

热通道气流遏制与冷通道气流遏制

作者：John Niemann

白皮书135号



摘要

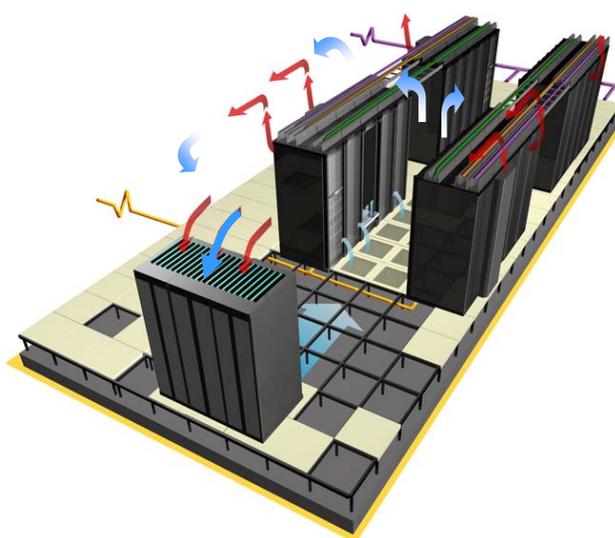
热通道气流遏制和冷通道气流遏制均可显著提高数据中心制冷系统的可预测性和效率。尽管两种方式均可消除冷、热空气的混合，但在实施中两者仍存在现实的差别，而且这种差别将产生显著的影响。本文将对两种方法进行研究，并着重阐述为什么热通道气流遏制系统是解决高密度和提高制冷效率的最优化方案。

引言

较高的能源成本和激增的数据中心能耗率已迫使数据中心专家开始重新思考其数据中心制冷策略。尽管传统的制冷技术（如通过解放高架地板压力通风系统提供的传统房间级制冷方式）仍然非常普遍，同时，热通道和冷通道气流遏制等新的技术正逐步取得显著的进展。依EYP Mission Critical的Bruce Myatt所言，冷、热空气的隔离“是当今新建和改建数据中心可以采用的最具前景的节能增效措施之一”（《任务关键杂志》，Mission Critical Magazine，2007年秋季）。

关于这些新技术的工作方式，以及冷、热通道气流遏制与传统的数据中心制冷方法有何相同和不同之处的问题，仍然存在很多混淆。本文将回顾热通道气流遏制系统（HACS）与冷通道气流遏制系统（CACS）之间的区别，并着眼于热通道气流遏制系统的效率、运行灵活性以及可靠性优势分析。CACS作为一种对传统方式有所改进的解决方案，仍然继承了传统方式的某些缺点。

图1- 传统制冷方式散布于整个空间且造成冷热空气的混合



历史上的数据中心制冷方法

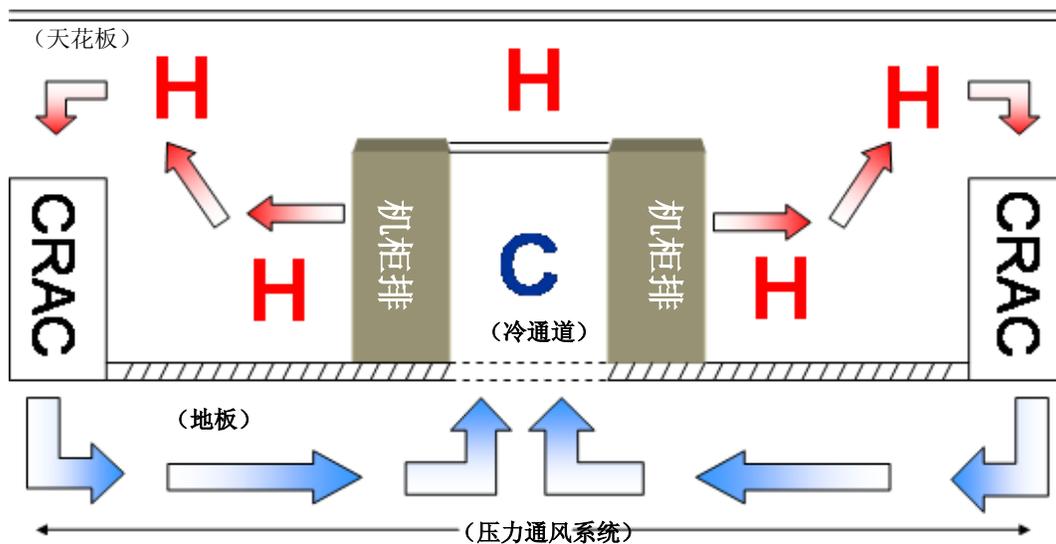
传统制冷方式均具有以下特点（见图1）：

- 外围制冷（CRAC机组置于机柜排的外围）
- 高架地板（冷风通过高架地板下方的压力通风系统送至机柜排）
- IT设备的排出的热空气在返回空调机组回风口时将与冷空气混合
- 机柜排未按照冷、热通道布局方式统一管理
- 过度规划的电源和制冷设备会降低数据中心效率。

传统制冷方式目前被多数行业习惯性的接受，只因多年以来机柜密度都较低（低于每台机柜2 kW），能源成本被忽略（实际上燃料开支对多数IT企业均为无形成本），而且习惯于对硬件“过度规划”，以降低制冷量不足或停机的风险。

现在多数数据中心专家已经意识到以往的这些习惯对企业是低效率、高成本的，而且从碳排放观点看也很浪费。近期的两项技术突破有助于弥补这种情况：行级制冷以及冷热气流的分隔。行级制冷将制冷源置于距负载非常近的地方（嵌入在服务器机柜排内），因此避免了由于冷空气经由拥挤的高架地板下长距离配送到达负载所造成的能源浪费。

图2- 以传统外围制冷方式部署的冷通道气流遏制系统（CACS）



热通道气流遏制和冷通道气流遏制均具有以下优势：

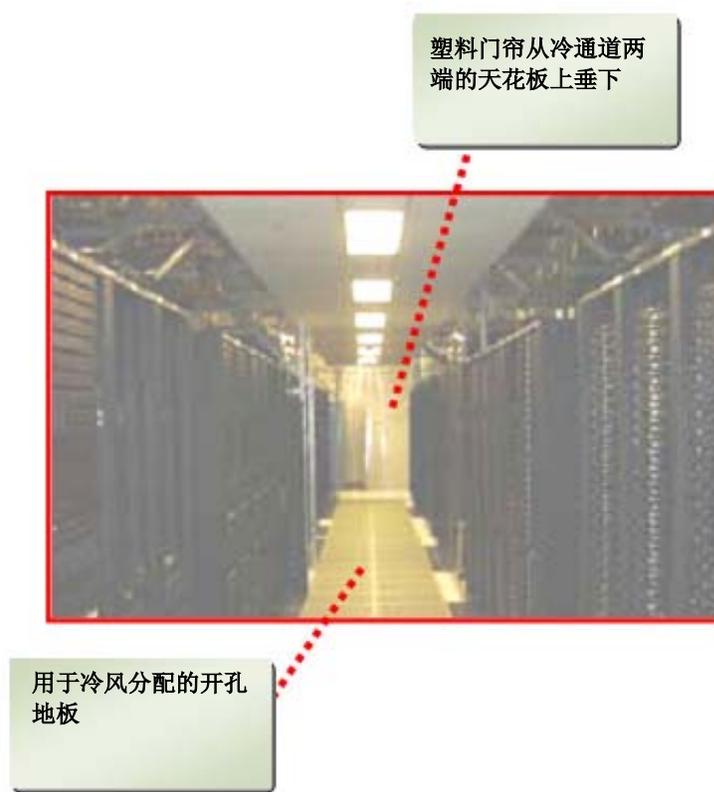
- **制冷系统可以被设置为较高的温度（由此节约能源），而且仍可满足安全的负载工作温度。**
传统制冷系统的温度设置远低于IT设备所需要的值（通常在55°F / 13°C左右）。其目的是对冷空气从空调机组送达IT设备的过程中所吸收的热量进行补偿。
- **降低加湿/除湿成本。**
通常当IT设备热排风被收集并直接送回空调机组时，不会从空气上去除任何湿气。如果不去除湿气，则无需加湿，由此可节省能源和用水。
- **更高的整体物理基础设施利用率，实现合理规划，继而使设备以更高的效率运行。**
较大的过度规划设备的固定损耗要高于合理规划的设备。然而，对于传统制冷不可避免的要过度规划，因为克服地板下障碍物和对活动地板压力通风系统加压都需要更大的风机功率。

冷通道气流遏制

冷通道气流遏制系统（CACCS）通常部署于传统的房间级制冷环境中。传统的房间级制冷方式将整个机房作为热回风压力通风系统，通过机房地板压力通风系统将冷风送至冷通道。CACCS将冷通道密闭，使得数据中心的其余部分成为一个大的热回风压力通风系统。通过密闭冷通道，数据中心内的冷、热气流得以分隔。

图2是CACCS工作方式的基本图示。一些用户自行开发的解决方案正在部署，其中数据中心操作人员采用各种类型的塑料门帘材料从建筑物结构上垂下，以密闭冷通道（见图3）。有些厂商现在正开始提供安装在数据中心相邻机柜上的平顶镶板和拉引室门，以协助将冷通道与在数据中心空间内其余部分循环的热空气加以隔离。

图3- 自行搭建的冷通道气流遏制系统示例



采用传统房间级制冷架构布局CACCS的效率局限

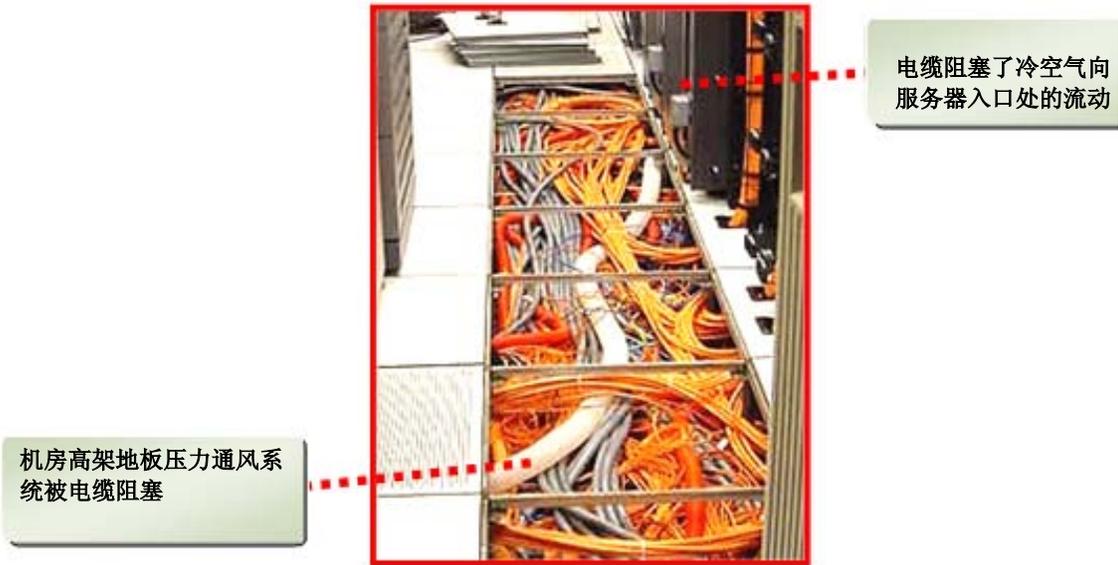
尽管CACCS对于传统制冷确有效率上的改进，当在房间级、外围制冷环境中部署时它仍然呈现出一些缺点：

- **实现充足风量分布所需的距离和压力导致低效率** – 房间级制冷中造成低效的最大单一因素就是需要将冷空气从外围的机房空调机组送至距离较远的负载处。行级制冷采用紧靠热源的布局方式，由此可以大大减少将冷空气送至其目的地所需的能量。而如果数据中心业主选择以行级制冷部署CACCS，就

不会产生这一问题。参见APC白皮书130号[“数据中心的行级和机柜级制冷架构的优势”](#)中对行级和房间级制冷方式的详细比较。

- **采用经高架机房地板进行冷风分配的方式造成密度局限** - 采用CACS方式时实用的密度极限大约为每台机柜6 kW。参见APC白皮书46号[“超高密度机柜和刀片服务器的散热策略”](#)中关于这种局限原因的阐述。更高的密度只能在通过定制化设计来实现。为解决高架机房地板压力通风系统的某些局限，有些CACS方案采用带风机的开孔地板，这样可以改善更高密度机柜的气流。但是采用风机辅助散热通风的方式会进一步抵消CACS的效率。增加的风机会提高总功耗，并对所提供的冷风有加热作用。因此，即使采用了CACS，所获得的效率提升也会因采用辅助通风系统而被部分抵消。如果数据中心业主选择以行级方式部署CACS，则可以避免这种密度局限。

图4 - 机房地板地板下随着数据中心需求的变化而日益拥挤



- **活动地板的可预测性** - 通过消除冷、热空气的混合，冷通道气流遏制系统有助于提高可预测性。然而，它不能消除活动地板的变化因素。随着数据中心的发展，活动地板下方会增加电缆、管道以及其他障碍物。这些障碍物会限制向IT设备提供足够的冷风。**图4**以实例显示了机房高架地板下压力通风系统内的障碍物是如何阻碍向冷通道提供可预期的冷风。如果数据中心业主选择以行级方式部署制冷系统，情况就会大大不同，因为可能根本就不需要机房高架地板。

采用行级制冷架构部署CACS的局限

在与传统机房方式的效率比较方面，CACS的行级部署更具优势。然而仍存在一些局限：

- **电源/制冷故障时冷风的可用性** - 如果发生电源和/或制冷故障，密闭冷通道会使可提供给服务器的冷风总量降至最低。冷风量的降低会在发生故障时造成更快的升温。图5所示为一个示例数据中心，对密闭冷通道内的风量与非密闭冷通道内的风量进行了比较。非密闭冷通道显示的冷风量是密闭冷通道内冷风量的17倍。如果出现故障，这种风量的减小会缩短服务器发生过热所需的时间量（数秒而非数分钟）。

图5 – 密闭和非密闭冷通道内冷风量的比较

冷风量计算示例

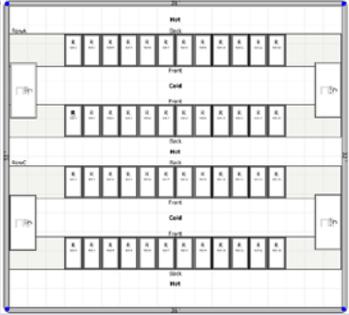
机房尺寸：

- 36 ft (11m) x 31 ft (9.4m) x 10 ft (3m)
- 冷通道宽度：4 ft (1.2m)
- 热通道宽度：3 ft (0.9m)
- 机柜高度：42U – 6.5 ft (1.99m)
- 机柜宽度：1.97 ft (0.6m)

密闭的冷通道容积 =
 $4\text{ft} \times (1.97\text{ft} \times (\text{每排}12\text{台机柜})) \times 6.5\text{ft} = 614.6\text{ft}^3 (17.2\text{m}^3)$

机房容积（不含热通道） =
 $(36\text{ft} \times 31\text{ft} \times 10\text{ft}) - (3\text{ft} \times (1.97 \times 12) \times 10) = 10,450.8\text{ft}^3 (3,185.4\text{m}^3)$

非密闭方式的冷风量是密闭冷通道内冷风量的**17倍**
 $[614.6\text{ft}^3 (17.2\text{m}^3) \times 17 = 10,450.8\text{ft}^3 (3,185.4\text{m}^3)]$



- **整个数据中心内的所有冷通道都必须被密闭方可实现其优势** - 仅密闭数据中心内的某些冷通道几乎没有意义，因为可与热风混合的其他任何冷风都将抵消掉预期的任何节省量。混合将导致制冷系统以较低效的方式运行（返回的“热”风与制冷盘管间的温差较小）。为了最大限度减少混合并使制冷系统效率最大化，所有冷通道均必须密闭。只有这样方可使热回风温度达到可能的最高值，才可以使制冷设备以高效率水平运行。
- **高温数据中心的总体感知和运行状况** – ASHRAE TC9.9标准建议的服务器入口温度在68-77° F（20-25° C）范围内。当冷通道被密闭时，机房其余部分的空气将变得更热（远高于80° F / 27° C，在某些情况下可高达100° F / 38° C），任何进入数据中心的人员都将承受异常的高温。人员在进入如此热的环境时通常会获得警告，巡视将变得不太现实。人员的预期需要调整，以便使他们理解，较

高的温度是“正常”的，并不是系统即将故障的征兆。对于尚未习惯进入以较高温度运行的数据中心的工作人员而言，这种理念的变化可能很具有挑战性。

当以更高的温度运行数据中心时，需要对非机架式IT设备进行特别的处理。这些设备是不能集成到CACS中的。因为在采用CACS系统时，机房是热空气的容器，非机架式安装的设备（如磁带库和独立式服务器）将需要具备独特的导管方可从密闭冷通道中获得冷风。此外，对电气插座、照明、灭火及机房内的其他系统均需进行评估，以确保其适宜在更高温度环境中工作。

热通道气流遏制

热通道气流遏制系统（HACS）将热通道密闭，以搜集IT设备的排出的热空气，并对其进行冷却，使之可以被送至IT设备进风口。这样将形成一个可支持高密度IT负载的独立式系统。

数据中心内冷、热气流的混合会降低IT设备的可用性。将可实现的最高温度空气送回机房空调机可以提高系统的效率和容量。通过对送风和回风路径的完全隔离，HACS可确保适当的风量分配。

HACS的设计融入了CACS的许多优点，并且避免了CACS的许多缺陷。当升级数据中心、使之运行更高效且成本更低时，任何不采用传统房间级制冷方式的措施都是向正确方向迈出的一步。尽管CACS相比传统方式是“好一些”的方式，但“最好”的情况将在HACS系统中得以体现。

HACS系统由位于机柜排任何一端的门、用于封闭热风的顶板、采用变速风机的行级制冷系统以及温度受控制的对冷通道的供风组成（见图6）。

图6 – 作为独立区域运行的热通道气流遏制系统（HACS）



热通道气流遏制系统（HACS）的效率优势

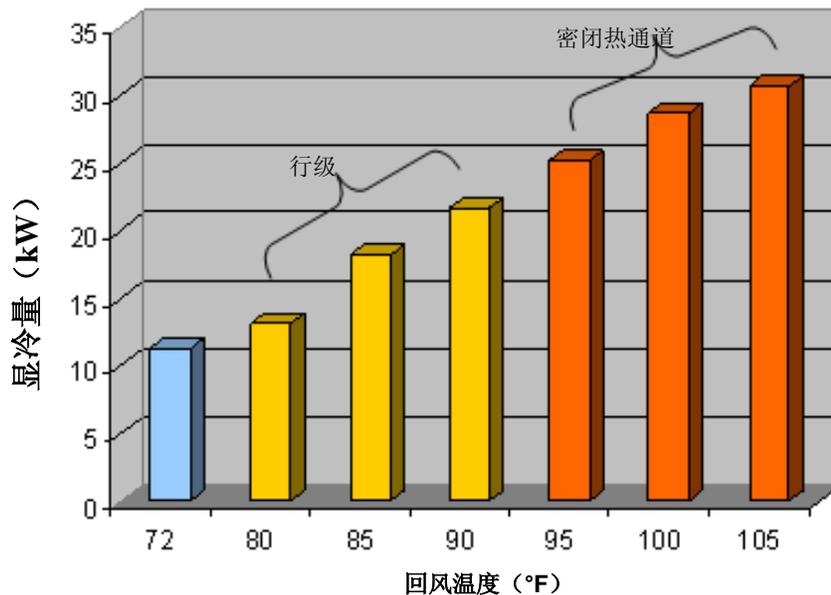
效率 – HACS的效率将会更高，因为热通道能够保持较高的温度。在典型的高密度服务器应用环境中，服务器热风与机房室温之间的温差通常为30° F / 17° C左右。如果机房室温按ASHRAE TC9.9保持在 72° F / 22° C，30° F / 17° C的温差将使服务器排风温度达到102° F / 39° F。

在典型的HACS环境中，制冷机组的送风量往往会比服务器需求量稍多，而且会将少量的机房空气吸入热通道。这样会导致回风温度稍有下降（约2° F），即制冷机组的回风温度为100° F / 38° C。这种更高的制冷机组回风温度（即100° F / 38° C）的实际结果是，与制冷盘管间的热交换更充分，制冷设备利用率更高，总效率也更高。图7给出了回风温度提高对制冷系统显冷量（空调系统从空气中实际排热能力）的影响示例。

回风温度提高对制冷机组制冷量的影响适用于几乎所有空调设备。某些设备在可接受的最高回风温度方面可能有所限制，但总体而言，所有制冷系统在回风温度较高时都将具有更大的制冷量。

对于HACS，典型情况是热通道以100° F / 38° C运行，并采用高密度服务器。将其与采用CACS的机房对比，后者的整体机房环境必须保持在100° F / 38° C方可实现相同的效率水平。尽管CACS允许实现更高的回风温度，但一般的数据中心操作人员不会让整个数据中心机房处于100 F / 38° C的温度以达到与HACS相同的效率。

图7 – 回风温度提升对制冷系统显冷量的影响*



*数据模型基于 APC InRow RC行级空调

灵活性提高 - 与CACS不同，HACS不会影响机房其他区域温度。HACS实际上是一种对机房无影响的解决方案。例如，如果数据中心的温度被设置为75° F（24° C），且采用CACS系统，则冷通道之外的机房温度将会升高，因为热空气将在其到达制冷系统的过程中与冷通道外部的空气混合。HACS内的热空气与机房其他部分隔离。HACS不会向其外部空间送出任何热风，由此不会使现有制冷系统低效率运行。

HACS可以“直接布局”在数据中心，而不需要对现有数据中心制冷体系架构进行任何改动。当采用行级制冷方式（与房间级制冷方式相反）时，不需要安装专用风管系统，也不需要现有HVAC系统进行任何调整即可应对更高的回风温度。

可用性更高 - 图5中的“冷风量计算示例”显示了对CACS容积与机房容积比较时冷风量的差别（非密闭冷风量为密闭冷通道内冷风量的17倍）。这种差别对于系统支持制冷故障的能力（即运行时间）有显著影响。在非密闭冷通道机房条件下，运行时间可达到数分钟，而当采用CACS方式时，则可能只能按秒来计算。在HACS方式中只有热空气被密闭，数据中心环境的其他部分还是凉爽的。因此，服务器将从密闭热通道之外更大的冷气“包”中抽取空气，由此可以延长可用运行时间。

表1 - 冷通道气流遏制与热通道气流遏制对比表

特性	冷通道遏制	热通道遏制	备注
效率提高	是	是	HACS比CACS效率更高，原因是热空气与机房其他部分的隔离使得HACS通常会以更高的回风温度运行。
提高送风温度设定点而不影响整个数据中心的能力	否	是	采用HACS制冷，设定点可以设置得更高，同时仍保持工作环境的舒适。提高CACS制冷设定点将导致数据中心温度高到不舒适的水平。
最大化利用自然冷却的天数	否	是	通过提高制冷温度设定点，密闭热通道可以使自然冷却的时长增加。然而，提高CACS的设定点将导致机房温度增加，从自然冷却天数角度而言，这样并不理想。
不影响机房的解决方案	否	是	HACS部署是一种“直接布局”式解决方案。CACS会影响周围其它的数据中心基础设施。
采用房间级制冷的部署简便性	是	否	当采用带自由回风系统的机房级制冷系统时，CACS为优选，该回风系统从机房抽取其回风。没有行级制冷的HACS将需要专用的风管系统或天花板压力通风系统。

针对高密度进行扩展的能力	否	是	CACS通常要配以机房高架地板来实施，且需要有低效率的风机辅助开孔地板，以实现更高的密度。
机房无关式设计	否	是	HACS与机房无关，即它不会以任何方式影响密闭空间外的机房温度。CACS将使密闭空间之外的空气更热。
对非机架式设备的负面温度影响	是	否	采用CACS时，由于冷通道被密闭，数据中心的其他部分可以变得更热。为了在更高温度下运行，须对密闭区域之外的设备进行评估。

消防考虑因素

根据数据中心的位置，在HACS或CACS的密闭区域内可能需要有火灾检测和/或灭火设备。首选的灭火机构通常是由温度激活的喷淋器。气体灭火剂通常是辅助系统，可由烟感器启动。美国国家消防协会标准NFPA 75并未表达在HACS或CACS内是否应配备喷淋器或气体灭火剂的观点。然而，NFPA 75却表述了可适用于HACS / CACS的以下两项要求：

- 自动化信息存储系统（AISS）单元（包含可燃介质，总存储容量超过0.76 m³）应在每一单元内由自动喷淋系统或配有延长喷射装置的气体灭火剂灭火系统加以保护（注：此信息非常重要，因为它规定了在数据中心的密闭空间内设置火灾检测和灭火装置的先例）。
- 保护ITE机房或ITE区域的自动喷淋系统应根据NFPA 25 “水基消防系统的检查、测试和维护标准”进行维护。

在实践中，HACS已在多处现场成功安装喷淋器和气体灭火剂灭火装置，并通过了审核。关于给定地点的特定要求，应联系AHJ。

结论

防止冷、热空气混合是所有高效数据中心制冷策略的关键所在。热通道气流遏制系统（HACS）是一种比冷通道气流遏制系统（CACS）更高效的方式，因为HACS方法可将最热的空气用通道直接送至制冷设备。在保持工作环境舒适的条件下，制冷设定点也可以设定得更高。

由于不会影响其外部环境，HACS解决方案也可以在机房内的任何地方部署。在HACS解决方案中，设备进风口不被密闭，因此可以在制冷故障时从机房内抽取制冷气流。这样就为切换至发电机供电赢得了更长的时间。

在与传统制冷方式比较时，热通道气流遏制系统（HACS）与冷通道气流遏制系统（CACS）均可实现出色的功率密度和效率。CACS可以对传统房间级制冷架构提供一些改进。然而，采用行级制冷架构的HACS效率和灵活性都更高，可提供更高的穿越能力，而且可以更容易应对更高的IT密度要求，而不需要提高整个数据中心的温度。对于多数用户而言，非密闭操作空间的额外升温是一种不可接受的条件，这就使得CACS不能作为备选方案。鉴于以上原因，大多数高效率、高密度数据中心项目，不管是新建机房还是老机房改造，都采用了某种形式的热通道遏制系统。

关于作者

John Niemann是美国电力转换公司（APC）行级和机柜级制冷产品的产品线经理，负责这些产品线的规划、支持和市场。John自2004年起领导APC InRow全线制冷产品的产品管理。他在暖通空调领域有12年的经验。其职业生涯起始于商业和工业暖通空调市场，在这些领域他专注于定制化的空气处理和制冷系统，其专业能力集中于关键环境的能源回收和筛选。他在暖通空调领域的经验涉及应用工程、开发、产品管理以及技术销售。John是ASHRAE和绿色网格（Green Grid）的会员，并获得美国密苏里州圣路易斯市华盛顿大学的机械工程学位。