

# 仅使用行级制冷方式对 整个数据中心进行制冷

## 第 139 号白皮书

版本 1

作者 Jim VanGilder 和 Wendy Torell

### > 摘要

由于行级制冷固有的高效率和可预测制冷的性能优势，它被看作是新建数据中心颇为适用的整体制冷解决方案。然而，鉴于设备本身外观形状的特点以及房间布局的限制，数据中心内的一些 IT 设备无法整齐排列成行，从而不能使用行级制冷，这也让人们一直依赖于房间周围布局的传统制冷方式。本白皮书旨在说明在没有房间级制冷系统的情况下，仅仅使用行级制冷装置组成的制冷系统将如何为整个数据中心，包括那些未整齐排列成行的 IT 设备进行制冷。

### 目录

[点击内容即可跳转至具体章节](#)

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 简介                    | 2  |
| 仅使用行级制冷装置为整个房间提供制冷的优势 | 3  |
| 行级制冷装置如何满足行级负载之外的制冷需求 | 3  |
| 独立负载制冷需求的评估建模         | 5  |
| 其它的制冷需求               | 7  |
| 结论                    | 10 |
| 资源                    | 11 |

## 简介

资源链接  
第 130 号白皮书  
数据中心行级及机架级制冷架构的优势

行级制冷已成为机房及数据中心 IT 设备提供高效制冷的绝佳之选。采用行级制冷，制冷单元紧靠（或者可能集成于）每行的机柜，从而具备制冷可预测性更佳、制冷密度更高，制冷效率更高等优势。关于行级制冷的优势及应用，我们会在第 130 号白皮书《数据中心行级及机架级制冷架构的优势》中做详细的阐述。

对于一般的数据中心而言，IT 设备的主要构成包括标准机柜安装式服务器及其他机柜安装式设备（如开关设备等）。这些设备可安装在配有热通道/冷通道的机柜中，以实现制冷优化。然而，通常来说，仍有一小部分的设备无法安装于这些标准的机柜行之中，原因有以下几点：

- 这些设备无法安装在机柜上
- 设备的外形尺寸无法与机柜排成一行
- 设备的气流流经方向并非由前至后，可能会造成热通道和冷通道内的空气相互混合
- 设备需要安装在特定的位置（例如，采用中央存储而不是多磁盘阵列存储）

本白皮书中所指的“辅助 IT 设备”一词表示的是所有未安放于标准热、冷通道行中的独立设备。对于一般数据中心，该类设备包括开关设备、存储设备、网络设备及配电设备等。此类设备的功率密度一般较低，约占到大多数数据中心 IT 负载功率的 5-10%；然而，由于具体业务应用的不同（例如，某公司主要进行数据储存），其功率密度可能会明显较高。

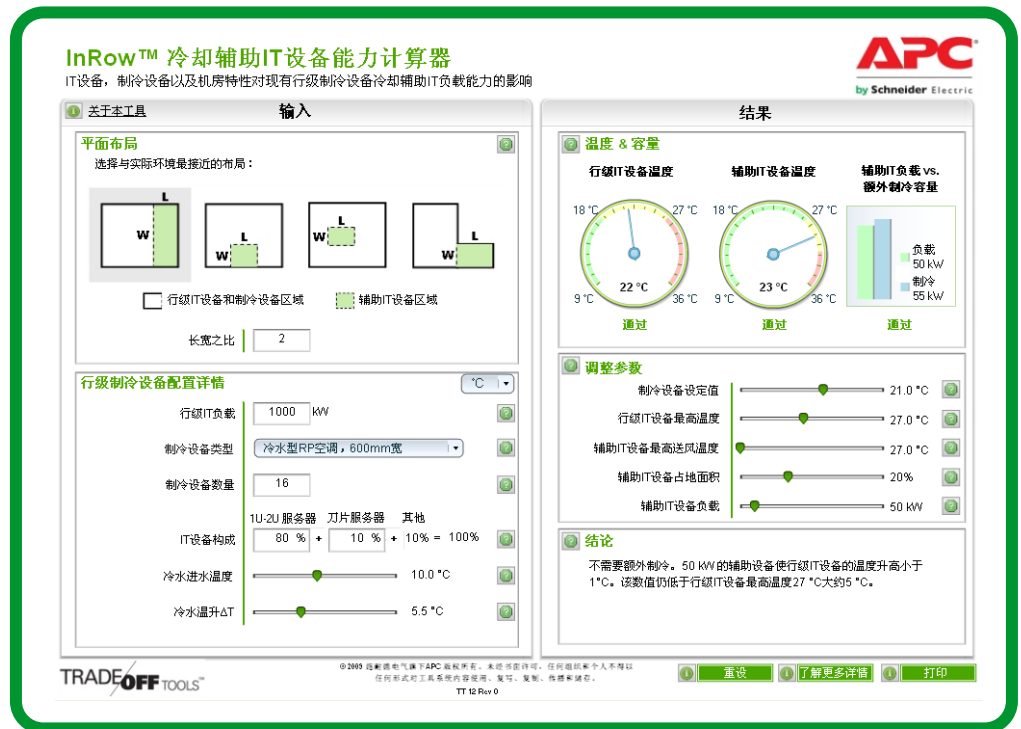
“由于缺乏良好的科学指导，数据中心设计人员在处理负载制冷问题时，往往趋于保守，为这些外围设备区域提供过度的专属制冷。”

由于缺乏良好的科学指导，数据中心设计人员在处理负载制冷问题时，往往趋于保守，为这些辅助 IT 设备区域提供过度的专属制冷。在多数情况下，由于行级制冷足以包括辅助 IT 设备负载在内的整个数据中心提供有效制冷，因此根本无需其它的制冷方式。

推出的权衡工具 12 “InRow™ 冷却辅助 IT 设备能力计算器”（图 1），可以帮助数据中心专业人员了解不借助于其它的制冷方式只单纯使用行级制冷方式如何实现整个数据中心的高效制冷。

图 1  
InRow™ 冷却辅助 IT 设备能力计算器截图

（点击图片打开工具计算界面）



## 仅使用行级制冷装置为整个房间提供制冷的优势

对于目前采用房间周围布局制冷方式的数据中心而言，如果需要行级制冷从旁辅助，实施混合制冷架构不失为一种良策。然而，在新建数据中心设计之时考虑将行级制冷作为主要的制冷方式，相比于混合制冷架构方案，单纯使用行级制冷所具有的优势则更加明显。在下文“行级制冷装置如何满足行间负载以外的制冷需求”中，我们会说明基本的房间级制冷方式以及特别针对行外的 IT 负载不使用房间周围布局制冷的原因。

相较于混合使用分布于房间周围的冷却装置以及行级制冷装置的制冷方式，仅仅使用行级制冷装置为整个房间提供制冷具有以下优势：

- **无需使用高架地板** — 一般来讲，房间周围布局的冷却装置需要借助于高架地板空间为 IT 设备配风。但若适用行级制冷装置为整个房间提供制冷时，可以避免高架地板安装及维护所需的相关费用。
- **机柜行与房间周围布局的冷却装置不会相互冲突** — 当两种截然不同的制冷架构部署于同一房间时，在加热制冷增湿除湿上难免会相互冲突。这就会造成运营效率降低并增加电费支出。而仅仅使用行级制冷装置，设备间可以互相协调，从而避免了这样的冲突。
- **减少初始投入** — 行级制冷与房间周围布局制冷的混合设计过于保守，会造成巨大的资金浪费。仅仅采用行级制冷装置对整个数据中心负载进行制冷可将这笔费用节省下 50%。
- **简化冗余** — 如果数据中心需要采用 (N+1、N+2 或者 2N) 冗余设计，通过避免使用房间周围的冷却装置从而也无需对其进行冗余，以此节省更多的资金。
- **降低用能成本** — 冷却装置的过多增设往往会导致用能支出增加，如果这些多余的冷却装置还是用定速风机（常见于房间周围布局的吊顶制冷装置），那么这笔支出的增加将更加明显。
- **减少维护费用** — 仅仅使用行级制冷装置省去了维护房间周围布局冷却装置的麻烦，从而减少了数据中心的运营支出。
- **减少不同厂商设备之间的不兼容** — 采用混合设计时，用到的系统往往来自多个不同的厂商。不同厂商设备使用的越多，也意味着数据中心运营维护也越趋于复杂。

## 行级制冷装置如何满足行级负载之外的制冷需求

虽然对于安装在 IT 机柜行内的行级制冷设备制冷机柜行外的 IT 设备之说不够直观，但这确是事实。在很多情况下，甚至是处于热通道气流遏制系统中的行级制冷装置都可为辅助 IT 设备负载提供制冷。图 2 为一个使用行级制冷装置制冷房内某辅助 IT 设备负载区域的数据中心地板布局图例。行级制冷装置与房间周围布局的冷却装置之间的交互作用比较复杂，通常借助于计算流体力学 (CFD) 建模进行分析。但是，对于这些行级制冷装置如何对其它热负载进行制冷，还是有一些基本的物理规律可循。

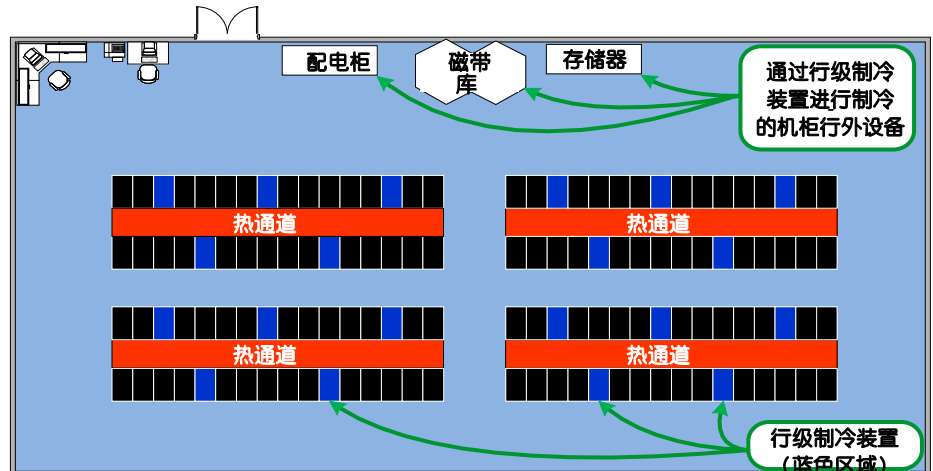


图 2 包含行级制冷设备和辅助 IT 设备的数据中心布局图例

那么，这些用于制冷行间 IT 设备的行级制冷装置是如何为这些辅助 IT 设备负载进行制冷的呢？首先，我们必须了解，行级制冷装置是能够向冷通道超额供应冷空气的可变容量设备。通常，这些设备可根据 IT 负载的进风口温度调节制冷容量，从而确保行间 IT 设备温度恒定。当系统平衡时，即冷却装置的送风温度等于 IT 设备的进风口温度。当机柜行外被添加了额外的热负载，由于空气混合会导致整个房间的温度提高。如果行级制冷装置感应到行级温度升高后，便会增加气流量，制冷量也会随之提高。由于增加的气流量大于行内 IT 设备的需求量，多余的气流会流向行外的空间，进而对房间及其内的所有设备进行制冷。这种行级制冷装置的水平气流模式与行级之外的 IT 设备产生的气流充分混合，以对房间进行有效制冷。图 3 说明了在此示例中增加辅助 IT 设备负载后的制冷过程

### >排热公式

$$Q = (CFM \times \Delta T) / 3200$$

其中，

Q = 需排除的显热（千瓦）

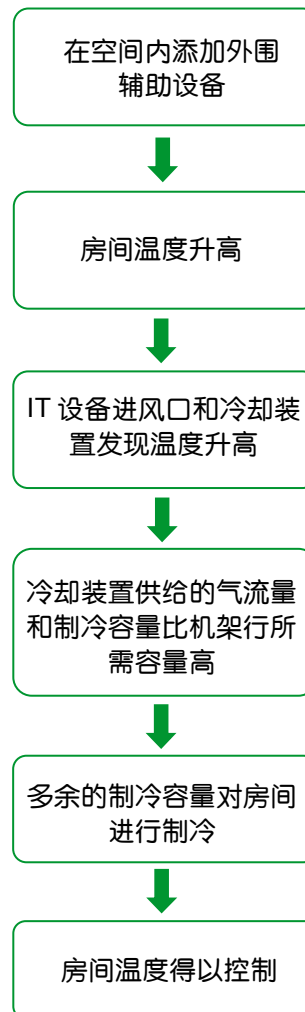
CFM = 冷却装置的气流（CFM）

$\Delta T$  = 冷却装置送风温度和回风温度之间的温差（华氏度）

3200 = 标准条件及单位转换下的空气特性常数

温度华氏单位转换摄氏单位  $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) * 5/9$

**图 3**  
添加辅助 IT 设备后制冷过程



上述步骤也同样适用于采用气流遏制系统的为“辅助 IT 设备负载供冷”的行级制冷装置。在这个例子中，房间温度升高虽然由机柜行外的设备添加造成的，但行级制冷装置依然可感知到温度的升高，进而提高气流量及制冷容量。从房间制冷的角度讲，装有冷却装置的机柜行的作用相当于冷空气的生成中心，所产生的冷空气与房间中的空气混合，从而降低热点温度。在所有情况下，由于行级制冷装置无法紧靠机柜行外的设备进行制冷，因此我们认为机柜行外设备的运行温度会

比行级设备稍高。那么，对于数据中心内温度升高的情况我们是否应当感到忧心忡忡呢？通常来说，行级制冷装置的送风温度（一般是 20°C 或者 68°F）低于 IT 设备容许的温度上限（ASHRAE 建议的最高温度为 27°C 或者 80.6°F）。在这种情况下，机柜行外的设备存在的小幅温度升高是可以接受的，可能不会比安装传统高架地板系统形成的温度升高差到哪里。

计算流体力学（CFD）建模是一种非常实用的工具，可以帮助我们了解数据中心空间内的气流流动情况。目前已有 200 余种 CFD 模拟，以全面分析辅助 IT 设备负载对于数据中心空间气流及温度的影响。

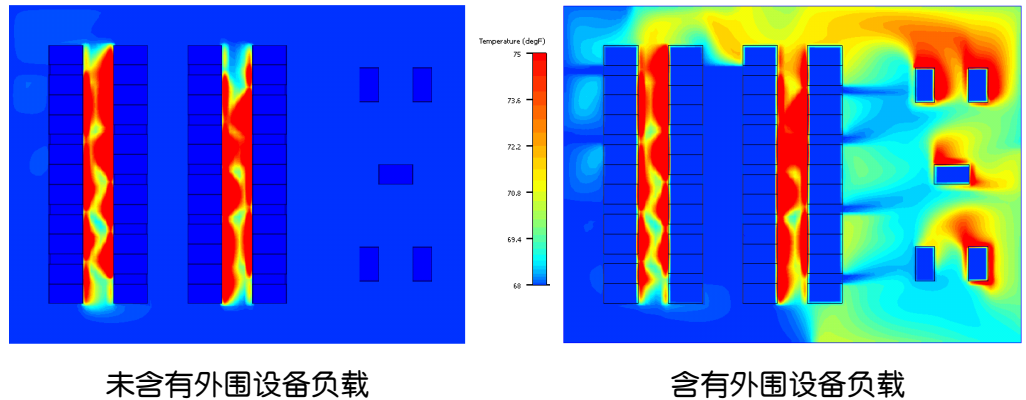
当数据中心内添加辅助 IT 设备负载时，设备周围的区域会立即升温，并高出数据中心内其它地方的温度。从本质上讲，这个设备成为了形成“热点”的额外热负载。由于缺乏直接针对该区域的制冷，其周边温度会随着负载的增加快速升高。这一温度升高可通过 CFD 研究进行估算，可以将其简化为一种基于地板区域、辅助 IT 设备和行级数据中心空间相关的功率以及辅助 IT 设备空间的形状和位置特点的关系。

辅助 IT 设备同时也会造成数据中心其它区域（行级设备安装区域）温度升高，而且极为均衡。可以根据简单的热平衡方程式估计升高的温度。从图 4 中的 CFD 图中我们可以看出，在添加了辅助 IT 设备以后，数据中心行级区域的温度均衡升高。虽然预计到辅助 IT 设备排风口会显现为热区，但正如图中淡蓝色区域所示，进风口温度仍然相对较低。因此我们可以看出，行级制冷单元为辅助 IT 设备提供了有效制冷。

## 独立负载制冷需求的评估建模

图 4

含有或未含有辅助 IT 设备负载的数据中心 CFD 图像。在包含外围设备负载的图像中，虽然温度有所不同，但机架行区域及外围设备区域各自温度却相当均匀。



基于 CFD 模型及热平衡方程式，我们制定了一种新的模型，用来识别影响机架行及辅助 IT 设备区域温度升高的参数，以帮助我们确定使用行级制冷装置为辅助 IT 设备制冷时的实际应用限制。该模型方法是否奏效的取决参数归为以下三类：

- 房间形状
- IT 设备
- 制冷配置

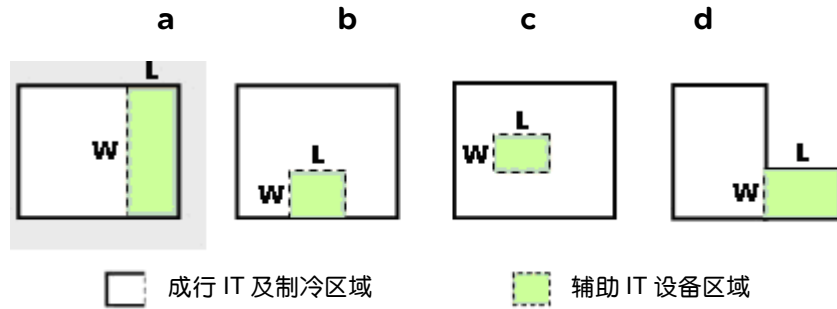
### 房间形状

CFD 分析表明了辅助 IT 设备安放位置与行级制冷装置对额外热负载制冷效果之间存在的最细微的关联。我们将辅助 IT 设备负载放在不同的位置——紧靠行级制冷装置的位置、房间边的位置、远离冷却装置的位置等等——进行模拟实验。在所有的情况之中，额外热量对房间平均温度的提升都比较均匀，基本上所有的行级制冷设备都在对辅助 IT 设备负载进行制冷。



不过，辅助 IT 设备负载的安放位置确实会对辅助 IT 设备区域的温度产生影响。图 5 列出了四处辅助 IT 设备的安装位置。当房间呈“d”字型时，辅助 IT 设备会显得更加孤立于机柜行主体区域之外（房间凸出部分）。在这种情况下，长（L）宽（W）比会对区域内的温度产生巨大影响。而在其他三种布局中，长宽比对温度的影响则无足轻重。

图 5  
数据中心辅助 IT 设备的安放位置



对于固定的密度而言，在这些情境中，外围区域温度的缓慢升高或机柜行区域温度的下降会造成数据中心内更大范围的无制冷附加区域。正如前文所提到的，由于额外热负载被平均分散于数据中心之内，房间几何形状对于机柜行区域内的温度影响则相对较小。

### IT 设备

数据中心 IT 设备的混合布局及功率密度对于辅助 IT 设备的排热及房间温度的升高都会产生影响，这是因为不同型号的 IT 设备具有不同的温差  $\Delta T$  特性。表 1 为本模型中的假定  $\Delta T$  值。

表 1  
不同型号 IT 设备的  $\Delta T$  值

| IT 型号       | $\Delta T(^{\circ}\text{F})$ | $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ |
|-------------|------------------------------|------------------------------|
| 刀片服务器       | 40                           | 22                           |
| 1U - 2U 服务器 | 30                           | 17                           |
| 其它型号        | 20                           | 11                           |

冷却装置的排热容量会随着回风温度的升高而升高。随着 IT 设备平均  $\Delta T$  值的变大或行级 IT 机柜功率密度的增大，排热温度会有所上升，冷却装置回风温度也会相应提高。扩大冷却装置的制冷容量意味着提高了为辅助 IT 设备热负载提供的制冷量，从而可以降低辅助 IT 设备区域温度。然而，随着辅助 IT 设备区域 IT 密度（例如，瓦/平方米）的加大，辅助 IT 设备区域的温度同样也会升高。

### 制冷配置

制冷配置的多个属性会对额外的辅助 IT 设备负载的排热产生影响，包括有行级制冷装置的型号及质量、冷冻水的进水温度（冷冻水的供水温度），及冷冻水温差。而这些属性也决定了制冷系

统的容量。冷却装置的控制系統也是制冷容量的影响要素之一。本模型假定制冷单元以最大进风量进行工作（保守假设）。

## 权衡工具：InRow™ 冷却辅助 IT 设备能力计算器

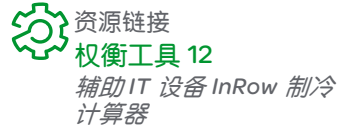
数据中心科研中心研发了一款基于 web 的权衡工具：InRow™ 冷却辅助 IT 设备能力计算器。只要输入前文提到的房间图形、IT 设备及制冷配置属性等相关参数，数据中心设计人员及运营人员即可借此工具确定是否可使用行级制冷装置为辅助 IT 设备负载提供制冷。

用户可通过该计算器评估一些“可调整参数”可能造成的影响，包括冷却装置安放位置、IT 设备及辅助 IT 设备负载允许的温度上限、辅助 IT 设备负载，及辅助 IT 设备负载所占数据中心面积比例等。

InRow™ 冷却辅助 IT 设备能力计算器会简要说明以下一种情况：

- 无需额外制冷容量。制冷容量大于总负载，行间 IT 设备及辅助 IT 设备温度介于设定范围之内。
- 制冷容量大于总负载，行间 IT 设备及辅助 IT 设备温度超出设定范围。在这种情况下，容限温度应调高或增加额外的制冷容量。
- 需在辅助 IT 设备区域添加额外的制冷容量，以支持辅助 IT 设备负载。这是因为，辅助 IT 设备负载超出了现有的制冷容量，该制冷系统已无法有效调节 IT 温度。

对于一般的数据中心，辅助 IT 设备负载所占的比例为 5-10%，通常不会出现上述第三种情况，但是对于辅助 IT 设备负载所占比例较高或辅助 IT 设备负载独立放置于数据中心房间凸出位置而言，唯一的解决之道便是在辅助 IT 设备区域增加额外的制冷。



## 其它的制冷需求

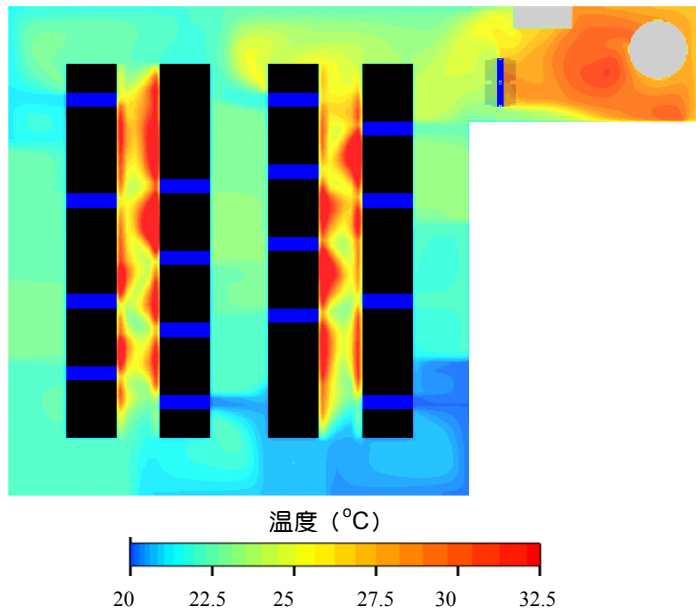


当需要额外的制冷容量以便为辅助 IT 设备负载提供充足制冷时，我们通常采取在房间周围布置冷却装置的方法。但实际上，只要将行级制冷装置至于分布于房间周围的辅助 IT 设备负载旁边，就可以充当周围布局制冷的作用。从总拥有成本（TCO）的角度来说（前期成本、能源成本、维护成本），较之需配有高架地板等配套系统的房间周围布局冷却装置而言，采取这种方法更加经济实惠。在第 130 号白皮书《数据中心行级及机柜级制冷架构的优势》中，我们将会就行级制冷架构的优势作进一步的说明。

以图 6 为例，这里有三种设计方案：即一个凸出区域无额外制冷的房间（图 6a）；一个凸出区域有额外制冷的房间（图 6b）和一个四方形的规则房间。这三种设计方案的行间 IT 设备及辅助 IT 设备总功率均相同（分别是 140 kW 及 12 kW），这是一般的设备比率（占 IT 总负载的 8%）。这三种方案的地板面积相同，最大允许温度假定为 ASHRAE 建议的 IT 系统温度范围上限，即 27°C 或者 80.6°F（机柜行及辅助 IT 设备区域内均为如此）。

图 6a 说明，房间凸出区域的辅助 IT 设备负载导致房间温度远高于 27°C 或者 80.6°F 的设计限值。凸出区域内的负载放置越偏，则其距离行级制冷装置就越远，温度也就越高。事实上，除了辅助 IT 设备负载超出允许温度的情况外，离房间凸出区域最近的 IT 机柜的温度同样也比较高。

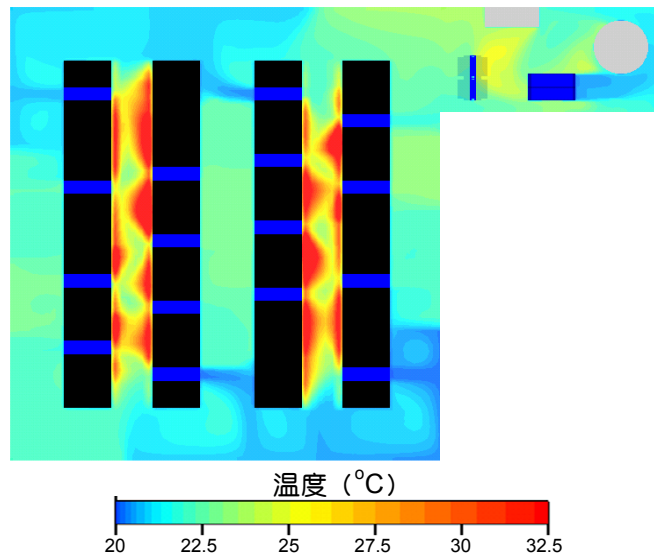
**图 6a**  
对房间凸出区域内的外围设备  
不进行制冷的数据中心示例



**图 6b** 说明，尽管在房间凸出区域添置了两台行级制冷装置可将该区域的温度降低至设定的允许温度范围之内，但是，由于该房间的布局形状，凸出区域的温度依然略高于行级制冷区域。

很明显，如果可能的话，数据中心的形状最好是规则的四边形。然而，在条件不允许的情况下（例如，受限於数据中心实际的房间空间结构），应用行级制冷即是一项有效的制冷方案。对于房间凸出区域的制冷问题，可如图添加额外制冷。在这种情况下，两台额外添加的行级制冷装置确实可以将温度降低至限制范围内，并可提供一定的冗余措施（尽管在制冷失效时辅助 IT 设备的温度将会升高）。而在某些特定情况下，比如受制于设备的间隙及介入的空间的局限，冷却装置的位置选择十分有限。一般情况下，行级制冷装置基本可放置于任何位置，只需注意其前后的间隙空间和电源线及制冷接线的可及性，必要时可以使用螺栓托架加以固定。通常，由于辅助 IT 设备负载所造成的热量过于扩散，不利于冷却装置有效捕捉热量并对其进行中和，因此常采用的一种简单方法就是将冷却装置对准设备或其周围制冷，以将热空气“融合”到允许温度。

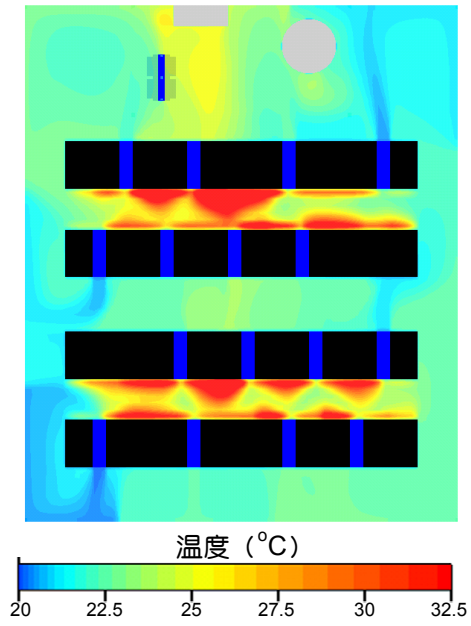
**图 6b**  
对房间凸出区域内的外围设备  
进行制冷的数据中心示例



**图 6c** 是一个无凸出区域的规则数据中心。如图所示，当数据中心是一个标准的四边形状时，通常无需额外的制冷。4 排机柜内的行级制冷装置不但可以制冷行内的负载，同时也足以兼顾辅助 IT 设备的热负载。尽管辅助 IT 设备区域内温度略高于机柜行内的温度，但依然介于设计限值范围之内。



图 6c  
房间无凸出区域的规则数据中  
心示例



综合以上三种情形的 CFD 分析结果，权衡 工具的 InRow™ 冷却辅助 IT 设备能力计算器计算出，房间有凸出区域的数据中心需要配有额外制冷，而房间无凸出区域的规则数据中心则无此必要。

## 结论

即使一些负载未安放在整齐的机柜行之内，单纯使用行级制冷架构为整个数据中心提供制冷仍不失为一种实用有效的方案。行级制冷装置在为同行负载制冷的同时，也可有效兼顾房间的其它区域。当机柜行外的设备功率占总设备功率的比重不大时（这种情况非常普遍），该方法十分奏效。

较之房间级冷却装置和行级制冷装置混合使用的方案，单纯采用行级制冷架构具有许多优势。例如，可以提高制冷效率、降低成本及免去了使用高架地板的麻烦等等。

大量的 CFD 分析可为该方案具有的制冷有效性予以佐证。只要提供地板布局、行级制冷配置以及 IT 负载属性及限制等方面的信息，权衡工具 12 “InRow™ 冷却辅助 IT 设备能力计算器”即可对数据中心制冷容量做出评估。

在需要为辅助 IT 设备负载提供额外制冷的情况下（例如，外围负载所占比例高于一般数据中心的規定，或负载孤立位于房间凸出区域），由于物理基础设施已经固定，采用额外的行级制冷装置即为一种十分有效的制冷方案。

### 关于作者

**Jim VanGilder** 在数据中心制冷及模拟领域从事研究工作已有十余年。在此之前，他一直致力于计算流体力学（CFD）在电子制冷领域的应用。目前，他正负责施耐德电气数据中心设计及管理软件产品的制冷预测研发工作。Jim 拥有杜克大学机械工程硕士学位，并具有马萨诸塞州职业注册工程师资质。他已独立撰写或与他人合作完成 20 余篇有关数据中心制冷方面的技术论文，并在该领域拥有多项专利，同时有几项专利已在申请之中。Jim 目前为美国采暖制冷空调工程师学会（ASHRAE）内部环境建模委员会 4.10 的副主席。

**Wendy Torell** 是施耐德电气数据中心科研中心的高级战略研究员。Wendy 通过向客户提供关于可用性科学解决方案和设计实践方面的咨询，来优化数据中心环境的可用性和能效。Wendy 在美国联邦学院（Union College）获得了机械工程学的学士学位，而后在罗德岛大学（University of Rhode Island）获得 MBA 工商管理硕士学位。Wendy Torell 是美国质量协会认证的工程师，



点击图标打开相应  
参考资源链接



数据中心行级及机柜级制冷架构的优势  
第 130 号白皮书



浏览所有 白皮书  
[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



InRow™ 冷却辅助 IT 设备能力计算器  
权衡工具 12



浏览所有 TradeOff Tools™ 权衡工具  
[tools.apc.com](http://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](mailto: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