

为数据中心选择最佳功率密度

第 156 号白皮书

版本 0

作者 Kevin Brown
Wendy Torell
Victor Avelar

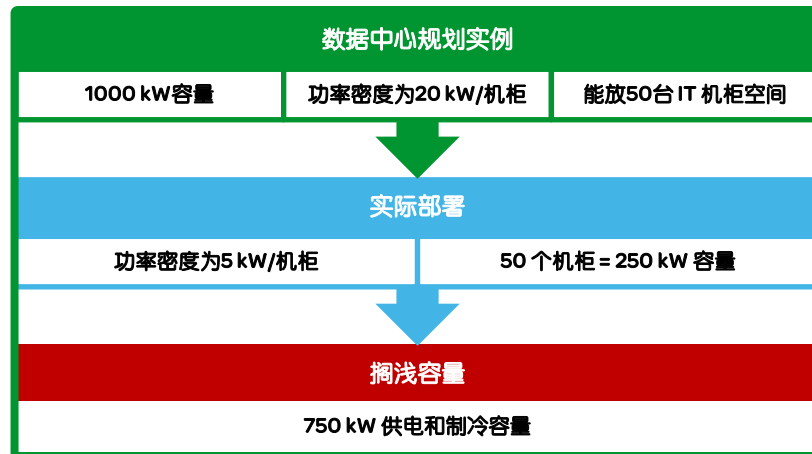
摘要

IT 机柜功率密度的选择对数据中心投资成本有着直接的影响。当数据中心平均机柜功率密度保持在至少每机柜 5kW 以上时，其投资成本将显著降低；而当达到每机柜 15kW 以上后，投资成本的降低并不明显。本白皮书通过分析数据中心的投资成本，介绍一种可满足最佳功率密度的灵活架构，并讨论执行运行策略对强化规格的重要性。

简介

如今的数据中心平均运行功率密度远低于预测。根据初期预测结果，迄今为止，企业数据中心单台机柜运行功率密度应达到 30kW 及以上。而事实上，平均运行功率密度增长非常缓慢，至今仍徘徊在每台机柜 3-5kW。根据所预测的最大密度规划的数据中心，很可能 IT 空间早已用尽而供电和制冷资源尚绰绰有余。对于大多数的数据中心而言，由此产生的供电和制冷容量搁浅代价高昂。请看图 1 简例：

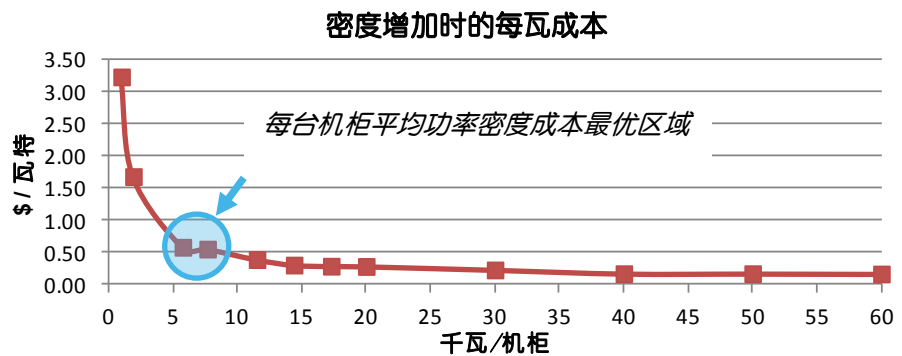
图 1
根据预测制定的高密度部署结果实例



指定功率密度可能产生的影响常常为人所忽略，但正如图 1 所示，它会对供电和制冷资源的使用造成巨大影响。第 155 号白皮书《数据中心空间和功率密度需求的计算》对数据中心传统空间和密度规划方法的缺点进行了讨论，并为这些需求的确定提供了改进方法（包括使用 excel 工作表）。

本文着重讨论数据中心如何根据 IT 技术的发展趋势制定最佳功率密度、大多数数据中心呈现的复杂 IT 环境以及采用不同功率密度时所需的基础设施成本。图 2 为投资成本分析汇总图（投资成本模型详情请参阅附录）。如图所示，当每台机柜功率密度从 1kW 上升至 5kW 时，每瓦成本陡降，而在每台机柜功率密度达到 5kW 以上后，曲线则渐趋平稳。根据该成本曲线，本文建议将每台机柜最佳平均功率密度设为 5-8kW。低密度的 IT 设备部署的每瓦成本过高，但部署密度过高，设计复杂度则会相应增加，降低回报率。

图 2
每台机柜功率密度达到 5kW 后，每瓦成本节约减少。该成本包括机柜、机柜配电单元、分支电路和空间的成本。



对于规划未来 IT 设备，总会存在一定的不确定性，如果运行功率高于或低于预期，供电和制冷基础设施能否灵活部署就显得非常重要。采用何种规划策略才能实现这一灵活性？本文稍后会进行介绍。

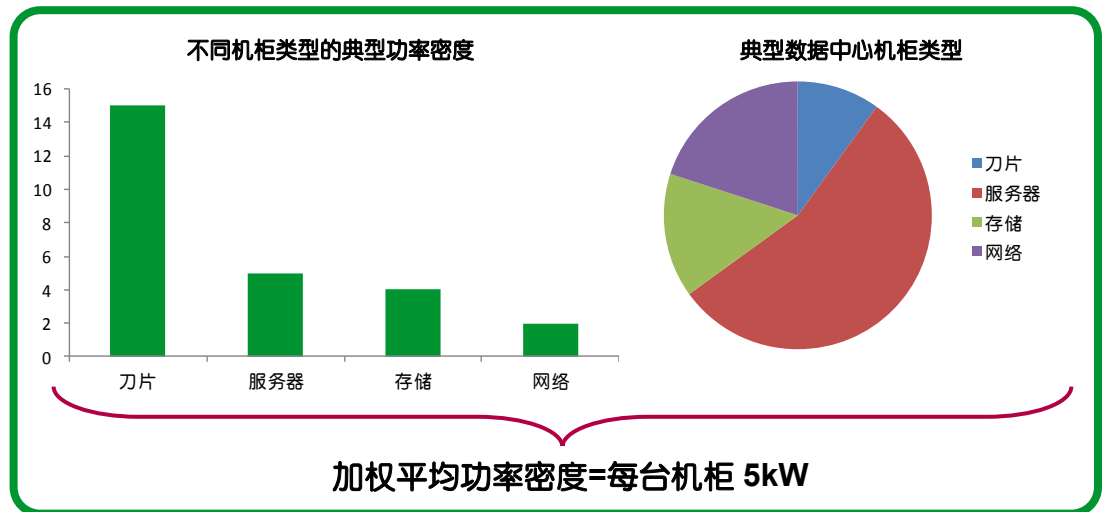
为何高密度仍未被广泛采用？

为何数据中心设备平均部署密度普遍低于预测密度？主要原因有两个：（1）混合的 IT 负载；（2）IT 技术的持续改进。

混合的 IT 负载

将整个机柜装满刀片服务器，使机柜功率密度达到 20kW 甚至更高，尽管这一做法可行，但是这类机柜在 IT 空间中的占比却极低¹。当综合考虑服务器机柜、存储设备机柜和网络设备机柜时，其平均功率密度通常要低得多。因此，当谈到功率密度时，必须清楚所讨论的值是平均功率密度值还是峰值功率密度值。图 3 所示为混合的负载环境对平均功率密度的影响。这些数值代表典型数据中心的数值。

图 3
数据中心内混合负载导致平均功率密度降低



IT 技术的持续改进

随着 IT 技术的不断发展，密度规划（以及总体容量规划）对于 IT 管理人员来说无疑是一大挑战。由于技术更新周期通常为 2 至 4 年，加上无法确定未来到底需要怎样的 IT 设备，以及这些设备的功耗，因此企业倾向于过高估计未来的需求，并为此留出安全裕度。认识以下 IT 设备属性至关重要：

- 铭牌并不能反映实际功耗
- IT 设备的功耗并非恒定不变
- 每瓦特的性能（计算）在不断提高

设备不可能达到铭牌上的额定功率。通常，IT 设备功率不会超过铭牌上额定值的 50%，实际功率取决于设备的配置情况。可以利用工具（如惠普的 Power Advisor 电能计算器工具）估算设备的实际功耗²。采用惠普的 1U 服务器和 Moonshot 服务器（2014 最新款）也很难配置一个 10kW 以上功率密度的机柜。

IT 设备的功耗随其工作负载的变化而变化。现代服务器的电源管理系统可使设备正常运行期间的功率翻倍或更大变化（峰值 vs. 空载）。许多服务器采用动态功率封顶技术，这也限制了设备的最高功耗。

¹ 注：高性能计算设备（HPC）例外。

² <http://www8.hp.com/us/en/products/servers/solutions.html?compURI=1439951>

服务器芯片的性能功耗比值不断增大。表 1 提供的实例显示了从 2010 年到 2013 年服务器芯片的性能功耗比的变化过程。另外，如图 4 所示，每个机柜 U 空间的功耗渐趋下降。

表 1

2010 年到 2013 年服务器芯片性能改进实例

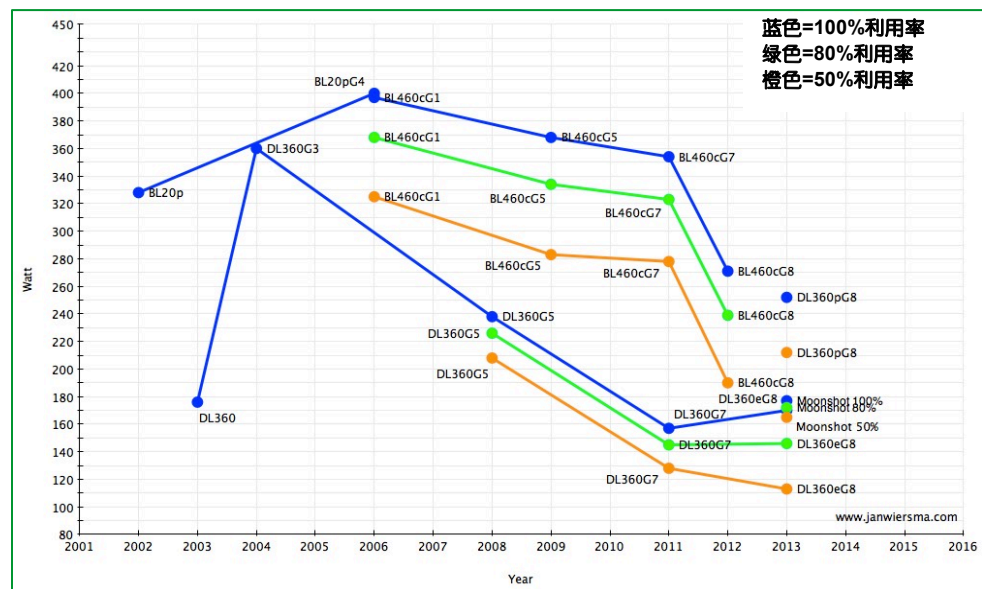
	Xeon E5520	Xeon E5-2670v2
年份	2010	2013
核数	4 核	10 核
功率	80Watts	115Watts
平均 CPU 点数	4588 ¹	20516 ²
性能/瓦	4588/80=57	20516/115=178

1 - <http://www.cpubenchmark.net/cpu.php?cpu=Intel+Xeon+E5520+%40+2.27GHz&id=1243>

2 - <http://www.cpubenchmark.net/cpu.php?cpu=Intel+Xeon+E52670+v2+%40+2.50GHz&id=2152&cpuCount=2>

图 4

包括“披萨盒”式服务器、刀片式服务器和优化功率服务器等在内的普通服务器单位 U 空间的功率变化趋势。



资料来源：http://datacenterpulse.org/blogs/jan.wiersma/where_rack_density_trend_going

目前芯片功耗呈稳定或下降趋势，设备采用更高密度成本节约不明显，业内历来习惯于过高估计未来密度的需求，根据这些因素来看，在可预见的未来，数据中心功率密度可能不会超过每台机柜 10-15kW。显然也可能有例外情况，某些 IT 需求可能导致更高的功率密度，如高性能计算设备，但是即使在这种情况下，更高密度所带来的优势也可能受到质疑。

投资成本驱动力

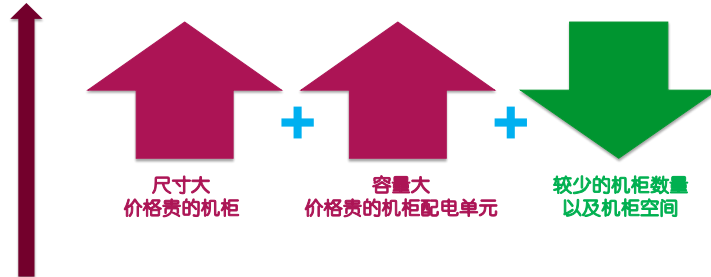
我们开发了一套投资成本模型，用以量化数据中心功率密度变化时机柜、空间、配电与制冷成本。我们对一个 1MW 数据中心（无冗余配置）进行了分析，其平均功率密度从每台机柜 1kW 到每台机柜 60kW，空间需求、机柜类型和数量、配电线路所使用的断路器和导线的变化等因素也纳入考虑。我们将所有机柜功率密度的总功耗固定在 1MW，这意味着在机柜功率密度给定的情况下，每台机柜消耗的功率一样。这种假设的配电模式使我们能够不考虑机柜功率变化对成本的影响（下一节我们将单独对其量化分析）。附录提供了该模型使用方法和设定值的详细信息。

根据我们进行的敏感性分析结果显示，以下三个关键变量影响图 2 中的每瓦成本密度曲线：

- 机柜宽度和深度
- 机柜配电柜类型
- 机柜数量及其所占空间

当功率密度从每台机柜 1kW 升至每台机柜 5kW 时，每瓦成本陡降，因为机柜数量和占用空间减少，节约了大量成本。但随着功率密度继续升高，机柜数量和占用空间减少节约的成本与购买价格更高的机柜（加宽机柜、加深机柜）和更高机柜配电成本（使用电流更大的断路器和连接器）相抵消。机柜功率密度达到每台机柜 5kW 以上后，成本节约已然存在，但几乎可以忽略不计，而且必须权衡更高功率密度情况下设计的复杂性。图 5 说明了这三种驱动力的关系。

图 5
影响资本支出方程的 3 个关键变量



对供电的影响

我们的成本模型并未包括购买大容量电气设备（如 UPS、发电机）的投资成本，因为该笔费用的支出固定，不会受到 IT 机柜功率密度变化的影响。也就是说，无论用电负载是 10 台每台功率为 10kW 的机柜还是 20 台每台功率为 5kW 的机柜，UPS 和发电机容量均不变。

由于区域规格容量（即由本地配电单元或电力分配单元供电的机柜数量）会随着机柜密度的改变随之改变，本地配电单元或电力分配单元的成本也可能发生小幅变化，但这并不是确定最佳密度的重要成本驱动力。

当密度增加时，必须采用容量更大、价格更贵（如更粗的线缆、大型断路器）的机柜配电单元才能支撑设备的运行，因此机柜配电成本是确定最佳密度的关键成本驱动因素。在已知工作电压（单相或三相）以及机柜配电单元内的输入断路器电流强度的情况下，当功率超过机柜配电单元规定时，断路器会自动断开。表 2 所示即为这些自动断断路点。第 28 号白皮书 [《在 230VAC 国家应用于高密度机柜供电的可选方案》](#) 和第 29 号白皮书 [《应用于高密度机柜供电的可选方案》](#) 对此做了详细描述。

当采用 25A 电流（北美地区采用 30A 电流）或更高电流强度的机柜配电单元时，按规定必须在机柜内安装分支断路器，保护向各插座供电的所有分支电路。出于可靠性方面的考虑，许多数据中心运营商不愿安装这些额外的断路器（因为如此做法会增加故障点），于是将机柜配电单元的大小限制在 16A/20A。如此一来，便自然地将单位机柜的最高功率密度限定在 11-11.5kW。

瓦特/机柜：更实用的功率密度度量单位

许多数据中心专业人士仍习惯使用瓦特/平方米或瓦特/平方英尺表示功率密度的单位，这样容易混淆概念，因为其无法确定所指的确切空间（仅指机柜空间、还是机柜与间隙空间，或者是 IT 和物理基础设施空间？）

这种情况下最好使用瓦特/机柜作为度量单位，因为其定义明确。更多信息，请参阅第 120 号白皮书 [《制定数据中心功率密度规范的指导原则》](#)。

表 2
根据电路断路器容量形成的功率密度自动断断路点

北美地区电压	单相			三相		
	20 A	30 A	40 A	20 A	30 A	40 A
120 V	1.9KW	2.9KW	3.8KW	5.8KW	8.6KW	11.5KW
208 V	3.3KW	5.0KW	6.7KW	5.8KW	8.6KW	11.5KW
240 V	3.8KW	5.8KW	7.7KW	11.5KW	17.3KW	23.0KW
欧洲地区电压	16 A	25 A	32 A	16 A	25 A	32 A
230 V	3.7KW	5.8KW	7.4KW	11.0KW	17.3KW	22.1KW

对制冷的影响

我们的成本模型不包括大容量制冷设备（即冷水机组、冷却塔）的投资成本，原因与大容量电气设备如出一辙，不会受到 IT 机柜功率密度变化的影响。

通过气流遏制系统将冷热气流分离是数据中心采用的最佳实践，我们的投资成本模型也假定采用这一最佳实践。由于在所有合理的功率密度范围内，相同数量的制冷单元可用于对所有机柜的制冷，因此气流分配（房间级和行级制冷）也不包含在投资成本曲线内（图 2）。请注意，当功率密度达到每台机柜 30kW 或以上后，行级制冷成本增加明显。不过，我们并未分析过当功率密度达到每台机柜 30kW 或以上后对房间级制冷的影响。

如果不通过气流遏制系统分离冷热气流，由于不同程度的气流混合（取决于机房布局和功率密度），会对气流分配（机房空气处理装置/机房精密空调）投资成本产生重大影响。当采用无气流遏制系统的房间级制冷时，在功率密度达到每台机柜 7kW 前，投资成本随其均匀上升，在功率密度超过每台机柜 7kW 后，这些制冷设备就很难对空间内所有机柜持续制冷。

当采用无气流遏制系统的行级制冷时，成本曲线形状的坡度会变化。功率密度低时，由于冷却器距离其支持的 IT 设备较远，且未采用气流遏制措施，因此成本增加较大。随着功率密度增加，紧靠热源的制冷效果增强并与“气流遏制”成本曲线相交。

气流与密度—风冷 IT 设备会吸入一定气流并排出热风。在已知功耗 (kW) 的情况下，某些设备需要的气流量是不一样的。我们对气流与功耗之间的关系进行了研究，因为这种关系决定了数据中心所需制冷单元的数量。基于 *能源之星* 规范说明书上现有数据，我们发现，每千瓦 CFM 随功率密度的增加而降低（见图 6）。根据热能公式³，气流量需求越低表示 ΔT 越高； ΔT 越高表示每个制冷单元的容量越大，因此满足相同总负载 (kW) 的制冷需求所需的制冷单元数量就越少。

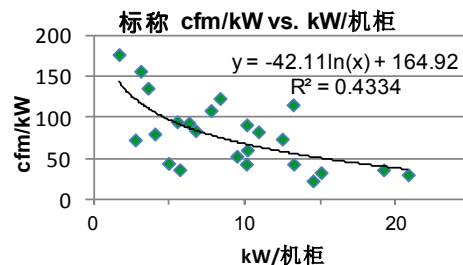


图 6

服务器功率密度与每千瓦
气流之间的相互关系

根据投资成本模型的敏感性分析结果表明，CFM 的下降趋势并非资本支出的动因，因此不在分析范畴内。分析假定气流需求值为 $3.54\text{m}^3/\text{分钟}/\text{kW}$ ($125\text{CFM}/\text{kW}$)。

对机柜与占用空间的影响

（在假定 IT 负载不变的前提下，）每台机柜平均功率密度增加，则机柜数量相应减少。举例来说，如果功率密度从每台机柜 3kW 升至 6kW，则机柜成本可降低一半。但是，当功率密度达到某一值时，就需要采用更大的机柜，否则会出现电缆拥堵状况。加宽或加深机柜比标准机柜昂贵，会抵消因机柜数量减少所节约的一定成本。这也是为何图 2 中的曲线在功率密度达到每台机柜 5kW 以上后渐趋平稳的一个原因。

同样需要考虑的因素还有 IT 机房内的空间成本节约。不同位置的空间成本（每平方米或每平方英尺）不一样，但一般而言，空间成本比大容量供电和制冷基础设施成本更低。正因为如此，过低估计功率密度和搁浅空间比过高估计功率密度和搁浅供电和制冷容量要来得好。

³ $Q(W) = 0.176 \times \Delta T \text{ in } C \times \text{CFM}$ 或 $Q(W) = 0.316 \times \Delta T \text{ in } F \times \text{CFM}$

制定平均机柜功率密度的指导原则

根据我们的分析，在制定新建或改造的数据中心平均机柜功率密度时需遵循以下指导原则：

- 平均功率密度为每台机柜 5-8 kW 时，每瓦特成本最佳。
- 平均功率密度低于每台机柜 5kW 的设计会造成成本浪费。
- 平均功率密度高于每台机柜 8kW 的设计会使成本收益逐渐减少。
- 平均功率密度高于每台机柜 15kW 时，设计复杂度方面的花费将大于成本节约。

每台机柜功率密度达到 15kW 以上后，数据中心项目设计复杂度增加，在这一方面的花费一般会大于潜在的成本节约。需要解决的一些设计问题如下：

- 网线管理
- 电缆管理
- 气流管理的挑战
- 供电中断期间的温升
- 机柜重量和地板承重
- 更高容量（安培）机柜配电柜需要额外断路器

根据成本分析结果、机柜配电柜自动断路点、当前 IT 技术发展趋势以及采用极高功率密度配置时的设计复杂度，建议大部分数据中心应当按照每台机柜 5-8kW 的平均功率密度进行设计，最高不超过每台机柜 11-11.5kW。

对运行的影响

功率密度不但会影响数据中心的投资成本，它也对数据中心运行产生影响。在容量不变的情况下，功率密度增加会减小相关占用空间，使管道距离变短，提升制冷效果。另一方面，管道距离变短后，泵与风机的损耗也会降低。IT 负载的每千瓦空气流量降低也有助于改善制冷效果（这一 IT 趋势前文已述及），因为每千瓦空气流量越低， ΔT 就越高， ΔT 越高，能增强冷却器的换热效率。

在功率密度增加时，另一个需要考虑的重要因素是供电中断后可持续运行的时间，或者说停电时 IT 进风温度超过允许阈值的持续时间。一般而言：

- 容量(kW)不变的情况下，功率密度增加且相关占用空间减小，供电中断后可持续运行的时间会变短。
- 机房空间不变的情况下，功率密度增加且容量增加，供电中断后可持续运行的时间也会变短。

采用气流遏制策略可以增加供电中断后可持续运行的时间，延长停电后 IT 进风温度达到临界点所需的时间。此外，还可以采用为风机和泵接 UPS 的策略。如需了解相关详情，请参阅第 179 号白皮书 [《数据中心在制冷系统中断期间的温升》](#)。

功率密度增加也会提高分支电路的利用率。在过去，电路的利用率可能保持在 50% 或以下，但功率密度增加后，电路的利用率可能达到近 80%，接近断路器的最大容量。如果某一特定电路没有留出充分的安全裕度，就必须加强监控，避免电路过载造成宕机。

应对不确定性

平均密度 vs. 峰值密度

平均密度是指空间内（区域或房间）所有机柜功率密度的平均值。

峰值密度是指空间内所有机柜可支持的最高机柜功率密度

峰均比是用来描述这两个值差异程度的术语。当比值为 1 时，表示每个机柜最大功率密度不能超过平均密度。当比值为 2 时，表示每个机柜最大功率密度可以达到平均密度的 2 倍。

很少会有数据中心运行人员或规划人员敢 100% 确信他们的机柜功率密度可以适用多年。根据不确定性的程度，数据中心管理者会选择不同的“安全策略”：

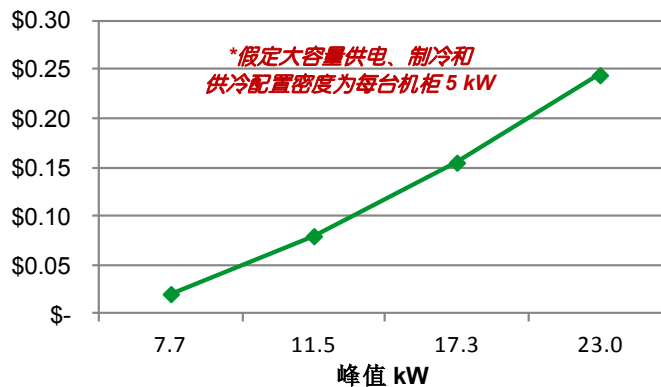
- **对机柜过度规划**——机柜配电柜、断路器、电缆的配置规格必须满足区域内任何机柜的预期峰值功率密度需求，但是区域总体来说不超过平均功率密度。
- **对区域过度规划**——配电柜或电力分配单元以及所有机柜级的组件配置规格必须满足区域内每个机柜的预期峰值功率密度需求，但是房间总体来说不超过平均功率密度。
- **对房间过度规划**——大容量供电、大容量制冷、供冷、区域级和机柜级组件配置规格必须满足机房内每个机柜的预期峰值功率密度需求。

由于数据中心所有机柜的功率密度不尽相同，我们也研究了为满足峰值密度需求（峰值密度的描述请参阅边栏）而对机柜、区域和整个房间进行过度规划所产生的成本影响。从机柜到区域再到整个房间进行过度规划提高了空间内功率密度的规划灵活性，但这也需要付出成本。我们的分析显示，过度规划会产生以下成本影响：

- 对机柜过度规划——过度规划机柜配电组件，使峰均比达到 2 所需的成本费用不到整个数据中心项目成本的 1%（参见图 7）。
- 对区域过度规划——过度规划配电柜和机柜配电组件，使峰均比达到 2 所需的成本费用为整个数据中心项目成本的 4%。
- 对房间过度规划——过度规划整个机房组件，使峰均比达到 2 所需的成本费用为整个数据中心项目成本的 20% 甚至更多（取决于过度规划程度）。

图 7

将机柜配电峰值密度部署为 11.5 kW 所需的成本费用为每瓦 0.08 美元，不到数据中心总成本的 1%



一般说来，当您比较能确定部署功率密度，且实施相应策略以限制机柜配置时，应该采取对机柜进行过度规划。

搁浅容量

成本分析显示，最佳平均密度范围为每台机柜 5kW 至 8kW。大部分数据中心功率密度都处于这个范围，其 IT 设备也容易配置。但如果实际部署密度高于或低于设计密度会发生什么情况呢？请看下面两种情形：

情形 1：数据中心设计密度高于实际部署密度。

如果数据中心部署密度低于设计密度，则会发生整个 IT 机房空间用尽，但供电和制冷基础设施仍未被充分利用。图 1 的实例便说明了这种情况。这种密度问题比较常见，因为按照正常逻辑，设计密度会偏高，以防万一。但事实表明，这需要付出代价。

情形 2：数据中心设计密度低于实际部署密度。

如果数据中心实际部署密度高于设计密度，则会发生供电和制冷基础设施已充分利用，但存在机柜和/或空间搁浅。

对于大多数数据中心而言，宁愿搁浅空间（这样做的成本代价小），也不搁浅供电和制冷基础设施，因此数据中心设计密度应当低于预期密度。

如果一开始便做好准备，两种情况下的搁浅容量均可恢复利用。下面介绍减少搁浅容量的最佳实践：

- 在主开关柜设计一个接线盒，以便日后增加额定容量时无需热作业或关闭一部分正在运行的数据中心。
- 在大容量供电（UPS 容量）输出端留出备用断路器位置，避免大容量供电容量搁浅，避免侵入性作业或宕机。
- 准备好备用管道阀以避免大容量制冷容量搁浅，避免侵入性作业或宕机。
- 当实际部署密度高于设计密度时，IT 机柜采用按区域部署方式，尽量减少机柜搁浅。
- 如果确定了预期的密度范围，应当将一些区域按照较高的平均密度设计，其余保持平均密度设置，以便更加有效地利用资源。
- 在区域中采用气流遏制系统，以便充分利用制冷资源。
- 创建并实施密度部署策略，使其成为在机柜内有效部署 IT 设备的规则。

预制化数据中心模块具有一定的灵活性，当预期密度偏高或偏低时，这些模块就非常适用。第 165 号白皮书 [《预制模块化数据中心的分类》](#) 对供电模块、制冷模块、IT 模块和一体化模块及其应用进行了描述。当数据中心因 IT 空间用尽而供电和/或制冷容量搁浅时，可在停车场添加 IT 模块，结合使用上述避免宕机策略，将其接入现有供电和制冷系统。同样，当数据中心发生空间搁浅时，可添加预制化电源和/或制冷模块以充分利用 IT 机房空间。

结论

尽管许多行业预测 IT 机柜功率密度会快速上升，但大部分数据中心的平均部署密度仍是每台机柜 3-5kW。IT 机柜功率密度的选择对数据中心的投资成本有着直接的影响。

本文对不同功率密度的成本进行了分析，认为最佳平均部署密度为每台机柜 5-8kW。平均部署密度较低会造成不必要的开支，较高往往会导致无法预见的复杂情况，而且回报率极低甚至无回报。既然不可能在一个典型的数据中心部署统一的密度，我们建议机柜的峰值密度应设计为每台机柜 11-11.5kW，这样的成本费用非常低（不足整个数据中心项目成本的 1%）。

密度规格是数据中心项目早期规划阶段讨论的关键属性。有效的密度策略包括：(1)按区域部署的灵活架构来满足峰值密度；(2)做好准备，应对部署密度的不确定性。



关于作者

Kevin Brown 是施耐德电气数据中心全球解决方案及战略副总裁。Kevin 拥有康奈尔大学（Cornell University）的机械工程学士学位。在就任施耐德电气这一职位之前，Kevin 在 Airxchange 任市场开发总监，Airxchange 是一家 HVAC 行业能源回收换气机及组件生产商。加盟 Airxchange 前，Kevin 曾在施耐德电气担任过多个高级管理职位，包括软件开发部总监等。

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 致力于数据中心设计与运行最佳实践的研究，通过发表白皮书和文章，并开发 TradeOff Tools 权衡工具来帮助客户优化数据中心环境的可用性和能效。她还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，来帮助客户实现他们数据中心的性能目标。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。

Victor Avelar 是施耐德电气数据中心科研中心的高级研究员。Victor 致力于数据中心的设计和运营方面的研究。并且通过向客户提供风险评估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。Victor 于 1995 年从伦斯勒理工学院（Rensselaer Polytechnic Institute）获得了机械工程学的学士学位，而后在巴布森学院（Babson College）获得 MBA 工商管理硕士学位。Victor Avelar 是 AFCOM 和美国质量协会的成员。



[计算数据中心的空间和功率密度需求](#)

第 155 号白皮书



[在 230VAC 国家应用于高密度机柜供电的可选方案](#)

第 28 号白皮书



[应用于高密度机柜供电的可选方案](#)

第 29 号白皮书



[数据中心在制冷系统中断期间的温升](#)

第 179 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/cn



[数据中心投资成本计算器](#)

权衡工具 4



[数据中心效率计算器](#)

权衡工具 6



[预制化与传统型数据中心成本比较计算器](#)

权衡工具 17



[浏览所有](#)

[TradeOff Tools™ 权衡工具](#)

tools.apc.com/cn



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，或登录：

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

附录： 成本模型

不同平均功率密度时每瓦特成本费用分析方法

我们对一个 1MW 的数据中心在采用 12 种不同平均部署密度时的状况进行了分析（从每台机柜 1kW 到每台机柜 60kW），说明各种部署密度对投资成本的影响。分析采用以下方法：

- 1. 布局：**对于每一种密度，其 IT 机柜、配电柜和冷却器均采用最佳配置
- 2. 空间成本：**总机房空间（平方米或平方英尺）根据布局确定，然后假定一个空间单位成本用于计算总空间成本。
- 3. 制冷成本：**用制冷配置工具配置 InRow 制冷单元，均按一般市面价格。当确定每一区域所需冷却器数量时，假定采用热通道气流遏制系统。
- 4. 配电成本：**配电柜、机柜配电条、电缆长度根据区域尺寸和机柜密度确定，均按一般市面价格。安装和设计成本也估算在内。
- 5. 机柜成本：**机柜数量根据布局确定。机柜类型（加宽机柜、加深机柜）随密度变化而变化。均按一般市面价格。

敏感性分析证实，冷却器和配电柜并非成本差异的主要动因。随后简化分析，仅将机柜成本、机柜配电条和空间成本纳入考虑。本文图 2 所示为简化分析结果。

不同峰值密度时每瓦特成本费用分析方法

图 7 所示为一个平均设计密度为每台机柜 5.76 kW 的 1MW 数据中心在峰值密度变化时，其成本费用的变化情况。我们对其峰均比分别为 1.5、2.3、3.5、4.6 和 6.9 时的成本费用进行了分析。这些数字是根据市场可用的机柜配电条最大容量计算出来的。分析采用以下方法：

- 1. 配电成本：**为保证区域内任一机柜均可达到峰值密度（不超出总平均密度），每个机柜均配置有一个配电柜输出开关、电缆和机柜配电条以支持更高密度。
- 2. 数据中心项目总成本：**使用[数据中心投资成本计算器](#)估算项目总成本，然后将升级配电时的成本费用与总成本进行对比。

数据与假定值

配电柜、冷却器、机柜配电条和机柜的定价来源于现有施耐德电气产品，均按一般市面价格。表 A1 提供了本次分析所采用的其它更多假定值。

表 A1
成本分析中使用的假定值

假定条件	数值
IT 气流需求	所有功率密度采用 3.54m ³ /分钟/kW (125 CFM/kW)
配电电压	统一密度成本/瓦特分析时为 120V；峰均比分析时为 240V
空间成本	1,614 美元/平方米 (150 美元/平方英尺)
标准宽度/深度的机柜	适用于密度<8kW
加宽机柜（标准深度）	适用于密度介于 8kW 和 20kW 之间
加宽和加深机柜	适用于密度>20kW
配电柜到机柜配电柜的电缆长度	随成本/瓦特分析的布局而变；进行峰均比分析时假定平均长度为 10m (33ft)
制冷	带气流遏制系统的紧靠热源的制冷，所有服务器均采用风冷
冗余	无冗余（1N 架构）