



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

# 新型工业网络体系架构蓝皮书

工业互联网产业联盟（AII）  
2025年5月





# 新型工业网络体系架构蓝皮书

## (2025 年)

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

工业互联网产业联盟 (AII)

2025 年 5 月

## 声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），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  
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟

联系电话：010-62305887

邮箱：aia@caict.ac.cn

## 前 言

工业网络是工业生产活动中重要的基础设施，连接了人、机、料、法、环各个生产环节。工业网络经历了从模拟通信到数字通信，从现场总线到工业以太网，从有线到无线的发展历程。近年来，伴随信息技术、通信技术与工业技术的深度创新融合，应用场景对工业网络性能、功能提出的多样化需求牵引，以及工业生态体系的全面开放，工业网络在多重关键驱动力的共同作用下，已步入全新发展阶段。以全新架构、技术与应用模式为特征的新型工业网络，正稳健地开启其发展征程，为工业领域带来前所未有的变革与机遇。

本蓝皮书深入探索新型工业网络发展需求，突出了新型工业网络“泛在互联、确定承载、控网算集成、开放智能、安全可控”的五大创新特征，提出新型工业网络架构“控网算一体化”的核心价值。本蓝皮书旨在为政府机构、企业、科研机构、投资者等利益相关方提供引导和参考，促进各界统一认识、凝聚共识、协作共赢，全面推进新型工业网络体系化建设，夯实新型工业化发展底座。

**组织单位：**工业互联网产业联盟

**编写单位（排名不分先后）：**中国信息通信研究院、中国移动通信有限公司研究院、中国电信股份有限公司研究院、中国联合网络通信有限公司、华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、紫金山实验室、北京交通大学、北京科技大学、中国石油大学（华东）、北京东土科技股份有限公司、深圳市三旺通信股份有限公司、深圳艾灵网络有限公司、北京瑞斯康达数字科技有限公司、东南电子股份有限公司、中国第一重型机械股份公司专项制造中心、北华航天工业学院、北京邮电大学、普天信息工程设计服务有限公司、广州市政务服务和数据管理局、江苏亨通光电股份有限公司、中国寰球工程有限公司等

**编写组成员（排名不分先后）：**汤立波、曹蓟光、张恒升、陈洁、朱瑾瑜、王哲、胡钟颢、付韬、黄颖、邢可欣、王晶、刘鹏、黄震宁、卢燕青、张涛、陈宇华、苑东平、杨贝斯、夏璠、李广鹏、郭小龙、陈海涛、张文远、陈李昊、饶晶、冯岩、沙远洋、楚俊生、束裕、侯聪、邵子豪、张维庭，孙童、孙雷、马彰超、王健全、王飞、陈鸿龙、吕明琪、薛百华、闫志伟、张超、阳桂林、骆小刚、俞一帆、刘旻、王永钊、马煜、王双、章明天、仇旻罡、潘丽燕、薛富生、祝艳林、张笑泳、董建、冀岩琦、高博涵、谢人超、朱海龙、陈昕、刘国栋、高彦军、王世如、轩传吴、杨明、彭朋苇、魏毅等

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 工业网络发展“新”背景 ..... | 1  |
| 1.1 工业网络发展历程 .....      | 1  |
| 1.2 工业网络演进驱动力 .....     | 2  |
| 1.3 工业网络能力愿景 .....      | 4  |
| 第 2 章 新型工业网络——新特征 ..... | 12 |
| 2.1 泛在互联 .....          | 12 |
| 2.2 确定承载 .....          | 14 |
| 2.3 控网算集成 .....         | 16 |
| 2.4 开放智能 .....          | 17 |
| 2.5 安全可控 .....          | 19 |
| 第 3 章 新型工业网络——新架构 ..... | 21 |
| 3.1 架构演进趋势 .....        | 21 |
| 3.2 总体架构 .....          | 23 |
| 3.3 网联功能视图 .....        | 24 |
| 3.4 工控功能视图 .....        | 26 |
| 3.5 算力功能视图 .....        | 28 |
| 第 4 章 新型工业网络——新体系 ..... | 33 |
| 4.1 新型工业网络技术体系 .....    | 33 |
| 4.1.1 总体技术图谱 .....      | 33 |
| 4.1.2 网联技术图谱 .....      | 34 |
| 4.1.3 新工控技术图谱 .....     | 37 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 4.1.4 算力技术图谱 .....           | 40 |
| 4.2 新型工业网络产业体系 .....         | 43 |
| 4.2.1 产业链各环节协同共进 .....       | 43 |
| 4.2.2 产业生态发展趋势预判 .....       | 46 |
| 第5章 新型工业网络发展模式与行业应用探索 .....  | 49 |
| 5.1 新型工业网络发展模式 .....         | 49 |
| 5.1.1 升级改造模式 .....           | 49 |
| 5.1.2 全新设计模式 .....           | 50 |
| 5.1.3 区域赋能模式 .....           | 51 |
| 5.2 行业应用探索 .....             | 51 |
| 5.2.1 钢铁行业新型工业网络应用案例 .....   | 51 |
| 5.2.2 电子行业新型工业网络应用案例 .....   | 53 |
| 5.2.3 汽车制造行业新型工业网络应用案例 ..... | 55 |
| 5.2.4 工控行业新型工业网络应用案例 .....   | 57 |
| 第6章 新型工业网络发展展望 .....         | 60 |
| 参考文献 .....                   | 62 |

# 第 1 章 工业网络发展“新”背景

## 1.1 工业网络发展历程

工业网络是企业用于研发、生产、办公、经营等活动的网络，涵盖工业控制网络和工业信息网络两个层次，是实现制造业全要素、全周期、全链条的互联互通，促进各类工业数据的开放流动和深度融合，推动各类工业资源的优化集成和高效配置的重要基础设施。

工业网络是随着工业生产的不断变革逐渐出现的，其发展历程可以追溯到 20 世纪 60 年代，雏形为通过模拟电路传输电气信号，实现工业现场传感器与控制器之间简单的点到点通信。随着工业网络在连接范围、连接对象和服务模式这三方面能力的不断提升，工业网络呈现出与时俱进的演进需求。在萌芽期，工业网络主要依托计算机技术及数字通信技术发展，实现制造业现场的生产设备、仪表、产线、管理系统的局部互连，支撑更高强度的工业自动化需求。现场总线、工业以太网是这一时期典型的数据传输技术，无线技术在 21 世纪初被引入工业场景，成为工厂内有线通信的有效补充。在渗透期，工业网络主要借助互联网、移动通信技术的发展，满足了工业领域对于泛在化互联需求。网络连接的不仅仅是工厂内的控制设备、生产资源，更扩展至云化设备、智能产品及产业链上下游企业，

促进诸如协同研发、供应链协同、个性化定制等新模式在制造业的应用。随着大数据、人工智能为代表的新一代智能化技术与制造技术深度融合，工业网络迎来了新一轮创新浪潮，工业网络不再是工业控制的附属品，而是实现新型工业化的核心组成部分。工业网络将成为连接工业物理世界、信息世界、虚拟世界一体化的桥梁。通过感知业务算力需求，协同算力资源与网络资源，为制造业场景提供算网控一体化智能网络服务。

## 1.2 工业网络演进驱动力

技术创新推动、应用需求牵引和生态重构加速是推动工业网络演进的三大驱动力。新兴信息通信技术与工业自动化技术的融合，催生新的业务场景和需求，产业生态的开放协作、政策支持和市场需求等因素共同推动了网络体系进一步向新型工业网络演进。

新技术不断创新迭代，工业与 ICT 技术加速融合。一方面 5G、云计算、软件定义网络等技术逐步成熟，加速向工业领域各场景拓展应用。标准以太网提供的千兆及以上带宽，满足了工业大数据、工业视觉和 AI 解决方案对数据传输的高要求。基于以太网的时间敏感网络技术（TSN），进一步确保了自动化控制和运动控制等场景对网络传输的确定性时延和高可靠性需求。通过 5G 先进网络，工业生产全要素得以实时、可靠互联互通，并引入 SOA、SDN、NFV

等技术，构建云化工控系统。另一方面，以大模型、大数据为代表的智能化技术快速迭代，成为工业智能发展的加速器。工业大模型通过集成网络、自动化、机器学习和数据分析来提升工业制造智能化水平。算力技术引入工业生产领域，为工业现场提供高效的算力资源，支撑工业仿真、技术优化、大规模数据分析等应用场景。工控、网联、算力三大技术融合驱动为网络体系进一步向新型工业网络演进提供了内生动力。

**产业升级和数字化转型驱动工业应用不断创新。**应用需求一方面从控制、采集等基础简单场景，向柔性生产、远程操控、协同设计等复杂场景演进。例如，钢铁冶炼行业提出“现场操控室一律集中”的生产变革，实现控制功能远程化。确定性网络技术保障了远距离传输的实时性、可靠性，使得控制端与现场设备的通信距离不再局限于区域内部，使得现场大量 PLC/DCS 等控制系统向算力更高的通用计算硬件迁移成为可能。应用需求创新另一方面体现在从解决企业和生产环节内部连接的简单传输网络，向业务驱动的全融合、智能化网络演进。例如，机器视觉质检场景中，通过 5G 网络将待检内容自动拍照，照片视频流上传至部署在 MEC 平台的机器视觉质检应用，运用大算力资源与数据模型做实时比对分析检查，实现设备自动识别，检测结果以毫秒级时延返回现场端，自动化生产线与质检

系统关联做出不良品分离操作，提升产品质量和生产效率。制造企业多样化业务需求，要求网络在海量异构接入、系统互联互通、端到端确定性传输、网络资源智能调度等方面能力极大提升，驱动工业网络向下一代方向不断演进。

**产业链日趋开放，加速工业网络生态重构。**在生态层面，为解决当前工业网络制式众多、互联互通困难的现状，国际工控领域提出了“开放自动化”的理念，通过开放标准、开放源代码和开放接口等方式，实现工业生产数据跨层、跨域高效流转，促进“七国八制”的工业网络向全要素按需互联协同的新型工业网络演进。传统封闭的工业控制产业生态被进一步打开，工业网络和控制厂商、IT 厂商、电信运营商、设备制造商等加入产业阵营，不仅推动了产业链向上下游延伸，也改变了市场主体间的对接机制，激发 OT-IT-CT 产业链重构，孕育新型工业网络产业生态。

### 1.3 工业网络能力愿景

工业网络演进的趋势最终还是要回归到其用户——工业企业的使用体验和价值感知上。随着制造业数字化转型的深入实施，企业对于网络的定位已逐渐从“信息传输”的管道转为“能力服务”生态，工业网络被赋予了更多的新需求。

**全面连接成为基本需求。**一是全连接需求，企业希望在保障安全生产运营的前提下，能够实现在任何地点、任

何时间和任何设备上实现快速高效高性能连接。据 IDC 预测，2025 年全球联网设备在将达 416 亿台，连接需求呈指数级激增。二是**灵活化需求**，在柔性生产模式下，工厂对智能装备在不同生产域间移动性、即插即用、布线规划、精简架构等方面提出了更高要求。无线技术在工业现场的应用解决了传统生产现场有线部署存在布线成本高、移动性差、易产生安全隐患等问题。三是**数据融合需求**，工业现场仍存在数据多源异构、接口多样、通信协议不统一等挑战。面向智能化生产的新型工业网络要求数据跨网络、跨设备互通，系统信息高效集成。通过部署微服务等方式实现生产资源自由拼装，满足一条产线同时生产多种产品的需求，降低生产成本，提高效率。

#### 专栏——全连接需求

石化化工行业是典型的流程行业，其生产系统各类传感器、仪器仪表数量庞大，生产物料种类繁多，生产环境复杂，在生产单元模拟、生产能效管控、设备预测维护、全域物流监测等新型工业场景下，都存在全连接需求。

如广东新华粤石化股份有限公司需要对工厂生产能效进行管控，利用工厂内大量部署的水表、电表、蒸汽测量仪、风速表、冷热计量表等计量设备进行高频率企业水、电、汽、风、热等能源消耗数据采集，需要实现工厂实现仪表粒度的全连接。

来源：《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践（第二批）》

#### 专栏——灵活化需求

电子设备制造、家电制造及装备制造业都存在柔性生产制造的场景，以华为松山湖工厂为例，生产线每半年随新手机机型的更新需要进行升级和调整，物料变更、工序增减等要求车间所有网线的重新布放，工厂原有手机生产车间需要布线 9 万米，每条生产线平均拥有 186 台设备，每次调整需要停工 2 周，以每 28 秒一部手机计算，一天停工影响产值达 1000 多万。经评估测算如果贴片机、回流炉、点胶机实现无线化灵活连接，每次生产线调整时间从 2 周缩短为 2 天，极大提升工厂生产效率。

来源：《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践（第二批）》

### 专栏——数据融合需求

机加工行业存在市场需求多样、品种多、订单小批量等特点，要求企业生产系统具备模块化设计和按需生产能力。如，嘉泰集团在湖北荆州的手表制造工厂，通过构建统一的“企业数字化研发底座”对生产过程进行管理，针对联网设备构建基于信息模型的即插即用交互接口，打散 MES 制造系统功能模块，将需求数据、生产数据、库存数据、研发数据等进行融合整理和关联分析，制定业务驱动的原子级功能配置和基于生产需求的产线重组方案，不仅实现多型号手表同时加工生产，也提升了手表制造精度和效率。

来源：《工业互联网产业联盟测试床》

**连接能力提升成为性能需求。**一是大带宽需求，企业希望通过 AR/VR 实时辅助、机器视觉质检等新应用，采集现场图像、视频、声音等数据，实时传输至现场辅助装配系统，系统对数据进行分析处理，生成辅助数据及指导信

息。相比存量工业企业网络，这需要更高带宽的网络基础设施提供支撑。二是**连接确定性需求**。远程控制、产线协同等新业务要求端到端网络带宽、时延、抖动、丢包等性能确定可控，确定性网络技术通过有界时延保障、大规模网络控制、端到端 QoS 映射等能够为工业应用的高精准、高可靠、高可控提供网络基础支撑。三是**应用确定性需求**。随着工业企业网络化、数字化程度越来越高，机器学习、大数据等应用逐步向生产现场延伸部署。进程、应用与 CPU、GPU、内存等资源间的复杂关系使得算力服务缺乏确定性，特别是在多个工业 App 共享算力时，就会存在部分计算环节不可控的风险，需要构建多设备、多任务协同能力，算力和网络确定性统一管控能力，实现面向应用体验的确定性保障。

#### 专栏一——大带宽需求

装备制造业中存在的协同研发设计与现场辅助装配场景需求，以中国商飞装配车间为例，存在大量飞机线缆连接器装配工作的工位，工人利用 AR 虚拟信息实现虚实叠加，根据显示的指导画面完成装配操作，让工人准确、快速地对线缆连接器进行查找和装配，并保障数据的有效性，解决了传统人工作业效率低、容易出错等问题，显著提高了装配效率达 30%，每工位所需装配人员由 2 人减少为 1 人。随着 AR/VR 技术在装备制造业中的普及应用，网络带宽的需求也会随之提升。

来源：《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践（第

二批)》

### 专栏——确定性需求

钢铁行业中存在远程设备操控场景需求，以华菱湘钢为例，天车的操控通常需要两人协同操作，作业效率低，工作环境差。远程操控场景下，操作人员可在远程操控室实时操控天车卸车、吊运装槽、配合检修等作业，保障远程操控的精准度和实时性成为远程设备操控场景的核心需求，确定性性能的提升是支撑这一需求的必要条件。

来源：《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践（第二批）》

### 专栏——应用确定性需求

云化 X 服务将控制功能从物理设备迁移到云端或边缘端，能够极大降低生产线成本。传统网络没有面向应用的确定性保障的能力，通常直接由工程师预估处理和计算的时间，用控制周期减去预估的时间，最终确定网络确定性要求，而计算部分的确定性实际上是不准确或者被过度预留的估计值。会造成网络或计算资源的浪费。在全网范围的数据应用层面支持各类系统之间信息互联，并调控所有设备的实时性、可靠性等能力，严格满足各类应用的确定性要求。多个应用共同完成的生产环节实际上包括了逻辑、计算、网络传输等多个过程，需要从网络、计算、逻辑等多个方面统筹调度，实现整体确定性的高服务质量保障。

**网络智能化运维需求。**网络运维管理是确保企业网络稳定、高效运行的关键环节。工业企业一旦发生网络故障，可能会面临生产中断、数据丢失或泄露等严重后果。然而在实际操作中，企业运维人员却面临着网络环境复杂，网

络设备多样化、故障点难以快速定位等诸多痛点。企业希望能通过人工智能、大数据分析，帮助企业和运维团队更好地应对复杂多变的运维环境，确保业务稳定、高效地运行。

### 专栏——智能化需求

在工业生产网络中，各种设备发生的网络故障都可能会造成生产中断，甚至会导致停产。2023年9月，位于德国沃尔夫斯堡的大众汽车总部发展网络中断事故，导致其位于德国的四家汽车工厂被迫停止生产。同时大众汽车在其他国家的工厂也同样受到了影响。为了维护企业生产网络所有组件的稳定运行，企业需要对网络实时监测，随时掌握网络的动态，及时发现网络的变化，以帮助企业及时预知网络风险，做出预见性维护。这种行为一方面需要耗费大量的人力物力，另一方面人工调度、决策存在较高的不确定性，自动化水平低。企业期望利用人工智能和大数据分析技术提升运维效率和质量。

**智能应用对算力支撑的需求。**传统工业设备的算力资源十分有限，能够支持的应用和算法相对简单。随着未来生产线向无人化、智能化发展，生产任务的智能工业模型需要更大的算力和存储。在利用边缘算力和中心算力的过程中，需要围绕控制任务进行资源优化。企业希望算力和网络的响应速度和稳定性能满足工业生产的实时性需求。将人工智能新技术应用到工厂生产活动编排中，在大模型算力需求和算力设备能力之间取得折衷，以智能大模型为核心拉通定制化订单和柔性生产。

### 专栏——支撑智能需求

从数字化向智能化迈进是新型工业网络的重要趋势，AI 大模型具有学习理解方面的独特优势，产业界开始研究将其应用于工业智能化。欧洲、日本和美国制造企业的 AI 应用率分别达到了 30%+、30%和 28%。相较于这些发达国家，中国制造企业 AI 普及率尚不足 11%。

大模型的参数规模远大于传统深度学习模型，对工业算力性能和算力开放程度提出了更高的要求，如何协调模型规模和工业算力成为了关键问题。为了将工业大模型的理解能力用于新场景，需要工业算力向算法适配，协商模型压缩比，通过多级算力协同来提供充足的算力资源。

《2024 工业大模型应用报告》，中国通信工业协会等

**高效协同控制需求。**随着市场需求个性化、定制化，工厂多品种小批量生产模式称为常态，要求企业生产现场从原有的单一机器生产发展为多机协作形成智能生产单元、智能生产线，从而对制造系统中机器与机器之间交互越来越多、产线柔性重组快速换型要求越来越迫切。而由于传统工业控制系统专用性、封闭性，工业以太网、工业总线等协议“七国八制”，数据开放度低等问题，已无法满足高效协同的需求。另外，传统布线方式较为复杂，也阻碍了产线的快速重组。

### 专栏——高效协同控制需求

某电气生产工厂的自动化设备沿用传统 PLC 已有十几年，每台生产设备对应于一个 PLC 控制器来实现就地控制，东西向之间

协同困难使产线不具备扩展性，且与上层控制器系统通过网线连接，布线复杂，变更费用高。因生产需求变更频繁，已无法满足高效换线生产需求。经过改造，兼容原有软硬件资产，引入集成算力、网络和控制为一体的虚拟化控制技术，升级成为全自动化柔性装配线，节约固定资产投资和运维成本，使产线更加高效、精准、灵活。



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

## 第2章 新型工业网络——新特征

### 2.1 泛在互联

**泛在互联是基础特征。**随着新兴信息通信技术不断向工业领域融合渗透，工业数据被视为新的生产要素，其价值被更深入地挖掘和利用，工业数据的横向与纵向集成正不断扩展延伸，新型工业网络的范围不断扩展。**一是全连接**，体现在网络连接对象数量、形态以及覆盖范围的提升方面。传统生产现场的“聋”“哑”设备经改造后接入网络，人、机、料、法、环、测全面实现无死角的网络覆盖，生产现场到云端实现全链条网络互联和数据互通。**二是无线化**，以5G为代表的新型无线技术使用占比提升，应用范围越来越广，并从生产外围向生产核心扩展，无线化成为不可避免的趋势，使得生产域信息的全连接成为可能。**三是互操作化**，通过标准化的信息模型，实现跨设备、跨系统、跨厂商的异构数据的流转与交换，并在语义层面实现信息集成与协同。例如，在电子制造行业，印刷电路板贴片、插件、组装、测试、包装等环节涉及不同生产设备和系统，彼此之间的工艺参数需要相互配合以实现精密制造，利用信息模型可以更好提升系统间配合效率。

#### 专栏——全连接

江西蓝星星火有机硅有限公司与中国电信合作，通过5G工业

网关、智能手环、高清摄像头等载体的泛在接入，对工厂里的人、机、物等多要素进行数据采集和汇聚，并利用数字孪生技术将生产过程中的各类实时数据和分析数据精准地映射到产线的三维模型，通过模拟生产工艺流程和设备生产关键动作，快速呈现生产状态；实现虚拟设备与物理设备的联动控制、静态数据查询和运行状态实时展示。项目投入运行后，星火有机硅生产管理成本降低 20%。

来源：《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践（第二批）》

#### 专栏——无线化

新元煤矿与中国移动合作，在山西省开通 5G 煤矿井下网络，建成井下“超千兆上行”煤矿 5G 专用网络，对掘进机、挖煤机、液压支架等综采设备进行无线化改造，解决了井下设备运行过程中线缆维护量大、信号经常缺失等问题，实现对爆破全过程的高清监测与控制，改善一线工人的工作环境，大幅降低安全风险，解决了传统人工作业操作危险系数大、劳动强度高的问题，显著提升采掘效率，降低安全事故发生率。

来源：《“5G+工业互联网”典型应用场景和重点行业实践》

#### 专栏——互操作化

海尔集团在青岛家电园区建设家电生产数据互操作系统，通过信息模型对冲压、注塑、钣金成型等环节的异构数据进行统一表述和建模，并进行实时关联分析，支持自动化检测数据的实时分析，并实时反馈决策结果给控制系统，实现生产、装配、物料、暂存、仓库等制造系统的工作协同。项目投运后，洗衣机等产品线的不良检出效率提升 150%，操作效率提升 300%，节省纸

质报告成本 100%。

来源：《工业互联网信息模型园区应用白皮书》

## 2.2 确定承载

**确定承载是核心特征。**为数据的采集、传输、转发提供确定的服务性能是新型工业网络应具备的核心能力。一是**场景确定性**，满足不同层级间差异化的承载需求。例如车间级网络传输时延达到亚毫秒级，园区级网络反馈控制类业务的端到端传输时延达到毫秒级，城域级网络确定性端到端时延达到 10 毫秒级，承载接入规模达到百万级以上。二是**技术确定性**，通过 TSN、DeTNet、5GDN 等不同类型网络技术协同融合，利用分组转发调度原理的通用确定性技术，形成更大规模的确定性承载网，实现端到端确定性保障。例如，远程控制中现场设备可采用 5G 无线接入，并叠加 TSN 技术保证局域网范围内的低抖动、高可靠控制，同时利用 DetNet 技术实现远距离传输低时延、大带宽运维数据承载，从而实现端到端业务的确定性。三是**应用确定性**，确定性能力从传输向应用覆盖，通过网、算、控的确定性协作管控，实现确定性的应用服务。例如，在端边协同的工业机器视觉质检应用中，要求高清晰度图片呈现及信息推断，且质检节拍与生产节拍需要匹配。远程通信的视觉检测应用使用通信资源、算力资源等多种资源，要同时考量算力、网络资源的统一调度，因此确定性能力由通信确

定性、计算确定性、时序确定性、逻辑确定性等构成。

#### 专栏——场景确定性

长城精工利用 5G-A 技术升级汽车柔性产线，解决实际生产中设备长时间运行、磨损，常常导致传统的硬线网络故障，造成生产中断的问题。目前商用 5G 只能达到延时 20ms、稳定性 99.99% 的指标，达不到工业控制要求。

将 5G-A 相关特性应用到产线改造上，经过验证可达到时延 4ms、稳定性 99.999% 的性能指标，也就是设备发出指令到达设备端只需要 4ms，并且在这样的高速运转之下可以稳定运行不掉线，达成工业控制的场景确定性。

来源：澎湃新闻

#### 专栏——技术确定性

某全球领先的工业机械制造商利用 TSN 技术，实现了数控机床领域多种应用的无缝集成。这包括集成激光器控制和机器控制系统，通过使用统一的 TSN 网络来增强机器的可扩展性和效率。TSN 交换机与多个远程 I/O 相连，并与伺服驱动器进行确定性通信，确保关键机器控制。此外，这些交换机还将远程 I/O 连接到机器视觉摄像头，实现了海量数据的无缝传输，将典型技术确定性实际融入了生产。

#### 专栏——应用确定性

北京首钢自动化信息技术有限公司引入大量智能检测设备到产线，边缘算力具体执行的生产工序会根据产品类型、品牌和型号等多项参数而决定，中心算力指定工艺模型和机理模型。中心算力辅助并指导生产工序间和工序内的动态调整，最终达到提质增效的效果。云-边-端协同对算力和带宽都有着较大的需求，且计

算流程和通信过程构成的参数动态调整过程需要保障确定性指标要求。

来源：《工业互联网面向应用的确定性技术总体框架蓝皮书》

## 2.3 控网算集成

控网算集成是创新特征。算力和控制是新型工业网络中不可或缺部分，控网算集成实现了云、网、边、端资源的统一供给。一是**算+网融合**。通过计算资源网络化的协同调度，构建面向工业管理和控制的算网基座。基于 5G 算力一体化边缘基座，通过叠加确定性技术（如 5G LAN 组网、FRER 双发选收、高精度时间同步、5G TSN、URLLC 空口增强、SIB9 空口授时等）实现工厂层、车间层、产线层的一网直达，提供低时延、高可靠、时延抖动有界的网络通信服务能力。二是**算+控协同**。工业控制设备向通用化演进，算控资源一体化部署、动态分配。通用工业设备在计算资源可扩展性方面更具优势，可在企业端、边、云侧提供所需的多样性算力保障，满足工业企业不同业务的算力承载需求，提供工业控制和智能化应用能力，面向工业智能化业务提供包括模型训练、视觉分析、数据分析、机器学习、数据采集存储等平台承载。三是**控+网+算一体化**。工控、计算、网联能力进一步集成，提供开放化、协同化、智能化的一体化服务，形成 5G 算力一体化基座，根据业务实时

性要求分化为边缘部署和云侧部署，边缘承载工业控制强实时性业务如 PLC 任务、运动控制等；云侧承载弱实时性业务如主 PLC 控制、AGV 集控、视觉分析、数据监控、机器学习等。同时，云、边部署业务根据业务应用场景引入通信诊断、优先级策略机制，以保障云边高效协同。

#### 专栏——控网算一体化

某新能源企业引入中国移动“5G 连接+现场算力+虚拟化工控能力”的网关设备，应用于动力电池组装产线（PAC 产线），产线改造采用 5G 虚拟化工业控制网关实现对传统 PLC 和数据采集网关“二合一”替换。一方面作为 PLC，对机械臂、拧紧枪、摄像头等设备自动控制，实现摄像头识别电池模组标签、机械臂运动、拧紧枪固定等控制功能；另一方面作为工业网关实现对关键参数通过 5G 完成数据采集，上报部署在 5G 边缘的信息系统，并承载图像识别等计算功能。对比传统 PLC 和数据采集网关方案，解决了成本高、供应链风险高、层级多、部署不灵活等问题，取得了良好效果。

来源：中煤、美的-公开发布；移动-厂家提供案例（新型工业控制蓝皮书）

## 2.4 开放智能

**开放智能是扩展特征。**新型工业网络具备技术、产业开放、生态可扩展且智能优化的特性。通过不同厂家之间的系统互操作、互换以及应用程序和组态的可移植，降低系统使用和硬件投资维护成本，构建开放化智能化的系统。

一是**产业开放**，新型工业网络技术体系实现网络各层协议间的解耦合，控制系统、应用系统将不再与某项具体网络技术强绑定，打破少数巨头对全产业链的控制，推动产业创新开放。二是**本体智能**，网络通过集成人工智能(AI)和机器学习等技术自身变得更加智能。网络能够基于海量数据积累，实现网络设备的预测性维护、故障自愈性修复、资源智能化管理及模型自主训练等。三是**支撑智能**，由于工业算力在管理系统和部署方式方面与公网算力基础设施不同，要满足工业 APP 对算力的工业功能和性能需求，开放各级工业算力与工业 AI 的适配能力。通过细粒度、异构化、协同化的算力调控，实现模型压缩与高效传输的综合优化，完成分布式模型训练与决策，支撑工业元宇宙、工业智能、工业大模型、数字孪生等在工业场景下的智能化应用。

#### 专栏——本体智能

传统工业网络运维管理被动式的响应方式，已经无法支撑业务灵活、快速发展需求。因此，越来越多企业在 AI 技术以及生成式 AI 技术方面投入，通过增强 AIOps（智能运维）最大程度缩短故障修复时间。华为搭建了基于大小模型协同的网络智能运维系统，统一自然语言交互界面，用户输入问题，运维工具输出自然语言答案。通过运维专用小模型进行健康度报告、故障闭环推荐等，结合大小模型的输出结果，使用大模型的逻辑推理和总结归纳能力，辅助进行多源数据的关联分析，降低运维人员的理解与

操作难度。

### 专栏——支撑智能

算力芯片的新架构支持进行多实例运行，减少工业计算任务的资源抢用，在分配独占资源后，制造商可以通过压缩调控周期来增加竞争力。英伟达 GPU 通过虚拟化技术合多实例技术，实现边缘侧算力的细粒度调控。支持逻辑隔离为 7 个独立的计算实例，每个实例具有独自的计算核心、高带宽显存等硬件资源。通过调用接口，算力控制器可以将各种规模的工业 App 负载分配到适合的 GPU 实例上，从而对不同优先级的计算任务提供差异化服务。结合联邦学习、工业大模型等新技术，计算实例可以用于工业 AI 模型训练、模型压缩/还原、图像处理等，依据业务服务质量进行实例选择和调度。

## 2.5 安全可控

**安全可控是内生特征。**新型工业化应用在传统自动控制的数据闭环之上，对数据流转、存储、分析有了更多的应用需求，安全可控成为新型工业网络的必要要求。一是**内生安全**。通过增强主动防御、智能感知、协同处理等能力，实现网络设施和数据的稳定可靠、安全可信。二是**数据可控**。为解决企业数据不能出厂与大数据、大模型应用对数据集中处理的需求之间的矛盾，通过构建数据流转可控、数据使用可控、安全风险可控的网络体系，满足企业对于自身数据高安全性要求。

### 专栏-内生安全

某电子制造企业，通过新一代人工智能防火墙+微隔离+沙箱等措施构建安全隔离的网络安全体系。通过人工智能技术实现全局态势感知，对网络行为、终端行为、数据行为进行综合审计，优化安全策略，提升防护水平，将安全问题发现速度提升到十分钟级。

### 专栏——数据可控

企业需要在保护数据安全的同时，利用外部的计算资源和大模型的能力，开展相关业务活动。企业可以构建一个数据流转可控、数据使用可控、安全风险可控的网络体系。通过加密技术、安全协议等手段控制数据流向，确保数据在传输过程中的安全性。通过权限管理、数据脱敏等措施控制数据的使用范围和方式，确保数据需要在外部环境处理的安全。通过安全审计、入侵检测系统、防火墙等技术手段，监控和控制潜在的安全风险。这样既保护了数据隐私，实现数据的价值最大化，推动了大数据应用的发展。

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

## 第3章 新型工业网络——新架构

### 3.1 架构演进趋势



图1 ISA-95 架构

多层级的 ISA-95 模型（见图1）亦称“自动化金字塔”模型，自工业 3.0 时代起就成为自动化系统集成与协调的标准。然而，随着工业互联网进入规模化发展的新阶段，传统架构在应对新技术和新需求方面显得力不从心。主要存在以下不足：

- 现场控制与运营算力割裂，业务流程高度碎片化；
- 网络架构呈现多层级化，横向无法灵活组网和动态调度；
- 生产过程数据散布在各层，无法有效整合和利用，数据共享和数据二次开发困难。

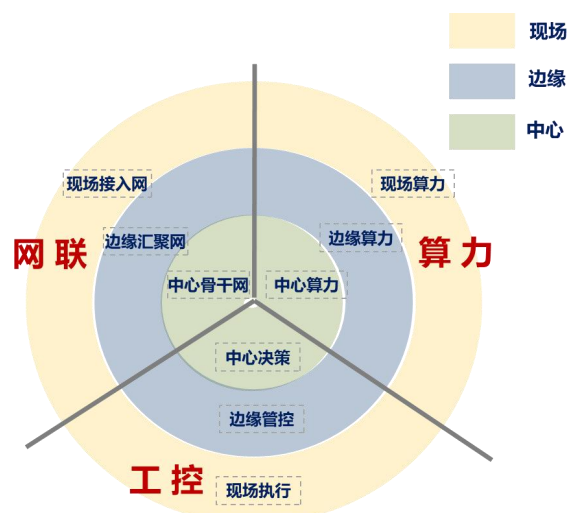


图2 新型工业网络架构愿景

随着新兴技术的集成与应用创新，扁平化、灵活化、融合化将成为工业网络架构演进的重要趋势。未来的工业网络将会把网联能力作为基础，融入算力能力和工控能力。基于现场的需求、边缘侧的需求和中心侧的需求会形成能力上的不同供给。图2所示的新型工业网络是面向新型工业化创新、开放、协调、绿色发展目标的重要基础设施，体现了工控、网联、算力三要素发展到一定阶段的必然结合，是工业网络全方位、体系化的升级。新型工业网络将呈现极简的云边端扁平化结构，实现 IT/OT 深度融合，计算-通信-控制高效协同。

新型工业网络将从连接能力、计算能力、智能能力等维度全面提升对工业的支撑能力。传统“七国八制”多标准共存的工业总线、工业以太网将被 5G、TSN、SPE 为代表的标准化、开放化的新型工业网联技术取代，支持生产全要素按需互联。网络将内生支持工业控制功能，实现工控

能力云边端按需部署调用；工业网络将全面智能化升级，驱动 OT-IT-CT-DT 资源协同优化，进一步促进大模型、小模型等 AI 模式在工业场景中的规模化应用。

### 3.2 总体架构

新型工业网络是面向新型工业化创新、开放、协调、绿色发展，构筑的泛在互联、确定承载、控网算集成、开放智能、安全可控的基础设施和技术产业体系。不同于传统工业网络依附于自动控制系统，新型工业网络是工控、网联、算力三要素的有机融合，实现了全方位、体系化的架构升级。

工业网络从传统的 ISA-95 五层架构，发展到工业互联网网络的“两层三级”架构，后续将向更为扁平化、智能化的“3X3”矩阵架构演进（见图 3）。从能力上，网联和算力能力从控制体系分离，形成“控-网-算”三要素协同的新架构；从层级上，将以端-边-云为主体形成更为扁平化的三层级互联，即控制三层、网联三域、算力三级。

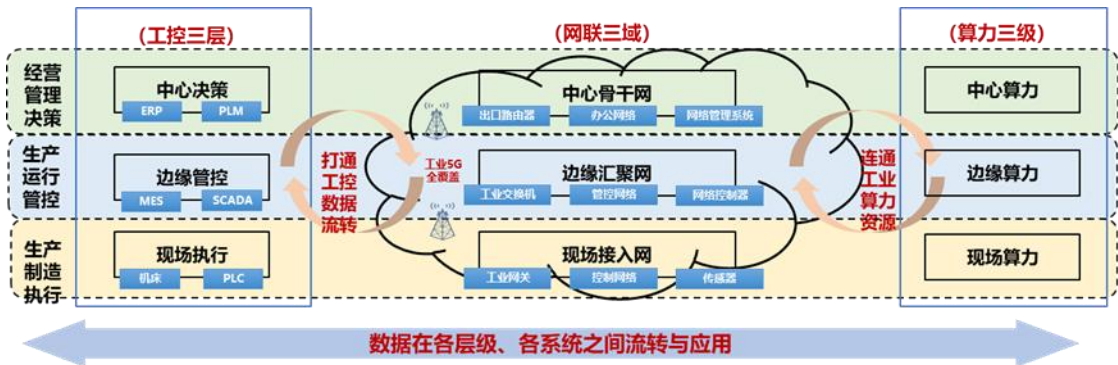


图 3 新型工业网络总体架构

### 3.3 网联功能视图

新型工业网络网联架构以满足各类工业场景定制化的应用需求，适配多元异构的终端和网络设备，以达到自适应按需满足工业互联网全场景应用需求的目标。

新型工业网络网联功能视图（图 4）立足于打造全维度、通用化的工业企业网络架构体系。对齐整体架构，网联架构同样分为现场域、边缘域和中心域三个层次。三域联动可以有效支撑新型工业网络的泛在互联、确定承载、开放智能等创新特征的实现。

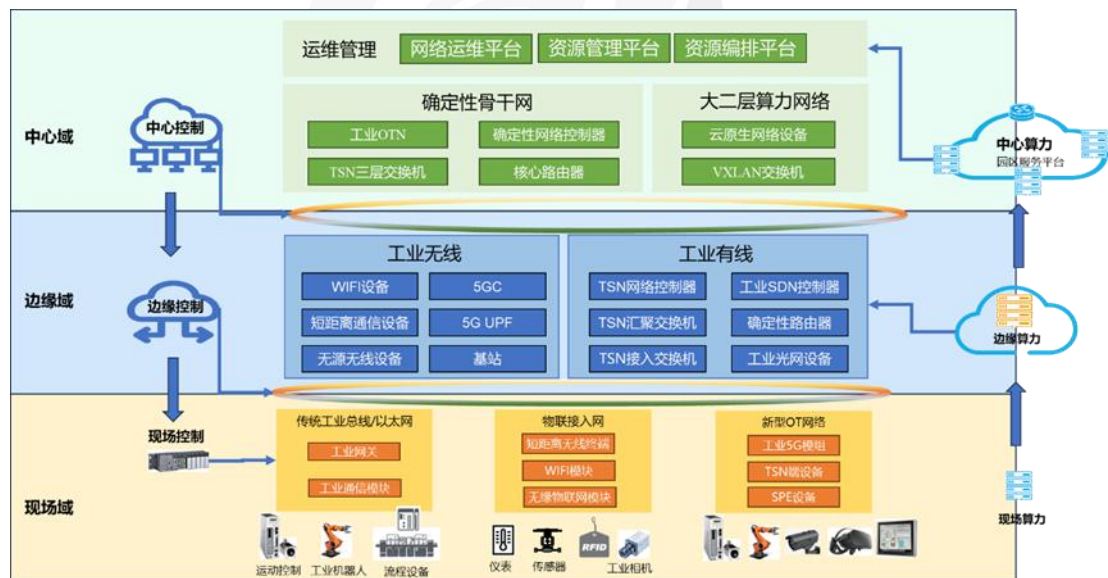


图 4 新型工业网络网联视图

现场域实现车间内人、机、物接入，通过多种网络技术的通信模块和端设备，连接生产现场全要素。现场域是工业终端及现场人员接入新型工业网络的主要区域。主要由存量工控业务的工业总线和工业以太网，用于采集的物联接入网，以及由于新型工业业务的出现所产生的新型 OT

网络构成。其中传统工业总线和工业以太网以有线部署方式为主，工业终端通过以太网通讯模块连接工业网关，接入新型工业网络。物联接入网则以无线部署方式为主，兼容接入原有各类工业无线采集网络。新型 OT 网络主要用于适配新出现的以机器视觉、远程控制为代表的高网络要求的工业应用，部署方式通常有线及无线并存，推荐采用 5G 或 TSN 接入，以满足大带宽、低时延及高可靠的业务要求。

**边缘域实现工厂内系统间互联，提供差异化组网、确定性承载等网络能力，实现工业数据的汇聚。**边缘域是人、机、平台三者紧密交互的主要区域，可采用工业无线和工业有线两大类技术。工业无线以 5G 技术为主，也包括 WiFi、短距离无线通信技术、无缘物联网技术等新型无线技术。工业有线以 TSN 技术为主，与工业光网、IPv6、三层确定性网络等多种技术融合。通过高带宽、灵活组网，确定性承载能力支持 IT/OT 融合。同时，边缘也将通过 TSN+5G、TSN+WIFI 的融合网络，实现数据层面端到端同步和确定性承载，控制层面东西向协同和统一控制。

**中心域实现企业内部网络互联管理及对外连接，提供高带宽、高确定和高智能的连接和管理能力。**中心域目标打造工业企业互联互通网络平台，一方面用于实现各工厂边缘网络、中心算力等之间的内部互联，提供高带宽、高速率和软件定义网络能力；一方面用于实现企业分支间及

产业链上下游互联，其部署方式与企业骨干网类似，建立一张云网融合的业务网。区别在于跨地域分布的网络连接需要借助运营商网络提供的专线服务建设企业内广域网。

### 3.4 工控功能视图

随着信息通信技术（ICT）在工业领域的深度融合与广泛应用，传统工厂的 ISA-95 生产体系架构正经历着前所未有的深刻变革。（1）**工业控制架构从五层向三层转变**。随着智能机器的发展和智能分析的集中，工业生产体系架构进一步扁平化。通过功能叠加和收编改造，传统的垂直体系将会变成水平架构，从传统的 ISA95 的五层金字塔架构演变成为以“控制+计算”为核心的云-边-端三层体系架构。

（2）**工业控制硬件通用化**。从传统的专用硬件转变为通用硬件如工业服务器、超融合一体机等形态，通用硬件在算力资源的可扩展性方面更具优势，以通用硬件为基础，实现跨厂家工业控制程序和服务的快速移植和复用；（3）**控制操作系统虚拟化，控制软件功能服务化**。工业控制操作系统引入实时虚拟化技术，根据业务处理时延需求，分化为实时虚拟机和非实时虚拟机（包括虚拟机、容器等）。同时，传统专用硬件承载的控制软件功能向服务或应用形式转变。实时虚拟机承载如逻辑控制、过程控制等各类工业控制等服务，非实时虚拟机承载如分析推理、人机交互、模型训练、编程平台等服务。

新型工业网络工控功能视图（见图 5）可分为现场执行、边缘管控和中心决策，形成“控制+计算”为核心的云-边-端三层体系架构。

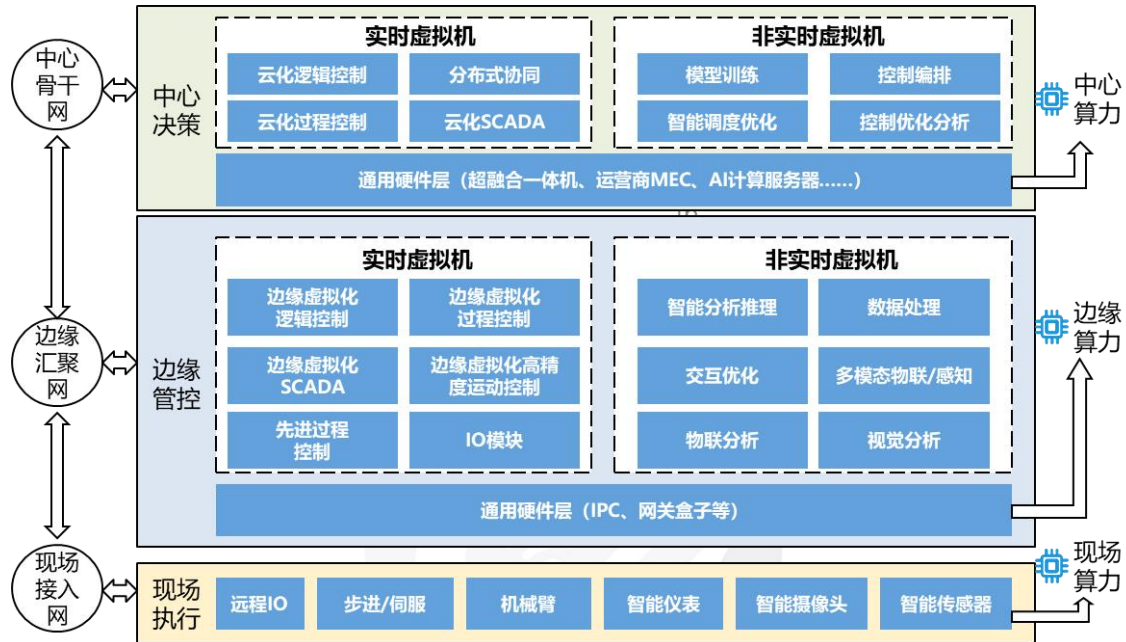


图 5 新型工业控制视图

现场执行层一般内嵌在执行、传感系统中，智能化能力逐步增强。作为新型工业控制系统的感知与执行功能主体，现场执行层集成了机械臂、步进/伺服系统等执行设备以及多模态传感器、智能仪表等感知设备。这些设备通过IO接口实现数据采集和执行控制，为上层系统提供高精度、实时的生产过程信息，并执行来自上层的精确控制指令。现场执行层的智能化设计有效解决了传统工业控制系统中数据获取滞后、控制精度低、设备互联互通差等问题。

边缘管控层以实时+非实时虚拟机方式，承载逻辑、运动、过程等实时功能，以及物联、视觉等非实时功能。该层承担着现场级的实时控制、数据处理和人机交互任务，

并逐步采用虚拟化架构，同时部署实时任务和非实时任务，原有架构中功能逐步服务化，作为应用功能存在。部署非实时虚拟机执行数据处理、智能推理和人机交互任务等功能，部署实时虚拟机进行关键逻辑控制和高精度运动控制功能。虚拟化层与硬件层协同实现灵活的资源管理和计算能力分配，交互界面系统为操作人员提供直观的操作界面、数据可视化工具和设备管理功能。边缘侧的引入有效解决了传统工业控制系统数据传输延迟高、响应速度慢、数据处理能力不足等问题，显著提升了系统的实时性和灵活性，并降低了对云端服务的依赖程度。

中心决策层承载集中化控制功能，以及非实时的调度编排、模型训练等功能。实时虚拟机承载包括云化逻辑控制、云化过程控制等集中控制功能；非实时虚拟机负责承载控制编排、控制优化、物联、智能训练等功能。同时，云侧承载 IEC 61499 和 IEC 61131 编程环境，为控制逻辑的开发和部署提供标准化平台。云侧能够有效解决传统工业控制系统中数据存储和分析能力不足、决策支持缺乏的问题，为工厂提供更智能、更全面的决策支持，实现生产过程的优化和提升。

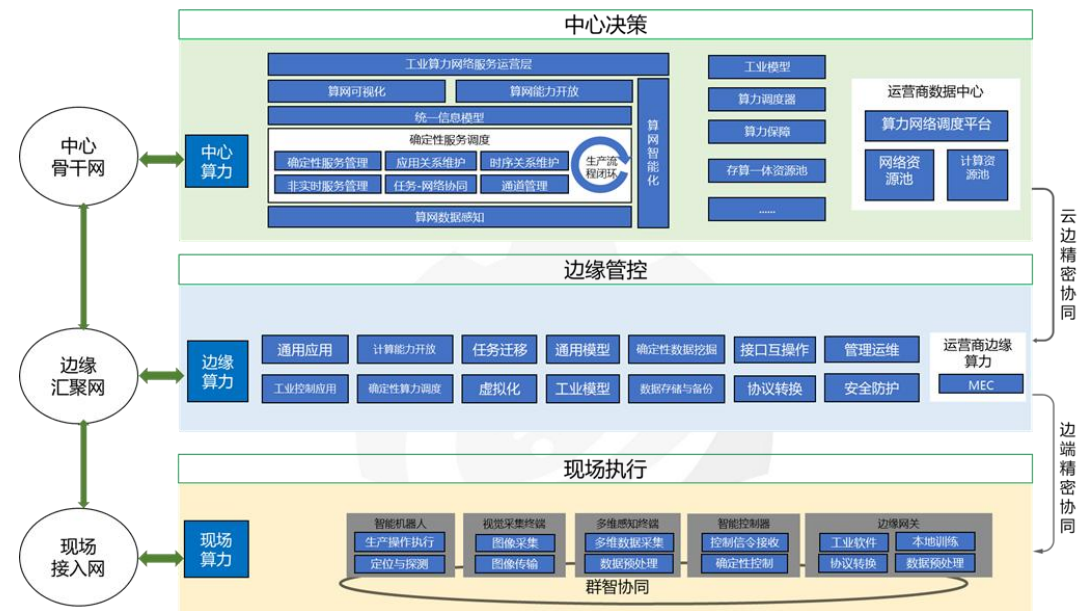
### 3.5 算力功能视图

国内工业算力发展呈现出蓬勃的态势，“算力是智能涌现的动力引擎”，算力规模直接决定了人工智能、大数据等

技术的实际效能。从工业生产流程及其数字化、智能化的视角来看，一直存在着算力相对不足和调度策略方面的问题。（1）**传统工业设备自身算力不足**，在工业软件不断进化的过程中，设备算力不断提升，并增加了边缘算力。大型企业又建设了企业工业云平台作为非实时算力补充，工业算力由此形成“中心-边缘-现场”三级架构。算力聚合过程中需要新型网络实现服务器高速互联。未来，随着工业 AI 等智能化需求的增加，需要在多级间进行数据、模型的压缩、剪裁与恢复，各级算力都要具备一定的智能化处理能力。（2）**各级算力联系尚不密切**，尽管各级政府、运营商、高新龙头企业都建立了大量规模各异的算力中心，但尚未实现多层级算力的精确调度能力，且缺乏灵活的算力资源池开放能力。未来，中心算力将加强面向生产活动的端边协同、云边协同，实现算网能力开放，推动各级算力“**泛在分布、聚积应用**”，全面激活各场景算力基础设施的智能化潜力。通过开放算力，促进智能能力的边端精密协同和云边精密协同。（3）**工业 AI 及大数据分析的算力不足**，随着未来工业应用场景越来越多，端边协同更加紧密。这就需要以边缘算力为枢纽，实现智能的任务迁移，对各类工业控制应用进行差异化管理。同时，为满足工业生产的实时性需求，需要中心算力和边缘算力扩展确定性计算能力。在各级算力中部署工业 AI 芯片，并完成面向工业应

用的集成和训练。

基于上述问题，未来的工业算力将呈现出“分层调度、紧密协同、智能赋能”的趋势，承载工业算力的新型基础设施总体功能架构如图 6 所示：



现场算力是工业现场的本地算力，实时性最强，计算能力相对较弱，实现数据采集、控制逻辑、本地训练等任务。传统工业设备如传感器只能执行简单的任务，未来能够实现算力协同的主要是具有一定自有算力的智能终端，自身附加了工业 AI 算力芯片。未来，现场算力的智能终端将加强多维度数据采集能力、高精度操作能力和数据预提炼能力，实现本地工业 AI 模型的运行、更新和局部训练，现场算力的异构芯片驱动管控能力也将不断提升。

边缘算力由靠近生产线的智能计算设备组成，满足工业应用实时性需求及部分非实时性需求，进而在多任务执

**行时保障确定性。**这些设备具有推理与决策的计算能力，实现计算能力开放、数据挖掘、虚拟化、任务迁移等功能。目前，边缘侧的算力开放程度主要受限于应用和工业终端的绑定，通过实现通用服务和标准化的算法，可以进一步提升边缘计算的通用性和利用率。边缘算力将进一步提升南北向互操作能力，作为算网控功能的汇聚点，支持和中心算力、现场算力的接口互操作与协议转换，提供决策传递、数据流转、综合性赋能的服务。

**中心算力**是集中式的算力资源中心，一般以工业云的形式存在，具有大数据分析 & 决策能力。在很多制造业企业中，工业云运行工业模型训练、确定性全局管控、流程优化等计算密集型应用，一般以较长的周期将训练好的模型更新到边缘计算设施。工业算网控制器将实现算网一体化管控，通过工业信息模型打通各类工业设备的监测接口和管控接口，通过对确定性服务的维护，确保生产流程中算网控制的闭环。算力调度器实现“中心-边缘-现场”的算力综合控制，依据算力保障功能的决策确保算力细粒度调用，结合工业生产任务的周期性进行资源优化。运营商数据中心则形成了算力补充能力。未来，中心算力将提供更加多元化的工业 APP、云化 X 服务和 AI 大模型能力，加强整个新型工业网络的自我智能化能力。

**工业算力网络**采用“中心-边缘-现场”分层架构，通

**过异构芯片组网与算网协同管控实现工业全场景算力服务。**

现场算力依托智能终端执行实时数据采集与轻量化 AI 推理，边缘算力提供多任务确定性保障及协议转换，中心算力承载大规模模型训练与全局优化。核心技术涵盖算力动态调度、资源虚拟化等，支撑从设备控制到云脑决策的全链路闭环。未来将强化低时延传输、资源孪生映射及自适应负载均衡，驱动工业系统智能化升级。

各级算力动态协同，在实时性与计算性能之间取得全局优化，使得工业数据得到高性能处理，可以进一步加载复杂的算法与模型。未来，工业算力将在这三级之间伴随业务自由聚合，提供确定性算力与网络一体化保障，夯实算网控融合基础设施。

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

## 第4章 新型工业网络——新体系

### 4.1 新型工业网络技术体系

#### 4.1.1 总体技术图谱



图7 新型工业网络总技术体系图谱

面向2023年及未来，新型工业网络的技术发展需要进一步融合新工控、网联及算力三维度的技术（图7），共同促进物理与数字世界的深度融合，实现工业领域关键业务的更新升级。

网联技术子体系继承工业网络原有的网络技术（包括现场总线和工业以太网、工业无线及广域网技术），在5G、TSN等新型网络技术应用工业网络的基础上，在转发技术、管控技术及融合技术三个方面进行进一步创新，满足工业网络确定性从局域延伸到广域，新型网络技术从园区下沉到产线，网络对垂直行业的支撑从网络互联到数据互通的

诉求。

新工控技术子体系具有智能化、开放化、网络化、协同化，高可靠，高安全等特征，以先进网络组网融通，保障工业通信实时、可靠，以软硬件及协议的分层解耦满足设备系统间互通、互操作，以多样性算力提供统一底座和控制优化功能。

算力技术子体系不断创新，包括但不限于芯片技术的突破、网络架构的优化、存储技术的升级等。这些技术创新提高了算力的效率、可靠性和可用性，推动了算力技术的成熟。

4.1.2 网联技术图谱

新型工业网络需要适应工业互联网时代要素全连接，数据全流转，系统智能化的趋势，要解决工业网络确定性从局域延伸到广域，新型网络技术从园区下沉到产线，网络对垂直行业的支撑从网络互联到数据互通的诉求。

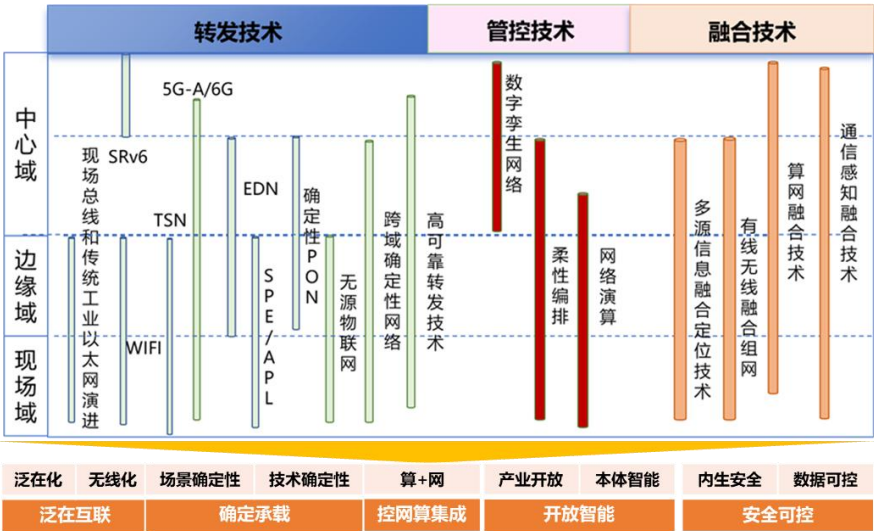


图 8 新型工业网络网联关键技术图谱

新型工业网络技术（图 8）继承工业网络原有的网络技术（包括现场总线和工业以太网、工业无线及广域网技术），在 5G、TSN 等新型网络技术应用于工业网络的基础上，在转发技术、管控技术及融合技术三个方面进行进一步创新。

在转发技术领域，以确定性承载为目标，依赖 TSN、5G URLLC、确定性 PON、单对线以太网（SPE）、APL、无源物联网、跨域确定性网络、高可靠转发技术等技术多样化构建内生确定性转发技术；传统工业以太网协议众多，兼容性差，互联互通能力弱，难以满足未来工业互联网发展需要。其中，TSN 技术为有线转发典型技术，基于 IEEE802.1 系列标准的通用以太网协议，通过时间同步、流量调度及高可靠机制等增强功能，实现数据流确定可靠传输，同时具有大带宽差异化保证业务确定性承载的特点，正成为工厂内网 OT/IT 融合演进的关键技术；工业 5G 技术作为无线转发典型技术，为了适配工业场景，从 R16 版本开始引入 5G LAN 和 5G TSN 技术，实现基于 TSN 的确定性二层工业协议的承载，并在 R17 阶段面向兼容存量主流工业协议启动定义原生确定性（TSC）能力，并于 R18 持续增强相关特性（如 XS0）。在 5G-A 阶段还将布局 TSC 反向驱动 5G 编排、毫米波、无源物联及高精度定位等技术，全面支撑泛在互联和确定承载。

在管控面技术领域，以开放自治为目标，网络演算、

柔性编排、数字孪生网络（DTN）等技术的演进推动智能原生的网络运维技术发展；其中，数字孪生网络是通过虚拟映射，对真实网络进行状态模拟及运行预测，不干扰实际网络运行的情况下，实现对网络性能的实时监控和智能管理。目前，该项技术被视为实现未来自治网络的重要支撑，被认为是推动工业化和信息化深度融合的重要技术之一，并有望成为 6G 网络的关键技术。

此外，以提升工业应用服务体验为目标，新型工业网络还将通过算网融合、通信感知融合、多源信息融合和有线无线融合组网融合通信信息技术，推动工业互联网网络不断演进升级。其中，算网融合技术是工业网络融合技术的典型代表，随着工业算力需求的不断扩大，分层部署，分布式调度所带来的算力调度问题需要协调网络能力融合解决。同时，网络的管控能力自治化和智能化也需要算力的加持。目前，以 SDN 架构为基础，融合云原生网络、SRv6 算力路由等特性的算网融合技术将逐步成为新型工业网络技术体系的重要组成。通感融合技术是目前业内研究热点，5G-A 及 6G 都规划了相关的研究课题。在工业领域，该项技术将主要用于厂区安全控制场景。随着技术的进一步研究和应用，预计将发挥更加重要的作用。

概括而言，确定性、智能化、融合化是新型工业网络网联技术最为明确的演进趋势。而工业确定性网络技术体

系和工业 5G 专网技术体系自身演进路线贴合上述三个趋势，是目前最具代表性的新型工业网络网联体系具象表现。

确定性网络技术体系在转发技术方面可依托 SPE 及大容量光传输等物理层传输技术，以 TSN 分组调度机制为基础进行二三层传输能力扩展和升级；管控技术方面结合网络演算及柔性编排技术支撑极简运维，降低规划部署难度；融合技术方面，深度嵌入算网融合技术，结合基于算力路由、算力感知联动网络路径规划，实现网络及算力资源的合理调度。

工业 5G 专网技术体系在转发技术方面基于 5G uRLLC、毫米波等空口传输技术，5G LAN、5G TSN、5QI 等分组调度技术演进，以满足工业场景传输性能要求；在管控技术方面，工业 5G 专网将对标 5G 系统智能化技术发展进展，利用网络数字孪生等技术构建智能化网络管理机制；在融合技术方面，通感一体、多信源融合定位是 5G/5G-A 乃至 6G 的研究重点，与工业需求的深度融合是技术发展的主要方向。

### 4.1.3 新工控技术图谱

新型工业控制关键技术图谱如图 9 所示。新型工控在控制互操作、控制编程以及智能化方面涌现了创新技术，逐步向软硬件解耦、算网控一体、云边端协同方向演进。工控协议开放化、工控设备虚拟化和工控系统智能化成为

新型工控技术发展的三大趋势。

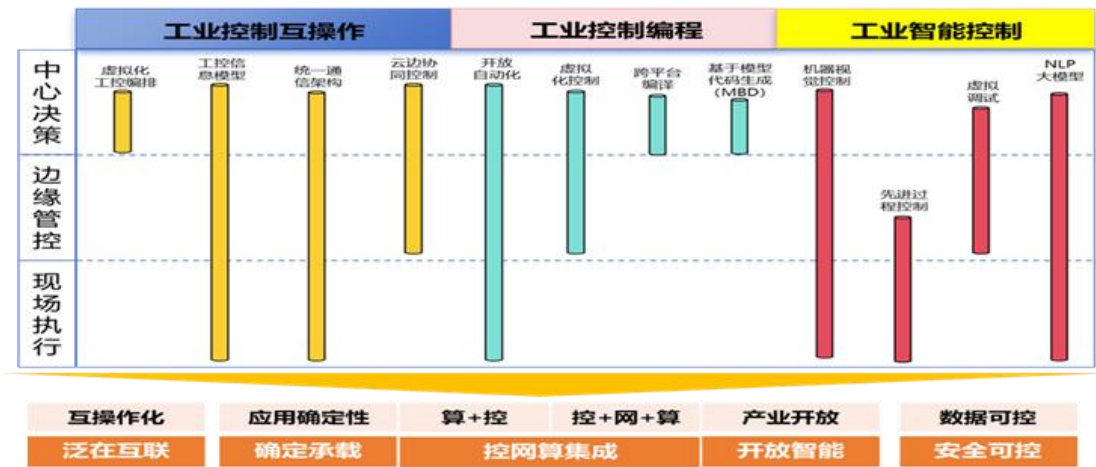


图9 新型工业控制关键技术图谱

工业控制互操作技术以**虚拟化工控编排、工控信息模型、统一通信架构云边协同控制**等技术为核心，将云计算、边缘计算和信息技术深度融合，实现基于模块化和模型化的高效工业控制设计和实施过程以及多工序协同和数据畅通流转的工业生产智能控制，打破了传统 PLC 的部署限制，提高了系统的可靠性和实时性，并通过云端数据分析和边缘快速响应，实现了生产过程的优化和智能化决策。例如云边协同控制，基于边缘侧的快速响应特性以及云侧的大算力、广连接特性，将系统的控制任务进行拆分，云侧对整体运行状态进行汇聚和综合计算，得出面向整体控制系统的最优控制策略指导边缘侧，而边缘侧通过与现场传感单元、执行单元连接，根据任务响应时间要求，选择等待云侧指令或执行边缘快速响应。

工业控制编程技术以**开放自动化建模、虚拟化控制、跨平台编译**等技术为核心，打破传统工业自动化系统封闭

的生态，实现控制系统软硬件和协议的分层解耦，促进跨平台部署与应用，并通过标准化建模语言实现设备间互操作与数据共享，推动工业自动化系统向开放、智能、柔性化发展。例如，开放自动化建模，对原有针对物理设备的概念，转变为系统级、抽象的与硬件无关的模型，从而对工业系统和工业过程进行统一模型实现。通过定义功能块的封装模式为自包含的独立设计，基于事件触发机制执行，提供灵活调用的功能模块化控制策略，实现控制系统的可变性、适应性和可移植性。当前开放自动化建模标准及相关技术已处于成熟期，且在国外已有相当基础的设备厂商支持，而在国内相关产品较少且设备端支持程度较低，应用情况不及预期。

工业智能控制技术以**先进过程控制、机器视觉控制、虚拟调试、NLP 大模型**等技术为核心，通过整合人工智能、大数据、虚拟现实等技术，实现对工业生产过程的智能化感知反馈和控制决策，从而提升生产效率、降低成本、提高产品质量，并推动工业生产模式向自动化、智能化、高效化方向发展。例如，先进过程控制是一种高级控制策略，实现对工业过程优化和改进，主要包括模型预测控制和实时优化控制，主要应用于石油化工、电力等流程行业。随着人工智能、机器学习等技术引进，先进过程控制正不断精度改进以适应更加复杂和动态的工业过程，提升自适应

性。欧美等发达国家 APC 技术具有较高成熟度和稳定性，在控制算法方面更为先进，可实现更为复杂的控制任务和更高的控制精度。国内方面优势在于应用广泛，已在石化、电力、冶金等领域广泛应用。同时，国内企业自主研发持续发力，形成一批具有自主知识产权的先进过程控制系统。

4.1.4 算力技术图谱

工业算力关键技术图谱如图 10 所示，包括将异构算力整合成可调用算力资源池的算力构建技术，实现算力精确调控的算力管控技术，实现算力、控制、网络协同的算力融合技术。

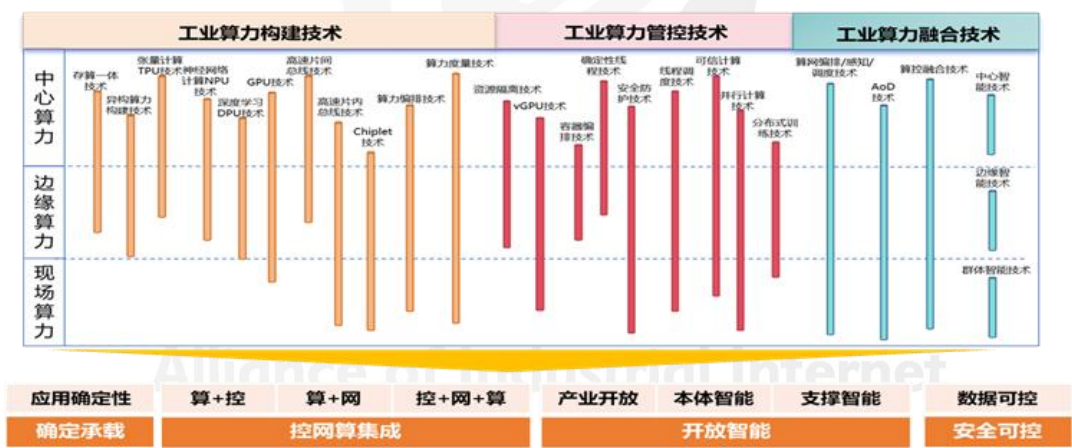


图 10 工业算力技术图谱

工业算力构建技术将异构算力整合成可调用的算力资源池，以工业异构算力融合、端边协同、边云协同、工业 Chiplet 等技术为核心，将细粒度的算力芯片逐步聚集，形成面向工业应用和模型的算力基础设施，是实现“中心-边缘-现场”三级架构的基本技术。工业异构算力融合技术主要实现多种算力的资源池化，特点在于开放工业设备的计

算资源，在设备自用资源和释放资源之间进行统一管理，实现工业设备算力自底向上的封装。工业云边协同和工业端边协同技术主要是实现各层之间的工业任务迁移，结合行业数据特征进行迁移方向的选择。工业 Chiplet 芯片叠加和工业高速总线互联夯实了算力基础设施的扩展能力。目前，工业算力构建技术已经基本实现自主国产化，需要进一步实现开源、成熟的资源池构建方案。未来，算力网将开启算力一体化进程，推动各算力枢纽节点之间的协同合作。与公网算力中心的全面资源池化不同，工业算力具有“地理分布特征”和“工业属主优先原则”，只能在就近可选的资源中进行调度优化。未来工厂中各车间的系统配置也不尽相同，需要通过多种专用芯片的综合使用，实现算力资源面向应用需求的高效共享和利用，应用于智能终端、算网控一体机和工业算力机群等设备或系统。

工业算力管控技术实现算力精确调控，以工业资源隔离技术、工业并行计算技术、工业分布式训练技术、确定性线程等技术为核心，实现对不同计算任务的按需算力分配。工业资源隔离技术主要用于面向工业业务进行差异化保障，在原有的网络切片、门控、流调度等能力基础上，增加工业算力隔离能力，避免计算任务抢占资源。目前，英伟达 GPU 依靠新架构实现了多实例功能，已在多个工业场景中实现算力优化供给。工业并行计算技术和工业分布

式训练技术主要是依托新型工业网络中的各类设备，灵活进行在网计算、工业大模型分布式学习、工业分层计算调度等计算控制。相关功能在国产化平台上都进行了一定的探索。未来，将针对工业计算任务进行算控一体的精确算力配置和调度，为实现开放智能提供计算框架和确定性计算能力。相关技术应用于算力芯片驱动、边缘计算设备、算力控制器等产品。

工业算力并网是通过网络将工业领域的分布式计算能力与网络资源深度融合，构建新型算网融合服务模式，实现多级资源节点协同调度与灵活部署的信息基础设施。该体系通过整合闲散算力资源实施统一管理调度，面向典型工业场景建立多方算力对接互联机制，形成动态共享的基础设施合作范式，重点解决工业网络资源调度需求，达成算力资源一体化调度与协同共享目标。基于工业算力分布式特性，需依托网络调度能力实现资源优化配置，因此要求系统具备多维感知能力，既要精准识别工业应用的差异化算力需求，又要实时监测算力互联网络状态，通过智能调度算法为工业应用提供高可靠、定制化的算力服务支撑。

工业算力融合技术实现算力、控制、网络协同，以工业算网编排/感知/调度、面向应用的确定性技术（AoD）、工业算控融合等技术为核心，通过算力、网络 and 控制的融合推动人工智能、边缘计算等新技术在制造环节深度应用。

工业算网编排/感知/调度技术需要感知工业服务的需求和状态，进行将算力和网络进行整体决策和优化。在此基础上，AoD 则是面向工业网络、边缘、终端设备、工业云服务的确定性需求，进行计算与通信过程的确定性统一管控。工业算控融合是打通控制和算力的接口和协议，形成逻辑融合，具体表现为各类工业设备可以使用通用服务打通边缘工业模型及计算框架。通过向工业控制系统按需开放定量算力，在智能大模型、工业信息模型、大数据应用与工业算力间折衷调配资源，**加快算力“向控制深度赋能、与网络紧密协同”的融合进程**，推动“云边端”算力与工业需求协同、发展。未来，工业算力将配合分布式计算任务进行跨级优化，相关技术应用于各级算力设备、算力编排控制器、算网控制器和算网确定性控制器。目前，工业算控融合还亟待研发国产工业边缘控制网关，算网编排的产品还不够成熟。

## 4.2 新型工业网络产业体系

### 4.2.1 产业链各环节协同共进

#### 1) 上游环节功能更加丰富，工业专用产品不断涌现

新型工业网络上游包括芯片、硬件模组组件或软件模块组件。面向工业应用场景的功能集成和性能提升融合成为上游软硬件产品的重要发展方向。一是**确定性网络模组集成了更多的功能单元**。恩智浦、Marvell、博通等国际巨

头已率先推出了功能先进的 TSN 芯片产品。博通 BCM8989X 是业内首款对应 IEEE802.3ch 标准的芯片。恩智浦 LS1028A 整合了 TSN 功能、3D 图形处理器 (GPU)、LCD 控制器、2 个独立的 TSN 板卡控制器。东土、智芯微电子、奕泰微电子等企业推出自主研发的 TSN 芯片，国产芯片在功能、性能、开发环境上存在一定差距。

**二是工业算力芯片承载专用智能模型。**华为海思芯片拥有先进的 SoC 架构，高效地集成处理器、通信模块、图形处理等多个功能模块，兼具多种网络制式和频段通信能力和人工智能能力，较早地将人工智能技术引入芯片中，已达到 5nm 制程工艺。

**三是工业 5G 芯片产品大量涌现。**全球累计发布共 24 款 5G 基带芯片，分别来自于高通、联发科、三星、海思以及紫光展锐五家芯片厂商，给工业用户提供了丰富的选择空间。

2) 中游产品性能稳步提升，逐步走向开放化、智能化

新型工业网络中游包括现场层、边缘层、中心层的各种设备、系统、软件、平台。中游产品支持控网算集成功能，依托逐步增强的泛在互联、确定承载、5G 应用能力，形成技术赋能的网、边、端、云产品。

**一是确定性网络端口速率向万兆发展。**“时间敏感网络产业链名录计划”已评测 5 大类、26 款 TSN 产品，已形成芯片、交换机、网关、端设备供给能力。H3CIE4500-TSN 系列产品支持高密度万兆端口，并具备向 50G 和 100G 拓展的能力。TSN 端设备、TSN

网关、TSN 控制器等设备仍多处于应用验证或试商用阶段，软件功能不够完善，设备易用性有待提升，TSN 工业装备类型和数量都较少。二是**新型工控正在形成工业巨头主导的智能应用生态**。国内外都在推动工业 APP 生态，主要核心产品均不同程度受到国外巨头垄断。工业控制产品逐渐向硬件通用化、软件虚拟化方向发展，形成新型产业生态，但在工业操作系统、工业编程平台等方面布局较慢，存在被进一步市场渗透风险。国内企业多为单点产品布局，集中在细分行业领域。三是**工业算力厂商类型复杂，亟待推动标准化**。算力设备产业的新方向呈现出智能推理与异构融合的发展趋势。一方面，国内东土、中兴、华为等厂商都推出边缘侧算力产品。另一方面，云服务商、运营商也通过服务进入工业算力产业，阿里云的工业大脑平台，利用算力提供生产排程优化、机器视觉检测等服务。四是**5G 产品国内外差距较小**。截至 2024 年 3 月，全球共有 103 个厂商发布 258 款 5G 工业级 CPE、模组、网关，国内网关等数据传输类终端产业相对成熟。5G 核心网在工业领域主要采用轻量化部署方式，国内华为、中兴、新华三等企业具有一定的技术产品优势，小基站行业市场空间较大。

### 3) 下游解决方案侧重于一体化推进“控网算”融合

新型工业网络下游包括集成服务和公共服务。随着对垂直行业场景的不断摸索和研究，下游厂商围绕开放智能、

安全可控、极简易用等需求打造综合性解决方案，全面支撑用户的方案采购、升级改造、测试评估等过程。一是打造“控网算”融合产品测试、认证和标准化能力。国产测试仪种类较少，厂商无法有效跟踪国际标准化进程，确定性产品测试认证能力有待提升，需要建设垂直行业综合性测试床。二是推动新型工控的垂直领域解决方案研究。鼓励 ICT 厂商进入 OT 领域，提供集成服务和行业解决方案，运营商和工控厂商发挥各自优势，分别从 IT 侧和 OT 侧研究控网算一体化集成解决方案。龙头企业研发集成通信、控制、计算等功能的“控网算”融合系统，支持虚拟化生产设备或业务的部署编排，打造算、网、控一体化底座。三是打造算力和网络的垂直领域智能化控制能力。企业围绕工业场景，加强算力和网络资源联合调度能力。算网控制器提升工厂资源一体化精确编排能力，利用工业算网编排、感知、调度能力按需提供确定性的资源，保障智能化、大数据应用的算力和网络需求。工业 AI 推理服务加强工业算力与工业知识和流程的结合程度，贯通算力服务接口并推广工业 AI 推理服务，形成面向行业的控网算应用新模式。

#### 4.2.2 产业生态发展趋势预判

##### 1) 市场规模持续扩大

随着全球主要强国都在积极发展工业，市场对于网络化、智能化设备的需求将稳步提升，新型工业网络解决方

案和产品的市场规模将进一步扩大。随着龙头企业对新技术应用和中小企业网络化改造，新兴工业网络产品的应用场景将进一步拓展，控网算融合方案有望打破领域限制，辐射更加广阔的业务领域。

## 2) 技术融合与创新加速

新型工业网络是集成人工智能、确定性网络、移动互联网、工业算力等技术的创新舞台，需要将相关技术协同发展、深度融合才有未来。新型工业网络生态中的产学研用各方注重技术创新和模式创新，以生态为媒介促进数据融合、业务贯通和价值整合，催生出协同研发设计、无人生产、远程运维、在线监测、共享制造等一大批新功能产品，带动产业技术变革和优化升级。新型工业网络生态推动我国加速向工业强国发展。

## 3) 应用场景多元化

随着工业网络建设的快速发展和新型工业网络技术的不断进步，新型工业网络应用场景的多元化得到了进一步推动。目前，新型工业网络的应用场景已经达到了 20 个。未来，随着技术的进一步发展和应用场景的不断拓展，新型工业网络将在更多领域发挥重要作用，为传统行业带来新的机遇和挑战。

## 4) 产业生态更加健壮

新型工业网络产业生态将持续繁荣，企业竞争模式发生显

著变化。新型工业网络企业将从单一场景解决方案向生态资源转型，依托人工智能整合研发资源、供应商资源和用户资源，构建基于智能开放理念的共赢生态系统。这将为产业链上下游企业和用户提供更加全面、高效的服务和支持，推动整个产业生态的正向演进、生产力跃升。



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

## 第5章 新型工业网络发展模式与行业应用探索

### 5.1 新型工业网络发展模式

新型工业网络在应用部署层面可以采用两种方式，以实施主体来看，一是以单个企业为行动主体，对本企业原有的生产流程、设备设施开展升级改造，或者建设全新的厂区部署新型工业网络。二是以多企业协同为行动主体，采用共建共享的区域赋能模式。

#### 5.1.1 升级改造模式

升级改造模式是新型工业网络应用实施的典型模式，指企业以打造典型场景为引导，对已有网络基础设施进行改造升级，包括现场的各类工业设备、网络设备、边缘侧存储设备、管理平台等进行优化升级，实现网络技术和能力大幅提升，推动制造业的数字化、网络化和智能化转型。

升级改造模式适合绝大多数制造业企业，企业可根据自身业务场景改造需求，选取合适的技术解决方案。例如，在智慧物流场景，许多企业采用 5G 技术控制 AGV 小车，解决了原有地轨式搬运车响应速度慢和控制不精准的痛点。在流程制造场景，企业通过用支持物联网、5G 的智能仪表更新替换原有的模拟式仪表，实现现场数据智能采集汇聚和危险现场的无人化。

### 5.1.2 全新设计模式

全新设计模式是新型工业网络应用实施的先进模式，适用于企业以新建智能工厂为引导，构筑泛在互联、确定承载、控网算集成、开放智能、安全可控的基础设施。企业将新型工业网络体系架构理念融入在工厂规划、设计、建造、生产、运营的全生命周期中，形成以商业目标和业务需求为牵引，以工控、网联、算力视图的系统化部署为路径，重点强化新型工业网络部署给企业带来的创新应用价值，自上向下层层细化和深入。

制造业企业在新建工厂时，推荐采用全新设计模式。采用先进、适用、可扩展的数字技术，通过场景化、模块化业务需求，确保智能工厂能够支撑未来工业生产中跨产业、跨区域、跨系统的协同一体化模式，以及企业未来 5-10 年的业务发展需求。该模式下通过充分量化投资需求后，提高生产效率，从而实现更好的效益回报。例如，中兴通讯在南京新建的智能滨江 5G 工厂，5G 网络覆盖率达到 100%，在远程设备操控等对 5G 网络性能要求较高的场景下，积极探索 5G 专频专网建设方案。工厂现场装备的联网率超过 97%，关键装备联网率实现 100%，其中 5G 联网率高达 89.3%，无线设备均已实现 5G 化。该工厂成为国内首个五星 5G 工厂。

### 5.1.3 区域赋能模式

区域赋能模式是新型工业网络应用实施的协同模式，指企业依托所在地区的先导区/园区建设优势，通过区域公共网络基础设施和公共服务能力的升级发展，带动企业自身数字化、网络化、智能化建设。

区域赋能模式适用于公有园区内的大中小工业企业。中小企业信息基础设施薄弱，且缺少自建信息基础设施的技术能力和资金实力。通常情况下，这类企业通过向园区业主租用网络以部署企业的各种服务，满足企业生产需求。公有园区业主通过在园区内部署 5G 网络、全光网络、数据中心等方式，提升园区整体网络基础设施和公共服务能力，为园区企业提供低时延、大带宽、高可靠的网络接入，满足企业多样化的网络需求。例如，苏州工业园区充分结合园区内工业企业聚集的优势，以 5G 为引导，提升 5G、云计算、边缘计算、大数据、人工智能等新一代信息通信技术的集成应用水平，来赋能工业企业数字化转型，在应用场景、5G 工厂以及“5G+工业互联网”解决方案方面实现了“5G+工业互联网”，1+1>2 的效果。

## 5.2 行业应用探索

### 5.2.1 钢铁行业新型工业网络应用案例

钢铁行业是我国国民经济的支柱性产业，具有流程连续化、重资产、劳动密集型和信息集密型等特点。钢铁行

业存在大量的危险场景和恶劣环境，重体力及重复性劳动岗位，大量设备需要人工点检，监测技术手段的落后，对设备管理人员的经验和素质要求较高。同时，需要大量的现场点检人员，这在一定程度上影响工作效率和生产效率。

近年来，钢铁企业积极推进数字化转型，宝武集团提出了“四个一律的”理念，即现场操控室一律集中、操作岗位一律采用机器人、运维监测一律远程、服务环节一律上线。新型工业网络确定承载的特性保障了这类控制云化集中部署场景下传输的高确定性和高可靠性，实现网络设备和工业系统的整体协同，使得 PLC 云化集中控制、机器人远程操作、远程运维等业务需求得以实现。

为实现集团“四个一律”的要求，武汉钢铁在园区实现 99% 的 5G 覆盖（见图 11），部署了涵盖智慧物流、生产管控、数字设备、能环管控、质量管控、安全管控等全流程 25 个应用场景，建成一个公司级管控中心和炼铁、炼钢、CSP、热轧四大厂区操控中心，将现场大量 PLC/DCS 等控制系统集中云化部署在具备更高算力资源的操作室中，对多个 PLC/DCS 设备的数据和控制功能进行集中管理和处理，以实现远程监控、数据分析和优化控制等功能。同时也便于在边缘侧部署视觉分析、过程优化等边缘智能应用。新型工业网络作为“四个一律”实施的基础设施，一方面提升了企业整体生产效率、设备运行效率，另一方面在成本

控制、安全生产、环保节能等诸多方面体现了价值增益。

“四个一律”理念引领了钢铁行业向智能化、绿色化、高效化发展的方向。将带动整个钢铁行业的技术进步和管理水平提升，推动钢铁行业实现高质量发展。

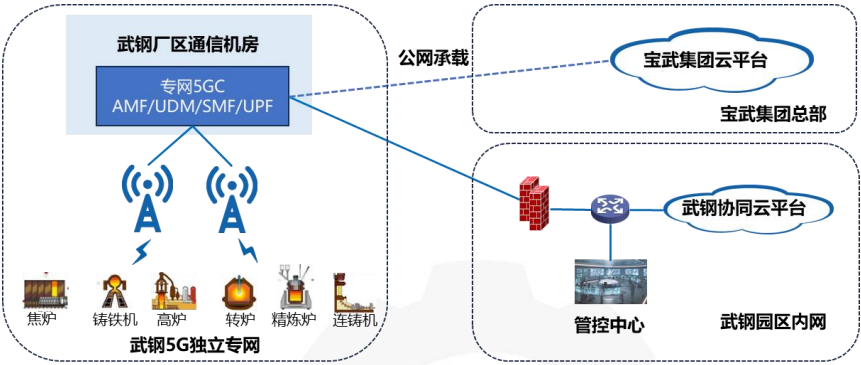


图 11 宝钢 5G 行业专网架构

### 5.2.2 电子行业新型工业网络应用案例

当今，随着电子制造行业集成电路芯片种类和数量越来越多、密度越来越大，表面组装技术（Surface Mounting Technology, SMT）作为制造的关键工序，其技术水平及工艺控制能力直接决定了产品的制造水平和质量。

SMT 工艺流程涉及印刷、贴装、焊接、检测与测试等多个关键环节。随着自动化设备和软件快速发展，SMT 智能化水平不断提升，应用了数字化、机器视觉质检等技术。但目前 SMT 工艺环节中还存在分散的管控措施和人工参与，生产质量管控效率有待提升：

- SMT 工艺参数和程序需要人工校对，耗时耗力容易出错；
- AOI（Automatic Optical Inspection，自动光学检

测) 判定不合格后需要专人专线复核;

- SMT 各工序质量数据分散, 出现异常时难以快速响应和联动控制, 无法支撑全流程质量精细管控和有效控制, 影响整体生产效率和水平。

为实现 SMT 全流程质量管控, 在传统分段检测与控制的基础上, 创新性地采用大小模型协同策略, 针对行业共性痛点进行深度优化。SMT 制造大模型基于工艺专业知识语料训练及精调方法, 能够高效处理现场海量数据, 精准识别异常, 并进行深度趋势分析, 为工序管控、物料防错、异常管控等 SMT 生产智能运营应用提供有力赋能。小模型则通过大模型知识蒸馏、知识迁移和动态加载, 建立工艺参数、通过标准和产品质量的关联模型, 实现了 FT、高温、整机调测等人工失效分析过程的算法化与软件化, 有效促进了单板工艺的优化和正向反馈, 进一步提升了 SMT 生产的质量和效率。

基于新型工业网络的大小模型协同 SMT 全流程质量管控方案 (见图 12) 分为现场层, 平台层和应用层。

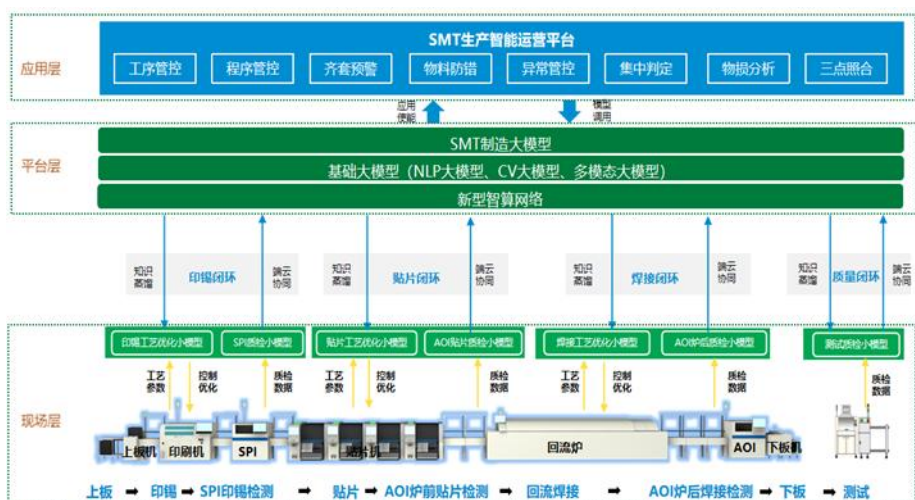


图 12 基于新型工业网络的大小模型协同 SMT 质管架构

现场层，在印刷、贴片、焊接、测试具体业务场景中，为实现快速响应和实时调整，通过知识蒸馏、知识迁移、动态加载等技术，将大模型压缩为场景化小模型，并部署在生产现场。这些小模型在资源有限的边缘计算环境中实现了快速、低功耗的推理。

平台层，利用 NLP、CV 和多模态基础大模型，结合 SMT 制造工艺的专业知识语料进行训练和精调，构建了 SMT 制造大模型。作为全局“大脑”，SMT 制造大模型负责处理多模态海量数据、识别异常、进行深度趋势分析并提供决策支持。

应用层，基于平台赋能打造工序管控、程序管控、齐套预警、物料防错、异常管控等，集中判定、三点照合、物损分析等智能化应用，实现全流程质量管控。

### 5.2.3 汽车制造行业新型工业网络应用案例

汽车制造业作为国民经济的重要支柱产业，在推动经

济发展、促进科技创新、创造就业机会等方面发挥着举足轻重的作用。焊装车间生产线是汽车自动化产线的关键组成部分之一，其控制系统采用集中式控制方式（见图 13）。主站采用安全型 PLC，远程站采用柜内远程 IO、阀岛、现场级总线 IO 模块和人机界面 HMI（Human-Machine Interface）等。



图 13 焊装车间产线集中式控制示意

焊装车间内存在多个不同类型的 OT 应用。其中，安全型 PLC 对业务稳定性要求最高，需保证它与现场分离式 IO 之间保持时延高确定性的数据传输。数采平台需支持包括视频采集在内的多数量级异构数据采集，需要上行大带宽支持。现场物流 AGV 及在车间广泛分布的 HMI 依赖 5G 专网的大覆盖能力，可在整个作业区域中与调度系统随时保持连接。负责执行夹具和工装动作的远程 IO 由集中化部署的 PLC 实现远程控制。

为了满足焊装车间产线柔性化改造需要，并确保车间原有生产设备的稳定运行和数据的可靠传输，可以利用 5G 专网+集中式控制建立车间产线系统，现场除伺服/变频器

之外的所有设备均可以通过 5G 工业网关接入 5G 专网，大大节省线缆与现场空间成本。

系统架构如图 14 所示，主要包括终端层、网络层和应用层。终端层通过外接 5G 网关方式接入 5G 专网；网络层采用专网设备独立组网模式，满足焊装车间的专网需求；应用层包括数采平台、摄像头服务器及安全型 PLC 等业务系统。



图 14 汽车制造焊装车间系统方案架构

#### 5.2.4 工控行业新型工业网络应用案例

开放自动化是工业自动化行业未来发展的主要趋势，工业控制系统开放化主要体现为硬件的通用化、软件的服务化以及协议的透明性。开放自动化系统的实现离不开新型工业网络中网联和算力能力，需要具备高可用性、网络低时延、数据安全可控、易于扩展、弹性伸缩和成本最优的特点。同时，网络和边缘算力还应能够实现统一管理。

施耐德新一代工业控制体系架构将控制、算力、通信融合一体部署，形成以 EcoStruxure（EAE）为核心的开放

自动化架构（见图 15）。该平台是由基于 IEC 61499 标准的各种即插即用的自动化软件组件组成。通过对硬件和软件全生命周期的解耦，支持使用以资产为中心、可移植、经工程验证的软件组件来构建自动化应用程序，而无需依赖底层硬件基础设施。

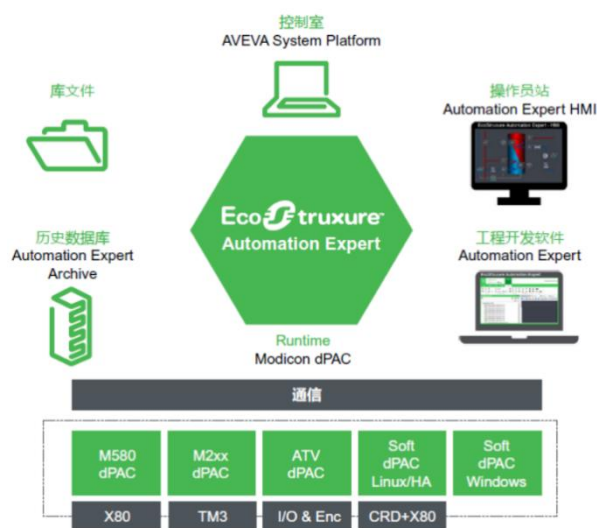


图 15 施耐德开放自动化系统参考实例 EAE

在施耐德自动铆银机应用场景中，原产线上是带有 PLC、I/O 模块以及内置的脉冲输出功能模块的 10 台独立铆银机。每一台铆银机由一个自动化应用程序管理，维护成本高且效率低下。当需要逐台迁移每台机器时，工程效率也会降低。改造方案中采用 5G+vPLC+EAE 架构（见图 16），EAE 应用通过工业蜂窝网与 TM3 I/O 交互，将原有的硬接线通过无线方式代替，提高了产线的柔性，并实现软硬件解耦，提高了开发的效率和软件的可重用性。

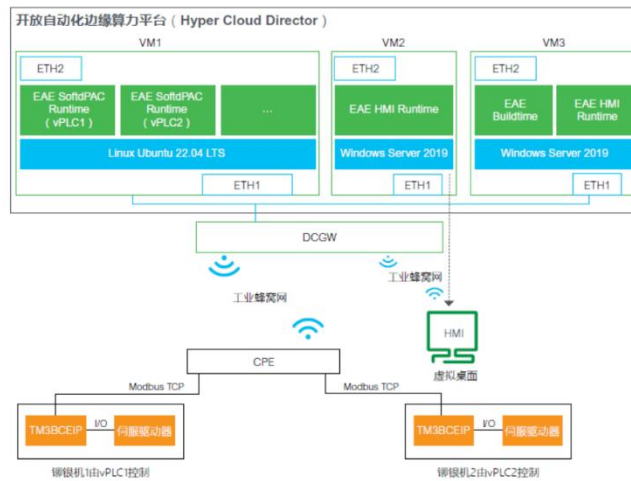


图 16 改造升级后的铆银机+EAE SoftdPAC 架构



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

## 第6章 新型工业网络发展展望

新型工业网络是一个系统化的建设工程。面对我国制造业企业目前整体网络化水平不高，发展参差不齐的现状，应在统一的体系架构指导下，设立新型工业网络分级分领域发展目标。围绕不同垂直行业网络化改造需求，结合实际应用场景及企业愿景，推动开放化、扁平化、融合化、智能化的新型工业网络体系逐级落地与扩展，保障全域数据、多元业务在网络中的顺畅流转。打通 IT 与 OT 融合的“最后一公里”，企业能够灵活自主地选择工业控制系统，企业资源得到更高效的配置，数据采集的实时性不断提升，数据获取的成本大幅降低。

为此，我们需从技术突破、应用实践及产业生态三大维度协同推进，加速我国新型工业网络的规模化应用与产业化进程。

一是突破关键核心技术，提升自主创新能力。强化新型工业网络前瞻性基础研究，加快工业 5G、TSN、边缘计算、工业光网等关键技术攻关突破，进一步提升技术创新能力，重点加强工业芯片、通信模块、设备、整机的群体性突破。围绕产业链部署创新链，促进产业基础高级化、产业链国产化。

二是深化融合应用示范，加快新型模式培育。探索新

型工业网络面向垂直领域的多元化应用场景，加快推进 5G、TSN 等已有一定产业链基础的技术，在化工、钢铁、电力、轨道交通、高端制造等数字化基础较好的领域和行业应用部署。探索新型工业网络改造应用试点和标杆，形成可持续、可复制、可推广的创新发展模式和路径。

**三是构建开放共享的产业生态，营造良好的网络发展环境。**进一步加强与世界各国和国际组织在新型工业网络基础设施建设、技术研发、标准制定、产业应用等方面的交流与合作，共同构建开放共享的产业生态体系，实现对网络技术创新、标准研制、测试认证、应用示范、产业促进、人才培养、国际合作等方面的全方位协同。

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

## 参考文献

- [1] 施耐德电气（中国）有限公司、中国信息通信研究院等，工业蜂窝网赋能的开放自动化解决方案[R]，2024
- [2] 工业互联网产业联盟，新型工业控制蓝皮书[R]，2024



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