



普通高等学校“十四五”规划智能制造工程专业精品教材

中国人工智能学会智能制造专业委员会规划教材

工业互联网技术及应用

GONGYE HULIANWANG JISHU JI YINGYONG

主 编 孔宪光

副主编 殷 磊 马洪波 常建涛

范济安 骆 飏



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

内 容 简 介

工业互联网作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物,是加速数字化转型的基石。作为汇聚了工业互联网知识点的教材和专业书籍,本书从工业互联网概念、技术基础与发展现状等角度切入,系统地介绍了工业互联网的体系架构与关键技术,汇集了典型工业互联网平台与应用实践案例,使读者易于理解工业互联网概念,深刻把握当前发展趋势,掌握其内在本质机理和核心技术,紧密贴合平台服务与产业应用,有利于我国工业互联网人才培养和产业发展。

图书在版编目(CIP)数据

工业互联网技术及应用/孔宪光主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2022. 4
ISBN 978-7-5680-7778-1

I. ①工… II. ①孔… III. ①互联网络-应用-工业发展-研究 IV. ①F403-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 038559 号

工业互联网技术及应用

孔宪光 主编

Gongye Hulianwang Jishu ji Yingyong

策划编辑: 万亚军

责任编辑: 罗 雪

封面设计: 原色设计

责任监印: 周治超

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话: (027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编: 430223

录 排: 华中科技大学惠友文印中心

印 刷: 武汉开心印印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 17.5

字 数: 456 千字

版 次: 2022 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 49.80 元



华中科大

本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



· · · 作者简介 · · ·

孔宪光 工学博士，华山学者，教授，博士生导师。西安电子科技大学智能制造与工业大数据技术研究中心主任，西安大数据创新发展研究院院长，西安邮电大学工业互联网研究院院长，陕西省电子制造SMT产线质量大数据工程中心主任，陕西省5G+工业互联网通讯终端技术工程中心主任，中国机械工程学会工业大数据与智能系统分会委员，西安智能质检创新联合体首席科学家，榆林市智慧能源大数据重点实验室主任，西安塔力科技首席科学家，全国工业互联网大赛评委，陕西省工业大数据专业委员会主任，工信部工业大数据分析与应用重点实验室委员，主持60多个科研项目，发表SCI论文30多篇，授权发明专利40多项，参与制定10多项国家标准。

前 言

工业互联网作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物，继工业革命和互联网革命之后的又一次全球商业浪潮，日益成为新工业革命的关键支撑和深化“互联网+先进制造业”的重要基石，对未来工业发展产生全方位、深层次、革命性影响。工业互联网产业联盟对工业互联网的定义如下：工业互联网是互联网和新一代信息技术与工业系统全方位深度融合形成的产业和应用形态，是工业智能化发展的关键综合信息基础设施。

首先，工业互联网是以数字化、网络化、智能化为主要特征的新工业革命的关键基础设施，加快其发展有利于加速智能制造发展，更大范围、更高效率、更加精准地优化生产和服务资源配置，促进传统产业转型升级，催生新技术、新业态、新模式，为制造强国建设提供新动能。其次，工业互联网还具有较强的渗透性，可从制造业扩展成为各产业领域网络化、智能化升级必不可少的基础设施，实现产业上下游、跨领域的广泛互联互通，打破“信息孤岛”，促进集成共享，并为保障和改善民生提供重要依托。最后，工业互联网也是全球工业系统与高级计算、分析、感应技术以及互联网相连接、融合的一种结果。工业互联网的本质是通过开放的、全球化的工业级网络平台把设备、生产线、工厂、供应商、产品和客户紧密地连接和融合起来，高效共享工业经济中的各种要素资源，从而通过自动化、智能化的生产方式降低成本、提高效率，帮助制造业延长产业链，推动制造业转型发展。

工业互联网已经成为国际上大多数国家实现智能制造、寻求国家经济新增长点的共同选择。从美国的“先进制造业战略计划”、德国的“工业 4.0”、日本“互联工业”、英国的“高价值制造战略”到法国的“未来工业”，全球主要的经济大国、制造业大国都在积极推动制造业转型升级，新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起。我国加强工业互联网的顶层设计，国家出台了一系列的政策来推动工业互联网的发展，给予工业互联网强有力的政策支持。

工业互联网在快速发展的过程中，也暴露出了许多问题。一是企业自身问题。企业的数字化水平普遍不高、基本自动化和信息化建设不足、数据质量不高，工业互联网平台落地需要先补 IT(互联网技术)和 OT(运营技术)短板，大量中小型制造企业技术创新能力薄弱，以自身的能力难以实现网络化、数字化、智能化转型。二是网络连接问题。工业设备的多样性、连接层协议的多样性、设备厂商本身协议的封闭性等原因，导致数据分析存在一定的困难。大量设备数据接入平台后，数据结构性、关联性不强，导致工业互联网底层设备连接的困难程度和复杂程度增大。咨询公司 Gartner(高德纳)曾预测 2020 年全球可联网设备数量将达到 260 亿台，目前全球的平台设备接入水平与此还有很大的差距。三是平台问题。目前，大多数平台储备的工业知识、模型和历史数据远远不够，当为特定行业或者是工业场景提供服务时，难以满足制造企业的业务需要。大多数平台企业在发展过程中以单打独斗为主，在其不擅长的领域投入大量资金和人力，未能很好地整合外部力量，增加了经营风险。平台的产业创新生态还需继续建设，要像西门子、微软、PTC 等领先平台企业那样不断建设开发者社区，提供全面的技术资源，吸引各类生态伙伴。我国大多数的平台还没有建设开发者社区，生态合作伙伴的类型和数量远远落后于国外先进水平。四是安全问题。工业互联网的发展意味着工业控制系统将更加复杂化、IT 化和通用化，不同工业控制系统互联互通，内部将越来越多地采用通用软件、

通用硬件和通用协议,这也将意味着增加信息安全隐患。随着工业控制系统产生、存储和分析的数据海量增长,数据安全保障难度增大,加上缺少应用监管、大量进口等,更多、更复杂的安全问题日益突显,工业互联网信息安全面临严峻挑战。

数字化转型是“必做题”,不是“选做题”。工业互联网是加速数字化转型的基石,机遇与挑战并存,所以更需要大家全面了解工业互联网概念、技术及应用。我国人才培养、平台发展、行业应用等多个方面,亟须一本汇聚工业互联网深入原理、系统性技术、全面性平台应用等多方面知识点的教材或专业书,以促进我国工业互联网人才培养和产业发展。

本书共分 11 章,从工业互联网概述,工业互联网基础技术与发展趋势,工业互联网体系架构,工业互联网的网络连接技术,工业互联网平台在边缘层、数据层、融合层、应用层的技术,工业互联网安全技术等方面,介绍了目前典型的典型工业互联网平台与工业互联网应用实践。本书内容简繁得当,实用易学,深刻把握了当前工业互联网现状与发展趋势,剖析了其内在本质机理和核心技术,描述了工业互联网与其他理念、技术等的关系,紧密贴合平台服务与产业应用,帮助大家厘清概念,掌握技术,熟悉应用,了解趋势。同时,本书配套的数字资源包括第 2 章至第 9 章和第 11 章的 PPT 课件,读者可以通过扫描对应章节后的二维码浏览。以上课件仅限于供读者使用,不得用于任何商业用途。因此,本书可作为普通高等院校机械、控制、计算机、通信、网络安全、智能制造、大数据、人工智能等专业的选修教材,可供从事工业互联网研究、教学的专业人员使用,同时可供企业、研究所、政府部门的工程技术人员、管理人员、推广人员自学和参考。

本书由孔宪光任主编,由殷磊、马洪波、常建涛、范济安、骆飏任副主编。本书前言、第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 10 章主要由孔宪光教授编写,骆飏、汪星、程红雨、胡雪、任宜超、童志鹏参与编写;第 8 章、第 11 章主要由殷磊教授负责编写,骆飏、陈虎、张明明、叶鹏、杨天澍、范端权、湛渤予、霍延伟、王鹏、孙雪华参与编写;第 5 章、第 7 章主要由马洪波教授负责编写,郑珂、陈改革、郭飞、裴莹、程涵、马帅印、王先芝、王白浩、高清俊、杨官彬、张生琨、杨杰、黑惊博、张恒参与编写;第 6 章主要由常建涛教授负责编写,郭静、刘尧、王佩、王奇斌、杨胜康、崔欢、卢津、孙巍参与编写;第 4 章、第 9 章主要由范济安负责编写,荆雷、安岗、李凌、陈丹、李守卿、肖羽、王帅、杨学红、周晓龙、周博、庞粹、吴曦、刘清莉、屈荣荣、丁福恒、李川等参与编写。中国电子技术标准化研究院的苏伟、王程安也参与了本书的编写,对信息物理系统与数字孪生有关章节的编写提供了指导;华中科技大学出版社万亚军、罗雪老师提供了宝贵建议并参与了本书的编辑校对。在此一并表示感谢!

感谢陕西联通工业互联网研究院、重庆忽米网络科技有限公司、紫光云引擎科技(苏州)有限公司、西安塔力科技有限公司、海尔数字科技西安公司、宁波和利时智能科技有限公司、美林数据技术股份有限公司、寄云科技有限公司、网易(杭州)网络有限公司、西安启工数据科技有限公司、无锡启工数据科技有限公司、西安大数据创新发展研究院、三一重机股份有限公司、老虎表面技术新材料(苏州)有限公司、榆林智慧能源大数据应用重点实验室、广州明珞汽车装备有限公司、广州旭丰工业互联网有限公司、浙江蓝卓工业互联网信息技术有限公司、陕西云境网络信息科技有限公司、陕西电信、中兴通讯、西安本愿科技有限公司、上海中制大数据科技有限公司、中铁一局集团有限公司智能科技分公司、西安瑞特三维科技有限公司提供了工业互联网平台及应用实践案例。感谢陕西省工业和信息化厅副厅长黄新波教授、康健处长、高翔处长,西安电子科技大学、西安邮电大学、陕西省通信管理局、陕西省生态环境厅、陕西省科学技术厅、西安市工业和信息化局、西安市大数据资源管理局、西安市科学技术局、陕西省工业互联

网协会、陕西省大数据与云计算产业技术创新战略联盟、西安塔力数字孪生研究院的领导,陕西省信息化工程研究院朱志祥教授,陕西省高端装备与智能制造产业研究院赵红武院长,西安市工业互联网研究院院长张小平教授,中国电子技术标准化研究院软件工程与评估中心主任于秀明,中国工业互联网研究院数据所所长张毅博士,三一集团董事、三一重工总裁俞宏福教授,广州明珞汽车装备有限公司姚维兵教授,南京康尼机电股份有限公司副总裁刘文平,e-works CEO 黄培博士,重庆忽米网络科技有限公司 CEO 巩书凯教授,陕西联通总经理陈继秋、副总经理李武,陕西法士特汽车传动集团有限责任公司副总经理陆成长,陕西重型汽车有限公司副总经理崔友昌,中国航空油料集团有限公司研发中心主任周文研究员,中国航空精密机械研究所副所长戴铮博士、李中权教授、何光荣研究员,中国航空工业集团公司第一飞机设计研究院副总师程普强研究员,中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所宋晶部长,西北工业大学何军红教授,西安中兴通讯终端科技有限公司研发中心主任于宏全研究员,产学研合作总监林庭武博士对本书的指导!

编者

2021年10月

缩略词对照表

缩略语	英文全称	中文对照
IIC	Industrial Internet Consortium	工业互联网联盟
AII	Alliance of Industrial Internet	工业互联网产业联盟
SDN	software defined network	软件定义网络
IT	internet technology	互联网技术
ICT	in circuit tester	在线测试仪
CPS	cyber-physical systems	信息物理系统
GE	General Electric	通用电气公司
MES	manufacturing execution system	制造执行系统
SDK	software development kit	软件开发工具包
ERP	enterprise resource planning	企业资源计划
DNS	domain name service	域名解析服务
MS-DOS	microsoft disk operating system	微软磁盘操作系统
IoT	internet of things	物联网
SaaS	software as a service	软件即服务
IaaS	infrastructure as a service	基础设施即服务
PaaS	platform as a service	平台即服务
CT	communication technology	通信技术
OT	operational technology	运营技术
SECO	software ecosystem	软件生态系统
SOA	service-oriented architecture	面向服务体系架构
ESB	enterprise service bus	企业服务总线
SOD	service-oriented development	面向服务开发
SOI	service-oriented infrastructure	面向服务基础设施
DDD	domain-driven design	领域驱动设计
URL	uniform resource locator	统一资源定位器
M2M	machine-to-machine	机器对机器
RFID	radio frequency identification	射频识别技术
PLC	programmable logic controller	可编程逻辑控制器
SCADA	supervisory control and data acquisition	监控与数据采集系统

续表

缩略语	英文全称	中文对照
DCS	distributed control system	分散控制系统
BOM	bill of materials	物料清单
LoRa	long range radio	长距离低功耗通信
LPWAN	low power wide area network	低功耗广域网络
LAN	local area network	局域网
PROFIBUS	process fieldbus	过程现场总线
FF-BUS	foundation fieldbus	基金会现场总线
CAN-BUS	controller area network bus	控制器局域网络总线
eMBB	enhanced mobile broad band	增强型移动宽带
mMTC	massive machine type communication	海量机器类通信
URLLC	ultra-reliable and low latency communication	低时延高可靠通信

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 工业互联网的概念	(1)
1.2 工业互联网与互联网	(2)
1.3 工业互联网与物联网	(3)
1.4 工业互联网与智能制造	(5)
1.5 工业互联网发展现状	(6)
本章小结	(8)
本章习题	(8)
第 2 章 工业互联网基础技术	(10)
2.1 物联网技术	(10)
2.2 网络通信技术	(16)
2.3 云计算技术	(23)
2.4 工业大数据技术	(31)
2.5 信息安全技术	(44)
本章小结	(47)
本章习题	(48)
第 3 章 工业互联网体系架构	(49)
3.1 工业互联网体系架构	(49)
3.2 工业互联网的网络体系	(59)
3.3 工业互联网数据体系	(63)
3.4 工业互联网安全体系	(64)
本章小结	(66)
本章习题	(67)
第 4 章 工业互联网的网络连接技术	(68)
4.1 工厂内外网络	(68)
4.2 工业设备/产品接入与联网	(77)
4.3 工业互联网的标识解析	(85)
4.4 5G 与工业互联网	(93)
本章小结	(97)
本章习题	(97)
第 5 章 工业互联网平台边缘层技术	(98)
5.1 边缘计算	(98)
5.2 工业大数据采集	(106)
本章小结	(115)
本章习题	(115)

第 6 章 工业互联网平台数据层技术	(116)
6.1 工业互联网大数据管理	(116)
6.2 工业互联网大数据分析	(124)
本章小结.....	(128)
本章习题.....	(129)
第 7 章 工业互联网平台融合层技术	(130)
7.1 数字孪生	(130)
7.2 工业互联网与数字孪生	(141)
7.3 信息物理系统(CPS)	(143)
本章小结.....	(156)
本章习题.....	(156)
第 8 章 工业互联网平台应用层技术	(157)
8.1 工业应用开发技术	(157)
8.2 微服务技术	(161)
本章小结.....	(172)
本章习题.....	(173)
第 9 章 工业互联网的安全技术	(174)
9.1 接入安全技术	(174)
9.2 平台安全技术	(179)
9.3 访问安全技术	(184)
9.4 工业互联网与区块链	(187)
本章小结.....	(188)
本章习题.....	(188)
第 10 章 典型工业互联网平台	(190)
10.1 国外工业互联网平台.....	(190)
10.2 国内工业互联网平台.....	(193)
10.3 工业互联网平台使用体验.....	(222)
本章小结.....	(223)
本章习题.....	(223)
第 11 章 工业互联网应用实践	(224)
11.1 工业互联网典型应用.....	(224)
11.2 工业互联网行业应用.....	(226)
本章小结.....	(267)
本章习题.....	(267)
参考文献	(268)

第 1 章 绪 论

本章结合工业互联网政策和产业现状,引出工业互联网的概念,工业互联网的本质核心是生产企业通过建立工业互联网平台,把联网装置、传感器、自动化设备、供应商、产品、用户等紧密地连接起来,利用 5G(第五代移动通信技术)、物联网、人工智能等新兴技术,通过软件对工业数据进行深度感知、实时传输、快速计算分析、高度反馈响应,实现生产优化和智能控制,重铸工业生产力;详细介绍了工业互联网与互联网、物联网、智能制造的关系,阐述了其发展现状。

1.1 工业互联网的概念

近些年来,随着互联网的飞速发展,物联网的大热,各种类似于“工业互联网”的概念层出不穷,比如思科的“万物互联”、IBM(国际商业机器公司)的“智慧地球”、云计算、大数据,等等。层出不穷的新概念让我们不知从何理解。

工业互联网(industrial internet):开放、全球化的网络,将人、数据和机器连接起来,属于泛互联网的目录分类。它是全球工业系统与高级计算、分析、传感技术及互联网的高度融合。

工业互联网的概念最早于 2012 年由美国通用电气公司(GE)提出,随后美国五家行业龙头企业联手组建了工业互联网联盟(IIC),将这一概念大力推广开来。除了通用电气这样的制造业巨头,加入该联盟的还有 IBM、思科、英特尔和 AT&T 等 IT 企业。

事实上,工业互联网的概念国内一直都有,而非仅仅是 GE 的舶来品。上海可鲁系统软件有限公司 2004 年就于国内最早提出工业互联网的概念,并一直在尝试怎样把工业设备通过工业互联网互联互通。从技术的层面,工业互联网属于一个交叉性学科的综合应用,涉及三个领域的问题。一是工业信息安全,二是网络通信,三是广域自动化。只有把这三个领域的技术融合在一起,才能构成一个工业互联网的基础架构。可以从两个角度理解工业互联网。一是依托公众网络连接专用网络、局域网。现在企业里有很多局域网络,比如石油传输管线、铁路交通、电网等。二是以生产自动化为基础,实现企业全面信息化,然后再变成工业互联网。

工业互联网是满足工业智能化发展需求的,具有低时延、高可靠、广覆盖特点的关键网络基础设施,是新一代信息通信技术与先进制造业深度融合所形成的新兴业态应用模式。工业互联网包括网络、平台、安全三大体系。其中,网络是基础,平台是核心,安全是保障。

工业互联网将整合两大革命性转变之优势:其一是工业革命,伴随着工业革命,出现了无数机器、设备、机组和 workstation;其二则是更为强大的网络革命,在其影响之下,计算、信息与通信系统应运而生并不断发展。伴随着这样的发展,工业互联网是全球工业系统与高级计算、分析、感应技术以及互联网相连接、融合的一种结果。

(1) 智能机器:以崭新的方法将现实世界中的机器、设备、团队和网络通过先进的传感器、控制器和软件应用程序连接起来。

(2) 高级分析:使用基于物理的分析法,预测算法,自动化和材料科学、电气工程及其他关键学科的深厚专业知识来理解机器与大型系统的运作方式。

(3) 工作人员:建立员工之间的实时连接,连接各种工作场所的人员,以支持更为智能的设计、操作、维护以及高质量的服务与安全保障。

工业互联网通过智能机器间的连接最终使人、机连接,结合软件和大数据分析,将这些元素融合起来,将为企业与经济体提供新的机遇。例如,传统的统计方法采用历史数据收集技术,这种方式通常将数据、分析和决策分隔开来。伴随着先进的系统监控和信息技术成本的下降,其工作能力大大提高,实时数据处理的规模得以大大提升,高频率的实时数据为系统操作提供全新视野。机器分析则为分析流程开辟新维度,各种物理方式相结合、行业特定领域的专业知识、信息流的自动化与预测能力相互结合可与现有的整套“大数据”工具联手合作。最终,工业互联网将涵盖传统方式与新的混合方式,通过先进的特定行业分析,充分利用历史与实时数据。

因此,工业互联网的本质和核心是通过开放的、全球化的工业级网络平台把设备、生产线、工厂、供应商、产品和客户紧密地连接融合起来,高效共享工业经济中的各种要素资源,形成跨设备、跨系统、跨厂区、跨地区的互联互通,从而通过自动化、智能化的生产方式降低成本、提高效率,帮助制造业延长产业链,推动制造业转型发展,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跨越发展;重构全球工业,激发生产力,让世界更美好,更快速,更安全,更清洁,更经济。

1.2 工业互联网与互联网

互联网(internet),又称国际网络,指的是网络与网络之间所串联成的庞大网络,这些网络以一组通用的协议相连,形成逻辑上的单一巨大国际网络。互联网始于1969年美国的阿帕网。通常internet泛指互联网,而Internet则特指因特网。这种将计算机网络互相连接在一起的方法可称作网络互联,在此基础上发展出的覆盖全世界的全球性互联网络称互联网,即互相连接在一起的网络结构。互联网并不等同于万维网,万维网只是一个基于超文本相互链接而成的全球性系统,且是互联网所能提供的服务之一。

传统互联网的受众是C端用户,传统互联网的特性主要有效率、传播实时、展现内容多但内容并未筛选从而容易让人迷惑。传统互联网的变现模式包括付费和广告,其中广告是当前的主要收入来源。对于用户来说,传统互联网要提供更多的免费使用服务,才能实现流量的聚集,进而通过广告变现。

工业互联网从诞生起就以工业发展为关注点,因此服务工业发展是其核心目标。工业互联网是工业行业变革的衍生物,它的特性更多是依靠工业行业的特点来延伸的。工业种类繁多,工况复杂,对制造过程中的准确性和安全性都有极高的要求,传统的数据分析和实时建模相对封闭独立,不能产生量变效应。结合互联网的发展特征后,工业的流程架构和生产方式都将发生变革,并将带来万亿规模级别的广阔市场。工业互联网的特性相比于传统互联网,增强了数据分析能力、设备连接能力、安全管理能力。

工业行业的每个企业都处于竞争关系中,产品数据都是企业的核心秘密,企业不可能允许这些数据都放在同一个工业互联网的平台上面,而且工业产品的复杂程度很高,一个工程机械产品的传感器可能多达几百个,在深度和维度的技术上面,工业互联网比传统互联网的要求高很多。传统互联网主要依靠操作系统来完成其功能,而工业互联网平台与基于传统互联网的系统相区别的还有三大要素,即工业模型、工业App、通信协议标准的建立。工业互联网平台

现阶段以专业服务、功能订阅为主要商业模式,专业服务是其当前最主要的盈利模式,基于平台的系统集成是最主要的服务方式。通俗点说就是按照项目收费,针对工业企业网络需求提供定制化项目服务。功能订阅是辅助收费方式,包括云资源订阅、PaaS(平台即服务)功能组件订阅、工业 SaaS(软件即服务)订阅。功能订阅收费模式往往针对依托网络基础设施的服务提供。

工业互联网与传统互联网相比,主要有如下四个明显区别。

(1) 服务主体不同。传统互联网的服务主体和连接对象主要是人,强调生活场景的全面线上化,应用场景相对简单;工业互联网需要连接人、机、物、系统等,连接种类和数量更多,强调企业生产线上与线下的协同发展,场景十分复杂。

(2) 网络形态不同。传统互联网主要面向公共网络,因此对网络性能要求相对较低;工业互联网的网络形态则是企业内网,而且是物联网,具有更高的可靠性和安全性要求,以满足工业生产的需要。

(3) 复杂程度和发展模式不同。传统互联网连接的主要是人,应用场景相对简单,应用门槛低,发展模式可复制性强;工业互联网则主要是连接人、机、物、系统等,行业标准多,应用专业化、个性化强,由互联网企业主导推动且投资回收期短,容易获得社会资本的支持,但难以找到普适性的发展模式。

(4) 市场格局不同。传统互联网市场集中度高,典型案例有阿里巴巴、腾讯、百度、京东等;工业互联网则具有较鲜明的垂直细分特点,较难形成寡头垄断,目前我国乃至世界仍处于发展起步阶段,典型案例有中国航天科工集团有限公司的航天云网工业互联网平台和海尔集团的 COSMOPlat 工业互联网平台等。

当然,工业互联网的功能与企业传统的自动化和信息系统是有区别的。这种区别,就是工业互联网的机会之所在。

1.3 工业互联网与物联网

物联网(internet of things, IoT)是一个基于互联网、传统电信网等的信息承载体,广泛应用于网络的融合中,也被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。物联网本质上是通过各种信息传感器、射频识别技术、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器等信息感知装置与技术,实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程的相关信息,包括声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等信息,并通过与各类网络的接入,实现物与物、物与人的泛在连接,以及对物品和过程的智能化感知、识别和管理,从而让所有能够被独立寻址的普通物理对象形成互联互通的网络。

目前,物联网进入与传统产业深度融合发展的崭新阶段,物联网在工业领域的应用即为工业物联网(industrial internet of things, IIoT)。美国通用公司认为,就当前技术发展而言,工业物联网是工业互联网的同义词,是物联网技术在工业领域的提升与实现。中国电子技术标准化研究院等相关单位共同编写的《工业物联网白皮书(2017版)》认为,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,实现制造资源的灵活配置、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体系。工业物联网无意改变传统的工业自动化控制系统,强调的是更大规模的设备连接与数据获取,以及工业现场的优化反馈。相比于传统工业测控网,工业物联网融入了移动通信

和智能分析技术,在泛在感知和智能处理等方面进行功能扩展。综上所述,工业互联网与传统物联网的区别主要表现在以下三方面。

(1) 传统物联网通过智能感知识别等通信感知技术以增强人们对周围环境的感知和响应。而工业互联网将传统物联网技术和数据与制造等工业过程相结合,旨在提高工业领域设备自动化水平、设备生产效率和企业生产率。

(2) 工业互联网主要强调在生产和服务方面的应用,如能源、运输、工业控制,往往涉及更高价值的设备和资产,同时对运行安全有更高的要求;而传统物联网更多关注消费领域,如家居方面。

(3) 工业互联网建立在工业基础设施上,用于提升而非替代原有的工业生产设备和设施。它是物联网的子集,集中在生产力方面应用。

此外,工业互联网还具有智能感知、泛在连通、数字建模、实时分析、精准控制和迭代优化六大典型特征。

(1) 智能感知是工业互联网的基础。面对工业生产、物流、销售等产业链环节产生的海量数据,工业互联网利用传感器、射频识别等感知装置和手段获取工业全生命周期内不同维度的信息数据,具体包括人员、机器、原料、工艺流程和环境等工业资源状态信息。

(2) 泛在连通是工业互联网的前提。工业资源通过有线或无线的方式彼此连接或与互联网相连,形成便捷、高效的工业互联网信息通道,实现工业资源数据的互联互通,拓展了机器与机器、机器与人、机器与环境之间连接的广度和深度。

(3) 数字建模是工业互联网的方法。数字建模将工业资源映射到数字空间中,在虚拟的世界里模拟工业生产流程,借助数字空间强大的信息处理能力,实现对工业生产过程全要素的抽象建模,为工业互联网实体产业链运行提供有效决策。

(4) 实时分析是工业互联网的手段。针对所感知的工业资源数据,通过技术分析手段,在数字空间中进行实时处理,获取工业资源状态在虚拟空间和现实空间的内在联系,将抽象的数据进一步直观化和可视化,完成对外部物理实体的实时响应。

(5) 精准控制是工业互联网的目的。通过工业资源的状态感知、信息互联、数字建模和实时分析等过程,将基于虚拟空间形成的决策,转换成工业资源实体可以理解的控制命令,进行实际操作,实现工业资源精准的信息交互和无间隙协作。

(6) 迭代优化是工业互联网的效果。工业互联网体系能够不断地自我学习与提升,通过处理、分析和存储工业资源数据,形成有效的、可继承的知识库、模型库和资源库。面向工业资源制造原料、制造过程、制造工艺和制造环境,不断进行迭代优化,以达到最优目标。

工业互联网是物联网的主战场,人们对工业互联网的期许是在工业设计、制造、流通环节带来革命性的改变,为传统工业注入新的活力,提供新的势能,驱动工业在更高维度上发展、创新,乃至变革。随着计算、存储能力的提升,特别是大数据、人工智能的发展,任何行业对数据获取手段都提出了前所未有的要求。为了抢占新一轮发展战略机遇,世界各国采取相关的战略举措,促使工业制造领域的转型升级成为工业互联网发展的重要驱动力。因此,发展工业互联网具有下述意义:工业互联网助力智能制造。我国制造业面临着提高生产制造效率、实现节能减排和完成产业结构调整的战略任务,工业互联网将为企业的生产、经营和管理模式带来深刻变革。智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合,贯穿于设计、生产管理、服务等制造活动的各个环节,具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新生产方式,工业互联网的部署实施为智能制造提供基石。智能制造将结合工业互联网,合理调配

供应链资源以提升生产和服务效率,实现制造业的智能化管理模式创新。

1.4 工业互联网与智能制造

“工业互联网是互联网和新一代信息技术与工业系统全方位深度融合形成的产业和应用形态,是工业智能化发展的关键综合信息基础设施。”这是工业互联网产业联盟对工业互联网的定义,可以看出工业互联网与智能制造有着密切的联系。

工业互联网可以说是智能制造的依托基础,而智能制造是工业互联网的最终目标。工业互联网包含物联网、互联网、云计算、大数据与人工智能技术等新一代信息技术,并基于这些技术充分发掘工业装备、工艺和材料潜能,提高生产效率,优化资源配置效率,创造差异化产品和服务增值。因此,工业互联网为智能制造提供了基础设施,为现代工业智能化发展提供了重要支撑。

工业互联网与智能制造在应用范围上又有所区别。工业互联网帮助企业上云,为企业提供定制化服务,侧重于工业服务,是实现智能制造的发展模式和现实途径;而智能制造是为了实现整个制造价值链的智能化,偏重于工业制造方面,帮助企业实现工业转型,开展新一轮的工业革命。

从目前的企业状况来看,工业互联网可以促进传统企业向生产服务型的企业转型。企业可以借助信息全互通的工业互联网平台,推动企业管理流程、组织和商业模式的创新,再通过企业互联实现网络化协同,通过产品互联实现服务延伸,并在精准对接的基础上实现个性化定制服务。

工业互联网的核心是互联,是制造企业实现智能制造的关键使能技术之一。我国智能制造网络媒体和两化融合专业服务机构 e-works 提出的智能制造金字塔模型如图 1.1 所示,企业推进智能制造包含四个层次、十个场景。

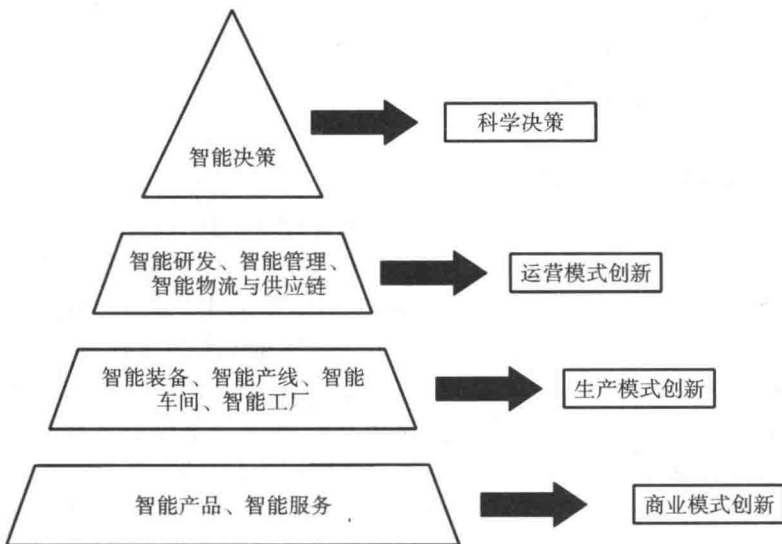


图 1.1 智能制造金字塔模型

第一层是推进产品的智能化和智能服务,从而实现商业模式的创新。在这一层,工业互联网可以支撑企业开发智能互联产品,基于物联网提供智能服务。具体来说就是面向工业互联网

网,以众创、众包、众智、众筹、协同创新和服务创新等形式进行商业模式创新,构建以消费者为中心,以个性化营销、柔性化生产和精准化服务为主要特征的线上线下结合的产品服务体系,从而进一步拓展企业线上平台支撑和线下服务的商业链条,整个商业模式需要重新构建。

第二层是如何应用智能装备、部署智能产线、打造智能车间、建设智能工厂,从而实现生产模式的创新。在这一层,工业互联网技术可以帮助企业实现 M2M(机器对机器),从设备联网到产线的数据采集,从车间的智能监控到生产无纸化。制造模式也会发生变革,基于工业互联网平台,建立全程透明的信息服务,实现用户需求与制造全流程的无缝对接。通过精准高效的柔性生产、用户驱动的产品迭代,从以企业为中心的大规模制造向以用户为中心的大规模定制模式转变,实现整个制造价值链的升级。

第三层是通过智能研发、智能管理、智能物流与供应链,实现企业运营模式的创新。在这一层,工业互联网的主要作用是实现企业内的信息集成和企业间的供应链集成。工业互联网打通企业边界,主体企业、参与企业、数据资源和边界资源通过跨界协作实现协同研发、协同制造、用户参与设计,引发了产业价值链、产品系统构造、生产方式、制造资源组织方式、服务模式的重大变革。

第四层是智能决策。在这个层次,工业互联网的作用是实现异构数据的整合与实时分析。面向工业互联网的智能制造不仅需要单项技术或装备的突破与应用,更需要建立跨行业、跨领域的工业互联网平台架构与技术标准体系,解决智能制造的数据集成、互联互通等基础瓶颈问题,从而满足不同行业的智能制造需求,掌握智能制造的技术发展主动权和话语权。

1.5 工业互联网发展现状

从美国的“先进制造业战略计划”、德国的“工业 4.0”、日本的“互联工业”、英国的“高价值制造战略”到法国的“未来工业”,全球主要的经济大国、制造业大国都在积极推动制造业转型升级,新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起。工业互联网作为新一代信息技术与制造业深度融合的产物,日益成为新工业革命的关键支撑,对未来工业发展产生全方位、深层次、革命性影响。工业互联网已经成为国际上大多数国家实现智能制造、寻求国家经济新增长点的共同选择。

1. 组建工业互联网产业联盟

工业互联网产业联盟汇聚了成员单位的优势资源,推进产学研用协同发展,使成员之间的成果转化和对接更加高效,共同指导行业发展,推动工业互联网进步。2014年3月,GE、AT&T、Cisco(思科)和 IBM 等公司成立了美国的工业互联网联盟(IIC),以此推动工业互联网技术标准化和广泛应用。德国工业 4.0 平台由德国机械设备制造业联合会、德国电气和电子制造商协会等发起,协会负责技术和理念推广,研究机构负责技术开发、标准制定和人才培养,大众、西门子等大型制造企业提供技术与解决方案,中小企业则以联合方式参与创新研发并分享创新成果。2016年2月1日,在工业和信息化部指导下,我国工业、信息通信业、互联网等领域百余家单位共同发起成立了工业互联网产业联盟(AII),联盟会员数量达到 942 家,设立了“12+9+X”组织架构,分别从工业互联网顶层设计、技术研发、标准研制、测试床、产业实践、国际合作等方面务实开展工作,发布了多项研究成果,为政府决策、产业发展提供支撑。

2. 各大企业积极投入研发与应用

如微软、亚马逊等 IT 巨头与工业企业联合研发,为工业互联网平台提供各类大数据、人工智能方面的通用算法框架和工具;像思科这样的通信巨头也开始与工业企业合作,将平台连接和服务的能力应用到工厂中,帮助工业企业从各种工业以太网和现场总线中实时获得生产数据;生产制造领域的日立和东芝也分别建立了 Lumada 平台和 SPINEX 平台,提高了生产效率,降低了企业的运营成本,优化了自身的价值链;自动化与装备制造领域的安川、霍尼韦尔、库卡分别建立了 MMcloud 平台、Sentience 平台和 KUKA Connect 平台,为自家生产的产品提供增值服务,提高市场竞争力;随着工业互联网的迅速发展,还有许多初创企业崭露头角,像 QiO、Particle、Uptake 这样的初创企业将工业大数据、人工智能技术与互联网平台进行深入的融合,提供数据分析服务,像 Telit、DeviceInsight、Siera Wiless 等 M2M 通信领域的初创企业发挥其数据连接方面的优势,帮助工业企业实现资产的远程连接和在线管理,推动了工业互联网的快速发展。

3. 工业互联网带动经济的发展

中国信通院政策与经济研究所所长辛勇飞介绍,测算表明,2018 年、2019 年我国工业互联网产业经济增加值规模分别为 1.42 万亿元、2.13 万亿元,占 GDP(国内生产总值)比重分别为 1.5%、2.2%。预计 2020 年,我国工业互联网产业经济规模将达 3.1 万亿元,占 GDP 比重为 2.9%,同时可带动约 255 万个新增就业岗位。工业互联网产业经济核算包括核心产业及融合带动影响,随着工业互联网加速向各行业拓展,2019 年融合带动的经济影响占工业互联网产业经济比重已达 74.8%,工业互联网将成为国民经济中增长最为活跃的领域之一。随着工业互联网的迅速发展,在市场需求及新技术的推动下,工业互联网平台的市场会保持高速发展态势。据 MarketsandMarkets 统计数据,2018 年全球工业互联网平台市场规模初步估算达到 32.7 亿美元,较 2017 年增长 27.24%;预计 2023 年将增长至 138.2 亿美元,年均复合增长率达 33.4%。

4. 我国工业互联网呈现蓬勃发展的良好局面

国家加强工业互联网的顶层设计,出台了一系列的政策来推动工业互联网的发展,给予工业互联网强有力的政策支持,彰显出我国政府对工业互联网的高度重视及布局决心。如国务院在 2017 年 11 月 27 日发布了《深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见》,以规范和指导我国工业互联网发展,深入推进“互联网+先进制造业”,进而深化供给侧结构性改革;2018 年 7 月发布了《工业互联网平台建设及推广指南》和《工业互联网平台评价办法》,部署未来三年工业互联网平台发展的顶层设计和行动纲领,明确了系统推进工业互联网平台创新发展工作的总体思路、发展目标和主要行动,形成建平台与用平台融合发展机制;2019 年 3 月,国务院在政府工作报告中明确提出要打造工业互联网平台,拓展“智能+”,为制造业转型升级赋能;2020 年 3 月 4 日,中共中央政治局常务委员会在会议中强调,要加快新型基础设施建设进度,工业互联网和数据中心、5G 等七大领域被纳入“新基建”体系。国家不断推动工业互联网的建设,推进智能制造。

5. 我国的工业互联网成果丰硕

目前,依托工业转型升级资金,中国在工业互联网网络(网络化改造)、标识解析、平台(集成创新)、安全(集成创新)等四个方向支持了九十一个工业互联网创新发展工程项目,并遴选了七十二个工业互联网试点示范项目。在标识解析方面,目前初步形成“东西南北中”的服务架构,工业互联网标识解析国家顶级节点已在北京、上海、重庆、广州、武汉五大城市陆续完成