

中兴通讯技术

简讯

ZTE TECHNOLOGIES

2023年4月/第4期

准印证号: (粤B) L011030048

视点

04 SPN2.0切片专线，构筑数智未来

07 面向行业场景的SPN2.0技术特性和应用方案研究



SPN

专题：SPN 2.0应用实践

12 SPN 2.0：赋能千行百业，服务数字新时代





第27卷/第04期
总第415期

中兴通讯技术 (简讯)
ZHONG XING TONG XUN JI SHU (JIAN XUN)
月刊 (1996年创刊)
中兴通讯股份有限公司主办

《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 李伟正 刘金龙
陆平 胡俊勔 华新海 王强
王全

《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: 丁翔 黄新明 姜永湖 柯文
刘爽 林晓东 马小松 施军
孙彪 魏晓强 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: 6000本
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: 2023年04月25日



王强
中兴通讯承载网SPN产品总经理

发挥SPN2.0网络优势，赋能千行百业

行业数字化转型给运营商网络基础设施建设带来新的挑战，对承载网络的切片能力、灵活性、网络覆盖和智能化提出了新的要求。如何基于一张基础承载网，同时满足不同行业业务的差异化承载需求，实现不同颗粒的业务隔离混传，成为SPN2.0时代技术创新的方向。

SPN2.0通过引入以太网N×10M细粒度 (FGU) 硬切片技术、T-SRv6算网承载技术、基于AI的内生算力和自智网络技术，大幅增强了面向5G+垂直行业、政企专线和算网融合业务的综合承载能力，不仅可以应用于运营商网络，也能很好地满足电力生产、轨道交通等行业专网市场业务发展。

中兴通讯积极推进新技术验证和新业务应用探索，2022年，联合中国移动完成了T-SRv6、10GE SPN CPE、Cloud SPN、AI动态节能等新技术现网试点。在行业专网方面，实现了SPN在地铁和矿山的商用交付；在标准化方面，参与并协助中国移动在ITU-T完成关键技术FGU的立项，为SPN系列标准国际化打开新的篇章。中兴通讯在SPN2.0的积极探索屡获殊荣：AI动态节能方案参与中国移动“绿色5G”催化剂项目荣获2022年TM Forum双料大奖，SPN FGU方案荣膺2022年Network X“最具创新网络切片案例”奖，进一步验证了SPN2.0技术已获得行业内广泛认可。

当前SPN2.0已进入市场引入的关键窗口期，产业链趋向成熟。中兴通讯对SPN2.0技术的应用前景充满信心，愿意与行业内合作伙伴共同推动SPN2.0技术的发展和应用，将SPN2.0打造为新一代综合承载标杆，支撑5G+垂直行业、算力网络和政企切片专线等新业务综合承载，拓展SPN2.0在数字经济时代的新蓝海。

目次

中兴通讯技术（简讯）2023年第04期



SPN 2.0: 赋能千行百业，服务数字新时代

2022年6月，中国移动联合中兴通讯等合作伙伴发布了《SPN 2.0白皮书》，开启了SPN 2.0时代。SPN 1.0技术已经应用于中国移动等运营商，规模承载5G回传业务，并开始在地铁、矿山和高速等垂直行业中得到推广。随着运营商城域专线业务逐步部署到SPN切片网络，以及中国移动城域算力网络承载需求的发展，SPN技术朝着综合业务承载持续演进。

视点

04 SPN2.0切片专线，构筑数智未来

韩柳燕，李晗

07 面向行业场景的SPN2.0技术特性和应用方案研究

李芳，赵俊峰

专题：SPN 2.0应用实践

12 SPN 2.0：赋能千行百业，服务数字新时代

赵福川，刘爱华

16 SPN切片专线技术及其应用

周华东

20 T-SRv6：面向切片传送网的SPN算网承载解决方案

温建中

24 SPN内生AI算力及其在ToB行业的实践

何力，曾森，范为杰

26 SPN切片以太环网智能矿山应用

李海川，孟玮，唐小岚

29 SPN赋能电力5G虚拟专网

王文帝，郝昌俭，周文端

32 铁路5G-R承载技术分析

刘爱华，李云龙

35 SPN动态节能方案助力广东移动实现绿色承载

韩吉科，杨新建



成功故事

37 SPN赋能长沙轨交，打造精品智慧地铁

廖国庆，尹丹玲，丁惊

40 中兴通讯联合辽宁移动构建SPN业务质量智能

闭环保障体系

欧雪刚，董凯南

02 新闻资讯

中兴通讯亮相2023国际产业合作大会

3月22日，由中国商务部和新加坡贸易与工业部指导，中国机电产品进出口商会与新加坡中华总商会联合举办的2023国际产业合作大会（新加坡）在新加坡滨海湾金沙会议展览中心举行，大会围绕推进绿色低碳、数字经济、陆海通道、金融合作、智能制造等五大领域的发展机遇、创新举措和潜在合作项目等热点议题开展深度研讨。

中兴通讯高级副总裁刘健在论坛期间作了题为《和合共生，筑路数字经济新未来》的主旨演讲，分享了中兴通讯在助力数字基建与数字化转型、推动数字经济高质量发展方面的探索和实践。



中兴通讯和南非BCX签署战略合作协议 携手推进南非行业数字化部署

2023年2月，中兴通讯与南非BCX集团在巴塞罗那举办的2023世界移动通信大会（MWC2023）上签署战略合作协议，双方将携手推进南非地区行业数字化部署进程。

根据该战略合作协议，双方将在数字化基础设施建设领域加深合作，包括服务器及存储、交换机、5G专网、数据中心、私有云等业务。该协议的签署，也标志着BCX正式成为中兴通讯南

非企业网市场的渠道合作伙伴。

BCX首席执行官Jonas Bogoshi表示：“BCX非常高兴能和中兴通讯一起合作，拓展南非的ICT市场，共同推动南非数字化转型。中兴通讯在包括云基础设施在内的数字化基础设施方面的专业知识，特别适用于我们的超大规模战略。这将补充BCX的云优势计划，使我们能够为客户的数字化转型之旅提供更高效率、更智能的解决方案。”

中兴通讯发布新一代超大带宽毫米波AAU

3月，中兴通讯携手泰国AIS，在曼谷的双方联合创新中心实验室发布了新一代超大带宽的毫米波AAU，这是全球首个支持1.2GHz带宽以上的毫米波AAU，最大可支持带宽达1.6GHz。

发布现场在NR-DC模式下，使用AIS拥有的1.2GHz带宽的毫米波频谱，实测单扇区MU峰值速率达到下行22.01Gbps，上行4.32Gbps，远超目前业界平均水平。

中国移动携手中兴通讯完成国内首个算网SPN T-SRv6跨域编排试点

近日，中国移动集团设计院、浙江移动携手中兴通讯在嘉兴率先完成国内首个算网SPN T-SRv6（Transport-SRv6）跨域编排试点，充分验证了中国移动集团设计院自研编排器跨域编排能力，以及中兴通讯SPN T-SRv6方案的算网感知能力，能够提供便捷的端到端算力连接服务，满足数字化时代算力接入的泛在需求，同时实现网络资源全局优化，有效节省运营商网络投资。

中兴通讯服务器助力百度“文心一言” 开创AI新时代

3月，中兴通讯和百度联合宣布，中兴通讯服务器将支持百度“文心一言”，为AI产品应用提供更加强劲的算力支撑，助力AI产业化应用和生态繁荣。

“文心一言”是百度基于文心大模型技术推出的生成式AI产品。百度在人工智能领域深耕十余年，拥有产业级知识增强文心大模型，具备跨模态、跨语言的深度语义理解与生成能力。

中兴通讯：战略超越期开局稳健，2022年营收净利双增

3月10日，中兴通讯发布2022年度业绩报告。报告期内，公司实现营业收入1229.5亿元，同比增长7.4%；归母净利润80.8亿元，同比增长18.6%；扣非归母净利润61.7亿元，同比增长86.5%。

2022年是中兴通讯战略超越期的开局之年。面对外部诸多不确定因素的挑战，中兴通讯坚守“固本拓新，有质量增长”，把握数字化和低碳化发展趋势，强化DICT全栈全域研发投入及创新，持续夯实核心技术及产品竞争力，全年研发投入达216.0亿元，占营业收入比例17.6%。同时，公司继续深化数智化转型，提升组织柔性、弹性及韧性，保障各项业务有序、高效、健康开展。

2022年，国内和国际两大市场，运营商网络、政企和消费者三大业务板块营业收入均实现同比增长。

国内市场实现营业收入852.4亿元，占整体营业收入的69.3%；国际市场实现营业收入377.1亿元，占整体营业收入的30.7%。

运营商网络方面，实现营业收入800.4亿元，同比增长5.7%。中兴通讯持续提升无线网络、有线网络等关键产品的全球市场份额。根据外部机构最新报告显示，2022全年，公司5G基站、5G核心网、光传输200G端口发货量均为全球排名第二，PON OLT收入提升至全球第二。同时，公司在云网融合、算力网络等关键点发力，在服务器及存储、新型数据中心、

数据中心交换机等产品持续创新，全面助力运营商云网业务发展。2022年在国内多个运营商服务器集采中，公司份额排名均位列第一。

政企业务方面，实现营业收入146.3亿元，同比增长11.8%。中兴通讯核心产品服务器及存储、GoldenDB分布式数据库、云电脑等实现在金融、互联网、政务等行业头部客户的快速上量。同时，围绕业务有韧性、系统可生长、成本能降低的企业经营需求，依托高效的数字基础设施和基于云原生交易架构的“数字星云”，将ICT技术与行业深度融合，继续深耕金融、互联网、电力、交通、政务、大企业等行业的数字化转型。

中兴通讯荣获CDP中国环境领导力奖

中兴通讯凭借在气候变化方面的优异表现，获得CDP（全球环境信息研究中心）“A-”评级，获颁CDP中国2022“环境领导力奖”。其中，中兴通讯在气候变化的供应商合作中名列前8%，荣登2022年CDP供应商合作评级领袖榜，CDP供应商合作评级（SER）获得A评级。

CDP是一家非营利性国际组织，致力于推动企业和政府减少温室气体排放，保护水和森林资源。

营收百亿！中兴通讯服务器市场规模升至国内前五

国际数据公司IDC发布《2022年中国服务器市场跟踪报告》。据IDC发布数据，2022年中兴通讯服务器销售额和机架服务器出货量提升至国内前五。

2022年，中兴通讯服务器及存储营业收入百亿元，同比增长近80%。在电信行业，中兴通讯服务器及存储产品发货量蝉联第一，市场份额超过30%，多次在运营商集采中夺魁，是中国移动、中国联通、中国电信三大运营商的主流供应商。

中兴通讯PON CPE和DSL CPE发货量双居全球第一

全球知名咨询机构Dell'Oro Group发布了2022年第四季度固网宽带产品全球市场份额报告《Broadband Access & Home Networking Quarterly Report 4Q 2022》。该报告数据显示：2022年度，中兴通讯PON CPE发货量市场份额32.8%，DSL CPE发货量市场份额22.6%，双双稳居全球第一。中兴通讯CPE全球累计发货突破5亿台，在西班牙、巴西、印尼、埃及等国发货超千万台。



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，
中国移动通信研究院基础网络技术研究所所长

SPN2.0切片专线，构筑数智未来

近年来，随着信息产业的快速蓬勃发展，专线需求也随之爆发。高速专线需求持续快速增长，同时现网数量庞大的企业、金融类为代表的低速TDM专线等特定行业和应用的专线也长期存在。

行业数字化转型对网络提出满足业务超高品质需求，同时兼顾成本的降本增效需求。专线不再是单一的满足大带宽或高品质，综合性的专线需求会成为新兴业务形态。SPN切片专线适应了这一需求，在传输领域实现了软硬切片的灵活提供和基于切片的差异化业务统一承载。SPN可以为专线提供网络统一承载，既可以提供TDM专线的超高确定性性能，也可以在同一网络提供分组的大带宽，带宽高效利用。同时，随着管控面能力的提升和智能化的引入，快速开通、性能可视等服务能力也能更好地适应客户的需求。

SPN技术发展

5G提出了eMBB、URLLC和mMTC三大应用场景，切片和边缘计算成为5G的原生技术特征。针

对切片和边缘计算新特征，中国移动提出了“无损+高效灵活”的承载理念，联合国内产业界构建了新一代传输网体系架构——切片分组网络（SPN）。

SPN技术架构实现了TDM和分组网络的有机融合，支持L0到L3能力，具备大带宽、低时延、网络切片、灵活连接、高精度同步和统一管控等技术优势，并且通过重用以太网产业链降低组网综合投入，实现超大带宽，解决了面向5Gbps大颗粒的端到端高效无损硬隔离传送问题。SPN在实验室和现网测试中展现出了优异的性能，采用MTN Channel交叉的SPN单节点转发时延低至2.784μs，在单节点时间同步精度方面，SPN可优于±5ns，在切片隔离能力方面，采用MTN Channel交叉的SPN设备在网络拥塞前后，业务抖动约0.277μs，几乎不受影响；而采用传统分组交换技术的设备在网络拥塞前后，业务抖动达20μs。中国移动采用SPN实现5G网络回传，已部署40万端，SPN网络自2019年建网至今，运行质量良好，性能稳定。

随着5G垂直行业、政企业务、算力网络的

蓬勃发展, SPN在切片颗粒度、业务感知、灵活连接、泛在接入、智能运维、绿色节能等方面技术不断增强, 进入SPN 2.0时代。其中SPN 2.0一个重要特征就是引入了SPN小颗粒技术(FGU, Fine Granularity Unit), 其需求很大方面来自于政务专线、金融专线、大企业专线等典型应用场景中对小颗粒业务隔离性、安全性和可靠性的承载需求。

SPN小颗粒技术将硬切片的颗粒度从5Gbps细化为10Mbps, 其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; 严格TDM刚性隔离, 确定时隙分配: 小颗粒通道通过独享确定的时隙保证严格的TDM特性, 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。
- 低时延和低抖动特性。通过TDM时隙交叉, 不感知小颗粒业务报文信息, 保证确定性低时延; 小颗粒业务独占TDM通道时隙资源, 抖动远小于1μs。
- 每一条小颗粒通道提供独立和完善的OAM能力。OAM码块随路插入每一条小颗粒通道, 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小颗粒硬管道进行增大或者减小的带宽调整, 带宽和时隙资源分配更加灵活。

随着SPN 2.0的发展, SPN在持续完善, 满足多样化业务精细化切片、灵活智能等业务需求。

专线新需求

随着各行各业数字化转型的深入, 专线呈现出的需求和发展趋势。

首先是网络一体化承载需求, 通过专线专网

实现多重业务接入。以能源行业为例, 能源互联网典型业务包括: 配电自动化、调度数据网、用电采集、数据通信网、视频类业务、主网继电保护通道、Wi-Fi6巡检机器人等业务。在应用场景中, 这些业务类型在时延、可靠性、速率、连接密度等指标方面有不同的需求, 需要能够利用网络资源实现差异化业务的同网共载。

二是确定性网络需求, 尤其是控制类和交易类业务, 对通信需求的典型特征是低时延确定性时延、高可靠、安全性要求高。例如金融业务主要包括生产交易、办公、银行网点安防监控等, 业务带宽不大, 但对网络安全性要求极高。

三是重视泛在接入和快速开通能力。随着行业网络向云化和扁平化演进, 边缘节点以及跨区、跨市的业务连接数量激增, 网络连接复杂度加大。边缘接入有可能是无线有线融合接入, 需要能够满足这些大量边缘节点的泛在接入和快速开通。

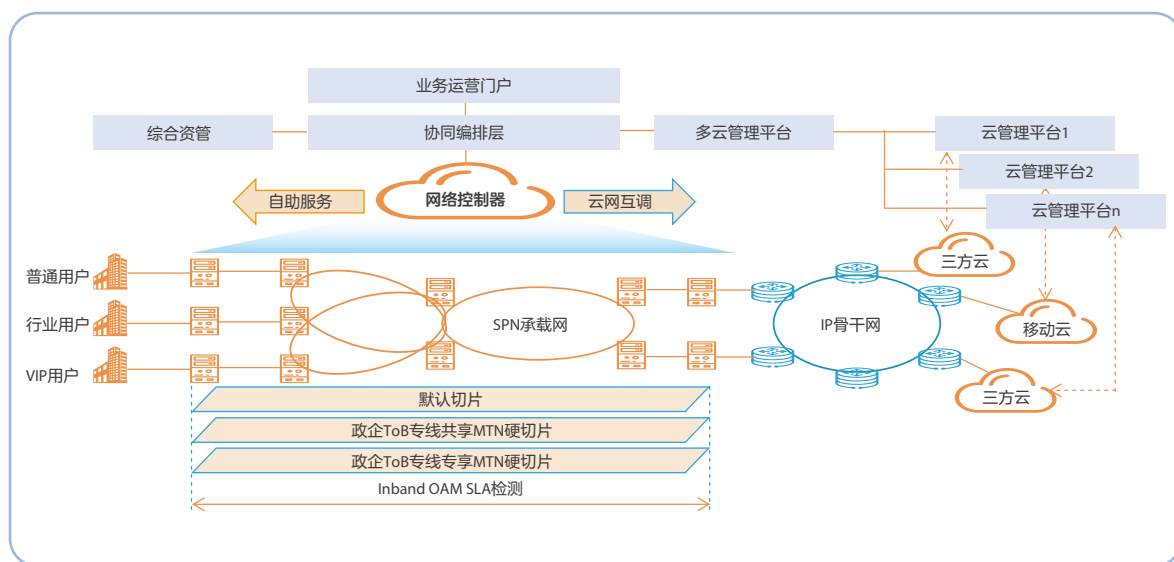
四是不再仅是管道服务, 而是端到端服务, 能够为客户提供指标可视、快速排障等综合服务能力。指标可视依赖于网络SLA的精确监测, 并且能够在面向客户的应用界面呈现。

这些新的需求促使专线技术发展和变革。

SPN切片专线特点和优势

SPN的技术特点和优势很好地契合了专线市场的发展需求。SPN能够提供TDM硬切片接入, 而且同时支持分组软切片大带宽接入, 因此, 用同一张SPN网络可提供客户多种业务的综合性接入。而对于高要求的控制类业务, 可以直接采用SPN 10Mbps小颗粒硬切片提供独立的TDM管道, 与其他业务实现物理时隙的隔离。SPN实现了全国40多万端的网络覆盖, 覆盖性好, 具备泛在接入的网络能力。SPN智能运维能力也在不断提升, 通过Inband OAM支持业务流级的精确性能监测, 基于SDN的集中化管控系统标准北向接口, 可以提供给编排系统和更上层的客户系统的

图1 SPN专线网络架构



数据入口。SPN专线的整体网络架构见图1。

基于SPN特性，中国移动推出了三款SPN切片专线产品，分别是基础版切片专线、进阶版切片专线和定制版行业切片专网。基础版切片专线主打共享切片，泛接入、快开通，共享行业用户MTN切片，同一MTN切片内的行业用户之间通过VPN隔离。进阶版切片专线提供单用户专属的MTN小颗粒切片，具备超高确定性。定制版行业切片专网可以根据客户需求定制切片组网，硬切片软切片两类均可选，切片专网与其他用户切片物理隔离。

为更好适应SPN专线末端接入，在城域SPN设备类型之外又发展出小型化SPN设备。小型化SPN设备不仅是更小配置、更低成本，更是面向边缘覆盖和综合接入增强能力的SPN设备。它主要特点是交换容量小，尺寸剪裁，提供交流供电，低功耗，从而匹配末端场景需求。小型化SPN设备与城域SPN通过NNI对接组网，共同提供端到端以太网小颗粒硬切片以及基于切片的端到端无损带宽调整，满足高价值用户需求。小型化SPN设备要求标准南向和统一管控，在管控能力方面更方便编排和控制。

专线技术在转发层面已经开发和具备了相应

的能力，在端到端智能化服务方面在进一步提升。专线服务化提升的重要因素是管控智能化和客户服务对接自动化接口的提升，能够将专线的开通调整、运行状态、故障定位等及时在客户界面呈现和操作。要实现这一点，需要网络设备、管控、平台三级智能系统的协同，通过管控及上层平台全面采集设备、网络的历史及当前数据，实现业务的控制采集、分析及预测风险，提升用户体验。随着管控智能化水平的不断提升，未来网络运维效率和专线客户网络服务会越来越强。

小结

SPN作为5G移动回传网络的创新体系，很好地满足了5G商用的需求。随着各行各业数字化转型，专线呈现出网络一体化承载、确定性时延、泛在接入、快速开通、端到端智能化服务的新的需求和发展趋势。SPN构建了以小颗粒硬切片为核心的2.0技术体系，契合了专线市场的发展需求。中国移动打造了基础版切片专线、进阶版切片专线和定制版行业切片专网的SPN切片专线产品，支持各类专线业务场景的承载，共创数智中国的未来发展。ZTE中兴



李芳

中国信息通信研究院技术与标准研究所
宽带网络研究部副主任



赵俊峰

中国信息通信研究院技术与标准研究所
宽带网络研究部高级工程师

面向行业场景的SPN2.0技术特性和应用方案研究

SPN2.0凭借其特有的TDM时分复用与分组统计复用深度融合创新技术优势,兼具确定性低时延、多粒度交叉、层次化切片和灵活智能感知等网络能力优势,正在智能电网、智慧交通、智能矿山、智慧港口、智慧医疗和智能制造等典型行业场景规模应用推广,逐步成为新一代综合业务承载网络的标杆。

十四五是我国重点行业向数字化和智能化转型发展的重要阶段,5G+工业互联网将持续创新发展新应用和新生态,电力、交通和铁路等重点行业也将逐步实现专网升级换代。工信部已发布的《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023年)》中,明确提出支持深化“5G+工业互联网”“确定性网络等新技术部署”的行动策略。发展高质量的5G+工业互联网和行业专网,需重点推进三方面工作:一是企业内网升级改造,推动信息技术(IT)网络与生产控制(OT)网络融合,建设多业务安全可靠承载的园区网络;二是开展企业外网建设,推动基础电信企业提供高性能、高可

靠、高灵活、高安全的网络服务,探索云网/算网融合、确定性网络、IPv6分段路由(SRv6)等新技术部署;三是在保障数据安全和网络安全的前提下,推动工业企业和工业互联网平台等接入高质量外网,并研究互联互通新机制。

为了不断满足典型行业场景的承载新需求,中国移动联合中国信通院和我国主流设备商持续推动切片分组网络(SPN)面向行业的技术创新和产业化应用发展,正在电力、交通、煤矿、港口、医疗、工业园区等多个典型行业场景开展应用方案实践,并在2023年1月的工业互联网产业联盟全会上通过了《SPN网络在工业场景的需求及应用研究报告》。

典型行业场景的承载需求分析

不同行业场景的网络承载需求呈现多样化和差异化的特性。以5G+工业互联网和智能电网的典型业务场景为例，表1汇总了5G+超高清视频、5G+远程控制、5G+云化AGV、5G+机器视觉、5G+无人机、5G+云端机器人、5G+AR和5G+VR等八大业务场景和电力业务对通信网络的承载能力特性和指标需求差异。

总体来看，为了满足不同行业差异化业务需求，承载网需具备以下特性：

- 硬隔离切片能力：工业领域业务和场景复杂多样，主要包括生产控制类、生产采集/检测类和信息监测管理类等业务；在多业务混传和复杂业务流量流向场景下，需要提供生产类业务的端到端硬隔离切片保障。
- 电信级高可靠性：工业互联网、智能电网等行业的生产类业务均提出了99.999%及以上的高可靠性网络需求，需提供端到端高可靠的网络保护恢复机制和电信级运维能力。
- 确定性承载能力：面向工业控制和工业监测等典型场景的确定性需求，需重点研究如何构建端到端确定性网络，并推动广域异构网络的确定性承载技术创新和产业发展。

- 灵活接入调度能力：工业领域的业务终端和业务类型复杂多样，大量异构终端的网络接口、网络协议和网络通信需求存在差异；保障多样异构终端的大规模接入、协同运行和灵活高效的调度转发成为承载网络需具备的重要特性之一。
- 多维业务感知能力：业务深度感知和新型ICT技术的应用，将为工业用户的行业数字化转型和高质量发展提供有力的支撑。如何实现与新型ICT技术的深度融合将是通信网络面临的重要挑战。
- 智能化管控运维能力：网络运维的智能化、便捷化和开放性将大幅提升各类工业互联网业务运行的效率和自主性，并缩短新业务部署的响应时间，使能行业敏捷创新。

SPN2.0的标准化发展和技术特性

与SPN1.0相比，SPN2.0在多业务综合承载、云网/算网融合、网络覆盖、智能管控运维和低碳节能等方面能力均有显著提升。通过引入支持N×10Mbps细粒度单元（FGU，Fine Granularity Unit）的新型帧结构和交叉技术，扩展了面向行业专线接入和工业园区应用的10GE小型化接入

	5G+工业互联网								5G+智能电网		
	机器视觉	远程控制	AGV	超高清视频	无人机	云端机器人	AR	VR (部分沉浸)	配网差动保护	PMU	三遥
时延	1~2ms	2~5ms	20ms	<30ms	≤3ms (控制)	10~100ms	<10ms	<30ms	2~5ms	5~10ms	30~50ms
抖动	—	100μs	—	—	—	—	—	—	双向时延差 200μs	—	—
可靠性	99.99%	99.999%	99.9999%	99.9%	99.99% (控制)	99.9999%	99.999%	99.999%	99.999%	99.999%	99.9%
承诺带宽	上行：>50M 下行：≤2M	下行：≤2M	10Mbps~ 1Gbps	12~40Mbps	4Mbps/每路	>10Mbps	>50Mbps (上行)	>100Mbps	≤2M	≤2M	≤2M
同步时频	—	—	—	—	—	—	—	—	10μs级授时	1μs级授时	—

▲ 表 1 5G+工业互联网八大典型场景的网络承载需求指标汇总



SPN设备类型，并重点增强了面向5G+垂直行业、政企专线和云网/算网融合业务的综合承载能力。

面向行业应用场景的差异化承载需求，中国移动自2019年中开始协同探索面向5G+垂直行业和政企客户专线/专网需求的SPN小颗粒技术方案，统一确定了基于N×10Mbps带宽的细粒度单元(FGU)方案，于2021年6月联合发布了《SPN小颗粒技术白皮书》，2021年下半年完成了中国移动相关企标《切片分组网(SPN)细粒度切片技术要求》和《10GE接口细粒度切片技术要求》研制，2022年6月发布SPN2.0技术白皮书和专线产品，正在开展多厂家SPN2.0设备的全面评测和互通验证。目前，工信部已正式发布了三项SPN通信行业标准：YD/T 3826-2021《切片分组网(SPN)总体技术要求》、YD/T 3974-2021《5G网络切片基于切片分组网(SPN)承载的端到端切片对接技术要求》和YD/T 4172-2022《切片分组网(SPN)设备技术要求》；完成了《切片分组网络(SPN)设备测试方法》等三项行标报批，正在

研制《切片分组网(SPN)细粒度承载技术要求》和《切片分组网(SPN)互通技术要求》等六项行标。

作为SPN切片通道层的关键技术，MTN(Metro Transport Network)技术已在ITU-T形成了一套体系化的国际标准系列。截止到2023年1月，已发布了MTN架构G.8310、MTN接口G.8312、MTN设备功能G.8321、MTN线性保护G.8331、MTN网络管控G.8350五项国际标准建议和网络演进G.sup.69一项技术报告，MTN同步标准将于2023年完成。在2022年9月的ITU-T SG15全会上，我国成员成功推动立项细粒度MTN(G.fgMTN)标准，标志着MTN扩展细粒度子通道的核心架构和关键技术获得国际标准组织认可。

SPN2.0在行业场景的应用方案研究

SPN2.0在行业场景的应用定位分析

工业互联网包括工业内网和工业外网两大类网络应用场景。工业内网主要是实现企业内部连

接生产、控制等环节的数据，并提供企业日常运行的信息化通信管理。工业内网分为OT网络和IT网络两部分。工业外网主要为实现远程生产控制的通信实体之间提供高可靠和低时延的网络连接。我国基础电信运营商的网络需向满足工业互联网的信息通信网络综合服务提供商发展，不仅提供网络的可信安全、电信级高可靠性和确定性承载能力，还应实现泛在接入、灵活组网、可视化智能管控和SLA服务质量严格保障。

SPN2.0在工业互联网的应用以工业外网为主，根据不同行业应用场景的需求差异，兼具解决煤炭、港口和工业园区等部分工业内网的应用场景。小型化接入SPN2.0设备可作为工业内网的出口网关设备，实现工业内网和工业外网的有效衔接，包括多业务安全隔离的综合承载、端到端网络切片互通和协同调度、不同行业切片的开放服务能力等。

SPN2.0具备软硬兼具和层次化的网络切片能力。一是通过 $N \times 5\text{Gbps}$ 和 $M \times 10\text{Mbps}$ 两层MTN通道提供类似SDH的VC-4和VC-12的TDM硬隔离通道的确定性承载能力；二是在 $N \times 5\text{Gbps}$ 的MTN接口或通道内通过分组统计复用、QoS队列优先级调度和SRv6、SR-TP、MPLS-TP等分组隧道实现软隔离的高带宽利用率、差异化承载和灵活调度，具体如图1所示，实现了工业互联网的生产控制、信

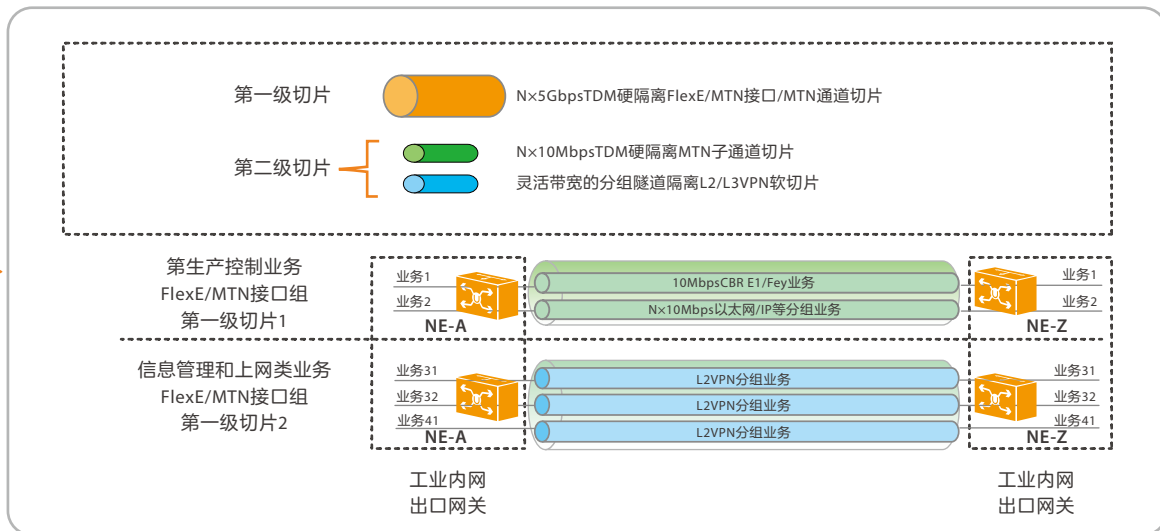
息管理和互联网接入等多业务类型的高安全隔离、高可靠统一承载和差异化SLA保障，是目前承载网络技术中最具综合竞争力、关键技术和产业链基本自主可控并具有长期发展前景的新一代承载网络技术解决方案。

SPN2.0在5G+智能电网和电力通信专网的应用方案

基于5G的电力行业虚拟专网具有“超低时延”“海量连接”和“超高带宽”等特性，并且支持采用端到端的硬切片和软切片，分别为电网不同分区业务提供物理资源、虚拟逻辑资源等不同层次的安全隔离能力，实现5G+MEC+切片的配网“三遥”、配网差动保护、配网DTU、分布式能源、输变电侧智能巡检等应用落地，解决智能电网末梢的通信痛点。

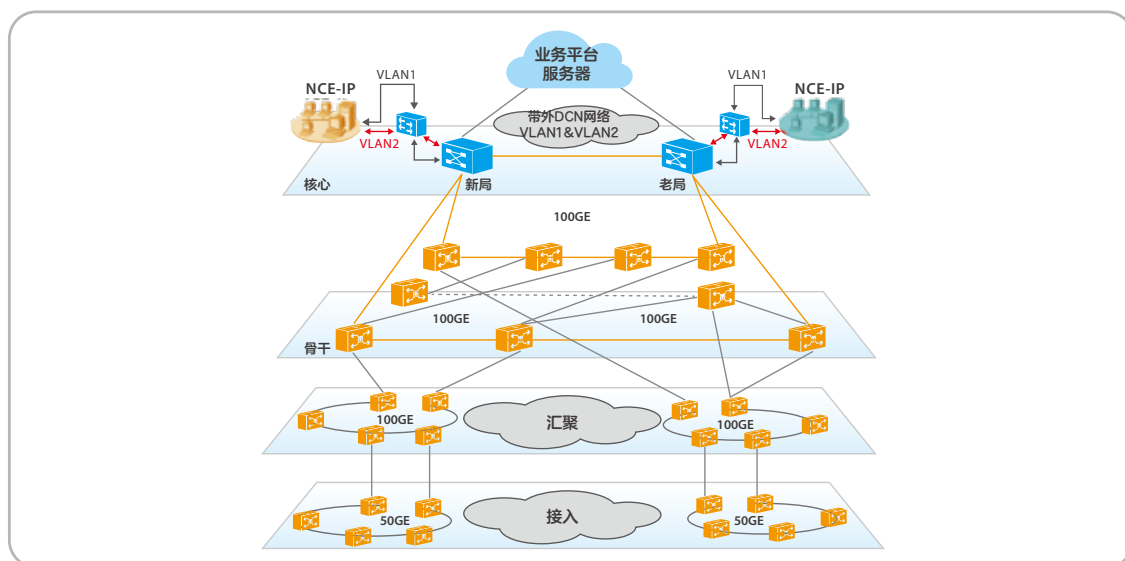
电力5G配网业务主要分为控制和采集两大业务类型。电力网络承载的业务差异性大，安全等级要求各不相同，既有时延抖动、高可靠性的差动保护业务，也有同步精度的配电自动化业务和大带宽的视频会议业务。SPN电力行业切片无线通过PRB资源预留，传输SPN通过MTN大颗粒5Gbps或10Mbps小颗粒切片部署，UPF采用ToB UPF；电力主站和ToB UPF采用SPN的集客切片100Mbps带宽分组VPN隔离专线来提供保证带宽

图1 SPN2.0的两级层次化网络切片能力在行业场景应用方案建议



切片名称	数量	切片类型	说明
无线子切片	2	切片1: PRB资源预留 切片2: 默认切片	切片1: 选1个站点, 使用RB资源预留方式; RB推荐值: 1%
传输子切片	2	切片1: MTN通道切片 切片2: 默认切片(分组VPN)	切片1: 使用MTN通道硬切片, 初期采用5Gbps大颗粒, 引入SPN2.0后采用N10Mbps小颗粒
核心网子切片	2	切片1: 共用地市移动2B UPF 切片2: 默认切片	切片1: 使用地市移动现有的ToB UPF
5G CPE	2	普通终端接入	

◀表2 5G+智能电网网络切片实施方案



◀图2 南网某公司SPN替换老SDH构筑新型电力通信网

(见表2)。

结合业务需求及网络现状,南方电网某公司自2021年开始规划部署基于SPN的新型电力通信网,满足语音视频局域网、综合数据网、2M专线业务等综合承载,具体组网方案如图2所示,支持大带宽组网、硬切片隔离、智能运维以及10Mbps FGU技术。

应用展望

SPN作为我国运营商、科研机构和网络设备商协同创新的新一代承载网络技术,已成为我国

主导承载网络技术标准创新并成功推动产业规模发展的典范,不仅成为国际电信联盟标准化部门(ITU-T)认可的新一代传送网国际标准技术标准体系,而且已在中国移动5G承载网络上实现超34万端的规模部署。

SPN2.0凭借其特有的TDM时分复用与分组统计复用深度融合创新技术优势,兼具确定性低时延、多粒度交叉、层次化切片和灵活智能感知等网络能力优势,正在智能电网、智慧交通、智能矿山、智慧港口、智慧医疗和智能制造等典型行业场景规模应用推广,逐步成为新一代综合业务承载网络的标杆。ZTE中兴

SPN 2.0: 赋能千行百业，服务数字新时代

SPN 2.0技术致力于在城域网络以及行业专网中打造融合TDM和分组复用技术的综合承载平台，支持高价值的切片专线、赋能行业数字化的切片专网和算网融合新型业务。



赵福川
中兴通讯5G承载规划总工



刘爱华
中兴通讯资深系统架构师

2022年6月，中国移动联合中兴通讯等合作伙伴发布了《SPN 2.0白皮书》，开启了SPN 2.0时代。SPN 1.0技术已经应用于中国移动等运营商，规模承载5G回传业务，并开始在地铁、矿山和高速等垂直行业中得到推广。随着运营商城域专线业务逐步部署到SPN切片网络，以及中国移动城域算力网络承载需求的发展，SPN技术朝着综合业务承载持续演进。

聚焦SPN 2.0时代的主要需求，SPN 2.0技术致力于在城域网络以及行业专网中打造融合TDM和分组复用技术的综合承载平台，支持高价值的切片专线、赋能行业数字化的切片专网和算网融合新型业务。为了支持高价值切片专线，SPN 2.0发展了FGU 10M小颗粒技术，达到甚至超越MSTP专线的品质，增加小型化SPN设备提供小颗粒接入并增强SPN网络覆盖；面向赋能行业数字化的切片专网，SPN 2.0通过TDM和分组深度融合，提供软硬隔离和确定性可靠通信；应对算力网络演

进，SPN 2.0提出传送网络特性的T-SRv6和内生AI技术支撑新业务承载。

高价值切片专线技术进展

SPN 2.0切片专线技术以MTN（Metro Transport Network）/FGU（Fine-Granularity Unit）切片通道为核心，具备硬隔离、多业务、Inband OAM质量感知、多种网络保护和自服务功能，满足小型化SPN接入的固定专线、5G专线以及跨越SPN省干的端到端专线等场景的需求。当前，中兴通讯SPN专线已开始在中国移动多个省份规模承载集客专线业务，并配合中国移动完成小型化SPN的企标制定、样机研发和试点测试，将进一步拓展SPN专线的覆盖能力。同时，结合SPN省干和国干的建设，我们将继续推动SPN 2.0跨域干线的端到端小颗粒专线技术完善，形成全程全网专线承载覆盖。SPN 2.0基于FGU小颗粒技术专线承载方案如图1所示。

SPN 2.0

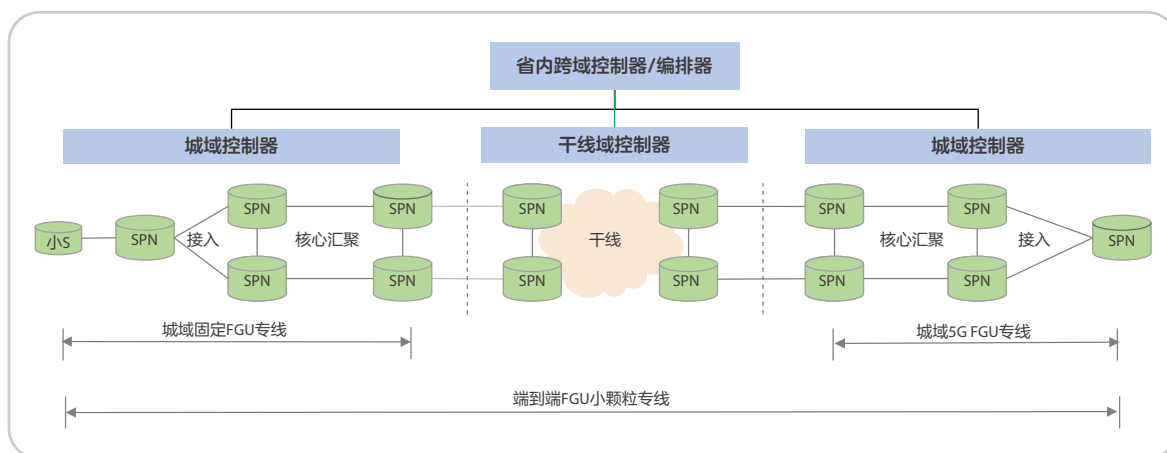


图1 SPN 2.0 FGU小颗粒技术增强SPN专线承载方案

此外，基于FGU小颗粒支持E1/STM-1的CBR（Constant Bit Rate）业务国内标准已经完成制定，并在部分行业网络中开始部署，进一步丰富了SPN的多业务专线承载能力。

赋能行业数字化专网

随着5G等新基建的发展，行业数字化专网逐

渐从单一专网向综合业务专网和虚拟专网方向演进。现阶段行业数字化转型的专网需求主要包括行业生产领域的高可靠安全通信、生产辅助的带宽连接、行业云化应用互联以及可管可控等。针对这些需求，传统SDH/OTN虽然能提供高可靠安全通信，但分组化承载能力不足，而以太网/IP虽然擅长L3云化互联，但缺乏硬隔离高可靠通信能力。SPN是分组和TDM深度融合的技术，在以太

网/IP架构中内嵌了硬隔离高可靠的TDM功能，满足新型行业专网的关键需求。MTN/FGU硬隔离切片，满足生产切片低时延、低抖动要求，提供电信级OAM和保护；MTN硬隔离切片，具备分组大带宽，满足生产辅助切片需求；支持完整的L3连接能力，具备高精度Inband OAM功能，满足云化应用互联需求；具备传输网管功能，支持SDN管控一体化，具备智能化管控能力，网络可管可控。

当前，SPN产品已经在地铁、矿山和高速等行业专网中得到了商用部署，南方电网和国家电网已经开始采用SPN承载电力综合业务，国家铁路面向十四五建设5G-R下一代铁路综合承载网络正在考虑选择SPN作为主要的接入承载技术选择。

算网融合新业务演进

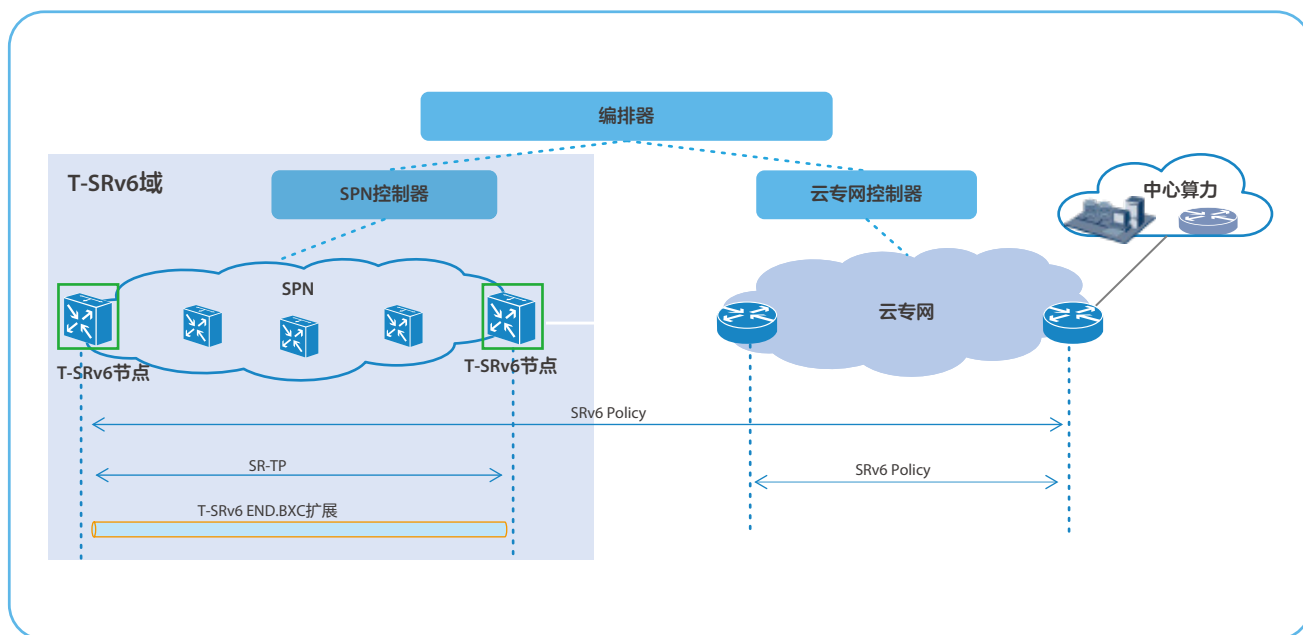
中国移动算力网络技术的发展给城域SPN带来了SRv6技术演进的需求，为此，中兴通讯联合

中国移动结合SPN切片网络的特性，提出了T-SRv6方案。T-SRv6通过扩展SRv6可编程END.BXC功能精准绑定SPN切片通道，将标准的SRv6技术与传送切片技术深度融合，形成具备传送特性的SRv6方案，满足新型算网业务硬隔离、零丢包、确定性时延和抖动等高品质差异化切片服务。SPN 2.0通过T-SRv6方案具备了切片能力开放、端到端SRv6敏捷互联、高品质差异化可编程的特性，充分将标准SRv6和SPN 2.0切片传送两大技术结合，创建具备切片传送能力的SRv6功能。T-SRv6方案如图2所示。

目前，T-SRv6基于标准SRv6可编程架构关键END.BXC功能扩展已经完成研发，同时在IETF SPRING工作组联合中国移动提交了标准草案，第一阶段的承载方案于2022年9月在中国移动现网顺利完成试点测试。

内生算力与AI

SPN 2.0在算网融合新业务演进的同时，着力



▲ 图2 SPN 2.0 T-SRv6承载方案示意图



SPN 2.0在算网融合新业务演进的同时，着力探索内生算力和AI能力，提升SPN网络的智能化和适应性。其中SPN 2.0中内置轻量级AI算力，作为超边缘算力的一种部署形态，为ToB行业应用提供算网融合服务已经取得了试点的成功。

探索内生算力和AI能力，提升SPN网络的智能化和适应性。其中SPN 2.0中内置轻量级AI算力，作为超边缘算力的一种部署形态，为ToB行业应用提供算网融合服务已经取得了试点的成功。2022年9月，中国移动联合中兴通讯在江苏常州完成首例Cloud SPN算网融合方案试点，解决了工业制造中传统质检向AI质检升级的场景，后续将探索试点模式的推广。

SPN 2.0管控AI方面已经制定了自智等级提升目标，提供持续演进的SPN网络智能管控解决方案。2022年中兴通讯联合辽宁移动推出了业务质量保障智能闭环系统方案，并在现网中兴智能管控系统ZENIC ONE（UME）上完成了该方案的功能验证。该解决方案可促使网络运维部分场景由人工变自动，由被动变主动，提升网络维护效率和业务安全性，从而达到降低客户投诉率、提升满意度的目标。

SPN设备内生AI方面已经开始构建智能化节能创新方案，通过基于AI自适应网流量的潮汐效应，实时收集网络数据，分析业务负载变化，在保证传输网严格的传输性能的基础上，制定芯片、模块、单板、网络级等多层次的节能方案，实现智能节电。智能化节能创新方案2022年也在中国移动现网完成了试点测试，初步验证可达到15%节能效果。

SPN 2.0技术进展

SPN技术由中国团队主导且已经规模应用，国内外标准化推进顺利。SPN 1.0国内行标《SPN总体技术要求》早在2021年已经完成发布，国际标准ITU-T MTN系列（G.8310、G.8312、G.8321、G.8331、G.8350）截至2022年9月全部完成发布。目前，SPN 2.0 FGU小颗粒系列国内行标也即将发布，小型化和算网SPN企标已基本完成制定，FGU在ITU-T国际标准也已经取得立项突破。加上IETF系列标准草案，SPN 2.0预计会进一步完善SPN标准体系。

同时，随着SPN产品在工业领域的应用部署，工业互联网联盟即将发布《SPN网络在工业场景的需求及应用》研究报告，系统总结了SPN在工业场景的应用情况；在2022年IMT-2020 5G承载推进组《5G-R承载技术和组网管控方案》研究报告中，SPN技术符合度最高。2022年，SPN 2.0切片方案荣在国际获得欧宽Network X“最具创新网络切片案例（Most Innovative Network Slicing Use Case）”大奖，标志着SPN的切片技术得到国际广泛认可。可以预见，随着SPN 2.0技术和方案在运营商和行业专网中的广泛应用，SPN技术将开启新的发展阶段，赋能千行百业，构建数智未来。ZTE中兴

SPN切片专线技术及其应用



周华东
中兴通讯承载产品规划
经理

专

线是运营商提供的一项重要服务，随着业务的发展，传统专线面临诸多挑战。传统专线开通周期长，不能满足企业敏捷开通、业务电商化等要求；网络黑盒，网络服务质量不透明；网络老旧，故障处理速度慢；各种制式网络林立，整体建网成本及维护成本高；网络带宽、时延等性能亟待提升，SDH逐步退网，需要补齐硬切片的网络能力。5G ToB专线专网、企业入云等新业务发展带来新的需求，包括网络安全性、可编程特性等。

为了解决上述问题，增强运营商专线的整体竞争力，更好地服务政企客户，中国移动2022年6月发布了SPN切片专线产品，为行业提供了一种高性价比的解决方案。SPN切片专线具备高隔离性、灵活带宽、确定性时延、网络可视、智能运维等特性，同时一网多用降本增效，可以充分满足行业数字化转型对专线服务提出的差异化的更高要求。

SPN切片专线概述

中国移动发布的SPN切片专线包括3个产品：基础版切片专线、进阶版精品切片专线、定制版行业切片专网（见图1）。

基础版切片专线主打共享切片、泛在接入及快速开通。业务承载在行业专线切片上，与ToC的大网切片硬隔离，不同业务之间通过VPN软隔离；标配多重保护、SLA可视等功能，选配开通进度可视、拓扑可视等功能。

进阶版精品切片专线主打小颗粒高价值、高隔离性。业务通过小颗粒或小颗粒channel方式承载，业务之间通过小颗粒硬切片隔离，满足业务隔离性、确定性时延、安全等需求；同时可以提供重路由、网络可管可控可视等功能。

定制版行业切片专网为行业提供一体化网络服务，可以根据行业需要定制，医疗切片、教育切片、电力切片等。切片内，根据业务的

	基础版-切片专线	进阶版-精品切片专线	定制版-行业切片专网
产品类别	品质升级，优先保障服务	专线专用，租户级/业务级保障服务	专网专用，大客户专业服务
网络方案			

▲ 图1 SPN切片专线产品类型



SPN切片专线为客户提供一张专属的切片网络，包括软切片、硬切片、端到端channel等，既可以满足大带宽、高突发的业务承载要求，也能满足低时延、低抖动的业务需求；通过重路由及逃生路由等方式，为客户业务提供多重保护，提高可靠性，并可以提供多种类型的网络自服务。

需求提供不同等级服务；对外，切片与其他切片硬隔离。

SPN切片专线为客户提供一张专属的切片网络，包括软切片、硬切片、端到端channel等，既可以满足大带宽、高突发的业务承载要求，也能满足低时延、低抖动的业务需求；通过重路由及逃生路由等方式，为客户业务提供多重保护，提高可靠性，并可以提供多种类型的网络自服务。

SPN切片专线技术

为了打造精准、融合、智能、低碳的新一代综合业务承载网，SPN技术面向5G承载、垂直行业及政企网络等多个场景不断演进，SPN切片专线丰富的定制化能力就建立在SPN多项关键技术基础上。

硬隔离通道技术

SPN架构创新性地提出切片以太网（Slicing Ethernet）技术，基于原生以太网内核扩展以太网切片能力，既完全兼容当前以太网络，又避免报文经过L2/L3存储查表。SPN同时支持FlexE接口技术以及SE-XC，可提供确定性低时延、硬管道隔离的以太网物理层组网能力，主要用于5G颗粒

的基础切片。

SPN小颗粒（Fine Granularity Unit, FGU）技术继承了SPN的高效以太网内核，通过层次化设计，将细粒度切片技术融入SPN整体架构，在FGU层提供端到端的小颗粒硬管道。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。通过定义FGU固定帧结构，每帧包含固定数量与位置的时隙单元，从而实现对SPN通道层5Gbps颗粒的时隙划分与复用，最小颗粒10Mbps。SPN小颗粒技术构建端到端高效、无损、柔性带宽、灵活可靠的通道和承载方式，以满足5G+垂直行业应用和专线业务等场景中小带宽、高隔离性、高安全性等差异化业务承载需求。

网络质量感知技术

SPN基于InBand OAM的端到端随流实时监测功能，能够对业务报文进行直接测量，达到实时感知每业务、每报文粒度SLA的目的，配合Telemetry秒级数据采集和统一管控、计算、可视的能力，实现网络质量实时可视、主动监控，故障快速定位。

中兴通讯InBand OAM功能支持超大并发实例数、业务流管控自学习和场景化重点保障等功能，为SPN承载多样化的综合业务提供增强的网络质量感知能力。

多重网络保护技术

可靠性是网络的重要指标，加强网络的保护能力是提高可靠性的重要手段。SPN架构中既有管控系统的集中式控制面，也有设备的分布式控制面，两者相互结合提供了多重网络保护技术。

SPN网络提供基础的线性保护，如SR-TP的1:1保护、SR-BE的TI-LFA保护等，也提供VPN-FRR的节点保护。此外，以SR-TP隧道为例，如果1:1保护的工作和保护路径同时故障，SPN提供重路由保护方案。管控系统根据动态的网络拓扑信息，计算新的业务路径并下发设备，实现多处故障场景的重路由。进一步，如果管控系统与网络设备连接中断，网络设备本身的分布式控制面可以依靠IGP协议，提供基于SR-BE隧道的逃生路由保护方案。多重网络保护技术极大地提高了SPN网络的可靠性和安全性。

泛在覆盖组网能力

SPN网络作为一张统一承载5G回传、政企集客、企业入云的综合业务承载网，目前现网部署超过40万端，整体覆盖范围较OTN、IP城域广，但较PTN网络仍有一定差距。从业务开通经验来看，最后一千米是业务快速开通的关键，因此运营商需要有一张具备泛在覆盖组网能力的网络。随着室分、微站等设备的部署，SPN城域逐步下沉，一定程度提升了SPN的覆盖能力；另一方面，小型化接入SPN的部署也将大大增强SPN网络泛在覆盖组网能力。

小型化接入SPN具备以下特征：

- 支持10GE接口小颗粒技术，将N×10Mbps硬通道延伸至客户办公桌，从而实现端到端的SPN切片。
- 更小容量，减少电量消耗，满足ToB末端接入需要；1U高度，更小体积，提升部署灵活性。
- 更加开放融合。小型化接入SPN设备可以和城域设备端到端N侧组网，降低部署难度；加入算力，实时数据采集与分析，数据不出

园区，增强数据安全性。

自服务能力

中兴通讯自研云原生平台包括意图引擎、控制引擎和感知引擎三大引擎和BigData、AI两大平台。三大引擎形成一个智能化闭环系统，两大平台为其提供支撑。SPN管控系统基于自研的云原生平台，同时结合网元设备能力，整合网络资源，为客户提供多项自服务能力。

- SLA可视能力：网络开放业务流量、时延、抖动、丢包等业务实时指标，政企开发Web/APP Portal界面实时呈现SLA指标。
- 透明开通能力：提供业务开通进度可视化，客户可以详细了解当前业务的开通进度。
- 专网连接拓扑：为行业专网客户提供总部、分支互连的切片视图，以及基于切片视图的各种切片管理维护功能。
- 带宽在线调整：基于带宽动态需求，企业客户可以在线申请增减带宽订单，并通过业务编排控制系统下发到网络，网络设备支持带宽的无损调整。

SPN切片专线试点

SPN专线的发展经历了多个阶段。2020年，主要是大颗粒切片、网络敏捷开通、网络多重保护等功能级别的演示。2021年，小颗粒专线、Inband OAM等功能开始在现网试商用部署，并开始承载电力、政企等实际业务。2022年，中国移动集团启动了SPN专线大会战，针对SPN切片承载集客业务进行端到端现网试点验证，推进SPN切片承载集客业务走向市场。

本次专线大会战针对政企公司的需求，包括SPN的三种产品。主要测试内容有：

- 业务性能：在各种场景下，端到端业务性能以及与现有模式的性能对比；
- 组网方案：在各种场景下，SPN的组网方案及部署、维护、管理、投资等多方面的优劣

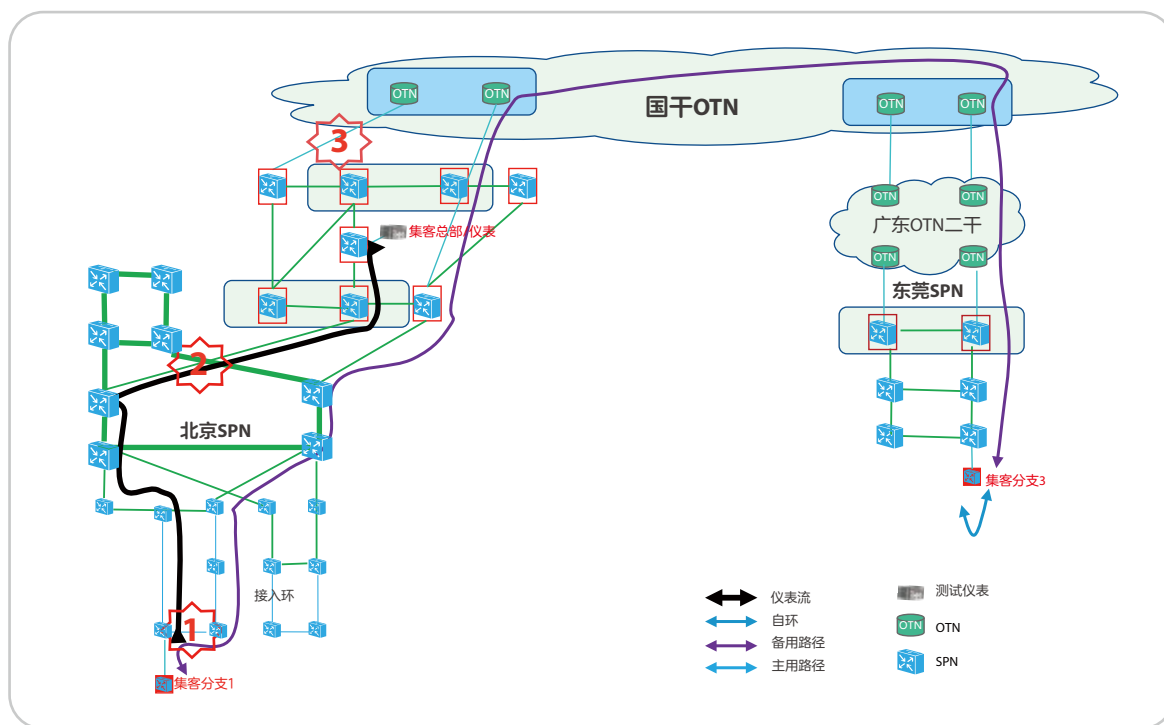


图2 SPN跨省专线测试拓扑

势对比，现网大量部署时的组网方案；

- 维护管理：各厂家SPN切片业务的维护管理模式及其他重点关注问题。

本次大会战包括跨省和省内两部分。中兴通讯参与了北京-广东跨省同厂家测试、上海-广东跨省异厂家测试，以及北京、广东省内的同厂家测试。测试充分验证了多种网络保护倒换功能，包括小颗粒逃生、对接保护等，以及带宽无损调整、业务隔离性、网络自服务等功能，并与PTN、OTN网络进行了对比。跨省专线测试拓扑如图2所示。

测试结果表明：SPN可以提供灵活颗粒的硬切片，并且可以实现带宽的无损调整；可以同时提供软硬两种切片，软切片既有一定的隔离性也可以提升带宽利用效率，硬切片实现与SDH一样的隔离性，有确定性的时延和抖动性能；重路由、小颗粒逃生路由等多种保护方式，提升了网络安全性能；Inband OAM检测的报文收发包数量统计以及时延统计，与仪表测试结果一致，可以检测网络SLA；SPN在网络敏捷及自服务等方面的能力也得到了充分验证，功能齐备。

中国移动集团同时启动了小型化SPN现网试点。小型化接入SPN应实现各类客户业务接入，满足多场景下的异厂家灵活组网需求。小型化接入SPN通过与城域SPN NNI对接，可提供端到端小颗粒硬切片，支持层次化故障定位和随路Inband OAM性能监控、二层/三层到边缘的多业务接入能力以及带宽无损调整功能。

本次试点测试，充分验证了细粒度切片业务承载、OAM、QoS、保护倒换、带宽无损调整、Inband OAM等功能和性能。小SPN现网试点为后期小SPN在现网的规模部署提供了参考和保障。

中兴通讯持续深耕SPN技术，致力于和产业链共同发挥SPN技术优势，持续推进SPN赋能千行百业。在山西、陕西、吉林、重庆等省份网络中，SPN也已经开始规模承载集客专线业务；在交通、矿山等行业，SPN技术已经开始规模商用。相信不久的将来，SPN切片专线技术将会得到更广泛的应用，服务千行百业，为中国移动、为广大用户持续创造价值！**ZTE中兴**

T-SRv6:

面向切片传送网的SPN算网承载解决方案



温建中
中兴通讯承载产品规划
经理

作 为数字经济高质量发展的关键动力，算力网络良好的发展前景被各大电信运营一致看好。以算力为核心的能力建设成为运营商转型升级、重构产业价值生态的重要契机。SPN（切片分组网络）作为算力网络的重要组成部分，当前主要为算力网络用户提供算力服务的灵活接入，为边缘算力提供云边协同和边边协同的泛在算力调度能力，满足垂直行业多样化的算力连接需求，同时要具备算网感知、算网路由的演进能力，满足算力网络向算网一体阶段演进的需求。

从当前算力网络的发展阶段来看，算力服务主要部署在省/大区数据中心。从城域SPN网络接入的算力请求，需要城域SPN、省内/省际干线（如中国移动云专网）等多张网络的协同调度才能接入算力服务数据中心，因此SPN需要支持SRv6能力以实现与云专网的互通，为用户提供SRv6一跳入云的端到端业务开通和运维能力。SPN作为传输网络，在演进支持SRv6的同时，需要考虑以下因素：

- 传输业务特性的继承：用户从SPN接入算力服务时，要求算力连接具备传输特性，如业



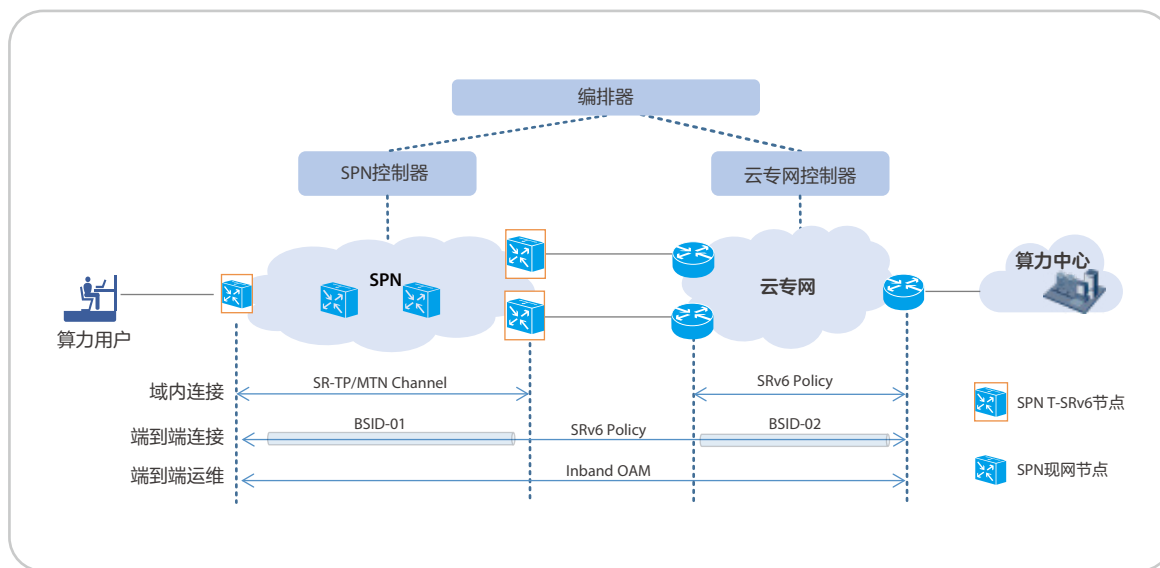


图1 T-SRv6方案架构

务双向同路径、双向时延对称、电信级保护倒换、软硬切片隔离能力等；

- 封装效率和转发性能：SPN网络应避免冗长的SRv6封装开销以及因此而带来的转发性能下降问题；
- 现网升级复杂度：SPN网络应平滑演进支持SRv6能力，避免全网升级造成的复杂工程改造和对现网业务的影响。

中兴通讯结合算力服务的多样化需求，以及SPN网络的特性和网络现状，在传统IP网络SRv6方案的基础上，创新性地提出了T-SRv6（Transport-Segment Routing IPv6）解决方案，为SRv6技术在SPN网络中的实现提供了一种新的解决方案。

T-SRv6方案概述

T-SRv6是具有传送网特性的SRv6解决方案，通过在SPN网络的边界部署支持T-SRv6能力的节点，使得SPN网络对外支持完整的SRv6能力，而SPN网络内部节点则维持原有SPN的转发机制，无需升级。该方案下SPN全网仅需升级或新增少量边缘节点，即可提供从城域接入到省际干线的端到端SRv6一跳入云算力连接能力。

T-SRv6方案架构如图1所示。由于城域SPN和省内/省际干线属于不同的管控域，需要采用层次化管控架构和业务模型。跨域编排器负责确定域边界节点和链路，SPN/云专网控制器负责各自域内的转发路径计算和配置，并将指示域内路径的BSID（Binding SID）上报给编排器，由编排器将该BSID编排到端到端SRv6 Policy路径中。由于BSID所指示的域内转发路径是由各域控制器配置的，各域内所采用的转发机制对外部网络不感知，利用SRv6可编程技术将BSID关联到域内的SR-TP或MTN Channel，SPN网络可仅在边界节点部署SRv6能力，域内仍然采用现有的SR-TP或MTN Channel转发机制，从而形成具有传输特性的SPN SRv6解决方案。

T-SRv6关键技术特性

T-SRv6方案支持标准SRv6定义的灵活可编程能力，对外可与仅支持标准SRv6方案的网络（如中国移动省内/省际云专网）互通，同时它又是SRv6与传送网技术的结合，是具有传送网特性的SRv6方案，与通用的SRv6方案相比，T-SRv6方案具有灵活切片、高效转发、双向同路、敏捷部署等关键特性。

灵活切片，满足不同行业算力连接差异化需求

SPN网络支持基于MTN（Metro Transport Network）的切片技术，可以在共享切片中提供软隔离的高可靠SR-TP连接和灵活的SR-BE连接，也可以在独享切片中提供硬隔离的MTN Channel连接。利用SRv6的可编程能力，可以采用RFC8986定义的End.BM将SRv6绑定到SPN网络内的SR-TP隧道，为算力网络提供具有统计复用和QoS带宽保障的软隔离切片通道。同时，T-SRv6方案还对标准SRv6方案进行了扩展，定义了End.BXC（Endpoint Bound to an Cross-Connect Channel）功能，用于将SRv6绑定到SPN网络内的MTN Channel硬隔离切片通道，为算力网络提供无损和时延确定性的硬隔离连接。该T-SRv6方案使得端到端SRv6可以与SPN网络内不同类型的切片通道进行绑定，从而满足不同行业应用的差异化业务SLA需求。

高效转发，充分发挥现网能力

由于跨域SRv6采用层次化架构，报文封装分为端到端SRv6封装和域内封装。T-SRv6方案下，

端到端SRv6采用通用SRH封装以实现与异构网络的互通，而在SPN域内，T-SRv6则采用SR-TP标签栈或MTN帧封装。由于SPN采用严格约束路径，采用SR-TP封装时，每跳约束的标签为4byte，且在转发过程中因标签剥离而使得封装效率逐跳提升。逐跳SRv6封装每跳约束标签为16byte，同时还需要增加IPv6头和SRH头的48byte封装，因此逐跳SRv6比T-SRv6方案的封装效率要低很多。采用头压缩技术的G-SRv6方案可以将每跳约束封装降低到与T-SRv6相同的4byte，但由于存在IPv6头和SRH的封装开销，其封装效率仍相对较低。

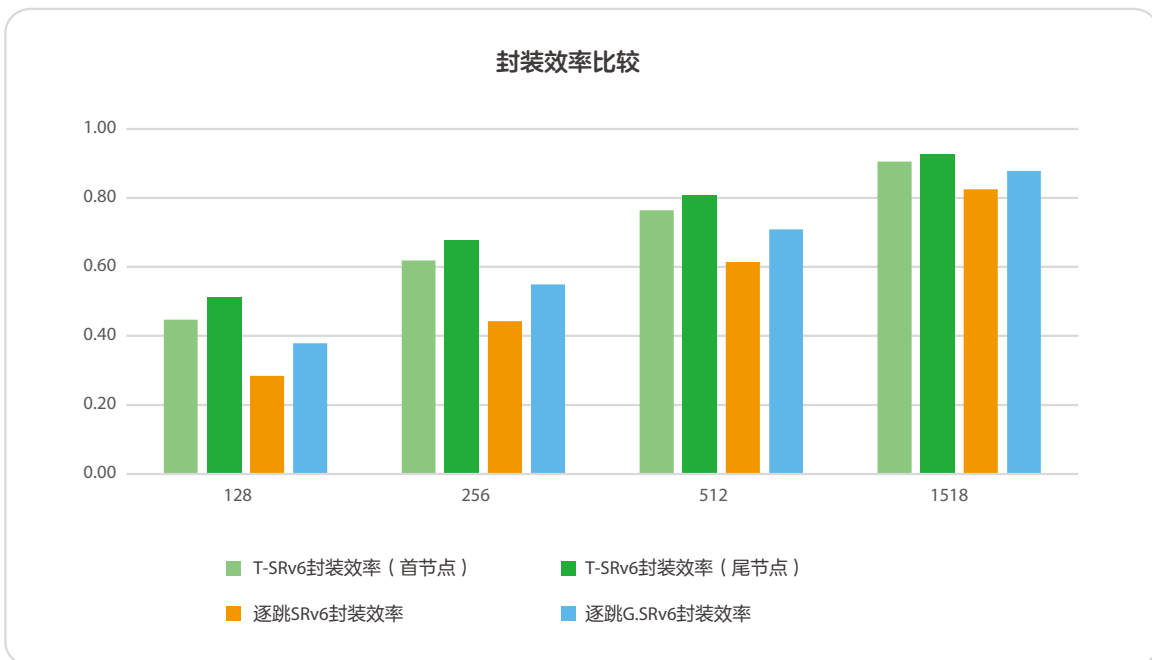
图2为不同包长下的封装效率比较（以10层约束标签为例）。

封装效率的提升，在提升有效带宽利用率的同时，也提升了转发性能，避免了报文封装字节超出设备芯片处理能力时，需要采用芯片内部绕回处理时的性能下降问题。

双向同路，满足时延对称行业应用需求

T-SRv6方案下，SPN网络中保留了传送网技术体系的特性，SR-TP和MTN Channel的转发路径

图2 T-SRv6与逐跳SRv6/G-SRv6封装效率比较



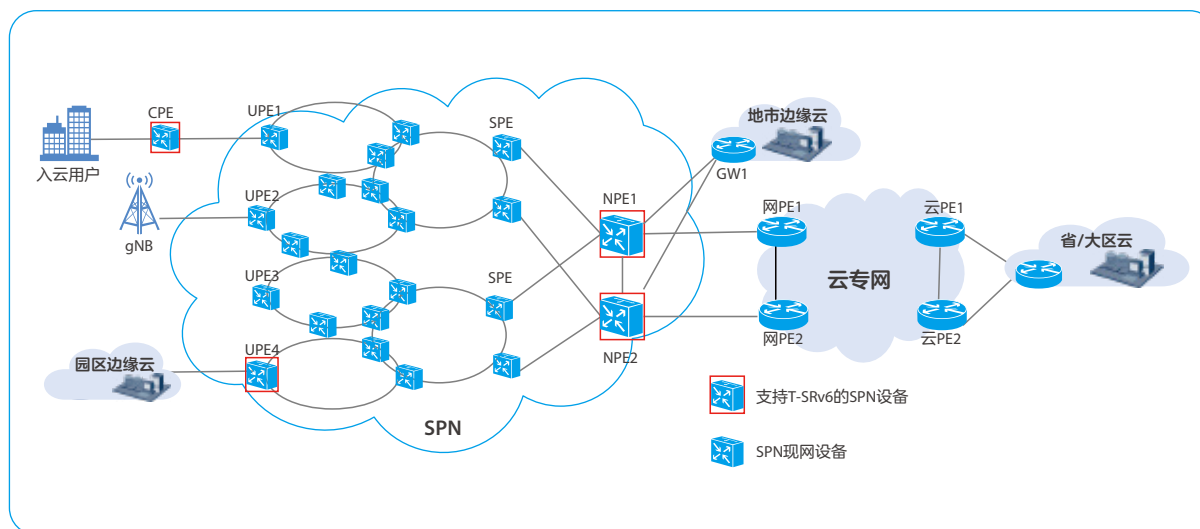


图2 T-SRv6敏捷部署方案

都是双向同路，同时其保护机制也通过APS协议实现了双向保护倒换，确保在故障倒换后转发路径也是双向同路。对于某些有双向时延对称要求的特殊行业应用（如电网差动保护信号等），有其天然的优势。

敏捷部署，快速布局算力服务

T-SRv6方案下，仅需要SPN网络边缘节点支持T-SRv6能力，网络内的转发节点不需要升级。在典型的入云业务开通场景下，SPN全网仅需增加一对和云专网对接的落地设备（或者基于现网SPN核心层落地设备升级），同时在入云业务的客户侧部署一端支持T-SRv6能力的SPN CPE，现网其他设备均无需升级，即可提供端到端SRv6一跳入云能力，实现算力连接业务的快速开通（见图3）。

持续演进，满足算力网络全生命周期需求

未来算力网络向算网一体化演进，将要求算力网络中与算力资源（如边缘云）互联的设备具有算力感知和上报能力，更进一步地，要求这些设备支持算力路由，实现基于算力的路由查找和转发，对于网络内的转发节点，采用哪种转发方式，并不影响算力网络的功能和应用。T-SRv6方

案通过升级SPN网络边界节点，可以满足未来算网一体化阶段的算力调度需求。

SRv6现网试点

为了达成“网络无所不达，算力无所不在，智能无所不及”的愿景，中国移动对算力网络相关技术进行了积极的研究和探索。在SPN网络方面，2022年上半年，中国移动研究院组织讨论和制订了《SPN算网感知设备技术规范》，并在2022年8月与中兴通讯携手在广东移动SPN现网进行了T-SRv6方案试点。本次试点是国内首个带现网业务的SPN SRv6试点，验证了SPN现网敏捷部署SRv6的能力，以及通过SRv6可编程技术开放SPN灵活切片通道的能力。

为进一步地验证SPN T-SRv6方案与云专网的端到端互通能力，中国移动与中兴通讯在浙江移动联合进行了SPN对接省内云专网的跨域SRv6互通能力验证，通过编排器进行SPN和云专网的跨专业网络业务编排，验证了SPN T-SRv6与云专网的端到端SRv6一跳入云业务开通能力。

T-SRv6在中国移动现网试点的完成，验证了T-SRv6方案的可行性和先进性，使得SPN T-SRv6方案的商用步伐向前迈进了一大步。ZTE中兴

SPN内生AI算力 及其在ToB行业的实践



何力

中兴通讯有线研究院数据
研发中心技术总工



曾淼

中兴通讯有线研究院数据
研发中心技术总工



范为杰

常州移动工维部网络规划
经理

生产企业数智化转型，普遍有部署边缘算力的需求，边缘算力可以满足数据不出园区、业务本地低时延处理的需求；同时边缘计算芯片经过多年的发展，功耗和成本已经能支持承载设备集成，实现轻量级的推理平台。中兴通讯推出的SPN内生AI算力结合应用云和网络的覆盖，可以在更大带宽、更低时延、更高可靠、更快服务的基础上通过边云协同为企业提供人工智能服务，实现园区数据接入入口，降低边缘算力部署成本的目的，支持企业加速数智化转型，全面提升数智化管理能力。

SPN内生AI算力技术方案

SPN内生AI算力技术方案在SPN接入层设备或者SPN CPE设备中内置轻量级AI算力，作为超边缘算力的一种部署形态，为ToB生产数据提供AI算力应用，内嵌超边算力用于ToB实时数据的本地推理计算，非实时高算力需求的模型训练计算放在云端。

SPN内生AI算力系统通过获取产线数据（例如高速相机或摄像头视频流数据），进行实时算法分析。并通过边云协同方案打包边缘计算、云计算和网络能力，在工业园区开展应用，将公有云能力延伸到边缘，实现园区内数据采集和实时业务本地处理。

整个系统由云端训练系统、云边交互HMO（Hyper-Management&Orchestration）系统、

园区HEC（Hyper-Edge computing）设备及园区工作台构成。

- AI训练系统：部署在中国移动九天云上，负责AI训练，接受HEC上送的训练数据进行AI训练并生成对应的模型文件下发给HEC。
- HMO：SPN超边缘算力管理和编排器，当前定义为UME的一个功能组件。支持多HEC的算力资源编排和管理功能；完成部署在HEC上的AI应用的编排和管理功能，包括应用部署、下载、更新和本地的LCM管理等；提供AI入云能力，协助完成AI训练数据上送和AI模型文件下载等功能。
- HEC：SPN内生AI算力设备，具备基础网络功能，并可配置1至多块算力单板提供扩展的内生AI算力服务。内生AI算力可以完成图像识别、AI推理、AI模型部署、推理加速等机器视觉相关应用功能；提供开放能力，可以上报网络资源、算力资源、AI推理结果等信息，也可以按需为AI训练系统提供模型训练用的生产数据。
- 现场工作台：工作台是一个独立部署系统，可解决客户对数据安全性的担忧。工作台对工业园区内的所有HEC设备进行管理，需要通过UME获取访问本地HEC设备的授权；提供对本地应用的各种管理，包括APP查看、启停等操作，对生产环境参数（如图像格式、工业接口协议等）的修改，对工业质检结果的统计和查看；通过引入现场工作台，

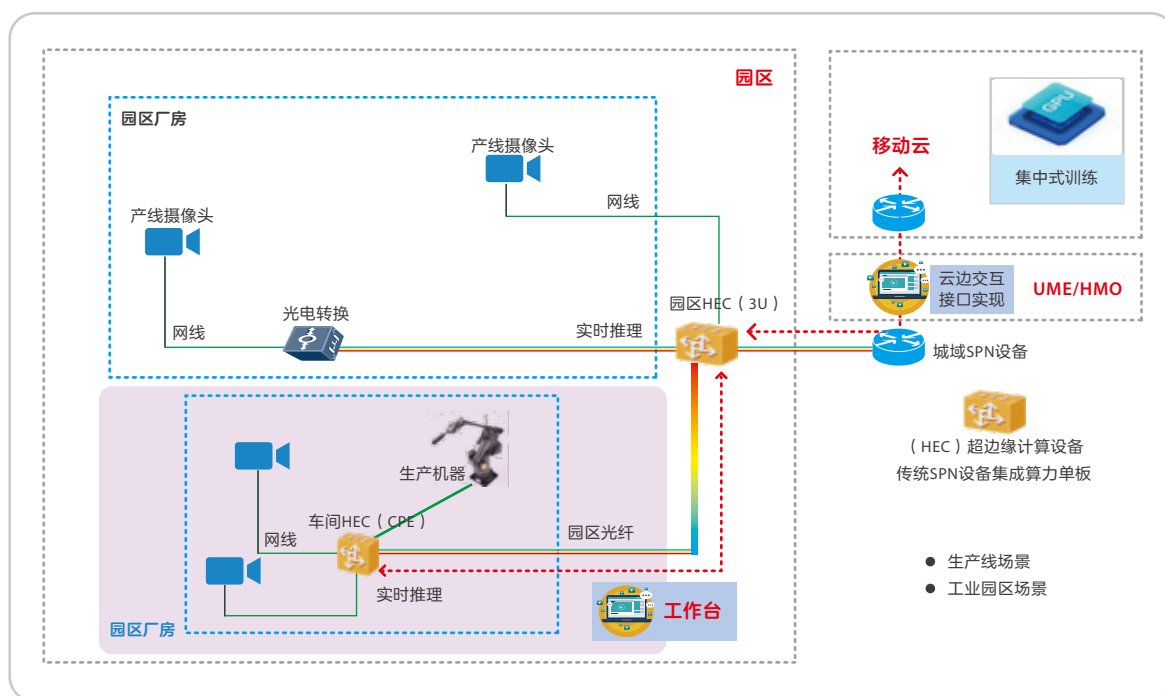


图1 SPN内生AI算力部署模型

可以实现生产数据在园区本地闭环。

SPN内生AI算力系统部署模型如图1所示。

ToB行业数智化转型实践

2022年9月，中国移动联合中兴通讯在江苏常州完成全球首例Cloud SPN算网融合方案试点创新项目应用，此项目主要面向工业制造中传统质检向AI质检升级的场景。通过Cloud SPN算网融合方案云边协同与AI智能检测全新算法模型的应用，实现客户工业自动产线喷码质量检测功能。此解决方案是在现网商用SPN产品平台增加AI算力单板以及加载AI算法模型，升级已有产品能力，支持超边缘泛在化算力服务。

中国移动联合中兴通讯提出的Cloud SPN算网融合方案，利用已有的SPN网络能力为园区提供本地轻量级计算资源池，通过云边协同方案打包边缘计算、云计算和网络能力，在工业园区SPN设备增加AI算力板卡以快速开展本地应用，通过SPN网络低时延特性将公有云能力延伸到边缘，实现园区内数据采集和实时业务的本地处理。通过前期需求分析和初步测试结果，我们验

证了三大问题的解决途径：

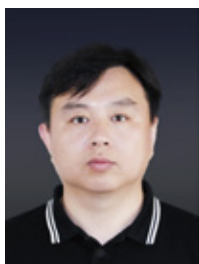
- 充分利用小颗粒切片专线的低时延城域承载网络，保证ToB应用入云的数据安全隔离，将公有云能力延伸到园区，可将公有云的智能化能力下沉园区；
- 在园区产线部署集成机器视觉芯片与应用的承载接入设备，可通过训练样本的方式快速迭代AI模型实现本地实时质检，并能解决园区用户数据不出厂、数据保密性的难题；
- 利用广覆盖承载接入设备集成算力能力，实现算力泛在化部署，并且采用云边协同架构后，对边缘算力的要求轻量化，网络设备内生算力模式大幅降低超边缘算力的部署和运维成本。

中兴通讯算网一体方案可在具备灵活带宽、多样隔离、低时延、高安全、高可靠等技术基础上为企业客户提供人工智能服务，满足不同客户的需求，从而实现开放、敏捷、差异化、智能化的专线服务，助力运营商在中小微企业的工业制造产业升级中与其建立云业务合作关系，发挥运营商潜能，提升网络价值。ZTE中兴

SPN切片以太环网智能矿山应用



李海川
陕西陕煤澄合矿业有限公司
机电动力部副部长



孟玮
天地（常州）自动化股份
有限公司通信分院副院长



唐小岚
中兴通讯行业方案架构师

智能矿山应用背景及需求

工业4.0、工业互联网、中国制造2025等数字化转型战略的相继提出，加之物联网、大数据、云计算、5G等新一代信息技术的快速发展，推动我国矿山开采向智能化方向发展。从能源结构上看，我国富煤、少气、贫油，煤炭行业的重要性不言而喻。为了推动智能化技术与煤矿生产融合发展，2020年3月国家发展改革委、能源局、煤监局等8部委联合印发了《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》，意见指出“到2035年，各类煤矿基本实现智能化，建成能够智慧感知、智能决策、自动执行的安全、高效、绿色煤矿”。

煤矿智能化是煤炭工业高质量发展的核心技术支撑，对于提升煤矿安全生产水平、保障煤炭稳定供应具有重要意义。煤矿智能化离不开通信

网络的建设，矿山通信业务种类繁多，不同类型业务对网络的需求各异，传统矿山通常部署多张物理光纤环网满足各类应用系统的通信需求。一般矿山有几十个应用系统，包含安全类、定位类、通信类、视频类，工控类等，能源局针对煤炭企业信息化各应用系统有基本要求，同时不同业务系统业务质量保证要求也各异：

- 对于井上井下移动设备和人员需求的5G系统，有大带宽、低时延、大连接综合承载需求，安全生产监控网络在政策要求下强制独立建网；
- 综采面远程控制要求低时延抖动；
- 各类高清视频、VR/AR巡检等要求大带宽；
- 各种井下传感器系统属于大连接类型。

各应用系统的业务连接方向比较多，主站系统可能在井上，也可能部署在井下的某些硐室。工业控制系统安全要求比较高，能源局明确规



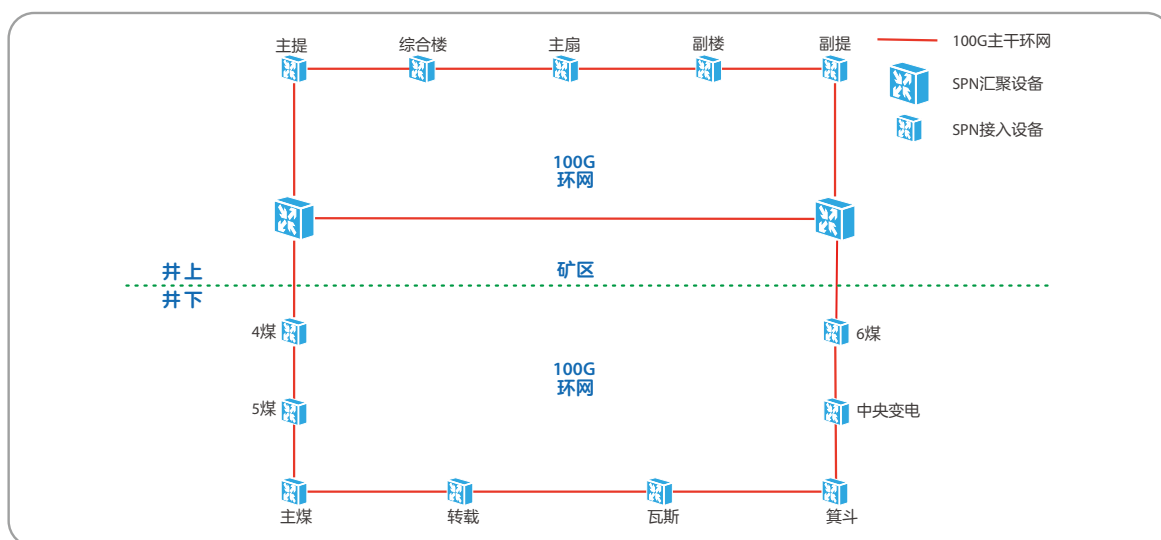


图1 SPN切片以太环网部署架构

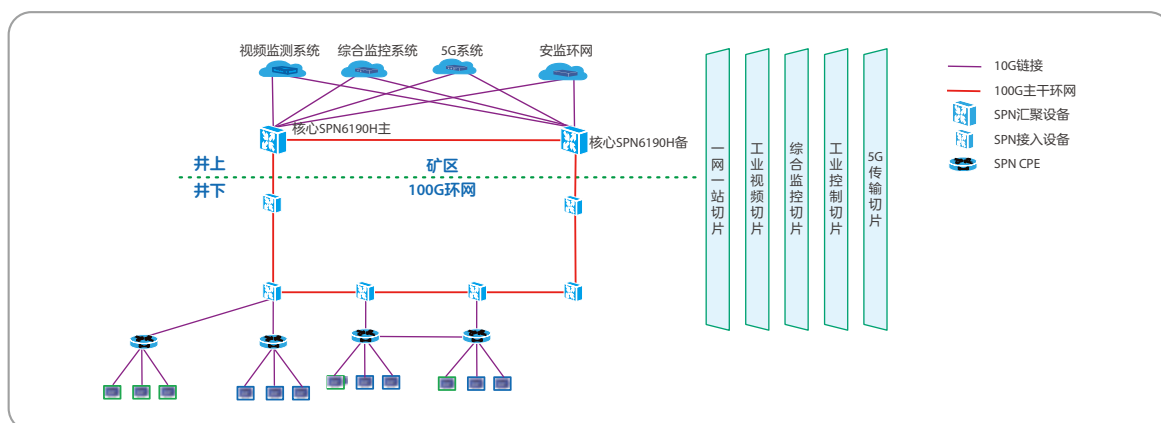


图2 SPN切片以太环网切片方案

定，智能综采工作面建设的智能化工业控制系统的网络完全等级定位第二级及以上，需要完整考虑各应用子系统数据安全。为满足不同业务的需求，传统做法是各系统单独建设，建设成本高，维护复杂。

SPN切片以太环网方案

为克服传统矿山通信网络烟囱式建设带来的成本高、维护复杂等问题，中兴通讯提出了矿区建设主干承载网实现井上井下生产业务综合承载的方案。本方案为井上井下建设一张物理环网，采用MTN（Metro Transport Network）硬切片隔离技术，提供多个逻辑环网。多个逻辑环网为不同类型的智能矿山子系统业务提供业务质量保证，通过环形组网为煤矿复杂环境提供低时延抖

动、高可靠、高安全、扩展性好的传输组网方案（见图1）。

核心汇聚采用一对SPN汇聚设备，井上井下采用SPN接入设备和SPN CPE，井上井下分别采用100G环网或50G环网，组成带宽不小于100Gbps的以主、备中心为交点的传输自愈保护相交环。主备汇聚节点的建设满足等保2.0三级以上保护要求，并且提供业务的统一接口，对接数据中心或办公网络。基于SPN低时延特性，矿区内环路时延小于1ms，并提供节点保护、链路保护、设备主备冗余等多种保护技术，实现高可靠的智能矿山骨干传输系统。

针对各业务子系统的数据传输和业务特性要求，将100G大带宽SPN切片以太环网划分5个切片：一网一站切片、工业视频切片、综合监控切片、工业控制切片、5G传输切片（见图2）。切片

表1 子系统切片应用方案

切片	包含系统	切片参数
5G（或含细粒度切片）	5G传输切片	20%
一网一站	应急广播系统、人员精确定位系统、信息发布系统、无线通信系统	10%
视频监控（30G切片）	工业视频系统	30%
综合监测（10G切片）	信息发布系统、KJ-628矿井水文监测预警系统、ZWX8矿用分布式光纤测温系统、束管监测系统、顶板灾害监测系统、冲击地压监测系统、粉尘灾害监控系统、地质保障系统	10%
工业控制（或细粒度切片）	掘进管控系统、智能化采煤工作面系统、主煤流运输系统等18个工业控制类应用子系统	10%
预留	待后续根据流量扩容分配	20%

内子系统内业务可通过不同的VRF（Virtual Routing Forwarding）隔离，达到不同类型业务硬隔离、同一类型业务子系统软隔离的目的，既保证了业务的可靠传输，又能方便业务的分类管理及不同业务终端的接入。业务的承载可以采用L2VPN over MPLS-TP隧道，或L3VPN over SR-TP隧道，可根据业务需求和特性选择。两端SPN汇聚设备热备或冷备，其中一端SPN汇聚设备与服务器连接实现热备或冷备节点保护。在1个切片内，一端SPN接入设备去同一端SPN汇聚设备的多条PW可以选择共用同一条隧道，配置隧道保护，支持按需配置网络侧的HQoS配置。

带宽配置及详细业务系统数据切片分配详见表1，工业视频系统分配30Gbps带宽，5G传输切片分配20Gbps带宽，其他3个切片各分配10Gbps带宽，预留20Gbps带宽，可根据需要对切片带宽进行灵活分配和调整。

本方案通过5G承载技术，特别是硬切片隔离技术的应用，大幅降低建网成本，简化运维，为下一步矿井智能化建设打下了坚实基础。方案优势包括：

- 超大带宽：全光主干环网可平滑扩容至100GE带宽，满足未来十年业务发展需求；
- 一网到底：一根纤，一套设备，一张融合组网，工业环网、视频环网、5G多网合一；
- 安全隔离：FlexE技术支持业务端到端硬隔离，切片满足差异化业务质量保障需求；
- 自主可控：中国主导的新一代5G传输国际标准，已完成5G大规模商用验证。

方案实践

2022年11月，中兴通讯联合中煤常州院为陕煤西卓煤矿建成SPN切片以太网，打造了业界领先的100G SPN以太切片环网，实现了智能矿山井上井下生产业务综合承载。中兴通讯SPN承载设备采用MTN硬切片隔离技术，为井上井下提供一张物理环网，多个逻辑环网为各智能矿山子系统业务提供不同业务类型的质量可靠保证。

本次陕煤西卓煤矿SPN承载技术在ToB领域的成功应用，将为西卓煤矿年产千万吨级别智能矿山提供可靠基石，加速推动5G+智能矿山的数字化转型。ZTE中兴

SPN赋能电力5G虚拟专网

随

随着气候变化的严峻形势日益显现，越来越多的国家和地区开始制定碳达峰和碳中和的计划和目标，并采取具体的行动来减少温室气体的排放，促进低碳经济的发展。中国政府在2020年联合国大会上提出了“3060”目标，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。为了实现双碳目标，我国将着力构建清洁低碳安全高效的能源体系，控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统。电力5G虚拟专网的提出，将助力电网公司打造能源互联网与能源互联网企业，推动新型电力系统转型升级，从而支撑双碳目标。

电力5G虚拟专网业务需求及背景

电力5G业务主要分为控制和采集两大类，遵循电力安全要求，以安全分区可进一步分为4类：生产控制大区-安全区I、II，管理信息大区-安全区III、IV。电力网络承载的业务差异性大，安全等级要求各不相同。比如生产控制I区的差动保护业务，对通信时延（端到端时延小于12ms）及可靠性要求高，高度依赖光纤通信，但配网终端通信点多面广，且布局分散；I区配电自动化业务和生产控制II区的大带宽视频会议业务对同步精度要求高，通过继电保护自动装置监测配电网线路和设备状态信息，快速实现配电网或设备故障精准定位，迅速隔离故障区段或故障设备。



王文帝

国网江苏公司南京分公司
数字化专职



郝昌俊

南京移动网络部网络规划
管理



周文端

中兴通讯承载产品规划
总监



对于电力视频监控的场景，特别是高清监控需要超大带宽支持，如在变电站、高压线塔等区域部署4K摄像头，可部署多个进行多角度全方位的检视。

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，大区内部逻辑隔离。传统电力网络分区依靠SDH、OTN、电力线载波等多种承载方案叠加部署，部署成本高，无法保障业务需求，也无法实现集中管控。

电力虚拟专网业务承载方案

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（见图1）。

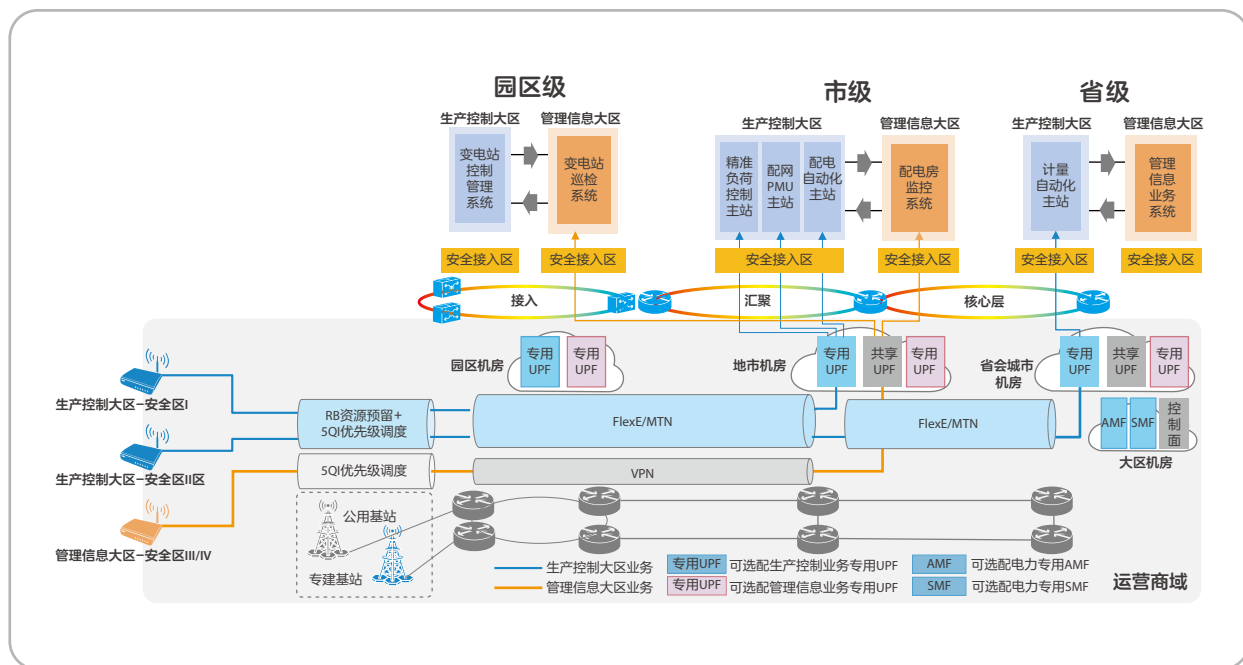
综合不同类型业务要求，网络切片规划时生产控制大区业务通过划分专用且资源独占的网络切片，并在无线侧使用RB（Radio Block）无线资源块预留叠加5QI优先级调度技术，承载侧使用MTN（Metro Transport Network）切片技术，核

心网使用专用UPF（User Plane Function），实现与管理信息大区、其他ToB业务及公网业务之间的物理隔离；管理信息大区业务通过无线侧5QI优先级调度、承载侧VPN隔离、核心网共享行业网UPF，实现与其他ToB业务及公网业务的逻辑隔离，实现方案如表1所示。

针对电力业务的小颗粒带宽和业务硬隔离需求特性，在MTN1.0标准5G带宽切片基础上，可部署FGU小颗粒（最小支持10M带宽）承载控保类高安全等级业务，如图2所示。

安全III和IV区业务可共享VPN承载在现网的集客共享硬切片，安全I和II区业务可通过FGU小颗粒切片承载在独享VPN，FGU小颗粒切片可灵活分配N×10M带宽。在共享大网硬切片中，不同切片业务之间基于优先级调度；切片业务是独享VPN或是与其他切片业务共享VPN，主要取决于是否存在IP地址冲突，以及是否需要独立管理运维等角度来考虑。

根据需求所列业务，结合传输切片特性，VPN可设计为：对生产控制大区-安全区I/II业务采用MTN硬切片（含小颗粒）与管理信息大区-



▲图1 5G虚拟专网电力业务承载方案

方案 业务类型	无线	传输	核心网	切片及DNN (Data Network Name)
生产控制类业务	RB资源预留+5QI优先级调度	FlexE或MTN切片1隔离+VPN隔离	省级或地市级专用UPF	为生产控制I区和II区分配专属的S-NSSAI, 并按需为业务分配专属的DNN
管理信息类业务	5QI优先级调度	VPN隔离	省级或地市级行业网共享UPF	为管理信息III区和IV区分配专属的S-NSSAI, 并按需为业务分配专属的DNN

表1 5G虚拟专网切片方案

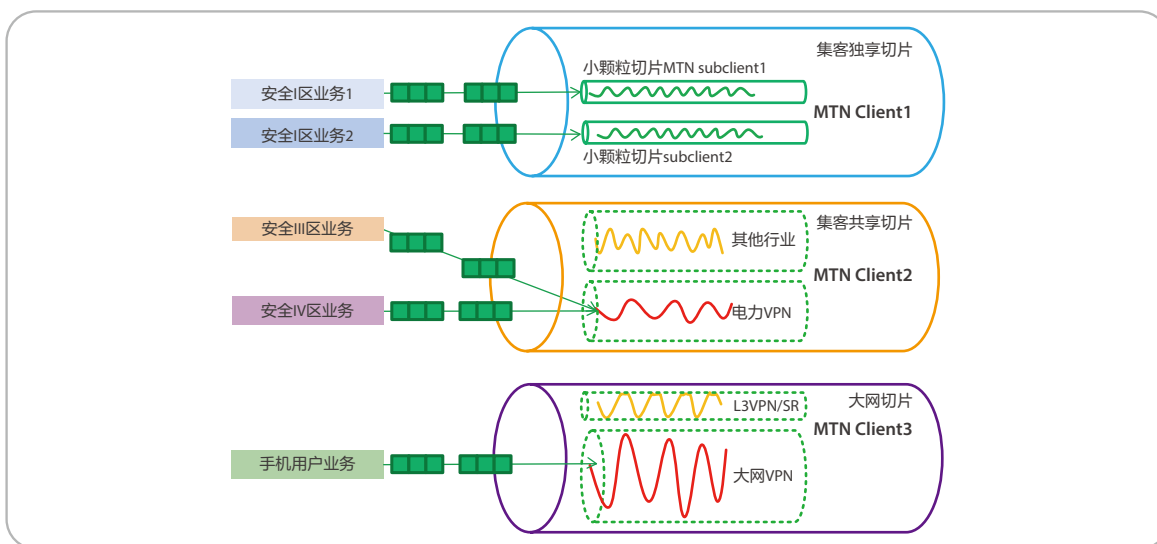


图2 SPN切片承载电力业务建议

安全区III/IV时隙硬隔离,安全区I/II业务内业务,可采用基于MTN client通道SR隧道的L3VPN或MTN subclient通道MPLS隧道的L2VPN,也可根据现网条件在MTN硬切片通道上采用VPN软隔离承载;对管理信息大区-安全区III/IV业务采用MTN硬切片和VPN软隔离承载。

江苏电力5G虚拟专网实践

2022年8月,南京移动携手中兴通讯与国家电网江苏电力公司三方联合在南京江北新区顺利完成5G无线、核心网、承载网端到端切片环境下的差动保护、配电自动化、分布式光伏、精准负荷控制等电力生产控制类业务的测试验证。

本次测试通过核心网电力专用UPF承载电力业务,传输SPN采用中兴通讯的ZXCTN6700核心汇聚设备和ZXCTN6180H接入层设备。测试结果表明,SPN小颗粒切片承载可实现电力控保业务安全隔离,相比于集客共享切片,小颗粒切片不受拥塞流的影响,具有刚性隔离类SDH能力;可根据电力业务带宽需求,部署最小10Mbps颗粒度硬切片,实现5G虚拟专网提供9ms端到端平均时延、零丢包率、可靠性>99.999%、同步授时精度误差小于500ns(满足电力业务1μs要求),可为电力业务提供安全、高效、确定性时延抖动的通信管理通道,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坚实基础。ZTE中兴

铁路5G-R承载技术分析



刘爱华
中兴通讯资深系统架构师



李云龙
中兴通讯承载产品规划经理

铁路5G-R承载网络总体背景

2020年，国铁集团发布了《新时代交通强国铁路先行规划纲要》，为新时代铁路通信技术发展明确了方向。纲要中提出了“发展自主先进的技术装备技术体系”“提升基础设施装备技术水平”“以新型基础设施赋能智慧发展”等方面的主要任务。

为进一步贯彻落实党中央加快5G网络等新型基础设施建设的决策部署，国铁集团制定了铁路5G专用移动通信系统（5G-R）建设的总体目标，5G-R将成为面向铁路生产运营的大规模5G专网。同时，随着铁路各业务IP化不断发展，网络智能运行、资源智能管理、系统智能维护、业务智能应用的发展目标日益明确，各方面对铁路下一代承载网技术提出新的需求，主要包括5G-R与行车相关的生产业务安全可靠通信、5G-R切片隔离、现有多业务综合承载、铁路专网可管可控等。

为了更好地支撑铁路5G-R建设，根据5G-R关键需求和铁路业务综合承载的发展评估选择合适的承载技术方案，是当前阶段承载网络最重要的工作。在2022年IMT-2020 5G承载推进组由中国通号院牵头的关于5G-R承载方案研究项目中，对SPN、IPRAN和M-OTN三种技术方案均进行了相对全面的分析，当前SPN作为TDM和分组技术深度融合的自主标准化技术方案具备相对优势，有望成为5G-R接入回传和铁路综合承载的主要选择方案。

SPN 1.0已经在运营商规模商用，当前正在从1.0向多业务综合承载的2.0阶段演进，通过具备10GE接口的10M FGU小颗粒硬隔离切片、E1/STM-1

CBR多业务承载，结合成熟的MTN大颗粒硬隔离切片、Inband OAM高精度性能测量和可管可控的传输特性，能够为5G-R和传统铁路通信业务提供从L1到L3的综合承载服务，具备同时满足现有SDH高隔离高可靠和可管可控的承载能力，契合铁路5G-R的承载需求。

5G-R承载网面临的主要挑战

运营商5G建设已步入规模商用阶段，5G-R作为5G技术在铁路生产行业的专网技术，面临铁路生产运营的差异化需求。5G-R承载技术面临的主要挑战如下：

- 传输特性L3组网：5G-R继承GSM-R的传输网络特性，相比现网的GSM-R，对现有SDH/MSTP传输网除了带宽要求外，主要引入灵活L3组网能力，同时尽量保持SDH/MSTP硬隔离、高可靠、可管可控的传输特性，具体包括L3双向连接、全网流量规划、完善的OAM和保护等，满足铁路专网的质量要求。
- 安全隔离与可靠传输：5G-R系统需要承载调度通信、列车控制等铁路生产业务，同时也存在视频监控、线路巡检等运营辅助业务以及其他铁路应用，对生产业务和生产辅助业务要求提供传统SDH/MSTP相当甚至更高的安全可靠传输要求。生产业务和生产辅助业务以及其他应用之间提供TDM硬隔离。
- 大规模专网管控：5G-R全国大规模专网对网络规划、建设、维护和优化要求更高，要基于全网业务可管可控，增强传输网管的管控



从铁路5G-R总体建设目标来看，SPN 2.0技术标准以及产品非常匹配5G-R对承载的建设要求，技术能力具备相对优势。当前，国铁集团正在开展各项5G-R技术验证测试，中兴通讯SPN正积极配合支持测试工作的开展。

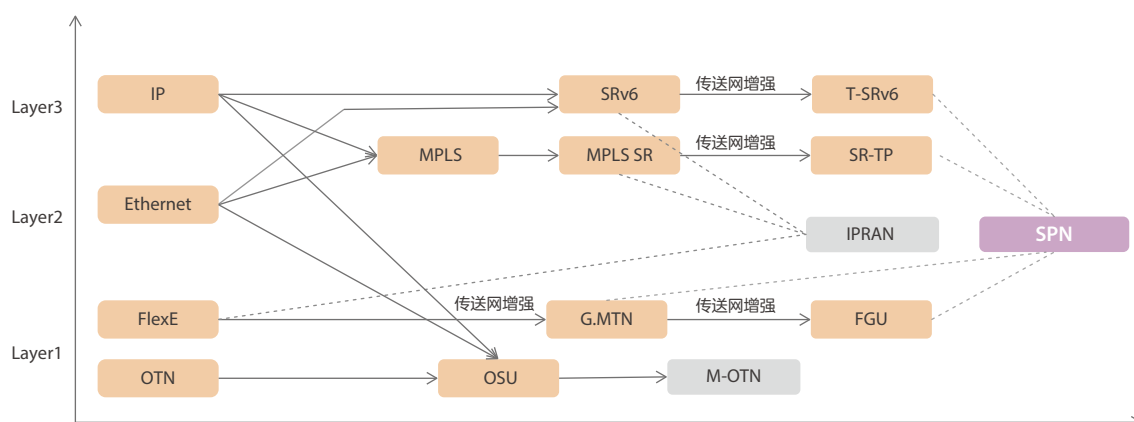


图1 承载传送技术路线简要发展示意图

能力，实现业务快部署、稳运行、易排障和智运维。因此，采用管控一体化架构继承现有SDH/MSTP的管控能力并持续演进是相对合理的方式。

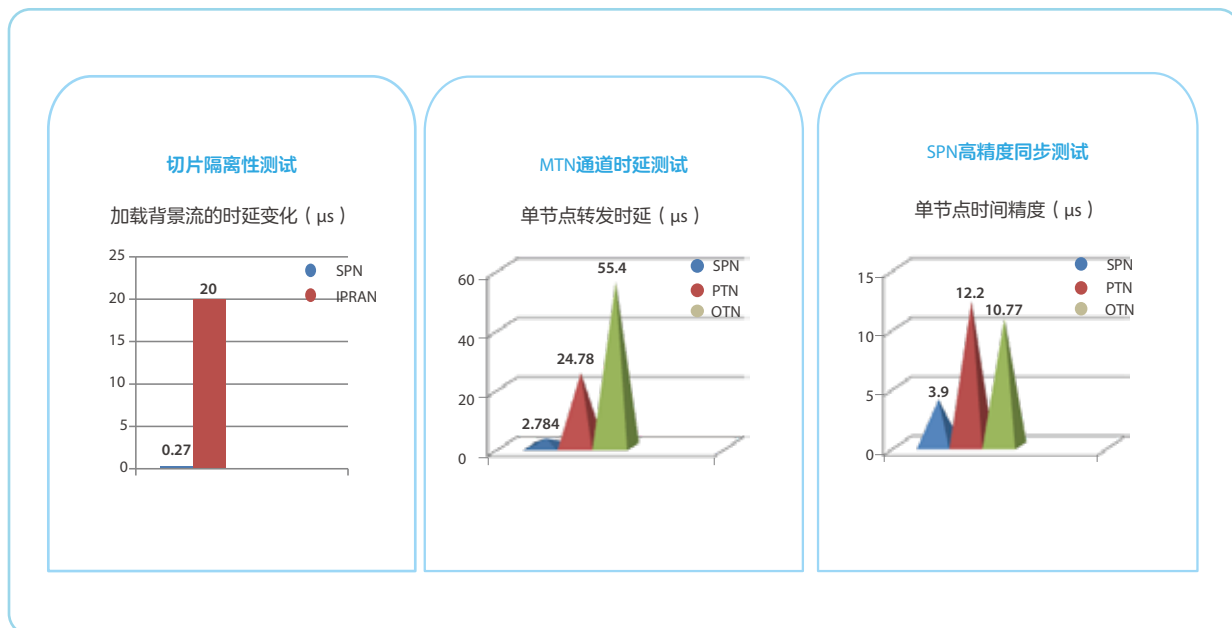
5G-R承载技术分析

5G网络设计阶段，IMT-2020 5G承载推进组2018年发布的白皮书《5G承载网络架构和技术方案》重点评估分析了三种5G承载技术：SPN、IPRAN 2.0和M-OTN，并对三种承载方案进行了分

析。从技术发展的角度，三种技术方案均体现了传送技术和分组技术持续融合发展的结果，区别在于不同技术对传送和分组融合的层次和深度存在差别。对承载传送技术路线的发展简要分析如图1所示。

从图1可以看出，不同承载技术对于5G-R承载挑战的技术支持度存在一些差异：

- M-OTN沿用OTN专用接口，具备TDM硬隔离切片能力，但缺乏5G回传应用，无L3组网功能；
- IPRAN 2.0具备L3组网能力，但是传送网增强



▲图2 承载技术关键性能指标测试

能力不足，缺乏传输网TDM硬隔离和丰富的可管可控能力；

- SPN同时具备TDM硬隔离和L3组网能力，已经规模承载了5G业务，具备丰富的可管可控功能。

除了技术方面的分析，针对三种承载技术，运营商也开展了性能对比测试，测试数据分析显示，SPN技术在支持5G和综合业务承载的关键性能指标中领先，如图2所示。

根据IMT-2020 5G承载推进组关于5G-R承载方案的研究报告，三种5G-R承载方案中SPN相对技术满足度更好。在刚刚结束的5G-R技术选型测试中，中兴通讯SPN顺利完成了所有的测试内容。

目前，SPN 1.0技术在ITU-T已经发布系列国际标准，SPN 2.0 FGU小颗粒技术又取得了ITU-T国际标准立项突破。SPN产品目前已经大规模部署，现网设备量超过了40万端，逐步推广到电力、地铁、高速、矿山等生产专网，具备5G-R承载的成熟产业链。

结合上述铁路5G-R承载网的主要挑战分析，以及当前承载网技术发展路线，采用SPN技术承载5G-R方案具备以下优势：

- 基于SPN建设端到端5G-R回传L3网络，支持5G业务软硬隔离切片，实现专网业务可管可控；
- 通过SPN TDM硬隔离通道，支持E1/STM-1 CBR承载能力，实现5G-R和铁路生产业务综合承载；
- 发扬SPN标准自主和产业链优势，建设铁路下一代综合业务接入和承载平台，支撑5G-R交通强国的总体战略。

从铁路5G-R总体建设目标来看，SPN 2.0技术标准以及产品非常匹配5G-R对承载的建设要求，技术能力具备相对优势。当前，国铁集团正在开展各项5G-R技术验证测试，中兴通讯SPN正积极配合支持测试工作的开展。中兴通讯已经将SPN 2.0满足5G-R承载作为重要的需求进行产品规划和研发，助力智慧铁路发展。ZTE中兴

SPN动态节能方案

助力广东移动实现绿色承载

当

前全球面临气候变暖的挑战，中国政府在《2021年国务院政府工作报告》中提出力争2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和。中国移动通信集团认真贯彻落实政府决策，于2021年将“绿色行动计划”升级为“C²三能——碳达峰碳中和行动计划”，并明确节能降碳工作目标，到“十四五”期末，单位电信业务总量综合能耗、碳排放较“十三五”末下降均超过20%。

中国移动传输网络能耗占比约5%~10%，现网业务流量存在明显的潮汐效应以及周期变化，而网络设备功耗不随业务负载变化，无效功耗大。

基于上述挑战，中国移动通信集团广东公司联合中兴通讯于2021年4月启动SPN网络的AI节能研发，2022年5月在韶关现网成功试点应用。

SPN AI动态节能技术方案

SPN现网流量随时间变化呈明显的潮汐效应和周期变化，AI动态节能创新方案实时收集网络数据，分析和预测业务负载变化，在保证严格的传输性能的基础上，制定芯片、模块、单板、网络级等多层次的节能方案，实现智能节电（见图1）。

AI动态节能通过大数据技术和AI算法对SPN网络业务流量进行分析和趋势预测，制定和执行合理精准的节能策略，同时根据网络设备和业务运行状态，制定了各种安全保护机制，以及节能退出机制，保障网络和业务安全。

流量数据分析：确定主流场景

通过为期半年的流量数据采集确定场景类型。根据业务类型分为基站业务流量模型和专



韩吉科
中兴通讯有线产品服务规划
资深专家



杨新建
广东移动网络管理中心传输
动力室副经理

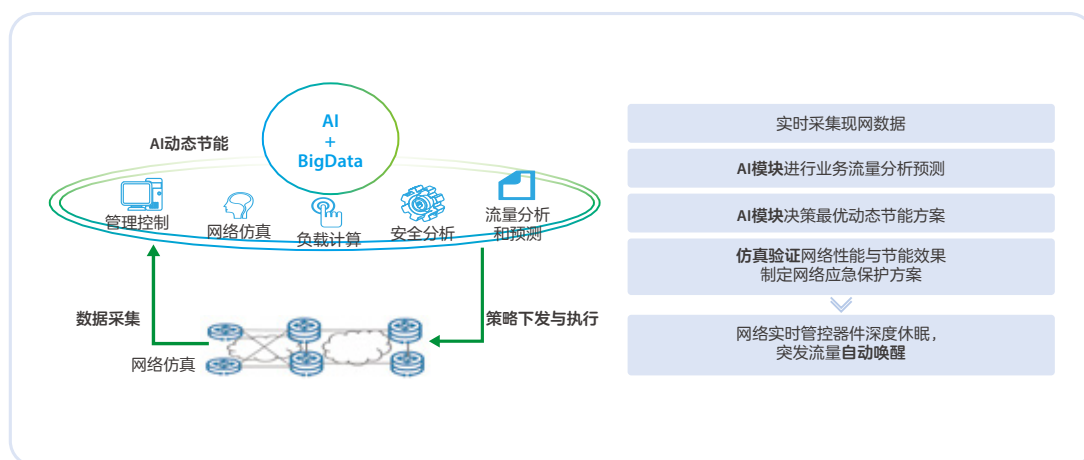


图1 AI动态节能技术方案

线流量模型；根据业务流量大小区分高流量地区和低流量地区、流量特征规则地区和流量不规则地区；根据业务流量变化区分短周期和长周期场景。

流量趋势预测及节能策略选择

长期趋势预测采用Prophet算法和LSTM算法，以多模型融合加权，并结合每个定时周期运行情况，预测下一周期流量走势，以此产生周期预测基线，明确流量最大预测区间和最小预测区间。

短期预警算法采用ARIMA和指数回归算法，对实时流量进行预测及趋势判断，基于实时流量趋势做出节能决策，包括芯片休眠、模块休眠和单板休眠；并对长期趋势模型进行评估，根据实时流量实时追踪并修正。

节能安全机制

通过沙盘模式，节能算法模拟运行，仿真节能效果，评估节能算法对设备和业务的影响，并模拟计算节能效果。

多层次保护机制

鉴于SPN网络在整个通信网络中的基础地位，网络安全至关重要，节能方案充分考虑安全保护，实现从网元到网络的多层次安全保护机制。

网元侧，运用多项回归类算法实现网络流量的加权分析和预测，生成趋势预判模型，构建能耗预测基线，计算基于流量模型安全可靠的节能空间。同时，根据设备结构热力学模型，控制设备内能耗分布；结合中兴自通讯研核心芯片的设计，完成设备内芯片、风扇、模块和单板不同级别器件的调节，在安全可靠的环境里执行节能策略。

网络侧，为了应对传输网广泛存在的保护倒换流量迁移等场景，控制器从部署的整体视角，对部署网络各网元间流量的关系进行关联分析，

实时计算每个网元保护路径及预测可能迁移的流量，规避单网元无法预测的突发性阶跃冲击，从而构建网络层面的节能策略，保证严格网络性能条件下的节能。

节能模式退出机制

为确保业务正常运行，系统设计了3个节能模式退出机制：当实时流量大于设定的阈值、设备当前存在特定告警和手动关停节能模式。

广东移动现网验证

AI节能方案经过广东移动和中兴通讯多次方案研讨，并在实验室经过多轮验证，于2022年5月在韶关移动规模部署和验证。

节能效果

广东移动现网955台6700设备，预计未开启动态节能耗电1651.77万度，开启节能后预计节能15.28%，年节约252.39万度，折合电费201.91万元。

安全性验证

设备进入节能模式，对突发流量、插拔板件、隧道倒换、强制关停节能模式等四个场景测试，查询系统均无告警及丢包等异常情况，达到预期目标。系统运行半年多，经受住端午节、购物节、高考、国庆节、春节等重大节日和活动场景考验，系统运行安全稳定。

成果推广

在广东移动成功试点的基础上，中国移动集团积极向其他省份推广SPN动态节能方案，已经开始在黑龙江移动应用，并陆续在甘肃移动、贵州移动、浙江移动、云南移动、福建移动开展应用，预计今年将在中国移动国内所有省份完成试点和应用。[ZTE中兴](#)

SPN赋能长沙轨交， 打造精品智慧地铁

2022年6月，长沙地铁6号线开通初期运营。其专用传输系统采用中兴通讯SPN设备组网，是全国首个SPN轨道交通专用通信传输网。

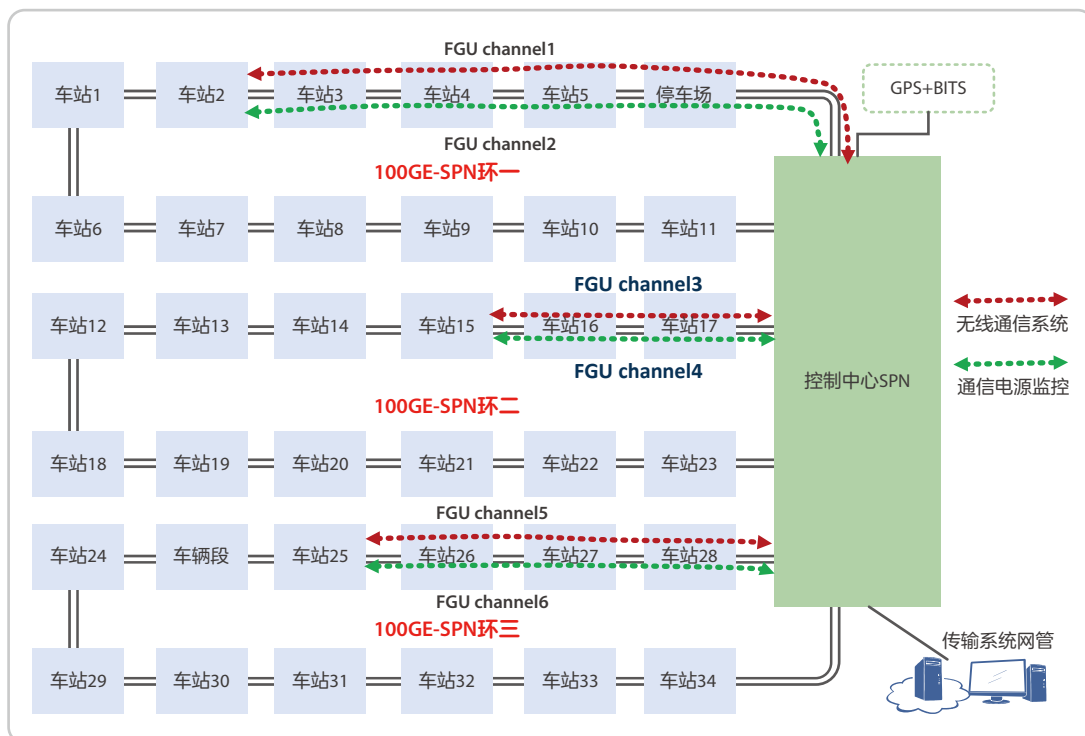
地铁是城市交通的主动脉，通信网络是地铁运营的基本保障。地铁通信业务复杂，包含行车控制、调度通信、视频图像、检测监测等传统业务，以及海量传感器数据传输、无人驾驶等新业务，对带宽和时延的需求各不相同，而行车相关的业务对安全性和可靠性等级要求更高。

传统的MSTP组网，线路侧最大带宽为10Gbps，

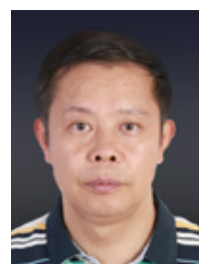
无法满足地铁急剧增长的带宽需求，也很难满足地铁众多业务类型的汇聚需要。中兴通讯针对长沙地铁6号线传输网络部署的场景化具体要求，推出SPN端到端承载解决方案（见图1）。与传统传输方案相比，SPN融合了TDM和分组交换功能，支持超大带宽、融合硬切片和软切片，为地铁专用通信和智慧运营提供通信保障。

层次化的大小颗粒硬切片技术

长沙地铁6号线在轨交通信现网中首次商用



▲ 图1 SPN组网示意图



廖国庆
中兴通讯承载产品政企
市场规划经理



尹丹玲
长沙穗城轨道交通有限公司
通信技术主管



丁惊
长沙穗城轨道交通有限公司
通信技术主办

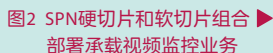
基于硬切片和软切片实现嵌套切片

的汇聚，汇聚后的业务均通过此硬切片通道承载。可以部署VPWS（Virtual Private Wire Service）和VPLS（Virtual Private LAN Service）等不同业务模型，通过VPN等统计复用技术充分提升硬切片传输通道的带宽利用率。

和传统MSTP的EOS（Ethernet over SDH）汇聚功能相比，EOS背板带宽一般为2.5Gbps左右，而SPN设备对硬切片业务可以提供 $n \times 5G$ 带宽，最大可以达到线路带宽。此外，EOS的背板上虚级联组VCG（Virtual Concatenation Group）的汇聚比一般不大于48，在组网应用时容易受限；而SPN设备的软切片基于VPN技术，SPN设备可支持的伪线、隧道数量可以到K级别，完全满足业务类型多、站点和业务数量大的应用场景。

超大带宽

网络线路侧采用100GE组环，为地铁各子系统提供冗余、可重构、灵活的信息传输及交换信道，基于大带宽弹性分組管道，保障地铁安检信息实时采集与集中处理，实现人、物同检，全面提升检验和回查追溯的效率与准确度。此外，基



于SPN的FlexE的链路捆绑功能，将两个100GE的物理通道捆绑起来，形成一个大带宽的逻辑通道，支持高速率业务通过低速率物理端口的传输方式，可以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200GE超大带宽，将为智慧平台建设提供充分的通道保障。

支持E1 CBR

地铁中的E1业务一般是重要的生产业务，如调度电话等，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) 方式承载E1业务，客户业务以66B码块的方式直接映射封装到10Mbps的小颗粒硬通道，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，既能保证业务带宽、误码性能，还能提供类似SDH的时延性能。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，满足了地铁生产业务的高安全可靠要求。

完善的网络保护方式

SPN设备具备网络级的分层保护能力。支持电信级快速保护倒换，倒换过程中保证50ms以内的业务损伤时间；支持基于控制器的重路由功能，可以达到类似ASON的永久1+1保护效果。

SPN设备在客户业务子层支持VPN FRR/IP FRR保护，实现PE节点冗余保护功能；支持以太网接口链路聚合组 (LAG) 保护，提供更高的带宽和链路可靠性。在网络传送子层支持线性保护、双归保护、环网保护、任意拓扑SR-BE保护。在切片通道层支持MTN path 1+1保护功能，业务保护倒换时间可降低到数毫秒。SPN的重路由、切片通道保护等提供了比SDH、MSTP技术更强的功能、更高的性能，保障了轨交业务的高安全性和高可靠性。

超高精度的1588时间同步

SPN设备支持同步以太网功能，实现稳定可靠的频率同步；支持PTP功能，实现超高精度的时间同步，为地铁无线子系统等提供必需的同步信号。

SPN的高精度时间同步主要包括超高精度时钟源和超高精度的时间传送技术。时间服务器跟踪卫星，性能可从100ns提升到30ns。超高精度的时间传送技术通过优化接口时间戳处理、1588时间同步协议演进和单纤双向改进链路对称性来改进SPN设备的传输时间同步精度。SPN设备可以提供每站点+-5ns的超高时间精度，可为未来智慧地铁的各种新业务提供精准的同步保障。

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UME管控系统，SPN网络实现了网络集中管控、全网策略统一、E2E全网可视、智能运维等，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。

长沙地铁6号线自开通运营以来，通信系统运转良好，各项业务性能指标均满足智能轨道交通系统对传输承载网的严格要求，为后续大规模商用部署提供重要参考依据。未来，中兴通讯将持续为长沙地铁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

中兴通讯联合辽宁移动

构建SPN业务质量智能闭环保障体系



欧雪刚
中兴通讯承载产品规划
经理



董凯南
中兴通讯承载产品规划
经理

5G时代，网络架构和业务模型更加复杂，依靠专家经验的传统运维模式，故障定位效率低，故障排除时间长，已成为网络运维的瓶颈。业务质量劣化或发生故障后响应用户投诉的被动运维模式，严重影响了用户体验。为改善5G SPN现网业务质量，提高用户满意度，推动网络运维自动化、数字化、智能化进程，中兴通讯联合辽宁移动推出了业务质量保障智能闭环系统方案，并在现网中兴智能管控系统ZENIC ONE（UME）上完成了该方案的功能验证。

该方案在可编排规则的智能故障诊断基础上，扩展告警压缩、根因分析等能力，通过群障分析和业务质量自动维持（意图维持）功能的部署，实现业务状态实时感知、故障分析自动定界定位、部分场景业务分钟级恢复的智能闭环管理。方案实施后，SPN故障定位准确率达到95%，业务质量问题识别更高效，给出更精准的处理方案，整体运维效率提升35%以上。该解决方案可促使网络运维部分场景由人工变自动，由被动变主动，提升网络维护效率和业务

安全性，从而达到降低客户投诉率、提升满意度的目标。业务质量智能闭环保障体系如图1所示。

可编排规则的智能故障诊断，维护经验可复制传承

传统人工分析故障严重依赖专业人员的经验积累，从海量告警的过滤、关联分析再到定位工具的准备和定位执行都需要人工分析，耗时长，且运维经验的传承难，人员培养困难。中兴通讯提出了智能故障诊断方案，将原有分散的PING、IOAM、RCA、配置核查等诊断工具进行集中并模块化，在不同业务场景下维护人员可根据现网特点自主编排这些模块化诊断规则，固化诊断方案库。系统在定位阶段会根据故障的类型自动选择诊断方案并执行，当前已支持多种业务的通断类、丢包类和时钟类故障定位能力。该功能可将成熟的诊断规则快速固化，方便运维人员随时调用，解决了运维知识传递效率低、维护经验积累周期长的瓶颈。诊断时间从小时级别缩短到分钟级别，定位效率大大提升。

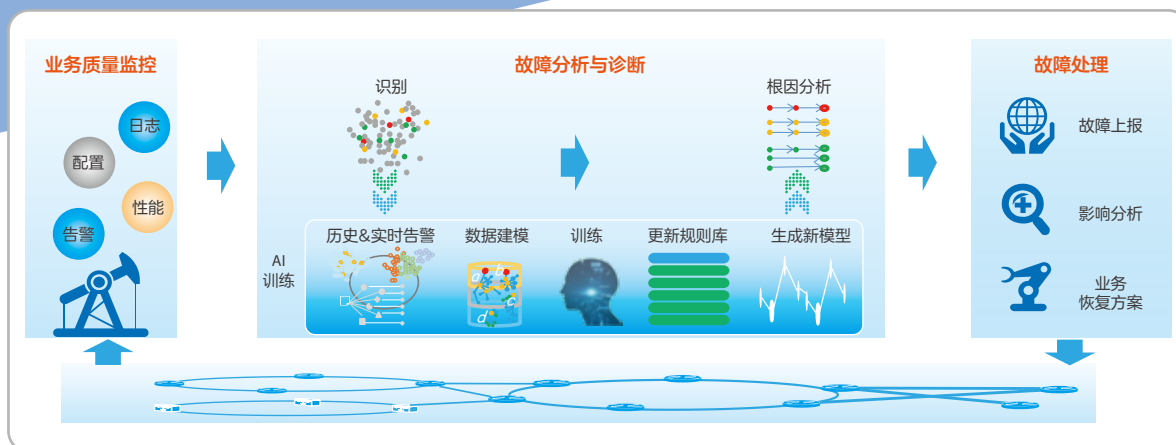


图1 SPN业务质量智能闭环保障体系

业务群障分析，故障自动定位

在同一时间内因同一故障引起多个业务或网络对象的质量异常界定为群障。群障主要集中在网络汇聚层、核心层设备，识别手段主要依靠客户投诉，一旦发生会造成多个用户业务质量下降甚至中断，传统抢通手段基于人工分析、定位，耗时长、效率低，严重影响客户满意度。中兴通讯业务群障分析工具将业务质量感知、故障共性分析、故障诊断、故障修复等一系列动作整合与闭环，实现业务群障快速定位。针对重点业务创建分析任务后，系统将对业务对象质量进行实时监测，当识别到业务质量异常时，会根据当前系统告警信息综合分析是否为群障问题导致异常，确定是群障后启动故障共性分析任务，帮助运维人员快速定位并解决故障。该功能可以帮助运维人员主动实时监测网络，并对群障进行分钟级分析，分析效率提升90%以上，实现群障场景下的主动运维。

业务意图维持，业务SLA可承诺

影响客户体验最直接的指标就是业务SLA时刻维持，满足用户预期，这也是运营商的关键竞争点，中兴通讯推出的业务意图维持功能就是为了完成这个重要任务。

ZENIC ONE (UME) 系统意图维持包含三层闭环的修复能力：第一层为秒级业务自愈，当网

络层设备识别到业务出现中断时，会自动触发业务对应层网络对象的倒换或重路由，实现秒级业务自愈；第二层为分钟级业务恢复，即当业务质量故障产生时，网络层无法完成秒级自愈时，管控系统会根据业务质量实时监测数据识别业务质差问题，选择合适手段进行业务质差的定位分析，生成对应的恢复策略，并自动执行恢复命令，实现分钟级业务质量恢复；第三层中长期业务优化，系统根据业务质量的历史数据，进行质量和流量预测分析，提前识别质差隐患并选择对应的优化策略，自动执行优化命令，实现中长期业务优化。当前已实现第一层和第二层的业务维持功能并完成了现网验证。业务意图维持功能实现了业务质量的自感知和自修复，相比传统的人工运维，业务质差恢复从小时级减小到分钟级，在保证业务SLA的情况下，维持业务“永久在线”，实现极简运维，提升客户体验。

在网络智能化运维方面，辽宁移动和中兴通讯重点投入、持续攻关，力求突破网络运维瓶颈。集故障智能诊断、群障分析和业务意图维持三大功能于一体的SPN业务质量智能闭环保障体系，助力辽宁移动运维效率提升，从被动运维向主动运维迈进。后续，双方将继续在强化故障根因分析，实现“一故障，一工单”，以及修复方案仿真，进一步提升运维效率等方面继续深化创新合作，丰富应用场景，运用智能化精准运维，实现网络运维质的突破。 ZTE中兴

ZTE中兴

让沟通与信任无处不在