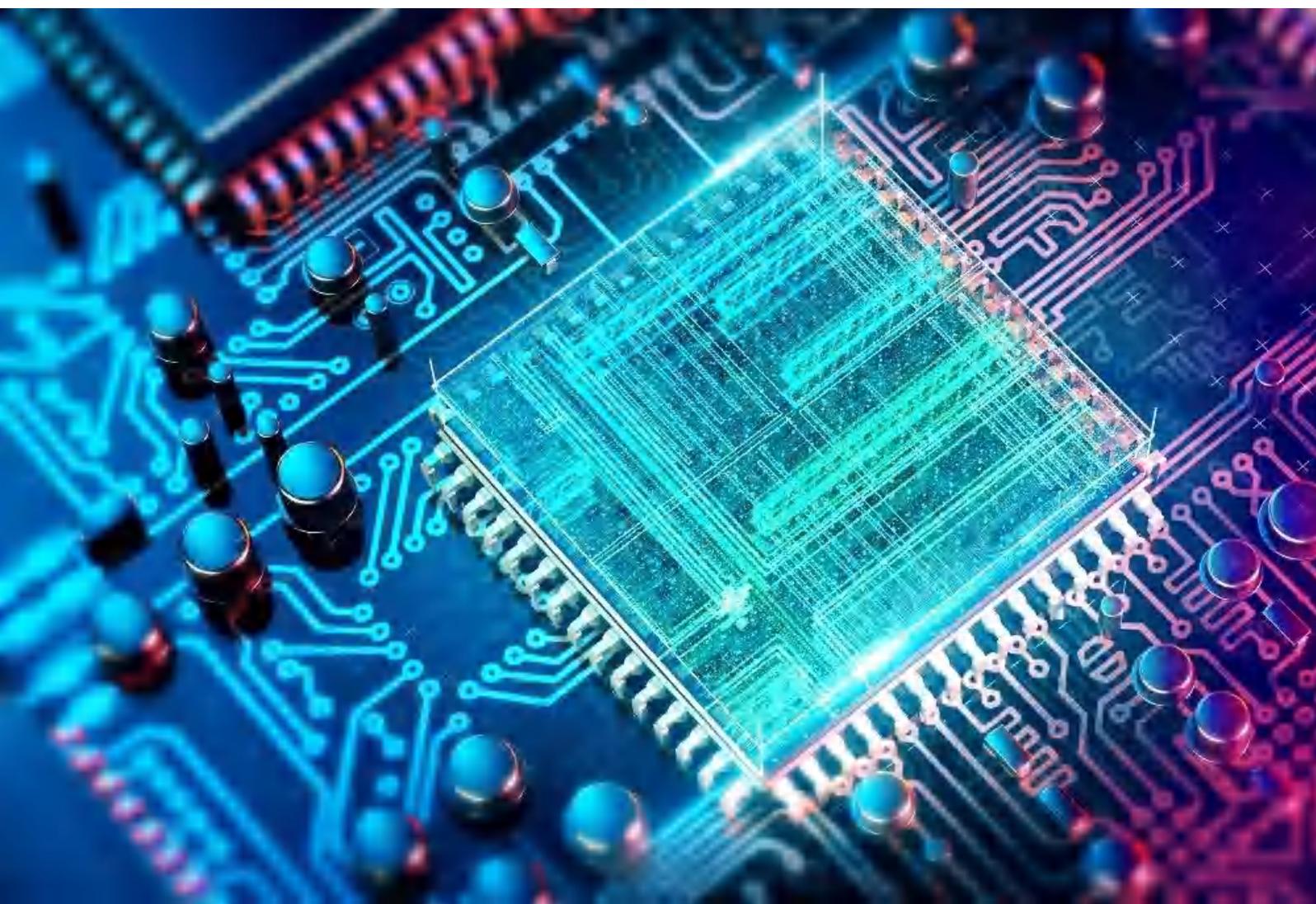


2021 年

5G 终端芯片及测试仪表

新特性产业指数报告

中国移动通信有限公司研究院



目 录

1. 前言.....	3
2. 评测内容及对象.....	3
2.1. 评测内容.....	3
2.2. 评测对象.....	4
3. 终端芯片新功能评测.....	5
3.1. 面向消费终端的芯片特性.....	5
3.1.1. 终端节电.....	5
3.1.2. VoNR.....	9
3.1.3. 载波聚合/ SUL.....	12
3.1.4. n28.....	14
3.1.5. ANR.....	15
3.1.6. 5G 定位.....	16
3.2. 面向行业终端的芯片特性.....	16
3.2.1. URLLC.....	16
3.2.2. NPN/CAG.....	17
3.2.3. 大上行帧结构.....	18
4. 测试仪表新功能支持能力.....	20
4.1. 5G 一致性测试系统.....	20
4.1.1. VoNR.....	20
4.1.2. n28.....	21
4.1.3. 载波聚合/SUL.....	22
4.1.4. NR MDT.....	23

4.2. 5G NS-IoT 测试系统.....	24
4.2.1. VoNR.....	24
4.2.2. n28.....	24
4.2.3. 载波聚合/SUL.....	25
4.2.4. 大上行帧结构.....	26
5. 总结与展望.....	27
5.1. 终端芯片新特性支持情况整体评价及存在的问题.....	27
5.2. 测试仪表新特性支持情况整体评价及存在的问题.....	29
5.3. 产业建议.....	30
参考文献.....	31
附录 缩略语.....	31

1. 前言

2021 年 5 月，中国移动发布了《终端芯片新需求报告》以及《测试仪表新需求报告》，旨在从运营商角度，着眼于未来 1-2 年面向消费类（ToC）和行业类（ToB）场景发布 5G 终端芯片以及 5G 终端测试仪表的新功能需求及技术演进的关键特性，引导 5G 终端芯片及测试产业持续健康发展。

经过近半年的技术发展，中国移动逐步开展了 n28、VoNR、载波聚合/SUL、终端节电、URLLC 等特性的测试验证。基于以上测试结果，形成《5G 终端芯片及测试仪表新特性产业指数报告》，目的在于对目前 5G 终端芯片及测试仪表的成熟度以及技术先进性进行客观评价，对 5G 终端芯片及测试产业技术演进进行持续追踪及评估，以期更好地服务于产业各方。

本报告第二章对本次评测的内容以及评测对象做了整体介绍，第三章按照不同特性介绍了芯片的支持情况及测试结果，第四章介绍了不同类型的终端测试仪表对 5G 新特性的支持情况以及用例开发验证进展。

本报告由中国移动研究院撰写，得到了联发科技、高通、紫光展锐、三星半导体、大唐联仪、星河亮点、是德科技、罗德与施瓦茨、安立的大力支持，在此表示感谢。

2. 评测内容及对象

2.1. 评测内容

本报告包含截至 2021 年 11 月底 ToB 和 ToC 两大场景相关特性的评测结果，具体包含终端节电、VoNR、载波聚合/SUL、n28、ANR/MDT、5G 定位、URLLC、NPN/CAG、大上行帧结构等特性，每个领域下的具体评测点见下。需要说明的是，本报告包含的功能特性主要面向 sub-6GHz R16 协议版本定义的新功能及部分 R15 特性，产业已支持的 R15 基本功能不再赘述。此外，部分新特性的测试验证仍在进行中，将在后续的评测报告中发布。

表 2-1 新特性评测内容

场景	领域	功能点
To C	终端节电	CDRX/空闲态 DRX
		BWP
		过热保护
		同时隙符号级关断
	VoNR	VoNR 语音通话业务及音频编解码
		ViNR 视频通话业务及视频编解码
	载波聚合/SUL	下行载波聚合载波间 SRS 轮发
		带间载波聚合帧头不对齐
		1Tx-2Tx 上行轮发 (Tx switching)
	n28 频段	n28 频段功能及性能
	ANR/MDT	ANR 功能
	5G 定位	SRS for positioning 发送
		PRS 的接收、测量及测量结果上报
To B	URLLC	短间隙调度 (Mini-slot)
		低码率 MCS/CQI 表格
		PDCP 冗余传输 (PDCP Duplication)
		mini-slot 级别 PUSCH 重复传输
		1ms 单周期帧结构
	NPN	CAG
	大上行帧结构	2.5ms 单周期帧结构 (3U1D1S)

2.2. 评测对象

本次评估的芯片包括联发科、高通、展锐、三星半导体在内的多款芯片平台，视芯片能力差异，对于不同测试项目参测厂家、同家厂商参测芯片有所差异，在正文每部分的评测结果中将具体说明该部分参测芯片。

测试仪表的评估对象主要包括 5G 终端一致性测试系统以及 5G NS-IoT 测试系统，涉及大唐联仪、星河亮点、是德科技、罗德与施瓦茨、安立共 5 家国内外仪表厂家的 5G 终端测试仪表产品。

3. 终端芯片新功能评测

3.1. 面向消费终端的芯片特性

3.1.1. 终端节电

相比于 4G, 5G 具有五倍大带宽、十倍以上高速率、两倍天线数、两倍最大发射功率等特性, 这使得 5G 终端的功耗优化比同工艺 4G 终端的功耗优化面临更大挑战, 终端功耗成为影响用户体验的重要因素之一。针对 5G 终端功耗优化需求, 中国移动从终端节电新特性、网络配置策略、芯片架构工艺三方面推动终端节电:

1) 在终端节电新特性方面, 实现 C-DRX、BWP 在现网端到端规模部署, 并持续推动 R16 终端节电技术的落地, 如节能唤醒信号 (WUS)、最大 MIMO 层数限制等;

2) 在网络配置策略方面, 采取网络性能、终端功耗、商业价值等多因素兼顾的综合网络配置策略, 灵活开启智能预调度、空闲态寻呼周期等终端节电优化功能。相比普通预调度的持续开启, 智能预调度可以配置每次调度时长、调度间隔以及调度数据量, 有效降低终端功耗。相比普通预调度, 采用智能预调度后的终端功耗可降低 5%-10%;

3) 在芯片架构、工艺方面, 推动芯片架构从拼片全面转向 SoC, 并推动芯片工艺升级, 加速 5nm 工艺普及, 以降低终端连接态功耗, 有效提升 5G 用户体验。

此外, 针对终端节电新特性及网络配置策略两方面, 中国移动进行芯片级的技术测试验证, 下文具体介绍测试结果:

3.1.1.1 C-DRX

C-DRX (Connected-Discontinuous Reception, 连接态的非连续接收) 指周期唤醒终端监听 PDCCH 信道。从测试结果来看, C-DRX 开启后, 相比 C-DRX 没有开启, 有明显的节电效果。另外, 从产业测试验证结果来看, 各终端芯片较好

的支持了 C-DRX 功能。

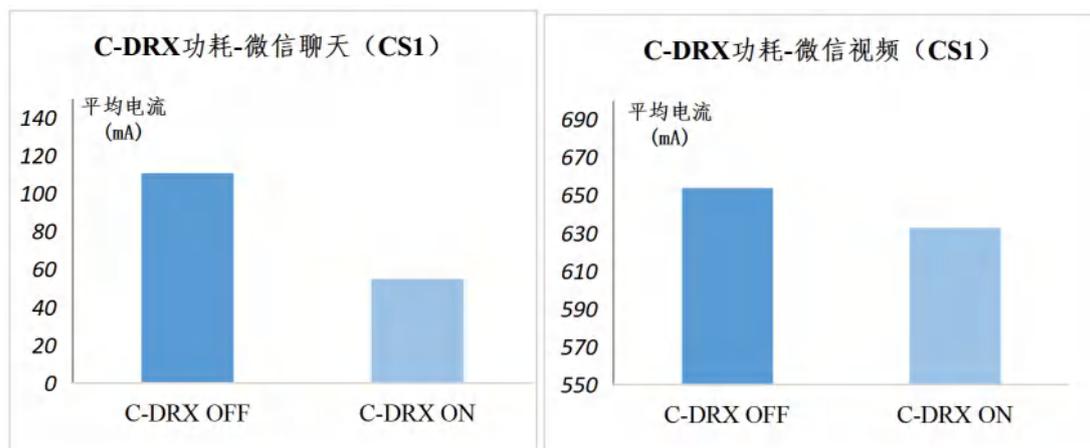


图 3-1 不同业务下 C-DRX 长周期功耗测试结果

3.1.1.2 BWP

BWP (Bandwidth Part, 带宽部分) 指通过 100M 带宽和 20M 带宽之间的转换和自适应来降低终端功耗。BWP 分为 RRC Based BWP 和 DCI Based BWP 两种，中国移动要求终端芯片全部支持。从测试结果来看，相比 100M 带宽 BWP，配置 20M 带宽 BWP，终端功耗可降低 14%-31%，有明显的节电效果。从产业测试验证结果来看，各终端芯片较好地支持了完整 BWP 功能。但目前市场上仍有较多存量终端尚不支持完整 BWP 功能，特别是不支持 DCI Based BWP——这些存量终端可尽快通过升级支持完整 BWP 功能，以降低终端功耗。



图 3-2 BWP 功耗测试结果

3.1.1.3 R15 过热保护

过热保护指终端过热时发送信息给基站,通过上报字段建议基站辅助解决终端过热问题。其中,上报字段包括降 MIMO 层数、降载波数和降带宽。

对于降 MIMO 层数测试验证技术,目前 CS1 芯片已支持。从测试结果来看,触发过热保护降 MIMO 层数流程后,终端由下行四流变为下行两流,相比触发过热保护流程前,终端功耗约可降低 7%-13%, 有较好的节电效果。

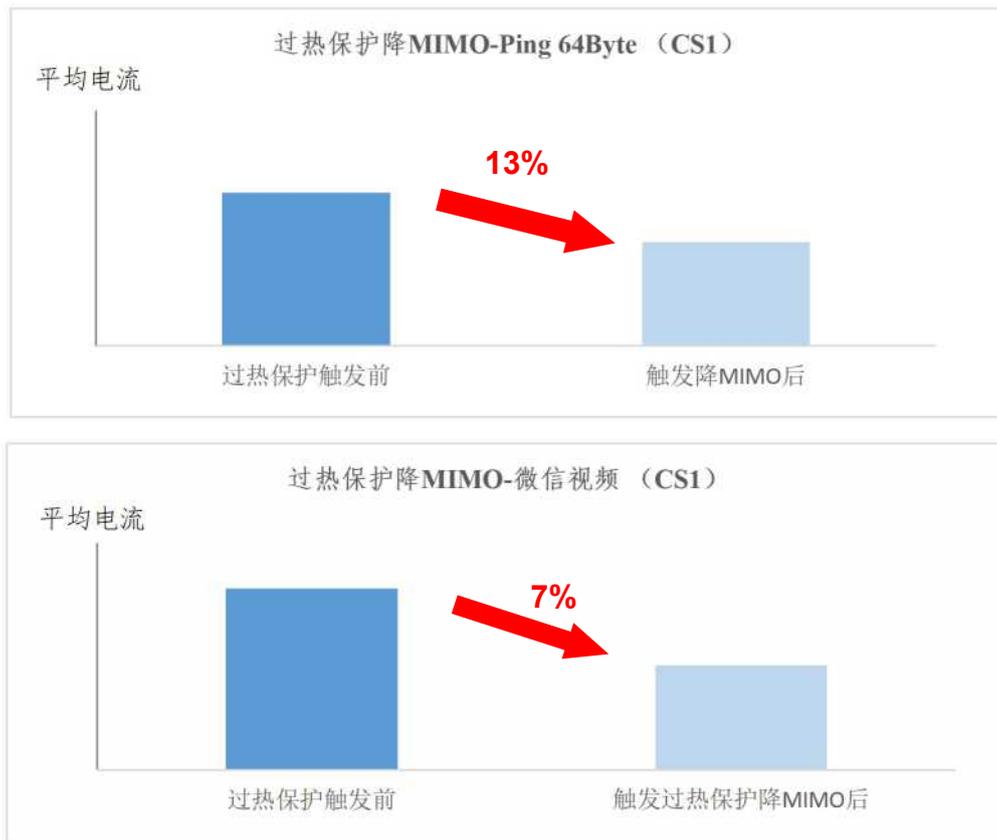


图 3-3 过热保护降 MIMO 字段不同业务功耗对比

对于降载波数 (CA 场景) 测试验证技术,目前 CS1、CS2 芯片已支持降载波数字段。从测试结果来看,触发过热保护流程后,终端由两载波降为单载波,终端功耗约可降低 13%-19%, 有明显的节电效果。从产业测试验证结果来看,各终端芯片较好地支持了过热保护降载波数功能。

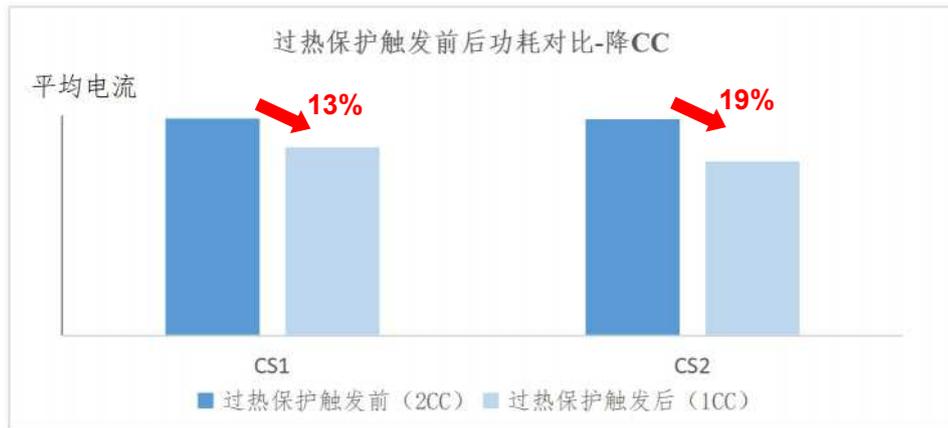


图 3-4 过热保护降载波数功耗对比

3.1.1.4 同时隙符号级关断

同时隙符号级关断方案，是一种终端芯片自身功耗优化方案，该方案指 UE 在本时隙接收 PDCCH 并解调，解调完 PDCCH 后，若无本时隙的下行数据，则将射频通路关闭以节省功耗。相比关闭同时隙符号级关断功能，打开同时隙符号级关断功能，在 RRC 连接保持但无数据传输、黑屏场景下，终端功耗约可降低 15%，有较明显的节电效果。

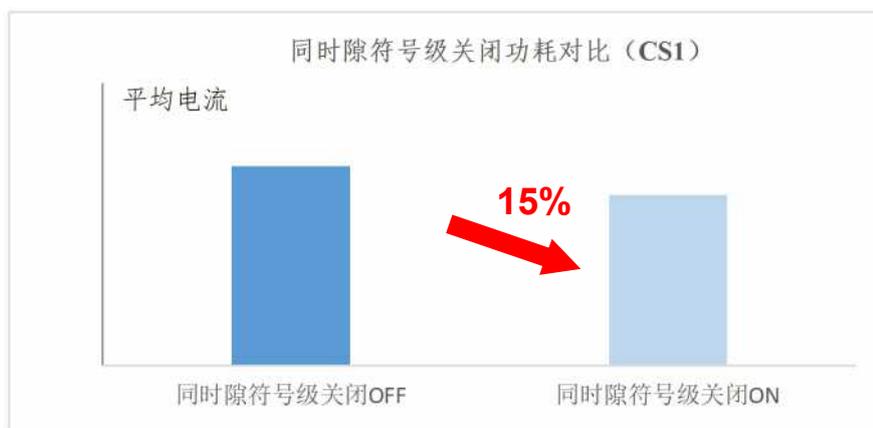


图 3-5 同时隙符号级关闭功能的功耗对比

3.1.1.5 空闲态寻呼周期

本次空闲态寻呼周期测试比较了在 320ms、640ms、1280ms 三种不同寻呼周期下，终端芯片的功耗情况。从测试结果来看，相比配置 320ms 寻呼周期，配置 640ms 和 1280ms 寻呼周期，终端待机功耗约可下降 27%-37%，有显著的节电

效果，使得芯片待机功耗可以优化到 10mA 以下。

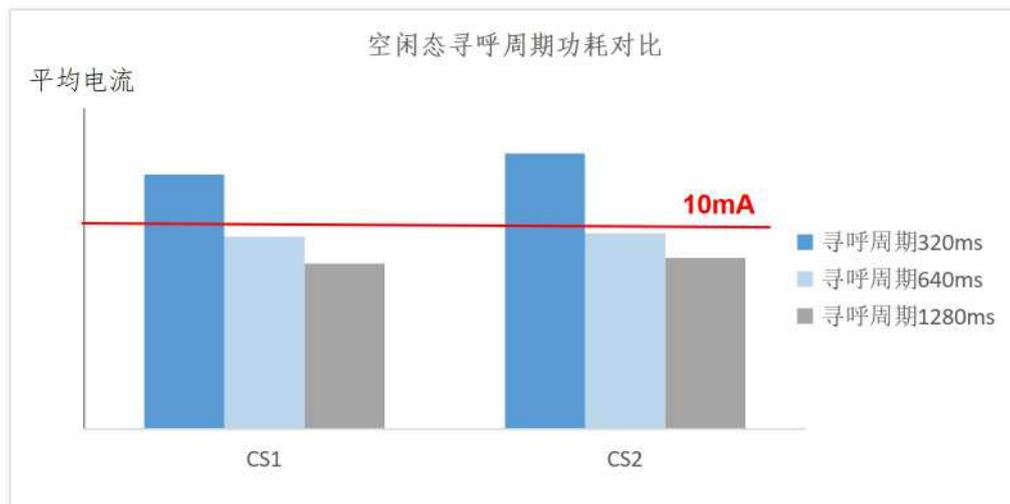


图 3-6 不同空闲态寻呼周期对功耗影响

综上所述，当前 CS1、CS2 芯片均已支持 C-DRX、BWP、同时隙符号级关断以及过热保护降载波数等功能，同时 CS1 支持过热保护降 MIMO 层数、降带宽功能。后续，芯片仍需持续优化同时隙符号级关断功能，进一步降低终端功耗。此外，终端需要明确过热保护的触发条件，避免过度使用该功能。对于 R16 终端节电技术的测试验证，中国移动正在组织验证中，包括节能唤醒信号 (WUS)、最大 MIMO 层数限制、UE 辅助信息上报 (UAI) 等特性。

3.1.2. VoNR

5G 时代，不断增长的数据业务需求是移动通信网络向 5G 演进的主要推动力，而语音业务作为基本业务仍然是不可或缺的一部分。VoNR 作为 5G 语音解决方案，可提供比 2G/3G/4G 语音更高质量的通话体验，且用户在进行语音业务的同时可享受更加畅快的 5G 网速，5G 体验大幅提升。VoNR 可以称作是未来取代 VoLTE 的下一代主流语音技术。

为推动 VoNR 端到端产业及技术成熟，深入挖掘 VoNR 组网基本性能，支撑后续的组网建设及商用，中国移动针对消费类终端芯片 VoNR 的功能及支持情况进行了测试。主要评测内容请见表 3-1：

表 3-1 VoNR 主要测试内容

类别	主要测试内容	测试目标
VoNR 基本业务	VoNR 基本业务	评估 VoNR 在 AMR-WB 23.85K、EVS WB 13.2K/24.4K、EVS SWB 13.2K/24.4K 不同编码方式下的呼叫建立时延、语音质量等
VoNR 移动性	VoNR 移动性测试	在移动状态下评估 VoNR 的语音业务接通成功率、呼叫建立时延等
ViNR 视频电话	1. ViNR 视频电话互通 2. ViNR 与 ViLTE 视频电话互通等	评估 ViNR、ViNR 与 ViLTE 的语音业务接通成功率、呼叫建立时延等

本次针对 VoNR 的基本业务（如不同编码方式下的语音质量）、移动性及 ViNR 视频通话等内容的测试基于 4 款芯片平台进行，各芯片对 VoNR 支持情况如下：

表 3-2 VoNR 功能各芯片厂家支持情况

功能	CS1	CS2	CS3	CS4
AMR-WB 23.85K	√	√	√	√
EVS WB 13.2K/24.4K	√	√	√	√
EVS SWB 13.2K/24.4K	√	√	√	√*
ViNR 视频通话	√	√	√	√
语音互操作	√	√	√	√
ViNR 互操作	√	√	√	√
EPS Fallback	√	√	√	√
RoCH 头压缩	√	√	√	√
语音自适应编码	√	√	√	√
C-DRX	√	√	√	√

*：性能优化中

3.1.2.1 VoNR 语音质量

(1) EVS-WB

EVS 是增强型语音通话服务编解码技术，从测试结果来看，各芯片平台均支持的 EVS-WB 13.2K 语音编码。VoNR 语音质量（MOS 分）可以达到 3.8 分到 4.1 分左右，符合预期。

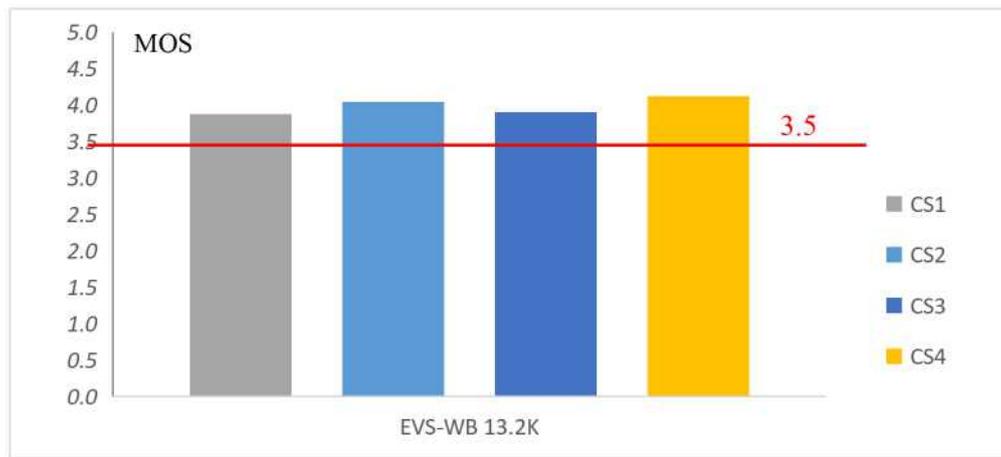


图 3-7 EVS-WB 13.2K 编码方式语音质量测试结果

(2) 不同编码方式 VoNR 语音质量对比

本次还针对 AMR-WB 23.85K、EVS-WB 24.4K 及 EVS-SWB 24.4K 等编码方式进行了测试。挑选部分芯片测试结果进行速率相近的不同编码方式语音质量效果对比，从测试结果来看，VoNR 语音质量（MOS 分）在 3.3 分~4.5 分左右的区间波动，其中 AMR-WB 23.85K 编码方式应用较为成熟，测试支持情况较好；EVS-WB 24.4K 编码方式语音质量测试结果略好于 AMR-WB 23.85K，EVS-SWB 编码方式不同芯片厂家语音质量波动较大，尚有提升空间。

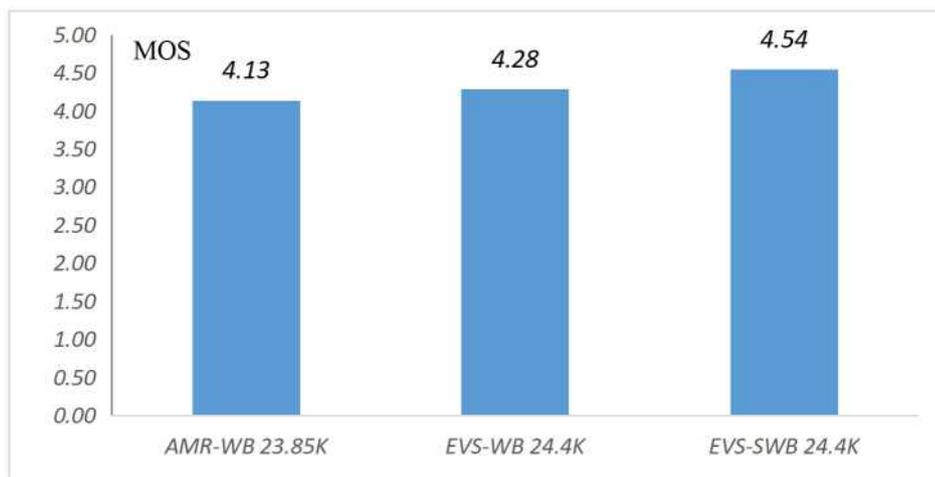


图 3-8 不同编码方式 VoNR 语音质量对比测试结果

3.1.2.2 ViNR 视频电话

本次 ViNR 视频电话测试包括 ViNR 视频电话互通测试、ViNR 与 ViLTE 视频电话互通等，共测试验证 H.264 及 H.265 两种视频编码方式。各芯片厂家均支

持 ViNR 视频电话。

ViNR 视频电话互通时，视频清晰流畅且语音同步。

表 3-3 ViNR 视频编码方式各厂家支持情况

视频编码方式	CS1	CS2	CS3	CS4
H.264	√	√	√	√
H.265	√	√	√	√

综上所述，当前各芯片平台均已支持 VoNR 和 ViNR 功能。VoNR 呼叫建立时延及语言质量均可满足预期，各芯片厂家均已支持 AMR-WB 23.85K、EVS-WB 13.2K 等不同编码方式。ViNR 视频电话也已支持 H.264 和 H.265 编码方式，测试过程中视频流畅且语音同步。

3.1.3. 载波聚合/ SUL

为满足 5G 移动数据流量增长对高传输速率的需求，3GPP R15 标准定义了 NR 载波聚合特性（CA），并同时引入了下行载波聚合的载波间 SRS 轮发功能，使得 TDD 频段的辅载波也可以获得发送 SRS 参考信号的机会，从而更准确地评估辅载波的下行信道质量。同时，在 R16 标准中引入了带间载波聚合帧头不对齐、上行轮发（Tx Switching）等功能。带间载波帧头不对齐功能，可通过载波间帧头偏移来错开两个频段的发送时隙，从而提升频谱效率、提高上行 CA 传输速率；上行载波间 TDM 轮发可通过 1Tx 与 2Tx 间的上行通道切换，来提升上行传输速率，从而满足对于上行高速传输的要求。此外，3GPP 还引入了 SUL 特性，通过 1Tx-2Tx 轮发功能可灵活、有效地提升上行数据传输速率，以适应多种网络场景需求。

当前 CS1、CS2 芯片均已支持 UL/DL CA 功能，并可支持上行轮发、下行载波间 SRS 特性，其中 CS1 芯片已具备支持上行 1T-2T 轮发、带间帧头不对齐能力。目前，CS1、CS2 芯片已与多个网络设备进行了实验室联调测试。以下为 CS1、CS2 芯片与网络完成的载波聚合实验室联调测试结果：

对于 n41 频段内上行载波聚合，目前芯片普遍支持带内 CA_n41C（160M 带

宽上行单流)，后续还将进行网络下的 CA_n41C 上行双流带内载波聚合调试。在其它载波聚合频段组合上，CS1 芯片已完成 R16 1Tx-2Tx 轮发、帧头不对齐等特性验证，在带间 CA_n41A-n79A 和 CA_n41A-n28A 载波聚合频段组合下峰值速率可达到或接近理论峰值的 90%；CS2 芯片已支持 CA_n41A-n28A R15 1Tx+1Tx，尚未支持 R16 1Tx+2Tx，因此上行速率还有较大提升空间。

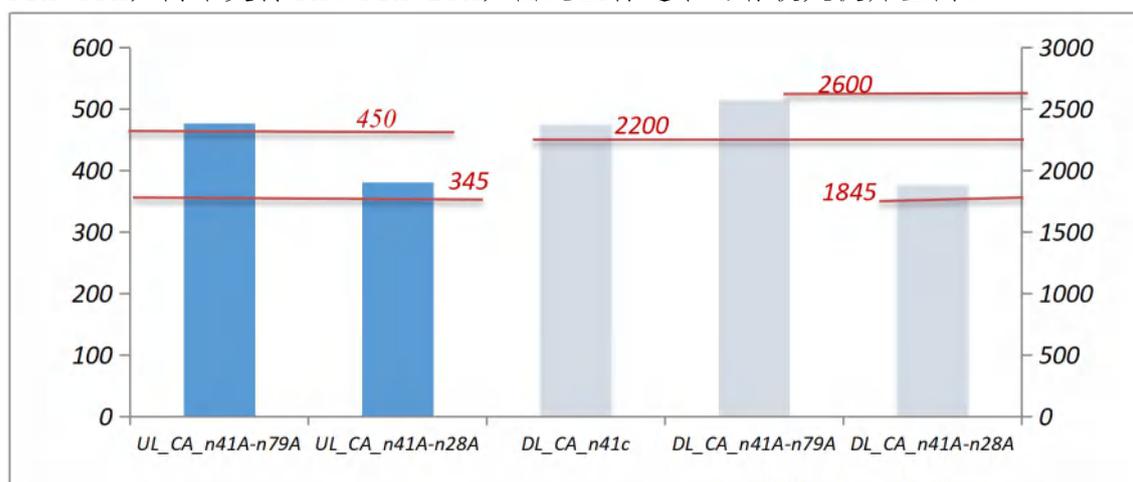


图 3-9 CS1 载波聚合吞吐量测试结果 (Mbps) (网络采用 DMRS 1+1 配置及合理资源预留，红线为 90%理论值)

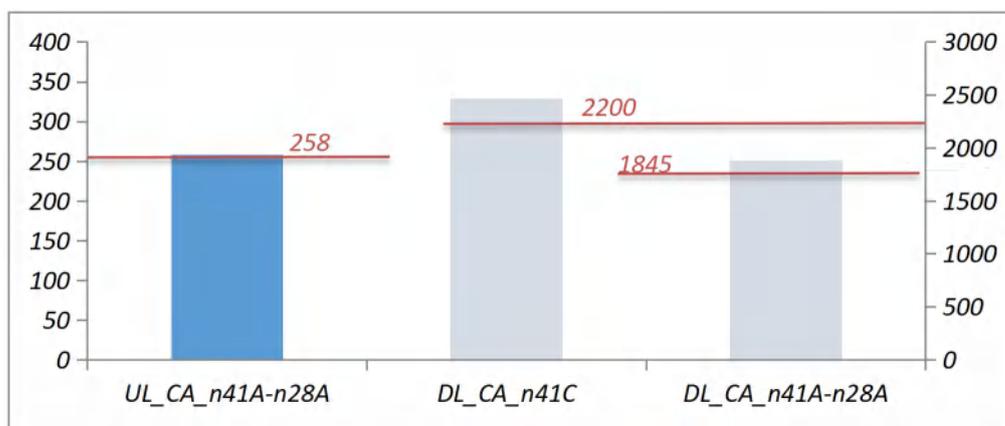


图 3-10 CS2 芯片载波聚合吞吐量测试结果 (Mbps) (网络采用 DMRS 1+1 配置及合理资源预留，红线为 90%理论值)

在 SUL 方面，目前 CS1 芯片已具备 SUL 能力，并已在实验室网络下完成了联调测试，可实现 Rel-16 1Tx-2Tx 轮发功能，上行峰值速率实测结果在 390M 左右，接近理论峰值。

除此之外，CS1、CS2 芯片也在网络下完成了载波聚合的遍历互通测试，可满足载波聚合下的小区配置、激活等基本功能，也可以支持切换功能。同时 CS1 芯片已完成 SUL 基本功能及移动性测试，可支持 SUL 切换功能。

表 3-4 载波聚合基本功能及移动性用例支持情况

功能	CS1	CS2
CA 配置、去配置	√	√
CA 激活、去激活	√	√
CA 同频切换	√	√
CA 异频切换	√	√

表 3-5 SUL 基本功能及移动性用例支持情况

功能	CS1
SUL 配置、去切换	√
SUL 激活、去激活切换	√
SUL 小区切换, NUL 小区不变	√
NUL 小区切换, SUL 小区不变	√
SUL、NUL 小区均切换	√
n28 小区至 n41A-n83A 小区切换	√

综上所述,当前 CS1、CS2 芯片均已支持 UL/DL CA SRS 轮发、Tx Switching 等载波聚合特性,同时 CS1 芯片已具备上行 1T-2T 轮发、带间帧头不对齐能力;CS1 芯片可满足 SUL 的功能及性能要求。后续,仍需针对峰值速率进一步优化,从而更好地满足用户对于 5G 高速率的需求;除此之外,也需要逐步推动更多芯片平台进行载波聚合及 SUL 测试,以促进性能优化、推动产业应用落地。

3.1.4. n28

中国移动在 n28 频段开展芯片性能测试验证,测试带宽 30MHz,以评估 5G 终端芯片在 n28 频段下的基本性能,具体测试结果如下:

表 3-6 n28 各芯片厂家支持情况

测试项	CS1	CS2	CS4
终端数据业务性能	√	√	√
移动性-同频切换	√	√	√
移动性-异频切片	√	√	√
n28 VoNR	√	√	√

室外上、下行峰值吞吐量测试中,网络空载情况下,对单小区定点状态的单 UE 峰值速率进行测试,以验证在外场单小区空载环境下单 UE 峰值吞吐量。由于实际测试环境中存在一定的干扰,对各芯片的峰值吞吐量也存在一定的影响。从测试结果来看,单用户室外下行峰值吞吐量能达到 320~350Mbps,上行峰值吞

吐量能达到 160~170Mbps 左右。参测芯片上行、下行峰值吞吐量均能达到理论值的 90%（见下图红线）。

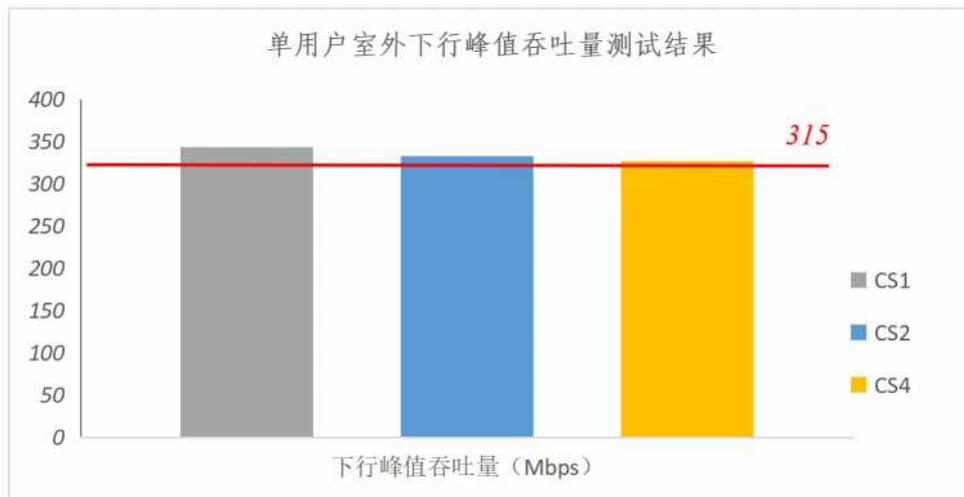


图 3-11 单用户室外下行峰值吞吐量测试结果（红线为 90%理论值）

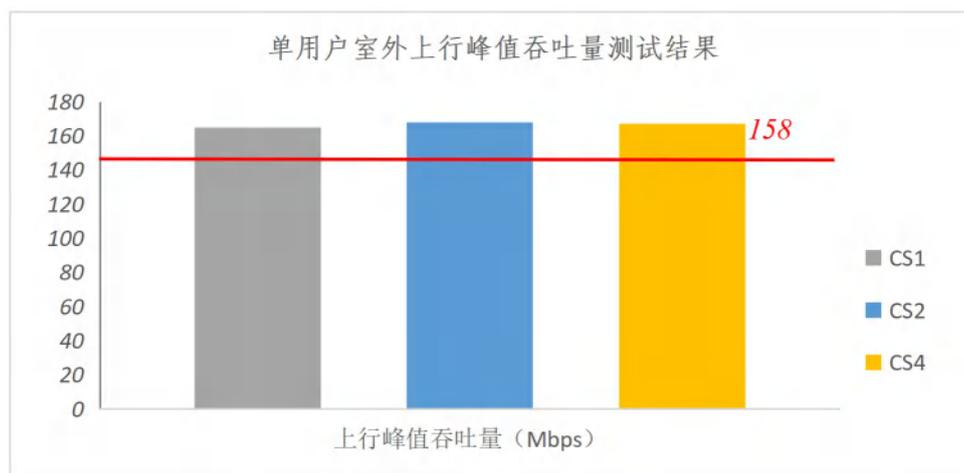


图 3-12 单用户室外上行峰值吞吐量测试结果（红线为 90%理论值）

3.1.5. ANR

自动邻区关系优化（ANR）是 3GPP R15 版本定义的功能，指网络侧借助 UE 对周围邻区 PCI 和 CGI（小区唯一标识）的测量和上报功能，可以自动完成邻区关系表的配置和优化，包含相邻小区的自动添加和删除。同时，如果某小区与目标小区建立邻区关系后，还可以帮助该小区所属基站与相邻小区基站建立 X2/Xn 逻辑接口。ANR 可解决现网中邻区规划工作量大、易出现人工邻区漏配情况等问题。终端需支持 SA 组网下的 ANR 功能，在 5G SA 网络下上报 5G/4G 邻区 ID。

从去年 Q4 到今年上半年，中国移动组织了实验室芯片测试验证，评估 5G 终端芯片的 ANR 功能。本轮测试芯片为 CS1、CS2，测试结果为 CS1、CS2 芯片均已支持 5G 下探测 5G 邻区并进行上报的功能。在今年下半年，中国移动组织了外场芯片测试验证，同样使用上述芯片，外场测试通过，验证了芯片在 5G 下探测 5G 邻区的功能和性能。

3.1.6. 5G 定位

目前，部分终端芯片已支持 R16 引入的上行定位参考信号 SRS for positioning、下行定位参考信号 PRS 以及相关的定位协议流程，支持 5G 定位技术相关的信号测量和测量结果上报。基于 CS2 芯片的测试验证表明，5G 室外定位精度优于 2 米，使得面向工厂、商超、机场、园区等各典型行业的 5G 定位服务规模应用成为可能。

后续，中国移动将联合产业各方持续开展基于 R16 上/下行定位参考信号的多种 5G 定位技术的验证，并持续开展方案创新，进一步提升定位精度。



图 3-13 5G 定位技术室外测试验证

3.2. 面向行业终端的芯片特性

3.2.1. URLLC

URLLC 是 5G 三大应用场景之一，可广泛应用于如 AR/VR、工业控制系统、交通和运输（如无人驾驶）、智能电网和智能家居的管理、交互式的远程医疗诊断、工厂自动化、自动驾驶、工业互联网、智能电网等场景。主要涉及两个方面的内容：一个是高可靠，另一个是低时延。当前，低时延能力测试验证主要涉及

两个特性：mini-slot (R15)、1ms 单周期帧结构；高可靠能力测试验证主要涉及三个特性：低码率 MCS/CQI 表格 (R15)、slot 重复 (R15)、PDCP 重复增强 2 条冗余 (R15)。

目前，CS1、CS2、CS3 芯片已参与 URLLC 技术实验室测试，并完成部分技术特性验证，性能方面持续优化中，将于 12 月底完成首批芯片的实验室功能及性能验证测试。

表 3-7 芯片已支持的 URLLC 关键技术功能验证情况

	CS1	CS2	CS3
Mini Slot	●	○	◐
低码率 MCS/CQI 表格	●	●	●
PDCP 重复增强 2 条冗余	●		
Slot 重复	●	○	●
1ms 帧结构	○	○	○
备注：●表示验证通过，◐表示验证中，○表示待验证。			

通过实验室测试结果可以看出，当前 CS1、CS2、CS3 芯片平台已具备 URLLC 关键技术特性的验证能力，并完成了部分关键特性的功能验证，同时受限于产业整体进度，部分关键技术特性尚处于验证中或待验证，性能方面仍需要持续优化，整体尚未具备商用能力。对于 1ms 帧结构，终端芯片已具备相应的功能，还需与网络开展性能测试。后续，需进一步推动各芯片平台对 URLLC 的研发力度，从而更好地满足行业用户对于高可靠、低时延的需求。

3.2.2. NPN/CAG

3GPP 在 R16 版本设计了 NPN (Non-public network) 来满足为行业客户的网络进行隔离封闭式管理的需求，分为公众网集成 NPN、独立专网 NPN 两种架构。对于公众网集成 NPN 架构，是在公网模式下，划分出企业专属无线覆盖区，无线网络在现有广播 PLMN ID 的基础上，新增 CAG (Closed Access Group) 的标识；整个网络基于 CAG 将无线覆盖划分成若干个独立区域，网络基于 CAG 进行不同终端在不同园区的准入管控。支持 CAG 功能的 R16 版本终端芯片，会读取小区广播的 CAG ID 信息，在 CAG 许可的情况下，进行网络接入；此外，终

端支持通过预先配置或网络配置方式获得并保存更新 CAG 信息。

今年下半年，中国移动组织了实验室芯片测试验证，评估 5G 终端芯片在公众网集成 NPN 架构下的 CAG 功能，主要包括配置/不配置 CAG only、基于 CAG 的专网准入控制、专网移动性管理和基于 CAG 的寻呼功能，本轮测试芯片为 CS1。经验证，CS1 终端芯片能够支持上述功能，符合标准功能要求，且 R15 版本终端芯片、R16 版本终端芯片(未配置 CAG)和 R16 版本终端芯片(配置 CAG)可各自接入公网和专网。

3.2.3. 大上行帧结构

在垂直行业的典型业务中，有一类是大上行视频类的业务，典型场景有远程控制、智慧医疗中的远程手术等。该类业务主要特点是上行数据包较大，对上行峰值速率、容量边缘都有较高要求。5G 技术可支持灵活的帧结构配置，可以按行业用户需求采用上行时隙配比更多的帧结构。

以 30kHz 子载波间隔为例，2.5ms 单周期 3U1D1S 帧结构，10 个 slot 典型配置为：DSUUUDSUUU，其中 S 符号级为 DDDDDDDDDDDGGUU，可显著提升网络的上行传输速率和上行容量，实测的单载波上行峰值接近 750Mbps（上行 2 流、256QAM 调制方式）。

目前，5G 主流芯片均已支持 2.5ms 单周期（3U1D1S）帧结构，CS1、CS2、CS3 三款芯片与仪表进行了实验室联调测试，部分芯片进行了外场测试验证。图 3-14 为 DMRS 配置为 1+1 场景下基于仪表的上下行峰值速率实测结果，图 3-15 为 DMRS 配置为 1+0 场景下外场峰值速率实测结果。

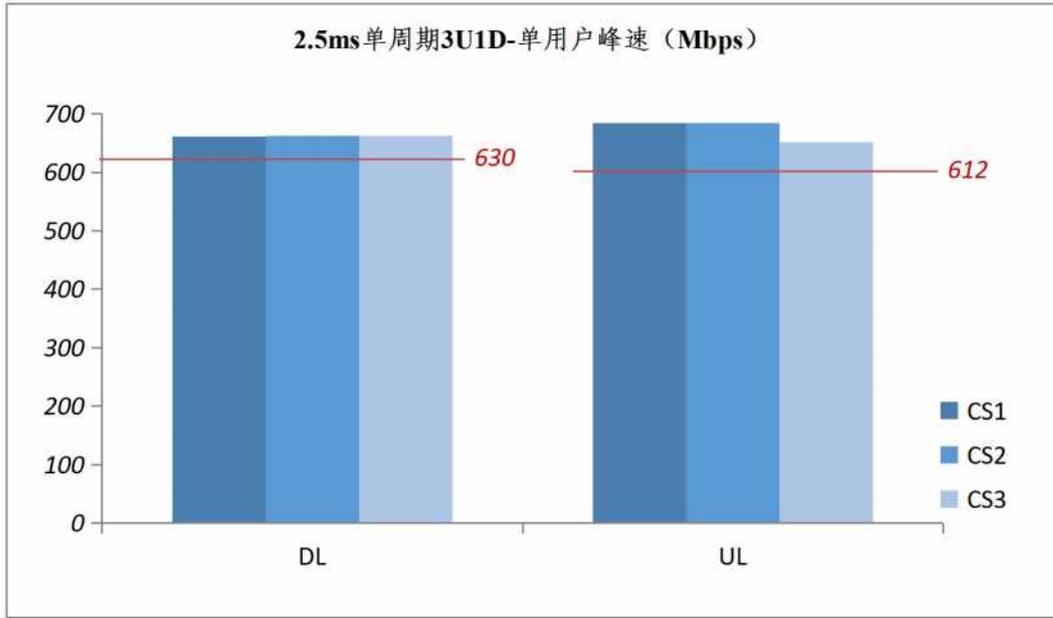


图 3-14 n79-2.5ms 单周期 (3U1D) 帧结构不同芯片平台实验室性能表现

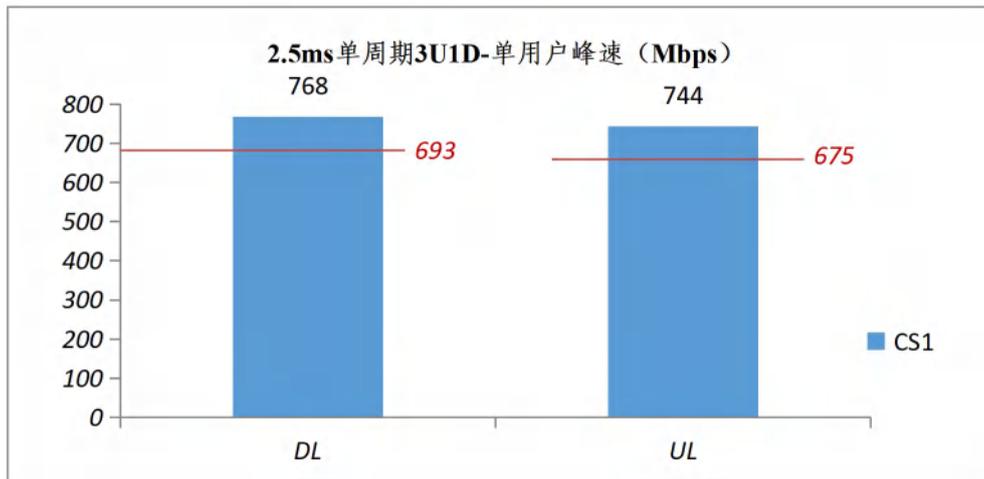


图 3-15 n79-2.5ms 单周期 (3U1D) 帧结构不同芯片平台外场性能表现

通过实验室和外场测试结果可以看出,当前各芯片平台均已支持 n79 频段的大上行帧结构特性,性能方面符合预期,满足商用要求。在 2021 年中国移动 5G 通用模组集采测试中,再次从模组层面进行了测试验证,所有主流芯片平台的 9 厂家 21 款型 5G 通用模组均已支持该帧结构。

4. 测试仪表新功能支持能力

4.1. 5G 一致性测试系统

本章节评估 5G 终端一致性测试系统对新特性的支持情况。针对每个标准要求特性，3GPP RAN5 定义了一致性测试用例用于验证终端的实现符合标准要求，测试仪表进行测试用例开发并基于 GCF 完成验证。针对每个新特性，本章以测试系统已经通过 GCF 验证的测试用例占该特性总用例数量的比例作为评判测试系统成熟度的依据。值得注意的是，一致性测试系统的研发进度和测试认证标准进度紧密相关，目前面向终端节电、移动性增强、MIMO 增强等 R16 特性的一致性测试认证标准正在 3GPP RAN5 和 GCF 紧锣密鼓制定中，随着标准的逐步完善，一致性测试系统针对 5G 新特性的测试能力将进一步提升。

本章节的评测对象包含是德科技、星河亮点、安立、罗德与施瓦茨、大唐联仪 5 家测试仪表厂家的 8 款 5G 终端一致性测试系统，需注意的是每款产品支持的测试类型（射频一致性、RRM 一致性、协议一致性）有所差异。本章节以 GCF 平台编号指示具体的测试系统。

4.1.1. VoNR

面向 5G IMS 音视频通话功能一致性测试包括 VoNR 语音业务测试、ViNR 视频业务测试、补充业务测试、紧急呼叫测试等，其中 VoNR 是最基础的测试能力。图 4-1 为一致性测试系统对 VoNR 语音业务测试用例的验证比例，均达到 86%以上，可见已经完成了大部分 VoNR 用例的开发验证。图 4-2 为一致性测试系统对 ViNR 视频业务、补充业务、紧急呼叫等测试用例的验证比例，在 21%~28% 之间，成熟度相对较低，需要进一步提升验证比例。

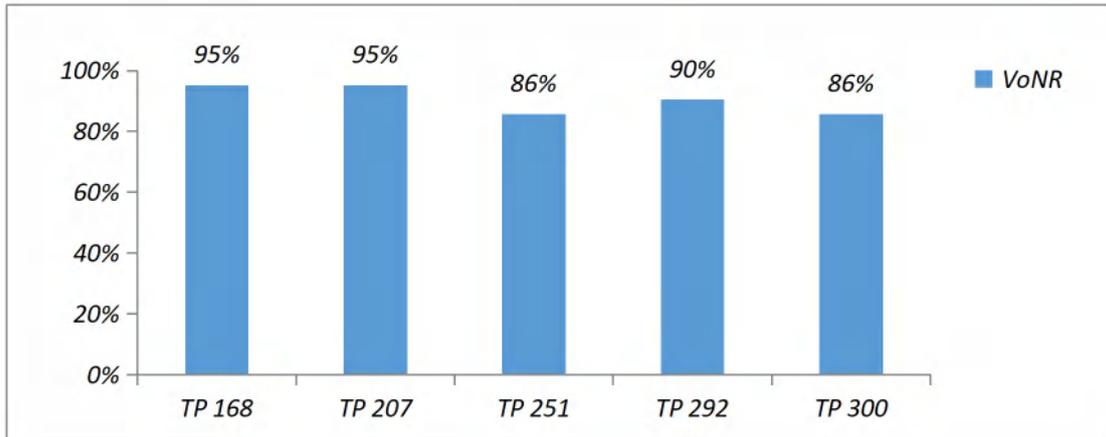


图 4-1 VoNR 测试用例验证比例 (总用例 21 个)

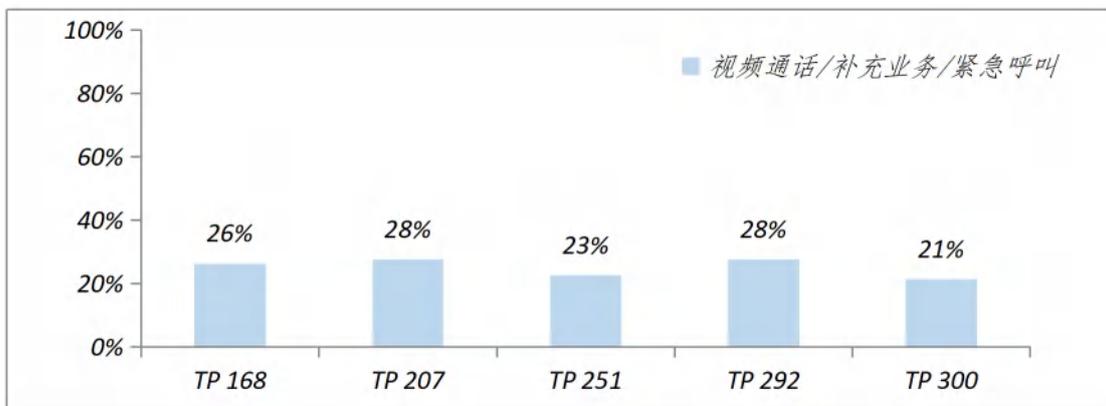


图 4-2 视频通话/补充业务/紧急呼叫测试用例验证比例 (总用例 80 个)

4.1.2. n28

在 n41 和 n79 基础上，新增 n28 频段测试需求。n28 频段的基本测试能力包括 TS 38.521-1 和 TS 38.521-4 定义的射频一致性测试、TS 38.533 定义的 RRM 一致性测试以及 TS 38.523-x 系列定义的协议一致性测试，其中射频一致性测试要求支持 30M 带宽。

一致性测试系统对 n28 频段的测试用例验证进展详见表 4-1。从验证比例来看，测试系统对 n28 频段已具备较成熟的测试能力。

表 4-1 一致性测试系统 n28 测试能力

特性	测试类型	总用例数	已验证用例数				
			TP 168	TP 207	TP 250	TP 296/298	
n28	射频一致性	60	47	36	46	34	
		成熟度	78%	60%	77%	57%	
	RRM 一致性	53	50	49	47	26	

特性	测试类型	总用例数	已验证用例数				
			TP 168	TP 207	TP 250	TP 296/298	
		成熟度	94%	92%	89%	49%	
	测试类型	总用例数	TP 168	TP 207	TP 251	TP 292	TP 300
	协议一致性	218	179	185	176	160	121
		成熟度	82%	85%	81%	73%	56%

4.1.3. 载波聚合/SUL

NR 载波聚合一致性测试内容，在射频方面考察不同载波聚合频段组合下的射频接收机（对于 DL CA）或者发射机（对于 UL CA）射频性能，在 RRM 方面考察辅载波激活/去激活时延、载波重配置中断时延等性能，在协议方面考察辅小区添加/删除、辅小区激活/去激活、测量上报、切换等功能。

一致性测试系统对 NR CA 下行两载波一致性测试用例的验证情况详见表 4-2，包括 n41 频段内连续载波聚合、n41 和 n28 频段带间载波聚合以及 n41 和 n79 频段带间载波聚合。从验证结果可见，目前测试仪表对下行载波聚合的测试能力较为成熟，在每种载波聚合频段组合下，均有仪表达达到 70% 及以上的用例验证比例。

表 4-2 一致性测试系统 DL CA 测试能力

测试类型	频段组合	总用例数	已验证用例数				
			TP 168	TP 207	TP 250	TP 296/298	
射 频 /RRM 一致性	CA_DL_n41C	11	8	8	6	/	
		成熟度	73%	73%	55%	/	
	CA_DL_n41A-n28A	14	3	12	5	/	
		成熟度	21%	86%	36%	/	
	CA_DL_n41A-n79A	13	9	13	7	5	
		成熟度	69%	100%	54%	38%	
测试类型	频段组合	总用例数	TP 168	TP 207	TP 251	TP 292	TP 300
协 议 一 致 性	CA_DL_n41C	12	7	9	4	5	7
		成熟度	58%	75%	33%	42%	58%
	CA_DL_n41A-n28A	10	/	7	/	/	/
		成熟度	/	70%	/	/	/
	CA_DL_n41A-n79A	11	7	8	4	4	7
		成熟度	64%	73%	36%	36%	64%

一致性测试系统对 NR CA 上行两载波一致性测试用例的验证情况详见表

4-3, 包括 n41 频段带内连续载波聚合、n41 和 n28 频段带间载波聚合以及 n41 和 n79 频段带间载波聚合。从验证结果可见, 目前测试仪表对上行 n41 和 n79 频段带间载波聚合的测试较为成熟, 上行 n41 带内载波聚合、n41 和 n28 频段带间载波聚合测试能力需进一步增强。

表 4-3 一致性测试系统 UL CA 测试能力

测试类型	频段组合	总用例数	已验证用例数		
			TP 168	TP 207	TP 250
射频一致性	CA_UL_n41C	10	/	/	/
		成熟度	/	/	/
	CA_UL_n41A-n28A	17	/	1	1
		成熟度	/	6%	6%
	CA_UL_n41A-n79A	17	8	7	1
		成熟度	47%	41%	6%

SUL 的一致性测试内容主要集中在射频方面, 主要考察收发机射频指标性能。TP168 已率先在 SUL_n41-n83 频段组合上完成首批 SUL 测试用例验证。

4.1.4. NR MDT

NR MDT 一致性测试主要考察协议功能, 测试内容覆盖连接态 Immediate MDT、空闲态 Logged MDT、Radio Link Failure (RLF) Report/无线链路失败报告、RRC Connection Establish Failure (RCEF) Report /RRC 连接建立失败报告等方面。NR MDT 于 2021 年 10 月 GCF CAG 会议启动用例开发验证, 一致性测试系统验证进展详见表 4-4。

表 4-4 协议一致性测试系统 NR MDT 测试能力

特性	频段组合	总用例数	已验证用例数		
			TP 168	TP 250	TP 296/298
NR MDT	n41	30	2	2	2
		成熟度	7%	7%	7%
	n28	30	/	1	/
		成熟度	/	3%	/
	n79	30	2	1	2
		成熟度	7%	3%	7%

4.2. 5G NS-IoT 测试系统

5G 终端功能及性能测试是由运营商根据网络部署需求制定的测试方案，并联合仪表厂商对测试用例进行共同的开发与验证。该系统可通过仪表模拟真实的网络环境以测试终端在不同场景模式下的性能表现，并实现自动化测试。相较于一致性测试，其具有更加接近实际网络部署的特点，并且可通过对特定场景及实际问题进行针对性用例考察，以弥补一致性测试用例的不足。

5G 终端功能及性能测试主要考察测试系统对吞吐量、功耗、基本功能及移动性三大类测试内容的支持情况。随着 5G 测试技术演进，测试系统已逐步支持 Rel-15 及 Rel-16 新特性的测试要求，本章节的评测对象包含是德科技、罗德与施瓦茨、大唐联仪、安立、星河亮点五家测试仪表厂家产品。为方便表述，下文以编号指代具体测试系统。

4.2.1. VoNR

VoNR 可为用户提供高质量的语音服务，NS-IoT VoNR 测试内容主要包括在 VoNR 语音通话的同时并发数据传输业务，同时为模拟现网中存在的移动场景下语音通话场景，设计了在语音和数据业务并发场景下终端在 NR 网络和 LTE 网络下进行切换的测试用例，从而来保障移动场景下的语音通话质量、提升用户体验。表 4-5 为 NS-IoT 测试系统对 VoNR 测试用例的支持验证情况。

表 4-5 各仪表厂家 VoNR 语音数据并发测试支持情况

	TP1	TP2	TP3	TP4
n41+VoNR	√	√	√	√
n28+VoNR	√	√	√	√
n79+VoNR		√		
异系统切换并保持数据业务输出	√	√	√	√

4.2.2. n28

随着 Rel-16 引入 n28 频段 30M 带宽的特性，NS-IoT 测试系统也随之引入了 n28 频段相关的吞吐量及移动性测试用例。目前 TP1~TP5 的测试系统均已支持

n28 频段 30M 带宽, 并已和两款以上芯片完成了吞吐量峰值用例验证; 同时 TP1、TP2、TP3 已支持 n28 频段异频异系统切换/重选测试能力, TP5 已支持 n28 频段异频异系统切换测试能力。

表 4-6 各仪表厂家 n28 频段用例支持情况

	TP1	TP2	TP3	TP4	TP5
n28 上行峰值	✓	✓	✓	✓	✓
n28 下行峰值	✓	✓	✓	✓	✓
异频切换	✓	✓	✓		✓
异系统切换	✓	✓	✓		✓
4/5G 小区重选	✓	✓	✓		

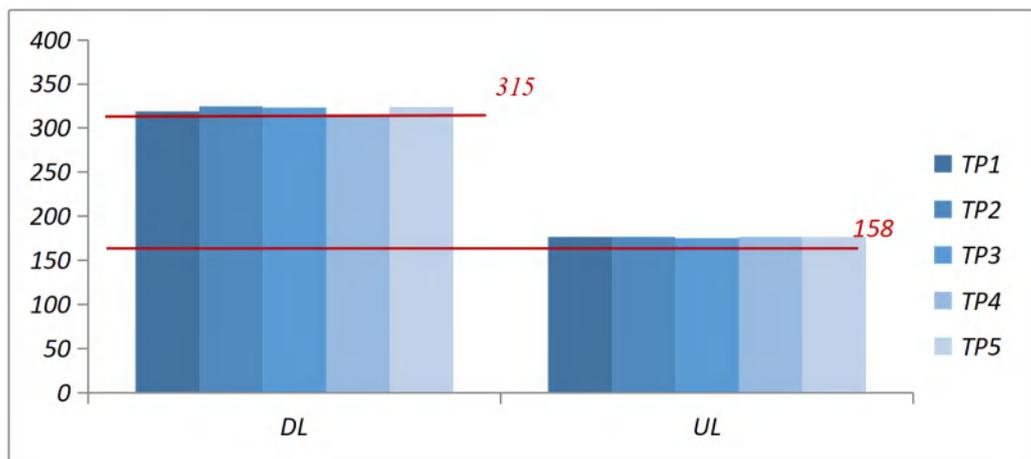


图 4-3 n28 频段 (30M 带宽) 各仪表厂家吞吐量验证结果 (红线为 90%理论值)

4.2.3. 载波聚合/SUL

载波聚合方面, TP1、TP2 已支持带内、带间下行载波聚合吞吐量功能, 可支持 SRS 轮发、帧头不对齐等特性, 在此基础上 TP1 已支持上行载波聚合带内同频/异频切换、带间主小区同频/异频切换、带间主辅小区异频切换并保持数据传输等测试项目。在上行载波聚合方面, TP1、TP2 已支持 n41 频段 160M 带宽带内连续载波聚合测试能力, 其中 TP1 峰值速率可达到 392Mbps; 同时, TP1 已完成了 UL_n41A-n28A 频段支持 1T-2T 轮发的吞吐量测试, 峰值速率可达 363Mbps。TP3、TP4 也正在逐步开发载波聚合功能。

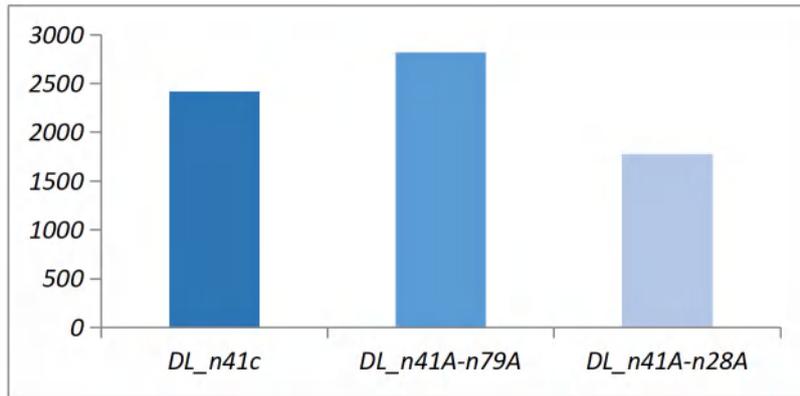


图 4-4 TP1 下行载波聚合功能吞吐量验证结果 (Mbps)

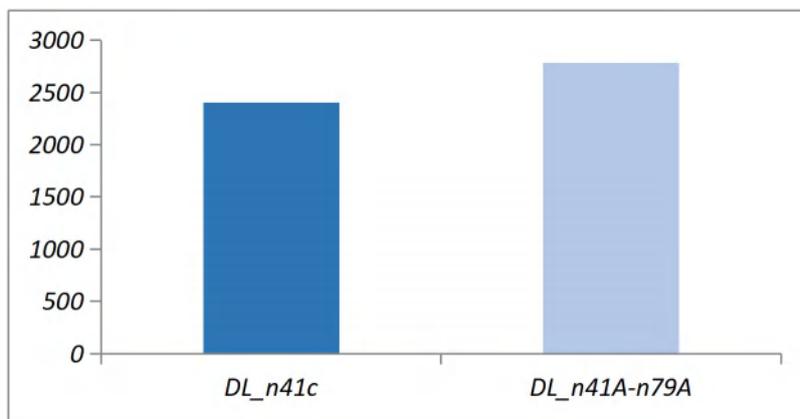


图 4-5 TP2 下行载波聚合功能吞吐量验证结果 (Mbps)

表 4-7 各仪表厂家载波聚合功能支持情况

	TP1	TP2
DL_CA_n41C	✓	✓
DL_CA_n41A-n28A	✓	
DL_CA_n41A-n79A (R15)	✓	✓
DL_CA_n41A-n79A (R16)		✓
UL_CA_n41C	✓	✓
UL_CA_n41A-n28A	✓	
带内 CA 同频/异频切换并保持数据业务	✓	
带间 CA 主小区同频/异频切换并保持数据业务	✓	
带间 CA 主辅小区同时异频切换并保持数据业务	✓	

4.2.4. 大上行帧结构

为满足上行大带宽的需求,除在 4.9GHz 频段上测试 2.5ms 双周期帧结构外,

额外引入了 4.9GHz 频段 2.5ms 单周期帧结构的相关测试。目前 TP1、TP2、TP3 可满足 4.9GHz 2.5ms 单/双周期帧结构吞吐量及移动性用例测试要求。以下是各厂家验证详细情况（下行采用 DMRS 1+1 配置、上行采用 DMRS1+0 配置）：

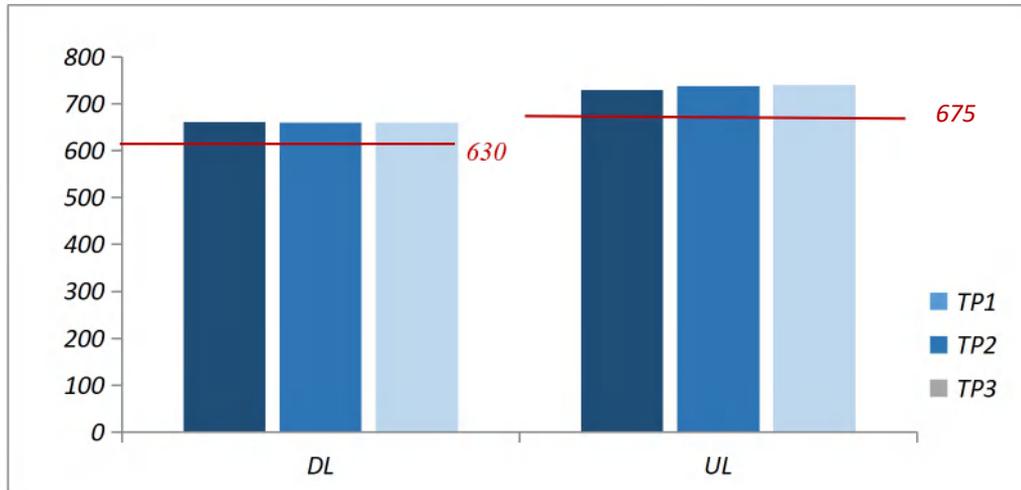


图 4-6 n79 频段（2.5ms 双周期）各仪表厂家吞吐量验证结果(Mbps)

5. 总结与展望

5.1. 终端芯片新特性支持情况整体评价及存在的问题

本报告第三章对目前终端芯片 5G 新技术的支持能力进行了评估，面向消费终端的芯片新特性（To C 新特性）主要集中在开展测试的终端节电、VoNR、载波聚合/SUL、n28、ANR、5G 定位等特性上，面向行业终端的芯片新特性（To B 新特性）主要集中在开展测试的 URLLC、大上行帧结构等特性上。对于本报告中涉及到的新技术，本节尝试根据芯片的支持情况给出成熟度评价，具体如表 5-1 所示。

- 对于 To C 特性，目前终端芯片对 R15 终端节电、VoNR、n28、ANR 的支持较为成熟，对 R16 上行载波聚合、SUL、5G 定位等特性的支持仍有较大提升空间；
- 对于 To B 特性，对大上行帧结构的支持较为成熟，对等特性的支持仍有较大提升空间。

随着终端芯片功能的逐步完善以及产业发展，终端芯片对 5G 演进技术的支持将进一步增强。中国移动已开展 R16 上行载波聚合/SUL、特性、R16 终端节

电、CAG 和终端切片能力的测试验证，12 月开展 MDT 等测试验证，预计将在 2022 年 Q1 完成阶段性验证。

下表 5-1 中给出了芯片功能的成熟度，按照星级评定。

星级评定标准如下：

1 颗星★成熟度最低，5 颗星★★★★★成熟度最高。按照产业整体成熟度标星。

3 款及以上芯片支持且功能和性能均达标，则为 5 颗星；

3 款及以上芯片支持但是功能和性能尚有一些不足，则为 4 颗星；

2 款芯片支持且功能和性能达标，则为 3 颗星；

2 款芯片支持但是功能和性能尚有一些不足，或者 1 款芯片支持且功能和性能达标，则为 2 颗星；

1 款芯片支持但是功能和性能尚有一些不足，则为 1 颗星。

表 5-1 5G 芯片新特性成熟度评估

场景	领域	功能点	成熟度
To C	终端节电	CDRX/空闲态 DRX	★★★★★
		BWP	★★★★★
		过热保护	★★★★★
		同时隙符号级关断	★★★
	VoNR	VoNR 语音通话业务及音频编解码	★★★★★
		ViNR 视频通话业务及视频编解码	★★★★★
	载波聚合/SUL	下行载波聚合载波间 SRS 轮发	★★★★★
		带间载波聚合帧头不对齐	★★
		1Tx-2Tx 上行轮发 (Tx switching)	★★★
		n28+n41 DL CA (R15)	★★★★★
		n28+n41 UL CA (R15)	★★★★★
		n28+n41 UL CA (R16)	★★
		n28+n41 SUL (R16)	★★★
		n41 上行带内 CA-160MHz 两流(R15)	
		n41+n79 上行 CA (R16)	★★
		n28 频段	上下行数据业务性能
	移动性 (同频、异频)		★★★★★
	VoNR		★★★★★
	ANR	ANR 功能	★★★★★

	5G 定位	R16 上行定位参考信号 SRS for positioning	★★
		R16 下行定位参考信号 PRS	★★
To B	URLLC	短时隙调度 (Mini-slot)	★★
		低码率 MCS/CQI 表格	★★★★
		PDCP 重复增强 2 条冗余	★★
		Slot 重复	★★★★
		1ms 单周期帧结构 ^注	
	NPN	CAG	★★
	大上行帧结构	2.5ms 单周期帧结构	★★★★★

注：对于 1ms 帧结构，终端芯片已具备相应的功能，后续还需与网络开展性能测试。

5.2. 测试仪表新特性支持情况整体评价及存在的问题

本报告第四章对目前终端测试仪表对 5G 新技术的支持能力进行了评估，主要集中在本年度开展测试的 VoNR、n28、载波聚合/SUL、NR MDT、大上行帧结构等特性上，其它新特性，如切片、URLLC 等，目前有部分测试仪表已经具备了基本功能及部分测试能力，考虑到测试标准进度以及终端芯片整体支持情况，将在后续的评测报告上进一步介绍。

对于本报告中涉及到的新技术，本节尝试根据仪表的支持情况给出成熟度评价，具体如表 5-2 所示。总体上，目前终端测试仪表对 VoNR、n28、大上行帧结构、下行载波聚合的测试能力较为成熟，对 R16 上行载波聚合、SUL、NR MDT 等特性的测试能力仍有较大提升空间。对于移动性增强、终端节电、MIMO 增强、URLLC 等 R16 特性，部分仪表产品目前已支持基本功能，随着测试标准的逐步完善，将形成更为全面的测试能力，对 5G 演进技术的测试能力将得到进一步增强。

表 5-2 5G 终端测试仪表成熟度评估

领域	功能点	成熟度
VoNR	VoNR 语音通话业务及音频编解码	★★★★★
	ViNR 视频通话业务及视频编解码	★★
n28 频段	n28	★★★★★
载波聚合/SUL	n41 下行载波聚合	★★★★★
	n41+n79 下行载波聚合	★★★★★

	n41+n28 下行载波聚合	★★
	n41 上行载波聚合	★
	n41+n79 上行载波聚合	★★★
	n41+n28 上行载波聚合	★
	n41+n83 SUL	★
	带间载波聚合帧头不对齐	★★
	1Tx-2Tx 上行轮发 (Tx switching)	★
NR MDT	MDT 功能	★
大上行帧结构	2.5ms 单周期帧结构	★★★★★
注：★成熟度最低，★★★★★成熟度最高，已验证用例百分比评定		

5.3. 产业建议

一是 5G 消费终端的技术演进方面，建议终端芯片产业进一步全面支持 To C 特性，包括 NE-DC (Option4) 网络架构、终端切片、R15 CA (SRS 载波轮发、上行 160M 双流)、R16 CA 增强 (R16 帧头不同步、1T+2T 轮发)、NR MDT、MIMO 增强、5G 定位 (UTDOA、multi-RTT 等)、测量增强、高铁增强、终端节电等包含 R16 在内的 5G 演进技术。对于终端产业，建议在芯片支持并验证上述功能后尽快升级支持。目前较多存量终端不支持基于 DCI 的 BWP 功能 (芯片已支持) 以及 MDT 功能，建议存量终端尽快升级支持。

二是 5G 行业终端的技术推进方面，建议终端芯片产业和模组产业联合推进模组成本优化及新特性引入。建议终端芯片产业加大 To B 特性的研发，包括面向行业的终端切片、URLLC/IIoT、NPN/CAG、5G 定位等。建议终端芯片产业加强针对模组成本优化的芯片研发，和模组产业一起推动模组成本进一步优化，助力于 5G 行业终端的加速普及。

三是终端芯片的产品及试验方面，建议产业支持中国移动对于 5G 终端技术规格要求，并积极参与中国移动芯片 R16 特性技术验证、5G 终端切片功能设计与系统方案开发、5G 终端功耗优化、5G 终端功能与性能测试系统研发验证、5G 终端一致性测试系统研发验证、5G 终端质量保障体系构建等工作。

参考文献

- [1] 中国移动研究院，《5G 终端、芯片及测试产业报告》，2020.
- [2] 中国移动研究院，《2021 年终端芯片新需求报告》，2021.
- [3] 中国移动研究院，《2021 年测试仪表新需求报告》，2021.

附录 缩略语

附表 1 缩略语

词语	解释
5G	The fifth Generation Telecommunication Technology, 第 5 代移动通信技术
ANR	Automatic Neighbor Relation, 自动邻区关系算法
AR	Augmented Reality, 增强现实
BWP	BandWidth Part, 带宽部分
CA	Carrier Aggregation, 载波聚合
CAG	Closed Access Group, 闭合接入组
C-DRX	Connected-Discontinuous Reception, 连接态非连续接收
CSI-RS	Channel State Information Reference Signal, 参考信号
DCI	Downlink Control Information, 下行控制信息
eMBB	Enhanced Mobile Broadband, 增强移动宽带
MDT	Minimization of drive test, 最小化路测
MIMO	Multiple Input Multiple Output, 多输入多输出
NR	New RAT, 新空口
NUL	Normal Uplink, 主上行载波
NPN	Non-Public Network, 非公共网络
PBCH	Physical Broadcast Channel, 物理广播信道
PDCCH	Physical Downlink Control Channel, 物理下行控制信道
PDCP	Packet Data Convergence Protocol, 分组数据汇聚协议
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel, 物理下行共享信道
PRACH	Physical Random Access Channel, 物理随机接入信道
PRB	Physical Resource Block, 物理资源块
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel, 物理上行共享信道
RRC	Radio resource control, 无线资源控制
SIB	System Information Block, 系统信息块
SNR	Signal to Noise Ratio, 信噪比
SoC	System on Chip, 系统级芯片
SON	Self-Organising Networks, 自组织网络
SRS	Sounding Reference Symbol, 探测参考信号

词语	解释
SUL	Supplementary Uplink, 辅助上行载波
UCI	Uplink Control Information, 上行控制信息
UE	User Equipment, 用户设备
URLLC	Ultra-Reliable and Low Latency Communication, 高可靠低时延通信
VoNR	Voice over NR, 基于 NR 的语音通话
ViNR	Video over NR, 基于 NR 的视频通话
VR	Virtual Reality, 虚拟现实
WUS	Wake-up Signal, 节能唤醒信号