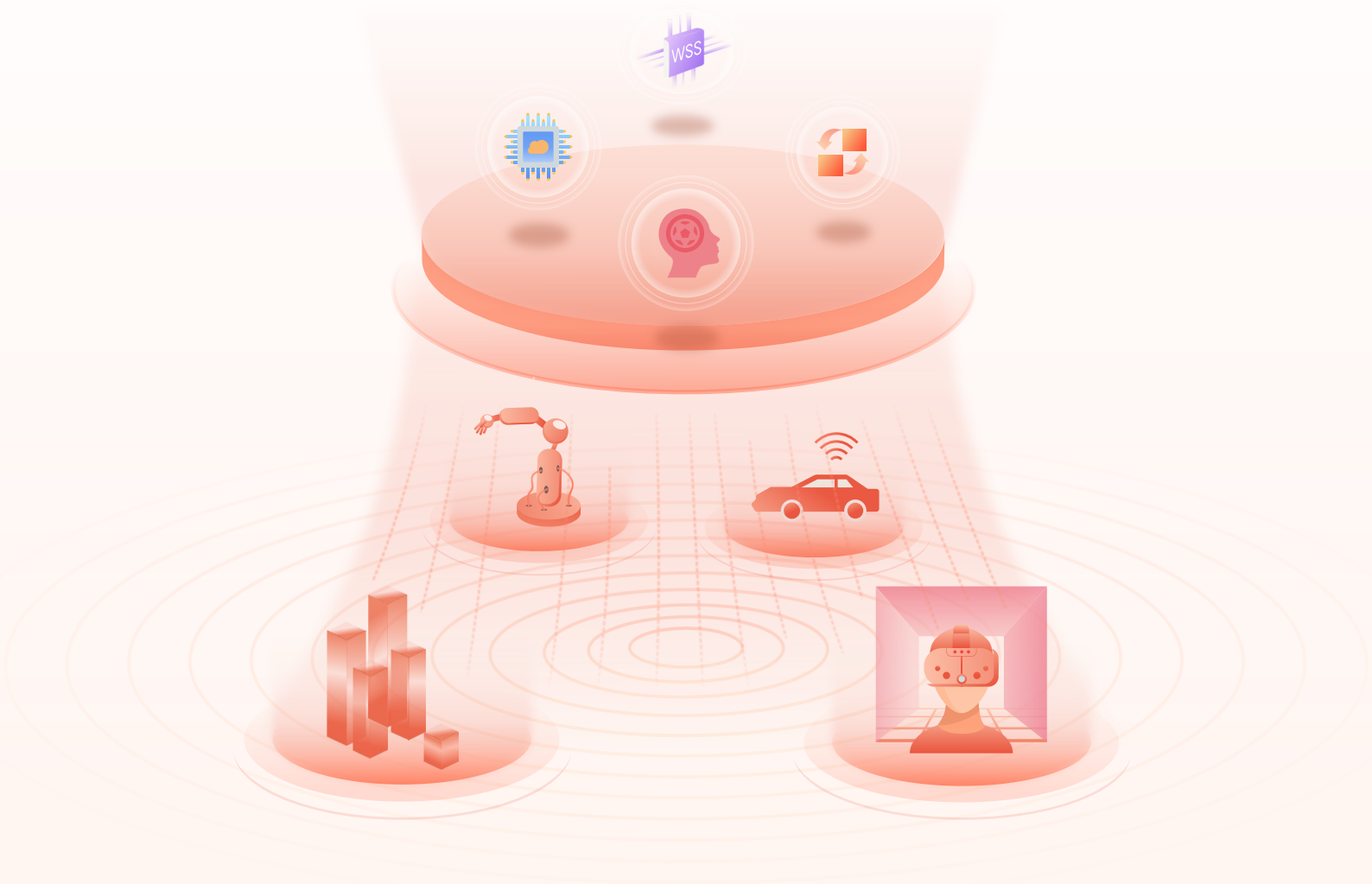


池化波分打造 城域全光底座白皮书



序言

中国联通结合自身战略和业务发展，推进CUBE-Net 3.0网络架构；以集团“1+9+3”战略规划为指引，主动支持算网融合发展的需求；面向算力时代，中国联通在2022年517电信日上基于ROADM+OTN全光网，发布了中国联通的算力时代全光底座；中国联通研究院随后在2022年5月30日发布了《算力时代的全光底座白皮书》。

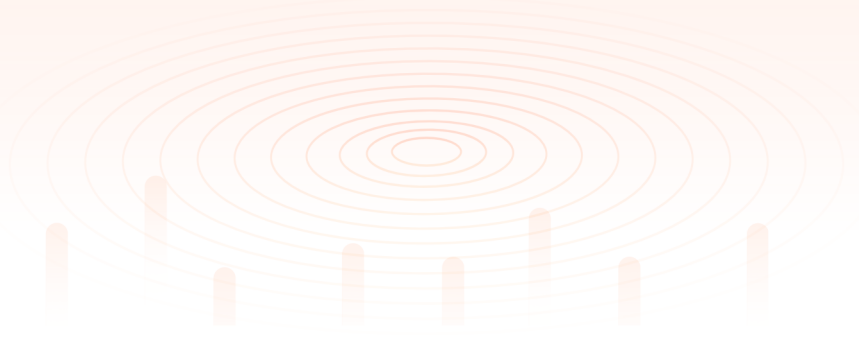
联通骨干网络是基于ROADM/OXC+OTN的全光运力统一架构，针对东数西算可实现一跳直达、通过多路由可以实现时延与可靠性提升、同时可以统一承载互联网业务、DC间业务和政企专线业务、并具有明显的架构、技术和成本优势。将当前骨干网络的ROADM/OXC+OTN架构向城域网推进，构建中国联通统一的端到端全光运力网络，是实现联算、联云、联企、联家大连接战略的最优路线。

目前中国联通已基本完成骨干ROADM/OXC+OTN建网，但在城域网内普遍采用传统的FOADM组网，波长调度需要到站点手工连纤，自动化程度低；综合业务接入点到汇聚站点灰光及光纤直连较多，光纤资源消耗多，可靠性低；以上城域特点难以满足算力时代灵活调度及快速TTM需求，结合业务与带宽增长趋势，现有建网模式也非成本与架构最优；城域需要借鉴骨干网的E2E ROADM/OXC+OTN综合承载模式。但城域网与骨干网的场景有显著的区别：站点数量百倍增长、连接距离更短、波长数量需求比骨干少、机房条件更紧张；干线的ROADM和100G+技术都是基于长距技术，高性能高成本，经济性成为城域建设E2E ROADM+OTN的主要阻力。因此在城域网中需要结合城域业务场景，推出经济性更好的技术和建网方案，实现城域E2E ROADM+OTN架构。

在当前复杂多变的国际形势下，自主可控的国产化产业链是确保网络安全的底线要素，科技领域也成为大国竞争博弈的焦点，通信网络作为国家最重要的基础设施，持续安全稳定运行是第一考量点。2022年9月生效的《美国芯片法案》中包含对光芯片的补贴；2022年10月，美国进一步升级对中国获取美国半导体技术的限制，使中美科技战的风险大增。因此在光技术和产业链的选择上，要保持底线思维，坚持核心技术可控，推进关键部件国产化，以确定性的国内产业链应对不确定性的国际形势变化；在最极端情况下，能保障中国联通光底座持续发展，这也是保障国家数字信息基础设施安全运营的基础。

本白皮书结合联通城域的业务驱动，技术演进驱动，提出城域的目标网架构，同时结合国产化、自主可控的技术及架构创新的城域池化波分解决方案，以少空间，高自动化，经济的建网成本助力城域实现E2E ROADM+OTN建网，一张网络实现城域联家、联企、联算，一次建网，10年技术演进无忧，带宽增长无忧，实现城域运力网络的技术、架构、建网成本最优，同时实现产业链国产化自主可控。

目录



01 算力时代城域需要E2E ROADM+OTN的运力网络	1
1.1 算力时代城域网建设的关键驱动力	1
1.1.1 流量驱动，城域需要E2E大带宽能力	1
1.1.2 云-边-端协同驱动，城域需要E2E ROADM+OTN/OSU调度能力	2
1.2 算力时代城域网的架构及技术选择分析.....	4
1.2.1 综合业务接入点到汇聚站点建网模式	4
1.2.2 城域核心到汇聚站点建网模式分析	5
1.2.3 城域网建网技术分析.....	5
1.3 算力时代城域网目标网	7
1.3.1 城域网目标网：落实CUBE-Net 3.0，打造行业领先的城域E2E ROADM+OTN目标网架构	7
1.3.2 城域网目标网关键特征及价值总结	8
02 城域池化波分助力城域网目标网实现	10
2.1 建设E2E ROADM+OTN全光业务城域网的挑战	11
2.2 开创性的城域池化波分方案，打造最佳城域ROADM+OTN全光业务网底座	11
2.2.1 池化ROADM板卡：一板多功能，高集成度，资源共享	12
2.2.2 接入站点T-ROADM创新：FOADM投资实现ROADM价值，实现ROADM架构到边缘	13
2.2.3 城域100G/200G：降低电层成本，结合OSU提升带宽利用效率	13
2.2.4 光波长数字标签：打造ROADM网络数字化底座，自动驾驶能力提升.....	14
2.3 池化波分打造E2E ROADM+OTN全光业务城域网的价值.....	15
2.3.1 池化波分通过架构及技术创新，使能城域E2E部署 ROADM+OTN	15
2.3.2 池化波分实现城域网运力网络TCO最优	16
03 城域池化波分关键技术	18
3.1 全光交换	18
3.2 城域相干线路技术	19
3.3 光层数字化技术.....	19
3.4 OSU技术	19
3.5 网络安全与自主可控	19
缩略语	20

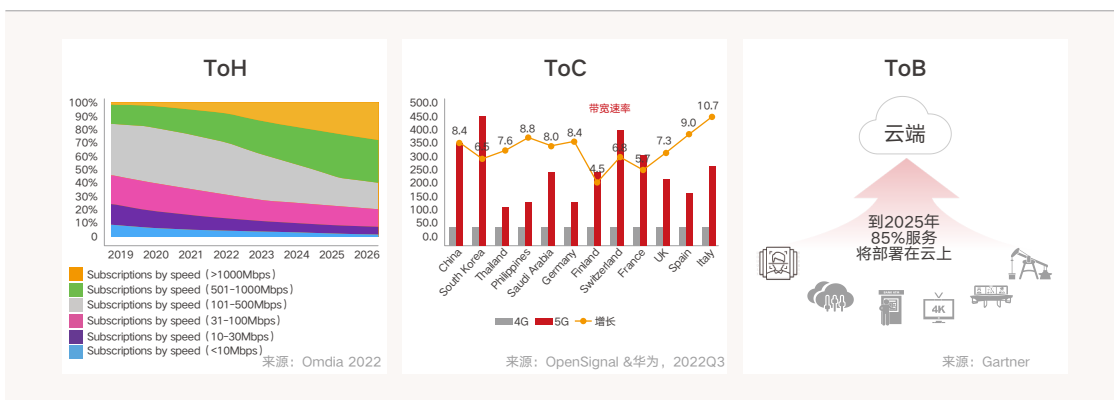
01 算力时代城域需要E2E ROADM+OTN的运力网络

1.1 算力时代城域网建设的关键驱动力

1.1.1 流量驱动，城域需要E2E大带宽能力

- ToH：高速率用户持续提升，500M/1G用户逐步是主流，预计在2026年超过50%，中国千兆战略使得ToH用户提速方面更是走在全球的前列。
- ToC：5G用户占比持续提升，5G带宽速率是4G 5-10倍，5G促进MBB带宽年增长60%以上。
- ToB：政企业务的持续云化，业务云化相当于企业局域网延伸，需要高品质的带宽连接企业与云中心，带来ToB专线带宽持续高速增长达20%+以上。

图1 带宽增长趋势



以联通某城市为例，结合近几年不同业务的带宽实际增长，及未来业务趋势，预测未来3-5年城域带宽增长趋势如下：

表1 不同类型流量增长比例

类型	年增长率
ToH 用户流量	30%左右
ToC 移动互联网流量	60%左右
专线流量	35%左右
IDC 出口带宽	30%左右

城域综合业务接入点带宽普遍超过100G，结合城域3类站点（综合业务接入点，汇聚，核心）目前典型带宽及未来预如下：

表2 不同类型站点带宽需求分析

典型站点	现在带宽	2030带宽预测（增长3-5倍）
综合业务接入点	向上100-200G左右	500G左右
汇聚节点	向下T级别，向上300-500G左右	向下5T，向上2T
核心节点	向下2T级别，CR间T级别	向下10T 级别，CR间5T级别

综合业务接入点带宽目前达到100G左右需求，到2030年，普遍具备5倍带宽增长需求，城域需要E2E大带宽能力。

1.1.2 云-边-端协同驱动，城域需要E2E ROADM+OTN/OSU调度能力

联通集团在CUBE-Net 3.0中提出，新一代数字基础设施需要联接、计算与数据融合，需要云-边-端提供“智能融合”服务。

图2 业务需求变化

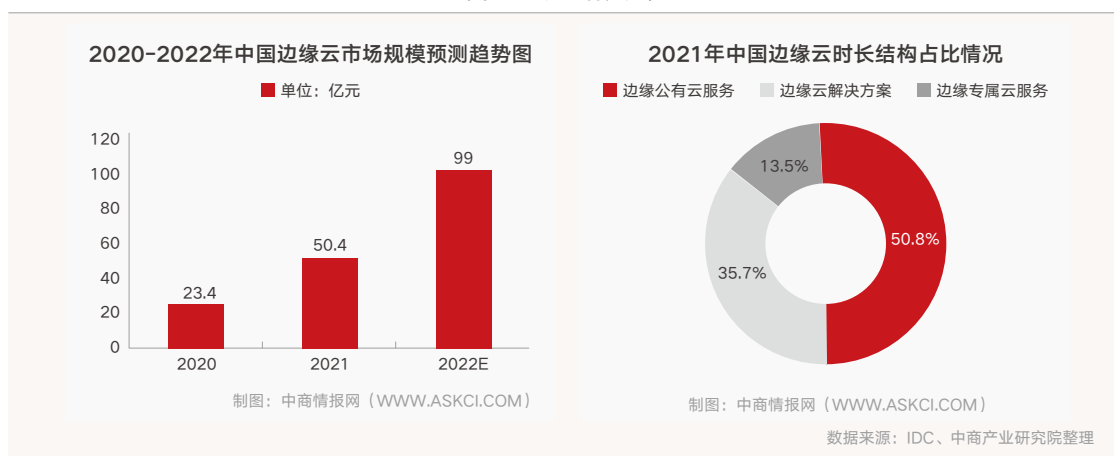


CUBE-Net 3.0结合业务变化趋势，关于业务流量变化及云-边-端协同的观点如下：

1. 产业互联是互联网的下半场（ToC是上半场），产业互联对网络品质要求更高。
2. 数据流量流向的变化：机器视觉，自动驾驶等AI业务场景主要是数据上行，不同于ToC的以下行为主。
3. 新业务的变化需要运营商提供“云-边-端协同的智能服务”，不同于ToC业务的云DC集中分发。

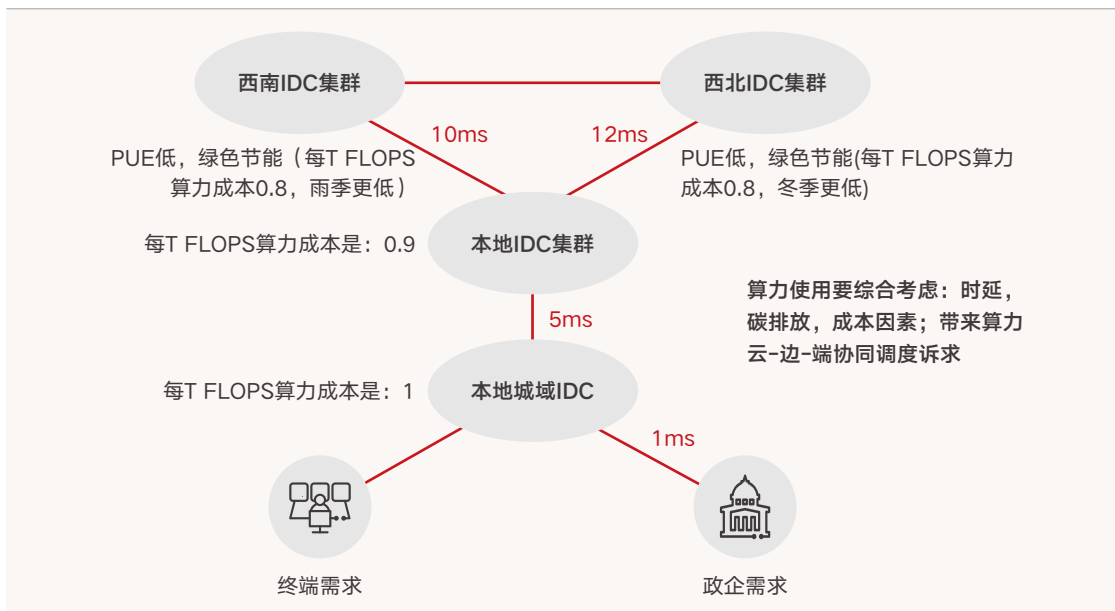
OTT低时延业务驱动OTT部分业务下沉边缘云；政企业务云化，驱动本地低时延业务落地本地边缘云、行业云；从边缘云实际增加情况看，业务年增长达80%以上。

图3 边缘云增长趋势



国家双碳战略及东数西算战略，算力使用要考虑时延，碳排放，能耗成本，将进一步加速云-边-端算力协同发展。

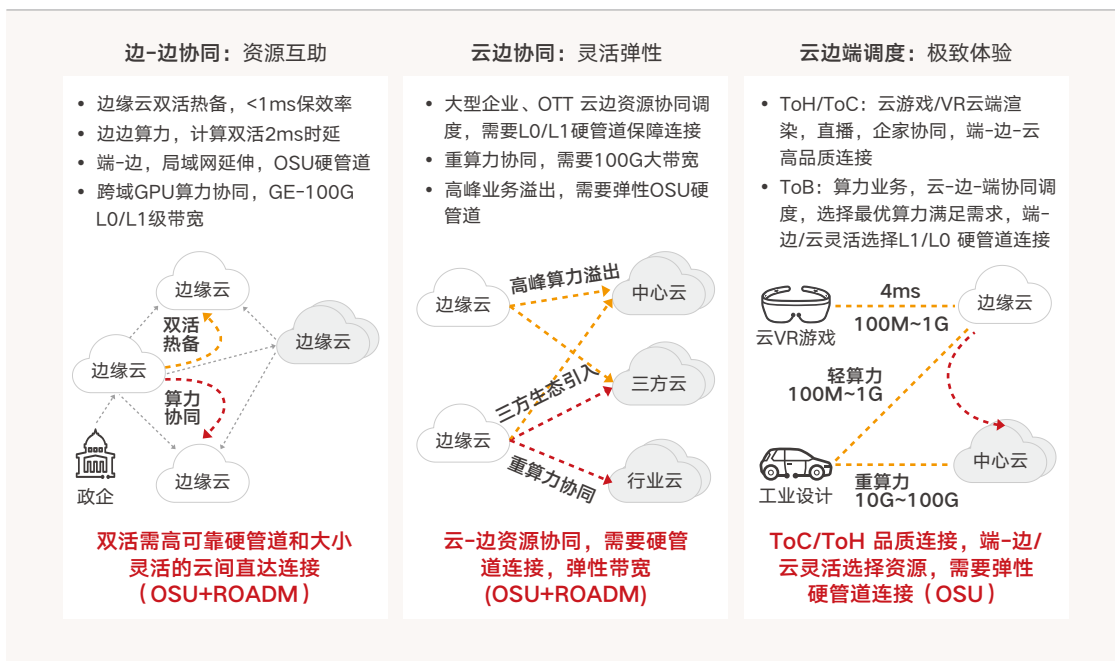
图4 双碳战略下，不同DC协同，实现算力成本最优



东数西算发改委规划期望，70%新增算力分布在集群，30%新增算力分布在城域，城域以低时延算力需求为主；算力需求主要来自于城域，但算力资源主要分布在集群，就需要云-边-端算力资源协同调度满足需求，实现体验无差异的情况下，算力成本与碳排放最优；不同季节，西部的算力成本还有差异性，就需要网络提供大带宽，高品质，灵活调度的能力。

云-边-端协同调度，城域需要端到端的OSU/L1+ROADM/L0调度能力。

图5 云-边-端协同

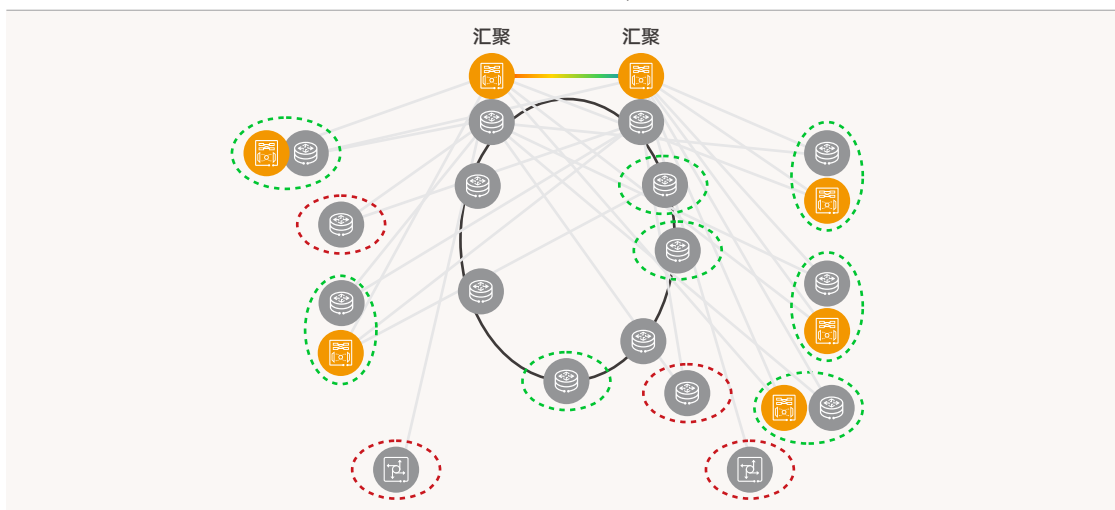


1. 城域内部边-边协同：城域每个边缘DC算力资源有限（一般<100架），针对城域低时延算力需求，需要边-边算力协同形成算力资源池，算力资源池双活业务需要确保1-2ms绝对的低时延，仅基于硬管道的E2E OSU/波长能满足需求，同时算力协同不同时间段需求不一致，因此也需要OSU具备灵活弹性调整能力。
2. 云-边协同：对于重算力需求（如渲染，训练）需求，边缘云需要提交数据到中心云，需要云-边间具备弹性OSU/波长级的调度能力。
3. 云-边-端协同：针对云游戏、视频点播、VR等业务，需要云-边-端协同，需要的算力由终端、边缘云、中心云协同完成；针对工业及政企部分算力需求，也是由终端、边缘云、中心云协同完成；为确保用户体验、算力的高效利用，端-边-云需要具备OSU 硬管道弹性连接能力。

1.2 算力时代城域网的架构及技术选择分析

1.2.1 综合业务接入点到汇聚站点建网模式

图6 汇聚到综合业务接入点，多种接入模式



城域综合业务接入点到汇聚站点，目前普遍是不同类型的设备通过环、链、灰光模式或光纤直连模式与汇聚节点互联，汇聚站点采用大量光纤连接综合业务接入点，主要总结如下：

图7 综合业务接入点-汇聚连接模式分析



在2022-2030带宽还有5倍增长潜力下，综合业务接入点到汇聚采用已有模式，难以为继，波分下沉综合业务接入点，在综合业务接入点通过波分实现多种业务的统一接入与传送，可解决目前架构模式带来的问题点，波分下沉综合业务接入点是未来演进趋势。

1.2.2 城域核心到汇聚站点建网模式分析

城域核心间Mesh互联是行业共识，汇聚节点普遍采用波分覆盖，汇聚站点上行目前普遍带宽资源在1T内，一对光纤容量可达24T，一个汇聚环光层利用率在20%左右，在此种情况下，建多套光层及电层，光纤/机房/光层设备资源浪费严重；在带宽能满足情况下，一张网综合承载最优。

图8 多张网vs一张网综合承载



1.2.3 城域建网技术分析

• FOADM对比ROADM分析

传统FOADM模式自动化程度低，如E2E 部署一个波长，除了在业务上下站点需要人工操作外，在中间站点都需要人工进行连纤，E2E部署一体业务效率低下；而ROADM系统侧可以进行远程网管配置；同时FOADM无法支持灵活间隔，200G+演进困难，FOADM对比ROADM，整体分析如下：

图9 FOADM VS ROADM组网对比

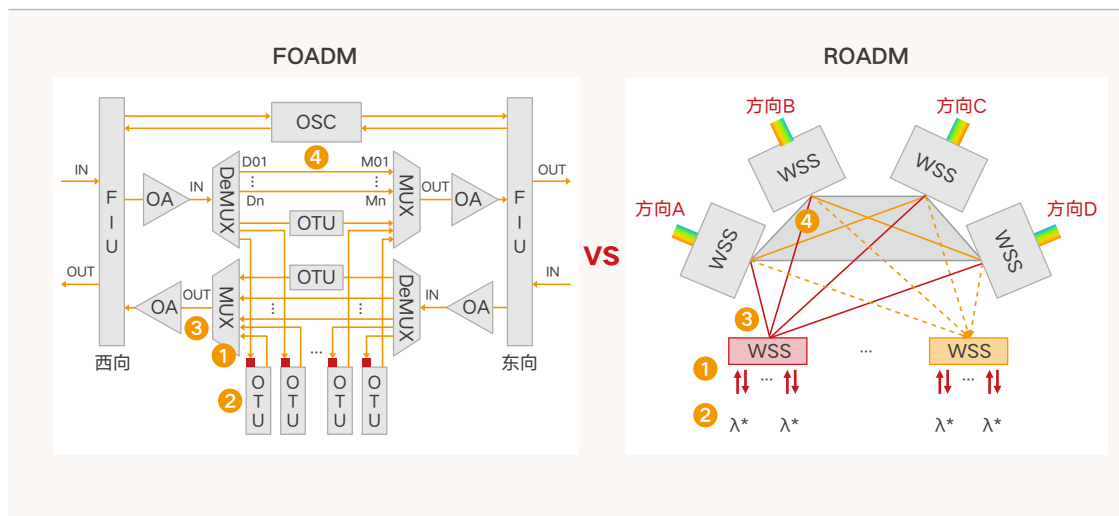


表3 FOADM VS ROADM能力对比

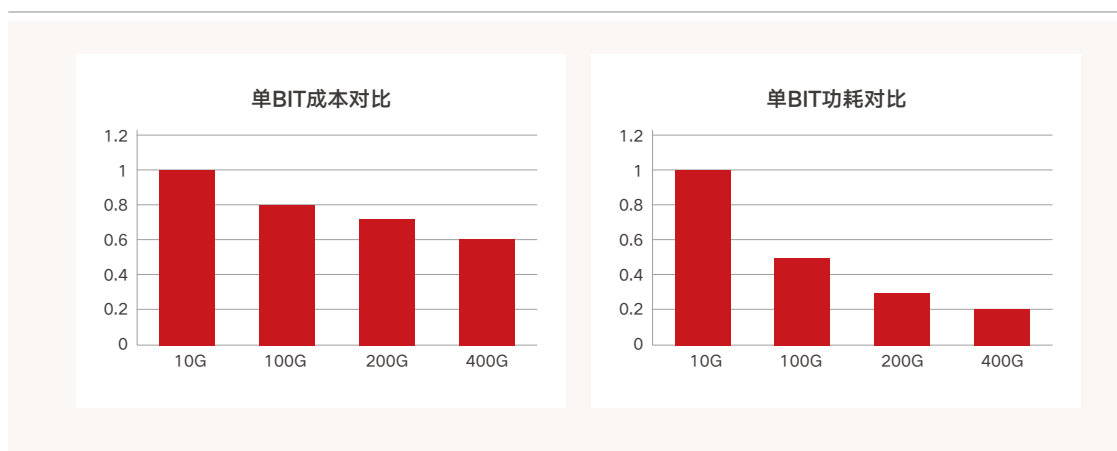
关键能力	FOADM	ROADM
① 频谱间隔, 波长分配	间隔固定, 波道位置固定, 人工站点连纤分配	间隔灵活可调, 波长灵活分配 (远程网管操作)
② 支持200G+演进能力	固定50G间隔, 不能支持200G+演进	灵活支持不同频谱间隔波长, 支持200G+演进
③ 光层WSON能力	不支持波长交换, 无光层ASON能力	灵活自动选择不同方向, 支持光层ASON, 抗多次断纤保护
④ 波长调度	需要逐站手工连纤	无需人工连纤, 远程配置

综上分析, ROADM是建网趋势, 城域网要优先选择ROADM方案。

• 10G对比100G+

从波分技术发展看, 端口速率越大, 每BIT成本与功耗越优, 因此从单BIT成本与功耗看, 城域要优先选择100G+方案, 特别是在综合业务接入点上行带宽累加已普遍达到100G级别情况下; 采用100G/200G+OTN/OSU+PAYG(按带宽使用计费模式), 上行部署100G/200G管道, 不同业务按需配置大小颗粒OTN/OSU, 如果初期不足100G/200G, 可按带宽RTU模式购买; 这样不仅生命周期单BIT成本最优, 功耗最优, 而且大幅提升TTM效率, 增加业务时, 不需要E2E增加线路端口, 仅通过配置OTN/OSU的容量即可开通业务。

图10 10G VS 100G+



• OSU分析

从城域典型业务需求看, 很多场景需要100M~100GE颗粒的硬管道, 仅波长级硬管道难以满足需求, 且带宽资源浪费严重; 而如果采用多级IP汇聚与交换, 业务质量与时延难以保证, OSU技术既可以支持2M~100G的灵活硬管道, 又具备确定性低时延; 因此波分网络在具备波长级能力的同时, 需要支持E2E OSU能力。

图11 典型场景带宽需求分析

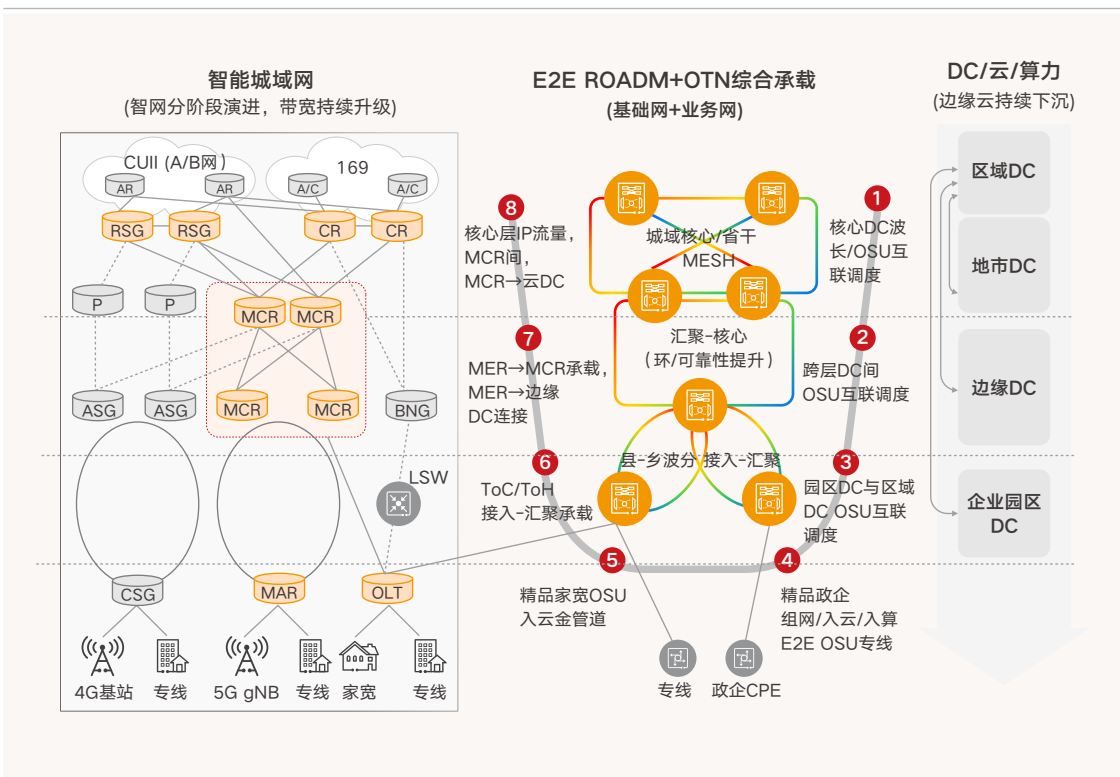


1.3 算力时代城域网目标网

1.3.1 城域网目标网：落实CUBE-Net 3.0，打造行业领先的城域E2E ROADM+OTN目标网架构

基于城域带宽增长趋势，流量流向变化趋势，城域网络建网模式，城域网关键技术选择分析，联通的面向2030城域网目标网架构如下：

图12 城域网目标网



结合城域3类节点（核心，汇聚，综合业务接入），构筑城域E2E ROADM+OTN网络架构，综合承载城域8类典型业务。

核心：CR、DC间高速互联

- 核心节点间采用“全光ROADM/OXC+ASON”方案，时延最低，可靠性提升。
- 200G-800G电层板卡灵活适配CR、云间互联，成本最优。
- 平台支持OSU，接入到核心E2E OSU可达。

汇聚站点：向下汇聚综合业务接入点，向上统一传送

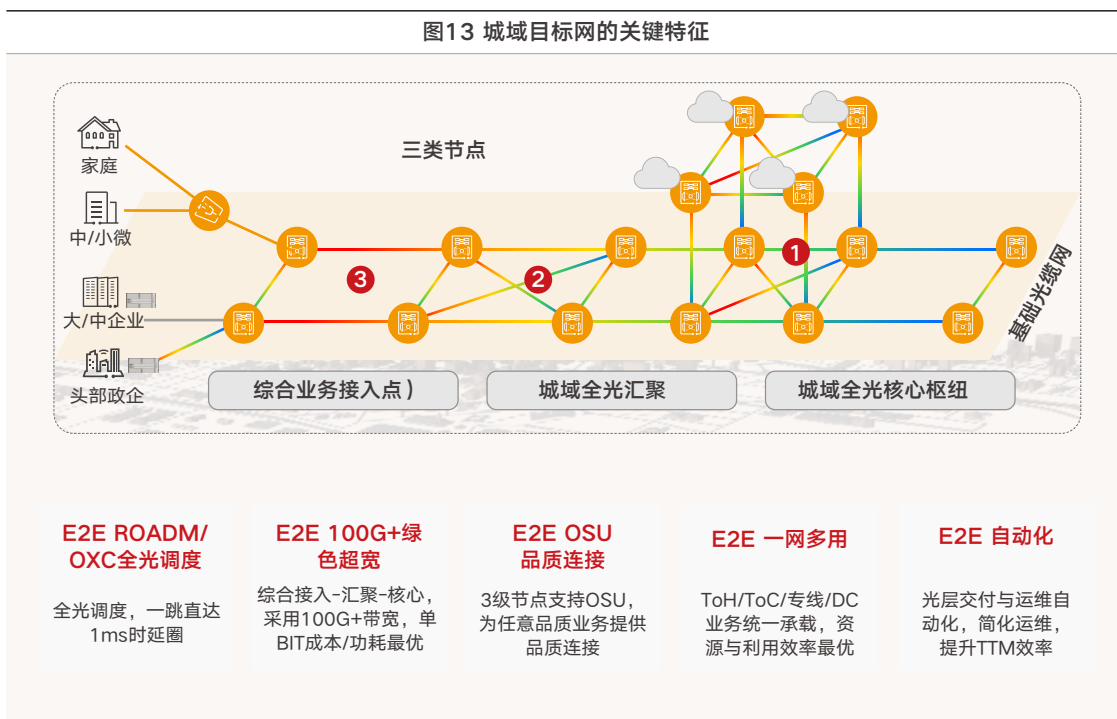
- 汇聚接点主要通过环网与核心节点互联，汇聚环采用OTN+ROADM 光电协同调度，灵活选择200G-600G电层板卡，单BIT成本最优。
- 向上到核心节点具备2T以上传送能力，向下通过接入环连接多个综合业务接入节点，具备5T以上接入能力。
- 汇聚平台需要支持OSU交换，提升OTN利用效率。

综合业务接入点：综合接入与统一传送

- 综合业务接入点通过环网与汇聚节点彩光互联。
- 综合业务接入点波分，综合接入各种流量并统一向汇聚节点传送，接入及上行能扩展到500G以上。
- 采用ROADM+100G/200G方案，一对光纤承载所有业务，省光纤，大带宽实现每BIT成本最优。
- OSU接入各类型业务，实现E2E OSU品质连接。

1.3.2 城域目标网关键特征及价值总结

E2E ROADM+OTN城域目标网关键特征总结如图13：



E2E ROADM+OTN城域目标网关键价值总结如下：

IP 业务底座承载，带宽无忧，成本最优

- IP 底座承载，随带宽增长，网络平滑扩容，带宽增长无忧。
- 各类业务就近接入综合业务接入点波分设备，减少光纤直连，节省90%光纤资源；业务侧光模块从长距光模块变短距光模块，节省光模块投资；通过省光纤、省光模块投资、高速率带宽实现成本最优。

针对品质业务，1ms时延圈，确定性连接

- 针对品质业务（DC间东西流量，城域DC双活业务，政企专线，入云专线，ToC/ToH品质业务），E2E OSU 直达，时延及安全性有保证。
- OSU 带宽灵活调整，利用率提升，成本下降。

一张网统一承载，资源利用及成本最优

- 一张网统一承载，节省光纤及机房资源。
- 一张网统一承载，减少光电平台重复投资，提升光电平台资源利用效率，节省30%设备投资。
- 一张网统一承载，减少40%左右的OPEX成本。

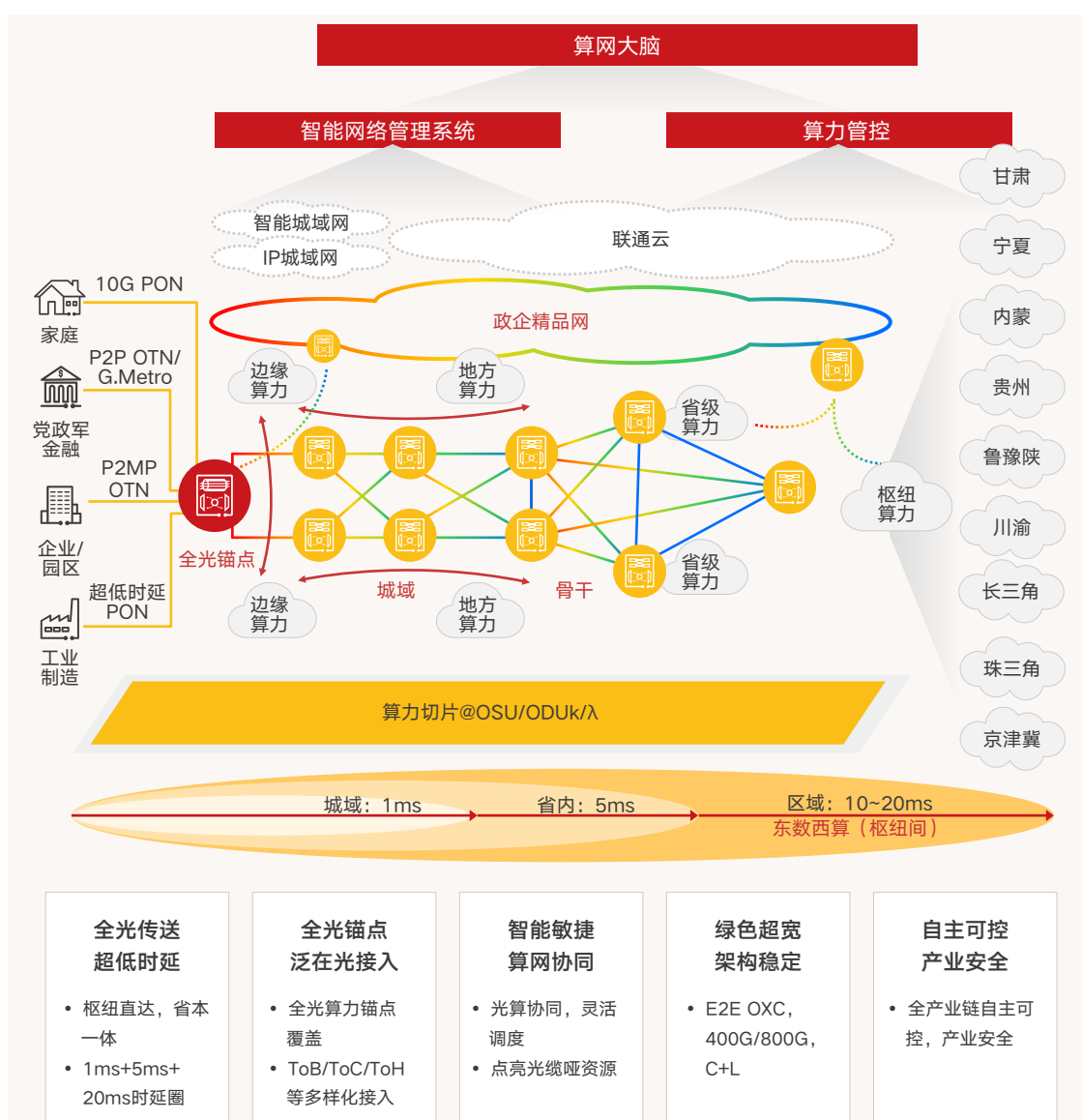
全光底座实现自主可控，打造安全可控的基础与品质传输网

- 优先考虑国内产业链与设备商。
- 关注设备内部的关键器件与模块，包括管控系统、WSS器件、100G+光模块器件、oDSP芯片、交换网芯片、CPU等关键器件；优先选择国内器件及模块供应链，确保任何形势下的供应与产业安全。

02 城域池化波分助力城域目标网实现

联通在《算力时代全光底座白皮书》中，明确了骨干到城域的ROADM+OTN目标网架构，目前在骨干领域实现了ROADM/OXC+OTN的全国大网，实现互联网业务/东数西算业务/全国DC间的业务/政企专线业务的综合承载，ROADM+OTN/OSU+ASON关键技术实现大小颗粒灵活调度，多路由智能保护提升了可靠性；通过网络架构与关键技术实现了E2E带宽成本与网络性能的领先。

图14 联通算力时代全光底座架构及特征



但是在城域，由于站点数量，带宽大小与骨干差异较大，城域建设E2E ROADM+OTN面临挑战。

2.1 建设E2E ROADM+OTN全光业务城域网的挑战

骨干网络的场景与城域网络的场景差异：

表4 骨干与城域的差异

维度	骨干	城域接入环
距离	500-2000公里	50-300公里
波数	80波以上	接入环，10-20波

已有波分方案技术特点：主要是满足骨干网络诉求，应用于城域能力超配。

结合城域网的站点数量多，多环少波特点，同时考虑机房空间与运维的诉求，城域要普遍部署E2E

表5 关键部件应用城域的问题分析

网络关键部件	能力
光：FOADM/ROADM	每方向支持80+波，城域接入环仅用到系统能力的20%左右
电：100G+ OTN板卡	可支持1000公里以上，应用到城域，能力过剩

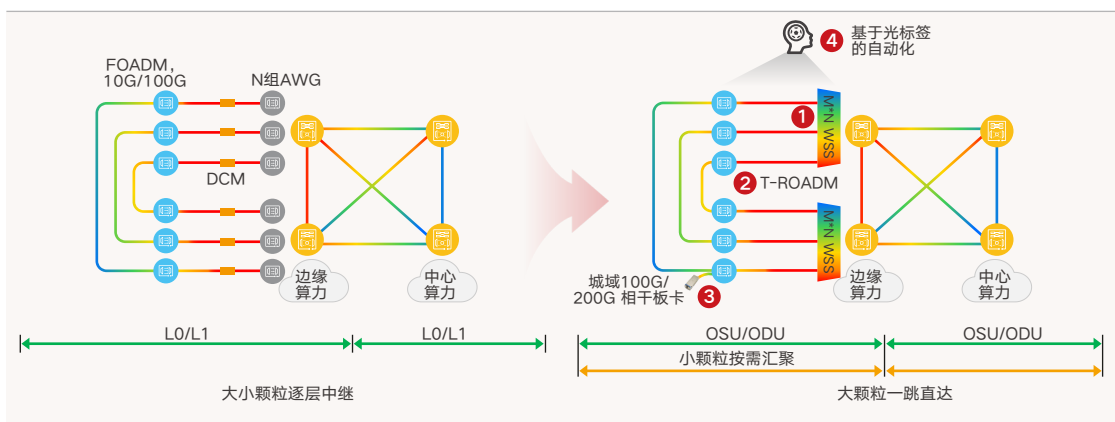
ROADM+OTN，对解决方案的关键诉求是：

- 高集成度，低成本的ROADM解决方案。
- 低成本，满足城域传输距离的100G/200G电层技术。
- 极简交付，快速业务开通的自动化能力。

2.2 开创性的城域池化波分方案，打造最佳城域ROADM+OTN全光业务网底座

城域池化波分关键部件及技术方案：汇聚站点池化共享的M*N WSS，通过池化共享降低汇聚站点空间与成本；边缘站点极简的T-ROADM与池化ROADM结合，实现边缘节点低成本的ROADM化；电层采用适合城域传输的城域100G/200G板卡降低电层成本；全光数字化标签实现E2E自动化运维。

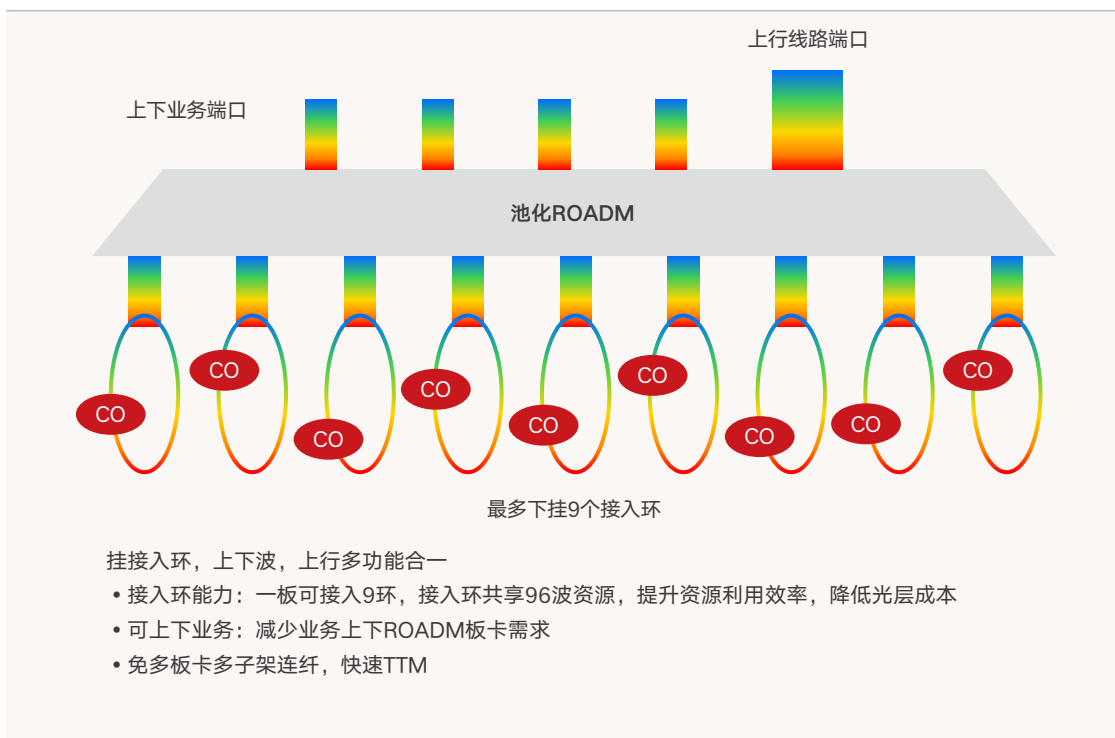
图15 传统波分对比池化波分



2.2.1 池化ROADM板卡：一板多功能，高集成度，资源共享

- 一板多功能：同时带接入环与业务上下，一块单板最多相当于10块以上传统ROADM的功能，降低ROADM单板数量，空间节省80%，简化不同板卡间的光纤连接。
- 多环共享，提升光层利用效率：多环共享96波资源，光层利用效率从10%提升到60%以上，通过共享有效降低光层成本。
- 平滑演进：支持Flexgrid,200G+平滑演进，速率升级光层不变。
- 配置模型简单，TTM效率提升：汇聚站点通过1块池化ROADM单板带所有接入环，环增加时不需要增加额外的单板，规划、配置、发货简化，业务发放效率高。

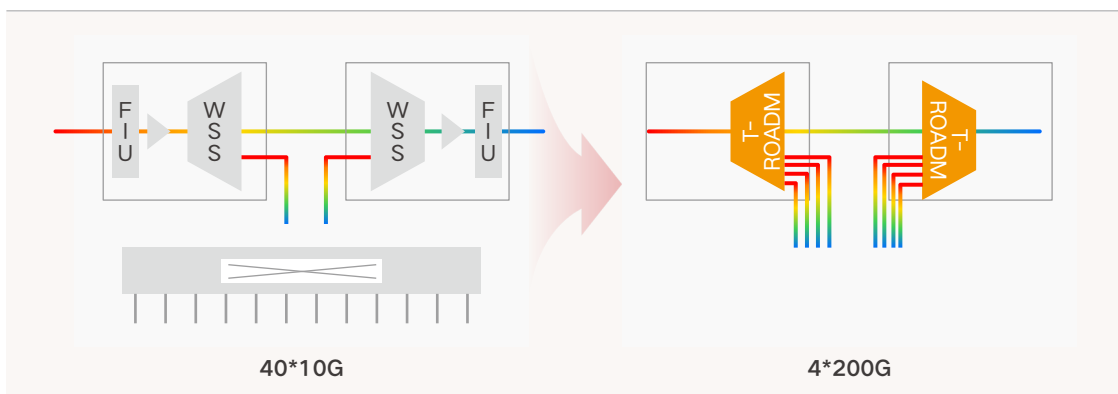
图16 池化ROADM单板特点



2.2.2 接入站点T-ROADM创新：FOADM投资实现ROADM价值，实现ROADM架构到边缘

接入站点通过极简二维T-ROADM方案，实现边缘ROADM关键技术快速突破，有效降低边缘ROADM的部署成本及效率，以FOADM的成本获得ROADM的价值。

图17 T-ROADM方案

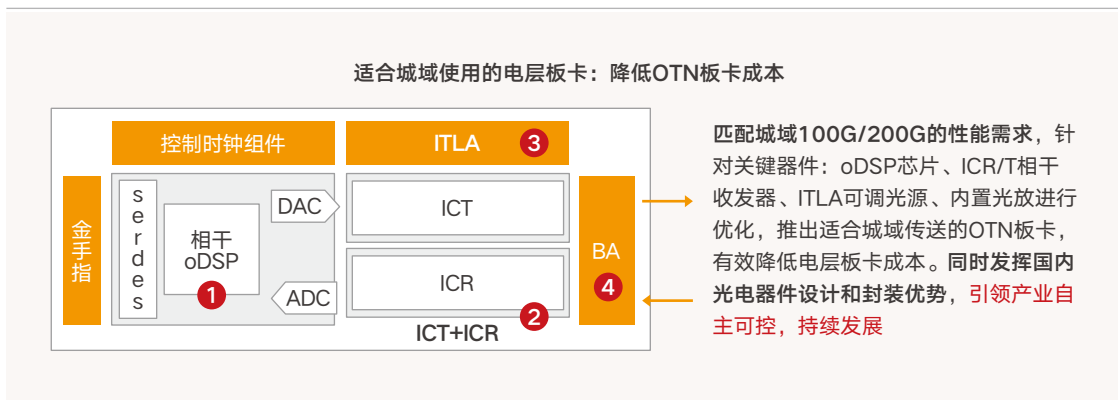


- 平滑演进，一次建网10年演进无忧：支持Flexgrid，支持200G+平滑演进，速率演进时光层无需任何变动，保护投资，带宽演进无忧。
- 高集成度，1板1方向：基于硅光平台多路集成，简化架构，一方向仅需要1块单板，集成度提升50%，功耗下降30%。
- 简化规划及配置：综合业务接入站点配置模型标准化，简化网络规划、配置、发货与站点安装。
- 简化运维，插板走人：插上业务板后，网管监测后自动分配波长，防波长冲突，免调测。

2.2.3 城域100G/200G：降低电层成本，结合OSU提升带宽利用效率

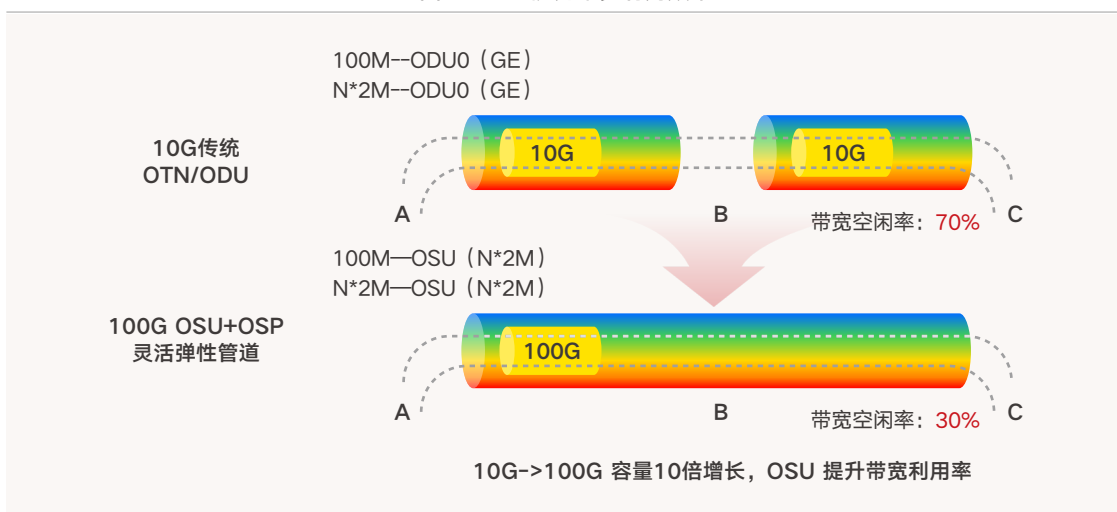
结合城域典型50-300公里需求，创新适合城域传送距离的电层板卡，有效降低城域电层成本。

图18 城域相干单板



电层实现管道共享，OSU 2M~100G动态可调，多层多方向汇聚以减少带宽需求，100G管道利用率提升，进一步降低电层成本。

图19 OSU提升带宽利用效率



2.2.4 光波长数字标签：打造ROADM网络数字化底座，自动驾驶能力提升

相比传统FOADM解决方案，池化波分方案通过光波长数字标签和单波功率调节能力，实现业务E2E监控，一次进站交付，进站插板走人。

开局：硬装一次进站，系统自动完成NE ID和IP配置，免软调人员进站，波长自动规划，业务开通自动调测。

图20 光数字标签简化开局



运维：支持单波功率、光信噪比、色散、偏振态、非线性效应和链路余量信息实时监控检测；以实现业务性能实时监控，故障提前预警，链路衰减变化后进行自动优化。

图21 光数字标签在线监测，简化运维



2.3 池化波分打造E2E ROADM+OTN全光业务城域网的价值

2.3.1 池化波分通过架构及技术创新，使能城域E2E部署 ROADM+OTN

通过池化ROADM技术及架构创新，减少ROADM板卡需求，同时降低ROADM板卡维度需求，以实现光层成本的大幅降低。

图22 光层成本构成及不同维度ROADM板卡成本对比

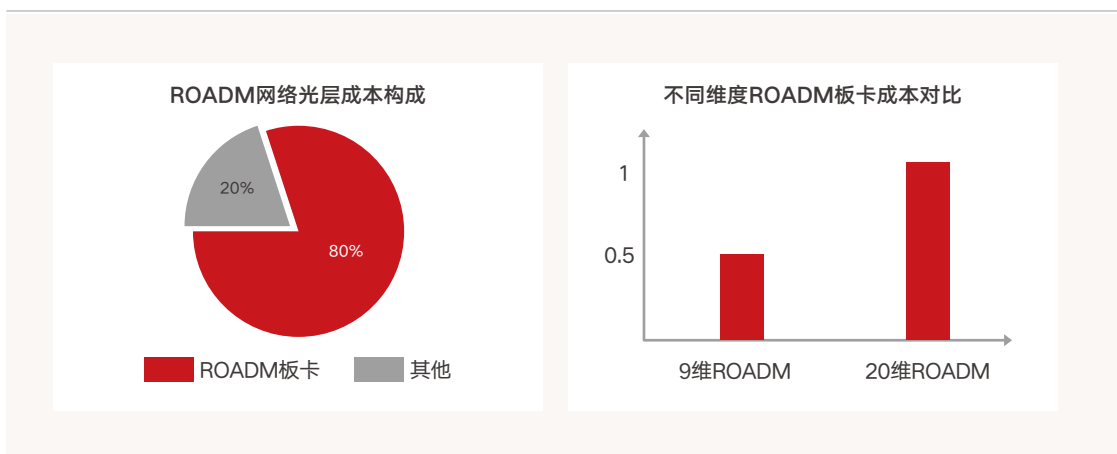
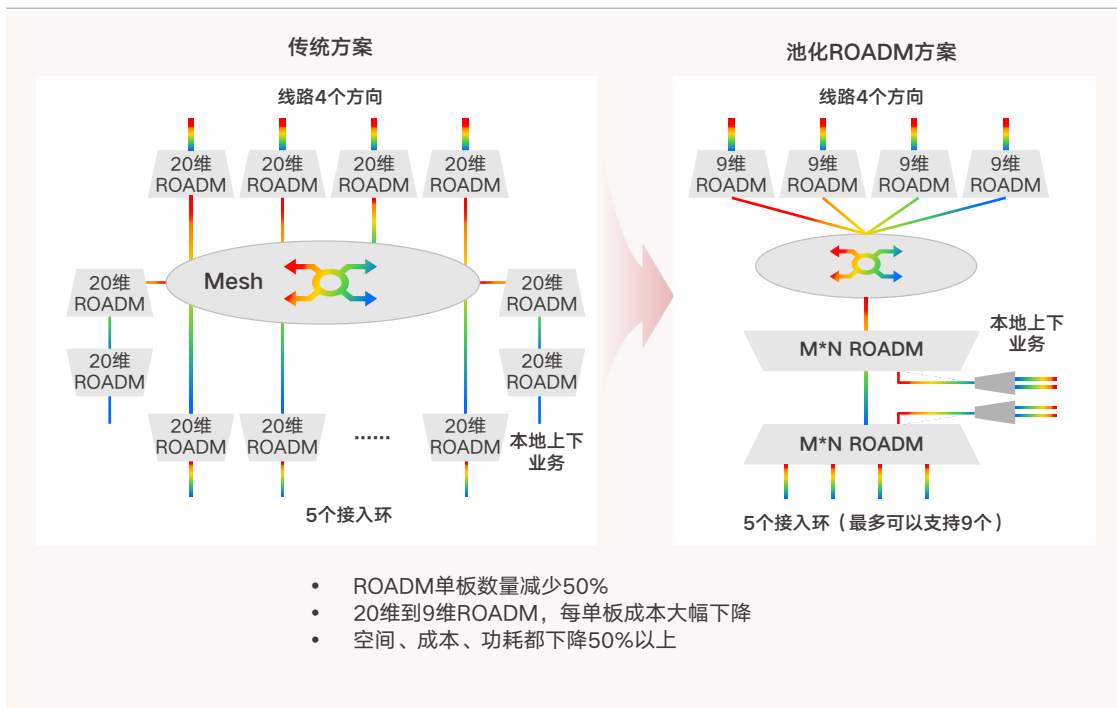


图23 池化ROADM通过技术及架构创新带来空间、成本、功耗下降

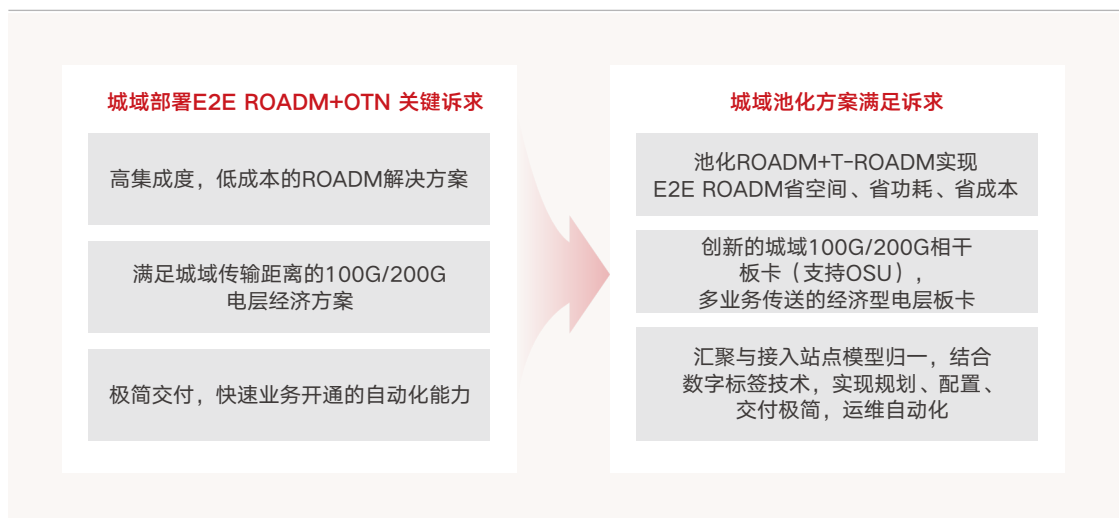


以图23网络模型对比，池化波分方案相对传统ROADM方案，通过技术及架构创新，从空间、功耗、成本方面大幅降低光层ROADM建设的难度。

电层通过城域100G/200G板卡，结合OSU提升资源利用效率，大幅降低电层成本，结合大带宽每BIT成本更优，整个网络生命周期每BIT成本与功耗更优。

综上所述，池化波分通过技术及架构创新，解决了城域E2E部署ROADM+OTN的部署难题，使得城域E2E部署ROADM+OTN网络成为可能，城域网络将具备与骨干网同等的运力能力。

图24 城域池化方案满足城域关键诉求



2.3.2 池化波分实现城域运力网络TCO最优

图25 最优运力网络演进



ROADM+OTN统一承载价值：架构稳定，带宽增长无忧，成本最优，性能最优，TTM效率提升，绿色节能。

图26 E2E ROADM+OTN网络优势



03 城域池化波分关键技术

3.1 全光交换

ROADM (reconfigurable optical add/drop multiplexer, 可重构光分插复用器) 可实现波长的动态灵活调度, 增加了网络的弹性, 简化了网络规划难度; ROADM节点的重构能力提升了工作效率及对客户新需求的反应速度, 大大缩短业务开通时间, 同时有效地降低运营和维护成本。当前ROADM主要部署在城域核心, 需要不断的推进ROADM部署到城域的边缘, 实现城域全光调度, 让全光运力底座具备灵活调度的能力, 更好的满足算力网络的要求。由于城域站点每下沉一层, 站点数量增加5~10倍, 需要有创新的架构和技术来降低ROADM的部署成本。

- 多维站点的池化共享WSS技术

汇聚节点具备承上启下的作用, 往上连接到核心, 往下接多个接入环。由于常规的1*N WSS (wavelength selective switching, 波长选择开关) 通常只能接1个线路方向, 当汇聚点往下接多个接入环时, 汇聚点为每一个接入环都需要用一组独立WSS来连接, 使用多个子架, 空间占用/成本/功耗也比较高。因此需要创新设计新型池化共享式的 WSS, 扩展WSS的线路端口, 多个接入环可以共享一组WSS, 从而降低空间占用/功耗/成本。由于池化共享 WSS多线路端口的引入, 对端口的隔离度提出了更高的要求, 需要在光学架构和LCoS (Liquid Crystal on Silicon, 硅基液晶) 算法进行创新设计, 来降低串扰的代价, 提升端口隔离度。

- 2维站点的极简ROADM技术

当前接入站点主要以2维组网为主, 主要采用FOADM (Fixed Optical Add/Drop Multiplexer, 静态光分插复用) 光层, 不同站点间波长必须不同, 从而导致站点配置不统一, 备件多, 同时不支持往高速率持续演进。采用ROADM组网则可灵活配置每个站点的波长, 但是传统ROADM技术成本相对较高, 导致无法广泛部署至接入站点, 因此需要针对接入层2维环网场景探索经济型的极简边缘ROADM技术, 可采用创新的少端口WSS实现, 或者基于多功能混合集成技术实现片上光子系统, 从而实现连纤、部署及运维的简化。

3.2 城域相干线路技术

当前相干线路光模块主要是基于干线网络的要求设计, 性能相对于城域应用存在过剩, 需要面向城域的场景对相干线路模块进行优化设计, 来推进相干技术应用于城域边缘, 从而获得更好速率演进能力, 同时避免DCM补偿, 简化站点的部署。相干模块主要由oDSP芯片、ICT (Integrated Coherent Transmitter, 集成相干发射机)、ICR (Integrated coherent Transmit-Receive, 集成相干收发器)、ITLA (Integrated Tunable Laser Assembly, 集成可调谐激光器)、内置光放等部件组成。可以面向城域的场景对相干模块进行优化设计, oDSP芯片做针对性的设计, 对FEC算法进行简化, 从而降低oDSP的复杂度; 通过组件集成来降低尺寸和连接损耗, 例如在ICT 的基础上集成了相干接收机实现ICTR组件、或者发端驱动器、调制器和ICR集成实现COSA (Coherent Optical Sub Assembly, 相干光子组件)、在COSA的基础上集成相干光源实现TROSA (Coherent Transmit-Receive Optical Sub Assembly, 相干收发光组件)等; 通过提升收端的灵敏度来去除模块的内置光放从而降低功耗等。

3.3 光层数字化技术

对光层模拟系统实现数字化管理，可以降低光传送网络在规划、建网、运维、优化全生命周期管理的复杂度，实现高效的波长资源实时监控、实时规划、波长路由可视可管、自动调测和优化等智能化能力。

光层数字化可以通过调顶技术在波长插入随路开销的方式来实现，在高速信号光上加载低频调顶信号，注入波道信息（波长、网元、槽位、码型、频宽、速度、FEC等等），不同波长的调顶信号频率不同，且与波长一一对应，实现波长唯一身份随路标签，系统光路上对随路标签进行多通道并行检测，实现光波长功率检测和波长注入信息的随路在线监测，从而实现对波长端到端的有效管理。通过随路标签信息采集，动态获取准确波长路由，实时获取波长分布和各路径资源占用率，结合波长自动分配算法，选择波长空闲的路径进行扩容，使得波长分布更均衡。波长随路标签需要通过算法解决并行检测的效率问题、功率检测精度的问题和随路标签信息检测的准确度问题等。

3.4 OSU技术

政务、金融、大企业客户，对于高物理安全的网络诉求强烈，甚至希望自主运营网络，因此高品质OTN网络应具备切片能力，将网络资源硬切片出多个资源，并开放网络能力给行业客户自主管控。基于传统OTN技术基于时隙实现业务硬隔离，天然就支持切片，但承载切片颗粒度较大、连接数少、时延较大和带宽调整不灵活等问题，主要用于承载大于1Gbit/s速率业务，对现网大量的STM-1/4等低速业务承载存在带宽浪费。面对专线、视频等新业务对灵活带宽承载的需求，OSU技术应运而生。

OSU新增OSUflex（Optical Service Unit）容器，采用定长帧灵活复接，将ODU划分成更小的带宽颗粒。与传统OTN相比，实现网络硬切片的颗粒度达到2Mbit/s，网络连接数提升12.5倍；大幅简化网络传输层次，降低单站时延，灵活适配各类对时延敏感的业务场景；支持2M~100G无损带宽调整，支持在同一个高阶ODUk通道内的原路径带宽调整。

OSU通道感知业务带宽需求，按需自动调整带宽。ONT/OLT识别应用类型，确定所需要的带宽，OLT通过协议通告OSU带宽需求，接收到带宽服务请求，自动完成OSU管道带宽的调整。OSU基于带宽扩容、缩容门限动态调整带宽，在对应的管道上配置带宽扩容和缩容的流量门限，实时监控OSU管道入口的流量，根据实际流量是否达到了扩容门限和缩容门限，来确定是否调大或调小OSU管道的带宽。

3.5 网络安全与自主可控

光产业网络安全与自主可控是全光网络亟需应对的问题，《中国联通CUBE-Net 3.0网络创新体系白皮书》指出“从国际局势看，大国间的竞争博弈将很大程度体现在科技领域，地缘政治对于通信产业发展的影响深远，给企业在技术路线和产业生态决策方面带来诸多不确定性因素。”通信网络作为国家最重要的基础设施，持续安全稳定运行将永远是第一考量，核心技术自主可控的重要性和紧迫性日趋上升。网络安全需要从产业链供应安全、光纤层安全、设备侧安全、网络层安全和管控层安全等维度进行研究。对城域相干和池化ROADM方案进行针对性的设计来匹配城域的场景，通过技术与架构创新牵引产业链实现国产化和自主可控。

A	
ASON	自动交换光网络

C	
CDN	内容分发网络
CO	中心局，一般指运营商的综合业务机房
COSA	相干光子组件
CR	核心路由器

D	
DC	数据中心
DCI	数据中心互联

E	
E2E	端到端

F	
FEC	前向纠错
FOADM	静态光分插复用器

I	
ICR	集成相干收发器
ICT	集成相干发射机
ITLA	集成可调谐激光器

L	
LCoS	硅基液晶

O	
oDSP	光数字信号处理
ONT	光网络终端

OPEX	运营支出
OSNR	光信噪比
OSU	光业务单元
OTT	Over the top，是指通过互联网向用户提供各种应用服务
OXC	光交叉连接

P	
P2P	点到点
PAYG	按使用增量付费
PUE	能源利用效率

R	
ROADM	动态光分插复用
RTU	需要时才购买和激活硬件 License

S	
SDH	同步数字体系

T	
ToB	企业业务
ToC	个人业务
ToH	家庭业务
TROSA	相干收发光组件
TTM	上市时间

W	
WSON	波长交换光网络
WSS	波长交换开关



免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。

因此，本文的信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，主编不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。主编可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。主编保留对本文档的最终解释权。