

5G 与工业自动化融合应用 研究报告

中国工业互联网研究院
西门子(中国)有限公司

2024 年 4 月

声明

本研究报告所有内容的知识产权归中国工业互联网研究院和西门子(中国)有限公司共同所有，并受法律保护。任何单位和个人未经中国工业互联网研究院和西门子(中国)有限公司共同授权，不得使用或转载本报告中的任何部分。违反上述声明者，中国工业互联网研究院和西门子(中国)有限公司将追究其相关法律责任。

前言

当前，数字化浪潮已成为变革性力量，深化 IT、CT 与 OT 融合是全球数字化技术发展的大趋势。需要充分发挥新一代信息通信技术对制造业数字化转型的创新驱动作用，加快推进新型工业化。

工业是 5G 应用的主战场。自 2019 年 5G 规模商用以来，我国通过政策引导、建设指引、试点示范等措施，持续推进 5G 在各行业的应用，全国范围内“5G+工业互联网”项目成规模化发展态势。欧美各工业强国通过制定政策、成立联盟、分配工业专用频段等方式，加快推动 5G 工业应用。5G 工业应用已成为国内外工业企业推动数字化转型、建设智能工厂的重要抓手。

5G 为工业控制系统提供新的通信方式。当前，5G 工业应用已从生产外围辅助环节逐步深入至生产核心控制环节。工业自动化厂商、运营商、ICT 厂商等均积极探索实践 5G 与工业自动化融合应用的新技术、新产品、融合网络架构、应用方案等。为加快推动 5G 在工业自动化领域的规模化应用，中国工业互联网研究院、西门子(中国)有限公司联合编写《5G 与工业自动化融合应用研究报告》（以下简称《研究报告》）。

研究报告重点梳理了 5G 与工业自动化融合应用的需求、组网架构，展示了 5G 在移动机器人、AGV、远程控制和工业控制器

间实时通信中应用的解决方案，从终端、技术、网管三个方面总结了 5G 与工业自动化融合应用挑战，并对 5G 与工业自动化融合应用的未来发展方向进行了展望。

希望研究报告将为我国 5G 在工业自动化领域应用中技术攻关、产品研发和应用实施提供参考。

编写组

中国工业互联网研究院：

朱 浩 张玉良 历 明 宋欣桐 马新翔 王辰菲

西门子(中国)有限公司：

张兆中 王加雷 李卉琳 张 哲 李 颖

目 录

一、 国内外 5G 工业应用情况.....	1
(一) 我国 5G 工业应用情况.....	1
(二) 国外 5G 工业应用情况.....	2
二、 5G 与工业自动化融合应用的需求.....	5
(一) 5G 促进生产方式变革及工业自动化技术发展.....	5
(二) 工业自动化对 5G 网络的需求.....	6
1. 5G 网络产品要满足工业产品特性要求	6
2. 5G 网络的可靠性是在工业环境中应用的核心要求	6
3. 低抖动是低时延需求的关键参数	6
4. 5G 需要承载工业以太网通信协议	7
5. 5G 网络需要提供故障诊断接口	8
6. 5G 网络安全需要融入工业自动化网络纵深防御中	8
三、 5G 工业应用组网方式.....	9
(一) 组网架构	9
(二) 组网模式.....	10
1. 虚拟专网	10
2. 混合组网	11
3. 独立专网	13
(三) 5G 专网部署的 5G 版本情况.....	14
四、 5G 与工业自动化融合应用典型案例.....	15

(一) 5G 在移动机器人和 AGV 中的应用	15
1. 应用场景	15
2. 解决方案	17
(二) 5G 在远程控制中的应用	18
1. 应用场景	18
2. 解决方案	19
(三) 5G 在工业控制器间实时通信中的应用	20
1. 应用场景	20
2. 解决方案	21
(四) 5G 在运动控制中的应用	22
1. 应用场景	22
2. 5G 现有版本还不能满足运动控制应用要求	23
五、 5G 与工业自动化融合应用挑战	24
(一) 工业自动化低时延场景 5G 终端种类不够丰富	24
(二) 网络确定性与高实时性不足	24
(三) 网络管理困难	25
六、 5G 与工业自动化融合应用发展展望	26
(一) 丰富工业自动化低时延场景 5G 终端种类	26
(二) 攻关工业 5G 确定性和高实时网络技术	26
(三) 建设工业网络综合管理平台	26

一、国内外 5G 工业应用情况

5G 通信网络为工业控制系统提供新的通信方式。传统应用于工业控制系统中的工业网络技术主要是工业以太网和现场总线。随着生产线的柔性化发展，工业通信的无线化需求日益增加。5G 的低时延、高可靠特性为工业控制系统适应更加灵活生产方式的变革提供了可能。5G 网络可为生产现场中 PLC、HMI 等控制设备之间，及控制中心 SCADA 与现场控制设备之间提供数据传输通道。我国及欧美工业强国根据本国实际情况，采取系列措施推动 5G 在工业的应用。

（一）我国 5G 工业应用情况

自 2019 年 5G 规模商用以来，我国通过政策引导 5G 行业应用持续深化。工业和信息化部在 2019 年印发《“5G+工业互联网”512 工程推进方案》，2021 年分两批共发布 20 个典型应用场景和 10 个重点行业实践案例，2022 年发布《5G 全连接工厂建设指南》。系列政策为开展 5G 工厂建设提供了指导，推动“5G+工业互联网”由起步探索阶段迈向深耕细作、规模化发展的关键阶段。

当前，5G 在工业领域的应用已从生产外围辅助环节逐步深入至生产核心控制环节。目前，飞机、船舶、汽车、电子、采矿等主要产业已开展“5G+工业互联网”创新实践，形成远程设备操控、机器视觉质检、无人智能巡检等一批典型应用，

我国“5G+工业互联网”建设项目数超过 10000 个，对企业降本、提质、增效的支撑重要作用不断显现。2021 年至 2023 年，5G 工厂连续三年作为工业互联网试点示范项目，共遴选 83 家。

目前从国内 5G 专网总体应用情况来看，部署方式以虚拟专网和混合专网方案为主，可满足对实时性要求相对不高的工厂应用需求。

（二）国外 5G 工业应用情况

欧美各国通过制定政策、成立联盟、分配工业专用频段等方式，加快推动 5G 工业应用。

2017 年德国开始实施“5G Strategy for Germany”战略，推进 5G 在德国的应用，尤其在工业领域，以西门子、博世为代表的工业企业积极推进 5G 服务工业的应用研究与实践。2018 年欧盟成立了 5G-ACIA 联盟，推动 5G 工厂建设。2018 年以来欧盟各国电信运营商纷纷与制造企业合作开展 5G 应用探索。2019 年，爱立信在伍斯特郡建设了英国第一个 5G 工厂，探索使用 5G 进行预测性维护、机器维护远程指导等应用。

2018 年以来美国电信运营商加快了 5G 与制造业融合应用的实践。2018 年，美国电信运营商 AT&T 与三星电子在德克萨斯州打造了美国第一个专注于 5G 在制造业应用的创新区，促进制造业工厂转型升级。2021 年美国实施“National Strategy to Secure 5G Implementation Plan”，通过建设 5G

系统设备制造基地，面向工业界提供 5G 测试床等措施，加快 5G 技术研发，满足行业应用需求。

对于工业 5G 的部署，欧美各国纷纷选择了优先发展“5G 工业专频专网”建网路线。德国、法国、瑞典、英国等欧洲工业强国，均分配了工业专用频段。例如，为帮助企业独立部署 5G 专网，推动 5G 专网创新与发展，2019 年 11 月 21 日德国联邦网络局 BNetzA 正式对外开放 3.7GHz-3.8GHz 的 5G 专网频段申请。企业只需按照流程申请并支付较低的费用，就可获得这些 5G 专网频段使用权来自建 5G 专网。在频谱政策的带动下，垂直行业的龙头企业积极申请频谱自建 5G 专网。截至 2023 年 1 月德国联邦网络局累计已受理并通过 293 份 3.7-3.8GHz 频段的 5G 专用网络频率申请。在这些申请机构中，奥迪、宝马、西门子、博世、巴斯夫等多家工业巨头成为主力。

美国也在 2020 年通过拍卖 CBRS 频段（3.55GHz 至 3.7GHz 之间的共享频谱），为 5G 专网发展提供了频谱资源。企业可以在没有频率干扰风险的区域利用该频段自建 5G 专网。随着频谱释放，美国运营商、云厂商、垂直行业已经展开了争夺 5G 专网市场的竞争。例如，美国最大的移动运营商 Verizon 推出了面向 5G 专网的 On Site 5G 一体化解决方案，亚马逊 AWS 已推出 AWS Private 5G 服务，农机巨头约翰迪尔已在其工厂利用 CBRS 自建 5G 专网。

欧美各国分配工业专用频段主要基于以下考虑：

1. 催生大量新的微型网络运营商，这些“运营商”各自专注于不同的垂直领域；
2. 催生大量的设备及技术供应商，这些供应商能为垂直行业提供更优化的设备 and 应用；
3. 倒逼传统公网运营商面向垂直行业加速商业模式转型；
4. 专网频段将增强垂直行业尤其是工业巨头的全球竞争力。

从工业应用落地角度看，目前欧美部署的 5G 专网主要基于 3GPP R15 版本标准。对于支持高实时性工厂应用存在技术局限，还未在工厂大规模部署。随着基于 R16 版本标准的 5G 产业链成熟，以及工业频段为主的建网模式逐渐形成规模，未来欧美国际工业龙头将会继续探索 5G 高实时与高价值应用，以及与现有工业网络融合互补的优化方案。

二、5G 与工业自动化融合应用的需求

（一）5G 促进生产方式变革及工业自动化技术发展

当前，全球供应链面临着短期复杂变化的风险，如何快速响应不断变化的市场需求，并且根据供求关系快速决策生产，是我国企业面临的巨大挑战。通过 5G 网络与工业自动化系统深度融合，可以替代紧密耦合的生产线，实现更灵活的生产方式。通过 5G 网络实现全厂数据互通，加速 OT 与 IT 系统的融合，可实时、动态、快速的制定生产计划，从而提高产线利用率和生产灵活性，助力企业应对多变的市场挑战。

随着工厂数字化、智能化转型升级的深入，工厂设备的移动化、生产线的柔性化、通信的无线化需求日益增加。当前 5G 在工厂的应用已从生产外围辅助环节逐步深入至生产核心控制环节。通过利用以 5G 为代表的新一代信息通信技术，并充分融合工业自动化技术，建设产线级、车间级、工厂级的 5G 工厂，将带来工厂生产方式根本性变革。

工业自动化技术是 5G 工厂的基础技术。在 5G 工厂中，5G 支撑升级的工厂自动化应用主要包括 HMI、远程控制、AGV、工业机器人、闭环控制，其与 5G 高数据传输速率、海量设备接入和低时延、高可靠三大特性对应关系如图 2-1 所示。可以看出，主要应用 5G 的低延时、高可靠和高速率特性，增加 HMI、工业机器人的移动性，增强 AGV 移动的灵活性，提高远程控制

的可靠性，及现场控制回路组网的灵活性。

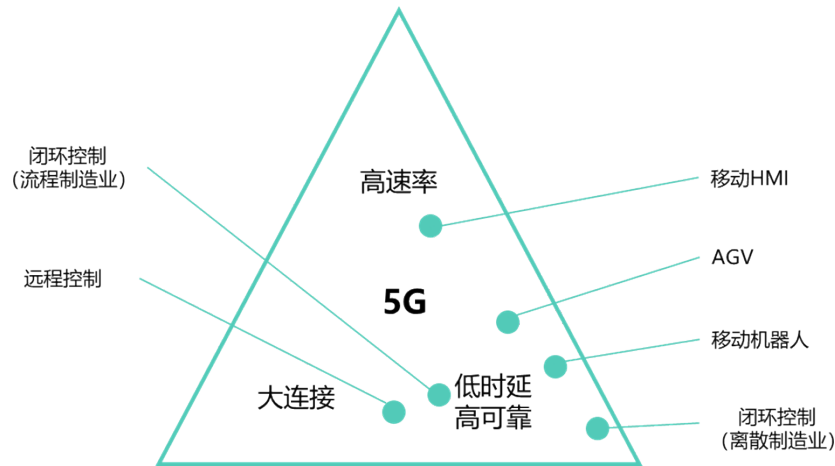


图 2-1 与 5G 三大特性相对应的工业自动化应用

（二）工业自动化对 5G 网络的需求

1. 5G 网络产品要满足工业产品特性要求

5G 行业终端，集成到 PLC、AGV 等工业自动化设备的 5G 模组，及应用于工业现场 5G 组网的 5G 网络设备，须具备抗电磁干扰、抗粉尘、抗震动、适应高低温环境等工业产品的特性。

2. 5G 网络的可靠性是在工业环境中应用的核心要求

工厂通信服务的可用性取决于通信网络的可靠性。典型的工厂自动化系统需要连续运行，短暂的通信中断可能会导致自动化应用程序故障，进而导致生产中断。用于闭环控制应用的 5G 网络需要满足高可靠的无线通信，保证最大丢包率不高于 5×10^{-7} ，且没有连续丢包。

3. 低抖动是低时延需求的关键参数

工业网络中最重要的因素是时延和可能的抖动。传输时间

或时延是信息从源传输到目的地所花费的时间。在自动化控制应用场景中，数据和控制指令的传输须在给定的时间段内完成。该时间段决定了最大允许的端到端时延。基于R15 版本标准的5G 专网，时延加上抖动有可能达到 100ms 以上，如图 2-2 所示，无法满足运动控制等实时性要求高的工业自动化应用要求。基于 R16 标准版本 5G 专网将提供更低时延更低抖动的通信质量。

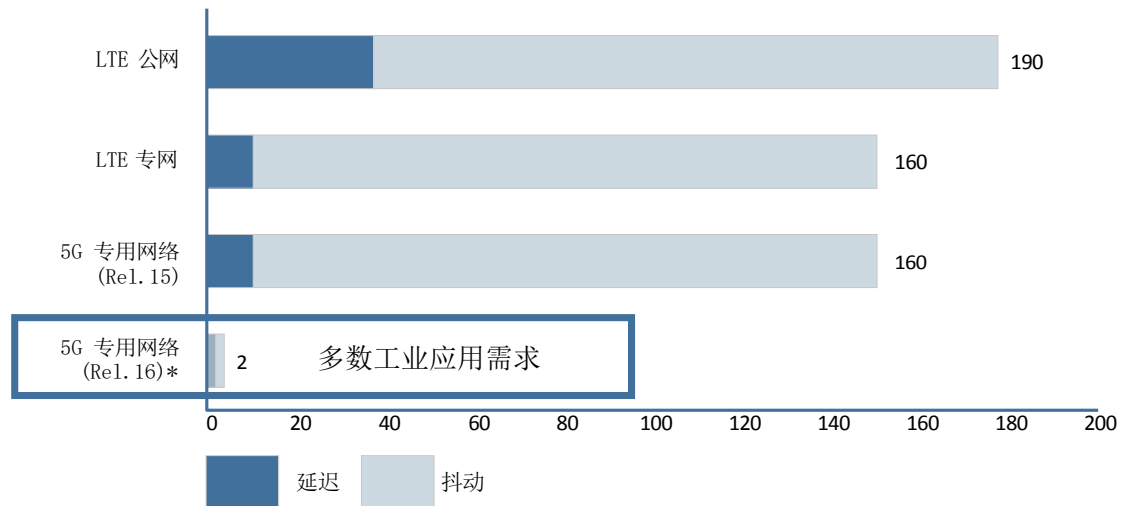


图 2-2 无线通信抖动时间是影响工业实时应用的关键参数

3. 5G 需要承载工业以太网通信协议

随着 5G 向工业生产核心控制环节应用发展，5G 网络技术需要与工业以太网技术进行融合，满足生产现场自动化生产对低时延、确定性等通信需求。目前，西门子已经实现在 5G 网络中传输 PROFINET 协议。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/308043006051007003>