

# 工业互联网发展阶段认识

## Understanding the development stage of industrial Internet

席万选, 李永祥, 孙丹峰, 季幼章, 程鑫昌

中国电子学会传感与微系统技术分会电压敏专业学部 汕头 515041

**摘要:** 工业互联网是互联网和新一代信息技术与全球工业系全方位深度融合集成所形成的产业和应用生态, 是工业智能化发展的关键综合信息基础设施。本文综述介绍工业互联网内涵、工业互联网的范畴及智能制造、工业互联网总体架构、工业互联网平台功能架构、工业互联网的网络互联体系。

**关键词:** 工业互联网, 发展趋势

### 1 引言

工业互联网的本质和核心是通过工业互联网平台把设备、生产线、工厂、供应商、产品和客户紧密地连接融合起来。可以帮助制造业拉长产业链, 形成跨设备、跨系统、跨厂区、跨地区的互联互通, 从而提高效率, 推动整个制造服务体系智能化。还有利于推动制造业融通发展, 实现制造业和服务业之间的联动发展, 使工业经济各种要素资源能够高效共享。

工业互联网平台是面向制造业数字化、网络化、智能化需求, 构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系, 支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的工业云平台。

简单来说, 工业互联网就是通过设备联网—数据上云—平台清洗分析—得出结果—辅助决策—车间提质增效, 这样一个通路来实现制造业企业的智能化转型模式。

工业互联网平台是工业互联网的基础设施和核心承载平台, 是构建工业软件体系、推动企业上云上平台, 进而实现智能制造的重要环节。

本文综述介绍工业互联网内涵、工业互联网的范畴及智能制造、工业互联网总体架构、工业互联网平台功能架构、工业互联网的网络互联体系。

### 2 工业互联网内涵

#### 2.1 工业互联网定义

工业互联网是互联网和新一代信息技术与全球工业系统全方位深度融合集成所形成的产业和应用生态, 是工业智能化发展的关键综合信息基础设施。

“工业互联网, 就是把人、数据和机器连接起来”。图 1 示出工业互联网的三要素。



图 1 工业互联网的三要素

工业互联网的定义, 首先这个定义有几个方面。

(1) 第一个, 它是互联网与信息技术与制造业的融合, 这个是一个很关键的方面。

(2) 另外我们认为和互联网一样, 产业和应用的环境, 会促进创新, 推动企业产业的发展。

我们通常将工业互联网称为“工业技术革命”和“ICT (信息通信) 技术革命”相结合的产物。图 2 给出工业互联网示意图。

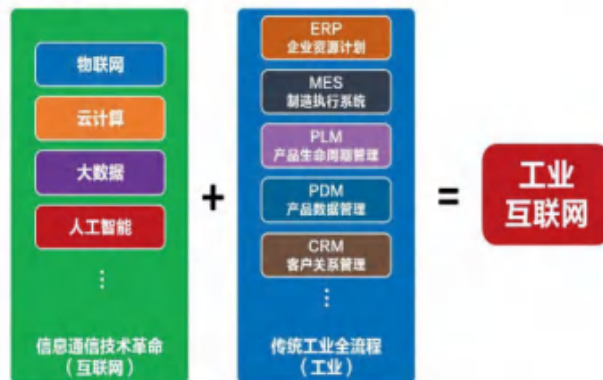


图 2 工业互联网称为“工业技术革命”和“ICT (信息通信)”技术革命相结合的产物

工业互联网，就是信息技术（IT）、通信技术（CT）、操作技术（OT）的全面融合和升级。图3示出工业互联网是IT、CT、OT的全面融合和升级图。IT是信息技术，CT是通信技术，OT是操作技术。操作技术可以把它理解为工厂车间里面的那些工业环境和设备，包括机械臂、传感器、仪器仪表、监控系统、控制系统等等。



图3 工业互联网是IT、CT、OT的全面融合和升级图

工业互联网，它既是一张工业互联的网，也是一个平台，更是一个系统，实现了工业生产过程所有要素的泛在连接和整合。

## 2.2 工业互联网内涵

针对工业互联网来说，我们觉得它首先也是应该有一个生态的概念在里面，包括应用生态和产能生态。另一方面，工业互联网和互联网一样，对信息基础设施的推动和发展也是非常关键的，而且工业互联网将来是全球化的协

同，包括跨企业，包括国内不同企业，还有跨地域、全球化的协同，它需要我们整个的信息基础设施的支撑，而信息基础设施在工业互联网推动下会不断完善和发展。图4给出工业互联网内涵示意图。

工业互联网是互联网和新一代信息技术与全球工业系统全方位深度融合集成所形成的产业和应用生态，是工业智能化发展的关键综合信息基础设施。

(1) 工业互联网是网络，实现机器、物品、控制系统、信息系统、人之间的泛在联接。

(2) 工业互联网是平台，通过工业云和工业大数据实现海量工业数据的集成、处理与分析。

(3) 工业互联网是新模式新业态，实现智能化生产、网络化协同、个性化定制和服务化延伸。

从图4我们可以看到，和互联网可以做一个类比，在终端、网络和应用层面都很相似，但是我们看到有工业特征在里面。

(1) 首先终端层面，我们要体现工业互联网的终端，包括我们的机器、物料都要进行智能化，能够联网来传送一些信息和进行信息的交互。

(2) 第二个层面是网络层面，包含了网络互联的层面，含了工厂内部网络的连接还有大网上的连接。还有一些信息基础设施，特别涉及到和咱们主题相关的云、大数据，这是很关键的信息基础设施。

(3) 再往上是工业互联网的各种应用。

**工业互联网是互联网和新一代信息技术与全球工业系统全方位深度融合集成所形成的产业和应用生态，是工业智能化发展的关键综合信息基础设施。**

—工业互联网是**网络**，实现机器、物品、控制系统、信息系统、人之间的泛在联接

—工业互联网是**平台**，通过工业云和工业大数据实现海量工业数据的集成、处理与分析

—工业互联网是**新模式新业态**，实现智能化生产、网络化协同、个性化定制和服务化延伸。



图4 工业互联网内涵示意图



## 3 工业互联网的范畴及与智能制造

### 3.1 工业互联网的范畴

针对工业互联网内涵，实际上就是我们经常会问的一个问题，我们和智能制造是什么样的关系。我们用图 5 呈现这个关系，智能制造我们觉得内涵可能更大一些，包含了我们的材料、工艺还有机械，跟设备装备本体相关的，这个应该是智能制造很重要的一块也是很重要的基础。但是工业互联网我们认为更强调这种网络化、智能化这方面，从本体往上与信息通信、信息处理和应用支撑等方面。从智能制造的角度来看，这个大的左边蓝色的框子，工业互联网是其中很核心的中间的一块。图 5 示出工业互联网与智能制造的关系图。

我们看到，从信息基础设施来讲，工业是一个推动我们信息基础设施建设的基础，比如说我们云，我们建了数据中心，不仅仅是面向工业云的服务，可能医疗还有农业都可以，所以从这种角度来看，工业互联网的内涵就是我们这个右边红色的框子，更大一些，它可以支撑消费性的一些公众服务的业务也可以在上面，提供更好的一些支撑服务。

目前也是我们实际上在研究工业互联网的时候，和国内外很多单位进行了调研和研讨，将近一百多家国内外的企业，包括国际一些很大的企业还有国内的一些大型的制造和信息通信的企业、互联网企业。从整体来看，我们认为实际上产业对工业互联网的理解还是不太一样的，譬如说制造企业，可能是希望首先是对工厂内部进行一些改造，为了满

足他们的生产经营管理的需要，怎么来更高效率、更好的质量和降低能耗这些方面。同时为了对用户的需求进行对接，或者提升他们的增值服务，用到外部的一些互联网的平台，如跟供应链上来一个协同，跟用户需求的匹配。但是他们可能侧重的是左边蓝色的框子，更多的是在工厂内部。

### 3.2 工业互联网与智能制造

作为当前新一轮产业变革的核心驱动和战略焦点，智能制造是基于物联网、互联网、大数据、云计算等新一代信息技术，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程、系统与模式的总称。具有以智能工厂为载体、以生产关键制造环节智能化为核心，以端到端数据流为基础、以全面深度互联为支撑四大特征。

智能制造与工业互联网有着紧密的联系，智能制造的实现主要依托两方面基础能力，一是工业制造技术，包括先进装备、先进材料和先进工艺等，是决定制造边界与制造能力的根本；二是工业互联网，包括智能传感控制软硬件、新型工业网络、工业大数据平台等综合信息技术要素，是充分发挥工业装备、工艺和材料潜能，提高生产效率、优化资源配置效率、创造差异化产品和实现服务增值的关键。因此我们认为，工业互联网是智能制造的关键基础，为其变革提供了必须的共性基础设施和能力，同时也可以用于支撑其他产业的智能化发展。



图 5 工业互联网与智能制造的关系图

#### 4 工业互联网业务需求两大视角

(1) 从工业视角看：工业互联网主要表现为从生产系统到商业系统的智能化，由内及外，生产系统自身通过采用信息通信技术，实现机器之间机器与系统企业上下游之间实时连续与智能交互并带动商业活动优化。其业务需求包括面向工业体系各个层级的优化，如泛在感知实时监测精准控制数据集成运营优化供应链协同需求匹配，服务增值等业务需求。

(2) 从互联网视角看：工业互联网主要表现为商业系统变革牵引生产系统的智能化，由外及内，从营销、服务、设计环节的互联网新模式新业态带动生产组织和制造模式的智能化变革。其业务需求包括基于互联网平台实现的精准营销、个性定制、智能服务、众包众创、协同设计、协同制造、柔性制造等。

图 6 示出工业互联网业务需求两大视角。

从互联网角度来说，在互联网企业，推动工业互联网或者智能制造发展，他是更希望利用互联网一些模式的创新和商业上的创新，来产生很多新的价值，同时通过这种创新来推动工厂和制造业内部的发展。所以我们看到，一个是从内到外的发展，一个是从外到内的影响和发展，双方同时作用来推动工业互联网整体的发展。

我们认为不管大家的重点、切入点、视角有什么不太一样，但是实际上共性都需要我们网络、数据和安全这三

个共性的支撑。

首先为什么说网络是很关键的，因为网络是一个基础，我们要把这些设备，把涉及到工业互联网相关的我们的系统、设备还有与我们的人、产业链各个环节能够互联起来，这个是所有的信息交互的基础，所以网络是他一个很关键的技术，涉及到工厂内部这个系统之间的互联，可能还有一些新的网络化需求，另外涉及到工厂外部的很多要素和系统的互联。

#### 5 基于全面互联而形成数据驱动的智能变革

在这个基础上，网络互联只是一个基础，但是它核心还是数据以及数据在这些系统之间、不同要素之间的流动和对数据的利用。所以我们认为数据的流动或者数据的驱动实际上是对工业互联网引发智能化变革的一个核心，这个流动涉及到多个层面，不光是流动，可能还涉及到数据的分析，在各个层面都会有体现，包括这种生产控制环节，有可能采集数据，实时进行一些控制。在系统之间，数据的交换和共享还有一些大数据的分析。最终在这个基础上实现各种智能化的应用。

图 7 示出全面互联形成数据驱动的智能变革。

工业互联网与制造业的融合将带来四方面的智能化提升。

(1) 智能化生产，即实现从单个机器到产线、车间乃至整个工厂的智能决策和动态优化，显著提升全流程生产效

**工业视角：工业互联网表现为从生产系统到商业系统的智能化，由内及外**  
**互联网视角：工业互联网表现为商业系统变革牵引生产系统的智能化，由外及内**

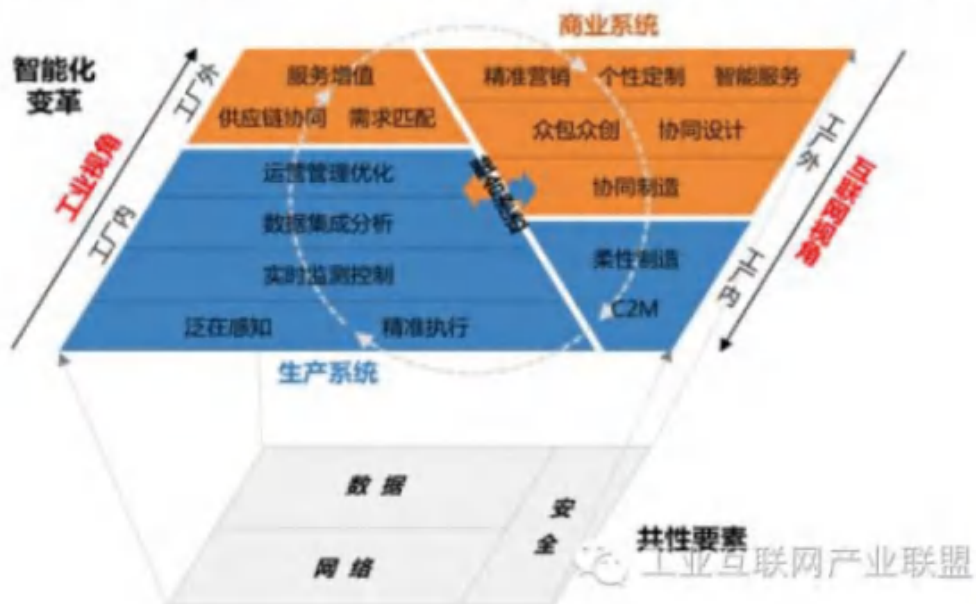


图 6 工业互联网业务需求两大视角



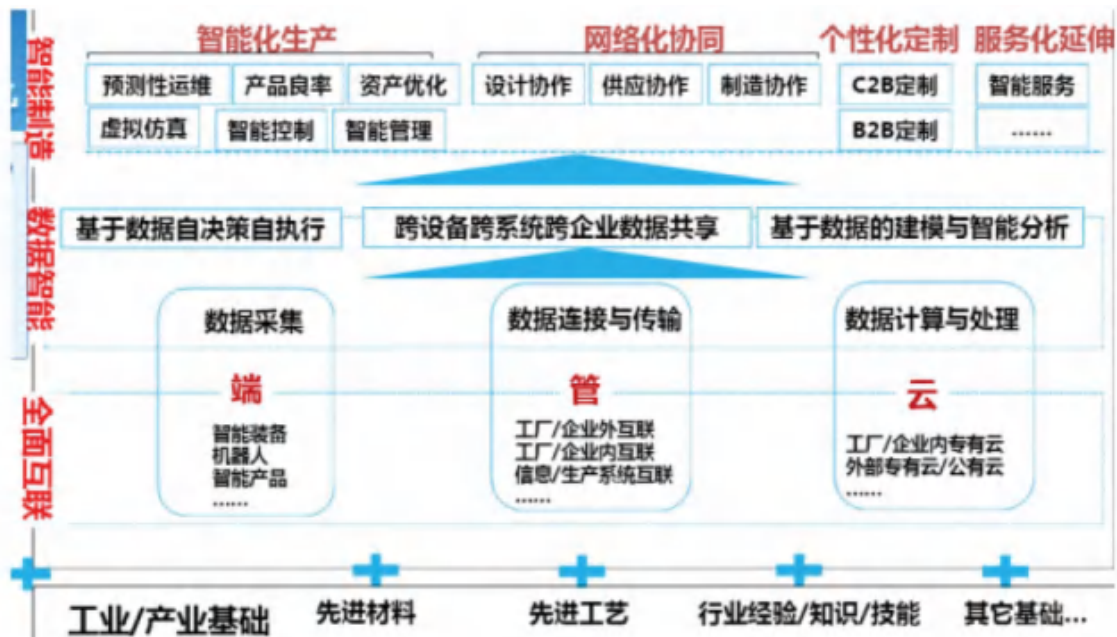


图7 全面互联形成数据驱动的智能变革

率、提高质量、降低成本。

(2) 网络化协同,即形成众创、协同设计、协同制造、垂直电商等一系列新模式,大幅降低新产品开发制造成本、缩短产品上市周期。

(3) 个性化定制,即基于互联网获取用户个性化需求,通过灵活柔性组织设计、制造资源和生产流程,实现低成本大规模定制。

(4) 服务化转型,即通过对产品运行的实时监测,提供远程维护、故障预测、性能优化等一系列服务,并反馈优化产品设计,实现企业服务化转型。

工业互联网驱动的制造业变革将是一个长期过程,构建新的工业生产模式、资源组织方式也并非一蹴而就,将由局部到整体、由浅入深,最终实现信息通信技术在工业全要素、全领域、全产业链、全价值链的深度融合与集成应用。

## 6 工业互联网总体架构

我们剖析了很多案例,结合我们对很多案例的分析,最后给出了对工业互联网一个总体的体系架构的理解,就是可以看到,这个是目前给出来的体系架构。首先是我们把数据放在核心了,我们认为它是最关键的,而且涉及到很多层面,包括采集、处理、分析还有它的一些基于数据的在工厂内部的智能化运营决策,同时跟物理系统去对接。

另外我们看到有网络,涉及到在网络层面的,我们包

含了网络互联、标识解析和应用支撑,网络互联像我们IP互联一样,标识解析,随着自动识读技术,像RFID、二维码,应用很多,所以标识解析将成为很重要的支撑,就像DNS一样。另外是应用支撑,如互联网上的中间件,及互联网上有web、http、java这些协议等,将来针对工业互联网也非常关键。

### 6.1 三个共性基础和支撑

工业互联网的核心是基于全面互联而形成数据驱动的智能,网络、数据、安全是工业和互联网两个视角的共性基础和支撑。

(1)“网络”是工业系统互联和工业数据传输交换的支撑基础,包括网络互联体系、标识解析体系,和应用支撑体系,表现为通过泛在互联的网络基础设施、健全适用的标识解析体系、集中通用的应用支撑体系,实现信息数据在生产系统各单元之间、生产系统和商业系统各主体之间的无缝传递,从而构建新型的机器通信、设备有线与无线连接方式,支撑形成实时感知、协同交互的生产模式。

① 实现数据智能的网络基础,包括网络互联、标识解析、应用支撑三大体系。

② 通过物联网、互联网等技术实现工业全系统的互联互通,促进工业数据的充分流动和无缝集成。

(2)“数据”是工业智能化的核心驱动,包括数据采集交换、集成处理、建模分析、决策优化和反馈控制等功能

模块，表现为通过海量数据的采集交换、异构数据的集成处理、机器数据的边缘计算、经验模型的固化迭代、基于云的大数据计算分析，实现对生产现场状况、协作企业信息、市场用户需求的精确计算和复杂分析，从而形成企业运营的管理决策以及机器运转的控制指令，驱动从机器设备、运营管理到商业活动的智能和优化。

① 数据智能在工业中的全周期应用，包括“采集交换—集成处理—建模分析—决策与控制”，形成优化闭环，驱动工业智能化。

② 通过工业数据全周期的感知、采集和集成应用，形成基于数据的系统性智能，实现机器弹性生产、运营管理优化、生产协同组织与商业模式创新，推动工业智能化发展。

(3) “安全”是网络与数据在工作中应用的安全保障，包括设备安全、网络安全、控制安全、数据安全、应用安全，和综合安全管理，表现为通过涵盖整个工业系统的安全管理体系，避免网络设施和系统软件受到内部和外部攻击，降低企业数据被未经授权访问的风险，确保数据传输与存储的安全性，实现对工业生产系统和商业系统的全方位保护。

① 工业 / 产业互联网各个领域和环节的安全保障，包括设备安全、控制安全、网络安全、应用安全等。

② 通过构建涵盖工业全系统的安全防护体系，保障工业智能化的实现。

图 8 示出工业互联网总体架构。三大智能化闭环：智能生产控制、智能运营决策优化、消费需求与生产制造精确对接。



图 8 工业互联网总体架构

在上面基于这三个基础的支撑来支撑个性化各种应用，图 8 实际上这是一个两维的图，我们看到数据是在网络、安全上面一点点，我们体现网络和安全做一个基础和支撑的作用。

## 6.2 三个数据闭环

基于工业互联网的网络、数据与安全，工业互联网将构建面向工业智能化发展的三大优化闭环。

(1) 一是面向机器设备运行优化的闭环，核心是基于对机器操作数据、生产环境数据的实际感知和边缘计算，实现机器设备的动态优化调整，构建智能机器和柔性产线；

(2) 二是面向生产经营优化的闭环，核心是基于信息系统数据、制造执行系统数据、控制系统数据的集成处理和大数据建模分析，实现生产运营管理的动态优化调整，形成各种场景下的智能生产模式；

(3) 三是面向企业协同、用户交互与产品服务优化的闭环，核心是基于供应链数据、用户需求数据、产品服务数据的综合集成与分析，实现企业资源组织和商业活动的创新，形成网络化协同、个性化定制、服务化延伸等新模式。

工业和我们公众的通信是不一样的，工业里面是一个微观的系统，很多设备在自动运行，需要在底层有一个小的闭环进行快速的数据分析和决策，然后反馈控制。再往上在工厂里面会形成一个更大一个层面的闭环，再往上是整个产业链，形成一个很大的闭环。

## 7 工业互联网引发制造产业各环节的创新变革

我们认为工业互联网它为什么叫变革，首先它除了技术创新之外，它对产业带来很大的变革，图 9 示出制造业各环节的创新变革。刚才谈到数据是一个核心，它对很多层面都会带来很大的影响，它对产业推动：

(1) 一个是会出现新的产业环节，我们看图 9 的时候可以看到，现在生产系统上很多自己专用的一些装备、控制系统和信息系统，将来我们看到右边这张图，我们认为工业数据平台将会是一个核心，而且很多的这种传感、执行设备和智能设备跟现有的装备会更好的去紧密地结合，而且整个体系架构会更扁平化。可以看到这个大的变化，可能我们看到将来会出现新的产业环节，首先最核心的可能是工业数据平台。

(2) 第二个会推动现有产业的变革，包括一些传感器在一些工业的应用和工业系统的结合，包括智能工控系统。我们知道将来机床是什么样，也可以像我们的生产设备也可以像手机一样，有智能化的系统，我们可以很方便的修



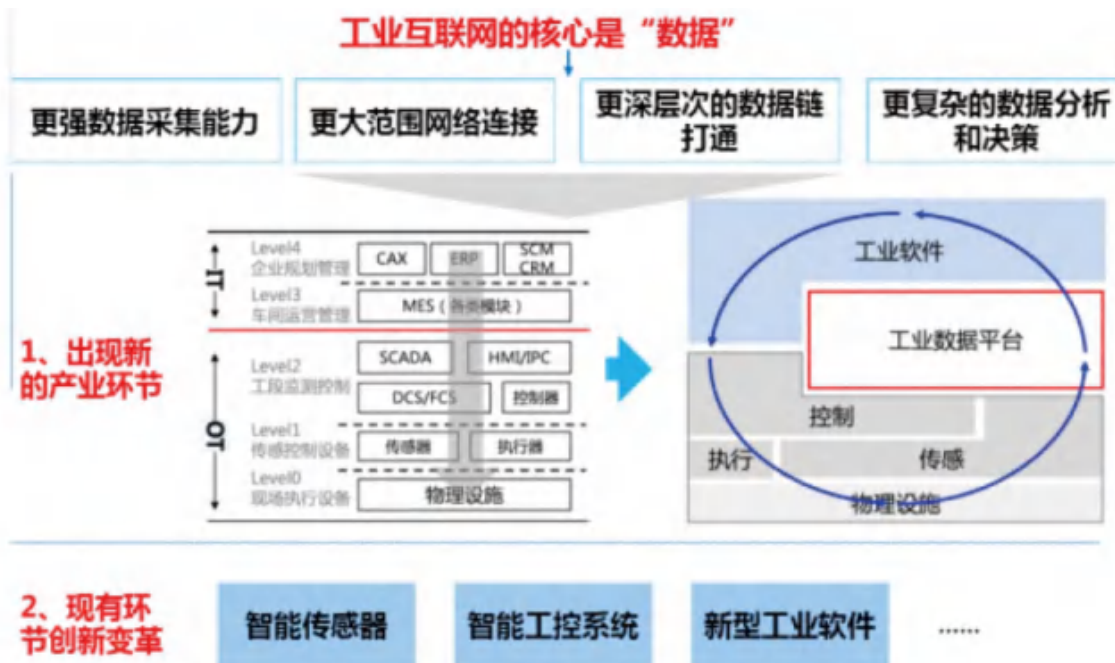


图9 制造产业各环节的创新变革

改或者去灵活组态、编程,加载一些应用逻辑或者控制逻辑。另外还有一些新型的工业软件,基于大数据分析,会有很多新的变革,包括集成化的需求。这个是我们认为对产业会产生很大的变化。

## 8 工业互联网平台

### 8.1 工业互联网平台与工业云平台的关系

工业互联网平台是面向制造业数字化、网络化、智能化需求,构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系,支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的工业云平台,包括边缘、平台(工业PaaS)、应用三大核心层级。

可以认为,工业互联网平台是工业云平台的延伸发展,其本质是在传统云平台的基础上叠加物联网、大数据、人工智能等新兴技术,构建更精准、实时、高效的数据采集体系,建设包括存储、集成、访问、分析、管理功能的使能平台,实现工业技术、经验、知识模型化、软件化、复用化,以工业APP的形式为制造企业各类创新应用,最终形成资源富集、多方参与、合作共赢、协同演进的制造业生态。

工业互联网平台是开发和运行各种工业互联网应用功能的平台。

工业云平台指的是工业领域的云平台,包括了IaaS(基

础设施服务化)、PaaS(平台服务化)、SaaS(软件服务化)三个层面,工业云平台的目的是将工业软件演化成为一种云服务(SaaS),并为客户提供可以对软件功能进行配置或二次开发的平台(PaaS),将数据和信息系统存储到云端,从而使工业企业应用信息系统更加便捷、更有利于管理(例如,实现服务器和桌面虚拟化),因此,工业云平台本质上属于IT(信息技术)平台。

工业互联网平台是工业云平台的扩展与延伸,不仅能够支持工业云平台的所有功能,而且要支撑工业物联网应用,实现IT(信息技术)与OT(操作技术)融合。因此,工业互联网平台架构的上面三层与工业云平台相似,但是下面加了边缘层。

### 8.2 工业互联网平台功能构架

工业互联网平台是面向制造业数字化、网络化、智能化需求,构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系,支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的工业云平台,包括边缘、平台(工业PaaS)、应用三大核心层级。可以认为,工业互联网平台是工业云平台的延伸发展,其本质是在传统云平台的基础上叠加物联网、大数据、人工智能等新兴技术,构建更精准、实时、高效的数据采集体系,建设包括存储、集成、访问、分析、管理功能的使能平台,实现工业技术、经验、知识模型化、软件化、复用化,以

工业 APP 的形式为制造企业各类创新应用，最终形成资源富集、多方参与、合作共赢、协同演进的制造业生态。

图 10 示出工业互联网平台功能构架。

(1) 第一层是边缘，通过大范围、深层次的数据采集，以及异构数据的协议转换与边缘处理，构建工业互联网平台的数据基础。

① 一是通过各类通信手段接入不同设备、系统和产品，采集海量数据；

② 二是依托协议转换技术实现多源异构数据的归一化和边缘集成；

③ 三是利用边缘计算设备实现底层数据的汇聚处理，并实现数据向云端平台的集成。

(2) 第二层是平台，基于通用 PaaS 叠加大数据处理、工业数据分析、工业微服务等创新功能，构建可扩展的开放式云操作系统。

① 一是提供工业数据管理能力，将数据科学与工业机理结合，帮助制造企业构建工业数据分析能力，实现数据价值挖掘；

② 二是把技术、知识、经验等资源固化为可移植、可复用的工业微服务组件库，供开发者调用；

③ 三是构建应用开发环境，借助微服务组件和工业应用开发工具，帮助用户快速构建定制化的工业 APP。

(3) 第三层是应用，形成满足不同行业、不同场景的工业 SaaS 和工业 APP，形成工业互联网平台的最终价值。

① 一是提供了设计、生产、管理、服务等一系列创新性业务应用。

② 二是构建了良好的工业 APP 创新环境，使开发者基于平台数据及微服务功能实现应用创新。

(4) 除此之外，工业互联网平台还包括 IaaS 基础设施，以及涵盖整个工业系统的安全管理体系，这些构成了工业互联网平台的基础支撑和重要保障。

### 8.3 工业互联网平台的特征

泛在连接、云化服务、知识积累、应用创新是辨识工业互联网平台的四大特征。

(1) 一是泛在连接，具备对设备、软件、人员等各类生产要素数据的全面采集能力。

(2) 二是云化服务，实现基于云计算架构的海量数据存储、管理和计算。

(3) 三是知识积累，能够提供基于工业知识机理的数据分析能力，并实现知识的固化、积累和复用。

(4) 四是应用创新，能够调用平台功能及资源，提供开放的工业 APP 开发环境，实现工业 APP 创新应用。

因此，工业互联网平台比工业云平台要复杂得多。

图 11 示出工业互联网平台简化功能架构。



图 10 工业互联网平台功能架构



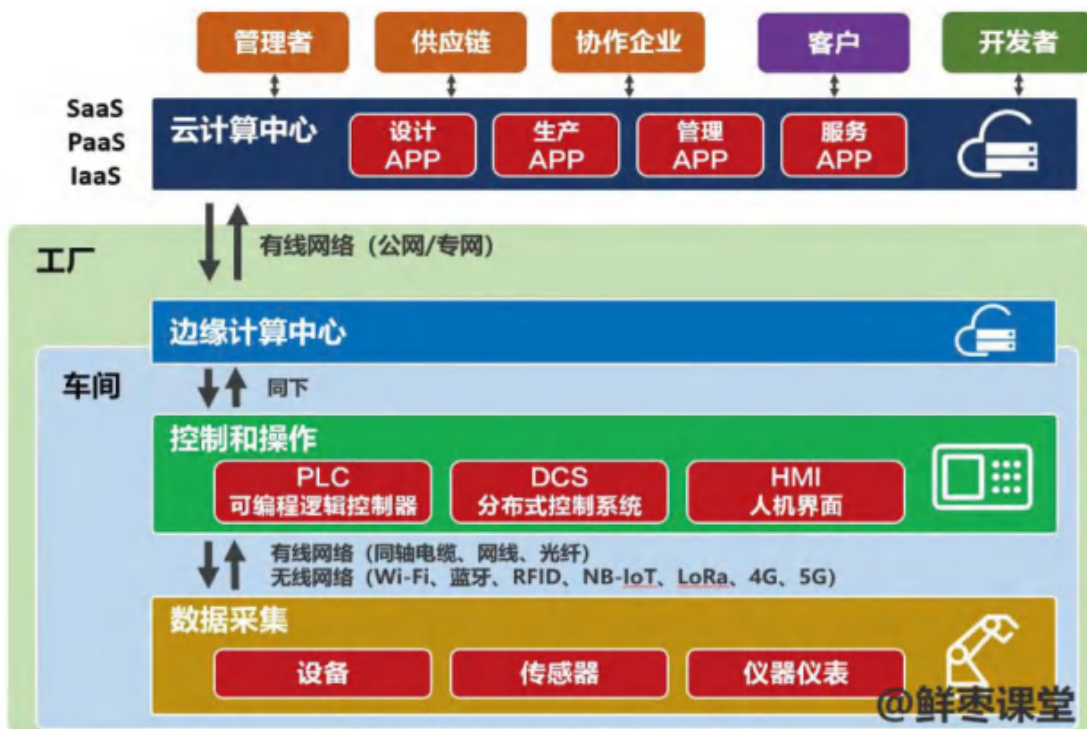


图 11 工业互联网平台简化功能架构

根据上面的图 11，可以看出：

- (1) OT 在底层，负责数据采集和动作执行，有点像四肢；
- (2) CT 连接所有节点，负责数据传输，有点像血管和神经；
- (3) IT 在上层负责数据运算和分析，有点像大脑。

图 12 示出工业互联网数据双向流动。



图 12 工业互联网数据双向流动

数据是双向流动的，形成了一个整体。

说来说去，就是数字化、信息流，然后从数据中挖掘价值。

### 8.4 工业互联网平台应用

典型的工业云应用包括：构建仿真云平台，支持高性能计算，实现计算资源的有效利用和可伸缩；基于 SaaS 的三维零件库，提高产品研发效率；基于云的 CRM 应用服务，对营销业务和人员进行有效管理，实现移动应用；基于云的协同办公平台，工业产品电商、采购寻源等。

工业互联网平台则侧重于解决与工业设备、工业产品和工业服务有关的问题，其基础是传感器和物联网。典型的工业互联网应用包括：

- (1) 通过运输云，实现制造企业、第三方物流和客户三方的信息共享，提高车辆往返的载货率，实现对冷链物流的全程监控；
- (2) 通过对设备的准确定位来开展服务电商；
- (3) 例如湖南星邦重工有限公司利用树根互联的根云平台，实现了高空作业车的在线租赁服务；

(4) 采集工厂的设、生产、能耗、质量等实时信息，实现对工厂的实时监控；

(5) 设备制造商可通过物联网采集设备状态，对设备进行远程监控和故障诊断，避免设备非计划性停机，进而实现预测性维护，提供增值服务，并促进备件销售。

## 9 工业互联网的实施—网络互联

网络互联的实施主要是解决工业互联网各种设备、系统之间互联互通的问题，涉及现场级、车间级、企业级设备和系统之间的互联，以及企业信息系统、产品、用户与云平台之间不同互联场景，针对现有工业系统既包含现有设备与系统的网络化改造，还包含新型网络连接的建设。网络互联的实施涉及的主要环节如图 13 所示。

(1) 在现场级和车间级，主要实现底层设备横向互联以及与上层系统纵向互通的连续。一是对控制器与机床、产线等装备装置的通信方式进行改造，如以工业以太网代替现场总线。二是现有工业装备或装置，如机床、产线等，增加网络接口。三是对现有工业装置或装备附加传感器、执行器等增加与外部的信息交互。四是为了采集生产现场信息或执行反馈控制，部署新的监测设备、扫描设备、执行器等。五是对在制品通过内嵌通信模块或附加标签等方式，

增加与工业系统的信息交互功能。六是部署边缘计算节点，汇聚生产现场数据及来自工业控制系统如 PLC、历史数据库的数据，并进行数据的边缘处理。具体采用的联网方式需要结合通信需求、布线情况、电源供应等，并充分结合 IP 化、无线化等趋势，如针对在制品，可以采用短距离通信和标识技术，如蓝牙、二维码 RFID 等；针对生产装备或装置，可以直接利用现有的联网方式，也可以考虑利用工程以太网、工业无线等增加联网接口；针对监测设备，如果实时性要求不高，可以采用有线宽带通信、无线宽带、LTE 增强、NB-IoT、5G 等技术。

(2) 在工厂企业级或工厂外部，应注重引入云平台和大数据技术，并通过云平台实现与生产设备或装置、工业控制系统、工业信息系统、工业互联网应用之间的信息交互，以及与协作企业信息系统、智能产品、用户之间的信息交互，以便为制造企业提供不同地域、不同功能的各类系统的横向互联，以及与上层应用、跨企业 / 跨行业各类主体之间的互联，为价值链协作提供支持。具体联网方式也依赖于互联场景，如针对工厂 / 工业云平台与生产设备或装置、工业控制系统、工业信息系统之间的互联，可以直接利用现有的互联网或企业级信息网络；针对工厂 / 工业云平台与产品，可以采用 NB-IoT、LTE 增强以及未来的 5G 等



1- 通信方式改造；2- 现有设备增加网络接口；3- 现有设备加装传感器等；4- 部署新的监测设备等；5- 在制品网络化；6- 边缘计算节点；7- 引入云平台、大数据；8- 产品智能化

图 13 工业互联网网络互联体系



广域移动通信网络及各种有线通信。

## 10 工业互联网联盟 (AII)

国际上有很多大的企业领头，中国的工业企业还需要产业整合力，在产业生态建设和推动方面和国际相比还是有一些差距的，为了推动中国的产学研用的发展，在2016年2月1日，中国信息通信研究院联合相关的工业企业、互联网企业、信息通信企业一起来发起成立了工业互联网产业联盟，设立指导委员会对联盟进行指导，另外还有专家委员会。

目前成员单位数量增长很快，现在一共是181家，还有10多家在审核。会员构成：工业企业占37%，信息通信企业占35%，安全公司占6%，协会占5%，高校及科研院所占9%，境外企业占8%。从这个比例可以看到，一个是工业企业和信息通信企业，基本上数量有点持平，这样对我们了解工业企业需求，基于他们的需求来匹配需求，来开发相应的产品和解决方案是非常有推动作用的，最后再回到工业企业去应用。同时我们看到还有境外的企业，我们希望做成一个开放的联盟。

### 上接23页

## 4.3 失效模式

氧化锌陶瓷电阻在能量冲击下的失效模式主要为开裂。氧化锌陶瓷电阻在电压作用下阻值基本稳定不变，无发热弱点，但电能转化为热能时，热传导作用在电阻片上产生温度梯度，从而产生热应力，使电阻片炸裂。

## 5 结论

(1) 氧化锌陶瓷电阻是由导电的ZnO晶粒和绝缘的其他晶粒组成的复合烧结体，无高阻晶界层。

(2) 氧化锌陶瓷电阻的电压—电流特性为线性，电阻率可调，电阻温度系数小且为正，耐浪涌能量大。

(3) 氧化锌陶瓷电阻的导电模型为渗流模型。失效模式主要为开裂。

预计氧化锌陶瓷电阻在电力、电子工业百广阔应用前景。

## 参考文献

1 Shirakawa S, et al. IEEE Trans on Power

## 参考文献

- 1 工业互联网产业联盟. 工业互联网体系架构 (1.0版). 2018年1月
- 2 工业互联网产业联盟 (AII). 工业互联网平台白皮书 (2017). 2017年11月
- 3 中国信通院. 工业互联网最新发展. <https://max.book118.com/html/2018/0311/156870872.shtm>
- 4 工业互联网总体发展趋势. [http://www.sohu.com/a/343009863\\_120066730](http://www.sohu.com/a/343009863_120066730)
- 5 工业互联网究竟是张什么网? [http://www.360doc.com/content/18/0729/23/22368478\\_774280298.shtml](http://www.360doc.com/content/18/0729/23/22368478_774280298.shtml)
- 6 工业互联网热潮下的冷思考! [http://www.360doc.com/content/18/0729/23/22368478\\_774281160.shtml](http://www.360doc.com/content/18/0729/23/22368478_774281160.shtml)
- 7 揭密工业互联网的内涵、热点与难点! [http://www.360doc.com/content/18/0729/22/22368478\\_774280067.shtml](http://www.360doc.com/content/18/0729/22/22368478_774280067.shtml)

Delivery, 1998, 3 (1) : 183

- 2 白川晋吾, 山崎武夫. 电气杂志OHM, 1998, 10: 36
- 3 白川晋吾. 电学志. 1988, 108 (4) : 327
- 4 徐业彬, 季幼章, 王士良. ZnO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>陶瓷性能研究. 无机材料学报, 1994, 9 (4) : 497
- 5 徐业彬. ZnO线性电阻的研制: [学位论文]. 合肥: 中国科学院等离子体物理研究所, 1991年6月
- 6 袁方利. 高能氧化锌线性电阻的温度系数研究: [学位论文]. 合肥: 中国科学院等离子体物理研究所, 1992年7月
- 7 程杰. 高能ZnO压敏电阻掺杂与性能的研究及大功率ZnO线性电阻的研制: [学位论文]. 中国科学院等离子体物理研究所, 1994年12月
- 8 徐业彬, 袁方利, 程杰, 季幼章, 冯士芬. 氧化锌陶瓷线性电阻器的制造方法. 中国专利, ZL96123503. 9, 1996年12月
- 9 冯士芬, 季幼章, 许成金. 氧化锌陶瓷电阻器. 中国专利, 99230351. 6, 1999年12月
- 10 [http://sxdtkj.com/te\\_enterprise/0/0.shtml](http://sxdtkj.com/te_enterprise/0/0.shtml)