

数据中心房间级、行级和机柜级 制冷方式的选择

第 130 号白皮书

版本 2

作者：Kevin Dunlap 和 Neil Rasmussen

> 摘要

最新一代高密度和可变功率密度 IT 设备产生的热量是传统数据中心制冷系统始料未及、无法应对的，这往往会导致制冷系统的过度规划、造成制冷效率低下、制冷性能难以预测。为解决这些问题，我们开发了房间级、行级和机柜级制冷方式。本白皮书介绍了这些经过优化的制冷方式，并提供相关指导，说明大多数下一代数据中心在各类运行环境下适合采取的制冷方式。

目录

[点击内容即可跳转至具体章节](#)

简介	2
房间级、行级和机柜级制冷	2
三种制冷方式的比较	6
结论	11
资源	12

简介

数据中心 IT 负载所消耗的电能几乎都会变成废热，必须将这些废热排出去以防止数据中心温度过热。实际上，所有 IT 设备都是风冷型设备，也就是说，每台 IT 设备都会吸入周围环境的冷空气，再排出热空气。由于一个数据中心可能包括数千 IT 设备，因此数据中心内会有数千条热气流排风路径，它们共同构成了数据中心的总废热，这些废热必须排出去。空调系统对数据中心的作用就是高效收集这些复杂的废热气流，并将它们排到室外去。

资源链接
第 55 号白皮书
用于 IT 环境的各种气流分配方案

过去，数据中心制冷一直采用周边制冷装置，在高架地板下方分配冷气流，不采取任何形式的气流遏制。这称为“精确送风、自然回风”的气流分配方法，具体请参见第 55 号白皮书《用于 IT 环境的各种气流分配方案》。此种方法是并行运行一个或多个空调系统，将冷空气送入数据中心，并吸回机房环境中较热的空气。这种方式的基本原理是，空调不仅提供原始制冷容量，而且还作为一个大型的混合器，不断搅动混合机房中的空气，使之达到一致的平均温度，以防止热点的出现。这种方法只有在混合空气所需功耗仅占数据中心总功耗很小一部分时才有效。模拟结果和经验表明，仅当数据中心平均功率密度为每机柜 1~2kW 左右，即 323~753 W/m² (30~70 W/ft²) 时，该系统才能发挥应有的效果。虽然可采取各种措施来提高此传统制冷方法的功率密度，但在实际实施时仍有限制。如需了解更多有关使用传统制冷的限制的信息，请参见第 46 号白皮书《超高密度机柜和刀片服务器散热策略》。随着现代 IT 设备的功率密度将峰值功率密度提升至每机柜 20kW 甚至更高，模拟结果和经验都指出，基于混合空气的传统制冷（无气流遏制）不再能起到有效的作用。

资源链接
第 46 号白皮书
超高密度机柜和刀片服务器散热策略

为解决这一问题，在设计数据中心时会采用侧重房间级、行级和机柜级制冷的设计方式。在这些方式中，空调系统将分别与房间、机柜行或单个机柜集成，以减少空气混合。这样可以提高可预测性、密度和效率，同时还带来很多其它优势。在本白皮书中，介绍并比较了各种制冷方式。我们可以看出，这三种制冷方式都有相应的应用，总体而言，趋势是，较小数据中心和高密度区域将采用行级制冷，而较大型数据中心则会更多地采用带气流遏制的房间级制冷。

房间级、行级和机柜级制冷

每个数据中心的空调系统都有两个重要功能：提供总制冷容量，以及将向 IT 负载分配冷气流。对于房间级、行级和机柜级制冷来说，第一个功能，即提供总制冷容量的功能都是相同的，以千瓦为单位的空调系统的总制冷容量，必须超出 IT 设备的总功率负载（千瓦）。无论制冷系统采用房间级、行级还是机柜级设计，提供该功能的各种技术都是相同的。这些制冷方法的主要差别在于，它们如何执行第二项关键功能，即将冷空气分配给负载。与将电流限制在线缆中并作为设计的一部分的清晰可见的配电不同，气流只是大体受限于机房设计，实际气流在实施过程中并不可见，而且不同部署地点之间会有很大差异。气流控制是不同制冷系统设计方式的主要目标。

图 1 以总平面图形式展示了三种基本制冷方式配置。图中，黑色方框表示按行排列的机柜，蓝色箭头表示机房空气处理（CRAH）机组与 IT 机柜中负载间的逻辑关联。CRAH 机组的实际物理布局可能会有所不同。采用房间级制冷时，CRAH 机组与机房相关联；采用行级制冷时，CRAH 机组与机柜行或机柜组相关联；而采用机柜级制冷时，CRAH 机组则与各机柜相关联。

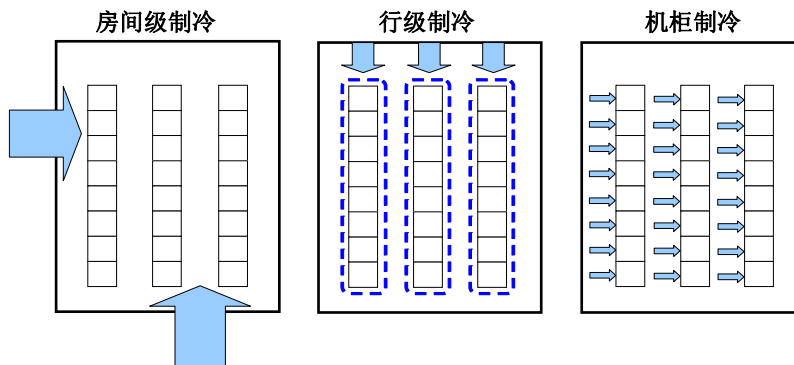


图 1
此平面图显示了房间级、行级和机柜级制冷的基本概念。蓝色箭头表示主要制冷送风路径与机房的关系。

下面将概要介绍每种制冷方法的基本工作原理：

房间级制冷

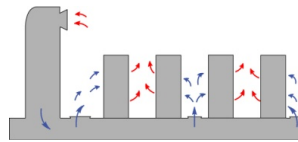
采用房间级制冷时，CRAH 机组与机房相关联，并行工作来处理机房的总体热负荷。房间级制冷系统可能由一个或多个空调组成，提供完全不受风管、风门、出风口等遏制的冷空气，或者送风和/或回风可能受到高架地板或吊顶回风通道的部分遏制。如需了解更多信息，请参见第 55 号白皮书，《用于 IT 环境各种气流分配方案》。

在设计中，对气流的关注常常有很大的不同。对于较小的机房，机柜有时随意摆放，对于气流没有特别的规划、遏制。而对于较大的复杂的数据中心，可能使用高架地板，送风到经过精心规划的热通道/冷通道，来起到引导气流并使其与机柜相适应的目的。


房间级制冷受机房本身独有约束的影响很大，这其中包括室内净高、房间形状、地板上下方的障碍物、机柜布局、CRAH 位置、IT 负载功率分配等。当送风和回风路径无气流遏制时，会导致性能比较难以预测，也不具备均一性，当功率密度增加时更是如此。因此，在传统设计中，可能需要利用计算流体动力学（CFD）的复杂计算机仿真技术，来帮助了解特定数据中心的设计性能。此外，IT 设备的移动、添加和变更等操作也可能使性能模式失效，需要进一步分析和/或测试。特别需要注意的是，保证 CRAH 冗余会变成一项非常复杂的分析，很难验证。图 2 提供了一个传统房间级制冷分配示例。

 资源链接
第 55 号白皮书
用于 IT 环境各种气流分配方案

图 2
传统无气流遏制房间级制冷示例



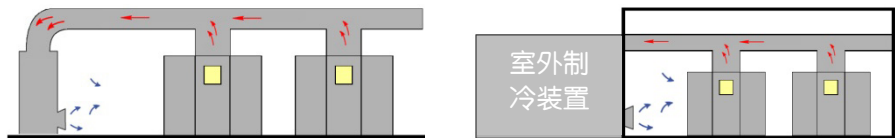
无气流遏制房间级制冷的另一个明显缺点是，很多情况下无法充分利用 CRAH 的全部制冷容量。当 CRAH 机组送风时，很大一部分冷空气绕过 IT 负载，直接返 CRAH 时，就会发生这一现象。这些绕过 CRAH 的气流对负载的冷却没有帮助，实际上降低了总制冷容量。其结果是，尽管能够达到要求的额定制冷容量，但 IT 设备的制冷要求可能会超出 CRAH 的制冷容量。此问题在第 49 号白皮书《数据中心或网络机房内降低冷却性能的可避免错误》中进行了更为详尽的探讨。

 资源链接
第 49 号白皮书
数据中心或网络机房内降低冷却性能的可避免错误

 资源链接
第 135 号白皮书
热通道与冷通道气流遏制对数据中心的影响

对于 200 kW 以上的新建数据中心来说，房间级制冷应采用热通道气流遏制，以防止上述问题的发生。无论有无高架地板，该方法都有效，制冷装置可位于数据中心内部，也可位于室外。对于采用房间级高架地板制冷的已有数据中心来说，建议采用冷通道气流遏制，因为它通常实施起来比较简便。热通道气流遏制与冷通道气流遏制都能减少数据中心的气流混合。每种解决方案都有自己独特的优势，在第 135 号白皮书《热通道与冷通道气流遏制对数据中心的影响》中进行了更为详细的介绍。图 3 提供了两个下一代房间级制冷示例。

图 3
下一代气流遏制房间级制冷示例



行级制冷

采用行级制冷配置时，CRAH 机组与机柜行相关联，在设计上，它们被认为是专用于某机柜行。CRAH 机组可能位于 IT 机柜之间，也可吊顶安装。与传统无气流遏制房间级制冷相比，其气流路径较短，且专用度更加明确。此外，气流的可预测性较高，能够充分利用 CRAH 的全部额定制冷容量，并可以实现更高功率密度。

除制冷性能之外，行级制冷还有很多优点。更短的气流路径，减少了所需 CRAH 风机功率，从而提高了效率。这个优点非常重要，因为对于许多负载较小的数据中心来说，仅 CRAH 风机功率损耗就会超过 IT 负载总功耗。

行级制冷设计可以根据特定机柜行的实际需要，有针对性地确定制冷容量和冗余。例如，一机柜行可运行刀片服务器等高密度应用，另一行机柜则用以满足通信附件等较低功率密度应用的需要。另外，可针对特定机柜行，针对性地实施 N+1 或 2N 冗余。

对于 200 kW 以下的新建数据中心，应采用行级制冷，无需高架地板即可部署。而对于已有数据中心，在部署较高密度负载时（每机柜 5kW 或更高），应考虑行级制冷。第 134 号白皮书《在低密度数据中心部署高密度区域》探讨了在已有数据中心部署高密度区域的各种方法。行级制冷的示例如图 4a 和 4b 所示。

资源链接
第 134 号白皮书
在低密度数据中心部署高密度区域

图 4
4a (左侧)
落地式行级制冷
4b (右侧)
吊顶式行级制冷

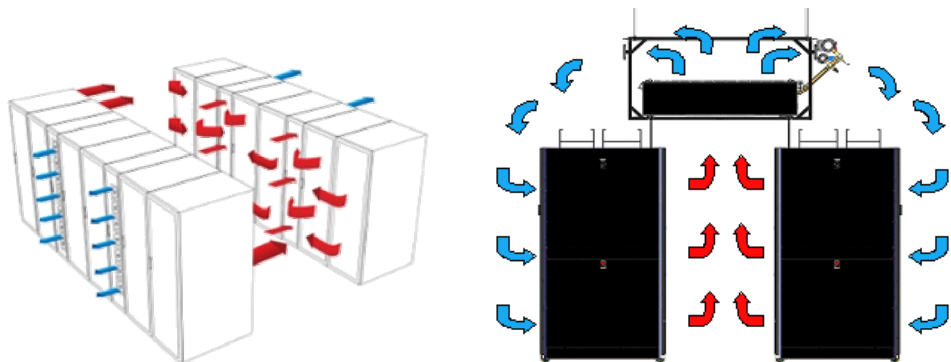


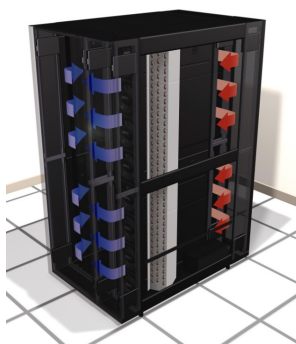
图 4a 和 4b 中的制冷系统都可配置为热通道气流遏制系统，以提高功率密度。此设计消除了气流混合的所有机会，因此进一步提高了性能可预测性。简单、预制的行级制冷布局几何结构，提高了可由制造商完全决定的可预测性能，并且相对来说，不太受机房物理结构或其它机房约束因素的影响。这既简化了设计时的规格定义与实施，特别是在每机柜超出 5 kW 的功率密度时，就更为明显。第 120 号白皮书《制定数据中心功率密度规范的指导原则》，对功率密度进行了详细定义。

资源链接
第 120 号白皮书
制定数据中心功率密度规范的指导原则

机柜级制冷

采用机柜级制冷时，CRAH 机组与机柜相关联，在设计上，它们被认为是专用于某机柜。CRAH 机组直接安装在 IT 机柜上或其内部。与房间级或行级制冷相比，机柜的气流路径更短，且专用度更准确，使得气流完全不受任何安装变动或机房约束的影响。CRAH 的所有额定容量都能得到充分利用，且可达到最高功率密度（每机柜高达 50 kW）。图 5 提供了机柜级制冷示例。

图 5
制冷装置完全位于机柜内部的机柜级制冷



与行级制冷类似，机柜级制冷除支持极高功率密度外，还有其它独特的特性。更短的气流路径，减少了所需 CRAH 风机功率，从而提高了效率。如上所述，这个优点非常重要，因为对于许多负载较小的数据中心来说，仅 CRAH 风机功率损耗就会超过 IT 负载总功耗。

机柜级设计可以针对特定机柜的实际需求，来确定制冷容量和冗余，例如，对刀片服务器和通信附件就可采用不同的功率密度。另外，还能针对特定机柜，实施 N+1 或 2N 冗余。相比之下，行级制冷只能在机柜行定义这些特性，房间级制冷则只能在房间级定义这些特性。

和行级制冷一样，机柜级制冷的预制几何结构，提高了可由制造商完全决定的可预测性能。这简化了功率密度的定义，能够设计实施特定功率密度。对于任何规模的数据中心，如果只需为独立高密度机柜提供制冷，都应使用机柜级制冷。这种方式的主要缺点是，相比其它方式，它需要大量空调设备和制冷管道，特别是在功率密度较低的情况下，就更是如此。

混合制冷

在同一数据中心，房间级、行级和机柜级制冷可以不受限制地任意组合使用。实际上，很多情况下都适合采用混合制冷。在一个数据中心的的不同位置采用不同制冷方法，就被称作混合制冷，如图 6 所示。这种方法适用于机柜功率密度较宽的数据中心。

行级制冷和机柜级制冷的另一有效应用是，将已有采用房间级制冷设计的低密度数据中心进行功率密度升级。在此情况下，已有数据中心内的小型机柜簇配备行级或机柜级制冷系统。行级或机柜级制冷设备能够有效隔离新的高密度机柜，使它们与已有机柜级制冷系统“没有热关联”。但是，因为实际上提高了机房中其余空间的制冷容量，所以这很有可能会带来正面效应。藉此，无需更改已有房间级制冷系统，就能向已有低密度数据中心添加高密度负载。部署后，该方法会形成如图 6 所示的混合制冷布局。

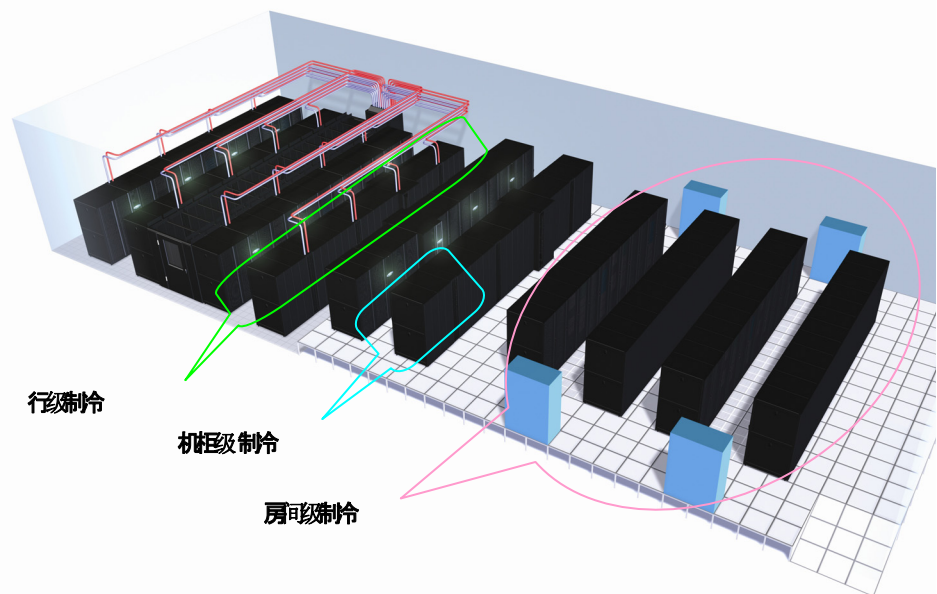


图 6
同时采用房间级、行级和机柜级制冷的系统平面布局

混合制冷的另一个例子是，采用垂直风管机柜级制冷系统，在机柜中收集排出的热空气，并利用管道直接输送回房间级制冷系统。该系统具备机柜级制冷系统的某些优点，而且可以集成在已有或规划好的房间级制冷系统中。图 7 为该设备的一个示例。

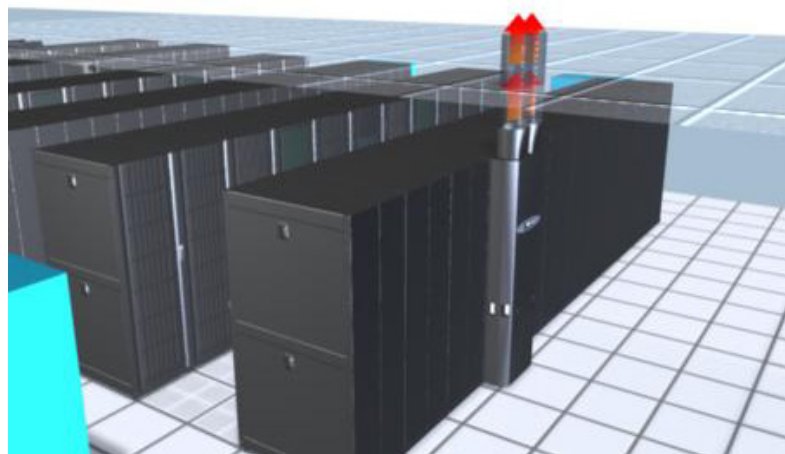


图 7
垂直风管机柜级设备将排出的热空气输送至吊顶

三种制冷方式的比较

为了有效作出决策，为新建或待升级的数据中心选择房间级、行级或机柜级制冷，必须将各制冷方式的性能特性与影响数据中心设计及运行的实际问题相关联。

本部分根据数据中心用户所普遍认可的各种标准来比较这三种制冷方式，这些标准包括：

- 灵活性
- 系统可用性
- 生命周期成本(TCO)
- 可维护性
- 可管理性
- 原始成本
- 电效率
- 靠近 IT 设备的水管或其它管道
- 制冷装置的位置
- 冗余度
- 排热方法

表 1 总结了前五个标准的比较结果，显示了机柜级、行级和房间级制冷各自的优缺点。根据此表，可得出以下结论：

- 机柜级制冷最为灵活、部署最快，并能支持最大功率密度，但需要额外费用开支。
- 行级制冷具备机柜级制冷的诸多优势，如灵活性、部署速度及密度优势，且成本较低。
- 房间级制冷能够通过重新配置穿孔地板来快速更改制冷分配模式。在低密度数据中心，所有机柜共享制冷冗余。此方式具有成本优势，且最为简单。

表 1

机柜级、行级和房间级制冷的优缺点。优点以蓝色标示。

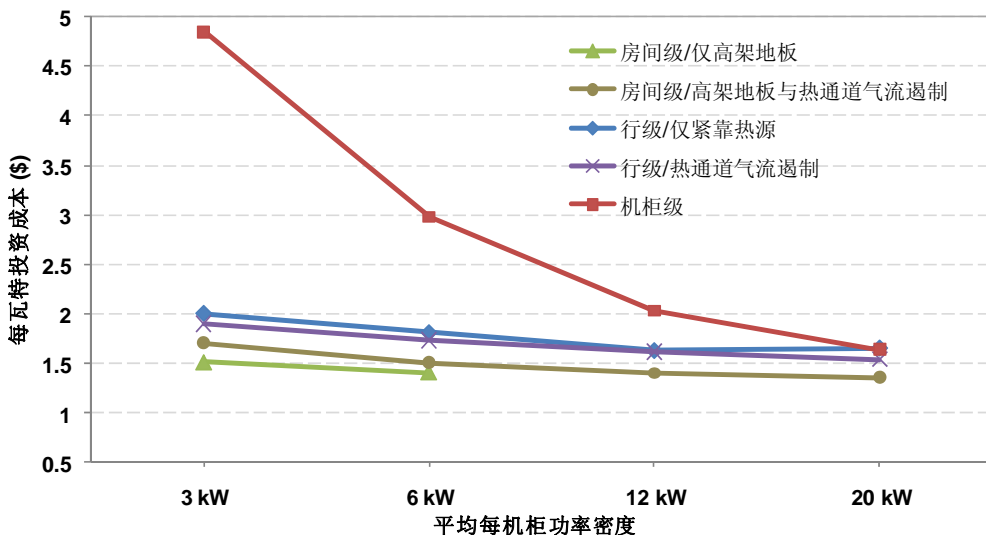
类型		机柜级制冷	行级制冷	房间级制冷
灵活性	优点	易于针对任意功率密度进行规划；与已有制冷系统相互独立	易于针对任意功率密度进行规划；制冷容量能够共享	在功率密度小于 3 kW 时，能够快速更改制冷分配模式
	缺点	制冷容量不能和其它机柜共享	需要采用冷热通道布局	在没有对整个环境进行气流遏制时，效率较低
系统可用性	优点	紧靠热源的制冷消除了热点和垂直温度梯度；标准化解决方案最少化人为错误	区域中多个机柜间能够共享冗余装置；紧靠热源的制冷消除了垂直温度梯度	数据中心所有机柜间能够共享冗余装置
	缺点	每个机柜都需要部署冗余	每个机柜区域都需要部署冗余	需要采用气流遏制，以隔离冷热气流
生命周期成本 (TCO)	优点	预制化系统和标准化组件，消除或减少了规划和工程量	能够满足制冷需求；可消除或减少规划和工程量	能够轻松重新配置穿孔地板
	缺点	制冷系统可能过度规划，会浪费制冷容量，导致初始成本的提高	此方式的初始成本会随着数据中心规模的增长而提高	送风量过大；地板下送风区域的压力要求取决于机房大小和地板深度
可维护性	优点	标准化组件减少了对技术人员的需要；内部人员即可完成日常维护	模块化组件缩短了宕机时间；标准化组件减少了对技术人员的需要	制冷设备位于周边或室外，从而使技术人员远离 IT 设备
	缺点	并行维护需要 2N 冗余	制冷设备位于机柜行，因此技术人员将靠近 IT 设备进行维护工作	需要接受过培训的技术人员或专家来进行维护
可管理性	优点	易于利用界面菜单进行巡检，能够提供实时预测故障分析	易于利用界面菜单进行巡检，能够提供实时预测故障分析	系统较大，减少了接口和管理点的数量
	缺点	对于大规模的部署来说，需要许多接口	对于大规模的部署来说，需要许多接口	需要高级的服务培训，不能提供实时分析

初始成本

绝大多数数据中心管理者都十分关心不同制冷方式的初始成本。为此进行了一项分析，来显示三种不同冷冻水制冷方式，在不同机柜功率密度情况下，初始成本的变化情况。图 8 是在边栏中假设前提下，数据中心初始成本随功率密度变化的结果。

图 8

三种不同制冷方式的初始成本随平均机柜功率密度的变化趋势



> 数据中心的假设条件

- IT 负载：480 kW
- 地点：密苏里州圣路易斯
- 机柜密度：每机柜 3、6、12、20 kW (120 cfm/kW)
- 无热通道气流遏制的房间级制冷中的气流混合和冷空气旁通：额定值的 125%
- 管道成本根据 RSMeans 成本数据库：钢管
- 能源成本：\$0.15/kWh
- 初始成本包括：制冷装置，管道，紧凑式冷水机组，安装和气流遏制系统费用
- 年度用电成本包括：制冷装置风机、冷水机组和循环泵
- 制冷冗余：N

房间级制冷的初始成本最低，因为它的制冷装置和管道较少。随着机柜功率密度的增加，成本会稍有降低，其原因是，在数据中心容量相同的情况下，该模型认为，当密度提高，数据中心占地会缩小。因此，需要的高架地板和管道减少，从而降低了初始成本。请注意，随着机柜功率密度增加，房间级制冷的电效率会降低（在下文中具体讨论）。热通道气流遏制（HAC）会提高这两种制冷方式的机柜功率密度，并大大降低制冷系统功耗（在下文中具体讨论），尽管气流遏制系统的成本会使初始成本稍有增加。

对于与行级制冷，由于行级制冷与房间级制冷相比，制冷装置和管道相对较多，所以初始成本也稍高。出于相同原因，随着机柜功率密度的提高，其成本也会下降，其不同之处在于，当密度提高，制冷装置数目会减少。热通道气流遏制不仅降低行级制冷功耗，而且因为需要的制冷装置减少，所以初始成本也会降低。

对于机柜级制冷，在机柜功率密度较低的情况下，机柜级制冷的初始成本要远高于房间级和行级制冷。这是因为低机柜功率密度下，制冷装置数目的增加，会增加制冷装置及管道的投资成本。例如，假设每机柜 3 kW，行级制冷共有 48 个制冷装置，但机柜级制冷却有多达 160 个制冷装置。此外，机柜级制冷需要为机柜和制冷装置部署前后气流遏制，这进一步增加了系统的初始成本。随着机柜功率密度的提高，鉴于制冷装置数目会减少，初始成本将得以大幅降低。因此，在高机柜功率密度情况下，机柜级制冷较为经济。

电效率

由于电价不断提高、服务器所需功率和功率密度不断增加，电力成本将在总运营开支中占据更大比例。虽然大家都已熟知，电力成本取决于电价和服务器功率，但功率密度对于电力成本的影响还未得到普遍重视。

图 9 显示了三种不同冷冻水制冷水方式下，功率密度对年度电力成本的影响，所采用的前提条件与图 8 相同。

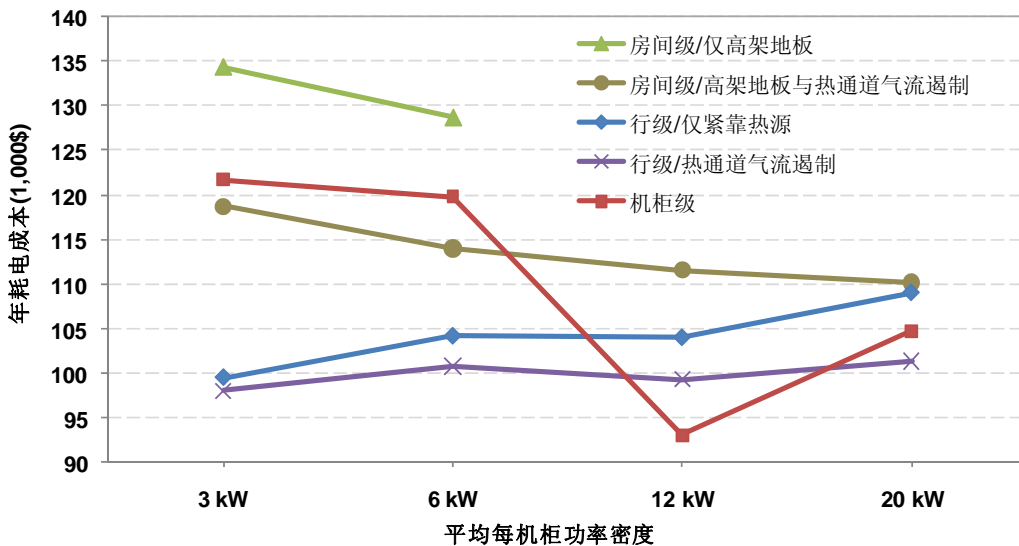
对于房间级制冷，无热通道气流遏制的房间级制冷的电力成本最高，因为房间级制冷需要将更多空气输送更远距离，而且 CRAH 装置需要耗电来搅动混合机房中的空气，以防热点的发生。使用热通道气流遏制隔离了冷热气流之后，电力成本将有所下降。随着机柜功率密度的提高，管道长度缩短且循环水泵的功耗也由此降低，所以能源成本将稍有下降。

对于行级制冷，因为 CRAH 机组紧靠热源，可以根据负载来确定制冷系统规模，所以行级制冷的电力成本始终低于房间级制冷。通过避免不必要的气流，与房间级制冷相比，能够节省超过 50% 的风机功耗。随着机柜功率密度的提高，制冷装置数目将减少，但每个制冷装置所需要的空

气流量和水流量更大，以达到所需制冷容量和保持温度，因此电力成本将提高。风机的运行速度越高，可变速风机能够实现的有效节能就越少。此时，增加冗余装置实际上可以降低功耗，但会导致初始成本的提高。此外，维持制冷容量所需的较大水流量还需要消耗更多的能量。

图 9

三种不同制冷方式的年度用电成本随平均机柜功率密度的变化趋势



对于机柜级制冷，在低密度情况下，因为制冷装置数目庞大，需要更多功耗来输送空气和水，所以机柜级制冷的电力成本会较高。即使采用可变速风机，因为有最小的风机转速存在，所以低密度下制冷装置数目的增加，会限制节能幅度。较低功率密度时，最低风机转速提供了超过需要的气流。而且，需要更多循环水管道。当机柜功率密度提高，能源成本将降低。但是，在高密度情况下，电力成本将开始增加，因为每个机柜都有一个制冷装置，随着密度提高，每个制冷装置就需要更大空气流量，CRAH 风机将达到最大运行速度，从而减少了可变速风机带来的有效节能。而且，为保持制冷容量不变，就需要更高水流量，也需要消耗更多电力。

靠近 IT 设备的水管或其它管道

研究表明，用户非常关心与 IT 设备处于同一地点的水管或制冷剂管道，这是因为液体有可能泄露到 IT 设备，导致宕机和/或损坏。

采用多个空调的高密度数据中心一般使用冷冻水制冷系统，由于对环境和成本方面的考虑，这种趋势有望继续。尽管制冷剂蒸发制冷对 IT 设备损坏可能性较低，但与冷冻水相比，它们的成本还是过于昂贵。出于对可用性的担心以及不断提高的功率密度的驱使，在数据中心环境推出了泵循环制冷剂系统。这些系统通常由一个热交换器和一个循环泵组成，并使数据中心的冷却介质与冷冻水相隔离，同时，不含油的制冷剂在泄露情况下，可减少对机房的污染。但是，该系统还需隔离其它冷却液，如乙二醇等。请参见第 59 号白皮书《用于数据中心的各种制冷技术》，来了解有关泵循环制冷剂系统的更多信息。

制冷装置位置

空调机组的位置会对系统性能产生很大影响。

对于机柜级制冷，完全无需担心性能可预测性的问题，因为空调相对于目标负载的位置很明确。其优势在于，制冷性能完全能够提前预测。如果系统分阶段部署，那么未来空调机组的位置几乎无需事先规划或设计，只需与每个机柜一起部署即可。

对于行级制冷，可以根据简单的设计规则来摆放空调设备。行级空调的数目与位置可根据模拟和测试的结果来决定。很自然，这其中包括确保空调容量足以满足行内密度的要求。此外，还有其它一些规则，如避免将空调放在机柜行末端，以提高系统性能和容量等。对于未来的部署，都可

资源链接
第 59 号白皮书
用于数据中心的各种制冷技术

以保留一定程度的位置灵活性。机柜行的平均或峰值平均机柜功率密度能够用于确定当前的空调数量和位置。与机柜级制冷相比，行级制冷最为灵活，占地面积小，成本较低。

对于没有气流遏制的房间级制冷来说，效率主要取决于制冷装置的位置。例如，因为房间的物理约束，比如门廊、窗户、坡道和难以铺设管道之处等，制冷最高效的位置可能不可行。其结果通常是，虽然进行了大量的工程规划，但只能采用次优设计。另外，安装房间级空调的通常逻辑为：将空调先放置到机房中，再了解未来所有 IT 设备的部署。因为可能无法知道未来 IT 部署的确切布局，空调的摆放位置常常非常低效。这也正是气流遏制为什么对当今房间级制冷设计如此重要的原因。气流遏制使得制冷装置的摆放更具灵活性。采用气流遏制的房间级制冷系统还允许将 CRAH 机组置于数据中心之外。

冗余

为进行系统的实时维护，并在空调设备故障情况下确保数据中心正常运行，制冷系统的冗余就必不可少。电力系统常常为 IT 系统使用双路供电来确保冗余。这是因为电源线 and 连接本身就是潜在的单一故障点。对于制冷系统，通常采用 N+1 设计，而非双路方式，这是因为通常送风路径包围机柜，故障可能性极低。也就是说，如果系统需要四个 CRAH 机组，那么只需添加第五个机组后，就可以允许任何一个机组发生故障，而仍能支持全部制冷负荷。因此这称为“N+1”冗余。对于较高的功率密度，这种简单的冗余概念则不适用。以上三种制冷方式的冗余实施方法各不相同，具体介绍如下：

对于机柜级制冷，机柜间不能共享制冷，也没有通用的送风路径。因此，实现冗余的唯一方法就是为每个机柜提供 N+X 或 2N 双路 CRAH 系统，实际上就是每个机柜至少两个 CRAH 系统。相比其它方式，这是很深的痛处。但对于独立的高密度机柜，这种方法非常有效，因为可以完全确定并预测冗余，且与其它任何 CRAH 系统无关。

行级制冷是在机柜行级提供冗余。这需要为每一机柜行配备一个后备空调，或即采用 N+1 CRAH 机组。即使行级 CRAH 机组比房间级机组小而且廉价，当每机柜负载较少，如 1~2 kW 时，也是有非常深的痛处。但是，当密度较高时，这一问题就不复存在了，此 N+1 方式最多可支持每机柜 25 kW。与当密度较高时常常需要 2N 配置的房间级或机柜级设计相比，其优势非常明显。能够在高密度环境，以较少后备 CRAH 机组提供冗余，是行级制冷的关键优点之一，提供了显著的总拥有成本（TCO）优势。

对于房间级制冷，机房本身就是所有 IT 负载的公共送风路径。从理论上说，无论机房大小，都只需添加一个 CRAH 机组，就能提供冗余。对于极低密度、无气流遏制的房间级制冷来说，确实如此。但如果密度较高，在无气流遏制的房间级制冷系统中，用一个特定 CRAH 机组能否补偿故障空调机组，很大程度上受机房几何结构的影响。例如，某一特定 CRAH 机组的气流分配无法被距离该故障机组十分遥远的后备 CRAH 机组所替代。因此，在低密度情况下，实现冗余只需再增加一个后备空调机组，但当每机柜密度超过 10 kW 时，就需要部署多一倍的 CRAH 机组，才能实现冗余。对于采用了气流遏制的房间级制冷来说，情况就并非如此，因为送风和回风路径已经隔离。

排热方法

本部分所讨论的特殊问题受排热方法的影响。用于为数据中心提供制冷的直膨式机房精密空调（CRAC），与冷冻水空气处理（CRAH）机组的运行方法不同。采用 CRAC 机组将影响效率、加湿、冗余等。针对具体项目，必须进行设计分析，来了解特定制冷解决方案的运行和控制情况。请参见第 59 号白皮书《用于数据中心的各种制冷技术》，来了解有关排热方法的更多信息。



资源链接

第 59 号白皮书

用于数据中心的各种制冷技术

结论

对于数据中心的传统制冷方法，通常采用无气流遏制的房间级制冷，如果应用于下一代数据中心，会带来技术和实践方面的局限性。下一代数据中心需要应对不断变化的需求，可靠支持高功率密度和可变功率密度，降低功耗和其它运营开支，这些直接导致了为房间级、行级和机柜级制冷开发气流遏制的策略。通过气流遏制，能够支持每机柜 3 kW 或更高的功率密度。传统的房间级制冷方式一直在业界表现出众，对于较低密度数据中心以及 IT 技术变革较少的应用环境来说，仍是实用、高效的方案。

采用气流遏制的房间级、行级和机柜级制冷系统提供了出色的灵活性、可预测性、可扩展性，降低了能耗和 TCO，并提高了可用性，能够满足下一代数据中心的需要。用户有望看到供应商提供采用这些方式的新产品。预计很多数据中心将混合运用这三种制冷方式。机柜级制冷将应用于极高密度、高精度部署或非结构化布局是主要驱动因素的环境。无气流遏制的房间级制冷仍将是低密度数据中心和变更不频繁的应用的有效解决方案。对于大多数采用较新高密度服务器技术的用户来说，采用带气流遏制的房间级和行级制冷，将能以最佳的总体 TCO，在高可预测性、高功率密度和适应性之间达到最完美的平衡。

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 25 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。

Kevin Dunlap 是施耐德电气制冷解决方案总经理。他在凤凰城大学获得商业学士学位，重点研究管理信息系统。Kevin 自 1994 年进入电力管理行业，最初服务于电力管理软件供应商 Systems Enhancement 公司，该公司于 1997 年被 APC 收购。此次收购后，Kevin 加盟 APC，任管理卡产品经理，而在 2000 年 APC 收购 Airflow Company 公司后，则任精密制冷解决方案产品经理。

Kevin 曾参加众多电力管理和制冷领域讨论会、行业协会，并且凭借出色的热能管理技术和节能自然冷却装置，成为 ASHRAE 成员。



点击图标打开相应参考资源链



用于 IT 环境的各种气流分配方案

第 55 号白皮书



超高密度机柜和刀片服务器散热策略

第 46 号白皮书



影响数据中心或网络机房内降低冷却性能的可避免错误

第 49 号白皮书



制定数据中心功率密度规范的指导原则

第 120 号白皮书



在低密度数据中心部署高密度区域

第 134 号白皮书



热通道与冷通道气流遏制对数据中心的影响

第 135 号白皮书



用于数据中心的各种制冷技术

第 59 号白皮书



浏览所有
白皮书

whitepapers.apc.com



浏览
所有 TradeOff
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

如果您作为我们的客户需要咨询数据中心项目相关信息：

请与所在地区或行业的 **施耐德电气** 销售代表联系，或登陆：

www.apc.com/support/contact/index.cfm