



北京 2022 年冬奥会官方合作伙伴
Official Partner of the Olympic Winter Games Beijing 2022

算力时代的 全光底座白皮书

中国联通研究院

2022 年 5 月

版权声明

本报告版权属于中国联合网络通信有限公司研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其他方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国联通研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。



中国联通研究院

目录

序言.....	6
一、算力时代需要全光底座提供运力	9
(一) 数字经济的发展依赖运力与算力	9
1、数字经济发展带来算力持续高速增长	9
2、东数西算，运力换算力.....	10
3、数字经济 \propto 算力经济*运力经济.....	12
(二) 算力网络是运营商新机会，全光底座需要向算力网络演进	13
二、算力时代的全光底座关键需求与特征.....	17
(一) 算力时代的全光底座关键需求	17
1、优化网络架构.....	17
2、光算协同服务一体化	18
3、大带宽	18
4、低时延	19
5、弹性敏捷	19
6、高可靠，物理安全	20

7、总结.....	21
(二) 算力时代的全光底座关键特征	22
1、全光传送，超低时延	23
2、全光锚点，泛在光接入.....	24
3、智能敏捷，光算协同	25
4、绿色超宽，架构稳定	26
5、自主可靠，产业安全	27
三、算力时代的全光底座目标网演进	28
(一) 算力时代的全光底座目标网架构	28
(二) 枢纽间：结合 ROADM 大网演进，打造 20ms 时延圈....	29
1、骨干全光网决定枢纽间竞争力，全光算力网络业内领先	29
2、IP 底座承载.....	30
3、跨省政企专线承载	30
4、东数西算算力网络承载.....	32
5、骨干网演进方向：超高速，超频谱，品质提升	33
(三) 枢纽内：区域 ROADM+省本一体，5ms 时延圈	34
1、区域 ROADM+省本一体，打破行政区划，构建成本、时延 优势	34

2、省本一体，构建省内成本、时延、可靠性优势	36
3、枢纽内演进方向：优化架构，超高速，算力间一张网，品质提升	37
(四) 城市内：光锚点实现泛在灵活光接入，1ms 时延圈	38
1、全光城市，从多张网演进到一张全光网，实现多业务的综合承载	38
2、全光综合承载带来的价值	40
3、算力时代下全光城市网络演进方向：加大力度打造全光锚点，实现泛在光接入	41
4、全光城市关键技术演进	43
(五) 智能管控：打造智能敏捷，光算协同的管控架构	45
1、管控现状：二级协同实现全国一张网统一管理，智能管控架构实现全流程运营自动化	45
2、算力时代的全光底座管控目标架构	46
(六) 目标网价值：用户一跳入算，算力间一跳直达	48
1、家庭业务，通过硬管道提供品质云连接	49
2、政企业务，E2E OTN 提供品质云网连接	49
3、云间、算力间：E2E OTN 运力网络，跳数与时延最优	50

(七) 总结：打造业界最佳的算力时代全光底座	52
四、算力时代的全光底座关键技术	54
(一) 全光传送	54
1、扩展 C+L	54
2、高速率技术：400G/800G	55
3、OSU	56
4、OTSN	59
5、光 DCN	61
6、新型光纤	62
(二) 全光交换 OXC	63
(三) 全光接入	64
1、OTN 与 OLT 协同高品质承载	64
2、G.Metro	65
3、FTTR	67
4、10G/50G PON	68
5、工业 PON	69
(四) 全光智能	70
1、高可靠，光电协同 ASON	70

2、光缆数字化	72
3、自智网络	73
(五) 多场景适配与开放组网	77
1、多样化的设备型态，匹配不同场景的灵活部署	77
2、开放组网，协同控制器统一管理.....	78
(六) 光算协同	79
1、业务感知	79
2、光算协同	81
(七) OTN/WDM 传递高精度同步	82
五、算力时代的全光底座案例及应用场景探讨	85
(一) 全国骨干网：为东数西算提供品质连接，运力换算力.....	85
(二) 山东联通：打造智慧光云十六城	86
(三) 广东联通：打造数字化的全光底座.....	88
(四) 湖北联通：OSU 升级，政企专线向算力网络演进	89
(五) 算力网络全光应用场景探讨	90
1、党政军、大企业类业务.....	91
2、超算类业务	91
3、存贮类业务	92

序言

2022年2月，国家发展改革委、中央网信办、工业和信息化部、国家能源局联合印发通知，同意在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、内蒙古、贵州、甘肃、宁夏等8地启动建设国家算力枢纽节点，并规划了10个国家数据中心集群，标志着“东数西算”工程正式全面启动。“东数西算”工程是我国从国家战略、技术发展、能源政策等多方面出发，在“新基建”的大背景下，启动的一项至关重要的国家工程，是国家战略的重要组成部分。首次将算力资源提升到水、电、燃气等基础资源的高度，以“联接+计算”为核心，统筹布局建设全国一体化算力网络国家枢纽节点，在助力提升国家整体算力能力的同时，全面推进我国算力基础设施的绿色发展，进一步促进我国数字经济的建设。

2021年中国联通提出了CUBE-Net3.0下一代数字信息基础设施和算力网络（以下统称为C3工程）的目标架构、标准和技术体系，与“东数西算”工程中“联接+计算”的核心需求一致。随着C3工程的不断实施，网络技术与大数据、物联网、云计算等新兴技术进一步融合，中国联通在给个人用户提供服务、给政企客户提供专线服务、算力满足自身云服务基础上，将结合个人、企业以及全社会对AI服务的迫切需求，充分利用强大的网络服务能力和广泛分布的

算力资源，对外输出计算能力，向全社会提供普适性的算力。使算力成为继话音、短信、专线和流量之后运营商提供的新一代普适性标准化产品，有效推动业务主要增长点由消费互联网向服务产业互联网转移。中国联通具备覆盖全国的骨干与城域网络，且能覆盖西部枢纽算力、东部枢纽算力、省级集群算力和城市边缘算力，完全满足“东数西算”工程中的高品质联接需求。中国联通下一步在政企数字化趋势下，在 AI 需求旺盛的背景下，在提供高品质政企专线的基础上，将结合算力资源布局，基于网络资源能力对外提供算力服务，逐步打造新时代的算力网络。

中国联通在 2020 年 10 月发布了面向云时代的全光底座白皮书（称为“全光底座白皮书 1.0”），提出了光网络同时具备基础网络和业务网络两个属性，构建直接面向业务的品质连接，打造云光一体的高品质网络，引起了较大的反响。随着“东数西算”战略的具体实施，在产业互联、产业数字化的大背景下，结合算力网络的关键需求和算力网络的关键特征，联通的光网络要进一步从云时代的全光底座向算力时代的全光底座演进，需要对相关的网络组织、应用技术等进行优化和细化，解决泛在灵活的接入、高速长距的骨干传送、弹性敏捷的业务感知与算网调度、安全可靠的网络和业务组织的内生安全、传送网的绿色低碳等关键问题，全光底座一体化实现联联企、和联算的多业务综合承载。

部署算力时代的全光底座还需要结合算力网络需求，推动我国在光网络领域的整体技术和产业链进步，解决光网络关键技术的自主可控突破，为国家数字经济发展做出贡献。

本白皮书针对算网时代的业务特点和联通的网络禀赋，提出了面向行业数字化、面向算力关键需求、具有综合承载能力的算力时代全光底座，并探讨了全光底座架构、关键技术演进方向和典型应用案例，为算力时代光网络演进与业务开展提供参考。

编写组成员（排名不分先后）：

唐雄燕、王光全、张贺、王海军、满祥锴、沈世奎、邵岩、郑滢雷、师严、谭艳霞、董姗、孙越

一、算力时代需要全光底座提供运力

(一) 数字经济的发展依赖运力与算力

1、数字经济发展带来算力持续高速增长

算力是数字经济的先进生产力，是推动人工智能、大数据、物联网、区块链等技术创新与应用的基础支撑，也是建设数字中国的重要保障。随着数字中国、网络强国建设的深化，云计算、大数据、人工智能等技术与行业进一步融合发展，各个传统行业的数字化和智能化将大幅度提高，我国对算力的需求迅猛增长。

- 从云网边端融合带来的计算领域爆炸，到计算向不同产业拓展，再到新技术成果的相互融合，都体现出了与算力相互支撑、协同生长的特征。
- 从技术融合看，人工智能、量子计算、类脑计算等新技术与计算产业相结合，拓展全方位的计算能力，OpenAI 发布的研究显示，2012年以来，人工智能应用对于算力的需求平均每年增长10倍。
- 从领域协同看，数据的泛在分布推动计算从云端向物联网、边缘计算逐步普及，计算无处不在，不同的计算领域相互协同。
- 从行业渗透看，计算已经跨越IT产业本身，成为数字化基础设施，为制造业、汽车行业等多领域的数字化转型提供支撑。以

算力为核心融合大数据、人工智能、物联网、区块链等新兴技术，并与智能制造、智慧医疗、智能交通等领域协同联动，引领数字中国建设和数字经济发展。

伴随数字经济持续发展，预计每年数据中心机架规模将以 20% 以上的速度快速增长。

我国数据中心大多分布在东部地区，由于土地、能源等资源日趋紧张，在东部大规模发展数据中心难以为继。而西部地区资源充裕，特别是可再生能源丰富，具备发展数据中心、承接东部算力需求的潜力。

2、东数西算，运力换算力

2022 年 2 月，国家发展改革委、中央网信办、工业和信息化部、国家能源局联合印发通知，同意在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、内蒙古、贵州、甘肃、宁夏等 8 地启动建设国家算力枢纽节点，并规划了 10 个国家数据中心集群，标志着“东数西算”工程正式全面启动。“东数西算”工程通过构建数据中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络体系，将东部算力需求有序引导到西部，优化数据中心建设布局，促进东西部协同联动。简单地说，就是让西部的算力资源更充分地支撑东部数据的运算，更好为数字化发展赋能。实施“东数西算”工程，推动数据中心合理布局、绿色集约和互联互通，具有多方面意义。

- **有利于提升国家整体算力水平：**通过全国一体化的数据中心布局建设，扩大算力设施规模，提高算力使用效率，实现全国算力规模化、集约化发展。
- **有利于促进绿色发展：**加大数据中心在西部布局，将大幅提升绿色能源使用比例，就近消纳西部绿色能源，同时通过技术创新、以大换小、低碳发展等措施，持续优化数据中心能源使用效率。
- **有利于扩大有效投资：**数据中心产业链条长、投资规模大，带动效应强，通过算力枢纽和数据中心集群建设，将有力带动产业上下游投资。
- **有利于推动区域协调发展：**算力设施由东向西布局，带动相关产业有效转移，促进东西部数据流通、价值传递，延展东部发展空间，推进西部大开发形成新格局。

建设“东数西算”一体化大数据中心国家枢纽节点，可利用西部气温低，能源丰富，尤其是绿色能源丰富的优势，同等算力需求下，能耗需求减少 20%以上，充分利用绿色能源碳排放可减少 80%以上。数据的产生与计算需求主要在东部，存贮与计算能力在西部，东西部的骨干带宽将达到 2000T+以上，需要光网络在传输与调度中发挥重要的作用，以运力换算力。

1万机架算力耗电 ^a	东部DC耗电 ^b	西部DC耗电 ^c	东数西算光传输设备耗电	1万机架东数西算年节能
4.4亿度	7亿度	5.3亿度	200万度	1.7亿度

a: 每机架5KW
b: 东部PUE 1.5, 西电东送线路损耗6.6%左右
c: 西部PUE 1.2

图 1 以 1 万机架为例，东数西算节能效果

3、数字经济∝算力经济*运力经济

2021 年 11 月，国家信息中心发布了《全光智慧城市白皮书 2.0》，定义了全光智慧城市的内涵，以 F5G 全光底座为基础，构建城市云网边端协同的基础设施架构，形成立体感知、全域协同、精确判断和持续进化的、开放的智慧城市系统。全光智慧城市的核心是构建城市“1ms”时延圈，实现确定性的网络联接。



图 2 数字经济与运力，算力的关系

《全光智慧城市发展报告 2.0》结合智慧城市发展需求和城市全光网络的发展，在 2020 年提出全光智慧城市发展理念的基础上，进一步提出数字经济、算力经济、运力经济“三个经济”的关系，即数字经济的发展与算力经济和运力经济呈正相关，通过算力和运

力的广泛协同，全面拉动数字经济的高质量增长。对应提出城市数字化强度、计算精度、OTN 光节点密度“三个度”的关系，即城市数字化的强度与计算精度和 OTN 光节点密度呈正相关。

结合东数西算力带来的节能效果分析与智慧城市的定义，无论是骨干还是城域的运行力对数字经济的发展都有密切的正向关系。

（二）算力网络是运营商新机会，全光底座需要向算力网络演进

联通算力网络白皮书与中国联通 CUBE-Net3.0 网络创新体系白皮书中都指出产业互联网是运营商算力网络的主要商业机会。

运营商网络的核心价值从近 20 年运营商的发展来看，一直是业务和技术双轮驱动，且以移动通信的代际划分为标志，从 2G 到 4G，运营商提供的业务和为提供这些业务采用的支持技术，均在不断发生变化，而这些变化也直接影响着运营商的经营状况和收入水平，体现出运营商在不同时期的价值。

- **从业务驱动来看，面向最终个体消费者的 ToC 业务，特别是移动业务一直是运营商最大的收入来源。**在 2G 时代，运营商的 ToC 业务体现为语音、短信等。这一类业务的特点是用户需求刚性，与网络连接能力强相关，业务即最终服务，且从连接到业务的全部环节由运营商完全掌控。因此，在 2G 时代，全球移动运营商均获得了丰厚的收益。但是，当经过 3G 时代的短

暂过渡，跨入 4G 时代后，由于连接技术的飞速发展，网络带宽支撑一般的个人应用已经完全没有问题。同时随着云计算，智能终端的崛起，运营商 ToC 端主要经营的业务由语音、短信，逐渐变成了流量。虽然流量的提供也需要运营商网络的良好保障，但是由于流量不是最终的业务形态，而只是 OTT 提供业务的带宽资源。运营商与客户的最终业务，最直接的需求也越来越远。这就导致运营商在云时代迅速被管道化，价值变得越来越低。依靠流量经营，增量不增收，是目前全球运营商所面临的共性和严峻挑战。

- **从技术驱动来看，运营商一直是全球 ICT 行业技术的牵引者，是电信信息行业全产业链的重要参与者。**最先进的 ICT 技术，往往需要运营商为其快速提供网络支持，从而形成商业能力。而这些先进的 ICT 技术，反过来又促进电信网络的不断革新和进步，增强了运营商提供服务的能力。例如，在已经到来的云计算时代，运营商网络作为云内部和云间的总线，为云服务的正常运营提供强有力的支撑。

展望未来，在大数据，物联网，云计算等新兴技术的影响下，全社会的信息化进程明显加快，企业的数字化转型愈加提速，ICT 赋能信息社会发展，表现出以下几个趋势：

- ICT 业务的主要增长点由消费互联网转移到服务产业互联网，运

营商除了给个人用户提供服务，给政企客户提供专线服务外，更要向全产业赋能。

- 电信网云化后，在满足自身云服务之外，有能力对外输出计算能力，成为全社会的 ICT 基础设施。运营商可以结合算力资源，结合其强大的网络提供服务；从算力资源的分布看，运营商算力包括西部枢纽算力、东部枢纽算力、省级集群算力和城市边缘算力；从网络覆盖看，覆盖全国的骨干与城域网络，提供 OTN/IP 等不同类型、不同品种的网络连接。针对政企提供算力，运营商的优势更加明显。
- 从国家的双碳与东数西算战略看，企业以前大多在自己的园区部署本地 DC，随 DC 集约化要求，企业在园区继续发展 DC 受限。在算力持续增长下，大部分企业在集群中心与枢纽节点租用算力资源是企业新的选择方向。同时企业通过把有限的碳指标用于主营业务生产，把算力需求转换成租用算力模式，对企业来说也更为有利。

结合个人到企业，全社会对 AI 服务的迫切需求，以及运营商强大的网络服务能力和广泛分布的算力资源，完全可以向全社会提供普适性的算力，使算力成为继语音、短信、专线、流量之后运营商提供的新一代普适性标准化产品，且该产品的价值比流量更高，可以结合用户的时延需求，计算能力与计算位置需求，充分结合运营

商网络的接入优势，边缘机房和网络覆盖优势，以及算力资源优势，包装成面向不同用户层级，不同需求的多等级、多种类算力服务，为 AI 社会提供强大的能源与养料。

结合上述分析，运营商算力与网络优势明显，在政企数字化趋势下，在 AI 需求旺盛的背景下，运营商更适合为广大政企客户提供算力及网络服务，因此，运营商下一代网络也必须按照提供算力服务的要求建设，打造新时代的算力网络。

全光底座，在支持 ToC、ToB、TOH 业务的同时，还需要支持向算力网络演进。

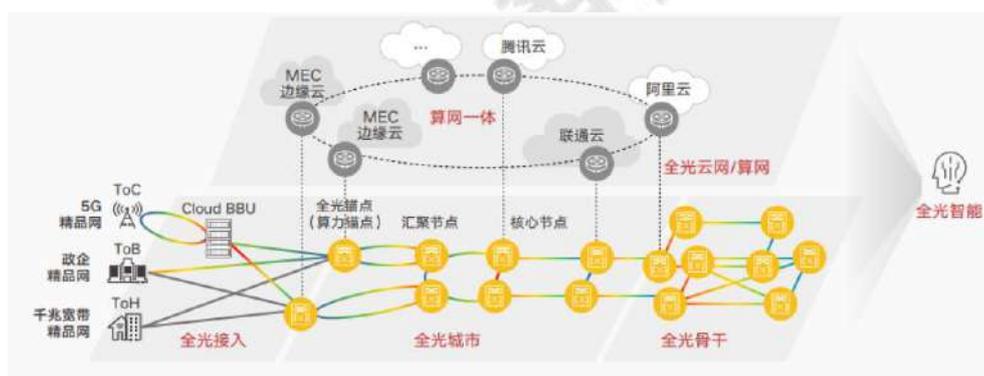


图 3 全光底座支持向云网/算网演进

二、算力时代的全光底座关键需求与特征

在全光云网时代，全光底座的关键需求如下：

- 架构稳定，极简、大带宽、可扩展：全光组网，一跳直达，稳定低时延。
- 全光锚点，全业务接入：支持 ETH/SDH/PON/OTN/WDM 等多种接入技术。
- 光电协同，确定性承载，安全隔离。
- 端到端分片，一网多业务差异化 SLA 服务。
- 云光协同，业务灵活入云。

结合东数西算的规划，以下展开算力时代的全光底座关键需求分析。

（一）算力时代的全光底座关键需求

1、优化网络架构

“全国一体化大数据”对传输的一个关键需求是建设数据中心集群之间以及集群和主要城市之间的高速数据传输网络，优化通信网络结构，扩展通信网络带宽，减少数据绕转时延；并建立数据中心网络监测体系，推动数据中心与网络高效供给对接与协同发展。

结合“全国一体化大数据”的规划，全光底座的一个关键需求是优化网络架构。网络规划与建设打破行政区划，减少数据的绕行，优化时延。任意两点间的连接方向可参考高速公路导航，就近选直连路由，而不是通过省会城市绕行。通过架构优化，任意 DC 间，任意用户-DC 间都可大幅优化时延，提升业

务品质。

2、光算协同服务一体化

东数西计算将形成东部国家枢纽节点与西部国家枢纽节点算力资源的有效互补，充分将东西部数据中心需求与供给进行统筹调度，推动全国数据中心整体算力的一体化协同发展。数据中心的协同发展，需要光网络与算力协同提供一体化服务。

- “东西部”算力调度：需要结合“算力位置、成本、负载”与“光网络时延、带宽、负载等”灵活选择最佳西部算力满足东部需求。
- “云边”算力调度：城市边缘 DC 规模小、算力成本高，数据中心集群 DC 规模大、算力成本低；云边需要结合业务的诉求，算力地图与光网络运力地图，灵活选择最佳算力满足需求，实现体验满足情况下算力成本最优。

3、大带宽

结合东数西算规划来看，10 大集群节点共计规划 600 万+机架（标准机架），西部集群规划机架数达到 200 万架以上，东部集群规划机架数达 400 万架以上。东部 DC 以服务本地及周边算力需求为主，西部 DC 以服务全国算力需求为主，西部 DC 预计出省带宽在 70%以上。东数西算将带来骨干网带宽大幅增长，当完成规划的机架数时，预计骨干带宽将增加 3000T 以上，是现有运营商骨干带宽的 3 倍左右，骨干网络需要向 400G 演进，减少对光纤、机房等基础设施的占用。

(累积完成比例)	10%	30%	50%	80%	100%
枢纽间骨干带宽 (T)	350	1050	1750	2800	3500

图 4 东数西算带来的骨干带宽预测

4、低时延

时延越低，结合算力资源与网络优势，运营商能发展的算力业务就越多。

- 运营商在城市内提供 1ms 时延圈，基本上所有的超低时延业务就可以牵移到运营商的地市级 DC 中。
- 如果运营商的省级 DC 提供 5ms 时延圈，基本上所有的低时延业务可以牵移到运营商省级 DC 中。
- 针对时延不敏感的业务，通过低时延网络，都可以迁移到西部集群 DC 中。

同时通过低时延网络实现多级算力协同，在不影响用户体验的前提下，实现算力成本与碳排放最优。

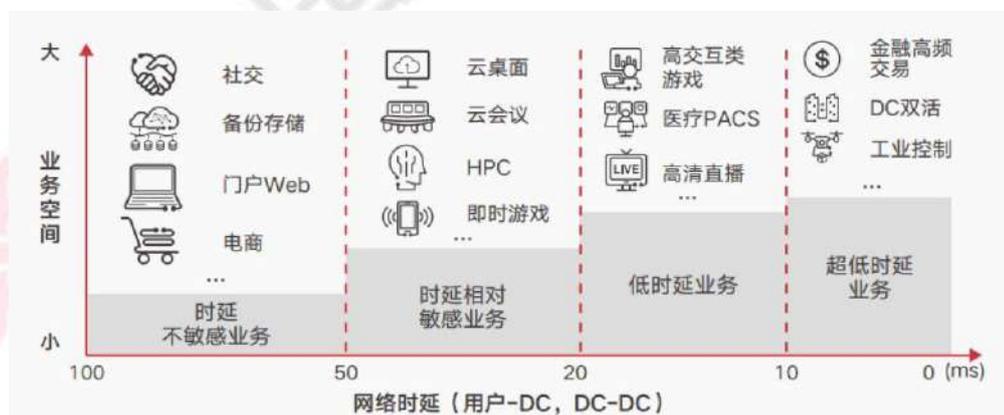


图 5 不同业务对时延的要求，时延越低，牵引到集群的业务就越多

5、弹性敏捷

算力网络时代，需要网络弹性敏捷，如针对 HPC 场景，渲染等场景，网

网络带宽的需求并不固定，在需要传输文件时，需要大带宽，但在大部分时间，带宽需求有限。如平时采用 100M/GE 专线就可满足需求，在向算力中心申请算力时，需要传输的文件经常达到 100T 规模，100T 文件传输如果采用 100M 专线需要 12 天，会大大降低整体效率；如果采用 100G 专线，仅需要不到 20 分钟即可完成文件的传输。因此需要网络弹性，根据需求快速建立连接与调整带宽，以提升整体效率。



图 6 东部数据到西部进行训练与计算

专线类型	时间
100M专线	12 天
GE专线	28 小时
10G专线	2.8 小时
100G专线	17 分钟

图 7 100T 数据搬迁时间计算

6、高可靠，物理安全

算力网络时代，主要面向的客户是政企类客户，同时业务会多级部署，这就对网络的高可靠、物理安全提出了更高的要求。

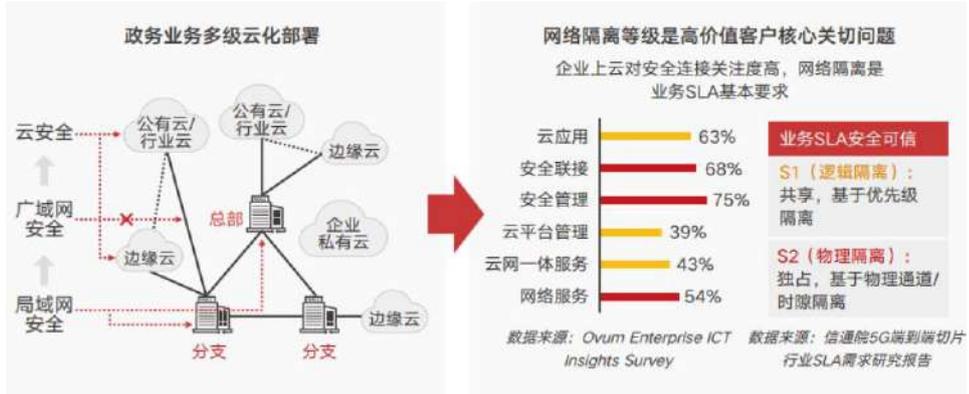


图 8 政企业务对物理安全的诉求

高可靠、物理隔离安全技术是高价值客户典型要求，包括 OTT 在租用专线进行 DC 间连接时，经常是直接租用 OTN 硬管道，同时 DC 间要有 3 条以上的不同物理路由，以确保云间连接物理安全、高可靠。



图 9 典型业务的高可靠性要求

7、总结

结合典型业务场景，算力网络关键需求包括架构优化、大带宽、低时延、弹性敏捷、高可靠和物理安全。结合这些需求，光网络在带宽、低时延、高可靠和物理安全方面有天然的优势，全光底座向算力网络演进，通过全光底座打

造品质算网是必然趋势。

（二）算力时代的全光底座关键特征

结合关键需求，算云时代、算网时代的新业务需要“三低四高”的品质连接，即低时延、低抖动、低丢包，高带宽、高可靠、高安全和高可用，因此承载网络应从尽力而为向确定性承载转型，开辟创新应用新蓝海。光网络因刚性管道的特性，天然具备提供高品质连接的能力，发展潜力巨大，将成为新基建和联通大联接的坚实底座，并从幕后走向前台，直接面向品质业务提供品质连接。

当前光网络还存在架构复杂、适应性差、智能化程度低等问题，迫切需要从带宽驱动的管道网络，向体验驱动、业务驱动的算力网络演进，算力时代全光底座目标网应具备如下特征。

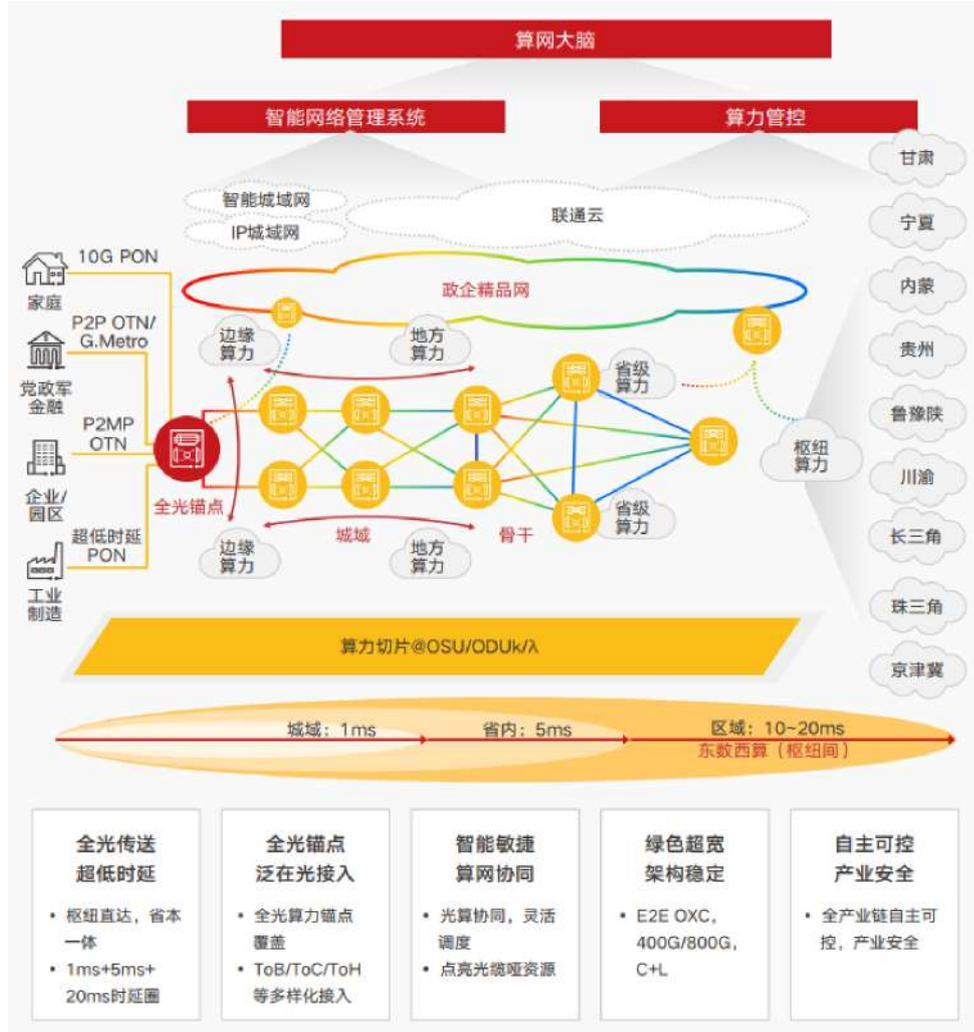


图 10 算力网络关键特征

1、全光传送，超低时延

全光传送设备侧的时延累计不超过 1ms，E2E 的时延主要是光纤的时延，网络具备确定性的时延，由光纤总长度距离就能基本确定 E2E 网络时延。以算力为中心构筑多级时延圈，打造确定 SLA 体验的算网光底座。

		高速公路距离 (公里)	理论可达时延 ms (高速公路距 离*5us/1公里+ 设备时延)	网络可达时延 ms (按理论可达 时延1.5倍计算)	
枢纽间 (以 西部集群- 东部核心城 市为例进行 评估)	东西部重 点结对	贵阳-广深	1100	6.5	9.8
		呼和浩特-北京	500	3.5	5.3
		庆阳-上海	1600	9	13.5
	西部集群 -东部远 距离核心 城市	贵阳-北京	2100	11.5	17.3
		呼和浩特-广深	2500	13.5	20
		庆阳-深圳	2000	11	16.5
省内	从省内集群-地市DC	一般<500公里	3	4.5	
城市内	城市DC-光锚点	一般<100公里	0.6	0.9	

图 11 时延计算

结合距离进行计算，同时考虑网络的实际情况，考虑一定系数，采用 E2E 的 OTN 传送方案，可以打造确定性时延的网络。

- **枢纽间：**结对枢纽间<15ms，西部枢纽-东部远距离的枢纽时延也小于 20ms。通过 E2E 的光传送，可确保东数西算的时延满足业务需求，为东数西算保驾护航。
- **枢纽内：**省级 DC-地市级 DC 一般距离在 500 公里内，时延基本可控制在 5ms 内。
- **城市内：**光锚点到城市内 DC 一般距离在 100 公里内，时延基本可控制在 1ms 内。

2、全光锚点，泛在光接入

以传统网络架构来说，如一个城市用户到一个集群 DC 业务，城市内的距离在 100 公里内，干线距离在 1000 公里左右，但由于城市内网络多次电交换与转接，时延不可控。虽然城市内距离在 100 公里内，但在城市内网络产生的时延有时大于干线的时延。全光锚点可以实现用户算力的就近接入，实现城市

内用户到算力网关的一跳直达，并通过算力网关到集群 DC 直达，城市内的时延控制在 1ms 内，E2E 的网络确定性低时延。



图 12 全光锚点，泛在接入

为实现品质连接，多个省政府发布了加强光锚点建设密度的计划，如下表所示。

广西	山东	陕西	湖北	云南	安徽	深圳
0.83	1.2	1.25	1.2	0.7	0.42	2	

数据来源：全光智慧城市发展报告2.0

图 13 每万人光锚点建设规划

全光锚点实现泛在全光接入，提升全光锚点的密度，光锚点更靠近用户，是提升算力网络品质的必由之路。

3、智能敏捷，光算协同

光网络在大带宽、低时延方面优势明显，但在灵活性方面不足，如波长/OSU 需要人工手工配置。在品质算网方面，光网络后续要提升智能与敏捷性，并与算力调度系统协同，如算力调度系统根据算力资源分布情况，需要调用算力时，根据网络信息，可以自动创建波长/OSU 连接，并依据带宽大小，动态调整带宽大小，由人工控制变为业务驱动，算力与光网络进行深度融合，融为

一体。

自智网络光网从网络自动驾驶迈向算网融合的自动驾驶，实现算网性能和效率最大化，运力可视、多路径保护、业务驱动建链，实现资源利用效率最优，业务品质最优。

4、绿色超宽，架构稳定

结合东数西算算力的规划，未来5-10年，DC的规模增长3倍，骨干网的带宽也将是现有网络的3倍以上，带宽将保持年20%的增长。对于骨干网来说，需要绿色超宽的技术，并保持整体网络架构稳定，这样做的好处。

- **绿色超宽：**在流量持续增长时，需要的光纤资源，站点资源与维护资源最少，单位BIT成本最优。在绿色超宽方面，400G产业链逐步成熟，是未来骨干波分大代际演进的主流技术，骨干波分可选择400G技术。在光纤技术方面，G.654E光纤传输性能更好，在未来骨干网中可考虑部署G.654E光纤，以进一步提升400G传输性能，减少中继。

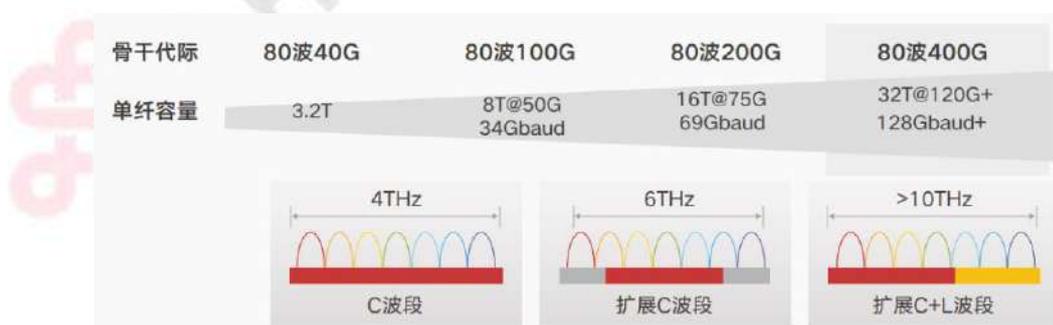


图 14 骨干波分代际演进图

- **架构稳定：**网络光方向、网络光纤连接、带宽都可按需平滑扩容，避免大拆大建，快速响应业务需求，同时网络整体生命周期TCO最优。在稳定架

构方面，优先考虑采用 OXC/ROADM 构建 E2E 全光调度网络，骨干核心节点 32 维，城域核心节点采用 20 维，城域汇聚采用 9 维，边缘采用 4 维，全光架构支持网络在线扩展光方向，通过 Flexgrid 技术可实现超 100G 平滑演进，保护投资。

5、自主可靠，产业安全

中国联通 CUBE-Net3.0 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。

光网络作为所有的业务的传输底座，同时直接为品质业务、算力业务提供品质连接，自主可靠尤为重要。目前光产业国产化程度高，整体自主可控，从产业安全的角度考虑，要优先选择国内产业链，包括管控系统、WSS 器件、光模块器件、oDSP 芯片、交换网芯片、CPU 等关键器件。

三、算力时代的全光底座目标网演进

(一) 算力时代的全光底座目标网架构

结合算力网络特征，联通全光算力目标网架构如下，包括枢纽间、枢纽内和城市内三部分。

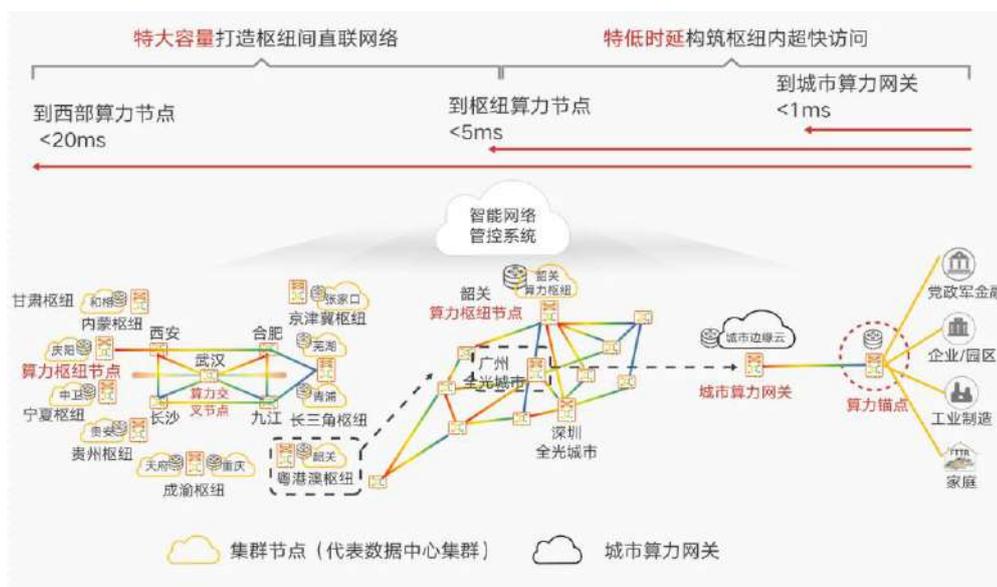


图 15 算力时代全光底座目标架构

- **枢纽间：**OXC/ROADM 构建枢纽间全光互联，打造 20ms 枢纽间连接；网络架构稳定可支持 400G 平滑演进，支持立体多平面演进，按需平滑扩展到 500T+以上能力，满足东数西算中长期业务需求。
- **枢纽内：**OXC/ROADM 打造枢纽内算力全光互联，打造主要城市算力网关到枢纽内集群 5ms 时延圈，网络可持续向 400G 演进，实现绿色节能。
- **城市内：**增加光锚点覆盖，实现用户到算力网关的一跳接入，实现城市内 1ms 时延圈。

下面结合中国联通的现网进行展开分析，实现品质政企到品质算网的演进。

(二) 枢纽间：结合 ROADM 大网演进，打造 20ms 时延圈

1、骨干全光网决定枢纽间竞争力，全光算力网络业内领先

- **网络覆盖：**中国联通全光 OXC/ROADM 网架构基本形成，覆盖京津冀、长三角、粤港澳、鲁豫陕、成渝五大经济圈；实现 IP169 超核节点、联通沃云自有 IDC（按城市统计）100%覆盖。
- **方案特点：**部署基于 ASON 的 OXC/ROADM+OTN 网络，实现大小颗粒灵活调度，大颗粒业务采用 OXC/ROADM 波长调度，小颗粒采用 OTN/OSU 调度。



图 16 联通骨干网络图

OXC/ROADM 全国一张网的优势，如下图所示。

① 投资节省	CAPEX节省	业务在不同大区穿通，免转接
② 时延降低	时延平均降低，骨干网时延持续领先	全局算路，基于全网路由资源可直接算出最优路由
③ 开通快速	TTM缩短至分钟级	一次配置，端到端开通（资源Ready下）
④ 安全可控	抗多次断纤，钻石级保护	京津冀ROADM现网实测，对高价值业务可抗10次以上断纤

图 17 OXC/ROADM 全国一张网优势

新的 ROADM/OXC 架构大网可一网多用，对主要的骨干业务如“IP 底座

承载、跨省政企 OTN 专线、东数西算等业务”提供品质连接。

2、IP 底座承载

IP 的 169 互联网，CUII 产业互联网，云骨干总体演进趋势是省间、核心城市间全互联，一跳直达，减少跳数，优化时延。同时根据业务流向变化快速调整带宽大小，网络更加弹性。

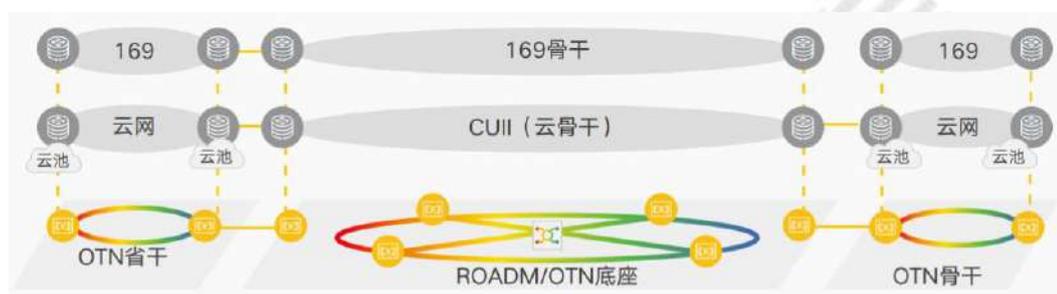


图 18 IP 底座承载

ROADM/OTN 大网架构与 IP 网的诉求完美匹配，全国一张网模式为省间、核心城市间、不同区域 DC 间全互联快速提供直达波道。全国一张网模式优势如下：

- 任意 2 点波长直达，E2E 管理，业务发放快。
- 无多网对接，减少对接板卡需求，时延与成本优化。
- 大网+ASON，路由多，提升网络可靠性，资源充分利用。

3、跨省政企专线承载

与 IP 底座不同，政企专线业务经常需要跨越骨干与城域网，相比于互联网业务场景更复杂；同时不同业务类型大小颗粒差异也较大，2M-100G 需求都存在，主要要求如下：

- **可用性要求高：**要求 99.99%，重要业务需要 3 路由保护。
- **时延要求高：**时延要求稳定，可承诺，时延是理论可达时延的 1.5 倍左右（理论可达时延=5μs*高速公路里程 km）。
- **快速保护倒换：**倒换时间<50ms。
- **开通时间：**要求从月级到天级。

基于 ASON 的 ROADM/OXC+OTN 骨干网，与省内政企 OTN 无缝衔接，通过集团协同器实现政企业务全国一张网，与政企专线业务的诉求高度匹配。

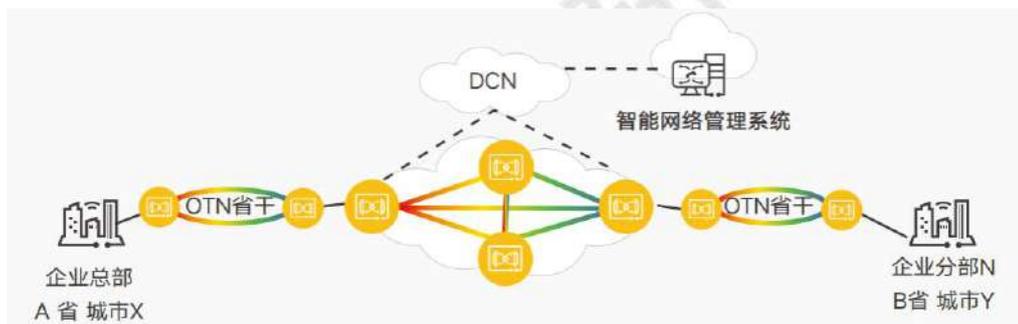


图 19 跨省政企专线承载

基于 ASON 的 ROADM/OXC+OTN 大网承载政企业务的优势如下：

- **高可靠性：**骨干多路由，开通 ASON，可靠性可达 99.99%以上；SNCP 与 OTN ASON 保护倒换，倒换时间<50ms。
- **时延最优：**基于骨干网的时延地图与不同业务时延诉求，灵活选择不同链路满足业务需求，同时实现链路的负载均衡。
- **开通时间：**城域+骨干+集团协同器一张网模式，通过资源预留模式，可实现跨城跨省业务小时级业务开通。

4、东数西算算力网络承载

(1) 东数西算战略带来的主要变化

- **算力位置的变化：**国家发改委期望枢纽节点新增的算力占整体新增的算力比例在 70%左右，东西部枢纽节点新增算力比例为 2:1；整体来说就是枢纽节点算力占比提升，西部算力占比提升。
- **新增算力位置与传统骨干节点不一致：**新增的集群节点包括韶关，中卫，庆阳，张家口，芜湖等节点非重点骨干节点，这些节点是普通地市级节点，流量出口多需要通过省会城市绕转。
- **枢纽集群节点带宽需求大：**从各枢纽节点规划数据看，每枢纽规划的机架规模都超过 30 万架，未来会带来 100T 级别的 DC 出口带宽需求。

(2) ROADM/OXC 大网结合省内政企网络对东数西算承载的优势

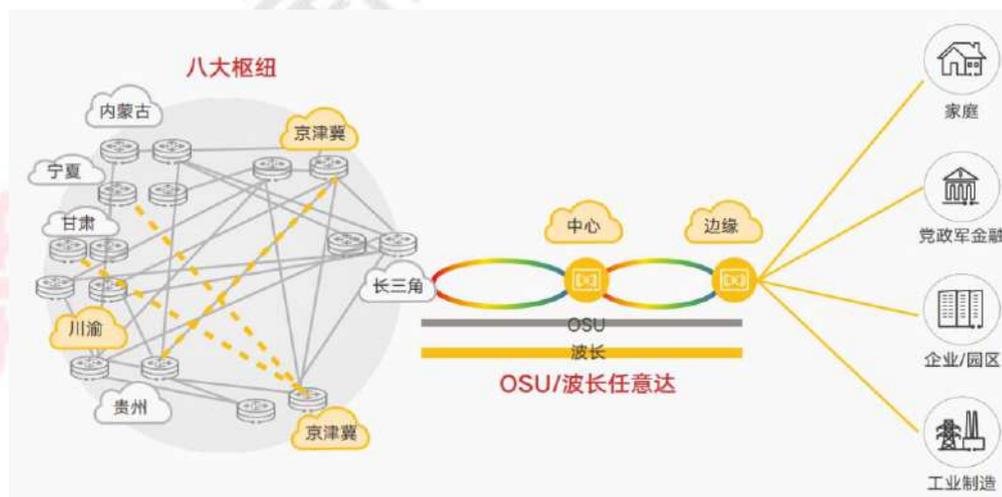


图 20 东数西算承载

- **需求高度匹配：**全国一张网的网络架构与东数西算跨东西部的算力调度需求高度匹配。

- **大站快车，时延优：**枢纽间，大站快车直连，ROADM/OXC 大网实现枢纽间<20ms。
- **确定性：**基于带宽需求实现波长/OSU 不同颗粒业务一跳联算，稳定低时延，带宽与品质可保证。
- **高可靠：**节点间连接多路由，整网 ASON 可提供多次断纤保护。
- **E2E 分钟级发放：**干线+城域政企 OTN E2E 管理，“东西部枢纽间，东部企业-西部枢纽间”具备自动发放能力，支持分钟级业务开通。
- **能力开放：**通过管控系统为算网大脑开放多种能力（时延、带宽、丢包、可用率）。

5、骨干网演进方向：超高速，超频谱，品质提升

结合联通 DC 集群规划与东数西算枢纽节点规划，优化时延，打造枢纽间 20ms 时延圈。

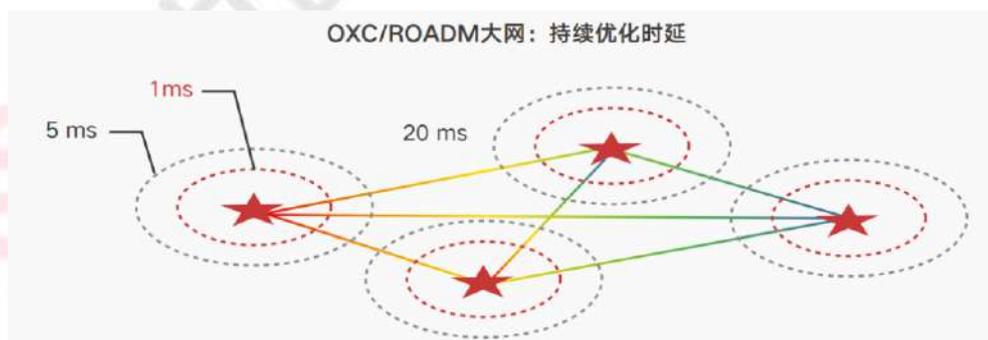


图 21 打造低时延网络

(1) 优化时延的主要措施

- 骨干节点 Mesh 化程度持续提升，减少骨干节点间的绕行，优化时延。
- 提升集群（集群指的是数据中心集群）节点网络地位：如庆阳、中卫、韶

关、张家口、芜湖，增加集群节点-互联网流量大省的骨干节点的直达波长路由，减少绕行，提升用户体验。

- 结合东数西算规划增补部分直达链路：针对时延要求高的链路：如内蒙-北京/天津，贵阳-韶关/广州/深圳，甘肃/宁夏-上海/京津冀，可建直达链路，作为主链路，确保带宽与时延需求；现有链路可以作为保护链路。

(2) 网络技术及网络架构演进

- **网络技术演进**：光层向扩展 C+L 演进，提升波长数量；数据中心集群内电层向 400G/800G 演进，枢纽间向 200G/400G 演进；通过频谱扩展与速率增加单纤容量，降低每 Gbit 功耗，绿色节能。
- **网络架构演进**：广覆盖与立体架构相结合，广覆盖解决骨干节点与 DC 节点全覆盖问题，实现任意骨干节点间一跳直达；立体骨干实现大站之间链路直达，避免 2 点带宽增加带来多链路拥堵；广覆盖与立体架构相结合模式实现成本最优，性能最优，网络生命周期成本最优，业务 TTM（Time To Market，上市时间）最优。

(三) 枢纽内：区域 ROADM+省本一体，5ms 时延圈

1、区域 ROADM+省本一体，打破行政区划，构建成本、时延优势

- 枢纽内，区域 ROADM/OXC 网络实现跨省的算力就近互联，避免绕行省会城市，时延优化 30%以上。
- 打破行政区划，实现集群节点到周边城市最优时延覆盖：周边城市算力-

集群算力，城市内用户-集群算力时延最优。

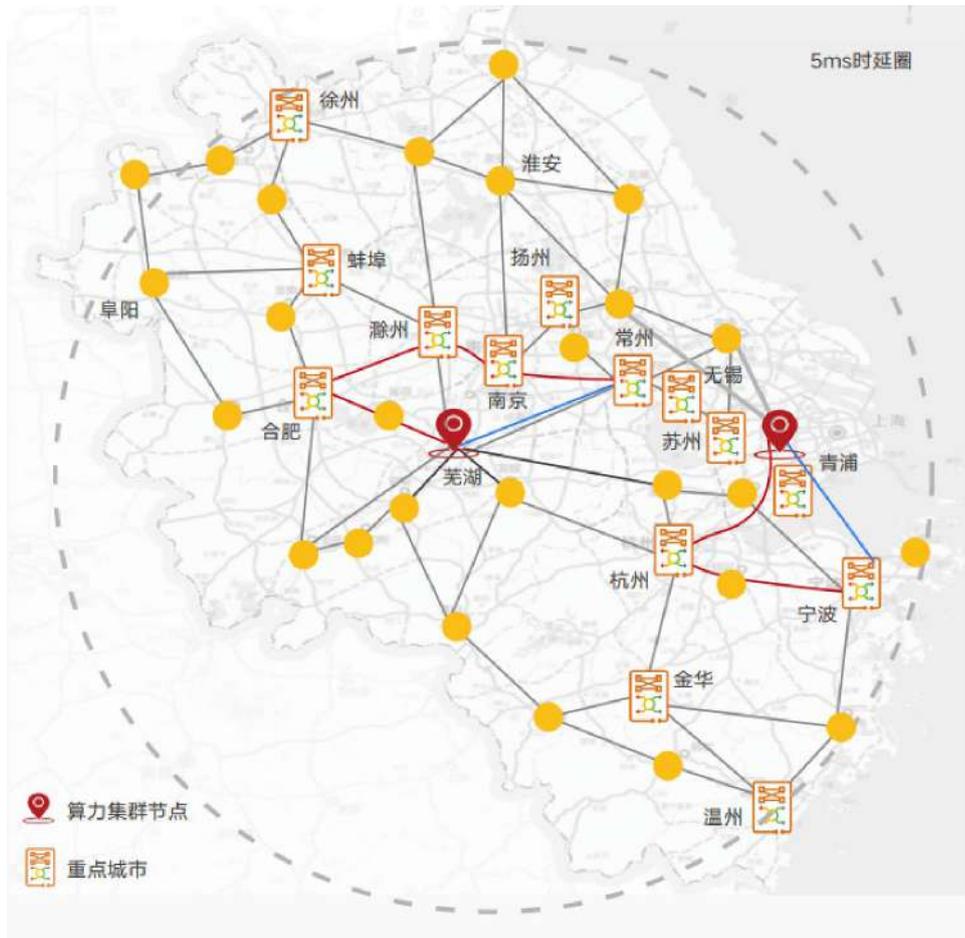


图 22 长三角枢纽内网络示例

	按行政区划	区域ROADM	价值
常州-芜湖算力互联	常州-南京-合肥-芜湖	常州-芜湖	减少绕行，时延优化50%以上，CAPEX节省50%左右。
宁波-上海算力互联	宁波-杭州-上海	宁波-上海	减少绕行，时延优化30%以上，CAPEX节省30%左右。

图 23 区域 ROADM/OXC 网络，去行政区划，优化时延，降低 CAPEX

2、省本一体，构建省内成本、时延、可靠性优势

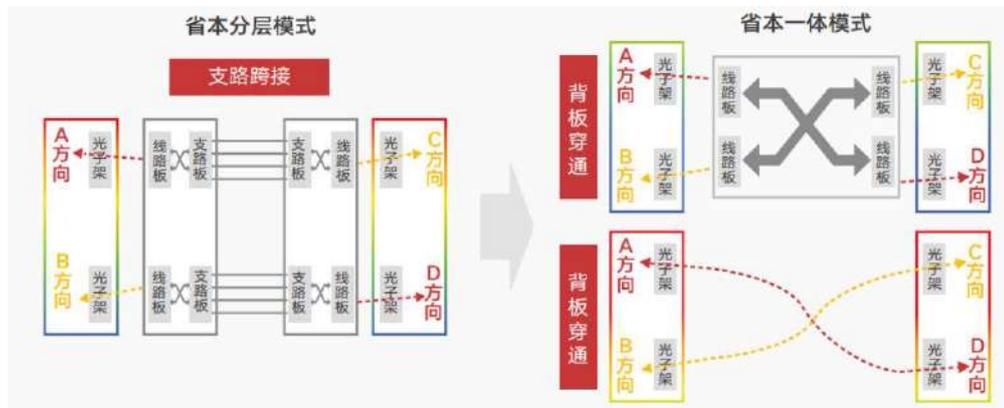


图 24 省本一体模式

针对省内互联业务，推行省本一体，构建成本、时延、可靠性优势。

- **调度灵活：**跨环业务光层互通，同厂家一键可配置，无需落地跨接；快速应对新业务发展及业务流量流向的变化。
- **低时延：**业务光层直达，降低时延。
- **网络更可靠：**跨接业务从电层无保护变为背板/光层穿通。
- **低成本：**无背靠背电层板卡转接，降低成本。
- **省机房空间：**城域核心仅需部署一套设备，无需同时部署多套波分设备。

3、枢纽内演进方向：优化架构，超高速，算力间一张网，品质提升

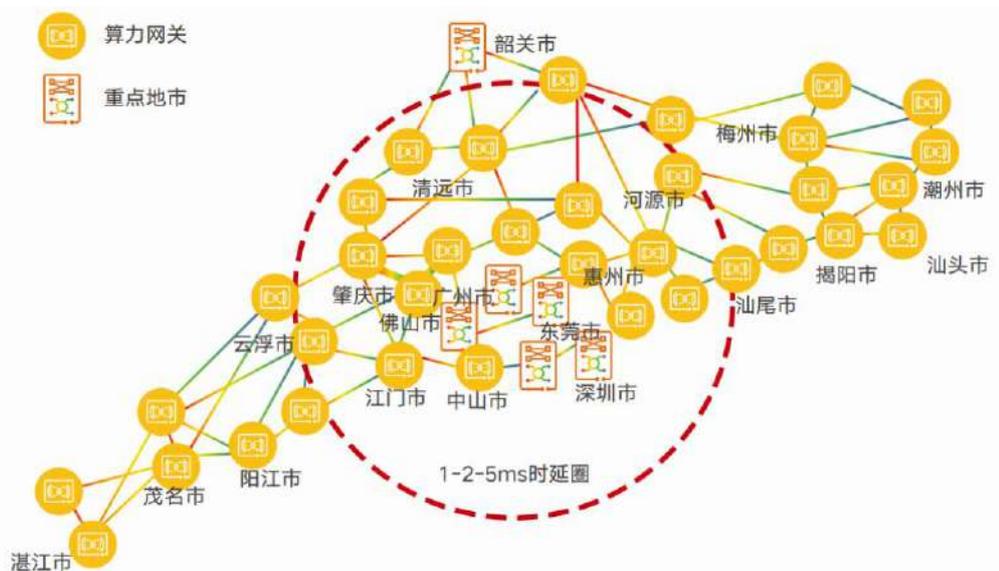


图 25 广东省枢纽内网络规划示意图

(1) 以广东省为例，围绕算力集群节点优化网络架构，规划目标和原则

- **网络架构优化：**如韶关变成枢纽节点，以前韶关节点与其他地市流量互通要绕行广州，需要提升韶关节点网络地位，韶关到其他地市增加 OTN 直达波道，互联网业务与政企 OTN 都可一跳直达，减少绕行广州，优化省内用户体验。
- **大站快车：**韶关到广深需增加高速链路连接，大站快车，减少对广覆盖网络的冲击。
- **广覆盖：**算力节点与热点区域预覆盖，包括第 3 方算力节点，通过资源覆盖，快速 TTM，提升业务竞争力。
- **算力间一张网：**省本一体化网络覆盖算力网关，地市结合政企 OTN 部署算力网关，可利旧政企 OTN 子架，也可新增 PeOTN 电子架；用户一跳联

算，地市算力到集群算力一跳直达。

- **5ms 时延圈**：地市算力到枢纽算力 OTN/OSU 一跳直达，光路由参考高速/高铁路网，去行政区划，去物理迂回。
- **可靠性>99.99%**：重点地市确保三路由到集群、路由物理分离。

(2) 技术演进方向

- **智能化**：SD-OTN，全省业务统一调度和管控。
- **高可靠**：全网使能 ASON，抗多次断纤，打造最佳网络 SLA。
- **技术优**：引入 OXC 极简光层、200G/400G、OSU 等领先技术方案，逐步演进到一张架构稳定、技术领先的全光算力网。

(3) 算力网关节点部署方案

- 算力网关节点结合政企 OTN 站点，根据业务情况适度部署大容量电层子架，支持向 OTN 集群平滑演进，同时支持 OSU。
- 算力网关节点光层采用 20 维 OXC/ROADM，广深，韶关核心节点部署 32 维的全光 OXC/ROADM 设备，满足大容量波长级业务灵活调度和网络平滑扩容。

(四) 城市内：光锚点实现泛在灵活光接入，1ms 时延圈

1、全光城市，从多张网演进到一张全光网，实现多业务的综合承载

随着城域全光政企、千兆家宽、边缘云、算力网等新业务开展，全光城域主要有三个特征变化：

- **品质特征变化：**ToH：住家办公、网上教育、云游戏等要求低时延；ToB：政企业务上云连算需要物理高安全；品质连接诉求扩展到 5G/F5G 千行百业。
- **网络调度变化：**TDM->ETH->云化，云化导致网络从南北调度到东西调度同时存在，城域 FOADM 走向 ROADM/OXC 调度。
- **建网模式变化：**从被动建网模式（多张网络、多个平面）转换为主动建网模式（一张全光网）。

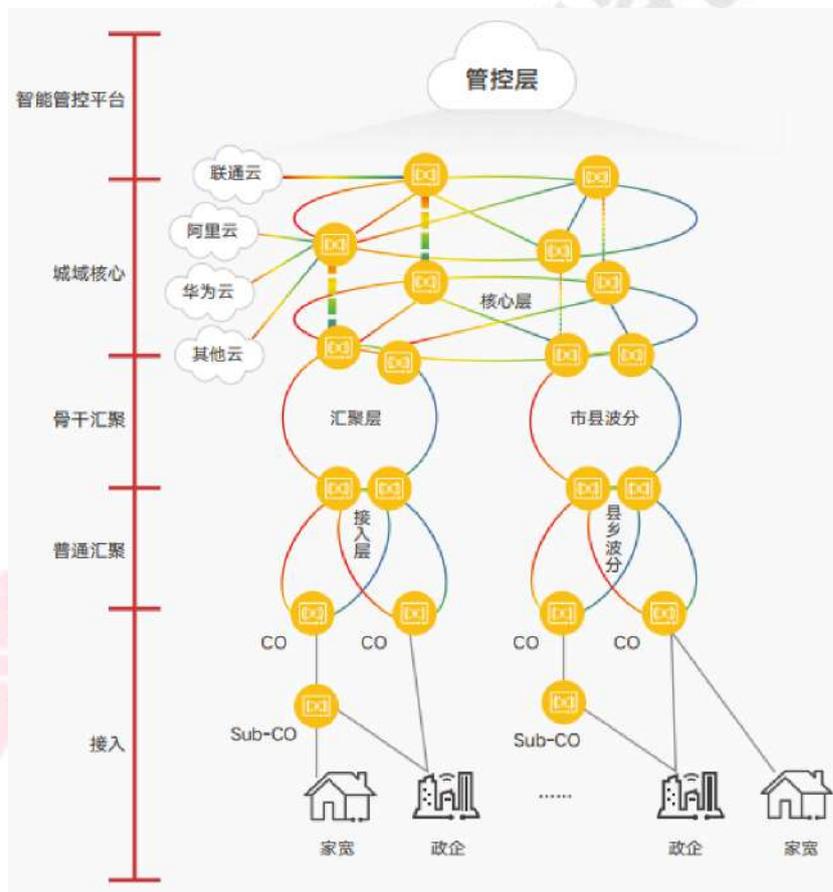


图 26 城域全光网综合承载架构

基于机房的功能定位和各业务网的流量流向特点，城市内全光网络构筑稳定的三层网络架构（中小城市也可由两层网络组成），实现 IP 城域网/智网、政

企、家宽等各类业务综合承载。三层网络结构分为核心层、汇聚层和接入层。

- **核心层**：以地市 IDC、CR、MCR、省干对接节点为核心节点。光层由 FOADM 或 ROADM 组成，电层以 100G/200G PeOTN 组网，实现综合承载。
- **汇聚层（城区汇聚/市县波分）**：以边缘云、BRAS、IPRAN 骨干汇聚节点 /MER 为汇聚节点。光层由 FOADM 或 ROADM 组成，电层以 100G/200G PeOTN 组网，实现综合承载。
- **接入层（城区接入/县乡波分）**：以综合接入区为中心，以一张光缆网为基础。按照综合接入区设置 1~2 个 OTN 全光锚点，OTN 实现 OLT、政企专线等业务综合承载。

2、全光综合承载带来的价值

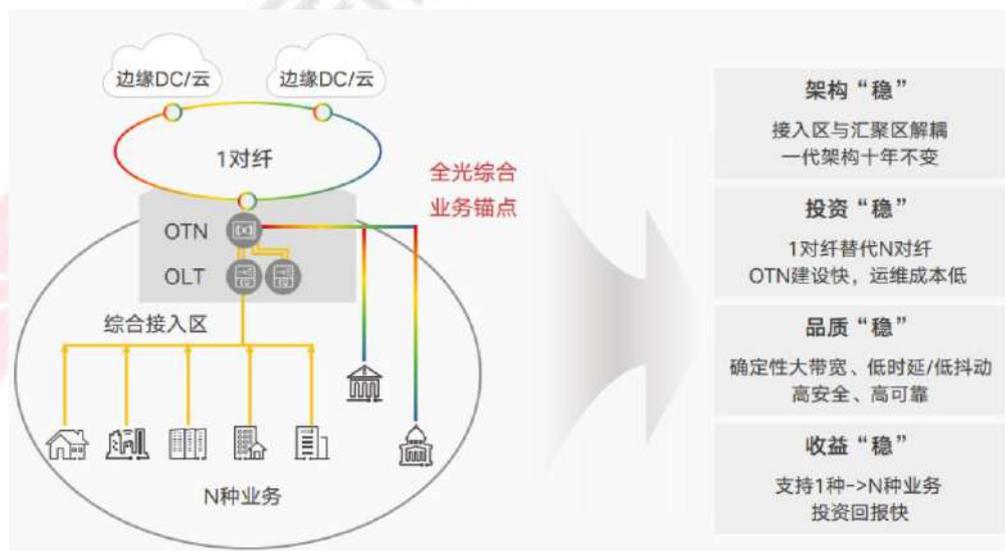


图 27 全光综合承载价值

- **架构稳**：多层网络架构，不同网络层级演进节奏可解耦，整体网络架构稳

定。

- **投资稳：**一套波分系统承载多种业务，单纤容量超过 10T+，替代百对光纤的投资，带宽按需扩展，整体生命周期成本优。
- **品质稳：**光网 OTN 提供确定性低时延/抖动、零丢包；光网 OTN 提供丰富保护机制，可靠性提升。某省网络采用 E2E OTN 改造后，网络性能大幅提升。

	平均RTT	最大RTT	抖动	丢包
传统方案	20.11 ms	644.38 ms	623.78 ms	2.40E-05
OTN改造后	11.34 ms	12.07 ms	1.07 ms	0

图 28 某省网络改造前后性能指标对比

- **收益稳：**围绕着全光综合业务锚点，可以发展多种品质业务，包括品质家宽，品质政企，打造差异化优势，实现收入增长，提升投资回报。

3、算力时代下全光城市网络演进方向：加大力度打造全光锚点，实现泛在光接入

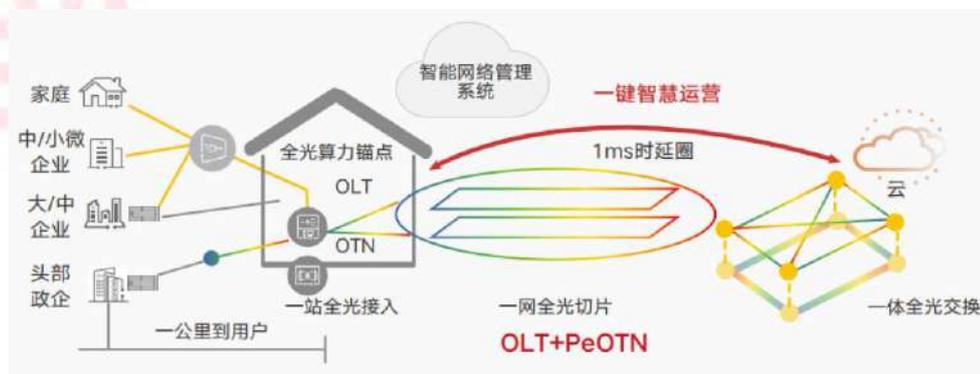


图 29 全光城市架构

(1) 全光政企锚点升级为全光算力锚点，打造“五个一”算力全光底座

- **一公里到用户**：全光锚点如同地铁站，最终用户 1 公里内接入。
- **一站全光接入**：全光锚点可综合承载 ToH, ToB, 算力业务；提升多种业务的品质。
- **一网全光切片**：一张综合网络，按不同业务类型进行波长/OSU 切片，专有资源保障专有业务。
- **一体全光交换**：在汇聚及核心节点，采用 OXC/ROADM 全光交换，E2E 时延与成本最优。
- **一键智慧运营**：城域与骨干 E2E 拉通，实现 E2E 一键业务发放，一键智慧运营。

(2) 面向城域 5~10 年当期业务及新业务承载，城域目标网络需要具备以下关键能力

- **具备 5~10 倍网络带宽扩展能力**：政企专线，5G ToB、品质家宽、边缘云/算力网至少考虑 5 倍增长能力；同时从带宽每年 20%复合增长看，也需要 5 倍以上的演进能力。全光城域通过波分波长扩展，单波速率 100G 到 400G+升级，可以满足未来网络带宽扩展诉求。
- **具备低时延优化能力**：政企专线、5G ToB、品质家宽面向未来具备优化时延的能力；边缘云、算力云考虑灾备和多活则需要 1ms 的低时延能力。全光城域通过 OXC/ROADM 光层一跳直达实现业务网络的扁平化，通过时延测量和时延选路功能实现最短路径选择。

- **具备网络 0 丢包能力：**业务要求 $\leq 10^{-5}$ ~ $\leq 10^{-6}$ ，网络要求 0 丢包，全光城域通过 OTN/OSU 硬管道能力实现 0 丢包能力。
- **具备 4 个 9 可用度能力：**全光城域通过业务网 1+1 保护及全光基础网ASON 保护实现多路径保护，可靠性提升至少一个数量级。

4、全光城市关键技术演进

全光城市的核心层、汇聚层和接入层的关键技术演进如下。

(1) 核心层、汇聚层

- 光层采用 OXC/ROADM 组网，依据需求灵活选择 9/20/32 维 OXC/ROADM，可支持灵活扩展光方向。
- 支持 200G/400G/800G 平滑演进，单 BIT 成本更优。

(2) 接入层

- 强化全光锚点建设覆盖，全光锚点即算力锚点，确保容量按需扩展，满足综合承载需求。
- 全光算力锚点的覆盖要实现用户快速接入 OTN，类同地铁站，城区 500 米，县乡 3 公里，一点接入即用即取；县乡波分接入层支持 100G/200G 大带宽到乡镇，通过高速率板卡降低每 BIT 成本。
- 光层依据场景灵活采用 FOADM/ROADM/OXC 与骨干 / 汇聚 ROADM/OXC 组网。
- 结合不同场景，灵活选择不同方案：

E2E OTN：党政军大企业可采用 E2E OTN/OSU 方案。

PON+OTN: 中小企业/园区可采用 PON+OTN 结合的方案。

IP+OTN: 家宽承载，普通互联网业务通过 IP 承载，价值业务通过 OTN 承载，实现品质与成本的平衡。

G.Metro: 可实现接入层的综合承载，节省光纤资源。

MSTP+OTN: 两网融合，MSTP 主要作为接入设备，组网功能由 OTN 实现。

光电集成 PIC 方案: 可用于县乡及城域接入/汇聚场景，空间与功耗节省，简化运维。

(3) 绿色节能

网络融合节能: SDH 演进到 OSU，推进 O 改 S 等多网合一改造。

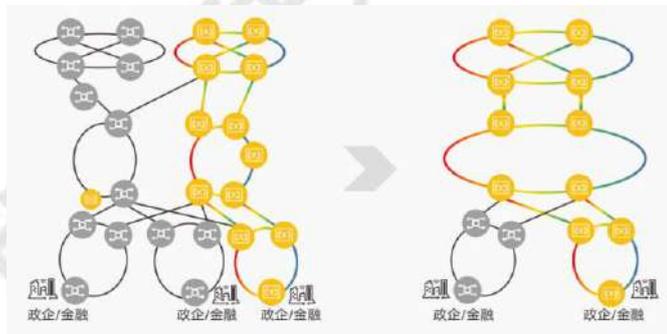


图 30 SDH 向 OTN 演进

OTN 逐步下沉到 SDH 站点，OTN/OSU 统一承载，业务逐步割接，释放老网资源，容量提升百倍以上，空间及功耗节省 50%以上。

（五）智能管控：打造智能敏捷，光算协同的管控架构

1、管控现状：二级协同实现全国一张网统一管理，智能管控架构实现全流程运营自动化

全光底座智能管控采用分层架构，通过协同器协同各厂家管控系统，实现跨域跨厂家网络端到端自动编排和协同，基于标准化 ACTN 北向接口，提供开放、快捷、分层的 OTN/WDM 业务发放和运维能力。

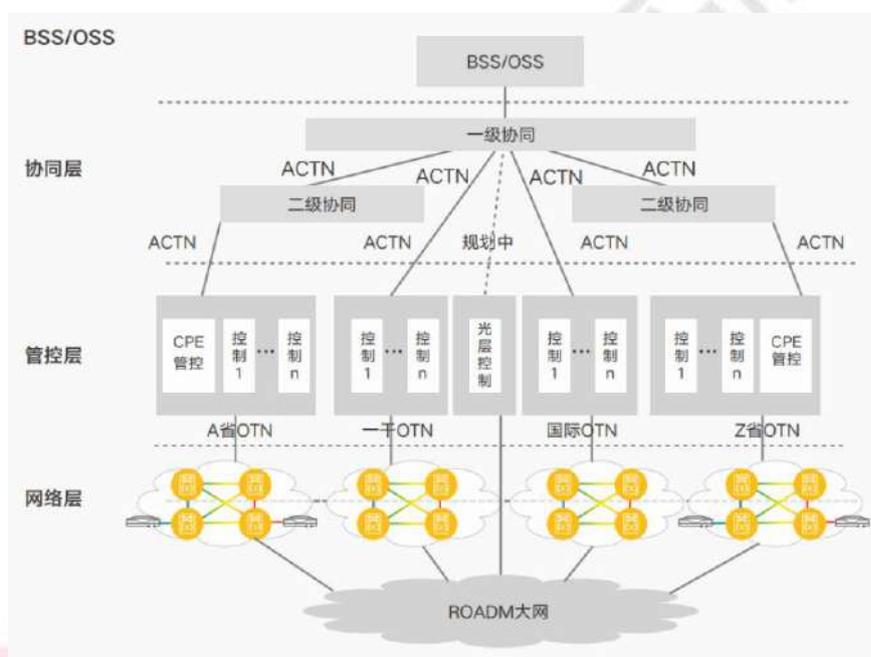


图 31 智能管控架构

业务协同器系统统一协同控制 OTN 网络全域的各控制器，实现 OTN 网络能力开放，支持跨域跨厂商业务端到端自动发放。

业务协同器系统采用两级架构，按省分权分域设置，两级协同负责省内多域控制，一级协同对各二级协同、骨干及国际控制器统一协同。主要功能如下：

- 北向对接资源管理和调度系统，接收电路调单信息，并在电路开通完成后

对业务性能、业务状态及业务端到端逻辑路由进行拼接和上报。

- 南向支持对接多厂商的 OTN 控制器以及 CPE 管控系统，实现全域资源管理和路径计算、业务配置分域拆解和下发等功能。

管控一体化系统是对网络设备全生命周期进行管理、控制和分析的自动化平台，通过集成传统网管和 SDN 控制器的功能，支持对 SDN 网络和非 SDN 网络的统一管控，充分发挥 SDN 网络的自动化优势，并基于大数据平台对整网质量和流量数据进行全景可视和深度分析，保证网络的长期稳定运行，实现对网络的智能运维。另外，管控一体化系统可提供标准的北向接口，支持以 RESCONF 协议与协同层进行对接，供上层系统灵活整合、重用和组合管控系统已有的综合管理和智能控制的能力，快速定制开发创新业务或应用。

2、算力时代的全光底座管控目标架构

OTN 光网是一个天然硬隔离的网络，设备面通过波长/OSU 对用户的提供确定时延、确定带宽、确定质量等确定性体验。在确定性体验的基础上，设备面需要增强对于业务、光缆、算力等的感知能力，管控面需要进一步增强自动化、灵活弹性、资源可视、协同计算等能力，根据业务不同的 SLA 需求选择合适的算力节点和网络路径，最终达成整体算力网络使用效率最优的目标。要达成这个目标，从整体架构上需要一个统一的“大脑”来拉通算网资源，网络也需要北向开放与大脑协同。

面向算力时代的管控系统会向算网融合的架构进一步的演进，整体架构如下图所示。

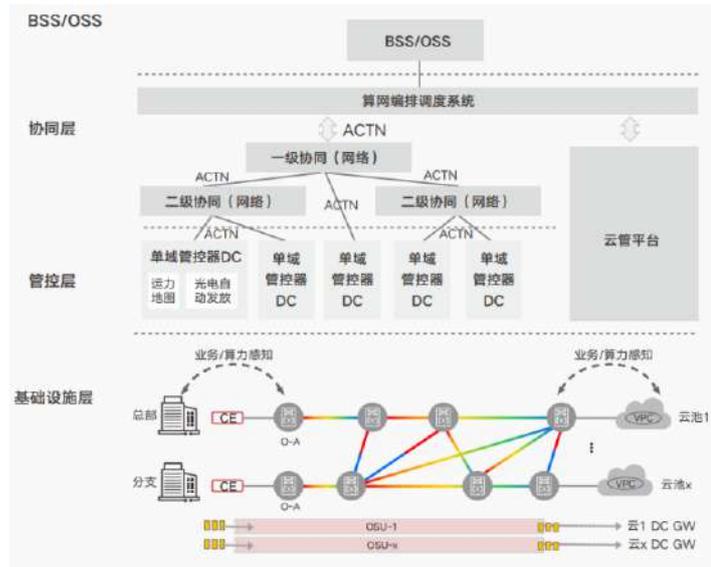


图 32 算网融合架构

全光算网管控是基于 OTN 网已部署的智慧管控系统的进一步升级。一方面设备控制器需进一步增强业务自动化、弹性调整、资源可视、SLA 可视等能力；另一方面，协同编排系统在原来跨域跨厂家网络设备协同的基础上，进一步增加与算力管控系统的调度协同，向算网融合自智网络演进，为算网资源综合最优、高效调度打基础，实现“算网联动，网随算调”的目标。未来，可以根据实际需求进一步探索光网的业务感知机制，进一步提升光网业务感知能力和灵活调度的能力。

- **运力地图，多因子算路：**基于当前 OTN 管控系统时延地图功能，引入算力元素。实现用户接入节点、算力节点、物理路由、时延、带宽、保护等级等综合信息资源视图（运力地图）。基于运力地图功能，OTN 管控系统具备多因子算路能力，确保不同业务的确定性 SLA 保障。
- **光电协同调度和保护：**对于小颗粒业务，进行电层业务调度，对于 100G 以上颗粒业务，可以通过电层驱动光层自动建链，提升业务发放效率，同

时改变光层资源预置的现状，提升整个网络资源的利用效率。同时通过光电协同 ASON 保护，既具有电层业务倒换快的特点，又具有光层 ASON 低成本的优势，同时保证了业务的高可靠。

- **业务感知，灵活联算：**通过地址感知、流量感知、算力感知等技术，进一步增强 OTN 网络业务感知能力，并依据业务感知信息进行网络灵活弹性调度，做到一点接入，用户灵活联接多算力节点，无感弹性伸缩，业务级动态调整。
- **光缆感知，资源可视：**为充分利用光缆网资源，解决当前光缆资源不可视，利旧难等问题，需进一步提升 OTN 设备的光缆资源感知能力，并在管控系统引入 AI 技术。做到光缆资源动态刷新，光缆质量实时感知，光缆故障点精确感知。精确统筹光缆资源，快速分配光纤资源，修复效率提升，增强业务可靠性。

面向算力时代，OTN 网络在实现原来确定性体验的基础上，进一步增强整网的弹性、灵活调度能力、业务感知和光缆感知能力，将设备面与管控面协议结合，同时通过北向接口与上层协同编排系统对接，提升整个算网全局资源调度效率，做到算力和网络的最优自动分配。

（六）目标网价值：用户一跳入算，算力间一跳直达

基于枢纽间，枢纽内，城市内构建 E2E 的算力网络全光底座，可实现各类型的业务安全一跳入云，业务高可用，稳定低时延。

- 家宽品质业务提供硬管道，按需弹性带宽调整，品质连接。

- 政企业务云网协同，高物理安全，高品质连接。
- 云/算间高速直达，算力灵活调度，网络大小颗粒灵活调度，确定性时延。

1、家庭业务，通过硬管道提供品质云连接



图 33 OTN 承载 CloudVR 方案架构

面向 ToH 场景的品质业务，如 VR 视频、云游戏、4K 高清视频等，需要支持按业务或应用驱动 OTN/OSU 管道建立与动态带宽调整，从而达到确保业务承载品质的同时，兼顾网络成本。

家庭侧进行业务识别，价值业务 OLT 上行自动选择 OTN 硬管道，并自动映射到 OSU 通道中，实现无拥塞直达云端，OSU 随流量弹性无损扩缩容；实现在提升网络承载效率的同时，提供超低时延/零卡顿极致体验保证。为确保用户的初始点播请求等操作体验，要求动态管道建立连接和带宽调整性能达到百毫秒~秒级。

2、政企业务，E2E OTN 提供品质云网连接

全光入云网关节点，负责 OTN 网络与云网关对接组网，云端业务映射入管道，及跨域保护。云网关业务路由感知：全光入云网关节点直接对接云网关，

实现一跳入云，全光入云网关节点和 OTN 接入侧设备具备业务路由感知能力，支持在 OTN 网络边缘基于业务路由灵活分流进 OSU 管道，E2E 一跳转发到云端，实现企业一点接入随选入多云。

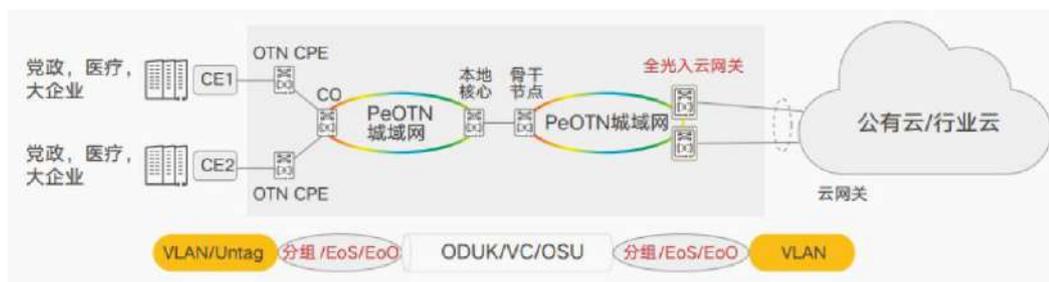


图 34 品质专线入云方案架构

- **全光入云网关节点与云网关保护对接：**全光入云网关节点需要支持口子型双归保护，与云网关对接，倒换时间<50ms，确保 OTN 网络入云业务的可靠性和可用性。
- **云网协同，网随云动：**OTN 网络提供北向标准化开放接口，网络能力服务化，根据云端业务需求变化在线开通/调整，云网一站式受理。

3、云间、算力间：E2E OTN 运力网络，跳数与时延最优

目前在地市级 DC、省级 DC、枢纽 DC 间互联多是采用 IP 多级汇聚的模式，IP 网络的时延与网络跳数、负载度密切相关，DC 间多级协同开展业务是趋势，DC 间迫切需要稳定与可靠的低时延，如 DC 间双活业务要求 1-2ms 时延。通过全光云/算网可提供 DC 间的 OTN/OSU 一跳直达，跳数与时延最优，支撑更多业务可在多 DC 间部署，实现成本与资源利用最优。

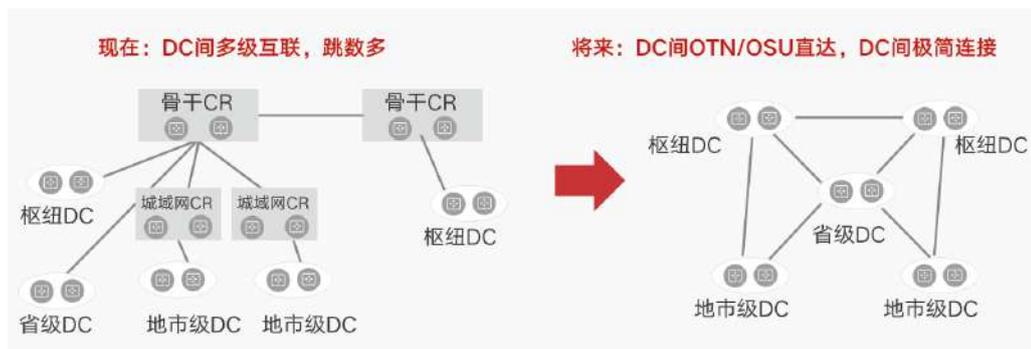


图 35 云间互联方案演进

不同场景，不同承载模式跳数对比	多级互联跳数	OTN直连模式跳数
场景1：地市级DC-省级DC互联	3	1
场景2：地市级DC-枢纽DC互联	4	1
场景3：省级DC-枢纽DC互联	3	1
场景4：枢纽DC互联	3	1

图 36 云间互联方案对比分析

- **解决方案关键点：**创建不同 DC 间的 OSU 管道，在 DC 出口网关进行业务识别，DC 间流量直接进入不同的 OSU 管道，实现 DC 间流量 OTN/OSU 一跳直达，时延最优；互联网流量可继续采用传统的多级汇聚模式。OSU 管道能感知流量方向与流量大小，根据流量大小可动态调整 OSU 带宽；实现云间、算间品质连接的灵活、高效调度。
- **云间，算间连接 OTN/OSU 能力是关键：**边缘云数量多，但机架规模小，一般边缘云机架规模<100 架，DC 东西向出口带宽在 10G -100G 级别，还需要与多个 DC 互联，到不同 DC 的带宽大小更是不一，同时不同时段带宽大小差异大，因此采用 OSU 带宽调整能力能有效提升骨干网带宽利用效率，降低 DC 间连接成本。

（七）总结：打造业界最佳的算力时代全光底座

围绕全光 ROADM/OXC 大网、OTN 政企精品网，持续优化网络，推进光电融合，做强优势，提升关键能力。



图 37 全光算力精品网关键能力

（1）超低时延

- 枢纽间：时延领先，可进行路由补链，持续降低时延。
- 枢纽内：ROADM/OXC 区域网络+省本一体，去行政区划，时延最优。

（2）泛在光接入

- 全光锚点下沉 CO 提升覆盖，价值区域精准规划。
- 光锚点实现 ToB/ToH/ToC/算力业务多样化接入与综合承载，形成业务体验差异化竞争力。

（3）智能敏捷

- 加快联通 OB 域打通，以智提质。
- 管控创新，网络提供运力地图，光算协同调度等。
- 点亮传输段哑资源，构筑可靠的资源底座。

(4) 绿色低碳

- 超 100G+OXC、光电协同调度，降低单比特传输成本和功耗。
- OTN+SDH 网络深度融合，实现老旧 SDH 设备平稳快速退网。/4、安全可控
- 全光网络深入应用于行业，促进数字化转型，打造一个高安全、高效率和体验可保障的全光底座，需要推动全光底座的设备及核心芯片产业链自主可控与国产化。
- 产品自主可控：推动全光网设备的国产化，设备的研发、生产、制造在国内，保证设备供应的连续性。
- 芯片自主可控：提升关键的光层及电层的核心器件芯片国产化能力，包括但不限于 CPU、WSS、交叉、OTN Framer 以及光模块 oDSP 等芯片。

四、算力时代的全光底座关键技术

(一) 全光传送

1、扩展 C+L

单根光纤所能传输的光信号的容量取决于信号的频谱效率和可用频谱带宽，频谱效率越高，可用频谱带宽越大，光纤的容量就越高。提升单纤容量，前期的主要思路是提升信号的频谱效率，带来的直观结果是 WDM 系统的单波长速率从 10G 开始向着 40G、100G 和 200G 等速率不断提高，针对现在的城域和数据中心互联应用，甚至已经出现了单波长 400G、600G 和 800G 等速率，并持续向更高的速率演进。

提升频谱效率要求光信号采用更高阶的调制格式，或者更复杂的频谱整形方式、更多维度的复用手段，受到香农极限的制约，随着频谱效率的不断增加，信号的传输距离将相应地不断下降。在现有的技术条件下，依靠增加频谱效率的方式来作为提升单纤容量的手段已经难以持续地演进下去。

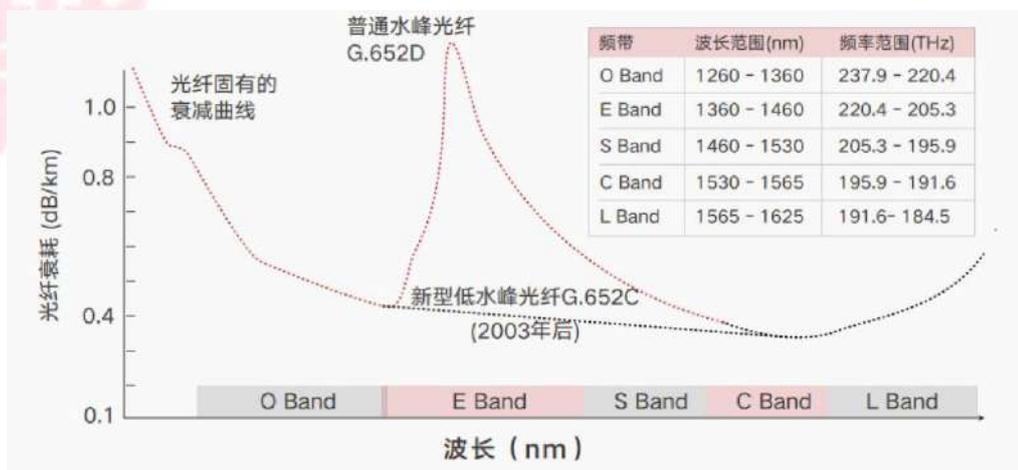


图 38 光纤损耗图

既然提升频谱效率的方法效果不再明显，那么另一条路径则是增加可用频谱带宽。在传统的 C 波段 WDM 系统中，已经使用到了 6THz，最多可支持 120 个 50GHz 间隔的波长。随着光纤拉制工艺的不断提升，现在的光纤已经可以基本消除水峰的影响，其理论上可用的传输频谱带宽范围已经可以扩展到 1260-1675nm，涵盖 O 波段到 L 波段。可见，扩展可用光频谱带宽，或者说扩展波段，不仅是现阶段提升单纤容量的有效手段，而且还存在着巨大的挖掘空间。

线路速率向 400G/800G 演进，实现单纤容量的翻倍，支持 80*400G 的长距传输，单波频谱占用更多，需要向 L 波段扩展，在传统 C96+L96 的基础上，扩展为扩展 C+扩展 L，能支持 11-12THz 的频谱宽度。

扩展之后的扩展 C+扩展 L 波段可以实现在 50GHz 波长间隔下单纤传输高达 240 波、150GHz 波长间隔下单纤传输 80 波。

2、高速率技术：400G/800G

实现高速线路主要技术有：高波特率、多相位调制、多子载波三个方面：

线路速率=偏振复用数 × log₂ (调制阶数) × 波特率 × 子载波数

根据香农理论，提高调制阶数的方法，能提升线路速率，但传输距离会大幅下降。需要通过提升信号波特率的方式，实现 400G/800G 高速线路的长距传输能力。

400G 目前业界主要方向有 16QAM 和 QPSK，16QAM 有 60GB 波特率和 90GB 两种，60GB 的使用 75GHz 间隔波道传输，但传输距离有限，适合

点到点应用，已经开始商用，90GB 波特率的占用 100GHz 间隔，传输能力能达到 800-1000km，适合于城域、及小型骨干网络。

传输能力要达到 100G/200GQPSK 相当的能力，满足骨干传输应用需求的，需要 400G QPSK，目前业界已经具备实验室离线验证的能力，预计传输能力可达到 2000km。400G QPSK 波特率需要提升到 128GB+，传输的信道间隔要达到 150GHz。并需要高速 AD/DA、高波特率调制器等高速器件，高速 AD/DA 需要通过 oDSP 集成实现，高速调制器目前业界有 Inp、硅光混合调制，涉及材料、工艺的突破。800G 业务正在启动研究，目前业界可商用的传输能力在 100km 左右，要具备干线商用的能力，需要超 150GB 更高波特率的器件，甚至要求提升到 200GB，当前业界还在前沿技术研究中。中国联通作为技术先行者，为推动 400G 相关技术尽快成熟投入商用，支撑东数西算国家战略的落地，率先在全国启动 400G 试验网。

3、OSU

政务、金融、大企业客户，对于自主可控及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。另外，SDH 技术已进入生命周期末期，面临退网和长期演进问题。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，但切片颗粒度较大，主要用于承载大于 1Gbit/s 速率业务。在未来承载网中的不足如下图所示。



图 39 OTN 在小颗粒业务承载网中的不足

- **管道弹性不足：**当前 OTN 最小管道为 ODU0（1.25Gbit/s），现网存在大量为 STM-1/4/FE 等低速率业务，如果采用 ODU0 承载，会存在带宽利用率不足，带宽浪费等问题。
- **管道连接数少：**当前 OTN 最小管道为 ODU0，100G 线路最大只能承载 80 个管道，即最多只能承载 80 条专线业务。
- **管道时延较大：**由于当前 OTN 的所有通道颗粒都是基于帧格式传输，在每一个站点，经过交换网之后，需要将交换后的数据重新对齐，然后组装成 ODUk 的帧格式，导致 OTN 端到端传输时延较大。
- **带宽调整不灵活：**当前 OTN 仅支持有损调整，即在不删除业务的情况下，短暂中断业务，然后实现端到端的 ODUflex 带宽增大或减小调整。

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 相比具有 6 大关键价值：**

- **极简架构：**多业务、多平面承载向多业务接入统一承载演进，简化承载架构。

- **泛在连接**：定义灵活弹性的新容器 OSUflex，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。
- **超低时延**：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。
- **灵活可调**：OSU 相比传统 OTN，好比无级变速的汽车变速箱，无论业务速率是 100M、2G，还是 5G，都会以 2M 为步长，根据实际业务速率自动换挡，使网络带宽与业务速率完全匹配。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。业务“0”中断，网络资源利用率达到 100%。
- **OSU 确定性承载**：按需部署 OTN 电调度节点，通过 ODUkOSU 技术，提供 2M-100Gbps 大带宽服务。OSU 硬隔离通道简化封装结构，缩短单节点业务处理时延，从百微妙级别减少至十几微秒级别。

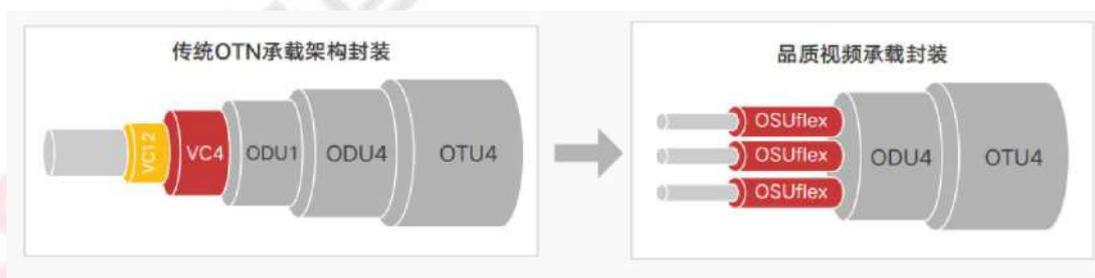


图 40 OSU 承载架构

- **按需无损调整带宽**：8K 视频、VR 教育等业务对带宽要求高，用户使用品质视频业务分闲时和忙时，带宽的潮汐效应明显，如果按照用户数预留和规划带宽，闲时可能空载，浪费带宽，忙时带宽又不够，需要网络能实时感知业务，网络自适应带宽服务，实现时间上的带宽复用，降低网络成本。

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 OTN 带宽需求，OTN 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 OTN 对应的管道上配置带宽扩容和缩容的流量门限，OTN 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。

OSU 可以应用到任意颗粒的高品质入云专线、云间互联专线、政企连接专线、品质家宽承载。

OSU 行业现状，国内标准和国际标准都在稳步推动过程中，基于 OSU 的异厂家对接测试也在有序进行，并且省内的商用局点也在部署商用；中国联通研究院组织业界多个主流厂家在实验室完成了基于光业务单元（OSU）的光传送网（OTN）设备互联互通测试，标志着联通研究院在 CUBE-Net 3.0 技术创新上取得重要进展，为大联接、大计算、大数据、大安全、大应用的建设发展打下坚实基础，为中国联通政企精品网，算力网络演进等高品质业务持续发展做好技术储备。

4、OTSN

OTSN 创新技术，支持一张物理网，多张专网：面对不同的用户或不同场景下的资源使用诉求，借助 SDN 管控系统和 ASON 2.0 技术，实现了一张物理网络，多张逻辑网络。同时，通过北向开放可编程将切片能力提供给上层系统和最终用户，实现资源的分等分级、隔离使用。

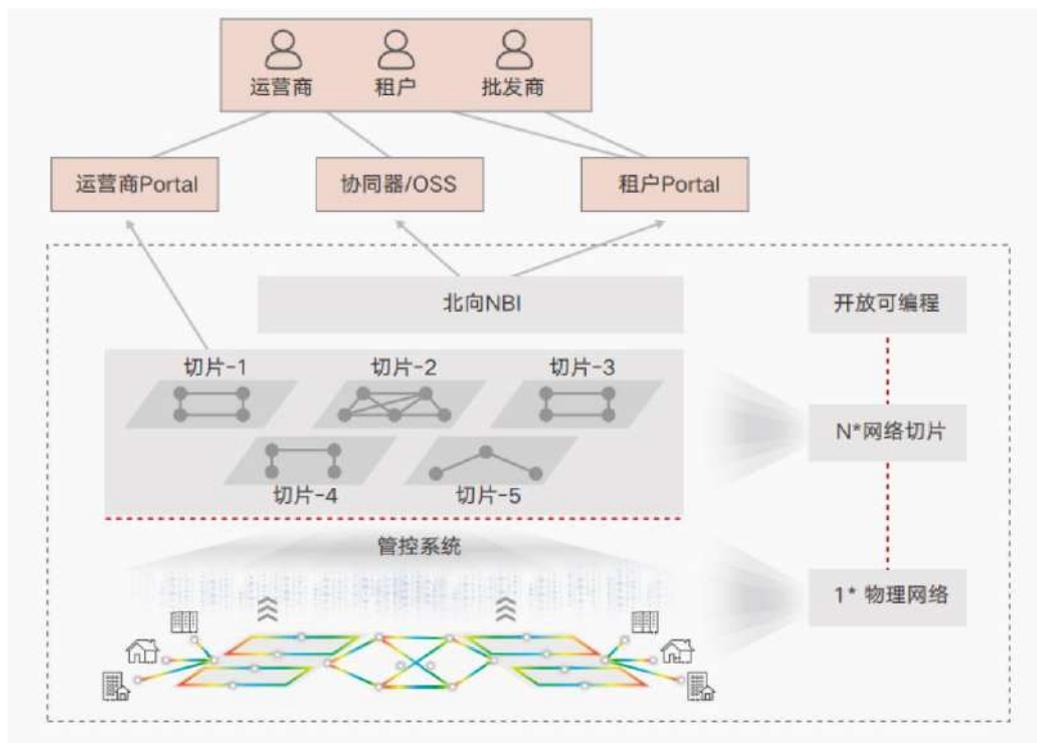


图 41 OTSN 方案

多维度切片资源模型：为了灵活适配各类行业诉求，需要为用户提供多种维度的资源分割能力。OTSN 对 OTN 网络中光电各层的物理资源，如网元、端口、波长、ODU 等逻辑资源进行多维度切片建模。切片之间实现资源隔离，切片内形成专有网络拓扑，基于切片的路由策略，实现在切片内发放业务和调度路径。

- **基于切片的算路算法：**OTSN 最核心的能力，在于业务发放时，只使用指定切片内的资源算路，而不会占用切片外的资源。
- **全光行业切片：**在一张物理网络基础上，通过 OTSN 切片方式打造多张逻辑网络，构建以云为中心的“低时延+超高速+高可靠” OTN 立体综合承载网。面向不同行业，分等分级预留资源，满足不同行业的客户需求。
- **低时延切片：**面向金融客户提供小带宽、高品质业务，围绕重点金融城市

构建和预留专用资源，在金融客户聚集区布局节点，一跳直达骨干网，建立金融城市间直达通道，降低物理链路时延。

- **大带宽切片：**面向大型 OTT/云客户提供 100GE+大带宽业务，覆盖 100GE 大带宽需求旺盛的城市、重点 IDC 园区，实现行业独享端到端大带宽。
- **高可靠切片：**面向可靠性、安全性要求高的党政军精品专线，骨干网覆盖业务所在城市，本地网就近覆盖党政军用户聚集区域，党政军独享切片资源提升业务可靠性。

5、光 DCN

数据中心的业务，主要分为计算和存储两大类。近些年，数据中心流量呈现井喷式增长，这主要得益于并行计算，以及分布式存储的大量部署。传统的计算业务，多是将一个处理芯片分成多个虚拟机，租给多名用户。但是随着 AI, HPC 等高性能应用诉求，单一处理芯片已经无法满足芯片处理速度和时间的要求，并行计算便随之诞生。随着计算芯片数目和能力的增加，计算时间逐渐缩短，而计算节点间传递的数据量却逐步提升，传输时间占比不断增加。网络时延成为算力发挥的重要瓶颈。

同理，因为存储数据量增加，备份保护诉求的提升，分布式存储应运而生。同时，随着存储介质技术，从传统的机械硬盘，到固态硬盘，再到现在的 SCM 等新兴技术，磁盘存储时间，也从最早的秒级降低到纳秒级。网络在其中的时间占比，也逐渐凸显出来。

传统电交换网络，受限于多级互联架构，网络中拥塞问题严重，动态时延较长，特别是对并行计算的长尾效应影响巨大。同时，因为电交换芯片工艺已经遇到瓶颈，单交换机带宽增速放缓，无法匹配日益增加的服务器带宽需求。传统电交换网络遇到巨大的挑战。

计算和存储的技术发展，使得数据中心业务对网络提出低时延，大带宽的新的诉求，但是受限于电交换网络的局限。光 DCN 成为下一代数据中心网络发展的重要方向。

6、新型光纤

为了匹配波分系统传输容量和传输速率的提升，单模光纤经历了从 G.652~G.657 光纤的发展。伴随着 100G、400G 等相干技术的发展，波分传输系统的色散和偏振模色散问题得到了很好的解决，制约传输系统速率和传输距离的关键是光纤的衰减和非线性。

目前，在现网已有光缆中 G.652 光纤占比很高，超低损、大有效截面积的 G.654E 光纤已经在包括中国联通在内的多个运营商网络中进行应用。根据现有的测试数据，G.654E 光纤在传输距离和传输性能上更适合 400G 及以上速率的 WDM 系统，可以减少光放站和光再生中继站的设置，有效降低网络的运维成本。

随着线路速率从 100G/200G 向 400G/800G 发展，其他更多新型光纤也在学术研究中，主要有空芯光纤、少模光纤、多芯光纤。空芯光纤使用特殊设计结构，等于在空气介质中传播，具有低插损、低时延、低色散、低非线性的

特点，但由于拉制工艺特殊，无法规模生产。少模光纤具有大模场面积，多个独立空间模式，单纤芯多个系统同时传输能大幅增加系统容量，但模式耦合还没有达到可商用条件。多芯光纤在原先的单纤芯中拉制出更多纤芯，单缆更多纤芯数。上述三种新型光纤目前主要在研究中，还不具备规模商用能力。

（二）全光交换 OXC

ROADM 可实现远程对波长的上下路及直通配置，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。

随着维度数的增加，维度间的连纤数量快速增加，不利于系统维护，演进发展到 OXC 设备。大容量全光交叉 OXC (Optical Cross-Connect)，支持维度数从 ROADM 的 9 维/20 维为主，提升至 32 维。维度间互联方式由光纤跳线直连优化为光背板互联，无需人工连接，做到即插即用，如下图所示。

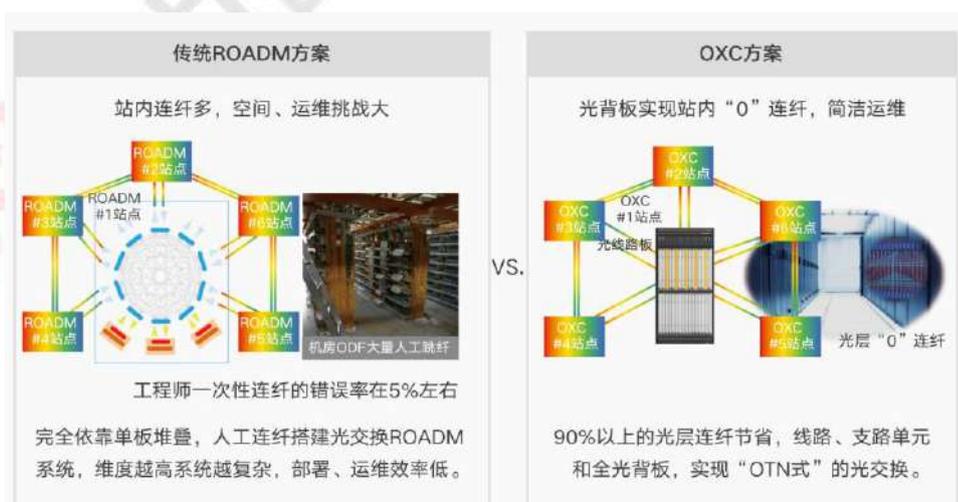


图 42 ROADM 与 OXC 方案对比

OXC 的基本构成包含：光支路单元、光线路单元、光背板和管理控制单元，

单元模块功能要求如下：

- 光背板通过把光纤部署在 PCB 上实现光支路单元、光线路单元全 Mesh 互连的能力，从而实现光信号任意方向交叉调度。
- 光支路单元需具备本地光信号无色（Colorless）、无方向（Directionless）、无阻塞（Contentionless）接入，并通过光交叉连接矩阵功能模块调度到任意维度的光线路单元实现线路传输。OXC 光支路单元需具备无色、无方向、无阻塞（CDC）的光信号上下能力。

目前的 OXC 主要是 20 维与 32 维，随带宽与光方向增长，核心节点需要更高纬度的 OXC，从 32 维向 64 维演进；同时要实现 OXC E2E 的部署，在城域汇聚与接入节点，需要更低纬度的 OXC，需要支持 9 维与 4 维的 OXC。

（三）全光接入

1、OTN 与 OLT 协同高品质承载

随着产业数字化转型加速，越来越多的中小企业对专线品质提出了更高的要求，大量的商务楼宇，汇集直播电商、在线教育、云网咖等海量中小企业，这些企业随着云化升级，对专线的诉求已从最基本的“能上网”转为“上好网”，也就是有品质保障的上网。

OTN 和 OLT 协同方案实现 PON 与 OTN 握手，将 PON 的广泛覆盖和 OTN 的高品质管道的两大优势完美融合，达成最优承载方案，并且配合管控系统，PON 和 OTN 端到端业务发放，实现时延、带宽可承诺优势竞争力方案。

OTN&OLT 协同解决方案可具备以下几大功能场景：

- **业务广覆盖：**基于 OLT 与 OTN 直接握手，快速复用 ODN 网络现有的光纤资源，实现商务楼宇和园区内企业品质专线快速开通，实现专线快速覆盖，可以将 OTN 品质专线应用扩展到千行百业。
- **智能业务切片：**基于重点业务的智能识别，通过控制协议实现动态业务带宽调整，实现端到端业务 OTN 管道带宽调整。
- **智能管控：**通过管控系统实现业务端到端集中控制，业务端到端快速发放，带宽按需调整、SLA 可视。

OTN 和 OLT 协同打造领先的全光接入解决方案，实现商务楼宇和园区内企业品质专线快速开通，并且可以保障各类应用的高品质体验，实现用户带宽提速提质，构筑领先的差异化产品和服务。

2、G.Metro

DWDM 技术下沉是光网络发展趋势，中国联通联合华为以及国内外主要运营商设备商共同在 ITU-T 制定了面向城域综合承载基于 DWDM 技术的 G.698.4 标准（前 G.metro）。将低成本 DWDM 技术进一步下沉应用于城域边缘接入层，包括移动前传、室内分布和 CPE 专线接入等应用场景，提供光波长级连接的硬管道，实现波长即业务（ λ as a service, λ aaS）。打造接入层综合 WDM 系统，高效利用城域接入层光纤频谱资源，提高纤芯利用率，较好地解决城域多业务综合接入对接入主干光缆和配线段光缆的光纤芯数依赖，降低不必要的光缆超前建设，减少基础资源的无效沉淀和折旧，从而使得网络规划和

建设更加经济合理。

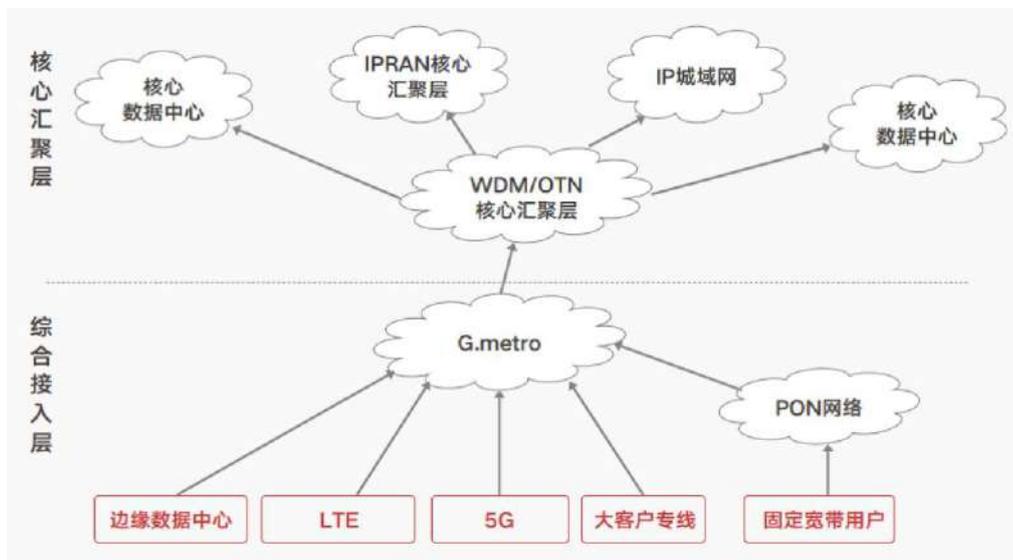


图 43 G.metro 综合多业务接入架构

该技术采用波长可调谐 DWDM 光模块，具备端口无关，波长自适应特性，系统容量大，且极大简化网络建设和运维，其主要优势如下所示：

- 采用可调谐激光器，光模块型号归一化，与合分波器间任意连接，不需要一一匹配，不存在波长识别等问题，安装维护简单，即插即用，备件种类和数量少。
- 基于 G.698.4 标准规范的消息通道（HTMC/THMC），实现简洁有效 OAM，具备光功率/波长/温度等实时监测，以及告警和环回等快速故障定界功能，提升综合接入网络维护手段和能力，可实现对综合接入网络的有效管理，降低维护成本。
- 支持有源和半有源等多种型态灵活部署，独立或多平台集成（WDM/OTN/IPRAN）部署，充分利用机房资源。

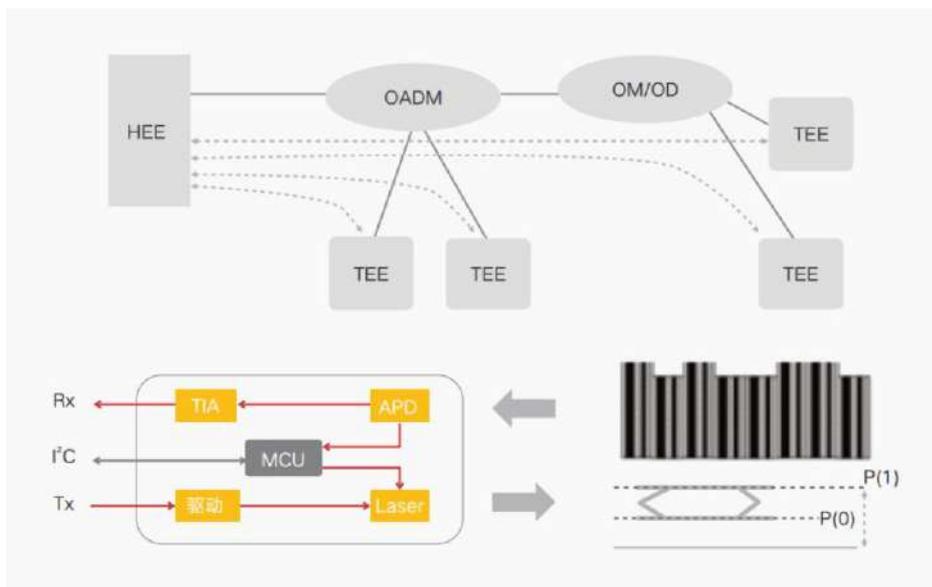


图 44 G.metro 系统 OAM 及技术实现

3、FTTR

FTTR 是光纤入户（FTTH）在家庭内部的延伸，也是保证用户真千兆体验的必然选择。从入户家居配线箱部署光纤到家庭内各个房间，替代传统的以铜缆为基础的以太网线，通过光纤以及配套的组网设备为每个房间提供有线、无线业务接口，配合 WiFi6 技术实现全屋“千兆”网络覆盖。

FTTR 解决方案包括以下关键技术与特征：

- **光纤全联接：**光纤组网方式规避了网线提速需更换更高标准的网线、WiFi 信号易受干扰和信号穿墙带来的性能衰减、电力线速率低且易受电器干扰等问题，WiFi6 速率可超千兆，实现超千兆宽带到房间。FTTR 组网可实现“1 次部署，长期演进”，在不改动光纤基础设施的情况下，仅通过更换两端的设备，即可将网络带宽平滑升级到 10Gbps 以上，可以满足未来持续演进的高带宽业务诉求。

- **全屋一张网：**采用主从网关组网架构，从网关即插即用，上电后通过光纤接入主网关，完成在主网关的自动上线和自动配置，主网关上的WiFi等参数自动同步到从网关，实现全光组网的WiFi统一配置，从网关无需单独配置WiFi等参数。全屋WiFi无缝漫游，用户从一个房间到另外一个房间，WiFi连接可以无感切换，保证实时业务不会中断，消除WiFi切换导致访问中断的问题。
- **自动化管理和运维：**FTTR管理平台提供FTTR网络的远程管理和运维功能，保障全光网络的WiFi体验，提升全光网络的运维效率。功能包括家庭网络拓扑和设备信息可视可管，云端大数据+边缘分析+极简APP使能家庭网络的自助运维，WiFi覆盖和性能智能调优，用户业务体验可视。
- **绿色低碳：**FTTR全光组网架构极简，多层网络变2层网络，光进铜退，无源设备替代有源设备，无源网络免取电，大幅简化或免弱电机房，降低电能消耗30%以上，助力碳达峰。

4、10G/50G PON

PON接入到目前已历经GPON/EPON，10G GPON/10G EPON，50G PON三代技术的演进，每一代PON技术部署时间大概是7到8年，带宽提升4到5倍，当前阶段10G PON技术已进入大规模部署阶段，同时50G PON的国际标准已形成基线。

50G PON包括以下关键技术：

- **上下行速率：**50G PON采用单波长TDM-PON架构，速率为XGS-PON

的 5 倍，上行 TDMA/下行 TDM（和 GPON/XG-PON 一致）。支持不同 ONU 速率组合，50G/12.5G（目标家庭客户）、50G/25G（部分家庭客户和政企客户）、50G/50G（小部分高端政企客户）。

- **兼容 GPON 和 EPON 两种制式：**在 ODN 等级上，50G PON 兼容传统 GPON ODN 和 EPON ODN 两种制式。在 MPM（Multi-PON Mode）模式下支持 29dB/32dB 功率预算等级，从而为 10G-EPON 和 10G GPON 平滑演进到 50G PON 铺平道路。
- **与 10G PON 共存：**50G TDM PON 和 10G PON 的共存演进升级，原则上都是采用波分共存技术，两代 PON 系统的容量互不影响，支持通过更换 ONU 平滑升级。

5、工业 PON

工业 PON 技术主要应用在工业生产网络中的车间级和工厂级网络位置，通过 PON 网络灵活便捷的部署（无源，长距，预连接等特点），多等级的保护倒换，实现车间级多业务的大带宽承载，支持工厂生产网络和企业信息网络的融合，并通过边缘计算和开放平台实现网络协议的统一承载，促进工业场景应用开发和运维能力的提升。

中国联通联合产业合作伙伴，在以下关键技术方向进行创新和推广，支撑工业互联网的建设和发展，在长周期内匹配智能制造多样化需求：

- **节拍网络：保证海量数据实时传递，匹配生产节拍。**高可靠，PON E2E 实现 5 个 9 的可靠性，按节拍承载。E2E 硬管道隔离，提供确定性低时延

/带宽保障（PON 与 TSN 技术融合），解决工业以太协议的限制。

- **简单灵活：匹配智能制造多样化设备。**多种形态终端产品组合覆盖主流应用场景。按工业要求重新定义极简 ODN，免勘免熔接，免工具施工。傻瓜式 ONU 管理，免现场配置，减少学习和推广成本。
- **开放平台：行业应用快速集成。**管理平台为用户提供应用管理服务，汇聚上下游合作伙伴，形成有竞争力的端到端解决方案，使得用户可以方便的选择满足其需要的各个组件，形成满足其需要的最终方案。

（四）全光智能

1、高可靠，光电协同 ASON

骨干网络发展，经历了静态链路网络到 OTN 叠加 ROADM 调度的网络。

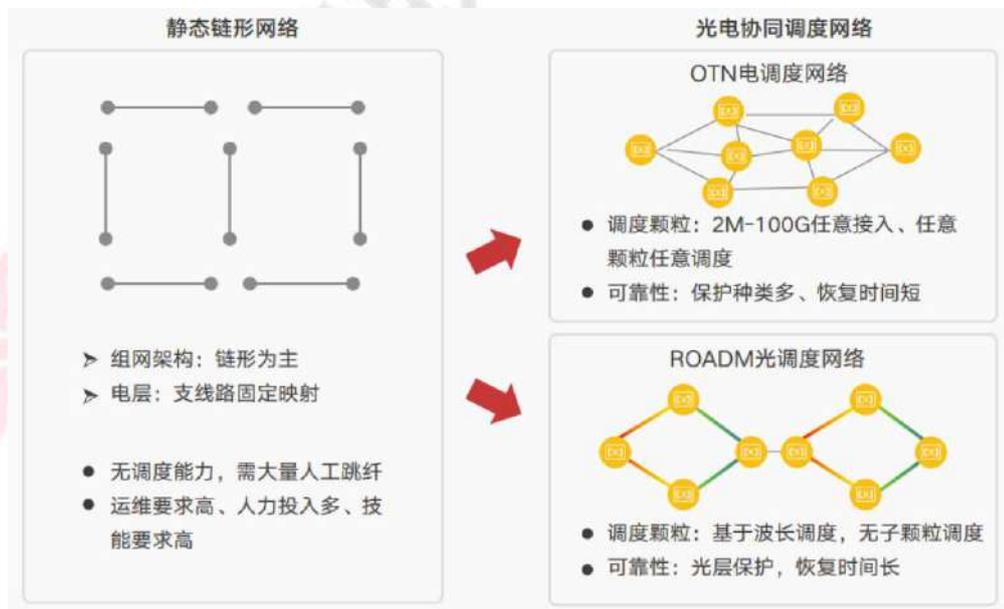


图 45 静态网络向光电协同调度演进

ROADM 大网主要是解决大颗粒的业务调度，基于大颗粒的光层 ASON 实

现大颗粒业务的自动重路由恢复功能，通过光层 WSS 实现重路由恢复功能，OTU 资源消耗较少，但是重路由效率低，多波同时重路由，通常是秒级甚至十秒级的业务恢复。而 OTN 网络主要解决小颗粒业务调度。

骨干 OTN 通过 OTN 交叉实现基于 OTN 的业务重路由恢复功能，对 OTU 资源消耗较多，但是重路由效率高，业务恢复速率快，百毫秒级。

如何做到两者的平衡，结合 WSON 和 OTN ASON 的优劣势，达成业务恢复效率和资源的最佳平衡，定义为下一代的光电协同网络，发挥两者的优势。

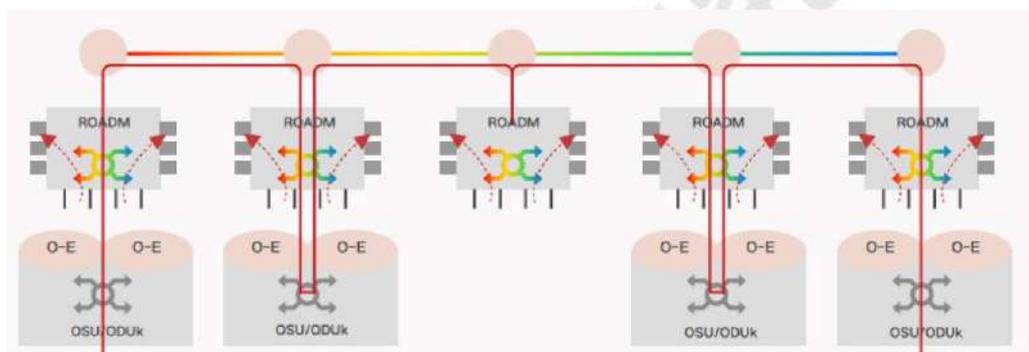


图 46 光电协同调度和保护

目前光电协同的方向主要包括：调度协同、保护协同、资源协同以及运维协同，从而提升业务可靠性、资源利用率、实现运维数字化。

- **调度协同：**控制器根据现有资源，选择建立新光层 OCH；在线规划模块根据业务需求及空闲线路端口，选择业务路径及波长；控制器驱动 OCH 建立并完成调测，同步部署电层业务；实现部署时间大幅降低，从数周到分钟级。
- **保护协同：**电快速恢复业务，光层恢复资源，实现业务抗多次断纤，提升业务可靠性；达到资源和可靠性的最佳平衡，发挥光电 ASON 各自优势，

同等资源，更高可靠性，并且实现光电层 SRLG/距离/时延协同。

- **资源协同：**光电资源协同；FlexRate+余量评估，线路最佳速率，提升系统带宽；通过最优的碎片整理，实现光层频谱的资源利用率提升，ODU层的线路资源效率最优化。
- **运维协同：**通过光电 Sensor 协同，提升运维能力，真正实现光电端到端数字化运维，简化故障告警根因定位，提升运维效率。

2、光缆数字化

光缆哑资源长期缺乏有效监控、运维手段，主备业务或关联业务实际部署到同一条光缆上并不鲜见，单条光缆中断后主备业务或关联业务同时失效，不仅导致业务中断，而且部分网络成为孤岛缺乏远程应对手段。以人工巡线、人工录入方式维护同缆信息，随着网络不断变更和演进，综合资源管理系统同缆信息数据不够准确，不足以支撑精准识别同缆，效率和识别准确度较低，亟需引入 AI 技术，智能识别主备业务、关联业务是否存在同缆风险,保障网络高可靠运行。

针对算力网络对可靠性的要求，打造一张数字光缆网，构建高效、安全、绿色的自动驾驶光网络，实现全生命周期自动化、智能化运维，成为全专业自动驾驶数字底座。



图 47 光缆数字化特性及价值

筑底座，光缆物理路由还原和质量监测：准确还原光缆哑资源的物理 GIS 路由和实时监控备用芯纤质量，构建数字化光缆底座，支撑“业务主备同路由分析、光缆故障的精准定位、光缆故障预警”。

- **业务主备同路由分析**：基于光缆物理路由的准确还原，识别同路由的光缆，业务发放、光纤割接时不会出现同路由，提升可靠性。
- **光缆故障 GIS 定位**：光缆故障时，通过 eOTDR 检测的距离信息，映射到光缆物理 GIS 路由上，可以精准定位到故障的 GIS 位置，提升抢修效率。
- **光缆施工预警**：光缆故障频发，靠人工巡线预防，成本高、效果差。通过识别破土机等对光缆风险事件和距离，映射到光缆物理 GIS 路由上，针对性盯防，降低风险。

3、自智网络

自智网络借鉴汽车自动驾驶的分级模型，从客户体验、解放人力的程度和

网络环境复杂性等角度，定义了 L0~L5 几个自治等级，在执行、认知、分析、决策、意图等环节持续提升自治能力，逐步实现全光网自治的目标。

自治等级	L0: 人工运维	L1: 辅助运维	L2: 部分自治网络	L3: 条件自治网络	L4: 高度自治网络	L5: 完全自治网络
自治网络业务 (Zero X)	不涉及	单个自治网络用例	单个自治网络用例	选择多个自治网络用例	选择多个自治网络业务	任意自治网络业务
执行	人工	人工/自动	自动	自动	自动	自动
感知	人工	人工	人工/自动	自动	自动	自动
分析/决策	人工	人工	人工	人工/自动	自动	自动
意图/体验	人工	人工	人工	人工	人工/自动	自动

图 48 自智网络分级

中国联通在规划、建设、维护、优化和运营五个流程域，以及各业务领域开展自治网络创新实践，下文将选取部分案例进行介绍。

(1) 智能故障根因分析 (Root Cause Analysis, RCA)

网络故障，有规范的工作流程，OSS 收到网络上报的告警后，根据告警的严重级别和定位信息，产生维修单并提交维修单到工单系统，工单系统将维修单分配给维修工程师进行故障修复。但是光网络出现严重故障时，往往会在路径上下游、不同信号层次上产生大量衍生故障告警，可能触发大量重复无效的维修工单，并且告警数据分散，关联定位故障困难，问题定位速度很大程度依赖维修工程师的人工经验和技术水平。

RCA 通过机器学习方式识别根因告警，大幅过滤和压缩衍生告警，甚至精确实现一个故障对应一个根因。让面向大量告警的故障运维，演进到面向少量/一个根因告警的精准排障，减少无效重复维修工单。应用学习型模型训练算法，

可通过设备厂商多年技术积累形成的组网和故障场景（如线路中断/线路劣化/线路监控信道故障等），进行针对性 AI 训练，持续提升告警压缩和根因分析准确率；RCA 具备灵活的专家规则引擎，可提供多样化告警规则定制，嵌入 OSS 系统达成“故障即工单”的目标。

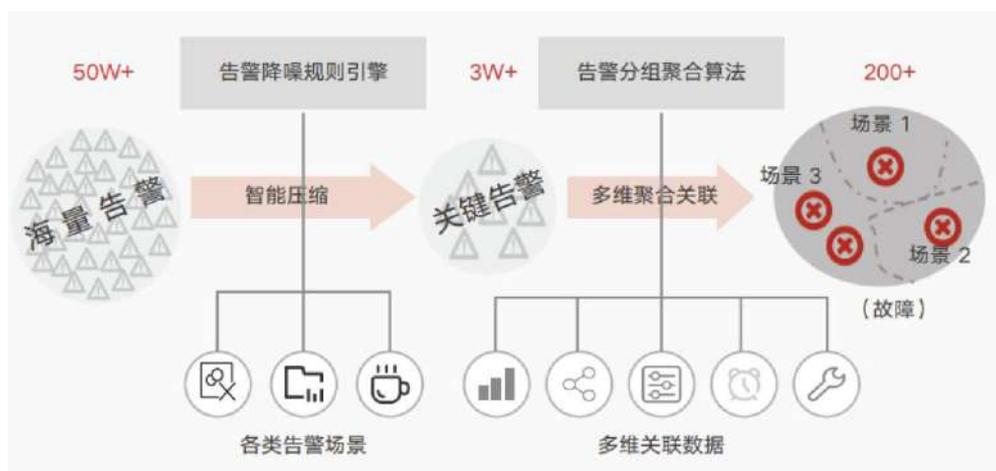


图 49 智能故障根因分析

应用智能 RCA 功能识别根因告警，可大幅减少日常维护过程中维修工单的数量，降低排障过程中的资源消耗，提高故障的解决速度，可有效应对网络规模不断增大带来的网络故障处理压力。

(2) 光网健康可视和预测

光纤是光网络的运行基础，光纤故障是光网络的 TOP 故障，光纤故障会影响大量业务，且问题定位非常困难，需要高技能员工查询各个节点的光功率和光性能数据进行深入分析。

光网健康可视和预测特性通过光 sensor 采集光功率、光性能等光层参数，并基于 AI 算法进行评估和预测，从而判断光层健康程度，并预测未来的变化趋势，指导开展主动运维，在故障发生前解决故障。

光网健康可视和预测的典型能力如下所述：

- **光纤波道健康可视：** 光纤/波道劣化状态实时可视，明显劣化会主动预警，光纤收发光功率、光纤衰耗、波道光功率、光性能、OSNR 等光学参数当前信息和历史信息可视，能清晰显示这些光学参数的变化趋势。光纤/波道上承载的业务信息实时可视，能明确显示亚健康光纤/波道会导致哪些业务受影响。
- **光纤波道健康预测：** 光纤波道健康度变化趋势可预测，能预测一段时间内的变化趋势，如下图所示。

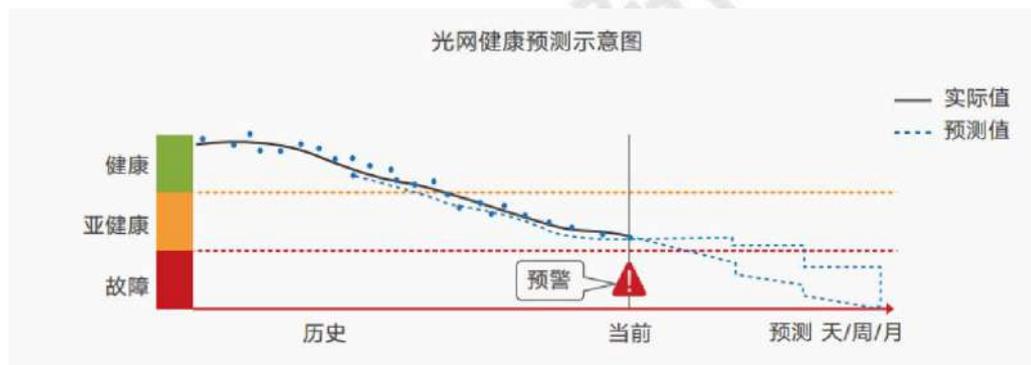


图 50 光网健康可视及预测

（3）敏捷业务发放

对于传统专线业务开通，末端 CPE 安装上线，专线业务运行过程中带宽变更等处理流程，基本是依赖服务厅业务办理、人工处理等方式，导致整个专线业务开通时间长，带宽变更流程复杂，用户体验差。

敏捷业务发放，通过打通 BSS/OSS 各子系统间自动接口，整合了设备厂商网络管理和控制系统的光业务自动发放、智慧运维能力。用户只需要关注专线的业务需求，方便快捷地设定业务源/宿地址、用户设备端口类型、专线带

宽和保护、时延等级要求，系统自动计算满足时延和保护要求的路径，为这条专线分配资源，创建业务对应的服务层路径或重用现有的服务层路径，并端到端创建连接，完成分钟级的快速发放，并提供专线在线的带宽灵活调整模式，实现带宽按需(BOD)。发放之后，管理和控制系统实时监控和上报的状态、性能、告警信息，定向运维使用。

(五) 多场景适配与开放组网

1、多样化的设备型态，匹配不同场景的灵活部署

传统波分是全场景的设备型态，即具备大容量光/电交换能力，满足从干线到城域的各种场景的容量需求，但随着全光底座的广泛覆盖，在特定场景中逐渐出现功耗大，集成度低、散热风道不匹配等挑战。例如城域综合业务接入站点受限于机房空间，需要高集成度盒式设备包括 2~4 维光层和 100M~100G 全业务接入能力。点到点数据中心互联，需要前进风后出风，高集成度的设备。未来将通过一体化、极简架构波分满足特定场景的集成度、功耗和风道需求，降低运维成本，场景和内涵如下：

(1) 场景

光放站、CO 节点、前传、DC 互联

(2) 设备形态

- 极简光层：一板一维。
- 室外型 WDM：极速开局、极简运维、极高安全。

- 模块化波分 (DCI): 模块化设计, 高集成度, 平台通用, 组网灵活, 支持机架堆叠式按需扩容, 前进风后出风, 单位带宽功耗低, 适用于点对点等简单组网场景。由于 CT 机房和 DC 化机房会长期共存, CT 机房通常是 300mm 深机柜和洪灌风, DC 化机房通常是 600mm 深以上机柜和前后风道, 模块化波分需要能够同时适配 CT 机房和 DC 化机房安装要求。为了减少备件提升运维效率, 适配 CT 机房和 DC 化机房的模块化波分设备的板卡需要能够做到通用, 模块化波分要能够和现网波分设备混合组网和共网管管理, 能够支持网络的智能健康预测。DC 之间带宽增长迅速, 模块化波分设备的光层和电层系统需要能够支持高速率演进 (200G->400G->800G) 以降低建网成本。DC 之间传输的数据量巨大, 对可靠性高, 模块化波分设备需要能够支持网络级保护、系统板主备冗余保护等多重保护能力, 需要能够智能识别主备光纤路由同缆以提升业务可用率。模块化波分设备需要具备全光调度的能力 (OXC/ROADM) 以支持业务的灵活调度。
- 光电集成 (PIC): 高集成度, 节省功耗, 免跳纤无需人工介入。

2、开放组网, 协同控制器统一管理

随着全光底座从城域核心向边缘接入层覆盖, 为了进一步提升网络建设灵活性, 并降低建网成本, 光网络将基于标准化南北向接口, 通过协同控制器统一管理, 引入光电解耦和开放的建网思路, 实现多供应商开放的全光底座, 开放组网架构可以采用 2 种方式: 方式一为通过运营商统一管控系统直接管理设

备，或方式二通过设备商管控系统北向开放对接运营商协同控制器，加速业务发展，如下图所示。

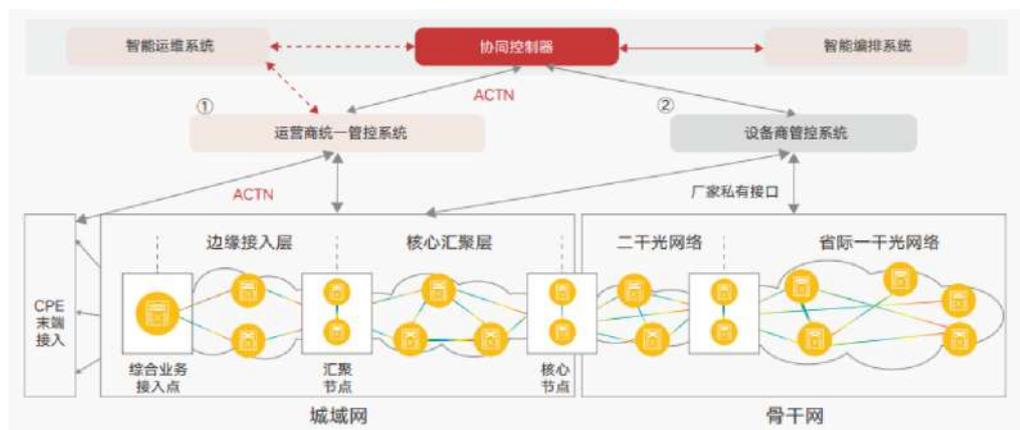


图 51 开放解耦组网架构

（六）光算协同

1、业务感知

目前的 OTN 网络，灵活性不足开通成本高，开通周期长，企业每接入点分别购买专线到各云；新增云或企业分支，都需同步调整企业网关和云网关配置；云光网与光算力网络的目标是一点接入，灵活品质入多云。

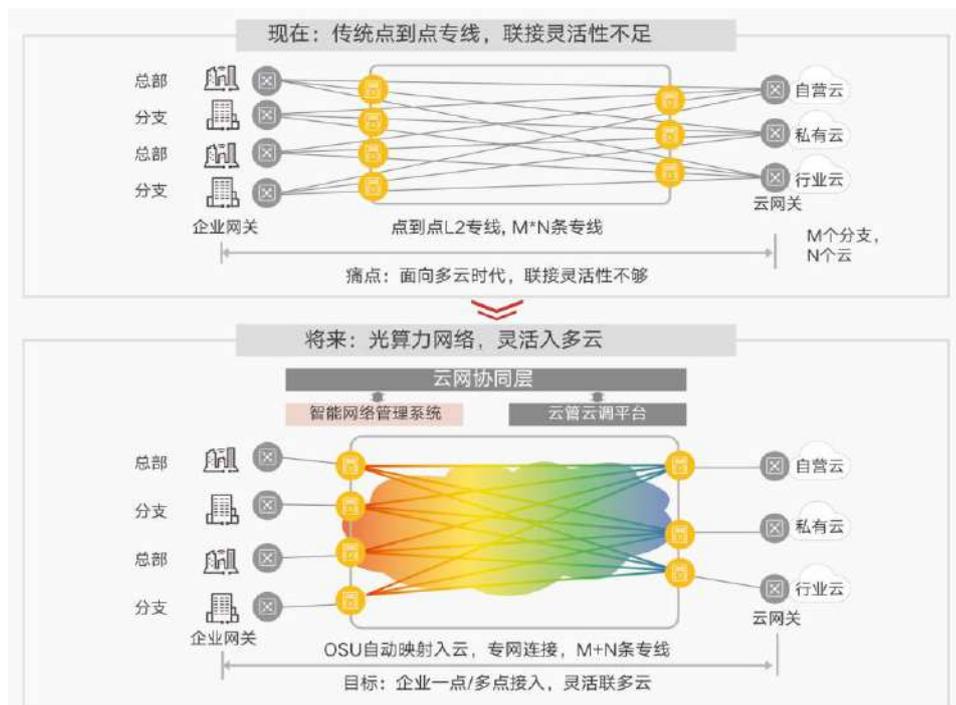


图 52 入云网络演进

(1) 关键技术：业务感知，自动映射进 OSU 隧道。

- **边缘业务感知**：边缘设备感知业务地址，控制器按需分发，主要包括两种技术，一种是基于业务流的品质感知随流检测技术；另一种是基于应用感知的技术，在 TCP/UDP 层进行质量探测监视。
- **自动业务映射**：基于业务互联需求自动映射进 OSU 隧道，实现企业灵活入多云。
- **控制器双活**：双实例同时工作，永久在线高可靠。
- **网络高可靠**：隧道级 1:N 共享保护，确定性动态极速恢复；入云侧可提供双归保护，实现企业入云超高可靠性。

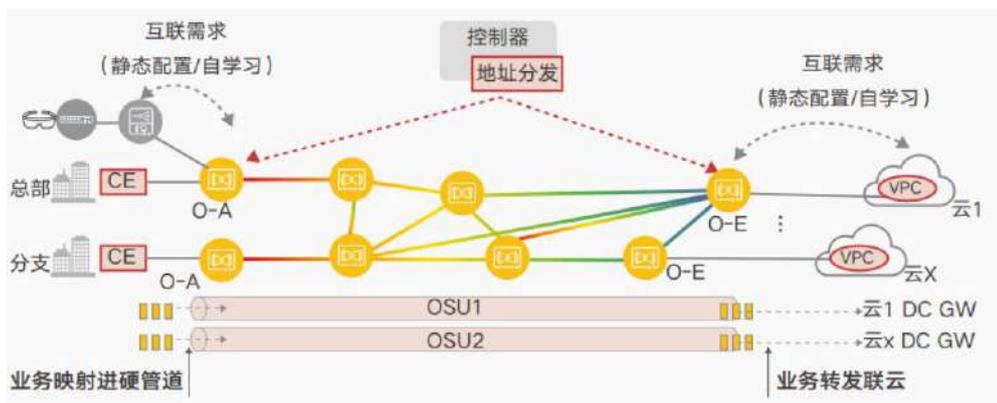


图 53 业务感知架构图

(2) 关键价值：云光专网，云光算网，基于业务需求灵活互联。

- **MP2MP 云光网**：企业一点/多点接入，一跳入云，一跳联算，灵活联多云。
- **确定性，硬隔离联接**：企业级 OSU 硬切片隔离，高安全，高品质。

2、光算协同

算力时代，网络连接着全网各地算力和用户，面向不同地域的用户，和用户不同业务 SLA 需求，需要用最最适合的云池提供算力服务。光算协同是由光网络管控系统、云管平台及算网编排调度系统相互协作，为用户自动化、智能化的提供最优算力和网络服务。

光算协同的关键能力是实现算网资源的统一调配，主要有以下技术：

(1) 算力和网络感知技术

- **云管平台**：对算力资源进行抽象和标识，感知和度量算力的负载、功耗等状态，并通告给算网编排调度系统。
- **光网管控系统**：对网络资源进行抽象和管理，计算用户到算力节点，或算力节点到算力节点的连接时延、带宽、保护能力等信息，并通告给算网编

排调度系统。

- 算网编排调度系统：将算力感知信息和网络感知信息形成算网全域信息图。

(2) 算网智能决策技术

用户申请算力时，基于算网全域信息，综合算力负载及连接时延等因素，智能决策最优的云池和最满足 SLA 需求的网络连接方案。

(3) 算网编排调度技术

算网编排调度系统决策算力和网络连接方案后，可自动编排算力和网络服务，分配算网对接资源。

(七) OTN/WDM 传递高精度同步

随着 5G 的发展，给用户带来全新的应用机遇，而 5G 网络需要高精度的频率和时间同步，而单纯依赖 GPS 存在潜在的政治安全风险，另外当卫星失效时，需要通过地面承载网络完成高精度时钟的同步，因此承载网的时钟传递也逐步提上议程，5G 业务对承载网时间同步有明确要求，如下图所示。

RU侧TAE要求	需求场景	回传端到端
3us	连接到不同DU的不同RU之间的时间偏差要小于3us，涉及回传网和前传网	±1.5μs
260ns	连接到同一个DU的不同RU之间的时间偏差要小于260ns，涉及前传网	±130ns
130ns	连接到同一个前传设备的不同RU之间的时间偏差要小于130ns，涉及前传设备	NA
65ns	同一个RU不同天线间的时间偏差要小于65ns，和承载网无关	NA

图 54 5G 业务对承载网时间同步的要求

IEEE 1588v2 精确时间同步 (PTP, Precise Time Protocol) 协议，相比 NTP 时间同步协议，时间精度更高，为保证业务的可靠性，5G 承载网的时

间同步建议与北斗/GPS+1588 异构组网，天地互备。

同步标准包括 IEEE 1588v2 和 ITU-T G.8275.1，IEEE 1588v2 标准是一个广泛的高精度同步协议，适用于通信、工业、电力等多领域。ITU-T G.8275.1 标准在 IEEE 1588v2 基础上，在 BMCA 算法、时钟质量参数、报文封装等方面做了优化和限定，适用于电信领域，两者都支持的情况下一般推荐使用 ITU-T G.8275.1。

在 5G 回传 IP+光的承载网场景中，其中光网络的同步方案有两种可能选择，第一是逐跳处理，第二是透传。实际部署中推荐采用逐跳处理，原因在于：

- 如果光网络只是透传时间，客户侧以太业务到 ODUK 的映射和反向解映射会引入可变的时延，上下行时延不相等，经过几跳网元后，时延不能补偿和控制，相位不同步，导致性能劣化。
- 保护开关将引入光纤不对称，引入偏差，保护开关(如 OLP)不会影响业务，但会引起光纤不对称导致相位不同步，带来极大的维护困难，问题难以定位的问题。

一个完整的 SyncE+ IEEE 1588v2 同步网络由时钟源、承载网、基站三部分组成。光网络逐跳同步网络场景如下图所示。光网络可通过时钟板直接对接 BITS，也可通过 IPRAN 业务板和 OTN 支路板对接进行传递时钟信号，光网络内部推荐采用 OSC 传递同步信息，基于 OSC 的单纤双向免补偿高精度时钟方案，提供开局免调测、保护倒换免调测，熔纤免调测的能力，极大提升了运维效率，提升 5G、工业互联网、东数西算的应用，支持联通的大连接、大数

据、大计算、大应用、大安全的应用。



图 55 全光底座时钟同步传输方案

中国联通研究院

五、算力时代的全光底座案例及应用场景探讨

（一）全国骨干网：为东数西算提供品质连接，运力换算力

贵州是天然的降温室，四面环山，气候非常凉爽，而且一年四季气温适宜，不会出现骤冷骤热的情况影响服务器寿命，贵州又恰好是西气东输的起源地，水力资源丰富，电价相对低廉。内蒙能源丰富，能源成本低，尤其是绿色能源丰富，气温低，年平均 PUE 低。这两个地方发展 IDC 产业有天然优势，已成为 OTT 服务器的最佳选址地。腾讯、华为、苹果和阿里都选择把数据中心部署在这两地。

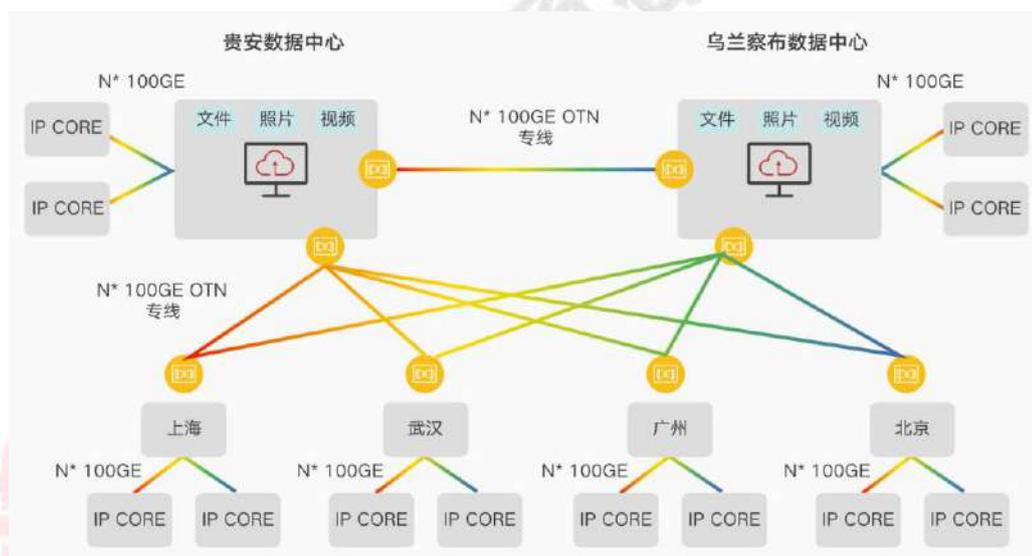


图 56 全国骨干网为东数西算提供品质连接

但用户的需求主要在东部，数据中心部署在东部后，带来时延的问题，联通骨干全国一张网与政企 OTN 网络，为 OTT 东西部 DC 间提供一跳直达的 OTN 品质连接。

- **超大带宽：**带宽按需扩容，可满足多个 OTT T 级别带宽需求。

- **时延确定：**东数西算、东数西存、企业 IT、共有云等业务都可部署在西部。
- **高可靠性：**西部-东部热点城市多出口路由，结合 ASON，提供 99.99% 的可靠性。
- **快速业务发放：**政企 OTN 全国一张网，东西部统一管理与调度，快速业务发放。

联通品质连接带来了重要的社会价值与经济价值，通过品质骨干连接，在不影响用户体验的前提下，运力换算力，大幅降低能耗与碳排放；高速品质连接为 OTT 服务器部署在西部保驾护航，OTT 每年节省的能耗成本以亿计算。

（二）山东联通：打造智慧光云十六城

山东联通 19 年推出“SD-FAST”智慧光网服务，为数字政府，数字民生，数字产业打造领先的连接专网，面向党政军、金融、医疗、制造等各行业提供高效、可靠、智能、丰富的高品质连接服务。2021 年 3 月，山东联通联合合作伙伴成立了全球首个 F5G 联合创新中心，聚焦智慧光网、智慧光云、F5G+X 三大课题持续创新孵化。率先开启从智慧光网迈向智慧光云，提出了智慧光云十六城的建设规划。在智慧光网基础上进行前后延伸，融入云端和末端，实现云-管-端协同。解决了政企单位、医疗、教育、大型企业以及金融 ICT 系统迁移到云上的痛点。任何政企单位在 2km 范围内均可一点接入智慧光云网络。

2021 年 4 月份，济南市平阴县人民医院正式通过智慧光云网入云商用，医院的 70+应用迁移上云。智慧光云网提供了稳定、安全、超低时延的入云专

线连接服务，时延可降低 20%，为医院提供无感知的应用访问，助力智慧医疗发展，为群众健康保驾护航。

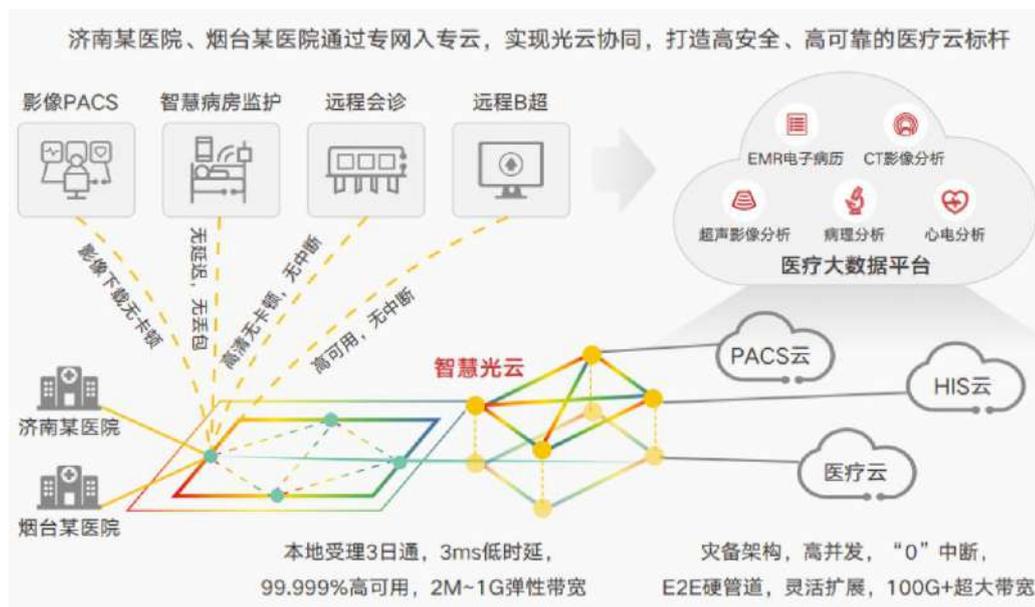


图 57 医院专网入专云，实现光云协同

为进一步提升光云融合体验，山东联通将扩大末端和云端的覆盖范围，末端全省 CO 节点覆盖数量超 1000 个，云端实现一、二级云池的 100%对接。

实践成效：

- 云光网已经广泛服务于党政军、金融、医疗、制造等各行业客户，涌现出一大批如平阴县人民医院、国家超级计算济南中心、滨州市一体化电子政务网、省农行扁平化等标杆案例，加快企业实现数字化转型的步伐。
- 助力“碳达峰、碳中和”目标的实现，山东联通通过网络技术升级、简化网络架构、老旧设备腾退和光云一体等手段，实现了机房空间节省、功耗降低和容量提升，助力新旧动能转换，实现节能减排，预计将来可降低 50%的机房空间，节省功耗超过 60%，同时容量相比之前可提升近百倍。

- 从企业层面看，通过高品质全光算力网络的构建，向下深度覆盖，使任何企业在 2km 范围内都能接入智慧光云网络，实现用户便捷、高可靠接入，入网即入云。向上光云融合，采用 E2E OTN 网络 100%覆盖核心云池和算力资源。同时具备确定性体验和内生安全能力，吸引高端客户，“以网带云，以云促网”，促进对专线和云池的销售，实现商业正循环。

（三）广东联通：打造数字化的全光底座

由于光缆的无源特性，物理光缆网络长期无法实现可视化的实时状态管理，庞大的光缆“哑资源”全靠人工录入和维护数据。持续的扩容建设、频发事故维修导致光缆管线资源数据实时同步的难度大，物理网络和逻辑网络的对应关系偏差也越来越大。尽管光网业务有完善的逻辑链路主备路径保护措施，一旦主备路径处于同一物理光缆，断纤事故造成的业务中断风险概率必将极大增加。事实上，近年来的多次重大网络故障导致的业务大面积中断，均与缺乏有效的“同路由检测”手段有关。

让光缆“开口说话”，是实现“同路由检测”的关键。广东联通基于同缆检测与伙伴进行创新合作，构建光层数字化模型。光缆的熔接位置、温度和风力变化、光缆附近施工或车辆经过引发的振动等外界环境的变化，该模型会有灵敏的反应，从而自动识别任意两条业务路由是否全部或部分同缆。

试点表明，当前光缆“同路由检测”AI算法的准确率高达90%，而且检测过程对业务性能无影响。“同路由检测”技术可以从根本上改善无源光缆难管理的局面，实现光缆管线信息和业务路由信息的融合管理，绘制传送网全网业

务可用率地图。“同路由检测”技术还可以与广东联通主动运维管理动作结合，及时对光缆周边的施工活动进行现场监控，防止光缆挖断和受损，进一步增强业务可用率保障。

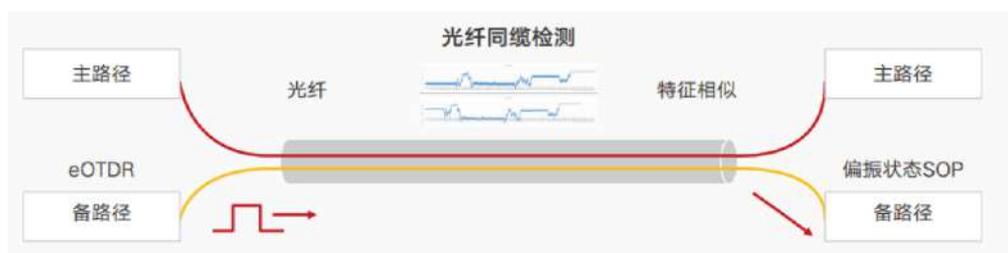


图 58 广东联通同缆检测：eOTDR + SOP + AI 分析，自动识别同缆风险

广东联通“同路由检测”创新，助力 OTN 品质专线等数字电路业务资源可视可管，意义重大，既降低光缆故障对业务的影响，又能够指导光缆主动维护和快速抢修。基于

“同路由检测”实现可用率数字化管理，增进网业协同，不仅可以持续提升广东联通现网业务质量，还可以探索基于可用率的业务发放和新商业模式，构筑高品质业务新的差异化竞争力。”

广东联通的光缆数字化为算力时代的全光底座品质提升打下了坚实的基础。

（四）湖北联通：OSU 升级，政企专线向算力网络演进

湖北联通在 OSU 应用方面走在前列，率先结合 PeOTN 网络进行升级，E2E 支持 OSU 能力，OSU 能力完美接盘 SDH，释放 SDH 设备占用的机房空间与光纤资源。



图 59 湖北联通 E2E OSU 方案

E2E 的 OSU 网络，相对以前的 SDH 网络，时延更加优化，网络带宽能力扩展性更强，从 2M-100G 可平滑无损扩展，整网的时延可视。通过 OSU 进一步提升湖北联通政企 PeOTN 网络品质。



图 60 E2E OSU 方案优势

湖北联通 PeOTN 网络通过 E2E 的 OSU 能力，在湖北广电的专线项目中，凭借更优的时延，带宽平滑扩展能力，E2E 管理能力赢得客户的好评，成为客户的专线合作伙伴。

升级后的政企精品网络具备如下特点，高安全、高可靠、低时延、快速发放、灵活按需、高效智能运维。结合湖北省 IDC 的 1 主（武汉）2 翼（宜昌，襄樊）规划，未来规划新增 10 万机架，带来巨大算力需求，联通的 OSU 政企 OTN 政企网络可进一步演进到品质算力网络。

（五）算力网络全光应用场景探讨

除了以上典型案例外，以下场景是全光算力网络的典型场景。

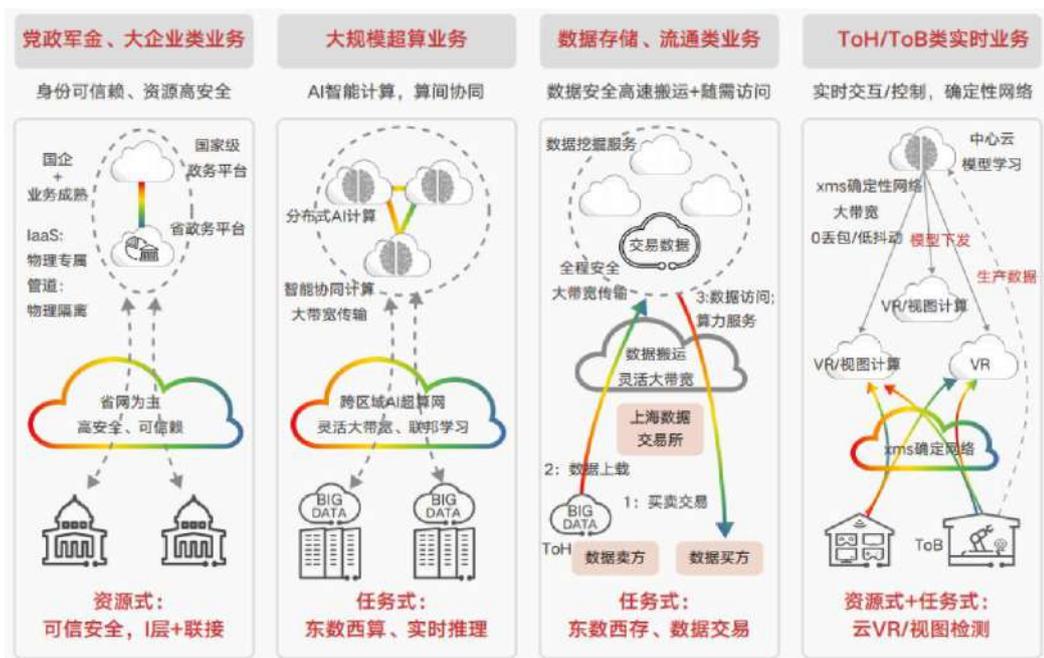


图 61 算力网络全光应用典型场景

1、党政军、大企业类业务

首要考虑是安全性、可靠性和体验；后续在业务云化及多级 DC 部署的前提下，只有 E2E 的 OTN/OSU 网络能提供确定性的时延，高可靠的物理连接，确保办公体验；OTN/OSU 算力网络是首选。

2、超算类业务

超算类业务需求不确定，在需要传输数据时，需要高速可靠的完成，如在 HPC，渲染类场景，提升计算效率的关键是低成本的大算力资源，这些计算资源往往不在本地，在进行计算前经常需要 100T 级别的数据传输，采用 OTN 弹性管道能大幅提升整体工作效率。

- 本地计算：算力资源少，一次计算需要 10 天。
- 西部算力资源池+普通专线：算力资源丰富，计算仅需 1 天；采用

100M/GE 专线，传输数据需要 5 天，整体 6 天。

- 西部算力资源池+弹性 OTN 专线：算力资源丰富，计算仅需 1 天；OTN 专线弹性调整到 100G，分钟级数据搬迁；整体 1 天，效率提升 90%以上。

3、存贮类业务

典型的存贮类业务，如视频业务的东数西存，企业 IT 类业务的 2 地 3 中心，存贮类业务需要 OTN 大带宽，采用 OTN 连接，在确保传输质量的同时，比按流量计费的模式成本更优。

- 视频监控类业务东数西存：视频监控类是冷数据，存在西部可节省 30%左右的算力成本；视频数据需要无收敛实时传输到东部，如深圳超过 100 万个摄像头，如果深圳视频数据存贮在西部集群，每个摄像头 4M 带宽，总计就需要 4T 以上带宽；视频监控数据如果采用互联网流量计费模式，按每 G 流量 0.5 元计算，一个摄像头年数据传输费用就需要 6 万左右，100 万摄像头年数据传输费用就是天文数字。采用 OTN 专线模式，在保障品质连接的同时，按带宽计费，传输费用可以节省 90%以上。
- 两地三中心：企业 IT 类业务经常采用两地三中心模式，一地两中心可以开展双活业务，开展双活业务的 2 个 DC 间时延要保障在 1-2ms 内，以确保计算性能，对此种场景，仅 OTN 连接能保障低时延与带宽的稳定性；对于另外一地的备份中心，与主地的数据中心要保持数据同步，需要 DC 间采用 OTN 进行品质连接，以保障数据的可靠、安全传输。

4、ToH 品质连接需求

不确定性疫情爆发致使居家远程成为新常态，典型需求如下：

- 远程教育：网课、课堂、教师直播。
- 远程办公：会议、监控等。
- 居家娱乐：游戏、视频、直播。

家庭网络对特定品质业务提升体验成为刚性需求，需要 OTN/OSU 提供品质连接。

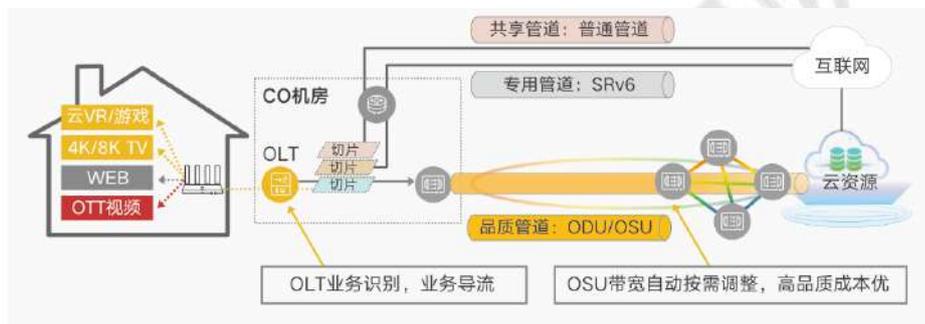


图 62 OLT&OTN 握手，创新家宽硬管道解决方案

- 端：OLT 识别分流，eAI 精准识别业务类型、并进行分流。
- 管：差异化管道网内加速，高价值业务使用专属 OTN/OSU 通道，按需调整管道大小，一跳入云，确定时延、抖动、丢包。

中国联通研究院是根植于联通集团（中国联通直属二级机构），服务于国家战略、行业发展、企业生产的战略决策参谋者、技术发展引领者、产业发展助推者，是原创技术策源地主力军和数字技术融合创新排头兵。联通研究院以做深大联接、做强大计算、做活大数据、做优大应用、做精大安全为己任，按照 4+1+X 研发布局，开展面向 CUBE-Net 3.0 新一代网络、大数据赋能运营、端网边业协同创新、网络与信息安全等方向的前沿技术研发，承担高质量决策报告研究和专精特新核心技术攻关，致力于成为服务国家发展的高端智库、代表行业产业的发言人、助推数字化转型的参谋部，多方位参与网络强国、数字中国、智慧社会建设。联通研究院现有员工近 700 人，平均年龄 36 岁，85% 以上为硕士、博士研究生，以“三度三有”企业文化为根基，发展成为一支高素质、高活力、专业化、具有

**战略决策的参谋者
技术发展的引领者
产业发展的助推者**

态度、速度、气度

有情怀、有格局、有担当

中国联合网络通信有限公司研究院

地址：北京市亦庄经济技术开发区北环东路 1 号

电话：010-87926100

邮编：100176



中国联通研究院



中国联通泛终端技术