

数据中心供电系统规划设计的若干问题

Several Problems of the Plan and Design of the Power Supply System of Data Center

张广明

Zhang Guangming

摘要: 规划设计是机房基础设施建设中最重要的一环, 各种规模的数据中心运行实践表明, 科学的规划设计不仅是数据中心各种预期功能能否实现的关键, 数据中心运行后的绝大多数问题也都起源于规划设计。本文根据当前数据中心供电系统建设和运行的情况, 出提并分析了供电系统规划设计阶段普遍存在的10个问题, 谨供数据中心用户信息主管和设计院工程设计人员参考。

关键词: 数据中心 供电系统 规划设计

Abstract: Plan and design is the most important part of infrastructure construction of the computer room. The practice of data centers of all size indicates that scientific plan and design is the key to the realization of all kinds of intended functions, from which most problems after operation originate. In this paper, based on the construction and operation of current power supply system of data center, 10 universal problems in plan and design of power supply system are presented and analyzed for the reference of the executives of data center user information and the project designers of design institute.

Key words: Data center, Power supply system, Plan and design

[中图分类号] TN91 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2014) 12-0021-07

0 前言

数据中心机房基础设施的供电、制冷、安全和管理各个子系统, 在规划设计、设备选型、施工安装、运行维护4个阶段中, 规划设计都是最关键的一环。规划设计决定着整个数据中心的性质、商业需求目标、规模、近期和远期升级扩展计划、可用性级别、能源效率预期目标等重要功能, 指导和规定了数据中心建设的整个过程, 实际上对设备选型、施工安装和运行维护等都做了严格明确的规定。规划设计不当, 会直接影响供电系统功能的实现, 有的问题(例如设备和系统的可用性)在系统运行后很快就暴露出来, 有的问题(例如可扩展问题、能源效率问题等)会在运行(3-5)年后暴露出来, 问题的严重性在于有些问题是根本无法解决的。下面是当前在供电系统规划设计方法和方案设计方面普遍存在的10个问题。

1 供电系统规划设计原则、方法和存在的问题

在规划供电系统方案时首先要考虑的问题有: 数据中心

的定位和可用性要求; 数据中心的规模和供电容量; 电网环境和负载性质; 数据中心基础设施的可持续发展规划; 投资成本与经济性; 能源效率要求。规划设计时必须综合考虑以上要求, 有的放矢地选用最佳的供电方案和供电设备。

就目前情况来看, 不科学的非规范化的规划设计, 主要表现在: 凭主观臆断确定数据中心供电系统规模、预算、建造进度; 在没有对所建数据中心供电系统的功能(可用性、适应性、总拥有成本)、技术可行性做充分论证的情况下, 首先从工程细节和设备采购入手, 例如: 我的供电系统要采用2N方案; 要采用某种规格(容量、型号、高频机或工频机、甚至厂家)的UPS; 要用30min的备用电池; 整个UPS供电系统放在地下一楼等。其结果, 是因规划设计不当而遇到难以解决的一系列的问题: 未知因素太多, 不断出现新的情况, 面临场地、承重、线缆传输、维护、资金等约束条件限制, 不得不反复修改设计。

错误的开始, 给许多数据中心设计和建设项目带来巨大麻烦, 规划设计错误的代价是昂贵的灾难性的。过早强调硬

件设备会使项目陷入冗长的技术讨论中，而通常按照老方法建造的数据中心只能支持老技术，并得出老的结果。未满足功能设计要求，意味着建了一个用户不需要或者不能按预期正常运转的数据中心。

2 如何预测数据中心供电系统规模(功率容量)

在设计建设数据中心时，预测供电规模(总容量)是一个首先要进行的基本程序。事实上，设计人员要针对用户的需求做“理想设计”是很困难的。首要原因，当属数据中心较长的使用寿命。一个数据中心有可能维持10年甚至更长，设计人员通常不会介入如此长的时间，来获得确定如何改进设计所需的反馈。不可避免的设计缺陷，加上不规范的操作程序等各类因素，也会引发很多问题。最严重的问题之一，是供电容量供求的不平衡。这一问题的出现不仅影响了数据中心的效率、利用率和支持能力，而且还妨碍了资本的最优使用。

在预测数据中心供电规模时，以下三点原则是必须遵守的：一是预测未来的需要，尽管这项任务的实施总是不尽如人意，但对于长期的成功却至关重要；二是设计过程中需要充分考虑灵活性和可扩展性；三是减少解决方案的定制化设计，使其更加标准化模块化，这不仅可以降低设计成本，而且可以加速项目的实施。

准确地估算主机房IT设备用电功率，要考虑的因素包括：服务器数量、刀片式服务器比例、虚拟化程度、大型机数量、内部和外部存储器类型(耗电的“低”、“典型”、“高”3种类型)、功率安全值(裕量)的设定等，这是一个相当繁琐复杂的工作。

就我国大量新建数据中心的规划设计过程来看，主要存在以下两个问题。

2.1 面对确定数据中心供电规模时遇到的困惑和挑战

用户的信息主管和设计院规划设计人员普遍地采用了一种简便的方法：避开诸多不可知因素和繁琐复杂的数据中心IT设备规模统计论证过程，而以所建数据中心建设规模任务目标提出的主机房的IT机架数量的估算值为最基本的数据，然后依此数据做进一步的供电总容量规划，见图1。在所建数据中心的定位、规模、可持续发展规划、投资成本与经济性等因素不完全明确的情况下，也是一种完成建设任务(规模任务目标)的最可行的方法。



图1 供电总容量规划

显然，这样的规划设计方法是不科学不严谨的，会出现以下两种情况：

(1) 在没有充分考虑企业的经济规模、目前业务需求和未来一定时期内的扩展需求(IT设备种类、数量和能耗状态)、资源(能源、水、通讯等)供应、项目资金状况等因素和条件情况下，所确定的机架数量任务目标和由此规划的基础设施的规模，会与运行后的实际情况存在非常大的出入，会严重地影响数据中心的业务扩展、成本投入、运行效率和预期的项目投入与预计产出比；

(2) 机架功率密度是确定供电总容量的最关键因素，用户信息主管通常宣称我们所建的是高密度数据中心，规划设计时，用机架数乘以4kW(或5kW)计算出IT主机房输入用电量，其结果一是扩大了基础设施(主要是供电和制冷)规模，二是很可能在工程细化设计时不满足高密度(例如8kW甚至20kW)机架配电和制冷的特殊要求。

有关对机架功率密度的讨论，请见本文第4节。

2.2 在计算数据中心总输入电量时，常常低估甚至忽略供电和制冷系统的损耗

符合ANSI/TIA-942(美国通信工业学会制订，数据中心通信基础设施标准)等级IV(故障容错)供电系统的运行效率的典型值是70%-75%，25%-30%的损耗同样应由输入总电量提供。至于空调制冷系统，除考虑了能效比不高的制冷功率外，规划设计者常常忽略空调风机、湿度调节、新风系统等环节的发热量和自身损耗。其结果是，按照IT设备总用电量的要求配置了庞大的供电和制冷系统，而数据中心的总输入电力(包括备用油机容量)却不够用。

3 关于机架功率密度的讨论

用机架数量和机架功率密度计算IT设备总用电容量是简单可行的方法，但机架功率密度的取值却是值得讨论的，4kW(或5kW)是个不上不下的数值，用此数据计算IT设备总功率时，会扩大供电、制冷系统规模和市电总输入的容量；而用此数值设计配置配电和制冷系统，又满足不了高密度机架(例如8kW、20kW)的要求。

实际上，在规划设计阶段应采用两种机架功率密度：

- (1) 最大机架功率密度：用以规划设计配电和制冷方案；
- (2) 平均机架功率密度：用以计算IT设备总功率。

这两种机架功率密度在数值上是有明显差别的，一个配置有(10-15)kW功率机架的高密度数据中心，平均机架功率密度可能只有3kW。下面是一组已建数据中心的机架功率密度分布情况：

- ① 低功率密度机架：<1kW，平均0.4W，占机架总数的10%；
- ② 一般功率密度机架：(1-3)kW，平均1.5W，占机架总数的40%；
- ③ 高功率密度机架：(2-5)kW，平均3W，占机架总数的40%；

④ 特高功率密度机架：(8-20)kW，平均 12KW，占机架总数的 10%；

⑤ 平均机架功率密度：3.04kW。

4 可修复性设计和模块化系统

现代数据中心对机房基础设施可用性的最基本要求是：“现代数据中心要求机房基础设施必须是一个能连续工作的系统”。但是，任何设备和系统都是会发生故障的，因此：“一个能连续工作的系统必然是可修复和可快速修复的系统”。如何确保系统和组成该系统的设备是可修复和可快速修复的呢，通过对模块化特征的描述和对提高系统可用性措施的分析得出的结论是：“一个可修复和可快速修复的系统，组成该系统的所有子系统必须具备模块化特征”。

可修复和可快速修复是提高系统可用性的关键，“系统模块化设计”在行业中已上升到一个新的高度，成为一种富有创造性并具有突出战略意义的设计哲学，是数据中心机房基础设施设计的重要理念和基本策略。模块化以及与之关系紧密的标准化，为数据中心带来了广泛的好处，它不仅简化了从初始规划到日常操作的每一个流程，还显著改进了数据中心商业价值的所有 3 个主要组成部分：可用性、适应性和总拥有成本。

模块的基本特征是：

- ① 模块是系统中一个功能明确的可独立运行的单元；
- ② 模块单元具有功能性、独立性、组合性、互换性；
- ③ 模块单元结构简单、标准化程度高、关联适宜性强。

一个螺帽、一条电缆、一台 UPS 或空调设备、IT 机柜、IT 机群、直至一个 IT 机房（集装箱数据中心）等，都是具备模块化特征的子系统。但是，由于设计时的疏忽，有时它们在系统中却失去了模块化功能。例如：一根线缆可能因为数量多、并相互挤压而无法识别和更换；一台大型设备因走道空间狭窄或搬运工具进不去而不能运出更换；一台装入机柜的变压器故障后，因工具无法在机柜内施展而无法更换等。这些事例屡见不鲜，致使具有这种隐患的系统也就不再具备可修复或可快速修复的功能。

由于缺乏公众监督的动力和行业内广泛的变革兴趣，数据中心基础设施的模块化标准化设计进展很慢，基本情况是将来自不同供应商的不兼容的设备进行定制化设计，组合成一个数据中心独特的大型基础设施，因而产生了难以设计、部署、维护和管理的系统。简单地定制连接和组建以便使之运转（鲁伯·哥德堡效应），必然是一个复杂（维护难度大、人为故障率高、效率低）的、适应性（大小或功能进行重新配置以适应迅速变化的商业需求）差的系统。在全球数万计的数据中心供电系统所具有的复杂程度和不一致性面前，使其他所有成熟行业的系统分析家们都会目瞪口呆。

视子系统模块化程度的不同，可将模块化系统分为 4 个级别：

- ① 所有子系统都具有模块化特征；
- ② 关键的子系统模块可冗余配置；
- ③ 关键的子系统模块可快速插拔更换修复；
- ④ 关键子系统模块同时可冗余配置和可快速插拔更换修复。

无疑，当前的模块化 UPS 是可用性级别最高的模块化系统，引领着数据中心供电系统设计建造的先进理念和设备选用的方向。

5 在双总线 2N 系统中，模块化 UPS 的可靠性具有非常明显的优势

在 2N 系统中，在每个支路中是配置单机 UPS、还是配置相同容量的 $n+1$ 冗余的模块化 UPS，普遍地存在着一种观念：模块化 UPS 虽然增加了冗余模块，但是由于模块化 UPS 是由多个（例如 ≥ 10 ）功率模块冗余并机组成的，其可靠性实际上比单机低，因此，从可靠性角度讲，在 2N 系统中，最佳的方案是配置单机 UPS。

这种观念是有科学依据的。但是，这种观念的提出者仅仅考虑了设备的可靠性特征，而如果进一步分析在 2N 系统中设备的工作状态，却可以得出完全相反的结论：在双总线 2N 系统中，模块化 UPS 的可靠性具有非常明显的优势。

5.1 模块化 UPS 整机设备的可靠性

模块化 UPS 是一个具有多重冗余结构的可扩充的模块化系统，要确切的分析其可靠性是一件很繁琐的事情，况且还需要若干符合实际情况的设备和元件的权威性的可靠性数据。但是，可以针对 UPS 设备中最薄弱的环节 AC/DC 和 DC/AC 变换比较单机 UPS 和模块化 UPS $n+1$ 冗余并机可靠性的差别，这样做是接近实际情况的，因为不管是单机 UPS 还是模块化 $n+1$ 冗余并机 UPS，其可靠性都主要取决于最薄弱的环节 AC/DC 和 DC/AC 变换。假定单机 UPS 和模块化 UPS 的功率模块的可靠性都是 0.9，表 1 是 $n+1$ 冗余模块化 UPS 可靠性与 n 的关系。

表 1 $n+1$ 冗余模块化 UPS 可靠性与 n 的关系

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
系统	1+1	2+1	3+1	4+1	5+1	6+1	7+1	8+1	9+1	10+1
可靠度	0.99	0.97	0.94	0.90	0.87	0.82	0.76	0.70	0.64	0.58

从表中数据可以看出，当 $n=4$ 时，4+1 模块化 UPS 的可靠度与单机 UPS 的可靠度是相同的，而随着功率模块的增加，整机可靠度明显降低，当 $n=10$ 时，10+1 的可靠度只有 0.58。

5.2 在 2N 系统中，模块化 UPS 整机设备的可靠性

在 2N 系统中，UPS 运行的最大的一个特点是：在大容量集中供电（负载是几十或几百双输入服务器）系统中，每个支路的负载量基本上是平衡的，且都小于设计额定量的 50%，

这种特殊的工作状态决定了模块化 UPS 的可靠性具有非常明显的优势。

以 400kVA 系统为例：

系统输出总量：400kVA；

由模块化 UPS 组成 2N 系统；

模块化 UPS 功率模块容量和数量：40kVA，11 台，组成 10+1 冗余系统；

每路模块化 UPS 的实际负载量 <200kVA；

模块化 UPS 的实际冗余量：5+6。

在这个系统中，7 个模块同时故障才可能造成系统故障，这是不可能的，利用下面式 (1) 可以计算这种状态下的模块化 UPS 设备的可靠性

$$R_{n+m}(t) = \left[1 - (1 - R)^{m+1} \right]^{C_{n+m}^{m+1}} \quad (1)$$

式中参数为：R=0.9, m=6, n=5, 计算的结果是：

$$R_{5+6} = \left[1 - (1 - R)^7 \right]^{30} = 0.99998$$

也就是说，在 400kVA 的 2N 系统中，在 400kVA 单机 UPS 和模块化 UPS 功率模块 (40kVA) 的可靠度都是 0.9 的情况下，单机 UPS 的故障的概率是 0.1，而 10+1 模块化 UPS 整机的故障概率是 0.00002，两者相差 5000 倍。

6 关于供电系统双总线 (2N) 方案的结构设计

当代数据中心的供电系统大都采用了双总线 (2N) 方案，其拓扑结构如图 2 所示。

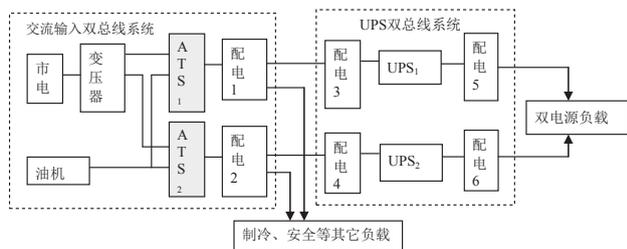


图 2 双总线供电结构拓扑图

在构建 2N 方案时，要注意以下的 3 点。

6.1 “故障容错”指的是整个供电系统

《ANSI/TIA -942-2005 数据中心通信基础设施标准》等 4 级 IV 规定的故障容错系统，是指从交流输入到为 IT 设备机架配电的整个供电系统，而很多数据中心设计者只注意到了 UPS 系统，这是一种错误的理解。

在交流输入系统中，设计者通常在市电输入与油机输入之间只配置一个 ATS 转换开关，显然这个 ATS 就是整个供电系统中的一个单路径故障点。

图 2 是一个完整的故障容错系统，在这个系统中，冗余

的环节和设备是：

市电 + 变压器 // 油机，ATS₁ // ATS₂，配电 1 // 配电 2，配电 3 // 配电 4，UPS₁ // UPS₂，配电 5 // 配电 6。

6.2 建立双总线系统时一个重要的要求是两条总线的“隔离”功能

很多供电方案设计者在双路 UPS 的输出端配置静态转换开关 STS，以便对单电源负载供电，如图 3 (a) 所示，其结果是破坏了 UPS 双总线供电系统的高可用性功能。问题发生在两路 UPS 输出是通过 STS 静态转换开关向负载供电的。STS 安全转换的重要条件是两路进线电压必须同步，所以，两路总线 UPS 之间就需要加入总线同步器，该环节可使两路 UPS 输出电压同幅同频同相。其结果是使 UPS₁ 和 UPS₂ 不能完全隔离。另外，根据可靠性科学的相关性理论，由于两个不完全隔离的设备之间存在着故障的相关性，一路 UPS 故障时可能诱发另一台 UPS 同时故障。图 3 (b) 是 UPS 环节的可用性模型图。

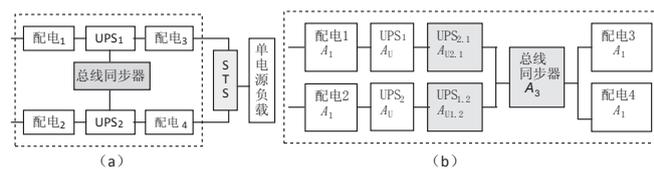


图 3 STS 转换开关对 UPS 双总线系统可用性的影响

图中：A₁：UPS 输入输出配电 1-4 的可用性；

A_U：UPS₁ 和 UPS₂ 的可用性；

A_{U2.1}：UPS₂ 对 UPS₁ 的相关性可用性；

A_{U1.2}：UPS₁ 对 UPS₂ 的相关性可用性；

在可用性模型中，第一台 UPS 的 A_U 和 A_{U2.1} 是串联的，第二台 UPS 的 A_U 和 A_{U1.2} 是串联的。尽管 A_{U2.1}、A_{U1.2} 还没有可量化的参考数据，但在系统实际运行中，由于一台 UPS 故障而诱发另一台 (或 n+1 系统的其它各台) 同时故障的现象却是屡见不鲜。系统恢复后又发现被诱发故障的一台却是一切正常的，甚至找不出故障的原因。

再者，因为总线同步器的工作状态同时与双总线的两路 UPS 有关，当总线同步器故障时，STS 就会因两路进线电压不再同步而拒绝转换，这就意味着双总线失去冗余功能。或者勉强转换，但转换时间可能会超过负载的允许范围，例如 >10ms。所以，总线同步器在可用性模型图中是单路经故障点，其可用性用 A₃ 表示，A₃ 是总线同步器的可用性。

从以上分析可见，由于存在 A_{U2.1}、A_{U1.2} 和 A₃ 个可用性参数，就使得图 3 所示的双总线系统根本上达不到双总线设计的可用性预期效果。

如果在机架中有少量单电源负载设备，可用小型机架式 ATS，ATS 用机械式触点转换，不破坏两路 UPS 的隔离性能，而其转换时间一般 < 10ms，完全满足 IT 设备的供电要求。

7 冗余系统再冗余的问题

冗余系统已成为设计单位普遍采用的提高系统可用性的主要措施，但是在诸多设计案例中却存在着一种错误的观念和倾向，即系统的关键而薄弱环节冗余程度越高越好，其结果是系统过于复杂，设备堆积，不仅预期的系统可用性难以实现，还大大提高了建造成本和系统投入运行后的维护难度，运行效率也会显著降低。根据系统可靠性的 Lusser 定律，一个串联系统的可靠性，即该系统所连接的子系统的可靠性。因此，系统的可靠性要远远低于其中任何单个组件的可靠性，一味的增大某一环节的可靠性，对整个系统的可靠性的增加常常是无助的。

以双总线系统为例，如果把图 2 中每路的单机 UPS 换成 1+1 冗余并机，于是，为双电源负载供电可用性模型表示在图 4 中。

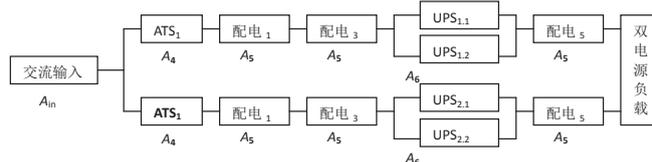


图 4 双总线中 UPS 再冗余配置可用性模型

把各种设备同样的可用性数据代入到图 2 和图 4 的可用性模型中，可得：

图 2 的可用性为：

$$A = A_{in} \times \left[1 - (1 - A_4 \times A_5 \times A_5 \times A_6 \times A_5)^2 \right] = 0.99999796$$

图 4 的可用性为：

$$A = A_{in} \times \left[1 - (1 - A_4 \times A_5 \times A_5 \times A_{1+1} \times A_5)^2 \right] = 0.99999797$$

比较图 2 和图 4，两者可用性基本是一样的，都是 5 个 9，差别仅在小数点后第 8 位提高一个点。所以，结论是：在双总线系统中，UPS 再冗余对提高系统的可用性的贡献是微乎其微的，如果再考虑购置和运行成本、维护工作量的增加和能源效率的降低，就不值了。

8 电机的配置问题

高密度数据中心连续运行的条件有两个：连续供电和连续制冷。传统的备用蓄电池在系统投入运行后，电池容量就是一个固定量，电池备用时间是固定不变的，在市电的随机性故障和不确定的故障修复时间面前，配置在 UPS（也包括 EPS）设备中的蓄电池，也就不再具备真正的不停电供电功能，于是备用交流能源——柴油发电机，就成为当代数据中心的必备设备，这在用户和设计院规划设计者中已经取得了共识。但是，在油机的具体配置和使用中却存在错误的理念。

8.1 油机容量的选择

至今，有很多规划设计者仍然按照传统的做法，按 UPS 的额定容量配置油机。如果系统配置的是 6 脉冲或 12 脉冲 UPS，油机与 UPS 容量的配比取（2 ~ 4）倍，如果系统配置的是 IGBT 整流输入的 UPS，油机与 UPS 容量的配比则取 1.5 倍。对于当代高密度数据中心，这种做法显然是不恰当的。

为了正确的配置油机容量，首先要建立一个新的概念——备用油机是整个数据中心第二路备用交流能源（实际上油机是最理想的第二路市电）。

同时，因为数据中心总容量接近油机的饱和容量，所以还要考虑负载性质的影响，例如，制冷系统负载存在高启动电流，而且还会产生谐波电流，UPS 可能在高输入谐波电流和低输入功率因数下运行，这些都会影响油机的正常启动和运行，在这种情况下必须增大油机容量。也就是说，油机容量必须 ≥ 市电输入总容量。

8.2 油机的启动问题

当前已建和正在规划设计中的大型数据中心，虽然配置了备用柴油发电机，但是由于传统的维护管理制度和水平，很多备用油机设置在手工启动状态，特别是高压油机，相关规范规定只能手工启动。由于人为因素的影响，手工启动时间是不确定的，这种情况只适用于一般低密度数据中心的供电系统。对于要求必须连续运行的数据中心，特别是高功率密度数据中心，如果机架功率密度达到 4kW 或 5kW 以上时，市电停电、制冷设备停止运行后，机架温度会在几分钟内上升到 IT 设备允许值。如果油机人工启动时间超过市电停电后高密度机架能够连续运行的时间，IT 系统就自动宕机，油机就失去了保证 IT 系统连续运行的功能。所以，在现代高密度数据中心中，备用油机毫无例外的都应该设置在自动启动状态。

8.3 油机与市电的转换问题

市电掉电油机启动后，两者存在自动转换问题，当前完成这一功能的主要设备是 ATS。传统配备油机的系统通常是公共系统，规范要求油机系统与市电系统必须隔离，隔离的标志是两个系统转换时必须同时切换三根火线和一根零线，所以在数据中心中就需要 4 极 ATS 设备。但是 ATS 是机械转换设备，4 个触点不能保证同时转换，如果出现瞬间火线接通而零线延时接通、或者瞬间零线断开而火线延时断开情况时，就会影响单相 IT 负载的稳定性，甚至烧毁硬件。为了避免这一情况的发生，开关设备厂家研制了可以先断开火线、后断开零线，和先接通零线、后接通火线的特殊的 ATS 设备，该设备价格昂贵且可靠性不尽人意。

在数据中心中是否一定要配置 4 极 ATS 设备，其实这是个观念问题。在数据中心，特别是大型数据中心中，油机实

实际上是系统专用设备，就像变压器、UPS、空调设备一样，它不涉及数据中心以外的其它用电系统，没有隔离的必要。所以，在数据中心中如果油机是专用的，就可以用3极ATS设备进行市电与油机的转换。

9 电池容量的配置

蓄电池是数据中心UPS供电系统的重要组成部分，在当代高密度数据中心中，蓄电池的备用功能发生了根本性的变化。

传统数据中心的备用蓄电池功能是：市电掉电后，通过UPS设备DC/AC逆变器继续向负载供电。

当代高密度数据中心备用电池的功能是：市电掉电后，在备用油机启动和切换时间内向负载供电。

功能的变化带来了蓄电池备用时间配置的变化：传统数据中心中蓄电池备用时间的配置观念是备用时间越长越好；当代高密度数据中心蓄电池备用时间是一个可量化的范围。

这个可量化的范围是：

最短时间： ≥ 15 秒（油机启动时间）；

最大可用时间：市电停电制冷设备停机后，高密度机架IT设备最长运行时间。

所以，在现代高密度数据中心中，备用电池是有理论上最大可用备用时间的。尽管设计者不可能把这一时间缩减到几10s，但（5-10）min也就足够了。

10 节能降耗指标的预期规划

就我国当前情况来看，数据中心节能降耗工作已经得到了广泛的重视，成为新建和改建数据中心规划工作的主要预期指标之一，也是新技术推广应用和新设备选用的重要依据。但是，在实际操作中却存在着以下几方面的问题：

- ① 缺乏指导性的标准；
- ② 缺乏科学的能耗测量方法规范；
- ③ 缺乏节能规划、设计和节能技术改造的数字依据；
- ④ 缺乏节能规划、设计和节能技术改造的评估和验收标准；

因此，当前数据中心能效规划改造和测量中就存在着一些误导和误解。

10.1 正确的测量方法是准确衡量数据中心PUE值的关键

PUE的定义是：

$$\text{电力利用率PUE} = \frac{\text{系统输入总功率}}{\text{IT设备消耗的功率}} \quad (2)$$

要准确的反映节能规划、节能改造和节能新技术新设备应用的效果，就应该严格的按照PUE的定义规定的内容（范围）进行测量。当前存在的误导和不规范的做法，主要有以下两个方面。

（1）测量内容（范围）要全面

① IT设备能耗

需要测量出实际运行能耗数据，需要测量IT设备输入点的数据，如果取UPS输出的数据，就要考虑配电效率。

② 数据中心总输入功率

测量要全面、准确。输入能源有3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。所有的测量数据都要折算到变压器高压输入端。

③ IT供电系能耗

需要测量从高压输入到机架PDU的所有设备和环节，包括变压器、各级配电开关、线缆传输、UPS、列头柜、机架PDU等环节。

④ 空调制冷系统的能耗

需要从高压输入到各种设备的输入端，包括变压器、各级配电开关、冷水机组、冷却塔、水泵、电动节门、水处理、干冷器、空调制冷、湿度调节、新风系统等。

⑤ 其它设备能耗

包括消防、安防、环境动力监控、机房照明等。

（2）测量的时间性

考虑IT设备负荷的动态特性和机房室外环境的影响，要注意测量的时间性、连续性、同时性和数据的稳定性。

10.2 不要与供电和空调制冷负载系数CLF和PLF混淆

为了推广节能新技术和新产品，以便对节能改造和新技术新产品应用的效果作出定量分析和评估，在业内推出整个系统的节能指标PUE的同时，又定义了IT设备供电负载系数PLF（Power Load Factor）和空调制冷负载系数CLF（Cooling Load Factor）两个指标，分别描述供电和制冷两个系统的能耗状态和节能效果，他们的定义如下：

$$\text{CLF (Cooling Load Factor)} = P_{\text{Cooling}} / P_{\text{IT}};$$

$$\text{PLF (Power Load Factor)} = P_{\text{power}} / P_{\text{IT}} \circ$$

于是，有的数据中心规划设计集成商和新技术新产品提供商，就以CLF或PLF代替PUE，这种混淆概念的做法对数据中心节能改造的工作是不利的。

10.3 不同规模、不同供电制冷方案的PUE没有可比性

PUE值越小，系统的节能效果越好，但是小到多少为最佳，却没有相关的标准可循。事实上，不同规模、不同可用性等级的数据中心的PUE是不同的，以IT供电系统为例，在《ANSI/TIA-942-2005 数据中心通信基础设施标准》中规定了4个等级。影响供电系统效率的主要因素是设备利用率，在供电设备和负载率相同的情况下，随着从等级I到等级IV冗余程度的提高，PLF（进而影响PUE）肯定会随之增大。

“等级I”为基本型，机房基础设施没有冗余的组成部分。如果没有配置UPS，PLF值可降到0.05（只有变压器、配电
（下转第30页）