



OMC

全光城域网白皮书

极简 | 确定性 | 可扩展 | 智能 | 始终在线

作者：伊恩·雷德帕斯

The Enhanced All-Optical Metro Network
CSPs are ready for metro optical network modernisation

Ian Redpath December 2021

OMC

HUAWEI

目录

内容摘要	3
客户更高的性能预期和数字经济共同推动光网络演进	5
客户更高的性能预期	5
业务需求演进	6
5G移动网络需求增长	8
用户需求基线	9
运营商面临的挑战	10
老旧网络的局限性	10
运营商商业案例：促进新营收	11
全光城域网目标架构	12
前所未有的城域网核心规模	12
更高的网络智能化水平：新要素和新功能	14
通过ASON-WSON和健壮的拓扑增强可靠性	15
极简网络	16
网络边缘升级，实现确定性	17
结论	18
附录	20

内容摘要



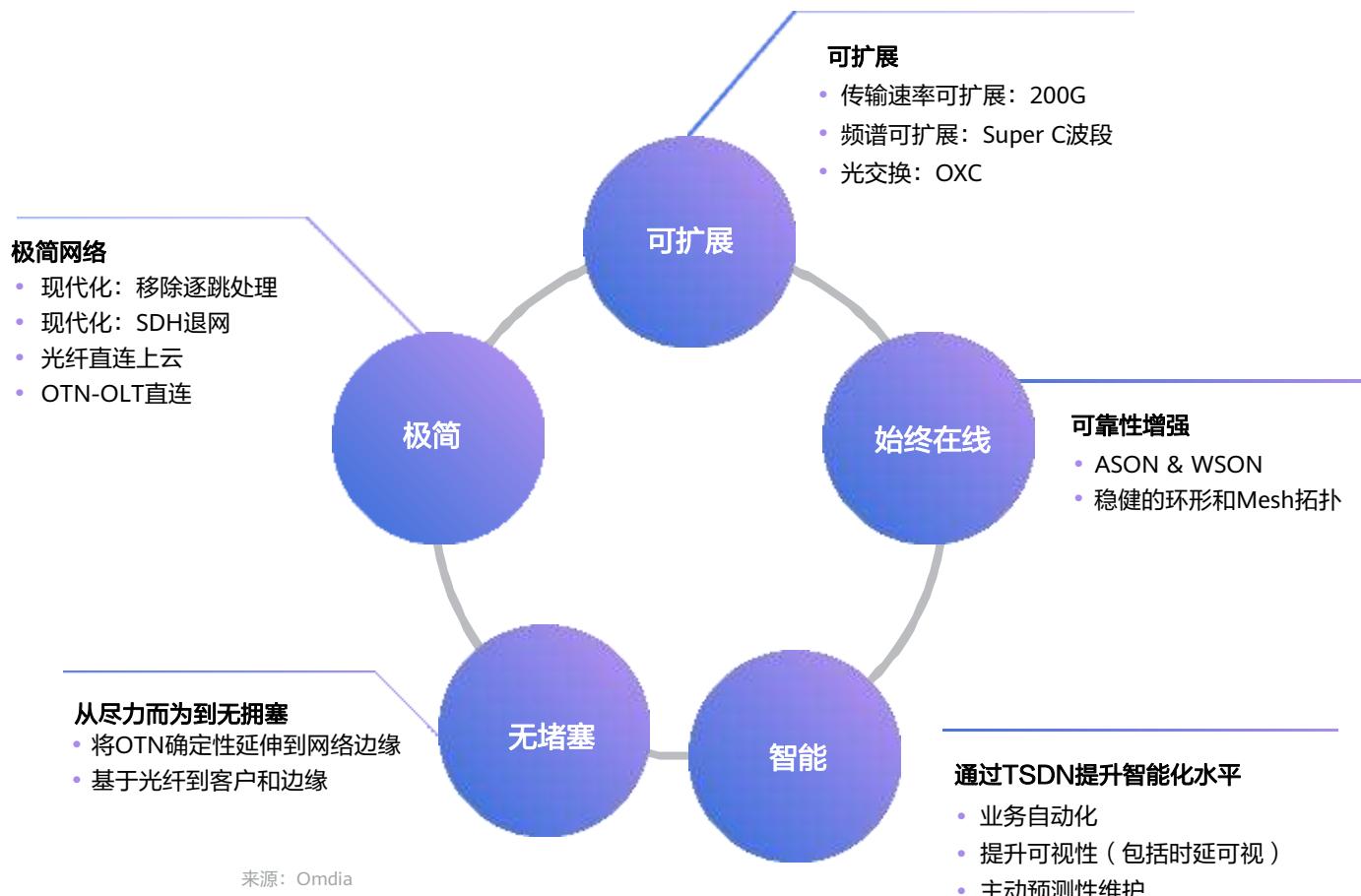
随着数字经济和5G深入发展，网络变革日新月异。企业、家庭住宅、固定和移动客户需要更高的性能和更大的网络规模。

通信服务提供商（CSP）需要克服各种挑战。城域光网络不仅支持零售，而且支持超大容量的批发业务。随着零售和批发业务流量的爆炸性增长，运营商可以利用最新的光网络功能进行网络现代化。

通过网络现代化，运营商可以满足新兴的客户需求。当前，城域网具有很多先进功能和新特性：

- 更强大的扩展性
- 更高的智能化水平
- 业务始终在线，高健壮性
- 极简、扁平化、融合
- 无拥塞、确定性的性能

图1 全光城域网的新特性



网络现代化将整体提升运营商的商业收益。

提高收入

- 确定性体验可以保障关键业务的性能，从而提升收入。
- 运营提升减少业务开通所需时间。快速业务开通有助于实现商业正循环，进一步加速增收。
- 家庭业务性能的提高也能够增加收入。如今，家庭业务不仅仅提供信息娱乐，而是扩展到教育和商业领域。

优化成本

- 网络现代化直接提升机房空间和电源使用效率：
 - OXC和OTN-OLT直连：大幅节省空间和降低能耗
 - 通过TSDN提升运营效率
- 节约资本支出 (CAPEX)：网络现代化可降低单比特成本

客户更高的性能预期和数字经济共同推动光网络演进



客户更高的性能预期

客户的性能预期正在快速演进。以前，客户购买“产品”，比起直接对产品提出要求，随后他们对产品提供的“服务”更感兴趣。现在，客户需求已经更进一步，要求有更好的“体验”。各个垂直行业不同规模的客户，正迅速从“产品经济”演进到“服务经济”，再到“体验经济”。同时，客户也表明愿意为卓越体验支付更多的费用。

业务需求演进

家庭业务 (2H) 需求不断变化

家用客户端运行着多种类型的业务：

聚焦娱乐，如4K/8K视频

多人游戏

大带宽的信息业务

高性能的在家办公和教育业务

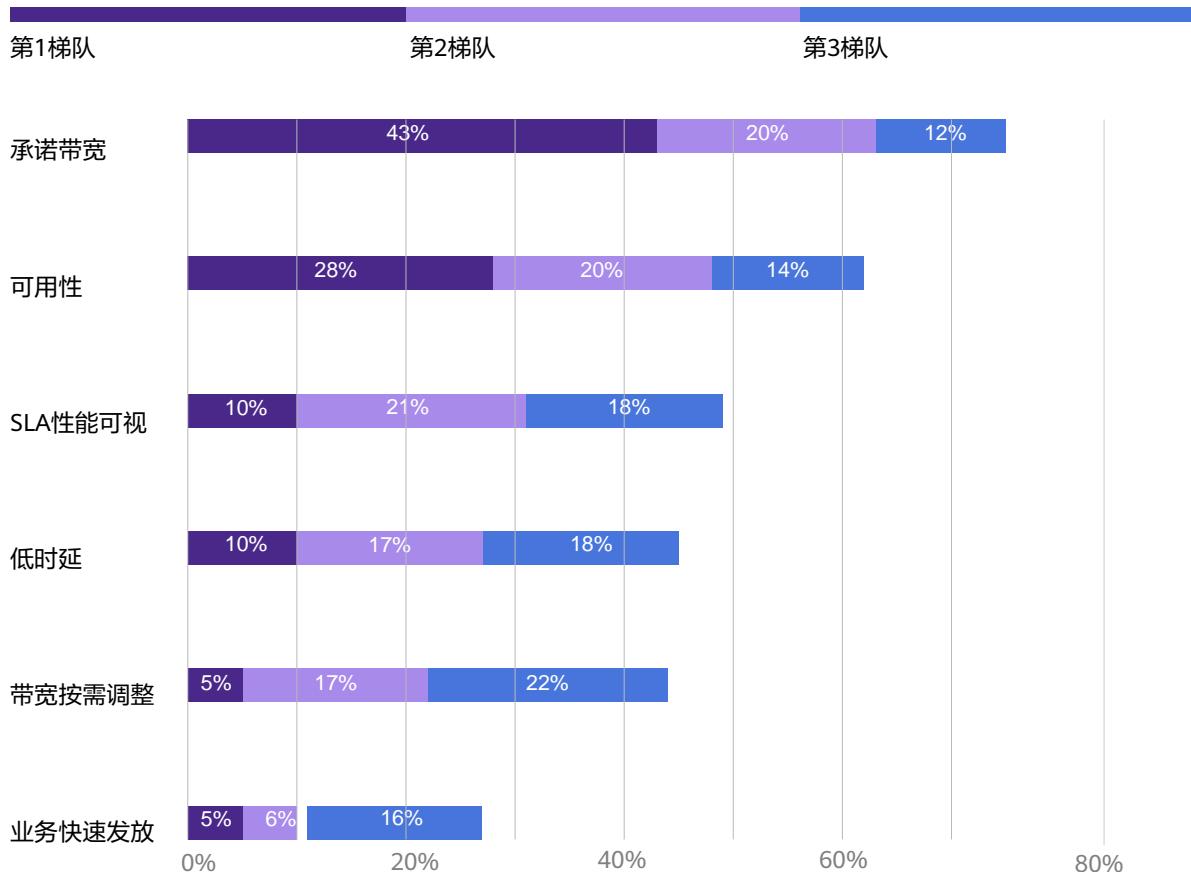
所有都需要高品质上行带宽性能的业务

所有业务不论是单独还是整体上，都需要一个高性能、比前几代更先进的网络底层。家庭业务总体上要求更大的带宽，以支持所有并发的业务。家庭业务不仅仅提供娱乐，而是发展到全面提供娱乐、商业和教育业务，需要保证高可靠且始终在线。以前，很多用户对网络上行的要求不高。而家庭业务类型的转变提高了对上行的要求，特别是视频需求。随着性能预期的提高，必须保证业务的低时延和最小抖动。同时，需要新业务快速发放。另外，总体的安全要求也已经提高，匹配不断提升的业务重要性。

大中小企业的业务需求不断变化

大型企业和中小企业也提高了业务预期。企业界正在经历前所未有的IT转型。过去，计算和存储部署在本地IT设施上。现在，大中小型企业迅速转变为使用混合云和多云的组合。计算和存储现在可能分别部署在相隔一段距离的两个地点，而客户的期望和业务规模都在增长。因此，企业广域网有相应SLA、时延、带宽扩展要求，企业有高可靠、始终在线、低时延、低时延抖动、新业务快速发放的要求。并且，安全是企业生存和成功的基础。

图2 企业专线购买的优先级



Omdia企业调查-专线，2020年2月。N=175，覆盖全球所有垂直行业

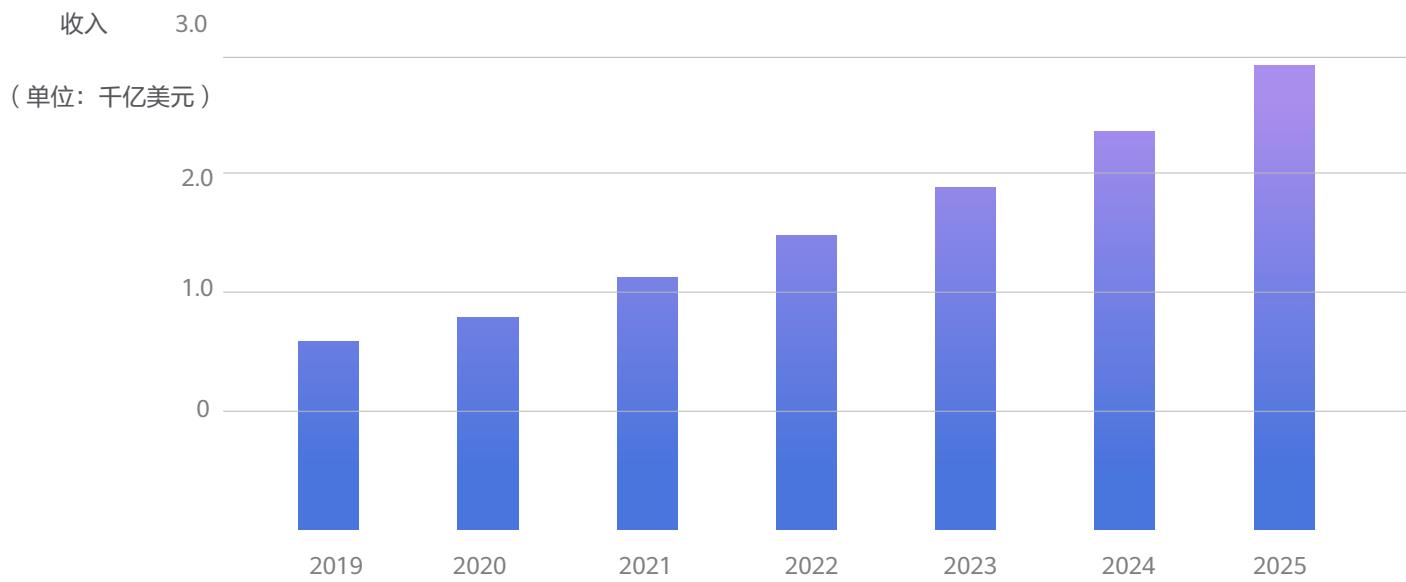
来源：Omdia《专线转型促业务增长白皮书（公开）》

[《专线转型促业务增长》\(informa.com\)](http://informa.com)

云业务增长

目前，城域光网络提升的主要驱动力是云业务。云业务已获得主流企业认可，同时具有巨大的额外增长潜力，包括增加云业务端点及提高每条业务的带宽。云业务可以从任何地方访问——不论是在家办公，企业站点，或出差旅行。随着关键业务迁移到云端，底层的带宽性能要求也更高。运营商要求提升业务和网络性能的可视性，以满足更严格的时延要求。

图3 典型云业务的收入



来源: Omdia

5G移动网络需求增长

移动客户的业务需求不断变化

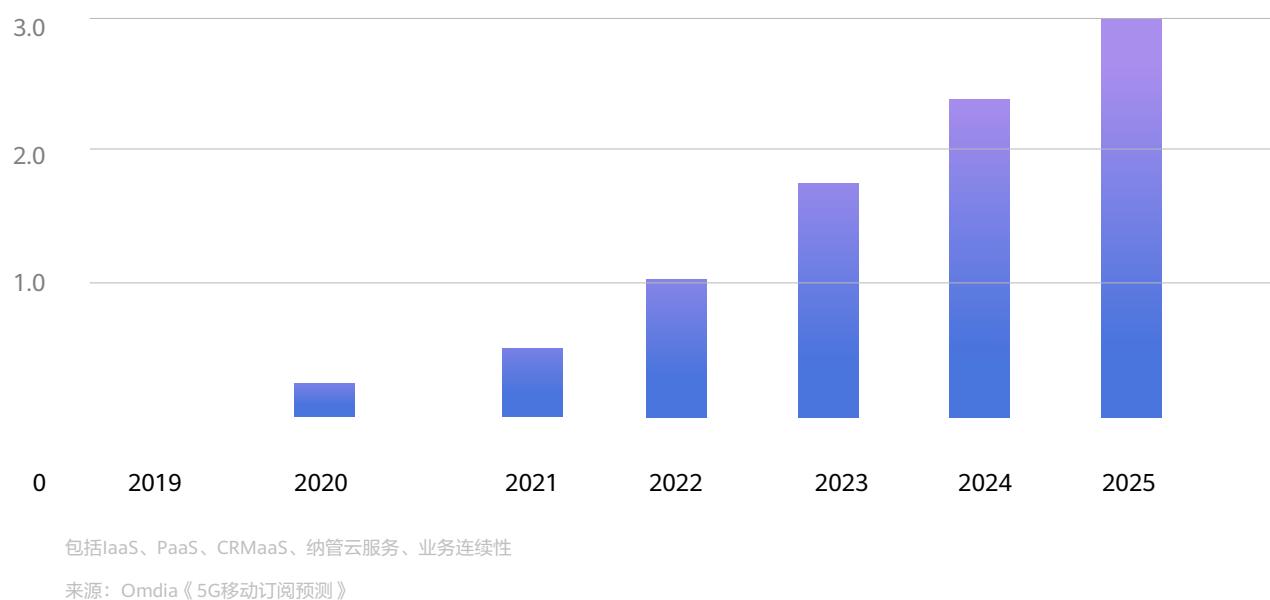
移动客户要求比前几代技术更高的性能和更好的体验。并且，要求网络提供视频和游戏娱乐，大带宽的信息传输，以及高性能的在家办公和教育。固定住宅和企业客户对高可靠性、始终在线、低时延、低时延抖动，以及移动环境中新业务快速发放寄予了更高的期望。同时，移动客户也要求高安全的环境。

5G催化了网络可视性的需求，并且推动了对大量高带宽IP/光终端的需求。进入5G时代，客户更加迫切地需要提升时延规格和网络可视性。



图4 5G移动订阅量预测

5G移动订阅量
(单位: 十亿)



用户需求基线

用户希望获得高质量的体验。将用户需求转换为具体的网络特性，即需要大带宽、低时延、高规格SLA、高可靠性、高安全性、业务快速发放。

运营商面临的挑战

伴随着客户更高的体验预期，业务性能的要求也在不断提升。运营商需要在管控利润和损失的基础上持续进行网络现代化，以最大限度地降低运营成本并创造更多收入。

老旧网络的局限性

老旧光网络和SDH网络的局限性

运营商网络在持续演进。由于资金限制，运营商希望最大限度地利用投资。资金通常用于能够直接或立即带来收入增长的网络部分。光网络固然重要，但有时在网络更新中可能被忽视。此外，光网络和SDH网络需要支撑金融机构等关键客户，而运营商通常不愿意中断关键、创收业务。因此，前几代的光网络和SDH网络可能会老化。

老旧网络的运营成本不断攀升

老旧SDH光网络可能有很多局限性，例如：

运营成本高、能耗成本高、物理空间占用大

早期网络设计

- 两个SDH环之间需要多次转接（多跳）
- 快速流量经过网络路由器中转，浪费额外的路由器资源
- 烟囱式网络管理：光和IP管理系统相互独立
- 端到端业务管理能力有限
- 初始支持的客户带宽很小

当运营商评估引入新一代业务以满足更高带宽和更严格的SLA要求时，将发现自己的处境愈加艰难。并且，安全至关重要，很多客户都担心共享资源网络带来的威胁。

运营商商业案例：促进新营收

视频分析

随着行业继续向5G、物联网、云化演进，全新应用不断涌现，可推动运营商增加营收。为了满足具体的客户需求，越来越多切实可行的视频分析应用案例正在被开发。关键资产、财产和经营场所可以从持续的视频监控中受益。通过使用最新的视频分析应用，客户可以跟踪关键事件，并且可以丢弃非事件的流量，以便节省城域网和存储资源。

品质专线带宽提供云业务

云业务引入了对高带宽、高规格SLA和低时延连接业务的需求。运营商需要将企业客户连接到其云应用和计算资源。此外，客户期望网络的高度安全，能够实现与其它业务和客户之间的硬隔离。

品质家庭业务，企业共同出资

另一个具备潜能的新业务是专业、企业级的家庭业务。过去，家庭带宽都是尽力而为、无保护、不可靠、不安全，收入来自消费者的娱乐预算。伴随家庭需求变化，住宅客户及所属企业或中小企业雇主希望能拥有一个能够在家办公的专业环境。基本带宽要求如下：

提供快速、无缝衔接和多种故障切换的能力

为住宅中多个用户提供大带宽

满足高规格SLA要求，在家庭环境中支持企业业务

全新高性能的连接的价格将会更高，但费用支出会向包括企业预算在内的新模式转变。

因此，为了增加收入和最大限度地缩减运营成本，很多运营商需要更新网络以实现网络和业务的现代化。

全光城域网目标架构



前所未有的城域网核心规模

运营商城域网核心需求

在城域网核心，个人客户的需求已汇聚成运营商网络扩展需求。运营商需要高效地管理庞大的扩展规模，以及资本支出和运营支出预算。此外，运营商还需要以最低的资本支出来保证运营效率。因而，需要设定优先级，并进行复杂的权衡取舍。与此同时，技术正在迅速演进，将带来难以预见的带宽增长。

高性价比的频谱效率，匹配小型化

运营商希望将频谱和成本效率最大化，尽可能地减少物理空间占用。现有的扩展方案是，使用小型封装可插拔（SFP）模块实现单波200G传输。200G方案可以经济高效地满足大部分覆盖需求，不需要中继。通过该方案，SFP模块可将所需的物理空间降至最低，而更高速的解决方案也可借此机会进入市场。通常，前沿解决方案需要一段时间才能发展成熟，封装尺寸进一步缩小，容量进一步提升，才能具备经济吸引力。

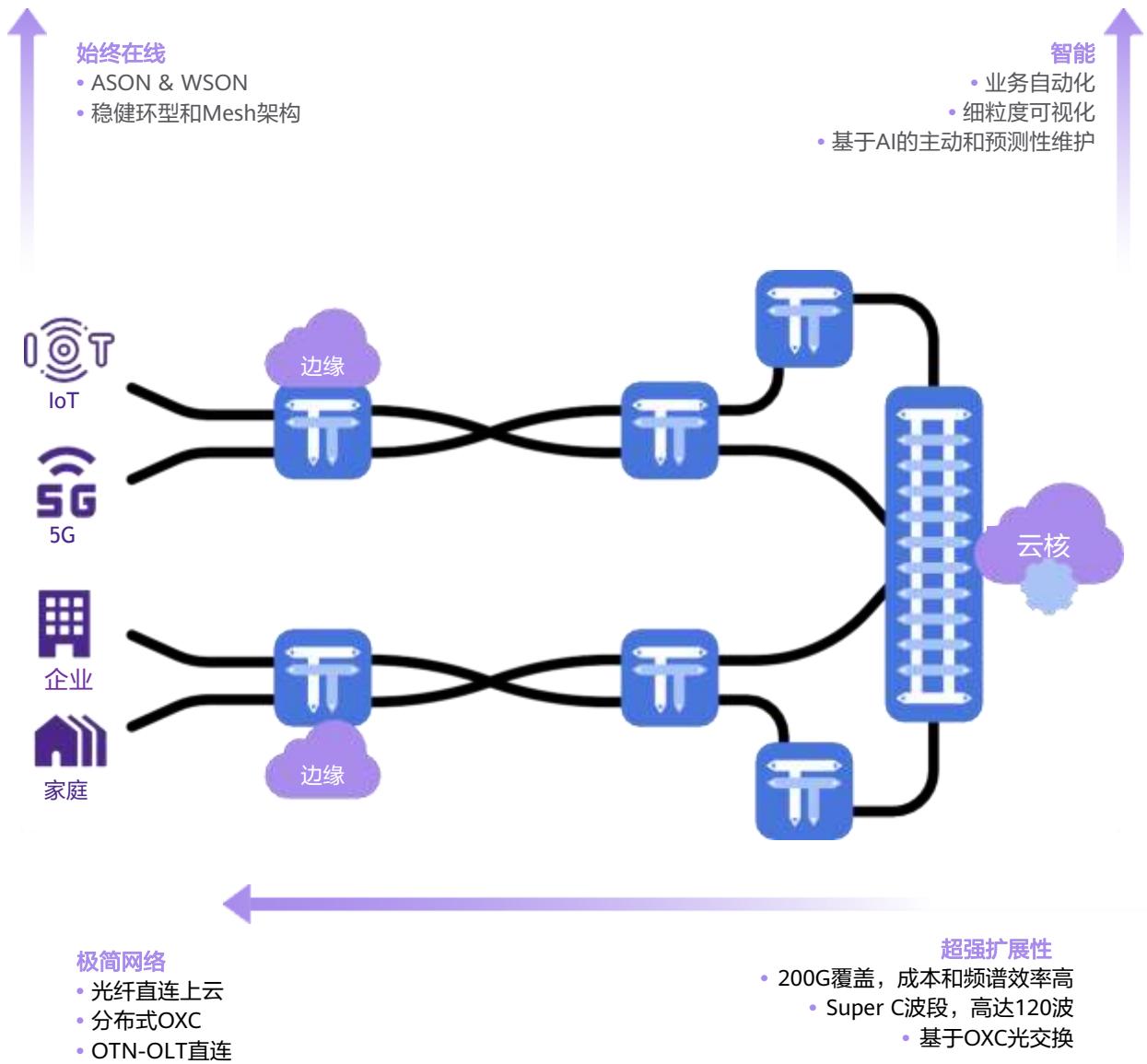
高频谱利用率

传统的光网络使用C波段80波长。如今，现代化网络使用Super C波段中更多的频谱，实现高达120波长。随着L波段的扩展和经济吸引力的提升，L波段方案也将会获得行业青睐。

通过OXC进行光交换

传统的光网络通常终止于大型CO中的点对点或光环网系统。在终止处，光信号被转换为电信号进行电交换。随着时间的推移，电交换的需求急剧增长，而大规模的电交换需要消耗大量物理空间和电能。行业最新的超大规模光交叉连接（OXC）技术基于光背板实现，支持城域接入和汇聚系统，在不进行“光电光”转换（OEO）的情况下直接进行光交叉，将信号传输到其它城域或长距系统。OXC是支持“全光化”的重大创新，它减少了大量的电交换需求，并降低了相应的运营压力。如果运营商的电力来源为基本依赖化石燃料的电网，运营商网络将会产生显著的碳足迹。而新一代技术的数据传输和处理的单比特能耗较低。实现每Gbps交换，光技术比电技术更加节能。运营商通过引入OXC取代电交换，进行超大容量的交换，可以降低其每Gbps交换的功耗。光交换的每Gbps功耗更低，降低了电网的碳排放，是一种更环保的选择。同时，OXC通过将业务保持在光层，降低了时延。

图5 全光城域网



更高的网络智能化水平：新要素和新功能

从如下三个方面，增强型网络管理平台推进人工操作转变为数据驱动的自动化操作：

从过去不透明的光层获取更多
网络性能数据

下一代光域控制器和网络
协同器

及时支撑运营商的一系列新
运营工具、程序和应用

可获取光网络的数据，掌握实时状态信息

光网络领域，一个令人振奋的新功能是从光层获得更丰富的光性能数据。相干光技术主要用于增加带宽容量，同时推动先进光系统性能仪器的发展。可以实时监控光性能，并跟踪更多关键指标，如有效信噪比、色度色散、纠错误码率、时延。增强的光性能可视性可以扩展到光网络边缘。

TSDN：配备先进应用的下一代域控制器

运营商可以通过部署下一代控制器来应用新功能。基于更完整的网络视图，运营商可以利用不断完善且覆盖不同层级的先进数据分析功能、程序和应用。新功能和运营工具可以嵌入到现有的下一代网络管理系统。

TSDN的不断发展确保了敏捷业务和智能运维，TSDN可以实现网络性能可视化，特别是带宽、时延、可用性的可视化。它还可以帮助加快业务配置和业务发放，将业务开通时间从几周缩短到几天。同时，TSDN可以监控网络劣化案例，预测结果，突出显示潜在问题的纠正措施，并融合了越来越多的预测功能。TSDN促进了网络质量和客户满意度的提升，最终提高网络运营商的投资回收率（ROI）。

提供即时收益的有效应用

基于更完整的网络视图，运营商可以利用不断完善且覆盖不同层级的先进数据分析功能和应用。例如，运营商可以回收未使用的带宽，加强网络规划，并改善故障管理。

运营商可以从具有大量生命周期终止（EOL）余量的静态运营演变为低余量、基于业务开通时间的规划，最终演进为“无余量”的动态运营。另外，一个非常实际和直接的收益是，运营商可以从200Gbps波长升级到400Gbps波长的网络案例中，获得容量提升的即时收益。

通过更细粒度的网络性能可视化，可以长期跟踪信道功率和噪声等关键参数，并结合预测算法，实现更精确的网络开通。新路由可以提前评估，从而实现自动开通，降低上下波和波长变化引起的风险。

同时，可以实现故障抢占，网络性能预测可以帮助识别未来可能出现的故障场景，支撑运营商主动采取措施，提前修复。

通过ASON-WSON和健壮的拓扑增强可靠性

健壮的环形和Mesh拓扑

网络单一支路容易产生单点故障。多个光连接路径增强了网络的健壮性，客户端可以通过至少两条不同的路由进行连接。在网络核心，可以进一步实现全Mesh光网络，确保在多故障场景下的网络生存性。通常，网络领先者至少有三条不同的分离路由连接关键资产。

ASON & WSON，使能快速重启和智能恢复

自动交换光网络（ASON）已在光领域市场应用多年，有助于实现故障场景下的业务快速开通和快速重路由。波长交换光网络（WSON）还可用于快速的单个波长管理。通过恢复能力的提升，恢复时间由几分钟缩短到仅几秒钟。先进的智能算法可用于灵活管理频谱，旨在最小化频谱碎片。ASON & WSON可支持多达数千个网元的超大规模网络。

极简网络

通过SDH现代化实现客户端一跳入云，逐步淘汰逐跳路由：传统SDH网络的设计将流量从一个环切换到另一个环，环与环之间的流量可能进入路由器层，这种传统路由增加了时延和成本。运营商可以将其WDM基础设施从网络核心扩展到客户站点，从而实现网络现代化。从客户端一跳入云将提高网络性能，并简化操作。

可以将核心网节点OXC的光交换功能扩展到网络的汇聚部分。由于不需要多层交换或电交换，分布式OXC提升了网络灵活性。

CO站点OLT-OTN直连和分布式网络汇聚点：在网络核心，网元可以高度专业化，以大规模执行特定功能。在网络边缘，众多不同类型的客户端和业务需要经济、高效地聚合，网络要求多种多样。如果运营商为每种客户端和业务都部署专用网元，则性价比很低。多年来，多功能集成一直是边缘网络的大趋势。无源光网络（PON）可用于服务住宅和中小企业客户，业界最新的接入架构融合了PON接入能力与城域波分接入和汇聚能力，减少了多网元场景。PON-城域WDM互联平台可作为固定业务、移动业务、企业业务的综合业务接入点，从多方面提升运营效率：

为小型办公室接入场景节省物理空间

尽量减少不必要的“光电光”转换，扩展全光网络

将业务保持在光层，降低时延

通过OLT直接上联OTN，节省光缆

提供现代化架构

此外，OTN功能可以扩展到PON网络的接入点，进一步扩大OTN的端到端覆盖范围。

网络边缘升级，实现确定性

光纤到客户

客户端种类丰富，因此网络边缘的情况复杂多变。网络边缘可能包括多个使用不同固定或移动接入方案连接的企业和住宅。随着物联网的持续发展，很多传感器、摄像头及其它物联网设备也将连接到网络。理想情况下，光纤连接应扩展到尽可能多的客户端。大型企业可以直接在本地进行光纤连接，家庭可以通过PON方案或其它非光纤方案进行连接。5G是移动客户的无线连接方式，理论上光纤可以从无线塔回传到网络核心。物联网传感器和摄像机也可以光纤直连或与汇聚光纤连接。在物理和经济条件允许的情况下，运营商将进一步将光纤深入部署到客户分界点。运营商的目标是最终为物联网实现光纤到基站（FTTM），为家庭实现光纤到户（FTTH）和光纤到房间（FTTR），以及为大中小企业连接实现FTTR和光纤到办公室（FTTO）。

OTN下沉到客户边缘

OTN技术从以下几个方面满足了客户对大带宽、高安全性、高规格SLA、低时延的需求：

OTN通过共享物理资源实现硬隔离，安全性最高

OTN支持从2Mbps到400Gbps（未来将更高）的带宽

通过可保证低时延的主路径和预定义的低时延故障倒换路径，OTN可支持确定性业务性能

OTN可提供端到端路径可视，保障客户业务

结论

面向未来，升级城域光网络

云和5G业务将在盘活的光网络基础设施上运行。城域光网络正在迅速扩展，数百万相干光端口正在运行。光网络的覆盖范围不断扩大，满足云和5G终端的高密度需求，并通过分布式边缘计算支持现代化架构。运营商网络规划者不仅要为已知流量优化现有网络，还要为未来难以预估的流量增长做好准备。

运营商利用新工具重新定位，实现全光未来

考虑城域网演进的运营商在如何匹配未来流量进行高效建网方面面临显著挑战。运营商可使用的新工具和方法包括：

全光城域架构：OTN下沉到边缘，OXCT下沉到CO，支持Liquid OTN

极简城域架构：光层一跳入云

更宽的可用频谱：当前的Super C波段和未来可扩展L波段

当前的高性价比、频谱高效、小型化的200G解决方案

新网元OXC，充分地提升全光交换和运行效率

TSDN和ASON实现先进的多层运行，最大限度地提高网络健壮性

用户希望获得高品质的体验。将用户需求转换为具体的网络特性，即大带宽、低时延、高规格SLA、高可靠性、高安全性、业务快速发放。

网络现代化的价值

网络现代化通过优化收入前景、节省资本支出和降低运营成本，整体提升商业收益：

高性能、低时延、业务快速发放提升收入

高性价比的网络结构优化每比特成本：C+L波段，200G，OXC，城域光网络和PON融合，光层一跳直达架构

通过升级到现代化城域网，不断优化运营成本

- 通过现代化充分使用光信号，节省了大量空间和功耗
- 通过切换至新的光网络管理平台，进一步降低运营成本

附录

作者

伊恩 · 雷德帕斯 (Ian Redpath)

传输和组件部门, 执行主管

ian.redpath@omdia.com

联系方式

www.omdia.com

customersuccess@omdia.com

Omdia咨询

Omdia是一家领先的数据、研究和咨询公司，致力于帮助数字服务提供商、技术公司和企业决策者在互联数字经济中蓬勃发展。我们的分析师来自全球各地，为客户提供IT、电信和媒体行业的专业分析和战略洞察。

我们为客户提供实际可行的洞察来支持业务规划、产品开发和上市计划，从而为客户创造业务优势。我们能够提供独特的权威数据、市场分析和垂直行业专业知识，帮助客户作出决策，并采用新技术以及不断演变的商业模式。

Omdia 是Informa Tech的分支机构。Informa Tech是技术、媒体和电信行业的B2B信息服务商，已在伦敦证券交易所上市。

希望本分析报告能够帮助您作出知情并具有创造力的商业决策。若您还有进一步需求，Omdia 咨询团队希望能够帮您确定未来的趋势、抓住机遇。

版权与免责声明

本出版物引用的Omdia研究、数据和信息（统称Omdia材料）的版权均为Informa Tech及其子公司或附属公司（统称Informa Tech）或第三方数据提供商所有，仅作为Informa Tech的数据、研究、意见、或观点表达，而非事实陈述。

Omdia材料是截止发表之日（而非文档日期）的信息和意见陈述。Omdia材料中的信息和意见如有变更，恕不另行通知。Informa Tech没有义务或责任更新Omdia材料或本出版物。

Omdia材料按“原样如实”提供。对于Omdia材料中所包含的信息、意见和结论的公正性、准确性、完整性或正确性，不作任何明示或暗示的陈述或保证。

在法律允许的最大范围内，Informa Tech及其附属公司、高级职员、董事、雇员、代理人和第三方数据提供商对Omdia材料的准确性、完整性或使用不承担任何责任（包括但不限于因疏忽或过失产生的责任）。Informa Tech在任何情况下均不对基于或依赖Omdia材料做出的任何交易、投资、商业或其他决策负责。