

中国移动 5G RedCap 技术 白皮书 (2022 年)

前 言

工业和信息化部在《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2023 年）》中指出，按照 5G 国际标准不同版本阶段特性，R17 版本聚焦中高速、大连接应用，分阶段开展技术、产业化和应用导入。随着 3GPP R17 版本标准工作进入尾声，RedCap 技术即将进入产品研发及测试验证阶段。

作为“轻量级”5G 技术，RedCap 自诞生以来备受产业关注。RedCap 是蜂窝物联网的重要演进方向，将进一步提升 5G 应用于垂直行业市场和个人消费市场的服务能力，促进应用场景的丰富和规模推广。为了帮助产业更好的理解和应用 RedCap 技术、研发 RedCap 产品，加速 RedCap 技术的成熟商用，本白皮书针对业界关注的 RedCap 技术课题，明确了 RedCap 在 5G 体系中的技术定位，深度解析了 RedCap 关键技术特性，并在此基础上开展 RedCap 市场前景分析及与关键应用场景的适配性研究，期望 RedCap 能够更好服务于市场需求。

本白皮书的版权归中国移动所有，未经授权，任何单位或个人不得复制或拷贝本建议之部分或全部内容。

目 录

1 RedCap 简介.....	2
1.1 RedCap 背景.....	2
1.2 RedCap 标准化概述.....	4
1.3 国家及产业政策	5
1.4 小结	5
2 RedCap 技术定位及需求痛点分析.....	6
2.1 RedCap 技术定位分析.....	6
2.2 RedCap 市场需求分析.....	7
2.5 小结	7
3 RedCap 关键技术研究.....	8
3.1 RedCap 终端复杂度降低研究.....	8
3.2 RedCap 能力特性研究.....	9
3.2.1 基本能力特性.....	9
3.2.2 高效接入特性.....	10
3.2.3 功耗优化特性.....	12
3.2.4 多模多频及语音特性.....	13
3.3 RedCap 继承 5G NR 特性研究	13
3.4 RedCap R18 技术演进研究	15
3.5 小结	15
4 RedCap 应用场景分析.....	16
4.1 RedCap 市场前景.....	16
4.2 RedCap 业务需求适配分析.....	18
4.2.1 可穿戴设备业务适配分析.....	18
4.2.2 视频监控业务适配分析.....	19
4.2.3 智能电力业务适配分析.....	20
4.2.4 智能制造业务适配分析.....	20
4.3 小结	22
5 展望及倡议.....	23
缩略语列表.....	24
联合编写单位及作者.....	27

1 RedCap 简介

1.1 RedCap 背景

国际电信联盟将 5G 的三大应用场景分为增强移动宽带（enhanced mobile broadband, eMBB）、超高可靠低时延通信（ultra-reliable and low latency communications, uRLLC）和海量机器类通信（massive machine type communication, mMTC），其目标分别为提升网络峰值速率、提高通信可靠性及响应速度、实现万物互联。5G 三大应用场景及其典型用例如图 1-1 所示，eMBB 旨在满足人们对多媒体业务、服务、数据的获取及交互需求，应用场景包括手机、4K 高清视频、虚拟现实（virtual reality, VR）/增强现实（augmented reality, AR）、远程教育等；uRLLC 对系统的吞吐量、时延、可靠性有极高的要求，典型实例包括工业生产过程的无线控制、远程医疗手术、自动驾驶、运输安全保障等；mMTC 则是大规模物联网部署与应用，这类设备需要传输的数据量较小、时延敏感性较弱，同时还要兼顾低成本、低功耗的要求，主要用例部署于智慧城市、智能家居等。

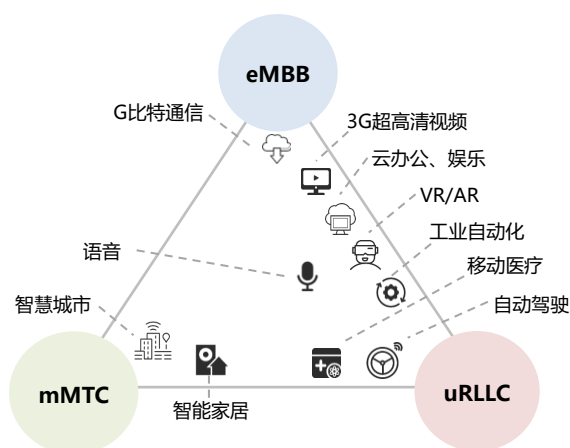


图 1-1 5G 三大应用场景及典型用例

随着 5G 的商用与发展，5G 终端价格（当前 5G 模组价格还在 500-1000 元）为 5G 在各行各业的落地普及带来了挑战。其中部分场景并不存在极致的性能需求，5G 现有能力超出了实际应用需求，进而存在降低终端成本的需求。因此，

产业界提出了在 5G 网络中研究性能与成本的平衡，并由此 3GPP 在 R17 中提出了 5G 轻量级（reduced-capability, RedCap）终端。在确保业务需求及性能的前提下，通过终端裁剪，达到终端成本降低、尺寸极致、功耗减少等效果，有助于推动 5G 终端规模应用、拓展 5G 设备的生态系统、扩大 5G 应用场景。

面向多样化的 5G 目标场景，3GPP 提出了三类 RedCap 典型应用场景，分别为：工业无线传感器、视频监控、可穿戴设备。

（1）工业无线传感器

工业无线传感器设备包括工业环境中的压力传感器、湿度传感器、运动传感器、温度计、加速度计、驱动器等。其典型业务需求如下：通信业务可用性要求为 99.99%；业务的端到端时延要求小于 100ms，安全相关的传感器对时延有更严格的要求，为 5-10ms（TR 22.804）；设备静止时的参考速率要求小于 2Mbps；此外，该类用例的电池使用寿命要求至少可持续几年。

（2）视频监控

5G 应用于城市管理、工业/农业或各类区域监测场景中，存在实时的视频监控需求，以应对安全风险问题、提升管理手段，从而更有效地管控城市资源。通过将 5G 终端模组与监控摄像机集成，为视频监控提供灵活、低成本的回传手段，其典型业务需求如下：经济型视频监控的参考速率要求为 2-4Mbps，高端型视频监控的速率要求为 7.5-25Mbps，业务量以上行为主；视频监控业务的时延要求小于 500ms；通信可靠性要求在 99%-99.9%之间。

（3）可穿戴设备

可穿戴设备主要包括智能手表、智能手环、医疗监控设备等，普遍要求设备体积小、功耗低。其典型业务需求如下：下行参考速率为 5-50Mbps、上行参考速率为 2-5Mbps，下行峰值速率为 150Mbps、上行峰值速率为 50Mbps；电池的理想工作续航为数天甚至 1-2 周。

表 1-1 3GPP 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	可用性/可靠性	电池寿命
工业无线传感器	<2Mbps	<100ms 安全相关的传感	可用性 99.99%	至少几年

		器 5-10ms		
视频监控	经济型 2-4Mbps 高端型 7.5-25Mbps	<500ms	可靠性 99%-99.9%	/
可穿戴设备	参考速率 下行 5-50Mbps 上行 2-5Mbps 峰值速率 下行 150Mbps 上行 50Mbps	/	/	几天（1-2 周）

1.2 RedCap 标准化概述

（一）3GPP

RedCap 技术标准化研究进程如图 1-2 所示。3GPP R17 RedCap SI 阶段（2020.6-2020.12），输出研究报告 3GPP TR 38.875，内容主要包括终端复杂度降低及成本评估、对覆盖的影响、能耗分析评估等，并为后续 WI 阶段开展标准化提出各项建议。3GPP R17 RedCap WI 阶段（2020.12-2022 Q2），标准化工作主要涵盖以下内容：终端复杂度降低、驻留与接入控制、移动性、终端识别、BWP 配置以及功耗等。3GPP R17 RedCap 标准框架已经接近尾声。从 2021 年 12 月开始，3GPP R18 RedCap 标准化已正式提上日程。

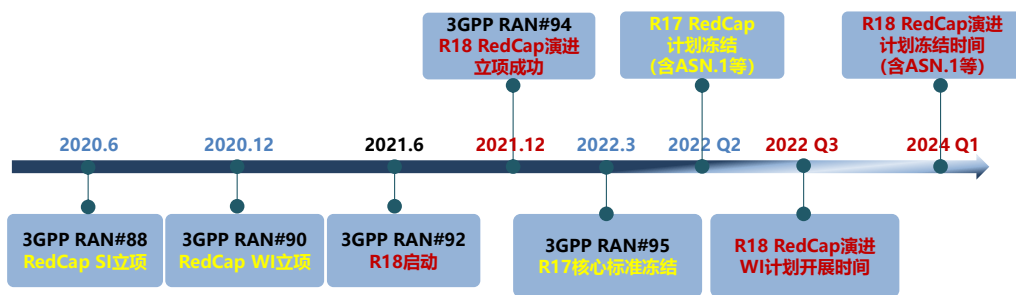


图 1-2 3GPP RedCap 标准化工作进程

（二）CCSA

随着 3GPP 标准化工作中针对 RedCap 标准化进程的快速推进，CCSA 也相继启动了 RedCap 关键技术的研究工作，2021 年 3 月，TC5WG9#113 会议通过了 RedCap 关键技术的研究立项，在产业的共同努力下，在 TC5WG9#118 会议

上通过了征求意见稿，为后续 RedCap 在 CCSA 的行标制定工作奠定了基础。

1.3 国家及产业政策

2021 年 11 月，工业和信息化部发布《“十四五”信息通信行业发展规划》，其中提出：“到 2025 年，信息通信行业整体规模进一步壮大，发展质量显著提升，基本建成高速泛在、集成互联、智能绿色、安全可靠的新型数字基础设施，创新能力大幅增强，新业态蓬勃发展，赋能经济社会数字化转型升级的能力全面提升。”由此可见，在 5G 技术规模落地的发展需求下，国家层面大力推动 5G 新基建建设。

此外，工业和信息化部在其发布的《5G 应用“扬帆”行动计划》中，强调开展 5G 产业基础强化行动：其中 5G R17 版本聚焦中高速大连接应用，分阶段开展技术、产业化和应用导入；行动计划中提出 5G+信息消费、5G+工业互联网、5G+智慧城市等 15 个垂直行业，列举了智能安防监控、新型穿戴设备、远程操控设备、高清视频监控等众多应用领域，针对 5G+智慧农业等领域，重点推进面向广覆盖低成本场景的 5G 技术和应用。扬帆行动计划中描述的这些应用领域正是 RedCap 可以大显身手的应用领域。

基于国家战略引导和政策支持，IMT 2020（5G）推进组也对 RedCap 寄予厚望，全力推动 RedCap 产业成熟。2022 年 3 月，IMT 2020（5G）推进组第 23 次会议明确开展 RedCap 关键技术研究，制定试验规范，构建测试系统，分阶段组织 RedCap 关键技术与端到端测试，推动产业发展。

1.4 小结

为了满足物联网行业的差异化需求，RedCap 孕育而生。3GPP R17 RedCap 标准化的完成以及 CCSA RedCap 研究报告的加速，使得业界对 RedCap 的关注度与日俱增；国家及产业政策的加持也有助于加速 RedCap 端到端产业链的孵化和快速成熟。

2 RedCap 技术定位及需求痛点分析

随着 3GPP R17 RedCap 标准的冻结，业界对 RedCap 的关注度也与日俱增。如何将 RedCap 技术引入服务于千行百业，则需要明确 RedCap 在 5G 承载体系中的能力定位并探究当前 5G 行业发展的痛点需求，从而结合 RedCap 特性优势，加速 RedCap 产业成熟及技术落地，最终赋能千行百业“数智化”转型。

2.1 RedCap 技术定位分析

如图 2-1 所示，在 5G 承载体系中，5G NR 能力最高，可满足 100Mbps 以上超高速率需求的物联网业务，5G NB-IoT 作为 LPWA 技术，面向低速率、小包物联网业务而设计，主要承载 100kbps 速率以下低速物联网业务，提供低速 mMTC 能力。RedCap R17 版本可承载高速率的物联网业务，通过将最大传输带宽缩减至 20MHz，裁剪收发天线数目（最低 1T1R）、降低上下行最大调制阶数（如 64QAM），有效降低了终端复杂度（复杂度相比传统 eMBB 终端降低约 60%），未来 RedCap R18 版本将进一步扩展支持中速率物联网业务。由此可见，RedCap 技术补齐了 5G 中高速大连接能力，使 5G 面向各类物联网应用需求形成了具备低、中、高、超高分档分级能力的完备技术承载体系。

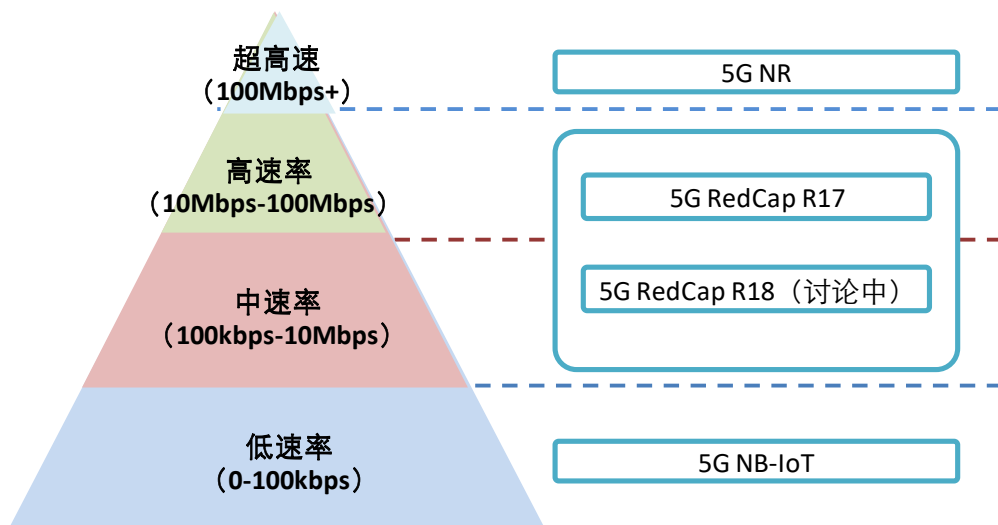


图 2-1 5G 物联网技术体系

2.2 RedCap 市场需求分析

我国 5G 商用近三年以来，各行各业的 5G 应用规模不断扩大，广泛分布于 2B 类行业应用和 2C 类个人消费领域，其中行业应用主要包括工业互联网、车联网、视频监控、电力、物流、港口、农业、医疗等众多领域。

面向 2B 领域，最明显的痛点需求便是较高的行业模组价格。作为网络连接和行业应用的桥梁，5G 行业模组较高的价格对 5G 规模落地造成了挑战，当前，5G 模组价格在 500-1000 元之间。产业期待 5G 终端能够具备差异化能力，从业务需求出发，在成本和性能之间进行折中，通过终端剪裁降低复杂度，推动 5G 应用规模化落地，同时裁剪后的 5G 终端性能还能满足各个行业领域的业务需求，例如：电力等工业场景对网络有高可靠、低时延的需求；视频监控业务在多用户并发场景下对网络有大容量多并发需求，对系统容量需求较高，需要 5G 网络的大带宽等能力提供保障；工业园区对数据不出厂的要求。综上，RedCap 技术能够有效兼顾满足其对性能和成本方面的并存需求。

面向 2C 领域，个人消费类产品市场正在逐步经历由 4G 向 5G 的升级换代，其中可穿戴领域如智能手表、AR/VR 等穿戴设备对小尺寸及低功耗要求较高，采用传统的 5G 终端无法有效满足上述需求，产业也同样期待 5G 终端能够具备差异化能力，从业务需求出发，能够在尺寸、功耗和性能之间进行折中，通过终端剪裁设计，减小终端尺寸，解决可穿戴领域的痛点需求。综上，RedCap 通过终端裁剪，能够有效兼顾满足其对性能和尺寸方面的并存需求。

2.5 小结

综上，RedCap 技术补齐了 5G 中高速大连接能力，结合市场对 5G 终端差异化能力的需求，精准切入 5G 行业痛点，其市场发展潜力巨大。

3 RedCap 关键技术研究

RedCap 作为 5G 轻量级终端，其独特性在于以下几个方面：首先，相较于传统 5G 终端，RedCap 终端剪裁后终端复杂度可降低约 60%，大大降低了终端复杂度；其次，RedCap 的各项能力特性确保了其可基于 5G 现网平滑升级引入；最后，最为关键的是 RedCap 延续了 5G NR 的各类优秀特性，如大带宽、低时延、高可靠性、业务保障、数据不出厂、低功耗、强覆盖等诸多优势，可针对不同应用场景按需引入，有效满足业务需求。

3.1 RedCap 终端复杂度降低研究

RedCap 的终端复杂度的降低，可从缩减 UE 带宽、减少收发天线数量、降低调制阶数、调整双工模式等方面有效降低终端复杂度。相较于传统 5G 终端，按照上述技术手段对终端进行剪裁，整体带来 RedCap 终端复杂度降低可达到 60% 左右，具体介绍如下：

最大带宽：在 FR1 频段上，基于 NR UE 的 100MHz 带宽，将 RedCap UE 支持的最大带宽缩减为 20MHz，适用于业务需求相对低的 5G 终端通信使用；

天线能力：在传统 NR UE 支持 2T4R 天线的基础上，将 RedCap UE 的天线数量降低至 1T1R 或 1T2R；

最大调制阶数：在 NR 终端支持 256QAM 的基础上，调整对 RedCap 终端调制阶数的要求，上下行最大调制阶数最低可支持 64QAM；

双工模式：支持 FD-FDD 和 TDD，并且在 NR 双工通信的基础上针对 RedCap UE 引入了半双工模式；

PDCCP SN 及 RLC-AM SN 长度：为了降低 RedCap UE 缓存的要求，将传统的 18 比特调整为 12 比特；

RedCap 上下行峰值速率：表 3-1 列出了 TDD 和 FDD 系统中 RedCap 的上下行峰值速率，其和 LTE Cat 4 终端能力趋近。

表 3-1 RedCap 上下行峰值速率要求参考

系统	带宽	天线规格	理论峰值速率
TDD	20MHz	1T1R	下行 • 5ms 单周期帧结构：84Mbps（256QAM）、62Mbps（64QAM） • 2.5ms 双周期帧结构：70Mbps（256QAM）、52Mbps（64QAM）
		1T2R	下行 • 5ms 单周期帧结构：168Mbps（256QAM）、124Mbps（64QAM） • 2.5ms 双周期帧结构：140Mbps（256QAM）、105Mbps（64QAM）
		1T1R/1T2R	上行 • 5ms 单周期帧结构：22Mbps（256QAM）、17.5Mbps（64QAM） • 2.5ms 双周期帧结构：34Mbps（256QAM）、26Mbps（64QAM）
FDD		1T1R	下行 113Mbps（256QAM）、85Mbps（64QAM）
		1T2R	下行 226Mbps（256QAM）、170Mbps（64QAM）
		1T1R/1T2R	上行 120Mbps（256QAM）、90Mbps（64QAM）

3.2 RedCap 能力特性研究

3.2.1 基本能力特性

（一）驻留与接入控制特性

RedCap UE 可驻留于支持 RedCap UE 的小区，且网络可以针对不同类型的 RedCap UE，如 1Rx/2Rx 终端进行限制，如图 3-1 所示。

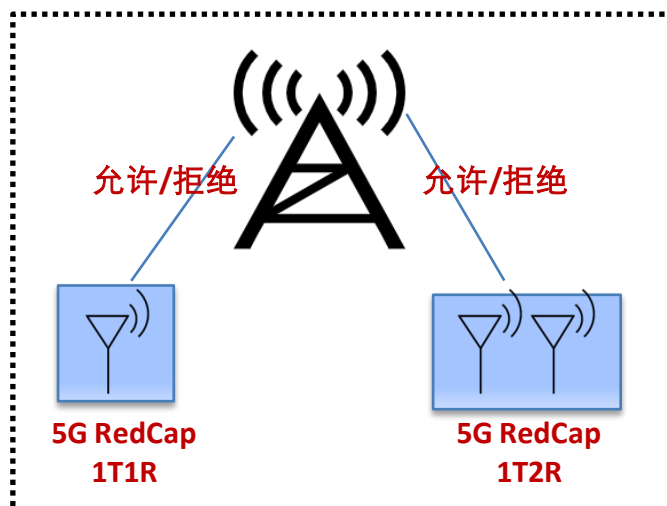


图 3-1 面向 RedCap 终端的接入控制特性

具体特性包括：系统信息中通过包含 IFRI（IntraFreqReselectionRedCap: allowed, notAllowed）来指示是否允许 RedCap UE 小区选择（重选）到同频小区，同时具备面向 1Rx/2Rx 的 RedCap UE 的接入允许/拒绝设置。

（二）移动性特性

针对可穿戴等有移动性需求的业务应用，RedCap 对于移动性的支持必不可少，包含小区选择、重选及切换，同样归属于 RedCap 基础特性。

1）小区选择与重选：要求处于 RRC_IDLE 和 RRC_INACTIVE 状态的 RedCap UE 能在支持 RedCap 的小区间进行小区选择与重选；

2）小区切换：要求处于 RRC_CONNECTED 状态的 RedCap UE 能在支持 RedCap 的小区间进行切换。

3.2.2 高效接入特性

（一）终端识别特性

终端识别特性有助于使 5G 网络在不同阶段都能快速识别出 RedCap 终端类型，从而及时采取相应策略。

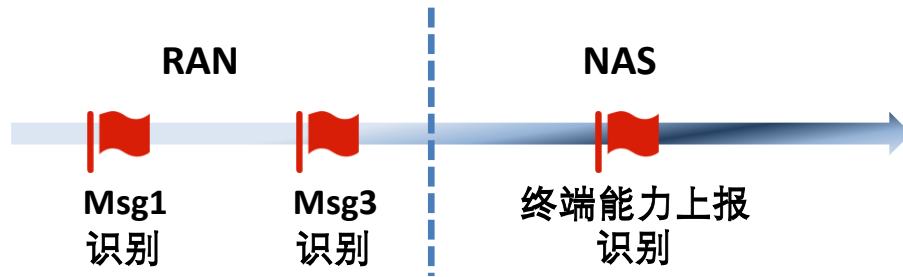


图 3-2 面向 RedCap 的终端识别特性

以四步 RACH 为例，如图 3-2 所示，展示了 5G 网络具备在 Msg1、Msg3 以及传统的能力上报阶段识别出 RedCap 终端类型。Msg1 阶段，通过针对 PRACH 在时域（PRACH occasion）或码域（PRACH Preamble）的分割，能够保证网络快速识别出 RedCap 类型终端；Msg3 阶段，通过终端携带的 LCID，能够保证网络识别出 RedCap 类型终端；通过传统的终端能力上报，也可以识别出 RedCap 类型终端。

（二）初始 BWP 配置

BWP 作为 5G 网络中的一个独特特性，在初始 BWP 配置上网络在 RedCap 终端高效接入以及与传统 5G 终端兼容共存方面均提供了强大支持。

与传统 5G 终端兼容共存方面，当系统从终端节能考虑为传统 5G 终端配置初始 BWP 不超过 20MHz 时，从兼容共存和资源共用考虑，系统可将传统 5G 终端初始 BWP 配置提供给 RedCap 终端，RedCap 终端和传统 5G 终端共享初始 BWP。

RedCap 终端高效接入方面，系统可为 RedCap 终端配置独立上下行初始 BWP，可以保证 RedCap 终端在独立下行初始 BWP 上监听寻呼、在独立上行初始 BWP 随机接入，当独立下行初始 BWP 包含 CD-SSB 时，RedCap 终端也可以在独立下行初始 BWP 上监听寻呼。

（三）专用 BWP 配置

BWP 作为 5G 网络中的一个独特特性，在专用 BWP 配置上网络着重在 RedCap 终端高效接入上提供了强大支持。网络会为进入 RRC 连接态的 RedCap 终端配置独立上行或下行专用 BWP，同时在下行专用 BWP 不包含 CD-SSB 时，可为专用 BWP 配置 NCD-SSB，能够保证 RedCap 终端在当前 BWP 下基于

NCD-SSB 进行 RLM、BFD 等测量。另外，面向对小区系统容量需求较大的多用户并发类业务（如多路视频监控等），如图 3-3 所示，系统可按需配置多 BWP，最多可配置 5 个 BWP，充分应用 5G 百 M 大带宽，从而实现对聚集性并发类业务的强大支持。

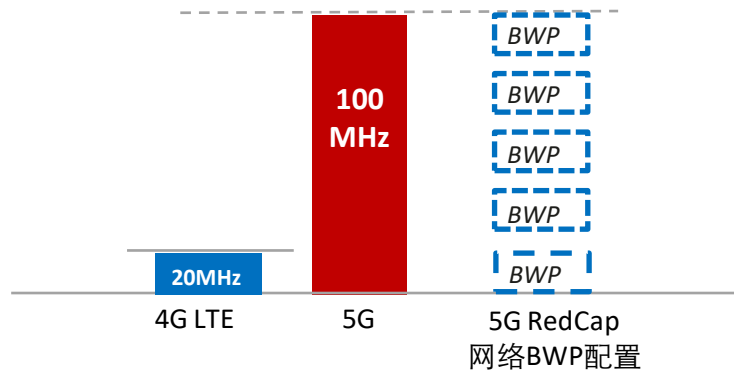


图 3-3 面向 RedCap 的专用多 BWP 配置特性

3.2.3 功耗优化特性

针对可穿戴设备等终端功耗敏感的特点，RedCap 围绕降低功耗进行设计，主要包含 RRM 测量放松机制及扩展非连续接收（eDRX）功耗优化特性。

1) RRM 测量放松：网络通过系统消息通知终端 RRM 测量放松的触发条件，使偏静止且处于小区中心区域的终端在满足触发条件时，可放松对于邻区的 RRM 的测量，以达到节省终端功耗的目的。

2) eDRX：为了进一步减少终端功耗，RedCap 引入了 eDRX 节电特性，即延长终端监听寻呼的周期，不监听寻呼时终端进入休眠状态，如图 3-4 所示。针对 RRC_IDLE 状态下 RedCap 终端，eDRX 周期最大扩展至 10485.76 秒，RRC_INACTIVE 状态下 RedCap 终端，eDRX 周期最大扩展至 10.24 秒，采用更长的 eDRX 周期可增加终端睡眠时长，降低终端待机电流。

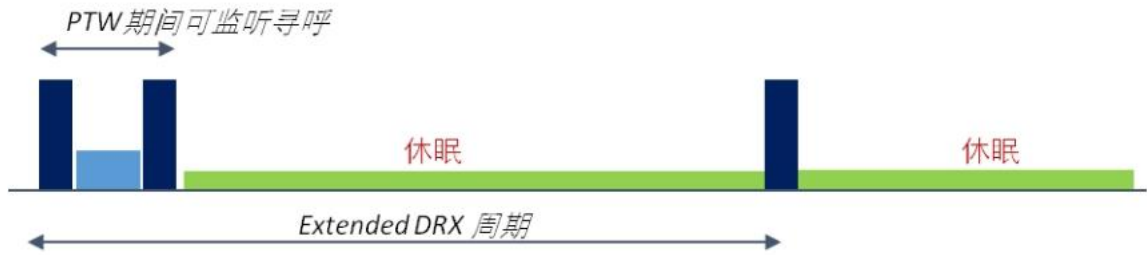


图 3-4 面向 RedCap 的 eDRX 功耗优化特性

3.2.4 多模多频及语音特性

RedCap 终端多模多频及语音特性的引入将直接影响终端的成本，需针对不同业务场景及行业对成本的敏感程度，决定 RedCap 终端是否引入多模和语音特性。面向具有网络连续性需求的业务，初期 5G 网络尚未实现连续性覆盖时，RedCap 终端引入 4/5G 多模至关重要；针对专网业务，RedCap 单模终端可适配业务需求，同时有效降低终端成本；针对需要具备语音能力的业务场景，如部分可穿戴场景，终端支持 VoNR 能够高效满足用户需求。

3.3 RedCap 继承 5G NR 特性研究

尽管支持一发两收的 RedCap 终端与 4G Cat 4 双天线终端能力接近，如表 3-2 所示，但 RedCap 天然继承了 5G NR 在带宽、时延、可靠性、切片、数据不出厂等方面的各类优秀特性，因此其具备广阔的目标场景。

表 3-2 技术对标表格

技术指标		5G NR	5G RedCap (1T2R)	5G RedCap (1T1R)	LTE Cat 4 (标准)	LTE Cat 1/1bis
带宽		700M: 30M 2.6G: 100M	FR1: 20MHz	FR1: 20MHz	20MHz	20MHz
收发天线		2T4R	1T2R	1T1R	1T2R	1T1R
调制		256QAM	64QAM必选 256QAM可选	64QAM必选 256QAM可选	64QAM	上行16QAM 下行64QAM
速率	FDD	上行: 175Mbps 下行: 350Mbps	FR1(FDD 64QAM): 上行 ~ 90Mbps 下行 ~ 170Mbps	FR1(FDD 64QAM): 上行 ~ 90Mbps 下行 ~ 85Mbps	FDD(64QAM): 上行 75Mbps 下行 150Mbps	FDD: 上行 5Mbps 下行 10Mbps
	TDD	上行~250Mbps 下行~1.7Gbps ^{注1}	FR1(TDD 64QAM): 上行 ~ 22Mbps 下行 ~ 124Mbps ^{注1}	FR1(TDD 64QAM): 上行 ~ 22Mbps 下行 ~ 62Mbps ^{注1}	TDD(64QAM): 上行 15Mbps 下行 110Mbps ^{注2}	TDD: 上行: 1Mbps 下行: 7.4Mbps ^{注2}

注 1：下行与上行配比 7:2，特殊时隙配比 6:4:4

注 2：下行与上行配比 3:1，特殊时隙配比 10:2:2

RedCap 目标应用场景多样化，不同业务对于 5G 专有特性存在不同需求，

譬如电力行业中配电环节为例，其对低时延、高可靠的网络有强烈需求，需要结合 URLLC 技术要进行保障。因此 RedCap 可按需与 5G NR 其它技术结合，通过支持 URLLC、切片、UPF 下沉、终端节能、覆盖增强、5G LAN 等技术，可实现对垂直行业的强大赋能。

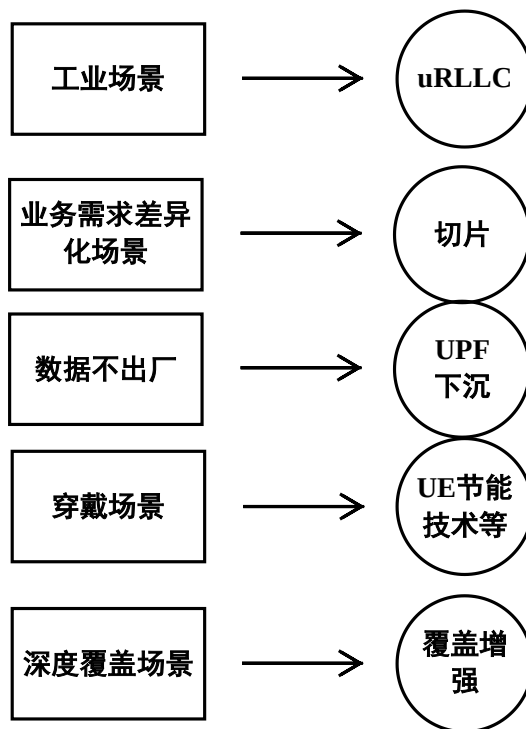


图 3-5 RedCap 按需与各类 NR 技术结合赋能垂直行业

如图 3-5 所示，面向对时延要求比较严格的场景，例如电力行业，可在 RedCap 终端中增加 uRLLC 等能力，在低成本方案中定向实现低时延目标；针对工业园区数据不出厂场景，通过 RedCap 与 UPF 下沉相结合，可精准满足目标场景；面向对功耗有明显需求的场景，例如可穿戴设备领域，可在 RedCap 中增加 UE 节能技术，如寻呼增强(PEI)、PDCCH 监听自适应、唤醒信号（WUS）、小数据传输（SDT）等特性进一步降低设备功耗，实现业务需求；面向对深度覆盖有需求的场景，可在 RedCap 终端中增加覆盖增强等能力，在弱覆盖场景中实现上行覆盖增强、速率提升等效果，便于 RedCap 技术应用至各类场景；另外，RedCap 还可叠加切片、5G LAN、定位等技术，面向不同业务场景，根据具体诉求补充终端能力并接入 5G 网络，尽可能实现设备低成本与业务高性能的平衡。

3.4 RedCap R18 技术演进研究

3GPP 已经明确在 R18 中会针对 RedCap 进一步演进,目标对标 Cat 1/1bis, 进一步降低终端复杂度,实现 RedCap 终端复杂度极致化。标准预计 2024 年 Q1 结项,最早 2025 年商用。

RedCap R18 研究目标包括:

降低 UE 复杂度与成本、挖掘新的应用场景,其中降低 UE 复杂度和成本包括,涵盖 UE 带宽缩减至 5MHz (FR1)、降低峰值数据速率等。

当前标准化关注重点及挑战如下:终端带宽降低到 5MHz 后,应用 15KHz, 30KHz 子载波间隔的性能影响及标准影响需进一步分析,另外 30KHz 子载波间隔(譬如在 TDD 2.6GHz 网络下)在 5MHz 带宽下复用 SSB 存在挑战(SSB 需要 7.2MHz),需要产业各界结合业务需求一并深入探讨。

3.5 小结

综上,RedCap 不仅展示出在终端复杂度上的极大降低,而且可实现在 5G 现网下的平滑升级引入,同时能够针对不同应用场景按需灵活引入 5G NR 的各类优秀特性,最后在未来演进上还将进一步规划了 RedCap 的演进路线,为产业引入 RedCap 提供了强大技术支撑。

4 RedCap 应用场景分析

RedCap 技术能力可承载中高速移动物联网业务，需求场景广泛，主要涵盖视频监控、智能电力及智能制造等行业应用及可穿戴等消费电子类应用。在行业应用领域，视频监控业务对网络容量要求高，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场景对网络高可靠、低时延性能要求高，4G 网络均无法满足需求；在电子消费领域，受益于消费电子产品对 5G 等新技术的高度关注，且可穿戴设备对终端尺寸和功耗非常敏感，RedCap 相较于传统 5G，具备极大降低终端尺寸及功耗的优势，将有助于 RedCap 技术在可穿戴领域的规模应用。

4.1 RedCap 市场前景

根据各大市场咨询机构的预测数据，到 2025 年，国内可穿戴、视频监控及电力行业终端规模均可达千万量级。

根据 TSR 统计数据（图 4-1），近些年来，全球蜂窝智能穿戴设备每年的新增出货量以几千万稳步增长，其中中国市场占比 30%，预计到 2025 年，国内蜂窝智能终端出货量将超过 8000 万。据 Omdia 统计（图 4-2），中国摄像机年发货量由 2019 年 9330 万逐步提升至 2024 年 1.5 亿。其中，约有 10%~20% 的无线化需求，因此基于无线的视频监控行业规模可达千万量级别。根据德勤研究报告及《5G 助力智能电网应用白皮书》数据统计（图 4-3），预计到 2027 年，国内电力行业 5G 终端累计出货量将超过 5000 万。上述业务场景具备可观的发展潜力，可首先形成 RedCap 规模化应用的潜在市场空间。

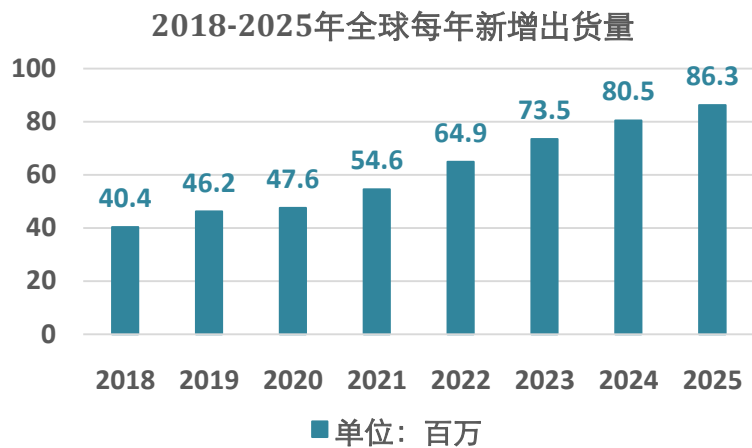


图 4-1 蜂窝穿戴设备预测

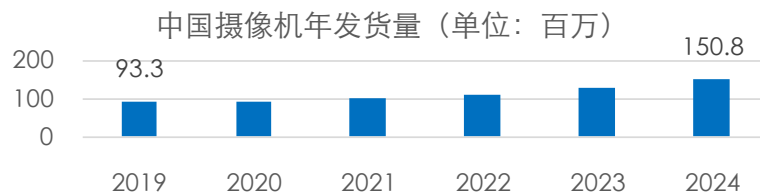


图 4-2 视频监控发货规模预测

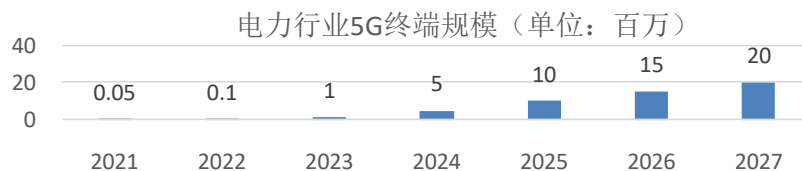


图 4-3 电力行业终端规模预测

此外，智慧工厂、智慧矿山、智慧园区、智慧港口等垂直行业涉及多样化业务场景及终端类型，需要多种网络承载技术打包提供服务，也是 RedCap 的潜在应用领域。从 4G 物联网存量市场来看，以车联网前后装、金融支付、共享服务等为代表的应用场景中，已有数亿量级的物联网终端，面向远期网络演进，由 4G Cat 1/1bis 承载的中低速物联网业务以及由 4G Cat 4 承载的高速率物联网业务也属于 RedCap 的潜在市场。

整体而言，RedCap 拥有丰富的应用场景和巨大的市场发展空间，可以成为 5G 物联网的一种核心技术能力。

4.2 RedCap 业务需求适配分析

4.2.1 可穿戴设备业务适配分析

当前主流智能手表终端主要采用 4G Cat 4 或 Cat 1/1bis 技术，随着 5G 技术的普及，将 5G 技术应用于可穿戴领域（不仅仅包括智能手表，还包括潜在的智能 AR 或 XR 设备，如智能眼镜等）能够满足用户对可穿戴产品更新换代的需求，5G 技术在可穿戴领域的应用具有广阔发展前景。然而，可穿戴设备对终端尺寸和功耗非常敏感，传统 5G 技术在此方面存在应用瓶颈。

如表 4-1 所示，相较于传统 5G 终端，RedCap 能够实现终端尺寸大幅减小及功耗有效降低，有助于突破 5G 技术在可穿戴领域的应用难题。面向可穿戴业务对终端功耗的需求，RedCap 技术通过降低设备复杂度、引入功耗优化特性，弥补传统 5G 终端短板，甚至比 LTE 更加节电，电池续航能够持续几天甚至 1-2 周；面向可穿戴设备对终端尺寸的需求，RedCap 支持一发一收（1T1R）单天线，可实现小尺寸终端集成；在网络覆盖方面，由于可穿戴设备具备用户跟随属性，与手机需求一致，RedCap 需保证连续覆盖，可满足其业务需求；在数据速率方面，可穿戴设备以下行业务为主，RedCap 在技术上可支持 3GPP 归纳的业务参考速率（即下行 5-50Mbps、上行 2-5Mbps）。

表 4-1 RedCap 与可穿戴业务适配表

	终端需求		网络需求	
	功耗	尺寸	覆盖	速率
业务需求	电池续航需要持续几天（最高 1-2 周）	对终端尺寸有限制，一般要求 1T1R	随时随地，无处不在，对网络连续存在强需求	参考速率 下行 5-50Mbps、上行 2-5Mbps
RedCap 能力适配	RedCap 设备复杂度降低+功耗特性可支持该需求	RedCap 引入 1T1R 单天线，可实现小尺寸终端集成	5G 大网未来连续覆盖可支持该需求	1T1R、FR1(FDD 64QAM) 上行 ~ 90Mbps 下行 ~ 85Mbps

4.2.2 视频监控业务适配分析

随着公安机关、政府监管部门对视频监控的需求逐渐增大，视频监控市场规模持续扩张，在已部署视频监控的场景中有 10%~20% 的区域存在布线困难等问题，亟需无线技术能力保障监控视频回传。

如表 4-2 所示，从视频监控业务对网络传输的要求来看，视频监控对于单用户速率、时延及可靠性要求较为宽松，但多用户并发对系统容量需求较大。

表 4-2 视频监控业务需求

分辨率	速率	时延	可靠性
低码率视频	2-4Mbps	<500ms	99%-99.9%
高码率视频	7.5-25Mbps	<500ms	99%-99.9%

面向监控视频业务对系统容量的需求，RedCap 可充分利用 5G 网络百兆带宽，保证容量需求，同时有效降低终端成本，较好的满足视频监控在高容量、高速率、低成本等方面的业务需求，与视频监控业务需求相匹配，其业务适配分析如表 4-3 所示。

表 4-3 RedCap 与视频监控业务适配表

	容量	速率	成本
业务需求	以基站站间距 300-500 米，30 米一个监控点位，每点位 2-3 个监控设备为例，单小区约有 100 个监控设备，假设无线率 20%，每个小区约有 20 个无线监控设备。 视频监控业务需求潜在峰值容量需求大于百兆	低码率视频 2-4Mbps 高码率视频 7.5-25Mbps	终端成本敏感
RedCap 匹配性	RedCap 可利用 5G 百兆带宽，通过配置多个专用 BWP，可满足小区内多视频监控设备并发容量需求	RedCap 可有效支持高、低码率速率要求	RedCap 带来终端硬件复杂度降低及成本的大幅下降

4.2.3 智能电力业务适配分析

电力行业是工信部发布的“5G+工业互联网”第一批五大重点行业之一，电力通信网作为支撑智能电网发展的重要基础设施，承担着各类电力业务的安全性、实时性、准确性和可靠性要求，其主要业务流程包含发电、输电、变电、配电和用电。其中，配电环节的差动保护、自动化三遥、精准负荷控制、配电站综合监测等业务对低时延、高可靠的网络有强烈需求，同时，为满足安全生产需求，电网的生产控制大区和管理信息大区对信息隔离度要求极高，以目前 4G 网络能力和电力专网的能力，无法满足业务对网络的高要求。

RedCap 可充分利用 5G 网络在低时延、高可靠、切片等方面的优秀技术特性，满足电力行业业务需求，同时可进一步降低终端成本，与电力行业需求相匹配（表 4-4），可有效推动电力行业更广泛的应用 5G 技术。

表 4-4 RedCap 与电力行业业务适配表

	终端成本	业务隔离度	时延、可靠性
业务需求	为促进业务规模部署、降低应用成本，需更低成本的 5G 芯片模组	智能电网主要分为电网生产控制安全大区和管理信息安全大区，不同大区之间隔离性需求极高	智能电网业务主要分为控制类和采集类，控制类业务对网络的时延可靠性需求高，业务需求一般为 20ms-50ms@99.99%
RedCap 匹配性	RedCap UE 复杂度降低，终端成本降低，可满足该需求	可通过 RedCap+切片/资源预留等技术方案支持该业务需求	通过 RedCap+5G URLLC 能力支持该业务需求

4.2.4 智能制造业务适配分析

随着“中国制造 2025”国家战略的不断推进，制造业逐渐向信息化、数字化、智能化转型升级。行业数字化转型对网络连接、终端成本和功耗提出新的要求，迫切需要解决工业园区专网建设在网络连接完善、终端成本和功耗降低等方面的挑战。

在智能制造场景中，智能物流、生产现场监测和无人智能巡检是其中的关键业务。

（1）智能物流：主要包括线边物流和智能仓储。线边物流是指从生产线的上游工位到下游工位、从工位到缓冲仓、从集中仓库到线边仓，实现物料定时定点定量配送；智能仓储需通过厂区内自动导引车辆（AGV）、自动移动机器人（AMR）、叉车、机械臂和无人仓视觉系统，实现物流终端控制、商品入库存储、搬运、分拣等作业全流程自动化、智能化。此类业务场景涉及定时定点及远程控制，对网络时延及可靠性需求较高。

（2）生产现场监测：在工业园区、厂区、车间等现场，通过各类传感器、摄像头和数据监测终端采集环境、人员动作、设备运行等监测数据，回传至生产现场监测系统，对生产活动进行高精度识别、自定义报警和区域监控，实时提醒异常状态，实现对生产现场的全方位智能化监测和管理，为安全生产管理提供保障。此类业务场景涉及安全管理及实时报警，对网络时延及可靠性需求较高，由于其存在视频数据回传，对上行数据速率存在一定需求。

（3）无人智能巡检：通过巡检机器人替代巡检人员进行巡逻值守，采集现场视频、语音、图片等各项数据，自动完成检测、巡航以及记录数据、远程告警确认等工作，此类业务场景涉及远程控制及视频数据回传，对网络时延及上行数据速率存需求强烈。

根据上述分析，RedCap 终端可以应用于智能物流、生产现场监测和无人智能巡检业务，可有效满足其在时延、可靠性及数据速率方面的需求，同时进一步降低终端成本和功耗，业务适配分析如表 4-5 所示。

表 4-5 RedCap 与智能制造业务适配表

业务场景	速率要求	时延	可靠性	RedCap 匹配性
智能物流	1Mbps	50ms	99.9%	可满足需求
生产现场监测	上行2~10Mbps	50ms	99%	可满足需求
无人智能巡检	上行10~20Mbps	50ms	99%	可满足需求

4.3 小结

综上，RedCap 具备广阔的市场前景。为推动 RedCap 迅速发展，初期可聚焦于其典型业务场景，如可穿戴、视频监控、智能电力以及智能制造等有痛点需求的业务场景，通过推动 RedCap 在相关领域的规模化应用迅速降低 RedCap 终端成本。

5 展望及倡议

随着 3GPP R17 RedCap 标准的冻结，业界对 RedCap 的关注度与日俱增，本白皮书首先明确了 RedCap 在 5G 体系中的技术定位，深度解析了 RedCap 关键技术特性，并在此基础上开展 RedCap 市场前景分析及与关键应用场景的适配性研究，期望 RedCap 能够更好服务于市场需求。

在此我们发起倡议，希望在标准制定、技术攻关以及产业推动全方位携手政产学研用一道加速 RedCap 技术成熟。标准制定方面，将着力推进 3GPP R18 更低成本 RedCap 标准制定，加快 CCSA RedCap 行标制定；技术攻关方面，将着力加快网络、终端及业务关键技术研究，同时加强 RedCap 增强特性的研究；产业推进方面，将着力加速端到端产品研发和测试验证，同时加强产业应用生态构建。

借此白皮书，我们诚挚地邀请 RedCap 端到端产业链合作伙伴，参与后续中国移动组织的 RedCap 技术验证测试及业务测试，共同推进 RedCap 在标准、网络、终端和应用等方面的快速成熟，一起为千行百业“数智化”转型添砖加瓦。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作计划
4G	The 4th Generation Mobile Communication	第四代移动通信
5G	The 5th Generation Mobile Communication	第五代移动通信
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引车辆
AM	Acknowledged Mode	确认模式
AMR	Autonomous Mobile Robot	自动移动机器人
AR	Augmented Reality	增强现实
BFD	beam failure detection	波束故障检测
BWP	Bandwidth part	带宽分割
Cat 1/1bis	Category 1/1bis	终端等级 1/1bis
Cat 4	Category 4	终端等级 4
CCSA	China Communications Standards Association	中国通信标准化协会
CD-SSB	Cell-Defining Synchronization Signal Block	小区定义的同步信号块
eDRX	Extended Discontinuous Reception	扩展非连续接收
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
FD	Full Duplex	全双工
FDD	Frequency Division Duplexing	频分双工
FR	Frequency Range	频率范围
IMT	International Mobile Telecommunications	国际移动通信
LAN	Local Area Network	局域网
LCID	Logical Channel Identification	逻辑信道标识
LPWA	Low Power Wide Area	低功耗广覆盖

LTE	Long Term Evolution	长期演进
mMTC	Massive Machine Type Communication	海量机器通信
NAS	Non-Access Stratum	非接入层
NB-IoT	Narrow Band-Internet of Things	窄带物联网
NCD-SSB	Non Cell-Defining Synchronization Signal Block	非小区定义的同步信号块
NR	New Radio	新空口
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
PEI	Paging Early Indication	寻呼早期指示
PRACH	Physical Random Access Channel	物理随机接入信道
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交振幅调制
RAN	Radio Access Network	无线接入网络
RedCap	Reduced Capability	轻量能力
RLC	Radio Link Control	无线链路层控制协议
RLM	Radio Link Monitoring	无线链路监测
RRC	Radio Resource Control	无线资源控制
RRM	Radio Resource Management	无线资源管理
SDT	Small Data Transmission	小数据传输
SI	Study Item	研究项目
SN	Sequence Number	序列号码
SSB	Synchronization Signal Block	同步信号
TC	Technical Committee	技术委员会
TDD	Time Division Duplexing	时分双工
TR	Technical Report	技术报告
TSR	Techno Systems Research	行业咨询研究机构

UE	User Equipment	用户设备
UPF	User Plane Function	用户面功能
URLLC	Ultra-reliable and Low Latency Communications	超可靠低延迟通信
VoNR	Voice over New Radio	基于 NR 的语音通话
VR	Virtual Reality	虚拟现实
WG	Work Group	工作组
WI	Work Item	工作项目
WUS	Wake-Up Signal	唤醒信号
XR	Extended Reality	扩展现实