一个热过道群而且可能包括至少一个冷过道群。该方法可能进一步包括选择为至少部份地以设备配置为基础确定捕获指数选定的计算模型和使用选定的计算模型计算捕获指数。选定的计算模型可能是代数模型。在一个版本中,该代数模型以支架处的总捕获气流与总供应气流之比为基础计算热过道群中的支架的捕获指数,总捕获气流是基于热过道群中所有冷却器的气流和从冷却器到该支架的水平距离计算的,而总供应气流是基于该支架的气流、相邻支架的气流和相邻支架离开该支架的距离计算的。总供应气流和总捕获气流可能是使用给该支架对面的一排支架的计算气流加权的耦合系数进一步计算的。

[0008] 在该方法的另一个版本中,代数模型基于支架处总供应气流与总捕获气流之比计算在有架空地板的冷过道群中的支架的捕获指数,总捕获气流是基于该支架的气流、相邻支架的气流和相邻支架离开该支架的水平距离计算的,而总供应气流是基于支架处与架空地板的地板砖的气流相关联的供应气流和地板砖离开该支架的几何学距离计算的。总捕获气流可能是使用给支架对面的一排支架的计算气流加权的耦合系数计算的。

[0009] 在另一个版本中,代数模型基于支架处的总供应气流与总捕获气流之比计算有架空地板和至少一个冷却器的冷过道群中的支架的捕获指数,其中总捕获气流是基于该支架的气流、相邻支架的气流和相邻支架离开该支架的水平距离计算的,而总供应气流是基于(1) 支架处与架空地板的地板砖的气流相关联的供应气流和地板砖离开该支架的几何学距离和(2) 冷过道群中冷却器的气流、冷却器的气流路径和冷却器离开该支架的水平距离计算的。

[0010] 在该方法的其它版本中,选定的计算模型可能是计算流体动力学模型、神经网络模型或 PDA-CFD 模型。

[0011] 在该方法中,数据中心可能包括安排在一排设备支架中的至少一个行内冷却单元,而且该方法可能进一步包括基于在与行内冷却单元相关联的群里面每个支架的捕获指数确定返回那至少一个行内冷却单元的空气的温度。该方法可能进一步包括确定至少一个支架群的总逸失功率和提供总逸失功率的指示。该方法可能还包括把捕获指数与阈值进行比较并提供捕获指数是否低于阈值的指示。该方法可能包括将以至少一个群的支架有低于阈值的捕获指数的指示为基础优化至少一个群的布局并且提供优化的布局图。

[0012] 另一个方面指向有储存在它上面的指令序列的计算机易读媒体,该指令序列包括将导致处理器接收涉及数据中心设备配置的数据、识别该设备配置中的支架群并针对每个支架群确定该支架群究竟是热过道群还是冷过道群、以及以确认那至少一个支架群为热过

道群或冷过道群为基础确定至少一个支架群的至少一个设备支架的捕获指数的指令。

[0013] 该计算机易读媒体可能进一步包括将导致处理器接收涉及与设备相关联的气流和功率的信息的指令,而且可能包括将导致处理器以至少一个支架群可利用的冷却空气的气流和冷却空气的温度为基础确定捕获指数的指令。该指令序列可能进一步包括将导致处理器以被冷却器抽走支架排放热风的气流为基础确定捕获指数的指令和以支架排放热风的温度为基础确定捕获指数的指令。该指令序列可能进一步包括将导致处理器为一个有行内冷却器的热过道群的至少一个支架确定捕获指数的指令。该指令序列可能包括将导致处理器为一个接受来自架空地板的多孔地板砖的冷却空气的冷过道群的至少一个支架确定捕获指数的指令。数据中心可能包括安排在一排设备支架中的至少一个行内冷却单元,而且该指令序列可能进一步包括将导致处理器以在与行内冷却单元相关联的群内每个支架的捕获指数为基础确定返回至少一个行内冷却单元的空气的温度的指令。该指令序列可能包括将导致处理器确定至少一个支架群的总逸失功率和提供总逸失功率的指示的指令。该指令序列可能包括将导致处理器把捕获指数与阈值进行比较并提供捕获指数是否低于阈值的指示的指令。该指令序列可能包括将导致处理器以至少一个群的支架有低于阈值的捕获指数的指示为基础优化至少一个群的布局并提供优化布局图的指令。

[0014] 另一个方面指向数据中心管理系统。该数据中心管理系统包括用来储存数据的存储器和与存储器耦合的控制器,其中控制器被配置成接收涉及数据中心设备配置的数据、识别该设备配置的支架群并针对每个支架群确定该支架群究竟是热过道群或还是冷过道群、以及以确认那至少一个支架群为热过道群或冷过道群为基础确定至少一个支架群的至少一个设备支架的捕获指数。

[0015] 在该系统中,控制器可能配置成接收涉及与设备相关联的气流和功率的信息而且可能配置成以那至少一个支架群可利用的冷却空气的气流为基础确定捕获指数。控制器可能配置成以冷却空气的温度、冷却器抽走支架排放热风的气流和和支架排放热风的温度为基础确定捕获指数。控制器也可能被配置成确定有行内冷却器的热过道群的至少一个支架的捕获指数,和被配置成确定接受来自架空地板的多孔地板砖的冷却空气的一个冷过道群的至少一个支架的捕获指数。控制器可能被进一步配置成以在与行内冷却单元相关联的群内每个支架的捕获指数为基础确定返回至少一个行内冷却单元的空气的温度。控制器可能被进一步配置成确定至少一个支架群的总逸失功率并且提供总逸失功率的指示。控制器可能被进一步配置成把捕获指数与阈值进行比较并且提供捕获指数是否低于阈值的指示。控制器可能被进一步配置成以至少一个群的支架有低于阈值的捕获指数的指示为基础优化至少一个群的布局并且提供优化的布局图。该系统可能进一步包括与控制器耦合的图解式输出装置,而且控制器可能被配置成把至少一个支架群的布局的图解式输出提供给该图解式输出装置。

附图说明

[0016] 附图不打算依比例绘制,在附图中,在各种不同的附图中举例说明的每个同一的或几乎同一的组成部分是用相似的数字表示的。为了清楚,并非每个组成部分在每张附图中都被标注出来。在这些附图中:

[0017] 图 1a 展示在数据中心的冷过道周围的支架群;

- [0018] 图 1b 展示在数据中心的热过道周围的支架群；
- [0019] 图 2 展示一个实施方案的程序流程图；
- [0020] 图 3a 展示依照一个实施方案计算捕获指数的范例；
- [0021] 图 3b 展示在第二实施方案中计算捕获指数的范例；
- [0022] 图 4a 展示在一个实施方案中依照 CFD 计算在所用的冷过道周围的支架群范例；
- [0023] 图 4b 展示在一个实施方案中依照 CFD 计算在所用的热过道周围的支架群范例；
- [0024] 图 5a 和图 5b 展示依照一个实施方案计算宽广的群性能衡量标准；
- [0025] 图 6a 展示在一个实施方案用于冷却性能计算的支架群平面图；
- [0026] 图 6b 展示就冷却性能优化的图 6b 的支架群平面图；
- [0027] 图 7 展示依照一个实施方案的代数方法用于确定捕获指数的图表；
- [0028] 图 8a 和图 8b 示范依照至少一个实施方案使用的 PDA 边界条件；
- [0029] 图 9a 展示可以依照至少一个实施方案分析的数据中心的布局图；
- [0030] 图 9b 展示依照一个实施方案对图 9a 的一部分数据中心布局图完成的分析的结果；
- [0031] 图 10a 展示可以依照至少一个实施方案分析的数据中心的布局图；
- [0032] 图 10b 展示依照一个实施方案在图 10 的一部分数据中心布局上完成的分析的结果；
- [0033] 图 11a 和图 11b 展示本发明的 CI 计算方法用于两个不同的支架群的比较；
- [0034] 图 12a 和图 12b 展示图 11a 和图 11b 的支架群的优化布局图；
- [0035] 图 13 是可以用于本发明的实施方案的计算机系统的功能方框图；而
- [0036] 图 14 是可以连同图 13 的计算机系统一起使用的存储系统的功能方框图。

具体实施方式

[0037] 本发明的实施方案不局限于在下面的描述中陈述的和在附图中举例说明的组成部分的构造和安排的细节。本发明的实施方案能够以各种不同的方式实践或实施。另外，在此使用的措辞和术语是为了描述而不应该被视为限制。“包括”、“包含”、“有”、“包含”“涉及”及其变化的运用意味着囊括其后列出的项目及其同等物以及附加的项目。在数据中心里面，电子设备的支架通常是成行安排的，冷却空气是经由架空地板通过多孔地板砖供应的。暖风通常回到房间环境并最后回到位于房间周界周围的冷却单元。另一个选项是直接把冷却单元定位在数排支架里面或周围以便在支架负载和冷却资源之间提供紧密的匹配，而且因为所有必需的冷却是局部提供的，所以这样的设计自然是可缩放的。采用任一体系结构，设备往往被安排在交替的冷热过道中以促使冷风补给流和暖风返回流更好的分离。虽然这样的设备安排能用来更有效地为数据中心的设备提供冷却，但是数据中心管理者无法精确地确定数据中心的冷却性能仍然能导致昂贵的数据中心超裕度设计而且可能导致设备由于过热发生故障。在此通过引证被并入的于 2006 年 1 月 27 日以“Methods and Systems for Managing Facility Power and Cooling”为题申请的美国专利申请第 11/342,300 号揭示了用来分析有数排设备支架的数据中心的冷却性能的系统和方法。在提及的申请中，气流分析用来使用若干不同的衡量标准（包括捕获指数（CI））评估数据中心的冷却性能。在此讨论的其它衡量标准包括再循环指数（RI）、供应热指数（SHI）、返回热指数（RHI）和逆向

冷却指数 (RCI)。返回热指数 (RHI) 和供应热指数 (SHI) 以焓为基础度量冷风供应流和和暖风返回流的分离程度,因此,是以温度为基础的。逆向冷却指数 (RCI) 是数据中心中多样的支架保持在某个推荐的入口温度范围内的程度的度量。在提及的申请中,支架的捕获指数被定义为被支架释放到热过道之中被标明热过道边界的冷却单元捕获的空气的百分比。至少一个在此讨论的实施方案指向用来把捕获指数衡量标准用于热过道和冷过道分析和优化数据中心的冷却性能的系统 and / 或方法。支架的冷过道捕获指数在一个实施方案中被定义为起源于本地冷却资源 (例如,多孔地板砖或本地冷却器) 被支架摄取的空气的分数,而热过道捕获指数在一个实施方案中被定义为支架排放的空气被本地抽取物 (例如,本地冷却器或回风口) 捕获的比例。

[0038] 图 1a 展示架空地板环境中简单的冷过道群 102。该群 102 包括安排在第一排中的设备支架 104a 和安排在第二排中的设备支架 104b,设备支架 104a 的正面面对设备支架 104b 的正面。冷过道 106 把第一排与第二排分开,该冷过道包括架空地板的多孔地板砖 108 为支架上的设备提供凉风。设备支架 104a 和 104b 配置成接受进入支架正面用于设备的凉风和排放从支架背面出来的暖风。在至少一个在此描述的实施方案中,保证所有的支架入口温度维持在指定的范围之内是设计目标。所用的策略是保证支架主要摄取来自多孔地板砖的冷却气流而不是已经被电子设备加热的再循环的暖风。支架可能有完全不同的气流需求,而且可能在可能包括整个冷过道的近邻区域中彼此竞争由所有的多孔地板砖供应的冷却气流。因此,确定冷却性能是冷过道里面和周围的气流动力学 - 连同送风温度和环境室温一起,而冷过道群是特别有用的设计和用于特定的实施方案的分析单元。

[0039] 图 1b 展示在有本地行内冷却器 120 的硬地板环境中简单的热过道群 112。群 112 包括安排在第一排中的设备支架 114a 和安排在第二排中的设备支架 114b,设备支架 114a 的背面面对设备支架 114b 的背面。设备支架 114a 和 114b 配置成接受进入支架正面用于设备的凉风并且把从支架背面出来的暖风排放到热过道中。图中每个行内冷却器 120 都是一半支架宽度的冷却单元,该冷却单元把暖风从热过道里抽走并且把凉风提供给支架 114a 和支架 114b 以及其它相邻支架 (未展示) 的正面。在特定的实施方案中,当支架排放的热风被就地捕获的时候 (如图 1b 所示),可能使用“房间中立”设计策略,其中本地冷却器 (或回风口) 被配置成捕获大部份热支架排放的气流同时把冷却空气在室温下或在室温附近提供给冷过道。如果房间中立目标得以实现,许多这样的群可能在数据中心各处展开,整个房间环境没有或小几乎没有净加热,而且所有的设备入口将接受统一调节的空气。因此,该冷却设计是“可缩放的”。至少在一些使用房间中立设计策略的实施方案中,热过道实际上是封闭的,借此使它与周围的数据中心环境隔离。因此,它是在热过道里面和周围的气流动力学,这将决定房间中立设计策略的成功,所以,热过道群至少在本发明的一些实施方案中是特别有用的设计和分析单元。

[0040] 因为每个支架的捕获指数至少在一些实施方案中是参照本地冷却资源 (例如,支架附近的多孔地板砖气流或冷却器吸取气流) 定义的,所以讨论和范例在此集中在个别的群上。然而,捕获指数在实施方案中的运用不局限于图 1a 和 1b 所示的群的类型;举例来说,冷过道群可能被定义为由若干甚至不需要直接与支架毗连的多孔地板砖服务的单排支架。

[0041] 依照前面的讨论,支架的冷过道捕获指数至少在一些实施方案中被定义为起源于

本地冷却资源（例如，多孔地板砖或本地冷却器）被支架摄取的空气的分数。热过道捕获指数被定义为支架排放的空气被本地抽取物（例如，本地冷却器或回风口）捕获的比例。所以，CI 在 0 和 100% 之间变化，较好的冷却性能通常用较大的 CI 值表示。在冷过道分析中，高的 CI 值保证支架摄取的大部分空气来自本地冷却资源而不是从房间环境或可能已经被电子设备加热的空气抽取的。在这种情况下，支架入口温度将接近地跟踪多孔地板砖气流温度，假定这些温度在预期的范围之内，可接收的冷却将被实现。在热过道分析中，高的 CI 值保证支架排气被就地捕获和对周围房间环境有一点点加热。

[0042] 虽然好的（高的）CI 值通常暗示好的冷却性能；但是低的 CI 值并非必定暗示无法接收的冷却性能。举例来说，对于在从周围的房间环境而不是从多孔地板砖抽取其大部分气流的架空地板环境中的支架，支架的冷过道 CI 将很低；然而，如果周围的房间环境足够凉爽，那么支架的入口温度可能仍然是可接收的。在这种情况下，支架的冷却需求是靠外部的房间环境而不是靠支架群里面的多孔地板砖满足的。如果这个过程在数据中心被重复许多次，那么设备冷却将是复杂的而且可能是不可预知的。高的 CI 值自然导致可缩放的群布局 and 更可预期的房间环境。

[0043] 在上面的实施方案中，CI 已经被定义为与本地冷却资源相关的支架级量。在其它的实施方案中，CI 的定义可能延伸到入口和出口的任何编组，举例来说，以单一多孔地板砖为基准的单一服务器。在这种情况下，该衡量标准将指出起源于单一多孔地板砖被服务器摄取的气流的分数。

[0044] 至少在一些实施方案中捕获指数量化“支架入口气流起源于哪里”（冷过道 CI）或“排气气流最后流到哪里”（热过道 CI）。至少在一些实施方案中，CI 是相对于本地冷却资源针对每个支架计算的，所以，量化本地提供的冷却和周围房间环境引起的冷却之间的断裂。举例来说（图 3A），在 CI 为 65% 的架空地板冷过道群中支架接受的冷却气流 65% 来自它自己的冷过道，而剩余的 35% 来自房间环境。因此，CI 是对冷却解决方案的房间独立性和可缩放性的逐个支架度量。

[0045] 在至少一个实施方案中，捕获指数衡量标准在数据中心管理应用程序里面用来评估数据中心的冷却性能和优化该冷却性能。评估和最佳化可能是作为数据中心的初始设计部份、作为数据中心的翻新改造部份或在现有的数据中心中定期地完成的。除此之外，至少在一些实施方案中，行内冷却器的回凉温度可能是作为分析部份确定的，并且被用来优化数据中心的冷却性能和保证冷却器有效地操作。数据中心管理应用程序可能与其它的应用程序协同定位在数据中心的服务器上，可能在专用服务器上运行，和 / 或可能并入现有的数据中心管理解决方案，例如，可从 WestKingston, RI. 的美国能量转换公司 (American Power Conversion Corporation) 购买的 InfraStruXure Central 和 InfraStruXure Manager。

[0046] 现在将参照展示程序 200 的流程图的图 2 描述依照至少一个实施方案使用数据中心管理应用程序设计和分析数据中心的程序 200。在该程序的第一阶段 202，数据中心的初始布局被确定下来。该布局可能适合于新的数据中心，适合于现有的数据中心，或适合于待升级的数据中心。在一个实施方案中，该布局可能被提供给使用，举例来说，现有的 CAD 信息的应用程序，在其它的实施方案中，该布局可能由前面提及的美国专利申请第 11/342,300 号进一步描述的应用程序自动确定。

[0047] 在该程序的下一个阶段 204, 识别该布局中的支架群, 其中那些支架群通常由长度近似相等被冷过道或热过道彼此分开的两排平行的设备组成。热过道群、冷过道群和混合模式群被识别。冷过道群通常用于分析使用架空地板冷却的群, 而热过道群通常用于分析利用行内冷却器的群。除了热过道群和冷过道群之外, 特定的支架群在使用行内冷却器和多孔地板砖冷却的时候可能被确认为混合模式群。就混合模式群而言, 在至少一个实施方案中, 使用冷过道 CI 分析。在一个实施方案中, 支架可能被包含在不止一个群中, 而且那些支架的 CI 可能是针对每个群中这样的支架计算的。当多样的 CI 值被确定用于某个支架的时候, 较高的 CI 在分析中被选定作为适合该支架的 CI, 然而, 在其它的实施方案中, 可能使用较低的 CI, 可能使用两者, 或可能使用 CI 值的平均值或某种其它数学组合。

[0048] 在该程序的下一个阶段 206, 某个群被选定, 而且在阶段 208 对选定的群进行捕获指数分析并且为该群中的每个支架确定捕获指数。关于展示分析的细节将在下面进一步提供。依照下面的讨论, 在本发明的实施方案中, 若干不同的计算方法可能用来确定捕获指数。

[0049] 在该程序的阶段 210, 将该群中每个支架的 CI 与某个阈值进行比较, 该阈值可能取决于最大的目标支架入口温度和补给气流温度之间的温差, 其中补给气流包括多孔地板砖和冷却器供应的冷却气流。当目标温度和补给温度之间的差减少的时候, 用于“好的”冷却性能的 CI 阈值增加。在一个实施方案中, 数据中心管理应用程序将在显示屏上提供该群的 CI 结果。在荧屏上, CI 的计算值能连同绿色、黄色和红色之类的色码一起显示, 以便指出该支架的 CI 是令人满意的 (绿色)、不令人满意的 (红色) 或边缘的 (黄色)。如果群中的每个支架都有令人满意的结果, 那么该程序在阶段 212 确定是否有更多的群被要分析。如果阶段 212 的结果是肯定的 (YES), 该程序回到阶段 206, 选定并分析下一群。如果阶段 212 的结果是否定的 (NO), 那么该程序在阶段 214 结束。如果阶段 210 的结果是否定的 (NO), 那么该程序继续进行到优化阶段 216, 在那里优化该群的布局以改善性能。在优化之后, 程序回到阶段 206, 针对优化的布局确定 CI。

[0050] 在优化程序期间, 支架和冷却器在群中的位置、所用冷却器的类型、穿孔面板的位置和其它变量都可以被优化, 直到群中每个支架的 CI 都大于阈值。在至少一个实施方案中, 该优化程序可能是借助数据中心管理应用程序自动化和运行的, 在其它的实施方案中, 可能要求用户修改数据中心设计以便优化冷却性能。依然在其它的实施方案中, 优化程序可能包括自动优化和用户输入的组合。关于优化程序的细节将在下面进一步提供。

[0051] 使用上述程序 200, 捕获指数衡量标准能用来产生有令人满意的冷却性能的数据中心布局。现在将进一步详细地描述关于在本发明的实施方案中使用 CI 的特定范例和进一步的细节。依照前面的讨论, 衡量标准 CI 能用来优化支架和冷却器在有与图 1b 所示的那个相似的本地冷却器的热过道群中的布置。该群的设计目标在至少一个实施方案中是保证全部支架排气都被冷却器捕获, 以致没有对房间的净加热。在这种情况下, 逐个支架的 CI 值明确地表示每个支架的气流有多少被捕获, 所以适当的设计变化可能被实现, 直到可接受的 (或最佳的) 解决方案被发现。在这种情况下, 支架入口温度和基于温度的指标仅仅指出热支架排气未被完全捕获的征兆, 而 CI 值识别引起支架入口温度升高的支架。通过识别问题支架, 发现设计解决方案通常是非常直截了当的程序。举例来说, 可以移动电子设备或计算机负载, 可以增添冷却器或可以按自然法则容纳个别支架或整个热过道的排气。下

面提供举例说明使用 CI 值优化本地冷却器环境中的热过道群布局的范例。

[0052] 采用架空地板环境中,通常不能使用房间中立设计策略,因为支架排放的热风“经过房间”回到冷却单元。在这种情况下,CI 分析焦点在冷过道而不是热过道里面和周围的气流和温度上,而且支架入口温度明确地鉴别问题支架,所以适当的设计变化可以实现,直到可接受的(或最佳的)解决方案被发现。举例来说,可能移动电子设备或计算机负荷,可能改变多孔地板砖的类型和位置,或可能添加附加的冷却单元。在架空地板环境(或冷过道是设计焦点的其它环境)下,为什么 CI 值在补充或顶替支架入口温度方面是有用的,有两个主要理由。第一,依照上面的讨论,CI 值指出冷却资源是从哪里提供的,并因此度量设计的与房间无关性和可缩放性。虽然安排固定的一组设备可能有多样的方法全能产生可接受的,甚至理想的支架入口温度,但是最好的布局可能是对房间环境影响最少的那一个。群对房间环境的全部影响能依据下面讨论的总逸失功率(以 CI 为基础的全群衡量标准)确定。第二,在一些应用程序中,即使在不能预测温度的时候也能以某种精确度预测气流图。

[0053] 在至少一个实施方案中,每个支架的 CI 是基于计算流体动力学(CFD)或相似的模拟计算的。为了计算 CI,在冷过道中被支架摄取的和在热过道分析中被冷却器摄取的气流源被定量地确定下来。这能通过策略地把一个或多个被动的浓缩物种引进数字模型来实现,其中物种 i 在流体中任何点的浓度被定义为:

[0054]

$$C^i = \frac{\text{物品质量 } i}{\text{流体总质量}} \quad (1)$$

[0055] 其中“流体”在这里指的是空气和所有的浓缩物种。每个浓缩物种被赋予与数据中心空气相同的物理性质;它的作用是独自地充当被动的跟踪者。通常,在冷却空气补给口或支架排气口的浓缩物种在数字模型中被规定为数值“1”,换句话说,冷却或支架排气流变成完全由被动的跟踪者浓缩物组成的。当浓缩物种在冷或热过道里面和周围旅行的时候,它们与其它的流体混合;然后,在支架或冷却器入口计算的浓缩物种稀释量能用来计算捕获指数。

[0056] 前面概略说明的技术是通过 CFD 分析实现的,其中物种守恒方程可以连同其它控制气流的守恒方程一起同时地求解。作为替代,因为被动的浓缩物种不影响气流图,所以浓缩物分布可以与已知的气流分开确定;举例来说,作为后处理步骤。

[0057] 在冷过道群中每个支架的 CI 是作为直接来自群内的多孔地板砖或冷却器的支架气流的分数计算的。因此,只有一个浓缩物种(C^1 或简单地 C)需要定义,而且被用来识别从所有的多孔地板砖或本地冷却器显露出来的空气。所有进入群的冷却气流通常被赋予浓度 $C_{\text{冷却}}$,而每个支架 i 处的捕获指数能被依照下式计算:

[0058]

$$CI_i = \frac{C_i}{C_{\text{冷却}}} \quad (2)$$

[0059] 其中 C_i 是在支架 i 的入口处的浓度。由于 $C_{\text{冷却}}$ 的值是任意的,所以在数字分析中设定 $C_{\text{冷却}} = 1$ 是方便的,从而使捕获指数变成数字上与在每个支架处计算的入口浓度相等:

$$[0060] \quad CI_i = C_i \quad (3)$$

[0061] 请注意:并非冷却气流所有的本地来源需要被赋予 $C_{\text{冷却}}$ 的数值。举例来说,如果来

自唯一的一块多孔地板砖的气流是用 $C_{\text{冷却}}$ “作标记”的,那么计算的捕获指数将指出多少支架的气流来源于那块多孔地板砖。

[0062] 图 3a 展示在架空地板环境中为支架 230 计算冷过道捕获指数的简单范例。浓度 $C = 1$ 被规定给多孔地板砖气流。一部分支架气流直接来自多孔地板砖,而且剩余部分由从房间环境或支架排气抽取的空气组成。两股气流混合,而且数字分析表明在支架入口的浓度是 $C = 0.75$,而且基于方程 3 捕获指数是 75%。与冷过道捕获指数的定义一致,图 3a 展示支架气流的 75% 直接来自多孔地板砖: $CI = 675/900 = 0.75$ 。

[0063] 在热过道群中每个支架的 CI 能作为被支架群内所有冷却器捕获的支架气流的分数的计算。为了跟踪来自每个支架的气流,一个浓缩物种 C^i 用来个别地识别来自每个支架的排气。(替代方法将是使用单一物种浓度而且改为每次只对一个支架计算 CI,从而完成的计算次数与覆盖群中所有的支架所需要的次数一样多)。从支架 i 排放的并被冷却器(或本地抽取物) j 捕获的空气的分数是

$$[0064] \quad f_{ij} = \frac{C_j^i Q_j}{C_i^i Q_i} \quad (4)$$

[0065] 其中:

[0066] C_i^i 是在排气或支架 i 处规定的物种 i 的浓度

[0067] C_j^i 是在冷却器 j 的入口计算的物种 i 的浓度

[0068] Q_i 是经过支架 i 的体积空气流速

[0069] Q_j 是经过冷却器 j 的体积空气流速

[0070] 为了方便,浓度和支架指标相对应。举例来说,浓缩物种 1 被指定给支架 1 的排气,浓缩物种 2 被指定给支架 2 的排气,依此类推。方程 4 的 f_{ij}^i 在本发明的实施方案中可能是独自有用的,因为它精确地量化来自每个支架的多少气流被本地群中的每个特定的冷却器捕获。捕获指数是对所有的 N 个本地冷却器求和的从支架 i 排出并被冷却器 j 捕获的空气分数之和:

$$[0071] \quad CI_i = \sum_{j=1}^N \frac{C_j^i Q_j}{C_i^i Q_i} \quad (5)$$

[0072] 因为 C_i^i 的数值是任意的,所以在数字分析中设定 $C_i^i = 1$ 是方便的,从而使捕获指数变成:

$$[0073] \quad CI_i = \sum_{j=1}^N \frac{C_j^i Q_j}{Q_i} \quad (6)$$

[0074] 与冷过道捕获指数不同,热过道捕获指数计算取决于支架(和冷却器)空气流速。出现差别是因为当考虑支架空气流速定义 CI 的两个变量的时候,在冷过道分析中感兴趣的计算值是支架入口浓度,而在热过道分析中的那些是冷却器入口浓度。

[0075] 在上述的讨论中,捕获指数是参照本地冷却器计算的。为了确定多少来自每个支架的气流最后流到任何抽取物(例如,位于房间周界附近的传统的冷却单元或在邻近支架群中的本地冷却器),可能遵从相同的程序。

[0076] 图 3b 展示在有行内冷却器 250 的本地冷却器环境中为支架 240 计算热过道捕获指数的简单范例。浓度 $C = 1$ (用来识别浓缩物种的上标是不必要的,因为在该范例中只有一个支架并因此只有一个感兴趣的浓缩物种)是在支架排气口规定的。支架的一部分排气

被冷却器 250 捕获,而剩余部分漏失到房间环境之中。冷却器从感兴趣的支架和其它支架或房间环境抽取气流。数字分析表明抽取物在冷却器 250 处的浓度是 $C = 0.35$,如图 3b 所示,基于方程 6 计算的 $CI = 0.78$ 。与热过道捕获指数的定义一致,图 3b 表示 78%的支架气流被冷却器捕获: $CI = 702/900 = 0.78$ 。因为 CI 总是介于 0 和 1 之间的数字,所以方程 6 限制与群中每个支架相关联的实际上可能的冷却器入口浓度。

[0077] 为了论证冷过道和热过道捕获指数的计算和物理解释,现在将用 CFD 分析分析图 1a 和图 1b 的群。CFD 软件程序可从许多来源获得,在一个实施方案中,CFD 分析是使用从 Flomerics, Group PLC, Surrey, UK. 购买的软件 Flovent Software v6.1 完成的。在两种情况中除了在冷过道范例中气流统一地经过天花板排出之外都假定小密封室环境。作为替代,在冷过道范例中,包括架空地板强制通风空间在内整个数据中心环境都可以模拟。在冷过道和热过道之中和周围的气流图和这样计算的 CI 将略微不同;然而, CI 的计算技术和物理解释将是相同的。

[0078] 图 4a 和图 4b 展示分配给每个支架 104a、104b、114a、114b 的功率值和识别标记。为了这项分析简便,支架气流以假定的 20°F 为基础量出横跨每个支架的温升。支架被模型化为有前后气流的简单的“黑框”。在冷过道范例中多孔地板砖以每块地板砖每分钟 350 立方英尺的速度送风;在热过道范例中一半支架宽度的冷却器被模型化为黑框,每个黑框有相对于支架气流在相反方向的每分钟 2900 立方英尺的前后气流。在不同的实施方案中,为了适应特定的房间、支架和设备参数,这些假定可能改变。

[0079] 在冷过道范例中,图 4(a), $C = 1$ 被指定给从多孔地板砖显露出来的气流。在 CFD 模拟中计算的支架入口浓度数字上等于预期的 CI 值。结果在表 1 中概述。

[0080] 表 1- 冷过道范例摘要

[0081]

支架	功率(kw)	气流 (cfm)	C 在支架入口	CI
A1	3	480	0.49	49%
A2	7	1120	0.84	84%
A3	2	320	0.67	67%
B1	5	800	0.26	26%
B2	2	320	0.67	67%
B3	4	640	0.28	28%

[0082] 在 CI 值非常低的情况下,支架 B1 接受直接来自多孔地板砖的一点点气流。相反,支架 A2 由于 CI 值大得多接受大部分直接来自多孔地板砖的气流。从低的 CI 值(和图 4a)显然该冷却性能有可能是无法接受的,而且这个群布局不代表可缩放的解决方案。

[0083] 在图 4b 的热过道范例中,使用 5 个浓缩物种,群中的每个支架分配到一个。浓度 $C_1^1 = 1$ 被分配给支架 A1 的排气, $C_2^2 = 1$ 被分配给支架 A2 的排气,依此类推,直到把 $C_5^5 =$

1 分配给支架 B3。冷却器入口浓度是使用 CFD 模拟获得的,而 CI 值是依照方程 6 计算的。举例来说,与支架 B1 有关的 CI 参照表 2 计算如下:

$$[0084] \quad CI = \left(\frac{2900}{320} \right) (0.089 + 0.012) = 0.91 \quad (7)$$

[0085] 表 2- 热过道范例摘要

[0086]

支架	功率 (kw)	气流 (cfm)	C 在冷却器吸取		CI
			冷却器 A1	冷却器 A2	
A1	8	1280	0.426	0.010	99%
A2	5	800	0.008	0.215	81%
B1	2	320	0.089	0.012	91%
B2	12	1920	0.244	0.405	98%
B3	9	1440	0.031	0.299	66%

[0087] 在 CI 值为 66% 的情况下,来自支架 B3 的气流 34% 未被冷却器捕获,而是逃避热过道。此外,离开支架 A1 的气流大部份被冷却器捕获 (依照方程 6 的计算,97% 被冷却器 A1 捕获和 2% 被冷却器 A2 捕获)。虽然热过道群的冷却性能可能比冷过道群的好,但是低的 CI 值指出该冷却性能可能仍然是无法接收的,而且该群或许不是可缩放的解决方案。

[0088] 依照前面的讨论,支架级捕获指数测量本地供应的支架冷却资源的分数。然而,为了相对于另一个比较整个群的总体性能和可缩放性,全群衡量标准可能被用于本发明的实施方案。在至少本发明的一个实施方案中,在程序 200 结束之时,管理应用程序确定来自支架群的总逸失功率,而且能优化该群的布局,以便进一步减少该群的总逸失功率,同时维持对于该群中每个支架有利的捕获指数。

[0089] 总逸失功率将参照图 5a 和图 5b 所示的简单的本地冷却器冷过道群 260 和简单的热过道群 280 进一步讨论。在冷过道分析中,“其它冷却空气”代表未被捕获遗失到房间环境中的冷却气流,而在热过道分析中,“其它热风”代表来自其它支架和房间环境的暖风。指出的温度是假定的,作为在整个支架入口和排气和冷却器抽取物和补给上取得的平均值。对于任一种分析,支架气流能分成两个部份:CI 和 Q_r 的乘积是支架气流的“令人想要的”部分;剩余部分, $(1-CI)Q_r$, 是“不受欢迎的”部分。

[0090] 在热过道分析的情况下,目标是将数据中心外部环境的加热减到最少。参照图 5b,这个逸失功率等同于那部分离开该群的支架排气气流的焓升:

$$[0091] \quad P_{\text{逸失的}} = (1-CI) \rho Q_r c_p (T_{r, \text{exh}} - T_{r, \text{in}}) = (1-CI)P \quad (8)$$

[0092] 其中:

[0093] ρ 是空气密度

[0094] Q_r 是支架体积空气流速

[0095] c_p 是空气在恒定压力下的比热

[0096] $T_{r, \text{exh}}$ 是支架排气温度

[0097] $T_{r, \text{in}}$ 是支架入口温度

[0098] P 是总支架功率

[0099] 逃离该群的总功率是方程 8 对全部 n 个支架求和

[0100]

$$P_{\text{总逸失的}} = \sum_{i=1}^n (1 - CI_i) P_i \quad (9)$$

[0101] 在冷过道群的情况下,使外部房间环境提供给该群的冷却量减到最少是令人想要的。参照图 5a,这个冷却功率等同于那部分从外部房间环境抽取的支架气流的焓升,可以这样计算:

$$P_{\text{外部冷却}} = (1 - CI) \rho Q_r c_p (T_{r, \text{exh}} - T_{r, \text{in}}) = (1 - CI) P \quad (10)$$

[0103] 房间提供的总的外部冷却功率是方程 10 对全部 n 个支架求和:

[0104]

$$P_{\text{外部总冷却}} = \sum_{i=1}^n (1 - CI_i) P_i \quad (11)$$

[0105] 因此,就冷过道分析或热过道分析而言,对数据中心环境的净加热 / 净冷却影响最小的布局作为整体可以通过将等式 (11) 的右边部分减到最小获得,该部分为了简便至少在一些实施方案中被称为用于冷和热过道应用程序的总逸失功率。

[0106] 当然,过度提供冷却以致总逸失功率等于零总是可能的,然而这样的布局从能源效率来看可能不是最佳的;在理想的情况下,当总逸失功率将为零的时候,总冷却器气流将与总支架气流相匹配。此外,因为 CI 只是以气流为基础,将总逸失功率减到最少不必暗示支架入口温度将被减到最低或,的确,甚至在预期的操作范围之内。举例来说,这将是冷却资源实质上欠缺的情形。总逸失功率衡量标准允许根据对房间环境的净加热 / 净冷却影响将整个群与另一个群进行比较,而且对于优化群的布局是特别有用的。举例来说,一些替代布局以入口温度为基础可能是可接受的(事实上,所有的入口温度都可能在某个理想水平,例如, 72°F);然而,以总逸失功率为基础识别最好的布局仍然是可能的。

[0107] 现在将描述依照一个实施方案使用总逸失功率衡量标准与捕获指数组合优化群布局的范例。图 6a 和图 6b 展示组成热过道群的支架和冷却器的固定总体的两种替代安排。图 6a 展示初始的布局,而图 6b 展示优化的布局,后者依照下面的讨论能借助 CI 和总逸失功率被确认。虽然周围环境未在图中展示,但是本地冷却器是位于 22 英尺宽、18 英尺纵深和 12 英尺高的单间中的唯一的设备。(请注意:整个数据中心可能是以同一方式考虑的,没有普遍性的损失)。冷却器以每分钟 2720 立方英尺的速率供应 68°F 的空气;支架功率是在图中指出的而空气流速以跨过支架 20°F 温升为基础。对于该群,总冷却气流与支架气流之比大约为 1.4。支架入口温度与依照 ASHRAE (2004) 对类 (Class) 1 设备的要求一样预期将在 68°F 到 77°F 的范围中。因为冷却器以 68°F 供应气流,我们只需要考虑与温度上限相关的性能。气流和温度是利用 CFD 模拟确定的,并且计算的支架级衡量标准 (SHI 、支架入口温度最大值和 CI) 和群级衡量标准 (净逸失功率、 SHI 和 RCI_{net}) 都展示在图中。

[0108] 图 6a 展示代表支架和冷却器的任意但现实的安排的初始布局。冷却性能如同

98%的 RCI_{hi} 指出的那样接近依从 ASHRAE (2004), 只有两个支架略微高于推荐的温度最大值 $77^{\circ} F$ 。计算的入口温度指出哪个支架是“不合格的”, 但是它们不揭示导致这两个支架过度接受暖风的东西。为了了解温度超标的原因, 考虑 CI 值。那两个超标支架的 CI 值相当高, 因此, 过高的入口温度不可能是它们自己排气的结果。更有可能, 棘手的暖风起源于对面的 (较低的) 有相对低的 CI 值 (在 82-84% 范围内) 的那排支架。周围房间环境的全部加热的度量是由对于初始布局为 6.6 千瓦的总逸失功率提供的。该范例群在密封环境中; 所以, 对于所考虑的稳态条件在支架和冷却器总功率之间存在某种平衡。相反, 总逸失功率量化未被冷却器直接捕获的暖风的加热效应; 对于这个范例, 未被冷却器直接捕获的暖风经过支架再次循环。如果整个数据中心都被考虑, 未捕获的暖风可以影响数据中心的邻近支架或任何其它部份。

[0109] 因为 CI 明确地表示每个支架的排气被捕获的程度, 所以它与入口温度或 SHI 相比更接近地对准用于优化布局目的的设计策略。举例来说, 虽然从温度看不明显, 但是从计算的 CI 能看到在初始布局中在该群的左边有充份的也许是过分的冷却, 而在该群的右边有不充分的冷却。如果整个数据中心都被考虑, 入口温度和不完全的支架排气捕获之间的环节将甚至是更复杂的和间接的。采用这个信息, 优化的布局可以通过反复试验或借助一些正规的优化技术找到。图 6b 展示优化的布局。所有的衡量标准都指出性能得到大幅度改善, 其中入口温度最大值为 $69^{\circ} F$ 。虽然支架级 SHI 比 CI 更接近入口温度地示踪, 但是群级 SHI 以总逸失功率更好地示踪; 后两个量从初始布局到优化布局每个都被提高一个数量级。 RCI_{hi} 仅仅被提高两个百分点, 从 98% 到 100%, 反映作为开头与 ASHRAE (2004) 规范的符合程度相当好这一事实。

[0110] 在上述的实施方案中, 数据中心管理应用程序利用捕获指数衡量标准分析和优化数据中心中支架群的冷却性能。虽然 CFD 软件能用来确定捕获指数, 但是 CFD 分析的表现可能是复杂的和计算密集的, 而且取决于正在运行的模拟和正在使用的计算机硬件, 它可能需要几分钟到数小时来完成模拟。当希望快速确定群中很多可能的支架布局的 CI 的时候, 完成 CFD 模拟所需要的时间在优化例行程序期间变得特别棘手。在本发明的实施方案中, 为了减少计算时间, 使用其它近乎实时的分析技术确定群中支架的 CI。这些技术包括代数技术、神经网络技术和过道部份分离的 (PDA) CFD 技术。

[0111] 在代数的技术中, 分开的计算方案被用于热过道配置和冷过道配置。用于热过道配置的代数技术以支架 - 冷却器相互作用主要取决于与支架和冷却器相关联的气流大小和它们的相对几何位置的假定为基础。每个位置 (或沿着该行切出的较狭窄的薄片中的) 的支架能被想像为已经有特定的潜能把气流提供给其它位置。这个潜能与分开的距离相反地改变。此外, 支架能供应给其它位置的风量随着它自己的总空气流量增加而增加。业已发现能供应到特定位置 A_i (可以代表沿着排 A “切出” 6 英寸的切片或“插槽”) 的净空气流量能用下式恰当地表达:

[0112]

$$(Q_{Ai})_{sup.net} = (Q_{Ai})_{sup.self} + \sum_{全部 j \neq i} (Q_{Aj})_{sup.self} Ee^{-F\Delta x} + D\{(Q_{Bi})_{sup.self} + \sum_{全部 j \neq i} (Q_{Bj})_{sup.self} Ee^{-F\Delta x}\}$$

(12)

[0113] 其中:

[0114] $(Q_{Ai})_{sup\ net}$ = 能供应到位置 Ai 的最大净空气流量, 包括来自所有支架的贡献

[0115] $(Q_{Ai})_{sup\ self}$ = 位置 Ai 的支架供应的空气流量

[0116] $(Q_{Bi})_{sup\ self}$ = 位置 Bi 的支架供应的空气流量

[0117] Δx = 位置 (插槽) i 和 j 之间的水平距离

[0118] E, F 是经验常数

[0119] D = 考虑到来自对面一排的影响的经验“耦合”常数

[0120] 常数 D、E 和 F 可以通过把代数模型的结果与理论上能从实验测量确定的真实的或已知的数值进行比较确定; 然而, CFD 建模为大量的潜在布局准备更实际的产生数据的方法。这些常数可能呈现不同的数值, 取决于应用程序细节, 例如, 支架类型、支架排气温度和周围环境温度, 等等。

[0121] 能供应到 B 排的各个位置的最大空气流量是以类似的方式计算的。

[0122] 最后, 物理形式与方程 (12) 相同的方程 (13) 适用于冷却器而不是支架计算能在任何位置捕获的最大的净空气流量。

[0123]

$$(Q_{Ai})_{cap\ net} = (Q_{Ai})_{cap\ self} + \sum_{全部\ j \neq i} (Q_{Aj})_{cap\ self} A e^{-B\Delta x} + C \{ (Q_{Bi})_{cap\ self} + \sum_{全部\ j \neq i} (Q_{Bj})_{cap\ self} A e^{-B\Delta x} \} \quad (13)$$

[0124] 其中:

[0125] $(Q_{Ai})_{cap\ net}$ = 在位置 Ai 能捕获的最大空气流量, 包括来自所有冷却器的贡献

[0126] $(Q_{Aj})_{cap\ self}$ = 冷却器在位置 Aj 捕获的空气流量

[0127] $(Q_{Bj})_{cap\ self}$ = 冷却器在位置 Bj 捕获的空气流量

[0128] Δx = 在位置 (插槽) i 和 j 之间的水平距离

[0129] A, B 是经验常数

[0130] C = 考虑到来自对面一排的影响的经验“耦合”常数

[0131] 常数 A、B 和 C 可以依照前面的讨论从实验测量或 CFD 确定。这些常数可能呈现不同的数值, 取决于应用程序的细节, 例如, 冷却器的类型、支架排气温度和周围环境温度, 等等。

[0132] 业已发现常数 A、B、E 和 F 通常与热过道宽度无关, 而 C 和 D 可能取决于过道宽度。

[0133] 然后, CI 是作为在任何位置被捕获的净空气流量与供应的净空气流量之比估计的, 并且用数值以 100% 封顶的百分比表示。

[0134] 方程 12 和 13 的计算通常是沿着两排对每个 6 英寸的插槽完成的, 以致该编码将适用于所有标准宽度的设备; 结果在提交之前就真实的整个支架宽度计算平均值。

[0135] 用于冷过道配置的代数技术是以类似于用于热过道的方式计算的。然而, 在冷过道分析中, 支架“捕获”气流, 而冷却器“供应”气流。此外, 冷却气流可能是由多孔地板砖和冷却器的任何组合提供的。每个设备位置被视为有特定的从其它位置捕获气流的潜能。这种潜能与分开的距离呈相反的改变。此外, 支架能捕获的气流数量随着它自己的气流增加而增加。业已发现在 (可以沿着排 A 表示任何插槽的) 特定位置 Ai 能捕获的净气流能用下式适当地表达:

[0136]

$$(Q_{Ai})_{cap\ net} = (Q_{Ai})_{cap\ self} + \sum_{全部\ j \neq i} (Q_{Aj})_{cap\ self} A e^{-B\Delta x} + C \{ (Q_{Bi})_{cap\ self} + \sum_{全部\ j \neq i} (Q_{Bj})_{cap\ self} A e^{-B\Delta x} \} \quad (14)$$

[0137] 其中：

[0138] $(Q_{Ai})_{cap\ net}$ = 在位置 Ai 能捕获的最大净空气流量, 包括来自所有其它支架的贡献

[0139] $(Q_{Ai})_{cap\ self}$ = 在位置 Ai 被支架捕获的空气流量

[0140] $(Q_{Bi})_{cap\ self}$ = 在位置 Bi 被支架捕获的空气流量

[0141] Δx = 在位置 (插槽) i 和 j 之间的水平距离

[0142] A, B 是经验常数

[0143] C 是考虑到对面一排的影响的经验“耦合”常数

[0144] 常数 A 和 B 被固定在典型的设计参数范围内, 而 C 通常随着过道宽度改变。

[0145] 在排 B 的各个位置捕获的最大的净空气流量能以类似的方式计算。

[0146] 当计算多孔地板砖给任何设备位置供应气流的潜能的时候, 每 6 英寸多孔地板砖长条 (地板砖插槽) 能被视为有特定的给所有的设备位置供应气流的潜能。下面讨论的模型假定横跨冷过道宽度有三块多孔地板砖。多排多孔地板砖是用指数 k 表示的, 该指数 k 能呈现 1、2 或 3 的数值; k = 1 和 k = 3 的一排地板砖分别与 A 排和 B 排的设备相邻, 而 k = 2 指的是中间一排多孔地板砖。该模型能被推广, 以便处理许多排多孔地板砖。

[0147] 地板砖给任何设备位置供应气流的潜能与分开的距离呈相反的改变, 而且地板砖能供应的气流大小随着它自己的总气流增加而增加。业已发现所有地板砖插槽能供应给特定支架位置 Ai 的净气流能用下式适当地表达：

[0148]

$$(Q_{Ai})_{sup\ net} = (Q_{Ai})_{sup\ self} + \sum_{\text{所有 } k} \left\{ \sum_{\text{所有其它地板砖插槽位置}} (Q_{kj})_{sup\ self} E e^{-F \cdot \text{距离}(i,j,k)} \right\} \quad (15)$$

[0149] 其中：

[0150] $(Q_{Ai})_{sup\ net}$ = 能供应给位置 Ai 的最大净空气流量, 包括来自所有地板砖的贡献

[0151] $(Q_{Ai})_{sup\ self}$ = 直接毗连设备位置 Ai 的地板砖插槽 (这是在 k = 1 排的位置 i 用于设备位置 Ai 的地板砖插槽) 供应的空气流量。

[0152] $(Q_{kj})_{sup\ self}$ = 在第 k 排、位置 j 的地板砖插槽供应的空气流量,

[0153] 上述的求和“所有的其它地板砖插槽位置 (all other tileslot location)”包括除了 $(Q_{Ai})_{sup\ self}$ 项捕获的直接与设备位置毗连地板砖插槽以外所有的地板砖插槽位置。

[0154] E 和 F 被固定在典型的设计参数范围内, 距离 (i, j, k) 是在支架 Ai 和地板砖插槽 (k, j) (在第 k 排, 位置 j) 之间的距离。距离 (i, j, k) 的计算在下面以用于所有方程的单位英尺展示。设备位置和地板砖插槽之间的距离是相对于限定冷过道的设备插槽的中央和图 7 举例说明的地板砖插槽的中心获取的。

[0155] ● 在设备位置 Ai 和在排 k = 1 中并沿着该排在位置 j 的地板砖插槽之间的距离为：

[0156]

$$\text{距离} = \sqrt{\frac{(i-j)^2}{4} + 1}$$

[0157] ● 在设备位置 Ai 和在排 k = 2 中并沿着该排在位置 j 的地板砖插槽之间的距离为：

[0158]

$$\text{距离} = \sqrt{\frac{(i-j)^2}{4} + 9}$$

[0159] ●在设备位置 A_i 和在排 $k = 3$ 中并沿着该排在位置 j 的地板砖插槽之间的距离为：

[0160]

$$\text{距离} = \sqrt{\frac{(i-j)^2}{4} + 25}$$

[0161] 能供应给 B 排中各种不同的位置的最大的气流是以类似的方式计算的。

[0162] 对于包括至少一个冷却器的冷过道群,每个冷却器能被视为有给所有的设备位置供应气流的潜能。直接对着冷却器的支架接受来自冷却器的最直接的气流。供应给每个设备位置的气流大小依照在特定的有效范围内形成循环的冷却器气流路径改变。业已发现所有的冷却器能供应给特定支架位置 A_i 的净空气流量能用下式适当地表达：

[0163]

$$(Q_{A_i})_{\text{冷却器}} = (Q_{A_i})_{\text{冷却器 self}} + \sum_{\text{全部 } j \neq i} (Q_{A_j})_{\text{冷却器 self}} Ge^{-H(2\text{EffDis}-\Delta x)}$$

[0164]

$$+ D \left((Q_{B_i})_{\text{冷却器 self}} + \sum_{\text{全部 } j \neq i} (Q_{B_j})_{\text{冷却器 self}} Ge^{-H\Delta x} \right) \quad (16)$$

[0165] 其中：

[0166] $(Q_{A_i})_{\text{冷却器 net}}$ = 所有冷却器能供应给位置 A_i 的最大气流

[0167] $(Q_{A_i})_{\text{冷却器 self}}$ = 在位置 A_i 冷却器供应的气流

[0168] $(Q_{B_i})_{\text{冷却器 self}}$ = 在位置 B_i 冷却器供应的气流

[0169] G 和 H 是固定在典型的设计参数范围内的经验常数

[0170] D 是考虑到来自对面一排的影响的经验“耦合”常数

[0171] EffDis 是沿着冷却器气流图可能影响设备位置的那排表示有效距离的经验常数。它可能取决于冷却器类型、过道宽度和其它设计参数。

[0172] Δx 定义为沿着设备排在位置 i 和 j 之间的距离：

[0173]

$$\Delta x = \begin{cases} |i-j| & (\text{当 } |i-j| \leq \text{EffDis}) \\ \text{EffDis} & (\text{当 } |i-j| > \text{EffDis}) \end{cases}$$

[0174] 然后,估计作为在任何位置供应的净空气流量与被捕获的空气流量之比并被表示成数值以 100%封顶的百分比的 CI 。

[0175] 方程 (14)-(16) 的计算通常都是沿着两排对每个 6 英寸插槽完成的,所以该编码将适用于所有标准宽度的设备;结果在提交之前就真实的整个支架宽度求平均。

[0176] 在至少一个实施方案中,使用部份脱耦过道 (PDA) 的 CFD 分析来确定捕获指数。在部份脱耦过道法中,每次分析一个冷过道或热过道,好像该过道与周围的数据中心环境“失去联系”一样。周围环境的影响“部份地”在为孤立过道分析选定的边界条件中考虑。孤立

过道里的气流图是直接从 CFD 确定的。采用已知的气流图,诸如逐个支架的捕获指标 (CI) 和温度之类的性能衡量标准可能很容易计算。

[0177] 在至少一个实施方案中, PDA 法适用于由两排实质上等长度的支架和非必选的位于冷过道或热过道上的本地冷却器组成的设备群。这样的设备编组自然是优选的安排,因为凉爽的支架入口气流和温暖的支架排气气流是自然分开的。在数据中心中作为这样的群的成员的所有的支架都可以用基于 PDA 的工具的重复的应用程序来分析。PDA 法也可以充当用于布局优化工具的引擎或用来快速产生可以用来研发甚至更快速的设计和分析工具的“训练数据”。

[0178] PDA 法是在前面提及的美国专利申请第 11/342,300 号中描述的。如同在提及的应用程序中描述的那样, PDA 法可以用于分析在架空地板环境中冷过道周围的支架群。冷过道中的气流能被充份地模型化为“理想的”,其好处之一是完整的冷过道气流图可以这样确定,即简单地把假定每个支架是唯一抽取气流的支架时将存在的气流图加起来。“基本的”支架气流本身又可以从 CFD 分析确定(脱机)和储存在经验模型中。然后,冷却衡量标准可以基于最后产生的气流图计算。在提及的应用程序中, PDA 与叠加法协同用来确定空气流量。PDA-叠加法可以用于在此讨论的本发明的实施方案,然而,当本地冷却器出现的时候,这个方法可能仅限于分析传统的架空地板冷过道而且可能难以延伸到不均匀的多孔地板砖布局。用于在此描述的本发明的实施方案的 PDA-CFD 法有优于 PDA 叠加法的改进功能。

[0179] 在一个实施方案中, PDA-CFD 法适用于供由等长度的两排设备组成的单一设备群(例如,图 1a 和 1b 所示的)使用。在实践中,如果在排长方面有小的失谐或有相对偏移,为了实现等长度要求,可以添加虚构的“零-空气流量设备”。于是,待分析的过道(或计算域)在从较大的环境中“切出来”时是简单的矩形形状;必须确定边界条件的表面有最小的尺寸而且是简单定义的。

[0180] 假定边界条件 (BC) 沿着地板和设备的表面是已知的。地板可能有在已知温度下规定的代表多孔地板砖气流的流入部分,否则是坚实的表面。沿着设备表面,流速是已知的。冷过道分析中支架的或热过道分析中冷却器的流出,或热过道分析中的支架或冷过道分析中的冷却器在已知温度下的流入。多孔地板砖空气流速要么是从测量知道的要么是估计的。

[0181] 如果正确的详细的顶端和末端边界条件是已知的,那么孤立过道分析结果也将是绝对正确的。在本发明的实施方案中,用于顶端和末端的足够精确和实际的边界条件的选择允许把 PDA-CFD 法用于估计捕获指数。用来确定边界条件的方法是留下顶端和末端“敞开”(等压边界条件),以便气流能在过道内如同气流物理学规定的那样进入或退出。这种方法不考虑周围房间环境的效应而且不产生适合典型应用程序的可接受的结果。然而,留下一些边界部分“敞开”是令人想要的;依照一个实施方案在另一种方法中,规定顶端为“敞开的”边界,而不是规定末端为“敞开的”边界。顶端边界可能相当大而且可能有许多流入和流出区域;作为经验模型为顶端确定和储存适当的规定速度边界条件可能是不切实际的。在顶端“敞开”的情况下,沿着末端规定速度以便固定房间环境的一些影响。虽然末端气流大体上可能是相当复杂的,但是为了实现适当的近似,在大的边界部分上规定非常统一的气流是唯一必需的。在一种方法中,每个过道末端被分成两个等宽度的垂直长条,在该长条上分配统一的流入或流出。在至少一个实施方案中,温度沿着过道的顶端和沿着所有末端

气流都向内的末端被输入到分析中。通常,这些温度能在手边的难题中适当地在极端温度之间估计,而且误差对气流图只有次要的影响,因为浮力略微受影响。图 8a 和图 8b 展示用于图 1a 和图 1b 的范例的 PDA 边界条件。

[0182] 有许多为末端气流和可能考虑过的无穷的房间环境组合建模的方法。至少依照一些实施方案,PDA 方法为顶端和末端气流提供粗略的近似值;恢复过道顶端“敞开着”和每个末端被分为最合适的两个指定的流动边界条件。在较长的群中,朝向过道中央的气流将不受末端气流的影响。

[0183] 末端气流受群的细节和房间环境影响。前者包括群的几何形状以及可能存在的所有的支架、冷却器和多孔地板砖的细节。后者包括周围房间的几何形状、相邻设备的细节;简而言之,房间中负责或影响直接在群周围的气流和温度的每件事情。最接近排端的支架、冷却器和多孔地板砖通常对末端气流有最大的影响。

[0184] 在多孔地板砖气流和直接在群周围的环境之间的温差(即,浮力)在许多实际情况下是最重要的“房间作用”。为了考虑支架位置和气流的作用,用不同的设备布局完成了数千次全房间 CFD 模拟。最后,确定四个冷过道末端气流每个都能用下面的多项式回归模型以无量纲形式表达:

$$[0185] \quad Q_{end}^* = a_0 + a_{A1} Q_{A1}^* + a_{A2} Q_{A2}^* + \dots a_{An} Q_{An}^* +$$

$$[0186] \quad a_{B1} Q_{B1}^* + a_{B2} Q_{B2}^* + \dots a_{Bn} Q_{Bn}^* + \quad (17)$$

$$[0187] \quad a_1 AR + a_2 AR^2 + a_3 AR^3 + a_4 AR^4 + \Delta T^*$$

[0188] 其中 Q_{Ai}^* 和 Q_{Bi}^* 是在位置 i 支架的分别来自 A 排和 B 排末端气流的无量纲流速,a 是多项式回归系数,AR 是总冷却气流与总支架气流之比, ΔT^* 是无量纲温差,而 n 是每排的支架数。无量纲空气流量是通过对应的有量纲的数量除以每块地板砖的空气流速形成的。无量纲温差的定义为补给气流和周围房间环境之间的温差除以 20° F (11°C) 的典型温差刻度。由于最接近排端的支架对末端气流有最大的影响,所以系数 a_{Ai} 和 a_{Bi} 的大小在方程 (17) 中从左到右逐渐减少。因为在方程 (17) 中唯一的房间环境参数是 ΔT^* ,所以其它的房间影响(例如,天花板高度、墙壁和其它设备的接近程度,等等)是通过为每个这样的重要变化创造独特的一组回归系数考虑的。然而如上所述, ΔT 是决定性的房间环境参数而且,只要这个参数被相当好地估计,好的末端气流估计就能在本发明的实施方案中对多种房间环境作出。

[0189] 对于本地冷却器热过道应用程序,末端气流可以以相同的通式计算。然而,在这些应用程序中,与支架和冷却器气流相关联的动量力占支配地位,而浮力对末端气流有微不足道的影响。另外,通用模型需要能够处理支架和冷却器的任何任意的安排。此外,本地冷却器可能要么是 1 英尺 (300 毫米) 宽要么是 2 英尺 (600 毫米) 宽,而支架可能要么是 2 英尺 (600 毫米) 宽要么是 2.5 英尺 (750 毫米) 宽。热过道末端气流这次能以有量纲形式用下列多样的线性回归模型表达:

$$[0190] \quad Q_{end} = a_0 + a_{A1} Q_{A1} + a_{A2} Q_{A2} + \dots a_{An} Q_{An} +$$

$$[0191] \quad a_{B1} Q_{B1} + a_{B2} Q_{B2} + \dots a_{Bn} Q_{Bn} \quad (18)$$

$$[0192] \quad a_{B1} Q_{B1} + a_{B2} Q_{B2} + \dots a_{Bn} Q_{Bn}$$

[0193] 其中 Q_{Ai} 和 Q_{Bi} 是支架或冷却器在位置 i 分别来自 A 排和 B 排末端的有量纲的空气流速,a 是线性回归系数,而 n 是每排的“插槽”数。因为没有方便的空气流量刻度可以用来

完成无量纲化,所以有量纲的空气流量通常比较容易合作。支架气流进入热过道并且有正号。冷却器气流离开热过道并且有负号。每个指数 i 代表群或“插槽”的而不是整个对象的 0.5 英尺 (150 毫米) 切片,在这里 0.5 英尺 (150 毫米) 是将在模型中处理的对象宽度当中最大的公分母。(当然,架空地板冷过道模型可能是以相同的方式制定的,以便也考虑到通用的支架宽度)。与以前一样,最接近排端的支架和冷却器对末端气流有最大的影响,而且系数 a_{Ai} 和 a_{Bi} 的大小通常在方程 (18) 中从左到右逐渐减少。方程 (18) 不包含任何房间环境参数,因此,一组新的独特的回归系数是针对每个重要房间环境确定的。在实践中,本地冷却器热过道末端气流倾向于受支架,具体地说,冷却器气流 (相当高) 支配,以便针对一些合理的房间环境 (例如,数据中心中群的对称布局) 确定的末端气流模型提供适合多种真实房间环境的合理的估计和用于本发明的至少一些实施方案。

[0194] 一般地说,简单的回归模型对于架空地板应用程序而不是对于本地冷却器应用程序产生略微好一些的末端气流预测,如同测定 (R2) 的较大系数证明的那样。这是由于相同的回归系数被用于后者应用程序的支架和冷却器这一事实。气流图只是当本地冷却器存在的时候才更复杂。

[0195] 最后,末端气流模型在相似的方法用于其它应用程序 (包括本地冷却器和本地冷却器-多孔地板砖混合冷过道应用程序) 之后能在本发明的实施方案中得以发展。PDA 方法被用于至少一些实施方案,以便为数据中心开发实时的和近乎实时的冷却性能计算程序。这样的工具促进科学分析和布局优化而不需要可能费时的数据中心的完整的 CFD 模拟。现在将参照特定的范例进一步详细地描述至少一些实施方案的 PDA-CFD 计算程序。

[0196] 图 9a 展示包含四排支架 302、304、306、308 和四个 CRAC 单元 312、314、316、318 的架空地板数据中心部分。这是使用按 7 块地板砖的节距重复的交替的冷过道和热过道有位于在热过道末端的 CRAC 单元的标准设计。天花板位于架空地板上方 12 英尺 (3.7 米)。支架的功率和空气流速展示在图 9b 中;每台 CRAC 的气流是 4200 立方英尺 / 分钟 (2000 升 / 秒),所以支架和 CRAC 的总气流比是 0.9。假定通过多孔地板砖的气流是统一的每块多孔地板砖 420 立方英尺 / 分钟 (200 升 / 秒)。

[0197] 包括以中央冷过道划界的 304 排和 306 排的中部支架群的捕获指数是基于图 9 所示的环境的全房间 CFD 计算的以及依照本发明的实施方案使用基于 PDA-CFD 的工具计算的。后者使用基于非常大的敞开环境产生的末端气流模型。即使本范例在 CRAC 抽取冷过道末端附近的气流情况下以非常不同的房间环境为特色,结果也顺利地比较,如图 9b 所示。捕获指数趋势被顺利地捕捉,而且所有的预测在大约 7% 范围内一致。

[0198] 图 10a 展示全部硬地板的数据中心,该数据中心利用本地冷却器而且包括排 320、322、324、326、328 和 330。天花板高度是 12 英尺 (3.7 米)。中部设备热过道群 (排 324 和 326) 由 12 个支架和 4 个本地冷却器组成。支架和冷却器的总气流比是 1.3。图 10b 展示对中央热过道群用完整的 CFD 和基于 PDA-CFD 的工具计算的捕获指数之比较。后者使用基于假定在群的周界周围存在对称边界的环境产生的末端气流模型。再者,即使真实的房间环境非常不同,总捕获指数预测也肯定可与图 9b 所示相当。捕获指数趋势被顺利地捕捉,而且所有的预测都在大约 10% 的范围内一致。

[0199] 在完整 CFD 的结果与 PDA-CFD 结果之间的比较是在上面针对两个特定的实际范例展示的。在这些范例中,PDA-CFD 结果中一部分误差可能是由于末端气流模型 (即,错误的

平均空气流量数值可能已经被指派)而另一部分可能是由于基本的 PDA 假定(即,“敞开的”顶端和相当统一的末端气流边界条件)固有的误差。在本发明的实施方案中,基于 PDA 的工具(包括 PDA-CFD)提供在考虑各种不同的设计方案的时候通常通向正确方向的合理的冷却性能评估。

[0200] 通常,在本发明的实施方案中使用 PDA-CFD 计算程序分析数据中心时,如果数据中心设计包括本地冷却器或回风口,热过道群是优选的分析单元。在这种情况下,“房间-中立”策略可能被采用。对于包括架空地板(没有本地回风口)环境和架空地板和本地冷却器混合环境在内的其它应用程序,可能分析冷过道群。另外,PDA-CFD 方法可能被间接地利用,作为更广泛的优化工具的冷却引擎或快速产生用来训练经验计算程序的大量数据。

[0201] 在至少一些实施方案中,在进行 CFD 或 PDA-CFD 分析的时候,使用统一的 6 英寸×6 英寸×6 英寸单元作为计算栅格。使用这个尺寸的单元细化过道不产生过大的单元数目,在速度和精度之间提供令人满意的平衡。此外,使用这个尺寸的单元适当地与设备边界和过道宽度排成直线。典型的支架和冷却器有 1 英尺、2 英尺或 2.5 英尺的宽度,而过道通常按 6 英寸增量在 3 英尺到 6 英尺的范围中。

[0202] 在至少一些实施方案中,如同现在将描述的那样,统称为恰当的神经网络(NN)的人造神经网络能用来分析气流和产生每个支架或支架群的捕获指数。一般地说,神经网络是广为人知的。通常 NN 由输入层、隐藏层和输出层组成。每层由若干神经元组成。隐藏层和输出层的神经元每个都与前一层的神经元链接。NN 的其它关键元素包括与每个链、非必选的偏倚项以及激活函数和转移函数相关联的权。NN “知识”是作为连接权储存的。该模型的非线性和复杂性分别被激活和转移功能和隐藏层中的神经元数捕获。

[0203] 使用逆传送训练算法的多层感知器(MLP)是所有神经网络模型中最普通的并且被用于本发明的至少一些实施方案。二进制 S 形激活函数也令人满意地适合本发明的实施方案。类似于捕获指数,这个功能有零到一的范围而且有下列的形式:

$$[0204] \quad f(x) = \frac{1}{(1 + e^{-x})} \quad (19)$$

[0205] 任何层的输出变成给下一层的输入。下列的等式叙述某层的输出和两层之间的互连权:

$$[0206] \quad A_j = f\left(\sum_{i=1}^n W_{ij} A_i + b_j\right) \quad (20)$$

[0207] 在这里 A_i 是向第二层中所有的单元广播信号的第一层的输入单元。 A_j 是在第二层中第 j 个神经元的输出, W_{ij} 代表在两层之间的连接权, b_j 是单元 j 上的偏倚,而 n 是第一层的单元数。激活函数 f 把非线性增益提供给人造神经元。权数是通过迭代产生可适用衡量标准的最小值确定的,举例来说,均方误差(MSE):

[0208]

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_i^N (CI_{\text{预期的}} - CI_{\text{预测的}})^2 \quad (21)$$

[0209] 其中 N 是训练案例的总数, $CI_{\text{预期的}}$ 和 $CI_{\text{预测的}}$ 是已知的预测值,举例来说,分别借助 CFD 或 PDA-CFD 和神经网络模型预测的。

[0210] 初始的权被设定成小的随机数值;逆传送算法在提出每个训练模式之后更新权并

在训练程序期间保全最合适的权。

[0211] 在本发明的实施方案中使用 NN 的一个优势在于它建立群布局细节（输入矢量）和由此产生的支架捕获指数（输出矢量）之间的非线性关系的能力。前者包括支架和冷却器的实际安排、支架的功率和气流和冷却器气流。在至少一些实施方案中，设计数千种假设的但现实的群布局，然后使用计算流体动力学（CFD）计算每种布局的热过道 CI 值。最后，训练 NN 模型，以便“学习”输入矢量和输出矢量之间的关系。虽然训练数据可以借助传统的 CFD 分析产生，但是通过使用前面讨论的 PDA-CFD 技术能节约相当多的时间。给定足够的训练数据，神经网络事实上能适用于任何数据中心冷却应用程序。然而，作为范例，现在将描述对如图 11 所示标明热过道界限的 14 英尺（4.27 米）长的支架和冷却器群的 CI 值的预测。类似的方法能适应为其它的群长度设计 NN 模型。

[0212] 对于该范例，上述的 PDA-CFD 计算程序用来产生在这里考虑的训练数据。在每次模拟中，顶端边界条件是“敞开的”适合气流进入或退出过道（0 表压，68° F）。（在“流入”情况下）固定的气流和温度边界条件是在过道末端规定的。前面讨论的 FloventCFD 引擎用来计算部份脱耦的热过道的气流图和 CI 值。基于栅格敏感性分析使用 6 英寸的栅格尺寸，而且使用 $k-\epsilon$ 湍流模型。

[0213] 为了研发输入数据和输出数据之间的有效映射，NN 模型是使用现实的情节训练的。软件工具是使用为 NN 训练设计代表性的群布局的 Excel 和 VBA 产生的。每个设计的布局包含所有关于支架和冷却器以及它们在群中的相对位置的信息。在这个范例中，神经网络模型被设计成接受 2 英尺（610 毫米）或 2.5 英尺（762.5 毫米）宽的支架和 1 英尺（305 毫米）宽的本地冷却器作为输入。由于 0.5 英尺（152.5 毫米）是对象宽度当中的最大公分母，所以 NN 模型以 0.5 英尺（152.5 毫米）的群或“插槽”切片为基础。举例来说，功率为 2 千瓦、空气流量为 320 立方英尺 / 分钟（0.15 立方米 / 秒）的 2 英尺（610 毫米）宽的支架实际上是作为 4 个分开的对象建模的，每个对象 0.5 英尺（152.5 毫米）宽，有 0.5 千瓦的功率和 80 立方英尺 / 分钟（0.038 立方米 / 秒）的空气流量。然后，捕获指数是先针对支架的 4 个插槽之中的每一个计算出来，然后在呈现给冷却计算工具的使用者之前求平均。这种方法实质上逐步增加必须建模的变量数目，但是大大简化布局生成、用 PDA-CFD 创造训练案例和创造 NN 模型。

[0214] 在该范例中，训练案例包括 1 英尺（305 毫米）宽的冷却器，该冷却器以 2900 立方英尺 / 分钟的速率从热过道抽取暖风。支架气流以 160 立方英尺 / 分钟 / 千瓦（0.076 立方米 / 秒 / 千瓦）的比率与指定的支架功率相联系；这等同于假定横跨支架有 20° F（11°C）温升。所产生的两千种代表性的群布局（情节）全是 14 英尺（4.27 米）长，有相等的排长度。每个情节的完整描述包括用于两排设备的插槽挨着插槽的功率值。对于支架，插槽功率表现为正数。对于冷却器，插槽功率以定义为冷却器空气流速除以 160 立方英尺 / 分钟 / 千瓦（0.076 立方米 / 秒 / 千瓦）并且被指定带负号的“有效功率”为基础。举例来说，如果在一排之中最初的两个对象分别是 4 千瓦、2 英尺（610 毫米）宽的支架和 2900 立方英尺 / 分钟（1.38 立方米 / 秒）、1 英尺（305 毫米）宽的冷却器，那么用于最初 6 个插槽的输入数据将是：1 千瓦、1 千瓦、1 千瓦、1 千瓦、-9.0625 千瓦和 -9.0625 千瓦。

[0215] 对于每个训练情节，支架功率选自范围从 0 到 10 千瓦的可能功率值的储备池，而冷却器的数目是这样选定的，以致全群空气比（总冷却器气流与总支架气流之比）在 1 到 4

范围内。在这里考虑 14 英尺 (4.27 米) 长的群,但是,一般地说,插槽数目为 $4*L$,其中 L 是群长度。插槽位置在图 11a 和图 11b 中被标为 RA_1 、 RA_2 、..... RA_{28} 和 RB_1 、 RB_2 、..... RB_{28} 。

[0216] CI 是以 PDA-CFD 为基础针对每个情节的每个支架插槽计算的,而软件工具是使用 Excel 和 VBA 将这个过程自动化产生的。有效的插槽功率和所有插槽对应的 CI 值包含用于神经网络的训练数据组。支架功率、有效冷却器功率和全群空气比是给 NN 模型的输入,而每个插槽的 CI 值作为预期的输出呈现给 NN 模型。

[0217] 在至少一个范例中,每个群在轴向和纵向中平面周围是几何对称的,而且三个附近的训练布局能针对用 PDA-CFD 分析的每个(非对称)布局获得。这些新的布局有与最初计算的布局相同的设备清单并因此有与最初计算的布局相同的空气比;然而,设备的排序是不同的。因此,实际上只有四分之一训练布局需要用 PDA-CFD 计算。使用这项技术,用 PDA-CFD 计算的 2000 种布局产生总共 8000 种训练布局。

[0218] 下面讨论的以 Excel 和 VBA 为基础的工具将用来训练神经网络。群布局的四分之一是为监视 NN 模型的过度训练和预测能力从训练组中选定和留出的。NN 是每次针对一个插槽训练的,而且训练参数是为加速学习过程而被调整的。在神经网络训练过程中,每个插槽处的有效功率(RA_1 、 RA_2 、..... RA_{28} 和 RB_1 、 RB_2 、..... RB_{28}) 和 AR 被重复地呈现给网络以便预测每个插槽处的 CI 值。预测的和需要的 CI 值之间的误差被计算出来,然后反馈给网络(相关误差的逆传送)。然后调整权,以使网络预测的 CI 值与来自 PDA-CFD 的那些匹配。产生最佳匹配的权被保全,然后可能用来针对任何新的群输入数据组预测 CI 值。

[0219] 再者,因为群的几何对称性,只有覆盖排的大约一半长度的插槽被训练;如果 $2*L$ 是偶数,则为最初的 L 个插槽,如果 $2*L$ 是奇数,则为最初的 $L+1$ 个插槽。剩余插槽处的 CI 值可能是直接借助对半群结果的适当的结果重新解释确定的。除了有效之外,对称性的这种用法迫使 NN 输出非常对称。

[0220] 依照前面的讨论,以 Excel 和 VBA 为基础的软件工具可以用来计算指定的群布局的 CI 值。现在将进一步描述用于这个计算的程序。工具的使用者与输入互动并且通过简单的图形用户界面观察网络的输出,其中图形用户界面显示与图 11a 和 11b 所示类似的群平面图。

[0221] 在该程序的第一阶段,使用者图解式地输入群布局信息。支架和冷却器位置是连同每个支架的功率和每个冷却器的气流一起定义的。(如果适用的 NN 模型是可用的,附加信息可能被键入,以便进一步描述周围房间环境)。空气比是基于指定的布局计算的。

[0222] 在第二阶段,支架和冷却器信息被转化为每个插槽处的有效功率,对于支架为正值,对于冷却器为负值。而且,这些输入数值进一步变成换算的。然后,换算的输入数值被乘以输入层和隐藏层之间的连接权。由此产生的数值相加并且使用(S形)激活函数处理。由此产生的数值乘以隐藏层和输出层之间的权,并且在相加之后用(S形)激活函数处理和换算回去,以便给出神经网络 CI 值。最后,插槽处的 CI 值就真实的对象宽度计算平均值,产生最后的 CI 值。

[0223] 上述范例处理定义明确的支架群,而且只有 CI 值是预测的。然而,NN 模型也能为了处理其它应用程序和预测其它与数据中心相关的冷却性能衡量标准(例如,再循环指数(RI)、供热指数(SHI)和回热指数(RHI),支架冷却指数(RCI)或,直接地,设备入口温度)而经受训练。

[0224] 因为 NN 计算程序的计算是非常快的, 所以它被用于一些实施方案作为可以构成优化功能基础的“冷却预测引擎”。

[0225] 在本发明的实施方案中, 除了使用衡量标准捕获指数和总逸失功率表征支架群的冷却性能之外, 在热过道中空气到冷却器的返回温度可能用来表征和优化群的性能。当 PDA-CFD 的计算程序用来确定捕获指数的时候, 返回温度是作为分析的一部份计算的而且可用作输出。当返回温度不被直接计算的时候, 它们可以依照现在将描述的本发明的一个实施方案基于 CI 值估计。

[0226] 在返回温度计算程序中, 对所有的冷却器平均的返回温度是首先基于控制冷却器捕获的支架气流数量的已知 CI 值估计的:

$$[0227] \quad T_{ave}^c = \beta T_{ave}^R + (1 - \beta) T_{amb} \quad (22)$$

[0228] 其中:

[0229] T_{ave}^c = 全程平均冷却器返回温度

[0230] T_{amb} = 环境温度

$$[0231] \quad \beta = \frac{\sum_{i=1}^n CI_i Q_i^R}{\sum_{i=1}^N Q_i^C} = \text{直接来自支架的冷却器气流分数。} (0 \leq \beta \leq 1)$$

[0232]

$$T_{ave}^R = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i^R T_i^R}{\sum_{i=1}^n Q_i^R} = \text{平均的支架用尽温度}$$

[0233] n = 支架数

[0234] N = 冷却器数

[0235] 在一些实施方案中, 全程平均冷却器返回温度可以用作群中每个冷却器的返回温度的估计值。然而, 任何个别冷却器都可能有低于或高于这个主要以 CI 和紧靠感兴趣的冷却器的支架排气温度为基础的平均值的返回温度。在至少一些实施方案中, 个别冷却器的返回温度是基于下面的模型估计的。在这种方法中总策略是首先在不考虑正确的绝对温度的情况下解释逐个冷却器的返回温度变化, 然后这样依比例确定所有的数值, 以致返回温度与前面讨论过的全程平均值一致。

[0236] 任何冷却器的返回温度能依照下式估计:

$$[0237] \quad T_j^C = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ij} Q_i^R T_i^R}{\sum_{i=1}^n f_{ij} Q_i^R} \quad (23)$$

[0238] 其中 f_{ij} 是来自支架 i 的气流被冷却器 j 捕获的分数。因为只有 CI 是用计算程序 (而非 f_{ij}) 估计的, 逐个冷却器估计返回温度变化的主要工作是以经验为主估计 f_{ij} 。关于 f_{ij} 我们知道下列各项:

[0239] ● f_{ij} 应该随着冷却器气流 Q_j^C 增加而增加

[0240] ● f_{ij} 应该随着 Q_i^R 增加而减少

[0241] ● $0 \leq f_{ij} \leq CI_i$

[0242] ● F_{ij} 随着支架和冷却器之间的距离 Δx 逐渐增加而减少该计算程序所用的 f_{ij} 的下列经验估计公式满足上述条件：

[0243] $f_{ij} = CI_i e^{\frac{-\alpha \Delta x Q_j^R}{Q_j^C}}$ 其中 $\sum_{j=1}^N e^{\frac{-\alpha \Delta x Q_j^R}{Q_j^C}} = 1$, α 是凭经验（通常借助把模型预测结果与对应的

的 CFD 预测结果进行比较）确定的常数，而且对于多种典型的设计参数是固定的。 Δx 是作为从支架排气中心到冷却器抽取物中心的距离对所有的支架-冷却器对（要么在同一排中要么在对置排中）计算的。

[0244] 一旦 f_{ij} 被计算出来，冷却器返回温度就可以依据等式 (23) 计算。最后，所有的冷却器返回温度都基于全程平均返回温度依比例确定：

[0245]

$$(T_j^C)_{\text{新 (new)}} = \frac{T_j^C T_{\text{ave}}^C}{(T_{\text{ave}}^C)_{\text{未测量}}} \quad (24)$$

[0246] 其中 T_{ave}^C 是在前一段中讨论的全程平均返回温度而 $(T_{\text{ave}}^C)_{\text{未测量}}$ 是基于未换算的 T_i^C 值计算的平均冷却器返回温度。

[0247] 在本发明的实施方案中，返回温度能用来确定群中所用的冷却器的能力，该能力强烈地取决于这个数量。精确估计冷却器能力的能力本身又允许精确预测满足可能包括提供冷却冗余度的设计目标所需要的冷却器数。然后，该返回温度以及 CI 预测结果可能影响人工或通过优化算法确定的布局设计。

[0248] 在本发明的实施方案中，除了确定支架群的冷却特性之外，优化冷却性能也是令人想要的和可能的。优化的范例包括：

[0249] 1) 假定物理空间限制和冷却和功率冗余度目标，确定 IT 设备支架的最佳布局。这可能包括确定实现特定目标所需要的冷却器、UPS、PDU 和其它配电设备的数目，然后就一个或多个设计目标（例如，将总逸失功率减到最少）而论确定所有这种设备的最佳布局。

[0250] 2) 通过逐渐减少一个或多个冷却器的气流直到所有的支架都恰好达到 CI 设计阈值将指定的设备群所需要的冷却气流的数量减到最少。

[0251] 3) 重新分配指定设备群的支架热负荷，以便，举例来说，将总逸失功率减到最少同时满足所有支架的最小 CI 需求。这个范例适用于服务器虚拟化 (virtualization)，在这种情况下移动计算机工作量并因此移动热量是可能的。

[0252] 4) 识别就总逸失功率或其它设计目标而论安放附加热负荷（例如安装服务器）的最佳位置。

[0253] 在至少一些实施方案中，NN 计算程序的计算是非常快的，而且该 NN 计算程序是作为构成优化功能基础的冷却预测引擎使用的。然而，在其它的实施方案中，在此描述的其它计算程序也可能用于优化程序。在一个实施方案中，该 NN 工具与商业的优化工具结合。在一个实施方案中，该优化工具使用遗传算法而且可能是使用，举例来说，从 Palisade Corporation of Ithaca, NY 购买的风险优化工具 (Risk Optimizer) 实现的，以便产生在若干可能的群布局当中自动推荐最佳群布局的整合工具。

[0254] 举例来说，考虑把设备在图 11a 和 11b 所示的群中重新安排成最佳布局的问题，即将总逸失功率减到最少的布局受制于所有支架的 CI 大于 85% 的限制。图 12a 和图 12b 展

示由此产生的优化安排和从 PDA-CFD 计算的数值以便比较。针对图 11a 的对称布局确定最佳布局是比较简单的。然而,诸如图 11b 之类的群布局由于大量可能的独特安排引起较大的挑战。对于这些问题,优化工具与 NN 模型一起组成特别有价值的工具。这个组合工具也能帮助应付其它复杂的数据中心设计挑战,例如,确定能安装在受制于特定的冷却需求或实现指定的冷却目标所需要的额外的冷却量的群中的最大附加热负荷(设备)。用于实施方案的优化工具也能用来与冷却设备组合优化数据中心布局的配电设备,以便从功率和冷却的角度优化布局 and 提供所需要的冗余度水平。

[0255] 在前面讨论过的神经网络计算程序中,神经网络模型是为有各种不同的布局和长度的支架群研发的。在至少一个实施方案中,神经网络分析包括 0.5 英尺的群切片或插槽。在一个实施方案中,神经网络计算程序是这样配置的,以致不为这些群研发特定的模型就能分析长(例如,大于 30 英尺)的群。在长过道里,支架或冷却器的影响力随着距离逐渐增加逐渐减少,而且在某个距离,支架和冷却器的影响力变得微不足道,因此在神经网络分析中不需要考虑。经验的分析已经发现在 15 英尺的距离之后,在典型的群中,插槽彼此不相互影响。在这个实施方案中,神经网络计算对于长度达到 30 英尺的群是依照前面的描述完成的。对于大于 30 英尺的群,插槽位置的 CI 值是基于插槽在 30 英尺跨度中的影响计算的。作为范例,对于 34 英尺长的群,分析可能从群的左角第一排开始。当假定没有来自与那 4 英尺长度相对应的插槽对群的极右边的影响的时候,CI 值是针对覆盖最初的 15 英尺长度的插槽确定的并且是仿佛针对 30 英尺长的群计算的。中部插槽(在最初的 15 英尺之后)的 CI 值是通过考虑在相应插槽的左右两边最初的 15 英尺距离计算的。类似地,对称性用来计算从群的另一端开始的 CI 值。

[0256] 依照本发明的各种不同的实施方案可以在前面讨论的一个或多个计算机系统上实现。举例来说,包含在此描述的计算和分析工具的数据管理应用程序可以在单一的计算机系统或多样的计算机系统中实现。这些计算机系统可能是,举例来说,通用型计算机,例如,以英特尔奔腾(Intel Pentium)型处理器、摩托罗拉 PowerPC、Sun UltraSPARC、Hewlett-Packard PA-RISC 处理器或任何其它类型的处理器为基础的那些。

[0257] 举例来说,本发明的各个方面可能是作为在通用型计算机系统 900(例如,图 13 所示的那种)中运行的专用软件实现的。计算机系统 900 可能包括与一个或多个存储器装置 904(例如,磁盘机,存储器或其它用来储存数据的装置)连接的处理器 903。存储器 904 通常用于在计算机系统 900 操作期间储存程序和数据。计算机系统 900 也可能包括提供额外储存能力的储存系统 906。计算机系统 900 的组成部分可能借助互连机制 905 连接起来,该互连机制可能包括一条或多条总线(例如,集成在同一机器内的各个组成部分之间)和/或网络(例如,驻留在分开的个别机器上的各个组成部分之间)。互连机制 905 使通信(例如,数据、指令)能够在系统 900 的系统组成部分之间交换。

[0258] 计算机系统 900 还包括一个或多个输入装置 902(例如,键盘、鼠标、跟踪球、话筒、触摸屏)和一个或多个输出装置 907(例如,打印装置、显示屏、喇叭)。除此之外,计算机系统 900 可能包含一个或多个(作为互连机制 905 的补充或替代品)把计算机系统 900 接到通信网络上的接口(未展示)。

[0259] 图 14 更详细地展示的储存系统 906 通常包括上面储存信号的计算机易读写的非易失性记录媒体 911,其中所述信号定义为了实现与在此描述的实施方案相关联的一种或

多种功能要处理器运行的程序或储存在媒体 911 之中或之上要用程序处理的信息。该媒体可能是,举例来说,磁盘或快速存储器。通常,在操作中,处理器引起数据从非易失性记录媒体 911 读到另一个存储器 912 之中,后者考虑到处理器存取信息的速度比媒体 911 快。这个存储器 912 通常是易失性的随机存取存储器,例如,动态随机存取存储器 (DRAM) 或静态存储器 (SRAM)。它可能位于储存系统 906 (如图所示) 中或位于存储器系统 904 中。处理器 903 通常在集成电路存储器 904、912 里面操纵数据,然后,在完成处理之后把数据复制到媒体 911 上。用来管理数据在媒体 911 和集成电路存储器元件 904、912 之间移动的多种机制是已知的,而且本发明不局限于此。本发明不局限于特定的存储器系统 904 或储存系统 906。

[0260] 计算机系统可能包括专门编程的专用硬件,举例来说,特定用途集成电路 (ASIC)。本发明的各个方面可能是在软件、硬件、固件或它们的任何组合中实现的。此外,这样的方法、行为、系统,系统元素和其组成部分可能是作为上述计算机系统的零部件或作为独立的元器件实现的。

[0261] 虽然计算机系统 900 是作为能在它上面实践本发明的各个方面的一种计算机系统类型的范例展示的,但是人们应该领会到本发明的各个方面不局限于在图 13 所示的计算机系统上实现。本发明的各个方面可以在一个或多个有不同的体系结构或图 13 所示的组成部分的计算机上实践。此外,在本发明实施方案的功能或程序在此 (或在权利要求书中) 被描述为在处理器或控制器上完成的情况下,这样的描述倾向于包括使用不止一个处理器或控制器实现该功能的系统。

[0262] 计算机系统 900 可能是可用高级计算机编程语言编程的通用型计算机系统。计算机系统 900 也可能是用专门编程的专用硬件实现的。在计算机系统 900 中,处理器 903 通常是市场上买得到的处理器,例如,可从 Intel 公司得到的众所周知的奔腾 (Pentium) 级处理器。许多其它处理器是可用的。这样的处理器通常运行操作系统,该操作系统可能是,举例来说,可从微软公司得到的 Windows95、Windows98、Windows NT, Windows2000 (WindowsMe) 或 Windows XP 操作系统,可从苹果电脑 (Apple Computer) 得到的 MAC OS System X 操作系统,可从 Sun Microsystems 得到的 Solaris 操作系统或可从各种不同的来源得到的 UNIX 操作系统。许多其它操作系统可能被使用。

[0263] 处理器和操作系统一起定义用高级编程语言编写应用程序的计算机平台。人们应该理解本发明的实施方案不局限于特定的计算机系统平台、处理器、操作系统或网络。另外,本发明不局限于特定的编程语言或计算机系统,这对于熟悉这项技术的人应该是明显的。此外,人们应该领会到其它适当的编程语言和其它适当的计算机系统也可能被使用。

[0264] 该计算机系统的一个或多个部分可能分布在与通信网络耦合的一个或多个计算机系统上。举例来说,实现数据中心扩建或设计功能的计算机系统可能位于远离监视和管理数据中心的各个组成部分的系统管理者的地方。这些计算机系统也可能是通用型计算机系统。举例来说,本发明的各个方面可能分布在配置成为一个或多个客户计算机提供服务 (例如,服务器) 或作为分布式系统的一部份完成全部任务的一个或多个计算机系统当中。举例来说,本发明的各个方面可能是在客户服务器或多层系统 (multi-tier system) 上实现的,其中多层系统包括分布在一个或多个服务器系统当中依照本发明的各种实施方案实现各种不同的功能的组成部分。这些组成部分可能是使用通信协议 (例如, TCP/IP) 在通

信网络（例如，英特网）上传送的可执行代码、中间代码（例如，IL）或解释代码（例如，爪哇）。举例来说，一个或多个数据库服务器可能用来储存用于设计布局的装置数据，而且一个或多个服务器可能用来有效地完成与本发明的实施方案相关联的冷却计算。

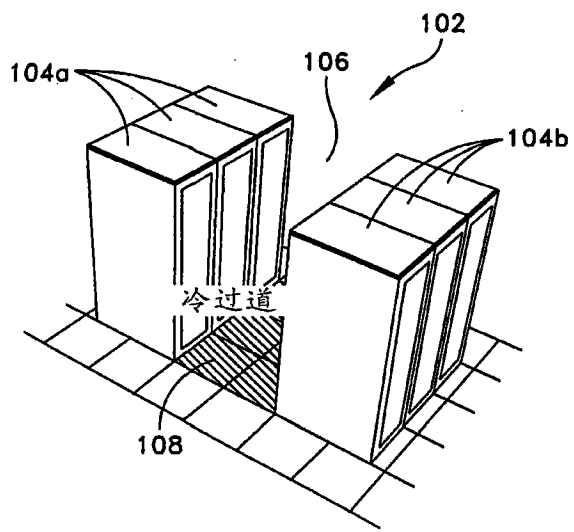
[0265] 人们应该领会到本发明不局限于在任何特定的系统或系统群体上执行。同时，人们应该领会到本发明不局限于任何特定的分布体系结构，网络或通信协议。

[0266] 本发明的各种实施方案可能是使用面向对象的编程语言（例如，SmallTalk、Java、C++、Ada 或 C#(C-Sharp)）编程的。其它面向对象的编程语言也可能被使用。作为替代，可能使用功能编程语言、脚本编程语言和 / 或逻辑编程语言。本发明的各个方面可能是在非编程环境中实现的（例如，以 HTML、XML 或其它格式创造的文件在浏览器程序的窗口中看到的时候呈递图形用户界面（GUI）的各个方面或实现其它功能）。本发明的各个方面可能是作为编程或非编程元素或其任何组合实现的。

[0267] 上述系统和方法的实施方案通常是用于有很多设备支架的比较大的数据中心而描述的，然而，本发明的实施方案也可以用于较小的数据中心和不同于数据中心的设施。此外，依照前面的讨论，本发明的实施方案可以用于有架空地板的设施 and 没有架空地板的设施。

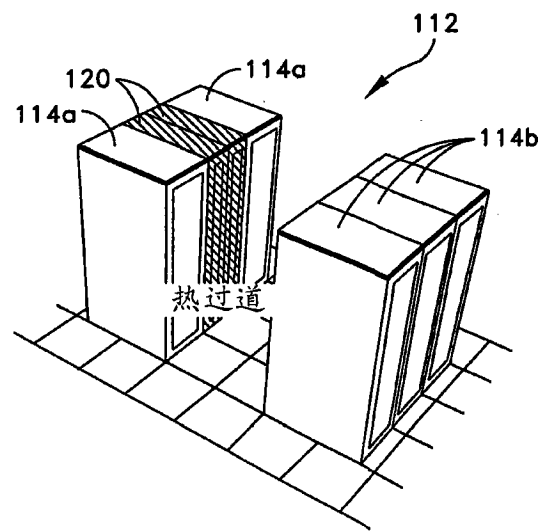
[0268] 在前面讨论过的本发明的实施方案中，分析结果可以被描述为是实时地或近乎实时地提供的。依照熟悉这项技术的人的理解，术语“实时”的使用不意味着暗示结果是立即可得的，而是能很快地得到的从而给设计者在短时段内（例如，大约数分钟）尝试若干不同设计的能力。

[0269] 至此已描述了这项发明的至少一个实施方案的若干方面，人们将领会到各种不同的变更、修正和改进对于熟悉这项技术的人将很容易发生。这样的变更、修正和改进倾向于成为这份揭示的一部份，并且倾向于在本发明的精神和范围之内。因此，前面的描述和附图仅仅是作为范例。



冷过道(架空地板)群

图 1a



热过道(本地冷却器)群

图 1b

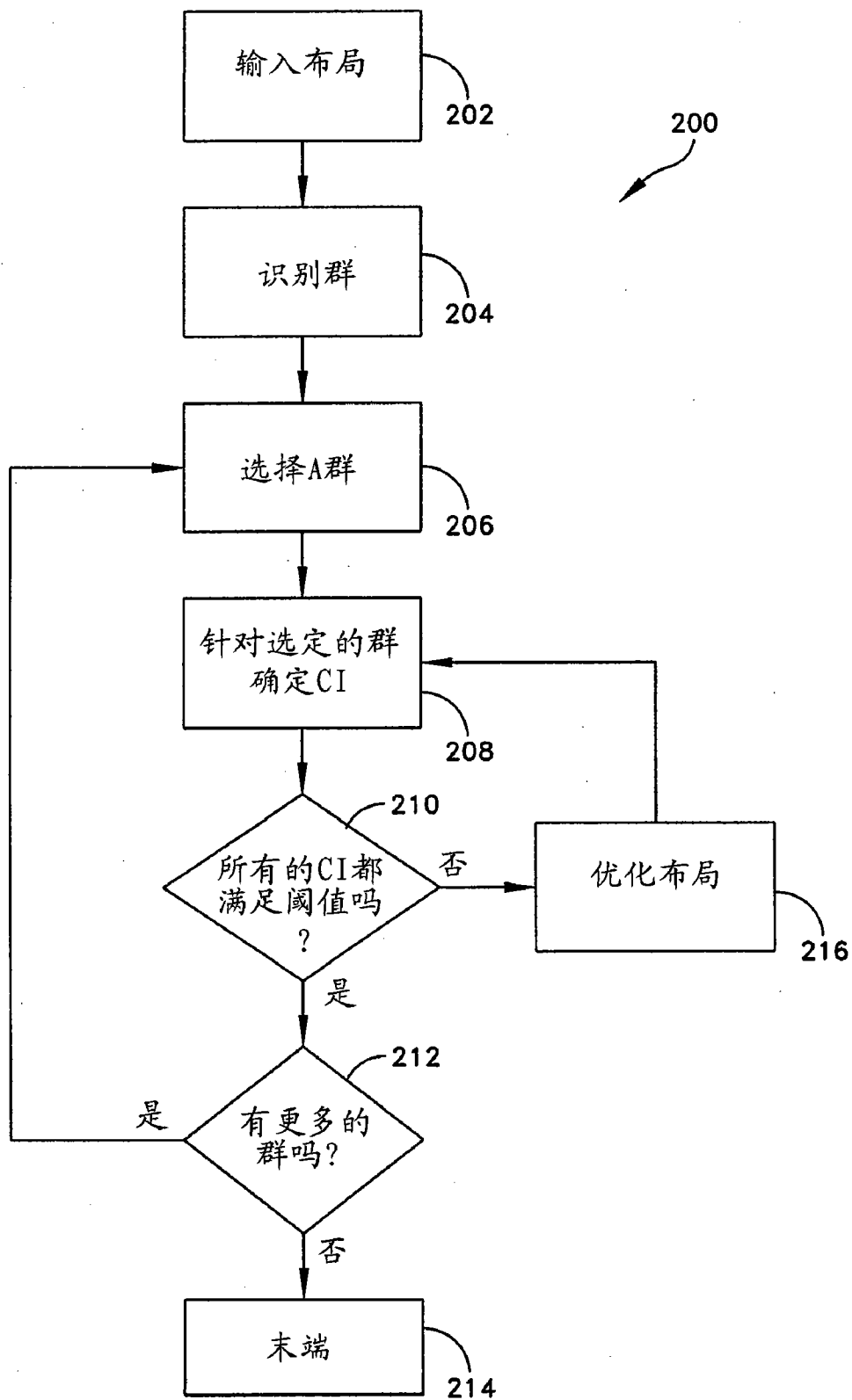


图 2

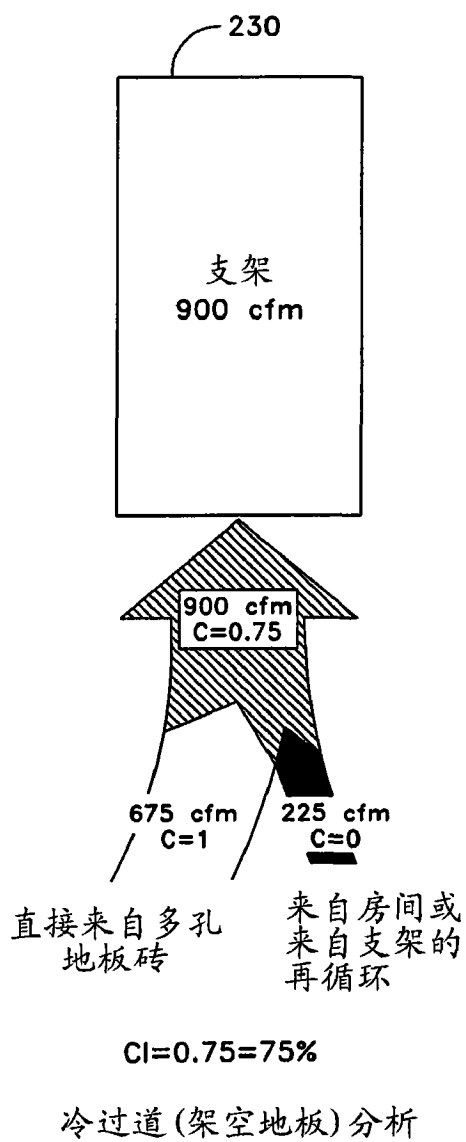


图 3a

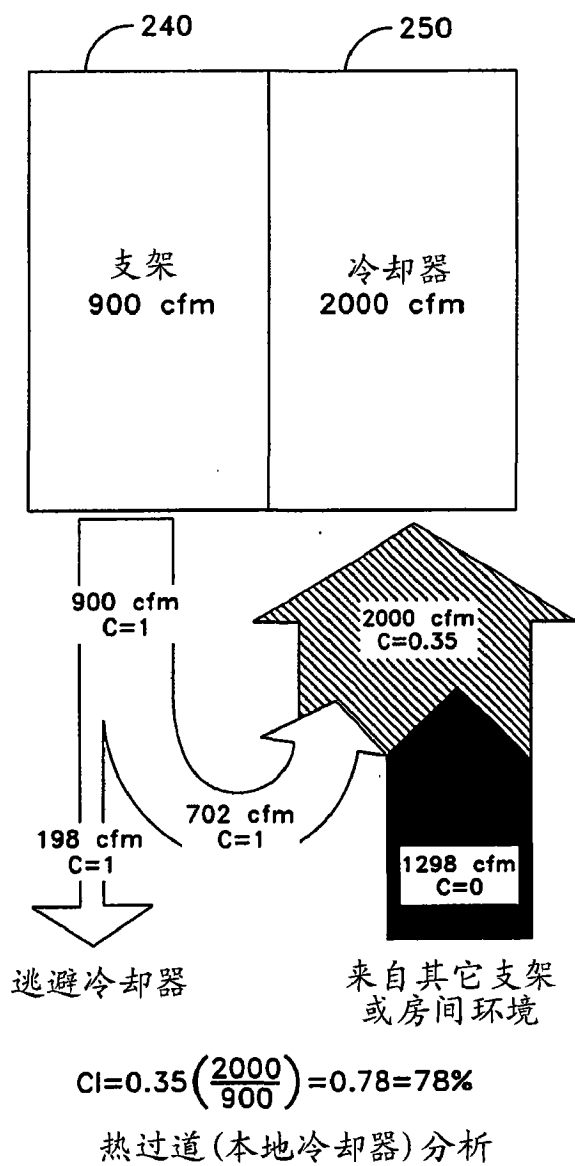


图 3b

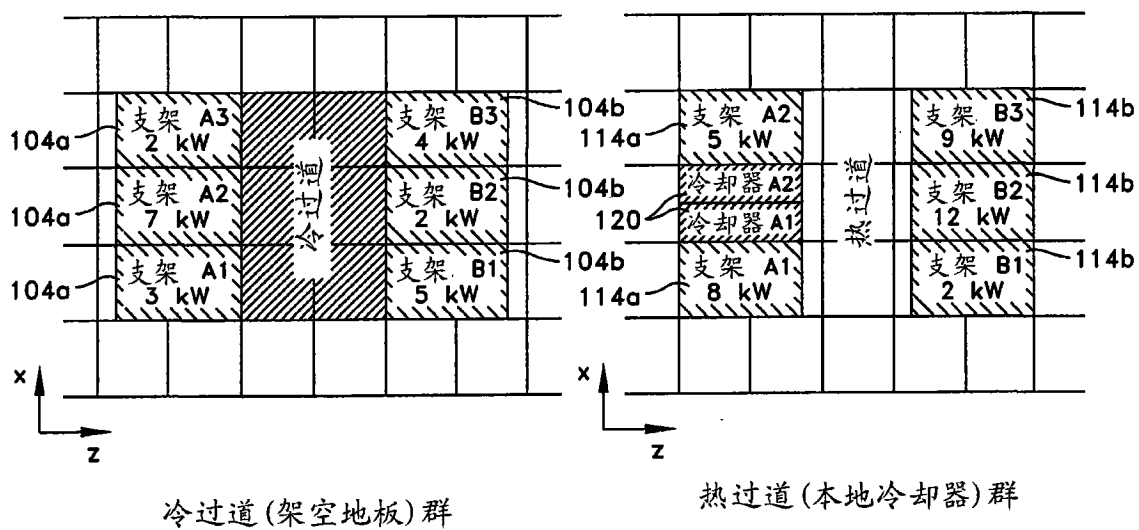
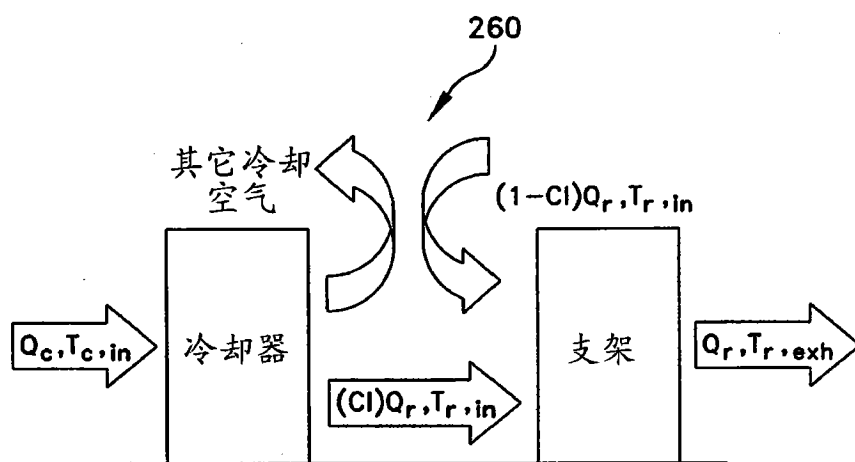


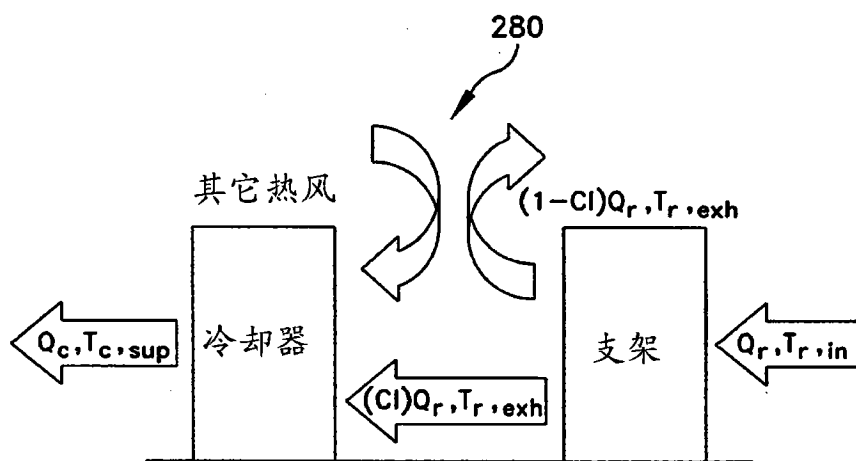
图 4 a

图 4 b



a) 冷过道(本地冷却器)分析

图 5a



b) 热过道 (本地冷却器) 分析

图 5b

SHI	0.005	0.067	0.298	0.286	0.176	
最大支架入口温度.	68 °F	70 °F	79 °F	78 °F	72 °F	
CI	100%	100%	93%	100%	90%	
	3 kW	6 kW	10 kW	6 kW	6 kW	
总逸失功率=6.6 kW						
热过道群 SHI=0.18						
RCI _{HI} =98%						
CI	4 kW	4 kW	5 kW	10 kW	8 kW	12 kW
最大支架入口温度.	100%	100%	88%	82%	88%	84%
SHI	71 °F	75 °F	75 °F	73 °F	71 °F	72 °F
	0.128	0.230	0.245	0.193	0.114	0.080

初始布局

图 6a

最大支架入口温度.	SHI	0.008		0.010		0.013		0.016		0.024
		68 °F	C	68 °F	C	68 °F	C	68 °F	C	69 °F
	CI	100%		100%		100%		100%		100%
		8 kW		10 kW		12 kW		10 kW		6 kW
总逸失功率=0.51 kW 热过道群 SHI=0.024 RCI _{HJ} =100%										
最大支架入口温度.	CI	3 kW	6 kW		5 kW	4 kW		6 kW	4 kW	
		100%	96%	C	99%	98%	C	99%	98%	
	SHI	69 °F	69 °F		69 °F	69 °F		69 °F	69 °F	
		0.015	0.028		0.051	0.051		0.045	0.032	

优化布局

图 6b

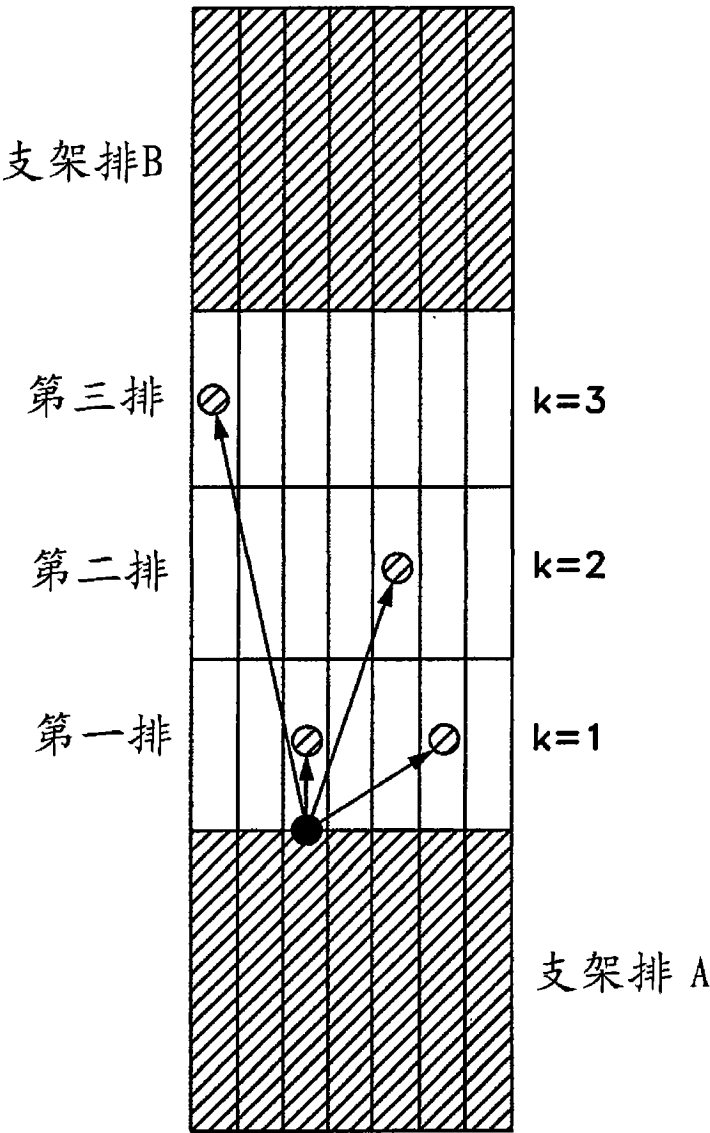
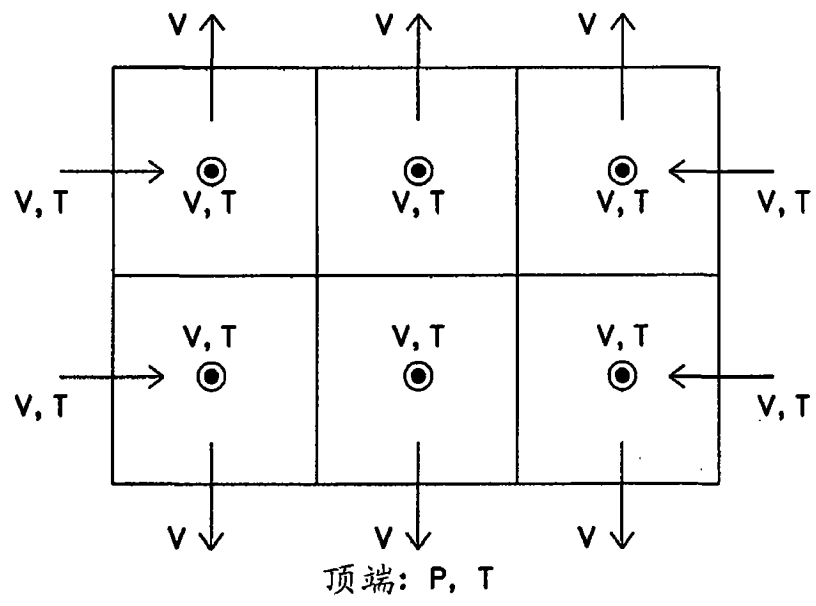
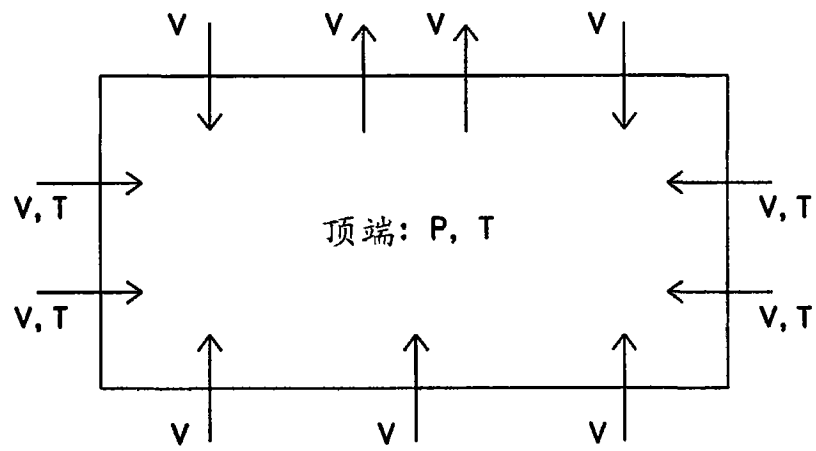


图 7



架空地板冷过道范例

图 8a



本地冷却器热过道范例

图 8b

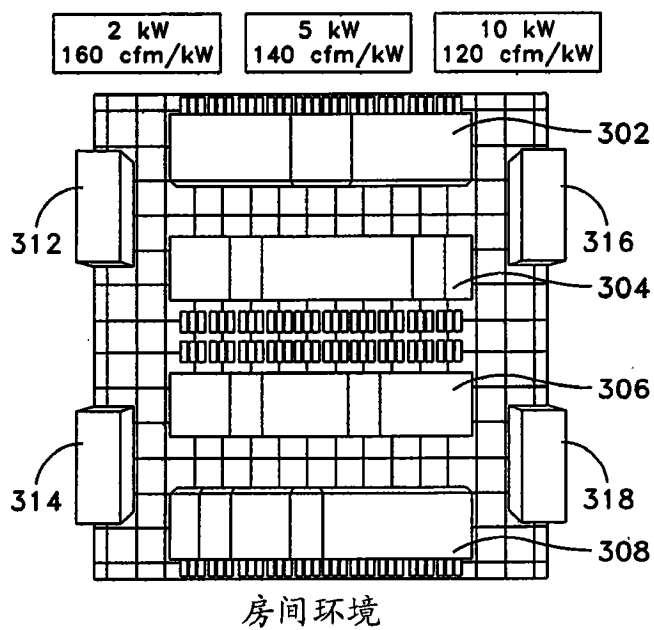


图 9a

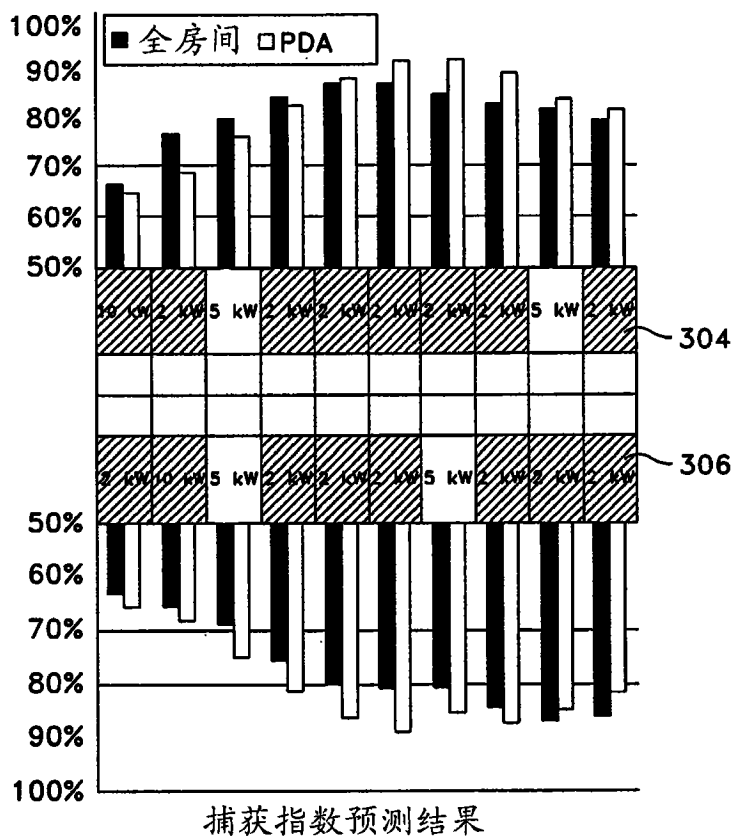


图 9b

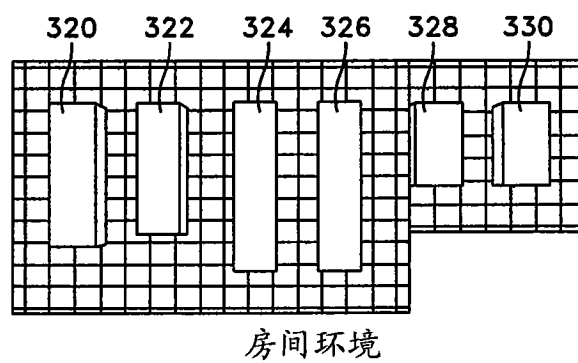


图 10a

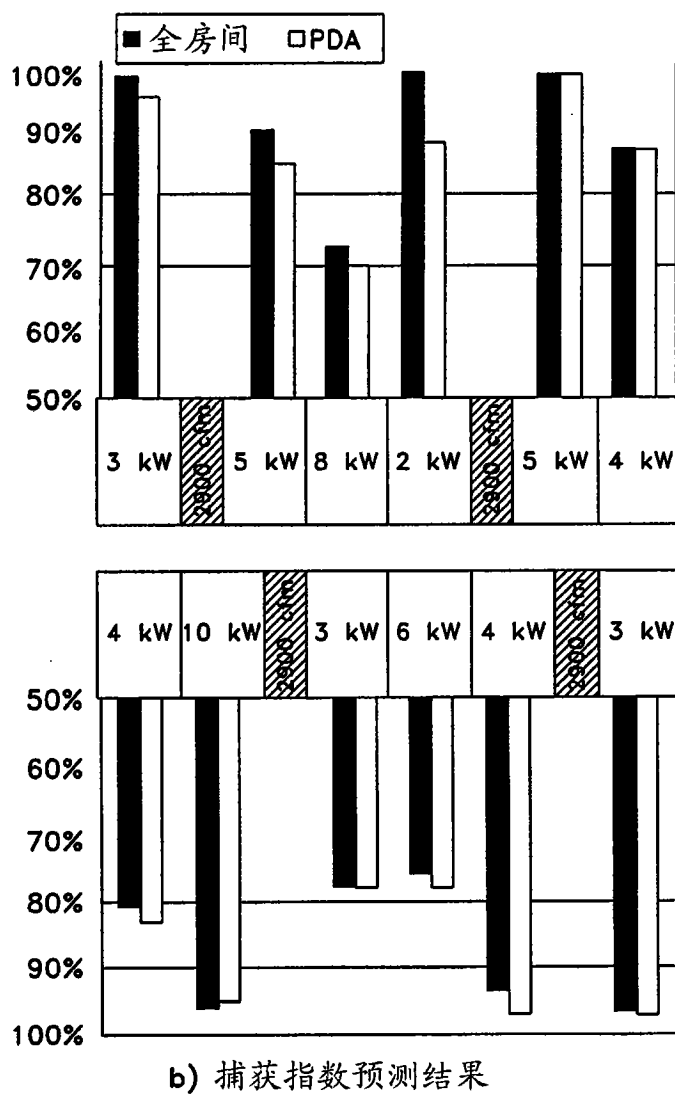


图 10b

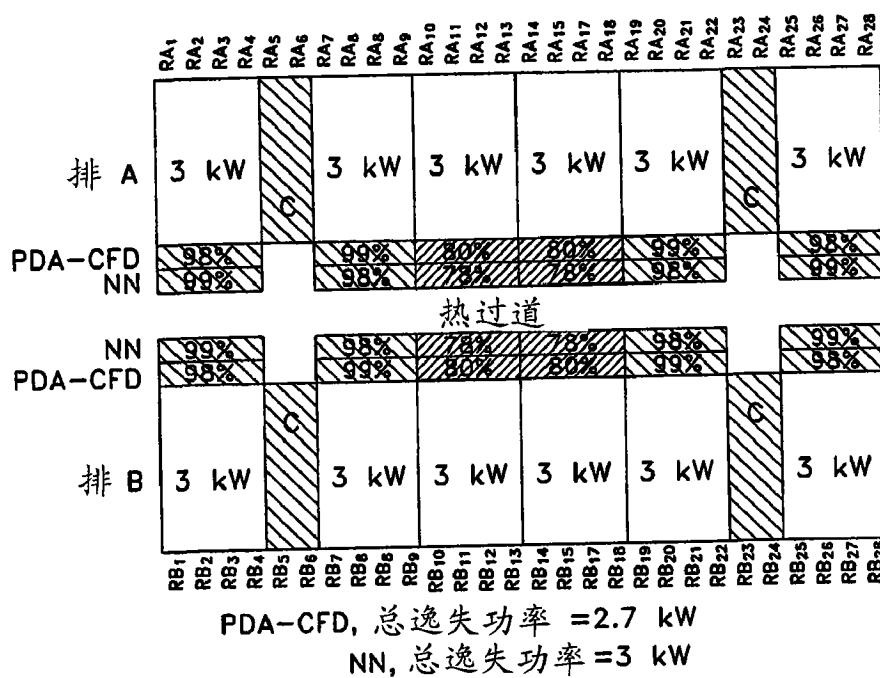


图 11a

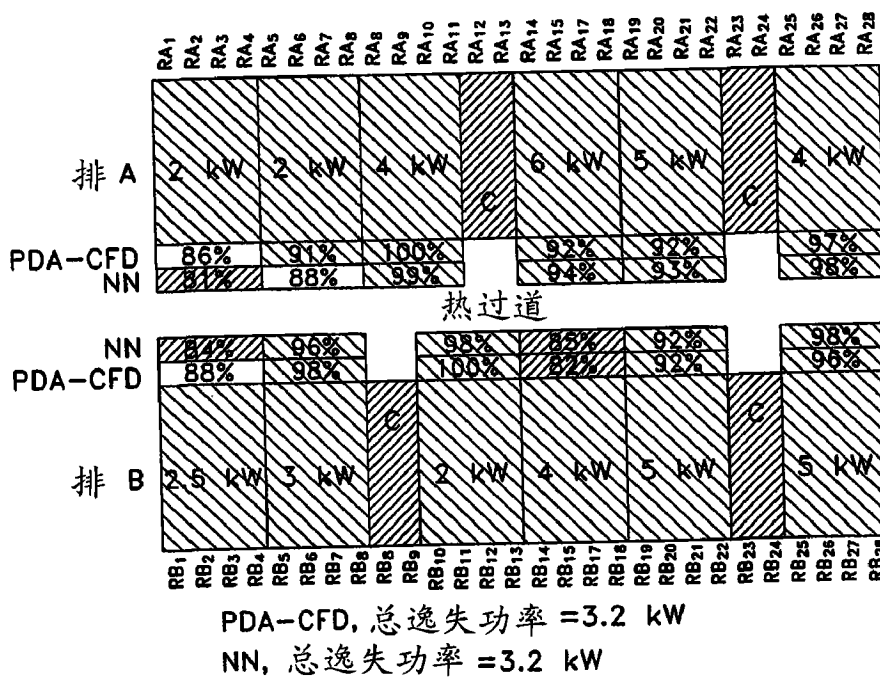


图 11b

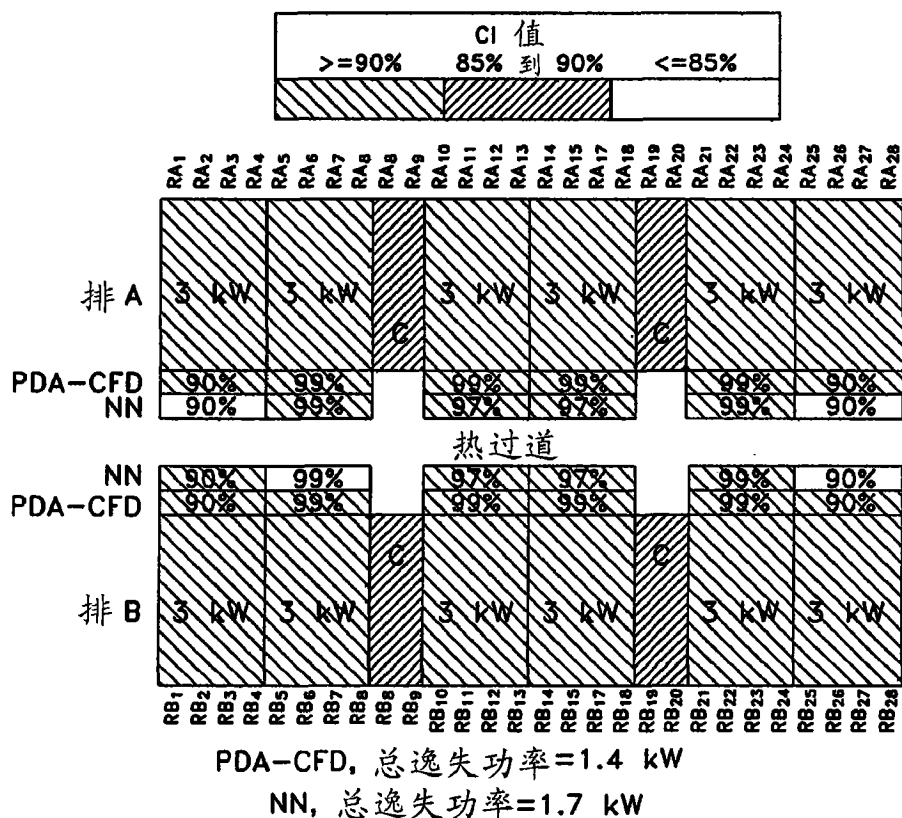


图 12a

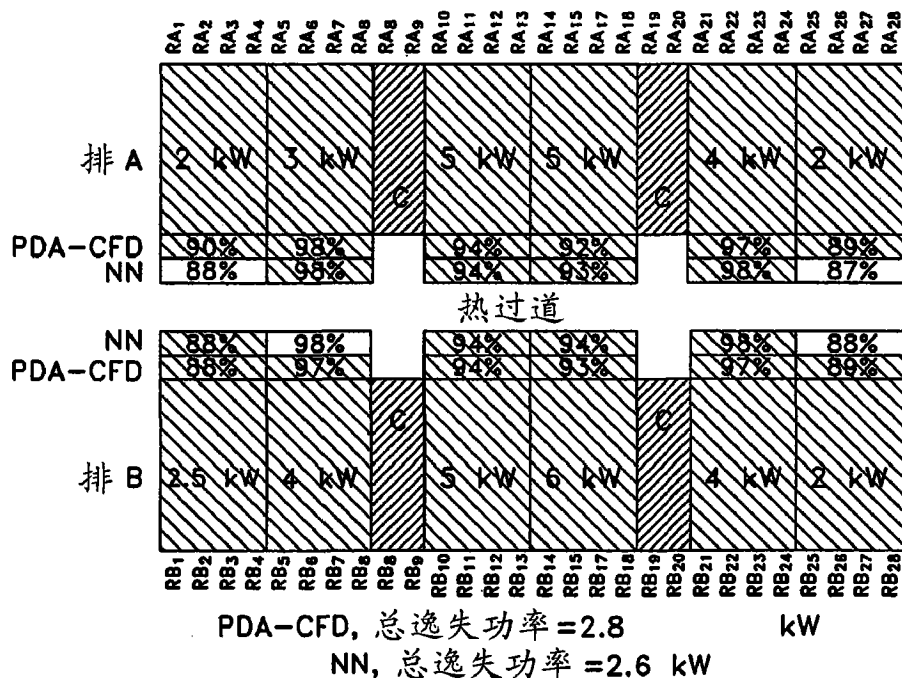


图 12b

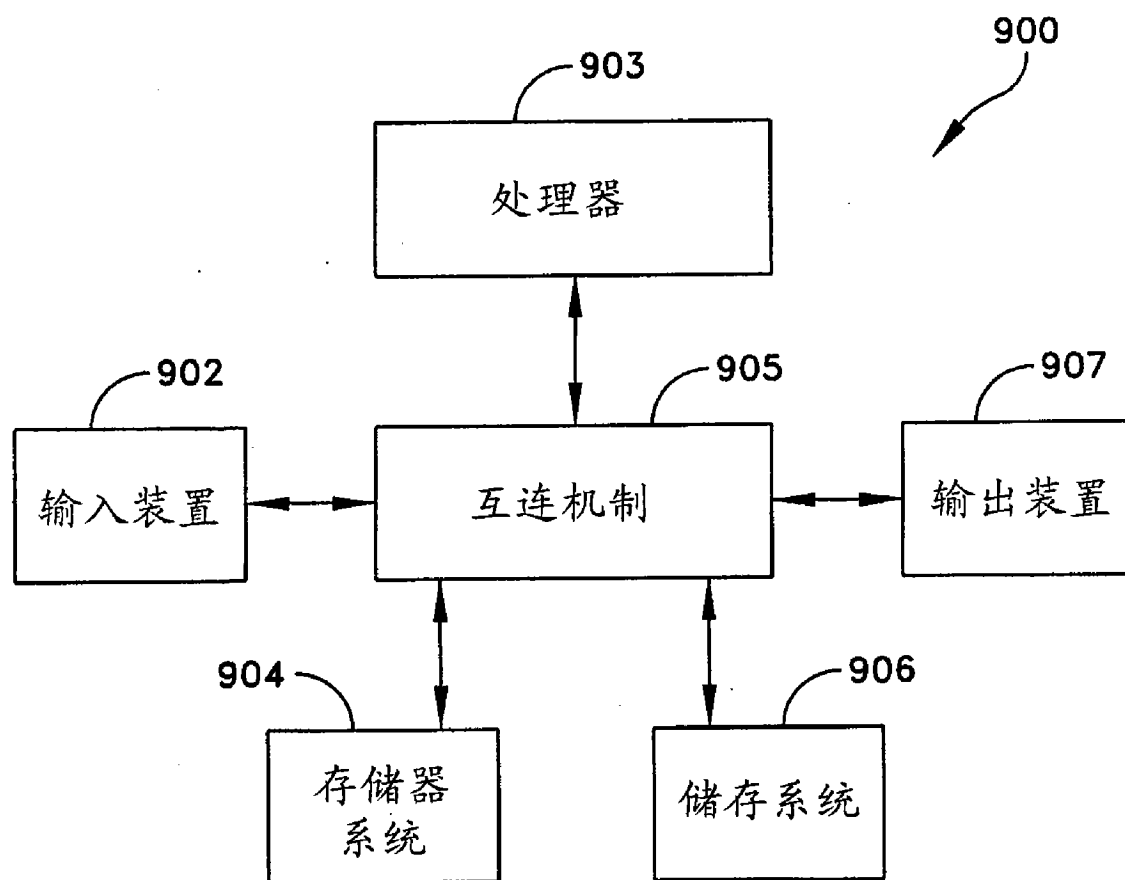


图 13

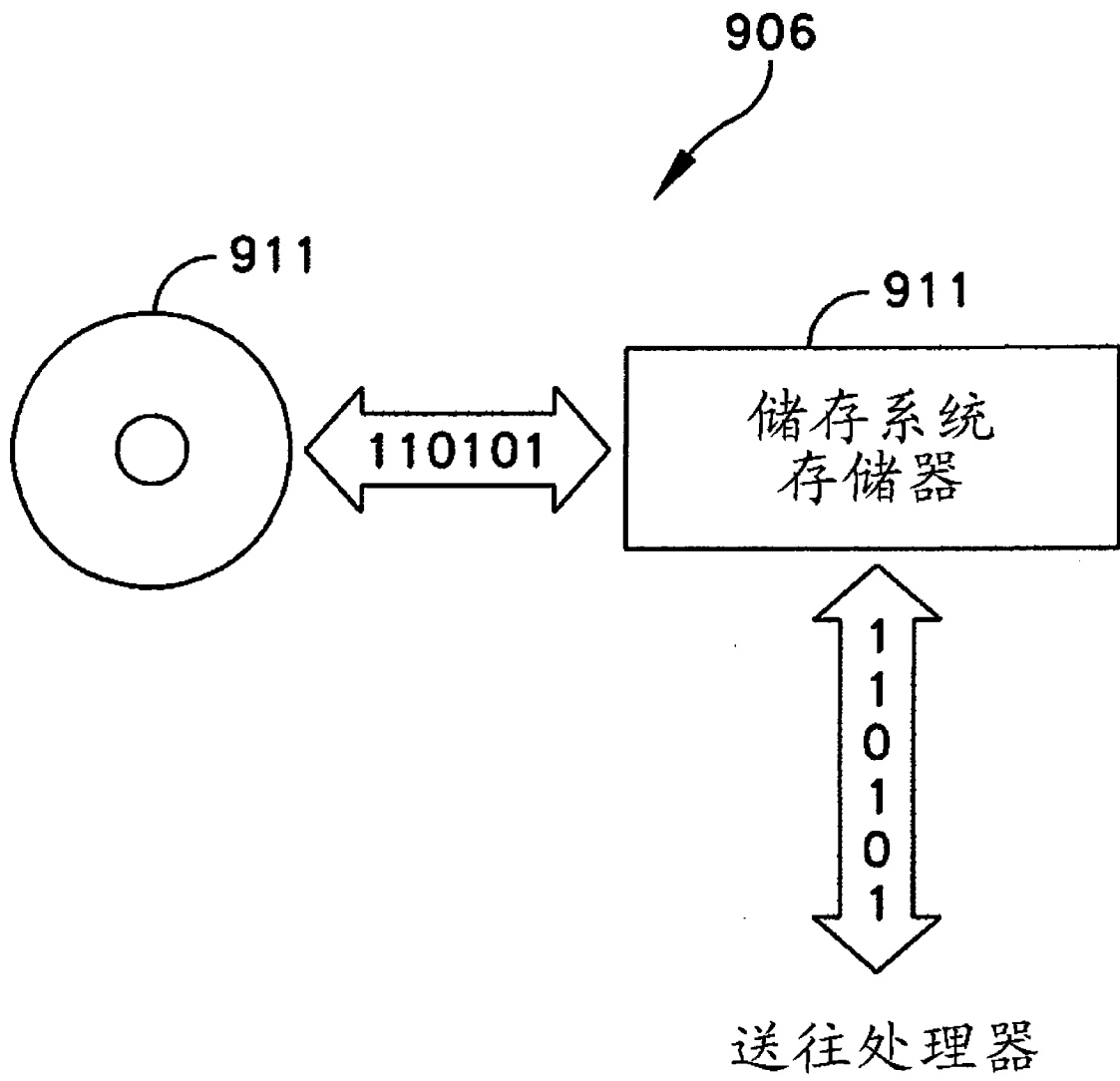


图 14