

RedCap 产业进展与 应用展望

IMT-2020(5G)推进组 试验工作组
2023年11月

版权声明

本白皮书版权属于 **IMT-2020 (5G)** 推进组，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：**IMT-2020 (5G)** 推进组”。违反上述声明者，将追究其相关法律责任。

编制说明

本报告主要贡献单位（排名不分先后）包括：中国信息通信研究院、中国联合网络通信集团有限公司、中国电信集团有限公司、中国移动通信集团有限公司、中广电移动网络有限公司、中国铁塔股份有限公司、中兴通讯股份有限公司、华为技术有限公司、中信科移动通信技术股份有限公司、上海诺基亚贝尔股份有限公司、爱立信（中国）通信有限公司、高通无线通信技术（中国）有限公司、联发博动科技（北京）有限公司、北京紫光展锐通信技术有限公司、翱捷科技股份有限公司、杭州必博科技有限公司、新基讯通信技术有限公司、无锡摩罗科技有限公司。

前 言

2023年7月，国务院新闻办公室举行的2023年上半年工业和信息化发展情况新闻发布会上，工业和信息化部新闻发言人、总工程师赵志国提出，“强化5G应用产业支撑，大力推动5G轻量化（RedCap）技术研发，促进5G应用持续降成本、上规模。”

2023年10月16日，工业和信息化部发布《关于推进5G轻量化（RedCap）技术演进和应用创新发展的通知》，明确提出，到2025年，5G RedCap产业综合能力显著提升，新产品、新模式不断涌现，融合应用规模上量，安全能力同步增强。其中，全国县级以上城市实现5G RedCap规模覆盖，5G RedCap连接数实现千万级增长。

产业界对5G RedCap的需求日益强烈，推动5G RedCap产业快速成熟，5G RedCap商用进入倒计时。本报告在我国5G RedCap即将商用的关键时期，简要分析5G RedCap技术标准特点，全面呈现我国5G RedCap技术试验成果，深度调研5G RedCap全产业链发展现状，探索和展示5G RedCap应用场景及案例，对我国构建完整的5G移动物联网综合生态体系，支撑差异化的物联网业务具有重要意义。

目 录

一、引言	1
二、5G RedCap 标准路线和技术特点	2
(一) 移动物联网概念	2
(二) 移动物联网技术发展现状	2
(三) 5G RedCap 的技术及标准进展	6
(四) 小结	12
三、5G RedCap 产业进展	14
(一) 概述	14
(二) 5G RedCap 网络研发进展	14
(三) 5G RedCap 芯片/模组/终端研发进展	16
(四) 技术试验推进	21
四、RedCap 应用场景与案例	30
(一) 可穿戴	30
(二) 视频监控	31
(三) 智慧电力	33
(四) 智能制造	34
(五) 车联网	35
五、下一步工作建议及规划	36
(一) 高效升级/部署 5G 网络支持 RedCap	36
(二) 持续开展(e)RedCap 技术与试验验证	37

图 目 录

图 1	5G RedCap 与其它蜂窝物联网技术比较	6
图 2	RedCap 将引领移动物联网全面过渡到 5G 新时代	13
图 3	IMT-2020 (5G) 推进组 RedCap 试验计划	22
图 4	IMT-2020 (5G) 推进组制定的 5G RedCap 试验规范	22
图 5	2022 年 5G RedCap 关键技术测试峰值速率	23
图 6	2023 年 5G RedCap 设备级测试峰值速率	25

表 目 录

表 1	LTE 终端类别	3
表 2	LTE 主要移动物联网技术指标	3
表 3	5G RedCap 典型应用场景及关键指标需求	7
表 4	5G RedCap 主要芯片企业产品研发概况	17
表 5	不同通信制式的可穿戴设备出货量预期	31
表 6	不同场景的视频监控对网络的性能需求	32
表 7	视频监控场景通信需求	32
表 8	智慧电力通信需求	33
表 9	智能制造通信需求	34
表 10	5G RedCap 在连接工厂的适用场景	35
表 11	车联网通信需求	35

一、引言

5G 轻量化（RedCap, Reduced Capability 的缩写）技术是 5G 实现人、机、物互联的重要基础，将在构建物联网新型基础设施、赋能传统产业转型升级、推动数字经济与实体经济深度融合等方面发挥积极作用^[1]。

2020 年，工业和信息化部办公厅出台《关于深入推进移动物联网全面发展的通知》，引导新增物联网终端向 NB-IoT 和 Cat1 迁移，建立 NB-IoT、4G（含 LTE-Cat1）和 5G（含 5G RedCap）协同发展的移动物联网综合生态体系。2021 年，工业和信息化部在《“十四五”信息通信行业发展规划》中提出“推进移动物联网全面发展”。2022 年 8 月，我国成为全球主要经济体中首个实现“物超人”的国家，已经形成 NB-IoT（窄带物联网）、4G 和 5G 多网协同发展的格局，网络覆盖能力持续提升。

2023 年 7 月，国务院新闻办公室举行的 2023 年上半年工业和信息化发展情况新闻发布会上，工业和信息化部新闻发言人、总工程师赵志国提出，“强化 5G 应用产业支撑，大力推动 5G 轻量化（RedCap）技术研发，促进 5G 应用持续降成本、上规模。”

2023 年 10 月 16 日，工业和信息化部发布《关于推进 5G 轻量化（RedCap）技术演进和应用创新发展的通知》，明确提出，到 2025 年，5G RedCap 产业综合能力显著提升，新产品、新模式不断涌现，融合应用规模上量，安全能力同步增强。其中，全国县级以上城市实现 5G RedCap 规模覆盖，5G RedCap 连接数实现千万级增长。

产业界对 5G RedCap 的需求日益强烈，推动 5G RedCap 产业快速成熟，5G RedCap 商用进入倒计时。在这个关键阶段，IMT-2020 (5G) 推进组简要分析 5G RedCap 技术标准特点，全面呈现我国 5G RedCap 技术试验成果，深度调研 5G RedCap 全产业链发展现状，探索和展示 5G RedCap 应用场景及案例，对我国构建完整的 5G 移动物联网综合生态体系，支撑差异化的物联网业务具有重要意义。

二、5G RedCap 标准路线和技术特点

(一) 移动物联网概念

移动物联网以蜂窝移动通信技术和网络为载体，通过多网协同实现泛在连接、万物互联，是我国新型基础设施的重要组成部分，是应用和产业全面发展的综合生态体系。

移动物联网的核心通信功能通常由蜂窝通信模组实现，用于物联网设备与电信运营商蜂窝网络进行连接和通信。相较于 Wi-Fi、LoRA、蓝牙等局域性连接方案，移动物联网通信技术遵循全球统一的 3GPP 标准协议，在标准的持续演进过程中技术能力与应用场景结合日益紧密；其产业链成熟，终端类型丰富，能基于运营商网络实现跨区广域部署，具有网络规模优势。

(二) 移动物联网技术发展现状

移动物联网通信技术可以按照协议进行划分，当前我国已应用的移动物联网通信制式包括 2G、3G、4G (含 Cat1/1bis 和 Cat4)、NB-IoT 和 5G。随着 2G、3G 退网工作的展开，2G 和 3G 物联网业务正加速迁移替换，NB-IoT、4G 和 5G 融合组网态势初步形成。根据覆盖场

景的不同，窄带物联（NB-IoT）网络应用面向低速率文本类场景，4G 网络应用面向中速率数据类和语音类场景，5G 移动网络应用面向更高速率、更低时延的多样化场景。

1. LTE 移动物联网现状

网络方面，LTE 提出了 QoS（Quality of Service，服务质量）的概念，针对不同业务类型，网络会配置不同的带宽和接入优先级，为用户提供差异化的服务能力。终端方面，LTE 则从第一版 3GPP 标准版本 Rel-8 就开始了设备分类，推出包括 Cat.1、Cat.4、eMTC、NB-IoT 在内的多种终端类别，如表 1 所列。

表 1 LTE 终端类别

Release 8	Release 10	Release 11	Release 12	Release 13
Cat.1	Cat.6	Cat.9	Cat.13	Cat.M1(eMTC)
Cat.2	Cat.7	Cat.10	Cat.14	Cat.NB-1(NB-IoT)
Cat.3	Cat.8	Cat.11	Cat.15	Cat.1bis
Cat.4		Cat.12	Cat.0	
Cat.5				

LTE 不同类别的终端设备峰值速率各异，在诸多终端类别中，移动物联网广泛应用的有 Cat.4、Cat.1/1bis、Cat-M1(eMTC)和 NB-IoT，其技术指标对比如表 2 所示。

表 2 LTE 主要移动物联网技术指标

设备类别 指标	Cat.4	Cat.1/1bis	eMTC	NB-IoT
下行峰值速率	150 Mbps	10 Mbps	1 Mbps	170 kbps
上行峰值速率	50 Mbps	5 Mbps	1 Mbps	250 kbps
传输时延	毫秒级	毫秒级	毫秒级	秒级
国内网络部署	全面覆盖	全面覆盖	无	部分地区覆盖

运营商额外成本	无	无	需要	需要
天线数量	2	2/1	1	1
接收带宽	1.08~18 MHz	1.08~18 MHz	1.08 MHz	180 kHz
最大功率	23 dBm	23 dBm	20/23 dBm	20/23 dBm

具体地，在中低速率蜂窝物联网场景下，LTE 的 Cat.4 与 Cat.1 技术常被放在一起讨论，从传输速率、应用场景及使用成本比较如下：

- **Cat.4 有十倍于 Cat.1 终端设备的传输速率：**Cat.1 终端的下行峰值速率为 10 Mbps，上行则为 5 Mbps；而对应的 Cat.4 终端的两个数据分别为 150 Mbps 和 50 Mbps。
- **Cat.4 多用于视频类高速率需求场景，而 Cat.1 设备则多用于传感和语音类场景，二者互为补充：**具体的，Cat.4 目前主要应用于车联网，智能电网、4G 无线路由、视频安防、商显设备、4G 执法仪、视频直播设备等场景；Cat.1 则广泛应用于穿戴设备、智能家电、工业传感器、水文水利的检测、港口物流跟踪、共享支付等消费类和行业类场景。
- **从网络成本看，Cat.1 和 Cat.4 均可以无缝接入正常 LTE 网络，**无需为了适配终端设备对基站进行软、硬件升级，网络覆盖成本低；**从模组成本看，**经过多年迭代优化后，Cat.1 和 Cat.4 模组都已经实现了高度集成，通过更简单的硬件架构，有效降低芯片外围硬件成本，目前，Cat.4 模组价格约 60 元，Cat.1 模组价格更是低至 20 元区间。

在低速蜂窝物联网方面，广泛应用的两项 LTE 技术则分别是 NB-IoT 和 eMTC，面向不同的应用场景，各有所长。NB-IoT 的速率

极低，优势在于低成本、广覆盖和长续航，适合有联网需求但数据量极小的抄表类、数控类业务，比如智能电表、智能水表和智慧灯杆等；eMTC 的速率可以支撑语音通话、低数据速率业务，适用于对移动性有强需求的低速物联网应用，如电梯监控、可穿戴设备等场景。

从应用规模看，Cat.1/1bis、Cat4 和 NB-IoT 是当前最受青睐的蜂窝物联网技术。截至 2022 年底，我国安装的蜂窝物联网设备近九成采用 Cat.1/1bis、Cat4 或 NB-IoT。在低速率场景下，我国主要使用 NB-IoT，而日本、澳大利亚和北美更偏好 eMTC，而欧洲市场则同时使用了 NB-IoT 和 eMTC 两项技术。

2. 5G 移动物联网现状

5G 定义了增强移动宽带(eMBB)、超高可靠低时延通信(uRLLC)和海量机器类通信(mMTC)三大应用场景，分别满足超高速率、超高通信可靠性及响应速率、海量连接等需求场景。但部分物联网应用场景并不需要极致性能，面向三大场景的 5G 技术提供的能力超出需求，反而带来终端高成本、高功耗，网络能力冗余等不利于 5G 广泛应用的问题。例如，工业互联网场景中的压力、湿度、运动等传感器的接入，智慧城市中监控摄像头的部署以及可穿戴设备的网络连接等场景的主要诉求与 5G 三大场景并不匹配。

为了扩大 5G 在物联网的应用范围，面向中低速物联网业务，5G 引入了 4G 的物联网技术 NB-IoT 和 eMTC，即在无线接入网部分采用 NB-IoT 和 eMTC 技术，复用 NB-IoT 和 eMTC 基站，核心网部分则接入 5G，实现 5G 核心网的统一管理。但 NB-IoT 和 eMTC 的峰值

速率无法满足视频监控等中高速物联网场景需求，而 eMBB 的极优性能则存在技术实现复杂及成本高昂的问题，难以适配追求低成本、低复杂度、极紧凑设计的物联网场景。针对这一情况，5G RedCap 终端设备类型应运而生。

(三) 5G RedCap 的技术及标准进展

1. 5G RedCap 的技术背景及需求场景

2022 年 6 月 3GPP 冻结的 5G 标准版本 Rel-17，面向中高速连接场景引入第一项基于 5G 的蜂窝物联网技术，定义了 5G 轻量化终端设备类型“RedCap”，基于 5G 统一空口，在满足特定应用需求和一定性能的前提下，通过精简设备能力和降低设备复杂度的方式，达到削减成本、缩小尺寸、降低功耗和延长电池工作时间等目标。

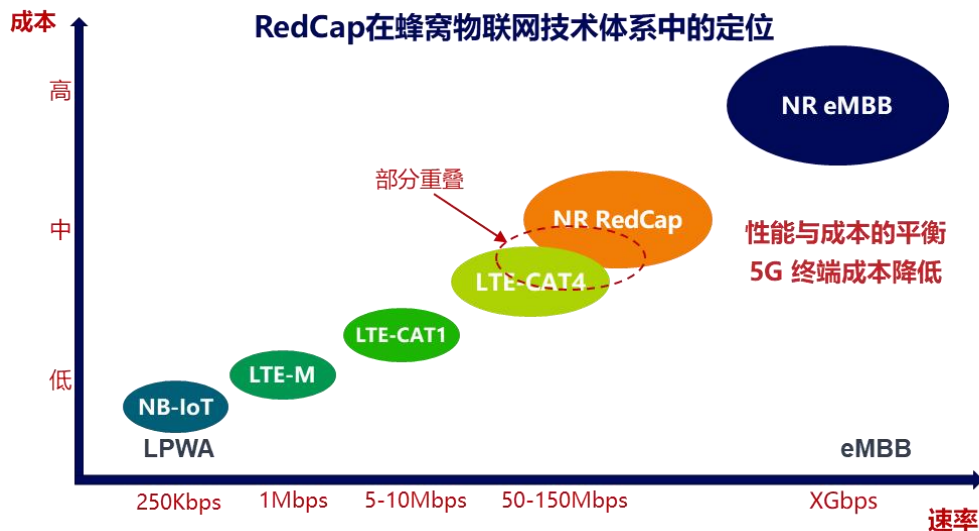





图 1 5G RedCap 与其它蜂窝物联网技术比较

5G RedCap 技术定位介于 5G 增强移动宽带与低功耗广域（LPWA）之间，能够实现高于 NB-IoT、eMTC 等 LPWA 物联网技术的数据传输速率，终端成本和功耗又远低于 5G eMBB，成本降幅

最高可达 70%，在传感器场景下可实现超过两年的电池续航能力，5G RedCap 与当前蜂窝物联网技术的速率与成本比较如图 1 所示。

5G RedCap 重点面向工业无线传感器、可穿戴设备和高清视频监控等应用场景，满足中高速物联网应用需求，其典型场景的关键指标需求如表 3 所示。

表 3 5G RedCap 典型应用场景及关键指标需求

应用场景	数据速率	端到端时延	可靠性/ 可用性	电池寿命
 工业无线 传感器	<2 Mbps	<100 ms; 安全相关传感器5~10 ms	99.99% (可用性)	至少几年
 视频监控	经济型 2~4 Mbps 高端型 7.5~25 Mbps	<500 ms	99%-99.9% (可靠性)	/
 可穿戴设备	参考下行速率:5~50 Mbps 参考上行速率: 2~5 Mbps 下行峰值速率:150 Mbps 上行峰值速率: 50 Mbps	/	/	几天 (1-2周)
电力监控	【不同应用场景需求不一，具体见表8】			
车联网	【不同应用场景需求不一，具体见表11】			

- **工业无线传感器：**参考用例和要求在 3GPP TR 22.832 和 3GPP TS 22.104 中进行了描述，通信服务可用性 99.99%，端到端延迟小于 100 毫秒，对于安全相关传感器，延迟要求较低，为 5~10 毫秒（3GPP TR 22.804）。所有用例的参考速率均小于 2 Mbps（可能不对称，例如 UL 负载较大），且设备处于静止状态。电池应该至少能使用几年。
- **视频监控：**如 3GPP TR 22.804 所述，参考经济视频监控的比特速率为 2~4 Mbps，高端视频监控（如农业视频）需要速率为 7.5~25

Mbps，延迟要求小于 500 ms，可靠性为 99%-99.9%，这类场景以上行传输业务为主。

- **可穿戴设备：**3GPP TR 38.875^[2]中定义了智能穿戴用例的参考需求，智能可穿戴应用的下行参考速率为 5~50 Mbps、上行参考速率为 2~5 Mbps，下行峰值速率为 150 Mbps、上行峰值速率为 50 Mbps；设备的电池寿命应当保持数天，甚至 1~2 周。

2. 5G RedCap 国内外标准工作现状

(1) 第二版本的 5G RedCap 核心标准即将冻结

5G RedCap 的国际标准在 3GPP 开展研究和制定，目前包括两个技术版本，分别为基于 Rel-17 的 RedCap 和基于 Rel-18 版本的 eRedCap（RedCap 的演进版本）。其中，Rel-17 版本建立了 RedCap 技术的基础框架，支持高清视频监控和可穿戴业务；Rel-18 版本则进一步裁剪能力，降低设备复杂度以满足低端视频监控和传感类低速业务的需求。

具体地，2019 年 12 月，5G RedCap 首次在 3GPP 立项，成为 Release17 的研究项目；2022 年 6 月，5G RedCap 的第一版核心规范完成冻结。2021 年 12 月，5G eRedCap 确定为 3GPP Release 18 标准的首批研究项目，面向智能电网、智慧城市、工业自动化和工业监测传感等速率需求更低、对终端成本更敏感的业务场景开展标准化研究工作。目前，3GPP 的 Rel-18 标准制定工作已接近尾声，预计 2024 年 3 月完成 eRedCap 核心规范的制定。

(2) 国内正快速推进第一阶段的 5G RedCap 行业标准制定

5G RedCap 行业标准的制定工作已紧锣密鼓的展开，计划 2024 年初完成基于 Rel-17 的关键设备技术要求标准，为我国 5G RedCap 终端的设备研发和网络的升级部署提供指导依据。

2023 年 4 月，中国通信标准化协会（CCSA）无线通信技术工作委员会（TC5）的移动通信无线工作组（WG9）正式启动基于 Rel-17 的 5G RedCap 终端设备及支持 5G RedCap 的基站设备通信行标制定工作。标准由中国信通院与运营商牵头，国内外基站、终端、芯片和模组等企业广泛参与。在起草单位的快速推进下，两项技术要求标准《轻量化（RedCap）终端设备技术要求（第一阶段）》和《6 GHz 以下频段基站设备技术要求（第三阶段）》征求意见稿已于 2023 年 10 月通过，于 11 月底启动标准送审稿的讨论，预计 2024 年初完成标准编制，进入报批阶段。在技术要求标准内容基本定型后，已经启动三项 RedCap 测试方法标准的讨论，包括《轻量化（RedCap）终端设备测试方法（第一阶段）第 1 部分：功能和网络兼容性测试》《轻量化（RedCap）终端设备测试方法（第一阶段）第 2 部分：一致性测试》和《6GHz 以下频段基站设备测试方法（第三阶段）》，预计 2024 年 9 月前提交标准报批，初步形成指导 5G RedCap 技术与产品研发的标准体系。

紧跟 5G RedCap 国际标准演进的步伐，CCSA 也于 2023 年启动了面向增强 5G RedCap 技术的标准预研课题《5G 轻量化终端的演进关键技术研究》，产业各方正基于应用发展需求，研究 5G RedCap 演进技术的新业务场景、关键技术和网络部署方案等，预计 2024 年初

完成技术研究工作。2024 年下半年将基于研究结论，向工业和信息化部提交面向 3GPP 协议 Rel-18 版本的第二阶段 5G RedCap 通信行标立项建议，并于 2025 年形成标准文稿。

3. 基于 5G Rel-17 标准的 RedCap 设备技术特点

为降低成本和功耗，5G RedCap 精简的终端设备能力包括，最大带宽降至原来的 1/5，在 Sub 6 GHz 频段将最大带宽从 100 MHz 收窄为 20 MHz，在毫米波频段最大带宽降为 100 MHz；最小接收天线数/通道数降至原来的 1/4，从典型的 4 天线接收减少为 2 天线或 1 天线接收；最大调制阶数放松，从下行最高必须支持 256 QAM 降至 64 QAM；并支持半双工模式、最大下行 MIMO 层数降低，毫米波频段引入了更低的功率等级（PC7）等。另外，5G RedCap 终端还可以根据应用需求，选择支持 VoNR、小数据包传输、较低时延、网络切片、定位等 5G 原生能力，通过定制化方案平衡性能与成本，满足更多物联网场景需求。

通过上述能力缩减，终端射频和基带侧的成本可以降低约 60% 左右（以 FR1 FDD 为例）^{[3][4]}。速率层面，以 FR1 FDD 为例，Rel-17 RedCap 的下行峰值速率可达 226 Mbps，上行峰值速率可达 120 Mbps。

高层方面，RedCap 设备也做了大量的精简工作，包括支持的资源数（DRB）从 16 为 8 个；必须支持的 PDCP 和 RLC-AM 的最大序列长度从 18 比特降低为 12 比特。另外，5G RedCap 终端的其它高能力特性裁剪还包括可以不支持载波聚合（NR-CA）、双连接（MR-DC）、双激活协议栈切换（DAPS）、主小区的条件切换和集成

接入与回传（IAB）特性。

除上述降低复杂度的特性之外，Rel-17 阶段还针对 5G RedCap 引入了 eDRX 和 RRM 测量放松机制来满足 5G RedCap 的低功耗需求。eDRX 通过延长终端监听寻呼的周期，达到节电的目的。而 RRM 测量放松则引入了新的邻区 RRM 测量放松条件，使得终端在静止或不在小区边缘时可以放松测量，从而达到节省功耗的目的。

4. 基于 5G Rel-18 的 eRedCap 设备技术特点

由于 5G RedCap 设备的峰值速率仍然高达百兆以上，对于智能电网、智慧城市、工业自动化、工业监测传感等对速率需求更低、终端成本更敏感的业务，仍存在能力冗余引起的成本过高问题。因此，3GPP R18 版本提出了目标峰值速率为 10 Mbps 的 5G eRedCap 技术，从而匹配工业互联网等目标行业对终端复杂度和成本的需求。

目前，eRedCap 设备杂度和成本降低的实现方案主要包括进一步降低终端带宽、限制峰值速率和放松终端的处理时间。降低终端带宽方案主要是 UE 基带带宽的降低，在 20 MHz 带宽的能力基础上，进一步将终端数据信道（PDSCH/PUSCH）的基带带宽降低至 5 MHz，控制信道和参考信号等的信道最大支持 20 MHz，而射频带宽保持 20 MHz。限制峰值速率方案则与 Rel-17 RedCap 保持完全一致的射频和基带带宽能力，通过放松最大 MIMO 层数($v_{layers}^{(j)}$)、调制阶数($Q_m^{(j)}$)和缩放因子($f^{(j)}$)等能力上报的最低限制进一步降低终端支持的峰值速率，本质上可以理解为降低终端可处理的最大传输块大小（TBS）。无论采用何种方案，R18 的 RedCap UE 峰值速率都固定为 10 Mbps。

通过进一步的能力缩减, Rel-18 RedCap 相比 Rel-17 RedCap 在基带和射频侧可以降低 6%-10% 的成本^[4]。另外, 因为峰值速率有大幅的降低, Rel-18 RedCap 所需的内存也比 Rel-17 RedCap 小。

由于 eRedCap 进一步裁剪了 5G 能力, 需要更多的考虑技术改动对覆盖性能的影响, 特别是降低带宽的技术方案。由于只有 PDSCH 和 PUSCH 的带宽降低, 因此其他物理信道的覆盖性能保持不变。而 PDSCH 和 PUSCH 的覆盖性能, 特别是广播信道如 SIB1、OSI、RAR 等, 由于终端带宽的减少, 覆盖会受到影响。但基于当前的技术共识是保持 20 MHz 射频带宽不变, 可以在 20 MHz 带宽上完成射频接收后和数据存储后, 再按照 5 MHz 带宽进行基带处理, 覆盖不会受到额外影响, 只是需要更多的处理时间。

(四) 小结

5G RedCap 的引入, 弥补了 5G 在中高速物联网应用场景的技术空白, Rel-17 RedCap 的速率能力可以覆盖 LTE-Cat.4 的业务, 而 Rel-18 RedCap 则可以覆盖 LTE-Cat.1/1bis 的业务, 从而使 5G 阶段的物联网技术体系得到了进一步完善。具体落地实现方面, 由于 5G RedCap 技术可复用现有成熟 5G 网络, 发挥网络规模效应, 我国已建成全球最大的移动网络, 夯实了移动物联网发展底座, 正着力构建低、中、高速移动物联网协同发展的综合生态体系, 5G RedCap 将成为其中关键的一环, 随着 5G RedCap 网络的升级部署, 不同的 5G 物联网技术协同发展, 将共同构建成完整的 5G 移动物联网综合生态体系, 支持差异化的物联网业务, 如图 2 所示, 5G RedCap 将引领移动物联网全

面过渡到 5G 新时代。

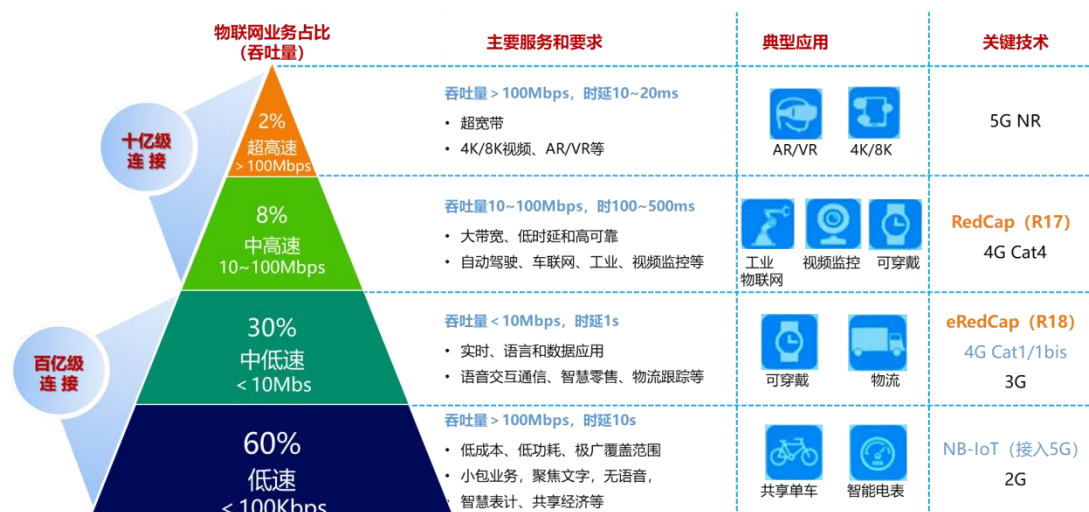


图 2 RedCap 将引领移动物联网全面过渡到 5G 新时代

5G RedCap 的使用场景非常广泛，既可以满足工业互联网、视频监控、智能电网及车联网等行业应用需求，也非常符合可穿戴设备等消费电子类应用的诉求。5G RedCap 不仅是替代 LTE 的物联网方案，更多的是通过优越的 5G 网络功能和性能来提升移动通信技术在物联网领域的应用范围，包括网络切片、超高可靠低时延、高精度定位、高速率等多种多样的技术特性。能满足行业应用领域诸如视频监控业务对网络的大容量需求；智能电力在配电自动化及负荷控制精准化，智能制造在智能物流、生产现场监测和无人智能巡检等业务对网络的高可靠、低时延需求。5G RedCap 在性能、功能与成本上的平衡优势，解决了 5G 在垂直行业应用的关键痛点。随着 5G RedCap 成本的逐步降低，5G 将在工业制造、智慧城市、电力、能源、交通等行业百花齐放，为行业应用创新蓬勃发展提供更多可能。

在消费电子领域，受益于消费者对 5G 等新技术的高关注度，相较于传统 5G 模组，5G RedCap 模组在设备尺寸和功耗方面的天然优

势，有助于 5G RedCap 在可穿戴设备领域的规模应用。

三、5G RedCap 产业进展

(一) 概述

5G RedCap 是目前解决 5G 终端高成本问题的有效手段，业界各方对 5G RedCap 积极关注并跟进产品规划，以期快速实现商用，助力 5G 与行业的融合向纵深、规模化方向发展。

国内产业各方与全球同步启动 5G RedCap 的技术研发，IMT-2020(5G)推进组基于产业发展节奏，分两个阶段规划我国 5G RedCap 技术试验，2022 年已完成关键技术测试，2023 年开展设备端到端的互操作测试。基于各企业的产品规划预测，2023 年 5G RedCap 产业链逐步成熟，2023 年底 5G RedCap 商用芯片陆续发布，系统具备商用能力，并实现首个商用案例。2024 年 5G RedCap 商用模组和商用终端上市，面向电力、视频监控、工业互联网等场景的行业终端形态将日渐丰富；2025 年后，5G RedCap 产业进入规模发展阶段。

(二) 5G RedCap 网络研发进展

网络设备方面，2023 年 5G 基站已具备升级支持 5G RedCap 终端接入的能力，完成商用版本的研发，支持 5G RedCap 的基本功能和增强功能，包括降低带宽、终端识别、接入控制、移动性管理以及节能等，具备商用能力；预计 2023 年底前推出商用基站。

技术试验方面，全球主要系统设备供应商，华为、中兴、中国信科、爱立信、诺基亚贝尔于 2022 年顺利完成 IMT-2020(5G)推进组组织的 5G RedCap 关键技术测试、外场性能测试，推动 5G RedCap 基

本可用；2023年，各系统设备企业全力投入 IMT-2020(5G)推进组的 5G RedCap 端到端互操作测试及增强功能验证，部分企业完成了中国四家运营商 5G 全频段的 RedCap 实验室功能及现网性能测试验证，并已与多家主流芯片厂商完成端到端对接测试，推动 5G RedCap 从可用进化到好用，提升 RedCap 在 5G 网络中的性能表现。

产业推进方面，我国运营商、系统企业和芯片企业正在共同探索 5G RedCap 产业推进路径，以增强产业信心，加速推进贯通网络、芯片、模组、终端等环节的全链条 5G RedCap 端到端产业成熟。同时，产业各方也在积极策划 5G RedCap 在电力、制造、安防等行业的试点，旨在进一步推动 5G RedCap 在行业的应用落地。

网络部署方面，面向智能可穿戴设备等消费类应用，将主要通过通过对 5G 基站进行软件升级的方式实现对 R17 协议版本和 5G RedCap 相关功能的支持，基于 5G 现网逐步升级 5G RedCap 功能，依托我国 5G 公网优势为消费类终端提供更广的覆盖和更稳定的连接，面向电力、视频监控、工业互联网等行业应用，则根据不同场景的业务需求，制定差异化的网络部署方案，可以通过升级现网支持 5G RedCap 功能及 5G 相关特性，也可以按需部署新的 5G 网络。

商用运营方面，国内运营商计划于 2023 年底开始启动 5G RedCap 网络升级，并围绕电力、工业、视频监控等重点行业进行项目试点，打造示范案例；2024 年开始，根据不同场景的业务发展需求，有序推动 5G RedCap 网络的规模升级和商用。

(三) 5G RedCap 芯片/模组/终端研发进展

5G RedCap 是目前解决 5G 终端高成本问题的有效手段，产业各方均积极关注并跟进 5G RedCap 的产品规划研发，以期实现快速商用，助力 5G 与行业的融合向纵深、规模化发展。

芯片方面，高通、联发科技（MTK）、紫光展锐、翱捷科技（ASR）等主流芯片企业均已积极投入研发。鉴于 5G RedCap 网络近两年难以实现全域覆盖，4G 和 5G 网络将长期协同，芯片支持 4G 和 5G 双模可以逐步替代当前 LTE Cat.4 的市场和应用场景，因此，主流芯片企业的首款芯片均会支持 4G、5G 双模，并通过支持 5G 原生的行业增强特性来打开工业传感器、车联网和智能电网等 5G 行业应用新市场。2023 年第三季度，芯片公司均已推出工程样片或预商用芯片，商用芯片在 2023 年底陆续发布，预计 2024 年将实现 RedCap 芯片的规模商用。值得一提的是，5G RedCap 相比于 5G NR 研发门槛较低，给予了国内芯片初创企业更多的发展空间，必博半导体、新基讯、无锡摩罗科技等新兴芯片企业也启动了 5G RedCap 的技术和芯片研发。

模组方面，移远、广和通、鼎桥等企业预计 2023 年底推出基于模组的样机，2024 年商用模组陆续问世。对于应用方最关注的模组成本问题，5G RedCap 模组在商用初期价格约在 300 元上下，随着应用规模的不断扩大，预计未来模组价格会逐步下探。

终端方面，业界为典型的消费类应用和行业应用场景规划了多样的 5G RedCap 终端设备，预计 2023 年终端具备商用条件，出现面向电力、视频监控、工业互联网、物探等场景的终端样机；2024 年终

端进入商用阶段，形态日渐丰富。另外，5G RedCap 终端可以根据应用需求，选择支持 VoNR、小数据包传输、较低时延、网络切片、定位等 5G 原生能力，通过定制化方案平衡性能与成本，满足更多物联网场景需求。

表 4 5G RedCap 主要芯片企业产品研发概况

企业	型号	发布时间	重点场景	技术特性	增强特性
高通	基于 5G 平台 X35（高端） X32（低端）	2023 年	工业物联网、 可穿戴	4G、5G 双模；1T2R DL: 256QAM；220Mbps UL: 64QAM；100Mbps	VoLTE、 VoNR 等
联发科技	全新平台 M60	2023 年	工业物联网、 可穿戴	4G、5G 双模、1T2R DL: 256QAM UL: 64QAM	VoNR、 UE 节能等
紫光展锐	基于 5G 平台 V517	2024 年	行业领域、 消费领域	4G、5G 双模；1T2R DL: 256QAM；200Mbps UL: 64QAM；110Mbps	5G LAN、 高精授时、 URLLC、 CAG 等
翱捷科技	全新平台 型号待定	2024 年	消费领域、 行业领域	4G、5G 双模；1T2R DL: 256QAM UL: 64QAM	高精授时、 高精定位、 5G LAN 等
新基讯	全新平台 型号待定	2024 年	消费领域、 行业领域	4G、5G 双模；1T2R	5G LAN、 高精授时、 URLLC 等
必博半导体	全新平台 型号待定	2024 年	行业领域	单模芯片	uRLLC、 高精授时、 SDT、MBS、 5G LAN 等
摩罗	全新平台	2024 年	行业领域	单模芯片	/

科技	型号待定				
----	------	--	--	--	--

作为 5G RedCap 终端产业的核心环节，芯片的研发进度和技术特性成为未来 RedCap 产业发展的重要基石，国内外主要芯片企业的芯片平台简要概况如表 4 所示，各企业的具体产品思考及研发进展如下：

1. 高通：2023 年一季度发布了 5G RedCap 芯片平台

在产品实现上，高通已于 2023 年一季度，发布了 5G RedCap 芯片平台骁龙 X35 和骁龙 X32，这两款平台均包括 5G RedCap 调制解调器及射频系统，支持全球主流中低频段。其中，X35 定位更高端，适用于入门级工业物联网终端、面向大众市场的固定无线接入 CPE 和联网 PC，以及第一代 5G 消费级物联网终端，如支持云连接的眼镜和顶级可穿戴设备等；骁龙 X32 复杂度和成本更低，满足更低速率应用和更低成本终端的需求。使用高通芯片平台的商用 RedCap 终端预计将于 2024 年上半年发布。

2. 联发科技：2023 年底发布 5G RedCap 芯片平台

联发科技计划 2023 年四季度发布 5G RedCap 芯片平台，其芯片将会分别针对消费领域和行业领域两个不同的场景进行设计。消费领域主要应用于可穿戴产品，包括智能手表，AR 眼镜等；行业领域主要应用于模组及数据终端等产品。预计消费类应用产品会优先于行业类应用，通过消费类产品拉动市场规模，催熟 5G RedCap 产业链，再到行业应用领域，解决垂直行业应用需求。联发科技的 5G RedCap 芯片除支持基本功能和特性外，还将支持增强功能，如 R16/R17 UE

节电功能，R17 覆盖增强等；并支持 VoNR 等 5G 新特性。联发科技 RedCap 芯片结合 R16/R17 节能特性后，整机功耗表现将优于 LTE Cat-4 终端，同时受惠于 5G SA 空口和核心网络演进，时延性能也有望得到提升。

3. 紫光展锐：芯片 V517 已具备 5G RedCap 商用能力

紫光展锐正积极布局和研发可商用的 5G R17 RedCap 终端，其首款 5G RedCap 芯片 V517 主要面向行业终端设计。基于成熟的 5G 平台，支持 1T2R 天线能力、256QAM 调制能力，上行峰值速率超过 110 Mbps，下行峰值速率超过 200 Mbps；支持国内主流 5G 频段，包括 n1、n5、n8、n28、n41、n78 和 n79，并支持 5G LAN、SIB9 高精度授时、URLLC、CAG 等行业应用需要的 5G 重点增强特性；同时支持 C-DRX 等 UE 节能技术，降低终端整体能耗。

4. 翱捷科技：预计 2024 年发布 5G RedCap 商用芯片

翱捷科技计划于 2024 年推出正式商用芯片，首款芯片将同时面向消费者领域及行业领域。从技术角度看，芯片将支持 4G/5G 双模、双天线、覆盖增强和节电等基本通信能力，支持高精度授时、高精度定位和 5G LAN 等行业增强特性。芯片将采用成熟高性价比的工艺制程，有效降低芯片成本，以满足可穿戴、视频监控、工业传感器、车联网和智能电网等需求。

随着市场的规模化发展和面向不同行业定制化需求，预计翱捷科技将面向不同应用场景推出新的 5G RedCap 芯片，以提高产品的差异化和竞争力，如芯片可以集成 Wi-Fi、蓝牙、GNSS 定位等功能，

推动终端芯片方案的集成度进一步提高。另外 R18 RedCap 技术可以进一步降低芯片成本，将与 R17 RedCap 技术互补，共同补齐 5G 赋能万物互联的能力场景。

5. 新基讯：预计 2023 年底推出工程样机

新基讯 5G RedCap 芯片支持 NR RedCap 和 LTE CAT4 双模，预计于 2023 年底推出工程样机，2024 年初启动端网兼容性测试，并在 2024 年上半年达到量产状态。新基讯 5G RedCap 芯片产品将广泛应用于电力、安防、车联、工业等垂直行业，以及固定无线接入和移动热点等消费领域。为支持上述应用场景，新基讯 5G RedCap 芯片除支持 3GPP R17 RedCap 基本功能外，还支持 URLLC 增强、覆盖增强、5G 节能、高精度授时、5G LAN、多路网络切片和高精度定位等增强技术。基于这些技术，新基讯 5G RedCap 芯片终端产品相对于 5G eMBB 产品具备更高的性价比、更低的功耗，能够更好的推动 5G 在垂直行业的拓展。

6. 必博半导体：计划 2024 年 5G RedCap 芯片量产

必博半导体重点面向行业应用领域进行芯片设计，研发高性能、低功耗、低成本 5G RedCap 芯片，主要应用于工业互联网、新能源汽车、视频监控、AGV、机器人等场景。芯片包括 5G RedCap 调制解调器和射频系统，支持 Sub6GHz 频段，支持 uRLLC、高精度授时、5G LAN、SDT、MBS、覆盖增强、低功耗等增强特性。拥有低成本的高精度定位（即支持 R17 SRS Positioning 100 MHz 功能）、上行增强等创新技术。

射频芯片已于 2023 年 4 月进行 MPW, 并已进行实验室和外场测试验证, 计划 2024 年基带和射频 SoC 投片量产。未来, 将持续跟进 R18 eRedCap 等标准演进, 满足更多的行业和消费类物联网应用需求。

7. 摩罗科技: 计划 2024 年量产双模芯片

摩罗科技基于行业战略伙伴的合作与需求牵引, 面向行业应用 5G 专网设计的 5G RedCap 单模芯片 MORU100 于 2022 年 8 月 MPW 样片回片, 并持续与国内主流基站厂家 RedCap 版本同步进行对接测试; 面向运营商公共移动网络的 5G Redcap/LTE 双模芯片 MORU200 计划于 2024 年量产。

随着全球 5G 的大规模商用, 5G 发展进入下半场, 产业界对 5G RedCap 赋能千行百业寄予厚望, 期待 5G RedCap 未来在物联网领域形成新的 5G 终端规模市场。

(四) 技术试验推进

1. IMT-2020(5G)推进组技术试验加快产品研发进程

(1) 分两个阶段规划我国 RedCap 技术试验

2022 年 3 月, IMT-2020(5G)推进组基于产业发展节奏, 明确了我国 5G RedCap 技术试验规划: 制定试验规范, 构建测试环境, 分两个阶段组织 5G RedCap 技术与产品测试。2022 年面向典型应用场景, 制定关键技术测试规范, 开展芯片终端测试和终端原型样机测试, 推动关键技术收敛, 并明确我国 5G RedCap 技术策略, 加速产品研发; 2023 年面向商用需求, 制定终端、系统设备规范, 重点验证 5G RedCap 商用和预商用设备的端到端功能及芯片终端和系统间的互操

作能力，推动产业成熟。

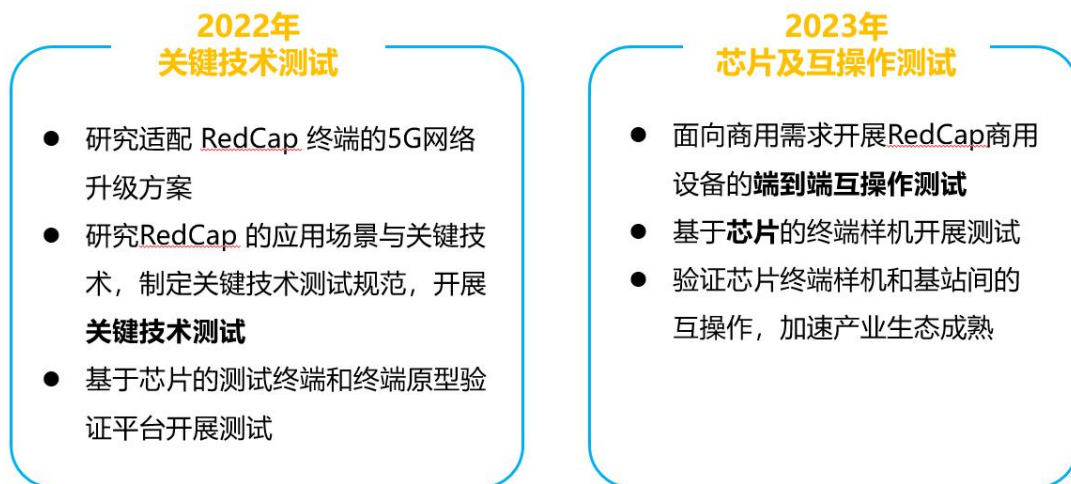


图 3 IMT-2020(5G)推进组 RedCap 试验计划

(2) 2022 年完成 5G RedCap 关键技术试验

2022 年，推进组研究制定了《NR RedCap 关键技术要求》《NR RedCap 关键技术测试方法》和《NR RedCap 外场性能测试方法(V1.0)》等 3 项技术规范，初步形成了指导 5G RedCap 技术与产品研发的规范体系。

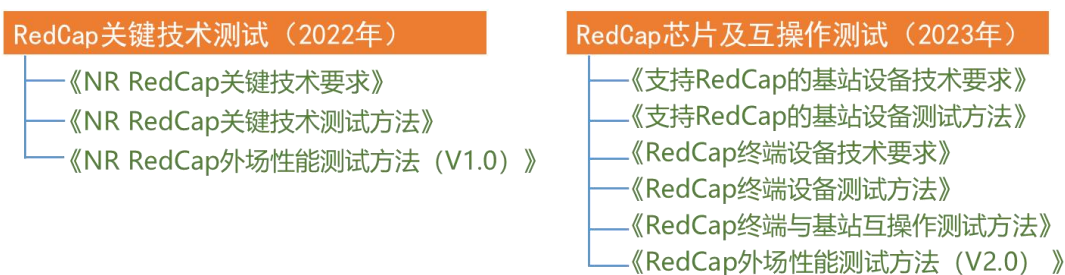


图 4 IMT-2020(5G)推进组制定的 5G RedCap 试验规范

第一阶段的关键技术试验于 2022 年 11 月圆满完成，验证了 5G RedCap 各项关键技术以及测试终端与系统配合工作的基本能力。华为、中兴、中国信科、爱立信和诺基亚贝尔等 5 家系统厂商通过升级 5G 商用基站软件，完成了系统侧的 5G RedCap 关键技术功能和外场性能测试；翱捷科技、紫光展锐等厂商基于芯片的 5G RedCap 测试

终端参加了关键技术功能和外场性能测试；vivo、必博半导体基于 5G RedCap 终端原型验证平台参加了关键技术功能测试。

其中 5G RedCap 外场测试利用怀柔外场的 5G 试验网络环境，采用 3.5 GHz 频段商用系统配置，对 5G RedCap UE 的接入与基本工作、下行和上行单用户峰值速率、多点接入与速率、用户面时延和基站间切换等内容开展了测试。测试数据显示：

- 部分系统与芯片厂商组合的上下行峰值速率可达到或接近预期理论值，部分测试组合尚有一定差距；
- Ping 包用户面平均时延最小可达 7 ms，与 eMBB 终端相当；
- 部分测试组合的性能与工作稳定性有待提升。

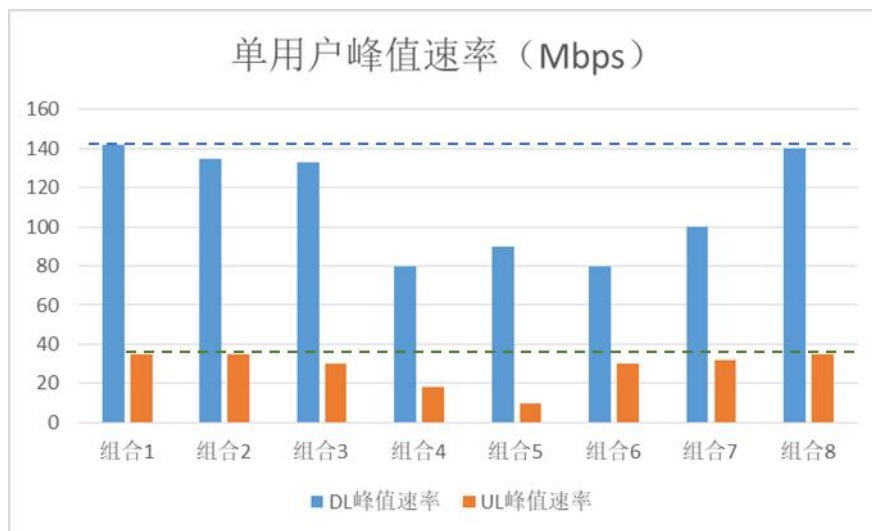


图 5 2022 年 5G RedCap 关键技术测试峰值速率

(3) 2023 年完成 5G RedCap 端到端互操作技术试验

第二阶段的 5G RedCap 设备端到端功能和互操作试验工作于 2023 年初启动。2023 年 6 月，推进组针对 5G RedCap 芯片及互操作测试需求，发布了《RedCap 终端设备技术要求》《RedCap 终端设备测试方法》《支持 RedCap 的基站设备技术要求》《支持 RedCap 的基

站设备测试方法》《RedCap 外场性能测试方法（V2.0）》和《RedCap 终端与基站互操作测试方法》等 6 项技术试验规范，构成了支撑 5G RedCap 商用的基本完备的技术规范体系。2023 年的技术试验在 2022 年关键技术测试的基础上，重点验证 5G RedCap 设备和系统的商用能力，增加面向商用需求的基站功能、终端功能、终端与系统的互操作以及外场性能测试。

产业各方正已于 2023 年 8 月完成基于上述试验规范的 5G RedCap 芯片终端与 5G 系统的调试，9 月初正式启动测试，并于 11 月前完成了全部的二阶段试验工作。基站方面，华为、中兴、中国信科、爱立信、诺基亚贝尔完成了 5G 基站支持 RedCap 的功能和外场性能测试；芯片方面，海思、联发科技、展锐、高通基于芯片的 RedCap 测试终端完成了功能和外场性能测试，无锡摩罗基于芯片的 RedCap 测试终端参加了功能测试，必博半导体基于测试芯片的 RedCap 原型机参加了功能测试，广州新一代芯片技术公司基于 RedCap 终端原型验证平台参加了功能测试；基站与芯片还广泛开展了互操作测试，全面摸底我国 5G RedCap 产品能力：

- 面向 RedCap 商用需求，5G 基站完善了 RedCap 专用 BWP 操作、LTE/NR RedCap 双模、VoNR 等功能，功能更加完备、业务支持能力更强；
- 多家芯片厂商的 RedCap 芯片已全面支持 R17 RedCap 相关功能；
- 3.5GHz 频段，RedCap 用户外场下行、上行峰值速率可达 140

Mbps、35 Mbps(256QAM)/25 Mbps (64QAM)，如图 6 所示，数据速率比 2022 年有提升，各测试组合的速率也较稳定；

- 用户面 Ping 包时延约 7~10 ms，性能符合预期。

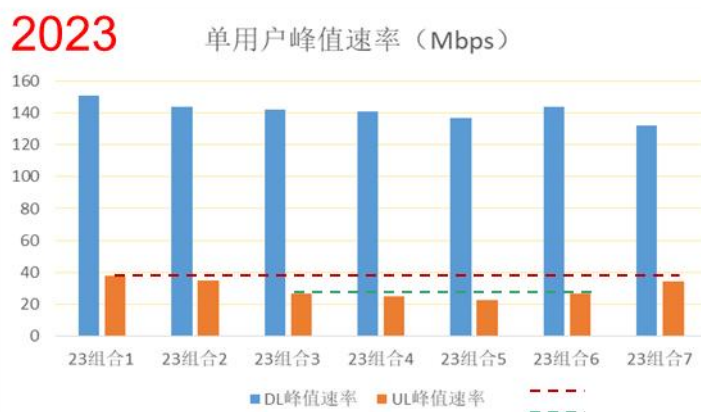


图 6 2023 年 5G RedCap 设备级测试峰值速率

通过功能、性能、外场及广泛的互操作测试，充分验证了基站和芯片间的兼容能力，为我国 5G RedCap 的正式商用提供了有力的技术支撑。

2. 各运营企业积极组织 5G RedCap 技术试验与产业推进

(1) 中国联通

在技术试验方面，中国联通已组织完成多家芯片、模组产品和主设备厂家之间的 RedCap 全产业链端到端的测试验证及商用部署。基于中国联通现有的 FDD 900M，FDD2.1GHz 和 TDD 3.5GHz 频段，中国联通先后完成了 RedCap 网络规模化开通验证、连片组网场景化验证、全频段端网兼容性外场试验，基于现网的真实网络、真实业务，对 RedCap 与传统 5G 终端的共存、RedCap 终端和网络间的功能性能

及业务连续性体验进行了充分验证，充分了中国联通 5G 全频段网络开通 5G RedCap 功能的技术成熟度，为 5G RedCap 商用奠定了坚实的基础。

在行业应用方面，中国联通率先发布行业首个 RedCap 5G 模组雁飞 NX307，并基于内嵌雁飞模组的商用 DTU 开展了基于工业、车联，视频监控、电力等多场景的行业试点示范：携手广东美的完成 5G RedCap 厨热洗碗机工厂工业场景试点，实现 AGV/叉车实时调度、数据采集、车路协同等 5G 应用部署；携手上海汽车城完成 5G RedCap 在车联场景的验证，验证了 5G RedCap 终端下行速率超百兆，在时延、吞吐量、覆盖能力等多项关键指标上均满足中高速行业场景端到端需求；携手大华、华为在浙江杭州实现了基于安防监控场景的 5G RedCap 商用网络部署。

在生态构建方面，2023 年 5 月第七届世界智能大会期间，中国联通携手行业伙伴成立 5G RedCap 产业联盟，并启动“5G RedCap 轻联万物 2025”行动计划，后续依托“3 个联盟+3 个实验室”的生态格局，将面向国家重大科技发展及民生需求，协同打造先进技术底座和全栈产品体系，加速推进包括工业网关、矿用网关、摄像头、车载终端在内的多款模组及行业终端的孵化打造，构建围绕中国联通的 5G 轻量化产业生态，携手推进 5G RedCap 商业化规模化应用。

（2）中国移动

在技术试验方面，中国移动携手全部五家主设备厂商完成 5G RedCap 面向商用的现网规模试验。在浙江、江苏、山东、湖北、上

海五省市分阶段开展完成华为、中兴、爱立信、中国信科、诺基亚贝尔规模验证，基于 5G 现网低频（700 MHz）和中频（2.6 GHz）有效验证了规模组网条件下的基本功能及性能，主要涵盖兼容性、速率性能、时延性能、语音性能、移动性管理等关键能力，测试结果表明 5G RedCap 可实现有效连续覆盖，性能良好，各主设备厂家的基站设备均已具备 5G RedCap 规模商用能力，可有效满足可穿戴、电力数采、视频监控、智能制造等丰富行业应用需求。

在行业应用方面，中国移动已携手产业伙伴开展首批 5G RedCap 端到端商用项目试点。在浙江国网电力完成电力行业商用试点，应用在电力秒级负控等场景，验证了 5G RedCap 能够支持网络切片、确定性等 5G 原生能力，满足电力生产控制类业务的安全隔离、时延可靠性要求；在福建宁德时代完成园区监控摄像头商用试点，应用在厂区 AI 识别场景摄像头，实现对人脸/工装穿戴规范的识别；在湖北荆州美的 5G 全连接工厂进行工业场景商用试点，应用在工厂物流 AGV 场景，实现园区监控。

在生态构建方面，中国移动依托“移动通信子链”成立 5G RedCap 两批六支作战编队，聚焦资源、协同推进，开展贯通网络、芯片、模组、终端、应用等全链条的 5G RedCap 商用攻关行动，加速推出首批先发产品，积极推进产业发展，助力 5G RedCap 端到端商用。为了进一步推进 5G RedCap 产业成熟及商用，中国移动联合产业发布 5G 成熟及商用，中国移动联合产业创新示范之城，在重庆设立 1 个产业集群创新中心，为产业链生态伙伴提供 5G 业集群创新中心测试

验证、成果转化和应用推广服务；在上海、广东广州、浙江宁波、湖南岳阳、湖北十堰构建最大规模、最全产业、最多场景的试验网，打造 5 个技术创新之城，覆盖全球主流通信设备厂商以及模组芯片厂商，开展新技术、新产品试验，加速端到端产业成熟；在浙江杭州、江苏苏州、福建宁德、浙江宁波、广东深圳分别聚焦视联、工业、海域、园区及新兴业务，打造 5 个应用示范之城，探索新应用、培育新业态，树立一批 5G 用示范之城，探标杆项目，引领行业应用创新。

（3）中国电信

在技术试验方面，中国电信联合生态合作伙伴，积极推动 5G RedCap 技术的实验室和现网验证。中国电信分别与华为、中兴共同完成了 5G Redcap 实验室技术验证。为 5G RedCap 的规模商用奠定了坚实基础，有助于打造 5G RedCap 行业终端生态认证体系，加速孵化 5G RedCap 终端模组应用，丰富 5G RedCap 芯模端产业生态。在现网试验方面，中国电信 5G 定制网主要面向矿山、电力、制造、港口、化工等行业，经历三年多的规模试点在各个行业已经形成较大规模的应用。针对 RedCap 技术，中国电信在原有行业定制网的基础上，通过升级定制网基站，更换定制网终端的方式实现了 5G Redcap 在垂直行业中的应用。截至 2023 年第二季度，已完成了江苏镇江港、江西星火化工、杭州电力、河北钢铁、内蒙矿山等行业应用的 RedCap 测试。

在行业应用环节，中国电信基于优质的 5G 定制网项目，深入挖掘 5G RedCap 需求和应用场景，为芯模端的场景化测试提供真实环

境，以便于后续的规模复制。

在产业部署及推进方面，5G RedCap 的产业推进将以场景方案为牵引，以生态建设为基础。5G RedCap 作为 5G 方案的重要组成部分以满足场景客户的多样化需求。通过场景方案的牵引，5G RedCap 可实现快速落地和规模复制，进而推动产业链加速成熟。5G RedCap 场景方案的规模应用需要产业界通力合作，产业链环节缺一不可，否则将无法形成全栈式解决方案。通过生态建设的夯实，5G RedCap 可实现芯模端网全栈式协同发展，助力场景方规模落地。

（4）中国广电

在技术试验方面，中国广电联合中兴通讯、华为技术、翱捷科技、紫光展锐、鼎桥通信，基于广电 5G 网络配置，在广电 700 MHz 和 4.9 GHz 频段开展 RedCap 商用关键功能和性能端到端测试。测试结果表明，相较其他 5G 中高频段，700 MHz RedCap 在覆盖能力和峰值速率等方面拥有明显优势(实测上下行峰值速率分别接近 120 Mbps 和 226 Mbps 的理论峰值)，可在各种场景下同时满足物联网业务对广覆盖、深覆盖与高速率的复杂需求。针对 4.9 GHz 频段，测试重点验证了灵活帧结构及动态 BWP 技术对系统容量和频谱效率的有效提升。

在行业应用方面，中国广电将在 TO B 及 TO C 两个方向共同发力以推动 RedCap 的商用部署，有序开通大网 RedCap 功能，按需结合切片、URLLC、5G LAN 等服务垂直行业，解决 5G 模组价格高的痛点，逐步实现全网规模化覆盖能力，并推进在工业、能源、物流、车联网、公共安全、智慧城市等领域的试点及规模应用。

在生态构建方面，中国广电与行业伙伴密切开展 RedCap 技术研讨、部署方案优化、业务场景构建分析等，凝聚产业共识。中国广电将采取低频 FDD+中频 TDD 的协同方式，在 700 MHz 现网开通 RedCap 后，覆盖同 eMBB 场景，边缘速率不受影响，峰值速率优势明显，可在多种场景下同时满足物联网对广覆盖、深覆盖及高速率的需求。此外，中频 TDD 具有容量上的优势，通过灵活调整帧结构配置以适配各行业应用的需求。

四、RedCap 应用场景与案例

RedCap 技术重点面向可穿戴设备、视频监控和工业无线传感器三大应用场景，为了加快提升 RedCap 的技术成熟度和应用能力，国内主要运营商、系统企业和终端、芯片企业正联合探索 RedCap 落地应用，主要包括可穿戴设备、视频监控、智慧电力、智能制造、车联网等。

(一) 可穿戴

可穿戴设备主要包括智能手表、手环、电子健康和医疗监控相关的设备等，预计 5G RedCap 在可穿戴设备场景将有较大的市场空间。如儿童手表，目前国内主要以 2G、4G Cat.1、Cat.3 和 Cat.4 为主，存在 2G 加速退网带来的旧设备淘汰；儿童手表对视频通话和定位功能的需求提升；且 4G Cat.3 和 Cat.4 需要支持两天线，对手表小尺寸的外观需求并不友好等问题，而 5G RedCap 的网络部署升级正逐步启动；引入 5G 定位增强功能后可以支持米级的定位精度，为获取位置信息提供了有效保障；可支持单天线收发等特性很好的弥补了上述不

足。未来，5G RedCap 将压缩 4G Cat.3 和 Cat.4 的市场空间，有可能成为儿童手表场景的主要网络制式。

按照 TSR 提供的可穿戴设备的预测数据，5G RedCap 将在 2026 年起开始起量，在 2027 年会出现爆发式增长，RedCap 可穿戴设备出货量将达到 930 万部，见表 5。

表 5 不同通信制式的可穿戴设备出货量预期（单位：百万部）

年度	2022	2023	2024	2025	2026	2027
总计	49.3	49.0	51.0	53.0	54.6	56.2
2G	1.0	0.6	0.4	0	0	0
3G	0	0	0	0	0	0
LTE Cat.1	10.4	8.1	8.5	8.7	8.9	8.9
LTE Cat.3/4	37.9	40.2	42.1	44.3	43.9	38.0
5G RedCap	0	0	0	0	1.8	9.3
NB-IoT	0	0	0	0	0	0

数据来源：TSR

（二）视频监控

随着中国经济迅猛发展，人流、物流频率急剧上升，国家大力开展社会面监控系统建设。“平安城市”建设深入推进，系统建设从一线城市向二三线城市拓展，由大、中城市向区县、乡镇推进。在此背景之下，中国视频监控市场规模从 2017 年的 1907 亿元增长至 2022 年约 3375 亿元，复合增长率约 12%^[5]。中国每年销售超过 1.2 亿只摄像头，目前摄像头无线化比例低于 3%。据公安部门统计，城市安防的有线传输摄像头在线率在 70%~90%之间，离线的原因主要是光纤不可达、传输损坏等，摄像头无线化是刚性需求。不同场景的视频监控对网络的性能需求如表 6 所示。

表 6 不同场景的视频监控对网络的性能需求

典型场景	分辨率 (像素)	帧率	单摄像头上行带 宽 (H.265)	时延	移动 速度	覆盖场景
固定监控	100 万	25fps	2 Mbps	400 ms	/	室外
临时布控	400 万	25fps	8 Mbps	400 ms	/	室外
高点巡防	1600 万	25fps	32 Mbps	400 ms	/	室外
普通巡防	400 万	25fps	8 Mbps	400 ms	/	室外
移动执法	200 万	30fps	4 Mbps	400 ms	/	室外
疫情防控	200 万	25fps	4 Mbps	400 ms	/	室外、室内
车内监控	200 万	25fps	4 Mbps	400 ms	120 km/h	室外
运钞车监控	200 万	25fps	4 Mbps	150 ms	80 km/h	室外
电力变电站巡检	200 万	25fps	4 Mbps	400 ms	/	室外
地面机器人巡检	400 万	25fps	8 Mbps	400 ms	1 m/s	室外
无人机巡检	2000 万	25fps	40 Mbps	400 ms	15 m/s	低空
矿下安全生产	400 万	25fps	8 Mbps	400 ms	/	井下
移动机器人 (AMR)	30 万	30fps	10 Mbps	20 ms	/	室内

视频监控场景下的摄像头带宽、时延要求与视频的分辨率、编码方式、帧率等参数相关，典型分辨率包括 720P、1080P 和 4K 等，主流编码方式为 H.264/H.265，在不同分辨率和帧率参数下的视频监控场景的通信需求如表 7 所示，可以看到，主流视频监控场景下的单设备上行速率需求通常在 12 Mbps 以下，与 5G RedCap 技术的速率区间十分匹配。

表 7 视频监控场景通信需求

分辨率	编码方式	典型帧率	速率	可靠性	时延
720 P	H.264/H.265	25 fps	1~3 Mbps	99.9%	1s
1080 P	H.264/H.265	25 fps	2~8 Mbps	99.9%	1s
4 K	H.264/H.265	25 fps	6~12 Mbps	99.9%	1s

当前，5G 模组应用于视频监控设备存在成本高、性能过剩等问题，网络摄像机的通信模组成本占比达 30% 以上，是主要成本部件之一。RedCap 模组的引入，将在不影响设备功能的前提下，有效降低设备成本，提升产品的市场竞争力，预期 RedCap 技术将成为未来广域视频监控的首选制式，而视频监控也将是 RedCap 规模发展的重要

领域。

(三) 智慧电力

电力系统由发电、输电、变电、配电和用电等 5 个环节组成。5G 在电网的应用是从配电开始的，并已经在电力系统的配电网初步形成规模应用，预计 2023 年上线的 5G 终端超过百万，电网的 5G 应用场景和通信需求如表 8 所示。

表 8 智慧电力通信需求

业务类别	业务名称	时延	带宽	可靠性	授时
控制类业务	配网自动化三遥	≤1 s	≥19.2 Kbps	99.9%	NA
控制类业务	秒级负荷控制	≤1 s	≥19.2 Kbps	99.9%	NA
采集类业务	分布式光伏	≤1 s	≥19.2 Kbps	99.9%	NA
控制类业务	配网自愈	≤200 ms	0.5 Mbps	99.99%	10us
控制类业务	配网 PMU	≤50 ms	≥75.2 Kbps	99.99%	1us
控制类业务	配网差动保护	≤80 ms	≥2.5 Mbps	99.99%	10us

从以上通信需求可以看出，配电领域的应用场景主要是数据采集和远程控制，其中配网差动保护业务对速率要求最高为 2.5 Mbps 以上，其余场景的带宽要求在 1 Mbps 以下；时延要求都在 50 ms 以上，即带宽和时延的要求不高，综合性能和成本，5G RedCap 不失为一个性价比高的选择。

目前在电网中，远程通信模块中 4G 模块占主导地位，2016 至 2022 年国网集采 4G 模块基本稳定在 300 万左右，加上南网、省网的招标，以及非统一招标的数量，在电网中每年使用的 4G 模块估计超过 500 万。5G RedCap 终端的通信能力与 LTE Cat4 终端的相当，5G RedCap 远程通信模块将是电网的 4G 远程通信模块升级换代的首选。

当前，产业界已基于 5G RedCap 在电力行业的应用开展技术验

证，中国联通携手南方电网完成电力场景 5G RedCap 技术验证，针对电力配网调度控制类业务和采集类业务，重点测试验证 5G RedCap 终端在接入小区和驻留小区、上下行峰值速率、吞吐量、覆盖能力以及用户时延等多项关键指标。测试验证了 5G RedCap 可以满足配网自动化、分布式电源调控、输电线路视频监控等数字电网应用需求。针对以上业务场景，5G RedCap 不仅实现低时延、高可靠等性能要求，同时也支持与 5G 网络中普通用户良好共存，并能够满足输电线路 720P/1080P/4K 视频监控等业务需求。

(四) 智能制造（工业互联网）

工业互联网应用场景目前已覆盖 40 多个国民经济大类，涉及原材料、装备、消费品、电子等制造业各大领域，以及采矿、电力、建筑等实体经济重点产业，实现更大范围、更高水平、更深程度发展，形成了千姿百态的融合应用实践。智能制造是工业互联网的重要应用，典型的智能制造应用场景对通信要求如表 9。

表 9 智能制造通信需求

典型场景	上行速率	时延	可靠性
工业 AGV 控制	≤2 Mbps	<20 ms	99.99%
工业产线 PLC 控制	≤5 Mbps	<15 ms	99.99%
工业设备远程运维	≤5 Mbps	<100 ms	99.9%

数据来源：中国联通

5G RedCap 可满足工业数据采集在时延、可靠性及数据速率方面的需求，在相同模组价格下，未来可实现全面替代。按每个工厂接入 5G 终端数 100~400 计算，预计“十四五”末 5G 连接工厂终端连接数将超 300 万。在 5G 连接工厂中，5G RedCap 核心终端包括网关、CPE、

DTU、PDA 等，其主要使用场景如表 10 所示。

表 10 5G RedCap 在连接工厂的适用场景

序号	场景	序号	场景
1	5G RedCap+AGV调度	6	5G RedCap+设备联机（MES联机）
2	5G RedCap+AI质检	7	5G RedCap+设备联机（SCADA联机）
3	5G RedCap+园区监控	8	5G RedCap+AI智能物料摆放规范性识别
4	5G RedCap+货架管理	9	5G RedCap+牵引车信息调度（轨迹）
5	5G RedCap+人脸识别	10	5G RedCap+可视对讲

(五) 车联网

我国的智能汽车行业发展速度达到世界领先水平，2021 年我国联网汽车销量达到 1460 万辆，预计到 2025 年联网汽车销量将超过 2600 万辆，渗透率超过 90%。

当前，智能网联汽车市场正处于 4G/5G 迭代窗口期，大量车企具有 4G 向 5G 升级的需求。然而对于许多车企而言，采用 5G 车机对成本控制仍然挑战巨大，5G RedCap 既能满足车企对成本控制的需求，又能满足车联网业务低时延、高性价比的需求。

表 11 车联网通信需求

业务类别	业务场景	时延	可靠性	特性
基础类	安全驾驶	20 ms	99.99%	通信范围小，可靠性高，业务连续性需求低
	驾驶效率	20 ms	99.99%	速率、定位精度要求高
	信息服务	100 ms	99%	速率、高速移动需求，业务连续性要求高
增强类	车辆编队	10 ms	99.99%	通信范围小、定位精度高、可靠性要求高
	高级驾驶	10 ms	99.99%	定位精度高、可靠性要求高

数据来源：中国联通

五、下一步工作建议及规划

(一) 高效升级/部署 5G 网络支持 RedCap

网络部署需要高效实现 5G RedCap 的覆盖，确保 RedCap 终端和其它类型 5G 终端在同一个网络中高效共存，网络容量和小区频谱效率等性能达到最佳。

1. 以高效方式确保 RedCap 终端的良好覆盖

在蜂窝网络中，确保对所有终端的良好覆盖是很重要的。

对于 5G eMBB 终端，覆盖的瓶颈信道通常是上行数据信道 PUSCH（uplink data channel）。瓶颈信道决定了小区的覆盖范围。虽然 RedCap 终端能力降低（带宽降低、接收天线分支数减少等），但 RedCap 终端的下行信道性能也优于 5G eMBB 终端的瓶颈信道。因此预计 5G RedCap 终端将实现与 5G eMBB 终端类似的覆盖范围。

此外，网络可在随机接入过程中尽早识别 RedCap 终端，使网络能够根据终端能力进行有效调度。

2. 避免资源碎片和信令开销

在蜂窝网络中，频谱是用户共享的基本资源。在每个时隙内，基站试图在频域有效地调度不同用户的数据传输，以实现高用户吞吐量和高系统容量。其中上行调度需要考虑额外的挑战，终端可能只能利用频域连续的上行资源分配。

由于 5G RedCap 终端的最大带宽可能远小于总小区带宽，因此小区同时服务于 5G RedCap 终端和常规（非 5G RedCap）5G 终端时，一个潜在的共存问题是上行资源碎片化。上行资源碎片化可能会导致

常规 5G 终端的上行峰值数据速率降低。

通过两种已标准化的机制，可以最大限度地减少常规 5G 终端因 5G RedCap 终端传输而造成的上行资源碎片：1) 网络配置一个 5G RedCap 专用的初始 BWP，并且在频域上放置在上行链路频率资源的边缘附近，以释放中心的连续资源，供常规 5G 终端使用；2) 网络可以对 5G RedCap 终端的上行传输（包括 PUCCH）禁用跳频，进一步减少上行资源碎片。

(二) 持续开展(e)RedCap 技术与试验验证

为进一步推进 RedCap 芯片与终端成熟，丰富 RedCap 产业生态，IMT-2020(5G)推进组将在 2024 年组织更大范围的 RedCap 芯片（终端）与系统的互操作测试，并启动面向 3GPP R18 的 5G eRedCap 应用场景、业务需求、关键技术等研究工作。后续将依托试验组，继续开展相关的关键技术、设备样机及系统组网验证工作。

参考文献：

- [1] 工业和信息化部办公厅. 工业和信息化部办公厅关于推进 5G 轻量化（RedCap）技术演进和应用创新发展的通知[EB/OL]. (2023-1-16)[2023-12-12].
- [2] TR 38.875. Study on Support of Reduced Capability NR Devices (Release 17)[R], 2021.
- [3] Ericsson, 3GPP TSG RAN Meeting, RP-220966. Revised WID on support of reduced capability NR devices[R], 2022.
- [4] 3GPP TR 22.804. Study on Communication for Automation in Vertical Domains[R], 2018.
- [5] 思特威. 安防领域稳发展研究报告[R], 2023.
- [6] Ericsson. Broadband IoT (4G/5G) connections to dominate by end of 2028[R], 2022.
- [7] Gartner. Gartner Forecasts Global Spending on Wearable Devices to Total \$81.5 Billion in 2021[R].
- [8] Ericsson, 3GPP TSG RAN#98-e, RP-223544. Revised WID on Enhanced support of reduced capability NR devices[R], 2022.
- [9] Ericsson. Sharing for the best performance, stay ahead of the game with Ericsson Spectrum Sharing[R].
- [10] 3GPP RP-201677. Revised SID on Study on support of reduced capability NR devices[R].
- [11] 3GPP TS 22.104. Service requirements for cyber-physical control applications in vertical domains[R].
- [12] 3GPP TR 22.832. Study on enhancements for cyber-physical control applications in vertical domains[R].
- [13] 3GPP TS 22.261. Service requirements for the 5G system[R].
- [14] 3GPP TR 38.865. Study on further NR RedCap UE complexity reduction[R].



联系方式

邮箱:xuxiayan@caict.ac.cn

COPYRIGHT@2023IMT-2020(5G)PROMOTION GROUP.

ALL RIGHTS RESERVED.