



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

电子行业5G工厂建设实施 参考指南

工业互联网产业联盟（AII）
2025年11月



电子行业 5G 工厂建设实施 参考指南

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 5 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（注明是引自其他文献的内容除外），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

联系电话：010-62305887

邮箱：aia@caict.ac.cn

目 录

一、行业 5G 工厂建设的必要性	1
（一）电子行业发展现状	1
（二）电子行业转型发展痛点	3
（三）行业建设 5G 工厂的价值体现	4
二、行业的主要业务环节和需求	5
（一）业务流程	5
（二）主要业务环节及 5G 发展需求	7
三、行业 5G 工厂建设内容	10
（一）总体架构	10
（二）基础设施建设	12
（三）厂区现场升级	21
（四）关键环节应用	24
（五）网络安全防护	42
四、工厂实施建议	43
（一）新工厂	44
（二）现有工厂	46

一、行业 5G 工厂建设的必要性

（一）电子行业发展现状

电子行业是我国国民经济前沿性、基础性、战略性、支柱性产业。电子行业细分领域众多，包括半导体、电子元器件、PCB、计算机、通信设备、工业电子等多个子行业，为各行各业提供了强大的技术支持和产品供给，极大地推动了社会生产力的提升和社会信息化进程。电子行业产品按照使用对象一般可以分为两大类：一类是面向企业、政府等领域的传统硬件设备，如服务器、交换机、路由器、存储设备等，这类产品的标准化程度高，不同企业生产的产品最重要的目标是确保满足使用要求；另一类是直接面向消费者的终端电子产品，如智能手机、电脑、平板电脑等，这类产品则更多地突出差异化功能，在满足消费者基本使用需求的前提下，也需要更多地考虑产品的环保、节能、安全等绿色属性。

经过几十年的快速发展，我国电子行业已经形成技术比较先进、产业链条完整、面向国内国际两个市场的庞大产业体系，电子行业在技术创新、市场服务等方面都取得了显著的成就。我国已成为世界上最大的电子信息产品生产国和消费国，主要电子产品产量多年居世界前列。电子企业综合实力持续增强，我国规模以上电子企业数量突破 10 万家，产业结构持续优化，为我国经济发展和国际竞争力的提升做出了重要贡献。

近年来，在一系列政策和规划的引导下，电子行业正逐步从追求规模扩张和速度的发展模式，转向注重效率提升、技术创新和可持续发展的质量型增长模式，以面对资源环境约束收紧、市场竞争加剧等问题。在此过程中，数字化转型成为越来越多电子企业关注的话题。2020 年，工业和信息化部发布的《关于推动制造业与互联网深度融合发展的指导意见》促进了电子行业向智能制造和工业互联网的转型，通过构建信息化生态体系和技

术创新，提升了生产效率和企业竞争力。2021 年，《“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要》提出了加快数字化发展和建设数字中国的目标，为电子行业数字化转型提供了宏观政策支持，推动了“5G+工业互联网”的深度融合和应用场景的创新。2022 年，工业和信息化部发布的《“十四五”软件和信息技术服务业发展规划》和《“十四五”大数据产业发展规划》进一步细化了电子行业的发展策略，强调了软件、信息技术服务业和大数据产业的重要性，推动了行业创新和产业链水平的提升。2023 年，随着《“十四五”数字经济发展规划》的实施，电子行业加速了与数字经济的融合，推动了工业互联网应用、大数据中心建设和智能化生产等新模式的发展，为电子行业的可持续发展注入了新动力，助力行业迈向高质量发展。

在工业 4.0 的大背景下，电子企业积极探索实践电子工业生产经营管理全过程的数字化、网络化、智能化发展。多数企业已在研发、制造、管理、供应链环节使用 ERP、MES、WMS 等信息化系统，工厂内部分环节已实现数据采集、集成和打通，支撑企业生产管理效率的显著提升和经营成本的有效节约。根据《中国两化融合发展数据地图（2021）》统计显示，2021 年电子行业两化融合指数达到了 62.1，在重点行业中排名靠前，数字化应用程度相对成熟。

在政策引导、市场驱动下，电子行业企业积极开展 5G 技术的应用探索。2021 年 5 月，在工业和信息化部发布的《“5G+工业互联网”十个典型应用场景和五个重点行业实践》中，电子设备制造业被列入 5G 重点行业实践。2023 年 11 月，在工业和信息化部发布的《2023 年 5G 工厂名录》中，共列入 300 个 5G 工厂项目，其中共有 27 个计算机、通信和其他电子设备制造业项目入选。

（二）电子行业转型发展痛点

当前电子行业产品迭代速度快、产品质量要求高，企业亟需对现有厂区、产线进行 5G 化改造，实现数字化转型升级，满足精细化、柔性化、高效化等生产需求痛点。

一是生产工序种类繁多、人力依赖性高。电子行业生产工序复杂繁多，产品的组装、测试等环节自动化程度较低，而且前后工序衔接过程中还需要大量人力进行转运、上料等操作，整体效率较低，亟需解决生产高效、降低劳动力成本等问题。

二是产品工艺精密、容错率较低，对质量要求高。近年来，电子产品不断向精密化发展，成为支撑工业控制、航空航天、高端消费电子等领域的重要产业，对产品质量的要求也正快速上升，传统依靠人工进行质量检验已逐渐无法满足行业要求，亟需开展数字化的全流程质量管理。

三是产品个性化程度高、迭代速度快。以手机、电脑为代表的消费电子产品具有品种多、换代快的特点，快速变化的市场需求对企业的个性化定制能力提出了更高要求，企业要能够利用工业互联网及时响应客户需求，从单纯的生产加工转向提供智能产品并叠加远程操作、健康管理等创新增值服务，亟需探索个性化生产、服务型制造等创新模式。

四是企业管理流程复杂，厂区分散。大型电子企业通常具有设备多、员工多、部门多的特点，生产经营中产生的数据量庞大且繁杂，导致企业管理难度大、决策效率低。与此同时大型电子企业往往拥有多个产区，各厂区分工承担研发、生产、仓储等业务职能，需要通过网络互联、数据互通构建跨厂区管理能力，亟需实现数据驱动的科学管理决策。

五是产业链复杂，参与主体众多，资源配置效率有待提升。一方面电子产品结构逐渐复杂，产品规模快速提升，行业上游基础零部件供应商不

断增多。另一方面电子行业下游市场变化逐渐加快，客户需求不确定性日益增强。再上下游共同作用下，依靠传统线下协作的产业链供应链组织规模逐渐难以满足行业越发复杂的资源配置需求，亟需打造数字化供应链产业链体系。

（三）行业建设 5G 工厂的价值体现

5G 工厂是充分利用以 5G 为代表的新一代信息技术，基于工业互联网新型基础设施，新建或改造产线、车间、工厂等生产现场，形成生产单元广泛连接、IT/OT 深度融合、数据要素充分利用、创新应用高效赋能的先进工厂。建设 5G 工厂可以在全生命周期上，帮助企业利用新型 ICT 基础设施挖掘实现产业数智化价值；在工业互联网平台和企业云战略规划的基础上，帮助企业实现新型工业化的拉通。

5G 工厂将为电子企业实现精准动态作业、柔性生产制造、工艺合规校验、厂区智能物流等创新应用，提升企业的生产效率、安全保障，通过融合应用助力电子企业全面降本增效、提高产品质量、实现高效的供应链管理、拓展创新的产业链价值增值模式，打造智能、绿色、安全的生产体系，逐步迈向转方式、调结构、增动力的高质量发展阶段。

一是实现降本增效。5G 工厂综合运用 5G 网络高可靠、低时延、大带宽等能力，通过 5G 网络覆盖所有生产场景，进行工厂全生产要素的广泛连接，充分激活生产制造各环节的自动化，深度契合 ERP、MES 等应用，实现数字化业务流程重构，赋能先进生产力，提高生产效率，降低生产成本。

二是提升质量监测。利用 5G+AI 进行机器视觉检测，对产品质量进行检测。在生产现场部署工业相机或激光扫描仪并通过 5G 网络接入，实时拍摄产品质量的高清图像，通过 5G 网络传输至部署在 MEC 上的通用机器视觉平台，图像在边缘计算中心 MEC 拼接、统一识别处理，实现对产品缺陷的

快速、准确识别。

三是实现柔性生产。基于 5G 的低时延、大带宽等特点，赋能机器人、AGV 等技术实现全流程极致柔性自动化生产。基于模块化设计，生产线可快速重组。通过实时采集数据，逐站控制，系统智能调度，机器人可根据产品型号自动切换生产程序和工具，实现多机型混线生产，在产线各个环节实现柔性生产制造。

四是实现智能运维。应用 5G 网络实现企业智能装备和终端的高度集成，打造数智化工厂，实时汇聚海量生产数据，运营生产管理平台，监测企业生产过程中各环节的运行情况，并将运输线、AGV 等物流设备与管理平台进行连接，进行生产全流程的物流追踪溯源和实时管控，保障产品生产流程的安全稳定，有效提升企业综合运营效率。

五是促进协同发展。以 5G 工厂建设为载体，与电子行业深度融合，将促进各生产环节的智能连接、云网融合。充分应用云化算力，打通企业内外数据资源，实现数字化资产和自动化运行的 IOT 融合，促进供应链协同，充分赋能电子行业转型，推动电子行业高质量发展迈向新征程。

二、行业的主要业务环节和需求

（一）业务流程

电子行业业务流程主要包括研发设计、中试测试、生产制造、质量检测、物流运输、仓储管理等。

在研发设计环节，企业的研发团队根据市场需求和科技发展趋势，研发设计新型的电子产品，以满足消费者的多样化需求。同时，为了适应可持续发展的要求，研发团队还致力于寻找和开发新型材料和技术，以生产更加节能环保的产品，优化生产流程，减少能源消耗和环境污染。

在中试测试环节，企业通过对样机、新材料、新工艺等进行全面的验证和优化，确保生产的安全性、经济性、工艺的可操作性以及产品性能的稳定性，降低科技成果产业化过程中的技术、生产、营销和投资风险。

在生产制造环节，企业根据研发设计的产品规格和市场需求，组织生产活动。具体包括原材料配送、电路板制造、元器件装配、组装和包装等环节，包括单板设计、印锡、贴片、焊接、点胶、组装、成品包装等步骤，工序种类繁多，工艺精密要求高。

在质量检测环节，企业对完成组装的产品进行严格的质量控制和检测，包括功能测试、性能测试、寿命测试等，确保产品在出厂前达到设计要求和行业标准。

在物流运输环节，企业通过高效的物流系统，将产品安全、及时地送达客户手中。这包括订单处理、仓储管理、包装、配送等环节。

在仓储管理环节，企业通过科学的管理方法，对仓库库存进行控制和管理，确保原材料和成品的合理存储，防止过剩或缺货。同时，企业还通过数据分析，优化库存结构，减少库存成本，提高库存周转率。



图 1 电子行业主要业务流程

其中，电子行业 5G 全连接工厂覆盖的业务流程包括：生产制造、中试测试、质量检测、仓储物流、运营管理等主要业务环节。

（二）主要业务环节及 5G 发展需求

在电子行业数字化转型升级的过程中，在各业务环节都做了信息化、智能化的改造，基础网络设施进一步夯实。利用工业互联网等新一代信息技术，在产品研发、生产、销售、运输等各业务环节实现了提质增效。随着 5G、工业互联网等新基建的加速落地，全球范围内的工业无线网络快速增长，企业对“5G + 工业互联网”的认知也逐步明晰。电子行业主要业务环节应用和发展 5G 网络的需求有以下几点：

1. 生产制造环节

在电子行业的生产运行环节中，随着数字化转型的深入，工业软件和智能化生产装备的应用越来越广泛。电子制造企业正在逐步实现生产流程的自动化、无人化和柔性化，5G 技术为这一过程提供了坚实的网络支持。5G 网络的高速度和低延迟特性，使得智能机器臂、自动装配机等设备能够稳定运行，支持大量生产数据的实时采集、传输和交换，以及设备间的无缝通信。在 5G 网络环境下，电子企业可以部署各种创新应用，如生产过程监控、远程资源调度、机器视觉质检和无人智能巡检等。这些应用提高了生产效率和产品质量，促进了生产的柔性化，从而有效降低了生产成本。



图 2 电子行业 5G 工厂生产制造环节示意图

具体可以体现在以下四大环节中：

（1）原材料配送

在原材料配送环节中，通过采用“5G 自动叉车”与自动化立库、货梯等设备柔性连接，实现托盘类货物的自动搬运入库与送检；通过内置 5G 模组完成与 MEC 侧调度系统间的 5G 实时通讯，实现 AGV 集群的智能调度与管理；通过应用“5G+机器视觉”引导机械臂自动分拣，实现箱式物料的自动换箱入库。

（2）电路板制造

在 SMT 单板生产车间，采用超大板印锡机、高速贴片机、12 温区增强回流炉及高精度 3D 炉前/炉后 AOI，具备 50mm*50mm-550mm*850mm 尺寸、器件超密、数量超 20000 复杂城堡单板的生产工艺能力。车间内通过大量应用各种类型 5G 云化 AGV、机械臂、5G 机器视觉，配合精益自动化缓存设备及各上位机数字化、智能化系统，可以实现从原材料到成品单板的端到端全自动化生产。

（3）元器件装配

元器件装配具有工序种类多、工艺精度大等特点，5G 网络能够很好的满足该场景的需求。采用 5G+机器视觉空间定位技术，引导机械臂实现垫板自动化，精度可达 10 微米，提升装配效率和精度；采用 5G+机器视觉检测方式，能够快速部署实现已有产线的技术改造，并能提高机器视觉识别效率，减少工位的人工成本。

（4）组装和包装

在整机装配、包装和生产过程检测等环节，利用 5G 的大带宽、低时延等特点，通过大量应用机器人、AGV、线边仓、自动化装配线、自动化测试线、自动化包装线等智能装备，进行生产数据的实时采集和集成，实现数据贯通化、制造柔性化和智能化管理。

2. 质量检测环节

电子产品生产工序较多，全流程质量精细化管理难度大，需要采用自动测试产线来进行产品质量检测，利用机器视觉、人工智能、大数据等技术开展精确质检，分析质量原因等，可以提高质量管理效率和产品合格率。当前，工业摄像头、传感器等设备已经在电子制造工厂中普及，而 5G 网络的引入进一步增强了这些设备的连接性和数据传输能力。5G 网络能够稳定地连接各种监测终端，实时传输生产现场的音频、视频和其他数据，使得远程监测成为可能。结合人工智能技术，电子企业可以建立机器视觉质检应用，大幅提升产品检测的效率和精确度。机器视觉系统能够快速识别并定位存在质量问题的产品，如电路板上的瑕疵、组件装配错误等，从而减少人为错误和提高质量控制能力。这些系统能够在产品生产的早期阶段发现问题，避免缺陷产品进入市场，减少返工和退货率，提高客户满意度。

3. 仓储物流环节

在电子行业的仓储物流环节中，由于电子产品往往具有高价值、易损坏的特点，因此在产品的仓储和运输过程中需要高度的精准和效率。传统的有线物流设备，如叉车和运输车，由于线路的限制，往往无法灵活调整运输路径。此外，某些极端的环境条件，如高温或高湿，可能导致网络不稳定，从而影响运输的连续性。通过在工厂内部署 5G 网络，可以有效解决这些问题，提高物流效率和降低仓储管理成本。在 5G 网络的支持下，物流运输设备可以实现高效通信，结合物流调度系统和仓储管理系统，实现厂内物流效率和仓储管理效率的提升。

4. 运营管理环节

在电子行业的运营管理环节中，能源管理和生产过程的实时监控是企

业关注的重点。5G 网络能够将企业用电、水、燃气等能源消耗数据实时传输至能源管理平台，通过大数据分析和机器学习等技术，对生产过程中的能源使用情况进行深入分析，实现生产能耗的实时监测和优化。此外，5G 网络还可以帮助企业构建一个泛在感知的智能工厂，对产品生产过程中各环节的数据进行汇总和分析。结合区块链、标识等技术，企业能够实现对产品关键要素和生产过程的追溯，提高管理运营效率，增强产品的透明度和信任度。通过这些技术的应用，电子企业不仅能够提高生产效率，还能够更好地满足市场需求，提升企业的市场竞争力。

5. 中试测试环节

电子行业的中试测试环节是连接研发与生产之间的重要一步。中试测试是产品在大规模量产前的较小规模试验，在确保产品在实际生产中的稳定性和可靠性等方面具有重要意义。在电子行业中试测试环节中，5G 网络能够提升中试测试效率。在 5G 网络高数据传输速率和低延迟特性的加持下，中试测试的数据传输更加迅速，测试结果的反馈也更加及时，从而提升了整个中试环节的测试效率。这对于电子产品的研发和生产来说至关重要，快速的测试反馈有助于企业更快地发现问题并进行改进。此外，应用 5G 网络还可以推动中试测试环节的智能化发展。5G 网络的大带宽特点可以满足引入人工智能、大数据等先进技术辅助中试测试环节的需要，企业可以实现对中试测试数据的实时监控和分析，进一步提高测试效率和准确性。

三、行业 5G 工厂建设内容

（一）总体架构

电子行业 5G 工厂建设框架如图所示。建议电子企业综合考虑 5G 等新

一代信息技术演进，结合自身发展需求和建设能力，选择在车间层、企业层、产业层三个层级，涉及网络、标识、平台、安全四大方面实施建设。

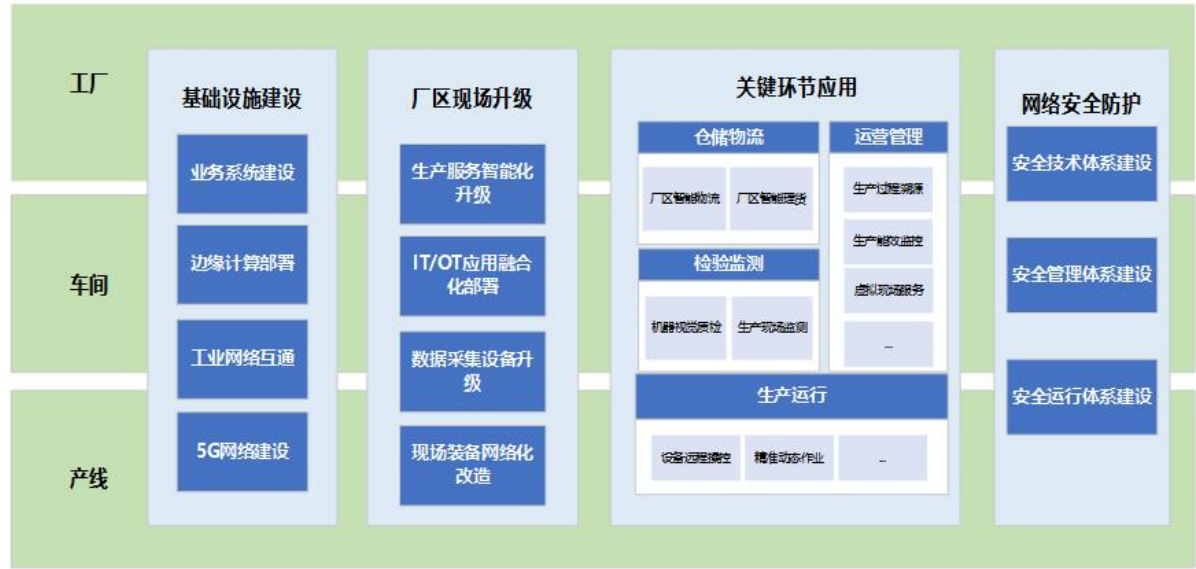


图 2 电子行业 5G 工厂架构图

具体从基础设施建设、厂区现场升级、关键环节应用、网络安全防护四大方面，构建电子行业 5G 全连接工厂。

基础设施建设主要包含 5G 网络建设、工业网络互通、边缘计算部署、业务系统建设等。

厂区现场升级主要包含现场装备网络化改造、数据采集设备升级、IT-OT 应用融合化部署、生产服务智能化升级等。

关键环节应用主要从生产运行、检验监测、仓储物流和运营管理四个环节出发，提出设备远程操控、无人智能巡检、生产能效管控等多个应用场景。企业可根据自身发展需求，选择建设 5G 应用场景，利用 5G 网络高速传输的特性，实现实时高效交互，建设泛在连接的智能工厂。

网络安全防护主要包含安全技术、安全管理、安全运行三大体系的建设，为 5G 工厂提供安全保障。

电子行业积极响应国家智能制造转型政策，利用工业互联网等新一代

信息技术促进产业数字化转型升级。目前行业内网络基础能力逐步提升，标识解析体系逐渐完善，行业内已建设了一批工业互联网平台支撑行业智能化发展。在电子企业建设 5G 工厂的过程中，可与各平台形成对接以获取更多资源，更好的发挥 5G 网络作用，推动数字化转型升级。

（二）基础设施建设

电子 5G 工厂基础设施由工厂级系统及车间级系统构成。工厂级系统部署在工厂 IT 机房中的数据中心内，用于支撑工厂业务管理系统，工厂网络管理系统及企业办公设备运行，车间级系统部署在车间中的边缘计算平台上，用于支撑车间业务管理系统，车间网络管理系统及车间生产设备运行。工厂业务管理系统主要包括 MES 及相关数据库，用于对工厂内的各条产线的生产过程进行控制。车间业务管理系统主要包括 DCS，各类工业物联网应用及相关数据库，用于对产线设备进行监控。工厂级系统通过工厂内网与车间级系统相连。

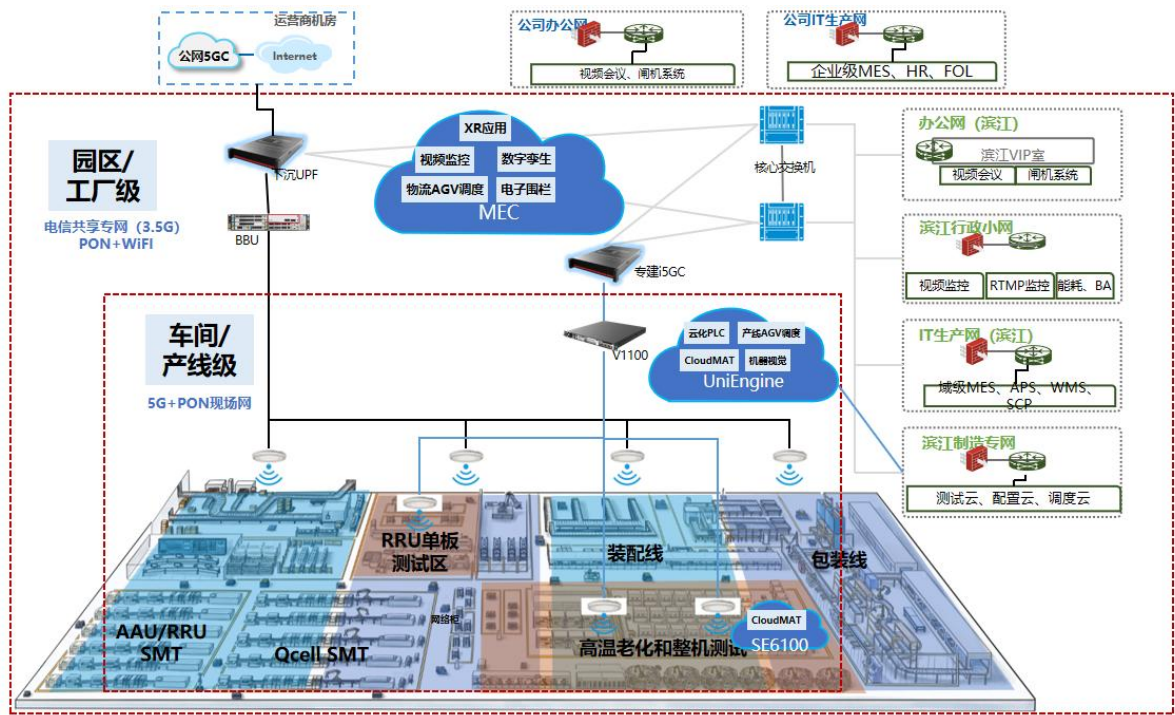


图 3 电子行业 5G 工厂业务系统架构

1. 5G 网络建设

(1) 5G 工厂网络部署

电子 5G 工厂网络以无线连接及有线连接的混合形态，灵活采用多种模式组合构建。无线连接以室内覆盖为主，室外覆盖为辅，其中室外覆盖主要面向成品堆放区域，工厂车间中的无线连接均通过室内覆盖实现。根据生产设备的连接能力，有线连接可采用工业以太网或现场总线实现设备互联。其中，5G 工业网关应提供工业以太网或者现场总线两种方式，支持不同设备的接入。边缘计算平台及车间生产设备与工厂数据中心及办公网之间通过网络防火墙进行相互隔离，确保各系统的网络安全及数据安全。

5G 网络在工厂内主要有混合专网、虚拟专网、独立专网等三种建设部署方式：

➤ 混合专网

混合专网是将原有在运营商 5G 核心网侧的用户面功能（UPF）和多接入边缘计算（MEC）等功能下沉至企业内，实现工厂数据的本地卸载，达到数据不出工厂园区、支持时延敏感业务的目的。该模式下，工厂和公网用户共享基站和核心网控制面功能，所以 5G 控制面信令会离开工厂园区。该网络部署方式因建设成本适中，可满足业务数据不出企业的要求，是当前较为广泛采用的 5G 网络部署方式。

➤ 虚拟专网

虚拟专网是基于运营商的 5G 公网架构，利用 5G 切片、定制 DNN 等技术，为企业提供网络质量定制化、与其他公众用户业务逻辑隔离的专用通道服务。该模式下，工厂和公网用户共享基站和核心网，5G 设备部署在运营商机房，工厂业务数据和 5G 控制面信令均会离开工厂园区，适用于没有

物理专用要求、成本较为敏感的用户。

➤ 独立专网

独立专网是企业自建一张物理专用 5G 网络，包括接入网、承载网、核心网等 5G 网络端到端基础设施，与公网隔离，只承载企业业务的专用网络。该网络部署方式可以保障数据完全不出企业、5G 网络安全兼容企业网络安全要求、企业对网络有充分自主管理能力等，但建设成本较高、频谱利用率偏低、产业链成熟度有待完善。通过 5G 本地网络实现安全自主可控、成本自主可控、能力自主可控的工厂内私有网络，逐步成为工业用户的选择。

（2）能力需求

面对连续生产的要求，5G 网络需具备传输时延低、可靠性高、信号稳定和传输效率高等能力。要求数据业务块差错率应不大于 10%，同时 RRC 连接成功率应不低于 95%，在设计目标覆盖区域内，需确保参考信号电平（SS-RSRP）不小于-100dbm。

空口时延的持续降低和优化是整个 5G 网络低时延的关键。结合业务需求，将网络可靠低时延分为不同等级，每一等级贴合不同的网络技术，结合成本差异、技术复杂度，实施难度等各类因素，保障全连接工厂最优化建设

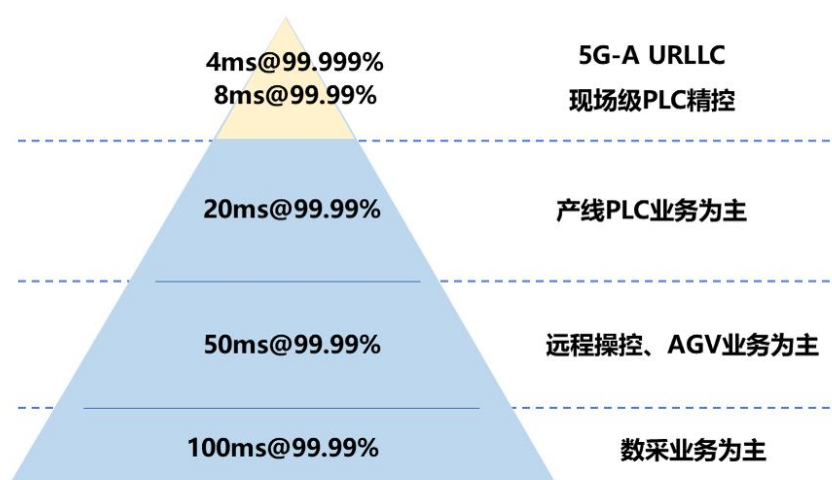


图 10 网络时延可靠性需求

第一档为 100ms@99.99%量级，主要以数据采集业务为主，该业务广泛存在于各类园区和车间，5G 网络经过业务差异化低时延方案即可满足需求。

第二档为 50ms@99.99%量级，主要以远程操控，AGV 业务为主。

第三档为 20ms@99.99%量级，主要以产线 PLC 业务为主。

第四档为 10ms 级以下，可靠性不低于 99.99%。全连接工厂中现场级的 PLC 精控场景需要 8ms 级别的空口低时延，通过 3GPP 新协议新技术，结合 5G-A 能力，实验室可实现 4ms 级别超低时延的验证测试，以满足未来更低时延的场景需求。

（3）5G 工厂网络建设方案

5G 工厂网络建设方案分为三个部分：

➤ 工业现场网络：利用 5G 基站及 5G 核心网构建现场网络，实现产线级别的人、机、料、法、环、测等生产要素 5G 全连接。

➤ 现场设备联网：在产线的各个智能生产设备（例如，作业机械手、传自动运输车及摄像机、工业相机、RFID 标签/读写器等各类传感器）上加装 5G 工业网关，使得上述设备可通过现场 5G 网络接入生产控制系统。

➤ 工业边缘智能中心：以边缘计算平台为基座，提供虚拟化算力，支撑 5G 核心网系统、数据处理组件、AI 处理组件及其他工业应用组件的部署运行。边缘智能中心基于超融合架构的微型数据中心构建，支持虚拟机及容器混合算力部署，同时支撑传统工控软件及新兴的工业 AIoT 软件运行。该平台内置的 5G 核心网系统，提供了本地化的 5G 网络接入能力，可快速构建基于 5G 的 OIOT 融合方案。

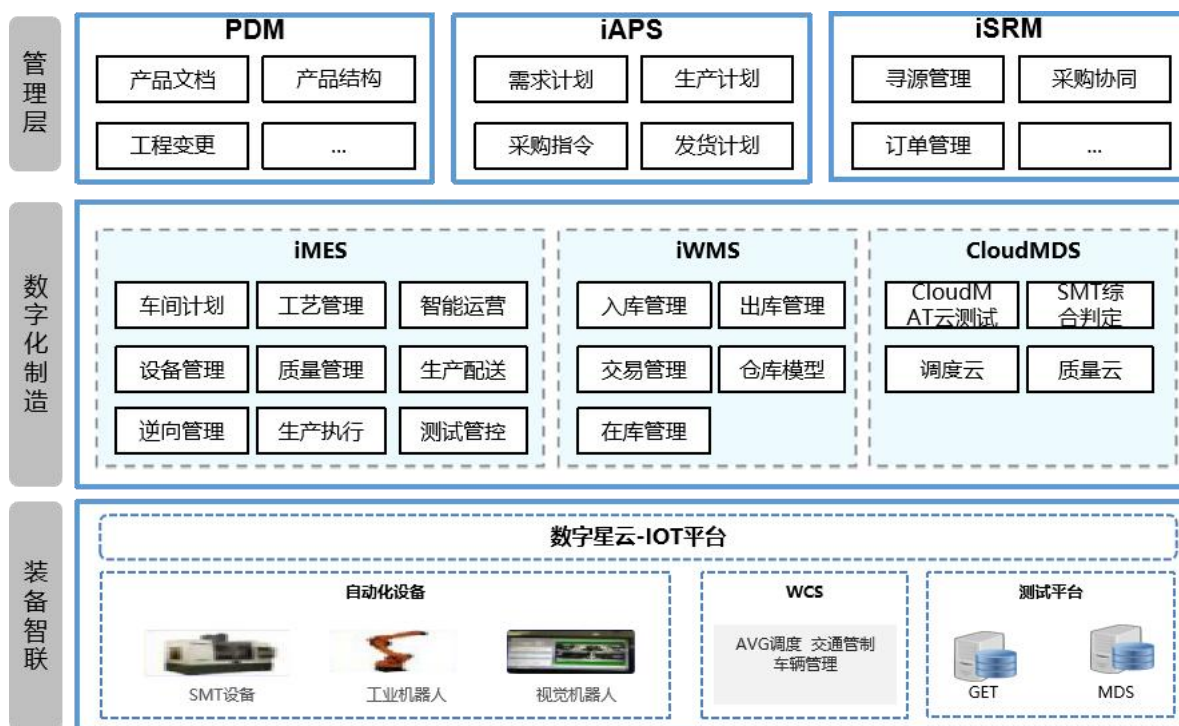


图 14 5G 工厂建设总体方案

2. 工业网络互通

工业网络一般是多种网络混合部署。传统工厂内的工业网络主要包括 IT 网络和 OT 网络，其中 IT 网络主要用于企业生产运营管理，包括企业办公网络、生产管理网络、监控预警网络等。OT 网络主要用于生产现场实时控制，包括工业控制网络和物联网等。使用的网络技术主要包括工业现场总线、工业以太网、工业无线网等三种类型：

工业现场总线：是一种通信协议或网络技术，用于在工业控制系统中连接和通信各种设备和传感器，如传感器、执行器、PLC（可编程逻辑控制器）等。工业现场总线模式通信速度相对较低，通常用于低速或时间不敏感的应用。

工业以太网：是一种以太网技术的变种，专门设计用于工业环境。它采用标准以太网协议，但在物理层和数据链路层上进行了调整，以适应工业应用的需求。工业以太网支持高速数据传输，适用于需要大量数据的应

用。

工业无线网：是一种使用无线通信技术在工业环境中建立连接的网络。它可以用于在工业设备之间或与控制系统之间传输数据和命令，通常用于需要移动性或难以布线的情况。工业无线网提供无线通信，消除了有线连接的限制。

随着 5G 技术演进和企业数字化转型，生产制造的无线化、柔性化、智能化等需求持续加大，工业企业对 5G 技术充满希望。目前工业企业充分利用 5G 大带宽特性，将 5G 接入到办公网络、生产管理网络、监控预警网络，同时利用 5G 低时延高可靠特性，构建柔性产线，在产线上探索 5G 网络与工业控制网络的融合，即通过 5G 网络可将企业办公、生产管理、监控预警、工业控制、物联等网络进行互联互通，并形成星形的网络架构，可实现现场终端设备的扁平化接入，改变传统繁琐的基于有线多层级交换机的分层分级连接方式，加快 IT-OT 网络的融合。

5G 网络与工厂现有网络及设备的接入方式也有三种，包含通过 5G 工业网关接入、通过 5G CPE 接入、5G 设备直接接入等。

5G 工业网关接入：主要针对有线网络，并且已接入现场总线或工业以太网的 I/O 设备、机床、生产线、仪器仪表等，不做任何改变，仍然接入现场总线或工业以太网中，只是在网关处由原有的工业网关更改为 5G 工业网关，从而接入 5G 网络。

5G CPE 接入：可满足有线网络和工业无线同时接入。对于当前已接入现场总线或工业以太网的 I/O 设备、机床、生产线、仪器仪表等，也是不做任何改变，继续接入现场总线或工业以太网中，但需将有线网络接入到 5G CPE 中，从而接入 5G 网络。对于原无线设备可通过原有工业无线网络接入 5G CPE 中，从而接入 5G 网络。

5G 设备直接接入：需对原设备进行 5G 化改造，在设备中内置 5G 通信

模组，以便可直接接入 5G 网络中。目前主要的 5G 设备有工业机器人、视觉机器人、5G AGV 等。

3. 边缘计算部署

边缘计算是在靠近物或数据源头的一侧，采用网络、计算、存储、应用核心能力为一体的开放体系，就近提供智能服务，满足企业在实时业务、应用智能、安全与隐私保护等方面的需求。

边缘计算将原有云计算中心的部分或全部计算任务“下沉”到靠近用户的网络边缘侧，使物联网设备不再需要将产生的数据都上传至遥远的云计算中心，较之传统的云计算架构，边缘计算具有低延迟、高安全性和低核心网负载的优势。

低延迟：在云计算架构中，物联网设备产生的海量数据都上传至云计算中心进行处理，网络带宽的限制会给核心网络带来巨大的负载压力，造成网络堵塞，导致较长的网络传输时延，该网络模式不能满足物联网应用的高实时性需求。比如，无人驾驶需要每一个动作都在毫秒级时间内之内完成。边缘计算通过将云计算中心的计算和存储能力“下沉”到网络边缘侧，使用户的服务请求可以在网络边缘侧进行处理，保障了处理的实时性。

高安全性：物联网设备产生的数据通常包含用户的隐私数据，将这些数据上传至云计算中心会增加泄露用户隐私的风险。在边缘计算中，用户的数据在本地设备或边缘节点上进行存储和处理，避免了隐私泄露问题。同时，边缘计算在边缘设备和云计算中心之间分配存储、处理和应用，黑客攻击只会使单个设备或边缘节点上的本地数据受到破坏，而不会导致整体数据遭到破坏。边缘计算是分布式架构，具有更高的可靠性和容错性。

低核心网负载：随着爆炸式增长的物联网设备及其产生的海量数据，将这些数据都上传至云计算中心会导致核心网负载过重，引起网络堵塞。

而在边缘计算中，本地设备收集的数据可以在本地进行计算分析，或者在本地设备上对必须上传至云计算中心的数据进行预处理。较之原始数据，预处理之后的数据要比其小得多。

边缘计算作为 5G 工厂的重要组成部分，企业可根据生产现场需要，在产线、车间、工厂等不同层面按需部署边缘计算节点：

产线层面：在产线上可部署边缘控制器，大幅提升生产现场的数据采集与传输能力，同时承载与生产管控密切相关，具有低时延、高可靠要求的智能化应用，促进应用部署精细化，解决工业互联网平台负担“重”的问题。

车间层面：在车间内可部署边缘网关，充分利用边缘侧资源异构、实时响应等特点，通过在边缘侧开展工业协议转换、数据预处理，提升工业数据质量，完善数据集成体系，解决工业互联网数据价值“低”的问题。

工厂层面：在工厂内可部署边缘云，与中心云不断联动，提升数据流通效率，发挥边缘侧分布式存储能力，有效改善了海量数据上传造成的网络拥塞问题，并结合数据分析、人工智能等技术提高决策智能化水平，同时针对差异化应用需求协同调用云边资源，为边缘侧提供与云上一致的功能和体验，解决工业互联网应用部署“难”的问题。

4. 业务系统建设

（1）网络服务与管理系统

网络服务与管理系统，是企业对工厂内网进行智能化运维和管理的综合平台。在企业内部搭建网络服务与管理系统，对工厂内网进行智能化运维和综合管理，实现网络运维管理的可视化、网络与业务协同的智能化、告警处理的及时化、网络升级的联动化。同时建议该系统具有“傻瓜式”的网络运维管理能力，使得企业网络管理人员可以根据企业需要对业务及

网络进行端到端监控，管理接入网络的用户，动态调配网络资源，及时发现并跟踪网络故障等，做好日常网络运维工作。网络服务提供商可根据使用权限，通过系统进行网络远程维护、升级、故障处理等，降低企业网络运维管理成本及复杂度。

（2）数据存储节点

数据存储节点是一个存储原始数据的系统或存储库，其中的数据可供存取、处理、分析及传输。在工厂内部搭建数据存储节点，支持海量数据的集中存储与分析，便于工厂各方对于数据的使用，也可以根据生产规律及数据分析需要，长周期性存储历史数据。

对于数据存储节点中存储的多源异构数据，可通过工业互联网信息模型进行规范，即通过语义标准化描述实现海量多源异构数据的互认互通，以及跨设备、跨系统互操作。在 5G 工厂建设中，可在数据感知层、数据处理层、应用服务层分别部署信息模型，使用数据中间件实现信息模型的即插即用，实现工厂内各功能层级数据的统一表示和融合存储。

（3）工业互联网标识企业节点

当前我国工业互联网标识解析体系已经逐渐完善，已应用于国内多家工厂，对厂内关键设备、产品、工艺、库存等资源统一标识化。电子行业标识解析二级节点已建设完成，面向广大电子生产企业及相关行业提供标识服务。

企业标识服务节点是工业互联网标识解析体系接入和输出服务，以及标识应用实施部署的重要节点。它能够面向供应链企业、物流中心等企业提供标识注册、标识解析、标识数据管理等功能，既可以独立部署，也可以作为企业信息系统的组成要素。企业标识服务节点向上对接二级节点，向下对接企业实际数据或设备，主要功能包括企业内的人、机、料、法、环等对象的标识注册、标识解析、标识数据管理等。

建设部署企业节点，对接电子行业二级节点实现标识解析体系的接入。企业通过标识解析体系打破工厂间、企业间异构数据交互的壁垒，实现工业数据的高效互通，促进数据资源共享，提升生产协同效率。

（4）企业级工业互联网平台

在 5G 工厂的建设中，企业级工业互联网平台重点聚焦 PaaS 层和 SaaS 层，强化工业知识沉淀、数据模型训练、应用开发和部署等，提升企业生产管理的快速响应和运营管理的精准决策的支撑能力建设。同时，可与电子行业工业互联网平台建立对接，通过 5G 网络获取行业工业互联网平台提供的各类云应用服务。

（三）厂区现场升级

电子企业 5G 工厂重点从现场装备、数据采集设备升级、IT/OT 融合应用、生产服务等四个方面进行升级。

1. 现场装备网络化改造

现场部署 5G 全连接设备包括 5G CPE、5G 射频单元 pRRU，以及各种生产装备如自动控制系统、工业相机/摄像机、工业机器人、AGV、自动化装配线、自动化测试线等，通过全连接技术完成与边缘计算平台上的应用进行交互。交互的信息包括设备采集上报的信息，以及应用下发给生产设备的控制信息。

打通控制网络，解决设备与设备，点对点之间的桥梁问题，采用 5G 全连接系统架构的设计，要求既能够适应新厂建设，也能适应老厂改造，实现 PLC 对 PLC、PLC 对 I/O 之间 5G 直连，保证 ms 级低时延数据通信；温度、压力、振动、料位、液位、位置等分散的传感器信号通过无线收集、汇总及上传，在厂区范围内可任意部署传感器/智能终端，无需部署光缆、信号

电缆和电缆桥架等，节约通信设备/施工方面的投资，同时可以做到工艺快速扩展。

由于电子行业传统设备较多，多数设备不具备联网能力，需要进行网络化改造。对于工厂内数控机床、激光钻孔机器人等没有移动需求的设备可采用有线方式。对于 AGV、叉车、码垛机器人等有移动需求的设备可采用无线联网方式。

当前，电子工厂现有工业网络采用了基于 TCP/IP 的 Profinet 工业通讯协议，生产线上的设备均支持 PN 网络通讯方式。借助核心网提供的 5G LAN 功能，支持终端设备如 PLC 与上位机在局域网内的互通数据，使数据不再依靠物理硬线，在 5G 网络即可实现互通。

设备 5G 网络化改造方式可分为如下两种：

外接 5G 终端/网关的方式：完成设备的 5G 化改造。现阶段主要是通过连接 5G CPE 或 5G 工业网关进行改造。其中 5G CPE 适用于现场有移动和旋转摆动设备，有无线连接需求的工业场景；5G 工业网关除无线连接需求的工业场景外，还适用于在工厂边缘侧对于数据汇聚、处理需求，工业协议解析需求等场景，还可作为边缘网关的应用场景。

内置带有 5G 功能的芯片、模组、传感器：伴随着 5G URLLC 技术的发展，5G 模组将提供类似于传统工业模组的功能，工业现场设备（如 IO/变频器/PLC 等）可内置集成 5G URLLC 模组，实现从传统工业模组向 5G 模组平滑过渡。

2. 数据采集设备升级

5G 网络可支撑视频、声音、高清图片、海量文字数据、时延/可靠性要求较高指令信息。在人、机、料、环、环、测等全面联网后，便可在关键位置部署联网工业相机、摄像头等采集设备，结合人工输入、系统导入、

自动感知、设备读取、视频采集、系统生成等方式，对研发数据、生产数据、运维数据、管理数据、外部数据等各类生产运营管理所需的数据进行采集。采集到的数据应包含但不限于海量的关键价值数据、接口数据、信息化数据以及文档、图片、音频、视频等类型数据。

3. IT/OT 应用融合化部署

电子企业 IT 系统应用一般建设部署在办公端，由具有计算机、软件等背景知识的人员建设，主要是实现日常办公的信息，提高管理运营能力。OT 系统应用一般部署于工厂端，主要由工厂内生产人员控制，用于实现生产制造自动化。传统生产模式下，IT 与 OT 网络相对独立，IT 应用与 OT 应用间数据无法互通，运营管理与生产管理相对分离。

在 5G 工厂建设中，需改变原有工厂内 IT-OT 系统应用建设运营方式，组织 IT-OT 融合团队，对 IT-OT 进行一体化部署，通过应用软件或系统功能的云化部署，研发面向工厂生产、运营、管理等需要的各类移动端应用程序（APP），建立起扁平化、灵活化“云-边”协同架构，形成 IT-OT 应用的统筹建设、统一运维、统一管理，并促进形成工厂内同时要加快推进云网融合，实现网络资源、计算资源、平台资源等横向打通，提升工厂生产运营管理效率。

企业可根据生产现场需要将应用部署在边缘计算节点和企业级工业互联网平台上。建议对高实时性、高可靠性、高安全性的应用按需部署在边缘计算节点上，通过边缘计算、人工智能等技术，为生产的端侧就近提供智能化服务，提升企业的生产效率。对需要海量数据支持、高算力的应用及相关管理系统功能等部署在企业级工业互联网平台上，可通过云计算、大数据、人工智能等技术，对设备、产品、生产工艺、企业管理等模型进行训练，持续优化生产工艺，实现工厂各生产环节的数字化转型升级。

4. 生产服务智能化升级

电子工业企业在数字化、网络化、智能化发展的过程中，对生产服务提出了新要求。5G 网络在建设完成后，企业需要考虑利用 5G 网络低时延、高带宽、高可靠的特点，发展智能化应用。在 5G 网络应用初期，企业可根据自身需求，重点发展 2-3 个“5G+工业互联网”应用，优先解决在生产服务过程中的痛点问题。

此外，在实现生产服务智能化升级的过程中，企业可考虑利用 5G 技术实现企业生产运营过程中海量数据的采集、传输和汇总处理，建立数据中心。利用人工智能、大数据分析等技术，对海量工业历史、实时、时序数据进行聚类、关联、预测等分析，对工业数据开展深度挖掘，实现设备健康评测与预测性维护、能耗排放管理等，为企业精准决策提供依据。

（四）关键环节应用

目前，工业和信息化部发布了“5G+工业互联网”20 个典型应用场景，涵盖到工业研发设计、生产运行、检测监测、仓储物流、运营管理等关键环节。根据电子行业 5G 应用需求，从中筛选出适合行业发展的 5G 应用场景并提出了多个创新应用场景，为电子企业 5G+工业互联网融合应用建设提供指导。电子各细分领域可根据领域内自身发展需求和信息化基础，进行 5G+工业互联网应用建设。

表 3 5G 应用场景汇总表

应用 \ 领域		半导体	电子元器件	PCB	计算机	通信设备	家用电子设备	汽车电子	医疗电子	工业电子
生产运行	远程设备操控	●	●	●						
	精准动态作业	●	●	●	●			▲	▲	▲
	设备故障诊断	▲	▲	▲	▲	●				
	设备预测维护	▲	●	●						
	无人智能巡检	●	●	●	●					
	现场辅助装配				▲	▲	▲	▲	▲	▲
	柔性生产制造	■	●	▲			●	●	●	●
	设备协同作业	▲	▲	▲	●		●	▲		▲
	生产单元模拟	■	■	●						
检验监测	生产现场监测	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	机器视觉质检	▲	▲	●	●	●	●			
	工艺合规校验	▲	▲	▲						
仓储物流	厂区智能物流		●	●	●		●	●		
	厂区智能理货	●					●		●	
	全域物流监测				●					
运营管理	生产过程溯源	▲			●		●	▲		
	生产能效管控	▲	●							
	虚拟现场服务									
产业合作	协同研发设计	■		■	■		■			
	企业协同合作	■			■			■		■

注：▲—必选应用 ●—可选应用 ■—创新应用

1. 生产运行

(1) 远程设备操控

针对电子行业降低设备运行成本、提高设备巡检效率等需求，建设基于 5G+工业互联网的远程设备操控应用。综合利用 5G、工业自动控制等技术，在设备端和运行操作端建立高效、安全的通信渠道。在主要生产设备上部署 5G 网关，结合内置 5G 模组的摄像头、传感器等数据采集装备，实现生产设备运行数据的采集，通过 5G 网络实时传输至设备管理平台。设备管理员、操作员可远程获得高清视频画面及各类终端数据，对设备运行状态进行实时监控。通过 5G 网络传输操作指令，结合设备操控系统实现对现场工业设备的远程精准操控。

基于 5G 网络的远程设备操控应用场景的建设可帮助企业减少设备运营成本、提高生产效率。5G 网络的低时延保证了操控指令的高效传输，通过远程设备操控可在一定程度上减少工人工作的强度和难度，减少高危作业给工人带来的风险。

● 云化 PLC 生产线远程设备操控

目前 5G 基站智能工厂正在逐步进行无人化少人化方向改造，在产线人员减少的大背景下，每个产线人员管理区域变大，因此逐步就产生了产线的远程控制改造需求。考虑到在现有产线多是采用 PLC 进行控制的，因此在现有产线技术的实现基础上，我们提出了云化 PLC 方式来实现远程控制功能。

在现场端侧层面，采用 IO 模块替代改造现有 PLC，采用 5G CPE 或工业网关，实现 IO 模块与云端软 PLC 实现通信，由 5G 网络的网络切片(TSN/uRLLC)和 AI QoS 实现高可用的控制链路，并提供 20ms 网络延迟、低抖动的 QoS 网络控制。

在云端，基于虚拟机部署了软 PLC 组件，提供组态编程环境，实现一套云化环境，来满足开发和运行需求，同时在云端部署安全组件，提供可信的生产运行环境。

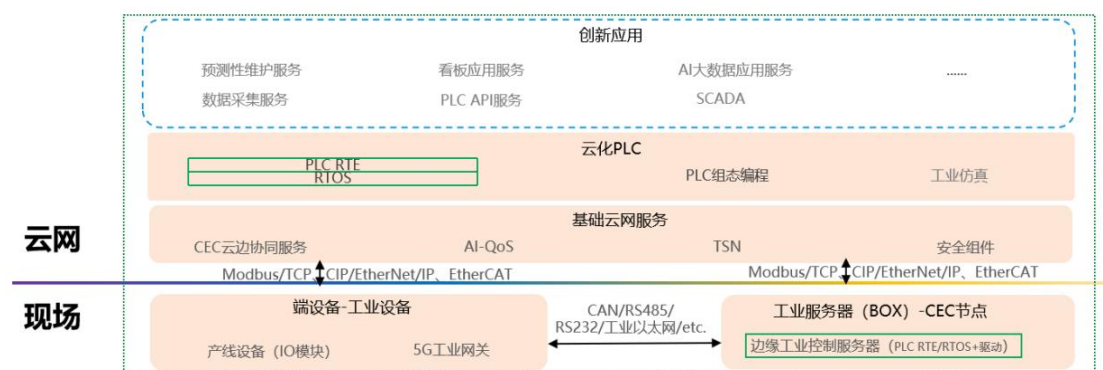


图 15 5G 智能制造工厂的云化 PLC 部署架构

(2) 精准动态作业

为了提高电子产品生产工艺精确性、保障安全生产，建设基于 5G+工业互联网的精准动态作业应用。利用 5G 高效传输能力，配合机械臂实现精准动态作业。在作业过程中，通过 5G 网络将测量数据、现场采集画面等实时传输至控制台。控制台根据生产需要远程下达作业指令，提升生产作业的精度和自动化水平。

基于 5G 网络建设的精准动态作业应用可实现生产作业的自动化和效率的提升。同时，精准动态作业可取代一部分人工操作，工人利用控制系统远程操控智能装备进行生产，从而减少工人工作强度和危险性，在降低生产成本的同时也可减少生产过程中安全事故的发生。

例如，在 5G 小站生产过程中，在关键工序中可采用机械臂等多种智能装备，利用 5G 网络实现控制台与装备间的通信，从而提升小站生产的效率，保证构件生产质量。

● 精准插拔网线

5G 小站自动化产线中，QCe11 在高温老化后需要进行网线头和光模块的插拔,然后送去环岛测试。前期该工序主要通过人工进行操作,协作机器人的引入可以实现该生产的无人化,解决生产中的断头环节。该应用由 Jaka 机器人负责 QCe11 整机的上料和下料, Franka 机器人负责 QCe11 载具打开和关闭,网线光模块的插拔, Franka 的前置双目负责强化学习的视觉输入, Franka 的后置双目负责扫码,以及 QCe11 状态识别, Jaka 的两个双目分别负责上下料时 QCe11 定位与黑色泡沫托盘定位。涉及到 3 个 PLC 控制单元, PLC1 负责传送带, PLC2 负责移栽机, PLC3 负责云化 PLC 按钮, 通过 5G 与 MES 及 AGV 进行业务交互。

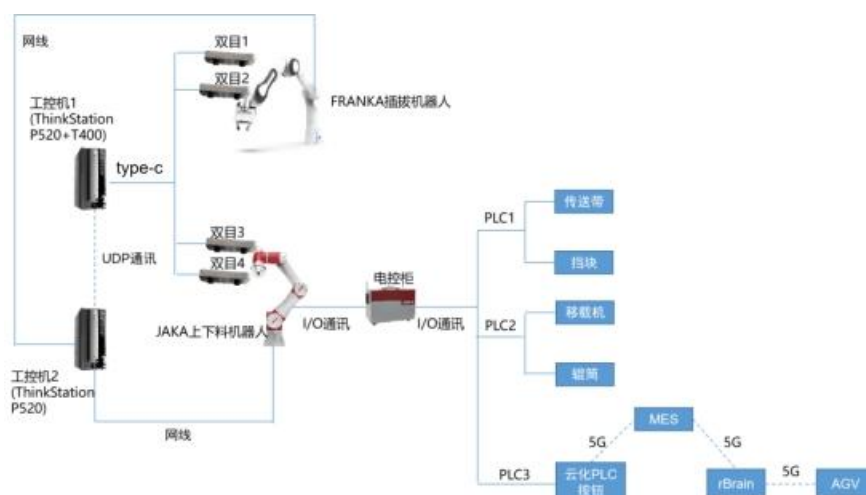


图 16 高温线后插拔网线机器人组网

(3) 设备故障诊断

为了减少电子生产设备故障修复成本和时间,建设基于 5G+工业互联网的设备故障诊断应用。在设备上安装功率传感器、振动传感器、高清摄像头等,通过内置 5G 模组接入 5G 网络,将采集到的设备运行数据和图像画面传输到设备故障诊断应用。当设备运行出现故障时,设备维修人员可通过分析历史运行数据定位可能出现的问题,进行故障分析和诊断。在设备维修过程中,可通过网络实现对维修过程的实时监测,便于设备供应商、

技术专家远程对故障修复过程进行指导。

基于 5G 网络的设备故障诊断应用场景的建设协助企业快速定位故障问题，缩短故障修复时间。通过 5G 网络实时将采集到的数据传输至应用，通过大数据分析、可视化工具汇总整理数据形成设备的运行档案，设备运行档案可为故障排查提供数据支撑，便于设备维修人员定位问题。

（4）设备预测维护

为了降低电子生产设备的维护成本、减少计划外停机情况的发生，建设基于 5G+工业互联网的设备预测维护应用。在实现设备远程监控、故障诊断的基础上，引入设备故障预测机理模型、设备健康评估诊断模型对通过 5G 网络采集的设备运行数据进行实时分析，以评估设备监控状态、预判设备运行趋势，智能制定设备维护保养计划。通过对运行数据的监测与分析，提前预警设备的不正常运行状态，设备维护专家可通过系统保留的异常数据对设备的健康状况进行详细检查，避免更大的故障发生。

基于 5G 网络建设的设备预测维护将维护的工作提前，可有效减少生产设备的故障，减少设备维护成本。同时，对设备运行异常状态的提交预警可为企业生产运行人员争取更多的响应和处理时间，从而减少因设备故障导致的计划外停产带来的损失。

（5）无人智能巡检

为了实现生产巡检智能化、降低安全巡检的成本，建设基于 5G+工业互联网的无人智能巡检应用。通过内置 5G 模组或部署 5G 网关等设备，实现巡检机器人或无人机等移动化、智能化巡检设备的 5G 网络接入。安全生产巡视人员可通过巡检系统远程操控巡检设备，对生产现场进行巡视和监控。巡检数据可通过 5G 网络实时回传至智能巡检系统，结合图像识别、增强现实等技术对现场状态进行初步诊断，对存在安全隐患的地方发出预警，提醒厂区安全管理人员及时处理安全隐患。

基于 5G 网络建设的无人智能巡检可以有效地提升厂区安全巡检的效率和质 量，帮助厂区安全管理人员对厂区安全隐患进行排查。此外，无人智能巡检设备可代替人工进行井下、高温、高湿等生产环境的巡检，减少人工巡检的难度，提升了作业的安全性。

● 设备无人智能巡检

5G 超高清设备无人智能巡检是指利用无人 AGV、机器人或其他自动化设备进行巡检和监测 5G 基站产品在自动化生产制造环节的运行状态和性能，基于 5G 大带宽的特性实现超高清音视频信息回传技术，可以提高效率、降低成本，并减少人工巡检的风险和工作量。

AGV 可以搭载 5G 高清摄像头、红外热像仪和其他传感器，通过轨道或人工设定的路径巡检 5G 设备的外观、天线、连接线缆等部件。无人机可以在空中自动飞行，并利用图像识别和数据分析技术来检测潜在问题，如设备损坏、松动连接、温度异常等。机器人可以在地面或室内环境中执行巡检任务。它们可以配备摄像头、传感器和机械臂等设备，用于检查和测试 5G 设备的各个方面，如电源供应、信号强度、温度等，并识别设备的异常情况，生成相应的警报或报告。通过实时监测和故障诊断，可以及时采取措施进行维修和维护，避免设备故障对 5G 网络的影响。



图 17 无人智能巡检

（6）三维 VR 巡检

依托摄像采集设施及传感器采集设施升级无人车间，结合数字孪生技术建设微缩版三维车间，结合 VR 基础，实现巡检模式的创新。三维 VR 巡检能够有效解决人工在危废、液态、固废车间作业所产生的健康问题，有效平衡了安全生产中人工与工作之间的矛盾，提升作业质量水平。此外，基于 5G 的三维 VR 巡检有利于将生产设备运行事故隐患降至最低、有效提升安全运营为前提的生产效率。

2. 检验监测

（1）生产现场监测

针对电子生产过程监控、安全生产等需求，建设基于 5G+工业互联网的生产现场监测应用。综合利用多个传感器、多光谱偏振光、摄像头等进行生产过程数据采集，通过 5G 网络将采集到的数据传输到可视化监测平台。结合模型仿真、孪生共智等技术实施模拟生产现场，实现对产品生产制造过程的实时远程监控和对生产过程、生产工艺、生产工序等精准管控，提升生产管控的效率。

基于 5G 网络的生产现场监测使得企业生产管理人员能远程、实时了解到各生产线的作业运行状态，实现对生产过程的精准监控，确保生产制造符合相关要求、保证安全生产。同时，通过对采集上来的数据进行进一步分析，可帮助企业定位可优化的生产环节，实现生产工艺、资源调度的优化，达到提高生产效率、降低成本的目的。

● 电子围栏

通过前端 5G 摄像头进行视频成像，覆盖需要监控的区域，基于 5G MEC 的分布式通用视觉平台，后台 AI 算法对视频流进行解析与图像学习训练，生成告警状态，同时将停止或启动信号回传云化 PLC，进行现场设备的自动

启停。可以对人员行为实时监控、识别和预警，一旦有人员闯入，可以立即告警并停止设备运行，确保生产安全。用在库房当中，还可通过对人脸分析，判定是否有权限进入库房区域，一旦有陌生人闯入，可立即告警并将告警信息发送给相关人员。



图 18 电子围栏

● 环境监测

针对车间生产环境（温度、湿度、静电、PM2.5）实时监控，经传感器实时采集，统一用 5G 技术接入园区 AI 云控中心环境监测模块，根据实时监测状态数据及时预警和自动控制，保证高品质生产。异常情况可自动在 AI 云控中心告警显示，同时以邮件方式发送给生产、质量班组，推动相关单位第一时间解决。环境异常时，还可跟环境设备联动，自动控制冷机、离子风机等设备，调节相关参数使其符合生产要求。热感、烟感数据，接入 AI 云控中心智慧消防模块，异常情况也会在 AI 云控中心告警显示，同时通知行政物业管理人员第一时间到达现场解决，确保安全生产环境。



图 19 环境监测

（2）机器视觉质检

为了提升电子产品质量检测的效率和精度，可通过 5G 网络建设机器视觉质检应用。在 AAU、PCB 等质检工段部署工业相机、激光器、扫描仪等质检终端，通过内嵌 5G 模组或部署 5G 网关等设备，实现质检终端的网络接入，实时将拍摄产品图像传输至平台。结合图像识别、深度学习等技术，对产品外观等参数进行提取和指标对比，自动筛出质量不合格、存在偏差的产品，供专业质检人员进一步核查分析。

基于 5G 网络建设的机器视觉质检应用可减少产品质量检测的时间和人工成本，促进企业逐步实现产品质量检测线上化、智能化，从而提升企业产品质量控制能力，树立良好的产品口碑。

● AAU 外观质量检测

基于 5G 边缘云，运用视觉 AI 技术实现 AAU 外观检测，提升生产效率，杜绝漏检。漏检率相比人工检验降低 100%，可追溯率 100%，提高装配质量和效率。实现无人化检查 AAU 设备外壳螺钉的安装状况，并将检测结果反馈给产线看板系统，对不合格产品进行告警。系统包括数字图像采集、数字图像分析和结果处理展示三大模块。数字图像采集模块：主要由相机/摄像机、镜头、光源组成，相机可以通过 5G 网络向云端回传数字图像信息。

数字图像分析模块：基于 MEC 进行边缘部署，主要是基于图像处理算法和 AI 算法，对数字图像进行分析，获取其中有效的视觉信息，从而完成 AAU 外观检测用途。结果处理展示模块：基于 MEC 进行边缘部署，结合行业知识，根据数字图像分析处理模块的结果，对采集数据进行决策分析和展示，从而指导生产过程。

● IQC 来料检测

生产过程中对来料进行检测，需要人工检测并在多个系统查询以及比对，长时间人工检测存在视觉疲劳以及误检，而且人工检测，检测精度低，一致性差，易漏检。运用 5G+机器视觉技术，前端设备精确采集来料设备图片，通过 5G 技术将数据上传 MEC 边缘云，云端算法对图片进行推理识别，并将结果回传至前端显示，解决了人工检验有概率出现视力疲劳造成的质量风险，不良拦截率可达到 99.8%，而且全流程自动检测，整体工作提效 200%。

3. 仓储物流

（1）厂区智能物流

针对行业厂区物流效率提升、生产成本降低的需求，基于 5G+工业互联网建设厂区智能物流应用。利用 5G MEC+超带宽（UWB）高精定位技术，可以实现对物流运输终端的控制。智能物流调度系统可通过 5G 网络实时下达运输指令到接入 5G 网络的自动导航车辆（AGV）、自主移动机器人（AMR）、机器臂等装卸运输装备，实现厂区内各生产工段物料的无人智能配送，降低人工传送的成本，提升生产效率。

基于 5G 网络建设的厂区智能物流可实现生产线自动化、智能化，智能物流调度系统在接收到运输任务后，可利用机器学习等技术对厂区内物流设备运行情况、物流线路进行分析，自动制定厂区内物流运输计划，利用

5G 网络将运输指令下达给物流装备,从而实现对厂区物流装备的精准调度,减少闲置物流设备,提高生产过程中物流效率。

表 4 物流运输通信技术要求参数

业务场景	时延	上行速率	下行速率	可靠性	备注
物流通道位置判断	20ms	$\geq 6\text{Mbps/路}$	$\geq 100\text{Kbps/路}$	$\geq 99.99\%$	1、相机分辨率为 2K 2、时延为单向空口时延 3、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概率不低于 99.9% 4、相机视频 ≥ 2 路
出货区或堆放区位置判断	100ms	$\geq 100\text{Kbps/路}$	—	$\geq 99.99\%$	1、时延为单向空口时延 2、时延 $\leq 100\text{ms}$ 概率不低于 99.9%

(2) 厂区智能理货

为了提高电子产品仓储利用率、提高货物分拣效率,建设基于 5G+工业互联网的厂区智能理货应用。采用连接 5G 网络的 AGV 小车、叉车、机器臂等装备,实现货物的自动运送、按需码放货物、智能分拣等。利用光学字符识别(OCR)等技术自动识别货物标识、外观、尺寸等信息,结合立体仓库管理系统,实现对厂区仓库货物的盘点和管理。

基于 5G 网络建设的厂区智能理货应用可提升工厂内货物管理、盘点、分拣的自动化，在提升生产效率的同时也可减低人工成本。此外，利用 5G 网络低时延的特性，可实现远程指令下发和智能调度，从而提升货物盘点、分拣过程的精确度和效率。

4. 运营管理

（1）生产过程溯源

针对电子企业提高质量竞争力和产品质量控制能力等需求，建设基于 5G+工业互联网的生产过程溯源应用。运用区块链、工业互联网标识解析等技术，建设产品关键要素和生产过程追溯应用，可通过查询产品条码，获取对产品原材料、生产工艺、质量检测信息等生产关键信息。将生产过程中扫码枪、工业相机、摄像头、读卡器等设备接入 5G 网络，将生产过程中物料信息、工单信息、作业状态等信息实时传输至管理平台。平台对接 ERP、MES 系统整合形成溯源数据库，实现对产品生产过程溯源。

生产过程溯源应用场景的建设可帮助企业提升质量控制能力，实现对产品质量问题的溯源。5G 网络的建设可使得企业采集图像、视频等更多种类的数据，海量溯源数据可为产品工艺流程优化、质量能力提升提供有力数据支撑，促进生产效率和品牌形象的提升。

（2）生产能效监控

针对电子行业减少能源消耗需求，建设 5G+工业互联网的生产能效管控应用。利用内置 5G 模块的仪器仪表对生产设备的用能数据进行采集，通过 5G 网络实时传输至能耗管理系统。系统根据采集上来的数据，自动生产能耗使用报表，供企业生产管理人员分析决策。结合大数据分析、人工智能诊断等，对企业用能需求及污染物排放进行预测，制定节能减排计划，进一步挖掘生产过程中节能减排潜力。

基于 5G 网络建设的企业生产能监测系统可实现海量数据秒级采集，结合能源管理系统，辅助企业对各生产环节的能源使用情况进行实时监测。通过对能耗数据的分析，配合产线排程调整和参数设置，可帮助企业实现节能减排、削峰填谷。

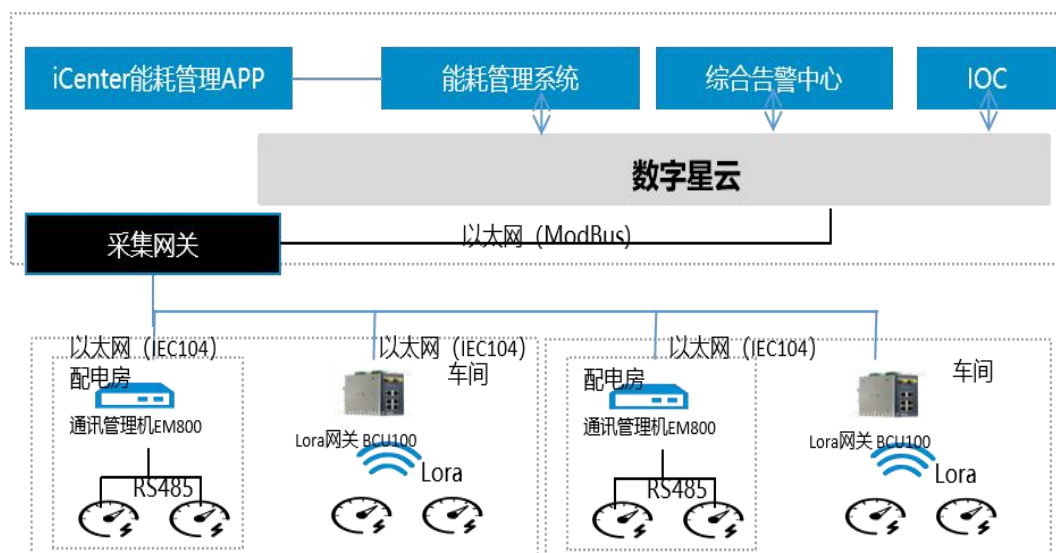


图 20 能耗管理系统组网图

(3) 虚拟现场服务

为了保证电子生产的安全性，大多数电子生产工厂、园区对人员的管控非常严格，外来人员在没有报备的情况下不得进入生产区域。面对企业参观、从业人员培训等需求，可利用 VR/AR 等技术结合 5G 网络，打造虚拟现场服务，为相关人员构建贴近真实场景的全虚拟场景，这样在不影响正常生产的同时也可以达到参观、培训的目的。

● 远程协同设计

IDC 机房设计涉及到多种专业工程师的协同工作，传统的纸质设计稿和系统平面图很难精准呈现清楚各个系统（如暖通、通风、弱电等）的设计布局 and 管线走位，无法准确反应各类管线交错上下关系，因此会导致设计工期延期，甚至对后期的施工带来物料浪费等经济损失。借助网媒融合技

术优势，各个专业领域的工程师、设计师可以通过 5G-A 网络，身在异地却可以同时接入同一个虚拟机房空间，将各自专业领域的设计图纸转变成三维立体感知的立体空间，利用 XRExplore 平台的空间计算能力，实现机房内部的管线、机柜等模型的精准锚定在机房物理空间之中。

● 远程培训

为了保证电子生产过程的规范性和安全性，工人在上岗前都需要通过理论和实操培训，为了让工人可以更直观的了解生产作业流程和规范，可通过 XR 虚拟现实增强技术实现服务器产品装配的复杂工序教学与岗前培训，更形象更细致，对于服务器人工装配线的新员工培训更为友好。对于一些复杂设备进行详细的关键器件的指导，以及故障库的梳理和解决方案说明。技术员只需要带上眼镜或者平板就可以随时随地查阅故障库进行处理。

表 5 VR 虚拟应用要求参数

典型应用	沉浸等级	通信速率要求	时延	应用范围
VR 虚拟应用	初步沉浸	25Mbps	<40ms	虚拟展示等静态展示
	部分沉浸	100Mbps	<30ms	虚拟培训等交互场景
	深度沉浸	400Mbps	<20ms	虚拟装配等强交互场景
	完全沉浸	1Gbps	<20ms	强交互，全沉浸场景

（4）大规模个性化定制

针对电子行业日益增长的产品个性化定制需求，基于 5G+工业互联网建设大规模个性化定制应用。通过内置 5G 模组或部署 5G 网络将数控机床和其他自动化工艺设备接入 5G 网络，实现生产设备连接无线化，减少生产线调整时间和成本。建设大规模个性化定制平台，对个性化订单进行拆解，

将不同订单内存在相同的模块需求进行分拣、组合，与企业 ERP、MES、WMS 系统关联，制定最优生产方案，实现流水线上个性化产品模块的有序生产。

5G 网络的建设为企业产品产线调整提供了更多的灵活性，为行业探索大规模个性化定制提供了网络基础。大规模个性化定制可帮助企业更快地响应市场需求，探索“以销定产”的新模式，提高设备利用率和员工劳动生产率，降低库存成本。

（5）数字孪生

● 数字孪生工厂

5G 网络可广泛连接产线、工厂内的传感设备，并将采集到的数据实时传输汇总。应用建模仿真、多模型融合等技术，构建产线、车间、工厂等不同层级的数字孪生系统，通过物理世界和虚拟空间的实时映射，实现基于模型的数字化运行和维护。数字孪生工厂的建设可让工人在安全办公区可以随时直观的浏览到微缩版车间内的每个空间细节、设备运行细节；再结合锁定标注位置的调用摄像头、传感器等反馈车间实时监控影像数据，设备运营数据、形成有空间定位逻辑和故障排除实时锁定逻辑的数字孪生无人车间格局。



图 20 数字孪生工厂

● 产线三维可视化

在生产单元各类设备上如 AGV 内嵌 5G 模组,通过 5G 工业网关连接 PLC,5G CPE 连接工控机、摄像头等,采集海量生产数据、设备数据、环境数据等实时上传至数字星云平台。数字孪生平台利用三维(3D)建模技术建设与物理生产单元对应的虚拟生产单元,实现生产制造状态实时透明化、可视化。利用模型仿真、虚拟调试等基于数字孪生模型的技术进行分析处理,实现产能预测、过程感知、转产辅助等功能。企业可将实际的生产结果与 5G 虚拟生产单元的预期结果进行比对,根据比对差异对物理生产单元进行优化,实现生产要素、生产工艺、生产活动的实时精准管控,确保生产稳定高效运行。



图 21 通用数字产线平台

(6) 安全生产管理

安全生产是电子企业需要重视的问题,5G 网络可以连接各类穿戴式传感设备、高清摄像头等,将生产现场情况实时传输汇总至监测管理中台,

实现安全生产监测、安全事故预警等，提高作业安全性，减少安全生产事故为企业带来的损失。

● 工人作业安全监控

工人作业过程的安全监控是安全生产的重要组成部分。通过佩戴可穿戴智能设备对周围环境的实时监测，预测突发事件的发生率，并提高救援效率。打造人员安全管理系统，通过 5G 精准定位技术，结合智能佩戴终端，实现对人员的精准定位、轨迹追踪、电子围栏、人员健康监测及一卡通等功能。监控视频信号通过 5G 传送到 MEC 边缘计算平台，利用 MEC 上集成的 AI 算法实时分析识别出异常并告警，结合高精度定位，实现电子围栏功能，实时生产人员是否按照规章进行操作。此外，工人通过佩戴 5G 智能安全帽可借助传感器或 SOS 一键求救等向后台求助，5G 网络的低时延、高稳定性可保证后台管理人员与一线员工通话质量，并通过摄像头了解周围环境，提升救援效率。

可穿戴智能设备与 5G 网络的结合使得多线路实时回传现场视频画面变得可行，对于远程安全救援、事故现场视频实时监控可以增加突发情况下员工的获救概率，降低安全事故造成的损失，提高员工在作业过程中的安全性。

● 重点工序安全生产监控

针对重点工序，可通过部署高清摄像装置，实时采集生产现场图像、视频。高清摄像装置将移动设备的运行状态视频通过 5G 网络实时回传到边缘计算平台的安全监控应用，精准识别可能发生的安全问题，并及时通知安全管控人员，安全管控人员可及时操作 DCS 等系统，控制产线暂停生产，避免发生严重生产事故。

表 6 安全生产监控要求参数

业务场景	时延	上行速率	下行速率	可靠性	备注
高清视频 监控	20ms	$\geq 6\text{Mbps/}$ 路	—	$\geq$ 99.99%	1、相机分辨率为 2K 2、时延为单向空 口时延 3、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概 率不低于 99.9%
紧急情况 停机控制	20ms	—	$\geq 100\text{Kbps/}$ 路	$\geq$ 99.99%	1、时延为单向空 口时延 2、时延 $\leq 20\text{ms}$ 概 率不低于 99.9%

(7) 环保管控

在工厂、园区部署环保监测装置，通过排放采集与监控，排放分析与优化，降低污染物排放，减少电子生产过程中单位产值碳排放量、污染物排放量等。此外，搭建环保管理平台，应用机器视觉、智能传感和大数据等技术，开展生产过程污染物排放数据的实时采集、监控与分析优化，实现污染监测和管控，减少生产制造过程对周边环境的污染。

(五) 网络安全防护

5G 工厂的建设使得工厂内更多的工业生产设备、工业控制系统连接到网络中，海量工业生产数据被采集并通过网络上传至云端。在 5G 工厂建设过程中网络安全防护能力的建设是非常重要、不可或缺的一部分。网络安全防护能力的建设主要有网络安全技术体系建设、网络安全管理体系建设

和网络安全运营体系建设这三大部分组成。

网络安全技术体系建设，需要在设备层级、接入层级、工业控制层级、网络层级、边缘平台层级、平台应用层级等多个层级建立起纵深防护的安全结构，利用入侵监测、安全审计等多种安全手段加强工厂网络安全防护能力。阶段性开展安全监测评估，提升网络安全监测水平，提高网络安全危险发现、快速处置和应急响应的能力。

网络安全管理体系建设，依据工业互联网安全分类分级规范及相关的政策与标准，开展工业互联网企业网络安全分类分级，按照不同级别的安全防护要求落实安全防护措施。加大网络安全管理投入和培养，明确责任部门和责任人，建立网络安全事件应急响应机制，提升对网络安全事件的管理。

网络安全运行体系建设，工业互联网网络安全定级较高的企业构建网络安全态势感知可视化平台，实时监测工厂内网络安全情况，提高网络威胁发现、快速处置的能力。建设电子行业工业互联网网络安全态势感知平台，监测行业内 5G 工厂的网络安全运行情况，及时调度资源协助企业高效应对网络安全事件。

四、工厂实施建议

企业在建设 5G 工厂前应综合考虑建设成本与企业现有技术能力，并适度超前谋划，具备未来可扩展能力。大型企业及有自建业务系统及企业网络节点需求的中型企业，建议在 5G 网络建设时，选择混合专网或独立专网的方式，5G 系统数据面下沉至企业；中小微型企业根据发展需要选择与自身匹配的业务系统，在行业工业互联网平台订阅相关云服务，可通过虚拟专网方式。

（一）新工厂

1. 规划设计阶段

在电子制造行业，新工厂的建设不仅是物理空间和生产设备的堆砌，更是对未来智能化、数字化生产的深度布局。将 5G 网络环境纳入“新基建”的范畴，意味着在工厂建设的最初阶段，就需要将高速、低延迟的网络环境作为核心考量之一。这样的网络架构不仅能够支撑起未来工厂内大量数据的实时传输，还能为智能制造、远程协作、自动化控制等提供坚实的基础。

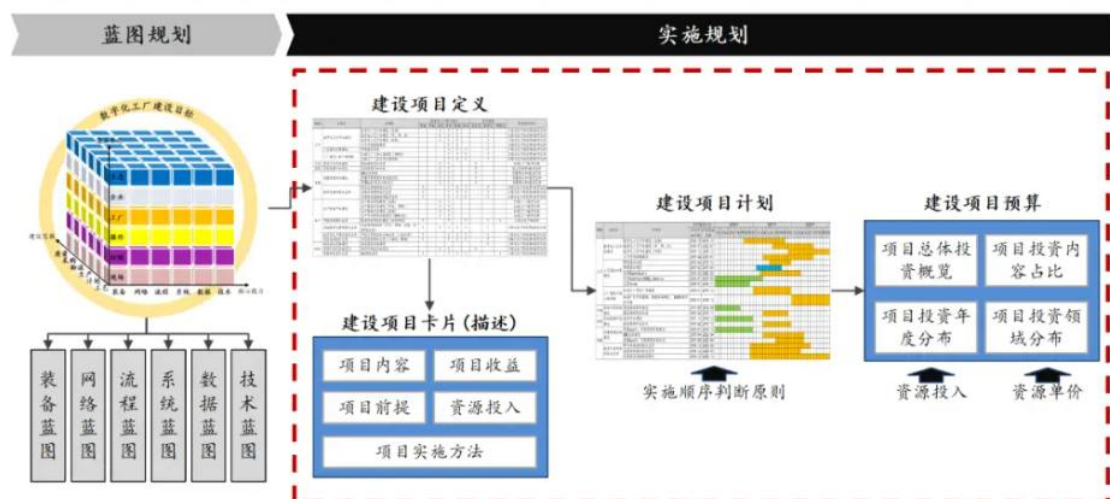


图 22 5G 工厂建设路径规划

2. 5G 基础设施建设

在电子制造新工厂 5G 基础设施建设阶段，需要一个可扩展、高可靠性的 5G 网络架构设计，确保 5G 网络能够全面覆盖工厂区域，同时考虑未来技术升级的兼容性。在规划设计时，要考虑到工厂的整体布局和未来扩展的需要，确保 5G 网络的建设和工厂建设同步进行，避免后期改造带来的成本和时间损耗。

同时，要充分考虑工业网络互通、边缘计算部署、业务系统等协同工

— 44 —

作，如开发或集成制造执行系统（MES）、企业资源规划（ERP）等关键系统，使其能够充分利用 5G 网络的优势，提高生产效率和决策质量。相关生产及运营设备的选型需要选择与 5G 网络兼容的设备和系统，考虑设备的智能化水平和数据交互能力，确保它们能够在 5G 环境下稳定运行。

5G 基础设施的建设需要企业投入大量的资金和人力，同时也需要与各个部门和供应商进行紧密合作。在规划设计时，要考虑到工厂的整体布局和未来扩展的需要，确保 5G 网络的建设和工厂建设同步进行，避免后期改造带来的成本和时间损耗。工厂建设是一个复杂的系统工程，需要协调好各个环节的工作，确保 5G 网络建设和工厂建设的各个阶段能够协调一致，有序推进。

单位：万元

领域	大项	硬件费用	软件费用	实施费用	投资预算
工艺	数字化工艺平台建设				
	工艺虚拟仿真建设				
	工厂建筑工程三维测绘				
计划	柔性计划系统建设				
采购	采购管理平台优化				
质量	质量管理体系建设				
	数字化在线检测技术应用				
生产	生产运营平台建设				
	节能减排技术应用				
	设备预测性维护技术应用				
	数字化生产操作技术应用				
	信息追溯技术应用				
物流	零部件物流系统建设				
	智能物流技术应用				
	工厂网络及IT基础设施建设				
	工控安全防护与体系建设				
	数字化工厂数据资产建设及治理				
	工业互联网平台建设				
	智能制造新技术预研				
	数字化工厂装备建设				
合计：					

图 23 5G 工厂建设条目与投资估算

3. 达产阶段

在达产期间，企业应实现厂区内人、机、料、法、环、测的全面联网，对关键数据进行采集并集中存储。同时，在边缘计算节点和企业级工业互联网平台中完成各类应用的开发和部署，推动数字孪生厂区建设。这需要不断探索新的技术和应用场景，并持续优化和完善系统功能，以满足不断

变化的生产需求。

4. 持续推广

5G 工厂的建设于电子行业的智能化、数字化发展而言是一个具有广阔前景和巨大潜力的领域，只有不断创新和发展，才能推动电子行业向更高水平迈进。为了实现 5G 工厂的目标，企业可进一步探索与政府、行业协会、研究机构等相关方的合作，共同推动 5G 技术的应用和发展。同时，企业应加强在 5G 人才培养、技术研发等方面的投入，持续增强企业竞争优势。

（二）现有工厂

在电子制造行业，5G 网络的引入不仅仅是技术的升级，它代表着生产方式的一次革命性转变。企业在进行存量工厂 5G 工厂建设评估时，应综合考虑现有厂区的业务特点、配套条件、需求的紧迫性、基础条件和资金承受能力。评估应从必选的应用场景出发，比如生产线的自动化、质量控制的智能化、物流的优化等，这些都是电子制造行业提升竞争力的关键点。

企业应依据现有厂区业务特点和配套条件，结合企业需求紧迫程度、基础条件和资金承受能力等因素，进行 5G 工厂建设评估。企业可从必选应用场景改造出发，制定可实施的改造方案，明确阶段任务目标、预期效果及详细改造计划，分阶段进行改造，逐步形成完备的 5G 工厂关键能力，持续提升厂区的综合竞争力。

1. 改造总体规划

制定改造方案时，企业需要明确每个阶段的任务目标和预期效果，以及详细的实施计划。例如，初期可以着重于生产线的 5G 网络覆盖，实现设备状态的实时监控和远程控制。随后，可以逐步扩展到整个车间，实现多产线多系统的协同优化，提升数据价值的利用效率。在实施过程中，企业

应该分阶段进行，从产线级到车间级，再到整个工厂级的 5G 全连接。这样不仅可以确保每一步的稳定性和效果，还可以在在实践中不断调整和优化方案。通过这种方式，企业可以逐步构建起 5G 工厂的关键能力，如远程设备操控、设备协同作业、柔性生产制造、现场辅助装配、机器视觉质检、厂区智能物流等。

此外，企业还应该考虑 5G 技术在核心生产环节的应用创新，如通过 5G 网络实现的 AR/VR 辅助装配、机器视觉质检等，这些都能够显著提升生产效率和产品质量。同时，企业还需要关注网络安全防护，确保数据的安全和网络的稳定运行。

最终，通过 5G 技术的深度融合和应用，企业不仅能够提升生产效率和产品质量，还能够实现更加灵活的生产方式，快速响应市场变化，从而在激烈的市场竞争中保持领先地位。

2. 5G 基础设施建设

对于现有工厂进行 5G 建设，企业需要先对现有工厂的网络基础设施进行全面评估，包括现有设备的兼容性、网络覆盖范围、带宽需求等，以确定 5G 网络部署的需求和优先级。根据评估结果，制定详细的 5G 网络改造计划，包括网络架构设计、设备选型、系统开发、关键环节应用、网络安全防护等，确保 5G 网络能够与现有系统无缝集成。在改造过程中，应优先考虑对生产效率和质量影响最大的环节，如自动化生产线、质量控制、物料搬运等，通过 5G 技术实现设备状态的实时监控和远程控制。鉴于 5G 网络建设的复杂性和成本，建议分阶段实施改造计划，从试点区域开始，逐步扩展到整个工厂，确保每一步的稳定性和效果。

此外在选择 5G 设备和系统时，应考虑与现有设备的兼容性，以及未来技术升级的可行性，确保长期的投资回报。

3. 典型应用场景建设

在 5G 工厂建设中，需要结合规划方案和 5G 设施建设，串联厂区设备，结合工厂实际业务需要，可从生产管理、设备维护类、仓储物流类等“5G+工业互联网”典型应用场景改造出发，进行典型应用场景的开发建设。

4. 持续深化 5G 工厂建设

企业应对工厂的网络进行改造，设备智能化改造实现设备联网，增加 5G 网络连接工业生产要素的数量。同时，企业可持续深入 5G 技术在工厂中的应用研究，通过与 5G 技术提供商合作，探索 5G 技术在工厂生产、物流、仓储等方面的应用，为工厂提供更高效、更智能的解决方案。

5G 工厂的建设可推动企业工业体系架构和组织方式的变革，加速“5G+工业互联网”在厂区内的综合应用。企业通过加强工厂生产、运营、管理的能力建设，满足企业提质、降本、增效、安全、绿色发展的新要求，逐步构建 5G 工厂协同发展的网络生态。这种全新的工业互联网生态也将加速传统制造业的数字化转型，为制造业带来革命性的改变。