

数据中心效率（PUE）计算指南

第 158 号白皮书

版次 1

作者：Victor Avelar

> 摘要

在使用 PUE 或其它指标对数据中心基础设施的效率进行标准检查之前，必须对哪些功率消耗用于 IT 负载、哪些消耗用于物理基础设施、以及什么样的负载不应该计算在内达成一致意见。遗憾的是，通常发布的效率数据并不是使用标准方法计算得出，对于同一数据中心来说，使用不同的方法就会得出不同的效率等级。本文对相关问题进行了解释，并对用于数据中心效率计算的负载分类标准化方法进行了说明。

目录

点击其中一节可跳转

引言	2
三部分构成法	2
第 1 部分：数据中心子系统的标准分类	3
第 2 部分：共用资源估计	8
第 3 部分：对设备不切合实际测量方法的评价	9
结论	11
资源	12

引言

作为有效能源管理计划的一部分，确定数据中心基础设施效率的好处已被广泛认可。用电效用（PUE）的标准指标及其对应的数据中心基础设施效率¹（DCiE）已经成为公认的标准。

在为数据中心提供能源审计的过程中，施耐德电气旗下 APC 通过对特定数据中心 PUE 的确定发现了一些应用问题。以下是导致功率消耗子系统分类为 IT 负载、物理基础设施或其他时出现困难的一些问题：

- 在数据中心遇到的消耗功率的设备，在效率计算时应该如何计算其功率数据或是否应该将其计算在内仍然不清楚
- 某些数据中心子系统没有出现在一些数据中心中（例如室外照明或网络运营中心）
- 一些子系统支持混合使用的设施，并为其它非数据中心的设施（例如冷却塔和冷水机组）所共用，因此归于数据中心的这一小部分功率不能被直接测量
- 对于某些子系统来说，为其提供功率消耗测量设备是非常不切实际的，或是成本非常高昂（例如对于 PDU，由于其具有大量的输出接线或开关设备）
- 一些实际的电力负荷测量点包括一些与数据中心无关的、但在测量时不能分开的负载

在典型的数据中心中经常会出现一个或多个上述应用问题，并且数据中心几乎总是存在共同使用的设施（例如办公楼）。由于大多数数据中心运营商在试图确定 PUE 时会遇到一个或多个上述问题，因此应确定一个标准的处理方法。这就是本文的目的。

本文确立了一种收集数据中心数据的标准方法，阐述了如何使用这种方法来计算 PUE，并将重点放在如何处理混乱或不完整的数据。

用户总是可以找到自己的方法来收集和处理能源数据，但如果没有标准方法，就不能对数据中心的效率进行标准检查。需要重点注意的是，诸如 Green Grid 和其他标准组织均认可本文概述的问题，并在以指南和标准制定解决方案。可预期的是，标准制定将会涉及本文所描述的诸多问题。当该标准存在时，本文将会被立即更新以适当描述和配合这一标准。因此在应用本文所述方法之前请访问 apc.com，以确保您使用本文的最新版本。

三部分构成法

为了克服这些难题，本文对三部分构成法进行了概述：

1. 建立一个标准来对数据中心子系统进行分类：（a）IT 负载；（b）物理基础设施；或是，（c）不在计算之内
2. 如果一个子系统由于与非数据中心负载共用而不能直接测量其功率消耗，使用标准化方法来估计该类型子系统的功率
3. 如果由于测量技术障碍而不能直接测量某一子系统的功率，使用标准化方法来估计该类型子系统的功率

下面依次对三部分构成法的各个部分进行说明。

第 1 部分：数据中心子系统的标准分类

对于完成数据中心的效率计算来说，关键是要清楚界定哪些功率消耗子系统为 IT 负载、以及哪些功率消耗子系统是物理基础设施。虽然服务器和存储设备规定为 IT 负载非常明显，不间断电源（UPS）和制冷/气流管理设备规定为物理基础设施也很明显，但在效率计算中数据中心的许

¹ 在本文中，PUE 将被用作效率的度量指标。所有讨论同样适用于 DCiE。

多功率消耗子系统的分类就不那么明显了，包括人员空间、开关设备以及网络运营中心（图 1）。

这些子系统同样消耗功率。如果对于所有数据中心这些子系统没有进行统一分类，就不可能直接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供应商正在致力于实施数据中心效率的标准检查，因此必须建立相关准则来确定什么是 **IT 负载**、什么是 **物理基础设施**（有时称现场基础设施）、以及什么 **不包括** 在数据中心的效率计算中。此外，很多时候在获取用于计算数据中心效率的关键数据方面会遇到实际问题。

为了完成数据中心的效率计算，在将负载划分为上述三种类型时兼有理论和实际应用考虑。不同类型的负载是否应全部计入 PUE 度量指标，如果计算在内，它们是否是 IT 负载，对于这些问题，理性的人们会得出不同的结论。下面的实用指导适用于构建本文的分类系统：

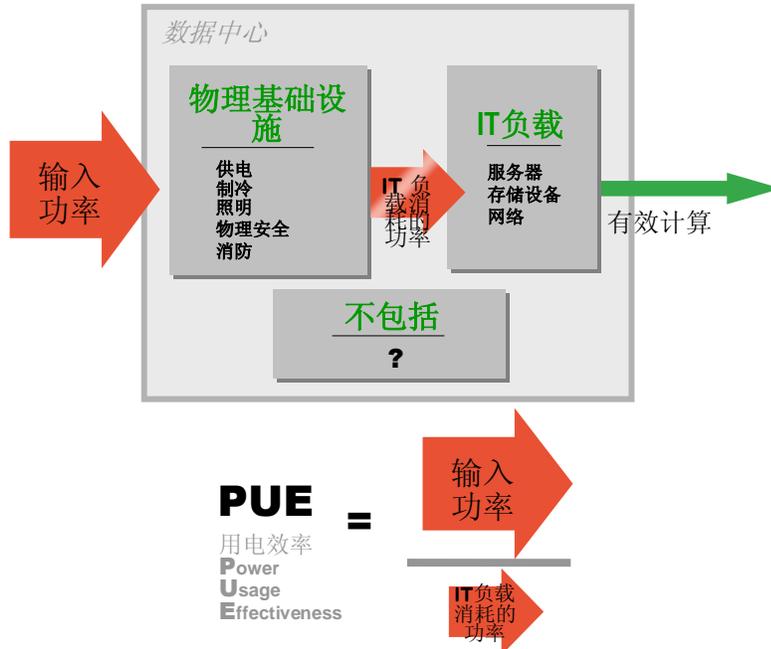
- 如果管理能源使用的子系统对数据中心能源管理的结果是现实并可取的，则系统负载应被包括在 PUE 度量指标内。
- 在测量过程中，如果分开测量某个负载是典型的但不可实现的，那么不应为度量指标计算规定将该特定负载分开。
- 为了计算数据中心的效率，应该将数据中心内的设备类型综合列表标准化，明确分配为“IT 负载”、“物理基础设施”或“不包括”。

为了进行数据中心效率计算，下表初步建立了一个常见子系统清单并将其分配到三种类型，即“IT 负载”、“物理基础设施”或“不包含”。表 1-4 提供了一个应被计入 PUE 以及应被排除在外的子系统清单。这些子系统分为 4 个单独的设备类型表：IT、电源、制冷及其它。

什么要计算在内？什么要排除在外？

人员空间
开关设备
网络运营中心 (NOC)
等等

图 1
对于数据中心效率的标准检查来说将消耗功率的子系统进行分类是必须的



在表 1 中，各种 IT 负载被识别并归入 IT 负载类型。有些类型的 IT 设备可以很明显地归入 IT 负载类型，但其它 IT 设备的分类并不总是始终如一。例如，数据中心内的灾难恢复 IT 负载或网络运营中心 (NOC) 负载是否应该被归为 IT 负载还存在一定的混乱。

几乎所有的数据中心有一定形式的网络运营中心，它可能是计算机室的一个小桌子，也可能是一个拥有几十台工作站和监视器墙的大机房。在某些情况下，一个组织可能有一个能够监控许多数据中心的大型中央网络运营中心，在这种情况下，一个数据中心可能承担一个大型网络运营中心，而其它类似的数据中心只有一个小网络运营中心。对于是否将网络运营中心列入 PUE 计算还存在一些争议。但是，遵循管理数据中心相关负载（例如网络运营中心）的能源使用具有可取性这一原则，网络运营中心应包括在能源报告中，因此也应包括在 PUE 计算中。此外，网络运营中心相关的能源使用（例如供电和制冷）与其他数据中心有关的能源使用进行分离可能是相当困难的。这再次表明，将网络运营中心包括在能源报告和 PUE 计算中是切乎实际的。

表 1

数据中心 IT 子系统的建议分类（对于分类关系请参考图 1）

数据中心 子系统	功率消耗分类			问题
	IT 负载	物理基础设施	不包括	
服务器	✓			
存储设备	✓			
网络设备	✓			有人认为这不应该包括在内，但将其分开非常困难。
KVM和监视器	✓			有人认为这不应该包括在内，因为它不是真正的 IT 设备，但将其分开非常困难。
灾难恢复IT负载	✓			列出灾难恢复负载（这是数据中心应用的一种类型）的目的是涵盖一些数据中心在同一地点配有灾难恢复负载的可能性。从理论上讲，灾难恢复负载与主数据中心设施完全分开，并作为一个独立的数据中心进行管理和测量。因此，如果灾难恢复负载位于同一地点并共用物理基础设施资源，那么必须将其包括在内，并且仅是在主数据中心之内所支持的另一个业务流程。
网络运营中心（NOC）内的IT设备	✓			此类负载主要是用于数据中心控制的计算机和显示器。有人争论说它可以包括在 3 种分类的任意一类之内，但在一些情况下它与数据中心并不是位于同一地点，使得分类有些难度。当此类设备在同一设施之内被共用并且共用设备间时一般将其包括在 IT 负载之内。它可以作为像网络运营中心那样的自由独立设施，这将产生一个新的数据中心类别，并应被视为具有单独 PUE 基准等级的 IT 负载而包括在内。

表 2 列出了可在典型数据中心找到的功率消耗子系统以及它们如何在 PUE 计算中进行分配。虽然这些分配大部分是显而易见的，此图表的重要价值在于作为一个清单，它可以用于确保能够找到所有适当的数据并将其整合到 PUE 计算中。特别是许多报告的 PUE 测量结果在 PUE 计算过程中错误地将 PDU 和静态转换开关（STS）分配为 IT 负载的一部分，这可能会导致较大的误差，特别是对于部分加载的数据中心。虽然有人争论说很难测量这些设备的损耗，但对其进行高精度估计存在很大的可能性。因此在计算效率时将其省略决不是正确的。

在 PUE 计算中出现的其它常见错误是忽略开关设备和自动转换开关（ATS）设备。在许多情况下，测量这些设备的损耗是不切实际的或成本非常高昂，但对其进行估计总是具有一定的实用价值。虽然这种估计有一些误差，但事实上，这些子系统占整个系统的能源使用量的比例很小（约 1%），因此这种估计对于能源使用或 PUE 的最终计算来说仅会产生非常小的误差。

预备发电系统，例如风力发电机和太阳能电池板与数据中心并联运行，不应纳入 PUE 计算中，因为它会掩盖数据中心的真实性能和歪曲度量指标的目的。

表 2
数据中心功率消耗子系统的建议分类
(对于分类关系请参考图 1)

数据中心子系统		功率消耗分类			问题
		IT 负载	物理基础设施	不包括	
物理基础设施 - 电源	开关设备及控制盘 (室外或室内)		✓		许多地方没有办法来确定开关设备的功率，所以要包括在内时需要进行估计。需要消耗能源、空间和资源来支持和运行此类设备，并且是所有数据中心的必要组成部分。
	自动转换开关 (ATS)		✓		
	发电机 (缸体加热器、水套加热器、电热丝式加热器、发电机控制、发电机蓄电池充电器)		✓		
	不间断电源 (UPS)		✓		
	静态转换开关 (STS)		✓		这显然是功率路线的一部分，但一些人认为这应该被看作是 IT 负载的一部分，因为它很难被分开。一般情况下需要估计。
	配电单元 (PDU)		✓		
	灾难恢复供电系统		✓		按照上面的同样逻辑，如果灾难恢复系统可以被隔离，那么它不能包括在主要设施的 PUE 计算中，否则必须将其包括在内。
	预备能源系统 (太阳能发电、风力发电等)			✓	这些系统几乎总是与数据中心并联运行，又与数据中心位于同一地点。将其列入 PUE 计算会掩盖数据中心的真实性能。

表 3 列出了应被包括在 PUE 计算内的各种制冷子系统。请注意，在计算数据中心的效率时这些系统的一些内容往往会被不经意地忽略，如新风系统、中央加湿器、供暖机组，导致数据中心的效率被高估。

表 3

数据中心制冷子系统的建议分类
(对于分类关系请参考图 1)

	数据中心子系统	功率消耗分类			问题
		IT 负载	物理基础设施	不包括	
物理基础设施 - 制冷	冷水机组		✓		
	冷冻水泵 (初级、次级、第三级)		✓		
	冷凝器水泵		✓		
	冷却塔 (风扇、水池加热器)		✓		有些人认为在混合使用设施内很难将其分开。在这种情况下, 需要一种方法来估计分配给数据中心的功率。
	水处理 (沙过滤泵和喷嘴)		✓		水处理包括水过滤和化学系统。
	管道防冻保护 (热带、热跟踪、电热丝式加热器)		✓		
	空气压缩机		✓		空气压缩机通常在冷冻水设备中支持气动阀门。
	集中式加湿器		✓		
	CRAH / CRAC (风扇、加热线圈、加湿)		✓		CRAH - 机房空气处理器 CRAC - 机房空气调节器 除了数据中心的 IT 设备空间, 这些设备有时被用于为机械和电气设备间制冷, 也应被计算在内。
	冷凝泵		✓		
	补充空气/新风系统供电		✓		有些人声称这是难以衡量的, 并认为不应将其包括在内。
	供暖机组		✓		在冬季期间, 小型加热器 (通常安装在天花板上) 有时被用在机械和电气设备间。
	冷凝水器		✓		(冷凝器仅用于风冷 CRAC 设备。)
	干式冷却器		✓		
	网络运营中心制冷系统		✓		
	灾难恢复制冷系统		✓		
	井泵		✓		制冷系统要消耗大量的水。一些数据中心利用自己的井水, 而一些购买来自公用事业公司的水, 通过公用事业公司的远程泵组获得。水作为一种资源, 需要能源来进行冷却、存储和移动。

表 4

数据中心其它子系统的建议分类 (对于分类关系请参考图 1)

	数据中心子系统	功率消耗分类		问题	
		IT 负载	物理基础设施 不包括		
物理基础设施 - 其它	数据中心“机房空间”内的照明		✓	有人认为只有功率路线和制冷应包括在效率计算内。	
	机电室内的照明		✓	这在专门建设的数据中心内较容易量化,但在多用途楼宇中,必须对机械和电气空间照明的比例份额进行说明。	
	其它设施控制 (防火、减振器、暖通空调、PLC)		✓	暖通空调 - 供暖、通风和空气调节 PLC - 可编程逻辑控制器	
	室外照明			✓	这些照明随地点变化很大,由于许多数据中心在多用途设施之内,所以很难将负载分配给数据中心。
	个人办公室负载			✓	有人认为没有明确的标准来确定什么样的人员空间可以分配为数据中心基础设施,所以不应该包括在内。也有人说很难分开。此空间差别很大,最好通过美国绿色建筑理事会 (USGBC) 建立一个高效率的能耗模式
	数据中心个人区域内的照明			✓	这不包括在内,在混合使用设施内此类空间变化很大。最好是按照类似美国绿色建筑理事会 (USGBC) 之类的组织的最佳惯例进行优化。

表 4 列出了通常可在数据中心内发现的、但没有出现在上面各表中的照明设备和其它设备。一般来说,照明要包含在数据中心能源计算中,但室外照明被排除在外,这是由于各个场所之间的变化很大。如果有室外照明,但在测量期间其能源使用不容易从数据中心负载中除掉,则可以从数据中心负载中减去一个估计值。

请注意,工作人员/办公场所负载被专门排除在数据中心效率计算之外。这是因为在许多情况下很难将工作人员/办公场所负载分配给数据中心,因为绝大多数的数据中心设施在同一建筑物内存在非数据中心工作人员办公场所的功能,与非数据中心工作人员办公场所相关的负载数量由于场所的不同而变化很大。在许多混合使用设施内将数据中心负载与工作人员办公场所负载进行分离具有一定挑战性,但它并不复杂,成本也不高。下一节讲述如何解决这一类型的问题。

第 2 部分: 共用资源估计

如前节所述,对数据中心负载正确、一致的分类是确定数据中心 PUE 的重要组成部分。然而,正如在引言中的解释,有些与数据中心相关的消耗功率的设备被其他用途所共用。例如,一个数据中心可能与毗邻的办公大楼共用一个冷水机组,或者是数据中心的 UPS 电源同时为呼叫中心供电。甚至精确测量这样一个共用设备的能源使用情况对于数据中心的效率计算来说也是无用的,因为这种与负载相关、而不是与数据中心相关的设备损耗是不应包括在 PUE 计算之内的。

当一个设备被共用时一种通常采取的做法是在计算 PUE 时简单地省略该设备。这会导致主要误差,特别是如果该设备是主要的能源消耗设备,例如一个冷水机。对于标准检查目的来说这种做

法会使 PUE 计算无效。一个更好的策略是估计（或间接测量）与数据中心相关的共用设备的损耗部分，然后在 PUE 计算中计入这些损耗。这种方法能够产生令人惊讶的准确结果。

考虑冷水机组与其它非数据中心负载共用的情况。我们的目标是测量或估计与数据中心有关的冷水机组消耗的功率部分。有三种方法来确定被共用的冷水机组的能源使用情况：

1. 利用所有其它数据中心负载的已知电力损耗来测量/估计冷水机的热负荷，测量/估计冷水机的效率性能，然后使用此信息来计算冷机用于数据中心负载的电功率
2. 测量/估计数据中心和其它负载之间的热负荷比例（使用水温、压力、泵的设置等），测量冷水机的输入功率，然后根据比例将冷水机功率的一部分分配给数据中心
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

这些间接测量和估计通常是在数据中心专家能源审计过程中进行，但采用先进技术的数据中心运营商也可以进行尝试。一旦为特定的数据中心确立了方法，以后就很容易重新使用来了解效率趋势。

类似的方法可以用于其它类型的共用资源。这些估计和建模技术可在数据中心的软件管理工具中正式化，以提供连续的效率报告。例如，APC 的 InfraStruXure Central 数据中心管理套件提供了数量不断增加的多个选项，用来在其能源管理工具中处理共用资源。

第 3 部分： 测量方法不切实 实际的设备估计

可以测量数据中心内每一个功率消耗设备的能源使用情况。但是，有些设备的能源使用情况测量起来比较复杂，成本较高，有时不切实际。在许多情况下，对设备进行间接测量和估计能够以实际可行的、具有成本效益的方式来确定 PUE。

考虑配电单元（PDU）的情况，很明显它是一个功率消耗器件。在部分加载的数据中心内，PDU 的损耗可能超过 10% 的 IT 负载，对于 PUE 的计算结果具有显著影响。然而大多数数据中心运营商在 PUE 计算中省略了 PDU 损耗，因为 PDU 损耗被认为很难确定，从而造成了 PUE 计算的严重误差。

有几个原因可以解释为什么 PDU 损耗很难进行直接测量：

- PDU 内的测试仪表根本不能直接提供损耗信息
- PDU 内的输入和输出测试仪表通常不提供瓦特值，而仅有伏安（VA）或安培值
- PDU 的输入和输出测试仪表并不能精确到足以从输入中减去输出来确定损耗
- 一个 PDU 有许多输出，可能需要进行求和以获得输出功率

幸运的是，PDU 的损耗是非常具有确定性的，如果给出 PDU 的特性，就能从 IT 负载直接计算出 PDU 的损耗。如果负载已知，就能以非常高的精度估计出 PDU 的损耗（以瓦特、安培或 VA 为单位）。事实上，以此方法来估计损耗通常比使用内置的 PDU 测量仪表更加准确³。

一旦估计得出 PDU 的损耗，从 UPS 输出计量结果中将其减去就能获得 IT 负载，在确定 PUE 时它们被算作基础设施负载的一部分。与忽略 PDU 损耗相比，此简单方法大大提高了 PUE 的计算

² 这种分配并不精确，并且通常略微夸大了分配给数据中心的损耗，因为冷水机组的一些损耗是固定的，在非数据中心负载断电时也不停止。

³ PDU 损耗的测量误差被放大了，因为它们是两个大数之间的差值。这些误差是如此之大，它通常会导致通过直接测量所确定的 PDU 效率超过了 100%，这显然是不可能的

精度。此功能可被植入能源审计过程中使用的软件工具中，或者是直接植入实时能源管理软件，正如 APC 的 **InfraStruXure Central** 能源管理软件系统那样。

本文末尾所列的其它 APC 白皮书对这些估计技术进行了更加详细的描述。

结论

PUE 被定义为 **IT 负载功率** 与 **数据中心输入功率** 这两个数值之比。尽管最初它似乎只是简单地获取两个测量值并取其比值的问题，但在生产数据中心中的情况却很少是这么简单。

数据中心往往是具有多种用途的楼宇的一部分，所以不可能找到一个单点来测量数据中心的总输入功率或测量 IT 负载。这意味着需要确定用于获取所有数据中心能源使用情况的适当测量点，为了获得数据中心的总输入功率，通常需要将来自不同子系统的功率使用数据组合起来。有些时候获得一些功率测量结果可能是不切实际的，或设备可能被一些非数据中心应用所共用，这将使问题进一步复杂化。

本文提供了需要包括在能源使用分析中的各种数据中心子系统列表，以及如何将这些子系统的能源使用纳入 PUE 计算。此外，为了考虑 PUE 计算，本文还描述了用于确定共用设备以及测量方法不切实际的那些设备的能源使用的一些实用方法。

数据中心运营商需要认识到，确定 PUE 并不需要大量的昂贵仪器，因为可通过间接测量和估计来有效估算一个数据中心的许多损耗。

虽然这些方法对于典型用户来说似乎难以实施，但可以通过低成本、易于使用的软件工具来简化问题，并允许任何数据中心（大型或小型，新建的或改造的）建立有效的实时能量管理系统。

关于作者

Victor Avelar 是施耐德电气旗下 APC 公司的高级研究分析师。他负责数据中心设计和运营研究工作，并就风险评估和设计实践向客户提供咨询服务，以优化其数据中心环境的可用性和效率。Victor 拥有伦斯勒理工学院（Rensselaer Polytechnic Institute）机械工程学士学位和巴布森学院（Babson College）工商管理硕士学位。他是 AFCOM 和的美国质量协会的成员。



资源

点击图标链接至资源



浏览所有的 APC
白皮书



数据中心的电效率测量

APC 白皮书 154 号



数据中心的用电效率建模

APC 白皮书 113 号



实现节能高效的数据中心

APC 白皮书 114 号



向 IT 用户分配数据中心能源成本和碳排放

APC 白皮书 161 号



浏览所有的 APC
TradeOff Tools™工具
tools.apc.com



联系我们

如有关于本白皮书内容的反馈和意见，请联系：

数据中心研究中心，施耐德电气旗下 APC
DCSC@Schneider-Electric.com

如果您是客户，且在您的数据中心项目中有具体的问题，则：

请联系当地的施耐德电气旗下 APC 代表