

# 800GE 路由应用分析

# 为数字世界打造可持续的增长能力

白皮书

数字世界需要更多的带宽。互联网流量正以30%的速度同比增长，但要实现气候目标，到2030年碳排放量必须减半。

800GE路由有助于运营商满足数字世界的需求，通过构建速度更快的IP网络，运营商能够更有效地利用可用能源和机架空间，从而使得我们的地球得到更好的可持续发展。

这本白皮书从经济角度将800GE路由与当前最先进的400GE路由解决方案进行了比较，并量化了前者所带来的运营效益。

## 内容

综述	3
参考网络和流量假设	4
参考网络拓扑结构	4
平台选择和系统配置	5
物理系统和线卡容量	5
流量增长假设	6
路由器光模块	6
传输层面的支持	6
详细的研究结果	7
结论	9

## 综述

IP网络铺设了数字高速公路，但它们如何支持对更高速率的需求？虽然流量持续增长，但是维持这一增长所需的可用能源和机架空间的供应却有限。随着路由器的最大速率达到400GE，容量扩展的唯一方法就是增加网络链路。随着额外的端口和线卡消耗更多的机架空间和能源，网络的占地面积还在逐渐变大。

**800GE 路由**可以让您能够使用相同的资源来构建一个更快的网络。通过利用更快、更高效的路由芯片和光模块，可以实现以更低的每比特能耗来传输更多的流量，并最大限度地减少所需要管理的端口数量。800GE 路由利用下一代路由芯片，如**诺基亚的FP5**，支持**800 G QSFP-DD可插拔收发器**所需的112Gb/s SerDes 电信号接口。

同时，为实现在广域网上的长距离传输，路由器之间需要有OTN/WDM 设备完成互联，因此800GE 业务的端到端传输离不开800G波长的配合。作为网络端到端方案的供应商，诺基亚也推出了相应的解决方案，以**超级相干光子业务引擎PSE-6s**为核心，支持最高1.2Tb/s 的单波传输速率，可以把路由器800GE 接口通过800G波长或1.2T波长互连起来。

为了在网络环境中量化创新技术所带来的效益，诺基亚旗下的贝尔实验室进行了相关的研究。首先假设累积流量每年增长30%，然后对400GE和800GE路由解决方案在5年内的扩展特性进行了详细比较。该研究基于一个参考网络，该参考网络包括低密度(地区/郊区)和高密度(城域/城市)的接入汇聚、边缘和核心网络，使用具有不同容量和硬件平台的诺基亚业务路由平台。

总结主要发现：

- 将现有的400GE路由平台升级为基于FP5的800GE路由平台，到第五年，节省的能源高达55%。
- 与使用400GE光模块相比，使用800GE光模块可在路由器光模块上平均节省30%的能源，并将管理的链路连接数量减少了47%。

图1.使用诺基亚800GE路由的节能成效

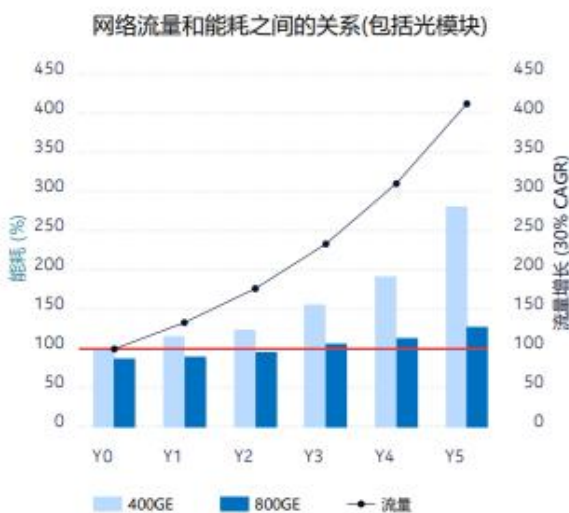


图1中浅蓝色柱子显示，随着黑色线条所代表的流量增加，现有400GE路由器所需能耗的变化。图1中深蓝色柱子表示，使用FP5 将路由器升级到800GE 的节能高达55%。图1中红色线条表示，以400GE 路由方 案所使用的能耗为基准， 诺基亚800GE 路由可以有效地将网络容量提高一倍左右。

尽管这些结果都是基于参考网络中的诺基亚产品之间的对比，但它们表明了采用下一代800GE 路 由方案扩容所产生的效益。后续部分将讨论参考网络、扩容要求和详细的研究结果。

## 参考网络和流量假设

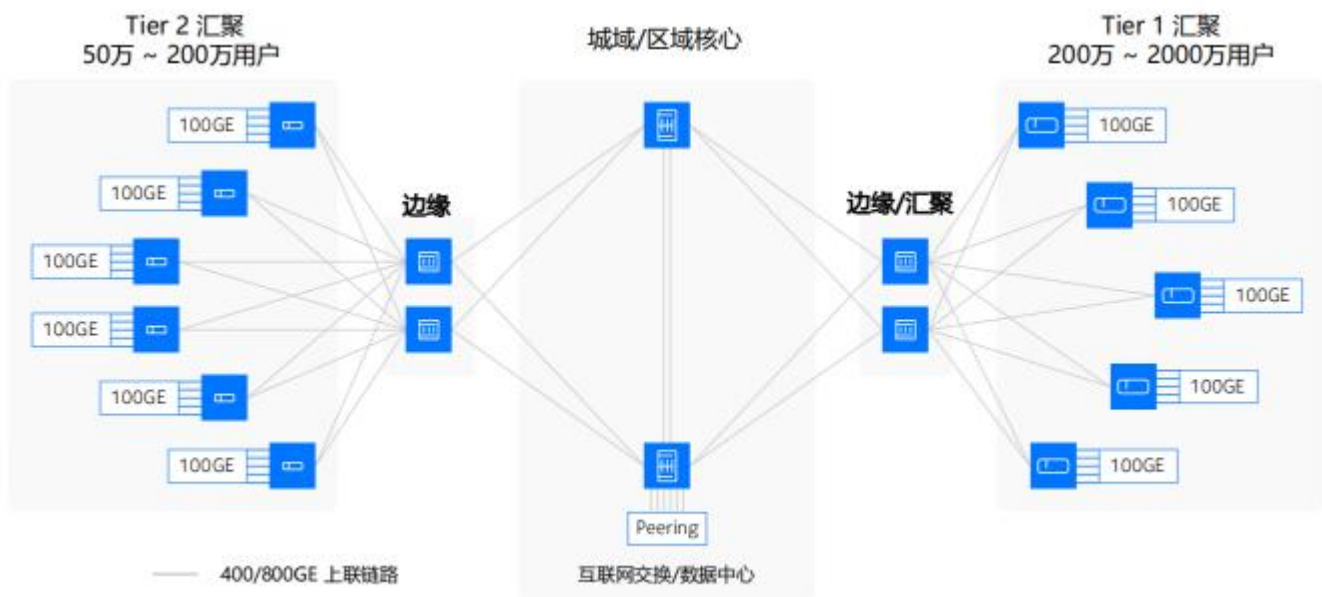
该模型基于下面描述的参考网络，该参考网络将低密度和高密度的接入汇聚以及边缘网络组合成一个 通用 的IP 城域网/区域核心网。在该网络中， 流量流向云数据中心、 互联网交换点和全国范围的IP/ 光骨 干网。

这种分层网络架构对于通信服务提供商来说是典型的， 它在很大程度上也适用于运营广域网业务的 中立托管 机构和互联网交换服务提供商， 其商业业务和批发接入业务采用100GE 或更高的端口速率。

## 参考网络拓扑结构

所有IP汇聚路由器都是双归属到一对边缘路由器，而这对边缘路由器又双归属到IP核心路由节点。IP汇 聚路由器使用4x100GE 或 8x100GE 扇出的400GE或800GE光模块连接到接入设备。汇聚路由器、边缘路 由器 和核心路由器之间的端口都使用400GE 或800GE 链路。

图 2 .IP参考网络



## 平台选择和系统配置

该研究评估了3种参考网络配置：基于FP4芯片的400GE模式，基于FP5芯片的400GE模式和基于FP5芯片的800GE模式。为了区分升级路由芯片(FP4到FP5)和光模块(400GE到800GE)所获得的效益，该研究仅评估基于FP5芯片的400GE和800GE光模块使用时的场景。

表1显示了用于容量建模的各种平台配置。有关产品详细信息，请访问诺基亚网站。

表1.系统配置

节点/场景	系统	端口/线卡配置	容量IA	容量LR	400GE	800GE
<b>区域汇聚路由器(智能汇聚-IA)</b>						
400G:FP4	7750 SR-1	12p 400QSFP-DD	4T	1.5T	8	0
400G:FP5	7750 SR-1-24D	24p 400G QSFP-DD	9.6T	2.8T	24	0
800G:FP5	7750 SR-1-24D	24p 800G QSFP-DD	9.6T	2.8T	24	12
<b>城域汇聚路由器(智能汇聚-IA)</b>						
400G:FP4	7750 SR-1s	36p 400G QSFP-DD	12T	4.8T	24	0
400G:FP5	7750 SR-1se	36p 400QSFP-DD	14.4T	14.4T	36	0
800G:FP5	7750 SR-1se	36p 800QSFP-DD	19.2T	14.4T	48*	24
<b>区域边缘路由器(线速/非阻塞LR)</b>						
400G:FP4	7750 SR-2s	2x36p 400G QSFP-DD(4.8T)	24T	9.6T	24	0
400G:FP5	7750 SR-2se	2x36p 400G QSFP-DD(9.6T)	19.2T	19.2T	48	0
800G:FP5	7750 SR-2se	2x36p 800G QSFP-DD(12T)	38.4T	24T	60	30
<b>城域边缘路由器(线速/非阻塞LR)</b>						
400G:FP4	7750 SR-7s	6x36p400G QSFP-DD (4.8T)	72T	28.8T	72	0
400G:FP5	7750 SR-7s	6x36p400G QSFP-DD(9.6T)	58T	58T	144	0
800G:FP5	7750 SR-7s	6x 36p800G QSFP-DD(12T)	115T	72T	180*	90
<b>核心/对等路由器(线速/非阻塞LR)</b>						
400G:FP4	7750 SR-14s	12x36p 400QSFP-DD(4.8T)	144T	58T	144	0
400G:FP5	7750 SR-14s	12x36p 400QSFP-DD(14.4T)	173T	173T	432	0
800G:FP5	7750 SR-14s	12x36p 800G QSFP-DD(18T)	230T	216T	432	216

\*:用扇出方式实现

## 物理系统和线卡容量

系统容量由线速端口容量(LR)和智能汇聚端口容量(IA)。汇聚路由器(以及面向接入的端口)通常会将端口容量超额配置两倍或更多，以考虑两个或更多的冗余需求(双归属)和统计复用增益，而边缘和核心路由器(以及面向核心的端口)的容量必须能够在持续的时间内以线速处理流量。

考虑到每增加一级汇聚会使得统计复用增益的递减，因此IP边缘路由器和核心路由器的线卡都是按比例配置的，其中IA端口容量与LR结构容量的比例在3:2到1:1之间，而汇聚路由器使用的比例约为3:1。

所有线卡型号都支持36个QSFP-DD端口，用于面向接入和面向核心的链路。对于IP边缘路由器和核心路由器，出于冗余考虑，每个机框至少使用两个线卡进行冗余保护，并在端口容量的使用率达到90%后增加额外的线卡。

## 流量增长假设

区域汇聚网络包含8个汇聚路由器，每个路由器为6个接入节点提供服务，刚开始(Y0, 第0年),每个接入节点的入网流量为20Gb/s。城域汇聚网络由5个子网组成，每个子网有6个汇聚路由器，每个路由器在Y0为6个接入节点提供60Gb/s的入网流量。

在研究期间，接入流量每年累积增加30%,接入节点数量也额外增长10%。新增的区域接入节点将贡献5Gb/s, 新的城域接入节点各贡献10Gb/s。表2量化了每年的入口流量。

表2.入网流量

入网流量	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
区域汇聚	1.0	1.3	1.7	2.3	3.1	4.1
城域汇聚	10.8	14.3	19.0	25.2	33.5	44.4
总流量 (Tb/s)	11.8	15.6	20.8	27.6	36.6	48.5

在冗余配置率为2:1和采用了1+1保护的接入上行链路中，流量负载标称高达链路容量的50%。在区域和城域汇聚路由器的入口端口上应用了智能汇聚技术，以最大限度地提高统计复用增益，而边缘路由器和核心路由端口容量是根据线速性能(非阻塞)来设计的。

## 路由器光模块

可插拔光模块在系统总能耗中所占的比例越来越大，并且有多种选项可供选择，以最佳方式满足不同系统容量和传输距离的要求。在这项研究中，我们使用以下平均值来计算路由器光模块的功耗：

- 400G QSFP-DD的功耗：13瓦
- 800G QSFP-DD的功耗：17瓦

7750 SR-1机框有多个型号，可提供高密度100GE SFP+端口，但我们选择使用仅带有QSFP-DD端口的型号，并使用4x100GE 或8x100GE 扇出光模块进行接入汇聚，以便更容易地比较800GE和400GE配置的差异。采用400GE或800GE扇出光模块在1 RU 空间中可提供多达32个100GE端口。

## 传输层面的支持

为实现在广域网上的长距离传输，路由器之间需要有OTN/WDM设备完成互联，它通过800G 客户侧灰光接口与路由器800GE 接口进行对接，完成波长转换后通过800G彩光接口再经由光线路系统实现长距离传输。

在设计800G 传输系统时需要考虑多方面因素，如系统容量、传输性能、功耗能效等，对此，诺基亚发布了基于5nm工艺的第六代超级相干光子业务引擎PSE-6s, 集成于1830 PSS/PSI光传输平台上，可以覆盖从城域到干线以及海缆的各种800GE 业务传输使用场景，如在中长距传输场景下，以800G 波长承载800GE以太网业务；在城域短距离传输场景下，也可以用2个1.2T波长同时承载3个800GE 以太网业务，实现更高效的传输，帮助运营商和云服务商满足日益增长的城域和骨干网带宽需求。

## 详细的研究结果

当机框满负荷运行时，路由器的能效最高，因为功率均衡器、冷却风扇、交换矩阵、管理和控制单元等通用硬件的每G比特能耗最低。然而，当流量超过最大系统容量时，系统能耗效率急剧下降，因为新增的机框也需要这些通用硬件，但是最初新机框上的业务容量的使用率要低得多。网络工程师必须配置足够的系统容量，以应对在其规划的生命周期内的流量增长，但同时由于机架空间有限，在未来通过增加更多机框的方式将受到限制。

表3.网络热力图

400G:FP4	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
区域汇聚	63%	75%	75%	88%	150%	163%
区域边缘	58%	67%	75%	92%	142%	167%
城域汇聚	33%	46%	58%	71%	92%	117%
城域边缘	25%	39%	47%	67%	86%	111%
核心/对等	55%	72%	96%	128%	167%	219%

400G:FP5	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
区域汇聚	21%	25%	25%	29%	50%	54%
区域边缘	29%	33%	38%	46%	71%	83%
城域汇聚	22%	31%	39%	47%	61%	78%
城域边缘	13%	19%	24%	33%	43%	56%
核心/对等	18%	24%	32%	43%	56%	73%

800G:FP5	Year 0	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
区域汇聚	33%	33%	33%	42%	50%	58%
区域边缘	13%	16%	20%	31%	36%	49%
城域汇聚	21%	25%	29%	42%	46%	63%
城域边缘	13%	16%	20%	31%	36%	49%
核心/对等	19%	25%	34%	44%	58%	75%

表3中的网络热力图显示了参考网络中的节点容量在流量不断增加的情况下随时间发生变化。该流量建模是假设目前基于FP4芯片的业务路由器的400GE网络已经运行了几年，容量设计合理，并且仍有剩余容量可应对今后几年的流量增长。

随着流量连续几年的持续增长，400GE:FP4网络的剩余容量逐渐减少，直到使用率超过100%(红色格子)的程度，这时需要新增机框。由于配备FP5芯片的路由可以在同一个机框提供3~4倍的额外容量，因此对于400GE和800GE网络配置，它们可以在整个5年内继续在同一机框中进行扩展。

图3显示了将参考网络升级到FP5芯片时所节省的总机架空间。从第三年开始，核心路由器节点的流量超过最大机框容量达到200%时，机架空间的节省效果开始体现并逐步积累，当流量比例达到400%时，机架空间的节省率达到50%以上(在5年期间，年复合增长率30%)。

图3 基于FP5的路由平台结合400GE光模块所节省的机架空间

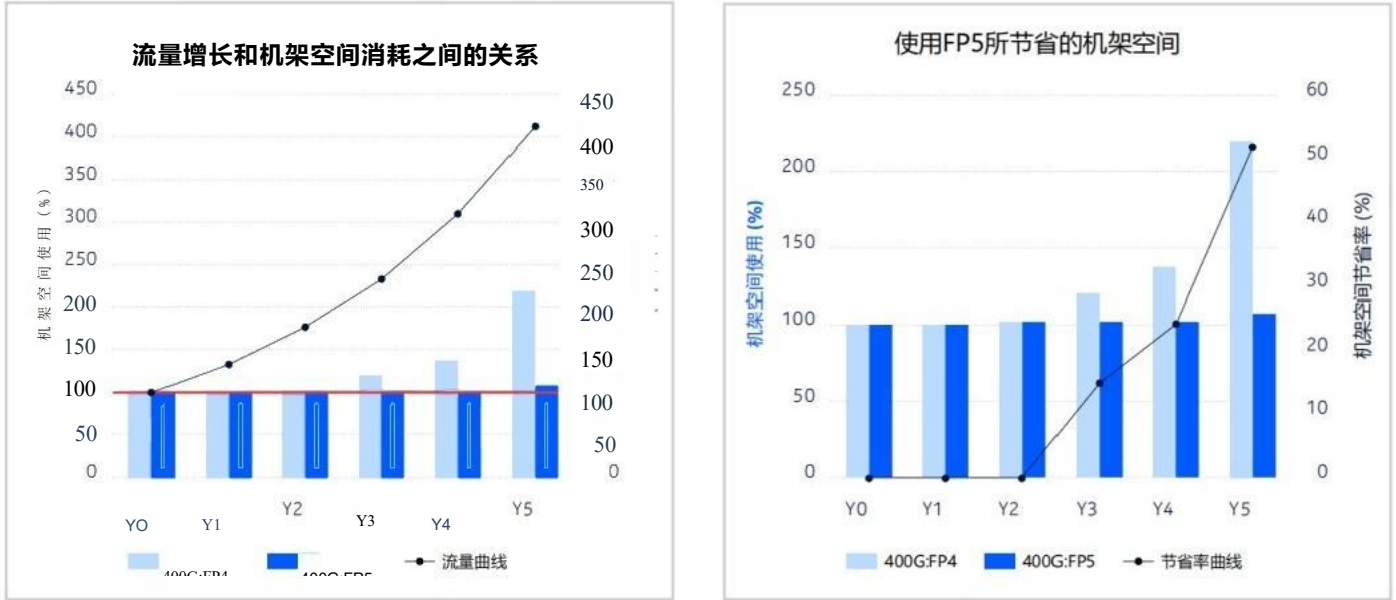
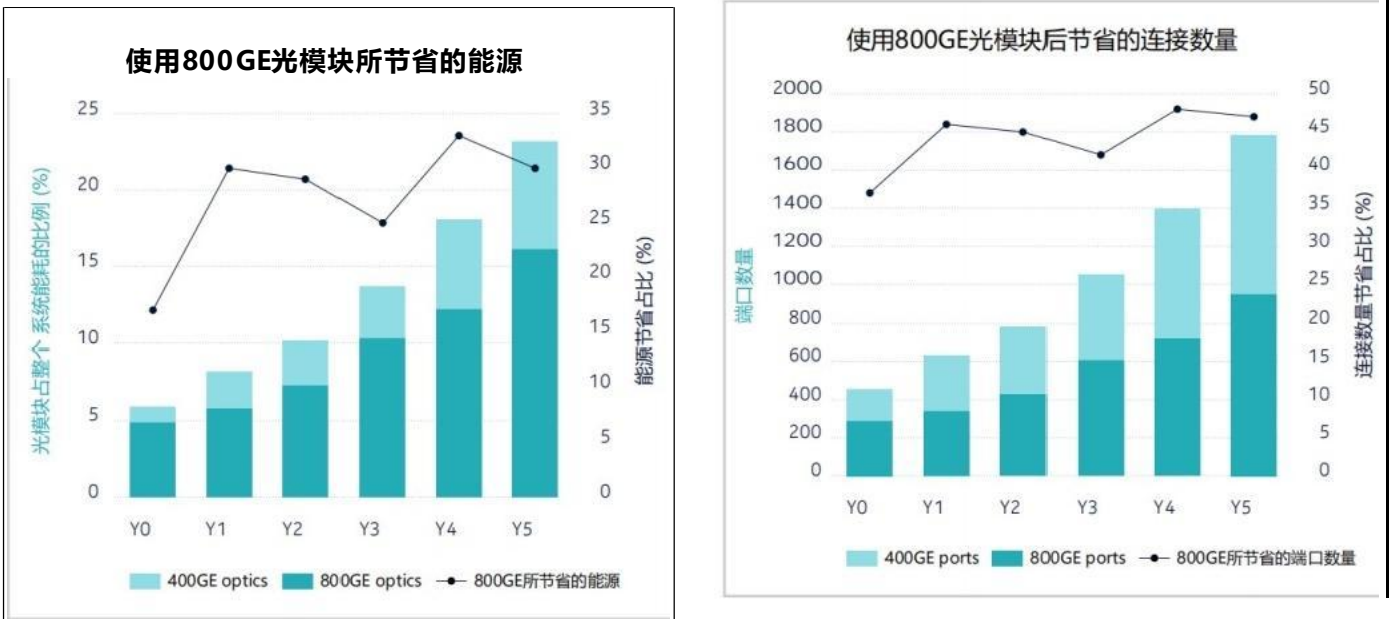


图4显示，升级到800GE 将节省路由器光模块总能耗的25%~30%,需要配置的端口数减少约45%。更快的IP网络使用了更少的链路，从而在对其操作中减少要管理的对象数量。

图4.800GE 光模块可节省的能源和连接成本



## 结论

能源和占地空间作为供应量有限且昂贵的资源，越来越成为难以逾越的障碍，从而可能抑制网络的发展。800GE 路由在通信服务提供商、云服务提供商以及互联网交换提供商那里获得了良好的发展势头，为他们扩展容量提供了一种更可持续的方式。

在相同的能源使用和空间资源占用条件下，诺基亚800GE 解决方案通过提供比现有400GE路由方案多2~3倍的容量，帮助网络运营商克服上述困难。该解决方案采用诺基亚的FP5芯片，实现了一流的能源效率，并支持业界领先且更快的800G QSFP-DD光模块。FP5与前几代FP芯片后向兼容，允许运营商从第一天引入800GE路由起，就能获得所有SR OS操作系统的各项能力和业务功能。

配合800GE 路由方案在广域网中实现完美传输，诺基亚同时推出了800G 光传输解决方案。它为扩展容量和简化网络而设计，采用最先进的5nm工艺和130G波特率，树立起通信行业新的标杆。

有关更多信息，请访问诺基亚网站。