

预制模块化数据中心 优缺点分析

第 163 号白皮书

版本 3

作者 Dennis Bouley
Wendy Torell
Scott Neal

摘要

借助标准化、预组装和集成式数据中心模块——数据中心业内称之为集装箱式或模块化数据中心，数据中心设计师实现了从定制化“工程项目”思维模式到标准化“现场集成”思维模式的转变。预制模块化数据中心部署速度更快且可预测性更高，且其部署成本与传统现场施工的数据中心相差无几。本白皮书全面比较了两种方案，分析各自的优缺点，并且明确最适合部署预制模块化数据中心的应用场景。

简介

数据中心各利益相关方经常面临一些挑战包括如何管理不断增长的需求，以及所需扩展的数据中心容量。通常需要做出决策，确定是要投资新的设施，还是扩建或改造现有设施。这通常需要复杂的财务和技术分析，以确定适合自身业务的最佳方案。如今数据中心的建造有了更具成本优势，也更易于部署的替代解决方案，这种方案是预制化数据中心 IT、供电和制冷基础设施模块。

预制模块化数据中心是一种预先设计、组装和集成，且事先测试过的数据中心物理基础设施系统（包括机柜、冷水机组、泵、制冷单元、UPS、PDU、开关柜、变压器等），它们作为标准化“即插即用式”模块被运至数据中心现场。这与传统做法截然不同：以往数据中心的物理基础设施都拥有独一无二的一次性工程设计，其所有组装、安装和集成都在施工现场完成。预制模块化方案带来诸多优点，包括提高成本和效率的可预测性、节省时间、节约空间、简化规划、提高可靠性、改善灵活性以及增强供应商责任感。

预制模块化数据中心可采用传统 ISO 标准的运输集装箱形式，抑或是专门建造的具有外围结构的空间。模块也可在滑动底座上建造。鉴于其外观特征方面千差万别，**本白皮书统一使用“预制模块”这一术语（而非“集装箱”）来描述预制化解决方案。**

相比传统方式部署同一基础设施时，预制模块可加快部署速度 40%，且投资成本大致相同。第 218 号白皮书《[预制化数据中心与传统数据中心的定量分析对比](#)》中的成本分析表明，虽然预制化系统的材料成本相对昂贵，但是安装和空间方面的节省足以抵消这一额外支出，使得总成本大体相当。既然成本大体相当，并无成本优势可言，那么为何要选择预制化解决方案，而不是传统的方案？**本白皮书为数据中心专业人员确定预制化数据中心模块所需的相关信息。**

在本节中，我们就预制化模块和传统数据中心物理基础设施设备之间的成本差异展开定性讨论。

投资成本考虑因素

硬件/软件成本

将预制化解决方案与传统的实体数据中心进行比较，我们发现二者所采用的物理基础设施硬件（机架、PDU、电缆桥架、开关柜、UPS、配电柜、热交换器、风冷冷水机、泵、过滤器、照明、安保和消防设施）基本是一样的。一般而言，无论这些基础设施组件安装在何处，成本是相同的。模块化的基础设施，是很难再像传统数据中心那样将其中的成本进行细分。由于需购置额外材料（比如集装箱外壳）以及将硬件、软件和控制装置预组装/集成到一起会产生其他成本，预制化模块的初始系统成本相对而言会更高。

设计成本

预制化模块首先由研发部门设计，经客户验证测试，最后投入量产。一旦投入量产，设计在工厂内完成，并最终运送给最终用户。而在传统方式下，设计阶段有多方参与。电气承包商、机械承包商、设计师、最终用户、设施部门、IT 部门和公司高管需要频繁开会，深入讨论。各方对设计要点反复推敲，权力制约和人际关系在其中扮演重要角色，决策往往需要层层批复。

“设计”成本包括两方面的成本：设备选型和布局以及场地规划和施工。采用预制化模块，设备选型和布局在工厂就已经完成（计入系统成本），场地规划和施工的工作量也有所减少，因为场地布置和规划大为简化，只涉及五个专业的人员参与，即：结构设计师、土建设计师、电气设计师、机械设计师和建筑师。采用传统数据中心建设方式时，场地规划设计和施工可能占到项目总成本的 5%。

安装成本

“安装”成本包括在现场进行的组装、集成和试运行所涉及的所有工作。具体而言，包括：

系统项目管理 – 由于项目的复杂性降低，且由单一供应商提供全部物理基础设施，预制化设施的项目监督成本显著减少。

场地准备和现场项目管理 – 这项支出包括为管道和电线管槽挖掘地沟、场地平整和浇筑混凝土垫块，以及其他一般性现场支出。不论采用哪种方式，这类支出都不可避免，因此成本也趋于一致。

现场安装 – 典型基础设施硬件安装包括设备拆包、盘点、整理和组装相关费用，以及与设备互联和系统开机启动相关的支出。对于预制化模块而言，大量此类工作都已无必要（仅需将模块放置在水泥地板上，然后把模块接入现有的楼宇开关柜，为设备制冷安装水管，然后启动系统）。

此外，还可以节省运输成本。相比于运送传统的现场组装系统的单个零件和设备，预组装模块的运送成本大幅降低。而且，这种整件运输的方式简单易行，运输途中发生的损坏也显著减少，而损坏通常会导致额外支出，或者引起不必要的延误。

管理/控制系统的安装和调试 – 在传统数据中心内，管理软件和控制系统的安装和编程是一项重大支出（每瓦 0.30 美元或更高），其中包括将管理系统仪表盘/界面集成到供电和制冷基础设施中所需的成本开支，以及调试控制系统使其达到预期性能（如设定制冷系统，以优化节能模式的工作时段和能耗）所需的花费。但鉴于系统控制的复杂性，对于大多数定制数据中心而言，这方面的成本控制目标总是遥不可及。而对于预制化设施来说，这部分支出已经包含在工厂成本中，软件和控制系统的编程和优化在工厂内已经过标准化设置，几乎不需要任何现场作业，同时还提升了数据中心的工作性能。

调试 – 调试包含对数据中心设计/建造过程的所有文档记录和验证工作。不同数据中心其试运行的具体步骤也各不相同，但是通常都包含诸如工厂目测、质量保证与质量控制、启动、功能测试以及系统集成测试。对于预制化设施来讲，工厂目测和质量保证这两个步骤通常在工厂进行，从而节约了现场时间和费用。

空间成本 – 预制化模块另一个主要成本优势体现在，安放物理基础设施的现场施工作业大幅降低，甚至减少为零。这类施工不但代价不菲（每平方米 1,076-1,614 美元，或每平方英尺 100-150 美元），而且还会破坏正常设施运行（见图 1 和图 2）。

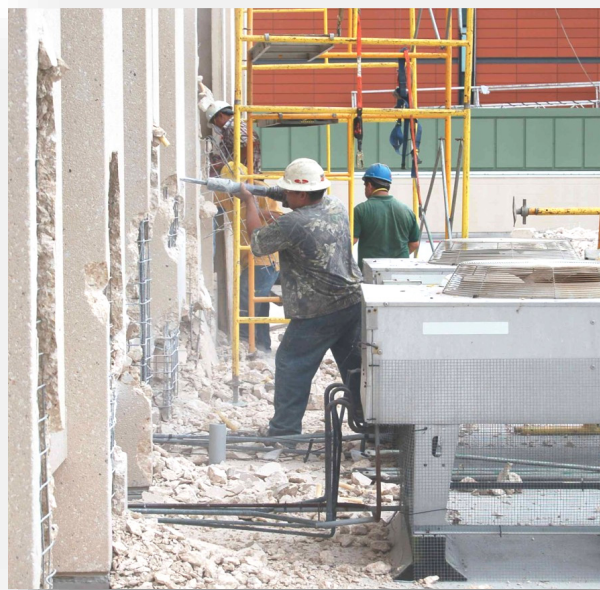


图 1

数据中心传统扩建方法

图 2

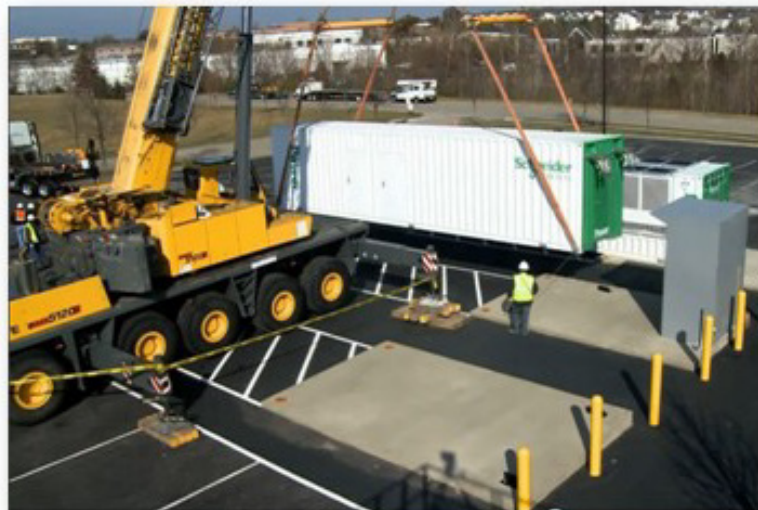
在传统架构的数据中心内
安装高架地板



对于预制化模块方案，建设性的工程量破坏性小且简单，无需建造实体或外围结构，也不需要重新翻修内部空间，因此现场安装量大幅下降。图 3 中，吊车正在将预制化模块吊装到现场的水泥垫块上。吊装完成后，供电线路将接入主开关柜、制冷设施模块和 IT 机房，同时冷冻水管将接入 IT 机房内的空调设备。

图 3

预组装的预制化数据中心
供电模块的安装现场

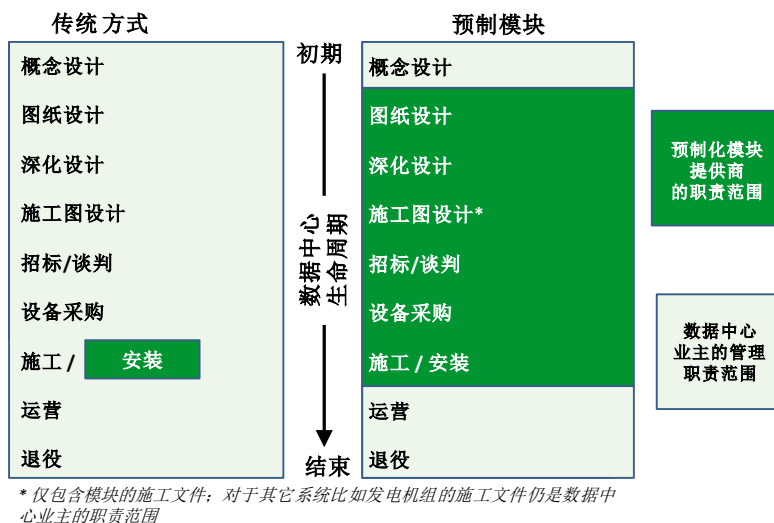


如果数据中心选用供电和制冷模块，那么传统方式中诸多的前期设计和施工管理职责将从数据中心业主/最终用户转移到解决方案供应商，如图 4 所示（注：如果采用传统方式，很可能是由一家设计建造公司来执行所有这些工作）。制造商将负责设计数据中心供电和制冷模块，并为不同客户认可和签发这些模块。数据中心供电和制冷物理基础设施成为生产供应链上的一个环节，而不再是现场定制施工的一部分，这对安装成本有着重要影响。

在传统方式中，业主/最终用户要么负责开发方案、装配组件、向各种供应商采购设备，要么雇佣和管理承包商来完成这些工作。与之形成对比的是，由于预制化模块已在工厂内预先建造，业主/最终用户无需处理这些耗时费力的工作（比如，不需跟踪设备组件，只需管理少量的送货进度，只需与极少的施工承包商接洽）。

要比较预制化数据中心与传统数据中心两种方案的成本优劣，请使用施耐德电气的权衡工具，[预制化与传统型数据中心成本计算器](#)。

图 4
 在传统方式下，数据中心业主需负责规划和制定解决方案或将其外包



运营成本考虑因素

以上着重于分析投资成本。实际上，当比较预制化模块与传统供电和制冷方式时，运营成本也需考虑分析。

维护成本

成本节省的机会在于预制化模块维护成本的降低。虽然模块化需在更为紧凑的空间里实施维护工作，但是用户可以签订“一站式”模块服务合同来实现成本节约。无需与多个供应商签署不同合同条款，只需签署一份合同就可以获得一个或两个完整的“大型”预制化模块维护服务。

在这种情况下，一家承包商将全面负责预制化模块的正常运行。这种方法简单易行，因为一旦发 生意外事故，数据中心业主无需花费时间去追溯应该是哪家供应商对此事负责。在传统数据中 心中心中，许多零件和部件（水管、电气装置、供电系统、制冷系统和机架）通常由不同供应商提供 维护支持，相互推诿责任的情况时有发生。

软件或管理方式升级也可以节省成本。由于不再需要为诸多的产品或设备专门编写代码，数据中 心预制化模块可以为用户提供一整套标准化的固件升级。

能源成本

传统机电室的消耗的能源也比同等规模的供电和制冷预制化模块要多。这主要是因为预设计模块 可以更好地集成供电和制冷系统的控制装置（当与制冷系统的控制装置协调运作时，这一优点尤 为突出）。

下面以冷水机的控制为例。要确保冷水机组、冷却塔、水泵和阀门高效协同工作，要进行大量的 编程工作，而加入节能模式更是让复杂性大大增加。事实上，正是因为其复杂性，很多时候在设 计时会禁用节能冷却模式，直接导致额外的能耗增加。

“ 预制化数据中心的电能利 用率（PUE）是可预测的，因 为设备采用标准化元器件已预 先测试，控制装置已提前完成 协调方面的调试。”

美国采暖、制冷与空调工程师学会（ASHRAE）公布了冷水机组的制冷性能系数（COP）。COP 越 高，系统总体性能越好。虽然组成冷水机组的单个部件可以达到公布的标准，但大多数冷水机组 的整体 COP 却不尽如人意。需要集成不同组件的控制装置时，就会遭遇这一问题。定制化设计 以及现场控制系统集成所带来的低效表现，往往意味着在节能冷却模式下运行的时间明显偏少， 导致总体能耗偏高。

对于传统数据中心而言，由于控制系统的复杂性，PUE 往往很难预测。但是，预制化数据中心的 电能利用率（PUE）是可预测的，因为设备采用标准化元器件已预先测试，控制装置已提前完 成协调方面的调试。让我们来看一个例子：一个位于美国密苏里州圣路易斯市内的 1MW 的传统

数据中心，负载率在 50%，平均功率密度为每机架 6kW，配备高架地板、冷水机组、变频器 (VFD)、水控装置以及节能冷却模式，其 PUE 一般为 1.75。具有可比性的预制化数据中心经测试和分析，测得的 PUE 为 1.4 甚至更低。体现在电费上，预制化数据中心可节约 20% 的电费。

预制化模块 优点

除成本节省这一优势外，数据中心业主还有其他理由选择预制化模块方案：

可预测的效率 – 基于设计时的实测数据，预制化模块允许用户提出将预期效率写入规格书的要求，要求制造商公开这一预期效率。这种可预测性对于注重能效的公司来说非常具有吸引力。新数据中心建设要面临的一个常见挑战是管理现场不可预见的问题和变化，这些对实现设计的预期效率不利。预制化模块方案有助于实现这些效率目标，因为这种方案可以免受诸多现场施工问题的困扰。

可预测成本 – 建设项目越复杂，出现变更单和成本超支的可能性就越高。将大多数数据中心基础设施集成在受控的工厂环境中，现场变更和延误的机会显著减少。

可转移性 – 如果可转移性是一个重要的考量指标，那么预制化模块方案更是明智的选择。假设一家公司需要部署数据中心供电和制冷设备，但是它的场地租期只剩 18 个月了。如果场地租期到期后不续约，这家公司可以将他们的物理基础设施（供电和制冷）搬走，而不是将它们丢弃在原租赁的场地。

财务灵活性 – 从财务角度来说，预制化模块可被归入“设备”类别而不是“楼宇”类别。这可能会带来一些税费、保险和财务方面的利益。当然，各地和各区的税法、保险政策和采购/租赁合同各不相同，因此，应事先确认在具体业务环境中是否可以获得这类财务方面的利益。

应对不确定性 – 如果未来增长存在高度不确定性，预制化模块方案堪称行之有效的选项。它的灵活的可扩展性和按需配置的特点可以将风险降到最低。

释放高价值的占地空间 – 在许多情况下，数据中心所占用的物理空间可能更适合用于部署一些核心职能。大学、医院、呼叫中心和工厂就是其中的典型代表，数据中心的扩容会侵占宝贵的楼宇空间，使其存在的财务合理性遭受质疑。将数据中心迁移到楼宇外或非核心的占地空间，对于企业的 CIO 和 CFO 而言，不啻于是财务上的双赢局面。

加快部署速 – 传统数据中心从概念设计到试运行可能需要花费 2 年的时间，具体取决于数据中心的规模和复杂性，但部署速度对业务部门而言，往往至关重要。那些希望抢先推出产品的公司（比如，期望将新产品首家推出市场的公司）非常看重时间成本。采用预制化模块构建的数据中心，从概念设计到试运行的部署时间比传统数据中心最快可缩短 40%。预制化模块供应商为客户实施的设计过程采用可重复的流程，设计和集成在一起的子系统，可以节省 50% 的设计/施工时间。此外，采用预制化方案时，可以并行开展更多任务，节省大量时间。例如，现场准备工作可以在工厂建造模块时同时完成。现场测试、安装和调试也能更快完成，因为模块是在工厂经过预测试并作为子系统而不是单个元件或设备交付使用。

简化培训 – 预制化模块方案可以大大简化对工作人员的培训，因为模块全部采用标准化设计并使用系统级别的界面进行操作。如此一来，数据中心运营人员的变动对数据中心的的风险大幅减少。

既然预制化模块方案具有灵活性、快速部署以及成本等方面的优势，那为什么并不是每个数据中心都适合采用这一方案？预制化模块方案面临的部分挑战如下：

楼宇现有投资 – 在评估 IT 机房的预制时，务必对传统楼宇现有或已计划的投资进行考量，因为这会对成本分析有重大影响。已经具有防风雨的外围部件的预制化模块，将它们安置在已经完工的机房内所增加的成本，将弱化其所带来的成本收益。

预制化模块 缺点

预制化模块和室内数据中心的距离 – 如果由室外模块为室内 IT 机房提供供电和制冷，那么距离将是重要考量因素。如果室内 IT 机房毗邻外墙或屋顶，数据中心与预制化模块之间的连接费用可控制在最低水平。但是，如果数据中心位于楼宇底层，那么敷设电线和水管的高昂成本（需要穿墙、地板和/或天花板）将令人望而生畏。

物理风险 – 暴露在室外的预制化模块将受诸如恶劣天气、蓄意破坏、车辆进出（如放在停车场里）以及动物/昆虫骚扰的影响。在选择部署预制化模块前，应对其场地做风险评估。在这些情况下，还必须对其他支持系统（例如发电机、冷水机或冷凝机）加以考虑。

供电和网络连接 – 当预制化模块安装后，应提供额外的配电装置（额外断路器/开关柜）以及光纤连接。

尺寸限制因素 – 预制化模块体积庞大，且较为笨重，虽然可以移动，但在放置或者迁移时仍有一定困难。这些模块有时因为超重，无法安装在楼宇的屋顶上，或在狭窄的城市街道中运输时，会遇到通行方面的问题。

当地法规的要求 – 由于预制化模块是一项新技术，当地政府可能还没有制定预制化模块限制要求方面的指导说明。各市政当局对供电、制冷和 IT 模块的类别划定，可能也各不相同。因此，当地法规决定了要进行多大程度的模块设计和定制，才能获得相关主管机构 (AHJ) 的批准。

运输 – 美国运输安全管理局 (TSA) 规定了宽度（11.6 英尺，3.5 米）和长度方面的限制要求，确保载货卡车和火车能够通过弯道、桥下和隧道。在北美以外的地区，道路可能更为狭窄，进一步限制了集装箱的通过性。非标准宽度的预制化模块需要获取特殊通行证才可上路，有时还需专门护送，增加了预制化模块的运输成本。

表 1 就上述各个方面总结了传统数据中心和预制化模块之间的差异。（注：用绿色标记标注的单元格表示该项因素的最佳表现者）。

施耐德电气从三个属性对预制化模块进行分类，这三个属性可定义大多数预制化模块数据中心。这三个属性是：

- 功能模块
- 外观特征
- 配置方式

功能模块 – 数据中心按功能可分为以下三大部分：供电设施、制冷设施以及 IT 区域。预制化数据中心模块也可提供多个功能（比如一体型配置），但通常情况下它们各自仅提供其中某项功能。

外观特征 – 指结构类型、尺寸或形状。外观特征会影响其运输便捷性、安放方式以及安放位置（室内还是室外，地面还是屋顶）。以下是三种基本的预制化数据中心外观特征：ISO 集装箱式、独立封闭式和滑动底座式。

配置方式 – 各个功能块在数据中心里有多种部署和实现方式。大致可归类为以下 3 个主要类别：

- **部分预制化数据中心**：数据中心由预制化功能模块和传统的“现场施工”系统二者结合而成；
- **整体预制化数据中心**：数据中心完全由预制化 IT、供电和制冷模块构成
- **一体型数据中心** – 数据中心为单个独立封闭空间，且配备齐全，自带 IT、供电和制冷系统

预制化模块类型

有关预制化模块类型的更多信息，请参见第 165 号白皮书，[预制化模块化数据中心的分类](#)。

表 1

传统和预制化模块方案对比汇总

因素	传统数据中心	预制化模块
部署时间	通常需要 12 至 24 个月	可在 8 个月或更少时间完成设计、交付、安装并投入运行
部署成本	由于需要进行大量现场组装、安装和集成工作，因此前期投资成本较高	大功率的预制供电和制冷模块可构建大型数据中心
法规限制要求	在基础设施部署的各个步骤，需要监管部门按特设要求审批通过。该审批过程往往会导致后续施工延期。最终用户自行负责获得相关审批。	选择安装预制化模块的数据中心业主应在安装前与当地相关主管部门确认。根据地域的差异，许可手续可能迥然不同。
安防	资产被放置在楼宇内部，远离外部环境，因此物理安全得到更好保障。	物理基础设施资产安置在楼宇外面，增加了其遭受安全事件和恶劣天气危害的可能性。
安装	从物理基础设施的角度来看，改建比新建数据中心更为复杂，同时带来更大侵扰。基础设施组件需要分别安装，分别启动，然后试运行。	需要能够搬运预制化模块的专业设备，比如吊车。大多数硬件安装在工厂完成，现场施工大大简化。
税费	被视为楼宇的永久组成部分	从缴税角度来看，作为临时构筑物认定会更具吸引力（参见施耐德电气第 115 号白皮书，《 可移动的模块化数据中心基础设施的会计和税务分析 》）
可靠性	不同供应商提供的各种零部件的现场组装使得协调工作量增加，因此产生人为失误的可能性也更大。	组件在交货前已经完成预先配线和工厂验收，因此性能更具可预测性。越小的模块设计可降低了人为失误的风险，因为发生单点故障，整个数据中心并不会宕机。
效率	由于现有楼宇结构的限制，无法通过优化供电和制冷系统获得电气效率的提升；复杂的定制化控制装置还会造成制冷系统运行不佳，降低效率。	预制化模块采用标准化和模块化的内部组件，可设定预期的 PUE。
碳足迹	所用的施工建材均会产生大量碳排放。砖块、保温层和混凝土都是高碳排放建材。混凝土常用来制作地板、墙体和天花板。楼宇基础设施的约束会影响 PUE，从而导致能耗水平欠佳。	钢材和铝材的碳排放只有混凝土的一半。混凝土仅被用来浇筑地面底座。预制化模块所需的混凝土用量远比同等规模、数据中心的外围建筑用量要少。经优化和测试的控制装置确保可预测的 PUE，减少能耗。
可维护性	传统数据中心更宽敞的空间供维修人员开展作业。维修期间不会受到外部恶劣天气条件的影响。	维护需在更为狭窄的空间内完成。在某些情况下，需通过从外部开门或将设备移出进行设备维修。

预制化模块应用

以下是预制化数据中心模块的一些常见应用：

寻求以更快更便宜的方法，为客户提供“分阶段、可重复”的计算机供电和支持系统扩展的托管服务商 – 预制化模块可为托管服务商提供相应的解决方案，在市场环境变化引发服务需求波动时，借助大功率的模块化组件，经济高效地完成扩建或缩减。

供电和制冷容量或空间不足的数据中心 – 预制化模块可以快速增加制冷和供电容量，确保在现有机架上放置额外的服务器，提升单位机柜的功率密度后，可获得足够的供电和制冷能力。

时间紧迫的新建项目 – 那些希望抢先推出产品的公司（比如，期望将新产品首家推出市场的公司）非常看重时间成本。

在租赁场地上运营的数据中心 – 如果企业是在租赁的场地上运营业务，他们可能不会斥资购置无法带走的固定资产。如客户不再延续租赁合同，模块化的设施则可以随企业一同转移。

IT 部门的工作人员愿意自主管理供电和制冷 – 无需依赖设施部门的紧张资源，这些部门自己能够利用预制的基础设施模块，控制冷冻水供应。

现有基础设施 PUE 表现欠佳，数据中心设施深受其累 – 由于实际空间的限制条件，这些设施的改善空间有限。添加预制化模块无疑是一种替代解决方案，可帮助其解决自身设计缺陷所带来的固有问题。

拥有闲置空间的公司 – 比如，空仓库可用于放置一系列的预装模块。这样一来，不仅可以利用闲置空间，还能避免新建实体建筑物可能发生的工期延误和施工成本。

空间有限的公司 – 要论证新建或扩建工程在财务上切实可行或有利可图，这对于数据中心运营商并非易事。如果这些建筑空间本来可用于创造营收（医院、大学或工厂），那么这一工作更具挑战性。对于这些组织机构，预制化数据中心提供了传统施工的替代方案。

结论

预制化数据中心模块方案是传统数据中心设计和建造方式的一种替代选择。面临新的经济形势，企业已无力承受建造传统数据中心所需的前期高昂成本投入和可能发生的施工延期风险。得益于预设计型预制化模块的运用，规划周期的重点已从现场施工转变为对预生产、预测试的供电和制冷模块的现场集成。这种转变带来了诸多裨益，即：以总体相当的成本，加快部署速度，减少空间占用，提高预测性，增加灵活性。

预制化模块的理想应用场景包括：

1. 寻求以更快的方法，提供“分阶段、可重复”的计算机供电和支持系统扩展的新建数据中心（特别是未来负载增长存在不确定性时）。
2. 拥有闲置空间（如仓库空间）的公司，可以更快部署新数据中心，无需承担新建实体建筑所需的花费。
3. 受限于空间、供电和制冷能力的现有数据中心。

与传统的实体数据中心相比，预制化模块方案可以提供多种优势，但这些优势取决于公司的具体业务挑战。预制方案为数据中心运营商和 CIO 提供了便于管理增长、投资成本和部署速度的“利器”。在各大领先企业中，数据中心正在从实体式建筑向模块化方案过渡，而云计算商业模式也将加速预制化模块在市场上的快速部署。

关于作者

Dennis Bouley 是 MediaSolve 集团的客户权益保护人和内容制作人，MediaSolve 集团是一家战略性 B2B 营销服务公司，致力于帮助公司和机构利用网络和社交媒体实现业务目标。他曾效力于施耐德电气，担任施耐德电气全球出版物总编辑，历时 18 年，并且还是施耐德电气数据中心科研中心的高级研究分析师。他获得了罗德岛大学（University of Rhode Island）新闻专业和法语专业双学士学位，并获得了法国巴黎索邦大学（Sorbonne）的年度证书。

Wendy Torell 是施耐德电气数据中心科研中心的高级研究分析师。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 在位于纽约州斯克内克塔迪的美国联邦学院（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。

Scott Neal 是施耐德电气预制 IT 模块的产品线经理。他负责施耐德电气预制 IT 模块的全球产品开发和未来规划。他拥有广泛的技术背景，在其超过 20 年的职业生涯中一直专门致力于产品创新和技术营销，以支持数据中心基础设施的解决方案。他获得 Purdue University（普渡大学）机械工程技术学士学位。



[预制化数据中心与传统数据中心的定量分析对比](#)

第 218 号白皮书



[可移动的模块化数据中心基础设施的会计和税务分析](#)

第 115 号白皮书



[数据中心制冷系统的节能冷却模式](#)

第 132 号白皮书



[数据中心项目：成长模型](#)

第 143 号白皮书



[传统数据中心与可扩展预制化数据中心总拥有成本（TCO）的比较分析](#)

第 164 号白皮书



[预制模块化数据中心的分类](#)

第 165 号白皮书



[浏览所有白皮书](#)

whitepapers.apc.com



[数据中心投资成本计算器](#)

权衡工具 4



[数据中心设计规划计算器](#)

权衡工具 8



[预制化与传统型数据中心成本计算器](#)

权衡工具 17



[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

如果您是我们的客户并对数据中心项目有任何疑问：

请与所在地区或行业的施耐德电气销售代表联系，或登录：

www.apc.com/support/contact/index.cfm