

白皮书
2018-09



5G 承载网络架构和技术方案



目录

引言 P1

5G承载网络总体架构 P2

5G承载转发面架构和技术方案 P4

5G承载协同管控架构和关键技术 P21

5G同步网架构和关键技术 P25

我国5G承载产业发展趋势分析 P29

总结和展望 P34

主要贡献单位 P35

引言

随着3GPP 5G非独立（NSA）和独立（SA）组网标准的正式冻结，我国运营商同步启动规划和设计5G试点和预商用方案，5G迈向商用的步伐逐步加快。相对4G网络，5G在业务特性、接入网、核心网等多个方面将发生显著变化，其中在业务特性方面，增强型移动宽带（eMBB）、超可靠低时延通信（uRLLC）、大规模机器类通信（mMTC）等典型业务场景将分阶段逐步引入；在无线接入网方面，将重塑网元功能、互联接口及组网结构；在核心网方面将趋向采用云化分布式部署架构，核心网信令网元将主要在省干和大区中心机房部署，数据面网元根据不同业务性能差异拟采用分层部署方案，随着物联网（IOT）等垂直行业的业务发展，5G控制平面也将呈现大区部署趋势。

5G新型特性变化为承载技术的新一轮快速发展提供了契机。根据IMT-2020(5G)推进组5G承载工作组2018年6月发布的《5G承载需求分析》白皮书，5G对承载网络主要带来三大性能需求和六类组网功能需求，也即在关键性能方面，“更大带宽、超低时延和高精度同步”等性能指标需求非常突出，在组网及功能方面，呈现出“多层次承载网络、灵活化连接调度、层次化网络切片、智能化协同管控、4G/5G混合承载以及低成

本高速组网”等六大组网需求，如何满足和实现这些承载需求至关重要。

受业务特性、运营商承载网络架构选择、未来演进策略等多种因素影响，面向移动通信的承载网络在3G/4G时代就采用了两种差异化承载方案。“5G商用，承载先行”，随着5G诸多新特性的引入和5G试验及预商用计划的逐步推进，面向5G的承载架构与多样化的技术方案更是成为业界普遍关注的焦点。本白皮书基于5G承载需求，结合运营商承载网络现状和主要特性等，归纳总结了5G承载网络典型架构，并在此基础上深度分析了转发面、协同管控、同步网的技术方案与关键技术，提出了适合我国运营商的5G承载网络总体架构及关键共性技术，分析研判了我国5G承载产业整体发展态势，将为后续我国5G承载架构及技术方案部署、国际国内标准推动、承载设备研制及产业健康有序发展奠定基础。目前业界应在求同存异的基础上，全面协同推动承载架构与差异化技术方案的产业化进程，全力支撑和迎接5G规模商用的到来。

5G承载网络总体架构

5G承载网络是为5G无线接入网和核心网提供网络连接的基础网络，不仅为这些网络连接提供灵活调度、组网保护和管理控制等功能，还要提供带宽、时延、同步和可靠性等方面的性能保障。

满足5G承载需求的5G承载网络总体架构见图1，主要包括转发平面、协同管控、5G同步网三个部分，在此架构下同时支持差异化的网络切片

片服务能力。5G网络切片涉及到终端、无线、承载和核心网，需要实现端到端协同管控。通过转发平面的资源切片和管理控制平面的切片管控能力，可为5G三大类业务应用、移动内容分发网络（CDN）网络互联、政企客户专线以及家庭宽带等业务提供所需服务等级协议（SLA）保障的差异化网络切片服务能力。

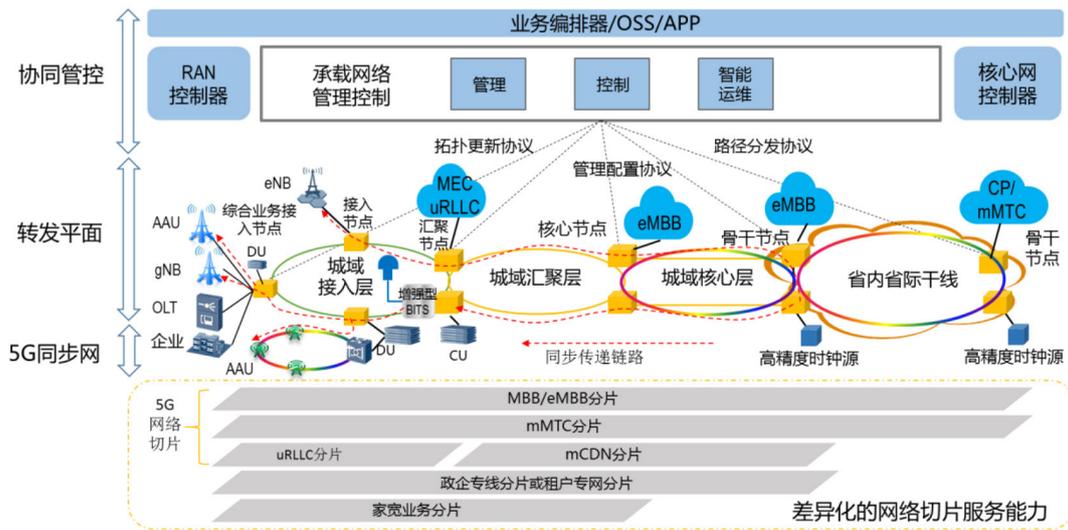


图1 5G承载网络总体架构

（一）转发平面应具备分层组网架构和多业务统一承载能力

转发平面是5G承载架构的关键组成，其典型的功能特性包括：

端到端分层组网架构：5G承载组网架构包括

城域与省内干线两个层面，其中城域内组网包括接入、汇聚和核心三层架构。接入层通常为环形组网，汇聚和核心层根据光纤资源情况，可分为环形组网与双上联组网两种类型。

差异化网络切片服务：在一张承载网络中通

过网络资源的软、硬管道隔离技术，为不同服务质量需求的客户业务提供所需网络资源的连接服务和性能保障，为5G三大类业务应用、政企专线等业务提供差异化的网络切片服务能力。

多业务统一承载能力：5G承载可以基于新技术方案进行建设，也可以基于4G承载网进行升级演进。除了承载4G/5G无线业务之外，政企专线业务、家庭宽带的OLT回传、移动CDN以及边缘数据中心之间互联等，也可统一承载，兼具L0~L3技术方案优势，充分发挥基础承载网络的价值。

(二) 管理控制平面需支持统一管理、协同控制和智能运维能力

5G承载的管理控制平面应具备面向SDN架构的管理控制能力，提供业务和网络资源的灵活配置能力，并具备自动化和智能化的网络运维能力。具体功能特性包括：

统一管理能力：采用统一的多层多域管理信息模型，实现不同域的多层网络统一管理。

协同控制能力：基于Restful的统一北向接口实现多层多域的协同控制，实现业务自动化和切片管控的协同服务能力。

智能运维能力：提供业务和网络的监测分析能力，如流量测量、时延测量、告警分析等，实现网络智能化运维。

(三) 5G同步网应满足基本业务和协同业务同步需求

同步网作为5G承载网络的关键构成，其典型的功能特性包括：

支撑基本业务同步需求：在城域核心节点（优选与省内骨干交汇节点）部署高精度时钟源（PRTC/ePRTC），承载网络具备基于IEEE 1588v2的高精度时间同步传送能力，实现端到端 $\pm 1.5\mu\text{s}$ 时间同步，满足5G基本业务同步需求。

满足协同业务高精度同步需求：对于具有高精度时间同步需求的协同业务场景，考虑在局部区域下沉部署小型化增强型BITS设备，通过跳数控制满足5G协同业务百ns量级的高精度同步需求。

按需实现高精度同步组网：对于新建的5G承载网络，可按照端到端300ns量级目标进行高精度时间同步地面组网。一方面，提升时间源头设备精度，并遵循扁平化思路，将时间源头下沉，实现端到端性能控制；另一方面，提升承载设备的同步传送能力，采用能有效减少时间误差的链路或接口技术。

5G承载转发面架构与技术方案

3.1 5G承载转发面架构

5G承载网络分为省干和城域两大部分，城域接入层主要为前传F_x接口的CPRI/eCPRI信号、中传F1接口以及回传的N2（信令）和N3（数据）接口提供网络连接；城域的汇聚核心层和省干层面不仅要为回传提供网络连接，还需要为部分核心网元之间的N4、N6以及N9接口提供网络连

接，见图2。其中N6是UPF与数据网络（DN）之间的接口，将涉及通过IP公网访问外部的多媒体数据中心。5G无线接入网（RAN）在建设初期主要采用gNB宏站以及CU和DU合设模式；在5G规模建设阶段，将采用CU和DU分离模式，并实施CU云化和CRAN大集中建设模式。

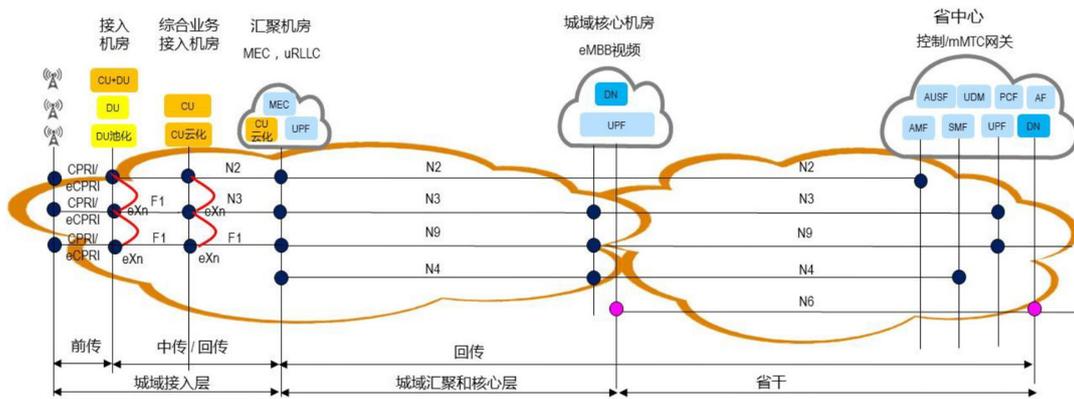


图2 5G对承载网络的连接需求和网络分层关系

5G承载网络涉及的无线接入网和部分核心网的参考点及其连接需求如下：

表1 5G无线接入网的参考点和连接需求

RAN 逻辑参考点	说明	时延指标	承载方案	典型接口
Fx	AAU 与 DU 之间的参考点	<100us	L0/L1	CPRI: N*10Gb/s 或 1 个 100Gb/s 等 eCPRI: 25GE 等
F1	DU 和 CU 之间的参考点	< 4ms	L1/L2	10GE/25GE
Xn	gNB(DU+CU)和 gNB(DU+CU) 之间的参考点	< 4ms	L2/L2+L3	10GE/25GE
N2	(R)AN 和 AMF 之间的参考点	< 10ms	L3/L2+L3	10GE/25GE 等 (注: 与实际部署相关)
N3	(R)AN 和 UPF 之间的参考点	eMBB: <10ms; uRLLC: <5ms; V2X: <3ms	L3/L2+L3	10GE/25GE 等 (注: 与实际部署相关)

表2 5G核心网与承载相关的部分参考点和连接需求

核心网 参考点	说明	协议类型	时延指标	承载方案	典型接口
N4	SMF 和 UPF 之间的参考点	UDP/PFCP	交互时延: 毫秒级	L3	待定
N6	UPF 和数据网络 (DN) 之间的 参考点	IP	待研究	L3	待定
N9	两个核心 UPF 之间的参考点	GTP/UDP/IP	单节点转发时延: 50-100us; 传输时延: 取决于距离	L3	待定

注: 核心网元之间的典型接口类型与运营商核心网实际部署相关。

为5G网络提供灵活连接的承载网络转发面组网架构见图3，以实现多层次承载网络、灵活化

连接调度、层次化网络切片、4G/5G混合承载以及低成本高速组网等关键功能特性。

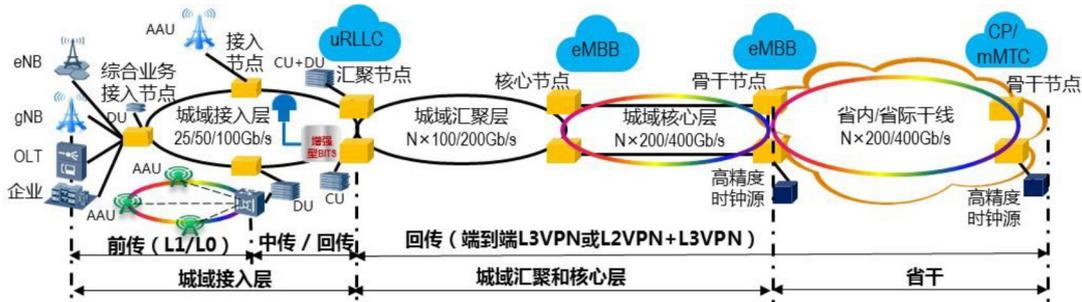


图3 5G承载网络转发面组网架构

5G承载网络的网络分层、客户接口和线路接口分析见表3。

表3 5G承载网络分层组网架构和接口分析

网络 分层	城域接入层		城域汇聚层	城域核心层/干线
	5G 前传	5G 中回传	5G 回传+DCI	5G 回传+DCI
传输 距离	<10/20km	< 40km	< 40-80km	< 40-80km / 几百 km
组网 拓扑	星型为主，环网为辅	环网为主，少量为链型或星型链路	环网或双上联链路	环网或双上联链路
客户 接口	eCPRI: 25GE CPRI: N×10G/25G 或 1×100G	5G 初期: 10GE/25GE 规模商用: N×25GE/50GE	5G 初期: 10GE/25GE 规模商用: N×25GE/50GE/100GE	5G 初期: 25GE/50GE/100GE; 规模商用: N×100GE/400GE
线路 接口	10/25/100Gb/s 灰光 或 N×25G/50Gb/s WDM 彩光	25G/50G/100Gb/s 灰光或 N×25G/50Gb/s WDM 彩光	100G/200Gb/s 灰光或 N×100G WDM 彩光	200G /400Gb/s 灰光或 N×100G/200G/400Gb/s WDM 彩光

3.2 5G前传技术方案

3.2.1 5G前传典型场景

5G前传主要有DRAN和CRAN两种场景，其中CRAN又可细分为CRAN小集中和CRAN大集中

两种部署模式，CRAN大集中一般需要CU云化和DU池化集中部署来支撑实现，见图4。

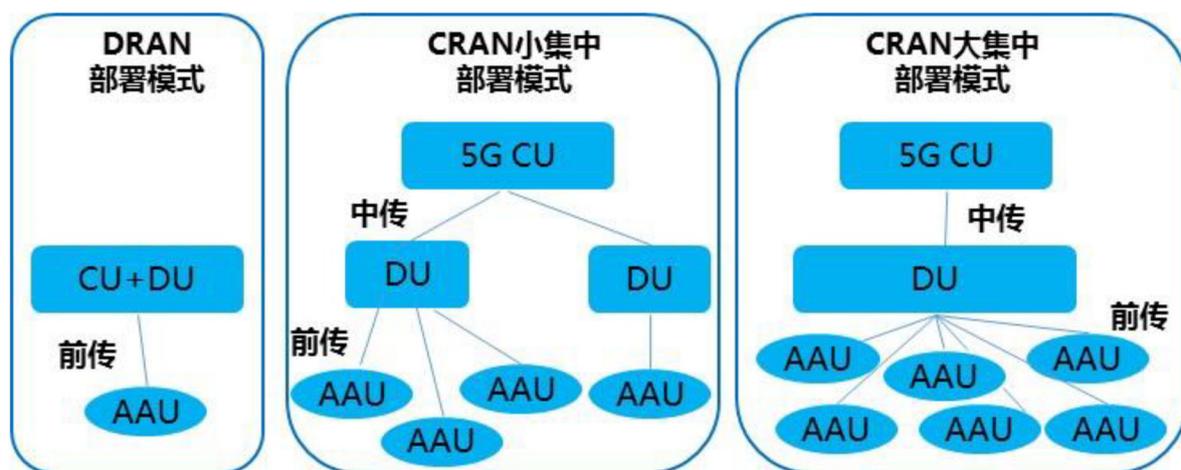


图4 5G前传部署场景

DRAN 场景相对简单，AAU和DU一般分别部署在塔上和塔下；CRAN 场景对应的拉远距离通常在10 km 以内。考虑成本和维护便利性等因

素，5G前传将以光纤直连为主，局部光纤资源不足的地区，可通过设备承载方案作为补充。

3.2.2 5G前传技术方案

5G前传技术方案包括光纤直连、无源WDM、有源WDM/OTN、切片分组网络 (SPN) 等，具体工作机制见图5。考虑到基站密度的增加和潜在的多频点组网方案，光纤直驱

需要消耗大量光纤，某些光纤资源紧张的地区难以满足光纤需求，需要设备承载方案作为补充。5G前传目前可选的技术方案各具优缺点，具体部署需根据运营商网络需求和未来规划等选择合适的承载方案。

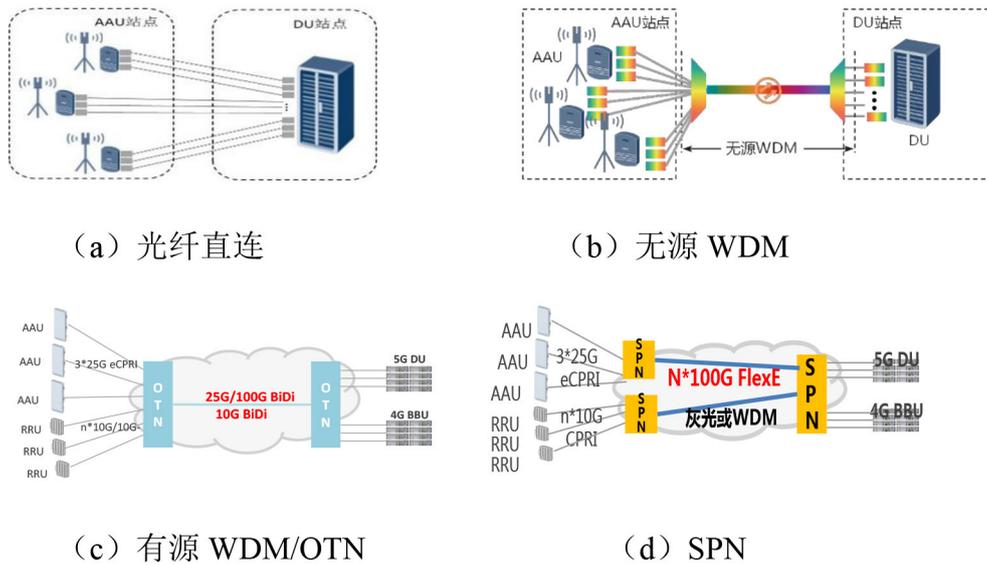


图5 5G前传典型方案

5G前传技术方案的关键特性比较见表4。

表4 5G前传典型方案比较

项目	光纤直连	无源 WDM	有源 WDM/OTN	SPN
拓扑结构	点到点	点到点	全拓扑：环带链/环 形/链型/星型	全拓扑：环带链/ 环形/链型/星型
AAU 出彩光	否	是	否	否
CPRI/eCPRI 拉远	否	是	是	是
网络保护	否	否	是 (L0/L1)	是 (L1)
性能监控	否	否	是 (L0/L1)	是 (L1)
远端管理	否	否	是 (L0/L1)	是 (L1)
光纤资源	消耗多	消耗少	消耗少	消耗少
网络成本 (注：与前 传网络规模相关)	低	中	高	高

3.3 5G中回传技术方案

3.3.1 5G中回传承载需求

5G中回传承载网络方案的核心功能要满足多层次承载网络、灵活化连接调度、层次化网络切片、4G/5G混合承载以及低成本高速组网等承载需求，支持L0~L3层的综合传送能力，可通过L0层波长、L1层TDM通道、L2和L3层分组隧道来实现层次化网络切片：

1) L2/L3层分组转发层技术：为5G提供灵活连接调度和统计复用功能，主要通过L2和L3的分组转发技术来实现，主要包括以太网、面向传送的多协议标签交换（MPLS-TP）和新兴的段路由（SR）等技术。

2) L1层TDM通道层技术：TDM通道技术不仅可以为5G三大类业务应用（eMBB、uRLLC和mMTC）提供支持硬管道隔离、OAM、保护和低时延的网络切片服务，并且为高品质的政企和金融等专线提供高安全和低时延服务能力。

3) L0层光层大带宽技术：5G和专线等大带宽业务需要5G承载网络具备L0的单通路高速光接口和多波长的光层传输、组网和调度能力。

为更好适应5G和专线等业务综合承载需求，我国运营商提出了多种5G承载技术方案，主要包括切片分组网络（SPN）、面向移动承载优化的OTN（M-OTN）、IP RAN增强+光层三种技

术方案，其技术融合发展趋势和共性技术占比越来越高，在L2和L3层均需支持以太网、MPLS（-TP）等技术，在L0层均需要低成本高速灰光接口、WDM彩光接口和光波长组网调度等能力，差异主要体现在L1层是基于OIF的灵活以太网（FlexE）技术、IEEE802.3的以太网物理层还是ITU-T G.709规范的OTN技术，L1层TDM通道是基于切片以太网还是基于OTN的ODUflex，具体技术方案比较见表5，更详细的技术分析见后续章节。

表5 5G典型承载技术方案分析

网络分层	主要功能	SPN	M-OTN	IP RAN增强+光层
业务适配层	支持多业务映射和适配	L1 专线、L2VPN、L3VPN、CBR 业务	L1 专线、L2VPN、L3VPN、CBR 业务	L2VPN、L3VPN
L2 和 L3 分组转发层	为 5G 提供灵活连接调度、OAM、保护、统计复用和 QoS 保障能力	Ethernet VLAN MPLS-TP SR-TP/SR-BE	Ethernet VLAN MPLS(-TP) SR-TE/SR-BE	Ethernet VLAN MPLS(-TP) SR-TE/SR-BE
L1 TDM 通道层	为 5G 三大类业务及专线提供 TDM 通道隔离、调度、复用、OAM 和保护能力	切片以太网通道	ODUk(k=0/2/4/flex)	待研究
L1 数据链路层	提供 L1 通道到光层的适配	FlexE 或 Ethernet PHY	OTUk 或 OTUCn	FlexE 或 Ethernet PHY
L0 光波长传送层	提供高速光接口或多波长传输、调度和组网	灰光或 DWDM 彩光	灰光或 DWDM 彩光	灰光或 DWDM 彩光

3.3.2 切片分组网络 (SPN) 技术方案

SPN是中国移动在承载3G/4G回传的分组传送网络 (PTN) 技术基础上, 面向5G和政企专线等业务承载需求, 融合创新提出的新一代切片分组网络技术, 面向5G承载的SPN组网架构如图6所示。SPN具备前传、中传和回传的端到端组网能力, 通过FlexE接口和切片以太网 (Slicing Ethernet, SE) 通道支持端到端网络硬切片, 并

下沉L3功能至汇聚层甚至综合业务接入节点来满足动态灵活连接需求; 在接入层引入50GE, 在核心和汇聚层根据带宽需求引入100Gb/s、200Gb/s和400Gb/s彩光方案。对于5G前传, 在接入光纤丰富的区域主要采用光纤直驱方案, 在接入光纤缺乏且建设难度高的区域, 拟采用低成本的SPN前传设备承载。

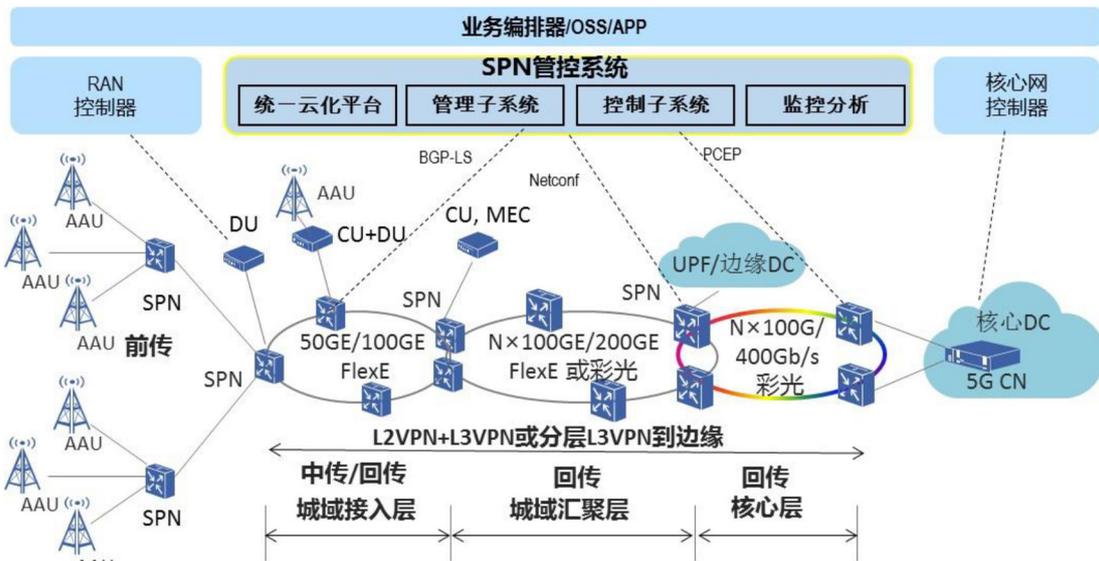
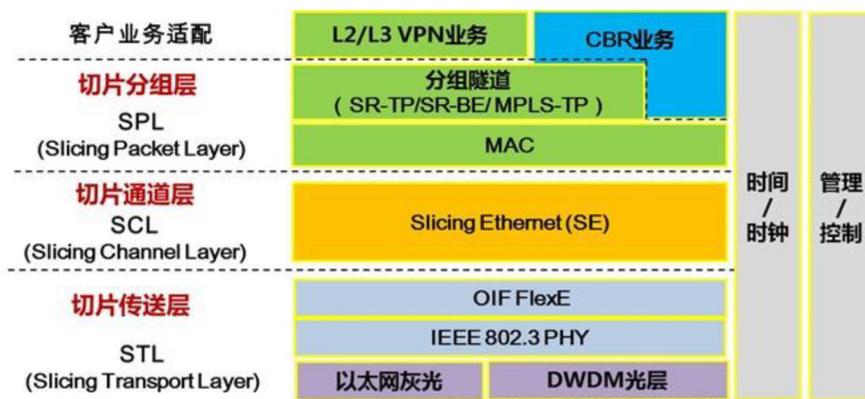


图6 面向5G承载的SPN组网架构

SPN网络分层架构包括切片分组层 (SPL)、切片通道层 (SCL) 和切片传送层 (STL) 三个层面, 此外还包括实现高精度时频

同步的时间/时钟同步功能模块、实现SPN统一管控的管理/控制功能模块, 具体见图7。



注: 本图中的CBR业务特指CES、CEP、CPRI和eCPRI业务。

图7 SPN网络协议分层架构

SPN网络支持CBR业务、L2VPN和L3VPN等业务, 可根据应用场景需要灵活选择业务映射路径, 详见图8, 图中

①/②+④+⑧路径是兼容PTN的多业务承载方案, ①/②/③+⑤/⑥+⑦+⑧/⑨是SPN支持的新业务承载方案。

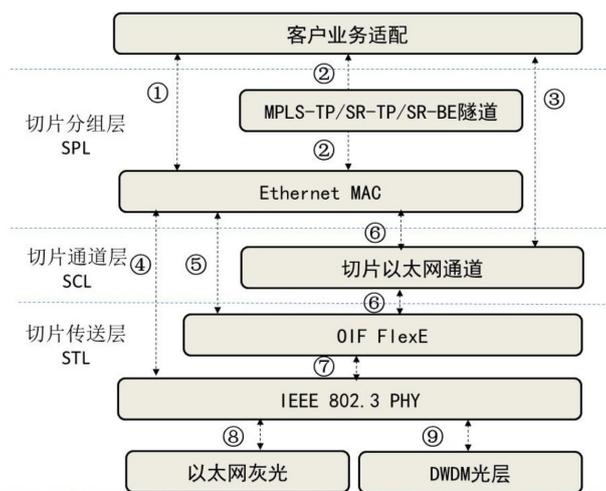


图8 SPN业务路径映射

SPN关键技术主要包括：

(一) 切片分组层（SPL）的段路由技术

为了满足5G承载的L3灵活转发需求，SPN采用基于SDN管控架构的SR隧道扩展技术（SR-TP和SR-BE），采用L3 VPN承载5G业务，并可根据网络规模和运维需求，采用分层L3VPN到边缘（见图9）或L2VPN+L3VPN两种应用方案。

SR-TP隧道技术是基于SDN集中管控的、面向连接的SR-TE隧道增强技术。通过在SR-TE邻接标签的栈底增加一层标志业务连接的通路段标

识（Path SID），实现双向隧道能力。SR-TP支持基于MPLS-TP的端到端OAM和保护能力，适用于面向连接的业务承载。

SR-BE隧道通过IGP协议自动扩散SR节点标签生成，可在IGP域内生成全互联的隧道连接。SPN网络支持通过网管或控制器集中分配节点标签。SR-BE隧道使用拓扑无关的无环路替代链路保护机制（TI-LFA），适用于面向无连接的eX2等业务承载。

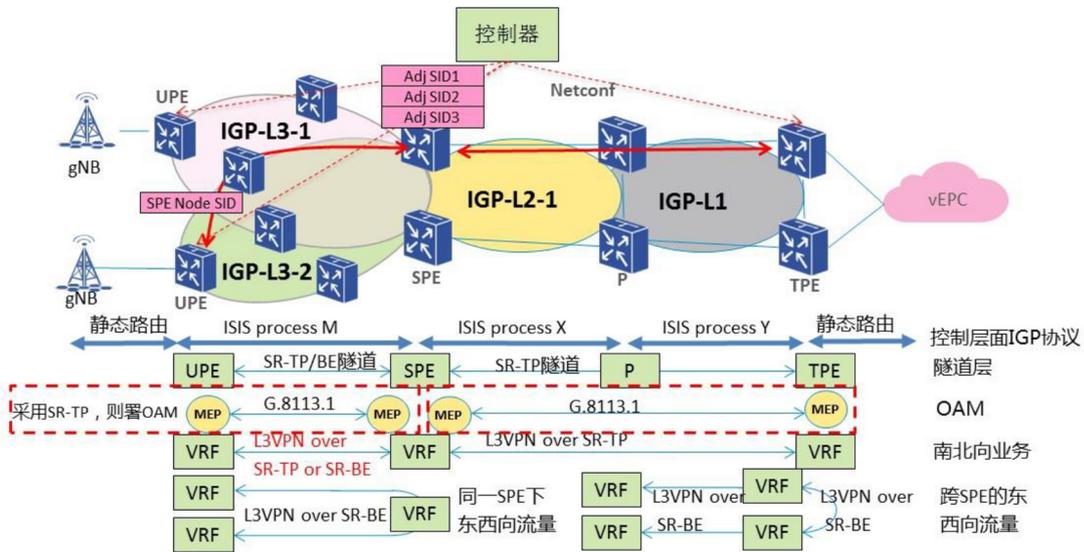


图9 SPN的分层L3VPN应用方案

(二) 切片通道层 (SCL) 的切片以太网技术
 切片以太网 (SE) 技术基于原生以太内核扩展以太网切片能力, 既完全兼容以太网, 又避免报文经过L2/L3存储查表, 提供确定性低时延、硬管道隔离的L1通道组网能力 (见图10), 其关键技术包括:

1) SE-XC技术: SE-XC是基于以太网66B码

流的交叉技术, 实现极低的转发时延和TDM管道隔离效果。

2) 端到端OAM和保护技术: 基于IEEE 802.3码块扩展, 采用空闲 (IDLE) 帧替换原理, 实现切片以太网通道的OAM和保护能力, 支持端到端的SE通道调度和组网, 实现几ms的网络保护倒换和高精度误码检测能力。

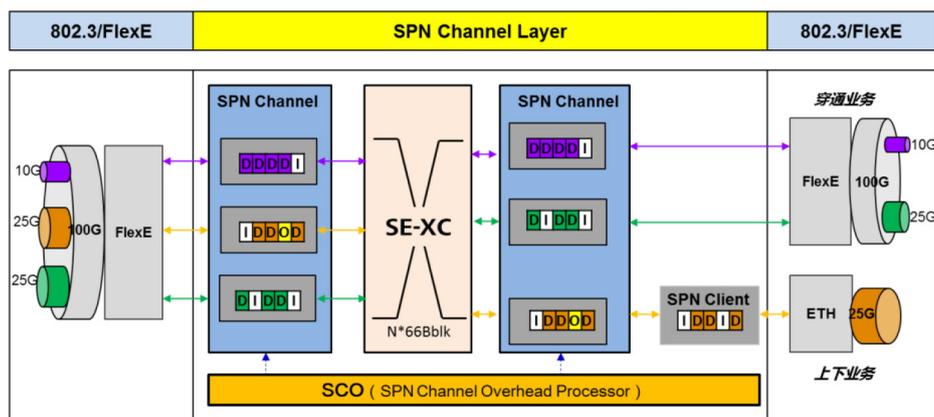


图10 切片以太网通道技术

SCL层负责在SPN网络中提供端到端L1业务连接或在中间节点实现低时延快速转发, 具有低时延、透明传输和硬隔离等特征。SE是在FlexE技术基础上, 将以太网切片从端口级向网络技术

扩展, 在源节点将业务适配到FlexE Client, 在中间节点基于以太网码流进行交叉, 在目的节点从FlexE Client中解出业务, 并提供SE通道的监控和保护功能。

(三)切片传送层 (STL) 技术

切片传送层 (STL) 负责提供SPN网络侧接口，分为OIF的FlexE Group链路接口、IEEE 802.3以太网灰光接口或WDM彩光接口。SPN在接入层主要采用以太网灰光接口，在汇聚和核心层主要采用WDM彩光接口。

FlexE Group链路接口（简称FlexE接口）采用时分复用方式，提供通道化隔离和多端口绑定能力，实现了以太网MAC与物理媒介层的解耦，遵从OIF的FlexE 1.0和2.0规范。FlexE Group支持多个FlexE Client，其功能模型见图11。

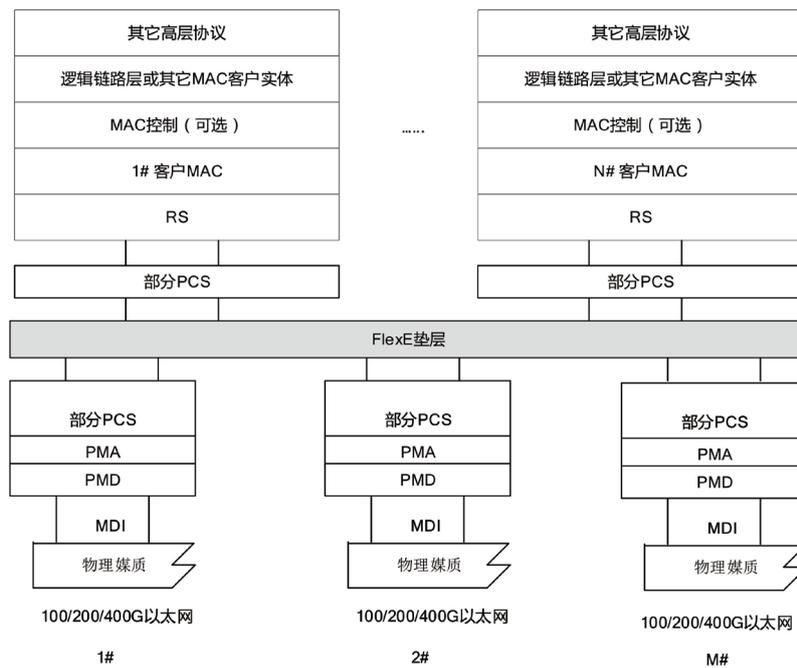


图11 FlexE Group链路功能模型

3.3.3 面向移动承载优化的OTN (M-OTN) 技术方案

综合考虑5G承载和云专线等业务需求，

中国电信融合创新提出了面向移动承载优化的OTN(M-OTN)技术方案，其组网架构如图12所示。

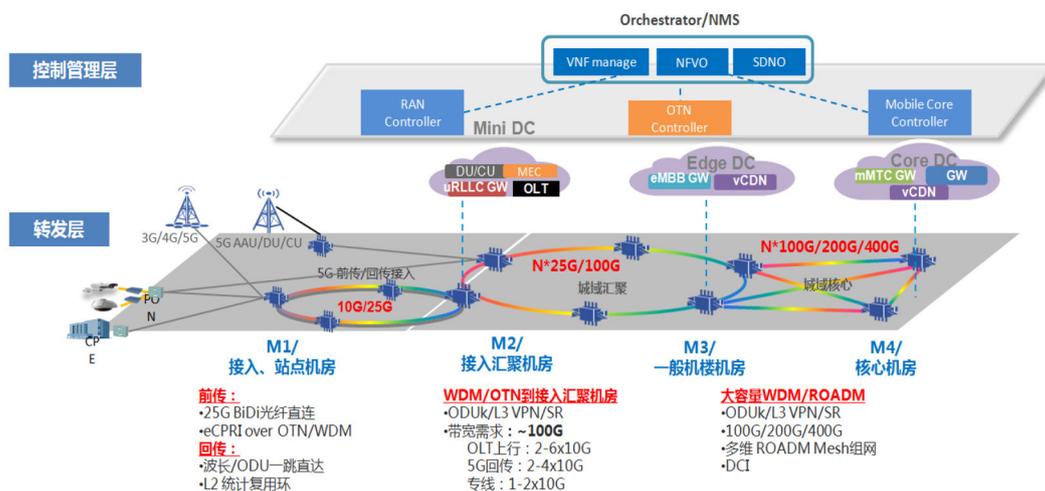


图12 基于M-OTN的5G承载组网架构

数据转发层: 基于分组增强型OTN设备，进一步增强L3路由转发功能，并简化传统OTN映射复用结构、开销和管理控制的复杂度，降低设备成本、降低时延、实现带宽灵活配置，支持ODUflex+FlexO提供灵活带宽能力，满足5G承载的灵活组网需求。

控制管理层: 引入基于SDN的网络架构，提供L1 硬切片和L2/L3 软切片，按需承载特定功能和性能需求的5G业务。在业务层面，各种L2

VPN、L3 VPN统一到BGP协议，通过EVPN实现业务控制面的统一和简化。隧道层面通过向SR技术演进，实现隧道技术的统一和简化。

网络切片承载: 为支持5G网络端到端切片管理需求，M-OTN传送平面支持在波长、ODU、VC这些硬管道上进行切片，也支持在以太网和MPLS-TP分组的软管道上进行切片，并且与5G网络实现管控协同，按需配置和调整。

M-OTN的关键技术主要包括：

(一) L2和L3分组转发技术

OTN支持L3协议的原则是按需选用，并尽量采用已有的标准协议，包括OSPF、IS-IS、MP-BGP、L3 VPN、BFD等。M-OTN在单域应用时

优先采用ODU单级复用结构，即客户层信号映射到ODUflex，ODUflex映射至FlexO或OTU。

M-OTN使用标准的信令和路由协议，根据实际业务需要在业务建立、OAM和保护方面按需选择不同的协议组合如图13所示。

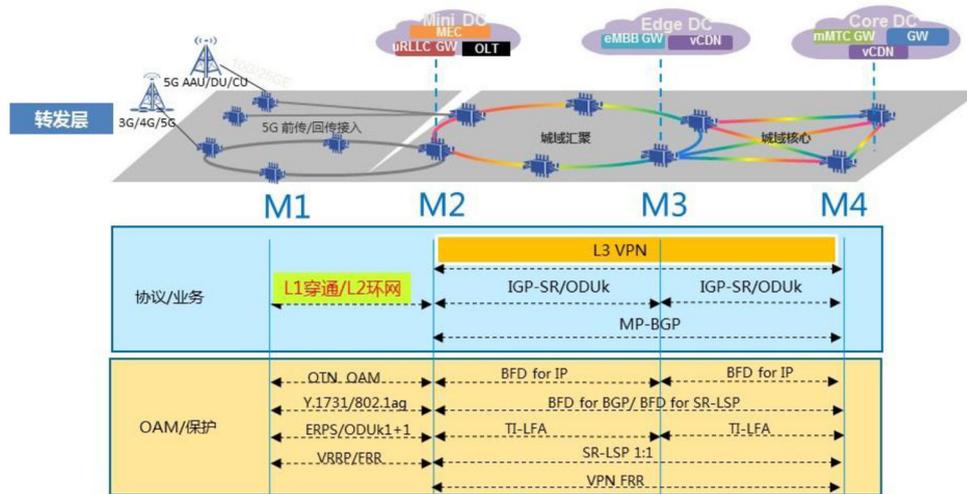


图13 M-OTN网络协议分层架构

(二) L1通道转发技术

采用成熟的ODU交叉技术，通过采用ODUflex提供 $n \times 1.25\text{Gb/s}$ 灵活带宽的ODU通道。为了实现低成本、低时延、低功耗的目标，M-OTN是面向移动承载优化的OTN技术，主要特征包括采用单级复用、更灵活的时隙结构、简化的开销等。同时，为了满足5G承载的组网需求，现有的OTN体系架构中需引入新的25G和50G等

接口。

(三) L0光层组网技术

由于城域网的传输距离较短，因此M-OTN在L0光层组网的主要目标是降低成本，以满足WDM/OTN部署到网络接入层的需求。在核心层，考虑引入低成本的 $N \times 100\text{G}/200\text{G}/400\text{Gb/s}$ WDM技术。在汇聚层，考虑引入低成本的 $N \times 25\text{G}/100\text{Gb/s}$ WDM技术。

3.3.4 IP RAN &光层技术方案

基于IP RAN&光层的5G承载组网架构见图14，包括城域核心、汇聚和接入的分层结构，具体方案特点如下：

- 1) 核心汇聚层由核心节点和汇聚节点组成，采用IP RAN系统承载，核心汇聚节点之间采用口字型对接结构。
- 2) 接入层由综合业务接入节点和末端接入节点组成。综合业务接入节点主要进行基站和宽

带业务的综合接入，包括DU/CU集中部署、OLT等；末端接入节点主要接入独立的基站等。接入节点之间的组网结构主要为环形或链形，接入节点以双节点方式连接至一对汇聚节点。接入层可选用IP RAN或PeOTN系统来承载。

- 3) 前传以光纤直驱方式为主（含单纤双向），当光缆纤芯容量不足时，可采用城域接入型WDM系统方案（G.metro）。

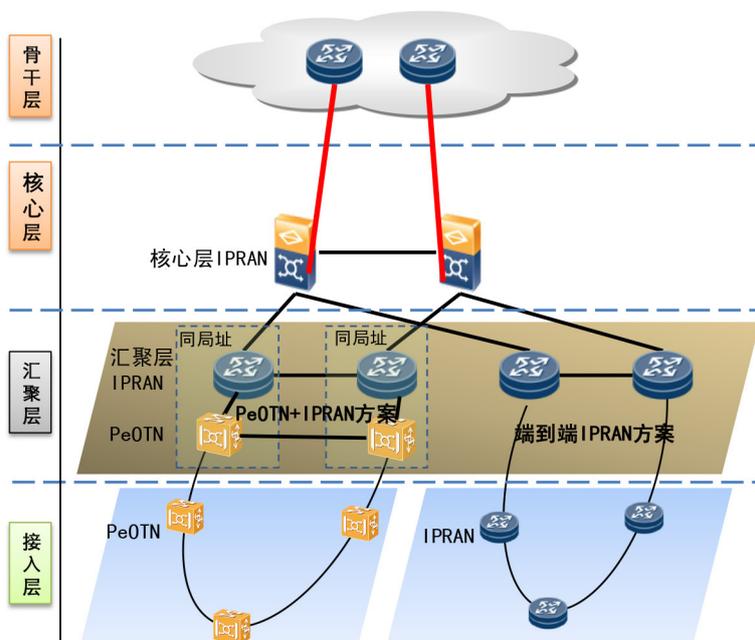


图14 基于光层&IP RAN的5G承载组网架构

4) 中传和回传部分包括两种组网方式：端到端IP RAN组网和IP RAN+PeOTN组网。

(一) 端到端IP RAN方案

IP RAN方案可分为基础承载方案和功能增强方案。

基础承载方案采用较为成熟的HoVPN方案承载5G业务，如图15所示。目前各厂家较新平台设备均支持三层到边缘；L2专线业务采用分段

VPWS/VPLS方式承载；采用VPN+DSCP满足业务差异化承载需求。IGP协议采用ISIS协议，并将核心汇聚层和接入层分成不同的进程，核心汇聚层配置为Level-2，每个接入环一个独立ISIS区域/进程，与核心汇聚实现路由隔离，核心设备兼做RR。BGP 配置FRR，核心和汇聚设备路由形成VPN FRR。

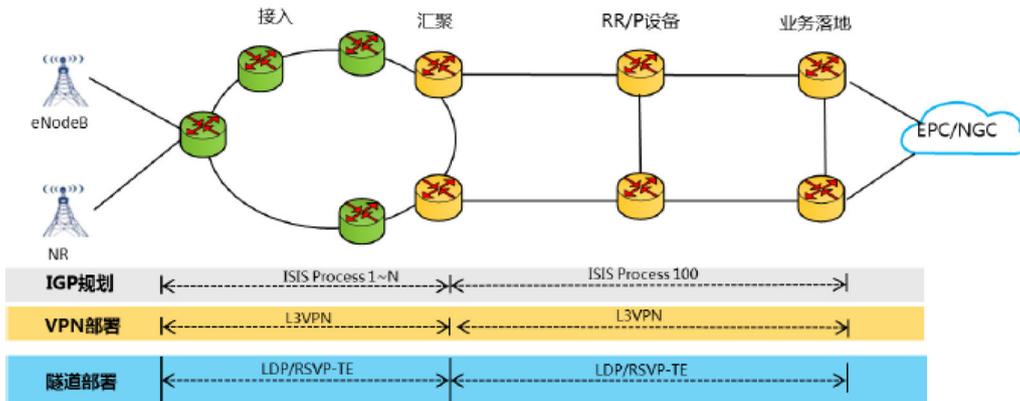


图15 端到端 IP RAN方案的协议分层架构

功能增强方案采用EVPN L3VPN业务替代HoVPN方式，承载5G业务；采用EVPN L2VPN业务替代VPWS/VPLS方式，承载L2专线业务；采

用SR协议替代LDP/RSVP作为隧道层协议；采用Flex-E技术实现网络切片；采用SDN技术实现网络的智能运维与管控。

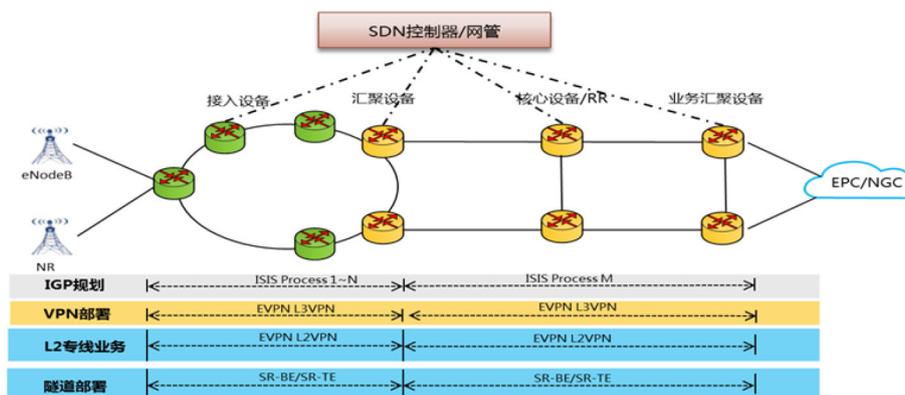


图16 IP RAN功能增强方案

基于IP的SR转发技术规范大多数还处于草稿阶段，兼容性和互通性需要进一步研究。SR可与传统MPLS技术共存，对硬件的要求与MPLS基本相同，多数设备可通过软件升级支持，可以在合适的阶段引入。

(二) IP RAN+PeOTN方案

该组网模式中，核心汇聚层IP RAN的相关配置与基于端到端IP RAN组网方案中保持一致，在汇聚接入层配置PeOTN设备，通过UNI接口与IP RAN设备对接，如图17所示。

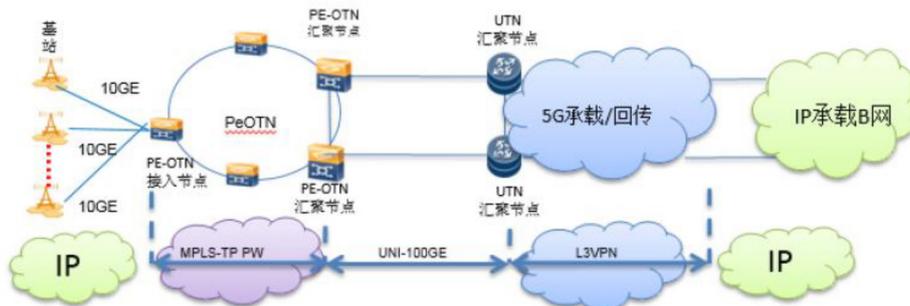


图17 IP RAN+PeOTN方案的网络分层架构

3.4 5G承载网络转发面发展演进建议

5G承载网络的转发面主要实现前传和中回传的承载，其中5G前传除了光纤直驱方案之外，还存在多种基于多样化承载设备的组网方案。不同中回传5G承载技术方案在L1层的差异分别代表了不同传送网络背景的运营商演进思路，基于SPN和IP RAN增强功能方案的分组化承载技术是基于IP/MPLS和电信级以太网增强轻量级TDM技术的演进思路，M-OTN方案是基于传统OTN增强分组技术并简化OTN的演进思路，都具有典型的多技术融合发展的趋势，最终能否规模化推广应用主要依赖于市场需求、产业链的健壮性和网络综合成本等。

综合分析CRAN和5G核心网云化、数据中心化部署方案和全面支持IPv6等发展趋势，对5G承载网络转发面技术及应用的未来发展演进建议如下：

1) 5G前传方案按需选择：在光纤资源丰富的区域，建议以低成本的光纤直驱方案为主；对于光纤资源紧缺且敷设成本高的区域，可综合考虑网络成本、运维管理需求等因素来选择合适的方案。

2) 5G中回传方案新建和演进并重：面向5G和专线业务承载的新技术发展趋势包括L2和L3的段路由（SR）、L1的灵活以太网（FlexE）接口和切片以太网通道、L1的ODUflex通道、L0的低成本高速光接口等转发面技术。5G中回传可基于新的5G承载技术方案进行建设，也可基于4G承载网络进行升级演进。

3) 支持IPv6方案：5G承载网络可采用L2VPN+L3VPN或L3VPN到边缘的应用部署方案，其中L3VPN负责感知基站和核心网的三层IP地址，考虑到4G/5G统一承载需求，因此需要5G承载网络设备支持IPv4/IPv6双栈和6vPE转发技术。

5G承载协同管控架构和关键技术

4.1 5G承载网络管控架构

5G网络涉及无线、核心网和承载网络，同时支撑多种网络应用场景，通过SDN架构实现端到

端网络和业务的协同，提升业务自动化开通部署和智能运维能力。5G网络协同管控架构如图18所示。

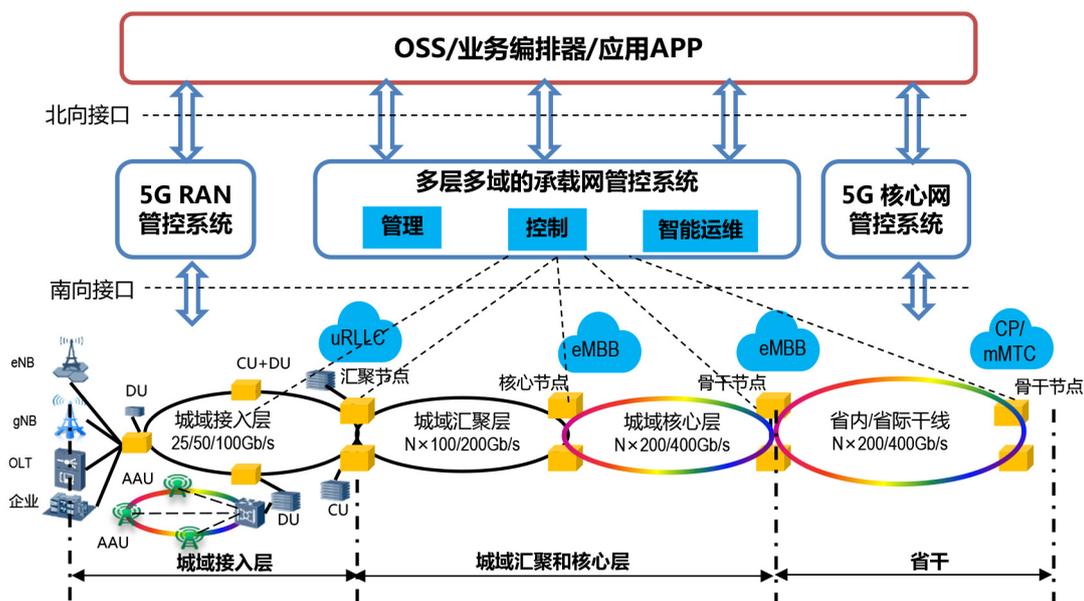


图18 5G网络端到端协同管控架构

（一）端到端业务编排和承载网协同管控功能

运营商的OSS（Operation Support System，运营支撑系统）/业务编排器负责端到端的协同管控，应支持以下功能：

1) 资源、能力信息获取：获取5G RAN、5G CN以及5G承载网络的资源信息以及网络的能力

信息。

2) 端到端业务编排：进行端到端的业务编排，将端到端业务拆分，向5G RAN、CN以及承载网络的管控发送，完成端到端的业务的协同调度。

3) 网络资源切片编排：实现端到端的网络资源切片编排，协同整个5G网络的网络资源切片

需求，发送给底层网络控制器，并由底层网络控制器基于底层网络资源特性，实现对底层网络资源切片。

4) 数据交互：和下层网络管控系统进行告警、性能等数据的交互。

(二) 承载网络SDN管控架构及功能

通用的软件定义光网络（SDON）采用层次化递归嵌套的架构，具备良好的可扩展性，支持多层次网络技术，多厂商、多区域的调度，满足5G承载网络的管控架构要求。

承载网管控系统应支持以下功能：

1) 敏捷灵活的业务提供：满足网络云化后5G网络快速高效的业务配置需求，提供设备即插即用、自动化规划和快速部署，实现分钟级别的按需、自动化业务提供能力。

2) 多层、多域的端到端灵活控制：实现跨层次、跨区域的业务部署以及高效运维。

3) 网络切片管控：基于上层网络的切片需求，提供承载网络资源的切片管控能力，实现网络分片自动化部署、切片资源的隔离、业务在切片网络的部署、切片网络的运维监视等全生命周期的管理。

4) 高效的智能化运维：提供以业务为中心的排障、基于AI的智能故障分析、智能故障自愈、业务性能监测等智能化网络运维能力，实现网络运维全生命周期的自动化、闭

环、智能运维。

4.2 5G承载网络管控关键技术

(一) 多层网络管控技术

5G承载网络在不同的域内可能采用不同的网络技术，或者在同一网络域内具备多层网络技术，应具备多层、多域的网络管控功能，包括：

1) 多层管控模型

多层多域的网络可采用统一的多层管控网络模型。在通用模型架构下，通过对模型的裁剪和扩展，实现ETH、ODU、L3VPN、光层等网络技术的信息建模，定义运营商统一的北向接口信息模型。

2) 多层管控路由优化

传送网管控系统应具备多层网络资源的规划和优化功能，实现多层网络资源的最优配置。对于面向连接的业务路由策略，可采用统一的面向连接的业务路由策略和约束条件。对于L3层无连接的路由策略，如SR-BE等，可以采用SDN的集中式路由发布或分布式BGP路由协议实现动态自动化的路由分配。

对于多层路由策略的协同，首先应在不同的网络层次之间传递路由参数，服务层的链路路由代价参数可以用于客户层的路由计算；其次，多个层次的路由联合优化应定义多层联合路由优化目标、策略及约束条件等，实现多层的路由优化。

(二) 切片管控

5G承载网络切片需求逐步明确，需要针对eMBB、uRLLC、mMTC等不同5G业务，或者其它非5G业务提供承载网络的切片，网络切片的管控成为管控系统的重要内容。承载网管理系统采用开放的北向接口，实现和上层管控系统的网络资源切片协同，承载网络本身的管控架构、信息模型、接口交互流程支持切片网络管控功能。

承载网管控系统应实现网络切片的规划、部署、业务发放、保障运维的全生命周期闭环维护管理。5G承载网络切片管控要求如下：

1) 切片规划：网络切片管控具备网络规划和优化的特征，承载网管控系统应引入切片规划和优化功能。应基于上层控制器和编排系统的需求，基于各个层网络的技术特点，对多层网络资源进行切片规划。

2) 切片部署：支持网络资源切片的自动化部署功能。

3) 业务发放：应基于网络切片进行拓扑算路和部署业务，并实现业务在不同切片网络中的隔离。

4) 保障运维：应支持切片网络的拓扑及业务可视化管理，基于网络告警和性能的监控，对切片网络及其业务进行保障运维。

(三) 智能运维

人工智能（AI）技术为网络管控带来新的特

征，通过对承载网络的大数据分析，引入机器学习能力，可以实现以业务为中心的智能排障、基于AI的智能故障分析、智能故障自愈、基于业务性能监测的规划优化等智能化网络运维能力。

5G承载网络智能运维要求如下：

1) 支持网络运维全生命周期的自动化、闭环、智能运维。

2) 在多厂商、多区域、多技术网络环境下，应定义统一的数据模型，提取承载网络数据，以便进行网络行为的分析。

3) 应定义行为模型，如制定故障处理模板、流量预警模型等，指导网络的智能运维。

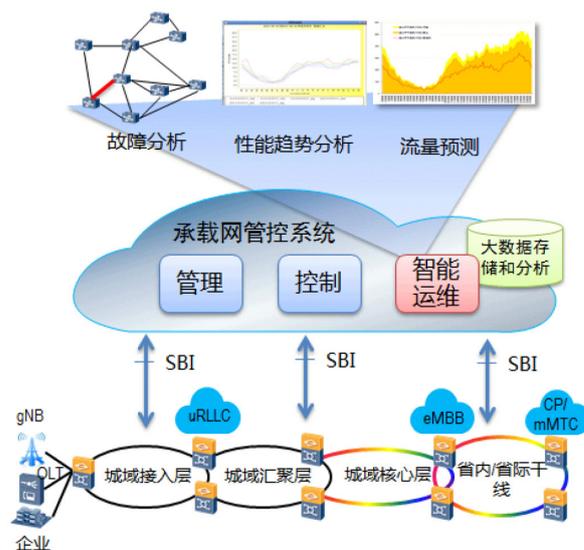


图19 智能运维

(四) 南北向接口协议

1) 北向接口协议

5G承载网络通过业务编排层和承载网络管控的协同，实现业务快速发放是承载网络管控的关键。因此，采用基于YANG的数据模型，定义开放统一的基于Restful协议的承载网络北向接口，实现网络的开放和可编程能力。

2) 南向接口协议

5G承载网络涉及多个网络技术层次，网络设备模型复杂，采用单一的网络协议，难于实现网络设备的管控，获得较高的接口性能，因此南向接口可采用多种网络协议，如Netconf、PCEP、BGP-LS等。

4.3 5G承载网络管控发展演进建议

5G承载网络管控需求、架构、功能基本明确，一是采用开放的北向接口，满足和上层业务编排器的协同管控需求；二是采用层次化的集中管控架构，以满足5G承载网管控架构要求；三是需要引入网络切片管控、AI智能运维等新功能。

(一) 承载网管控系统部署建议

在实际的网络部署过程中，网络管控域的划分需要结合基于分布式控制协议和集中管控系统的性能综合考虑，以提高业务控制、路由发布、保护恢复等网络性能。

在大规模网络管控场景下，承载网管控系统应采用多级的网络架构，使得网络具备良好的扩

展性。此外，从简化运维角度出发，考虑集中式管控系统的性能，尽量扁平化部署。

(二) 5G承载网络管控未来发展建议

1) 承载网管控系统平滑升级。5G承载网络管控发展过程中，应考虑现有网络的平滑升级，保护既有投资等因素，逐步引入端到端业务编排和管控、智能运维等功能，减少网络的操作维护界面，降低操作维护的复杂度和成本。

2) 采用统一的北向接口模型及协议。5G承载网北向信息模型应进行统一，应具备良好的扩展性，在同一模型架构下兼容多层网络技术。北向接口协议应进行统一，实现网络的开放和可编程。

3) 增强集中式管控系统的南向接口性能。应重点关注集中式管控系统引入后的性能和扩展性，南向接口可采用多种网络协议实现，并逐步实现开放。

5G同步网架构和关键技术

5.1 5G同步网通用组网架构

5G频率同步需求与4G相同，目前主要采用逐点物理层同步方式实现，技术相对成熟，本报

告不再论述频率同步相关内容。5G时间同步的通用组网架构如图20所示。

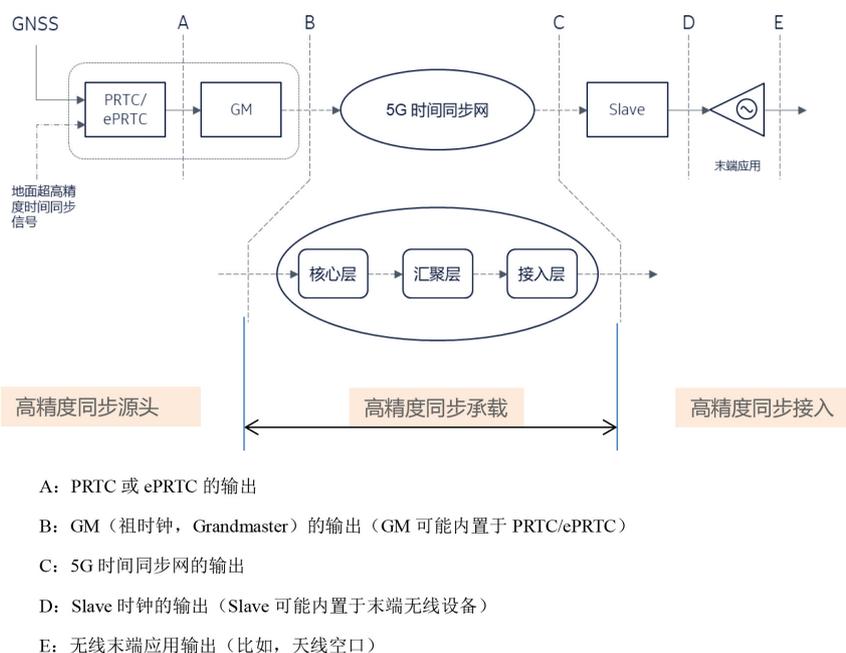


图20 时间同步通用组网架构

图 20中时间同步从左向右实现单向传递，端到端同步性能指标包括三个部分：1) 源头部分（参考点B输出）；2) 承载部分（B-C之间）；3) 接入部分（C-E之间）。

对于 $\pm 1.5\mu\text{s}$ 同步需求的5G基本业务和部分协同业务，指标分配方法参见国家通信行业标准 YD/T 2375-2011 “高精度时间同步技术要求”，

即：

- 1) 源头部分： $\pm 150\text{ns}$ ；
- 2) 承载部分： $\pm 1000\text{ns}$ ，30跳；
- 3) 接入部分： $\pm 250\text{ns}$ 。

对于 300ns 量级需求的部分协同业务，建议指标分配如下：

- 1) 源头部分： $\pm 30\text{ns}$ ；

- 2) 承载部分： $\pm 200\text{ns}$ ，20跳（暂定）；
- 3) 接入部分： $\pm 50\text{ns}$ （暂定）。

相对于 $\pm 1.5\mu\text{s}$ 指标分配，300ns量级指标分配中的各部分指标都有显著提升，需要在同步源头、高精度传输、同步接入等方面开展关键技术研究。

5.2 5G同步网的关键技术

（一）高精度同步源头技术

a) 卫星双频接收技术

电离层延迟是影响卫星接收机授时精度的主要因素。相对于单频卫星接收机而言的，双频卫星接收机可同时接收GPS的L1、L2或者北斗的B1、B2载波信号，利用同一卫星导航系统的不同频点载波信号受电离层延迟影响的差异性，可以

有效消除电离层对电磁波信号延迟的影响，从而提升卫星授时精度。

b) 卫星共视技术

卫星共视法是目前远距离时钟比对的主要方法之一，也是国际原子时成员单位合作的主要技术手段之一，其时间比对不确定度可优于10ns。卫星共视是利用导航卫星距离地球较远、覆盖范围广的特点，将其作为比对中间媒介，在地面需要时间比对的两个地方分别安装接收设备，同时观察同一颗卫星，通过交换数据抵消中间源及其共有误差的影响，实现高精度比对。

c) 源头技术比较

卫星双频接收技术和卫星共视技术两种高精度同步源头技术比较如表6所示。

表6 高精度同步源头技术比较

对比项/技术方向	双频技术	共视技术
精度	约 $\pm 30\text{ns}$	约 $\pm 10\text{ns}$
产业链成熟度	较高	较低
成本	传统卫星卡的 10-20 倍	传统卫星卡的 100-200 倍
工程部署	1) 设备可单台独立部署，无须成网； 2) 可企业内部部署，无须依赖外部单位或者机构。	1) 无法单台设备独立部署，必须建共视服务中心，包括基准站、共视传输网络、共视解算中心等； 2) 可能涉及与国家守时单位之间的业务关联。
可维护性	一般，无法解决性能监控的问题	较好，可以实现全网时间源集中监控和比对，可以发现异常的时间源设备

综上，当前卫星双频技术更适合于高精度同步源头设备的实现，卫星共视技术可以先用于现网时间同步源的性能集中监控，暂不用于具体设备的实现，待共视网络建设成熟后再考虑用于实现高精度同步源头设备。

（二）高精度同步传输技术

a) IEEE 1588v2技术

当前国内IEEE 1588V2设备的时间同步精度要求为 $\pm 30\text{ns}$ ，要进一步提升精度，通常需要从以下几方面进行优化：打戳位置尽量靠近物理接口、提升打戳精度、提升系统实时时钟（RTC，Real Time Clock）同步精度、提升系统内部RTC之间的同步对齐精度和提升本地时钟的稳定度等。

b) IEEE 1588 v2.1技术

对于高精度同步传输技术，在IEEE 1588-2017（又称IEEE 1588 v2.1）草案中，引入了CERN（欧洲核子研究组织）的白兔（White Rabbit，即WR）技术的一些概念，并增加了针

对高精度应用的PTP轮廓，主要采取下列措施实现高精度同步：基于同步以太网的物理层同步、使用DDMTD相位检测器增强时戳精确度、入口与出口时延处理、单纤双向传输和采用相对校正程序。

（三）高精度同步局内分配技术

为实现高精度同步接入，在局内进行同步分配时，原则上采用高精度PTP以太网接口（GE、10GE等），不建议采用1PPS+ToD接口。另外，由于1PPS TTL接口没有ToD信息，建议其主要用于时间精度相对测量，不用于局内时间分配。

（四）高精度同步监测技术

同步监测方法总体可分为绝对监测和相对监测两大类。其中，绝对监测方法是指采用标准时

间作为监测参考源对被测信号进行直接监测，相对监测方法是指采用非标准时间作为监测参考源对被测信号质量进行间接监测。

绝对监测方法包括基于GNSS信号监测和基于光纤授时网络监测，其中，前者要求在各个监测点通过GNSS获取超高精度时间参考，实现难度较大；后者需建专用超高精度光纤同步网络，目前还不具备广泛应用条件。相对监测方法包括利用共视卫星监测和利用PTP报文本身监测，其中，前者需建相对监测参考源，应用条件受限，可以作为后期网络监测重要手段；后者利用自身网络资源进行监测，实现方便，可以作为初期网络监测首选方式。

5.3 5G同步网发展演进建议

同步网应根据5G同步需求和承载网络部署情况，分阶段发展演进：

1) 基于现有承载网络，建议利旧现有同步网实现 $\pm 1.5\mu\text{s}$ 的时间同步，开通5G基本业务；若现网支持百纳秒量级时间同步要求的协同业务，可考虑在局部区域下沉部署小型化高精度同步设备，通过跳数控制满足其高精度同步需求。

2) 对于新建承载网络，建议按照端到端300ns量级一次到位进行高精度时间同步地面组网。一方面，遵循扁平化思路，将时间源头做一定程度的下沉，以降低定时链路长度，实现端到端性能控制；另一方面，采用能够有效减少时间误差的链路或接口技术，比如采用单纤双向技术进行同步信号的传送，采用高精度PTP以太网技术进行同步信号的局间和局内互联等。

我国5G承载产业发展趋势分析

6.1 光纤光缆基础设施

我国运营商经过多年网络建设和优化，已形成较为稳定的城域光缆网，5G的高速率、低时延等对光纤容量及连接密度提出更高要求，对网络拓扑优化提出挑战，光纤基础设施架构、功能、拓扑和光纤类型都将发生变化。光缆网架构分为核心层、汇聚层和接入层，其中，接入层由主干光缆、配线光缆和引入光缆构成，方便快捷的边缘接入层有利于低成本、高带宽业务的快速接入

和开通。为提高基础资源利用率，城域网将逐渐向一张网络同时承载多种业务的方向发展演进，以实现包括无线、固定宽带、专线、数据中心互联等在内的综合业务承载。

如图21所示，典型的城域接入层光缆拓扑包括点到点、接入主干链和主干环等。接入主干光缆的典型纤芯数量为144/288芯，配线段光缆的典型纤芯数量为12 /24芯。现阶段城域使用的光纤类型主要为G.652光纤。

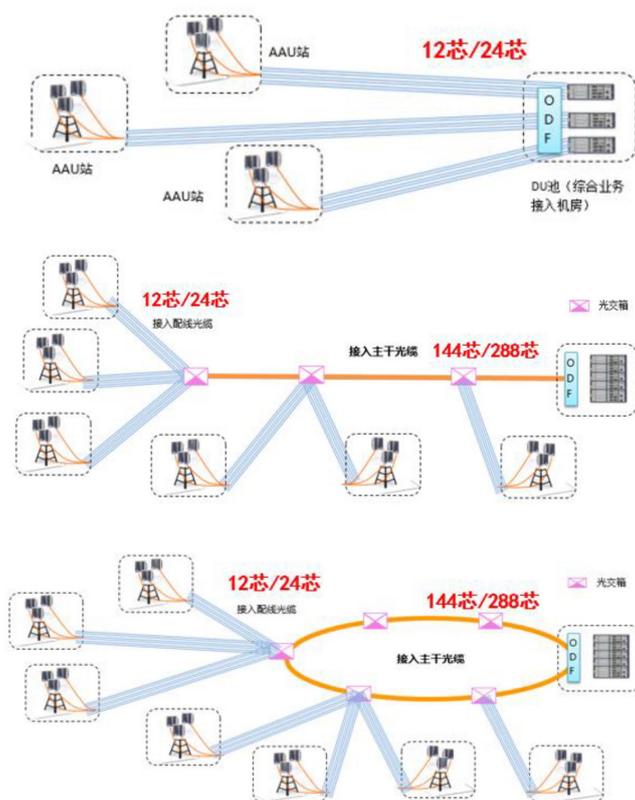


图21 城域接入层光缆典型拓扑

5G网络建设初期，前传以光纤直驱方式为主，配线光缆压力尚不明显，主干光缆面临较大纤芯压力，可考虑采用WDM技术或新建光缆方式进行纤芯扩容。随着5G网络发展演进，配线光缆也将存在扩容需求。新型光纤光缆方面，5G带来海量光纤需求，有限的管道资源内布放大量光纤将带来光纤尺寸和弯曲性能等挑战，高抗弯光纤、小型化和高密度光缆需求迫切。多模光纤配合多模光模块可有效降低成本及功耗，更长传输距离的新一代多模光纤正在研发，同时可能出现适用于前传的单模和多模通用光纤以及多模和

单模光纤共缆的新需求。此外，充分利用已有FTTH光纤基础设施资源，实现固定和移动基础资源共享可大幅节省投资并加快工程进度。

6.2 5G光模块和芯片

面向5G承载，25/50/100Gb/s新型高速光模块将逐步在前传、中传和回传接入层引入，N×100/200/400Gb/s高速光模块将在回传汇聚和核心层引入。5G光模块在传输距离、调制方式、工作温度和封装等方面存在不同方案，需结合应用场景、成本等因素按需选择。表7为不同应用场景下光模块的典型技术方案。

表7 5G光模块典型技术方案

场景	速率	传输距离	波段	调制方式	激光器/探测器类型	工作温度 ^[注1]	封装		
前传	25 Gb/s	SR 100m	850nm	NRZ	VCSEL/PIN	-40~+85℃	SFP28		
		SR 300m	850nm		VCSEL/PIN				
			O 波段		FP 或 DFB/PIN				
		LR 10km	O 波段		DFB/PIN				
		Bidi10/20km							
		CWDM 10km	C 波段		NRZ/PAM4			EML 或 M-Z/PIN	
	DWDM 10/20km								
	100 Gb/s	SR4 100m	850nm	NRZ	4VCSEL/4PIN	-40~+85℃	QSFP28		
		4WDM 10km	O 波段		4DFB/4PIN				
		FR 2km	O 波段	PAM4/DMT	EML/PIN	0~70℃ ^[注3]			
LR10km									
中传回传	25 Gb/s	ER 40km	O 波段	NRZ	DFB/APD	0~70℃	SFP28		
		FR 2km			DFB/PIN		QSFP28		
	50 Gb/s	LR 10km		DFB 或 EML/PIN					
		ER 40km		DFB 或 EML/APD 或 SOA+PIN					
	200 Gb/s	FR4 2km		PAM4	4DFB 或 EML/4PIN			CFP2/OSFP/QSFP-DD	
		LR4 10km							
	400 Gb/s	FR8 2km		PAM4	8DFB 或 EML/8PIN			CFP8/OSFP/QSFP-DD	
		LR8 10km							
		FR4 2km							
	OTN	LR4 10km		C 波段	PAM4			2EML(DWDM)/2PIN ^[注2]	QSFP28
		80km						DP-QPSK/nQAM	ITLA/PIN
		80~1200km							

注 1：工作温度指光收发模块的管壳温度（Case Temperature）；
注 2：需要外置光纤放大器和色散补偿模块配合实现 80km 传输；
注 3：当前支持的温度范围。

前传方面，AAU侧光模块涉及室外应用，需要工业级（-40~85℃）光模块。工业级激光器芯片的主流实现方案有三种：方案一“商业级激光器芯片+制冷封装”，该方案对芯片要求低，但功耗和成本高；方案二“直接采用工业级激光器芯片”，该方案封装简单、功耗和成本低，但25GBaud工业级激光器芯片工艺实现存在挑战，供应渠道有限；方案三“硅光调制器+异质激光器”，在90~95℃极端高温环境存在用武之地。另外，5G前传光纤资源紧张，单纤双向（Bidi）和多电平调制（PAM4）技术具备竞争优势。标准化层面，IEEE802.3cp开始进行25/50Gb/s Bidi标准制定，国内正同步开展25Gb/s Bidi光模块通信行业标准制定。此外，由于前传光模块需求规模在5G相关光模块整体市场中占比较大，主流模块和设备商也在广泛尝试DMT、超频等其他低成本实现路径，基本思路都是通过更复杂的电调制解调技术降低光模块对激光器带宽和数量的要求。

中传和回传方面，光模块应用于散热条件好的机房环境，可采用商业级芯片。80km以下传输距离，包括25Gb/s NRZ、50/100/200/400Gb/s PAM4光模块等方案。目前，高线性度的PAM4电芯片已经商用，25/50GBaud高线性度激光器和探测器芯片仍需要进一步的工艺改进。5G中传和回传也可能采用WDM环网结构，低成本彩光模块有待研发。80km及以上传输距离，相干光模块将成为主流。标准化方面，OIF 400ZR基本方案已确定（64GBaud DP-16QAM），IEEE802.3b10k已确定80km单载波100/400Gb/s相干光模块目标。

5G光模块对光电芯片的典型需求如表8所示。产业化方面，国内企业在光模块层面能够提供大部分产品，研发水平紧跟国外领先企业，

但25GBaud及以上速率的核心光电芯片尚处于在研、样品或空白阶段，与领先企业存在1~2代的技术差距。

表8 5G核心光电子芯片需求

光模块速率及封装	传输距离	光芯片	电芯片
25Gb/s SFP28	100m	25G 工业级 VCSEL 芯片	25G DML LDD、TIA、LA、CDR
	300m	25G 工业级 VCSEL、FP 或 DFB 芯片	
	10/20km(含 LR、Bidi、CWDM)	25G 工业级 DFB 芯片	
	10km(DWDM)	25G DWDM 波长(固定或可调) EML 或 M-Z 芯片	
	40km	25G 商业级 DFB 芯片	
100Gb/s QSFP28	四通道 100m	25G 工业级 VCSEL 芯片	4 通道 25G DML LDD、TIA、LA、CDR
	四通道 10km	25G 工业级 DFB 芯片	
	单通道 2km	50G 商业级 EML 芯片	50G EML LDD、TIA、LA、CDR、PAM4 驱动芯片
	单通道 10km		
50Gb/s QSFP28	2km	25G 商业级 DFB 芯片	25G DML/EML LDD、TIA、PAM4 驱动芯片
	10km	25 商业级 DFB 或 EML 芯片	
	40km		
200Gb/s CFP2/OSFP/QSFP-DD	四通道 2km	25G 商业级 DFB 或 EML 芯片	4/8 通道 25G DML/EML LDD、TIA、PAM4 驱动芯片
	四通道 10km		
400G b/s CFP8/OSFP/QSFP-DD	八通道 2km	50G 商业级 DFB 或 EML 芯片	4 通道 50G DML/EML LDD、TIA、PAM4 驱动芯片
	八通道 10km		
	四通道 2km		
	四通道 10km		
100Gb/s QSFP28	80km	2×50G PAM4 光调制器芯片	25G EML LDD、TIA、PAM4 驱动芯片
100Gb/s CFP/CFP2/8	>80km	100G 相干集成光收发芯片 ITLA 芯片	25G 调制器驱动芯片 相干 DSP 芯片

5G光模块存在数千万量级的巨大需求，更高速率、更长距离、更宽温度范围和更低成本的光模块需求迫切。为支持5G承载技术及产业健康发展，国内企业需加快25GBaud及以上速率核心光电子芯片的研发突破。

6.3 5G承载网络设备

5G承载网络设备形态虽有所差异，但均呈向多技术融合发展趋势，建议推动新开发的网络设备能最大程度兼容不同技术方案。SPN和IP RAN增强功能方案均基于分组化承载技术，网络协议和设备形态的融合发展趋势日益显著。分组化承载设备和M-OTN网络设备大多采用统一信元交换内核，L0~L3层应用根据SDN管控架构和应用场景来配置。建议网络设备商综合不同技术方案的共性需求，从降低研发成本和提升网络设备普适性的角度考虑，统一开发新的网络设备架构，共享核心处理芯片、业务板卡、光模块和管控平台，结合不同运营商的需求差异提供相应的线路板卡，包括支持以太网或FlexE的线路板卡、支持OTUk、OTUCn/FlexO的OTN线路板卡以及支持多波长组网调度的光层子架等。

实际上，国际上的许多运营商都有类似PTN、IP RAN和OTN的网络背景，都有面向5G和综合业务承载的网络演进发展诉求。SPN和IP

RAN增强方案是基于IP/MPLS和电信级以太网增强轻量级TDM技术的演进思路，目的是解决分组承载网络如何支持不同类型业务的带宽隔离、确定性低时延和网络硬切片等问题，实现5G和专线等多业务综合承载；M-OTN方案是基于传统OTN增强分组承载技术并简化OTN的演进思路，是OTN适应分组业务发展趋势，并重点针对5G前传、中传和回传的低时延等需求而进行技术方案简化和演进发展的产物，目的是解决OTN如何高效承载5G和专线等业务，并实现应用场景从干线、城域核心网络逐步向城域汇聚和接入层的延伸。

总结和展望

5G新型业务特性的引入、无线接入网结构和核心网架构革新变化等为承载技术的新一轮快速发展提供了契机，5G承载网络呈现出三大性能需求和六大组网功能需求，受业务特性、运营商技术架构与未来演进思路等多种因素影响，5G承载呈现多种技术方案并行发展的态势。5G承载网络架构由转发面、管理控制面和同步网等功能模块构成，其中转发面实现前传和中/回传的高效承载，管理控制面提供5G承载的统一管控，同步网支撑高精度同步需求的5G应用。从5G承载转发面技术方案来看，SPN、M-OTN和IP RAN+光层三种方案在L0和L2/L3层的趋同性逐渐增强，但SPN和M-OTN在L1层技术存在明显差异；从5G同步网的技术发展来看，百ns量级需求应采用新型的高精度同步技术；从光纤基础设施、光模块及芯片以及承载设备的发展来看，部署更多光纤资源、加速高速率芯片和低成本光模块研发、提升承载设备的差异化方案兼容性等至关重要，同时应遵循固移融合、综合承载的原则，支撑5G承载网络实现低成本快速部署。

“5G商用，承载先行”。随着5G现网规模试点开展和预商用进程加快，5G承载技术方案还将

继续加强融合创新。5G承载工作组将与业界加强合作，聚焦共识，协同推动5G承载架构、组网方案、共性支撑技术、产业化方案和标准规范等相关研究，共同促进5G承载网络技术和产业的有序发展，为后续5G规模化部署提供有力支撑。