

三、工业互联网的网络体系

(一) 工业互联网网络体系框架

随着智能制造的发展，工厂内部数字化、网络化、智能化及其与外部数据交换需求逐步增加，工业互联网呈现以三类企业主体、七类互联主体、八种互联类型为特点的互联体系，如图 3 所示。

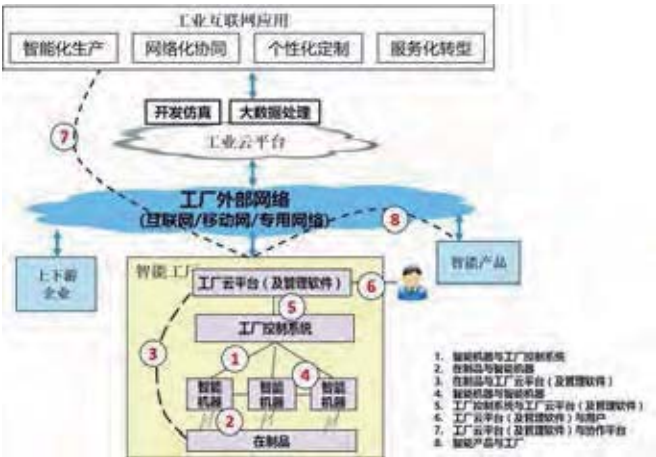


图 3 工业互联网互联示意

三类企业主体包括工业制造企业、工业服务企业（围绕设计、制造、供应、服务等环节提供服务的各类企业）和互联网企业，这三类企业的角色在不断渗透、相互转换。七类互联主体包括在制品、智能机器、工厂控制系统、工厂云平台（及管理软件）、智能产品、工业互联网应用，工业互联网将互联主体从机传统的自动化控制进一步扩展为产品全生命周期的各个环节。八种互联类型包括了七类互联主体之间复杂多样的互联关系，成为连接设计能力、生产能力、商业能力以及用户服务的复杂网络系统。

以上互联需求的发展，促使工厂网络发生新的变革，形成工业互联网整体网络架构，如图 4 所示。

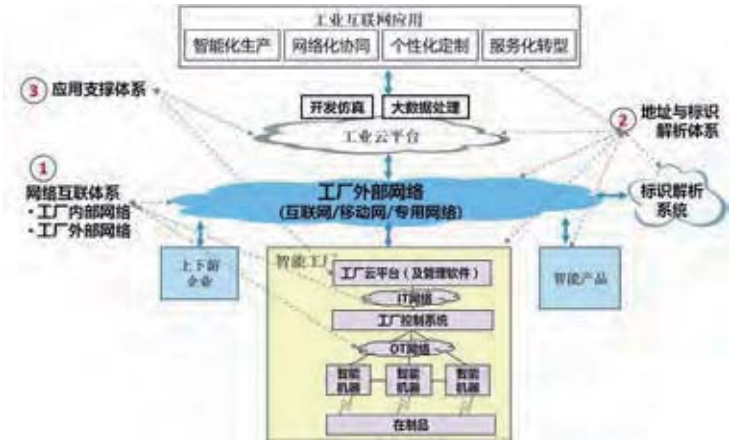


图 4 工业互联网整体网络体系目标框架

与现有互联网包含互联体系、DNS 体系、应用服务体系三个体系相类似，工业互联网也包含三个重要体系。一是网络互联体系，即以工厂网络 IP 化改造为基础的工业网络体系。包括工厂内部网络和工厂外部网络“两大网络”。工厂内部网络用于连接在制品、智能机器、工业控制系统、人等主体，包含工厂 IT 网络和工厂 OT（工业生产与控制）网络。工厂外部网络用于连接企业上下游、企业与智能产品、企业与用户等主体。二是地址与标识体系，即由网络地址资源、标识、解析系统构成的关键基础资源体系。工业互联网标识，类似于互联网域名，用于识别产品、设备、原材料等物体。工业互联网标识解析系统，用于实现对上述物体的解析，即通过将工业互联网标识翻译为该物体的地址或其对应信息服务器的地址，从而找到该物体或其相关信息。三是应用支撑体系，即工业互联网业务应用交互和支撑能力，包含工业云平台和工厂云平台，及其提供的各种资源的服务化表述、应用协议。

（二）工业互联网网络互联体系

1、工厂内部网络

（1）现状分析

工厂内部网络是在工厂内部用于生产要素以及 IT 系统之间互联的网络。总体来看，工厂内部网络呈现“两层三级”的结构，如图 5 所示。“两层”是指“工厂 OT 网络”和“工厂 IT 网络”；“三级”是根据目前工厂管理层级的划分，网络也被分为“现场级”、“车间级”、“工厂级 / 企业级”三个层次，每层之间的网络配置和管理策略相互独立。

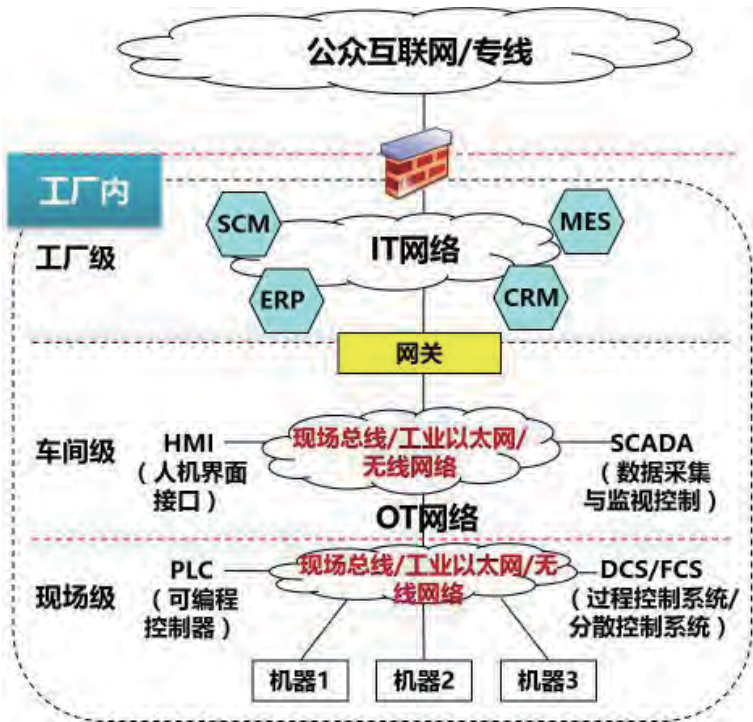


图 5 工厂网络连接现状

其中，工厂 OT 网络主要用于连接生产现场的控制器（如 PLC、DCS、FCS）、传感器、伺服器、监控设备等部件。工厂 OT 网络的主要实现技术分为现场总线和工业以太网两大类。工厂 IT 网络主要由 IP 网络构成，并通过网关设备实现与互联网和工厂 OT 网络的互联和安全隔离。

（2）存在的问题

目前工厂内部网络“两层三级”这种技术体系和网络结构相互隔离的状况使 IT 系统与生产现场之间的通信存在较多障碍。一是工业控制网络与工厂信息网络的技术标准各异，难以融合互通。二是工业生产全流程存在大量“信息死角”，亟需实现网络全覆盖。三是工厂网络静态配置、刚性组织的方式难以满足未来用户定制、柔性生产的需要。

（3）发展趋势

为适应智能制造发展，工厂内部网络呈现扁平化、IP 化、无线化及灵活组网的发展趋势。

工厂内网络扁平化。一是随着智能机器发展和智能分析的集中，工厂 OT 系统将逐渐打破车间级、现场级分层次组网模式，智能机器之间将逐渐实现直接的横向互联。二是整个工厂管理控制系统扁平化，包括 IT 系统和 OT 系统部分功能融合（如 HMI），或通过工业云平台方式实现，实时控制功能下沉到智能机器，促使 IT 与 OT 网络逐步融合为同一张全互连网络。

工厂内网络以太网 /IP 化趋势。随着工业网络技术的发展演进，现场总线正在逐步被工业以太网替代。未来，工业内有线连接将被具有以太网物理接口的网络主导，同时基于通用标准的工业以太网逐步取代各种私有的工业以太网，并实现控制数据与信息数据同口传输。随着以太网的广泛使用，工业网络的 IP 化趋势将更为凸显，IP 技术将由 IP 网络向 OT 网络延伸，实现信息网络的 IP 到底，从而使得 IT 与 OT 节点（机器）直接可达。而为解决大量支持 IP 的装备接入问题，IPv6 技术将在工厂内广泛应用。

工厂内无线网络成为有线网络的重要补充。无线技术逐步向工业领域渗透，呈现从信息采集到生产控制，从局部方案到全网方案的发展趋势。目前无线技术主要用于信息的采集、非实时控制和工厂内部信息化等，Wi-Fi、Zigbee、2G/3G/LTE、面向工业过程自动化的无线网络 WIA-PA、WirelessHART 及 ISA100.11a 等技术已在工厂内获得部分使用。对于低功耗、广覆盖、大连接等工业信息采集和控制场景，NB-IoT 将会成为较好的技术选择。同时无线技术正逐步向工业实时控制领域渗透，成为现有工业有线控制网络有力的补充或替代，如 5G 已明确将工业控制作为其低时延、高可靠的重要应用场景，3GPP 也已开展相关的研究工作，对应用场景、需求、关键技术等进行全面的梳理，此外 IEC 正在制定工厂自动化无线网络 WIA-FA 技术标准。

工厂内网络灵活化组网。未来基于智能机器柔性生产将实现生产域根据需求进行灵活重构，智能机器可在不同生产域间迁移和转换，并在生产域内实现即插即用。这需要工厂网络的灵活组网，实现网络层资源可编排能力，软件定义网络（SDN）是其中实现方式之一。

(4) 目标架构

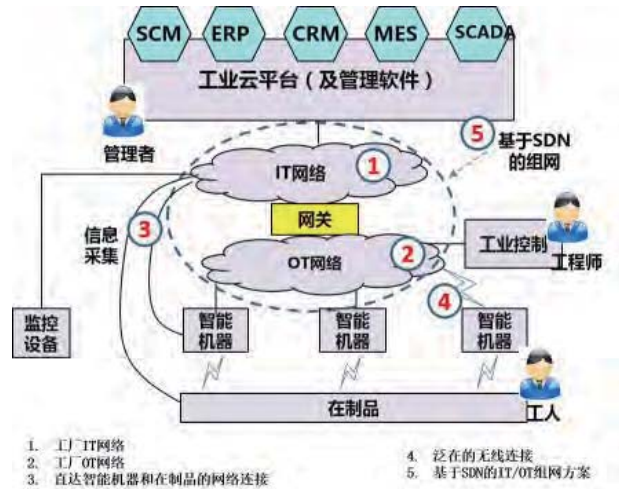


图6 工厂内部网络目标架构

工业互联网场景下工厂内部网络方案将包括五个主要环节，如图6所示，一是工厂IT网络。为适应互联网的发展趋势，同时也为了工厂内庞大数量的生产、监控终端接入，IT网络应该基于IPv6或支持IPv4/IPv6双栈。二是工厂OT网络。工业以太网将逐步替代现场总线，实现“e网到底”，同时在以太网向下延伸基础上实现智能机器、传感器、执行器等IP化或IPv6化。三是直达智能机器和在制品的连接。智能机器、传感器、在制品等生产现场设备、物品将实现到IT网络的直达连接以实现生产现场的实时数据采集等功能。四是泛在的无线连接。生产现场的智能机器、在制品、传感器、运送设备等将通过各类无线技术实现连接，根据设备能耗、传送距离等可采用Zigbee等短距离通信技术或Wi-Fi、LTE增强、NB-IoT、5G等无线技术。五是基于SDN的IT/OT组网方案。IT网络和OT网络采用SDN技术，实现控制平面与转发平面的分离，通过SDN控制器与制造控制系统（如MES等）协同进行网络资源调度，支撑柔性制造和生产自组织。

2、工厂外部网络

(1) 现状分析

工厂外部网络主要是指以支撑工业全生命周期各项活动为目的，用于连接企业上下游之间、企业与智能产品、企业与用户之间的网络。目前，大量工业企业已经与公众互联网之间实现互联，但互联网为工业生产带来的价值仍比较有限。从互联形式上来看，工厂的生产流程和企业管理流程仍封闭在工厂内部，从公众互联网的角度来看，工厂内部仍是一个“黑盒”。从应用形式上看，工厂与互联网的结合主要是在产品销售和供应链管理等环节，互联网在工业生产全生命周期中的资源优化配置作用仍未充分体现。

(2) 存在的问题

目前以IPv4公众互联网为主体的工厂外部网络承载未来工业互联网应用存在四个方面主要问题，一是网络性能难以满足。公众互联网没有服务质量的保证，难以满足工业生产与互联网融合

后对网络提出的低时延、高可靠、服务质量保证的需求。二是网络承载能力难以满足。目前的公众互联网业务承载和隔离能力较弱，在 VPN 专网上能够承载的 VPN 数量也有限，难以满足大量工业企业专线互连的要求。三是网络安全威胁。工业互联网应用对网络安全的要求进一步提升，目前互联网的安全能力有待提高。四是网络地址空间有限。目前以 IPv4 为基础的公众互联网自身面临地址枯竭的局面，难以承载工业互联网数以百亿终端接入的要求。

（3）发展趋势

随着网络和信息技术、服务模式的发展，原来局限在工厂内的工业生产过程逐步扩展到外部网络，工业生产信息系统与互联网正在走向深度协同与融合，包括 IT 系统与互联网的融合、OT 系统与互联网的协同、企业专网与互联网的融合、产品服务与互联网的融合。

企业 IT 系统与互联网融合从网络层面来看是工厂内部 IT 网络向外网的延伸。企业将其 IT 系统（如 ERP、CRM 等）托管在互联网的云平台中，或利用 SaaS 服务商提供的企业 IT 软件服务。

OT 系统与互联网协同从网络层面看是部分 OT 系统网络向外网的延伸。在一些人力较难达到，且又需要实现生产过程调整和维护的场景下，需要通过可靠的互联网连接，实现远程的 OT 系统控制。目前互联网的质量对于时延、抖动、可靠性有极高要求的实时控制还无法承载。

企业专网与互联网融合是将在公众网络中为企业生成独立的网络平面，并可对带宽、服务质量等进行灵活快速定制。这类业务场景需要提供独立的网络资源控制能力，开放的网络可编程能力，以及定制化的网络资源（如带宽、服务质量等）。目前的互联网尚不支持此类业务场景，需要网络虚拟化及软件定义网络技术的进一步发展及部署。

产品服务与互联网融合将通过智能工业产品的信息采集和联网能力为工业企业提供新的产品服务模式。工业企业基于这些平台可以为用户提供产品监测、预测性维护等延伸服务，从而延长了工业生产的价值链。这类业务的基础是对海量产品的数据采集与监测，需要通过无线等技术实现工业产品的泛在接入。

工厂与公众网络的互联需求不断增强和扩展，新型互联的出现对现有公众网络不断提出新的需求，一是支持百亿终端接入，联网的工业装备及产品数量将达到百亿级水平。二是支持百级业务平面，考虑工业现场 OT、IT 各类应用以及未来业务发展，不同质量要求的业务平面应达到数百级别。三是支持百万用户隔离，全国规模以上工业企业数量在 50 到 60 万家左右，每个企业按照 3 到 5 个 VPN 需求计，网络的承载能力需达到百万级 VPN 水平。四是提供全程服务质量保证，满足不同工业互联网应用端到端的网络质量可靠性要求。五是提供网络编排能力，网络应通过开放接口支持工业和其他行业用户对网络功能和协议进行自定义。六是提供内嵌安全能力，实现内生安全与网络可溯源以便保障关键应用安全。

工业与外部网络的进一步融合，将推动个性化定制、远程监控、智能产品服务 etc 全新的制造和服务模式。为此，工厂外部网络需要具备更高速率、更高质量、更低时延、安全可靠、灵活组网等能力，这些需求在目前的互联网上还无法满足，需采用 5G、软件定义网络（SDN）、网络功能虚拟化（NFV）等一系列新的网络技术研究和部署来支撑工业互联网发展。

(4) 目标架构

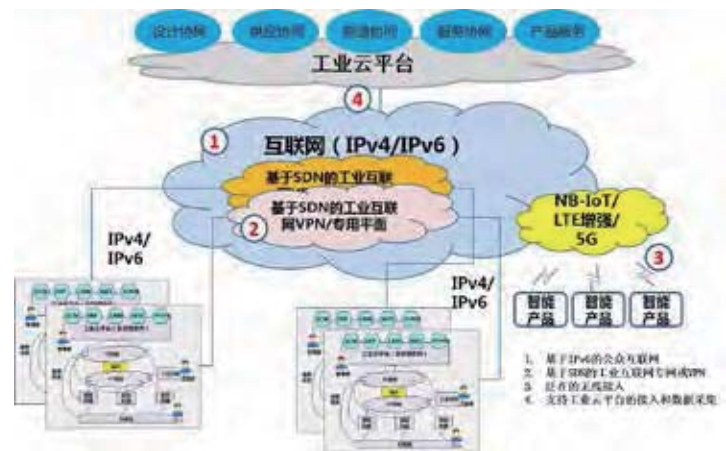


图 7 工厂外部网络目标架构

工业互联网场景下工厂外部网络方案将包括四个主要环节，如图 7 所示，一是基于 IPv6 的公众互联网。工业互联网的终端数量将达到数百亿量级，IPv6 在公众互联网中的部署势在必行，同时还需要考虑 IPv4 到 IPv6 的过渡网络方案。二是基于 SDN 的工业互联网专网或 VPN。对一些网络质量要求较高，或比较关键的业务，需要用专网或 VPN 的方式来承载。专网中需要利用 SDN、NFV 等技术实现业务、流量的隔离，并实现网络的开放可编程。三是泛在无线接入。利用 NB-IoT、LTE 增强、5G 等技术，实现对各类为满足各类海量的智能产品的无线接入。四是支持工业云平台的接入和数据采集。工厂外部网络支持企业信息化系统、生产控制系统，以及各类智能产品向工业云平台的数据传送和服务质量保证。

(三) 工业互联网地址与标识解析体系

1、标识及标识解析体系

(1) 现状分析

如同域名系统 (DNS) 在互联网中的作用一样，标识解析体系是工业互联网的关键神经系统。工业互联网中的标识，就类似于互联网中的域名，是识别和管理物品、信息、机器的关键基础资源。工业互联网中的标识解析系统，就类似互联网中的域名解析系统，是整个网络实现互联互通的关键基础设施。

目前国内外存在多种标识编码及标识解析方案。标识编码方面尚未统一，中小型企业内部大量使用自定义的私有标识，而涉及流通环节的供应链管理、产品溯源等应用模式正在逐步尝试跨企业的公有标识。标识解析方面总体可分成两大发展路径。以是否基于 DNS 区分，标识解析体系发展存在两条路径（改良路径和变革路径）。改良路径仍基于互联网 DNS 系统，对现有互联网 DNS 系统进行适当改进来实现标识解析，其中以美国 GS1/EPCglobal 组织针对 EPC 编码

提出的 ONS 解析系统相对成熟。国际上主要的标识解析体系在中国都授权设立了分支机构，如电子标准化院组建的 OID 注册中心，物品编码中心负责国内的 EPC 编码分配。同时我国相关单位也在基于 DNS 系统积极探索其它改良方案，如中科院计算机网络信息中心的物联网异构标识解析 NIOT 方案，中国信息通信研究院 CID 编码体系。国内单位通过在我国国家顶级域 .CN 下注册二级域名，形成境内标识解析系统。同时为改变域名解析系统长期受制于美国的局面，国内互联网企业（天地互连公司）开展了根节点拓展实验“雪人计划”。变革路径采用区别于 DNS 的标识解析技术，目前主要是数字对象名称管理机构（DONA 基金会）提出的 Handle 方案，未来还可能出现新的技术方案。Handle 方案采用平行根技术，实现各国共同管理和维护根区文件，现已在 ITU、美、德及我国设置了 4 个根服务器，既可以独立于 DNS 又能够与现有 DNS 兼容。电子一所负责运营中国根。

目前各方案在国内均已启动并形成一定规模布局，且不同方案之间已具备互通能力，可以互相兼容、互通和共存。

（2）存在的问题

为支撑工业互联网发展，标识解析体系面临一些新的需求和挑战，现有标识解析体系尚难以完全满足这些需求。一是功能方面，由于工业互联网中的主体对象来源复杂、标识形式多样、难以统一，需要支持异构兼容性和有效扩展性。二是性能方面，工业互联网的标识数据将大大超过现有的互联网标识数据，需要工业互联网标识解析系统具有高效性和可靠性，针对工厂内柔性制造等特定场景还需要保障较低的解析时延。三是安全方面，由于工业互联网标识解析系统中存储了更多涉及到国计民生敏感数据，所以需要提供隐私保护、真实认证、抗攻击能力，攻击溯源能力。四是管控方面，标识是工业互联网重要的基础资源，可以反映和统计分析工业运行状态，需要更加公正平等的治理体系。目前主要标识解析系统是否能够满足工业互联网在功能、性能、安全、管控等方面的需求还需要检验。

（3）发展趋势

闭环的私有标识及解析系统正在逐步向开环的公共标识及解析系统演进。目前标识技术在资产管理、物流管理等部分环节得到应用和推广，并正在向生产环节渗透，如产线可以通过自动读取在制品标签标识来匹配相应的处理。随着面向产品全生命周期管理及跨企业产品信息交互需求的增加，将推动企业标识系统与公共标识解析的对接。标识对象也将随着自动化标识技术的应用逐步扩展，初期可能侧重产品标识，逐步覆盖原材料、软件系统等各种管理对象和要素。

多种标识解析体系在一定时期内共存。基于改良路径的方案和基于变革路径的方案在国内外均已启动并形成一定规模布局。从目前看，已有的标识类应用现状难以打破，短期内难以实现标识解析体系的统一。且目前多种方案已具备互通能力，可以相互兼容、互通和共存。

公平对等是标识解析的重要发展方向。传统互联网的治理格局长期不变，DNS 域名系统的最高管理权掌握在少数国家手中，这种集中化的单边管理机制既容易受到黑客攻击，又存在控制

权争议问题。目前，国内外已经提出并开始布局多种新型标识解析体系方案，如 ONS 在 2.0 版本已经支持并连根，Handle 采用平行根设计，其共同特征是倾向于分布式的多边管理机制，更加强调公平、对等。

2、工业互联网地址

工业互联网发展需要大量的 IP 地址。工业互联网需要支撑海量智能机器、智能产品的接入，而目前已趋于枯竭的 IPv4 地址难以满足未来工业互联网发展的海量地址空间需求。因此 IPv6 是工业互联网发展的必然选择。IPv6 在解决工业互联网地址需求的同时，也能为工厂内网各设备提供全球唯一地址，为更好的进行数据交互和信息整合提供了条件。

IPv6 在工业互联网应用的技术和管理将成为研究热点。IPv6 虽然已经研究了多年，但工业应用有其特殊性，尤其是工厂内网在安全性、可靠性、网络性能等方面都有较高的要求，因此 IPv6 与工业互联网结合的技术需要进一步深入研究。同时，工业生产关系国计民生，提前开展 IPv6 地址在工业互联网中分配和管理的研究，将有利于提高主管部门的互联网监管水平。

（四）工业互联网应用支撑体系

（1）现状分析

工业互联网应用支撑体系包括三个层面，一是实现工业互联网应用、系统与设备之间数据集成应用使能技术，二是工业互联网应用服务平台，三是服务化封装与集成。

工业互联网应用、系统与设备集成的应用使能技术是支撑工业企业内部或工业企业与互联网数据分析平台之间实现数据集成和互操作的基础协议。与互联网中的 HTML 等协议类似，工业互联网中的应用使能技术的主要作用是在异构系统（不同的操作系统、不同的硬件架构等）之间实现数据层面的相互“理解”，实现信息集成与互操作。OPC 是目前应用较广泛的工厂内应用使能技术，其定义了一套通用的数据描述和语法表达方法（信息模型），每个系统可以将各自的数据信息以 OPC 的格式进行组织，从而可以被其他系统所获取和集成。

工业互联网应用服务平台目前主要体现为可集成部署各类工业云服务能力和资源的平台，以实现在线设计研发、协同开发等工业云计算服务。这类服务主要面向中小工业企业。一是通过在线的集成设计云服务可以为工业企业提供设计资源和工具服务。二是开展基于云平台的多方协作、设计众包等新型开发方式，实现制造资源高效整合。目前也逐步出现一些工业云服务平台，通过利用应用使能技术，实现对生产现场数据的有效采集与分析，并将结果应用于企业管理与决策。

目前工业企业服务化集成主要集中在工厂运营层信息系统中，大型企业通过企业服务总线（ESB）将 ERP、CRM、MES 等信息系统通过 SOA 化的形式进行资源组织，为企业运营提供基础管理支撑。在此基础上，向工厂 / 车间下沉的 MES 或者 SCADA 系统基本停留在业务逻辑预

置开发、数据库为中心的交互模式，而底层设备、物料等生产资源仍无法实现 SOA 化的服务资源调度。

（2）存在的问题

目前工业互联网应用支撑体系仍在发展的初期，存在三个主要问题：一是工业云平台的标准化和规范化问题。目前面向工业云平台缺乏标准与规范，企业可能会针对云服务商业绑定、数据迁移、数据安全等问题有所顾虑。二是应用使能技术通用性问题。目前 OPC 在工厂内部获得了较广泛的应用，在一定程度上解决了设备与系统信息交互与集成问题，但是 OPC 仅规范了读写格式，对于设备与系统缺乏结构化、模型化的规范化表示，因此对上层应用系统来说仍然是独立的 I/O 变量或功能，系统集成和业务逻辑复杂。三是服务化有待发展与探索。目前企业级各个信息系统已可以实现基于 SOA 的集成，但生产控制层面主要还是基于定制协议和定制逻辑，难以快速进行服务组合与设计。此外如何实现生产企业内部业务及数据的互联网服务化，还需探索。

（3）发展趋势

云计算逐步引入到工厂内部和工厂外部。一是以 IaaS 模式为基础开展工厂私有云和公共云建设。云计算为工业企业 IT 建设提供了更加高效率、低成本、可扩展的方式，通过 IaaS 可以在不对现有企业 IT 架构进行较大改变的情况下，实现系统到云端的平滑迁移。一些大企业可以自建私有云平台，或采用混合云模式充分利用公共云的能力，而中小企业则更多利用公共云服务，提升其 IT 建设能力。二是以 PaaS 平台构建工业应用新模式。PaaS 平台既有后端强大计算、存储能力的支撑，同时前端又可以以简单易用的 REST 接口实现应用的快速构建，可以满足工业企业对预测维护等创新应用的快速开发、部署需求。对于传统 PaaS 平台来说，面对工业互联网应用需求，需要实现对设计、生产、供应等各个环节的数据采集能力，并在云端构建面向工业各领域的特有分析模型和通用应用支撑能力。三是以 SaaS 平台向企业直接提供 IT 应用服务。目前已经厂商针对企业管理、协同研发等领域提供 SaaS 服务，随着工业互联网的发展，面向工业领域的 SaaS 服务将逐步丰富，形成覆盖研发设计、协同制造、企业管理、产品服务全流程的应用产品。中小企业利用 SaaS 服务可以快速构建覆盖全生命周期的多样化应用。

应用使能技术工厂内外呈现不同趋势。一是工厂内不同系统间的数据集成协议。工厂内部以 OPC-UA 为代表的系统集成协议将得到更加广泛的应用，成为连接生产设备和 IT 系统的“数据总线”，以解决由于制造控制系统、IT 系统类型众多、厂商各异，数据格式、模型不同，无法被其他系统所“理解”和处理的问题。二是工业设备、产品到云平台之间的系统集成协议。工业设备、产品到云平台之间的系统集成协议则会形成以开放标准为主的协议集，为实现对产品制造、使用、维护等过程中数据的充分分析与利用，发挥生产、产品数据的最大价值，需要将来自生产现场和智能产品的异构数据通过网关或消息中间件的转换形成统一模型的数据信息发送到云端，实现集中分析处理。目前实现从生产现场到云端的应用系统集成协议类型很多，如 OASIS 的 MQTT 和 AMQP，IETF 的 CoAP 和 XMPP 等。

服务化封装与集成成为解决异构应用、系统与设备协同的重要手段。随着工业互联网的发展，各种智能设备、控制系统、信息系统、智能产品等将在工厂内部及整个互联网中实现互联与协作，通过对这些设备与系统的功能进行服务化封装，如通过服务化将生产设备由传统的数据源变为可重组的服务单元，从而可以简化各类业务与应用系统开发，并正在成为重要的发展方向。其中，基于语义的服务化封装，可以有效解决异构设备与系统的抽象与可认知问题，而受到产业的积极推进。

4) 目标架构

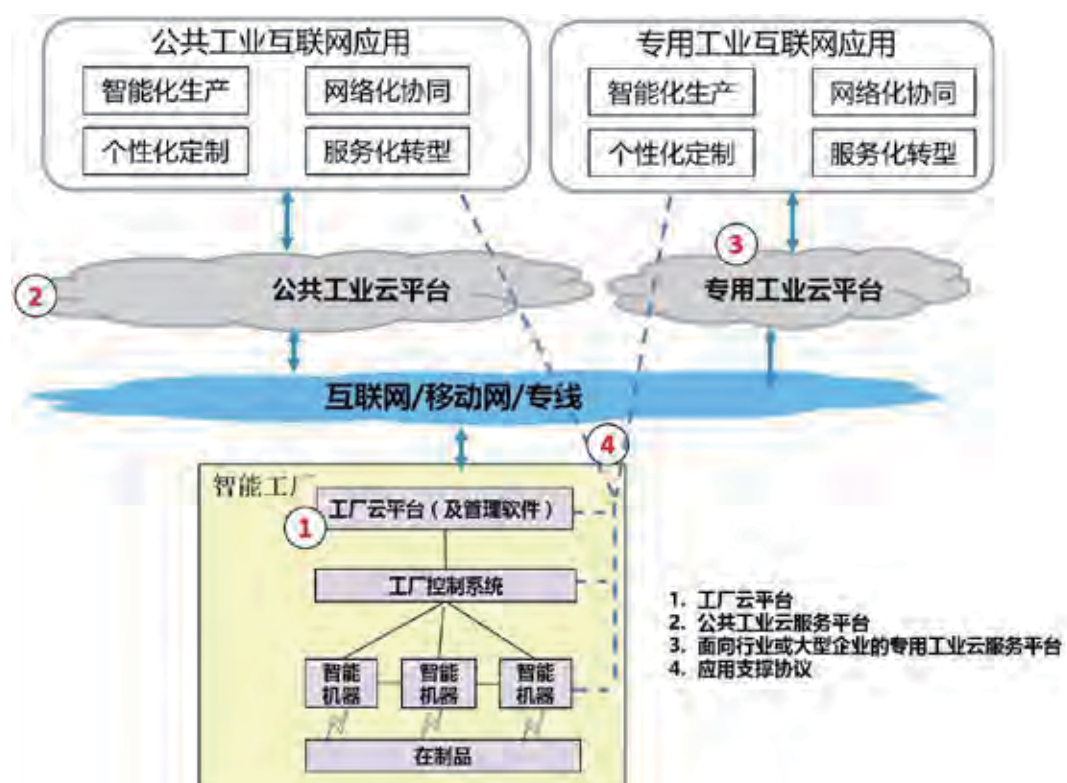


图 8 工业互联网应用支撑体系

工业互联网场景下应用支撑体系方案将包括四个主要环节，如图 8 所示，一是工厂云平台。在大型企业内部建设专有云平台，实现企业 / 工厂内的 IT 系统集中化建设，并通过标准化的数据集成，对内开展数据分析和运营优化。还可以考虑混合云模式，将部分数据能力及信息系统移植到公共云平台上，便于实现基于互联网的信息共享与服务协作。二是公共工业云服务平台。面向中小工业企业开展设计协同、供应链协同、制造协同、服务协同等新型工业互联网应用模式，及提供 SaaS 类服务。三是面向行业或大型企业的专用工业云服务平台。面向大型企业或特定行业，提供以工业数据分析为基础的专用云计算服务。四是工厂内各生产设备、控制系统和 IT 系统间的数据集成协议，以及生产设备、IT 系统到工厂外云平台间的数据集成和传送协议。

四、工业互联网的数据体系

（一）工业大数据内涵特征

工业大数据是指在工业领域信息化应用中所产生的数据，是工业互联网的核心，是工业智能化发展的关键。工业大数据是基于网络互联和大数据技术，贯穿于工业的设计、工艺、生产、管理、服务等各个环节，使工业系统具备描述、诊断、预测、决策、控制等智能化功能的模式和结果。工业大数据从类型上主要分为现场设备数据、生产管理数据和外部数据。现场设备数据是来源于工业生产线设备、机器、产品等方面的数据，多由传感器、设备仪器仪表、工业控制系统进行采集产生，包括设备的运行数据、生产环境数据等。生产管理数据是指传统信息管理系统中产生的数据，如 SCM、CRM、ERP、MES 等。外部数据是指来源于工厂外部的数据，主要包括来自互联网的市场、环境、客户、政府、供应链等外部环境的信息和数据。

工业大数据具有五大特征。一是数据体量巨大，大量机器设备的高频数据和互联网数据持续涌入，大型工业企业的数据集将达到 PB 级甚至 EB 级别。二是数据分布广泛，分布于机器设备、工业产品、管理系统、互联网等各个环节。三是结构复杂，既有结构化和半结构化的传感数据，也有非结构化数据。四是数据处理速度需求多样，生产现场级要求实现实时时间分析达到毫秒级，管理与决策应用需要支持交互式或批量数据分析。五是对数据分析的置信度要求较高，相关关系分析不足以支撑故障诊断、预测预警等工业应用，需要将物理模型与数据模型结合，追踪挖掘因果关系。

（二）工业互联网大数据功能架构

工业互联网数据架构，从功能视角看，主要由数据采集与交换、数据预处理与存储、数据建模、数据分析和数据驱动下的决策与控制应用四个层次五大部分组成，如图 9 所示。

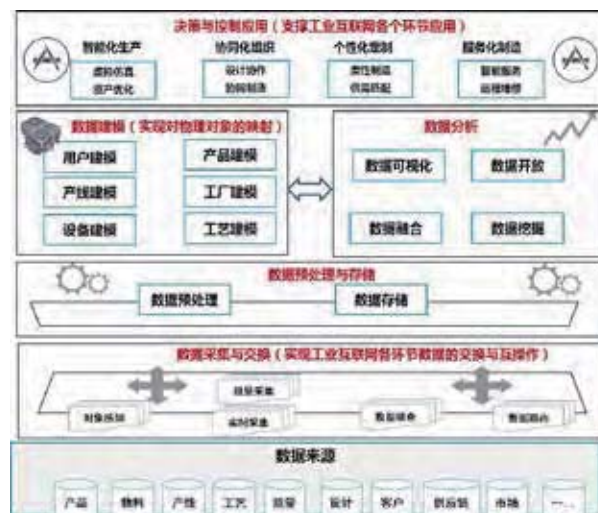


图 9 工业互联网数据体系参考架构

数据采集与交换层主要实现工业各环节数据的采集与交换，数据源既包含来自传感器、SCADA、MES、ERP 等内部系统的数据，也包含来自企业外部的数据，主要包含对象感知、实时采集与批量采集、数据核查、数据路由等功能。

数据预处理与存储层的关键目标是实现工业互联网数据的初步清洗、集成，并将工业系统与数据对象进行关联，主要包含数据预处理、数据存储等功能。

数据建模层根据工业实际元素与业务流程，在数据基础上构建用户、设备、产品、产线、工厂、工艺等数字化模型，并结合数据分析层提供数据报表、可视化、知识库、数据分析工具及数据开放功能，为各类决策的产生提供支持。

决策与控制应用层主要是基于数据分析结果，生成描述、诊断、预测、决策、控制等不同应用，形成优化决策建议或产生直接控制指令，从而实现个性化定制、智能化生产、协同化组织和服务化制造等创新模式，并将结果以数据化形式存储下来，最终构成从数据采集到设备、生产现场及企业运营管理持续优化闭环。

（三）工业互联网大数据应用场景

工业大数据的应用覆盖工业生产的全流程和产品的全生命周期。工业大数据的作用主要表现为状态描述、诊断分析、预测预警、辅助决策等方面，在智能化生产、网络化协同、个性化定制和服务化延伸四类场景下发挥着核心的驱动作用。工业大数据技术应用示意如图 10 所示。

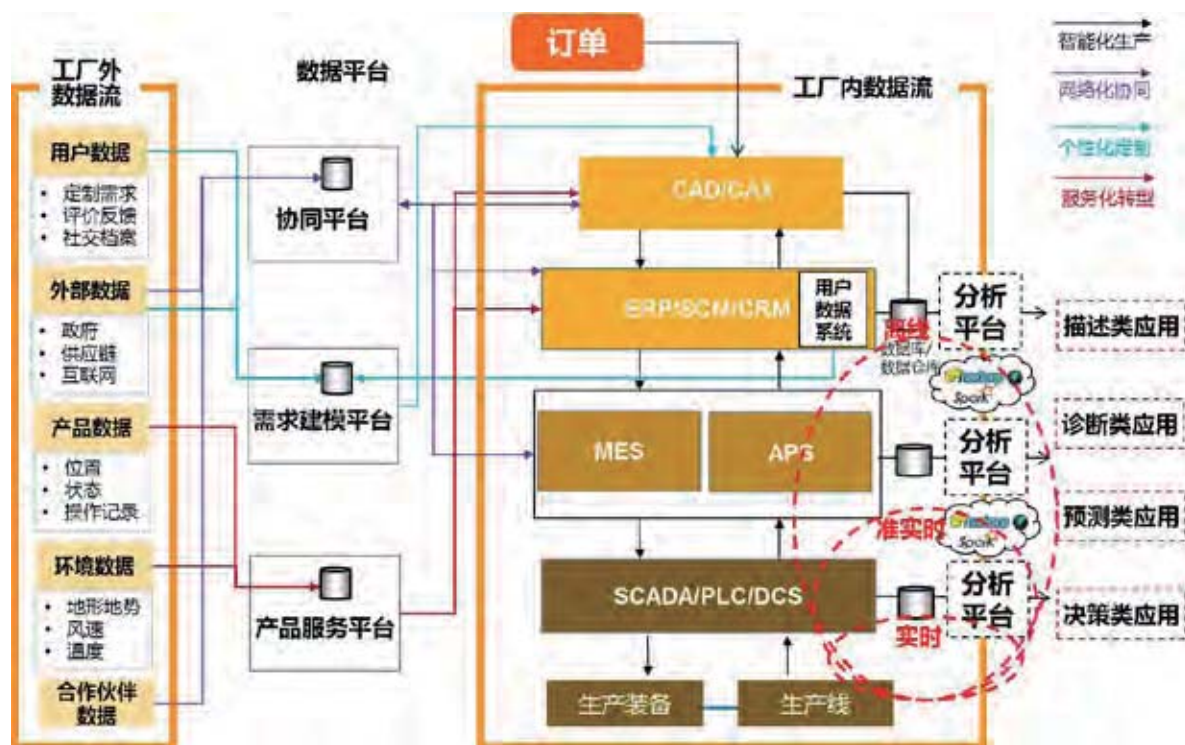


图 10 工业互联网大数据技术应用示意

（1）智能化生产中的工业大数据应用

虚拟设计与虚拟制造。虚拟设计与虚拟制造是指将大数据技术与 CAD、CAE、CAM 等设计工具相结合，深入了解历史工艺流程数据，找出产品方案、工艺流程、工厂布局与投入之间的模式和关系，对过去彼此孤立的各类数据进行汇总和分析，建立设计资源模型库、历史经验模型库，优化产品设计、工艺规划、工厂布局规划方案，并缩短产品研发周期。

生产工艺与流程优化。生产工艺与流程优化是指应用大数据分析功能，评估和改进当前操作工艺流程，对偏离标准工艺流程的情况进行报警，快速地发现错误或者瓶颈所在，实现生产过程中工艺流程的快速优化与调整。

设备预测维护。设备预测性维护是指建立大数据平台，从现场设备状态监测系统和实时数据库系统中获取设备振动、温度、压力、流量等数据，在大数据平台对数据进行存储管理，进一步通过构建基于规则的故障诊断、基于案例的故障诊断、设备状态劣化趋势预测、部件剩余寿命预测等模型，通过数据分析进行设备故障预测与诊断。

智能生产排程。智能生产排成是指收集客户订单、生产线、人员等数据，通过大数据技术发现历史预测与实际的偏差概率，考虑产能约束、人员技能约束、物料可用约束、工装模具约束，通过智能的优化算法，制定预计划排产，并监控计划与现场实际的偏差，动态的调整计划排产。

产品质量优化。产品质量优化是指通过收集生产线、产品等实时数据和历史数据，根据以往经验建立大数据模型，对质量缺陷产品的生产全过程进行回溯，快速甄别原因，改进生产问题，优化提升产品质量。

能源消耗管控。能源消耗管控是指对企业生产线各环节能耗排放和辅助传动输配环节的实时监控，收集生产线、关键环节能耗等相关数据，建立能耗仿真模型，进行多维度能耗模型仿真预测分析，获得生产线各环节的节能空间数据，协同操作智能优化负荷与能耗平衡，从而实现整体生产线柔性节能降耗减排，及时发现能耗的异常或峰值情况，实现生产过程中的能源消耗实时优化。

（2）网络化协同中的工业大数据应用

协同研发与制造。协同研发与制造主要是基于统一的设计平台和制造资源信息平台，集成设计工具库、模型库、知识库及制造企业生产能力信息，不同地域的企业或分支机构可以通过工业互联网网络访问设计平台获取相同的设计数据，也可获得同类制造企业闲置生产能力，实现多站点协同、多任务并行、多企业合作的异地协同设计与制造要求。

供应链配送体系优化。供应链配送体系优化主要是通过 RFID 等产品电子标识技术、物联网技术以及移动互联网技术获得供应商、库存、物流、生产、销售等完整产品供应链的大数据，利用这些数据进行分析，确定采购物料数量、运送时间等，实现供应链优化。

（3）个性化定制中的工业大数据应用

用户需求挖掘。用户需求挖掘主要指建立用户对商品需求的分析体系，挖掘用户深层次

的需求，并建立科学的商品生产方案分析系统，结合用户需求与产品生产，形成满足消费者预期的各品类生产方案等，实现对市场的预知性判断。

个性化定制生产。个性化定制生产主要指采集客户个性化需求数据、工业企业生产数据、外部环境数据等信息，建立个性化产品模型，将产品方案、物料清单、工艺方案通过制造执行系统快速传递给生产现场，进行产线调整和物料准备，快速生产出符合个性化需求的定制化产品。

（4）服务化延伸中的工业大数据应用

产品远程服务。产品远程服务是指通过搭建企业产品数据平台，围绕智能装备、智能家居、可穿戴设备、智能网联汽车等多类智能产品，采集产品数据，建立产品性能预测分析模型，提供智能产品的远程监测、诊断与运维服务，创造产品新的价值，实现制造企业的服务化转型。

（四）存在的问题

工业大数据应用的主要障碍在于以下几点：一是企业数据源较差，尤其是对于机器设备、生产线等实时生产数据采集数量、类型、精度以及频率方面存在较大提升空间。二是企业间和企业内部部门间信息孤岛普遍存在，数据的交互、共享和集成存在很大障碍，数据融合应用价值难以有效挖掘利用。三是缺乏工业大数据应用成熟模式和灯塔式项目，尽管一些先进企业正在进行工业大数据应用的尝试，但仍处于初级阶段，应用经验积累不多，尚未形成行业应用推广模式。四是工业大数据核心技术、软件平台产品，以及系统集成和应用开发能力仍然有待加强，安全可控能力不足。

（五）发展趋势

随着工业互联网建设和应用不断深入，数据的价值与作用将越来越凸显，数据分析将向工业各环节渗透，预测、决策、控制等更智能的应用成为发展方向，最终构成从数据采集到设备、生产现场及企业运营管理优化的闭环。工业数据未来将呈现出以下几个发展方向：一是跨层次跨环节的数据整合。当前工业数据水平来看分散在研发设计、生产管理、企业经营等各个环节，垂直来看分散在生产现场、企业管理（MES、ERP）等不同层次，下一步数据在垂直和水平两个方向都需要整合，为全局视图分析奠定数据基础。其中语义技术将发挥重要作用，利用语义可以对工业互联网数据的含义进行标注，使数据在异构系统之间能够被正确理解 and 处理。二是数据在边缘的智能处理。在靠近数据源头的网络边缘节点上，通过融合计算、存储与控制等功能，实现数据的边缘处理、分析与过滤，以满足工业生产现场实时连接、实时控制、实时分析、安全隐私等需求，并可以与云平台实现互补。三是基于云平台数据集成管理。将数据汇聚起来，

上传到云计算平台进行分析处理，是未来的主流方向，基于成熟的、经验证的技术以及大数据平台来支撑工业数据的数据建模、数据抽取 ETL、查询与计算，与传统实时数据库、关系数据库和 MPP 数据混搭应用，是云化的工业大数据平台构建的主流方向。四是深度数据分析挖掘。知识驱动的分析方法，建立在工业系统的物理化学原理、工艺及管理经验等知识之上。数据驱动的分析方法，完全在数据空间中通过算法寻找规律和知识。未来的发展趋势是更多的将基于知识的方法与数据驱动方法融合，满足工业数据分析对高置信度的要求。五是数据可视化。建立机器、生产流程、全生产周期等拟真数字化模型，并进行可视化呈现，使生产管理者、系统开发者和用户能够更加直观全面地了解相关信息，支撑设计、生产、产品流通与交易、产品服务等环节的决策水平。

