

避免数据中心或网络机房内
制冷效率降低

49号白皮书

APC
创新动力 可靠为本

概要

在数据中心或网络机房内安装精密制冷系统时，通常会出现一些可避免的问题，进而会降低可用性并提高成本。这些无意的疏忽会导致形成热点、降低容错能力、降低效率和制冷量。尽管设备操作员可解决部分制冷问题，但实际上许多问题均由IT设备的不当布置摆放造成，超出了他们所能控制的范围。本白皮书详细分析了这些典型错误，阐述了其原理和影响，并介绍了一些简单的解决方案。

介绍

多数数据中心和网络机房都存在各种基本的设计和配置缺陷，这可能会导致无法获得额定的制冷量，同时阻碍冷空气的流通。这些问题通常不会被发现，因为计算机机房通常以远低于设计目标的负载密度运行。然而，全新 IT 设备负载密度的增加，使得数据中心热负荷逐渐接近其设计极限，进而暴露出了无法提供有效制冷量的问题。

制冷效率降低除了可能降低系统可用性外，还可能导致运行成本大幅增加。本白皮书详细阐述了一些常见设计缺陷，它们可能将精密制冷系统的效率降低 20% 或更多。Lawrence Berkeley 国家实验室和 APC 公司进行的独立研究显示，在一个电力消耗如图 1 所示的典型数据中心内，精密制冷系统的电力消耗相当于整个 IT 负载的电力消耗。制冷效率降低 20%，便可能导致整个电力消耗增加 8%，这对于一个使用寿命为 10 年的容量力 500kW 数据中心而言，被浪费的电力成本约为 70 万美元。然而，这一严重的浪费本可以避免。

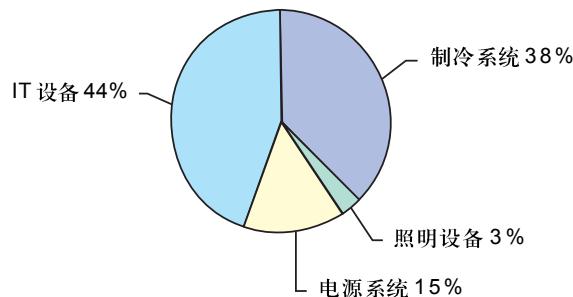


图 1 典型数据中心电力消耗分布

多种问题促使用户对数据中心的精密制冷系统进一步优化。这些问题来源包括制冷设备自身的设计和规范问题，以及整套系统向设备提供冷空气的过程等。本白皮书重点介绍了与冷空气分配相关的制冷问题，以及与 IT 设备布置摆放相关的问题，主要考虑因素如下：

- 均为实用的、可行的和已经验证的解决方案
- 许多改进措施已应用于当前的数据中心内
- 极小的投入或无需投入就能得到极大改善
- IT 人员和设备员均可实施相应改进措施
- 解决方案不受设施或地理区域的限制
- 这些问题均可以通过简单的政策加以解决

本白皮书将常见缺陷分为 5 类，并按顺序逐一阐明：

- 机柜内的空气流通
- 机柜布局
- 负载分布
- 制冷设置
- 送风口与回风口设计

对于每一类缺陷，本文均介绍了一系列问题，并简单阐述了问题的原理，以及它对可用性和总体拥有成本的影响。该类信息在表中做了相应的汇总。

文章最后介绍了一些能够显著提高数据中心可用性和大幅降低总拥有成本的策略。

空气流通基本要求

机柜内及周围的空气流通方式对于制冷效率的影响至关重要。了解机柜内空气流通的关键是掌握基本原理，即影响 IT 设备的两个因素：

- 经过处理的空气由设备进气口进入
- 通过设备的气流流通顺畅

经常发生并导致无法实现最佳情况的两个主要问题是：

- CRAC 气体在到达设备进气口之前与热空气混合
- 通过设备的气流受到阻隔

文章下一部分介绍了导致产生这两个问题的原因，以及解决这些降低可用性和提高成本问题的通用解决方案。

机柜内的空气流通

尽管机柜通常被认为是一种机械支架，但它对于防止设备排出的热气重新循环进入设备进气口至关重要。热气被轻微增压，再加上设备进气过程中的吸力，将可能导致热气被重新吸入设备进气口。这一结果的影响要远远大于热气上升的影响。人们通常认为后者能够使得热气从设备中被排出。机柜及其盲板提供了一个自然屏障，能够显著延长空气再循环路径的长度，进而减少进入设备进气口的热气量。

尽管主要的 IT 设备制造商均强烈建议使用盲板，但实际上 90% 或更高比例的数据中心都忽略了这一点。空气再循环问题可能导致 IT 设备的温度上升 15°F 或 8°C。有关这一结果及实验数据的详细说明，请参阅 44 号 APC 白皮书：《利用盲板改善机柜制冷效果》。盲板可以改善机柜空气流通效果，如图 2 所示。安装盲板是一个极其简单的流程，可用极低的成本应用于几乎所有数据中心。

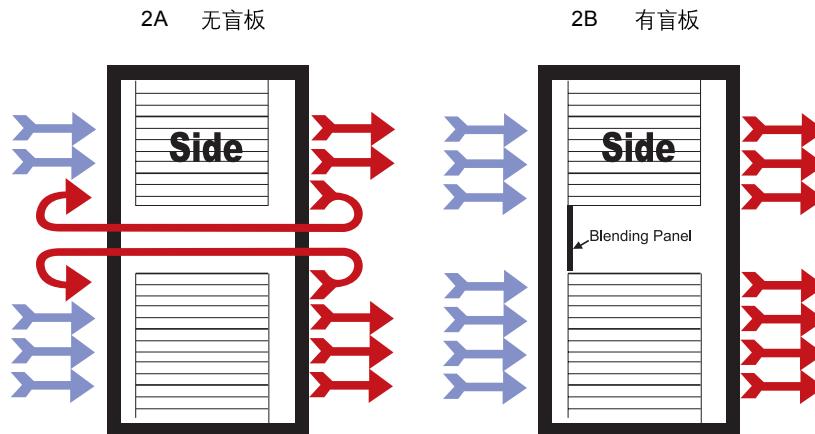


图 2 安装盲板前后气流循环示意图

许多机柜配置暴露出了一些其它缺陷，可造成与缺乏盲板类似的结果。使用宽机柜和嵌入滑轨使得热气可以通过机柜滑轨侧面进行短路循环。使用托架安装 IT 设备会阻碍盲板的使用，从而为热气的短路循环提供了完全开放的路径。

一些标准的 19 英寸机柜在滑轨周围、机柜的顶部和底部均存在内置的空气短路循环路径。在这种情况下，安装盲板不能完全控制空气的短路循环。许多机柜的设计不能适用于高负载密度 IT 环境中。采用标准机柜和盲板可以大幅减少空气短路循环比例，并降低热点的数量。

通过使用盲板和选择可以有效控制短路循环的机柜对于降低热点的温度，并可显著提高系统可用性。此外，还有一些优势虽然不太明显，但却非常重要，需要进行说明。

短路循环对容错能力的影响

与合理的系统相比，短路循环非常严重的机柜系统会导致系统容错能力和可维护性大幅降低。在大多数安装中，制冷量均通过一系列 CRAC 提供。在此类配置中，当其中一个 CRAC 单元由于故障或维护停止工作时，其它 CRAC 单元将能够自动接替其工作，继续提供制冷功能。空气短路循环可在以下几方面减弱这一容错能力：

- 短路循环造成回流到 CRAC 的空气温度较低，可能导致 CRAC 以较低的性能工作，进而无法满足制冷量要求
- 剩余系统无法提供克服短路循环效应所需的较高供气速度，从而导致短路循环加剧和设备温度过高

短路循环对总拥有成本的影响

温度过高和容错能力降低导致的系统可用性问题使标准机柜和盲板的使用成为了一个令人关注的焦点。然而，短路循环导致的 TCO 后果极其严重，使得这一情形最为突出。

与制冷效率相关的最大寿命周期成本是运行制冷设备和风扇需要消耗的电力的成本。数据中心制冷消耗的电力（瓦特或冷吨）不受短路循环的影响，但精密制冷系统的效率却会受到显著的负面影响。这意味着短路循环将会加大与电力相关的成本。相应成本组合如图 3 所示。

图 3 列举了通过解决循环的主要症状（即热点）所带来的结果。两个解决热点最常用的方案是降低 CRAC 供气温度，或增强 CRAC 性能，或二者兼用。这些方案可能需要耗费大量不可预知的成本，如图所示。然而，本白皮书介绍的通过设计和规范控制循环的方案，将仅需很少的成本，并能够避免产生图中所示的结果。

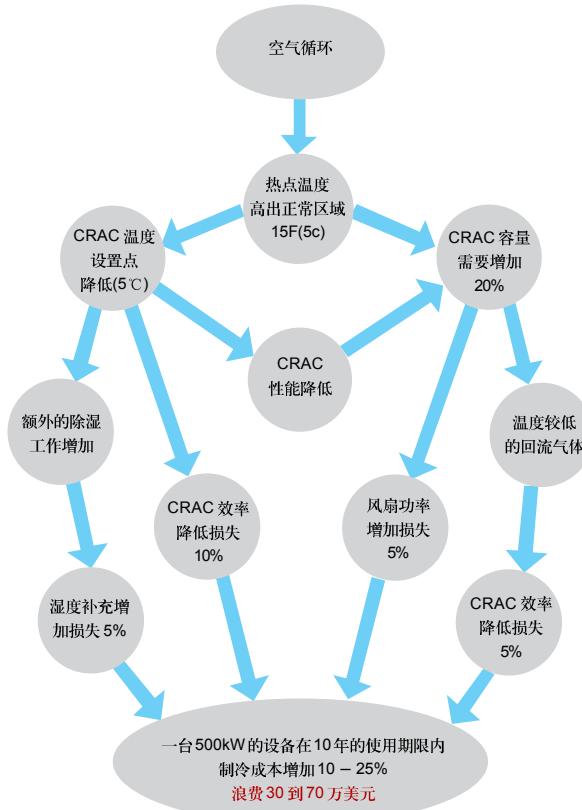


图 3 循环造成的财务后果联图

空气流通的限制使得设备无法获得足够的冷空气，进而导致温度升高。此外，机柜前端或后端的气流限制还会加大在没有盲板的机柜空间内的空气短路循环情况。

因此，至关重要的一点是需要使用具有良好通风效果并在其后端拥有足够空间的机柜，以避免电缆阻碍空气的流通。用户有时选择使用薄型机架，认为它将能够提高空间利用率，但由于电缆阻碍空气流通所造成的散热限制，将导致无法充分利用密度。

表 1 机柜空气流通设计缺陷及后果总结

设计缺陷	可用性后果	TCO 后果	解决方案
没有盲板 在托架上安装设备 使用没有滑轨挡风条的 23 英寸机柜	形成热点，特别是在机柜顶部制冷冗余能力降低	降低了 CRAC 效率 耗水量 加湿器维护 浪费电力	使用盲板 不使用托架 使用在滑轨外没有开放空间的机柜 在宽机柜上，为滑轨添加挡风条
机柜下方线通道没有挡风条	形成热点，特别是在机柜顶部活动地板静压降低制冷冗余能力降低的地方	CRAC 效率降低	在机柜下方的电缆通道使用挡风条或垫圈
玻璃门 没有通风口的门	过热问题 加重了没有盲板导致的后果	降低空间和机柜利用率	前后门添加通风口
机柜顶部使用风扇	优势几乎可以忽略不计，此类投资应用于其它更实用的目的	浪费资本 浪费电力	不使用
薄型机架	电缆障碍 导致温度过高	降低空间和机柜利用率	使用带有足够深度的机柜，空气自由穿过电缆

除了上述控制机柜空气流通的被动方案外，带有风扇系统的机柜也可用来控制机柜内气流的分配。一些机柜风扇系统，如顶部安装风扇等，具备的优势微乎其微。其它风扇系统，如将底层空气输向机柜前端的系统，或从机柜后端排出热气的系统，可以有效改进机柜内的空气流通，减少短路循环和提高机柜利用率。有关这些系统的详细说明，请参阅 46 号白皮书：《超高密度机柜和刀片式服务器的功率与制冷要求》。

通过将专为改进供气风扇组件设计的机柜标准化，可以有效满足未来的高负载密度要求。

机柜布局

上一部分介绍的合理机柜空气流通控制对于提高制冷效率至关重要，但离目标还有一段距离。机柜空间的合理布局对于确保机柜拥有适当温度和足够的空气非常重要。空气到机架的流通是关键。

合理机柜布局的目标也是控制循环，即避免 CRAC 空气在到达设备进气口前与热气混合在一起。具体设计原理基本相同：尽可能将热气与设备进气口气体隔离。

这一问题的解决方案应用甚广。通过将机柜按行排列，同时按照面对面方式布局，可以大幅降低短路循环现象。这一解决方案的原理在 Uptime Institute 的白皮书中进行了详细介绍，书名为《更改冷热通道可为服务器带来更可靠的制冷效率》。

除冷热通道系统具备的明显优势外，调查还指出，大约 25% 的数据中心和网络机房将每排机柜面向统一方向。(将机柜置于统一方向可能导致严重的短路循环问题，几乎肯定会出现“热点”，同时系统运行成本也将大幅提高)具体成本将根据安装情况的不同而有所差异，详细信息请参阅图 3。

冷热通道技术的有效应用不仅仅是将机柜变为面对面摆放。在 75% 使用冷热通道技术的数据中心，有 30% 未能合理安排空气分配和回流系统，从而不能为机柜有效供气。这一部分将在稍后的“送风口与回风口设计”部分中介绍。

对于机柜朝向统一方向、且未使用冷热通道技术的环境，A P C 的调查显示大多数均是按照管理层指示放置，目的为保持数据中心的美观。调查认为如果能够确定指示造成的后果，则可以避免做出此类决策。

对于机柜朝向统一方向的系统而言，本文中介绍的多种技术的效果将会大打折扣。如果未能使用冷热通道技术，那么解决这一环境中的热点的一个有效办法将是，为受影响的机柜提供一个额外的制冷供气设备。

表 2 机柜布局设计缺陷和后果总结

设计缺陷	可用性后果	TCO 后果	解决方案
机柜朝向统一方向 未实施冷热通道技术	热点 制冷冗余能力降低 制冷效率降低 加湿故障	消耗过多功率 耗水量 加湿器维护	使用冷热通道技术
没有按行排列	问题如上	如上	将机柜按行排列
按行排列，但不紧凑	问题如上	如上	减少机柜间缝隙 不要隔离机架

负载分布

设备的位置，特别是高功率设备的位置，可能显著增加数据中心的压力。当高负载密度、高效率服务器被组合成一个或多个机柜时，便会出现高负载密度设备群。这种情况可能导致数据中心容易出现热点，并要求操作员采取正确措施，诸如降低空气温度设置点或添加 CRAC 等。这些措施进一步加剧了图 3 中总结的后果。

基于这些原因，尽可能分散放置设备将带来显著优势。同时幸运的是，分散放置设备不会受到光纤和以太网连接的影响。I T 人员通常会将设备放置在一起，并认为此种方法更为方便。对于这些人员，需要向其介绍分散放置设备可以带来的可用性优势和成本节省。

其它方法也可以帮助高功率机柜避免受到负面制冷影响。如欲了解有关这一主题的更详细论述，请参阅 46 号 A P C 白皮书：《超高密度机柜和刀片式服务器的功率与制冷要求》。

表 3 设备分布设计缺陷和后果总结

设计缺陷	可用性后果	TCO 后果	解决方案
集中放置设备	热点 制冷冗余能力降低	消耗过多功率	尽可能分散放置设备

制冷设置

上一部分探讨了降低 CRAC 空气温度设置点的负面影响。当 CRAC 输出气体温度最高时，空调性能也将达到最高。理想状态下，如果没有循环，CRAC 输出气体温度将与计算机设备的 65-70 °F (18-21°C) 一致。这一假设不切实际，实际中 CRAC 输出气体温度通常比计算机进气温度略低。然而，如果能够遵循本文介绍的空气分配原则，则可以将 CRAC 温度设置点设为最高。为了最大限度地提高容量和优化效率，CRAC 设置点不应低于维持设备进气温度所需的点。

尽管 CRAC 温度设置点由空气分配系统决定，然而湿度却可以调整到任意最佳值。如果湿度值高出要求，可能导致恶劣后果。首先，CRAC 将导致水分凝结，降低空气湿度。除湿功能会显著降低 CRAC 设备的制冷效率。然而更糟的是，加湿器需要补充空气损失的水分。在一个典型数据中心，这一情况每年会浪费数千加仑的水。同时加湿器也是一个主要的散热源，必须进行制冷，从而会严重降低 CRAC 设备的制冷效率。当存在严重的气流短路循环时，将更是雪上加霜，因为较低温度的 CRAC 气体会更容易结露。因此至关重要的一点是：切勿使数据中心的湿度值高出需求。

一些数据中心，包括大多数早期数据中心，均含有高速纸张打印机或幅面打印机。这些打印机会产生大量静电。要消除这些静电，数据中心的相对湿度必须保持在 50% 左右。然而，对于没有高速幅面打印机的数据中心而言，则相对湿度保持在 35% 左右，以消除静电。将数据中心的湿度值设为 35%，而不是 45% 或 50%，可以节约大量的水和能源，特别是在气流电路循环非常严重的环境中。

对于采用带有加湿器的多个 CRAC 设备的数据中心而言，可能还会发生其它问题。在此类环境中，最常见的问题是两个 CRAC 设备相抵触运行。当以下条件为真时，便可能发生上述情况：两个 CRAC 的回流气体温度不一致，或两个设备的湿度传感器校准不一致，或两个 CRAC 设备被设定成不同的湿度值。一个 CRAC 设备会降低空气的湿度，另一个则会增加空气的湿度。这一运行模式极其浪费，而且数据中心操作员也不易发现。

无意义的 CRAC 湿度相抵触问题可通过以下方法解决：A) 使用中央湿度控制；B) 协调 CRAC 设备的湿度值；C) 关闭 CRAC 中的一个或多个加湿器；或 D) 使用死区设定。这些技术各具自己的优势，本文将不进行详细论述。如果带有独立 CRAC 的系统发生上述问题，最可行的办法为确认系统设定是否相同，或校准是否相同，同时扩大死区湿度设定（大多数 CRAC 设备均提供了这一功能）。通常，将死区值设定为 +/- 5%，便可以纠正这一问题。

表4 制冷设置缺陷和后果总结

设计缺陷	可用性后果	TCO 后果	解决方案
湿度设定过高	形成热点 制冷冗余能力降低	消耗过多功率 耗水 加湿器维护	将湿度设定为 35-40%
多个 CRAC 设备 在同一空间内相 抵触运行	制冷冗余能力降低 制冷效率降低	消耗过多功率 耗水 加湿器维护	将所有设备的湿度死区 值设定为 5% 使用中央加湿器 关闭不必要的加湿器

送风口与回风口设计

机柜内气流和机柜布局是引导空气以最大限度改进制冷效果的关键因素。但要确保最佳制冷效果，还有一个关键因素，即送风口与回风口设计。

这些通风口的位置不当会使 CRAC 空气在到达负载设备前与热气相混合，从而引发上述各种效率问题和额外成本。送风口或回风口位置不当的情况很常见，几乎会消除所有冷热通道设计优势。

送风口的关键在于将其置于尽可能邻近设备进气口处，将冷空气限制在冷通道内。对于地板下空气分布，意味着要将打孔地板置于冷通道内。上送风系统与下送风系统一样有效，但关键还是将分配通风口置于冷通道上部，而且这些通风口的设计必须要能引导空气直接向下进入冷通道（而不是横向进入扩散风口）。在上送风系统与下送风系统中，任何通风口若位于不运行设备的位置，均应关闭，因为这些通风口会阻止回风进入低温 CRAC 设备，从而会除去湿气并降低 CRAC 效率。

回风口的关键在于将其置于尽可能邻近设备排气口的位置，并从热通道收集热空气。在某些情况下，使用架空吊顶强制通风，这样回风口便可轻松与热通道进行协调。当使用高敞开式整回风天花板时，最好的方法是将 CRAC 设备的回风口尽可能高，并用管道系统连接回风口，以协调回风口与热通道。甚至只有少数几个回风口、与热通道协调的粗糙回风系统也比房间侧面的单一型回风口效果要好。

对于没有活动地板或管道系统的小房间，上送风系统与下送风系统 CRAC 通常位于墙角或墙边。在这些情况下，很难协调冷通道的冷空气输送与热通道的回风。在这些情况下，效率会受到影响，但以下方法可能会提高这些系统的效率：

- 对于上送风设备，将其置于热通道的一端，并通过管道将冷空气送至尽可能远离 CRAC 设备的冷通道
- 对于下送风设备，将其置于冷通道（用于将空气吹入冷通道）的一端，并添加吊顶强制通风口或悬挂管道系统回风口，回风口位于热通道上方

一项关于位置不当的回风格栅的调查显示，根本原因主要是：个人感觉一些通道热一些通道冷，并认为这种情况不当，试图通过将冷气口移到热通道并将热气口移到冷通道来加以调整。设计合理的数据中心旨在达到最佳状况，即冷热空气分离，但人们却认为这是一种缺陷，他们会采取措施来混合空气，因而降低了系统效率并增加了成本。这是一种误解，其实热通道就是为热空气而设计的。

当然，在构建数据中心时最容易安排和分配回风口。因此，在设计通风系统前，必须确保在机房布局中的位置和方向分配合理。

表5 送风口与回风口设计缺陷后果总结

设计缺陷	可用性后果	TCO 后果	解决方案
回风口位置不在热通道上方，吊顶灯带有回风口，且位于冷通道上方	热点，特别是在机柜顶部 制冷冗余降低	电力成本 降低了 CRAC 容量 加湿器维护 耗水量	将回风口置于热通道上方 不要使用在冷通道上有回风口的灯，或阻塞回风口
架空送风口在热通道上方，热通道中安装打孔地板	热点 制冷冗余降低	电力成本 降低了 CRAC 容量 加湿器维护 耗水量	对于架空送风，始终将送风口置于冷通道上方，对于活动地板，送风口始终置于冷通道中
打孔地板附近无设备 架空风口敞开，上方无设备 活动地板内的外部孔用于管道、电缆和通道	小	电力成本 降低了 CRAC 容量	封闭通风口，或在无设备的位置打开
在高天花板区域，回风口位置低	CRAC 容量降低 制冷冗余降低	电力成本 降低了 CRAC 容量 加湿器维护 耗水量	将吊顶用于回风口强制通风，或延长管道以收集顶点的回风

通过策略加以预防

按照本白皮书的指导，可以制造具有更高可用性、更少热点、运行更经济的新数据中心。其中描述的一些技术可在现有数据中心实施，但其它技术在真实系统中不可行。当然，首先是尽可能避免出现问题。APC 调查显示，制冷系统设计的大部分缺陷都是无心造成的，如果机构或 IT 人员了解适当空气分配对数据中心的性能、可用性和成本的重要性，则不会造成这些缺陷。制定规则可以向相关各方有效传达主要影响因素。制定规则可促进建议性讨论。除了制定规则，通过信号或标记也可达到沟通目的。例如，在热通道中的机柜后部作上标记，如图 4 所示。IT 人员通常会将热通道视为异常问题或缺陷。此标记有助于他们了解为什么数据中心的一个区域比另一个区域热。

表 6 数据中心设计规则建议

规 则	理 由
使用冷热通道机柜设计	冷热空气分离会减少热点，改进容错，并极大降低耗电量。众所周知，如果所有机柜行均朝向同一方向，前面一行的热气将可能被输入后面一行，从而会导致过热，并极大降低空调效率。
在所有机柜未使用的位置使用盲面板	盲板会防止设备的热气返回到设计进气口，从而避免出现热点，并延长设备寿命。所有服务器和存储设备制造商都规定要使用盲板。
在活动面板中，所有机柜下方电缆孔使用密封垫或挡风刷	活动地板空气分配系统旨在向设备进气口提供冷空气。这些进气口位于机柜前部。机柜下方的开口会向设备排风口输送冷空气，并绕过设备，这会降低制冷系统的效率。
不要试图更正热通道的温度。它们本应是热的	热通道旨在将热气与设备进气口分离。任何削弱此功能的措施都会影响系统设计，降低设备可靠性，并增加操作成本。从设备排出的气本应很热，热通道旨在使热空气返回到制冷系统。使热通道保持热度，有助于确保冷通道的设备进气口保持低温。
将机柜标准化	机柜支持制冷系统的基本功能，不仅仅是机械支持。机柜特性可防止热气进入设备进气口，提供适当的通风，提供无气流阻塞的布线空间，并使高负载密度机柜制冷设备的更新成为机柜标准的组成部分。
将高负载密度设备分散布置	在一个位置集中大功率设备会影响这些设备的运行，并会增加数据中心的操作成本。集中大功率设备会影响送气系统的容错。整个数据中心温度和湿度控制的改变可能会降低制冷效率并增加制冷成本。

图 4 用于显示热通道用途的标记

此处是热通道

为了最大限度地提高 IT 设备的可用性，此通道应保持热度。机柜布局和盲板的使用可防止设备热气返回到设备进气口。可降低设备工作温度，延长设备寿命，节省能源。

结论

很多人不理解气流分配系统也是数据中心的一部分。设备操作员和 IT 人员经常对气流分配系统无意中采取某些措施，可能对系统的可用性和成本造成负面影响。

由于过去数据中心负载密度低，不正确的气流分配措施不会造成严重问题。然而近来负载密度的提高开始需要测试系统的制冷量是否能应对增加的热点对制冷量的需求。

诸如将所有机柜朝向同一方向等的决定，大多数情况下是出于美观方面的考虑；但是随着用户经过正确的指导，他们就会了解以前的做法无疑是没有经验的表现，有悖于设计的目的。

通过制定一系列简单的规则，并提供实用的标准，使 IT 和设备操作员达到有效沟通，从而最大限度提高系统可用性和优化总拥有成本（TCO）。

