



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

# 工业 5G 终端设备发展报告



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟（AII）

2025 年 4 月



## 声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟  
联系电话：010-62305887

邮箱： [aia@caict.ac.cn](mailto:aia@caict.ac.cn)



## 编写说明

当前，我国“5G+工业互联网”发展不断提档升级，应用覆盖装备制造、石化化工、建材、纺织等多个国民经济重点行业。工业 5G 终端设备作为 5G 技术与工业感知层融合的关键，在工业互联网基础设施改造和 5G 应用创新落地中都发挥着重要作用。

目前，5G CPE、5G 工业网关、5G 工业 DTU、5G 工业摄像头、5G 工业机器人等一批产品相继涌现，产业整体供给能力不断提升，但仍存在供给不适配、供需不匹配等问题，出现“供给侧市场品类多、应用侧一网关难求”“实验室测试性能好、现场适配场景调试难”等情况。部分终端（CPE 等）的性能描述不规范，对市场采购和应用也带来一定困扰。为了摸排当前我国“5G+工业互联网”终端设备发展情况，补齐终端设备供给短板，推动“5G+工业互联网”成熟落地与规模化应用，中国信息通信研究院技术与标准研究所联合产业界企业编写了《工业 5G 终端设备发展报告》。

本报告围绕工业 5G 终端设备，深度梳理了当前的发展状况，整合提炼了可行的应用分类，分析介绍了关键的通信机制，挖掘定位了面临的痛点挑战，并提出了未来发展建议及展望。

## 起草单位:

中国信息通信研究院技术与标准研究所 陈敏、于青民、李宗祥、朱璿、管子健、黄颖、臧磊、段世惠、闫霞

机械工业仪器仪表综合技术经济研究所 郑秋平、韩丹涛、王振

中国电信股份有限公司研究院 李露文、刘兆元、陈嘉跃

中国科学院自动化研究所 吕宜生、徐延才

中国联合网络通信有限公司南京市分公司 董明、徐成杰、蒋海涛、吴月、陈硕

南京埃斯顿自动化股份有限公司 张禹、吕健、臧家炜

中国工业互联网研究院标准化技术研究所 刘翼如、历明、叶欧海

中兴通讯股份有限公司 赵孝武、李燕、辛毅

中电科普天科技股份有限公司 张振、梁晖、曾军

紫光展锐(上海)科技有限公司 潘振岗、夏彦龙、张伟强

联发博动科技(北京)有限公司 陈雪静、李娅

深圳艾灵网络有限公司 俞一帆、刘旻、丁颖哲

中国联合网络通信有限公司黑龙江省分公司 张笑泳、高鹏飞、董建

联通(广东)产业互联网有限公司 王非、林果果、陈静雯

中讯邮电咨询设计院有限公司 王飞、徐滨阳、陈礼波

北京智芯电子科技有限公司 赵旭、宋波、谢海燕

芯讯通无线科技(上海)有限公司 杨涛、原舒、李鹏程

北京启明星辰信息安全技术有限公司 王敏、王炳焱

深圳市三旺通信股份有限公司 熊伟、邓顺义、高一颠

摩莎科技(上海)有限公司 张杰、王梦倩、王峻星

广州广哈通信股份有限公司 王勇、张聚明、邱涛

# 目 录

一、发展情况 .....	1
(一) “5G+工业互联网”发展背景 .....	1
(二) 工业 5G 终端设备发展现状 .....	2
二、工业 5G 终端设备基本分类 .....	4
(一) 通用通信类工业 5G 终端设备 .....	5
(二) 行业应用类工业 5G 终端设备 .....	6
三、工业 5G 终端设备通信机制 .....	13
(一) 工业 5G 终端设备基本架构 .....	13
(二) 工业 5G 终端设备的通信能力 .....	16
(三) 工业 5G 终端设备的纳管及网络质量探针 .....	22
四、工业 5G 终端设备发展面临的痛点、建议及展望 .....	24
(一) 痛点挑战 .....	25
(二) 发展建议 .....	26
(三) 未来展望 .....	27
附件：应用侧对工业 5G 终端设备的通信需求 .....	29

## 一、发展情况

### （一）“5G+工业互联网”发展背景

我国高度重视 5G 与工业互联网的融合创新发展，先后出台多项政策进行指引。2019 年 11 月，工业和信息化部（以下简称“工信部”）出台《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》，从突破关键技术能力、提升产业支撑能力、打造“5G+工业互联网”内网建设改造标杆、形成至少 20 大典型工业应用场景等方面进行整体布局。2022 年 8 月，工信部印发《5G 全连接工厂建设指南》，提出面向制造业、采矿、港口等重点行业领域，建成 1000 个工厂，打造 100 个标杆工厂，从基础设施建设、厂区现场升级、关键环节应用、网络安全防护四方面进行指引，推动 5G 融合应用纵深发展。2023 年 11 月，工信部出台《“5G+工业互联网”融合应用先导区试点工作规则（暂行）》、《“5G+工业互联网”融合应用先导区试点建设指南》，通过加大政策支持力度、夯实基础设施建设、推进融合应用创新、培育壮大产业生态、强化公共服务能力等举措带动产业集群发展。2024 年 12 月，工信部印发《打造“5G+工业互联网”512 工程升级版实施方案》，通过升级网络设施、技术产品、融合应用、产业生态、公共服务五大方面能力，引导新阶段“5G+工业互联网”高质量发展。

在政策持续引导下，工业 5G 终端设备迎来良好发展机遇。《5G 全连接工厂建设指南》提出，对具有移动部署、灵活作业、远程操控等需求设备，积极使用带有 5G 功能的芯片、模组、传感器等进行改造。《“5G+工业互联网”融合应用先导区试点建设指南》设置“打造产业供给能力”的重点任务，提出推动 5G 与工业设备双向适配，加快相关融合产品研发、生产和应用，推进具备 5G 通信能力的融合工业设备产业化发展，探索形成从产品、解决方案到系统集成服务的全产业

链供应能力，服务产业发展。2024年4月，工信部等七部门出台的《推动工业领域设备更新实施方案》提出，推动人工智能、第五代移动通信（5G）、边缘计算等新技术在制造环节深度应用。《打造“5G+工业互联网”512工程升级版实施方案》提出，加快5G与工业装备融合，打造一批“小快轻准”工业5G终端设备，增强产品供给。在“5G+工业互联网”建设中，工业5G终端设备发挥重要作用，工业5G终端设备通过5G网络高速、低时延传输工厂现场设备与平台系统、工业设备之间等的数据和指令，实现工厂的数据采集、远程控制、视频监控、移动巡检等功能。

## （二）工业5G终端设备发展现状

**应用方面**，多个工业园区、车间现场已部署5G网络，并逐步涌现出一批面向工业场景的5G终端设备。5G工业网关、工业级5G CPE被广泛应用到工厂的5G化改造中，5G AGV/AMR、5G AR眼镜、5G机器人等通用性较强终端设备已用于现场辅助装配、厂区智能物流、无人智能巡检等多个工业场景，5G 阀岛、5G 总线 IO、5G 掘进机等用于特定场景的新品类不断出现。目前，工业现场的5G终端设备仍以视频监控和数据采集为主，由于改造需要时间、替代代价较高等原因，工业5G终端设备还未深入核心生产领域，部分应用还未在工业现场普及或规模化推广。

**标准方面**，目前尚未有工业5G终端设备的标准发布，处于起步编制阶段。TC124（全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会）正在组织制定面向工业5G终端的《工业5G终端通用技术要求及测试方法》国标；CCSA（中国通信标准化协会）开始制定面向行业的工业5G终端设备标准，主要包括《面向电力行业的5G+工业互联网终端设备技术要求和测试》、《面向矿山领域的5G+工业互联网

井下终端设备技术要求》、《面向远程控制场景的 5G 工业网关技术要求》、《5G 行业网关通用技术要求》、《面向智能物流仓储领域的终端设备 5G 通信技术要求》等。

产品方面，工业级 5G 网关、CPE 和路由器发展较快。根据 GSA 数据，全球工业级 5G CPE/路由器/网关的款式数量持续攀升，如图 1 所示，从 2020 年的 26 款增加至 2023 年的 179 款。我国 5G 工业网关/CPE 厂家积极推出多种类型产品，与国外厂家相比具有一定优势。目前，我国的华为、中兴通讯、宏电科技、厦门四信、中微普业、计讯物联等，以及国外的西门子、Peplink、Cradlepoint、Telit、Sierra wireless 等大中型企业推出了多款 5G 工业网关，部分产品具备 5G LAN、URLLC 现场级低时延、智能计算分析等能力。目前我国厂家生产的工业级 5G CPE/路由器/网关产品款式占到全球 46%，占比领先欧美等发达国家。随着“5G+工业互联网”的发展，5G AGV/AMR、头盔式 5G 工业终端、5G 机器人等用于多个行业的终端设备不断涌现，被用于多个 5G 工厂建设，存在巨大的市场潜力。

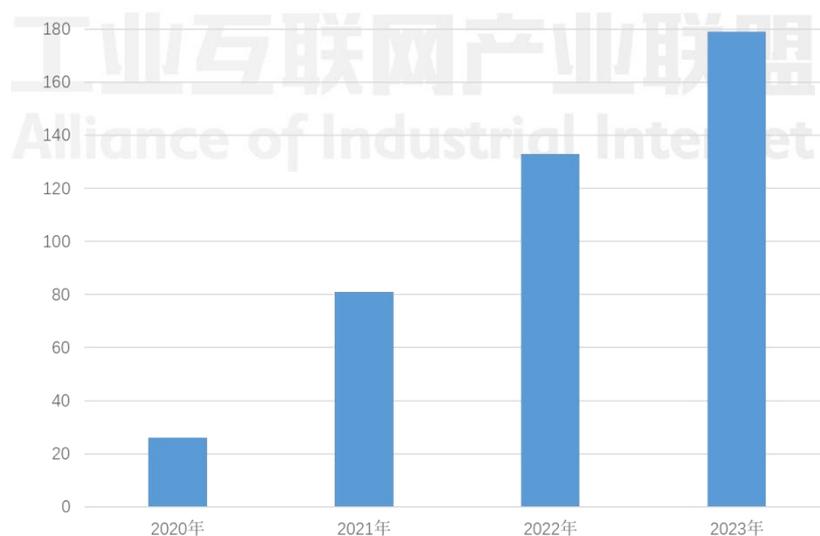


图 1 全球工业级 5G CPE/路由器/网关的款式数量

## 二、工业 5G 终端设备基本分类

工业 5G 终端设备可分为通用通信类终端设备和行业应用类终端设备两大类。其中，通用通信类终端设备主要包括下图连接方式 1、2 中的 5G CPE、路由器、DTU 和工业网关；行业应用类终端设备主要以内嵌 5G 芯片/模组、具备 5G 直接通信能力的工业终端设备为主，对应连接方式 3，也有少量对体积不敏感的工业终端设备（如 5G 无人天车）直接集成 5G 工业网关，实现快速 5G 化升级改造。

工业 5G 终端设备的主要接入方式如下图所示：



图 2 工业 5G 终端设备连接方式示意图

连接方式 1：通过 5G 数据终端（主要包括 5G DTU、5G CPE 和 5G 路由器）实现 5G 移动信号和有线信号、无线 WIFI 信号等之间的转换，进而接入现有工业设备。该种接入方式对现有工业网络改动最小，相当于在工业网关后将原有有线传输替换成 5G 无线传输方式，是目前众多示范项目普遍采用的模式。

连接方式 2：将传统工业网关替换成内置 5G 模组的 5G 工业网关，从而实现 5G 移动信号和工业现场装备协议之间的转换。该种方

式相当于用支持 5G 联网能力的工业网关替代原有的固定连接方式的工业网关，5G 技术进一步向工业现场网络渗透。

连接方式 3: PLC 等工业控制器、机械臂等工业设备内嵌 5G 芯片/模组，具备 5G 通信能力，直接接入 5G 网络。该种方式 5G 直接对接工业设备的网络需求，形成对现有工业网络形态的补充。

### **(一) 通用通信类工业 5G 终端设备**

通用通信类工业 5G 终端设备的核心功能是通过 5G 网络传输工业设备与云平台/服务器/控制器之间的数据和指令，同时满足在工业高温、高湿等恶劣环境下部署要求，在此基础上，根据不同的使用需求和产品形态，增加路由、数据采集、协议转换、边缘计算等不同功能。目前，通用通信类工业 5G 终端设备的产品形态包括工业级 5G DTU、5G CPE、5G 网关等多种类型。

5G 工业 DTU 支持 RS485、RS323、USB、Type-C 等接口，通过这些接口连接工业终端设备，利用 5G 网络搭建起工业终端设备与云服务器/数据中心之间的桥梁。

5G 工业 CPE 通常比 5G 工业 DTU 支持的接口更多，如以太网、WLAN、蓝牙、串口、USB 接口等，南向支持多种有线、无线通信技术，实现 5G 信号与多种有线、无线信号的转换，可同时连接工业现场的串口设备、以太网设备、WLAN 设备等，是目前多个工厂进行现有设备 5G 化升级的关键设备。

5G 工业网关具备数据采集存储、路由、边缘计算和行业应用协议转换等功能，支持 Modbus RTU、IEC101、IEC104、S7 COMM、Keyence 等多种工业通信协议，可对接主流云平台，提供多种工业接口，被广泛应用于传感器、仪器仪表、摄像头和各种控制器等多种工业现场设备的 5G 网络接入。

## （二）行业应用类工业 5G 终端设备

当前，工业 5G 终端设备可通过开发集成角度和工业应用角度进行分类，对于芯片模组厂商及设备集成厂商而言，行业应用终端设备可按开发集成方式分为四类；对于行业客户而言，行业应用终端设备可按工业应用角度分为五类。

### 1. 按开发方式分类

从搭载 5G 技术载体的维度出发，行业应用类终端设备可分为四大类：**第一类终端设备直接集成 5G 工业网关**，例如 5G 无人天车、部分 5G AGV/AMR 和 5G 矿卡等，该方式集成度较低、开发难度最小，适合工业领域终端设备快速改造。**第二类终端设备基于 5G 开发板研发**，例如部分新开发的 5G AGV/AMR、5G 矿卡、5G 巡检机器人等，除了 5G 模组，5G 开发板通常包含 FPGA、传感器（如光距、重力、陀螺仪等）、WIFI、蓝牙等模块，可直接引出以太网、USB、RS232 等丰富接口。该方式下，5G 开发板比 5G 工业网关体积小、功耗低，可有效缩小终端设备的尺寸，5G 开发板可以即插即用，用户只需要通过数据线即可直接连接电脑，进行固件烧录和产品开发。**第三类终端设备基于 5G 模组研发**，例如 5G 工业平板电脑、5G 工业相机、5G 无人机、5G 阀岛等。5G 模组包含主芯片、射频前端、MCU、天线、传感器、接口等模块，去除了 5G 开发板上 5G 模组之外的模块，进一步缩小了可开发的终端设备体积。这种方式提升了开发灵活性，用户可在 5G 模组基础上，根据需要选择更适配的计算、存储、接口等模块。跟第二种开发方式相比，元器件焊接、电路调试等步骤增加了开发难度和开发周期，但在应用易用性、扩展性和规模生产方面具备产业化优势。**第四类终端设备基于 5G 芯片直接研发**，例如 5G

PDA、AR/VR 眼镜等小型化终端，该方式适合对集成度、功耗要求较高的产品。

## 2. 按应用场景分类

按照在工业应用场景中发挥的具体作用，5G ACIA 发布的“Industrial 5G Devices – Architecture and Capabilities”白皮书（以下简称“5G ACIA 白皮书”）将工业 5G 终端设备分为 7 类：低时延传感器和执行器、低功耗传感器和执行器、2 维/3 维传感器、HMI（Human Machine Interaction，人机交互）和 XR、PLC 和控制器、网关、TSN 端口。其中，低时延传感器和执行器通常被集成到机器人、机械臂等设备中，通过 5G 与 PLC、控制器进行通信，对通信的实时性和可靠性要求较高。低功耗传感器和执行器主要用于环境、状态监测，一般采用电池供电，大部分时间可能处于休眠状态，对续航能力要求较高。2 维/3 维传感器主要包括摄像头、激光雷达等，采集工业现场 2 维/3 维图像、视频等数据，通过 5G 网络快速传输。HMI 和 XR 终端设备可集成屏幕、扬声器、摄像头和麦克风等模块，通过 5G 网络实现人员与工业现场装置、产线的实时交互。PLC 和控制器通常通过 5G 网络接入状态监控、多 PLC 或控制器联动、闭环控制等应用，当用于控制场景时，对 5G 网络的通信确定性要求较高。网关实现工业以太网、现场总线等工业网络与 5G 网络之间的数据传输，可支持不同协议层之间的数据转换。TSN 端口主要指工业 5G 终端设备可作为 5GS 网桥的端口，与网络侧协同实现 5G 网络与 TSN 网络融合，通常被用于机器人协同作业等场景，对时间同步要求较高。

结合典型工业应用场景，本文将行业应用类 5G 终端设备分为静态感知、移动感知、人机交互、辅助控制和特殊作业五类，并与 5G ACIA 白皮书的分类进行了对应<sup>1</sup>，列举了每一类的代表性工业 5G 终端设备。

### (1) 静态感知类

此类终端设备对应“低功耗传感器和执行器”类，主要用于监测温度、湿度、气体浓度等环境参数，以及电流、水流流量、压力等状态参数，传输数据量较小，但通常大量部署，主要利用 5G 大连接特性。代表性产品包括 5G 环境监测传感器、5G 智能电表、5G 电力集中器等，例如，5G 气体传感器可用于化工厂的有毒有害气体浓度监测，一旦出现浓度过高的情况即可快速报警。5G 智能电表可用于监测工厂用电量，助力更好地采集和分析生产制造的能耗情况。5G 电力集中器能够自动抄收并存储各种智能仪表、采集终端或采集模块以及各类载波通信终端的电量数据，同时利用 5G 网络与主站进行数据交换。



图 3 静态感知类工业 5G 终端设备

### (2) 移动感知类

此类终端设备对应“低时延传感器和执行器”和“2 维/3 维传感器”这两类，主要用于工业仪器设备的加速度、角速度等运行参数，以及

<sup>1</sup> 由于 TSN 端口产品目前主要以支持 TSN 的 5G 工业网关为主，网关已在上一节的通用通信类进行描述，因此本节对应时不包括网关和 TSN 端口这两类。

工业生产设备和生产过程产生的图像和视频等数据的实时采集，通过 5G 网络快速传输，这类工业 5G 终端设备还可集成具备 AI 能力的模块进行数据分析，用于产品质量检测、厂区高精度定位等场景。目前代表性产品包括：5G 工业相机实现高帧率图像采集，利用 5G 网络高速传输高清图像，适用于工业视觉检测、品质控制等场景。5G 摄像头实现高清图像和视频采集，并通过 5G 网络实时传输，已广泛用于高清视频监控、远程控制等场景。5G 巡检机器人可集成多种传感器，对工厂高清视频、红外图像，以及温度、气体等环境数据进行采集和传输，实现对工业设备外观、运行状态及工作环境的统一监控。5G AGV/AMR 可集成激光雷达、摄像头等传感器，结合 5G 进行融合定位，实现非预定路径导航，同时 5G 网络支持 AGV/AMR 的视频数据、调度位置、控制信息等快速传输。5G 无人机可集成变焦、红外和广角等不同摄像头，通过 5G 网络将采集的高清视频实时回传到控制中心，实现电力巡检、港口巡检等功能。5G 矿卡可集成毫米波雷达、超声波雷达、摄像头等传感器，利用 5G 网络进行远程操控，可结合北斗等技术开展融合定位导航，实现矿卡的“装、运、卸”自动化生产作业。



图 4 移动感知类工业 5G 终端设备

### (3) 人机交互类

此类终端设备对应“HMI 和 XR”类，主要面向操作人员与工厂设施、生产设备等之间的交互，通过 5G 网络高速连接人员、工业现场设备和云端平台系统，实现信息实时交互。代表性产品包括：适用于生产现场人员佩戴的头盔式 5G 工业终端，结合 5G、图像采集等技术，实现高清视频采集、定位、语音通讯等功能，可用于人员定位、远程指导设备故障或环境异常情况排查等场景。5G 工业 AR 眼镜可提供 4K 高清分辨率，支持语音、触控交互方式，通过 5G 传输拍摄的高清图像和视频，适用于远程指导、人员巡检等场景。5G 工业平板电脑通过 5G 网络实现高速数据传输和远程设备操作，为工程师、技术人员提供便捷的设备监控、维护和管理功能。5G 数字工牌利用 5G 定位能力，结合北斗等技术实现室内外融合定位，提供厂区人员定位和管理、应急救援等功能。



5G工业平板电脑

头盔式5G工业终端

5G工业AR眼镜

5G数字工牌

图 5 人机交互类工业 5G 终端设备

#### (4) 辅助控制类

此类终端设备对应“PLC 和控制器”类，主要利用 5G 高可靠、低时延、确定性通信的特性，将本地工业网络、IO 接口连接的设备与云平台和应用中心紧密相连。代表性产品包括：5G 工业总线阀岛支持 Profinet 等工业以太网总线协议，通过 5G 网络将“下挂”的有线传感器、执行器等快速接入 5G PLC，可用于工装台、转台、抓手等气动执行场景。5G PLC 控制器利用 5G 低时延、高速率能力，对工业相机、远程 IO 等工业现场设备进行闭环控制，实现逻辑控制、机器视觉等功能。5G 无人天车依托 5G 网络连接天车 PLC 和地面 PLC，5G 为指令下发和指令执行提供确定性通信，实现远程指令控制，全程支撑 5G 无人天车将成品从卸卷吊运到指定库位，并自动进行指定位置的装车操作。



5G工业总线阀岛



5G无人天车

图 6 辅助控制类工业 5G 终端设备

#### (5) 特殊作业类

在工业领域中，石化化工、采矿等行业涉及环境危险性较高的场景，如用于这些危化应用场景，上述通用通信类和行业应用类 5G 终端设备需要进行防爆、防腐蚀等专项强化。以煤矿行业为例，用于此行业的工业 5G 终端设备需通过煤矿安全认证（MA）。目前已有少量具备本安防爆性能的工业 5G 终端设备，例如，通过了煤安防爆认证的矿用本安 5G 摄像机，可将井下中央变电所、采煤/掘进工作面、上下山绞车房等井下重点区域的高清图像实时快速传输到监测平台。通过了同类认证的矿用本安 5G 防爆手机，能够适应煤矿、井下等恶劣危险环境，为危化场景的工作人员提供高速移动网络、紧急通话等服务。



矿用本安5G摄像机      矿用本安5G防爆手机

图 7 特殊作业类工业 5G 终端设备

### 三、工业 5G 终端设备通信机制

#### (一) 工业 5G 终端设备基本架构

##### (1) 5G 芯片

按使用场景，5G 芯片主要分为面向行业应用的 5G 芯片和面向手机等大众消费领域的 5G 芯片两类。面向行业的 5G 芯片主要包括 5G 芯片通信模块，具备更丰富的接口、更复杂的封装设计以应对复杂的行业环境，以及 5G LAN、5G 高精度授时等更多的 5G 行业特性功能，是工业领域主要使用的芯片类型。面向手机等大众消费领域的 5G 芯片，除了通信模块外，通常还集成了 CPU、GPU、ISP（Image Signal Processor，图像信号处理器）等数据和图像信号处理模块，以 SOC 形式为主。5G 芯片通信模块一般包括主芯片和射频前端两部分，其中主芯片可分为基带部分和射频部分。

主芯片主要负责信号的采样、编解码和调制解调。其中基带部分负责物理层信道编码和解码以及调制解调、物理层控制、协议栈实现等。针对不同的无线信道和速率要求，会采用不同的基带调制方式，形成不同调制复杂度的基带信号。由于基带部分的数据处理要求高，其往往由具有特定功能的不同处理器和加速器组成，这些处理器和加速器可提供强大的处理能力。射频部分主要负责基带信号和射频信号之间的上下行变频、信号的 ADC/DAC 采样。即在上行方向，射频部分从基带部分接收基带调制信号，完成信号的 DAC 数模转换，并将基带调制信号的频谱搬移到相应的载波频率；在下行方向，射频部分从射频前端接收射频信号，对其进行下变频，完成信号的 ADC 模数转换，并传送至基带部分进行处理。

射频前端对射频信号进行过滤、放大和处理。在上行方向，从主芯片接收射频信号，对信号放大后，选择天线并将信号转化为空间电

磁波进行传输。在下行方向，对从天线接收到的低电平射频信号进行噪声过滤和有用信号放大后，传送给主芯片处理。射频前端主要由射频开关、功率放大器、低噪声滤波器、双工器等组成。其中，功率放大器负责发射通道的射频信号放大；滤波器负责发射及接收信号的滤波；低噪声放大器负责接收通道中的小信号放大；射频开关负责接收、发射通道之间的切换；双工器负责准双工切换、接收/发送通道的射频信号滤波。

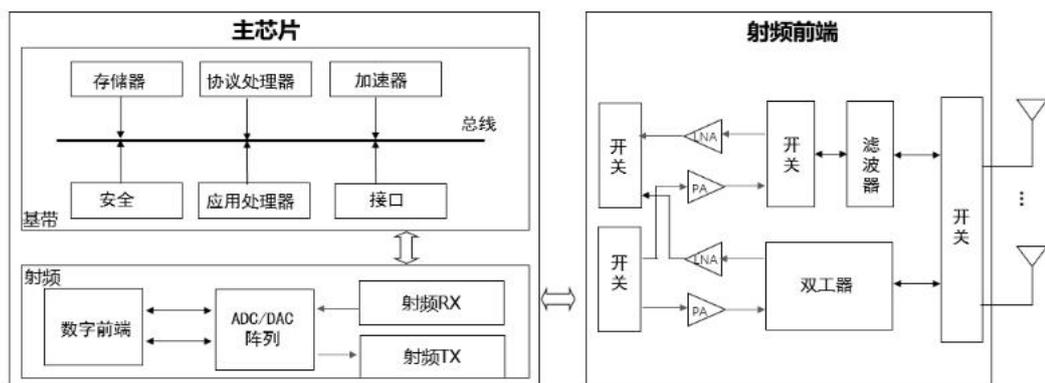


图 8 5G 芯片通信模块示意图

## (2) 5G 模组

由于生产投入大，考虑规模经济性，芯片一般为通用化产品，不会涉及太多定制化内容。终端设备如直接采用芯片实现通信功能，对终端设备企业的研发能力和资金投入有一定要求。为简化芯片和终端设备融合的复杂度，降低研发门槛，模组应运而生，成为衔接上游芯片和下游终端设备的关键节点。

5G 模组将 5G 主芯片、射频前端、存储芯片、电容电阻等各类元器件集成到一块电路板上，并提供标准接口。终端设备通过 5G 模组快速实现 5G 通信功能，降低开发和落地门槛。

5G 模组主要包括主芯片和射频前端部分，根据其用途和功能的不同，5G 模组还可包含 MCU/AP 单元、SIM/USIM 单元、定位单元、传感器单元以及天线单元等模块。

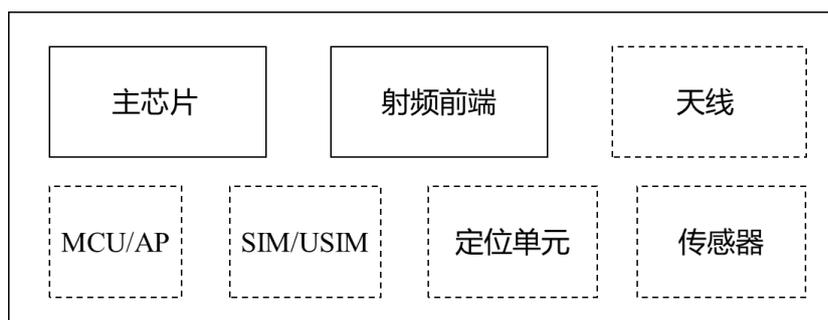


图 9 5G 模组示意图

### (3) 工业 5G 终端设备

基于 5G 芯片研发的工业 5G 终端设备主要由行业 5G 芯片和配套模块组成，基于 5G 模组和 5G 开发板研发的工业 5G 终端设备主要由 5G 模组和配套模块组成。

配套模块主要包括接口、电源、整机外壳等必备模块，以及协议转换、摄像头、应用程序、存算等其他业务相关模块。必备模块中，根据需要使用，接口模块对外可提供 LAN/WAN、总线协议接口、USB 接口等多种类型；电源可支持电池供电、POE 供电和交流供电；整机外壳根据工业 5G 终端设备的使用环境，可进行本安防爆、防腐蚀等加固。业务相关模块中，协议转换包含 5G 网络与 WIFI、以太网等其他网络协议的转换，也可包含与工业协议适配功能，负责 5G 网络数据与工业协议数据的转换。存算模块可提供本地存储和计算能力，支持边缘计算技术开展。

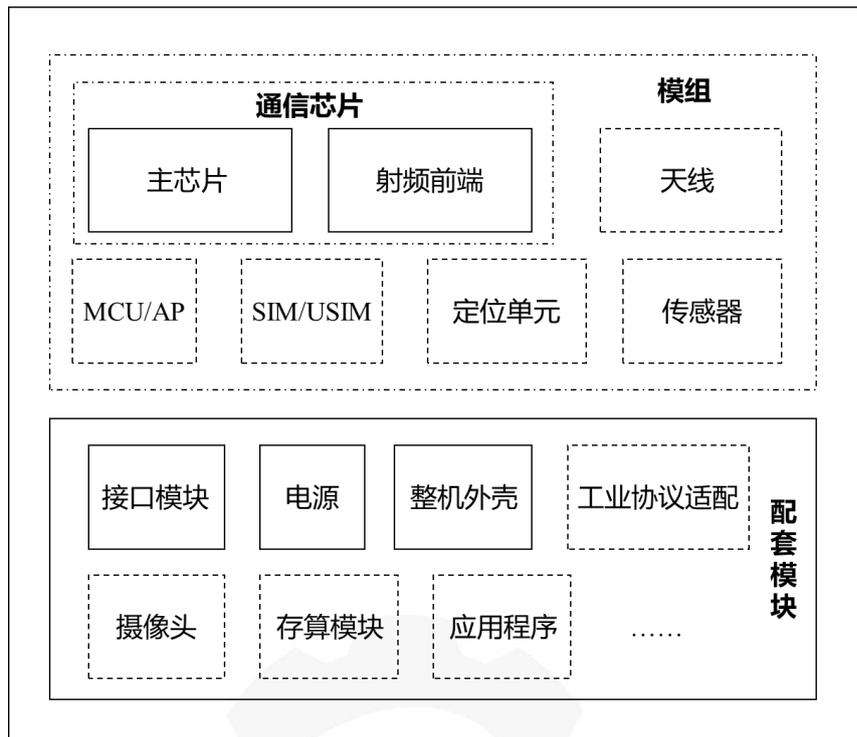


图 10 工业 5G 终端设备示意图

## (二) 工业 5G 终端设备的通信能力

### 1. 基本通信能力

工业 5G 终端设备的基本通信能力主要包括如下：

支持 5G 网络接入能力，工作模式方面，可仅支持 5G SA 模式，也可支持 5G、4G 双模通信；工作频段方面，可支持多个 5G NR 和 4G 频段；切片方面，可同时支持多个网络切片，满足行业用户应用隔离的要求。此外，还可支持多天线 MIMO、载波聚合 CA 等功能。

支持不同数据业务通信，面向不同行业和业务场景，工业 5G 终端设备传输的数据主要包括数值、指令、图像、语音、视频等多种类型，传输速率需求从十几 kbit/s 到几百 Mbit/s 乃至上 Gbit/s 不等。速率方面，工业 5G 终端设备可采用 5G NB-IoT、Redcap、eMBB 等不同 5G 技术，通过配置不同的载波频段、帧结构、MIMO、带宽和调试方式等，以提供不同的速率。对于部分工业场景的人员语音业务需

求，工业 5G 终端设备可支持 VoNR、VOLTE 语音通话以及短信收发功能。

## 2. 增强通信能力

在工业领域存在大量的二层以太网协议，对工业 5G 终端设备提出了二层（基于 MAC 地址进行数据转发）通信的要求，工业远程实时控制、运动控制等场景提出了低时延、确定通信的要求，移动巡检、厂区物流等场景提出了精确定位要求，同时为保障工厂网络安全，对接入终端设备提出了加强鉴权的要求。工业 5G 终端设备可采用 5G LAN、低时延增强、双发选收、TSN（Time-Sensitive Network，时间敏感网络）、高精度定位、二次认证及鉴权等技术，以满足上述要求。

### （1）二层通信

在传统的工业网络中，存在大量的 PLC 生产设备需要通过 MAC 地址进行二层通信，在 5G LAN 出现之前，需要增加 AR 路由器配置虚拟二层网络，实现工业终端设备的 5G 接入，这种方式组网相对复杂、改造成本较大。引入 5G LAN 之后，可直接进行二层通信，无需增加 AR 路由器来新建隧道，简化了组网复杂度，降低了改造成本。具体来看，5G LAN 用户面数据处理方式有三种：基于 N6 接口的涉及 DN 网络依靠交换机进行用户数据交互、基于 N19 接口的涉及两个 PSA 交换用户数据、本地使用一个 PSA 交换用户数据。基于 N6 方式实现时，需要配置工业企业网络交换机，通过配置到 UPF 的二层链路实现两个工业 5G 终端设备的 5G LAN 通信交换。基于 N19 方式实现时，需要配置一个与工业网络 VLAN 划分对应的 5G VN Group 和两个 UPF 间的共享用户面隧道，通过 PSA 间实现两个工业 5G 终端设备的 5G LAN 通信交换；基于本地交换实现时，需要配置一个与工业网络 VLAN 划分对应的 5G VN Group，但要求两个工业 5G 终端

设备在同一个 UPF 下实现两个工业终端设备的 5G LAN 通信交换。  
以上无论那种方式均需要 5G 核心网配置以太类型会话 N6 接口，使用 MAC 地址作为以太会话报文的转发依据。

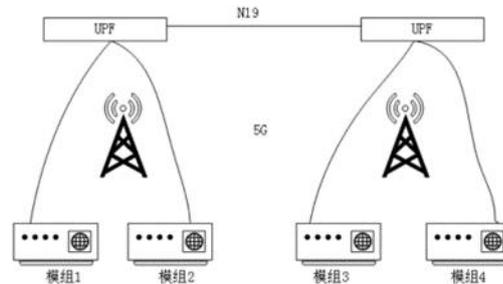


图 11 5G LAN 实现方式图示

## (2) 确定性通信

在工业应用场景中，为保证终端设备用户业务的 SLA，需要提供确定性的保障能力，比如时延不能超过  $20\text{ms}@99.99\%$ 。综合采用低时延、双发选收和 TSN 等技术，可有效提升通信的确定性。

### a. 低时延通信

为了满足工业现场实时控制、运动控制等场景毫秒级时延的要求，需要 5G 无线接入侧、承载网和核心网侧共同配合。对于无线接入侧的工业 5G 终端设备，可采用非时隙调度、上行免调度、下行资源抢占、上行资源优先与复用等技术，有效降低时延。非时隙调度采用基于 OFDM 符号的 mini-slot 调度粒度，而且可以灵活配置调度起始位置，降低业务传输时间。上行免调度即上行配置授权调度，终端设备接收并激活基站发送的首次上行授权配置后，在未收到去激活的情况下，可利用第一次上行授权指定的资源进行多次上行传输，减少信令交互的时延。下行资源抢占是指当低优先级和高优先级业务并发时，为满足高优先级业务的时延需求，5G 网络可将分配给低优先级业务调度的空口资源复用于高优先级业务，实现低时延业务“随到随传”。上行资源优先与复用主要通过资源冲突时，取消低优先级业务的上行

发送、增强高优先级业务的上行功率控制两种方式，来降低高优先级业务的时延。

#### b. 双发选收

在工业场景下，如 PLC 等控制业务对网络传输的可靠性要求较高，可以采用双发选收方式提升端到端业务的可靠性。双发选收是一种增强无线链路的方法，通过新增路由对数据流进行复制，并在空口传输冗余，接收端通过冗余流恢复出原始流中丢失信息，增强了链路韧性。

双发选收主要包含单终端单模组、单终端双模组、双终端单模组三种实现方式。单终端单模组的方式在发送端进行数据复制，通过一个承载通路先后发送原数据和复制数据，接收端进行数据去重和重组。单终端双模组和双终端单模组这两种方式通过 5G 双频网络传输数据，以使业务数据能沿不同路径到达进行冗余传输。图 12 为单终端双模组方式的示意图，通过双发选收冗余机制，支持单终端双模组的 FRER (Frame Replication and Elimination for Reliability, 帧复制消除) 方式，在两个独立的用户面承载通路上进行数据冗余发送，进一步减少因传输网络、核心网处理等环节的数据丢包导致的业务受损，提升端到端数据传输的可靠性。双终端单模组适用于已有 PRP (Parallel Redundancy Protocol, 并行冗余协议) /TSN 交换机的场景，此交换机进行发射端的数据复制，通过两个单模组的工业网关在两条路径上进行冗余发送，接收端的另一台 PRP/TSN 交换机进行数据去重和重组。

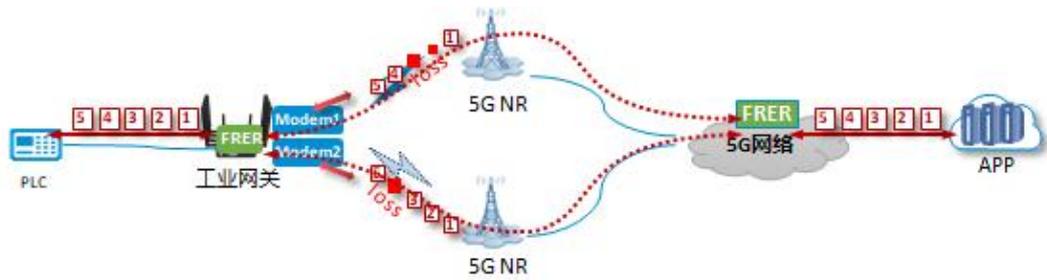


图 12 5G 双发选收示意图

### c. TSN

在工业领域中存在大量对时间敏感的应用，例如实时协同控制、运动控制等，需要确定性传输以支持工业设备和应用正常工作。当工业领域应用 5G 网络时，需要基于 5G 网络承载时间敏感的业务流，并保持业务流的时间同步及业务流的确定性传输。为此 5G 网络和终端设备需要支持 TSN 相关的一些特性，包括时间同步协议 IEEE 802.1AS、基于时间感知的整形 IEEE802.1Qci、基于时间门控调度的协议 IEEE 802.1Qbv，以及双发选收功能 IEEE 802.1CB 等。其中，基于时间感知的业务流量编排，即基于时间感知的流量监管 IEEE802.1Qci 和基于时间门控的调度编排 IEEE 802.1Qbv，提供了工业领域中 TSN 中常用的业务 QoS 保障机制，以实现 5G 网络对于工业领域实时业务流的确定性传输。



图 13 流量过滤和门控示意图

对于需要通过 5G 工业网关流入 5G 网络的上行业务流报文，5G 工业网关需要提供业务流过滤功能，让需要保障的业务流优先使用 5G 网络传送，一般业务流量低优先级传送，从而为需要保障的高优先级业务流提供网络确定性。同时考虑到工业互联网业务中业务流可

能具有一定的周期性，对业务流使用门控机制，根据系统感知到的业务流特征，对通过 5G 工业网关流入 5G 网络的业务流可进行周期性的门控机制，使得不同业务流按照不同的流门控进行网络传输。门控机制中门的状态包括打开和关闭，门打开时允许业务包通过，门关闭时则不允许通过。根据业务流特征，基于 IEEE802.1Qbv，通过门控制列表（GCL）周期性地控制门的开/关，根据每个节点及队列的优先级进行定义，周期性数据中需要实时传输的部分被安排优先传输。除了周期性数据，在网络中通常会有一些重要紧急的非周期性数据，这些重要紧急的突发事件应具有更高的优先级，会被立即安排调度。

3GPP R16 在终端侧增加 DS-TT（Device Side TSN Translator，终端侧 TSN 转换器）、UPF 侧增加 NW-TT（Network Side TSN Translator，网络侧 TSN 转换器），这两个转换器搭建起 5G 网络与 TSN 网络的桥梁，结合精准授时、流量调度等技术，初步实现工业业务有界时延、低抖动、高可靠性的确定性传输。R17 增加了 TSCTSF（Time Sensitive Communication and Time Synchronization Function，时间敏感通信时间同步功能）网元，并引入生存时间，5G 终端设备之间的 TSN 确定性转发不用依赖外部 TSN 网络，建立了 5G 系统独立支持确定性网络机制。

### （3）高精度定位

工业领域存在大量的移动场景，例如仓储物流、智能巡检、矿井紧急救援等，这些场景对定位精度的需求从米级到亚米级乃至厘米级不等。3GPP R16 引入了 DL-TDOA（Downlink Time Difference of Arrival，下行到达时间差）、UL-TDOA（Uplink Time Difference of Arrival，上行到达时间差）、DL-AOD（Downlink Angle of Departure，

下行出射角)、UL-AOA (Uplink Angle of Arrival, 上行到达角)、multi-RTT (Multi-Round Trip Time, 多轮往返时间)、E-CID (Enhanced cell-ID, 增强小区 ID) 等定位技术, 通过工业 5G 终端设备与基站、定位平台等配合, 实现 5G 米级定位。当前阶段, 为实现更高精度定位, 可采用 5G 与 UWB、蓝牙、WIFI 等技术进行融合定位, 快速提供亚米级乃至厘米级的定位精度。面向工业物联网应用, R17 提出定位增强要求, 水平精度为 0.2 m@90%, 垂直精度为 1 m@90%, 时延为 100 ms, 为达成该目标, R17 提出减少终端与基站收发时延、支持终端在非激活态定位测试并上报结果、支持辅助信息发送等技术来提升定位精度、降低定位时延。

#### (4) 二次认证及鉴权

在工业生产领域, 5G 技术在赋能产业数字化、行业智能化转型方面发挥日益重要的作用。然而, 5G 也打破了传统工业网络的封闭性, 将大量的终端设备连入网络中, 增加了受攻击的风险, 因此需要加强对终端侧的安全管控。工业 5G 终端设备在 PDU 会话建立时, 可增加到工业企业网络的 AAA Server 中进行二次认证和授权的流程。DN-AAA server 可能属于 5G 核心网, 也可能属于企业数据网络。在 PDU 会话建立时, 5G 工业网关需要与 SMF 配合, 提供工业企业网络对应的鉴权/授权相关信息, SMF 通过 UPF 把工业 5G 终端设备的鉴权/授权信息传递给工业企业网络, 实现工业 5G 终端设备到工业企业网络的协同。

#### (三) 工业 5G 终端设备的纳管及网络质量探针

## 1. 工业 5G 终端设备纳管

工业 5G 终端设备纳管是指对 5G CPE、5G 网关、5G AGV/AMR 等接入 5G 网络的工业 5G 终端设备进行配置、状态和性能监控，以及故障诊断和软件版本远程升级。配置方面，用户可根据实际需要创建被纳管终端设备参数模板，并将模板中的参数下发给被纳管终端设备，通常配置数据可在线修改、即时下发激活，同时用户可查看和批量修改被纳管终端设备的配置参数，实现端到端连接业务的极简运维。状态和性能观测方面，系统周期性采集被纳管的终端设备的流量、速率等指标信息和告警情况，便于用户快速定位常见故障并恢复。故障诊断方面，系统对被纳管终端设备进行远程诊断，定位发生故障的终端设备，快速恢复，提高运维效率。软件版本远程升级方面，工业 5G 终端设备的软件版本可进行远程、批量升级，提高运维效率，被纳管终端设备支持通过软件方式进行重启和复位操作，实现故障恢复。

## 2. 端侧 5G 网络质量探针

随着工业各行业对 5G 专网通信的可靠性、稳定性、灵活性、可视化等方面的要求不断增加，为高效满足 5G 专网质量保障需求，可采用 5G 网络质量探针终端系统对 5G 网络运行关键指标、业务质量等进行监测<sup>2</sup>。此系统主要由端侧质量探针、探针检测分析平台和 5G 网络构成。质量探针即 5G 网络质量数据采集和检测设备单元，可分为软探针和硬探针。软探针通常为应用软件，可集成到网关、路由器等终端设备或模组中，实现网络和业务轻量化监测，一般用于低强度、小规模的业务测试。硬探针为专用探针设备，其处理资源、网络带宽相对独立，更适用于复杂网络业务质量探测。

---

<sup>2</sup> 相关探针技术可参见《5G AIA 009-2023 5G 网络质量终端探针技术要求》，此处仅简述。

## 四、工业 5G 终端设备发展面临的痛点、建议及展望

### （一）痛点挑战

当前，工业 5G 终端设备发展主要面临如下痛点及挑战：

一是工业领域应用场景众多，存在大量恶劣环境。不同行业、不同应用场景对 5G 的网络速率、传输时延、定位精度等性能需求各异，工业 5G 终端设备的需求呈现形碎片化。不同于消费类应用，工业场景存在易燃易爆、粉尘、振动、噪声等复杂多变环境，同时工厂内有大量电磁噪声源，信道特征复杂，电磁干扰对工业现场的通信质量影响较大，对工业 5G 终端设备的环境适应性、可靠性和稳定性等提出了更高要求。

二是工业 5G 终端设备的研发成本居高不下。当前，5G 芯片模组的价格仍偏高，5G 模组的价格虽已下降到低于 400 元，但仍高于 4G 模组，限制了工业 5G 终端设备研发成本的降低。随着 5G Redcap 商用加速，5G Redcap 模组价格将进一步降至 200 元左右，但目前 5G Redcap 模组处于商用初期，网络基站侧也还需进行配套升级，5G Redcap 技术在工业终端设备中的规模商用仍需时间培育。

三是 5G 与工业协议适配关键技术仍待突破。不同于移动互联网的开放统一，工业领域已形成多种工业协议长期共存的局面。不同的工业协议具有不同的报文发送机制和可靠性保障机制，与 5G 网络当前的传输机制无法完全匹配，各种工业协议相对封闭，尚未针对 5G 技术进行开放适配，同时 5G 标准体系对工业协议和核心控制逻辑的支持仍待加强。目前工业 5G 终端设备主要集中在生产外围等辅助环节，5G 与工业控制核心设备的融合有待加深。

### （二）发展建议

为进一步促进工业 5G 终端设备发展，提出如下建议：

一是加强供需对接，分类推进工业 5G 终端设备研发。加快探索“5G+工业互联网”典型应用场景，按行业推进工业 5G 终端设备研发应用，从重点行业、典型场景进行突破，分批次、分阶段推进工业 5G 终端设备应用，加快集成 5G 芯片模组的行业定制化终端设备研发。针对工业现场环境，加强工业 5G 终端设备的防电磁干扰能力，面向特定使用场景，加强特定行业 5G 终端设备的本安防爆、防盐雾等环境适应能力。

二是加快 5G Redcap 技术在工业 5G 终端设备中应用，带动研发成本降低。面向工业领域的中高速应用场景，加快探索 5G Redcap 与工业传感器、可穿戴设备、视频监控设备等工业终端设备的融合，面向不同应用场景需求，加快采用 5G Redcap 结合网络切片、5G LAN、高精度定位等 5G 原生特性的工业终端设备研发，丰富产品形态和供给。加速 5G Redcap 工业终端的商用化进程，促进规模化使用，“以用促降”带动产品研发成本进一步下降。

三是加快关键技术攻关，加强 5G 与工业终端设备融合。鼓励行业企业、终端设备厂家、电信运营商、高校及科研机构等相关各方加强协同攻关，推进 5G 与工业协议 XSO（Cross-layer Service Orchestration，跨层调度协同）、5G 与工业组态软件协作适配、5G 与 DCS（Distributed Control System，分布式控制系统）融合等关键技术与探索，加强 5G 与工业协议、工业业务逻辑的适配，深化 5G 与工业控制、生产设备等终端设备的融合。

### （三）未来展望

工业 5G 终端设备的品类和形态将更加多样。随着 5G-A 的发展，未来 5G NR、5G Redcap、NB-IoT、PIoT 将覆盖工业高中低速、超低时延、海量连接等多种应用场景，用于工业领域的 5G 芯片将分类发

展，大带宽、轻量化、无源物联等不同类型的 5G 芯片将被用于不同应用场景，催生更多新型的工业 5G 终端设备。高端化方面，5G 在大上行宽带通信和确定性通信的技术突破将有效支撑高清监控、运动控制等相关场景的终端设备产品研发。精简化方面，5G Redcap 模组商用初期价格将在 200 元左右，预计未来三年将降至 100 元以内，将有效降低工业 5G 终端设备的研发成本。目前已有 5G Redcap 工业网关、电力终端、摄像头、数字工牌等数十款终端问世，后续产品种类将持续丰富。

**5G 与工业终端设备的融合深度将持续深化。**随着 5G XSO、业网协同、确定性网络等技术不断发展，以及 5G 芯片和模组价格下降，集成 5G 芯片/模组的工业终端设备将日益增多，5G 与工业的融合将从外围辅助终端向核心生产控制环节过渡，工业协议传输将由传统的有线承载方式逐步替换为 5G 无线承载，5G 将与 PLC、DCS 等核心控制系统加强双向融合，工业终端设备和系统的作业方式将发生重大变革。

**工业 5G 终端设备将更加智能，并逐渐向云化发展。**随着工业大模型、通感一体、工业算力等技术发展，工业 5G 终端设备的智能化程度将不断提升。同时 5G 与人工智能、云计算、边缘计算等多种技术融合，加速“端-边-云”智能化协同发展，将带动工业 5G 终端设备的云化变革，大量数据的存储、分析、处理等需要算力的功能将上移至云端，对实时、安全性要求高的功能保留在端侧，实现终端设备的智能云化。

## 附件：应用侧对工业 5G 终端设备的通信需求

“5G+工业互联网”涉及矿山、电力、港口、钢铁、石油石化等多个行业，本报告选取目前重点行业的典型应用场景，梳理各应用场景用到的典型工业终端设备，以及相应的 5G 通信需求<sup>3</sup>。以下各应用场景列出的工业终端设备既涵盖自身具备 5G“原生”能力的工业终端设备，也包括不具备 5G 接入能力、需要通过 5G CPE、5G 工业网关等接入的工业终端设备。目前，大量的工业终端设备尚不具备 5G 接入能力，未来随着 5G 芯片模组价格下降、Redcap 商用加速等发展，具备“原生”5G 能力的工业终端设备将不断丰富。

### （一）矿山行业

矿山行业分为露天开采和井下开采两大类，主要包括露天开采设备远程操控、地上无人矿卡作业、井下无人化采掘作业、井下 AI 高清检测业务和井下设备信息采集五个典型应用场景，每个应用场景用到的典型工业终端设备及 5G 通信需求梳理如下：

典型场景	典型业务	典型终端设备类型	速率需求	时延需求	可靠性需求
露天开采设备远程操控场景	露天开采监控	5G AI 监控摄像头	上行： ≥4Mbps/路，1080p； 推荐≥6Mbps/路， 2K； 下行： ≥100kbps/台	传输时延 ≤100ms	≥99.9%
	控制类设备远程操控	5G AI 监控摄像头、电机、水泵、皮带等	上行： ≥2Mbps/路，720p； 下行： ≥100kbps/台	端到端时延（控制级命令）≤30ms； 其他业务 ≤100ms	≥99.999%

<sup>3</sup> 矿山、电力、港口、钢铁、石油化工行业的典型应用场景和通信需求来自 CCSA（中国通信标准化协会）的《面向 XXXX（行业名称）领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求》行业标准。

	车辆类设备远程作业操控	5G AI 监控摄像头、电铲、挖机、自卸车等矿卡外车辆	上行： ≥6Mbps/路，2K； 下行： ≥100kbps/台	端到端时延（控制级命令）≤30ms； 其他≤100ms	≥99.999%
地上无人矿卡作业场景	无人矿卡自动驾驶	5G AI 监控摄像头、5G 无人矿卡	上行： ≥6Mbps/路，2K； 下行： ≥100kbps/台	传输时延 ≤10ms	≥99.999%
	全方位驾驶监控	5G AI 监控摄像头	上行： ≥2Mbps/路,720p, ≥4Mbps/路,1080p； 下行： ≥100kbps/台	端到端时延 ≤30ms	≥99.9%
地下无人化采掘作业场景	智能化采掘作业	5G 监控摄像头、5G 掘进机、采煤机、5G 智能信息矿灯	上行： ≥20Mbps/路，应能支持至少 50 路并发 下行： ≥4Mbps/路	端到端时延（设备控制类）≤20ms， 端到端时延（视频监控类）≤100ms	≥99.9%
井下 AI 高清视频监控监测（推荐 2K）	AI 高清视频监控监测	5G AI 监控摄像头	上行：≥4Mbps/路，1080p， 6Mbps/路，2K； 下行：≥200Mbps	传输时延 ≤100ms	≥99.9%
井下设备采集业务场景	井下设备采集	5G 监控摄像头、5G 掘进机、采煤机、5G 巡检机器人	上行： ≥50kbps/路，应支持至少 100 路并发； 下行： ≥2Mbps/路，应支持至少 50 路并发	端到端时延 ≤100ms；	≥99.9%

## （二）电力行业

电力行业分为发电、输电、变电、配电、用电五大环节，主要包括发电动态检测、智能发电控制、电厂智能巡检、输电线路在线监测、输电线路巡检、电力隧道巡检、变电站综合监测、变电站巡检、智能分布式配电自动化、配电自动化三遥、同步相量测量、精准负荷控制、智能配电房、智慧用能等十四个典型应用场景，每个应用场景用到典型工业终端设备及 5G 通信需求梳理如下：

典型场景	典型业务	典型终端设备类型	速率需求	时延需求	可靠性需求
发电动态检测	发电设备状态、环境等数据采集	发电机、变压器、涡轮机、锅炉、电气开关、温湿度传感器	上行: $\geq 100\text{kbps}$	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	发电场所的人员、设备和环境视频安监	5G 摄像头、发电机、变压器、涡轮机、锅炉、电气开关	上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\cong 6\text{Mbps/路}$ , 2K; 下行: $\geq 100\text{kbps}$	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99\%$
智能发电控制	采集类 (发电设备状态数据, 环境数据, 电量负荷等)	发电机、变压器、涡轮机、锅炉、电气开关、温湿度传感器	上行: $\geq 100\text{kbps}$	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	交互、控制类(预测维护, 远程维护, AR/VR 现场维护等)	发电机、变压器、5G AR/VR 眼镜	远程维护: 上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\geq 16\text{Mbps/路}$ , 4K; 下行: $\cong 1\text{Mbps/路}$ AR/VR 现场维护: 上行: $\geq 20\text{Mbps}$ ; 下行: $\geq 50\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 30\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
电厂智能巡检	采集类 (发电设备状态、环境数据等信息采集)	发电机、变压器、涡轮机、锅炉、电气开关、温湿度传感器	上行: $\geq 100\text{kbps}$	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	控制类(巡检设备的巡检规划、远程控制等)	5G 电力巡检机器人、5G 无人机等巡检设备	上行: $\geq 2\text{Mbps}$ ; 下行: $\geq 2\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 30\text{ms}$	$\geq 99\%$
	交互类(视频/图像传输、位置/巡检日志上传)	5G 电力巡检机器人、5G 无人机等巡检设备	上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\cong 16\text{Mbps/路}$ , 4K; 下行: $\geq 1\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99\%$
输电线路	采集类	用于视频监控	上行: $\geq 2\text{Mbps}$	传输时延	$\geq 99.9\%$

路在线监测		测、杆塔倾斜、气象监测的5G摄像头、传感器等		≤200ms	
输电线路巡检	采集类(输电线路状态、环境数据等信息采集)	用于视频监控、杆塔倾斜、气象监测的5G摄像头、传感器等	上行: ≥10Mbps	传输时延 ≤200ms	≥99.9%
	控制类(巡检设备的巡检规划、远程控制等)	5G 巡检无人机	上行: ≥20Mbps; 下行: ≥20Mbps	传输时延 ≤200ms	≥99.9%
	交互类(视频/图像传输、位置/巡检日志上传)	5G 巡检无人机	上行: ≥50Mbps; 下行: ≥10Mbps	传输时延 ≤200ms	≥99.9%
电力隧道巡检	采集类	5G摄像头、5G巡检机器人、温湿度和气体监测等环境监测传感器	上行: ≥4Mbps	传输时延≤3s	≥99.9%
	远程机器人操控	5G 巡检机器人	上行: ≥1Mbps; 下行: ≥100kbps	传输时延 ≤200ms	≥99.9%
	高清视频监控(4K)	5G摄像头	上行: ≥10Mbps; 下行: ≥100kbps	传输时延 ≤200ms	≥99.9%
变电站综合监测	采集类	5G摄像头、5G巡检机器人、5GAR/VR眼镜、电缆测温探头、温湿度和气体监测等环境监测传感器	上行: ≥2Mbps	传输时延 ≤50ms	≥99.9%
	控制类(巡检机器人远程控制)	5G 巡检机器人	下行: ≥4Mbps	传输时延 ≤50ms	≥99.9%
变电站巡检	采集类	5G 巡检机器人	上行: ≥4Mbps	传输时延 ≤50ms	≥99.9%
智能分布式配电自动化	配网差动保护	5G 配网差动保护终端	上行: ≥2Mbps; 下行: ≥2Mbps	传输时延 ≤15ms, 授时 ≤10us	≥99.999%
	智能分布式馈线自动化	配电自动化馈线终端	上行: ≥20kbps; 下行: ≥20kbps	传输时延≤1s	≥99.999%
配电自动化三遥	遥信、遥测、遥控	配电自动化三遥终端	上行: ≥20kbps; 下行: ≥20kbps	传输时延≤1s	≥99.999%

遥					
配电场景	同步相量测量 PMU	同步相量测量装置 PMU	上行: ≥80kbps; 下行: ≥80kbps	传输时延≤1s, 授时≤1us	≥99.999%
配电场景	精准负荷控制	精准负荷控制终端	上行: ≥2Mbps; 下行: ≥2Mbps	传输时延 ≤50ms	≥99.999%
智能配电房	采集类	配电智能终端、烟感传感器、水浸传感器、温湿度传感器等	上行: ≥3Mbps	传输时延 ≤200ms	≥99.9%
智慧用能	采集类	5G 智能电表	上行: ≥3Mbps	传输时延≤1s	≥99.9%

### (三) 港口行业

港口行业主要包括港机远控、无人水平运输车辆、监控与 AI 识别、智能巡检、智能理货等五个典型应用场景，每个应用场景用到的典型工业终端设备及 5G 通信需求梳理如下：

典型场景	典型业务	典型终端设备类型	速率需求	时延需求	可靠性需求
港机半自动/自动远程作业	港机半自动/自动远程作业监控(8-30路摄像头)	5G 监控摄像头	上行: ≥4Mbps/路, 1080p; 下行: ≥100kbps/路	端到端时延 ≤100ms	≥99.9%
	港机远程操控	岸边集装箱起重机、集装箱门式起重机	上行: ≥100kbps; 下行: ≥100kbps	端到端时延 ≤30ms	≥99.9%
港口无人水平运输车辆	无人驾驶调度业务	5G 无人水平运输车	上行: ≥128kbps/每辆; 下行: ≥128Kbps/每辆	端到端时延 ≤200ms	≥99.9%
	远程控制指令(车速<0.5米/秒)	5G 无人水平运输车	上行: ≥128kbps/每辆; 下行: ≥128Kbps/每辆	端到端时延 ≤30ms	≥99.9%
	远程实时视频	5G 无人水平运输车	上行: ≥4Mbps/每路, 1080P; 下行: ≥100Kbps/每路	端到端时延 ≤100ms	≥99.9%
港区监	港区人员身	5G 监控摄像	上行: ≥4Mbps/每	端到端时延 ≤200ms	≥95%

控及 AI 识别	份识别、港区异常行为监测	头, 推荐 4k	路, 1080p, $\geq 16\text{Mbps}$ / 每路, 4K; 下行: $\geq 100\text{Kbps}$ / 每路		
	货运车辆管理系统	5G 监控摄像头、前端检测设备	上行: $\geq 4\text{Mbps}$ / 每路, 1080p; 下行: $\geq 100\text{Kbps}$ / 每路	端到端时延 $\leq 150\text{ms}$	$\geq 99\%$
	港区司机行为管理	5G AI 边缘检测一体机	上行: $\geq 4\text{Mbps}$ / 每路, 1080p; 下行: $\geq 100\text{Kbps}$ / 每路	端到端时延 $\leq 200\text{ms}$	$\geq 95\%$
地面、无人机智能巡检	实时视频监控	5G 无人巡检车/机器人、5G 巡检无人机	上行: $\geq 4\text{Mbps}$ / 每路, 1080p; 上行: $\geq 16\text{Mbps}$ / 每路, 4K; 下行: $\geq 100\text{Kbps}$ / 每路	端到端时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	远程控制	5G 无人巡检车/机器人、5G 巡检无人机	上行: $\geq 128\text{kbps}$ / 每路; 下行: $\geq 128\text{Kbps}$ / 每路	端到端时延 $\leq 30\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
智能理货	视频回传	5G AI 摄像头	上行: $\geq 4\text{Mbps}$ / 每路, 1080p; 下行: $\geq 100\text{Kbps}$ / 每路	$\leq 150\text{ms}$	$\geq 99\%$

#### (四) 钢铁行业

钢铁行业可细分为面向炼铁、炼钢、轧钢、连铸等环节，主要包括智慧料场、皮带智能检测、无人行车、焦化四大车联锁、钢包实时跟踪、生产过程数据采集、带钢出口表面质量检查、钢卷物料盘点、能源设施智能管理等九个典型应用场景，每个应用场景用到的典型工业终端设备及 5G 通信需求梳理如下：

典型场景	典型业务	典型终端设备类型	速率需求	时延需求	可靠性需求
智慧料场	远程堆/取料控制	堆/取料机	上行: $\geq 1\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 20\text{ms}$	$\geq 99.99\%$

	环境监测	5G 摄像头、 温湿度传感器、 化学气体传感器	上行: $\geq 10\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 40\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
皮带智能检测	视频图像监测	5G 摄像头	上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\geq 16\text{Mbps/路}$ , 4K, $\geq 64\text{Mbps/路}$ , 8K	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
无人行车	视频图像监测	5G 摄像头	上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\geq 16\text{Mbps/路}$ , 4K, $\geq 64\text{Mbps/路}$ , 8K	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	远程作业控制	5G 无人车	上行: $\geq 1\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 20\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
焦化四大车联锁	四大车运行控制	5G 摄像头、 装煤车、推焦车、 拦焦车、熄焦车	上行: $\geq 2\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 20\text{ms}$	$\geq 99.999\%$
	四大车状态监测	5G 摄像头、 装煤车、推焦车、 拦焦车、熄焦车	上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\geq 6\text{Mbps/路}$ , 2K, $\geq 16\text{Mbps/路}$ , 4K	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
钢包实时跟踪	图像/视频流上传	5G 摄像头	上行: $\geq 64\text{Mbps/路}$ , 8K	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	-
生产过程数据采集	图像/视频流上传	5G 摄像头	上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\geq 16\text{Mbps/路}$ , 4K, $\geq 64\text{Mbps/路}$ , 8K	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
带钢出口表面质量检查	视频图像监测	5G AI 摄像头	上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\geq 16\text{Mbps/路}$ , 4K, $\geq 64\text{Mbps/路}$ , 8K	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
钢卷物料盘点	图像/视频流上传	5G 摄像头	上行: $\geq 4\text{Mbps/路}$ , 1080p, $\geq 16\text{Mbps/路}$ , 4K, $\geq 64\text{Mbps/路}$ , 8K	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	云化 AGV 控制	5G 云化 AGV	上行: $\geq 1\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 20\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
能源设施智能管理	智能巡检	5G 智能巡检机器人	上行: $\geq 6\text{Mbps/路}$ , 2k, $\geq 16\text{Mbps/路}$ , 4k; 下行: $\geq 5\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
	能源介质监测	水电气等能源介质监测传感器	上行: $\geq 2\text{Mbps}$	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$

## (五) 石油化工行业

石油化工行业主要包括智能野外勘探、井场综合数采、海上平台综合覆盖、油区治安巡防、炼厂巡检机器人、炼化设备红外监测、炼厂无人叉车/牵引车、无人机管线巡检等八个典型应用场景，每个应用场景用到的典型工业终端设备及 5G 通信需求梳理如下：

典型场景	典型业务	典型终端设备类型	速率需求	时延需求	可靠性需求
野外地震勘探	大范围地震数据采集	可控震源设备	上行：≥30kbps	传输时延≤100ms	≥99.9%
井场综合数采	设备运行监控	远程终端单元 RTU	上行：≥100kbps	传输时延≤50ms	一天内掉网次数不大于2次，掉网后可快速自动连接
	场景、装置运行状态监测	5G 摄像头	上行：≥4Mbps/路，1080p	传输时延≤100ms	
海上平台实时监控	远距离大带宽视频回传	5G 摄像头、海上平台工控设备	上行：≥4Mbps/路，1080p	-	≥99%
油区治安巡防	监控视频聚合下发与巡防视频回传	5G 摄像头	上行：≥4Mbps； 下行：≥10Mbps	传输时延≤100ms	≥99.9%
炼厂自动化巡检	视频回传（4路2K）、规划指令下发	5G 巡检机器人	上行：≥30Mbps； 下行：≥100kbps	传输时延≤50ms	≥99.9%
炼化设备红外监控	双目成像数据回传	5G 红外摄像头	上行：≥8Mbps	传输时延≤50ms	≥99.9%
石油炼化物资转运	无人叉车/牵引车调度信息下发及位置传感信息上传	5G 无人叉车/牵引车	上行：≥5Mbps； 下行：≥100kbps	传输时延≤100ms	≥99.9%
输油管线巡检	视频数据回传（4K），路径规划数据下发	5G 无人机	上行：≥20Mbps； 下行：≥300kbps	传输时延≤100ms	≥99.9%

## (六) 汽车制造行业

汽车制造行业分为工厂园区和车间/产线现场，主要包括厂区/车间物流和叉车调度、生产过程关联、维护、数据采集、机器视觉检测等生产管理、控制、多业务协同管理相关的六个典型应用场景，每个应用场景用到业务对应的典型工业终端设备及 5G 通信需求梳理如下：

典型场景	典型业务	典型终端设备类型	速率需求	时延需求	可靠性需求
厂区/车间物流车和叉车调度	园区物流车	物流车	上行 $\geq 2\text{Mbps}$ ；下行： $\geq 200\text{kbps}$	传输时延 $\leq 200\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	无人叉车	带 5G 模组的控制器（安装在叉车）	上行/下行： $\geq 200\text{kbps}$	传输时延 $\leq 50\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	车间 AGV	带 5G 模组的控制器（安装在 AGV）	上行/下行： $\geq 200\text{kbps}$	传输时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
	自动控制 AGV 运输	自动化 AGV 搭载相机和 5G 模块	上行： $\geq 50\text{Mbps}$ ；下行： $\geq 20\text{Mbps}$	端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ 切换时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
	行车遥控运输	5G 高清摄像头或镜头	上行： $\geq 64\text{Mbps}$ ；下行： $\geq 20\text{Mbps}$	端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ 切换时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
生产过程关联	机器人协同，PLC 统一协同并下发指令	各机械臂控制器（协同涂胶、协同搬运、协同焊接）	上行： $\geq 100\text{Kbps}$ ；下行： $\geq 100\text{Kbps}$	端到端时延 $\leq 20\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
	机器人协同视频传输	5G 摄像头（安装在车间厂区或机械臂上）	上行： $\geq 2\text{Mbps}$ ；下行：不敏感	传输时延 $\leq 20\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
	AVI 生产过程控制	喷枪机器人或扫码枪或现场操作屏（车体信息或读写交互）	上行： $\geq 1\text{Mbps}$ ；下行： $\geq 200\text{kbps}$	端到端时延 $\leq 50\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
	MES/HMI/AGV 管理	工业 pad 终端	上行/下行： $\geq 500\text{kbps}$	传输时延 $\leq 200\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	VR 设计及个性化定制	5G 工业 VR 终端	上行： $\geq 2\text{Mbps}$ ；下行： $\geq 1\text{Mbps}$	端到端时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
	流水线工人 VR 产品装配预估和校准	5G 工业 VR 终端	上行： $\geq 10\text{Mbps}$ ；下行： $\geq 10\text{Mbps}$	端到端时延 $\leq 30\text{ms}$	$\geq 99.99\%$
	VR 培训（如底盘线束安装、发动机	5G 工业 VR 终端	上行/下行 $\geq 2\text{Mbps}$ ，720P/路	端到端时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$

	举升安装等视频传输)				
	AR 辅助装配	5G 工业 AR 终端	上行 / 下行 : ≥10Mbps/路	端到端时延 ≤80ms	≥99.99%
	人员行为检测	5G 视频安防监控终端	上行: ≥4Mbps, 1080P, ≥16Mbps, 4K; 下行: ≥10Mbps	端到端时延 ≤50ms	≥99.9%
	拧紧工具	5G 拧紧枪	上行 / 下行 : ≥1Mbps/路	端到端时延 ≤100ms	≥99.99%
	ECU 软件加载	5G 车载诊断系统设备	上行: ≥100kbps/ 路; 下行: ≥2Mbps/ 路	端到端时延 ≤100ms	≥99.99%
	试车测试数据上传	5G 车载诊断系统设备	上行: ≥1Mbps/ 路; 下行: ≥100kbps/ 路	端到端时延 ≤300ms	≥99.99%
维护	AR 远程维护	5G 工业 AR 终端	上行 / 下行 : ≥5Mbps/ 路 , 1080P; 上行 / 下行 : ≥20Mbps/路, 4K	端到端时延 ≤50ms	≥99.99%
	(发动机及零部件点检) 预测性维护	5G 工业摄像头/相机	上行: ≥2Mbps/ 路; 下行: ≥100kbps/ 路	端到端时延 ≤80ms	≥99.99%
数据采集	焊接机器人数采	5G 机器人	上行: ≥2Mbps/ 台 机器人; 下行: ≥2Mbps/ 台 机器人	端到端时延 ≤40ms	≥ 99.99%
	涂装等生产能效管控	传感器	上行: ≥2Mbps/ 路; 下行: ≥100kbps/ 路	传输时延 ≤ 80ms	≥ 99.9%
机器视觉检测	汽车外饰检测	5G 摄像头	上行: ≥30Mbps/ 路, 1080p; 下行: ≥2Mbps/ 路	端到端时延 (控制级命令) ≤30ms; 其他业务 ≤50ms	≥99.9%
	产线行为检测	5G 摄像头	上行: ≥6Mbps/ 路, 2K; 下行: ≥500kbps/ 台	端到端时延 ≤50ms	≥99.9%
协同管理	装备质检	5G 高速相机	单路上行: ≥4Mbps, 1080P, ≥16Mbps, 4K; 单路下行: 不敏感	端到端时延 ≤200ms	≥99.9%

视频对讲	视频流/语音双向传输	上行: $\geq 20\text{Mbps}$ ; 下行: $\geq 20\text{Mbps}$	端到端时延 $\leq 20\text{ms}$	$\geq 99.9\%$
数据互传	大数据传输	上行: $\geq 50\text{Mbps}$ ; 下行: $\geq 50\text{Mbps}$	端到端时延 $\leq 100\text{ms}$	$\geq 99.9\%$



工业互联网产业联盟  
Alliance of Industrial Internet