

中兴通讯技术

简讯

ZTE TECHNOLOGIES | 第29卷 第7期 · 2025年7月

视点

04 融合与重构：新型工业网络生态体系建设

07 5G-A+AI双引擎，构建面向未来的行业数智底座



专题：5G独立专网

10 从共享到专属：5G独立专网的探索和实践





1996年创办

第29卷 总第442期

2025年7月 第7期 (月度出版)

中兴通讯技术 (简讯)

ZHONGXING TONGXUN JISHU (JIANXUN)

《中兴通讯技术 (简讯)》顾问委员会

主任: 刘健

副主任: 方晖 孙方平 俞义方 张万春

顾问: 柏钢 董伟杰 胡俊劼 华新海

阚杰 李伟正 刘明明 陆平

唐雪 王全 郑鹏

《中兴通讯技术 (简讯)》编辑委员会

主任: 林晓东

副主任: 卢丹

编委: 邓志峰 代岩斌 黄新明 姜永湖

孔建华 卢丹 梁大鹏 刘爽

林晓东 马小松 施军 余方宏

杨兆江

《中兴通讯技术 (简讯)》编辑部

总编: 林晓东

常务副总编: 卢丹

编辑部主任: 刘杨

执行主编: 方丽

发行: 王萍萍

主管: 中兴通讯股份有限公司

主办: 中兴通讯技术杂志社

出版: 《中兴通讯技术 (简讯)》编辑部

编辑部地址: 深圳市科技南路55号中兴通讯研发大楼

发行部地址: 合肥市金寨路329号国轩凯旋大厦12楼

发行部电话: 0551-65533356

<https://www.zte.com.cn/china/about/magazine>

发行范围: 国内业务相关单位

印数: 5000本

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: 2025年7月18日

未经中兴通讯股份有限公司书面授权, 禁止以转载、
摘编、复制等方式使用本资料的任何内容。



李晓彤

中兴通讯RAN产品总经理

5G独立专网，开启5G行业应用新纪元

近期，工信部发布的《5G规模化应用“扬帆”行动升级方案》与《打造“5G+工业互联网”512工程升级版实施方案》，均将工业5G独立专网明确列为制造业数字化转型的“核心基础设施”，标志着其战略地位获得国家层面的认可。

5G独立专网凭借其独特的技术优势，正加速成为驱动产业升级的关键引擎。它为工业企业构建高带宽、超低时延、超高可靠的专属网络环境，为智能化、自动化生产提供坚实的数字底座。

5G独立专网提供极致性能保障，网络时延压缩至10ms以内，可靠性高达99.999%（年中断时间小于5分钟），完美契合工业控制场景对实时性与确定性的严苛要求；智能边缘融合，在边缘节点深度集成AI算力，实现“云端训练+边缘推理”的高效协同模式，显著降低对云端算力的依赖和响应延迟；专属定制可控，与公网实现物理或逻辑隔离，企业可根据实际生产需求灵活配置网络资源，获得量身定制的安全保障和性能保障，应对复杂多变的生产环境，提升生产效率与质量。

同时，5G独立专网的建设和应用推广面临着一些挑战。一方面，5G独立专网的建设需要投入部署资金，对于一些中小企业来说，无疑构成了资金门槛。另一方面，5G独立专网的规划、建设、运维、优化需要专业的技术团队和项目经验，传统工业企业缺少相应人才和知识积累。

中兴通讯长期深耕企业数字化，为20多个行业量身定制了5G独立专网解决方案，助力企业低成本部署5G专网。我们推出了极简5G一体机专网、智能的用户自运维平台、灵活部署的边缘算力、丰富的行业智能体，既降低了5G独立专网部署门槛，又降低了企业用户操作使用网络的难度。

5G独立专网作为行业数字化转型的关键技术，正迎来前所未有的发展机遇。中兴通讯愿与通信运营商、行业企业一起携手，共同推动5G独立专网在行业的广泛应用，为企业打开数字世界之门，为产业升级注入活力。

目次

中兴通讯技术（简讯）2025年第7期



视点

04 融合与重构：新型工业网络生态体系建设
束裕，盛枫

07 5G-A+AI双引擎，构建面向未来的行业数智底座
汪竞飞，何继青

专题：5G独立专网

10 从共享到专属：5G独立专网的探索和实践
倪燕子，王红欣

14 工业独立专网：驱动龙头企业发展的数字化基石
盛枫

16 5G专网助力轨道交通“行稳致远”
查希平

18 5G V2X车路云一体化打造智慧交通新范式
张维奇，黎云华

21 5G毫米波专网：铁路站场智能化转型的“数字底座”
刘嘉

24 5G专网赋能协作机器人：工业数智化转型的新质生产力
陈东，陈建军

26 产教融合，5G独立专网赋能新型工业化复合型人才培育
新范式
王红欣

28 5G独立专网智能运维大模型
王伟

30 数字孪生，赋能专网OT和IT协同创新应用
张博，王良德

32 5G独立专网硬核安全能力，推动5G行业应用健康发展
王意军

成功故事

35 蓝色油田的通信革命：中兴通讯助力中海油打造智慧
能源新标杆
王峥，韦立

02 新闻资讯

中兴通讯携手中国移动斩获“GSMA×GTI新通话×AI挑战赛”多项大奖

在2025年MWC上海世界移动通信大会期间，中兴通讯与中国移动联合创新的三个项目获得“GSMA×GTI新通话×AI挑战赛”多项大奖，充分展现了双方在5G新通话与AI融合创新的领先实力。

本次挑战赛由GSMA与GTI联合发起，旨在鼓励全球产业伙伴深入探索新通话领域的应用潜力，通过产业创新实现合作共赢。中兴通讯携手中国移动参赛获奖的“AI赋能新通话助力B2B服务创新”“5G+AI新通话助力文

旅应用创新实践”和“5G新通话数字人助理”等项目正在推动这一目标的快速落地。

中兴通讯与福建移动联合打造的“AI赋能新通话助力B2B服务创新”项目，通过单向往

频、视频插播、数字人、DC数据交互等前沿技术，为电商、金融、医疗等行业构建可视化、可交互的新通话服务体系，提升服务体验，降低运营成本。

中国移动设计院、河南移动联合中兴通讯打造的“5G+AI新通话助力文旅应用创新实践”项目，通过将地域文化和历史场景数字化，为文旅行业解决宣传同质化问题，开辟新推广渠道。

在无障碍服务领域，中国移动集团网络部、山东移动与中兴通讯合作的“5G新通话数字人助理”项目实现技术突破，深度融合AI技术与新通话能力，创新性打造AI手语数字人助理，不仅提供智能应答服务，更构建起无障碍沟通桥梁，彰显科技赋能人文关怀的价值理念。



中兴通讯联合中国联通发布5G^A×I Uni-Agent泛场景智能体创新方案

6月18日，在2025MWC上海展期间，中国联通携手中兴通讯、高通公司正式发布“5G^A×I Uni-Agent泛场景智能体创新方案”。中国联通5G共建共享工作组总经理王睿、中国联通研究院副院长唐雄燕、中兴通讯副总裁李晓彤、中兴通讯副总裁徐晓聘、高通公司全球副总裁李晶等嘉宾共同出席了本次发布会。

Uni-Agent方案基于“通感算

智”融合硬件基础设施能力升级，构建了统一架构、统一资源、统一智能于一体的能力底座，实现了三大核心融合：基础算力架构与通信计算的原子能力深度融合、算力资源与网络资源智能调度算法协同、业务需求与用户感知保障的动态匹配。同时利用大模型及Agent技术，与业务层进行多模态的交互，打造“感知-规划-决策-执行”智能交互闭环体系，最终实现全场景的自主服务。该方案将有效推动多维能力融合供给，孵化“网智随需”的新服务模式，助力运营商及产业伙伴加速迈入体验经营时代。

中兴通讯AgentGuard亮相MWC上海展

2025MWC上海展期间，中兴通讯重磅发布5G-A AgentGuard解决方案，通过5G-A基站和智能技术的深度融合，推动网络以业务Agent为中心，将传统网络基于简单规则的服务转变为以业务Agent为中心、按需响应的智能复合型服务模式，从而实现5G-A网络和业务Agent的双向赋能，加速AI新交互时代的到来。

“联创+”自智网络开放实验室揭牌仪式



中国移动与中兴通讯“联创+”自智网络开放实验室揭牌

7月2日，中国移动通信集团有限公司（以下简称“中国移动”）和中兴通讯股份有限公司（以下简称“中兴通讯”）在北京举行“联创+”自智网络开放实验室揭牌仪式。这是双方贯彻落实国家科技创新驱动发展战略，推进高水平科技自立自强，推动科技创新与产业创新相互促进，加速自智网络高阶发展的重要举措。中国移动副总经理李慧镬、中兴通讯总裁徐子阳出席活动并讲话。

李慧镬指出，自智网络正处于全

面迈向L4高阶自智的关键时期，需要将人工智能技术和网络运营深度融合，加快网络运营数智化转型。自智网络开放实验室因智而生、向智而动，要立足关键技术自主可控，攻关突破引领性、原创性技术，努力拓展技术出海机会，不断强化我国在自智网络产业的领先地位。要进一步打造完善自智网络子链生态，在技术攻关、载体装置共建、产业转化等方面，积极创造更多开放合作机遇，汇集优势力量合力攻坚，促进子链核心

能力提升。

徐子阳指出，此次与中国移动携手共建“联创+”自智网络开放实验室意义重大，是进一步深化产业科创合作、实现创新驱动发展的重要里程碑。中兴通讯将聚焦“三个体系化能力”支撑“联创+”实验室建设，包括依托全专业全栈技术积累推进共研创新，迎难而上攻克高阶自智演进中的核心难题；以价值为导向深耕场景，实现从网络设备到网管系统的深层协同，拓展研发成果价值转化的新范式；以可组装式开放架构共享产业机遇，推进产业生态共建。

中国移动“联创+”自智网络开放实验室，由中国移动集团公司网络事业部携手中兴通讯联合打造，未来将基于“联创+”协议引入更多产业合作伙伴参与共建。

中兴通讯发布“灵眸”旗舰AI智会屏

2025MWC上海展期间，中兴通讯在大会上首发一体式四摄智会屏TCS510 PRO新品。TCS510 PRO拥有全程智控能力，从会前到会后，实现端到端全流程智能化。TCS510 PRO提供原生中兴通讯会议系统，支持4K60超高清视频会议能力，提供AVC&SVC融合会议体验，同时自带多种投屏和分屏展示模式，方便即时创作和办公多任务处理。

中兴通讯发布2024年度可持续发展报告：以数智赋能可持续未来

6月，中兴通讯发布了2024年度可持续发展报告，全面展示了中兴通讯在环境、社会及企业治理（ESG）领域的坚定战略理念与实践成效，这是公司连续第17年主动向社会披露履责成果。2024年，面对全球数智化浪潮，中兴通讯秉持“数字经济筑路者”的生态定位，坚定践行可持续发展承诺：一方面，通过科学碳目标引领企业绿色运营取得显著进展；另一

方面，依托领先技术，持续有效赋能千行百业加速数字化与低碳化转型。

中兴通讯坚持向下扎根，持续加大研发投入，夯实核心竞争力。报告披露，2024年中兴通讯投入研发费用占营业收入的19.81%。截至2024年12月31日，中兴通讯累计申请9.3万件全球专利，历年全球累计授权专利4.8万件。在芯片领域，公司拥有约5500件专利申请，其中超过2000件已被授权；在AI领域，拥有超过5000件专利申请，有近一半已获授权，展现出强劲的创新能力和技术积累。



束裕

中兴通讯无线行业方案规划首席专家



盛枫

中兴通讯RAN产品方案经理

融合与重构： 新型工业网络生态体系建设

在 科技革命与产业变革的交汇点上，工业正加速从数字化向智能化跃迁。随着工业4.0向工业5.0理念的演进，数字化、网络化与智能化的深度融合，正成为推动新型工业化的核心动力。工业网络正经历深刻的变革，由传统的“连接管道”逐步演进为具备感知、计算与决策能力的“智能中枢”，成为支撑企业数智化转型的关键基础设施。本文将探讨在多技术融合与网业融合的趋势下，工业网络如何重构能力边界，推动产业生态向更加开放协同、智能决策的方向发展。

多技术协同与网业融合的新动能需求

从工业3.0迈向工业4.0乃至5.0的新型工业化进程中，数字化、网络化、智能化的深度融合成为核心驱动力。在智能制造的三大支柱——智能

装备、工业软件与工业网络中，不同领域和环节的发展呈现碎片化特征，工业网络因其系统化、可复制的特性，成为突破这一碎片化格局的关键抓手。新型工业网络通过连接人、机、料、法、环等生产要素，不仅实现数据驱动的精准决策，更通过IT（信息技术）、OT（运营技术）、CT（通信技术）、DT（数据技术）的协同联动，构建跨层跨域的产业生态。

在技术协同维度，工业互联网平台（IT）与产线自动化（OT）的深度融合，使数据从生产端向管理端高效流动，推动数智化技术反哺OT自动化升级。例如，通过工业网络的实时数据采集与分析，可动态优化产线参数，实现设备预测性维护与工艺迭代。同时，CT技术的深度参与（如5G、TSN时间敏感网络）为业务场景低时延需求提供网络确定性保障，而DT技术（如大数据、AI）则通过数据建模驱动生产模式创新。

在业务模式演进维度，5G虚拟专网与独立专网各自承担不同角色，推动工业网络建设逻辑从“网业分离”向“网业融合”转变。虚拟专网依托公网资源，以共享经济模式支撑企业IT/OT业务的灵活上云，降低初期投入成本，实现非敏感业务在运营商云服务环境的统一接入和管理；独立专网则以数据自主可控、网络灵活调度、业务安全可靠为核心，通过融合数字孪生、人工智能、算网一体等创新技术，满足高端制造场景下的业务安全与服务质量。

数智化驱动下的工业网络融合演进路径

在数字化与智能化加速融合的背景下，工业网络正从单纯的“连接”向“服务”演进。5G、边缘计算等新技术的引入，不仅提升了网络能力，更推动了工业互联网生态从封闭走向开放，从割裂走向协同，为构建智能、灵活、可持续的新型工业体系提供坚实支撑。

连接之上：5G网络如何服务企业数字化升级

5G网络源于移动蜂窝体系，从设计之初就面向广域、泛在的移动通信需求，具备统一规划、集中管理和服务化架构的特性。这种架构能更好地适应新型工业化的发展趋势，尤其在企业从单条产线向多基地协同、从内部封闭生产向社会化分工演进的过程中，展现出更强的适应性和支撑能力。

此外，5G网络具备良好的虚拟化支持能力，可与MEC（多接入边缘计算）深度融合，实现边缘算力与网络能力的协同。通过网络切片与SLA（服务等级协议）保障机制，5G能够根据不同行业和场景需求，灵活构建语音通信、集群调度、广播通知、高精度定位、感知探测等多种专业通信类服务，为企业提供更丰富的网络功能选项和更高的定制化空间。

因此，设备厂商与运营商在服务企业数字化

转型的过程中，不仅应提供标准化的连接能力，更应发挥其在网络规划、系统集成、服务保障等方面积累的专业经验，深入理解行业需求，推动产品、方案与服务的持续创新，构建开放、协同、共赢的产业生态。

从连接到服务：新型工业互联网生态的构建逻辑

在数字化和互联网服务快速发展的背景下，OT自动化厂商正加快工业自动化向模块化、平台化方向演进，推出类似“应用商店”的开放架构与产品体系。同时，运营商与互联网企业也在探索云原生服务模式，构建面向工业场景的综合服务生态。

在这一融合趋势下，技术供应商不仅可以提供标准化产品与服务，还能以更开放的姿态，围绕客户价值，提供融合自动化、数字化与智能化的创新解决方案。这些数智化方案在继承传统工业自动化稳定性的基础上，融合大数据、人工智能和边缘计算等技术，更灵活地应对多样化业务场景。例如，通过将数字孪生技术应用于螺钉机等设备，构建可视化、可预测的智能控制平台，显著提升了生产效率和自适应能力。

通信产业的发展为工业互联网提供了重要借鉴——其成功在于构建了从标准制定、产业链协同到用户服务的完整生态体系，兼顾基础业务的标准化与上层应用的个性化。这一体系的构建逻辑对工业领域具有很强的参考价值。面向新型工业化，应积极借鉴公网成熟的技术路径与业务模式，推动设备智能化、网络服务化和应用平台化。而实现这一目标的关键路径，是从传统ISO/OSI七层模型向“云-边-端”架构演进。这种演进本质上是层级简化与功能重构的过程，有助于降低企业在系统协同、数据流通与业务集成方面的复杂度与成本。

然而，当前工业领域仍面临一系列结构性挑战。尽管传统OT集成商在局部效率上具有优势，但其高度定制化的实施方式易造成重复建设、系



在AI大模型、数字孪生等技术的推动下，网络正从“被动连接”迈向“主动服务”，实现数据采集到智能决策的全链条闭环。未来，随着工业互联网生态的开放协同与多技术融合的深化，工业网络将深度融入制造流程，助力企业实现柔性生产。

统割裂与生态封闭，难以支撑全社会资源协同与产业规模化发展。因此，有必要借鉴移动互联网的发展经验，推动企业IT化服务的集中化与标准化，构建类似“智能手机”的通用终端平台和开放应用生态。这一转型不仅依赖于技术的持续演进，更需要设备商与运营商从“连接提供者”向“服务赋能者”转变，共同构建面向未来的工业互联网新生态。

迈向主动服务：AI智能体重构工业网络能力边界

随着AI大模型与智能体（Agent）技术的突破，工业网络正从“被动连接”迈向“主动服务”新阶段。传统网络仅实现物理层信号传输，而智能网络通过引入AI智能体，实现对生产要素的感知、协同与自主决策。在复杂制造场景中，智能体可作为设备、系统和人员的数字代表，借助分布式智能实现跨层级、跨域协同。例如，当产线设备发生故障时，智能网络可自动触发联动机制：物理层隔离故障节点，网络层动态调整资源切片，应用层同步推送维修方案至终端，实现闭环式故障管理。

未来，工业网络将超越传统通信管道角色，

依托AI智能体与数字孪生技术，提供主动感知、预测性维护、能效优化等增值服务。在AI特别是大模型技术的推动下，传统依赖经验的工业系统正具备应对复杂环境与多样化需求的自适应能力。新型工业网络提供商不仅要连接物理设施，更需具备开放创新与架构演进能力，构建“智能连接+主动服务”的未来新模式。

综上所述，新型工业网络不仅是连接物理世界与数字空间的桥梁，更是推动工业系统智能化、服务化、平台化发展的核心引擎。在AI大模型、数字孪生等技术的推动下，网络正从“被动连接”迈向“主动服务”，实现数据采集到智能决策的全链条闭环。未来，随着工业互联网生态的开放协同与多技术融合的深化，工业网络将深度融入制造流程，助力企业实现柔性生产。在此过程中，设备厂商、运营商与行业用户需共建开放、智能、可持续的产业生态，推动工业网络从“技术集成”迈向“价值共创”，为高质量发展和新型工业化注入新动能。

中兴通讯致力于技术创新与共性模式探索，持续赋能各行业客户，助力产业转型升级。我们相信，随着实践的不断深入，新型工业网络将为企业发展带来更加广阔的机遇。ZTE中兴



汪竞飞
中兴通讯无线ToB规划总监



何继青
中兴通讯无线ToB方案总监

5G-A+AI双引擎， 构建面向未来的行业数智底座

人工智能引领新一轮科技革命和产业变革，正为行业注入强大的创新活力，驱动生产方式变革和生产力重构，加速行业向数字化、网络化、智能化、绿色化转型。随着行业大模型、AI智能体和具身机器人等AI应用深入渗透到行业生产全流程，信息实时交互、数据实时处理和决策等业务应用更需要一个强有力的行业数智底座。

行业数智化转型面临的挑战

受行业差异、场景差异、利益博弈等因素影响，长期以来，垂直行业算网基础设施形成了多技术共存、设备七国八制、水平参差不齐的现状，面临以下挑战：

- 封闭性：传统工业网络基于ISA-95封闭架

构，形成了垂直层级化割裂和数据孤岛，资源和数据不能充分共享和流动。

- 柔性差：生产网络以有线方式的现场总线、工业以太网为主，复杂的线缆连接对于企业网络部署、维护和改造都是压力。
- 智能化程度低：生产设备价值高，换代周期长，智能化程度低，限制行业数智化发展。

为更好地赋能行业数字化、智能化转型，需要利用5G-A和AI等新技术构建面向未来的新型行业数智底座。

5G-A和AI深度融合，双轮驱动行业智能化

5G-A和AI作为最具代表性的科技创新，相互赋能，相互促进，成为构建行业数智底座的双引



▲ 图1 5G+AI打造行业数智化底座

擎（见图1）。一方面，AI的引入可以激发5G-A网络潜能，提升5G-A传输效率，实现网络智能化，使5G-A更好地服务垂直行业；另一方面，5G-A作为靠近生产要素的节点，具备更好的移动性、实时性、安全性和端边协同的优势，可以为AI应用提供更好的基础设施支撑。

在5G-A、云计算、大数据、AI等新技术与行业加速融合，行业数智化转型激发大量新场景和新应用，产业生态加速重构的时代背景下，行业算网底座急需代际更新。

新型行业数智底座应采用现场、边缘、中心三级扁平化架构，云网算业一体，实现OT、IT、CT、DT深度融合，具备泛在互联、确定承载、算网业集成、开放智能、安全可控等创新特征。

● 泛在互联

新型行业数智底座基于5G-A、工业光网、工业以太网、时间敏感网络（TSN）等各类无线/有线网络技术，构建泛在互联的融合网络，满足不同设备和应用场景的多样化网络需求，实现人、机、料、法、环、测等生产要素全连接，实现跨设备、跨系统、跨厂商的数据连接、集成和互操作。

● 确定承载

5G-A作为5G的进阶版本，提供4ms低时延、99.99%高可靠、毫秒级低抖动、7×24小时高可用、1Gbps上行大带宽、数据不出园区、5G LAN等确定性能力，支持轻量化低成本RedCap终端、通感一体、无源物联，将更好地满足行业生产控制、柔性生产、大规模设备接入、仓储管理、车联网、低空经济等需求。

● 算网业集成

数智底座实现云边端算力协同。DeepSeek、Manus的发展带来算力需求结构从训练侧向推理侧转移，更靠近应用的边缘算力需求超过中心算力，逐渐形成训练集约化、推理多元化、端侧边缘化的分布式算力体系。算力协同依托云-边-端算力网络，对分布式算力资源进行感知、度量、调度和管控，实现资源统一接入、管理和动态调度，更好地满足业务需求，提升资源利用率。

基于5G-A算网融合设备，实现算网业一体化部署，资源动态共享、分配、编排和调度，IT、OT、CT、DT深度融合，业务SLA精准保障。如PLC等生产控制类应用，时延和抖动的不确定会导致业务中断，5G-A网络在TSN时钟同步基础

上,对控制数据进行全局统筹编排,让数据发送时序跟5G调度周期进行匹配,从而保障生产过程的连续性。

● 开放智能

基于开放的标准、技术、接口,数智底座实现网络协议分层解耦、设备软硬解耦、业务与网络解耦、模型解耦、训推解耦,从而构建全栈开放的架构和产业链生态。

AI深度赋能5G-A网络,全面提升其连接能力、计算能力及运维能力。连接能力方面,AI优化资源分配和利用,实现精准的业务感知和保障,增强端到端确定性能力。计算能力上,通过精准的需求预测和资源调度,实现云、边、端算力资源的协同和优化。运维能力层面,AI智能体使网络具备自感知、自诊断和自修复的能力,并通过交互式智能运维协助故障界定定位。

● 安全可控

内生安全,通过增强主动防御、智能感知、协同处理等能力,实现网络设施和数据的稳定可靠,安全可信。数据可控,通过构建数据流转可控、数据使用可控、安全风险可控的算网体系,满足行业对于自身数据的高安全性要求。

行业数智底座支撑智能化应用创新

人工智能正带动各行业创新变革,行业数智底座与工业互联网深度融合,已在研发设计、生产制造、经营管理、运维服务等各环节得到了成功应用,赋能企业优化资源配置、提质降本增效。

● 工业互联网平台

工业互联网平台纵向贯通设备,横向打通企业,构建产品全生命周期的数据链,通过技术融合、资源整合、机理沉淀,形成涵盖研发、制造、营销、服务、供应链等多个层面的智能化优化决策闭环。行业数智底座为工业互联网平台提供数据、场景和算力底座,从端侧数据采集,到高可靠数据传输,到边侧云侧的智能算力,提供

全面保障。

● 行业大模型与AI智能体

DeepSeek极大地降低了大模型对算力的需求和应用门槛,加速了大模型在行业的应用和落地。Manus推动AI从工具向自主决策体跃迁,实现AI智能体行业应用的突破。大模型+AI智能体已在智能排产、生产资源智能调度、生产计划的监控与执行、工艺文档生成等场景广泛应用,极大地提升行业智能化水平。通过多智能体协同(MCP)架构,企业自研智能体可以通过外挂接入系统,以AIGC方式替代传统企业应用定制化开发,极大提升企业应用开发和交付效率。

● 具身机器人

具身机器人近年来加速发展,在工业制造、家庭服务、教育等行业具有广阔的前景,适用于柔性装配、分拣包装等需要物理交互、环境适应性强,且人力难以高效完成的场景,有效解决生产物流“最后一米”的自动化难题。行业数智底座为具身机器人提供云端算力和边侧算力,同时保障大脑(云端)、小脑(边侧)和运动控制之间的大带宽、低时延通信顺畅。

5G-A+AI行业数智底座,是支撑新型工业化的重要基础设施,是实现数字经济与实体经济深度融合的载体,可借智能制造、5G+工业互联网、人工智能+等政策东风,以场景应用为牵引,深入应用到行业智改数转网联和5G工厂建设等行动中,并在实践中不断完善、优化和迭代网络、算力、平台、安全等产品能力,实现技术与应用融合创新、共生共进的螺旋式发展。

5G-A和AI本身还在快速发展和演进,将持续与工业互联网深度融合,互为场景,相互赋能,形成面向未来的行业数智底座,赋能新型工业化。中兴通讯以成为网络连接和智能算力的领导者为愿景,坚持做数字经济的筑路者,与行业伙伴携手,共创行业智能化新时代。ZTE中兴

从共享到专属： 5G独立专网的探索和实践



倪燕子
中兴通讯RAN产品方案
总监



王红欣
中兴通讯RAN产品规划
工程师

作 为实体经济数字化转型的重要引擎，中国5G专网建设正加速推进。随着5G商用进入第6年，我国已建成超439万个5G基站，累计落地超4万个行业虚拟专网项目，覆盖41个工业大类。运营商通过网络切片、边缘计算等技术构建的虚拟专网，在智能制造、智慧港口等领域形成规模化应用，2024年三大运营商5G专网收入同比增长超60%。

尽管虚拟专网依托运营商公网资源实现了快速部署和成本优化，但垂直行业领域众多，ToB市场呈现需求碎片化特点，虚拟专网无法匹配所有行业诉求：工业巨头对网络控制权、数据隔离性要求严苛；制造、电力、铁路等行业需应对极端环境下的超高可靠性；中小企业在成本敏感与技术能力间寻求平衡。因此，业界也在积极探求5G独立专网的创新模式。

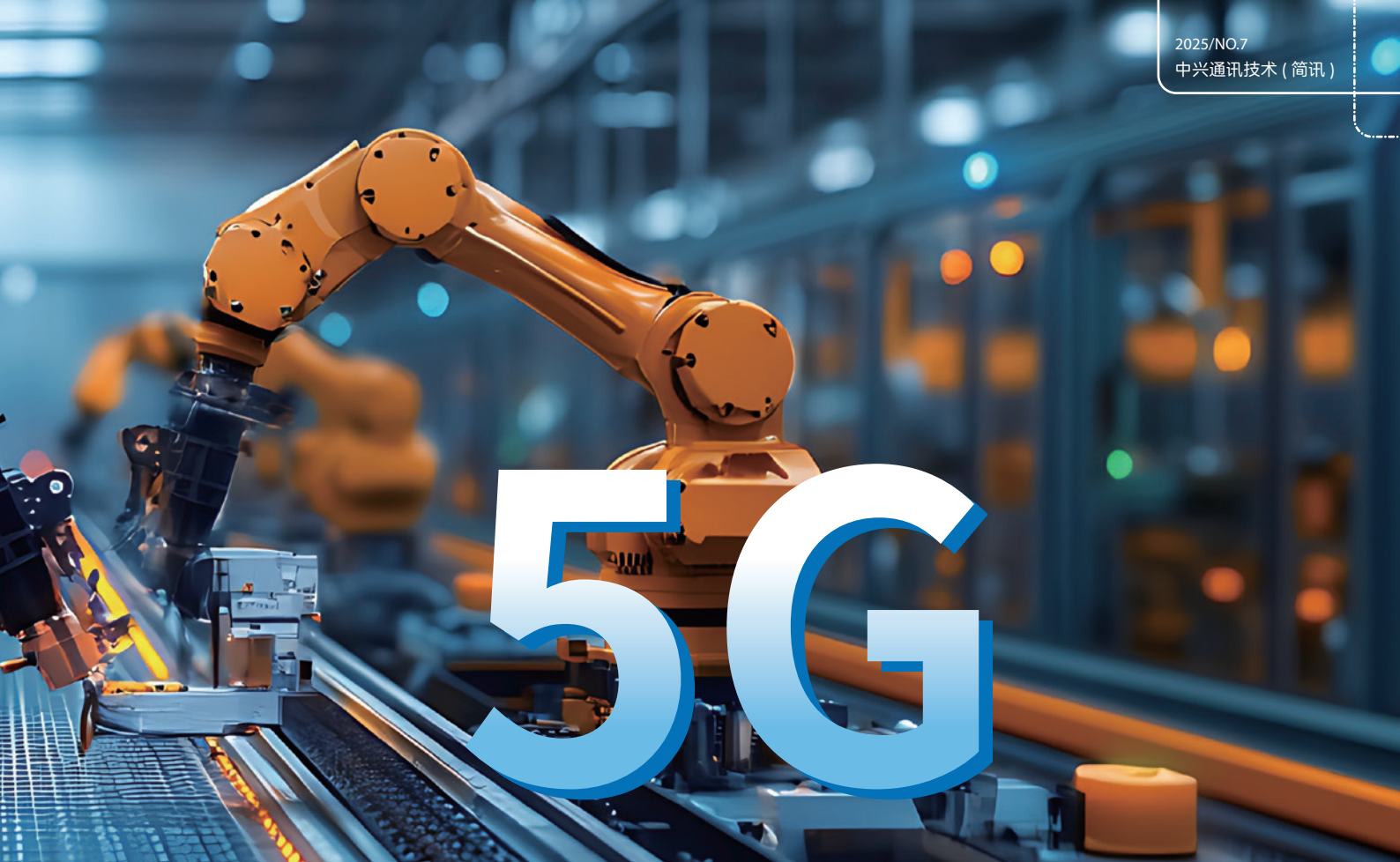
政策层面，国家各项政策也为独立专网破局

提供了支撑。《工业互联网创新发展行动计划》明确提出“探索5G专网建设及运营模式”；2024年工业和信息化部印发的《打造“5G+工业互联网”512工程升级版实施方案》中提出，要有序开展工业5G独立专网试点；全国工业和信息化工作会议中将“推进工业5G独立专网建设”列为2025年重点任务。

5G独立专网的三大优势

相比当前广泛应用的虚拟专网，5G独立专网基于独享资源，独立于公网，所有5G网元及网管等均为企业独立建设，专网专用。5G独立专网具有网络资源独占、架构自主、数据和安全可控三大优势。

- 网络资源独占性：从“共享资源”到“独享资源”



虚拟专网依赖运营商公网切片或本地分流实现资源共享和逻辑隔离，本质仍是共享资源池中的动态分配。而独立专网通过网络专建实现物理隔离，企业拥有资源自主权，彻底规避公网流量干扰。

- 架构自主性：从“受制公网”到“深度定制”

虚拟专网受限于运营商公网架构，在行业适配上难度更大，如工业协议的深度对接、行业需求的定制匹配。独立专网可根据行业需求深度定制，如支持TSN（时间敏感网络）与工业以太网协议的无缝融合，可按需集成边缘算力、数字孪生等模块，构建真正的OT/IT融合底座，还支持个性化的自服务，企业可自主管理和优化网络资源分配。

- 数据和安全可控性：从“逻辑隔离”到“物理独立”

虚拟专网依赖网络切片或本地分流实现逻辑

上的隔离，数据按照规则在本地或大网中传输，部分场景数据离开了行业客户的管控范围，同时基础设施仍是共享的，基础设施的安全防护遵循现有设计。独立专网通过物理隔离构建数据和安全边界，所有数据自主可控，企业能够自行设定从空口加密到数据流转的严格的安全策略，真正做到数据和安全的可控。

深度匹配行业需求，中兴通讯持续充实5G独立专网方案

针对行业定制化、碎片化、多样化特点，中兴通讯持续丰富专网方案，紧扣行业场景，从网络技术和网络产品两个维度持续增强，按需打造5G独立专网方案，满足行业定制化需求。

网络技术维度，中兴通讯为企业提供灵活可定制的5G独立专网解决方案。方案通过多层级架



▲ 图1 5G独立专网技术

构适配行业需求：虚拟专网，5G切片技术保障基础隔离；混合专网，UPF/NodeEngine本地分流实现数据高效卸载；独立专网，端到端网络专建，不同专网组网匹配不同行业需求。同步推进5G-A升级，以万兆大带宽、毫秒级时延、微秒级抖动及高可靠性支撑核心生产域，结合RedCap技术降低终端成本与功耗，满足工业大规模连接需求（见图1）。

网络产品维度，中兴通讯推出系列化行业定制方案（如图2），涉及功能增强、覆盖延伸、定位转变多维度。功能增强，从通信设备走向算网一体，打造超融合、轻量化5G工业专网产品；覆盖延伸，从大网走向各类生产场景，适配多样化及高危生产环境，提供本安/防爆/防爆基站及游牧式基站；定位转变，从传统面向网络走向面向业务，推出IT化运维平台ToBeEasy、首款全功

能便携测试5G行业综测仪、首款5G TSN工业网关等行业产品，实现业务快速部署与IT化运维，构建全场景5G独立专网能力。

精准需求对接，独立专网落地实践显价值

中兴通讯以创新网络技术与定制化产品为双轮驱动力，持续构建满足定制化行业需求的5G独立专网方案。凭借卓越的技术实力与深刻的行业洞察，中兴通讯精准把握不同行业的需求，量身定制网络架构，为众多行业量身打造了适配度极高的5G独立专网，展现出5G独立专网的强大潜力与广阔前景。

工业领域

钢铁行业，打造基于5G工控专网的无人天车、铁水运输无人化应用。如武钢5G工控专网已应用于核心生产领域，无人行车业务已在热轧、冷轧、硅钢等多个生产车间规模落地，累计改造的行车超过50个，助力钢铁行业降本提效。

矿山行业，使用5G防爆基站构建井下5G专网，支持巷道语音通信与智能巡检机器人等业务应用。如国家能源棋盘项目，采用5G中低频融合

图2 中兴通讯5G ToB 系列化产品



组网，实现地面厂区及井下场景5G无线信号全覆盖，实现“少人化”向“无人化”、“自动化”向“智能化”的过渡。

在工业制造行业，5G独立专网提供低时延高可靠现场网保障AGV智能调度系统与PLC协同控制技术，实现设备互联与产能提升。如某汽车企业5G专网作为工厂的数智化基础底座，提供高可靠组网，支撑工厂内各类生产设备稳定接入，OICT全融合赋能汽车核心生产升级。

能源领域

电力行业，5G专建网络结合物联网、大数据、人工智能、云计算、边缘计算等技术，为智慧电厂建设提供数智化底座，实现生产控制、智能巡检、运行维护、安全应急等典型业务。如国能长源汉川电厂落地5G专网，实现了“5G+”高精度人员定位提高安全管理效率、“5G+”无人机巡提升检巡检效率、“5G+”远程辅助检修提高维修响应效率。

核电行业，5G独立专网进行核岛全覆盖，保障网络的安全隔离。如辽宁红沿河最大5G核电专网，结合切片、定位、RedCap、网管自运维、系列化站型等5G特色软/硬件功能，打造智能化核电专网。

石油与天然气行业，中海油5G海上油气生产专网，基于5G独立专网，实现钻井平台无人作业的生产数据信息上传，远程控制的高可靠传输，内部生产、办公网络与公众网络分离，保障智慧油田生产。

交通运输领域

港口行业，提供从堆场到轮船全流程无人化水平运输与垂直运输作业的5G独立专网，加速港口无人化进程。如山东龙拱港5G独立专网，是全国首家“5G赋能+低碳运营+运河特色”内河自动化运输多式联运园区。

轨道交通行业，5G专网统一接入列车视频监控（CCTV）系统、车载（PIS）系统、车辆和线网智慧运维系统，推进地铁走向多网融合，实现

综合承载，降低网络建设和维护成本。在天津地铁3号线，运营商5G专网实现以租代建，得到更专业的服务和更高效的网络，真正实现降本增效、行稳致远。

文娱领域

无线直播行业，新媒体正处于“高清化”“无线化”转型期，中兴通讯5G/5G-A极简专网方案适配新媒体高清化转型，连续两年支撑春晚直播，首创竖屏模式及5G-A 4K无线直播，并应用于马来西亚运动会等赛事，革新制播体验。

面向VR大空间业务，5G独立专网以万兆高速率、低时延突破传统LBE VR背包渲染、头显算力不足及Wi-Fi串流干扰瓶颈，实现去背包高清体验，支持百路并发，推动VR大空间项目高效规模化落地。

其他领域

教育实训行业，基于5G网络优势+深入行业研究，中兴通讯构建产教协同创新体系，产学研合作加速人才培养。例如，在洛阳，我们和龙门实验室（由河南科技大学、郑州大学牵头，联合18家科研院所、全国重点实验室与龙头企业组建），携手开展5G-A确定性网络技术攻关，双方形成专业知识和人才结构优势互补，联合培养行业急需人才，为智能制造赋能，为未来创新加速。

应急保障领域，融合公专网基站的5G应急专网，确保语音、短信、视频通信畅通，提升救援效率。例如北京门头沟无人机救援网络，集成公网基站、PDT集群、Mesh自组网及卫星中继设备，为“三断”场景下的公众及救援队提供全流程通信支持。

5G独立专网在政策的有力引领、技术创新的强劲驱动、应用场景的不断拓展以及产业各方协同合作的大背景下，正在释放其在行业发展中的价值和推动力，有望成为我国工业互联网丰富业态中的关键组成，加速我国新型工业化进程，开启工业网络新时代。ZTE中兴

工业独立专网： 驱动龙头企业发展的数字化基石



盛枫
中兴通讯RAN产品方案经理

随着工业4.0时代的到来，智能制造和全连接工厂成为工业发展的新趋势。工业龙头企业在数字化转型过程中面临诸多挑战，如跨园区通信瓶颈、企业数字化上云管理难题、工控子网业务扩展困难等。工业独立专网成为工业龙头企业数字化转型的必然选择。

工业龙头企业数字化转型的挑战

随着工业4.0智能制造等概念的兴起，工业龙头企业面临前所未有的数字化转型挑战。随着企业规模扩大，总部与分部间信息交互频繁，现有网络架构难以支撑高效、稳定的跨地域通信，导致数据传输延迟、丢包率高，影响业务决策的实时性和准确性。企业数字化上云管理也面临挑战，OT系统与IT系统若不能有效集成，会严重影响企业数据处理、业务流程管理的效率。工控子网业务扩展难题同样不容忽视，产线网络规模的快速扩建和算力资源的灵活调配需求面临成本高昂、周期长的难题，无法满足生产部门对高效、灵活IT系统的需求。此外，企业内部设备节点众多，运维配置复杂，业务上线周期长，需要专门的运维团队，增加了运营成本。

工业独立专网架构和优势

面对工业龙头企业的数字化转型挑战，工业独立专网应运而生。作为面向企业核心生产场景

的关键基础设施，工业独立专网基于端到端的专属网络架构，为企业提供跨园区通信、集中安全管控、确定性网络保障、产线弹性扩展及高效运维等一体化能力，全面支撑企业从生产到管理的数字化转型需求。

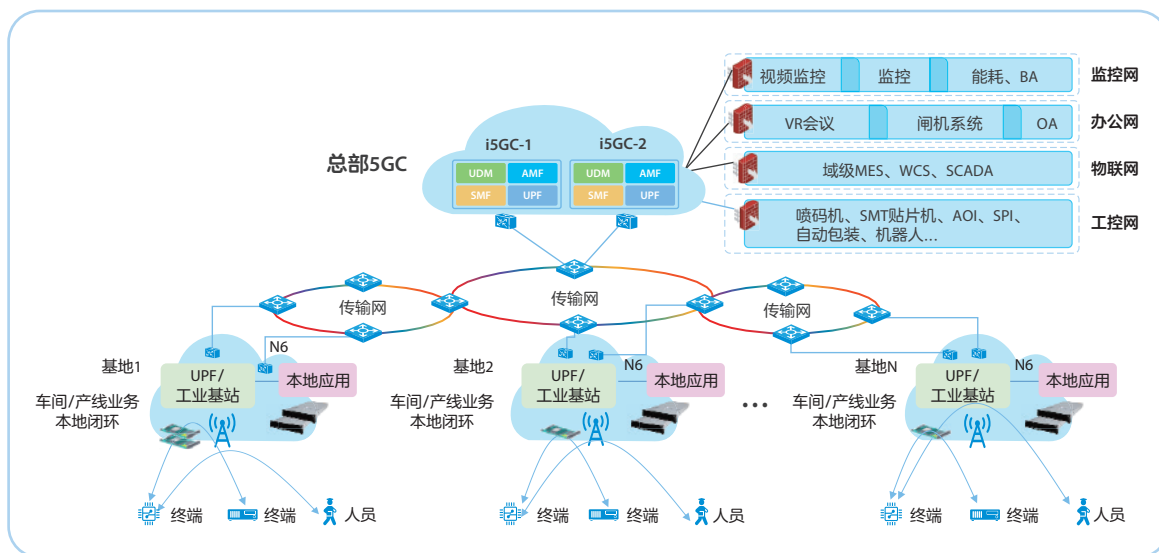
跨园区通信与集中安全管控

工业独立专网通过构建跨域互联的专用通信网络，为企业总分机构提供高效稳定的系统互通解决方案（见图1）。该方案采用专用轻量化5G核心网、专用基站和专用频率，实现业务网元与外部网络的物理隔离，不仅保障了企业业务的独立运行，还确保了生产数据的安全性和完整性，是支撑企业关键业务连续性和数字化转型的重要基础设施。

在跨园区通信域集中安全管控方面，该系统可满足信息安全等级保护三级（等保三级）要求，构建涵盖网络、终端、平台和应用的多层次安全防护体系，通过端到端的加密传输机制、基于零信任架构的接入控制、数据完整性校验、访问权限分级管理等手段，实现从终端设备到云端的数据全链路安全防护。同时，系统支持国密算法等主流加密技术，确保数据在传输和存储过程中的机密性与完整性，全面支撑企业跨园区、多工厂的集中化安全管控。

确定性可预期的网络性能与弹性扩容

在工业生产向智能制造转型的过程中，网络的稳定性和可靠性已成为关键基础设施的核心要

图1 企业总分机构
组网架构

求。工业独立专网通过多项创新技术，全面满足工业场景对高带宽、低时延、高可靠性的严苛需求，为智能制造提供坚实支撑。

在大带宽业务支撑方面，工业独立专网基于专用频段资源、定制化帧结构优化以及SuperMIMO超级上行等技术，提供高吞吐、低干扰的上行传输能力，可有效支撑工业物联网（IIoT）海量传感器数据采集、高清视频回传、AGV实时定位控制、AI机器视觉等典型上行带宽密集型业务，保障工业数据的高效采集与实时上传。

在低时延与高可靠性保障方面，网络支持URLLC（超可靠低时延通信）、TSN（时间敏感网络）以及FRER（双发选收）等关键技术，精准匹配典型工业控制协议的数据发包周期模式，实现微秒级时延与纳秒级抖动控制，为PLC控制、运动控制等实时性要求严苛的工业自动化场景提供稳定可靠的网络保障。

在网络扩展性与技术演进能力方面，工业独立专网具备良好的灵活性与前瞻性。一方面，通过UniEngine等算网融合设备，实现计算资源与网络资源的协同调度与弹性扩展，精准匹配产线算力增长需求，支持网络覆盖、业务应用与终端设备的按需扩容；另一方面，网络兼容5G LAN、TSN、云化PLC等前沿技术，具备良好的技术演进能力，能够持续适配企业不同发展阶段的业务需

求，为工业生产的数字化、智能化演进提供可持续的网络底座。

入驻式运维平台与极简运维

工业独立专网提供完善的运维保障体系，通过入驻式运维平台实现高效管理。该平台具备极简运维能力和完善的设备监控能力，企业运维人员可进行日常的本地设备监控和基础运维操作。同时，5G专网配套提供专业的运维管理平台及服务，支持企业自行放号、终端纳管等核心功能，并开放标准接口与企业管理系统进行深度对接，实现云资源无缝衔接。这种“平台+服务”的模式不仅降低了企业的运维难度和成本，还通过自动化监控和智能告警等功能提升了网络可靠性。

工业独立专网不仅是技术升级，更是企业数字化转型的战略选择。它能够帮助企业降本增效，通过资源整合与自动化运维，减少重复投入与人力成本；保障安全可控，硬隔离架构保障核心数据安全，规避公网风险；支持敏捷创新，灵活扩展能力使企业能够快速响应市场变化，抢占竞争先机。中兴通讯工业独立专网方案已在多个龙头企业落地验证，随着工业4.0的深化，独立专网将成为企业构建全连接工厂、实现智能制造的核心引擎，助力企业在全局竞争中占据优势地位。ZTE中兴

5G专网助力轨道交通“行稳智远”



查希平
中兴通讯无线规划经理

根

据交通运输部数据统计，截至2024年底，全国共有54个城市开通运营城市轨道交通线路325条，运营里程10945.6公里。2024年全年开行列车4085万列次，完成客运量322.4亿人次。城市轨道交通网络迅速扩展，极大地提升了城市运行效率和居民出行便利程度。城轨建设和运营费用高昂，数据显示全国轨道交通企业平均每公里运营成本高达1126万元，北上广深等大城市甚至超过了1500万元/公里。随着政府对市政基础设施投资政策的调整，轨道交通未来将向更加多元化、智慧化和可持续发展的方向。

5G专网应用于城市轨道交通系统既能够提高运营质量和效率，还能够帮助企业实现良好的经济效益和社会效益。

5G专网简化系统架构

无线网络是保障轨道交通系统高效、安全运行的重要基础。无线专网在城市轨道交通中的应用有如下几个发展阶段（见图1）：

- 20世纪90年代初引入模拟语音无线网络；

- 2005年南京地铁1号线首次采用TETRA数字集群通信系统；
- 2008年北京地铁2号线采用WLAN进行CBTC信号系统升级；
- 2016年武汉地铁6号线首次实现基于LTE-M的CBTC业务承载。

在技术发展过程中，这些无线网络并没有实现兼容和替代关系，而是形成了多网叠加并存的情况，易产生数据孤岛，资源利用率低。5G专网可发挥高速率、低延迟、大容量和广覆盖等特点，有效切入城市轨道交通行业痛点，结束多网并存，走向一网融合。

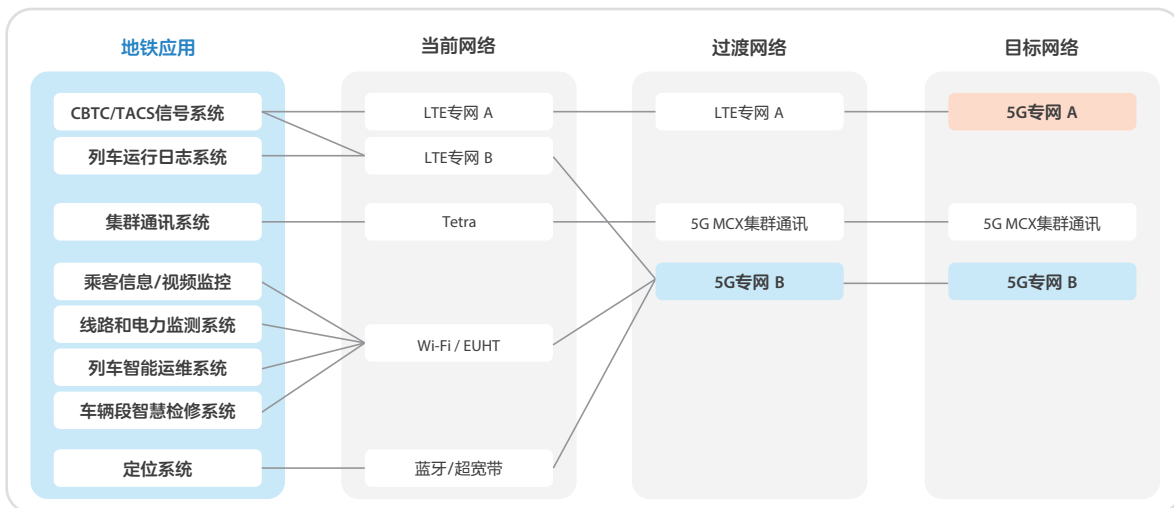
5G专网技术优势明显

5G有诸多特色功能，可以更好地适配轨道交通行业多样化的应用需求。

- 5G NR灵活空口，满足上行容量

与LTE网络不同，5G NR无线帧结构中上下行时隙的配置更加灵活可变，可以根据业务需求调整上下行时隙的数量和长度。此外，还支持非对称频谱使用，提高系统的适应性和资源利用率。

图1 城市轨道交通无线
专用网的演进



这种灵活性使得5G NR可以更好地适应轨交行业车端数据上行为主的传输业务模型。

- 5G E2E网络切片, 实现综合承载

网络切片在通用硬件基础设施中切分出多个虚拟的端到端(E2E)网络, 每个网络切片在设备、接入网、传输网以及核心网方面实现逻辑隔离, 以更好地满足轨交行业安全生产、内部管理、外部服务三大类业务, 数十个子系统的业务通过5G实现综合承载、独立运行的需求。

- 5G TSN确定网络, 保障关键业务

通过5G网络和时间敏感网络技术的结合, 再结合时钟同步、业务报文类型和特征智能感知, 并通过双发选收、智能化调度及精准门控保障端到端SLA(service level agreement)。系统提供10±1ms级高可靠确定性网络接入, 确保列车CBTC/TACS信号系统的安全稳定运行。

- 5G LAN局域网, 简化组网连接

5G LAN可以替代行业常用的IPSec和L2TP隧道协议, 为终端提供终端互联互通或终端分隔等灵活的通信能力。同一LAN群组内能够适用基于IP或Ethernet的点对点、多点传输的通信模式。传统的TCP/IP网络业务架构无需改造即可接入5G网络, 组网更简单, 连接更可靠。

- 5G MEC边缘计算, 赋能AI应用

5G网络支持算力下沉到网络边缘, 结合城轨视频AI类应用有广泛的业务场景, 如车辆段的车辆关键部件视觉检测、接触网的视频检测等, 还能结合射频识别技术实现人员定位、客流量分析等大数据应用, 实现高效管理。

- 5G MBS广播多播, 提升出行体验

5G MBS将多媒体内容通过广播方式向用户推送, 保证流畅的观看体验。该功能可以适配当前地铁PIS业务, 节省空口传输带宽, 简化车端多屏组网, 并支持Free-to-Air模式, 实现无SIM卡接收模式, 这样乘客可使用自己的手机播放PIS系统提供的丰富媒体内容。

- 5G MCx宽带集群, 打破通信壁垒

5G关键任务(mission critical)移动宽带集群服务满足语音、视频、数据及行业特定等业务的集群通信需求, 具备高可靠、高安全、易部署

等优势, 支持TETRA、B-TrunC、PDT等系统融合互通, 打破传统通信壁垒, 提升跨线网运营、跨部门协作效率。

5G专网部署模式多样

频率是构成5G无线网络的基础, 结合当前政策法规和产业标准情况, 国内各城市地城市轨道交通因地制宜, 采用灵活多样的商用模式积极引入5G专网。

- 运营商代建代维

截至2024年末, 工业和信息化部已累计向4家基础电信运营企业许可公众移动通信无线电频率资源带宽1109MHz, 其中86.5%可用于5G。针对轨道交通行业的RAMS业务(信号、集群等), 可以由运营商提供代建代维5G独立专网。针对轨道交通行业的非RAMS业务(如乘客信息系统、承载视频监控系统、智慧运维系统等), 可以由运营商提供基于5G公网切片隔离的逻辑专网, 保障业务需求同时降低使用成本。

- 行业自建5G专网

目前除了国铁、商飞等企业获得5G专频试用授权外, 国家暂未向其他行业发放5G专频授权。但轨交行业用户可在国家无线电频率划分规定指导下采用5GHz NR-U(5G非授权频谱)或毫米波频率部署独立5G专网, 此类中高频5G专网可以替代原有Wi-Fi车地网络, 解决Wi-Fi安全性、移动性弱的问题, 满足行业自建自维的要求。非授权频谱的4G/5G网络在成都地铁19号线二期线路已经部署应用, 毫米波频率在上海地铁4号线、海外首尔地铁线路中已经部署应用。

随着国内广州、上海、南京、武汉、天津、苏州等十多个城市轨道交通行业采用5G专网替代原有无线系统, 从非核心生产业务承载, 逐步探索核心业务系统承载, 最终行业将形成5G专网综合承载解决方案。5G专网技术将在城市轨道交通中发挥重要作用, 推动城市轨道交通更加自动化、智能化、绿色化发展。ZTE中兴

5G V2X车路云一体化

打造智慧交通新范式



张维奇
中兴通讯RAN产品规划
总监



黎云华
中兴通讯RAN产品规划
总工

在数字经济与智慧交通深度融合的背景下，济南移动依托5G技术优势，率先推进车联网（V2X）应用场景的落地，以“车路云一体化”为核心，构建了全国领先的智慧交通标杆项目。

2024年，济南市成功入选全国20个“车路云一体化”试点城市，为5G车联网（5G V2X）的规模化建设提供了政策支持。济南移动积极响应，以济南新旧动能转换起步区为核心试验场，在张仙寨大街打造了覆盖4个核心路口、5公里路线（含14个路口）的车路云一体化示范项目。该项目通过5G、边缘计算、数字孪生等技术的融合，实现了“路口级决策-边缘层处理-云端协同”的三级智能数据流转，为全国车路云一体化建设提供了可复制的“济南经验”。

网络架构

中兴通讯和济南移动依托“5G+车联网”的领先布局，联合产业合作伙伴共同打造济南起步区车路云样板示范区域。本项目目标是在济南新旧动能转换起步区建设5公里示范路段，覆盖14个路口（含8个重点路口），并计划扩展至12条新建智能道路及27条规划道路。此项目率先成功部署支持通感算一体的5G车联网（5G V2X）算力基站，极大增强了以路口为中心的边缘实时算力，大幅降低了车联网路口基础设施建设成本，算力基站与路侧感知设备、中心云控紧密协作，使得基于5G的车路网云一体化的通感算网络逐

步落地，为5G车联网的规模化商用奠定了坚实基础。

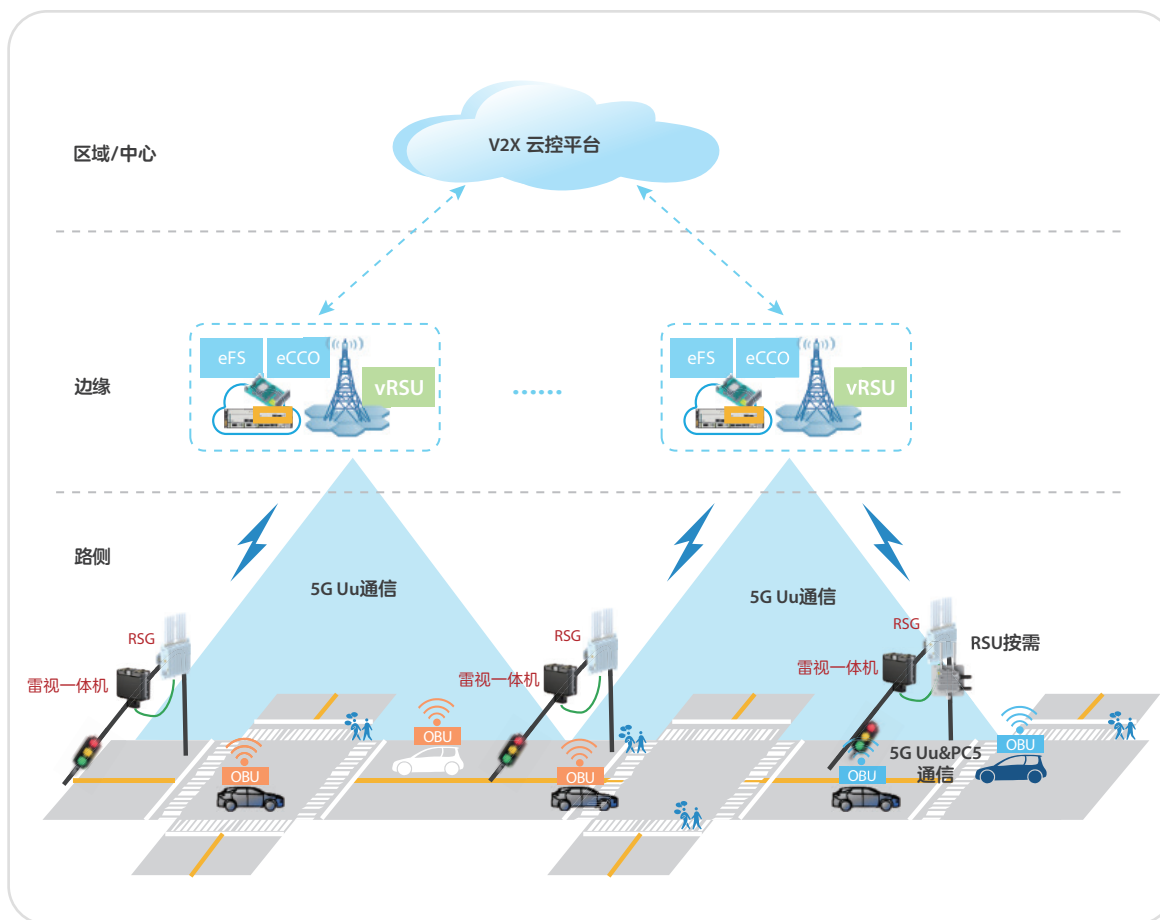
本项目以5G网络为核心，在标准的5G基站设备上增加部署算力单板，并与路侧感知设备以及云控平台协作，形成车路网云一体化的5G V2X通感算网络（见图1）。

5G V2X车路云一体化的通感算网络架构包含云、网、路、车四部分。

- V2X中心云/边缘云，提供交通事件分析、交通流量统计、交通管理等功能，对接外部ITS交通信息系统。
- 5G蜂窝网全域覆盖，一方面基于5G网络提供强大的无线通信能力，支持与车辆、行人等目标进行高质量信息交互；另一方面通过在5G基站叠加部署算力单板，支持以路口为核心的边缘计算，实现路侧感知数据收集和多感知数据融合处理，并实时传递给所需车辆。
- 路口部署雷视一体机等感知设备，通过路侧网关（RSG）将感知数据通过5G网络回传到5G算力基站进行感知融合快速处理。
- 智能网联车辆终端支持5G/4G Uu车载终端、5G Uu&PC5双模终端等终端设备。

技术创新

在济南车路云项目中采用的5G V2X车路云一体化的通感算网络架构，相对于传统建设方案，在以下方面进行了技术创新。



▲ 图1 5G V2X车路云一体化架构

● 分级算力

本项目部署方案中，通过在5G基站增加算力单板形成5G算力基站，将通信网络与算力基础设施融合，并协同路侧的感知一体机形成分层分级的算力服务能力。一方面提供路侧边缘计算服务，即路侧感知雷视一体机负责其自行采集的感知数据处理，而5G算力基站负责路口级多感知来源的感知数据融合处理。另一方面提供边缘云控的算力服务，与V2X云控平台协同为车联网业务提供差异化的服务能力。

● 超低时延

本项目首次实现基于5G基站的虚拟路侧单元（vRSU）功能。济南移动首创“5G路侧回传+算力基站”双引擎架构，依托中国移动5G专网切

片技术，将路口全域通信时延控制在20ms，并达到99%可靠性。同时，实现了路侧数据的高效采集与处理，为自动驾驶车辆提供实时红绿灯状态、交通事故预警（如超视距3公里预警）等关键信息。

● 同步授时

在此部署架构中，路侧网关（RSG）除了支持路侧雷视一体机接入到5G算力基站，还可以通过SIB9获得5G网络授时并提供给路侧感知一体机，从而提供同步授时服务。

应用场景

路侧一体机持续检测道路交通目标，实时

济南起步区车路云样板点的成功落地，不仅为智慧交通和智能网联汽车产业注入新动能，也为全国车路云一体化建设提供了可复制、可推广的实践经验。

获得交通参考者位置、速度、轨迹信息，同时也识别交通事件，并上报给5G算力基站。5G算力基站边缘云获取这些感知信息后，基于AI算法生成行人闯入预警、超视距预警，同时识别并生成红绿灯上车信息，并通过5G Uu接口发送给车端。通过5G网络对于真实V2X业务消息的验证情况看，V2X消息传输的时延达到20ms，可靠性达到99%。

5G V2X车路云一体化方案可实现的基本功能如下：

- 红绿灯信息下发

根据车辆行驶轨迹推送红绿灯信息，车辆行驶到路口附近，会显示准确的红绿灯及计时情况。

- 超视距交通事故预警

在车辆的视野范围之外发生道路交通事故时，可提醒司机，提示车辆进行预警避让。

- 行人闯入预警

有行人横穿马路时，由路侧传感器检测识别后，通过5G V2X发送给驾驶车辆，进行语音播报预警。

未来，5G V2X车路云一体化还可拓展更多应用场景，如自动驾驶与无人物流、智慧交通管理等。

- 自动驾驶与无人物流

在起步区比亚迪基地，济南移动建成覆盖10

万平方米厂区的5G专网，支持7000+物联网终端并发，为无人驾驶物流车提供低时延、高可靠网络保障。未来规划中，该区域将进一步拓展无人物流、智慧停车等场景。

- 智慧交通管理

通过数字孪生平台，济南移动实现对交通流的实时监控与动态优化。例如，在张仙寨大街示范项目中，系统可实时分析车辆轨迹、行人流量等数据，助力城市交通管理智能化。

通过部署5G V2X车路云一体化的通感算协同网络，车端能够实时接收路口红绿灯、超视距交通事故预警、行人闯入预警等信息，极大地提升了交通安全保障水平，超视距交通事故预警探测距离超过3公里，有效拓宽安全预警范围。云端可实现交通实时监控，为智能汽车及其用户、管理及机构等提供车辆运行、基础设施、交通管理等动态基础数据，助力智慧交通管理。

济南起步区车路云样板点的成功落地，不仅为智慧交通和智能网联汽车产业注入新动能，也为全国车路云一体化建设提供了可复制、可推广的实践经验。未来，济南移动、中兴通讯等合作伙伴将继续深化技术创新，加快5G V2X车联网生态体系建设，助力智能交通产业发展，为济南乃至全国智慧城市建设贡献更多力量。**ZTE中兴**

5G毫米波专网： 铁路站场智能化转型的“数字底座”

铁路货运在经济发展中扮演着至关重要的角色，也是国家铁路的重要收入来源之一。2024年，国家铁路累计完成货物发送量39.9亿吨，同比增长1.9%，连续8年实现增长，日均装车首次突破18万车大关。随着“一带一路”倡议落实和国内消费升级，原材料、零部件、成品集装箱运输需求激增，分布在全国的众多铁路货场和编组站在铁路运输系统中发挥着不可或缺的作用。然而目前铁路的货场和编组站在运营过程中面临诸多痛点，传统通信方式难以满足铁路站场对实时性和可靠性的要求，导致信息传输不及时、不准确，影响了作业效率和安全性。同时，铁路站场的设备众多，环境复杂，传统网络的覆盖范围和容量有限，无法实现对所有设备的有效连接和管理。

近年来，国家高度重视数字经济的发展，出台了一系列政策推动传统行业的数字化转型。《“十四五”数字经济发展规划》明确指出，要加快推动产业数字化转型，促进数字技术与实体经济深度融合。在这样的政策背景下，铁路行业作为国家重要的基础设施产业，其数字化转型升级势在必行。

铁路站场对无线专网有较高要求

在列车编组过程中，需要实时获取列车的位置、速度、状态等信息，以便调度员进行合理的指挥和调度。在货物装卸过程中，需要实时监控货物的装卸进度、重量、位置等信息，确保货物

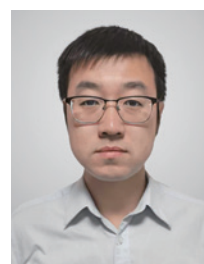
的安全和准确运输。这些实时数据的传输需要无线专网具备高速率和低时延的特性。

铁路站场中分布着大量的机械设备，如装卸设备、轨道传感器、信号机等。这些设备都需要通过无线专网实现联网，以便实现自动驾驶、远程操控、集中管理和监控等业务。无线专网需要具备大容量和广覆盖的特点，能够连接大量设备，并保证设备之间的稳定通信。

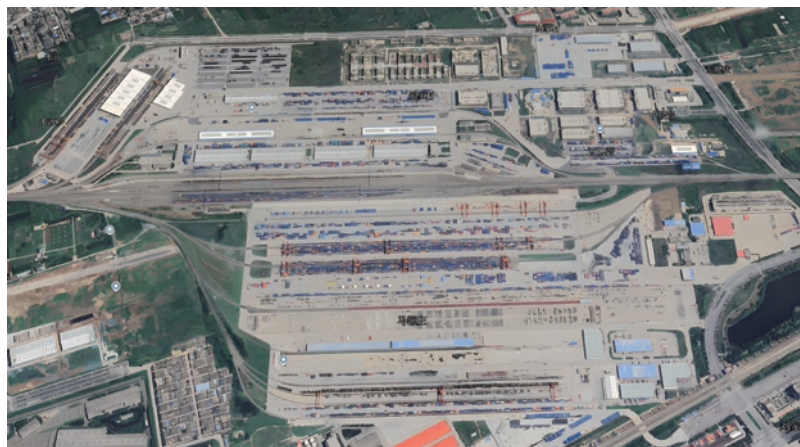
此外，站场的作业环境大部分为户外场景且场地巨大，无线环境较为复杂，无线专网需具备高度的可靠性和安全性，防止信息泄露和干扰，确保铁路站场的正常运营。

铁路站场无线宽带接入的新选择

铁路站场一般都设置在城市边缘且占地面积较大（见图1），这些区域5G公网覆盖率不佳、

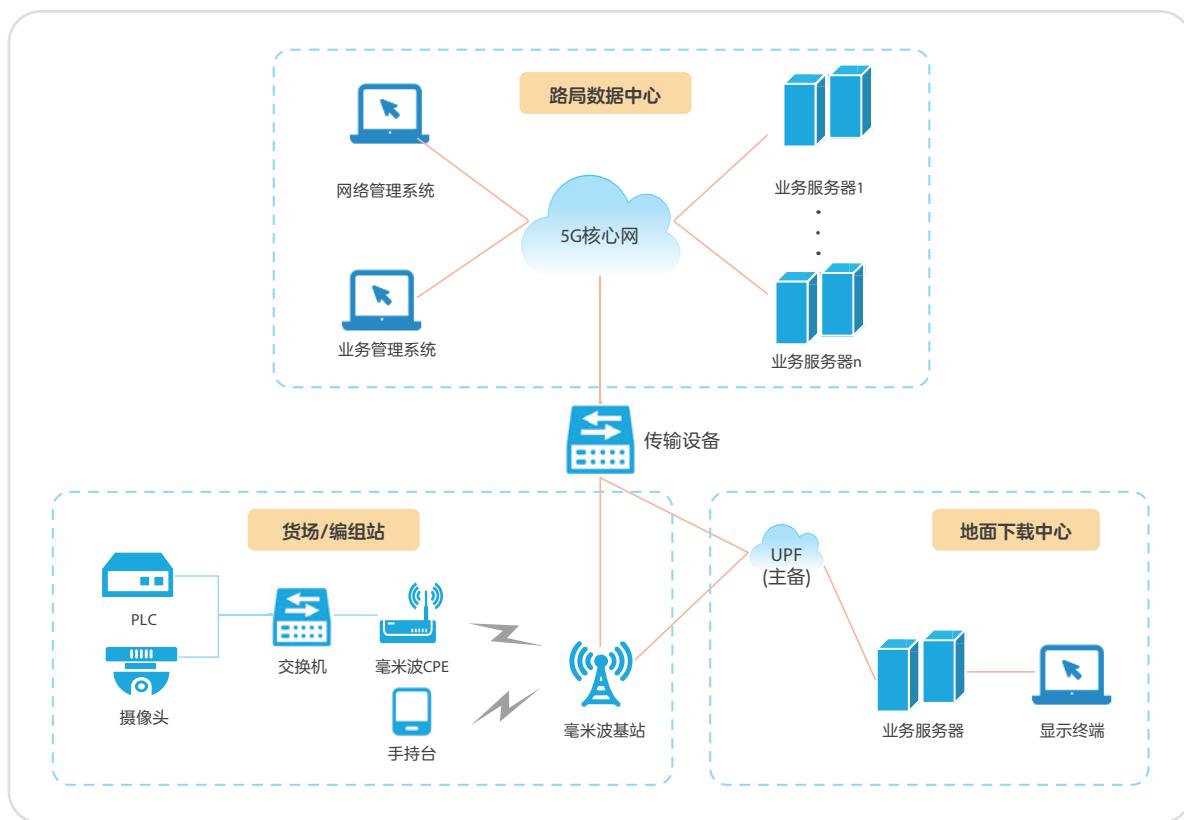


刘嘉
中兴通讯产品规划总工
(无线)



▲图1 国内某大型货场卫星图

图2 站场5G毫米波
专网架构图



信号质量偏弱，整体网络性能较城区存在较大差距。通过5G公网共享的模式，很难满足铁路站场大容量和低时延的要求，且面临未知的数据安全风险。

目前一些铁路站场仍在使用过去自建的Wi-Fi网络，甚至存在同一站场内的不同业务系统使用不同Wi-Fi系统的情况。Wi-Fi网络覆盖范围相对较小，多套Wi-Fi系统之间相互干扰，终端在不同热点间切换时需重新认证，易造成业务中断、流量掉沟等现象。而且Wi-Fi网络使用的是非授权频段，多套Wi-Fi系统接入管理不统一，安全管理机制较薄弱，容易遭到外部攻击和入侵。

5G毫米波具有丰富的频谱资源，能够提供吉比特级的传输速率。这使得铁路站场中的大量高清视频、实时数据等能够快速准确地传输，大大提高了作业效率。5G毫米波的低时延特性能够满足站场业务对实时性的要求，在远程控制等操作

中，低时延的通信能够确保指令的及时传达和响应，提高作业的运营效率和安全性。此外，5G毫米波还能提供高精度感知能力，提升站场整体安全态势感知能力。

站场自建5G毫米波专网更符合铁路专网专用的安全要求和使用习惯，可极大提升站场无线宽带接入能力，必将成为铁路站场数字化转型升级的新趋势。

5G毫米波铁路站场专网解决方案

打造站场专属的5G毫米波专网（见图2），可以灵活满足现场的各种大型设备的远程控制以及各类数据视频的实时回传，为站场各种智能化应用提供更好的无线宽带接入通道。专网方案针对站场的地形地貌和业务分布，通过专业化的网络规划，在站场内按需部署5G毫米波基站和边缘

UPF，最终接入路局5G核心网。

核心网边缘UPF部署

根据铁路5G专用移动通信系统总体技术要求，5G核心网由全路共用设备、路局核心网设备、边缘计算节点设备组成。路局核心网集中部署在路局核心机房内，采用双DC容灾方式部署。为减少5G毫米波基站承载的业务对铁路数据通信网的冲击，减少端到端业务时延，建议在站场内部署边缘UPF，实现数据本地分流。边缘UPF通过数据通信网与路局核心网控制面SMF对接N4接口，实现用户面承载。5G毫米波基站承载的业务流量，通过传输网络接入边缘UPF，边缘UPF通过本地传输链路直接对接站场机房内的应用服务器，减少对长途传输的带宽需求，实现数据完全不出站场。

专业化无线网络规划和部署

站场现场的地形地貌普遍存在堆场区域信号不易穿透、不同区域覆盖高度落差大、无线传播路径单一等不利因素。中兴通讯提出在3GPP定义的室外传播LOS模型基础上，对站场场景的无线链路预算进行适度调整和优化，在保证终端与毫米波基站之间视距无遮挡条件下，基站覆盖达到1km时上行边缘速率仍可超过100Mbps。

毫米波基站AAU可以利用站场内的大型灯杆进行部署，建议设备挂高为25~30m。站场内毫米波基站BBU，可通过传输网络就近接入所在路局核心网设备，实现毫米波终端的接入认证、会话建立、数据传输等业务流程。站场内部署的5G毫米波网络，采用SA only架构，独立组网。为了保证更好的业务体验，可以将毫米波网络的帧结构调整至1D3U，提供大上行网络能力。具体各逻辑小区的波束参数设置可以根据现场站点及终端的位置关系进行灵活调整和优化。

终端设备接入

针对站场内的各种大型机械设备，如龙门吊

和正面吊等，可以在其顶端外部部署毫米波CPE，各类业务终端通过以太网口与CPE连接，从而接入5G毫米波网络。对于一些位置比较分散的设备，可以先通过交换机进行汇聚，然后再连接CPE实现对外通信。毫米波波长较短，穿透、绕射能力较弱，遇到障碍物容易被阻挡，要达到最佳传输效果，需尽量保证毫米波CPE和毫米波AAU之间是视距可达。此外，还可以通过毫米波CPE转Wi-Fi的方式，进一步丰富业务接入方式，扩展覆盖范围。

网络演进与业务扩展

站场面积较大，业务种类较多，可以采用总体规划、分步实施、按需接入、逐步完善的模式，逐步推进站场的数字化转型升级。第一阶段，完成重点作业区域的网络覆盖，优先接入高优先级业务，如龙门吊的远程控制、正面吊的箱号车号识别、智能理货等。第二阶段，实现站场室内外的全覆盖，将更多智能业务接入到5G毫米波网络，如地面机器狗巡视、无人集卡、低空无人机巡检等。如有语音集群业务需求，考虑到网络和业务演进，后续可以接入5G-R网络。5G-R基站可根据站场情况进行预留，部分站点可以考虑与5G毫米波基站共站址，共同接入路局5G核心网，终端只需要在现有的5G手持台智能机上安装MCx应用，即可实现语音集群功能。

借助5G毫米波专网的高速率、低时延等特性，铁路站场将实现更高层次的自动化和智能化，提升运营效率 and 安全性，降低作业人员的劳动强度，为铁路的货场和编组站带来前所未有的发展机遇。5G毫米波专网还将在车地间海量数据转储、铁路沿线基础设施监测等场景发挥巨大作用。

中兴通讯愿为铁路行业更多的场景提供坚实的“数字底座”，为铁路行业未来数字化转型升级注入强劲的数字动能。 

5G专网赋能协作机器人： 工业数智化转型的新质生产力



陈东
中兴通讯无线产品系统
架构师



陈建军
中兴通讯无线产品系统
架构师

随着全球制造业向智能化、柔性化方向演进，工业4.0正以不可逆转的趋势重构产业格局。在这一进程中，5G专用网络与自主协作机器人的深度融合，成为破解传统工业痛点、释放数智化潜力的核心引擎。

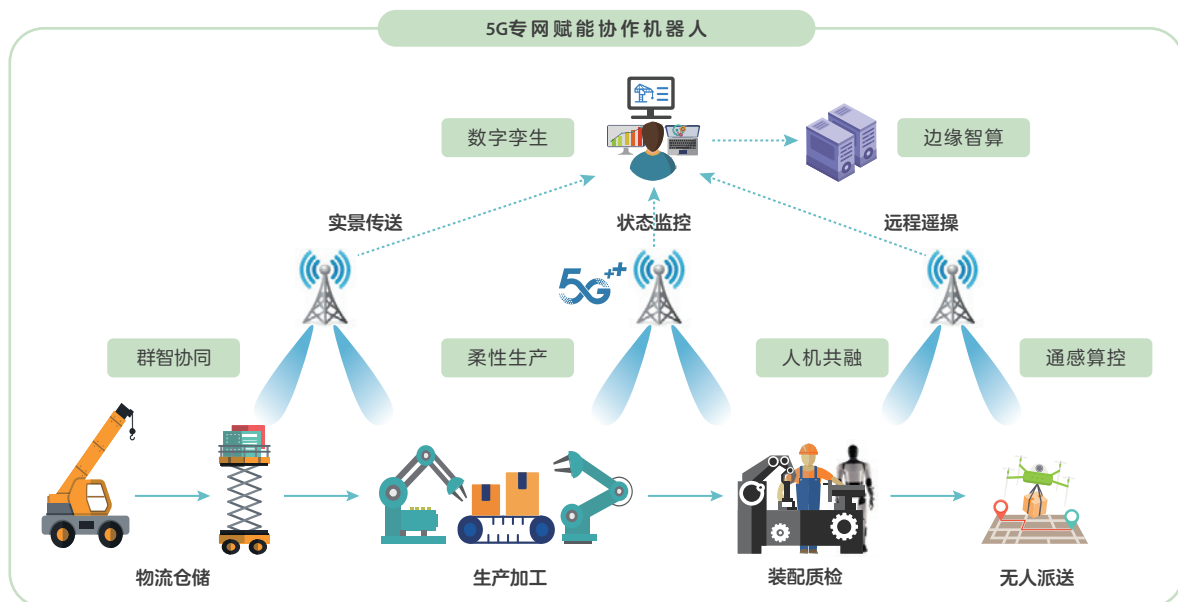
协作机器人作为具备环境感知、自主决策与协同作业能力的智能体，正在打破传统工业机器人“刚性编码”和“孤立作业”的模式局限。这类机器人不仅能与人类安全协作，还能通过无线网络实现群体协同，完成单一机器人无法胜任的复杂任务。但协作机器人在工业制造场景中面临三大核心挑战：可靠的毫秒级实时控制、复杂的多机动态协同通信，以及大数据处理的边缘算力。传统工业网络在时延、可靠性、连接密度等方面存在显著短板。

5G专网通过诸多关键技术实现突破：首先，URLLC（超可靠低时延通信）技术将端到端时延稳定控制在毫秒级，满足高精密装配场景的同步控制需求；其次，网络切片技术为不同优先级任务划分专属通道，确保质量检测视频流与机械臂控制指令的零干扰传输；再者，边缘计算节点部署使图像识别、路径规划等AI算力下沉至车间级，数据处理响应速度提升数倍。

多维场景落地，重构产业价值链条

5G专网与协作机器人的融合，从工厂车间的柔性生产到建筑工地的自主施工，从智慧农业的精准作业到智能服务的人机交互，二者的协同正在重塑千行百业的生产方式与价值链条（见图1）。

图1 5G专网赋能协作机器人



● 智能制造：从柔性生产到零库存管理

在工业制造领域，5G专网与协作机器人的结合催生了全新的生产范式。以某汽车焊装车间为例，20台协作机器人协同作业时，传统Wi-Fi网络时延波动高达50ms，导致焊接路径偏差率超标，制约生产精度。部署5G专网后，多机器人协同定位精度可达到 $\pm 0.02\text{mm}$ ，产品不良率大幅下降。在协同搬运场景中，多个自主移动机器人AMR (autonomous mobile robot) 通过5G专网构建临时通信子网，实现毫秒级时间同步与路径规划。这种“动态组网-任务执行-子网解散”的机制，使机器人集群能快速响应突发任务，如紧急设备搬运或生产线重组，大幅提升工厂的柔性生产能力。

● 智能建造：从人力密集到自主施工

建筑工地正从“人海战术”向“机器人军团”转型。在自主施工现场，搭载5G专网设备的建筑机器人可实时交换位置信息与施工数据，实现砖块搬运、3D打印、钻孔等工序的全自动化。5G网络的集成传感与定位功能 (ISAC)，更可精准检测人员位置与障碍物，将施工事故率大幅降低。数字孪生技术与5G专网的结合，让远程监控与虚拟预演成为可能。工程师可通过沉浸式扩展现实 (XR) 技术，实时查看建筑进度并调整施工方案，避免因设计误差导致的返工浪费。

● 智能农业：从经验驱动到精准作业

在农业领域，5G专网支持的协作农业机械正在颠覆传统耕作模式。针对农业环境中移动通信覆盖不足的问题，5G专网的Mesh组网能力可构建自组织通信网络，确保机器在偏远农田仍能稳定通信。自动驾驶拖拉机、植保无人机通过本地通信子网协同作业，可根据土壤湿度、作物长势等实时数据动态调整作业路径与参数。例如，在

除草场景中，AI算法通过分析高清摄像头数据识别杂草，引导机器人精准喷洒农药，降低农药使用量。

开启数智化转型的“双轮驱动”时代

尽管5G专网已在时延与可靠性上取得突破，但面对工业协作机器人场景的极端要求仍需持续创新。例如，在运动控制场景中，现有5G技术的时延抖动仍可能导致机械臂操作失准，需通过毫米波通信进一步压缩时延至亚毫秒级，并引入多路径信号处理、自适应波束赋形和空时编码等机制提升抗干扰能力。

边缘计算与云协同架构的优化，是提升机器人智能的另一关键。通过将实时性要求高的任务 (如避障决策) 卸载至边缘节点，将全局优化任务 (如生产排程) 交由云端处理，可构建“边云协同”的智能体系，降低单机计算负载，提升整体决策效率。

设备能效也是关键挑战。电池驱动的移动机器人需在通信与作业之间平衡能耗，未来需通过能量采集技术、轻量化协议设计 (如精简IP报头) 降低通信功耗，同时优化网络资源分配，避免空口资源浪费。

5G专网与协作机器人的融合，既是工业4.0的重要标志，更是数智化转型的核心动能。5G专网与协作机器人不仅是提升效率的工具，更是重构产业生态、创造社会价值的引擎。未来，这场由通信技术与智能设备共同驱动的变革，将引领千行百业走向更高效、更安全、更可持续的未来，让工业4.0的愿景照进现实，为全球经济增长注入新的活力。ZTE中兴

产教融合，5G独立专网

赋能新型工业化复合型人才培养新范式



王红欣
中兴通讯RAN产品规划
工程师

新型工业化正以数字技术深度重塑产业内核，其核心在于构建全要素、全链条、全周期的智能生态系统。5G独立专网是实现工业数字化、网络化、智能化转型的新型工业化网络关键支撑技术之一，其“可按需叠加扩容、可按需灵活部署、可按需动态调度”的三大核心优势，不仅提升工业网络的灵活性与扩展性，推动IT（information technology）与OT（operational technology）的深度融合，同时为行业提供安全、可靠、高效的通信保障，支撑构建IT与OT融合的新型工业化网络。

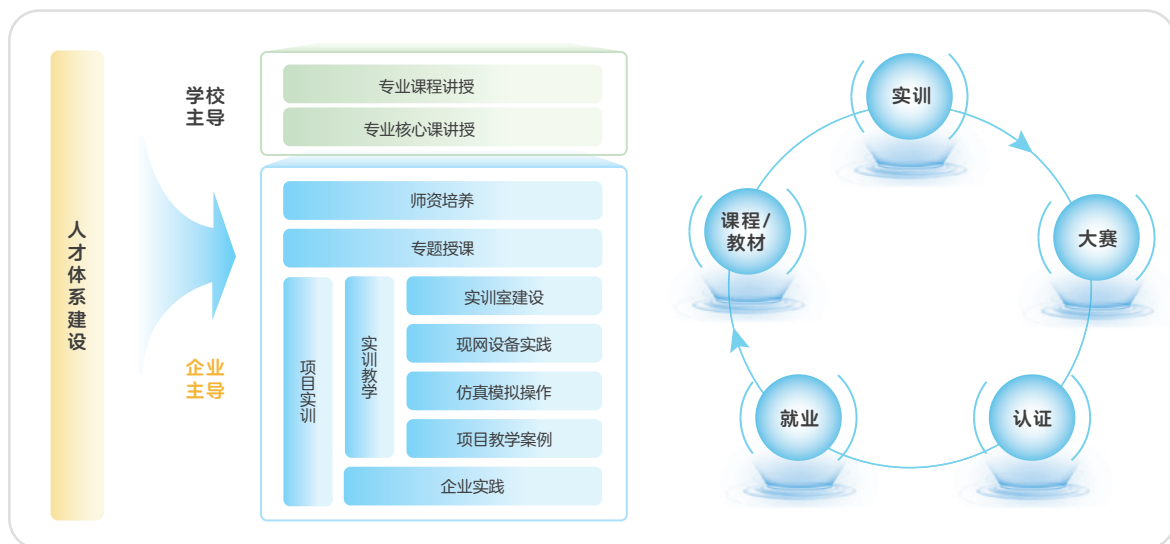
新型工业化网络的技术架构升级，以及5G独立专网的规划、部署与运维通信技术深度融合工业系统，对人才提出更高的要求，不仅需精通5G技术，更要深入理解特定行业的工艺流程、设备协议等，既要能设计基于专用频段的低时延无线

控制系统，又要确保其与工厂现有PLC、SCADA系统的无缝融合，将5G独立专网的性能优势精准转化为生产效率、品控能力和安全等级的实质性提升。新型工业化发展亟需既懂行业又懂数智化技术的复合型人才。

高等学校承担人才培养的重要职责，其中高职院校聚焦培养满足行业即时需求的高技能应用型人才，本科院校侧重理论创新与科研能力的培养，但大部分学校专业设置方向单一，不能满足跨学科复合型人才需求。

中兴通讯作为ICT领域的领军企业，联合合作伙伴和院校共同探索面向新型工业化网络复合型人才的路径，将端到端5G化应用浓缩版平移到学校实训，从课程培训、实训建设、赛事认证到就业对接，构建从技术到人才的闭环生态，创建产教协同创新体系（见图1）。

图1 产教融合培养高水平复合型数字人才



面向新型工业化网络人才需求，中兴通讯联合生态合作伙伴以及院校，探索5G-A确定性网络、面向极简新型工业化网络的5G独立专网以及新兴低空经济方向等多个技术方向的产教融合的新范式。

面向新型工业化网络人才需求，中兴通讯联合生态合作伙伴以及院校，探索5G-A确定性网络、面向极简新型工业化网络的5G独立专网以及新兴低空经济方向等多个技术方向的产教融合的新范式。

5G独立专网作为行业数字化转型的关键技术，满足多样化行业网络需求，提供连接能力、数据采集和传输能力，具备确定性、大带宽、低时延、切片隔离、5G LAN等核心专网技术。我们为高校提供针对多样化行业应用环境的5G专网搭建以及5G关键技术与行业应用结合方面的实训课程，可实训面向行业5G独立专网的“规-建-维-优”技术。

确定性网络是5G独立专网的关键能力，是解决工业核心控制场景的刚需网络技术，支撑柔性生产设计和编排的网络基础。面向高校，我们考虑开放802.1Qcc等协议架构下的业务网络演算能力，例如空口资源配置、切片隔离配置能力，为老师和学生提供确定性网络研究的物理实操环境平台和技术科研创新协作平台，携手开展5G-A确定性网络技术攻关，双方形成专业知识和人才结构优势互补，联合培养行业急需人才，为智能制造赋能。

5G独立专网下的新型工业化网络的建设思路已发生变化，5G独立专网具有确定性的连接，使用CT技术拉通IT域和OT域，同时实现现场装备的实时数据采集，并结合低代码开发的开放自动化系统，满足新形势下更高效、个性化、绿色低碳等智能制造的诉求。我们考虑面向学生提供新型工业化网络的建设新思路的实训，包括IT/OT技

术的深度融合、利用开放自动化系统进行产线柔性编排的方式、利用数字孪生可视化技术调用产线实时数据等，让学生学习IT技术为OT生产所用的过程和理念。

基于5G独立网络的产线数字孪生仿真系统，通过5G独立专网的网络通道获得感知数据，实现对物理环境的虚拟映射，同时可进行反向构建，作用于前期的工业设计的演练，对设备结构、工艺流程到环境因素全方位精准复现。我们联合合作伙伴面向学校提供智能制造产线的数字孪生仿真系统，提供在线课程、虚拟实训、新形态教材等创新应用，方便学生理解和掌握智能制造工艺、生产效率提升和质量控制等核心能力，并节省物理硬件环境和成本，构建新型智能制造的虚拟仿真设计新模式。

面向5G网络持续演进和5G-A技术，在低空经济方向，我们基于自身的探索实践，联合低空经济产业链合作伙伴，面向高校基于5G-A通感网络感知能力，在无人机智能感知识别、监管平台、反制系统、无人机应用、无人机设备等方向提供研究环境和实训演练。

行业数智化进程中，新型工业化是目标，5G独立专网是安全基石，复合型人才是价值转化器。中兴通讯持续发挥自身优势，积极推进职普融通、产教融合，携手合作伙伴共建教育生态，持续优化OT与IT融合背景下的复合型人才培养机制，致力于为全社会的数智化转型注入源源不断的动力与活力，加速推动各行业的智能化、数字化变革。ZTE中兴

5G独立专网智能运维大模型



王伟
中兴通讯无线产品规划
经理

在 5G独立专网快速普及的工业数字化转型浪潮中，网络运维的复杂性与行业需求的精细化矛盾日益凸显。

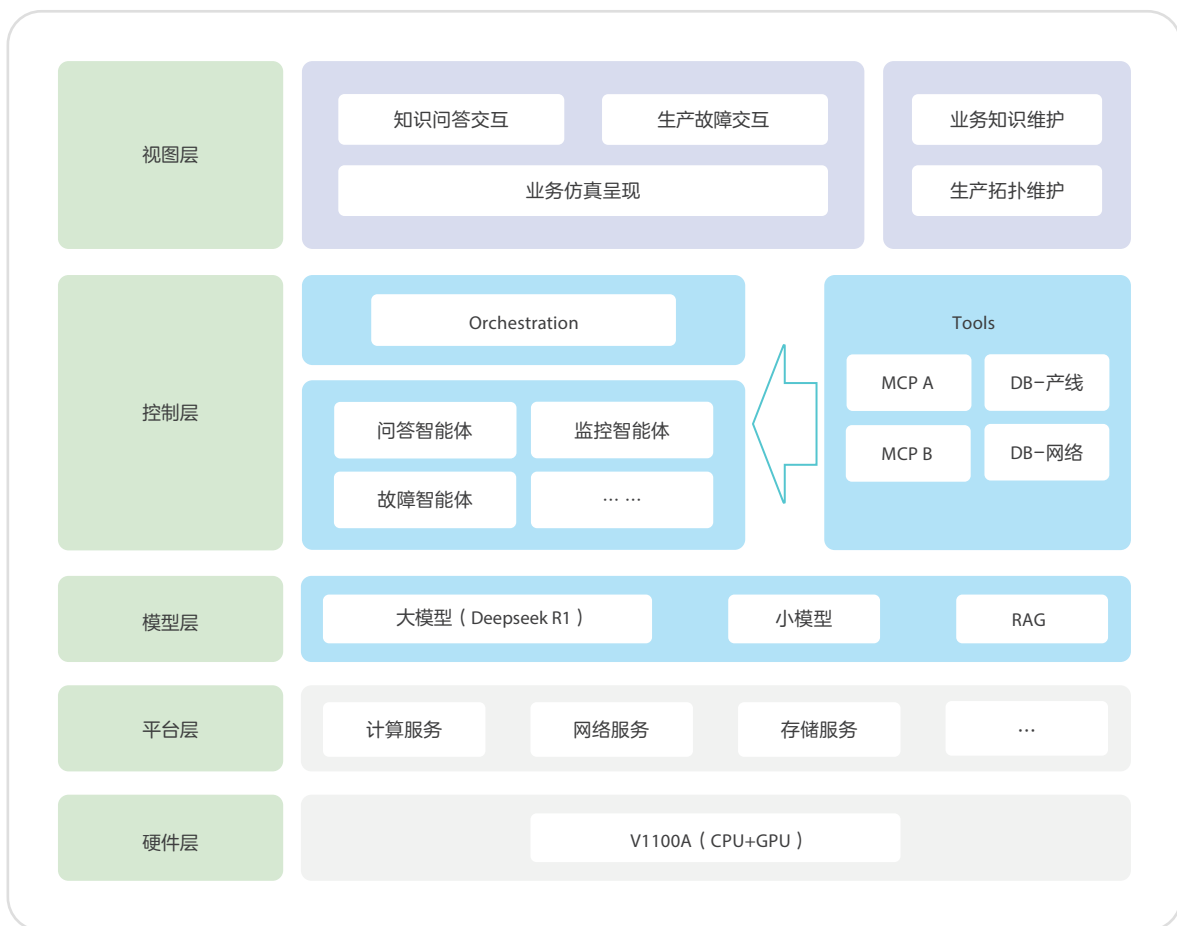
传统运维模式依赖人工经验、响应滞后、成本高昂，难以满足工业现场对网络稳定性、低时延和高可靠性的严苛要求。基于UniEngine算网一体机平台，中兴通讯提出独立专网智能运维大模型，通过融合内生智能与行业定制化能力，探索5G专网建设与运营的新途径。

内生智能：构建ToB智能体的“数字大脑”

独立专网智能运维大模型的技术底座以“内生智能架构”为核心，通过三大模块构建工业现场的智能化运维体系（见图1）。

首先，GPU边缘算力引擎依托轻量化边缘服务器，实现本地化AI推理与实时数据处理，显著降低对云端算力的依赖，同时确保工业现场高敏

图1 独立专网智能
运维体系架构



数据不出厂，保障数据安全。其次，中兴通讯星云大模型作为智能体的“认知中枢”，提供自然语言理解、多模态数据融合与决策推理能力，赋能智能体应对复杂场景的多样化需求。第三，基于星云大模型构建的ToB智能体矩阵形成闭环运维能力：问答智能体通过多语言交互与语义纠错，实时响应客户咨询与工单查询，替代传统人工客服；监控智能体可根据客户诉求自动创建分级网络连接，实时分析网络KPI（如时延、带宽利用率）、设备状态及环境传感器数据，实现异常行为预测与可视化预警；故障智能体在检测到网络通断或时延异常时，可自动执行参数核查、业务日志采集，并基于决策逻辑完成业务与网络的诊断分析。

该架构通过“端-边-云”协同部署，将网络层与业务层运维深度融合，直接应用于工业现场，形成端到端的智能运维闭环，通过实时响应与自主决策能力，为5G工业现场网提供“免运维”支撑，助力垂直行业实现网络与业务的智能化跃迁。

能力扩展：注入行业知识，打造领域专家级智能体

面对工业、能源、制造等垂直行业对网络运维场景的复杂性与差异性挑战，中兴通讯独立专网智能运维大模型通过行业知识注入机制，显著增强智能体的领域适应性及决策精准度。这一机制依托UniEngine算网一体机中的IDOS（intelligent digital operation service）智能数字化运维门户，构建了三大核心能力：专属知识库、知识图谱自编排、动态知识更新。

首先，客户自定义知识库支持用户将企业内部的设备手册、运维SOP、历史工单等结构化与非结构化数据注入星云大模型，形成专属知识库。例如，某钢铁企业可上传高炉冷却系统参数，使故障智能体精准识别“水温异常”与“设备老化”的关联性，提升根因定位效率。

其次，知识图谱自编排允许用户通过IDOS平台构建生产域的设备拓扑图、软硬件映射关系及

数据业务流图谱。当发生故障时，智能体基于用户自编排的知识图谱进行动态推演，模拟故障传播路径，快速锁定真实源头，避免“头痛医头”的盲修问题。

最后，依托动态知识更新机制，在企业授权前提下，通过实时访问企业数据库（如ERP、MES），智能体可在工单处理、故障诊断等场景中调用最新业务规则与设备台账，确保决策与业务同步变化。例如某电力企业可将最新的巡检规范嵌入问答智能体，实现标准化响应。这一能力使智能体从“通用型助手”进化为“领域专家”，显著提升运维决策的准确性与场景覆盖率。

能力开放：智能体构建平台，让客户成为“AI产品经理”

为进一步释放行业创新潜力，中兴通讯推出的智能体构建平台以低代码开发为核心，打破传统运维工具被动使用的局限性，使客户能够基于自身领域特点灵活构建专业智能体。该平台提供图形化 workflow 编排功能，用户通过拖拉拽操作即可将智能体的输入、处理逻辑、输出模块化组合，快速搭建定制化运维流程。平台支持API插件化集成，用户可将现有系统的API能力封装为标准化插件，通过参数配置快速嵌入智能体，实现与业务系统的无缝对接。平台内置行业智能体模板库，覆盖工业、能源、制造等领域的预置方案，用户可一键调用或二次开发，显著降低创新门槛。这一平台化能力使企业从“被动使用工具”转向“主动定义智能”，加速5G专网与行业场景的深度融合。

独立专网智能运维大模型的终极目标是构建自进化的工业数字孪生体。通过持续学习行业数据、用户反馈与网络运行状态，智能体将实现自主迭代模型参数、自主优化运维策略，最终形成“网络即服务（NaaS）”的新范式。

中兴通讯正携手全球行业伙伴，推动5G独立专网从“连接基础设施”升级为“智能生产中枢”，为工业4.0注入持续创新动能。ZTE中兴

数字孪生， 赋能专网OT和IT协同创新应用



张博
中兴通讯无线产品方案
经理



王良德
中兴通讯无线产品规划
总工

伴

随5G网络全面覆盖，2024年11月工信部等十二部门联合发布《5G规模化应用“扬帆”行动升级方案》，方案围绕应用、产业、网络、生态“四个升级”部署重点任务，推动5G在多个领域的深度赋能，为产业和经济发展注入新动力。方案提出要推进5G赋能生产经营提质升级，加速“5G+工业互联网”重点产品的研发与推广，积极推进5G专用网络建设。在此浪潮下，探索OT（运营技术）与IT（信息技术）的深度协同，赋能5G专网场景化方案，成为行业创新发展的核心路径。

新发展需要新技术，数字孪生作为近年炙手可热的新兴技术越来越深入地应用于各种前沿领域。数字孪生融合感知、计算、建模等信息技术，以物理模型为基础，结合实时运行状态数据，通过高精度仿真过程，在虚拟空间中完整映射物理对象的形态、属性、行为规律，并实现动态同步更新，全面反映物理实体从设计、生产到运维的全生命周期过程。

- 多维建模技术：使用CAD、CAE等工具构建物理实体的三维模型，模拟实体在多种物理环境下的行为流程，对复杂系统（如生产线、城市系统）进行模块化建模和集成。
- 数据采集与融合技术：可以通过传感器、边缘设备采集物理实体的实时数据，通过多源数据融合来整合来自不同设备、系统、平台的数据，形成统一的数据视图，支持实时数据处理，对数据进行清洗、滤波、异常检测

等处理。

- 仿真与预测技术：基于物理模型和实时数据对实体进行动态行为仿真，利用AI与机器学习，用于预测设备故障、优化运行参数、异常检测等，支持数字线程，实现从设计、制造到运维的数据贯通与闭环反馈。
- 可视化与交互技术：三维可视化，将模型和数据以三维方式展示，增强交互体验，用于远程监控、培训、操作指导，提供关键指标的实时可视化展示。

数字孪生技术与5G专网的结合，是工业数字化、智能化的重要方向之一。5G专网以其高带宽、低时延、高可靠性、海量连接等特性，为数字孪生提供高效、实时、稳定的数据传输与通信保障，实现OT与IT的深度协同，在多个行业实现深度融合应用。

- 智能制造与柔性产线：通过5G专网连接工厂内的设备、传感器、AGV等，将物理产线在数字空间中建模，实现实时监控与状态感知、虚拟调试、预测性维护、工艺优化等；
- 可视化实训教培：依托5G算网一体化架构与工业互联网数据采集能力，结合典型工业产线3D可视化建模技术，可实现实际工业产线的虚拟化构建，赋能实训教培；
- 智慧园区与城市治理：通过5G专网连接园区内的各类传感器、摄像头、门禁、照明等系统，构建园区数字孪生模型，实现人员、车辆、设备的统一管理、安防与应急响应、能



▲ 图1 未来实验室智慧产线界面

源与环境监测；

- 智慧矿山与远程控制：在矿区部署5G专网，结合数字孪生构建矿山三维模型，实现地下/露天矿设备远程控制、矿工定位与安全监测、环境数据实时采集与预警；
- 智慧港口与物流：通过5G网络连接港口的吊车、集装箱、运输车辆等设备，构建港口数字孪生体，实现实时调度与路径优化、远程操作、装卸效率仿真与优化；
- 智慧电力与能源管理：在变电站、风场、光伏电站部署5G专网，结合数字孪生实现设备状态监测与故障预警、能源流动仿真与优化、智能巡检。

以智慧产线、5G实训基地的融合实践应用为例，基于5G专网实现网络资源共享，5G的高速率、低时延特性确保生产数据与教学数据实时交互。数字孪生技术贯穿其中，搭建统一虚拟平台，实现生产和实训的深度协同。

在数据层面，双方通过IoT设备采集的数据经融合处理后，统一汇聚至数据中台。这些数据既可支撑智慧产线的生产调度与设备维护，又为实训室提供真实教学用例。算力层面，两者共享边缘计算资源，依据生产分析与虚拟仿真需求灵

活调配，有效提升系统运行效率。

在生产场景中，OT与IT的融合推动产线全流程数字化转型。某智慧产线通过IoT设备实时采集AGV小车、机械臂等运行数据，利用数字孪生技术实现3D可视化仿真调度。同时产线运行数据传递到5G实训室，当设备出现故障时，故障案例即刻融入教学。学员可在虚拟环境中模拟故障排查与修复，快速提升实战能力。

5G实训室高度还原真实生产场景，集成PLC控制系统、工业机器人等设备，结合数字孪生3D建模构建虚拟产线。学员通过虚实结合的模拟操作，学习工艺优化、设备调试等核心技术。凭借丰富的实践经验，学员毕业后能迅速适应智慧产线工作，实现人才培养与产业需求的无缝对接。

某未来实验室智慧产线借助数字孪生实现生产可视化（见图1），设备故障率大幅降低。配套的5G实训基地培养出的学员实践能力突出，展现出强大的技术应用能力，获得广泛认可。

智慧产线与5G实训基地的深度融合，实现了技术共享、数据互通与人才共育。随着5G与数字孪生技术的持续迭代升级，这种创新融合模式将在更多领域拓展应用，为产业升级与新质生产力发展注入强大动能。ZTE中兴

5G独立专网硬核安全能力， 推动5G行业应用健康发展



王意军

中兴通讯RAN产品安全
规划工程师

5 G独立专网是基于5G的移动通信技术，主要用于企业和园区内部的移动通信和数据传输，具有大带宽、低时延和高可靠特性。垂直行业应用的高业务价值、行业应用多样化等特征，使得5G独立专网与垂直行业深度融合发展的同时也面临着新的安全风险与挑战。

5G独立专网面临的安全风险

相比于前几代的移动通信网络，5G网络对安全机制的考虑更充分，但其安全体系设计是面对公众用户，与行业用户的高安全需求存在一定差

距。随着5G独立专网逐步拓展到千行百业，尤其是一些关键基础设施领域，5G独立专网的安全性倍加重要。

面向行业的5G独立专网主要存在以下安全风险（见图1）：

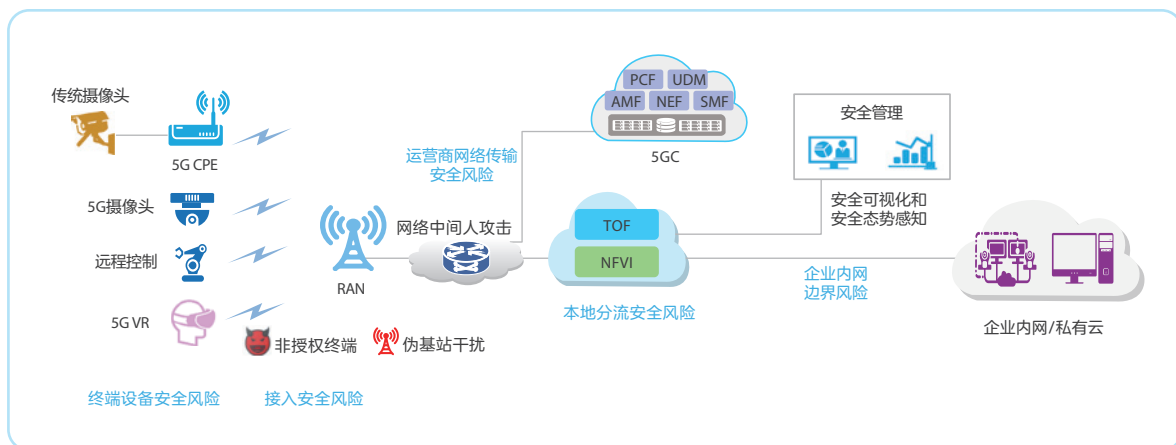
● 物理安全风险

相比于运营商机房，5G独立专网设备一般部署在相对不安全的物理环境中，更容易受到物理攻击，如非法访问物理设备的I/O接口获取敏感信息、非授权访问设备等。

● 终端设备安全风险

行业终端设备复杂多样，安全能力差异大，终端存在被窃取伪造的风险，终端软硬件漏洞会

图1 5G独立专网
安全风险



导致敏感数据泄露、被篡改；终端身份易被盗用，非法终端接入5G独立专网，攻击行业专网业务系统，会造成敏感数据泄露等严重后果。

- 接入安全风险

行业终端通过无线空口接入5G独立专网基站，面临空口中对用户数据的窃取和篡改、空口信令风暴导致DDOS攻击拒绝用户接入、伪基站安全风险以及在行业作业环境下的空口恶意干扰等安全风险。

- 传输安全风险

5G独立专网的传输网相比于运营商的传输网络安全性较弱，数据在传输过程中面临被窃听、篡改的安全风险。5G独立专网与企业内部网络的边界互联带来更多的暴露面风险，其出口边界面临DDOS攻击安全风险。

- 运维管理安全风险

5G独立专网应用场景多样，给安全管理和运维管理带来了新的安全风险。5G专网的运维面向行业开放，给行业客户提供自主运维管理能力，运维管理系统可能会受到入侵、非授权访问或越权访问的风险，并面临非法篡改网络配置、泄露管理信息等安全风险。

5G专网行业应用等级保护安全要求

我国高度重视5G网络技术的发展和应用，在推动5G发展的同时，5G安全也被提高到国家战略层面。2020年3月，工信部发布《关于推动5G加快发展的通知》，要求加强5G网络基础设施安全保障。2021年7月，工信部等十部门在《5G应用“扬帆”行动计划（2021—2023）》中明确提出，要加强5G应用安全风险评估，开展5G应用安全示范推广，提升5G应用安全测评认证能力，全面提升5G应用安全。

垂直行业高业务价值引发更多攻击风险，大都以国家安全数据、商业机密等为目标。面对严峻的行业安全趋势，国家加强了对关键信息基础设施的监管。《信息安全技术 信息系统安全等级

保护基本要求（GB/T 22239-2019）》（以下简称“等保要求”）被广泛应用于各个行业领域，指导用户开展信息系统安全等级保护的建设整改、等级测评等工作。“等保要求”提出了一个中心、三重防护的安全保护体系，实现对新技术、新应用安全保护对象和安全保护领域的全覆盖，注重全方位主动防御、动态防御、整体防控和精准防护。“等保要求”分为通用要求和扩展要求两部分，通用要求是针对比较共性的基础网络要求来进行定义，包括：安全物理环境要求、安全通信网络要求、安全区域边界要求、安全计算环境要求、安全管理中心要求五个层面；安全扩展要求主要针对新技术新业务，如云计算、移动互联网、物联网安全和工业控制等领域的扩展安全要求。

- 安全物理环境：针对环境安全防范与物理环境相关的威胁，保护系统和建筑及相关基础设施。
- 安全通信网络：针对通信网络提出的安全控制要求，包括网络架构、通信传输、可信验证等三个方面。
- 安全区域边界：针对网络边界提出的安全要求，主要涉及边界防护、访问控制、入侵防范、恶意代码防范、安全审计、可信验证等方面。
- 安全计算环境：应用系统是5G应用行业业务开展的重要组件，安全计算环境涉及网络设备、核心应用系统、操作系统及数据库的内部所有对象，包括身份鉴别、访问控制、可信验证、数据机密性和完整性、入侵防范和个人信息保护。
- 安全管理中心：针对整个系统提出的安全管理方面的控制要求，包括系统管理、审计管理、安全管理和集中管控。

5G独立专网安全能力

5G独立专网安全能力满足《信息网络安全等

级保护基本要求》等相关法律法规要求，对标等保2.0三级要求，高标准实施安全区域边界、安全计算环境和安全通信网络要求，以防火墙、IPS、态势感知等传统技术手段，并结合安全资源池化、安全能力原子化等手段，通过安全功能编排和自动化部署，实现安全能力协同管理、按需灵活部署，满足5G独立专网行业的动态、差异化安全需求。

● 物理安全能力

在5G独立专网场景中，网元会以5G基站、算网一体机、专用5GC等形态下沉到行业专网或园区，网元设备具备防拆、防盗、防篡改等物理安全保护机制，同时通过对网元设备的端口防护和安全加固，确保物理I/O的可信接入。

● 终端安全

对终端的软件系统进行安全加固，内置入侵检测插件，实时感知终端设备的安全状态，支持安全管理中心纳管实现终端管控和审计，采用终端身份认证、访问控制、加密存储等技术，确保终端设备的安全接入和数据安全。

● 接入安全

5G网络自身提供终端的接入认证、二次认证、双向鉴权等纵向认证能力，同时根据不同应用场景提供5G终端的网络准入和访问控制能力，多重接入控制确保5G独立专网终端接入基站的合法性；5G专网终端与基站之间空口启用机密性和完整性保护，同时支持空口DDoS攻击的检测和反制、伪基站的检测和防御，确保接入过程的安全。

● 网络安全

5G独立专网的管理面、业务面、控制面的不同网络平面的流量采用隔离防护，不同的功能接口进行子网进行逻辑隔离，针对用户域、接入网域、管理域和企业业务域的互联要求划分安全子域，域间采用防火墙、ACL实施访问控制、入侵检测、防病毒等方式实现边界安全，实现跨域互联的流量隔离、访问控制和攻击防护。

● 数据安全

基于企业数据不出园区的原则，5G独立专网从组网和设计上保证企业数据的安全性，对5G独立专网中的数据进行数据加密传输和存储等措施，确保数据安全。对于重要数据，可采用国密算法进行E2E加密保护，实现数据的不泄露。

● 运维管理安全

5G独立专网运维管理安全具备资产管理功能，能对5G独立专网相关资产进行识别，实现基础数据的收集、处理和统计分析，针对专网的设备和组件制定安全配置基线要求，定期实施基线核查。定期对5G专网各类安全日志和事件进行统一分析，建立态势感知系统，可视化安全状态和安全威胁数据程序，全面掌握网络安全状态，发现安全威胁及时处置，实现提取预判、预防、安全事件及时预警、评估风险、快速响应，形成闭环处置能力，降低安全事件对网络的影响。

● 安全测评

定期对5G专网进行安全测评，包括设备级安全测评、网络级安全测评、行业应用级安全测评等。通过安全测评，发现网络中存在的安全漏洞和风险，及时采取整改措施。

中兴通讯的5G专网安全解决方案遵循等级保护2.0标准设计，进行“一个中心，三重防护”设计和安全方案部署，覆盖等级保护2.0通信网络、区域边界、计算环境、安全管理等多维度安全要求。

5G专网应用场景正在从移动互联网拓展到工业互联网、车联网、医疗健康等广泛的行业应用领域，其价值在垂直行业应用中逐步得到体现。3GPP 5G安全能够满足行业通用安全需求，但面向行业的网络安全能力还需根据不同行业不同场景进行差异化定制。中兴通讯5G专网网络安全能力，遵从安全等级保护、安全防护等相关规范的要求，满足5G行业网络规划、建设、部署和运行的全生命周期安全需求，推动“5G+”行业应用的健康发展。[ZTE中兴](#)

蓝色油田的通信革命：中兴通讯 助力中海油打造智慧能源新标杆

2023年7月，随着渤海湾钻井平台5G专网正式开通，中海油海上油田全面迈入5G时代。中兴通讯联合辽宁电信与中海油共同打造的“海底光缆+微波+5G”融合专网，解决了离岸40~300公里海域的通信难题。这场通信技术的深海突围，推动我国最大海上油田开采实现从“人力密集型”向“数据驱动型”的历史性跨越。

传统海上油田只在主平台上架设微波设备与陆地通信，周边船只离开平台后只能通过卫星通信。在面对海上台风、大雾等恶劣天气时，网络时延大、速率低、移动性受限，网络中断频发，严重制约了海上作业的安全高效运行。中海油亟需一场通信革命解决长期困扰海上作业的瓶颈。

中兴通讯联合辽宁电信，率先以渤海湾为试点，在中海油建设5GC控制面，同时将UPF与5G基站部署在各钻井平台上。通过海底光缆，将中海油与渤海湾上7个钻井平台连接在一起，并利用基站的超远距离覆盖，实现了周边海域的5G通信。

由于各钻井平台使用了统一的5GC控制面，钻井平台上基站连续覆盖，周边作业船只可以在不同平台间无缝切换、互通，作业船只及平台上设备数据通过5G专网基站回传到平台上的UPF，

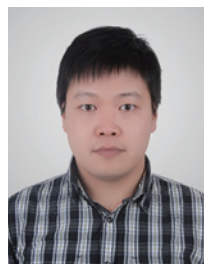
由UPF进行本地数据卸载、转发至平台应用服务器和总部应用服务器分析，保障数据不出作业区域，同时可以满足大带宽、低时延业务要求。

初战告捷后，中海油其他各分公司纷纷希望分享革命的果实。在2024年，中海油东营分公司在渤海湾南岸、中海油上海分公司在东海、中海油深圳分公司在南海、中海油湛江分公司在北部湾，陆续搭建了5G专网，在钻井平台上建设UPF与5G基站，同时接入总部的5GC控制面。至此，一张跨海域的5G专网初具雏形。

在这张网络中，中兴通讯量体裁衣，针对不同海域采用不同方案。

在无线层面，为满足中海油各海上平台及附近海域网络覆盖需求，通过在海上平台建设超远覆盖的基站解决海上网络覆盖问题。基站使用波束赋形技术，通过调节各天线发射信号的相位，使其在终端接收点形成电磁波的叠加，从而提高接收信号强度；同时通过高增益定制终端SE9102接入5G网络，结合不同天线特点，采油船平台采用定向天线，倒班船采用全向天线，并将终端改造为外置天线，提升射频增益改善无线链路，进而实现数据传送速率最大化。

在传输层面，上海海上平台距离陆地约

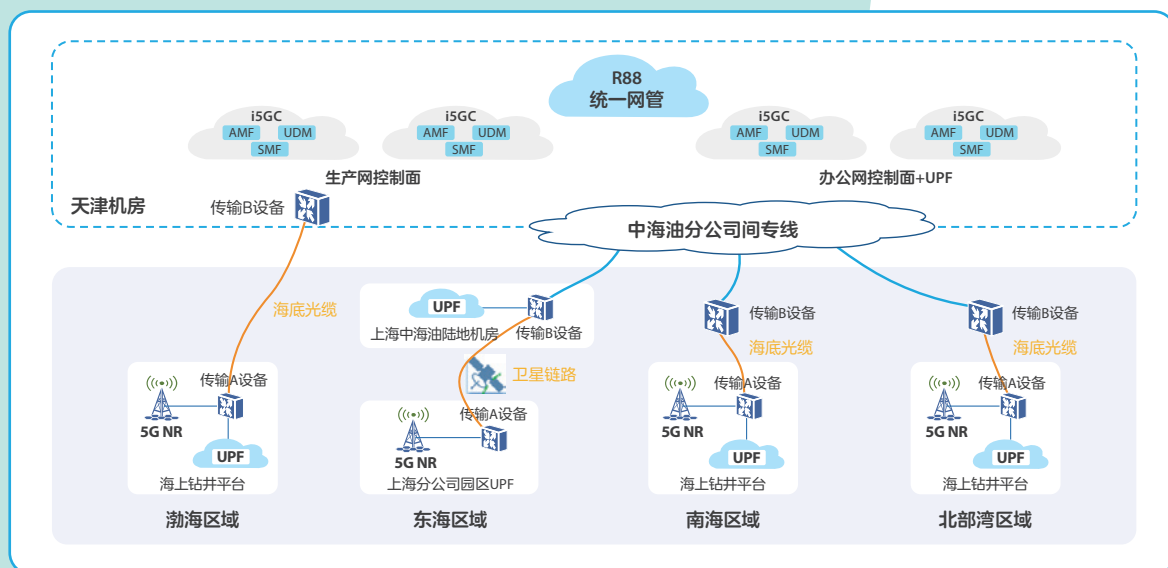


王铮
中兴通讯专网规划工程师



韦立
中兴通讯专网规划工程师

图1 中海油5G专网
整体架构



300km，使用卫星回传方式，辽宁、东营、深圳、湛江钻井平台通过海底光缆接入电信A设备及B设备。各海油分公司设备通过跨省OTN专线与总部5GC连接，打通海油内网，用于传输5G专网的控制信令。取代之前微波方案，保证了传输的稳定可靠。

核心网层面，中兴通讯面对ToB场景采用轻量化i5GC，包含5GC中的AMF、SMF、UDM等主要网元，旨在为中海油提供轻量化、行业定制增强以及本地简化运维的5G核心网。

- 轻量化部署：i5GC占地小，能耗低，硬件投入少，可以适应不同环境，按需部署。
- 广泛连接：i5GC可以扩展支持4G/5G/eMTC/NB-IoT等融合接入能力，也支持5G LAN、QoS Monitoring、FRER、TSN等创新特性演进，为海上平台及远洋船只提供丰富的接入方式；
- 极致安全：利用5G内置的机密性、完整性保护特性，防止终端信息泄露，实现终端的安全接入，针对行业客户内部不同业务流量的差异性安全需求，可基于不同DN实现业务隔离，并分别使用安全隧道，保证海上作业与办公流量互不干扰。
- 极简运维：i5GC设备软硬一体化设计，降低部署、运维、使用的难度，提供简易的系统监控功能，赋能中海油客户自主运维。

整体方案层面，天津部署5GC控制面和统一网管，渤海、东海南海、北部湾区域海域钻井平台部署用户面UPF（见图1）。辽宁、东营、深圳、湛江区域无线基站与UPF通过海底光缆接入陆地办公网；上海通过卫星接入陆地办公网。所有终端由总部i5GC中的UDM统一放号管理，满足不同分公司作业船只在不同海域间的漫游场景，同时各子公司使用不同号段区分，便于管理。并在总部部署统一网管，实现无线、传输、核心网多维度统一运维管理，提供完善的网络配置、故障监控、统计、跟踪分析、版本升级、安全管理等核心运维能力。内嵌iDOS企业门户，提供业务看板与设备看板，通过大屏呈现，实现可视化运维。

为了配合中海油网络快速开通上线，中兴通讯提供免设计、免安装、免调试的三免方案，在产线完成预安装，设备到达各分公司后根据现场环境一键改配。设备运输至钻井平台上直接连线加电即可工作，现场开通时间小于24小时，极大缩短了工程周期。

中兴通讯与中海油的合作中，5G专网不仅解决了海上油田的通信瓶颈，更重构了海洋油气开发的生产范式，具有可复制效应，为以后更多远洋场景提供了宝贵的借鉴意义。正如中海油总工程师所言：“5G不是简单的技术升级，而是打开深海能源宝库的金钥匙。” ZTE中兴



nubia Neo 3 GT

机甲战神 天生赢家

6000mAh*
80W超级快充

120Hz OLED
6.8英寸全高清护眼屏

4083mm²*
VC散热系统

电竞级肩键
极致操控

赛博机甲
设计

ZTE中兴

成为网络连接和智能算力的领导者
让沟通与信任无处不在