

## 通信网络六环节能耗模型与能效基线

网络能源设备提供商不断提升产品能源效率，而运营商关注全网能效提升。建立网络能效基线，有利于评价全网能源效率；建立能耗模型，可以据此分析网络能源系统耗能环节，选择合理的能效改进方案，并引导设备效率提升的方向。

### 设备商和运营商对能源效率关注点有显著差别

可靠性和经济性是运营商对网络能源的基本要求，能源效率是设备的关键指标之一。设备商为了增强产品竞争力，贴合用户需求，不断提高能源效率，以通信电源为例，从线性电源、相控电源、开关电源发展到第四代全数字高效电源，高效电源整流效率达到 96% 以上，华为 2013 年发布业界首款效率高达 98% 的整流模块，表明设备能源效率正在逼近极限。

随着通信网络不断演进，运营商能耗快速增长，能源成本增长速度远高于收入增长速度，节能成为运营商当前重要课题，能源效率成为设备标书中的重点指标，如欧洲运营商从 2011 年起，采购的电源整流模块效率均要求 96% 以上。电源自身能耗仅占运营商全网能耗的 3~8%，更多的能源消耗发生在其它环节，运营商更加关注在有限的投资条件下提升全网能源效率的途径。

### 网络能耗可以归纳到六个环节

从网络供电与环境保障全流程来看，可以分为发电、配电、变换、负载、温控和维护管理六个部分。油机、电池、风能与太阳能系统等属于发电部分，在市区电差的区域，由于柴油发电机能源效率低，发电环节成为能耗的最大组成部分。对于电网质量较好的一类电网区域，如果站点平均每月停电达到 5 小时，发电能耗超过 3%，也是值得关注的节能环节。

变压器、配电柜、电缆、补偿器、滤波器、防雷器等属于配电部分，电力变压器多存在于核心机房，少数站点也可能配置。变压器效率一般在 98% 左右，加上配电柜、电缆等损耗，配电部分能耗可能超过 4%。电源、UPS、逆变器、DC/DC 二次电源等属于电能变换环节，在网设备多已老旧且负载率低，通信电源效率平均不超过 90%，UPS 和逆变器效率仅为 80% 左右，在电网质量较好的区域，变换环节能耗最高可超过 8%。

负载包括主设备、传输、网管、服务器等通信网络必要组织部分，能耗占通信网络总能耗的比例接近 50%。温控系统包括空调、通风、热交换等，如果不考虑差市区区域发电环节能耗，温控部分能耗仅次于主设备，约占 35~50%，是节能减排的重点。维护管理部分能耗包括动力环境监控系统耗电、机房照明耗电、下站维护车辆耗油、消防设备耗电等，占比不超过总能耗的 3%。为了比较和评价网络能源效率，不宜将占比约 15% 的办公、生活等能耗计入通信网络能

耗。由于全网能源消耗发生在这六个环节，各环节能耗的比例，就是网络能耗模型。针对单个站点或机房中六个环节能耗的比例，就是站点或机房的能耗模型。

### 数据中心能效指标 PUE 未包含发电与维护管理环节能耗

PUE 是数据中心能源效率指标，其值是数据中心总能耗与主设备能耗的比值，PUE 越低，表示能源效率越高。数据中心多建设在市电供电稳定的地方，鲜有应急发电事件产生，发电环节能耗基本忽略不计。由于有人值守，维护工作本身很少存在能源消耗，监控系统能耗所占比例很小，维护管理能耗被忽略。

对于海量站点的通信网络来说，站点供电质量差，应急发电频繁，发电能耗不但不可忽略，而且比例很高，如四类电网区域经常使用油机发电，发电环节能耗比例超过 70%。站点数量众多，除站点动环监控设备有一定能耗外，下站巡检、维护、应急发电时均有燃油消耗，相比数据中心，维护管理能耗也不可忽略。

因此，PUE 不能用来表征通信网络全网能效。

### 网络能源效率 NEE 真实反映全网能源效率

在六环节能耗模型中，负载能耗在总输入能量中所占的比例，可以表征全网能源效率，用 NEE (Network Energy Efficiency) 表示。负载能耗占比越高，NEE 越大，表明有效能源占比高，能源效率也高。

不同于 PUE 模型中所有能耗都可用电量 kWh 直接表示，NEE 模型中能耗包括有柴油、汽油等能源消耗，需要统一单位。最合适表示能量的单位是焦耳 (J)，如 1kg 柴油的热量为 46MJ，1kWh 电能为 3.6MJ。由于燃油效率有高有低，在计算总能耗时，需要按热量换算，能耗的单位仍以最广泛使用的电能单位 kWh 为佳。

为了比较站点或机房能源效率，将不包含应急发电、下站巡检等非常态情况下的能源效率定义为静态 NEE，事实上，静态 NEE 基本与 PUE 倒数一致。例如，三个总交流输入功率都是 2kW、主设备 1kW 的站点，常规情况下分别采用市电、油机和太阳能逆变供电，约油机燃油效率为 10%，则一个小时总能耗分别是 7.2MJ、72MJ (1.84L 柴油)、3.6MJ，NEE 分别为 50%、5%、 $\infty$ 。可以看出，无市电区域油机供电能效非常低，如果采用混合供电系统改造，可将燃油效率提升至 30%或以上，NEE 可由 5%提升至 15%。采用太阳能等可再生能源，可以显著提高能源效率。因而，NEE 越高，网络能源效率越高，越绿色。

### 典型网络全网 NEE 与六环节节能措施影响

采用传统供电模式，全网 NEE 与电网质量直接相关，根据六环节能源能耗模型与全网 NEE 分析，一至四类电网的无线运营商典型 NEE 分别为 57%、51%、29%、20%。对于四类电网，如果所有站点采用油电混合供电，NEE 可由 20% 提升至 31%；如果所有站点采用太阳能方式供电，全网 NEE 高达 84%。

针对不同网络类型、电网质量和供电模式，站点、机房六环节能耗都会有所区别。针对其中某一个环节进行节能优化，都将对全网 NEE 产生影响。为了说明通信网各环节对 NEE 的影响，我们以每周平均停电 5 小时的二类电网区域综合运营商为例，现网 NEE 为 50.9%，通过单一对某一环节进行改造，NEE 变化如下表所示。

环节	优化对象与措施	优化前	优化后	NEE	△NEE
发电	油机与市电互备、市电优先供电方式	无	10%站点油电混合+10%站点太阳能方案	53.4%	2.5%
配电	提升输出电压/主用电缆增粗/设备拉近	损耗2%	损耗1%	51.5%	0.6%
变换	老旧电源和UPS改造	效率88%	效率96%	55.6%	4.7%
用电	开启节能特性/关闭闲置设备	/	节省10%能耗	48.4%	-2.5%
温控	站点室外化	平均能效比5	平均能效比10	55.9%	5%
维护管理	管理模式	简单网管	带内监控、故障预测(下站少50%)	51.5%	0.6%
综合	以上所有,除主设备节能外	同所有以上	同所有以上,除主设备节能措施外	64.9%	14%

由上表得出结论，对除主设备外的网络能源系统五个环节采取一定的节能措施，全网 NEE 从 50.9% 提升至 64.9%，网络能源相关能耗降低 56% 以上，并仍有较大节能空间。从全部六个环节来看，显示出温控、变换、主设备是节能的重点。此外，电网越差，减少发电环节能耗越重要。

### 建立全网 NEE 基线，节能可度量可预测可管理

华为在与通信运营商长期合作过程中提出 NEE 能效基线，发展了六环节节能理论，与运营商一起共同降低通信网络各环节能耗。NEE 升高就意味着能源效率提高，是网络绿色指数。运用 NEE 基线，可以评估运营商网络能源效率。

在 NEE 定义中，主设备能耗是分子，主设备节能优化反而带来全网 NEE 降低，因此在建立和测量全网 NEE 时，需要区别对待。对于负责整个网络的节能主管来说，同时考核主设备能耗和全网 NEE 是合适的；对于网络能源维护管理部门来说，可以直接考核全网 NEE。当主设备能耗下降时，需要迅速优化其它五个环节，使 NEE 不致下降影响绩效的达成。

降低全网六环节能耗,都存在增加投独资或增大网络风险的可能。长期以来,电信级就是可靠的象征,如果要求通信网络中所有站点具备相同的可靠性,可能并非最佳商业之道,在提高 NEE 的同时,保障相应的可靠性仍是必然的选择。