



汽车制造业5G工厂建设 实施指南

牵头编写单位：中国信息通信研究院
中国联合网络通信集团有限公司

工业互联网产业联盟（AII）

2023年12月





汽车制造业 5G 工厂建设实施 指南

工业互联网产业联盟（AII）

2023年12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

前言

汽车制造业产业经济规模大、带动行业范围广，是国家制造业和科技整体水平的象征。5G、工业互联网、人工智能、新能源材料等技术的繁荣发展，不断推动汽车产业向智能化、网联化发展，促使从生产到服务环节的全链条变革，为汽车产业带来新的发展机遇。

当前，汽车制造正面临产品定制化、生产精细化的转型压力，亟需新一代 ICT 技术与传统汽车工业的融合创新，满足企业高效生产、智能运维、数据互通、质量提升等方面的现实诉求。“5G+工业互联网”在汽车企业的研发、生产、管理等环节快速应用，深度赋能汽车生产中机器人控制、车体检测、电池仓储、能耗管理等场景，助力车企高质量发展。

本白皮书通过对汽车制造业冲压、焊装、涂装和总装等工艺的生产要素和业务需求进行深入分析，从基础设施建设、厂区现场升级、关键场景应用、网络安全维护等角度系统性提出面向汽车制造业的 5G 工厂建设实施总体实施架构，为汽车制造企业各生产流程运用“5G+工业互联网”实现“智改数转网联”提供了具体指导和典型参考。

编写组成员（排名不分先后）：

管子健、沈彬、黄颖、于青民、胡钟颢、朱璎、荆雷、赵兴龙、魏梓原、程一航、王潇宁、周华、安岗、唐尚禹、霍明德、向静波、孙雪涛、程骁、包盛花、朱登建、金健、张雄风、朱成、余晖、张陆洋、连瑾、代文莉、唐华苹、吕玲、黄鑫、李建和、司磊、张天浩、袁占江、李凡、黄晓笠、潘祥喜、刘扬、冯政光、周欢、闫勇斌、张劲松、彭小刚、李冬伟、颜先洪、宁海荣、俞一帆、丁颖哲、姚驰、张天红、王林颖、高亮、冯虎、赵治国、李祖刚、朱江林、李栋、梁琦、姚旺、戴鹏飞、李铮、何华、张学峰、江鑫、王蕾磊、张兵、文攀龙、秦冬、邓可、李颖、逯丞

牵头编写单位：

中国信息通信研究院

中国联合网络通信集团有限公司

参与编写单位：

重庆数智融合科技有限公司（中国联通汽车制造军团）

华为技术有限公司

信通院工业互联网创新中心（重庆）有限公司

精诚工科汽车系统有限公司

武汉东研智慧设计研究院有限公司

重庆长安汽车股份有限公司

深圳艾灵网络有限公司

宜宾凯翼汽车有限公司

罗克韦尔自动化（中国）有限公司
西门子（中国）有限公司



工业互联网产业联盟公众号

目 录

一、行业 5G 全连接工厂建设的必要性	1
（一）汽车制造行业发展现状	1
（二）汽车制造数字化转型痛点	3
（三）汽车制造业 5G 全连接工厂的价值体现	5
二、汽车制造业的主要业务环节和需求	7
（一）业务流程介绍	7
（二）生产环节需求	15
（三）管理环节需求	17
三、汽车制造行业 5G 全连接工厂建设内容	19
（一）总体架构	19
（二）基础设施建设	21
（三）厂区现场升级	26
（四）关键环节应用	29
（五）网络安全防护	44
四、工厂实施建议	46
（一）新工厂建设	46
（二）现有工厂改造	47
（三）主要技术趋势	48

一、行业 5G 全连接工厂建设的必要性

（一）汽车制造行业发展现状

汽车制造产业链长、涉及范围广，对汽车上下游如钢铁、石油、机械制造、金融等行业发展起到带动作用，汽车产业的发展通常以材料研究及基础工业制造为依托，因此汽车产业通常被看作是国家制造业和科技整体水平的象征。

汽车制造业经济规模大，2022 年汽车制造业完成营业收入 92899.9 亿元，同比增长 6.8% 优于整体，占规模以上工业企业营业收入总额比重为 6.7%。目前我国已成为全球最大的汽车生产国和销售国，2022 年我国产销分别为 2702.1 万辆和 2686.4 万辆，同比增长 3.4% 和 2.1%。在双碳政策与市场的双轮驱动下，汽车产业发展核心将由燃油车向新能源汽车发生转变，由此产生的合规成本、新型技术引入及全新的营销体系建立将为行业重塑带来新的发展契机。

在促进汽车产业数字化转型方面，由国务院印发的《制造强国 2025》计划中，明确提出要推进智能制造、建设工业互联网平台等方面，加快汽车工业数字化转型。在此基础上，2022 年 9 月财政部等三部委联合发布《关于延续新能源汽车免征车辆购置税政策的公告》，延长新能源汽车免征购置税期限至 2023 年 12 月 31 日，同时各地政府也通过税收减免、补贴等政策鼓励企业加快数字化转型和工业互联网应用，提高汽车行业的竞争力。

在推动汽车产业链补强方面，在 2021 年 12 月 28 日，工

业和信息化部等八部门联合印发了《“十四五”智能制造发展规划》，要求汽车行业中支持智能制造应用水平高、核心竞争优势突出、资源配置能力强的龙头企业建设供应链协同平台，打造数据互联互通、信息可信交互、生产深度协同、资源柔性配置的供应链。

在强化新能源汽车技术优势方面，2020 年 11 月国务院印发的《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》，要求到 2025 年纯电动乘用车新车平均电耗降至 12.0 千瓦时/百公里，新能源汽车新车销售量达到汽车新车销售总量的 20%左右，高度自动驾驶汽车实现限定区域和特定场景商业化应用。到 2035 年，纯电动汽车成为新销售车辆的主流，公共领域用车全面电动化，燃料电池汽车实现商业化应用，高度自动驾驶汽车实现规模化应用，有效促进节能减排水平和社会运行效率的提升。

在构建新能源汽车产业体系方面，工信部发布的《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》提出了面向 2035 年中国汽车产业发展的目标，其中包括汽车产业碳排放将于 2028 年左右提前达峰；到 2035 年，碳排放总量较峰值下降 20%以上；新能源汽车将逐渐成为主流产品，汽车产业基本实现电动化转型。该技术路线图进一步强调了纯电驱动的发展战略，提出到 2035 年，新能源汽车市场占比超过 50%，燃料电池汽车保有量达到 100 万辆左右，节能汽车实现混合动力化，汽车产业全面实现电动化转型。车企依据自身的现状和发展战略，对于新能源汽车产品动力类型的选择将愈加清晰。

在政策以及市场的双轮驱动作用下，汽车行业整体发展正在向电动化、网联化、智能化、共享化不断迈进。在政策及市场为汽车行业数字化转型提供了良好的环境和机遇的同时，也逐步提升了我国汽车产业整体的科技实力及创新水平。

（二）汽车制造数字化转型痛点

当前汽车制造行业迭代速度快，企业亟需对现有厂区、产线进行 5G 化改造，实现柔性化生产，满足企业严控产品质量以及快速响应小批量、精细化和定制化、差异化、绿色低碳等生产需求痛点。

一是基于订单的柔性制造（C2M）带来的新型数字基础设施升级压力，当前新一代信息技术在车企生产、经营过程中发挥了重要作用，以特斯拉为代表的国外龙头企业基于“IOT 物联网+开发平台+应用”的三层架构，已经实现了真正意义上的 C2M 模式。无论是柔性化生产，还是孪生工厂中的高精度实时仿真模拟、虚拟现实技术支持下的新时代体验式营销等都需要新型基础设施支撑。我国要在这新一轮的国际竞争中保持领先地位，亟需加速新型信息技术与新能源汽车产业的融合，构建高效融通的新型数字基础设施，并打造自主可控的智能化协同制造运营平台，全面打通安全、质量、交付、成本、人员、设备、环境等全业务板块，整合产业数据和资源，集聚上下游产业链企业，构建安全、高效、协同、智能的新能源汽车产业链。

二是技术升级、环保、供应链、用户群变化带来的车企成本

压力，在技术层面，自动驾驶、智能化等方向的推广都需要厂商高额投入，技术研发成本高昂，对财务实力要求较高；在环保方面，不少国家制定了严格的汽车排放标准，使得厂商需要花费更多的成本来满足这些标准；在供应链方面，车企供应链庞杂，任何一环出现问题都可能造成生产中断或成本上升，同时上游原材料等成本上涨也会挤压车企的利润空间；在用户群变化方面，年轻用户对汽车消费的理解和需求与老一代存在很大差异，车企需要调整产品策略以适配需求变化。

三是由于软件定义汽车（SDC）的出现带来的流程优化和设施升级、安全性测试、数据安全、质量控制、法规和政策限制等问题，在流程优化和设施升级方面，为适应 SDC 的制造需求。车企可能使用更多的自动化设备和机器人以及更先进的工艺设备；在安全性测试方面，SDC 需要进行更多的安全性测试，以确保软件和硬件的可靠性。这将带来更频繁的自动化测试和模拟器测试以及更全面的测试环境；在数据安全层面，SDC 中需要处理大量的敏感数据，为保证数据安全和隐私，需要增加更多的保密和数据管理措施。这也需要更多的人力和资源；在质量控制方面，SDC 制造过程涉及大量软件和硬件部分，因此需要更加严格的质量控制来保证每个部分的性能都符合要求。这就需要企业拥有更高的技术水平、更严谨的流程并且引入更灵活的自动化质量控制方法。在法规和政策限制方面，SDC 制造面临的重要问题是检验、认证和标准化的缺失。此外，不同国家和地区之间的法规和政策不统

一，这可能导致制造商需要在不同的市场遵循不同的规定和标准。

四是汽车制造企业数据资产在使用过程中面临的数据采集和整合、数据质量、数据安全、数据使用效率等方面的问题：汽车制造企业具有大量的数据资产，包括生产数据、销售数据、客户数据、供应链数据等，在此基础上由于企业内部和外部的多个系统不能畅通地共享数据，因此在数据采集和整合层面，要整合这些数据需要花费大量的时间和人力物力，而且整合准确性难以保证；在数据质量方面，由于汽车制造企业拥有数以亿计的客户和供应商，每个客户和供应商提供的数据质量存在差异，质量无法保证，这可能导致企业在数据分析过程中出现误差；在数据安全方面，汽车制造企业所拥有的数据包含了大量的财务、技术、市场和客户信息等敏感数据，因此数据安全性是一件非常重要的事情。企业需要采取一系列的措施来确保数据不被盗取或泄露。在数据分析效率方面，由于不同的数据格式，数据量庞大，以及数据采集和整合的难度，导致数据分析的效率较低。企业需要采取一系列的方法来提高数据采集和分析的效率。

（三）汽车制造业 5G 全连接工厂的价值体现

“5G+工业互联网”赋能汽车制造业，通过 5G 全连接工厂将工业企业深刻变革工厂内的人、机、料、法、环、测全要素，通过 5G 网络大带宽、高可靠、广连接的特性升级了传统生产模式，为企业带来高效生产、智能运维、绿色节能的综合收益，深层次优化汽车制造业的产业布局。

一是提升作业效率。利用 5G 网络有效突破传统无线网络传输速度慢、用户接入量小、覆盖有盲区等技术瓶颈，进行工厂全生产要素的广泛连接，突破汽车制造原有的生产操作和组织模式，提高生产效率和产品质量。

二是实现智能运维。企业使用 5G 网络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、自动导引小车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。

三是减少生产能耗，利用 5G 大连接特性采集各生产环节电力、水、热能等资源的消耗数据，监控汽车制造企业生产过程中的高能耗环节，控制设备产线在待机状态时的能源消耗，同时进行工艺优化和设备升级，从源头提升资源的投入产出比，实现清洁低碳的绿色化生产。

四是提升网络互通，通过 5G 全连接工厂建设，为行业企业解决网络互通、资源共享、IT/OT 深度融合等问题，在“建网”方面推动企业办公、生产管理、监控预警、工业控制、物联等网络互通。

五是推动产业进步，5G 融合应用将促进智能连接、云网融合贯穿到汽车制造生产环节，加速数字化、网络化、智能化转型，充分释放数字对行业发展的放大、叠加、倍增作用，赋能汽车制造业焕发高质量发展蓬勃生机，推动行业高质量发展迈向新征程。

二、汽车制造业的主要业务环节和需求

（一）业务流程介绍

汽车制造的四大工艺环节包括冲压、焊接、涂装和总装，目前部分车厂的一体压铸工艺将取代传统车身结构件的组件冲压和焊接环节，每个环节都有不同的目标和交付产物，同时对网络的技术要求也不同。为了满足这些要求，企业需要不断引进和应用新技术手段，如 5G 网络、物联网、云计算、大数据、人工智能等，以提高生产效率、降低成本、提高产品质量和竞争力。同时，企业还需要注重网络安全的投入，保障生产过程的稳定性和数据的安全性。



图 2-1 汽车四大工艺流程图

1. 冲压工艺

冲压工艺是汽车制造过程中的第一步，其目标是将金属板材加工成所需的形状和尺寸，冲压工艺主要包括以下步骤。

(1) 开卷和校平：将钢厂供应的卷筒板料进行开卷，整平后按照冲压工艺需求剪断成一定尺寸规格的料坯。

(2) 冲裁：冲裁是利用冲裁模使板料产生分离的一种冲压工艺，主要包括落料、冲孔、切孔、修边、剖切、切断等多种具体工序内容。在冲裁过程中，板料在模具的作用下被分成两部分，可以直接冲出成品零件，也可为其他工序制备毛坯。从板料上冲下所需外形的零件或者毛坯的冲裁工序称为落料，在工件或者板料上冲出所需形状的孔的冲裁工序则称为冲孔。

(3) 弯曲：弯曲是利用设备或者专用工具使金属板料、管料、棒料或型材在模具中弯成一定曲率、一定角度和形状的变形工艺。

(4) 拉深（拉延）工艺

拉深（又称拉延）是利用拉深模，将冲裁或剪裁后所得到的平板坯料制成开口空心件的一种冲压方法。

(5) 其他冲压工艺

胀形工艺：利用模具使空心胚料在直径方向上局部扩张的成型工艺称为胀形。胀型可以在压力机或者液压机上进行，也可以采用其他的专用胀型装置来完成。

缩口工艺：通过模具使筒形或者管型件口部直径缩小的加工工艺称为缩口。

翻边工艺：翻边是在预先冲制好孔的制件上（有时也不预冲孔）依靠材料的伸长，利用模具沿孔周边翻成竖直边缘的冲压工序。

冲压工艺的交付产物是各种形状和尺寸的金属板材，这些板材将用于焊接和组装成汽车的车身和零部件。

对于冲压工艺来说，网络技术要求主要体现在自动化和智能化方面。需要使用高精度、高速度的冲压设备和机器人，以及先进的自动化控制系统和软件，以确保生产过程中的数据采集、传输和处理的高效性和准确性。此外，还需要采用物联网技术对生产设备进行智能标识和管理，实现设备的实时监控和预警，提高生产效率。

2. 焊装工艺

焊装工艺是汽车制造过程中的第二步，其目标是将冲压成型的车身各组件组装成一个完整白车身的全部工艺过程，其主要内容包含焊接、滚/折边、涂胶、合装、返修等。由于焊接工艺的比例超过 90%，因此将其统称为焊装。

焊接是通过加热或者加压或两者并用，添加或不填充材料，使两分离的工件在其结合表面行程永久性连接的一种工艺方法。常用的焊接工艺有五大类近 20 种不同的焊接工艺方法，如下表所示。

表 2-1 焊接工艺分类

焊接工艺方法	类别	工艺名称
	电阻焊	单点焊
		多点焊
		缝焊
	熔化焊	气体焊
		电弧焊
		TIG/MIG 焊

	压力焊	摩擦焊
		爆炸焊
		超声波焊
		扩散焊
		凸焊
	钎焊	火焰铜钎焊
		激光钎焊
	特种焊	微弧等离子焊
		电子束焊
		激光焊

为适应市场需求，及生产高效、高精度、柔性化的需求，汽车焊装工艺常根据车身总成部件的不同结构特征，将焊装工序归类后划分为若干的作业区，例如车身主焊线、顶盖线、前后地板线等。根据各车企的实际情况，作业区划分会略有不同，但整体流程类似：将冲压成型的零件焊装成分总成，再将分总成焊装成大总成，最后将大总成焊装成为车身。

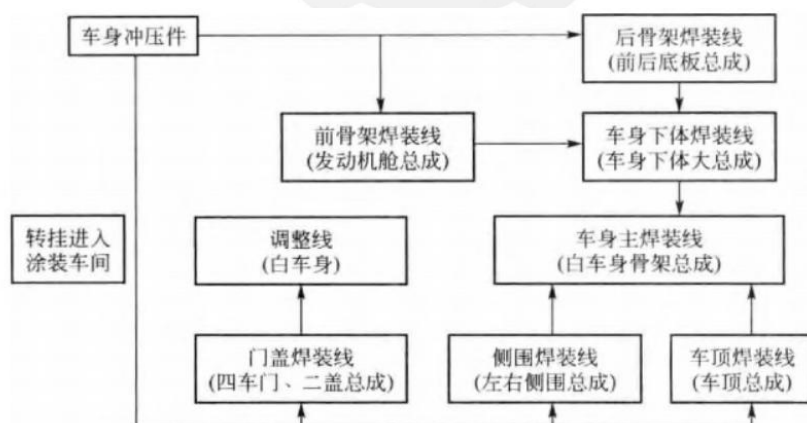


图 2-2 汽车焊装工艺流程图

各分总成拼合过程中，受加工误差及工序误差等影响，白车身不可避免地存在间隙面差超差的情况，检验工序需要对各分总成及白车身进行问题检验与排查，发现问题后需对其进行调整与

返修。

焊接工艺的交付产物是完整的汽车车身和内部结构，这些结构将用于涂装和总装。

对于焊接工艺来说，网络技术要求主要体现在高速度、高精度和安全性方面。需要使用先进的焊接设备和机器人，以及精确的控制系统和软件，以确保焊接质量和效率。此外，还需要采用物联网技术对生产设备进行智能标识和管理，实现设备的实时监控和预警，提高生产效率。同时还需要具备数据采集、传输和处理的能力，以便于质量管理和数据分析。

3. 涂装工艺

涂装工艺是汽车制造过程中的第三步，其目标是对已经组装好的车身进行表面处理和涂漆，以保护车身免受腐蚀和紫外线辐射，同时提高车身的美观度和耐久性，涂装工艺主要包括以下步骤。

（1）前处理：对车身表面进行清洁、除锈、除油等处理，以提高涂装附着力和耐久性。

（2）底漆：在车身表面涂上底漆，以隔离车身表面与外界环境，防止腐蚀。

（3）挂腻子：对车身外观“填平补齐”，改善工件表面平整度与装饰性

（4）中间涂层：中间涂层分二道浆和中涂，其中二道浆的作用是对腻子层修饰；中涂的目的式在打磨底漆、腻子结束后，最

终调整被涂面的平滑度，起到保护底漆防止损伤的作用。

（5）面漆：在底漆上涂上面漆，表现层看由粗糙度、光泽度、丰满度、鲜映性等多项指标，内在性能是对车身的保护性能，如耐候性、耐介质腐蚀性、耐石击性等。

（6）涂料固化：背涂物表面涂层由液态或粉末状变成固态膜的过程称为涂料的固化（成膜）过程，俗称干燥。

（7）打磨：用砂纸、浮石、细石粉等摩擦介质摩擦被涂物或涂膜表面称为打磨。

涂装工艺的交付产物是经过表面处理和涂漆的汽车车身，这些车身将用于总装过程。

对于涂装工艺来说，网络技术要求主要体现在高速度、高精度和自动化方面。需要使用先进的涂装设备和机器人，以及精确的控制系统和软件，以确保涂装质量和效率。此外，还需要具备数据采集、传输和处理的能力，以便于质量管理和数据分析。同时还需要采用物联网技术对生产设备进行智能标识和管理，实现设备的实时监控和预警，提高生产效率。

4. 总装工艺

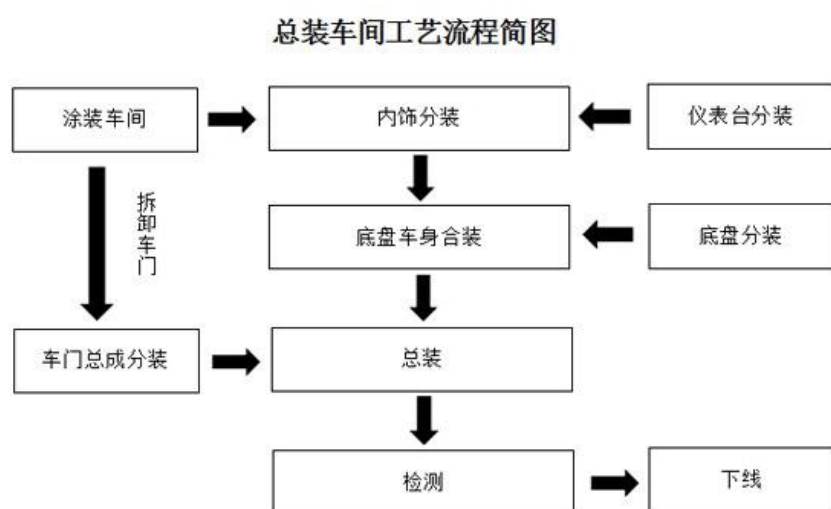


图 2-3 汽车总装工艺流程图

总装工艺是汽车制造过程中的最后一步，其目标是将已经焊接和涂装好的车身与各种零部件进行组装和调试，以完成整车的制造，总装工艺主要包括以下步骤。

（1）输送：将各种零部件通过输送带输送到装配线上，并进行初步的装配。

（2）装配：将零部件按照设计要求进行装配，包括动力系统、电气系统、制动系统、转向系统等。

（3）调试：对装配好的汽车进行调试和检测，确保车辆的安全性和可靠性。

（4）终检：对完成的车辆进行检查和测试，确保车辆的质量符合要求。

总装工艺的交付产物是完整的汽车整车，这些车辆将通过销

售渠道进入市场。

对于总装工艺来说，网络技术要求主要体现在高速度、高精度和安全性方面。需要使用先进的装配设备和机器人，以及精确的控制系统和软件，以确保装配质量和效率。此外，还需要具备数据采集、传输和处理的能力，以便于质量管理和数据分析。同时还需要采用物联网技术对生产设备进行智能标识和管理，实现设备的实时监控和预警，提高生产效率。

5. 压铸工艺

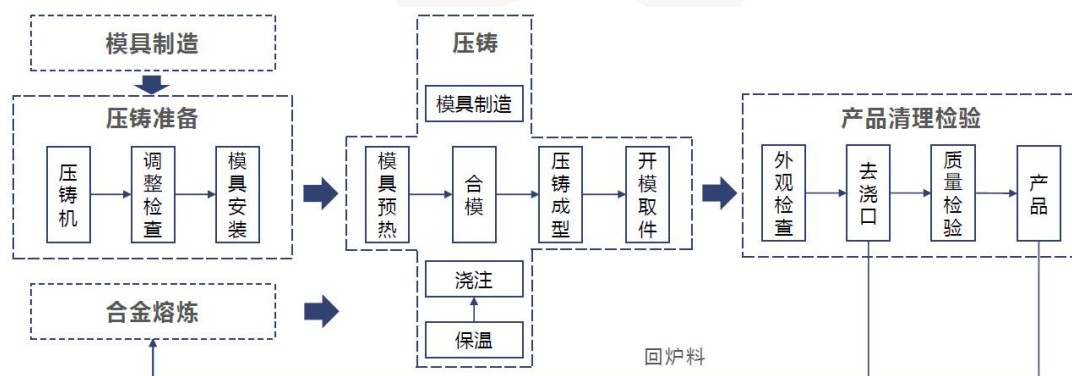


图 2-4 汽车压铸工艺流程图

随着汽车车身由非承载式转变为承载式，压铸技术不断迭代升级，部分车型中压铸机有望取代传统制造工艺，未来有望向一体化压铸趋势发展。

压铸工艺通过利用高压将金属溶液压入压铸模具内，在压力下冷却成型，取代传统车身制造种冲压和焊接环节，简化车身制造工艺流程，减少车身所需零部件数量，大幅提升汽车轻量化效果。

（二）生产环节需求

汽车制造是重型离散制造业中的典型代表，业务场景丰富、自动化水平高，典型通信业务包括：机器人 I/O、阀岛、运动控制、基础数据采集、涂胶/焊接表面机器视觉质检、物料/人员定位和管理等。

1、I/O、机器人控制

汽车制造车间产线上不仅包含了多个机器人协作，还需要转台、滑台、柔性滑轨系统、车型识别系统、皮带辊床等大量设备进行辅助，另外还可以通过六轴处工具端的切换实现柔性生产。现有车间的工业网络采用“集中管理、分散控制”的模式，一般采用工业以太网作为连接技术，PLC（机器人控制）和现场设备层设备（I/O）之间通过工业总线/工业以太网采用树形/环形/总线型网络拓扑结构进行连接，其中工业总线/工业以太网使用专用线缆，接头使用专用快速连接接头，以保证网络通讯的稳定性和实时性。

传统方案的有线通信存在较大的局限性，一是限制了工业制造的灵活性、柔性和高效性，产线调整需要重新规划和部署有线网络，调整效率和灵活性均有很大限制；二是机器人机械臂的末端工业以太网数据通信接口在多任务切换场景中，由于需要与不同外挂 I/O 间频繁插拔切换易造成通信接口磨损导致通信失败；三是机器人在重复性大角度旋转作业场景中，对工业以太网数据线频繁进行拉伸、旋转加速线缆老化导致潜在断线风险。经汽车行业专家估计，更换一条标准波纹软管加上更换线缆后执行相关调试，

整体过程平均需要 2 个小时。

为解决上述问题，可采用 5G 网络将传感器、机器臂等工业设备以无线方式接入工业以太网，通过减少产线有线束缚、减少产线人工干预，有效提升产线效率。当前焊装车间 PLC 南向 I/O 和机器人控制业务无线化需求迫切，通过 5G 无线化机器人控制器 PLC 与其外挂 I/O 间的通信，可以大大提高设备开工率，降低相关故障带来的产能损失。

2、数据采集与 AI 机器视觉

AI 机器视觉的应用是通过在生产现场部署工业相机或激光器扫描仪配合专家系统进行实时质检。通过在机器人手臂上安装多个高清相机并内嵌 5G 模组，实现工业相机或激光扫描仪网络接入，实时拍摄的产品质量的高清图像可通过网络传输至部署在 MEC 上的专家系统，专家系统基于人工智能算法模型进行实时分析，对比系统中的规则或模型要求，判断物料或产品是否合格，如划痕等表面质检、涂胶质量检测等，实现缺陷实时检测与自动报警，并有效记录瑕疵信息，为质量溯源提供数据基础。同时，专家系统可进一步将数据聚合，上传到企业质量检测系统，根据周期数据流完成模型迭代，通过网络实现模型的多生产线共享。

3、定位

在汽车制造场景下，定位主要应用于物料和资产盘点、设备追踪和生产资源调度以及人员管理。人员管理相对复杂多样，主要包含人员权限管理：如电子围栏、根据用户位置定位结果触发

业务告警等；导航类业务：如人员实时位置分布查看，人员轨迹跟踪、访客位置追踪等根据用户位置进行援助、越界告警等，保障人员安全。不同场景对定位精度要求不同，如物料、设备追踪约 1m-3m 精度，人员定位管理需 0.5m 精度且需要满足低功耗或无源需求。

（三）管理环节需求

1、生产计划管理

汽车生产计划管理是一种基于供应链管理和约束理论的生产计划排程工具，包含了大量数学模型、优化及模拟技术。生产计划管理可解决计划变化频繁、插单多，计划难以调整的困难；可解决无法正确回答客户交货期的困难；可解决无法准确预测未来机台产能负荷。基于计划部门的业务流程，通过建立产线、工艺、操作监控，提高生产准确性，建立计划管理、报表引擎、数据分析统计功能。

2、设备管理

主要有设备资料管理、生命周期管理、参数采集监控、故障维修管理、设备维修保养、点巡检管理。设备管理系统是车间设备的运行状态、维护、维保等业务进行管理，保证设备正常运行。系统功能包括：参数监控、故障维护管理、设备维保、设备点巡检等。目前大部分设备缺少全面设备状态数据的收集及分析，设备预防检修无客观性数据支撑，可通过设备的全生命周期管理，提高设备效能。

3、生产质量管理

质量数据来源有三部分，包括生产设备的 PLC 数据、自动化设备的数据库数据以及人工录入的数据。通过建立质量过程数据的采集、分析系统，通过完善过程监控，实现及时报警，实现生产质量管理。获取质量追溯的能力。实现过程监控、设备测量数据、检验数据、AUDIT 审核数据、PDI 检查、质量缺陷等功能。

4、物流与物料集配

主机厂的物流规划，应满足最大限度地减少物流环节，减少倒运和搬运次数，做到直达化的要求，确定合理的库存量和物料周转量，物料活动需要与生产节拍同步，减少在制品的停滞、等待时间。因此零件供应物流应实现同步配送，该管理数据若采用人工集成汇总，无法保证及时性和客观性，需要建立全过程信息监控平台，与各执行系统互联、数据互通、辅助管理决策。基于无源物联技术，工厂通过标识类连接，信息（例如身份标识）存储在小尺寸、超低成本标签中，实现周期小时级别、级别内的上千料箱的自动远程快速盘存、库位级别 1-3m 的定位能力、以及全区域连续覆盖的能力。

5、能源管理

对于汽车四大工艺（冲、焊、涂、总）而言，车间的能源管控起着至关重要的作用，而节能通常意味着设备运行状态的优化，而优化通常意味着大量的数据分析。在这个过程中，借助 5G 先进网络技术采集和分析就变得越来越重要。如何科学有效的使用技

术和通过数字化手段节能，可从能源监控入手。即车间水电气的消耗（瞬时、累计）记录；相同设备参数对比分析、优化设备运行状态；同一设备不同时期的对比分析、优化设备运行状态；设备运行时的（水、气）理论的消耗值和实际消耗值的偏差。然后通过用能计划、设备定修计划等信息，构建能源消耗预测模型，开展能源中长期预测和基于数据驱动的能源实时动态预测；基于用能情况、生产实际、能源价格等建立优化调度模型，实现全局能源动态平衡与优化调度。

三、汽车制造行业 5G 全连接工厂建设内容

（一）总体架构

汽车制造业 5G 全连接工厂的实施架构总体分为产线层、车间层、工厂层三个层级，具体实施包括基础设施建设，厂区设施升级，关键环节应用以及网络安全方等四大方面的能力建设。以上每个方面的建设内容基本都涉及到产线、车间以及工厂三个层级，本指南的 5G 全连接工厂的建设内容主要从四大能力建设内容进行介绍。



图 3-1 汽车制造业 5G 工厂建设实施架构

基础设施建设包括 5G 网络基础设施、边缘计算部署、融合网络互通、网络管理运维等。

厂区现场升级包含现场装备网络化改造、IT-OT 应用融合化部署、生产服务智能化升级等。

关键环节应用主要包含研发设计、生产运行、检测监测、仓储物流、运营管理等方面的 5G 融合应用。

网络安全防护主要包含终端管理、现场网络、企业运维、业务功能等方面的安全防护能力升级、安全管理水平提升等。

在汽车制造的四大工艺环节中，各类产线设备有其特定的网络业务接入要求，具体可分为几个类型：

1) 可编程控制器 (PLC) 都要具备 5G 连入能力，可通过 5G 网关、CPE 接入 5G 核心网，并逐步实现云化部署。

2) 以太网设备, 包括工控机、智能仪表、AGV 小车等, 可通过 5G CPE 接入 5G 核心网。

3) 工业以太网设备, 包括远程 IO 站、变频器、无损输送设备、伺服驱动器等设备, 可通过具备 5G LAN 的 5G CPE 接入 5G 核心网。

(二) 基础设施建设

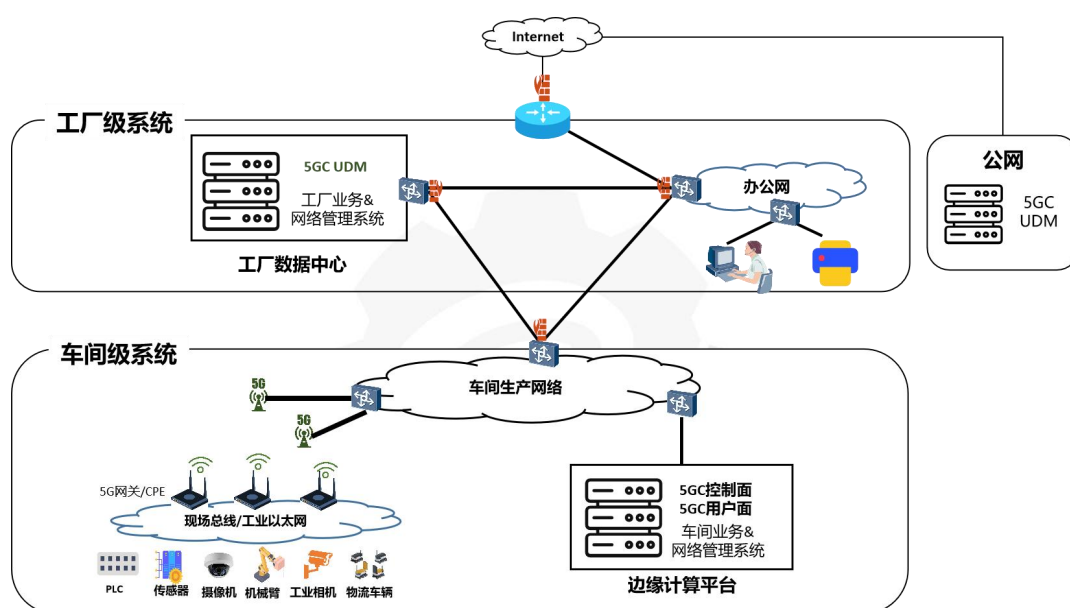


图 3-2 面向汽车制造业 5G 融合网络架构

随着汽车制造场景及业务需求的增加, 当前汽车工厂的网络组成也不断的丰富:

- 生产 IT 网承载了工厂级或车间级 SLA 要求较低的生产辅助类业务, 并基于 TCP/IP 实现。
- 生产 OT 网则承载产线级 SLA 要求较高的工业控制类业务, 基于工业以太实现。
- AGV、无人机等工业设备的应用则需要定位网络协助。

- 工业视觉、VR/AR 等业务则需要大上行网络支撑。

而 5G 网络凭借其大带宽、低时延高可靠、精准定位及大上行等技术能力适配汽车制造的 IT/OT/定位的多样化网络需求，通过多网合一的方式实现 5G 全连接工厂。

1、5G 网络建设

(1) 5G 核心网建设

核心网需要业务角度出发保障业务 SLA、数据安全等工业场景需求，而 UPF 主要负责 5G 核心网中用户平面数据包的路由和转发相关功能，当前一般采用 UPF 下沉的部署方式满足业务时延、数据安全等需求。面向复杂、多样的工业场景，核心网还需要具备三类能力：

1) UPF 分级部署能力：以汽车制造企业为例，UPF 应具备工厂、车间、产线多种部署能力，以满足各类型多样化的场景需求，包括生产 IT、OT 能力工厂级融合部署、生产 IT 能力工厂级部署、生产 OT 能力车间级部署、生产 OT 能力产线级部署。通过分级部署从而可提供差异化的 SLA 服务能力。

2) UPF+MEC 数据本地卸载能力：对汽车制造企业的生产类业务、设备采集类等与企业生产经营相关的数据在本地进行卸载，实现企业数据在厂区内的闭环。通过部署 UPF+MEC 统一平台，一方面可通过功能扩展实现业务融合，另一方面 UPF 区分业务类型实现企业数据本地卸载。

3) 控制面下沉：为保证工业生产数据安全和连续生产，企业

要求数据不出园区，园区内 5G 网络与运营商大网解耦。在传统 UPF 下沉方式上叠加控制面下沉，可进一步满足企业对无线网络零信任的要求，同时可规避园区 UPF 变动影响运营商大网的风险。此外在网络可靠性要求高的场景下，可通过设置主备 UPF 保障连续生产能力。

（2）5G 无线接入网建设

在厂区室内覆盖中，可以采用 5G 数字化室分的组网方式，通过 4T4R 的小站结合分布式 Massive MIMO 技术实现大带宽高容量的 5G 无线网络。

在大带宽方面，通过载波聚合、上下行时隙配比的调整，极大的提升上下行速率，能够满足高上下行带宽业务的需求。

在低时延高可靠方面，可以通过互补 TDD 等技术实现端到端 4ms 的时延，同时可根据业务需求在频段上进行合理分配，如采用 eMBB 业务与 URLLC 业务进行频点隔离的方式。

在定位增强方面，可以通过数字化室分的 pRRU 实现室内米级定位精度，满足基本定位需求。

同时，室内工业网与室外宏网需要形成有效的隔离保护带，避免邻频干扰。

2、边缘计算部署

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。

汽车制造企业在生产现场按需部署边缘计算节点，与企业级工业互联网平台互联，满足工业实时控制、就近服务、按需调度、数据安全等需求，推进 5G 网络与边缘计算融合部署，促进云网边端协同。

企业可根据自身需求选择部署现场级边缘计算节点如边缘控制器、边缘网关、边缘云。边缘控制器兼具实时控制能力和边缘计算能力，既能够支撑逻辑控制、过程控制、运动控制等实时任务处理，也能够支持工业机器视觉、深度学习、智能优化等非实时任务处理；边缘网关一般具备边缘计算、机器视觉、现场数据采集、工业协议解析能力，满足控制器、机器人、智能传感器等工业设备的接入和数据解析的需求，支持边缘端数据运算及通过互联网推送数据到工业互联网平台；边缘云是边缘侧单个或者多个分布式协同的服务器，通过本地部署的应用实现特定功能，提供弹性扩展的网络、计算、存储能力，是实现 IT 技术与 OT 技术深度融合的重要纽带。

3、融合网络互通

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。

对于汽车制造业而言现场存在多种网络业务：生产 IT 网承载

了工厂级或车间级 SLA 要求较低的生产辅助类业务，并基于 TCP/IP 实现；生产 OT 网则承载产线级 SLA 要求较高的工业控制类业务，基于工业以太实现；AGV、无人机等工业设备的应用则需要定位网络协助；工业视觉、VR/AR 等业务则需要 5G 大上行网络支撑。

车企可通过建设融合多种网络的统一管理平台，结合 5G 网络凭借其大带宽、低时延高可靠、精准定位及大上行等技术，通过多网合一的方式实现 5G 工厂建设目标。

4、网络管理运维

5G 工厂网络运维通过网络可视化、基于连接的业务 SLA 监控、故障定界、模拟拨测和能力开放等关键能力，实现了对企业网络的综合管理和故障处理能力，提供了全面的网络可视化、故障定位和故障修复支持，以及与其他系统的集成能力，进一步提升了网络的可靠性和管理效率。

网络可视化为企业网络提供端到端拓扑的可视化，以及网络设备和通信终端状态的可视化。这样可以直观地了解网络的整体结构和设备状态，便于网络管理和故障排查。

基于连接的业务 SLA 监控能够对每个业务终端甚至每个业务流进行细粒度的监控，统计其业务 SLA 指标，如 TCP 的丢包率、乱序、重传等异常网络行为。通过及时监测和统计，可以发现业务连接的各种故障和问题，如中断、劣化等，从而及时解决业务体验问题。

网络故障定界能够根据业务连接监控收集的数据，对故障进行分段定界，最终确定是哪一段网络的问题，这样能够指导客户进行进一步的问题解决和故障修复。

模拟拨测的功能可以判断网络的通断和 SLA 质量，进一步验证和确认网络故障的范围和影响。

网络运维管理需支持与其他 IT 系统进行集成，通过 API 接口将数据和能力开放给其他系统调用。这样可以实现与运营商的运维系统或企业园区的生产系统管理能力的集成，共享业务数据，提供更全面的网络管理和业务支持能力。

（三）厂区现场升级

1、主要升级需求

设备接入：面向复杂多样的现场装备，开展设备接入与数据采集，获取重点设备运行和状态数据。

融合部署：IT-OT 应用进行一体化部署，通过应用软件或系统功能的云化部署，形成 IT-OT 应用的统筹建设、统一运维、统一管理，提升工厂生产运营管理效率。

智能生产：5G 承载信息系统和生产系统的互通，实现设备健康管理、工艺参数调优、能耗与排放管理、产品溯源售后服务，为企业精准决策提供依据。

2、重要升级环节

1）冲压车间

冲压机：冲压机是冲压车间的核心，一般为一体化设备，内

部结构复杂，机器人，压机，传送带等，现场通过连接 5G 网关的方式接入网络，实现对冲压机组件的数据采集。

模具：模具是冲压车间最多的移动部件，且直接决定了冲压件的质量，模具使用后，会产生金属渣损坏表面，需要实现快速质量检测，企业可以使用 5G 摄像头实现高清晰度的机器视觉检测。

材料：冲压车间的材料分为两个部分，即为冲压前的钢铝材和冲压后的冲压件，当前过人眼进行检测存在误检漏检，可使用 5G 摄像头实现全过程机器视觉检测。

2) 焊接车间

机器人：可采用 5G 连接将机器人的传感器、操作手等部分以无线方式接入工业以太网，通过减少产线有线束缚、减少产线人工干预，有效提升产线效率。当前焊装车间 PLC 南向 I/O 和机器人控制业务无线化需求迫切，通过 5G 无线化机器人控制器 PLC 与其外挂 I/O 间的通信，可以大大提高设备开工率，降低相关故障带来的产能损失。

设备管理：焊装车间设备多、自动化程度高，需要对产线设备进行广泛的 5G 接入，实现工艺实时监测、PLC 云化监控、设备预测性维护等方面应用需求，有效提高现场的生产效率。

3) 涂装车间

水、电、料管理：涂装环节是车厂的能源消耗大户，视情况会占据车厂各种能耗的一半以上，废气，废水，废料循环系统，热利用系统，都是 5G 数据采集的主要应用点。

检测摄像头：涂装车间需要进行自动车型识别、产品表面检测、统计反馈智能化等方向的业务开展，需要使用 5G 的大带宽、大上行等技术能力实现图像、视频的实时上传。

4) 总装车间

吊具：总装车间的吊具和运载平台，一般由 PLC 和多个马达组成，车企的吊具或平台如果出现故障，停线会导致每分钟几万甚至几十万元的经济损失，通过 5G 网络技术的加入，现场 PLC 与 IO 可无线接入，进行全流程云化管理，有效实现预测性维护，大大提升系统的稳定性。

AR 辅助：总装车间需要生产人员现场进行配合，AR 相关应用可以为人员培训和辅助生产提供有效保障，5G 原生穿戴设备可以帮助专家远程实时发现问题，辅助现场人员进行操作。

3、关键融合产品

1) 融合网关

融合网关拥有多种输入输出通信接口，支持 OT 设备使用 WiFi、以太网口、RS232、RS485、工业 PON 等多网络制式接入，北向出口支持 4G、5G 或以太口等方式与融合网管对接。

内置的工业协议栈支持主流的工业协议，为 OT 设备广泛上云、互联互通提供了技术保障，进一步可实现设备数据上传、设备状态反馈和控制、设备监控等任务。

2) 融合网络管理平台

融合 5G 通信技术、物联网技术和大数据技术等的一种新型网

络管理系统，实现工业 OT 网络高效质量感知和问题定位、端网业融合数据一体化监管、5G 工业专网安全接入管控、设备故障精准定位和敏捷处理以及算网编排调度等能力。

同时，融合网络管理平台应具有南北向接口对接能力，北向接口基于 Restful 架构封装标准化 API，对外开放端、网、业、安的模块化能力，实现工业应用场景化按需调用。南向接口支持多种网络制式的接入，如 4G、5G 等。

（四）关键环节应用

1、研发设计环节

（1）5G+VR 研发设计

1）适用范围

总装车间

2）场景描述

在汽车制造业的研发设计阶段，研发设计需要考虑到汽车的性能、外观、安全性、舒适性等多个方面，而传统的设计方法往往依赖于人工经验和试错，面临着设计周期长，成本高等问题。

3）5G 接入方式

建立跨地域 5G 网络接入能力，以及 VR 等基础设施的建设条件。

4）实施成效

5G+VR 技术可用于视频传输、个性化定制场景等业务领域。通过 5G 网络同步传输设计数据，为洞穴状自动虚拟环境（CAVE）

仿真系统、头戴式 5G+VR、5G 便携式设备（Pad）等终端接入沉浸式虚拟环境，提供更加高效和精准的数据传输和通信支持，实现更加沉浸式和逼真的虚拟体验，让研发设计人员和用户能够更加真实地感受汽车的设计和性能。5G+VR 技术可以提供更加真实的虚拟仿真环境，可身临其境地感受汽车的内外部设计、功能和性能，其通过模拟各种驾驶场景和条件，包括城市道路、高速公路、山区道路、雨雪天气等，使研发设计人员能够更直观地进行产品设计和评估，帮助研发设计人员发现潜在的问题和风险，减少设计错误和返工次数，减少后期修改和优化成本，提高设计效率。

5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
个性化定制	上行: $\geq 2\text{Mbps}$ 下行: $\geq 1\text{Mbps}$	时延: $\leq 100\text{ms}@99\%$

2、生产制造环节

(1) 5G LAN+PLC 控制操作

1) 适用范围

冲压车间、焊装车间、涂装车间、总装车间

2) 场景描述

汽车制造业的传统的 PLC 大多基于有线传输，而且大量使用二层以太网协议，使用有线通信存在较大的局限性，其限制了工业制造的灵活性柔性和高效性，使产线调整需要重新规划和部署

有线网络，调整效率和灵活性受到限制，且频繁插拔切换易造成通信接口磨损导致通信失败等。此外，PLC 需要具备高实时性，以便能够快速响应生产过程中的各种变化，而依赖于有线网络或早期无线技术，这可能导致数据传输速度慢、延迟高、连接设备数量有限等问题，难以满足实时和高效通信的需求。

3) 5G 接入方式

利用工业协议，将 PLC 从靠近产线侧转向靠近服务侧，实现 PLC 远端对生产产线现场设备的操作与控制，比如对 IO 模块的操作、变频器操作及获取变频器的数据对伺服的操作、对各种传感器数据的采集、对定时器的操作等等，将原有的通过有线网络连接的工业网络转变由 5G LAN 连接的无线网络。

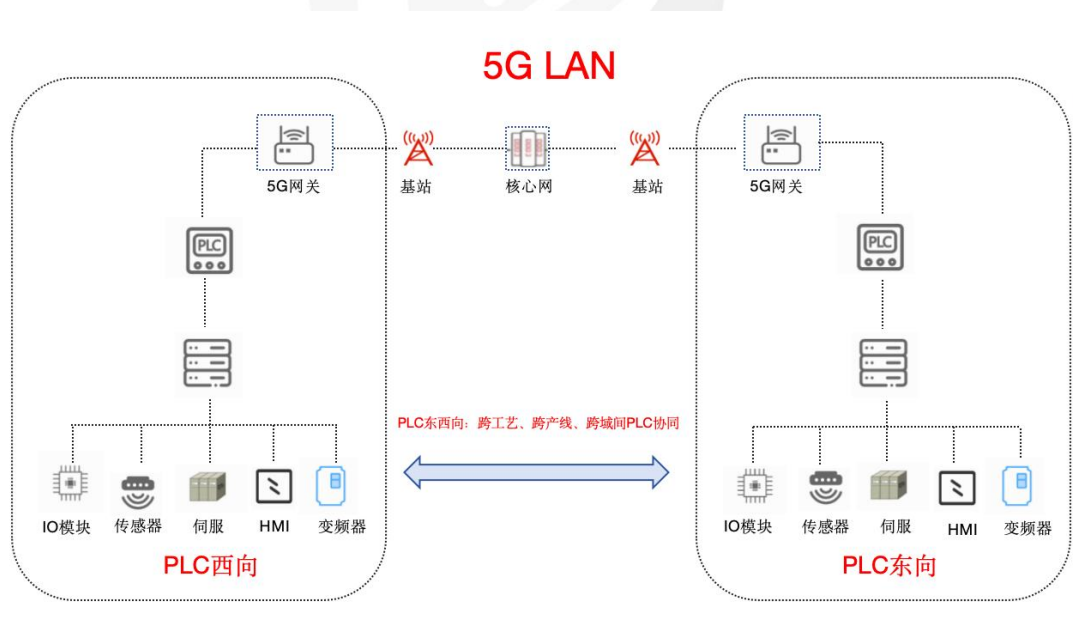


图 3-3 现场 5G LAN+PLC 架构示意图

4) 实施成效

将不同车间的 PLC 通过 5G LAN 进行打通，利用现场二层工

业协议，在 5G LAN 高稳定与低时延的加持下，替代原有的优先网络，让不同工艺、不同产线的 PLC 之间协同工作，将可以实现端到端简易组网、助力柔性化生产、时延稳定。同时，沿用原 PLC、服务器组网规划和 IP 配置，可以实现即插即用、分钟级业务上线，缩短故障排查时间，降低运维投入，在保证数据安全和实时性的同时，减少了车间内布线成本，快速实现产线产能匹配。

5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
生产过程控制	上行: $\geq 1\text{Mbps}$ 下行: $\geq 200\text{kbps}$	时延: $\leq 10\text{ms}@99.99\%$ 抖动: $\leq 8\text{ms}@99.99\%$
报警系统	上行: $\geq 1\text{Mbps}$ 下行: $\geq 200\text{kbps}$	端到端时延 $\leq 100\text{ms}@99.99\%$
质量管理	上行: $\geq 1\text{Mbps}$ 下行: $\geq 1\text{Mbps}$	端到端时延 $\leq 1\text{s}@99.9\%$

(2) 5G+AR 现场辅助装配

1) 适用范围

总装车间

2) 场景描述

传统的汽车装配过程中，由于汽车产品种类繁多，每种产品都有其特殊的装配要求，且人工操作占据了较大的比例，导致装配难度大、质量难以保证、人工成本高、人为错误操作风险大等问题。

3) 5G 接入方式

通过内置 5G 模组或部署 5G 网关等设备，实现 AR 眼镜、智

能手机、PAD 等智能终端的 5G 网络接入。

4) 实施成效

现场人员佩戴 AR 眼镜，可以实时采集现场图像、视频、声音等数据，通过 5G 网络实时传输至现场辅助装配系统，系统对数据进行分析处理，生成生产辅助信息，通过 5G 网络下发到现场终端，实现操作步骤的增强图像叠加、装配环节的可视化呈现，帮助现场人员进行复杂设备或精细化设备的装配。另外，专家的指导信息、设备操作说明书、图纸、文件等也可以通过 5G 网络实时同步到现场终端，现场装配人员简单培训后即可上岗，有效提升现场操作人员的装配水平，实现装配过程智能化，提升装配效率。

5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
汽车发动机零部件装配	上行：10Mbps/路 下行：10Mbps/路	时延：≤80ms@99.99%

(3) 机器人协同控制

1) 适用范围

焊装车间、涂装车间、总装车间

2) 场景介绍

机器人全面参与了汽车制造中装配、喷漆、焊接、机器照管、材料去除和抛光、质量检验在内的各个生产制造环节。在生产过程中，存在机器人间协同工作的情况，例如两台机器人共用一把焊枪、两台机器人协同涂胶、两台机器人协同搬运、两台机器人协同焊接等。同时，工业机器人通常需具备高级 AI 环境识别能力

和一定程度自主决策能力，一般配备高清摄像头、激光雷达（选配）等以感知周围环境、MIC 阵列来聆听指令、多个自由度/关节来完成各类灵巧性任务，实现搬运、点胶、喷漆、焊接、打磨、质检等功能，需要多种上下行带宽和时延组合来完成一系列功能和动作，并和云端资源和管控进行交互。

3) 5G 接入方式

通过内置 5G 模组或部署 5G 网关、5G CPE 等设备，实现现场机器人 PLC 及设备 IO 的 5G 网络接入。柔性机器人场景涉及多种格式的数据并发处理工作，例如进行 AI 图片数据处理和机器人行动轨迹的控制时，需要同时调用 CPU、GPU 等异构算力进行大量计算，通过引入超边缘设备的云边协同，可以避免过度的端侧算力堆叠，进行算力与数据传输成本之间的再平衡。

4) 实施成效

通过 5G 实现无线化，减少机器人间的线缆部署，网络简化，减少硬件成本，使产线部署更灵活。机器协同的应用有效地保证了工业自动化和灵活的需求，其生产能力高效快捷，不仅能够代替人完成繁重单调的重复生产，还能够适应低温、高温、有毒等恶劣环境下的工作，保障生产质量。

5) 网络指标

业务	通信速率	通信指标
机器人协同	~100Kbps	时延 $\leq 10\text{ms}@99.99\%$ 抖动 $\leq 8\text{ms}@99.99\%$

(4) 5G+EMS 吊具

1) 适用范围

总装车间

2) 场景描述

EMS 系统一般由吊具和线边主 PLC 组成，线边主 PLC 与吊具控制系统之间进行通信以交互控制指令与状态上报信息。传统 EMS 系统采用滑触线或者波导管进行通信，存在安装要求高、与外购分散控制器捆绑销售价格昂贵、安装和定期维修耗时长、开放性不够等困难。

3) 5G 接入方式

现场部署高质量 5G 网络承载 PLC-IO 业务,EMS 系统主 PLC 与利用 5G 网络技术，实现现场 PLC 与 IO 无线通信。

4) 实施成效

利用 5G 技术实现 EMS 全流程云化管理与吊具的预测性维护，提升系统的稳定性，成本大幅降低，省去定期更换波导管道的运维投入。

5) 网络指标

典型应用	通信速率	通信指标
工艺 EMS	~100Kbps	时延 $\leq 20\text{ms}@99.99\%$ 抖动 $\leq 16\text{ms}@99.99\%$

3、检测监测环节

(1) 机器视觉质检

1) 适用范围

冲压车间、焊装车间、涂装车间、总装车间

2) 场景描述

在汽车生产中，钣金、焊点、漆面、铸件等工序的缺陷检测尤为重要，其质量控制会直接影响到整车的安装精度、驾驶体验、车身刚性等指标。以往其检测方式一般采用机器视觉检验加人工抽检。由于汽车本身结构的复杂性，对视觉系统的光路设计、系统标定、算法开发等要求较高；另外在机器视觉质检中，需要实时在线对图片进行处理，对时延要求高且算法需求复杂，存在一定的局限性，难以满足当前的生产需求。

3) 5G 接入方式

各车间建设 5G 网络，并搭建边缘服务器，承载数据预处理、检测等任务，降低数据时延和上行带宽需求，实现云、边、端的相互协同，为各种机器视觉应用提供充沛算力，并可以提升远程控制、远程协作等业务能力。

4) 实施成效

通过 5G+AI 机器视觉检测，各车间可及时对材料、模具、产品的质量问题进行实施分析和调整优化，实现全面的数字化管理。

案例 海康机器人与长安汽车：视觉检测

海康机器人与长安汽车成立工业 AI 联合创新中心，面向汽车制造开展深度合作，聚焦钣金、焊点、漆面、铸件表面缺陷检测等行业难题，已在重庆两江工厂等基地部署运行，技术自主可控，实现数智化迭代升级。针对汽车钣金覆盖件的表面缺陷，项目设

计了位于冲压生产线尾的在线视觉检测方案，使用海康机器人 CH 和 CI 系列相机。可见光系统采用了图像处理+深度学习的技术，针对目视可见的面缺陷及孔特征计数，高光谱系统则主要针对目视不可见的面缺陷，实现了对钣金表面隐形伤，极微小伤的缺陷检测。此场景的落地应用实现了多项视觉检测技术自主可控，帮助长安汽车更快更好的完成现有厂区技术升级及新厂区建设中视觉检测系统的低成本模块化部署。通过机器视觉检测，可视化数据反馈，可及时针对质量异常问题进行数据分析和调整优化，实现全面的数字化管理。人工检测升级为机器视觉检测后，效率大幅提升。以焊装检测模块为例，原来单件检测时间为 1 分钟，现只需 5 秒，效率提升达 92%。

5) 网络指标

业务	上下行速率	可靠性
视频上传	上行 4K: $\geq 12-40\text{Mbps}$ 8K: $\geq 48-160\text{Mbps}$	99.99%

(2) 设备远程维护

1) 适用范围

冲压车间、焊装车间、涂装车间、总装车间

2) 场景描述

制造车间存在大量生产设备，需要定期进行巡检维护。在传统设备维护作业中，工人对设备故障进行现场排查，不能快速定位，维护效率较低，质量难以保障；同时专家需要亲临现场指导，专家资源难以复用，容易出现人才储备不足的情况。

3) 5G 接入方式

通过 5G 确定性网关保障传输确定性、可靠性，利用增强现实技术，工人佩戴 AR 眼镜进行现场巡检，结合 5G 大带宽低时延特性，实现专家远程指导。

4) 实施成效

利用 5G、双发选收、增强现实等技术打造的设备远程维护解决方案可实现设备状态实时交互感知以及高清专家远程指导，节省现场支撑成本，提升设备维护效率。

5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
设备状态实时交互感知	上行: $\geq 1\text{Mbps}$; 下行: -	时延 $\leq 20\text{ms}@99.99\%$
远程作业指导	上行 1080P: $\geq 4\text{Mbps}$ 下行 1080P: $\geq 4\text{Mbps}$	时延 $\leq 20\text{ms}@99.99\%$

4、仓储物流环节

(1) 5G+智能立库管理

1) 适用范围

车企仓库

2) 场景描述

仓储作业生产一般都使用传统的 WiFi 技术，产生了一系列的难题。首先是信号干扰和切换问题。例如，当大量的 AGV 小车在作业时，容易受到信号干扰而导致通信不稳定和容量受限，移动状态下容易发生业务中断，WiFi 网络很难承载大规模、密集的自动化应用。其次，成本和性能问题同样不容忽视。智能机器人的控制器硬件种类繁多，本地算力需求变化多样，导致研发投入大、周期长、灵活性不足、硬件升级困难等问题。例如采用二维码导航或基于激光 SLAM 导航的 AGV，项目实施和维护难度均很大。最后，WiFi 网络带来了管理和控制挑战。仓库控制系统(WCS)、

仓库管理系统(WMS)等服务集群通过局域网与仓储智能机器人进行通信的模式，存在着系统部署难度大、成本高、实施周期长、硬件资源利用不均衡、远程维护困难的弊端。

3) 5G 接入方式

借助 5G 信道抗干扰特性解决立体仓库无线信号空口干扰问题，搭配 CPE 设备同步实现 5G 和 WIFI 全面兼容。

4) 实施成效

实现货物全面自动化仓储，掌握仓库中货物调度全过程，减少人力降本增效。

案例 凯翼汽车：5G+智能立库管理

5G 为整套物流体系搭建提供了优质的神经网络，可加速数字化转型进程，让算力上移更可靠，加速终端智能化和平台集约化的实现。企业不仅可以方便快捷地实现货物全面自动化仓储，还可以掌握仓库中所有的货物出、入、移动、运输的全过程，不仅减少大量的人工成本，还提高企业管理水平及效率，企业不仅可以随时对光、电、机、信息等进行控制，还可以轻松实现仓储物资的信息传递、识别、分解、堆码、入库、检索等一体化管理。

(5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
AGV 小车	上行：≥100Mbps; 下行：≥100Mbps	时延：≤50ms@99.99%
PDA 扫码	上行：≥1Mbps; 下行：≥1Mbps	时延： ≤30ms@99.99%
系统间数据交互	上行：≥100Mbps; 下行：≥100Mbps	时延： ≤20ms@99.99%

(2) 集群式 AGV 管控

1) 适用范围

冲压车间、焊装车间、涂装车间、总装车间

2) 场景描述

AGV 作为实现柔性制造和柔性装配的最佳运输工具，在汽车装备行业得到广泛的应用。传统汽车制造工艺中，冲压下线、入库、出库、焊装上线，都需要人工叉车的辅助，才能完成这一系列的操作。只需 AGV 设备，就能完成整个流程，实现冲压下线-仓储-焊装上线全自动物流搬运。当前，在汽车冲压、焊装、涂装、总装的固定生产场景中，部署的 AGV 小车多采用磁导、二维码或激光的导航方式。然而，磁导和二维码需要预先布置场景，灵活性较差；激光导航虽然灵活性较强，但成本较高。

3) 5G 接入方式

通过内置 5G 模组或部署 5G 网关、CPE 等方式，实现 AGV 设备的 5G 网络接入，基于工业算网体系及边缘计算技术，将地面控制系统程序迁移至边缘设备上。

4) 实施成效

通过 5G 网络对各条产线的 AGV 实现集中规划、集中管理、集中调度以及接收 AGV 的状态指令信息，提升物流效率。

5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
云化 AGV 实时通信	定位业务：≥1Mbps 视觉应用：≥10Mbps	时延：20ms@99.99% 抖动：16ms@99.99%

(3) 新能源电池储存

1) 适用范围

电池仓库

2) 场景描述

车企在新能源车制造时，需要在电池储存和调配环节配备监测设备，确保安全。在存储阶段，特别需要注意火灾风险，禁止各类携带电源设备进入储存工厂，目前的温度检测设备因携带电源而无法进入工厂，这导致了对储存环境的监测不足。目前采用人工巡检，但效率较低且成本高昂。

3) 5G 接入方式

电池存储厂房在仓库内部署无源 MDTC 温度+无源 MDTC 震动标签常态化检测新能源电池各项安全指标信息，通过布设在远端安全区内的 5G 融合基站上传至后端管理平台，可较好完成温度与异常震动检测。

4) 实施成效

能够杜绝安全隐患，还能够节省人工巡检成本，为电池储存过程提供了更可靠的监测解决方案。

5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
数据传输 8~128bit	下行: $\geq 10\text{Mbps}$ 上行: $\geq 64\text{Mbps}$	$\leq 100\text{ms}@99.9\%$

5、服务管理环节

(1) 5G+能耗管理

1) 适用范围

冲压车间、焊装车间、涂装车间、总装车间

2) 场景描述

汽车整车制造在冲压、焊接、涂装和总装等工艺过程中，面临着电力、燃气、水和热能等能耗消耗大、能源管理难度大等问题。需要对电力、水、燃气等多种能源量以及温度等非能源量进行采集检测，以实现能耗的精细化管理。

3) 5G 接入方式

生产现场实现 5G 网络覆盖，现场仪器仪表可进行 5G 采集模块改造，监测设备具备 5G 网络接入能力，并可通过接入 5GmMTC 重点解决传统移动通信无法很好支持物联网及垂直行业应用的问题。其大连接实现了大量能耗设备监控，低功耗实现了能耗设备的节能。

4) 实施成效

通过内置 5G 模块的仪器仪表，并打通企业 MES 系统的生产数据，采用自动化、信息化技术和集中管理模式，实时采集车企用电、水、燃气等各类能源消耗数据和总烃、苯系物、粉尘等污染物排放数据，实现大规模终端的海量数据秒级采集和能效状态实时监控。辅助车企降低生产能耗，减少污染物排放量，实现清洁生产。结合人工智能等算法分析，可对车企用能需求进行预测，智能制定节能计划，进一步挖掘节能潜力空间。通过对用能设备进行监控告警、远程调度等操作，配合产线排程调整和设备参数设置，实现节能减排、削峰填谷。

5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
设备水电油气能耗管控	上行: $\geq 2\text{Mbps/路}$; 下行: $\geq 100\text{kbps/路}$	时延: $\leq 100\text{ms}@99.9\%$
设备运行环境管控	上行: $\geq 1\text{Mbps/路}$; 下行: $\geq 50\text{kbps/路}$	时延: $\leq 100\text{ms}99.9\%$
污染排放管控	上行: $\geq 2\text{Mbps/路}$; 下行: $\geq 100\text{kbps/路}$	时延: $\leq 100\text{ms}99.9\%$

(2) 5G+物联网设备管理

1) 适用范围

厂区各个车间

2) 场景描述

物联网平台要具备深入到工位、设备机位管理能力，数据能够稳当的双向通信，能够南向做数据采集、北向做数据下发，对上层能够有标准应用信息模型、对设备有标准的物模型，同时做到 5G 物网协同的管理。

3) 5G 接入方式

各车间实现 5G 网络覆盖，现场设备可进行 5G 内置模组或外接 5G 网关、CPE，通过平台实现生产指令下发，生产过程监控，设备参数监控等应用。

4) 实施成效

5G 与新型物联网平台的融合可实现生产指令下发，生产过程监控，设备参数监控等应用，助力车企实现自身资产智能化管理，

已成为汽车制造行业的实现端到端控制的重要组成部分。

案例 长安鱼嘴工厂：产线设备协同系统

产线设备协同系统是为满足生产系统性能指标集，在可用的加工设备集中，进行工件集的分配。经典的车间生产调度系统需制定一条完善的生产过程，各工件工序在加工时会占用设备或其它资源如夹具、刀具等，规定加工时必须按照工件工序优先级进行。通过新型物联网（IOT）的对生产过程设备实现数据采集与数据下发，可以感知、交流和存储有关自身信息的智能资产的能力，建设用户登录模块、资源管理模块、车间调度模块（包括柔性调度模块、大型公设调度模块、动态调度模块、大规模调度模块、基本作业调度模块，车间调度模块）、调度结果查询模块，同时结合 5G 技术，实现了生产指令下发，生产过程监控，设备参数监控等应用。通过汽车制造过程端到端的数据上下行快速传输，全面提升了生产效率，工作效率提高 20%~30%，现场 99%的设备实现上下行数据的交互。

5) 网络指标

业务	上下行速率	通信指标
设备协同管理	上行 $\geq 1\text{Mbps}$	时延 $\leq 100\text{ms}@99.9\%$

（五）网络安全防护

1、终端安全

工业制造终端安全的解决方案，具体实施需要根据企业的实际情况和需求进行调整和完善，主要包括设备自动发现、统一身份认证、访问权限控制、终端仿冒检测、终端外联管控、数据安全、安全基线检查、终端安全审计、零信任(远程办公)、多因素身份认证等。

2、网络安全

工业制造对网络安全需求的解决方案，实施这些方案需要全面考虑企业的实际情况和需求。同时，为了更好地保护网络安全，应定期对这些方案进行审查和更新，以适应新的网络威胁和技术变化，其主要包括风险评估和安全管理、工业控制系统（ICS）的安全性、供应链安全、远程访问和身份管理、数据加密和备份、安全培训和意识提升、建立应急响应计划。

3、运维安全

企业本身具备完备的 IT/OT 管理团队，可充分挖掘现有人员作用，由企业和运营商共同对 5G 专网进行管理和监控，既可以发挥出运营商在高层级对网络状态、网络安全的监管优势，也可以发挥出企业自身的接近实时的快速响应的优势，尽可能将网络故障对生产造成的影响降到最低。同时，汽车生产要求具备各个组成单元、各工序的可溯源，也会要求 5G 网络具备持续性的网络运维层面的安全保障。

4、功能安全

随着汽车生产各个生产阶段接入 5G 的节点越来越多，需要系统化的识别在生命周期各个阶段的所有可能发生的潜在风险，这些风险可能涉及到人、设备或者某个过程。5G 网络不仅要满足类似 CIP 安全协议、Profisafe 安全协议等 OSI 应用层的安全协议的传输，同时 5G 也应具备关键业务的自检测、主动防御等机制，以便于工业在采用 5G 获取到移动性便利、更少布线的便利之余，可实现缩短宕机时间保证企业生产更高的生产效率。

四、工厂实施建议

（一）新工厂建设

在 5G 网络建设时，建议大型企业及有特殊需求的中型企业选择混合专网、独立专网的方式，自建业务系统、企业节点；中小微型企业可通过虚拟专网方式，根据发展需要选择与自身匹配的业务系统。

1）规划设计阶段

对于新工厂建设，车企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。可以将 5G 网络环境作为“新基建”的一部分。在规划设计阶段，充分考虑网络架构设计、设备选型、系统开发、关键环节应用、网络安全防护等建设内容，统筹布局，协调推进。只有在规划设计阶段做好充分准备，才能确保后续建设工作的顺利进行。

2）厂区建设阶段

在新工厂 5G 基础设施建设阶段，需要完成 5G 网络建设、工业网络互通、边缘计算部署、业务系统等工作，形成较为完备的 5G 全连接工厂的基础环境。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。

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。

（二）现有工厂改造

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 全连接工厂建设评估。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 全连接工厂关键能力，持续提升厂区的综合竞争力。

1、改造总体规划

现有工厂改造首先应对厂内现有工业网络进行整体规划，充分发挥原有设备的作用，避免重复搭建，避免产生兼容性问题。由于每个企业的实际业务情况不同，更加需要定制企业自己的工业通信网络，而不能使用统一的模板建设，规划先行，按需升级。

2、现场应用 5G 化改造

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，可从数据采集、机器视觉、AGV 物流类等成熟应用场景改造出发，如有对柔性生产有较高需求，可将机器人、EMS 等设备进行 PLC 与 IO 连接进行 5G 化无线替代，并实现云化管理。

在产线规划方面，产线设备因不再受网线束缚，可以利用立体库，设备集中化部署，增加并行工艺等手段，提升节拍同时提

升产线柔性，以适应愈发激烈的行业竞争环境。同时各类新应用，例如安全生产管理、预测性维护、数字孪生等有利于工厂的智能化技术也应同时考虑部署。

3、改造过程注意事项

新技术的部署应用往往有一定的风险，如何规避这些风险也是工厂改造过程中不得不考虑的问题。从硬件方面，各网元应部署双机互为冗余，同时对硬件及网络环境进行定期维护，保证设备正常运行；在软件方面，应搭建一套完善的网络运维平台，该平台在具备基础网络侧运维信息外，应结合现场设备报警信息进行一定程度的自诊断，自运维能力，减轻现场运维人员压力。

（三）主要技术趋势

鉴于汽车制造行业 5G 应用场景多、信道复杂的特点，为了科学评估应用在 5G 专网上承载的适配性，积极推进 5G 端到端全场景测试认证能力打造，强化 5G 检测技术平台支撑，实现汽车制造行业应用的场景化验证，促进应用的孵化转化和落地推广。

1、Redcap 相关应用

随着 5G Redcap 技术的不断发展，5G 工业模组的价格和体积将不断降低，未来可直接将 5G 工业模组集成至汽车生产中的多种生产工具中，打造多种新型的汽车生产可移动电动装备，并利用工业 5G 网络的实时定位能力实现智能移动工具的高效管理。

例如，将工业 5G 小型化模组与拧紧枪相结合，利用 5G 的低时延和实时定位能力，实现设备的智能生产过程控制（程序通过

5G 无线进行自动切换和验错报警)、追踪管理(位置追踪)和质量控制自动化(拧紧位置和过程全记录)。

2、5G 高精度定位应用

随着 5G 高精度定位能力的不断提升,未来通过 5G 的规模部署,可对汽车生产的多个环节的多种设备进行位置管理,实现汽车制造更好的过程控制、质量提升、管理效率提升。考虑可应用的部分有:

(1) 总装车间: 物料载具追踪、移动电动工具定位

(2) 车间物流: 物料定位、叉车、AGV、拖车等定位,料箱管理

(3) 生产、参观通道维护引导

3、5G LAN 技术应用

利用 5G LAN 的 5G 原生本地二层通讯技术,将更多汽车制造现场的工业二层设备通过 5G 实时连接和核心网的批量管理,实现更灵活的生产现场的工业组网。

4、业网协同技术应用

5G 与工业应用的发展需要网络能感知业务,业务能适应网络,通过增加两者之间一定程度的交互,促进空口性能的提高以及空口容量的提升。业网协同可分为三个阶段:

1) 无线网络静态适配工业组态配置,5G 系统根据工业组态配置信息自适应不同的工业应用场景,自适应提供近乎场景定制化的网络能力和规格。这些工业组态配置信息包括但不限于:工

业总线周期 CT (Cycle Time)、工业总线看门狗门限 WDT (Watch Dog Time)、报文长度、工业设备节点数、拓扑组网信息等。5G 系统通过获取这些产线级组态配置信息，就可以定制化分配空口的调度时隙和 RB 资源，甚至可以通过管理调度优先级的方式来提升空口的确定性和可靠性等。

2) 现场生产运行时 5G 网络感知工业系统的各工业链路状态，根据总线看门狗状态来调整空口策略，减少工业总线的宕机概率，提升链路可靠性。

3) 无线网络与工业双向动态适配来提升网络的确定性和容量规格，在工业的现场级控制应用场景中，5G 系统通过随路检测各 I/O 设备的来包时刻点并对全部中断进行调度时隙的全局联合编排，当某 I/O 设备的来包时刻点即将错过其调度窗口前，主动通知 I/O 设备对发包时刻点进行一个 offset 偏移量的调整，确保各 I/O 设备都能在 5G 为他们各自预分配的调度窗口内被调度和传输，从而确保既能确保空口的低时延以及确定性的前提下，还能提升 N 倍的网络容量规格，为 5G 能在核心生产环节进行规模复制提供了容量和确定性的保障。