



中国通信学会

CHINA INSTITUTE
OF COMMUNICATIONS

5G专网前沿报告

(2021年)

中国通信学会

2022年3月

版权声明

本前沿报告版权属于中国通信学会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国通信学会”。违反上述声明者，本学会将追究其相关法律责任。

专家组和撰写组名单

专家组：

组长：

张同须 中国移动通信研究院院长

副组长：

段晓东 中国移动通信研究院副院长

撰写组(按单位排名)

| 单位 | 姓名 |
|-----------|-----|
| 中国移动通信研究院 | 张昊 |
| 中国移动通信研究院 | 魏彬 |
| 中国移动通信研究院 | 姜怡 |
| 中国移动通信研究院 | 于天意 |
| 中国移动通信研究院 | 孙滔 |
| 中国移动通信研究院 | 张剑寅 |
| 中国移动通信研究院 | 都晨辉 |
| 中国移动通信研究院 | 黄震宁 |
| 中国移动通信研究院 | 徐芙蓉 |
| 中国移动通信研究院 | 孙晓雯 |
| 中国移动通信研究院 | 王丹 |
| 中国移动通信研究院 | 冉鹏 |

前 言

5G 是新基建领头羊，是数字经济发展的重要引擎，以及千行百业高质量发展的重要驱动力。5G 专网是基于 5G SA 网络为垂直行业打造的高质量、定制化、专属化的技术、网络和服务体系，将助力各行业加快数智化转型，降本增效，实现上下游产业链的升级更新。

在产业各方的共同努力下，5G 专网已在国内外初步实现了商用部署。在海外，5G 专网在美国、德国、日本等制造业较为发达的国家已先行开展应用探索。在国内，我国政府高度重视 5G 专网的发展，并在政策上给予了全面支持。当前我国在 5G 专网相关的标准化、产业成熟和应用等方面均处于全球领先地位，在工业制造、采矿、钢铁、电力、港口等国民经济的重要行业均实现商用落地。

5G 专网的发展已经取得了显著的成果，但要全面实现服务千行百业的目标，仍需一个相互促进、螺旋式演进的过程。目前，5G 专网基于 3GPP R15 版本标准的高带宽和部分低时延能力，主要解决了垂直行业对于网络接入和业务承载的初级需求。但面向垂直行业的进阶需求，5G 专网仍需持续演进增强，向极致性能、高可用性、高可靠性、定制化、智能化等方向发展，才能真正实现 5G 与千行百业的深度融合。因此，亟需产业各方结合实际需求，共同制定 5G 专网技术的演进路线图，分阶段、有序推动 5G 专网新技术的快速成熟和商用引入。

本报告主要研究 5G 专网技术的发展趋势、演进阶段、关键技术特性，以及所面临的挑战，旨在抛砖引玉，携手产业各方共同推进我

国 5G 专网与垂直行业的协同发展与创新。

本报告的主要撰写人包括张昊、魏彬、姜怡、于天意、孙滔、张剑寅、都晨辉等，在此对以上专家的贡献表示感谢！

中国通信学会信息通信网络技术委员会

主任委员：

A handwritten signature in black ink, appearing to be the name '姜怡' (Jiang Yi), written in a cursive style.

2022 年 3 月

目 录

| | | |
|---|------------------------------------|----|
| 一 | 研究概述 | 1 |
| 二 | 5G 专网产业海外发展态势 | 1 |
| 三 | 5G 专网产业国内发展现状 | 3 |
| 四 | 5G 专网技术发展及预见 | 5 |
| | (一) 5G 专网技术演进阶段划分 | 5 |
| | (二) 5G 专网技术现状 | 6 |
| | 1. 性能达标 | 7 |
| | 2. 网络专用 | 7 |
| | (三) 5G 专网技术中期发展规划 | 8 |
| | 1. 网络指标多样化 | 10 |
| | 2. 网络能力定制化 | 11 |
| | 3. 安全管控灵活化 | 11 |
| | 4. 网络服务自主化 | 12 |
| | (四) 5G 专网技术远期演进目标 | 12 |
| | 1. 网络指标极致化 | 13 |
| | 2. 网络服务智能化 | 15 |
| 五 | 5G 专网工程难题 | 15 |
| | (一) 端到端 SLA 指标测量、保障和性能平衡存在难度 | 15 |
| | (二) 网络确定性实施难度高，商用面临较大挑战 | 16 |
| | (三) 核心网向客户侧边缘下沉，带来设备运维挑战 | 17 |
| | (四) 5G 专网业务灵活快速发展，专网安全面临挑战 | 17 |
| 六 | 政策建议 | 17 |
| | (一) 技术政策建议 | 17 |
| | 1. 积极推动垂直行业深度参与专网行业标准化工作 | 17 |
| | 2. 结合 5G 专网应用需求调整行业政策要求 | 18 |
| | (二) 产业政策建议 | 18 |
| | 1. 对 5G 行业专用频段采取审慎态度 | 18 |
| | 2. 促进行业终端模组成熟，降低模组成本 | 19 |
| | 3. 加强专网产业链的自主知识产权把控 | 19 |

一、研究概述

5G 作为“新基建”领头羊，是实现我国经济社会数字化转型的重要手段和新型信息基础设施。历经两年发展，我国已建成全球规模最大的 5G SA 精品网络，已满足垂直行业网络接入和业务承载的初级需求。为了保障我国 5G“新基建”战略目标和历史使命的顺利达成，亟需产学研用协同发展，以及 5G 垂直行业和通信领域的技术融合，打通 5G 上下游产业链，共绘一张 5G 专网技术演进路线图，一方面应尽快推动 5G 专网近中期产业成熟，满足行业客户在低时延、高可靠、确定性等方面的需求；另一方面应积极布局 5G 专网远期的极致化和智能化能力，更好的助力千行百业高质量发展，开创我国 5G 专网创新发展新局面。

二、5G 专网产业海外发展态势

在海外，5G 专网首先在美国、德国、日本等制造业较为发达的国家先行开展应用探索。2019 年以来，这些国家面向各行各业逐步开放了 sub 6 以及毫米波频段的 5G 专网频段申请许可，促进了制造、交通物流、科研、矿山油气等行业的 5G 应用实践。行业标准组织（如 IEC 等）、产业组织（如 5G-ACIA、5GAA 等）将通信标准组织（如 3GPP、ITU、GSMA、IEEE 等）制定的规范与具体产业应用相结合，积极开展 5G 和行业结合的新技术标准和应用规范的制定。

注：

➤ IEC (International Electrotechnical Commission, 国际电工协会)

➤ 5G-ACIA (5G Alliance for Connected Industries and Automation, 工业互联与自动化 5G 联盟)

► 5GAA (5G Automotive Association, 5G 汽车协会)

我们观察到国外专网的发展存在以下三大态势。

一是海外 5G 专网申请有趋缓趋势：海外 5G 专网应用基本以区域应用为主，受限于产业情况、应用方案成熟度和疫情等多方面因素，未持续井喷，近期使用申请有趋缓趋势。以德国为例，ABI Research 2021 年 8 月发布报告援引德国联邦电信管理局（Bundesnetzagentur）统计显示，2020 年下半年有 80 多个新的本地许可证申请，但 2021 年第二季度仅增加了 20 个新申请，市场出现观望情绪。现阶段海外专网项目仍多处于探索阶段，以示范和试验为主，未能广泛实现企业生产流程优化和生产效率提升，尚未产生显著的应用价值，因此制约了海外 5G 专网的发展。

二是 5G 专网应用中电信运营商作用仍不可或缺：5G 专网建设运营是关键难题，电信运营商可协助企业解决 5G 专网建设和运营技术较高、设备成本和维护成本不菲等挑战，降低门槛。大企业有足够的能力和意愿申请 5G 专网频谱并运营自己的 5G 专网，而占比更高的广大中小企业缺乏相关能力和经验，以运营商为代表的电信行业服务提供商可以为其提供 5G 专网服务。海外运营商已开始基于其公网频谱资源、网络规划优化、运营运维经验等竞争优势，向市场提供 5G 专网解决方案。

三是 5G 专网市场出现新玩家和新模式：云计算企业、新兴电信服务提供商、行业巨头等积极性高涨，依托自身在云、网、应用等方面的优势，扩展 5G 专网市场。以微软、谷歌、亚马逊为代表云计算企业，依托其公有云优势及行业客户资源，收购、联合通信网供应商、电信运营商，推出以云为中心的 5G 行业应用及服务；以通信网供应

商、传统专网服务提供商为代表的新兴电信服务提供商，以网为基础，延拓提供云及行业应用解决方案，谋求向行业客户直接提供 5G 专网服务；以西门子为代表的传统工业巨头，依托其在行业应用领域的垄断性优势，将 5G 专网集成到其整体行业解决方案当中。

三、5G 专网产业国内发展现状

5G 是新基建领头羊，是数字经济发展的引擎，可驱动千行百业数智化转型和高质量发展。我国高度重视 5G 的发展，在政策上给予 5G 以全面支持。2020 年 10 月底通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中要求“系统布局新型基础设施，加快第五代移动通信、工业互联网、大数据中心等建设”。2020 年 12 月，工业和信息化部刘烈宏副部长要求加快行业虚拟专网落地，深化共建共享，推进网络建设运维降本增效。2021 年 7 月，工业和信息化部牵头，十部门印发了《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2023 年）》（以下简称《行动计划》），对未来三年我国 5G 发展的目标和重点任务进行了明确。随后，工信部召开全国 5G 行业应用规模化发展现场会，强调认真贯彻落实党中央、国务院决策部署，以《行动计划》为抓手，把 5G 建设好、发展好、应用好，全力推动 5G 行业应用创新，更好的服务经济社会高质量发展，开创我国 5G 应用创新发展新局面。

标准化推进方面，我国已成为全球 5G 发展的重要领跑者。我国三大电信运营商、通信设备商及研究机构等全面参与并引领了全球 5G 标准化进程，在 5G 技术标准和专利数量方面均居全球第一阵营。我国在 5G 标准必要专利声明数量方面全球占比超过 38%（截止 2021

年5月），位列全球首位；在5G标准贡献上，中国公司华为、海思、中兴、中国移动、中国信息通信研究院、联发科等名列前茅，标准总体贡献度在全球占比达35%。其中，中国移动在3GPP R15到R17标准阶段，主导立项81个，提交文稿7000多篇，申请专利3300多个，标准贡献位于全球运营商第一阵营。我国通信设备商华为在全球5G标准贡献度、标准必要专利声明数量（截止2021年5月，全球占比15.4%）等方面表现突出，均名列全球第一。

产品和服务方面，三大电信运营商和通信设备商纷纷推出各具特色的5G专网服务和产品解决方案，不断推进设备成熟和应用落地，致力于开拓5G使能行业数智化转型的新蓝海。三大电信运营商均于2020年发布5G专网解决方案，满足行业客户差异化的业务需求。中国电信提出“致远”、“比邻”、“如翼”三类5G定制网服务模式，实现网随云动、云网一体；中国移动将5G行业专网组网模式划分为优享、专享和尊享三个等级，实现网随业动，按需建网；中国联通提出“虚拟专网、混合专网、独立专网”5G行业专网三种部署方式，重点结合边缘计算实现网边协同。国内主流通信设备商相继推出5G全线产品解决方案，面向运营商物理专用、混合专网、共享网络等场景，提供轻量化核心网、云网协同等定制化产品；5G专网设备已基本成熟并全面应用落地，R15版本已成熟商用，R16版本已初步具备商用能力。

产业合作方面，为促进我国5G应用产业创新发展，助力5G商用，中国信息通信研究院联合产业各方共同发起成立了AII（Alliance of Industrial Internet，工业互联网产业联盟）和AIA（Applications Industry Array，5G应用产业方阵）等5G行业合作组织，共同推进

5G 专网产学研用协同发展，以及 5G 垂直行业和通信领域的技术交流和融合，打通 5G 上下游产业链，推动产业各方的交流合作，保障 5G 产业环境的健康有序发展。

应用落地方面，我国已处于全球领先地位，在全国范围内实现商用落地和规模部署。目前，我国 5G 应用创新案例已超过 9000 个，其中专网应用覆盖了包括工业制造、采矿、钢铁、电力、港口等 22 个国民经济的重要行业和有关领域，成功应用到远程操控、机器视觉、AGV 设备协同、工业数据采集、远程技术支持等场景，有效提升社会生产效率，显著降低生产成本，促进生产安全，改善生产环境，助力各行业加快数字化转型和生产升级，实现上下游产业链升级更新。

四、5G 专网技术发展及预见

(一) 5G 专网技术演进阶段划分

5G 专网的发展已经取得了显著的成果，但要全面实现服务千行百业的目标，仍需一个相互促进，螺旋式演进的过程。目前 5G 专网基于 3GPP R15 版本标准，主要提供了高带宽和部分低时延能力，解决了超高清直播、远程教学、远程监控、工业质检等垂直行业应用对于 5G 专网的网络接入和业务承载的初级需求。实际上，在大量工业生产作业场景中，不仅仅需要网络的大带宽能力，更需要 5G 专网的高可用性、高可靠性，以及指标极致性等新能力，方可实现 5G 在远程采矿、工厂远程运维、多机协同作业等核心生产环节的应用。这些能力还需要依赖 R16 以及后续更高版本的标准来支持，此外新技术的引入也需要历经标准制定、产品研制到产业融合应用的过程，不能

一蹴而就。因此，需要产业上下游结合实际需求，共同绘制一张 5G 专网技术演进路线图，分阶段、有序推动 5G 专网新技术的快速成熟和商用引入。

结合 5G 技术能力的成熟度，以及与行业应用结合的深入度，5G 专网的技术演进可大致分为三个阶段：

当前阶段（5G 融入）：主要提供基于大带宽的基本接入服务，具备业务承载、质量保证和业务隔离的能力；

中期发展（5G 使能）：在当前阶段基础上完成网络指标多样化、网络能力定制化、安全管控灵活化、网络服务自主化四个方面的增强；

远期演进（极智 5G）：将重点在网络指标极致化、网络服务智能化等方面对 5G 专网能力进行增强。

（二）5G 专网技术现状

当前尚处于 5G 专网和垂直行业融合的初级阶段，5G 专网通过提供性能达标、网络专用的基础接入服务，为行业客户解决移动网络承载数据业务的最基本问题。随着 5G 行业应用示范和商用服务的开展，5G 专网的初期能力已经实现了在千行百业的初步融入。

表 1 5G 专网现有主要技术能力

| 网络需求 | 业务要求 | 关键技术 | 实现效果 |
|------|---------|-------------|------------------------------|
| 性能达标 | 速率确定性保障 | 切片资源预留 | 预留无线 PRB 资源，保障特定业务的稳定速率 |
| | | QoS 增强 | 通过 GBR、minBR 等手段，保障特定业务的最低速率 |
| | 上行大带宽 | 大上行帧结构、载波聚合 | 提供上行大带宽能力 |

| | | | |
|------|--------|------------|--------------------------------------|
| | 端到端低时延 | 上行预调度、边缘计算 | 空口性能优化，低时延业务就近处理 |
| 网络专用 | 网络专属 | 端到端网络切片 | 业务隔离和网络资源按需动态分配 |
| | | 公专融合 | 通过公专网的频率协同，在提供专属无线覆盖的同时，提高无线频率资源使用效率 |
| | 设备专属 | 专属网元 | 网络资源专享和业务的物理隔离，满足安全隔离特殊需求 |
| | | 边缘分流 | 数据不出场，本地业务安全隔离 |

本阶段 5G 专网技术主要包括：

1. 性能达标

(1) 切片资源预留：基于切片粒度对特定业务特定客户的无线 PRB 资源进行预留，实现无线资源保障以及灵活的资源隔离和共享。

(2) QoS 增强：针对特定保障业务，基站通过配置 GBR 或者 MinBR 参数，定量保障 GBR 承载或高优先级 Non-GBR 承载的速率下限。

(3) 上行带宽增强：通过 3U1D 帧结构、上行载波聚合、补充上行（SUL, Supplementary Uplink）等三种增强技术，满足行业客户对上行峰值速率、上行容量、上行边缘速率的高要求。

(4) 边缘计算：在靠近数据源和客户侧的位置为客户提供计算、存储等基础设施，同时以开放平台为载体，为用户提供云环境、PaaS 能力和边缘应用集成，满足用户对边缘低时延应用的部署需求。

2. 网络专用

(1) 端到端切片：通过无线、核心网和承载等不同领域的网络

切片将 5G 网络划分为不同的逻辑网络，实现业务之间的逻辑隔离。

(2) 公专融合：通过公专网共用基站共用频率、公专网共用基站专网专用频率以及专网专用基站专用频率等无线侧不同组网方案的规划部署，适配协同专网应用场景，提高无线频率资源使用效率，更好实现公网专网融合发展。

(3) 专属网元：通过将用户面网元 UPF 下沉至企业园区，实现业务承载网元的独享部署，以及企业的专建专用。

(4) 边缘分流：提供基于 DNN、切片、ULCL 等技术的业务分流功能，将用户特定业务流量在园区内分流至业务系统，保证敏感业务数据不出园区。

(三) 5G 专网技术中期发展规划

随着 5G 专网技术的不断成熟，5G 专网与垂直行业将进入深度融合和相互促进的阶段。一方面，随着对于行业需求的充分了解，5G 专网的能力增强将更加有的放矢，重点着力于网络指标多样化、网络能力定制化、安全管控灵活化、网络服务自主化四个方面，以提升 5G 专网在行业应用的深度和广度，更加全面地体现 5G 的价值；另一方面，随着行业对于 5G 专网的逐步熟悉和认可，也将加快围绕 5G 技术的产业升级，5G 将使能垂直行业创新出新型生产技术和生产方式。

5G 专网的各项中期能力正在紧锣密鼓地开展国际标准的制定工作，后续将同步推进行业标准制定、产业研制以及行业试点，力争在 2022~2023 年逐步实现商用。

表 2 5G 专网中期主要技术能力

| 网络需求 | 业务要求 | 关键技术 | 实现效果 |
|-------------|-------------|--------------|----------------------------------------|
| 网络指标 多样化 | 空口超低时延 | 空口帧结构、调度机制优化 | 通过空口优化技术，降低空口传输时延 |
| | 超高可靠性 | 冗余保障 | 通过重复传输、冗余路径等技术实现高可靠传输保障 |
| | 确定性时延 | TSN | 通过引入精准时钟和确定性转发机制，实现 5G 端到端网络转发数据的时延确定性 |
| | 米级定位 | 高精度定位 | 满足垂直行业低时延定位和米级定位需求 |
| 网络能力 定制化 | 局域组网定制化 | NPN | 将园区网络进行专属标识，仅允许授权用户接入 |
| | | 5G-LAN | 为企业建立支持二层/三层协议的群组通信网络 |
| | 设备形态定制化 | 一体化设备 | 端到端 5G 网络拉杆箱式解决方案，实现网络便捷、轻量化云网业一体化部署 |
| | | 抗爆设备 | 提供适应采矿等需求的防爆 5G 设备，如本安基站 |
| | | 游牧设备 | 面对应急等临时覆盖场景，引入 5G 游牧式基站 |
| | 安全管控 灵活化 | 专网安全 | 接入控制 |
| 数据安全 | | 二次鉴权 | 企业掌握用户访问园区网络的管控权 |

| | | | |
|---------|----------|------|--------------------------------|
| | | AKMA | 为专网用户提供运营商独有的应用层安全保护 |
| 网络服务自主化 | 可感、可视、可管 | SLA | 企业通过 SLA 管控体系，完成企业业务质量的自主管理和调控 |

中期阶段对应的 5G 专网技术主要包括：

1. 网络指标多样化

(1) 空口调度机制优化：针对周期性较强且包大小固定的控制类业务，引入上行免调度技术，通过基站提前分配上行传输资源，有效降低调度等待时延；面向工业控制、物联网等小数据包传输场景，通过 mini-slot 技术将数据调度和传输时间单位由时隙缩短为符号，有效降低空口传输时延；引入 uRLLC 业务抢占技术，允许 uRLLC 业务抢占 eMBB 业务的无线资源快速发送数据，有效降低 uRLLC 业务的空口传输等待时延。

此外，还支持针对业务需求，进行帧结构、SR 周期、上行预调度、DRX 周期、调度策略等算法参数和功能开关的联动配置。

(2) 高可靠数据传输冗余保障：在 NR 物理层引入重复传输、小负荷 DCI 格式、低码率 CQI/MCS 表格、Multi-TRP 等技术，提高调制解调的容错性和数据传输的可靠性；PDCP 层通过引入 PDCP 复制等技术提高数据的冗余，从而提高数据传输的可靠性。

核心网引入双 PDU session、N3 冗余等方案，保证数据在核心网的可靠传输。

(3) TSN：通过细化 N3 接口确定性、冗余传输机制、时钟源保护机制等方案提升可靠性，同时通过增强资源调度机制（如多套免调度资源保障、TSCAI 等资源调度增强方案）、QOS 协同调度机制、

业务与网络交互等技术，增强包调度与转发的时延确定性，提供高精度授时能力，提供更可靠的时间敏感通信服务。此外，面向更加广域的确 定性需求，演进支持基于 DetNet 的确定性融合技术，提供更广泛的确定性应用支持。

(4) 高精度定位：引入 5G 蜂窝定位、5G+蓝牙/UWB 融合定位等技术方案，支持高精度定位方法和定位服务的能力开放，满足垂直行业低时延、高精度的定位需求，实现米级定位精度。

2. 网络能力定制化

针对行业需求，尤其是局域场景，对网络架构、网络设备、网络功能按需优化和定制：

(1) NPN：通过运营商网络切片或独立部署为客户划分出一个独立的接入/服务区域，并基于 CAG ID 等私有网络标识将该区域独立标识和管控，仅允许具有相关配置和授权的用户接入。

(2) 5G LAN：为企业在移动网络上创建私有局域网，支持网内用户群组 and 组内点对点、点对多点的通信方式，实现终端二层或三层局域网直接互联。

(3) 面向特定部署场景的新设备形态：面对应急、移动等临时覆盖场景，引入 5G 游牧式基站；面向采矿、挖掘等特殊行业场景，研制可适应采矿环境具有防爆等要求的 5G 通信设备，如本安基站；面向边缘网络部署需求，引入定制化 5G 核心网和边缘一体化集成设备。

3. 安全管控灵活化

(1) 接入控制：针对部分有极严格安全隔离要求和极高网络确定性要求的场景，可通过单独 PLMN、TA 与切片绑定、CAG/NID 等

技术手段实现专用小区/基站，即限制公网用户接入专网小区。

(2) 二次鉴权：在基于运营商提供的卡鉴权之外，在终端建立 PDU 会话时提供对用户进行第三方鉴权的能力，使得企业可对接入企业专网的终端进行灵活管控，保障企业专网的安全。

(3) AKMA：基于运营商的接入认证凭证，为应用提供商提供身份认证和通信加密的端到端安全解决方案，帮助垂直行业解决密钥分发和管理难题，为专网用户提供运营商独有的应用层安全保护。

4. 网络服务自主化

(1) SLA：提供 SLA 指标精细化测量、异常智能判断、故障分段可视、网络健康度智能预测等能力，满足网络指标的可测、可视、可保障，从而提供智能化、高精度、自动化的 SLA 服务体系，并作为未来数字孪生的实现基座。

(四) 5G 专网技术远期演进目标

5G 专网历经中期的蓬勃发展，5G 专网的价值已经得以充分展现，5G 带动产业的数字化转型已经取得阶段性成效，5G 新技术的红利将进入到一个平台期。此阶段，5G 专网将聚焦在“极”、“智”化的要求，可从 5 个专题进行能力突破，强化 5G 专网的服务能力与服务水平，为一些高端的应用提供进阶的品质服务。

5G 专网的远期能力将在 R18 及以后版本的标准中逐步完善，预计将在 2025 年开始逐步实现商用。

表 3 5G 专网远期主要技术能力

| 网络需求 | 业务要求 | 关键技术 | 实现效果 |
|------|----------|------------|--------------------|
| | 网络时延“极”小 | 去激活态 uRLLC | 减少在进行可靠性保障过程中的时延开销 |

| | | | |
|-------------|---------------|----------|----------------------------------------|
| 网络指标 极致化 | | 灵活全双工 | 通过全双工技术,进行上下行的时隙复用,进一步降低空口时延 |
| | 终端功耗 “极”低 | RedCap | 在满足一定峰值速率情况下的终端节电 |
| | | 新型无源物联网 | 构建极低成本,极低功耗的小范围物联网 |
| | 安全防护 “极”强 | 可信内生安全 | 为客户构建网元可信、网络可靠、服务可用的 5G 专网 |
| | | 主动安全防御 | 强化 5G 专网安全防御能力,抵御外部冲击 |
| | | 安全运营服务 | 为行业客户提供按需、灵活的安全保障服务 |
| 网络服务 智能化 | 服务保障 “智”能化 | NWDAF | 借助 NWDAF 网元,实现 5G 网络资源配置以及网络服务质量的自优化 |
| | | MDAS | 借助 MDAS 系统,实现 5G 专网的智能化编排和意图化调优 |
| | | SPN 业务感知 | 实现业务按意图开通和维持、故障告警处理、网络质量地图等智能化处理 |
| | 网络监控 “智”慧化 | 数字孪生 | 利用数字孪生可视化优势构建 5G 专网孪生体,实现 5G 专网的可视、可控。 |

远期阶段 5G 专网技术主要包括:

1. 网络指标极致化

(1) “极”小的网络时延

●去激活态 uRLLC: 针对工业自动化场景下的传感器等设备,通过非激活态传输频度高、周期和非周期混合的大量小数据包,避免

了终端进行非激活态到连接态的转换，减少 uRLLC 数据包的传输时延并降低网络开销。

- 灵活全双工：通过子带全双工、同时同频全双工技术，在一个 TDD 频带同一个时隙同时进行上下行传输，保证更多的 UL/DL 时隙，从而进一步降低时延。

(2) “极”低的终端功耗

- RedCap：为了更有效的支持工厂传感器网络、可穿戴设备等中低速低成本需求，通过 RedCap（reduced capability NR devices）技术，实现终端复杂度和成本的降低，并通过低功率唤醒机制以及终端间歇性能量收集等手段，保证 RedCap 在满足 5G 良好带宽增益下的终端节能。

- 新型无源物联网：面向极低成本、极低功耗（免电池）、较小范围内应用的物联网需求，通过将 RFID 系统与蜂窝通信结合，实现低成本和便利化的网络部署，并增强运维管理能力，实现更为广泛的万物互联。

(3) “极”强的网络内生安全防护

- 可信内生安全：基于网元自身安全能力与专用安全设备能力的组合，通过智能分析、灵活编排等运维管理手段，形成智能、主动的 5G 安全防护体系，实现网元可信、网络可靠、服务可用的 5G 专网。

- 主动安全防御：使主动防御安全能力成为 5G 网络的基本特征和内在属性，使主动防御安全能力具有自免疫、可动态演进的特性。

- 安全运营服务：依托安全管理中心，基于 AI 和大数据分析能力，为行业客户提供 5G 专网资源池内的安全功能部署和安全运营服务。

2. 网络服务智能化

(1) 服务保障智能化

●NWDAF：引入 NWDAF（Network Data Analysis Function，网络数据分析功能），针对用户体验分析、切片 SLA 保障、行业用户异常监测等典型应用场景，通过网络域数据分析、模型训练以及网络智能调控等手段，实现网络资源配置和网络服务质量的自优化。

●MDAS：引入 MDAS（Management Data Analysis Service，管理数据分析功能），实现针对网管领域的数据价值挖掘，促进网络管理及编排的智能化和自动化；并引入“意图”概念，将行业客户的业务策略转换为必要的网络配置，实现网络配置调优。

●SPN 业务感知：基于 SPN 更强的业务感知和切片自动识别映射能力，实现业务按意图开通和维持、故障告警处理、网络质量地图等智能化处理。

(2) 网络监控智慧化

●数字孪生：构建 5G 专网孪生网络，为行业客户提供直观、具象的端到端 5G 专网解决方案，使行业客户深入了解专网能力、性能以及行业业务的运行状态；并方便行业客户在孪生网络中进行预运维模拟，助力客户在真实网络中的最优调度。

五、5G 专网工程难题

(一) 端到端 SLA 指标测量、保障和性能平衡存在难度

端到端质量保障的主要目标是提供 SLA 指标精细化测量、异常智能判断、故障分段可视、网络健康度智能预测等能力，专网实现中存在四大难点：一是指标测量难开展，SLA 指标千人千面，测量方法

多种多样，需要有统一的指标定义描述及测量方法，以满足千行百业对业务质量的度量 and 评估，且需进一步支持 5G 域内和 5G 系统到业务系统之间的端到端测量能力；二是指标保障难实现，不同指标实现保障方式不同，端到端质量保障需要一套完整的 SLA 闭环保障系统，进行无线、传输、核心网等各域内保障，以及与网管中台联动进行域间协同来满足保障需求；三是确定性指标需要突破“尽力而为”的保障模式，并考虑引入 NWDAF、TSN 等技术手段实现“智能化、确定性”的指标保障；四是性能平衡难兼顾，SLA 指标的测量、监控及保障严重占用设备性能，需要对指标精细度需求、网络资源、设备性能开销进行平衡，此外还需要满足公专网络协同场景的保障平衡需求。

(二) 网络确定性实施难度高，商用面临较大挑战

网络确定性的主要目标是提供有界时延、有界抖动、高可靠的数据传输服务，专网实现中存在四大难点：一是极致性能要求高，部分确定性网络应用场景对低时延和高可靠要求极高，需依赖 uRLLC 等技术满足，需向可商用的 1ms 和 99.9999% 乃至更高指标要求继续演进；二是专用硬件实现难度大，5G 确定性以时间同步和高性能数据报文处理和转发为基础，需要使用专用硬件辅助实现，面临设备实现难度大、终端芯片支持晚等难题；三是多域协同复杂，5G 确定性需要支持终端、无线、传输、承载、核心网以及 5G 外部网络之间的确定性协同，需要解决多域确定性指标划分和协同的难题；四是协议互通和适配阻力大，工业制造网络 OT 域协议七国八制，实现确定性需要长时间的业务培育，破除信息孤岛。

(三) 核心网向客户侧边缘下沉，带来设备运维挑战

能源、港口、航空等重点行业客户出于对网络安全隔离和功能定制的极高要求，已将在客户侧部署下沉的定制化 5G 核心网作为必选要求。但是，定制化 5G 核心网的下沉，将导致运营商核心网的边界扩展到用户侧，从而在设备安全、数据安全、运行维护等方面带来较大的挑战。由于客户侧部署地点多而分散，而且部署环境相比运营商机房在机房环境、设备供电、设备和人员访问管理、驻场维护等方面均存在较大差距，导致运营商在边缘网络设备的升级、巡检维护和故障处理等方面存在响应速度不足、运维成本增加的问题。

(四) 5G 专网业务灵活快速发展，专网安全面临挑战

安全能力是 5G 专网的重要组成部分且存在定制化需求。构建专网需要部署灵活的安全能力、设置合理的安全策略。但目前存在两大难点：一是面向 5G 专网千人千面、灵活多样的部署模式，按需构建各专网安全能力、制定安全策略存在难度，并需要进一步部署智能化、精细化的安全运维能力。二是安全能力建设分散，缺少集中化、智能化的安全中心进行统一管理，同时缺少与网管系统、虚拟资源编排系统联动配合以实现虚拟化安全能力的管理与调度，难以形成统一的安全运营模式。

六、政策建议

(一) 技术政策建议

1. 积极推动垂直行业深度参与专网行业标准化工作

5G 专网业务不是移动通信的单领域问题，而是一个端到端的系

统工程，其中涉及不同垂直行业相关的终端、平台、应用等与 5G 网络的融合，需要垂直行业和电信行业积极开展行业融合探索，加深双方对需求和技术的理解。因此，5G 专网标准从需求到方案的制定都需要各个垂直行业专业人员的深度参与。

综上，建议从政策层面鼓励 CCSA、各垂直行业行标组织、各类 5G 专网团标组织（比如 5G AIA，AII 等）积极开展 5G 专网标准制定工作，吸引各垂直行业的企业和专家深度参与。特别是利用好各个团标组织，针对具体的垂直行业，推进差异化的解决方案，形成规模化复制和推广的样板间。

2. 结合 5G 专网应用需求调整行业政策要求

很多垂直行业针对其生产过程中涉及的信息化系统制定了相关行业要求，对于一些关系国计民生的关键行业（如电力行业）在国家层面也出台了相关政策要求。上述行业和政策要求中，部分要求是基于有线通信系统而制定的，而 5G 专网采用无线接入方式，其在信道划分、资源分配、安全保护等方面与有线通信系统存在较大差异。因此，建议行业政策要求应结合移动通信系统的特点进行适当调整，在不降低业务本身性能、安全等级的前提下适配 5G 专网应用场景。

（二）产业政策建议

1. 对 5G 行业专用频段采取审慎态度

垂直行业专网的建设需要一整套专业的、有保障的技术与运维支撑，电信运营商专网具有频谱丰富、端到端运维经验成熟等优势，能够为垂直行业提供较高质量的网络建设和运维服务，赋能垂直行业，满足生活生产需求。同时，各行业频段专用会带来规划困难、干扰大

网、频谱资源利用率低、产业分散等问题。因此，建议通过政策引导行业客户优先使用运营商 5G 行业专网，同时建议政府鼓励在民生、公共事务领域以运营商专网作为首要选择。

2. 促进行业终端模组成熟，降低模组成本

在终端模组方面，面临行业终端模组成本较高、目前仅头部企业使用的问题，不满足大规模部署的条件，同时终端新能力、新技术的响应方面仍存在一定的滞后性。因此，建议加强对于终端产业的引导，推动 5G 模组规模化商用，构建模组分级分类产业化体系，面向差异化场景需求开展精准化产品研发，提升行业模组定制化能力，降低模组成本和行业应用的准入门槛。

3. 加强专网产业链的自主知识产权把控

在当前国际竞争与合作并存的大背景下，应将自主知识产权作为 5G 专网发展的重要目标导向，加强 5G 专网全产业链的自主知识产权的储备和保护。其实现过程不仅需要国家相关部门从政策上做牵引扶持，更需产学研用多方合力，集中攻克国内产业链缺失的关键核心技术，逐步实现全产业链自主可控与可持续发展的正向循环，推动 5G 专网技术及产品实现由“可用”至“好用”再到“敢用”的蜕变。

中国通信学会

地址：北京市海淀区万寿路 27 号院 8 号楼

邮政编码：100840

联系电话：010-68203021

传真：010-68203004

网址：<https://www.china-cic.cn/>

