

《数据中心能耗检测规范及实施细则》

中国数据中心能耗检测

工作组

2012.12

序言

据调查，我国服务器保有量约为366万台，服务器总耗电量约132亿kWh，数据中心总耗电量约364亿kWh，约占当年全国电力消耗总量的1%。如果我国数据中心保持当前的能效水平，服务器的平均功耗保持当前增速，2015年我国数据中心能耗将达到1000亿kWh左右，相当于三峡电站一年的发电量；2020年将超过2500亿kWh，或将超过当前全球数据中心的能耗总量。

随着云计算等新概念、新技术的迅速发展，在给IT产业和用户带来革命性改变的同时，也使数据中心基础设施建设与运维面临着更多的挑战。降低能耗、节省成本，成为建设绿色数据中心的核心理念。2011年，在国家发改委、工信部和财政部联合开展的云计算示范工程中，明确要求数据中心的PUE小于1.5。

有鉴于此，工业和信息化部计算机与微电子发展研究中心（中国软件评测中心）与在数据中心基础设施行业耕耘多年的北京中科仙络信息化节能技术研究所有限公司（隶属于北京博悦能集团），共同发起针对数据中心的能耗测试评估方法，并携手业内技术权威、行业专家等联合编制了《数据中心能耗检测指南及实施细则》。此细则既具备代表国家权威性的高瞻远瞩，又具有脚踏实地的可实施性，对机房的能耗测试评估指标及检测方法进行指导，以推动数据中心节能建设的标准化进程，为数据中心节能减排的技术和理念提供导向和指南。

《中国数据中心能耗检测》工作组包括如下成员：

领导小组：由中国电子信息产业发展研究院副院长卢山任组长，北京博悦能集团董事长程小丹任副组长。

执行小组：北京中科仙络信息化节能技术研究所总经理杨晓怡任组长，工信部计算机与微电子发展研究中心（中国软件评测中心）副主任曾晋任副组长。

专家组：中国电源学会专家委员会主席张广明任组长，北京中航信柏润科技有限公司CEO冷飏任副组长。专家组成员包括：中科院计算所高级工程师汤钟才，中科院计算所高级工程师唐玛琍，天津云立方科技有限公司总经理姜俊海，中金数据系统有限公司总工陈德全，中达电通股份有限公司高级产品经理李南，德讯科技有限公司技术支持中心总经理杜旭江，甲骨文公司（ORACLE）标准战略与政策总监丁蔚。

《数据中心能耗检测标准及实施细则》主编单位：

工业和信息化部计算机与微电子发展研究中心（中国软件评测中心）  **CSTC 中国评测** | 中国软件评测中心
北京中科仙络信息化节能技术研究所有限公司 

《数据中心能耗检测标准及实施细则》参编单位：

中国科学院计算技术研究所  中国科学院计算技术研究所
北京中航信柏润科技有限公司 
天津云立方科技有限公司 
中金数据系统有限公司 
中达电通股份有限公司 
德讯科技股份有限公司 
甲骨文股份有限公司 

执笔：张广明

编审：冷飏 汤钟才 唐玛琍 姜俊海 陈德全 李南 杜旭江 丁蔚 杨坤 吕韬

目录

1	前言	1
2	范围	1
3	引用标准	1
4	技术术语及定义	2
5	数据中心的能耗结构（能耗模型）	4
6	数据中心能效指标及测试方法	5
7	数据中心能效（PUE）测试	6
8	UPS供电系统能效状态测量	8
9	空调制冷系统能效状态测量	10
10	数据中心能效状态评估	11

1 前言

在大数据趋势的驱动下，数据中心的耗电量正在大幅上升；美国已经针对数据中心的耗电量做了量化的统计，然而国内尚无此数据。缺乏量化的数据中心能耗数据是相关政策制定的重大障碍。

本标准对数据中心能耗状态做出科学地符合实际情况的测量，可对数据中心确定能耗指标、节能规划、节能设计、节能评估、节能改造和运营管理等工作提供可信的确切的数据依据，是实现数据中心节能降耗的重要环节。本标准的制定在于提出一种统一的标准的测量方法。在内容上特别注意了以下三点：

实用性：测量内容限制在数据中心基础设施，考虑国内各种信息系统的实际情况，既考虑电网（包括发电机）电能，也包括太阳能、风能等再生能源为数据中心中提供的有效电能；

可操作性：提出明确的需要测量的数据、测量方法、测量点、计算公式；

通用性：适用于各种规模、环境、用途的信息系统和数据中心。

本标准在编制过程中得到很多业内专家的指导和帮助，在此表示感谢。

2 范围

本标准对数据中心的能耗结构、数据中心的能效指标定义、数据中心能耗测量计算方法和能效数据发布等都做了明确的规定。本标准适用于各种规模和各种类型的信息系统和数据中心能耗的测量及能效的计算，测量结果可用于评估数据中心能源效率状况，比较不同数据中心之间的能源效率，并可作为数据中心节能设计和运营管理水平评估，及数据中心能效评级的依据。

3 引用标准

《电子信息系统机房设计规范》（GB50174 - 2008）

《电子信息系统机房施工及验收规范》（GB50462 - 2008）

4 技术术语及定义

4.1 IT设备

由计算机、通信设备、处理设备、控制设备及其相关的配套设施构成，按照一定的应用目的和规则，对信息进行采集、加工、存储、传输、检索等处理的人机系统称为电子信息系统，本文简称“IT设备”。

4.2 数据中心

为电子信息设备提供运行环境的场所，可以是一幢建筑物或者建筑物的一部分，包括主机房、辅助区、支持区和行政管理区等。

4.3 数据中心主机房

指数据中心中用于IT设备安装和运行的建筑空间，包括服务器机房、网络机房、存储机房等功能区域。

4.4 数据中心辅助区

指数据中心中用于IT设备的安装、调试、维护、运行监控和管理的场所，包括电信进线间、测试机房、IT监控室、备件库、维修室等区域。

4.5 数据中心支持区

指数据中心用于承载保障数据中心主机房和辅助区，获得有关标准要求的环境和资源条件，所配置的基础设施设备的区域，包括变配电室、发电机房、UPS室、电池室、空调机房、新风机房、动力站房、环境动力监控值班室、消防设施用房、消防和安防控制室等。

4.6 行政管理区

用于数据中心日常行政管理以及客户办公的场所，包括工作人员办公室、门厅、值班室、盥洗室、更衣间和用户工作办公室等。

4.7 IT设备耗能 P_{IT}

指数据中心主机房中IT设备在实际运行中的耗能。

4.8 数据中心基础设施耗能

包括变配电、供配电系统、UPS系统、空调制冷系统、消防、安防、环境动力监控、机房照明等数据中心基础设施设备的耗能。

4.9 数据中心总耗能 P_{Total}

指数据中心在正常运行情况下IT设备耗能和基础设施设备耗能的总和。

4.10 电能利用效率 PUE (Power Usage Effectiveness)

PUE定义为数据中心总耗能与IT设备耗能的比值，它是衡量数据中心基础设施能效的综合指标：

$$PUE = P_{Total} / P_{IT} \text{ ----- (1)}$$

4.11 空调制冷负载系数 CLF (Cooling Load Factor)

CLF定义为数据中心中空调制冷系统耗能与IT设备耗能的比值，即：

$$CLF = P_{\text{Cooling}} / P_{\text{IT}} \text{ ----- (2)}$$

式中： P_{Cooling} 为空调制冷系统耗能，包括冷源（冷水机组、冷却塔、干冷器、水泵、电动阀门、水处理设备等）、空调、湿度调节、新风系统等所有设备的耗能（含空调制冷系统中消耗其他能源所折算出的电量消耗值）。

4.12 UPS供配电负载系数 PLF (Power Load Factor)

PLF定义为数据中心中IT设备供配电系统耗能与IT设备耗能的比值，即：

$$PLF = P_{\text{Power}} / P_{\text{IT}} \text{ ----- (3)}$$

其中 P_{Power} 为供配电系统耗能，包括高压配电、变压器、线缆传输、转换开关、各级低压配电、UPS、谐波治理等设备的耗能。

4.13 数据中心独立供电系统

指数据中心的能源供应是一个独立供电系统，与所在园区或建筑物的供配电系统是隔离的，含义：一是该系统只为数据中心供电；二是数据中心的所有设备只由该系统供电。

4.14 数据中心非独立供电系统

指数据中心的能源供应不是一个独立的供电系统，与所在园区或建筑物的供电系统是隔离的，含义：一是该系统可能还为所在园区或建筑物的其它设备供电；二是数据中心的个别设备可能由所在园区或建筑物的其它供电系统取得电的供应。

4.15 数据中心独立供电空调制冷系统

指数据中心的所有空调制冷设备只由数据中心供电系统供电，而不从所在园区或建筑物的其它供电系统取得电的供应。

4.16 数据中心非独立供电空调制冷系统

指数据中心的部分空调制冷设备可能由所在园区或建筑物的其它供电系统取得电的供应。

5 数据中心的能耗结构（能耗模型）

5.1 概述

数据中心的能耗由以下部分组成，如图1所示：

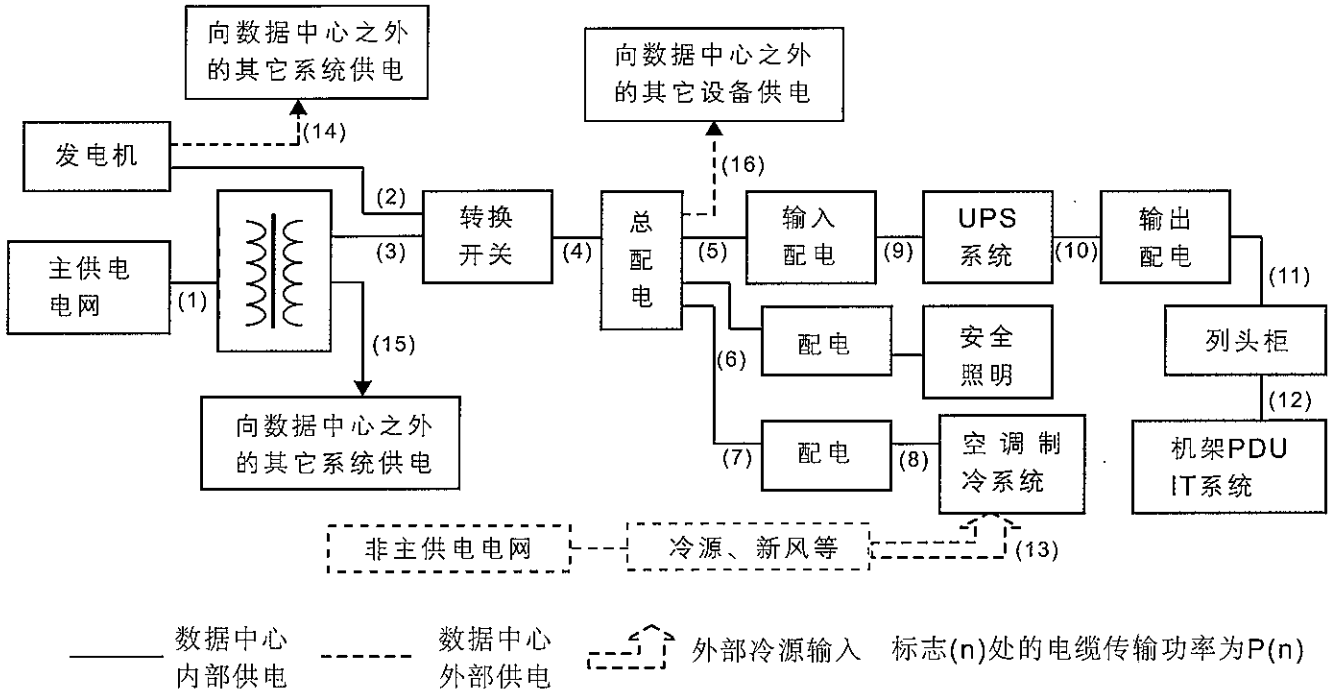


图1 数据中心能耗结构图

5.2 输入能源

输入能源有三部分：主供电电网、发电机、非主供电电网（由个别设备引入）。太阳能、风能等再生能源，最终都以输入到数据中心的电能表示。

5.3 供电系统

供电系统由高压配电、变压器、配电柜、线缆传输、UPS系统、空调制冷系统配电、安全、照明配电、列头柜、机架PDU等环节组成。

5.4 UPS系统

UPS系统包括UPS主机（单机或冗余并机）、电池、并机柜（包括维修旁路）等。

5.5 空调制冷系统

空调制冷系统包括以下类型设备：

- 机房内使用的空调设备，包括机房专用空调机、湿度调节设备等；
- 提供冷源的设备，包括风冷室外机、冷水机组、冷却塔、干冷器、水泵、电动阀门、水处理设备等；
- 新风系统，包括新风预处理机和送风系统等。

5.6 其它设施

数据中心中其它消耗电能的基础设施设备，包括照明设备、安防设备、消防灭火设备、传感器以及数据中心的管理体系等。

6 数据中心能效指标及测试方法

6.1 采用电能利用效率 PUE 作为本标准的测量指标

所有供电和用电都用有功功率计量。

6.2 输入能源应包括主输入电网、发电机及非主要能源输入

发电机能源作为补充电力不足和应急的发电机能源输入应按年平均运行时间折算到主输入电网。

非主供电电网能源输入应按实际用电情况并入主供电输入电网。

太阳能、风能等再生能源应以最终输送给数据中心的电量计入主输入电网或非主要能源输入。

6.3 IT 负载为数据中心正常运行情况下的输入有功功率

6.4 测量周期和频率

能耗指标的数值受各种因素的影响，会随季节、节假日和每天忙闲时段的变化发生变化，因此为全面准确了解数据中心的能效，应采用固定测量仪表，对数据中心能耗进行持续、长期的测量和记录，且测试时间越长，得到的 PUE 指标更能反映数据中心真实能耗情况。

建议测量的周期和频率如下：

- 每年测量 4 次，分别在春季(3月~5月)、夏季(6月~8月)、秋季(9月~11月)、冬季(12月~2月)的每个季节内，选取一个月作为一个时段进行测量。
- 每个时段测量时间不少于 3 天，在一个月的第 5 日、15 日、25 日进行测量；
- 每天测量不少于 2 次，分别在数据中心业务忙时和闲时进行测量；
- 每次测量不少于 1 小时，取稳定数值或 3 次测量的平均值。

每次测量时，要注意对各点和各环节测量的同时性。

测量周期和频率应在测量报告中明确说明。

6.5 在配置有能效监控系统的数据中心，应充分利用监控系统的能耗数据

6.6 测量仪表和工具

所有测量数值都用有功功率表示。

周期性测量时，都要使用同一型号和规格的仪表和工具，有变化时应对新的仪表和工具进行比对校准，仪器应每年(或定期)由国家认可的单位进行校准。

6.7 为了简化测量步骤和难度，以下设备和环节的运行效率数据认为是可以认定的，并在计算公式中可以采用。

6.7.1 市电输入变压器（高压变低压）的效率典型值为 98.5%。

6.7.2 变压器次级输入到 UPS 输入端的各级配电和线缆传输的效率典型值为 99%。

6.7.3 变压器次级输入到空调制冷系统输入端的各级配电和线缆传输的效率典型值为 99%。

6.7.4 UPS 输出到 IT 设备输入之间的各级配电和线缆传输的效率典型值为 99%。

6.7.5 非主供电网到空调制冷设备输入之间的变压器损耗典型值为 98.5%。各级配电和线缆传输的效率典型值为 99%。

7 数据中心能效 (PUE) 测试

测量的参数和测量点参照图1。

7.1 数据中心独立供电系统能效测试

测量值包括以下数值：

7.1.1 IT设备功率 P_{IT}

图1：在(12)处以机架为单元测量耗能值，再相加得IT设备功率总的 $P(12)$ 。

$$P_{IT} = P(12) \text{ ----- (4a)}$$

对于集中供电系统，可在集中供电的UPS输出端测量，并用UPS输出功率乘以系数0.99。0.99是UPS输出到机柜的配电典型效率值，即：

$$P_{IT} = 0.99 P(10) \text{ ----- (4b)}$$

7.1.2 主输入功率 P_{Total}

图1中的变压器输入功率 $P(1)$ ，即为总能耗。

$$P_{Total} = P(1) \text{ ----- (5a)}$$

如果测量有困难，可在(3)处测量变压器输出功率 $P(3)$ ，并根据本标准6.7.1规定，主输入能源为：

$$P_{Total} = P(3)/0.985 \text{ ----- (5b)}$$

7.1.3 发电机系统损耗功率

发电机输入功率包括市电掉电时发电机的供电功率和发电机常年的维护用电功率，可按年平均为数据中心供电时间的耗电和维护供电折算到主输入电网，在市电容量足够可用性很高，发电机使用时间很短和维护耗电很小的情况下，发电机系统损耗功率可忽略不计。

7.1.4 独立供电系统的数据中心的能效测量

将公式(1)、(4a)、(4b)、(5a)、(5b)汇集于表1：

表1 独立供电系统的数据中心的能效测量

项目	测量值	备注	引用公式
输入总功率	$P_{Total}=P(1)$	在变压器初级测量	(5a)
	$P_{Total}=P(3)/0.985$	在变压器次级测量	(5b)
IT设备功率	$P_{IT}=P(12)$	在机架前端测量	(4a)
	$P_{IT}=0.99 P(10)$	在UPS输出端测量	(4b)
电能利用效率	$PUE=P_{Total}/P_{IT}$		

7.2 共用供电系统的数据中心的能效测量

对于共用供电系统，在做系统能效测量计算时，要首先对系统实际使用的总输入功率进行计算。

在图1中的总配电(4)测量共用供电系统的数据中心部分电功率 $P(4)$ ，它从变压器初级(1)处输入的电功率

为： $P(4)/0.985 \times 0.99 = P(4)/0.975$ 。

与其它系统有关的功率是P(13)、P(16)。

P(16)是变压器输出经总配电盘向数据中心之外其它系统和设备供电的功率，应在总输入功率中减去，减去的量值为： $P(16)/0.985 \times 0.99 = P(16)/0.975$ 。

P(13)是空调制冷系统可能用到建筑物集中供冷（例如冷冻水）耗能，这部分冷源的设备可能是由数据中心主电网之外的电源供给的，可按下面三种方法之一折算成P(13)/0.975：

- 与共用冷源有关的各部分制冷功率；
- 与共用冷源有关的各部分制冷面积；
- 与共用冷源有关的各部分分摊的电费。

$$P_{\text{Total}} = [P(4) + P(13) - P(16)] / 0.975 \quad \text{----- (6)}$$

将公式(1)、(4a)、(4b)、(6)汇集成表2：

表2 共用供电系统的数据中心的能效测量

项目	测量值	备注	引用公式
输入总功率	$P_{\text{Total}} = [P(4) + P(13) - P(16)] / 0.975$	在(4)处测量	(6)
IT设备功率	$P_{\text{IT}} = P(12)$	在机架前端测量	(4a)
	$P_{\text{IT}} = 0.99 P(10)$	在UPS输出端测量	(4b)
电能利用效率	$PUE = P_{\text{Total}} / P_{\text{IT}}$		(1)

7.3 小型数据中心及数据中心局部能效测量

7.3.1 小型数据中心能效测量

小型数据中心通常具有明显的“7.2共用供电系统的数据中心的能效”的特点，但是该数据中心的总配电是由建筑物的总配电柜引来的，因此P(16)不在小型数据中心的配电中，该数据中心通常不用该大楼的冷冻水系统，因此：

$$P_{\text{Total}} = P(4) / 0.975 \quad \text{----- (7)}$$

将公式(1)、(4a)、(4b)、(7)汇集成表3：

表3 小型数据中心的能效测量

项目	测量值	备注	引用公式
输入总功率	$P_{\text{Total}} = P(4) / 0.975$	在机房总配电输入端测量	(7)
IT设备功率	$P_{\text{IT}} = P(12)$	在机架前端测量	(4a)
	$P_{\text{IT}} = 0.99 P(10)$	在UPS输出端测量	(4b)
电能利用效率	$PUE = P_{\text{Total}} / P_{\text{IT}}$		(1)

7.3.2 数据中心局部能效测量

在一个大型数据中心中，为了验证新节能技术和节能设备的运行效果，而需要对数据中心局部的PUE值进行测量评估，特别是集装箱或其它模块化单元构建的模块化数据中心，或者由多个建筑和机房构成的较大型数据中心的局部能效测量。

这些系统的配电同样具有明显的“7.2 共用供电系统的数据中心”的特点。

测量方法参照表2、表3。

8 UPS供电系统能效状态测量

8.1 供电系统方案结构及基本运行数据（容量配置、谐波状态和治理方案）

这里指为IT供电的系统，方案结构及基本运行数据见表4：

表4 UPS供电系统方案结构及基本运行数据

容量		设计容量（值）	实际运行容量（值）	设计容量利用率
IT设备				
供电方案及设备容量	UPS供电方案			
	变压器（KVA）			
	输入总配电（断路器）(A)			
	ATS转换开关（开关）(A)			
	UPS总容量（KVA）			
	UPS输入功率因数			
	UPS输入电流谐波			
	UPS输出功率因数			
	负载功率因数			

8.2 UPS设备效率 η_{UPS} （包括内置无源滤波）及损耗 P_{UPS}

根据图1，测量UPS系统输入输出的总有功功率。

$$\eta_{UPS} = \frac{P(10)}{P(9)} \times 100\% \text{ ----- (8)}$$

$$P_{UPS} = P(9) - P(10) \text{ ----- (9)}$$

8.3 为IT设备供电（UPS系统除外）的供电系统总损耗

IT供电系统（除UPS系统外）其它设备包括：输入变压器、输入总配电、UPS输入输出配电、列头柜及机架配电、转换开关、所有的传输线缆、附加有源滤波器等。为IT设备供电的变配电系统总损耗用 P_d 表示，根据本标准6.7的规定，得：

$$P_d = \frac{P(5)}{0.975} - P_{UPS} - P_{IT} \text{ ----- (10)}$$

8.4 UPS供电系统总效率

UPS供电系统总效率 η_{Total} 是IT设备功率 P_{IT} 与UPS供电总输入功率之比。根据图1所示：

$$\eta_{Total} = \frac{P_{IT}}{\frac{P(5)}{0.975}} \times 100\% \text{ ----- (11)}$$

根据式(7)， $P(5)/0.975 = P_d + P_{UPS} + P_{IT}$ 代入式(8)，得：

$$\eta_{Total} = \frac{P_{IT}}{\frac{P(5)}{0.975}} \times 100\% = \frac{P_{IT}}{P_d + P_{UPS} + P_{IT}} \times 100\% = \frac{1}{\frac{P_d}{P_{IT}} + \frac{P_{UPS}}{P_{IT}} + 1} \times 100\% \text{ ----- (12)}$$

8.5 UPS供电负载系数 PLF

$$PLF = \frac{P_{Power}}{P_{IT}} = \frac{\frac{P(5)}{0.975}}{P_{IT}} = \frac{1}{\eta_{Total}} \text{ ----- (13)}$$

9 空调制冷系统能效状态测量

9.1 空调制冷系统结构、配置与系统运行状态，见表5。

表5 空调制冷系统结构、配置与系统运行状态

	IT主机房	设备及辅助机房
机房规划等级		
机房总面积		
机房高度		
地板铺高		
机房室外干球温度和湿球温度		
制冷方式（风冷、水冷、冷冻水---）		
空调制冷设计容量，设计余量		
空调送回风方式		
辅助节能措施		
机房空调温湿度设置值		
机架最高进风温度		
机架最高出风温度		
机架最低进风温度		
机房空调回风温度		
机房新风及正压情况		
空调制冷设备类型		
其它		

9.2 空调制冷系统总能耗

$$P_{Cooling} = \frac{P(8) + P(13)}{0.975} \quad \text{----- (14)}$$

在独立供电系统中P(13)=0。

9.3 空调制冷系统工作效率

IT设备功率 P_{IT} 与空调制冷系统总能耗的比值

$$\eta_{Cooling} = \frac{P_{IT}}{P_{Cooling}} \times 100\% = \frac{P_{IT}}{\frac{P(8) + P(13)}{0.975}} \times 100\% \quad \text{----- (15)}$$

9.4 空调制冷负载系数 CLF

$$CLF = \frac{P_{Cooling}}{P_{IT}} = \frac{1}{\eta_{Cooling}} \quad \text{----- (16)}$$

10 数据中心能效状态评估

10.1 电能利用效率PUE的分析评估公式

$$\begin{aligned} PUE &= \frac{P_{Total}}{P_{IT}} = \frac{P(4)}{0.975 \times P_{IT}} - \frac{P(16)}{0.975 \times P_{IT}} = \frac{P(5) + P(6) + P(8) + P(13)}{0.975 \times P_{IT}} \\ &= \frac{P_d + P_{UPS} + P_{IT}}{P_{IT}} + \frac{P(6) + P(8) + P(13)}{0.975 \times P_{IT}} = \frac{P_d}{P_{IT}} + \frac{P_{UPS}}{P_{IT}} + \frac{P(6)}{0.975 \times P_{IT}} + \frac{P(8) + P(13)}{0.975 \times P_{IT}} + 1 \\ PUE &= \frac{P_d}{P_{IT}} + \frac{P_{UPS}}{P_{IT}} + \frac{P(6)}{0.975 \times P_{IT}} + \frac{P(8) + P(13)}{0.975 \times P_{IT}} + 1 \end{aligned} \quad (17)$$

式中除1外其余各项数值均小于1。

公式(17)用于分析评估数据中心PUE优劣的原因所在。

10.2 评估应包括内容

10.2.1 在数据中心总能耗指标PUE测量数据的基础上，对数据中心规划、选址、可用性指标、节能设计等作出综合性分析评估。

10.2.2 在数据中心供电系统能效状态测量数据的基础上，对供电系统方案设计、供电设备效率等做出分析评估和改进意见。

10.2.3 在数据中心空调制冷系统能效状态测量数据的基础上，对空调制冷方案、设备效率、机房气流组织状态等做出分析评估和改进意见。

10.2.4 能效数据发布要求

即使采用了相同的指标定义、测量点、测量周期和测量工具，数据中心的能效仍然可能会因为其所在地理位置、功率密度、机房规划等级、主要业务类型、IT设备上架率、运维管理上的差别等不同而产生明显差异。为更加全面、准确的反映数据中心能效，在公布能效指标数值时，应包括以下相关信息：

- 数据中心所在的地理位置，至少精确到具体的城市；
- 数据中心能效测试的方法和具体时间段、频率、室内外温湿度等；
- 数据中心的设计平均和实际运行平均机架功率密度、最大机架功率密度，最小机架功率密度；
- 数据中心规模，以总供电容量计算（KW）；
- 数据中心实际使用率（上架IT设备功率占总设计IT功率的比例）；
- 数据中心建筑形式（单体机房、与办公等混用或者模块化、集装箱式等）；
- 数据中心用途，政府或事业单位、企业应用、互联网应用、客户设备托管等；
- 数据中心供电和制冷方式，例如高压直流供电，风冷/水冷式空调、自然冷源（说明年使用时长）；
- 是否采用了间接测量和估算方法，估算时的测量点、热负荷比例和估算方法等。



中国数据中心能耗检测工作组

地址：北京市朝阳区安华里二区十三号楼东配楼 100029

官方网站：www.banyano.com 微博：weibo.com/xdsjzx

电话：010-84568097 传真：010-84568025