

工业物联网互联互通白皮书

中国电子技术标准化研究院

2018年9月

前言

工业物联网是通过工业资源的网络互联、数据互通和系统互操作，实现制造原料的灵活配置、制造过程的按需执行、制造工艺的合理优化和制造环境的快速适应，达到资源的高效利用，从而构建服务驱动型的新工业生态体系（见《工业物联网白皮书》（2017版））。互联互通是工业物联网发展的关键问题，但是现阶段工业物联网从互联互通的对象、技术、实施等方面均呈现出纷繁复杂的局面，工业物联网互联互通的实现宜采取具体问题具体分析的方法，结合应用场景和当前可选的成熟技术手段，采用因时制宜的实施方案，科学地推进工业物联网互联互通的部署实施。

《工业物联网互联互通白皮书》以互联互通为主题，从“**如何认识**”、“**如何呈现**”、“**如何实现**”和“**如何应用**”四个方面，给出了工业物联网互联互通的内涵外延、技术现状、实施路径和应用案例，期望为工业物联网的发展起到拨开云雾见月明的指导作用。工业物联网的互联互通技术日新月异，后续将根据业界反馈意见及最新研究成果进行适时更新。

工业物联网互联互通白皮书

编写单位（排名不分先后）

中国电子技术标准化研究院
重庆邮电大学
华中科技大学
东北大学
浙江理工大学
无锡物联网产业研究院
北京东方国信科技股份有限公司
新华三技术有限公司
美的集团股份有限公司
中国电信集团有限公司
沈机（上海）智能系统研发设计有限公司
普奥云信息科技（北京）有限公司
智能云科信息科技有限公司
中国纺织机械协会
杭州开源电脑技术有限公司
海尔工业智能研究院
江苏伽玛科技有限公司

编写人员（排名不分先后）

杨建军 郭楠 卓兰 杨宏 韩丽 李孟良 张弛
侯曦 彭玉怀 刘晖平 郭雄 柏文彦 苏静茹 陈冰
毕远国 李然 夏刚 魏旻 赵向阳 李建慧 白欧
孙旭 戴佳奇 张元 邓梅 王军 赵攀 李锋
孙能林 沈春娅 金风明 王勇 李诚

版权声明：如需转载或引用，请注明出处。

■ 目录

一、如何认识互联互通	1
(一) 对象范围	1
(二) 网络架构	2
(三) 面临的挑战	4
二、如何呈现互联互通	7
(一) 技术全景	7
(二) 典型技术	10
(三) 新兴技术	20
三、如何实现互联互通	25
(一) 实施步骤	25
(二) 实施路线	26
(三) 实施路径	27
四、如何应用互联互通	33
案例一：数控机床互联互通解决方案	33
案例二：基于OPC UA的纺织机械设备互联互通解决方案	40
案例三：基于SDN和边缘计算技术的空调制造设备互联互通 解决方案	45

案例四：智能煤矿物联网互联互通解决方案	49
案例五：基于工业PON的工程机械互联互通解决方案	54
案例六：空调噪音数据互联互通解决方案	57
附录A：工业物联网互联互通技术标准清单	61
附录B：缩略语	69
致谢	72

一、如何认识互联互通

(一) 对象范围

互联互通是工业物联网发展的关键问题。随着制造业的转型升级，工业物联网的发展全面渗透到了工业制造的各个领域，工业物联网将实现制造领域实体间的全面互联互通，将为制造领域中数据信息的流动提供通道，为制造领域的创新应用模式提供了支撑，从而促进工业资源的优化配置，推动企业的高质量发展，提升产业经济附加值。

原有的工业控制系统为工业物联网的互联互通奠定了基础。工业控制系统主要包括监控和数据采集系统SCADA、分布式控制系统DCS、过程控制系统PCS及可编程逻辑控制器PLC等，原有工业控制系统中的仪器仪表或传感器具有数据采集功能，但是采集的数据和应用范围有限，数据的价值未得到深入地挖掘和全面的释放，尽管工业控制系统是以解放人力资源、提高生产效率为初衷，但是原有的工业控制系统实现了小范围的机器互联。

感知技术的发展为工业物联网的互联互通提供了有效的途径。随着传感器向微小型化、智能化、多功能化和网络化的方向飞速发展，工业领域中的传感器应用领域越来越广泛，加上通信技术的发展，机器的状态、工艺的参数、仓库的库存、在制品的位置等物理



世界的信息均可以获取，为后续的业务应用提供丰富的数据资源。

网络连接技术和新兴技术的发展为工业物联网的互联互通提供了基础设施保障和技术支撑。多种网络连接和通信技术用于实现设备与设备、设备与系统、系统与系统之间的连接问题，并进一步实现数据的端到端、跨系统的流动。与此同时，为满足工业物联网对实时性、安全性等的特殊需求，一批适用于工业场景互联互通问题的新兴技术不断出现。

本白皮书中的互联互通以工业场景下的人员、设备、原料、产品和环境等要素为对象。分析了工业物联网互联互通面临的挑战，给出了互联互通技术全景、实施路径以及典型案例。

(二) 网络架构

《工业物联网白皮书》（2017版）中工业物联网是通过工业资源的网络互联、数据互通和系统互操作构建服务驱动型的新工业生态体系，是工业物联网的核心基础，代表着工业物联网实现互联互通的两个阶段，即：互联阶段和互通阶段。工业物联网互联互通网络架构如图1所示。

互联阶段：对应OSI（open system for interconnection）7层模型中的物理层、链路层、网络层和传输层。物理层和链路层通过宽带蜂窝网络、窄带蜂窝网络、现场总线、工业以太网、无源光网络、工业无线网等连接工厂的传感器、控制器、生产设备等，获取工业生产全生命周期内不同维度的数据，包括设备、原材料、人员、工

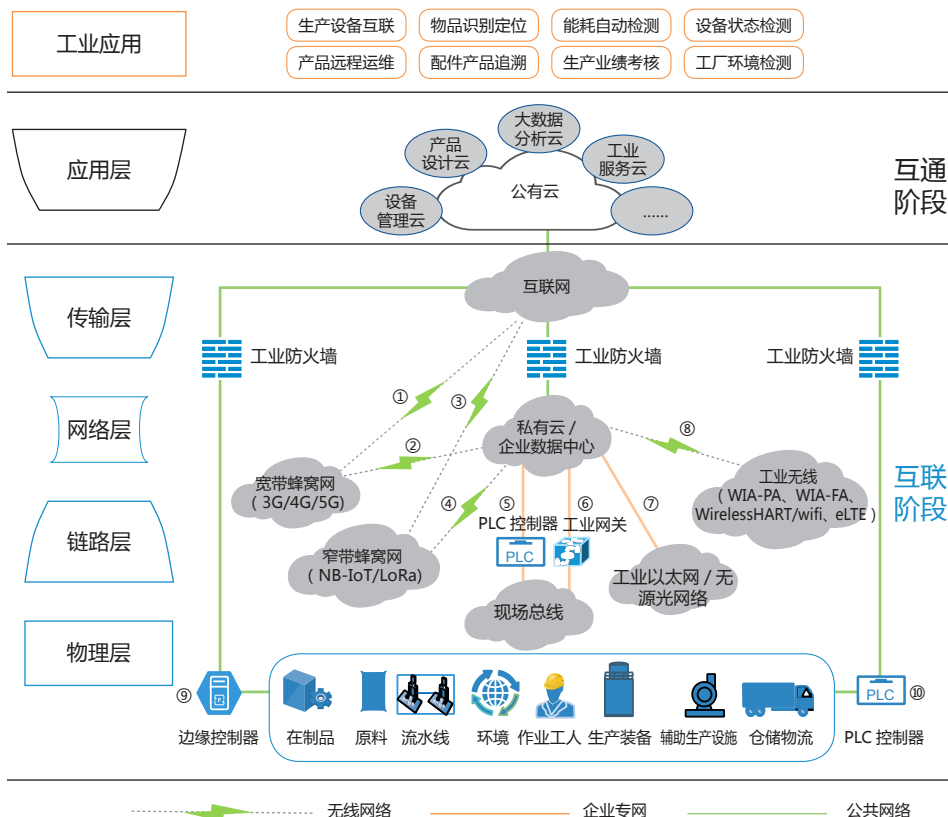


图1 工业物联网互联互通的网络架构

艺流程和环境等工业资源状态。图1中链路①和②、③和④分别表示宽带蜂窝网络和窄带蜂窝网络通过无线的方式将生产系统的相关数据传输到私有云/企业专网或者互联网中；链路⑤和链路⑥分别表示现场总线可以通过PLC控制器或工业网关以有线的方式连接到私有云/企业专网；链路⑦表示工业以太网/无源光网络可以直接连接到私有云/企业专网上；链路⑧表示工业无线以无线的方式将工业数据传输到私有云/企业专网；链路⑨和⑩表示底层数据也可通过边缘控



制器或者具有OPC UA协议的PLC控制器通过工业防火墙传输到互联网；私有云/企业专网的数据也通过工业防火墙传输到互联网。

互通阶段：对应OSI模型中的会议层、表示层和应用层，或TCP/IP模型中的应用层。工业数据也可通过互联网连接到公有云，在公有云中实现工厂设备管理、产品设计、大数据分析和工业服务等功能。

从以上可看出，工业物联网互联互通的网络架构中互联阶段主要实现物联网泛在化的末端智能感知，通过工业网关、短距离无线通信、窄带蜂窝网络和OPC UA等互联互通技术，实现无线网络、工业以太网、宽带蜂窝网络等异构网络的安全、高效融合，其对应于工业物联网实施的前两个阶段，即智能的感知控制和全面的互联互通；互通阶段是基于云计算平台技术，进行数据建模、分析和优化，实现多源异构数据的深度开发应用，其对应于工业物联网实施的第三阶段，即深度的数据应用；工业应用在分布式数据可互操作性和管理的基础上优化服务资源，实现语义、语法和数据字典的互操作性，对应于工业物联网实施的第四阶段，即创新的服务模式。

(三) 面临的挑战

互联互通技术的复杂多样性为设备间实时通信带来巨大的挑战。设备与设备、设备与系统、系统与业务应用、系统与系统之间的互联互通以及数据交互的低时延、高可靠、高确定性是工业物联

网互联互通的基础，也是工业企业最为关注的问题。企业往往选择在不影响生产的前提下来扩充已有设备的通信能力，其通常来自不同的制造商，采用的通信技术复杂多样，需要使用协议转换设备对原有设备和产线进行改造，实现设备之间的互联互通。不同设备、系统之间的信息集成存在无法兼容的问题，在这种状况下要实现设备间互联以及互联后数据的低时延高可靠交互，都将成为巨大挑战。

工业物联网互联互通基础参差不齐，实施的深度和广度各不相同。工业物联网互联互通实施过程中涉及到多种类多数量的传感器、基础设施、系统、平台的集成，而这些工业装备的价格往往比较高昂。企业在推进互联互通实施过程中缺乏统一的规划，不同的工厂应用场景也需要不同的实施方案，对于传统的生产设备改造升级需要投入大量的资金，而制造企业在短期内无法获得丰厚的利润回报，对工业物联网互联互通应用前景持观望态度。

网络和数据安全问题是互联互通的巨大隐患。接入物联网系统中的“物”均面临着被攻击的风险，工业物联网设备在网络威胁面前同样无法幸免，入侵工控系统的恶意软件屡见不鲜。此外，工业数据的安全存储与传输也面临着巨大挑战。本白皮书聚焦工业装备的互联互通问题，暂不涉及网络及数据安全防护的研究，该问题将在以后白皮书中详细探讨。

二、如何呈现互联互通

(一) 技术全景

工业物联网互联互通面临着如何与现有的因特网和工业控制网络进行有机深度融合的问题。一旦提到通信问题，必然会想到OSI七层通信模型或者简化的TCP/IP五层通信模型，分层的思想是为了简化通信问题的解决，每一层只关注各自的功能和协议，向相邻层提供接口和服务，接下来用分层的思想来解析一下因特网和工业控制网络。

因特网在分层思想的指导下，具有完备的通信协议解决方案，这也是因特网得以广泛应用的根本。因特网设计之初的网络层采用了一种无连接、基于数据报的传输模式，尽管后期采用了改善机制，但是此传输模式所带来的时延、丢包、乱序等问题需要上层协议采用重传等技术来解决，无法保证端到端的带宽和时延，因此因特网向工业控制领域延伸存在着巨大的障碍。

工业控制网络中的现场总线仅关注物理层、数据链路层以及应用层，中间层级不涉及。由于相关厂商企业为了维护自己的经济利益，相互之间不妥协，导致出现多种工业现场总线标准。以太网由于传输速率较快、成本低等优点进入了工业控制领域，但是重演了多种工业以太网标准共存的历史局面，总的来说，工业控制网络的

开放性和兼容性有待改进。

工业物联网的互联互通除了要解决上述问题之外，还要面临如何应用物联网本身的网络通信连接技术。物联网的概念由来已久，但是并没有大规模快速发展的原因之一在于物联网一直没有专门适合物联网应用的通信传输手段，但是最近几年，此种情况有了较大的改观，以NB-IoT、LoRa等为代表的窄带蜂窝网络技术的发展，期望依据广覆盖、大连接、低功耗、低成本特点推动物联网技术的应用的发展，此类专门的物联网网络技术是否在工业物联网领域大展拳脚地进行应用存在较大的未知。另外在应用层通信协议中，也相继出现针对物联网应用采用发布/订阅模式的MQTT、AMQP、OPC UA等典型协议，并且在规模化物联网应用中获得了一定的认可度。

现有的多种网络通信连接技术都可以用来在一定程度上解决工业物联网互联互通的问题，但是尚不存在一种被广泛认可一体化解决方案，图2给出了工业物联网互联互通相关技术的演进过程。

工业物联网互联互通相关技术的演进过程包括典型技术和新兴技术。其中典型技术包括现场总线、工业以太网、无源光网络、工业无线、窄带蜂窝网、宽带蜂窝网、OPC UA、MQTT、CoAP、DDS、AMQP等，通过构建设备与设备、设备与系统、系统与系统以有线或无线的连接方式，实现信息数据在工业生产系统各单元之间无缝传递；新兴技术主要包括边缘计算、软件定义网络（SDN）、时间敏感网络（TSN）等，是工业物联网实现跨平台、跨产业互联互通的提升手段，通过边缘侧设备的实时连接和感知，建立工业装备数字化模型，实现实时数据传输与网络资源自适应分

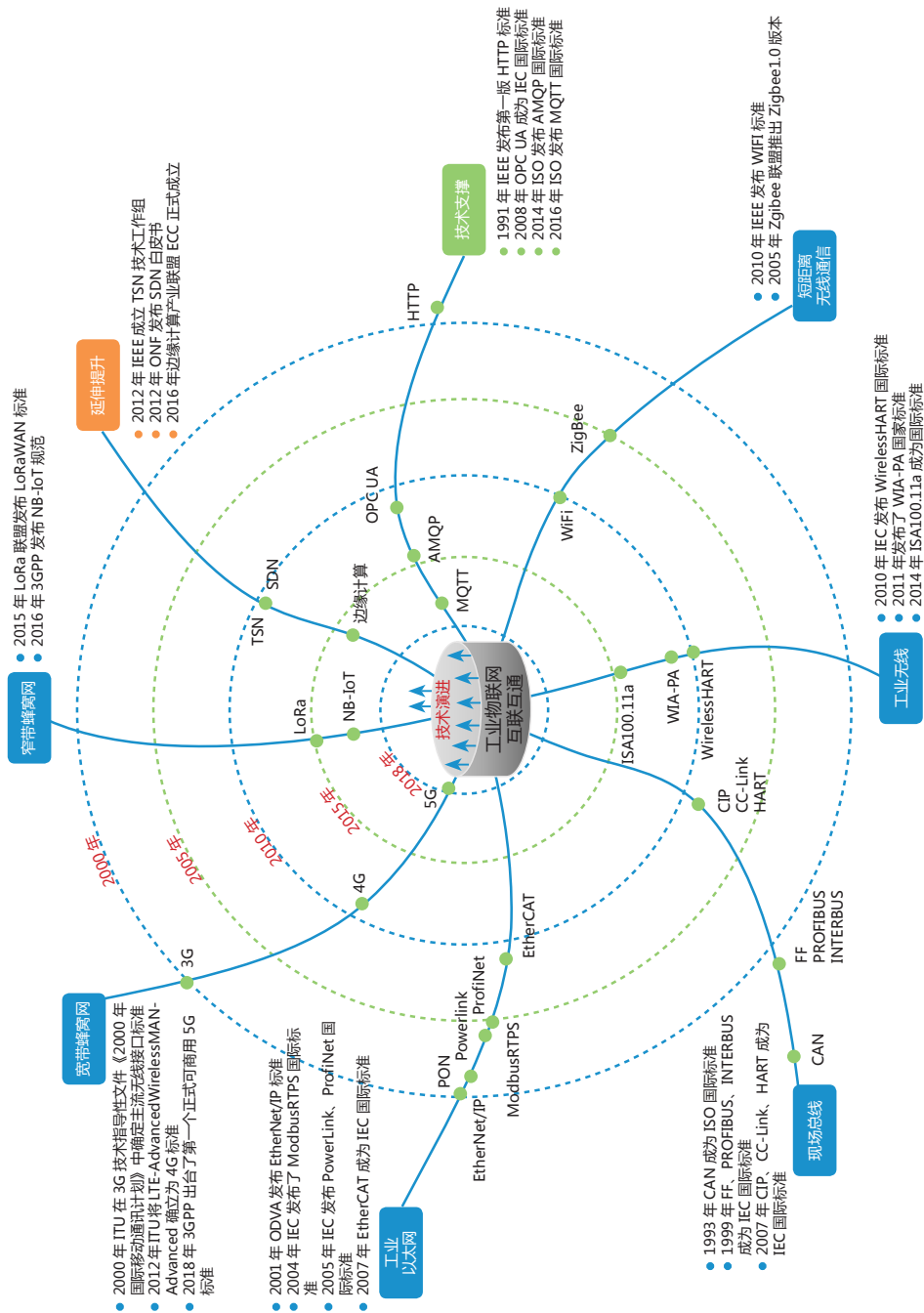


图2 工业物联网互联互通相关技术的演进过程



配。语法、语义和数据字典与具体的应用场景紧耦合，不同的行业领域差别较大。

(二) 典型技术

1. 现场总线

(1) 概述

现场总线（Fieldbus）诞生之初是为了解决智能仪器仪表、控制器、执行器等现场设备间的数字通信以及这些现场控制设备和高级控制系统之间的信息传递问题。现在被应用广泛的现场总线近几十余种，现场总线技术的出现给工业自动化带来了一场革命。目前国际标准化工作主要集中在国际电工委员会IEC，比如IEC 61158系列标准规定了各种类型现场总线所采用协议模块矩阵概念和互补描述方法，但不涉及现场总线的具体实现，IEC 61784作为系列配套标准，给出通信行规等内容，用于指导相关产品设计、应用选型比较和工程系统选择。由于现场总线相关利益团体的不妥协，现场总线标准之争的结果是多标准并存，这不仅影响到现场总线技术的发展和推广，也使得现场总线的互联互通范围具有一定的局限性。

(2) 技术特点

现场总线结构简单，使得控制系统从设计、安装、投运到正常生产运行及检修维护，可以节省硬件数量与投资、节省安装费用以及提高系统的可靠性，为用户提供灵活的系统集成主动权。

(3) 适用范围

现场总线可以应用于石油、化工、电力、冶金、加工制造等多个领域，每种总线都有其产生的背景和比较适用的领域，比如过程自动化领域中基金会现场总线FF、PROFIBUS协议等应用较多。

2. 工业以太网

(1) 概述

工业以太网是将商用以太网IEEE802.3应用于工业控制领域的产物，在实时性、可靠性、环境适应性等方面可以满足工业现场的需要。工业以太网虽然解决了现场设备之间数据传输的实时性和确定性的问题，但是相关国际标准化工作正如当年的现场总线标准一样，出现了多种工业以太网标准，比如IEC61158系列标准中Type 10对应ProfiNet、Type 12对应EtherCAT等，仍然面临着无法一统江湖的问题，在解决工业物联网互联互通问题时还存在心有余而力不足的情形。

(2) 技术特点

工业以太网具备设备易于互联、开发环境和硬件设备多种选择、数据通信容量大、通信速率高和可持续发展潜力大的技术特点。

(3) 适用范围

工业以太网主要应用于工厂的信息管理层，方便工业现场监控数据能够远程传输并与工厂信息管理层直接通信。工业以太网已逐步应用于电力、交通、冶金、煤炭、石油化工等工业领域中。



3. 无源光网络

(1) 概述

无源光网络技术（PON）是指光分配网（ODN）中不含有任何电子器件及电子电源，ODN全部由光分路器等无源器件组成。PON技术是从20世纪90年开始发展，ITU（国际电信联盟）从APON（155 MHz）开始，发展BPON（622 MHz），以及到GPON（2.5 GHz）；同时由于以太网技术的广泛应用，IEEE也在以太网技术上发展了EPON技术。目前用于宽带接入的PON技术主要有EPON和GPON。

(2) 技术特点

在工业场景下PON技术具有全光网络、全业务连接、多重安全保障等特点。

(3) 适用范围

无源光网络技术在工业互联网体系架构中处于车间级网络位置，通过工业级ONU设备实现产线设备到无源光网络的连接，光分配网络（ODN）连接到OLT，最终通过OLT与企业网络对接，实现产线数据到企业信息化系统的有效传输。

4. 工业无线

(1) 概述

工业无线技术是一种新兴的面向设备间信息交互的无线通信技术，适合在恶劣的工业现场环境使用，具有抗干扰能力强、能耗低、通信实时性好等特征，成为工业通信市场的增长点。

工业无线技术包括WirelessHART、ISA100.11a、WIA-PA、WIA-FA等，获得了国际电工标准委员会IEC认可，分别成为IEC 62591、IEC 62734、IEC 62601、IEC 62948国际标准。

(2) 技术特点

WIA-PA网络采用星形和网状两层拓扑结构，提高了终端设备加入和退出网络的灵活性。ISA100.11a 协议通过应用层提供本地和隧道协议，实现透明传输，保证网络极大的兼容性。

(3) 适用范围

工业无线技术主要应用于工厂自动化领域和过程自动化领域，ISA100还可应用在过程自动操作、定位与追踪、RFID和设备管理等领域。WIA-FA广泛应用于离散制造业装备的智能化升级。

5. 窄带蜂窝网

(1) 概述

窄带蜂窝网是一种无线广域网，旨在以低比特率实现设备到设备的远程通信。主流的窄带蜂窝网技术有eMTC、NB-IoT、LoRa、Sigfox、RPMA等。NB-IoT和eMTC的3GPP R14版本已经于2017年8月冻结，首个LoRa城域物联网商用网络已于2018年4月由阿里云、中国联通、Semtech联合发布，Sigfox已经在全球40多个国家和地区部署了网络，但是应用并未取得预期的效果，目前在中国也在积极推动网络的建设，RPMA主要部署在美国。

(2) 技术特点

eMTC：具有速率高、实时性好、支持漫游和语音，易于部署



等优势，但是终端价格较贵，能耗较高。

NB-IoT：具有终端价格较便宜、易于部署，基站覆盖距离远等优势，但是实时性差，速率低，下行容量较差。

LoRa：具有信号穿透力较强，方案价格较便宜，易于部署等优势，但是实时性差、速率低、下行容量和厂家间设备兼容性较差。

Sigfox：具有终端省电、价格便宜和基站覆盖距离远等优势，但是无下行数据通道速率低、安全性较差。

RPMA：具有基站覆盖好，支持双向通信，相同报文负载下系统容量较Sigfox和Lora高。

(3) 适用范围

窄带蜂窝网利用自身低功耗、低成本的特性将分散的传感器和以前难以联网的设备连入企业中控网络或者企业云。目前常见的低功耗广域物联网应用在工业测量监控、智能穿戴、定位跟踪等方面。

6. 宽带蜂窝网络

(1) 概述

宽带蜂窝网是指采用蜂窝无线组网方式提供话音、数据、视频图像等多媒体业务的3G、4G和5G网络。3G和4G网络主要面向个人移动通信，5G网络设计时所定义的场景不但覆盖了传统的应用场景，还考虑到工业环境下的设备互联和远程交互应用等需求。

(2) 技术特点

蜂窝网络的网络覆盖率高、连接简单、服务质量好，蜂窝网络

能根据动态的网络和变化的信道条件进行自适应处理，从而满足系统多类型用户的需求。

(3) 适用范围

工业生产环境全网覆盖。工业企业内部应用蜂窝网，能够实现充分的网络覆盖，生成和采集大量与生产、管理相关的数据，从而避免企业信息化系统变成信息死海中的一个“孤岛”。

工业实时信息传输。宽带蜂窝网络使工业物联网获取和利用大数据与云计算资源的范围将成倍增长，为工业物联网制造提供的数据、信息、存储和计算能力也将更全面、更广泛，甚至更方便、更快捷和更安全。

7. OPC UA

(1) 概述

OPC UA标准是OPC基金会2006年推出的一个新的工业软件应用接口规范，主要目标是建立更丰富的数据模型与平台的独立性，提高工厂底层和企业系统之间的集成支持。OPC UA有效地将现有的OPC规范（DA、A&E、HAD、命令、复杂数据和对象类型）集成进来，并进行扩展。OPC UA提供一致、完整的地址空间和服务模型，解决过去同一系列的信息不统一被访问的问题。

OPC UA消息的编码格式可以是XML文本格式或二进制格式，也可使用多种传输协议（TCP）进行传输。OPC UA软件从过去仅支持Windows平台拓展到Linux、Unix、Mac等各种其他平台。OPC UA支持基于Internet的WebService服务架构（SOA）和非常灵活的数



据交换系统。

OPC UA 协议规范已经被国际电工委员会（IEC）标准化，定义为标准 IEC 62541（UA）进行广泛推广。目前共有13种 OPC UA 规范，可以将其分为3组：核心规范部分、访问类型规范部分和实用类型规范部分。IEC已经制定了最新的OPC UA国际标准，我国在原有OPC UA标准上已等同采用，转化成国家标准GB/T 33863.1-2017~GB/T 33863.8-2017，另外几项标准还处于起草阶段。在国际上，OPC UA与很多标准组织都有着紧密的合作关系，除了和TSN融合外，还与其他技术联盟EtherCAT、DDS、Avnu联盟合作。

(2) 技术特点

OPC UA基于消息传递，消息采用WSDL定义，而非二进制数据传输，其实现与平台无关；采用集成的地址空间，增加了语义识别功能；在数据传输的可靠性、安全性、平台可移植性等方面具有巨大优势，吸引了众多系统厂商的关注。

(3) 适用范围

OPC UA可广泛应用于控制系统、MES系统以及ERP系统。信息通过级联的OPC UA组件，安全、可靠地从生产层传输到ERP系统中。

8. MQTT

(1) 概述

MQTT（Message Queuing Telemetry Transport，消息队列遥测传输）是基于发布-订阅的消息传递协议，只需要少量带宽且易于实现。

1999年IBM开发出MQTT的第一个版本，2013年3月，IBM向OASIS提交了MQTT V3.1进行标准化，2014年10月MQTT V3.1.1成为OASIS正式标准。随后，由OASIS提交给ISO/IEC JTC 1，并于2016年7月批准发布，被指定为ISO/IEC 20922。2017年7月OASIS发布了最新5.0的标准草案版的提案。

5.0版本标准旨在提高MQTT协议支持设备的数量，增加错误报告机制，规范设备能力发现机制，提高协议性能，以及扩展其在资源受限设备上可用性。

(2) 技术特点

精简传输。短小的二进制报文结构减少了对处理器的性能要求和通信带宽需求，使其在资源受限的设备和不可靠网络上也能很好工作。

灵活和开放。不指定传输数据的类型与格式，使用户可以根据需要定制协议，但同时也带来一定互操作问题。

基于发布/订阅模式。MQTT系统是由服务器通信的客户端组成，客户端可以是信息发布者，也可以是订阅者。

优质的QoS和安全性。MQTT传输层基于TCP协议，具有可靠传输的本质。MQTT协议本身只提供客户端标识符和用户名/密码凭证，用于在应用程序级别对设备进行身份验证。

(3) 适用范围

MQTT正在成为设备接入、交互式应用的重要协议和使能者，可以应用在云端设备接入和交互式应用方面。

9. CoAP

(1) 概述

CoAP是一种服务层协议，旨在用于资源受限的互联网设备，如无线传感器网络节点。通过将数据轻松转换为HTTP，简化与Web的集成，同时还满足多播支持、极低的开销和简单性。CoAP的核心协议在RFC 7252中规定，最新的CoAP协议为RFC8323。

(2) 技术特点

CoAP具有精简传输、支持同步/异步通信机制、资源发现和描述的缓存的特点。

(3) 适用范围

工业物联网中，CoAP协议可以作为廉价计算设备间、设备和Web应用间、机器间的通信协议。

10. DDS

(1) 概述

DDS数据分发服务是新一代分布式实时通信中间件技术规范，采用发布/订阅体系架构，强调以数据为中心，提供丰富的QoS服务质量策略，能保障数据进行实时、高效、灵活地分发，可满足各种分布式实时通信应用需求。

OMG于2004年将DDS标准化，正式发布了DDS规范1.0版，在2015年发布了DDS规范1.4版。DDS标准发布后获得了广泛应用，在许多航空航天、大型舰船等高可靠性实时软件系统中作为软件中间

件使用，新一代开源移动机器人操作系统ROS 2也采用了DDS作为消息中间件机制。除此之外，其他技术组织也在加强DDS技术的研究和增进与OMG的合作，例如OpenFog参考架构采用DDS作为核心的数据管理和通信机制,OPC基金会和OMG共同制定了OPC-UA/DDS网关规范，使得采用两种协议的系统可以实现互联互通。

新的DDS-XRCE（DDS For Extremely Resource Constrained Environments）即将正式发布，可以在资源非常有限的硬件（RAM小于100K字节）上实现DDS。

(2) 技术特点

DDS的技术特点包括支持实时通信的发布/订阅模型、丰富的QoS策略支持、自动发现机制简化系统动态配置和良好的可扩展性和可移植性。

(3) 适用范围

DDS的应用领域从早期的航空、舰船、武器的关键实时软件系统逐渐扩展到智能机器人、工业物联网等各个领域。DDS特别适用于有实时和鲁棒性要求的、数据驱动型的各种工业应用场合，如异质工业实时通信网络互通和工厂分布式智能自动化系统。

11. AMQP

(1) 概述

高级消息队列协议AMQP是一种提供统一消息服务的应用层协议，2014年成为国际标准ISO/IEC 19464-2014，目前也有很多AMQP协议的开源项目，比如OpenAMQ、VMware公司的RabbitMQ等。



(2) 技术特点

AMQP具有可互操作性、可靠性、统一性、完整性、开放性和安全性的特点。

(3) 适用范围

AMQP是实现消息机制的一种协议，消息队列主要有异步处理、应用解耦、流量缓冲、日志处理等应用场景。

(三) 新兴技术

1. 边缘计算

(1) 概述

边缘计算是在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台，就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。它可以作为联接物理和数字世界的桥梁，使能智能资产、智能网关、智能系统和智能服务。

2016年10月，由IEEE和ACM正式成立了IEEE/ACM Symposium on Edge，组织专业学术论坛，对边缘计算的应用价值与研究方向进行探讨。2017年，工业互联网联盟（IIC）成立了边缘计算任务组（Edge Computing TG），对边缘计算参考架构进行研究与探讨。2017年IEC发布了《垂直领域边缘智能（VEI）白皮书》，对边缘计算在制造业等垂直行业的重要价值进行讨论。ISO/IEC JTC1 SC41

（国际标准化组织/国际电工委员会第一联合技术委员会物联网及相关技术分技术委员会）成立了专门的边缘计算研究小组，以推动边缘计算标准化工作。

(2) 技术特点

工业物联网的边缘计算是ICT与OT融合的支撑与使能技术，OT与ICT技术的深度融合将大幅提升行业自动化水平，满足行业数字化在敏捷联接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的关键需求。

(3) 适用范围

边缘计算构建丰富多样的工业现场网络连接能力，能够为网络连接提供超低时延和确定性时延的承载能力。在工业场景中，可以应用在梯联网、智能电网、智能路灯、智能楼宇、智能车联网和智能农机等方面，以满足用户低时延、高带宽、海量连接和高安全性等不同需求。

2. 软件定义网络

(1) 概述

软件定义网络(SDN)是一种新型的网络架构模型，使用一组开放网络接口将传统封闭的网络体系解耦为数据平面、控制平面和应用平面。各平面间实现了功能的解耦、平面内进行了工作模块的高度协同、逻辑上集中的系统中实现了资源透明化和复杂的系统抽象，程序可以自由地控制网络中的各组成部分实现服务的灵活部署。

在标准推进方面，开放网络基金会（ONF）专门致力于软件定义网络及其核心技术OpenFlow的标准化以及商业化。除ONF外，包括互联网工程任务组(IETF)、国际电信联盟(ITU)、欧洲电信标准协会(ETSI)也在推动了SDN的发展和應用。

(2) 技术特点

SDN支持控制平面与转发平面的分离，具备对网络设备逻辑上的集中控制、开放的标准接口和可编程的特性，使用户可根据实际需求自由合理地调配网络资源，具有灵活性高、兼容性好和可编程性高的特点。

(3) 适用范围

实时可靠信息传输是工业信息网区别于普通信息网的最基本和最重要特征，传统工业以太网的信息传输范围是远远不够的,需要在跨局域网的广域大网络实现工业数据实时传输，SDN适用于工业骨干网的实时通信和可靠通信。

3. 时间敏感网络

(1) 概述

时间敏感网络（TSN）是IEEE 802.1标准的扩展，用于构建更可靠的、低延迟、低抖动的以太网，满足工业制造、汽车和智能交通、航空航天、能源以及实时音视频等多个领域的应用需求。

TSN系列标准包括IEEE 802.1AS精准时间同步协议、IEEE 802.1Qat流预留协议、IEEE 802.1Qav排队及转发协议、IEEE 802.1Qbv时间感知调度协议、IEEE 802.1QccTSN网络管理和配置

协议等。IEEE把相关标准提交到ISO/IEC JTC1 SC6（数据通信分技术委员会），包括ISO/IEC/IEEE 8802-1AS-2014、ISO/IEC/IEEE 8802-1Q:2016、ISO/IEC/IEEE 8802-1AB:2014和ISO/IEC/IEEE 8802-1BA:2016标准，同时全国信息技术标准化委员会也开始启动国家标准的制定工作。

AVNU联盟、IIC和OPC基金会等组织和ICT设备厂商、自动化和测量设备厂商、半导体厂商和开源软件组织都在积极构建基于TSN的生态系统，推动在智能制造、工业物联网和车联网等领域的使用。

(2) 技术特点

TSN引起广泛关注的一个重要原因是能够为目前广泛采用、实施成本低的以太网引入确定性。其核心技术特点主要包括支持精确时间同步,提供端到端的确定性低延迟通信和支持动态网络配置。

(3) 适用范围

在工业物联网中，TSN主要应用场合适用于工厂内车间级骨干网络。在工厂车间级，TSN技术适用于IT/OT系统融合、自动化设备间横向实时通信、面向智能制造和设备维护的数据采集和状态监控。

三、如何实现互联互通

(一) 实施步骤

工业物联网是支撑智能制造的一套使能技术体系，互联互通是工业物联网的关键问题，工业物联网互联互通的实现可以遵循如下步骤：

1. 物理世界数字化

工业领域的物理世界包括人员、机器、原料、产品和环境等，需要通过传感器或者其他装备抽象到数字世界，使计算机进行统一的存储处理和交换传输成为可能，也为下一步进行互联互通奠定基础。

2. 基础设施网络化

原有工业领域基础设施服务于传统制造，单一地以完成制造为目的，互联互通需求低。然而在工业物联网背景下，原有的基础设施面临着全面互联互通的高需求，通过网络通信技术将基础设施连接起来实现信息的交换和资源的共享，最终实现相互通信的目的。

3. 网络配置智能化

工业物联网互联互通的最终目的是实现工业制造领域的全要素

扁平化联通，网络资源可以实现灵活调配和组合，并且可以根据应用实现快速的网络配置，为工业物联网各种应用提供强有力的网络支撑。

(二) 实施路线

当前工业物联网互联互通面临着由因特网、工业控制网络和物联网专有网络通信技术构成的错综复杂的局面，工业物联网互联互通的实施是一项复杂的工程，应统筹规划、有步骤地推进，其实施路线如图 3 所示。

工业物联网的发展与工业制造的现状密切相关，工业制造领域门类众多，不同行业之间，甚至同一个行业的不同区域之间发展参差不齐，工业物联网互联互通实施时要坚持从实际情况出发，依据现有的网络设施基础，根据人力、物力和财力的投入成本，确定合理的互联互通实现目标。另外不同的工业物联网应用对互联互通的具体要求不同，比如个性化定制生产需要企业内信息系统和生产系

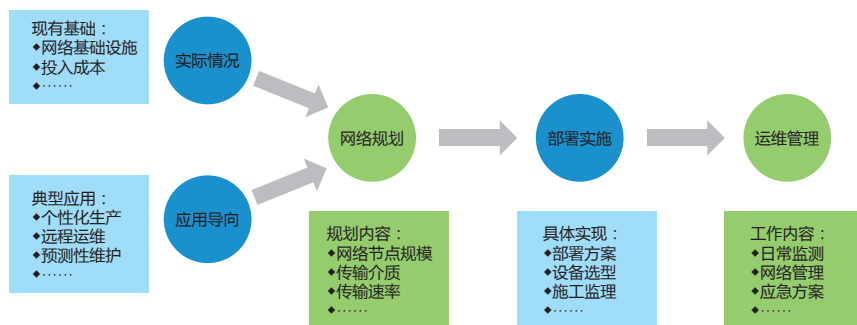


图 3 工业物联网互联互通实施路线

统的全联通，才能实现依据订单组织物流和生产。而远程运维通常是实现设备与运维平台的联通。**因此工业物联网互联互通的实施路线是由实际情况和应用导向双因素决定。**

当前阶段工业物联网互联互通面临各种各样的网络通信技术，另外网络接入点规模不同、网络覆盖区域不同、网络传输性能要求不同等等均会产生不同的网络规划需求。

工业物联网互联互通的部署实施需要充分重视兼容性，因此部署方案和设备选型需要考虑到上下兼容，尤其是与未来网络演进的兼容及与业务发展方面的兼容。

由于工业物联网与制造业务密切相关，因此工业物联网的网络运维管理相比较其他物联网应用而言尤为重要，网络需要提供一定的冗余机制，确保互联互通的正常运行。其次还需要提供必要的应急措施，保证一旦发生意外时，互联互通可以在尽可能短的时间内得以恢复。

(三) 实施路径

由于现阶段工业物联网从联通的对象范围和联通的技术现状等方面均呈现出纷繁复杂的局面，工业物联网互联互通的实施路径宜需要采取具体问题具体分析，根据当前互联互通的目的和可采用的技术方案采用因时制宜的实施路径。

工业物联网互联互通解决了人员、设备、原料、产品和环境的互联互通，人员的互联互通是通过携带具有定位、机器视觉等功能

的智能终端，实现人员的定位、活动轨迹的跟踪及实时工作状态的监测；原料和产品通常采用加装标签的方式可以实现互联互通；环境监测通过部署若干传感器实现。所以人员、原料、产品和环境的互联互通情况相对来说比较简单，下面以设备的互联互通为例，并且根据设备的联网能力，分不具备联网能力的设备、有限联网能力的设备和具有联网能力的设备这三类情况，根据联通实施路径起点的不同给出具体实施路径。

1. 不具备联网能力的设备互联互通实施路径

不具备联网能力的设备是指工业领域中不支持任何通信软硬件接口的设备。工业物联网面临着数量庞大的老旧设备，这种老旧设备在互联互通时存在诸多问题，比如有些设备不具备运行状态信息的采集功能，或者有些设备不支持任何通信接口，不具备基本的通信能力，此类情况需要借助于智能化手段改造原有的设备，首先借助于传感手段获取数据，其次通过赋予某种通信网络能力支持信息传输，实施示意图如图4所示。

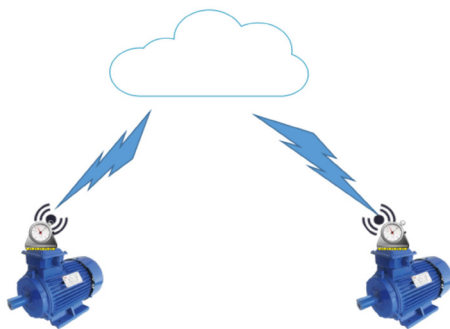


图4 不具备联网能力的设备互联互通示意图

上述示意图中仅以支持IP协议的无线通信方式为例，具体实现并不局限于此，但是在条件允许的情况下优先推荐支持IP协议的通信技术。此外如果由于采集数据的格式限制，可以使其转换为第二种有限联网能力的设备，通过网关转换接入至IP网络。

目前产业界也在积极探索如何深度挖掘老旧设备的数据，比如ABB在2016年推出了一款智能传感器，可以便捷地贴附在电机上，将电机震动、温度、负载和能耗等关键参数通过无线网关或者智能手机传输到云端，一旦参数偏离标准值，它会发出警报，从而使操作人员在电机发生故障前采取预防措施。

2. 有限联网能力设备的互联互通实施路径

有限联网能力设备主要指可以支持现场总线或工业以太网的设备，在互联互通方面存在一定的局限性。由于自动化产品厂商和相关国际标准化组织的不妥协，导致了现场总线和工业以太网均出现多种标准共存的局面，标准与标准之间互不兼容，因此有限联网能力的设备可以采用通过网关进行转换的方式实现互联互通，实现示意图如图5所示。

上述示意图中网关可以将底层的各种现场总线或者工业以太网进行转换。目前工业物联网的通信协议多样化严重，网关的重要性因此凸显，通过网关的协议转换实现工业物联网的局域互联或者广域互联。尽管网关的方式在实时传输性能方面有所损失，但是对于现阶段的工业物联网而言，网关接入的方式获得了一定的认可度，而且目前产业界相关企业也纷纷推出了其相关的产品和解决方案，

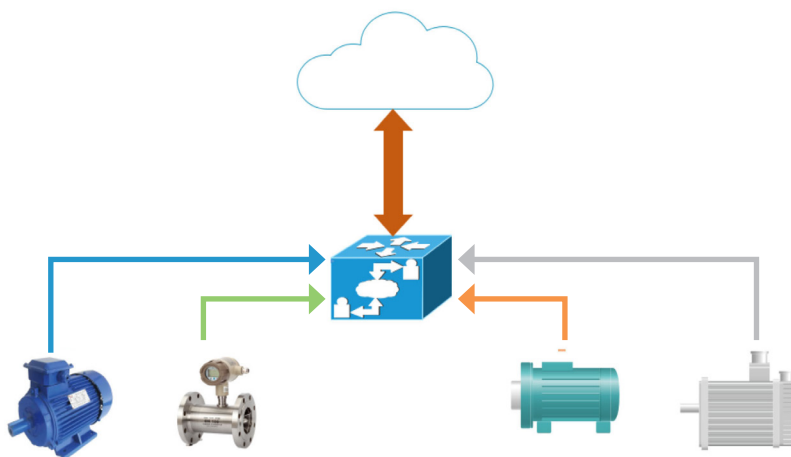


图5 有限联网能力设备的互联互通示意图

乐观估计网关将会在工业物联网互联互通发展史上占据一席之地。

3. 具备联网能力设备的互联互通实施路径

具备联网能力的设备是指具备通过OPC UA、Modbus-TCP或者标准以太网口直接接入IP网络能力的设备，比如高档数控机床、智能仪器仪表等，实施示意图以OPC UA为例，如图6所示：

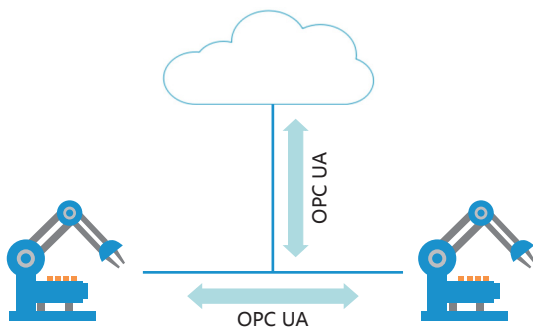


图6 带网络接口设备的互联互通示意图

OPC UA提供了安全、可靠和独立于厂商的数据传输，跨越了制造层级、生产计划层级和ERP层级，支持机器到云的传输方式，但是目前在实际传输过程中，缺少对实时性的有效支持，所以OPC基金会最近发布了第14部分发布/订阅模式，扩展其通信模型，增加点对多点组播或广播的通信方式。

时间敏感网络TSN作为一组数据链路层的协议族，通过在时钟同步、数据调度和系统配置方面采取相应的机制改善了以太网传输的不确定性。同时由于TSN本身与标准以太网的血缘关系，使得其在数据传输速率、互操作性、芯片研发和部署成本等方面有着天生的独特优势，因此TSN在一统工业物联网底层碎片化协议方面被寄予厚望。而OPC UA已经在高层的语义方面耕耘多年，所以无论是产业界还是标准化组织方面对TSN和OPC UA的组合在工业物联网中的应用前景寄予厚望。ABB、西门子、GE等在其新一代产品中支持OPC UA和TSN，不过从具体实现角度来看，TSN相关核心技术标准仍在完善，TSN和OPC UA的融合无论从技术细节、标准研制及研发实现还在进行中，建议工业物联网的相关企业对此进行密切关注，有条件的可以进行积极探索实践。

四、如何应用互联互通

案例一：数控机床互联互通解决方案

(一) 项目概况

针对数控机床在设计、制造、运行、维护等环节的需求，以数控机床数字化、网络化、智能化升级为目标，提出了基于“工业互联+云服务+智能终端”的工业物联网解决方案，并进一步打造了以数控机床为数据中心的智能工厂模式。一方面实现了工厂内装备的互联互通，使传统的装备升级为可感知、可决策工业智能终端；另一方面，实现了装备、企业资源“登云入网”，在云平台上汇聚产业链上下游的优质制造资源，以按需使用的方式提供基于工业大数据分析的增值服务。

1. 项目简介

在车间/工厂内部署数据采集网关、边缘计算服务器，在云端部署SaaS应用（如设备监控、运维服务、能耗分析等）。数据采集网关基于数控机床互联通信协议（iPORT协议）通过对不同厂商的数控系统（如沈阳机床i5、西门子、发那科等）进行设备识别与数据采集，对多达上千个的机床信号进行实时采集，并在本地完成数据过滤、计算、处理以及上传至云平台，在云平台完成基于大数据技



术的价值挖掘，然后将云平台的计算分析结果传回给数控系统，提供健康状况、加工效率、工艺性能等方面的参考。

2. 项目目标

本项目旨在完成机械加工车间内设备的数字化、网络化、智能化升级。通过设备联网、数据采集，以及与数据中心的交互，一方面赋予装备智能终端的能力，为下游客户、装备供应商、软件供应商、科研机构等利益相关方提供实时设备监控、远程运维、实时优化等创新服务平台；另一方面，通过区域内工厂联网、企业联网，在云平台聚集优势的制造资源，以区域内的资源优势互补为策略，形成产业链协同的新型制造生态。

3. 涉及到的互联互通技术

本项目应用了智能云科自主开发的设备接入与数据采集协议（iPORT协议）。iPORT通讯协议是iSESOL平台的标准设备接入协议。该协议在MQTT协议的基础上针对机加工设备的应用场景进行了封装。协议中消息格式采用JSON数据格式。此外配合该协议，iSESOL平台提供有关设备认证的HTTP RESTful服务。

(二) 项目实施概况

本项目智能工厂模式已经在全国多个省市落地智能制造示范基地、智造小镇等项目，形成区域内网络化协同的制造新生态。

1. 项目主要内容

本项目主要内容分为三个方面：

(1) 装备“登云入网”

基于智能装备的iSESOL平台为不同设备提供的多种接入方式（如图7）。根据接入方法的不同，可分为SDK接入及iSESOL BOX硬件网关接入两种；根据数据网络不同，可分为移动网络接入和固定网络接入两种。对于支持标准通讯协议的设备，平台提供iSESOL BOX硬件网关方便客户使用移动网络或固定网络接入平台。iSESOL BOX提供标准的OPC-UA设备通讯协议及i5通讯协议，为设备提供便捷且整套的平台安全接入方案。对于不支持标准协议的设备，平台提供SDK开发包接入方案，降低对设备通讯协议的技术门槛，便于客户将多种设备接入，增加平台设备资源的多样性。

(2) iSESOL云平台建设

iSESOL云平台主要分为用户层、服务层、访问层、边缘层（如图8）。用户层主要实现用户层业务功能、商务功能及管理功能；服

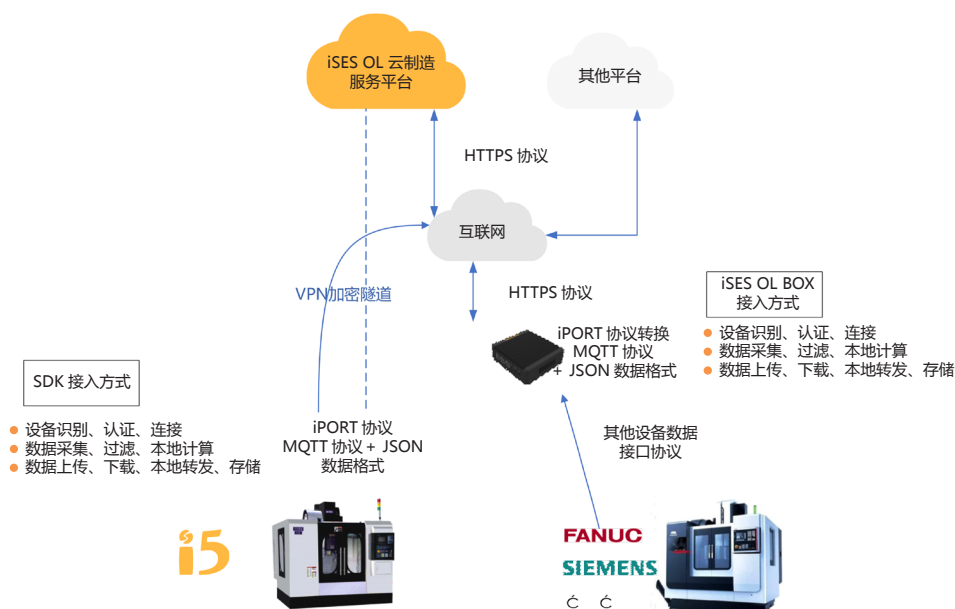


图7 设备、网关与平台网络连接拓扑图



图8 iSESOL云平台架构

务层主要完成业务能力、商务能力、管理能力及服务编排的开发；访问层主要提供云平台数据接口、访问控制、连接管理的功能；边缘层主要是接入网关设备、数据协议栈、边缘控制算法的部署。

(3) 智能制造示范工厂项目

本项目已在多个省市布局智能制造示范工厂，iSESOL云平台作为示范工厂的唯一平台运营方，助力传统工厂的智能化转型，大幅提高了生产效率和产品竞争力，也同步开启了制造模式重构变革的新升级。通过项目的落地实施，iSESOL云平台应用为机加工行业和区域经济带来显著提升的效果。

2. 网络互联架构

本项目中智能制造示范工厂的网络互联架构如图9所示。iSESOL云平台成为生产信息数据、设备数据、业务数据的数据中心和决策支撑中心，为设备管理、生产管理、运营管理提供有效的、定制化的服务。

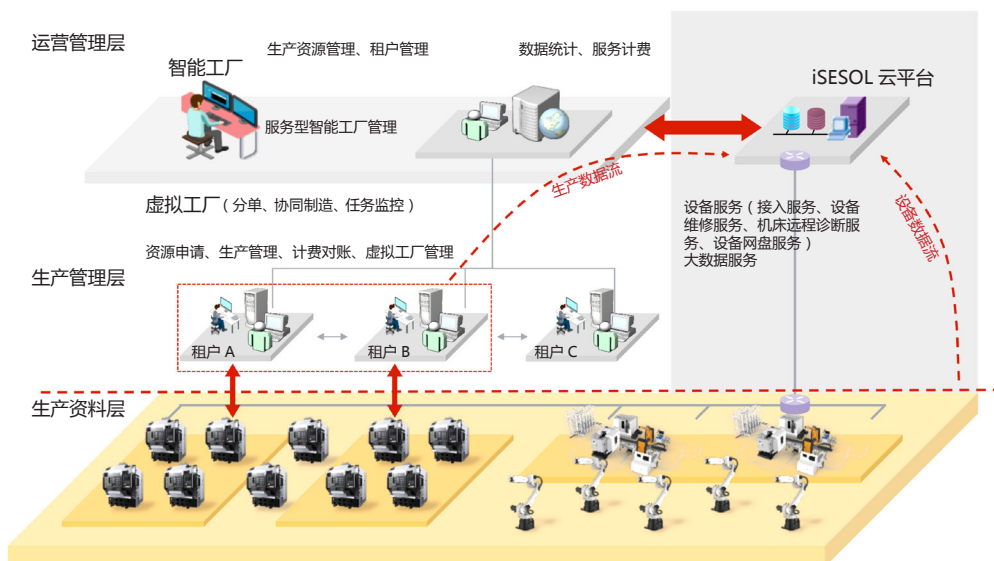


图9 智能制造示范工厂网络拓扑图

(1) 生产资料层：在企业/工厂内部，数控机床、机械臂等现场设备通过有线网络、工业无线网络连接到边缘感知设备（iSESOL BOX[®]），iSESOL BOX内置的网关为各种接入的现场设备提供协议转换和数据转换功能，同时iSESOL BOX作为数据集散的中转站，既能够接入工厂本地的信息系统，又可以接入互联网。

(2) 生产管理层：通过HTTP等标准方式或通过企业专用网络接入iSESOL云制造服务平台的企业，以租用云服务的方式管理生产资料层的设备；为保障设备数据的传输安全，企业网络与iSESOL平台的连接通过安全网关建立隧道加密（如VPN通信），VPN服务器和智能设备之间的通讯数据都进行了加密处理，确保智能设备数据发送方的可靠性和安全性。

(3) 运营管理层：区域内产业链上下游的企业通过接入互联网，

可以安全访问iSESOL平台的相关服务应用，如产能租赁服务、设备维护保养、远程设备诊断、生产工艺优化、数据统计与服务计费等。企业通过iSESOL云制造服务平台与其他企业交换产能信息、订单信息、产品和服务的品质信息，打通了机加工行业产业链上下游的信息渠道。

(4) iSESOL云制造服务平台层：作为三层网络架构的核心层，基于自主研发的工业互联设备和工厂管理软件，为机加工企业打通了从单台设备到完整制造系统、从零散的加工环节到全生命周期数据的信息通道，同时提供基于云的PaaS和SaaS服务。

(三) 项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

(1) 本项目在iSESOL云制造服务平台中构建工业大数据服务子平台，通过引入Cloudera Hadoop大数据架构,挖掘工业数据的价值，以数据为基础开发增值应用服务。该大数据架构规范了在平台中产生或使用的相关数据的管理要求和管理流程，适用于面向数控机床行业的工业云和工业大数据平台的建设和应用过程，对数控机床相关数据的定义、创建、存储、维护、访问过程的进行管理。

(2) 本项目基于iSESOL工业大数据子平台逐步形成大数据服务产品目录，包括监控类、分析类、机器自学习算法类，如刀具磨损监控、自适应加工、加工过程异常识别、设备预防护/预防修、设备健康度分析、设备远程维护检测等，逐渐丰富iSESOL平台的大数据增值服务。

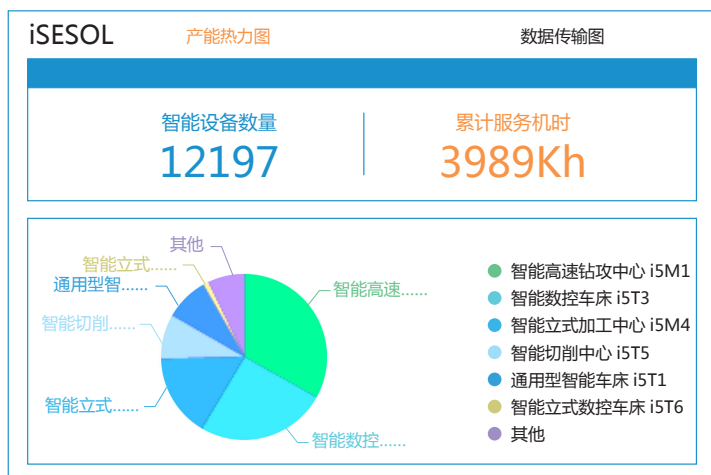
2. 实施效果

(1) 提高了设备接入率

底层设备的接入量直接关系到云制造服务平台建设的潜力。截止到2018年7月，iSESOL云制造服务平台已连接各类智能数控设备超过12000台（套），联网工厂客户达到2000余家，提供服务时间累计超过398万小时，在线订单成交量超过6000单（如图10所示）。

(2) 促进了用户企业降本增效

iSESOL云制造服务平台加速制造行业效率的提高，通过企业互联、业务协同，减少设备闲置率，企业效率提高5%以上，物流效率提高10%，整个产业节约成本按5%计算，以设备制造业来说就是约170亿。通过项目的实施，显著地缩短产品创意到上市的时间，提高产品质量和企业的生产效率，iSESOL云制造服务平台全国在线产能热力图统计数据如图10所示。



（数据来源：www.isesol.com，截止到2018年7月10日）
图10 iSESOL云制造服务平台全国在线产能热力图统计数据



(3) 具备可复制、可推广的示范效应

基于智能装备的iSESOL平台上不但聚集产品创新设计、工艺优化方案，也会有原材料、刀具、工装等的供需信息，通过线上资源和能力的供需匹配，使得线上资源和能力得以公开、共享，形成一个机加行业的信息高地，大大降低行业内企业获取专业服务的难度。

案例二：基于OPC UA的纺织机械设备互联互通解决方案

(一) 项目概况

本项目基于OPC UA规范，针对染整连续式生产设备和生产制造系统间互联互通制定相关标准，通过开发具有边缘计算的智能网关，对设备进行改造，实现设备和染整数字化生产平台间的互联互通，并通过数据分析等技术实现车间智能化，建立行业智能制造示范生产线和智能车间。

1. 项目简介

本项目基于OPC UA规范，建立纺织染整设备和生产数字化平台间互联互通的标准，实现设备和平台间的互联互通，推动染整生产方式向智能、精细化方式转变，提升染整装备效能，解决企业生产效率不高、劳动强度大及招工困难等问题。

2. 项目目标

开展染整设备与制造系统间互联互通及互操作系列行业/国家标准的制定，实现染整智能设备与制造系统间互联互通及互操作；在

三家染整企业建立连续式纺织染整全流程数字生产线标准示范试点生产线，进行全行业的示范和推广。

3. 涉及到的互联互通技术

OPC UA通过通信栈来传输消息，传输协议采用TCP / IP方式，传输协议与平台是独立的，并且能跨越防火墙。在本标准中根据OPC UA的技术体系规范，在系统和设备间的车间级网络体系，采用TCP/IP网络通讯（图11中绿线部分）。网关和原设备控制器间的通讯为现场设备级网络（图11中黄线部分），可采用现场总线、工业以太网。

(1) 现场总线。IEC61784标准中定义的现场总线可在现场设备级网络中应用，如Modbus、RS485等。

(2) 工业以太网。IEC 61784标准中定义的工业以太网可在现场设备级网络中应用，如Modbus/TCP、PROFINET、Ethernet等。

(二) 项目实施概况

本项目在工厂原有设备上，加载网关对染整设备接口进行改造，将现有的各种协议标准转换为OPC UA，实现了丝光机、退煮漂机、印花机、染色机和定形机，与染整数字化平台的互联互通。本项目的技术体系和实施方案，已在3个纺织染整厂家实施，建立连续式染整全流程数字生产线，正式投入使用。

1. 项目主要内容

项目的关键技术在于确定互联互通的技术和规范，开发染整数字化生产平台和生产设备在线监控系统。通过互联互通标准的制定

和实施，实现装备与平台之间的互联互通。建立了染整数字化生产平台、生产在线监控系统，完成智能染整车间的建设。

(1) 染整数字化生产平台

整合制造企业生产过程执行系统（MES）、产品生命周期管理（PLM）系统、自动排产系统（APS），搭建了染整数字化生产平台，把企业的决策管理层、生产执行层和设备运作层整合在一起。系统由生产计划与调度执行、在线工艺检测与控制、能源采集与控制、设备监控中心等模块构成，并配合染缸集控系统、布匹检验系统、纺织品挂样系统等辅助系统。

(2) 生产设备在线监控系统

本案例以平幅连续生产线装备为对象，机织物染整加工主要包括四大过程，即前处理、染色、印花和后整理，设备包括丝光机、退煮漂机、印花机、染色机和定形机。本项目对染整车间设备连接的参数传感器进行数据采集并进行控制，为现场监控终端提供数据来源，具体包括车速码数采集模组、温度采集模组、缝头采集模组、门幅采集模组、含潮率采集模组、能源（水、电、汽）数字仪表等。

2. 网络互联架构

(1) 互联互通网络体系

根据项目的示范要求，在现有连续式染整生产装备控制系统和系统集成现状的基础上，设计了染整设备和数字生产平台间互联互通系统架构，如图11所示。

该系统架构首先适应我国染整设备制造和染整厂的现状，使得

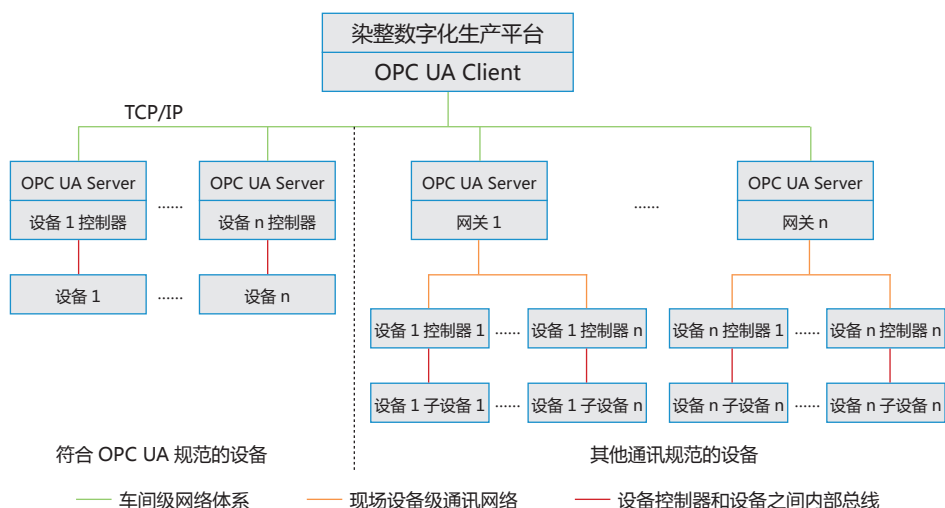


图11 染整设备互联互通系统架构示意图

染整设备制造商能够做到技术延续，染整设备分为符合OPC UA规范的设备 and 符合其他通讯规范的设备。图中绿线表示在系统和设备间的车间级网络体系，采用TCP/IP网络通讯；黄线表示网关和原设备控制器间的现场设备级通讯网络；红线表示设备控制器和设备之间内部总线，多为设备的私有协议。

(2) 系统框架

本方案主要覆盖染整数字化生产平台（OPC UA Client）和各设备和设备站（OPC UA Server）间的通讯和操作规范。染整数字化生产平台被视为OPC UA规范中的客户端（OPC UA Client），各类型设备被视为OPC UA规范中的服务（OPC UA Server），其中每个设备则抽象为若干不同监控单元的集成。

数字化生产平台。系统位于物联网中，对下层设备进行统一管理，提供计算服务，在本方案中为“数字化生产平台”。系统的主

要功能是收集设备数据，显示设备的运行状态，并通过向设备发送控制命令，控制各设备工作。

设备。设备端代表智能染整设备，由网关、设备控制组成。在本系列标准中，设备指五类典型染整设备：丝光机、退煮漂机、印花机、染色机和定形机。网关用于设备节点与平台之间互联所需要的协议转换装置，具有协议转换、数据安全、数据定义、边缘计算等功能。在该图中设备控制器，代表设备的控制和数据采集执行机构，如PLC、SCADA等设备自身的控制板。

(三) 项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

网络架构的设计充分考虑了技术先进性、规范性和成熟性，以及与国际的接轨性，本方案采用OPC UA技术规范作为标准的基础体系，体现出了方案的引导性和先进性。

本项目开发了数字接口OPC UA网关，为工业标准通讯接口OPC Server软件、数据采集接口软件配套定制开发的一款嵌入式硬件产品，该网关除了具备协议转换功能外，还集成了行业常用控制算法，这些控制算法是技术人员经验和知识的总结，可以动态更新下载到相应的网关中。

2. 实施效果

本项目研究了染整生产过程在线检测和控制技术，建立了纺织染整设备和集成生产控制平台间互联互通的标准，实现了生产过程在线检测和控制体系，完成了生产过程闭环控制。开发了具有协议

转换和边缘计算功能的智能化网关，实现现场总线等相关协议向 OPC UA 协议的转换，同时也实现了一些行业内常有控制算法，以满足在设备侧进行实时控制的需求。

案例三：基于SDN和边缘计算技术的空调制造设备互联互通解决方案

（一）项目概况

本项目基于软件定义网络（SDN）及边缘计算技术改造，通过对工业物联网互联互通技术的深度应用，实现工厂生产要素的互联互通，推动网络应用从虚拟空间拓展到实体设备，打造家用空调工业物联网产业示范基地。

1. 项目简介

项目以现有工业网络为基础，采用SDN网络、边缘计算等新技术，连接生产装备、仪表仪器、控制系统、管理系统，建设生产、运维、管理数据的采集和流转系统，支撑工业控制和大数据分析，实现智能质检、智能物流、故障预警等AI应用，通过工业云技术实现产业链协同、设计资源协同、制造资源协同、服务支持协同。

2. 项目目标

- （1）构建清晰合理的空调制造工业物联网网络架构，采用SDN等网络技术实现工业网络的高效联通；
- （2）基于边缘计算的物联网平台，快速适配不同行业边缘智能数



据处理，灵活搭载轻量级数据分析模型进行实时预分析；

(3) 构建基于工业云的大数据分析系统，通过统一数据服务提供大数据分析及存储能力，横向打通云端各个业务模块数据，充分进行数据交换。

3. 涉及到的互联互通技术

(1) 边缘计算技术应用

将边缘计算技术运用到空调生产加工生产中，利用SCADA平台实现生产设备互联互通、协议解析以及边缘数据的分析聚合。经过边缘侧的数据处理，无需将所有原始数据传到云端，同时提高了生产体系闭环控制的实时性。

(2) SDN技术应用

采用SDN网络技术，在网络中部署1套SDN控制器，2台模块化SDN核心交换机，12台SDN汇聚交换机，构建完整的SDN网络拓扑结构，实现网络的柔性和稳定可靠性。

(二) 项目实施概况

本项目的平台分三层：第一层是边缘层，实现自动化设备、机器人的数字化、网络化、智能化集成；第二层是PaaS层，建立数据管理体系，融合工业机理、行业知识、工业数据建模和分析技术；第三层是SaaS层，通过对现有业务软件的云化改造，实现服务的云端部署、集成和应用。

1. 项目主要内容

使用SDN技术将有线网络和无线网络两张割裂的网络进行深度

融合，实现一套网络管理系统，一种数据转发平面，一套网络安全策略，满足网络对核心设备可靠性、扩展性、高性能的要求，同时为后续网络持续升级提供保证。基于边缘计算的现场级网络系统具备强大的数据处理和缓存能力，支持适配不同的协议类型，保证数据采集与分析的多样性、及时性、有效性。结合云计算业务从市场、营销、研发、供应链、制造、消费服务等多个领域进行信息深度融合，实现生产设备互联互通。

2. 网络互联架构

基于工业云的空调边缘计算技术改造网络架构包括工厂级、车间级、现场级三个层级，其中现场级进行采集与终端集成控制，具有高实时性的特征；车间级以产线为单位进行监控与集成控制，作为一级管控实时获取产线运行状态；工厂级对整体数据汇总并做集中管控，同时作为工厂到云端的一个入口，形成从边缘到云端全链路互联体系，具体网络架构如图12所示。

SCADA系统主要负责现场设备互联互通，由采集层和数据服务层组成：

(1) 采集层：SCADA根据主流的现场设备协议开发了一批数据采集微服务，比如OPC采集微服务、三菱PLC采集微服务、西门子PLC采集微服务等。同时SCADA可开放数据采集微服务SDK，供平台用户或设备供应商进行下载和开发，并支持上传到SCADA平台进行使用。

(2) 数据服务层：实现了服务的高可用，同时数据服务层提供了服务注册功能，数据采集微服务在使用之前，首先要完成服务的注册，服务注册完成后进入资源池供数据采集服务使用,同时数据服务

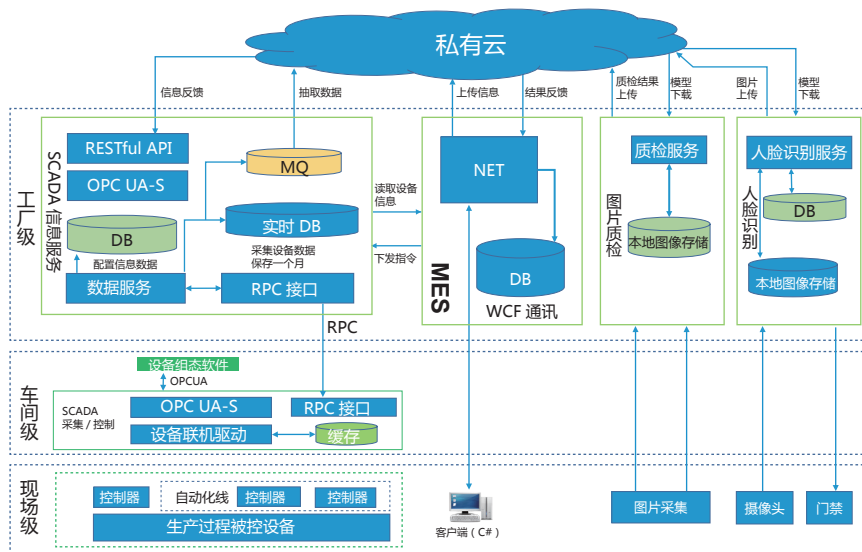


图12 基于工业云的空调边缘计算技术改造网络互联架构

对外提供OPC UA和WEB API实现对数据的实时访问和操作功能。

(三) 项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

边缘计算技术的运用，实现数据的实时边缘处理；基于SDN技术改造工厂网络，实现数据可靠传输及快速响应；工业云平台的运用，实现生产数据存储、分析和处理。

2. 实施效果

项目通过对旧设备的改造，实现设备可靠联机，网络化覆盖率达到91.76%。通过信息化的管理和全自动设备应用，提高材料利用率，降低浪费；通过生产线智能化改造，人员减少，人工成本降低，建立设备管理系统，实时监控设备运行状态，提升设备使用效率，降低维

护成本，实现生产运营成本降低21.16%，运维成本支出减少了35%；通过自动化设备和智能控制系统的综合应用，自动化加工设备、离散作业单元向成套作业单元升级，实现生产效率提升22.86%。

案例四：智能煤矿物联网互联互通解决方案

(一) 项目概况

1. 项目简介

本项目核心是将各煤矿相关环境监测和重大设备监控数据采集传输至集团数据中心，建设煤矿安全生产大数据云平台，助力企业智能化升级，推动数字矿山应用技术和物联网技术在矿山的落地和持续创新。

2. 项目目标

(1) 更透彻的感知：本项目将感知技术、传输技术、信息处理、智能计算、现代控制技术、现代信息管理等与矿井实际生产紧密结合，能够更加全面、准确、实时地感知人、物和环境的信息，动态详尽地描述并控制矿山安全生产与运营的全过程，以高效、安全、绿色开采为目标，保证企业经营的可持续增长。

(2) 更全面的互通互联：运用网络、通信、交互、集成等技术，实现人与人、人与物、物与物间的信息交互，系统间的横向集成和纵向互通。在系统人机界面方面，将会从二维平面向三维立体方向转变，并且支持多种终端界面。



(3) 更深入的智能化：运用数据挖掘、知识发现、专家系统等人工智能技术，实现生产调度指挥、资源预测、安全警示、突发事件处理等决策支持功能，实现矿山的智能化。在安全管理方面，将会由被动的、事后响应式管理向主动的、事先预警、预控方向发展；在决策支持方面，将会从经验决策向智能化决策方向发展。

3. 涉及到的互联互通技术

(1) 通过工业以太网技术将所有的系统都纳入矿井工业以太环网中。

(2) 通过数据采集网关、分站、PLC等装置实现将底层数据采集、传输给监控服务器。

(3) 通过OPC DA、OPC UA和FTP将各个矿井总计130多个系统的数据统一汇聚到集团公司服务器。

(4) 通过中间件技术将汇聚到集团公司服务器的数据转换为定义的标准格式存储，实现数据标准化。

(二) 项目实施概况

安全生产大数据平台旨在实现“数据实时采集、数据统一存储、管理高效透明”，通过全面整合跨企业、跨层级的生产数据，为集团及各子公司提供全面、及时、准确的数据及深度分析服务，有效支撑集团业务发展需求。安全生产大数据平台架构如图13所示。

1. 项目主要内容

(1) 多现场、多系统数据采集

本项目采集8个子公司共计112个子系统数据，包括安全监测系



(2) 数据治理和标准化

51

(3) 数据存储和应用

建设动态实时、可弹性扩展的大数据存储平台，实现矿井多源异构数据的全面采集、治理和存储服务，保证数据标准、规范、完整。

2. 网络互联架构

智能煤矿物联网大数据平台包括排水监控系统、提升监控系统、电力监控系统、安全监控系统和人员定位系统，智能煤矿物联网互联互通网络架构如图14所示。

(1) 安全监测监控类系统

安全监控系统、水文监测系统、降雨量监测系统、应力监测系统、矿震监测系统、矿压监测系统、矿压监测系统等几大系统主要监测、采集、处理瓦斯、一氧化碳、温度、风速、风压、二氧化

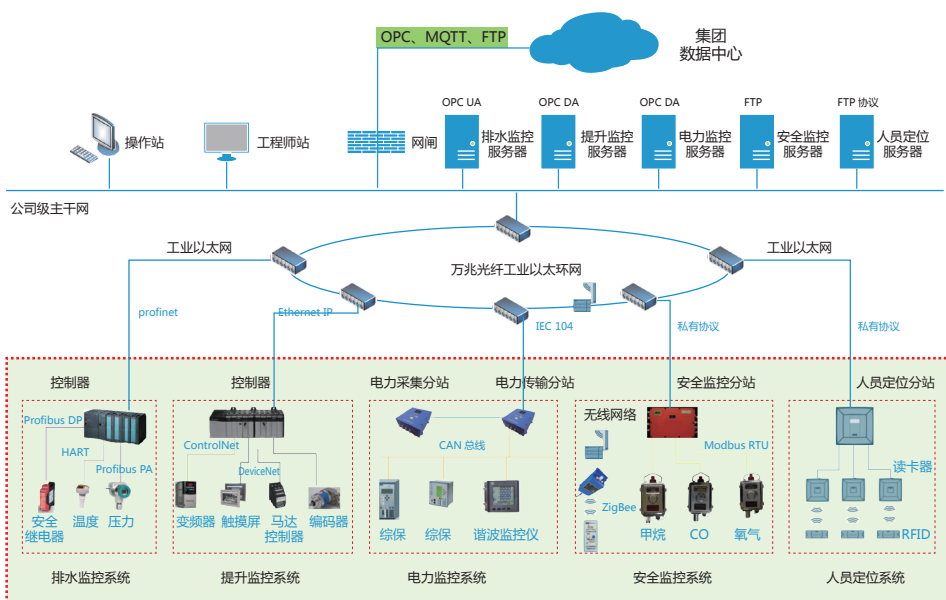


图14 智能煤矿物联网互联互通网络架构

碳、粉尘、开停、馈电、风门、风筒、烟雾、氧气、水位、压力、流量、雨量、拾震器、工作阻力等信号和数据，也存在大量的配置数据。

(2) 井下人员定位监测系统

井下人员定位监测系统主要实时采集、处理和完成实时井下人员分布、人员行走历史轨迹、人员出勤报表、人员上下井LED发布、井下人员状态异常报警等参数和功能。

(3) 重大设备监控系统

重大设备监控主要采用PLC技术完成设备监控和工艺控制。定义每一个需要采集的测点，完成了数据采集编码体系建设，包括地理编码、企业编码、监控系统编码、设备编码、传感器编码。

(4) 电力监控系统

电力监控系统采集煤矿电网用电数据，用于监测煤矿用电的检测、控制、预警、计量、保护、管理的智能监控管理系统。

(三) 项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

(1) 先进的数据采集和传输方案

针对不同系统特性，支持通过JDBC及各种工业通讯接口进行数据采集，并通过FTP、OPC、MQTT等方式进行数据向集团数据中心的传输，保证数据采集的实时性和安全性。

(2) 面向物联网数据应用的数据传输和存储架构

采用分布式消息队列和分布式的时间序列数据库对设备及传感



器数据进行传输和存储，支持对数据进行结构化和非结构化查询，为企业应用提供标准的数据访问接口。

(3) 形成煤矿物联网数据标准化体系

建立统一的数据传输和存储规范，搭建煤炭企业大数据和物联网参考实现框架及数据标准化模型，制定满足煤矿物联网应用的数据编码要求的标准体系。

2. 实施效果

本项目实现企业更透明的感知、更全面的互联互通和更深入的智能化，推动煤矿企业实现生产和管理模式变革，提高企业安全管理和生产运行智能化水平，显著提升生产效益，节省人员开支和管理费用。

案例五：基于工业PON的工程机械互联互通解决方案

(一) 项目概况

企业在智能制造上需要整合生产管理，对工业生产数据传输提出新要求。为提高公司生产效率，实现企业信息化、解决智能制造信息孤岛互联、工业生产安全、优化资源配置，本项目采用工业PON网络构建低时延、高可靠、广覆盖的通信网络，实现企业智能制造车间横向集成的信息高速。

1. 项目简介

本项目基于PON的工业网络和3G/4G、WiFi等无线网络，将企

业的生产过程控制、运行、管理作为一个整体进行控制与管理，促进信息化和工业化深度融合。

2. 项目目标

本项目建设的核心目标是建立智能制造车间信息高速，实现车间中各类加工设备和数据采集、MES等信息系统有机连接。通过加工车间、装配车间无线设备、数据采集设备统一采用全光网络承载，实现加工高清可视化监控，提高智能制造车间设备利用率，减少故障和停机时间，降低使用成本，节省统计生产数据的时间。为管理者提供更加方便快捷地监管系统，及时了解掌握车间生产的执行情况及设备的运行情况。

3. 涉及到的互联互通技术

本项目涉及到的互联互通技术主要是工业无源光网络技术。

(二) 项目实施概况

1. 项目主要内容

工业PON项目建设内容包括局端OLT、ODN、ONU设备组成联网，形成企业智慧制造车间高速网络，主要涉及以下内容：

(1) OLT通过10G接口上联核心机房，通过PON接口接入ONU设备，实现数控机床、拧紧机等与各种系统的联通。

(2) ODN系统利用现布放的光纤，在车间通信柜中增加分光器和设备尾纤。

(3) ONU网络安装车间通信柜中，利用现有五类布线接入到各种数控机床、拧紧机以及AP设备。

2. 网络互联架构

企业工业PON网络互联架构包括数控机床检测设备PC机、工业级ONU、核心交换机、信息箱、光缆和OLT设备，通过现有五类布线接入到各种数控机床、拧紧机以及AP设备，实现车间中各类加工设备、装配车间无线设备、数据采集设备的互联互通，企业工业PON网络架构如图15所示。

(三) 项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

本项目实现了网络扁平化，满足了多业务承载，提高了网络稳定性，抗电磁干扰能力强，达到了千兆高带宽，通过双路光纤保护、双机热备、工业级ONU满足了厂区网络安全性要求。

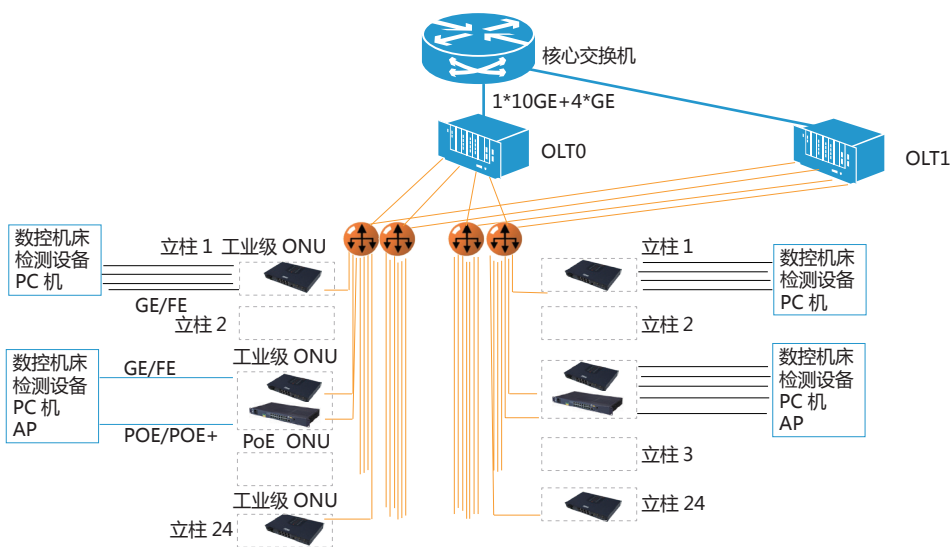


图15 企业工业PON网络互联架构

2. 实施效果:

工业PON全光纤组网简单，一根光纤实现全业务，安装走线方便抗干扰能力强，并且低时延满足工业控制、数据采集、无线承载等各种业务实际应用需求，相比进口工业交换机组网单点成本减少40%。

案例六：空调噪音数据互联互通解决方案

(一) 项目概况

针对目前企业存在的互联互通问题，COSMOPlat平台改进边缘设备接入标准配置的大规模定制解决方案云平台，通过信息化实现海量设备连接，在底层各类生产设备逐步产生数据互联，在上层各类业务系统ERP、CRM、CAM等实现数据互通与共享，使每一个需求都可以通过平台来快速配置资源，实现制造和互联网的深度融合。本项目空调噪音检测就是基于COSMOPlat平台实现数据的互联互通和智能化检测。

1. 项目简介

本项目空调互联工厂部署有国内唯一的分贝检测设备，当空调分贝大于标准分贝时，系统判断为不合格并将结果输出至COSMOPlat-IM（MES）系统，但此设备无法识别空调运行中的异音，如摩擦音、共振音、口哨音等。此外，高强度的空调装配流水线工作导致检测工人听取噪音时间过长，易产生疲劳和误判，偶尔有不合品流到下线，影响整体检验的可靠性。因此，急需找到新式



噪音识别方法，解决企业当前痛点。

2. 项目目标

本项目通过传感器、分贝检测系统、业务系统、模型算法的集成与交互，在解放人力、减少误判、提高企业效益与生产效率等方面有极大改善。此项智能检测系统的实施充分利用了设备端的嵌入式智能计算技术，以分布式信息处理的方式实现了设备端的智能和自治，通过工业物联数据互联互通、业务系统交互协作，实现了检测系统整体的智能化。

3. 涉及到的互联互通技术

检测产品的条码数据通过RFID的PLC中实时获取。声音数据通过OPC协议从分贝检测设备PLC中采集数据，然后将采集的数据结果采用UDP协议通过有线工业以太网传输至边缘端进行分析和处理，同步传输到服务端进行数据存储。

(二) 项目实施概况

通过整合COSMOPlat平台上的软件及硬件资源，共同开发了空调噪音智能检测系统，有效地解决无法识别异音的痛点。

1. 项目主要内容

通过智能采集设备采集检测空调运行所产生的音频，并对其进行截断、预处理等操作，之后利用语音识别提取特征、通过线下样本标定、网络分类模型训练进行验证。采用边缘计算、机器学习等方法模拟工人的判断行为，在节拍允许时间内智能识别空调运行异音，给出判断结果，并将此结果回传至COSMOPlat-IM(MES)系统，

实现噪音识别系统的智能识别，从而解放人工劳动、提高检验准确率、提升企业效益。

2. 网络互联架构

COSMOPlat开发了智能网关产品COSMOPlat-Edge，本项目首先构建音频采集系统，实现设备分贝检测时对音频的实时同步采集与型号关联。其次，利用特征提取核心技术，对音频文件进行关键特征提取处理，将特征输入智能优化模型，模型自动输出对应空调条码号的判别结果，对异常声音自动报警，并将智能检验结果反馈至COSMOPlat-IM(MES)。与此同时，通过噪音智能识别系统实现空调噪音检测过程中各制造单元独立地自动交换信息、触发动作和控制过程的可视化展现等，空调噪音数据互联互通网络架构如图16所示。

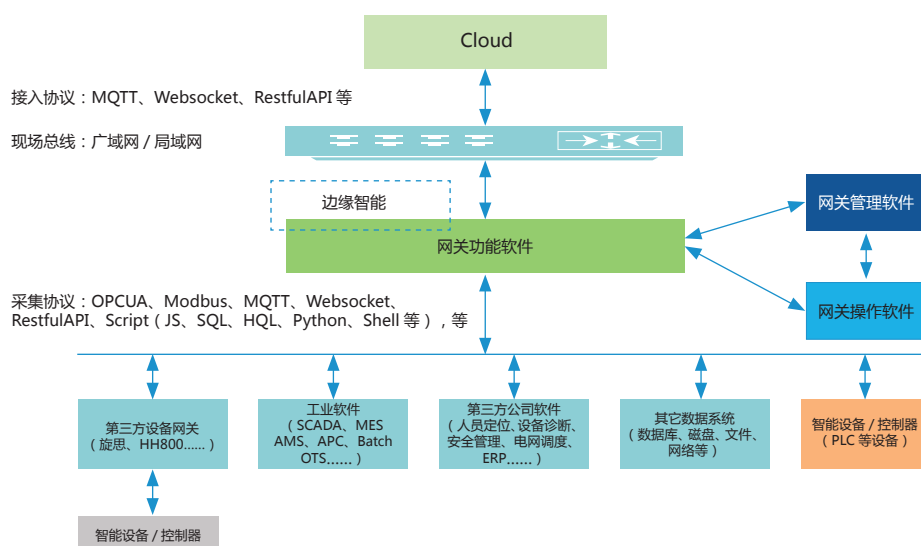


图16 空调噪音数据互联互通网络架构

(三) 项目创新点和实施效果

1. 项目先进性及创新点

本项目充分利用了设备端的嵌入式智能计算技术，设备物联网数据互联互通技术，实现了检测设备RFID设备与MES系统生产数据和生产过程数据的互联互通，最终综合多种类型数据进行处理和分析。

2. 实施效果

项目以分布式大数据信息处理的方式，利用多种人工智能算法，实现了设备端的智能和自治。通过噪音智能识别实现过程中各制造单元独立地自动交换信息、触发动作和控制过程的可视化展现，实现了检测系统整体的智能化。噪音检测结果准确率达到95%以上，大幅降低了人工成本，提高了检测效率与精度，项目实施效果展示如图17所示。



图17 项目实施效果展示

附录A

工业物联网互联互通技术标准清单

1. 现场总线和工业以太网标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	GB/T 31230.1-2014	工业以太网现场总线EtherCAT 第1部分：概述	国家标准	现行
2	GB/T 31230.2-2014	工业以太网现场总线EtherCAT 第2部分：物理层服务和协议规范	国家标准	现行
3	GB/T 31230.3-2014	工业以太网现场总线EtherCAT 第3部分：数据链路层服务定义	国家标准	现行
4	GB/T 31230.4-2014	工业以太网现场总线EtherCAT 第4部分：数据链路层协议规范	国家标准	现行
5	GB/T 31230.5-2014	工业以太网现场总线EtherCAT 第5部分：应用层服务定义	国家标准	现行
6	GB/T 31230.6-2014	工业以太网现场总线EtherCAT 第6部分：应用层协议规范	国家标准	现行
7	IEC 61158-1:2014	Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part 1: Overview and guidance	国际标准	现行
8	IEC 61158-2:2014	Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part 2: Physical layer specification and service definition	国际标准	现行
9	IEC 61158-3 (多个部分)	Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part 3: Data-link layer service definition	国际标准	现行
10	IEC 61158-4 (多个部分)	Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part 4: Data-link layer protocol specification	国际标准	现行
11	IEC 61158-5 (多个部分)	Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part 5: Application layer service definition	国际标准	现行
12	IEC 61158-6 (多个部分)	Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part 6: Application layer protocol specification	国际标准	现行
13	GB/T 29618.315-2013	现场设备工具(FDT)接口规范 第315部分：通信行规集成 MODBUS现场总线规范	国家标准	现行

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
14	GB/T 29618.515-2017	现场设备工具(FDT)接口规范 第515部分：通用对象模型的通信实现 MODBUS现场总线规范	国家标准	现行
15	GB/T 25919.1-2010	Modbus测试规范 第1部分：Modbus串行链路一致性测试规范	国家标准	现行
16	GB/T 25919.2-2010	Modbus测试规范 第2部分：Modbus串行链路互操作测试规范	国家标准	现行
17	GB/T 19582.1-2008	基于Modbus协议的工业自动化网络规范 第1部分：Modbus应用协议	国家标准	现行
18	GB/T 19582.2-2008	基于Modbus协议的工业自动化网络规范 第2部分：Modbus协议在串行链路上的实现指南	国家标准	现行
19	GB/T 19582.3-2008	基于Modbus协议的工业自动化网络规范 第3部分：Modbus协议在TCP/IP上的实现指南	国家标准	现行
20	GB/Z 26157.1-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第1部分：一般描述	国家标准	现行
21	GB/Z 26157.2-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第2部分：物理层和介质	国家标准	现行
22	GB/Z 26157.3-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第3部分：数据链路层	国家标准	现行
23	GB/Z 26157.4-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第4部分：网络层及传输层	国家标准	现行
24	GB/Z 26157.5-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第5部分：数据管理	国家标准	现行
25	GB/Z 26157.6-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第6部分：对象模型	国家标准	现行
26	GB/Z 26157.7-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第7部分：设备行规	国家标准	现行
27	GB/Z 26157.8-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第8部分：电子数据表	国家标准	现行
28	GB/Z 26157.9-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2：ControlNet和EtherNet/IP规范 第9部分：站管理	国家标准	现行

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
29	GB/Z 26157.10-2010	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型2: ControlNet和EtherNet/IP规范 第10部分: 对象库	国家标准	现行
30	GB/T 27960-2011	以太网POWERLINK通信行规规范	国家标准	现行
31	IEC 61784-1:2014	Industrial communication networks - Profiles - Part 1: Fieldbus profiles	国际标准	现行
32	IEC 61784-2:2014	Industrial communication networks - Profiles - Part 2: Additional fieldbus profiles for real-time networks based on ISO/IEC 8802-3	国际标准	现行
33	IEC 61784-3 (多个部分)	Industrial communication networks - Profiles - Part 3: Functional safety fieldbuses - General rules and profile definitions	国际标准	现行
34	IEC 61784-5 (多个部分)	Industrial communication networks - Profiles - Part 5: Installation of fieldbuses- Installation profiles	国际标准	现行
35	GB/Z 20177.1-2006	控制网络LONWORKS技术规范 第1部分: 协议规范	国家标准	现行
36	GB/Z 20177.2-2006	控制网络LONWORKS技术规范 第2部分: 电力线信道规范	国家标准	现行
37	GB/Z 20177.3-2006	控制网络LONWORKS技术规范 第3部分: 自由拓扑双绞线信道规范	国家标准	现行
38	GB/Z 20177.4-2006	控制网络LONWORKS技术规范 第4部分: 基于隧道技术在IP信道上传输控制网络协议的规范	国家标准	现行
39	GB/T 20540.1-2006	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型3: PROFIBUS规范 第1部分: 概述和导则	国家标准	现行
40	GB/T 20540.2-2006	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型3: PROFIBUS规范 第2部分: 物理层规范和服务定义	国家标准	现行
41	GB/T 20540.3-2006	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型3: PROFIBUS规范 第3部分: 数据链路层服务定义	国家标准	现行
42	GB/T 20540.4-2006	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型3: PROFIBUS规范 第4部分: 数据链路层协议规范	国家标准	现行
43	GB/T 20540.5-2006	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型3: PROFIBUS规范 第5部分: 应用层服务定义	国家标准	现行

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
44	GB/T 20540.6-2006	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型3: PROFIBUS规范 第6部分: 应用层协议规范	国家标准	现行
45	GB/T 36048-2018	乘用车CAN总线物理层技术要求	国家标准	现行
46	ISO 11898-1:2015	Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 1: Data link layer and physical signalling	国际标准	现行
47	ISO 11898-2:2016	Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 2: High-speed medium access unit	国际标准	现行
48	ISO 11898-3:2006	Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 3: Low-speed, fault-tolerant, medium-dependent interface	国际标准	现行
49	ISO 11898-4:2004	Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 4: Time-triggered communication	国际标准	现行
50	GB/Z 29619.1-2013	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型8: INTERBUS规范 第1部分: 概述	国家标准	现行
51	GB/Z 29619.2-2013	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型8: INTERBUS规范 第2部分: 物理层规范和服务定义	国家标准	现行
52	GB/Z 29619.3-2013	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型8: INTERBUS规范 第3部分: 数据链路服务定义	国家标准	现行
53	GB/Z 29619.4-2013	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型8: INTERBUS规范 第4部分: 数据链路协议规范	国家标准	现行
54	GB/Z 29619.5-2013	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型8: INTERBUS规范 第5部分: 应用层服务的定义	国家标准	现行
55	GB/Z 29619.6-2013	测量和控制数字数据通信 工业控制系统用现场总线 类型8: INTERBUS规范 第6部分: 应用层协议规范	国家标准	现行
56	GB/T 29910.1-2013	工业通信网络 现场总线规范 类型20: HART规范 第1部分: HART有线网络物理层服务定义和协议规范	国家标准	现行
57	GB/T 29910.2-2013	工业通信网络 现场总线规范 类型20: HART规范 第2部分: HART有线网络数据链路层服务定义和协议规范	国家标准	现行
58	GB/T 29910.3-2013	工业通信网络 现场总线规范 类型20: HART规范 第3部分: 应用层服务定义	国家标准	现行

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
59	GB/T 29910.4-2013	工业通信网络 现场总线规范 类型20: HART 规范 第4部分: 应用层协议规范	国家标准	现行
60	GB/T 29910.6-2013	工业通信网络 现场总线规范 类型20: HART 规范 第6部分: 应用层附加服务定义和协议规范	国家标准	现行
61	GB/T 19760.1-2008	CC-Link控制与通信网络规范 第1部分: CC-Link 协议规范	国家标准	现行
62	GB/T 19760.2-2008	CC-Link控制与通信网络规范 第2部分: CC-Link实现	国家标准	现行
63	GB/T 19760.3-2008	CC-Link控制与通信网络规范 第3部分: CC-Link 行规	国家标准	现行
64	GB/T 19760.4-2008	CC-Link控制与通信网络规范 第4部分: CC-Link/LT 协议规范	国家标准	现行
65	GB/T 33537.1-2017	工业通信网络 现场总线规范 类型23:CC-Link IE规范 第1部分: 应用层服务定义	国家标准	现行
66	GB/T 33537.2-2017	工业通信网络 现场总线规范 类型23:CC-Link IE规范 第2部分: 应用层协议规范	国家标准	现行
67	GB/T 33537.3-2017	工业通信网络 现场总线规范 类型23:CC-Link IE规范 第3部分: CC-Link IE通信行规	国家标准	现行
68	GB/Z 29496.1-2013	控制与通信网络CC-Link Safety 规范 第1部分:概述/协议	国家标准	现行
69	GB/Z 29496.2-2013	控制与通信网络CC-Link Safety 规范 第2部分: 行规	国家标准	现行
70	GB/Z 29496.3-2013	控制与通信网络CC-Link Safety 规范 第3部分: 实现	国家标准	现行
71	GB/Z 34066-2017	控制与通信网络CIP Safety规范	国家标准	现行
72	GB/T 25105.1-2014	工业通信网络 现场总线规范 类型10: PROFINET IO规范 第1部分: 应用层服务定义	国家标准	现行
73	GB/T 25105.2-2014	工业通信网络 现场总线规范 类型10: PROFINET IO规范 第2部分: 应用层协议规范	国家标准	现行
74	GB/T 25105.3-2014	工业通信网络 现场总线规范 类型10: PROFINET IO规范 第3部分: PROFINET IO 通信行规	国家标准	现行

2. 无源光网络标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	GB/T 33849-2017	接入网设备测试方法 吉比特的无源光网络 (GPON)	国家标准	现行
2	GB/T 33845-2017	接入网技术要求 吉比特的无源光网络 (GPON)	国家标准	现行
3	GB/T 29229-2012	基于以太网方式的无源光网络 (EPON) 技术要求	国家标准	现行
4	GB/T 33843-2017	接入网设备测试方法 基于以太网方式的无源光网络 (EPON)	国家标准	现行

3. 工业无线标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	GB/T 29910.5-2013	工业通信网络 现场总线规范 类型20: HART 规范 第5部分: WirelessHART 无线通信网络及通信行规	国家标准	现行
2	IEC 62591:2016	Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - WirelessHART	国际标准	现行
3	IEC 62734:2014	Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - ISA 100.11a	国际标准	现行
4	GB/T 26790.1-2011	工业无线网络WIA规范 第1部分: 用于过程自动化的WIA系统结构与通信规范	国家标准	现行
5	GB/T 26790.2-2015	工业无线网络WIA规范 第2部分: 用于工厂自动化的WIA系统结构与通信规范	国家标准	现行
6	GB/T 26790.3-2015	工业无线网络WIA规范 第3部分: WIA-PA协议一致性测试规范	国家标准	现行
7	IEC 62601:2015	Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - WIA-PA	国际标准	现行
8	IEC 62948:2017	Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - WIA-FA	国际标准	现行

4. 窄带蜂窝网标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	20171088-T-469	信息技术 系统间远程通信和信息交换 低功耗广域网媒体访问控制层和物理层规范	国家标准计划	正在起草

5. OPC UA标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	GB/T 33863.1-2017	OPC统一架构 第1部分：概述和概念	国家标准	现行
2	GB/T 33863.2-2017	OPC统一架构 第2部分：安全模型	国家标准	现行
3	GB/T 33863.3-2017	OPC统一架构 第3部分：地址空间模型	国家标准	现行
4	GB/T 33863.4-2017	OPC统一架构 第4部分：服务	国家标准	现行
5	GB/T 33863.5-2017	OPC统一架构 第5部分：信息模型	国家标准	现行
6	GB/T 33863.6-2017	OPC统一架构 第6部分：映射	国家标准	现行
7	GB/T 33863.7-2017	OPC统一架构 第7部分：行规	国家标准	现行
8	GB/T 33863.8-2017	OPC统一架构 第8部分：数据访问	国家标准	现行
9	20180184-T-604	OPC 统一结构 第9 部分：警报和条件	国家标准 计划	正在 起草
10	20180184-T-604	OPC 统一结构 第10 部分：程序	国家标准 计划	正在 起草
11	20180184-T-604	OPC 统一结构 第11 部分：历史访问	国家标准 计划	正在 起草
12	20180184-T-604	OPC 统一结构 第13 部分：集合	国家标准 计划	正在 起草
13	IEC TR 62541-1:2016	OPC unified architecture - Part 1: Overview and concepts	国际标准	现行
14	IEC TR 62541-2:2016	OPC unified architecture - Part 2: Security Model	国际标准	现行
15	IEC 62541-3:2015	OPC unified architecture - Part 3: Address Space Model	国际标准	现行
16	IEC 62541-4:2015	OPC Unified Architecture - Part 4: Services	国际标准	现行
17	IEC 62541-5:2015	OPC Unified Architecture - Part 5: Information Model	国际标准	现行
18	IEC 62541-6:2015	OPC unified architecture - Part 6: Mappings	国际标准	现行
19	IEC 62541-7:2015	OPC unified architecture - Part 7: Profiles	国际标准	现行
20	IEC 62541-8:2015	OPC Unified Architecture - Part 8: Data Access	国际标准	现行
21	IEC 62541-9:2015	OPC Unified Architecture - Part 9: Alarms and conditions	国际标准	现行
22	IEC 62541-10:2015	OPC Unified Architecture - Part 10: Programs	国际标准	现行
23	IEC 62541-11:2015	OPC Unified Architecture - Part 11: Historical Access	国际标准	现行
24	IEC 62541-13:2015	OPC Unified Architecture - Part 13: Aggregates	国际标准	现行
25	IEC 62541-100:2015	OPC Unified Architecture - Part 100: Device Interface	国际标准	现行



6. MQTT标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	ISO/IEC 20922:2016	Information technology -- Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) v3.1.1	国际标准	现行

7. AMQP标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	ISO/IEC 19464:2014	Information technology -- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP) v1.0 specification	国际标准	现行

8. CoAP标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	20150036-T-339	物联网应用协议 受限应用协议(CoAP)测试方法	国家标准计划	正在批准
2	20150033-T-339	物联网应用协议 受限应用协议(CoAP)技术要求	国家标准计划	正在批准
3	YD/T 3305-2017	受限应用协议 (CoAP) 测试方法	行业标准	现行
4	YD/T 3241-2017	受限应用协议 (CoAP) 技术要求	行业标准	现行

9. TSN标准清单

序号	标准标号	标准名称	标准类型	状态
1	ISO/IEC/IEEE 8802-1AS-2014	Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Timing and synchronization for time-sensitive applications in bridged local area networks	国际标准	现行
2	ISO/IEC/IEEE 8802-1Q:2016	Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems-- Local and metropolitan area networks --Specific requirements --Part 1Q: Bridges and bridged networks	国际标准	现行
3	ISO/IEC/IEEE 8802-1AB:2014	Information technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Station and Media Access Control Connectivity Discovery	国际标准	现行
4	ISO/IEC/IEEE 8802-1BA:2016	Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks --Specific requirements --Part 1BA: Audio video bridging (AVB) systems	国际标准	现行

附录B

缩略语

序号	缩略语	原始用语
1	3GPP	第三代合作伙伴项目 (The 3rd Generation Partnership Project)
3	ACM	美国计算机协会 (Association for Computing Machinery)
5	AMQP	高级消息队列协议 (Advanced Message Queuing Protocol)
7	API	应用程序界面 (Application Program Interface)
8	APON	异步传输模式无源光纤网 (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network)
10	BPON	宽带无源光网络(Broadband Passive Optical Network)
11	CAM	计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing)
12	CAN	控制器局域网络 (Control Area Network)
13	CC-Link	控制与通信链路系统(Control &Communication Link)
14	CDMA	码分多址 (Code Division Multiple Access)
15	CoAP	受限应用协议 (Constrained Application Protocol)
16	CRM	客户关系管理 (Customer Relationship Management)
17	DCS	分布式控制系统 (Distributed Control System)
18	DDS	数据分发服务(Data Distribution Service)
19	DDS-XRCE	资源受限环境下的数据分发服务 (Data Distribution Service For Extremely Resource Constrained Environments)
20	ERP	企业资源计划 (Enterprise Resource Planning)
21	ETSI	欧洲电信标准协会 (European Telecommunication Standards Institute)
23	FTP	文件传输协议 (File Transfer Protocol)
24	GPON	吉比特无源光网络(Gigabit Passive Optical Network)
25	HART	可寻址远程传感器高速通道 (Highway Addressable Remote Transducer)
26	HTTP	超文本传输协议 (HyperText Transfer Protocol)
27	IBM	美国国际商用机器公司 (International Business Machine)
28	ICT	信息通信技术(Information and Communication Technology)
29	IEC	国际电工技术委员会 (International Electrotechnical Commission)
30	IEEE	电气与电子工程师协会 (Institute of Electrical and Electronic Engineers)
31	IETF	国际互联网工程任务组 (Internet Engineering Task Force)

序号	缩略语	原始用语
32	IIC	工业互联网联盟（Industrial Internet Consortium）
33	IP	网络之间互连的协议（Internet Protocol）
34	ISA	美国仪器学会（Instrument Society of America）
35	ISO	国际标准化组织（International Organization for Standardization）
36	IT	信息技术（Information Technology）
37	ITU	国际电信联盟（International Telecommunication Union）
38	JDBC	Java数据库连接（Java DataBase Connectivity）
39	JSON	基于JavaScript语言的轻量级的数据交换格式(JavaScript Object Notation)
42	LTE	移动通信技术的长期演进（Long Term Evolution）
43	MES	制造执行系统（Manufacture Execution System）
44	MQTT	消息队列遥测传输（Message Queuing Telemetry Transport）
45	NB-IoT	窄带物联网（Narrow Band Internet of Things）
46	OASIS	结构化信息标准促进组织（Organization for the Advancement of Structured Information Standards）
47	ODN	光分配网络(Optical Distribution Network)
48	OLT	光线路终端（Optical Line Terminal）
49	OMG	对象管理组织（Object Management Group）
50	ONF	开放网络基金会（Open Networking Foundation）
51	ONU	光网络单元（Optical Network Unit）
52	OPC UA	对象链接和嵌入过程控制统一架构（Object Linking and Embedding for Process Control Unified Architecture）
53	OSI	开放式系统互联（Open System Interconnection）
54	OT	操作技术（Operation Technology）
55	PaaS	平台即服务（Platform as a Service）
56	PCS	过程控制系统（Process Control System）
58	PLC	可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller）
59	PLM	产品生命周期管理（Product Lifecycle Management）
60	PON	无源光网络（Passive Optical Network）
61	QoS	服务质量（Quality of Service）
64	RFID	无线射频识别（Radio Frequency Identification Devices）
65	RPMA	随机相位多址接入（Random Phase Multiple Access）
66	SaaS	软件即服务（Software as a Service）
67	SCADA	监测控制和数据采集（Supervisory Control and Data Acquisition）
68	SDK	软件开发工具包（Software Development Kit）
69	SDN	软件定义网络（Software Defined Networking）
70	SOA	面向服务架构（Service Oriented Architecture）

序号	缩略语	原始用语
71	SOAP	简单对象访问协议(Simple Object Access Protocol)
72	TCP	传输控制协议 (Transmission Control Protocol)
73	TSN	时间敏感网络 (Time-Sensitive Networking)
74	UDP	用户数据报协议 (User Datagram Protocol)
75	VEI	垂直领域边缘智能 (Vertical Edge Intelligence)
76	VPN	虚拟专用网(Virtual Private Network)
77	WIA-FA	工厂自动化工业无线网络技术 (Wireless Networks for Industrial Automation Factory Automation)
78	WIA-PA	面向工业过程自动化无线网络技术 (Wireless Networks for Industrial Automation Process Automation)
80	WirelessHART	无线可寻址远程传感器高速通道 (Wireless Highway Addressable Remote Transducer)
81	WSDL	网络服务描述语言 (Web Service Description Language)
85	XML	可扩展标记语言 (Extensible Markup Language)



致 谢

本白皮书的编写受到社会各界专家、企业及科研单位的关注和大力支持，在此感谢朱毅明、张俭锋、章维、彭昭、范斌等专家对白皮书编写提供的宝贵修改意见。同时，感谢北京和利时系统工程有限公司、浙江中控技术股份有限公司、北京连易科技有限公司、物联网智库、德国倍福自动化有限公司等企业及科研单位为白皮书编写做出的宝贵贡献。