

解决高密度服务器 部署所致冷却问题 的十个步骤

作者：Peter Hannaford

42 号白皮书



执行概要

对数据中心管理人来说，采用单个机架来部署高密度服务器的要求是一个挑战。

商家们目前设计的服务器，如果安装在单一的机架上，则需要高达**20kW**的冷却。

在平均冷却能力为每一机架不超过**2kW**的数据中心，需要采用一些创新的冷却策略

。 本白皮书介绍提高冷却效率和冷却能力以及提高现有数据中心密度的十种方法

。

简介

如图1所示，在单一柜中紧凑地安装设备会提高电力的需要量，其热量的散发在某些数据中心会产生热点。无论计算机室空调单元（Computer Room Air Conditioning, CRAC）的数量和容量以及地板深度如何，在采用高架地板冷却分配管道和地板下冷却CRAC的“传统”数据中心，都不大可能对任何机架提供大于**3kW**的冷却能力。在没有高架地板和冷却分配管道的计算机室，对单个机架的最高冷却容量还更低一些¹。目前开始采用的基于机架的冷却方案可以将冷却容量提高到对每一机架超过**10kW**。

图1 — 紧凑安装的例子



在设计数据中心的冷却系统时，目的是要创建经过冷却的空气从气源到服务器空气入口位置的明确路径。同样，要创建从服务器背后空气排出口到空调单元空气入口管道之间的空气返回明确路径。但是，有很多因素会负面地影响这一目的的实现。

本白皮书讲述降低数据中心工作效率和能量密度能力的主要因素，并介绍避免这些问题发生的方法。此外，还讲述如何无需做出较大的变动，即可使得数据中心可以对超过其设计容量的需求做出应变。

下面的十个步骤讲述如何消除冷却不足和冷却容量不够的根本原因。这些步骤按照顺序介绍，首先讲述的是最简单、最经济的步骤。如果您的目的是要使得数据中心某一区域的能量密度在每机架为**6kW**以上，则请您直接阅读更为复杂的第9或第10步骤，跳过前面的步骤也许更为适当。

1. 实施“健康检查”

就像定期检修会对汽车有好处一样，对数据中心的维护使其能够在最佳效率上运行，以保证其可以胜任商务过程，防止将来发生问题。在进行昂贵的数据中心升级以解决冷却问题之前，要进行一些检查来鉴别冷却基础

¹ 关于冷却空气架构的更多信息，请参阅第55号APC白皮书“任务关键设备的冷却空气架构”。

设施的潜在问题。这些检查可以明确数据中心的健康情况，以避免和温度相关的电子设备故障。检查亦可用于评估今后适当冷却能力的可用性。报告当前的状态和建立原始数据档案，以便作为今后改进的依据。

从本质上看，这些检查应该包括：

- **最大冷却能力。** 如果油箱中没有足够的汽油来驱动发动机，则任何调节工作也是无济于事的。检查总的冷却能力，确保数据中心的IT设备对冷却的需要没有超过总的冷却能力。请您记住，每消耗1瓦特的功率，就要有1瓦特的冷却量来制冷。如果需求量超过供给量，就需要进行较大的改装工程或采用“自给”高密度冷却方案，这些在本文的后面有讲述。
- **检查计算机室空调单元（Computer Room Air Conditioning, CRAC），确保测量温度（供给和返回）和湿度的读数和设计值一致。** 检查预定值，必要时重新设置。如果返回空气温度明显低于室内环境温度，说明送风路经发生短路，从而导致冷却空气没有经过设备而被旁路直接返回到CRAC单元。检查所有风扇和报警装置是否运行正常。确保过滤器的清洁状态。
- **检查冷却水 / 冷凝器回路的状况。** 检查冷却器和 / 或外部冷凝器、泵送系统和初级冷却回路的状况。确保所有阀门工作正常。如果使用DX系统，要确保其已经满载运行。
- **测量室内温度要在数据中心通道中的适当位置进行。** 一般来说，这些测定点要处于这些成行设备的中间，并且每隔四个机架设定一个测定点。
- **机架内部的温度。** 测量点要设于各个机柜前面空气入口的中心点以及它们的底部、中间和顶部。对温度的测量值要进行记录，并且和IT设备供应商推荐的入口温度相比较。
- **如果采用高架地板作为冷却分配管道，则要测量地板通风孔的空气速度。** 所有从地板通风孔或地板栅栏送出的气流速度要均匀平稳。
- **检查下地板的清洁状况和 / 或有无阻塞。** 如果高架地板和地板下存在脏物和灰尘，则它们将通过地板栅栏而被吹送到IT设备之中。地板障碍物如数据电缆和电源缆线等妨碍气流，可对机架的冷却供应发生不利影响。
- **机架内的气流。** 机架中的间隙或多余的缆线影响冷却的性能。
- **通道和地板砖的布置。** 地板下冷却分配管道的使用效率受地板通风孔和CRAC单元布置情况的影响。

欲了解详细说明，请阅读APC第40号白皮书“鉴别数据中心潜在冷却问题的冷却审核”。

2. 着手指定冷却维护方法

据Uptime Institute²报道，在其参观的数据中心中，有50%存在着冷却不足的情况。尽管统称为“冷却不足”，但在某些情况下却是由于执行维护工作不当或缺乏维护制度所造成的。

在发现的不足之处中包括：

- 肮脏或发生阻塞的**盘管阻碍**气流
- DX系统利用不足
- 测定点位置不正确
- 传感器未校准或发生损坏
- 送风和回风管道接反
- 有缺欠的阀门
- 有缺欠的泵
- 泵存在不必要的运行情况
- 没有启用空闲冷却系统

定期维护和预防性保养对数据中心对其最佳性能工作至关重要。 如果已经在较长的一段时间内没有对系统进行过维护，则要立即着手进行维护工作。 要制定定期的维护计划，且计划要满足冷却设备制造商推荐的指导说明。 请向您的维护公司、暖通顾问或APC了解详情。

3. 在机架中安装挡板，制定机架缆线管理方法

如在机架柜内存在着没有利用的纵向空间，则从设备流出的热空气可通过“短路”返回到设备的入口。 这种没有控制的热空气循环造成了设备的不必要发热。

在一HP服务器安装指南³中写着：

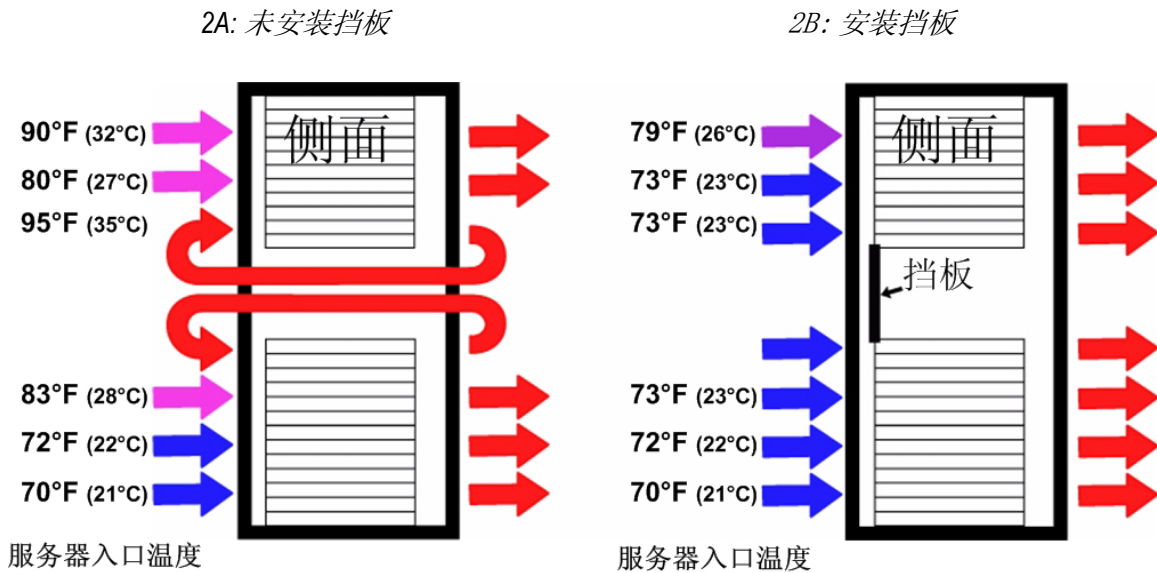
注意： 对机架所有空白面板要用挡板填充以形成U型空间。 这种安装可以确保适当的气流。 使用没有挡板的机架会导致冷却不当，而造成热损坏。

这个建议常常被忽视，这种忽视是机架内发生过热问题的一个重要原因。 安装挡板可以防止冷却空气绕过服务器上的入口，并防止热空气循环。 图2显示可以通过采用挡板实现的改进情况。

² www.upsite.com

³ HP Proliant DL360 Generation 3 服务器安装指南 www.hp.com

图2 — 安装挡板对服务器空气入口温度的影响⁴



更多信息请参阅APC第44号白皮书“采用挡板改善机架的冷却性能”。

机架内的气流也受紊乱布置的缆线影响。在机架内部署高密度服务器给缆线布置造成新的问题。图3显示紊乱的缆线会限制信息技术设备的空气排出。

图3 — 紊乱缆线的例子



⁴ APC实验室试验 — APC第44号白皮书 www.apcc.com

多余的缆线应该予以清除。数据缆线应该截取适当的长度，必要时可采用配线架。设备的电源应该由带有适当长度电缆的机架安装式PDU提供。有关解决缆线问题的机架配件信息，请访问APC公司的网站

www.apcc.com

4. 清除下地板障碍物和密封地板

在有高架地板的数据中心，下地板用作分配管道或导管来作为冷却空气的路径，使冷却空气从CRAC单元流到机架前的带孔地板砖或地板栅栏。这一下地板也常常用于安装其它设施如电力线、光导线、网络线缆，在某些场合还用于安装水管和 / 或火警探测和灭火系统。

在原始设计时，设计工程师所设计的地板深度或许足够，以保证气流用所需的流速通过带孔砖或地板栅栏。后来添加机架和服务器的时，要安装更多的电源线和网络缆线。在移动或更换服务器和机架时，多余的缆线往往是残留在地板下。尤其是在客户周转量高的用户设备代管和设备托存机构，情况更是如此。如图11中所示的气流加速设备可以缓解空气流动受阻造成的问题。高架缆线可以保证不会发生这种问题。如果缆线从地下经过，要确保有足够的空间，使得空气可以流到带孔砖或地板栅栏，为设备的冷却提供足够的风量。在理想情况下，电缆架应该是在地板下“上级水平”行走，使得“下级水平”能自由地作为冷却分配管道。

缺失的地板砖要及时补上，安装的位置要正确，以消除任何缝隙。地板上缆线开孔是造成空气泄漏的主要原因，因此，对电缆的周围要进行密封。对带有未使用开孔的砖要用完整的砖来替换。对和空白机架相邻或机架已经不再存在的地方，也应该采用完整的砖来替换有缆线开孔的砖。

5. 将热机架分开

如果高密度机架紧密聚集在数据中心的地板上，则大多数冷却系统的冷却能力都不够用。将这些机架在整个地板区域上分开布置，可以缓解这个问题。这一点可以从以下例子中明显地看出。

数据中心设计特征：

高架地板的面积： 5,000 ft² (465 m²)

高架地板的深度： 30 inches (762mm)

UPS 负荷： 560kW

平均机架面积： 1,250 ft² (116 m²)

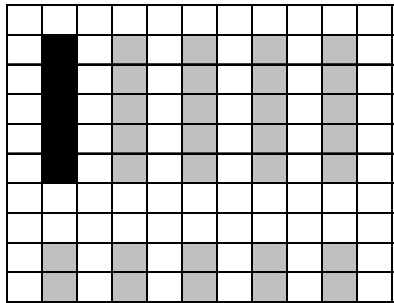
机架数量： 200

平均数据中心能量密度： 112 Watts / ft² (1,204 Watts / m²)

平均每机架能量密度： 2,800 Watts

考虑到通道面积、CRAC单元等，并假定机架占用四分之一的总地板的面积，平均机架密度将为2,800瓦特。当高架地板深度为30in (762mm)时，考虑到必要的下地板缆线（电源线、数据线路等）、CRAC空气流的特性等，除非采用通风扇辅助设备，最大冷却能力很难超过每机架3kW。在图4中，我们假定在200个机架中，有5个是高密度的，并且成排布置在一块。

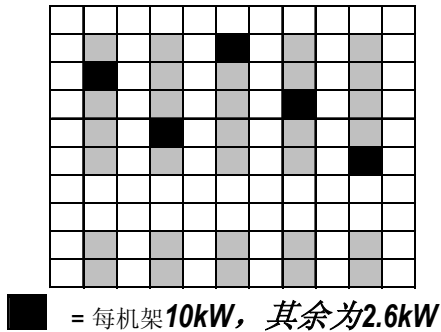
图4 — 全部“热”机架在一块的数据中心



假定5个“热”机架的负载各为10kW，其余195个机架的负载各为2.6kW，则总平均机架负载为每柜2.8kW，这没有超过理论冷却限度。但高密度机架排的平均负载将为每柜10kW，冷却基础设施将无力为此提供支持，除非采用“吹气”或自给方案（请参阅本文的第9步骤和第10步骤）。

一个替代方案为将“热”机架分散来保证平均冷却需要量，如图5所示。

图5 — 分散“热”机架的数据中心



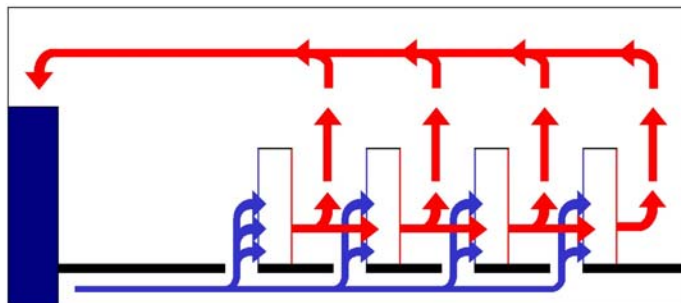
之所以将高密度负载分散是行之有效的方法，其关键原因在于分开的高能量机架可以有效地“借用”邻近机架未充分利用的冷却能力。如果邻近机架已经完全利用对其的冷却能力，则不能达到这种效果。

6. 实施热通道 / 冷通道布置

除极少数例外情况以外，绝大多数机架安装服务器的设计为从前面吸入空气，从后面排出空气。如果机架都朝向一个方向，则第一排机架排出的热空气在通道中将与供应空气或室内空气相混合，然后进入到第二排机架的前面。图6显示的是在高架地板环境中的这种布置。由于空气连续通过各排机架，IT设备的入口空气注定

是较热的。如果所有各排机柜的布置使得各个服务器的空气入口都朝向同一方向，则设备的功能难免会不正常。不仅在高架地板环境是如此，在普通地板也是如此。

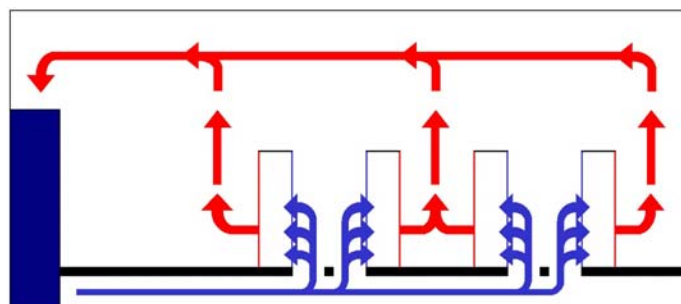
图6 — 热通道和冷通道没有隔开的机架布置



最好的作法是使得“热”通道和“冷”通道设备交替成排布置，如图7所示。冷通道将包括地板栅栏在内，机架将被如此布置，使得服务器的前面（空气入口）朝向冷通道。热空气将被排放到不含有地板栅栏的热通道中。

这种热 / 冷通道布置也同样适用于普通地板环境。请参阅第55号APC白皮书“任务关键设备的冷却空气架构”。

图7 — 热通道 / 冷通道机架布置



7. 重新对齐CRAC单元

CRAC单元的空气排放管必须正确对齐，以优化到地板栅栏的冷却空气路径。

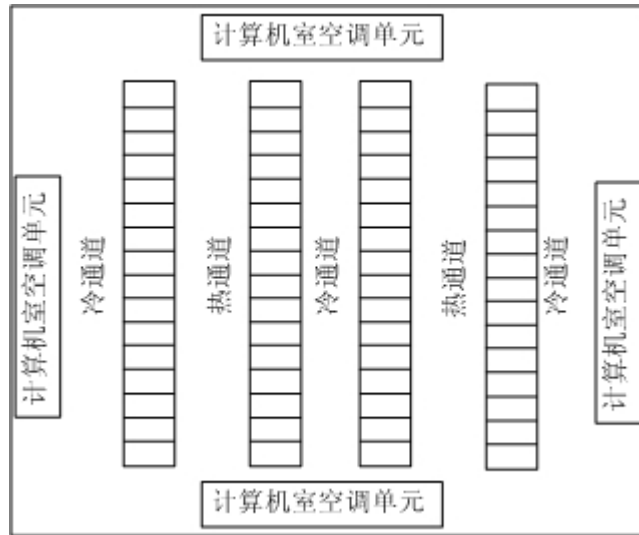
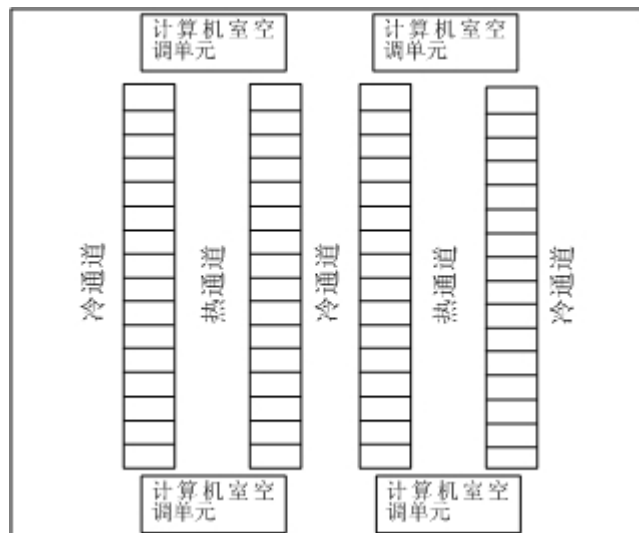


图8 — 典型的CRAC布局

上面的图8显示典型的室内布局，其中CRAC单元均匀地布置在房间的四周，为热通道 / 冷通道布置服务。在这个例子中，沿两个垂直墙壁的CRAC单元太靠近冷通道，这将造成此通道的气流绕过地板通风孔。为使得沿通道的气流更好，这些CRAC单元最好平行沿墙壁布置。

图9 — 首选的CRAC布局



在图9中，从地板平面图中可以看出，CRAC单元从垂直于墙壁移到了水平于墙壁，并且和热通道对齐。从常规考虑出发，会认为要将它们布置在冷通道中，以便为冷通道中的地板通风孔提供气流。但计算流体动力学（computational fluid dynamics, CFD）分析却表明，在返回到CRAC入口时，热通道的热空气进入冷通道，造成热空气和冷空气相混，从而提高机架前面（入口）供应空气的温度。

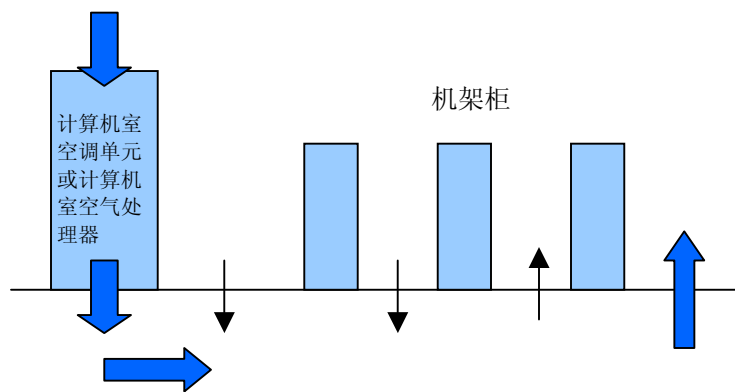
8. 管理地板通风孔

机架气流和机架布局是实现冷却性能最佳化的关键因素。然而，地板通风孔的位置如果不当，可造成CRAC空气在进入负载设备前和排放的热空气相混，从而成为前述冷却性能不佳和费用增加的原因。送气和返回空气通风孔位置不当的情况非常普遍，并且使得热通道和冷通道设计的种种优点丧失殆尽。

设计送气通风孔的关键是要将其尽量靠近设备空气入口，并将冷空气保持在冷通道中。对下地板空气分配而言，这意味着要将通风砖仅限于冷通道中。高架分配系统可以和高架地板分配系统一样有效，但同样要注意的是，分配通风孔要位于冷通道的上面，通风孔要直接将空气向下排到冷通道中（在侧边不要采用弥散通风孔）。无论是在高架系统还是在地板下系统，要关闭没有运行的设备处的通风孔，否则这些通风孔会造成返回到CRAC单元的空气温度偏低，从而加大空气减湿，导致CRAC的性能下降。

地板通风孔离CRAC如果太近会造成负压，从而导致室内空气被吸回到地板下，如图10所示。利用简单的气流速度装置可以确保通风孔砖的恰当位置，并有正确的静压。

图10 — 在高速地板下环境中的相对空气运动



注：在某些数据中心的机架方向可能会有不同。所示的例子和前面推荐的图9不同，用于说明前述气流情况。

设计空气返回通风孔的关键是要将其尽量靠近设备空气出口，并从热通道收集热空气。在某些情况下，天花板高架分配管道用于收集热空气，空气返回通风孔可以简易地和热通道对齐。如果采用整块高架开放式天花

板，最好是将CRAC单元的回返通风孔尽量安装在天花板的最高处，并通过返回管道系统尽量和热通道返回气流对齐。即使是在室内侧面安装的单个整块气流返回装置，也最好是将分配管道的为数不多的通风孔和热通道对齐。

在不带高架地板或管道系统的较小房间内，空气向上流动或向下流动的CRAC单元经常布置在某一角落或沿墙壁布置。在这些情况下，要将冷空气和冷通道对齐、热空气和热通道对齐往往比较困难。在这种状态将无法最大限度地发挥冷却的性能。但是，通过以下方法，可以对冷却的性能加以改进：

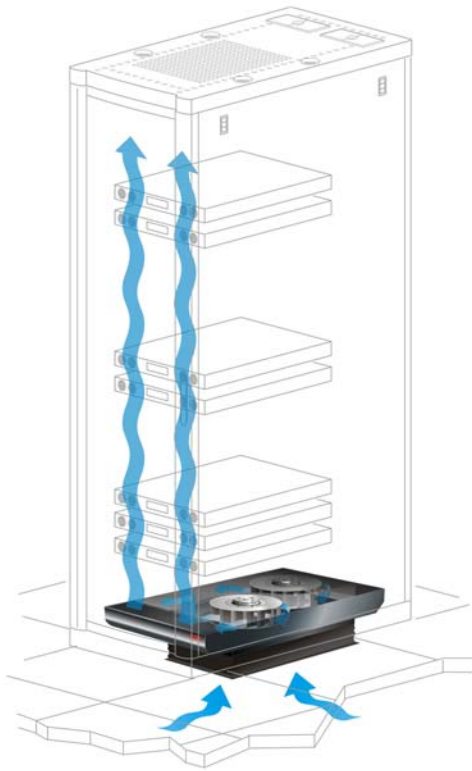
- 对于空气向上流动的单元，将单元布置在热通道的末端附近，并添加管道将冷空气尽量远离CRAC单元地输送到冷通道处。
- 对于空气向下流动的单元，将单元布置在冷通道的末端附近，使气流沿冷通道向下流动，并在热通道上面添加天花板返回分配管道或悬挂带有返回通风孔的管道系统。

对位置不当的空气返回栅栏的分析可以暴露出主要的错误原因：由于工作人员感觉到某些通道热，某些通道冷，因此认为对这种状态要加以纠正，并将冷空气通风孔移到热通道，将热空气返回通风孔移到冷通道。设计良好的数据中心就是要实现将热空气和冷空气分开，而工作人员却误认为这是一种缺陷，结果错误地将冷热空气混合起来，这样做会造成冷却性能下降，并增加系统的费用。请记住 — 热通道就应该是热的。

9. 安装气流辅助装置

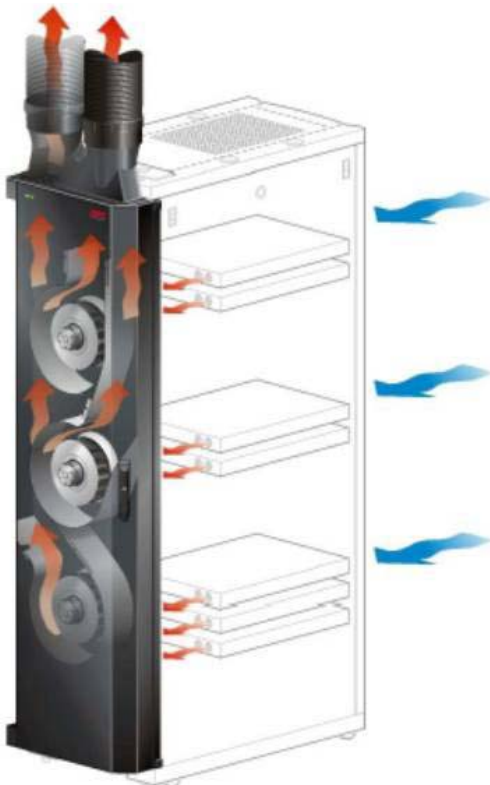
在有足够平均冷却能力，但却存在高密度机架造成的热点的场合，可以通过采用有风扇辅助的设备来改进机架内的冷却负荷，这种设备可以改善气流，并可使每一机架的冷却能力提高3kW到8kW。这些设备，如APC的空气分配单元（Air Distribution Unit, ADU）和空气迁移单元（Air Removal Unit, ARU）可有效地从邻近空间“盗取”空气（参见图11和图12）。像所有的吹气装置一样，安装此类装置要谨慎，以确保从邻近空间分流空气不会造成邻近机架本身的过热。这些装置应该由UPS供电，以防止停电时后备电源启动时因热量过大而造成停机。在启动后备柴油机和接着启动空调机时，将会发生过热。

图11 — 机架安装全管道化空气供应单元



风扇架设备，如APC公司的ADU可以安装到数据柜的底部U型口，可使得空气在纵向流动，在前门和服务器之间形成空气“帘”。必须使用挡板（参见第3部分）来保证分配管道的完整性。空气在被吸入到服务器后被重新排放到“热”通道，然后由室内空调系统冷却和再循环。

图12 — 机架安装全管道化空气返回单元

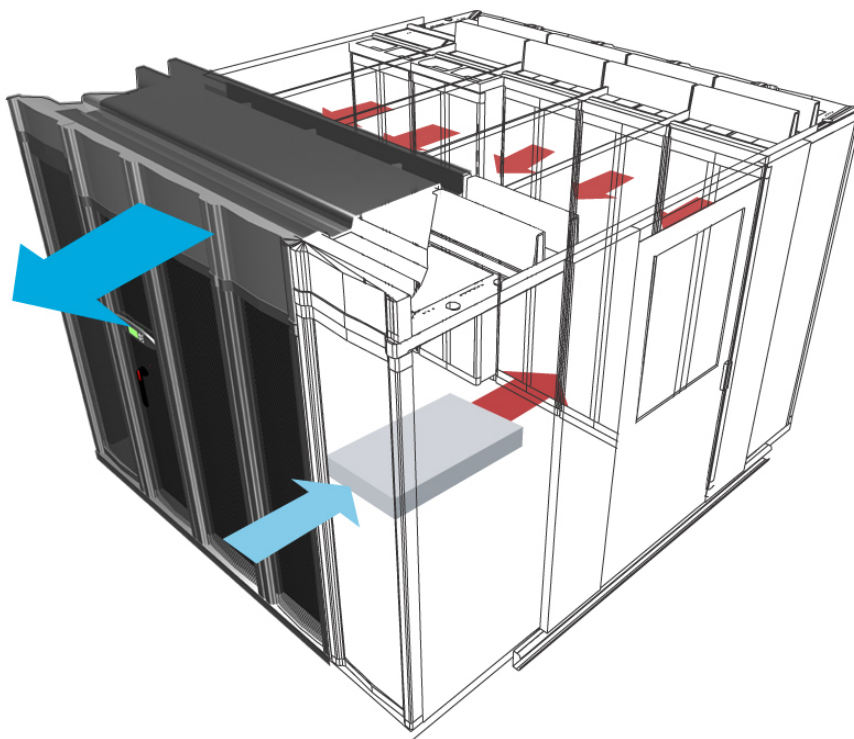


在密度更高时，可拆除柜的后门，并安装将空气水平吸入柜内的设备如APC公司的ARU。空气由柜内计算机设备中的风扇从（冷）通道吸入到柜内。后门内的风扇收集热空气并排放到室内（在ARU由导管送回），然后由室内空调系统再循环。用这种设备可以实现每机架6-8kW的密度。在使用这些设备时要安装挡板。

10. 安装自给高密度设备

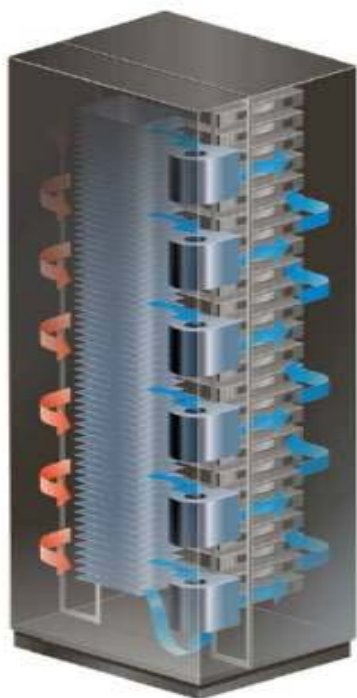
如果采用纵向气流，当一机架内的冷却需要超过8kW时，要向各个服务器的前面提供均匀的冷空气将会越来越困难。在密度非常高的场合（每一机架超过8kW），要采用平行冷空气供应，以便使得从上到下的温度能够保持一致。自给高密度冷却系统设计为在数据中心安装，同时也不影响其它机架或现有的冷却设备。这些系统是“房间中性”的，可以自房间内吸取冷却空气，并将相同温度的空气重新排放到室内，也可以在封闭的柜内使用自己本身的气流。这些系统的例子请参见图13和图14。

图13 — 集成的机架冷却系统（多机架）



在集成机架冷却系统中有完整的基础设施如电源线、断路器、顶盖数据缆线、UPS以及相应的冷却方案。服务器的热空气被排放到热通道中，经过冷却单元后，排放到室内的温度为75°F（24°C）。这样，热负荷得到缓解，而且这种方案不影响室内温度。

图14 — 集成的机架冷却系统（单机架）



对每机架高达15kw的高密度，要采用另一种方法来进行空气冷却。 APC公司的自治柜系统（Autonomous Cabinet System, ACS）是一完整的数据中心柜，集成有冷却、供电、防火和安全系统，满足极高密度负荷的要求。 冷却单元位于柜内，这样可保证向机架安装设备供应冷却空气的最大有效性。 热空气在集成的冷却单元内处理，而不排放到柜外。

结论

在数据中心安装最新的IT设备，如刀片式服务器，有着众多的优点。但是，这些设备的能量消耗量每一机架为现有设备的2至5倍，相应的散热量也会加大，这一点已成为停机的潜在原因。为有效地避免设备故障和不明原因的速度缓慢，并延长设备的使用寿命，制定定期的健康检查计划比过去任何时候都更加重要，以便确保冷却设备是按照所设计的容量、效率和冗余运行。采用本文所介绍的各个步骤，可以使得数据中心能够在其峰值效率运行，以保证其可以胜任商务过程，防止在将来发生问题。

遵循本白皮书中的1-8步骤的指南，可以帮助典型的数据中心在其原始设计的界限内正常运行。步骤9和步骤10是对如何扩充典型数据中心冷却密度设计界限的建议（无需采用较大的建筑物更改工程），方法是通过安装“自给”冷却方案，以便满足高密度服务器应用场合的需要。

关于作者：

Peter Hannaford是APC公司的EMEA地区产品营销经理。他是英国特许管理学会（British Chartered Management Institute）和英国管理人学会（British Institute of Directors）的成员，并在全球范围内参与了超过1m sq ft的数据中心设施的设计和构造。