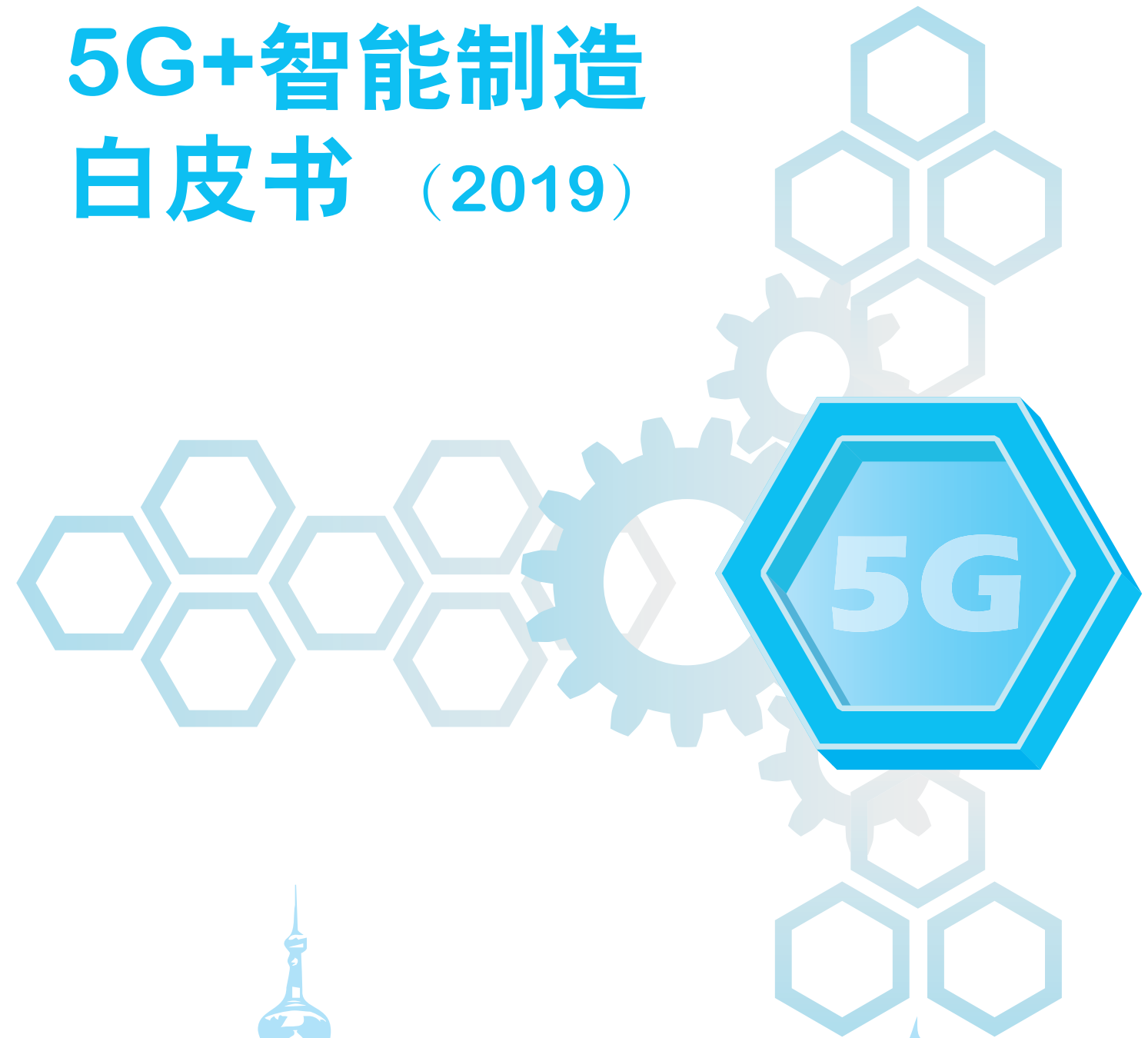


5G+智能制造 白皮书 (2019)



上海市经济和信息化委员会
中国信息通信研究院华东分院
2019年9月



前 言

随着我国 5G 商用大幕正式拉开，5G 已成为数字经济转型的关键基础设施，并逐渐向社会各领域扩散与渗透。5G 作为新一代移动通信技术，服务对象从人与人通信拓展到人与物、物与物通信，应用领域从移动互联网扩展到移动物联网，开辟了万物泛在互联、人机深度交互、智能引领变革的新征程，代表了新一代信息通信技术的发展方向和战略制高点，将引发生产方式、生活方式的深刻变革，正在成为全球新一轮科技和产业革命的竞争高地。

当前，制造业向“新四化”转型发展趋势愈发明显，对高性能、具有灵活组网能力的无线网络需求日益迫切。5G 具有媲美光纤的传输速度、万物互联的泛在连接和接近工业总线的实时能力，正逐步向工业领域加强渗透。5G 技术定义的三大场景不但覆盖了高带宽、低延时等传统应用场景，而且能满足工业环境下的设备互联和远程交互应用需求，这种广域网全覆盖的特点为企业构建统一的无线网络提供了可能。

5G 技术已成为新一代智能制造系统的关键使能技术，它对智能制造的赋能，能够帮助制造企业摆脱以往无线网络技术较为混乱的应用状态，对推动工业互联网实施以及智能制造转型的实现有积极意义，也是实现网络强国与制造强国的关键驱动力。

版权声明

本白皮书版权属于中国信息通信研究院华东分院，并受法律保护。任何单位和个人未经中国信息通信研究院华东分院书面授权，不得以任何目的（包括但不限于学习、研究等非商业用途）修改、使用、复制、截取、编纂、编译、上传、下载等方式转载和传播本书中的任何部分，授权后转载、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：中国信息通信研究院华东分院。违反上述声明者，将被追究其相关法律责任。

目 录

第一章 智能制造发展概述.....	1
1.1 第四次工业革命的兴起.....	1
1.2 我国网络强国和制造强国战略.....	2
1.3 新一代信息技术赋能实体经济高质量发展.....	4
第二章 5G 赋能制造业转型升级.....	6
2.1 智能制造对新型网络的需求.....	6
2.2 5G+智能制造总体架构.....	7
2.3 5G+智能制造关键技术.....	10
2.4 5G+智能制造模式升级.....	15
第三章 5G+智能制造十大典型应用场景.....	17
3.1 5G+协同设计.....	17
3.2 5G+自动控制.....	18
3.3 5G+柔性生产.....	20
3.4 5G+辅助装配.....	21
3.5 5G+质量控制.....	22
3.6 5G+远程运维.....	23
3.7 5G+透明工厂.....	25
3.8 5G+仓储管理.....	26
3.9 5G+物流供应.....	28
3.10 5G+培训指导.....	29
第四章 5G+智能制造典型行业应用案例.....	32
4.1 5G+航空航天.....	32
4.2 5G+船舶重工.....	35
4.3 5G+钢铁制造.....	39
4.4 5G+半导体装备.....	41
第五章 5G+智能制造发展建议.....	46
5.1 加快基础网络的建设部署.....	46
5.2 建立安全防护标准和规范.....	47
5.3 促进行业标准和制度建设.....	48
5.4 推动技术创新和创新示范.....	48
5.5 加强产业政策引导与鼓励.....	49
5.6 探索建立差异化计费模型.....	50
5.7 打造行业人才集聚的高地.....	51
总结与展望.....	52

第一章 智能制造发展概述

新一代信息通信技术和制造业融合的步伐不断加快，推动构建软件定义、数据驱动、平台支撑、服务增值、智能主导的新型制造体系。工业互联网是信息技术与工业技术融合发展的产物，正成为制造业数字化、网络化、智能化的关键支撑和重要基石。5G 作为未来工业互联网的重要技术支撑，是数字化战略的先导领域。全球各国的数字经济战略均将 5G 作为优先发展的领域，力图超前研发和部署 5G 网络。我国明确 5G 时代的引领战略，提出网络强国与制造强国理念，推动 5G 技术赋能实体经济高质量发展。

1.1 第四次工业革命的兴起

人类社会目前已历经了三次翻天覆地的工业革命。以蒸汽技术为代表的第一次工业革命始于 18 世纪 60 年代中期，蒸汽机的发明带来了机械化，开启了工业生产时代。以电力技术为代表的第二次工业革命从 19 世纪下半叶到 20 世纪初，电力应用催生了大规模生产方式，推动了钢铁、机械等工业的崛起。以信息技术为代表的第三次工业革命始于 20 世纪 70 年代，计算机技术促进生产自动化，使生产力得到了进一步提高。

第四次工业革命发展于 21 世纪以后，是由物联网、大数据、机器人及人工智能等技术所驱动的社会生产方式变革。它推动了工厂之间、工厂与消费者之间的“智能连接”，使生产方式从大规模制造向

大规模定制转变，工业增值领域从制造环节向服务环节拓展，程序化劳动被智能化设备所替代。

在第四次工业革命中，社会生产方式将发生深刻变化。一是产品生产方式从大规模制造向大规模定制转变。以人工智能为基础的自动化设备、连接企业内外自动化设备和管理系统的物联网，能够使研发、生产以及销售过程更加迅捷、灵活和高效。二是工业增值领域从制造环节向服务环节拓展。在大数据、云计算等技术的推动下，数据解析、软件、系统整合能力将成为工业企业竞争力的关键与利润的主要来源。三是程序化劳动被智能化设备所取代。由于数字技术的飞速发展，机器人在速度、力量、精度优势的基础上，识别、分析、判断能力也大大提高。从生产服务过程来看，原来认为只是重复性、手工操作的业务可以被自动化设备替代，但现在的设备已经可以识别多种业务模式，能在相当广的范围担任非重复性、需要认知能力的工作。

总体来看，第四次工业革命将极大地提高生产力，进而改写人类发展进程。世界主要工业国家及我国已开始新一轮的产业结构转型升级，这将在制造过程、终端产品、生产设备、数据分析平台、价值链等方面带来全球竞争格局的变化。

1.2 我国网络强国和制造强国战略

我国经济正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，制造业是实体经济的主体，是关系到我国经济高质量发展的重要战略领域。党和国家领导人对工业智能制造高度重视，并对制造

业与互联网等新型产业的融合做出多次指示。2018 年 4 月 20 日，习近平总书记在全国网络安全和信息化工作会议上强调，“信息化为中华民族带来了千载难逢的机遇。”在十九大报告中，习总书记也强调了“加快建设制造强国，加快发展先进制造业，推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”的重要意义。

网络强国是技术强、基础强、内容强、人才强、话语强为核心的国家信息化发展战略。党的十八届五中全会通过的“十三五”规划《建议》，明确提出实施网络强国战略以及与之密切相关的“互联网+”行动计划。国务院在 2016 年 12 月 19 日印发《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》中，发展新一代信息产业成为五大领域之首，其中大力推进第五代移动通信（5G）联合研发、试验和预商用试点成为构建网络强国的重要基础。2018 年 4 月，在全国网络安全和信息化工作会议上，习总书记深入阐述了网络强国战略思想，系统明确了一系列方向性、全局性、根本性、战略性问题，对当前和今后一个时期网信工作做出重要战略部署。

制造强国战略是中国立足新工业革命趋势下，深化工业化进程、实现工业化梦想的必然要求。2015 年 5 月 19 日，国务院正式发布《中国制造 2025》，意味着我国全面部署实施制造强国战略。2017 年 10 月，《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》发布，指出要形成实体经济与网络相互促进、同步提升的良好格局，推动实体经济转型升级，打造制造强国、网络强国。系列文件的出台为我国工业智能制造提出了要求和方向，未来产业链在互联网化过程

中有效把控和使用数字化资源的能力，关系到一国核心竞争实力，同时也是我国经济转型升级的助推器。

1.3 新一代信息技术赋能实体经济高质量发展

5G 标准决定技术规范和游戏规则，掌握 5G 标准就掌握了未来国际竞争的主导权和控制权。从总体历史回顾来看，我国移动通信的发展历程是一个从无到有，从有到优的自强史。“1G 空白、2G 跟随、3G 突破、4G 同步”，现阶段正努力实现“5G 引领”。每次通信技术的更迭，都会带动新一轮产业升级和市场格局的重新洗牌。

5G 的发展有力推动了信息消费爆发时增长和数字经济蓬勃发展。和传统的移动通信技术相比，5G 将进一步提升用户体验：在容量方面，5G 通信技术将比 4G 实现单位面积移动数据流量增长 1000 倍；在传输速率方面，单用户典型数据速率提升 10 到 100 倍，峰值传输速率可达 10Gbps(相当于 4G 网络速率的 100 倍)；端到端时延缩短 5 倍；在可接入性方面：可联网设备的数量增加 10 到 100 倍；在可靠性和能耗方面，每比特能源消耗应降至千分之一，低功率电池续航时间增加 10 倍。

5G 带来的不只是数据传输速度的提升，更重要的是为人工智能、物联网等技术的发展提供了条件。未来，5G 与云计算、大数据、人工智能、虚拟增强现实等技术的深度融合，将连接人和万物，成为各行各业数字化转型的关键基础设施。一方面，5G 将为用户提供超高清视频、下一代社交网络等更加身临其境的业务体验，促进人类交互

方式再次升级。另一方面，5G 将支持海量的机器通信，以智慧城市、智能家居等为代表的典型应用场景与移动通信深度融合，预期千亿量级的设备将接入 5G 网络。更重要的是，5G 还将以其超高可靠性、超低时延的卓越性能，引爆如车联网、工业互联网等垂直行业应用。

中国工业历经起伏，但 5G 给我国智能制造带来了机遇与挑战，将缩小与制造强国的差距，推动中国制造业高质量发展。总体上看，5G 将实现真正的“万物互联”，其广泛应用将为大众创业、万众创新提供坚实支撑，缔造出规模空前的新兴产业，助推制造强国、网络强国建设。掌握 5G 话语权将给我国带来更大的产业发展机遇，具有重大的战略意义。

第二章 5G 赋能制造业转型升级

5G 将利用其高速、低延时、大容量等特质来满足新型工业化升级网络需求，赋能制造业转型升级。5G 最大特征是推进人机物海量互联，满足端到端毫秒级的超低时延和接近 100% 的高可靠性通信保障，将为工业互联网的实时控制和预警等提供技术保障。5G 前所未有的传输速度与覆盖范围，将推动人机物的智能协同，带领制造业产生重大变革。

2.1 智能制造对新型网络的需求

新一代信息通信技术与制造业的融合逐渐从理念普及走向应用推广，制造业智能化、柔性化、服务化、高端化转型发展趋势愈发明显，对高性能、具有灵活组网能力的无线网络需求日益迫切。传统的工业网络存在时延不稳定、数据孤岛以及安全风险等问题。工业现场总线协议标准各异，不同厂家设备无法互通，设备状态无法得到有效监控，企业需要在计划排产、物料配送、生产协同、质量控制、设备检测等环节投入大量的人力物力。传统 IP 网络采用尽力而为的传输机制，时延不稳定且存在丢包，在一些时间敏感型场景无法使用。同时，网络安全问题层出不穷，工控设备普遍不打补丁，一旦设备联外网就容易遭到入侵攻击，为企业带来极大损失。

5G 需解决的不仅是人与人的连接，更是人与物、物与物的连接问题。智能制造应用的网络通信以有线和无线的两种传输方式，有线

方式是工业 PON、以太网网络通信技术，无线通信方式是 4G、5G、Wifi、NB-IoT、RoLa、Zigbee 等多项网络技术。综合工业互联网未来发展需求，对 5G 系统提出了以下技术需求：1.传输速率需求，要求提高 10-100 倍，同时用户体验速率、用户峰值速率分别达 0.1-1Gb/s、10Gb/s。2.时延需求，要求时延降低 5-10 倍，达毫秒量级；可以满足工业实时控制、云化机器人等的应用网络传输能力，保证系统控制指令、数据能及时发送到设备，从而达到可靠的、安全的生产操作过程。3.设备连接密度需求，要求提高 10-100 倍，达 600 万个/km²。可以满足人机物三元协同、AGV 多机协同等应用的网络连接能力，满足设备柔性生产，提升生产效率。4.流量密度需求，要求提高 100-1000 倍，达 20Tbps/km²；满足智能监测、数字双生等结合 AI 和远程通讯技术实现工业协同操作指导、专家系统开发、大数据分析、运算等的目的。5.安全性需求，面对多种应用场景和业务需求需建立 5G 网络安全架构，满足不同应用的不同安全级别的安全需求。

2.2 5G+智能制造总体架构

5G 网络从传统以人为中心的服务拓展至以物为中心的服务，在工业领域，其特有的大带宽、低时延，以及高可靠等特性，使得无线技术应用于现场设备实时控制、远程维护及操控、工业高清图像处理等工业应用新领域成为可能，同时也为未来柔性产线、柔性车间奠定了基础。媲美光纤的传输速率、万物互联的泛在连接特性和接近工业总线的实时能力，5G 技术正逐步向智能制造渗透，开启工业领域无

线发展的未来。伴随中国加快实施制造强国战略，推进智能制造发展，5G 技术将广泛深入应用于智能制造，5G+智能制造的总体架构主要包括四个层面：数据层、网络层、平台层和应用层。



图 2-1：5G+智能制造总体架构

（1）数据层

数据层负责采集来自工厂内设备状态、车间工况、运营环境、生产数据，以及管理人员、维修人员产生的各类运维服务和管理信息等。其本质是利用传感技术对工厂内的多源设备、异构系统、运营环境、人员等要素信息进行实时采集和云端汇集，从而构建一个实时、高效、精准的数据采集体系。同时，通过协议转换和边缘计算技术，采集到的数据有一部分在边缘侧进行分析处理，并直接将结果返回到设备，指导设备运行；另一部分数据将传到云端进行综合分析处理，从而进一步优化形成决策。数据层实现了制造全流程隐性数据的显性化，为制造资源的优化提供了海量数据源，是实时分析、科学决策的起点，

也是建设智能制造工业互联网服务平台的基础。

（2）网络层

网络层是为平台层和应用层提供更好服务的保障，作为企业的网络资源，5G 网络基础设施的建设，是推动中国智能制造迈向新台阶，达到国际先进水平的重要支撑。大连接、低时延的 5G 网络可以将工厂内海量的生产设备及关键部件进行互联，提升生产数据采集的及时性，为生产流程优化、能耗管理提供网络支撑。另外，工厂内大量的传感器可以通过 5G 网络在极短的时间内进行信息状态的上报，使管理人员能够对工厂内的环境进行精准调控。同时，5G 网络能够将工厂内高分辨率的监控录像同步回传到控制中心，通过超高清视频还原各区域的生产细节，为工厂精细化监控和管理提供支持。而且，工厂中产品缺陷检测、精细原材料识别、精密测量等场景需要用到视频图像识别，5G 网络能保障海量高分辨率视频图像的实时传输，提升机器视觉系统的识别速度和精度。同时，5G 网络有利于远程生产设备全生命周期工作状态的实时监测，使生产设备的维护工作突破工厂边界，实现跨工厂、跨地域的远程故障诊断和维修。

（3）平台层

基于 5G 技术的平台层建设，是为智能制造实现进一步升级的重要核心，主要包括以 GPU、海量存储和弹性计算为主的工业云服务，以数据挖掘、数据分析和数据预测为主的大数据服务，以图像识别、模式识别和智能决策为主的解决方案库。其中，基于 5G 的云服务能够为工业 APP 的开发、测试和部署提供方便快捷的接口，实现研究

与应用的再次升级。同时，以 5G 技术和工业互联网平台为根基的大数据服务，可以构建实时的 MSB，从而实现关键技术的极速传输。再者，通过结合国内外先进的 5G 和人工智能技术，将图像识别、模式识别和智能决策等纳入到工厂的解决方案库中。

（4）应用层

应用层主要承担 5G 背景下智能制造技术的转化工作，包括各类典型产品和行业解决方案等。基于 5G 网络高并发、大带宽、低时延、高可靠和移动性等优势，研发一系列行业应用 App，从而满足企业数字化和智能化的需求。其中，状态监控、数字孪生、VR 透明工厂、视频分析、VR 远程交互、双目相机同步、AR 远程协助、辅助装配、AGV 协同、物料跟踪等是当前比较常见的应用场景。同时，进一步加强 5G 技术对工业各领域的渗透，从而形成“5G+”的行业应用终端、系统及配套软件，然后切入各种场景，为用户提供个性化、精准化、智能化服务，深度赋能智能制造。

2.3 5G+智能制造关键技术

5G 的高速率、低时延、海量连接等优势特性能够满足工业互联网连接多样性、性能差异化以及通信多样化的网络需求，显著增强工业互联网产业供给能力，为工业互联网跨越发展提供坚实的技术保障，全面支撑工业互联网新业务、新模式创新发展。5G+智能制造主要有以下几类关键技术：

2.3.1 5G 工业网络技术

(1) **5G TSN（时间敏感网络）技术**。通过高精度时间同步，实现工厂内无线 TSN，保障工业互联网业务端到端的低时延。5G 网络切片技术支持多业务场景、多服务和质量、多用户及多行业的隔离和保护。5G 高频和多天线技术支持工厂内的精准定位和高宽带通信，大幅提高远程操控领域的操作精度。5G 边缘计算加速工业 IT 及 OT 网络融合，通过边缘数据处理、跟踪及聚合能力的增强，提升工业互联网业务的高可靠、低时延等性能指标，优化资源共享和用户体验。

(2) **网络切片**。网络切片是提供特定网络能力的、端到端的逻辑专用网络。一个网络切片实例是由网络功能和所需的物理/虚拟资源的集合，具体可包括接入网、核心网、传输承载网及应用。

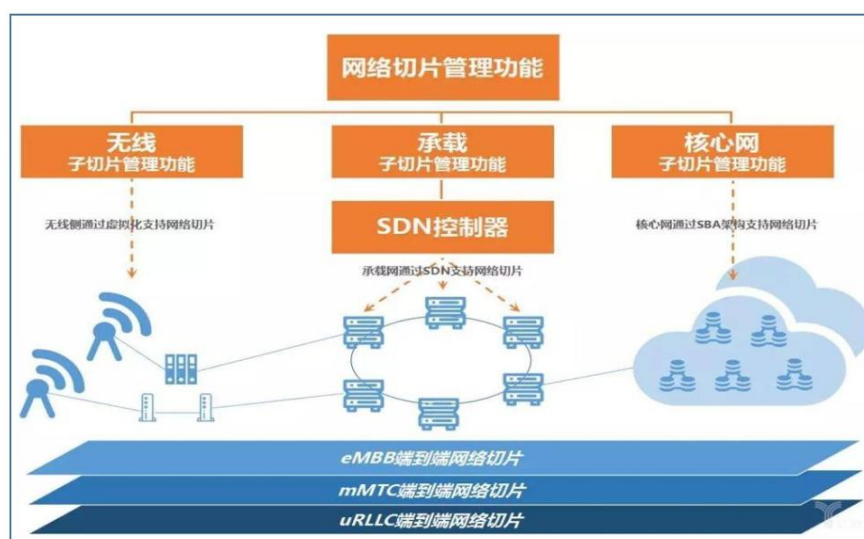


图 2-2：网络切片管理架构图

每个虚拟网络之间是逻辑独立的，任何一个虚拟网络发生故障都不会影响其他虚拟网络。依据应用场景可将 5G 网络分为 3 类：移动宽带、海量物联网和任务关键性物联网。由于 5G 网络的 3 类应用场

景的服务需求不同，且不同领域的不同设备大量接入网络，这时网络切片就可以将一个物理网络分成多个虚拟的逻辑网络，每一个虚拟网络对应不同的应用场景，从而满足不同的需求。5G 网络切片技术可以为不同的应用场景提供相互隔离、逻辑独立的完整网络，从而实现 5G 网络共享，节约宝贵的频谱资源，建设行业专用网络。

(3) 边缘计算。边缘计算在靠近数据消费者的地方提供计算、存储能力，以及边缘应用所需的云服务和基础设施环境。相比于集中的云计算服务，边缘计算解决了时延过长、汇聚流量过大等问题，为实时性和带宽密集型业务提供更好的支持。边缘计算与接入方式无关，5G 标准设计原生支持边缘计算，提供架构、移动性、会话管理等方面能力。应用功能随网络功能下沉，部署到靠近接入基站的位置。5G 网络支持在转发路径上灵活的插入分流点，引导对应的数据流进入边缘节点。随着用户移动，可支持不同等级和方式的业务连续性保障。要求分流能力可向应用开放，提供转发路径优化和加速服务。

2.3.2 工厂操作系统与工业机理模型

(1) IaaS 技术。基于虚拟化、分布式存储、并行计算、负载调度等技术，实现网络、计算、存储等计算机资源的池化管理，根据需求进行弹性分配，并确保资源使用的安全与隔离，提供完善的云基础设施服务。

(2) 5G NFV（网络功能虚拟化）。通过将防火墙、负载平衡、会话边界控制、交换、路由、流量分析和 QoE 测量等特定功能从传统的、硬件中分离出来，并将它们转化为基于硬件的、与硬件无关的

软件网络功能，从而提供更高的网络灵活性并降低成本。NFV 的工作方式之一是用虚拟服务器和执行网络功能的机器替换专有且昂贵的物理硬件，允许运营商通过简单地设置一个新的虚拟机来部署新功能。有了网络功能虚拟化，运营商不再依赖旧的物理硬件来执行防火墙或加密等网络功能，这有助于提高可扩展性和定制化。

(3)应用开发和微服务技术。多语言与工具支持：支持 Java,Ruby 和 PHP 等多种语言编译环境，并提供 Eclipse integration，JBoss Developer Studio、git 和 Jenkins 等各类开发工具，构建高效便捷的集成开发环境。微服务架构：提供涵盖服务注册、发现、通信、调用的管理机制和运行环境，支撑基于微型服务单元集成的“松耦合”应用开发和部署。图形化编程：通过类似 Labview 的图形化编程工具，简化开发流程，支持采用拖拽方式进行应用创建、测试、扩展等。

(4)数据集成与边缘处理技术。设备接入：基于工业以太网、工业总线等工业通信协议，以太网、光纤等通用协议，3G/4G、NB-IOT 等无线协议将工业现场设备接入到平台边缘层。协议转换：一方面运用协议解析、中间件等技术兼容 ModBus、OPC、CAN、Profibus 等各类工业通信协议和软件通信接口，实现数据格式转换和统一。另一方面利用 HTTP、MQTT 等方式从边缘侧将采集到的数据传输到云端，实现数据的远程接入。边缘数据处理：基于高性能计算芯片、实时操作系统、边缘分析算法等技术支撑，在靠近设备或数据源头的网络边缘侧进行数据预处理、存储以及智能分析应用，提升操作响应灵敏度、消除网络堵塞，并与云端分析形成协同。

(5) 工业数据建模与分析技术。数据分析算法：运用数学统计、机器学习及最新的人工智能算法实现面向历史数据、实时数据、时序数据的聚类、关联和预测分析。机理建模：利用机械、电子、物理、化学等领域专业知识，结合工业生产实践经验，基于已知工业机理构建各类模型，实现分析应用。

(6) 数据管理技术。数据处理框架：借助 Hadoop、Spark、Storm 等分布式处理架构，满足海量数据的批处理和流处理计算需求。数据预处理：运用数据冗余剔除、异常检测、归一化等方法对原始数据进行清洗，为后续存储、管理与分析提供高质量数据来源。数据存储与管理：通过分布式文件系统、NoSQL 数据库、关系数据库、时序数据库等不同的数据管理引擎实现海量工业数据的分区选择、存储、编目与索引等。

2.3.3 5G 网络安全技术

(1) 智能终端安全。5G 网络需要支持采用不同接入类型和技术的不同种类终端接入，对安全需求的要求不尽相同。5G 终端安全通用要求包括用户于信令数据的机密性保护、签约凭证的安全存储与处理、用户隐私保护等。5G 终端特殊安全要求包括：对 uRLLC 的终端需要支持高安全、高可靠的安全机制；对于 mMTC 终端，需要支持轻量级的安全算法和协议；对于制造行业，需要专用的安全芯片，定制操作系统和特定的应用商店。安全架构在终端中引入终端安全面，在终端安全面中通过构建受信存储、计算环境和标准化安全接口，分别从终端自身和外部两方面为终端安全提供保障。终端自身安全保

障可通过构建可信存储和计算环境，提升终端自身的安全防护能力；终端外部安全保障通过引入标准化的安全接口，支持第三方安全服务和安全模块的引入，并支持基于云的安全增强机制，为终端提供安全监测、安全分析、安全管控等辅助安全功能。

（2）网络信息安全。数据接入安全：通过工业防火墙技术、工业网闸技术、加密隧道传输技术，防止数据泄漏、被侦听或篡改，保障数据在源头和传输过程中安全。平台安全：通过平台入侵实时检测、网络安全防御系统、恶意代码防护、网站威胁防护、网页防篡改等技术实现工业互联网平台的代码安全、应用安全、数据安全、网站安全。访问安全：通过建立统一的访问机制，限制用户的访问权限和所能使用的计算资源和网络资源实现对云平台重要资源的访问控制和管理，防止非法访问。

2.4 5G+智能制造模式升级

5G+智能制造将人工智能、云计算和大数据分析相结合，通过对物理世界的数字化映射，对工业设备状态采集的数据分析，以优化生产流程和进行主动预测性维护，提高单位生产效率，促进整个产业体系转型升级。5G+智能制造主要表现为以下四种新模式转变：

（1）智能化生产。利用先进制造工具和 5G 网络信息技术能够对生产流程进行智能化改造，实现数据的跨系统流动、采集、分析与优化，完成设备性能感知、过程优化、智能排产等智能化生产方式。

近年来，我国的许多龙头制造企业以“互联网+”制造为主攻方向，通过建立智能工厂，推动智能化生产，实现了数字化和智能化转型。

（2）网络化协同。航空、汽车等行业实施企业内的协同制造已有十几年的历史，但 5G 技术赋予了协同制造新的内涵和应用。企业借助大数据和工业云平台，发展企业间协同研发、众包设计、供应链协同等新模式，能有效降低资源获取成本，加速从单打独斗向产业协同转变。网络化协同包括协同研发、众包设计、供应链协同等模式，为传统企业高效、便捷、低成本的实现创新开辟新渠道。

（3）个性化定制。5G 所具备的大带宽、低时延、可靠性的特点，提升了产线的柔性程度和灵活性，助力柔性化生产的大规模普及。一方面，5G 网络进入工厂，在减少机器与机器之间线缆成本的同时，利用高可靠性网络的连续覆盖，使机器人在移动过程中活动区域不受限，按需到达各个地点，在各种场景中进行不间断工作以及工作内容的平滑切换。另一方面，5G 可构建连接工厂内外的人和机器为中心的全方位信息生态系统，实现实时信息共享。让客户参与到企业的设计产品及生产过程中，并实时查询产品状态信息。

（4）服务化延伸。制造业正积极探索由传统的产品为中心向以服务为中心的经营方式的转变，通过构建智能化服务平台和智能化服务成为新的业务核心，以摆脱对资源、能源等要素的投入。基于 5G，企业将更好实现产品联网与运行数据采集，并利用大数据分析提供多样化智能服务，延伸价值链条。制造业服务化延伸已成为越来越多制造企业销售收入和利润的主要基础，是制造业竞争优势的核心来源。

第三章 5G+智能制造十大典型应用场景

5G 技术切合了传统制造企业智能制造转型对无线网络的应用需求，能满足工业环境下设备互联和远程交互应用需求，在协同设计、自动控制、柔性生产、辅助装配等十大工业典型应用领域中起着关键支撑作用。

3.1 5G+协同设计

当前制造产业正面临成本优势向技术优势转型的压力，不断地开发出技术含量高、具有自主知识产权的新产品，已成为制造业产业链的竞争焦点。传统的产品研制通常是采用按顺序作业的工程方法，企业的设计、工艺、检验、制造都是相互独立的活动，组织和管理也如此。设计人员往往无法考虑制造工艺方面的问题，造成设计与工艺制造环节的脱节，同时产品质量也无法保证。

5G 通信系统凭借大带宽、低时延、大连接的网络，不仅能实现多路的高清视频回传以及实时的数据分析反馈，同时 5G 的安全性与稳定性也是在原有 4G 网络基础上有了进一步的优化，可以满足大部分对工厂信息安全有较高要求的客户。VR 技术将辅助工业设计，使远程的工作人员进入同一个虚拟场景中协同设计产品。

基于 5G 的产品协同设计以数字化设计制造为基础，构建设计、工艺和制造相互协同的生产模式。利用 AR、VR 技术，可以将所有模块 AR、VR 化，最终组合起来形成整个设备的总控。由计算机提

供强大的建模和仿真环境，使产品的零部件从设计到工艺到生产及装配过程各环节的内容都在计算机上仿真实现，进行优化或系统设计，使产品研发的信息贯穿至各环节充分共享。复杂设备或者高端设备制造，需要许多供应商的参与，再最后整合。使用的材料及材质的强度，都可以通过虚拟样机进行认证或者模拟仿真，对研发效率的提高和研发成本的节约有极大帮助。产品协同设计将改变传统的设计研发模式，以数字样机为核心，实现单一数据源的协同设计并行工作模式，保证设计和制造流程中数据的唯一性。



图 3-1：基于大带宽的远程设计虚拟仿真

3.2 5G+自动控制

自动控制是制造工厂中最基础的应用，核心是闭环控制系统。在该系统的控制周期内每个传感器进行连续测量，测量数据传输给控制器以设定执行器。典型的闭环控制过程周期低至 ms 级别，所以系统通信的时延需要达到 ms 级别甚至更低才能保证控制系统实现精确控制，同时对可靠性也有极高的要求。由于 4G 的时延过长，部分控制

指令不能得到快速执行，控制信息在数据传送时易发生错误，导致生产停机，造成巨大的财务损失。

在规模生产的工厂中，大量生产环节都用到自动控制过程，所以将有高密度海量的控制器、传感器、执行器需要通过无线网络进行连接。闭环控制系统不同应用中传感器数量、控制周期的时延要求、带宽要求都有差异。5G 切片网络可提供极低时延长、高可靠，海量连接的网络，使得闭环控制应用通过无线网络连接成为可能。其中，5G 下行峰值速率 20Gbps，它的速率达千兆级 4G 网络的 20 倍。同时 5G 网络时延低至 1ms，比较 4G 网络，端到端延时缩短 5 倍，强大的网络能力能够极大满足云化机器人对时延和可靠性的挑战，实现高精度时间同步。

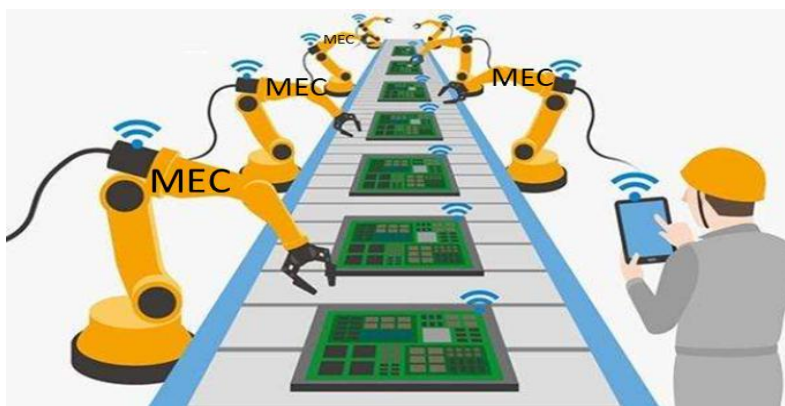


图 3-2：5G 工业实时控制模型

工业实时控制分为两个部分：设备自主控制和远程实时控制。其中，设备自主控制主要体现在端到端的通讯。基于 5G 的移动边缘计算（MEC）技术，将服务器尽量下沉，部署在无线网络的边缘。这样终端与服务器交互时只需要一跳，从而能大幅压缩端到端的时延。远程实时控制为了达到远程控制的效果，受控者需要在远程感知的基

础之上，通过 5G 通信网络向控制者发送状态信息。控制者根据收到的状态信息进行分析判断，并作出决策，通过 5G 通信网络向受控者发送相应的动作指令。受控者根据收到的动作指令执行相应的动作，完成远程控制的处理流程。

3.3 5G+柔性生产

柔性生产线可以根据订单的变化灵活调整产品生产任务，是实现多样化、个性化、定制化生产的关键依托。在传统的网络架构下，生产线上各单元的模块化设计虽然相对完善，但是由于物理空间中的网络部署限制，制造企业在进行混线生产的过程中始终受到较大约束。在智能制造生产场景中，需要机器人有自组织和协同的能力来满足柔性生产，对机器的灵活性和差异化业务处理能力提出较高要求。通过云技术机器人将大量运算功能和数据存储功能移到云端，将大大降低机器人本身的硬件成本和功耗。并且为了满足柔性制造的需求，机器人需要满足可自由移动的要求。

基于 5G 技术的 eLTE 相关技术抗干扰性更强，同时 5G 通信可联网设备数量增加 10-100 倍，覆盖面积更广泛（传输距离达 10KM），能够更好的获得整体数据信息。同时，5G 网络支持 99.999%的连接可靠性，5G 切片网络也能为云化机器人应用提供端到端定制化的网络支撑，使机器人具备自组织与协同能力。

5G 将在两个方面赋能柔性生产线，一是提高生产线的灵活部署能力。未来柔性生产线上的制造模块需要具备灵活快速的重部署能力

和低廉的改造升级成本。5G 网络进入工厂，将使生产线上的设备摆脱线缆的束缚，通过与云端平台无线连接，进行功能的快速更新和拓展，并且自由移动和拆分组合，在短期内实现生产线的灵活改造。二是提供弹性化的网络部署方式。5G 网络中的 SDN(软件定义网络)、NFV(网络功能虚拟化)和网络切片功能，能够支持制造企业根据不同的业务场景灵活编排网络架构，按需打造专属的传输网络，还可以根据不同的传输需求对网络资源进行调配，通过带宽限制和优先级配置等方式，为不同的生产环节提供适合的网络控制功能和性能保证。在这样的架构下，柔性生产线的工序可以根据原料、订单的变化而改变，设备之间的联网和通信关系也会随之发生相应的改变。

3.4 5G+辅助装配

工厂以往的装配过程是刚性自动化的传统方式，需要人工操作找正位置才能够装配成功。生产现场装配工艺传达不到位，复杂工艺施工难度高，且施工过程及结果没有很好的核对手段，装配顺序、工艺参数等查阅不便。智能辅助装配对传输延时有很高的要求，在 4G 网络下，由于带宽和传输速度的限制，视频等信息的传输有时会卡顿。采用 5G 网络后，为快速满足新任务和生产活动的需求，AR、VR 将发挥很关键作用。

利用 5G 网络的低时延、高带宽和高可靠性，能够实现多个智能装配台之间的协同工作。基于 5G、AI、AR 等技术的高度融合，可以形成一套成熟的智能装配方案，防止人为失误和无关人员操作，全

过程作业指导，提高装配的品质。通过模拟装配过程，可以辅助确定相关的工艺信息。在装配过程操作各环节，为工人提供详细的装配过程注意事项与操作细节指导；采用基于 AR 的协同装配方法，不仅可以传递 3D 模型和难以用具象内容表示的交互信息，还可以传递实景交互内容，随着对方的 3D 场景信息而变化的动作，让工艺人员通过语音、标记等交互手段对工人进行直观地指导。



图 3-3：基于增强现实的 AR 辅助工艺装配

3.5 5G+质量控制

现阶段工业品的质量检测基于传统人工检测手段，稍微先进一点的检测方法是将待检测产品与预定缺陷类型库进行比较，上述方法的检测精度和检测效率均无法满足现阶段高质量生产的要求，缺乏一定的学习能力和检测弹性，导致检测精度和效率较低。而且由于计算能力较弱，4G 的时延过高、带宽较低，数据无法系统联动，处理都在线下进行，耗费极大的人力成本。

基于 5G 的大带宽低时延，通过 5G+AI+机器视觉能够观测微米级的目标；获得的信息量是全面且可追溯的，相关信息可以方便的集

成和留存，从而改变整个质量检测的流程。区别于传统的人工观察，视觉检测能够清晰的观测物料的表面缺陷，视觉检测包含更大的数据量、需要更快的传输速度，5G 能够完全解决视觉检测的传输问题。



图 3-4: 基于 5G 的高精度在线检测

基于 5G 的智能检测，通过大数据并发，能够合理运用处理大数据，建立专家系统，同时，基于数据对生产制作过程中物料缺陷检测、探伤。生产制造数据通过 5G 网络上传与下行，借助 5G 的高速运算能力，识别异常数据，将数据与专家系统中的故障特征对比，形成基于 5G 的故障诊断系统。摄像机可拍摄出要检测的物料或产品，传输给信息系统，系统进行视觉识别后进行计算，并对比系统中的实物，判断物料或产品是否合格。5G 智能检测不需要检测人员自带手持设备观察波图等，直接通过分析数据的方式确定故障，极大降低检测时间，提高了故障排除率。

3.6 5G+远程运维

大型企业的生产场景中，经常涉及到跨工厂、跨地域设备维护，远程问题定位等场景。传统的车间运行维护让工程师疲于奔波，消耗

企业大量的人力物力。工厂中传感器连续监测数据上传，日常制造数据庞大，大数据需作为设计必要考虑的问题。大连接、低时延的 5G 网络可以将工厂内海量的生产设备及关键部件进行互联，提升生产数据采集的及时性与 AI 感知能力，为生产流程优化、能耗管理提供网络支撑。

5G 具有百万级别的可连接物联网终端数量，在机械设备、工具、仪器、安全设备上加装压力、转速等传感器，通过加装 5G 物联网通信模块，将采集到的运行数据发送到云端，替代现有状态感知的有线传输方式，满足端到端的数据传递。5G 传感器信号的无线传输，具有低延时，无相互干扰，可靠性高，传感器布局覆盖面更广的优势特性。通过设备上传感器安装的广覆盖，直接将采集数据传递到云端，进行大数据分析等应用。基于边缘计算、云端计算、数据分析，结合设备异常模型、专家知识模型、设备机理模型，对产品运行趋势分析后，形成产品体检报告，提出预测性维护与维修建议。边缘计算、云计算与知识库资源相结合，建立分析模型，形成预测报告。提高设备有效作业率，提升设备使用寿命，建立设备维护与维修标准。

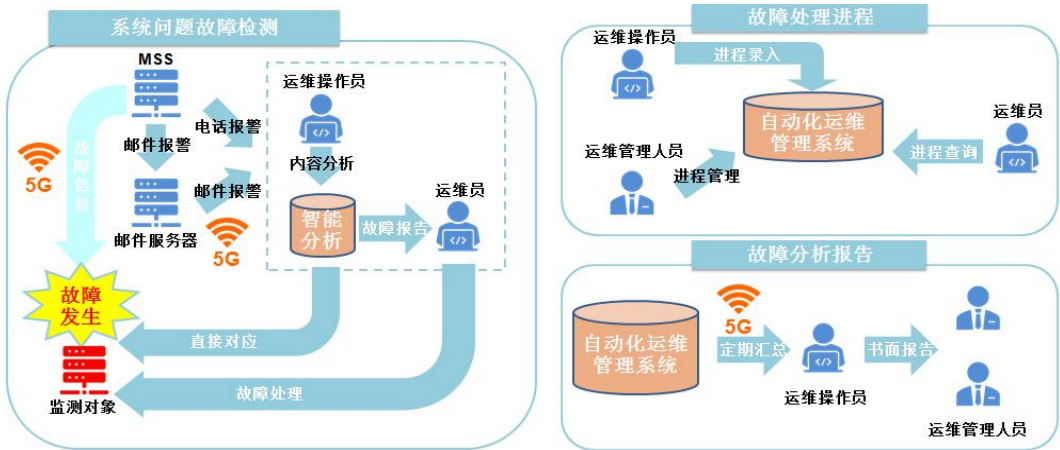


图 3-5: 远程运维的实施

5G 广覆盖、大连接的特性有利于远程生产设备全生命周期工作状态的实时监测,使生产设备的维护工作突破工厂边界,实现跨工厂、跨地域的远程故障诊断和维修。将设备状态分析等应用部署在云端,同时可将数据输入到设备供应的远端云,启动预防性维护,实时进行专业的设备运维。三维模型的实时渲染需要极大的带宽支持,基于 5G 的 VR 技术运用于工业生产的故障检测中,可提升检测的安全性。借助 5G 的高速运算能力,可以有效识别异常数据,将数据与专家系统中的故障特征对比,形成基于 5G 的故障诊断系统。

3.7 5G+透明工厂

在智能工厂生产的环节中涉及到物流、上料、仓储等方案判断和决策,生产数据的采集和车间工况、环境的监测愈发重要,能为生产的决策、调度、运维提供可靠的依据。传统的 4G 通讯条件下,工业数据采集在传输速率、覆盖范围、延迟、可靠性和安全性等方面存在各自的局限性,无法形成较为完备的数据库。

5G 技术能够为智能工厂提供全云化网络平台。精密传感技术作用于不计其数的传感器,在极短时间内进行信息状态上报,大量工业级数据通过 5G 网络收集,庞大的数据库开始形成,工业机器人结合云计算的超级计算能力进行自主学习和精确判断,给出最佳解决方案,真正实现可视化的全透明工厂。在一些特定场景下,借助 5G 下的 D2D (Device-to-Device, 意为: 设备到设备) 技术,物体与物体

之间直接通信，进一步降低了业务端到端的时延，在网络负荷实现分流的同时，反应更为敏捷。生产制造各环节的时间变得更短，解决方案更快更优，生产制造效率得以大幅度提高。

同时，通过 5G 网络高通量的带宽，采用人脸识别技术、行为识别技术和安全预警，实现利用分布在不同地点的多个相机去检测和区分每一个人，得到某段时间内某人或者某几个人在一定区域内的工作轨迹。采用深度学习和数据分析进行质量检测、生产过程控制中的行为识别与轨迹追踪，优化资源配置，及提高工人的操作水平与工作效率。利用 5G 技术监控整个生产工程，对生产过程中可能出现的伤害行为通过智能算法进行预判，给出安全预警，将使整个生产过程都在管理范围内，更加安全、有效。

3.8 5G+仓储管理

立体仓库具有很高的空间利用率、很强的入出库能力、采用计算机进行控制管理而利于企业实施现代化管理等特点，已成为企业物流和生产管理不可缺少的仓储技术，越来越受到企业的重视。随着科学技术、信息技术、自动化生产技术及商品化经济的迅速发展，生产中所需原材料、半成品、成品及流通环节中的各种物料的搬运、储存、配送及相应的信息已经不是一个孤立的事物。传统智能立体仓库包含仓储控制系统软件（WCS）、仓库管理系统（WMS），仓储信息需回传计算机控制管理软件分析处理。但由于 4G 网络的传输速率过慢及时延较高，传统仓储管理无法做到及时盘库和自动补货。

5G+智能仓储管理基于海量网络、即时通讯及低延时高可靠性等技术，对物料信息实时追踪，可实现连续补货。通过指导式的方式去协调各部分之间的关系促进立体仓库高效流转，适用于新型柔性制造需求。5G 功能特色及优势在于降低了传统的智能立体仓库的时延，提升了智能立体仓库的运算能力，实现了仓储系统的自我运转及功能开发策略的提升。当智能立体仓库监测到库位信息后，在边缘端分析产线中物料的运转情况，利用 5G 的特性极速盘库，得出产线需求及库存信息，同时，智能立体仓库自行发送取货及补货指令给运输装置，即实现了立库端到产线端及运输设备端的信息互通。



图 3-6：实际立体仓库模型

基于 5G 的智能仓储管理通过海量网络、即时通讯及低延时高可靠性等技术，对物料信息实时追踪，可实现连续补货。通过指导式的方式去协调各部分之间的关系促进立体仓库高效流转，适用于新型柔性制造需求。5G 功能特色及优势在于降低了传统的智能立体仓库的时延，提升了智能立体仓库的运算能力，实现了仓储系统的自我运转及功能开发策略的提升。当智能立体仓库监测到库位信息后，在边缘端分析产线中物料的运转情况，利用 5G 的特性极速盘库，得出产线

需求及库存信息。同时，智能立体仓库自行发送取货及补货指令给运输装置，即实现了立库端到产线端及运输设备端的信息互通，整体优化仓储系统，提高了企业生产效益和现代化管理水平。

3.9 5G+物流供应

在 RFID、EDI 等技术的应用下，智能物流供应的发展几乎改善了传统物流仓储的种种难题。但现阶段 AGV 调度往往采用 WIFI 通信方式，存在着易干扰、切换和覆盖能力不足问题。4G 网络已经难以支撑智慧物流信息化建设，如何高效快速的利用数据区协调物流供应链的各个环节，从而让整个物流供应链体系低成本且高效的运作是制造业面临的重点和难题。

5G 具有大宽带特点，有利于参数估计，可以为高精度测距提供支持，实现精准定位。5G 网络延时低的特点，可以使得物流各个环节都能够更加快速、直观、准确的获取相关的数据，物流运输、商品装检等数据能更为迅捷的达到用户端、管理端以及作业端。5G 高并发特性还可以在同一工段同一时间点由更多的 AGV 协同作业。

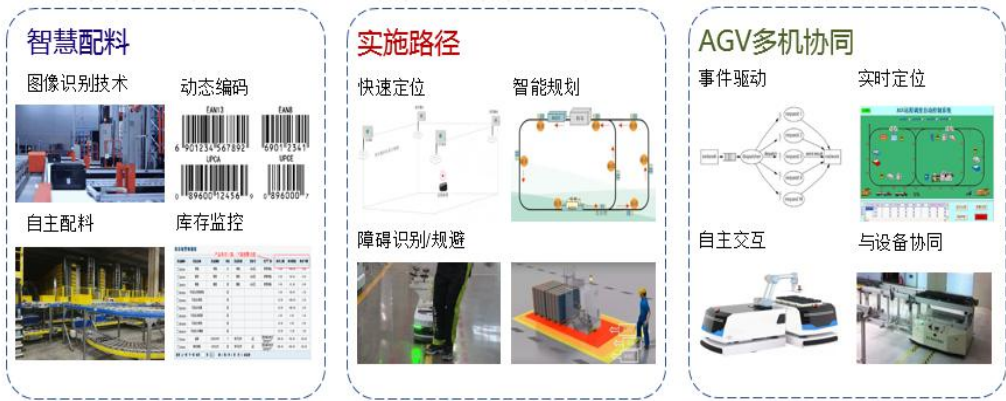


图 3-7：基于 5G 的物流供应

基于 5G 的智慧物流着重体现设备自决策、自管理及路径自规划，实现按需分配资源。通过 5G 低延时的网络传输技术建立设备到设备（D2D）的实时通讯，并利用 5G 中的网络切片技术完善高时效及低能耗的资源分配，最终实现智能工厂中 AGV 转运车的智能调度和多机协同，让生产过程中与物料流转相关的信息更迅捷地触达设备端、生产端、管理端，让端到端无缝连接。

一套工装智能配送系统包括 AGV 小车设备（集成叉车功能）、扫码与工卡识别设备、手持终端呼叫设备、调度系统、与工装管理系统信息交互设备，自动充电桩等。在手持终端呼叫设备上将工装信息发送至调度系统，调度系统接收到工人发出的指令得到工人的工位信息、工人的身份信息和物料的信息等，然后调度系统指派适宜的 AGV 小车至库料区，AGV 上需安装 RFID 识别器，根据调度系统给出的指令，对于物料进行自动识别转运。物料从库区或立库到工位的转运，自主规划最优路径到达目的地，利用 5G 传输图像通过深度学习平台进行实时避障，还需实现自动开关车间升降门；到达工位后，工人通过员工卡或其他设备扫码设备完成物料登记后方可提取；完毕后，AGV 小车再根据调度系统指令，继续进行配送或在指定区域休息（自动充电），无需人员干涉分配，这就是基于 5G 的智慧物流供应。

3.10 5G+培训指导

传统工业培训缺乏专业的教学训练，设备实际开机也耗费大量成本，培训场地及人数受限，因此总体上而言培训效率不高、效果不佳。

基于 5G 的大带宽、低时延等特性，能够利用云端的计算能力实现 AR/VR 应用的运行、渲染、展现和控制，并将 AR/VR 画面和声音高效的编码成音视频流，通过 5G 网络实时传输至终端。5G 将满足远程多人协同设计、虚拟工厂操作培训等强交互工业 AR/VR 的毫秒级低时延需求，增强用户与用户、用户与环境之间的交互体验。



图 3-8：基于 5G 的 AR 培训

5G+培训指导以网络为载体，通过结合 AR、AI、图像处理等技术，使人员实现更低成本、更高效率的培训和考核。通过具有采集功能的终端，如 AR 眼镜、手机等设备通过定制化的程序将图像、声音等信息实时通过 5G 高速网络传回至云端培训平台，平台结合定制化的智能分析系统对数据进行分析处理，可实现信息下发、培训及考试情景再现等功能，最终为厂内员工的复杂装配培训提供有效记录，并为追溯人员培训及考核过程中的问题提供数字化纠查能力。

采用 5G、AR 技术，结合三维建模、爆照图、拆装动画，可指导用户远程开展可视化培训，通过 AR 实时标注，智能交互，超清 5G 即时通讯等交互手段能够实现云端与现场实时数据传输，实现远程协

助技术人员及时介入，有效提升产品维修效率和装配、维修质量。基于 VR 技术完成设备的虚拟开机流程培训，可有效降低设备实际开机带来的成本。采用三维虚拟表达方式展示工业流水线和工业企业的内部结构，了解工业工厂环境和构成和操作工序，在对应环境中针对动火作业，机器人维修，高空作业，轧机作业等操作要求模拟安全防护的动作和要求，可让培训人员感受厂区环境、工种协同操作、作业流程、安全防护点和要求同时演示系统能够展示各部件、组件的组成结构、装配关系、运作原理及拆装的流程。另外，通过 5G 技术还能够将工厂和生产线搬进教室，在培训指导领域通过移动教室实现培训和指导，实现真正意义上的立体化教学。

第四章 5G+智能制造典型行业应用案例

5G 具有工业基础设施的属性，应用范围涉及工业设计、研发、生产等多个方面。通过 5G 技术，工业企业可实现全生产要素、全流程互联互通，实现柔性生产和零库存的目标。5G 将促进制造业装备转型升级，让生产朝着个性化、柔性化方向发展。同时，5G 能满足工业控制、信息采集等多方面需求，将推动制造业工厂内网改造，实现工厂内网向扁平化、无线化方向发展。5G 与行业的快速融合，将孵化出极佳的应用机会。

4.1 5G+航空航天

航空航天制造业具有较高技术含量和较高附加值，其资本投入高、信息密集度高、带动能力较强。例如飞机制造和航空设备制造，都具有极高的经济价值和政治价值。但我国在航空航天设备、精密仪器等方面的整体工艺技术水平 and 生产作业管理模式仍相对滞后。在当前工业互联网快速发展的时代，率先引入 5G 技术，建立高效的 5G 通讯网络，实现设备数据与工业应用的无线互联，聚合先进技术对航天/航空制造行业实现信息化和智能化具有重要意义。

某航天企业在充分利用 5G 新特性的基础上，建立基于 5G 的私有云平台 and 基于 5G 的制造能力平台，构建企业内工业大数据服务和企业 AI 解决方案库，并基于此开发一批典型 5G 工业互联网应用，形成了一套成熟的 5G 工业互联网综合解决方案。在智慧生产装配应

用上，利用 5G 通讯技术的高并发特点，通过条形码、二维码、RFID 等数字化技术，结合智能终端与物联网系统，实现工厂全生产要素全生命周期的实时数据跟踪，并通过大数据智能分析决策实时管控工厂生产状态。同时，应用 AR 技术将装配实物虚实叠加，实现基于 AR 的远程协助设备维保。在质量智能检测应用上，一是基于 8K 超高清视频影像，在云端完成紧固件缺陷智能识别分类和测量等任务，辅助质检人员完成检测工作。二是基于 5G 的双相机摄影测量，实现测量相机移动测量，在装配过程中实时通过测量的分析结果，优化改进装配的工艺方法。三是基于机器视觉的复合材料智能拼缝检测。使用工业相机对自动铺带过程进行拍摄，将拼缝和多余物快速传输到云平台，对拼缝宽度和多余物情况进行快速精确分析。



图 4-1：云化双目相机检测

在智慧物流应用上，建设基于多 AGV 协同的车间级智能配送系统，通过 5G 技术实现双 AGV 在运行过程中的信息同步，满足了绝大多数中低速的大型零件搬运场景。同时，建立基于 RFID 的复合材料全生命周期追溯系统，对物料进行数字化标识，实现材料状态自动

化记录、处理，实现长期可追溯。在智慧决策应用上，打造基于 5G 云 VR 的数字孪生透明工厂，实现与工厂各生产系统管理系统的多维数据同步，让工厂信息在虚拟现实环境中的孪生还原。另外，通过 5G 网络高通量的带宽，建立视觉全覆盖的人员效能分析系统，实现质量检测、生产过程控制中的行为识别与轨迹追踪，提高工人的操作水平与工作效率。在飞机设计、制造、试飞、运维协同应用上，建立基于 5G 的远程异地协同设计与机上实时验证系统，通过现场获取的部件真实模型让设计人员开展协同设计；生产现场通过 AR 眼镜将新设计的部分叠加到装配部件上来验证设计效果；实现了协同设计、制造设计与模拟验证。

某航空企业在智能工厂建设中引入大数据、云计算、5G、AR 等项目，在航空发动机试验远程监控上，采用视觉传感器为检测核心部件，实时采集图像并传输至监控中心，由专用图像分析服务器对图像进行实时处理分析，获得检测结果。5G 技术配合机器人可以减少现场的人员安全威胁，同时实现监控室与试车间内的低延迟实时互动，提升试车过程的可视化水平。其中包括：配电柜线路自动识别、装配工艺增强可视化检验等。在航空发动机试验过程远程指导上，现场人员可以通过 AR 眼镜实时传输故障视频，并支持在故障图片或视频中进行标记，有效提升排故效率和准确性。通过远程指导，现场人员可以实时与后台专家远程联动。

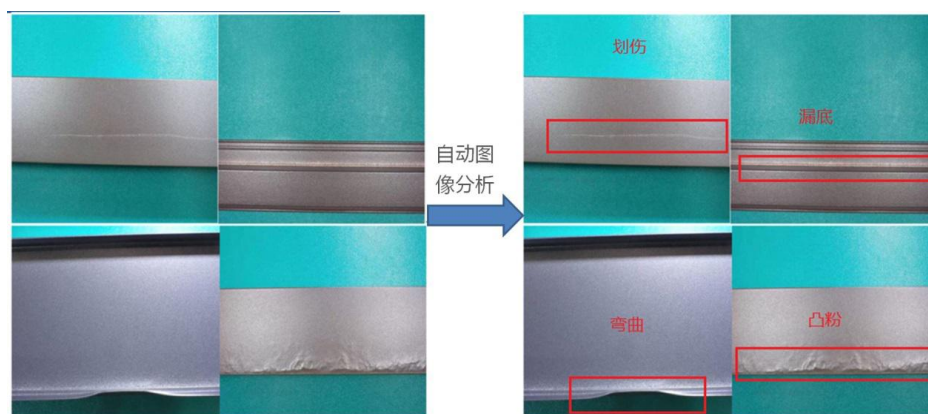


图 4-2：智能视觉缺陷检测模块

在航空发动机试验过程理化检验高速协同上，实现材料力学实验室场景的机器视觉和实时上云、智能环境监控、基于云边结合的数据建模和实验分析和设备和环境状态可视化呈现。视觉信息捕捉及识别技术的应用，将对数据进行自动化智能采集及高效处理。实验数据建模技术的应用，将零散的实验数据进行结构化处理、分类存储并以可视化的方式进行集中呈现。最后安防监控及资产管理技术的应用对实验室设备、装备、人员进行一体化监控管理。在试验前装配 AR 展示与教学培训上，利用 AR 技术的互动性特点，可选择性地展示和培训大部件智能对接平台和数字化试验验证平台，使展示和培训时间受控。利用 AR 的数字化图像处理、光影特效等技术，以及与其他系统的数据连接与进一步数据处理，可具体、形象地展示大部件对接平台的结构特点、历史过程等，提高展示和培训的真实度。

4.2 5G+船舶重工

我国造船业在全球市场上所占的比重正明显上升，并已成为全球重要的造船中心之一。但是，船舶制造企业智能化程度普遍较低，大

部分船舶企业生产设备信息化率不足 50%，设备联网率不足 30%。同时，生产设备位于 OT（车间现场网），与 IT 网络互通困难，导致数据采集和输出困难。船舶行业的运维管理、供应链、船舶从业人员培训等各个方面存在保守和滞后，严重影响了行业发展。对船舶制造业而言，5G 有三大优势。一是基于 5G 的高峰值传输速率，可以使用 8k 采集现场视频。二是基于 5G 的低时延性，控制焊机可根据现场情况自动调整、匹配，让制造更精准。三是 5G 的可接入功能更强大，互联设备可以到千万级。船舶行业必须利用成熟的数字空间技术对行业进行重塑，打造智能船舶数字化管理体系。

某行业云平台提供通用化设备管理能力，面向制造领域，适配智能制造、设备监控、预测性维护、服务化延伸等场景的水平化设备管理平台。发挥网络优势，立足平台，从通用场景出发，逐步深入船舶制造领域，实现工业互联网能力突破。

在基于 5G 的机器视觉检测上，船舶企业使用的测量设备都是基于 WIFI 或有线，甚至是离线，由于测量部件尺寸大，对移动性及实时性要求高。传统检测图像都在线下完成拟合解算，检测结果无法实时反馈给生产部门。同时，计算能力受制于本地笔记本电脑配置，检测工作时也大多使用一台设备进行多点检测。而 5G 满足了无线传输速度及多目同步要求。通过高可靠计算能力能够利用云端的计算服务为检测服务，解决了计算瓶颈，特别是应用在大型产品检测场景。5G 还能极大提高效率，多目检测只需 1-2 张图像即可完成产品检测。原一天的完成的工作，现只需 30 分钟。此外，在 5G+云计算赋能下，

检测不受场景及线缆限制，随时随地都可完成检测。

在基于 5G 的 AR/VR 应用上，二维图像无法真实还原三维模型结构，容易造成模型干涉点审查遗漏。模型检查时间长，审查人员易产生疲劳和枯燥感。操作及维修空间大小无法量化，设计者和审查员容易产生歧义。通过 5G 技术，AR/VR 可以真实感受船舶设计模型，有沉浸感。具备 5G 通讯能力的 VR 眼镜，结合云 VR 可远程进行模型审查，不受地域限制。VR 虚拟模型与真实环境进行交互，模型尺寸可量化。



图 4-3：5G 的 AGV 应用

在基于 5G 的 AGV 应用上，传统 AGV 小车在特定场景中通过自身搭载无线 AP 与控制系统进行通信交互，实现物流搬运，智能巡检等任务 WiFi 技术无法运用于广阔的室外环境，技术能力不可达，并存在易干扰、切换时连接中断等问题，调度任务接收不及时。基于 5G 的网络保障，可实现高精度定位。一是控制更高效，5G 网络的低时延特性在 AGV 移动应用中，能够让 AGV 接收任务，反馈数据变得更高效迅捷。二是通讯更可靠，5G 技术使控制信号不受其他信号

干扰。

在基于 5G 的船舶自组网上，在建船舶结构多由钢板组成，内部结构复杂，各种舱室繁多，网络覆盖一直无法解决。一是在建船舶内部无法进行安防监控，存在较大的安全隐患。二是船舶内部没有网络覆盖，数字化业务流无法走通。利用 5G+自组网，船舶内部节点合理布置，重要舱室（机舱，舵机间，集控室，上建等）网络全覆盖。视频安防业务上线，消除在建船舶内的各种隐患。同时，还能够支持调试、报验等数字化业务流网络化操作。

在基于 5G 的设计协同平台应用上，目前船舶设计员收到厂家设备资料后进行设备模型建立，模型导入来进行船舶三维设计。设计员需要花费大量时间在设备建模上，费时费力。图纸标准不统一，管理困难。同时设备供应产业链分散，无法资源集中。基于 5G 的供应链协同云平台，供应商能够参与到建模中，模型直接线上交付，设计更高效。船舶设计员也可以将精力集中与船舶研发优化中，打造高品质船舶。发挥企业间的协同效应，创造协同价值。

在基于 5G 的设备共享平台应用上，船舶制造难度大，要求高，对高端制造设备的使用需求十分旺盛。高端设备能力强大，但是适合加工的材料较少，利用率不高。友商加工有加工需求，但没有合适渠道获得资源。基于 5G 的设备共享云平台，能够使制造资源共享和优化，创新制造模式；提高设备使用效率，创造新收益；高端制造能力开放，提升企业生产力。

在基于 5G 的船厂钢板资产管理上，钢板原料在仓储过程中的定位和精准识别，综合定位精度可达亚米级，最高可达厘米级。钢板原料出入库过程中的追溯及可视化，使用抗金属 RFID 标签，钢板侧边贴放，可重复利用。

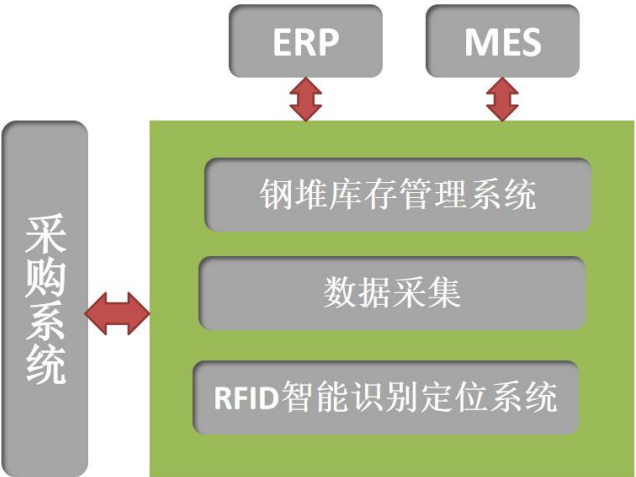


图 4-4：船厂钢板资产管理

4.3 5G+钢铁制造

钢铁工业是大型复杂流程工业，并且处于制造业整个链条的中间环节，具有大量的数据、丰富的场景和广泛的连接。如今钢铁工业进入了一个新的发展阶段，即反映在建筑和基础设施、装备制造和消费品制造业等钢铁工业经历了一个快速增长的时期，未来发展空间有限，钢材生产和消费已进入高峰平台区；而随着供应侧结构性改革的深入，以及经济社会的发展，对钢铁工业的产品、服务以及供应等质量的要求越来越严格。钢铁供需结构长期不平衡。钢铁行业的自身条件等各个方面产生了巨大变化，因此必须探索新思路、新路径，通过

5G 应用等技术手段，解决人工成本高、后继乏人以及现场风险大等行业痛点。

在远程一键炼钢上，基于 5G 的数字孪生技术，虚拟出炼钢现场生产环境及操作环境，通过远程移动终端控制炼钢过程，并实时获知生产过程的各个参数，现场通过大屏展示，可以让参观者不用进入环境恶劣的生产现场，即可实时掌握炼钢的整体工况。可以让操作工从固定工作岗位解放出来，在任何时间任何地点控制炼钢程序。数据的传输以及控制，通过 5G 网络进行支撑，在取得转炉“一键炼钢”突破的基础上，通过自主集成转炉出钢的自动倾动、台车自动走行等关键工艺技术，实现了真正意义上的“一键炼钢+全自动出钢”工艺贯通，实现了远程“一键炼钢”。

在智慧矿区无人驾驶矿车上，基于 5G 网络，依托自研核心平台提出的分级决策自动驾驶解决方案，融合 GPS、视觉感知等技术，利用车载传感器、路测传感器的多层面数据，构建多维时空模型，确保车辆的环境感知。不断强化 5G 边缘计算能力与核心云计算能力，打造自动驾驶分级决策“大脑”，满足自动驾驶对高性能计算的需求。同时，通过构建露天铁矿石石方-铁矿原石运输矿卡无人驾驶作业集群，最大程度减少工程现场作业人员数量，有效确保人员安全。搭建远程智能调度监控平台，建设车车-车网-车地通信系统，最终实现矿山生产运营自动化管理。在智能化管理下，智慧矿区综合效益将显著提升，整体能耗下降，节能环保水平将得到明显提升。无人驾驶矿车拥有激光雷达、毫米波雷达、差分 GPS 定位、5G-V2X 无线通讯等多

项先进技术，能够实现车辆远程操控、车路融合定位、精准停靠、自主避障等功能，有效提高特殊环境下矿车作业效率，降低作业风险。

在质量远程技术服务上，在硅钢产品售后出现质量问题时，通过现场头戴式高清摄像头将硅钢产品图像通过 5G 网络传回集控中心，并由专家远程判断质量问题，并远程指导加工工程，现场头戴式摄像头同时具备微型显示屏，现场操作人员可以看到专家远程指导内容，解决远程技术服务问题。

在热轧产线设备诊断 VR 远程支持上，热轧产线设备诊断 AR 远程支持，是通过现场操作人员头戴 AR 眼镜与后台技术专家进行互动检修的应用，专家可以远程看到现场的情况，并对于检修人员进行指导和辅助。5G 网络支撑高清视频数据的回传和互动。



图 4-5：在热轧产线设备诊断 VR 远程支持

4.4 5G+半导体装备

半导体行业有着复杂的产业链，从上游到下游，依次又有材料和设备、芯片设计、芯片制造、芯片产品封测等行业。在芯片的实际制

造过程中，尽管会因为不同的材料和工艺而有所差异，但大体上会用到类似的工艺过程，需要用到光刻机和刻蚀机。以半导体蚀刻设备为例，刻蚀作为半导体制造工艺，是微电子 IC 制造工艺以及微纳制造工艺中的一种相当重要的步骤，是与光刻相联系的图形化处理的一种主要工艺。半导体蚀刻设备的设计研发、生产制造同样涉及复杂的产业链。因此，在基于云平台的半导体蚀刻设备跨区域协同设计、外协加工过程的质量控制、产品总装的智能化生产、产品售后的智能化运维均对网络提出了较高要求。

基于 5G 通信网络的技术特征，能够打通半导体蚀刻设备各环节的信息孤岛，形成全生命周期信息流和数据流闭环链路，提供人、机、料、法、环的全面感知、深度互联，为产品设计研发、生产制造、运行维护提供高可靠保障，为半导体蚀刻设备零部件、整机性能的提升提供可靠的无线网络基础和数据支撑，实现 5G 技术在泛半导体行业的示范应用，奠定半导体蚀刻设备产业链和半导体行业共性推广的基础。

某公司通过建设基于 5G 技术的全球泛半导体设备研发、制造、运维的全生命周期平台，以 5G 的先进技术为核心构建工业互联网平台，借助 5G 高速率、大带宽、广覆盖的特点打造泛半导体行业的工业级应用场景，比如借助 5G 高速率的特性，VR/AR 赋能半导体行业，通过数字信息来可视化、指导、引导和改进与实体设备进行交互的方式，有助于重新构建从产品设计、生产制造、运维的服务模式。通过

该平台的建设整合半导体产业链上下游资源打通供应链和价值链，实现行业商业模式的创新应用。

在基于 5G 的应用平台上，一是建设基于 5G 的云平台：IaaS 基础层以混合云方式组网，PaaS 平台层建立以数据为中心的应用部署和运行平台，实现数据集中采集和展示，并在通用 PaaS 基础上建立工业 PaaS 平台，提供行业生态发展的开发应用平台。二是建设基于 5G 的制造总线：数据采集平台采用单片机与传感及控制器集成，实现设备的边缘层计算和控制，并通过 5G 芯片集成，实现设备数据的以无线的方式安全地传送给制造总线。制造总线服务核心在于数据的高效传输，5G 的低时延和大带宽特性足以支撑整个车间所有的核心数据传输量和速率要求。采用互联网最先进的基于事件驱动的网络通讯技术，以多线程异步的方式处理总线内的数据流，通过内存池技术缓存业务逻辑数据，并借助于 5G 网络的优势，充分发挥总线的消息处理能力。三是构建工业大数据服务：构建半导体设备行业特色的工业大数据系统，实现设备数据、生产运营数据、供应链数据等采集、清洗处理、分析，基于半导体设备的生产工艺建立数据模型实现对生产过程的模拟预测。四是构建平台引擎服务，建立以数据为中心的应用部署和运行平台，将半导体设备行业的工业技术原理、行业知识、基础工艺、模型工具等规则化、软件化、模块化，并封装为可重复使用的组件。基于 5G 大带宽、高并发可以把海量数据加入到数字化模型中，进行反复迭代、学习、分析、计算后，可以对半导体设备的运行状态进行预警或预测性的维护、减少企业运营成本，打通行业信息

沟通共享，为行业业务拓展提供基础，提供行业生态发展的开发应用平台。

在基于 5G 的半导体设备研发仿真协同上，研发协同仿真应用，采用 5G 网络承载设备的反应腔、自动执行机构、电气系统、气体系统等子模块异地协同设计与仿真输出的 2D 图纸、3D 模型、数值分析模型等数据的传输，建立从产品、芯片设计、芯片封装、芯片测试、晶圆加工、核心设备制造、核心模块协作商、关键零部件厂商、ODM/OEM 厂商产业链的协作平台，推进产品迭代的质量以及研发效率。



图 4-6：基于 5G 的半导体制造设备网络化协同研发架构

在基于 5G 的半导体设备行业生产制造协同上，平台构建基于工序级生产协同平台，同现有的生产系统无缝集成，实现智能化生产、网络化协同、个性化定制、服务化延伸。通过 5G+机器视觉实现质量监控，通过 AR 技术实现对现场工人的远程技术指导，提高工作效率。通过 为实现整个制造协同，使用预测分析算法解决产线和工作重心资源能力优化的难题，实现工序级别排产，产线和工作中心任务分配

指派；工单任务全程可视化，任务电子看板，项目甘特图；工单在线实时状态跟踪，整合现场视频图片记录等核心功能如下。

在基于 **5G** 的半导体行业智能运维平台上，建设基于云的协作式运维平台，整合半导体产业链设备资产生态系统中的合作伙伴，从而提升整体的运营效率，最终实现建立半导体行业设备全生命周期的数字化管理模型，并可灵活集成与扩展；利用可通过网络更新的资产主数据和备件信息，规范半导体行业的设备管理；通过访问最新任务列表和有关维护策略的服务通告，简化设备维护工作；在设计 and 执行过程中开展协作，共同完成复杂的安装或维护程序实行协作式网络服务，进而更有效地管理设备、收集资产绩效。

第五章 5G+智能制造发展建议

以 5G 为代表的 ICT 技术，将推动未来制造模式的变革。但 5G 在未来智能制造中仍面临着一些典型难点和挑战性问题。首先是安全性，工业信息安全一直备受关注，通过网络入侵的安全事件频发。传统的有线网络可以通过隔离的方法来解决信息安全，但无线尤其 5G 应用以后，这种开放的信道通过隔离的方法很难实施。其次是商业模式，5G 是用公网、专网，亦或混合的方式来建设无线网络，都是企业要解决的问题。再次是成本和投资回报的问题。在 5G 推广初期，建网以及运维的成本都很高，但工业企业的利润水平十分有限。单纯建设 5G 网络，只能解决信息传输的需求，必须要解决在 5G 基础上的智能管控的应用模式，这是当前以及未来要解决的重点以及难点问题。针对 5G 在智能制造的应用及发展，主要提出下几个方面的建议。

5.1 加快基础网络的建设部署

一是降低网络基础设施建设成本。首先，推动 5G 基站建设小型化，减轻基站建设方在基站建设时的物流、人力等成本。5G 时代基站越来越密集，若按照传统方式建设基站，越来越高的基站建设成本将严重拖累 5G 部署进度。5G 小基站小型化、易部署等特点，将契合室外连续覆盖和室内热点深度覆盖的需求，解决 5G 信号难“登堂入室”的普遍难题。其次，着重解决 5G 基站能耗问题，鼓励以共建共享的网络建设方式，实现 5G 网络高效覆盖，快速形成 5G 服务能

力，增强 5G 网络和服务的市场竞争力，提升网络效益和资产运营效率，达成互利共赢。

二是满足传统制造企业开展融合创新业务的网络需求。进一步提升工业网络速度，鼓励基础电信运营商与工业企业加强合作，促进大中小企业网络融通发展，提供面向不同场景、不同需求的个性化、差异化资费套餐与服务模式。

5.2 建立安全防护标准和规范

一是加紧研制信息安全的技术和标准体系。重点考虑 5G 网络在智能制造中的应用场景，制定工业互联网服务平台应用实施指南，工业大数据分级分类等关键标准，以提升工业互联网安全防护的整体能力和水平；同时强化安全监测、防护技术的手段建设，完善工控安全工作机制，保证整个工业信息化的整体安全。

二是进一步加强对关键信息基础设施保护。基于 5G 的智能网联汽车、大规模传感器网络等多类型的海量数据将会汇入各大运营商的 5G 承载网中，5G 承载网必定会成为对人民乃至国家安全影响重大的关键信息基础设施，这对 5G 承载网络的安全防护提出了更高的要求。

三是研究制定 5G+智能制造相关法规、监管体系等。5G 网络的安全问题是连接“移动智能终端、宽带和云”的系统化安全问题，更是涉及物理安全、传输安全以及信息安全的全方位安全问题，并由此产生了如大数据安全保护、虚拟化网络安全、智能终端安全等关键安全问题。超脱于技术之上的是一套监管体系的构建，但目前尚未有成

型的法律法规及监管措施，需要出台相关法律法规以规范使用情况。

5.3 促进行业标准和制度建设

在 5G 技术应用的背景下，围绕智能制造的重点领域，针对智能制造标准跨行业、跨领域、跨专业的特点，参考 5G 大带宽、低时延、高可靠的特性，立足国内需求，兼顾国际体系，注重专业机构、智能制造企业、用户单位等多元主体共同参与，建立以基础共性、关键技术和行业应用等三类标准为主的国家智能制造标准体系。加强标准的统筹规划与宏观指导，加快创新技术成果向标准转化，强化标准的实施与监督，深化 5G+智能制造标准国际交流与合作，提升标准对制造业的整体支撑作用，为产业高质量发展保驾护航。

5.4 推动技术研究和创新示范

一是建成集 5G 网络技术创新、标准研制、测试认证、应用示范、产业促进、国际合作等功能为一体的开放公共服务平台。打造一批关键技术和重点行业的智能制造网络实验环境，建设智能制造网络创新基地。构建先进、系统的智能制造网络技术体系和标准体系，建立智能制造网络改造评估认证机制，并在 5G 网络领域建成一批智能制造应用创新示范项目，以应用示范促进技术成熟，带动产业化推广。

二是在智能制造重点领域开展 5G 商业试点示范。面向智能制造发展需求，建议通信厂商积极探索 5G 应用场景，并联合电信运营商开展智能制造重点行业企业试点示范和协同创新中心建设，探索 5G

网络与智能制造融合的更多可能性，构建可复制、可推广的融合应用推进机制。在汽车制造、绿色石化、电子信息等重点领域率先开展“5G+智能制造”商用业务试验和应用示范，在重点企业打造人、机、物全面互联的智能制造网络体系。

三是加快智能制造 APP 技术突破与解决方案商培育。5G 网络的发展不能只关注建网，必须把数据平台和典型的智能制造 APP 的应用同步发展，以解决工业生产中的关键挑战性的问题为导向，找到一些杀手级的应用。构建基础共性、行业通用、企业专用的智能制造 APP 和微服务资源池，培育基于平台的新型智能制造 APP 和行业解决方案；加快推动智能制造发展，培育一批智能制造的解决方案和创新应用。在路径上，可以以一些龙头企业来做一些标杆性的测试床，把 5G 数据平台和智能制造 APP 集成起来，以解决智能制造中的某些痛点问题，从而形成解决方案，测试成功后把这种解决方案向全行业推广，带动 5G 的推广应用。

5.5 加强产业政策引导与鼓励

积极组建以政府引导，市场化运作，专业化管理的智能制造产业基金，探索开放共赢的新型商业模式。在产业政策引导上，制定上海市 5G 应用示范、企业服务、科技体制改革、创新中心布局、数据资源开放、新一代信息基础设施建设、人才引进服务、金融支撑等方面的政策，结合上海市在人工智能应用示范、企业服务、科技体制改革、创新中心布局、数据资源开放、新一代信息基础设施建设、人才引进

服务、金融支撑等方面的政策加大各级财政资金对 5G 产业发展的支持力度。另外，设立 5G 产业发展基金，相关社会基金联动，形成政府支持、行业主导、市场运作的基金体系。营造智能制造创新创业投资环境，推动智能机器人、智能传感与控制、智能检测与装配等智能装备的应用，提升智能制造能级和水平。

5.6 探索建立差异化计费模型

5G 计费模式最大的创新，就是基于场景如何进行计费，用量纲的定义来丰富定价因子，通过定价因子的组合来实现最终的资费定义和套餐定义。另外，5G 计费结算对象将更加细分。目前 4G 主要的计费对象还是面向 C 端用户，部分物联网业务的支撑也是以 2C 的模式来支撑 2B 的业务。在 5G 时代，运营商从对 2C 的支撑转向 2B 的支撑，变化也将非常明显。

鼓励智能制造企业、设备厂商与运营商共同探索多元商业模式，面向不同的时延、不同的安全等级、不同的场景和不同客户的质量，建立多量纲、多维度、多模式的计费模型。实现更快的业务定制、自助服务和可扩展性，提高运营商业务收入及 ARPU。一种是按照不同的服务类别收费，比如根据 AR/VR、全息视频无人机、工业机器人智慧城市等，不同定价。第二种是根据网速定价，按照不同流量、不同速率、不同内容来定价。第三种是按照切片数量来定价，比如演唱会、体育场馆、音乐会等场合适合这种定价。

5.7 打造行业人才集聚的高地

一是加大高端人才引进力度。搭建 5G+智能制造高端人才数据库，定期组织开展海内外高端人才的引进对接活动，有针对性地引进一批 5G 和智能制造高端人才。

二是加快专业人才培养速度。鼓励高校整合校内 5G 和智能制造的研究资源，适当增加相关专业招生名额，加强 5G 和智能制造研究的基础设施建设。依托自身的优质教育资源，鼓励企业与高校设立 5G+智能制造联合实验室等合作基地、建立 5G+智能制造实训基地，培养应用型科技人才。

总结与展望

作为新一代无线通信技术，5G 将为智能制造生产系统提供多样化和高质量的通信保障，促进各个环节海量信息的融合贯通。未来，随着 5G 网络与制造业的融合走向纵深，5G 带来的变革不仅是生产过程的优化，如可控性的提高、运营效率的跃升、生产成本与能耗的降低等，更将带动一系列革命性的新产品、新技术和新模式在制造业中的普及。可以预见，在“5G”时代，制造业智能化升级将更全面更深入，以 5G 为核心的融合创新将成为我国制造业高质量发展的强大动力和有力支撑。