



高等院校应用型本科
智能制造领域「十三五」
规划教材



智能制造 技术概论

ZHINENG ZHIZAO JISHU GAILUN

主编 范君艳 樊江玲
主审 王 坚

华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



高等院校应用型本科智能制造领域人才培养“十三五”规划教材

智能制造技术概论

主 编 范君艳 樊江玲

主 审 王 坚

华中科技大学出版社

中国·武汉

98
2018年6月

内 容 简 介

智能制造技术是用计算机模拟、分析,以收集、存储、完善、共享、继承、发展制造业智能信息的先进制造技术。

本书概括总结了智能制造的内涵与特征、国内外发展现状与体系架构,系统地介绍了智能制造常用的工业软件、工业电子技术、工业制造技术和新一代信息技术,以期帮助读者初步了解智能制造相关理念和关键技术,进一步普及推广智能制造相关基础知识,培养智能制造应用型人才。

本书可作为高等院校相关专业教师、研究生、高年级本科生的智能制造类课程的教材,也适合对智能制造技术有兴趣的广大读者阅读,还可作为智能制造相关工作人员的业务参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能制造技术概论/范君艳,樊江玲主编. —武汉:华中科技大学出版社,2019.3 (2019.8重印)
高等院校应用型本科智能制造领域人才培养“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5680-5103-3

I. ①智… II. ①范… ②樊… III. ①智能制造系统-高等学校-教材 IV. ①TH166

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 056012 号

智能制造技术概论

Zhineng Zhizao Jishu Gailun

范君艳 樊江玲 主编

策划编辑:张少奇

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:武汉市洪山区佳年华文印部

印刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:11.75

字数:290千字

版次:2019年8月第1版第2次印刷

定价:35.00元



华中出版

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

前 言

制造业是国民经济的支柱。智能制造是互联网时代的一场再工业化革命,是制造业发展的未来方向,也是推动我国经济发展的关键动力。制造业由传统制造向智能制造的转化和发展,以及智能制造关键技术的不断涌现和应用,使制造业中从事设计、生产、管理和服务的应用型人才面临新的挑战,同时也对培养应用型人才的高等教育提出了新的要求。面对“中国制造2025”的不断推进,要培养适合智能制造的应用型人才,以支撑制造产业的转型发展,应用型高校也应与时俱进,在教学过程中普及推广智能制造的相关知识,使学生对智能制造及其内涵、智能制造的关键技术有一定的了解,之后可以再根据兴趣和需求对智能制造进行更深入的学习。

《智能制造技术概论》一书就是在这样的需求下应运而生的。本书对智能制造的内涵特征、发展现状、体系构架进行了归纳总结,从智能制造工业软件、工业电子技术、工业制造技术和新一代信息技术这四个方面较为系统地介绍了智能制造的关键技术及其应用。本书内容覆盖较为全面,除工业软件外,工业电子技术、工业制造技术和新一代信息技术都是构建智能工厂、实现智能制造的基础。工业电子技术集成了传感、计算和通信三大技术,解决了智能制造中的“感知、大脑和神经系统”。工业制造技术是实现制造业快速、高效、高质量生产的关键,包括众多的先进制造技术,如数控加工技术、工业机器人技术、人机工程技术和增材制造技术等。新一代信息技术包括工业大数据、云计算、工业云等,主要解决制造过程中离散式分布的智能装备间的数据传输、挖掘、存储和安全等问题,是智能制造的基础与支撑。应用型机械类专业人才在掌握传统学科、专业知识与技术的同时,还必须熟练掌握及应用几种智能制造关键技术,以适应未来智能制造岗位的需求。

本书由多位高校教师联合编撰,编写人员包括范君艳、樊江玲、吕博、周丽婕、朱姗、吴明翔、徐如斌、时书剑、陈佳雯等。在编撰过程中,编者参考了许多优秀的专著和教材,在此向本书所借鉴、参考的所有文献的作者们表示衷心的感谢。书中部分图片来源于网络,在此也向图片的原创者表示感谢。还要感谢同济大学王坚教授、上海理工大学陈道炯教授、上海师范大学林军教授、上海师范大学天华学院吴国兴教授在百忙之中审阅、校核了本书,并提出许多宝贵意见,使本书得以充实完善。

智能制造技术目前仍处于发展阶段,许多新理论、新技术还在源源不断地涌现,编者也在不断学习之中。书中难免存在疏漏及不妥之处,恳请广大专家和读者不吝指正。

编 者

2018年6月

目 录

第 1 章 智能制造概述	(1)
1.1 智能制造的概念及意义	(1)
1.1.1 智能制造的基本概念	(1)
1.1.2 智能制造的意义	(2)
1.2 智能制造国内外发展现状	(3)
1.2.1 欧洲智能制造发展现状	(3)
1.2.2 美国的先进制造(再工业化)	(4)
1.2.3 中国制造 2025	(5)
1.3 智能制造的内涵与特征	(6)
1.3.1 智能制造的内涵	(6)
1.3.2 智能制造的特征	(7)
1.4 智能制造系统架构	(7)
1.5 智能制造关键技术	(9)
第 2 章 工业软件	(10)
2.1 概述.....	(10)
2.1.1 全球工业软件发展状况	(10)
2.1.2 我国工业软件发展状况	(11)
2.2 产品与系统.....	(12)
2.2.1 主要应用软件与系统	(12)
2.2.2 软件与系统的集成	(15)
2.3 企业资源管理软件 ERP	(17)
2.3.1 ERP 概述	(17)
2.3.2 ERP 历史发展	(18)
2.3.3 ERP 系统分类	(20)
2.3.4 企业应用	(20)
2.3.5 ERP 系统带来的效益	(21)
2.3.6 ERP 平台式软件	(21)
2.4 制造执行系统软件 MES	(22)
2.4.1 概述	(22)
2.4.2 MES 的定义	(22)
2.4.3 MES 的发展	(23)
2.4.4 MES 的特点及定位	(24)
2.4.5 MES 的主要功能模块	(25)

2.5	产品生命周期管理软件 PLM	(25)
2.5.1	PLM 的概念	(25)
2.5.2	PLM 的发展	(26)
2.5.3	PLM 与 PDM 的区别	(27)
2.5.4	PLM 的主要功用	(28)
2.5.5	PLM 的建立方法	(28)
2.5.6	PLM 的发展趋势	(30)
第 3 章	工业电子技术	(33)
3.1	概述	(33)
3.2	现代传感技术	(34)
3.2.1	传感器	(34)
3.2.2	典型的传感技术及传感器	(35)
3.2.3	现代传感技术的发展趋势	(39)
3.3	嵌入式技术	(40)
3.3.1	处理器概述	(40)
3.3.2	工业处理器介绍	(43)
3.3.3	嵌入式系统	(45)
3.3.4	嵌入式技术的应用	(46)
3.4	制造物联网技术	(47)
3.4.1	物联网概述	(47)
3.4.2	制造物联网概述	(49)
3.4.3	制造物联网的关键技术	(50)
3.5	应用案例	(52)
3.5.1	智能电子标签定位监测	(52)
3.5.2	未来智能工厂模型	(55)
第 4 章	工业制造技术	(58)
4.1	概述	(58)
4.2	数控加工技术	(58)
4.2.1	数控机床的组成、分类、应用	(58)
4.2.2	数控机床的加工特点	(63)
4.2.3	数控编程的基本概念	(63)
4.2.4	数控车床的分类	(70)
4.2.5	数控车床的应用	(71)
4.2.6	数控铣床与加工中心及其加工	(75)
4.3	工业机器人技术	(80)
4.3.1	工业机器人的基本组成及技术参数	(81)
4.3.2	工业机器人的分类及应用	(83)
4.3.3	工业机器人的机械本体	(85)

4.3.4	工业机器人的运动轴及坐标系	(86)
4.3.5	工业机器人示教器的简单编程	(88)
4.3.6	工业机器人的工作站	(90)
4.3.7	工业机器人生产线	(94)
4.4	人机工程技术	(97)
4.4.1	人机工程学的起源与发展	(97)
4.4.2	虚拟现实中的人机交互	(101)
4.4.3	虚拟现实技术在人机工程中的应用	(110)
4.4.4	人机工程学在数字化设计与制造中的应用	(114)
4.5	增材制造技术	(118)
4.5.1	增材制造的基本原理及特点	(119)
4.5.2	增材制造的分类及主要方法	(120)
4.5.3	增材制造的关键技术	(125)
4.5.4	增材制造数据处理	(126)
4.5.5	增材制造技术的应用领域、发展方向及面临的问题	(132)
第5章	新一代信息技术	(137)
5.1	概述	(137)
5.2	人工智能	(137)
5.2.1	人工智能及其发展简史	(137)
5.2.2	人工智能 2.0	(138)
5.2.3	人工智能 2.0 新目标	(139)
5.3	工业大数据	(143)
5.3.1	工业大数据及其战略作用	(143)
5.3.2	工业大数据的架构	(143)
5.3.3	工业大数据的特征	(144)
5.3.4	工业大数据推动制造业革新	(145)
5.4	移动互联网	(146)
5.4.1	移动互联网简介	(146)
5.4.2	移动互联网的优势	(146)
5.4.3	移动互联网的应用	(147)
5.5	云计算	(149)
5.5.1	云计算的概念	(149)
5.5.2	云计算的特点	(150)
5.6	工业云	(152)
5.6.1	工业云的概念	(152)
5.6.2	工业云的架构	(153)
5.6.3	工业云的应用	(153)
5.6.4	工业云发展现状	(156)

5.7	知识自动化	(157)
5.7.1	知识自动化的发展	(157)
5.7.2	知识自动化过程中的知识处理方法和推理方法	(158)
5.7.3	工业生产过程中的知识自动化	(160)
5.8	数字孪生技术及产品数字孪生体	(164)
5.8.1	数字孪生及数字孪生体的概念	(164)
5.8.2	数字纽带	(165)
5.8.3	产品数字孪生体	(165)
5.9	数据融合技术	(170)
5.9.1	数据融合的概念	(170)
5.9.2	数据融合研究的主要内容	(170)
参考文献		(177)

第 1 章 智能制造概述

1.1 智能制造的概念及意义

1.1.1 智能制造的基本概念

智能制造(intelligent manufacturing, IM)的概念是 1988 年由美国的 P. K. Wright 和 D. A. Bourne 在 *Manufacturing Intelligence* 一书中首次提出的。

对于智能制造的定义,各国有不同的表述,但其内涵和核心理念大致相同。我国工业和信息化部推动的“2015 年智能制造试点示范专项行动”中,智能制造的定义为:基于新一代信息技术,贯穿设计、生产、管理与服务等制造活动各个环节,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、系统和模式的总称。智能制造具有以智能工厂为载体、以关键制造环节智能化为核心、以端到端数据流为基础、以网络互联为支撑等特征,可有效满足产品的动态需求,缩短产品研制周期,降低运营成本,提高生产效率,提升产品质量,降低资源和能源消耗。

智能制造是一种集自动化、智能化和信息化于一体的制造模式,是信息技术特别是互联网技术与制造业的深度融合、创新集成,目前主要集中在智能设计(智能制造系统)、智能生产(智能制造技术)、智能管理、智能制造服务这四个关键环节,如图 1-1 所示,同时还包括一些衍生出来的智能制造产品。

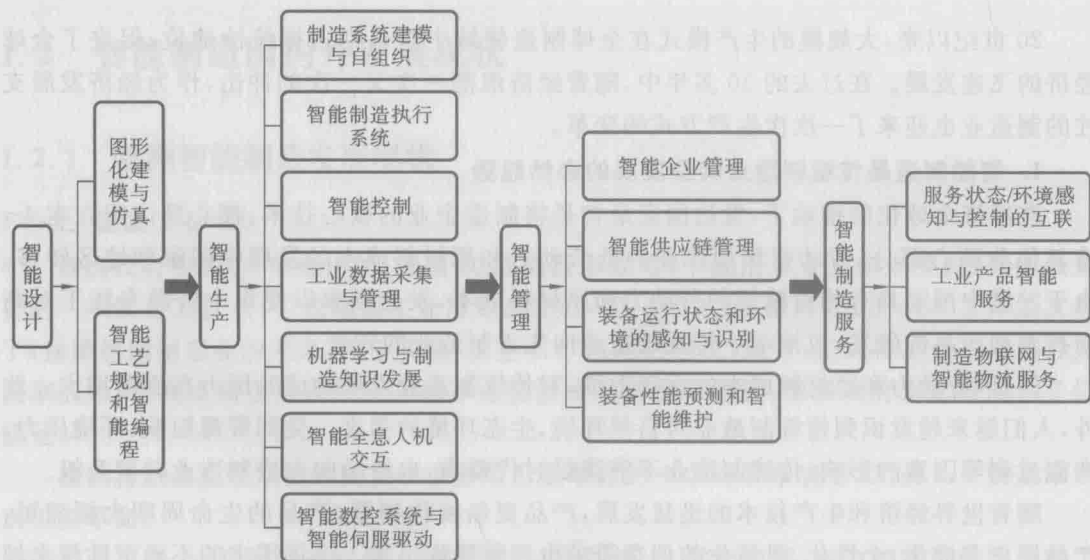


图 1-1 制造过程的智能化关键环节示意图

1. 智能设计

智能设计是指应用智能化的设计手段及先进的数据交互信息化系统(CAX、网络化协同设计、设计知识库等)来模拟人类的思维活动,从而使计算机能够更多、更好地承担设计过程中的各种复杂任务,不断地根据市场需求设计多种方案,从而获得最优的设计成果和效益。

2. 智能生产

智能生产是指将智能化的软硬件技术、控制系统及信息化系统(分布式控制系统 DCS、分布式数控系统 DNC、柔性制造系统 FMS、制造执行系统 MES 等)应用到整个生产过程中,从而形成高度灵活、个性化、网络化的产业链。它也是智能制造的核心。

3. 智能管理

智能管理是指在个人智能结构与组织(企业)智能结构基础上实施的管理,既体现了以人为本,也体现了以物为支撑基础。它通过应用人工智能专家系统、知识工程、模式识别、人工神经网络等方法和技术,设计和实现产品的生产周期管理、安全、可追踪与节能等智能化要求。智能管理主要体现在与移动应用、云计算和电子商务的结合方面,是现代管理科学技术发展的新动向。

4. 智能制造服务

智能制造服务是指服务企业、制造企业、终端用户在智能制造环境下围绕产品生产和服务提供进行的活动。智能制造服务强调知识性、系统性和集成性,强调以人为本的精神,能够为用户提供主动、在线、全球化的服务。通过工业互联网,可以感知产品的状态,从而进行预防性维修维护,及时帮助用户更换备品备件;通过了解产品运行的状态,可帮助用户寻找商业机会;通过采集产品运营的大数据,可以辅助企业做出市场营销的决策。

1.1.2 智能制造的意义

20 世纪以来,大规模的生产模式在全球制造领域中曾长期占据统治地位,促进了全球经济的飞速发展。在过去的 30 多年中,随着经济浪潮一次又一次的冲击,作为经济发展支柱的制造业也迎来了一次次生产方式的变革。

1. 智能制造是传统制造业转型发展的必然趋势

在经济全球化的推动下,发达国家最初是将制造企业的核心技术、核心部门留在本土,将其他非核心部分、劳动密集型产业向低劳动力和原材料成本的发展中国家和地区转移。由于发展中国家具有相对较低的劳动力和原材料成本,发达国家以便集中资源专注于对高新技术和产品的研发,也推动了传统制造业向先进制造业的转变。

但是,劳动力和原材料成本的逐年上涨,对传统制造业发展构成的压力在逐渐增大。此外,人们越来越意识到传统制造业对自然环境、生态环境的损害。受到资源短缺、环境压力、产能过剩等因素的影响,传统制造业不能满足时代要求,也纷纷向先进制造业转型升级。

随着世界经济和生产技术的迅猛发展,产品更新换代频繁,产品的生命周期大幅缩短,产品用户多样化、个性化、灵活化的消费需求也逐渐呈现出来。市场需求的不确定性越来越明显,竞争日趋激烈,这要求制造企业不但要具有对产品更新换代快速响应的能力,还要能

够满足用户个性化、定制化的需求,同时具备生产成本低、效率高、交货快的优势,而之前大规模的自动化生产方式已不能满足这种时代进步的需求。

因此,全球兴起了新一轮的工业革命。生产方式上,制造过程呈现出数字化、网络化、智能化等特征;分工方式上,呈现出制造业服务化、专业化、一体化等特征;商业模式上,将从以制造企业为中心转向以产品用户为中心,体验和个性成为制造业竞争力的重要体现和利润的重要来源。

新的制造业模式利用先进制造技术与迅速发展的互联网、物联网等信息技术,计算机技术和通信技术的深度融合来助推新一轮的工业革命,从而催生了智能制造。智能制造已成为世界制造业发展的客观趋势,许多工业发达国家正在大力推广和应用。

2. 智能制造是实现我国制造业高端化的重要路径

虽然我国已经具备了成为世界制造大国的条件,但是制造业“大而不强”,面临着来自发达国家加速重振制造业与其他发展中国家以更低生产成本承接劳动密集型产业的“双重挤压”。就我国目前的国情而言,传统制造业总体上处于转型升级的过渡阶段,相当多的企业在很长时间内的主要模式仍然是劳动密集型,在产业分工中仍处于中低端环节,产业附加值低,产业结构不合理,技术密集型产业和生产性服务业都较弱。

在国际社会智能发展的大趋势下,国际化、工业化、信息化、市场化、智能化已成为我国制造业不可阻挡的发展方向。制造技术是任何高新技术的实现技术,只有通过制造业升级才能将潜在的生产力转化为现实生产力。在这样的背景下,我国必须加快推进信息技术与制造技术的深度融合,大力推进智能制造技术研发及其产业化水平,以应对传统低成本优势削弱所面临的挑战。此外,随着智能制造的发展,还可以应用更节能环保的先进装备和智能优化技术,从根本上解决我国生产制造过程的节能减排问题。

因此,发展智能制造既符合我国制造业发展的内在要求,也是重塑我国制造业新优势,实现转型升级的必然选择,应该提升到国家发展目标的高度。

1.2 智能制造国内外发展现状

1.2.1 欧洲智能制造发展现状

1. 德国工业 4.0

德国政府在2010年推出的《德国2020高技术战略》中提出了十大未来项目,其中最重要的一项就是工业4.0。汉诺威工业博览会之后,2013年4月,德国“工业4.0”工作组发表了《保障德国制造业的未来:关于实施“工业4.0”战略的建议》报告,正式将工业4.0推升为国家战略,旨在支持工业领域新一代革命性技术的研发与创新,德国政府为此投入达2亿欧元。

德国将制造业领域技术的发展进程用工业革命的4个阶段来表示,工业4.0就是第四次工业革命。

工业1.0——机械制造时代。18世纪60年代至19世纪中期,水力和蒸汽机实现的工厂机械化代替了人类的手工劳动,经济社会从以农业、手工业为基础转型成为由工业及机械

制造带动经济发展的模式。

工业 2.0——电气化与自动化时代。19 世纪后半期至 20 世纪初,采用电力驱动产品和大规模的分工合作模式开启了制造业的第二次革命。零部件生产与产品装配的成功分离,开创了产品批量生产的新模式。

工业 3.0——电子信息化时代。工业 3.0 始于 20 世纪 70 年代并延续至今,在升级工业 2.0 的基础上,广泛应用电子与信息技术,使制造过程自动化控制程度进一步大幅度提高,机器能够逐步替代人类作业。

工业 4.0——实体物理世界与虚拟网络世界融合的时代。德国学术界和产业界认为,未来 10 年,基于信息物理系统(cyber-physical system,CPS)的智能化,将使人类步入以智能制造为主导的第四次工业革命。产品全生命周期、全制造流程的数字化以及基于信息通信技术的模块集成,将形成高度灵活的个性化、数字化的产品与服务的生产模式。

“工业 4.0”战略的核心就是通过 CPS 实现人、设备与产品的实时连通、相互识别和有效交流,从而构建一个高度灵活的个性化、数字化的智能制造模式。人、事、物都在一个“智能化、网络化的世界”里,物联网和互联网(服务互联网技术)将渗透到所有的关键领域。

在这种模式下,生产由集中向分散转变,产业链分工将重组,传统的行业界限将消失。将现有的工业相关技术、销售与产品体验综合起来,使产品生产由之前的趋同性向个性化转变,未来产品完全可以按照个人意愿进行生产,成为自动化、个性化的单件制造。用户由部分参与向全程参与转变,能够广泛、实时地参与到生产和价值创造的全过程中去。

2. 英国的“高值制造”

欧洲另一代表性国家英国提出了“高值制造”。

英国是第一次工业革命的起源国家,20 世纪 80 年代之后,英国逐渐向金融、数字创意等高端服务产业发展,制造业发展放缓。2008 年金融危机后,英国制造业开始回归。英国政府科学办公室在 2013 年 10 月推出了《英国工业 2050 战略》,被看作“英国版的工业 4.0”。

《英国工业 2050 战略》提出,制造业并不是传统意义上的“制造之后再销售”,而是“服务再制造(以生产为中心的价值链)”。“高值制造”就是高附加值的制造,是一场制造业的革命,通过信息通信技术、新工具、新方法、新材料等与产品和生产网络的融合,极大地改变了产品的设计、制造、提供甚至使用方式。英国政府科学办公室将其定义为:由新技术、新方法和新材料驱动,同时伴之以基于 3D 打印技术的本地化定制生产,走向产品加服务的商业模式。它的产业形态是按需制造、分布式制造和产品服务化,技术形态是新兴技术群、数据网和智能基础设施,整个制造形态和商业模式都在发生变革。

1.2.2 美国的先进制造(再工业化)

为重塑美国制造业在全球的竞争优势,美国国家科学技术委员会于 2012 年 2 月正式发布了《先进制造业国家战略计划》,对未来的制造业发展进行了重新规划,依托新一代信息技术和新材料、新能源等创新技术,加快发展技术密集型先进制造业。美国政府也提出了“再工业化”来重振美国制造业,重塑制造业全球竞争优势。

根据美国总统科学技术顾问委员会的定义,“先进制造”是基于信息协同、自动化、计算、软件、传感、网络和/或使用尖端先进材料和物理及生物领域科技的新原理的一系列活动。

“先进制造”与数字革命相关联。当前的数字革命有三个特征:计算能力持续增长;通信和分析能力快速提高;机器人技术和控制系统不断进步。“先进制造”包括先进产品的制造,还包括先进的、基于信息通信技术的生产过程。智能制造主要指后者,即现代生产制造过程的各个环节中信息技术的应用过程。

与德国不同,美国将“工业 4.0”概念称为“工业互联网”。2012 年美国通用电气公司(GE)发布了《工业互联网:突破智慧和机器的界限》,正式提出“工业互联网”概念。它倡导将人、数据和机器连接起来,形成开放而全球化的工业网络。工业互联网系统由智能设备、智能系统和智能决策三大核心要素构成,是数据流、硬件、软件和智能的交互。由智能设备和网络收集并存储数据,利用大数据分析工具进行数据分析和可视化,由此产生的“智能信息”可以由决策者在必要时进行实时判断处理,成为大范围工业系统中工业资产优化战略决策过程的一部分。

作为先进制造业的重要组成部分,以先进传感器、工业机器人、先进制造测试设备等为代表的智能制造,得到了美国政府、企业各个层面的高度重视。而且,约束美国制造业发展的一大因素是居高不下的劳动力成本,智能制造的发展能够大幅减少制造业的用工需求,使制造业的劳动力成本降低,从而使美国的科技优势进一步转化为产业优势。

1.2.3 中国制造 2025

面对欧美发达国家推行的“工业 4.0”“先进制造”“再工业化”等战略,以及我国制造业面临的诸多严峻问题,国务院于 2015 年 3 月 19 日发布了我国制造强国战略的第一个十年行动纲要《中国制造 2025》,旨在抢占技术发展的战略制高点,从根本上改变中国制造业“大而不强”的局面。

《中国制造 2025》提出,通过“三步走”实现制造强国的战略目标:第一步,到 2025 年迈入制造强国行列;第二步,到 2035 年我国制造业整体达到世界制造强国阵营中等水平;第三步,到中华人民共和国成立一百年时,我国制造业大国地位更加稳固,综合实力进入世界制造强国前列。

中国政府工作报告提出要实施“中国制造 2025”强国战略,坚持创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展,促进工业化和信息化深度融合,开发利用网络化、数字化、智能化等技术。据新华社报道:“中国制造 2025”的总体思路是坚持走中国特色新型工业化道路,以促进制造业创新发展为主题,以提质增效为中心,以加快新一代信息技术与制造业融合为主线,以推进智能制造为主攻方向。

简言之,“中国制造 2025”与“工业 4.0”“先进制造”有不同之处,也有相同之处,其核心都是智能制造。2015 年 3 月,国务院总理李克强在政府工作报告中提出了“互联网+”的概念。美国利用先进的互联网优势以期整合全球工业资源,德国希望将传统工业向信息技术发展保持其装备制造业全球领导地位,我国则通过“互联网+工业”来促进制造业的转型升级,实现“中国制造 2025”由制造业大国向制造业强国转变的宏伟目标。

我国智能制造研究始于 20 世纪 80 年代末,当初将“智能模拟”列入国家科技发展规划的主要课题,至今已经取得了一大批智能制造技术的基础研究成果和先进制造技术成果。进入 21 世纪以来,智能制造在我国迅速发展,以新型传感器、智能控制系统、工业机器人、自

动化成套生产线为代表的智能制造装备产业体系初步形成,一批具有自主知识产权的重大智能制造装备实现了突破。现阶段,我国紧密围绕重点制造领域关键环节,开展了新一代信息技术与制造装备融合的集成创新和工程应用工作。

虽然我国智能制造技术已经取得长足进步,但智能制造基础理论和技术体系建设仍较为滞后;关键智能制造技术、智能制造装备及核心零部件自给率低,对外依赖度高。因此,有必要建立智能制造基础理论体系,突破核心关键技术,提高智能制造自主创新能力,推动智能制造装备的创新发展和产业化,并扩展到智能制造服务业。此外,还要加强智能制造人才培养,建立并完善智能制造人才培养体系和激励机制,培养更多的智能制造科研人才、管理人才和技术人才。

1.3 智能制造的内涵与特征

1.3.1 智能制造的内涵

智能制造是“中国制造 2025”的主攻方向,是实现中国制造业由大到强的关键路径。

智能制造具有三个基本属性:对制造过程信息流和物流的自动感知和分析,对制造过程信息流和物流的自主控制,对制造过程的自主优化运行。如图 1-2 和 1-3 所示,智能制造是

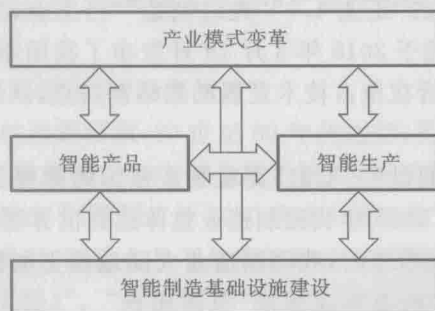


图 1-2 智能制造推进的四个维度

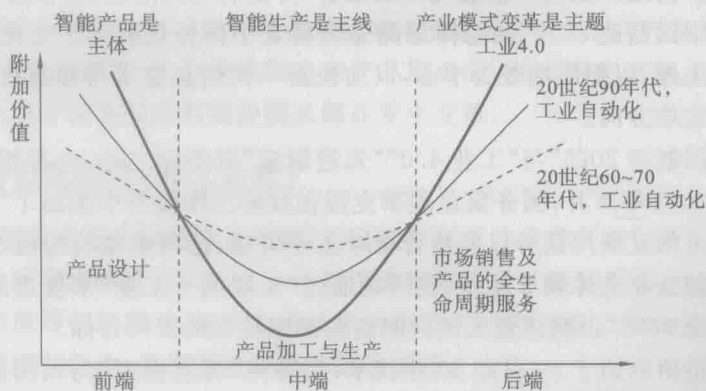


图 1-3 智能制造“微笑”曲线

一个大的系统工程,要从产品、生产、模式、基础四个维度系统推进。智能产品是主体,智能生产是主线,以用户为中心的产业模式变革是主题,信息物理系统 CPS 和工业互联网是基础。

智能制造是在网络化、数字化、智能化的基础上融入人工智能和机器人技术形成的人、机、物之间交互与深度融合的新一代制造系统。机包括各类基础设施,物包括内部和外部物流。网络化指人、机、物之间的互联互通;数字化指包含了产品设计、工艺、制造、生产、服务整个产品生命周期管理(PLM)过程的数字化研制体系;智能化指通过网络、大数据、物联网和人工智能等技术支持,自动地满足人、机、物的各种需求。智能制造不仅是生产制造的概念,还要向前延伸到个性设计、向后推移到服务保障、向上上升到管理模式。

智能制造蕴含丰富的科学内涵(人工智能、生物智能、脑科学、认知科学、仿生学和材料科学等),是高新技术的制高点(物联网、智能软件、智能设计、智能控制、知识库、模型库等),汇聚了广泛的产业链和产业集群,是新一轮世界科技革命和产业革命的重要发展方向。

1.3.2 智能制造的特征

智能制造的特征包括:实时感知、自我学习、计算预测、分析决策、优化调整。

1. 实时感知

智能制造需要大量的数据支持,利用高效、标准的方法进行数据采集、存储、分析和传输,实时对工况进行自动识别和判断、自动感知和快速反应。

2. 自我学习

智能制造需要不同类型的知识,利用各种知识表示技术和机器学习、数据挖掘与知识发现技术,实现面向产品全生命周期的海量异构信息的自动提炼,得到知识并升华为智能策略。

3. 计算预测

智能制造需要建模与计算平台的支持,利用基于智能计算的推理和预测,实现诸如故障诊断、生产调度、设备与过程控制等制造环节的表达与推理。

4. 分析决策

智能制造需要信息分析和判断决策的支持,利用基于智能机器和人的行为的决策工具和自动化系统,实现诸如加工制造、实时调度、机器人控制等制造环节的决策与控制。

5. 优化调整

智能制造需要在生产环节中不断优化调整,利用信息的交互和制造系统自身的柔性,实现对外界需求、产品自身环境、不可预见的故障等变化的及时优化调整。

1.4 智能制造系统架构

《国家智能制造标准体系建设指南(2015年版)》指出:智能制造系统架构通过生命周期、系统层级和智能功能三个维度构建而成,如图 1-4 所示。

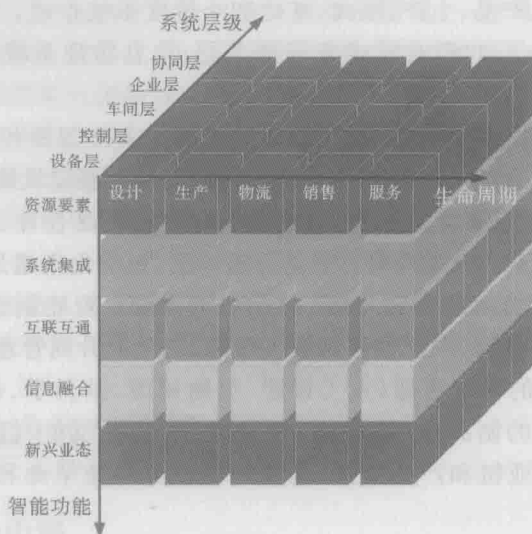


图 1-4 智能制造系统架构

1. 生命周期

生命周期是由设计、生产、物流、销售、服务等一系列相互联系的价值创造活动组成的链式集合。生命周期中各项活动相互关联、相互影响。不同行业的使用寿命构成不尽相同。

2. 系统层级

系统层级自下而上共五层，分别为设备层、控制层、车间层、企业层和协同层。智能制造的系统层级体现了装备的智能化和互联网协议(IP)化，以及网络的扁平化趋势。具体包括：

(1) 设备层包括传感器、仪器仪表、条码、射频识别装置、机器人和机械装置等，是企业进行生产活动的物质技术基础；

(2) 控制层包括可编程逻辑控制器(PLC)、数据采集与监视控制(SCADA)系统、分布式控制系统(DCS)和现场总线控制系统(FCS)等；

(3) 车间层实现面向工厂/车间的生产管理，包括制造执行系统(MES)等；

(4) 企业层实现面向企业的经营管理，包括企业资源计划(ERP)系统、产品生命周期管理(PLM)、供应链管理(SCM)系统和客户关系管理(CRM)系统等；

(5) 协同层由产业链上的不同企业通过互联网共享信息实现协同研发、智能生产、精准物流和智能服务等。

3. 智能功能

智能功能包括资源要素、系统集成、互联互通、信息融合和新兴业态等五个方面。

(1) 资源要素包括设计施工图样、产品工艺文件、原材料、制造设备、生产车间和工厂等物理实体，也包括电力、燃气等能源。此外，人员也可视为资源的一个组成部分。

(2) 系统集成是指通过二维码、射频识别、软件等信息技术集成原材料、零部件、能源、设备等各种制造资源，由小到大实现从智能装备到智能生产单元、智能生产线、数字化车间、智能工厂，乃至智能制造系统的集成。

(3) 互联互通是指通过有线、无线等通信技术，实现机器之间、机器与控制系统之间、企

业之间的互联互通。

(4) 信息融合是指在系统集成和通信的基础上,利用云计算、大数据等新一代信息技术,在保障信息安全的前提下,实现信息协同共享。

(5) 新兴业态包括个性化定制、远程运维和工业云等服务型制造模式。

1.5 智能制造关键技术

智能制造在制造业中的不断推进发展,对制造业中从事设计、生产、管理和服务的应用型专业人才提出了新的挑战。他们必须掌握智能工厂制造运行管理等信息化软件,不但要会应用,还要能根据生产特征、产品特点进行一定的编程、优化。

智能制造要求在产品全生命周期的每个阶段实现高度的数字化、智能化和网络化,以实现产品数字化设计、智能装备的互联与数据的互通、人机的交互以及实时的判断与决策。工业软件的大量应用是实现智能制造的核心与基础,这些软件主要有计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工艺(CAPP)、企业资源管理(ERP)、制造执行系统(MES)、产品生命周期管理(PLM)等。

除工业软件外,工业电子技术、工业制造技术和新一代信息技术都是构建智能工厂、实现智能制造的基础。应用型专业人才在掌握传统学科专业知识与技术的同时,还必须熟练掌握及应用这几种智能制造关键技术,以适应未来智能制造岗位的需求。

工业电子技术集成了传感、计算和通信三大技术,解决了智能制造中的感知、大脑和神经系统问题,为智能工厂构建了一个智能化、网络化的信息物理系统。它包括现代传感技术、射频识别技术、制造物联技术、定时定位技术,以及广泛应用的可编程控制器、现场可编程门阵列技术(FPGA)和嵌入式技术等。

工业制造技术是实现制造业快速、高效、高质量生产的关键。智能制造过程中,以技术与服务创新为基础的高新化制造技术需要融入生产过程的各个环节,以实现生产过程的智能化,提高产品生产价值。工业制造技术主要包括高端数控加工技术、机器人技术、满足极限工作环境与特殊工作需求的智能材料生产技术、基于3D打印的智能成形技术等。

信息技术主要解决制造过程中离散式分布的智能装备间的数据传输、挖掘、存储和安全等问题,是智能制造的基础与支撑。新一代信息技术包括人工智能、物联网、互联网、工业大数据、云计算、云存储、知识自动化、数字孪生技术及产品数字孪生体、数据融合技术等。