



中国通信学会

CHINA INSTITUTE
OF COMMUNICATIONS

5G通信建设工程技术 前沿报告

（2018年）

中国通信学会
2018年12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

顾问：

钮海明 中国通信建设集团有限公司董事长、总经理

专家组：

组长：

许楚国 中国通信服务股份有限公司副总经理 教授高工

成员：

姓名	单位	职务
李全法	中国通信建设集团有限公司	副总经理兼 技术负责人
孙丽珍	中国通信建设集团有限公司	副总工程师 教授高工
梁麦先	中国通信建设集团有限公司	副总工程师 教授高工
韩鹏	中国通信建设集团有限公司 技术支撑中心	总经理 高工
申虹	中国通信建设集团有限公司 战略规划部	专家/高工
李江武	中国通信建设集团有限公司 战略规划部	国家一级注册建造 师/高工

撰写组：

中国通信建设集团设计院 有限公司副总经理	陈崑崑
中国联通网络技术研究院 专家	刘光海
中国通信建设集团有限公司 技术支撑中心	杨安琪
中国通信建设集团有限公司 技术支撑中心	张宇航


前 言

“4G 改变生活，5G 改变社会”。3G/4G 时代，移动互联网实现了人与人之间的迅捷连接和移动宽带数据接入。到了 5G 时代，5G 网络将提供更加强大的移动接入和连接能力，不仅仅是人与人之间，还包括人与物、物与物之间都可以进行更加广泛的多种连接，每个人、每个物都会成为互联网上的一个节点，数据交互内容和方式也将更加丰富多样，从而开创万物互联的新时代。随着智慧城市、智能家居的快速发展，5G 技术与人工智能相结合，与生产流程和工业控制相结合，将极大改变人类的生产方式，极大提升社会生产力水平，从而极大提高国家的综合竞争力。

基于人们对于 5G 网络的应用需求，ITU、3GPP 等国际组织也已开始推进 5G 网络技术标准研制的相关工作；国际上许多国家都着手在频率资源准备、产业发展等方面加快 5G 布局；相关运营商也正积极准备 5G 商用的一系列实验室和外场测试等工作。我国的 5G 技术研发试验分为关键技术试验、技术方案验证和系统验证三个阶段实施。目前，我国的 5G 移动通信技术已全面进入到产业冲刺阶段，即将正式走入人民生活。

作为通信建设领域的综合性企业，中国通信建设集团有限公司一直积极推进 5G 网络技术研究和技术人才储备工作，长期开展 5G 网络关键技术的跟踪研究，并且结合多年来在通信工程建设领域的工作积累，探索制定未来 5G 网络规划、设计、建设、运维等方面的技术解决方案。本报告，就是技术团队依据研究成果，针对未来可能遇到的

5G 技术和工程难题给出若干技术政策和产业政策建议。希望以此起到抛砖引玉的效果，促进其他通信网络建设和运营企业展开对 5G 的讨论和研究，共同推进我国 5G 网络工程建设和技术发展。

A handwritten signature in black ink, appearing to be '许辉' (Xu Hui), with a stylized flourish at the end.

2018 年 12 月 5 日

目 录

一、研究概述.....	1
二、全球发展态势.....	2
(一) 5G 的标准化进展.....	2
(二) 世界主要国家 5G 发展情况	3
三、我国 5G 发展现状.....	8
(一) 我国政府积极推动 5G 发展	8
(二) 国内运营商正积极进行 5G 技术研究、试点验证及商用部署	9
1. 中国移动的 5G 技术研究及商用准备工作.....	9
2. 中国电信的 5G 技术研究及网络发展情况.....	10
3. 中国联通的 5G 技术研究及商用准备工作.....	11
四、技术预见.....	13
(一) 国际技术预见	13
(二) 国内技术预见	14
1. 5G 核心网云化技术	14
2. 移动边缘计算 (MEC) 技术.....	15
3. 5G 上行覆盖增强技术	15
4. 分布式数字室分、小微基站.....	17
5. 5G 语音解决方案: VoNR 部署前, EPSFallback+VoLTE.....	17
6. 5G 网络智能运维和智能优化技术	18
五、工程难题.....	19
(一) 国际工程难题	19
(二) 国内工程难题	19
1. 网络云化带来的规划和运维挑战.....	20
2. 网络演进、高密度组网、多天线、多业务等带来的规划和建设难题	20
3. 高频率、高功耗、大带宽给基站建设带来的难题.....	21
4. 5G 网络数据采集和处理面临挑战	27
5. 5G 网络发展给仿真软件平台建设带来挑战	28
6. 信息化和互联网+加速勘察设计平台的应用.....	29
六、政策建议.....	30
(一) 技术政策建议	30
1. 少走弯路, 尽早部署 5GSA 网络.....	30
2. 降低建网成本, 鼓励共建共享, 并加强 5G 网络共享相关技术研究	30
3. 尽早开放低频重耕用于 5G 部署.....	30
4. 鼓励并推动 5G 节能技术研究.....	31
(二) 产业政策建议	31
1. 大力发展 5G 芯片、终端产业, 提供更加丰富实用的 5G 终端类型.....	31
2. 大力推动基于 5G 的个性化业务.....	31
3. 必要的强制性法令, 强力努力推动 5G 在垂直行业的应用.....	32

一、研究概述

“4G 改变生活，5G 改变社会”，这已经成为通信行业内的共识。

3G/4G 时代，移动互联网实现了人与人之间的迅捷连接和移动宽带数据接入，人们使用移动终端进行网上冲浪、即时通信、电子邮件、移动视讯等等移动数据业务，尤其微信、叫车软件、电子导航、电子支付等等与日常生活息息相关移动数据业务，更是给人们生活带来了巨大便利，极大得改变了人们的生活方式。

到了 5G 时代，5G 网络将提供更加强大的移动接入和连接能力，不仅仅是人与人之间，还包括人与物、物与物之间都可以进行更加广泛的多种连接，每个人、每个物都会成为互联网上的一个节点，数据交互内容和方式也将更加丰富多样，从而开创万物互联的新时代。尤其是，5G 技术与人工智能相结合，与生产流程和工业控制相结合，将极大改变人类的生产方式，极大提升社会生产力水平，从而极大提高国家的综合竞争力。所以说，5G 的发展，不仅事关国内移动网络运营商之间的竞争，同时还关乎人们的生产和生活等切身利益，关乎国家的产业升级和融合变革，甚至关乎整个国家的综合竞争力和发展成败。

本研究报告将汇总 5G 在全球及我国的发展现状，分析 5G 带来的技术和工程挑战，并为中国的 5G 的发展提出建议。

二、全球发展态势

（一） 5G 的标准化进展

2015 年 6 月国际电联 ITU-RWP5D 第 22 次会议上，ITU 完成了 5G 发展史上的一个重要里程碑：正式命名 5G 为 IMT-2020，并确定了 5G 的愿景和时间表。

ITU-R 确定的 5G 主要应用场景有 3 大类，分别是增强型移动宽带(eMBB)、超高可靠与低延迟通信(URLLC)和大规模机器通信(mMTC)。其中，增强型移动宽带 eMBB 通过支持更高效的数据传输，降低每比特数据传输成本，支持面向一系列终端和应用的无线宽带覆盖，适用于地铁等连续广域覆盖场景和住宅区、办公区等热点高容量区域；超高可靠与低延迟通信主要作用于垂直行业和交通自动化等领域，如工业控制、智能电网、远程医疗、车联网、无人机；大规模机器通信则适用于农业、能源、公用事业、城市基础设施与环境监控等方向。

5G 的主要能力指标见表 1。

表 1 5G 关键性能指标（与 4G 对比）

指标名称	流量密度	连接密度	时延	移动性	能效	用户体验速率	频谱效率	峰值速率
4G	0.1Mbps/m ²	10 万/km ²	10ms	350km/h	1 倍	10Mbps	1 倍	1Gbps
5G	10Mbps/m ²	100 万/km ²	1ms	500km/h	100 倍	100Mbps	3 倍	20Gbps

与 4G 一样，3GPP 也引领和主导了 5G 的标准化工作。

3GPP 关于 5G 的相关标准研究工作起始于 R14 版本，主要开展了

5G 系统框架和关键技术的研究。3GPP 于 2017 年 12 月完成了 R15NSA 版本，于 2018 年 6 月完成了 R15SA 版本，并计划于 2018 年 12 月完成 R15 的最后一个版本。上述 R15 主要满足 eMBB 业务需求，并包含 URLLC 的部分功能。R16 将是完整的 5G 标准，满足 5G 全业务需求，按照计划将于 2019 年底发布，并于 2020 年初向 ITU 提交。

相关进程参见图 1。

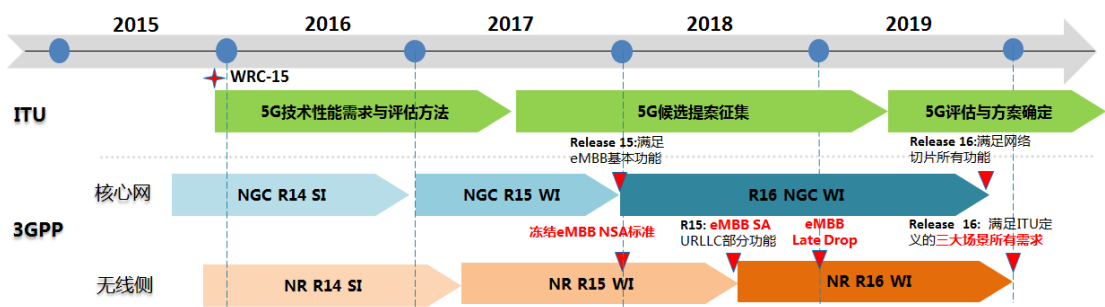


图 1 5G 标准化进程

（二） 世界主要国家 5G 发展情况

目前全球许多国家都在加快布局 5G，根据 GSA《全球 5G 进展：试验、部署、商用》报告,截至 2018 年 8 月，全球参与 5G 布局的国家已扩展至 66 个,相关运营商数目达到 154 家，尤其欧美韩日等发达国家和地区，已经在频率资源准备、产业发展等方面进行了积极部署和推动，相关运营商也正积极准备 5G 商用的一系列实验室和外场测试等工作。

频谱资源准备是 5G 商用首先要解决的重要问题，某种程度上说，为 5G 准备了什么样的频段，就决定了 5G 能建成什么样的网络。目前，3.5GHz 和 26/28GHz 是全球主要的 5G 频段，但由于各国剩余可用频

率资源的不同，在 5G 频谱的准备和 5G 推进策略上也有很大差异。

（1）美国

美国 5G 推进策略主要是通过发放新频谱来促进宽带移动通信的发展。

美国是全球首个为 5G 划定高频段频谱的国家。2016 年 7 月 14 日，美国联邦通信委员会(FCC)发布《用于移动业务的 24GHz 以上频段》的公告，确定将 28GHz (27.5-28.35GHz)、37GHz (37-38.6GHz)、39GHz (38.6-40GHz)和 64-71GHz 四个毫米波频段用于 5G 技术，并且将继续寻求关于 95GHz 以上频段的使用意见。此外，FCC 还通过立法提案，为另外 18GHz 频谱的灵活应用铺平道路。FCC 的目地是通过采用频谱共享机制，在包含 5G 在内的新型无线服务、当前和未来的卫星业务、联邦应用之间寻找频谱需求的平衡，在低频段、中频段和高频段中分别开放频谱资源，为 5G 无线网商用部署提供保障，重点关注包括 3.7-4.2GHz、5.925-6.425GHz 和 6.425-7.125GHz 在内的中频段。

目前，美国 Verizon 和 AT&T 均发布了采用毫米波的计划。Verizon 正在将高带频谱用于固定无线住宅宽带服务；AT&T 也将使用毫米波频谱用于 5G。

美国第三和第四大移动运营商 T-MobileUS 和 Sprint 与 2018 年 4 月宣布合并，从而在 5G 市场上与 Verizon 和 AT&T 展开竞争。而 T-Mobile 拥有美国全国范围的 600MHz 频谱许可证，计划于 2019 年于 600MHz 频段部署 5G 商用网络，其已部署的 LTE600M 基站将可升级

至 5G。

（2）欧洲

在欧洲地区，欧盟着力的方向包括推动 5G 与行业建立融合的生态系统、制定 5G 推进时间表、协调成员国加速推进 5G 技术发展。欧盟《关于 5G 架构的观点》白皮书中提出，5G 网络架构应具备为汽车、能源、食品、农业、医疗、教育等垂直行业提供定制化专网组网服务的能力，5G 技术与商业生态系统的对接，有利于 5G 网络能够高效率、低成本地提供各类新兴业态服务。

欧盟所提出的 5G 架构主要包括五大方面：物理资源层面、逻辑与功能层面、系统管理层面、基础设施控制层面、应用于业务服务层面。

欧盟所提出的 5G 设计目标主要包括：端到端的网络切片；以 SDN（软件定义网络）/NFV（网络功能虚拟化）来使能；与现有 4GLTE 及其后续演进集成/整合；控制平面与用户数据平面相分离；无线接入网络与核心网络相分离；可被虚拟化的元素以及哪些元素不能被虚拟化；各种虚拟网络功能的灵活部署；新兴 5G 功能的特定示例；多连接；C-RAN（集中式无线接入网）、D-RAN（分布式无线接入网）与不同功能分离；新兴的 5G 回程技术；固移融合；云设施的研发；多域编排；把“网络信息安全”作为 5G 架构设计的组成部分。

2016 年 9 月，欧盟推出《5G 行动计划》，提出 5G 时间进程：2017 年 3 月公布测试计划，并开始测试，2017 年年底之前制定出完整的 5G 部署路线图；2018 年开始预商用测试；2020 年年底，每个成员

国确定至少一个提供 5G 服务的城市；2025 年各成员国在主要陆地交通道路实现 5G 覆盖。

另外，英国政府于 2017 年 3 月发布题为《下一代移动技术：英国 5G 战略》的政府文件。作为英国 5G 技术发展和部署的蓝图，政府将投入约 1600 万英镑资助建立 5G 移动技术中心和“国家 5G 创新网络”，用以试验和演示 5G 应用。

在频率资源方面，欧洲注重低频、中频和高频频率的混合组合，以同时满足 5G 覆盖和容量的需要。

西班牙于 2018 年 7 月完成 5G 频谱拍卖，3.6GHz-3.8GHz 内共 200MHz 频率资源分别被沃达丰（90MHz）、西班牙电信（50MHz）和 Orange（60MHz）拍得。

意大利计划进行拍卖的 5G 频谱包括 694MHz-790MHz；3.6GHz-3.8GHz；以及 26.5GHz-27.5GHz 频段。

德国政府表示 5G 将成为千兆经济的重要基础，其目标是在 2025 年之前建立高质量的 5G 网络，并在争取更多的 5G 频谱。以规划 700MHz、3.4-3.8GHz、28GHz 频段（27.8285-28.4445GHz）以及 28.9485-29.4525GHz 用于 5G，同时规划 3G 系统核心频段 1920-1980MHz/2110-2170MHz 到期后重耕用于 5G，并且继续研究 26GHz 频段用于 5G 的可能性。

英国选择 700MHz、3.4-3.8GHz、24.25-27.5GHz 作为高、中、低频段频谱。3.4-3.6GHz 频段分别被沃达丰（50MHz）、O2（40MHz）、EE（40MHz）、THREE（20MHz）拍得。700MHz 频段的清理工作正进行

中。另外着手准备提供 66-71GHz 频段用于 5G 的意向。

(3) 韩国

韩国在 5G 商用方面表现得很激进。韩国已于 2018 年初开展了 5G 预商用试验，用于平昌冬奥会，重在移动宽带应用。韩国三大运营商 SKT、KT 和 LGU+宣布将在 2018 年 12 月 1 日开始 5G 信号的商用和传播。业界认为，如果按期推进，则意味着韩国将成为全球首个 5G 商用的国家。韩国确定的 5G 频率资源为 3.4-3.7GHz 和 28GHz。

值得关注的是，韩国三大电信运营商于 2018 年 4 月达成了关于 5G 共建共享的协议，三家运营商将在 5G 建设上共建共享，加速 5G 部署，有效地利用资源来减少重复的投资。其中，共享的基础设施包括基站、铁塔、天线、管道等。

(4) 日本

日本主要移动通信运营商均表示将从 2019 年起部分提供第五代移动通信技术（5G）服务：面向企业等提供 5G 通信服务，包括租借有关 5G 服务的设备等，在 2019 年日本举行的橄榄球世界杯赛期间将为视频直播等业务提供 5G 服务。这比原来预想的方案要提前一年。并且计划从 2020 年春天开始销售可以使用 5G 服务的终端设备，从而提供面向一般用户的 5G 服务。

三、我国 5G 发展现状

（一） 我国政府积极推动 5G 发展

中国位列世界 5G 的第一梯队当中，并在政府、产业组织层面与欧美日韩建立了 5G 合作机制。从国家政策层面上，中国政府积极推动 5G 研究和产业发展，明确了 2020 年 5G 商用的目标，要求国内研究机构、设备厂商和运营商积极推进 5G 全球统一标准，逐步提升 5G 话语权，实现 5G 全球领跑。

2016 年工信部部长苗圩在“首届全球 5G 大会”提出推进全球统一 5G 标准，加快 5G 垂直行业融合创新，实现 2020 年 5G 商用；2017 年中国政府工作报告中就明确提出“加快 5G 等技术研发和转化，做大做强产业集群”的 5G 战略。

工信部信息通信行业“十三五”规划明确“十三五”末 5G 启用商用服务目标，设立“5G 研发和产业推进工程”，并强调推动 5G 支持移动互联网、物联网应用融合创新发展。

“十三五”规划提出的我国 5G 发展目标为：到“十三五”末，5G 启动商用服务，成为 5G 标准和技术的全球引领者之一。所提出主要任务包括：

（1）开展 5G 技术标准研究；

（2）开展关键技术和产品研发，构建试商用网络，打造完整产业链；

（3）组织开展 5G 技术研发试验，搭建开放的研发试验平台；

(4) 开展 5G 业务和应用实验验证，推动 5G 支持移动互联网、物联网应用融合创新发展。

由工信部主导的 5G 技术试验进展顺利，截至目前各系统厂家已经完成非独立组网测试，主要功能符合规范，功能完备性、互操作性仍需加强，计划在今年年内完成独立组网测试，达到预商用。

目前，中国政府正大力推动 5G 增强带宽应用，持续推进 5G 与车联网、工业互联网等融合应用，推动 5G 标准、产业、应用的深化合作。此外，中国政府也在积极推进 5G 标准、产业、应用及政策等方面的国际交流与合作，与世界各国共同推动 5G 在全球获得成功。其中在 5G 国际标准方面中国做出了出色贡献：据工信部统计，5G 标准中中国文稿占 32%，包括灵活系统设计、无线基础技术、大规模天线、服务化架构、接入网架构、5G 语音方案等技术领域。

(二) 国内运营商正积极进行 5G 技术研究、试点验证及商用部署

1. 中国移动的 5G 技术研究及商用准备工作

中国移动最先提出“4G 改变生活，5G 改变社会”的理念，投入巨大人力物力积极研究 5G。中国移动的 5G 研究包括两方面，一是通信能力提升，联合通信产业各方开展技术创新；二是应用探索，在 5G 网络技术发展的同时，积极与各垂直行业一起进行应用创新。

就具体 5G 研究工作而言，中国移动先后在国际上拿下多个研究

和标准化项目，针对 TD-LTE 帧结构、多流智能天线等解决方案，形成 70 余本各类规范，主导申请专利 612 项，夯实了 TD-LTE 规模商用的技术基础。另外，中国移动将于 2018 年底前推出首批符合中国移动需求的 5G 芯片，2019 年上半年发布首批 5G 预商用终端，包括数据类终端、智能手机等产品。

5G 试点方面，中国移动正在上海、广州、苏州、武汉、杭州等五城市开展 5G 外场测试，每个城市将建设超过 100 个 5G 基站。另外还将在北京、成都、深圳等 12 个城市再进行 5G 业务应用示范。从频率资源上，与采用 4.8GHz 高频相比，中国移动更倾向 2.6GHz 的非主流频段，目的是充分利用 2.6GHz 频谱资源、利旧现有 TD-LTE 网络资源、发挥 2.6GHz 频率使用经验等等。更重要一点，2.6GHz 在覆盖能力上较 3.5GHz 有竞争优势。

2. 中国电信的 5G 技术研究及网络发展情况

2017 年，中国电信在雄安、深圳、上海、苏州、成都、兰州六个城市全部开通了 5G 试点基站，进行 5G 创新示范网工作，目前正进行关键技术、网络性能和商用组网的能力验证。中国电信表示，5G 试点城市目前暂定为“6+6”，除之前已确定的六个城市外，将根据国家相关部委要求继续扩大试点范围，将再增设 6 个城市。

中国电信 5G 建网思路为：首先面向增强移动宽带 eMBB 业务，优先采用 SA 独立组网，并将支持全模全频全网通。在频谱方面，明确了以 3.5GHz 低频谱为基础，高频谱为补充的战略。在组网方面，中

国电信将构建 CNet2025，全面启动网络智能化。采用“基于业务选择网络实现多网协同”的思路，将不同业务承载在适合的网络上，综合利用室内外协同优势，探索固移融合、4G/5G 融合组网。

中国电信提出了“三朵云”的 5G 网络架构，由接入云、控制云和转发云共同组成。接入云实现业务的接入和流量吸收，控制云实现网络功能集中控制和能力开放，转发云则实现流量高速转发、流量直达。未来的 5G 网络是基于 NFV/SDN 架构，支持网络切片、边缘计算等新特性。

另外，中国电信联合终端芯片、品牌厂商、仪表厂商等，成立 5G 终端研发联盟，发布中国电信 5G 终端白皮书 1.0，启动行业终端研究。在应用扩展上，与联盟成员共同打造增强型移动宽带应用、超高清视频等通用创新应用，以及智慧城市等垂直行业应用。

在标准制定方面，中国电信深度参与 5G 国际标准制定，重点在 5G 业务和商业模式、网络智能化、网络融合等方面开展了深入研究，先后在 ITU、ETSI、3GPP 等国际标准组织牵头了多项标准制定。

3. 中国联通的 5G 技术研究及商用准备工作

中国联通明确了 2018 年开展 5G 组网试验，2019 年预商用，2020 年正式商用的时间表，目前正在北京、天津、杭州、南京、武汉、贵阳、成都、深圳、福州、郑州、沈阳、青岛等 16 个城市开展 5G 试点，并在北京、上海、武汉、深圳等 4 城市开展 5G 外场测试。

在 5G 技术方案选择方面，联通初期进行 NSAOption3/3X 方式布

网，待 SA 设备成熟再进行 SA 升级。5G 频率方面优先关注 3.5GHz，并努力推动 3.5GHz 5G 宏站与 4G 共站建设的上行增强技术，后期将考虑引入毫米波技术，通过密集部署或热点高频小站持续增强网络高速率业务能力。室内覆盖方面重点推动数字化室分技术方案的成熟商用。

核心网方面，联通一方面正积极推动 EPC 虚拟化改造，实现控制面和用户面分离，并通过边缘计算和用户面下沉方式，满足高速率和低时延业务需求，降低网络回传压力；另一方面积极推动 SDN/NFV 技术，实现网络云化，能够通过 MANO 实现网络资源的端到端编排和管理，引入 5GC，并能够通过网络切片实现业务快速量或部署和独立运营。

5G 创新业务方面，联通成立了 5G 创新中心作为 5G 创新孵化的前沿阵地，内设 15 个分中心，针对垂直行业创新及重点合作。在垂直行业创新应用方面聚焦十大重点领域，深入挖掘行业需求，实现方案及产品创新。另外还与百度、阿里巴巴、腾讯、京东等混改股东以及 5G 通信设备领军厂商华为公司进行战略合作，目的是推进 5G 行业创新应用的整体化研究，打通 5G 业务创新的端到端壁垒，自主或合作实现面向 5G 行业产品的研发与孵化，构建行业创新合作生态，与行业龙头企业建立深度合作关系，实现技术标准、产品、方案、落地全面推进。

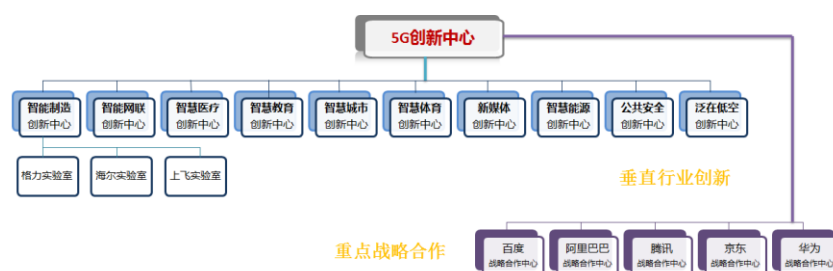


图 2 中国联通 5G 创新中心

尤其值得关注的是，为适应 4/5G 网络智能化，中国联通在组织架构上进行了大规模调整，在集团公司成立了智能网络中心，对新型网络实现“规建维研”一体化，包括建设迭代化、运营集约化、研发自主化、业务随选化。这种高度集约化的组织架构，将有效促进联通网络智能化的实现。

四、技术预见

（一） 国际技术预见

面对多样化场景和差异化性能需求，5G 技术创新主要来源于无线技术和网络技术两方面。

在无线技术领域，大规模天线阵列、超密集组网、高频段传输、新型多址和全频谱接入等技术已成为国际关注的焦点；在网络技术领域，基于软件定义网络（SDN）和网络功能虚拟化（NFV）的新型网络架构已取得广泛共识。

此外，基于滤波的正交频分复用（F-OFDM）、滤波器组多载波（FBMC）、全双工、灵活双工、终端直通（D2D）、多元低密度奇偶校验（Q-aryLDPC）码、网络编码、极化码等也被认为是 5G 重要的潜在

无线关键技术。

（二） 国内技术预见

1. 5G 核心网云化技术

5G 核心网云化将为运营商未来网络的演进以及业务创新模式的转型等提供有力技术支持。核心网云化关键技术包括：

（1） 服务化架构

基于 SDN/NFV 的虚拟化技术是 5G 核心网部署的必要条件，服务化架构要求核心网控制面网元形成模块化的功能架构，通过类似 IT 系统总线的方式进行连接和交互。

（2） 网络切片

SDN/NFV 技术使得未来的移动网络架构更加灵活、弹性化，同时也使得网络切片技术成为可能。

（3） 与 4G 核心网互操作

为支持数据切换及语音的 EPSFallback 解决方案，5G 核心网 5GC 需要与 4G 核心网 EPC 实现互通。其中 MME 和 AMF 之间跨核心网的 N26 接口功能将是必选。另外还需要考虑现网传统架构 HSS 设备和 PCRF 设备的数据融合改造，推进用户签约数据和策略数据的全网融合，以配合后续 2/3/4/5G 融合网络的业务和数据管理，并同时根据业务需求和标准演进情况建设 UDR 网元，构建网络结构化数据的统一管理和存储架构。

2. 移动边缘计算（MEC）技术

边缘计算是在靠近人、物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的新的网络架构和开放平台，就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

移动边缘计算(MEC)关键技术研究,包括基于 CUPS 的网络架构,数据面和业务面的分离以及未来 5G 服务化架构,将支持边缘计算的各项功能。

移动边缘计算主要实现流量疏导及降低业务时延,实现边缘计算流量卸载和业务无缝运行的支持。根据技术特征将 MEC 应用场景分为五大类:边缘 CDN、OTT 业务加速类、本地流量爆发类、视频分析与处理类、网络能力开放类。

3. 5G 上行覆盖增强技术

基于链路预算(参考图 3 所示)和实际测试发现,对于 3.5GHz 5G NR 来说,下行 50Mbps 与上行 1Mbps 的边缘速率相比较,下行覆盖能力仍远远高于上行覆盖,而上行覆盖瓶颈将制约 5G 小区的有效覆盖面积。如果上行边缘速率要求 5Mbps,则上行覆盖与下行覆盖的差值将进一步扩大到 16dB 以上。

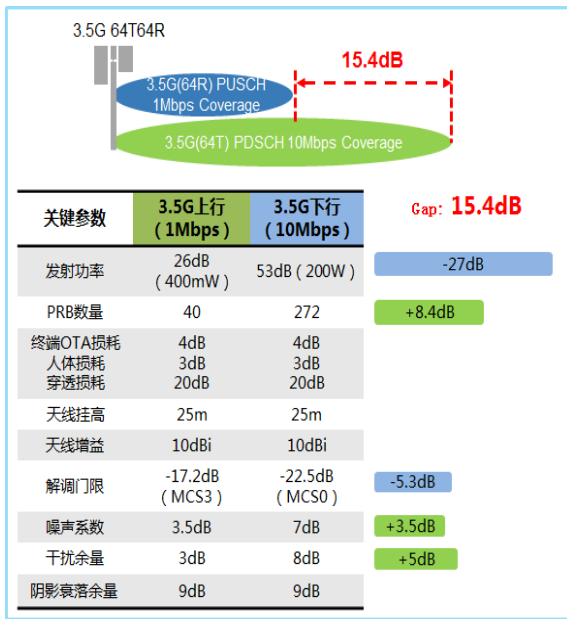


图 3 5G 上行覆盖受限

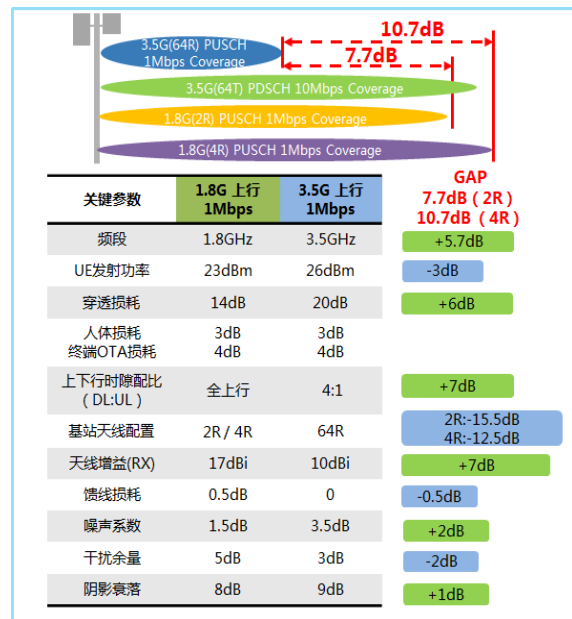


图 4 利用 1.8G 频率增强 5G 上行覆盖

进一步分析可以看出,采用 1.8GHz 频段作为 5G 上行、利用 3.5GHz 作为 5G 下行,可以实现 5G 上行下行覆盖均衡。所以利用 1.8G、900M 等低频频段作为 5G 上行的上行覆盖增强技术是 5G 大规模组网所需要的。

目前主要有两种技术方案,分别是 SUL 和 CA,都是采用 1.8G 等低频载波作为 5G 上行,差异是 SUL 是上下行接耦合技术,方法是在 1.8G 等低频频段的仅利用上行载波传送 SUL 帧;而 CA 方案是利用 1.8G 载波+3.5G 载波进行 CA,且 1.8G 载波作为主载波用于小区边缘用户发送上行信道。

相比较而言, SUL 方案对终端标准化有新的挑战,而 CA 技术标准难度小,但仍将在 R16 版本才可实现。

4. 分布式数字室分、小微基站

由于 5G 采用 3.5GHz 以上的高频频段，传统室内分布系统将不能满足 5G 室内覆盖要求，而 5G 的室内覆盖将以数字化室分为主要方式。另外，由于 3.5GHz 宏站覆盖能力限制，在完成第一阶段宏站建设之后，仍需要通过大量灯杆部署的小微基站实现补盲和热点分流，这将对 5G 小微基站提出大量需求。

5G 数字化室分典型规格为支持 3.5GHz 频段 100MHz 带宽，支持 POE 供电，支持 4T4R，4*250mw 发射功率，与 4G 数字化室分实现同覆盖，能实现与 4G 数字化室分 1:1 部署，能同时实现 4G、5G 多模多频更佳，另外有室内定位功能需求。

5G 室外小微基站以需要满足灵活部署为主，所以安装便捷将是主要诉求之一。技术规格上需要支持 3.5GHz 频段，至少 100MHz 带宽，支持流数越大越好。

5. 5G 语音解决方案：VoNR 部署前，EPSFallback+VoLTE

5G 的语音解决方案是基于 IMS 的 VoNR，目前尚未实现标准化。在 VoNR 部署前，5GSA 终端只能通过 EPSFallback 方式回落到 4G 网络采用 VoLTE 业务实现语音通话。也就是说，对于 5GSA 网络部署初期，一方面 EPSFallback 功能是必须的，另一方面还要求 4G 网络同区域覆盖且开通 VoLTE 服务。

另外，在 VoNR 部署之后，如若 5GSA 网络部署规模有限，则 5GVoNR

与 4GVoLTE 之间的切换功能将是必须的。

6. 5G 网络智能运维和智能优化技术

5G 网络云化、业务定制化、微服务化等等，外加无线侧密集部署、多天线技术等等，对网络运维和优化提出极高要求，依靠传统的人工手段将不足以应对 5G 网络运维和优化需求，5G 网络需要智能运维和智能优化。

5G 智能运维需要至少包含以下内容：

(1) 客户感知提升方面：业务自动开通；资源随选；用户自服务等。

(2) 运维流程方面实现监控无人化：包括数据统一采集和汇聚；ICT 融合监控；告警智能关联和自动派单；智能巡检；故障智能自愈等。

(3) 运维管理方面：各环节端到端呈现；高效闭环管理；规建维优一体化等。

(4) 产品运营方面：开放网络能力产品智能推出；网络大数据智能分析、智能应用等等。

5G 智能优化需要至少包含以下内容：

(1) 网络性能指标智能分析；

(2) 业务感知智能分析和保障；

(3) 网络参数智能优化配置；

(4) 网络故障智能检测、智能派单、智能恢复、智能预测等等。

五、工程难题

（一） 国际工程难题

在工程上，5G 网络在规划建设和维护优化等各方面都带来了不少新的挑战，需要我们认真研究并加以解决。

首先，在 5G 频率方面，各国预留的 5G 频段差异很大，这给 5G 终端实现全国漫游带来挑战。

其次，NSA 组网架构下，终端需要同时连接 4G 和 5G 网络，LTE 载波和 5G 载波之间可能会产生谐波和互调干扰，由此会导致 10-20dB 的干扰抬升，会极大影响网络性能和有效覆盖距离。而采用 4G、5G 分时发送的技术需要 4G、5G 网络之间进行协同，实现难度大，且仍将降低网络容量。

另外，由于 5G 网络建设成本高，很多国家也在积极推动多运营商之间的 5G 网络共建共享。但当前主流 5GAAU 支撑能力有限，在 IBW、处理能力方面尚无法完美实现不同运营商的独立载波共享。另外，网络共建共享在工程实施、产权管理、运行维护、网络优化、统计数据共享和网络安全等各方面的也给运营商提出了挑战，有待进一步探索和完善解决方案。

（二） 国内工程难题

在工程上，5G 网络在规划建设和维护优化等各方面都带来了不少新的挑战，需要我们认真研究并加以解决。

1. 网络云化带来的规划和运维挑战

5G 网络全面云化，在带来功能灵活性的同时，也带来很多技术和工程难题。

（1）网络云化使跨层故障定界定位困难，后期升级过程也更加复杂而低效；

（2）边缘计算的引入使网元数目倍增，也会导致建设和维护工作量成倍增加，问题增多，问题定位难度增大等问题。；

（3）微服务化，用户更多的定制业务，也给业务编排能力提出了极高的要求。

（4）传输方面，海量隧道动态变化，人工规划和分析调整无法满足业务需求；高精度时钟的建设和维护要求高、难度大，需要新的支撑手段。大宽度传输，一旦出现故障，需要更快恢复的技术手段，否则将导致更大影响和损失。

2. 网络演进、高密度组网、多天线、多业务等带来的规划和建设难题

5G 建设初期如果采用 NSA 架构，4G 网络与 5G 网络紧耦合，带来站址约束、互操作配置复杂等问题，后续向 SA 演进还需多次网络大规模调整。

受 5G 高频段影响，5G 基站覆盖范围小，需高密度组网以及更多的站型，这给无线网规划、建设和维护都带来成倍增加的工作量和难

度。

MassiveMIMO 与波束赋形等多天线技术，使得 5G 网络规划不仅仅考虑小区和频率等常规规划，还需增加波束规划以适应不同场景的覆盖需求，这使得干扰控制复杂度呈几何级数增大，对网络规划和运维优化带来极大挑战。

3.5GHz 的 5GNR 采用 TDD 双工方式，对时钟同步要求高，失步将导致大范围干扰。工程上全网采用 1588V2 时钟尚属首次，由此带来的网络安全风险很大。

5G 部署初期基于 eMBB 业务需求进行网络部署，满足公众宽度数据业务需求。后期大规模机器通信 mMTC 及超高可靠与低延迟通信 URLLC 将主要面向垂直行业、工业控制、城市基础设施等领域，网络部署区域、业务感知需求都差异甚大，可能需要进行大的网络调整或新的载波。

3. 高频率、高功耗、大带宽给基站建设带来的难题

(1) 天面空间紧张，为 5G 腾挪天面而进行天线整合会影响 234G 网络

与 4G 宏站的 RRU+天线的安装方式不同，5G 宏站通常采用 AAU 的形态，即 RRU 与天线集成在一起，内含 192 或 128 天线阵子，组成二



图 5 典型 5G AAU 的形态与规格

维平面阵列有源天线。典型 5GAAU 的形态与规格见下图。

由于 5GAAU 中 RRU 与天线不可拆分，且不兼容 1.8G/2.1G/2.6G 等其它频段，所以只能与现网 234G 无源天线相互独立部署，故而，一个三扇区的 5G 宏站需要增加三副体积庞大的 AAU，争夺原本 2G、3G、4G 就已拥挤的天面空间，尤其是联通、电信、移动三家运营商共享的站址，很容易出现由于天面空间不足而导致站点不可用的情况，这极大地增加了 5G 网络选址和建设难度。根据运营商的调研结果显示，28%的站点有天面整合的需求。



图 6 天面空间资源紧张（示例）

工程上可以考虑天面改造，比如采用多端口天线整合 2/3/4G 天线。但这样的天线改造除带来成本上升的压力以外，由于 2/3/4G 多制式网络紧耦合，尤其天线方向角不再能够独立可调，在 2/3/4G 网络拓扑差异较大的情况下，必然会难以协调各网的覆盖，带来多网覆盖质量下降。

（2）天线抱杆承重要求高，很多灯杆站无法满足安装要求

5GAAU 通常体积大（逾 35L）、重量高（逾 35Kg）、迎风面大（逾 0.5m²），天线抱杆要求明显高于 4G。另外，由于 AAU 为有源、高功耗

设备，其所需的-48V 直流电源线及地线线径要求在 16-25mm² 以上，这些电源线和地线从抱杆底部一直延伸至安装 AAU 的抱杆顶部，这些电线的自重也会给天线抱杆强度带来额外压力（4GRRU 一般安装于抱杆底部）。

基于上述分析，多数灯杆站无法满足 5GAAU 的安装要求，这对站址密度要求很高的 5G 网络部署带来极大影响。这些灯杆站如不能改造，只能满足小微基站的安装要求。

（3）机房空间改造需求大

5G 宏站通常需要与现有 234G 共机房部署，但现有机房未必有足够空间安装 5G 基站所需设备，包括 5GDU、电源、传输等。如果现有综合柜剩余安装空间不足，则需要整合现有 234GBBU 设备或者新增综合柜，或者考虑 5GDU 挂墙安装、室外安装（需要新增室外机柜，并需要引入交流电源）。这些因素对 5G 建设工程带来很大挑战。

据运营商统计的部分城市 5G 规划站点结果显示，这些被统计的站点中，需新增综合机柜的站点占 20%，需挂墙安装的站点占 14%，需新增室外机柜的站点占 4%，另外还有 17% 的站址需要进行 BBU 整合：多制式 BBU 合一。但是，如果不同制式 BBU 设备分属不同厂商，受设备兼容性 & 厂商利益平衡压力，这样的 BBU 整合几乎是无法进行的。

（4）机房供电需求高

5GAAU 满负荷功耗超过 1kw，在 3/4/5G 网络共站的情况下，站点功耗超过 10kw，如若三家运营商多制式共站，机房供电需求甚至能到达 30kw，现有机房供电能力几乎肯定无法满足，需要进行扩容。

另外，备用电池方面很难满足 2 小时容量保证的需求。

据运营商统计的部分城市 5G 规划站点结果显示，这些被统计的站点中，26%的站点交流电不满足，64%的站电源模块不满足，69%的站空气开关不满足，55%的站备用电池不满足。尤其对于交流电改造需求，改造成本高、周期长，是机房供电改造的最大难点。

(5) 站点传输资源需求大，改造需求高

5G 空口能提供很高的峰值速率，这也意味着 5G 网络需要大量光纤传输资源。对于 5G 基站而言，中传或回传带宽要求高，对站点的光纤资源消耗也非常大。

1) 前传带宽

与 4GBBU/RRU 之间的 CPRI 接口不同，5GDU 与 AAU 之间的前传接口采用新的 eCPRI 接口，以减少对传输带宽的需求。但是 eCPRI 接口切分点并未实现标准化，各厂商设备之间存在差异，而切分点越靠近底层，所需要的 eCPRI 前传带宽也越宽。另外，所支持载波宽度越宽越宽、天线端口数越多、所支持流数越多，所需 eCPRI 接口带宽也越宽。为减少前传带宽需求，通常切分点不宜过低，且采用高效地传输压缩技术。通常 64TRx 的 AAU 所需前传带宽不超过 25Gbps，可以采用单一的 25Gbps 光模块进行传输。相比较而言，若仍采用 CPRI 接口，所需前传带宽将高达 300Gbps。

2) 中传/回传带宽需求

5G 建设初期优先考虑基于 CU/DU 合设的网络结构来进行部署。

在 CU/DU 合设的网络架构下，基站与核心网之间的回传网络提供

S1/X2 或 Ng/Xn 接口，其传输带宽需求可以基于如下方法估算：对于 S111 站型，载波带宽为 100MHz，终端考虑 2T4R，则单用户下行峰值速率 1.5Gbps，而小区峰值速率约 5Gbps，平均速率 1.5Gbps。那么，S111 单站平均速率可达 5Gbps，而峰值速率可达 8Gbps，故单站回传带宽需要按照 10Gbps 来进行光纤布放。

随 5GCU 虚拟化设备逐步成熟以及海量连接场景应用的发展，后期有可能选择 CU/DU 分离的网络结构，实现基带资源的共享，提升效率，同时降低运营成本和维护费。此时 DU 分布于各物理站点，CU 集中布放于综合接入点、汇聚机房或核心机房，此时 DU 与 CU 之间的中传接口仍需要考虑 8-10Gbps 的传输带宽。

对于上述 5G 传输带宽需求，现网传输条件有相当大比例不能满足，需要进行传输改造。据运营商统计的部分城市 5G 规划站点结果显示，这些被统计的站点中，12%的站点需要新增传输设备，33%的站点需要扩容传输设备，13%的站点需要替换传输设备，8%的站点需要扩容光纤资源。扩容光纤资源由于涉及管道改造，实施难度非常之大。

(6) 高频段、多天线使传统室内分布系统无法适应 5G 需求

3G、4G 时代，室内深度覆盖的主要方式是布设室内分布系统，另外对于较小楼体采用定向天线室外照射的方式，而对于少数人流密集、容量需求高的场景，如机场候机厅、高铁候车厅、大型商超等，也引入了小微基站、数字化室分系统。

到了 5G，主流工作频段在 3.4-3.6GHz，甚至 4.4-5GHz，而室内分布系统的大部分馈线、功分器、合路器、功放器等射频器件工作带

宽都在 2.5GHz 以下，不能适用于 5G 信号接入。

定向天线室外照射的方式则因高频段信号更高的建筑物穿透损耗而大大降低覆盖的有效性。于 1.8GHz 频段的 4G 信号相比，3.5GHz 频段的 5G 信号平均穿损大约增大 6dB 以上，极大降低室内覆盖深度。

目前最可行的 5G 室内覆盖方案是分布式数字化室分。相比传统室分等方式，数字化室分所能提供的容量会有大幅提升，但相应的 CAPEX 建设成本也大幅增加。

(7) 高频段及安装空间限制，使地铁、高铁隧道 5G 覆盖难以解决

地铁、高铁隧道覆盖方面，传统 2G/3G/4G 网络通常采用 BBU+RRU+漏缆的覆盖方式：隧道场景中，一般每 500 米存在一个 RRU 设备安装的洞室，RRU 安装在避车洞内，漏缆安装高度与高铁列车窗口中部对齐，基站信号通过漏缆辐射，穿透车窗、车体到达车厢内用户。

与室内分布系统遇到的高频挑战相同，这些隧道覆盖使用的传统漏缆在高频段传输损耗很大，通常无法应用于 3.5GHz 频段 5G 信号。即便是规格更高、线径更粗的 3.5GHz 专用漏缆，3.5GHz 信号每百米的传播损耗仍高达 16dB 以上，比 1.8GHz 高约 8dB。

同时，受安装条件限制，数字化室分的方式也不适合地铁、高铁隧道布设。又因地铁隧道空间狭小，仅足够一列列车通过，上下左右无明显空间，也不具备安装大型天线进行照射的条件。

综上所述，5G 信号引入地铁、高铁隧道覆盖难度很大，对于较短隧道，计算损耗若能满足，可利旧原有漏缆使用 RRU+漏缆的方式。

若利旧漏缆不满足 3.5GHz 5G 信号引入需求，则考虑新建或替换更粗线径、支持 3.5GHz 信号传播的新型漏缆。若链路预算分析新型漏缆仍不能满足，则建议采用波导管替代泄露电缆。而且，考虑最低 4T4R 实现 4 流时，需要 4 根波导管，建设成本很高。

4. 5G 网络数据采集和处理面临挑战

考虑到 5G 在推动物联网、人工智能和高级分析计划方面的潜在作用，数据采集和处理策略亟需升级，运营商需要建设高性能的数据采集和处理平台，同时，平台的满足实时性任务能力、服务能力、支撑能力都面临着挑战。

（1）要求 5G 网络数据采集和处理平台能够覆盖大数据生态的各个方面，构建全链条的大数据体系与解决方案；

（2）要求平台系统中各个模块之间松耦合设计，具备根据实际需求提供灵活定制服务的功能；

（3）要求平台实现异构数据的数据虚拟化，多维度整合异构数据源，提供统一数据服务；

（4）要求平台实现异构数据库全覆盖，能够高效汇总，处理多种异构数据库中的数据；

（5）要求平台可支持 PB 级的批量处理任务，解决海量数据分析难题。

这些高技术难度的功能需求给 5G 网络数据采集和处理平台的设计和开发带来一定挑战。

5. 5G 网络发展给仿真软件平台建设带来挑战

5G 的到来将带来更大规模的移动数据业务，而为了实现高速、稳定、低延迟等要求，5G 系统有必要采用新型的网络架构，从目前的异构网络发展趋势来看，5G 网络将会是一个高密度新型分布式协作与自组织组网，各个异构系统之间采用无线资源联合调配技术以达到资源高效利用，提升系统性能。

但这样的新型网络架构及其相应的关键技术，也给仿真平台建设带来了极大的挑战。首先，从内存需求和仿真速率来看，在 4G 系统中，多层异构网络的引入已经使得仿真内存需求很大，在 5G 系统中大规模 MIMO 技术的引入将带来参数配置复杂、中间数据产生与储存量大、仿真时间较长、用户交互信息多、评估指标方式方法多样等难点；其次，新型网络架构的引入，需要对传统的固定网络架构进行修改，会影响到系统干扰分布情况，同时分布式协作处理技术、自组织网络等关键技术的引入也需要对 4G 系统下的仿真模块进行修改，对仿真平台的建模带来挑战；最后，现有的仿真平台存在软件仿真和专家经验割裂、缺少方案分析和辅助方案等弊端，5G 时代的仿真平台需要解决这些弊端，实现在一级架构下各方协调共同操作审核、统一维护等更高效的功能需求，这些需求也增加了仿真平台的设计开发难度。

6. 信息化和互联网+加速勘察设计平台的应用

5G 时代的到来敦促了网络勘察设计行业的智能化、平台化转型。数字化智能化的勘察设计平台为传统业务的提质增效提供了基础手段。根据某运营商的现场验证测试表明：通过使用智能勘察设计平台，无线单站点查勘设计整体作业时间可提升 30%左右；同时，借助信息化平台，节约了工程各环节中所涉及到管理人员、设计人员和建设人员的沟通时间。

虽然智能勘察设计平台可以解决数据不一致、数据有缺陷、数据表达不清晰、客户需求有差异、运维管理困难等难题，但也同时对平台的图像处理、数据处理等能力提出了更高要求，需要依靠括数据治理技术、动态自适应技术、图形图像处理技术、可视化呈现技术、运维安全技术等关键技术建设平台，给平台的设计开发带来了技术难题。

随着 5G 技术进一步发展，未来可以智能勘察设计平台等工具为依托，逐步构建数字化设计云平台，采用“大平台+微服务”的研发方式，引入智能技术高效实现数字化制图与流水线作业，基于数据资产便捷提供智能应用，实现勘察设计的数字化交付与精细化管控，更好地服务于通信工程勘察设计业务的数字化转型工作。

六、政策建议

（一） 技术政策建议

1. 少走弯路，尽早部署 5GSA 网络

相比于 SA 组网，NSA 架构对 4G 网络高度依赖、对终端的射频性能要求更高、网络的多阶段演进更复杂性。同时，虽然 5GNSA 初期 CAPEX 相对 SA 要求低，但加上陆续演进的新增 CAPEX 及 OPEX，整体 TCO 未必最佳，因而建议我国运营商在技术上优先选择 SA 组网。

2. 降低建网成本，鼓励共建共享，并加强 5G 网络共享相关技术研究

考虑到 5G 网络整体投资巨大，投资成本回收周期长，因此建议国家鼓励运营商之间积极开展 5G 共建共享相关技术研究，探索从 5G 主设备、频率资源到机房、天面、传输等领域的共建共享方式，减少无序竞争及不必要的重复投资，避免国有资产流失。

3. 尽早开放低频重耕用于 5G 部署

采用高频频段极大限制了 5G 的覆盖能力，这是致使 5G 网络建设投资巨大的一个根本原因。建议国家尽快开放低频资源重耕用于 5G 部署，以节省投资。并鼓励产学研探索 5G 低频组网环境下的性能提升技术。

4. 鼓励并推动 5G 节能技术研究

5G 高功耗除了带来大量能源消耗产生大量碳排放外，还给 5G 机房建设带来巨大挑战。建议国家专项政策扶持来积极鼓励产学研加大 5G 节能技术的研究力度，并组织专家力量进行专项技术攻关，在 5G 能耗控制方面产生突破性进展，从而推动 5G 事业开创新局面。

(二) 产业政策建议

1. 大力发展 5G 芯片、终端产业，提供更加丰富实用的 5G 终端类型

5G 的大力发展除了依靠网络部署来推动，还需要通过丰富 5G 终端类型和业务来推动。建议国家加大力度发展 5G 终端产业，加速我国 5G 商用部署和发展。

另外，今年的“中美中兴事件”使我们清楚地看到，芯片技术是核心技术，在风风火火发展 5G 商用网络设备、商用终端产品的同时，有必要做好 5G 核心芯片的研究，真正掌握 5G 核心技术和基础性产品，避免我国 5G 产业受制于人。

2. 大力推动基于 5G 的个性化业务

业务才是移动网络的生命力之源，没有丰富的 5G 业务，5G 网络就失去了生命和活力。建议国家进一步加大知识产权保护力度，推动业务制作产业，大力扶持中小企业在 5G 应用方面的产创。

3. 必要的强制性法令，强力努力推动 5G 在垂直行业的应用

eMBB 业务可以继续沿袭 4G 的宽带接入，面向公众用户提供更大带宽、更极致体验。但是，参考当前运营商 DOU 成倍增加而 ARPU 值却持续下滑的趋势，eMBB 业务很难为运营商带来收入的突破性提升，这也给 5G 的投资回收带来巨大压力。

前文已经提到，欧盟正着力推动 5G 与行业建立融合的生态系统，我国政府也在着力推动 5G 与车联网、工业互联网等融合应用。虽然 5G 在垂直行业应用前景广阔，但必需提前进行培育，5G 网络部署初期的巨大投入与垂直行业应用缓慢发展会形成巨大投资收益压力，单靠运营商的力量很难打破行业壁垒、撬动垂直行业市场，需要借助国家力量，比如某些强制性的政策、法令和措施，强力推动 5G 行业应用产业联盟建立，全力发展 mMTC，努力培育 URLLC，开创举国支持 5G 发展的新局面。

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：010-68209072、68209071

传真：010-68209074

网址：<https://www.china-cic.cn/>

