

“九州”算力光网目标 网架构白皮书



前言

在数字经济成为当前各国推动经济复苏的关键举措和抢占经济发展的制高点的背景下，算力作为数字经济的关键生产要素，已成为新的全球竞争比拼点，并开启了算力网络新赛道。美国于 2020 年 11 月发布《引领未来先进计算生态系统战略计划》，计划构建覆盖政产学研的国家级算力体系。欧盟于 2021 年 3 月发布《2030 数字指南针计划》，计划部署 1 万个边缘计算节点，让所有欧盟家庭实现千兆连接。党的二十大报告提出“开辟发展新领域新赛道，不断塑造发展新动能新优势”，为我国新一轮科技革命和产业变革指明了战略方向，并于 2022 年 2 月全面启动“东数西算”工程，启动 8 个全国一体化算力网络国家枢纽节点建设，构建国家级算力网络体系。

算力网络的蓬勃发展带来的新业务、新应用、新技术、新模式如雨后春笋般规模涌现，对底层网络的架构、容量、速率、时延、能效、智能、安全性等提出了一系列的新要求。以网络为桥梁，使算力成为继水、电之后的新型社会基础性服务，为数字化转型业务提供更加经济、高效、泛在的算力供给方案。

本白皮书结合算力光网的业务和技术发展，在“高效算间智联、泛在灵活入算”的建设理念指引下，提出“九州”算力光网的“六光六极”目标愿景，勾画出具有划时代特征的“九州”算力光网目标网架构，并围绕算力集群打造具备 400G 联算、光电协同、汇接融通、智能管控、绿色节能、稳定可靠为关键技术特征的算间互连网络，以及万兆入算、入算锚点、业算感知、差异承载为关键技术特征的灵活入算网络，持续突破算力光网核心技术、端到端锻造网络能力。本白皮书旨在通过构建“九州”算力光网目标网架构，推动产业链共同努力，加速推进“九州”算力光网所涉及的新技术和产业成熟、携手共筑面向算力应用的高品质算力光网的坚实底座，全力建设技术领先光网络，为网络强国、“东数西算”国家战略贡献力量。

目录

01	“九州”算力光网目标网驱动力	01
1.1	政策驱动	01
1.2	战略驱动	02
1.3	业务驱动	03
02	“九州”算力光网目标网规划	05
2.1	算力网络总体规划	05
2.2	“九州”算力光网目标愿景	06
2.3	“九州”算力光网网络架构	07
2.3.1	算间智联	08
2.3.2	灵活入算	09
03	“九州”算力光网关键技术	10
3.1	全光骨干网技术	10
3.2	全光城域网技术	12
3.2.1	fgOTN	12
3.2.2	星环 OTN	13
3.2.3	SPN	14
3.3	全光接入网技术	15
3.3.1	宽带接入网	15
3.3.2	半有源 Open-WDM	17
3.4	智能化光网管控	18
3.4.1	OTN 网络管控	19
3.4.2	SPN 网络管控	20
3.4.3	PON 网络管控	23
3.5	绿色节能	24
04	未来展望与倡议	25
05	缩略语	26

01 “九州”算力光网目标网驱动力

1.1 政策驱动

党的十八大以来，党中央高度重视发展数字经济，将其上升为国家战略。习近平总书记始终高度重视数字中国建设，多次发表重要讲话、做出重要指示，强调要牵住数字关键核心技术自主创新这个“牛鼻子”，发挥我国社会主义制度优势、新型举国体制优势、超大规模市场优势，提高数字技术基础研发能力，打好关键核心技术攻坚战，尽快实现高水平自立自强，把发展数字经济自主权牢牢掌握在自己手中；同时，要加快新型基础设施建设，加强战略布局，加快建设高速泛在、天地一体、云网融合、智能敏捷、绿色低碳、安全可控的智能化综合性数字信息基础设施，打通经济社会发展的信息“大动脉”。



党中央国务院高度重视千兆光网的发展。2021年3月5日，《政府工作报告》中提出：加大5G和千兆光网建设力度，丰富应用场景。

2021年3月工信部出台《“双千兆”网络协同发展行动计划》提出：固移协同，优势互补。发挥千兆光网在室内和复杂环境下传输带宽大、抗干扰性强、微秒级连接的优势，发挥5G网络灵活性高、移动增强、大连接的优势，适度超前部署“双千兆”网络，同时工信部发起了百城千兆建设工程以点带面融合创新，充分促进千兆网络赋能经济社会高质量发展，将千兆光网和5G协同发展作为数字中国建设发展的重点工作。以千兆光网为代表的光传送网建设发展实现全球领先。光传送网作为衡量国家信息基础设施水平的关键，既是跨区域算力、互联网等数据流的主动脉，也是千行百业、千家万户接入网络的毛细血管。光传送网发展水平直接关系到国家信息基础设施长远发展速度和质量，身为服务大众数字生活，赋能传统产业数字生产以及实现数字政府高效治理的重要基石，光传送网将持续发展并进一步向万兆光网迈进。

2022年1月，国务院印发《“十四五”数字经济发展规划》（以下简称《规划》），《规划》中提出加快建设信息网络基础设施，有序推进基础设施智能升级；加快实施“东数西算”工程，推进云网协同发展，提升数据中心跨网络、跨地域数据交互能力，建设面向特定场景的边缘计算能力，强化算力统筹和智能调度。2023年5月1日，我国首

部关键信息基础设施安全保护国家标准《信息安全技术关键信息基础设施安全保护要求》正式实施，明确指出“关键信息基础设施是国家网络安全保护的重中之重”。光传送网既是业务网络的一部分，同时也是其它业务网络的承载网，是关键信息基础设施中的关键基础底座，承担着海量数据的传输、交换、调度，在保障网络安全、数据安全尤为重要。

1.2 战略驱动

发展数字经济是顺应新一轮科技革命和产业变革的战略选择，新基建、新要素、新动能能为各行各业转型发展带来难得机遇。中国移动以国家政策+行业需求为牵引，积极构建“连接+算力+能力”的新型信息服务体系，制定了算力网络总体发展策略。中国移动董事长杨杰表示，中国移动将深入落实国家“东数西算”工程部署，科学合理布局数据中心，发挥既有的通信网络优势，全面推进算力网络技术、产业、生态、商业模式成熟，推动网络从连接算力到感知、承载、调配算力，实现算力泛在、算网共生。构建算网大脑，实现算网资源、能力的智能编排、统一管理。融合要素、整合算力，提供从“资源式”向“任务式”转变的一体化服务。通过算力网络，进一步推动信息服务能力升级、供给升级，推进算力网络在国家治理、社会民生、传统产业升级改造、国内国际市场拓展等更多领域落地应用，使算力成为像水、电一样，可“一点接入、即取即用”的社会级服务。

进入算力时代，为更好地支撑算力网络发展，中国移动结合国家政策和公司战略，面向算力资源布局，以“算网融合统一”为发展目标，统筹规划网络基础设施建设，提出“高效算间智联、泛在灵活入算”的光传送网建设理念，为此中国移动全面引领光传送技术升级，助力核心产业领先。在算间智联部分：率先打造基于OXC的光电联动新型全光网，为算力网络业务提供扁平化组网和一跳直达连接，骨干传送网开展400G OTN技术攻关，明确QPSK作为骨干长距技术方案，验证基于G.652D光纤+EDFA放大方式实现1500km传输，并推进C6T+L6T产业发展，积极部署现网测试；在灵活入算部分：主导推动细颗粒光传送网（fgOTN，原标准名称为G.OSU）研究范畴、架构和关键技术的重新定义，提出的帧结构和帧长优化、简化的映射和复用机制等技术路线和核心机制获得共识，成为了后续技术国际化的基础；构建SPN 2.0网络技术架构，打造细粒度切片、业算感知、灵活连接、泛在接入、智能运维、绿色节能的综合业务传送平台；在光接入领域持续推进50G PON和FTTR技术创新、标准和产业发展，全面提升光接入网的带宽、时延以及千兆覆盖能力，同步推进PON的光层OAM向FTTR延伸、构建PON+FTTR集中管控型网络，推进PON+FTTR智能协同、实现具备网络切片能力的端到端智能化千兆光接入网；在5G前传领域提出开放式波分复用（Open-WDM）技术体系及核心技术，创新半有源架构、物理层MWDm、调顶OAM和管控SDN等多项技术，引领国际、国内标准，有力支撑5G前传规模部署商用。随着算力应用的加速，中国移动将持续深化光传送网创新引领和建设理念，引领光传送网全面升级演进。

1.3 业务驱动

算力网络聚焦数字化转型，面向生活、行业和社会新兴业务场景赋能千行百业。光传送网作为重要的新型信息基础设施，构成了经济社会发展的信息大动脉，在赋能数字经济发展，助力千行百业数字化转型中具有重要支撑作用。同时，工信部也在光传送网的龙头千兆光网赋能行业应用方面启动“追光计划行动”，将持续深化“千兆光网+行业融合应用”作为当前的重要目标。从产业演进的角度看，光传送网需要应对如下挑战：

超高清沉浸式体验，需要更大带宽更低时延的网络：随着技术的发展演进，元宇宙应用的兴起，极大地促进了VR/AR/XR、光场显示等高清视频产业的发展。根据第三方咨询报告，2030年将有超10亿用户通过XR体验“身临其境”的全新虚拟世界，并实现和物理世界的交互。以远程办公为代表的多方视频通话、虚拟会议等将成为常态，构建沉浸式体验的虚拟世界，实现自然的交互体验，需要1Gbps~10Gbps大带宽、20ms~5ms的低时延，同时为保障家庭、企业多用户并发体验，需要带宽10倍提升，对现有光传送网能力提出了新的挑战。

制造、能源、交通等行业数字化转型加速，需要网络进一步提升实时性和可靠性：光传送网开始进入工业领域，随着产业数字化、智能化升级加速，机器视觉等超高清视频回传、虚拟化PLC控制等应用规模发展，需要us级时延、ns级抖动和99.9999%业务可用性联接（摘自中国信息通信研究院2023年2月发布《工业制造企业千兆光网业务体验分级白皮书》）。而当前的串行总线时延大，时延、抖动逐站累加，难以满足要求，需要新型现场总线满足工业控制的苛刻要求。能源、交通生产网对网络的安全可靠、低时延有很高要求，随着高清视频回传等大带宽业务需求的发展，需要提供每个站点GE带宽、1ms低时延、99.99%以上高可靠的硬管道联接、承载并赋能OT的自动化、智能化升级，加速行业生产网络的数字化转型。

算力生态持续发展，需要网络构建灵活获取的接入能力：随着算力网络时代的到来，数据的产生和处理越来越多地依赖于分布式的计算资源。分布式的泛在的算力资源，依赖广覆盖的泛在网络，提供高效、可靠、安全和低成本的计算服务，以满足各种应用场景的需求，如大数据分析、人工智能、区块链、云游戏等。一是数据量的爆炸性增长。随着物联网、社交媒体、电子商务等领域的快速发展，每天都有海量的数据产生，并进行存储、传输和处理，而传统的中心化的数据中心已经难以承载这样的压力，需要利用分布式的算力资源来实现数据的价值。二是计算能力的不断提升。随着芯片技术、软件技术和网络技术的进步，算力不断提升，催生如人工智能、虚拟现实、增强现实等应用场景，广泛的算力需求，依赖于算力泛在的网络来提供支持。三是计算成本的不断降低。随着算力资源的供给增加，计算成本不断降低，使得一些以前不划算或者无法承担的计算任务变得可行，如云游戏、云办公、云教育等，这些应用场景对算力的需求非常灵活，需要依赖于算力泛在的网络来提供按需灵活付费的服务。

表 1 东数西算四大类业务场景

业务场景	场景特点	典型业务
东数西“算”	通用算力西迁，将公有云业务、时延不敏感的生产业务搬迁到西部，有一定可靠性要求	OA办公系统、Web前端、开发测试类业务
东数西“训”	在西部建设AI训练平台、智能数据湖与大数据分析平台，周期性/按需进行离线大数据分析与仿真验证。TB/PB级样本数据需要算力协同使能单业务百G级临时承载线路。政务类敏感行业数据还需要安全传输能力	BI分析、天文研究、基因测序、药物筛选
东数西“存”	将东部企业生产经营过程中产生的PB级海量温冷数据周期性存储在西部云池，要求大带宽承载网络。存算协同使得网络带宽按需可调。高通量要求高可靠随时可用	异地容灾、日志等冷数据归档
东数西“渲”	将媒体原始素材、渲染任务等统一调度到西部云池，由西部数据中心集群进行影视后期制作。要求百G级大带宽和高安全性承载网络	动漫制作、电影制作、综艺节目制作

表 2 东数西算八大枢纽新增机架及带宽预测

年份	2022	2023	2024	2025	2026	2027
西部机架（万架）	3	10	25	45	70	100
东部机架（万架）	10	30	75	120	210	300
枢纽间流量（Tbps）	60.5	190	475	802.5	1330	1900

摘自 2021 年八大枢纽上报国家发改委新建机架统计数据

同时，在东数西算八大枢纽、十大集群以及各省市内，跨地域、跨时空、跨架构的算力协同和业务分布式处理，也带来大量的数据流动。这些都对光传送网提出架构极简、绿色高效的传输新诉求。现有网络多级逐跳转发的网络架构，在时延、功耗等方面均面临挑战，需要基于光传送网的一跳直达、全光调度、极简扁平化架构，实现网络能效10倍提升，更好支撑企业数字化转型发展。以城域网OTN网络为例，从城域核心到边缘接入，采用光交叉代替多级电交叉和互联，预计可以降低约55%的设备能耗。同时根据网络负载情况，通过计算和配置节能路由路径，将空闲的冗余网络资源休眠，也可减少网络能耗。以某个现网网络统计数据，在网络负载为50%时，利用节能路由技术可使能耗下降约24~29%。（摘自中国移动2022年12月发布《固定网络能效评估白皮书》）。

02 “九州”算力光网目标网规划

2.1 算力网络总体规划

算力网络是信息社会的核心生产力，是国家新基建的重要组成部分。“十四五”信息行业发展规划和智能制造发展规划提出了数字经济深化发展、普惠共享、各领域深度融合发展的目标，将加速推动算力网络信息基础设施的建设和部署。

图 1. 算力网络总体架构

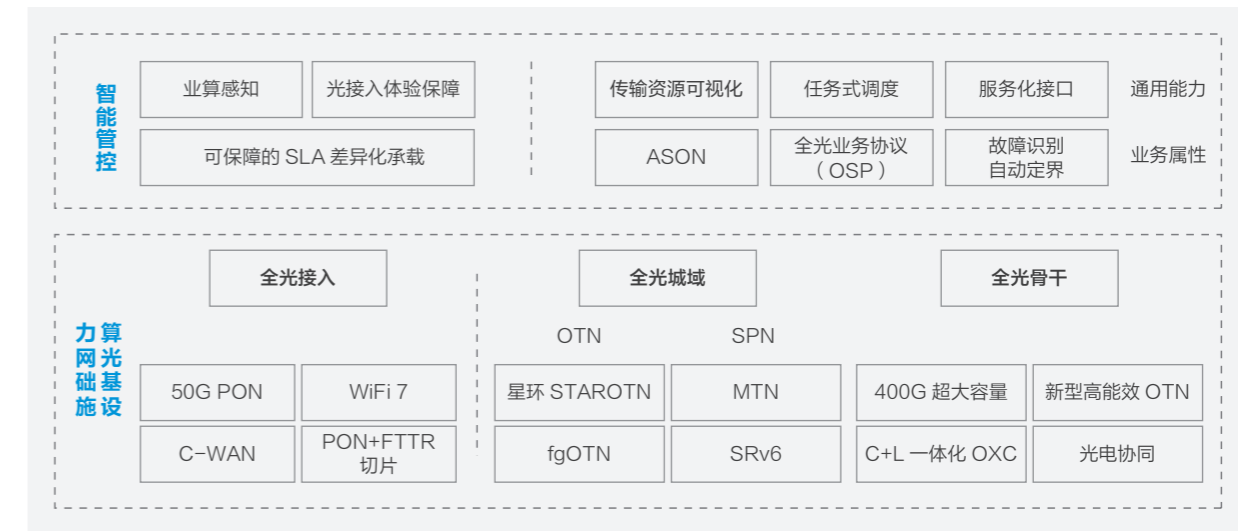


算力网络时代，光传送网作为连接用户、数据和算力的桥梁，需要与算力深度融合。以算为核、以光为基，可充分发挥光传送网优势，形成算光一体化新型基础设施，为用户提供低时延、高可靠、强体验的端到端差异化光联接。为更好地支撑算力网络发展，在“高效算间智联、泛在灵活入算”的光传送网建设理念指引下，提出建设“九州”算力光网，通过对 PON/FTTR、SPN/PTN 及 OTN 网络三张网进行包括架构优化、时延降低、体验提升和运维自智在内的优化与协同，满足算力网络新业务在架构、带宽、业务、时延等方面的新需求，为算力网络发展奠定坚实基础。

架构优化：按照“网随算动”原则，持续优化网络架构。通过构建枢纽间、省内、城域内三级时延圈架构，打造分级时延体系，实现异地同城体验，拉动高品质、高价值业务快速增长。枢纽集群间建设高速直达、高性能、低时延的算力高速直连系统，确保跨区域算力调度能力。省内结合当地数据中心部署情况，通过完善重要业务节点间直达光缆，优化区域内时延体系。城域内结合边缘数据中心，丰富直达路由，实现超低时延一跳入算，加强末端覆盖，满足用户快速入算需求。同时随着光纤延伸到千行百业，需要泛在的算力接入和差异化的承载能力，接入网需要构建 PON+FTTR 实现算力触点延伸。

技术引入：作为算力网络的基础网络，需实现面向算力网络的扁平化、大带宽、低时延全光传输网络架构，通过超 T 级高速互联带宽、灵活调度、SRv6、算光协同、动态感知、实时响应和分级服务等关键能力，构筑“九州”算力光网。骨干传送网引入 400G 及以上高速传输，并在骨干节点按需部署光交叉、电交叉和光电混合交叉，支持业务灵活调度。城域按需引入 fgOTN、MTN 等技术，提供分级服务能力；接入侧，由 10G PON 逐步向 50G PON 升级实现带宽倍增，FTTx 网络进一步向 FTTR 延伸，FTTR 主从设备全面支持非对称上下行 +Wi-Fi 6 千兆能力，未来向对称型上下行 +Wi-Fi 7 超千兆能力演进，同时构建 PON+FTTR 协同的集中管控型电信级网络，实现与城域网 (OTN、SPN/PTN) 的切片协同达成固网端到端切片能力，同时引入感知及调优等智能特性实现差异化的体验保障。

图 2. “九州”算力光网目标网技术图谱



2.2 “九州”算力光网目标愿景

九州出自《尚书·禹贡》：原文记载大禹治水，把天下分为九州。至此，九州成中国代名，一举奠定开创中国分区划土而治新纪元，“九州”算力光网，寓意面向算力，打造覆盖中国、开创划时代光传送网。

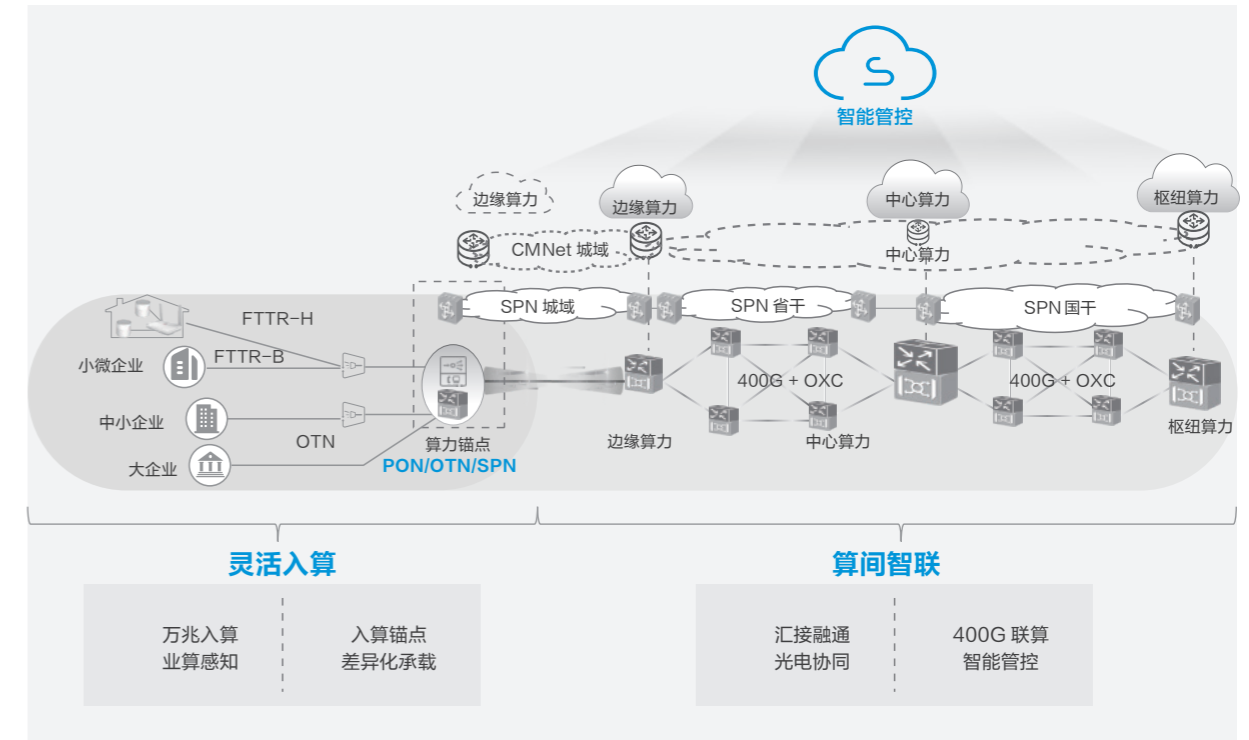
“九州”算力光网作为算力网络的重要基础和全光底座，是中国移动实现“连接 + 算力 + 能力”新型信息服务体系的关键基础设施。中国移动为此提出“六光六极”的光网络目标愿景，为产业数字化转型、政府和业数智化、家庭和个人数字消费升级提供全光品质传送和全光接入助力：

- **以光为基的极质联接**：基于光纤介质稳定、性能可期、网状网可靠等属性优势，打造低时延、高稳定、高可靠的品质光联接；
- **以光为媒的极宽传输**：立足光载频高、可用频谱宽、调制效率优等优势，全面部署 10G PON，并逐步引入 50G PON、400GE SPN、400G/800G OTN 等大带宽传输技术，实现万兆入户入站、百 G 入楼入园、T 级入云入算，打造大带宽、低成本、低能耗的高效传输能力；
- **以光为锚的极广接入**：全面推进入算光锚点建设，加深、加厚光传送网覆盖，以入算光锚点为依托，打造资源池化能力，分场景提供涵盖 PON、FTTR、SPN、OTN 的泛在、简洁、快速、差异化接入手段；
- **以光为核的极效协同**：立足光传送网分工定位，加强 PON、FTTR、SPN/PTN、OTN 等光传送网的资源协同，强化基于 OXC 光电联动调度和保护协同、SPN 和 PTN 的融合协同、PON+FTTR 智能协同、C-WAN 架构下光+WiFi 融合调度，打造以光为核心的光传送网资源极效协同；
- **以光为本的极智管控**：打造功能原子化、任务式编排新型智慧管控系统，支持光传送网一体化调度、一体化运维，更易用、更好用；
- **以光为芯的极信保障**：聚合产业链发展，积极牵引创“芯”道路，在传送网与接入网领域持续突破高速光芯片、光器件、光模块和光系统等核心实现技术，保证供应链持续稳定；同时统筹光多维密钥空间、天然并行大容量数据处理、基于切片的多通道硬隔离以及量子加密等技术演进方向，分类研究潜在应用场景、按需推进技术成熟应用，保证数据信息在光通信系统传输过程的安全性，为算力网络提供技术领先、供应稳定、信息安全的极信保障。

2.3 “九州”算力光网网络架构

“九州”算力光网作为移动算力网络的光基础网和光业务网，向下联接千行百业、千家万户，向上联接边缘算力、中心算力和枢纽集群算力，既为不同用户入算提供简洁、高效、差异化的连接通道，也为跨域、跨层算力提供算间连接通道。“九州”算力光网划分为“算间智联”和“灵活入算”两大部分（如右图）。

图 3.“九州”算力光网目标网架构



2.3.1 算间智联

面向集团“4+N+31+X”整体算力布局规划，以算力为中心，优化网络架构，引入创新技术，提升网络能力，打造一张高效算间智联网，为跨不同地域、跨不同层级、跨不同架构的算力协同提供大带宽、低时延、高效连接服务，从 400G 高速传输、光电协同、汇接融通、智能管控四个方面进行能力提升：

- **高速传输**：聚焦重点链路和重点局向，优先部署 G.654E 光缆，引入 400G 技术，提供 T 级大容量承载能力。优先围绕 8（国家算力枢纽）+ 1（黑龙江哈尔滨算力枢纽）构建枢纽间大带宽、低时延、强智能的直联光传送网，逐步形成面向算力枢纽、DC 集群、CMNet 流量疏导、覆盖全国 31 省市自治区、X+ 个节点的下一代全光骨干传送网络；
- **光电协同**：基于 400G+OXC 光电联动 2.0 技术，推进光电调度协同向光电资源协同演进，通过资源池化，实现不同颗粒度电路按需快速建链，满足算力网络任务式调度的需求；推进光电运维协同，丰富光层 OAM 应用，构建数字化光层；
- **汇接融通**：结合一张光缆网建设原则，合理设置、优化综合业务接入区划分，完善入算锚点设置，缩短客户与算力资源连接距离。通过部署星环 OTN 百 G 大管道、OTN/SPN 网络切片技术和算力资源感知技术融通汇聚和接入网层，为综合业务接入区提供低时延、灵活敏捷、高效直达、资源池化的光联接，满足差异化承载诉求；
- **智能管控**：立足光网资源数字化技术，全面使能光网资源可探、可视、可监、可管，实时呈现光网时延、带宽等传输资源地图，通过原子化功能、切片化服务和任务式编排，向算力网络业务开放光传送网能力。

2.3.2 灵活入算

持续强化末端覆盖，为用户提供无处不在的业务接入能力，打造算力泛在入口，实现一点接入，算力即时可取，满足万兆入算、业算感知、入算锚点、差异化承载的灵活入算需求：

- 万兆入算：**智慧家庭沉浸式 XR 和全屋智能等业务发展对网络带宽、时延等提出更高要求，通过 50G PON 和 FTTR Wi-Fi 7 等新能力实现 1~10Gbps 全屋无缝覆盖、毫秒级时延和无缝漫游等运营级的 Wi-Fi 体验保障等，提供随时随地工作学习、无眩晕感身临其境交互、隐私无忧的健康看护和亲切自然的居家体验等智慧新生活品质，打造家庭 DICT 新服务和新业态。同时，全光接入网将融入到小微企业智能制造、智慧医院、智慧酒店、智能园区等行业应用，将极大提升企业办公和生产效率。通过全光接入网提供的低时延、低抖动、大带宽将支持为企业和行业提供百微秒等极致体验，将极大拓展光接入网的服务边界，促进中小企业的数字化转型升级，有效服务办公、生产和生活，助力千行百业智能普惠发展。
- 业算感知：**面向算力感知的业务需求，作为算网第一跳，以 FTTR 光底座打造家庭和行业数字化业务，构建面向用户和面向场景直接提供更灵活敏捷、更高品质的算网服务能力。业算感知首先提供业务感知能力，在接入侧通过 ONT 和 OLT 的智能能力完成业务感知，并反馈到智能控制中心，实现 E2E 的业务优先级保障。其次业算感知进一步提供感知业务网络 SLA 能力和感知业务算力能力，从而全面提升接入网络的带宽、时延、可靠性、泛在接入等能力，最后业算感知需要基于全光接入统一的智能控制引擎，在接入侧提供业算感知能力，自动识别关键业务，获取业务 SLA 指标和业务算力指标，并完成相关计算资源和网络资源分配。
- 入算锚点：**入算锚点具备多样性接入能力，作为最后一公里网络与大网分界点，提供 OTN、SPN、PON、FTTR 多样化接入手段满足 CHBN 接入需要；入算锚点具备资源池化和综合承载能力，通过部署光电联动的灵活调度能力实现网络资源池化，根据业务流量流向通过智能管控系统实现对网络资源的直接调用，从而实现入算锚点的“一点接入”；同时入算锚点需要通过靠近用户的部署，实现客户便捷接入，实现用户侧 1ms 便捷入算。最终达到“即取即用”的高效灵活调配，实现对算力网络的有力支撑。
- 差异化承载：**通过 fgOTN（细粒度 OTN）、SPN/MTN、PON+FTTR 协同等手段服务 CHBN 中不同价值等级的业务，充分满足不同等级用户对安全隔离、确定性承载的差异化诉求。其中，fgOTN 是基于 TDM 原生硬管道技术，可根据不用的业务场景提供低时延、低抖动和零丢包的高品质连接服务；SPN/MTN 通过 TDM 硬隔离和分组软隔离融合提供灵活切片能力，支持综合业务差异化承载；PON 通过 HQoS 和信元交换两种机制形成软硬两种切片，并结合切片 SLA 可视和智能调优能力，充分满足各类业务诉求。

03 “九州”算力光网关键技术

3.1 全光骨干网技术

全光骨干网作为“九州”算力光网算间智联的关键基础网络，需要满足超长距、大带宽、灵活调度、高效等要求，通过骨干长距 400G、新型高效 OTN 设备、高维度 OXC、光电联动、大容量 SPN 设备等技术持续创新，打造算间智联网络。同时，中国移动坚持创新驱动，通过联合研发、联合攻关和产业引导推进传送网核心技术能力突破，围绕核心能力需求分析、系统性能研究、芯片和光模块研发、关键指标定义、测试验证等关键技术开展攻关。

1、400G 超大容量技术

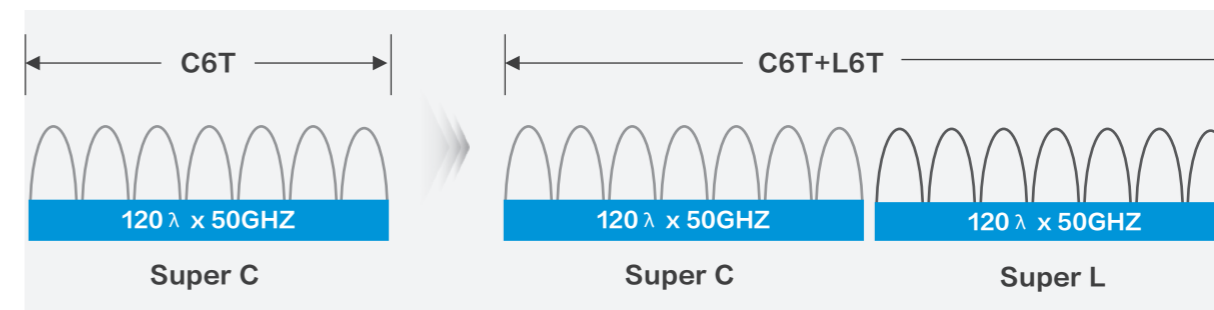
中国移动针对 400G 高速光传输产业发展，推动全产业围绕 400G 技术进行核心能力突破攻关，持续进行 400G 系统研究和攻关，5 年来历经 4 次现网试点和多次实验室验证。2018 年完成 400G 16QAM 现网 600 公里试点；2021 年完成基于 16QAM-PCS 码型超 1000 公里试点；2023 年上半年加速产业链成熟，推动现网实现 400G QPSK 5616km 无中继传输，6 月进一步突破 400G QPSK 6028km 无中继传输；与此同时在业界首次成功加载“东数西存”、“东数西渲”等典型算力业务，标志 400G QPSK 长距解决方案正在转向商用阶段。

• 400G 长距线路技术

解决 130GBd 技术难点，通过方案设计、理论分析、试验验证，400G QPSK 相对 16QAM-PCS 有 50%+ 的性能提升，明确成为骨干长距传输解决方案，在传统 G.652D 光缆基于 EDFA 放大器可实现超 1500km 的传输，在未来 G.654E 光缆规模铺设后，可增加 ~30% 传输距离。

• C6T+L6T 光系统

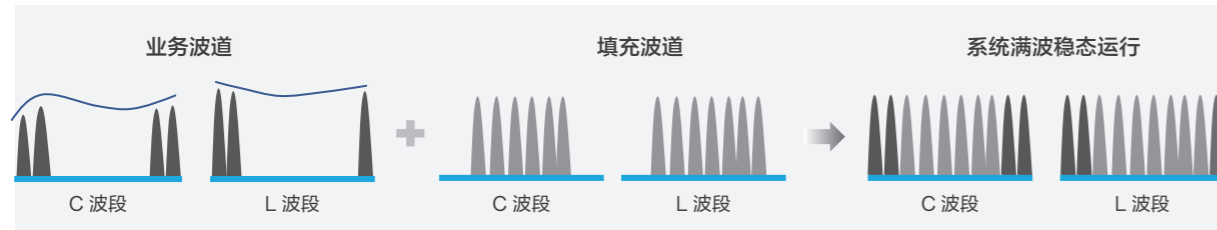
图 4. 频谱扩展至 C6T+L6T



联合产业集中攻关，推动国内主流厂家已全面支持分立式 12THz 核心关键器件，通过 EDFA 饵纤掺杂和工艺的突破，现有 C6THz 频谱扩展增加 L6THz 频谱，单纤传输 80 波 150GHz 的 400G QPSK，达成骨干长距单纤 32Tbit/s 容量目标。

- 超宽谱 SRS 转移控制

图 5. SRS 功率转移抑制



频谱扩展至 12THz 后，受激拉曼散射效应（SRS）带来的功率转移问题凸显，通过输入功率均衡、放大器斜率配置及自动调节控制等方案创新实现性能无感知均衡，继续研究在增减波、网络割接等复杂环境下实现自动化、模板化 SRS 自适应均衡的方案。

2、新型高效 OTN 设备

算间网络大带宽、动态调度需要更大交叉容量、更高能效的 OTN 设备。考虑未来网络容量演进，设备需考虑采用光电混合交叉方式实现超 50T 的交叉容量，满足未来网络大型节点调度能力需求。高效 OTN 设备节能主要围绕设备架构、关键部件（光模块、高集成度芯片等）来实现单 bit 功耗优化。并推进设备 DC 化、冷热风道隔离等形态的实现，并展开液冷技术的研究，减少空调等非功能性设备的使用。

3、高维度 C+L 一体化 OXC

通过高分辨率 LCOS 芯片，实现 32D 的 C+L 一体化 OXC，频谱同步扩展到 C6T+L6T，可全波段无阻塞光波长调度。具备免连纤、高集成、低功耗、快速扩展等优势，可支撑网络快速交付、业务快速开通。

4、光电协同

通过组网架构、资源部署、光电调度、光层 OAM 等优化创新，实现网络节点具备大带宽灵活调度能力。

- 网络架构

使用 OXC+OTN 协同组网方式，调度节点同时具备光交叉和电交叉调度能力。

- 资源池化部署

波长资源、线路的 OTU 端口池化部署，线路端口不预先打通 OCH 路径，根据业务需求按需驱动打通，增加灵活性。

- 光电协同调度

基于光层 OAM，实现业务创建过程中自动光参算路、自动建立多段 OCH、自动选中继、自动创建交叉、

自动调测，实现业务分钟级一键式快速开通。基于光电协同原子化服务能力接口，算网大脑根据带宽需求、网络资源情况，直接调用相应接口，驱动 OTN 业务建立，实现传输 + 算力的实时动态调度。

5、SPN 骨干传送网大带宽技术

面向算力网络的下一代切片分组骨干网，基于 100G 系统的应用经验，适时引入单端口 400G 以太网技术，节省光缆资源消耗，提升骨干网组网能力，满足东数西算、东数西存等算力业务的超大带宽、海量连接诉求。面向算力网络的海量业务承载，对于设备分组及 MTN 交叉能力，基于单槽位 400G/800G，适时引入单槽位 T 级别容量技术，提升单 bit 功耗效能，构建绿色低碳网络，服务算力网络高效运行。

6、SPN 骨干传送网跨域对接技术

算力网络正应用于千行百业的生产场景，对可靠性、效率提出更高要求。需基于当前分域 UNI 对接的能力基础之上，开展 SPN 骨干传送网 NNI 跨域对接技术研究工作，推动 SPN 网络端到端切片资源精细对接、灵活调度、智能可视，为算力业务的高可靠、高效率传输提供技术保障。

3.2 全光城域网技术

全光城域网依据从城域核心到边缘接入的多样化入算需求，分场景引入 fgOTN、星环 OTN、SPN 等多种技术体系，提供分级服务能力，实现超低时延一跳入算，增强末端覆盖能力，支撑“九州”算力全光网“六光六极”的灵活入算。

3.2.1 fgOTN

fgOTN (fine grain OTN) 是基于 OTN 框架下硬管道技术的重大技术创新，是 OTN 技术的下一代演进。主要定位 1G 以下小颗粒高品质业务承载，可广泛应用于政企网络，以及电力、医疗等行业的组网专线，在企业生产系统高品质接入算力网络，以及未来智慧家庭 XR 等新业务高品质接入算力网络等需求场景下，fgOTN 会发挥更重要作用。

fgOTN 在 TDM 技术上继承 OTN 和 SDH 优势，采用了以 10M 带宽为单位的固定时隙分配设计，沿用并优化经典 OTN 帧结构高效承载小颗粒业务，可为品质连接提供基于刚性硬管道的安全硬隔离解决方案。同时 fgOTN 在调度容量、连接数、时钟透传、服务层设计、无损带宽调整和稳定低时延传送等方面实现了重大升级：

- 连接数提升：**相比传统 OTN 设备一个 10G 服务层最多 8 条业务连接，fgOTN 可实现千条级别的连接数量；
- 全新服务层：**通过精细 TDM 时隙划分技术实现在最大 ODU2 (10G) 服务层中承载 10Mbit/s 小颗粒，服务层比 SDH VC4 (155M) 带宽提升 64 倍；
- 全新时钟透传技术：**支持中间节点无低通滤波器的时钟恢复方案，在 OTN 异步体系中实现简化、高质量的 CBR 业务透明传输；

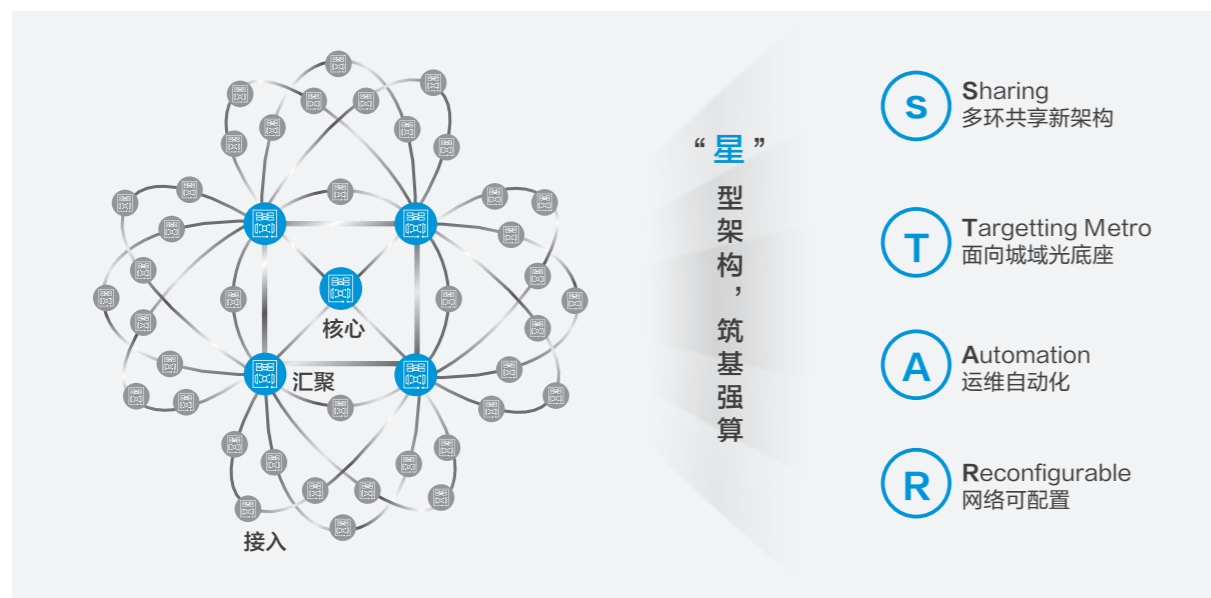
- **带宽无损可调技术**：支持带宽一步完成调整，秒级操作体验，支持任意速率进行切换；
- **稳定低时延技术**：通过对芯片工艺、速率适配方案等多方面技术因素全面分析，选定最优 16Byte 固定时隙粒度，实现业务时延、业务容量的综合最优表现，结合硬管道，时延维持稳定；
- **业务感知和映射**：支持业务感知并自动实现业务流到 fgOTN 管道的封装映射，实现快速、灵活连接的建立。

中国移动积极参与 fgOTN 标准研究创新和推进 fgOTN 标准的进程，在 2023 年 4 月 ITU-T SG15 全会上联合产业就帧结构、交织粒度、服务层速率、同步等技术方向上达成共识，主导 ITU-T fgOTN 系列标准立项，为 fgOTN 标准在 2023 年年底发布奠定了坚实基础，扭转了相关技术和标准发展停滞的被动局面，并积极引导产业加速相关产品的研发。

3.2.2 星环 OTN

从城域网自动化和可重构的特点出发，基于共享式理念中国移动提出全新一代城域星环 OTN (STAR OTN) 技术架构，提升网络资源利用率，实现自动化运维。

图 6. 城域星环 OTN 技术架构



- **多环共享架构 WSS**：在汇聚节点传统的 1*N WSS 基础上，改进为新型 M*N WSS，实现多环共享一组 WSS。
- **多器件合封极简 ROADM**：基于城域接入环 2 维的特点，利用相干接收特点，基于光分路器、耦合器、光电器件合封技术，无 WSS 器件实现 Colorless/Flexgrid 上下波。
- **硅光技术城域相干模块**：满足城域接入层 100~300km 传输距离，降低 oDSP 复杂度，通过硅光技术件提升集成度。推出适合城域网使用的低功耗、低成本、高容量的新型城域相干 100G/200G 光模块。

- **类 MCM 的光层数字化标签**：在 oDSP 内部直接对高速数字信号做类 MCM 调制，叠加多载波低速数字化标签和 OAM 信息，中间节点和收端可多波并行检测，检测光功率和识别波长实现自动化运维。

星环 OTN 通过 M*N WSS、简化 ROADM、城域相干模块、光层数字化技术，在成本可控的基础上，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。

3.2.3 SPN

SPN 通过 MTN 细粒度切片技术创新、末端小型化 SPN 设备、分布式算力互连及边缘算力接入技术以及业务灵活调度及可视技术，支撑“九州”算力光网“六光六极”的算网智联和灵活入算能力。

1、MTN 细粒度切片技术

SPN 小颗粒技术 (FGU, Fine Granularity Unit) 聚焦构建端到端高效、无损、柔性带宽、灵活可靠的通道和承载方式，将硬切片的颗粒度从 5Gbps 细化为 10Mbps，满足 5G+ 垂直行业应用和专线业务等场景中中小带宽、高隔离性、高安全性等差异化业务承载需求。FGU 具备的特征和能力包括：

- 10Mbps 细粒度带宽，高效匹配各类型业务带宽需求
- 严格 TDM 刚性隔离，确定时隙分配
- 确定性时延和小于 1us 低抖动特性
- 每条小颗粒通道提供独立和完善的 OAM 能力，保障 50ms 保护倒换性能，并具备重路由保护功能
- 在线通道带宽无损调整能力，带宽和时隙资源分配更加灵活
- CBR over SPN 细粒度切片能力，支持承载 E1/STM-1 CBR 业务

2、小型化接入 SPN

小型化接入 SPN 通过支持 10GE 新型 MTN 接口将细粒度切片能力延伸到末端，精准匹配接入需求；与大网 SPN 无缝组网，并支持解耦开放管控，支撑专线和算力的泛在接入。可支持集成“SPN 固定传输技术”和“5G 无线传输技术”双模的固移融合专线，实现专线接入的固定传输路径和无线传输路径的双网备份功能。

3、分布式算力互连及边缘算力接入技术

基于 SPN 网络构筑灵活、智能化的 SRv6 算力网络底座，致力实现网络资源的高效协同和价值倍增，推进数字化经济的飞速发展。

- **算网连接**：SPN 网络在算力终端、边缘算力和区域算力之间通过 SRv6 技术建立灵活连接，提供敏捷感知、透明感知和深度感知等多种算网连接能力。
- **算网能力开放**：SPN 网络基于 SDN 管控技术，并开放北向接口，将自身多样化的连接能力虚拟化和服务化开放发布给业务管控系统。

- **算网融合路由：**根据算力度量机制对不同的算力进行标识和感知，进行算网资源连接路径计算、算网融合路由等功能。

4、业务灵活调度及可视技术

SPN 网络创新性地引入 SR-TP 连接技术和集中动态 L3 技术，匹配 5G 回传业务承载需求。

- SR-TP 隧道连接技术提供面向连接 SR-TP 和面向无连接 SR-BE 的多类型承载管道技术；
- SR-TP 隧道无需中间节点上维护隧道路径状态信息，提升隧道路径调整的灵活性和网络可编程能力，尤其是控制面重路由技术提升网络生存能力；
- SR-TP 隧道技术继承 MPLS-TP 双向隧道、电信级（50ms）OAM 检测和保护等能力，保留传输网可靠性（99.999% 可用度）、运维习惯及与传统 MPLS-TP 演进能力；
- 具备 L3 到边缘的接入能力，能够实现任意无线基站及核心网节点间的互联。
- 引入 In-band OAM 随流检测技术，对实际业务流进行特征标记（染色），并对丢包率、时延、抖动等指标进行测量，在业务部署效率、扩展能力、5G 场景适应性上均有大幅提升。

3.3 全光接入网技术

全光接入网为用户提供无处不在的业务接入能力，实现一点接入，算力即时可取。面向泛在算力接入，宽带接入网作为接入运营商网络的第一跳入口，是业务入算的保障；面向 5G 入算，半有源 Open-WDM 为 5G C-RAN 前传网络提供了低成本可管可控解决方案，充分保障了 5G 前传网络高可靠的要求。

3.3.1 宽带接入网

面向算力光网发展需求，基于 50G PON 和 FTTR 的下一代宽带光接入网立足于提升网络的带宽、时延和确定性等网络基础能力，并将以上能力向下延伸直达用户终端，支撑端到端提供可承诺的算力接入。

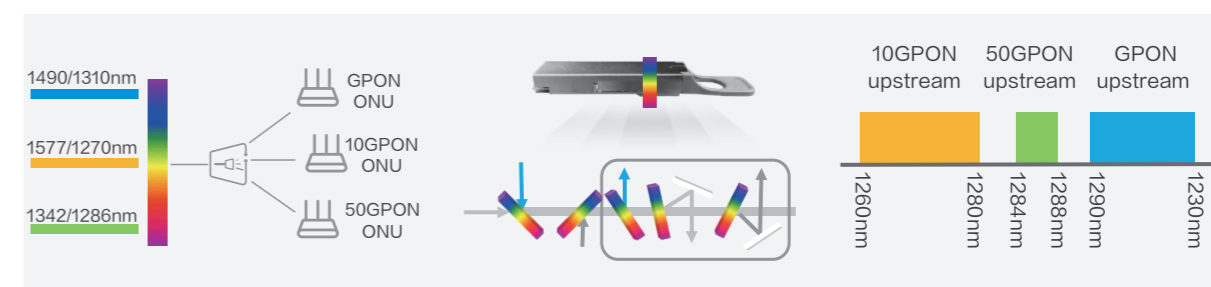
1、50G PON

2021 年 9 月 ITU-T 发布了 50G PON 标准，定义其为下一代光接入技术。50G PON 能为每个接入点提供超 10Gbps 的能力，在业务 SLA 保障上也进行了升级，从而更好匹配未来更广泛的家宽和行业应用需求。50G PON 关键技术特征：

- **5 倍带宽提升：**相比 XG(S)-PON，50G PON 可提供高达 50Gbps 接入速率，有上下行带宽非对称和对称两种模式，可满足不同类型的客户和应用需求。速率提升光路引起传输性能劣化，新型高灵敏度接收及大功率发光芯片、高性能 oDSP 算法是关键突破方向。

- **低时延传输：**多个低时延相关技术方案已被提出并纳入 50G PON 标准。一是单帧多 burst：OLT 每帧可以给单个 ONU 分配的最大突发数是 16，显著降低上行 TDM 机制引入的时延。二是注册窗口消除：引入一个额外的波长通道用于 ONU 的注册，实现注册开窗对数据转发波长通道的时延和抖动无影响。
- **多代共存：**为保护运营商投资并实现平滑演进，50G PON 需要与现有的 GPON 或 XG(S)-PON 共存部署，有两模共存（50G/10G PON 或 50G/G PON）和三模共存（50G/10G/G PON）两种场景。主流采用单模块波分共存技术，一个光模块可以支持多代 PON 技术，使得运营商可以一次升级网络，按需升级用户终端。

图 7. 多代 PON 共存

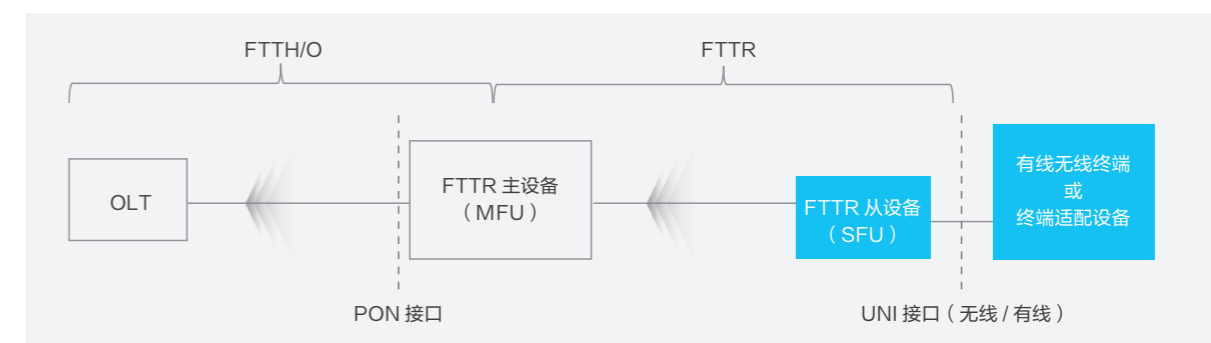


2、FTTR

为实现千兆光宽带网络能力的无缝覆盖，从而直达用户和业务终端，业界提出了基于光纤的新一代全光 Wi-Fi 组网技术——FTTR。FTTR 全光 Wi-Fi 是基于 P2MP 架构的技术，可直接将光纤延伸至各个房间，实现全屋千兆以上覆盖能力，是构建家庭和企宽高质量信息基础设施的关键。由于 FTTR 基于 P2MP 的光接入架构，可延续运营商 FTTH 成功运维运营经验，同时具备灵活扩展、可视可管可维的电信级网络优势。

此外，FTTR 作为一种全新的电信级全光组网技术，系统容量需要对标以太网等多种局域网技术。局域网中除南北向流量外，还需考虑东西向流量，现有局域网技术基本均为对称速率系。因此，FTTR 系统的主从设备之间应支持向对称速率发展并演进。

图 8. 光纤到房间网络架构



- **集中管控型电信级网络：**基于光层 OAM 的 FTTR 系统架构，实现电信级光网络能力的延伸。FTTR 系统通过 Me 接口将 P2MP 光层网络的管控能力由 OLT、ODN、FTTR 主设备向下延伸到 FTTR 从设备和局

域网 IFDN（室内分布式光纤网络）；通过 Mf 接口（基于 MQTT 协议），实现 FTTR 主从设备 WiFi 一张网管控能力及家庭网络高速数据采集，支撑从设备单网元管理向多网元组网管理演进。Me 接口属于光链路原生能力并基于独立的管控通道承载（与数据通道隔离），只依赖于光纤的连接（不依赖于上层 IP 链路的建立）即可实现对 FTTR+ 的原生管控，并提供创建上层基于 IP 的管控通道（例如 Mf、TR-069 等）和备份上层管控通道的能力。同时，对于 FTTR+ 设备，可通过扩展 Me 接口能力，实现对 FTTR+ 上联接口的工作模式管理，用户无感知地实现伴随 OLT 从 GPON 向 XG(S)-PON 高带宽业务的快速平滑升级。

- **集中管控的 Wi-Fi 组网：**C-WAN 机制将实现光与 Wi-Fi 深度的融合，实现整网 Wi-Fi 收发的高效协同。C-WAN 将首先实现光与 Wi-Fi 的访问控制层（MAC）的融合，通过信息交互实现资源分配的联合优化，可有效提升整体系统的 QoS 保障，降低融合模块成本和降低时延。更进一步，C-WAN 将实现光与 Wi-Fi 的物理层（PHY）的融合，Wi-Fi 信号不需再经过媒介访问控制层处理，降低信号处理时延和系统帧封装的带宽开销及时延，进一步降低融合模块的成本，提升系统效率。
- **网络智能化：**将大数据底座能力进一步延伸到用户侧（家庭网络 / 园区网络），通过引入算力板和 Wi-Fi 感知技术、Telemetry 和 MQTT 秒级采集机制，光纤基础设施数字化，充分挖掘 PON 和 FTTR 的网络和业务数据，增强 OLT 和 FTTR 智能化能力，实现业务感知和网络质量可视、分析和调优，保障算和网能力的精准匹配，支撑算网业务发展。

3、Wi-Fi 7

Wi-Fi 7 作为下一代 Wi-Fi 标准，能够支持高达 30Gbps 的吞吐量，大约是 Wi-Fi 6 的 3 倍。IEEE 802.11be 在 2022 年完成 Release1 的发布，进入 Release2 的完善阶段并计划 2024 年底发布。Wi-Fi 7 引入多个关键机制和技术，实现带宽的提升和时延的降低：

- **4096-QAM 调制技术：**Wi-Fi 7 最高支持 4096-QAM 调制，比 Wi-Fi 6 的 1024-QAM 可以获得 20% 的速率提升。
- **Multi-RU 机制：**Wi-Fi 7 允许将多个 RU 分配给单用户，更合理的使用 RU 资源，提高用户的可用带宽和提高 RU 利用率。
- **Multi-Link 多链路机制：**Wi-Fi 7 定义了多链路聚合相关技术，包括增强型多链路聚合的 MAC 架构、多链路信道接入和多链路传输等相关技术，在 2.4 GHz、5 GHz 和 6 GHz 上建立新的频谱管理、协调和传输机制，有效提高链路可用带宽或降低传输时延。

3.3.2 半有源 Open-WDM

面向 5G 前传 C-RAN 组网变革，中国移动提出开放式波分复用（Open-WDM）技术体系及核心技术，在 Open-WDM 半有源架构、物理层 MWDM、调顶 OAM 和管控 SDN 等方面实现重要创新和突破，引领国际、国内标准，推动 Open-WDM 产业蓬勃发展，有力支撑 5G 前传规模部署商用。

1、Open-WDM 半有源架构

创新提出 Open-WDM 半有源架构，一举破解了哑资源管理和光纤资源紧张的难题，以低成本方式实现前传网络可管可控。前传半有源架构突破了业界十年来传统灰光直驱、无源、有源的定向思维，通过 AAU 侧无源设计实现灵活部署，DU 侧有源设计支持管控；创新提出基于调顶的轻量级 OAM 方案及标准南向接口，实现 SDN 集中管控，前传半有源架构已成为国内外产业趋势和运营商共识。

2、物理层 MWDM

首创 O 波段不等间距 MWDM 方案，开创了面向 5G 前传的新一代 O 波段 WDM 体系。MWDM 方案重用 CWDM 产业构造低成本 25G DML 光芯片，波道数提升 1 倍克服了非线性劣化效应风险，同时满足了单站 12 波长 6*25G 低成本建站模型的需求；创新提出综合考虑通道色散代价和通道滤波插损的合分波器优化方案，链路预算优化了 2dB，使得 12 波低成本 PIN 接收机方案满足 10km 链路预算。

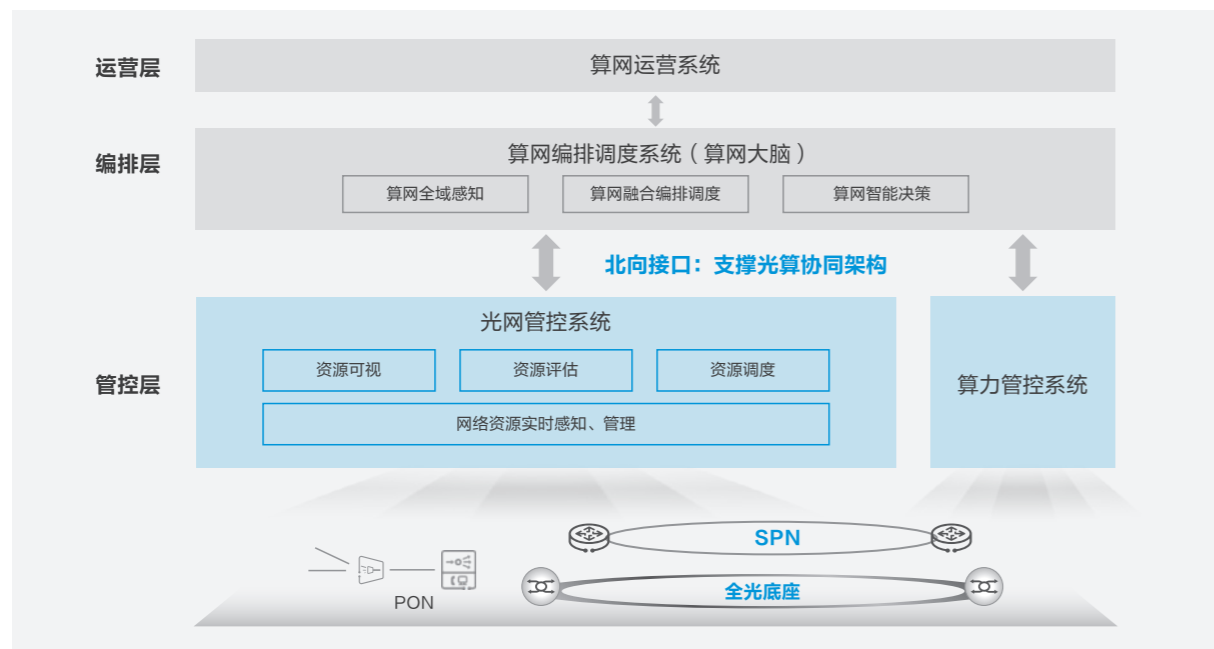
中国移动主导推动 Open-WDM 核心技术在 ITU-T 等国际标准组织立项系列标准，构建国际国内标准化体系。在 ITU-T 主导 Open-WDM 架构、物理层、管控等 3 项核心标准立项，在 O-RAN、CCSA 等国内外标准组织的传输领域完成十数项标准立项，构建了系统化的标准体系。

3.4 智能化光网管控

算力时代，网络作为连接用户、数据和算力的桥梁，需要与算力深度融合。算和网的管控系统，需要通过单域自治、跨域协同的架构，实现一体化的算网服务。算网管控总体架构包括运营层、编排层、和管控层。

- **算网运营层：**实现算网产品的一体化供给。面向用户提供在线自助申购门户，面向算网应用提供北向自动化接口。
- **算网编排层：**实现跨算力和网络的统一业务编排服务。向上提供算网业务服务能力，向下协同算和网的管控系统，支持端到端业务编排、智能决策、跨域资源分配、和统一协同调度等功能。
- **光网和算力各自的管控层：**实现对算力基础设施、和网络基础设施的管控和运维。面向算网编排层，通过标准化北向接口实现网络连接服务能力，和算力调度服务能力等，支撑算网业务提供。

图 9. 算网管控总体架构



为了更好地支撑算网敏捷业务能力，管控系统还需要提供服务化能力接口，封装管控系统场景化能力，支撑上层 OSS 的敏捷业务服务进行灵活调用。

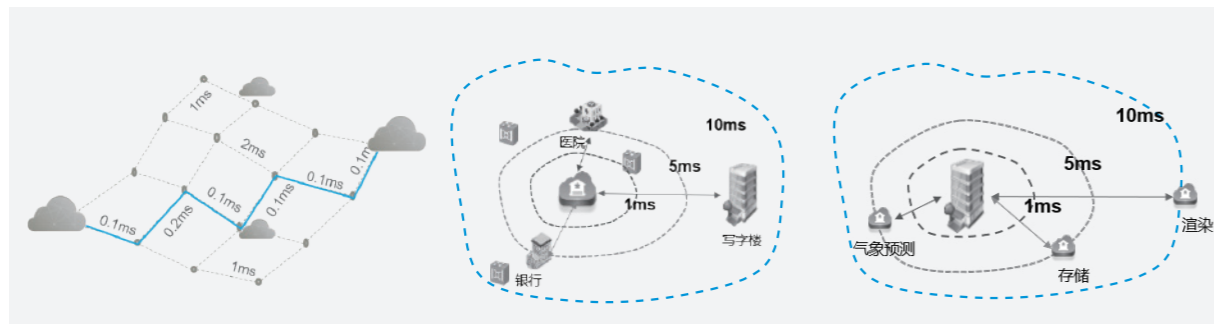
3.4.1 OTN 网络管控

面向算力网络对传输品质、传输资源调度灵活性等提出的更高要求，光网管控以数字化可视可维，任务式调度为关键能力，并通过北向开放与上层系统协同，支撑算网业务的高效调配。

• 传输资源可视化

算力光网的可视化是实现目标网精准建设，和高效运维的重要基础。其中，全光资源的数字化可管可视，通过一体化呈现算 + 网 + GIS 拓扑，助力规建环节掌握算网全貌。并通过传输时延圈、传输资源能力矩阵功能呈现算力到用户、算力到算力的时延能力，助力以算力为中心的算网建设。

图 10. 传输资源能力可视化



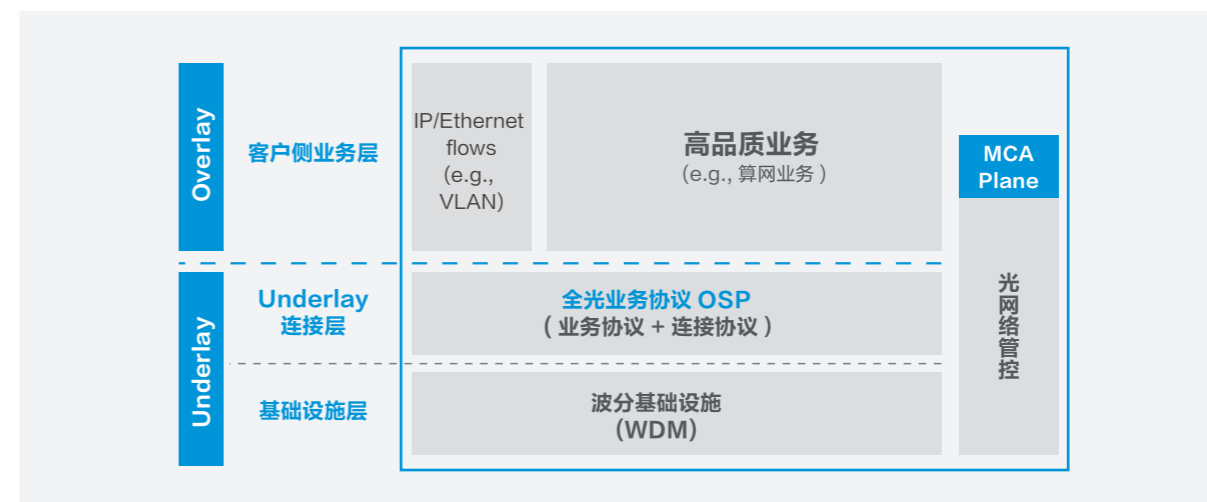
• 任务式调度

算网业务实现即取即用，需要光网具备任务式、按需、敏捷的调度能力、灵活弹性的调整能力、以及自助化的业务 SLA 可视能力。任务式调度通过定源多宿多因子算路技术，快速评估出满足用户时延等需求的算力池列表，支撑算网大脑综合网络传输和算力负载等因素智能决策算网方案，并快速建拆连接。

• OSP 协议

新一代控制协议 OSP (Optical Service Protocols, 全光业务协议组) 首次引入了业务协议，通过在 OTN 边缘节点运行极简业务协议，通过自动学习 / 自动识别业务地址、自动映射业务到 OTN 管道等关键技术满足业务自动入多算、自动驱动带宽调整 / 建联等业务特性。另一方面，引入高效连接协议，实现海量连接的快速建联和确定性恢复，大幅提升连接控制性能。

图 11. 新一代 OSP 控制协议架构



3.4.2 SPN 网络管控

为适应 SPN 网络架构的变化，提高对网络大带宽、低时延、灵活调度、高精度、高可靠的多种需求，SPN 管控系统需要在服务架构、业务模型、驱动策略等关键技术做出改变，以满足全网网络资源协同、业务快速部署的算网要求，实现 SPN 网络资源集约化、自动化（可勘查、可计算、可调度）。

• 传输可视与集中调度

通过网络控制器提供北向 REST 接口上报带宽、时延、拓扑等重要信息，管控系统形成传输地图，感知网络多维因子，包括网络的时延、带宽、丢包等性能指标可视化（带宽 M 级，时延 ms 级），打造数字孪生底座，支撑算网统一调度。实时感知网络时延等因子，叠加算力节点静态信息，统一呈现算网资源：网络资源管理，包括资产管理，端口等以及状态感知；网络拓扑呈现，支持网络资源、状态、告警统计拓扑可视；资源详情展示以及灵活跳转；网络实时 KPI 展示，支持 KPI 指标拓扑展示以及灵活定制，如丢包带宽、时延等。

• 传输保障

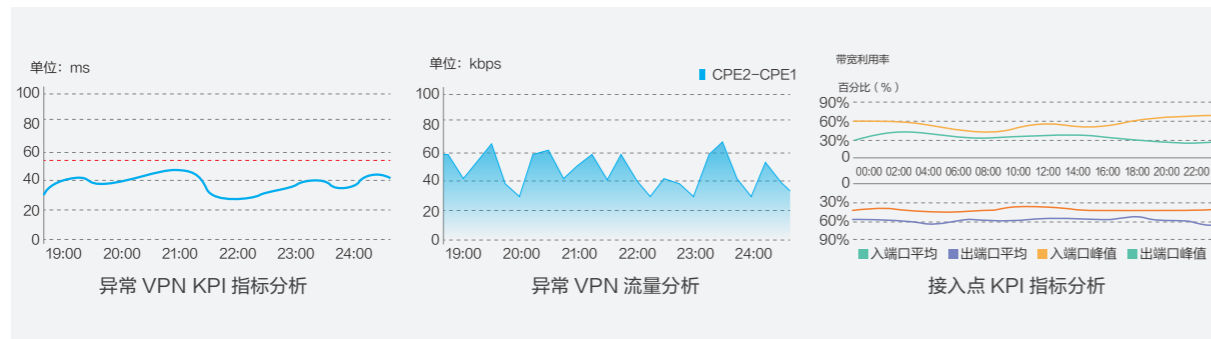
(1) 业务整体状态可视：业务状态集中呈现，网络多维可视，信息自动关联分析，提高操作和维护效率；快速检索海量资源和告警，实时、自动关联业务状态。

(2) 业务 SLA 实时可视，历史数据可回溯。

端到端高精度检测业务 SLA，设备通过 Telemetry 协议上报 InbandOAM 采集的性能数据，管控系统将全网采集的性能数据统一进行计算，获得用户流的实时 SLA 性能指标，并将 SLA 数据统一呈现，实时主动感知业务质量。

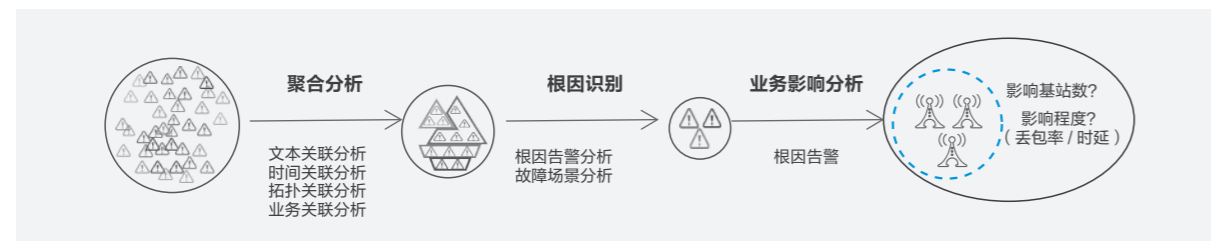
(3) SLA 违约风险主动预警：支持业务 SLA 多维度分析可视，越限染色，主动发现质差业务；分析质差业务连接状态和接入点满足度，提前预警风险。

图 12. 业务 SLA 违约预警



(4) 业务故障快速识别，自动定界：端到端 SLA 数据超过阈值，管控系统识别为质差业务自动触发逐跳定界；查看 VPN 业务拓扑还原 +KPI 关联分析，业务路径逐跳呈现，通过对比分析逐跳的链路丢包和时延信息，快速识别故障点；支持智能根因告警分析和业务影响分析，精准识别关键故障。

图 13. 业务故障快速识别

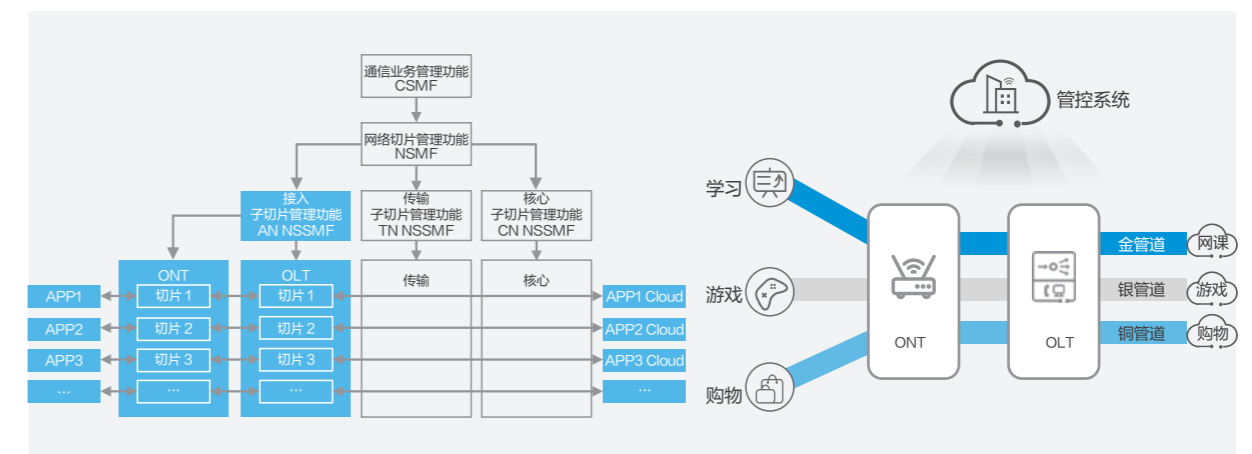


3.4.3 PON 网络管控

在万物互联的时代，将有海量的设备接入网络，一台设备还会有不同的业务接入网络，这些设备 / 业务具有不同的特点，对网络的安全性、时延、可靠性、带宽等存在不同的诉求。因此，需要提供基于可保障 SLA 的光接入差异化承载和 Wi-Fi 体验保障技术，满足差异化需求。

- **业务和网络质量可视化，通过业务级管道 In-situ OAM 随流检测，TCP/UDP Flow 检测于体验的自优化：**实现对二层，三层以及传输层时延、丢包和抖动监测；通过 Telemetry 和 MQTT 实现海量 OLT 和 ONT 运行数据实时订阅上报；其次是业务和网络质量的闭环优化，在 FTTR 主 ONT、OLT 和分析平台上分别部署智能算法，实现对 Wi-Fi、PON 线路、切片以及上行链路的体验闭环。
- **基于可保障 SLA 的光接入差异化承载：**在一个硬件基础网络上切分出多个独立的虚拟网络，按需分配资源、灵活组合，满足各种业务的不同需求。当新业务需求被提出而目前网络无法满足要求时，运营商可以为此需求虚拟出一张新的网络，而不需要影响已有的网络，并且可以按照不同的业务 SLA 目标定义动态差异化承载能力，以满足不同场景用户的业务需求，实现新业务快速上线。

图 14. 基于可承诺 SLA 的动态差异化承载技术



- **光接入端到端体验保障：**针对用户热切关注的 Wi-Fi 网络覆盖和质量问题，运营商级的 Wi-Fi 网络应以双频 Wi-Fi 的网关为中心，充分利用室内光纤等扩展介质实现 Wi-Fi 的智能覆盖，网关作为控制中心实现整网的 Wi-Fi 无缝漫游和信道调优，并结合 Wi-Fi 空口动态调度技术，基于应用体验感知驱动 Wi-Fi 空口资源按照业务优先级、动态带宽需求进行智能调度，打造体验可保障、可管理、可运维、可调优的 Wi-Fi 网络。同时需要系统性提供以 FTTR 为中心的 Wi-Fi 体验衡量标准 KQI (关键质量标准) 和 KPI (关键性能指标)，客观量化最终用户的体验 (如在线视频的时延，网页浏览的加载时间，在线游戏的响应时间等)。

3.5 绿色节能

中国移动认真贯彻落实国家“碳达峰碳中和”决策部署，创新构建“三能六绿”发展模式，倡导制定了节能减排长期规划。面向“九州”算力光网中国移动从绿色站点、绿色网络、绿色运营三个层面系统提升能效并探索制定能效衡量指标。

1、绿色站点

PON、SPN、OTN 通过端口级、单板级及平台级的系统降耗，打造绿色站点。

- 端口级精准节能，在性能不劣化的前提下，相对固定模块引入可拔插的相干模块降低模块功耗；支持空闲端口自动关断，或者按日历时间段策略自动关断，精准节能；单板级精准节能，支持空闲单板远程关断，空闲单板智能排查，远程批量关断空闲单板，精准节能。
- 设备平台节能，优化设备散热方式、供电方式，兼容高压直流、交流、-48V 多种供电方式；支持动态节能，对 PON、SPN 和 OTN 网络不同时间段实现 AI 动态节能，通过智能管控实现设备功能模块的动态休眠和启动，动态调节设备运行状态，从而实现节能减排；设备支持前进后出风散热，在传统机房、DC 化机房全场景安装部署，降低机房 PUE。

2、绿色网络

- **老旧设备升级改造：**采用 fgOTN 技术将传统组网中 Packet、SDH、ODU 小颗粒业务业务由统一设备承载，通过多功能合一实现功耗节省；PTN/SPN 双网融合，多平面设备合一，腾退机房空间、光纤资源，大幅降低业务承载功耗，全光接入网通过切片技术，实现 2B、2H 多网合一，减少设备，通过 CLASS D 光模块，增加光功率，覆盖更远距离用户，减少机房建设，大幅降低全网功耗。
- **以光换电优化架构：**将分离式的 ROADM 向基于光背板的 OXC 统一平台演进，降低骨干流量在电层转发的能耗；OTN 从城域核心向城域汇聚、CO 机房逐步延伸，通过光电融合的组网架构，进一步减少城域的逐级电层调度层级。骨干、城域一张端到端的全光大网，光电资源统一调配，资源池化按需取用，促使全网向更加绿色节能的方向持续发展。

3、绿色运营

- 支持多维度能耗可视，可以直观看到全网实时能耗和能效数据，追溯全网历史趋势变化，帮助客户看清网络整体能耗情况；支持节能效果评估，可以直观看到设备功率分布情况、设备功率排名以及节能效果预评估，实现网络功耗可分析可优化；支持节能策略管理，支持用户多维度按需下发节能策略，使能节能后，能够查看节能前后功率变化趋势，实现节能策略管理并且效果可评估。
- **建立能效评估指标：**通过网络多维能效指标科学、公正地评估网络能效，牵引构建高品质绿色网络，为固定网络绿色可持续发展指明方向，以促进固定网络向高能效网络发展。

04 未来展望与倡议

算力网络作为新型数字信息基础设施，已成为支撑数字经济持续发展的重要引擎。国家陆续出台了一系列相关政策，明确需要打通经济社会发展的信息“大动脉”。随着“数字中国”战略的扎实推进，产业数字化将加速发展，催生千行百业数智赋能，算力网络发展将面临千载难逢的机遇。作为算网的基础底座，“九州”算力光网承担着“基础保障”的关键使命，是保证大带宽、低时延、高敏捷的算网智联和泛在、灵活、智能的品质入算的核心要素。

中国移动在 2021 年首次提出算力网络全新理念，系统打造以“5G+ 算力网络 + 智慧中台”为重点的新型信息基础设施；2022 年以泛在协同和融合统一为目标，坚持高起点规划、高质量建设，进一步规划了“资源领先、网络领先、算力领先”、“优化编排、优化服务”、“效能安全”的“321”算力网络资源布局蓝图。

“九州”算力光网作为算网的关键基础设施，中国移动秉持顶层规划、适度超前的建设原则，充分应用新技术，引领产业发展方向。面向算网智联，中国移动率先推进基于 C+L 波段的 400G OTN 技术方案研究，完成业界首个 400G QPSK OTN 超长距离传输技术试验，并发布了基于 OXC 的光电联动的《**下一代全光骨干传送网白皮书**》；面向泛在接入，探索城域 OTN 的资源池化，实现百 G 到锚点的综合接入，发布了《**算力时代城域 STAR OTN 技术白皮书**》；积极推进 50G PON 和 FTTR+ 的创新研究和应用，创新推出下一代 PON+FTTR 智能协同的光接入网架构，打造算力网络即取即用新业态，发布了《**NGOAN 技术发展白皮书**》和《**FTTR+ 技术白皮书**》；基于 SPN 网络探索分场景算力接入承载，发布了《**SPN2.0 技术白皮书**》。本册《“九州”算力光网目标网架构白皮书》，作为总册定义了算力光网的整体架构。6 本白皮书全面阐释了中国移动 NGON 全光网体系和“九州”算力光网建设的构想。

图 15.“九州”算力光网创新规划



“九州”算力光网将使用 400G、星环 OTN、fgOTN、SPN/MTN、50G PON、FTTR 等新的关键技术，这些新技术的应用将深刻影响未来光传送和光接入网络的发展和产业格局。在此，中国移动呼吁产业界持续加强技术创新、产品规划和产业协同，加速推进“九州”算力光网所涉及的新技术和产业成熟，携手共筑面向算力应用的高品质算力光网的坚实底座。

05 缩略语

缩略语	全称	中文名
AI	Artificial intelligence	人工智能
ADC	Analog-to-digital converter	模数转换器
API	Application Programming Interface	应用编程接口
BI	Business intelligence	商业智能
BOB	BOSA on board	BOSA在板
BOSA	Bi-Directional Optical Sub-Assembly	光发射接收组件
CBR	Constant Bit Rate	恒定比特速率
C-WAN	Centralized Wireless-optical Access Network	中心化无线和光接入网
DC	Data center	数据中心
DSP	Digital signal processor	数字信号处理器
EDFA	Erbium-doped fiber amplifier	掺铒光纤放大器
FEC	Forward error-correction	前向纠错
fgOTN	fine grain OTN	细粒度OTN
FGU	Fine Granularity Unit	小颗粒技术
FMS	FTTR Management System	FTTR管理系统
FOADM	Fixed optical add-drop multiplexer	固定光分插复用器
FTTH	Fiber to the Home	光纤到户
FTTR	Fiber to the Room	光纤到房间
GEM	GPON encapsulation mode	GPON封装模式
GPON	Gigabit-Capable PON	吉比特无源光网络
10G GPON	10 Gigabit GPON	10吉比特无源光网络
HPC	High-performance computing	高性能计算
IFDN	Indoor Fiber Distribution Network	室内分布式光纤网络
IoT	Internet of Things	物联网
LCOS	Liquid crystal on silicon	硅基液晶
MAC	Media Access Control	介质访问控制层
MFU	Main FTTR unit	FTTR主设备
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	消息队列遥测传输协议
MTN	Metro Transport Network	城域传送网
NAT	Network Address Translation	网络地址转换
NF	Noise figure	噪声指数
NGOAN	Next Generation Optical Access Network	下一代光接入网

OAM	Operation administration maintenance	操作管理维护
OADM	Optical add/drop multiplexer	光分插复用设备
OCH	Optical Channel layer	光通道层
oDSP	Optical digital signal processing	光数字信号处理
ODN	Optical Distribution Network	光分配网
OLA	optical line amplifier	光线路放大设备
OLT	Optical Line Terminal	光线路终端
OMC	Operation and Maintenance Center	操作维护中心
ONU	Optical Network Unit	光网络单元
OTN	Optical transport network	光传送网
OTU	Optical transponder unit	光转换器单元
OXC	Optical cross-connect	全光交叉连接
P2MP	Point to Multi-Point	点到多点
PLC	Programmable Logic Controller	可编程控制器
PMD	Polarization mode dispersion	偏振模色散
PON	Passive Optical Network	无源光纤网络
POTS	plain old telephone service	普通电话服务
QoE	Quality of Experience	体验质量
QoS	Quality of Service	服务质量
RMS	Remote Management System	远程管理系统
ROA	Reconfigurable optical amplifier site	可重构光放站点
ROADM	Reconfigurable optical add-drop multiplexer	可重构光分插复用器
SFU	Sub FTTR unit	FTTR从设备
SLA	Service-Level Agreement	服务等级协议
SOA	semiconductor optical amplifiers	半导体光放大器
SPN	Slicing Packet Network	切片分组网
SRS	Stimulated Raman scattering	受激拉曼散射
SRv6	Segment Routing over IPv6	基于IPv6的段路由
TR-069	Technical Report 069	用户终端设备广域网管理协议
VR	Virtual reality	虚拟现实
WLAN	Wireless Local Area Networks	无线局域网
WSS	Wavelength-selective switching	波长选择开关