

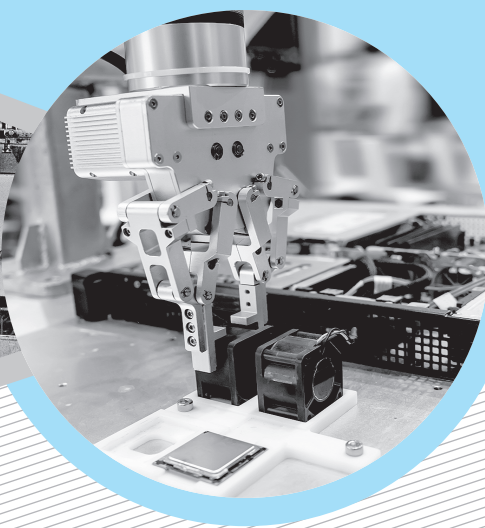
职业院校机械系列教材
职业教育新形态一体化教材

智能制造概论

主 编 卢金平 钟 睿

副主编 孙 维 杨海波

董乐霞 刘沛叶



西北工业大学出版社
西 安

【内容简介】 本书分为六章, 具体内容为智能生产的产生与发展、智能制造技术、智能制造系统、智能制造设计、工业机器人以及新一代智能制造。

本书既可作为职业院校机械设计制造类、机电设备类、自动化类等装备制造大类相关专业的教材, 也可作为相关工程技术人员的参考用书, 还可供对智能制造感兴趣的广大读者阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能制造概论 / 卢金平, 钟睿主编. -- 西安: 西北工业大学出版社, 2025. 10. -- ISBN 978-7-5775-0081-2

I. TH166

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 20259GW421 号

ZHINENG ZHIZAO GAILUN

智能制造概论

卢金平 钟睿 主编

责任编辑: 付高明

装帧设计: 黄燕美

责任校对: 卢颖慧

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号

邮编: 710072

电 话: (029)88491757, 88493844

网 址: www.nwpup.com

印刷者: 三河市骏杰印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm

1/16

印 张: 13.75

字 数: 239 千字

版 次: 2025 年 10 月第 1 版

2025 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5775-0081-2

定 价: 45.00 元

如有印装问题请与出版社联系调换



前言

Preface

《“十四五”智能制造发展规划》提出推进智能制造的发展路径是：要立足制造本质，紧扣智能特征，以工艺、装备为核心，以数据为基础，依托制造单元、车间、工厂、供应链等载体，构建虚实融合、知识驱动、动态优化、安全高效、绿色低碳的智能制造系统，推动制造业实现数字化转型、网络化协同、智能化变革。

为深入贯彻现代职教体系下重点工作要求，笔者根据职业教育智能制造领域高素质技术技能人才培养目标，按照国家“三教（教师、教材、教法）”改革的指导思想，以强化产业结构升级、突出重点技术领域、兼顾不同发展需求、服务国家新兴产业发展为目的而编写本书。本书的特点在于兼顾学习内容的深度和广度，从知识应用和技能培养的实际出发，并且结合智能制造最新教学实践。

本书分为六章，具体内容为智能制造的产生与发展、智能制造技术、智能制造系统、智能制造设计、工业机器人以及新一代智能制造。本书配有数字资源，读者登录 <http://www.xinsijiaocai.com/> 可下载相关学习资料。

本书由抚州职业技术学院卢金平、江西赣州技师学院钟睿任主编，宽甸满族自治县职业教育中心孙维、德江县中等职业学校杨海波和石家庄工商职业学院董乐霞、刘沛叶任副主编。本书具体编写分工如下：刘沛叶、杨海波共同编写了第1章和第5章；钟睿编写了第2章；卢金平、孙维共同编写了第3章、第4章；董乐霞编写了第6章。

在编写本书过程中,笔者参考了大量资料与文献,在此向其作者表示感谢。

限于笔者水平,书中难免存在疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2025 年 4 月



目 录

Contents

第 1 章 智能制造的产生与发展 1

- 1.1 智能制造的产生 1
- 1.2 智能制造的发展 4

第 2 章 智能制造技术 9

- 2.1 支撑技术 9
- 2.2 数字孪生 27
- 2.3 智能传感技术 37
- 2.4 数控加工技术 44
- 2.5 特种加工技术 59
- 2.6 3D 打印技术 63

第 3 章 智能制造系统 85

- 3.1 智能制造系统概述 85
- 3.2 产品生命周期管理系统 91
- 3.3 企业资源计划系统 97
- 3.4 制造执行系统 105
- 3.5 供应链管理系统 109
- 3.6 客户关系管理系统 113

第 4 章 智能制造设计 118

- 4.1 功能设计 118
- 4.2 计算机辅助设计与加工技术 121
- 4.3 逆向工程 133
- 4.4 虚拟样机 141

第 5 章 工业机器人 151

- 5.1 工业机器人概述 151
- 5.2 工业机器人的虚拟仿真技术 169
- 5.3 工业机器人的编程技术 175
- 5.4 工业机器人的应用 178

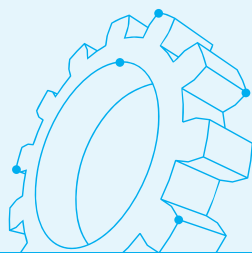
第 6 章 新一代智能制造 187

- 6.1 工业大数据 187
- 6.2 云计算 197
- 6.3 人工智能 204

参考文献 213

第1章

智能制造的产生与发展



智能制造(Intelligent Manufacturing, IM)是制造强国建设的主攻方向,其发展程度直接关乎国家制造业质量水平。发展智能制造对巩固实体经济根基、建成现代产业体系、实现新型工业化具有重要作用。



1.1

智能制造的产生

1.1.1 智能制造的定义与内涵

1. 智能制造的定义

关于智能制造的定义有很多。

美国纽约大学的 P. K. Wright 教授和卡内基梅隆大学的 D. A. Bourne 教授在智能制造研究领域的首本专著《制造智能》中对智能制造定义为:通过集成知识工程、制造软件系统、机器人视觉和机器人控制来对制造技工们的技能与专家知识进行建模,以使智能机器能够在没有人工干预的情况下进行小批量生产。尽管当下能够用于制造活动的智能技术不只是此定义中所列举的,且智能制造也不局限于小批量生产,但人们没有任何理由因为此定义的局限性而轻视其意

义,在相关技术发展尚不成熟的时期(20 世纪 80 年代)提出智能制造的概念无疑是富有远见和开创性的工作。

中国科学院院士、中国工程院院士路甬祥曾对智能制造给出定义:“一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统,它在制造过程中能进行智能活动,诸如分析、推理、判断、构思和决策等。通过人与智能机器的合作共事,去扩大、延伸和部分地取代人类在制造过程中的脑力劳动。它把制造自动化的概念更新、扩展到柔性化、智能化和高度集成化。”此定义强调人机一体化。

根据《“十四五”智能制造发展规划》,智能制造要坚持以下几个原则。

(1)坚持创新驱动。把科技自立自强作为智能制造发展的战略支撑,加强产学研协同创新,着力突破关键核心技术和系统集成技术。支持企业、高校、科研院所等组建联合体,开展技术、工艺、装备、软件和管理、模式创新,提升核心竞争力。

(2)坚持市场主导。充分发挥市场在资源配置中的决定性作用,强化企业在发展智能制造中的主体地位。更好发挥政府在战略规划引导、标准法规制定、公共服务供给等方面作用,营造良好环境,激发各类市场主体内生动力。

(3)坚持融合发展。加强跨学科、跨领域合作,推动新一代信息技术与先进制造技术深度融合。发挥龙头企业牵引作用,推动产业链供应链深度互联和协同响应,带动上下游企业智能制造水平同步提升,实现大中小企业融通发展。

(4)坚持安全可控。强化底线思维,将安全可控贯穿智能制造创新发展全过程。加强安全风险研判与应对,加快提升智能制造数据安全、网络安全、功能安全保障能力,着力防范化解产业链供应链风险,实现发展与安全相统一。

(5)坚持系统推进。聚焦新阶段新要求,立足我国实际,统筹考虑区域、行业发展差异,加强前瞻性思考、全局性谋划、战略性布局、整体性推进,充分发挥地方、行业和企业积极性,分层分类系统推动智能制造创新发展。

2. 智能制造的内涵

智能制造源于人们对人工智能的研究,一般认为智能是知识和智力的总和,知识是智能的基础,智力是指获取和运用知识求解的能力。



智能制造包含智能制造系统和智能制造技术。智能制造系统不仅能够在实践中不断地充实知识库,而且具有自主学习功能,以及具有搜集与理解环境信息和自身的信息,并进行分析判断和规划自身行为的能力。

智能制造技术利用计算机模拟制造业领域的专家分析、判断、推理、构思和决策等智能活动,并将这些智能活动和智能机器融合起来,贯穿应用于整个制造企业的子系统(如经营决策、采购、产品设计、生产计划、制造装配、质量保证和市场销售等),以实现整个制造企业经营运作的高度柔性化和高度集成化,从而取代或延伸制造领域专家的部分脑力劳动,并对制造领域专家的智能信息进行收集、存储、完善、共享、继承和发展,是一种极大提高生产效率的先进制造技术。

智能制造在制造过程中能进行智能活动,将制造自动化的概念扩展到柔性化、智能化和高度集成化。毫无疑问,智能化是制造自动化的发展方向,如制造过程中的绝大多数环节广泛应用专家系统与人工智能(Artificial Intelligence, AI)。专家系统既可以用于工程设计、工艺过程设计、生产调度、故障诊断等,也可以将神经网络和模糊控制技术等先进的计算机智能方法应用于产品配方、生产调度等方面,以实现制造过程智能化。而人工智能尤其适合于解决特别复杂和不确定的问题。

1.1.2 智能制造的缘起

智能制造最早出现于日本在1990年4月所倡导的“智能制造系统(IMS)”国际合作研究计划中。该计划吸引了如美国、欧洲共同体、加拿大、澳大利亚等国家和地区参加。该计划共预算投资10亿美元,对100个项目实施前期科研计划。

一般而言,制造系统在概念上被认为是一个复杂的相互关联的子系统的整体集成,从制造系统的功能角度可将智能制造系统细分为设计、计划、生产和系统活动四个子系统。在设计子系统中,智能制造突出了产品的概念设计过程中消费需求的影响;功能设计关注了产品可制造性、可装配性和可维护及保障性。另外,模拟测试也广泛应用智能技术。在计划子系统中,数据库构造将从简单信



息型发展到知识密集型。在排序和制造资源计划管理中,模糊推理等多类的专家系统将集成应用;智能制造的生产系统将是自治或半自治系统。从生产角度,在监测生产过程、生产状态获取和故障诊断、检验装配中,将广泛应用智能技术。从系统活动角度,神经网络技术在系统控制中已开始应用,同时应用分布技术和多元代理技术、全能技术,并采用开放式系统结构,使系统活动并行,解决系统集成问题。

广义而论,智能制造是一个大概念,是先进制造技术与新一代信息技术的深度融合,贯穿于产品设计、制造和服务全生命周期的各个环节,以制造系统的集成实现制造业数字化、网络化和智能化,不断提升产品质量、企业效益及服务水平,推动制造业创新、协调、绿色、开放及共享发展。



1.2

智能制造的发展

1.2.1 智能制造的产业现状与形势

制造业是我国的支柱产业,如何实现从制造向创造的转变,是我国制造企业必须思考和解决的问题。智能制造的兴起对于我国制造业来说是个发展的好时机,应该把握好这次机遇,努力提升我国制造业的综合水平,使我国脱离低效率和高消耗的困境。

智能制造装备是制造业转型升级的关键。智能制造装备是具有感知、分析、推理、决策和控制功能的制造装备的统称,它是先进制造技术、信息技术和智能技术在装备产品上的集成和融合,体现了制造业的智能化、数字化和网络化的发展要求。智能制造装备的水平已成为当今衡量一个国家工业化水平的重要标志。

实际上,我国在很早就对智能制造进行了初步的研究。早在1993年,中国就对智能制造系统关键技术进行了探讨研究。此后,政府和企业越来越注重智能制造的发展,国家也持续颁布了一些关于智能制造发展的政策,如《国家智能制



造标准体系建设指南(2024 版)》《“十四五”智能制造发展规划》等。

近年来,受到国家政策支持以及数字化的不断推行,我国智能制造业产值规模一直保持增长趋势。据统计,2023 年,我国智能制造装备产业规模达到 3.3 万亿元,工业软件产品收入超过 2 800 亿元。截至 2024 年 10 月底,智能制造装备产业营收同比增长 28%,工业软件产品收入同比增长 7%,智能协作、物流仓储机器人产量持续领跑全球。

当前,我国已具备发展智能制造的基础与条件,取得了一大批相关的基础研究成果,掌握了长期制约我国产业发展的部分智能制造技术,如机器人技术、感知技术、复杂制造系统、智能信息处理技术等。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。

近几年来,工业和信息化部持续组织实施智能制造试点示范专项行动,遴选出一批先行先试的示范项目,有效带动了我国智能制造的发展。目前,应用较为广泛的有八大典型智能制造模式,分别是大规模个性化定制、产品全生命周期数字一体化、柔性制造、互联工厂、产品全生命周期可追溯、全生产过程能源优化管理、网络协同制造和网络运维服务。

随着科技的飞速发展,“中国制造”开始快速向“中国智造”转型。而随着 5G 时代的到来,众多中国科技企业也迅速崛起,进一步推动了“中国智造”的发展进程。

我国制造业产能巨大,但同时又存在结构性产能过剩的问题,有强烈的智能化改造需求。智能制造将为设备和软件行业带来机会,机器人、传感器、工业软件、3D 打印等都蕴含百亿元甚至千亿元的市场价值。根据我国智能制造行业发展现状和趋势分析,预计到 2026 年,我国智能制造行业市场规模将达 5.8 万亿元左右,整体来看,行业增长空间巨大。

1.2.2 智能制造的发展机遇

当前,新一轮科技革命和产业变革加速发展,大数据(big data)、人工智能、物联网等新一代信息技术正在与制造业深度融合,不断改变着制造业的生产方式、组织方式和发展模式,数字化、网络化、智能化已经成为全球制造业发展的重要

方向。在第四次工业革命,也就是这次世界经济加速向数字化转型的过程中,我国在多个领域实现重大突破,新技术、新产品、新业态、新模式不断涌现;支撑智能制造发展的 5G、大数据等技术处于全球第一梯队,为未来智能制造的全球竞争奠定良好基础。

我国具有全球独有的发展高端制造业的全产业链条,具有全球最完整、规模最大的工业体系,强大的生产能力和完善的配套能力。目前我国已经拥有 41 个工业大类、207 个工业中类、666 个工业小类,形成了独立完整的现代工业体系,是全世界唯一拥有联合国产业分类当中全部工业门类的国家。随着智能制造的深入推进,工业互联网发展进入快车道,一大批数字化车间和智能工厂已经建成。截至 2022 年 2 月,制造业重点领域企业关键工序数控化率和数字化研发设计工具普及率分别达到 55.3% 和 74.7%。

我国在智能制造“走出去”方面已经奠定坚实基础,我国制造业始终秉承开放发展的理念,是对外开放、合作共赢的重要领域。中国提出共建“一带一路”倡议以来,在各方共同努力下,共建“一带一路”在世界范围内拓展延伸,中国与 150 多个国家、32 个国际组织签署 200 余份共建“一带一路”合作文件,形成 3 000 多个合作项目,拉动近万亿美元投资规模。共建“一带一路”以互联互通串联起世界各国的发展机遇,以共商、共建、共享汇聚起携手实现现代化的全球合力。

1.2.3 智能制造面临的挑战

经济全球化仍然面临巨大的不确定性。当前世界经济形势复杂严峻,经济复苏具有不稳定性 and 不平衡性,各类衍生风险不容忽视,一些国家单边主义、保护主义、霸权主义仍然严重。

智能制造发展的国际竞争将更加激烈。近年来,美国、德国等发达国家加快实施以信息技术为核心驱动力的先进制造计划,并且依托制造等领域的优势,构建数字驱动的工业生产制造体系,打造产业竞争新优势,抢占新一轮国际竞争制高点。我国面临着更加激烈的竞争。

我国在智能制造的一些基础技术和关键核心技术方面仍然存在短板。我国制造业领域一些核心技术受制于人,“卡脖子”问题突出,对外依存度高,新兴



技术掌控能力有待提升。例如,全球工业设计仿真软件产业主要由美、德、法三国把控。许多企业仍然处于数字化起步阶段。例如,芯片、传感器、工业机器人等核心技术装备与软件系统仍然大量依赖进口,严重制约了我国智能制造的发展。

1.2.4 智能制造的发展方向

智能制造在制造过程中能进行智能活动,通过人与智能机器的合作共事,把制造自动化的概念更新、扩展到柔性化、智能化和高度集成化,从而实现数字化智能工厂的落地,让制造企业通过数字化转型提升产品创新与管理能力,提质增效,从而占有竞争优势。

当前,有不少制造业已经走过机械化、自动化、数字化等发展阶段,并搭建起完整的制造业体系和制造业基础设施,在产业链中具有重要地位。这让他们具备了实现智能制造、推动产业链变革的可能性和基础实力。

就目前来看,国内现阶段智能制造的发展主要涉及以下几个方向。

(1)工业体系转型。在“互联网+”背景下的制造业正在急速变化,智能制造的发展趋势表现为产品更新换代加快、设计周期减小、生产效率高。在这种趋势的推动下,我国传统的工业体系会向智能的工业体系转型。

(2)制造业服务化。在信息时代,企业和用户是通过产品和服务建立关系的。服务融合在制造业的各个环节,有利于提升价值链。

(3)智能制造装备。企业需求具有感知、分析、控制等多功能的智能装备,包括高档数控机床、智能控制系统、智能仪器设备、智能工业机器人等。

当前,国内急需促进传统制造业结构调整和优化升级,从而提升中国经济在全球竞争中的地位。在信息时代,我们应把握住这次发展时机,在“互联网+”和大数据的驱动下,实现“中国制造”向“中国智造”的转型。

智能制造可实现整个制造业价值链的智能化,而工业互联网是实现智能制造的关键基础设施,在智能制造发展的大势所趋下,制造企业应凭借自身在核心技术领域的实力,加快建设智慧物联平台,着力提升产品智能化生产水平、制造质量和整体运营效率,逐步实现“机器换人”“软件换人”“智能运营”阶段目标,推

动企业转型升级。

2025 年,智能制造已成为我国建设制造强国的主攻方向,加快发展智能制造解决方案是推动中国制造迈向高质量发展、形成国际竞争新优势的必由之路。中国制造企业必须通过数字化转型提升产品创新与管理能力,提质增效,从而赢得竞争优势,实现“制造”向“智造”的转变。