

剖析四份比较数据中心交/直流配电系统效率的研究结果

第 151 号白皮书

版本 0

作者 Neil Rasmussen

> 摘要

目前，媒体公开声称直流配电系统与交流配电系统相比，可以提高效率并实现节能，所以建议在数据中心中采用直流配电系统，来取代交流配电系统。本白皮书指出当前最为广泛引用的量化数据具有误导性，其过于夸大交流配电系统和直流配电系统间的效率差异。实际上，交流配电系统和直流配电系统的效率相差无几。文中比较了四个研究机构公开的研究结果，阐述了各自的假设前提以及直流配电系统具有效率优势的不正确观点被广为传播的误导依据。

目录

[点击内容即可跳转至具体章节](#)

| | |
|------------------|----|
| 简介 | 2 |
| 效率数据比较 | 3 |
| IT 设备电源效率比较 | 4 |
| UPS 效率比较 | 5 |
| 变压器效率比较 | 7 |
| 布线损耗比较 | 8 |
| 系统节能量汇总 | 9 |
| 结论 | 10 |
| 附录：LBNL 研究的误导性数据 | 11 |
| 资源 | 12 |

简介

每个数据中心都由交流市电供电，并最终通过低压直流的形式将电能消耗在 IT 电路中。因此每个数据中心都有交流和直流电路。在从交流市电向最终的直流负载供电的过程中，有多个可选的节点实现交/直流的转换。目前几乎在所有数据中心都是以交流配电的方式为 IT 设备供电，在 IT 设备中实现交/直流转换。最近有观点建议在尽可能靠近市电处实现交/直流转换，在整个数据中心内采用直流配电。

有鉴于已经制订了许多适用于交流配电的国际安全和性能标准、已经广泛使用的交流配电设备，以及大规模普及的交流配电工程技术和安装技能这样的客观事实存在，同时考虑到几乎目前使用的所有 IT 设备都采用标准交流电供电，因此，要推动业界从交流配电改为直流配电，必须提供强大而有力的优势证明。支持直流配电方式的主要理由是基于直流配电能大幅提高能效这一假定，并且由此而获得的巨大收益足以克服从交流转换到直流的障碍以及对应的相关成本。本白皮书将聚焦能效优势，并着重剖析已公开发布的直流配电与交流配电效率比较结果。

表 1 中列举了本白皮书所探讨的来自四个研究机构关于数据中心直流配电的量化效率提升结果。

表 1

常被引用的来自四个研究机构关于数据中心直流配电系统效率提升数据

| 研究机构 | 被引用的直流配电效率提升 |
|---|--------------|
| 劳伦斯-伯克利国家实验室 (LBNL) ¹ | 28% |
| 美国电力研究协会 (EPRI) 在美国杜克能源公司进行的研究 ² | 15% |
| 绿色网格联盟 (The Green Grid) ³ | 1% |
| 施耐德电气 ⁴ | 0% - 1% |

请注意，这四个研究得出的直流配电效率提升存在着巨大差异，数据相差近 30%。对于一个 IT 负载为 1MW 的数据中心来说，能效每提高 1%，每年就能节约大约 13000 美元的成本，所以业界必须清楚地了解直流配电相较于交流配电的实际优势是高还是低，这非常重要。

本文将为读者说明，引自 LBNL 和 EPRI 的数据并不能反映新型数据中心的实际情况，因为它们过于夸大了新型交流系统的损耗。在绿色网格联盟和施耐德电气的研究中，直流配电的效率优势数据是比较准确的。实际上，目前一些采用节能 (Eco) 模式的交流设计比推荐的直流设计更高效。直流配电所带来的很小的能效提升削弱了业界采用直流配电系统的动机，而且建议如果将增效的重点放在服务器电源管理和制冷设备的改进上，未来将会取得更理想的效果。

¹ LBNL 研究结果: http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/DCDemoFinalReport.pdf

² EPRI 研究结果:

http://www.emergealliance.org/imwp/download.asp?ContentID=20674&ei=rHwxT_CoJei2sQK-yrjYBg&usg=AFQjCNEyFsA7geYZ9ZofX4rkXBU8nA47bQ

<http://greensvlg.org/wp-content/uploads/2011/11/3A-DC-Power-Symanski.pdf>

³ 绿色网格联盟第 16 号白皮书《数据中心配电效率的定量分析》

http://www.thegreengrid.org/-/media/WhitePapers/White_Paper_16_-_Quantitative_Efficiency_Analysis_30DEC08.pdf?lang=en

⁴ 施耐德电气第 127 号白皮书《数据中心高效交流配电与直流配电的量化比较》

<http://www.apc.com/whitepaper/?wp=127>

效率数据比较

这四个研究机构的结果均是通过测量和计算的方法，对交流和直流配电的能效差异进行比较。损耗差异如图 1 所示：

图 1

交流 (AC) 和直流 (DC)
配电系统损耗柱状图

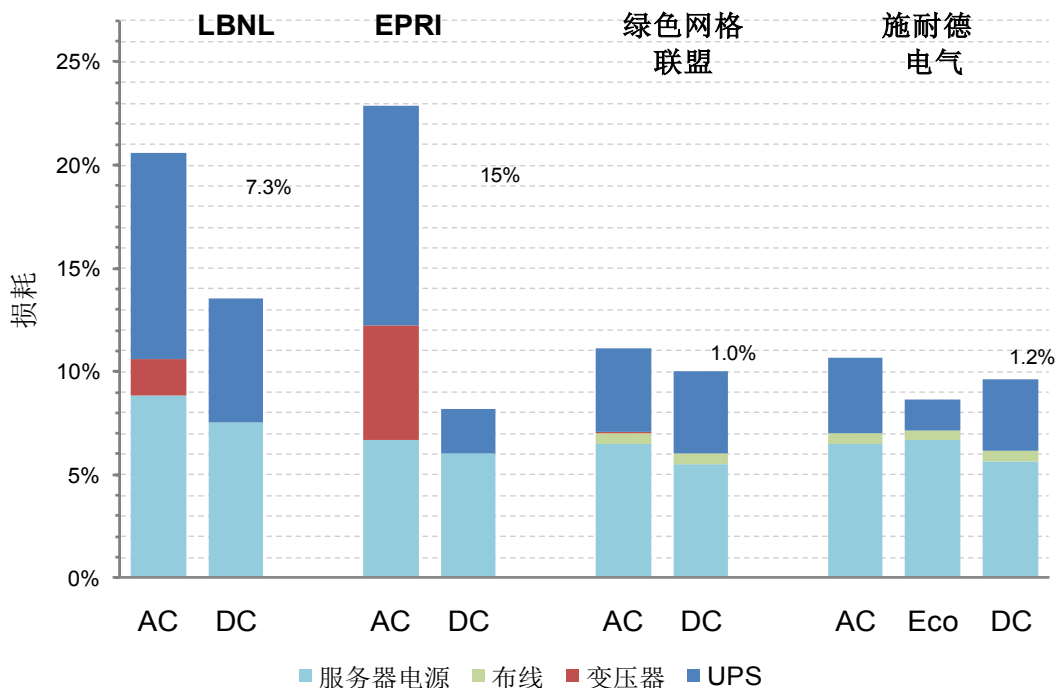


图 1 为交流和直流配电系统损耗的细分图。图 1 中来自四个机构的研究结果中的配电系统损耗具有以下共同特点：

- 直流整流器输出电压是 380VDC
- 涉及交流设备已投入商业使用
- 所有研究都考虑的是从交流市电输入到 IT 设备电源输出之间的输电路径

绿色网络联盟和施耐德电气采用的损耗值是考虑 50% 负载的情况。LBNL 和 EPRI 的研究采用了不同负载下运行的多种设备，这也是造成其研究结果存在差异的原因之一，本白皮书稍后会对此进行详细讨论。根据柱状图中条块的差别，能够直观看出不同系统的能效差异。每个条块表示配电系统不同部分的损耗百分比，正是这些损耗的存在，使能效不可能达到理想值 100%。

通过观察柱状图，可以得出下列关键信息：

- 所有研究得出的直流配电系统能效数据相差无几
- 研究结果之所以存在根本上的差异，是因为交流配电系统效率不同
- 布线能耗较小，且不同系统的结果相似，因此不会造成交流和直流系统间的差异
- 不同系统能效的差异主要来自于交流 UPS 和变压器损耗的差异

注：LBNL 报告中交流和直流配电系统的实际差异为 7.3%，但经常被媒体引用的数值却是 28%，造成这一数据出现的原因，是 LBNL 报告中部分内容表述欠佳、容易造成误导。这一极具误导性的数值被媒体广泛传播，给市场造成了极大的混淆，需要投入大量工作进行解释。在附录“LBNL 研究的误导性数据”中，对导致数据明显与实际情况不符的原因进行了解释。

为了解四个机构对损耗得出不同结论的原因，下面将依次对各个子系统，包括 IT 设备电源、UPS、变压器和布线等的性能进行定量探讨和阐述。

IT 设备电源效率比较

IT 设备电源必须经过降压、隔离和稳压输出到 IT 电路。无论电源是交流还是直流，这些功能都必须存在，所以这部分的电源结构通常是一样的。但是，现如今所有的交流电源都有一个额外的供电处理单元，称为功率因数校正器，用于控制输入电流和消除谐波。功率因数校正器占据了电源大约 15% 的空间，大约给系统带来 1.0-1.5% 的损耗。在采用直流供电时，则可以去除或避开功率因数校正器，因而供电能效要高出 1-1.5%。

如图 2 所示，当用直流电源替代交流电源时，这四个研究结果中，电源的效率都出现了可预见的提升。

在所有的研究中，转变为直流供电后效率要稍提高 1% – 2%。随着新一代低损耗电源的面世，不难预料，交流和直流供电间的损耗差异会相应缩小，最终其差别将不到 1%。

请注意，媒体中发布的数字，与研究结果（效率提高 1.5%）相差甚远。例如，许多文章都引用了最近召开的 APEC 会议上一位作者的文章，据称：“用直流电而非交流电为服务器供电，服务器在运行时所释放的热量会减少 20%-40%，功耗则可降低 30%...⁵”。毫无疑问，这是非常荒谬的，因为服务器供电效率已达 93%，所以，从数学角度，服务器也不可能减少 30% 的功耗。

结论：四个机构的研究结果一致表明，将交流供电改为直流供电，效率仅将提高 1% – 2%。而且，随着电源整体效率的提高，这一数字应逐步接近 1%。这些研究并未声称能效将大幅改进，即使有人认为直流供电能效能够超过 100%，也不可能得出这一结论。

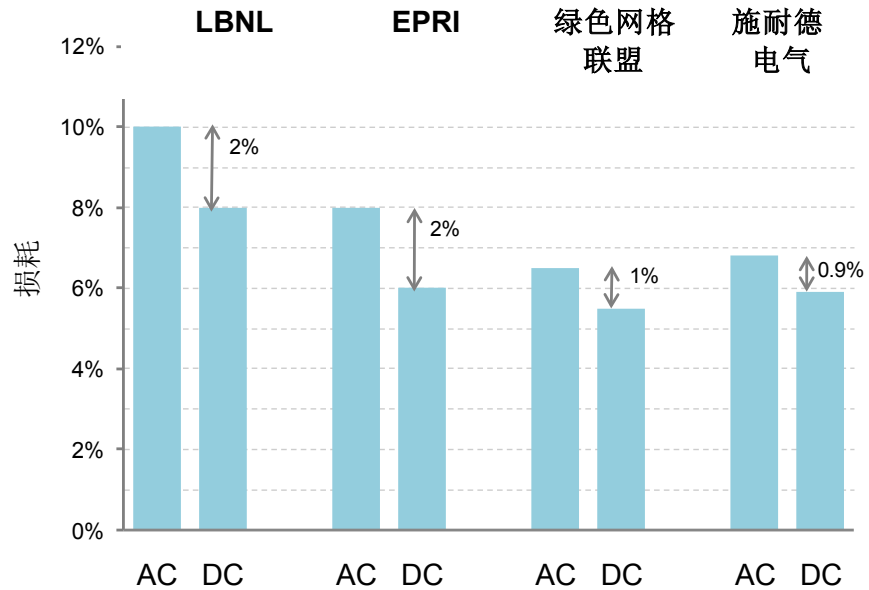


图 2
交流 (AC) 和直流 (DC)
IT 电源损耗柱状图

UPS 效率比较

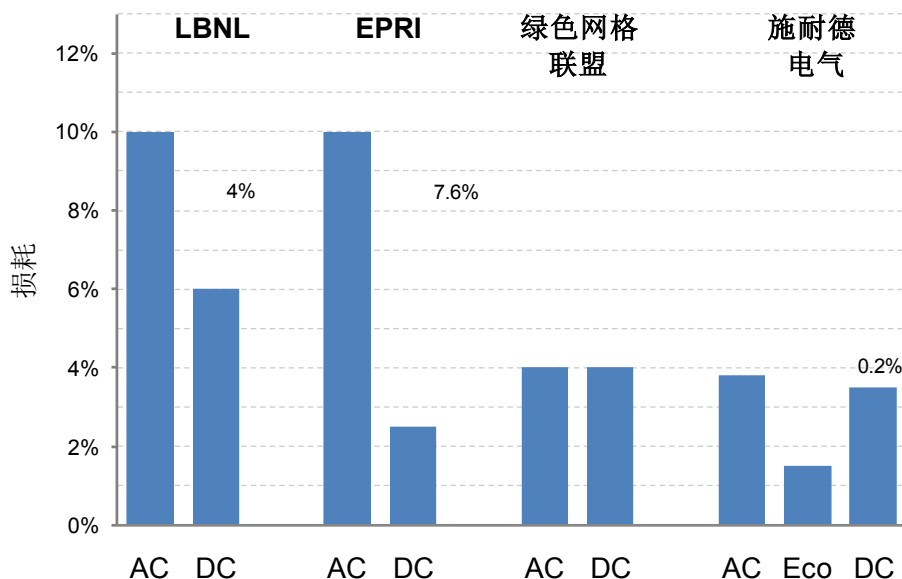
在研究中，无论交流还是直流系统都配备有 UPS。直流 UPS 输入交流电，输出基于电池储能的直流电，而交流 UPS 输入交流电，输出基于电池储能的交流电。图 3 所示为直流和交流 UPS 系统的损耗比较结果。四份研究在交流和直流 UPS 损耗方面的结果出入较大，这也是造成最终结论差异的一个主要原因。

在所有研究中，UPS 能效数据都以对 UPS 系统的实际测量值为基础。对分析中所采用的实际产品的数据和能效曲线的分析表明，所有报告中所提交的数据都是准确无误的。但各报告所使用的 UPS 的性能及其工作环境却各不相同。

⁵ http://ecmweb.com/mag/electric_acdc_data_center/

图 3

交流 (AC) 和直流 (DC)
UPS 系统损耗柱状图



交流 UPS 间的差异

施耐德电气和绿色网格联盟的研究使用的是目前新型 UPS 系统的数据，得出的结果几乎完全相同。而 LBNL 和 EPRI 报告所采用的 UPS 系统要比目前的 UPS 早两代。**LBNL 研究采用的 UPS 设计于 1992 年，而 EPRI 研究则使用了一台 1990 年设计的 UPS。**另外，EPRI 研究中的 UPS 选配了一个输入隔离变压器，这其实完全没有必要，反而降低了系统效率。LBNL 研究中采用一个 208V UPS，而其它研究采用的是 480V 或 415V UPS。低压 UPS 系统与高压 UPS 相比，效率通常低 2-3%。

奇怪的是，LBNL 研究虽然在报告中明确表示存在效率为 97% 的交流 UPS 产品。但是却选择了效率仅为 90% 的交流 UPS 得出其研究结论，并且称此 UPS 是“业界最佳”UPS。**LBNL 调查得出的交流和直流系统间的效率差异，完全是因为这个错误造成的。**

自 1992 年以来，UPS 效率已有了显著提高，这是这些研究结果如此不同的主要原因。在 1992 年时，最出色的 UPS 效率也只有 90%。而今天，最佳 UPS 效率达 97%。这一大幅改进使得直流电相较于交流电的效率优势显得微不足道。

施耐德电气还考虑了交流 UPS 采用“节能模式”运行的情况，即当交流电电源质量可接受时⁶，UPS 旁路操作的情况。施耐德电气、伊顿、艾默生、GE、S&C 等公司生产的 UPS 系统均具备此功能。运行于该模式的所有厂商的 UPS 效率都接近 98.6%，远远优于所有已知或推荐部署的直流 UPS。

结论：既然直流 UPS 是新系统，那么将其与老式交流 UPS 系统比较是不合理的。正确的作法是选择与新型交流 UPS 进行比较。如果依此对比，LBNL 和 EPRI 研究也会得出与绿色网格联盟及施耐德电气相同的交流 UPS 效率结论。此外，如果使用节能模式的交流 UPS，交流 UPS 将比直流 UPS 更高效。

直流 UPS 间的差异

施耐德电气和绿色网格联盟的研究都得出了几乎完全相同的直流 UPS 效率结果。LBNL 研究结果中，损耗要高出 1%，这是因为该研究结果大约已面世 5 年，而在这 5 年中，直流 UPS 效率已提高了 1% 左右。EPRI 报告中的直流 UPS 损耗要低于其它研究。这是因为它选用了一款 Delta

⁶ 施耐德电气第 157 号白皮书《Eco 模式：UPS 节能运行模式的收益和风险》中所述的使用节能模式的考量因素，<http://www.apc.com/whitepaper/?wp=157>

Electronics生产的直流UPS，此型号是非隔离型UPS，不提供中性点接地的380V电源。这一类直流UPS的特点就是能够提供较高效率，甚至高于EPRI数据，但无法在实际环境中使用，因为它不符合新近出台的直流UPS安全标准⁷。

结论：在这四项研究中，直流UPS效率差别不大，不是造成最终量化结果如此不同的原因。EPRI研究确实使用了一种效率约高出其它研究1%的直流UPS，但它不具代表性，因为它虽然能达到如此高效率，却违反了直流UPS安全标准。

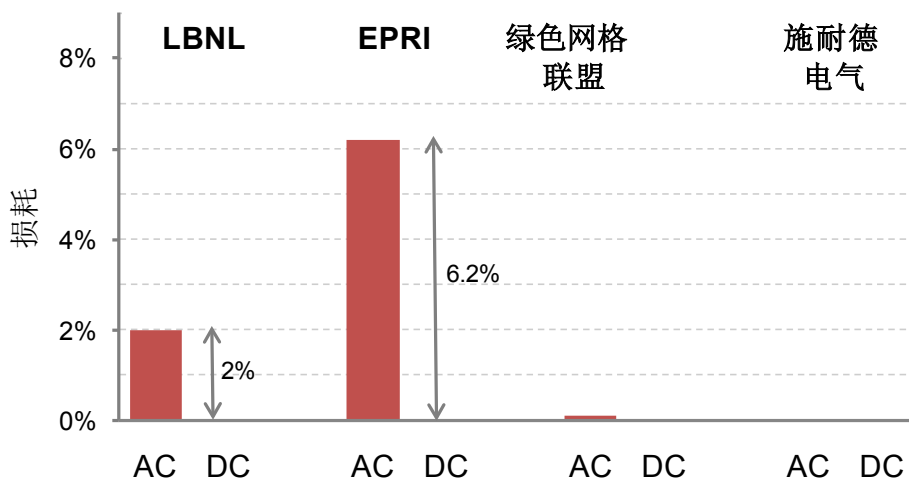
变压器效率比较

所以，各研究中出现的UPS性能差异，主要来自于交流UPS系统的性能差异。LBNL和EPRI研究使用了老式低效的UPS系统，且轻载运行。这是造成这些研究中交流UPS损耗大的主因。如果LBNL和EPRI采用新型UPS，它们也会得出和绿色网络联盟及施耐德电气研究一样的损耗结果，而这最终也会改变它们的量化结论。

这些研究均假设直流配电系统中没有交流变压器，但它们在交流系统变压器使用方面却各不相同。所有配电系统都必须保证高压系统和IT逻辑电路隔离。在所有研究中，这种隔离都是在IT设备电源中实现的。这也就说明安装任何变压器均提供了多余的和不必要的隔离。然而在交流配电系统中存在市电电压和IT设备用电电压不同的情况，这时就需要降压变压器。各研究对于交流配电系统中使用的变压器数目的看法不同，而且变压器的效率也各不相同。因此各研究得出的变压器损耗也不同，如图4所示。

图4

交流 (AC) 和直流 (DC)
变压器损耗柱状图



在此图中，我们看到，所有直流系统的变压器损耗均为零，而交流系统的变压器损耗则从零到6.2%不等。这也是造成各研究的最终量化结果不同的另一主因，必须认真分析。

交流系统中变压器损耗的差异

在LBNL和EPRI研究中，假设市电电压为480 VAC，IT用电电压为120/208 VAC。因此，这些系统需要一个降压变压器。EPRI研究将此降压变压器放置在一个480 V交流UPS之后。而LBNL研究则将变压器放置在UPS之前。

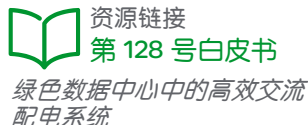
在EPRI研究中，交流配电系统实际上串联部署了三个变压器。它们分别是：UPS输入变压器、UPS输出变压器和一个PDU变压器。其中两个变压器位于UPS中，它们的损耗计入UPS损耗；这也部分地解释为什么该系统的UPS损耗较高。在EPRI计算交流系统变压器损耗时，只计算PDU变压器，如图4所示。

⁷ ETSI EN 300 132-3-1 v2.1.1 (2011-10), ETSI 制订的欧盟标准 (EN): 采用 400V 整流电源、交流电源或直流电源; 第 1 小节: 400 V 直流电源

而在施耐德电气和绿色网格联盟的研究中⁸，采用典型的国际常用的系统设计，假设配电电压为 415/240 VAC。此系统的主要优势在于，配电路径中无需降压变压器。目前在北美，新建设的数据中心都采用此系统，因为它：

- 不需要 PDU 变压器
- 省去了功率变换步骤
- 使用的铜线较少
- IT 负载工作效率更高⁹

第 128 号白皮书《绿色数据中心中的高效交流配电系统》，更为详细地介绍了上述系统。



变压器的性能差异

LBNL 和 EPRI 研究都假设存在多余的变压器，且变压器效率差别很大。

在美国，联邦法规对变压器效率进行了规定。对于一个额定 500 kW 的数据中心变压器，法规规定，当负载为 35% 时，效率应高于 98.7%。LBNL 和 EPRI 研究中提及的变压器效率不符合当前的联邦法规。

结论：LBNL 和 EPRI 研究采用的是基于变压器的低压交流架构，其效率低于最佳实践。而且，它们还使用了非最佳变压器配置，进一步加大了变压器损耗。如果这些研究采用最新设计推荐部署的 415/240 VAC 配电架构，将消除变压器损耗，其最终结果将与绿色网格联盟和施耐德电气研究结果类似。

布线损耗比较

对于这四个研究结果而言，交流与直流配电系统中布线损耗不存在明显的差异。一般来说，数据中心的线路在满负荷情况下损耗占全部损耗的 1% 左右，但实际上因负荷的多样性以及运行负荷远低于满负荷，导致布线损耗也远远低于 1%。交流和直流配电系统的布线损耗基本相同。

结论：对直流和交流配电系统进行比较时，对于四个机构的研究而言布线损耗不是一个重要因素。

系统节能量汇总

以上仅仅讨论了来自四个研究机构报告中配电系统的效率。而报告的大部分还讨论了另一话题：配电效率如何转化为数据中心的节能总量。为计算数据中心节能总量（电费单据上节省的总量），应将所有数据中心系统的能耗减少量相加求和，这其中包括不由 IT 负载配电系统供电的制冷系统等。

如果一个数据中心只有配电和 IT 负载（未使用制冷系统或其它负载），那么配电系统的效率提高百分比就直接是数据中心总能效提高百分比。也就是说，如果配电系统效率提高 1%，数据中心的能耗就降低 1%。

但是，在实际环境中，数据中心还包括其它负载，如制冷系统、控制器、照明和备用柴油发电机加热器等。这种情况下，配电系统实现节能，也就减少了生成的热量，从而降低了制冷系统的用电需求。为确定数据中心总能耗，必须了解制冷系统的能耗是如何随热负载的变化而变化的。

⁸ 在绿色网格联盟的研究中，假设市电电压为 480V，通过交流 UPS 转换为 415V。UPS 旁路电路中部署了一个 480-415 自耦变压器。该变压器通常与负载无关，所以不会给本研究带来较大的损耗影响。

⁹ 与 120V 或 208V 相比，IT 负载电源在 230V 时的运行效率较高。众所周知，这会带来大概 1-2% 的影响。

在一个 PUE 为 1.47、IT 负载 50% 的典型数据中心，制冷系统的能耗大概为总能耗的 25% 左右。而对于制冷系统来说，通常其稍高于一半的能耗为可变能耗，随热负荷的变化而变化，剩余能耗则为固定能耗，与热负荷无关。因此，在总能耗中，与热负荷成正比的制冷系统能耗约占 13%。

如果我们假设新建数据中心的 PUE 为 1.47 左右，那么配电系统节能 1%，则意味着数据中心总能耗仅降低 0.86%¹⁰。数据中心的总能耗降低百分比要低于配电系统效率提高百分比，这是因为，虽然配电系统能耗降低，但照明、发电机加热器、控制器和加湿器等数据中心子系统的能耗仍保持不变，这降低了总能耗的缩减幅度。

总之，在典型的数据中心，配电系统节省 1 瓦电量，相当于总能耗节省 1.14 瓦，但配电系统效率每提高 1%，数据中心总能耗仅降低 0.86%。**系统总能耗的降低幅度始终小于配电系统效率的提高幅度。**

为了解媒体是如何歪曲报道上述理念的，请参看以下常见说法¹¹：

“预计杜克能源公司（摘自 EPRI 研究）数据中心将节能 7%-20%，而如果将因制冷负载减少而实现的节能考虑在内的话，这一数据可能会翻一番。”

上述误导性的说法，和媒体报道中的其它许多论述类似，暗示考虑了制冷负载后，节能总量有望远远高于 7-20%，甚至翻倍（可达 14-40% 左右）。这种百分比的“乘数效应”是很荒谬的，正如我们刚刚证实的那样，节能总量百分比将永远**低于**配电系统效率提高百分比。

¹⁰ 如需详细了解所采用的公式和计算内容，请参见第 127 号白皮书《数据中心高效交流配电与直流配电的量化比较》的“对数据中心整体功耗的影响”部分 <http://www.apc.com/whitepaper/?wp=127>

¹¹ “数据中心市电和直流电”，《Intelligent utility》2010 年 12 月 15 日
<http://www.intelligentutility.com/article/10/12/utility-data-centers-and-dc-power>

结论

EPRI 和 LBNL 所宣称的直流配电能大幅提高效率的结论，并未采用当下最佳的交流配电系统进行量化比较。

如果考虑采用新型交流配电系统设备和架构后，其得出的结果将与绿色网格联盟及施耐德电气研究的结果非常相近，即直流配电相较交流配电效率优势很小。

奇怪的是，LBNL 的研究虽然在报告中明确表示存在效率为 97% 的交流 UPS 产品。但是却选择了效率仅为 90% 的交流 UPS 得出其研究结论，并且称此 UPS 是“业界最佳”UPS。基于此错误方法可得到直流系统效率比交流系统高 7% 的结论。而被广为引用的、LBNL 研究表明直流配电系统相对效率要高出 28% 的说法，**根本不是 LBNL 的研究结果**，附录对这种说法的来源进行了详细解释。

EPRI 报告采用的交流架构中有三个串联配置的隔离变压器，以及采用一个在 1990 年设计的老式 UPS，大大降低了交流配电系统的效率，因此也是造成该报告结论错误的主因。在解决了上述问题后，媒体普遍宣称 EPRI 研究得出直流配电系统效率较交流配电高 15% 的结论，将缩小到 1%。

绿色网格联盟和施耐德电气研究得出的结果基本一致。在采用新型交流配电设备的情况下，选择直流配电系统的效率会高出 1% 左右。而数据中心的总能耗降低百分比始终低于该值，一般为 0.86%。

目前，最高效的数据中心配电系统就是采用一个节能模式 UPS 的 415/240V 交流配电系统。实际上，它的效率要高于所有直流配电系统。

关于作者

Neil Rasmussen 是施耐德电气旗下 IT 事业部—APC 的高级创新副总裁。他负责为全球最大的用于关键网络设备（电源、制冷和机柜等基础设施）科技方面的研发预算提供决策指导。

Neil 拥有与高密度数据中心电源和制冷基础设施相关的 19 项专利，并且出版了电源和制冷系统方面的 50 多份白皮书，其中大多白皮书均以十几种语言印刷出版。近期出版的白皮书所关注的重点是如何提高能效。他是全球高效数据中心领域闻名遐迩的专家。Neil 目前正投身于推动高效、高密度、可扩展数据中心解决方案专项领域的发展，同时还担任 APC 英飞系统的首席设计师。

1981 年创建 APC 前，Neil 在麻省理工学院获得学士和硕士学位，并完成关于 200MW 电源托克马克聚变反应堆的论文。1979 年至 1981 年，他就职于麻省理工学院林肯实验室，从事飞轮能量储备系统和太阳能电力系统方面的研究。

附录： LBNL 研究的误导性数据

传播最为广泛的、有关数据中心直流和交流配电系统间效率的量化报告宣称，“LBNL 发现，直流配电效率比交流配电效率高 28%”。这一数据来自于以下这段 LBNL 报告的误导内容：

“在这种情况下，普通数据中心有望将效率提高 28%。这意味着，正如我们所证明的那样，直流配电系统与当前数据中心常用的交流配电系统相比，有可能节省 28% 的电量。鉴于数据中心 HVAC 负载一般和 IT 负载大致相同，配电效率提高 28%，也就表示，数据中心整体效率能够提高 28%。”¹²

报告的这一部分，与该报告中测量、计算得出的 7.3%（如表 ES1 所示）大相径庭¹³。实际上，该部分内容并不是指测量或计算得出的数据，而是以不切实际的假设前提为基础，如直流服务器的效率会比交流服务器效率高 19% 以上等，而针对这点，所有研究都发现，直流供电服务器的效率仅比交流供电服务器高 1%-1.5% 而已。事实上，现今的服务器电源通常可达到 95% 的整体效率，所以提高 19% 的说法非常荒谬，是不可能的，除非电源效率能远高于 100%。

深入阅读 LBNL 报告，您将发现，28% 的这一数值，是对比了最新直流系统和上世纪 80 年代的极为老式的交流系统的结果。上面所说的“当前数据中心常用的交流配电系统”是指他们猜测目前有可能仍在使用的极早交流配电系统，而非高效的新型交流配电系统。施耐德电气对上世纪 80 年代设备进行的效率评估表明，那时常用的配电系统与当前设备相比，效率有可能要低 20% 以上，这主要是因为那个年代的 IT 电源效率低下。但是，目前那类设备早已不复使用了。与其推荐的直流配电系统相对应的交流配电系统，应该是采用最佳实践的新型交流配电系统，如本白皮书所示，它们的效率相差无几。

在阐述配电系统的节能对整个数据中心能耗的影响方面的阐述也存在误导。首先，新型数据中心的 HVAC 负载并非“与 IT 负载大致相同”；在新数据中心，HVAC 负载远小于 IT 负载，大概是 IT 负载的 10% 到 35%。其次，配电系统的节能并不能直接转化为 HVAC 负载的节能。只有部分与热负载成正比的 HVAC 能耗才会变化。大多数制冷系统都包括风扇、加湿器和其它与功耗热负载无关的组件。另外，部分电路可能不在制冷系统的覆盖范围内，因此不通过 HVAC 系统冷却。与上述论述相反，节能总量百分比永远低于配电系统效率提高百分比。

这一误导性的 28% 比例，被作为该报告的结论而广为引用，令人十分遗憾，已给市场造成了极大的混淆，如果再反复引述，应被视为失真信息乃至故意欺骗。LBNL 应针对此误导部分，发表一份修正说明。

¹² http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/DCDemoFinalReport.pdf#page=8

¹³ http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/DCDemoFinalReport.pdf#page=7



点击图标打开相应
参考资源链接

 **数据中心高效交流配电与直流配电的量化比较**
第 127 号白皮书

 **数据中心交流与直流配电综述**
第 63 号白皮书

 **绿色数据中心中的高效交流配电系统**
第 128 号白皮书

 **浏览所有 白皮书**
whitepapers.apc.com

 **数据中心交流与直流能效比对计算器**
权衡工具 3

 **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