



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

# 中国联通弹性空口 (CUBE-FLEX AIR) 白皮书

**中国联通**  
**2019 年 11 月**

# 目 录

<b>1</b>	<b>引言</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>移动通信网络演进的需求与挑战</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>弹性空口技术的内涵</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>弹性空口的技术方案</b> .....	<b>7</b>
<b>4.1</b>	<b>动态空口资源分配</b> .....	<b>7</b>
4.1.1	动态频率共享 .....	7
4.1.2	灵活系统带宽 .....	9
4.1.3	灵活的帧结构 .....	11
<b>4.2</b>	<b>灵活的空口资源协同</b> .....	<b>15</b>
4.2.1	宏微协同 .....	15
4.2.2	高低频协同 .....	17
<b>4.3</b>	<b>智能空口资源管理</b> .....	<b>18</b>
4.3.1	智能波束管理 .....	18
4.3.2	智能能耗管理 .....	22
<b>5</b>	<b>未来推进计划</b> .....	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>总结与展望</b> .....	<b>26</b>

# 1 引言

移动通信的带宽在近十年得到了飞速的发展，为了应对未来高速增长的数据传输需求，5G 移动通信技术的探讨与研究正在深入进行。2019 年 6 月 6 日工信部向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电发放 5G 商用牌照。这标志着中国正式进入 5G 商用元年。

ITU-R（国际电信联盟无线电通信局）确定未来的 5G 具有以下三大主要的应用场景：（1）增强型移动宽带；（2）超高可靠与低延迟的通信；（3）大规模机器类通信。具体包括：Gbps 移动宽带数据接入、智慧家庭、智能建筑、语音通话、智慧城市、三维立体视频、超高清清晰度视频、云办公和游戏、增强现实、工业自动化、高可靠应用，如移动医疗、自动驾驶汽车等。

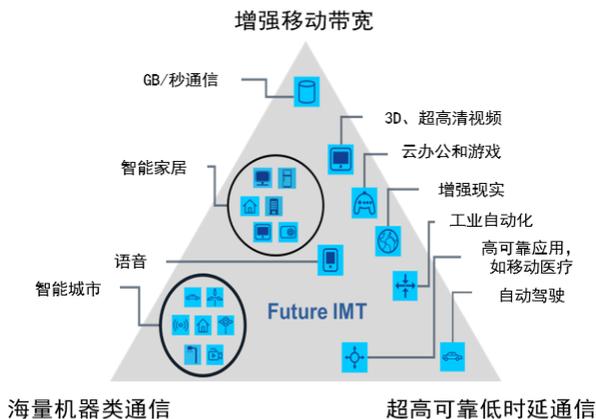


图 1 5G 业务应用场景

为了更好的应对未来移动通信网的演进需求与挑战，本白皮书提出了弹性空口（CUBE-FLEX AIR）的技术方案，利用动态空口资源分配、灵活的空口资源协同和智能空口资源管理，打造“弹性”、“智能”、“协同”的网络。

## 2 移动通信网络演进的需求与挑战

回顾移动通信网络演进的历史，我们可以看到两条明显的发展脉络。一条发展脉络是以移动网络能力为代表的移动通信技术的发展，一条发展脉络是承载在移动网络上的业务的发展与变化。随着技术的发展，移动通信网支持的速率快速增加，服务能力不断增强，以移动互联网应用为代表的移动视频、手游、移动支付等业务应用得以迅猛发展。而不断丰富业务类型，反过来对移动通信网的容量、速率和服务能力提出了更高的要求。

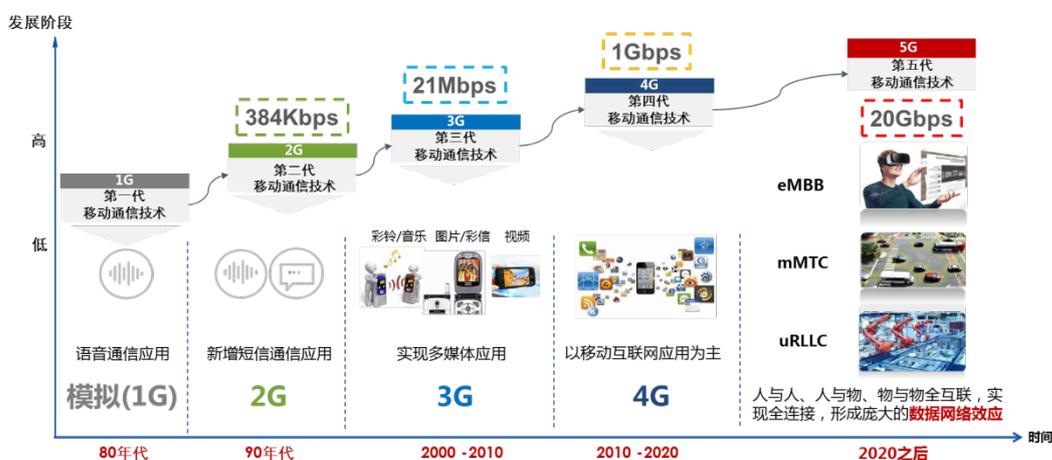


图 2 移动通信网络的发展脉络

2019 年是 5G 元年。5G 时代业务类型更加丰富多样，增强现实、虚拟现实、超高清全景视频等多种大容量、高速率一同迸发，推动者人类社会信息交互方式的进一步升级。另一方面，全球城市智慧化的进程极大扩展通信服务范围，5G 时代将不仅局限于人与人之间的通信互联，数以千亿计的机器、设备将接入网络，实现从人与人通信延伸到物与物、人与物的智能互联。而以工业互联网、远程医疗为代表的行业应用呈现差异化、多样化、精细化的发展趋势。高可靠、低时延、大连接是行业应用对网络的基本能力要求，移动通信网络还需要能够提供更多的、差异化的、面向应用的、快速部署的、整合的能力。

行业应用是移动网络发展的爆点，这已经是整个通信行业达成的共识。但是当前移动通信网络的能力还不能够适应业务发展带来的变化，更无法满足行业应用的需求。

在频谱和网络结构方面，2G/3G/4G/5G 多种制式存在长期共存，不同频段和制式下资源利用效率严重不均，各个系统刚性的资源配置无法动态的调整，不能动态匹配业务多变的需求，难以发挥出整个移动通信网络的最大效率。

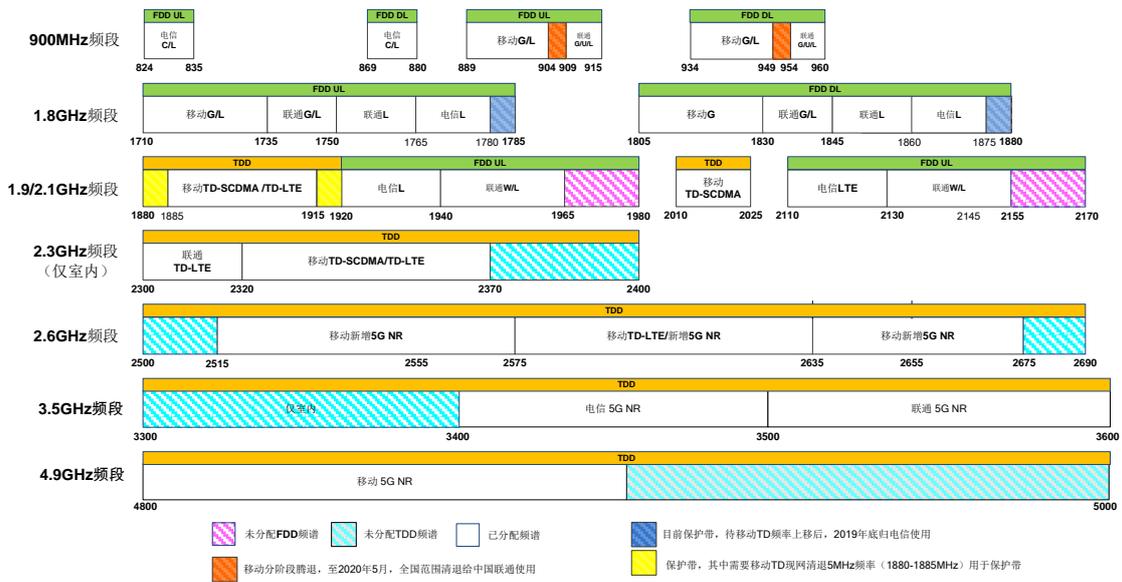


图 3 各频段频谱利用情况

系统配置不够灵活。相比传统 eMBB 业务以下行容量需求为主，5G 行业应用业务，如远程医疗、安防监控等，大带宽上行需求凸显。固定化的帧结构及上下行资源配置难以满足差异化的业务需求。

网络管理和优化复杂性极高。首先，多系统共存、多频段共存导致系统资源管理复杂。其次，5G 网络引入了 Massive MIMO 和波束赋形技术，在带来系统能力和效率提升的同时也带来了网络规划、优化和能耗方面的挑战。最后，多样化的 5G 行业应用也对网络架构管理的能力提出了更高的要求，网络运营的复杂度显著提高，传统的人工配置方式难以满足差异化、快速部署的场景需求。

网络的容量、覆盖不能满足业务分布不均衡的挑战。5G 带来丰富的业务，不同业务在速率、时延、可靠性方面的需求存在较大的差异，单一的网络覆盖只能满足 2C 用户的基本需求，对于差异化的业务需求需要更加融合和协同的网络。

### 3 弹性空口技术的内涵

“弹性空口”是指能够根据用户和业务需求的变化通过动态调整网络资源、智能网络管理、灵活的跨域协同等技术手段进行最优化的资源配置，在匹配用户业务需求，做到“网随业变，网随人动”的同时最大化系统的效率，打造“弹性”、“智能”、“协同”的网络，实现业务体验与系统效率的双提升，如下图所示。



图 4 “弹性空口”内涵

“弹性”即为动态的资源配置，包括动态频谱共享、灵活的系统带宽和灵活的帧结构等。动态频谱共享是指实现相同频段范围内不同系统制式的频率动态共享，实现系统间资源的弹性配置，最优化资源利用率；灵活的系统带宽是指实现系统制式内带宽配置的多样性，可以依据业务需求进行系统频率资源的弹性配置；灵活的帧结构是指实现系统帧结构配置的多样化，可依据用户上下行业务需求进行灵活配置，实现业务的弹性。

“智能”即为智能的网络管理，包括智能的波束管理和智能的能耗管理。智能的波束管理是指基于人工智能技术开展 FDD/TDD Massive 智能波束赋形，快速适应用户分布，提升网络覆盖，降低网络干扰，减少人工参与，提升系统的效率；智能的能耗管理是指基于人工智能技术实现多制式智能协同，实现网络区域级、基站级、扇区级不同颗粒度的智能节能，实现系统性能和能耗的平衡。

“协同”即为灵活的空口协同，包括宏微协同和高低频协同。宏微协同是指通过室外宏站、室外微站、室内微站之间的资源协作、干扰控制、双连接等协同技术，实现区域间的资源协同，满足用户分布不均衡下的业务需求；高低频协同是指通过低频、中频、高频资源之间的载波聚合、双连接等协同技术，实现跨频段之间的无线资源协同调度，满足用户弹性的业务需求。

## 4 弹性空口的技术方案

### 4.1 动态空口资源分配

#### 4.1.1 动态频率共享

伴随着 4G 和 5G 网络的长期共存，静态的频谱配置无法匹配动态系统业务分布，造成不同系统忙时资源不足和闲时资源利用率低下，灵活动态的频谱使用策略和能力为用户提供最大化的空口频率资源。利用用户业务在时间上分布的差异，提高频率利用效率，实现 1+1>2 的网络效能，解决日益增长的用户需求与有限紧张的频率资源之间的矛盾，使得频率资源利用最大化，网络效能最大化，用户保障最大化。

中国联通一直致力于频谱动态共享的技术研究和应用。早已在 2018 年多个地市将 GU 动态频谱共享技术和 GL 动态频谱共享技术落地。同时，也是 NL 频谱共享的积极推动者，追求在基站和终端侧的完美协同，以追求更高效的频率共享机制。LTE 与 NR 都是采用 OFDM 技术，具有相同子载波间隔的 LTE 和 NR 具备天生的动态频谱共享条件，只需规避信道/信号冲突即可实现 RB 级动态频谱共享。

下表显示了 LTE 和 NR 共享时上下行各信道之间的冲突。

表 1 LTE 和 NR 下行信道之间存在的冲突

NR	LTE	PDCCH/PCFICH/ PHICH	CRS	PDSCH	CSI-RS
SSB		YES	YES	---	---
CORESET0		YES	YES	---	---
PDCCH		YES	YES	YES	---
RMSI		---	YES	---	---
PDSCH		---	YES	---	YES
CSI-RS		---	---	YES	---

表 2 LTE 和 NR 上行信道之间存在的冲突

NR	LTE	PUSCH	PDCCH	DMRS	SRS	PRACH
PUSCH	YES	YES	YES	---	YES	YES
PUCCH	YES	YES	YES	---	YES	YES
DMRS	---	---	---	---	---	---
SRS	YES	YES	YES	---	YES	YES
PRACH	YES	YES	YES	---	YES	YES

可以通过下列解决方案来避免上述各信道之间的冲突：

表 3 避免信道冲突的解决方案

相关信道	解决方案
CRS	LTE CRS rate matching
PDCCH	PDCCH in symbol 2
PDCCH	Semi-static rate-matching resource set configuration for DL
DRMS	Alternative PDSCH DM-RS pattern
PDSCH	BS Scheduling
PUSCH	BS Scheduling and 7.5 kHz UL shift

为了避免信道之间的冲突尤其是控制信道之间的冲突，NR 需要增加 PRB 的开销。NR 和 LTE 频谱共享增益主要来自于 NR 用户业务与 LTE 用户业务分布的差异性。

下面 5 张图显示了 NR 与 LTE 动态共享时，如何获得的频谱效率增益。

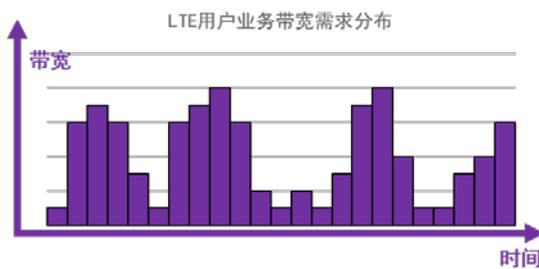


图 5 LTE 用户业务带宽需求分布

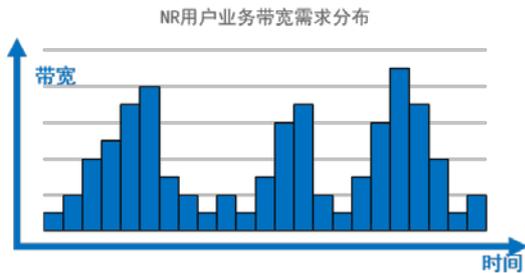


图 6 NR 用户业务带宽需求分布

从上图可以看出，即使在忙时，NR 用户和 LTE 用户的 RB 利用情况在时间上的分布仍会有细微的差别。如果静态的将 NR 带宽和 LTE 带宽分别分成 1/2+1/2，将会使得 NR 和 LTE 空闲 RB 和未满足用户需求的情况都会增多。如下图所示：

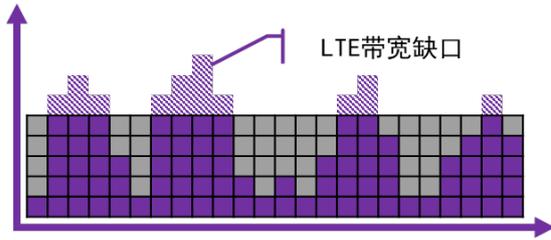


图 7 LTE 静态带宽 RB 分配情况

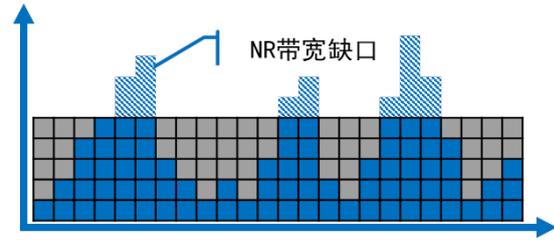


图 8 NR 静态带宽 RB 分配情况

如果采用动态频谱共享方案，在 LTE 未充分利用 RB 动态的给 NR 使用，则会充分利用这些 RB，减少带宽需求的缺口。获得下图所示的频谱效率增益：

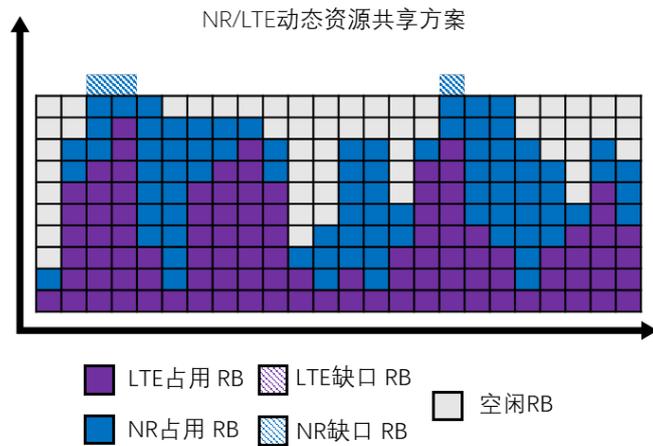


图 9 NR 和 LTE 动态资源共享方案

鉴于此功能对频谱效率提升的价值，中国联通将推动在 2.1GHz 和 1.8GHz 频段支持端到端 NR/LTE 动态频谱共享能力。

#### 4.1.2 灵活系统带宽

在电信联通共建共享的背景下，联通致力于推动单载波大带宽的设备能力和灵活带宽配置的设备能力要求。一方面满足用户对于峰值速率体验的需求，另一方面可以满足不同带宽能力终端的业务体验需求。

由于中国联通和中国电信拥有类似的频段，并在多个频段拥有连续的频谱，如下表所示：

表 4 中国联通和中国电信各频段带宽

频段	联通带宽	电信带宽	电信联通单载波带宽需求	3GPP 定义的最大单载波带宽	是否存在缺口
<b>3.5GHz</b>	100MHz (3500-3600MHz)	100MHz (3400-3500MHz)	200MHz (3400-3500MHz)	100 MHz	是
<b>2.1GHz</b>	25MHz (2130-2155MHz/ 1940-1965MHz)	20MHz (2110-2130MHz/ 1920-1940MHz)	45MHz (2110-2155MHz/ 1920-1965MHz)	20 MHz	是
<b>1.8GHz</b>	30MHz (1830-1860MHz/ 1735-1765MHz)	20MHz (1860-1880MHz/ 1765-1785MHz)	50 MHz (1830-1880MHz/ 1735-1785MHz)	30 MHz	是

针对上表所示的 3GPP 最大单载波带宽的缺口，中国联通将积极持续推动相关标准工作，制定更大的单载波带宽为用户带来极致的峰值速率体验。但同时考虑到业务发展的区域性，各区域各小区的业务带宽需求不尽相同。例如在密集城区需要大带宽的小区满足高价值用户的业务体验和容量要求，而在地广人稀的乡村带宽需求则并没有密集城区的高。制定多种带宽梯度，也可为网络差异化部署带来便利，提升网络效能。

同时，从用户角度出发，中国联通将大力推动 BWP（Bandwidth part）功能的支持，以实现降低终端功耗，丰富终端类型，快速推动 5G 普及，普惠大众的目的。该功能可支持低带宽能力 UE 能够在小系统带宽小区中工作，使 UE 以低功耗监听或发送控制信道，同时能够在数据高发周期以大带宽接收或发送，并可配置不同的参数集。中国联通将推动原有 BWP 的基础上推进 BWP 的扩展，支持更加灵活的带宽配置。

灵活系统带宽和 BWP 的应用场景如下图所示：

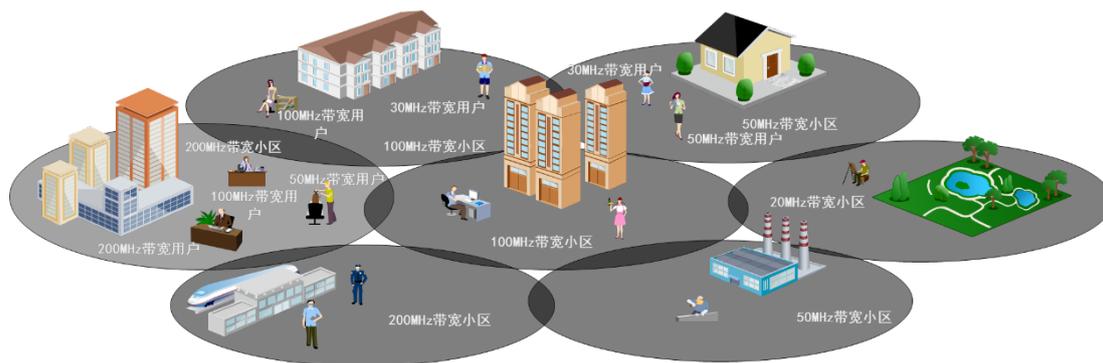


图 10 灵活系统带宽和 BWP 的应用场景

### 4.1.3 灵活的帧结构

#### 4.1.3.1 业务的需求

5G 乃至未来 B5G 时代的通信业务需求与之前的移动通信相比将会更加多样化。传统 eMBB 业务以下行容量需求为主，但如安防监控、远程医疗等大带宽上行需求正日益凸显，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，需要更灵活的资源配置和协同融合的弹性网络。



图 11 5G 业务场景

即使在同一个行业应用的不同时段，也需要灵活的配置上下行网络容量资源。以安防监控为例：在日常监控中，4K 高清摄像头将监控视频图像回传网络，需要大带宽上行业务保障能力；突发安全事故后，需要将事故发生当时视频和目前实时监控视频发送到附近警卫终端，快速告知情况，需要大带宽下行业务保障能力；出警后，监控中心和警卫间需要实时进行视频远程互动，需要上行和下行保障能力。

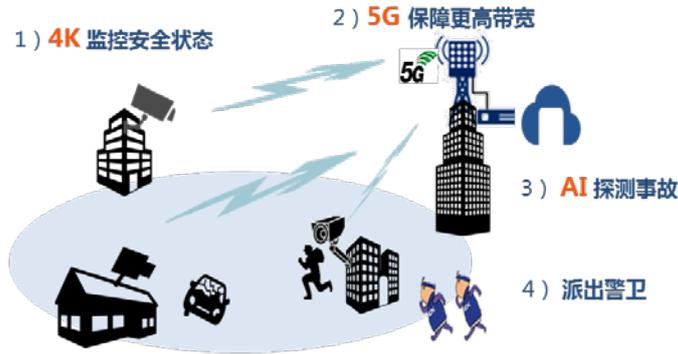


图 12 安防监控系统的工作流程

所以在频谱和带宽动态共享的前提下，网络还需要具备灵活调整上下行网络容量的能力。TDD 网络是一种时分双工网络，通过调整上下行时隙结构而调整上下行网络容量是一种快速有效的方法。

#### 4.1.3.2 帧结构分析

在 3.5GHz 频段 5G 系统帧结构确定过程中，讨论过如下三种帧结构：2ms 单周期、2.5ms 双周期、2.5ms 单周期。

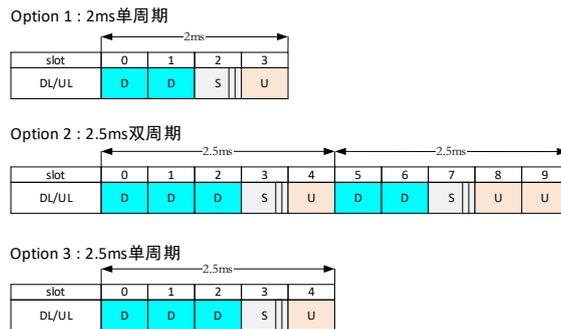


图 13 3.5GHz 频段 5G Option1、Option2 和 Option3 帧结构示意图

其中，三种帧结构上下行时隙比例不同，2ms 单周期帧结构下行与上行比例为 2.37，2.5ms 双周期帧结构下行与上行比例为 1.95，2.5ms 单周期帧结构下行与上行比例为 3.24。三种帧结构下行时隙均高于上行时隙。

在 26GHz 频段 5G 毫米波系统帧结构讨论中，中国联通首次提出基于上行增强的毫米波帧结构配比方案，用以满足未来更加丰富的上行业务需求。目前行标中三种帧结构如下：

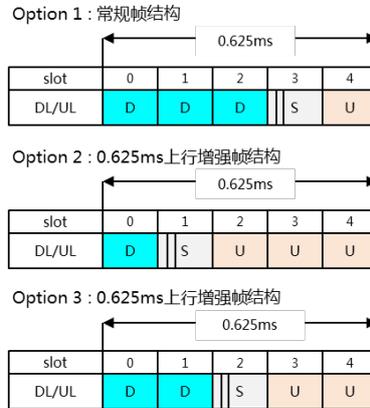


图 14 5G 毫米波系统 Option1、Option2 和 Option3 帧结构示意图

三种方案皆为 0.625ms 周期，对应 120KHz 子载波带宽。三种帧结构上下行时隙比例不同，Option1 帧结构下行与上行比例为 3.24；Option2 帧结构下行与上行比例为 0.31；Option3 帧结构下行与上行比例为 0.79。三种帧结构中，后两种充分考虑了上行业务需求。

#### 4.1.3.3 灵活帧结构方案

在高低频混合组网中，3.5GHz 频段 5G 系统用于城市基础网络，帧结构要求相对稳定；26GHz 频段 5G 毫米波系统用于满足行业应用，帧结构可以根据网络需求灵活调整。在下表中，给出了 26GHz 频段 5G 毫米波系统采用不同帧结构时上下行网络容量的对比数据，可以看到，三种帧结构分别较好的满足了下行为主、上行为主和上下行均衡三种业务需求。

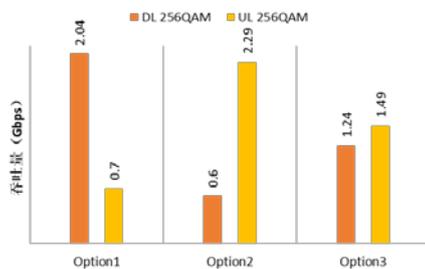


图 15 毫米波不同帧结构峰值速率对比

表 5 毫米波系统不同帧结构上下行网络容量的对比

帧结构	64QAM 非小区边缘单 UE 400M 带宽（2 流）	256QAM 非小区边缘单 UE 400M 带宽（2 流）
DDDSU	DL:1.53Gbps UL:0.53Gbps	DL:2.04Gbps UL:0.70Gbps
DDSUU	DL:0.93Gbps UL:1.11Gbps	DL:1.24Gbps UL:1.49Gbps
DSUUU	DL:0.45Gbps UL:1.71Gbps	DL:0.60Gbps UL:2.29Gbps



图 16 帧结构根据网络需求灵活调整示意图

在弹性网络中，可以根据覆盖区域的长时间业务情况进行预测调整、也可以根据 5G 行业应用的突发性情况进行上下行帧结构快速调整，满足 5G 行业应用需求，也可以有效面对演唱会等对上行带宽需求明显的公网场景需求。

## 4.2 灵活的空口资源协同

### 4.2.1 宏微协同

#### 4.2.1.1 5G 业务驱动宏微协同

5G 宏基站覆盖可以满足大部分 2C 业务需求，但由于城区建筑物种类多、密集，无线环境复杂，导致存在业务覆盖空洞，影响用户体验。在业务空洞区域弹性按需部署微基站，可解决 2C 业务覆盖不连续问题。

由于人口密度的分布不均且不同年龄层段、不同地区的用户对于移动业务的需求具有较大的差异，移动业务需求失衡，数据业务分布极不均匀，在宏基站无法扩容的区域按需部署微站满足 2C 业务热点区域的需求。

伴随 5G 业务种类持续增多和行业边界不断扩展，新增各种应用需求包括智能家居、智慧城市、AR/VR、自动驾驶、远程医疗、工业自动化、游戏云应用、高可靠应用、超高清视频等 2B 业务需求，按需部署微站可实现精准 2B 业务覆盖。

随着 5G 的引入，未来网络架构也向着超密集组网的方向演进。利用微基站与宏基站协同组建异构立体网络，能够快速灵活实现精细、高效率的网络部署，打造良好用户体验网络，满足差异化 2B 和 2C 的业务需求。

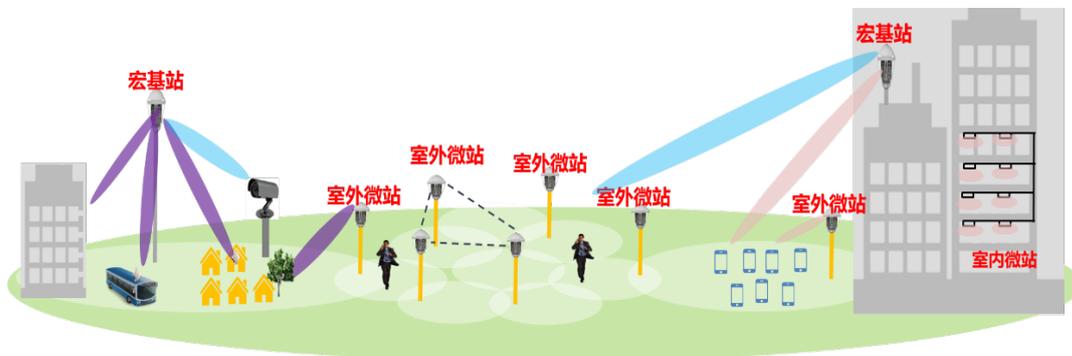


图 17 宏微协同组网示意图

#### 4.2.1.2 宏微协同技术要求

##### 1) 宏微间互通

宏微之间要满足网络互通性的要求，具体包括宏站与微站之间的互通及微站与周围其他微站之间的互通。宏微间的互通应满足宏微资源协调的互通性、信息互通和数据互通性。

##### 2) 宏微间移动性管理

宏微移动性管理要适用于宏微室外和室内外联合的应用场景，满足宏微间切换以及重选策略，能够适应 2B 和 2C 业务变化，提供连续、可靠的业务服务。

##### 3) 宏微间干扰协调

在运营商频谱资源有限的情况下，宏微同频将成为一种主要的组网方式。同频组网可以使频谱资源的利用率最大化，但同时会带来严重的干扰，影响网络性能。特别是在热点区域，微站可能位于宏站信号较强的位置，干扰更为严重，微站的业务分流效果受限。宏微间干扰协调技术是解决宏微同频组网干扰问题的最直接手段。

宏站和微站之间通过时域或者功率域协调的方式规避干扰或通过载波间的资源协调，在频域上规避干扰。eICIC、FeICIC、CoMP、小区合并等宏微协同干扰抑制技术，有效降低干扰，提升频谱效率及网络边缘的业务性能。

##### 4) 宏微间融合

随着 2B 和 2C 业务的增长，宏站将难以满足网络容量不断增长的需求。宏微融合技术可以充分利用运营商不同制式或系统的频谱资源，将宏站和微站传输的不同数据流合并，有效提升整网容量。按照不同组网场景，宏微融合技术主要包括宏微多点协作、宏微载波聚合、宏微双链接。

## 4.2.2 高低频协同

用户的需求千差万别，如何保证用户在任何时间，任何地点得到满意的用户体验一直是运营商最求的目标，同时如何从网络侧挖掘更大的潜力，以最优的建设和维护成本满足用户个性化的体验也一直运营商的研究课题。合理利用高低频率特点，协同好多层网络，打造高效能网络。

低频网（900MHz）具有传播特性好，覆盖广，带宽小的特点，适合与对覆盖要求高，数据量小的业务提供服务，例如语音业务，物联网业务等。

中频网（1.8GHz，2.1GHz）带宽适中，传播能力一般，适合数据量适中的数据业务，目前大多数移动终端业务基本都属于此类业务。

高频网（3-6GHz）带宽大，传播能力较差，适合大容量，大数据量的新型数据业务，如未来 5G 的 2C 类业务（包括高清视频，XR 等）。

更高频（毫米波）带宽非常大，传播阻断能力强，适合区域性，大容量，大数据量的业务，适合 2B 类业务，可在不同区域上实现自然隔离，以打造个性化的多样性的网络。

如何利用好上述高低频的传播特点，更灵活的为用户服务，一直是运营商研究的重要课题。双链接和载波聚合是协同各频段的有利手段。载波聚合可通过业务使用情况，信号强度，运营策略在主载波上灵活添加和删除辅载波实现物理层的双小区链路传输，提高频谱带宽和传输速率。双链接则提供了非理想回传前提下独立调度的物理层双小区链路传输。

下图显示了不同频段对应的适合其体验的应用和业务。

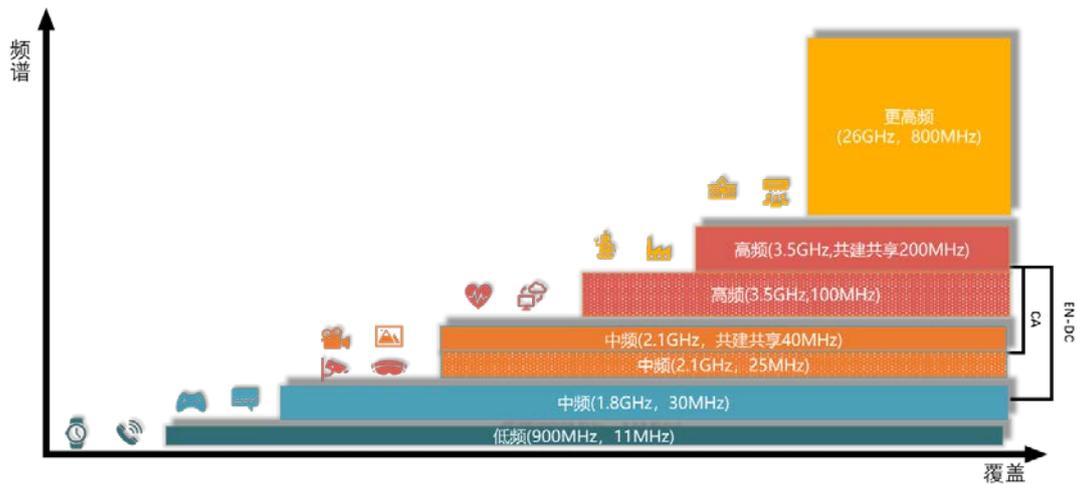


图 18 不同频段对应的适合其体验的应用和业务示意图

中国联通将以低中频打造全覆盖网络，保证高质量的语音网络，大连接，低速率的物联网，以及良好体验的基础数据业务网络；积极发展高频和更高频网络，以满足未来大容量，大数据量的新型业务和差异化的 2B 业务；在中高频网络采用载波聚合实现对不同数据业务速率需求的快速响应。

## 4.3 智能空口资源管理

### 4.3.1 智能波束管理

#### 4.3.1.1 波束赋形技术

大规模波束赋形技术是 5G NR 满足增强移动宽带（eMBB）、超高可靠低时延（URLLC）以及海量机器间通信（mMTC）三大场景性能指标的核心技术。大规模波束赋形通过大规模的天线阵列支持大量用户的空间复用，可以实现频谱效率 5~10 倍的提升，进一步大幅提升系统容量和立体覆盖。Massive MIMO 技术可以用于 TDD 和 FDD 两种双工方式。对于 TDD 系统，上、下行链路工作在同一频率信道的不同时间隙上，一般认为其信道具有互易性，基站可以根据终端传输的导频信号估计出下行链路的信道状态信息。对于 FDD 系统，基站和终端在不同频率上发送信号，下行信道的状态信息一般通过终端测量导频信号并反馈

至基站，反馈的信道状态信息的精确性和开销是影响 FDD 大规模 MIMO 性能的主要因素。

随着频谱重耕和网络共享的展开，FDD 频谱的 Massive MIMO 将成为未来中频谱的主要演进方案，需要在 TDD Massive MIMO 的基础上同步推进 FDD Massive MIMO 的技术演进，使 FDD 与 TDD 协同发展。

FDD/TDD 统一波束赋形技术的在发展过程中面临着诸多挑战，例如 LTE FDD TM9 终端渗透率低，FDD 单频段带宽窄模块性价比低，FDD 频段阵子大、工程规格大，UE 高速移动时性能差等。然而，随着通信技术的发展和 5G 通信系统的商用，支持 FDD TM9 的终端渗透率已大幅提高。联通将与电信共享 2.1G 频段 55M、1.8G 频段 50M，带宽的增大为 FDD Massive MIMO 的演进提供有利条件。电子工艺技术的高速发展将进一步突破天线阵子的宽度和重量，提高通信设备集成度。基于人工智能技术的信道预测，有利于提升波束赋形的精准性，有助于解决高速移动用户性能差的问题。

#### a、劈裂选择性覆盖

劈裂选择性覆盖根据用户密集程度和场景将原有常规天线覆盖扇区，通过窄波束天线、劈裂天线、多波束天线进行分裂处理，将 1 个扇区分裂为两个扇区。通过空间复用方式，在不增加站址和频谱的前提下，最大限度地利用网络资源，提高频谱使用效率、增加空口容量，最终达到提升网络容量的效果。

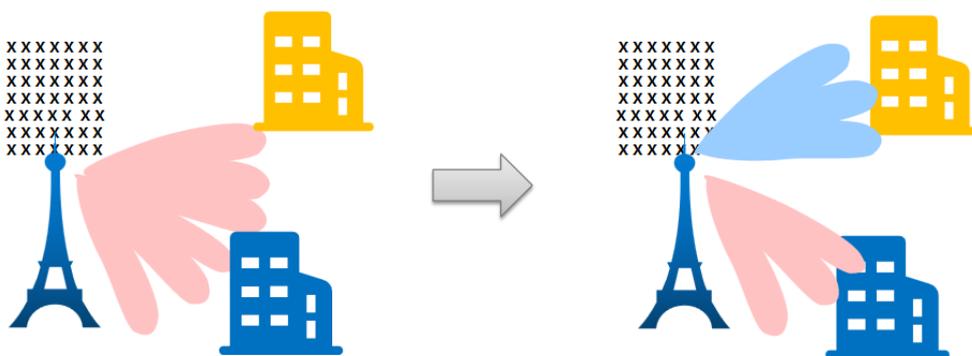


图 19 劈裂选择性覆盖图

## b、多层垂直波束+MU-MIMO

高层热点建筑内，话务通常比较集中，网络覆盖通常较差，且覆盖增强面临多项挑战。例如，需要采用多个天线提供高层覆盖，信号穿墙损耗大，上行信号传输增加了建筑物中的小区间干扰。多层垂直波束+MU-MIMO 技术利用波束赋型和空分复用的多天线技术在相同的时频域资源上为更多的用户传输数据，采用大量垂直面天线阵列带来更窄的波束赋型，弥补穿透损耗，有效解决高层建筑物及高热点区域的覆盖问题。

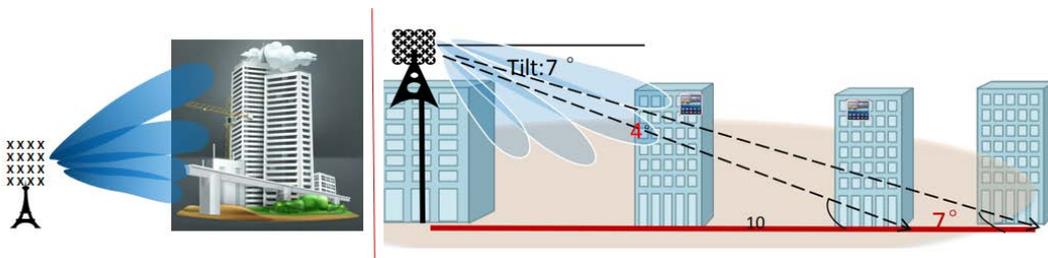


图 20 高楼热点场景波束覆盖图

## c、信道互易性

在进行大规模 MIMO 传输时，可以利用信道互易性来获得信道状态信息（CSI），通过预编码处理提高大规模 MIMO 系统的容量。TDD 的信道互易性已广泛应用于通信系统中。实际上，FDD 信道也具有角度和时延互易性。3GPP 在 TR 36.897 Section 5.3 & TR 38.901 Section 7.6.5 中研究过 FDD 上行、下行信道互易性。3GPP 支持基于 FDD 角度互易的 CSI 方案。

基于信道角度和时延互易的 CSI 增强方案，利用上、下行信道时延互易性，gNB 可获得更精确的 CSI 信息，提升性能；UE 只处理和反馈非互易信道信息，降低终端复杂度；可在 R16 PS 码本上扩展得到，后项兼容性好。

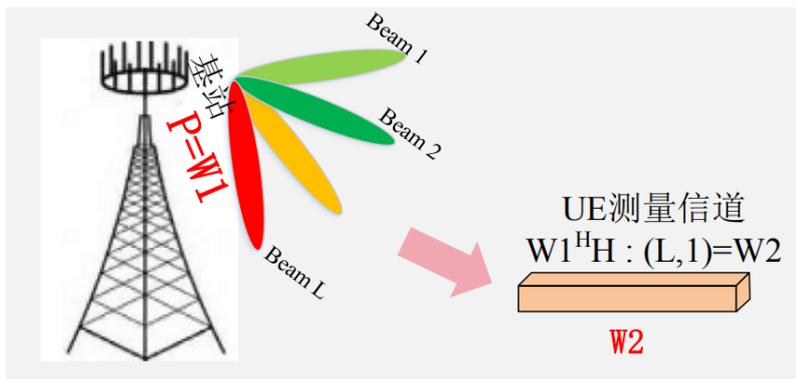


图 21 基于信道互易性的 CSI 方案图

#### 4.3.1.2 智能波束赋形方案

Massive MIMO 在部署中面临着覆盖场景多样化、参数配置更加复杂等难题，需要结合 AI 算法来充分发挥 Massive MIMO 的性能优势。具体来说，由于天线数量过多，导致相应的可调权值参数也非常多，天线的波束相互之间很容易发生干扰导致功率损失，如何灵活配置每根天线所有波束的权值成为亟待解决的问题。利用 AI 方法预测用户分布，合理配置天线权值使其波束集中在较窄的范围内有易于大幅度降低干扰，从而避免浪费天线功率。同时，在不同的场景下智能配置最优权值，可以提高覆盖效果。另外 Massive MIMO 操作维护复杂，需要结合 AI 算法来提高运维效率，节省运维成本。

利用 Massive MIMO 波束调整的原理，可以针对高楼的垂直面、密集城区、具备潮汐效应的区域等场景，根据用户的分布规律，灵活调整信道的波束分布，达到覆盖和容量的最优，减少干扰。基于网管、MR 数据，利用 AI 算法进行场景识别和用户预测，建立波形参数组合与 KPI、用户分布信息、小区场景等关联的信息库，同类场景可以快速匹配获取优化波束参数值，以提升区域内用户接入效率。对于具备潮汐效应的区域，还可以根据每个区域内的用户话务分布特点，结合潮汐效应时段进行智能化调整。

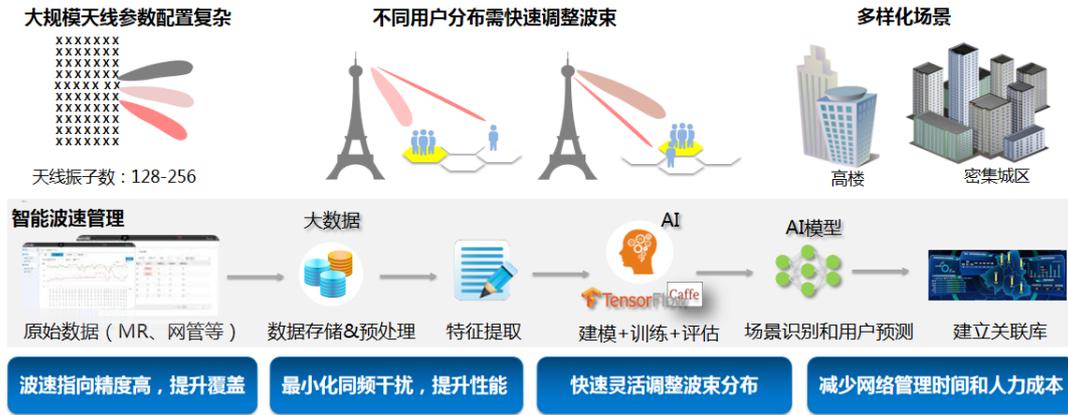


图 22 智能化波束管理方案图

## 4.3.2 智能能耗管理

### 4.3.2.1 智能能耗管理的需求

随着移动通信网络建设规模逐年增加，通信设备对能源的需求与日俱增，移动通信网络的能耗在运营商 OPEX 占比已高于 15%。经过 5G 试商用网络的测试验证，5G 单站功耗是 4G 单站功耗的若干倍，运营商面临基站设备能耗大幅增加 OPEX 费用的运营压力。当通信行业迈入 5G 时代，通信设备的智能节能对降低 5G 网络运营成本，实现通信行业节能减排目标具有重要意义。

传统的基站设备节能方案依赖于主设备厂家在硬件、软件等产品设计和持续优化能力。硬件方案，新设备可以通过使用新工艺、新材料、新设计等创新技术方案，实现降低设备硬件的基本能耗。软件节能方案，通过智能符号关断、深度休眠、通道关断等软件功能，在某些场景下实现降低基站能耗。硬件方案受限于器件、工艺的发展情况。软件方案已支持单站的节能策略的配置，更需要综合考虑全网节能最优策略。

随着 5G 网络智能化、云化架构的发展趋势，结合大数据技术、人工智能技术等技术方案，5G 网络智能能耗管理可以实现节能策略智能化选择、参数配置自动化、效果评估全面化，从而达到全网运行效率最优、综合节能效率最优的“双优目标”。

### 4.3.2.2 智能能耗管理方案

智能能耗管理是基于大数据平台和人工智能算法，从网络层面统一配置基站节能策略，使节能策略能够适应网络负荷变化，策略执行具有更多的灵活性。智能能耗管理方案，根据网络选定区域内所有小区的历史业务数据，构建基站业务负荷预测模型，并生成最优的网络级节能策略。在节能策略开启后，智能能耗管理平台根据区域内的全网节能效果、网络 KPI 指标变化、用户感知质量变化等，进一步优化节能参数，提高网络节能效果。

智能节能平台基本架构如下图所示，可分为数据采集层、解析汇聚层和人工智能节能应用层，每层的主要功能如下：

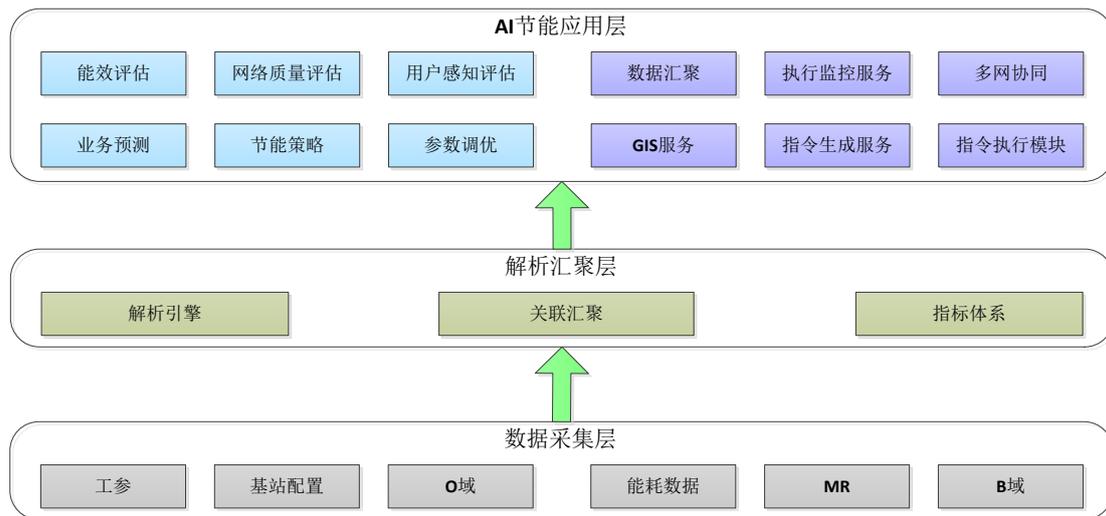


图 23 智能节能平台基本架构

➤ 数据采集层：

采集性能数据、B 域数据、O 域数据、MR 数据等反应基站信息、负荷和网络质量等相关数据。数据采集层实现数据的提取功能。

➤ 解析汇聚层：

将数据采集层提取的数据进行分类、汇聚、解析等功能，构建节能平台数据分析指标体系。

➤ 人工智能节能应用层（AI 节能应用层）：

完成业务预测，节能策略生成等功能，并根据节能目标和节能效果进行参数调优。其中，策略评估包括网络及基站节能效果评估，网络 KPI 指标评估，用户感知评估等。

## 5 未来推进计划

“弹性空口”技术包含动态的空口资源配置、灵活的空口协同、智能的空口资源管理等关键技术，包含了大量相互关联的技术特性，需要协同推进，打造“弹性”、“智能”、“协同”的无线网络，主要推进计划如下图所示：



图 24 “弹性空口”技术主要推进计划

2020年，推进2.1GHz的动态频率共享技术与设备成熟，推动N1 25/30/40/50 MHz灵活带宽国际标准化，推动毫米波上行为主帧结构基站设备开发，智能波束管理平台的研究与开发，智能能耗管理平台的开发与试运行，室外微站产品开发及宏微协同验证，推动N1+N78和N78+N78载波聚合技术与设备成熟。

2021年，推进N1频段的55/60MHz的带宽，依据技术成熟度适时推动N78 200MHz带宽，推动毫米波上行为主帧结构基站设备试点验证，智能波束管理平台试验及试运行，改进智能节能平台运算效率和处理处理，实现5G智能节能平台现网运行，推动室内外宏微间互通与干扰协调研究与验证，推动N1+N78和N78+N78载波聚合试点及应用。

2022年，推进1.8GHz频段支持动态频谱共享技术与设备成熟，推动毫米波上行为主帧结构基站设备冬奥场景应用，推进宏微之间的融合组网及智能化组网方案。

## 6 总结与展望

“4G 改变生活，5G 改变社会”。5G 时代的来临，使网络从服务于人，到服务于整个社会，将赋能其他行业，塑造全新的产业形态，给整个社会带来深刻变革，为社会发展和经济增长带来全新助力。

挑战与机遇并存，中国联通将加速投入技术研究和创新，打造“弹性”、“智能”、“协同”的网络，实现业务体验与系统效率的双提升，助力各行业产业发展，一同勾画未来美好生活愿景。