

数据中心效率 (PUE) 计算指南

第 158 号白皮书

修订版 2

作者 Victor Avelar

> 摘要

在可使用 PUE 或其他指标评测数据中心基础设施效率之前，必须制定协议明确规定哪些电耗属于 IT 负载、哪些电耗属于物理基础设施，哪些负载不应予以考虑。遗憾的是，通常发布的效率数据并不是使用标准方法计算的，同一个数据中心应用不同的方法会得到不同的效率评级。本文说明这一问题，并介绍在效率计算中对数据中心负载进行分类的标准化方法。

目录

[点击内容即可跳转至具体章节](#)

| | |
|-----------------------------|----|
| 简介 | 2 |
| 三部分方法 | 2 |
| 第 1 部分： 数据中心子系统的 标准分类 | 3 |
| 第 2 部分： 共享资源估算 | 8 |
| 第 3 部分： 无法测量的设备的估算 | 9 |
| 总结 | 11 |
| 资源 | 12 |

简介

在有效能源管理计划中，需要确定数据中心基础设施效率，这样做的好处已经得到广泛共识。电源利用效率 (PUE) 及其相应的数据中心基础设施效率¹ (DCIE) 的标准指标已经成为公认的标准。

在为数据中心提供能效审核的过程中，施耐德电气通过建立特定数据中心的 PUE，发现了很多实际问题。造成难以将耗电子系统分类为 IT 负载、物理基础设施或两者皆不是的某些问题：

- 在数据中心存在用电设备，但是无法判断应如何（或者是否应）在效率计算中计入其用电数据不明
- 有些数据中心中不存在某些数据中心子系统（例如，户外照明或 NOC）
- 某些子系统支持混用设施，与其他非数据中心共用功能（例如，冷却塔和冷却机组），因此无法直接测量可归属于数据中心的用电
- 某些子系统的电耗测量极为困难或者代价极高（例如，PDU（因为输出接头数量很多）或开关装置）
- 某些实际用电测量点包含与数据中心无关，但在测量时又无法分开的负载

上述一种或多种实际问题经常在典型数据中心中出现，并且几乎总是存在于建在办公楼宇等共用设施的数据中心中。尝试确定 PUE 的大多数数据中心运营者都会遇到上面的一种或多种问题，所以应定义这些问题的标准应对方式。这正是本文的意图所在。

本文定义从数据中心收集数据的标准方法，并演示如何使用此方法计算 PUE，重点说明如何处理混乱或不完整的数据。

用户可以采用自己的方法收集和处理能效数据，但是若没有标准方法，则无法评测数据中心效率。有必要指出的是，各种标准机构（如 Green Grid）已经认识到上述问题，正致力于以指南和标准的形式推出解决方案。预计与本文所述的很多问题相关的标准即将出现。当这样的标准推出时，本文会及时进行相应更新，以介绍和遵循这些标准。因此，在采用本文所述的方法之前，请访问 apc.com，确保使用本文的最新修订版。

三部分方法

为了克服这些问题，本文概列出以下三部分方法：

1. 建立标准将数据中心子系统分类为 (a) IT 负载、(b) 物理基础设施，或者 (c) 不纳入计算
2. 如果因为子系统与非数据中心负载分担电耗，造成无法直接测量该子系统的电耗，则使用针对该子系统类型的标准化方法估算用电
3. 如果因为测量技术障碍无法直接测量子系统的用电，则使用针对该子系统类型的标准化方法估算用电

下面依次说明此方法的每一个部分。

¹ 本文中，PUE 将用作能效指标。所有讨论同样适用于 DCIE

第1部分：数据 中心子系统的标 准分类

为了执行数据中心效率计算，明确定义哪些电耗属于 **IT 负载**，哪些电耗属于 **物理基础设施**，这一点非常关键。服务器和存储设备明显属于 IT 负载，UPS 和制冷/空气处理装置明显属于物理基础设施，但是在计算效率时，数据中心中有很多耗电子系统处于没那么明显的地位，包括个人空间、开关装置以及网络操作中心（图 1）。

这些子系统都消耗电能。如果不为所有数据中心统一分类这些子系统，就不可能直接横向比较不同数据中心的效率计算结果。客户、政府机构和公用事业提供商一直在努力建立数据中心效率基准，因此有必要建立标准化指南来界定，哪些应视为 **IT 负载**、哪些应视为 **物理基础设施**（有时也称为站点基础设施）、哪些 **不应纳入** 数据中心效率计算。此外，获取数据中心效率计算所需要的关键数据通常也存在一些实际问题。

在为了计算数据中心效率而将负载归入上述三类时，需要从理论和实际角度考虑一些问题。究竟应不应该在 PUE 指标中将不同类型的负载计算在内，如果要算，它们是不是算作 IT 负载，对于这样的问题，理智的人会得出不同的结论。以下实用指南将用来建立本文的分类系统：

- 如果管理子系统的能源使用是数据中心能源管理实际需要的结果，则系统负载应纳入 PUE 指标。
- 如果通常情况下在测量过程中单独测量某个具体负载并不现实，则不应规定为了计算指标而单独分离出该具体负载。
- 应标准化全面的数据中心设备类型列表，为了数据中心效率计算，将各个类型明确归入“IT 负载”、“物理基础设施”或“不包括”三类。

后面的表将初步尝试建立常见子系统及其分类（为了数据中心效率计算，归入三个类别之一，即“IT 负载”、“物理基础设施”或“不包括”）的列表。表 1-4 提供了应纳入以及不应纳入 PUE 的子系统的列表。这些子系统分成四个单独的设备类型表：IT、供电、制冷和其他。

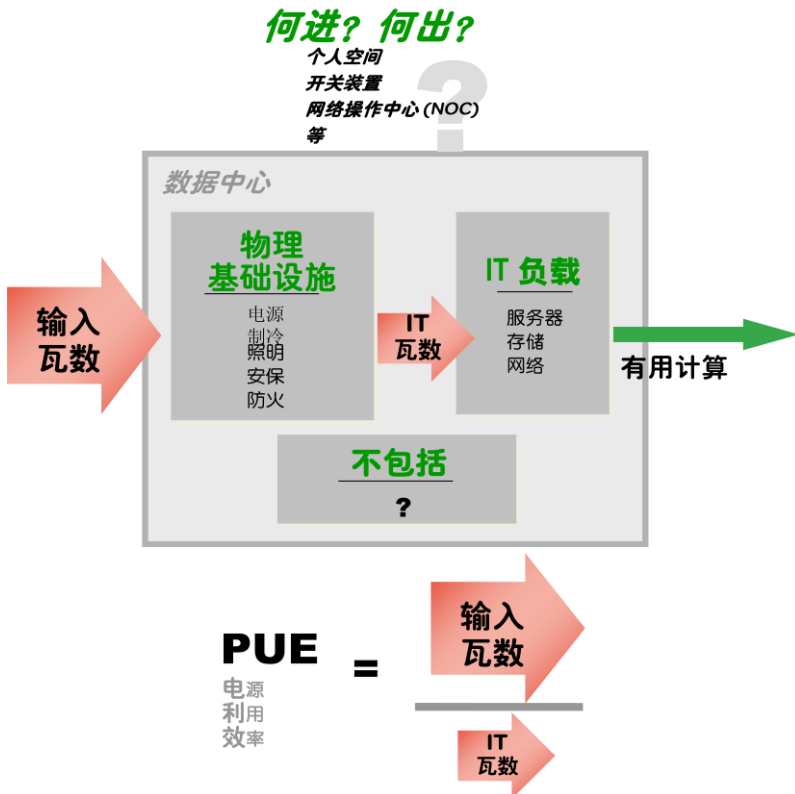


图 1
耗电子系统的统一分类是
数据中心效率基准评测的
根本。

表 1 确定了各种 IT 负载，并将其归入 IT 负载类别。某些类型的 IT 设备显然应这样分类，但其他类型并非总是可以这样分类。例如，人们通常分不清灾难恢复 IT 负载或网络操作中心 (NOC) 负载是否应归入数据中心内的 IT 负载。

几乎所有数据中心都有某种形式的网络操作中心，它可能小至机房内的一张电脑桌，也可能大到配有十几台工作站，满墙都是监视器的大机房。某些情况下，一个组织可能有监视数个数据中心的大型中央 NOC，这种情况下，一个数据中心可能要负担一个大型 NOC，而另一个类似的数据中心可能只有一个小 NOC。有的观点支持在 PUE 计算中包含 NOC，有的则认为应排除 NOC。但是，对数据中心相关负载（如 NOC）的能源进行管理是可取的，根据这一原则，NOC 应包含在能源报告中，因此也应包含在 PUE 中。而且，NOC 相关的能源使用（如供电和制冷）可能也难以跟其他数据中心相关的能源使用分开。这再次说明，将 NOC 纳入能源报告和 PUE 计算是切合实际的。

表 1

数据中心 IT 子系统的建议分类
(请参阅图 1 了解类别的背景)

| 数据中心子系统 | | 用电类别 | | | 问题 |
|---------|-----------------------|-------|--------|-----|--|
| | | IT 负载 | 物理基础设施 | 不包括 | |
| IT | 服务器 | ✓ | | | |
| | 存储设备 | ✓ | | | |
| | 网络设备 | ✓ | | | 有人认为不应包括这类子系统，但是很难将它们单独分离出来。 |
| | KVM 和监视器 | ✓ | | | 有人认为不应包括这类子系统，因为它们其实不是 IT 设备，但是很难将它们单独分离出来。 |
| | 灾难恢复 IT 负载 | ✓ | | | 列出灾难恢复（一种数据中心应用）是为了顾及某些数据中心可能同时兼有灾难恢复功能。理想的情况是，将灾难恢复与主要数据中心设施完全分离，单独处理灾难恢复，并且应将灾难恢复作为一个独立数据中心进行管理和测量。因此，如果灾难恢复与数据中心集于一处，共享物理基础设施的资源，则必须包括灾难恢复，并且灾难恢复是主数据中心中支持的另一个业务流程。 |
| | 网络操作中心 (NOC) 中的 IT 设备 | ✓ | | | 这部分负载主要用于数据中心控制的计算机和显示器。有人可能认为可以将其归入三类中的任何一类，但是在某些情况下，它们并不位于数据中心现场，难于分类。如果它们在同一设施中作为共享设备，共享公用资源，则常规评估将其纳入 IT 能耗。可以作为像 NOC 那样的独立设施，这将促成一个新的数据中心类别，应作为采用单独的 PUE 基线评级的 IT 负载纳入。 |

表 2 列出了典型数据中心中存在的电源子系统，及其在 PUE 计算中所属的类别。虽然大部分分类显而易见，但是此图表的重要价值在于它作为一个核对表，可以确保找到所有适当的数据，并将其纳入 PUE 计算。具体而言，很多报告的 PUE 评测在 PUE 计算中不正确地将 PDU 和静态转换开关 (STS) 设备归入 IT 负载，这可能导致出现很大的误差，特别是在非满负荷的数据中心中。虽然有观点认为很难测量这些设备的损耗，但是完全可以高度精确地估算它们。因此，从效率计算中忽略它们完全不合理。

PUE 计算中常犯的其他错误包括忽略开关设备和自动转换开关 (ATS) 设备。很多情况下，测量这些设备的损耗并不实际或成本效益不合算，但是估算它们总是可行的。虽然这样的估算会有一些误差，但是实际上这些子系统只占整个系统能源使用的一小部分（约 1%），所以这样的估算对于能源使用或 PUE 的最终计算只会造成极小的误差。

风力发电机组和太阳能电池板等替代能源发电系统与数据中心并行运转，其能源贡献**不应**计入 PUE，因为这会掩盖真实的数据中心能效，并歪曲该指标的意图。

表 2

数据中心电源子系统的建议分类
(请参阅图1了解类别的背景)

| 数据中心子系统 | | 用电类别 | | | 问题 |
|-------------|--|-------|--------|-----|---|
| | | IT 负载 | 物理基础设施 | 不包括 | |
| 物理基础设施 — 电源 | 开关装置和面板 (室外或室内) | | ✓ | | 很多站点无法确定开关装置功率，因此如果要包含这些子系统，需要进行估算。提供和运转此类设备要消耗能源、空间和资源，三者是所有数据中心必不可少的部分。 |
| | 自动转换开关 (ATS) | | ✓ | | |
| | 发电机 (缸体加热器、水套加热器、电热丝加热器、发电机控制、发电机电池充电器) | | ✓ | | |
| | 不间断电源系统 (UPS) | | ✓ | | |
| | 静态转换开关 (STS) | | ✓ | | 这些系统明显是电源通路的一部分，但有人认为这应该算作 IT 负载的一部分，因为很难将其单独分开。一般来说，通常需要估算。 |
| | 配电装置 (PDU) | | ✓ | | |
| | 灾难恢复电源系统 | | ✓ | | 按照前面相同的逻辑，如果灾难恢复是孤立的，则不包含在主设施 PUE 中，否则必须包含在其中。 |
| | 替代能源系统 (PV、风能等) | | | ✓ | 这些系统几乎总是并行于数据中心运转，并且与数据中心同处一地。在 PUE 计算中包含这些系统会掩盖数据中心的真实效能。 |

表 3 列出了应纳入 PUE 计算的各种制冷子系统。请注意，在计算数据中心效率时，经常会无意间忽略其中的某些系统，如补偿空气系统、中央加湿器和供暖机组，导致高估数据中心效率。

表 3

数据中心制冷子系统的建议分类
(请参阅图1了解类别的背景)

| | 数据中心子系统 | 用电类别 | | | 问题 |
|-------------|------------------------------|-------|--------|--|--|
| | | IT 负载 | 物理基础设施 | 不包括 | |
| 物理基础设施 — 制冷 | 冷水机 | | ✓ | | |
| | 冷冻水泵 (主要、次级、三级) | | ✓ | | |
| | 冷凝器水泵 | | ✓ | | |
| | 冷却塔 (风扇、水池加热器) | | ✓ | | 有人认为在混用设施中很难将其单独分离出来。在这种情况下，需要某种方法来估算有多少功率分配给数据中心。 |
| | 水处理 (沙滤泵和注水器) | | ✓ | | 水处理包括水过滤和化学系统。 |
| | 水管防冻 (加热带、热跟踪、电热丝加热器) | | ✓ | | |
| | 空气压缩机 | | ✓ | | 空气压缩机通常支持冷冻水机组中的气压阀。 |
| | 集中式加湿器 | | ✓ | | |
| | CRAH / CRAC (风扇、再加热盘管、加湿) | | ✓ | | CRAH — 计算机房空气处理器 CRAC — 计算机房空调 除了数据中心的 IT 空间外，这些设备有时用来调节机电间的空气，这也应该考虑在内。 |
| | 冷凝泵 | | ✓ | | |
| | 补偿空气/ 新鲜空气系统用电 | | ✓ | | 有人认为这很难测量，并主张不要包含这类子系统。 |
| | 供暖机组 | | ✓ | | 冬季有时在机电间使用小型加热器（通常安装在天花板）。 |
| | 冷凝器 | | ✓ | | (冷凝器只用于风冷 CRAC 设备。) |
| | 干式冷却器 | | ✓ | | |
| | NOC 制冷 | | ✓ | | |
| | 灾难恢复制冷系统 | | ✓ | | |
| 井泵 | | | ✓ | 制冷系统可能消耗很多水。有些数据中心用泵抽取自己的水，但是有些数据中心购买自来水，这些水通过远程自来水泵来泵送。作为资源的水需要能量来冷却、存储和输送。 | |

表 4

数据中心其他子系统的建议分类
(请参阅图1了解类别的背景)

| | 数据中心子系统 | 用电类别 | | | 问题 |
|-----------|------------------------------|-------|--------|-----|---|
| | | IT 负载 | 物理基础设施 | 不包括 | |
| 物理基础设施—其他 | 数据中心“白色空间”的照明 | | ✓ | | 有人主张只有电源通路和制冷才应纳入效率计算。 |
| | 机电间照明 | | ✓ | | 在专建数据中心中，这更容易量化，但是在多用途建筑中，必须考虑一定比例的机电间照明。 |
| | 其他厂房控制 (防火、调节风门、HVAC、PLC) | | ✓ | | HVAC—加热、通风和空调 PLC—可编程逻辑控制器 |
| | 户外照明 | | | ✓ | 不同站点的户外照明差异很大，很多数据中心处于多用途设施中，因此户外照明很难归于数据中心。 |
| | 个人办公负载 | | | ✓ | 有人认为没有明确的标准来界定什么样的个人空间属于数据中心基础设施，因此不应将其包括在内。还有人认为很难将其单独分离出来。这部分空间差异很大，最好通过美国绿色建筑委员会 (USGBC) 尽快实现高效能耗模型。 |
| | 数据中心个人区域的照明 | | | ✓ | 不要包含这部分能耗，在混用设施中，这类空间差异很大。最好通过 USGBC 等机构的最佳实践进行优化。 |

表 4 列出了数据中心中常见、但没有列入上面三表的照明和其他设备。一般而言，照明包含在数据中心能源计算中，但是排除户外照明，因为不同站点的差异太大。如果存在户外照明，并且在测量时不容易从数据中心负载中去掉这部分能源用量，则可以用数据中心负载减去其估算值的办法将其去掉。

请注意，数据中心效率计算明确排除个人/办公负载。这是因为在很多情况下，极难将个人负载归于数据中心，原因是在绝大部分数据中心设施中，同一建筑内存在非数据中心人员职能，与非数据中心人员相关的负载量因站点而异，而且差别很大。在很多混用设施中，将数据中心负载与个人办公负载分开可能是个大难题，但是没必要为了将它们分开而付出很大代价或者做得很复杂。接下来的部分将探讨这类问题。

第2部分： 共享资源估算

按上节所述，正确一致地分类数据中心负载是确定数据中心 PUE 的重要组成部分。但是，如简介部分所述，某些与数据中心相关的耗电设备也供其他部门共用。例如，数据中心可能与相邻的办公楼宇共用制冷设备，或者数据中心 UPS 也可能为呼叫中心供电。即使精确测量这类共享设备的能源用量，也无助于数据中心效率计算，因为与非数据中心负载相关的设备损耗不应包含在 PUE 中。

在设备共享时常采用的方法是从 PUE 计算中直接忽略这类设备。这可能导致严重误差，尤其是在设备是“能耗大户”的情况下，例如冷水机。对于基准评测而言，这样的方法导致 PUE 计算结果无效。更好的策略是估算（或间接测量）与数据中心相关的那部分共享设备损耗，然后在 PUE 计算中使用这些损耗。此方法会产生惊人精确的结果。

考虑与其他非数据中心负载共享冷水机组的情况。目标是测量或估算冷水机组消耗的与数据中心相关的那部分功率。以下是三种用来确定共用冷水机组能耗的方法，它们可互换使用：

1. 使用所有其他数据中心负载的已知电力损耗测量/估算冷水机的热负载，测量/估算冷水机能效，然后使用此信息计算冷水器用于数据中心负载的电功率
2. 测量/估算数据中心与其他负载（使用水温、压力、泵设置等）之间的热负载比例，测量冷水机输入功率，然后按照该比例将部分冷水机功率分配给数据中心
3. 关闭冷水机上的非数据中心负载，然后测量冷水机以确定与数据中心相关的冷水机功率²

这些间接测量和估算通常是在专业数据中心能源审计期间进行的，经验丰富的数据中心运营者也可以尝试。为特定数据中心确立了测量/测算技术后，就可以很容易地一直重复使用该技术，以掌握效能趋势。

类似方法可以用于其他类型的共享资源。可在数据中心软件管理工具中正式采用这些估算和建模方法，以提供连续的能效报告。例如，施耐德电气出品的 InfraStruXure Central 数据中心管理套件提供不断增多的选项，用于在其能源管理工具中处理共享资源。

第3部分： 无法测量的设备 的估算

数据中心中的每个耗电设备都可测量自己的能耗。但是，测量某些设备的能耗可能非常复杂、代价很大并且不切实际。很多情况下，通过设备的间接测量和估算可以经济实用地确定 PUE。

以配电装置 (PDU) 为例，这显然是电力设备。在负荷不满的数据中心中，PDU 损耗可能超过 IT 负载的 10%，对 PUE 计算有明显影响。但是大部分数据中心运营者在 PUE 计算中忽略 PDU 损耗，因为他们觉得 PDU 损耗很难确定，结果导致 PUE 计算出现严重误差。

直接测量 PDU 损耗非常困难的原因有几个：

- PDU 中的仪表从不直接提供损耗信息
- PDU 中的输入和输出仪表通常不提供瓦数值，只提供 VA 或安培
- PDU 中的输入和输出仪表精确性不足，无法用输入减去输出的办法确定损耗
- PDU 中有大量输出，需要将它们累加起来才能得到输出功率

幸运的是，PDU 损耗是相当确定的，因为如果提供了 PDU 的特性，就可以直接根据 IT 负载算出其损耗。因此如果负载已知（无论是瓦数、安培数还是 VA），就能以很高的精确度估算 PDU 损耗。事实上，这样估算损耗通常要比使用内置的 PDU 仪表还要精确³。

² 这样分配不是很精确，通常会稍稍夸大属于数据中心的损耗，因为冷水机组中的某些损耗是固定的，非数据中心负载关闭时，它们仍然存在。

³ PDU 损耗测量误差是两个大数之差，因此是放大的。这些误差非常之大，以至于常常造成通过直接测量法确定的 PDU 效率超过 100%，这显然是不可能的。

估算出 PDU 损耗后，从 UPS 输出计量值减去该损耗可以得出 IT 负载，在确定 PUE 时，PDU 损耗算作基础设施负载的一部分。与忽略 PDU 损耗相比，这种简单的方法大大改进了 PUE 计算。此功能可内置在能源审计期间所使用的软件工具中，也可以直接内置在实时能源管理软件中，如 InfraStruXure Central 能源管理软件系统。

本文最后列出的其他白皮书中将更详细地说明这些估算方法。

总结

PUE 定义为两个数值之比，**数据中心输入功率比 IT 负载功率**。初看起来，这只是获取两个测量值，再取其比率的简单问题，但是在实际数据中心中，问题通常不会这么简单。

数据中心通常建在多功能建筑中，因此不可能找到可测量数据中心总输入功率的单一测量点，也不可能测量 IT 负载。这意味着需要找出适合的测量点来获取全部数据中心能源用量，通常需要合并来自不同子系统的功率使用数据，才能获得数据中心总输入功率。使问题更加复杂的是，某些功率测量值可能难以获得，或者设备由非数据中心应用共用。

本文已经提供了在能源使用分析中需要包含在内的各种数据中心子系统，还介绍了应该如何将这些子系统的能源使用纳入 PUE 计算。此外，本文还说明了确定共享设备和难测设备的能耗的实用方法，以便完成 PUE 计算。

数据中心运营者需要理解，确定 PUE 并不需要大量昂贵的仪表，因为通过间接测量和估算可以非常有效地估算出数据中心中的很多损耗。

对于普通用户来说，这些方法似乎难以实施，不过，低成本、易于使用的软件工具可简化问题，通过这些软件，任何数据中心，无论大型还是小型，新建还是改建，都能有一套有效的实时能源管理系统。

关于作者

Victor Avelar 是施耐德电气的高级研究分析师。他负责数据中心设计和运营研究，为客户提供风险评估和设计实践方面的咨询，帮助客户优化其数据中心环境的可用性和效率。Victor 拥有 Rensselaer Polytechnic Institute 机械工程系学士学位以及 Babson College 的 MBA 学位。他是 AFCOM 和美国质量学会的会员。



资源

点击图标可打开资源链接



浏览所有白皮书



浏览所有

TradeOff Tools™
tools.apc.com



数据中心的电力效率测量

第 154 号白皮书



数据中心的电力效率建模

第 113 号白皮书



实施高效节能的数据中心

第 114 号白皮书



如何为 IT 用户分配数据中心能源成本和碳排放

第 161 号白皮书



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：

请联系**施耐德电气**销售代表