



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102160171 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 22

(21) 申请号 200980131707. 3

(22) 申请日 2009. 08. 10

(30) 优先权数据

61/188, 589 2008. 08. 11 US

61/163, 443 2009. 03. 25 US

61/165, 470 2009. 03. 31 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 02. 10

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2009/053305 2009. 08. 10

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/019517 EN 2010. 02. 18

(73) 专利权人 绿色革命冷却股份有限公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 C·贝斯特 M·加奈特

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 张欣

(51) Int. Cl.

H01L 23/473(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2008/0017355 A1, 2008. 01. 24, 说明书第 0043-0119 段, 附图 1-31C.

CN 101443724 A, 2009. 05. 27,

US 5297621 A, 1994. 03. 29,

US 2007213000 A1, 2007. 09. 13,

审查员 刘中涛

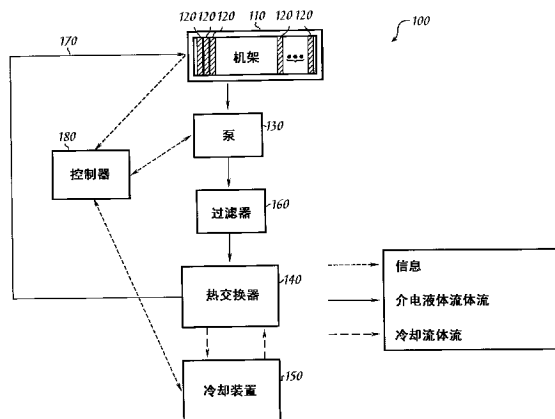
权利要求书2页 说明书19页 附图15页

(54) 发明名称

液体浸没的、水平计算机服务器机架及冷却此种服务器机架的系统和方法

(57) 摘要

用于有效冷却浸没在槽中的介电液体冷却剂中的诸如可独立操作服务器之类的具有发热电子组件的计算设备的装置、系统和方法。



1. 一种用于冷却包含发热电子组件的多个可安装在机架上的服务器的装置,所述冷却装置包括:

至少一个槽,所述槽限定开放的内部容积,并且具有冷却剂入口以在所述开放的内部容积中容纳介电液体冷却剂,并且具有冷却剂出口以允许冷却剂从所述开放的内部容积流出,所述冷却剂入口和所述冷却剂出口彼此流体耦合;以及

位于所述内部容积内的一个或多个安装构件,其被构造成在内部容积内沿垂直方向可安装地容纳多个可独立操作的可安装在机架上的服务器,其中,所述服务器是可安装在机架上的服务器,并且所述一个或多个安装构件被构造成可安装地容纳多个彼此相邻的可安装在机架上的服务器,使得当多个可安装在机架上的服务器可安装地容纳在槽中时,介电液体冷却剂的流动限制在多个可安装在机架上的服务器周围,从而增强介电液体冷却剂穿过多个可安装在机架上的服务器的流动,

其中,所述可安装在机架上的服务器被安装在所述至少一个槽中,使得每一个可安装在机架上的服务器的前面朝上以便于多个服务器中的每一个服务器的安装和去除;

其中所述至少一个槽被构造成在内部容积包含介电液体冷却剂,使得当多个可安装在机架上的服务器可安装地容纳于其中时,在所述至少一个槽充分充满所述介电液体冷却剂时可安装地容纳的每个服务器的至少一部分浸没在所述介电液体冷却剂内,以便充分冷却每个可安装在机架上的服务器,

其中,控制器将离开所述至少一个槽中的服务器的经加热的液体冷却剂维持在一高位温度以便充分冷却每一个服务器,同时减少冷却这些服务器所需的能量的总量,其中,所述高位温度是在 90 至 130° F 之间的范围中。

2. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,

所述至少一个槽包括其敞口的大小被确定为容纳至少一行可安装在机架上的服务器的槽;以及

位于所述内部容积内的所述一个或多个安装构件包括用于将所述至少一行可安装在机架上的服务器可安装地容纳到所述槽的内部容积内的多个安装构件。

3. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于,当可安装地容纳所述多个可安装在机架上的服务器时,每个相应服务器完全浸没在介电液体冷却剂内,使得大量介电液体冷却剂集中在所述多个可安装在机架上的服务器上的公共歧管区以改进液体冷却剂通过所述多个可安装在机架上的服务器的循环,从而增强每个相应服务器的冷却。

4. 如权利要求 3 所述的装置,其特征在于:

所述一个或多个安装构件被构造成在槽底部之上可安装地容纳多个可安装在机架上的服务器,从而在每个相应服务器和槽之间形成容积,这准许介电液体冷却剂穿过多个服务器的流动。

5. 如权利要求 4 所述的装置,其特征在于,还包括:

安装在多个可安装在机架上的服务器和槽之间的容积中的多个流体速度增加装置,用于改进槽内介电液体冷却剂的混合以及液体冷却剂穿过多个可安装在机架上的服务器的流动。

6. 如权利要求 1 所述的装置,其特征在于:

所述可安装在机架上的服务器具有多个机架耳;

所述至少一个槽包括其大小被确定为容纳至少一行可安装在机架上的服务器的槽；以及所述一个或多个安装构件包括固定地附连到所述槽且被构造成可安装地容纳所述至少一行可安装在机架上的服务器中的多个可安装在机架上的服务器的机架耳，由此准许安装和去除所述至少一个服务器而不影响仍然在所述槽内的可安装在机架上的服务器的操作状态。

液体浸没的、水平计算机服务器机架及冷却此种服务器机架的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 依据 35U. S. C. 119, 本申请要求以下美国临时专利申请的优先权：

[0003] 2008 年 8 月 11 日提交的题为 LIQUID SUBMERGED, HORIZONTAL COMPUTER SERVER RACK (液体浸没的、水平计算机服务器机架) 的 S/N61/188, 589 申请；

[0004] 2009 年 3 月 25 日提交的题为 LIQUID SUBMERGED, HORIZONTAL COMPUTER SERVER RACK (液体浸没的、水平计算机服务器机架) 的 S/N61/163, 443 申请；

[0005] 2009 年 3 月 31 日提交的题为 LIQUID SUBMERGED, HORIZONTAL COMPUTER SERVER RACK (液体浸没、水平计算机服务器机架) 的 S/N61/165, 470 申请。

发明领域

[0006] 本申请涉及诸如数据中心中安装于机架上的服务器之类的发热电子设备的冷却。

背景技术

[0007] 在 2006 年, 美国 (US) 的数据中心占用美国总耗电的约 1.5% (约 45 亿美元)。预计到 2011 年这种数据中心耗电会翻倍。数据中心耗电的三分之一以上是用于冷却服务器的, 到 2011 年, 这将等于全美国耗电的约 1% 以上。电力、人员和建造成本不断增加而服务器硬件成本在降低, 使得总体冷却成本成为数据中心的总运行成本中很大且不断增加的部分。

[0008] 术语“数据中心”(有时也称为“服务器场 (server farm)”) 宽松地指代容纳一个或多个“服务器”的物理位置。在一些情况下, 数据中心可仅包括小办公室中的不显眼的角落。在其它情况下, 数据中心可包括若干大型仓库般大小的建筑, 其具有数万平方英尺且容纳数千台服务器。术语“服务器”一般指连接至计算网络并运行软件的计算设备, 其配置成从也连接至计算网络的客户机计算设备接收请求 (例如, 访问或存储文件的请求、提供计算资源的请求、连接至另一个客户机的请求), 该客户机计算设备包括 PDA 和蜂窝电话。这种服务器还可包括专用的计算设备, 称为网络路由器、数据采集设备、可移动磁盘驱动器阵列、以及其它通常与数据中心相关联的设备。

[0009] 典型的市场上可购买到的服务器针对空气冷却而设计。这种服务器通常包括一个或多个印刷电路板, 该印刷电路板具有多个安装于此的电耦合器件。这些印刷电路板通常容纳在具有气孔的外壳中, 该气孔允许外部空气流入外壳并在途经外壳之后流出外壳以达冷却之目的。在很多情况下, 一个或多个风扇位于外壳内以促进这种气流。

[0010] “机架”已被用于将若干服务器组织起来。例如, 可将若干服务器安装在机架内, 且可将该机架放置在数据中心内。诸如网络路由器、硬盘驱动器阵列、数据采集设备和电源之类的各种计算设备中的任意一些通常安装在机架内。

[0011] 容纳这种服务器和服务器机架的数据中心通常利用集中式风扇 (或鼓风机) 在服务器之间分送空气。如下更充分描述的, 数据中心内的空气在进入服务器之前通常穿过用

于冷却空气的热交换器（例如，蒸发 - 压缩循环制冷冷却系统（或“蒸发 - 循环”制冷）的蒸发器，或冷却水盘管）。在一些数据中心中，已将热交换器安装到机架以在空气进入服务器之前提供“机架级”空气冷却。在其它数据中心中，在空气进入数据中心之前冷却空气。

[0012] 一般而言，执行强度较高 (higher performing) 的服务器的电子组件相应地耗散 (dissipate) 较多的功率。然而，服务器内各种硬件组件（例如，芯片、硬盘驱动器、卡）中每个组件的功率耗散会受到相邻发热组件耗散的功率、穿过服务器的气流速度和气流路径、各个组件的封装、以及各组件的最大允许操作温度和从容纳服务器的数据中心进入服务器的冷却空气的温度的限制。从数据中心进入服务器的气流的温度又会受到相邻服务器的功率耗散和邻近度、穿过服务器周围区域的气流速度和气流路径、以及进入数据中心的空气的温度（或者，相反，从数据中心内的空气提取热的速率）的影响。

[0013] 一般而言，数据中心中较低的气温允许每个服务器组件耗散较高的功率，因此允许每个服务器耗散更多功率并在硬件性能级别上操作。因此，数据中心传统上使用复杂的空气调节系统（例如，冷却器、蒸发 - 循环制冷）来冷却数据中心内的空气（例如，冷却至约 65 °F），以实现期望的性能级别。据某些估计，消除电子组件耗散的一瓦热量要消耗大约一瓦。因此，随着能源成本和功率耗散继续增加，冷却数据中心的总成本也增加了。

[0014] 一般而言，将热耗散组件相互间隔开（例如，降低热密度）使得冷却这种组件比将相同组件放置得彼此相对紧密（例如，增加热密度）更简单（当考虑到例如在给定环境中冷却单个组件的成本时，则成本更低）。因此，数据中心也通过增加相邻服务器之间的间隔来补偿增加的功率耗散（对应于增加的服务器性能）。

[0015] 此外，大规模数据中心为冷却热耗散组件提供若干冷却阶段。例如，诸如水的冷却剂流可在被分布在数据中心中以冷却数据中心内的空气之前穿过蒸发 - 压缩制冷循环冷却系统的蒸发器并被冷却至例如约 44 °F。

[0016] 可利用来自标准（例如，ARI 550/590-98）的信息来估计由冷却器消耗的功率。例如，ARI 550/590-98 规定新的离心压缩机——即大容量冷却器中使用的高效普通压缩机——具有取决于冷却器的冷却能力的从 5.00 至 6.10 的季节性平均性能系数（“COP”）。该 COP 不包括蒸发冷却塔消耗的功率，该蒸发冷却塔可用于冷却制冷循环冷却系统中的冷凝器且一般具有 70 或更好的 COP。典型系统的组合 COP 估计约为 4.7。

[0017] 根据某些估计，一些现有数据中心仅能够冷却约 150 瓦 / 平方英尺，与冷却由于把服务器安排成更充分利用现有数据中心内的可用容积（例如，密集地间隔服务器和机架以更充分利用地板至天花板高度和楼面面积）所可能导致的约 1200 瓦 / 平方英尺以上形成对比。如此低的冷却能力可显著增加建造数据中心的成本，因为建造数据中心的成本高达约 \$250 每平方英尺。

[0018] 如空气冷却例子所暗示的，商用冷却方法没有跟上增长的服务器和数据中心性能需求，或是热密度的相应增长。结果，考虑到为促进额外的功率耗散（例如通过增加现有数据中心的空气调节能力）所付出的努力，将新服务器添加到现有数据中心变得困难且复杂。

[0019] 用于冷却数据中心及其服务器的各种备选方法，例如利用液体冷却系统，取得的成功是有限的。例如，尝试转移来自微处理器（或其它发热半导体制造电子设备组件，在本文中合称为“芯片”）的热以便远程冷却芯片是昂贵且麻烦的。在这些系统中，热交换器或

其它冷却设备被放置成与包含芯片的封装有物理接触（或利用热界面材料而具有紧密的物理联系）。这些液体冷却热交换器通常限定了用于在热交换器内循环液体的内部流动通道。然而，服务器内的组件位置会因服务器不同而不同。因此，这些液体冷却系统被设计成用于特定组件布局，而不能实现足够大的规模经济以变得商业上可行。

[0020] 研究指出对于现有技术冷却，到 2011 年可能达到 1.4 的 PUE（如下文中定义的）。然而，没有提及投资这种冷却的成本，且指出者提出节省电力需要昂贵的设备。

[0021] 在高性能（例如，计算机博弈）应用中已经尝试电子组件的浸入冷却（immersion cooling），但还未享有广泛的商业成功。关于浸入冷却的先前尝试利用包含流体的密封外壳将安装到印刷电路板上的组件的一些（在一些示例中为全部）浸没在介电流体中。这种系统昂贵且由有限数量的供应商提供。大规模数据中心一般优先使用“商品化”服务器且倾向于不依赖有限数量供应商的技术。

[0022] 响应于增加的计算要求，已经将控制系统用于增加多个计算机的冷却速率。尽管如此，这种控制系统控制具有将热散发到数据中心建筑内部的空气中（这又需要通过空气调节来冷却）的受控冷却系统，或直接使用制冷作为主要的热耗散模式。作为主要冷却模式的制冷直接或间接地需要大量能量。

[0023] 已经尝试两相冷却系统，但由于技术复杂性，它们没有产生有成本效益的产品或足以证明应该投资两相冷却资产的低操作成本。又一些其它单相或两相冷却系统将冷却介质带到计算机外部，但将热量排入计算机外且数据中心内（例如，服务器室内）的冷却介质（例如，空气）。因此，各种当前采用或先前尝试的服务器或计算机冷却方法极其昂贵和/或不足以满足计算设备渐增的冷却要求。

[0024] 间接地，很多研究人员设法降低诸如电源和 CPU 之类的各组件的功率。尽管芯片制造商已提供了能够给予合需性能级别同时以相对较低功率操作的芯片，但迄今这种芯片是昂贵的。因此，迄今的冷却方法导致高级别电力消耗、大量资本投资和增加的硬件开支中的一种或多种。

[0025] 因此，需要用于冷却诸如安装在机架上的服务器之类的电子组件的有效、高效率且低成本冷却选择。

发明内容

[0026] 简言之，本发明提供用于有效冷却浸没在槽中的介电液体冷却剂中的诸如可独立操作服务器之类的具有发热电子组件的计算设备的装置、系统和方法。

[0027] 系统可包括至少一个槽，该槽限定内部容积（volume），并且具有冷却剂入口以在内部容积中容纳介电液体冷却剂，并且具有冷却剂出口以允许介电液体冷却剂从内部容积流出，冷却剂入口和冷却剂出口彼此流体耦合；位于内部容积内的一个或多个安装构件，其被配置成可安装地容纳多个可独立操作的服务器；介电液体冷却剂；流体耦合到所述至少一个槽的冷却剂出口的热交换器，该热交换器位于槽的远端；流体耦合到热交换器和所述至少一个槽的内部容积的泵，该泵被配置成通过流体回路抽吸液体冷却剂，该流体回路包括从槽的冷却剂入口延伸至每个服务器的第一回路部分、从每个相应服务器延伸至冷却剂出口的第二回路部分、从冷却剂出口延伸至热交换器的第三回路部分以及从热交换器延伸至冷却剂入口的第四部分；控制器，用于监控所述流体回路内的至少一个位置处的介电液

体冷却剂的温度并调节介电液体冷却剂通过流体回路的流动,使得介电液体冷却剂在其离开流体回路的第二回路部分时保持在高位温度(elevated temperature);其中至少一个槽被配置成在内部容积内包含介电液体冷却剂,使得当多个服务器可安装地容纳在其中时,每个服务器浸没在介电液体冷却剂内以便充分冷却每个相应服务器同时使离开的经加热的液体冷却剂维持在高位温度以降低充分冷却所述多个服务器中的每个所消耗的能量。

[0028] 或者,冷却系统包括至少一个槽,该槽限定开放的内部容积;位于开放的内部容积内的一个或多个安装构件,其被配置成在内部容积中可安装地容纳多个可独立操作的服务器;在第一流体回路中循环通过多个服务器的介电液体冷却剂;辅助冷却系统,其具有在第二流体回路中流动的冷却流体,其中辅助冷却系统排来自冷却流体的热;位于所述至少一个槽内的耦合器,用于将来自第一流体回路中离开槽内多个服务器的部分的经加热的介电冷却剂热耦合到第二流体回路中的冷却流体,以从这种经加热的介电冷却剂排出一些热;控制器,用于监控第一流体回路内的至少一个位置处的介电液体冷却剂的温度并调节冷却流体通过第二流体回路的流动,使得离开多个服务器的介电液体冷却剂大致保持在高位温度,其中所述高位温度是显著高于对于人类而言典型的舒适室温且低于多个服务器中最敏感的发热电子组件的最大允许温度的温度;其中至少一个槽被构造成在所述内部容积内包含介电液体冷却剂,使得当多个服务器可安装地容纳在其中时,在槽充分充满液体冷却剂时每个服务器的至少相当大的部分浸没在介电液体冷却剂内以便充分冷却每个相应服务器,使离开多个服务器的液体冷却剂维持在大致的高位温度以降低充分冷却每个相应服务器所消耗的能量。

[0029] 或者,冷却系统可包括至少一个槽,该槽限定开放的内部容积;位于开放的内部容积内的一个或多个安装构件,其被配置成在内部容积中可安装地容纳多个可独立操作的服务器;在第一流体回路中循环通过多个服务器的介电液体冷却剂;辅助冷却系统,其具有在第二流体回路中流动的冷却流体,其中所述辅助冷却系统排来自冷却流体的热中的一些。位于至少一个槽内的耦合器,用于将来自第一流体回路中离开槽内多个服务器的部分的经加热的介电冷却剂耦合到第二流体回路中的冷却流体,以从这种经加热的介电冷却剂排出一些热。控制器,用于监控第一流体回路内的至少一个位置处的介电液体冷却剂的温度并调节冷却流体通过第二流体回路的流动,使得离开多个服务器的介电液体冷却剂大致保持在升高温,其中所述高位温度是显著高于对于人类而言典型的舒适室温且低于多个服务器中最敏感的发热电子组件的最大允许温度的温度;其中至少一个槽被构造成在内部容积内包含介电液体冷却剂,使得当多个服务器可安装地容纳在其中时,每个服务器浸没在介电液体冷却剂内以便充分冷却每个相应服务器同时使离开多个服务器的液体冷却剂维持在大致的高位温度以降低充分冷却每个相应服务器所消耗的能量。

[0030] 夹具或服务器机架装置包括至少一个槽,该槽限定开放的内部容积,并且具有冷却剂入口以在开放的内部容积中容纳介电液体冷却剂,并且具有冷却剂出口以允许冷却剂从开放的内部容积流出,冷却剂入口和冷却剂出口彼此流体耦合;以及位于内部容积内的一个或多个安装构件,其被构造成在内部容积内沿垂直方向可安装地容纳多个服务器,使服务器相对于地面的覆盖区最小化,且服务器的前面朝上以便于多个服务器的安装和去除而无需去除或干扰任意其它服务器;其中至少一个槽被构造成在内部容积包含介电液体冷却剂,使得当多个服务器可安装地容纳于其中时,在槽充分充满液体冷却剂时可安装地容

纳的每个服务器浸没在介电液体冷却剂内,以便充分冷却每个相应服务器。

[0031] 一种流体连接至位于服务器室远端的第一热交换器的服务器室包括上述装置,包括至少一个槽,该槽限定用于容纳介电液体冷却剂的内部容积,以及位于内部容积内的一个或多个安装构件,其被配置成可安装地容纳多个可独立操作的服务器。该服务器室还包含多个可独立操作的服务器,其中多个服务器中的每一个由一个或多个安装构件可安装地容纳,使得每个相应服务器浸没在介电液体冷却剂的容积中以便从多个服务器中的各相应服务器吸收热。该服务器室还包含至少一个耦合器,用于将加热的介电液体冷却剂耦合至热交换器,以排出由介电液体冷却剂从多个服务器中的每一个吸收的热中的至少一些。热交换器可与辅助冷却系统相关联。耦合器可包括用于将介电液体冷却剂流体耦合到第一热交换器的流体耦合器。或者,耦合器包括:热交换器,该热交换器位于槽的内部且热耦合到被服务器加热的介电液体冷却剂,以及辅助流体回路,其具有与位于远端的热交换器和位于内部的热交换器流体相关的第二冷却流体,其中介电液体冷却剂与冷却流体不同,其中位于远端的热交换器热耦合到辅助流体回路中流动的冷却流体,使得位于远端的热交换器将来自冷却流体的热排出,来自冷却流体的热是冷却流体在耦合器处从经加热的介电液体冷却剂吸收的。

[0032] 一种冷却多个可独立操作的服务器的方法包括:使介电液体冷却剂在流体回路中流过浸入在介电液体冷却剂内的多个服务器以吸收由相应服务器中的每一个驱散的任何热的至少一部分;监控流体回路内至少一个位置上的液体冷却剂的温度;确定经加热的介电液体冷却剂在离开多个服务器时的最优高位温度,使得液体冷却剂充分冷却多个服务器同时减少充分冷却每个相应服务器所消耗的能量,其中所述高位温度是显著高于对于人类而言典型的舒适室温且低于多个服务器中最敏感的发热电子组件的最大允许温度的温度。由控制器周期性地确定排出所吸收的热以冷却多个服务器所需的能量;将所述多个服务器加热的介电液体冷却剂热耦合到位于槽远端的热交换器;以及将由液体冷却剂吸收的热的至少一部分排出。响应于通过控制器周期性确定将介电液体冷却剂从服务器吸收的热排出所需的能量,该方法可包括周期性调节通过热交换器排出的热量的步骤,使得以高位温度离开多个服务器的介电液体冷却剂充分冷却多个服务器同时减少充分冷却每个相应服务器所消耗的能量。

[0033] 附图简述

[0034] 为更透彻理解本发明及其优点,现参考连同附图进行的以下描述,其中:

[0035] 图 1A 示出用于有效冷却多个可独立操作的服务器的示例性系统的一个实施例;

[0036] 图 1B 示出用于有效冷却多个可独立操作的服务器的示例性系统的备选实施例;

[0037] 图 2 更详细地示出图 1A 的系统;

[0038] 图 3 具有安装于其中的多个可独立操作的服务器的示例性浸入冷却机架的立体图。

[0039] 图 4 示出图 3 所示浸入冷却机架的俯视图。

[0040] 图 5 示出图 3 所示浸入冷却机架的端视图。

[0041] 图 6 示出图 3 所示浸入冷却机架的侧视图。

[0042] 图 7 具有安装于其中的多个可独立操作的服务器的备选浸入冷却机架的端视图。

[0043] 图 8 示出图 7 所示浸入冷却机架的俯视图。

[0044] 图 9 示出具有安装于其中的多个可独立操作的服务器的另一个备选浸入冷却机架的端视图。

[0045] 图 10 示出具有安装于其中的多个可独立操作的服务器的又一个备选浸入冷却机架的端视图。

[0046] 图 11 示出具有安装于其中的多个可独立操作的服务器的并排浸入冷却机架的立体图,且示出至服务器的电连接。

[0047] 图 12A 是可安装在图 3 至 11 所描绘的浸入冷却服务器机架中的常规可安装在机架上的服务器的一种版本的立体图;

[0048] 图 12B 是图 12A 的常规可安装在机架上的服务器的硬盘驱动器的图示,且具有防液体外壳插入在其周围;

[0049] 图 13 是图 11 的浸入冷却机架的端视图;

[0050] 图 14 是图 11 的浸入冷却机架的另一个端视图,示出液体冷却剂的流动;

[0051] 图 15 是用于冷却例如图 3 所示类型且安装在服务器室内的多个浸入冷却服务器机架的系统的示意图。

[0052] 图 16 示出采用图 1A 或 1B 的系统冷却浸入在液体冷却剂的槽中的一个或多个可独立操作的服务器的示例性方法;

[0053] 图 17A 示出采用图 1A 的系统冷却浸入在液体冷却剂的槽中的一个或多个可独立操作的服务器的方法的物理步骤;以及

[0054] 图 17B 示出采用图 1A 的系统冷却浸入在液体冷却剂的槽中的一个或多个可独立操作的服务器的方法的基于计算机控制器的步骤。

[0055] 详细描述

[0056] 以下描述高效率冷却至少部分浸入槽中的介电液体冷却剂中的诸如可独立操作服务器之类的具有发热电子组件的计算设备的装置、系统和方法。通过参考图 1-17 能极好地理解本文中包含的本发明的原理及其优点。

[0057] 正如本文中所使用的,术语“服务器”一般指连接至计算网络并运行软件的计算设备,其配置成从也连接至计算网络的客户机计算设备接收请求(例如,访问或存储文件的请求、提供计算资源的请求、连接至另一个客户机的请求),该客户机计算设备包括 PDA 和蜂窝电话。这种服务器还可包括专用的计算设备,称为刀片式服务器、网络路由器、数据采集设备、可移动盘驱动器阵列以及其它通常与数据中心相关联的设备。

[0058] 正如本文中所使用的,“可独立操作”表示能够有效运行而不考虑相邻组件的操作状态。正如本文中所使用的,“可独立操作的服务器”表示能够有效运行(例如,供电或断电、连接至网络或从网络断开、安装在机架中或从机架去除以及一般用于服务器一般的用途)而不考虑相邻服务器的操作状态(例如,供电或断电、连接至网络或从网络断开、安装在机架中或从机架去除以及是否可用于服务器一般的用途)的服务器。可独立操作的服务器的操作可能受到一个或多个相邻服务器的影响(例如,被加热),但正如本文中所使用的,可独立操作的服务器一般运行而不管相邻服务器操作还是可操作。

[0059] 正如本文中所使用的,术语“液体冷却剂”可以是任意充分不导电的液体,使得电组件(例如,主板、存储器板以及设计成在空气中使用的其它电和/或电子组件)在浸没的同时可靠运行而无需显著修改。一种适当的液体冷却剂是介电液体冷却剂,包括但不限于

植物油、矿物油（另外称为变压器油）或任意具有类似特征的液体冷却剂（例如，介电强度高于空气或几乎与空气相当的不易燃、无毒液体）。

[0060] 正如本文中所使用的，“流体”表示液体或气体，且“冷却流体”表示通常用于排热或冷却目的的气体或液体冷却剂。正如本文中所使用的，液体冷却剂是冷却流体总体的子集，但冷却流体可以是介电或非介电液体或气体，诸如，常规的空气调节制冷。

[0061] PUE 表示“功率利用率”，它是数据中心使用的总功率除以服务器使用的功率的比，是能量效率的度量。

[0062] COP 表示“性能系数”，即去除的热与使用的功的比。例如，10 的 COP 可表示利用 1 瓦功去除 10 瓦热。

[0063] VCC 表示“蒸发压缩循环”，最常用于空气调节的热过程。

[0064] 迄今商用冷却技术的不良总效率助长了冷却数据中心所使用的服务器的总成本。正如本文中所使用的，申请人已经发现能够减少助长这种不良总效率的不可逆性 (irreversibility)，降低冷却服务器的总成本（以及操作数据中心的相应成本）。

[0065] 如在不同温度的两个主体（或流体）之间，热从较高温度的主体流向较低温度的主体。对于给定的传热量，与发生在较低温度下的传热过程相比，当两个温度都较高时，这种传热不可逆性较低（例如，相关联的能量保持更“有用”或“较高质量”）。已披露了用于高效率冷却发热电子组件的方法、系统和装置，如通过将热从处于第一温度（例如，在一些示例中约 156 °F）的组件传递到“高温”液体冷却剂（例如，诸如约 105 °F 温度的矿物油之类的介电液体冷却剂）。这种从处于第一温度的发热组件至“高温”冷却剂的传热比将相同热量从处于第一温度的组件传递到“低温”冷却剂（例如，65 °F 温度的空气）的不可逆性更低。

[0066] 本文披露的方法、系统和装置利用这种热力学原理来提高冷却电子组件的总效率，这可应用于例如数据中心常用类型的可独立操作的服务器。这种提高的冷却效率可通过减少用于冷却目的而消耗的电力来降低操作数据中心的总成本。

[0067] 在一些披露的实施例中，减少的温差（导致较低的不可逆性）使得热量能够被收回 (recaptured)。在其它实施例中，减少的温差降低（或完全去除）对制冷的需求。在所有披露的实施例中，与常规的商用冷却循环相比，冷却系统的相应冷却循环效率增加。

[0068] 概述

[0069] 图 1A 和图 1B 分别描绘用于冷却一个或多个包含发热电子组件的可独立操作的服务器的备选示例性系统 100 和 200，例如可将服务器安排在数据中心中的一个或多个服务器机架中。一些披露的系统和方法通过将冷却剂温度（例如，平均整体流体温度）维持在与常规冷却技术相比可接受的高位温度来减小发热（耗散）组件与用于冷却该组件的冷却介质（在本文中也称为“冷却剂”或“液体冷却剂”）之间的温差。这种高位冷却剂温度可降低用于冷却目的而消耗的功率（例如，热从“高温冷却剂”比从“低温冷却剂”更易于排放到环境中）。

[0070] 图 1A 示出用于冷却可独立操作的服务器的机架的冷却系统 100 的一个实施例。系统 100 包括桶或槽 110，其包含多个服务器 120 可浸入其中的介电液体冷却剂。下文描述的安装构件或轨位于槽 110 的内部容积内并且配置成作为服务器机架将多个服务器 120 容纳和安装到槽 110 中。这种槽 110 可具有用于通向安装在机架中的每个服务器的开口。当

槽 110 充分地充满液体冷却剂时,每个服务器 120 的至少一部分浸没在介电液体冷却剂中以便充分冷却每个相应的服务器。较佳的是,在操作期间每个服务器完全浸没在介电液体冷却剂中。

[0071] 被服务器机架中的服务器 120 加热的液体冷却剂然后通过适当的管道或管线流体耦合至泵 130,泵 130 使加热的流体冷却剂通过适当的管道或管线抽入与排热或冷却装置 150 相关联的位于远端的热交换器 140。远端热交换器 140 排出来自输入的经加热的液体冷却剂的热并通过返回流体管线或管道 170 将经冷却的液体冷却剂流体耦合回到槽 110 中。因此,液体冷却剂的至少一部分通过槽 110 中的服务器 120、泵 130、热交换器 140 并返回槽 110 来完成流体回路。通过热交换器 140 从经加热的液体冷却剂排出的热然后由下文描述的备选排热或冷却装置 150 选择性地使用以驱散、回收或有利地使用排出的热,这取决于系统所处的不同环境条件和 / 或服务器操作条件。

[0072] 系统 100 包括具有用于实现本发明方法的适当的新颖应用程序的常规设计的计算机控制器 180。控制器 180 可接收来自冷却系统 100 的各组件和环境的各种操作参数的监控信号,并可生成控制信号以控制冷却系统的各组件,从而将离开槽中的服务器的经加热的液体冷却剂维持在特定的高位温度以便充分冷却每个服务器,同时减少冷却服务器所需能量的总量。具体地,控制器 180 监控流体回路内至少一个位置处的液体冷却剂的温度,例如,在加热液体回路离开多个服务器的位置。控制器 180 还可通过将控制器 180 电连接至由常规可安装在机架上的服务器生成的诊断输出信号来监控服务器机架中服务器中的发热电子组件的温度。控制器还可监控介电液体冷却剂的流动。基于这种信息,控制器 180 可将信号输出到泵 130 和排热或冷却装置 150 以调节通过流体回路的液体冷却剂的流动以及由排热或冷却装置 150 排出的热量,以便充分冷却每个相应服务器同时将离开服务器的经加热的液体冷却剂维持在高位温度以减少充分冷却服务器机架中的每个服务器所消耗的能量。

[0073] 图 1B 示出用于冷却可独立操作的服务器的机架的备选冷却系统 200 的一个实施例。系统 200 包括桶或槽 210,其包含多个服务器 120(未示出)可浸入其中的液体介电冷却剂。下文描述的安装构件位于槽 210 的内部容积内并且配置成作为服务器机架将多个服务器 120 容纳和安装到槽 210 中。这种槽 210 可具有用于通向安装在机架中的每个服务器的敞口。当槽 210 充分地充满液体冷却剂时,每个服务器 120 的至少一部分浸没在介电液体冷却剂中以便充分冷却每个相应的服务器。较佳的是,在操作期间每个服务器完全浸没在介电液体冷却剂中。

[0074] 与冷却系统 100 不同,加热介电液体冷却剂不流到槽 210 外部。相反,流动的介电液体冷却剂的流体回路 260 完全在槽 210 内。诸如热交换器之类的热耦合装置 280 安装在槽 210 内并且在穿过服务器的流体回路内,使得离开服务器的加热介电液体冷却剂流的至少一部分流过热耦合装置 280。经冷却的介电液体冷却剂离开耦合装置 280 且经冷却的介电冷却剂的至少一部分在内部流体回路 260 中循环回来并穿过服务器。

[0075] 系统 200 包括辅助排热或冷却装置 250,其具有在管道或管线中流动的诸如气体或液体的冷却流体,形成第二流体回路 290,其中辅助冷却装置 250 包括相关联的远程的或位于远端的热交换器(未示出),通过远端的远程热交换器从第二流体回路中的冷却流体排放热。

[0076] 通过与辅助冷却装置 250 相关联的热交换器从第二流体回路中的经加热的冷却流体排出的热然后可被选择性地驱散、回收或有利地使用,这取决于系统所处的不同环境条件和 / 或服务器操作条件。

[0077] 系统 200 包括具有用于实现本发明方法的适当的新颖应用程序的计算机控制器 270。控制器 180 可接收来自冷却系统 200 的各组件和环境的各种操作参数的监控信号,并可生成控制信号以控制冷却系统的各组件,从而将离开槽 210 中的服务器的经加热的液体冷却剂维持在特定的高位温度以便充分冷却多个服务器中的每一个,同时减少冷却服务器所需能量的总量。具体地,控制器 270 监控流体回路内至少一个位置处的液体冷却剂的温度,例如,在加热液体回路离开浸入槽中的服务器的位置。控制器 270 还可通过将控制器电连接至由常规可安装在机架上的服务器生成的诊断输出信号来监控服务器机架中服务器中的发热电子组件的温度。控制器还可监控外部流体回路 290 中冷却流体的流动和温度。基于这种信息,控制器 180 可将信号输出到排热或冷却装置 250 以调节通过外部流体回路的冷却液体的流动以及由排热或冷却装置 250 排出的热量,以便充分冷却每个相应服务器同时将离开服务器的经加热的液体冷却剂维持在高位温度以减少充分冷却每个服务器所消耗的能量。较佳的是,高位温度是显著高于对于人类而言典型的舒适室温且低于服务器中最敏感的发热电子组件的最大允许温度的温度。

[0078] 如前所述,使用计算机控制器来控制冷却系统的不同组件已将离开的介电液体冷却剂温度维持在可接受的高位温度。通过将离开的介电液体冷却剂温度 维持在可接受的高位温度,可将冷却系统用于利用或驱散热的多种不同技术(例如,热回收、低功率散热或制冷)。

[0079] 在一些实施例中,可将冷却剂的平均整体流体温度维持在例如约 105 °F 的温度,该温度显著高于典型的室温以及美国按月的最大平均室外温度(例如,在夏季月份中约为 75 °F)。在约 105 °F 的温度下,能以极少的功耗将热排入环境(例如,环境或诸如河流的附近冷却源),或例如通过加热同一或相邻建筑的热水供应或在寒冷天气中提供室内加热来收回热。

[0080] 通过将冷却剂温度维持为超过自然发生的温度,可降低服务器冷却系统中存在的不可逆性和 / 或温差。热力学循环中不可逆性的降低有助于增加循环效率,并且可减少冷却服务器消耗的总功率。

[0081] 在常规的冷却系统中,对于组件中生成每瓦热冷却系统要消耗约二分之一瓦。例如,能将冷却介质(例如,空气)冷却至约 65 °F,而待冷却组件能在例如约 158 °F 的温度下工作。这种大的温差导致大量低效率和功耗。此外,排出的热量的“质量”低,使得在被组件耗散后由冷却介质吸收的热难以收回。然而,利用诸如空气之类的冷却介质,在常规系统中这种大的温差是必须的以实现期望的传热率。

[0082] 例如可将一维传热 Q_{1-d} 建模为温差 ΔT 除以热阻 R_{th} 的商(即, $Q_{1-d} = \frac{\Delta T}{R_{th}}$)。

[0083] 因此,对于给定从组件的热耗散,较高热阻需要的组件和液体冷却剂流之间的温差比较低热阻要大。典型地,气流(例如,空气)的热阻值比液流(例如,介电液体冷却剂)大。因此,气体冷却流体通常需要比液体冷却剂大的温差。

[0084] 系统和装置的示例性实施例

[0085] 在图 2 中,冷却系统 300 更详细地示出图 1 的冷却系统 100 的一个实施例。系统

300 包括桶或槽 310,其包含多个服务器 120 可浸入其中的液体冷却剂。下文描述的安装构件位于槽 310 的内部容积内并且配置成作为服务器机架将多个服务器 120 容纳和安装到槽 310 中。这种槽 310 可具有用于通向安装在机架中的每个服务器的开口。当槽 310 充分地充满液体冷却剂时,每个服务器 120 的至少一部分浸没在液体冷却剂中以便充分冷却每个相应的服务器。较佳的是,在操作期间每个服务器完全浸没在液体冷却剂中。

[0086] 被服务器机架中的服务器 120 加热的液体冷却剂然后通过适当的管道或管线流体耦合至泵 330,泵 330 使经加热的流体冷却剂通过适当的管道或管线并通过过滤器 360 抽入一个或多个流体阀 390。可远程控制流体阀 390 以将通过收集管道从槽 310 抽取的经加热的液体冷却剂连接到与备选排热或冷却装置 350 相关联的远程或位于远端的备选热交换器中由控制器所选出的一个,诸如允许利用外部环境大气冷却的外部空气散热器 352、制冷系统 354、热回收系统 356 或蒸发冷却器 358。与备选排热或冷却装置 350 中选出的一个相关联的位于远端的热交换器然后排来自输入的经加热的液体冷却剂的热并通过返回流体管线或管道 370 将经冷却的液体冷却剂流体耦合回到槽 310 中。因此,液体冷却剂的至少一部分通过槽 310 中的服务器 120、泵 330、和排热装置 350 关联的热交换器、并经管道 370 返回槽 310 来完成流体回路。通过热交换器 140 从经加热的液体冷却剂排出的热然后由备选排热或冷却装置 350 中被选中的一个来使用以驱散、回收或有利地使用排出的热,这取决于系统所处的不同环境条件和 / 或服务器操作条件。

[0087] 冷却系统 300 包括具有适当应用软件的计算机控制器 380,其可接收来自系统 300 的各组件和环境的各种操作参数的监控信号,并可生成控制信号以控制系统 300 的各组件,从而将离开槽中的服务器的经加热的液体冷却剂维持在特定的高位温度以便充分冷却多个服务器中的每一个,同时减少冷却服务器所需能量的总量。类似于前面的实施例,控制器 380 监控流体回路内至少一个位置处的液体冷却剂的温度,例如,在经加热的液体冷却剂离开多个服务器的位置。控制器还可通过将控制器 180 电连接至由常规服务器生成的诊断输出信号来监控服务器机架中服务器 120 中的发热电子组件的温度。控制器 380 还可监控通过槽和 / 或流体回路的液体冷却剂的流动。基于这种信息,计算机控制器可将信号输出到泵 330 和排热或冷却装置 350 以调节通过流体回路的液体冷却剂的流动以及由排热或冷却装置 350 排出的热量,以便在槽 310 充分充满液体冷却剂时充分冷却每个相应服务器,同时将离开服务器的经加热的液体冷却剂维持在高位温度以减少充分冷却多个服务器中的每个服务器所消耗的能量。此外,如下文所讨论的,控制器 380 还可运行应用软件内的优化程序以确定在给定环境和服务器操作条件下连接至流体阀 390 的备选排热装置 350 中的哪一个能提供从加热流体冷却剂排热的最高效率装置。然而,应注意冷却系统 300 不一定需要不同的散热方法。在一些情况下,仅具有一种方法可能更节省成本。

[0088] 在图 3 至 6 中,描绘可用于将该可独立操作的服务器机架浸入液体冷却剂 422 中的适当夹具或机架装置 400。装置 400 包括桶或槽 410 以及用于安装服务器的安装构件,如下文更详细描述。槽 410 可由钢、与用作冷却介质的介电液体冷却剂兼容的足够强度的塑料或其它适当材料制成。槽 410 可朝上且具有敞口 430 以形成开放的内部容积,且可成形为具有长度 L、宽度 W 和高度 H,具有插入多个服务器 120 的最小覆盖区 (footprint)。适当的安装构件可用于将服务器安装于槽中且在槽中形成服务器机架 470。可成形槽 410 并设定 L、W 和 H 的尺寸,使得能够支承通常以“U”或 1.75 英寸 (未示出) 为单位测量的多

个标准尺寸服务器而无需显著修改。

[0089] 槽被制造成具有入口管道或管线 410 和出口管道或管线 450, 入口管道或管线 410 从管道系统连接至热交换器用于使较低温度或经冷却液体冷却剂流进入槽 410, 而出口管道或管线 450 连接至收集管道用于将经加热的冷却剂流出或抽出槽进入与结合图 1A、1B 和 2 描述的一个或多个排热或冷却系统相关联的外部热交换器。

[0090] 服务器机架本身具有若干不同的实现方式。较佳的是, 将安装构件构造成在垂直方向上可安装地容纳多个服务器, 从而使服务器相对于地面的覆盖区最小化, 且“前”¹面朝上以便于服务器的安装和去除而无需去除或干扰槽 410 内的任意其它服务器。

[0091] 还可将安装构件构造成将服务器安装成使得液体冷却剂的顶面 460 完全浸没由多个服务器 120 形成的服务器机架 470 的顶面 472。结果, 大量液体冷却剂集中在服务器机架 470 上的公共歧管 (manifold) 区以改进液体冷却剂穿过多个服务器的循环, 从而增强每个相应服务器的冷却。还可将安装构件构造上方的¹被定义为矩形计算机的两个最小侧之一。“后”通常是插入诸如电源和通信之类的线缆的一侧。成将服务器机架 470 中的服务器安装在槽底部之上以在每个相应服务器和槽底部之间形成大量液体冷却剂, 使得介电液体冷却剂穿过服务器的流动得以改进。较佳的是, 将安装构件构造成将服务器彼此紧邻地安装在服务器机架中将以介电液体冷却剂的流动限制在垂直定向的服务器之间, 使得介电液体冷却剂穿过服务器的流动得以增强。

[0092] 诸如图 2 中的泵 330 之类的泵可将液体冷却剂从外部热交换器通过管道系统抽入槽 410 以将冷却剂流体循环保持在槽内。液体冷却剂可流过每个安装的服务器并在与入口相对的服务器侧离开槽。在图 3 至 6 中, 入口管道 440 位于矩形槽 410 接近槽底部的一端; 而出口管道 450 的位置更接近槽的顶部。这种构造允许被服务器中的发热组件加热的液体冷却剂自然地升高穿过服务器并通过服务器的顶部或“前面”离开。

[0093] 可将服务器构造成使输入的液体冷却剂与输出的液体冷却剂的混合最小化。可将每个槽成形 (或具有安装的构件) 以减少冷却剂围绕所安装的服务器的流动 (例如, 减少旁路流动), 从而改进冷却剂在多个服务器的每个中的每个发热组件和 / 或相应散热片上的流动。

[0094] 或者, 可颠倒管道 440 和 450 的位置, 使得经加热的液体冷却剂可从安装的服务器 (穿过其“后”面) 离开进入出口并进入收集管道系统。收集管道将经加热的液体冷却剂输送至热交换器以将从安装的服务器吸收的热中的至少一些排出。

[0095] 在另一个备选机架设计中 (图中未示出), 槽 410 被分成多个仓, 且每个仓的尺寸被设计成容纳一个“前面”朝上的相应服务器。外部泵将冷却剂从外部热交换器通过管带系统抽入每个仓, 以维持槽和每个相应的仓中的冷却剂流体循环。液体冷却剂可流过每个安装的服务器并在与到槽的入口和 / 或到仓的入口相对的一侧离开。此外, 可将每个仓构造成使输入的液体冷却剂与输出的液体冷却剂的混合最小化。可将每个仓成形 (或具有安装的构件) 为减少冷却剂围绕所安装的服务器的流动 (例如, 减少旁路流动), 改进冷却剂在每个服务器中的每个发热组件和 / 或相应散热片上的流动。

[0096] 图 7 和 8 描绘用于将可独立操作的服务器的机架浸入液体冷却剂 522 中的适当夹具或服务器机架装置 500 的另一个备选的示例性实施例, 其中液体冷却剂 524 的表面在服务器机架的顶部以上。图 7 示出装置 500 的端视图, 其包括安装在底座 515 上的桶或槽

510,服务器 120 浸没于其中。桶 510 可具有开放顶部以形成开放的内部容积,可将服务器沿垂直方向安装于其中且前面向上朝向槽的开放顶部。除非以下另外指出,否则可像图 3-6 所示实施例地成形或设定槽 510 的尺寸。入口管道 540 的位置接近矩形槽的较长一侧的一端并接近槽的底部。输出管道 550 的位置接近矩形槽的相对向的较长一侧的相反一端并也接近槽的底部。在这种配置中,通过入口管道进入槽的液体冷却剂的流体流 560 最初通过由槽中包含入口管道 540 的较长一侧和服务器 120 的服务器机架 570 的一侧 572 形成的液体冷却剂的容积 562,然后通过服务器机架的一侧 572 通过服务器 120 并流出服务器机架的相对侧 574 进入由服务器机架的一侧 574 和槽中包含出口管道 550 的较长一侧形成的液体冷却剂的容积 576。

[0097] 图 9 描绘用于结合图 1A 的系统 100 和图 1B 的系统 200 的组合使用的适当夹具和服务器机架装置 600 的又一备选示例性实施例的端视图。在这一组合中,有两个操作用于冷却介电液体冷却剂的冷却系统的备选模式,其中控制器可根据环境条件切换操作模式。除以下指出的以外,可像图 3-6 所示实施例地成形或设定槽 610 的尺寸。槽 610 还可具有开放顶部以形成开放的内部容积,可将服务器沿垂直方向安装于其中且前面向上朝向槽的开放顶部。入口管道 640 的位置接近矩形槽的较长一侧的一端并且比中间更接近槽的底部。输出管道 650 的位置更接近矩形槽的同一较长一侧的相对一端并更接近槽的顶部。在利用与图 1A 的操作模式相当的操作模式的第一操作模式中,通过入口管道 640 进入槽的液体冷却剂的流体流 660 最初通过由槽中包含入口管道 640 的一侧的底部和服务器 120 的服务器机架 670 的底部 672 形成的空间 662,然后通过服务器机架的底部 672 通过服务器 120 并流出服务器机架的前面一侧 674 进入由服务器机架的顶部 674 和更接近出口管道 650 的液体冷却剂的顶面 622 形成的空间 676。为了允许类似于图 1B 的第二操作模式,将与附加的辅助冷却装置相关联的第二热交换器 680 安装在槽 610 中,并且穿过槽 610 的壁插入第二入口管道 682 和第二出口管道 684 且流体耦合至热交换器以允许分离的第二冷却流体流过输入管道 682、第二热交换器 680 和出口管道 684 回到第二辅助冷却装置。

[0098] 在第二操作模式中,通过控制器停用与第一操作模式相关联的泵,使得至第一辅助冷却装置的外部热交换器的介电液体冷却剂的流体回路流停止。接下来,通过控制器激活与第二备选辅助冷却装置相关联的内部热交换器 680。在这种模式中,槽内介电流体的流体流被重构,使得流出服务器 120 的经加热的介电液体冷却剂流体流 660 不流出出口管道 650。相反,液体冷却剂流体流 660 的至少一部分通过热交换器 680 至槽 610 的底部然后返回通过服务器 120。从热交换器 680 排出的热被热耦合至第二辅助冷却系统的第二冷却流体用于驱散或回收。

[0099] 图 10 描绘用于结合图 1A 的系统 100 和图 1B 的系统 200 的组合使用的适当夹具和服务器机架装置 700 的又一备选示例性实施例的端视图。在这一组合中,有两个操作用于冷却介电液体冷却剂的冷却系统的不同模式。除以下指出的以外,可像图 3-6 所示实施例地对槽 710 进行成形或设定其尺寸。槽 710 也可具有开放顶部以形成开放的内部容积,可将服务器 120 沿水平方向安装于其中且前面朝向矩形槽中入口管道 740 所处的较短侧。入口管道 740 的位置与中间相比更接近矩形槽的较短一侧的一端并且比中间更接近槽的底部。输出管道 750 的位置更接近矩形槽的同一较短一侧的相对一端并更接近槽的顶部。在利用与图 1A 的操作模式相当的操作模式的第一操作模式中,通过入口管道 640 进入槽的

液体冷却剂的流体流 760 最初通过由槽的较长一侧和服务器 120 的服务器机架 770 的下侧 772 形成的空间 762, 然后通过服务器机架的底部 772 通过服务器 120, 并流出服务器机架的前面 774 进入由服务器机架的前面 774 和槽中更接近出口管道 750 的较短一侧形成的空间 776。为了允许类似于图 1B 的第二操作模式, 将与附加的辅助冷却装置相关联的第二热交换器 780 安装在槽 710 中, 并且穿过槽 710 的壁插入第二入口管道 782 和第二出口管道 784 且流体耦合至热交换器以允许分离的第二冷却流体流过输入管道 782、第二热交换器 780 和出口管道 784 回到第二辅助冷却装置。

[0100] 在第二操作模式中, 通过控制器停用与第一操作模式相关联的泵, 使得至第一辅助冷却装置的外部热交换器的介电液体冷却剂的流体回路流停止。接下来, 通过控制器激活与第二备选辅助冷却装置相关联的内部热交换器 780。在这种模式中, 槽内介电流体的流体流被重构, 使得流出服务器 120 的加热介电液体冷却剂流体流 760 不流出出口管道 750。相反, 液体冷却剂流体流 760 的至少一部分通过热交换器 780 至槽 710 的底部然后返回通过服务器 120。从热交换器 780 排出的热然后热耦合至第二辅助冷却系统的第二冷却流体用于驱散或回收。

[0101] 利用允许操作冷却介电液体冷却剂的服务器机架冷却系统的两个不同模式的图 9 和图 10 的备选服务器机架装置的系统 100 和 200 的组合在某些应用和天气中是有用的, 例如在具有凉爽夜晚和炎热白天的干燥天气中。在凉爽白天中, 采用图 9 或图 10 的实施例的组合系统可在类似图 1A 的第一模式下使用, 其中介电流体被流体耦合至与散热器型辅助冷却系统相关联的外部热交换器。在炎热白天, 组合系统可在类似图 1B 的第二模式下使用, 其中介电液体冷却剂流体耦合通过内部热交换器, 该热交换器与诸如蒸发-压缩循环制冷冷却系统之类的第二辅助冷却装置相关联。

[0102] 图 11、13 和 14 描绘用于将诸如图 12A 所描绘的标准商用版本的可独立操作的服务器的并排浸入式冷却的服务器机架浸入液体冷却剂 822 的适当夹具或机架装置 800 的另一示例性实施例, 且示出至服务器的电连接。槽 810 可朝上且具有敞口 812 以形成开放的内部容积, 且可成形为具有长度 L、宽度 W 和高度 H, 具有插入两行或机架 830 和 832 的多个服务器 820 的最小覆盖区。可成形槽 810 并设定尺寸, 使得能够支承通常以“U”或 1.75 英寸 (如图 12A 所示) 为单位测量的多个标准尺寸服务器 820 而无需显著修改。适当的安装构件可用于将服务器安装于槽中以及在槽中构造服务器机架 830 和 832。具体地, 可沿槽 810 的每个较长侧的长度 L 和在槽的两个较短端之间槽 810 的中部固定地附连安装构件 (未示出) 以支承图 12A 所示的标准可安装在机架上的服务器 820 的机架耳 836。

[0103] 可将槽制造成具有入口管道或管线和出口管道或管线, 来自管道系统的入口管道或管线连接至热交换器用于使较低温度或经冷却液体冷却剂流进入槽 810, 而出口管道或管线连接至收集管道用于将经加热的冷却剂流出或抽出槽进入如图 3 所示的位于远端的热交换器。在将多个服务器的两个机架安装在槽 810 内之后, 可仔细控制液体冷却剂 822 的液面 824 以调节通过多个服务器的液体冷却剂的流量并调节从服务器中的发热电子组件去除的热量。

[0104] 由于在标准商用服务器中典型的可移动硬盘驱动器安装, 沿垂直方向定向服务器且前面朝上也是有优势的。当诸如图 12A 所示的标准服务器垂直定向时, 如图 12B 所示的这种服务器的硬盘驱动器 890 垂直定向且电缆连接在驱动器的底部。在一些实施例中, 可

在服务器浸没在介电液体冷却剂之前将每个服务器 820 中的可移动硬盘驱动器 890 的耐液体或防液体外壳 892 插入在硬盘驱动器上,以保护移动组件免受粘性液体冷却剂的损害。先前插入的防液体外壳将空气圈闭 (trap) 在硬盘驱动器内。所圈闭的空气防止介电液体冷却剂进入磁盘驱动器的包含可移动盘的部分。

[0105] 如图 13 所示,装置 800 还可具有沿与服务器机架 830 和 832 的侧面平行的槽 810 的两侧安装的电缆槽 840 以将来自服务器的信号和控制网络电缆 842 组织到数据中心内外的控制器和其它计算机。装置 800 还可具有安装在服务器机架之间的空间以上的配电装置 (“PDU”)844,以便将所需的电能通过适当的电力电缆 846 分配到多个服务器。

[0106] 服务器机架 830 和 832 可具有若干不同实现,其中的一些影响液体冷却剂的流动特性。较佳的是,将安装构件构造成在垂直方向上可安装地容纳多个服务器,从而使服务器相对于地面的覆盖区最小化,且“前”2 面朝上以便于服务器的安装和去除而无需去除或干扰槽 810 内的任意其它服务器。

[0107] 如图 12 和 14 所示,还可将安装构件构造成将服务器安装成使得液体冷却剂 822 的顶面 824 完全浸没由多个服务器 820 形成的服务器机架 830 和 832 的顶面 872。结果,大量液体冷却剂集中在每个服务器上的公共歧管区以改进液体冷却剂穿过多个服务器的循环,从而增强每个相应服务器的冷却。还可将安装构件构造成将服务器机架 830 和 832 中的服务器安装在槽 810 底部之上以在每个相应服务器 820 和槽底部之间形成大量液体冷却剂,使得介电液体冷却剂穿过服务器的流动得以改进。较佳的是,将安装构件构造成将服务器彼此紧邻地安装在服务器机架中将以介电液体冷却剂的流动限制在多个垂直定向的服务器之间,使得介电液体冷却剂穿过多个服务器的流动得以增强。

[0108] 还可设定槽的尺寸或使槽成形,以使得冷液体冷却剂和加热液体冷却剂的

[0109] 上方的 2 定义为矩形服务器的两个最小侧之一,“后”通常是插入诸如电源和通信之类的线缆的一侧。

[0110] 混合最小化。此外,装置 800 可包括可去除顶部,使得在着火的情况下夹具装置的顶部可封闭以使火窒息。

[0111] 诸如图 2 中的泵 330 之类的泵可将液体冷却剂从外部热交换器通过管道系统抽入槽 810 以将冷却剂流体流保持在槽内。液体冷却剂可流过每个安装的服务器并通过出口管道从槽离开。类似于图 3 至 6,入口管道可位于矩形槽 810 接近槽底部的一端;而出口管道的位置更接近槽的顶部。这种构造允许被服务器中的发热组件所加热的液体冷却剂自然升高通过服务器并通过服务器的前面离开。因为与容器的总容积相比流动相对较低,所以流体传导为相对均匀的温度。

[0112] 或者,可颠倒入口管道和出口管道的位置,使得经加热的液体冷却剂可从安装的服务器(穿过其“后”面)离开进入出口并进入收集管道系统。收集管道将经加热的液体冷却剂输送至热交换器以将从安装的服务器吸收的热中的至少一些排出。

[0113] 在商用服务器中,通常将风扇安装在服务器内以将冷却介质分布在服务器内的组件和区域之间。在一些实施例中,这些风扇可帮助在服务器内的组件和区域之间分布液体冷却剂。可响应于组件温度偏离超过预定阈值或者甚至是计算工作量而调节冷却剂流率和/或风扇速度,以将组件温度维持在(例如,由组件制造商规定的)最大规定温度或低于最大规定温度。同时将冷却剂温度维持在高位温度,诸如在使组件温度仍然低于最大阈值的

最高冷却剂温度。可调制风扇速度,但不是必须要这样。

[0114] 可将诸如多个风扇 880 之类的额外流体速度增加装置安装在每个相应机架中的多个服务器与槽底部之间的液体冷却剂容积中,每个服务器机架 830 和 832 之下,以增加槽内介电液体冷却剂的混合并改进冷却剂通过多个服务器的流动。其它适当的流体增加装置包括安装在源自冷却入口管道的管线端部上的喷嘴,可使其指向液体冷却剂进入服务器的期望进入点以增强液体冷却剂通过服务器的流速。

[0115] 图 14 更详细地示出液体冷却剂 822 通过装置 800 中的服务器 820 的流体流 860。对于所示的服务器构造,通过较低的入口管道进入槽的液体冷却剂的流体流 860 最初被指引通过由槽中包含入口管道的一侧的底部和服务器 820 的服务器机架 830 和 832 的底部 872 形成的液体冷却剂的容积 862,然后通过服务器机架的底部 872 通过服务器 820 并流出服务器机架的顶侧 874 进入由服务器机架的顶部 874 和液体冷却剂的顶面 822 形成的液体冷却剂的容积 876 并接近位置接近槽顶部的出口管道。

[0116] 总之,服务器浸入图 3-14 所示的夹具装置的夹具装置各实施例 400、500、600、700 和 800 内的液体冷却剂减小发热的服务器电子组件和用于冷却它们的液体冷却剂介质之间的温差。较佳的是,可将中值冷却剂温度保持为尽可能高的水平同时将操作期间的组件温度维持低于其规定的最大可允许操作温度。与用诸如制冷空气之类的较低温度冷却介质冷却组件相比,这种高温冷却介质提供充分冷却同时减少冷却电子组件所消耗的功率。

[0117] 因此用于将服务器浸没在介电液体冷却剂中的夹具装置提供以下优点:

[0118] ●设计成通过流动控制使流体温度最大化

[0119] ●允许在对商用构造最小限度修改的情况下使用最初针对空气冷却设计的标准商用可安装在机架上的服务器

[0120] ●使热从所有发热组件传入介电液体冷却剂,而无需添加冷板、管道或服务器内部的其它零件

[0121] ●具有敞口,允许去除任意服务器而不去除不同的服务器(例如,服务器保持可独立操作)

[0122] ●仅需要密封槽外壳而不需要密封安装在服务器机架中的每个单独的服务器

[0123] ●引导流体流使得冷液体冷却剂流入服务器而经加热的液体冷却剂流出服务器

[0124] ●可使用诸如风扇速度调制之类的流体速度增加,以增强液体冷却剂通过每个服务器的流动

[0125] ●通过使服务器相对地面的覆盖区最小化来提高在常规服务器室或数据中心中服务器的安装密度

[0126] ●使用控制器来 (i) 监控夹具装置中的温度和流动状况以及服务器和冷却系统的功耗以使冷却服务器所需的电量最小化以及 (ii) 控制热交换方法,从而使数据中心能按需要收回热或在不需要收回热时以最有效率的方式驱散热。

[0127] 图 15 描绘用于冷却例如图 3 所示类型且安装在典型的数据中心的服务器室内的多个浸入冷却服务器机架的系统的示意图。冷却系统包括通过相应出口管道 315 并行地流体耦合到收集管道系统 902 的多个服务器机架 310。收集管道 902 收集流出多个服务器机架的经加热的液体冷却剂。收集管道 902 又流体耦合到泵 904,泵 904 将收集的经加热的液体冷却剂通过管道 906 吸入热交换器 910 中的流体管线 908。流体管线 908 中的经加热的

流体冷却剂通过热交换器 910 热耦合到在管线 912 中流动的冷却流体。管线 912 中的冷却流体又耦合到如前所述的排热或冷却装置 352、354、356 中所选的一个,以便驱散或回收冷却流体从经加热的流体冷却剂吸收的热。

[0128] 从热交换器的管线 908 离开的经冷却的流体冷却剂然后通过分配管道系统 914 流体耦合至流体连接至阀 918 的多个并行管道 916。阀 918 又并行流体连接至多个服务器机架 310 的入口管道 370。

[0129] 控制器 920 可通过控制线 924 接收离开服务器机架的经加热的液体冷却剂的温度监控信号。控制器还可通过控制线 925 接收管道 902 中各位置的液体冷却剂的流率的监控信号并通过控制线 926 接收通过泵 904 的流率。控制器 920 还可通过控制线 928 接收与所选辅助冷却装置的类型有关的监控信号和所选辅助冷却装置中的冷却流体的流率。

[0130] 如前所述,控制器 920 可运行应用程序,该应用程序处理从各监控信号接收的信息以选择最优的高位温度,冷却服务器并维持高位温度所需要由系统排出的能量,然后确定将离开多个服务器机架 310 中的服务器的液体冷却剂维持在高位温度所需的系统 900 组件的各种设置。受控制器 920 控制的系统 900 的各组件包括位于服务器机架下的任意流体速度增加装置、泵 904、阀 918、用于在要使用的辅助冷却装置之间切换经加热的液体冷却剂流的阀 390(图 2)以及所选的辅助冷却装置。

[0131] 控制器可调节经冷却的液体冷却剂通过每个阀 918 的流动,以调节经冷却的液体冷却剂在不同服务器机架 310 之间的流动的容积。

[0132] 控制器 920 可通过控制线控制服务器机架中的任意流体速度增加装置且还可通过控制线 930 控制泵 904 的抽取速率。此外,控制器 920 通过控制线 932 可选择多个辅助冷却装置 352、354、356 等之一,以根据环境和服务器机架条件优化辅助冷却装置并通过调节辅助冷却装置中冷却流体的流动来控制由所选辅助冷却装置排出的热量。

[0133] 操作方法

[0134] 图 16 示出冷却至少部分地浸入具有开放的内部容积的槽内的液体冷却剂中的一个或多个可独立操作的服务器的示例性方法。该方法可用于实现图 1A 或 1B 的系统。该方法包括使流体回路中的介电液体冷却剂流过浸入在介电液体冷却剂内的多个服务器以吸收由服务器耗散的任何热的至少一部分的步骤 10。在步骤 12,由控制器监控至少一个位置上的流体冷却剂的温度。在步骤 14,控制器确定什么温度是经加热的介电液体冷却剂在离开多个服务器时最优的高位温度,使得离开的液体冷却剂充分冷却多个服务器同时减少充分冷却每个相应服务器所消耗的能量。如前所述,所确定的最优高位温度较佳的是显著高于对于人类而言典型的舒适室温且低于服务器中最敏感的发热电子组件的最大允许温度的温度。在步骤 16,控制器周期性地确定排出液体冷却剂吸收的热所需的能量并将离开服务器的液体冷却剂维持在高位温度。在步骤 18,选择最优辅助冷却装置以使维持高位温度并冷却服务器需要消耗的能量最小化。在步骤 20,被服务器加热的液体冷却剂热耦合至热交换器。在步骤 22,由液体冷却剂从服务器吸收的热一部分通过热交换器排出。在步骤 24,响应于周期性确定的能量消耗,周期性调节通过热交换器排出的热量,使得以所述高位温度离开多个服务器的液体冷却剂充分冷却多个服务器同时减少充分冷却每个相应服务器所消耗的能量。

[0135] 应注意,可期望还通过将标准商用服务器输出的温度信号连接至控制器以监控:

(i) 多个位置处液体冷却剂的温度, (ii) 液体冷却剂通过流体回路的流速; (iii) 相应服务器的电子组件的温度; 并且通过从服务器输出到控制器的信号监控服务器的功耗。

[0136] 响应于周期性确定的能量消耗和流速, 控制器可周期性调节液体冷却剂通过泵和热交换器的抽取率使得以高位温度离开服务器的液体冷却剂充分冷却多个服务器同时减少充分冷却每个相应服务器所消耗的能量。

[0137] 结合图 1A 所描绘以及图 2 进一步描绘的冷却系统的操作, 用于从液体冷却剂直接排热的热交换器位于夹具装置的外部且方法采用第一类型的热力学循环。在该实施例中, 将液体冷却剂热耦合至热交换器的步骤包括将液体冷却剂流体耦合至位于远端的热交换器的步骤并且液体冷却剂流通过槽中的出口管道进入部分位于槽外的流体回路。以下结合图 17A 和 17B 的描述阐述在该实施例中出现的步骤的更详细描述。

[0138] 结合图 1B 中的冷却系统 200 的操作, 用于从流过服务器 120 的液体冷却剂直接排热的诸如热交换器之类的耦合器位于槽 210 内部。该系统 200 的操作方法采用第二类型的热力学循环。在该备选系统实施例中, 该方法包括以下步骤: 使第一流体回路的第一流体部分中的较冷液体冷却剂的至少一部分流过多个服务器中的每一个, 其中离开多个服务器的液体冷却剂被加热到高位温度; 通过耦合器将经加热的液体冷却剂热耦合到位于第二流体回路的第一部分中的冷却流体; 将第二流体回路的第一部分中的经加热的冷却液体流体耦合至外部位于远端的热交换器, 以将通过第二液体回路耦合的热的至少一部分从加热介电液体冷却剂排出; 将经冷却的冷却流体从位于远端的热交换器通过第二流体回路的第二部分流体耦合到耦合器; 通过耦合器将经冷却的冷却流体热耦合至第一流体回路的第一部分。

[0139] 该方法还可包括以下步骤: 监控第二流体回路中冷却流体的流率; 以及监控每个相应服务器中的至少一个发热电子组件的温度; 周期性地确定通过把经加热的冷却流体冷却至较冷温度来冷却服务器所需的能量。该方法还可包括利用如前所述的诸如风扇或喷嘴之类的流体速度增加装置来增加通过服务器的介电流体的流体速度的步骤。

[0140] 响应于控制器周期性确定排出所吸收的热所需的能量以及冷却流体的流率, 该方法还可包括周期性调节冷却流体通过第二流体回路的流率的步骤, 使得以高位温度离开服务器的液体冷却剂充分冷却服务器同时减少充分冷却每个相应服务器所消耗的能量。该方法还可包括监控第二流体回路中的冷却流体的温度的步骤。

[0141] 应注意, 在采用第二类型的热力学循环的系统中, 液体冷却剂流包含在浸没服务器的槽中。较佳地, 在该第一流体回路中的流体流从服务器的底部穿过服务器至其顶部, 经加热的液体冷却剂在此离开。一旦冷却剂离开服务器的顶部, 通过使其通过液体冷却剂中的热交换器来冷却该冷却剂。冷却后, 液体冷却剂下沉到槽的底部。在第一流体回路中冷却剂的流动可通过服务器内部或外部的风扇来补充。在较佳实施例中, 冷却发生在接近于加热冷却剂从服务器离开的时刻。

[0142] 图 17A 示出对浸入到采用图 1A 或图 3 的系统的液体冷却剂槽中的一个或多个可独立操作的服务器进行冷却的方法中的物理步骤。在该方法的步骤 24, 液体冷却剂流入具有服务器的槽。在步骤 26, 介电流体冷却剂在流体回路中流过浸入介电流体冷却剂的多个服务器, 以吸收由服务器耗散的任何热的至少一部分。在步骤 28, 可通过使用服务器外部的诸如风扇之类的流体速度增加装置来选择性地增加液体冷却剂的流体速度。在步骤 30, 在

流体回路内的至少一个位置处监控流体冷却剂的温度。在步骤 32, 选择辅助冷却系统以使能量使用最小化。在步骤 34, 被服务器加热的液体冷却剂从槽抽入位于远端的热交换器。在步骤 36, 被液体冷却剂吸收的热量的至少一部分通过热交换器排出。在步骤 38, 经冷却的液体冷却剂流体耦合回槽。在步骤 40, 调节辅助冷却装置中的流体流以帮助维持高位温度。在步骤 42, 排出的热通过所选择的辅助冷却装置驱散, 或在步骤 44 中, 排出的热被所选择的辅助冷却装置回收。

[0143] 图 17B 示出采用图 1A 或图 3 的系统冷却浸入液体冷却剂槽中的一个或多个可独立操作的服务器的方法中的基于计算机控制器的步骤。在步骤 52, 控制器从与温度、流体流和功耗有关的各种传感器接收与系统操作有关的信号。在步骤 54, 控制器确定冷却服务器的最优高位温度。在步骤 56, 控制器周期性确定冷却多个服务器所需的能量。响应于周期性确定的能量消耗, 控制器在步骤 58 中周期性确定最优的辅助冷却方法以使能量使用最小化, 以便调节通过热交换器排出的热量, 使得以高位温度离开多个服务器的液体冷却剂充分冷却多个服务器同时减少充分冷却每个相应服务器所消耗的能量。在步骤 60, 控制器确定介电液体冷却剂泵、辅助冷却装置的类型、可选地还有槽中液体冷却剂的流体速度的较佳设置。在步骤 62, 控制器执行至泵、阀和流体速度增加系统 (即风扇或喷嘴) 的输出控制信号。在步骤 64, 控制器在系统不能按计划操作的情况下提供故障通知。例如, 控制器提供故障通知, 即存在安全温度或系统由于任何原因而停机。

[0144] 总之, 在本文所述的示例性备选实施例中披露的通过维持高位温度而冷却浸入介电液体冷却剂中的服务器机架的方法的实现方式能使冷却服务器所需能量最小化。这通过利用正常服务器冷却系统中存在的不可逆性的数量或温差能够被减小以提高冷却效率来实现。输入冷液体冷却剂和经加热的输出液体冷却剂之间的温差减小通过以下步骤成为可能:

[0145] 通过使用速度调制流体速度增加装置来控制到每个服务器的液体冷却剂流的量以确保在变化的要求下所述流足以冷却组件; 以及

[0146] 控制器通过使用本文所述的有效热排出方法将冷却剂温度维持在最大可接受温度 (例如, 在 90 至 130 °F 之间)。计算机控制器不一定要与被冷却的服务器分离。

[0147] 热力学循环中不可逆性的降低使得效率增加因此降低所消耗的总功率。利用所述特征, 可将流体温度安全地保持在约 105 °F, 显著高于室温和按月的最大美国平均室外温度 (在夏季 75 °F)。在该温度下, 以最小功率驱散热或通过加热诸如建筑物热水或在寒冷天气时周围的室内空气之类的其它无关组件来回收热。此外, 该方法最小化或消除了对与服务器 / 计算机冷却的当前方法相关联的能量密集的热过程的需要, 服务器 / 计算机冷却的当前方法包括制冷作为主要的散热模式。如果需要散热 (与热回收相对), 高位冷却剂温度使得方法需要常规制冷方法的 1/8 或更少的能量。这种低能量的方法可包括将流体引入空气热交换器、蒸发冷却或其它类似方法。然而, 制冷可用于补充本文所公开的冷却方法同时消耗最少的功率。

[0148] 尽管参考具体实施例描述了本发明, 但是这些描述并不旨在以限制性的方式来解释。本领域技术人员在参考本发明的描述后将易于预见所公开的实施例的各种变型以及本发明的替换实施例。本领域技术人员应当认识到所公开的原理和具体实施例可易于用作更改或设计用于实现本发明相同宗旨的其它结构的基础。本领域技术人员同样应当认识到这

种等效解释并不背离所附权利要求书所述的本发明的精神和范围。

[0149] 因此,可以预期权利要求书将涵盖落入本发明范围内的任何此种更改或实施例。

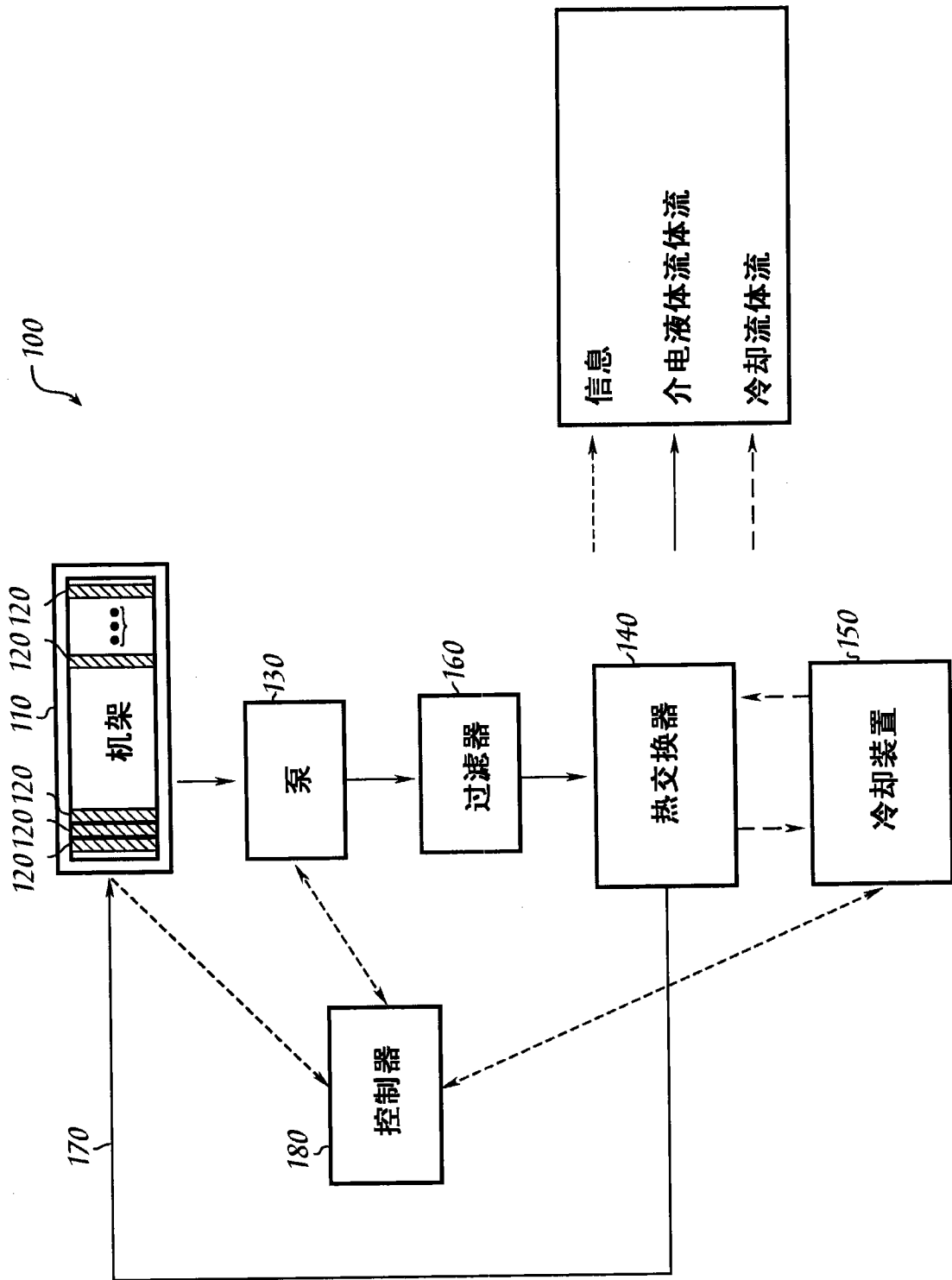


图 1A

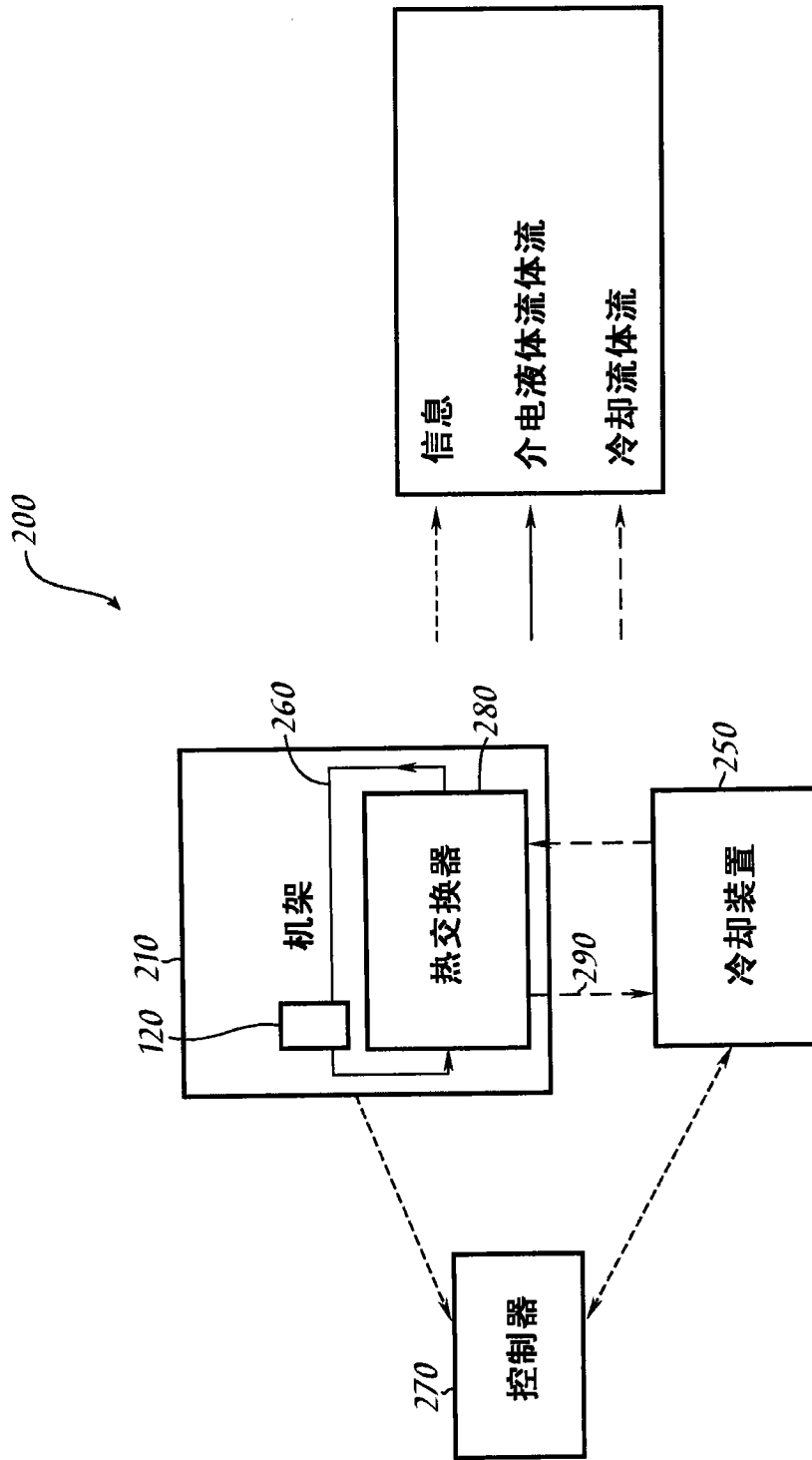


图 1B

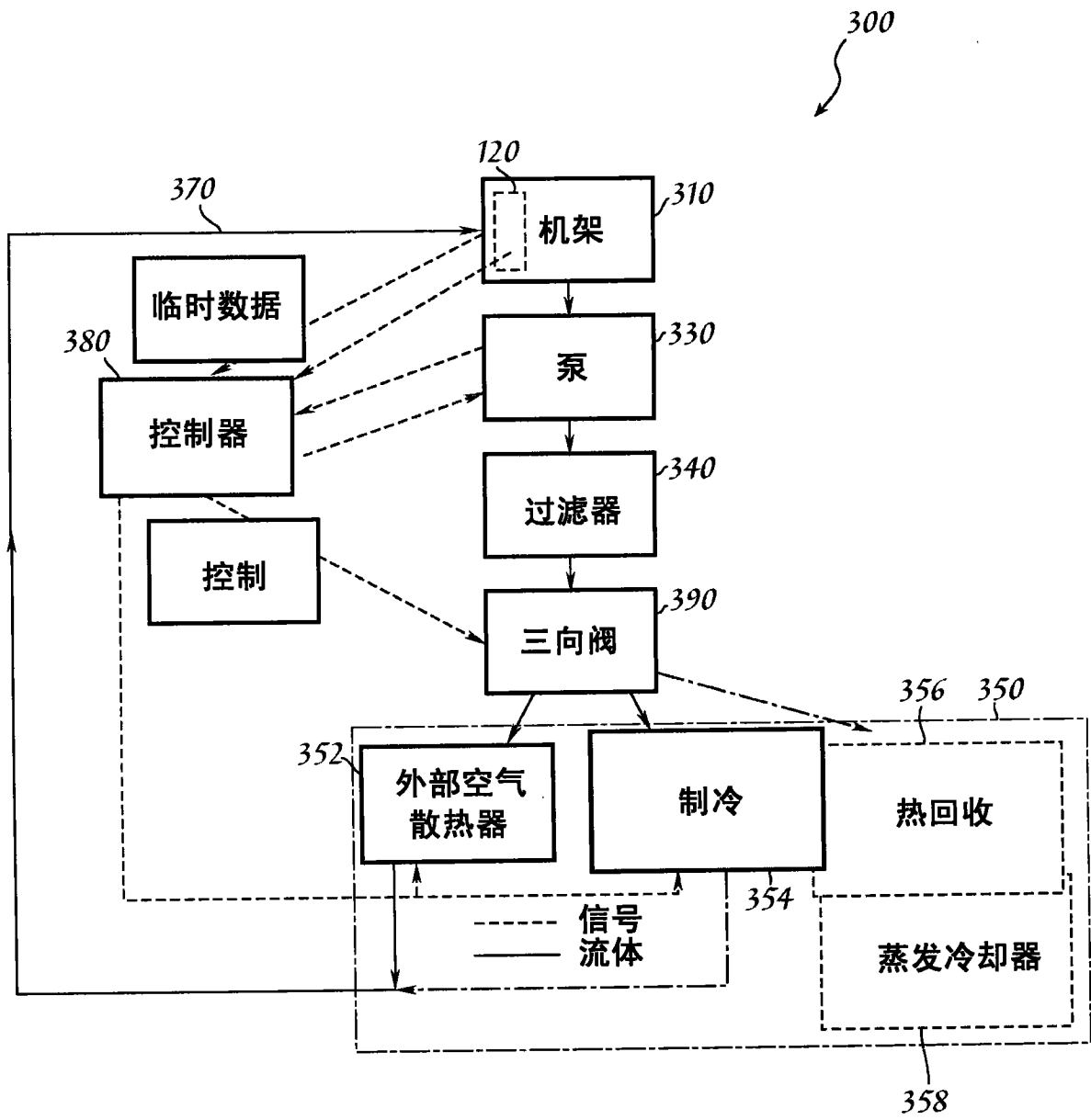


图 2

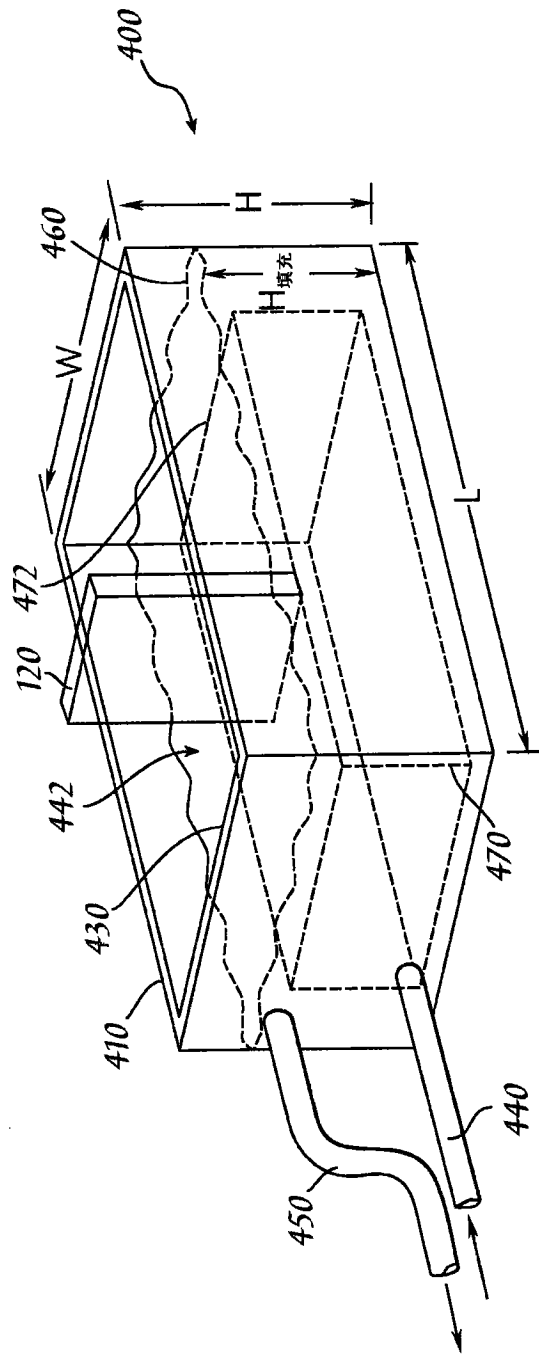


图 3

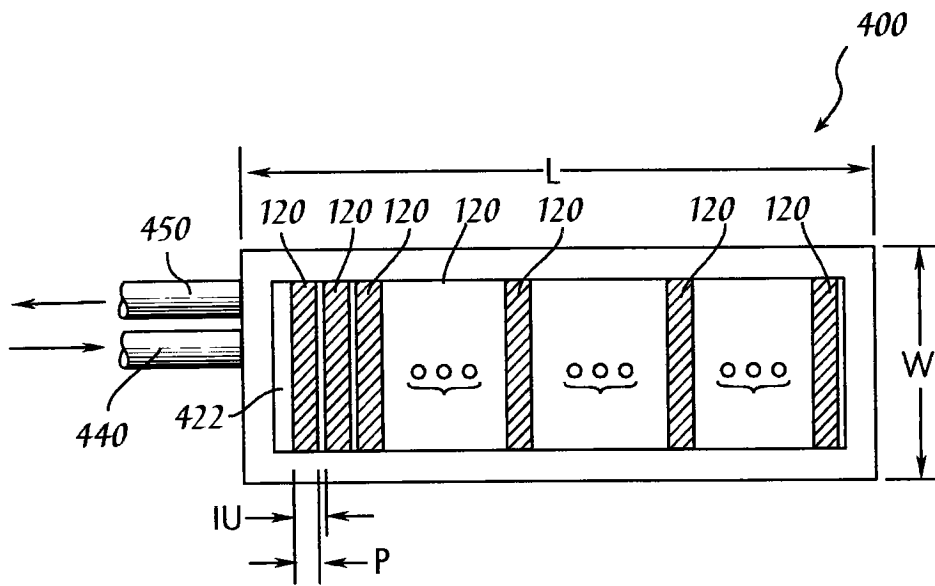


图 4

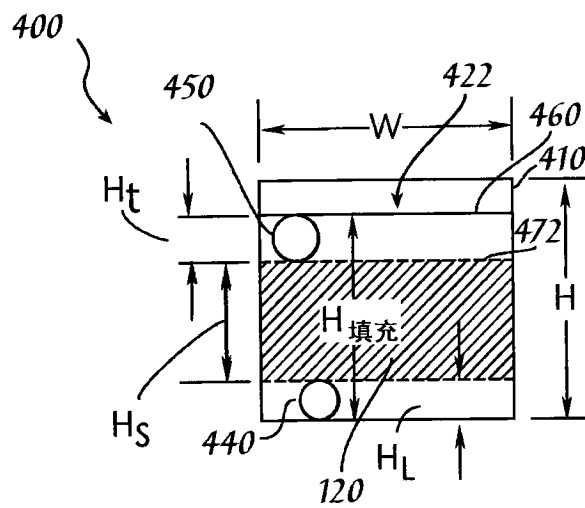


图 5

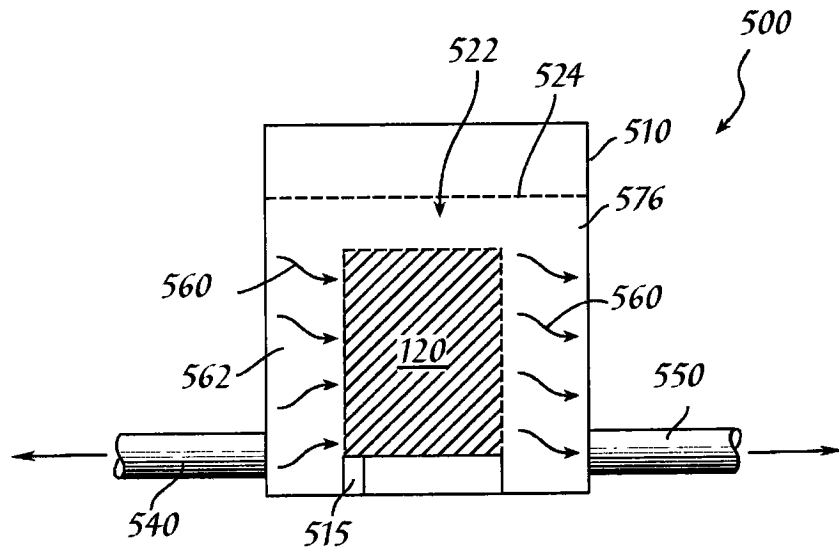


图 7

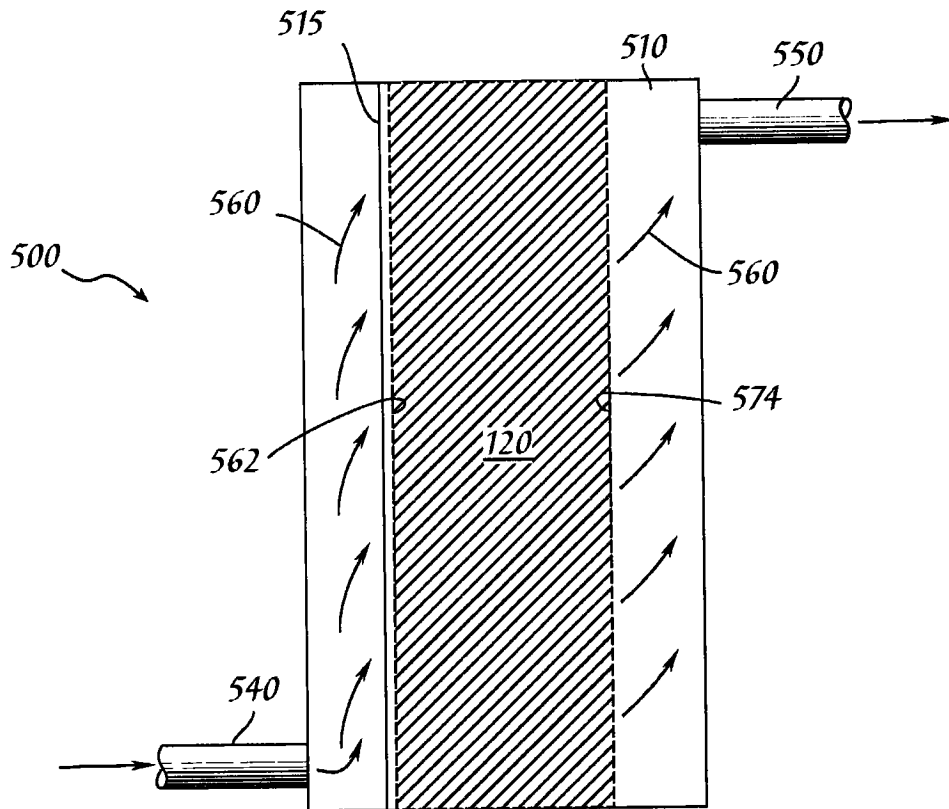


图 8

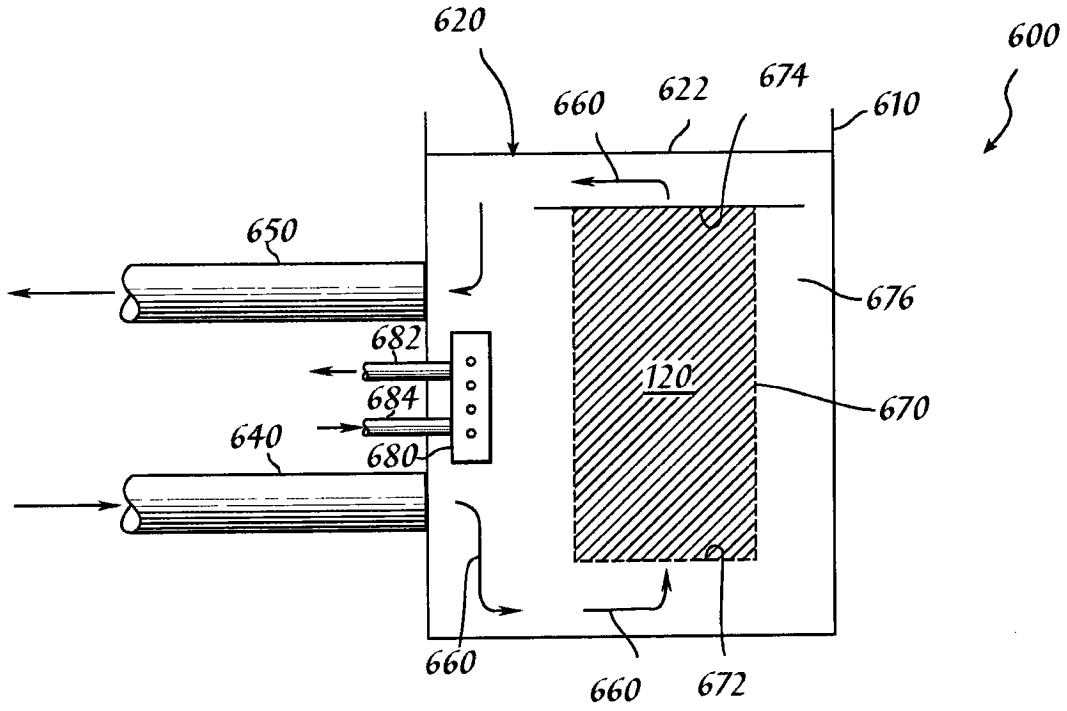


图 9

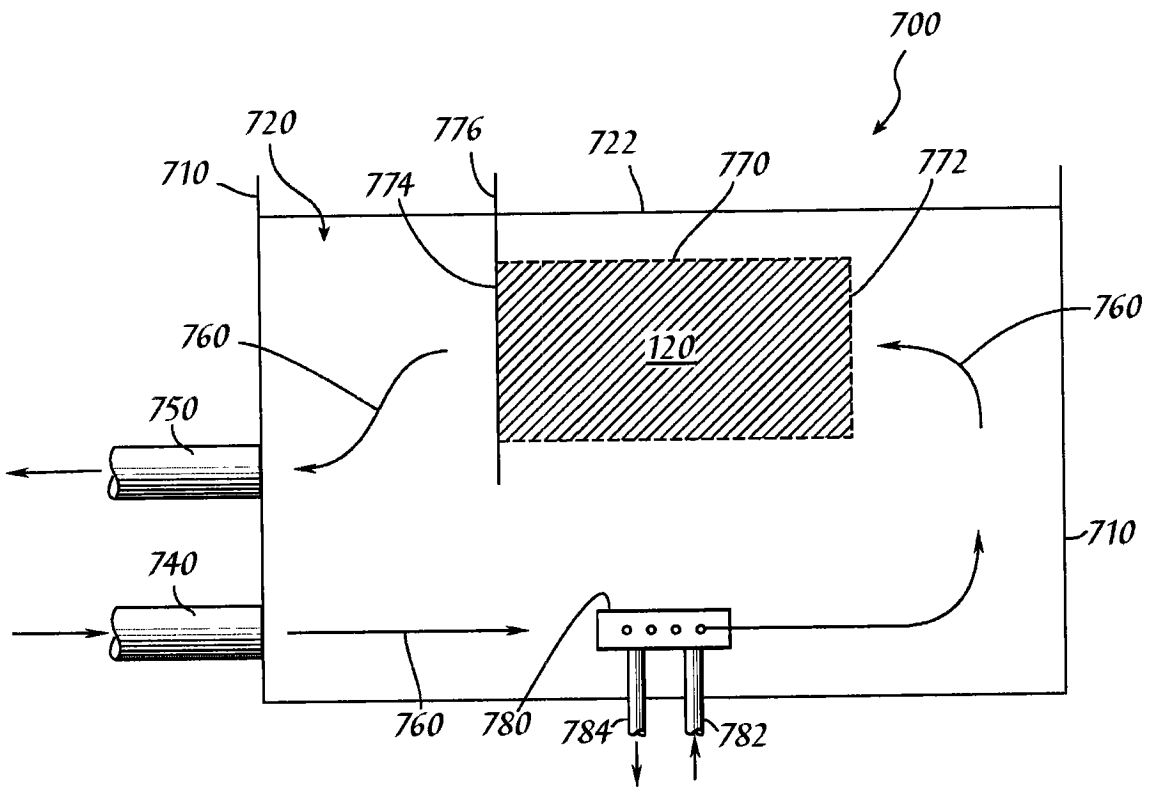


图 10

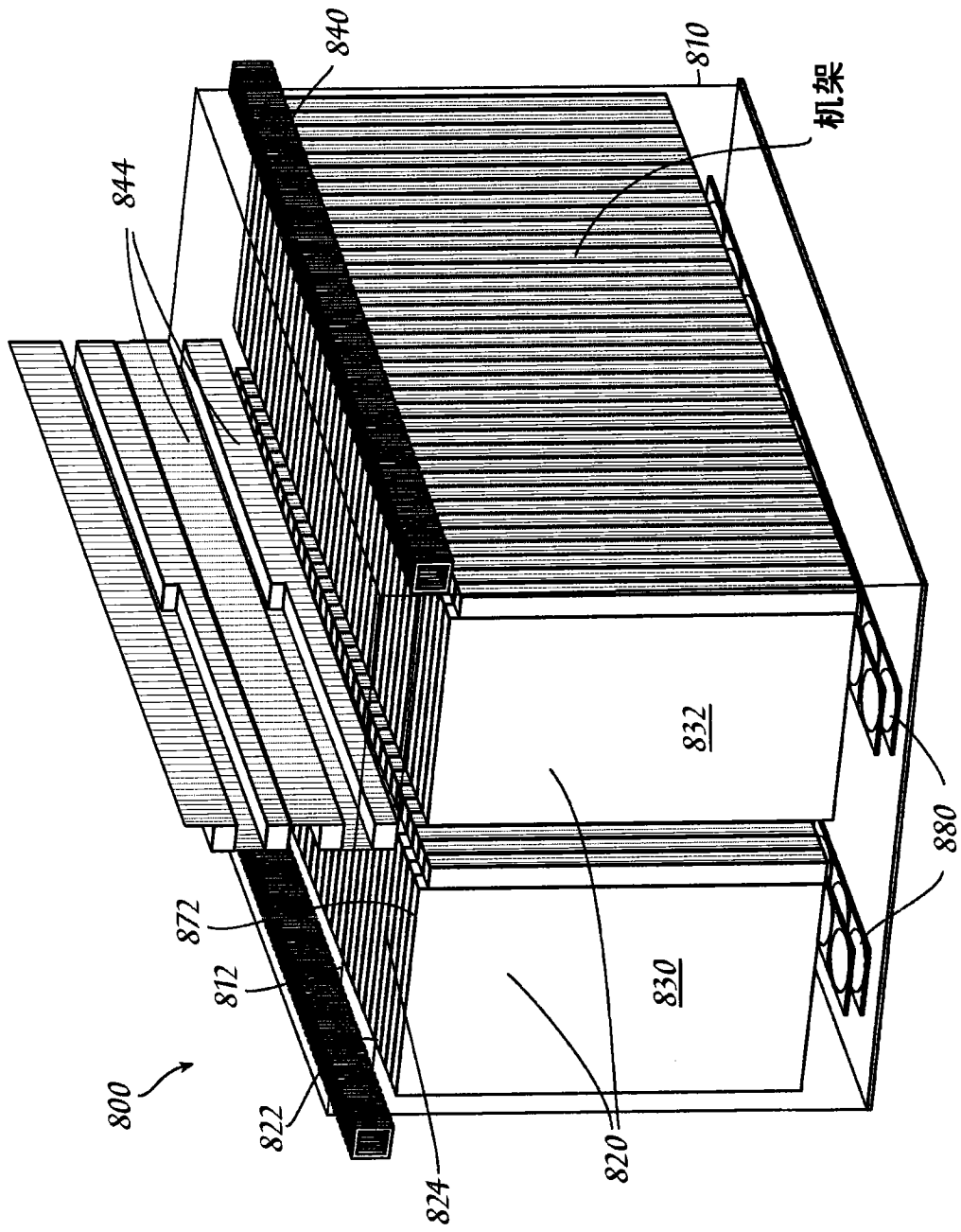


图 11

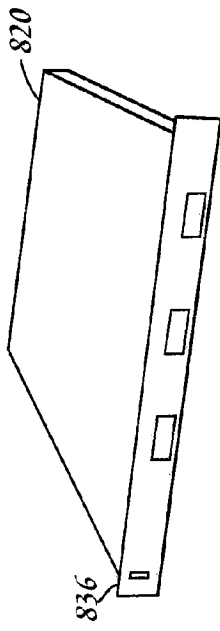


图 12A

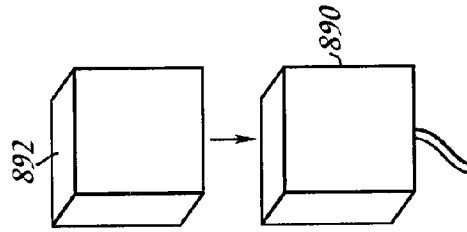


图 12B

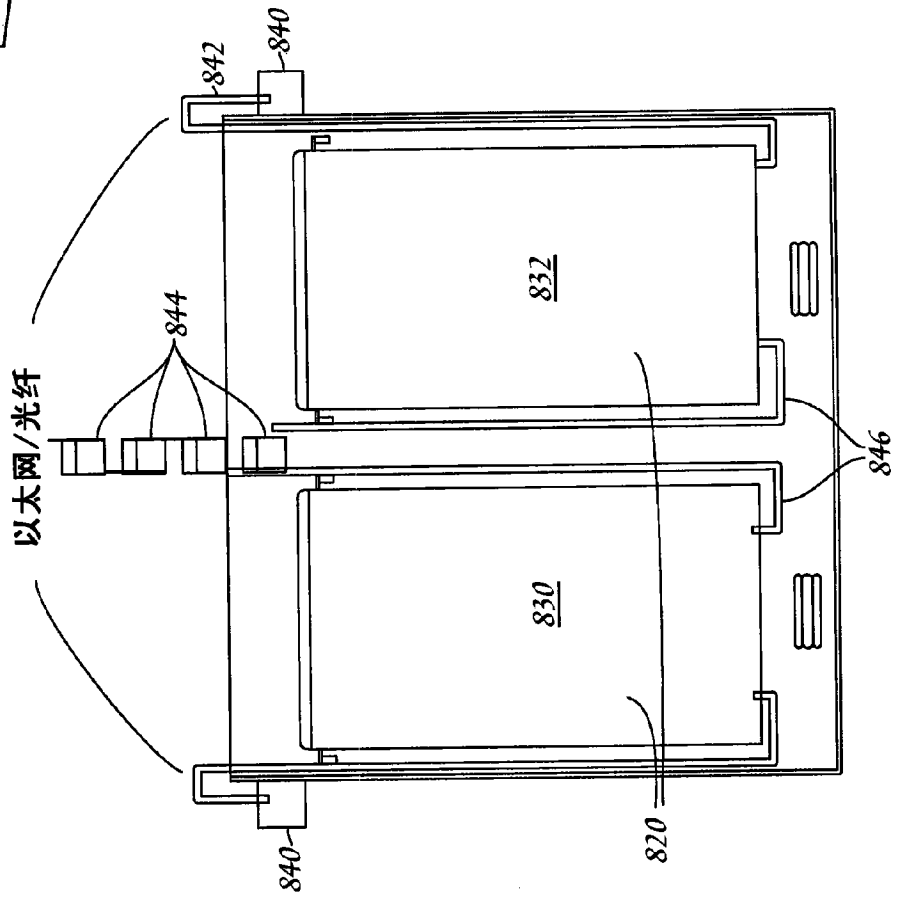


图 13

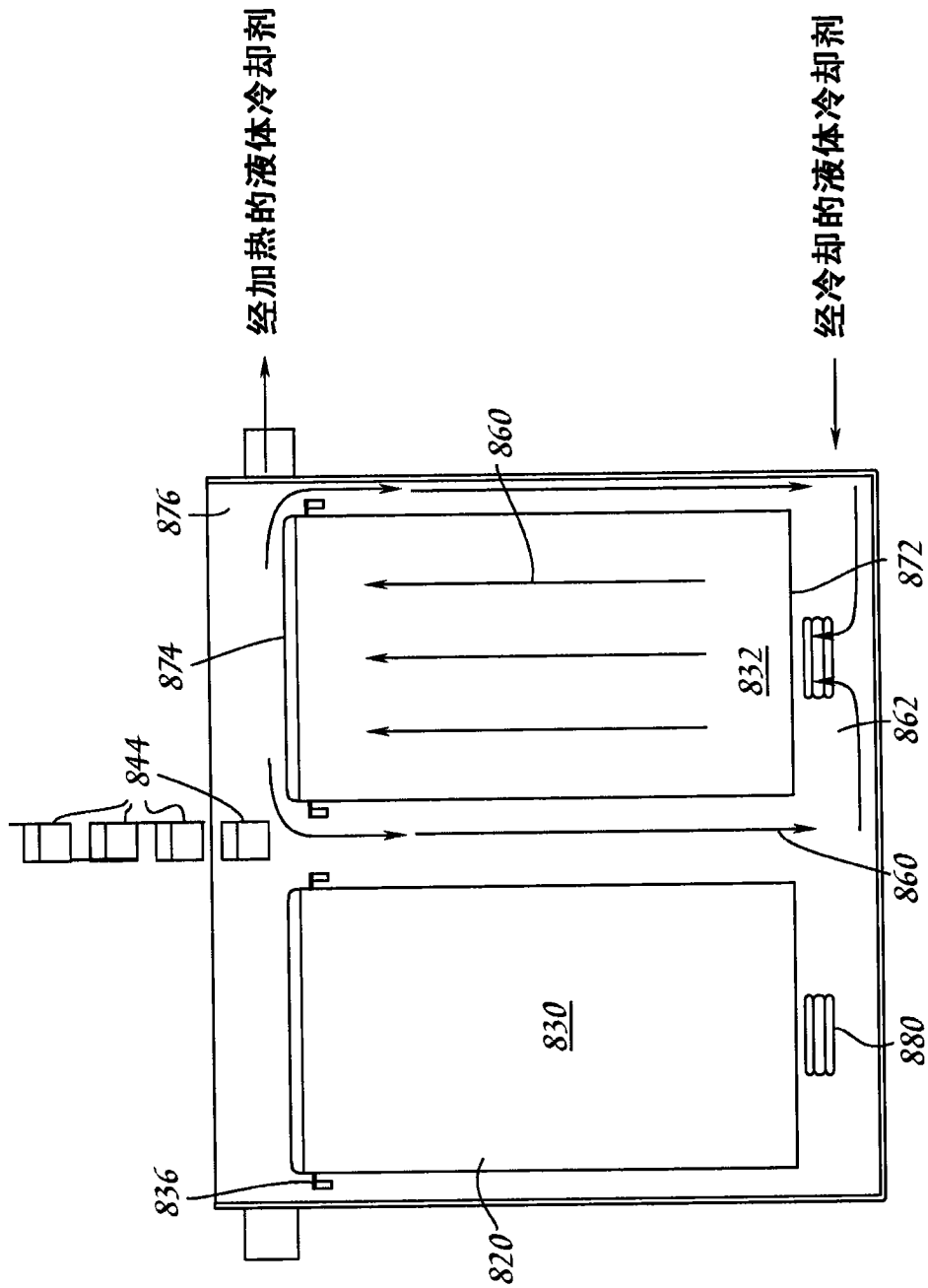


图 14

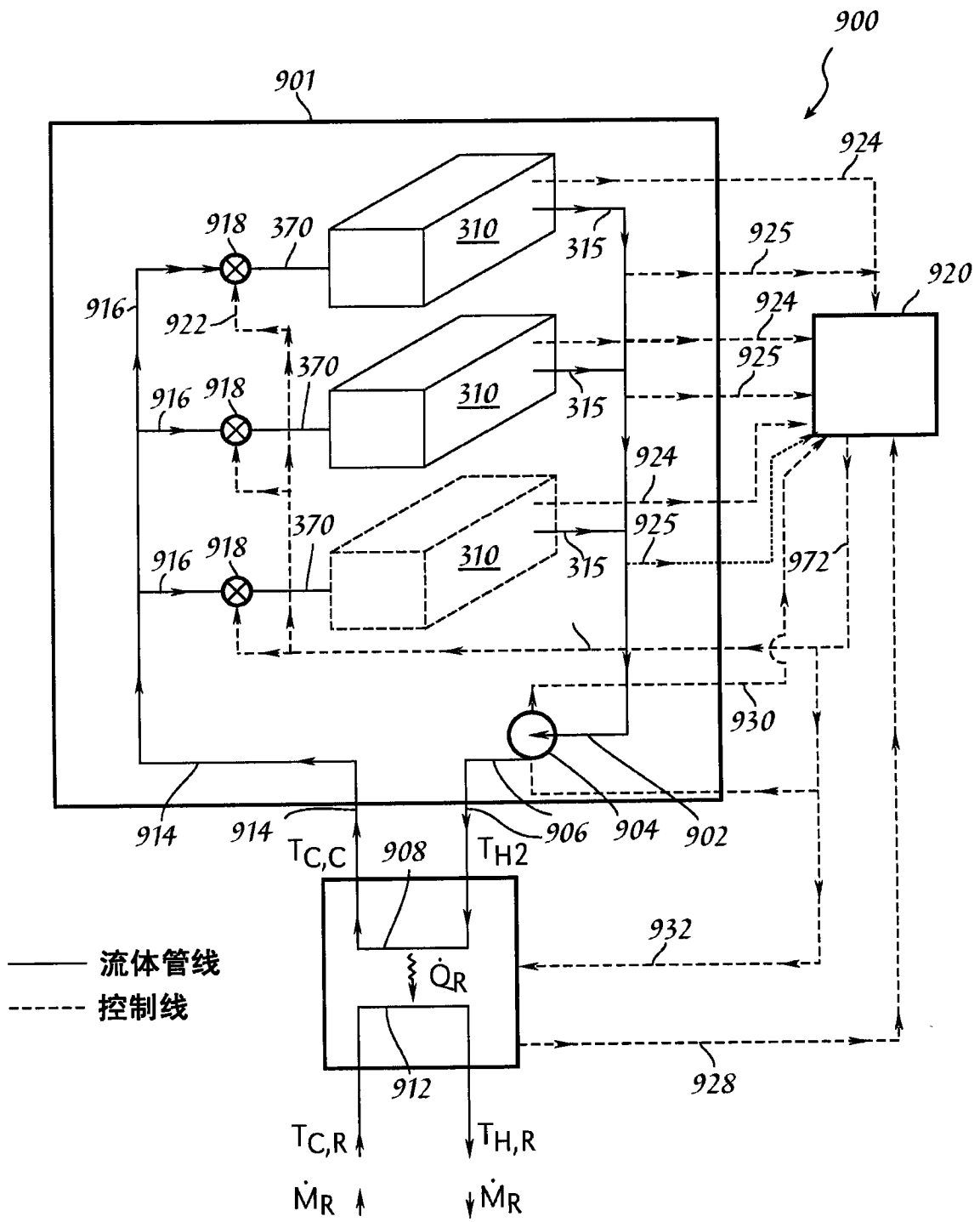


图 15



图 16

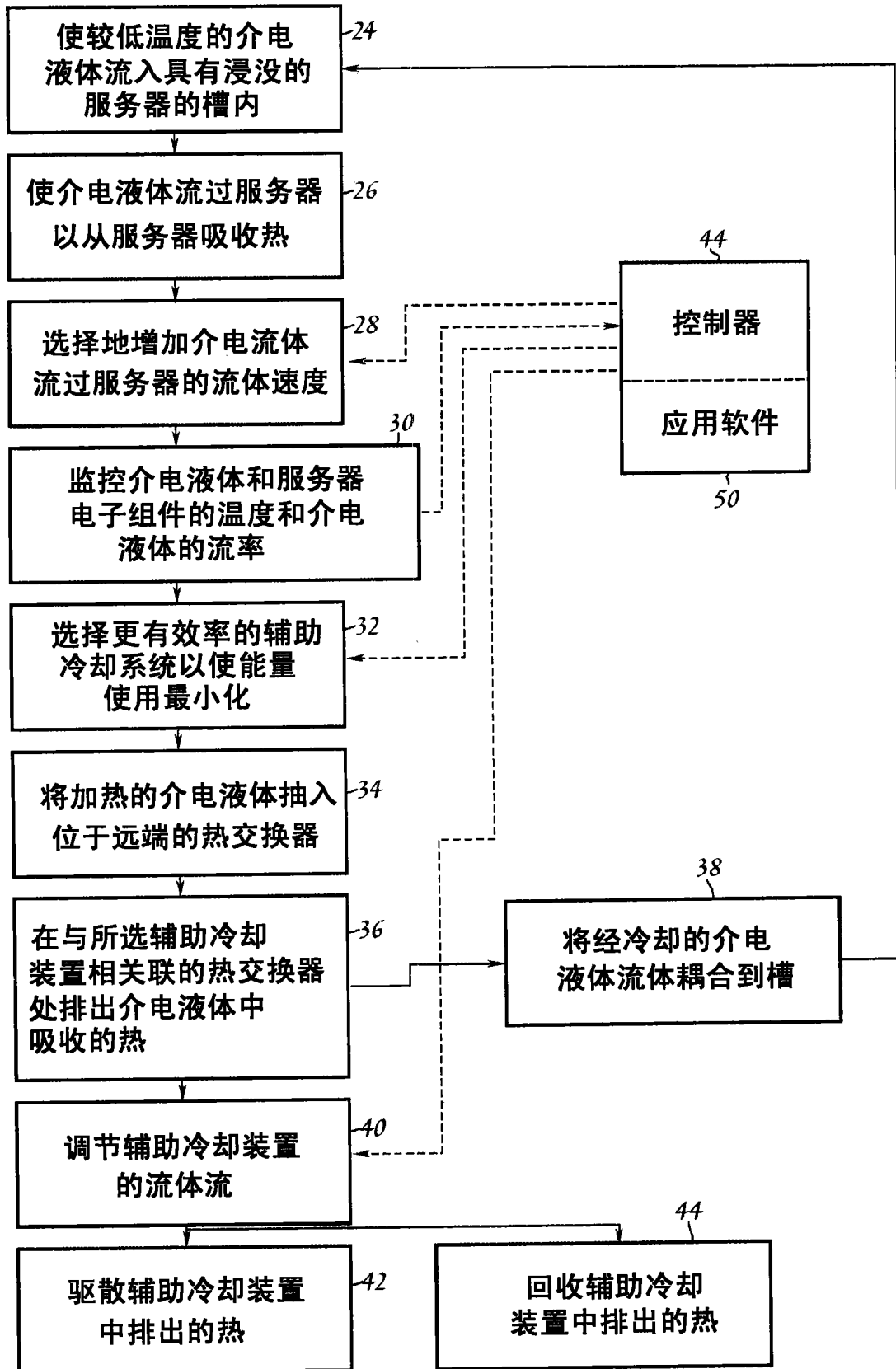


图 17A

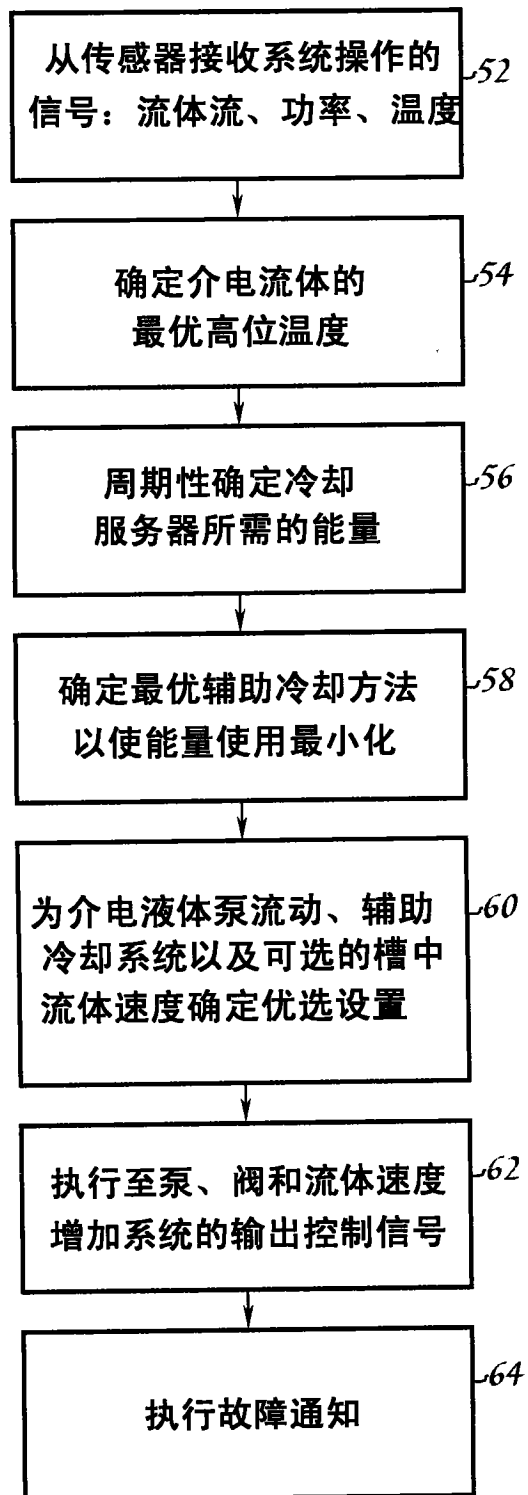


图 17B