

数据中心供电和 制冷容量管理

第 150 号白皮书

版本 3

作者 Neil Rasmussen

摘要

高密度 IT 设备将要求现代数据中心坚强容纳高功率密度的能力。此类设备的安装和不受管理的扩散可能导致供电和制冷基础设施出现包括过热、过载和冗余缺失在內的问题。必须在机柜级测量并预测供电和制冷容量才能确保可预期的性能，并优化物理基础设施资源的使用。本文将介绍实现供电和制冷容量管理的原理。

简介

数据中心物理基础设施容量管理是一种操作或程序，它的作用是确保以最高效的方式，在适当的时间和以适当的数量提供用于支持IT负载和IT流程所需的电力、制冷和空间。本文只对电力和制冷容量进行讨论，与空间有关的问题将在第 155 号白皮书《[为数据中心选择和指定适当的功率密度](#)》。对供电和制冷容量实施有效管理的关键成功因素为：

- 提供精确的容量预测
- 提供适当的容量以满足业务需求

预测和有效分配容量是建立在机柜层面供电和制冷容量的基础之上。确定具体的机柜供电和制冷容量的能力非常难得。为了跟上业务增长的速度，数据中心操作人员通常在信息不对称的情况下对新设备进行有效部署。也无法回答诸如以下所列的简单问题：

- 我应该在数据中心内何处部署下一台服务器方可不影响现有设备的可用性？
- 从供电和制冷可用性角度来看，部署拟定 IT 设备的最佳位置是何处？
- 我是否能够在不对安全容差，例如冗余度和备份运行时间等，造成负面影响的情况下安装新的设备？
- 在故障或维护情况下我是否还具备电源或制冷冗余度？
- 我能否使用现有的供电和制冷基础设施来部署新的硬件技术，如刀片式服务器？
- 我是否需要将刀片式服务器分散部署以获得可靠的运行？
- 我的现有供电和制冷基础设施在何时会达到极限并需要额外的容量？

不能回答这些简单的问题是很普遍的现象。对于过度规划或未被充分利用的数据中心，在仅对整体系统性能有粗浅了解的条件下，安全容差可确保成功运行。由于认知的不足而采取的对可用性进行折中的方案可能导致少量但可容忍的宕机时间。尽管在经济效率上并非最佳，但在短期内过度规划可提供一定的安全容差，直至可用容量等于已用容量之时。然而，当前有三个因素在对数据中心造成压力，从而暴露出当前操作方法的不足：

- 超高密度 IT 设备
- 控制总拥有成本（TCO）以及更充分地利用数据中心的的要求
- IT 设备的快速变更和更新

每一个因素都会对以更可预测的方式进行数据中心运行造成一定的压力。

高密度 IT 设备

每台机柜需要 8 kW 以上功率的 IT 设备可被视为高密度。每台空间完全利用的服务器机柜产生的功率为 6 kW 至 35 kW。而当今大多数数据中心则是按照每台机柜低于 4 kW 的功率密度设计。如前所述，越来越多的用户在安装超出其数据中心设计密度的设备，由此对供电和制冷系统造成的压力可能因过载、过热和冗余缺失而导致宕机。数据中心操作人员需要更明确的相关信息来了解在现有和新建数据中心内能够可靠部署此类设备的方法和地点。

数据中心压力 1 高密度 IT 设备

过载

过热

冗余缺失

总拥有成本

多数企业不能接受数据中心过度规划或过度选型。投资和运营成本的浪费非常大。据估算，如果容量得到适当的管理，在采用相同的设施供电和制冷容量条件下，现有典型的数据中心最多可再额外容纳 30% 的 IT 设备。这些现有典型的数据中心不能充分利用其可用供电和制冷容量，从而降低系统效率，相比容量得到适当管理的系统，其电力消耗要高 20% 或更多。容量管理工具可以更好地利用供电和制冷资源并降低耗电量。



快节奏的变更

典型数据中心内的 IT 设备在不断进行变更。设备更新周期通常在三年以下，且日常运营中设备不断添加或移除。此外，IT 设备本身的供电和制冷要求也并不恒定，而是随 IT 设备所采用的虚拟化和电源管理功能而时刻在变动。以前那种“试一下看是否能工作”的 IT 设备部署方法已不再可行，过热是常见的结果。容量管理工具必须同时提供实时和规划功能来应对这些挑战，而且它们必须以经济划算、易于安装、易于使用、预先设计好的形式来提供这种功能。了解更多虚拟化和云计算对物理基础设施的影响，请参见第 118 号白皮书《[虚拟化和云计算：优化电源、制冷和管理使收益最大化](#)》。



容量供给和需求

为了给用户关于容量的基本问题提供简单的答案，需要一种系统性的容量管理方式。容量管理的基础是对供电和制冷两方面的供给和需求进行量化的能力。

尽管了解机房或设施层面的供电和制冷的供给及需求信息对解决问题有所帮助，但这并不足以提供足够详细的信息来回答有关特定 IT 设备部署方面的问题。另一方面，提供 IT 设备层面的供电和制冷的供给及需求信息过于具体并且难以处理。测量以及预估供电和制冷容量的有效且实用的级别是**机柜层面**，本文即采用此方式。

本文中所述模型将通过以下四个重要方面在机柜层面对供电和制冷的供给及需求进行量化：

- 所配置的最大**潜在需求**
- 当前**实际需求**
- 所配置的**潜在供给**
- 当前**实际供给**

此信息将可在机柜层面对数据中心供电和制冷的当前状态进行全面的说明。如图 1 所示。

所配置的供电和制冷最大**潜在需求**

在典型运行中，现今的服务器中的电源管理系统可能使功率发生减半，加倍或更显著的变化。最大“配置”的供电和制冷需求表示可由机柜内这种变化导致的峰值。此信息可在系统配置时通过趋势研究来确定，它可能直接标注在 IT 设备上，或者通过其它方式说明。

最大供电和制冷需求总是大于或等于实际供电和制冷需求，是关键容量管理信息。

当前供电和制冷 **实际需求**

这是在任何给定时间点上每一机柜上的功耗和发热量。理想情况下，这是通过机柜层面上电气功耗的实时测量来实现。对于几乎所有设备，功耗瓦特值等于发热量瓦特值。对于其它一些设备，包括不间断电源系统（UPS）、配电单元（PDU）、空调机以及 VoIP 路由器，发热量瓦特值并不等于功耗瓦特值，但可采用数学方法计算得出。机柜功耗可由配电系统测量，或者可由 IT 设备自身测量，并通过对机柜内 IT 设备组所报告的功率进行求和来获得机柜的功率。

所配置的供电和制冷最大**潜在供给**

所配置的供电和制冷最大潜在供给定义为已安装基础设施设备能够提供给机柜层面的潜在供电和制冷容量。潜在供电和制冷供给将总是高于或等于实际供电和制冷供给。如果最大潜在供给低于实际供给，则表明系统处于不良状态。这可能由很多因素导致，例如：

- 制冷系统内空气过滤器阻塞
- 由于极端环境条件造成室外行热能力降低
- 模块式 UPS 中功率模块缺失

容量管理系统的一项重要功能是确认当前实际供给何时与设计值不同，并对阻止实现设计供给容量的系统限制的来源进行诊断。

当前供电和制冷 **实际供给**

机柜的实际供电和制冷供给通过以下相关信息确定：数据中心供电和制冷系统的供电和制冷分配体系结构、大量供电和制冷源的实际当前容量、以及对其它负载的可用容量的影响。

对于某一给定机柜，其实际功率供给可通过了解机柜的可用支路容量来加以确定，此容量受到来自 PDU 和 UPS 等上游设备组件未使用功率的可用性的限制。在某些情况下，可用容量还受到电源系统设计或配置的限制。例如，模块化系统可能不会被完全填充，或者设计可能要求双路供电。

确定机柜的实际制冷供给通常比确定功率供给要复杂，而且与气流分配体系结构高度相关。与电流受导线限制的功率体系结构不同，气流通常被送至一组相似的机柜，再根据 IT 设备内风机的抽吸力在机柜间进行分配。这使得可用风量的计算更为复杂，需要采用完善的计算机模型。对于供风或回风直接以风管引至机柜的情形，确定机柜的制冷供风就会容易一些，因此能够以更高的精度进行计算。

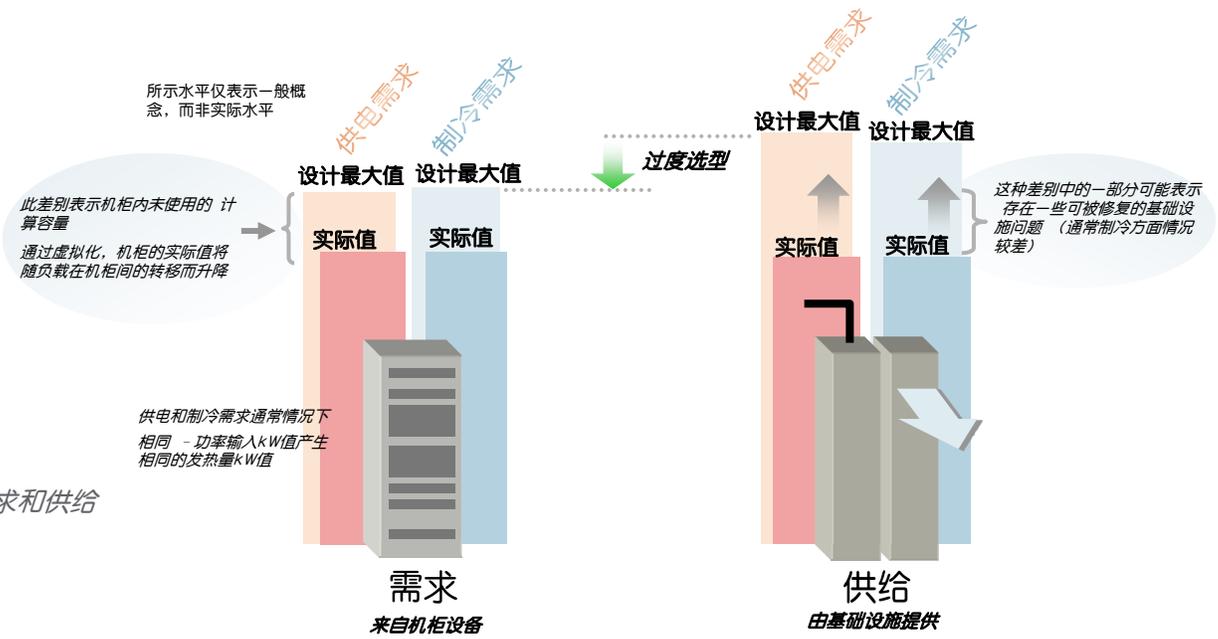


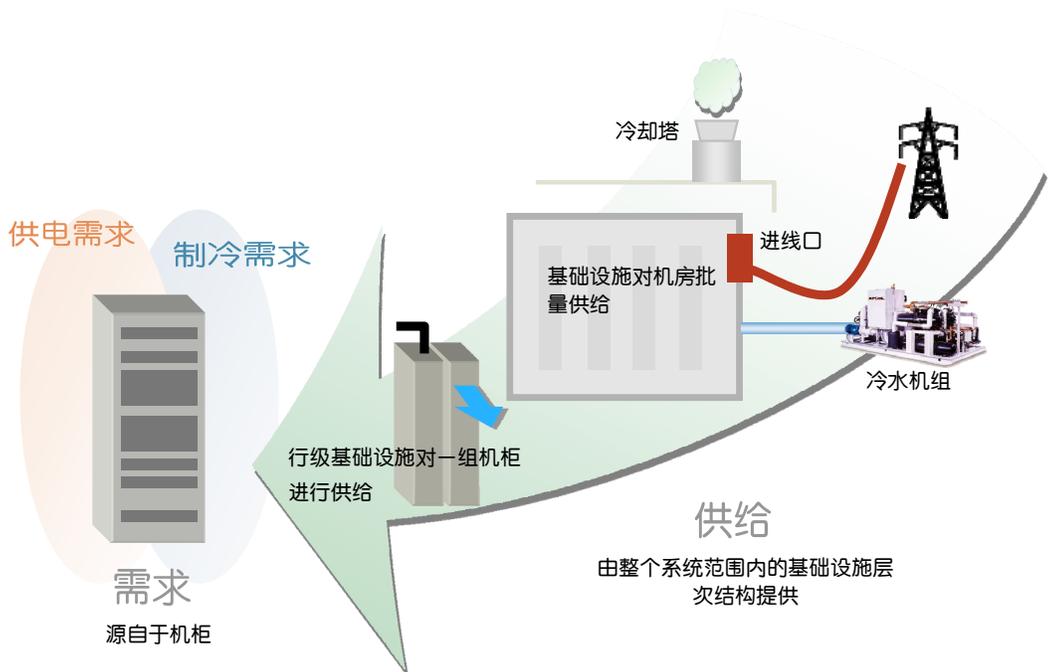
图 1 量化机柜级的需求和供给

使用容量管理数据来：
 • 降低TCO
 • 提高效率

优化
 在供给一侧，减小实际值与设计最大值之间的差 - 即从已装机电源/制冷基础设施获得最佳的机柜供给

正确选型
 减小设计最大供给与设计最大需求之间的差 - 即对电源/制冷与负载进行匹配，以提高效率并减少浪费

图 2 需求源与供给源的关系



系统级容量

对供电和制冷的需求建立在以机柜为单位的基础之上，如图 2 所示。如前节所述，必须以机柜为基础对供给加以理解和量化。然而，供电和制冷供给系统并非通过各个机柜加以确定，而是分层级式，由 UPS、PDU 和空调机等供给设备向机柜组供给。电源进线口和冷却塔等批量供给设备也是容量源，它们必须足以应对需求。因此，除在机柜层面对供电和制冷供给容量加以量化之外，还必须在与供给设备相符的系统级别上量化。

供给必须总是大于或等于需求，以防数据中心出现故障。在每一台机柜上均必须如此，而且在对机柜群组进行供给的设备上也必须如此。因此，在任何给定的时间，均有过剩容量（只要总供给高于或等于总需求）。过剩容量包括用于容量管理的四种不同形式，即：

- 备用容量
- 空闲容量
- 安全容差容量
- 搁浅容量



图 3
过剩容量类型

备用容量

备用容量是可供新增 IT 设备“立即”使用的当前实际过剩容量。保有备用容量会在供电和制冷设备的投资和维护方面增加大量的资金和运行成本。此外，备用容量总是会降低数据中心的运行效率，并提高其耗电量。

针对不断增长和变化的数据中心，在有效的容量管理体系结构中，减少某些类型的备用容量是可以节省成本的，例如备用市电接入容量。然而，供电和制冷设备理论上仅应在需要用其满足需求增长的时候及场合下安装。

有效的容量管理系统必须包含并量化成长计划。更多关于量化成长计划的信息，请参见第 143 号白皮书《[数据中心项目：成长模型](#)》。

空闲容量

空闲容量是所保有的可用于满足所配置最大潜在电源或制冷需求的当前实际过剩容量。现有 IT 设备在峰值负载情况下可能需要此容量，因此这一空闲容量不能被用于供给新 IT 设备的部署。

日益增多的空闲容量是由 IT 设备内的电源管理功能所导致的问题。当功率受管理的 IT 设备切换至大功率模式时，空闲容量必须被保持。

安全容差容量

安全容差容量是所保有的超出所配置最大潜在电源或制冷需求的计划内过剩容量。提供安全容差可在最大潜在供电和制冷需求的设置存在小错误或某些未经授权的 IT 设备被添加到系统中时确保系统运行。典型的安全容差在 10%至 20%范围内，在采用较弱的变更控制程序的数据中心中，可达 30%或更高。这部分容量不能用于 IT 部署。

搁浅容量

搁浅容量是由于系统设计或配置原因而不能被 IT 负载使用的容量。搁浅容量的存在表示两个或两个以上的下列容量之间存在不平衡：

- 地面和机柜空间
- 电源
- 电源分配
- 制冷
- 制冷分配

一个特定 IT 设备要求上述五项要素全部有足够的容量。而这些要素几乎不可能达到可与特定 IT 负载匹配的容量精确平衡。总是有一些地方有机柜空间却没有可用的制冷，或者有可用电源而没有可用机柜空间。因上述五种容量中的一种已用至最大容量而不能使用的其它种类的容量称为搁浅容量。搁浅容量会严重限制数据中心的性能。然而多数数据中心都存在显著的搁浅容量问题，包括以下常见实例：

- 空调机有足够的容量，但对 IT 负载的风量分配不足
- PDU 有足够的容量，但无可用的断路器位置
- 地面空间可用，但没有剩余功率可用
- 空调机处在错误位置
- 有些 PDU 过载，而其它则仅有轻载
- 有些区域过热，而有些区域还比较冷

根据供电和制冷系统的状况和体系结构可能无法利用搁浅容量，或者需要少量投资来释放搁浅容量，使之可以被有效利用。依照定义，利用搁浅容量需要一定的成本。经常需要拆下部分设施或安装新的供电和制冷组件。

搁浅容量是给数据中心操作人员造成很大困扰的容量管理问题，因为很难向用户或管理者解释这样的问题。例如装机功率和制冷容量为 1 MW 的数据中心在总负载仅有 200 kW 的情况下却无法为新的刀片式服务器提供制冷。

有效的容量管理系统不仅可以识别搁浅容量，还可以帮助客户从一开始就避免形成搁浅容量。

管理容量

前面几节建立了对供电和制冷供给及需求进行量化的框架。

采用技术人员测量并结合人工计算的电源和制冷容量管理系统已经过时。但事实上某些数据中心确实仍然使用这种非常原始的方法。然而，随着服务器虚拟化以及动态改变自身电源制冷需求的 IT 设备的出现，**采用网络化电源和制冷仪表测量并结合电源和制冷容量管理软件是唯一实用且可行的解决方案**。从用户的角度来看，这种系统可提供以下功能：

- 提供容量数据
- 制定容量计划
- 在违反容量计划时发出警告
- 对所计划的变更进行建模

提供容量数据

应按照以下几个级别提供数据中心的当前供给和需求条件，包括本文之前介绍的备用容量和搁浅容量以及其它容量属性：

- **机房层面：**供给和需求以及整个机房的各种容量。通常重点为设施一级的 UPS、发电机、冷却器、冷却塔以及进线口设备。
- **机柜行层面：**与数据中心内的某一行或其它逻辑区域相关的供电和制冷供给及需求。经常与行级制冷或电源分配设备（如 PDU）或行级制冷系统相关。当关于特定机柜配置的机柜层面细节信息仍然未知时，对于计划编制特别有价值。
- **机柜层面：**与某一特定机柜或机箱相关的供电和制冷的供给及需求。需要此级别的信息来诊断问题或评估特定 IT 设备部署的影响。可能与机柜级分配回路或机柜式制冷系统相关联。
- **公司层面：**致力于运算效率的提高，而数据中心的运营的任务是减少能源成本。管理层希望得到公司数据中心能耗和容量使用率等两方面的监测。

有效的容量管理系统将以逐层深入模式显示上述类型的信息，包括数据中心布局的图形化表达。**图 4** 所示为机房层面视图，**图 5** 所示为公司层面视图。

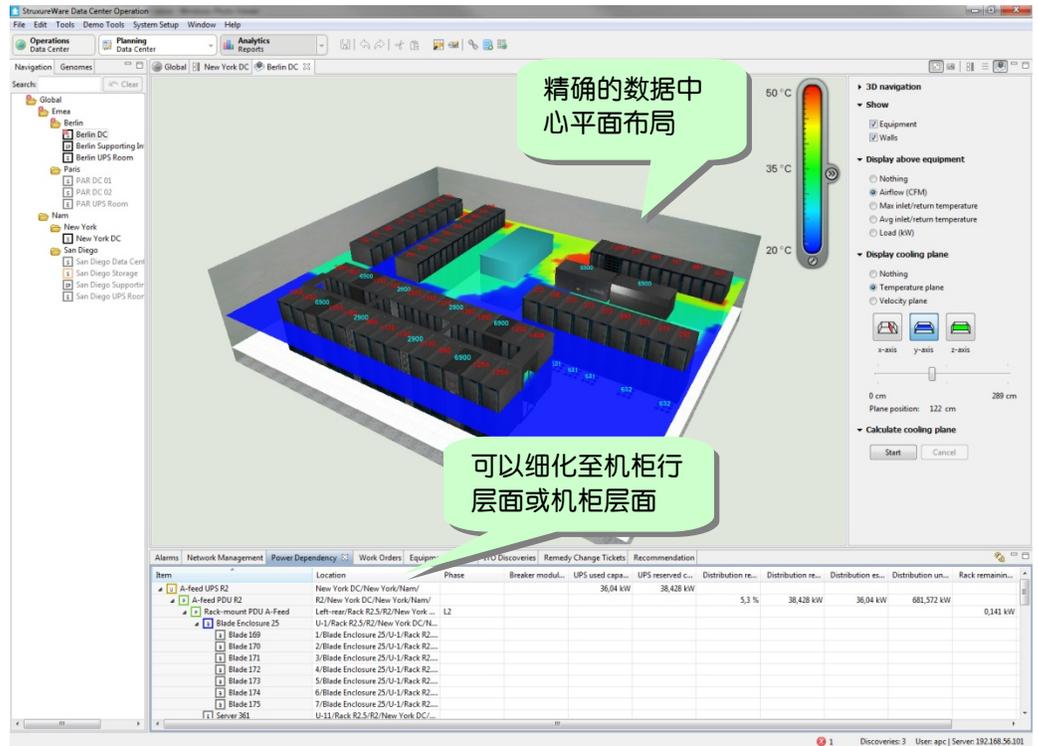


图 4
采用施耐德电气 StruxureWare 运行管理器的机房层面视图示例



图 5
采用施耐德电气 StruxureWare 数据中心运行管理器的视图示例：用于手机和 iPad 的展示公司层面容量管理数据的应用程序

制定容量计划

在数据中心的设计中必须制定容量计划。供电和制冷设备在数据中心内一经安装，就会产生限制，并在许多方面“成为”容量计划的供给一方。通过当今可升级的数据中心供电和制冷解决方案，可以制定出能够按 IT 成长计划进行调整的容量计划，以优化容量开支和电气效率。

重点不仅仅是确保足够的容量，而且要确保适当的容量。人们经常是将重点放在确保容量足够上，而忽视了针对实际 IT 需求进行正确选型的问题。常见的结果是过度选型，造成相关的资本支出、能源、服务合同以及耗水量等的浪费。

数据中心设计工具可协助制定容量计划，因此应集成到数据中心基础设施管理（DCIM）系统中。例如，施耐德电气 InfraStruXure Designer 数据中心设计工具和 StruXureWare 数据中心管理软件（DCIM）就是一个软件工具的组合套装。

在违反容量规划时发出警告

与容量相关的警告应在实际情况超出容量管理规划的范围时被触发。这些警告可采取本地、画面或声音形式，或者通过管理系统以页面、电子邮件等方式加以升级。

将根据诸如以下事件生成容量报警：

- 机柜内已安装设备的功耗增量超出容量管理规划中对机柜、行或机房规定的峰值
- 由于电源或制冷子系统缺失或降级而使机柜行、机柜或机房等层面的可用制冷或电源容量降低
- 当制冷或电源系统进入不能提供容量管理规划中所规定冗余度的状态

对于许多此类事件，并未发生实际的硬件故障，因此传统监测系统不会触发任何事件。事实上，由容量管理系统提供的多数警告本质上是预测性或者预作用的。请注意在实际的数据中心中，其它检测工具将作为容量管理系统的补充，如实时故障、安保、漏水及温度监测。施耐德电气 StruxureWare 数据中心专家是既有实时警告又有容量管理警告的监测系统实例（图 6）。

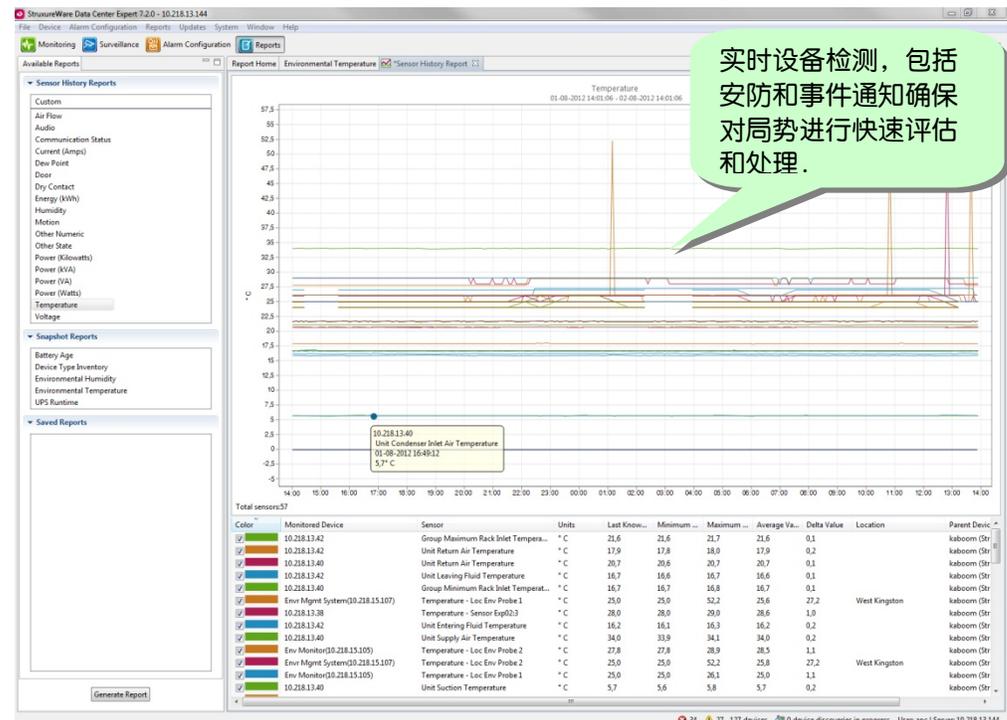


图 6
StruxureWare 数据中心专家为集中式监测系统的实例

对所计划的变更进行建模

除确定当前状况之外，一个有效的数据中心基础设施管理系统（DCIM）必须能够对历史和假设状况下的容量进行分析。这类情形包括：

- 模拟故障状况，如一台或多台电源或制冷设备缺失
- 分析计划发展与实际容量使用的关系
- 提出设备添加、移除和迁移的建议
- 根据历史数据进行趋势分析

数据中心基础设施管理系统应能够比照当前容量管理计划对这些情形进行评估。一个有效的模型将引导用户从选项中选择最佳的情形，例如最大限度地提高电气效率或减小占地面积。图 7 显示 DCIM 如何在设备变更操作中确保新的 IT 设备得到足够的电力制冷和空间资源。

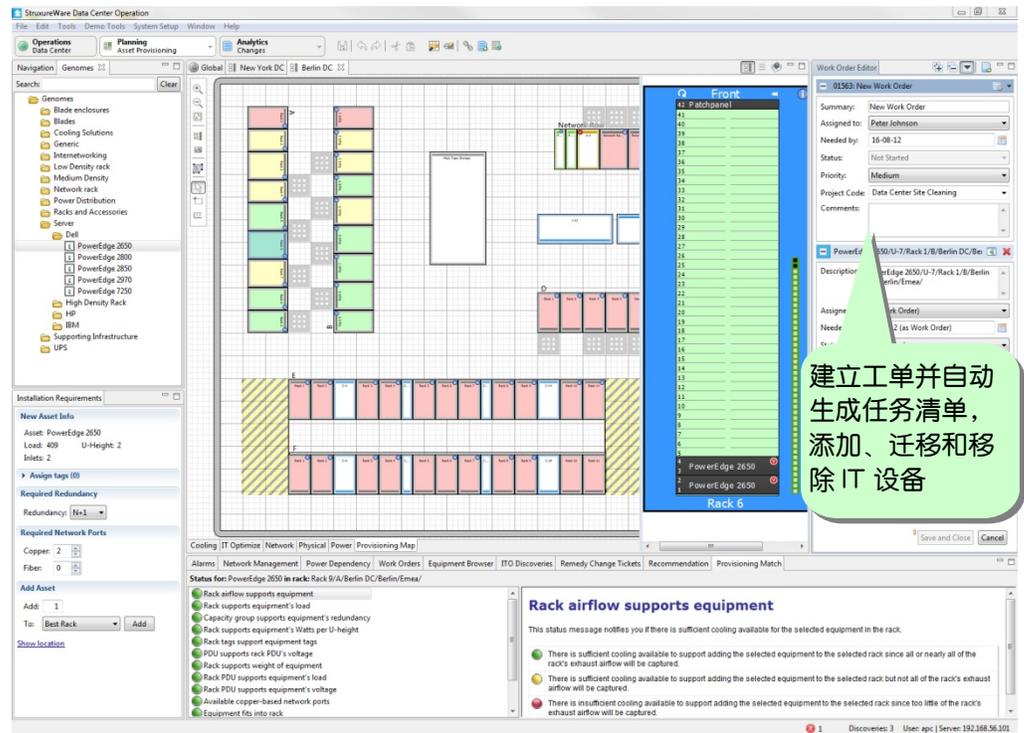


图 7

施耐德电气 StruxureWare 数据中心运行管理器提供快速简单的 IT 变更优化处理能力

监测 IT 设备的供电和制冷

在多数应用中，机柜被视为功耗的黑箱，机柜内 IT 设备的数量、类型或位置并不为人所知。只要机柜层面的功耗可被直接确定或测量，所述的容量管理系统就与特定设备的信息相关联。当功耗已知时，可对制冷需求进行高精度估算。当这些机柜层面数值处于容量计划的边界以内时，无需附加信息即可保证供电和制冷系统可以满足需求。因此，通过使用正确的工具，容量管理为 IT 系统运行提供了许多优势，而不需要进行 IT 设备的详细资产管理。掌握机柜内 IT 设备的相关信息或者直接与 IT 设备通信还具有以下优点：

- 可了解单个 IT 组件的功耗特性
- 可了解设备的最低和最高随时间变化得功率特性
- 可了解不常见的气流要求或其它不常见的风机运行模式
- 可了解机柜层面的单位 U 空间利用（空间容量）
- 可对与添加、移除或变更相关的影响给出准确的评估

为有效利用从详细资产管理获得的知识，数据必须被容量管理系统所理解。

一般而言，多数中小型数据中心并不具备维护与机柜相关的 IT 设备安装资产和变更历史记录所需的完备程序和人员配置。因此，容量管理系统不能依赖于这些信息，但在这些信息存在时应能够利用它。随着机构的完备，他们可以将简化的容量管理转换到集成有变更和资产管理的更为详

尽的解决方案。变更管理与容量管理之间的作用是双向的，因为变更管理高度依赖容量管理信息来预测所计划变更的影响。

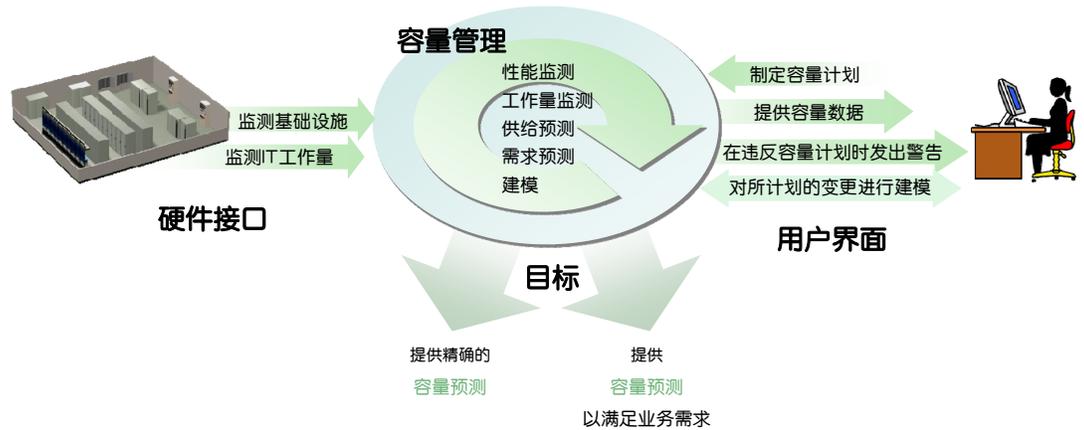


图 8
全面的容量管理系统概要

结论

容量管理是数据中心有效规划和运行的基本内容。对于容量管理的需求随数据中心的密度、规模和复杂程度的提高而增长。本文对一种容量管理方法进行了介绍。已经证明，容量管理并非取决于机柜层面上 IT 设备的详细信息，相比传统的详细资产管理系统，实施和维护所需的工作量较少，同时仍可提供大部分关键优势。如果按照本白皮书所述实施容量管理，它将可提供传统监测系统所不能提供的关于数据中心状态的关键信息。通过网络化的供电和制冷测量仪器仪表，当今的数据中心基础设施管理（DCIM）软件系统能够提供全方位和快速部署的容量管理。

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。



[为数据中心选择和指定适当的功率密度](#)

第 155 号白皮书



[数据中心项目：成长模型](#)

第 143 号白皮书



[虚拟化和云计算：优化电源、制冷和管理使收益最大化](#)

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：

数据中心研究中心

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