

城域光网络演进与fgOTN技术的应用



Evolution of Metro Optical Networks and Application of fgOTN Technology

王光全/Wang Guangquan, 董姗/Dong Shan

(中国联通研究院, 中国 北京 100048)
(China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202604009

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/34.1228.TN.20260901.1427.006>

网络出版日期: 2026-08-28

收稿日期: 2026-05-16

摘要: 随着人工智能与产业数字化的深入发展, 智算中心互联及高品质企业上云的业务需求日益增长, 传统城域光网络在带宽、时延、架构及服务感知能力等方面面临严峻挑战。分析了城域光网络关键技术的发展现状, 提出了“极简、扁平、融合”的城域光网络演进架构, 阐述了细粒度光传送网(fgOTN)作为小颗粒高品质专线承载及智算业务接入技术在下一代OTN演进中的关键地位, 探讨了fgOTN的典型应用场景, 并对下一代城域光网络的发展方向进行思考和展望。

关键词: 城域光网络; 网络架构; fgOTN; 应用

Abstract: With the development of artificial intelligence and industrial digitalization, the demand for interconnection among intelligent computing centers and high-quality enterprise cloud access continues to grow. Traditional metro optical networks face severe challenges in bandwidth, latency, architecture, and service awareness capabilities. This paper analyzes the key technology trends in metro optical networks and proposes a "simplified, flattened, and converged" evolution architecture. It elaborates on the important role of fine-grained optical transport network (fgOTN) both as a bearer technology for small-granularity high-quality private lines in the evolution of next-generation OTN and as an access technology for AI computing workloads. The paper also explores the application scenarios of fgOTN and concludes with perspectives on the future development of metro optical networks.

Keywords: metro optical network; network architecture; fgOTN; application

引用格式: 王光全, 董姗. 城域光网络演进与fgOTN技术的应用 [J]. 中兴通讯技术, 2026, 32(4): 56-62. DOI: 10.12142/ZTETJ.202604009

Citation: Wang G Q, Dong S. Evolution of metro optical networks and application of fgOTN technology [J]. ZTE technology journal, 2026, 32(4): 56-62. DOI: 10.12142/ZTETJ.202604009

相较于传统电信业务, 人工智能(AI)业务具备超大规模数据流转、跨数据中心的分布式训练以及边缘推理的实时接入三大显著特征, 城域光网络正面临以下颠覆性挑战:

1) 传输速率瓶颈: 智算互联要求单波 800 Gbit/s 甚至 1.2 Tbit/s 的超高速传输, 但数据中心互联(DCI)的传输距离通常为 80~120 km, 传统的 100 Gbit/s、200 Gbit/s 密集波分复用(DWDM)系统难以经济高效地满足这一需求。

2) 多级架构带来的时延问题: 传统“核心+汇聚+接入”三级架构引入了过多的转接跳数, 且多次光电转换导致AI训练集群间的通信时延与抖动不可控, 严重制约了网络传输效率。因此, 迫切需要改变以光传送网(OTN)为基础的电层组网模式, 转向基于可重构光分插复用器(ROADM)的全光城域组网。该模式不仅能提供基于波长的低时延高速

业务传输, 还可通过合理的光电联合组网, 实现仅在电路源端和宿端进行业务配置, 从而大幅缩短业务开通时间, 有效提升城域光网络的运行效率。

3) 小颗粒业务的管理和运维问题: 传统OTN最初定位于城域网和骨干网^[1], 重点解决了大于 1 Gbit/s 客户信号的高效承载, 但难以高效承载大量 10 Mbit/s~1 Gbit/s 的高价值政企专线、金融交易和工业控制业务。低速业务通常通过同步数字体系(SDH)、无源光网络(PON)等方式接入, 并经过复杂的基于SDH的以太网(EoS)映射及汇聚处理后, 再进入OTN传输通道。传输设备内部集成了光数据单元(ODU)、以太网、虚拟容器(VC)等多种颗粒的交叉能力, 设备卡种类繁多; 多协议层叠加也显著增加了传输设备和网络在应用与维护管理方面的复杂度。因此, 迫切需要一种更为直接、简单的小颗粒业务复用方式, 在提升通道利用率的

同时,通过网络自身的管理能力简化网络架构,提升管控水平。城域光网络亟需进行系统性演进,而细粒度光传送网(fgOTN)技术正是解决小颗粒业务高品质承载问题的关键路径,能够在提高业务承载效率的同时,进一步简化网络并降低运维复杂度。

1 城域光网络演进方向

传统城域光网采用分层架构,业务流量以南北向逐层汇聚为主,适用于业务相对固定的静态网络。而AI时代的城域光网则面临东西向业务流量的急剧增长,网络资源需根据算力业务需求实现面向多种带宽的快速灵活调度,网络架构逐步向扁平化演进。基于ROADM的光层连接需延伸至综合接入点(CO),以满足算力业务对网络品质的更高诉求。

1.1 基于全光底座的网络架构

传统的城域光网络通常采用“核心+汇聚+接入”三级架构,一个数据流从源数据中心到目标数据中心,可能需要经过多级基于不同OTN颗粒的汇聚复用,最终形成基于DWDM或光纤直驱的电路连接。随着大规模数据中心(DC)的部署,基于波长级的业务颗粒逐步成为城域网业务承载的主流方向,也对光层的可用性提出了更高要求。因此,引入ROADM以适配城域核心层网状网及汇聚接入层环形的光纤组网架构,特别是在接入层引入池化波分技术,在实现接入层波长资源共享的基础上,支持端到端波长级业务的调度、穿通或上下路,从而实现从接入到核心汇聚层的全光一级组网,达成任意核心DC间的一跳直达,满足城域内边缘DC与核心DC的分钟级光路直连需求,提升网络的灵活性和可用性。网络架构如图1所示。

池化波分采用简化波长选择开关(WSS)、极简相干线路模块和高灵敏度光层数字化等技术,实现城域接入层全光网络任意站点间的波长直达,提供速率和波长间隔的按需选择能力,在降低成本的同时降低光层复杂度,实现高集成、

低功耗、灵活易用的大带宽接入,适合在城域汇聚接入、国内县乡区域波分等场景中部署。

城域光网络的核心层向Mesh化方向演进,按需开通波长交换光网络(WSON),汇聚层与接入层则趋于扁平化融合。这一架构在实现资源集约化利用的同时,精简了网络层级,使业务能够跨网层在光层直接打通,支持城域内任意站点间的波长直达,从而减少电层中继与转接,有效降低网络时延和建网成本^[2]。网络架构的系统性精简推动从“节点冗余”向“扁平高效”的转变,而资源的盘活与集约化利用则实现了从“存量闲置”到“循环高效”的转变^[3]。面向东西向流量,网络围绕DC为中心进行建设,光交叉连接(OXC)/ROADM覆盖DC站点,并与核心层融合形成Mesh化组网。算力优先集中部署,再通过高品质网络保障低时延传输,以实现算力更广泛的高品质覆盖^[2]。同时,引入数字孪生和AI算力路由,动态匹配最优光缆资源与光层传输能力,实现算力感知,并协同资源供给、业务调度和网络运维。

综上,通过网络架构升级,构建以“极简、扁平、融合”为核心的城域光网络,可实现东西向算力的高效流转与南北向原生数据的灵活入算。

1.2 G.654.E光纤下沉城域网

随着DCI直连带宽达到800 Gbit/s及以上,当前城域网主要采用的G.652.D光纤性能已难以较好匹配800 Gbit/s高速传输需求。实验室及现网测试数据均表明,G.652.D光纤在承载800 Gbit/s光传输设备时,受传输损耗、非线性效应等因素影响,在接收端预留5 dB维护余量的情况下,满波无电中继的实际有效传输距离不足200 km。而对城域数据中心的调研表明,省会及以上城市大部分算力核心节点间的跨段传输距离超过300 km,G.652.D光纤无法满足800 Gbit/s光层ROADM组网的传输需求,需增加电中继器,这大大增加了网络建设和运维成本,制约了高速城域光网络的发展。

G.654.E光纤具备更低的衰减系数(0.17 dB/km)和更大的有效模场面积(110~130 μm^2),可降低非线性效应,提升入纤光功率。该光纤目前主要用于骨干网,以延长100 Gbit/s、400 Gbit/s及以上高速传输系统的无电中继距离,同时能够有效应对800 Gbit/s在城域网多节点多路由ROADM光层组网及光链路损耗较大的传输场景,提升800G系统的无中继传输距离,从根本上解决G.652.D光纤

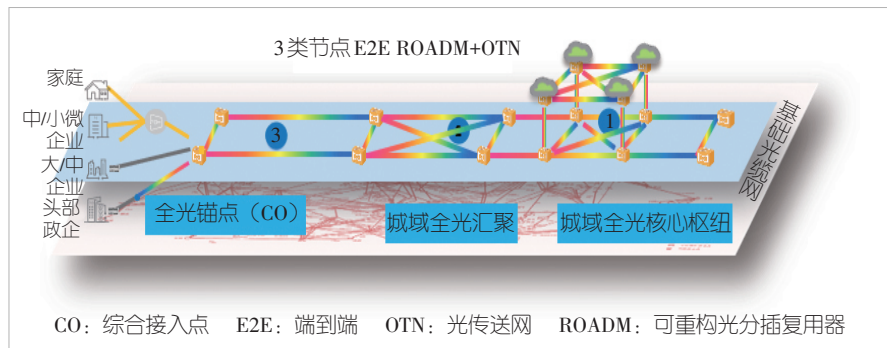


图1 基于全光互联的城域网架构

非线性效应较高的问题。采用G.654.E光纤可实现城域内算力枢纽的高效互联，减少中继站数量，降低传输时延，为算力资源的跨区域调度和AI业务的跨集群协同提供底层光传输支撑。此外，G.654.E光纤支持更宽波段的传输能力，可满足未来1.6T等更高速率系统的波段拓展需求，其性能优势能够支撑城域网未来15~20年的业务发展，避免因光纤性能不足导致的重复建设，从而降低网络全生命周期成本。

1.3 光电融合保护恢复与调度

AI智算互联对城域光网络的可靠性提出了高达99.999%的要求，可采用光层与电层协同、保护与恢复相结合的WSN/自动交换光网络（ASON）技术。未来可引入改进的纯光层WSN保护恢复技术，实现低于50 ms的保护倒换。初期可针对DC间流量采用光电协同WSN/ASON技术，通过光+电协同保护与恢复的方式，提供低成本、高可靠的业务动态恢复能力。后续随着WSS快速切换、光放快速响应、线路模块快速收敛及协议并行硬化等关键技术的突破，可在城域网络中将WSN的波长重路由恢复时间从秒级压缩至50 ms以内。结合Mesh化ROADM/OXC组网架构，无需额外电层资源，即可提升波长级业务可靠性，提供高性价比、高可用率、极简网络的城域OTN算力网络。

ROADM网络更适用于波长直达的业务颗粒，可实现快速的波长级业务调度，但对于快速以太网（FE）、千兆以太网（GE）、10GE等更细颗粒的业务，仍需进行分级的汇聚与复用。AI时代的城域光网络不能单纯依赖全光ROADM或OTN电交叉，而应采用光电融合调度策略，按业务需求动态选择光交换或电交换：100 Gbit/s以上的大颗粒流量通过ROADM光层调度，中小颗粒业务则通过合理配置的OTN或fgOTN设备进行汇聚交换。该模式旨在尽量减少交换层级，在ROADM光层“波长过粗”与OTN电层“ODUflex交换层次过多”之间取得平衡，从而提升整体网络的运行效率。

1.4 一跳入算极简城域网

下一代城域光网络的核心汇聚层采用40/80×800 Gbit/s DWDM超高速传输技术，以满足智算互联对DC间超宽管道的需求，并降低每比特成本与能耗。接入层采用池化波分技术，实现资源共享和业务弹性接入，通过将边缘接入节点的波长资源池化，提升资源利用率。电层接入节点则采用fgOTN、fgOTN点到多点（P2MP）、G.metro纯光接入及FTTx等多种接入技术，支持单波长在城域边缘为多个站点提供独立子通道，无需光层汇聚，从而简化接入层拓扑，构建一跳入算的极简城域光网络。同时，光电融合调度支持按业务需

求动态调整交换模式。一跳入算极简城域网架构如图2所示。

算力下沉至城域推动了波分技术的进一步下沉。通过池化波分技术将边缘接入节点的波长资源池化，可打造全光接入锚点，将光锚点部署于距用户500 m~1 km范围内（如图2所示），从而实现不同场景下用户的快速、灵活、高品质接入。在具体接入方式上，OTN结合P2MP技术可实现中小企业楼宇的覆盖；光纤到办公室（FTTO）技术将光纤从弱电机房延伸至每个房间，实现园区全光覆盖；家庭及其他入算业务可通过OTN对接光线路终端（OLT），并利用光纤到房间（FTTR）技术实现家庭用户的差异化品质承载；高价值企业专线则可采用fgOTN进行端到端承载。

2 fgOTN 技术优势

fgOTN技术是对现有OTN技术在小粒度业务承载方面的扩展，定义了面向业务的细粒度灵活光数据单元（fgODUflex）容器，可提供10 Mbit/s~1 Gbit/s级别（最高支持1 190 Mbit/s）的业务承载能力，并具备完整的层网络功能。相较于传统的多业务传送平台（MSTP）、SDH等技术，fgOTN与OTN之间具有更简洁的映射复用关系，具有明显的代际优势和演进特征。

相较于传统OTN技术，fgOTN在小颗粒业务承载、低时延传输和快速无损带宽调整方面具备显著优势。传统OTN技术的最小管道为ODU0（1.25 Gbit/s），小颗粒业务需借助

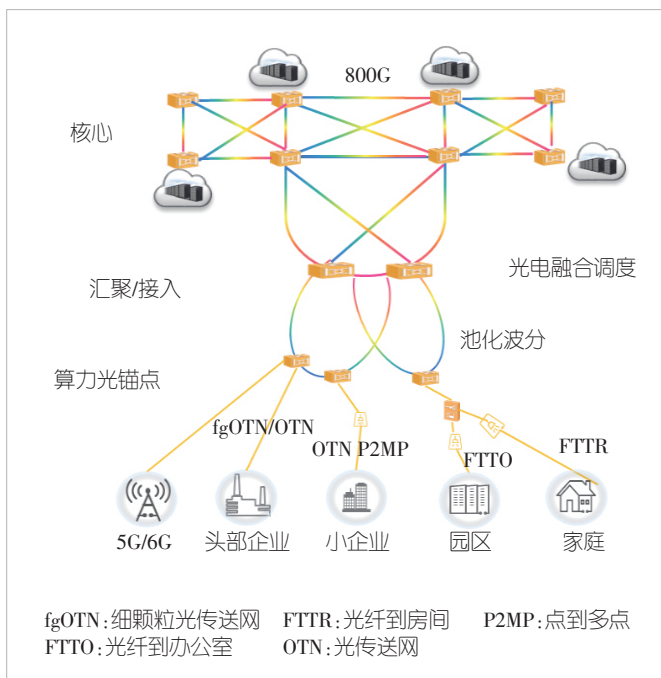


图2 一跳入算极简城域网^[2]

VC技术实现承载，但VC带宽固定，易产生碎片化时隙，且经过多层级适配与复用后，净荷占比低，承载效率不高。相比之下，fgOTN可提供 $N \times 10$ Mbit/s的fgODUflex灵活容器，实现小颗粒业务的高效承载。同时，fgOTN对传统OTN中的无损带宽调整机制（G.HAO协议）进行了全新改良，简化并继承了部分交换协议指示，引入一步调整机制，具备100 ms级别的快速无损带宽调整能力。

当前城域光网络承载的主要业务为FE、GE、10GE等中低速以太网业务。传统OTN网络承载这些业务需经过复杂的EoS（低速IP映射进入SDH，SDH映射复用进入OTN，OTN解复用为中速IP）过程，涉及城域网接入、汇聚、核心等多个层级的网元，主要存在以下问题：

一是为提升网络利用率，存在大量以太网上下电路，无法形成端到端的网络通道级监测与管理开销通道，因而难以实现网络自身的端到端运行、维护和管理（OAM）能力。业务多次上下电路也导致无法形成端到端保护，即便对需要保护的業務，配置也相对复杂。

二是业务需经过多个节点不同层级的交叉调度，增加了业务复用与解复用的次数和时延，也显著加大了网络运维管理的难度。

三是在主要交换节点内部，大量采用SDH VC级联功能以满足以太网业务映射，导致网管系统对设备和业务通道的管理能力降低，设备利用率也明显下降。

fgOTN可有效解决上述问题。fgOTN继承了SDH基于TDM固定时隙的信号结构，可提供端到端的刚性管道，保障业务安全传输，无须经过多层级交换，从而降低业务时延。在管控层面，fgOTN具备业务感知、自动开通和在线无损带宽调整能力，结合单管理业务通道、纳秒级时延测量及串联监测等智能运维手段，可显著降低海量小颗粒业务的管控复杂

度，大幅提升运维效率。在网络运维方面，fgOTN真正实现了端到端的自动化OAM，简化了运维复杂度，推动网络架构从极简向运维极简方向发展。表1展示了分组增强型光传送网（PeOTN）向fgOTN演进各阶段设备与网络特征对比结果。

3 fgOTN应用场景和方案

3.1 fgOTN网络应用位置

fgOTN技术主要面向小颗粒业务，在实际网络应用中，主要用于末端客户节点、本地综合业务接入节点、核心汇聚节点以及OTN专线的云化网络节点，如图3所示。

为同时支持fgODUflex业务（如10 Mbit/s ~ GE分组业务、STM-1/4等，其中STM- N 为同步传送模块， $N=1、4$ ）和基于ODUk的业务（如GE以上分组业务、STM-4以上的TDM业务等），本地OTN网络应同时具备fgODUflex与ODUk的交换能力。在本地OTN网络的核心节点或二干出省节点上，可将发往其他本地网络或其他省份的fgODUflex业务调度并复用至ODUk中，骨干OTN网络可沿用现有OTN架构，仅需支持ODUk交换即可。

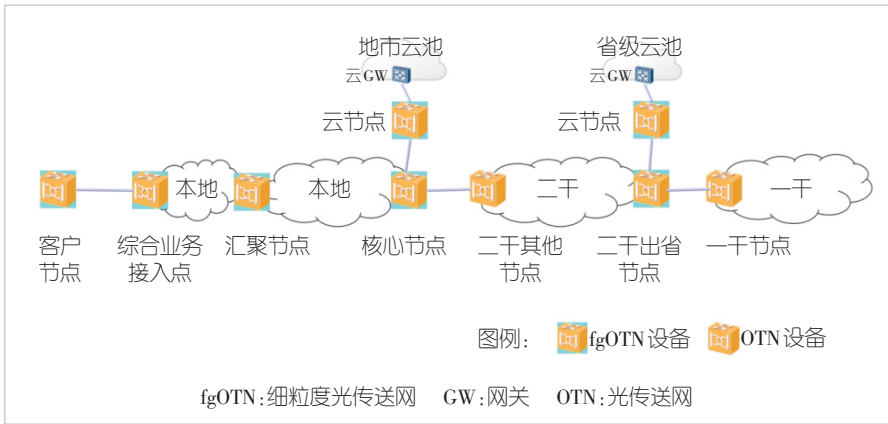


图3 fgOTN设备网络定位

表1 PeOTN向fgOTN演进各阶段设备与网络特征对比

维度	现阶段: PeOTN(VC/Package/ODU)	过渡阶段: PeOTN与fgOTN(VC/Package/ODU/fg)	未来阶段: ODU/fgODUflex
设备架构	OTN、分组、VC共3个交换平面	OTN、分组、VC、fg共4个交换平面	OTN/fgOTN共2个交换平面，简化设备架构、协议与维护
板卡种类	板卡类别多，复杂度高	板卡类别更多，复杂度更高	板卡归一化，维护简化
业务承载	时延高，2 Mbit/s ~ 155 Mbit/s、155 Mbit/s ~ 1 Gbit/s两档无损带宽调整	时延低，10 Mbit/s ~ 1 Gbit/s无损带宽调整	时延低，10 Mbit/s ~ 1 Gbit/s无损带宽调整
智能化	模型复杂，ODUk隧道预规划	模型复杂，ODUk隧道预规划	北向业务模型简化
fgODUflex: 细粒度灵活光数据单元 fgOTN: 细粒度光传送网 ODU: 光数据单元 OTN: 光传送网 PeOTN: 分组增强型光传送网 VC: 虚拟容器			

3.2 fgOTN设备架构和部署方案

fgOTN设备可分为统一交叉与二级交叉两种架构。图4展示了核心汇聚层设备在两种架构下的实现方式。统一交叉架构通过同一块交叉板卡实现VC/Ethernet/ODUk/fgODUflex的统一交换，该架构下需新增支持fgOTN的线路侧板卡和客户侧板卡，以实现fgOTN业务的调度与接入；二级交叉架构则通过独立的fgOTN交叉板卡完成fgOTN的调度，该架构可利旧原有OTN线路侧板卡。

统一交叉与二级交叉两种架构均需在综合业务接入点对交叉板卡进行软件升级，并新增线路板卡、支路板卡及客户

端设备，两者的部署差异主要体现在核心汇聚层。统一交叉架构需新增核心汇聚层线路板，部署成本较高，但业务时延较低，线路容量有所提升；二级交叉架构部署成本较低，但设备需经过两次交叉转接，时延略高，且二级交叉板卡接入业务量较小，线路容量保持不变。因此，实际部署中通常需综合考虑建设成本与本地网业务规模：在业务热点城市及建网预算充足的地区，优先选用统一交叉架构；在业务量较小且对成本敏感的地区，优先选用二级交叉架构。

同时，如图5所示，在新建电层场景中，原则上采用统一交叉架构部署fgOTN能力；在利旧电层场景中，若现有OTN链路时隙较足或存在空闲线路侧端口，则优先采用二级交叉架构；若需新增线路板卡，则原则上采用统一交叉架构。两种交叉架构的设备可混合组网。

3.3 政企精品网fgOTN业务开通方案

传统政企网络架构存在组网僵化、承载能力不足、运维效率低等问题，难以支撑高带宽、低时延业务的快速增长^[4]，如图6所示。在当前OTN政企精品网中，省际干线层具备省际大颗粒调度能力，作为大颗粒刚性管道网络，为各省间提供ODUk级别的通达能力，但未配置VC能力；省内干线具备跨地市大颗粒调度能力，并按需配置VC高阶调度能力，用于地市间VC4调度，但未配置VC低阶交叉能力；本地网具备地市内大颗粒调度能力，同时配置VC高低阶调度能力，但在业务量较大的本地网中，核心汇聚层网络资源（如低阶VC交叉利用

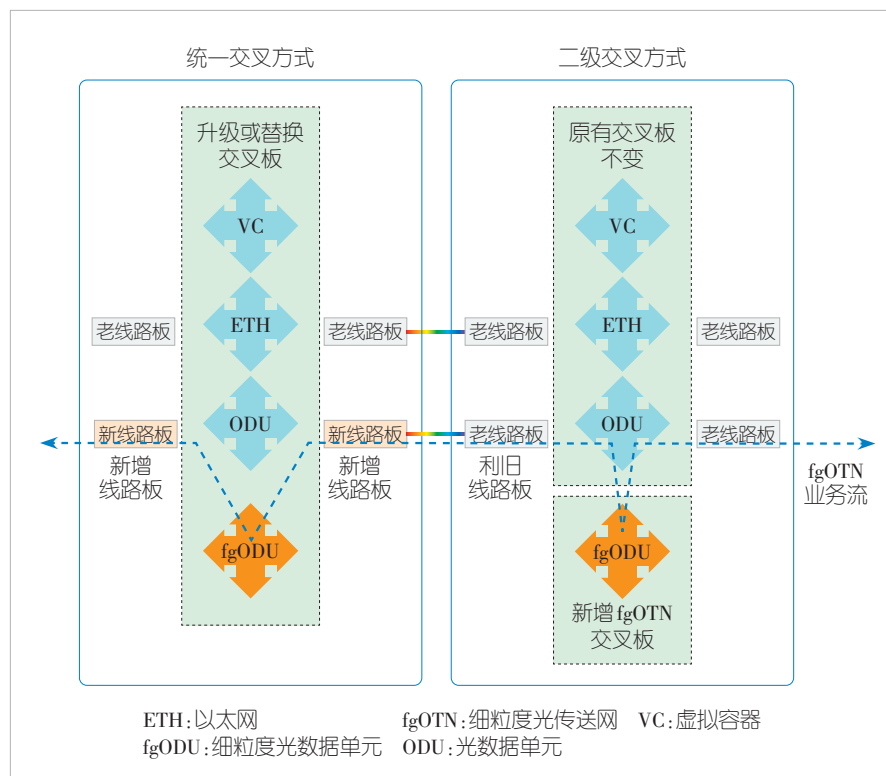


图4 核心汇聚层设备统一交叉和二级交叉架构对比

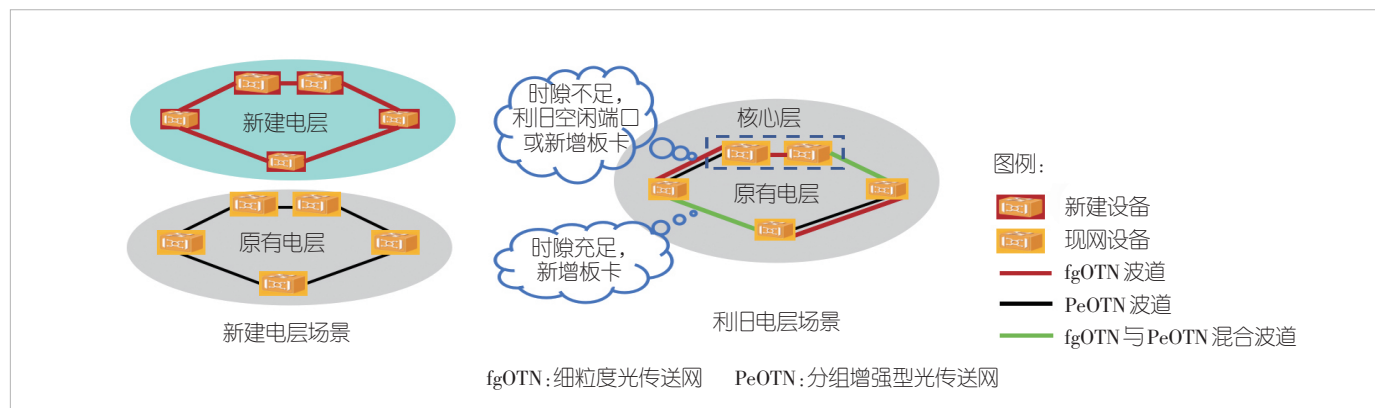


图5 fgOTN新建和利旧电层场景示意图

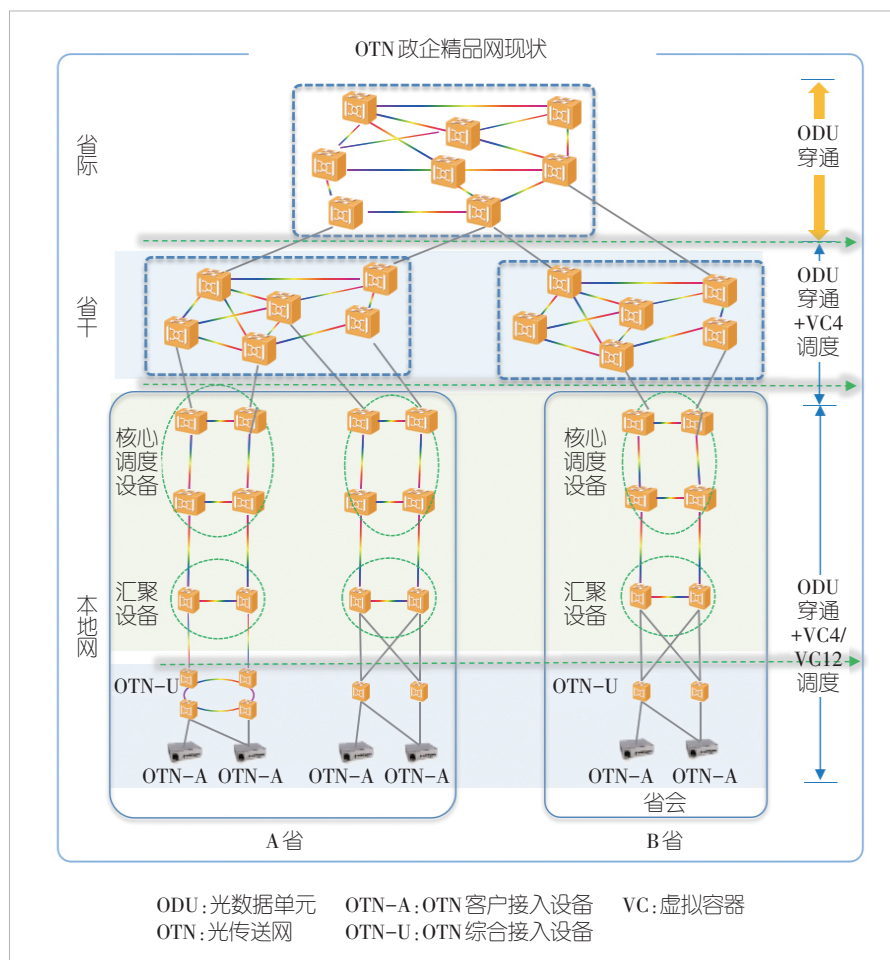


图6 OTN政企精品网现状

率、虚端口配置率等)存在一定瓶颈,难以充分发挥政企OTN网络的整体效能。

图7展示了在政企精品网建设与优化中,本地OTN网络在接入层和核心汇聚层同时引入fgOTN技术实现端到端业务调度的开通方案。在资源利用率方面,10 Mbit/s级别的细粒度时隙通过灵活的时隙复用与交叉调度,可将多条小带宽业务高效汇聚至同一波长通道和高阶ODUk通道中,从而大幅提升带宽利用率,显著节省纤芯和波长资源,提高投资回报率。在业务品质方面,基于fgOTN的管道具备硬隔离和低时延特性,支持端到端时延、丢包等性能感知,有助于提升差异化竞争力。在智能化方面,该方案有利于形成统一的资源池与管控视图,易于维护的同时,为后续引入AI预测性维护、自动弹性调

速等智能化能力奠定基础,且业务智能化开通难度较低。综合考虑以上因素,建议政企精品网在核心汇聚层根据节点功能实现新增业务的fgOTN汇聚与保护,并统筹接入层设备的fgOTN接入及交叉功能引入。

3.4 fgOTN在极简网络中的应用

在“极简网络”的建设过程中,应重点推动“OTN CPE+极简核心”模式的应用。fgOTN在此框架下发挥着关键作用。

在AI边缘节点接入智算中心场景中,网络对时延有极高要求。2025年工业和信息化部办公厅印发《关于开展城域“毫秒用算”专项行动的通知》,明确提出“面向基础设施实现算力中心毫秒互连(<1 ms),面向重点场所实现算力资源毫秒接入(<1 ms),面向应用终端实现算力应用毫秒可达(网络时延<10 ms)”的硬性指标^[5]。AI边缘推理服务器产生的多路1 Gbit/s~10 Gbit/s信号流,可通过fgOTN直接汇聚并映射至骨干OTN网络,无需在边缘侧进行L2/L3交换,从而实现小于50 μs的确定性时延。

在金融高频交易场景中,证券、期货公司需从城区机房直连交易所数据中心,fgOTN可提供10 Mbit/s~1 Gbit/s的物理隔离通道,以刚性管道保障业务安全性。

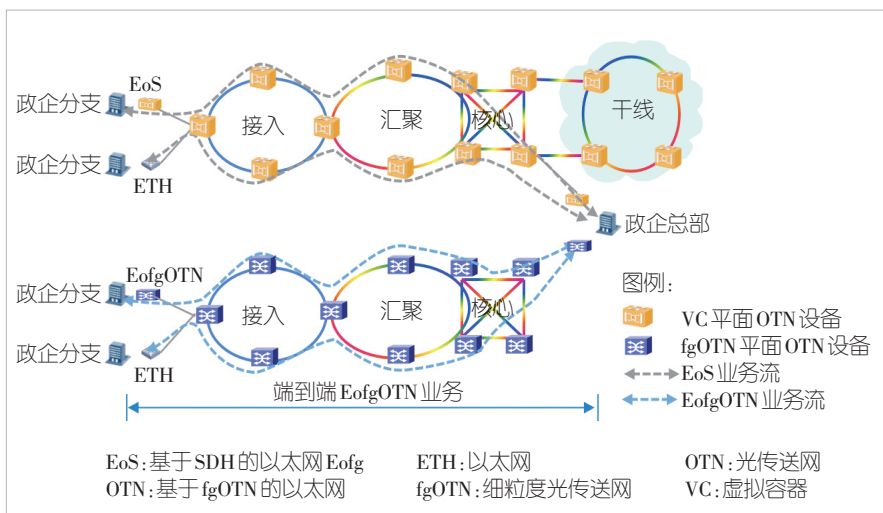


图7 政企精品网fgOTN业务开通方案

在党政军及大企业高品质专线场景中，fgOTN可用于替换老旧SDH、MSTP网络，直接承载E1、STM-1等传统信号，实现SDH类业务向IP/光融合网络的平滑迁移。

4 城域光网络发展思考

基于上述分析，我们对城域光网络未来3~5年的发展提出以下建议：

1) 确立“全光底座+fgOTN顶层”的双层架构：以“800G+ROADM+OXC”构建大带宽、低时延的物理光层底座，以fgOTN为核心构建小颗粒高品质业务承载顶层，逐步替代老旧SDH网络。

2) 加速推进G.654.E光纤在城域核心的规模化部署：新建城域核心光缆直接采用G.654.E光纤，存量G.652.D光纤逐步替换或采用混模传输方式。

3) 推动智能管控平面向AI原生演进：引入数字孪生和AI算力路由，根据智算任务实时负载，动态计算最优光路与fgOTN时隙分配，实现“光算协同”。

4) 坚持标准先行，确保平滑兼容：保障fgOTN与现有OTN网络的混合组网能力，支持业务在传统ODUk与fgOTN时隙间的无损切换，保护运营商既有投资。

AI驱动下的城域光网络正加速向算力感知、品质确定的方向演进。构建“极简、扁平、融合”的城域光网络，将是应对未来智算互联与泛在高品质接入挑战的最优路径，特别是在数据中心内部（DCN）与数据中心间（DCI）实现光传输与光交换的统一。fgOTN作为OTN技术演进的必然方向，精准填补了小颗粒高品质服务的空白，不仅是技术演进，更是产业数字化新型基础设施实现商业成功的关键，对下一代城域光网络的演进，以及数据中心接入（DCA）等多

种接入与承载场景，均具有重要的应用前景。

参考文献

- [1] 瞿少凯, 贺政, 豆晓雷, 等. fgOTN技术及部署策略研究[J]. 长江信息通信, 2025, 38(8): 187-191. DOI: 10.20153/j. issn. 2096-9759.2025.08.056
- [2] 中国联通. AI时代的全光底座白皮书[R]. 2025
- [3] 李俊, 李有胜, 彭纪源. 极简网络在通信运营商中的实施路径与价值重构研究[J]. 江西通信科技, 2025(4): 12-14+44. DOI: 10.3969/j. issn.1009-0940.2025.04.005
- [4] 闫冰, 王玉潇, 武斌, 等. 融合统一的政企专网架构设计与创新实践[J]. 山东通信技术, 2025, 45(2): 16-19
- [5] 工业和信息化部办公厅. 工业和信息化部办公厅关于开展城域“毫秒计算”专项行动的通知[EB/OL]. (2025-10-14)[2026-06-16]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202510/content_7044694.htm

作者简介



王光全，中国联通研究院总工程师、中国联通领军人才、网络通信科学家，教授级高工，享受国务院政府特殊津贴专家；主要研究方向为下一代光网络、下一代互联网和算力网络；主持国家大中型工程设计多项，主持和参与国家“863计划”及重大科研专项多项，曾获2019年WSIS最高奖（C5类）、国家科技进步奖二等奖、国家技术发明奖二等奖、国家优秀设计奖、国家优质工程奖等奖项。



董姗，中国联通研究院光传输研究员；主要研究方向为传输网络、下一代光网络；曾获中国电子学会科技进步奖一等奖、世界互联网大会领先科技奖等奖项。