

工业互联网网络连接架构和发展趋势

余晓晖¹, 张恒升¹, 彭炎², 李栋³

(1. 中国信息通信研究院, 北京 100191; 2. 华为技术有限公司, 上海 201206;
3. 中国科学院沈阳自动化研究所, 沈阳 110016)

摘要: 网络作为工业互联网三大功能体系之一, 为工业全要素的全面互联提供基础设施。现有的“两层三级”工业网络难以满足工业互联网新业务、新模式的发展需求, 不断出现的新型网络技术推动网络架构演进。工厂内网络向着融合、开放、灵活的方向发展, 工厂外网络的服务呈现普遍化、精细化、灵活化趋势。本文给出了工业互联网网络连接框架, 并建议工业企业根据业务、实时性、传输方式等需求建设工厂内网络, 根据不同业务发展的要求选择三种专线和一种上网连接方式构建工厂外网络。

关键词: 工厂内网络; 工厂外网络; 开放; 融合

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Networking Architecture and Development Trend of Industrial Internet

Yu Xiaohui¹, Zhang Hengsheng¹, Peng Yan², Li Dong³

(1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100191, China; 2. Huawei Technologies Co., Ltd., Shanghai 201206, China; 3. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: As one of the three main function aspects of the industrial Internet, networks provide infrastructure for the all-round interconnection of industrial elements. The existing “two-layer and three-level” industrial network is difficult to meet the development needs of the new models and services of the industrial Internet. The emerging network technologies can promote the evolution of the network architecture. The intra-factory network is developing in directions of integration, openness, and flexibility. The services of the extra-factory network are universal, refined, and flexible. At the end, the paper describes the networking framework of the industrial Internet, and suggests that industrial enterprises build intra-factory networks according to requirements for business, real-time performance, transmission methods, etc., and build extra-factory external networks by selecting three dedicated lines and one networking mode according to development requirements of different services.

Keywords: intra-factory network; extra-factory network; openness; integration

收稿日期: 2018-08-02; 修回日期: 2018-08-10

通讯作者: 张恒升, 中国信息通信研究院, 高级工程师, 重点研究方向为工业互联网网络、数据通信网络等;

E-mail: zhanghengsheng@caict.ac.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“新一代人工智能引领下的智能制造研究”(2017-ZD-08-03)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

工业互联网网络作为工业互联网三大功能体系之一，为工业全要素的全面互联提供基础设施，促进各种工业数据的充分流动和无缝集成，是工业互联网的基础。2017年11月，国务院在《关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》中，将“夯实网络基础”作为主要任务之一，提出大力推动工业企业内外网建设。

工业互联网网络连接，涉及了工厂内外的多要素、多主体间的不同技术领域，影响范围大，可选技术多。目前，工业领域内已广泛存在各种网络和连接技术，这些技术分别针对工业领域的特定场景进行设计，并在特定场景下发挥了巨大作用和性能优势，但在数据的互操作和无缝集成方面，往往不能满足工业互联网新业务、新模式日益发展的需求。因此，工业互联网网络连接将向着进一步促进系统间的互连互通方向发展，从孤立的系统/网络中解放数据，使得数据为行业内及跨行业的应用发挥更大价值。

二、工业网络现状

当前，工业网络主要在各个工业企业内部，总体来说，工厂内网络呈现“两层三级”的结构，如图1所示。“两层”是指存在“工厂信息(IT)网络”和“工厂控制(OT)网络”两层技术异构的网络；“三级”是指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。

在现场级，工业现场总线被大量用于连接现场检测传感器、执行器与工业控制器，通信速率在数kbps到数十Mbps。近年来，已有部分支持工业以太网通信接口的现场设备进行部署，但仍有现场设备采用电气硬接线直连控制器的方式连接。在现场级，无线通信只在部分特殊场合使用，存量很低。这种现状造成工业系统在设计、集成和运维的各个阶段的效率，都受到极大制约，进而阻碍着精细化控制和高等级工艺流程管理的实现。

车间级网络主要是完成控制器之间、控制器与本地或远程监控系统之间，以及控制器与运营级之

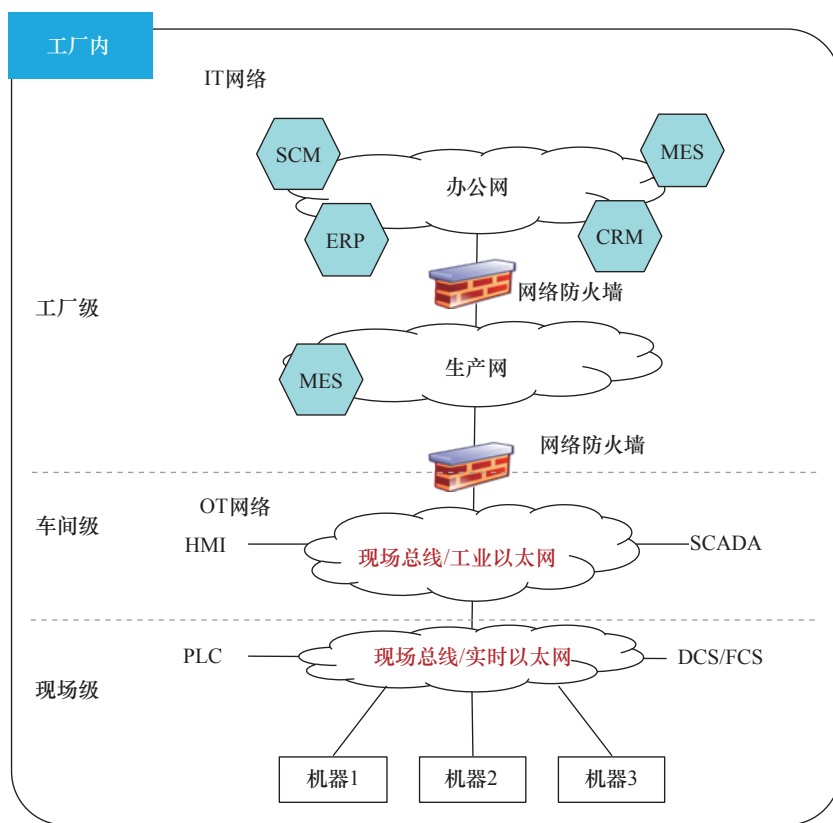


图1 当前典型的工厂内网络示意图

注：SCM为供应链管理，MES为制造执行系统，ERP为企业资源计划，CRM为客户关系管理，HMI为人机界面接口，SCADA为数据采集与监视控制，PLC为可编程逻辑控制器，DCS/FCS为过程控制系统/分散控制系统。

间通信连接,制造执行系统(MES)也通过在车间级部署实现生产执行控制。车间级网络多采用工业以太网技术实现,也有部分厂家采用普通以太网、工业总线或自有通信协议进行控制器和系统间的通信。当前已有的工业以太网,往往是在通用的以太网基础上进行修改和扩展而来,不同工业以太网协议间的互通性和兼容性较差,限制了大规模网络互联。

在工厂级,企业IT网络通常采用高速以太网以及传输控制协议/互联网协议(TCP/IP)进行网络互联。随着智能工厂的建设,企业IT管理运营系统对现场实时工艺过程数据和设备状态数据有着强烈需求,高效便捷部署现场设备的通信互联,利用先进的网络技术实现现场与管理级系统间高实时性、高可靠性数据通信,解决OT网络与IT网络的融合互通,是目前工厂内网络系统技术领域面临的焦点问题。

在企业外,由于工业不同行业和领域信息化发展水平不一,对工业化数据信息开发利用的广度、深度不尽相同,因此企业对于工厂外网络的建设和发展不均衡,部分工业企业仅申请了普通的互联网接入,部分工业企业的不同区域之间仍存在信息孤岛现象,限制了跨地区、跨行业、跨企业的网络协同、远程服务等新业务、新模式发展。

三、网络连接发展趋势

(一) 工厂内网络

随着工业领域工艺技术的日臻完善,当前工艺突破带来工业生产效率提升的可能性变得越来越小。利用工业互联网技术来提升工业用户从设计、生产和运维等全生命周期的精细化管理,降低整体的人力成本、资源消耗,全面提升生产和运营效率等越来越受到重视。

工业互联网业务发展对网络基础设施提出了更高的要求,工厂内网络呈现出融合、开放、灵活三大发展趋势。

工厂内网络架构的融合趋势。一是网络结构的扁平化。传统的“两层三级”网络架构严重影响着信息互通的效率,随着大数据分析和边缘计算业务对现场级实时数据的采集需求,OT网络中的车间级和现场级将逐步融合(尤其在流程行业),同时

MES等信息系统向车间和现场延伸的需求,推动了IT网络与OT网络的融合趋势。二是控制信息与过程数据共网传输。传统工业网络基本是依附于控制系统,主要实现控制闭环的信息传输,而新业务对工业生产全流程数据的采集需求,促使工厂内网络将控制信息和过程数据的传输并重。三是有线与无线的协同。工业互联网业务对于生产全流程、无死角的网络覆盖需求,使得无线网络的部署成为必然,无线网络的应用也将逐步从信息采集到生产控制,从流程行业到离散行业,而多种无线技术的应用也推动了工厂内定位技术的发展。

工厂内网络的开放趋势。一是技术的开放。工业互联网工厂内网络技术体系将打破传统工业网络众多制式间的技术壁垒,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;电气和电子工程师协会(IEEE)、互联网工程任务组(IETF)等国际标准组织加入到技术标准研制,IP/IPv6在工厂内的深入部署,都将进一步推动工厂内网络技术的开放。二是数据的开放。工业互联网业务对数据的强烈需求,促使传统工业控制闭环中沉没或消失的数据开放出来,而生产全流程的数据将由更标准化的语法和数据模型开放给上层应用使用。三是产业的开放。网络技术的开放正在打破传统工业网络“烟囱式”的发展模式,打破少数巨头对全产业链的控制,新的芯片厂商、设备厂商、网络提供商加入进来,推动产业开放[1]。

工厂内网络的灵活友好趋势。一是网络形态的灵活。未来工厂内网络将能够根据智能化生产、个性化定制等业务灵活调整形态,快速构建出生产环境。二是网络管理的友好。随着工业网络化的深入发展,工厂内的网络管理都将变得复杂,新的数据互通和软件定义技术应用将提供网络系统的可呈现度,网络管理界面将更为友好。

(二) 工厂外网络

随着工业网络化、智能化的发展,工厂内的系统与应用逐步向外扩展,工业互联网工厂外网络的服务呈现普遍化、精细化、灵活化趋势。

工厂外网络服务普遍化。传统工厂外网络主要提供商业信息的沟通,企业的信息系统也都部署在工厂内网络上,工厂外网络连接对象少,服务单一。随着云平台技术的发展,一些企业信息系统,如企

业资源计划（ERP）、客户关系管理（CRM）等正在外网化，越来越多 IT 软件也都基于互联网上云提供服务。随着工业产品和装备的远程服务业务的发展，未来海量设备的远程监控、维修、管理、优化等业务都将基于工厂外网络开展。

工厂外网络服务精细化。工业互联网工厂外网络将实现全产业链、价值链的泛在互联，复杂多样的连接场景促进了服务的精细化发展。一方面，海量设备的连接需求，推动了工厂外移动网络的建设和广覆盖服务的快速发展；另一方面，企业上网需求向上云需求的转变，促使专线服务精细化，新的企业专线技术将针对企业上网、业务系统上云、公有云与私有云互通等不同场景提供细分服务。

工厂外网络服务灵活化。网络虚拟化、软件化的发展，提高网络服务的灵活性，使得工厂外网络将根据企业要求快速开通服务，快速调整业务；大量移动通信技术的应用，提高了网络接入的便捷程度和部署速度，为企业实现广泛互联提供更灵活的选择方式。

（三）数据互通

据不完全统计，目前国际上现存的总线 / 工业以太网协议数量高达 40 余种。还存在一些自动化控制企业，直接采用私有协议实现全系列工业设备的信息交互。在这样的产业生态下，形成了一个竖井型的业务系统，同一个系统内的数据可以一定程度互通，但跨系统的数据互通非常困难。

为了解决数据互通的问题，很多行业企业纷纷在自己的业务范围内，为用户提供一揽子解决方案，可以实现数据互通。但这种方式仍然只是将一个个小的竖井系统变成了稍大型竖井系统，并没有从根本上解决数据互通的问题。而且，用户的所有业务系统，也很难全部依赖于一两家供应商的产品来完成。

随着工业互联网的发展，企业对数据互通的需求越来越强烈，呈现以下趋势。

首先是实现信息的标准化。在传统的工业控制系统中，为了满足最基本的工艺管理需求，数据被固化在明确的因果关系内。例如可编程逻辑控制器（PLC）控制过程，有明确固定的处理对象，数据信息只会在固定的设备间流动。而工业互联网对数据处理的主体更广泛，例如采用大数据分

析进行设备故障诊断，需要跨系统对数据进行理解和集成，这就要求数据的存储与传输更加通用化与标准化。

其次是加强与云的连接。借助云平台，不仅可以利用专家经验共享、智能决策库，提高运维领域的装备管理水平，降低运营成本，还可以通过数据集的切分和规律查找，帮助实现人员投入及控制过程的节能提效。不仅可以利用大数据分析结果使制造企业提供针对性营销、定向研发、智能维保等服务，还可以预测设备未来可能出现故障的时间，提供避免风险的解决方案，消除设备故障停机给客户带来的损失。

最后是强调与现场级设备的互通。在传统的工业生产过程中，设备与设备往往独立操作。而工业互联网智能工厂的核心，就是要打通现场设备层，将智能装备通过通信技术有机连接起来，实现企业内资源的垂直整合。设备与设备之间的沟通与互联已成大势，未来设备与设备之间或者物与物之间的互通互联的数量将远远超过人之间的互联。

因此，为了满足数据互通的需求，业界进行了一系列建立统一数据互通方式的努力，希望能使用一整套接口、属性和方法的标准集，提供工业互联网工厂系统中各系统、各单元数据的无缝集成。面向工业现场设备的 OPC 统一架构（OPC UA）、数据分发服务（DDS）和面向广泛数据采集的 oneM2M 等技术正成为业内关注的焦点，逐步在为工业企业接纳和采用。

四、工业互联网网络连接架构

（一）网络连接框架

工业互联网网络连接框架，包括网络互联和数据互通两个层次，如图 2 所示。

网络互联，包括工厂内网络和工厂外网络。工厂内网络，用于连接工厂内的各种要素，如人员（如生产人员、设计人员、外部人员）、机器（如装备、办公设备）、材料（如原材料、在制品、制成品）、环境（如仪表、监测设备）等，都通过工厂内网络，与企业数据中心及应用系统互联，支撑工厂内的业务应用。工厂外网络，用于连接智能工厂、分支机构、上下游协作企业、工业云数据中心、智能产品

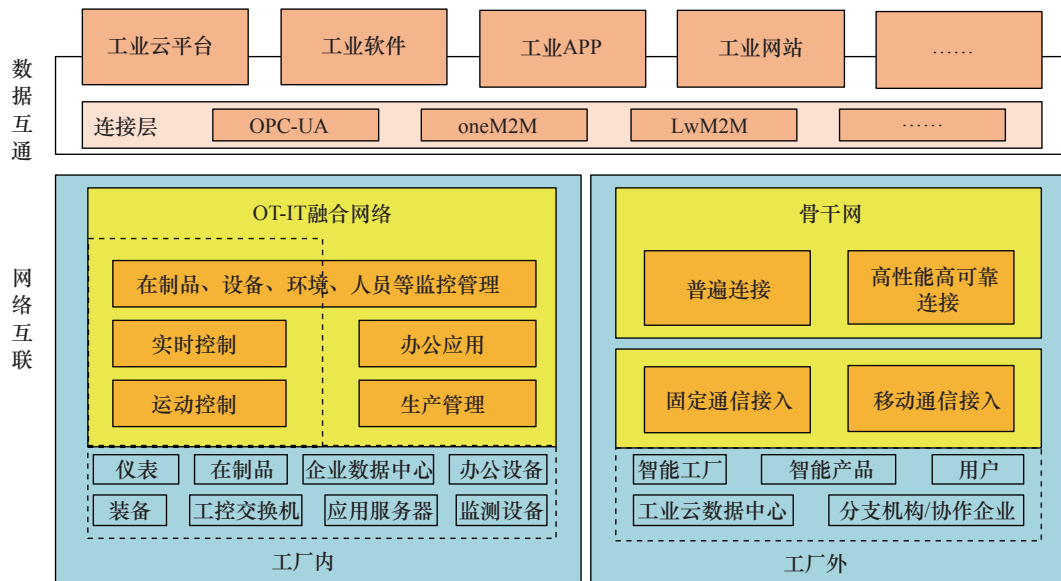


图2 工业互联网网络连接框架

注：LwM2M为轻量级M2M技术。

与用户等主体。智能工厂内的数据中心和应用系统，通过工厂外网络，与工厂外的工业云数据中心互联。分支机构/协作企业、用户、智能产品，也根据配置，通过工厂外网络，连接到工业云数据中心或者企业数据中心。

工业互联网中的数据互通，实现数据和信息在各要素间、各系统间的无缝传递，使得异构系统在数据层面能相互“理解”，从而进行数据互操作与信息集成。工业互联网，要求打破信息孤岛，实现数据的跨系统互通，融合分析。因此数据互通的连接层，一方面支撑各种工厂要素、出厂产品等产生的底层数据，向数据中心的汇聚；另一方面，为上层应用提供对多源异构系统数据的访问接口，支撑工业应用的快速开发与部署。

（二）网络架构实现

1. 工厂内网络

在工业互联网工厂内，一方面，工厂的数字化网络化演进，要求很多已有业务流程的数字化由相应的网络来承载；另一方面，大量新的联网设备被引入，如自动导引运输车（AGV）、机器人、移动手持设备等；大量新的业务流程被引入，如资产性能管理、预测性维护、人员/物料定位等，新的设备和业务流程的引入，对网络产生新的需求。从而，工厂内传统的生产网络和办公网络需要相应发生变化。

由于工厂内网络所连接的工厂要素的多样化，边缘接入网络呈现为类型多样化，根据业务需求，可以是工业控制网络、办公网络、监控网络、定位网络等；根据实时性需求，可以是实时网络、非实时网络；根据传输介质，可以是有线网络、无线网络；根据采用的通信技术，可以是现场总线、工业以太网、通用以太网、无线局域网、蜂窝网络等；网络的范围，也可能是一个车间、一栋办公楼、一个仓库等。工业企业可以综合考虑业务需求及成本，选择合适的技术部署相应的边缘接入网络。

车间、办公楼、仓库与工厂内云平台/数据中心等之间通过高带宽、高速率的三层网络进行互联，根据企业规模的大小，可以是路由器集群，也可能仅需要一两台骨干路由器。

2. 工厂外网络

从工业企业发展不同业务的需求角度，主要可以分为三种专线和一种上网连接，专线实现有服务质量保障的联网服务，上网连接实现普遍上网服务。

上网专线：实现智能工厂连接到互联网。还可以接受用户或者出厂产品通过互联网对智能工厂的访问，这是工业企业基本的专线需求。

互连专线：实现智能工厂与分支机构/上下游企业间安全可靠的互连。对于大中型企业，这是常见的专线需求。

上云专线：实现智能工厂与位于公有云的工业

云平台的互连。通常是企业到公有云服务提供商的专线，此类专线需求近年来发展迅速，尤其是随着国家推进“百万企业上云”工程，工业企业对此类专线的需求将尤为强烈。

上网连接：实现出厂产品到互联网的连接，进而与智能工厂或者工业云平台互连，这是工业企业实现制造服务化的基础。

五、结语

工业互联网作为新一代信息通信技术与工业系统深度融合所形成的关键网络基础设施，已经成为工业创新转型的关键依托，对于推动工业数字化、

网络化、智能化发展意义重大。建设具有低时延、高可靠、广覆盖的工业互联网网络基础设施，是发展新一代信息通信技术与先进制造业深度融合所形成的新业态、新模式的重要基础。因此，需要工业企业提高对构建适合自身业务发展网络架构的认识，加大网络改造对基础性建设的投入，让网络成为实现智能化生产、网络化协同、个性化定制、服务化转型等新模式的重要支撑。

参考文献

- [1] 张恒升. 工业互联网——重构网络架构的起点 [J]. 中兴通讯技术, 2017, 23(2): 45-46.
Zhang H S. Industrial Internet: The start of network architecture reconstruction [J]. ZTE Technology Journal, 2017, 23(2): 45-46.