

工业互联网边缘计算节点 白皮书 1.0

边缘计算产业联盟（ECC）发布

2020 年 12 月



CONTENTS

目录

01、工业互联网介绍	02
1.1 市场趋势	02
1.2 相关政策	03
1.3 融合发展	03
1.4 行业标准	06
1.5 挑战痛点	07
02、工业边缘节点概述	08
2.1 作用以及价值	08
2.2 工业边缘节点需求	09
2.2.1 硬件需求	09
2.2.2 软件需求	10
03、工业边缘节点参考架构	11
3.1. 硬件部分	12
3.1.1 硬件参考架构	12
3.1.2 典型硬件产品现状	13
3.2. 软件部分	16
3.2.1 软件参考架构	16
3.2.2 典型软件产品现状	17
04、工业边缘节点应用实践	19
4.1 高性能口罩机案例	19
4.2 三维视觉 + 机器焊接案例	20
4.3 钢铁、有色轧制行业智能质检案例	21
05、附录	22
5.1 中英文术语对照表	22
5.2 参考文档	24



01

工业互联网介绍

1.1 市场趋势

在互联网的大潮席卷下，世界制造业两大强国美国和德国，分别在 2012 年和 2013 年提出了工业互联网和工业 4.0 的初步概念。很快，工业互联网就纷纷被各个国家定义为智能制造的重要实现目标。作为制造业大国，中国也时刻关注着工业互联网这一新生事物的快速发展。

根据中国信息通信研究院发布的《工业互联网产业经济发展报告（2020 年）》[1]，工业互联网服务于以 ISA-95 为代表的传统制造体系，带来了数字化、网络化和智能化赋能升级，

已经成为了国民经济中增长最为活跃的领域之一。工业互联网经济增加值在 2018 年、2019 年（预估）、2020 年（预估）的规模分别为：1.42 万亿元，2.13 万亿元和 3.1 万亿元；同比增长分别为：55.7%，47.3%，47.9%；占国民生产总值比重分别为：1.5%，2.2% 和 2.9%；对国民生产总值增长的贡献率分别为：6.7%，9.9% 和 11%。同时，工业互联网为掌握两化融合的复合型人才提供高技能就业岗位，促进了就业结构优化升级。对应的带动全社会新增就业岗位分别为：135 万个，206 万个和 255 万个。

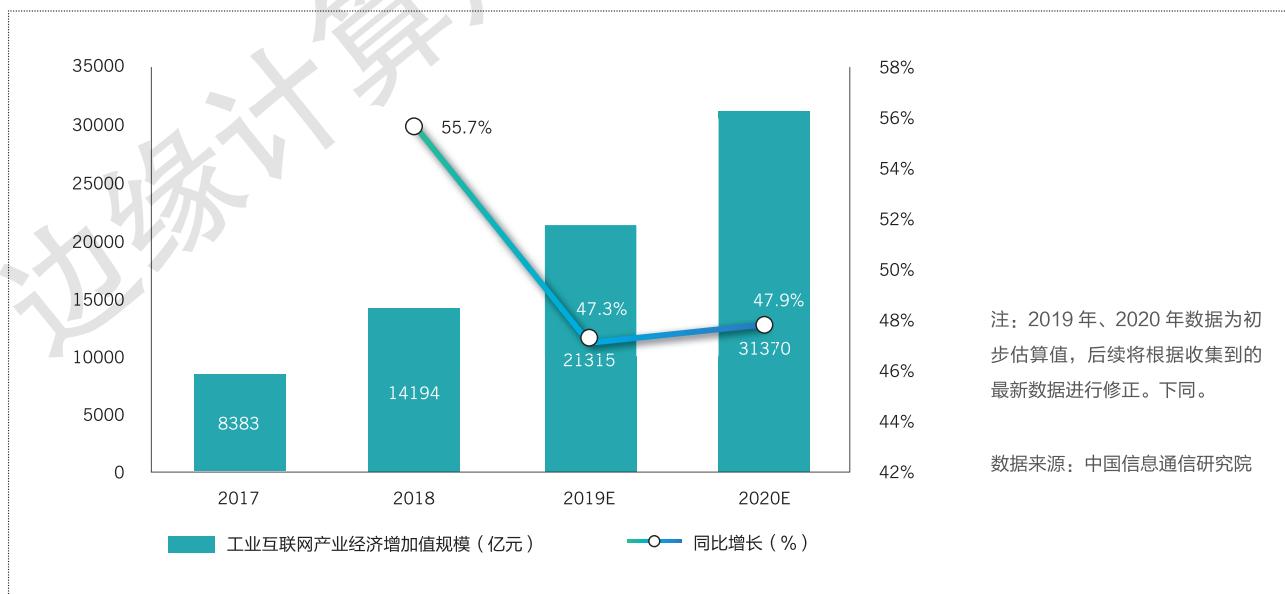


图 1. 中国信息通信研究院：2017-2020 年我国工业互联网产业经济总体情况 [1]

1.2 相关政策

2015 年，国务院发布了智能制造的纲领性文件《中国制造 2025》[2]。其中，就第一次提及工业互联网对制造业转型升级所起到的重要作用。所涉及到的表述为：

“促进工业互联网、云计算、大数据在企业研发设计、生产制造、经营管理、销售服务等全流程和全产业链的综合集成应用”。

2017 年，国务院发布了《关于深化“互联网 + 先进制造业”发展工业互联网的指导意见》[3]。工业互联网正式成为国家制造业转型升级的重要顶层设计之一，从“促进”升级到了“加快建设和发展”，其中的表述也变化为：

“加快建设和发展工业互联网，推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合，发展先进制造业，支持传统产业优化升级”。

2020 年，在新冠疫情的影响下，“双循环”格局下的“六稳”“六保成为了经济工作的重要目标。工业互联网多次作为关键词出现在中共中央，国务院，工信部，发改委，网信办等各个层级发布的各个重要政策文件中。在 5 月份的《政府工作报告》中，更是连续三年涉及到了工业互联网的内容。其中，关注的领域也从传统的“数据上云”为主的“工业互联网云平台”扩展到了包括“数字基础设施”，“工业设备的全连接”等更为广泛的领域。在 2020 年 10 月底，中共中央制定的《“十四五”规划以及 2035 年远景目标建议》中 [4]，工业互联网的相关表述进一步升级为：

“统筹推进基础设施建设。构建系统完备、高效实用、智能绿色、安全可靠的现代化基础设施体系。系统布局新型基础设施，加快第五代移动通信、工业互联网、大数据中心等建设。”

时间	文件	发布单位	涉及工业互联网的政策内容
2020 年 10 月	中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议	中共中央	统筹推进基础设施建设。构建系统完备、高效实用、智能绿色、安全可靠的现代化基础设施体系。系统布局新型基础设施，加快第五代移动通信、工业互联网、大数据中心等建设
2020 年 5 月	2020 年政府工作报告	国务院	推动制造业升级和新兴产业发展，大幅增加制造业中长期贷款，发展工业互联网，推进智能制造
2020 年 5 月	关于工业大数据发展的指导意见	工信部	持续推进工业互联网建设，实现工业设备的全链接；建设国家工业互联网大数据中心；发挥工业物联网平台优势，提升平台的数据处理能力
2020 年 4 月	推进“上运用数赋智”行动培育新经济发展实施方案	发改委 网信办	大力培育数字经济新业态，深入推进企业数字化转型；加快完善数据基础设施，推进企业级数据基础设施开放，促进产业数据中台应用，想中小微企业分享中台业务资源
2020 年 3 月	关于推动工业互联网加快发展的通知	工信部	改造升级工业物联网内外部网络；增强完善工业互联网标识体系；提升工业互联网平台核心功能；建设工业互联网大数据中心
2020 年 2 月	中央政治局会议纪要	中共中央	要发挥好有效投资关键作用，推动生物医药，医疗设备，5G 网络，工业互联网等加快发展

表 1. 2020 年工业互联网政策梳理

1.3 融合发展

2018 年的中央经济工作会议上，中央对新型基础设施建设提出了纲领性的定义，新基建主要包括 5G 基站建设、特高压、城际高速铁路和城市轨道交通、新能源汽车充电桩、大数据中心、人工智能、工业互联网七大领域，涉及诸多产业链。作为“新基建”中的一个重要组成部分，工业互联网的快速

发展，也离不开和其他先进技术的融合发展。“工业互联网 +”概念，在融合了大数据中心（数据上云）、5G 技术、人工智能技术之后，可以充分满足不同行业升级转型所面临的各类需求。这样的融合发展，也有利的促进了智能制造各个产业链组成部分的协同发展。

工业互联网介绍

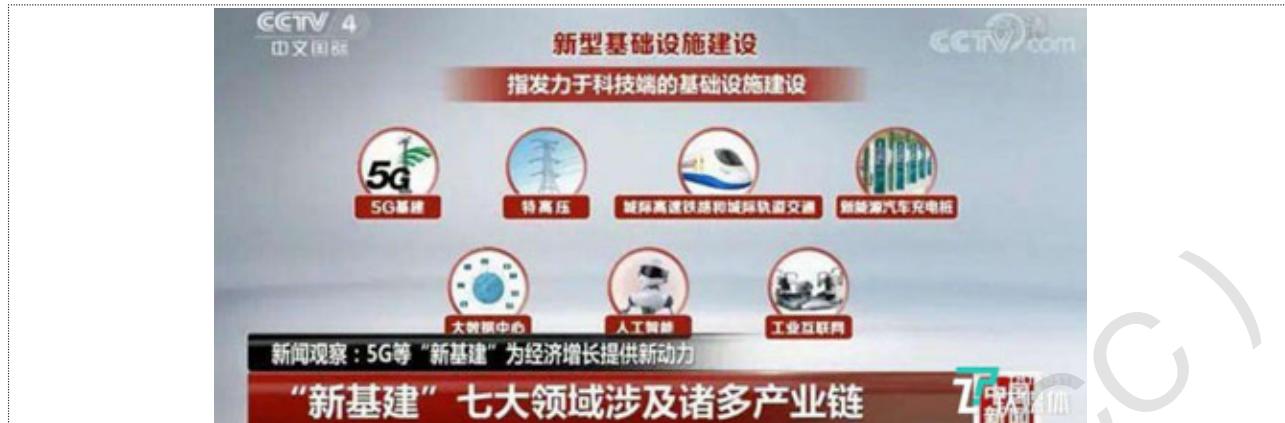


图 2. 中央电视台：“新基建”七大领域定义

• 工业互联网 + 大数据中心

工业互联网的早期快速发展得益于“数据上云”业务。赛迪研究院的《工业互联网创新发展白皮书》[5] 的 200 多例工业互联网平台应用案例中，使用率较高的场景是：状态监控与报警（70% 使用率）和生产制造优化（32%）。这两类应用的快速普及，得益于实施难度较低，改善效果明显：状态

监控和报警的主要技术点在于连接单机设备，从而使单机数据上云；而生产制造优化的主要技术点在于生产管理软件上云，把数据从现场服务器解放到云端。这两项应用结合使用，可使生产流程和状态在手机端、电脑端、现场看板大屏端同步显示，把原来零碎化和抽象化的生产过程充分视觉化。

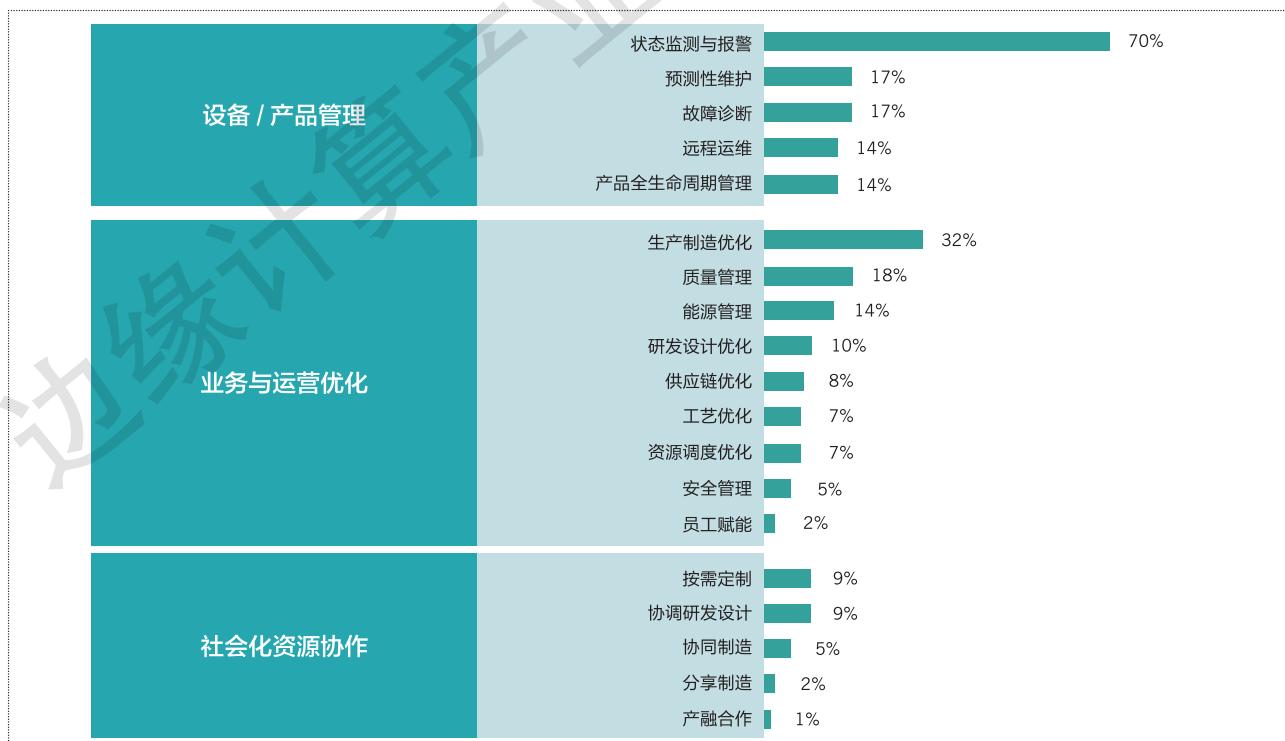


图 3. 赛迪研究院 华安证券：工业互联网平台应用场景以及应用案例成效 [5-6]

在完成初步的“数据上云”的工作以后，工业互联网进一步的主流应用场景包括：预测性维护（18%），故障诊断（17%），远程运维（14%），产品生命周期管理（14%），质量管理

（18%）以及能源管理（14%）等。这一些的应用在技术上遇到一些挑战，进一步的发展需要新兴技术赋能，其中包括5G技术以及人工智能技术。

涉及技术	典型应用	通信速率	通信时延	应用范围
5G+ 超高清视频	4K 视频实时上传	12~40Mbps	< 30ms	人脸识别等视频采集
5G+AR	维修指导	> 50Mbps (下行) > 20Mbps (上行)	< 20ms	工厂设备维保
	辅助装配	> 50Mbps (上行)	< 10ms	设备辅助远程装配协助
5G+VR	初步沉浸	25Mbps	< 40ms	虚拟应用等静态展示
	部分沉浸	100Mbps	< 30ms	虚拟培训等交互场景
	深度沉浸	400Mbps	< 20ms	虚拟装配等强交互场景
	完全沉浸	1Gbps	< 20ms	强交互，全沉浸场景
5G+ 无人机	智慧安防 / 巡检	> 25Mbps (4K)	< 10ms	厂区无人机巡检
5G+ 云端机器人	云端机器人调度	1Mbps~10Mbps	10~100ms	机器人端处理语音、视觉、遥控操作协同
	云端机器人实施操控或协作	10Mbps~1Gbps	10~100ms	语音、视觉、遥控操作等实时交互
5G+ 远程控制	图像 / 视频流上传	> 50Mbps (上行)	< 20ms	远程控制图像回传
	PLC 控制指令下达	> 50Mbps (下行)	< 10ms	控制指令下达

图4. 工业互联网产业联盟 华安证券：5G+工业互联网融合创新应用 [6-7]

• 工业互联网 +5G

5G技术是一种提供大带宽、低时延、高可靠、广覆盖的新型无线通信网络。对比4G技术，5G技术提供20倍带宽（可达20Gbps），10倍设备连接密度，10%时延（可达毫秒级）。对比WIFI6技术，5G技术有更好的安全性确保未经认证设备无法接入，同时提供更好的跨基站漫游连接稳定性。2020年11月中国信息通信研究院发布的《中国“5G+工业互联网”产业发展报告（2020年）》中提出“5G+工业互联网”典型应用从视觉检测、远程运维、无人巡检、安全监控等生产外围环节像辅助装配、精准操控等核心环节延伸，服务航空、矿业、港口、电力等十多个重点行业，产业生态正初步构建[8]。这些融合应用充分地利用了5G的大带宽，低时延，广覆盖等应用特性，来满足工业互联网的发展需求。

• 工业互联网 + 人工智能

在完成“数据上云”业务以后，海量的数据将存储在云端。但是仅仅是对设备的状态感知和测量，则将大大浪费数据的潜在价值。这些海量的数据需要人工智能技术进行挖掘，通过数据分析以后形成分析结果，并且最终形成指定行为。工业互联网人工智能技术成熟度模型阐述了从数据采集，分析，到最终产生结果和指定行为的全过程：海量数据在云端持续优化模型，而优化后的模型通过工业互联网下发到边缘端实时执行。这样把大数据，工业互联网，人工智能融合在一起的技术也称作人工智能工业互联网技术。典型的融合应用包括：产品质量检测、预测性维护、能源管理等。

工业互联网介绍

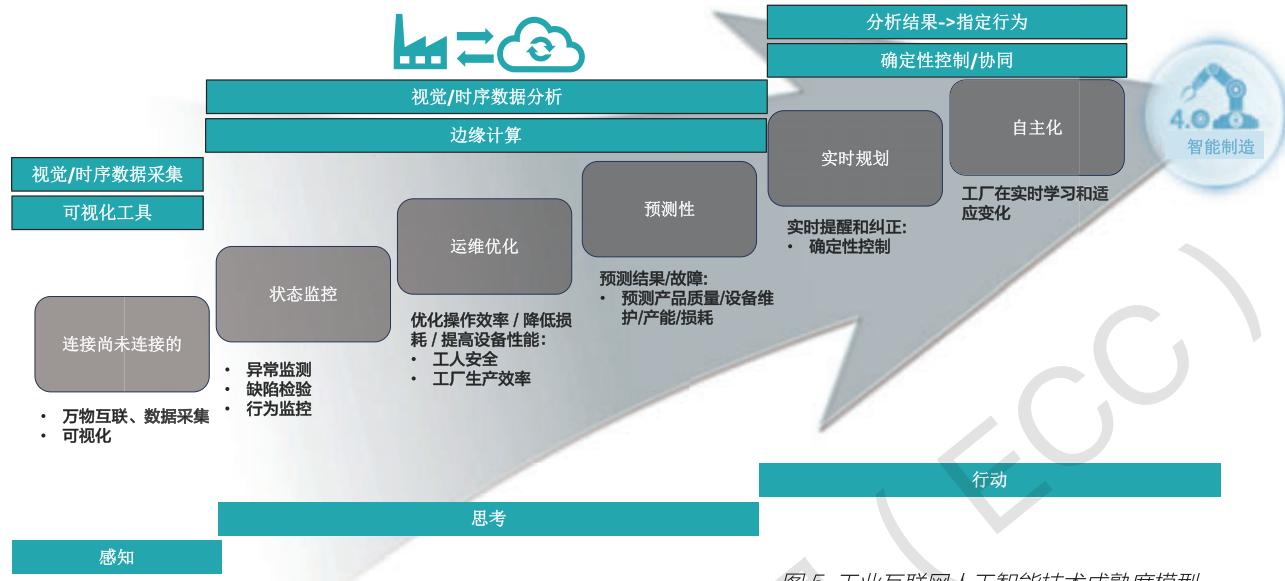


图 5. 工业互联网人工智能技术成熟度模型

1.4 行业标准

目前，中国通信标准化协会 CCSA 下设工业互联网特设组 ST8 已经针对边缘计算开展了体系化的标准研究工作，在研标准近 20 项，基本覆盖工业互联网边缘计算的参考架构、核心设备、关键技术、测试规范等关键标准研制。其中，《工业互联网边缘计算总体架构与要求》[9] 标准提出了边缘云、边缘网关、边缘控制器的层级化部署架构，为工业企业应用边缘计算提供重要参考。面向工业互联网场景差异化大的特点，工业互联网边缘计算节点模型要求及测试方法系列标准对边缘计算基础设施各项功能提出技术要求及测试规范，实现边缘计算针对不同应用场景的灵活功能组合，为设备厂商研发方向提供指导，帮助工业企业进行产品采购选型提供参考。同时，针对边缘计算与机器视觉、人工智能、时间敏感网络等技术不断融合发展趋势，多项技术融合标准也不断立项研究，加速推动边缘计算在不同领域的应用部署。

基于上述行业标准（见右图），中国信息通信研究院牵头发起我国首个边缘计算产业促进项目“边缘计算标准件计划”，旨在形成“技术研发、标准研制、产品检测、应用示范、规模商用”的产业闭环，推动我国边缘计算发展迈向新阶段。“边缘计算标准件计划”启动以来受到了产学研用各方的高度重视，目前已近 30 家企业参与，有效推动边缘计算整体技术水平的进步，加速边缘计算相关产品的研制与推广应用。

序号	标准名称
1	工业互联网边缘计算 总体架构与要求
2	工业互联网边缘计算 节点模型与功能要求：边缘云
3	工业互联网边缘计算 节点模型与功能要求：边缘网关
4	工业互联网边缘计算 节点模型与功能要求：边缘控制器
5	工业互联网边缘计算 边缘云技术要求及测试方法
6	工业互联网边缘计算 边缘网关技术要求及测试方法
7	工业互联网边缘计算 边缘控制器技术要求及测试方法
8	工业互联网边缘计算 边缘节点管理接口要求
9	基于边缘计算的机器视觉 第一部分：应用场景与业务需求
10	基于边缘计算的机器视觉 第二部分：参考架构
11	基于边缘计算的机器视觉 第三部分：技术要求
12	基于边缘计算的机器视觉 第四部分：测试方法
13	工业互联网 边缘计算 网络技术要求
14	工业互联网 边缘计算与时间敏感网络融合架构及技术要求
15	工业互联网边缘计算 面向工业智能的边云协同模型与要求

表 2. 工业互联网特设组 ST8 在研标准一览 [9]

1.5 挑战痛点

作为一个新兴行业，工业互联网在快速发展的同时，也不可避免的遇到了许多产业链组成部分都面临的挑战，其中包括：

- **跨设备连接互联互通：**

工业设备种类繁多，常见的工业现场总线协议多达 10 余种，由不同的设备厂商主导，不同协议间缺乏统一标准，无法互相直接通信。物理设备接口种类也较多，工业连接器、转接器、连接线等也缺乏统一标准，无法互相直接替换。

- **跨软件格式互联互通：**

大多数工业软件细分领域均有两家以上软件提供商，软件闭源不开放。同时数据格式均为私有，由不同软件厂商主导，格式转换复杂且容易丢失数据。

- **跨平台数据互联互通：**

在企业内部，各个业务部门往往有各自的系统平台，数据需要跨系统平台的连接和传送。不同系统平台由不同供应商提供，打通数据接口需要专门技术人员定制化开发，时间、人员、费用开支非常大。

- **数字化模型搭建迭代：**

技术参数转化为数字化模型有较高的技术门槛和壁垒，各个工艺大多需要搭建专属模型，但模型的建立和迭代需要大量的数据以及专业建模人员的知识，一般企业无法承担相应的时间和人员费用。

- **整体安全性和可靠性：**

工业设备，软件以及系统平台均存有各个企业的技术以及商业秘密数据。在尽可能便利化完成互联互通的同时，需要严格的网络接入、平台运行、数据运营的权限管控。一般企业无法在短时间内建立相应的管理制度，更缺乏相应的管理实践。

这些挑战，对于处在不同位置的生态链组成部分，产生的痛点却也不尽相同：

- **软硬件产品提供商：**

身处在产业链的上游，软硬件产品提供商主要面临的问题是：如何平衡对不同的总线协议、物理接口以及软件格式的兼容程度，与系统集成商和工厂用户的用户体验之间的矛盾。更多地兼容各个不同协议、接口和格式能够显著提升下游用户的体验，但同时会显著增加产品设计和相应的技术支持的复杂程度。统一标准的缺乏对产品提供商而言是一把双刃剑，在提高已有客户切换壁垒同时，也显著的增加了产品提供商的对多个标准的研发和支持成本。

- **系统集成商：**

身处产业链的中游，系统集成商主要面临的问题是：如何平衡对软硬件产品提供商的标准品的最大利用，以及对工厂用户专属定制化方案开发的矛盾。利用标准产品越多，定制化开发越少，方案可复制性越好，系统集成商的业务拓展能力就越强；反之，方案可复制性越差，但客户依赖性加大。跨设备、跨软件、跨平台的互联互通和整体安全性将会显著的影响方案的可复制性。

- **工厂用户：**

身处在产业链的下游，工厂客户主要面临的问题是：如何平衡对已有软硬件产品和方案的充分利用，和柔性生产所要求的产线变更和迭代之间的矛盾。不可避免的，产线变更和迭代可能会引入新的工艺需求，从而可能带来不同厂商的软硬件产品加入已有产线和工艺。系统集成商会帮助工厂用户解决互联互通和整体安全性的问题。但是，因为新的工艺所需要的新的数字化模型搭建和迭代，以及相应的管理流程的改变和优化，将会成为工厂用户所面临的最大挑战。



02

工业边缘节点概述

2.1 作用以及价值

工业边缘节点（即工业互联网边缘计算节点），是在靠近物或数据源头的网络边缘侧，构建融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放体系，形成新的生态模式，就近提供边缘计算服务，满足工业在敏捷联接、实时计算、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求，信息化和自动化两化融合，推动信息流动和集成，实现知识的模型化以及开展端到端的产业各环节协作，从而推动制造业的发展。更多细节请参考中国信息通信研究院和工业互联网产业联盟共同发表的《离散制造业边缘计算解决方案白皮书》[10]。

工业边缘节点的主要作用包括：

- **提供互联互通机制：**

工业边缘节点提供了设备之间互联互通机制、自动化系统和信息系统的互联互通机制，以及部署于工业现场的实时数据采集、汇聚、存储、分析机制，可以快速便捷地实现信息化和自动化两化融合。

- **解决现场连接性问题：**

工业边缘节点能有效解决工业现场的连接性问题。工业领域行业众多，行业碎片化导致设备连接协议众多，造成设备互联困难。边缘计算具有完善的连接配置和管理能力，收集系统间实时通信需求和服务质量要求，运行优化调度算法，转化为对时间敏感网络交换机和5G网络的配置，支持多种实时数据流传输。在保证信息安全的基础上，不仅可以把支持传统接口和协议的设备接入，而且通过引入数据抽象层，使得不能直接互联互通的设备基于边缘计算实现互联互通，边缘计算的低延迟性能可以保证设备间的实时横向通信。

- **支持人工智能部署：**

工业边缘节点提供边缘侧的建模工具及智能工具。边缘计算作为工业互联网架构的中间层，提供了现场级的实时计算、存储和通信机制。容器化的边缘计算核心组件和应用程序部署机制、标准化的设备数据采集机制，逐步完善的边缘应用程序生态、基于边云协同的人工智能模型训练和部署机制，将为离散制造领域专家提供大量平台化、模块化的灵活易用工具，不断提升工厂的精益制造能力。

- **支持实时控制部署：**

工业边缘节点提供现场决策和效率优化能力。当前大量工业信息系统受限于数据的不完备性，整体设备效率等指标数据计算比较粗放，难以用于效率优化。边缘计算基于设备信息模型实现语义级别的制造系统横向通信和纵向通信，基于实时数据流处理机制汇聚和分析大量现场实时数据，实现基于模型的生产线多数据源信息融合，为工业现场决策提供强大的数据支持。

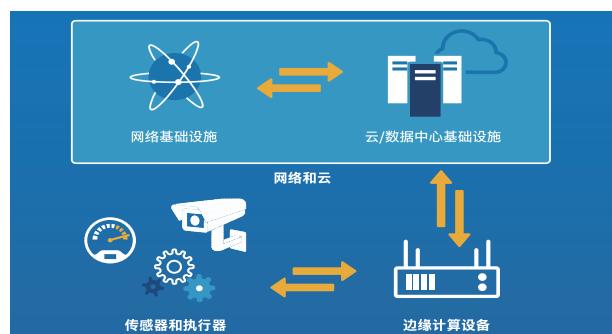


图 6. 工业互联网“端 - 边 - 网 - 云”简化模型 [11]

工业边缘节点在工业和能源生产环境中，可以在生成和使用数据的传感器和执行器附近处理和存储数据，从而无需将数据传送到遥远的云平台。由此带来以下价值：

- **更快的响应速度：**消除云端产生的数据传输延迟。
- **更低的网络使用率：**减少通过网络传输的数据总量，节省带宽费用。

• **更安全的数据保护：**实现在边缘进行本地的存储和加密，防止篡改。

• **更高的可靠性：**避免因在云计算环境中进行异地托管而导致的外部网络连接或者其他服务中断的影响。

2.2 工业边缘节点需求

边缘计算产业联盟在《边缘计算与云计算协同白皮书》[12]中提到，边缘计算的 CROSS 价值推动计算模型从集中式的云计算走向更加分布式的边缘计算，边缘计算正在快速崛起。但是，云计算所擅长的全局性，非实时，长周期的大数据处理与分析，和边缘计算所擅长的局部性，实时，短周期的数据处理与分析，两者是相辅相成的。边缘计算在快速执行的同时，又可将高价值数据的采集和初步处理的结果传输给云端，节约云端资源；而云端经过大数据优化以后的模型可以下发到边缘侧，快速迭代边缘侧已有模型。边云协同主要包括六种协同：**资源协同、数据协同、智能协同、应用管理协同、业务管理协同和服务协同**。为了满足这些协同需求，相应地，工业边缘节点在硬件和软件都有特殊的需求，具体包括下列内容：

2.2.1 硬件需求

• 工业级环境：

工业生产的环境千差万别。通常为了保证产品在各个生产环境中的普遍适用性，工业级产品会在产品外壳处做增强式设计，常见的增强式设计方案有：抗冲击（软包边）、抗粉尘（无风扇设计，HIPA 过滤网）、防水防泼溅（密封圈）等。

• 工业级可靠性：

工业级产品大都需要 7x24 小时连续工作。叠加工业级严酷环境，通常工业级元器件相较商用级元器件有着更高的性能要求，常见的可靠性要求有：宽工温设计、宽电压设计、抗电磁干扰能力等。

• 工业接口及连接器：

在主流商用接口之外，通常工业级产品需要支持不同类型

的专用工业接口和连接器，从而满足特定的应用需求，常见的接口和连接器要求有：GPIB（数字化仪器仪表），EtherCAT 网口（伺服驱动器），RS-485 串口（步进电机）等。

• 易扩展性及可升级性

工业级产品全生命周期较长，一般在 10-20 年不等。为了满足中期技术改造的需求，核心部件（如 CPU/SOC 等）应可独立升级。另外工业级产品应满足接口易扩展性，方便按照不同应用场景定制不同的接口。

一种常见的方法是采用分离式设计，即将核心 CPU/SOC 模块单独放置在一块电路板上，将其他外设接口模块放在另一块电路板上，两者之间通过多针脚连接器相连接。这样的设计可以在保持核心模块不变的前提下，简单通过修改外设模块，最大限度的满足下游软硬件产品厂商对接口的定制化的需求。

受制于连接器焊接良率，成本差异以及生态体系成熟度，众多中国硬件板卡厂商在第三方标准（例如 Com-Express, Qseven, SMARC, ETX/XTX 等）之外，陆续推出私有标准的模块化设计。由于缺乏统一的规范，各家厂商的连接器位置、数量、针脚数目、针脚定义都不尽相同。阻碍硬件产品可互换性的同时，也给国内行业协同发展造成较大的困扰。

• 硬件安全

工业级产品相较商用设备承担更多的关键性任务。工业级产品的安全需要端到端的安全性，其中硬件安全包括：节点安全，身份和认证管理，受信执行，功能安全等底层技术。

2.2.2 软件需求

• 实时连接性：

工业级产品对实时的要求普遍较高，大部分应用需要毫秒级实时性能，一些特定的运动控制相关应用甚至需要微秒级实时性能。同时，工业级的产品有较多的跨设备互联互通的需求，应支持主流现场总线协议（如 EtherCAT，OPCUA，Profinet，modbus 等）。

• 异构计算支持：

工业级产品所处理的数据种类日趋多样化，在处理结构化数据的同时，也越来越多的需要处理非结构化数据。将不同计算单元协同起来的异构计算可以充分发挥已有硬件的优势，实现性能、成本、功耗、可移植性等方面均衡。

• 虚拟化容器化：

工业生产往往由多个系统共同控制，而不同系统软件往往运行在不同的操作系统上，需要虚拟化技术支持负载整合；同时工业生产有较高的鲁棒性要求，需要用容器化技术隔离各个负载，避免运行时相互影响。

• 运维管理：

工业级产品部署现场往往跨地域较大，需要支持单机远程管理与升级的同时，也应支持机群管理功能，如灾难备份，负载均衡 / 迁移等。提高整体运维效率。

• 软件安全：

作为工业级产品端到端安全性的一部分，其中的软件安全包括：网络安全、数据安全、应用安全等上层技术。



03

工业边缘节点参考架构

工业边缘节点是为了**边云协同**而设计的，相应的硬件和软件都有针对性的优化。边云协同是工业互联网的发展趋势，同时也是发挥云端资源优势和边缘灵活性的最佳架构。边缘计算边云应用协同系统参考架构如下图所示，整个系统分为云平台和边缘节点两个部分，云平台部分包含云上控制面和云端镜像仓库，云上控制面主要用于接收用户提交的应用部署

请求信息并对边缘应用进行生命周期管理，云端镜像仓库主要用于对用户提交的应用镜像进行分级转发缓存；边缘部分主要为边缘节点和边缘镜像仓库，边缘节点用于为边缘应用提供运行环境和资源，边缘镜像仓库为边缘应用提供具体的镜像加载服务。

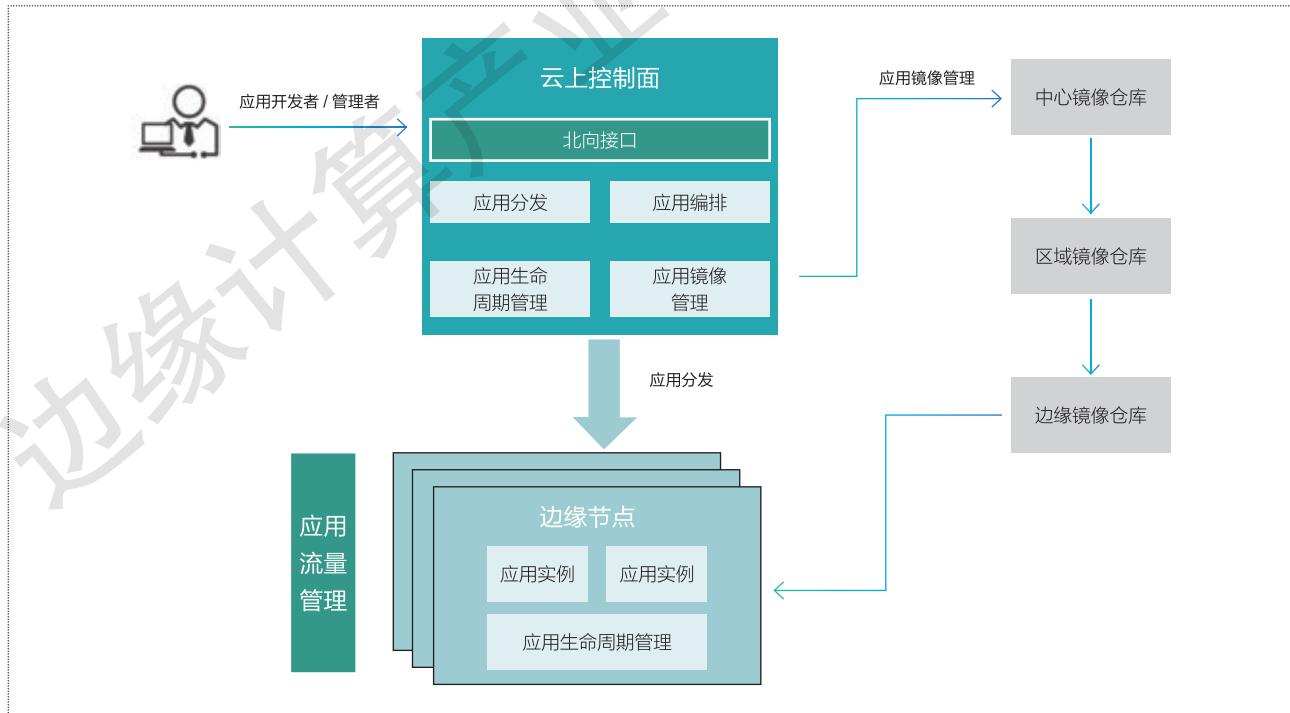


图 7. 边云协同系统架构 [13]

工业边缘节点参考架构

3.1. 硬件部分

3.1.1 硬件参考架构

目前，工业边缘节点在工业互联网中的物理实现形式主要以**工业边缘控制器**、**工业边缘网关**以及**工业边缘云服务器**为主，企业将根据自身需求部署其中一层或者多层架构。其中，工

业边缘控制器、工业边缘网关以及工业边缘云基于云原生的边云协同架构，采用轻量级容器管理、虚拟化等技术构建统一的现场异构数据集成平台，负责从各现场设备采集数据，实现边缘侧人员、设备、物料、环境、业务管理等数据的统一接入、本地集中存储、基于人工智能的边缘分析处理等。

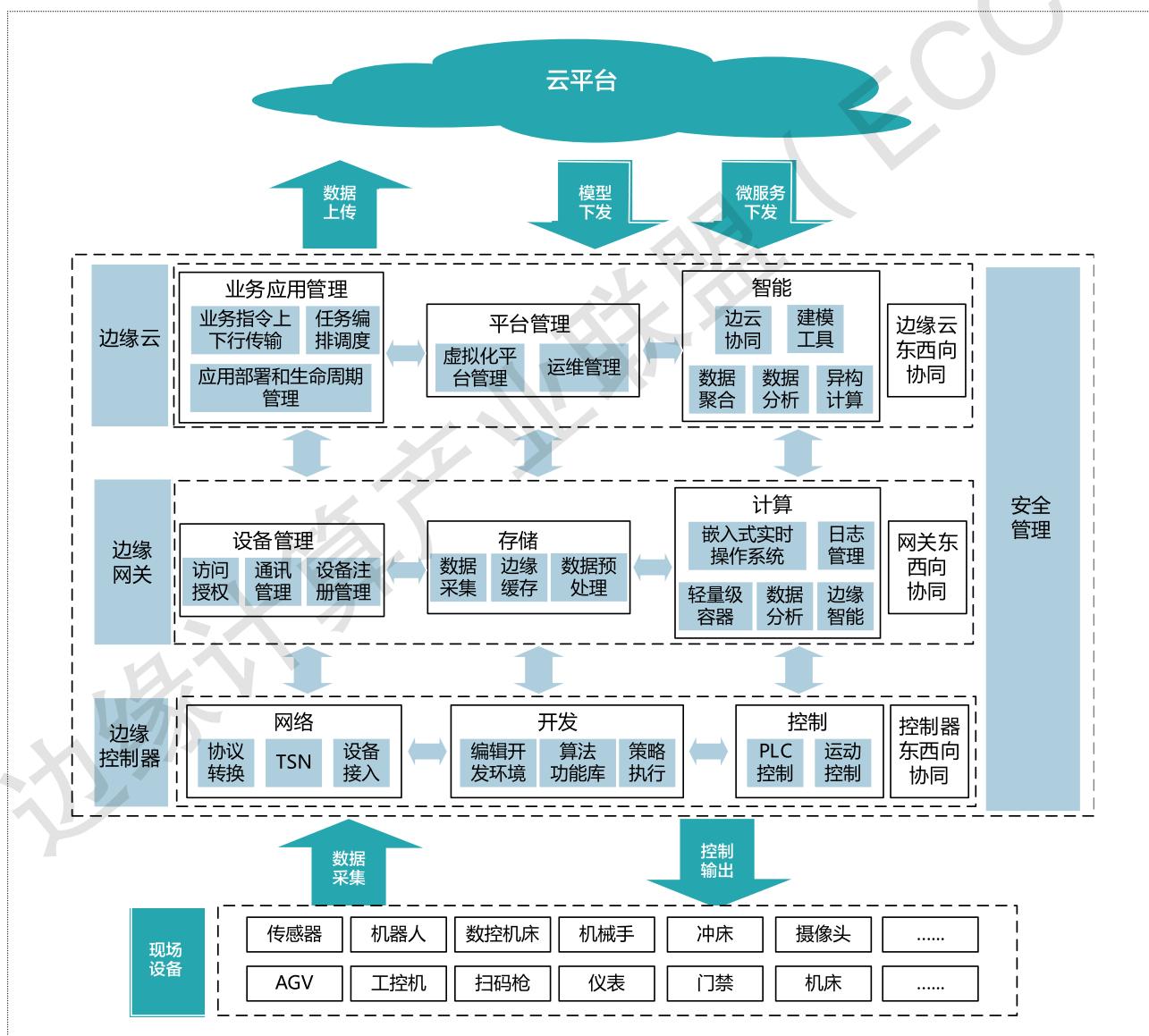


图 8. 工业边缘节点通用架构模型

• 工业边缘控制器

工业边缘控制器用于工业互联网边缘侧连接各种现场设备，进行工业协议的转换和适配，统一接入到边缘计算网络中，并将设备能力以服务的形式进行封装，实现物理上和逻辑上生产设备之间通信连接。工业边缘控制器硬件架构设计采用分布式异构计算平台，一般采用异构计算体系结构，支持全分布式控制以及多种控制器的协作运行和无缝集成，也是目前各种实时嵌入式硬件平台实现的主流实现方案；在满足硬件实时需求前提下，利用多物理内核结合虚拟化技术的支持，实现在同一硬件平台上运行实时与非实时任务或操作系统，并满足系统多样化与可移植性的需求，提高整体平台体系的安全性、可靠性、灵活性以及资源的利用效率；应用时空隔离的多任务和多线程调度机制与改造优化调度算法相结合的方式，实现任务调度机制。

针对需要采用多控制器协同控制的智能工厂复杂任务，工业边缘控制器采用协同控制策略和控制一致性协议，结合无边界网络化的动态仿真技术，提高现场干扰环境中网络信息交换时智能控制系统的鲁棒性和实时性，实现多控制器在动态环境下的自适应协同控制。同时，采用软件定义的网络化智能控制系统技术，提高了控制系统的灵活性，对边缘侧生产设备和产线，可快速满足小批量多品种柔性制造的控制工艺重构要求。

• 工业边缘网关

工业边缘网关是指具备边缘计算、过程控制、运动控制、机器视觉、现场数据采集、工业协议解析能力的边缘计算装置。工业边缘网关能适应工业现场复杂恶劣环境，满足国内主流控制器、工业机器人、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。

工业边缘网关可将现场各种工业设备、采集装置、应用系统的标准或私有通信协议转化成标准 OPCUA 等通讯协议，使得上位系统及工业互联网平台可采用统一的协议和信息模型与不同设备和系统互相通信，方便系统集成，实现远程监控、故障诊断、配置下载、远程管理等功能。

• 工业边缘云服务器 / 一体机

工业边缘云服务器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，满足可靠性、实时性、安全性等需求，是实现 IT 技术与 OT 技术深度融合的重要纽带。

一方面，将在云端基于机器学习离线训练好的模型部署到边缘云，并通过定期更新模型算法来同步边缘智能，可以使得紧急类故障能够在本地及时报警，同时可以对一些相关参数指标进行实时修正。另一方面，根据模型中输出与特征之间权重关系，优化终端上传数据的过滤规则，以此减少流量成本和云端存储成本。

3.1.2 典型硬件产品现状

• 边缘计算标准件计划

经过近年来的发展，边缘计算产业生态初步构建，设备提供商、电信运营商、云计算厂商等产业各方均积极布局边缘计算发展。产业上游初步形成从芯片模块、边缘计算整机设备到边缘计算平台、软件的基础设施产业生态体系，各类新产品不断涌现。在中国信息通信研究院组织的“边缘计算标准件计划”首批产品评测中 [14]，业界主要边缘计算整机产品围绕硬件基础性能、边缘控制、数据采集、边缘智能、运维管理、边缘安全、分布式协同等 60 余个边缘计算关键能力评测指标完成测试。其中，来自华为、新华三、文思海辉、华电众信、研华科技、华夏天信、浪潮、联想等 8 家企业的 10 款产品参与并通过本次评测，产品类型涵盖边缘网关、边缘云服务器 / 一体机等多种类型。

边缘云服务器 / 一体机	
公司名称	产品名称
华为技术有限公司	Atlas 500 Pro
新华三技术有限公司	H3C E3200 工业边缘云一体机
研华科技	WISE-PaaS/IoTSuite 智能边缘一体机
浪潮云信息技术股份公司	ICP Edge
边缘网关	
公司名称	产品名称
新华三技术有限公司	H3C MSR3610 工业边缘网关一体机
华为技术有限公司	边缘计算物联网关 AR502H
文思海辉技术有限公司	OctoGateway Plus 501X
华夏天信智能物联股份有限公司	煤矿物联网智能网关(RED-Gateway)
联想(北京)有限公司	ECG-710
北京华电众信技术股份有限公司	智能边缘网关 SEG-1000

表 3. “边缘计算标准件计划”首批产品一览 [14]

工业边缘节点参考架构

• 模块化架构工业边缘节点

为了进一步助力边缘计算产业的发展，结合中国市场的实际情况，英特尔公司和国内厂商一起定义了两款的工业边缘节点参考设计，均采用了核心模块和外设模块分离的模块化架构。

◎ 简约扩展版（类型 -E）

适用于工业边缘网关和需要较少扩展接口的工业边缘控制器。简约扩展版工业边缘节点参考设计的核心模块带有常用接口，可以独立工作作为网关，HMI 等产品应用。如果需要更多扩展接口，也可以通过一个 120 针脚的板对板连接器增加外设模块，从而满足新的应用。

◎ 灵活定制版（类型 -F）

适用于需要较多扩展接口的工业边缘控制器和工业边缘云服务器。灵活定制版工业边缘节点参考设计的核心模块仅带有 eDP 接口，必须通过两个 120 针脚的板对板连接器搭配外设模块方可成为 PLC，CNC 等产品应用。

简约扩展版（类型 -E）和灵活定制版（类型 -F）工业边缘节点参考设计的典型特征，连接器信号定义，以及参考样机实例如下图所示。更多技术细节，请参见英特尔公司文档库 [15]。

	类型 --E	类型 --F
核心模块尺寸	146 x 101 mm	125 x 95mm
核心模块 - 外设模块连接	Hirose 120 针脚连接器 2 组，高度 20mm	Hirose 120 针脚连接器 1 组，高度 8mm
核心模块自带 I/O	HDMI, eDP, i210AT, USB3.0/2.0, M.2, SATA 3.0, audio, 12V DC-in	eDP
外设模块可扩展 I/O	DP, i210AT, RS232/485, USB 3.0/2.0, 24V DC-in	HDMI, VGA, i210AT, RS232 /TTL, USB 3.0/2.0, SATA 3.0, M.2, audio, 24V DC-in
适用场景	工业边缘网关，工业边缘控制器	工业边缘控制器，工业边缘云服务器

表 4. 简约扩展版（类型 -E）和灵活定制版（类型 -F）的典型特征

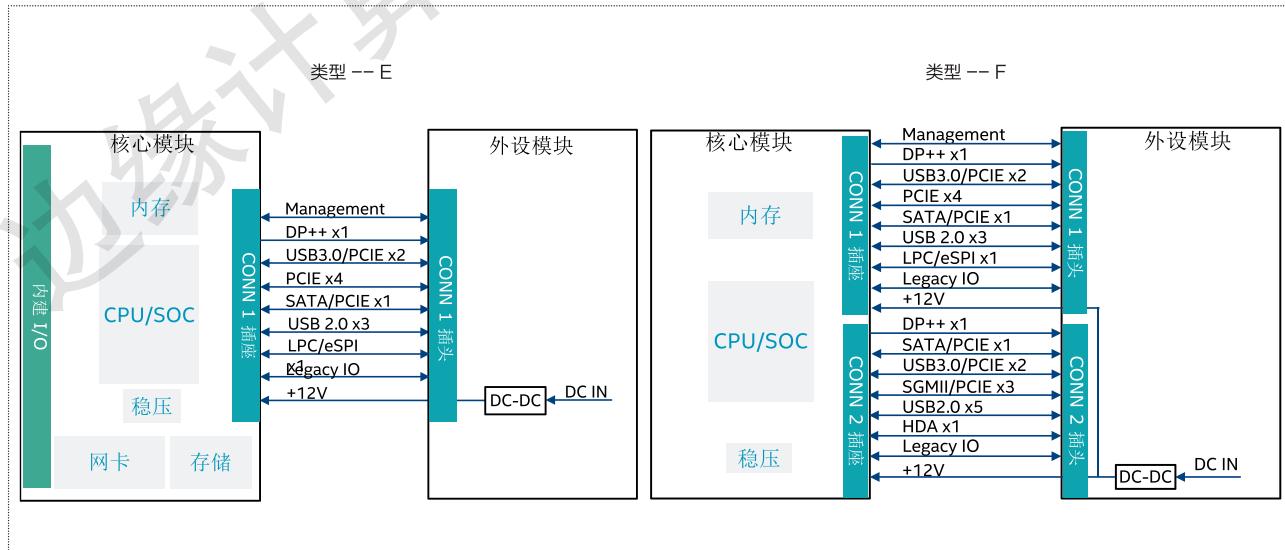


图 9. 简约扩展版（类型 -E）和灵活定制版（类型 -F）的连接器信号定义

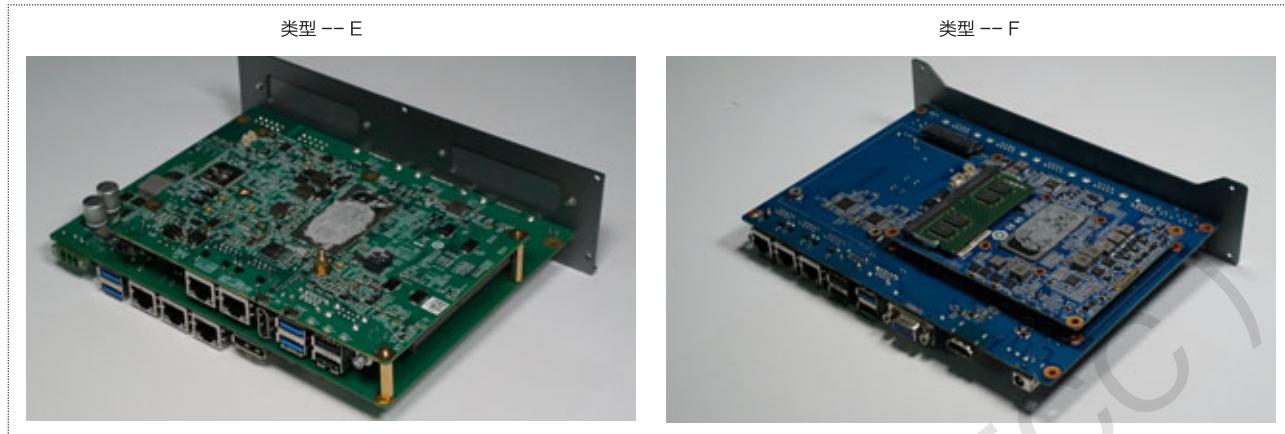


图 10. 简约扩展版 (类型 -E) 和灵活定制版 (类型 -F) 的参考样机实例

• 支持人工智能加速的工业边缘节点

基于人工智能技术的质量检测、机器人视觉、人机协同、厂区生产安全、设备预测维护等场景已经在工业制造过程逐步进入实用阶段，大大提高了生产效率，减轻了劳动强度，提升了生产安全水平。面对工业制造对人工智能能力的需求，华为与英特尔等厂商推出了面向人工智能的硬件与软件产品。例如，华为提供了全栈全场景的人工智能基础软硬平台。硬件方面，华为提供从模组/板卡，到服务器/集群计算的Atlas系列化硬件设备。Atlas搭载了昇腾系列芯片，

其核心是华为自研的达芬奇架构。达芬奇架构含有Cube、Vector、Scalar三种计算单元，分别执行张量、向量、标量计算。达芬奇架构针对以卷积神经网络（CNN）模型为主的人工智能计算能力进行优化，矩阵乘计算效率远高于传统GPU。软件方案，华为提供了包括异构计算架构CANN、人工智能计算框架MindSpore、应用使能组件MindX、全流程开发工具链MindStudio等在内的全栈软件平台和工具，帮助工业制造行业的算法开发者解决算法开发难、应用开发难、应用部署难的三大难题。



图 11. 全栈全场景的人工智能基础软硬平台架构图

3.2. 软件部分

3.2.1 软件参考架构

- **软件定义工业边缘节点**

软件定义的时代，万物皆可互联，一切均可编程。在软硬件

解耦的过程中，功能分层使得定义系统的各个任务分解为相互独立的软件和硬件模块，系统被配置成各种不同的虚拟设备和工作负载，来满足不断涌现的新的要求。下图介绍了边缘节点的典型功能分层的视图。

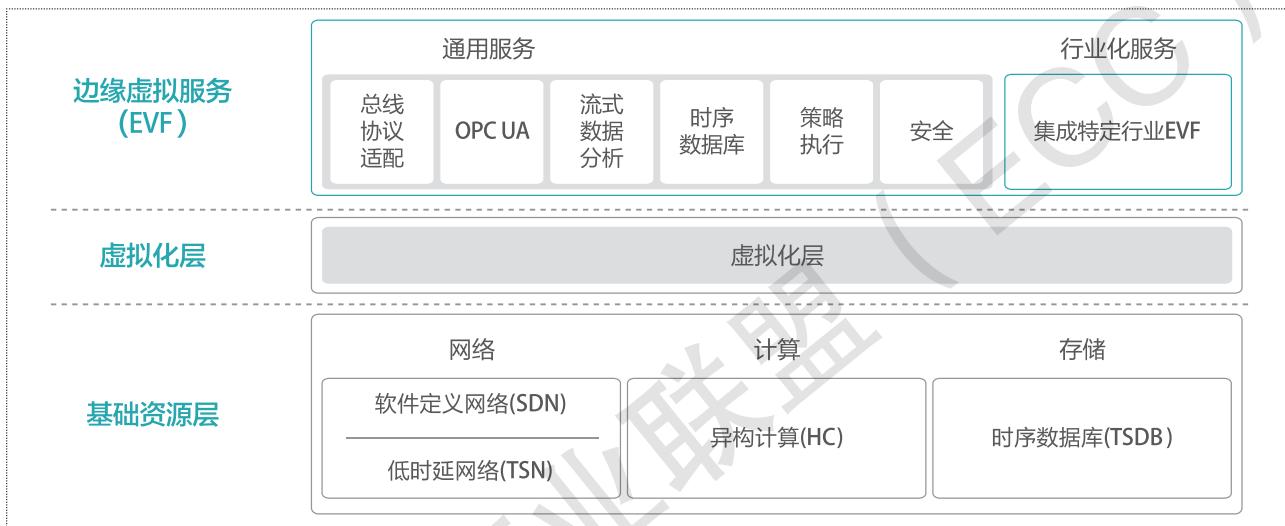


图 12. 边缘节点功能分层视图 [16]

- **微服务**

在软件实现方面，微服务的架构正得到越来越多的应用。下图为单体式架构和微服务架构的对比，展现了微服务由于规模较小而相对容易构建、部署、扩展和维护的特点。由于生

产工艺的调整，工厂用户可能需要不同的微服务来实现不同的工艺流程，因此灵活快速地修改和创建微服务，可以大大提高工厂用户的效率和创新潜力。

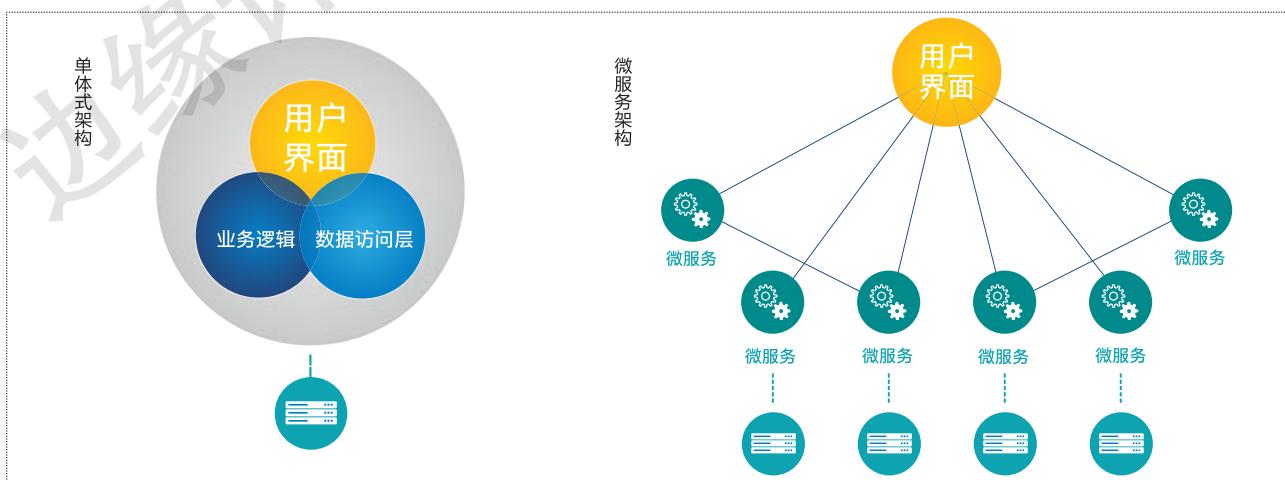


图 13. 单体式架构与微服务架构对比 [17]

3.2.2 典型软件产品现状

随着智能制造的步伐，柔性化定制化生产驱使自动化技术（如 PLC,SCADA 等）和信息化技术（如 MES，人工智能，数据分析等）进一步两化融合。而工业边缘节点就处在这个关键的交点上，在整个工厂系统中的重要程度进一步的加强。工业边缘节点上的微服务在承担传统的信息技术所应承担的数据收集、加工、反馈的任务的同时，需要更进一步突破传统边界，承担软硬件解耦之后，传统自动化技术所释放的实时控制、状态监测等任务。

为了最大化利用好边缘侧微服务灵活部署的特点，通常会按照对实时性的要求、数据量的要求、计算量的要求统筹考虑，分别部署在不同层级。相应的，这些工业边缘节点上运行的微服务组件可以大致分类为两个方向：

- ◎ 一部分强调满足高实时性需求，承担传统自动化技术所释放的任务；
- ◎ 另一部分强调满足高数据量和高计算量需求，承担传统信息技术所释放的任务。

英特尔公司为工业边缘节点，分别提供了两个软件参考实现：

- **工业边缘控制平台：**

主要部署在工业边缘控制器。微服务满足各个场合的高实时性的要求。工业边缘控制平台是一个模块化的软件参考架构平台，主要提供实时计算、虚拟化技术、标准化总线连接、信息安全、功能安全、便捷管理等微服务模块。工业边缘控制平台允许软硬件产品提供商按照不同的实时性需求，按需选择相应的微服务模块，最终生成有行业针对性的专属实时解决方案。

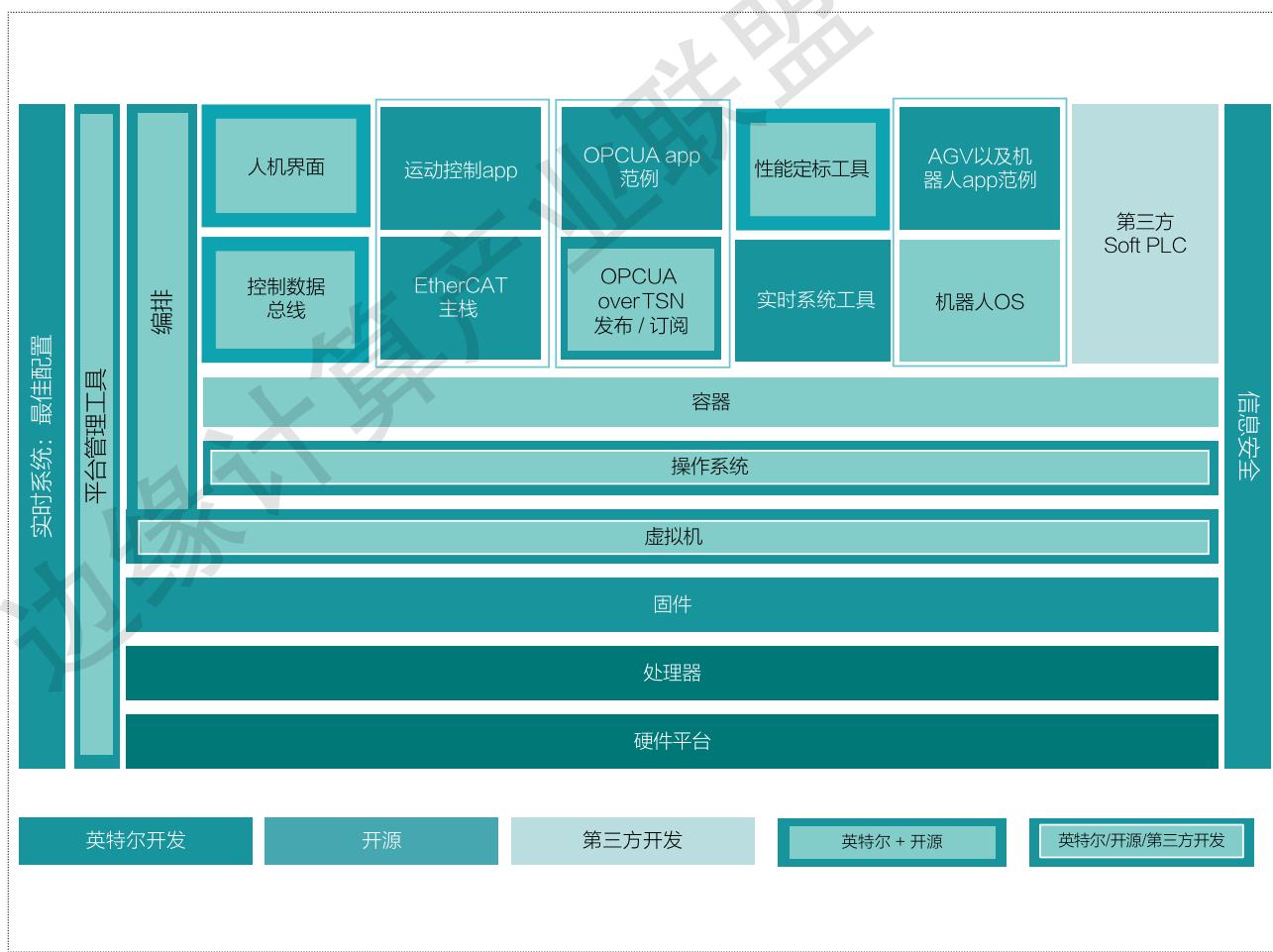


图 14. 工业边缘控制平台架构图 [18]

工业边缘节点参考架构

• 工业边缘洞见（分析）平台：

主要部署在工业边缘网关和工业边缘云服务器。微服务满足各个场合的高数据量和高计算量的要求。工业边缘洞见平台是一个模块化的软件参考架构平台，主要提供视频图像以及时序数据的收集，存储和处理等微服务模块，同时还提供数

据安全框架和数据总线微服务。工业边缘洞见平台使得在边缘侧测试、优化和部署 AI 方案变得更容易；模块化和容器化的灵活架构可混合、匹配服务或应用，缩短上市周期；内建异构计算加速工具包，支持方案自动随着相应硬件配置的变化而变化。

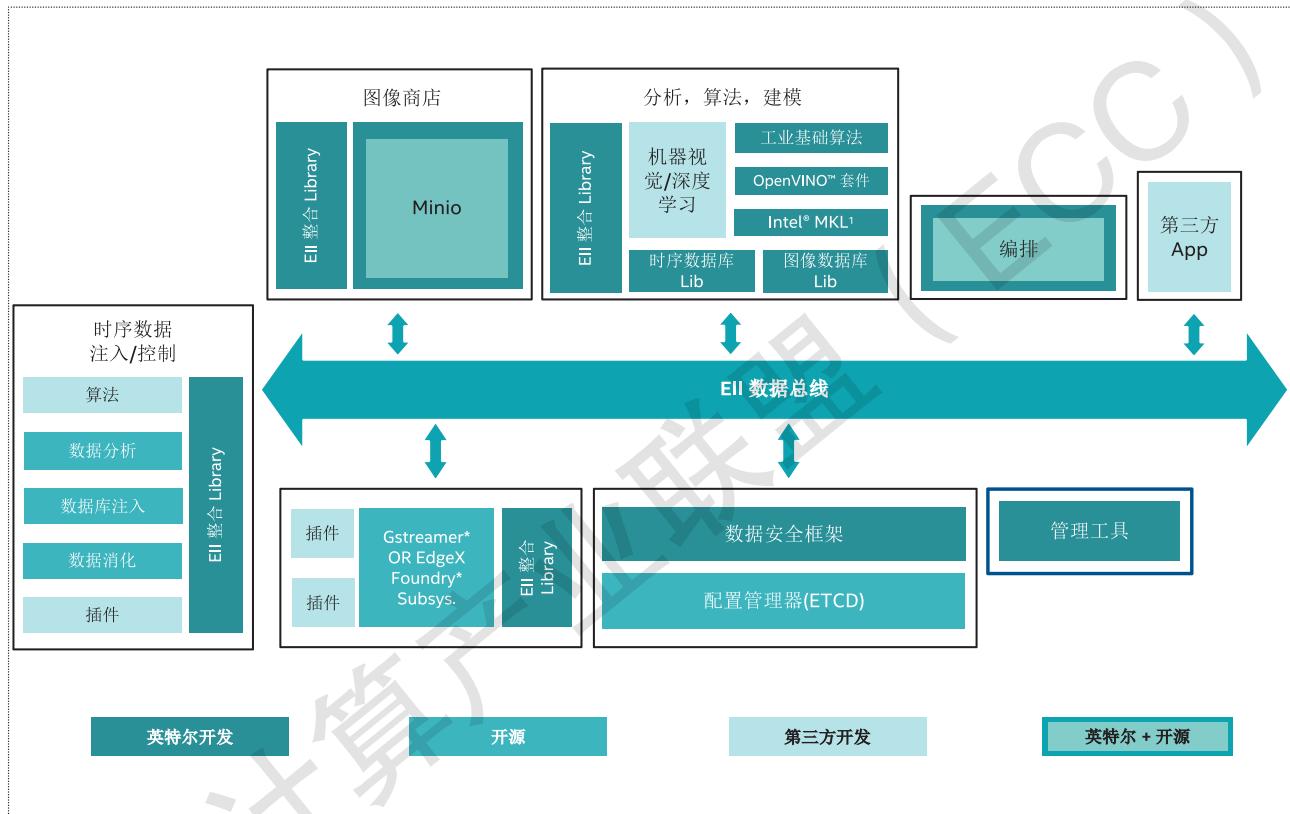


图 15. 工业边缘洞见平台架构图 [18]



04

工业边缘节点应用实践

4.1 高性能口罩机案例

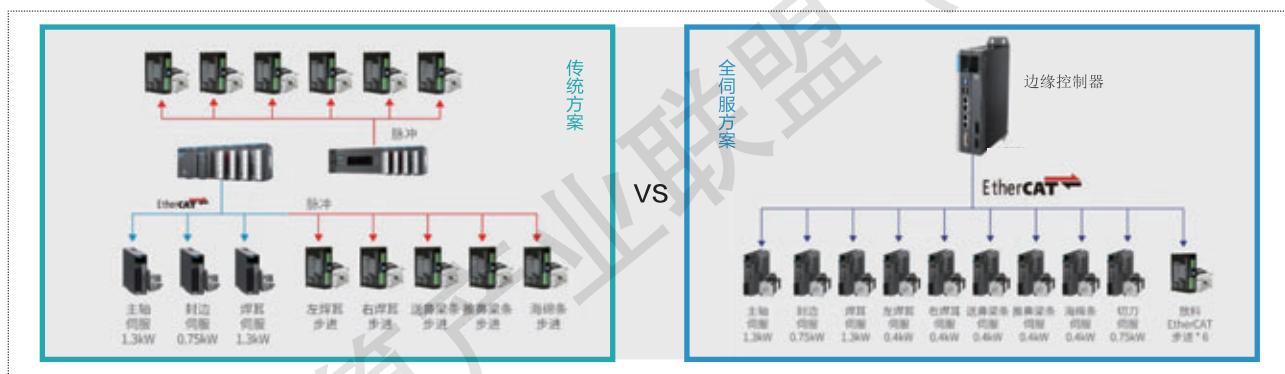


图 16. 脉冲—伺服混合方案和全伺服方案对比图 [19]

随着新型冠状病毒肺炎疫情的全球肆虐，越来越多的企业投入口罩的生产，为疫情防控贡献力量。N95 口罩机的机械结构和工艺都比较复杂，安装和调试一条 N95 口罩机生产线，其中绝大部分的工作量来自于机械相关的安装和调试，仅小部分来自于电气系统的安装和调试。机械部分的调试繁琐，而且对工人师傅的经验有较高要求，特别是印花与切刀的相位同步和送鼻梁条与推鼻梁条的机械动作时序，一般同时需要多个调试师傅配合并反复多次的尝试才能达到调试要求。

“全伺服方案”替换“脉冲伺服混合方案”：为了有效缩短调试周期，越来越多的口罩机厂商采用高性能“全伺服方案”（即由一台工业边缘控制器集中控制）替代传统的“脉冲伺服混合方案”（由两台 PLC 分别控制）。

工业边缘控制器在高性能口罩机解决方案中的核心价值包括：

- **简化系统结构：**

通过现场工业总线（EtherCAT）一网到底，减少接线工作量和安装调试。

- **提高系统精度：**

毫秒级总线周期，提升系统相应，高速不易丢步。

- **降低调试成本：**

无需关心脉冲和伺服系统之间时钟同步，可通过参数和程序快速调整伺服电机。

- **实时数据交互：**

可通过工业边缘控制器实时上传数据到云，实现产线及和工厂级的全监控。

4.2 三维视觉 + 机器焊接案例

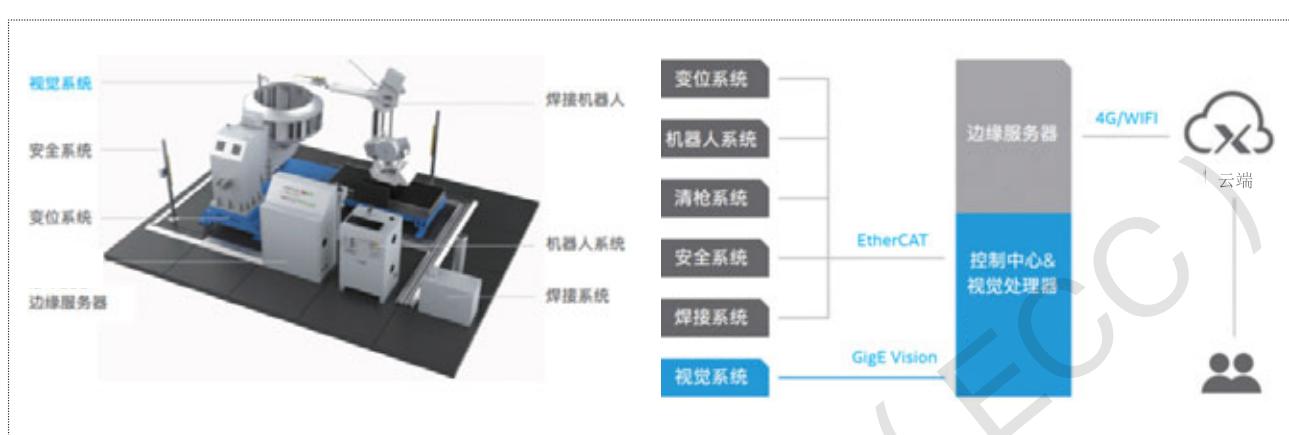


图 17. 3D 视觉机器焊接原理图 [20]

焊接是工业生产制造中不可或缺的一个程序，大到舰船组装，小到厨具生产，都需要焊接工序的参与。但是焊接本身是有毒害作业，加上随着人工快速上涨，能够熟练掌握焊接技术的高级技师已经成为稀缺资源，逐渐成为各个生产行业持续发展的瓶颈。

为了有效缓解“技师荒”，焊接工序正在逐步的机器换人。与人工作业相比，机器作业可重复性更好，焊接质量更稳定；同时因为杜绝了对人体的毒害作用，可以在密闭等恶劣环境中持续作业。

焊接自动化的发展已经进了三个阶段：

- **示教 + 机器焊接：**

作为最成熟的机器人应用有显著的成本优势。适用于大批量重复工件焊接。但在多样化柔性生产中需要工程师持续校准，生产效率无法得到保障。

- **二维视觉 + 机器焊接：**

通过二维摄像头识别焊接位置后精心焊接。适用于平面工件焊接，在人工智能技术支持下，可实现柔性生产。但是无法对曲面和立体工件进行焊接，存在应用盲点，限制工序调整。

- **三维视觉 + 机器焊接：**

在兼顾二维视觉的基础上，可识别三维位置信息，能实现对曲面和立体工件的识别和定位，具备螺旋渐近线焊接功能，

更大范围满足焊接自动化的各类需求。

在三维视觉 + 机器焊接解决方案中，工业边缘服务器和工业边缘控制器都扮演了重要的角色。

工业边缘控制器在三维视觉 + 机器焊接解决方案中的核心价值包括：

- **工业级可靠性：**

可宽温运行，可满足严苛的室内外焊接环境。

- **高实时精度性：**

一机两用（机器控制和视觉），机间通信转化为机内通信，减低系统时延，提高精度。

- **自适应性：**

利用人工智能技术，灵活导入新工件并且设置对应焊接参数，利用生产数据，工艺数据，图像数据建立本地模型并且上传工业边缘服务器。

工业边缘服务器在三维视觉 + 机器焊接解决方案中的核心价值包括：

- **状态监测与报警：**

对设备状态数据，操作人员数据进行储存、分析、展示，支持远程监控和及时响应突发事件。

• 生产工艺优化:

收集工业边缘控制器上传的数据和模型，进一步通过数据分析生成数据洞察和模型优化，反向传递给工业边缘控制器做模型迭代。

• 设备生命周期管理:

合并设备状态和生产工艺数据，结合设备老化曲线判断系统状态，方便进一步效率优化。

4.3 钢铁、有色轧制行业智能质检案例

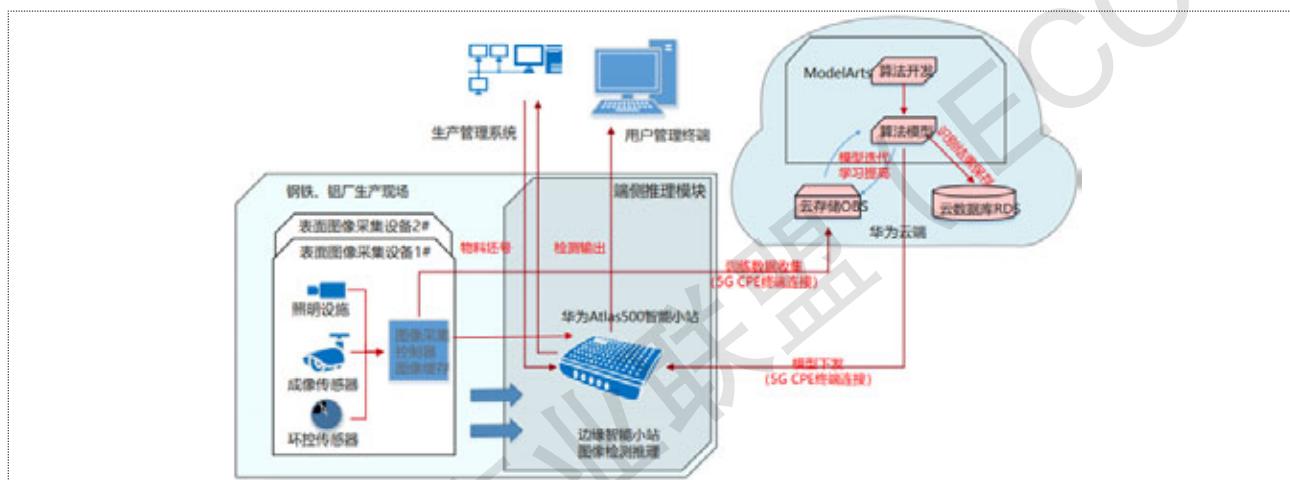


图 18. 钢铁、有色轧制行业智能表面缺陷检测系统架构 [21]

钢铁、有色轧制行业的表面缺陷质检传统上由人工完成，由于生产环境存在热辐射对质检工人的安全和健康存在较大风险，自动化的智能质检已经成为行业的必然选择。但传统的机器视觉技术还存在一些局限性，包括：

• 误检率高：

误检率达到 30~40%，需要人工复检

• 性能差：

手工设计图像特征，进行统计分析，性能比较低

• 无学习能力：

针对新场景需要调整硬件和检测模板

• 生态封闭：

数据格式自定义，无法共享

针对以上需求与问题，华为联合合作伙伴开发了智能表面缺

陷检测系统，通过部署在边缘的强人工智能算力设备实现实时的在线检测。方案的核心价值包括：

• 高分辨率缺陷检测技术：

图像采集分辨率达到 0.2mm/pixel，对铝带、不锈钢等精密板带的轻微划伤等缺陷可清晰成像，同时可以适应 200m/min 的高速带材产线；

• 强人工智能算力设备支持实时在线检测：

基于 Atlas 200 智能小站，提供 16 TOPS INT8 算力，支持 16 路高清视频解码，可支持实时 AI 推理运算；

• 先进人工智能算法和边云协同技术：

基于深度学习的表面缺陷识别算法，对多种缺陷进行准确识别，并实现基于目标检测网络的缺陷精确定位，缺陷检出率达到 95%，识别准确率 85%，达到业界领先水平；通过边云协同，充分利用华为云高性能人工智能训练算力和边云协同管理平台，实现算法的快速升级与部署。



05

附录

5.1 中英文术语对照表

序号	中文名称	英文名称
1	人工智能	Artificial intelligence (AI)
2	工业互联网	Industrial Internet
3	人工智能工业互联网	AIOT
4	现场总线	Fieldbus
5	工业边缘节点	Industrial edge node
6	工业边缘控制器	Industrial edge controller
7	工业边缘网关	Industrial edge gateway
8	工业边缘云服务器	Industrial edge cloud server
9	软件定义	Software defined
10	微服务	Micro-service
11	自主移动机器人	Autonomous mobile robot (AMR)
12	输入输出接口	Input/output (I/O)
13	生产执行系统	Manufacturing execution system (MES)
14	数控机床	Computer numerical control (CNC)

序号	中文名称	英文名称
15	逻辑控制器	Programable logic controller (PLC)
16	人机界面	Human-machine interface (HMI)
17	时间敏感网络	Time sensitive network (TSN)
18	运营技术	Operational technology (OT)
19	信息技术	Information technology (IT)
20	增强现实	Augmented reality (AR)
21	虚拟现实	Virtual reality (VR)
22	虚拟化	Virtualization
23	容器化	Containerization
24	实时技术	Real-time technology
25	异构计算	Heterogeneous computing
26	云原生	Cloud native
27	卷积神经网络	Convolutional neural networks

5.2 参考文档

- [1] 中国信息通信研究院 . 工业互联网产业经济发展报告, 2020.3
- [2] 国务院 . 中国制造 2025, 2015.5
- [3] 国务院 . 关于深化“互联网 + 先进制造业”发展工业互联网的指导意见 2017.11
- [4] 中共中央 . “十四五”规划以及 2035 年远景目标建议 , 2020.11
- [5] 赛迪研究院 . 工业互联网创新发展白皮书, 2019
- [6] 华安证券 . 工业互联网深度研究：智造升级，科技赋能主旋律, 2020.9
- [7] 工业互联网产业联盟 . 5G 与工业互联网融合应用发展白皮书 , 2019.11
- [8] 中国信息通信研究院 . 中国“5G + 工业互联网”产业发展报告（2020年）, 2020.11
- [9] 中国通信标准化协会工业互联网特设组 ST8. 工业互联网边缘计算总体架构与要求, 2019.10
- [10] 中国信息通信研究院和工业互联网产业联盟 . 离散制造业边缘计算解决方案白皮书, 2020.4
- [11] 英特尔公司 . 通过边缘计算提高制造业的灵活性，敏捷性和成本效益, 2019.4
- [12] 边缘计算产业联盟和工业互联网产业联盟 . 边缘计算与云计算协同白皮书, 2018.11
- [13] 边缘计算产业联盟和工业互联网产业联盟 . 边缘计算与云计算协同白皮书 2.0, 2020.12
- [14] 中国信息通信研究院 . 边缘计算标准件计划 , 2020.6
- [15] 英特尔公司 . Phoenix Hill Electrical, Mechanical, and Thermal Specifications (EMTS) <https://cdrdv2.intel.com/v1/dl/getContent/631160> 如需获得本文中提及的包含文档序列号的文件复本, 请拨打电话 1-800-548-4725 或点击下列网址索取 www.intel.com/design/literature.html。
- [16] 边缘计算产业联盟和工业互联网产业联盟 . 边缘计算参考架构 2.0, 2017.11
- [17] Hazelcast. “Microservices Architecture Explained”（微服务架构原理）, 查阅于下列网址 <https://hazelcast.com/glossary/microservices-architecture>
- [18] 英特尔公司 . 边缘控制平台以及边缘洞察平台, 软件试用版下载, 请点击网址: <https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/topics/iot/edge-solutions.html>
- [19] 英特尔公司 . 依托边缘控制与工业视觉, 赋能工业制造智能化 <https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/internet-of-things/huichuan-face-mask-automated-production.html>
- [20] 英特尔公司 . 以人工智能与视觉计算实现焊接工艺智能化 <https://www.intel.cn/content/www/cn/zh/internet-of-things/achieve-the-intelligent-welding-process.html>
- [21] 华为技术有限公司 . 5G 智慧钢铁白皮书, 2020.8



关注边缘计算产业联盟
请扫二维码

版权所有 ©

本白皮书版权属于边缘计算产业联盟所有，本文档包含受版权保护的内容，非经本联盟书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

商标声明

 为边缘计算产业联盟（ECC）的商标。

本文档提及的其他所有商标或注册商标，由各自的所有人拥有。

边缘计算产业联盟（ECC）

地址：北京市海淀区上地十街辉煌国际 5 号楼 1416

邮编：100085

网址：www.eccconsortium.net

邮箱：info@eccconsortium.net

电话：010-62669087