

中兴通讯技术

简讯

ZTE TECHNOLOGIES | 第28卷 第9期 · 2024年9月

视点

04 面向电力行业的SPN算网承载关键技术与组网方案探讨

08 面向5G-A/6G的空天地一体化承载技术展望



专题：SPN专线专网

12 SPN开启行业应用新篇章





1996年创办 总第432期

2024年9月 第28卷 第9期

中兴通讯技术 (简讯)
ZHONG XING TONG XUN JI SHU (JIAN XUN)
中兴通讯股份有限公司主管

《中兴通讯技术 (简讯)》顾问委员会

主任: 刘 健
副主任: 孙方平 俞义方 张万春 朱永兴
顾问: 柏 钢 方 晖 胡俊劼 华新海
阚 杰 李伟正 刘明明 陆 平
唐 雪 王 全 张卫青 郑 鹏

《中兴通讯技术 (简讯)》编辑委员会

主任: 林晓东
副主任: 黄新明
编 委: 邓志峰 代岩斌 黄新明 姜永湖
柯 文 孔建华 梁大鹏 刘 爽
林晓东 马小松 施 军 夏泽金
杨兆江 朱建军

《中兴通讯技术 (简讯)》编辑部

总编: 林晓东
常务副总编: 黄新明
编辑部主任: 刘杨
执行主编: 方丽
发行: 王萍萍

主办单位: 中兴通讯技术杂志社
编辑: 《中兴通讯技术 (简讯)》编辑部
发行范围: 国内业务相关单位
印数: 5000本
出版频次: 按月
地址: 深圳市科技南路55号
邮编: 518057
发行部电话: 0551-65533356
网址: <http://www.zte.com.cn>

设计: 深圳市奥尔美广告有限公司
印刷: 深圳市旺盈彩盒纸品有限公司
印刷日期: 2024年9月25日



王强
中兴通讯承载网产品副总经理

SPN新征程，助力行业专网数智化转型

近年来随着AI智算和云计算技术的成熟，行业数字化转型进程加快，并对通信网络提出了新的需求。作为数字化系统的通信底座，面向行业的新一代传送网的特征体现在五个方面：第一，支持泛在、高速的通信需求；第二，支持生产控制业务与信息采集类业务的物理隔离；第三，支持有线和无线回传业务的统一承载，提供L1~L3的业务承载能力，满足泛在、移动终端的接入需求；第四，支持端到端确定性低时延实时通信服务，满足生产控制业务的承载需求；第五，满足行业多维度采集数据融合计算的高精度时间同步需求。

切片分组网 (SPN) 是国内首创的新一代面向业务IP化和云化的传送网技术，通过创新地将以太网物理切片技术和CBR、分组技术有机融合，提供L1~L3业务承载能力，并继承了传送网的可管可控运维特征。SPN技术与行业专网的需求非常契合，具备上述面向行业的新一代传送网特征。SPN采用TDM和分组的融合架构，对以太网物理层进行了增强，引入层次化MTN/fgMTN两级TDM时隙结构，提供N×5Gbps/N×10Mbps切片通道层能力，将切片通道能力与CBR映射、MPLS VPN转发能力进行了融合，支持时分复用和统计复用，从而为行业专网业务提供L1~L3的业务切片承载能力，并支持从10GE到400GE超大线路带宽的组网能力和纳秒级高精度时间同步服务。

SPN标准和产业链已十分成熟，在运营商市场部署了超过40万端设备并稳定运行5年。在行业专网市场，SPN已进入矿山、电力和轨道交通等市场，并通过了铁路5G-R的环形线试验，即将承接第一条试验线商用试点。

面向十五五下一个行业建设窗口，SPN技术将在行业数字化转型的浪潮中为企业发展提供强劲动力，助力企业扬帆起航，开启新篇章。

目次

中兴通讯技术（简讯）2024年第9期



SPN开启行业应用新篇章

在我国进入高质量发展、全面建设社会主义现代化国家的全新阶段，发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点。新质生产力的发展，将会加快行业数字化转型，推动行业自动化、智能化水平的提升。这一进程对传输网络提出了宽带化、IP化、确定性、安全可靠的核心需求，而当前的行业传输专网技术难以支撑这些新需求，普遍面临选择并引入新技术的难题。

视点

04 面向电力行业的SPN算网承载关键技术与组网方案探讨

赵俊峰，李芳

08 面向5G-A/6G的空天地一体化承载技术展望

李佳琛，韩柳燕，李晗

专题：SPN专线专网

12 SPN开启行业应用新篇章

刘爱华，周华东

16 面向电力业务的SPN物理层硬切片隔离技术研究

廖国庆，刘爱华

19 小型化SPN承载电力配网业务创新实践

牛金明

22 面向地铁的SPN承载方案和应用

孙华盛，何伟

26 面向5G-R的下一代铁路SPN综合承载方案研究

高源，李云龙

31 矿用新型SPN工业环网，助力打造智能化矿山

黄友胜，周华东



成功故事

34 中兴通讯助力广东移动实现SPN切片专网在电力

行业的规模化商用

陈孟奇，周文端

36 国网山东电力联合中兴通讯共同打造新一代SPN

高品质生产网

张浩，王稳君，马虎兴

02 新闻资讯

中兴通讯分布式存储KS20000 斩获最大份额

8月，中国移动官网正式公示2024年—2025年分布式存储（新建部分）集中采购项目结果，中兴通讯自研分布式存储产品KS20000在标包1分布式文件排名第二，获得30%份额；在标包2分布式块排名第一，获得50%份额，标包1和标包2总计分布式存储中标套数占比47%，斩获此次中国移动2024年—2025年分布式存储（新建部分）集中采购项目最大份额。

此次中兴通讯KS20000存储产品顺利通过中国移动分布式存储集采测试并斩获最大份额，离不开其极致的产品性能和稳定性。中兴通讯KS20000各项性能指标均以优异成绩通过中国移动集采测试，为分布式存储在高性能高稳定性场景应用树立标杆。

中国科技50强！中兴通讯实力上榜！

8月，“2024年《财富》中国科技50强”榜单正式发布，中兴通讯凭借长期积累的ICT全栈全域能力，创新的技术以及端到端的数字化解决方案成功入选该榜单。

作为全球领先的综合信息与通信技术解决方案提供商，中兴通讯始终将技术创新作为企业发展的核心驱动力。今年上半年，公司研发费用127.3亿元，占营业收入的比例为20.4%，目前拥有9万余件全球专利申请，4.6万件累计全球授权专利，其中在AI领域已拥有约5000件专利申请，累计授权专利超2000件。

近40年来，中兴通讯携手全球合作伙伴深度聚焦ICT基础设施建设，

致力于让数智红利惠及更多人、更多产业。本次上榜，体现了中兴通讯在坚持自主创新、不断拓展数智应用场景以及推动产业升级方面的努力和成果。

《财富》杂志是全球最具影响力的商业杂志之一，本次公布的中国科技50强榜单，是《财富》（中文版）今年首次发布的科技领域权威榜单，榜单从“全球经济影响力”“技术创新与持续投入研发能力”“建立核心技术壁垒”“积极社会影响力”四大维度出发，涵盖人工智能、高端制造、新能源及新材料等多个创新领域，旨在挖掘为创新技术发展做出重要贡献的中国科技标杆企业。

中兴通讯南京智能滨江工厂 荣获国内首个五星5G工厂认证

8月30日，中兴通讯南京智能滨江5G工厂（以下简称“滨江工厂”）正式通过中国信息通信研究院泰尔认证中心评估，荣获国内首个五星5G工厂认证，成为5G技术与电子设备制造业深度融合与全面应用的新标杆。

滨江工厂自2020年投产运营以来，积极响应国家“5G+工业互联网”发展战略，秉承“用5G制造5G”理念，建设5G精品网络。

上汽集团联合中兴通讯举办 国产车云通讯大单品全球平台 发布会暨深化战略合作签约仪式

8月20日，上海汽车集团股份有限公司联合中兴通讯股份有限公司举办国产车云通讯大单品全球平台发布会，同期双方签署深化战略合作协议。双方将依托各自优势在多个领域展开深度合作，合作范围将从4G进一步扩展到5G通信模组、车规级大算力SoC芯片、车用操作系统软件以及算力建设与大模型等创新技术领域。

北京移动5G-A商用发布，携 手中兴通讯开启数字化首都 京彩新时代

8月23日，在“智享5G-A引领新京彩”发布会上，北京移动宣布5G-A正式商用，并发布多款应用场景体验包，北京市民可免费“尝鲜”5G-A网络。截至目前，北京移动已开通5G-A基站超7000座，实现六环内及郊县城区的连续覆盖，开启首都数字化京彩新时代。

中兴通讯公布2024半年业绩： 拥抱AI，深化“连接+算力”，推动高质量发展

8月16日，中兴通讯发布2024半年度报告。报告显示，2024年1—6月，中兴通讯实现营业收入624.9亿元，同比增长2.9%；归母净利润57.3亿元，同比增长4.8%；扣非归母净利润49.6亿元，同比增长1.1%；基本每股收益1.20元；经营性现金流净额70.0亿元，同比增长8.9%。

上半年，外部环境依然纷繁复杂，以人工智能为核心的新一轮科技革命和产业变革加速演进，AIGC、5G-A、低空经济等新技术、新应用、新业态不断涌现。中兴通讯坚持技术创新，坚持“连接+算力”深化协同，助力新质生产力培育，整体业绩保持稳健，实现了营收和净利双增。

1—6月，在运营商网络，国内受整体投资环境影响，增长承压；国际持续突破大国大T，保持双位数增长态势。同时，公司发力政企和消费者业务，充分拓展市场空间，两块业务营收均重回快速增长轨道，分别同比增长56.1%、14.3%。上半年，公司国内市场实现营收430.6亿元，占比68.9%，国际市场实现营收194.3亿元，占比

31.1%；运营商网络、政企、消费者业务分别实现营收373.0亿元、91.7亿元、160.2亿元，占比分别为59.7%、14.7%、25.6%。

中兴通讯上半年研发费用127.3亿元，占营业收入的比例为20.4%，拥有9万余件全球专利申请，4.6万件累计全球授权专利，其中在AI领域已拥有约5000件专利申请，累计授权专利超2000件，为公司在数智浪潮下的市场竞争力持续提供动能。6月，中兴通讯携手产业伙伴荣获2023年度国家科技进步奖一等奖3项，二等奖2项共5项荣誉。

上半年，在连接领域，中兴通讯不断创新迭代产品和方案，将长期积累的技术优势延伸至5G-A、全光网络等新一代ICT技术。根据咨询机构最新数据，中兴通讯5G基站、5G核心网发货量保持全球第二，RAN产品、5G核心网持续获多家咨询机构行业领导者评级，光网络产品全球市场份额环比增速第一。同时，公司5G PON方案在全球50多家运营商测试试点，联合运营商实现全球首个400G全光省际骨干网规模商用，全面贯通8个东数西算国家算力枢纽。

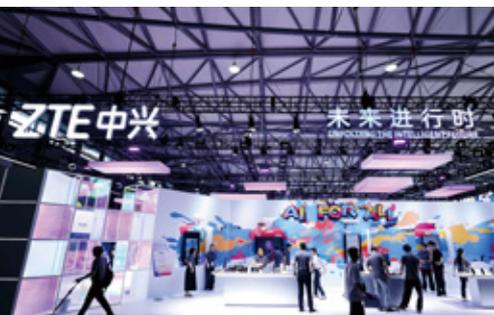
在算力领域，中兴通讯正以其前瞻性视角和创新实践，迎接AI新时代的挑战与机遇。中兴通讯以“开放解耦、以网强算、训推并举”的核心主张，基于多年积累的软硬件研发能力，工程能力和产业化等领域优势，不断加大算力产品和方案的研发投入，

提供从算力、网络、能力、智力到应用的全栈全场景智算解决方案，兼容适配国内外主流芯片，并支持、推动多种开放互联标准。公司积极探索大模型应用，自研星云系列大模型，其中研发大模型已经有效带动研发效率提升，通信大模型在反诈、重保等场景落地应用，加速自智网络进阶，并积极拓展工业、水利、城市生命线等领域模型及应用。

在终端领域，中兴通讯以“AI for All”的战略理念，围绕运动健康、影音娱乐、商务出行、家庭教育和智能驾驶五大核心消费场景，布局手机、平板、笔记本、移动互联等全系AI终端产品，构建全场景智慧生态3.0，推动移动终端、智慧家庭、云电脑、汽车电子等产品与AI技术的融合。市场方面，公司5G FWA&MBB市场份额居全球第一，红魔销量居全球电竞手机市场首位，PON CPE发货量全球第一、IP机顶盒份额全球第一，云终端在国内运营商市场份额第一，汽车电子车用操作系统与比亚迪、广汽等头部车企达成合作。

上半年，中兴通讯发布融合AI技术的数字星云3.0，致力于解决产业数字化转型中的关键挑战，加速数智技术赋能千行百业。基于“数字基础设施+数字星云”，公司已携手超1000家行业头部合作伙伴，在工业制造、政务、交通、能源、文旅等15个领域助力产业升级。

面向全新智能技术引发的科技浪潮，中兴通讯将持续强化核心技术创新，加速“连接+算力+能力+智力”拓展，开放共赢，携手产业伙伴共同构建高效智能的美好未来。





赵俊峰

中国信息通信研究院技术与标准研究所
光网络技术与应用研究部主任工程师



李芳

中国信息通信研究院技术与标准研究所
光网络技术与应用研究部主任

面向电力行业的SPN算网承载 关键技术与组网方案探讨

随 随着我国行业数智化转型的深化，算力已成为推动数字产业化和产业数字化进一步发展的重要基础设施。电力行业是国民经济的基础产业，新型电力系统、智能电网的建设是保障我国稳定电力供应的重要举措。随着电网智能化程度不断加深，各类生产、运营及服务信息化系统已成为电力工业的数字化底座，而承载各类信息化系统的电力系统数据中心及电力通信网络已成为关键基础设施。

当前，电力信息化不断发展，电力信息通信网络规模持续扩大，我国电力企业已形成多级云数据中心建设布局。云数据中心间存在高速互联需求，地市电力公司和变电站等到省级数据中心间存在敏捷、灵活接入需求，而电力信息通信网络作为数据中心之间高速互联与电力企业灵活入算的关键承载底座，在网络承载能力、接入灵活性、多业务适应性等方面面临新挑战。电力信息

通信网络亟需面向已有业务与新型算力业务并存、大小颗粒业务融合承载的需求，加速发展演进，支撑电力行业的数智化转型进程。

电力系统算力业务承载需求特性分析

结合电力生产控制类I区、生产非控制类II区、生产信息类III区和信息管理类IV区的各类业务的算力应用需求，梳理云边场景下的电网算力应用通用场景（见图1），不同业务呈现出差异化承载需求（见表1）。

在省内云边互联场景下，AI视觉处理类应用，如无人机巡检等，呈现出泛在终端接入、大带宽、确定性低时延和高可靠的承载需求；控制类应用，如智能分布式配电自动化，呈现出2Mbps小带宽、15ms内确定性低时延和99.999%高可靠的确定性承载需求；实时采集决策类应用

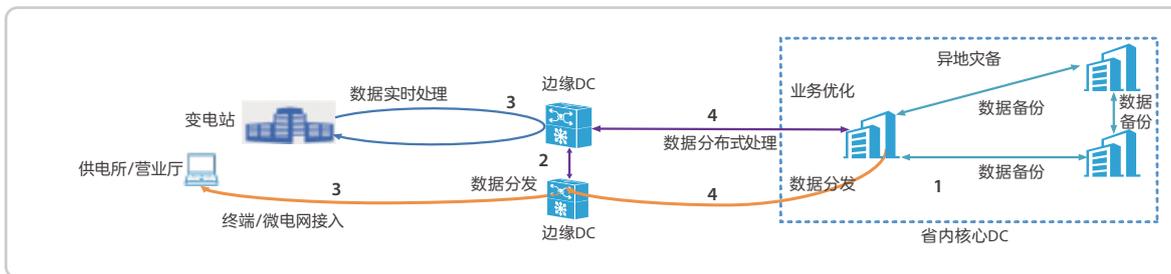


图1 电网典型算力应用场景和业务流向示意图

电网算力应用场景	潜在电网算力业务	电网业务算力需求预测	电力算力承载网络需求预测		算力调度需求	
			连接能力	性能指标		
3和4	AI视觉处理类	电力无人机巡检类等	AI推理+AI训练: 多级算力	边-云确定性网络; 南北向	暂无明确指标	云边场景、端-边接入
3和4	实时采集决策类	电网负荷精准预测和调控(分钟级)等	中型/实时算力	边-云确定性网络; 南北向	暂无明确指标	云边场景、端-边接入
3和4	云AR/VR、仿真技术	电网数字孪生应用等	大型算力+多级/实时算力	边-云确定性网络; 南北向为主	暂无明确指标	云边场景、端-边接入
2	新能源消纳	海上风电边边协同应用等	中型/实时算力	边-边确定性网络; 东西向	暂无明确指标	边边场景
3和4	控制类	智能分布式配电自动化等	小型算力	端-边确定性网络; 南北向为主	带宽: 2Mbps~确定性时延: ~5ms 可靠性: 99.999%	云边场景、端-边接入、边边场景
1	异地灾备	安全保障类应用等	大型算力	核心DC内节点间确定性网络; 东西向为主	带宽、时延: 暂无明确指标 可靠性: 99.999%	核心节点间
1	数据搬移	AI及大模型	大型算力	核心DC内节点间确定性网络; 东西向为主	带宽: 10~100Gbps以上	核心节点间
1	分布式推理	AI及大模型	中型算力		时延: 小于100ms	核心节点间
1	分布式训练	AI及大模型	大型算力		带宽: 100Gbps以上超低时延无损	核心节点间

表1 电网算力承载网络需求分析表(注:表中的应用场景与图1对应)

呈现出大带宽、确定性时延的承载需求,要求承载网络具备终端和边缘云确定性网络连接能力;DC异地灾备提出大带宽、10ms内低时延、安全隔离的确定性承载需求。

在省内核心DC互联场景下,数据搬移业务提出10~100Gbps以上大带宽和确定性承载需求;分布式训推业务需具备省内核心DC间东西向网络连接能力。为保障AI应用业务的用户体验,推理业务时延需小于100ms,训练场景更注重100Gbps以上大带宽和低时延、无损的网络性能。

总体分析,要满足不同算力的差异化需求,承载网需具备以下特性:

- 业务多维感知能力:不同算力应用在电力承载网络性能、算力类型、算力规模上均存在明显差异。可通过多维算网性能、业务和通道的深度感知,精准适配差异化的承载技术

和方案,从而保障业务的高质量体验。

- 灵活泛在连接能力:电网算力流量/流向复杂性、算力接入的广覆盖要求承载网具备更加灵活泛在的连接能力。面向分布在省内边缘数据中心、核心数据中心的算力资源,结合不同应用的东西向南北向复杂流量流向,承载网络需采用协议精简的L1~L3层技术实现快速敏捷的算力接入和调度。
- 确定性承载能力:确定性带宽、确定性低时延/抖动、高可靠性等网络能力将有效支撑电力行业关键应用。如在数据存储备份场景下,需要提供跨地域大带宽的数据搬运服务,要求提供大带宽、低时延、高可靠的确定性网络服务。
- 资源智能调度编排能力:电力业务潮汐效应和灾备场景对承载网络管控系统提出智能调度编排和弹性便捷的能力要求。数据存储灾

备场景需要提供跨地域海量数据备份，承载网络需提供算力智能调度服务，支持算力和网络资源的自动化分配和智能化调度。业务潮汐效应特性需提供弹性的网络带宽服务。

- 业务精准测量监测能力：为满足电网算力业务严苛SLA需求，需精准检测算网业务的时延、丢包等性能信息，使得网络质量SLA实时可视，做到快速故障定界和定位。当网络故障或业务SLA需求变更时，需根据基于网络时延、带宽等信息生成的网络时延地图，进行算力迁移来满足业务SLA需求，而提前获取目标路由SLA需要精准的性能监测技术。

基于SPN的算网承载关键技术与组网方案探讨

为满足行业数字化转型和算网互联需求，SPN提出了基于业务智能感知的多种通道技术，实现差异化算网的精细化承载。

SPN通道算网感知技术

SPN网络支持N×5Gbps MTN通道、N×10Mbps FGU通道、SR-TP/MPLS-TP和SR-BE等多种通道技术。基于不同的算网承载需求，SPN需匹配相应的技术机制，实现基于通道的算网感知和通道连接能力。目前，SPN采用了首节点感知、管控系统集中下发通道配置的方式。SPN网络可提供透

明感知、敏捷感知和深度感知三种算网感知通道方案（见图2）。

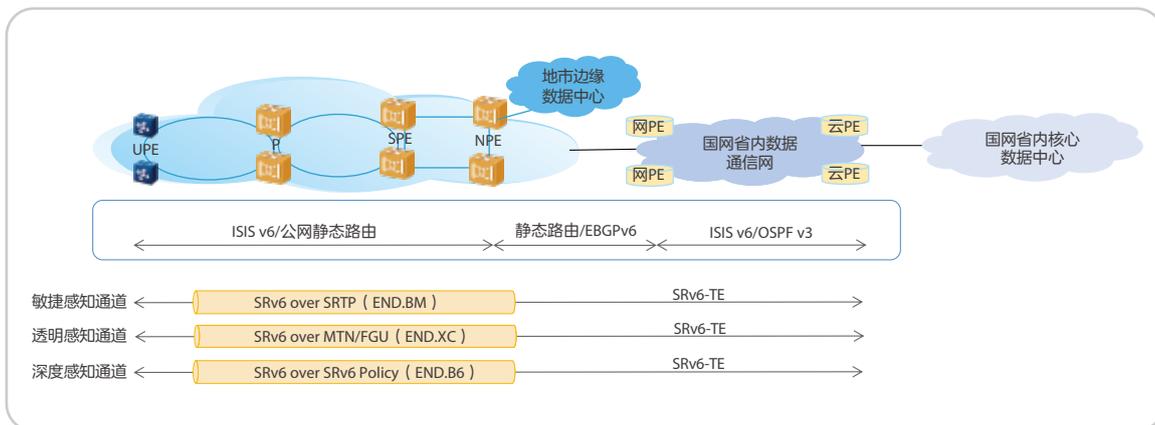
在业务场景方面，透明感知通道通过SPN的端到端时隙交叉连接能力的硬管道实现算网连接，适用于低时延、高安全隔离的场景；敏捷感知通道在SPN内采用SR-TP隧道，适用于灵活高效的算网连接场景；深度感知通道采用了全程端到端SRv6 Policy部署方式，主要面向泛在算力部署下的算网连接场景。

在技术机制方面，三类感知通道本质上都是利用了SRv6强大的可编程能力，通过SRv6的转发行为可编程功能实现将SRv6 Policy绑定至MTN/FGU通道、SR-TP隧道和逐跳SRv6。敏捷感知通道采用网关方式实现SRv6 over SR-TP，深度感知通道则采用逐跳SRv6实现跨域SRv6 Policy，透明感知通道通过SRv6的SRv6 SID可编程实现不同层隧道的绑定。

承载网组网架构与应用方案

电网省内端到端算网连接通常包括边缘数据中心、市到县承载网、省到市承载网、核心数据中心等。SPN算网感知设备具备城域内市到县范围边缘算力的接入能力，通过与省内数据通信网络设备网络层接口的互通，实现与核心数据中心的连接和调度。在转发层面，SPN算网感知设备与省内数据通信网可采用网关和逐跳方式构建跨域SRv6隧道。在管控层面，SPN算网感知设备现阶

图2 SPN通道算网感知技术示意图



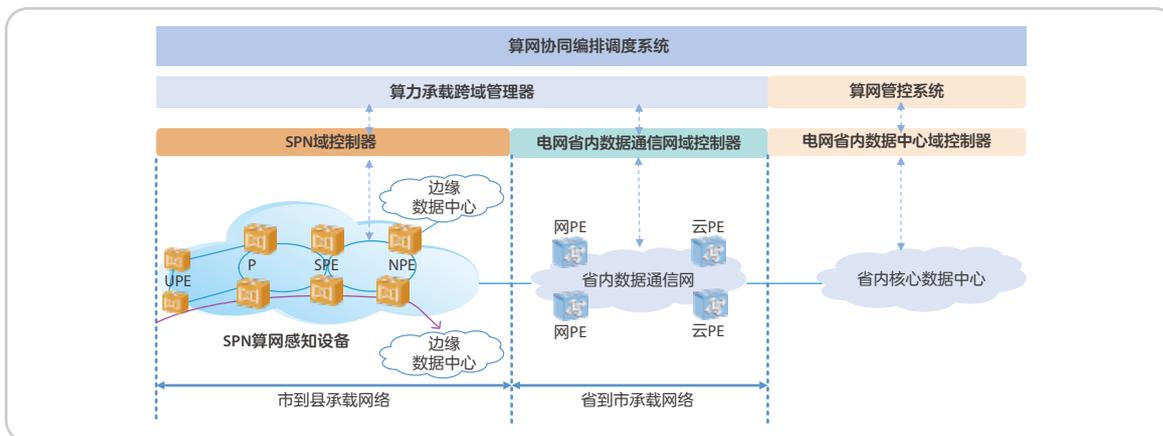


图3 电网多级算力承载组网架构示意图

场景	业务	场景特征	承载技术建议	通道/隧道技术建议
实时采集决策类	电网负荷精准预测和调控（分钟级）等	低时延抖动、高安全隔离的场景、预配置方式	SPN透明感知通道	SPN: N×5GbpsMTN通道+N×10Mbps FGU通道
控制类	智能分布式配电自动化等			
高通量互联	分布式训练、数据搬移			
AI视觉处理类	电力无人机巡检类等	确定性时延抖动、大带宽、预配置方式	SPN敏捷感知通道/IP SRv6	SRTP/SRv6TE+L2VPN/L3 VPN
云AR/VR、仿真技术类	电网数字孪生应用等			
新能源消纳类	海上风电边边协同应用等			
分布式推理	分布式推理	确定性低时延		—
采集类	—	泛在连接、按需连接	SPN深度感知通道/IP SRv6	SRv6BE+L3 VPN

表2 适配不同电网算力业务的承载网应用方案建议

段可采用分层分域的管控架构，SPN域控制器、数据通信网域控制器负责各自域内SRv6隧道配置管理，上层的算力承载跨域管理器通过SRv6强大的可编程能力实现多个跨域隧道的统一编排和绑定标签的配置（见图3）。

适配不同电网算力场景和业务，结合多种通道技术，表2给出了SPN承载算力业务的应用方案建议。

SPN技术与应用展望

SPN为5G承载而生。在4G承载的PTN技术基础上，SPN成为新一代高质量融合承载网络技术

创新的成功典范，已形成规模健壮的全产业链生态。受行业应用和算网融合驱动，我们推出SPN的多通道算网感知、小颗粒、智能自智等核心技术方案，探索算网承载技术演进路线。

面向未来，SPN将聚焦新型数据中心网络和互联需求，400G及以上高速接口、25.6T以上大容量设备、更大颗粒切片（100G/400G）、业务按需开通等技术成为演进方向。同时，精准适配电力等重要行业应用需求，面向端侧业务融合接入场景，需推动10GE/GE综合接入小型化设备应用部署和确定性技术能力持续增强。业务层面，SPN从信息管理向生产控制业务扩展；网络层面，SPN在配网光纤化改造中的应用将成为探索方向。 ZTE中兴



李佳琛

中国移动通信研究院项目经理



韩柳燕

中国移动通信研究院技术经理，
主任研究员

李晗

中国移动集团级首席专家

面向5G-A/6G的空天地一体化承载 技术展望

5G的eMBB、URLLC和mMTC三大应用场景对传送网提出了基于灵活切片的高带宽、低时延、高可靠等异质化传输需求，而基于TDM的刚性传输技术或基于分组交换的柔性传输技术单独都难以支撑。因此，中国移动提出了基于“以太网内生TDM”的SPN技术，实现分组交换与TDM融合，高效支持L1层TDM时隙交叉、L2层以太网交换和L3层路由，满足5G业务差异化承载需求。

面向5G-A/6G涌现出的新应用场景和新网络架构，城域传送网为更好地承载5G-A/6G业务发展，需要持续进行技术升级。

面向5G-A/6G泛在连接愿景的空天地一体化网络

ITU-R已于2023年正式发布6G典型应用场

景。6G不仅基础连接能力将在5G三大应用场景基础上进一步向沉浸式通信、极高可靠低时延通信和超大规模连接演进增强，还将基于通感算智多要素融合支持AI与通信融合、通感一体、泛在连接三大新场景，实现超越连接的新一代信息服务网络。5G-A作为5G向6G代际演进的过渡阶段，已经开始引入以上新要素能力，逐步推动网络服务范围和服务能力的扩展。

作为5G-A/6G的三项重要新增场景之一，泛在连接需要网络全面提供全域立体的连接覆盖，这给现有基于地面网络的组网架构带来全新挑战。一方面，地面网络难以支持海域、空域等非地面连接；另一方面，在沙漠、森林、野外等地域，受限于恶劣环境和高昂网络建设成本，地面网络也难以实现充分连接覆盖。而以卫星网络为代表的空间网络，由于具有覆盖范围广、偏远地区部署成本低等独特优势，可以作为地面网络的



作为5G-A/6G的三项重要新增场景之一，泛在连接需要网络全面提供全域立体的连接覆盖，这给现有基于地面网络的组网架构带来全新挑战。

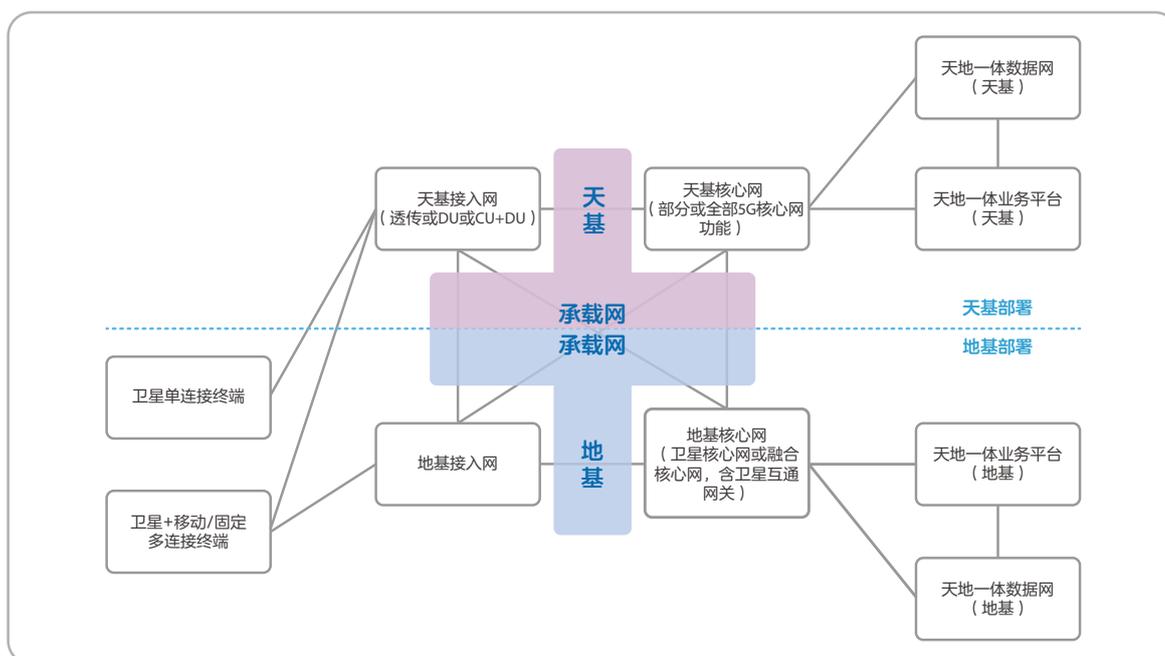


图1 空天地一体化承载网位置及连接关系

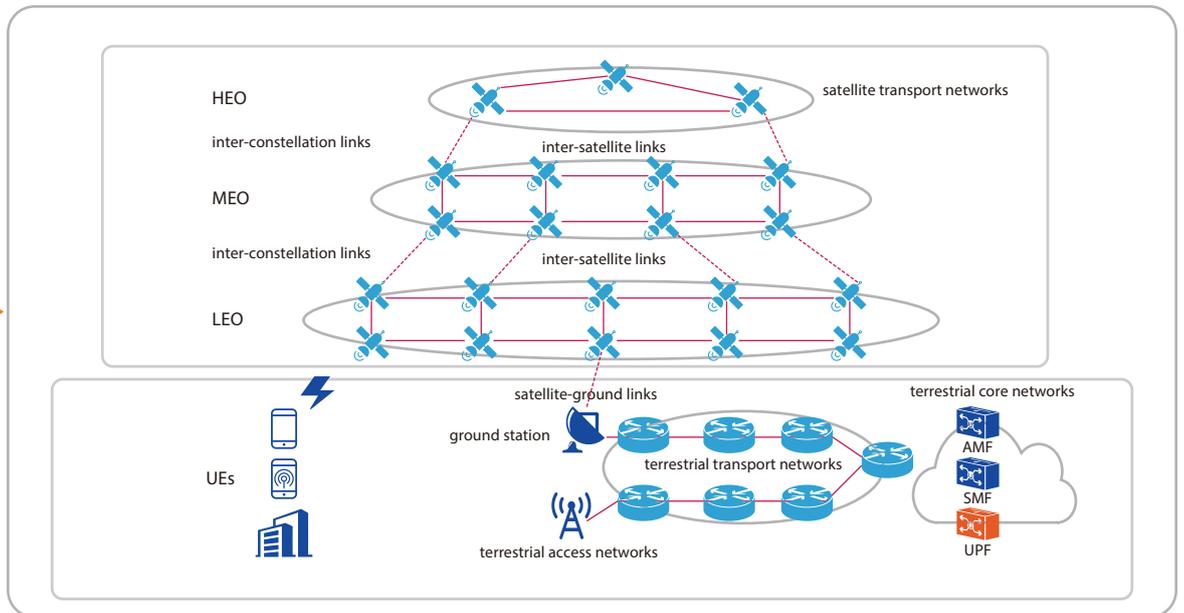
有效补充和增强，与地面网络共同构成空天地一体化融合网络，真正实现业务泛在连接。

空天地一体化融合网络的发展不仅将带来组网架构变革，还将反向驱动业务场景的跨越式发展：通过卫星网络提供移动通信服务，如基站无覆盖地区手机直连卫星、应急通信等；提供卫星物联网接入服务，如森林防火、野生动物视频监控、天然气管道及电力线路巡检等；通过卫星网络提供政企专线服务，如跨国政府企业的通信与应急响应、跨国金融专线、地面车辆交通互联等。

面向5G-A/6G的空天地一体化承载网架构

在空天地一体化网络中，由于卫星可能包含部分或全部接入网甚至核心网功能，承载网可进一步细分为空间承载网和地面承载网。其中，地面承载网仍然是业务承载的主体，提供高带宽和低时延的普遍连接服务；而空间承载网作为地面网络的覆盖补充和扩展，提供覆盖不足地区的补充连接和高可靠的备份连接。如图1所示，空间承载网和地面承载网将共同构成一个异构融合网

图2 空天地一体化承载网组网架构



络，支持地面接入网、空间接入网到地面核心网、空间核心网之间的回传连接。

空天地一体化承载网组网架构如图2所示。地面承载网通过信关站与基于卫星的空间承载网相连，通过协同卫星链路和地面链路共同实现星地一体化传输。卫星链路的运行状态被实时收集反馈到地基统一管控平面，并基于地基统一管控平面完成网络资源与路径的编排调度与管控，实现空天地一体化承载的端到端性能优化。

地面承载网在继承现有5G移动回传网络架构的基础上，还需要负责地面信关站和卫星运行控制中心之间的连接。由于部分ToB卫星业务及卫星运行控制信息具有高安全隔离的需求，地面承载网需要考虑采用专网或专线组网，保证端到端高可靠保障。例如，SPN作为地面承载网为卫星地面回传业务和卫星运控指令配置专属切片。

空间承载网则由单层或多层卫星网络构成，可能包括低轨卫星（LEO）网络、中轨卫星（MEO）网络和高轨卫星（HEO）网络。每颗卫星都将搭载传输网元，实现星间物理通信连接及组网路由和保护功能。同一星座的不同卫星通过同轨/异轨星间通信链路进行连接，而不同星座可以通过星座间通信链路进行互联。

空天地一体化承载关键技术展望

与成熟的地面承载网相比，空间承载网面临着一系列独特的技术挑战，主要包括自由空间中的高速星间光通信、高动态卫星网络拓扑下的组网技术、智能灵活的空天地一体管控技术等。克服以上技术挑战是构建空天地一体化承载网的基础。

星间高速光通信技术

星间光通信技术被公认为是满足空间承载网高带宽传输需求的重要手段。星间光通信技术相比传统微波通信具有更高带宽且频谱资源更为丰富，同时可复用地面高速光纤通信的先进技术和成熟产业链。然而，相比地面光纤通信，星间光通信会受到复杂自由空间信道和卫星高速相对运动的影响。前者体现在超大空间信道衰减；而后者包括异轨星间多普勒频移以及对快速、高精度的捕获、指向和跟踪（APT）系统的迫切需求。

因此，在光层，星间光通信技术在尽量沿用地面高速相干光通信技术的基础上，需要面向星间空间信道的特殊场景进行优化。一方面，优化调制解调模块和光数字信号处理算法，适配星间通信无色散、大衰减、高动态的特点；另一方

面，提供稳定的APT系统以及高增益光学系统，充分保障星间激光通信链路的可用性。

此外，针对链路协议，尽管当前在轨验证的主流光接口采用CCSDS链路协议增强信道可靠性，但以SPN、OTN为代表的地面光网络成熟标准，在承载效率、传输速率、运维能力、硬隔离、可扩展性等方面相较CCSDS具有优势。此外，经过地面网络多年规模应用验证，可靠性和产业支持情况更具有优势，同时与地面网络具有更高的兼容性。因此，面向空天地一体融合，在空间承载网沿用地面承载网标准协议可能是一种更好的选择。

面向高动态网络拓扑的星间传送网组网技术

卫星时刻处于高速运动状态，导致空间承载网网络拓扑结构呈周期性变化。此外，星地用户链路和馈电链路的切换、日凌现象导致的星间链路中断，以及面向节能的星间链路主动关断等多方面因素还会进一步加剧空间承载网拓扑的动态性。这与地面承载网的固定网络拓扑结构完全不同。因此，空间承载网组网在设计之初就需要考虑到网络拓扑高动态性的影响。

现有空间承载网组网一般采用IP路由由叠加点点对点通信的方式，在卫星网络规模较小时尚能满足组网需要。然而，当卫星网络规模较大，达到上千颗节点规模时，IP路由由叠加点点对点通信的方式容易引发网络振荡，造成网络处于频繁重路由状态，降低链路利用率。为了解决该问题，有必要在空间承载网内生构建光层组网机制，在链路层实现高可靠保护，使IP路由免受网络拓扑变化的影响，保证高动态网络拓扑下的业务稳定性。此外，针对卫星资源受限的问题，采用L0~L3融合设计相比简单的功能叠加更具有体积、重量和功耗优势。

针对星间链路不稳定挑战，可以在信号帧结构中定义专用开销来表征和传递链路状态，进一步增强空间承载网对星间链路的实时感知和管控，从而提升网络的整体规划能力。此外，由于高质量卫星专线服务需要高可靠的星间通信链路，还需要支

持灵活速率接入并确保业务硬隔离。

综上，为了实现灵活高效高可靠的空天地一体化承载，有必要提出一套面向空间承载网的灵活高效组网技术体系，而SPN的跨层融合、高灵活、高可靠等技术优势恰好满足这一需求，因此有望在空间承载网组网中获得迁移应用。

智能灵活的空天地一体管控技术

地面承载网经过多年广泛应用已经发展出成熟的管控技术体系，能够对网络进行全面且准确的分析和管控。然而，尽管空间承载网的节点规模可能不如地面承载网，但由于链路和网络拓扑的高动态性，空间承载网的管控往往更加复杂。因此，为了实现智能灵活的空天地一体管控，首先需要基于地面承载网的管控技术研发适用于空间承载网的管控技术，并在此基础上构建统一的管控面。

针对空间承载网的管控，引入星间链路的实时数字化监控和AI智能预测，对于实现卫星承载网在高动态拓扑下的主动运维至关重要。潜在技术包括星间链路的自动故障上报、实时性能监测、通信载荷自定义配置和灵活动态保护等。在此基础上，通过将空间承载网的状态感知和管控调度功能集成到基于SDN的地面承载网管控体系中，可以实现空天地一体融合的统一管控面，进而实现对整个空天地一体化承载网的集中管理和协同运作，确保该异构融合网络的资源高效整合和高可靠运行。

面向5G-A/6G泛在连接愿景，空天地一体化是下一代承载网的重要发展趋势，将带来承载网组网架构的重要变革。为实现空天地一体承载，空间承载网可以充分借鉴地面承载网的技术积累和产业基础，同时针对卫星通信的特殊场景在物理层、链路层、网络层实现体系化技术突破。地面承载网成熟标准体系凭借先进技术优势和广泛应用验证，有望实现在空间承载网的迁移应用，构建基于统一技术体制的空天地一体化融合承载网。ZTE中兴

SPN开启行业应用新篇章



刘爱华
中兴通讯资深系统架构师



周华东
中兴通讯承载产品规划经理

在我国进入高质量发展、全面建设社会主义现代化国家的全新阶段，发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点。新质生产力的发展，将会加快行业数字化转型，推动行业自动化、智能化水平的提升。这一进程对传输网络提出了宽带化、IP化、确定性、安全可靠的核心需求，而当前的行业传输专网技术难以支撑这些新需求，普遍面临选择并引入新技术的难题。

当前行业应用通常按照应用类型分别建设不同的网络，选择不同的传输技术。比如生产控制类应用通过SDH传输网络的E1/以太网CBR (constant bit rate) 业务来承载，综合信息类应用通过MSTP/PTN/OTN传输网络的分组业务来承载，终端类应用则有光纤专线、xPON、Wi-Fi和4G/5G等多种承载方式。针对行业发展新阶段中传输网络演进的关键需求，现有传输技术均存在不足，是否存在一种同时满足这些新需求的传输新技术，成为业界关注的焦点。

切片分组网 (Slicing Packet Network, SPN) 技术基于TDM和分组融合的新架构，同时支持L1层TDM、L2层以太网和L3层IP/MPLS/SR的传输能力，既有SDH的TDM机制，又共享以太网/IP技术及其生态，还支持SDH/PTN传输技术宽带化演进，

并具备IP化新业务承载能力，且具有规模商用经验，成为众多行业客户引入新技术的首选。

行业应用新阶段传输技术的选择

在行业应用新阶段，可以从以下几个维度考虑传输技术的选择：

- 传输能力匹配度

行业应用数字化、云化、智能化等新业务是传输新技术引入的主要驱动力。与运营商的业务发展类似，以太网接口和分组化业务将成为行业应用的主流，要求传输技术具备分组流量为主的L2 VPN和L3 VPN的承载能力，满足IP化业务灵活连接的需求；同时支持传统行业应用的TDM时隙通道的CBR业务承载能力。因此，新的传输技术要求同时具备L1 TDM传输通道、分组L2、L3 VPN传输隧道的承载能力。

- 传输安全满足度

行业专网需要承载行业生产类业务，对传输

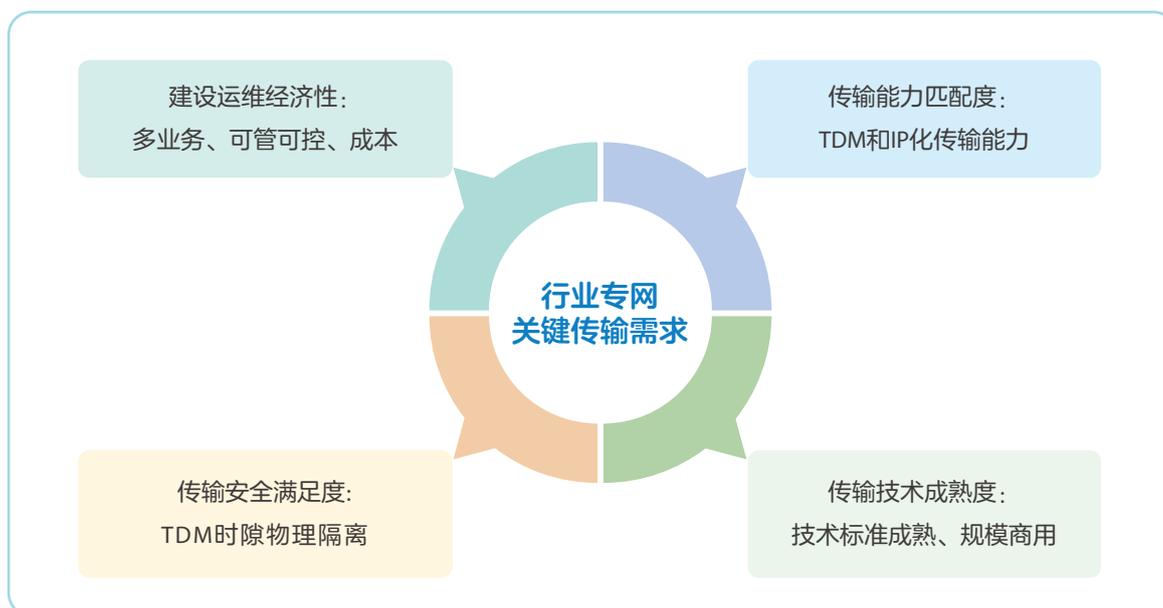


网络的安全性要求非常高，比如电力、铁路专网对生产业务承载均要求支持物理隔离以提供安全性保障，要求传输技术具备端到端TDM时隙通道的能力。此外，传输技术需要满足不同类型业务

的可靠性要求。

- 建设维护经济性

越来越丰富的行业应用需要传输网络具备综合承载能力，一张物理网络能满足多种类型业务



的综合承载，并通过软硬隔离的切片功能来满足多样化业务的承载需求，保持传统传输的网管能力，支持集中化管理控制的能力，降低传输网络建设和运维的成本。

● 传输技术成熟度

行业应用要求传输技术和标准成熟稳定，产业链完整健康，在业界经过充分验证并规模商用。

基于行业应用对传输技术的关键需求分析，在行业应用新阶段，需要融合传统的SDH、PTN传输技术并增强分组化的承载能力。SPN基于自身TDM和分组深度融合的架构，同时具备L1层TDM和L2/L3层分组传输能力，既支持TDM的物理隔离安全性，又支持10G~400G的宽带组网，还支持传输管控一体的可管可控能力，且标准成熟，共享以太网产业链，并已完成规模商用，是目前唯一同时满足行业应用新阶段所有关键需求的传输技术。当前传输技术针对行业应用需求满足度的对比如表1所示。

SPN行业应用解决方案

SPN从1.0演进到2.0主要增加了TDM小颗粒通道CBR承载能力，满足行业应用对于小颗粒物理隔离、E1/STM-1 CBR业务的承载需求。SPN承载行业应用的主要方案包括：

- 点到点生产控制类业务：SPN提供了FGU (fine granularity unit) 细粒度通道，实现N×10Mbps端到端TDM物理隔离专线连接；
- 点到多点生产控制类业务：SPN提供基于FGU切片的L2 VPN/L3 VPN承载；
- 综合信息类业务：SPN提供基于MTN切片的L2 VPN/L3 VPN承载，实现大类业务物理隔离切片，并在切片内支持灵活连接和分组统计复用。

以SPN在电力专网的解决方案为例，SPN的TDM传送能力可满足电力专网生产控制I/II区通信需求，SPN的分组传送能力可满足电力管理信息III/IV区的通信需求，其具备的TDM/分组融合架

▼ 表1 当前传输技术针对行业应用新阶段关键需求的满足程度

	传输能力匹配度	安全性	经济性	成熟度
SDH/MSTP	中等；带宽受限，分组业务承载能力弱	满足；TDM硬隔离	好	高
OTN/fgOTN	中高；分组业务承载能力稍弱	满足；TDM硬隔离	较好	中高；fgOTN未规模商用
PTN/IP	中等；无TDM管道能力	不满足；分组软隔离	好	高
SPN	高；同时具备TDM和L2/L3分组业务承载能力	满足；TDM+分组软硬隔离	好	高



SPN技术是当前唯一满足行业应用所有关键需求的传输新技术，已经有越来越多的行业专网开始选择SPN技术作为新一代的承载方案，并逐步制定SPN面向行业应用的技术规范。

构、硬切片网络隔离、超大带宽、多业务承载、高精度同步和智能运维能力可满足新型电力系统主网和配网的长期演进需求。

SPN产业链及持续演进能力

SPN的TDM技术是ITU-T继SDH、OTN之后新一代传送网国际标准体系，它的SR-TP的核心机制也已经在IETF发布了RFC，是我国传输技术首次在国际标准中实现了关键技术主导以及体系化标准突破。随着SPN技术的规模商用，其国内国际标准仍然在持续增强和完善，在2024年7月的ITU-T全会上，SPN小颗粒技术的国际标准fgMTN又有新的CBR业务传送标准完成了制定。

在芯片关键技术方面，SPN核心芯片采用以太网协议栈内生TDM层网络的架构，实现了分组芯片约90%的设计重用，完全集成L2/L3分组功能集，充分复用以太网成熟的产业链。SPN标准由中国厂商主导和引领，形成了自主可控的技术、人才和组织，已经具备了完整的产业链。

在工程成熟商用方面，截至目前中国移动已经随着5G网络建设部署超过40万端SPN设备，稳定运行5年。同时，SPN在电力行业的国网、南网，在超过30条轨交线路以及近百个矿山等行业网络规模部署，已经体现出了融合承载的强大技

术优势。

在未来演进方面，SPN面向5G-A、6G及行业应用将持续平滑演进。针对2024年启动的5G-A试点，SPN具备的大带宽、硬隔离、低延时的综合特性完全可以满足5G-A业务的承载需求。而且，面向铁路5G-R、工业园区等更多行业的承载方案也在逐步试点推广过程中。由此可见，SPN技术和产业链具备长期持续演进的能力。

综上所述，SPN技术是当前唯一满足行业应用所有关键需求的传输新技术，已经有越来越多的行业专网开始选择SPN技术作为新一代的承载方案，并逐步制定SPN面向行业应用的技术规范。2022年，中国电机工程学会完成了SPN技术规范的制定和发布；同年，IMT-2020 5G承载推进组完成了5G-R组网技术和管控方案研究报告，根据该研究报告，SPN是最优承载方案；2023年，中国南方电网完成SPN企业标准的制定；2024年，全国电力管理系统及其信息交换标准化技术委员会SAC/TC 82启动SPN技术规范的编制工并同步启动国家电网SPN企标的制定；同年，国铁集团选用SPN技术开展铁路5G-R高速试验线的验证工作。

可以预见，SPN技术凭借其强大的承载能力和健康的产业链，必将有力支撑行业应用转型发展，开启行业应用新篇章。ZTE中兴

面向电力业务的SPN物理层硬切片 隔离技术研究



廖国庆
中兴通讯承载产品政企
市场规划经理



刘爱华
中兴通讯资深系统架构师

电力是国计民生的基础保障。作为电力调度和电网监控的核心平台，电力通信的安全非常重要。国家能源局发布的36号文“电力监控系统安全防护总体方案”中要求承载电力通信I/II区和III/IV区的业务通道间必须是物理隔离或时隙隔离。虽然电力业务以太化和IP化的趋势非常明确，但I/II区生产业务的安全隔离需求仍然需要继承，少数重要的差动保护业务仍然为TDM接口。第一代基于分组传送的PTN技术无法提供TDM时隙隔离的承载通道，因此无法替代SDH承载I/II区电力生产业务，在电力通信网应用受限。

SPN (Slicing Packet Network) 引入以太网的物理时隙切片技术，实现了时分复用和分组统计复用的结合，能够提供电力I/II区业务和III/IV区业务要求的物理时隙隔离能力。SPN引入了FlexE技术、N×5Gbps颗粒的MTN Channel切片通道技术、N×10Mbps的细粒度切片技术以及CBR业务承载等技术，从接口、内核、组网、TDM业务适配等多方面进行全方位的网络重构技术创新，在以太网物理层上打造出了一个具备时隙隔离、低时延、确定性时延等特性的L1~L3多业务承载技术，适合承载I/II区电力生产业务。

物理隔离技术一：FlexE技术

传统以太网基于包进行业务的封装和复用，业务以统计复用的方式共享线路侧端口带宽资

源，如发生拥塞，基于业务优先级等方式来调度，无法提供严格的业务带宽保证机制。而FlexE技术对以太网做了时隙化的改造，使得其在接口上具备了TDM的特性。

FlexE技术在IEEE802.3的协议栈的RS和PCS层增加一个FlexE Shim层，将业务逻辑层和物理层隔开，可以实现多条客户业务在一个物理通道共享带宽。对于线路侧100Gbps速率，分为20个时隙，每个时隙占用一个66B码块，对应5Gbps带宽。这里66B码块可以视为时隙，多个时隙级联（连续或者非连续）可以提供N×5Gbps的带宽，形成不同的容器，适配不同的业务带宽要求。

FlexE shim层的时隙划分，使得各业务带宽可基于人工来配置和指定，为业务资源提供了基于TDM的预留机制，保证了多条客户侧的业务流之间是分片物理隔离，互不影响，实现了网络分片功能，满足了业务通道的物理隔离需求。

物理隔离技术二：MTN Channel切片通道技术

OIF定义的FlexE技术提供了基于以太网物理接口的分片机制，能提供有效的接口级隔离机制。但FlexE仅为接口级技术，标准FlexE技术终结所有FlexE client，再将业务上送IP/MPLS模块进行分组查表转发，其内部的业务调度仍然采用分组转发机制，还是无法满足电力业务物理隔离的要求。SPN扩展了FlexE，支持基于FlexE client交

叉的MTN通道，在承载网络中的P节点，客户业务直接在L1层进行交叉，而不再上送MAC/IP层，也不需要恢复出完整的业务报文。

SPN的S-XC是基于66B码块的TDM时隙交叉，省去了分组转发的成帧、组包、查表、缓存等处理过程，透明传输业务，不感知业务，是类似SDH的VC交叉，可实现极低的转发时延和物理隔离。66B码块交叉为SPN提供了独立的TDM交叉内核，为组网时构建端到端的物理隔离的切片通道MTN Channel提供了基础。

基于IEEE 802.3码块扩展，SPN采用IDLE替换原理插入MTN通道层的OAM码块，支持连通性检测、误码时延测量等功能。SPN基于通道OAM实现MTN通道的1+1保护，可支持端到端低于1ms的保护倒换时间，保证了MTN切片通道的可靠性。

物理隔离技术三：细粒度切片FGU技术

FlexE/MTN技术提供了5G颗粒的切片机制，但在电力等行业，其典型的生产业务采用E1承载，带宽为2Mbps，如采用5G颗粒方式，带宽利用率很低。而且采用5G颗粒切片机制，设备能提供的硬切片数量有限，无法满足实际业务的需求。

SPN细粒度技术（FGU）采用类似SDH的TDM机制，以实现不同业务之间的严格硬隔离。FGU复帧包含20个FGU基本帧，每个FGU基本帧支持24个时隙，每时隙粒度为10Mbps。5Gbps的SCL（slicing channel layer）可承载480个10Mbps细粒度时隙，其带宽利用率接近97%。同时FGU完全兼容10GE标准以太网，可将端到端FGU专线延伸到CPE设备。

FGU通道任一节点的出端口和入端口时隙通过管控层提前分配并固定，通过专享且确定的时隙保证严格的TDM特性。细粒度通道的P节点，基于TDM时隙交叉不感知细粒度业务报文信息，保证确定性低时延；细粒度业务独占TDM通道时隙资源，可实现抖动远小于 $1\mu\text{s}$ 。同时OAM码块随路插入每一条细粒度通道，提供该通道的连通性检测、故障和性能监测能力，保证50ms以内的



通道保护倒换。另外，FGU细粒度支持在线通道带宽无损调整，可在用户业务正常传输时对细粒度硬管道进行增大或者减小的带宽调整。

SPN细粒度技术（FGU/fgMTN）聚焦构建端到端高效、无损、柔性带宽、灵活可靠的通道，可满足行业应用和专线业务等场景下小带宽、高隔离性、高安全性等差异化业务承载需求。

CBR业务承载技术

我们知道PTN在承载TDM业务时，将TDM业务进行仿真处理，添加伪线、隧道标签后封装为报文形式，并基于设备的分组交换进行业务调度，在业务出口再恢复为TDM的形式。也就是说虽然其端口仍然是TDM方式，但设备内部处理是分组方式，无法保证业务通道间的物理隔离，也无法保证业务的低时延、确定性时延等需求。

SPN的CBR（constant bit rate）业务承载技术，在接入TDM业务（如E1、STM-1等）时，端到端采用时隙码块方式，不涉及任何伪线、隧道标签的分组处理过程。SPN细粒度承载TDM业务时，先按照固定周期将业务流采用比特透明方式映射进入CBR业务容器中，再将CBR业务容器映射到FGU通道的Sub-slot时隙净荷中。这样，SPN的

SPN的细粒度硬切片、E1 CBR等技术的标准成熟，并在中国移动组织下完成了多次验证性测试、异厂家互通测试和现网试点，当前在中国移动现网已规模商用，承载了电力5G虚拟专网、大客户专线等业务。

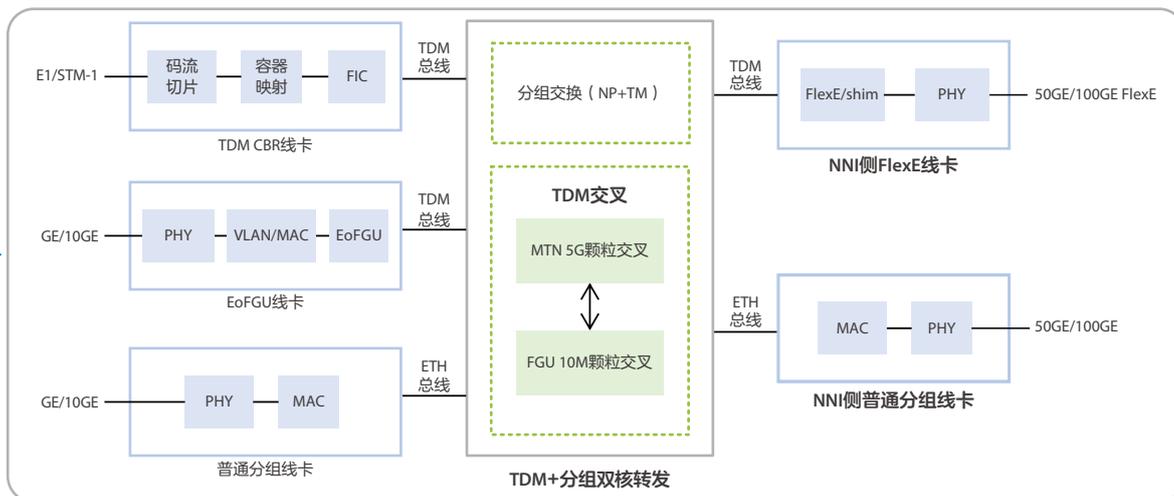


图1 SPN设备双平面转发架构示意图

CBR处理方式是业务透明的，和SDH类似，能减少业务处理时延，同时基于FGU通道提供业务的物理隔离特性。当CBR业务类型为E1时，容器总长度固定为15个码块，含开始（S0）码块、13个数据（D）码块和结束（T7）码块，容器最多可装载4路E1业务，不同E1业务之间可拥有各自的时钟频率，保证了不同E1业务之间的独立性。

SPN的CBR业务承载技术解决了原有的PWE3方式的软隔离的问题，既能保证业务带宽、误码性能，还能提供类似SDH的时延性能。

SPN设备内的隔离机制

当前，各主流厂家的SPN设备均实现了上述FlexE技术、66B码块序列交叉S-XC和MTN Channel切片通道技术、细粒度切片技术、CBR业务承载技术。典型的设备转发架构如图1所示，其架构上包含分组转发和TDM转发两个独立的平面，

支持TDM总线接口和以太网总线接口，分别对应TDM时隙转发和分组转发通道。SPN基于CBR方式，承载E1/STM-1等TDM业务，可以满足电力I/II区生产业务的物理隔离、低时延、确定性时延等要求；基于SR和VPN等分组技术可以满足电力通信III/IV区管理业务的大带宽、灵活高效转发等需求；基于EoFGU单板，提供分组业务的单板级物理隔离，类似于MSTP设备EOS单板的物理隔离机制，可以直接承载电力I/II区的以太网业务。

SPN的细粒度硬切片、E1 CBR等技术标准成熟，并在中国移动组织下完成了多次验证性测试、异厂家互通测试和现网试点，当前在中国移动现网已规模商用，承载了电力5G虚拟专网、大客户专线等业务。SPN的细粒度切片、E1 CBR，在国网、南网也进行了多次现网的验证性测试和试点，目前已经在现网承载电力调度数据网等业务。[ZTE中兴](#)

小型化SPN承载电力配网业务 创新实践

电力系统是一个集发电、输电、变电、配电和用电于一体的复杂系统，其中配电系统直接连接千家万户和各行各业，是新型电力系统中的重要组成部分，在落实国家战略部署、支撑社会经济发展、服务改善民生、推动能源转型等方面发挥着“主战场”“主力军”作用。国家发展改革委、国家能源局发布了《关于新形势下配电网高质量发展的指导意见》（发改能源2024 187号），意见指出“到2030年，基本完成配电网柔性化、智能化、数字化转型”。配电通信网是配电网重要的通信底座，是配电网建设的重要环节，随着新型电力系统的建设，配电通信网面临着多方面的挑战。

新型电力系统下配电通信网面临的挑战

新型电力系统下配网终端规模加速增长，且配电网终端业务场景复杂、数量庞大，具有点多面广、分布散、变化快的特点，对配电通信网带来挑战，主要包括：

- 配网多业务隔离性问题：配网业务需求多元化，如配网传统的生产控制类业务对吞吐量要求不高，但对通信传输可靠性和安全性要求较高，但随着配网业务的宽带化、IP化演变，大量视频类等管理信息类业务的出现，对传输带宽要求较高，对配网生产控制类业务造成一定的冲击，因此生产控制类业务和管理信息类业务需要严格的物理隔离；目前

配电通信网光纤专网采用工业以太网技术或EPON技术，这两种技术都不支持硬切片，无法满足配电通信网不同分区业务物理隔离的需求。

- 配网业务的实时性和可靠性问题：随着智能分布式终端大规模接入配网，差动保护的部署，除了传统南北向通信，对东西向通信也提出了需求，并且对确定性低时延和可靠性提出了更高要求：时延要求 $\leq 15ms$ ，可靠性提升到99.999%。
- 配网通信网络组网能力问题：现网EPON组网拓扑以链型组网为主，链上一般不超过8个站点，业务保护能力弱，根据配电网线路现状，对通信网络要求需具备组30个以上节点环形大网能力，提升网络保护能力。
- 运维效率问题：配网规模大，对业务快速部署、故障排查与恢复等多方面提出了更高要求，要求网络具备智能高效运维能力。目前主配网架构异构，以山东电力为例，采用“SPN/PTN+EPON”两种不同技术体制的层次化架构，无法实现端到端的运维管理，输变电和配电部署不同网管进行分段管理，运维难度较大。

SPN技术具有高可靠、低时延、大带宽的技术优势，电力骨干通信网已从PTN演进到SPN，并在电力系统发、输、变电环节成熟应用。将SPN技术下沉至中低压（10kV及以下）配电通信网，构建主配一体化通信网，可以解决上述问题。



牛金明
中兴通讯承载产品政企
市场规划经理

中兴通讯SPN承载配电通信网方案

中兴通讯提供业界首个支持10GE FGU (fine granularity unit) 交叉的小型化SPN，并联合山东电力在菏泽配电网进行了测试验证。小型化SPN设备具有小体积、大容量、即插即用等特点，可实现快速安装、灵活部署，满足配网终端快速增长的业务需求，同时大幅提升10kV光纤利用效率。

安全性方面，使用10GE细粒度技术 (FGU)，实现配电通信网不同分区业务的物理隔离，并满足电力业务“安全分区，横向隔离”的要求。

运维方面，SPN技术可实现配电通信和主网通信网络一体化，实现端到端业务部署及端到端故障定位。

经济性方面，建设成本每吉比特成本可降低90%；SPN主配一体化运维，只需维护一张网，每年可节省数十万的运维成本；配电网可靠性提升，大大减少停电对用户造成的损失。

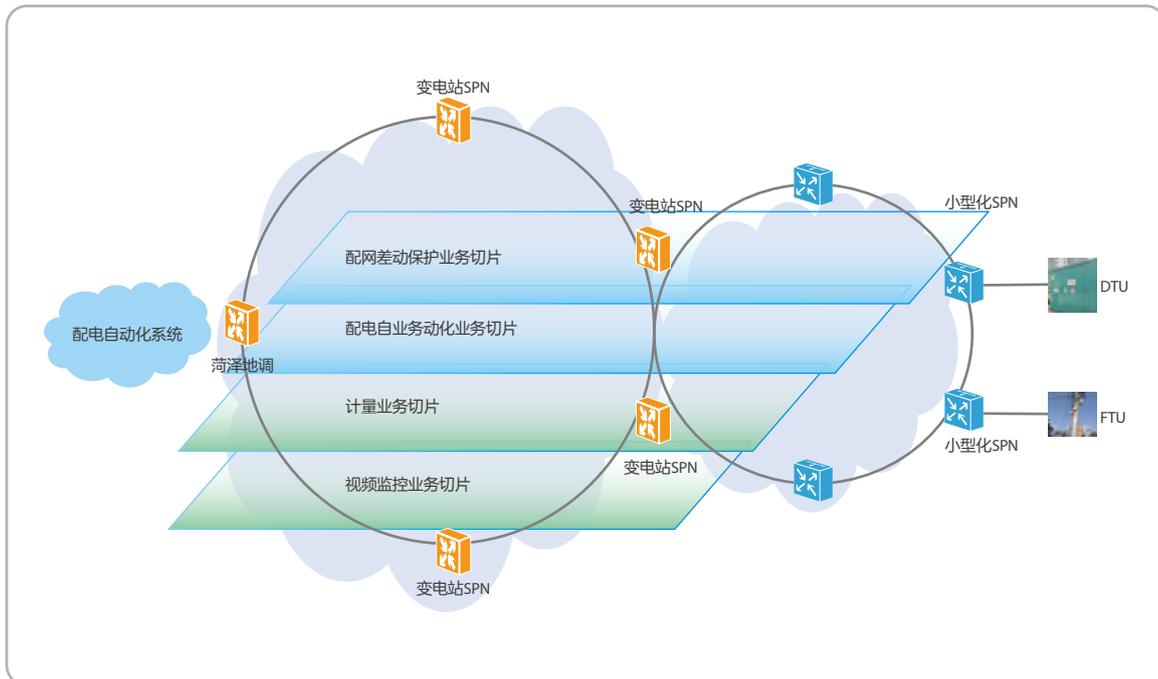
- 一网多用，切片隔离
新型电力系统下配电网业务具有多样化、异

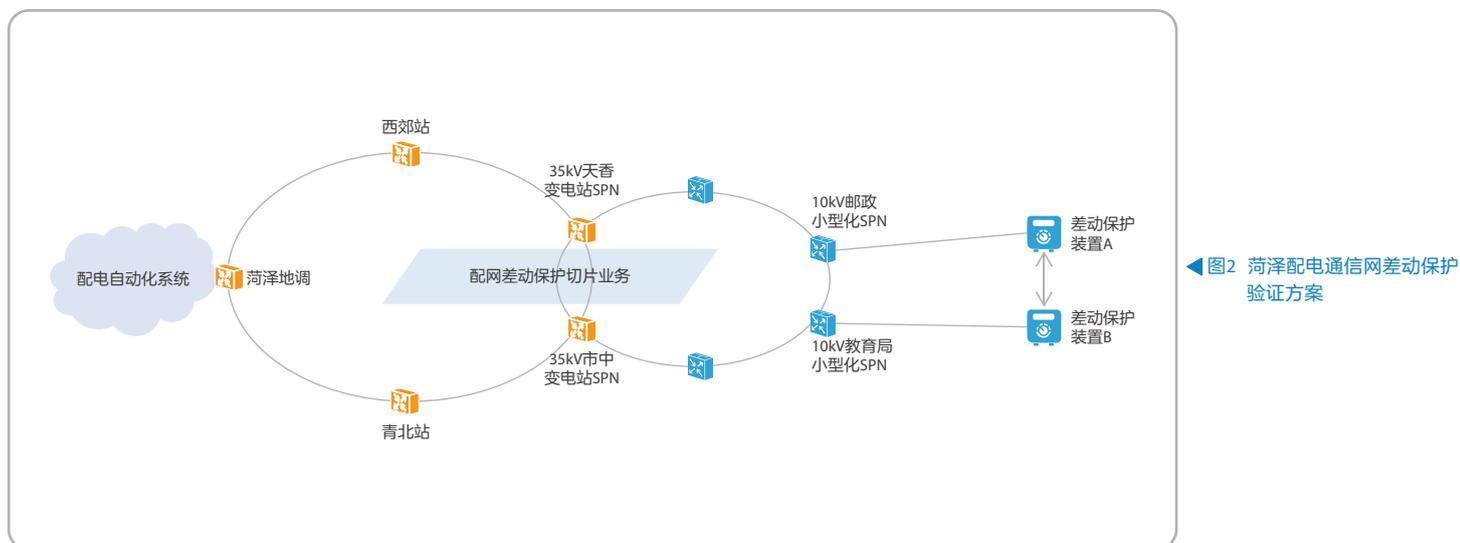
质化特性，SPN是业界唯一既支持硬切片又支持软切片的技术体制，可同时满足配网业务差异化SLA需求。中兴通讯为山东电力提供的配电通信网切片方案，划分为多个切片，分别承载配网差动保护、配电自动化、计量业务、视频监控等电力不同场景的业务，满足对通信网络的带宽、时延及安全性的差异化要求 (见图1)。生产控制类和管理信息类业务切片之间严格物理隔离，使得电力配网中的差动保护和配网自动化业务能够获得100%硬隔离保障，确保业务的稳定性和可靠性。

- 业务“永久在线”，安全可靠

配网差动保护作为一种重要的保护手段，对于提高电力系统的稳定性和可靠性具有重要的意义。差动保护是一种基于比较电网两端电流大小和方向的保护措施，用于快速检测和隔离电网中的故障。中兴通讯首创小型化SPN支持10GE FGU交叉功能，FGU技术和FGU交叉为配电网分布式差动保护业务提供端到端确定性低时延保证，并实现端到端I/II区业务与III/IV区业务隔离，为配网差动保护业务提供确定性低时延和“零”丢包、

图1 菏泽配电通信网切片方案





“零”误码、“零”中断的通道，同时具备三重保护机制，确保业务有路即通。

菏泽配电通信网差动保护验证方案如图2所示，实测时延 $<1\text{ms}$ ，完全满足东西向业务需求（时延 $\leq 15\text{ms}$ ，可靠性 $\geq 99.999\%$ ）。

- 跨长距传输、组大网能力

相比EPON技术方案（传输距离20km、8跳），中兴通讯小型化SPN单跳传输距离可达80km，并具备组30个以上节点环形大网的组网能力，满足配网组网需求，同时可节省主干光缆的纤芯资源，提升带宽和网络保护能力。

- 简化网络，可视化运维

实现配电通信和主网通信网络一体化，解决主配网两种通信网络技术体制异构带来的运维难题。中兴通讯智能管控系统融合了网络管理、网络控制和网络分析等功能，支持网络可视化，业务端到端部署和管理，能够自动感知业务状态，实现分钟级定界定位，为电力配网业务的稳定运行提供有力保障，运维效率提升70%以上。

试点效果

国网山东电力联合中兴通讯于2024年5月在

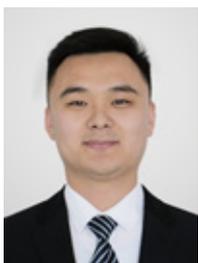
菏泽现网成功试点应用，取得了良好的社会效益和经济效益。

社会效益方面，中兴通讯小型化SPN在山东菏泽电力配网创新实践应用，构建主配一体化通信网，满足配电通信网不同分区业务物理隔离的需求，以及电力配网不同场景业务的差异化需求，保障电力系统的安全性。SPN技术可实现配电通信和主网通信网络一体化，实现电网的智能监控和管理，保障电力配网业务的稳定运行，提升配电网运行效率，提供更为优质、高效的电力服务，为电力行业的可持续发展提供有力支持。

经济效益方面，建设成本相比EPON或工业以太网技术，方案可节省OLT设备投资，减少大量光缆的敷设，以菏泽电力为例，可直接节省数百万元的OLT设备投资，同时，部署小型化SPN，带宽从原来的GE升级到10GE，使每吉比特成本降低90%；运维成本方面，SPN主配一体化运维，只需维护一张网，每年可节省数十万的运维成本；此外，配电网可靠性提升，降低了用户和企业因电力问题导致的生产成本和损失。

中兴通讯小型化SPN在山东菏泽电力配网成功试点的基础上，将持续与国家电网、南方电网开展更多的试点应用，为电力配网业务的稳定运行保驾护航。ZTE中兴

面向地铁的SPN承载方案和应用



孙华盛
济南轨道交通集团有限公司部长



何伟
中兴通讯承载产品规划经理

地铁作为现代城市交通的重要交通工具，其运营依赖于各业务系统的高效协同。中兴通讯SPN（Slicing Packet Network）端到端承载解决方案，为地铁各业务系统的高效协同提供通信保障。

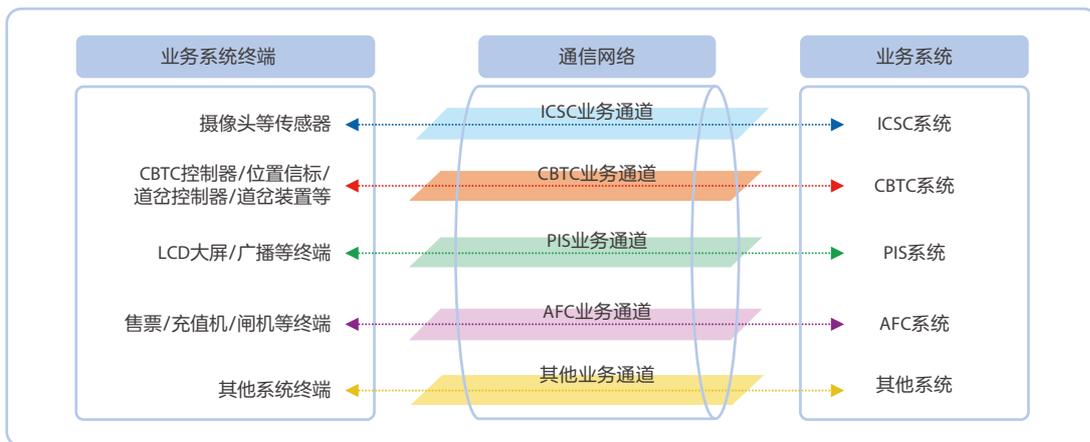
地铁各业务系统网络需求

为确保列车运行安全高效，乘客服务优质便捷，运营管理智能精细，地铁各业务系统的网络需求高度集成且多元化（见图1）。ICSC（Integrated Command Support Center）系统需要监控地铁运营中的多个子系统，包括环境、电力、安防等，对带宽的需求较高，同时要求传输的低时延特性，以便及时发现和处理异常情况；CBTC（Communication Based Train Control System）系统需要实时掌握传输列车的位置、速度、方向等关键信息，并根据列车状态控制列车速度和轨

道道岔的控制命令等，对传输时延的要求极为严格；PIS（Passenger Information System）系统需要高带宽来支持多媒体信息的实时传输，包括视频、音频、图像和文字等，特别是在列车运行中，车载设备需实时接收来自地面运营中心的节目，并在车厢显示屏上播出，这不仅对带宽提出了较高要求，也要求极低的时延来确保信息的及时性和准确性；AFC（Auto Fare Collection）系统主要进行地铁售票、检票、计费、收费、统计、清分管理等票务数据的传输和处理，对带宽和时延的需求相对适中；其他系统如电话系统和时钟系统，对带宽要求不高，但对时延抖动的要求非常高。

中兴通讯SPN承载解决方案

针对地铁各业务系统对通信网络差异化的传输要求，中兴通讯推出融合了TDM（time division



▲ 图1 地铁各业务系统与通信网络的交互示意图

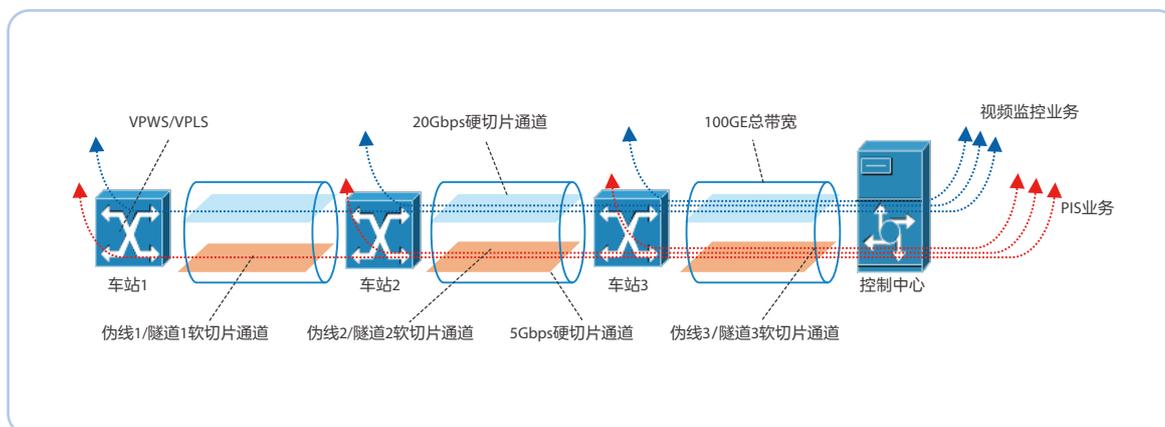


图2 SPN硬切片和软切片组合承载示意图

multiplexing) 和分组交换功能, 支持超大带宽、融合硬切片和软切片的SPN端到端承载解决方案, 为地铁各业务系统的高效协同提供通信保障。

层次化的粗细粒度硬切片技术

SPN提供以原生以太网64B/66B码块为原子单元、按 $n \times 5\text{Gbps}$ 时隙进行间插交织和单级复用的粗粒度硬切片MTN (metro transport network) 技术, 以及在粗粒度硬切片的单个 5Gbps 时隙中再按 $n \times 10\text{Mbps}$ 时隙进行间插交织和两级复用的细粒度硬切片的FGU (fine granularity unit) 技术。

在地铁场景应用中, 一般将无线通信系统、通信电源监控等 1000Mbps 以下带宽的业务通过1个 5Gbps 带宽的MTN粗粒度切片中 $N \times 10\text{Mbps}$ 带宽的FGU细粒度切片进行承载, 确保硬管道下的物理隔离, 并满足业务的低时延传输要求; 将视频监控业务、乘客信息系统、办公自动化系统、自动售票系统等 1000Mbps 及以上带宽的业务, 通过 $N \times 5\text{Gbps}$ 带宽的MTN粗粒度切片承载, 在高效合理安排带宽资源的情况下, 保障各业务系统的信息传输刚性隔离。

无缝结合的硬切片和软切片技术

由于层次化硬切片技术的原子单元是原生以太网的64B/66B码块, 因此在接口层面经过TDM时隙化处理产生的MTN或FGU硬切片带宽中, SPN

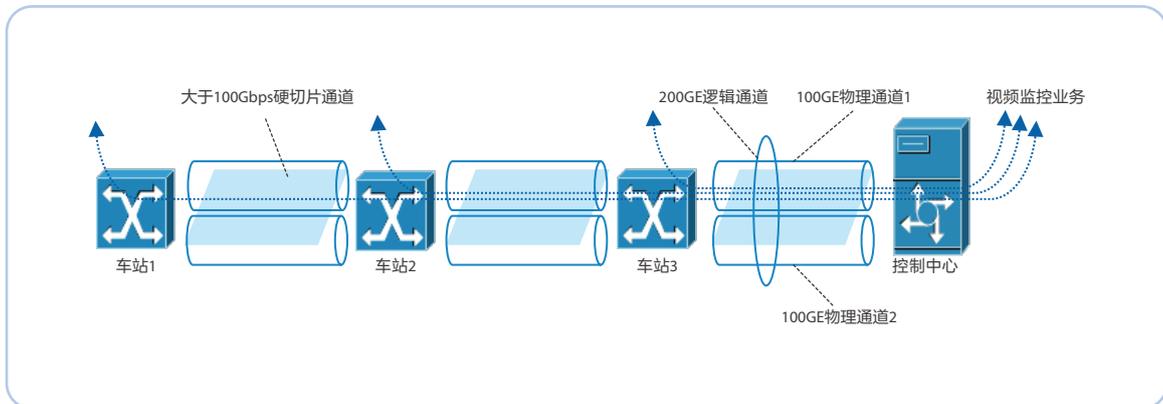
既可将硬切片内的64B/66B码块直接按照时隙编号的固定顺序在物理层进行序列化转发, 实现端到端的硬切片, 又可将硬切片内的64B/66B码块无缝地向分组层进行报文重组, 继承原生以太网分组层的QoS (quality of service) 技术, 实现逐跳分组处理的软切片。通过软硬切片的无缝结合, 在保证不同类型业务之间刚性隔离的同时, 提高硬切片内带宽利用率, 如图2所示。

在地铁场景应用中, 一般在 100GE 的物理端口总带宽上, 首先通过物理层的硬切片技术为不同类型的业务分配独占带宽 (如视频监控业务分配 20Gbps 、PIS业务分配 5Gbps 等), 实现各类型业务之间的硬切片隔离。然后在相同类型业务独占带宽的分组层上, 通过基于伪线/隧道的MPLS-TP (multiprotocol label switching-transport profile) 技术来承载来自各车站相同类型的业务, 实现来自不同车站相同类型业务的软切片隔离。最后在各车站, 基于VPWS (virtual private wire service) 和VPLS (virtual private LAN service) 两种技术方式实现各车站业务的接入。

灵活的超大带宽

SPN基于原生64B/66B码块进行TDM时隙化处理的MTN技术, 不仅能实现针对单个物理端口的硬切片隔离, 也可针对相同速率的多个物理端口进行物理层的逻辑捆绑, 实现MTN硬切片的超大带宽特性, 即一条MTN硬切片所使用的时隙可以

图3 SPN MTN跨多PHY捆绑示意图



分布于捆绑组内的不同PHY (physical layer) 上，如图3所示。并且，当其中一个PHY出现故障时，故障PHY及其包含的时隙被移出捆绑组，与故障PHY链路无关的MTN硬切片仍然可以使用正常PHY的时隙传输数据，不受影响。

在地铁场景应用中，网络线路侧一般采用100GE组环，基于MTN和FGU技术为地铁各业务系统提供多个 $N \times 5\text{Gbps}$ 或 $N \times 10\text{Mbps}$ 灵活且刚性隔离的硬切片通道；针对采用 $2 \times 100\text{GE}$ 组环（如广州地铁某业主项目），基于MTN技术在两个100GE物理端口上进行TDM时隙化处理的跨多PHY捆绑技术，为地铁各业务系统的信息传输提供一个总计200Gbps带宽的逻辑通道，实现线路侧带宽平滑升级到200GE。未来地铁建设运营统一智慧平台，传输系统将要承载智慧运维、智慧出行、智慧车站、智慧段厂、智慧行车、智慧调度、智慧经营等业务，SPN线路侧200Gbps超大带宽，将为智慧平台建设提供充分的通道保障。

完善的网络保护

相比传统SDH/PTN技术，SPN具备更多层次的网络级保护能力，在分组层的伪线/隧道软切片各子层，不仅支持基于APS (automatic protection switching) 的快速保护倒换技术，以保障保护倒换过程中的业务损伤时间低于50ms，也支持基于控制器全局计算的重路由保护倒换技术，可以达到类似ASON (automatically switched optical network)

的永久1+1保护效果；在物理层的MTN/FGU硬切片各子层，同样支持基于APS的快速保护倒换技术，且由于采用了使用以太网空闲帧按 $N \times 64\text{K}$ 码块为周期的OAM (operation administration and maintenance) 处理技术，在确保物理端口线速和安全频偏范围的情况下，使得保护倒换过程中的业务损伤时间相比分层技术降低3个数量级，达到微秒级别。相比传统SDH/PTN，SPN新增的基于控制器全计算的重路由保护技术和MTN/FGU通道级保护技术具备了更可靠、更高性能的能力，保障了地铁业务的高安全性和高可靠性。

在地铁场景应用中，分组层的保护一般仅在隧道子层部署同源同宿的1:1路径保护，这类网络保护主要面向单控制中心部署的业主（如广州地铁某业主项目），但也有在伪线子层部署同源多宿的1:1路径+节点保护的情况，这类网络保护主要面向双控制中心部署的业主（如济南地铁4号&8号线项目），使得当主用控制中心故障时，各车站的业务还能迅速切换至备用控制中心，以确保地铁各业务系统的持续正常运转。物理层的保护一般在MTN/FGU子层部署同源同宿的1+1路径保护，这类网络保护主要面向地铁各车站公务电话和控制中心调度电话业务的网络级保障场景。

超高精度的1588时间同步

由于SPN是基于原生以太网扩展的技术，可



从2021年至今，中兴通讯SPN承载方案已广泛服务于国内12个城市约30余家地铁业主的专用通信系统，网络规模累计达500端。

根据以太网4B/5B、8B/10B及64B/66B等物理层的编码规律提取时钟信息，天然支持同步以太网功能，实现稳定可靠的频率同步。同时其也遵循IEEE 1588协议规范提供PTP（precision time protocol）功能，可在频率同步的基础上实现高精度的时间同步，为地铁各业务系统提供必需的同步信号。为了更进一步提高时间同步的准确度，SPN优化了接口时间戳处理流程，将时间同步算法的原子信息（主、从节点交互的4个时间戳）处理从原来的TCP/IP协议栈链路层下探到了物理层，排除了物理层码块流串并转换过程引入抖动的干扰，将每设备节点的时间同步精度提升了一个数量级，达到了 $\pm 5\text{ns}$ 的超高精度。

在地铁场景应用中，大部分业主采用1588+GPS/北斗主备双接入的部署方式为各车站的业务系统进行授时，也有少部分业主（如广州地铁某业主项目）直接采用1588单接入的部署方式为各车站的业务系统授时。相比于GPS/北斗，1588有三方面优势：第一，避免了车站部署GPS/北斗时需要在地面占地围栏和钻孔安装天线的问题，可显著降低设备投资和施工难度；第二，1588工作的物理介质是光纤，其抗环境干扰的能力更强，而且1588工作协议天然适应多种组网结构，使得网络扩容时无需对现有系统进行大规模改造，其灵活性和可扩展性更强；第三，基于1588的便捷部署和分析工具，具备全局合理规划主备同步路径，以及自动进行非对称时延补偿的能力，可显著降低对维护人员的使用门槛。

智能管控

中兴通讯新的UME（Universal Management Engine）管控系统融合了网络管理、业务控制和网络分析等功能，是实现网络资源池化、网络连接自动化和自优化、运维自动化的核心使能系统。基于中兴通讯UME管控系统，SPN网络实现了网络集中管控、全网策略统一、端到端全网可视、智能运维，运维效率得到提升。全网资源统一管理，实时可视，从业务、隧道连接、容量、站点等多维度可视化分析现网资源信息，精准定位网络资源瓶颈；基于SDN（software defined network）技术，支持集中算路，业务发放时计算最优路由，业务恢复时避免资源冲突造成重路由失败；支持一键式自动化快速部署，支持业务的端到端质量检测机制，提供通信故障智能诊断、通道带宽自动优化调整等功能，为地铁智慧运营提供强有力支撑。

从2021年至今，中兴通讯SPN承载方案已广泛服务于国内12个城市约30余家地铁业主的专用通信系统，网络规模累计达500端。其中济南地铁4号&8号线项目是全国首个多条线路车站共享双控制中心、组网规模最大的SPN地铁专用通信传输网，将成为多线路共享双控制中心、大规模组网的SPN样板局，为后续有类似建网需求的其他地铁业主提供重要参考依据。

未来，中兴通讯将持续为轨交市场各业主的通信传输网络运营提供全面技术保障，全力打造精品轨交网络。ZTE中兴

面向5G-R的下一代铁路SPN

综合承载方案研究



高原
北京全路通信信号研究
设计院集团有限公司
工程师



李云龙
中兴通讯承载产品规划
经理

近年来，中国移动在全国各省市对SPN进行大规模部署，实现5G公网的覆盖，现网设备存量超过100万端，部署规模远超其他5G承载方案。同时SPN技术由于其良好的刚性隔离能力及专线应用能力，已推广到电力、地铁、高速、矿山等生产专网，成为垂直行业可选的优秀解决方案，具备强大的产业链和生态规模。SPN技术经历了运营商大规模的5G业务承载商用，以及地铁等行业的应用承载验

证，主要的核心标准由中国引领，是面向铁路5G-R的最佳承载方案。

铁路5G-R应用对承载网带来新的挑战

随着5G-R系统研究规划试验的不断推进，现有承载网难以满足新需求。根据铁路应用场景中的业务特点及承载网发展规划，下一代承载网除了要满足5G-R业务的承载外，还需要满足铁路其



▼ 表1 5G-R多业务模型

类别	通信模型	优先级	业务流向	业务连续性要求	带宽(单用户)	业务类型及场景
语音类	模型1	0	车<—>地 地<—>地	要求连续性	不大于32kbps, 上下行对称	紧急呼叫
	模型2	1	车<—>地 车<—>车 地<—>地	要求连续性	不大于32kbps, 上下行对称	行车相关
	模型3	2	车<—>地 地<—>地 列车	要求连续性	不大于32kbps, 上下行对称	非行车相关
数据类	模型1	1/2	车<—>地 车<—>车	要求连续性	不大于150kbps	行车安全、行车信息、应急、运营维护报警及控制
	模型2	4	车—>地 地<—>地	允许断点续传	不大于512kbps, 上行为主	运营维护检测监测
	模型3	4	车<—地	允许断点续传	不大于1024kbps, 下行为主	运营维护车载远程数据更新、运营维护作业指导
视频类	模型1	5	车<—地 地<—>地	要求连续性	不大于1024kbps	行车安全视频信息及应急视频的传送
	模型2	2/3	车<—>地 地<—>地	边缘处可降为语音	不大于1024kbps, 上下行对称	调度及应急视频通信
	模型3	4	地<—>地	边缘处可降为语音	不大于1024kbps, 上行为主	运营及维护视频通信
	模型4	5	车—>地 车<—地	允许断点续传	不大于1024kbps, 上行或下行为主	运营维护视频传送

他业务的承载,如调度通信、信号联锁相关业务及电力SCADA业务等。因此,面向5G-R的铁路下一代通信承载网一定是一张面向铁路多专业多业务的综合承载网。

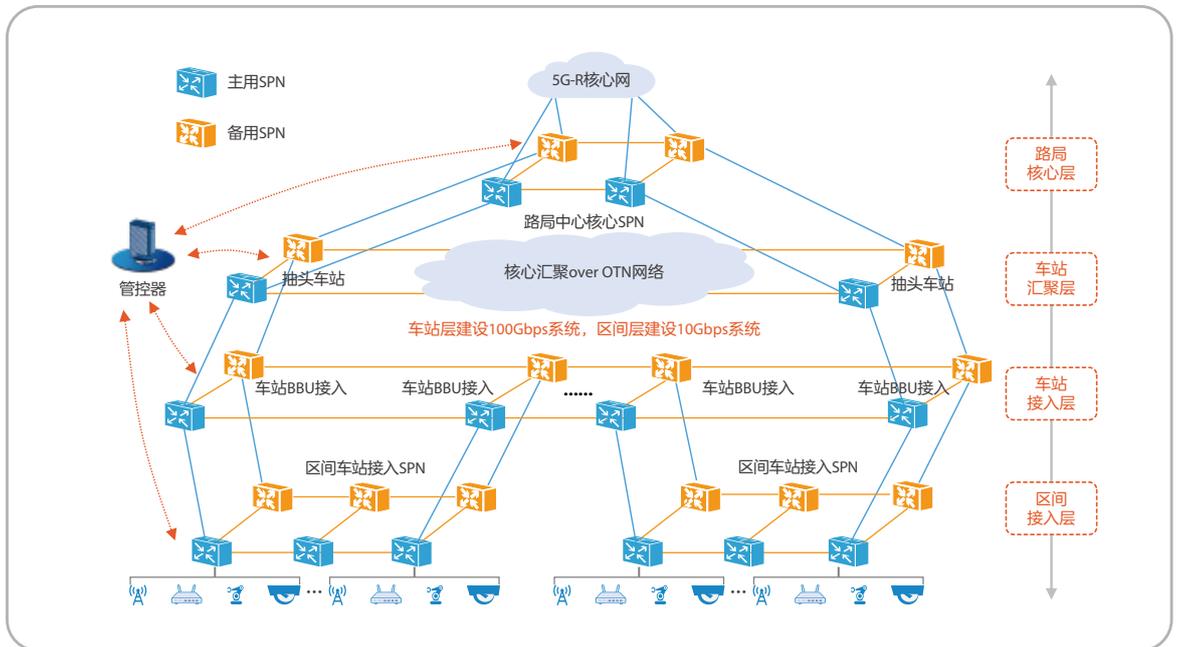
当前的铁路承载网在业务承载能力、东西向业务调度能力、智能运维管理及业务敏捷部署等方面能力较弱,难以满足新需求。随着相关业务和服务能力的组件模块化,铁路通信承载网面对的不再是单一业务的应用要求,而是组件化、统一化的综合应用需求。5G-R承载网需要具备的特征包括大带宽、超低时延、高精度时间同步传送、海量连接、灵活组网调度、高效软硬管道切片能力、敏捷业务部署、网络级的分层OAM和保护能力、高可靠性、智能管控、智能运维等,因此,铁路5G-R需要承载网面向资源灵活配置和敏感度差异化的多种不同业务,提供传统的ICT服务、网络切片、网络安全等多种灵活适配性强的网络服务。

铁路通信承载网包含传输网和数据通信网。数据通信网主要承载了铁路信息化数据业务及非

涉及行车的监测业务等,主要应用系统有铁路运输管理信息系统、综合视频监控系统、铁路信号集中监测系统等等系统。传输网主要承载行车相关业务及有刚性需求的专线业务。在5G-R时代,目前基于2100MHz的铁路5G-R主要承载与行车相关的业务,分为行车指挥及控制、运营维护两类,其需要具备一定的刚性和确定性的网络要求。根据铁路5G专网业务和功能需求规范,5G专网业务数据类型包括语音、数据、视频。叠加应用业务场景后,又分为调度、行车、运维及应急的语音通信、数据传送和视频传送等;5G-R业务流向分为车地、车车、车厢和地面4类;5G-R优先级要求,根据与行车安全的相关程度,将各类铁路移动通信业务按照业务数据类型及场景划分不同的应用优先级级别,对于高优先级业务,无论网络是否拥塞,5G-R都应优先保障。5G-R业务模型如表1所示。

面向5G的网络切片是提供特定网络能力的、端到端的逻辑专用网络。一个网络切片实例指满足特定网络功能和性能要求的一组物理或虚拟资

图1 5G-R SPN综合承载网示意图



源的集合，由无线、承载和核心网的子网络切片实例组成，并通过网络切片管理功能实现端到端切片的管理。

综合考虑，针对5G-R不同类型和优先级的业务可以通过网络切片和优先级的结合运用实现差异化服务。同时考虑到铁路专网高安全的特性需求，这就要求面向5G-R的下一代承载网既要具备多业务灵活接入能力，又要具备端到端硬管道的刚性隔离能力，以及面向未来智慧铁路新型业务加载的高扩展性和高可靠性。

SPN面向5G-R的综合承载方案

铁路通信应用场景对面向5G-R的下一代承载网提出了综合承载的相关能力要求，SPN兼备L1~L3的特征能力，具备综合承载的本征特性。基于转发多平面分离的架构，SPN的分组平面可以通过统计复用的方式有效解决L2~L3业务的承载，同时CBR平面可以支持E1、STM-1等CBR固定速率业务的承载功能，不仅能满足5G-R的回传需求，还可以满足铁路调度通信、GSM-R以及公安等专线业务的可靠传输需求。基于SPN的5G-R承

载网络不仅适用于基站至核心网/MEC、基站之间通道，还可以满足铁路区间业务拉回至车站的业务承载，能有效满足不同应用场景承载需求，典型组网如图1所示。

SPN多业务综合承载方案

在铁路5G-R承载场景下，SPN凭借其L1~L3的灵活调度能力，可以实现多业务的综合承载。

- 高安全生产类业务承载

采用N×10M细粒度硬管道承载小带宽生产类业务（包括以太网业务和E1 CBR业务），可实现业务间的硬管道隔离以及带宽无损调整。
- 5G-R回传业务承载

基站Xn业务采用SR-BE隧道承载就近转发快速终结，满足突发业务的低时延快速转发和灵活连接；基站NG业务利用SR-TP隧道，结合其丰富的OAM和双向路径一致的特性，为业务提供隧道层的保护及标识，结合切片技术，实现业务隔离的同时实现流量的灵活调度和快速转发。

针对三层业务，采用基于SR-MPLS的L3VPN承载，业务之间支持N×10M/N×5G软/硬切片隔离或基于隧道层面的业务隔离。

针对二层业务，采用基于SR-TP/MPLS-TP的L2 VPN承载，利用E-Line、E-LAN、E-Tree技术支持点到点、点到多点、组播业务，业务之间支持N×5G/N×10M软/硬切片隔离或基于隧道层面的业务隔离。

● 一般分组业务综合承载

一方面可以采用L2/L3VPN技术承载IP分组业务，采用端口切片及L3VPN灵活调度实现视频等大带宽数据业务的承载及SLA保障，设置为A平面。另一方面，对某些重要的数据通信网业务，考虑到SPN也具备L3分组交换能力，可以在SPN承载网上设置逃生业务路径，设置成B平面。因此面向较为重要的分组业务时，如既有通过传输网承载的（承载在A平面）铁路客票业务，未来客票系统7.0业务将逐步迁移至数据通信网承载，可通过这种A/B平面互为备份的网络架构来提高业务的可靠性及容灾的鲁棒性。正常工作时A/B平面相互独立运行，如果单一网络平面出现大面积故障时，A/B平面又可以互为备份保护，更好地保障此类重要业务的可靠性及安全性。

● 传输特性的集中管控

采用SPN集中控制器实现网络的智能运维与管控。

综合承载切片方案

根据上述铁路承载业务分析，分别将汇聚层、接入层SPN设备按业务类型划分切片，可考虑使用100G MTN接口划分细粒度N×10M切片或大颗粒N×5G切片，以确保不同SLA级的业务按需分别承载于独立的网络切片中，并提供独立的保护通道。行车控制、调度通信、移动客票、视频图像、检测监测等业务对安全性、可靠性等要求不同，可以在SPN网络中构建不同的切片通道，对于行车控制、调度通信等重要业务采用独立的硬切片通道承载，引入S-XC或FGS-XC交叉功能实现基于L1的调度交叉模式，构造端到端的硬管道，保证业务通道的硬隔离和物理安全；对于其他业务可采用隧道over MTN接口（软切片方式）共享硬管道，提高业务通道的承载效率。

基于SPN的铁路承载网络切片划分方案建议见表2。

▼ 表2 SPN网络切片划分建议

切片名称	切片特性	业务承载方式	承载业务类型	场景示例
统计复用切片	统计复用，区分优先级服务	L2VPN over SR-TP，不配置CIR（或配置CIR<PIR），共享切片内FlexE/MTN N×5G带宽 配置在PW上，开启CAC	业务等级低，实时性交互性要求低	维护管理类，非行车相关的语音业务、运营维护车载远程数据更新、运营维护作业指导业务等
软隔离切片	软隔离，保障带宽，区分优先级服务	L2VPN over SR-TP，配置CIR=PIR，共享切片内FlexE/MTN N×5G带宽 配置在PW上，开启CAC	业务质量要求较高，带宽有一定保障	运营监测类，如运营维护检测、运营及维护视频通信、运营维护视频传送业务
硬隔离切片	硬隔离，固定带宽，低时延抖动，提供确定性网络能力	L2VPN over MPLS-TP/SR-TP over FlexE/MTN N×5G或细粒度（N×10M）Channel通道 配置在AC侧	对业务隔离性或确定性网络有一定要求	行车指挥及控制类业务，如紧急呼叫/行车相关语音业务、行车安全、行车信息、应急、运营维护报警及控制类相关业务等

注：业务承载方式中，L3VPN一般不配置CIR、PIR；如有需要，配置在AC侧

SPN技术在细粒度切片灵活承载、确定性低时延和抖动、高精度时间同步及频率同步能力、高可靠网络保护恢复能力等方面优势明显，同时又能支持动静结合的L3业务，使其具备优秀的综合承载能力，为铁路5G-R承载提供优异的解决方案。

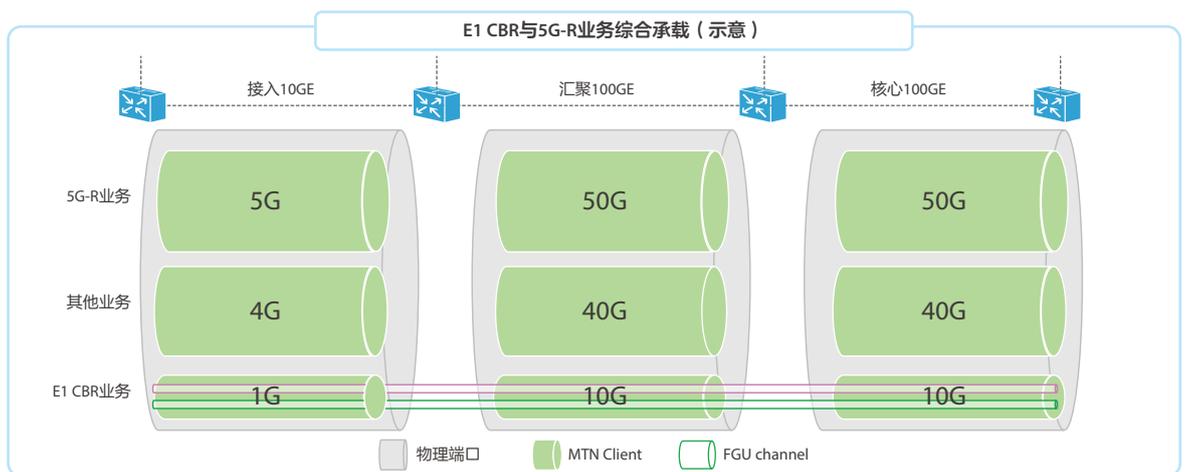


图2 SPN承载的E1 CBR与5G-R业务的切片示意图

基于SPN的E1 CBR业务与5G-R业务切片综合承载方案如图2所示，业务在SPN网络的网络侧可以是完全相同的路径，实现综合承载。实际为满足不同类型业务的需要，如弹性分组复用型、CBR高隔离要求型，可通过在SPN网络中部署切片，利用切片间物理隔离的特性，实现综合承载。

综合承载方案举例建议说明：

- 1个100G线路侧端口，部署3个切片，配置切片带宽为50Gbps、40Gbps、10Gbps，其中50G带宽切片用于承载5G-R业务，10G带宽切片用于承载E1 CBR业务，40G带宽切片用于承载其他类型的业务，每个切片带宽可根据工程实际情况及业务需求灵活调整。
- 5G-R业务属于分组业务，其中NG业务为南北向流量，Xn业务为东西向流量，可采用逐跳的切片技术。
- E1 CBR业务属于固定速率业务，通常为专线业

务，可以采用端到端的FGU channel来承载。

SPN是铁路5G-R综合承载的优异解决方案

随着国铁集团主导的5G-R研究规划以及东郊环行铁道5G专用移动通信系统技术试验的不断推进，SPN技术的5G-R承载能力在实验室验证阶段得到了验证。经过前期国铁集团主导的环形道静态测试、动态测试的验证证明，SPN技术具备为5G-R和传统铁路通信业务提供支持L1~L3的综合承载服务的能力，结合5G-R差异化需求，从承载网技术路线演进的角度分析，SPN技术在细粒度切片灵活承载、确定性低时延和抖动、高精度时间同步及频率同步能力、高可靠网络保护恢复能力等方面优势明显，同时又能支持动静结合的L3业务，使其具备优秀的综合承载能力，为铁路5G-R承载提供优异的解决方案。ZTE中兴

矿用新型SPN工业环网， 助力打造智能化矿山

SPN (Slicing Packet Network) 技术首次在以太网中引入采用层次化硬切片的机制，并融合MPLS VPN及SRv6等分组技术，同时具备硬切片的安全隔离能力和软切片的灵活接入能力，一网多用，为行业专网提供灵活带宽、高隔离性、高安全性等差异化的承载服务。在矿山领域，2020年3月由国家发改委、能源局、工信部等8部委联合印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》以来，矿山智能化建设进程快速推进。SPN技术为矿山企业打造“井上井下一张网”的新型工业环网，成为矿山智能化发展的基石，目前已在近百个大中型矿山部署。通过几年的建设实践，矿用SPN工业环网无论从方案还是产品上都在不断丰富创新，日益完善。

新型SPN工业环网广泛承载5G、视频、生产控制、安全监测等矿山相关业务，本文将结合业务需求详细介绍SPN工业环网的关键进展。

更丰富的业务承载方式

传统矿用工业环网主要采用交换机二层组网，网络部署及业务接入相对简单，依靠MAC地址洪泛学习来进行报文的转发。该方案存在较明显的问题，如容易触发L2层的广播风暴，影响面大，导致多个系统的业务受损。而交换机环网是通过一个弱网管系统管理，只具备基本的配置和查询功能，故障定位困难。

5G作为矿山的新型业务接入方式，因其大带宽、便捷接入、高可靠性等特性得以广泛应

用。5G通信涉及去往核心网、MEC的南北向流量以及基站之间交换的东西向流量。基于IP的L3VPN是5G回传网的主流承载方式。

SPN提供端到端的L2VPN、L2VPN+L3VPN桥接以及端到端的L3VPN三种业务方案。

- 端到端的L2VPN在SPN网络中只做L2透传，与CE路由器配合完成L2和L3的业务转发；SPN配置相对简单，但需要与CE路由器配合。
- L2VPN+L3VPN桥接的方案，用于IP部署不规整同时整改困难的场景，常见于已经投产且生产端设备IT改造困难的老旧矿山。通过该方案，SPN网络同时提供了L2接入和IP转发的能力。
- 端到端的L3VPN方案，统一了5G回传及各类生产业务的承载方案，部署简单，维护便捷。该方案对IP规划提出了较高的要求。对于新矿，推荐使用该方案。

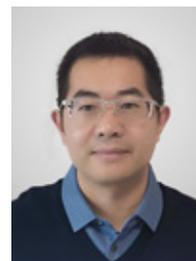
对于上述三种方案，SPN均提供线路侧保护和节点保护，保护倒换时间在50ms以内，极大地提升了网络的健壮性和业务安全性。

更灵活的细粒度切片

SPN同时具备FlexE硬切片和基于分组的H-QoS软切片。SPN在FlexE技术基础上做了进一步扩展，不仅支持5G粒度的硬切片，还支持基于5G粒度切片的时隙交叉功能。在分组软切片技术上，SPN可以支持端口、VLAN子接口、隧道、伪线等多个级别的层次化QoS调度，从而实现多个级别的业务软隔离，提供严格的优先级调度和一



黄友胜
中煤科工集团重庆研究院
有限公司副研究员



周华东
中兴通讯承载产品规划
经理

定的带宽保障。

在矿山SPN工业环网中，一般根据业务的隔离要求、业务对网络带宽时延的要求等维度，把SPN环网划分为5个左右的切片，比如5G回传切片、一网一站切片、视频监控切片、综合监测切片、工业控制切片等。

在实际应用中，存在带宽较小（100Mbps以内），同时又有隔离性要求的业务，比如不同系统的工业控制、不同部门要求的安全相关的监控监测，这就给网络提出了细粒度硬切片的要求。

SPN细粒度技术（fine granularity unit, FGU）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，以满足包括矿山在内的多场景中中小带宽、高隔离性、高安全性等差异化业务的承载需求。

FGU具备的特征和能力包括：

- 带宽精细化，高效匹配各类型业务带宽需求：带宽颗粒度为10Mbps，实现灵活的任意N×10Mbps带宽分配；1个FlexE 5G切片可以划分为480个10Mbps细粒度切片。
- 低时延和低抖动特性：TDM时隙交叉，不感知细粒度业务报文信息，保证确定性低时延。细粒度业务独占TDM通道时隙资源，抖动远小于1μs。
- 每一条细粒度通道提供独立和完善的OAM能力。OAM码块随路插入每一条细粒度通道，提供该通道的连通性检测、故障和性能监测能力，保证50ms以内的保护倒换。
- 在线通道带宽无损调整能力。支持在用户业务正常传输时对细粒度硬管道进行增大或者减小的无损带宽调整，带宽和时隙资源分配更加灵活。

更精准的时间同步网

随着技术的融合发展，时间同步是网络侧和终端侧的刚性需求。网络侧以5G基站为例，分场景有1.5μs、300ns、130ns等多种不同的时间

同步精度要求。终端侧是矿山智能化建设中数据的重要来源。智能化矿山要求打通各种数据，做到数据共享、数据关联分析、数据价值挖掘，这就要求这些数据有一个统一的尺子：时间同步。传统工业环网无法提供高精度的时间同步网，新一代的矿用新型工业环网必须具备精准的时间同步功能。

- 超高精度。SPN设备可以提供单节点±5ns的超高精度时间同步，支持同步链路20跳，满足长径的组网要求。
- 中兴通讯SPN设备6120H-C可以兼做时间源服务器，集成了全GNSS并发接收、精密时钟算法和本地时钟，集抖动衰减和时钟再生为一体，可提供多路频率同步接口、1PPS+TOD接口和PTP网络端口。
- 智能时钟技术，为超高精度同步网的运行维护提供支撑。核心功能包括：同步网自动规划、图形化动态同步状态查询、同步运行状态检测和分析以及智能故障定位等。
- 大规模商用。SPN时间同步网在运营商网络、政企专网等广泛部署。在运营商的部分网络中，SPN时间同步网已作为5G基站的主时间源，为5G提供可靠精准的时间。

更全面的SPN设备类型

以赫斯曼交换机为代表的交换机环网，主要有两种型号，根据接入容量分别定位为骨干环网核心交换机和接入交换机。业务系统或者通过直连骨干网，或者通过低成本的盒子交换机进行一次汇聚后连接骨干网。

矿用SPN工业骨干环网定位于一网多用，综合承载5G及矿山多个系统的业务，对设备的端口数量、槽位数量、交叉容量以及安全性都提出了更高的要求，典型的相比千兆工业环网，带宽提升了100倍。设备能力增强的同时，体积、功耗也有一定程度增加，这给防爆箱散热以及工程安装带来了一定的挑战。

面对挑战，SPN矿用设备类型不断丰富，除了

已有的3U框式设备外，增加了1U 100GE、1U 10GE两种规格多款隔爆型设备以及规划中的本安型SPN设备。在矿山环网建设时，可以因矿制宜，根据矿山大小、业务多少来选择合适的设备型号。中兴通讯矿用新型SPN工业环网产品系列如图1所示。

新增的小型化SPN设备除了作为中小型矿山的骨干环网设备，还可以用作连接生产设备和骨干环网的中间设备，对业务进行汇聚，减少纤缆的部署距离。通过SPN网络实现了业务端到端的承载，单一网管系统即可管理，业务开通便捷，维护简单高效。

同时，中兴通讯与合作伙伴一起，深入研究设备以及隔爆箱的结构，进行多次改善，较大提升了隔爆箱的散热性能，为隔爆箱SPN在矿山的部署创造了更好的条件，提升了设备的安全和稳定性。

更智能的网络管控

随着智能化矿山的建设，网络安全和生产安全、生产效率密切相关，提升网络可用性、易用性是基本要求。加之SPN功能本身较之传统交换机极大丰富，也一定程度增加了对矿山通信人员的技能要求，亟需更加智能的网络管控系统，来提升网络建设和维护效率，保障网络安全。

- 管控产品形态丰富。中兴通讯既可以提供同时管理5G无线基站、SPN传输设备、核心网的多合一的综合网管，也可以提供只管控SPN传输设备的单一网管；既可以是虚机形式，也可以部署在物理机上；可以根据网络规模及功能需求，对管控系统进行模块化配置。
- 基于SDN/NFV架构，集管理功能和控制功能于一体。中兴通讯SPN管控系统采用基于SDN的管控融合架构，支持业务部署和运维的自动化能力，以及感知网络状态并进行实时优化的网络自优化能力。同时，基于SDN的管控融合架构提供简化网络协议、开放网络、跨网络域/技术域业务协同能力。
- 基于Inband-OAM+AI+大数据实现网络可视



▲ 图1 中兴通讯矿用新型SPN工业环网产品系列

可控。Inband-OAM带内随流检测技术具备IP业务流级端到端和逐跳SLA（主要包括丢包率、时延、抖动、实时流量）秒级测量能力，快速感知网络故障。基于该技术提供的大量数据，管控系统的AI+大数据模块可以做到网络实时可视，并进行精准定界、排障，是智能网络的关键技术。

- 基于意图的业务快捷创建。SPN管控系统引入基于用户意图的业务智能创建能力，通过对用户输入的关键信息提取来识别业务及其指标要求，比如业务类型或网络需求，能够实现用户的意图识别，选取合适的AI模型自动生成多种满足业务场景的网络配置，大幅缩短业务开通时间，降低对一线网络维护人员的技能要求。

应用展望

SPN技术是中国主导的新一代传输国际标准，在5G回传、政企专线、行业专网等场景规模部署，得到了电信、轨交、能源、电力等行业客户的广泛认可。在矿山领域，中兴通讯将和行业合作伙伴一起，深入挖掘和分析包括掘进、综采、运输、洗选、储煤、运输等生产环节中的网络需求，持续推进矿用新型SPN工业环网的创新和完善。

矿用新型SPN工业环网，凭借确定性的精准网络技术，将人工智能、工业物联网、大数据等与现代煤炭开发利用深度融合，将助力打造全面感知、实时互联、协同控制的智能矿山系统。ZTE中兴

中兴通讯助力广东移动

实现SPN切片专网在电力行业的规模化商用



陈孟奇
深圳移动网络部省级专家



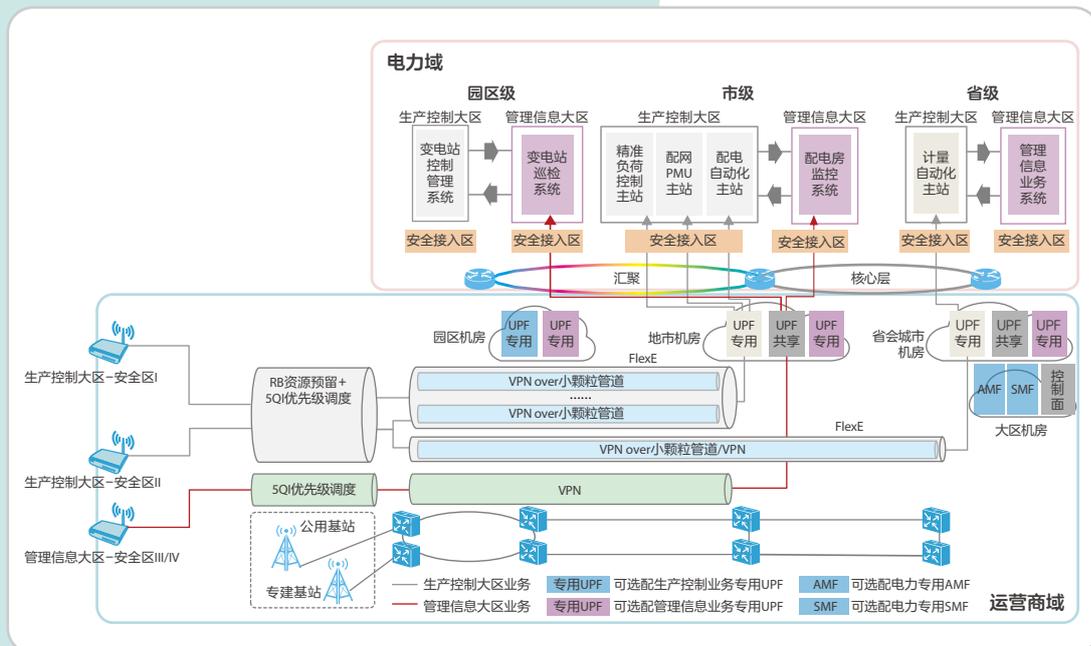
周文端
中兴通讯承载产品规划总监

电力通信业务种类多，差异大，安全等级要求各不相同，“5G+数字电网”的战略转型对电力通信网的安全性和带宽能力都提出了全新的挑战。传统电力网络分区依靠光纤直连、电力线载波等多种方案叠加承载，部署成本高，保障业务需求难度大，无法实现业务链路状态实时管控。5G虚拟专网切片技术的出现，使得不同电力网络分区业务可在一个物理网络中，通过多个逻辑网络叠加，实现对电力业务的统一承载。

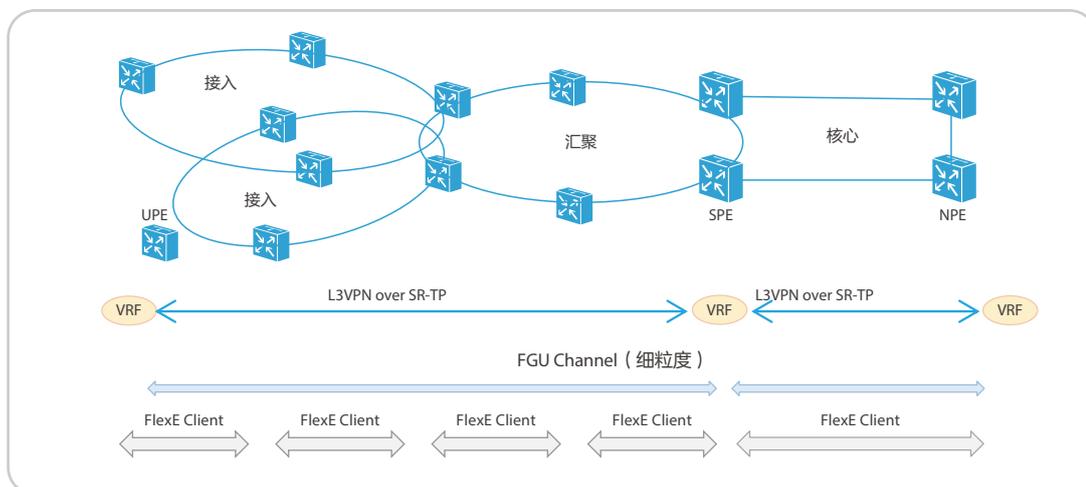
在此背景下，广东移动联合中兴通讯积极探索SPN切片专网部署方案，通过硬隔离切片、可视化运维等先进技术，打造一张多种业务统一承

载，不同类型业务硬隔离的电力专网。本次应用涉及SPN网元5000多个，连接电力终端超4000个，助力南方电网成功建设“5G+数字电网”示范区，打造SPN切片专网规模化商用典范，加速推进全行业的数智化转型进程。

根据电力业务安全要求，电网业务与其他ToB/ToC业务间物理隔离，电力生产控制大区和管理信息大区间物理隔离，生产控制大区内部安全I区/II区逻辑隔离，管理信息大区III区/IV区逻辑隔离（见图1）。综合不同类型业务要求，网络切片规划时生产控制I/II大区业务、管理信息III/IV大区业务通过划分专用且资源独占的网络切片，并在无线侧使用RB预留叠加5QI优先级调度技术，



▲ 图1 5G虚拟专网切片网络架构



◀ 图2 SPN切片专网部署方案

承载侧使用SPN细粒度（fine granularity unit, FGU）切片技术，核心网使用专用UPF，实现与其他ToB业务以及公网业务之间的物理隔离。

SPN网络在集客独享切片规划两个细粒度切片网络，采用切片方案（见图2），通过端到端FGU Channel方案实现南网专用切片和其他业务的硬隔离。本次方案接入环带宽为50Gbps，汇聚环带宽为100Gbps，分别分配5Gbps带宽用于细粒度切片，设计电力通用切片和电力专用切片服务。每一个SPN接入和汇聚网元按需分割10Mbps细粒度切片，SPE以下节点采用细粒度切片方案进行端到端硬隔离，骨干环按业务规划，设计为320Mbps细粒度切片，对比业界之前采用大颗粒5G切片方案，节省了90%多的网络带宽资源。业务模型部署为L3VPN over SR-TP形式的分组业务，保护方案共享大网切片方案；细粒度切片的运维借助部署的大模型运维工具，实现SPN网络细粒度切片承载业务的分层次运维，后期根据业务带宽需求，灵活扩展细粒度切片带宽，实现无损业务的切片带宽灵活调整；根据业务可靠性要求，本方案设计了业务接入细粒度双归保护部署，通过细粒度逃生、隧道重路由的部署，实现了SPN网络多点故障下，只要物理网络联通，业务永久在线。

通过本方案的部署，SPN细粒度切片专网满足了电力业务高安全、高可靠的承载需求，为深

圳电力打造了一张全新的5G虚拟专网，确保电力业务物理隔离要求。

● 硬隔离切片

电力通信业务种类繁多，应用场景及需求各不相同，SPN凭借其独有的TDM时分复用与分组统计复用深度融合的创新技术优势，可以实现最小颗粒度为10Mbps的硬切片管道，同时满足电力生产控制大区业务高可靠高安全的要求和管理大区业务大带宽的要求，且实现两类业务的硬隔离。

● 可视化运维

通过在SPN切片网络中引入AI大模型运维技术，实现全图形化的人机界面并支持自然语言，实现SPN切片专网快速开通、高效运维，助力电网业务的可视、可管、可控，运维效率提升70%以上，运维成本大幅降低。

● 高可靠品质

全方位的可靠性机制，包括双归保护、细粒度切片通道保护、小颗粒逃生、隧道重路由等多重保护方式，为电力业务提供超高可靠的通信保障，全网部署后估算可减少电力业务损失上千万元。

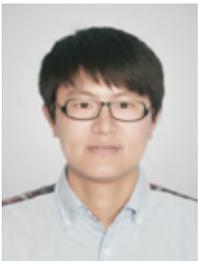
本次SPN切片专网在电力行业的规模化商用，为金融、证券、医疗等其他垂直行业和政企高价值客户应用SPN切片专网树立了典范，后续通过引入大数据、算力等创新技术，发挥SPN细粒度切片技术优势，将加速高效推进行业数智化转型进程。 ZTE中兴

国网山东电力联合中兴通讯

共同打造新一代SPN高品质生产网



张浩
国网山东经研院通信与智能化规划室主管



王稳君
中兴通讯济南处电力行业技术经理



马虎兴
中兴通讯济南处电力行业客户经理

随 随着我国新型电力系统建设的持续推进，对电力通信网络的带宽、时延、可靠性以及业务的稳定性和差异化管理提出了全新挑战。国网山东电力为解决业务带宽不足、一业一网的烟囱式网络等现网问题，联合中兴通讯率先启动电力通信SPN网络建设，共同打造电力通信网SPN样板标杆，为SPN网络支撑电力业务综合承载及其在电力行业的规模商用奠定基础。

国网山东电力希望利用SPN光传输技术，构筑新一代电力通信承载网，依托SPN强大的分组能力和基于TDM的时分复用技术，承载综合数据网业务等电力各类业务，构建100G传输通道网络，并搭载电力质量信息、监控信息、运维信息等业务种类，全方位满足电力各类业务的差异化承载和硬隔离传输需求。

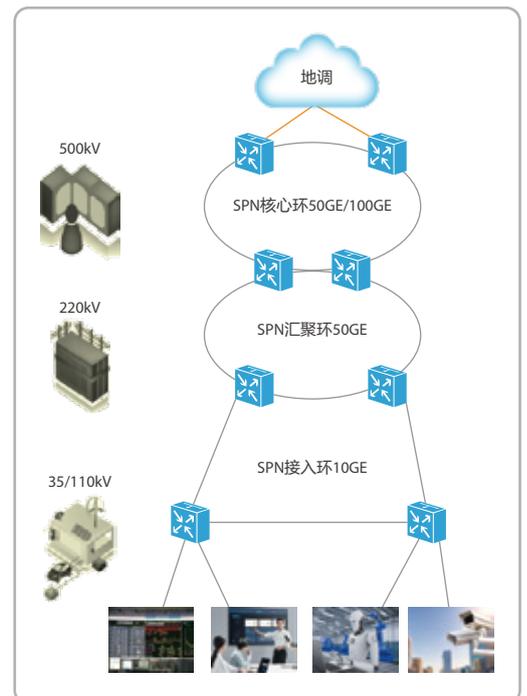
电力网络承载的业务种类多，差异性大，安全等级要求各不相同，既有低时延低抖动、高安全高可靠的生产控制类业务，也有大带宽的视频类业务。中兴通讯针对山东电力传输网络升级技术要求，推出SPN端到端承载解决方案（见图1）。与传统传输方案相比，SPN支持层次化的硬切片技术、E1 CBR硬隔离功能，提供超大带宽和智能管控，为电力的高可靠通信和智慧运营提供有力保障。

层次化的硬切片实现带宽利用效率最大化

granularity unit），利用其原生硬隔离性和低时延优势，将控制、调度等生产业务通过独立的FGU通道承载，确保硬管道下的物理隔离，并满足业务的低时延传输要求。对于带宽较大的视频监控业务和管理信息业务，采用n×5Gbps带宽的MTN颗粒切片承载，高效合理安排带宽资源。通过层次化的切片颗粒满足不同业务通道的需求，实现带宽利用效率的最大化。

CBR功能保证E1业务硬隔离

电力行业的E1一般承载的都是重要的生产业



▲ 图1 山东电力SPN组网示意图

SPN支持n×10Mbps细粒度技术（FGU，fine

中兴通讯将持续与国家电网展开深度合作，共同研究更加适用于电力系统的SPN承载技术和解决方案，通过具有电力特色的SPN网络，高效推进电力行业数智化转型进程。

务，如安稳控制等，对业务的安全性、可靠性、时延指标等要求比较高。SPN支持以CBR (constant bit rate, 恒定比特率) 方式承载E1业务，将客户业务以66B码块的方式直接映射封装到10Mbps的细粒度硬通道，中间不经过任何分组处理的环节，解决了原有的PWE3方式的软隔离问题，保证业务带宽不受影响，降低误码率。E1 CBR通过端到端的FGU通道承载，保证了E1业务在完整路径上的硬隔离，满足了生产业务的高安全可靠要求。

50GE/100GE组环提供充分带宽保障

网络线路侧从10GE升级到50GE/100GE组环，为电力业务系统提供冗余、灵活的信息传输及交换信道，未来可继续低成本升级，平滑演进到200GE/400GE，根据电力业务需要实现灵活组网，为电力数智化和泛在电力物联网建设提供充分的通道带宽保障。

智能管控大幅提升运维效率

中兴通讯新一代智能管控系统ZENIC ONE融合了网络管理、网络控制和网络分析等功能，在此

系统之上，SPN网络实现了网络集中管控、全网策略统一、端到端全网可视等功能，运维效率得到大幅提升。其中，全网资源统一管理，实时可视，从业务、隧道连接、容量、站点等多维度实现可视化分析现网资源信息，可精准定位网络资源瓶颈；基于SDN技术，支持集中算路，包括业务发放时计算最优路由，业务恢复时避免资源冲突造成重路由失败；支持一键式自动化快速部署，支持业务的端到端质量检测机制，提供通信故障智能诊断、通道带宽自动优化调整等功能，为电力智慧运营提供有力支撑。

目前SPN在国网山东电力已广泛应用，现网部署超2000端SPN设备，核心层采用ZXCTN 6700-12设备，汇聚层采用ZXCTN 6190H-A设备，接入层采用ZXCTN 6180H设备，用于承载电力各类业务，各项业务性能指标均满足电力系统对传输承载网的严格要求，为构建新型电力系统提供有力通信支撑，为后续大规模商用推广及部署提供了重要参考依据。未来，中兴通讯将持续与国家电网展开深度合作，共同研究更加适用于电力系统的SPN承载技术和解决方案，通过具有电力特色的SPN网络，高效推进电力行业数智化转型进程。 ZTE中兴

ZTE中兴

让沟通与信任无处不在