

IT配线间和小型机房的制冷策略

作者: Neil Rasmussen
Brian Standley

68号白皮书

APC[®]
Legendary Reliability[®]

摘要

IT配线间的制冷很少经过规划，通常只是在发生故障或过热后才进行。历史上对于规定足够的制冷以便在配线间内实现可预期行为方面并无明确的标准。合适的IT配线间制冷规范应确保与预期负载兼容，提供制冷设备设计和安装明确指引，防止过度规划，最大限度提高电效率，并具备足够的灵活性，以便在不同形状和类型的配线间中工作。本文介绍一种制定配线间制冷规范的改进方法的理论及实际应用。

引言

数据中心和大型计算机机房的设计总是要包括一套制冷系统。而许多IT设备位于计算机机房之外的分布式空间内，包括配线间、分支机构，以及其他在设计时从未考虑IT设备制冷的场所。IT设备的功率密度在日益增长，其结果是，VoIP路由器、交换机或服务器等分布式IT设备经常会由于制冷不足而过热或过早故障。

针对这一问题的典型方式是先忽视其存在，部署设备，之后如果设备过热和/或故障，则采取矫正性措施。越来越多的用户发现这种方式不能令人满意，要求采取更为主动的方式以确保分布式IT设备的可用性。本文的目的是概要指出对小型分布式IT环境制冷的基本原则，并对支持性制冷系统的有效定规和设计提供指引。

配线间的适当工作温度

为了正确规定配线间的合适的制冷解决方案，必须首先规定配线间的工作温度。IT设备厂商通常会提供其设备设计运行的最高温度。对于通常可见于配线间内的有源IT设备，此温度通常为104°F（40°C）。这是厂商能够在其声明的质保期内确保性能和可靠性的最高温度。需要理解的重要一点是，尽管按照制造商所述，最高公布工作温度可以接受，但在该温度下运行通常不能实现在较低温度下运行的可用性或寿命水平。有鉴于此，除最高许可温度之外，一些IT设备厂商还会公布其设备的推荐工作温度。IT设备厂商给出的典型的推荐工作温度为70°F（21°C）至75°F（24°C）。

此外，美国供热、制冷和空调工程师协会（ASHRAE）TC 9.9对IT设备同时公布推荐和许可工作温度。其意图是提供更好的指引，以确保设备的可靠性和性能。其值在表1中给出。

表1 – ASHRAE TC9.9给出的工作温度限度

工作温度	温度范围
推荐	68-77°F（20-25°C）
许可	59-90°F（15-32°C）

目标总应是保持温度不高于77°F（25°C）。然而，如果无法实现，对于关键度不太高的配线间，保持在最高许可温度90°F（32°C）以下可以是一个合适的解决方案。任何高于90°F（32°C）的温度均应被避免，以降低设备故障的风险。同样，90°F（32°C）也是被职业安全与健康管理局（OSHA）和国际标准化组织（ISO）等机构视为对轻工作负载许可的最高温度。关于健康和安全要求的更多讨论可在APC 123号白皮书“高密度热通道对IT人员工作条件的影响”中查阅。

对于部署UPS的配线间环境必须给予更多的仔细考虑。温度的升高对于蓄电池寿命的影响要比对其他类型的IT设备显著得多。对于工作在104°F（40°C）下的典型的UPS蓄电池，用户只能期待其持续使用1.5年甚至更短

时间，而在正常工作条件下则通常可使用3 – 5年。工作温度低于77°F（25°C）应作为一项要求。否则，应考虑使用一台集中式UPS保护所有配线间，该UPS采用置于配线间之外一个空气被充分调节的空间内。

排热的基本原则

为了充分理解问题，以排热而非冷供风来表述问题更为有利。如果未被排出，容纳IT设备的任何空间内的热量都将被累积，使温度升高。**IT设备每消耗1 kW电能，将产生1 kW热量并且必须要排放到其他空间。**

热量可以被想成一种“向下”流动的物品。它由温度较高的物体或介质流向温度较低的物体或介质。如果您要将其排出，需要将其引导至一个较冷的地方。在许多实际环境中，这种物理备选方案可能并不存在。

热量可以通过5种不同的方式离开一个较小的有限空间，如办公室或配线间。它们是：

传导：热量可以流经空间的墙壁

被动通风：热量可以通过没有空气移送设备的通风口或格栅流入较冷的空气

风机辅助通风：热量可以通过有空气移送设备的通风口或格栅流入较冷的空气

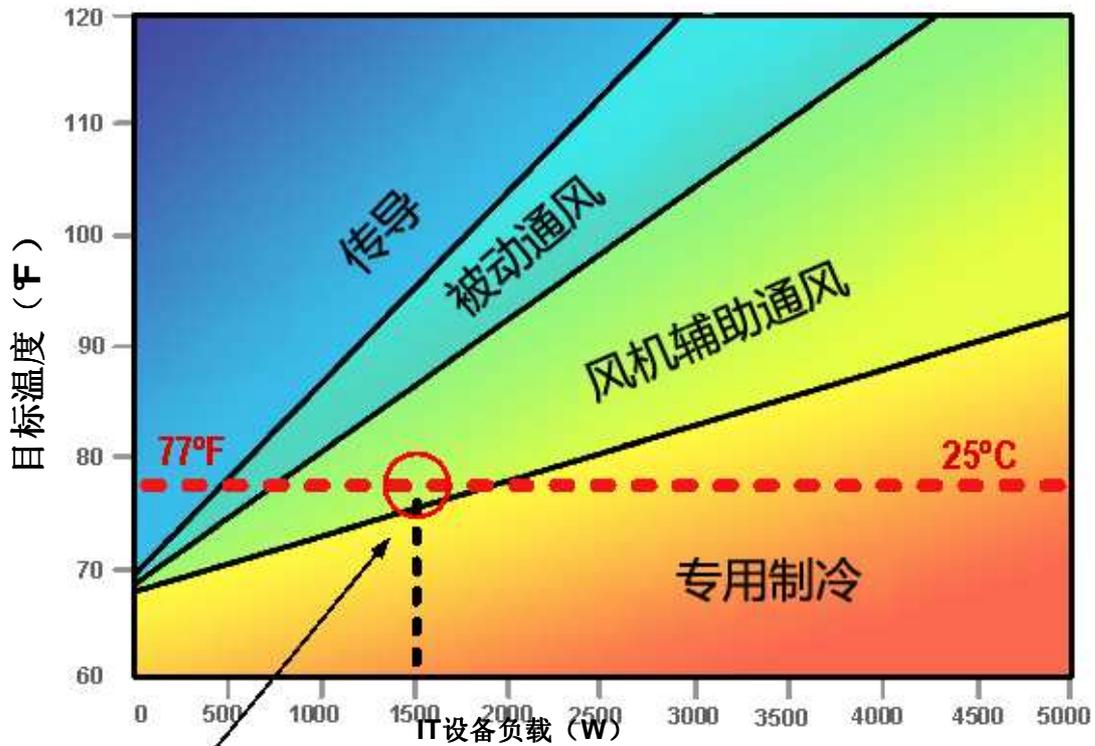
舒适性制冷：热量可以通过楼宇的舒适性制冷系统排出

专用制冷：热量可以由专用空调机排出

以上所列的5种方法在性能、局限性和成本方面各有不同。对于一座给定的设施，用户应理解所使用或提出的是哪种方法，在给定约束条件和偏好下哪种方法最为合适，以及如何制定设计要求。

图1给出了在假设没有异常情况条件下基于机房功率和目标机房温度的制冷策略的一般准则。它示出了各种方法的可接受性能范围。这些极限不应被视为绝对的值，因为各种策略存在重叠，最终的设计必须考虑到影响制冷的所有变量。*应注意，舒适性制冷并不包含在本图中，因为其过于易变，不可预测。*对此的更多讨论将在后文中给出。

图1 - 基于功率负载和目标室温的制冷方法

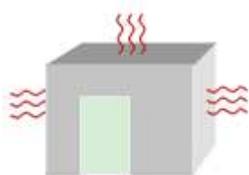
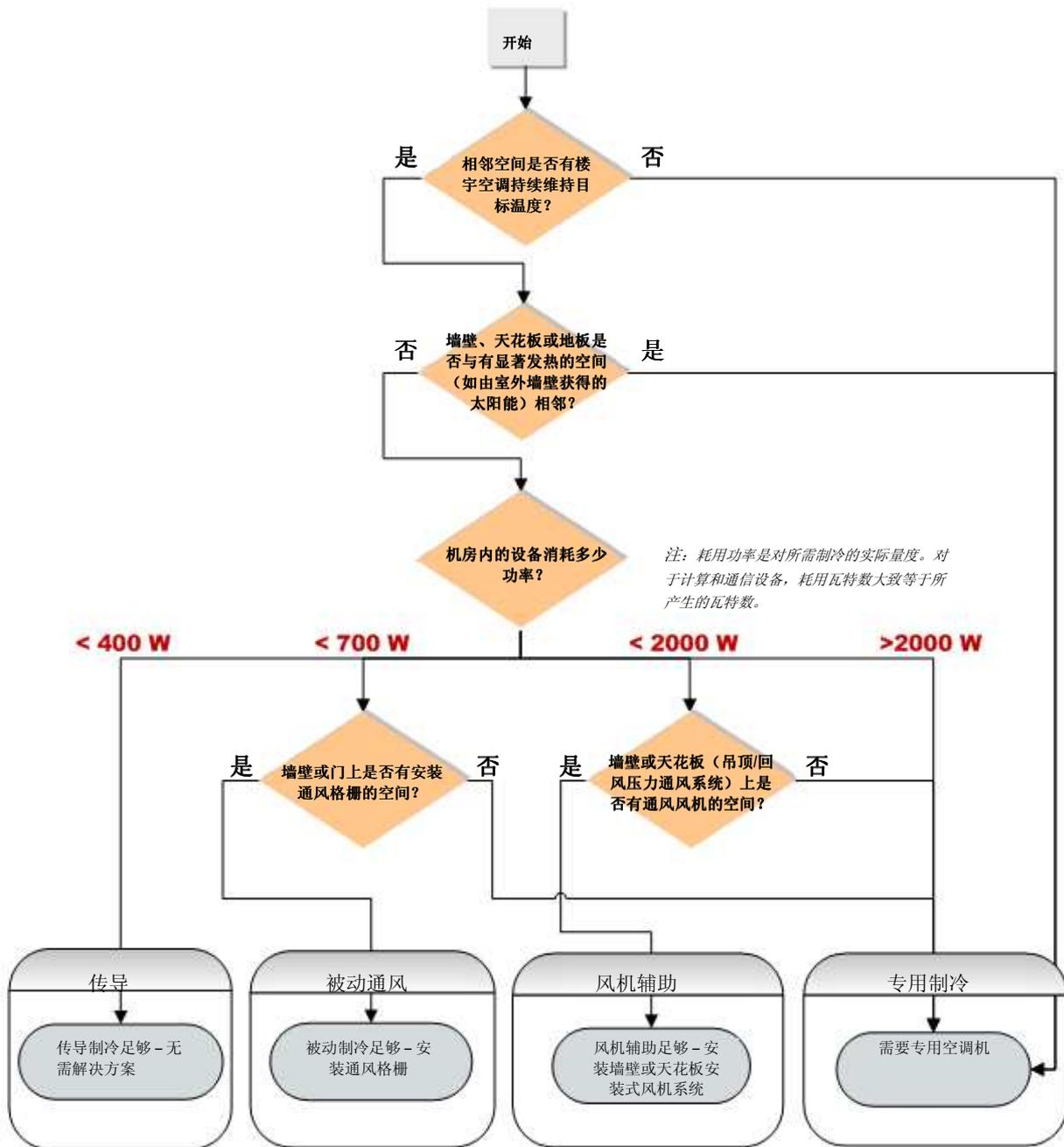


例:

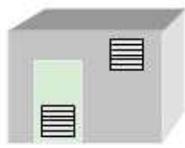
1500 W保持在77°F (25°C)，落在“风机辅助”范围内

为帮助选择最合适的方法，在给定多个变量的条件下，图2中给出一个决策流程图。应再次注意，舒适性制冷不是推荐解决方案。

图2 - 旨在保持推荐ASHRAE温度范围68 - 77°F (20 - 25°C) 的制冷方法选择



见图6A



见图6B



行级

空调机类型
选择见图8

天花板

可移动

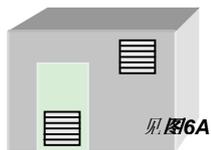
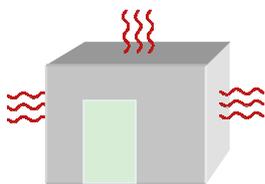


图6A



图6B



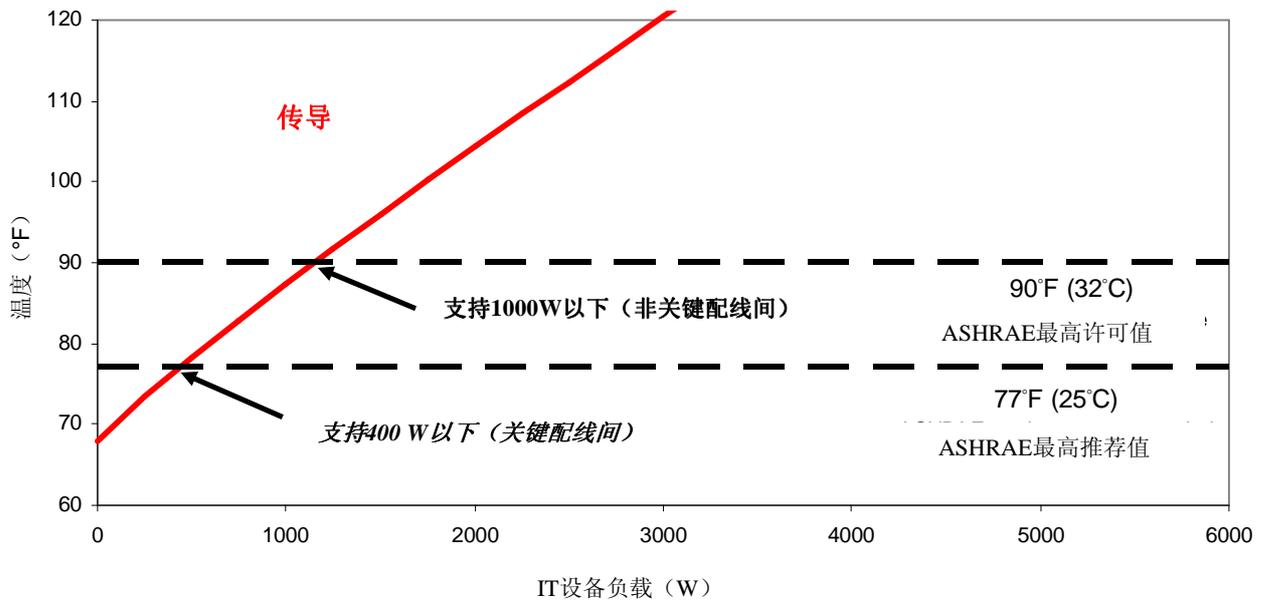
配线间制冷的5种方法

以下将对配线间制冷的5种方法分别进行更为详细的介绍，以实现对其性能和局限的清晰理解。

传导：热量可以流经空间的墙壁

如果配线间被有效密封，像许多市电配线间一样，则热量离开的唯一方式是通过墙壁的传导。为使此方式有效，配线间内的空气必须升温至高于配线间墙壁另一侧温度的水平。实际上，这意味着配线间将总是比楼宇内的其他环境空气更热，且随着IT设备的功率水平升高，温度升高的程度将会更高。一个配线间的平均、空气充分混合的温度与IT负载的关系示例如图3所示。

图3 - 配线间温度与IT设备负载的关系：传导性能



以上关系假设一个有效密封的10 x 10 x 10ft (3 x 3 x 3 m) 机房，空气泄漏率仅为50 ft³/min (23.6 l/s)，采用干式墙结构，全部四面墙均面对具备舒适性制冷的空间，室温为68°F (20°C)。更多详情和假设参见附录。

可以看到，这一典型的配线间在其关键度要求温度低于77°F (25°C) 时最高可支持400 W的IT负载，而若是低于90°F (32°C) 即可接受，则最高可支持1000 W。

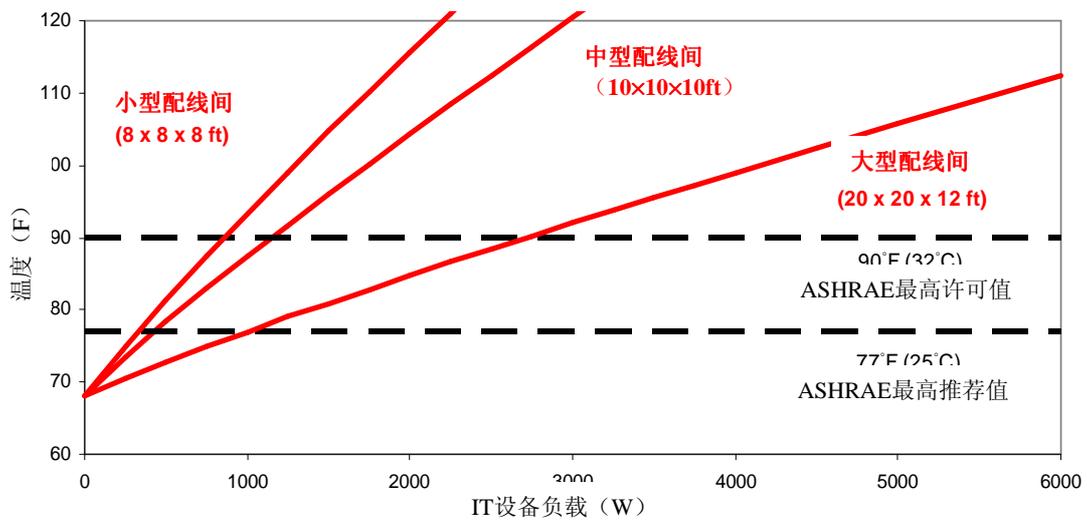
然而，配线间的尺寸和建筑材料会有差别，而且存在其他影响此关系的因素，这些最终都将限制这种方法的应用能力。表2归纳了这些关键因素及其影响。

表2 – 可影响配线间温度与负载关系的因素及其预期影响

因素	对配线间温度的预期影响
机房尺寸	机房尺寸越小，温度越高
墙壁、天花板、地板材料	建筑材料热阻越大，温度越高
楼宇空调机在夜晚/周末降级运行	楼宇空调机内每升温1度，配线间温度将升高相同的量
一面墙在晴朗的热天将受到日照/室外温度的影响	承受室外温度和日照的墙面积越大，温度越高

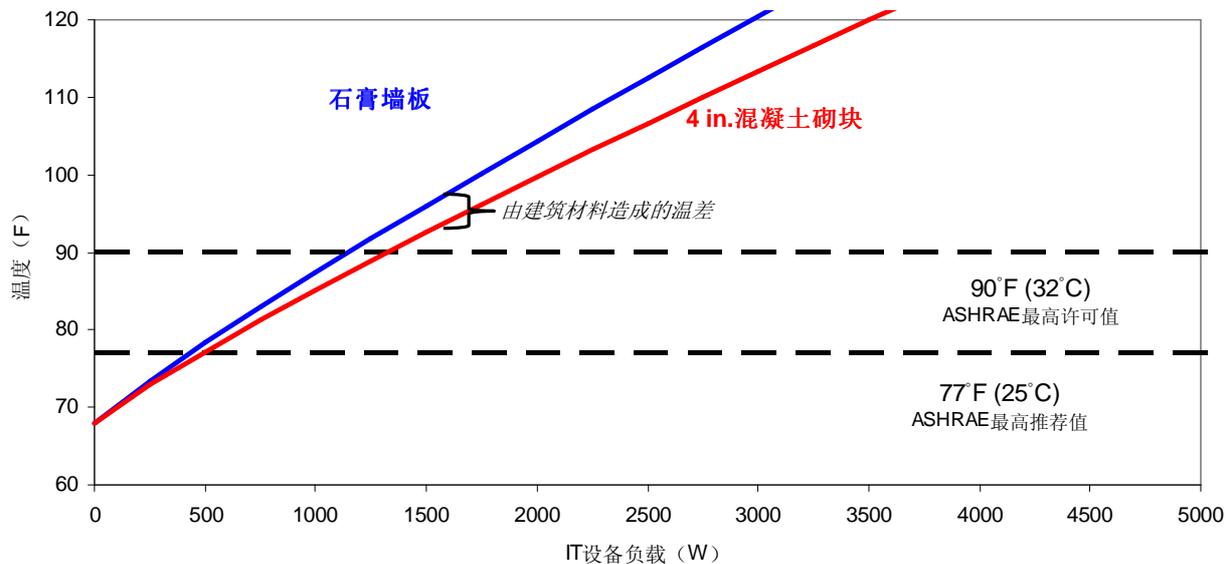
最明显的影响因素是机房的尺寸。机房越大，机房散热的能力越好，因为有更大的墙壁、天花板和地板表面积来处理热量。相反地，机房越小，传导制冷性能越低。这种性能变化在图4中绘出。

图4 – 配线间尺寸对传导制冷性能的影响



在温度与负载的关系上，用于墙壁、天花板和地板的材料也会呈现与各材料间传热能力差异相类似的差异。如果我们在上例中使用石膏板墙壁和吸音瓦天花板替代4英寸（10 cm）的混凝土砌块墙和4英寸（10 cm）的混凝土地板，将可以看到制冷性能提高，如图5所示。

图5 – 建筑材料对传导制冷性能的影响



通常会发生的一种影响传导制冷性能的情况是楼宇环境空气温度由于周末制冷降级运行而升高。当这种情况发生时，配线间温度将逐步升高。在我们的例子中，如果楼宇空调在周末由68°F（20°C）改为85°F（29°C）降级运行（升高17°F（9°C）），我们可以预期配线间内同样升温17°F（9°C）。这意味着对于一个要求温度不高于77°F（25°C）的关键配线间，不能支持任何负载；而对于允许温度不高于90°F（32°C）的非关键配线间，只能支持250 W的负载。

这种制冷方法的另一个局限是，如果配线间有一面墙壁是楼宇的外墙，配线间温度将受到室外墙壁温度的影响，而后者又受环境室外温度和日照的双重影响。因此，有室外墙壁的配线间在炎热或强烈日照下可能会过热。对于我们的10 x 10 x 10 ft实例，假设室外环境温度等于100°F（38°C），最差情况下日照强度为1000 W / m²，则我们可以预期温度升高8 – 12°F（4 – 7°C）。

密封式配线间的传导制冷性能根据尺寸、结构和相邻环境而不同。通常，对于关键配线间，在配线间内的功率负载低于400 W并考虑到上述将影响制冷性能的其他因素的情况下，建议采用传导作为制冷的唯一方式。类似地，对于非关键性配线间，传导应在配线间内负载低于1000 W时采用。这将使传导方法局限于功率非常低的IT设备，如小型堆叠式网络交换机。如上例中所示，温度将随负载的升高而快速上升。应注意，另外增加灯泡之类的热源将实质性提高这一功率水平。因此，配线间照明灯应采用低功率高效率的类型，并应在门被关闭时自动熄灭，或者直接被省略。

被动和风机辅助通风：热量可以通过通风口或格栅流入较冷的空气

将热量排至楼宇环境空气中可以使配线间冷却。通风可以是采用适当布置的孔或通风口的被动式，也可以是风机辅助式。其基本原则是确保配线间空气温度基本不会升至楼宇环境空气温度以上。通风系统的实例如图6所示。

图6 - 两类配线间通风系统举例

图6A - 被动通风



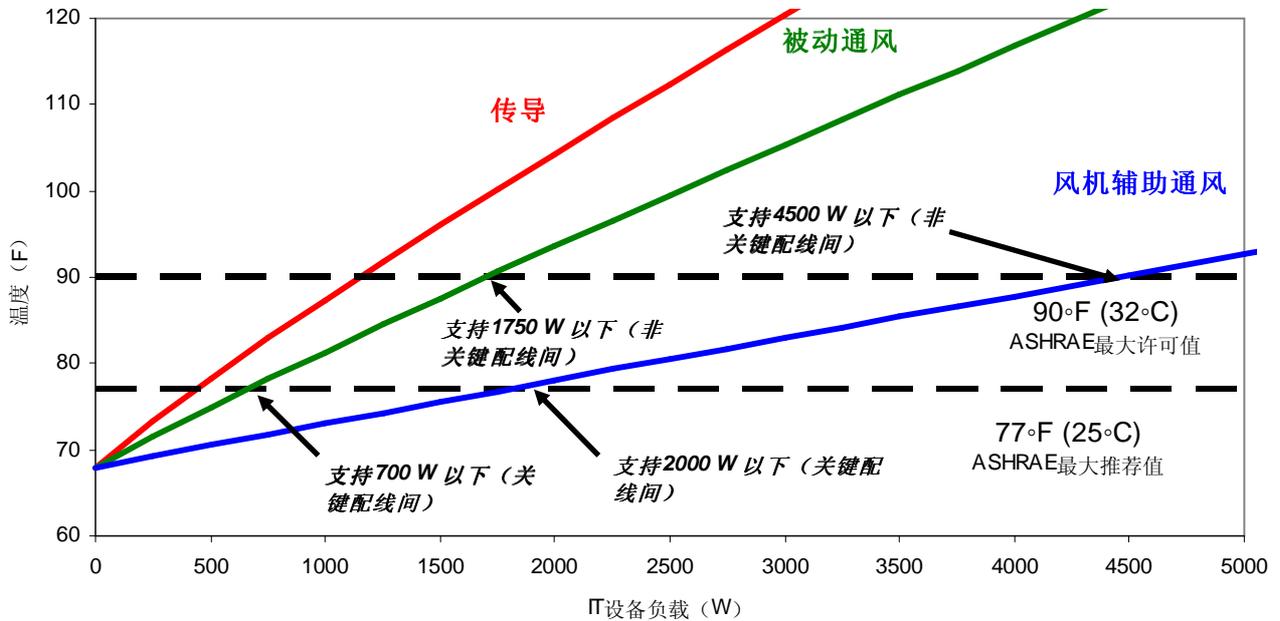
图6B - 风机辅助通风



风机辅助通风在配线间内的布置见图9

有通风配线间的温升与IT负载功率的函数关系如图7所示。

图7 - 配线间温度与IT负载的关系 - 被动和风机辅助通风



在图中，应注意两条不同的通风曲线。被动通风曲线基于加装如图6A所示的通风口。如图6B所示的风机辅助通风可实现比被动通风更低的温升。所示的风机辅助通风曲线假设气流量为480ft³/min（226.5 l/s）。温升将随气流量的增大（通过更高容量的风机系统或加装附加风机系统来实现）而减小。

通风是一种非常实用的配线间冷却方法。对于关键配线间，被动通风在700 W以下的功率水平有效。对于700 W至2000 W的功率水平，风机辅助通风适合于关键配线间。如果采用更高容量或多台风机协助机组，可以实现对更高功率水平的支持。类似地，对于非关键配线间，被动通风对于1750 W以下有效，风机辅助通风在1750 W至4500 W之间有效。根据IT设备来布置进气口和风机辅助机组的应用考虑也可以提高制冷性能。同样需要注意的重要方面是，在采用此方法时，还必须考虑如以上图4和图5所示的外部影响。

舒适性制冷：热量可由舒适性制冷系统排出

许多楼宇具有现有的空调系统或组合供热和空调系统，用以为人员创造舒适的环境。这些舒适性制冷系统通常有空气输送管道。与在增加新办公室或机房时加装导管一样，通过对配线间加装导管以利用该系统似乎是个好办法。然而，简单增加导管很少能够解决配线间制冷问题，而且经常会适得其反。

舒适性制冷系统采用循环开闭方式。通常的控制机制是将温控器置于区域内的某处，而非配线间内。对于装有IT设备的配线间之类的小空间，这意味着温度在制冷系统开启时将降低，关闭时则升高。这将导致温度的显著摆动，实际上会对IT设备造成比持续性较高温度状况更严重的压力。

此外，舒适性制冷系统的最优方法要求在工作日夜间和周末提高温度设定点，以帮助节电。有些实际上就是完全断电。如果配线间仅仅是一个较大区域的一部分，配线间的平均温度通常将升高，其增量等于温度设定点的增量。如果只是简单地增加管道，决策者就必须要在夜间和周末浪费电能与配线间内温度摆动状况更糟之间做出选择。

为了使用楼宇舒适性制冷系统对配线间制冷，所述的配线间必须设在一个专用区域内，该区域应具有其自有的选型适当的供风和回风导管、终端机组（即风机盘管机组、VAV箱）和控制件（即温控器）。这种方法并不实用。

增加专用配线间区域的挑战包括：

- 须确保向VAV（变风量）箱供风的供风管内静压力足够且恒定，特别是在楼宇空调系统工作最多的炎热夏季更是如此
- 非常低的功率密度能力 – 多数舒适性制冷系统按设计提供4 – 5 W / ft²（43 – 54 W / m²）的制冷量，即相当于每台机柜150 W（假设每台机柜占地30 ft²）
- 缺乏可扩缩能力
- 实施成本高

此外，中央制冷系统也是主供热或补充供热系统的组成部分。在这种情况下，所安装的用以保持配线间凉爽的供风管将在冬季向空间内供热。这是绝对不合适的。

对楼宇空调系统进行分接以对IT配线间制冷的方式通常并不合适。如果导管系统已经存在，则应将其拆除或切断，并以本文所述的其他方式之一加以取代或补充。

专用制冷：热量可由专用空调机排出

控制配线间温度的最有效方式是安装专用配线间空调设备。然而，专用空调比采用被动或风机辅助通风要昂贵且复杂得多，只能在必要时采用。

通常，当配线间内的功率水平超出约2000 W（对于关键配线间）或4500 W（对于非关键配线间）时，推荐采用专用空调设备。在确定功率时，重要的是要参照IT厂商提供的详细功耗规范，确定IT设备的具体配置的功率水平。通常具体设备的实际取用功率会远低于背板上的“铭牌”额定功率，正确的决定可以为制冷解决方案节省相当数量的开支和复杂度。例如，背板铭牌额定功率为5 – 6 kW的可配置路由器在常见的用户配置中实际仅取用1 – 2 kW的功率。在这种情况下，正确的决定可以免除对一台空调机的需求。

即使在表面看来通风是技术上可行的替代方案，也存在专用空调机更为适合的情况。这些情况包括：

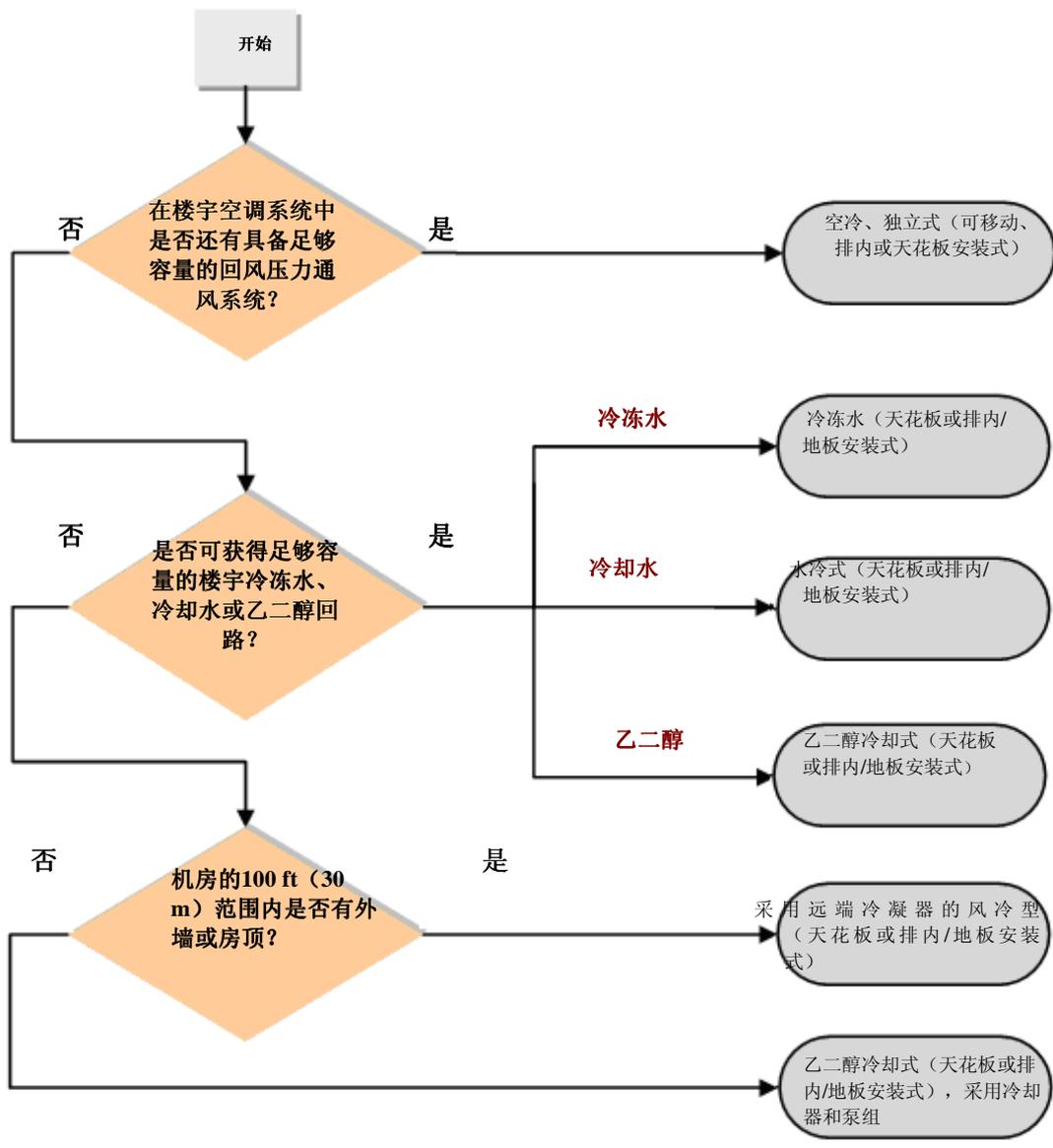
- 配线间之外的通风空气含有显著的灰尘或其他污染物
- 配线间之外的通风空气存在过大的温度摆动
- 租约或装修等实际限制条件使其无法加装通风导管

在这些情况下，采用楼宇环境空气进行通风并不是一种可行的替代方案，唯一实用的方式就是专用空调设备。

当确定要在配线间或小型机房内采用空调设备时，还存在许多不同类型的备选空调设备。更多详情参见APC 59号白皮书，“用于IT环境的不同类型的空调设备”。

对给定配线间设施选择合适类型的专用空调机，这主要由楼宇限制条件确定，可遵循图8所示的简单流程图完成。

图8 – 专用空调机选型



天花板安装式空调机组



行级空调机组



可移动式空调机组

UPS对配线间制冷系统的影响

在配线间内采用小型分布式UPS系统是确保业务连续性的常见且推荐的方式。UPS系统可选型为对配线间IT负载提供短时备用供电，或者可选择UPS实现更长的备份时间（即超过1小时）。在任何一种情况下，UPS所形成的热负载通常要远远小于IT负载，可以放心地将其忽略。

在安装UPS时，IT设备将继续在断电时发热。因此制冷系统必须继续运行。如果UPS的备用时间少于10分钟，则配线间内空气和墙壁表面的热质量将使温度保持在合理限度内，无需采取任何预防措施。然而，如果UPS按设计需提供超过10分钟的运行时间，则制冷系统在此期间必须继续运行。这意味着如果采用风机辅助通风或空调，风机或空调机必须由UPS供电。在UPS选型中必须考虑风机或空调机的功率需求。对于风机辅助通风，这并非重要的问题，但对于空调机，就需要大得多的UPS和蓄电池（经常是空调机标称额定取用电流的4-6倍，以应对压缩机突入电流）。这是只要可能即以风机辅助通风取代配线间空调的另一个原因。

避免专用空调机组以UPS供电的一种实用且低成本的替代方式是安装一套风机辅助通风系统，作为对专用空调机的备份。理想情况下，发生断电时风机系统将启动，为机房提供一定程度的空气交换，而此时专用空调机停止运行。在电力（以及空调，应具有自动重新启动功能）恢复时，风机辅助通风系统将恢复断电。

有效风机辅助通风的特性

根据以上讨论可以明显看出，配线间内过热是一项合理的关切，只要可行，即应优选采用更简单的被动或风机辅助通风解决方案。尽管用户在通风系统设计时有许多市售组件备选，同样还有专门针对配线间制冷设计的特征化套装解决方案。表3给出了用户可望在配线间通风系统内见到的特性。

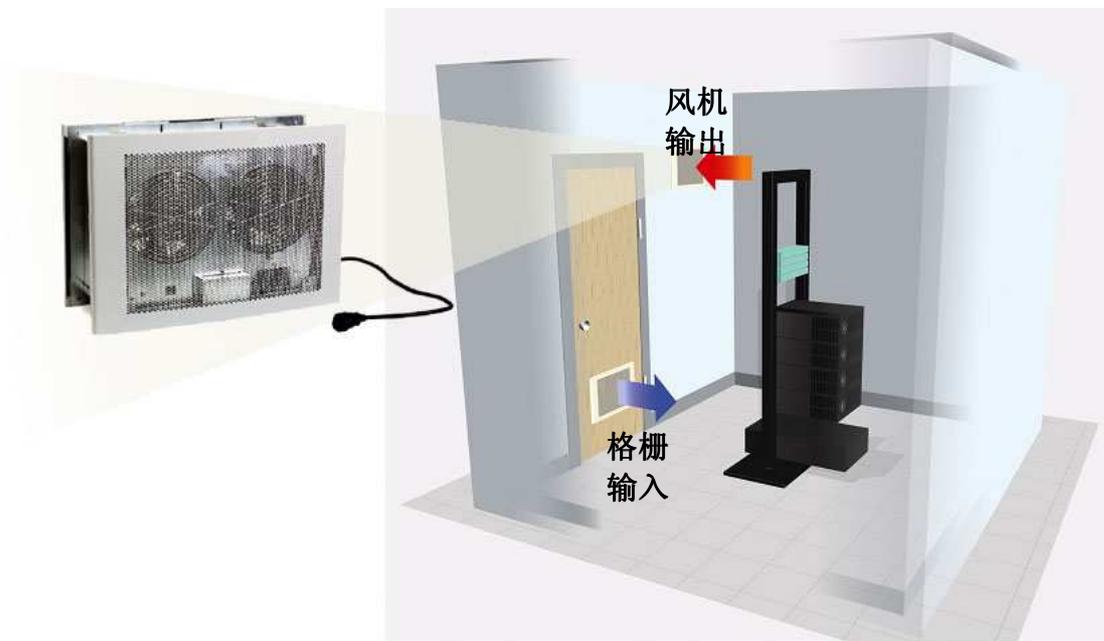
表3- 通风系统特性和优势

特性	优势
可在墙壁或天花板上安装	灵活性更高，因为一种解决方案可适合许多种不同的配线间类型
按照经计算的IT负载确定规格	对于解决方案实现预期性能有更强的信心
可远程管理	更短的平均故障恢复时间（MTTR）
多种风机速度	能够在不需要最大气流量时降低噪音
多台风机	风机冗余以实现故障容忍
固定式安装	更高安全水平
易于安装	对配线间环境的改动要求最少，并可降低对外部承包商参与的需求

特性	优势
需要最少量的装配	快速、简便安装
插头或硬连线配置	简单符合当地电气规章
宽容量范围	能够对不同设施的单一设备进行标准化
针对配合UPS系统的应用确定规格和特性	总体系统可用性更高

图9中示出了满足以上要求的一种风机辅助通风机组的示例。

图9 - 配线间风机辅助通风机组



结论

对于多数IT配线间，通风是最为有效且实用的制冷策略。设计和实施得当的被动通风系统对于较低的功率水平有效。对于功率更高的装有VoIP路由器或服务器的配线间，推荐采用风机辅助通风。

当关键配线间的配线间功率水平超过2000 W（非关键配线间为4500 W）时，或配线间外的环境空气热、不可控制或有污染时，适合采用专用空调。不推荐采用现有舒适性空调系统进行配线间制冷，因为这样几乎必然导致配线间温度的宽幅波动。

本文中给出的准则有助于选择合适的配线间制冷解决方案。专门针对IT配线间设计并特征化的通风系统的出现使选型过程得以简化，并可进行标准化配线间制冷解决方案的实施。

关于作者：

Neil Rasmussen是美国电力转换公司的创始人及首席技术官。在APC，Neil领导着针对关键网络用电源、制冷和机柜基础设施的世界最大规模的研发预算，主要的产品开发中心位于马萨诸塞州、密苏里州、丹麦、罗德岛州、台湾以及爱尔兰。Neil目前正在APC负责模块式、可伸缩式数据中心基础设施解决方案的开发，是APC InfraStruXure系统的首席架构师。

在1981年创建APC之前，Neil在麻省理工学院（MIT）电气工程专业获得其学士和硕士学位，其论文课题是对一种托卡马克聚变反应堆的200MW电源进行分析。自1979年至1981年，他在MIT林肯实验室工作，研究内容是飞轮储能系统和太阳能电力系统。

Brian Standley是美国电力转换公司小型制冷系统的产品线经理。他有9年的产品管理经验，并且密切参与了包括制冷解决方案、InfraStruXure和机柜/机箱在内的多个产品类别产品的设计、开发、发布和支持工作。Brian还担任销售和支持的职务。

在1994年加入APC之前，Brian在伦斯勒理工学院（RPI）物理学专业获得理学学士学位，2001年在罗得岛大学（URI）获得工商管理硕士学位。

附录：典型配线间的假设条件说明

本文所述的“典型”配线间基于一种计入墙壁传导、对流和辐射的广泛性模型。“对流”包括与机房墙壁的自然对流外加规定的气流量（与泄漏气流量相关）。“典型”配线间的建模条件如下：

表A1- “典型” 配线间的条件

特性	优势
机房尺寸	10 x 10 x 10 ft (3 x 3 x 3 m)
楼宇环境温度	68°F (20°C)
机房建筑材料： <ul style="list-style-type: none"> • 内部侧墙为平空气隔热式钢构架墙，采用石膏墙板装饰 • 地板为4 in.厚混凝土板 • 天花板为½ in.厚吸音天花板 • 外墙为隔热混凝土砌块，配以硬质泡沫塑料保温套和石膏墙板装饰 	内部侧墙：R值 =0.29 地板：R值 = .1 天花板：R值 =0.22 外墙：R=1.32
3.4 m/s (12 km/h) 风速下的外墙面热导率 (h)	h = 22.7 (m ² °C/W)
相对湿度	50%
泄漏气流量 (通过门开缝和/或吊顶的泄漏量的合理估算值)	50 cfm (23.6 L/s)