

数据中心在制冷系统中断期间的温升

第 179 号白皮书

版本 0

作者 Paul Lin
Simon Zhang
Jim VanGilder

> 摘要

数据中心架构及其 IT 负载在制冷中断后对持续运行的 IT 设备能够获得的时间有重大影响。数据中心的一些技术趋势，比如：提高功率密度，提高送风温度，选用“合理配置”的制冷设备，以及采用气流遏制系统，在实际上，都可能会加快数据中心的温升速率。然而，为关键制冷设备配置后备电源，选择具有快速重启功能的设备，保持充足的储备制冷容量，以及部署蓄冷装置都可以有效地应对突发的断电情况。本白皮书将探讨影响瞬时温升的主要因素，并提供切实可行的策略来确保断电期间的制冷问题。

简介

IT 设备通常都以不间断电源（UPS）作为后备供电，UPS 将在断电后为 IT 设备提供电力直至发电机启动。但是，制冷系统组件如 CRAC（机房精密空调）或 CRAH（机房空气处理装置）的风机、冷冻水泵和冷水机（以及连带的冷却塔或干式冷却器）通常都不接 UPS，甚至可能都不接备用发电机。其结果就是，数据中心的送风温度可能在停电后迅速升高。

虽然数据中心制冷系统的设计备受重视，但大多数时候所关注的重点是提高它在正常供电状态下运行的效率和可靠性，而对紧急情况下的运行状态缺乏关注。导致这种情况的部分原因是数据中心设计人员和管理人员缺乏简单的工具来帮助他们预测在这些紧急情况下的制冷性能情况。然而，一个最近开发出来的建模工具¹可以轻松估算数据中心在制冷系统中断后的温升情况。所预测的数据中心可以采用各种不同的设施架构、后备电源的配置，以及冷冻水（蓄冷）的储备。

同时，由于数据中心专业人员按照业内的技术趋势选用“合理配置”的制冷容量、提高机柜的功率密度、采用气流遏制系统以及提高送风温度，使为断电情况做好应急准备变得更加重要。在 ASHRAE 最近修订的热指南²中，其允许的数据中心送风温度比以前的允许值要高，这也是造成送风温度提高趋势的一部分原因。如果不设计其它的补偿方式，所有这些业内趋势都会导致断电后安全、可靠运行时间的缩短。

影响数据中心温升速率的因素

> 示例 1 的假设条件

- 气流完美混合的数据中心
- 数据中心尺寸：长 30 米，宽 24 米，高 4 米，地板通道深 0.6 米
- 高架地板送风，冷冻水式 CRAH，无气流遏制系统
- 冷冻水送风温度设定值：7.2°C (45°F)
- 冷冻水送回水温差：8.3°C (15°F)
- CRAH 风量：45 m³/s (96,000 cfm)
- CRAH 送风温度设定值：20°C (68°F)
- 无附加的蓄冷装置
- IT 负载：400 kW
- 机柜平均功率密度：4.0 kW
- 机柜平均重量：545 kg (1200 lb)
- 仅 IT 设备连接 UPS
- 所有 IT 设备和制冷设备都连接到发电机
- 发电机启动时间：60 秒
- 冷水机重启时间：12 分钟
- 不考虑墙体的传热和热容

基本上，数据中心消耗的所有电量都会转变成热量。在正常、稳定的运行状态下，散热量与制冷量会达到动态平衡。但在制冷系统中断期间，散热量只能通过数据中心内的空气、IT 设备和建筑围护结构的吸热来进行平衡。对于采用冷冻水 CRAH 的设施来说，如果冷冻水能够借助备用电源进行循环，管道系统和蓄冷罐里的冷冻水也都可以用来吸收热量。

对于固定的 IT 负载，如果数据中心的体积越大，那么它在制冷中断时的温升会越慢。然而，随着设施内部署 IT 设备的增多，空气和建筑围护结构减缓温升的效果会减弱。这时，IT 设备本身的热容量³就变得更为重要。尽管不是那么直观，甚至服务器“热”的内部也可以贡献热容量来帮助减缓数据中心的温升。（随着服务器进风温度的升高，服务器将热量传递到内部气流的效率会降低；这使得服务器的散热量会被它自身的固体组件所吸收，比如机箱和母板。）

当市电中断时，采用传统 CRAH 或行级冷却设备的冷冻水系统比采用液冷和风冷式的 DX 系统更有优势⁴。首先，由于没有压缩机或其它制冷循环组件，CRAH 的耗电量比 DX 机组低，因此更容易使用 UPS 和/或发电机进行供电。其次，只需最少的后备电源，CRAH 就可以迅速使用储存的冷冻水（如果有的话）。相反，乙二醇冷却和水冷的 DX 系统则需要更多的后备电源，并且直到 DX CRAC（直接膨胀式机房精密空调）重启（重启可能需要几分钟）都不能利用储存的冷量。风冷式机房空调直膨式机组应对紧急状况的能力最差，因为整个系统，包括干式冷却器（用于把热量转移到室外空气中去），都必须由后备电源供电，并且需要较长的重启时间。

为了说明断电后数据中心温升的情况，我们将使用两种不同的预测模型来进行举例说明：

- 空气充分混合模型
- 计算流体动力学（CFD）模型

空气充分混合模型¹是将数据中心理想化成一个气流完美混合的单一 CRAH 或 CRAC 以及单一的 IT 负载。因此，在任何给定的时间，它都拥有唯一均匀的数据中心温度，唯一通道内温度以

¹ Zhang, X. 和 VanGilder, J., 2011 年，“实时数据中心瞬态分析”，Proceedings of InterPACK，美国俄勒冈州波特兰市，7 月 6-8 日。

² ASHRAE. 2011, 《数据处理环境的热指南》，由 ASHRAE 技术委员会 9.9 发布。

³ 热容量是一个物体储存热量的能力。在某种意义上说，服务器、墙体等在制冷中断时都会吸热，然后在制冷恢复后释放热量。

⁴ 如需了解不同类型制冷系统的详细信息，请参见第 59 号白皮书 [《数据中心的各种制冷技术》](#)。

及唯一冷却器的送风温度等。该模型从整体来看是严格正确的—对于某个特殊的位置并不精确—但足以满足白皮书中对 IT 设备进风温度的研究。简单的空气充分混合模型的设计参数包括冷冻水的蓄冷量，CRAH 风机、冷却水泵和制冷设备与 UPS 和发电机的连接情况。该模型的构建速度和简易性使我们非常容易并且迅速的检讨各种假定场景下的结果。因为我们现在的主要目的是了解一般情况下断电时与升温相关的机理以及如何制定相应的设计策略（而不是针对某一特定的数据中心），空气充分混合模型正是我们的首选工具。

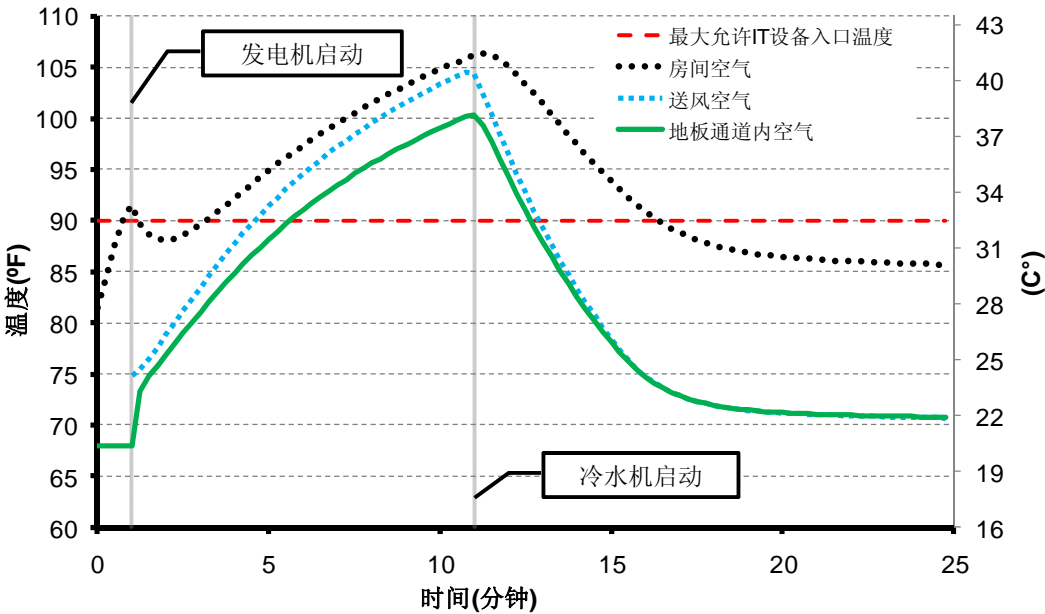
而 CFD 模拟则需要熟练的技术人员来完成，并且通常需要计算数小时才能得到可用的结果。此外，时变或瞬变数据中心的预测模型通常非常复杂，因此一般不会采用。但是，从另一方面看，它的复杂特性也让它能够提供更断电后温度的详细的空间变化信息。

空气完全混合模型示例

图 1 所示的是使用空气完全混合模型预测数据中心（见边栏）在电源中断后的升温情况。在断电后，室温迅速上升，而地板通道内的空气温度保持恒定，这是因为此时 CRAH 机组处于“关闭”状态。1 分钟后发电机启动，向 CRAH 风机和冷冻水水泵供电。这时室温先下降然后再次升高—送风温度和地板通道内的温度也与室温一起上升—这是因为管道系统里冷冻水逐渐变热。12 分钟后，冷水机组开始冷却冷冻水，并且所有温度开始朝着正常值的方向进行恢复。在这个示例中，室温在断电后在稍微超过允许值的状态维持了约 3 分钟，然后一直保持在不可接受的高温区域直到 17 分钟后。

图 1

示例 1 在断电后一系列空气温度的变化情况



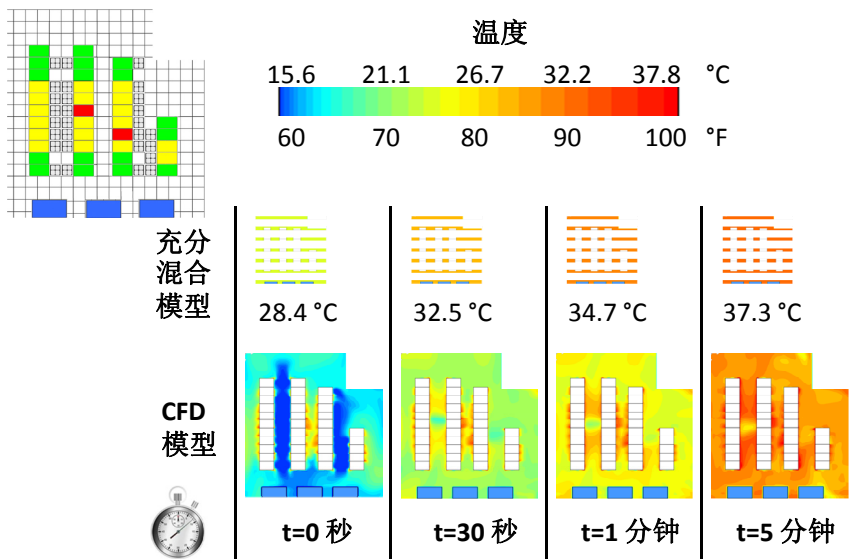
> 示例 2 的假设条件

- 数据中心尺寸：长 10 米，宽 10.7 米，高 2.6 米，地板深 0.61
- 高架地板送风，冷冻水式 CRAH，无气流遏制系统
- CRAH 每台风量：2.1 m³/s (4500cfm)
- CRAH 送风温度设定值：20°C (68°F)
- IT 负载：400 kW
- 仅 IT 设备连接 UPS
- 不考虑墙体的传热和热容
- 机柜平均重量：545 kg (1200 lb)
- 机柜风量：125 cfm/kW
- 机柜功率密度：
 - 1 kW
 - 2.5 kW
 - 6 kW
- 地板
 - 无孔地板
 - ▣ 穿孔地板

计算流体动力学（CFD）模型示例

图 2 所示的是利用 CFD 模型对另外一个数据中心（见边栏）在制冷中断后的升温情况。出于简单方便的考虑，我们只模拟了制冷中断的场景并且假设在模拟时间段内后备电源或其它电源没有让任何制冷设备得以恢复。为了方便比较，我们也在这里提供了空气完全混合模型下的结果。从数据上可以清楚的看到，大约 5 分钟后，所有位置的温度都达到不可接受的温度范围。此外，由于机柜反复循环自己的内部气流，“冷”通道很快变得比“热”通道还热。虽然 CFD 模型可以显示出详细的空间温度变化，但是空气完全混合模型也能有效的体现出总体室温随时间的变化。

图 2
示例 2 在断电后的详细的
温度变化



对紧急制冷性能造成负面影响的趋势

一些用于提高数据中心正常运行条件下性能、效率和可管理性的趋势和最佳实践可能对断电后的系统运行产生负面影响。这些趋势和实践包括：

- 合理配置制冷容量
- 提高功率密度和实施虚拟化
- 提高 IT 设备进风温度和冷水机设定点温度
- 为机柜和机柜行部署气流遏制系统

合理配置制冷容量

合理配置（比如，使制冷容量与实际IT负载一致）的系统总制冷量可以带来多种好处，包括提高能效和降低投资成本（详情请参见第 114 号白皮书 [《实施节能的数据中心》](#)）。然而，当面对断电后出现不可接受的高温状况时，过量的制冷容量是必要的。事实上，如果总的制冷容量恰好与热负荷完全一致，理论上可以说设施是不可能被冷却到其原始状态的，因为在断电后，热量总是会高于IT负载。就如同多台空调比单台空调能更快地为卧室制冷一样，额外的CRAH或CRAC制冷容量可以帮助数据中心更快地恢复到断电前的状态。需要注意的是，无论是哪种架构的数据中心，冷量分配（气流分配）必须合理，即CRAH或CRAC的冷量可被实际利用（通过使用盲板，毛刷，冷/热通道等）。

提高功率密度和实施虚拟化

紧凑的 IT 设备设计使数据中心机柜功率密度不断攀升。刀片服务器的出现以及某些类型的通信设备可以使机柜功率密度高达 40kW/机柜。

另一项技术趋势——“虚拟化”，也极大提高了我们利用和扩展计算功率的能力。比如，相比传统非虚拟化的服务器，虚拟化的服务器可以使CPU利用率从 5%-10%提高到 50%，甚至更高。关于虚拟化对物理基础设施产生影响的详细探讨，请参见第 118 号白皮书 [《虚拟化和云计算：优化电源、制冷和管理，使效益最大化》](#)。

提高机柜功率密度和实施虚拟化都有可能固定空间内释放更多的热量，这会导致数据中心操作人员在断电后 IT 进风温度达到临界值前可以利用的响应时间减少。

提高 IT 设备进风温度和冷冻水设定点温度

ASHRAE 技术委员会 9.9（关键任务设施，技术空间和电子设备）制定并放宽了推荐用于数据中心的运行范围。提高 IT 设备进风温度和冷冻水设定点的温度可以让制冷系统在节能冷却模式下额外运行更多的小时数。

根据估算，冷水机设定点温度每升高 1°C (1.8°F)，就可以节省大约 3.5% 的冷水机功耗⁵。换言之，设定点温度降到固定环境温度以下越多，冷却冷冻水所需要的成本将大幅增加。（这直接适用于冷冻水系统，这种趋势也同样适用于风冷式 DX 系统。）这一事实迫使数据中心经理让数据中心在正常工作条件下尽可能保持较高的温度。结果就是，较高的 IT 设备进风温度导致数据中心操作人员在断电后可以利用的响应时间缩短。

为机柜和机柜行部署气流遏制系统

气流遏制系统可以提高传统数据中心制冷系统的可预见性和效率，比如配置高架地板或硬地板的周边制冷系统（例如：洪灌送风）。如需了解更多关于气流遏制系统优点的信息，请参见第 135 号白皮书 [《热通道与冷通道气流遏制对数据中心温度和效率的影响》](#)。

图 3 所示为机柜行和机柜气流遏制系统的安装和气流组织。



图 3
机柜行和机柜气流遏制系统

然而，气流遏制系统可以阻止气流与数据中心其它区域气流的混合，这会影晌断电期间的温升。不同类型的气流遏制系统对温升的影响各有不同，取决于制冷设备与后备电源的连接方式。

对于采用行级冷冻水冷却器的热通道气流遏制系统，假设冷却器没有接 UPS 并且气流遏制系统的门在制冷中断时保持关闭，那么会有大量的热风从各种位置泄漏再次循环到 IT 设备进风口，这将导致 IT 设备的进风温度迅速上升。如果冷却器接了 UPS，但是冷冻水泵没有接 UPS，那么冷却器只会把风输送到冷通道，而不会提供主动制冷。这时，只有冷却器的热容量（冷却盘管，盘管内的冷冻水等）可以被利用。如果冷却器和冷却水泵都接了 UPS，那么温升情况将视冷水机组的配置而定（比如：蓄冷罐的配置、冷水机的启动时间等）。

对于采用穿孔地板的冷通道气流遏制系统，来自高架地板通道内混凝土地板以及冷冻水管道等的热容可以帮助缓解温升。如果是配有行级冷冻水冷却器的冷通道气流遏制系统，如果冷却器没有接 UPS，那么气流遏制系统里的负压将会从机柜和气流遏制系统泄漏位置吸入热风，从而导致 IT 设备进风温度升高。如果行级冷却器接了 UPS，那么温升情况将取决于冷水机组的配置（比如：蓄冷罐的配置、冷水机的启动时间等）。

⁵ASHRAE，2005 年，《数据通信设备中心的设计依据》。亚特兰大：美国采暖、制冷与空调工程师协会
施耐德电气—数据中心科研中心

对于机柜气流遏制系统，情况基本上与配置行级冷却器的冷通道和热通道气流遏制系统类似。

减缓温升速率的策略

尽管最近数据中心的技术发展趋势带来了挑战，但是我们还是有可能通过改善设施制冷系统的设计来实现应急情况下较长的运行时间。根据设施所承担的任务，在长时间断电的情况下，更为实际的做法是在现有架构的基础上尽量延长运行时间，同时，做好最终关闭 IT 设备电源的准备。本章节将介绍 4 种减缓温升速率的策略：

- 保持充足的储备制冷容量
- 为制冷设备配置后备电源
- 使用具有快速重启功能的设备
- 使用蓄冷装置度过冷水机重启这段时间

保持充足的储备制冷容量

正如我们前文所讨论的，“合理配置”制冷容量的行业技术趋势在正常运行条件下是可行的，但是即使只稍微比负载大一点的制冷容量都可以大幅延长可以用来冷却过热设施的时间。提高制冷系统效率的关键在于随着 IT 负载的增加应相应扩大制冷机组（比如：冷水机）和制冷分配装置（比如：CRAH）。这样既能提高数据中心的效率，又能保持充足的储备制冷容量。比如，一个设计最大 IT 负载为 1MW 的数据中心，在最开始的时候可能只有 100kW 的 IT 负载。当冷冻水系统管网按照数据中心最大负载设计规划时，安装的冷水机组可能仅支持 250kW 总热负荷，或者大约 140kW 的 IT 负载。实际的“过度规划”视冗余要求和组件效率而定。

为制冷设备配置后备电源

从图 1 中可以看到，第一个温度峰值的发生是因为 CRAH 的风机和冷冻水水泵不能正常运行，并一直持续到发电机在断电一分钟后启动为负载供电时。这次温升的最大驱动因素是 IT 功耗和风量的比例。在制冷系统发生故障后，在设施热容量（比如：墙体、通道、服务器等）能够有效吸收热量前，所有的 IT 功耗都将用来加热空气。温升速率很容易立即达到 5°C/分钟（9°F/分钟），根据功率密度和房内布局的不同，甚至可能更高。除非 CRAH 风机和冷冻水水泵接了 UPS 和/或数据中心的负载非常小，否则，这次温升几乎都会超过磁带供应商所规定的温度梯度变化值或者 ASHRAE 热指南中的相关要求。

在低负载设施中（比如：20%负载），在发电机启动前，仅将 CRAH 或 CRAC 连接到 UPS，可以帮助维持适当的制冷气流，防止 IT 设备热排风直接循环回到 IT 设备进风口，并且可以帮助将热量转移到设施内具有预冷热容量的物体内部。除此之外，如果再将冷冻水水泵连接到 UPS，可以在发电机启动前更有效地减缓初次温升的峰值，特别是采用冷冻水式 CRAH 机组的系统。这时，仅靠冷冻水和管道系统的热容量就能较大程度上延长断电后可用的运行时间。如果是未配置自然冷却盘管的乙二醇 DX 系统，那么将冷却水泵连接到 UPS 一般不会发挥作用，因为需要使用发电机电源来重启 CRAC。

如果制冷机房离数据中心较远，或者冷冻水管网使用双环路系统（用于冗余配置和实现高可用性），管道内会储存大量的冷冻水。如果数据中心位于大型多用途建筑内，数据中心很可能与建筑共用冷水机组，这也可以提供庞大的制冷容量。值得注意的是，数据中心设计者和运营者应当与设施管理人员进行沟通，以确保在紧急情况下数据中心具有最优先权来使用储存的冷冻水。

对于以上两种情况，应视风机、冷冻水水泵和后备情况，它们可能需要配置独立的 UPS 以避免干扰 IT 设备。如果风机、冷冻水水泵和 IT 设备使用同一个 UPS 系统，则应为机械负载配置隔离变压器。

> 冷水机重启时间

冷水机重启时间是指从冷水机断电开始到它能够重新提供冷冻水的这段时间。所有冷水机都有自我保护功能以免在异常情况下被损坏。

一旦电源恢复，冷水机会检查组件状态，比如控制板、压缩机、润滑油系统以及水系统。如果系统检查结果显示正常，那么冷水机将启动并尽快恢复冷冻水出水温度。整个过程需要几分钟的时间，并且取决于冷水机机组的类型。影响冷水机重启时间的因素包括冷水机机组的配置、润滑油的压力、控制器重启的时间、诊断检查能力和断电类型。

使用具有快速重启功能的设备

冷水机控制系统一般能够撑过时间短于四分之一周期的断电（50Hz 系统为 5 毫秒，60Hz 系统为 4 毫秒）。如果断电时间更长，那么在电源恢复时（市电或发电机电源）则需要重启。重启时间一般为 10-15 分钟（见边栏）。随着冷水机组技术的进步，一些冷水机组的重启时间可以降低到 4-5 分钟，缩短了 60%。冷水机快速重启功能不仅对初期的断电至关重要，当 ATS（自动转换开关）将电源从发电机切回市电过程中瞬时掉电（100 毫秒至 1 秒）时也非常关键。

让我们再回到图 1，第二个温度峰值的发生是因为冷水机需要 12 分钟的时间进行重启来承担制冷负载。但是，如果重启时间为 4 分钟，数据中心的温度将只会稍微高出可接受的限值 32°C（90°F）而不是超过 41°C（105°F）。

高成本的带快速启动功能的冷水机可能不足以在高密度数据中心里防止不可接受温升的出现。然而，在低密度数据中心，该机组在所有情况下都是非常有用的，它可能在断电期间将温度完全控制在可接受的限值内。此外，它还可以实现在正常运行条件下采用更高的冷冻水和 IT 温度，同时降低在紧急情况下温度超过可接受限值的风险。通过分析冷水机机组的类型和紧急情况操作功能的重要性，我们需要在投资成本和运营成本之间找到一个平衡点。

使用蓄冷装置度过冷水机重启这段时间

对于冷冻水系统来说，可以利用附加的冷冻水储备制冷直到冷水机重新启动。如果冷冻水系统的冷冻水水泵和 CRAH 风机接了 UPS，以及蓄冷罐选择的足够大，可以将温度在紧急情况下控制在偏离正常运行状况很小的范围内。

用于制冷系统的低压蓄冷装置比将冷水机接到 UPS 的初始成本低得多，甚至可以采用塑料材质的蓄冷装置。蓄冷装置的体积和类型取决于多种因素，包括空间的限制和承重的能力（如果安装在屋顶或抬高的地板上）。尤其建议用于高密度的数据中心，因为即使非常短暂的制冷中断都会造成很大麻烦。

蓄冷装置应该考虑内部的温度分层。对于直径较大的蓄冷罐，混合层的高度可以通过利用布水器来控制热回水进入罐内的速度来降低。此外，还应该设置旁通管以便可以在冷水机重启后将蓄冷罐旁通。这样做可以立即将最冷的冷冻水输送到数据中心而不是用于重新冷却蓄冷罐内的水。

减缓温升速率策略的比较

现在我们再回到示例 1，利用简单的“空气完全混合”模型来考虑在市电中断后各种缓解温升策略的相对优缺点。在图 4 中，“基准线”表示的是与图 1 相同的房间空气曲线，即假定 CRAH 风机和冷冻水水泵只接发电机。如果将 CRAH 风机连接到 UPS，在发电机启动前的初始阶段会有一定的温升缓解，因为地板通道内预冷的冷热容可以提供额外的热容量。（需要注意的是空气完全混合模型可能会低估将 CRAH 或 CRAC 连接到 UPS 所起到的作用，因为它没有考虑恰当的气流管理所提供的额外优势，即避免热风容易地再循环到机柜的进风口。）

如果将 CRAH 风机和冷冻水水泵都连接到 UPS，则可以消除初始的温度峰值，因为管道系统的热容量可以立即发挥作用。如果冷水机的重启时间从 12 分钟缩短到 4 分钟，可以更快的恢复到可接受的温度范围，最高室温也将从 41°C（106°F）降至 37°C（98°F）。只单独增加蓄冷装置不会对发电机启动前的初始阶段产生任何作用，因为 CRAH 风机和冷冻水水泵都没有连接到 UPS 上。但是，一旦发电机启动，冷冻水的储备可以有效地将数据中心的温度控制在接近可接受限值左右直到（标准的）冷水机能够重启。最后，如果采用以上所有策略，只会在（具有快速启动功能）冷水机重启之前出现少许的温度升高，但不会超过可接受的限值。

图 4

示例 1 在断电时执行各种温升减缓策略后的室温变化状况

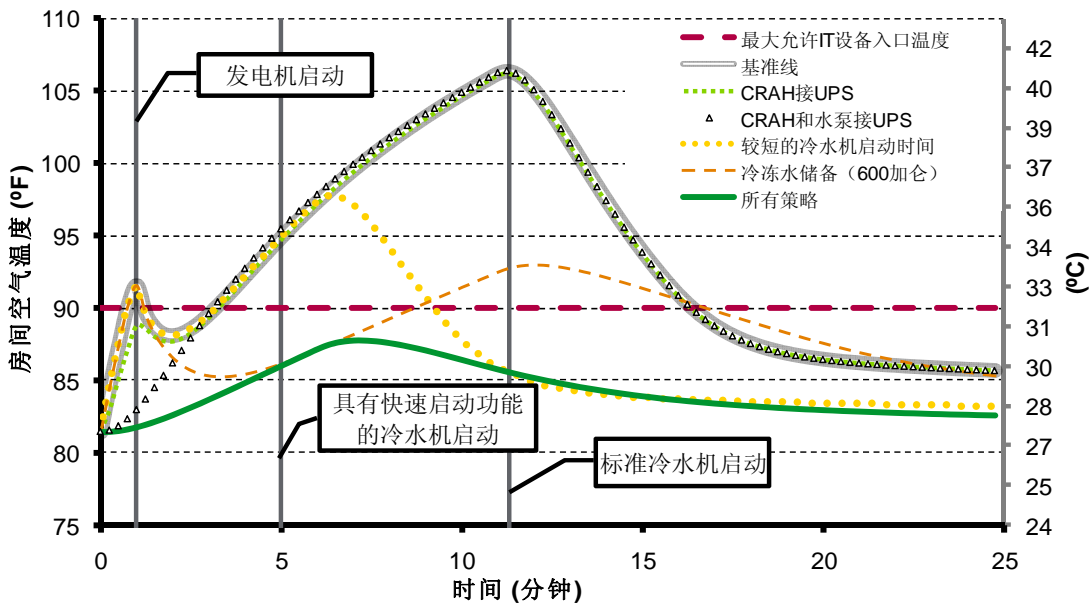


表 1 根据我们所给出的数据中心示例，对上文所讨论的 4 种基本策略进行了比较。对于冷冻水 CRAH 系统，最好的选择是首先确保 CRAH 风机和冷冻水水泵连接到发电机（如图 4 中的“基准线”所示），然后增加蓄冷装置（策略 4）来控制冷水机重启期间的温升。对于高密度机房（初始温升峰值较大），则可能有必要采用策略 2，将 CRAH 风机和冷冻水水泵连接到 UPS 以避免在发电机启动前出现不可接受的高温。对于新建数据中心，带快速启动功能的冷水机组（策略 3）可能是上策，但对于改善已有数据中心在紧急情况下的响应，其他策略更为经济。

表 1

减缓温升策略的对比

解决方案		目标	应用评价
1	将 CRAH 或 CRAC 风机连接到 UPS	降低发电机启动前初次温升的峰值	<ul style="list-style-type: none">本表内唯一对风冷式 DX 系统有效的策略对水冷式和乙二醇冷却式 DX 系统可行对冷冻水式 CRAH 最好采用下述的策略 2
2	将 CRAH 或 CRAC 风机以及冷冻水水泵连接到 UPS	消除发电机启动前初次温升的峰值	<ul style="list-style-type: none">对于水冷式和乙二醇冷却式 DX 系统来说，效果并不比策略 1 更好对于冷冻水式 CRAH 和“多重制冷”式 DX CRAC 系统来说，效果比策略 1 好
3	使用具有快速启动功能的冷水机组	降低发电机启动后冷水机重启前二次温升的峰值	<ul style="list-style-type: none">对冷冻水式 CRAH，和采用冷水机的“多重制冷”DX CRAC 系统有效
4	进行冷冻水的储备	降低发电机启动后冷水机重启前二次温升的峰值	<ul style="list-style-type: none">对冷冻水式 CRAH，和采用冷水机的“多重制冷”DX CRAC 系统有效对于冷冻水式 CRAH 系统，如果和策略 2 结合使用，效果更好

对于 DX CRAC 系统，第一步也是将所有组件连接到发电机。对于风冷式，乙二醇冷却式和水冷式机组，将 CRAC 风机连接到 UPS（策略 1），在发电机启动前的初始阶段发挥作用也有可能是可行的。（需要注意的是，对于部分 CRAC 机组，将风机连接到 UPS 反而可能会在电源恢复时影响 DX 系统的启动时间）。对于不配置自然冷却盘管的乙二醇冷却式或水冷式 DX 机组，将水泵连接到 UPS 不会带来额外的好处，因为冷却液直到 CRAC 重启后才能被使用。但对于配置了单独的自然冷却盘管的乙二醇冷却式或水冷式 DX 机组，将水泵和风机连接到 UPS 则可以带来好处。当然，也可以利用 UPS 为整个 DX CRAC 供电；但需要加大机组型号，而且价格昂贵，并导致正常运行条件下的效率低下。

对于带有“多重制冷”功能的 DX CRAC 系统，通过增加冷冻水盘管来提供制冷量的冗余。制冷量可以来自内部压缩机（通过 DX 盘管）和外部冷水机（通过冷冻水盘管）。对于这样的系统，将 CRAC 风机和冷冻水水泵连接到 UPS 更为有效。因为 CRAC 能够比冷水机更快的重启，蓄冷（策略 4）也可以发挥作用。

机柜功率密度对蓄冷容量的影响

图 5
不同机柜功率密度下，室内空气温度在断电后的变化趋势

>图 5 的假定条件

- 图 4 中的数据中心，采用全部策略（CRAH 和冷冻水水泵接 UPS，配置蓄冷装置）
- 服务器 /IT 机柜数量（热容量）在所有假设场景下相同
- CRAH 和冷水机容量随 IT 负载增加而增加
- 蓄冷容量固定不变 2.3 m³ 冷冻水（600 加仑）
- IT 负载随机柜功率密度增加而增加：400kW、800kW 和 1.2MW

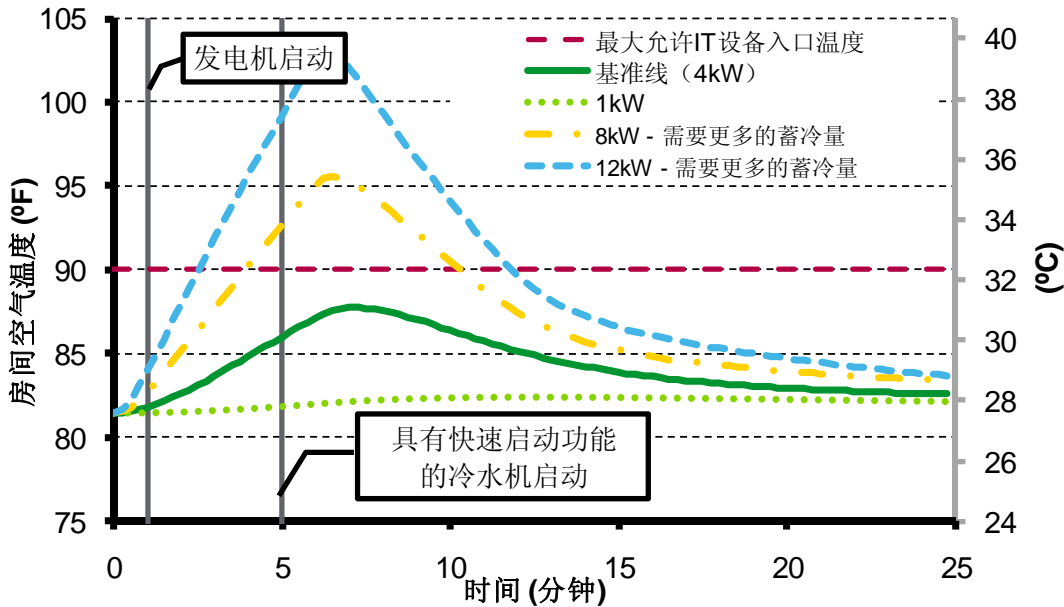


表 2 所示为两种类型冷水机在 4 种不同机柜功率密度下为实现不超过 ASHRAE 允许温度 32°C（90°F）所需要的蓄冷容量。本表假设管道尺寸在所有假设场景下都相同，但在实际中，管道直径将随 IT 负载增加而变大，从而稍微减少所需的冷冻水储量。

表 2
温度控制在 ASHRAE 允许的 IT 进风温度 32°C（90°F）范围内所需的蓄冷容量

机柜功率密度	总IT负载	CRAH & 冷水机容量	标准冷水机 (12 分钟)	快速启动式冷水机 (5 分钟)
1kW/机柜	100 kW	150 kW	0 m³ (0 加仑)	0 m³ (0 加仑)
4kW/机柜	400 kW	600 kW	4.9 m³ (1,300 加仑)	1.3 m³ (350 加仑)
8kW/机柜	800 kW	1,200 kW	14.4 m³ (3,800 加仑)	4.9 m³ (1,300 加仑)
12kW/机柜	1,200 kW	1,800 kW	26.5 m³ (7,000 加仑)	9.5 m³ (2,500 加仑)

结论

当今，数据中心新技术趋势的出现，包括提高功率密度、提高送风温度、“合理配置”制冷设备以及部署气流遏制系统，导致数据中心的温度可能会在制冷中断期间迅速升高。可预测模型和设计策略的应用可以确保在断电后实现持续可靠的运行，或提供足够长的时间来关闭 IT 设备。



关于作者

Paul Lin 是施耐德电气数据中心科研中心的高级研究员。他拥有吉林大学暖通空调本科学位，同时还拥有吉林大学热能工程硕士学位。在加入施耐德电气之前，Paul 曾在 LG 电子研发中心担任研发项目经理多年。他现在被授予“数据中心认证专家”认证，拥有作为数据中心专业人员所需要的国际认可的专业知识和技术。

Simon Zhang 是施耐德电气旗下 APC 的高级研究工程师，主要工作领域是数据中心设计、运行和软件平台管理。他在实时制冷预测与室内气流模拟方面拥有丰富的经验，并且撰写或合作撰写 12 项专利（包括已经批准或正在申请中的）以及在业内刊物上发表 10 余篇关于数据中心制冷和能源评估的技术论文。他在数据中心领域非常活跃，是许多 ASME 和 IEEE 会议的主持人和组织者。他于 2006 年在锡拉丘兹大学获得机械工程硕士学位，2012 年，他正在攻读波士顿大学 MBA 学位。

Jim VanGilder 目前正负责施耐德电气数据中心制冷软件的相关的研究工作。他已独立撰写或与他人合作完成 30 余篇有关数据中心制冷方面的技术论文，并在该领域拥有 10 项专利。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 的主席，同时具有马萨诸塞州职业注册工程师资质。Jim 拥有杜克大学机械工程硕士学位，主修计算流体动力学（CFD）。



数据中心的各种制冷技术

第 59 号白皮书



热通道与冷通道气流遏制对数据中心温度和效率的影响

第 135 号白皮书



实施节能的数据中心

第 114 号白皮书



虚拟化和云计算：优化电源、制冷和管理，使效益最大化

第 118 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