

钢铁行业 5G 确定性网络研究报告

(2022 年)

前 言

钢铁冶金是工业制造的基础，其工艺和技术水平的发展对我国制造业发展、环境保护等多方面具有重要意义。

传统的钢铁生产工作环境恶劣，劳动强度大，危险性高。通过网络化、数字化、智能化改造来提升产品质量、提高工作效率、保障员工安全、应对艰苦地区劳动力缺乏、实现碳达峰/碳中和是刚性需求。

随着我国制造业科技和工艺水平的快速发展，近年来，钢铁行业对远程数据采集、远程操控、移动设备管理、自动化、无人化等新兴能力有了较为明确的需求，龙头企业提出了：操作室一律集中，运维一律远程，操作岗位一律机器人，服务一律上线的“四个一律”要求。

5G 网络以其大带宽、低时延、广域覆盖、移动性、成本经济等特点已经开始融入钢铁行业。但因 5G 无线网络易受干扰、承载网络主要基于 IP 协议的“尽力而为”原则，5G 端到端传输时延、丢包、带宽等指标的稳定性离钢铁工业生产网络的要求尚有距离。因此目前 5G 在钢铁冶金行业的应用大多是生产辅助类的、局部的、试点型的应用，关键的生产控制领域仍尚未涉及。

5G 确定性网络是通过引入网络切片、URLLC、MEC、TSC、TSN、DetNet 等技术提升 5G 网络确定性通信能力，是 5G 网络与确定性网络技术的深度融合，可根据应用场景需求，以满足 SLA 保障落地为目的，基于通信业务可用性，从差异化网络、专属网络方面定义多维度的指标能力，以提升 5G 网络性能的稳定性。

钢铁行业 5G 确定性网络是 5G 确定性网络在钢铁行业的应用，致力于满足 5G 在钢铁行业的生产场景以及生产辅助场景对网络性能稳定性的需求。

钢铁行业未来演进趋势如何，5G 确定性网络如何与钢铁行业未来发展方向结合，5G 确定性网络能够给钢铁行业带来哪些新的特性和能力，钢铁行业需求如何引导 5G 确定性网络技术发展，5G 确定性网络技术适用于钢铁行业的哪些场景等问题是本白皮书研究的目标。

本白皮书在钢铁行业产业升级亟需网络新技术使能的重要历史时刻，召集通信运营商、钢铁企业、研究机构、高校共同研究钢铁行业网络架构演进趋势、5G 确定性网络特性、相关标准化现状、5G 确定性网络赋能钢铁行业网络架构演进、5G 确定性网络适用钢铁行业的典型场景，形成跨领域的共同认识，以促进 5G 确定性网络赋能钢铁行业愿景目标实现。

本白皮书主要参编单位（以下排名不分先后）：

中国联合网络通信有限公司、北京科技大学、首钢集团有限公司技术研究院、中兴通讯股份有限公司、华为技术有限公司、河钢数字技术股份有限公司、冶金工业信息标准研究院、之江实验室、中讯邮电咨询设计院有限公司、重庆邮电大学、宜通世纪科技股份有限公司、中国信息通信研究院、中国移动研究院、中国电信研究院

本白皮书主要参编人员（以下排名不分先后）：

贾雪琴、李卫、王凤琴、武向军、李毅仁、韩政鑫、伍勇、常莘东、李振廷、李渝、魏旻、黄蓉、王友祥、束裕、金友兴、丁雷、申培、刘澜冰、孙雷、王健全、王策、史可、林晨、郭雷、支周、马彰超、郝亮、丁泽浩、王琦、程锦霞、夏旭、王友祥、陈页、李兴林、季文翀、程景浩、王燕伟、刘萌萌、侯伟彬、于天意、梅承力

目录

1	钢铁行业网络架构演进趋势	4
1.1	钢铁行业网络相关现状.....	4
1.1.1	智能制造业务与网络连接需求.....	4
1.1.2	传统 ISA-95 企业信息化架构与企业网络现状.....	5
1.1.3	钢铁行业智能制造系统的演进和特点.....	6
1.1.3.1	钢铁行业智能制造系统的功能演进.....	6
1.1.3.2	钢铁行业智能制造系统的特征.....	8
1.2	钢铁行业网络架构演进趋势.....	10
1.2.1	钢铁行业数字化转型及其数据流向发展趋势.....	11
1.2.2	钢铁行业金字塔架构的功能分层演进.....	12
2	5G 确定性网络	15
2.1	5G 确定性网络概述.....	15
2.1.1	5G 确定性网络概念.....	15
2.1.2	确定性特性.....	16
2.2	5G 确定性网络关键技术.....	18
2.3	确定性技术相关的标准化现状.....	24
2.3.1	国际标准化相关工作.....	24
2.3.2	国内标准化相关工作.....	25
3	5G 确定性网络赋能钢铁行业网络架构演进	27
3.1	5G 确定性网络与钢企现网叠加，促进跨层级数据采集.....	27
3.2	5G 确定性网络赋能钢企跨层级数据全连接.....	28
4	5G 确定性网络适用钢铁行业的典型场景	30
4.1	无人值守工作站.....	30
4.2	皮带巡检.....	31
4.3	高危点检和检修.....	32
4.4	钢厂人员安全监控.....	34
4.5	5G+生产行为智能监管.....	34
4.6	无人机车智能调度（铁运智能调度）.....	35
4.7	天车远程操控/无人天车.....	35
4.8	5G+堆取料机无人驾驶.....	37
4.9	工业机器人.....	38
4.10	废钢定级.....	38
4.11	小结.....	40
5	总结与展望	41
	参考文献	42

1 钢铁行业网络架构演进趋势

1.1 钢铁行业网络相关现状

1.1.1 智能制造业务与网络连接需求

根据 ISA-95 标准的 Purdue 参考模型，可从工厂内部视角了解智能制造业务模块及其各业务模块之间的互操作关系。注：ISA-95 是企业系统与控制系统集成国际标准，由仪表、系统和自动化协会 (ISA) 在 1995 年投票通过。

参考图 1-1，Purdue 参考模型中工厂内部包含十大智能制造业务模块：

- (1) 订单处理
- (2) 生产调度
- (3) 生产控制
- (4) 材料和能源管理
- (5) 采购
- (6) 质量管理
- (7) 产品库存控制
- (8) 产品成本会计
- (9) 产品运输管理
- (10) 运维管理

其中，处于业务核心、与其他各业务模块都有多项交互关系的是生产控制模块。

支撑企业业务模块之间的数据交互是企业对网络连接的基本需求，同时也需要网络连接具有可扩展性、易维护性、数据传输安全等特性。

ISA-95 适用于制造业，因此也适用于描述钢铁行业企业内部的智能制造系统。

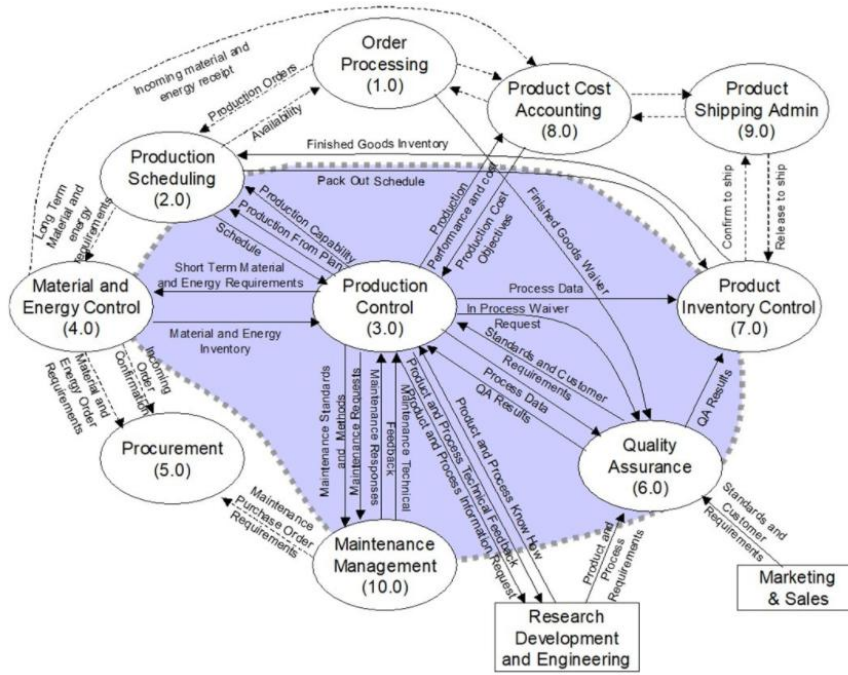


图 1-1 Purdue 参考模型

1.1.2 传统 ISA-95 企业信息化架构与企业网络现状

ISA-95 Purdue 参考模型高度概括了钢铁行业智能制造企业内部各业务模块。ISA-95 金字塔模型进一步对支撑企业内部各业务模块的信息化系统做了抽象，以促进企业内部设备、系统的对接。

参考图 1-2，ISA-95 金字塔模型自底向上共分为 5 个层级：

- L0: 物理产品过程。
- L1: 传感产品的工艺流程、操作工艺流程。
- L2: 生产过程的监视、监控和自动化控制；时间框架：时、分、秒、毫秒。
- L3: 工艺流程/配方控制以生产需要的最终产品，保持记录和优化生产工艺。时间框架：班、时、分、秒。
- L4: 建立基础工厂的计划生产、材料使用、传递和运输；确定库存水平；时间框架：月、周、日、班。

依据 ISA-95 金字塔模型，企业 ERP 系统处于 L4 层，不直接参与生产调度、监控、自动化控制，一般由企业办公网负责提供网络连接。

MES 系统处于 L3 层，位于生产系统与 ERP 系统之间，负责产品的工艺流程和配方控制，业务时间精度一般到秒级。

SCADA、DCS、PLC 处于 L2 和 L1 层，负责生产过程监视、监控和自动化控制，构成生产线的核心生产能力，业务时间精度一般到毫秒级。目前，L2 和 L1 的私有网络技术和协议众多，构成企业生产网。可靠性和安全性是企业生产网的刚性需求。近年来为了支持智能生产，智能性、敏捷性、互通性等成为了企业生产网的新增需求。

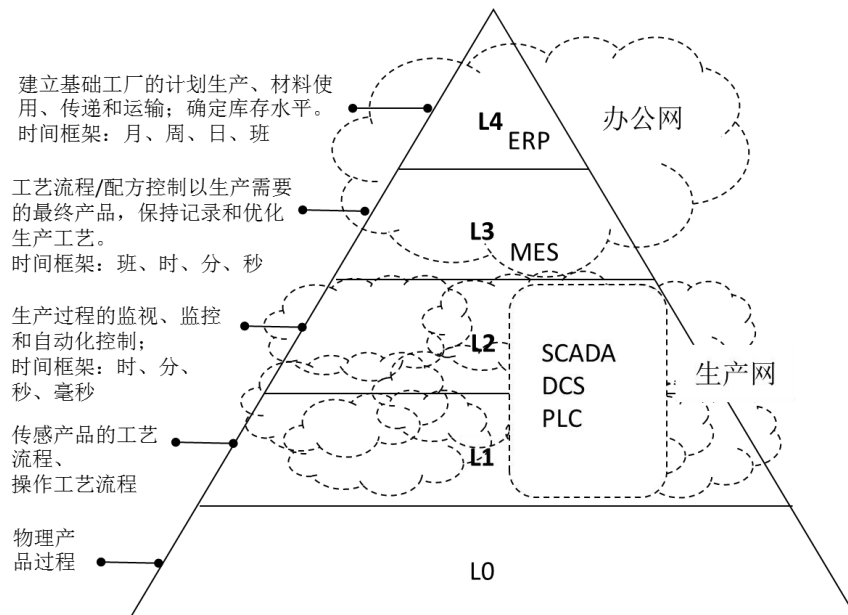


图 1-2 ISA-95 金字塔模型与企业网络

1.1.3 钢铁行业智能制造系统的演进和特点

1.1.3.1 钢铁行业智能制造系统的功能演进

目前大多数钢铁企业的工业制造系统处于工业 3.0 阶段，架构如图 1-3 所示，其不足在于数据在制造业系统内部传递不畅，缺乏促进数据在企业各系统之间流动的强大“心脏”。

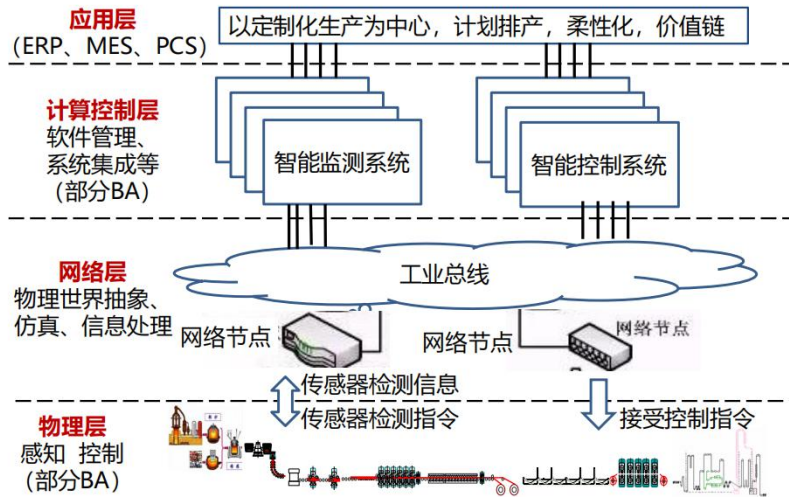


图 1-3 目前冶金企业的工业控制系统架构

近年来，随着网络、数据处理、人工智能等技术的发展，钢铁企业正在构建工业制造物理系统的数字孪生，如图 1-4 所示。在各部分网络通信被打通的条件下，企业可构建跨子系统的数字孪生。畅通的网络基础设施以及企业级数字孪生将为钢铁企业建立起一颗强大的工业企业级“心脏”，以促进数据生产要素在企业内部调度与流动，实现以定制化生产为中心，进行计划排产和柔性化生产，激活价值链。

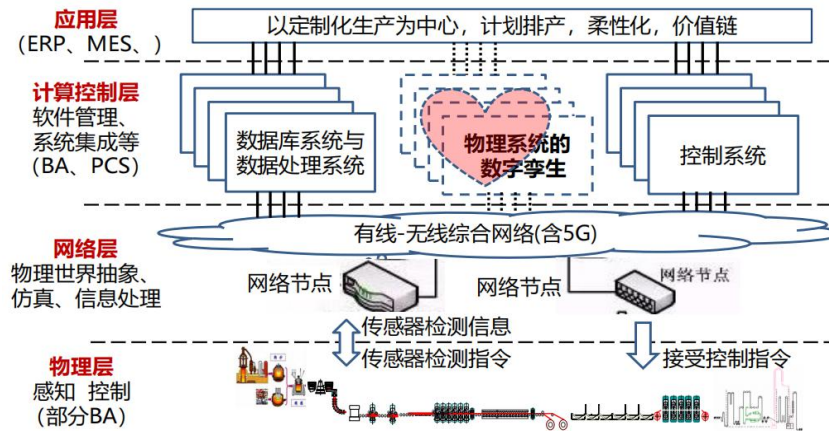


图 1-4 基于数字孪生的工业控制系统架构

随着技术的进一步发展，特别是当网络能稳定的保障时延、带宽、误码、路由、可用性、设备身份、数据安全、定位等方面的性能，工业企业级“心脏”将会演进为企业级“智能大脑”：不仅能促进生产要素在钢铁企业内部的调度与流动，还能根据决策的目标值以及现场实时情况协调钢铁企业的智能控制系统对生产线进行实时操控，如 1-5 所示：

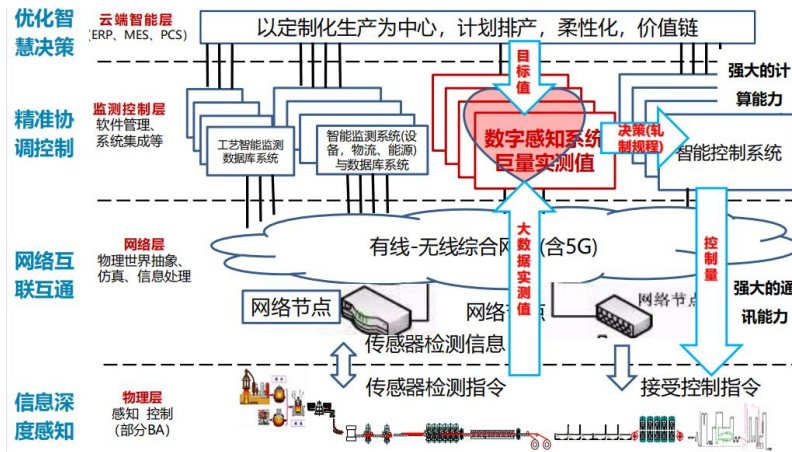


图 1-5 未来基于数字感知系统的大数据反馈控制系统

1.1.3.2 钢铁行业智能制造系统的特征

钢铁工业属于大型复杂流程工业，冶炼钢铁的原料，经过炼铁-炼钢-轧制-热处理等一个漫长的冶金过程，成为最终的钢材产品。钢铁生产工艺和流程决定了其自身的特点。

(1) 全流程各工序均为“黑箱”

除了表面温度、外形尺寸等表现参数之外，钢铁生产诸多环节的运行状况和参数无法在线实时测量，高炉和转炉的内部状况和生产过程的很多参数，由整个生产流程所决定的钢铁产品的组织性能和应力应变状态，以及最终决定板带产品的外形尺寸的轧机有载辊缝等，均存在无法直接测量的黑箱，实时的内部信息极度缺乏。因无法得到工具内部信息，因此无法控制反应器内部的化学-物理过程；因无法直接观测工序内部的数据，因此无法调整、改变、控制钢材内部的组织和性能。

现场运行的数学模型大多为机理或物理模型，由于工艺条件、设备运行状态变化常常引起生产工况变化，加之过程输入条件、状态变量和控制目标之间的关系十分复杂，这些机理模型对于复杂的动态过程的适用性较差，在工艺条件和运行状态变化时模型预报精度不高，难以准确透视工艺、设备、质量等关键参数之间的复杂关系。因此，面向窄窗口的高精度动态协调控制缺乏工作基础，依赖于经验进行分析决策的技术人员面对海量信息也已力不从心，难以实现全局一体化的智能决策。

(2) 各工序内部控制过程复杂

钢铁生产流程中存在着复杂的物理、化学过程，甚至往往出现气、液、固多相共存的连续变化，外界随机干涉因素多，物质/能量转化过程复杂。冶炼、轧制等工序都是异质、异

构单元组合的集成体，单元之间存在非线性相互作用、动态耦合过程。各个工序涉及的工艺质量参数都多达数百个，具有多变量、强耦合、非线性和大滞后等特点，过程变量类型混杂、维数高、规模大，变量之间也存在着多重相关性。某一个质量问题可能有多个异常表象，相似的质量异常其来源也不尽相同。

现有控制系统多采用分散单独控制和单变量求解，参数调节引起本工序其他参数的连锁反应，再通过被动的解耦方式进行补偿，难以实现面向窄窗口的高精度动态协调控制。突破单点的自动化控制，进行全局多目标的智能化控制，并基于生产过程实时数据进行模型参数的自学习和自适应，是实现各工序复杂过程精准协调控制的关键。

(3) 全流程与全生命周期一体化

三维尺寸和力学性能等作为表征产品的重要指标，以媒介形式贯穿于钢铁生产过程的各个工序，从而造成产品质量异常的累积，不仅直接决定着本工序的产品质量评定，同时决定着下游工序是否能够稳定运行以及工序间设备能力是否平衡，也是制造过程产生运行故障的关键因素。产品性能、质量、生产效率取决于工艺流程设计优化、各个工艺过程的优化和全流程运行的整体优化。钢铁制造多工序运行指标演变过程如下图所示。

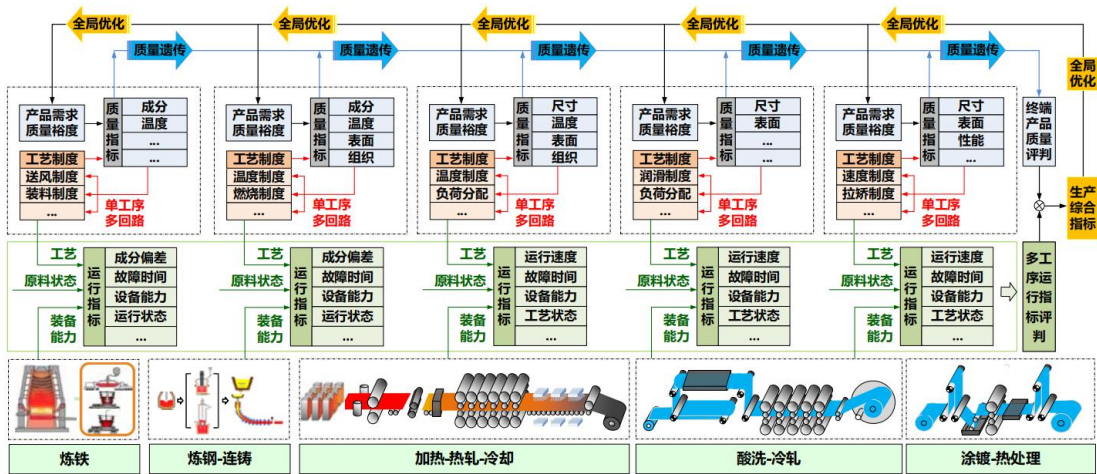


图 1-6 钢铁制造多工序运行指标演变过程

从钢铁生产全流程的角度来看，在水平生产工序上，各个生产厂或车间依然为信息孤岛，未实现互联互通并建立统一的数据环境；在垂直控制层级上，各控制系统的数据分析、管理和决策也是按照设计好的流程进行，无法满足灵活应对外部环境和活动目标变化的要求。同时，钢铁产品质量和生产过程稳定性很大程度上取决于原材料状态，生产过程深度依赖汽车、家电与工程制造等客户需求，钢材全生命周期的服役过程也取决于原材料和生产工艺。

(4) 生产数据整合与利用不充分

钢铁企业多配置有完备的数据采集和存储系统,储存了生产过程中能够采集到的大规模数据。但是,由于现场环境和测量手段的限制,目前还有部分关键参数无法在线准确测量。随着数据库技术、传感器技术和通讯技术的发展,企业获取实时生产数据的成本已经不再高昂,但仍存在异构硬件、异构软件、异构数据和异构网络,尚未形成矩阵式网络泛在连接与钢铁生产全流程的闭环反馈。

钢铁生产过程积累的数据中蕴含了整个生产流程各层次的信息,大规模生产数据与经验知识并未充分挖掘和模型化表述。目前,钢铁生产线大都具有完备的数据采集和存储系统,拥有庞大的生产数据。但是现场数据多没有产生应有的价值,在由“数据”到“信息”的处理过程中存在断层,难以形成真正的竞争力,采用数据挖掘技术提升钢铁生产线运行水平的需求日渐迫切。从隐匿、碎片、低质的数据中挖掘出数据物理意义与特征之间的关联性,提取出反映对象真实状态的全面性信息,是实现钢铁行业智能化提升的前提。

(5) 数字化信息化基础较好

我国钢铁行业已经逐步掌握了工艺装备关键核心技术,各制备工序自动化程度较高,拥有功能完备的一到五级控制系统,具备良好的硬件与网络设备水平。近年来,钢铁行业以设备数字化、过程智能化、管理信息化为发展方向,在工艺装备、流程优化、企业管理、市场营销和节能减排等方面的自动化、信息化水平大幅提升。另外,各企业积极建设基于物联网、云计算、大数据等现代信息技术的钢铁大数据管控平台,将基本达到工业 3.0+的水平,具备了智能化建设的基础条件。

尽管如此,钢铁行业多为异构硬件及异构网络,多数产线的控制系统硬件供货商在 10 家以上,生产各工序、各系统间的融合不足,无法实现各系统、各工序以及各类人员随时随地的互联互通,缺少生产全流程智能管控集成平台,难以构建实时快速、高效可靠的数据自动流动闭环赋能体系,面向整条生产线和整个钢铁企业的智能化依然缺少有效的实施载体。

1.2 钢铁行业网络架构演进趋势

钢铁行业业务和网络发展中,5G 确定性网络可以分阶段不断提升钢铁制造过程中的装备产能、提升效益最大化并降低成本。

首先,5G 确定性网络能力提升,可更好的解决当前生产遇到的各种痛点,如劳动强度大,危险性高,生产工作环境恶劣等问题。将现有单点的 5G 业务场景真正规模复制和推广,真正做到“敢用”和“好用”。典型场景参见本文第四章。

随着数字化程度加深，在这一阶段，5G 确定性网络作为叠加在钢铁行业生产网络之上的一张基础打底网络，能够有效采集生产场景以及生产辅助场景的各种数据，从而使能钢铁企业构造智能制造系统“心脏”。下一阶段，5G 确定性网络将与钢铁现场确定性网络进行对接与深度融合，这将从更深层次打通决策分析与现场控制系统，实现工控与数采一张网。赋能钢铁行业“智慧大脑”。

1.2.1 钢铁行业数字化转型及其数据流向发展趋势

钢铁行业由于特殊的生产流程特点，在前期的信息化和自动化的发展进程中，已基本形成了设备层（L0）、基础自动化（L1）、过程自动化（L2）、MES（L3）、ERP（L4）的五级的系统架构。随着第四次工业革命的来临，智能制造成为企业进一步提升竞争力、推进高质量发展的主攻方向。在数字化转型的大趋势下，企业已经构建的系统架构不可能全部推倒重建，为支撑企业从传统迈向智能化新型 IT 架构，钢铁企业普遍采用“立而不破”思维，以工业互联网平台为基础，把企业数据与正在发生的 IoT 数据联结在一起，构建云边协同的数据与应用平台，挖掘数据价值，形成新型钢铁企业数字化转型架构如图 1-7。

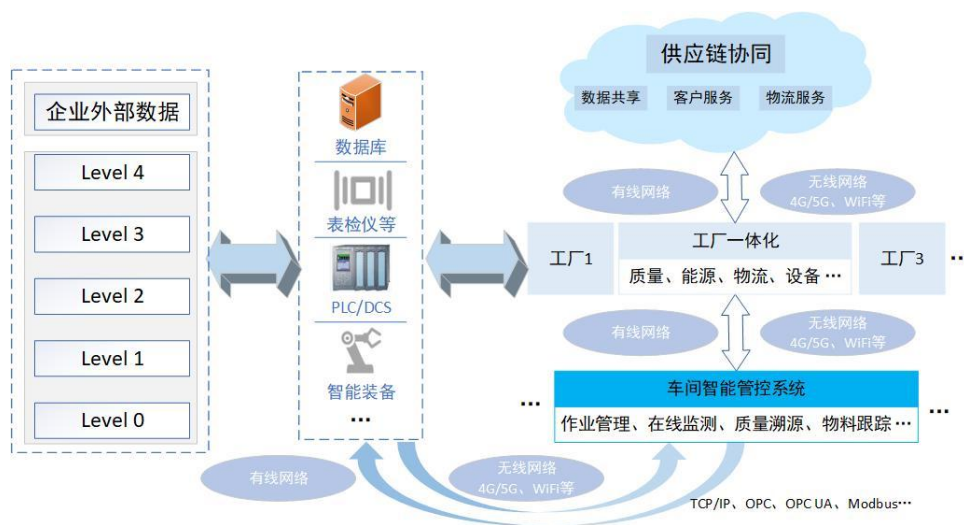


图 1-7 新型钢铁企业数字化转型架构

由于智能制造贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，新型数字化转型架构也要符合钢铁企业的组织架构和管理模式特点。因此，建立车间层级的智能管控与工厂层级的智能管控的云边协同体系更利于企业数字化转型落地实施。无论是车间内部各业务系统，还是车间、工厂及供应链等各层级数据平台，数据的互联互通均可通过有线网络和无线网络（4G/5G、WiFi 等）来实现。

车间层级智能管控平台的数据源主要来自于 PLC/DCS、表检仪、机器人、智能检测装备、数据库等，管控平台满足生产单元的作业管理、生产实绩、在线监测、质量溯源、智能运维、物料跟踪等业务需求，支撑本车间各工序的生产过程智能化发展需求，也支持智能公辅、能源环保、消防安全及运营管理智慧决策开发需求。

工厂层级智能管控平台的数据源主要来自于智能装备、生产单元控制系统（PLC/DCS、数据库等）、各车间智能管控平台、三级系统、四级系统等。工厂层级管控平台包含全流程质量管控、一体化排程、能源管控、设备管控、产品研发与设计、厂内物流、安全环保等业务平台，满足跨工序甚至跨基地的一体化的质量管控和资源优化配置，助力企业全要素生产率的提升。

钢铁生态圈的供应链协同平台数据源主要来自于各企业云平台，协同平台主要包含采购、营销、物流服务、数据服务等功能，实现了钢厂、贸易商、物流商、仓储方、客户方等业务信息全联接贯通，支撑了关键要素资源的高效共享，为客户提供更加精准服务，提升企业竞争力，并促进产业链相关行业发展。

1.2.2 钢铁行业金字塔架构的功能分层演进

传统工厂自动化系统通常遵循由 ISA-95 标准定义的金字塔式模型结构，连接上下层的工业网络以有线的现场总线、工业以太网等为主。各类现存通讯技术与协议多达数百种，仅在国际电工协会（IEC）制定形成国际标准的工业通讯协议就有 20 余种。种类繁多且互不兼容的通讯标准导致工业控制系统烟囱林立，系统之间难以互联互通，无法实现数据的横向/纵向有效流转。

另外，由于现有的工业系统架构已成熟运行多年，核心设备体系封闭，每个环节的变动都需要供应商支撑完成，这也就使得现有架构难以实现开放互联，智能化变革只能停留在工业自动化的外围应用。

目前，随着 IT、CT 与 OT 技术走向融合，传统工业自动化瓶颈正在逐渐被打破，新技术不断涌现，例如时间敏感网络（TSN）、OPC UA 等为工业网络互联互通提供了新基础；5G、Wifi-6 等为无线通信在工控领域更广泛应用提供可能；软件定义、虚拟化等为工业网络灵活管控提供了新方法。这些都为满足智能工厂中的“人-机-料-法-环”全要素智能互联与协同需求，重新构建融合互通、协同开放、统一管控、智能高效的新一代工业自动化系统架构提供可能。

为了实现数据的高效流转,需要打通金字塔架构各层级之间解耦,以实现数据顺畅流动,拉通现场级到工厂级的网络连接,实现传感/执行器与云端控制器直接交互、生产要素间智能互联与协同能力,使得数据能够纵向跨层、横向跨系统和设备进行交互。

金字塔各层级解耦分为两个层面:

第一层面是体系架构的解耦,打破层级的约束,架构简单化和扁平化;

第二层面是原金字塔内部控制系统解耦,即改变 PLC/DCS 与被控设备紧耦合,可以远程控制,同时实现 PLC/DCS 的软硬的分离,PLC 可以根据被控设备时延要求按需设置,从局部控制过渡到整体控制,实现从自动化向智能化的发展。

基于上述描述,金字塔架构的功能分层演进趋势如图 1-8 所示:

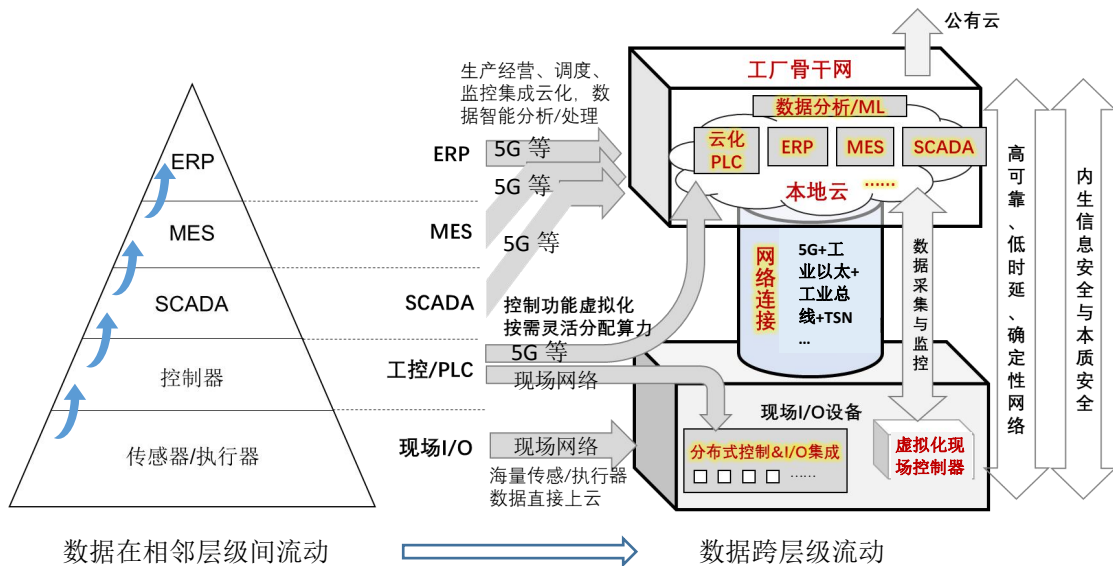


图 1-8 金字塔架构的功能分层演进

这就要求有一张能够支撑数据高效流转的网络,此网络应具备综合承载工业自动化控制业务、安全生产、运行维护、物料调度、远程监控等多种业务的能力,并且能够实现与现存工业现场网络的互通,同时满足低时延、高可靠、确定性时延的要求。

架构的变革将为工业自动化系统智能化升级提供了新机遇,也对相应支撑技术提出了挑战。新型智能工厂架构在控制虚拟化、网络融合协同、控制-网络一体化管控、数据智能处理及端到端安全防护等提出了新的演进目标与路径。

(1) 工业控制虚拟化

工业控制的虚拟化是打破传统封闭金字塔架构的关键技术之一,需要首先实现 PLC/DCS 的软硬分离,基于通用的硬件设备来代替专用的 PLC/DCS,将 PLC 处理功能转化

虚拟化、可扩展的软件对象实例来实现；其次就是要依据被控实体要求，可在云边端灵活、合理地分配 PLC/DCS 所需的计算、通信、存储等软硬件资源，在满足工控业务执行服务质量要求的前提下，实现系统资源的优化配置。

控制系统的虚拟化是打破原有封闭式工业控制系统的基础，一方面可以充分利用虚拟化硬件资源实现一对多的控制，节约大量工控设备部署投资成本；更为重要的是通过控制系统的集中化，实现了全局资源的统一控制和优化，为智能化决策提供了依据，为实现真正的智能生产奠定了基础。

（2）高可靠、低时延、确定性的工业网络

新的云边端架构下，需要有一张端到端低时延、高可靠、确定性的能支持多种业务需求的网络。由于工业现场异构网络标准各异，不同系统、设备、协议难以兼容互通，为了满足工业现场网络低时延、高可靠、确定性要求的同时实现网络的互通，IEEE 提出了时间敏感网络 TSN 的标准，TSN 基于数据链路层实现了工业现场异构网络的互通与融合。时间敏感网络(TSN) 能为强实时需求业务提供确定时延转发且兼容以太网协议，受到工控网络领域的青睐。同时，随着海量传感器及 AGV 等智能化设备在智能工厂中的应用，工业终端无线接入及移动连接需求愈发迫切，有线工业以太难以完全满足智能工厂数字化与智能化需求，5G 与现有工业以太以及未来的 TSN 协同传输成为智能工厂网络的重要演进趋势。

（3）工业控制&网络一体化管控

智能工厂的云边端架构下，未来工业控制程序可根据业务需求，在云端数据中心与现场边缘设备间按需灵活部署，通过动态分配计算资源，同时满足工业控制业务实时性与节能增效需求。新的架构下计算-网络-控制从独立走向相互融合协同，三者之间要统一管理和调控，以达到全局资源的最优化分配。

（4）工业数据智能处理

新的架构打破了金字塔的封闭体系，利用端到端的异构融合使得工厂内数据高效流转为工业数据智能处理与应用提供了基础。此外，由于控制数据上云、网络资源管控上云，使得云上数据增加了两个新的维度，基于这些数据，将 AI 与工业场景、机理、知识结合，催生设计模式创新、资源优化配置等创新应用，使得目前只能停留在预测性维护、质量管控的智能化迈向了生产智能决策的新阶段。

（5）工业网络信息安全防护

数据的高效流转，需要端到端的安全防护手段保障数据采集、传输及应用处理过程中的

安全。此外，封闭式系统的打开，控制系统的上云，原本物理隔离的自动化控制系统与开放的网络融合，给工业控制带来了前所未有的挑战。这就要求必须构建工业网络端到端的纵深安全防御体系。安全防御体系包括基于自主可控的技术、构筑工业设备安全认证、网络安全可靠、数据信息安全无篡改、应用安全态势可感知等。

综上所述，为打破传统工业自动化控制的封闭金字塔架构，实现云边端扁平化新架构，需要满足分离与解耦、统一与融合两大特征。分离与解耦包括专有硬件与软件的分离与解耦，私有协议控制下的接口互通解耦；统一与融合包括云边端协同融合，IT、CT、OT 的融合（协议、管控），控制、算力及网络的融合，有线无线的融合，网络及信息标准的统一。分离和解耦是为了实现更好的统一与融合。

在钢铁行业打造智能工厂中，工业领域传统的通信方式在这一过程中成为一个明显的短板，例如在工业控制、智能决策中对通信都有万无一失的要求，传统的工业通信方式以及 4G、WiFi 等无线通信只能做到尽力而为，不能适应工业互联网、智能制造的需求，因此工业领域对于确定性网络的需求有自发的驱动力。

2 5G 确定性网络

2.1 5G 确定性网络概述

2.1.1 5G 确定性网络概念

传统以太网用“尽力而为”的方式传输数据，只能将端到端的时延减少到几十毫秒。但许多的新兴业务需要将端到端时延控制在微秒到几毫秒级、将时延抖动控制在微秒级、将可靠性控制在 99.9999%以上。因此，迫切需要建立一种可提供“准时、准确”数据传输服务质量的新一代网络。确定性网络最初是在以太网的基础上为多种业务提供端到端确定性服务质量保障的一种新技术。

5G 确定性网络（5GDN, 5G Deterministic Networking）概念的提出是为了实现 SLA 需求端到端保障落地。SLA 是服务提供商和客户之间的合同（或合同的一部分），旨在建立对服务、优先级、责任等的共同理解。SLA 指标包括业务层 KQI 与和网络层 KPI 两类。业务层 KQI 从用户业务出发，定义用户可直接的体验，如钢铁行业天车远程操控时最大可稳定

运行速度、数据采集的时延等等。而支撑实现业务 KQI 的则是各类网络层 KPI。

5G 确定性网络的能力，整体上包含三个特征维度（差异化网络、专属网络、自助网络），见图 2-1。

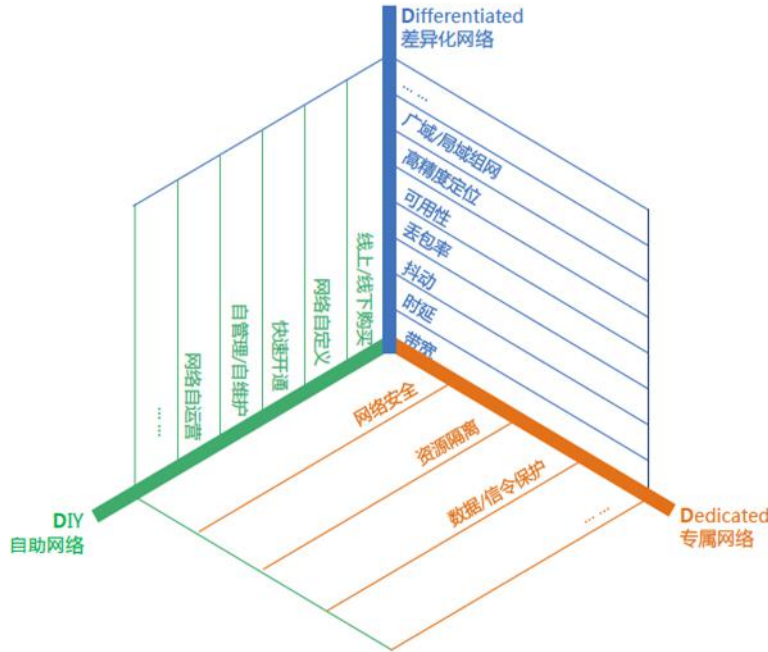


图 2-1 5G 确定性网络能力 3D 模型（源自《5G 确定性网络产业白皮书》）

为了在确定性 3D（差异化网络、专属网络、自助网络）三个方面，不断提升能力，实现对于不同 SLA 的保障，5G 确定性网络不断引入各种技术，如网络切片、URLLC、MEC、TSC、TSN、5G LAN、DetNet 等技术提升 5G 网络通信能力的确定性。是 5G 网络与确定性网络技术的深度融合，可根据应用场景需求，从时延、速率、可靠性、定位、设备身份、数据安全、等多维度提升 5G 网络指标的能力。

钢铁行业 5G 确定性网络是 5G 确定性网络在钢铁行业的应用，致力于满足 5G 在钢铁行业的生产场景以及生产辅助场景对网络性能稳定性的需求。

2.1.2 确定性特性

按照确定性 3D 模型，需要在如下确定性指标和能力上提升，以满足钢铁行业的业务需求。

通信服务可用度（Communication Service Availability）

该指标是从终端业务角度观察到的网络通信业务满足 QoS 要求时，能持续正常工作的

概率。按照 3GPP 的定义，该概率不包含设备故障导致的中断，专指网络没有中断的情况下，传送性能对业务连续性的影响。具体计算方法为：在指定时间段内，5G 网络在满足 QoS 要求时传送成功的数据包/总传送包个数。可见，该指标是 5G 网络确定性网络的差异化网络能力在客户业务侧的承诺。作为下述差异化网络类能力的指标确定的输入。

可服务能力确定性

可服务能力确定性指网络的可用性。要保证传输通道的高可靠性，网络设备必须有冗余机制。在异常发生时，可以保证传输通路可用性达到确定的可靠性等级要求。能够满足工业化环境的可用性标准。可服务能力指标实例：99.999%。

E2E 时延（End-To-End Latency）确定性

E2E 时延（End-To-End Latency）是指数据从发送方传输到接收方的时延是有界限的。时延确定性指标一般采用时延±抖动(上下限)，以及指定业务周期内满足该时延范围的成功概率（稳定性）。，比如 $10\text{ms}\pm 500\mu\text{s}@99.999\%$ 。一般来说，工业领域业务场景，无需时延抖动下限要求（数据包早到）。此时，上例可简化为 $10.5\text{ms}@99.999\%$ 。E2E 时延的确定性要求终端、无线、承载、核心网等各节点的时延稳定。

用户速率（User Experienced Data Rate）确定性

用户速率确定性是指在数据传输过程中，数据从发送方传输到接收方的速率必须保持的最低水平，并且保障一定的概率（稳定性）。区分为上下行。工业场景中，一般上行指标需求更为突出。比如机器视觉传输时，为防止抖动导致的识别错误和业务停机，必须保证网络带宽维持在稳定的水平，如保证网络上行带宽达到 $80\text{Mbps}@99.9\%$ 。

网络系统可靠性

从业务来看，5G 系统（含模组、终端）不宕机，保持持续可运行。为达到这个目的，在设备冗余方面需要研究增强，包括终端模组层面。而该冗余的设计，应该尽量做到不影响业务，做到透明。在架构上，还需要实现跨业务之间的故障隔离，差异化的提供不同的冗余可靠性，以提供合适的成本经济性。

定位准确性（Position Accuracy）

定位准确性是指网络位置测量值与真实值的符合程度，用于表明定位测量值的正确性。在钢铁生产智慧料场的场景下，需要对远程控制堆料机的位置进行精确控制，以便在物料的存取过程中对堆料机的位置、堆料速度及方位等进行精确控制。典型的物料存取远程控制的定位精度要求至少在亚米级别。

此外，定位的速度，在部分移动较快的业务场景也有必要。如 2ms 之内完成定位。

除了上述的差异化网络能力，对于专属网络类能力，工业也需要更好的安全隔离能力。针对钢铁行业的诉求，如下能力是必须的：

设备身份确定性

设备身份确定性是指在通信的发送方以及接收方都是合法的，需要保证接入到钢铁网络的各个通信设备必须经过安全认证和授权，保证只有合法的通讯设备才能接入网络。

数据安全性

数据安全性是指在传输过程中数据不泄露；同时保证数据的完整性，不被修改。必须通过差异化的机制实现差异化的数据安全要求，包括网络隔离，数据加密，完整性保护，安全漏洞修复，渗透测试，快速响应机制等。

2.2 5G 确定性网络关键技术

IEEE 802.1 时间敏感网络（Time-sensitive Networking，TSN），IETF 确定性网络（Deterministic Networking，DetNet），以及 3GPP 的 5G 确定性网络（5G Deterministic Networking，5GDN）从不同层面对实现网络性能指标的稳定性进行了研究。

IEEE 时间敏感网络为以太网协议的 MAC 层提供了一套通用的时间敏感机制，在确保以太网数据通讯的时间确定性的同时，为不同协议网络之间的互操作提供了可能。

DetNet 在 IP 层运行，并通过 MPLS 和时间敏感网络(TSN)等底层技术提供服务。DetNet 通过报文定序、副本消除、流复制、流合并、报文编码、报文解码、确定性转发、资源预留和显式路径等技术保障网络通信性能的稳定。

3GPP 一方面采用切片、MEC、URLLC、高可靠等 5G 独有技术增强 5G 网络的确定性能力。同时，5G 内部也参考了 TSN 的部分技术实现。从而提升 5G 内部的端到端确定性。与外部工业网络对接上，既可以承载主流的工业以太类协议，也提出了 5G 与外部 TSN 网络协同互通的方案，实现 TSN over 5G。

5G 确定性网络是将现有确定性技术融入到 5G 网络中，实现网络确定性需求，将 5G“尽力而为”、“面向 C 端”的通用属性转换成“准时”、“准确”、“快速”，并适用于“面向 B 端”确定属性。

确定性网络技术是随着 5G 网络发展起来的新兴技术，个别技术还处在实验商用阶段，如 TSN，有些可能还处于规范制定阶段，如 DetNet。但是，作为有着广阔应用前景的新技术，确定性网络正快速的融入有线、无线通信中，并使之相互补充，服务局域网(园区)、广

域网业务。下面将对 5G 确定性网络的一些关键技术进行介绍。

1、5G 端到端切片技术

5G 网络切片是面向垂直行业的基础业务形式，其在统一物理设施上实现多种网络服务并提供多级隔离与安全，可降低建网成本，满足行业多种场景按需、敏捷建立网络的需求。5G 端到端网络切片按网络资源灵活分配及网络能力按需组合，基于一个 5G 网络虚拟出多个具备不同特性的逻辑子网。每个端到端切片均可由无线网、传输网、核心网子切片组合而成，并通过端到端切片管理系统进行统一管理。

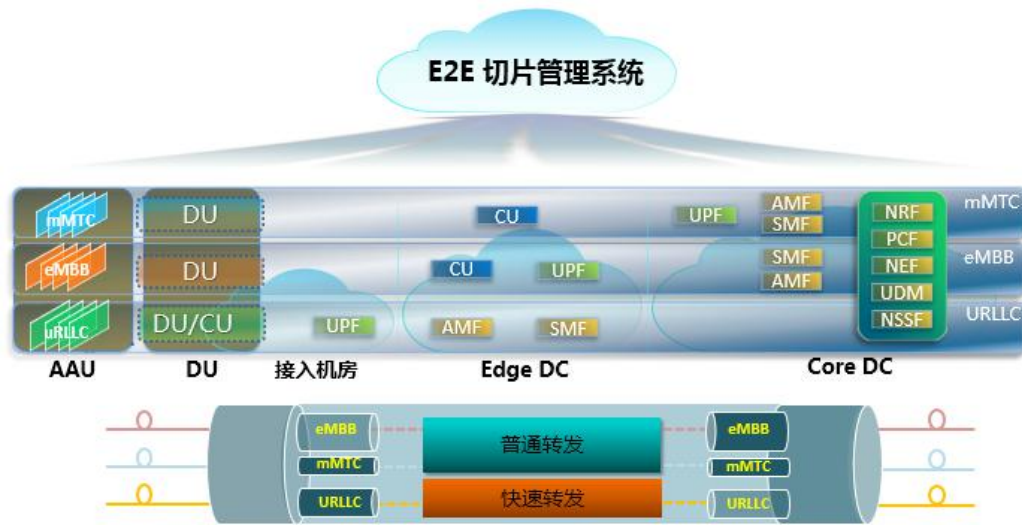


图 2-2 5G 端到端切片

1) 无线网切片：是端到端网络切片中的关键组成部分，需要根据端到端切片编排管理系统下发的不同业务的不同 SLA 需求，进行灵活的子切片定制。无线网基于统一的空口框架，采用灵活的帧结构设计。针对不同的切片需求，可以采用不同的资源配置或调度方式来实现。无线侧的切片能力更多的体现在不同的参数配置和调度上，参数配置包括无线资源配置、策略配置、协议栈功能配置等。

2) 承载网络切片：有软隔离技术和硬隔离技术两种。软隔离是基于统计复用的第 2 层或更高层技术，例如基于 SR/IP/MPLS 的隧道技术和基于 VPN/VLAN 的虚拟化技术。硬隔离是基于物理刚性管道的 Layer1 或光层切片技术，例如 FlexE、OTN 和波分复用(WDM)技术。

3) 5G 核心网切片：采用云原生和微服务等虚拟化技术，进行各种类型切片的构建和部署，如 eMBB、URLLC、mMTC 等。同时，需要支持切片的签约和选择，对不同的切片进行隔离，限制非授权的 UE 访问切片。支持切片能力开放，促进行业的发展。5G 核心网支

持通过 UDM 为不同 UE 签约不同的切片，支持基于 NSSF (Network Slice Selection Function) 智能化选择切片。NSSF 可通过 UE 请求的 NSSAI 和签约的 NSSAI、位置区域、切片容量、切片当前负荷等信息进行切片的灵活选择。

在钢铁行业中，包含多类业务应用，可通过网络切片技术提供业务隔离保障。可以根据需要部署多个切片实现不同的 SLA，比如可以部署：

- 工业控制网络切片：安全性高，数据不出园区，可靠性高，带宽需求低
- 大视频网络切片：大带宽，低时延；
- 园区办公网络切片：方便接入，对时延不敏感，带宽需求中等。

2、URLLC

低时延高可靠场景主要面向车联网、工业控制、远程医疗、远程控制等垂直行业的特殊应用需求，这类应用对时延和可靠性具有极高的指标要求，需要为用户提供毫秒级的端到端时延和高可靠性的业务保证。

5G 的第二版国际标准 (Rel-16) 已于 2020 年 6 月冻结，增强了对高可靠、低时延的 URLLC 业务场景的支持。URLLC 关键技术包括 mini-slot、上行免授权、下行资源抢占等，受限于研发进度及终端支持情况主要在实验室中验证技术方案，目前现网低时延保障主要使用的是 eMBB 增强型低时延相关技术功能。

无线空口时延包括空口传输时延，调度时延，等待时延等。空口传输时延遵循 NR 标准在不同频段的帧结构模型；调度时延主要是从调度请求到授权再到真正发送数据的过程；等待时延是 PDCP 缓存接收报文的间隔。目前对于时延保障增强可落地的技术主要从两方面考虑：

- 1) 减少调度时间：通过切片+5QI、资源预留、智能预调度等技术提升调度优先级。
- 2) 降低空口错包率：优化 SR/MCS/目标 BLER/HARQ 重传次数等参数。

钢铁业务类型繁多，对时延的要求也不近相同，尤其是嵌入生产环节的控制类业务，对网络时延要求极高，如无人行车业务的 PLC 控制指令下达要求时延小于 10ms。从实现时延的技术手段来看，针对端到端时延要求在 10-50ms 之间，可通过开启上行预调度、设置 SR 周期、关闭 DRX 功能等功能参数，降低调度时间来实现，针对时延在 5-10ms 之间，需要使用 mini-slot 等 URLLC 技术，针对时延要求 1-5ms 之间，在 URLLC 的基础上还需要在帧格式、子载波间隔、双工模式等方面进行考虑。

3、MEC 技术

多接入边缘计算 MEC (Multi-Access Edge Computing) 用于解决网络延迟、拥塞和安全等问题。边缘计算把无线网络和互联网有效融合在一起,在无线网络边缘提供计算能力和无线网络联接能力。应用服务和内容部署在本地边缘,可以减少数据传输环节,提高数据安全性,降低端到端时延,减少带宽占用,并降低功耗。

边缘计算的部署场景,可以细分为接入、普通汇聚、重要汇聚以及核心四级。在接入以及汇聚等较低的位置,设备对恶劣环境的适应以及易维护是核心需求。而在核心等较高位置,关注点则在性能、容量以及 ICT 能力的提供上。

MEC 部署在园区的典型网络架构如图:

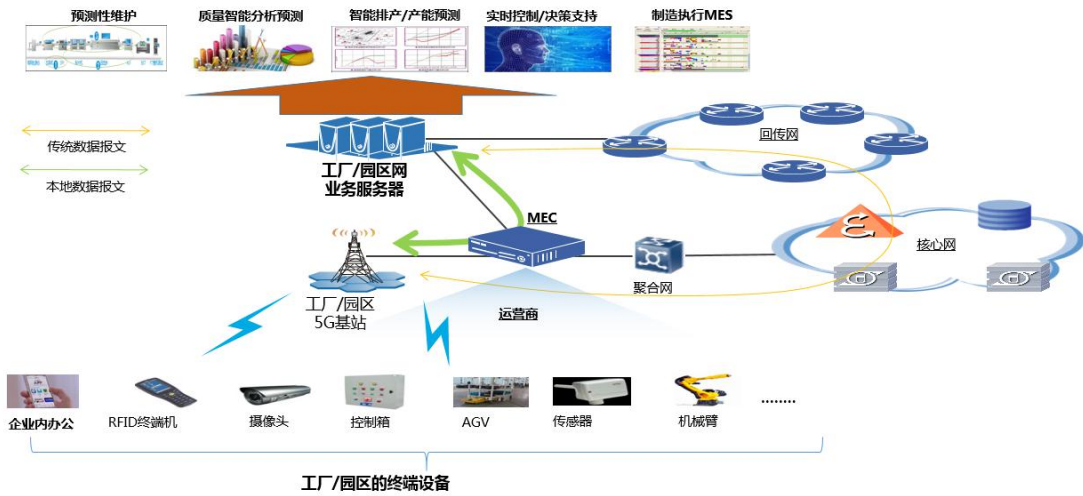


图 2-3 MEC 园区部署方案

基于 SBA (Service-based Architecture) 架构的 5G 网络,网元将控制面和用户面分离,可以灵活地将用户面下沉到网络边缘,一跳直达,满足毫秒级业务需求。5G 网络特征是去中心化,C/U 分离架构与多接入边缘计算 MEC 方向吻合。

MEC 作为边缘云数字化基础设施,将云端或者工厂数据中心应用下沉到位于车间的 5G 网络边缘,与用户面 UPF 结合,既是一个资源计算平台,又是一个无线网络能力平台,MEC 改变现有网络和业务分离的现状,实现计算和网的融合。一方面可以改善用户体验,节省带宽资源,另一方面通过将计算能力下沉到网络边缘位置,提供第三方应用集成,为移动边缘入口的服务创新提供了想象空间。适合在钢铁行业部署,对于降低时延,快速上线新业务,保证数据安全等有很大的价值空间。

4、上行速率增强技术

相比于公众业务应用,行业应用更关注上行带宽,目前 5G 网络以满足下行数据传输需

求为主。5G 上行受限于终端天线数量、发射功率及时隙配比等制约，在速率、覆盖距离及时延方面相比下行还有优化空间，而垂直行业应用更多是类似高清视频回传、大数据采集上报等上行业务，这就要求 5G 对上行进行优化。

运用 5G 时频双聚合技术后，终端在小区中心（近点）可以利用 FDD+TDD 频谱同时进行上下行传输，获得大带宽和低时延能力；终端在小区边缘（远点）则把上行切换到 FDD 提升覆盖，下行保持 FDD+TDD 聚合，业务体验速率得到提升。5G 时频双聚合技术把 FDD 和 TDD 频谱在时域和频域巧妙地协同起来，在充分利用成熟技术和不对终端增加额外成本的基础上，引入创新性的载波间协同与调度技术，化解 3.5GHz 单频组网面临的三大挑战，实现容量、覆盖和时延三方面性能的提升。

时频双聚合方案可以充分利用 TDD 和 FDD 频谱进行融合互补优势，非常适合应用于远程遥控、视频监控等上行覆盖和带宽需求的应用，提升 To B 业务用户感知。

钢铁行业高清视频监控业务对上行大带宽的需求，部分场景上行峰值速率要求较高，如四大车状态检测业务，单终端上行速率可达 30Mbps；部分场景终端密度大且上行速率高，上行容量可达 500Mbps 以上。为满足行业客户对上行峰值速率、上行容量、上行边缘速率的高要求，5G 行业网可引入 3U1D 帧结构、上行载波聚合等增强技术。

5、无线传输可靠性增强技术

由于通信业务的特殊性，3GPP 协议规定如果通信业务没有满足相关 QoS 要求，则通信业务被视为不可用（unavailable），即 CSA 未达成。在实践中，钢铁行业现场大量的钢铁结构，对于空口传输的影响非常大。所以对于 5G 端到端系统可靠性而言，提升无线通信链路的鲁棒性是关键，常用的一些通信技术，如数据链路层的重传纠错、5G URLLC 的高可靠 MCS 表、重复传输等。

钢铁业务的工业控制业务，需要满足较高的时延确定性。从需求分析，指定时延下的可靠性要求一般是从 90% - 99.999%。对于 99.99% 以下的可靠性要求可以通过保守调度来实现；对于 99.999% 及以上可靠性要求，5G 空口进行了一系列增强设计，以冗余资源换取高可靠性，物理层通过引入低 CQI/MCS 表格、提高了调制解调的容错性和数据传输的可靠性，PDCP 层通过引入 PDCP 复制等技术提高数据的冗余，从而提高数据传输的可靠性。通过结合使用重复传输、PDCP 复制等冗余传输技术、低 CQI/MCS 表格等降低编码效率技术，向行业客户提供分级的可靠性能力。

6、5G+TSN 技术

时间敏感网络（TSN：Time Sensitive Networking）为标准以太网增加了确定性和可靠性，以确保以太网能够为关键数据的传输提供稳定一致的服务，TSN 可应用于专业音视频、自动控制、电子以及实时控制、工业控制等领域，钢铁行业作为重要的基础工业，未来也可以部署 5G+TSN 网络满足对网络要求严苛的流动性场景业务，甚至包括现有的工业控制的工业以太协议会逐步演进支持 TSN。

如果当工业现场的有线连接演进到 TSN 网络时，5G 可以与其融合，实现 TSN over 5G，进行部署距离扩展和无线化。此时，5G 系统中的终端，无线，核心网整体作为 TSN Bridge（桥接器）与 TSN 网络集成部署，这个逻辑 TSN Bridge 架构如下：

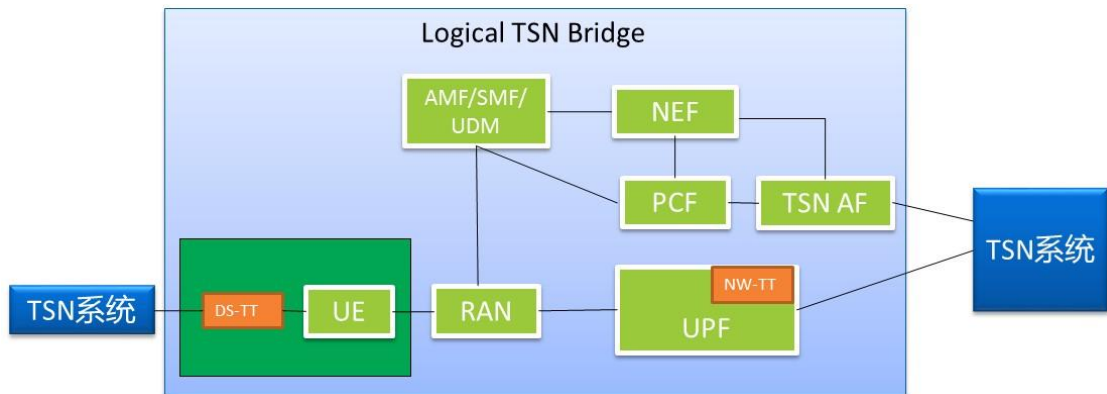


图 2-4 5G+TSN 架构

其中，需要部署两个 TSN 转换器（TSN Translator，简称 TT）：在 UE 侧需要设备转换器（DS-TT），在网络侧需要网络转换器（NW-TT）。这两个 TT 提供了 TSN 网络的出口与入口，完成 5G 网络与 TSN 网络的互操作。而 5G 网络对 TSN 网络来说就是一个透明的系统，5G 系统内部相关的业务流程，包括核心网与无线之间的流程，对 TSN 网络来说是不可见的。

5G 具有高速率、低时延、大容量的特点，是实现人机物互联的网络基础，而 TSN 具有高精度时间同步、个性化精准流量调度及智能化网络管理等特性，成为 5G 网络为提高业务承载能力、提供确定化的传输服务所借助的关键技术。在钢铁行业中 5G 与 TSN 网络对接，可以将 5G 的能力扩展到更多钢铁应用场景中，如移动机器人或 AGV 的安装和控制、远程监控，甚至某些传统工业以太网的应用场景。

2.3 确定性技术相关的标准化现状

2.3.1 国际标准化相关工作

(1) ITU

目前，ITU-T SG13“Future networks, with focus on IMT-2020, cloud computing and trusted network infrastructures”有两个与 5G 确定性网络相关的标准在研项目：

中国联通牵头的 ITU-T Y.det-qos-reqts-lan“Framework and QoS requirements to support of inter-domain deterministic communication services in local area network for IMT-2020”和中国移动牵头的 Y.IMT2020-QOS-LSTN-REQ“Requirements and framework of Deterministic QoS in large-scale telecommunications networking for IMT-2020 networks and beyond”。这两个标准分别关注局域网和广域网的确定性网络架构和需求。

(2) 3GPP

针对工业物联网（IIoT）应用，3GPP 已经完成了重要的标准化工作，以实现基于 5G 的工业通信并支持 TSN。

3GPP R16 中增加了对 TSN 的支持，将 TSN 技术纳入 5G 标准，用于满足 5G 承载网的高可靠、确定性需求，与 URLLC 形成确定性传输的技术接力。相比 5G URLLC 技术主要关注在可靠性和时延方面的业务保证，TSN 技术则将在时延抖动以及时间同步方面对 5G 网络进行进一步增强：主要针对 gNB 到 UE 的精确时钟传递、固定 TSC 业务模式传递时的 QoS 增强、支持与 CG/SPS 周期不匹配的 TSC 业务周期和以太网帧头压缩等几方面进行增强。

3GPP R17 进一步增强支持 TSN 的架构，即实现 5G 核心网架构增强，控制面设计支持 TSN 相关控制面功能；实现 5G 核心网确定性传输调度机制，而不依赖于外部 TSN 网络；通过 UPF 增强实现终端间的确定性传输；实现可靠性保障增强；实现工业以太网协议对接；支持多时钟源技术。

(3) IETF

IETF（互联网工程任务组，Internet Engineering Task Force）成立了确定性网络（Deterministic Networking, DetNet）工作组，一方面致力于将 TSN 中开发的技术扩展到路由器，这样在 TSN 中开发的技术就可以扩展到路由数据流。另一目标是扩大 TSN 技术的规模，使它们能够在比以太网桥支持的更大的网络中工作。

DetNet 在 IP 层运行，并通过 MPLS 和时间敏感网络(TSN)等底层技术提供服务，并通过报文定序、副本消除、流复制、流合并、报文编码、报文解码、确定性转发、资源预留和显式路径等技术保障网络的确定性通信。

(4) IEEE 802.1

TSN（时间敏感网络，Time Sensitive Network）是由 IEEE 802.1 工作组下 TSN 任务组开发的一套标准，ISO/IEC JTC1/SC6、Avnu 联盟、IEC/TC65 等标准组织均在积极开展相关的标准制定。IEEE 802.1 工作组已发布 14 项标准，丰富了数据调度、网络配置和流量整形的各个机制，其标准化工作如下图所示，涵盖目前已发布标准项目与在研标准项目。

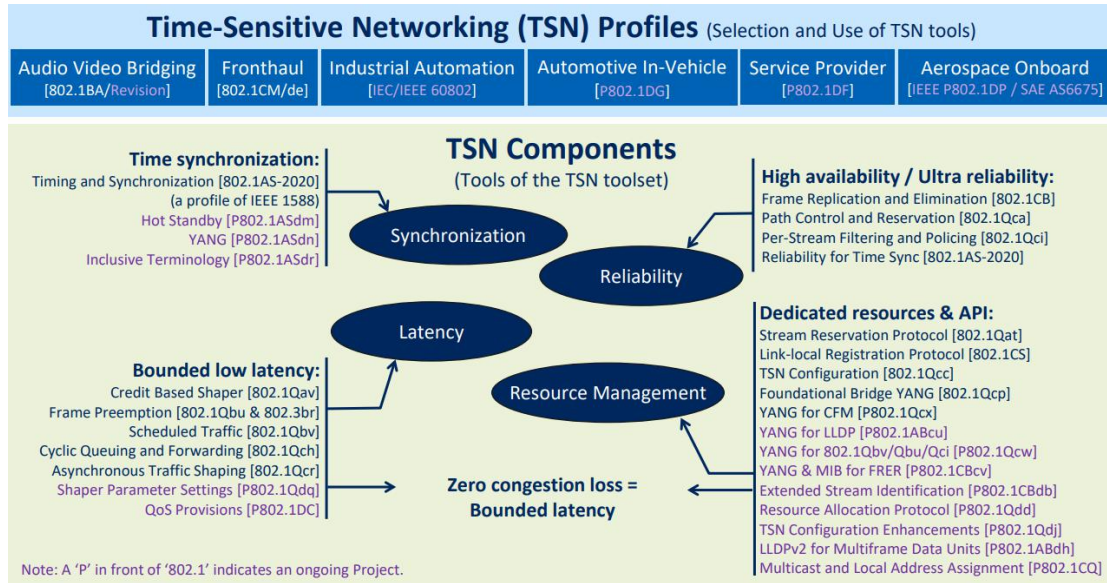


图 2-5 IEEE 802.1 TSN 相关标准项目

(5) IIC

美国工业互联网联盟（Industry IoT Consortium ,IIC）发起 TSN 测试床组，并创建了测试床的两个物理实例，分别位于北美国家仪器公司总部与德国斯图加特大学机床和制造单元控制工程研究所(ISW)。测试床案例基于 IEEE 802.1 时间敏感网络的单一网络上的关键和最大流量的组合，集成 TSN 相关工业自动化协议和高性能和延迟敏感的应用程序，并直接连接到面向柔性制造的智能边缘云控制系统，构建“关键控制流量-初始 TSN 功能安全性反馈”相结合的安全架构。

2.3.2 国内标准化相关工作

(1) SAC/TC28

全国信息技术标准化技术委员会(SAC/TC28) 聚焦在 TSN 关键技术标准研制, 正在推进制定 5 项 TSN 的国家标准, 规定了 TSN 的关键技术和主要的协议机制等。包括《信息技术 系统间远程通信和信息交换 局域网和城域网 桥接和桥接网络》、《信息技术 系统间的远程通信和信息交换 局域网和城域网 桥接局域网用时间敏感应用的定时和同步》、《信息技术 系统间远程通信和信息交换 时间敏感网络应用配置管理》、《信息技术 系统间远程通信和信息交换 实时以太网适配时间敏感网络技术要求》、《信息技术 系统间远程通信和信息交换 时间敏感网络与用于过程控制的对象连接与嵌入统一架构融合 信息模型映射》。

(2) SAC/TC124

全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会(SAC/TC124)也已关注到 TSN 技术, 目前该标准组织主要研究时间敏感网络在工业领域应用, 正在制定《基于时间敏感技术的宽带工业总线规范 AUSBUS》。

(3) CCSA

中国通信标准化协会(China Communications Standards Association , CCSA)基于通信领域角度, 进行确定性网络的标准化研究工作, 目前研制相关通信行业标准包括《超高精度时间同步接口要求》、《增强型同步设备时钟技术要求》和《路由域通用 YANG 数据模型技术要求》等, 并行推动数项研究课题包括《工业互联网 企业确定性网络关键技术及自运营系统研究》等。

(4) AII

互联网产业联盟 (Alliance Industrial Internet, AII) 发起“时间敏感网络 (TSN) 产业链名录”计划, 旨在推动 TSN 产业链名录计划纵深发展, 围绕 TSN 配置管理的架构、关键技术、原型演示等方面展开深入研究, 并发布《工业互联网时间敏感网络 (TSN) 产业白皮书》、《时间敏感网络产业测试报告》等系列报告。

(5) 5GDNA

5G 确定性网络产业联盟 (5G Deterministic Networking Alliance, 5GDNA) 旨在汇聚产业界力量, 促进相关主体之间的交流和深度合作, 促进供需对接和知识共享, 共建 5G 确定性网络产业生态, 致力于推进 5G 确定性网络产业发展。

目前发布《5G 确定性网络架构产业白皮书》、《5G 确定性网络+工业互联网融合》等多项白皮书。

3 5G 确定性网络赋能钢铁行业网络架构演进

3.1 5G 确定性网络与钢企现网叠加，促进跨层级数据采集

钢铁企业生产业务包括炼铁、炼钢、连铸、轧钢等环节。为了保证各生产流程的正常高效运行，现有网络主要由生产网络、园区办公网、视频网三张网组成，彼此隔离。生产网络多采用现场总线、工业以太网、工业 WiFi 等连接现场设备，然后通过钢铁行业自建承载网接入中控室/数据中心。

由于技术发展的历史客观原因，钢铁行业具有众多异构的存量现场网络，5G 网络难以直接替换存量现场网络，以使现场数据统一通过 5G 承载。

为了应对这一现实问题，5G 确定性网络与现场工业网络相叠加，一张网络覆盖钢企基地、集团总部、生产设备，通过网络切片将生产网络、视频网络、办公网络三网融合，可采用低时延、大带宽、大连接三大类切片，对钢企业业务进行统一承载，促进生产网络、视频网络、办公网络数据直达企业数据中心，如下图 3-1 所示。

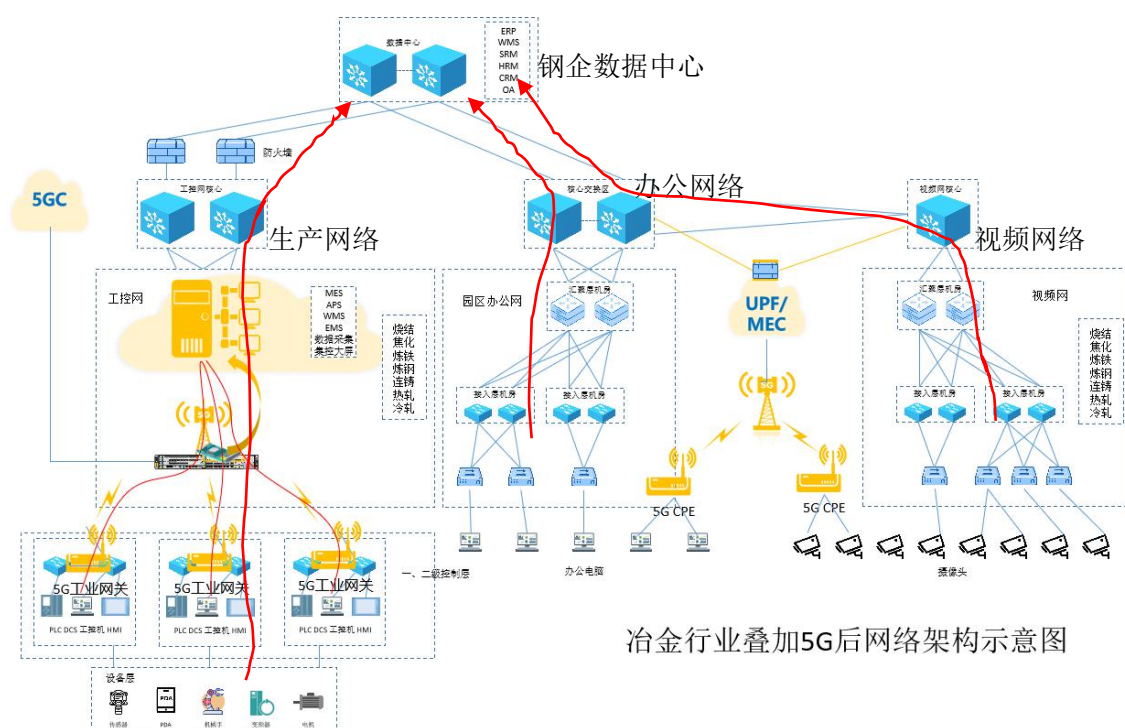


图 3-1 5G 确定性网络与钢铁行业现网叠加方案

生产网络区域切片：该区域的业务流大致可区分为对稳定时延要求最高的工业以太控制业务流，以及数据采集业务流，可以采用独立切片进行隔离。可采用大连接技术为主的独立

的切片，以保证海量节点的上行数据传递。如果存在以机器视觉质检等大上行应用，可以考虑额外部署一个大带宽技术为主的切片。此外，MEC 算力下沉是生产控制网络的特点：在一个车间区域内，MEC 实现车间生产业务 APP 的承载，从而实现从 5G 数据采集到车间现场计算的反馈闭环。该种方式就近完成业务处理，保障了时延和安全性。针对工业控制提供稳定低时延需求，以 URLLC 为代表的低时延切片，可促进实现低时延确定性通信保障。生产网络区域切片对于网络可靠性有较高要求。

视频网络切片：视频网络主要以视频信息为基础，辅助以图像分析等数据 AI 手段完成任务；这类切片的主要特点表现为大带宽、连续的业务形式；对带宽保证、低时延等确定性有较高要求。

办公网络切片：办公网络主要以 IT 信息为主，对于整体网络的要求体现为联通可达，并与外部广域网络存在较多的信息交互。对于网络安全性有较高要求。

将 5G 确定性网络叠加到现有或新的生产控制环节，承载工业以太协议时，还需要考虑控制器、设备（传感与驱动器）的位置。一般来说，IO 设备、驱动器等应直接（或者紧邻设备通过汇聚）连接到 5G 模组，然而工业逻辑控制器是采用 5G 模组连接还是有线连接到车间的 UPF，则取决于控制器在工厂网络架构中的位置，以及 UPF 的具体部署位置。同时，单一控制器的确定性数据传输如存在空口限制，例如，单一机器人级别的控制器，距离车间 UPF 较远，且实时数据量可控，可考虑 5G 连接。

5G 网络需要支持工业控制器和设备的灵活部署，因为未来钢铁工厂将进一步增强部署集中的算力实时工业控制器，如虚拟化 PLC，以实现增强的业务需求。

3.2 5G 确定性网络赋能钢企跨层级数据全连接

与企业办公网络相连的企业办公系统处于 ERP 层级，位于 ISA-95 架构的最高层级，即 L4。

与视频网络相连的视频监控系统是随着 IT 技术发展而出现的对企业生产运营情况进行安全保障的系统，可认为是位于 ISA-95 架构的 L2 至 L4 层。

与生产网络相连的生产系统是企业传统自动化生产系统，位于 ISA-95 架构的 L0 至 L3 层。

生产系统是以上三个系统中最为复杂的系统，相应的生产网络也是钢企最难以实现统一网络承载的网络。

钢企生产网络可大体分为三个连接段：现场级设备部分、骨干/承载网络部分、中央管理/边缘云部分。

现场级设备部分指的是工业现场、生产单元、生产线上的生产设备/机器。I/O 执行单元以及传感器通过有线网络连接至 PLC，可以采用现场总线、工业以太网、TSN 等；I/O 执行单元以及传感器也可以采用 5G 方式承载工业以太或者 TSN 到 PLC。实现柔性的布线，降低有线损耗与组网复杂性。

骨干/承载网络可以连接现场设备和中控室设备，如分布式的 PLC，PLC 客户端与服务端之间的通信，中央控制器与现场设备之间的通信。

中央管理/边缘云提供车间/厂区集中控制管理、统一数据采集管理。

为了支持跨层级数据全连接，5G 确定性网络与钢企生产网络的工控网络融合包括以下几种模式（图 3-2 所示）：

1) 5G 确定性网络赋能生产线集中控制器与单个机器自身控制器之间的通信（L2C）

生产线由多个设备组成，每个设备有自己的控制单元可以进行预先配置，进行设备内部通信，此外生产线有一个总控制（line control unit/supervisory control），通过对各设备的控制单元控制生产线上的各设备，对应图 3-2 中 A。

应用场景如产线自动装配、AGV 自动化搬运、传送带、柔性生产等应用。

2) 5G 确定性网络赋能机器控制器与控制器之间的通信（C2C）

在一个生产域内,不同机器有自己的控制器,不同机器之间的数据交换，是通过机器的控制器和控制器之间的通信进行的，DCS 是闭环过程控制的典型应用。

一些生产任务需要多个机器人之间协同作业，相互配合完成生产工作，典型应用场景如钢铁焦化四大车远程协同控制、机械臂协同装配应用，对应图 3-2 中 C、D、E。

3) 5G 确定性网络赋能控制器与现场设备 IO 模块之间的通信（C2D，C2/IO）

针对单个机器，该机器控制器和现场设备单元如传感器、执行器之间的通信属于 C2D 或者 C2/IO。如 PLC 客户端与其 IO 模块之间的通信。应用场景有远程控制，包括龙门吊远程控制、天车远程控制、堆取料机远程控制，机器人动作控制，对应图 3-2 中 B。

4) 5G 确定性网络赋能设备与计算平台之间的通信（D2Cmp）

设备与云平台、工业互联网平台、数据采集平台等之间的通信，非控制相关的通信，如钢铁行业智能监控系统、设备预测性维护，对应图 3-2 中 F。

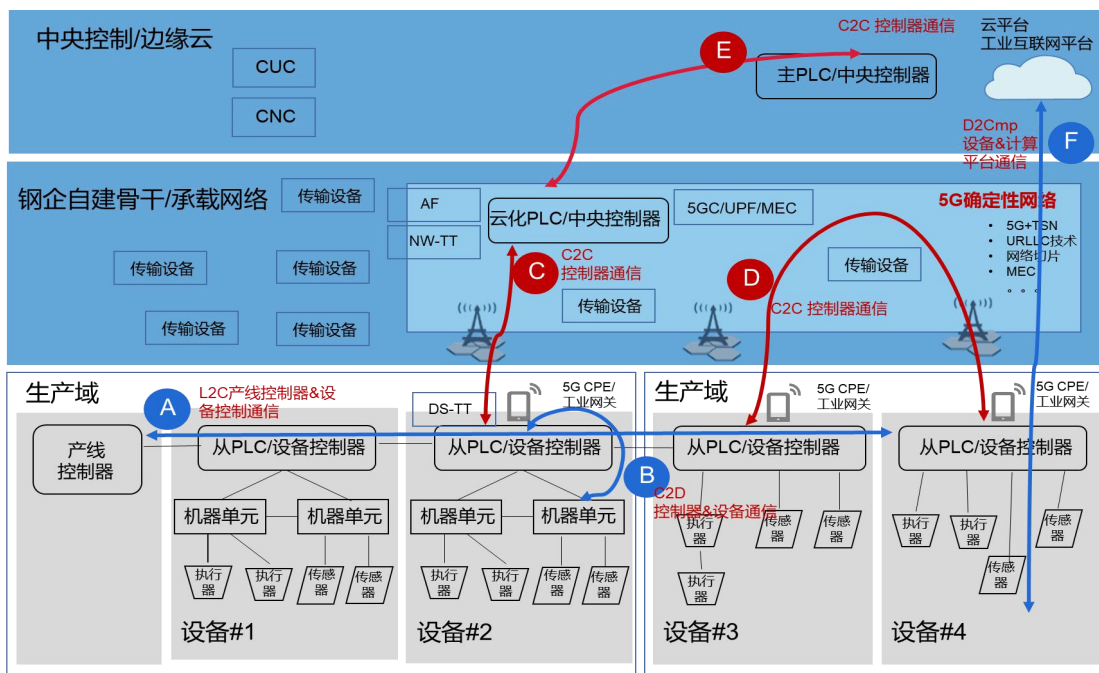


图 3-2 5G 确定性网络与钢企生产网络融合的几种模式

5G 确定性网络应用于钢企生产网络，可为工业现场设备提供泛在无线网络接入，满足现场设备之间的通信；为工业现场设备和位于中央管理部分的控制器设备提供低时延高可靠的网络传输；以及现场设备通过 5G 确定性网络进行数据采集、上云。

4 5G 确定性网络适用钢铁行业的典型场景

4.1 无人值守工作站

钢厂各个现场级操作站采用现场人员值守，对一些高危场所的地方，存在人员作业安全隐患。现场级操作站主要对现场大型设备、控制设备进行现场操作，对现场及周边情况进行视频监控，现场应急指挥；如原料厂堆取料机操作站、机车岔道操作台、转炉操作台、配煤车间操作站等。

现场环境恶劣，存在高温、有害气体、噪音，一旦发生事故，极易造成群死群伤，存在重大安全隐患。

通过 5G+MEC 和有线网络结合工业装备无人化操作系统（自研产品）对设备（PLC、DCS、SIS、传感器）远程实时数据采集及远程操控和调度，实现本地分散的小控制室无人值守。简化工业现场网络架构，对现场设备数据的海量实时采集、高速存储和边缘计算，实

现工业现场少人化、无人化，进而助力企业实现降本增效和提升本质安全。

4.2 皮带巡检

钢铁厂的原料、高炉单元有大量的皮带机，皮带机属于大型设备，高度可达几十米，巡检工作属于高空临边作业，点检人员难以到达。

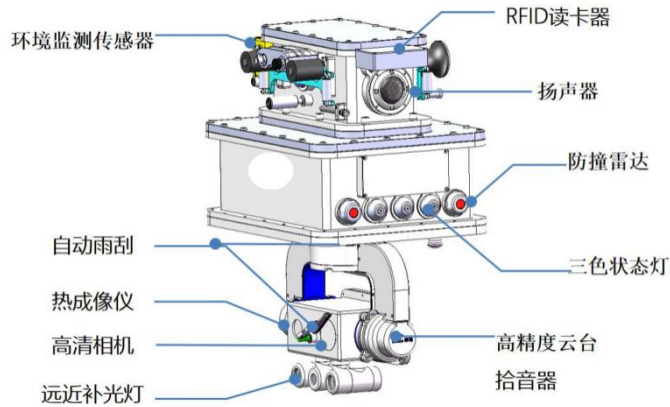


图 4-1 挂轨式巡检机器人结构

如图 4-1，通过 5G 网络实现原料皮带机器人的自动巡检，包括接入实时画面、故障照片无线传输等，巡检机器人具备自动巡检、远程遥控巡检、可见光数据分析、红外测温、环境监测预警等和应急处理协助等功能。

高炉部分皮带的本体、电机、轴承、减速机、辊筒、除铁器系统等均需要人工进行巡检，高炉高度较高，设备种类多，巡检用时较长，人工巡检准确率低，设备状态无法实时监控。

高炉供料皮带智能在线巡检系统针对相关的皮带本体、电机、轴承、减速机、辊筒、除铁器系统，以及矿焦槽振动筛的润滑系统，采用 5G 通信、皮带旋转设备在线监测、皮带机轨道巡检机器人、分布式光纤音频传感、尾轮失速检测、自动润滑等技术，实现高炉关键设备的在线监测和诊断，及时发现设备的劣化趋势,随时进行预警提示，提高系统的安全性；并为关键设备的故障分析提供可靠依据，缩短故障处理时间，提高劳动效率，为高炉生产的“稳定顺行”保驾护航。

皮带输送机是现代化冶金企业普遍使用的、高效率的运输设备，其稳定运行对保证产能和安全生产至关重要。

创新运用人工智能及大数据分析技术，建立各类皮带监控所需数据模型，实现视频实时分析和报警。通过皮带系统智能化控制，实现无人化作业，降低误操作率，节省了产线停机时间。

实现皮带智能化纠偏；实现堵料自动化控制；实现物料皮带状态监测、报警及参数设定功能；支持 MEC 远程控制。

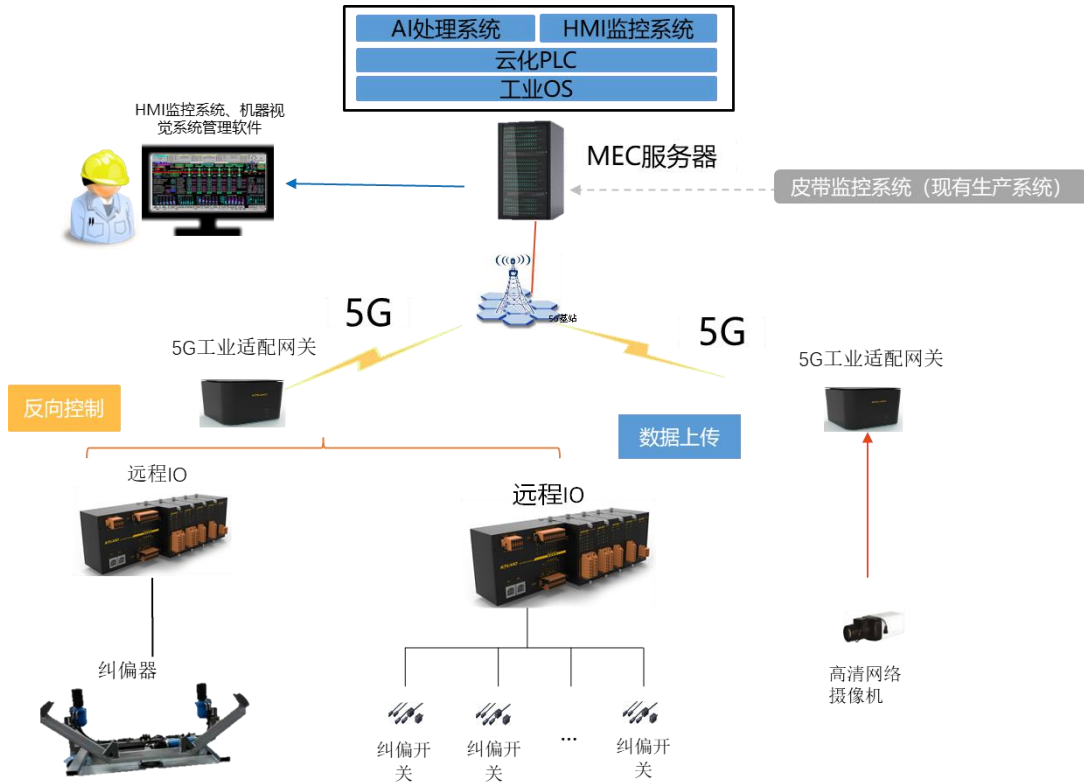


图 4-2 皮带输送机在线状态监测系统

如图 4-2，通过皮带输送机在线状态监测系统，能实现皮带运输机运行中的实时状态监测及故障诊断，代替人工巡检，实现预测运维：

- 1、通过皮带输送机驱动端在线监测，故障情况并及时预测、报警，以及提出指导性的处理信息。
- 2、通过机器视觉监测（视频监控），对皮带输送机的皮带跑偏、物料跑偏、落料点撒料、人员闯入等常见故障及安全生产状态进行实时自动监测及预警。
- 3、进行综合分析，提高设备状态分析判断的准确性，从而避免非计划停机，实现皮带机巡检无人值守、运维方式从事后维修变成预测性维修。

4.3 高危点检和检修

钢铁企业的高危点检和检修作业场景主要包括：一二级高危煤气作业，U 型水封、煤气盲板阀、煤气排水器、一二级危险源、一级消防安全重点部位等等。具有范围大、设施多、需要耗费的人力物力时间都很大等特点。作业人员的安全规范，需要班组长及安全管理人员

的不断宣贯和监督，各类违章行为较普遍，安全隐患大。

通过在作业现场临时增设高清摄像机（图 4-3），必要时可采用移动电源供电，通过 5G 专网实现视频回传。后台管理人员可以实时掌握现场出现的紧急状况，视频信号直接连接到煤气防护站和应急救援队，通过集中监控、及时告警、智能截屏和员工行为观察，及时发现与纠正特定场景的违章行为，包括安全帽、安全绳等劳防用品穿戴，专业装备配置与佩戴，旁站监管，人员监管，登高、电焊等高危作业智能辅助监测，危险区域禁入，作业人员身份、数量智能识别等。

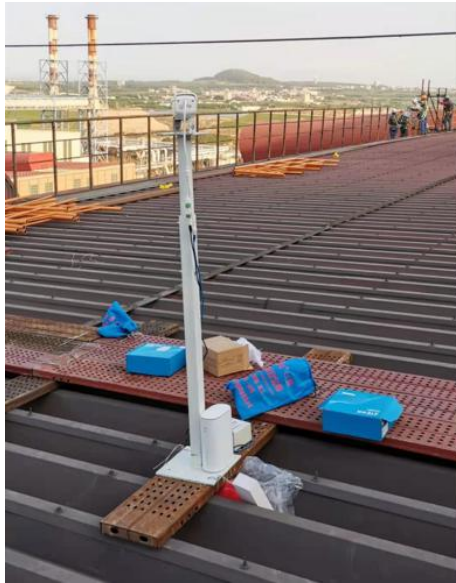


图 4-3 高清摄像机

钢铁企业设备监控基本利用工业以太网采集设备的温度、状态等，经常出现有线线缆老化，网络走线复杂带来的安全隐患以及维护操作困难等问题。钢铁企业设备监控系统繁杂且个性化程度高，每条生产线一套系统，数据不具备一致性，大部分系统未上云，数据孤岛现象严重，不利于未来大数据建模、生产设备的预测性维护、大规模的数据共享。

以热轧车间辐道电机为例，钢铁设备数字化运维需要满足 3 个业务子场景，一是全面采集设备运行参数，电机 24 小时不间断工作，需要每秒采集辐道电机电流、振动和温度等运行时的状态参数。二是海量数据实时传输，每秒钟产生数据量 100M，传感器通过网关或无线网络传送至全生命周期管理云平台。三是设备全生命周期管理和预测性维护，采用过程监测、人工智能和大数据技术，利用高速信号采集、分布式系统建模和专家诊断能力优势，提供基于知识、机理模型、数据驱动、多元统计等过程监测方法，实现全生命周期管理。

通讯需求

功能：控制信令下发；

上行带宽：≥20Mbps；

下行带宽：≥20Mbps；

传输时延：≤20ms；

可靠性：≥99.9%；

覆盖范围：生产线。

4.4 钢厂人员安全监控

钢铁企业炼焦和炼铁生产线和生产车间都是大型自动化设备，在装载、运输、卸货、生产等实际生产环节中，不规范操作、不规范穿戴、不规范流程都容易引发安全事故。人员安全的监控在生产环节中必不可少，是保障生产效率的红线和底线，视频监控和视频分析是不可避免的支撑手段。

以皮带通廊为例，实现钢厂人员安全监控需满足三个需求：清晰度要求高、4K 视频回传需要大带宽、人员目标检测及动作检测。钢厂供运原料、废料的重要设备大多使用皮带通廊运输，工人在旁作业存在安全风险。目前皮带通廊监控面临诸多问题，例如通廊环境粉尘大，摄像头拍摄图像清晰度低，传统的图像处理技术效果差等。镜头的粉尘会对图像产生干扰，导致算法处理结果不准确，极易发生安全事故。

通讯需求

功能：控制信令下发，高清照片传输；

上行带宽：≥100Mbps；

下行带宽：≥20Mbps；

传输时延：≤20ms；

可靠性：≥99.9%；

覆盖范围：生产线。

4.5 5G+生产行为智能监管

对于现场作业区域较广、操作室分散的场景，管理人员无法时刻对作业区域内的人员生产行为进行监督、提醒。

通过 5G 高带宽特性，实时回传作业现场 4K 高清视频，结合 AI 平台完成各类生产行为

智能分析，对违规行为进行抓拍记录、实时告警。预防不规范行为导致的各类事故，避免事故造成重大人身伤害、设备损失。

通过对 5G 网络数据业务流量管理，结合 AI 原子能力算法库、视频智能分析、人脸管理等功能模块，对视频流或视频文件按需配置一个或多个识别算法，结果包括自动抓拍的事件图片、事件描述、发生时间等信息，切实实现 5G+生产行为智能监管。

4.6 无人机车智能调度（铁运智能调度）

炼钢厂炼钢区一般有多辆机车，机车的工作内容是将钢水包进行工作节点的转运，由炼钢车间运输到铸造车间或者其它精炼车间。

炼钢厂铁水运输采用双向双车道，单向行驶。

除个别机车实现遥控操作外，一般机车全部采用人工驾驶模式。铁水运输作业区域遮挡严重，视野不好，在出钢水等环节需要额外人工辅助指挥，人员作业效率和机车利用率有显著提升空间。

铸造车间温度高、粉尘大，操作人员的工作环境恶劣、劳动强度大，作业人员安全保障水平低下，作业人员存在人身安全隐患。

在地面中控室内通过视频监控及远程控制系统，实现对机车的远程集中控制。机车司机在机车远程控制操作终端上用鼠标点击相应区域和作业类型完成机车作业。这种作业方式的优点是司机作业环境得到显著改善，作业安全得到显著提升。同时，在集中控制模式下，远程控制系统可以与 MES 等生产调度系统进行打通，作业效率有所改善，可以实现一人多机操作，企业实现降本增效。

远程控制系统与 MES 等系统实现无缝对接，业务调度，机车操控、运输过程监控无需人工介入，铁水运输实现无人化，司机仅需在中控室内监控机车运行即可；作业安全性和作业效率得到充分保证。

4.7 天车远程操控/无人天车

钢铁企业生产制造、产品销售等环节涉及各类库区的天车作业,尤其炼钢以后的工序,涉及炼钢坯库,热轧坯库、成品库;冷轧原料库、中间库、成品库,集港集站区域物流暂存库等,库区天车作业无人化是钢铁行业的发展趋势。如图 4-4 所示,无人天车系统由检测感

知系统(鞍位形状扫描仪、夹具对位传感器、夹具加紧传感器等)、定位系统(X轴定位:激光定位、格雷母线定位,Y轴定位:编码器等)、视频监控系统(摄像头)、调度决策系统(发布指令、指挥天车运行)、执行机构(PLC控制系统)、网络(有线无线)构成。应用5G网络打通地面控制系统与移动天车的通信通道,建立天车运行作业模型控制策略,实现天车运行作业中的推理分析、调度决策优化、任务协同等实现库区天车无人作业。

废钢天车作业流程:主要负责从汽车、火车上将废钢卸车入库,并按照工艺要求选择对应胚料,完成料斗配料工作。

铁水包转运天车作业流程:主要负责从铁水罐车/火车上吊装转运铁水包。钢水包用于炼钢厂、铸造厂在平炉、电炉或转炉前承接钢水、进行浇注作业。

炼钢厂高炉车间水渣池天车作业流程:主要负责从水渣池将废渣抓至指定位置滤水,然后将滤水干的废渣转运至火车/汽车。

成品库天车作业流程:主要负责钢厂/转运仓库成品(包括:线材、棒材、卷材、型材等)的入库、出库、转运、码垛、移位等操作。

钢铁行业存在大量高温危险区域,工人长期工作其中存在高安全风险。5G+无人天车系统由采集器+5G网络+PLC控制器三部分组成,通过扫描仪获取周边物料、车辆、夹钳高度及装卸位置信息和画面,通过5G实时将数据传输至服务器端进行数据处理,建立现场三维数据模型,结合AI智能算法输出动作指令集,下发给天车执行,从而实现天车无人化自主生产。无人天车很好解决操作工技术不成熟导致钢卷被夹伤的情况,避免造成重要损失。

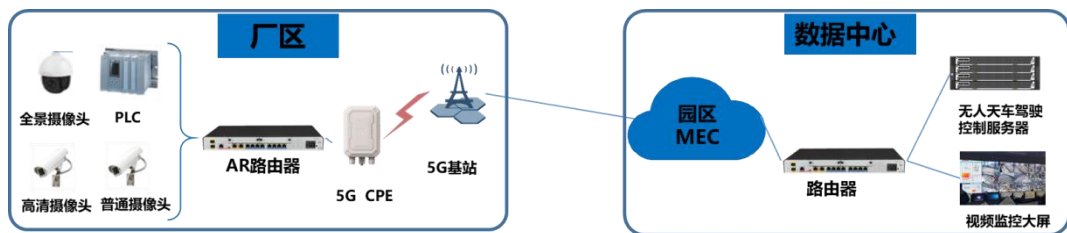


图 4-4 无人天车系统由检测感知系统

对现有天车进行集中化远程操控或无人化后可以达到的效果如下:

提升安全作业:通过废钢上料、卸料现场作业无人化,能降低现场作业人员生产安全事故。通过现场视频和安全监控、提升现场作业安全。现场天车操作室撤人,保障了操作员作业安全。

实现精益生产:整个生产过程精确可控,所有的作业过程可查询,可追溯,提升精益化管理水平。

远程操控和现场操控调度切换：提供天车操作室现场操作、中控室远程操控方式，可根据现场情况进行切换。

提高协同控制能力：5G 与 PLC 协同控制结合，实现低延时高可靠的远程操控，提高协同控制能力。

钢铁企业的天车设备大多用于搬运钢材和废钢，传统作业模式为天车工人 24 小时轮班现场作业，天车悬挂操作室人工操作，高空地面协调操作的方式，工作效率低，且工作环境恶劣，影响工人健康，天车远程控制，天车车间少人无人化将是未来天车操控的必然趋势。

通讯需求

功能：控制信令下发，高清照片传输；

上行带宽：≥50Mbps；

下行带宽：≥100Mbps；

传输时延：≤50ms；

可靠性：≥99.9%；

覆盖范围：生产线。

4.8 5G+堆取料机无人驾驶

料场进行环保升级改造，所有料场进行大棚封闭，由于堆取料机移动时抖动大、扬尘多，棚内操作环境恶劣。为改善作业环境，需实现堆取料机的远程/无人驾驶，传统方式采用光纤进行视频信号、控制信号的远程传输，将光纤卷盘在堆取料机的旋转圆盘上实现光纤的移动收放，但光纤易中断，影响正常生产，维修复杂、成本高。

现综合利用数字料场的三维模型数据、智能化感知设备及高清视频技术，利用 5G 低时延特性完成机载控制系统与远端智能决策系统的实时通讯，实现各系统间的协同，堆取料机的无人化运行。

该场景需要精准控制生产作业设备，对业务时延有较高要求（通常小于 20ms），通过 5G 接入和 MEC 的本地分流可以实现远程/无人驾驶的业务保障。结合使用网络切片技术，满足远程/无人驾驶网络需求，灵活实现切片网络资源的独立，保障网络质量及使用安全。

4.9 工业机器人

工业机器人在钢铁行业的应用是智能化能力和企业管理能力的综合体现,可以实现机组稳定运行、降低员工作业负荷、降低质量缺陷风险、降低安全事故风险。工业机器人主要包括:铁前采制样机器人、炼铁自动上泥机、炼铁自动换钎机、炼铁自动测温取样机器人、炼钢快速分析机器人、炼钢测温取样机器人、连铸钢包受包侧机器人、连铸中间罐区域机器人、连铸结晶器加渣机器人、连铸铸坯打标机器人、轧钢拆捆带和打标机器人、轧钢取样机器人、轧钢径向/周向/外包板包装机器人等。

物料喷印或标签属于简单重复劳动,现自动贴标机器人(图 4-5)安装于出口下料区域,可根据 L2 传送的信息生成生产标签,并和机组 L1 联动,在成品卷指定位置处完成自动贴标等工作,包括钢卷外圈贴生产标签、贴内标签和贴胶带,并具备钢卷塔型及钢卷溢出边检测功能。



图 4-5 自动贴标机器人

机器人通过 5G 与后台控制系统通信,可以自主运行并支持精确的动作控制,也可以由后台随时一键启动远程控制,达到改善工作环境,降低人力成本,消除安全隐患的效果。

4.10 废钢定级

废钢是炼钢的原料,通常会包括有色金属、泥沙、水泥、油污、橡胶、塑料等杂质,废钢质量直接影响钢铁生产质量,目前采用人工目视的废钢定级方法,即在卸车的过程中,废钢质检员实时观察车内废钢质量,直至废钢卸车完成。在卸车过程中,质检员需要实时观察废钢质量、杂质含量、是否存在危废品。卸车完成后,质检员依据历史经验,输出整车废钢

等级和扣杂情况。人工定级方式存在管理难，主观性强，人工成本高等问题。

需要基于机器视觉的方式对废钢进行自动识别和智能定级（图 4-6 所示），对于不合格的部分进行降级和扣杂处理。通过 EI 算法，智能定级、智能扣杂，统一标准，减少人员主观因素对定级的影响和纠纷；按客户要求，存储定级过程数据，做到过程可追溯，减少废钢供应商对定级的异议；减少验钢工作量，只处理系统报警的异常（例如有封闭容器）；同时降低定级过程中可能存在的工伤风险；智能定级系统替换原有人工定级，减少人员约 30 人/年；提高钢厂智能化，信息化程度，减少废钢回收过程中不必要的时间消耗，真正实现 7*24 小时不间断工作，提高生产效率。



图 4-6 基于机器视觉的方式对废钢进行自动识别和智能定级

钢铁产品质量主要指标在于化学成分均匀、机械性能一致、尺寸公差小、表面质量好。以带钢表面质量为例，影响带钢表面质量的主要因素是带钢在制造过程中由于原材料、轧制设备和加工工艺等多方面的原因，导致其表面出现的划痕、擦伤、结疤、粘结、辐印等不同类型的缺陷。这些缺陷不仅影响产品的外观，更严重的是降低了产品的抗腐蚀性、耐磨性和疲劳强度等性能。数十年来一直沿用人工开卷抽检或频闪光法等检测方法进行表面质量检测，这些方法不能真实可靠地反映带卷上下表面的质量状况，只能用于检测运行速度很慢的带钢表面，实时性差。因此，实现对带钢表面缺陷图像的准确分析，进而实现对表面缺陷分类和记录，并加以实时控制，对于提高生产效率和产品质量，从而提高企业竞争力将起到非常积极的作用。

以带钢生产为例，实现钢材质量缺陷检测需要满足 3 个方面的需求，一是高清图像快速上传，利用工业相机拍摄高清图像，每秒拍摄图片 120 张，生成完整图片 40 张，需要将合成的高清图像得以快速上传和分析，满足生产线 35m/s 高速运转需要。二是钢材表面图像检测算法，钢材表面检测系统需采用图像处理软件、图像拼接合成软件、缺陷检出算法、缺陷识

别分类等模块。三是数据共享及机器学习，系统应具备各产线数据共享的功能，可共享缺陷识别库，根据新增情况自训练机器学习算法，优化缺陷类别判定方法。

通讯需求

功能：控制信令下发，高清照片传输；

上行带宽：≥100Mbps；

下行带宽：≥20Mbps；

传输时延：≤20ms；

可靠性：≥99.9%；

覆盖范围：生产线。

4.11 小结

钢铁制造过程流程长、工序多、工艺复杂、制造装备种类繁多，是典型的混合型制造流程。现代钢铁制造拥有高度自动化的工艺产线装备，具备大规模、标准化的制造过程管理体系，对有效发挥装备产能、实现效益最大化并降低成本有着迫切需求。

此外，钢铁冶金劳动强度大，危险性高，生产工作环境恶劣，现场环境差（高温、有害气体、噪音等），生产厂区大，设备部署分散。通过网络化、数字化、智能化改造来提升工作效率和员工安全的需求十分迫切。

钢厂传统网络以有线和光纤为主。有线网络的部署和维护成本高，网络拓扑结构复杂，断网对生产影响大。急需稳定、可靠、安全的无线网络应用于现场生产中，作为基础生产网络的有利补充。

5G 确定性网络以其大带宽、低时延、广域覆盖、移动性和稳定性的特点为工业网络提供了新的选择。

冶金行业积极开展基于 5G 的智能制造应用探索，在设备远程监控，视频回传，AR/VR、机器视觉、智能巡检等方面取得了一定的成果。

随着 5G 以及确定性网络技术与制造业生态的进一步融合，5G 确定性网络在钢铁行业应用的广度、深度和规模均将会出现很大提升。

5 总结与展望

5G 确定性网络是通过引入网络切片、URLLC、MEC、TSC、TSN、DetNet 等技术提升 5G 网络确定性通信能力，是 5G 网络与确定性网络技术的深度融合，可根据应用场景需求，从时延、带宽、误码、路由、可用性、设备身份、数据安全、定位准确性等多维度提升 5G 网络指标的稳定性。

钢铁行业 5G 确定性网络是 5G 确定性网络在钢铁行业的应用，致力于满足 5G 在钢铁行业的生产场景以及生产辅助场景对网络性能稳定性的需求。

现阶段，钢铁 5G 确定性网络处于 5G 采用确定性技术优化自身性能，以确保 5G 网络端到端 SLA 性能稳定的阶段。在这一阶段，5G 确定性网络作为叠加在钢铁行业生产网络之上的一张基础打底网络，能够有效采集生产场景以及生产辅助场景的各种数据，从而使能钢铁企业构造智能制造系统“心脏”。

下一阶段，5G 确定性网络将与钢铁现场确定性网络进行对接与深度融合，这将从更深层次打通决策分析与现场控制系统，赋能钢铁行业“智慧大脑”，实现实时数据采集与决策控制的有机融合，将极大提升钢铁行业生产装备和业务场景的智能性，进一步赋能无人化、少人化与安全生产。

参考文献

- [1] 中国钢铁工业竞争力提升战略研究[D].中国社会科学院研究生院, 2014.
- [2] 吴溪淳.《关于我国钢铁工业实现由大向强转变若干问题的思考》,《中国钢铁大趋势—导向篇》,经济日报出版社,2009年8月第一版.
- [3] 翁宇庆.《新技术开发是建设钢铁强国的重中之重》,《中国钢铁大趋势—导向篇》,经济日报出版社,2009年8月第一版.
- [4] 周维富.《我国钢铁工业60年发展的回顾与展望》,《中国钢铁业》,2009年第六期.
- [5] 周煜旋.某冶金企业钢管生产线自动化改造实现[D].长沙:湖南大学,2013.
- [6] 胡国奋.钢铁企业制造执行系统实现方法与关键技术研究[D].沈阳:东北大学,2007.
- [7] 朱晓岩.酸洗冷连轧联合机组酸洗过程控制系统的应用[D].沈阳:东北大学,2016.
- [8] 5GDN.《5G 确定性网络产业白皮书》,2020.2.
- [9] 5GDN.《5G 确定性网络+工业互联网融合白皮书》,2020.11.
- [10] 信息物理系统白皮书,中国信息物理系统发展论坛,2017.3.
- [11] 张忠平、刘廉如.工业互联网导论,科学出版社,2021.3.
- [12] 时间敏感网络白皮书,中国电子标准化院,2020.11.
- [13] 袁晴棠,殷瑞钰,曹湘洪,刘佩成.面向2035的流程制造业智能化目标、特征和路径战略研究.中国工程科学,2020年第3期.
- [14] 5G ACIA White Paper, Integration of 5G with Time-Sensitive Networking for Industrial Communications, 2020.
- [15] 黄韬,汪硕,黄玉栋,郑尧,刘江,刘韵洁.确定性网络研究综述,通信学报,2019.6.
- [16] 王健全,李卫,马彰超,孙雷,张超一.5G 工业互联网赋能智慧钢铁,钢铁,2021.7.