

# 模块化数据中心架构的规格

## 第 160 号白皮书

版本 0

作者 Neil Rasmussen

### > 摘要

如今数据中心行业的共识是模块化、可扩展数据中心设计将会取代传统数据中心设计。模块化可扩展设计的优势包括：降低总拥有成本、提高灵活性、缩短部署时间以及提高效率等。但“模块化”这一术语，和模块化架构在何时何处适用，以及如何确定模块化架构的规格等，都还没有明确的定义。

本白皮书为模块化数据中心架构提供了一个框架，介绍了数据中心电源、制冷和物理基础设施实施模块化的多种途径，并说明了各种方法适用和有效的应用环境。

### 目录

[点击内容即可跳转至具体章节](#)

简介	2
模块化能够解决的问题	2
模块化架构的组成元素	3
模块化架构的定义	5
实施 单一的还是多重的 模块化架构?	6
模块化架构的文件归档	10
利用模块化方法定义 数据中心项目	13
集装箱式、台架式以及 其它安装形式	14
结论	14
资源	15

## 简介

模块化笼统地定义为一种利用较小的子系统构建大型系统的技术，更明确定义各子系统之间接口的规则。模块化还具有简单的组件安装或更换方法。理论上，“即插即用”的模块化组件只需进行简单调试就能投入运行。

知名咨询公司高德纳（Gartner）最近发布的多份报告显示一个趋势，就是“前两代数据中心设计已无法满足当前和未来需求。新数据中心不应该再是静态的结构，而是一个能够随着服务器和存储基础设施改变而不断发展的动态有机体”。有鉴于此，高德纳公司（Gartner）建议新数据中心应“采用灵活的、模块化、虚拟化设计原则<sup>1</sup>”。

主要的数据中心设备供应商和整体解决方案供应商都有在宣传其模块化解决方案的优势。但目前对于“模块化”的定义仍很模糊，它可以应用于 UPS 这样的单一设备，也能应用于整栋数据中心建筑中。以集装箱式数据中心为例，数据中心本身就可看作是一个模块。

数据中心运营人员面临着大量含混不清的，用于定义模块化的术语，包括模块（pods）、集装箱（container）、集群（clusters）、分区（zones）、机柜行（rows）、机房（rooms）、机柜排（busses）等。

很明显，数据中心模块化不是指某种特定的理想化设计方案。而是指一种方法，能够形成多种类型的设计方案。此外，虽然我们说某些数据中心要比其它数据中心“更具模块化”，但并没有明确的范围来界定数据中心的模块化。

选择了模块化方法后，还必须考虑将数据中心按模块化分割的程度，即颗粒度。数据中心的某个子系统是应该由三个模块还是三十个模块组成？模块化的实施会产生一定成本，因此最大限度地全盘模块化并不总是实现高效的最佳做法。

权威调查咨询机构 Tier 1 Research<sup>2</sup> 最近的分析报确信模块化为数据中心带来优势。但同时指出，只有当模块进行产品化和标准化生产，从而降低成本、加快供应链流程时，模块化对整个行业的影响才能最大化。

在本白皮书中，我们将对模块化的含义进行定义，并定义用于描述和说明数据中心物理基础设施（包括空间、电源和制冷等）模块化的术语。与 IT 基础设施或 IT 硬件相关的模块化不属于本文讨论范围。文中将采用图解方式介绍模块化架构，并探讨模块化、标准化和产品化的可行性。我们将阐述如何有效运用和明确数据中心模块化，以及如何在不同环境中应用不同的方法。

## 模块化能够解决的问题

模块化对所有数据中心运营商都具有吸引力，这是因为它能同时解决一系列的问题。几乎所有类型的数据中心，无论规模大小或可用性高低，都能够从模块化中获益。表 1 列出了一部分模块化设计能够成功解决的问题。

<sup>1</sup> “将数据中心作为有机体：不可借鉴过去的未来发展”，Rakesh Kumar 和 Phillip Dawson，美国知名咨询公司高德纳（Gartner）

<sup>2</sup> “数据中心 2.0：产业革命”，Jason Schafer，Tier 1 Research/451 集团，2011 年 9 月

表 1

如何通过实施模块化解决  
数据中心相关问题

问题	模块化如何应对这类问题
投资成本利用率低下	模块化方法能实现基础设施按需部署，而不是在前期一次性部署。
设计和安装周期时间长	模块化数据中心采用预设计和预生产的系统，缩短了设计和安装时间。
质量	采用预设计和预生产的设计，能够减少缺陷。
功率密度设计错误	采用模块化设计，可在部署时再进行功率密度等决策，而不必提前数年就作出此类决策。
管理系统的编程和配置非常复杂	模块化设计反复使用标准化管理工具，运用更多开箱即用功能，减少每次项目都进行编程。
容错性	模块化设计一般包括添加 N+1 冗余，支持容错和并行维护的能力。
符合标准要求	模块化设计可预先验证，遵从安全、能效、兼容性、安防等标准，无需逐个评估，避免出现不符合标准的意外情况。
简化运营人员培训	标准化的数据中心设计方案可以简化培训。
能效	造成数据中心效率低下的首要原因就是容量设计过大。可扩展模块化数据中心设计通过按需规划容量，避免了这个问题。此外，采用预设计和标准组件，其它许多导致低效的问题也得以解决。

值得注意的是，并非当前业内所有模块化概念都能有效提供表 1 列出的优势。本文所描述的模块化架构的定义和框架是用来解释上表中所描述的问题。

## 模块化架构 的组成元素

为了描述和明确数据中心的模块化，很有必要了解模块化是如何应用的。在本文中，我们用三个模块化元素来描述数据中心架构：

- **设备模块化：**设备由模块化组件构成。
- **子系统模块化：**一个功能块，由多个同样的设备或模块构成。
- **模块关联：**所部署的各子系统模块之间的关系，确定冗余，容量和功率以何种方式实现和扩展。

虽然模块化数据中心的供应商和其他推动者对这三个组成元素都有提及，然而上面提到的第三个元素，即模块关联，是模块化架构开发最不充分的层面，但同时也是最有潜力改善数据中心性能和优化业务绩效的机会。

下面分别详细介绍了这三个组成元素。

## 设备模块化

区分数据中心架构所采用的模块化和数据中心设备所采用的模块化是十分重要的。

数据中心使用的所有设备采用模块化设计的趋势由来已久，包括服务器，存储设备，网络设备和 UPS 系统。最近，机房空调系统也开始采用模块化。这些设备采用模块化的优势众所周知，包括便于维护、可重复配置、部署迅速、便于容量扩展、采购周期短等。这些模块化设备的使用，是模块化数据中心架构的一个重要组成部分。但是，数据中心仅使用模块化设备，并不意味着采用了我们将在本文中定义的模块化架构。

设备模块化示例包括模块化 UPS 和模块化 PDU，如图 1 所示。

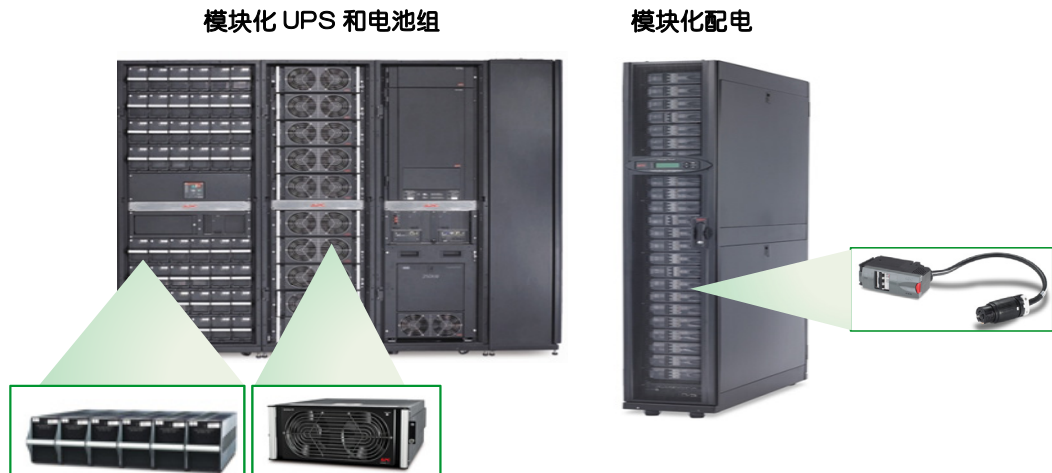


图 1

设备模块化示例：模块化 UPS 和模块化 PDU

## 子系统模块化

数据中心的功能块（子系统），如 UPS、机房空调和冷水机组等，可作为一个整体单元部署，也可作为多个设备（模块）部署，这些设备同时运行并分担负载。例如，通过以下任一设备组合，都能满足 1MW UPS 需求：

- 1 个 1 MW UPS
- 4 个 250 kW UPS
- 10 个 100 kW UPS
- 1000 个 1 kW UPS

每台 UPS 设备可以具备“设备模块化”，也可不具备。但 UPS 子系统之所以是模块化，是因为它由多个 UPS 设备构成。子系统模块化普遍存在于大型数据中心是因为 PDU 和 CRAC 等子系统通常都是由多个设备单元组成的。

容错性、并行维护和搬运是推动子系统模块化的三大要素。容错性，是指当某个模块发生故障时，子系统仍能运行且对负载无影响。并行维护，是指在不影响负载的情况下，对一个模块进行离线测试或维修。数据中心设施中移动设备得益于模块化，特别是当某个模块较小，能够通过客梯搬运、由卡车运输，并能顺利通过门廊、在室内地板上移动时，就更是如此。这些因素促使数据中心设计从庞大的单一子系统，向由多个模块构成的子系统转变，尤其适用于子系统在室内部署。

尽管对数据中心的许多设备类型来说子系统模块化很普遍，但这些子系统使用的很多设备并未实现理想的模块化“即插即用”式的安装。例如，在数据中心添加一个 60kW 机房空调设备，仍需要开展大量的规划、设计、管道铺设、控制编程和试运行工作。这些产品的供应商将继续致力于改进产品，简化流程，以实现子系统“即插即用”式模块化架构的优势。

和设备模块化一样，子系统模块化通常是模块化数据中心设计的重要元素，但其本身并不意味着数据中心采用模块化架构。**真正的模块化架构中，设计方案还必须定义不同子系统通过何种方式部署在一起。**

## 模块关联

当部署一个 IT 单元，需要综合考虑物理空间、电源、制冷、网络、消防和照明。因此，数据中心跨子系统的模块关联，是模块化数据中心架构的一个重要概念。

原则上，一整套平衡、集成的子系统能作为一个标准的模块化数据中心而部署。很明显，这就构成了模块化数据中心架构。所有相互关联的数据中心子系统都将集成到一个模块。能够在现场部署完整的微型数据中心，并随时添加。这可以称得上是最“纯粹”的模块化数据中心架构。但这仅仅还是一个理念，由于以下原因目前还无法付诸实施：

- 将每个数据中心模块作为一个独立数据中心管理，还不太现实
- 某些子系统在大规模部署时比模块化部署要来得更为经济高效
- 在多个模块上部署冗余比在单个模块中部署冗余成本更低、更高效
- 单个数据中心模块都采用隔离的电源和制冷容量，会因搁浅容量造成浪费
- 模块越小灵活性越高，但发电机和冷水机组等许多设备型号越小，效率就越低

尽管将所有子系统集成为完整独立的数据中心模块是不太现实的作法，但模块化数据中心架构必然存在某种方式将子系统进行分组，以便能够合理和一致地部署子系统。模块关联是数据中心架构的一个属性，定义了各子系统之间是如何相互关联的。

先以设备机柜和机柜配电条的部署为例，两种设备可以按 1:1 比例部署。再以配电柜和机柜的部署为例，可以定义一条规则，即 1 个配电柜支持 20 个机柜。继而继续定义集成关系，1 个发电机支持 500 个机柜、1 个机房空调单元支持 40 个机柜，和 1 个数据采集系统支持 200 个机柜等。我们将这些部署规则称为各子系统间的模块关联。这些关联可以是简单的部署规则，也可由预先规划和生产的台架、集装箱或安装“工具包”实施。

在传统数据中心设计中，关联关系模糊地包含在用以确定数据中心总容量，如冷水机组总容量、占地面积（建筑面积）、机房空调容量等整体设计中。往往一开始就制订完整的设计方案，数据中心通常不采用任何模块化架构，而是会按照最大设计参数建设。在数据中心的早期运行阶段，为延迟投资，常常会忽略某些设备。例如，为 5 个柴油发电机组设计、采用 N+1 配置的系统，可能部署了适用于 5 个柴油发电机组的开关设备、基础设施和台架，但在开始时仅安装 3 个柴油发电机组。可以说此数据中心发电机组子系统采用了模块化，获得了部分模块化优势，但因为各子系统间不具备任何正式关联，所以并非模块化数据中心架构。

基于上文定义的设备模块化、子系统模块化和模块关联等组成元素，现在我们能够定义模块化数据中心架构的概念以及实际特征。

一个高效的模块化数据中心架构具有以下特性：

- 定义一系列模块，作为部署数据中心的基础。
- 定义模块由相互关联的子系统组成，以便尽量降低部署复杂度。
- 由规则、工具和设备组成，定义模块未来按数据中心成长计划的部署方式。
- 系统经过工程设计，最大限度地减少了部署模块所需的规划、安装、配置和编程工作。
- 提前定义了容量、效率、密度、重量等所部署系统的特性，无需进一步分析。

## 模块化架构的定义

- 在权衡简洁性、成本和合理规模之后，确定模块大小。
- 能够出色支持在未来升级或变更可用性（冗余性）和功率密度等属性。
- 作为一个开放架构，能够支持跨厂商的基础设施产品和设备。

**需要重点强调的是，以上提到的模块化数据中心架构不仅是一个部件清单，而是需要大量的系统规划与测试工作。**虽然可为特定数据中心开发和定义模块化架构，但如果行业范围内定义标准的架构，则会更实用、更高效。如果数据中心采用已有标准架构，那么就能大幅节省设计、定义、规划和测试成本（及时间）。随着越来越多的数据中心使用标准架构，整个行业都将降低成本、提高质量。

尽管数据中心容量单元的概念听起来简单，但这些单元实际上可部署于多个层次。举个极端的例子，我们可考虑为每个 IT 设备部署一个独立数据中心容量单元，或微型独立数据中心。与之相反的极端情况是，完全预制 40 MW IT 容量的数据中心大楼作为一个单元。在定义模块化架构时，仅以模块化、设备、子系统这三个方面，并将它们按前面所述相连，还是不够的；我们还必须说明将它们应用在架构的哪个层次。为了清晰地说明数据中心单元，我们定义了以下标准层次结构：

**数据中心设施，包括**  
**若干 IT 机房，包括**  
**若干 IT 模块<sup>3</sup>，包括**  
**若干 IT 机柜，包括**  
**若干 IT 设备**

根据这一数据中心定义，可以认为 IT 容量单元可以部署在这五个层次中的任何一个。采用模块化架构的数据中心能在 IT 设备、IT 机柜、IT 模块、IT 机房乃至整个数据中心设施层面，部署模块化数据中心容量单元（关联的模块化子系统）。模块化应用的例子存在于任何一个真实数据中心的各层面之中。

上述层次结构使用了传统数据中心的术语，但也可以有效描述非传统的设计方案。比如“设施”这一术语可以用来代表摆放集装箱式数据中心模块开放场地，“机房”这一术语可以代表集装箱或互联的集装箱组等。

很明显，存在无限多种方式定义模块化数据中心架构。事实上，世界上每个数据中心都采用模块化架构，且互不相同，这点是可以实现的，但这肯定无法达到最佳效果，因为只有当大量数据中心的模块化架构实现标准化后，其大多数重要优势才会发挥出来。

基于对上述多种可能性的了解，再通过思考来分析造成数据中心运营人员需要不同模块化架构的问题所在，以及是否有可能通过少量标准化架构来满足大多数需求。然后，可以定义一种描述模块化数据中心的标准方法。同时，为如何更好地应用模块化提供一些基本指导准则。

理想状态下，一个完美模块化数据中心架构可以适用于所有应用环境。但是，数据中心运营人员的需求千差万别，催生了对不同架构的需求，这其中包括：

- 数据中心实际规模差异
- 成长计划差异

<sup>3</sup> IT 区域部署常用于指一组部署在一起的 IT 机柜，一般为一行或两行，常常共用一些常用基础设施组件，如空气调节器、PDU、架空地板砖、接线板、路由器等。在极少情况下，它也有本文中所述的 IT 机房的含义，但在本白皮书中它没有此含义。

实施单一的  
还是多重的  
模块化架构？

- 可用性要求差异
- 用户偏好和场地限制差异

所有设计中的模块化数据中心架构都必须与现实相符。在介绍具体的模块化架构前，将首先阐述上面四种需求对架构产生的影响。

### 数据中心规模差异对模块化架构的影响

数据中心容量以瓦特（Watt）为单位，它对数据中心模块化方式有重大影响。为便于理解，这里以分公司机房、小型数据中心和大型数据中心为例，请参见表 2。

**表 2**  
模块化元素的数目  
对于不同规模数据  
中心的影响

	分支机构机房	小型数据中心	大型数据中心
机房数量	1	1	6
IT 模块数量	1	4	30
IT 机柜数量	5	40	360
IT 设备数量	20	250	2000

数据中心的运营人员对成长计划中部署 IT 设备的规模有着完全不同的想法，如表 3 所示。

**表 3**  
不同规模数据中心的典  
型 IT 部署单元

	分支机构机房	小型数据中心	大型数据中心
分阶段部署的 IT 设备数量	1 - 5	5 - 20	20 - 80
最佳基础设施 部署单元	机柜	机柜或模块	模块或机房

这表明，对于不同规模的数据中心来说，最有效的物理基础设施模块化方法也非常不同。在小型机房中，IT 机柜是适合的数据中心模块化部署容量单元。而在小型数据中心，IT 区域部署可能才是部署数据中心容量单元的最佳层面。IT 机房则是最适用于大型数据中心的模块大小。

**设计理念：**为支持不同规模的数据中心，至少有三种完全不同的模块化架构。这些架构将机柜、区域部署或机房作为核心部署模块。

### 成长计划差异对模块化架构的影响

一些数据中心已预先确定了稳定的 IT 负载，负载在数据中心的整个生命周期中都保持不变。而另一些数据中心，数据中心制订了一个长期、缓慢的 IT 负载扩容计划，或对于负载的最终规模相当不确定。

在负载稳定的数据中心，前期一次性建设基础设施是必须的，不会造成任何损失。这种情况下，模块化架构的可扩展优势无从体现。但模块化设计的其它优势仍很明显，极具吸引力，如设计投入减少、因使用成熟设计而获得质量提升，以及交付周期缩短等。当 IT 负载固定且明确定义，模块化架构倾向于采用较大模块，并且基础设施各子系统宜采用集中方式部署。

但是，如果数据中心的负载增长缓慢或者成长计划不确定，可扩展性的优势就在设计中占主要地位。这种情况下，前期一次性部署基础设施就有可能遭受巨大损失：大笔投资购置的设备闲置或使用率低下，这些无法提供价值的资产却还需要维护开支，而且过度配置造成不必要的能源浪费，甚至数据中心设施有可能在生命周期中途被弃用而使高额投资付诸东流的现象。此时，能够根据 IT 负载，扩展数据中心基础设施的能力，会对数据中心的 TCO，乃至投资回报造成极大影响。对于这些数据中心来说，尽量精简前期部署、最大程度地实现子系统模块化的数据中心架构是最好的选择。

**设计理念：**负载稳定、可预测的数据中心将受益于模块体量较大的集中式基础设施的模块化架构，通常在前期就一次性完全部署完毕。而未来负载不确定且具有长期扩容计划的数据中心，则适合采用基础设施分散、模块体量较小的模块化架构。它们的要求不同，从而采用的架构方法也不尽相同。

## 可用性要求对模块化架构的影响

许多数据中心设计都包括一定程度的冗余，以便实现容错或并行维护。冗余意味着子系统由多个组件组成，其中部分组件为冗余组件。因此，所有具备冗余的数据中心都必须有一定的模块化属性。在传统数据中心设计中，分析和预测整个数据中心生命周期内冗余系统的性能是非常复杂的。这也是传统数据中心普遍在前期完成全面构建的原因之一。

高效的模块化数据中心架构必须明确地说明，如何在确保数据中心所需冗余的同时部署 IT 容量模块。在数据中心扩展的同时，此冗余也须保持不变。在理想状态下，模块化数据中心架构应能为数据中心的各部分提供不同水平的冗余性，以便最为经济高效地满足不同的 IT 需求。

在数据中心实现冗余的方式多种多样。经常被提及的冗余级别有很多，如 N+1、2N 或双系统冗余，但这些说法并不完整，因为实现各冗余级别的方法也千差万别；以 N+1 UPS 系统为例，冗余可在 UPS 设备中实施、可通过并联 UPS 设备实施、通过分布式冗余或“环型”架构实现，也可通过采用静态转换开关的“热备份”设计实现。如此多种类的实施方法造就了不同的架构和不同的模块化途径。

高效的模块化架构根据冗余目标，来优化模块的大小。例如在 N+1 架构中，较小的模块能够缩小“+1”冗余模块，降低成本、提高效率，但模块规模小意味着部署的模块数量较多，有可能增加复杂性。

**设计理念：**数据中心模块化架构受冗余要求的影响很大，单一架构既要成本低廉，又要支持高度可靠的数据中心应用，是不切实际的。

定义可用架构的另一关键要素是，通过使子系统内的设备相互隔离，来进行故障分区。包括冷水机组等大量设备的模块化数据中心架构能够将这些设备汇总到单一总线。或不采用并联，而将这些设备独立分配到不同区域部署或机房部署。并联的优势在于能将另一设备添加到总线，实现 N+1 冗余，因为此冗余设备可作为备用设备，所以在总线上某个设备发生故障时，也不会影响数据中心运行。

总线并联有一个关键问题，即总线必须针对每种可行配置单独设计和分析。采用并联冷水机组的冷水机组管线系统必须针对冷水机组的所有组合，对管线进行分析，而且在前期就必须根据最大配置来确定容量。此外，将 UPS 并联连接到大型配电总线，在布线和开关设备方面也面临类似问题。所以，将设备并联到大型总线的作法，会造成严重损失，抵消很多模块化优势。而如果采取每个区域部署或机房配备专用设备的作法，则可解决上述复杂问题。

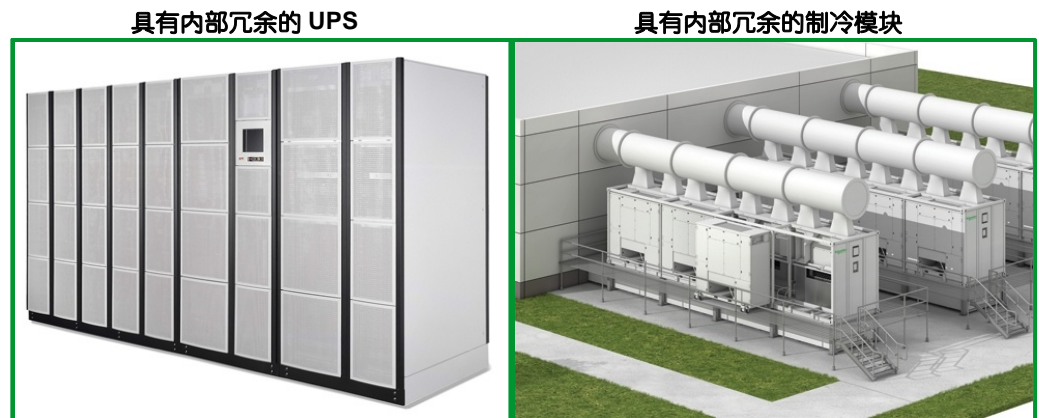
当子系统内的设备相互独立，没有公共总线时，整个总线基础设施可提前进行良好定义，便于预生产。在部署新数据中心容量单元时，不会干扰现有供电和制冷总线，但是每个独立设备必须具



有冗余。而如果必须为每个设备都提供一个冗余设备的话，这会造成大量成本支出，高昂的成本是这种方法一直未能在高可用性数据中心使用的原因。为解决此问题，支持设备模块化的新型设备已经面世，这些设备一般内置 N+1 冗余，而成本仅相当于甚或低于传统的并联总线方法。图 2 所示内置 N+1 模块化的设备，它们非常适用于大规模模块化部署。

图 2

通过内部 N+1 模块化冗余，能够容错的关键子系统示例



**设计理念：**模块化架构中不同的供电和制冷总线并联方法，是区分不同设计方案的要素之一。总线间相互独立（并联程度最低）的系统，可扩展性最高、最为灵活且最易于维护，无需停机就能升级。但是采用这种方式，如需经济高效地支持冗余性，则通常会要求 UPS 和冷水机组等设备具备冗余（设备采用内置 N+1 架构）。

## 用户偏好和场地限制对模块化架构的影响

理想情况下，选择一个标准数据中心架构，然后建造数据中心大楼来部署架构中的模块。虽然这是最优作法，但在现实中不具可行性。在大部分数据中心项目中，数据中心使用已建成的楼宇设施。因此会面临来自各方面的限制，包括 IT 设施物理空间、现有中央空调或通风系统、现有市电接入、IT 机房净高或是部分数据中心已有电源和制冷设备等。为适用于此类环境，模块化架构必须能够通过一定的途径来克服这些限制。

此外，数据中心运营人员的偏好也会对设计产生影响。例如各种需求包括：数据中心需要供访客频繁访问、隔离某些 IT 设备组，或是某些布线方式可能会影响空气流通或配电。随着时间的推移，一个公司可能会采用很多与数据中心设计相关的标准，之后它们会被定义成设计的输入信息。一般来说，标准架构是无法满足所有类型的偏好的。

模块化数据中心架构所具有的灵活性可以满足一些常见的偏好和限制。可以采取一些定制化架构改造措施，但这有很大可能会削弱或抵消标准化和模块化架构的部分优势。

**设计理念：**与改变架构来符合预先设定的各种规定相比，评估并调整某些特定的偏好和场地限制以配合架构会取得更好的效果。对于数据中心来说，最常见的限制就是已存在的机房的面积和形状是固定的，而一个实用的模块化数据中心架构可以支持各种机房面积及形状。

综合考虑以上因素，可以清楚地得出借助多样化的标准化数据中心架构，能够满足大多数数据中心应用的需要，这些标准化数据中心架构的不同之处，主要在于模块大小的增量和冗余特性。采用数十个或数百个不同架构是不必要的。这意味着在不远的将来，会在行业范围内实现标准化数据中心架构。

# 模块化架构的文件归档

在了解模块化数据中心架构包含的基础内容后，现在可以开始介绍具体架构记录并归档的方法。本文基于以下三个元素来阐述模块化数据中心架构的记录归档理念：

- 显示模块如何在各子系统中部署和关联的架构图
- 模块化架构的重要技术参数规格
- 展示各模块占地空间的布局图

图 3

数据中心模块化架构示例图

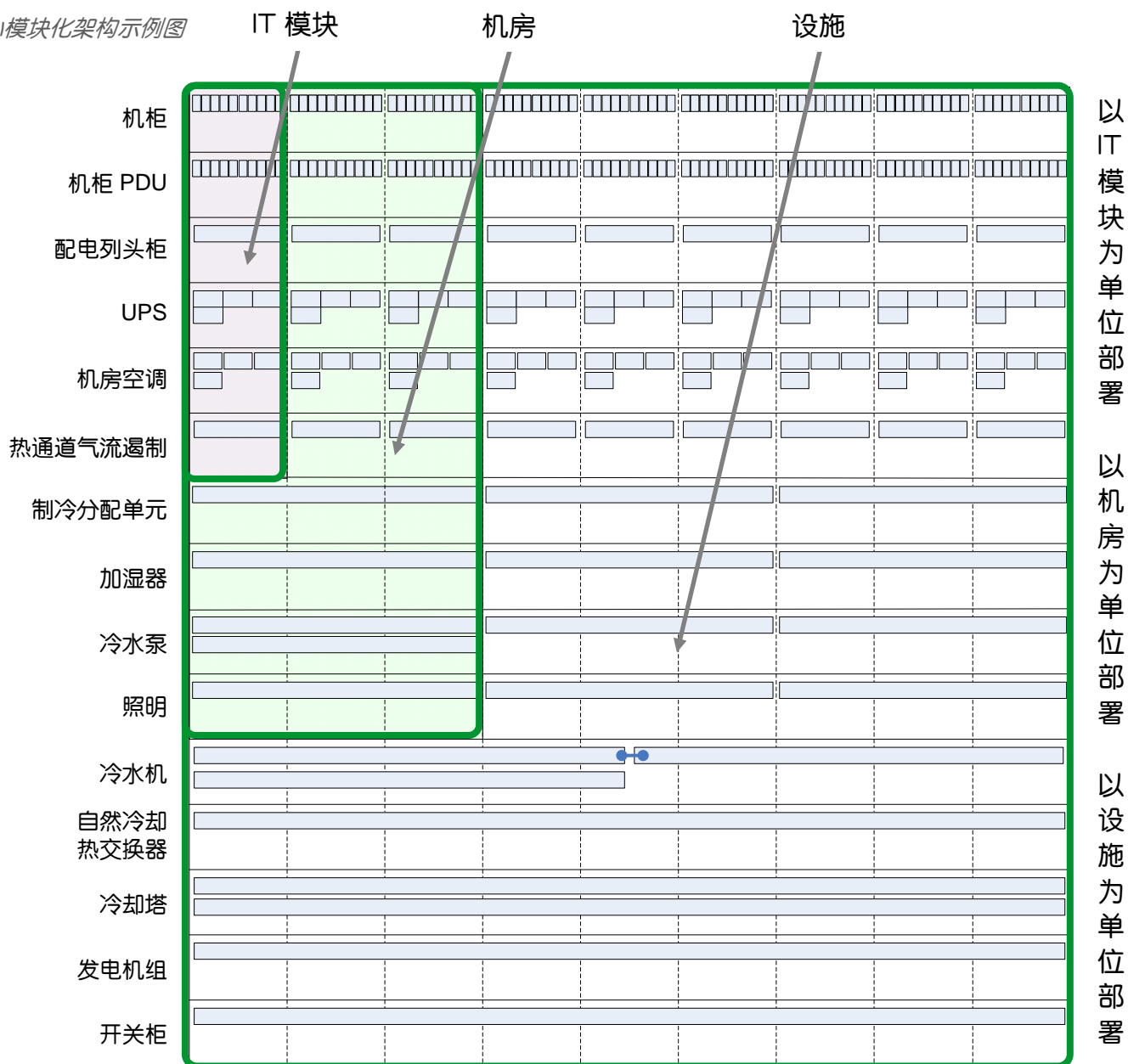


图 3 是一个数据中心架构模块图示例。在此图中，我们可看到各种类型的模块，包括设备、子系统和模块关联，它们分别部署在 IT 模块、机房和设施层次。通过该图，能够了解大量架构信息，具体解释如下。

在图的左侧，列出了构成数据中心的各子系统。灰色条块代表设备。如果所有设备块都存在，则数据中心采用了最大配置，但实际上，设备块在图中是按从左到右的部署顺序逐步扩展数据中心，以满足不断提高的 IT 负载要求。左侧列出的所有子系统的容量都需要与给定的 IT 容量 (kW) 相匹配。子系统的灰色模块必须以符合数据中心扩容需求的方式添加。图中还提供了不同子系统模块间的关联。如图所示，CRAC 模块连接到区域部署，每三个 CRAC 设备就有一个备份的机房空调构成 N+1 冗余，每十二个 CRAH 模块就部署一个加湿器，且每个机房都与一个加湿器相关联。

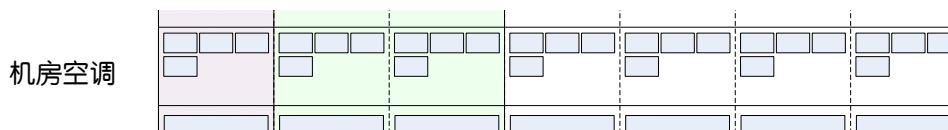
在图 3 所示的架构中的最上方，相互关联的子系统以 60kW 的大小为单位。这些相关联的子系统构成了一个 IT 模块 (Pod)，作为这种架构的核心部署模块。在这一架构中，区域部署包括机柜、机架式 PDU、配电列头柜、UPS、机房空调以及热通道气流遏制系统。

正如前面所讨论的那样，以 IT 模块为单位部署某些子系统是最有效的方式。在图 3 所示架构中，加湿器、制冷分配单元、冷水泵和照明进行关联和匹配，这样可以同时支持三个 IT 模块的部署。在此架构中，这些子系统和三个 IT 模块的方式构成了机房层面的部署。机房的边界可以是实体墙壁，也可以是一个大型机房中的某个分区，用虚拟边界隔离。

在数据中心之中，还有一些需要在整个设施级别优化部署的子系统，作为集中基础设施。在图 3 所示的架构中，这些子系统包括冷水机组、自然冷却热交换器、冷却塔、发电机和开关设备。其中部分子系统，如发电机等，不是模块化的，而另一些子系统，如冷水机组，是模块化的。

图 3 还展示了在模块化架构中是如何实现冗余的。部署模块的目的可以是实现扩容，也可以是为了实现冗余，在对架构的说明中必须明确指出其目的。如下图中所示子系统为一组从左到右堆叠，以增加容量的模块。在表示用以增加容量的模块堆叠下方，还可显示一个模块，该模块是冗余模块。如需了解本架构中如何部署机房空调子系统冗余性，请参见图 4，其中显示了 CRAH 子系统的详细信息：

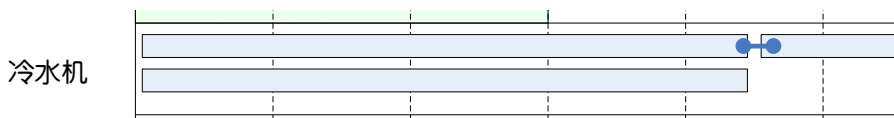
图 4  
图 3 模块图的部分截图，显示机房空调子系统



在图中，每三个用于增加容量的模块，会部署一个冗余 N+1 模块。N+1 冗余是在区域部署层面实现的。请注意本架构中以紧靠热源的行级制冷系统为例，如果在其它层面（比如每两个区域部署或每个机房）部署 N+1 模块，不会达到应有效果。该架构定义了如何实施冗余。通过图中冗余模块的放置位置，可以清楚地看到，冗余模块与系统总容量无关。

图 5 是另一个示例，显示该架构的制冷基础设施是如何实现冗余的。

图 5  
图 3 模块图的部分截图，显示冷水机组子系统



在此例中，我们部署了一个 N+1 制冷基础设施，其中每个模块能支持 4.5 个区域部署。本例表明，集中部署的模块化基础设施并不一定要和区域部署或机房边界相对应。此架构中，部署第一天就必须安装左边的两个冷水机组，以提供 N+1 冗余，而当系统添加了第五个区域部署时，再安装右边的另一个冷水机组。上面一行冷水机组间的一条蓝线表示，它们都连接至同一总管线，因此，下面的 N+1 冷水机组是这两个冷水机组的冗余设备。一开始看起来部署较小的冷水机组能够提供较高可扩展性，与区域部署相一致，但目前，冷水机组如果划分为较小模块，则成本高昂、复杂度增加。在此架构示例中，一个冷水机组必须支持相当庞大的区域部署容量，出于节能目的应选择配有变频压缩机的型号。这里要强调的重点是，选择架构中的模块大小和类型是一个复杂的优化问题，需要分析与测试，因此开发一个架构远非像将模块放到图中如此简单。图表只是一种显示、记录架构并进行交流的有效方式。

## 关键技术参数规格

一个数据中心会有一些系统级别的性能指标，如表示基于 IT 负载的 PUE 值、功率密度、市电接入容量要求、建筑面积、弧闪级别、地板承重、采购成本、运营成本等。虽然这其中很多指标是可以测量的，但事先对这些指标进行定义或确定设计方案是否符合规范要求还是有相当难度的。这是因为从所用设备组件的规格，常常很难推断出整个系统的性能。

为解决此问题，较大规模的数据中心用户一般会创建内部设计标准，或尝试反复利用它们开发的标准化设计方案，藉此提高预测可靠性、效率、密度功能等性能的能力。虽然这种方法在一定程度上是成功的，但它却使用户很难利用最新技术。如果能提前制订各种数据中心备选方案的系统级性能规范，特别是将新的方法融入进去，则效果会明显好得多。

虽然某些系统级特性是因数据中心而异，但很多指标都能作为数据中心架构的基本属性，为能够使用此架构的所有数据中心所共享。例如，从组件列表中，很难预测采用特定负载的某一数据中心的 PUE，但如果该数据中心采用一个性能已提前记录归档的架构，则确定其 PUE 就很容易。部分应定义的架构指标类型包括：

- 表示基于 IT 负载的 PUE 曲线，因部署规模和层次的不同而变化
- 子系统冗余性 (N+1, 2N 等)
- 每个 IT 模块中的可用机柜空间
- 每个 IT 模块的地板承重
- 每个机房的地板承重
- 每个 IT 模块的空间要求
- 每个机房的空間要求
- 每 kW 成本概算
- 可用性级别
- 每 kW 用水量因地理环境而异
- 每机架机柜的平均功率
- 每机架机柜的峰值功率<sup>4</sup>
- IT 机房的平均功率密度
- 安装管路和布线的要求

在设计流程伊始，就获得这些指标，能够大大提高数据中心项目规划设计流程的速度和质量。无需为详细地评估概念设计而延误任何时间，通过快速比较不同架构作出合适选择。如需查看标准化架构及相关参考设计示例，请参见第 147 号白皮书《数据中心项目：使用参考设计的优势》。一旦选定了架构，深化设计的很多方面就可明确，还有可能提前开始设计甚至提前开始生产，这大大加快了项目进度，改进了项目质量和可预测性。

## 模块占地布局图

在传统数据中心架构中，确定新建筑物或已有建筑中所有子系统的布局，通常是一个反复修改且耗时的流程，需要对大量设备进行空间和位置分析，包括对备选设备的考虑。不同的备选设备对于所占空间、操作和接口的要求也不同。



资源链接

第 147 号白皮书

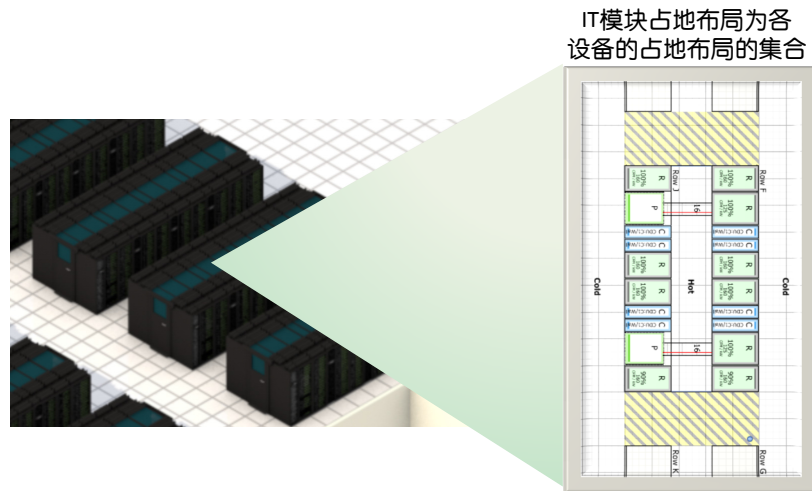
数据中心项目：使用参考设计的优势

<sup>4</sup> 每机架机柜的峰值功率和平均功率间的关系，是一个重要的设计参数，它常常被误解和错误定义。如需了解更多信息，请参考 APC 第 120 号白皮书《制定数据中心功率密度规范的指导原则》

在模块化架构中，如前所示，需要考虑的设备空间数目明显减少。例如，将 IT 模块作为核心部署单元，即将多个设备的占地布局整合为单一 IT 模块占地布局。图 6 为一个 IT 模块的占地布局示例图。

图 6

IT 模块的占地布局示例图



针对模块化架构一个争议是其太过受限于系统平面布局；IT 模块或其它子系统的尺寸不够灵活，可能会使系统无法充分利用可用空间。用户往往需要在各种大小和形状的已有空间中安置数据中心。尽管有很多例子表明，实施标准化的 IT 模块无法充分利用地面空间。但经验显示这个问题并不严重，理由如下：

- 如果事先知道 IT 模块大小，通常可通过规划，确保留出相应大小的空间
- 一个有效的架构能够提供容纳多种功率但占地面积相同的模块，以适应机房的特殊形状
- 与使用传统方法部署 IT 设备的效率相比，采用 IT 模块设计的 IT 设备密度通常要高得多，这是因为后者对作业通道和功率密度都进行了优化；基于 IT 模块的设计，一般能容纳更多 IT 设备，且设备运行效率更高，远优于看似没有浪费空间的传统设计。

## 利用模块化方法定义数据中心项目

根据以上各部分内容可以得出，为特定数据中心环境选择最优模块化架构的标准方法如下：

- 基于功率容量、可用性、扩容计划和功率密度等关键设计参数，确定整体设计方案
- 根据 IT 参数选择一个最符合各种要求的**标准架构**（使用预定工具、方法或选择准则）
- 确定项目的特殊限制（现有物理空间、电源或制冷子系统）
- 考虑限制和已选架构，确定满足 IT 参数要求所需的模块和其它项
- 验证这些模块能在当前项目限制的情况下部署
- 如果限制导致已选架构无法采用最优设计，那么则需要考虑架构中其它的备选方案、备选架构，或者尝试调整限制条件
- 明确或选定最终架构
- 确立数据中心设计规格参数，包括满足 IT 需求所需的各种模块
- 开始深化设计

请注意以上规划流程通常只需若个工作时就可完成（包括成本预测），而传统方法则可能需要数月时间。这是因为借助标准化架构，能够迅速查看最优可选设计。

## 集装箱、货盘 和其它数据 中心形式

在本文的讨论中，为了便于说明而使用传统机房数据中心的概念。而实际上，文中所用的方法和术语也可应用于任何一种类型的部署方式或技术。特别是图形表示和规格定义法，非常适合描述采用 IT 集装箱和模块化电源及制冷装置的数据中心。此外，运用文中的方法，也能高效定义采用混合方式的数据中心。

## 结论

模块化架构的优势正在得到广泛认可。本白皮书只是简要总结了这些优势。向模块化数据中心的变革势在必行，这是因为模块化能够在大幅提高性能的同时降低总体拥有成本。模块化在很多行业已经非常普及，如汽车制造行业和 IT 设备行业等。对于数据中心来说，唯一的问题是这场变革将采取什么形式，以多快的速度进行。

本文定义了模块化数据中心架构，以便数据中心运营人员、设计公司、建筑公司和供应商能够使用通用语言，高效率地展开有关模块化数据中心设计的讨论。另外，本文还进一步说明了如何正式定义模块化架构。只有当本文所述的标准规格系统或与本文所述相似的系统成为供应商介绍数据中心、客户索取报价的通用方式，整个行业将更好地受益于模块化数据中心架构的优势。

### 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 19 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。



点击图标打开相应  
参考资源链接



**数据中心项目：使用参考设计的优势**  
第 147 号白皮书



**集装箱式数据中心电源和制冷模块**  
第 163 号白皮书



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



**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](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)