

T/CAICI

中国通信企业协会团体标准

T/CAICI 13—2023

固定网络能效评估标准

Assessment of Fixed Network Energy Efficiency

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国通信企业协会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义 3

4 缩略语 4

5 固定网络 5

 5.1 定义与范围 5

 5.2 网络分类 6

6 能效评估标准 EER (Energy Efficiency Rating) 6

 6.1 一般定义 错误!未定义书签。

 6.2 固定网络能效评估标准 6

7 固定网络能效因子 8

8 评估指标体系 错误!未定义书签。

 8.1 能效评估指标 错误!未定义书签。

 8.2 影响因子指标 错误!未定义书签。

9 评估方法 错误!未定义书签。

 9.1 数据采集 错误!未定义书签。

 9.2 指标计算 错误!未定义书签。

 9.3 能效评估 12

10 评估流程 14

 10.1 准备阶段 14

 10.2 数据采集阶段 14

 10.3 指标计算与评估阶段 14

 10.4 报告撰写与反馈阶段 15

附 录 1

附 录 B 错误!未定义书签。

固定网络能效评估标准

1 范围

本标准规定了特定区域内端到端的网络能效定义和评估指标、评估方法及评估流程等。适用于光传送网、有线接入网等网络侧设备的固定网络评估使用，基站和CPE/ONT不包括在评估范围。主要应用于能耗的监控和管理使用，同时为网络规划、建设、优化等提供参考依据。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- (1) 工业和信息化部行业标准YD/T 1990-2019《光传送网（OTN）网络总体技术要求》
- (2) 工业和信息化部行业标准YD/T 3391-2018《光波分复用(WDM)系统总体技术要求》
- (3) 工业和信息化部行业标准YD/T 3686-2020《超100Gb/s光传送网（OTN）网络技术要求》
- (4) 工业和信息化部行业标准YD/T 2484-2021《分组增强型光传送网（OTN）设备技术要求》
- (5) 工业和信息化部行业标准YD/T 2003-2018《可重构的光分插复用（ROADM）设备技术要求》
- (6) 中华人民共和国国家标准GB/T 32657.2-2016《自动交换光网络(ASON)节点设备技术要求》
- (7) 中华人民共和国工业和信息化部YD/T 2374-2011《分组传送网（PTN）总体技术要求》
- (8) 中华人民共和国工业和信息化部YD/T 2397-2012《分组传送网（PTN）设备技术要求》
- (9) 中华人民共和国工业和信息化部YD/T 3415-2018《软件定义分组传送网（SPTN）总体技术要求》
- (10) 中华人民共和国工业和信息化部YD/T 3073-2016《面向集团客户接入的分组传送网（PTN）技术要求》
- (11) 中华人民共和国工业和信息化部YD/T 3826-2021《切片分组网络（SPN）总体技术要求》
- (12) 中华人民共和国工业和信息化部YD/T 4172-2022《切片分组网络（SPN）设备技术要求》
- (13) 中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1475-2006《接入网技术要求——基于以太网方式的无源光网络（EPON）》
- (14) 中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1419.2-2005《接入网用单纤双向三端口光组件技术条件第2部分：用于基于以太网方式的无源光网络（EPON）光网络单元（ONU）的单纤双向三端口光组件》

(15)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1526.2-2007《接入网用单纤双向三端口光收发一体模块技术条件 第2部分：用于基于以太网方式的无源光网络（EPON）光网络单元（ONU）的单纤双向三端口光收发一体模块》

(16)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.2-2010《xPON光收发合一模块技术条件 第2部分：用于EPON光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的光收发合一模块》

(17)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1949.1-2009《接入网技术要求——吉比特的无源光网络（GPON）第1部分：总体要求》

(18)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1419.3-2006《接入网用单纤双向三端口光组件技术条件 第3部分：用于吉比特无源光网络（GPON）光网络单元（ONU）的单纤双向三端口光组件》

(19)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1526.3-2009《接入网用单纤双向三端口光收发一体模块技术条件 第3部分：用于吉比特无源光网络（GPON）光网络单元（ONU）的单纤双向三端口光收发一体模块》

(20)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1998.2-2009《接入网用单纤双向双端口光组件技术条件 第2部分：用于吉比特无源光网络（GPON）的光组件》

(21)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 2274-2011《接入网技术要求10Gbit/s以太网无源光网络（10G-EPON）》

(22)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 2286-2011《10Gbit/s EPON光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的单纤双向光组件》

(23)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 2402.1-2012《接入网技术要求 10Gbit/s无源光网络（XG-PON） 第1部分：总体要求》

(24)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.5-2012《xPON光收发合一模块技术条件 第5部分：用于XG-PON光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的光收发合一光模块》

(25)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 2652-2013《10G GPON光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的单纤双向光组件》

(26)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 3344.1-2018《接入网技术要求 40Gbit/s无源光网络（NG-PON2） 第1部分：总体要求》

(27)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 3345.1-2018《接入网技术要求 波长路由方式WDM-PON 第1部分：总体》

(28)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 3621.1-2019《面向5G前传的N×25Gbit/s波分复用无源光网络(WDM-PON) 第1部分：总体》

(29)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 3691.1-2020《接入网技术要求 10Gbit/s对称无源光网络（XGS-PON） 第1部分：总体要求》

- (30)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.3-2017《xPON光收发合一模块技术条件 第3部分：用于GPON光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的光收发合一模块》
- (31)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.4-2016《xPON光收发合一模块技术条件 第4部分：用于10Gbit/s EPON光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的光收发合一模块》
- (32)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.6-2018《xPON光收发合一模块技术条件 第6部分：用于NG-PON2堆叠式光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的光收发合一模块》
- (33)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.7-2017《xPON光收发合一模块技术条件 第7部分：内置MAC功能的光网络单元（ONU）光收发合一模块》
- (34)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.8-2018《xPON光收发合一模块技术条件 第8部分：用于GPON和XG-PON共存的光线路终端（OLT）的光收发合一模块》
- (35)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.9-2018《xPON光收发合一模块技术条件 第9部分：用于XGS-PON光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的光收发合一模块》
- (36)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.10-2021《xPON光收发合一模块技术条件 第10部分：用于GPON和XGS-PON共存的光线路终端（OLT）的光收发合一模块》
- (37)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.11-2024《xPON光收发合一模块技术条件 第11部分：用于50G TDM PON光线路终端/光网络单元（OLT/ONU）的光收发合一模块》
- (38)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1688.12-2024《xPON光收发合一模块技术条件 第12部分：用于10G PON和50G-PON共存的光线路终端（OLT）的光收发合一模块》
- (39)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 2402.1-2012《接入网技术要求10Gbit/s无源光网络（XG-PON）第1部分：总体要求》
- (40)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 2050-2009《接入网安全技术要求-无源光网络（PON）设备》
- (41)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1096-2023《路由器设备技术要求 边缘路由器》
- (42)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1097-2023《路由器设备技术要求 核心路由器》
- (43)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1454-2014《IPv6网络设备技术要求 核心路由器》
- (44)中华人民共和国工业和信息化部YD/T 1452-2014《IPv6网络设备技术要求 边缘路由器》

3 术语、定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 固定网络 Fixed Network

固定网络是相对于移动网络而言，指的是通过有线传输介质，如光纤、双绞线、同轴电缆等，连接网络节点，为用户提供固定位置接入服务的通信网络。主要由有线接入网、IP 网络和传输网络组成的网络，用于提供数据传输、通信服务等功能。

3.2 网络能效 (NEE) Network Energy Efficiency

指固定网络在传输信息过程中所完成的有用功与在传输信息过程中消耗的能量之间的比例关系，用于衡量网络能源利用效率。

3.3 端口带宽 Port Bandwidth

指固定网络中各业务端口，包含但不限于基站端口、家宽端口、集客专线端口等的带宽，单位为 Gbps。

3.4 线路带宽

指固定网络中，传输系统线路端口带宽，单位为 Gbps。

3.5 网络总功耗 Total Network Power Consumption

固定网络中所有电信设备，不包含辅助设备如电源、空调等消耗功率的总和，单位为瓦特 (W)。

3.6 光模块损耗预算 Optical Module Loss Budget

光模块在传输过程中能够承受的最大光功率损耗值，单位为 dB，反映光模块的传输性能。

3.7 传输距离 Transmission Distance

信号在固定网络中从发送端到接收端能够有效传输的最大距离，受光路损耗、光模块性能等因素影响。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件：

ATIS：世界无线通信解决方案联盟 (The Alliance for Telecommunications Industry Solutions)

APM：应用性能管理 (Application Performance Management)

CCSA：中国通信标准化协会 (China Communications Standards Association)

EER：能效比 (Energy Efficiency Rating)

ETSI：欧洲电信标准协会 (European Telecommunications Standards Institute)

FTTH：光纤到户 (Fibre to the Home)

FTTO：光纤到办公室 (Fiber to the Office)

FTTX：光纤接入 (Fibre to the x)

IP：互联网协议 (Internet Protocol)

ITU-T：国际电联电信标准化部门 (International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)

MSO：多系统运营商 (Multiple System Operator)

NEE: 网络级能效 (Network Energy Efficiency)

ODU: 光通道数据单元 (Optical Channel Data Unit)

OXC: 光交叉连接 (Optical Cross-Connect)

OSU: 光服务单元 (Optical Service Unit)

OTN: 光传输网 (Optical Transmission Network)

ONT: 光网络终端 (Optical Network Terminal)

OLT: 光线路终端 (Optical Line Termination)

PTN: 分组传送网 (Packet Transport Network)

SPN: 切片分组传送网 (Slice Packet transport Network)

SDH: 同步数字体系 (synchronous digital hierarchy)

TEER: 电信能效比 (Telecommunications Energy Efficiency Ratio)

5 固定网络能效评估范围

5.1 定义与范围

端到端固定网络用于终端用户和服务提供商之间的数据连接和传输，包括接入网、传输网和IP网的网络侧设备，不包括终端用户侧设备。如图1所示。



图1 固定网络能效评估范围示意图

其中：

传输媒质：光纤、铜缆、电缆等；

有线接入：OLT、MSAN、DSLAM等；

固定带宽传送网：由城域传送网和骨干网组成：主要技术有WDM/OTN、SDH/MSTP等；

分组传送网：由城域传送网和骨干网组成，主要技术有PTN/SPN/IP RAN/MTN等；

IP网：由城域IP网和IP骨干网组成，主要技术有IP RAN/IP METRO/IP WAN等；

服務提供者：用于提供类的设备或网络，如：DC/IDC、核心网、内容源、网管等

本建议重点考虑固定网络（不含用户侧部分和服務提供者等内容）的测量。

由于通过固定网络传输数据可能使用不同的介质和不同的技术，因此应根据固定网络的具体框架选择网络中使用的设备。为了全面衡量网络能效，可以将完整的固定网络划分为少数具有特定功能的网络（即“子网”）。

此外，可以在同一基础设施上为多种终端用户类型部署多种服务。子网可以根据不同的业务场景进行划分。

5.2 网络分类

面对多种终端用户、多种实现技术的多种业务，测试区域应按功能、业务场景进行分类。

5.2.1 网络功能

根据网络的功能，固定网络可以分为有线接入网和传送网。不同技术实现导致在评价的参数和确定上有所不同，每种网络功能又包括多种实现技术，因此将传送网又分为固定带宽传送网和分组传送网。

5.2.2 业务场景

针对不同类型的终端用户，固定网络主要承载的业务类型有无线、家庭、企业和广播电视等；不同的业务场景承载的网络技术和性能功能要求有所不同，导致在同样带宽情况下，评价方式也有所区别。

6 固定网络能效评估指标

6.1 国际能效评估标准 EER (Energy Efficiency Rating)

根据国际和行业标准定义，能源效率等级（EER）应用于信息和通信技术（ICT）领域，它是一种设备度量，定义如下：

$$EER = \frac{\text{Energy output}}{\text{Energy input}} = \frac{\text{Useful work}}{\text{Total used energy}}$$

本标准重点是固定网络，网络级指标用于评估整个网络或部分网络的EER，通常用于评估运营商的内部网络并满足环境目标。

6.2 固定网络能效评估指标

参考电信行业能效评估标准TEER (Telecommunications Energy Efficiency Ratio)，网络设备级能效计算公式如下：

$$TEER = \frac{\text{Useful Work}}{\text{Power}}$$

基于固定网络功能属性，可以确定固定网络的UW (Useful work)包括网络接入侧的**业务带宽**，据此网络能效可以表示为：

$$NEE = \frac{\text{业务带宽总和}}{\text{网络总功耗}}$$

此外，由于固定网络由不同类型的子网组成，不同子网有不同UW (Useful work)的含义，各种类型的设备也都有自己的EER定义。固定网络的UW (Useful work)一般指端口或系统的带宽、流量等，这取决于承载的设备类型及业务应用。此外，也需要考虑从技术的演进性、网络可扩展性、网络冗余度、服务质量等，通过将业务带宽和重要的网络多维因子纳入到网络能效评估中，可实现“量”+“质”的多维度网络能效评估方法，因此固定网络能效可以表示为：

$$NEE = \frac{f(\text{业务带宽总和, 多维因子})}{\text{网络总功耗}}$$

其中：

6.2.1 网络总功耗

固定网络总功耗包括网络侧所有电信设备的功耗之和，不包含辅助设备，例如电源、空调等。

6.2.2 业务带宽总和

包括固定网络各种业务带宽总和，如基站、家宽、集客专线等业务带宽总和。如下图所示，在指定的固定网络范围内，承载的所有业务带宽总和，如下图所示：

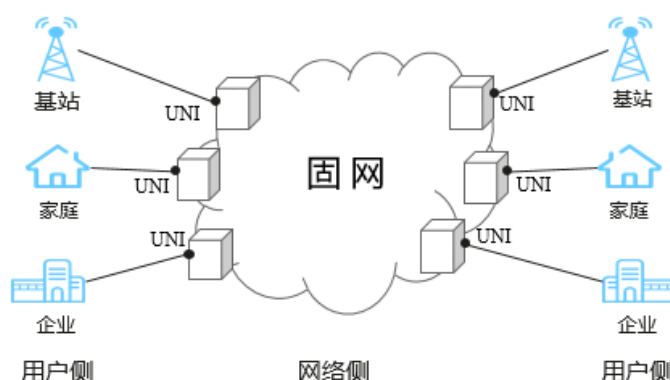


图2 固定网络端口速率总和示意图

6.2.3 多维因子

固定网络的网络性能包括多种因素，按照不同的类别和维度归纳三类：

- (1) 服务能力：通常指提供的传输能力。例如带宽、流量、波道数量、线路带宽等。
- (2) 服务质量：表示所提供服务的品质。例如保护、冗余备份、SLA（包括时延、丢包率、误码率、抖动等）。

(3) 可扩展性：表示网络可扩展的能力。如冗余波道、带宽、板卡、设备、进程等。

固定网络中和多维因子相关的因素很多，如何度量网络多维能效评估的因素需要综合考虑，通过对多维因子进行归类，并通过以下原则确定影响多维能效评估的主要因素：

- (1) 该因素是否与承载业务的能耗直接相关；
- (2) 该因素是否会通过增加能耗来提高相关的网络/业务性能（负相关）。

具体来说，假如某因素与网络功耗直接相关，可以通过增加或减少硬件设备来改变该因子；且该因子越优，付出的功耗代价越大（即因子影响与功耗负相关），那么需在网络能效评估中需考虑该因子的影响，否则就不予考虑。

因此，多维能效指标的目的是为了科学、公正的评估网络能效，其方法可以通过能效的多维因子对网络额外付出的功耗进行补偿，并牵引通过新技术、新方案持续降低额外付出的功耗代价。因此，在计算网络能效的多维因子时需要先设定一个功耗代价目标，通过该目标作为标杆值牵引网络持续降耗。

7 固定网络能效评估方法

固定网络不同子网类型在计算NEE时，各种参数的记取不同，为此，将固定网络的NEE分为三个子网，分别进行讨论。

7.1 有线接入网

定义的固定网络主要包括有线接入网的网络侧设备，如GPON、EPON OLT设备、DSLAM设备等。这里主要以PON设备为例。

7.1.1 网络功耗

有线接入网络的总功耗是指定网络范围内的每台接入网设备的功耗之和，不包括站点基础设施的功耗。当接入网设备与其他设备混合安装在同一机架时，需考虑提取单设备功耗。

7.1.2 业务带宽

有线接入网是面向用户提供带宽服务，因此用户侧带宽是接入网络最基本的有用功。用户侧带宽可以用所有激活的业务端口带宽之和表示。

7.1.3 多维因子

从服务能力、可扩展性和服务质量来看有线接入网的影响因子有：

7.1.3.1 实际传输速率

接入网网络能耗还会受到网络中的实际传输速率影响。当网络中实际传输速率低时，电路翻转率低，运行频率也会降低，可以降低动态功耗，网络能耗也会随之降低；反之当网络中实际传输速率升

高时，动态功耗增加，网络能耗亦会随之升高。因此，在计算网络能效时需要考量。有线接入网的实际传输速率是不断变化的，现网实际传输速率可以定义为一定时间内的平均流量。

7.1.3.2 传输距离

传输距离代表是有线接入网可以覆盖的范围和传输能力，传输距离主要受光模块的传输性能影响。在传输质量相同的情况下，损耗预算较高的光模块，如[ITU-T G.984.2]中定义的C+类或D类光模块，可以补偿更多的路径损耗，支持更长的传输距离。

7.1.3.3 演进性

有线接入网的设备演进性主要体现在OLT设备能力，如平台支持更多功能、支持更高的处理能力、支持更高端口速率等，这些均会影响设备本身的功耗，其可作为影响NEE评价的因素之一。

7.1.3.4 冗余配置

在实际工程应用中，为了减少工程建设次数，提高网络适应性，并实现快速接入业务，OLT设备常配置的一定端口冗余：包括PON板端口冗余配置、上联端口冗余配置等，这些均会增加少量的功耗，但在提高服务质量、快速响应客户等方面均带来一定益处，是在实际应用中必不可少的配置，因此也可作为重要的因素之一。

7.1.3.5 服务质量

OLT具有确保传输可用性的保护方案，如[ITU-T G.984.1]中定义的B型和C型配置。在实际网络中，一般采用端口双上联方式实现保护，该影响因素体现在端口冗余配置中体现，在此不重复计列。

对于业务QoS配置等因素对于功耗几乎没有影响，在此不予考虑。

7.1.4 有线接入网 NEE

综上，有线接入网的NEE评估方法如下：

$$\text{有线接入网 NEE} = \frac{\text{业务带宽总和}}{\text{网络总功耗}} \times \text{实际传输速率因子 A1} \times \text{传输距离因子 A2} \\ \times \text{演进性因子 A3} \times \text{冗余配置因子 A4}$$

7.2 固定带宽传送网

固定带宽传送网由城域汇聚、城域核心和骨干网组成，一般包括WDM/OTN和SDH/MSTP两大类型，目前使用较多的技术是WDM/OTN技术，SDH/MSTP网络规模正在逐渐减少，本规范以WDM/OTN为主进行讨论。

7.2.1 网络功耗

有线接入网络的总功耗是指定网络范围内的所有固定传送网设备的功耗之和，不包括站点基础设施的功耗，如空调、照明等。

7.2.2 业务带宽

固定带宽传送网中，支路板用于接收各类业务并进行传输，因此支路板的总带宽被认为是传输网络的业务能力。

固定带宽传送网的总业务带宽是指定网络范围内网络接入的所有业务带宽，根据业务流入流出相等原则，实际的业务带宽为指定网络范围内接入业务的所有支路板带宽的一半。

7.2.3 多维因子

从服务能力、可扩展性和服务质量来看有线接入网的影响因子有：

7.2.3.1 传输距离

传输距离在WDM/OTN系统中是一个重要因素，尤其在骨干传送网中，长距离传输能力可以节约一定的中继设备和放大设备，对功耗的影响很大。但对于城域网中传输距离的影响相对较小，因此在评价不同网络时，传输距离因素的影响力是不同的，因子的数值也有所不同。

7.2.3.2 系统容量

WDM/OTN系统容量主要包括波道数量和单波速率，波道数量越多，承载能力越强，但传输距离可能就会受限；同样地，单波速率越高，承载能力越强，传输距离越短；但相应其功耗越大。因此，系统容量是NEE评价中重要因素之一。

系统容量对NEE的影响与传输距离息息相关，因此对不同网络其影响因子也不同，对于骨干网影响较大，而对于城域网的影响相对较小，因此在评价不同网络时，系统容量的影响力是不同的，因子的数值也有所不同。

7.2.3.3 网络演进性

WDM/OTN网络设备的演进性主要体现在是否支持后向兼容，如波分平台支持更高单波速率，是否支持更智能化等，这些均需要通过增加功能单元来实现，即可能会消耗一定的功耗来实现，增加设备本身的功耗，其可作为影响NEE评价的因素之一。当然，有部分演进功能也可能会减少功耗，比如按需关闭不常用的功能以减少功耗，因此，网络的演进性存在正向或负向两种可能。

7.2.3.4 可扩展性

WDM/OTN系统的扩展性包括波道/板卡/交叉能力等的冗余配置、长距离传输能力、适应外部变化能力等，这些都需要额外增加设备、板卡或器件，带来功耗的增加，但同时扩展性可为系统扩容或升级带来极大的便利性，是工程应用中必不可缺的配置，但无限制的增加也会带来无效功耗，因此选择合适的扩展能力即可满足工程应用需求，同时也减少无效的消耗，扩展性的因子也是NEE评价重要一环。

7.2.3.5 保护能力

WDM/OTN系统具有多重保护机制，包括光放段保护、复用段保护、光通道保护等，每层保护对设备配置影响不同，保护对象和数量也不同，为了提升网络和业务的安全性，适当的保护时有必要的。保护时需要新增一定设备、板卡或器件作为代价，新增的功耗换来网络和业务的可靠性，但过量保护或导致无效功耗增加，保护不及可能影响服务质量，因此，选择合适的保护方式和保护程度是考评NEE的重要因素。

7.2.4 固定带宽传送网 NEE

综上，固定带宽传送网的NEE评估方法如下：

$$\text{固定带宽传送网 NEE} = \frac{\text{业务接入支路板总和} / 2}{\text{网络总功耗}} \times \text{传输距离因子 A1} \times \text{系统容量因子 A2} \\ \times \text{演进性因子 A3} \times \text{扩展性因子 A4} \times \text{保护因子 A5}$$

7.3 分组传送网

分组传送网由城域汇聚、城域核心和骨干网组成，包括PTN、SPN、IP RAN、MTN等，几类技术在评价NEE时基本相同。

7.3.1 网络功耗

分组传送网的总功耗是指定网络范围内的所有分组传送网设备的功耗之和，不包括站点基础设施的功耗，如空调、照明等。

7.3.2 业务带宽

分组传送网业务带宽是不断变化的，现网实际的业务带宽可以定义为一定时间内的平均流量。

分组传送网业务总流量是指定周期、指定网络范围内的接入业务的平均流量总和。该数值可从网管中提取。

7.3.3 多维因子

从服务能力、可扩展性和服务质量来看分组传送网的影响因子有：

7.3.3.1 传输距离

分组传送网主要应用于中短距传输，当需要长距离传输时，一般采用分组传送网over波分上；对于个别传输距离稍长段落，采用的光模块功耗相比普通光模块稍高些，但相比整机功耗占比很小，可忽略不计；因此传输距离对分组传送网影响不大，可不考虑计入。

7.3.3.2 演进性

分组传送网的演进性主要体现在设备演进能力和组网能力，其中设备演进能力主要体现在更多功能、更高的处理能力、转发效率更高等，这些均会影响设备本身的功耗；组网能力方面体现在端口配置、网络拓扑结构等，均会影响功耗，因此其可作为影响NEE评价的因素之一。

7.3.3.3 扩展性

分组传送网在实际工程应用中，为了更大限度地利用设备能力，实现快速开通、网络升级、结构优化和提升质量，需要网络具备一定的扩展能力，主要体现在设备端口冗余配置、网络结构优化更改、系统容量扩容调整等方面，这些或多或少会增加功耗，但在提高服务质量、快速响应客户等方面均带来一定益处，是在实际应用中必不可少的配置，因此也可作为重要的因素之一。

7.3.3.4 服务质量

分组传送网承载多种业务类型，对网络的QoS要求不尽相同，高QoS的业务对网络资源消耗较多，因此相同流量情况下的功耗较大，有的甚至是低QoS的2倍，因此服务质量是影响分组传送网NEE的重要因素。

7.3.4 分组传送网 NEE

综上，分组传送网的NEE评估方法如下：

$$\text{分组传送网 NEE} = \frac{\text{业务带宽总和}}{\text{网络总功耗}} \times \text{传输距离因子 A1} \times \text{演进性因子 A2} \\ \times \text{扩展性因子 A3} \times \text{服务质量因子 A4}$$

7.4 IP 网

IP网由IP城域汇聚、IP城域核心和IP骨干网组成，包括IP RAN、IP Metro、IP WAN等，几类技术在评价NEE时基本相同。

7.4.1 网络功耗

IP网的总功耗是指定网络范围内的所有IP网设备的功耗之和，不包括站点基础设施的功耗，如空调、照明等。

7.4.2 业务带宽

IP 网的业务带宽是指定网络范围内网络接入的业务带宽总和。IP 网的网络带宽越大，业务的传输性能越强，相应的业务比特功耗越小。

7.4.3 多维因子

从服务能力、可扩展性和服务质量来看IP网的影响因子有：

7.4.3.1 演进性

IP网的演进性主要体现在设备演进能力和组网能力，其中设备演进能力主要体现在更多功能、更高的处理能力、转发效率更高等，这些均会影响设备本身的功耗；组网能力方面体现在端口配置、网络拓扑结构等，均会影响功耗，因此其可作为影响NEE评价的因素之一。

7.4.3.2 扩展性

IP网在实际工程应用中，为了更大限度地利用设备能力，实现快速开通、网络升级、结构优化和提升质量，需要网络具备一定的扩展能力，主要体现在设备端口冗余配置、网络结构优化更改、系统容量扩容调整等方面，这些或多或少会增加功耗，但在提高服务质量、快速响应客户等方面均带来一定益处，是在实际应用中必不可少的配置，因此也可作为重要的因素之一。

7.4.3.3 服务质量

IP网承载多种业务类型，对网络的QoS要求不尽相同，高QoS的业务对网络资源消耗较多，因此相同流量情况下的功耗较大，因此服务质量是影响IP网NEE的重要因素。

7.4.4 IP网NEE

综上，IP网的NEE评估方法如下：

$$\text{IP网NEE} = \frac{\text{业务带宽总和}}{\text{网络总功耗}} \times \text{演进性因子 A1} \times \text{扩展性因子 A2} \times \text{服务质量因子 A3}$$

8 固定网络能效评估

8.1 能效评估目标

为更好地表征网络能效，引入多维能效指标，将节能与网络性能结合，科学评估网络能效，推动构建高品质绿色网络，促进固定网络向高能效发展。

8.2 能效等级划分

根据计算得出的网络能效（NEE）值，划分能效等级。设定不同的能效等级区间，例如：

NEE 值在〔高效能阈值 1， $+\infty$ ）范围内，为一级能效，表示网络能效极高；

NEE 值在〔高效能阈值 2，高效能阈值 1）范围内，为二级能效，网络能效较高；

NEE 值在〔低效能阈值，低效能阈值 + 差值）范围内，为低能效等级，表示网络能效较低，需要优化。

具体的能效阈值应根据行业平均水平、技术发展现状及实际应用需求等因素确定，并在后续实践中不断调整优化。

8.3 能效评估结果

由于不同子网、不同网络层次、不同网络架构、不同技术等对网络的多维因子参数和取值均有所不同，因此固定网络能效评估标准无法采用统一模式和取值去评估固定网络，因此，评估结果适用于同一网络区域指定网络范围内，相同网络技术的纵向对比；同样也可适用于不同区域不同组网结构的横向对比。但以上的评估结果只能作为评价参考，不作为考评的唯一标准。

通过能效评估，经过横向或纵向的对比，可以从以下几个方面进行分析：

- 1) 能效优势分析：对于网络能效处于较高等级的区域，分析其优势因素，如高效的网络架构、先进的设备选型，包括但不限于采用低功耗的高集成度设备、节能型光模块等、合理的网络配置，包括但不限于优化的传输距离与光模块匹配、适度的带宽规划等，以及有效的节能技术应用，包括但不限于如设备智能休眠功能的有效利用等。总结经验，为其他网络建设或优化提供参考。
- 2) 能效改进方向：对于能效较低的网络，根据影响因子分析结果，找出导致能效低的主要因素，包括但不限于传输距离过长导致中继设备功耗过大、带宽配置不合理造成资源浪费和功耗增加、实际数据传输速度与网络配置不匹配等。针对这些问题，提出相应的改进措施，包括但不限于优化网络拓扑结构以缩短传输距离、合理调整带宽分配、探索基于实际数据传输速度的动态节能技术应用等，以提升网络能效。

9 能效评估流程

9.1 准备阶段

明确评估目的，确定是针对新建网络的规划评估、现有网络的性能评估还是网络升级改造后的效果评估等。

组建评估团队，包括网络技术专家、能效评估专业人员、数据采集与分析人员等，确保团队具备相关专业知识和技能。

收集固定网络相关技术资料，如网络拓扑结构、设备配置清单、光模块参数、网络运营数据等，为评估提供基础数据支持。

9.2 数据采集阶段

全面采集固定网络的端口速率数据、网络总功耗数据以及影响因子相关数据，确保数据的准确性和完整性。对采集到的数据进行初步整理和校验，剔除异常数据，保证数据质量可靠，为后续指标计算和评估分析提供有效数据。

9.3 指标计算与评估阶段

计算网络能效（NEE）及各影响因子指标值。依据能效评估方法，对网络能效进行等级划分，并深入分析评估结果，明确网络能效的优势与不足，确定改进方向。

9.4 报告撰写与反馈阶段

撰写固定网络能效评估报告，详细阐述评估目的、方法、过程、结果及改进建议等内容，报告应条理清晰、数据详实、结论明确。

将评估报告反馈给网络运营商、设备供应商及相关部门，为网络规划、建设、优化及运营决策提供依据，推动固定网络能效的持续提升。

附录 A

(参考性)

附录 A.1：网络保护因子计算举例

引入网络保护因子目的是为了补偿网络保护额外付出的功耗，假设网络保护因子表示为 $A1=1+\text{保护功耗代价}$ ，理想情况下保护功耗代价应该跟保护比例成正比，即 $\text{保护功耗代价}=\text{满保护代价目标} \times \text{保护比例}$ ，其中满保护代价目标是指网络上所有支路端口配置 1+1 保护额外增加的功耗目标。那么网络保护因子可以表示为 $A1=1+\text{满保护代价目标} \times \text{保护比例}$ ，则网络能效可以表示为：

$$\begin{aligned} NEE &= \frac{\text{端口带宽总和}}{\text{网络总功耗}} \times \text{网络保护因子 } A1 \\ &= \frac{\text{端口带宽总和}}{\text{网络总功耗}} \times (1 + \text{满保护代价目标} \times \text{保护比例}) \end{aligned}$$
$$W = W_{①} + W_{②} + W_{③} + \cdots + W_n$$

因此，通过合理设置满保护代价目标既能补偿网络保护额外付出的功耗，又能牵引持续降低其功耗值。如果网络保护实际付出的功耗比设定的满保护代价目标小，则网络总功耗小，网络能效更优；如果网络保护实际付出的功耗比设定的满保护代价目标大，则网络总功耗大，网络能效差，可考虑优化网络保护方案，降低其功耗占比。

满保护代价目标值可以通过对实际网络或者典型网络进行计算评估，以某城域网络模型为例，说明一种评估满保护代价目标的方法。某城域网网络模型设备配置如下：

表 1 某城域网络设备配置表

无保护配置	单板类型	单板能力	业务类型	业务端口总数（个）	配置单板数（个）	配置端口总数（个）
	支路板	20*10GE	GE/10G/10GE	178	9	180
		2*100GE	100GE	20	10	20
		4*STM64	STM64	12	3	12
	线路板	2*100GE	100GE	24	12	24
		2*200GE	200GE	4	2	4
	子架类型	子架槽位数（个）		配置子架数（个）	配置槽位总数（个）	占用槽位总数（个）
	电子架	32		3	96	36
	光子架			1		

满保护配置	单板类型	单板名称	业务类型	业务端口总数（个）	配置单板数（个）	配置端口总数（个）
	支路板	20*10GE	GE/10G/10GE	178	9	180
		2*100GE	100GE	20	10	20
		4*STM64	STM64	12	3	12
	线路板	2*100GE	100G	54	27	54
		2*200GE	200G	4	2	4
	子架类型	子架槽位数（个）		配置子架数量（个）	配置槽位总数（个）	占用槽位总数（个）
	电子架	32		3	96	51
	光子架			1		

针对以上城域网络模型，假设无保护配置情况下，网络总功耗为 8000W，配置满保护后，网络总功耗为 11000W，则满保护代价目标=（11000-8000）/8000=37.5%，那么在网络保护比例为 x%时，网络保护因子可以表示为 $A1=1+37.5\%*x\%$ ，则网络能效可以表示为：

$$NEE = \frac{\text{端口带宽总和}}{\text{网络总功耗}} * (1 + 37.5\% * x\%)$$

基于上述分析，以某省市实际网络为例，已知该网络端口速率总和为 31490Gbps，网络保护比例 52.4%，网络总功耗大约 157kW，则网络能效（Gbps/kW）为：

$$NEE = \frac{31490}{157} * (1 + 37.5\% * 52.4\%) = 240.0$$

如果不配置网络保护，网络总功耗大约 131kW，则网络能效（Gbps/kW）为：

$$NEE = \frac{31490}{131} * (1 + 37.5\% * 0\%) = 240.4$$

从以上计算结果可以看出，网络保护额外付出的功耗通过网络保护因子补偿后，其网络能效与无保护情况下网络能效基本一致，高品质网络的能效并未降低。

对于不同的网络模型，计算出满保护代价目标会有差异，如何选择合理的典型网络模型并设置满保护代价目标需要在后续实际应用中进一步研究并完善。

附录 A.2：传输距离因子计算举例

传输距离因子表示为 $A2=1+\text{传输距离功耗代价}$ ，传输距离功耗的代价与传输距离成正比，即 $A2=1+\text{传输距离功耗代价目标} \times \text{传输距离}$ ，则网络能效可以表示为：

$$\begin{aligned} NEE &= \frac{\text{端口带宽总和}}{\text{网络总功耗}} \times \text{传输距离因子 } A2 \\ &= \frac{\text{端口带宽总和}}{\text{网络总功耗}} \times (1 + \text{传输距离功耗代价目标} \times \text{传输距离}) \end{aligned}$$

假设以传输距离 100km 为基准，传输距离每增加 100km，网络功耗增加 $a\%$ ，即 100km 的传输距离功耗代价目标为 $a\%$ ，则当传输距离为 x 百公里时，网络功耗增加 $a\% \times (x-1)$ ，即传输距离功耗代价= $a\% \times (x-1)$ ，因此传输距离因子可以表示为 $A2=1+a\% \times (x-1)$ ，则网络能效为：

$$NEE = \frac{\text{端口带宽总和}}{\text{网络总功耗}} \times (1 + a\% \times (x - 1))$$

因此，通过合理设置传输距离功耗代价目标既能补偿距离传输额外付出的功耗，又能牵引持续降低其功耗值。如果网络传输实际付出的功耗比设定的传输距离功耗代价目标小，则网络总功耗小，网络能效更优；如果网络传输实际付出的功耗比设定的传输距离功耗代价目标大，则网络总功耗大，网络能效差，可考虑优化传输方案，降低传输额外付出的功耗占比。

传输距离功耗代价目标值可以通过对实际网络或者典型网络进行计算评估，以某省典型网络模型为例，说明一种评估传输距离功耗代价目标的方法。某省典型网络传输距离与网络设备功耗关系分析如下（假设每 800km 需要增加 1 个电中继考虑）：

表 2 某省典型网络传输距离与网络功耗分析表

距离	OTM 站点 (个)	光中继 (个)	电中继 (个)	网络功耗 (W)	网络功耗增长 率 (%)
80km	2	0	0	16364	0.0%
160km	2	1	0	16664	1.8%
240km	2	2	0	16964	3.7%
320km	2	3	0	17264	5.5%
400km	2	4	0	17564	7.3%
480km	2	5	0	17864	9.2%
560km	2	6	0	18164	11.0%
640km	2	7	0	18464	12.8%
720km	2	8	0	18764	14.7%
800km	2	9	1	22402	36.9%
880km	2	10	1	22702	38.7%

960km	2	11	1	23002	40.6%
1040km	2	12	1	23302	42.4%
1120km	2	13	1	23602	44.2%
1200km	2	14	1	23902	46.1%

基于表格分析，传输距离与网络功耗增长成正比，当增加电中继时，网络能效会有跳变，通过求平均值可以得出每 100km 网络功耗平均增长率 a%（即传输距离功耗代价目标）为：

$$a\% = (46.1\% - 0) / (12 - 0.8) = 4.1\%$$

则传输距离因子可以表示为 $A2 = 1 + 4.1\% * (x - 1)$ ；

网络能效可以表示为：

$$NEE = \frac{\text{端口速率总和}}{\text{网络总功耗}} * (1 + 4.1\% * (x - 1))$$

下面以 2 个实际网络为模型，针对不同传输距离对比网络能效差异（不考虑网络保护和扩容能力影响）：

表 3 现网数据情况

网络	传输距离 (km)	端口速率总和 (Gbps)	网络总功耗 (kW)
A	143	4690	16.414
B	976	4900	23.132

则 A 网络能效 (Gbps/kW) 为：

$$NEE = \frac{4690}{16.414} * (1 + 4.1\% * (1.43 - 1)) = 290.8$$

B 网络能效 (Gbps/kW) 为：

$$NEE = \frac{4900}{23.132} * (1 + 4.1\% * (9.76 - 1)) = 287.9$$

从以上计算结果可以看出，B 网络长距传输额外付出的功耗通过传输距离因子补偿后，其网络能效与短距传输的 A 网络能效基本一致。

与网络保护因子类似，针对不同的典型网络，每 100km 网络功耗平均增长率不同，即传输距离代价目标不同，选择合理的典型网络模型和设置传输距离代价目标需要结合实际网络进行研究和完善。

附录 B

(参考性)

附录 B 固定网络节能减排研究方向

对于固定网络来说，从提升网络能效角度来看有三个层面：

- 1) 通过理论、材料、器件、架构的创新，打造节能减排绿色站点。未来 10 年，全球千兆以上及万兆家庭宽带网络渗透率分别达到 55%和 22%，家庭月均网络流量增长 8 倍，达到 1.3TB。为了降低因此带来的能耗增长，需要持续提升固定网络站点的能效。比如，全面采用光纤技术替代 Cable 联接，预计提升能效 60%；在园区场景使用 FTT0 技术，预计提升能效 100%~150%；通过广覆盖全光交换技术，相比电交换预计能效提升 80%~100%。
- 2) 通过系统架构演进、软件节能创新，构建极简网络。网络架构影响了设备间联接方式与介质，同时也对网络能耗有决定性的作用。以城域网 OTN 网络为例，从城域核心到边缘接入，采用光交叉代替多级电交叉和互联，预计可以降低约 55%的设备能耗。同时根据网络负载情况，通过计算和配置节能路由路径，将空闲的冗余网络资源休眠，也可减少网络能耗。以某个现网网络统计数据，在网络负载为 50%时，利用节能路由技术可使能耗下降约 24~29%。
- 3) 通过建立节能指标体系，系统性地评估网络或运营方式变更带来的影响，实现节能减排和智慧运营双赢。由于目前整个行业尚未有统一的标准指标衡量数字基础设施的碳排放水平，因此当网络或技术升级时，无法相对准确地衡量节能减排效果，也无法采用公认的“标尺”对不同运营商、不同网络子网进行约束和指导，因此有必要采用相对实用的节能指标体系对网络进行能效评估。

因此通过聚焦固定网络领域，梳理关键问题，提出相应建议，制定合适的网络能效衡量标准，切实提升网络能效，助力全行业绿色低碳。

附录 C

(参考性)

附录 C 固定网络节能技术

目前针对固定网络的节能降耗技术研究在多个方向上取得突破，以下面几点为例，说明技术创新对节能减排的影响：

- (1) OXC：传统光交叉的创建依赖于动态光分插复用板，通过多个多维 WSS 单板搭建 ROADM 站点，但随着光方向的增加，连纤也愈加复杂。而作为 OXC 关键创新之一的光背板则是通过光纤印刷技术，将 1000+根纤芯打印在一张 A4 纸大小的背板上，能够减少站间 70%连纤。以现有设备为例，极端情况可以将 12 个交换子架减少到 1 个，不仅能节省 60%的空间占用，还能通过大幅降低光交叉单元自身耗电以及机柜散热，显著降低所在机房的散热需求，单站总体功耗能节省 45%。
- (2) OSU：传统组网中 Packet、SDH、ODU 报文，以及更早期的 ATM 信元，由不同设备分别处理和承载，而 OSU 技术则是彻底解决这一问题的全新选项。OSU 封装技术支持 2M~100G 的无损带宽调整，以硬隔离的方式将所有类型的业务纳入统一管道，由统一设备承载，通过多功能合一实现功耗节省。以老旧 SDH 网改为例，当前仍然在网的 SDH 设备普遍使用年限长达 8-10 年，已进入生命周期末期，运维排障难度高，网络风险巨大，且设备集成度低、占用大量机房空间，单子架功耗也远高于同等容量的 OTN/SPN 设备，单纤 10G 容量更是无法满足业务发展需求。采用 OSU 技术后，在典型场景下，整体空间可节省 25%以上，功耗节省超过 30%。
- (3) 高集成度 400G：目前业界已经推出高集成度、可拔插的 400G 相干模块，在性能不劣化的前提下，模块功耗降低至 400G 固定模块的 50%，实现性能与功耗的最佳平衡。
- (4) 扩展 C+L 波段：增加光纤的可用频谱是提高单纤容量、降低每比特功耗的重要举措。当前业界已能支持 C 波段和 L 波段各 120 波，总共 12THz 频宽，传输能力相比目前的平均水平可提升 25%，单纤容量提升 25%，同时可以减少光纤占用、光层单板/子架使用数量，实现直接和间接的双重节能。
- (5) 刀片式 OLT：采用全室外设计可以提高部署效率、降低单站能耗、适配多种应用场景。而现有室内型 OLT 则必须安装在有空调的机房。以某个现网典型数据，在同等容量条件下，刀片式 OLT 减少的空调散热可以减少 50%的能耗。

设备智能休眠：对设备采用智能调度机制，可以自动感知当前的设备、板卡、芯片等使用状态，闲时进入智能休眠模式，调整器件工作模式，芯片和相关器件自动进行节能管理，降低无效能耗；忙时进入工作模式下，保证用户体验，提供高品质联接。以 ONT 为例，业界目前最领先的智能 ONT，已支持 APM

（应用性能管理）智能调度机制，通过测试表明，智能休眠功能可带来 10%~30%的能耗节省。

当然，除以上几种外，还有更多的创新和应用可以更好地实现节能减排，这需要业界共同努力，以不断提升网络能效。

参 考 文 献

- [1] 中国移动通信集团 网络能效评估白皮书（2023）
- [2] ITU-T L.1331 Assessment of mobile network energy efficiency(01/2022)