

使大型UPS系统更高效

第 108 号白皮书

版本 3

作者 Richard L.Sawyer

> 摘要

随着能源日益稀缺和昂贵，电气效率正在成为大型 UPS 系统的指定和选型中更加重要的性能因素。有三种微妙而又重要的因素会实质性影响公司运行 UPS 系统的成本，特别是电费开支。遗憾的是，指定系统的人员经常认识不到这些因素，由于没有正确考虑运行效率问题，将导致业主成本的增加。本文将对 UPS 效率评价中常见的错误和误解进行讨论。文中将解释、比较 UPS 效率曲线并将其对成本的影响进行量化。

简介

指定和选择 UPS 系统的传统方式几乎将重点完全放在系统的可靠性上，该指标由制造商和咨询工程师提供的平均故障间隔时间 (MTBF) 表示。当前，两方面的问题正将效率指标推向与可靠性同等重要的地位：(1) 对系统整个寿命期内总拥有成本 (TCO) 的关注以及 (2) 公共和私人推动的环保行动，例如由电力公司提供的“绿色楼宇”认证计划和需求端管理计划。

造成 UPS 低效率有两个主要因素：UPS 模块本身的固有损耗，以及系统的实施方式（即适度配置、冗余）。在指定 UPS 系统时，所考虑的效率值经常只是制造商所公布的最佳状况值。这容易造成误导，将对其进行进一步解释。

假设的例子可能是证明这种惯例对企业电力开支实质性影响程度的最好方式。考虑两套来自不同制造商的 1 MW UPS 系统。UPS 系统 1 和 UPS 系统 2 具有相同的公布效率（满载时为 93%），以 2N 式体系结构运行，电费成本为 0.10 美元 / kWh，且支持 300 kW 负载。许多人会认为运行这两套系统的年度电力成本应该没有区别。除在紧急或维护情况下，这种说法都是站不住脚的。在 2N 式配置中 UPS 从不会以 100% 负载水平运行，因为“N”的每一侧均必须能够在另一侧故障时支持全部负载。因此，正常运行中每一 UPS 上的最大设计负载不能超过 50%。实际上，在每一系统上 2N 式系统甚至很少达到 50% 的负载。一些实地调查显示，2N 式数据中心仅以其 2N 容量的 20-40%¹ 运行。对于本例，假设为典型的 30% 的负载，每台 UPS 支持 150 kW。系统 1 中每台 UPS 每年的电力损耗成本为 10,470 美元，而系统 2 中每台 UPS 则为 28,322 美元。由于每套系统中均有两台 UPS，电力损耗成本将分别加倍至每年 20,940 美元和 56,644 美元。这些由 UPS 损耗的能量表现为必须由制冷系统排出的热量。假设每 kW 热量需要 400 W 的制冷系统功率来排出，则每年需要的额外成本分别为 8,376 美元和 22,651 美元。在本例中²，典型的数据中心寿命为 10 年，导致 UPS 系统损耗总成本分别为 293,165 美元和 793,021 美元，如表 1 所示。那么，这两套看似相同的 UPS 系统的电力损耗差距是如何达到几乎 3 倍的呢？

表 1

以 2N 式体系结构、相同负载运行的两套不同系统会发生不同的成本-以美元计

UPS 系统	UPS 损耗成本	制冷成本	年度成本浪费	10 年成本浪费
UPS 系统 1	\$20,940	\$8,376	\$29,317	\$293,165
UPS 系统 2	\$56,644	\$22,651	\$79,302	\$793,021

答案在于两套 UPS 系统的效率曲线及其针对负载的选型方式。一台 UPS 的效率提高 5 个百分点可以形成 18% 到 84% 的电力成本缩减，具体取决于 UPS 上有多大的负载。这一点将在后文采用当前市场上的两种 UPS 设计加以说明。

为了满足当今的效率和环境需求，UPS 制造商们可以通过三种因素来提高大型 UPS 的效率，即：**技术、拓扑和模块化**。这三个因素结合可以减少最终转化为热能形式 (kW) 的 UPS 电气损耗。本文将解释效率曲线，并对 UPS 效率评价中常见的错误进行讨论。它将展示技术、拓扑以及模块化将如何使制造商可以提高 UPS 效率。关于数据中心满载效率的讨论，请参见第 113 号白皮书《[数据中心的电气效率建模](#)》。

¹ 按照第 37 号白皮书《[避免数据中心和网络机房基础设施因过度规划造成的资金浪费](#)》中的讨论，数据中心内典型的 UPS 负载约为 30%。

² 400 W 是对数据中心内实际制冷成本的保守估算值。根据以下报告，估算的制冷 kW 值占到数据中心总体热负载的 51%：Jennifer Mitchell-Jackson, *Energy Needs in an Internet Economy: A Closer Look at Data Centers* (互联网经济中的能源需求：数据中心近观)，2001 年 7 月 10 日，第 35-37 页。

UPS 效率曲线

如果在 UPS 数据单中仅列出了一个 UPS 效率值，则几乎理所当然地将该值按 100% 负载（额定负载）以及其他各种适宜的系统状态（如蓄电池充满电、额定 UPS 输入电压以及可选的输入变压器和滤波器断开或未安装）下的情况进行引用。实际情况是，多数 UPS 制造商会引用 100% 负载下的 UPS 效率，因为它代表了 UPS 可以达到的最佳效率。遗憾的是，很少有客户会享受到这种效率的收益，因为他们的负载从来不会达到 100%。基于铭牌效率指定 UPS 就像是买汽车，汽车的最高燃料效率要在高速公路上方可达到，而使用时可能主要是在城市中行驶。指定 UPS 的一种较好的方法是使用 30% 左右负载下的效率值，该负载倾向于多数中等到大规模数据中心的平均运行负载。为此，必须首先理解什么是 UPS 效率曲线以及它是如何绘制的。

图 1 示出了 UPS 效率曲线的基本形态。曲线上的最高点对应于最高效率（Y 轴）和最高负载水平（X 轴）。在此曲线中，最高的 UPS 效率为 93%。为了以实际负载水平指定 UPS，客户必须找到或测试常见负载水平（如 30%）下的 UPS 效率（在此曲线上为 89%）。在数据中心使用冗余 UPS（2N）的情况下，效率会下降更多，原因是负载会在两台 UPS 之间分配，使效率降低至 82%。这种冗余的影响将在后文中讨论。

> UPS 效率曲线如何绘制

绘制效率曲线的方法是：首先测量供给 UPS 的功率（输入）和 UPS 供给负载的功率（输出）。这些测量值在通常为 25%、50%、75% 和 100% 的各种负载下取得。另外还会在 0% 负载下进行测量，以获得 UPS 本身所消耗的功率值（空载损耗）。从这些测量值可以计算出损耗，即用输入功率减去输出功率。之后这些损耗值被绘制在图上，并按这些点拟合出一条趋势线。该趋势线提供了一个公式，由此可对每一个负载百分比值绘制出其他所有点。在计算出所有功率损耗后，通过绘出输出与输入功率之比与负载水平的关系，即可得出效率曲线。

图 1

UPS 效率曲线

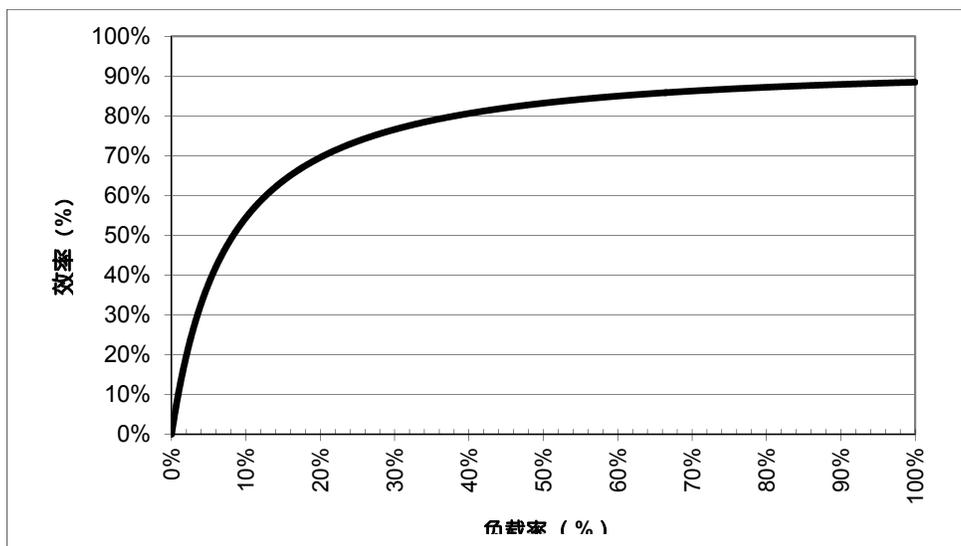
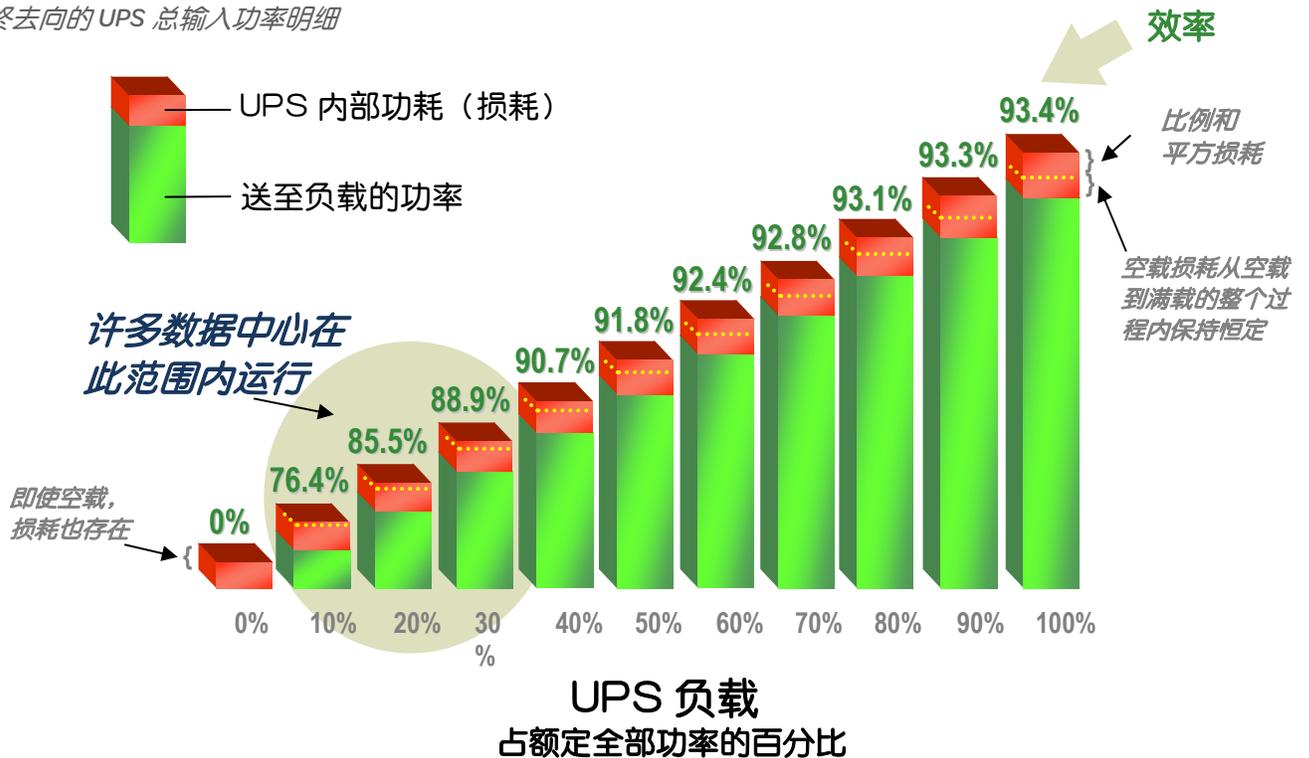


图 2 标识了所有功率的去向，有助于更好地理解图 1 的效率曲线。

图 2

显示功率最终去向的 UPS 总输入功率明细



在图中，绿色条表示送至 IT 负载的所有功率，而红色条表示确定图 1 中效率曲线的 UPS 内部损耗。如果 UPS 具有理想的效率，则供给 UPS 的所有功率将被送至数据中心负载，使得在所有负载水平下均完全为绿色条（无损耗）。在此情况下，效率“曲线”将呈现为水平线（在所有负载下均为 100%）。然而如红色条所示，有些输入功率是被 UPS 直接使用的。有三种类型的 UPS 损耗：“空载”损耗、“比例”损耗和“平方”损耗。

空载损耗

在 0% 负载下，所有输入功率均被 UPS 使用，因此定名为“空载”损耗。也可以采用其他名称，如“自有”（tare）、“恒定”、“固定”、“分流”（shunt）及“并联”损耗。这些损耗与负载无关，是由向变压器、电容器、逻辑电路板以及通信卡等设备供电所致。空载损耗可占到所有 UPS 损耗的 40% 以上，其提高 UPS 效率的潜力远高于其他类型的损耗。这一点将在附录中进行更为详细的讨论。

比例损耗

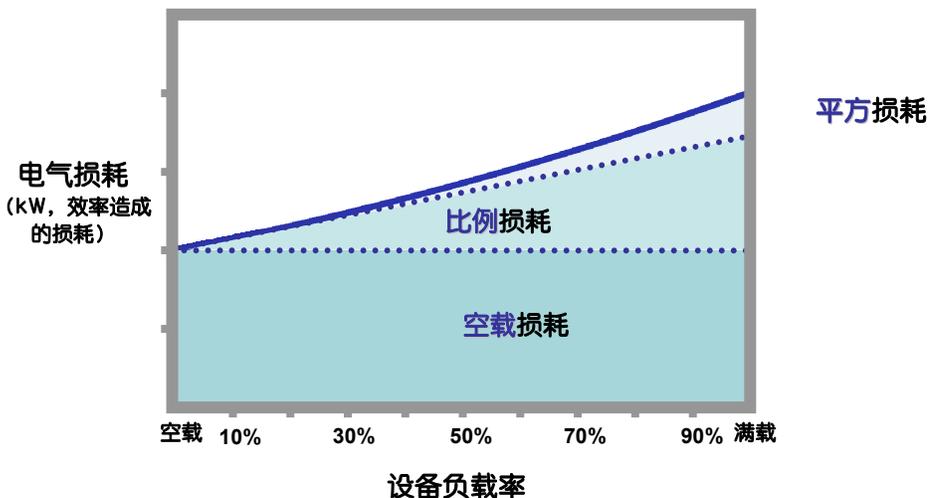
随着 UPS 所承担负载的增加，更大量的功率必须在其功率路径上被各种组件进行“消耗”。例如，晶体管的开关损耗以及随负载成比例增加的半导体和整流器的导通损耗都会增加系统的比例损耗量。

平方损耗

随着 UPS 所承担负载的增加，流经其组件的电流也将增大。这将导致 UPS 中的损耗随电流的平方而变化，这种损耗有时被称为“ I^2R ”损耗。以热量形式耗散的功率损耗与电流的平方成正比。平方损耗在较高的 UPS 负载下将变得明显（1-4%）。

两台或更多 UPS 间效率比较的特定性质意味着只有其损耗（图 2 中的红色条）会被评价。效率曲线本身就可以表达关于 UPS 的大量信息，包括对其比例、空载和平方损耗在所有负载水平上的量化。绘出这三类损耗相对 UPS 负载百分比的关系将得出类似图 3 的功率损耗图。应注意空载损耗如何在整个负载谱内保持恒定，同时比例损耗会随着 UPS 所承载 IT 设备的增加而沿斜坡增加。

图 3
功率损耗图



指定 UPS 系统时常见的错误

指定 UPS 系统的人很容易会不考虑一种 UPS 相比其他产品的效率改进。表 2 列出了各种理由以及这些理由不足之处。

表 2
不考虑 UPS 效率的理由

理由	不足
公布的 UPS 效率几乎都是在最有利的条件下带 100%负载获得的值，使得不同 UPS 几乎具有相同的效率。	只有当 UPS 在第一天运行并加载 80%以上时才应考虑所宣称的效率。除此之外，应考虑 UPS 在较低负载下的效率。而且，制造商经常会排除输入滤波器，该滤波器会使所宣称效率降低 0.5-1%。
当 UPS 的负载高于 80%时，与 IT 负载的用电成本相比而言，UPS 损耗的用电成本比例很小。	尽管情况确实如此，但各种 UPS 间实际开支额的差异仍可能会相当大。
被比较 UPS 的公布效率用于计算所有负载情况下的电气损耗，将导致出现类似的成本。	尽管效率在 30%负载以上基本表现为恒定，但它确实稍有下降，而且在 20-30%负载水平以下会显著下降。此外，效率的小差别也会造成超出预期的能源成本差异。
成本计算按年度进行，导致成本表现得较小。	看似较小的年度成本乘以 10 将使情况大有不同。成本计算中应计入数据中心的寿命，通常为 10 年。

企业将按照电表测量的用电量支付电费。这是指定任何设备的最终基准。这就是制造商的效率曲线数据应以实际客户设施为依据的原因。此外，数据中心电源系统的设计应考虑到对整个动力系而非单纯对 UPS 的效率影响。一个例证就是去除输入滤波器以提高测得的 UPS 效率。按其本身的性质，UPS 会产生谐波或有害电流，使上游导线和变压器的热损耗增加，因此会降低效率。UPS 输入滤波器通过削弱交流电的谐波分量，可以是这些负面影响最小化。通过去除输入滤波器以提高测得的 UPS 效率，制造商实质上是将热损耗及其相关电气损耗推到了更上游的地方。最后，最终用户将不知不觉地支付一笔额外的效率成本，在满载下其值将超过 0.5 到 1 个百分点。这是因为 UPS 通常加载约为 30%，滤波器的固定损耗在其中占有很大比重。例如，在电价为 0.10 美元 / kWh 条件下，假设负载为 30% 的 1 MW UPS 的最佳可能效率为 89%。如果在这一负载水平上增加一个滤波器，并将效率降低三个百分点，年度电费成本将由 32,481 美元升至 42,781 美元，升幅接近 32%。

按效率指定 UPS 的最有效方法可能就是要求制造商提供可以完全描述其 UPS 相比其他产品的节能优势的效率曲线。注意该曲线应配有输入和输出功率数据，以便可以采用简单的数据表在 0% 至 100% 负载之间的每个点上计算出节能量。重要的是该制造商曲线要基于与被指定方式类似的配置。本文的附录将通过对各种情境的研究，提供对 UPS 效率比较的深度讨论。下节将介绍制造商提高 UPS 效率的各种设计手段。

为提高 UPS 效率，制造商可以降低三种显著的损耗，即：空载损耗、比例损耗以及平方损耗。为此，制造商有三个可以自行决定的要点：技术、拓扑和模块化。理解了这些因素如何影响效率后，负责选定设备的工程师们可以更好地辨识出将显著降低其电气运行成本的 UPS 系统。

提高大型 UPS 效率

技术

“技术”一词往往与拓扑和模块化有所重叠，但在本文中，其意义仅限于描述包含硬件和软件的 UPS 构成组块。

开关技术：IGBT 取代 SCR(可控硅)

大型固态（“静态”）UPS 系统的工作是进行交流电（AC）与直流电（DC）之间的相互转换。这种电力转换过程的一个内容就是快速的开关切换，由于开关固有的电阻，这将导致开关上产生热量形式的功率损耗。实际上，即使在开关开路时，也总会有因漏电流造成的少量热损耗。这就与绳子（电流）经过人的手（开关）快速拉动时的发热情况可以类比。绳子张紧（开关闭合）时发热，而当绳子放松（开关断开）时，产生的热量就非常少。

最初，开关过程由具备大功率/高电压开关能力的可控硅整流器（SCR）来实现。可控硅（SCR）在 1990 年代中期之前是标准的 UPS 组件，至今仍某些较老的设计中使用。其价格相对低廉，而且易于设计，但却有严重的缺点，其中最糟糕的就是往往会以“短路”失效，即在 UPS 的关键点直流母线上造成短路。必须加装保护电路和装置以防止直流母线进入这种故障模式，继而导致更多组件故障。SCR 导通容易（对栅施加 1-2 V 信号即可）但截止较难（必须有一个反向偏置电压尖峰）。晶体管没有此问题，其导通和截止所需功率较小。基本上当存在选通信号时，它们为“通”，当没有选通信号时即为“断”。但直到 1990 年代中期，它们的电流处理能力一直有限。这一问题在绝缘栅双极晶体管（IGBT）被引入后得到了解决。能够实现更高速并处理更大功率的 IGBT 使功率转换过程得以采用“高频脉宽调制（PWM）”模式工作。高频 PWM 可以减小所需滤波组件的规格，从而可进一步实现效率提升。

控制：DSP(数字信号处理)取代模拟方式

当今许多制造商正在由模拟控制转向数字信号处理（DSP）控制。这种转变类同于从采用齿轮和指针的传统手表到采用电池和液晶显示屏（LCD）的数字手表的转变。DSP 控制的智能性要高得多，可以在高得多的速率下运行，由此可以做出有助于提高效率的多得多的决策。DSP 控制也可以使组件数量比模拟电路要少。

更高级的 DSP 控制可以通过智能自适应开关来提高效率，在这种方式中，高频主功率开关可以在可能造成损耗的开关转变更少的条件下保持输出电压精度。对于较轻的负载，采用 DSP 使开

关转变减少的量最高可达 50%，由此可实现显著的效率改进。此外，DSP 控制比其前代控制方式需要的功率少得多，由此可实现空载损耗的实质性减少。

IGBT 和 DSP 技术是重大的技术进步，它们已经使最近几代的 UPS 产品的效率得到了提高。

Eco 模式

Eco模式是为了提高电气效率和达到节能降耗的目标所采取的UPS的一种运行模式，市场上不同的厂家有不同的叫法。但都是UPS工作在旁路状态。旁路状态下UPS的效率为 98%到 99%之间，这也就是UPS Eco模式高效运行的根本，即UPS效率可以提高工作效率 2-5%。参阅第 157 号白皮书，《[Eco模式：UPS节能运行模式的收益和风险](#)》，分析Eco模式的利弊。

拓扑

UPS拓扑对其功率组件内部连接的方式进行了基本的规定。制造商们可以采用拓扑作为在特定应用或规格范围内降低损耗的工具。在大型UPS系统主要采用两种拓扑：双转换在线式和Delta转换在线式。对于大功率UPS系统（超过 200 kVA）：美国电力研究学会最近有一份出版物表明，当前采用Delta转换在线式UPS拓扑可以实现最高的效率³（图 4）。拓扑对UPS效率的影响在以下各段中进行介绍。

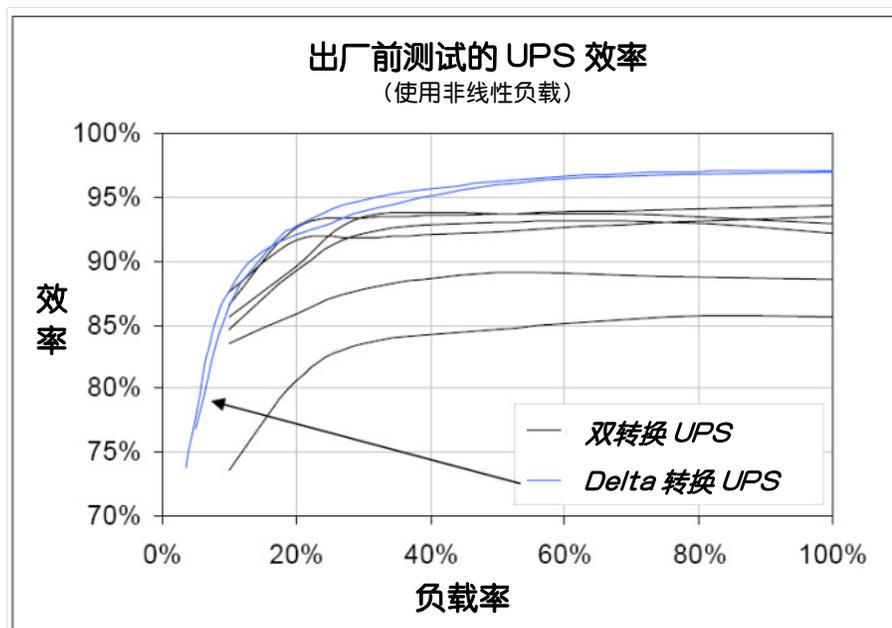


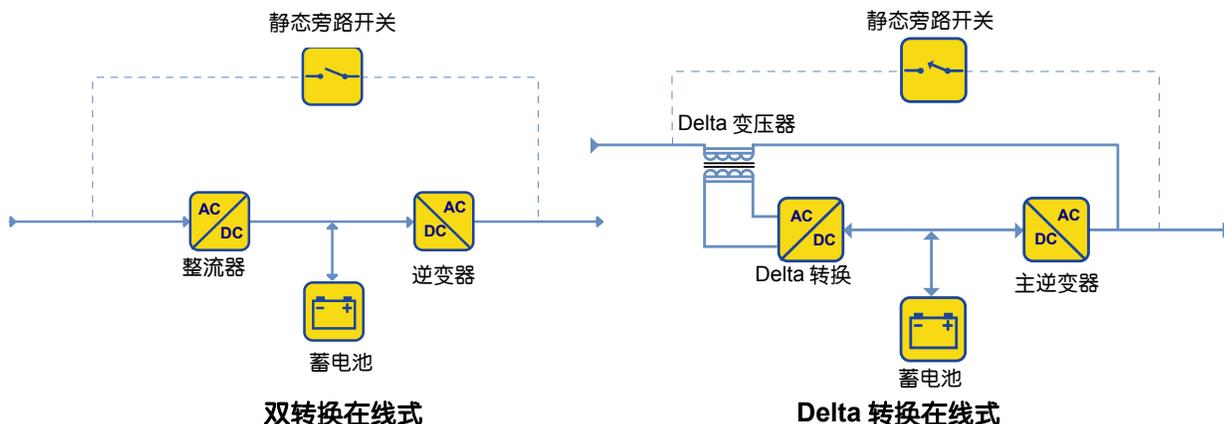
图 4

LBNL UPS 报告摘录 (第 20 页)

³ My Ton, Brian Fortenbury, *High Performance Buildings: Data Centers Uninterruptible Power Supplies (UPS)* (高性能楼宇：数据中心不间断电源 (UPS))，第 20 页。

http://hightech.lbl.gov/documents/UPS/Final_UPS_Report.pdf (2012 年 1 月 25 日访问)。

图 5

两种“在线式”UPS
功率转换技术

对于 Delta 转换在线式系统，效率的提升主要通过降低空载损耗实现，此外也有平方损耗降低的因素。通过以串联布置使用输入变压器，UPS 输入电流和 UPS 输出电压可以完全被调节和控制，而无需像双转换在线式系统一样将所有输入功率转变为直流后再转回交流，如图 5 所示。应注意，Delta 转换在线式 UPS 的输出电压完全由输出逆变器再生得到，并与市电隔离，就像在双转换在线式 UPS 一样。拓扑降低空载损耗的方式的另一例子是通过取消与双转换拓扑相关的输入滤波器。传统的双转换式 UPS 会产生较大的输入谐波电流（占总谐波失真的 9% 至 30%）和较低的功率因数（0.9 至 0.8）。鉴于此原因，在双转换式设计中加装了一个输入滤波器，它可以提高功率因数，并使造成上游导线和变压器中热损耗增加的谐波或有害电流最小化。然而应注意，加装这一输入滤波器会干扰发电机组的电压调节。由于输入电流为正弦波电流，高功率因数 Delta 转换式拓扑产生的输入谐波电流可以忽略（小于 3%），由此可完全不需要输入滤波器。关于各种 UPS 拓扑的差别的更多讨论，请参见第 1 号白皮书《不同类型的 UPS 系统》。

Delta 转换可以很好地说明制造商可以如何使用拓扑来提高 UPS 效率并提高节能量，同时不对电气性能造成影响。以下比较有助于说明这种节省。

对拓扑的影响加以量化

1N 拓扑比较 - Delta 转换式与双转换式

配置“**A**”是一台 1 MW Delta 转换在线式 UPS。配置“**B**”是一台 1 MW 双转换在线式 UPS。图 6 所示为每一台 UPS 的效率曲线，以负载百分比为自变量。在两种情况下，均假设负载为 300 kW。配置“**A**”在 30% 负载下的效率为 94.9%，而配置“**B**”为 88.7%，即两者效率相差 6.2 个百分点，在 UPS 的整个生命周期内这是相当大的成本节约。

图 6

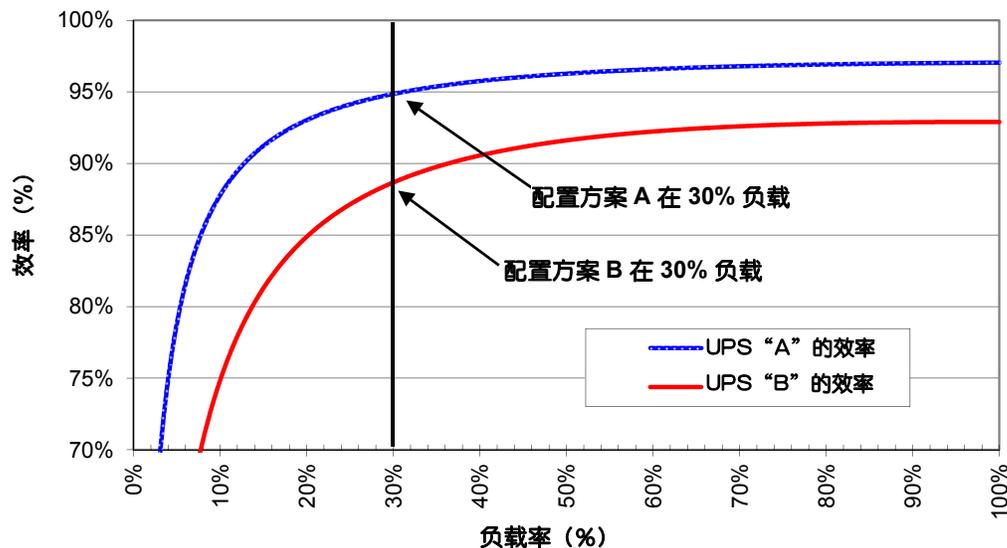
Delta 转换式 UPS “A” 与双
转换式 UPS “B” 的效率曲线

表 3 显示，配置“ A ”的 Delta 转换式拓扑相比配置“ B ”的双转换式拓扑可实现 58% 的成本节约。很明显，两种 UPS 的最大成本均来自空载损耗，占到所有损耗的 60% 左右。

表 3

300 kW 负载的 10 年效率成本分析 -
Delta 转换式与双转换式 (1N) - 以美元计

UPS 系统	效率 %	比例损耗	空载损耗	平方损耗	制冷成本	总成本浪费	10 年节约及百分比
配置“ A ” Delta 转换	94.9%	\$16,820	\$116,771	\$8,523	\$56,846	\$198,960	\$271,091 58%
配置“ B ” 双转换	88.7%	\$25,213	\$283,298	\$27,239	\$134,300	\$470,051	

当相同的 UPS 作为 2N 冗余的体系结构进行分析时，表 3 所给出的成本会接近翻倍（双系统）。以下比较将对此加以说明。

2N 拓扑比较 - Delta 转换式与双转换式

配置“ A ”由冗余（2N）1 MW Delta 转换在线式 UPS 系统组成。配置“ B ”由冗余（2N）1 MW 双转换在线式 UPS 系统组成。负载同样假设为 300 kW。这意味着此时每台 UPS 均仅加载至 15%，因为在正常运行中每种配置内的两台 UPS 各自承担一半负载。表 4 给出了这种 2N 情况的成本明细。应注意，对于任何一种 UPS，尽管平方损耗在 2N 式体系结构下会减半，但却不能抵消空载损耗的加倍，因为这些功率损耗与负载无关。

表 4

300 kW 负载的 10 年效率成本分析 -
Delta 转换式与双转换式 (2N 冗余) - 以美元计

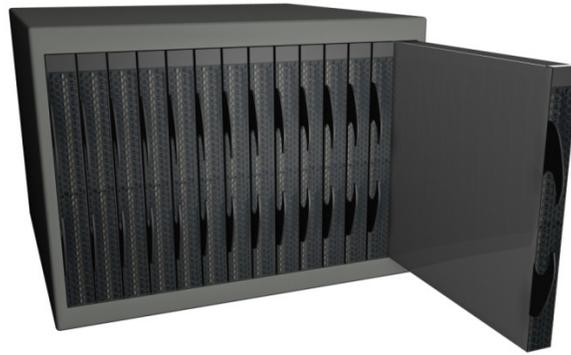
UPS 系统	效率 %	比例损耗	空载损耗	平方损耗	制冷成本	总成本浪费	10 年节约及百分比
配置“ A ” Delta 转换	91.2%	\$16,820	\$233,542	\$4,262	\$101,849	\$356,473	\$491,129 58%
配置“ B ” 双转换	81.3%	\$25,213	\$566,597	\$13,620	\$242,172	\$847,601	

模块化

模块化是制造商用来降低能源浪费的第三个途径。如图 5 的效率曲线所示，UPS 越接近其满载容量运行，其效率就越高。模块化使用户可以使 UPS 系统的选型尽可能接近其实际负载（换言之，它使 UPS 可以尽可能在曲线上靠右的点上运行）。通过人们非常熟悉的数据中心内的设备单元——刀片式服务器，可以很容易地说明一种使容量与负载匹配的高度有效的方式（图 7）。

图 7

一种模块化、可扩展的刀片式服务器



刀片式服务器的体系结构显示了可有利于 UPS 系统的两个关键的设计属性：**模块化**和**可扩展性**。

刀片式服务器的模块化在于，客户购买刀片式服务器的构架后，再在其中安装标准的“刀片”，以实现应用所需的处理量。随着构架中更多的刀片被插入构架，它就会成为功能更强的计算设备。这样就形成了可以根据计算需求进行选型的“可扩展”系统。

现在可以设想以同样方式使用模块式功率组件的 UPS 系统。例如，假设一台 UPS 机柜能够输出 1 MW 的功率，随着 UPS 系统负载的增加，可以向系统加装标准化的功率模块，以便于所需的输出容量相匹配。该 UPS 可以根据附加功率容量的需求，从 200 kW 以一定的增量步长扩展至最高 1 MW。其结果是可以避免资产开支过度（您只需购买所需要的功率组件），且 UPS 以更高的功率水平工作，因为系统的容量与实际负载更为紧密地配合，这就使电气效率更高。以下比较将对与前例相同的 300 kW 负载显示出适度配置的效率优势。

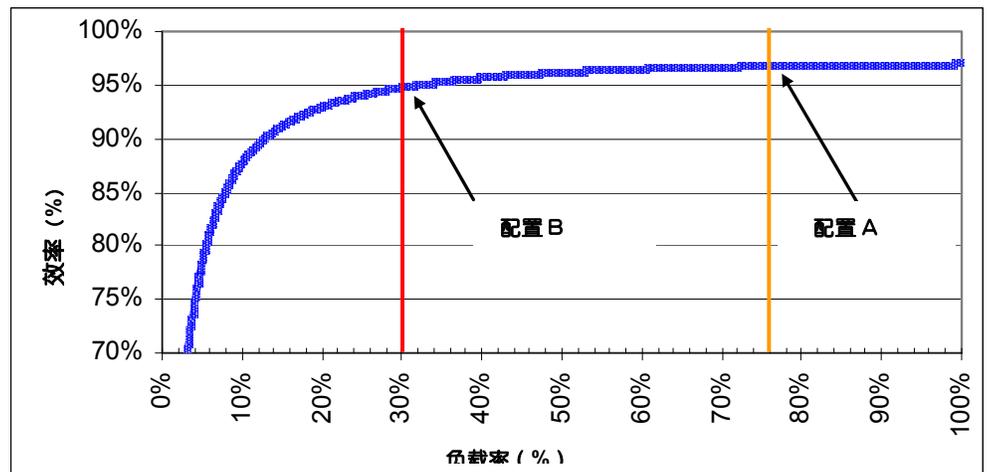
对模块化的影响加以量化

1N 式模块化比较 - 适度配置的 UPS 与过度配置的 UPS

配置“A”是一种 1 MW 可扩展 Delta 转换在线式 UPS，采用（2）个 200 kW 模块（400 kW）加以适度配置。配置“B”是完全相同的 UPS，只是用（5）个 200 kW 模块过度配置至 1 MW。此比较的效率曲线示于图 8 中⁴。

图 8

1MW Delta 转换式 UPS 的效率曲线



图中示出了进行比较的曲线上的两个点（对配置 A 和 B 分别为 75% 负载和 30% 负载）。这两个点分别对应于 96.9% 和 94.9% 的效率。表 5 示出了对每种情况的效率成本分析的明细。尽管比例损耗相当，但过度配置 UPS 的空载损耗是适度配置 UPS 的 2.5 倍。然而，适度配置的平方损耗是过度配置 UPS 的 2.5 倍，这就使得其效率提升量稍有减少。其原因是，平方损耗在高负载下更为明显。

⁴ 图 8 的效率曲线表示的是超选型的 UPS，但当 UPS 为适度规划时，也是非常好的近似。

表 5

300 kW 负载的 10 年效率成本分析 -
可扩展 Delta 转换式 UPS 适度规划与过度规划 (1N) - 以美元计

UPS 系统	效率 %	比例损耗	空载损耗	平方损耗	制冷成本	总成本浪费	10 年节约及百分比
配置 “A” 适度配置的可扩展 UPS	96.9%	\$16,820	\$46,708	\$21,308	\$33,935	\$118,772	\$80,188 40%
配置 “B” 过度配置的可扩展 UPS	94.9%	\$16,820	\$116,771	\$8,523	\$56,846	\$198,960	

以下比较将说明当设计为冗余型时这些节省量将如何进一步增加。

2N 模块化比较 - 适度配置的 UPS 与过度配置的 UPS

配置 “A” 为 2N 式 (系统加系统) 1 MW 可扩展式 Delta 转换在线式 UPS 系统, 其每台 UPS 采用 (2) 个 200 kW 模块 (400 kW) 进行适度配置。配置 “B” 与配置 “A” 基本相同, 只是每台 UPS 以 (5) 个 200 kW 模块过度配置至 1 MW。表 7 示出了对每种情况的效率成本分析的明细。有趣的是, 两套 UPS 间的比例和空载损耗比与 1N 模块化比较完全相同, 而 10 年的成本节约额则跳升至 53%。这种净减少的原因仍然是平方损耗, 因为其在较低负载下载总损耗中所占百分比比较小。

表 6

300 kW 负载的 10 年效率成本分析 -
可扩展 Delta 转换式 UPS 适度规划与过度规划 (2N) - 以美元计

UPS 系统	效率 %	比例损耗	空载损耗	平方损耗	制冷成本	总成本浪费	10 年节约百分比
配置 “A” 2N 下适度配置的可 扩展 UPS	95.6%	\$16,820	\$93,417	\$10,654	\$48,356	\$169,247	\$187,225 53%
配置 “B” 2N 下过度配置的可 扩展 UPS	91.2%	\$16,820	\$233,542	\$4,262	\$101,849	\$356,473	

对拓扑和模块化的影响加以量化

根据前文的系列比较, 拓扑和模块化对效率的影响应该是很明显的。但将模块化和拓扑结合在一起将使效率提高多少呢? 以下一组比较将对这种改进加以量化。

1N 拓扑和模块化比较 - Delta 转换式适度配置 UPS 与双转换式过度配置 UPS

配置 “A” 为可扩展的 1 MW Delta 转换在线式 UPS, 其采用 (2) 个 200 kW 模块 (400 kW) 进行适度配置。配置 “B” 为不可扩展的 1 MW 双转换在线式 UPS, 因此采用过度配置。对于两种配置, 均假设负载为 300 kW。配置 “A” 在 30% 负载下的效率为 96.9%, 配置 “B” 则为 88.7%, 两者相差 8.2 个百分点。

表 7 显示，采用可扩展的适度配置 Delta 转换式 UPS 取代不可扩展的过度配置双转换式 UPS 可以节约 75% 的低效成本。在这种 1N 式体系结构中，配置“ A ”的总能源成本几乎是配置“ B ”的 4 倍。而且配置“ A ”的空载损耗现在被降到了所有损耗的 39%，几乎是配置“ B ”的 60% 的一半。图 9 示出了 1N 式体系结构中由于各种损耗造成的电气成本的明细。

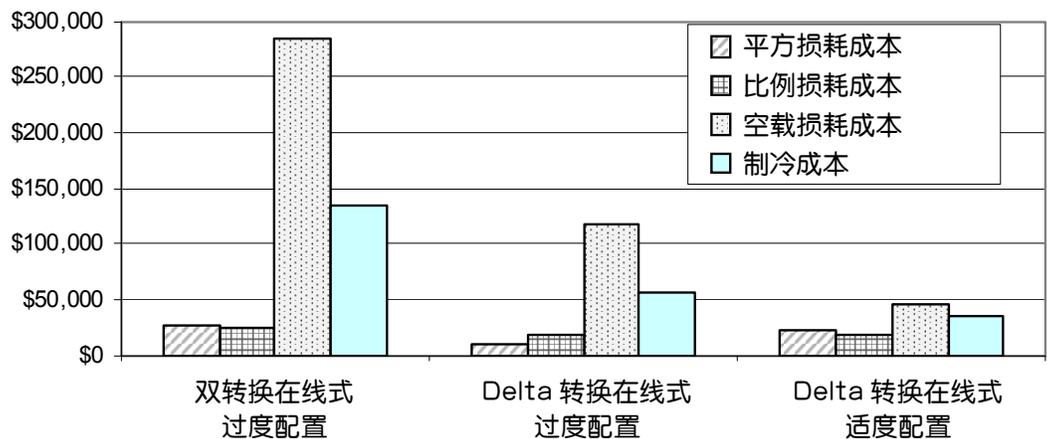
表 7

300 kW 负载的 10 年效率成本分析 -
Delta 转换式适度规划与双转换式不可扩展，无冗余 (1N) - 以美元计

UPS 系统	效率 %	比例损耗	空载损耗	平方损耗	制冷成本	总成本浪费	10 年节约百分比
配置“ A ” 适度配置的可扩展 Delta 转换式 UPS	96.9%	\$16,820	\$46,708	\$21,308	\$33,935	\$118,772	\$351,279 75%
配置“ B ” 过度配置的不可扩展 双转换式 UPS	88.7%	\$25,213	\$283,298	\$27,239	\$134,300	\$470,051	

图 9

1N 架构中 10 年
损耗成本明细



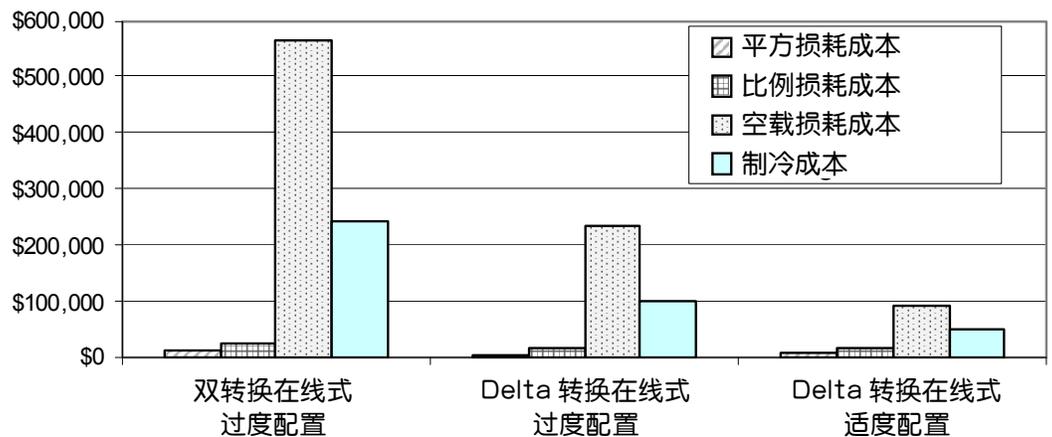
当配置“ A ”和“ B ”作为冗余 2N 式体系结构（系统加系统）进行分析时，表 7 中所给出的成本将接近翻倍。在 2N 式体系结构中，配置“ B ”的总能源成本几乎是配置“ A ”的 5 倍，如表 8 中所示。查看图 9 和图 10，显然空载损耗对成本的影响要超过其他所有方面。应注意，对于任何特定的 UPS，尽管平方损耗在 2N 式体系结构中会减半，它也无法抵消空载损耗的加倍，因为空载损耗在几乎所有负载水平下都是最大的损耗。

表 8

300kW 负载的 10 年效率成本分析 -
 三角形转换式适度规划与双转换式不可扩展,
 采用 2N 式冗余 (系统加系统) -以美元计

UPS 系统	效率 %	比例损耗	空载损耗	平方损耗	制冷成本	总成本浪费	10 年节约百分比
配置 “A” 适度配置的可扩展 Delta 转换式 UPS	95.6%	\$16,820	\$93,417	\$10,654	\$48,356	\$169,247	\$678,354 80%
配置 “B” 过度配置的不可扩展 双转换式 UPS	81.3%	\$25,213	\$566,597	\$13,620	\$242,172	\$847,601	

图 10
 2N 式体系结构中 10 年
 损耗成本明细



从这些比较中可以清楚地看到，UPS 效率的提高可通过两种方式实现：选择一种效率较高的 UPS 拓扑，以及对 UPS 系统进行适度配置。在这些例子中，选择效率较高的拓扑会明确无误地导致最大的效率提升。然而，这种提升需要采购新的 UPS，这只有在现有 UPS 已超出其使用寿命的情况下才是现实的方案。如果选择另一种方案，即以 UPS 系统的适度配置作为提高效率的方式，也可能需要采购新的 UPS，但并不总是这样。如果已有多个 UPS 系统，将负载移至一个或多个 UPS 系统，使得无负载系统可以被关闭，这样可以实现适度配置。这种适度配置方法也适用于过度配置数据中心内的空调机组。

图 11 所示为可以 200 kW 增量扩展的模块式 1 MW UPS 的示例。最终结果是总拥有成本 (TCO) 下降，因为预先投资和系统日常运行成本都得以节省。

图 11

一种模块化、可扩展 UPS 系统



除了通过UPS容量伸缩、匹配负载以实现更高的电气效率之外，模块式UPS设计还具备其他可显著改善可用性、灵活性以及总拥有成本的性质。关于模块式设计的更多优势，请参见第 116 号白皮书《[数据中心物理基础设施中的标准化和模块化](#)》。

额外的经济优势

除直接降低功率消耗之外，效率的提高还有另外的好处。例如在美国，2005 年能源政策法案提供了针对提高商业楼宇能效的税务刺激措施⁵。类似地，在强化资金补贴（ECA）方案之下，英国的公司可以无需承担第一个税务年度内在节能增效设备鉴定方面投入的 100% 的资金⁶。在一些地区（包括美国的许多地区），电力公司通过旨在降低总体用电需求的需求方管理（DSM）计划，提供对采用高效率设计的刺激措施。在此类计划中，电力公司将对高效率的用户给予降低电价的優惠，或者对采用高效率技术的投资成本予以补贴。这些优势可以为明了电力问题的数据中心业主进一步降低总拥有成本。

为了安心地指定高能效的UPS，所有UPS效率测量必须由不同厂商在类似的条件下进行，并由第三方试验机构进行管理和审核。最近，劳伦斯·伯克利国家实验室（Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL）公布了一份关于UPS的报告，作为其“高性能高技术楼宇”项目的组成部分，该项目着力于提高数据中心以及洁净室和实验室的能源效率⁷。在该报告中针对各种类型的UPS系统提出了一份能源效率和电源品质标识方案，以此作为鼓励使用高效率UPS的方式。

>您可以做什么

在选择 UPS 系统时，将效率作为关键因素考虑，并从制造商处获得效率曲线。

理解任何 UPS 在低负载下效率都较低的事实，由此确保制造商的效率数据作为负载的函数显示，而非仅仅是满载时的单一值。

选择一种模块化 UPS 体系结构，使 UPS 容量的扩展可以与实际负载更接近地匹配。这将对效率有显著的影响。

寻求您所在地区可以提供的需求端管理计划。研究您所在地区获得“绿色楼宇”认证的要求。

⁵ <http://www.energy.gov/taxbreaks.htm> (2006 年 4 月 28 日访问)。

⁶ <http://www.eca.gov.uk/etl/page.asp?pageCode=w0002&showHeader=1&showMenu=1> (2006 年 5 月 11 日访问)。

⁷ My Ton 和 Brian Fortenbury, *High-Performance High-Tech Buildings - Uninterruptible Power Supplies (UPS)* (高性能高技术楼宇 - 不间断电源 (UPS))，2005 年 12 月。

此外还有针对高效率设计的“绿色楼宇”认证，它将挑选出高效率的数据中心作为一项正在市场中赢得高度信赖的活动的成员。各企业正在认识到，“绿色”认证将是其营销信息传达中的企业超值奖励，这可以通过其降低运行成本而增加的效益来获得。企业、他们的客户（通过产品成本降低）和环境等各个方面都可以成为赢家。随着能源日益稀缺和昂贵，绿色认证将获得更多的市场认知和重要性评价。

结论

数据中心会消耗大量的电力，这一事实在很大程度上被市场和企业所忽视。随着总拥有成本成为关键决策因素，系统的效率将成为重要的区分因素。UPS 技术在不断向更高的电气效率发展。需要记住的重要之处在于，成功的真正标准（假设可靠性标准得以保持）是所实现的实际效率，而非为了该目标所采用的内部技术的细节。可能会发明新的技术，改进旧的技术，但从用户的角度看，只有效率曲线才能说明问题，再结合设备的成本，方可提供可操作的信息。如果所有系统均同样可靠（多数情况确实如此），则理想的决定是采用可能的效率最高的系统。通过模块式设计帮助树立“绿色”企业的形象、提高灵活性并简化服务要求，这是进一步强化该决策正确性的额外收益。



鸣谢

感谢 **Richard L. Sawyer** 为本白皮书初版编写所做的工作。



 [不同类型的UPS 系统](#)
第 1 号白皮书

 [理解功率因数、波峰系数和浪涌系数](#)
第 17 号白皮书

 [避免数据中心和网络机房 基础设施因过度配置造成的资金浪费](#)
第 37 号白皮书

 [比较 UPS 系统设计配置方案](#)
第 75 号白皮书

 [平均故障间隔时间：说明和标准](#)
第 78 号白皮书

 [数据中心的电力效率建模](#)
第 113 号白皮书

 [数据中心物理基础设施中的标准化和模块化](#)
第 116 号白皮书

 [浏览所有白皮书](#)
whitepapers.apc.com

 [浏览所有TradeOff Tools™ 权衡工具](#)
tools.apc.com

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，或登陆：
www.apc.com/support/contact/index.cfm

附录

表 3 至表 8 成本解析

该附录详解如何计算表 3 至表 8 中成本。以下变量将用于成本计算：

- 电力成本每度\$0.10
- 年度运行时间 8,760 小时
- 共运行 10 年
- 转移 1kW 的热量需制冷系统消耗 0.4 kW 的能量
- UPS 无冗余情况（1N）的负载为 300 kW
- 冗余为 2N 情况时，单个 UPS 的负载为 150 kW

本文采用的成本源于图A1的损耗曲线。Delta转换在线式UPS和双变换在线式UPS的损耗均由第三方测试机构TUV在 100%阻性负载情况下测试得到。Delta变换UPS的额定功率为 1MVA，双变换UPS的额定功率为 400kVA。损耗曲线首先是由测量得到的UPS的供电输入端和负载输出端的功率相减。测量时考虑不同负载情况如 25%，50%，75%和 100%。同时考虑空载情况UPS自身的损耗，即空载损耗。然后将该差值比上UPS的额定功率。这种方法提供了一种简单的方法来描述UPS在任何负载下的损耗。（通过该方法 400kVA UPS可扩展到 1MVA UPS。）将得到的损耗百分比用Excel画出，然后用二次函数拟合，最小 R^2 为 0.9998⁸。根据拟合曲线得到的公式，不同负载率下UPS的损耗如下。图A1 给出 1000 个均匀分布的负载率下UPS的损耗百分比。

Delta 转换在线 UPS 的二次函数拟合曲线为：

$$y = 0.01081x^2 + 0.00640x + 0.01333$$

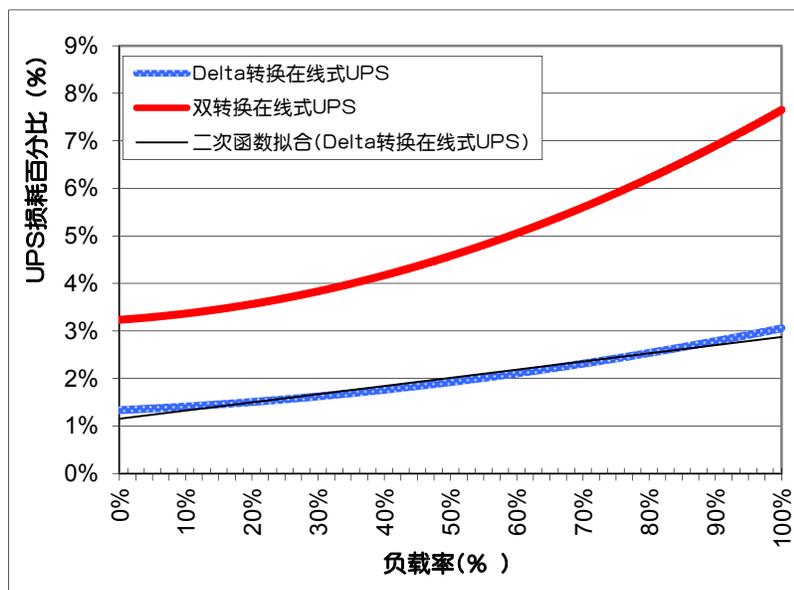
双转换在线 UPS 的二次函数拟合曲线为：

$$y = 0.03455x^2 + 0.00959x + 0.03234$$

上述公式第一个系数表示变量为 UPS 额定容量百分比时的平方损耗；第二个系数表示比例损耗，第三个系数表示空载损耗。整个公式为 UPS 在任意负载下的损耗的数学模型。

图 A1

Delta 转换 UPS 和双转换 UPS 的功率损耗曲线



⁸ R 平方 (R^2) 是一个数值从 0 到 1 的统计学名词，表示拟合曲线与测量数值的逼近程度。当 R^2 为 1 时表示完全拟合。

该白皮书中的成本分析基于表 A1 的数据，这些数据来源于上述讨论的二次函数。

表 A1
用于表 3-表 8 成本
计算的依据

UPS 系统	负载 kW(%)	比例损耗 %	空载损 耗%	平方损耗 %	效率 %
无冗余设计 - 1N					
适度配置可拓展 Delta 转换 UPS	300 (75%)	0.48%	1.33%	0.61%	96.9%
过度配置可拓展 Delta 转换 UPS	300 (30%)	0.19%	1.33%	0.10%	94.9%
过度配置不可拓展双转换 UPS	300 (30%)	0.29%	3.23%	0.31%	88.7%
冗余设计 - 2N (双系统冗余)					
适度配置可拓展 Delta 转换 UPS	150 (38%)	0.48%	2.67%	0.30%	95.6%
过度配置可拓展 Delta 转换 UPS	150 (15%)	0.19%	2.67%	0.05%	91.2%
过度配置不可拓展双转换 UPS	150 (15%)	0.29%	6.47%	0.16%	81.3%

损耗百分比考虑 UPS 的额定容量（1000kW 为过度配置 UPS，400kW 为适度配置 UPS）。虽然空载损耗(kW)是常数与负载率没有关系，考虑到 UPS 容量百分比，空载损耗百分比随负载增加而降低。

举例说明表 A1 中的损耗百分比如何得到。为计算“适度配置可拓展 Delta 转换 UPS”在 75%负载情况下的平方损耗，delta 变换公式为 $0.01081x^2 + 0.00640x + 0.01333$ ，其中“x”等于 0.75。平方项损耗为 $0.01081x^2$ ，即 $0.01081 \times (0.75)^2$ 或额定 UPS 容量（此例为 400kW）的 0.61%，也就是适度配置 400kW UPS 的平方损耗为 2.4kW。

为计算“适度配置可拓展 Delta 转换 UPS”在 75%负载情况下的全部损耗，delta 转换公式为 $0.01081x^2 + 0.00640x + 0.01333$ ，其中“x”等于 0.75。计算结果为 $y = 0.02421$ 或额定 UPS 容量（此例为 400kW）的 2.42%。也就是适度配置 400kW UPS 在 75%负载情况下的全部损耗为 9.7 kW。

计算 10 年 UPS 损耗成本用以下公式：

$$10 \text{ 年 UPS 损耗的用电成本} = \text{损耗 (kW)} \times 8,760 \times 0.10 \times 10$$

2N 冗余配置下，由于两倍 UPS 的损耗，损耗成本在以上结果基础上翻倍。除 UPS 自身损耗带来的成本外，也需考虑因此带来的额外的制冷损耗的增加。计算公式如下：

$$10 \text{ 年因 UPS 损耗所需的制冷成本} = (10 \text{ 年 UPS 损耗的用电成本}) \times 0.4$$