



北京 2022 年冬奥会官方合作伙伴
Official Partner of the Olympic Winter Games Beijing 2022

中国联通 5G 毫米波技术白皮书

中国联通
2019 年 11 月

目录

1 概述.....	1
1.1 毫米波发展需求.....	1
1.2 白皮书状态	2
2 毫米波关键技术	3
2.1 大规模天线和波束赋形.....	3
2.2 波束管理.....	4
2.3 传播特性和穿透损耗	5
2.4 超高速率通信能力	6
3 毫米波产业链进展和面临挑战.....	7
3.1 毫米波产业链进展	7
3.2 毫米波发展面临挑战	9
4 毫米波发展规划	12
4.1 毫米波愿景与目标.....	12
4.2 毫米波应用场景.....	12
4.3 毫米波设备与终端要求.....	19
5 目前开展工作与推进计划	23
6 总结与展望	25

1 概述

1.1 毫米波发展需求

随着无线网络的快速演进升级，移动互联网飞速发展，移动新业务数据量和用户数呈现指数型增长的井喷态势，对移动数据流量的需求也呈现爆炸式增长，移动通信业务对通信带宽和通信速率的需求也急速提升，未来通信系统需要满足 10Gbps 以上的用户峰值速率要求。充足的频带资源是保障更高速率的必然条件，然而目前 6GHz 以下的频谱资源已经分配殆尽，很难再找到连续的大带宽频谱来支撑移动通信的超高数据传输速率，而毫米波频段有丰富的带宽资源，可以极大地提高通信速率，为超高速通信业务提供了可能。

毫米波一般指波长 1 毫米至 10 毫米、频率 30GHz 至 300GHz 的电磁波。相较于低频段，毫米波频段拥有丰富的频谱资源，在载波带宽上具有巨大优势，可以实现 400MHz 和 800MHz 的大带宽传输，通过不同运营商之间的共建共享，还可以支持超过 800M 的超大带宽，实现超高速率的数据传输。同时毫米波波长短，元器件尺寸较小，便于设备的集成和小型化。随着高容量、高速率、低时延业务发展，通信频段必然向毫米波方向延伸，目前已经确定 5G 移动通信的基本架构将采用中低频段+毫米波频段相结合的通信方式。

毫米波可进行灵活空口配置，适用于弹性网络构建。随着业务类型不断丰富，垂直行业不断涌现，通信业务类型和能力需求将会更加多样化，现阶段固定化的组网方式和资源配置难以满足差异化的业务需求，未来通信系统需要具备更灵活的资源配置和协同融合的弹性网络。目前在 3GPP 标准框架下，毫米波每 SLOT 周期为 5G 低频的 1/4，可极大降低空口时延，也可以依据用户业务需求进行灵活帧结构配置，满足多样化、差异化的弹性业务应用。

毫米波技术相对于 5G 低频具有带宽、时延和灵活弹性空口配置等独特的优势，可以有效满足未来无线通信系统容量、传输速率和差异化应用等需求。采用低频段和毫米波频段相结合的高低频混合组网方式和灵活弹性的毫米波通信网络部署将成为未来移动通信系统的基本架构，毫米波通信技术也将成为现阶段和

未来移动通信的重要研究和发展方向。与 5G 低频段相比，毫米波技术的落地应用仍面临频谱规划、国产高频器件产业能力、系统测试方案等众多亟待推进解决的问题和技术挑战，但随着相关技术的不断突破和高频器件产业的持续发展，毫米波必将成为现阶段 5G 乃至未来 B5G/6G 通信技术的重要组成部分。

目前美、日、韩等国已经完成 5G 毫米波频谱划分并开始商用部署，产业链较为成熟。我国通信行业也开始从系统应用角度考虑 5G 毫米波部署和应用问题，但是目前相关研究还比较分散，尚未形成明确的 5G 毫米波移动通信系统应用方向和部署方案。移动通信行业亟需运营商发布明确信号，提出 5G 毫米波新空口系统未来的整体需求，明确设备、终端的开发计划，推动毫米波产业链成熟化进程，为未来部署做好准备。

本白皮书从推进毫米波通信产业应用出发，介绍毫米波通信关键技术，并从产业发展现状着手，从频谱、标准化、产业链、部署情况等方面对毫米波产业成熟度进行了分析。另外，本白皮书还提出了中国联通在毫米波通信方向的发展目标、应用场景、技术要求和推进计划，给出了毫米波设备与终端的形态要求、演进方向和发展建议。与此同时，中国联通诚邀产业界共同进行毫米波技术研究和应用合作，推动毫米波应用落地，共同促进毫米波产品的标准化及产业化进程。

1.2 白皮书状态

本白皮书 1.0 版本初步规划了毫米波部署场景和相关产品的技术要求，提出了中国联通毫米波发展规划，部分内容尚需进一步探讨。希望此版本白皮书的发布能够引起产业界的关注，吸引更多的合作伙伴与中国联通一起开展研究，推动产业链发展。随着研究的不断深入，技术方案会更加明晰，新的研究内容和成果会不断体现到后续版本中，欢迎提出修改意见和建议。

2 毫米波关键技术

2.1 大规模天线和波束赋形

大规模天线技术（Massive MIMO）和波束赋形技术是毫米波系统的关键技术之一，Massive MIMO 可以形成更窄波束，波束赋形则可以降低干扰提升信噪比。在实际场景部署中，可借助多通道和多天线的收发增强对基站上下行覆盖进行增强，针对高低层建筑以及线状路面提供差异化的覆盖方案，如图 2.1 所示：

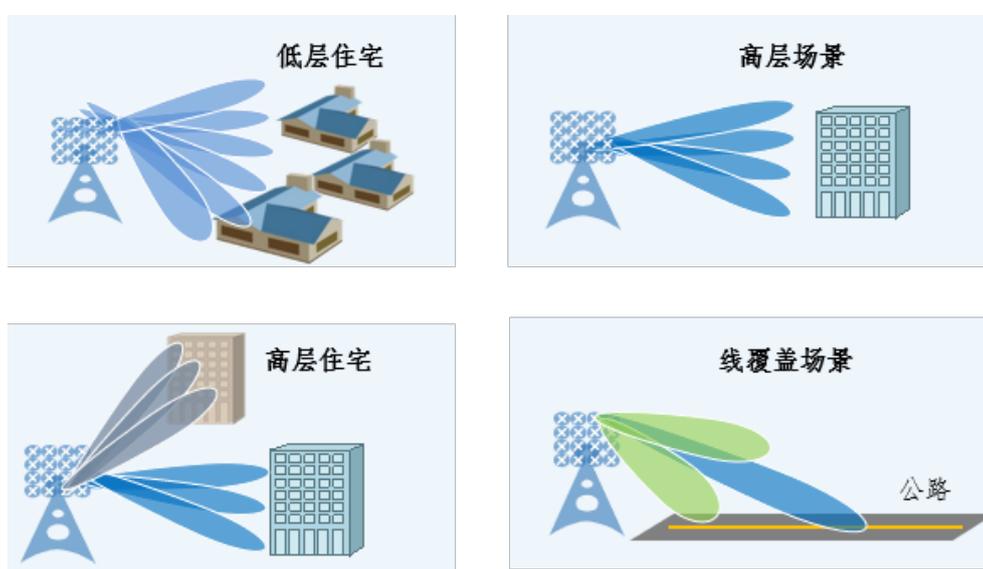


图 2.1 大规模天线技术提供差异化覆盖方案

在使用波束赋形技术时，全数字波束赋形的方案优势在于可以通过提高信噪比来实现系统性能的提升，但同时会大大增加射频链路的个数，造成功耗和成本的增加。模拟波束赋形方案则采用了成本低廉、经济实惠的移相器，但只能进行固定波束切换，在性能上达不到数字波束赋形性能的效果，也无法实现较优的空间分集性能。因此，目前毫米波系统一般采用结合数字波束赋形和模拟赋形的混合波束赋形架构，如图 2.2 所示。混合波束赋形架构可以在波束赋形性能、硬件电路/芯片成本和系统功耗等方面达到综合性能最优，是目前毫米波设备的主流实现方案。

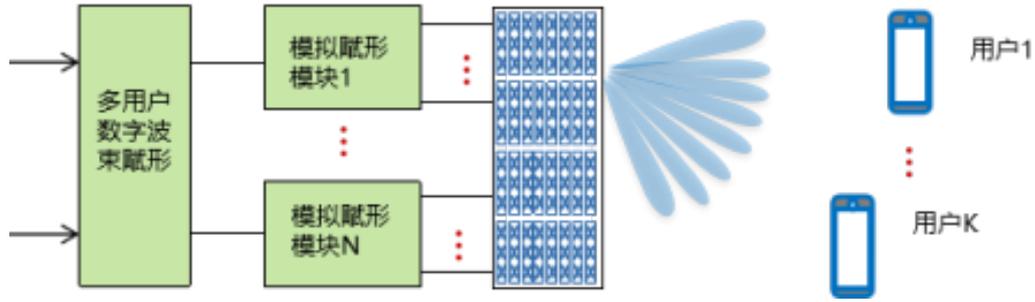


图 2.2 混合波束赋形结构

2.2 波束管理

毫米波通信系统中，需要选择最优的窄波束对用于上下行的数据传输，由于用户端存在移动、旋转、阻塞，还需要对选择的波束对进行实时更新，因而需要进行波束管理。波束管理功能需要包括以下几方面内容：波束扫描、波束测量、波束上报、波束指示和波束失败恢复。

波束扫描一般分为粗扫描和精准扫描，分别对控制信道和数据信道进行扫描，波束测量过程在空闲接入状态时和连接态中都起到关键作用，主要测量 SSB、CSI-RS、SRS 等信号。波束失败与恢复的过程如图 2.3 所示，UE 检测到波束失败时触发波束失败恢复流程，重新发起接入请求，与基站重新建立新波束对，恢复数据传输。

毫米波系统必须能够有效支持波束接入和管理功能，才能有效体现毫米波系统在超大带宽、通信速率等方面的应用优势。

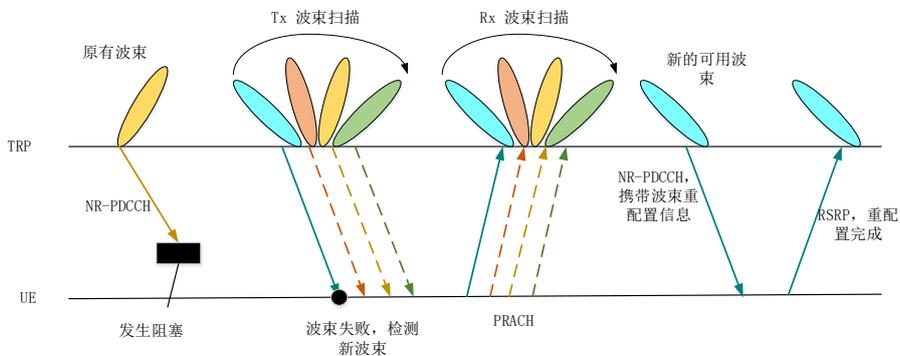


图 2.3 波束失败和恢复流程

2.3 传播特性和穿透损耗

根据 3GPP TR38.901 中规定的 0 GHz-100 GHz 无线电波在城市区域内直射路径的损耗模型可知，自由空间损耗与载波频率成正相关。目前 3GPP 中规定的毫米波段（FR2 频段），频率范围是 24.25GHz-52.6GHz，与 5G sub6G 低频段相比，传播路损一般大于十几 dB，相同发送功率，毫米波理论通信覆盖距离也远小于 5G 低频设备。以 26GHz 和 3.5GHz 为例比较和评估高频毫米波段与 5G sub6G 低频频段的传播路损差异，结果如图 2.4 所示，可以看到毫米波传播路损高 17.42 dB，理论传播距离也会明显降低。

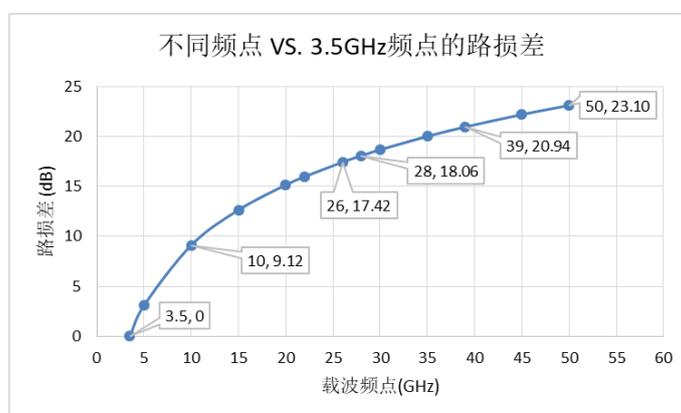


图 2.4 不同频点与 3.5 GHz 频点的路损差

在毫米波传播过程中，容易受到降雨、树丛遮挡、以及其他遮挡物对电波的遮挡和吸收等影响，不同遮挡物、不同情况的毫米波穿透损耗相关测试结果如表 2.1 所示：

表 2.1 5G 毫米波穿透性能损耗

树冠（直径 4 m）	人体（单侧/周围）	混凝土承重墙	木门（5 cm）	普通玻璃门	房车车体
20 dB	11 dB-28 dB	无法穿透	6 dB	5 dB	17 dB-23 dB

从测试结果可以看到，毫米波穿透损耗远高于 6 GHz 以下频段。毫米波基本不具备穿透混凝土承重墙的能力。此外，根据对毫米波雨衰的理论分析和测试，

不同降雨量环境会导致毫米波通信速率有不同程度的下降。

考虑到毫米波相对于 6GHz 以下频段在直射路径下损耗较大，因此部署初期应考虑毫米波短距离热点覆盖为主，搭配其他通信系统保证接收终端的通信质量，并需要充分考虑恶劣天气如雨、雪、雾对毫米波的影响。在 LOS 场景或近似 LOS 场景下推荐的大型露天体育场、机场、大型广场等地点，此类场景阻挡物少或无遮挡，用户密度高、具有整体流动性，流量需求大等特点，适于毫米波应用。另外商业街、工厂等反射路径丰富的 NLOS 场景也可以适用于毫米波通信，可以提供大容量的终端接入以及高速率的内容上传和下载。

在毫米波通信技术产业应用推进过程中，应充分考虑实际应用场景特点，对毫米波传播特性进行有效建模和系统链路评估，制定符合实际场景需求的毫米波应用部署方案。

2.4 超高速率通信能力

目前 5G 低频的下行峰值速率为 1Gbps 左右，上行峰值速率为 100Mbps 左右，无法满足未来通信系统 10Gb/s 以上的用户峰值速率需求。而毫米波凭借其超大带宽方面的天然优势，具备超高速率的通信能力。

除了工作带宽，无线通信的峰值速率还受到帧结构、传输流数、调制方式和阶数等多方因素的影响。毫米波具有丰富的频率资源，根据目前 3GPP 标准规定，5G 毫米波可以支持 400MHz/800MHz 的大带宽，通过不同运营商之间的共建共享，还可以支持超过 800M 的超大带宽，具备超大带宽通信的能力。毫米波系统支持多流传输，以及 64QAM 和 256QAM 等高阶调制方式。毫米波帧结构支持上下行灵活配置，可根据需求弹性切换，针对不同场景实现高速率的通信业务需求。

目前业界毫米波下行峰值速率可以达到近 10Gbps，上行峰值速率可以达到 1Gbps 左右，随着毫米波相关技术的不断发展，毫米波及更高频段的通信系统必然可以达到 10Gbps 以上的峰值速率，满足未来通信的速率需求。

3 毫米波产业链进展和面临挑战

3.1 毫米波产业链进展

◇ 毫米波标准日趋成熟

在 3GPP 中毫米波频段的射频标准讨论和制定工作由 3GPP RAN4 牵头开展，研究分为两个阶段：第一阶段研究 40 GHz 以下的频率，以满足较为紧急的商业需求，于 2018 年 12 月完成。第二阶段计划从 2018 年开始，到 2019 年 12 月完成，该阶段专注于最高 100GHz 的频率，以全面实现 IMT-2020 的愿景。

5G 频段具有多样性，一般包括 6GHz 以下和 24.25GHz-52.6GHz，第一阶段频谱分配定义了 52.6GHz 以下的毫米波频谱，见表 3.1。

表 3.1 3GPP 毫米波频段

频段号	频段	双工方式
n257	26500 MHz - 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz - 27500 MHz	TDD
n260	37000 MHz - 40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz - 28350 MHz	TDD

在 3GPP 中，上述毫米波频段和 3.5GHz 的 NR 系统是同步标准化，目前已经形成 2018.12.30 的 R15 版本，R16 版本正在讨论中。

国内 IMT-2020 (5G) 推进组成立高频讨论组，制定毫米波关键技术要求、毫米波外场性能测试方法等行业标准，目前已经形成 2019.06.21 版本。

◇ 毫米波频谱正在规划部署中

频谱是移动通信产业最为宝贵的资源，任何一代移动通信技术的正式商用，前提都必须获取一定的频谱资源。国际电联 (ITU) TG 5/1 工作组致力于寻求 5G 全球或区域协调一致的毫米波频段，目前已经完成了 2019 年世界无线电通信大会准备会会议文件 (CPM 报告) 中关于 1.13 议题的相关内容，此次 WRC-19 会议

会对毫米波频段提出明确的频段建议，各国家或地区将根据议题进展及结果开展规划。

当前，美国，韩国，日本等国家已陆续完成 5G 毫米波频谱的划分与拍卖，5G 商业部署前景明朗，拍卖情况如表 3.2 所示。

表 3.2 美日韩 5G 高频频谱拍卖情况

国家	运营商	频段
日本	乐天	27-27.4GHz
	NTT Docomo	27.4-27.8GHz
	KDDI	27.8-28.2GHz
	Softbank	29.1-29.5GHz
韩国	KT	26.5-27.3GHz
	LG U+	27.3-28.1GHz
	SK 电讯	28.1-28.9GHz
美国	Verizon	28/39GHz 的毫米波频段获得 1GHz
	AT&T	39G 毫米波频段获得 400MHz
	T-Mobile	在 28GHz 和 39GHz 频段获得 200MHz

欧盟在 2018 年 7 月已经明确 24.25-27.5GHz 频段用于 5G，建议欧盟各成员国在 2020 年底前在 26GHz 频段至少保障 1GHz 频谱用于移动/固定通信网络。此外，欧盟将继续研究 32G（31.8-33.4GHz）和 40G（40.5-43.5GHz）等其他高频段。英国、德国等国家已经确认了 5G 中高频待分配或待招标的频段，如表 3.3 所示。

表 3.3 英德待拍卖 5G 高频频谱

国家	运营商	频段
英国	沃达丰/英国电信/02 等	24.25-27.5GHz
德国	德国电信/沃达丰/西班牙电信等	27.8-28.4GHz 和 28.9-29.4GHz

从上述 5G 毫米波频段的规划和拍卖中可以看出，毫米波部署初期，大多数

的国家将注意力都集中在 26GHz 和 28GHz 这两个频段上,在这两个频段上投入的资源也是最多的。

我国工业和信息化部于 2017 年 7 月批复 24.75-27.5GHz 和 37-42.5GHz 频段用于我国 5G 技术研发毫米波实验频段,试验地点为中国信息通信研究院 MTNet 试验室以及北京怀柔、顺义的 5G 技术试验外场。目前毫米波频谱的具体规划未正式发布。

◇ 毫米波设备和终端尚不成熟

毫米波基带部分与 5G 低频段设备具有相同成熟度,但是射频相关的功能和性能较 5G 低频段设备有较大差距。主设备方面,由于目前北美和日韩已经开始部署毫米波系统,所以厂家设备频段以北美和日韩频段为主。设备可以支持基本功能,但是部分功能如波束管理、移动性等有待进一步完善。

芯片和终端的进度总体上落后于设备。

英特尔(Intel)于 2017 年 11 月发布了 XMM 8060 5G 多模基带芯片,该芯片同时支持 6GHz 以下频段和 28GHz 毫米波频段。高通已经能够提供商用的毫米波终端芯片 X50 和 X55,天线模组 QTM525。

高通公司目前已具备测试终端 MTP8510-5G,频点为 N257A 或者 N261(28GHz 频段)。在商用终端方面,OPPO/VIVO/ZTE 预计 2019 年底将推出 X55 芯片样机终端,商用终端预计 2020 年出现。

高频模拟器件与芯片是毫米波通信设备的基础,同时也是我国通信产业的短板,适用于民用通信的器件材料工艺成熟度与全球领先企业存在较大差距,需要产业界汇聚产学研用力量共同推进国内高频模拟器件的产业发展。

3.2 毫米波发展面临挑战

虽然毫米波有丰富的频谱资源可以实现高速无线传输,但毫米波产业链的发展仍然面临众多挑战,主要包括以下几个方面:

◇ 频谱规划

中国毫米波频谱规划尚未明确，需要政府尽快明确毫米波频谱规划，加速毫米波产业链发展。在工信部无线电管理局《2019 年全国无线电管理工作要点》中明确提出“适时发布 5G 系统部分毫米波频段频率使用规划，引导 5G 系统毫米波产业发展”。5G 毫米波频谱规划有望在 2019 年出台。

◇ 设备与终端

毫米波设备形态单一、功能和性能尚不满足 5G 组网需求。阻碍因素主要来自于高频器件，高频核心器件主要包括：高速高精度的数模及模数转换芯片、高频功率放大器、低噪声放大器、滤波器、集成封装天线等等。为满足更高阶调制方式及多用户通信等需求，高频功率放大器、低噪声放大器需要进一步提升输出功率、功率效率、及线性度等性能；锁相环系统需要进一步改善其相位噪声及调谐范围等性能；滤波器需要提升其带宽、插入损耗等性能；数模及模数转换器件要求满足至少 1GHz 的信道带宽的采样需求，提高精度并降低功耗；新型的高频阵列天线需要满足高增益波束和大范围空间扫描等方面需求。高频天线阵列采用混合赋形架构会带来线性化校正困难的问题，需要考虑可实现的线性化方案用于提升设备能效，或考虑利用透镜天线等替代方案，降低硬件实现复杂度。不同运营商共建共享也会带来设备超大带宽的需求。

此外，作为 5G 高频段通信系统走向实用化的关键步骤，低成本、高可靠性的封装及测试等技术也至关重要目前我国 5G 毫米波芯片和终端型号较少，覆盖种类和形态不够丰富，产业链成熟度落后于 5G 低频，也落后于美国、欧洲等国际先进水平，是我国 5G 毫米波发展与应用的阻碍因素。国内产学研多方机构都在该方面纷纷发力，推动国产毫米波器件与芯片的技术能力与产业水平。

◇ 测试技术

5G 毫米波的测试难以采用传统的连线测试，只能采用 OTA 的测试方法。5G 高频毫米波基站设备 OTA 射频指标标准化趋于成熟的同时，指标测试方案的可行性、可靠性、准确性、成本和效率等都面临新的问题和挑战。测试场地成本、测试效率以及测试准确度等都是 OTA 测试方案需要考虑并给出解决方案的问题。目前行业内相关机构和厂商都在该围绕该技术方向进行探索研究，需要整个产业界从测试环境、仪表器件和算法设计等多方面共同努力，克服阻碍问题，推动 5G

毫米波基站 OTA 射频指标测试技术的突破与进展。

4 毫米波发展规划

4.1 毫米波愿景与目标

毫米波作为未来通信关键技术被寄予厚望，中国联通提出要紧抓中国 5G 快速发展契机，构建 5G 毫米波合作平台，凝聚毫米波产业力量，引领毫米波技术发展，打造毫米波生态体系，推动毫米波产业链成熟，加速毫米波网络部署，探索合作共赢的 5G 毫米波业务模式，赋能 5G 网络，互惠共赢。为了实现这一美好愿景与目标，联通将从以下几方面进行开展具体工作：

方案部署方面，制定 5G 高低频混合组网和多样化的毫米波部署方案，将毫米波与 MEC、AI 等先进技术相结合，制定低成本、高质量、场景化的端到端专网解决方案。此外，还需要考虑毫米波在共建共享方面的应用。

网络设备方面，明确设备需求，推动设备成熟，丰富设备形态，满足多场景网络部署需求，推动毫米波设备小型化、多模化、白盒化发展。

终端方面，推动 5G 毫米波终端成熟。明确毫米波专网终端需求，推动专网终端、公网专网结合终端研发，满足业务需求。

业务方面，打造基于 MEC+AI 技术的毫米波专网业务平台，提供高安全保障、高效率、能力开放的平台能力，提供终端管理、定位、群组管理和呼叫、视频分发管理服务等基本业务能力，提供能力开放接口。基于毫米波的共建共享，多家运营商频谱共享可以实现高于 800M 的超大带宽，节省建设成本的同时可以支持扩展现实、虚拟现实融合、超高清（8K/16K）视频、移动云等未来超高速通信应用，为用户提供更加身临其境、前所未有的体验。

4.2 毫米波应用场景

4.2.1 “Wo-PARK” 园区专网场景

毫米波系统具有大带宽，低时延的特点，如果与 MEC 相结合，可以更好的释放 MEC 技术的特点，同时 MEC 也可以为毫米波系统叠加丰富多样的增值服务，为

毫米波网络赋能。在 MEC 平台基础上，引入 AI 技术，将业务与 AI 结合，则可以为覆盖区域提供“大容量高速率+本地化”的智能解决方案，满足行业客户低时延、大带宽、安全隔离的需求。

中国联通创新性提出融合毫米波+边缘云+AI 三种技术的“Wo-PARK”行业专网解决方案，将毫米波与 MEC、AI 技术进行融合，构建安全隔离的智慧行业专网，解决原有行业专网带宽窄、吞吐率低、时延大等问题，提升专网用户感知，为用户提供定制化服务。“Wo-PARK”中的 PARK（Peak、Accelerate、Rapid、Key）意为区域，既喻意园区专网，又涵盖 5G 通信愿景的四个方向和技术理念：

P: Peak，代表 5G 时代极高的用户体验速率。

A: Accelerate，代表加速的信息化时代。

R: Rapid，代表高速的业务驱动。

K: Key，代表边缘云和毫米波技术是 5G 的关键技术。

中国联通基于园区专网场景构建完善的运营商级智能专网体系，图 4.1 所示为中国联通 Wo-PARK 平台体系架构示意图。架构主要包含以下 3 个层级：

➤ 超大带宽接入层

利用毫米波接入技术，为用户提供超大带宽的上下行传输能力。

➤ 业务管理层

基于边缘云平台服务，完成本地内容分发、缓存、以及数据处理的能力，为专网用户和终端提供用户管理、APP 管理、终端和其他业务管理功能。

➤ 能力开放层

通过人工智能技术，可在不同业务场景下，为企业园区、专网用户和终端等提供模式识别、数据训练以及智能决策等多样化、智能化服务。

在具体组网方式方面，5G 毫米波系统采用独立频点组网，对园区提供信号深度覆盖，系统需要具备较强的移动性管理功能。



图 4.1 中国联通 Wo-PARK 平台体系架构

从毫米波传播特性和覆盖能力考虑，5G 毫米波适合部署在相对空旷无遮挡或少遮挡的园区环境，典型应用和需求如下：

组网方式：毫米波独立频点组网、高低频混合组网。

目标：毫米波大带宽通信，结合 MEC 和专网管理平台，叠加 AI 业务管理能力。

设备需求：毫米波宏站、毫米波微站、毫米波微 RRU、毫米波分布式微站。

终端需求：定制化 CPE；毫米波专网定制终端；公网混合终端。

◇ 典型场景 1：智慧码头

该类场景毫米波作为 LTE\5G 低频基站的回传，采用毫米波基站对打的方式通信，对带宽需求高、要求链路稳定、无移动性需求。



图 4.2 智慧码头

◇ 典型场景 2：智慧园区

该类场景毫米波作为 LTE\5G 低频基站的回传，采用毫米波基站对打的方式

通信，对带宽需求高、要求链路稳定、无移动性需求。

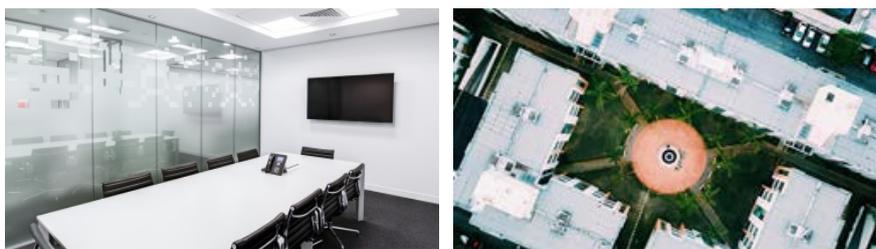


图 4.3 智慧园区和智慧厂区

室内、园区、码头等场景具有业务本地化属性强、用户接入数量大、流量集中突发性强的特点。毫米波技术提供的高速率大容量特点，将大幅度提升空口速率，对 4K、8K、AR、VR、云游戏等大视频类场景有巨大的提升，快速建立端到端业务，避免画面卡顿和眩晕感。结合 MEC 边缘云技术，可将视频和虚拟场景缓存到本地，快速建立环境与场景，减少业务巨大流量对运营商网络的冲击和压力，适合于本地化缓存类业务。

4.2.2 品牌价值区域与吸热场景

新一代移动通信的覆盖部署范围具有核心城市-主要城市-城市-乡村逐步覆盖的规律，在部署初期均是与其他通信系统结合，覆盖品牌价值区域，或者解决高热场景的业务需求。5G 通信系统也遵循上述部署规律，部署初期将与 LTE 系统进行混合组网提供高速率大带宽服务。

从产业链成熟和网络部署进度角度考虑，国内 5G 毫米波系统商业部署时间点比 6GHz 以下频段 5G 系统晚 2 年左右，预计届时 5G 6GHz 以下频段系统已经完成大部分城市重点区域覆盖。所以 5G 毫米波系统部署时，将与 6GHz 以下频段的 5G 系统结合，形成 5G 系统高低频混合组网方式，用于重要品牌价值区域的覆盖，提升品牌价值，或者用于人流密集场所和热点区域的吸热，提供进一步的大容量上传能力。

在具体组网方式方面，5G 毫米波系统可以根据需求与 5G 低频系统共站址部署或拉远部署，提供精准覆盖。需要具备较强的系统间、频段间的互操作功能和移动性管理功能。根据具体部署场景，需要毫米波宏站、毫米波微站、毫米波微 RRU、毫米波分布式微站等多种形态的设备。在终端方面，需要支持 3G\4G\5G

高低频的多模多频终端。典型场景和需求如下：

组网方式：5G 高低频混合组网，根据需求与 5G 低频系统共站址部署或拉远部署。

目标：提供大带宽通信能力，满足热点区域需求、提高品牌价值。

设备需求：毫米波宏站、毫米波微站、毫米波微 RRU、毫米波分布式微站。

终端需求：支持 3G\4G\5G 高低频的多模多频终端、CPE。



A 类场景，提升品牌价值 人流量密集区域热点覆盖 大型室内场馆容量需求

◇ 典型场景 1：交通枢纽

该类场景的特点在于室内面积大且相对空旷，人员流动性强，不同的功能区需要有针对性的覆盖方案，需要对小区的划分进行针对性设计以达到移动性与容量的平衡。



图 4.4 交通枢纽

◇ 典型场景 2：体育场馆

该类场景的特点在于室内面积大且相对空旷，阻挡物少，用户密度高，人员具有整体流动性，上行流量需求大。部署中需要注意小区间同频干扰。



图 4.5 体育场馆

◇ 典型场景 3：广场

该类场景的特点在于室外面积大且相对空旷，阻挡物少，用户密度高，人员流动性大，流量需求大。



图 4.6 广场

4.2.3 无线回传场景

毫米波频点较高、波长较短，可以在相同面积实现更多天线阵列布防、波束能量更集中。并且毫米波系统可以提供高达 800MHz 带宽、10Gbit/s 的系统峰值速率，使毫米波可以作为无线回传链路，解决一些场景无法布放光纤或布放光纤代价过高的问题，例如毫米波可作为 LTE\5G 低频基站的回传，通过毫米波转 WIFI 作为家庭或企业宽带服务。

在具体组网方式方面，5G 毫米波系统采用独立频点组网，作为其他无线通信系统中的回传链路，采用宏站提供足够的覆盖距离，链路两端设备相互精准覆盖，布放后无需移动，建立链路后保持连接状态。系统需要接入管理功能、需要部分无线资源调度管理功能、无需移动性管理功能，功能实现较高低频混合组网简单。

另一种大带宽回传方式是毫米波自回传：一方面基站为终端提供服务，一方

面通过站间对打实现无线回传，这种方式可以作为无法布放光纤回传时的灵活解决方案。

从毫米波传播特性和覆盖能力考虑，需要保证链路上无遮挡，并且需要充分考虑恶劣天气如雨、雪、雾对毫米波的影响。典型的场景和需求如下：

组网方式：毫米波独立频点组网。

目标：利用毫米波大带宽通信能力，提供光纤替代解决方案。

设备需求：毫米波宏站。

终端需求：固定无线接入（FWA）方式，需要定制化 CPE，提供毫米波转 WIFI 功能；毫米波无线回传方式，采用毫米波基站对打方式，提供远距离高质量传输。

◇ 典型场景 1：家庭宽带接入

该类场景的特点在于带宽需求高、要求具有直射链路、一般要求终端室外安装，对基站高度有一定要求，无移动性需求。



图 4.7 毫米波用于无线家宽

◇ 典型场景 2：滑雪赛道

该类场景毫米波作为 LTE\5G 低频基站的回传，采用毫米波基站对打的方式通信，对带宽需求高、要求链路稳定、无移动性需求。



图 4.8 滑雪场景

◇ 典型场景 3：毫米波自回传

一方面作为基站为终端提供服务，一方面通过站间对打实现无线回传，可以降低回传成本，提高部署灵活性。



图 4.9 毫米波回传场景

4.3 毫米波设备与终端要求

4.3.1 毫米波设备要求

带宽和峰值速率方面，毫米波设备应支持 200MHz、400MHz 单载波能力，应支持多载波聚合，总带宽 800MHz 的能力。毫米波设备应支持 64QAM 和 256QAM 调制方式，系统峰值传输速率应达到 10Gbps 以上。

波束赋形方面，受制于毫米波传播特性，毫米波收发机需要采用大规模天线阵列来弥补严重的空中传播路径损失。5G 毫米波设备需要充分利用大规模天线阵列和波束赋形技术，提高信号覆盖能力。

5G 毫米波频段系统需要具备较好的波束管理算法，包括控制信道和数据业务信道设计、波束选择、波束反馈、波束指示以及波束恢复等，保证 UE 在移动过程中的波束选择与波束跟踪，保证 UE 在遮挡情况下的波束切换与波束恢复能力。在毫米波共建共享情况下，5G 毫米波设备可以应用超过 800M 的超大带宽，实现超过 10Gbps 的超高速率。

设备形态方面，面对丰富的应用场景，要求毫米波设备需要有丰富的设备形态，具体要求如下：

◇ 宏站

大容量 BBU 和高增益 RRU，ERIP 在 58dBm 以上，基本满足与 5G sub6GHz 频段共站址部署。

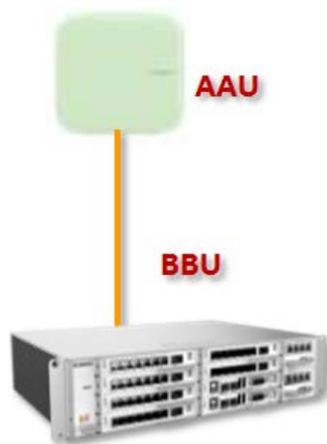


图 4.10 毫米波宏站

◇ 一体化微站

包括基带、射频与天线，小型化、隐蔽化，根据覆盖场景和功率登记可以分为室外微站、室内微站。



图 4.11 毫米波微站

◇ 微 AAU

毫米波微 AAU，根据覆盖场景和功率登记可以分为室外微 AAU、室内微 AAU。

◇ 扩展型微站

包括主机单元、扩展单元、远端单元。

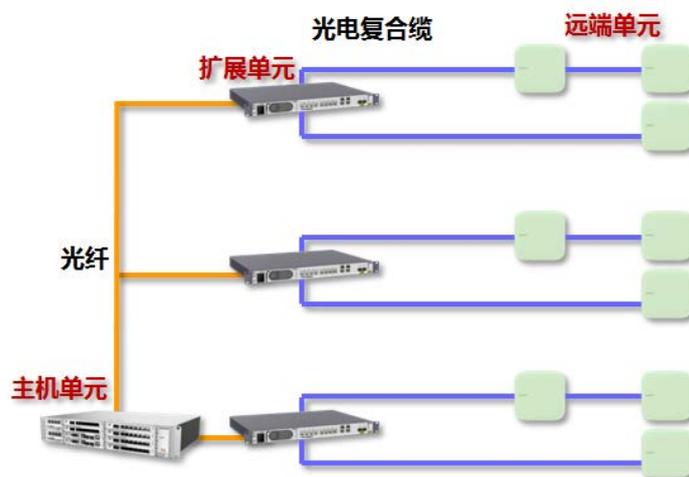


图 4.12 扩展型毫米波微站

中国联通目前已经宣布与中国电信共建共享 5G 网络来节省 5G 基础设施建设资金投入。因而毫米波基站设备不仅需要满足中国联通多模多频组网方式需求，能够与现网 LTE 系统、5G 低频段系统进行设备上的融合，还需要满足共享方终端接入的需求，能够与锚点 4G 站进行融合，支持专有频率优先级配置。对于宏站，要求 BBU 可以同时支持 6GHz 以下设备和毫米波频段 AAU 和微 AAU，满足高低频三扇区组网需求。要求射频单元提供 6GHz 以下设备与毫米波系统的硬件融合设计方案，支持不同运营商的毫米波频段共享和扩展，有效降低铁塔租金。对于分布式微站，要求系统同时支持 6GHz 以下频段和毫米波频段，BBU 和汇聚单元支持 6GHz 以下和毫米波频段拉远 RRU 单元的接入。提供 6GHz 以下与毫米波频段拉远 RRU 的融合设计方案。

设备需要提供灵活部署能力。相对于 sub6G 设备，毫米波元器件的尺寸更小，单位面积可以部署更多的天线阵子或者毫米设备更容易小型化。设备需要进行优化设计，减小微站和微 AAU 单元设备体积，进行美化设计便于隐蔽部署，提供多种方式的供电方案和回传方案。

设备需要向白盒化方向发展，采用开源软件+通用器件来代替传统专用设备，利用器件的规模效应摊薄研发成本，降低接入网的综合成本。白盒化将有利于吸引一大批有创新能力的中小企业进入移动通信产业，使移动通信产业链由封闭逐

步走向开放，是未来微站的发展趋势。

4.3.2 毫米波终端要求

面对丰富多样的 5G 毫米波应用场景，特别是园区专网场景，毫米波终端应根据专网业务需求进行定制。根据 5G 毫米波应用场景，毫米波终端包括公网专网混合终端、专网功能终端、定制化 CPE，具体要求如下：

公网专网混合终端，与 5G 终端融合设计，支持多模多频，支持 5G 高低频双联接和 5G 毫米波载波聚合能力。支持专网 APP 应用。终端其他能力需求与当前公网终端相同。

专网功能终端，根据客户需求和功能进行分级别定制化，要注重安全、功能定制化，价格合理化，满足行业需求。对于集群业务，提供 PTT 能力，可以按照客户要求定制容量电池容量、屏幕尺寸等硬件能力和语音、文字、视频等功能。对于监控、安防等业务，提供毫米波传输模组或极简功能终端，提供多种接入端口，满足用户单一功能要求。

定制化 CPE，毫米波转 WIFI 用户端设备，根据性能要求，分为家庭宽带 CPE 和企业级 CPE。对于家庭宽带，要求与家庭光猫具备相同功能，为用户提供 WIFI、有线宽带接入能力。对于企业客户，按照客户需求进行定制化开发，保证带宽和用户数需求，如单 AP 射频接入用户数和整机有流量用户数能力。

5 目前开展工作与推进计划

中国联通致力于推动国内毫米波产业链发展，目前已经在制定标准、行业试点、设备研究、应用推动、商用部署等方面都进行了积极探索。

标准方面，中国联通参加 IMT-2020 毫米波讨论组会议，进行毫米波关键技术标准制定工作，提出了两种针对毫米波的上行增强帧结构方案 DSUUU、DDSUU，并对应的应用场景进行了分析，均被采纳。2019 年 5 月，中国联通在 Future 论坛 5G 毫米波技术研讨会介绍冬奥场馆毫米波部署需求。

设备方面，中国联通在业界率先完成中兴、爱立信、诺基亚等多家公司的毫米波设备测试，掌握了 5G 毫米波设备的进展和实际性能。中国联通与爱立信成立毫米波太赫兹联合创新中心，积极推动毫米波设备的发展。在中国联通推动下，爱立信与高通进行了双方在全球的首次业务联调，有力推动了设备和终端的加速成熟。

应用方面，在 2019 年 4 月的中国联通全球产业链合作伙伴大会和同年 6 月的上海 MWC 大会上，中国联通与中兴通讯完成了基于 5G 毫米波基站的 16 路 4K 高清视频的上行业务示范，展示了 5G 毫米波大带宽低时延能力。

产业生态方面，承办了“毫米波太赫兹产业发展联盟”大会，致力于完善毫米波生态链，提高联通行业地位。

为了加速推进毫米波进程，未来中国联通将在以下几方面继续努力推进：

频谱申请方面，中国联通致力于联合产业界，引导并推动毫米波频谱规划和分配。未来的主要工作目标包括：完成毫米波频段奥运赛场区域试验申请；完成毫米波规模试验频段使用申请；积极参与 ITU、工信部频谱规划和分配工作；进行毫米波频段干扰共存研究和频谱兼容性研究。

技术研究方面，联合产学研机构，针对毫米波产业发展面临的技术挑战和瓶颈问题，积极开展对毫米关键和瓶颈技术的探索和研究，走技术专利化、专利标准化、标准产业化路线，促进毫米波技术挑战的突破，推动设备与终端的产业化发展。

设备方面,中国联通正在积极进行毫米波设备摸底测试,获得设备真实性能,为试点做好准备。目前中国联通已经和、中兴、爱立信、诺基亚等厂家完成了外场测试,下一阶段,将跟随 IMT2020 毫米波工作组,制定联通企业标准,推动行业标准,引导设备开发,对毫米波的内场功能特别是射频指标进行测试。联通和电信正在积极推进 3.5GHz 的 5G 共建共享相关工作,未来也会考虑毫米波网络共建共享方案对部署方案变影响和变化。

应用方面,开展毫米波试点示范,进行毫米波应用场景和网络解决方案研究。重点研究毫米波+MEC 特殊场景和创新业务方案,完成奥运场馆、智慧园区、交通枢纽和商务区的毫米波应用示范。通过示范应用,构建产业+业务生态,形成成熟的解决方案、丰富的应用案例、牢固的合作关系,推动未来毫米波规模应用。

产业生态方面,加快构建 5G 毫米波合作平台,组织和联合设备厂商、终端厂商、芯片厂商、天线厂商、垂直行业、高校等产业链上下游开展合作,凝聚毫米波产业力量,不断拓展毫米波应用场景,通过 5G 毫米波业务试点、规模应用和实际部署,牵引和推动业务、平台以及产品的迭代更新,形成多样化产品和应用解决方案,汇聚产业生态优势资源,引领和促进我国毫米波通信产业快速发展。

6 总结与展望

未来社会和产业信息交互都会对通信设备提出更大带宽、更高速率、更加多样化的通信能力和业务需求，毫米波拥有超大带宽资源和灵活弹性的网络配置能力，可以满足和适应未来通信更高速率和差异化业务应用的需求。尽管现阶段高频段毫米波的发展面临诸多挑战，但随着相关技术的不断突破和高频器件产业的持续发展，毫米波及更高频段凭借其丰富的频率带宽资源等天然优势，必然成为现阶段 5G 乃至未来 B5G/6G 通信技术的重要组成部分。

本白皮书提出中国联通毫米波发展愿景和目标、应用场景和产业链发展需求，面向产业界阐述了中国联通毫米波发展和推进计划，为合作伙伴和产业界提供参考。

中国联通会致力于推进毫米波关键技术研究 and 产品研发，积极推动相关芯片设备的进展、组网验证和试点落地，同时我们诚挚的邀请所有电信设备厂商、IT 系统厂商、芯片厂家以及所有关注毫米波的研究机构和高校共同参与到毫米波产品的研发以及推广，推动毫米波产业链健康发展，实现合作共赢。