

中兴通讯技术

简讯

ZTE TECHNOLOGIES

2022年2月/第2期

准印证号：(粤B)L011030048

内部资料
免费交流

专题：SPN 2.0

11 SPN 2.0：新一代综合业务承载网络标杆

SPN

VIP访谈

04 Telkomsel：开拓5G市场新机遇

视点

07 5G承载网技术和网络发展趋势



扫码体验移动阅读



第26卷/第02期
总第401期

中兴通讯技术 (简报)
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 (简报)》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 陈新宇 方晖 刘金龙
陆平 洪功存 衡云军 王强

《中兴通讯技术 (简报)》编辑委员会

主任: 林晓东
副主任: 黄新明
编委: 陈宗琼 丁翔 胡俊劼 黄新明
刘群 刘爽 林晓东 马金
王全 杨兆江

《中兴通讯技术 (简报)》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 (简报)》编辑部
发行范围: 国内业务相关单位
印数: 10000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: 2022年02月28日



王强
中兴通讯承载网SPN产品总经理

SPN 2.0筑基数智新承载

切片分组网络 (SPN) 是中国主导的原创性技术体系, SPN 1.0主要承载5G回传业务并伴随中国移动5G网络建设完成了大规模商用部署。中兴通讯负责包括北上深超一线城市在内的全国大部分网络建设, 累计发货超10万端, 为SPN 1.0网络建设做出了重要贡献。同时, 中兴通讯积极推进SPN 1.0技术的国际标准化, 在ITU-T国际标准组织中与中国移动等专家共同担任了多项主要标准的Editor。截止目前, SPN关键技术已经完成四项核心标准的制定和发布, 这意味着继SDH、OTN和PTN之后, SPN已成为ITU-T的新一代国际化传送网技术体系, 标志着中国在5G传送网技术方面已经处于国际领先地位。

伴随行业数字化转型对网络和算力服务的需求驱动, 5G+垂直行业、云网业务、政企专线、智能电网、轨道交通和铁路5G-R等应用场景, 对SPN承载网络提出了新的需求, SPN技术体系也需要继续发展, 融入新型网络基础设施。SPN 2.0在SPN 1.0基础上扩展了细粒度的硬切片网络能力和面向算力网络的L3分组能力增强, 为算力网络和垂直行业及政企综合业务的承载提供高品质的网络服务和灵活连接。中兴通讯和中国移动在SPN 2.0关键技术上合作创新, 率先在以太网N×10M细粒度硬切片 (FGU) 技术上取得技术突破。针对电力生产、铁路5G-R、轨道交通等综合业务承载场景, 中兴通讯积极协助中国移动等客户推动SPN 2.0技术的试点和应用。

2022年是SPN 2.0商用元年, 中兴通讯对SPN 2.0技术的应用充满信心, 愿意携手行业合作伙伴共同推动SPN 2.0技术及应用发展, 将SPN 2.0打造成为新一代综合承载标杆, 支撑5G+垂直行业、算力网络和政企综合承载应用。

目次

中兴通讯技术（简讯）2022年第02期



Telkomsel：开拓5G市场新机遇

作为印度尼西亚（以下简称“印尼”）首家推出5G商用服务的运营商，Telkomsel致力于提供领先的数字连接接入，开拓新的机遇和体验。

VIP访谈

04 Telkomsel：开拓5G市场新机遇/Shena Agusta

视点

07 5G承载网技术和网络发展趋势/韩柳燕，李晗

专题：SPN 2.0

11 SPN 2.0：新一代综合业务承载网络标杆/赵福川，刘爱华

15 面向云网融合的精准承载/温建中

18 SPN小颗粒切片技术在政企专线的应用
/陈捷，温建中，杨伊

21 SPN2.0面向5G确定性承载技术/赵俊峰，李芳

26 PTN与SPN网络融合方案研究/周华东

29 SPN2.0自主进化网络/欧雪刚，何力，吴超

32 基于SPN承载铁路5G-R业务接入方案研究
/廖国庆，李继元

35 SPN在云南电网中的部署及应用研究
/陈龙，罗海林，孙严智



成功故事

38 中兴通讯携手中国移动完成SPN2.0软硬切片承载
云网业务试点验证 /周文端

40 湖南移动完成SPN和PTN融合组网示范项目
/童星，易阳

北京移动协同中兴通讯实现冬奥纪实8K超高清试验频道开播

2022年北京冬奥会期间，北京移动协同中兴通讯完成全国首个面向广大观众提供8K服务的宽带电视上线。以8K超高清图像记录每一个动态细节，带来身临其境的真实感画面，为观众提供全方位的冬奥会和冬残奥会盛况纪实报道。

由中兴通讯助力北京移动打造的冬奥纪实8K频道的开播，是音视频技术软硬件双提升下的最新科技创新成果。硬件方面，高性能流媒体服务器VS3000S支持超大码率的吞吐服务，高效支撑8K内容在IPTV平台的传输分发；软件方面，通过最新国产化标准编码AVS3、FEC技术保障，8K直播清晰流畅。这意味着现网QoS保障能力、QoE端到端智能监测保障能力的提升，更标志着我国AVS3+8K产业应用领跑全球超高清市场。

中兴通讯荣获2021年PMI（中国）年度PMO大奖及杰出项目奖

2022年1月，业界领先的项目管理组织PMI（中国）正式公布2021年项目管理大奖结果。中兴通讯工程服务PMO斩获PMI（中国）组织级最高荣誉奖项——年度PMO大奖，这是继2015年以来中兴通讯工程服务PMO再次荣获此项大奖。同时，中兴通讯菲律宾P3项目荣获2021年度PMI（中国）杰出项目奖，中兴通讯在项目管理领域的实力再次获得业界权威认可。

在中兴通讯项目管理架构下，工程服务PMO负责全球网络服务的项目管理体系建设，持续打造项目管理“三个一”：建立一套符合公司业务发展的项目管理机制、一个满足业务及管理高效运作的项目管理系统，以及一支专业优秀的项目管理队伍，成为通信行业网络

服务项目管理领域的引领者。

菲律宾P3项目是中兴通讯在项目管理领域最具代表性的实践之一。面对标准严苛、业务复杂、工程进度紧、灾难频发及疫情严重等多重挑战和困难，中兴通讯最终成功完成项目一期全部站点、光缆和数据中心的建设。基于该项目的创新实践，中兴通讯提炼了一套适合海外大型全Turnkey通信项目的管理方法，简称AMB（Ability特战能力打造、Method管理方法创新、Business Continuity Management业务连续性管理），把握项目的“人、业务、风险”等关键要素，最终实现项目的成功交付。P3项目年交付量刷新当地建设记录，同时也创造了菲律宾通信网络的最快商用纪录。

中兴通讯荣获Lightwave光通信四项创新大奖

近日，全球光网络领域知名媒体Lightwave公布光通信年度创新大奖（Lightwave Innovation Reviews）结果，中兴通讯Light PON方案、FTTR方案、PoF方案、全能光网关荣获四项创新大奖，彰显其在光网络领域的杰出综合实力。

Lightwave已连续多年评选光通信各技术领域的年度创新奖，旨在表彰光通信领域的顶尖产品和解决方案。

中兴通讯助力中国联通完成国内首例多协议、跨厂商业务OTN现网自动开通测试

1月，中国联通携手中兴通讯等厂商在江苏联通现网完成国内首例多协议、跨厂商管控系统协同和多场景端到端业务自动开通试点工作。

此次现网试点，充分验证了中兴通讯智能管控系统ZENIC ONE业务自动化部署能力及接口开放性，并为OTN网络异厂商解耦互通提供实践经验。本次试点的成功将极大地推动中国联通OTN一体化建设的步伐。

中国移动联合中兴通讯完成业界首次URLLC现网验证

近日，中国移动研究院、中国移动广东公司、中兴通讯和联发科技在广州南沙外场，共同完成了URLLC关键技术专题的全部测试内容。本次测试利用广州2.6G频段5G商用现网，使用中兴通讯端到端网络设备，联合MediaTekM80芯片平台，验证了包括低码率MCS/CQI表格、R15mini-slot、Slot重复、PDCP复制等全部课题，为业界首次URLLC现网验证。测试结果显示，空口时延降低约20%，中好点可靠性达到99.999%。

发展期收官 加速第二曲线拓新 中兴通讯预计2021年净利65亿至72亿元

1月28日,中兴通讯发布2021年度业绩预告。

2021年公司践行有质量增长,毛利率同比恢复改善,盈利能力和盈利质量提升。业绩预告显示,公司预计2021年实现归属于上市公司普通股股东的净利润65亿元至72亿元,同比增长52.6%至69.0%,归属于上市公司普通股股东的扣除非经常性损益的净利润30亿元至35亿元,同比增长189.7%至238.0%,两者均创历史新高;

2021年实现基本每股收益1.40元至1.55元。

2021年是中兴通讯战略发展期收官之年,面对复杂的外部环境,公司固本拓新,稳健经营,市场格局不断优化,全年营业收入实现双位数同比增长,其中,国内、国际市场和运营商网络、政企、消费者三大业务营业收入均实现同比增长。

经营期内,中兴通讯深度参与国内5G大规模建设、持续优化海外产品和市场格局,保持运营商网络业务的稳健增长。

在国内市场,中兴通讯的5G、核心网、承载、服务器及存储等关键产品市场份额持续提升。公司致力于实现从主流供应商向核心供应商的转变,在技术引领、产品创新、敏捷研

发、高效交付等方面持续提升的基础上,全面展开与运营商联合研发创新和数字化行业拓展,共同迎接数智化时代的机遇和挑战。

在海外市场,中兴通讯把握4G现代化改造、5G新建、固网的光纤化转型、承载网升级以及家庭宽带升级换代等市场机会,进一步实现产品和市场的格局优化,以技术、产品和方案创新,助力运营商为ToC(消费者)、ToB(行业)和ToH(家庭)市场提供多样化的数字服务。

在传统CT业务稳步固本同时,中兴通讯正不断加大在IT业务、数字能源和终端领域的拓展力度,积极打造公司增长第二曲线,以实现在战略超越期超越自我、超越行业周期,实现企业可持续发展。



中兴通讯联合中国联通完成算力网络服务调度PoC验证

近日,中兴通讯与中国联通研究院联合完成算力网络服务调度PoC验证。本次PoC验证基于SDN+SRv6 Policy框架实现跨多资源池的增值业务灵活调整,完成算网融合调度,为业界进一步探索算力网络应用提供了有力依据,为后续算力网络商用部署打下基础。未来,中兴通讯与联通研究院将开展更为深入的协同创新,持续推进网络由基础联接向算网数智一体化演进。

中兴通讯XGS-PON助力Orange西班牙分支首发10Gbps业务

近日,Orange西班牙分支举办发布会,宣布将与中兴通讯携手在西班牙Madrid、Barcelona、Seville、Valencia和Zaragoza五个城市率先开展XGS-PON商用,为用户提供10Gbps高速宽带业务和Wi-Fi体验。Orange西班牙分支现场演示了基于中兴通讯XGS-PON ONT F8648P的测试结果,该款ONT在Orange现网中可实现8.6Gbps的上下行速率,接近XGS-PON理论峰值速率。

中兴通讯5G Flexhaul产品通过安全领域权威评估 全球领先

1月,中兴通讯5G Flexhaul产品参加了Synopsys(新思科技)组织的软件安全构建成熟度模型(Building Security In Maturity Model, BSIMM12)评估,从全球范围128家参与企业中脱颖而出,以总分100的成绩领先全球。中兴通讯多年来参与BSIMM评估进入包含多家世界500强企业在内的第一梯队后,持续与新思科技交流合作,百尺竿头精益求精,软件安全能力得到了踏实稳健的改进和提升。

Telkomsel: 开拓5G市场新机遇

采编 Shena Agusta



Telkomsel网络总监
Nugroho

作为印度尼西亚（以下简称“印尼”）首家推出5G商用服务的运营商，Telkomsel致力于提供领先的数字连接接入，开拓新的机遇和体验。Telkomsel网络总监Nugroho向我们介绍了Telkomsel将如何通过挖掘B2C和B2B市场，来实现5G网络价值的最大化。中兴通讯印尼子公司总经理梁玮琦也分享了如何帮助Telkomsel建设更好的5G网络。

您如何看待未来几年5G的发展？ Telkomsel的定位如何为推动印尼数字 社会的发展做出贡献？

Nugroho：在回答这个问题之前，让我先介绍一下印尼移动通信市场的情况。印尼移动通信市场竞争越来越激烈，但我们相信我们将赢得比赛。因为我们致力于成为提供最佳消费者体验的领先技术公司。我们成功成为印尼首家推出商用5G服务的运营商，Telkomsel 5G服务已在印尼9个城市开通，我们致力于在未来几年进一步扩展5G覆盖范围。谈到5G的发展，我相信，正如在全球其他地方发生的一样，在印尼，5G也将显著增长，无论是B2C市场还是B2B市场。在B2C市场，主要是固定无线接入或增强移动宽带细分市场，而在B2B市场，将更加聚焦工业4.0解决方案，涵盖采矿、健康、政府、教育等行业。

如前所述，我们将积极扩大B2C和B2B市场。对于B2C，我们有一个好的计划，通过我们的固定无线接入方案渗透家庭市场。在家庭市场，我们有独特的价值主张，即提供最佳用户体验，例如我们现在可以达到1Gbps的吞吐量。对于B2B，它需要更好的生态系统。我们不能单独行动，需要与所有利益相关者协作。整个生态系统

由教育机构、政府或行业合作伙伴以及潜在客户组成。例如，我们与教育机构进行探讨，了解他们的研究报告——印尼市场下一步的优先事项是什么？印尼客户需要什么？我们通过与教育机构的合作，获取他们的知识，或许还有解决方案，并与5G技术结合。我们还在制造业、采矿业进行试点，很快也会在健康行业实施5G。我们同时与政府合作，确保与5G相关的所有设备与我们的网络兼容，因为有时网络技术比市场先行，这需要生态系统（比如终端）更好的支持。

考虑到当前频谱资产和政府即将出台的 频谱分配计划，Telkomsel的5G网络 部署战略是什么？

Nugroho：我们拥有的频谱已经足够，尤其是在5G发展的早期阶段。我们的第一个目标是将5G技术社会化——搞清楚5G带来的价值以及我们的客户可以通过5G解决的问题类型。毫无疑问，我们现有的5G网络足以满足此目的，我们将根据客户需求分期进行扩展。所以，第一阶段是社会化，在第二阶段，我们想实现5G的价值变现。面对5G固移融合的发展趋势，我们需要一个更好的计划，因此我们需要更多的频谱。通过额外的频谱，我们希望获得更高的吞吐量、更高的容量和

Telkomsel在雅加达举办了以“5G 解锁未来”为主题的发布会



更广泛的5G覆盖，并实现经济高效的投资。

5G是使能新业务创新的一项重要技术。您认为哪些细分市场是印尼发展的最大潜在机会？

Nugroho：一般而言，市场分为B2C和B2B，对Telkomsel来说这两个市场都有很好的机会。对于B2C市场，如前所述，重点仍然是固定无线接入和增强型移动宽带。让我给大家举出一些有关增强移动宽带的使用案例，如果有一个聚会，一个大型活动，比如说，在体育场里，我们曾经需要多个基站为聚集的成千上万名用户提供服务。有了5G，如果5G已经广泛部署，我们不需要那么多基站仍然可以提供良好的用户体验，因为5G可以在超高密度区域提供高吞吐量和高容量。甚至对记者来说，他们可以在人群中使用5G进行直播。

对于B2B市场，重点将放在工业革命4.0，即关于自动化、零接触或少人化的方法。采矿业、健康和媒体行业的例子很多。一些矿业公司已经采用了无人驾驶卡车。我们与印尼的一家主要采矿公司也在合作做这样的试点。这将是我们当前

的首要任务，稍后我们还希望能够深入健康产业，有更好的合作。印尼面临的挑战是，虽然人口分布在全国各地，但有些地区或村庄没有医院，因此自动化和数字化在健康领域的运用非常紧迫。很快我们将开展远程手术或远程检查的试点。远程观测要求很低的时延，可以通过5G来解决。需要注意的是，我们必须采用独立架构（5G SA），而不是非独立架构（NSA）。

中兴通讯计划如何帮助Telkomsel构建具有成本效益和可盈利的5G网络？

梁玮琦：在过去的几年里，中兴通讯与Telkomsel建立了出色的合作关系，为5G的有效部署做准备。中兴通讯为满足Telkomsel的5G需求和场景定制了产品和解决方案。我们还为Telkomsel提供创新的最新技术，包括基于7nm芯片，支持2G/3G/4G/5G的紧凑型、高性能和高容量产品。

中兴通讯始终全力支持Telkomsel探索垂直行业中的5G应用，向数字化转型迈进，以实现更好的技术性能和更显著的业务改进。ZTE中兴



韩柳燕

中国移动研究院技术经理，主任研究员



李晗

中国移动集团级首席专家，
中国移动研究院基础网络技术研究所所长

5G承载网技术和网络发展趋势

2017年，中国移动针对5G传输需求，提出切片分组网SPN (Slicing Packet Network) 架构及理念，并持续推进。SPN实现了TDM和分组的有机融合，支持L0到L3能力，契合5G无损、高效的承载需求，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。

随着5G商用部署，面向5G的新一代承载网络成为运营商城域网的重要组成部分。这张网络需要在技术上采用更加先进的承载方案，满足5G时代个人用户和垂直行业用户当前及未来的高速发展。此外，它还需要支持边缘算力网络等核心应用，对于车联网、人工智能等新兴应用提供基础保障。

同时，随着网络建设和应用的进一步深入，5G承载网技术和网络结构仍在持续演进和发展。中国移动在“让创新更加贴近需求，让技术更好服务客户”的理念指引下，推动技术不断迭代升级，确保5G承载网络的技术先进性，推动其向综合承载网络的演进，以提供更为优化和智能的连

接承载。

5G承载和SPN网络发展历程

5G三大业务场景对5G回传承载在带宽、时延、同步、IPv6和切片等方面提出刚性需求。首先，5G时期带宽需求总体增长10~100倍；5G基站接口带宽由4G时期的GE变为10/25GE，5G回传承载网接入/汇聚/核心层带宽由GE/10GE/100GE变为50GE/N×100GE/N×200GE。其次，时延要求提高，由4G时期的20ms变为URLLC业务最小1ms，单设备时延由50~100μs变为10μs量级。时间同步精度需求也在不断提升，单设备同步精度

需求由 $\pm 30\text{ns}$ 变为 $\pm 5\text{ns}$ 。IPv6方面，LTE基站采用IPv4，5G基站采用IPv6，传输网由原来基于IPv4变为需要支持IPv4/IPv6双栈。此外，5G不再是单一和刚性的网络架构，而是能适应多种应用场景，并满足各种垂直行业多样化需求的网络，同时5G核心网络进一步云化，引入移动NFV和网络切片等新型技术。这些都给5G承载技术带来了变革的机会点。

2017年，中国移动针对5G传输需求，提出切片分组网SPN（Slicing Packet Network）架构及理念，并持续推进。SPN切片通道层SCL（Slicing Channel Layer）技术2018年10月在ITU-T立项MTN（Metro Transport Network）接口标准，并从2019年起全面立项，标志着MTN作为全新的传送网技术成为新一代国际标准体系。SPN实现了TDM和分组的有机融合，支持L0到L3能力，契合5G无损、高效的承载需求，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。在组网架构方面，SPN支持端到端承载，通过不同的切片特性，实现不同业务的定制化承载。在节点架构方面，转发面融合了L0—L3技术，支持软、硬隔离管道；管控面采用SDN，实现管控合一的集中智能调度，支持切片和业务隧道的自动规划和部署。在性能方面，SPN为分组网带来确定性低时延特征。此外，SPN端到端灵活带宽、硬隔离及丰富的切片能力也可为高等级政企业务承载提供差异化优势。

目前中国移动已经规模商用SPN设备，全国所有地市及以上城市部署共计20万端以上。

5G承载网络发展趋势

随着5G部署的全面深入，5G回传网络的建设也初具规模。5G承载网络相比4G网络，从建设之初就是一个高起点高能力的网络。一是核心

汇聚接入层的带宽普遍大幅提升，达到百G以上的接口和几十T的设备交换容量；二是转发层面和管控层面的网络组网能力也达到一定规模，支持万节点以上的组网规模，以及大量的硬切片和软切片管道的连接。大带宽、高能力的5G承载网络，也在逐步向着一张综合承载网络的趋势发展。一方面可以提升这张高能力网络的利用率和价值，另一方面，从业务和客户需求来看，无线基站、垂直行业、政企专线、家庭宽带和云网接入等各种业务也在不断下沉到边缘并融合，承载网络的融合也符合业务网络融合的趋势。

以SPN网络为例，其本身既支持硬切片又支持软切片，面向各种应用场景，SPN提供五大类切片，实现对无线基站、政企专线、云网接入等业务场景的综合承载，一网多业，全面提升SPN网络的利用率，助力千行百业产业升级（如图1所示）。

从网络能力角度，承载网络的发展趋势总体可以概括为切片粒度更精细、业务连接更丰富、设备组网更灵活、网络运维更智能、在线运营更低碳。

- 切片粒度更精细：不同业务的带宽需求不一样，目前对于专线、行业用户控制信令等高要求业务，带宽需求普遍比较小，因此，要求网络切片能够灵活匹配各类业务带宽需求，实现带宽精细化；同时，需要满足各类客户的隔离要求，达到隔离精细化；高质保证99.999%可靠性，确保管理精细化。
- 业务连接更丰富：业务连接不仅有一层TDM连接需求，也有二三层以太网和IP连接需求，业务接口不仅包括以太网接口，也包括TDM接口；整张网络切片感知、边缘计算、边缘覆盖和接入能力需要提升，以更加贴近与匹配垂直行业和政企专线业务的接入和承载需求。

- 设备组网更灵活：传送网络在向开放化和标准化的方向不断发展。未来承载网将通过标准化转发能力和南向接口，规范化接口模型和组网方式，全面提升NNI (Network to Network Interface) 融合互通的能力，实现边缘网络异厂家灵活组网。
- 网络运维更智能：InBand OAM端到端随流实时监测功能，实现基于逐基站/专线的精确实时性能监测和跨域业务性能监测；面向客户呈现当前专线业务质量和流量信息，帮助客户快速了解当前网络运行状态；基于对历史数据的搜集与分析 and 管控系统等，实现网络规划与仿真、业务快速创建、运维自动化等能力。
- 在线运营更低碳：通过芯片、光模块的技术升级和优化，以及自动休眠等技术实现SPN网元级低碳运营；通过功耗可视化和智能分析与调度技术，实现网络级低碳运营。

SPN技术和组网演进

为了打造“高效、融合、智能、低碳”的新一代综合业务承载网，SPN在技术上围绕小颗粒技术FGU (Fine Granularity Unit) 向2.0时代迈进，以满足5G+垂直行业和政企专线等场景中的小带宽、高隔离、高安全和确定性低时延等承载需求，提供一种精细化和硬隔离、高可靠的小颗粒承载管道。

FGU兼容现有SPN和10GE标准以太网接口，采用与位于IEEE 802.3 PCS层的SPN通道层相同的64/66B编码格式。FGU帧结构的设计，将开销和包含多个时隙的净荷编码后封装到固定长度的S块+D块+T块序列，为确保小颗粒业务独享时隙资源，严格硬隔离，同时保证低时延、低抖动、高效承载；FGU采用TDM机制循环发送FGU帧，每帧时隙数量及位置均严格固定，因此每时隙具

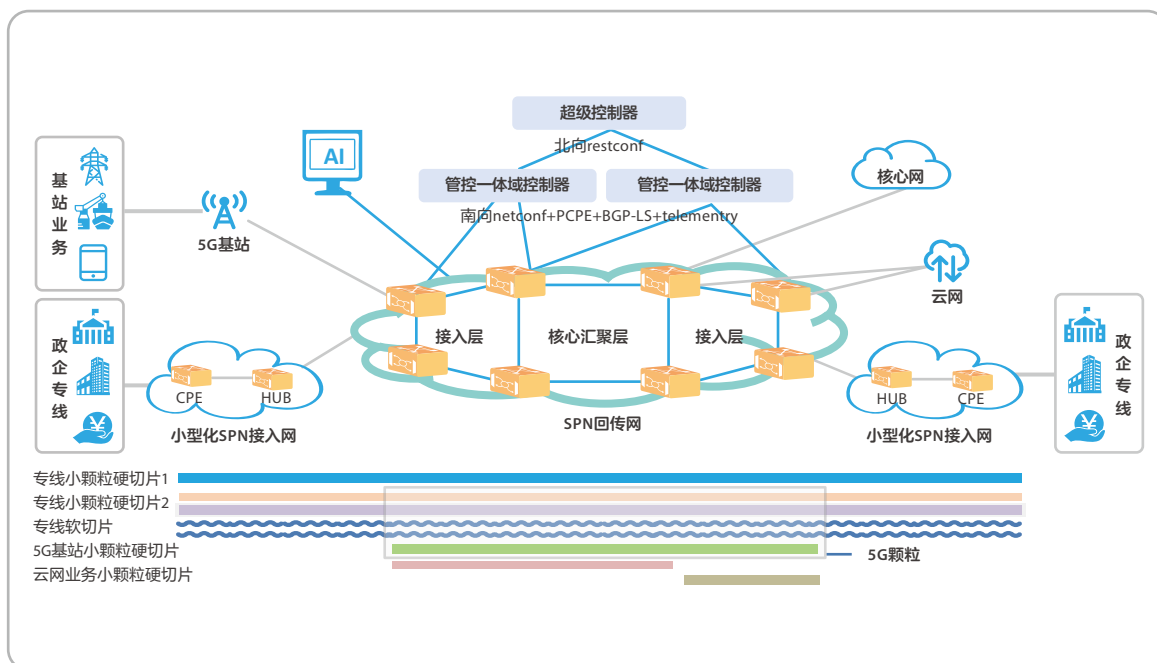
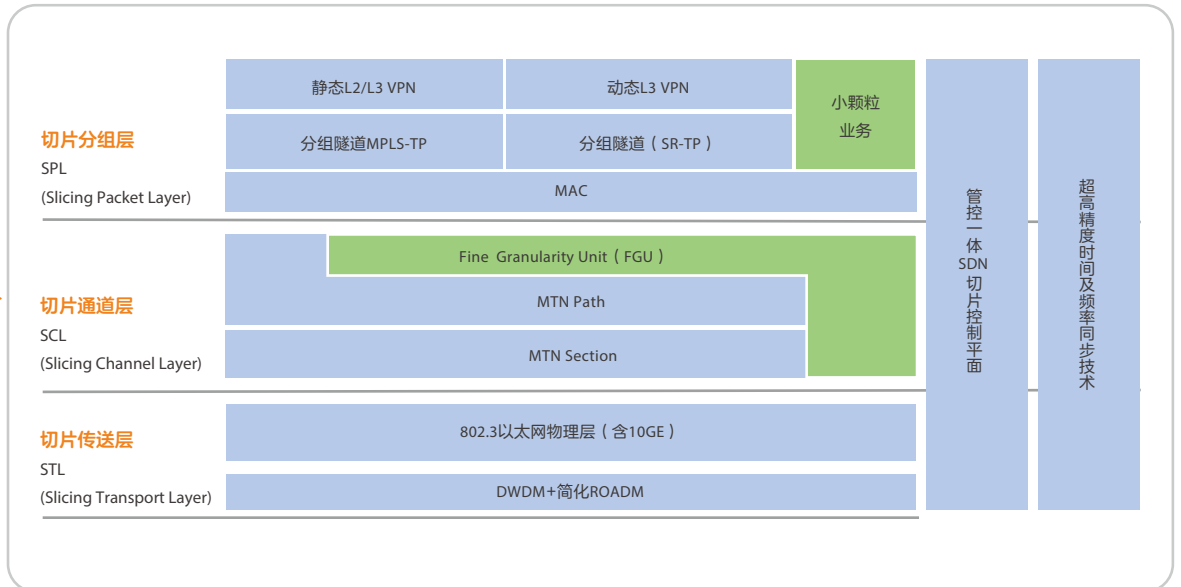


图1 SPN网络架构发展

图2 支持FGU的SPN技术架构



有固定的发送周期，实现对SPN通道层5Gbps颗粒的时隙划分与复用。SPN网络基于FGU的交叉连接，提供端到端切片通道L1层组网（如图2所示）。

此外，FGU OAM与SPN/MTN通道OAM机制一致，为每条小颗粒通道提供独立和完善的端到端OAM监测能力。为提供更优的切片应用体验，FGU通过开销信令支持端到端带宽与时隙无损调整功能，调整带宽时不会丢失数据报文，资源分配更加灵活。

在组网方面，SPN 1.0向以FGU为核心的2.0演进中，将采用前向兼容的平滑网络演进方式，一方面将最大化重用已有的SPN 1.0的成果和优势，保护现有投资；另一方面将提升和巩固SPN在硬切片方面的能力，更好满足5G垂直行业、政企客户和云网业务的承载需求。近两年，FGU的标准、技术和产业快速推进并成熟，同时验证了SPN现网支持通过在线升级的方式进行演进。

SPN 2.0网络演进过程中，管控技术的演进和成熟也是重要方面。当转发层具备各项能力之后，

如何能够在应用中灵活发挥这些优势，需要管控和编排层面的支持，以实现在一张大网中及时配置成千上万条切片通道，根据客户的不同需求，定制化地提供不同的端到端软硬切片通道，支持灵活地创建、更新、删除、查询切片通道的能力。更智能的管控和编排技术的发展，将持续保障网络能力到用户需求的转化。

随着5G网络建设推进，以及多样化示范性业务的逐步开展，表明SPN能为各种行业用户提供个性化的承载能力，且满足MEC下沉之后的互联和承载需求，有力支撑了5G业务的发展。未来，5G承载网络向综合承载网络演进，SPN提出了2.0的演进思路，尤其通过小颗粒技术提供更为灵活精细的切片连接，将支持更为广泛的应用。ZTE中兴

致谢

本文得到中国移动通信集团公司网络事业部吴超，以及中国移动通信研究院叶雯、王敏学、张德朝的指导与帮助，谨致谢意！

SPN 2.0: 新一代综合业务承载网络标杆

中兴通讯 赵福川, 刘爱华

2020年起, 中兴通讯已在SPN 2.0部分关键技术进行了积极探索, 率先在中国移动研究院实验室和北京移动现网完成“SPN 10M小颗粒”技术的验证测试; 2021年在北京移动完成SPN云网业务综合承载试点; 目前中兴通讯也开始建设电力和交通等工业和政企数字化业务的SPN承载网络; 这些工作为SPN 2.0技术和网络演进奠定了坚实的基础。



SPN 2.0



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

SPN 2.0技术及网络演进驱动力

切片分组网SPN 1.0是中国主导的自主创新的面向5G业务的综合承载网络。SPN技术架构包括切片分组层（SPL）、切片通道层（SCL）、切片传送层（STL）。其主要创新技术“SCL层网络”已在ITU-T标准化为新一代传送网技术体系MTN（Metro Transport Network），“SPL层网络”技术包括SR-TP、Inband OAM等，经过中兴通讯和中国移动等单位在IETF的联合推进，也得到了国际标准的认可，部分技术即将发布为RFC。从技术层面来看，SPN 1.0技术获得了很大的成功，引领了传送网新技术和新标准的发展。

SPN 1.0在承载运营商5G回传业务上已经得到了大规模的部署应用，随着5G行业应用以及政企专线等业务的综合承载需求，以及SPN在电力、铁路和矿山等工业和政企网络的应用，迫切需要SPN网络满足多样化综合业务承载的能力，充分发挥SPN灵活切片和自主可控的优势，SPN 2.0应运而生。

2020年起，中兴通讯已在SPN 2.0部分关键技术进行了积极探索，率先在中国移动研究院实验室和北京移动现网完成“SPN 10M小颗粒”技术的验证测试；2021年在北京移动完成SPN云网业务综合承载试点；目前中兴通讯也开始建设电力和交通等工业和政企数字化业务的SPN承载

网络；这些工作为SPN 2.0技术和网络演进奠定了坚实的基础。

SPN 2.0关键技术演进

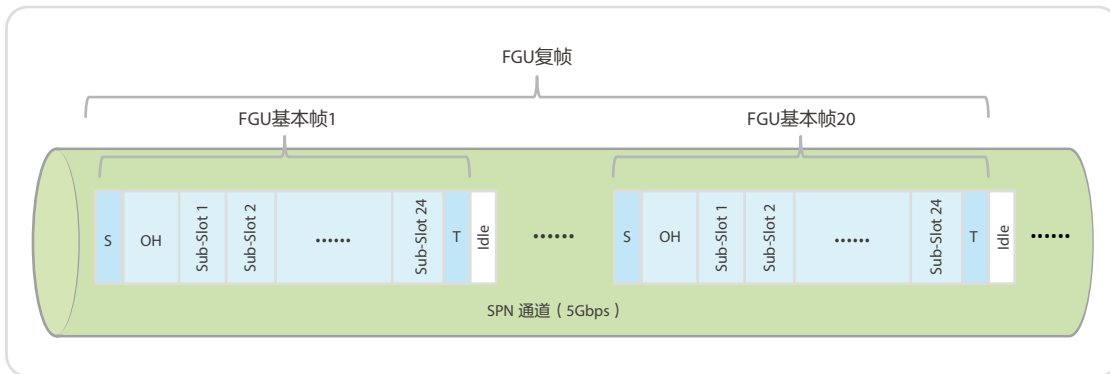
SPN 2.0继承SPN 1.0架构并在SPN 1.0基础上进一步扩展，包括针对5G行业和政企网络应用特有的10M小颗粒硬隔离通道技术、增强综合业务切片技术，并融入算力和AI技术等，实现SPN平滑演进到综合业务承载网络。

小颗粒硬隔离通道技术

SPN小颗粒技术（Fine Granularity Unit, FGU）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。在MTN技术基础上，通过层次化设计，引入细粒度切片技术，FGU对SPN通道层的5Gbps颗粒做进一步时隙划分及复用，形成带宽粒度为10Mbps的小颗粒通道，将硬切片的颗粒度从SPN 1.0的5Gbps细化到10Mbps，并正在研究进一步细化到支持2Mbps业务接入的能力，通过兆（MB）级别端到端硬隔离通道满足E1、FE、GE和10GE接口等丰富小颗粒业务承载需求。FGU时隙结构如图1所示。

中兴通讯小颗粒解决方案通过在现有产品中新增“SPN 10M小颗粒处理单元”，平滑演进到支

图1 FGU层次化帧格式



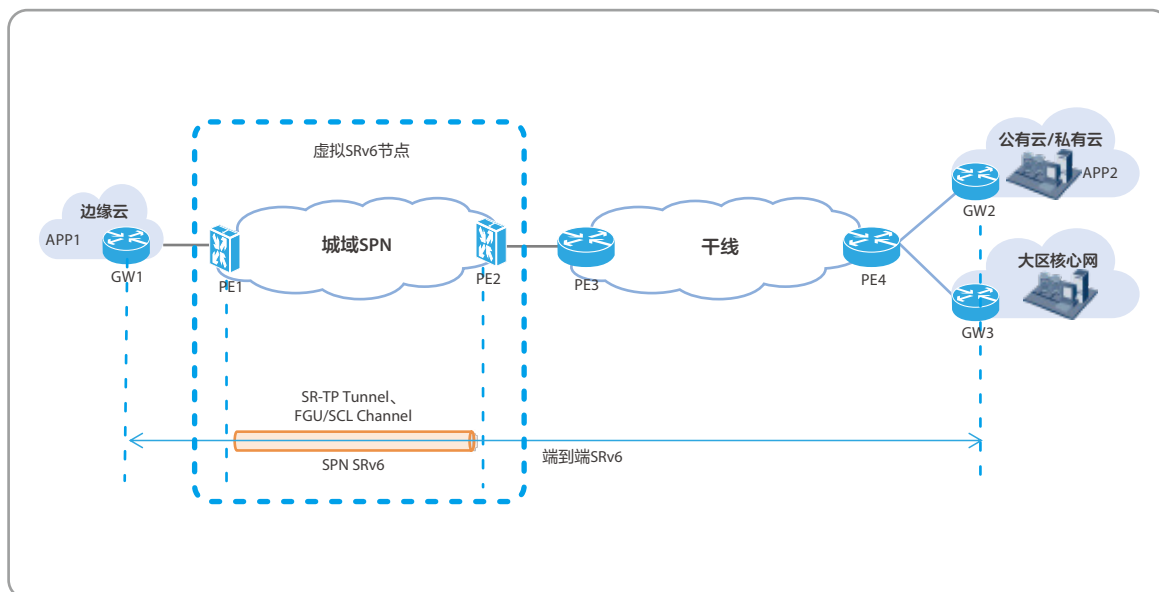


图2 城域SPN支撑云网融合组网方案

持小颗粒组网的能力，在需要部署小颗粒切片或专线业务的节点新增小颗粒处理单板即可。

增强综合业务承载技术

面向2B行业应用，需要更加丰富的切片服务支持，实现与传统公众业务共享5G新型基础设施之外的定制化承载。SPN 2.0在小颗粒技术基础上，结合增强的InBand OAM和演进的SRv6能力，支持面向2B和云网融合业务的增强切片承载方案。

中兴通讯SPN 2.0面向2B和云网融合业务增强综合承载的能力主要如下：

- 小颗粒切片能力

由于SPN 2.0小颗粒技术的引入，进一步增强了SPN网络的切片能力，尤其针对2B垂直行业应用，在5G eMBB、URLLC和mMTC大类切片基础上，支持2B行业和高价值云网融合业务尊享切片服务。

- 网络质量感知能力

SPN 2.0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，故障快速定界定位。

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。

- 端到端SRv6演进能力

云网融合的组网中，边缘云到中心云互通时，端到端SRv6需要SPN 2.0演进支持SRv6功能。SPN可以通过在网络边缘增加SRv6 SPN网关，网络内通过SRv6实现SPN特色的SR-TP、FGU/SCL高质量连接灵活可编程，将SPN网络作为“虚拟SRv6节点”参与端到端SRv6服务，提供SPN风格的SRv6功能演进，如图2所示。

- SPN CPE/南向接口解耦能力

SPN 2.0针对专线等切片业务接入将引入SPN CPE设备支持不同类型的专线业务接入，包括普通分组业务和TDM硬隔离的小颗粒业务，实现向承载行业和专线综合业务演进。同时，SPN 2.0在1.0开展的南向接口解耦工作的基础上，支持多厂商灵活组网的能力。

除了在中国移动的规模应用，SPN凭借其特色的TDM与分组复用深度融合的技术优势和支持确定性、灵活切片等网络优势，将在智能电网、智慧铁路、智能矿山等典型的5G+垂直行业中广泛应用，成为新一代综合业务承载网络的标杆。

融入算力和AI技术

网络和算力（AI）作为新型基础设施的关键，在SPN 2.0技术发展中相互融合。SPN已经在边缘首先启动了融入算力的探索，在节能降耗和网络管控运维自主进化方面融入更多的AI，为SPN 2.0赋予了更加多样化的特性。

中兴通讯将最新的智能化技术融入到SPN 2.0产品中，通过融入算力和AI技术提升SPN的智能化水平。

- SPN融入边缘算力

SPN网络接入设备集成算力资源，通过轻量级边缘计算平台，为边缘业务提供实时数据采集和分析；同时承载人工智能、图像识别和视频渲染等新业务的AI推理。丰富的网络资源与算力资源将不断地融合互补，实时业务在本地SPN设备处理，非实时业务上送公有云。

- SPN融入内在AI实现节能降耗

SPN 2.0将通过内在AI技术根据不同的流量负载和场景识别，实现自身运行能耗的自动调节，实现节能降耗，构建绿色承载网络。

- SPN管控开启自主进化能力

SPN管控应用内在AI技术将更加智能化的分析网络流量和负荷、实施网络规划与仿真、业务快速创建和故障分析等，开启自主进化能力，向AI自主运维的方向迈进。

SPN 2.0网络演进展望

SPN作为由中国提出的自主原创性技术，成功为5G承载提供了中国解决方案，在5G传送网技术方面已经处于国际领先地位，中兴通讯作为领先的设备厂商为此做出了重要的贡献。

基于良好的架构，SPN网络将从1.0演进到2.0时代。中兴通讯正在研发支持SPN 1.0向2.0持续平滑演进的系列化产品，满足差异化的综合业务承载的需要。除了在中国移动的规模应用，SPN凭借其特色的TDM与分组复用深度融合的技术优势和支持确定性、灵活切片等网络优势，将在智能电网、智慧铁路、智能矿山等典型的5G+垂直行业中广泛应用，成为新一代综合业务承载网络的标杆。 ZTE中兴

面向云网融合的精准承载

云网融合对“网”的需求

在 国家提倡“新基建”战略发展的大背景下，云网融合作为新基建时代的重要实践和数字化底座，越来越被运营商重视。各大运营商均将云网融合提升到战略高度，并开展了相关研究和实践。

目前运营商的核心云/区域云均部署在大区或省中心、重要地市，并通过省际/省内云专网实现云间互联。企业入云时，通常从城域网接入，再通过云专网调度到核心云/区域云。为开通云专线，需要实现城域网（SPN、OTN等）与云专网的跨域端到端业务编排。

随着5G向垂直行业的全面渗透以及边缘云的下沉部署，一方面云的数量快速增长，云间互联关系更为复杂；另一方面，大量的边缘云通过城域网接入，“网”和“云”的关系更加密切，从而提出了云网融合业务的更高要求。

在5G+边缘云下沉背景下，云网融合对“网”的需求包括：

- **便捷入云：**网络能够便捷地根据云业务的要求进行统一编排，特别是存在多网协同场景时，统一编排系统能够高效完成端到端入云业务的编排，为用户提供便捷的一键入云手段。
- **灵活连接：**网络可以为用户提供便捷的多云访问能力，多云之间可以按需灵活调度，也可以互为冗余备份或负荷分担；同时，网络能够为云边协同、边边协同提供灵活的随需连接能力。
- **差异化SLA保障：**针对有不同SLA要求的入云

用户，网络应能提供相应的SLA保障机制。对于高价值高要求的用户，网络应提供永久连接、无损带宽调整等能力，并具备软隔离/硬隔离等多种手段，避免不同用户流量之间的相互影响。

- **精准带宽控制：**网络应能满足多样化的用户带宽需求，特别是针对有硬隔离管道要求的用户，应具备灵活带宽颗粒的控制能力。

对于中国移动而言，考虑到边缘云与5G和垂直行业的结合应用，边缘云通常挂载在SPN网络。针对云网融合的承载需求，中国移动提出了SPN 2.0解决方案。

SPN 2.0承载云网业务方案

SPN承载云网业务场景下，需要考虑SPN接入的用户在访问云专网所连接的区域云/核心云时，如何实现业务的端到端便捷开通，SPN接入的边缘云与云专网接入的区域云/核心云如何灵活实现云边协同，以及SPN如何为用户接入边缘云提供无损和确定时延的高品质连接。

开放接口，满足端到端编排架构

SPN 2.0采用管控融合的OMC系统，在OMC系统内置SPN网络控制器，通过OMC北向接口开放业务创建、删除、修改，以及关键性能监控信息，以满足云网业务全生命周期的管理要求。考虑到城域SPN存在多厂家组网场景，采用跨域控制器完成城域SPN网络的跨域业务编排，再通过云网业务编排器实现端到端跨专业的云网业务编排，



温建中
中兴通讯承载产品规划
经理

其整体架构如图1所示。

多业务模型，提供灵活连接

对于传统政企专线，以及在边缘云下沉之前的入云专线，通常在城域网采用L2VPN专线方式承载，并在云专网实现灵活入云调度。但在城域网接入边缘云后，用户同时存在入边缘云和入核心云/区域云的需求，同时也衍生出云边协同、边边协同等多点连接需求，此时需要在城域网采用L3VPN业务模型来实现更灵活的云网融合业务调度。

而在云网融合业务渗透到5G垂直行业后，由于垂直行业对业务安全性隔离性的强需求，对云

网融合业务提出了L1层硬管道的需求。

SPN 2.0支持L1/L2/L3多层的业务模型，可以满足上述多种场景下的云网业务灵活连接需求；但目前云专网暂不具备L1层业务调度能力，需要进行功能对齐以便实现L1层管道的端到端拉通。

切片隔离，提供差异化服务

SPN 2.0通过统计复用、软隔离、硬隔离等多种带宽控制技术，提供灵活的切片部署能力。典型地，在SPN网络中采用硬隔离技术把网络划分为3个资源切片，如表1所示。

在上述部署方案下，云网业务通常按用户的SLA需求，特别是对安全性和隔离性的要求，选择

图1 云网业务端到端编排架构

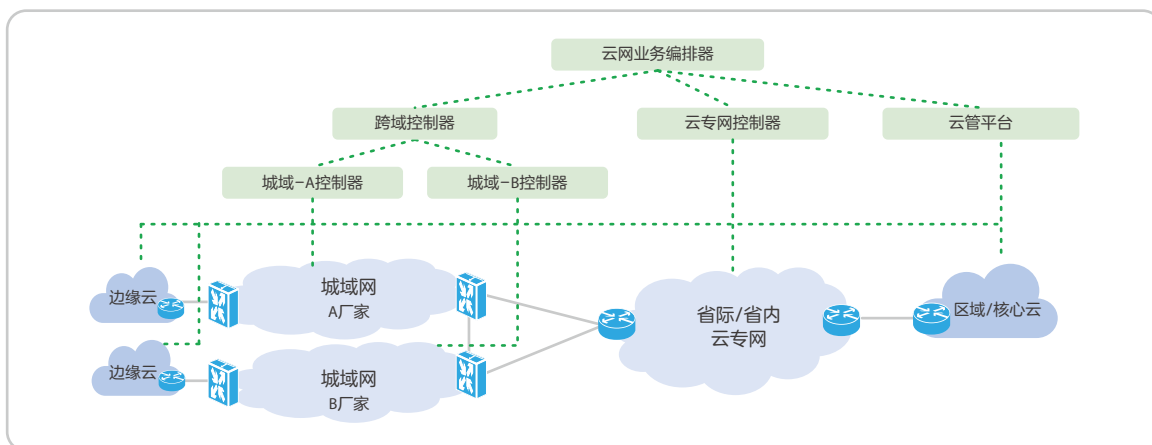


表1 SPN网络资源切片部署方案

资源切片名称	切片内带宽控制技术	适应场景
共享大网切片	统计复用，提供区分优先级的Diffserv服务	4G、5G 2C、家宽
集客共享切片	软隔离，采用QoS机制保障不同业务带宽	5G 2B（普通行业）、普通政企
集客专享切片	硬隔离，采用FGU小颗粒为不同业务提供硬管道	5G 2B（特殊行业，如电力/铁路/金融等）、尊享政企

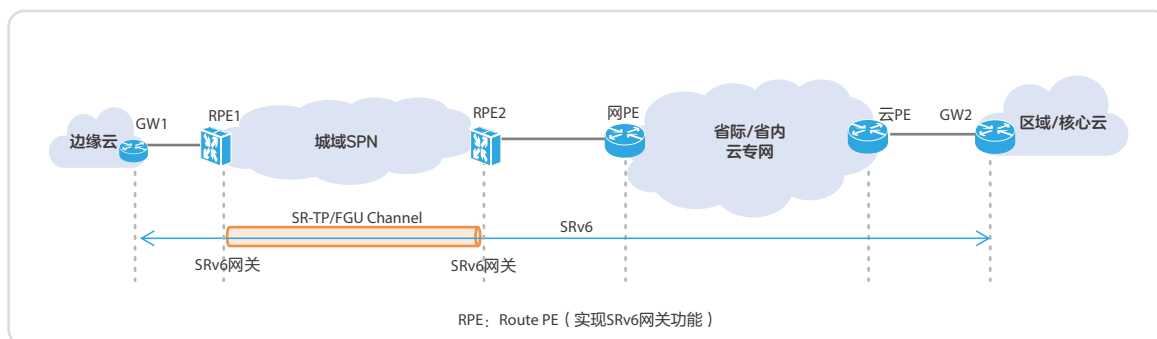


图2 SPN SRv6网关方案

在对应的资源切片内进行部署。

FGU小颗粒，提供精细粒度硬管道

根据分析和统计，垂直行业的应用，特别是控制类应用的带宽需求主要在10Mbps以内，而各种政企专线的带宽需求则在10Mbps~10Gbps之间，且1Gbps带宽需求以下的专线占90%以上。云网业务目前处于发展阶段，其带宽需求也与政企专线带宽需求相当。

为了满足高安全、高隔离需求业务的灵活带宽要求，SPN 2.0创新性提出了FGU（Fine Granularity Unit）小颗粒技术，该技术在SPN 1.0的基础上，将5G颗粒中的码块组织为包含24个时隙的细粒度基本单元帧FGU（Fine Granularity Unit），再由20个FGU构成一个复帧，使得一个5G颗粒包含480个10M小颗粒时隙，根据实际应用业务带宽需求，可按需为其分配N个小颗粒时隙。进一步地，在该小颗粒帧结构的基础上，SPN 2.0还提出了小颗粒时隙交叉、保护倒换、无损带宽调整等机制。结合这些机制，SPN 2.0可以为垂直行业/政企专线/入云专线提供高可靠和高安全隔离的端到端硬管道。

SPN2.0演进支持SRv6方案

SPN 2.0不是SPN的终点，而是新的起点。未来随着边缘云下沉的规模部署以及泛在算力的部署，云网一体和算网一体大背景下将要求承载网络具备业务可编程能力，此时SPN必须向SRv6演进。

但是SPN本身是具备传输特性的分组网络，如果在SPN全网引入SRv6，一方面会导致SPN失去其传输特性与优势，另一方面也增加了网络升级改造的复杂度和成本。为了使SRv6技术更好地适配SPN网络的特性，可以考虑采用SRv6网关方案（见图2）。

如图2所示，将城域SPN网络的边界节点作为路由PE（RPE）提供SRv6网关功能，RPE一方面支持基本SRv6功能，实现与外部SRv6网络的互通，另一方面支持SPN网络本身特性，能将SRv6隧道与SPN网络内的SR-TP隧道实现无缝绑定。从转发面来看，只需要通过SRv6的End.BM SID绑定到指定的SR-TP隧道即可实现。对于在时延确定性和硬隔离要求的业务，可以通过扩展SRv6的End操作类型，在RPE上将SRv6隧道绑定到FGU通道，满足不同SLA用户的业务需求。

上述方案保留了SPN网络内部的传输特性，且SPN网络内部节点可以无需支持SRv6特性，从而大大降低了网络升级改造压力，可作为SPN 2.0后续的重点演进方向之一。

SPN技术是在5G网络建设的大背景下应运而生的，已经在5G回传场景发挥了关键作用，但SPN在提出之初就是面向综合承载的网络，并且一直在持续发展演进中，SPN 2.0所提出的高灵活调度、高精细化隔离、网络能力开放、一网多业综合承载等概念和技术特性，必将在云网融合业务场景以及未来云网一体和算网一体的场景中发挥更大的作用。ZTE中兴

SPN小颗粒

切片技术在政企专线的应用



陈捷
中兴通讯承载产品规划经理



温建中
中兴通讯承载产品规划经理



杨伊
中国移动通信有限公司政企客户分公司高级项目经理

政企专线需求

专线业务是运营商重要的收入来源之一。随着政府、金融、企业等行业数字化转型升级，更大带宽、更低时延、更高可靠、更快服务、云网一体等成为用户需求的典型特征，用户需求的升级呼唤运营商新一代政企产品与之匹配。运营商专线产品需要围绕带宽、可靠性、安全性、时延等打造核心竞争力，更加灵活地满足不同客户、不同维度的业务需求。

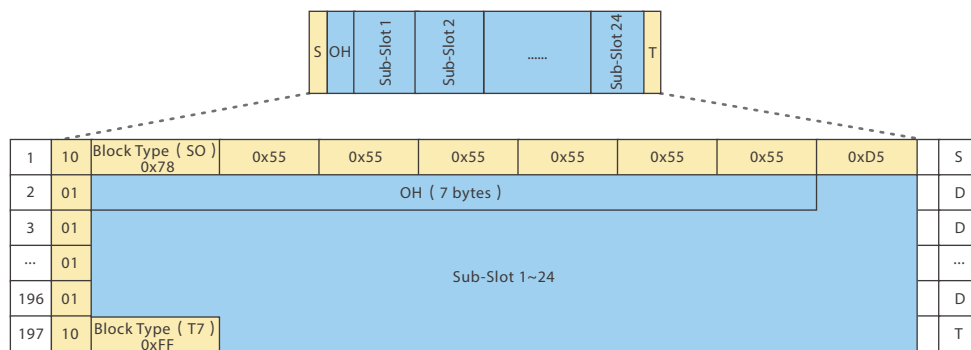
专线业务的带宽需求以小颗粒为主，例如，根据某运营商省公司的专线业务统计，20Mbps以下带宽专线数量最大，占专线总条数一半以上，最多时超过80%；而100Mbps~500Mbps带宽专线增长最快。可以预见，500Mbps及以下小颗粒带宽是现在及未来专线业务的长期主流带宽需求。在专线业务中，政务网业务、金融业务、企业核心业务这三类业务对隔离性、安全性和可

靠性都有很高的要求，其中金融业务对时延的要求更为严格。

SPN小颗粒技术

SPN 2.0扩展了SPN层次架构，在继承SPN高效以太网内核的基础上支持SPN小颗粒技术（Fine Granularity Unit, FGU）。SPN 2.0通过层次化设计，将细粒度切片技术融入SPN整体架构，提供低成本、精细化、硬隔离的小颗粒承载管道，契合了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，结合SDN集中管控，实现开放、敏捷、精细化的网络运营。

FGU对SPN通道层的5Gbps颗粒做进一步时隙划分及复用，形成带宽粒度为10Mbps的小颗粒通道。FGU采用IEEE 802.3的PCS 64/66B编码格式，将开销和包含多个时隙的净荷编码后封装到固定长度的S块+D块+T块序列，构成FGU帧结构，如图1所示。



▲ 图1 FGU帧结构与时隙划分



SPN 2.0通过层次化设计，将细粒度切片技术融入SPN整体架构，提供低成本、精细化、硬隔离的小颗粒承载管道，契合了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，结合SDN集中管控，实现开放、敏捷、精细化的网络运营。

FGU基本单元帧（单帧）具有固定长度，包含1个开始码块（S0）、195个数据码块（D）和1个结束码块（T7），共197个66B码块。数据区包含7byte的开销和1560byte的净荷。其中净荷划分为相同大小的24个子时隙（Sub-Slot）。来自业务的66B码块，经过66B到65B压缩后，填充到Sub-Slot净荷中。

在SPN的5Gbps通道，采用复帧机制扩展时隙。一个复帧包含20个FGU基本帧，每个FGU基本帧支持24个10Mbps时隙，因此一个SPN的5Gbps通道可支持480个10Mbps小颗粒时隙。

FGU关键技术包括基于TDM的转发机制、OAM机制、业务映射机制等。

● 基于TDM的转发机制

FGU采用TDM机制，以固定周期循环发送FGU帧，而每帧包含的时隙数量和位置严格固定，因此每时隙的发送周期也是确定性的。这种机制实现了对SPN通道层5Gbps颗粒的时隙划分与复用，小颗粒业务所占用的时隙位置严格固定，独享时隙资源，不同小颗粒业务之间互不干扰，严格隔离。而每时隙具有确定性发送周期，保障了确定性低时延、低抖动性能。

● OAM机制

FGU复用SPN通道层OAM机制和内容，保持了一致性。FGU的OAM为每条小颗粒通道提供端到端连通性检测、误码检测、时延测量、保护倒换、客户信号指示等监测能力。FGU OAM继承了SPN通道层OAM技术优势，FGU OAM利用帧间隙

的空闲资源随业务码块发送，不占用额外带宽；相比传统TDM技术，开销OAM和分组技术OAM具有更高的带宽利用率。

● 业务映射机制

对于以太网业务，可直接将业务经过PCS层转码后的66B码块，压缩为65B码块，再映射到相应的Sub-Slot时隙中。

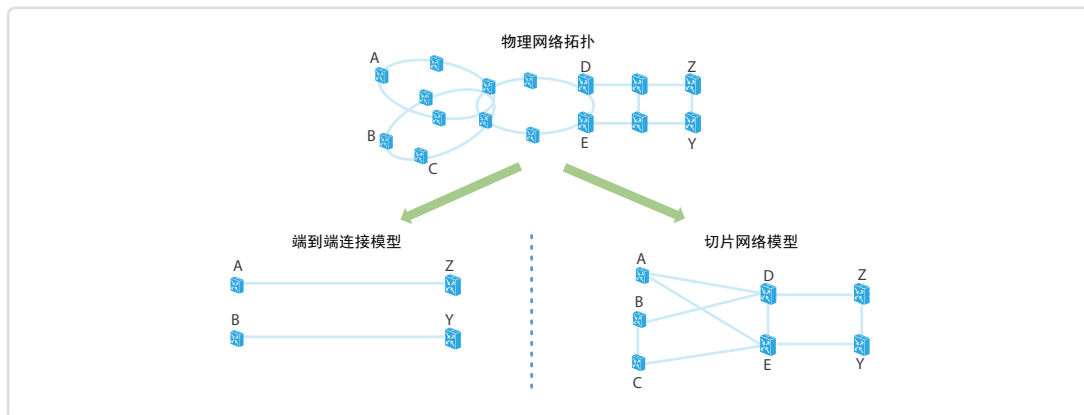
对于CBR（Constant Bit Rate）业务（如E1业务）到FGU的映射封装方式可以基于66B块的SDT封装格式进行封装（具体格式尚待标准化），再映射到FGU帧。

传统的PWE3方式承载CBR业务因其伪线仿真非刚性隔离、相互容易干扰，且封装开销大，因此存在时延大、抖动大等问题，难以获得政企客户的认可。而FGU承载CBR业务是基于TDM机制，将业务直接封装映射到小颗粒FGU帧中，跳过了MAC层的处理，通过FGU小颗粒刚性硬管道提供端到端业务一跳直达，有效降低了时延抖动，且业务间严格硬隔离、零干扰，能满足CBR业务的承载需求。

SPN小颗粒部署方案

从组网应用方式的角度看，SPN小颗粒技术一方面提供了基于FGU的硬隔离机制，可以将接口的物理带宽划分为 $N \times 10\text{Mbps}$ 的硬隔离带宽，另一方面提供了基于FGU的小颗粒时隙交叉能力，以形成 $N \times 10\text{Mbps}$ 的硬隔离管道。因而，在

图2 SPN小颗粒网络部署模型



实际组网中，SPN小颗粒主要有两种部署模型，如图2所示。

● 端到端连接模型

端到端连接模型主要用于为政企专线客户提供点到点连接，如分支机构到总部机构的连接。若客户存在多个分支机构，但其业务关系均为“分支—总部”，此时可看作多条独立的端到端连接模型的业务。

在端到端连接模型中，小颗粒管道在所有P节点均采用小颗粒时隙交叉形式，可以更有效地保障业务的时延、抖动等特性。在这类小颗粒管道部署L2VPN/L3VPN业务时，通常仍然采用分组隧道（MPLS-TP/SR-TP等）承载业务，但此时的分组隧道与小颗粒管道是同路径部署的。

● 切片网络模型

切片网络模型主要用于为政企专线客户提供虚拟的专用切片网络，以满足其灵活的多点连接业务需求。此时切片网络中的节点通常包括客户业务接入点，以及网络中关键的业务分流/汇聚节点。若某政企客户在A/B/C节点有分支机构，在Y/Z节点有总部机构，而D/E为业务汇聚节点，则可以通过小颗粒管道将物理网络拓扑重构为如图2右所示的虚拟切片网络。

在切片网络模型中，小颗粒管道用于构建切片网络中的虚拟链路，而在该切片网络中配置L2VPN/L3VPN等业务时，其分组隧道（MPLS-TP/SR-TP等）需要在切片网络拓扑中算路，需要构建算路拓扑（比如部署IGP形成路由拓

扑），基于该算路拓扑计算分组隧道路径，甚至是工作/保护分离路径、重路由等，因此其业务部署方式更为复杂。

实际应用中，可以针对某个客户构建一个切片网络，若该客户的业务需要细分为多种类型，也可以按业务类型分别构建多个切片网络。比如对于电网客户，可以构建调度数据网切片、综合信息网切片、互联网切片3个切片网络。

基于SPN 2.0层次化架构，小颗粒业务主要有以下业务模型：

● 分组业务映射到FGU

FGU小颗粒通道提供一个虚拟的以太网端口（VEI），该VEI部署业务的方式与普通以太网端口相同。在SPN中通常采用MPLS-TP/SR-TP方式承载L2/L3VPN业务，再映射到FGU的VEI端口。通过FGU小颗粒通道为业务提供零丢包、物理隔离和确定性时延等高质量服务。

● CBR业务映射到FGU

CBR业务（E1等）直接封装映射到小颗粒FGU帧中，精简了MAC层的处理，从而达到降低时延抖动，提升封装效率等效果，契合CBR业务的承载需求。

SPN小颗粒切片技术具备灵活带宽、多样隔离、低时延、高安全、高可靠等技术特点，结合SDN集中管控和切片编排，可为政企客户提供个性化专线服务，满足不同客户的需求，从而实现开放、敏捷、差异化、精细化的专线运营。ZTE中兴

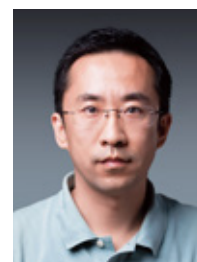
SPN 2.0面向5G确定性承载技术

在 国家政策、技术发展和行业应用的多方驱动下，确定性网络成为我国新基建发展的重要技术演进方向之一。政策方面，2021年初，工业和信息化部发布《工业互联网创新发展行动计划（2021—2023年）》，明确提出了支持深化“5G+工业互联网”“探索云网融合、确定性网络等新技术部署”的发展策略。技术方面，行业数字化转型加速ICT与OT深度融合，驱使新一代信息通信网络基础设施向确定性网络技术演进。3GPP从R16开始研究跨域的时间敏感网络（TSN）确定性承载方案，R17和R18将进一步提供内生的端到端确定性

网络服务能力，包括承载网络的确定性能力。在行业应用方面，基于5G行业虚拟专网和基于行业专线/专网承载的工业控制、车联网、智能电网等应用场景，均提出了端到端确定性时延、抖动和可靠性等承载需求。

5G确定性承载技术内涵与关键特性

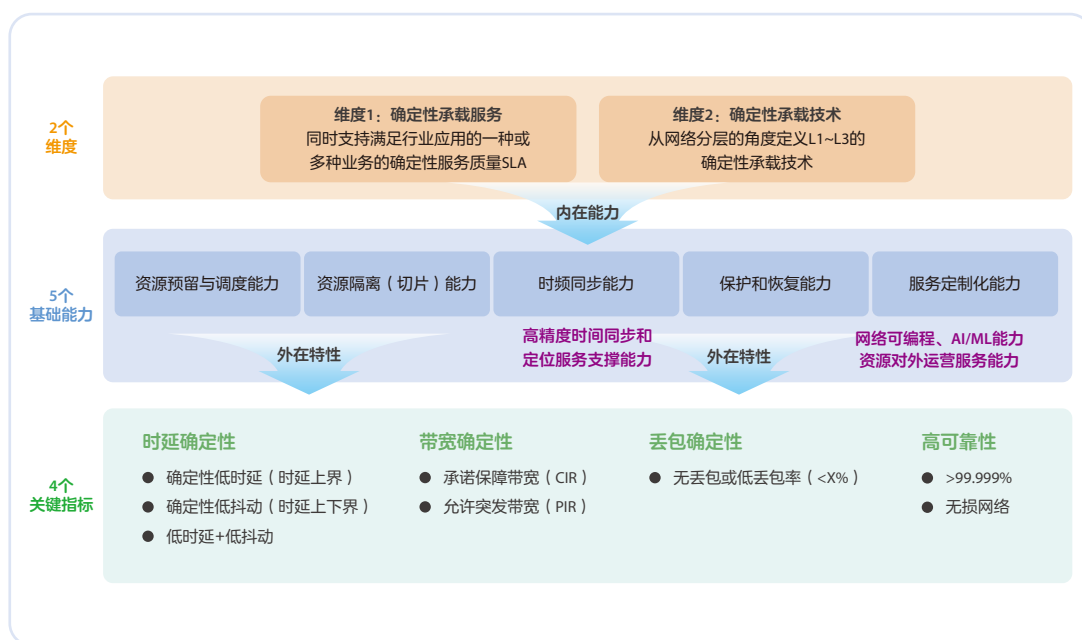
确定性承载的内涵包括技术和服务2个维度的5个基础能力和4个关键指标特性（见图1）。首先，确定性承载在本质上是提供端到端网络的确定性承载服务能力；其次，确定性承载是通过



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



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，教授级高级工程师



▲ 图1 确定性网络内涵和关键特性

L1~L3的承载网络增强技术及其组合来实现确定性承载的性能指标体系的服务质量保障。

基于技术和服务2个维度，确定性承载应该具备5个基础能力，包括资源预留与调度、资源隔离、时频同步、保护和恢复和服务定制化能力，以实现确定性承载网络的外在关键指标特性。其中，服务定制化能力是指对于某一种特定行业应用的确定性承载服务，可以是关键指标特性中的一项或多项的具体组合。同时，服务定制化能力可演进支持网络可编程、人工智能/机器学习能力及资源对外运营服务能力。

确定性承载网络的5个内在基础能力支撑网络具备4个外在的关键指标特性，包括时延确定性、带宽确定性、丢包确定性和高可靠性。其中，时延确定性包括具备确定性的时延（即有上界的时延性能）和确定性的时延抖动（即时延变

化具备确定范围的上界和下界），部分确定性业务明确要求具备低时延和低抖动特性。

确定性承载技术分类

5G确定性承载技术包括TDM类和分组融合增强类，需要结合确定性业务需求应用场景和SLA指标特性要求来组合应用。

TDM类的确定性承载技术主要包括L1层的灵活以太网（FlexE）、城域传送网（MTN）技术以及光传送网（OTN）和灵活OTN（FlexO）技术。其中，FlexE是基于OIF发布的FlexE IA 2.1技术标准，通过在物理编码子层（PCS）引入以66B码块为基本单元的时隙通道化复用/解复用技术，支持多路灵活以太网客户信号，实现了以太网物理层和MAC层的解耦；MTN已在ITU-T SG15形成了



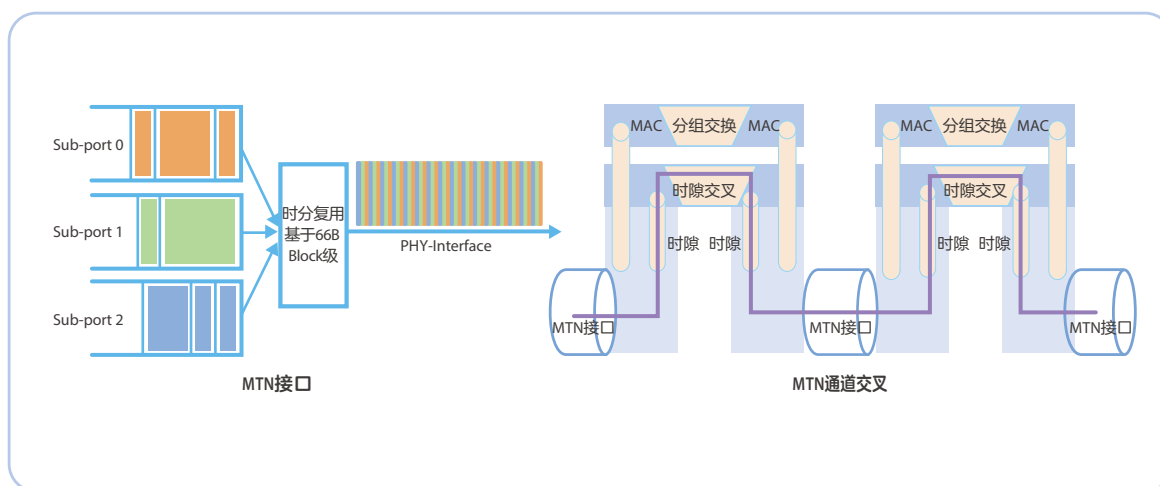


图2 基于MTN接口和MTN通道交叉的硬隔离技术

网络架构、接口、设备、保护、管控和同步等组成的5G传送国际技术标准体系，是我国运营商、设备商和科研院所联合主导推动的新一代传送网络技术标准。MTN是切片分组网络（SPN）技术架构中的切片通道层（SCL）技术，与切片分组层（SPL）技术一起支撑SPN技术兼具分组转发灵活和TDM通道隔离优势，实现城域和省内的5G回传网络和专线业务等综合承载组网。

分组融合增强类确定性技术在原有分组统计复用和QoS优先级队列调度机制中引入资源预留、时隙/固定周期交换的类TDM机制，实现确定性转发能力，最典型的技术包括工作在L2层TSN技术。TSN主要面向实时业务控制等局域网应用实现音视频、5G前传、工业控制等确定性承载。IETF规范的确定性网络（DetNet）支持TSN在L3网络的扩展、跨域TSN网络的互联，并提出了工作在IP/MPLS L3网络上的确定性技术架构。

SPN面向5G确定性承载的关键技术与方案分析

基于MTN技术的切片分组网（SPN），是中国移动联合中国信通院和我国三大主流设备商牵头推动的支持多业务统一承载的新型端到端融合

承载网络，具备确定性低时延和抖动、高可靠性、业务灵活调度、高精度时钟等属性。SPN通过MTN接口和ITU-T的MTN通道提供端到端TDM硬隔离管道，通过定长的分组交换、MPLS-TP或SR-TP隧道和QoS机制分别提供的L2VPN和L3VPN业务，实现确定性5G和专线业务承载能力。

时隙隔离技术，实现确定性带宽和时延性能保障

SPN基于MTN接口和MTN通道交叉技术实现用户资源隔离与确定性低时延应用。MTN接口是基于TDM时隙隔离技术，将一个以太网物理端口隔离成多个更小粒度的硬管道，以实现确定性低时延业务在网络侧接口内基于时隙交叉的硬隔离转发。基于MTN通道交叉的硬隔离，采用基于以太网64/66B码块的TDM时隙交叉技术，用户分组报文在网络中间节点无须经过L2/L3存储查表，直接基于L1的时隙透明交叉技术，实现端到端硬切片隔离能力以及单跳微秒级的确定性低时延和低抖动能力（见图2）。普通的分组业务在网络设备内部，依然基于分组交换和报文统计复用进行查表转发。

在确定性时延特性方面，与传统分组网络相比基于TDM时隙隔离技术的确定性时延和抖动性

能得到显著的提升（见表1）。

多重保护与恢复机制，提供可靠性连接能力

5G+行业数字化转型（如电力、工业制造等）对确定性承载网络的可靠性及可用性指标提出了严格要求。3GPP对5G确定性业务提供的通信业务可靠性及可用性指标提出了具体要求，在3GPP TS 22.261中针对不同的应用场景提出了

99.9%~99.9999%的高要求。承载网络可通过设计和部署网络系统备份、故障自动检测、故障快速恢复技术提高确定性业务可靠性指标。SPN网络的可靠性技术主要包括保护倒换和快速恢复，常用的保护恢复技术如表2所示。

基于SPN多样化的可靠性保障能力，可灵活定制具备不同可靠性和可用性等级的业务套餐，匹配不同确定性业务承载需求（见表3）。

表1 不同切片技术的时延和抖动性能

切片技术	单跳时延（不拥塞）	单跳抖动（拥塞）
传统分组统计复用+QoS机制	20~100μs	100μs量级
FlexE/MTM接口	20μs	10μs
MTN通道交叉	3~10μs	1μs

表2 SPN保护与恢复技术及性能

分类	保护类型	典型技术	保护对象	倒换性能
电信级保护	分组隧道线性保护	SR-TP APS SR-TE主备保护	网内：链路/单板/穿通节点	<50ms
	MTN通道保护	MTN通道1+1		<10ms
	双归节点保护	VPN FRR	网内：落地节点	<50ms
	网间保护	IP FRR或混合FRR	网间：对接节点	<50ms
抗多点故障的电信级保护加路由恢复	SR隧道线性保护+重路由技术	线性保护加动态重路由恢复	网内：链路/单板/非落地节点多点故障	保护：<50ms 恢复：秒级
		永久1:1保护 (线性保护加预置路由恢复)		保护：<50ms

表3 不同等级可靠性下承载网络保护能力方案建议

可靠性指标	99.99%	99.999%	99.9999%
控制面的快速重路由恢复	有	有	有
电信级线性保护	有	有	有
电信级双归属保护	有	有	有
线性保护加恢复	有	有	有
永久1:1保护	无	有	有
业务复制消除技术	无	无	有



随着5G+行业数字化转型应用场景和确定性承载需求日趋明显，面向广域、城域和局域场景的多种确定性承载技术不断涌现。SPN技术在确定性低时延和抖动、高可靠连接、高安全隔离、高精度监测等承载特性上均实现了显著提升。

高精度服务质量监测，强化确定性SLA性能保障

5G确定性承载网络需要精准的检测技术对业务进行测量并采集SLA性能数据，进而对所承载行业确定性业务运行状态进行分析、评价、控制和调整，以提供长期稳定、可靠的网络服务。SPN通过Inband OAM检测技术实现对确定性业务SLA性能指标的监测和分析。

Inband OAM检测技术是对实际业务流进行特征识别，并对特征字段进行丢包、时延测量的随流检测技术。InBand OAM对网络实际流量进行直接测量，丢包和时延检测精度高，是面向垂直行业承载的关键网络能力。InBand OAM具备无差别的丢包检测能力，通过对业务报文进行标记染色，得到一段时间窗口内入出网络的业务报文数量，进行集中控制器计算后得到精准的网络丢包率和丢包数。

InBand OAM还具备精确的时延检测能力，通过对业务报文进行染色或时戳标记，并通过集中计算单元进行数据处理，对业务时延和抖动进行实时检测。根据对业务报文进行时戳标记方式的不同，时延检测可分为“采样时延检测”和“逐

包时延检测”。采样时延检测在一定时间周期内对业务流进行采样测量，得到采样样本的时延检测数据。采样时延检测方式开销小，但时延检测精度无法覆盖所有业务场景，适用于对时延敏感度相对较低的非控制类业务场景。逐包时延检测通过对每个业务报文进行时间戳标记，得到所有样本的时延检测数据，真实还原每个业务报文的时延。逐包时延检测方案匹配了垂直行业生产控制类业务的高精度时延检测要求。

随着5G+行业数字化转型应用场景和确定性承载需求日趋明显，面向广域、城域和局域场景的多种确定性承载技术不断涌现。SPN技术在确定性低时延和抖动、高可靠连接、高安全隔离、高精度监测等承载特性上均实现了显著提升。后续，SPN 2.0技术将面向行业专网应用场景持续发展演进，正在推动10Mbps细颗粒的确定性承载通道、业务感知、切片隔离和灵活连接调度等方面的技术创新，进一步增强SPN在城域的综合业务承载能力，支撑5G+行业数字化转型业务部署和应用落地，促进确定性承载技术发展与应用壮大。[ZTE中兴](#)

PTN与SPN网络融合方案研究



周华东
中兴通讯承载产品规划
经理

截止目前，国内已完成超百万5G基站建设，SPN部署超过30万端。5G在千行百业的深入实践应用，以及云服务的不断迭代发展，要求运营商网络进一步发挥大带宽、低时延、切片等先进特性。同时无线及核心网的网络和技术也在不断更新迭代，也要求承载网络持续融合演进。本文主要研究PTN和SPN网络融合方案。

PTN与SPN网络现状

承载网络面向无线回传、云网融合、固移融合，实现2G、4G、5G、集客专线、企业上云，以及固网宽带等业务的综合承载，为不同的场景提供差异化服务。承载网本身要求打造极简网络，降低网络的建设和维护成本。

目前，PTN网络是中国移动城域覆盖最好的网络，当前主要承载4G无线回传及部分集客专线业务。PTN网络从开始大规模建设到现在已超过10年，一代承载两代无线，PTN网络很好地完成了3G、4G业务的承载。同时我们也看到，PTN网络当前设备型号众多，部分设备老旧，承载效率低下，整体网络相对落后。鉴于此，中国移动已经停止采购PTN设备，明确PTN网络停止演进。PTN上还承载了大量业务，部分业务还需要扩容，网络的演进需要高效承载现网已有业务。

SPN网络在过去2年多，主要服务于5G宏站的建设；接下来SPN网络的发展需要支撑5G业务增长、专线和垂直行业应用等。新旧两张承载网络，网络维护更加复杂，成本高企，同时进一步

加剧了纤缆、机房、电力等基础资源的紧张，影响了网络的安全和未来发展。

推进PTN和SPN网络的融合能够优化网络结构，降低网络成本，提升网络性能。

PTN与SPN网络融合方案研究

PTN与SPN网络融合将是一个持续的长期过程，在较长一段时间里两张网络将并存。如何充分发挥PTN网络的价值，并满足业务发展对网络的各项要求是融合方案的关键。城域网是一个包含了接入、汇聚、调度及核心等多个层次的复杂网络，承载了大量业务，包括高价值的集客业务。PTN与SPN的网络融合需要充分考虑网络的融合方案以及业务的接入方案。

网络融合的方案及顺序

网络融合的顺序要结合网络现状综合考虑。现网接入层设备中，PTN设备数量最多，而且目前SPN在接入层的覆盖不足，存在PTN无法完全替代的客观情况。汇聚设备落地业务少，数量较多，主要占用普通汇聚及骨干汇聚机房，同时汇聚机房资源最为紧张。核心设备数量少，机房资源相对优越，同时核心设备是大量业务的落地点，还涉及与BSC、EPC及省干对接，需要多方协调。综合分析来看，建议按照汇聚—核心—接入的顺序逐步推进网络融合。

阶段一，首先进行汇聚层的融合（见图1）。通过业务割接工具加之网络级保护，可以实现业务的无损割接。为了方便业务的调整，首

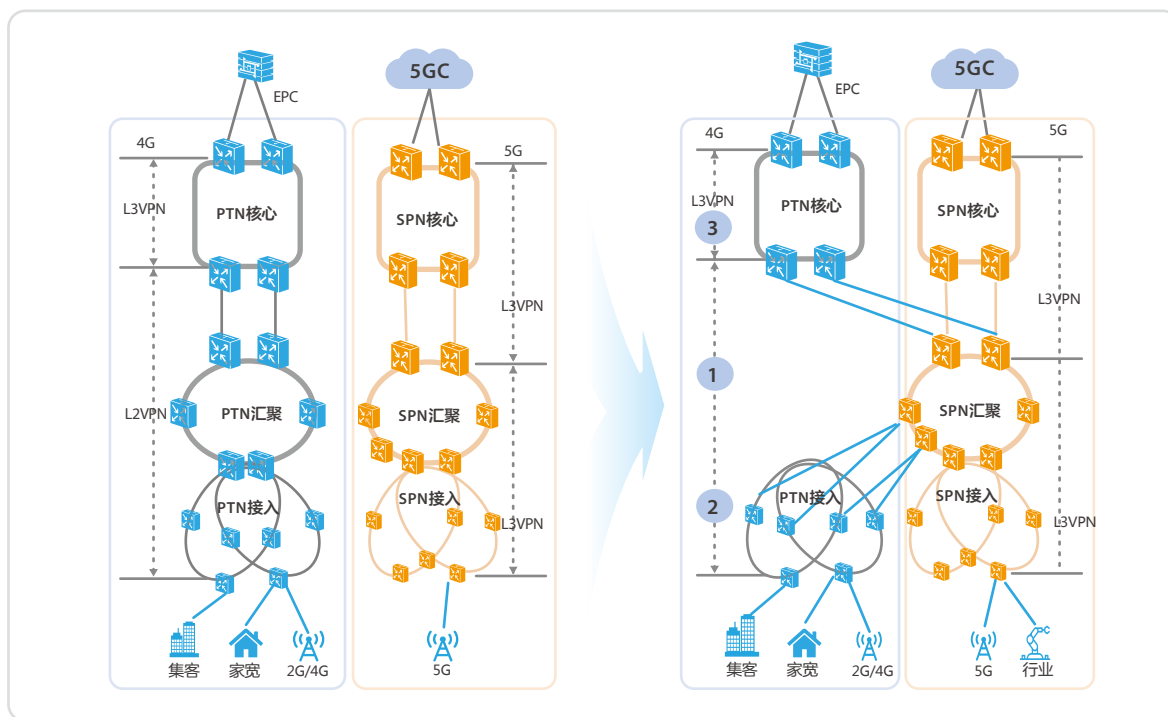


图1 PTN和SPN网络汇聚层
(阶段一)融合示意图

先需要保证PTN和SPN网络的统一网管管理。网络共管的情况下，业务端到端配置可以提高效率。具体割接步骤如下：

SPN网络SPE/骨干汇聚设备新增至PTN核心层的光纤连接。如果PTN网络较小，核心层以落地设备为主，需要将SPN骨干汇聚设备连纤到4G L3、2G落地设备及集客落地设备。

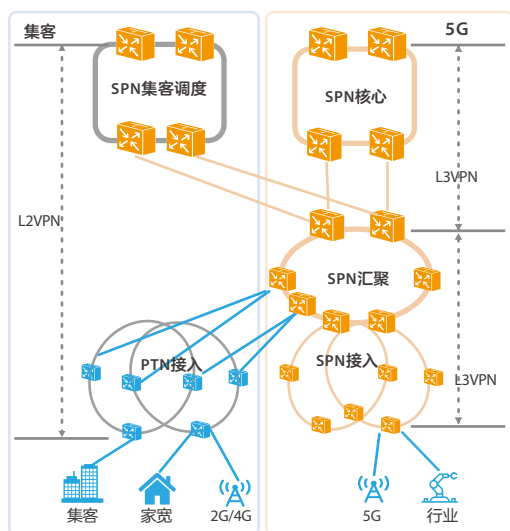
PTN接入环挂接至SPN汇聚环下，调整2G、4G、专线业务的隧道路由，通过SPN汇聚层到达2G/4G/集客核心；PTN汇聚层设备退网。中兴通讯针对网络融合，开发了业务割接工具，可以大大降低业务调整的工作难度。

核心侧设备融合难度和价值居中，可以放在第二阶段（见图2）。4G/5G核心网融合，也会加快核心层设备的融合进度。核心层融合的具体步骤如下：

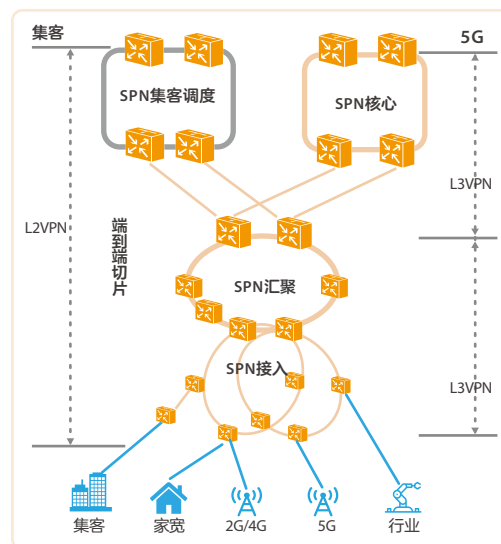
- 连接SPN NPE (Network Provider Edge) 与 EPC、BSC以及省干的光纤。如果EPC与5GC融合，则省去与EPC的纤缆连接。如果PTN还与集客省干对接，也需要连接SPN与集客

省干的光纤。

- 所有业务将在SPN核心落地。调整原来在PTN核心落地的业务，更改隧道配置和业务，完成业务割接。
- 集客调度。现有的PTN网络一般有PTN集客调度层和PTN 4G回传核心层，为了方便集客业务跨区域的连接，减轻核心设备的业务及流量的压力，在PTN两个核心层逐步退出的同时，需要新建SPN集客调度层。集客调度层可以先考虑建设集客调度环，然后根据业务调度需要，逐渐增加不同调度节点之间的互联，最终实现mesh连接，减少流量在核心层的绕行，优化网络时延。
- 切片的规划。这个阶段，在接入层有PTN和SPN两种接入方式，承载了无线回传、垂直行业、政企集客等多种类型业务。为了更好地满足业务差异化SLA需求，需要充分发挥SPN网络切片的功能。切片数量不宜过多，避免网络带宽资源碎片化，减少维护压力。总体建议按照业务特性，分别承载在共享大网切



▲ 图2 核心层融合及新建SPN集客调度



▲ 图3 目标网：接入层完成融合，SPN统一承载

片、集客共享切片和独享切片3个切片。4G接入业务不单独划1个切片，其普通业务与5G普通业务一起由共享大网切片承载集客。原来4G承载的集客业务，根据业务要求，分别由集客共享切片和独享切片来承载。

阶段三，接入层的网络融合。随着5G专网和5G室分的建设，以及高价值入云专线等业务的发展，SPN网络覆盖进一步加强（见图3）。PTN接入层网络随着业务割接到邻近的SPN接入设备或SPN-CPE设备，PTN接入设备可以逐步下电退网，最终实现由SPN统一接入和承载的高效极简的目标网络。

网络融合完成后，4G业务建议使用L3 HoVPN来承载，与5G回传业务使用相同的模型。政企集客业务以及面向垂直行业的业务，可以灵活选择L2VPN over SR-TP、L2VPN over MPLS-TP或L3VPN的方式承载。

融合阶段业务接入方案

PTN和SPN网络融合过程中，对于新发展的业务，总体来讲建议遵循如下几个业务接入原则：

- SPN未覆盖、PTN资源满足的情况下采用PTN开通。这样可以充分发挥PTN网络的余热，又满足业务快速开通的时间要求。
- SPN有覆盖场景优先SPN接入。SPN网络作为新一代网络，兼容PTN网络的各项功能，必将是下一阶段的目标网络。在SPN已经覆盖的场景，使用SPN接入，可以避免后续大量的业务割接，降低维护成本。
- 有低时延和安全隔离场景及其他PTN不具备的新功能需求时，优先SPN接入。充分发挥SPN设备在灵活硬切片隔离、网络智能化的能力，提升中国移动集客业务承载方案的行业竞争力。

技术和网络的发展是一个不断融合和演进的过程。随着智能电网、智慧铁路、智慧港口、智慧医疗等5G垂直行业的发展，以及政企专线和入云专线业务的演进，SPN也同步迈向2.0时代。PTN和SPN的网络融合，以及SPN技术的升级、网络优化，将助力“精准、融合、智能、低碳”的SPN 2.0愿景变为现实。ZTE中兴

SPN2.0自主进化网络

随着5G SPN承载网从1.0向2.0跃升，承载设备相应地提供了小颗粒、Inband OAM端到端随流实时检测、灵活连接和智能化能力。中兴通讯管控系统基于上述网元设备能力，整合网络资源，创新推出多项简化运维的智能化工具。

中兴通讯网络智能化架构分为两部分（见图1）：NE（Net Element）智能部分为网元内生智能，是在网元内完成的智能化能力，并可向管控系统提供数据；单域智能部分为管控智能化部分，是在管控系统中完成智能化能力。

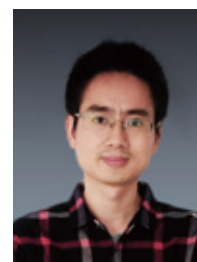
网元内生智能

网元内生智能，通过网元动态数据的实时监

测分析，对软硬件资源进行最优匹配和精细化运维，实现对网元内部组件的智能控制；同时，为上层管控系统提供精细的性能、状态、质量数据，并提供灵活调度能力，支撑自智网络实现自治。

网元内生智能包括高精度数据感知、网元故障精准定位和动态能耗控制几个方向。

- 高精度数据感知：传统设备信息采集采用15分钟告警和性能上报，颗粒度粗、控制器获得的故障信息分辨率低。为了实现高可靠的数字孪生系统，网元设备数据感知能力需要大幅提升，向秒级、毫秒级的更高精度目标迈进。同时，当上报数据海量增长时，对设备的信息上报能力也提出了更高要求，需要提供更可靠的上报模式，以及更高效的数据



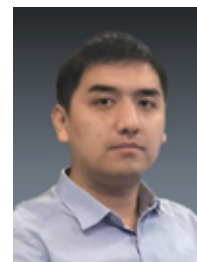
欧雪刚

中兴通讯承载产品规划经理



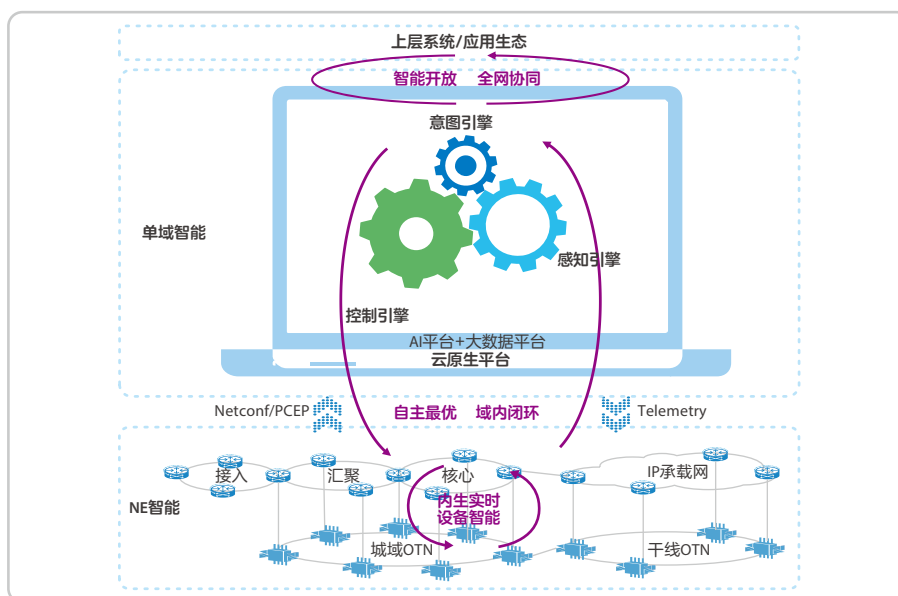
何力

中兴通讯承载产品规划经理



吴超

中国移动网络事业部项目经理



▲图1 中兴通讯网络智能化架构

压缩方法。SPN2.0时代，设备内感知全面达到秒级，关键应用达到毫秒级感知能力。

- 网元故障精准定位：与面向网络的控制器故障诊断不同，设备内的故障诊断通常关注单板的应用状态和软件跨组件的程序执行逻辑是否正常。SPN2.0基于设备日志、告警、性能等实时信息建立网元运行模型，通过云端训练、本地推理，捕捉软件程序执行异常和单板性能异常细节。这种设备精细分析方法，和网络控制器的故障分析相结合，形成对通信故障的全方位感知，也为网元自愈技术的发展提供可达路径。
- 动态能耗控制：中兴通讯SPN设备除了在设备硬件设计里广泛采纳更先进的架构、更高集成度的芯片、更新的制作工艺和更高效的电源外，同时还在设备软件里采用回归算法，通过分析通信网络流量的潮汐效应，对耗能器件动态调整休眠与唤醒，实现随环境变化的动态能耗控制。

管控智能化

管控智能化重点包括网络仿真应用、业务意图开通、智能故障诊断等核心能力。

网络仿真应用

数字孪生仿真系统通过同步现网设备配置、网络拓扑以及流量信息，解析还原整网拓扑和协议，构建无限贴近现网流量和业务的仿真网络。基于此系统，通过What-if仿真分析、网络容量规划、网络健壮性分析、网络变更验证等功能，可以大幅提升SPN网络规划自动化水平，满足SPN网络未来长期演进需求。

- What-if仿真分析：What-if仿真分析是一种假设分析的评估方法。基于数字孪生仿真系统，通过分析可能的网络变化（如SPN网元/链路故障、流量变化等）对业务的影响，支撑运维人

员更清晰地了解影响范围；同时模拟采取不同策略方案产生的不同结果，分析制定最佳的应对方案，从而提升SPN网络可靠性。

- 网络健壮性分析：网络健壮性分析能力，基于现网过往大量的实际故障场景，分析工作网络中关键元素（如网元、链路）故障场景下业务所受的影响，并对所有故障场景下的业务影响程度进行排名，识别最差场景以及造成最差场景的故障根源，再根据分析结果，对网络薄弱环节进行针对性优化整改，提升SPN网络整体健壮性。
- 网络变更验证：数字孪生仿真系统的网络变更验证功能，可以对业务割接进行事前仿真模拟，识别每一步操作对现网业务的影响，实现现网1:1验证，避免专家评审、实验室验证等传统验证手段带来的资源耗费较大、变更风险难以完全排除等问题，确保每一项割接任务都能低成本、低风险完成。

基于意图的业务自动创建

基于意图的业务自动创建功能，使得用户只需要关心客户业务需求是否得到满足，而不用掌握专业网络知识；业务开通时间由原来的十几分钟缩减至分钟级，业务创建成功后，用户对业务的诉求得到持续的保证。

业务智能创建方案分为以下5个部分：

- 意图识别：通过提取用户输入的关键信息，识别业务场景及其指标要求，比如基站承载业务、专线业务、家庭宽带业务、垂直行业业务等；
- 生成方案：根据业务场景，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方案；
- 意图验证：用户选择合适的方案并调整部分参数后，系统将该配置方案在数字孪生仿真系统中模拟下发并进行评估验证；
- 开通实现：经过验证的配置方案自动下发到



各相关站点完成业务开通;

- 意图保障: 业务开通后系统持续对业务进行管理监测, 当网络状态无法满足用户意图或用户意图发生改变后, 自动对相应的设备或网络资源进行调整, 持续保障用户意图。

智能故障诊断应用

通过智能故障诊断应用功能, 平均修复时间、平均响应时间大幅减少, 告警压减率大幅提升, 满足用户高效运维诉求。

智能诊断工具主要包含以下4个部分:

- 远程采集、大数据分析: 远程采集获取全网异常数据, 进行大数据分析, 提升故障数据分析效率、分析深度及分析全面性;
- 训练并形成故障模型库: 支持离线训练和在线训练, 对网络中典型、常见的故障训练形成故障模型, 对故障场景经验固化, 并持续

进行知识积累和学习;

- 对故障多维度分析和追踪、快速定位故障根因: 快速识别故障根因、展示告警传递和衍生的时空关系, 对故障进行时间追踪, 提供相似故障经验推荐, 帮助运维人员快速处理故障;
- 提供多维度解决方案推荐: 根据故障情况, 推荐多个解决方案; 解决方案根据故障处理经验, 可维护、可持续积累。

SPN承载网络为智能化实现提供了基础, 智能化的推进反向促进网络能力的提升。遵循CCSA对智能化的能力分级, SPN网络智能化演进将从网络运维的六大场景(规划设计、部署开通、业务发放、监测排障、网络变更、网络优化)推进, 达到三“零”(零等待、零故障、零接触)三“自”(自配置、自修复、自优化), 最终实现网络自治目标。ZTE中兴

基于SPN承载

铁路5G-R业务接入方案研究



廖国庆
中兴通讯承载产品政企
市场规划经理



李继元
中国国家铁路集团有限
公司工电部通信信号处
高级工程师

铁路通信现状

铁路是我国交通的大动脉，截止到2021年底，全国铁路营业里程突破15万千米，其中高速铁路超过4万千米，而铁路通信对行车安全有重要的保障作用。我国约6万千米普速铁路仍然在使用传统的450MHz无线列调通信系统，2012年起工信部已停止核准450MHz频段，该系统也存在易被外界干扰、语音质量不高、业务有限等问题。2008年起，新（改）建铁路几乎全部采用GSM-R作为专用无线通信系统，总里程约9万千米。GSM-R以语音业务为主，窄带数据带宽有限，面对铁路智能化和未来演进力不从心，难以承载多媒体等新业务，也面临全球产业链逐步萎缩的困境。

5G-R承载需求

目前，国铁集团正在积极开展5G-R技术研究，并在申请铁路5G-R专用频段。与GSM-R相比，5G-R单终端数据传输带宽由几十kbps提升到几十Mbps，提升了上千倍，数据传输延时由几百毫秒缩短到不足一百毫秒；同时，5G技术的频谱效率更高，支持网络切片、边缘计算、用户面和控制面分离等，具有高宽带、广连接、高可靠等应用特性，可为铁路关键业务提供服务质量保障。相应地，对配套的承载网也提出了更多要求，

主要体现在以下方面：

- 大带宽。铁路5G-R无线接入网典型组网方式为BBU/CU+DU合设且分布部署在车站/区间，RRU/AAU拉远部署，当接入3~5个RRU/AAU时单个BBU/CU+DU回传带宽需求为1.32Gbps~2.2Gbps（根据《铁路下一代承载网应用技术白皮书2020》），业务核心节点之间的带宽需求为1Gbps~10Gbps，如考虑到铁路现网业务的综合承载，带宽需求更大。
- 灵活组网。5G-R系统的核心网云化部署、MEC下沉，同时基站密集组网，站间协同更为密切，这些都带来多点到多点的灵活连接的需要。
- 网络切片。5G-R系统需要同时承载调度通信、列车控制、移动视频、物联网等各类业务应用。这些业务在带宽、时延、可靠性、安全性等方面需求差异较大，需要承载网支持网络切片技术，支持网络资源和传输管道的物理隔离、逻辑隔离等技术，为不同的业务提供SLA保障。
- 高精度时间同步。5G技术的基本业务时间同步需求为 $\pm 1.5\mu\text{s}$ ，5G基站的带内非连续载波聚合和带间载波聚合的同步要求是 $\pm 130\text{ns}$ ，带内连续载波聚合的同步要求是 $\pm 65\text{ns}$ ，MIMO的同步要求是 $\pm 32.5\text{ns}$ 。除了5G-R业务以外，铁路通信中还存在大量

传统的TDM业务、分组业务，特别是承载调度通信、TDCS（铁路列车调度指挥系统）/CTC（调度集中系统）等的E1 TDM业务，对传输通道的时延、安全隔离等有更高的需求。

主流传送网技术比选

目前铁路GSM-R业务的承载主要是MSTP设备，但MSTP设备的最大线路侧带宽只有10Gbps，而且其刚性管道不适合承载分组业务，同时EOS（Ethernet over SDH）机制也存在汇聚比的限制，难以完成大量的分组业务的汇聚；MSTP只支持时钟同步，无法支持高精度时间同步，也不支持L3层的转发，同时MSTP的标准推进基本停止，产业链逐渐萎缩。总体上看MSTP无法满足未来5G-R的承载需求。

公众电信运营商主流的5G承载方案是SPN和IPRAN 2.0技术。IPRAN 2.0和SPN的总体架构和关键技术类似，但IPRAN 2.0的硬切片主要基于FlexE端口技术，不能提供端到端的硬切片通道，可以

用于铁路图像通信等非安全、非控制类业务的站区、区间延伸。相对IPRAN，SPN基于增强的OAM、双向连接及保护等功能，提高了分组网络的可管可控能力，满足5G-R业务对安全性、可靠性要求的同时，能够兼顾车站、区间TDM等重要业务。因此SPN是承载5G-R业务接入的合适选择。

基于SPN承载5G-R业务接入的组网方案

选择SPN作为铁路5G-R接入层承载网，可为铁路5G-R系统提供大带宽接入、高精度时间同步、高可靠性、灵活连接等方面的功能性能保障，并可兼顾既有铁路通信业务的综合承载，其总体架构如图1所示。

5G-R业务的回传承载网采用接入、汇聚、核心三层架构的组网方式。对于铁路干线的接入环，线路侧初期可以采用GE或10GE；回传网汇聚环可采用10GE速率，而连接铁路局和铁路大站的回传核心环至少采用10GE组网，满足现有及未

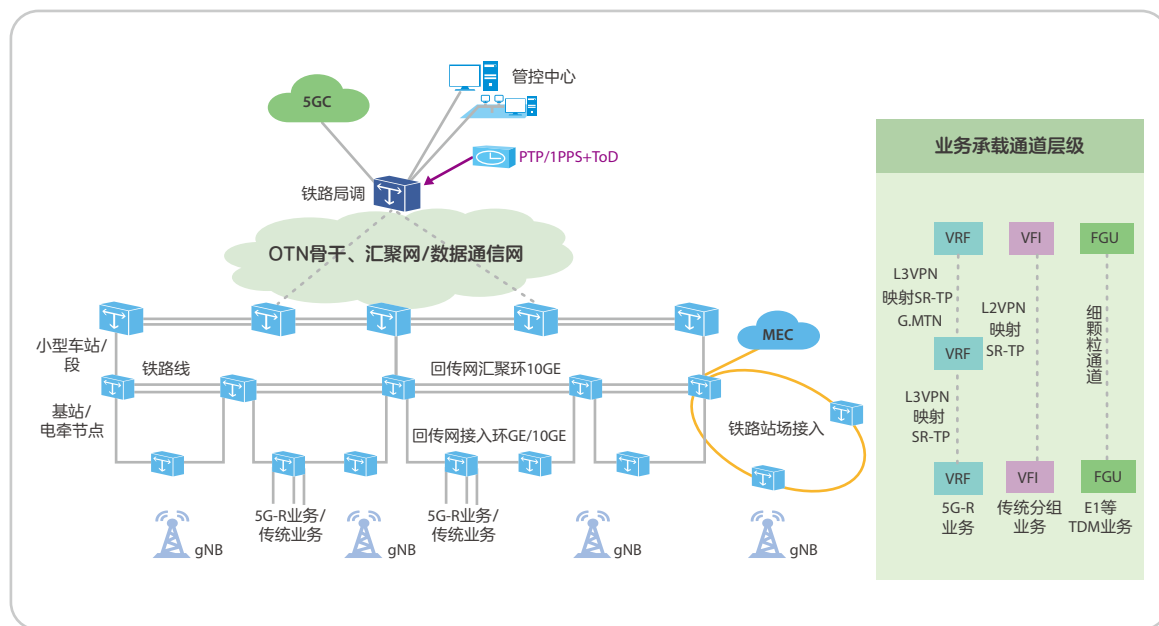


图1 基于SPN承载5G-R业务接入组网示意图

5G-R的部署将分阶段分区域逐步推进，既有铁路通信业务和5G-R业务将逐步过渡到统一的接入层传输网来承载。SPN可提供丰富的业务接口，具有大带宽、低时延、灵活接入等特性，并通过SDN的集中管控，实现高效智能运维。

来业务带宽的需求。5G-R基站会同时接入行车控制、调度通信、移动客票、视频图像、检测监测等业务，这些业务对安全性、可靠性等要求不同，可以在SPN网络中建立端到端的切片通道，对于行车控制、调度通信等重要业务可采用独立的硬切片通道承载，保证业务通道的物理隔离和安全；对于其他业务可采用软切片方式共享硬管道，提高业务通道的承载效率。

5G基站需要提供高精度时间同步，可以自铁路时间同步网一、二级时间同步节点接引主用、备用时间源，通过OTN或SPN网络完成超高精度时间信息的传输，在接入SPN设备处，可通过PTP接口或1PPS+ToD接口方式将时间信号传递给5G-R基站。通过地面链路提供的时间信号，可与GNSS（北斗）时间信号共同保证5G-R基站高精度时间同步的安全可靠。

铁路站场场景包括铁路车站、物流中心、编组站、动车段（所）、机务段、车辆段等铁路作业区域。这些场景特点是通信作业范围为面状区域，作业人员和车辆密集且业务量大，调车控制、自动驾驶、无线检票、机器控制等业务对低时延需求相对较高，对生产作业过程中的数据安全和隐私性要求较高。MEC边缘计算技术可满足站场的上述需求。如图1所示，MEC部署在站场接入汇聚机房，与SPN回传网接入环的汇聚设备

对接。SPN设备通过灵活转发功能，打通MEC到5GC、到站场5G-R基站的链路。MEC将铁路站场的应用业务分流到站场服务器，满足站场业务的低时延和数据安全需求，也减少了大容量数据回传对承载网的压力。

对于现网中既有的CTC等传统分组业务和数据通信网区间业务延伸，可采用L2VPN映射SR-TP/MPLS-TP的方式，通过SR-TP/MPLS-TP的严格路径等特性保障业务的QoS；基于SDN控制器的SR-TP重路由特性，可保证传输网络中多点失效的情况下业务仍能正常工作，可以提供不低于原有MSTP网络的可靠性。对于有通道硬隔离需求的分组业务，可以采用L2VPN映射SR-TP/MPLS-TP over MTN/细颗粒的方式承载，基于端到端的物理隔离通道，保证业务的安全可靠。对于传统的E1业务，可以把业务直接映射到SPN的10Mbps细颗粒上，端到端的细颗粒路径可以提高业务通道的承载效率，同时保证业务全路径的安全隔离、业务双向路径的时延一致等特性。

5G-R的部署将分阶段分区域逐步推进，既有铁路通信业务和5G-R业务将逐步过渡到统一的接入层传输网来承载。SPN可提供丰富的业务接口，具有大带宽、低时延、灵活接入等特性，并通过SDN的集中管控，实现高效智能运维。ZTE中兴

SPN在云南电网中的 部署及应用研究

“十四五”期间，随着云南电网公司全面数字化转型及数字电网建设战略部署的逐步落实，各业务领域信息化、智能化水平将大幅度提升，按照规划，云南电网将于2025年建成数字电网。随着数字电网的建设及变电站视频与图像采集、巡检机器人等技术的大规模应用，可以预见“十四五”期间云南电网变电站的带宽需求将呈现出爆炸性增长，迫切需要通过新技术全面提升变电站、供电所综合数据网带宽。

电网需求分析及承载网技术选择

云南电网除承载生产业务的调度数据网以外，还有承载生产管理业务的综合数据网，根据业务属性又分为综合数据网三区 and 综合数据网四区；其中三区业务主要包括视频采集业务、智能管理业务、北斗高精度定位通道等，四区业务包括生产管理系统、GIS系统、OA办公系统；此外还有承载IP电话和视频会议的语音视频专网业务。除了带宽需求的急剧增加，对数据网的不同业务安全隔离度以及业务差异化管理也提出了更高的要求，各个分区业务之间需要实现逻辑隔离或物理隔离，业务之间也存在质量保障的优先顺序，同时该网络必要时最好还能承载一部分原有SDH网络上的专线业务。

针对电网上述需求，综合评估了SPN与SDH

及下一代OTN网络三种技术。

- SDH技术：技术成熟，稳定可靠，仍是点对点专线业务的首选承载网络。但目前SDH标准已多年不再更新，线路侧带宽最高只有10Gbps，作为大容量的数据承载网相对SPN及OTN无带宽优势，同时基于MSTP平台的以太网封装效率较低。
- 下一代OTN技术：下一代OTN技术基于4合1融合技术，能够接入任意速率的任意业务，如PCM、SDH、OTN、分组业务，解决了传统OTN封装小颗粒业务如VC12等映射层级过多的问题，可以与传统OTN对接；各种业务可以映射到最匹配的管道中，任意汇聚到大容量的波长中统一传送。但是OTN暂不支持L3转发，如要实现此功能，需要叠加额外的路由器，将导致架构复杂、成本高，同时OTN的线路板卡相对SPN的以太网接口来说成本较高。
- SPN技术：SPN技术线路侧接口带宽可以达到200Gbps，采用智能管控及网络切片技术，SPN设备FlexE端口基于TDM时分复用的硬管道可实现时隙调度、刚性隔离、独占带宽、通道之间不相互影响。针对电力通信网不同业务的安全隔离要求，可部署切片实现不同区域电网业务的承载，满足不同的带宽、时延、同步等需求。SPN目前还支持L3 VPN到边缘的转发，当前提供10Mbps小颗



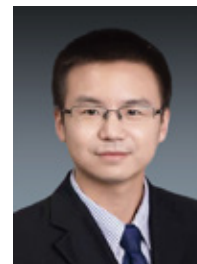
陈龙

云南电力调度控制中心
通信技术科总监



罗海林

云南电力调度控制中心
通信技术科经理



孙严智

云南电力调度控制中心
通信技术科经理

粒粒度的切片层网络支持能力，能更好地适应电网点到点专线业务。控制层面基于SDN架构，网络能力开放、高效灵活，业务可视、可管、可控。SPN线路侧板卡采用标准以太网接口，相对来说具备价格优势。

从实现原理角度，OTN本质上还是基于TDM模型来承载分组业务，而SPN本质上是基于PTN演进而来，天然的是分组数据的承载网，并在此基础上兼顾了适合电网专线业务的承载技术，因此，基于云南电网主要用于承载综合数据网的业务需求场景及成本因素，最终选择了SPN技术。

SPN中业务模型的部署分析

目前云南电网SPN网络结构采用核心落地层、骨干层、汇聚层以及接入层四层结构。地调为核心落地层，重要的500kV或220kV站点作为骨干层，骨干层采用口字型组网。220kV或110kV站

点作为汇聚层，各汇聚环独立，并双归或三归至骨干汇聚节点。接入节点部署至35kV站点，接入站点成环双归至同一汇聚环或单支下挂，部分未成环站点单支线接入。

自动化、电能量等点到点专线业务，基于SE-XC交叉的硬管道技术，采用10Mbps的小颗粒业务模型承载。

针对数据网等分组业务，目前在业务层面主要有L2 VPN和L3 VPN两种部署模式，考虑到电网的网络拓扑和业务流向，选择L2 VPN模式。

根据电网业务流量需求分析可知，目前变电站三区主要业务为生产管理VPN，包括视频及环境监测系统、输电设备在线监测装置、生产管理终端；变电站四区主要业务综合VPN主要为接入办公网络的电脑终端。对于电网来说，目前SPN承载的地区综合数据网业务流向较为单一，均为厂站端至地调主站数据中心或中调主站数据中心，地区网层面均为接入层站点至地调的数据转





SPN作为一种移动5G承载网的新技术，虽然在行业专网中的应用还处于探索阶段，但SPN所具备的一系列特性，契合电网数据网络的需求和未来的发展趋势。未来SPN也会基于专网用户的需求不断演进，以满足各种行业用户的需求。

发，暂时没有接入层站点至汇聚层站点、核心层站点互访需求，也没有厂站之间的综合数据网互访的需求。因此L3 VPN部署至边缘节点暂时缺少实际的业务场景支持。同时考虑到业务配置以及后期运维及故障处理的难易程度，选用切片+L2 VPN的业务部署方案。

全网部署L2 VPN，SPN启用切片+隧道功能，实现音视频、变电站三区、变电站四区之间的切片物理隔离，各自形成一张独立的逻辑网络，通过切片内SR-TP的分组转发，也可实现二层数据汇聚收敛功能，通过在汇聚路由器接口创建VPN的方式，可等效实现厂站端路由在三层灵活转发，以及路由策略和安全防护策略的站点控制。未来根据业务需求，L2 VPN也可在线升级至L3 VPN部署，无需修改业务IP。

SPN在电网中的业务规划

根据云南电网的业务需求和网络模型，目前初步规划了4类业务模型，并规划了不同的切片带宽。

- 专线业务：全网规划5Gbps带宽切片，专门用于开通SE-XC小颗粒业务切片；点对点专线每条业务带宽10Mbps，全程点到点物理隔离。

- 音视频切片：全网规划5Gbps带宽切片，用于承载音视频业务，单站业务SR-TP隧道带宽为10Mbps，切片内业务之间统计复用。
- 综合数据网三区切片：全网规划10Gbps带宽切片，用于综合数据网三区业务，110kV及以下单站业务SR-TP带宽为10Mbps，220kV单站业务SR-TP隧道带宽为20Mbps，切片内带宽统计复用。
- 综合数据网四区：全网规划10Gbps带宽切片，用于综合数据网四区业务，110kV及以下单站业务SR-TP带宽为10Mbps，220kV单站业务SR-TP隧道带宽为20Mbps，切片内带宽统计复用。

业务保护方式采用基于1:1的SR-TP隧道保护，同时支持基于重路由的SR-BE保护方式。核心路由器和接入交换机之间采用IP FRR配合BFD协议，监测中间隧道状态，做到主站核心路由器的设备保护。

SPN作为一种移动5G承载网的新技术，虽然在行业专网中的应用还处于探索阶段，但SPN所具备的一系列特性，契合电网数据网络的需求和未来的发展趋势。未来SPN也会基于专网用户的需求不断演进，以满足各种行业用户的需求。ZTE中兴



中兴通讯携手中国移动

完成SPN2.0软硬切片承载云网业务试点验证



周文端
中兴通讯承载产品规划
总监

2021年10月，中国移动联合中兴通讯在北京完成SPN软硬切片承载云网业务试点。本次试点采用SPN实现入云以及云间业务差异化承载，结合中国矿业大学园区业务，SPN划分软硬切片，通过MTN通道硬隔离提供集客独享切片、集客共享切片和共享大网切片；集客独享切片采用FGU小颗粒通道提供Mbps级别带宽硬隔离、高安全、高可靠服务；集客共享切片和共享大网切片结合软隔离等技术，满足不同SLA保证的云网业务需求，同时云网业务传输通道通过端到端切片管理系统及控制器自动化下发，实现业务的快速开通。

云网业务需求

北京移动云网融合业务试点架构如图1所示，SPN承载5G基站业务，面向矿大的云网业务根据传输质量保证要求主要分为3类：

- 雷达扫描机器人业务：雷达扫描机器人在移动中采集地面/地下数据，实时上传到矿大服务器，矿大服务器部署在边缘云，确保数据不出园区，矿大服务器对原始数据进行预处理和分析后，将数据同步到移动云，授权用户可随时随地接入移动云访问分析后的数据，数据的安全隔离性要求较高，实时处理要求高；
- 视频/GPS/里程计/陀螺仪业务：摄像机等终端设备采集数据后上传到矿大服务器，矿大服务器对原始数据进行预处理和分析后，将结果数据同步到移动云，数据的安全隔离性要求一般；
- 云边协同业务，边缘云处理后的数据进行结构化处理和过滤后同步到移动云，边缘云数据不提供外部用户访问，移动云将数据开放给授权用户访问，不同数据的安全隔离性要求有区分。

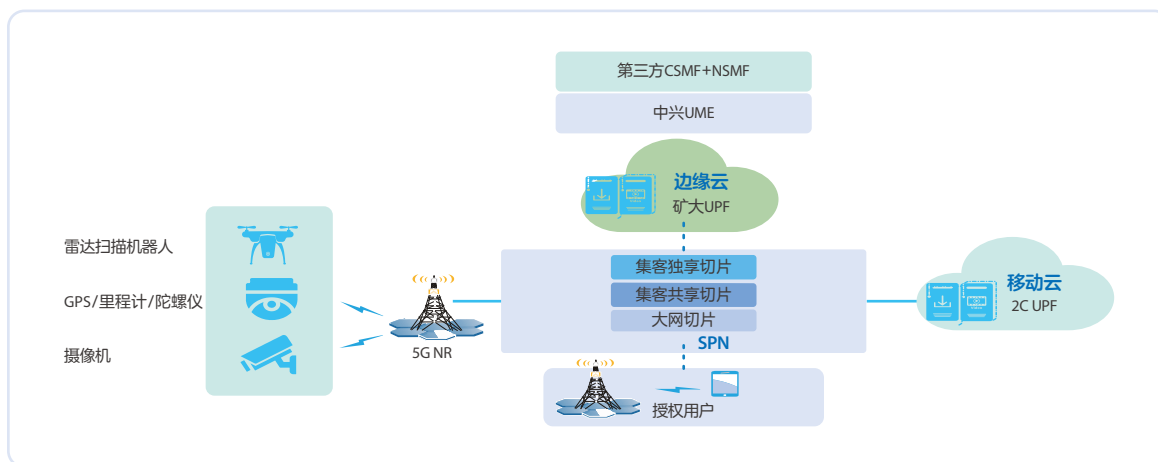


图1 北京移动云网融合业务试点架构图

SPN软硬切片承载方案

通过业务分析，结合SPN传输现网，采用的方案如下：通过SPN集客独享切片承载雷达扫描机器人业务，业务基于集客独享切片从矿大基站传输到矿大边缘云，以及天通苑营业厅基站传输到矿大边缘云，为雷达扫描机器人业务提供FGU（可提供最小10Mbps硬隔离带宽）超低时延及抖动的通道，不受网络拥塞影响，确保业务安全和硬隔离；通过SPN集客共享切片承载视频/GPS/里程计/陀螺仪业务，业务从天通苑营业厅基站传输到矿大边缘云，为视频等终端业务提供有带宽保障的集客业务通道；通过SPN集客独享切片传输边缘云到移动云业务，集客独享切片通过小颗粒FGU通道1:1保护，保障业务的高可靠安全和硬隔离；云网融合业务自动编排采用超级控制器SC通过OMC北向接口实现云网融合业务SPN承载配置，包括不同网络切片内的云网融合业务配置，跨域L2VPN/L3VPN开通、修改、删除等相关操作，简化了开通部署流程，实现快速部署，智能运维。

方案收益

本次云网融合试点基于SPN FGU小颗粒切片为云网业务提供硬隔离通道，满足业务高安全性、低时延业务需求，同时支持带宽无损调整，

为高价值客户提供可靠的业务保障；基于SPN集客共享切片为云网业务提供大带宽通道，在兼顾成本的同时保证了业务需求。此外，基于控制器实现SPN切片业务自动化开通、调整及停闭，大大提升业务开通效率，提升客户业务体验。SPN单物理网络部署共享大网切片、集客共享切片、集客独享切片，为5G和云网业务提供不同的SLA（服务水平承诺）和隔离能力；在集客独享切片内采用的小颗粒管道具有硬隔离特点，能够避免业务之间相互影响，满足TDM类客户应用要求；小颗粒管道支持无损带宽调整，满足高价值客户对业务的高可靠性要求；L2VPN业务已具备采用SR-TP承载的能力，从而能够在L2专线上提供重路由功能，在物理路由可达情况下保障业务永久在线，提升业务安全性；L2VPN/L3VPN均可部署Inband OAM功能，为ToC/ToB/集客业务提供精准检测能力，精准的业务感知能力保障业务高质量传输；SPN网络通过管控OMC北向接口提供能力开放，配合NSMF/SC实现切片业务的生命周期管理，灵活指定承载业务的切片。

本次试点充分验证了SPN在切片方面的技术优势，尤其是FGU小颗粒技术，提供10Mbps颗粒度TDM硬隔离能力、支持带宽无损调整，可满足客户高安全性、高可靠性及低时延低抖动业务需求；结合SPN网络广覆盖优势，为云网融合业务提供了一种低成本接入解决方案。ZTE中兴



湖南移动

完成SPN和PTN融合组网示范项目



董星
中兴通讯承载产品规划
总监



易阳
中兴通讯承载国内市场
总监

作 为5G原生技术的SPN网络，具有超大带宽、超低时延、L3到边缘、软硬切片、智能管控等技术优势，满足5G业务承载的同时，具备无线、家宽、集客、垂直行业综合承载能力，是当前移动城域部分综合业务承载的最佳技术。SPN网络从2020年开始规模部署，满足未来业务发展需求，PTN向SPN融合符合技术发展和网络建设趋势。

中国移动2021年初启动多网融合相关课题，研究如何在保护投资的同时保障新业务的承载。湖南移动积极探索极简网络建设和演进策略，湖南移动常德分公司率先完成SPN和PTN网络融合示范项目，在简化网络规模、降本增效提升网络承载效率的同时，突破网络边界，实现具有新技术演进能力的多业务综合承载。

网络融合三步走

湖南移动将SPN和PTN网络融合划分为三大

阶段：

- 第一阶段：汇聚融合。核心层和接入层保持不变，4G业务仍以L2+L3方式在MPLS-TP隧道部署，PTN业务源宿节点、承载方案没有变化，业务变动小，利于业务的稳定融合。
- 第二阶段：核心层和接入层跟随建设节奏融合。在核心层，伴随4G和5G核心网融合，原PTN业务改为SPN核心层承载；在接入层，随着SPN网络规模部署和向下延伸，在SPN和PTN接入同覆盖区域进行接入层的融合。
- 第三阶段：原PTN业务在核心层和接入层融合后，采用L3到边缘、SR-TP隧道方案承载，完成两网业务的统一承载。

网络融合试点效果

中兴通讯联合湖南移动在常德市完成网络融合第一阶段试点，试点选址为SPN和PTN同覆盖

FGU小颗粒技术具有TDM硬隔离、微秒级时延、纳秒级抖动三大特性，满足高价值专线高安全、高性能需求。

区域的安乡县三岔河和大杨树两个汇聚环。随着网络规模有序简化，加上智能供电和风扇智能调速等功能部署，单站点电源负载减少近1000W，大幅降低承载网能耗。常德市SPN和PTN全网融合后，预计一年可节省电费约300万元，同时释放宝贵的汇聚机柜空间和光纤资源，为未来网络演进节省宝贵的基础资源。

在网络融合探索过程中，考虑到在网设备数量庞大、业务割接复杂等难点，本次融合试点采用基于管控的SPN/PTN业务批量调整工具，相比传统割接效率提升80%左右，且操作标准化、易复制、可扩展，有效降低运维人力成本。


高价值专线突破

原PTN采用分组统计复用技术，业务共享网络资源，在网络拥塞情况下，导致时延增加、抖动变大，无法满足政务、金融等高价值业务对安全、性能指标的严苛要求。SPN作为综合业务承载技术，不仅能承载PTN业务，还具备软硬切片功能，特别是FGU(Fine Granularity Unit)小颗粒技术，为高价值业务提供差异化SLA保障。

FGU小颗粒技术具有TDM硬隔离、微秒级时延、纳秒级抖动三大特性，满足高价值专线高安全、高性能需求。加上SPN网络已经规模建设，

覆盖广，FGU小颗粒技术可以作为中国移动特有的差异化承载方案，提升高价值专线市场竞争力。湖南移动、常德市国土局、中兴通讯三方共同部署国土局政务上云业务，采用业界最先商用的SPN小颗粒设备，首次以尊享切片承载高价值政务专线业务，实现全国首个“SPN网络小颗粒政务专线”承载。

在项目试点过程中，湖南移动联合中兴通讯提出“一种快速部署SPN网络小颗粒切片的方法”专利，大大加快小颗粒部署效率，进一步提升业务部署竞争力。该专利方法根据切片内的VLINK信息自动完成VLINK二层、三层、协议等基础数据配置，采用资源均衡分配算法完成小颗粒VLINK路由计算，并合理选择节点交叉和时隙的占用，在保证业务时延需求的同时，有效均衡资源占用，快速部署SPN网络小颗粒切片。

本次试点为SPN和PTN网络融合全面推广提供了宝贵经验。以网络融合赋能5G新基建，未来湖南移动还将携手中兴通讯共同探索垂直行业等业务的综合承载，通过极简网络提升承载效率，在CHBN(移动市场、家庭市场、政企市场、新兴市场)四轮驱动下，加速5G+AICDE(人工智能、物联网、云计算、大数据、边缘计算)的融合创新，共建具有竞争力的精品承载网。

ZTE中兴

让沟通与信任无处不在