

侧向气流机架设备的冷却方案

第 50 号白皮书

版本 1

作者 Neil Rasmussen

> 摘要

在当今的数据中心中，采用侧向气流的设备在冷却方面提出了特殊的挑战。普通机柜和常规机架布局与侧向冷却根本不相容，从而导致温度过高并最终降低设备的可靠性。本白皮书对这些挑战进行了详细说明，并介绍了一些通常不会引起人们重视的负面影响。同时还对不同的冷却方案进行了讨论，并论述其相关成本和优点。

目录

点击内容即可跳转至具体章节

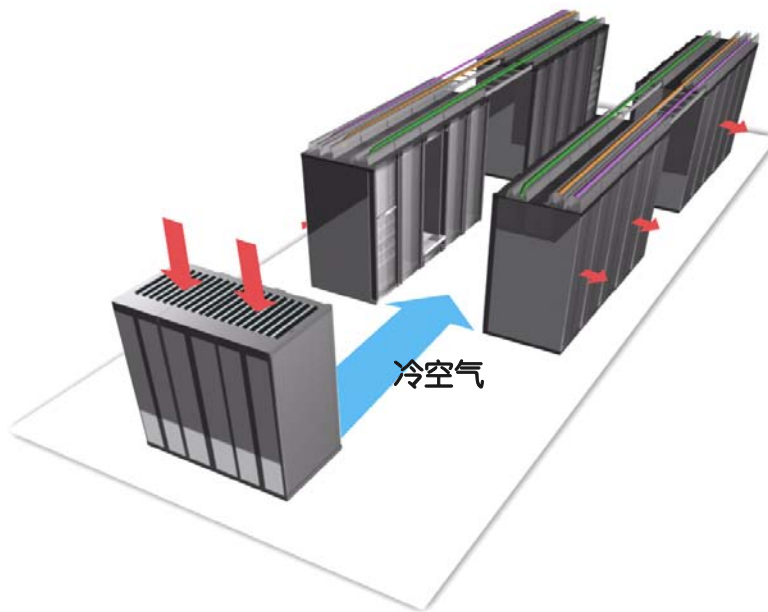
简介	2
基本气流要求	3
采用侧向冷却时的气流问题	4
影响冷却成本的因素	6
适用于侧向气流的有效冷却方法	6
采用侧向气流的设备的局限性	11
结论	12
资源	13

简介

当机架设备呈现出从前到后的冷却气流时（如图 1 所示），设计上采用热通道/冷通道气流模式的数据中心和网络机房的冷却效率是最佳的。大多数服务器和机架安装存储设备采用从前到后的气流。但是，许多类型的交换机和路由器由于自身的设计所限，需要采用侧向气流。

图 1

热通道/冷通道冷却方式



这种情况对于当今普遍采用一体化数据/声音/视频网络的趋势提出了一个难题。过去，电话系统被分散地放在若干安全的小房间里。但随着一体化时代的到来，需要使用标准化的机柜来安放数据设备、语音设备和视频设备。另一个推动一体化的趋势是存储区域网络 (SAN)，在存储区域网络中，存储设备与交换设备（如路由器）一起使用。随着这些趋势不断地增强，IT 管理者逐渐感到需要将采用侧向气流的设备与传统的采用从前到后气流的设备组合起来。

无论是将设备设计为从前到后冷却还是侧向冷却，其本质都是要获得足够的冷空气。如果输送的冷空气不能满足要求，设备的可用性及其承担的业务流程将受到损害，因为电子设备的寿命与其工作温度直接相关。根据 MIL-HNBK 338，设备的运行温度比额定温度每升高 10°C (18°F)，设备的寿命就会减少一半。图 2 所示是电子元件受温度影响的一个示例。薄膜电容的寿命和可靠性随着温度上升而大大降低。

70°F (21°C) 额定电容

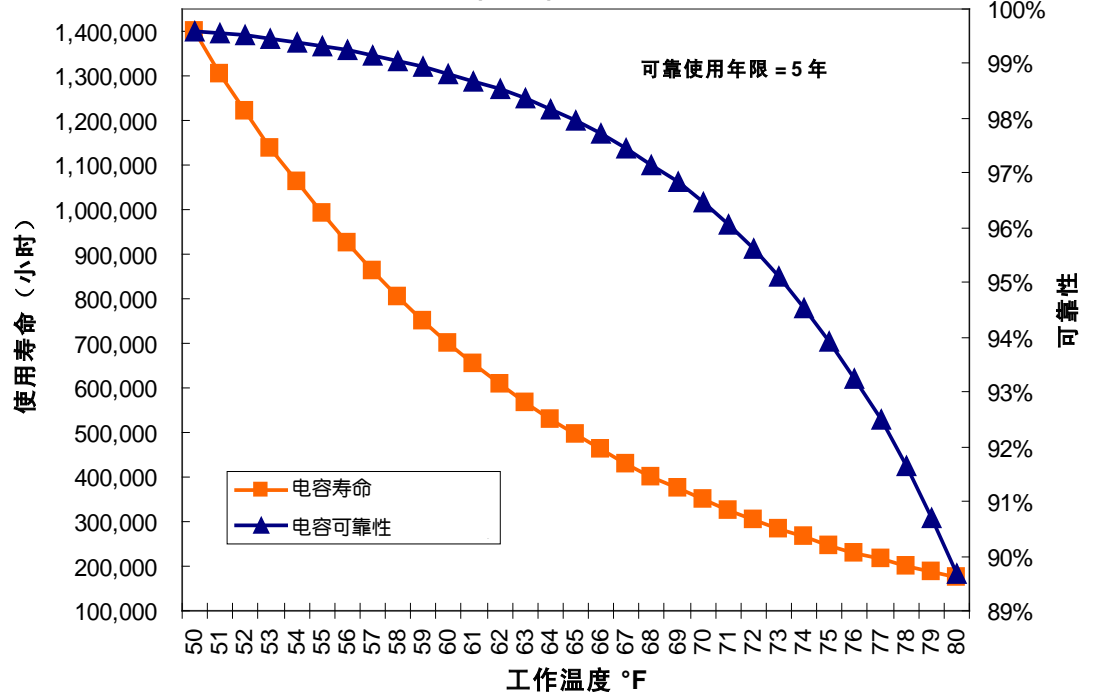


图 2

温度对薄膜电容可靠性的影响

用户用来解决侧向气流的一些常见解决方案并不能有效地解决这一问题，而且还带来了许多隐藏成本。本白皮书随后将探讨这些解决方案，但为了了解最有效的解决方案以及诊断问题，数据中心用户需要熟悉基本的冷却原理，下一节中将介绍这些原理。

基本气流要求

机架内部及周围的气流是决定冷却性能好坏的关键因素。要认识机架气流，关键要了解以下两个基本原则：

- 在设备的进气口处具有符合条件的适宜空气
- 设备内外的气流必须不受任何限制

对于采用从前到后冷却的设备，机柜在正确使用时可以提供气流系统的一项非常重要的功能，因为它们可以防止排出的热空气回流到设备的进气口。从设备中排出的空气的压力稍有升高，这种情况一旦与设备进气口的吸力相结合，就会引导排出的空气返回到设备的进气口（如图 3A 所示）。这种效应大大高于排出热空气的浮力效应，但许多人却认为，这种浮力效应能够让排出的热空气自然而然地向上漂离设备。如果采用从前到后气流，机架、设备和盲板提供了一个天然屏障，它大大增加了空气回流通道的长度，从而减少了返回到设备进气口处的排出热空气，如图 3B 所示。但是，采用侧向气流的设备却无法利用这些关键功能。

图 3

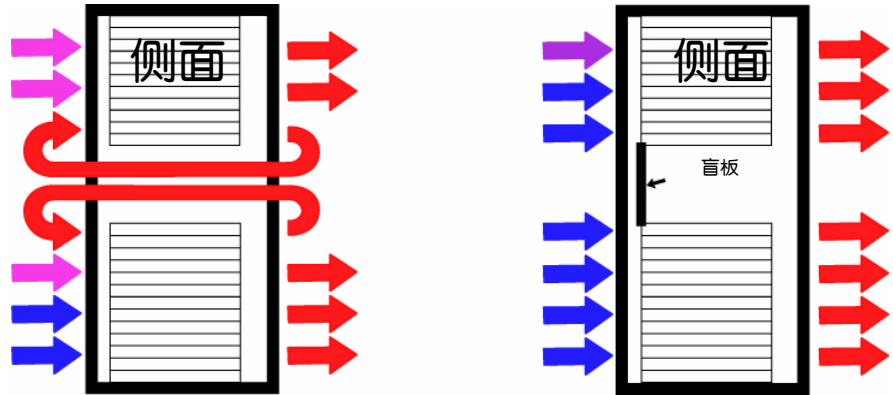
未安装盲板时的空气回流现象（从前到后气流）

3a. (左)

未安装盲板

3b. (右)

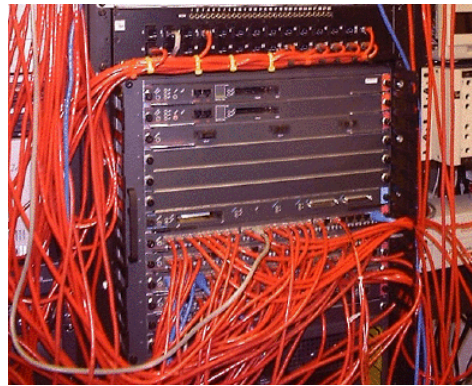
安装盲板



很明显，由于采用从前到后的气流，现代数据中心中所有设备的冷却性能均得到了保证。但是，某些设备的功能完全不允许采用这种冷却方式。例如（图 4 所示），大量的数据端口和电缆占据了该路由器的大部分前表面，这样冷空气就无法穿过交换机的前面。如果将端口放在路由器的侧面，空气就可以从前面穿过，但这对于 IT 人员使用设备而言，却是一个不切实际的解决方案。因此，目前对路由器等设备普遍采用的侧向冷却方法虽然不是最理想的方法，但却是一种切实可行的方法。

图 4

采用侧向气流的路由器



采用侧向冷却时的 气流问题

上节提到在采用从前到后的气流时，从机架设备排出的空气会被自然地抽回到进气口，而盲板可以阻拦此循环气流。但是，对于采用侧向气流的设备而言，有三个严重的问题会使得从设备排出的热空气返回进气口，进而导致设备进气口温度相应地上升。包括：

1. 相邻的设备
2. 没有隔板将进气与排出的空气隔开
3. 安装在机柜中

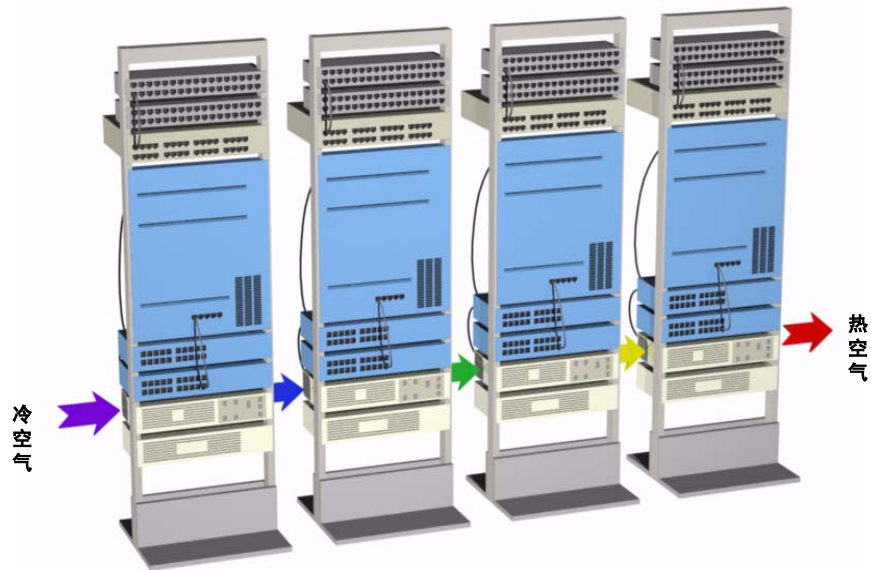
随着机架或机柜中的功率密度（每个机架中的所有设备消耗的总功率）增加，这些问题就会变得更为严重。

相邻的设备

采用侧向气流的设备通常安装在开放式机架中以便于冷却。但是，当机架排成行而设备放在相邻的机架中时，则会导致非常严重的后果。在这种情况下，一台设备的进气口可能正对着相邻设备的排气口。设备的进气口可能会比周围的空气温度高出 10°C (18°F)，这通常是不允许的。此外，如果很多这样的机架排成一行，当空气穿过多个机架后，每个后续机架的进气口温度会越来越高，导致后面机架的进气口温度非常高，这一过程由图 5 中不断变化的箭头颜色表示。此处描述的由于相邻设备的排气引起过热是相当普遍的现象。由于空气流动的模式难以预测，因此使用开放式机架来解决冷却问题也变得非常困难。

图 5

开放式机架中采用侧向气流的设备



没有隔板将进气与排出的空气隔开

安装采用侧向气流的设备时，在大多数情况下，并没有采取措施来阻拦或隔离排出的空气，以防止其返回到设备进气口。类似于图 3A 中采用从前到后冷却的设备，气流可能只是离开排气口，沿设备的后面回到另一侧的进气口。此外，在大多数情况下，采用侧向气流的设备在机架内会垂直分隔开。这就意味着，排出的空气也有可能流向设备的上方或下方，然后返回到设备另一侧的进气口；这条通道通常比沿设备后面的通道短。无论如何，当排出的空气返回并与输送的新鲜空气混合时，设备的进气口温度将会上升，而这是我们不希望看到的结果。

安装在机柜中

正如简介中所述，我们经常需要将采用侧向气流的设备安装到机柜中。但是，对于从前到后的气流，机柜可以提高冷却效果；但对于侧向冷却，机柜将降低冷却效果。机柜的侧面会对新鲜冷空气的进入造成了一定程度的附加障碍，同时也会稍微阻碍热空气的排出。当这种附加阻力与排出空气返回设备进气口的已有趋势结合在一起时，其影响不容忽视。排出的空气中有相当一部分将返回到进气口。如果相邻的设备安放在若干排相互紧靠的机架中，而且机架之间没有空气隔离物，情况将会更糟。如果将采用侧向气流的设备安装在机柜中，则会使前面提及的负面影响变得更严重。然而，要将采用侧向气流的设备安装在机柜中，也有不少行之有效的办法；本白皮书后面将介绍这些方法。

消除过热问题的愿望促使用户不断地进行各种革新，以降低采用侧向气流的设备的温度。传统的解决方案虽然可以降低设备温度，但常常会带来其他隐藏成本。一些降低设备温度的方法可能会导致制冷系统效率低下，并且可能导致丧失冷却冗余能力。要了解这些成本，应该考虑决定冷却成本的因素。

影响冷却成本的因素

冷却成本是一项非常庞大的成本。对于许多装置来说，制冷系统消耗的电能几乎占到数据中心所耗电能的一半。仅仅是维持制冷系统运转的电力成本通常就占了总拥有成本的很大一部分，这一项所占比例高于电源系统和制冷系统的全部基建投资占总拥有成本的比例。因此，必须有效地防止制冷系统浪费电能。

数据中心所需的冷却能力（冷却瓦数或吨位数）不受空气回流影响；但空气回流会大大降低制冷系统的效率。这是因为存在严重空气回流现象的系统具有以下特性：

- 它需要计算机室空调单元 (CRAC) 输送较低温度的空气，以抵消混入的排出热空气
- 由于排出的热空气中混入了冷空气，因此返回计算机室空调单元的空气温度会降低
- 返回到计算机室空调单元的空气温度较低将导致空气湿度降低，这必须通过加湿来进行补偿

资源链接 第 49 号白皮书

数据中心或网络机房内可能降低冷却性能的可避免错误

空气回流及与其相关的热点问题可能导致计算机室空调单元的电力成本上升 10% 以上，并且可能需要安装更多的计算机室空调单元，从而增加投资成本和运行成本。此外，当一台计算机室空调单元停机维护时，恐怕制冷系统就无法提供足够的冷却能力了。在第 49 号白皮书《数据中心或网络机房内可能降低冷却性能的可避免错误》中，提供了有关这些问题的详细论述。

适用于侧向气流的有效冷却方法

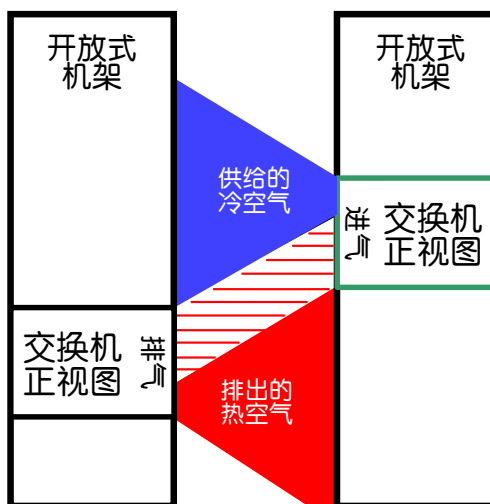
可以采用多种方法来冷却采用侧向气流的系统。本节将讨论这些方法及其关键特性。本节末尾的表 1 中对这些方法进行了汇总和比较，这些信息有助于您选择适当的方法。

增加了机架间间距的开放式机架

采用侧向气流的设备通常使用开放式机架。但是，这种机架并不能防止来自相邻设备的气流进入进气口，也不能提供任何将排出的空气与进气进行隔离的有效措施。在典型的应用中，这种机架并不装满高密度设备，在两个机架之间，设备在垂直方向上是交错摆放的，以避免相邻的热排气口与冷空气入口正好对齐。然而，由于空气的扩散，排出的热空气离开排气口后又进入了相邻设备的进气口（如图 6 所示），因此这种策略也只起到部分作用。这种方法的缺点是设备必须以很低的密度进行安装，大量的空气不断地回流，而且会降低制冷系统的效率（前面已介绍）。由于机架的利用率低，这种方法还会占用更大的地板面积，这对于某些市场而言，代价可能非常昂贵。无论如何，这种方法还是很常用的，因为它实施起来非常简单。

图 6

开放式机架中交错摆放的设备受空气扩散的影响



低密度机柜

与开放式机架相似，由于电源或冷却方面的限制，安装在封闭机柜中采用侧向气流的设备并没有填满机柜的整个物理空间。通常，设备在机架内垂直分隔开，未使用的“U”形空间中也未安装盲板。这种布局有效地降低了机架功率密度，从而减少了发生热点现象的可能性。然而，采用这种方法，机柜在一定程度上仍然会促进空气回流。业界并不鼓励采用这种方法，因为这种方法通过增加地板面积来降低机架功率密度，从而分散热负载，而房地产资源极其昂贵。

辅助风扇

通常采用添加辅助风扇的方法来解决过热问题。这些风扇可以安装在开放式机架或机柜中，但独立的风扇也不少见。添加风扇的目的只是为了吹散或抽取发热设备中的热空气。

这些风扇本质上充当混合器，它们将设备排出的空气与计算机室空调单元输送的空气混合在一起，导致最终空气温度高于计算机室空调单元输送的空气温度，但低于设备排出的气体温度。这些风扇还加强了设备周围的空气流动。虽然风扇通常确实能够降低设备的工作温度和减少局部热点，但其代价是昂贵的。由于降低了计算机室空调单元返回空气的温度，因而也降低了计算机室空调单元系统的效率，从而导致前面探讨过的结果，包括：增加除湿/加湿过程，降低计算机室空调单元效率，以及可能损失冗余功能。

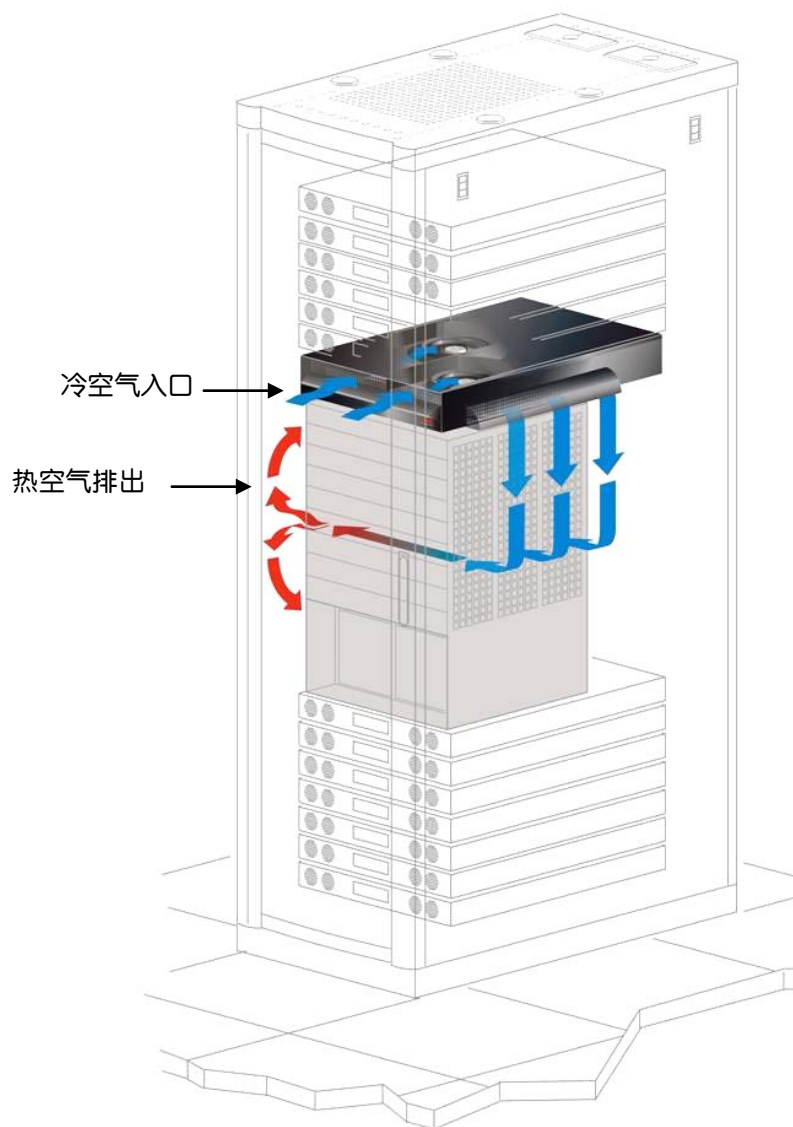
侧向配风¹

机架侧面配风可用来直接向设备进气口输送冷空气，并在一定程度上防止排出的热空气流回进气口。冷空气穿过前门，然后进入一个特殊的空气转向装置，该装置位于要冷却的设备上面和/或下面。（为了安装转向设备，机架中必须预留一些前面板空间。）接着，转动的风扇将空气转向送入管道，然后管道将冷空气送到侧面，采用侧向气流的设备将利用这些冷空气进行冷却。这时，从设备中排出的空气将从机架的背面流出，几乎不可能返回设备的进气口。这样，冷却模式就从侧向设备模式变成了从前到后模式，从而与符合 EIA-310D 标准的机柜中的其他设备无缝集成。这种方法可以实现最高的功率密度和最有效的冷却性能，并可以适合现有的服务器机架。由于减少了所需的机架数量和提高了冷却效果，因此还节约了成本。图 7 所示的是一个向采用侧向气流的设备输送冷空气的主动侧面配风系统的实例。

¹ 用于实现气流分隔和气流转向的机架和机架附件，施耐德电气公司设计专利

图 7

采用侧向气流的单个机架中支持的侧向气流的俯-前透视图



侧面配风使得机柜能够并排摆放，并仍能保持适当的气流，因此减少了所占用的地板面积。但是，变向后向采用侧向气流的设备输送的空气温度必须符合 ANSI² 和 ASHREA³ 冷却电子设备的标准。

为了验证这种冷却方法切实有效，我们对设备的稳定状态进行了实测研究。测试机柜由一个 APC NetShelter VX 42U 机柜组成。机架安装的设备包括一台位于中心的 Cisco 6500 系列交换机和多个 1U 热负载（位于该交换机上方和下方），这些负载用来模拟其他设备的热负载。然后，在 Cisco 交换机的进气口处针对不同热负载测量温度。测量分两种情况：一种是配备了侧面配风设备，另一种是未配备侧面配风设备。两种测试结果平均相差 8.3°C (15°F)。测试结果如图 8 所示。

² ANSI (美国国家标准协会) 标准 T1.304-1997 规定：电信设备的正常工作温度介于 5 与 40° C (41 与 104° F) 之间

³ ASHRAE (美国暖通空调和制冷工程师协会) TC9 建议电子设备的进气口温度应介于 18 到 27° C (68 到 77° F) 之间

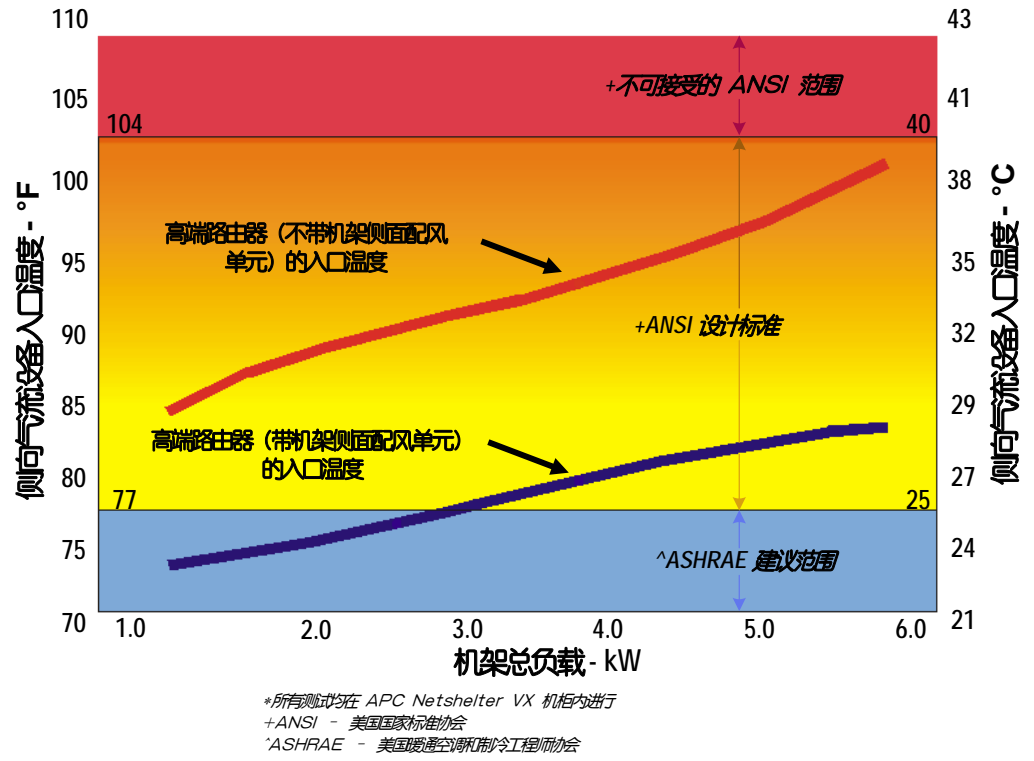


表 1

侧向气流冷却方法

侧向冷却方法				
侧向气流变量	增加机架间距离的 开放式机架	低密度 机柜	辅助 风机	侧向 配风
功率密度	<ul style="list-style-type: none"> 每机架 0-1kW 在更大的地板面积上分布热负载 	<ul style="list-style-type: none"> 每机架 0-1kW 在更大的地板面积上分布热负载 	<ul style="list-style-type: none"> 0-2kW 	<ul style="list-style-type: none"> 每机架 0-6kW
地板面积优化	<ul style="list-style-type: none"> 占用较大的地板面积 	<ul style="list-style-type: none"> 占用较大的地板面积 	<ul style="list-style-type: none"> 通过提高每个机架的电源密度,更好地利用地板面积 	<ul style="list-style-type: none"> 要求留出纵向机架空间来安装空气转向装置 通过提高每个机架的电源密度,最大程度地利用地板面积
制冷系统效率	<ul style="list-style-type: none"> 混合冷热气流,降低了冷却效率 降低了制冷容错能力 	<ul style="list-style-type: none"> 通过将排出的热空气引导到热通道,可以分隔冷热气流,从而提高效率 	<ul style="list-style-type: none"> 如果在机柜内采用顶置风扇,则可以提高效率 如果使用独立的风扇则会降低效率,并降低制冷容错能力 	<ul style="list-style-type: none"> 分隔冷热气流,可提高效率
总拥有成本 (TCO)	<ul style="list-style-type: none"> 冷却成本较高 每个机架的成本较低 每个机架中的设备减少意味着机架数量增加 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却成本较低 每个机架的成本较高 每个机架中的设备减少意味着机架数量增加 	<ul style="list-style-type: none"> 采用开放式机架时冷却成本较高 	<ul style="list-style-type: none"> 冷却成本较低 所需机架较少,可节约成本 所需的地板面积较小
可控制进气口处的冷气流	<ul style="list-style-type: none"> 气流不受阻拦,但由于相邻系统产生的热量,导致气流方向不一致且难以控制 	<ul style="list-style-type: none"> 同一机架中的设备产生的热量导致输入空气的方向不一致且难以控制 	<ul style="list-style-type: none"> 如果采用开放式机架,则可以将风扇直接集中在设备进气口周围;如果在机柜中使用吊顶风扇,则会导致气流方向不一致 	<ul style="list-style-type: none"> 可向设备进气口输送方向一致且可控制的冷气流
采用侧向气流的设备的可靠性	<ul style="list-style-type: none"> 降低了设备的可靠性 	<ul style="list-style-type: none"> 降低了设备的可靠性 	<ul style="list-style-type: none"> 可能会进入额定工作状态,但无法预测 	<ul style="list-style-type: none"> 可预知会进入额定工作状态,以保持预期的可靠性
数据中心规划	<ul style="list-style-type: none"> 由于开放式机柜之间需要适宜的间隙,因此难以规划 	<ul style="list-style-type: none"> 由于可在数据中心内任意位置摆放标准化的机架,因此简化了未来设备的规划 	<ul style="list-style-type: none"> 对于机柜,由于可在数据中心内任意位置摆放标准化的机架,因此简化了未来设备的规划 	<ul style="list-style-type: none"> 由于可在数据中心内任意位置摆放标准化的机架,因此简化了未来设备的规划
机架级物理安全性	<ul style="list-style-type: none"> 无机架级物理安全性 	<ul style="list-style-type: none"> 机架级物理安全性 	<ul style="list-style-type: none"> 仅机柜提供机架级物理安全性 	<ul style="list-style-type: none"> 机架级物理安全性
建议应用环境	<ul style="list-style-type: none"> 低密度环境中相互隔离的机架 	<ul style="list-style-type: none"> 低密度环境中相互隔离的机架 采用热通道/冷通道设计和从前到后气流环境的数据中心 	<ul style="list-style-type: none"> 较高密度环境 热通道/冷通道布局(仅限机柜) 	<ul style="list-style-type: none"> 高密度环境 热通道/冷通道布局 一体化语音/数据/视频网络

注: 阴影部分表示相应变量可获得的最佳性能

采用侧向气流的设备的局限性

设备厂商常常会为自己的产品发布安装指南和环境指南。对于采用侧向气流的设备，由于随着电源密度的上升，冷却效率存在下降的趋势，因此这类指南的作用很有限。与大多数 IT 设备一样，采用侧向气流的设备中也是依靠电子元件来监控内部温度。如果设备运行时的进气口温度高于建议的最高温度（通常 40°C [104°F]），设备可能会关闭以防止损坏，从而导致关键系统宕机。

我们从不同的交换机和路由器厂商处搜集了专门为冷却编制的指南，如下所列：

- 在墙壁与机箱进气口之间，至少需要留出 152 毫米或 6 英寸的通风空间。
- 在两个机箱之间，水平方向上至少需要留出 304 毫米或 12 英寸的间隔。
- 不要将机箱安装到过度拥挤的机架中。
- 不要将设备放在靠近机架底部的位置，否则会产生过多的热量，这些热量可能会被向上吸入到其他设备的进气口，导致位于或靠近机架顶部的机箱中的温度过高。
- 绝对不要将机箱安装到无法正确通风或无法调节空气的封闭式机架中。
- 只有在具有适当通风或安装了排气扇的情况下，才可以将机箱安装到封闭式机架中；应尽可能使用开放式机架。
- 在封闭式机架中使用盲板，帮助冷却机箱。
- 正确规划设备机架的位置和布局对于设备的成功运转至关重要。
- 设备应安装在限制他人接近的区域内。限制接近的区域可以采用特殊的工具、锁和钥匙或其他安全机制来保证。

这些限制一定程度上给 IT 管理者规划数据中心布局带来了不便。对采用侧向气流的设备使用机架封闭式解决方案，这种趋势使得 IT 管理者们能够更容易地适应当今数据中心内不断变化的要求。特别值得一提的是，通过采用侧面配风冷却方法，可以提高机架的电源密度，并能够改善和预测冷却效率。此外，借助于侧面配风方法，可以将数据网络和语音网络集成为一个共同的热通道/冷通道环境。机架还可以提供更高的物理安全措施，从而无需建立单独的安全防护措施，尽管指南中并没有提到这一优点。

结论

对于采用侧向气流的机架设备进行冷却需要进行专门规划，以防止设备效率下降和发生故障，尤其是当设备用在采用从前到后冷却方式的数据中心环境中。侧向冷却的主要问题是自身或相邻设备所排出的空气经常会进入该设备的进气口。

传统的解决方案（如分散放置设备或增加风扇）可以控制热点现象，但却降低了制冷系统的工作效率。在这些系统中，排出的空气与进气会发生某种程度的混合，这就使得设备进气口温度无法达到理想的低温状态（而传统的从前到后冷却可以实现这种低温状态）。

一般认为，采用侧向气流的设备无法利用机柜中全部的机架空间，而必须采用开放式机架。然而，采用业经证实的方法，能够以高效方式冷却其中安装了采用侧向气流的设备的高密度机柜。这些方法包括从机架的前面抽取空气，将空气转到位于设备侧面的设备进气口，然后从机架的后面排出热空气。这种系统通过将排出的热空气与进气分开，将设备的工作温度降低到安全水平，并最大程度地提高制冷系统的效率。通过用这种方法将侧向气流转换为从前到后的气流，就可以采用广为接受的热通道/冷通道设计，将这类设备与高密度的数据中心机架制冷系统实现无缝集成。转换这类设备的意义在于将来能够随时预测设备的性能，而无需提前规划设备的安放位置。在了解采用侧向气流的设备能够可靠地集成到机柜环境中后，IT 管理者可以随时随地部署这种设备。这样，就不再需要在数据中心内为采用侧向气流的设备规划特殊的低密度区域。

关于作者

Neil Rasmussen 是施耐德电气旗下 IT 事业部—APC 的高级创新副总裁。他负责为全球最大的用于关键网络设备（电源、制冷和机柜等基础设施）科技方面的研发预算提供决策指导。

Neil 拥有与高密度数据中心电源和制冷基础设施相关的 19 项专利，并且出版了电源和制冷系统方面的 50 多份白皮书，其中大多白皮书均以十几种语言印刷出版。近期出版的白皮书所关注的重点是如何提高能效。他是全球高效数据中心领域闻名遐迩的专家。Neil 目前正投身于推动高效、高密度、可扩展数据中心解决方案专项领域的发展，同时还担任 APC 英飞系统的首席设计师。

1981 年创建 APC 前，Neil 在麻省理工学院获得学士和硕士学位，并完成关于 200MW 电源托克马克聚变反应堆的论文。1979 年至 1981 年，他就职于麻省理工学院林肯实验室，从事飞轮能量储备系统和太阳能电力系统方面的研究。



点击图标打开相应
参考资源链接



数据中心或网络机房内可能降低
冷却性能的可避免失误
第 49 号白皮书



浏览所有 白皮书
whitepapers.apc.com



浏览所有 TradeOff Tools™ 权衡工具
tools.apc.com



联系我们

关于本白皮书内容的反馈和建议请联系：

数据中心科研中心
DCSC@Schneider-Electric.com

如果您是我們的客戶並對數據中心項目有任何疑問：

請與您的 **施耐德電氣** 銷售代表聯繫