

指导单位
组织单位

中国科协智能制造学会联合体
中国机械工程学会

普通高等教育新工科·智能制造系列规划教材

智能物联 制造系统与决策

Intelligent Internet of Things
Based Manufacturing and Decision System

张映锋 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育新工科·智能制造系列规划教材

智能物联制造系统与决策

主 编 张映锋

副主编 陶 飞 孙树栋 周光辉

吕景祥

参 编 程 颖 杨宏安 朱海平



机械工业出版社

本书以“物物互联,感知制造,动态决策”为导向,聚焦物联制造执行过程的主动感知与动态优化决策的核心问题,展开与其相关的基本理论、共性方法、优化模型和算法的阐述,体现了现有先进制造系统从自动化、数字化向智能化和智慧化发展的趋势,为提升制造执行过程的透明性和对制造过程进行全方位的跟踪、分析、优化及控制提供了较好的基础知识。

在本书的编写过程中突出了基础理论和应用实践。在基础理论方面,本书力求清晰阐述智能物联制造系统与动态决策涉及的基础共性问题,包括物联制造系统的体系构架、运作机理、智能决策方法、实时信息驱动的制造系统优化控制策略与模型等,使读者在智能物联制造系统与动态决策的基础理论方面得到提升。

在应用实践方面,本书注重理论联系实际,在对每个关键理论与方法进行阐述后,均附以典型的算例和案例来对理论与方法进行分析与验证,力图使读者能够进一步加深对理论的理解与掌握。

本书可作为普通高等院校智能制造专业方向的核心教材,也可作为相关专业学科的选修教材,还可作为从事相关专业工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

智能物联制造系统与决策/张映锋主编. —北京:机械工业出版社, 2018.9

普通高等教育新工科. 智能制造系列规划教材

ISBN 978-7-111-60655-0

I. ①智… II. ①张… 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(2018)第183376号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余 皞 责任编辑:余 皞 舒 恬 王勇哲

责任校对:张 薇 封面设计:张 静

责任印制:孙 炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14印张·342千字

标准书号:ISBN 978-7-111-60655-0

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com



张映锋教授

- 西北工业大学机电学院副院长、教授、博士生导师
- 教育部新世纪优秀人才、陕西省青年科技新星
- 中国优选法统筹法与经济数学研究会工业工程分会副理事长、中国机械工程学会机械工业自动化分会常务委员
- 研究领域：智能制造系统、信息物理系统、工业大数据



陶飞教授

- 北京航空航天大学自动化学院副院长、教授、博士生导师
- 教育部青年长江学者、国家优秀青年基金、国家“万人计划”青年拔尖人才计划、中国青年科技奖获得者
- 工信部智能制造咨询委员会专家
- 研究领域：智能制造、数字孪生驱动的产品设计/制造/服务、云计算/物联网/大数据在制造中的应用、智能制造服务理论与应用



—— 孙树栋教授 ——

- 西北工业大学机电学院教授、博士生导师
- 陕西省三秦学者、陕西省教学名师
- 研究领域：航空复杂产品研制过程智能化管控、生产调度与优化、智能机器人



—— 周光辉教授 ——

- 西安交通大学机械工程学院副院长、教授、博士生导师
- 中国机械工程学会生产工程分会委员兼秘书
- 教育部新世纪优秀人才
- 研究领域：服务型网络化数字制造、智能制造执行系统、低碳制造系统

前言

制造业是国民经济的物质基础和支柱产业，是衡量国家综合国力和竞争力的重要标志。随着科学技术的飞速发展，制造产品越来越复杂、生命周期越来越短，对制造系统的透明性和灵活性提出了新的需求。传统制造模式和决策方法难以适应动态变化越加明显的现代生产系统，越加需要制造系统能基于实时制造过程信息实现对生产系统的动态优化和控制。近年来，随着物联网技术的迅猛发展和在制造业中的不断渗透，制造过程已由传统的“黑箱”模式向“多维度、透明化泛在感知”的模式发展，这种以主动感知多源制造信息和科学决策方法驱动的智能物联制造技术有力地推动着制造系统向透明化、智能化、绿色化、智慧化的方向全面发展。

在这种背景下，各国制造业只有不断创新制造模式和管理决策方法才能在新一轮全球工业革命中占领先机。如近期德国提出的《工业 4.0》战略规划，其目标是建立一个高度灵活的个性化和数字化的产品与服务的生产模式，实现工业领域新一代革命性技术的研发与创新，“智能工厂”和“智能生产”是工业 4.0 的两大主题。美国提出的《工业互联网》战略的核心内容是对物理设备网络与数据信息分析进行密切结合，通过对制造领域的不同环节植入迥异化的传感器，结合互联网、大数据、云计算等技术，主动感知实时数据，并通过数据和决策模型对生产系统进行精准控制，促进工业的转型升级。《中国制造 2025》也明确要求要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深度融合为主线，以推进智能制造为主攻方向，实现制造业由大变强的历史跨越。

本书以“物物互联，感知制造，动态决策”为导向，聚焦物联制造执行过程的主动感知与动态优化决策的核心问题，展开与其相关的基本理论、共性方法、优化模型和算法的阐述，体现了现有先进制造系统从自动化、数字化向智能化和智慧化发展的趋势，为提升制造执行过程的透明性和对制造过程进行全方位的跟踪、分析、优化和控制提供了较好的基础知识。在本书的编写过程中突出了基础理论和应用实践。在基础理论方面，本书力求清晰阐述智能物联制造系统与动态决策涉及的基础共性问题，包括物联制造系统的体系构架、运作机理、智能决策方法、实时信息驱动的制造系统优化控制策略与模型等，使读者在智能物联制造系统与动态决策的基础理论方面得到提升。在应用实践方面，本书注重理论联系实际，在对每个关键理论与方法进行阐述后，均附以典型的算例和案例来对理论与方法进行分析与验证，力图使读者能够进一步加深对理论的理解与掌握。

本书由张映锋教授任主编，陶飞教授、孙树栋教授、周光辉教授、吕景祥博士任副主编，程颖博士、杨宏安副教授、朱海平教授参与编写。本书章节的详细结构规划、初稿统稿、终稿终审工作由张映锋教授组织完成。本书第 1 章介绍了物联制造系统的研究对象、内

涵、特征以及未来的发展趋势。第2章介绍了智能决策方法的原理,并详细介绍了灰色理论、遗传算法、博弈决策、深度学习和分布式决策方法。第3章阐述了物联制造系统智能控制的需求分析、参考体系构架、工作逻辑和关键技术。第4章针对多源制造信息感知技术展开论述,包括制造系统多源信息源分析、主动感知模型、主动获取技术、传输方法、系统设计与实现。第5章介绍了底层制造资源智能化建模的需求分析、智能导航、智能决策、云端化接入方法以及原型系统。第6章介绍了智能物料精准配送方法,构建了主动配送模型和配送体系,实现了对配送任务的智能决策并设计了原型系统。第7章阐述了物联制造执行系统主动发现与配置方法的体系构架、加工资源制造服务 UDDI、服务主动发现策略与技术,以及系统动态配置方法。第8章针对制造系统性能实时分析与诊断展开论述,包括性能分析的体系构架、生产过程的关键事件、事件建模和实时性能分析。第9章阐述了制造系统运行过程的协同优化方法,包括协同优化体系,多 Agent 系统的通信与交互,设备、物料、任务、实时调度、过程监控各类 Agent,并基于 JADE 的 Agent 平台进行案例仿真。第10章针对制造服务组合优选的问题建模、QoS 管理和智能决策方法展开论述。第11章以汽车和航空航天行业为代表,对典型零部件智能车间进行案例分析。

本书是在中国科协智能制造学会联合体指导下,由中国机械工程学会组织编写的普通高等教育新工科·智能制造系列规划教材之一。中国科协智能制造学会联合体致力于增强我国智能制造技术创新能力、促进我国制造业向中高端迈进。中国机械工程学会是中国科协智能制造学会联合体成员单位和秘书处单位,是我国成立较早、规模最大的工科学会之一,是我国机械行业非常重要的对外交流渠道,承担了行业和政府部门委托的大量合作任务,担负着学术交流、人才培养和对外交流等多项工作。在本书的编写过程中,中国机械工程学会常务副理事长张彦敏对本书高度重视,多次与相关领导协调,为确保本书编写和推广工作的顺利进行提供了重要的支持;中国机械工程学会继续教育处副处长王玲多次精心安排相关领域专家研讨,为编写工作的高效、高质推进和完成付出了巨大的精力;中国机械工程学会综合技术处副处长杨丽在系列教材编写的前期调研和组织协调上,给予了大力支持。同时,本书的出版也得到了机械工业出版社的大力支持和悉心编校。在此,一并表示衷心的感谢。

本书所讲内容作为智能制造的关键技术之一,涉及面广,其相关理论、方法、技术与应用正处于不断发展和丰富中。尽管书中的内容为作者多年来从事智能物联制造系统与决策方法教学与科研工作的总结与体会,但由于水平有限,错误与不足之处在所难免,恳请读者不吝赐教,作者们在此谨表示衷心的感谢。

《智能物联制造系统与决策》主编张映锋和编写组全体成员

目 录

前 言

第 1 章 物联制造系统概述 1

- 1.1 物联制造系统的研究对象 2
- 1.2 物联制造系统的内涵和特征 2
- 1.3 物联制造系统的发展趋势 5
- 习题 6

第 2 章 智能决策方法介绍 7

- 2.1 智能决策方法的原理 8
- 2.2 层次分析法简介 10
- 2.3 灰色理论概述 13
- 2.4 遗传算法概述 16
- 2.5 博弈决策概述 18
- 2.6 深度学习概述 21
- 2.7 分布式决策方法 24
- 习题 28

第 3 章 物联制造系统智能控制体系 构架 29

- 3.1 物联制造系统智能控制的需求分析 30
- 3.2 物联制造系统智能控制参考体系
构架 32
- 3.3 物联制造系统智能控制工作逻辑 33
- 3.4 物联制造系统智能控制的关键技术 34
- 习题 37

第 4 章 多源制造信息感知技术 38

- 4.1 制造系统多源信息源分析 39
- 4.2 制造系统多源信息主动感知模型 42
- 4.3 多源制造信息的主动获取技术与传输
方法 46
- 4.4 多源制造信息主动感知系统的设计与
实现 51
- 习题 53

第 5 章 底层制造资源的智能化建模 54

- 5.1 加工制造资源智能化建模需求分析 55

- 5.2 实时信息驱动的装配活动智能导航
服务的体系构架 56

- 5.3 设备端制造活动智能导航的应用
服务 58

- 5.4 智能决策方法在底层制造资源智能化
建模中的设计与应用 60

- 5.5 基于云计算信息构架的加工资源制造
服务云端化接入方法 63

- 习题 69

第 6 章 智能物料精准配送方法 70

- 6.1 智能物料配送简介 71
- 6.2 以搬运载体为核心的主动配送模型 75

- 6.3 基于物联网的智能搬运载体 79

- 6.4 智能决策方法在物料配送中的
应用 83

- 6.5 原型系统设计与实现 91

- 习题 99

第 7 章 物联制造执行系统自组织优化 配置方法 100

- 7.1 任务驱动的物联制造执行系统主动
发现与配置方法体系构架 101

- 7.2 加工资源制造服务 UDDI 102

- 7.3 制造服务主动发现策略与技术 103

- 7.4 任务驱动的制造执行系统动态配置
方法 105

- 习题 109

第 8 章 制造系统性能实时分析与 诊断 110

- 8.1 物联制造执行系统性能分析的体系
构架 111

- 8.2 物联制造执行过程中的关键事件 114

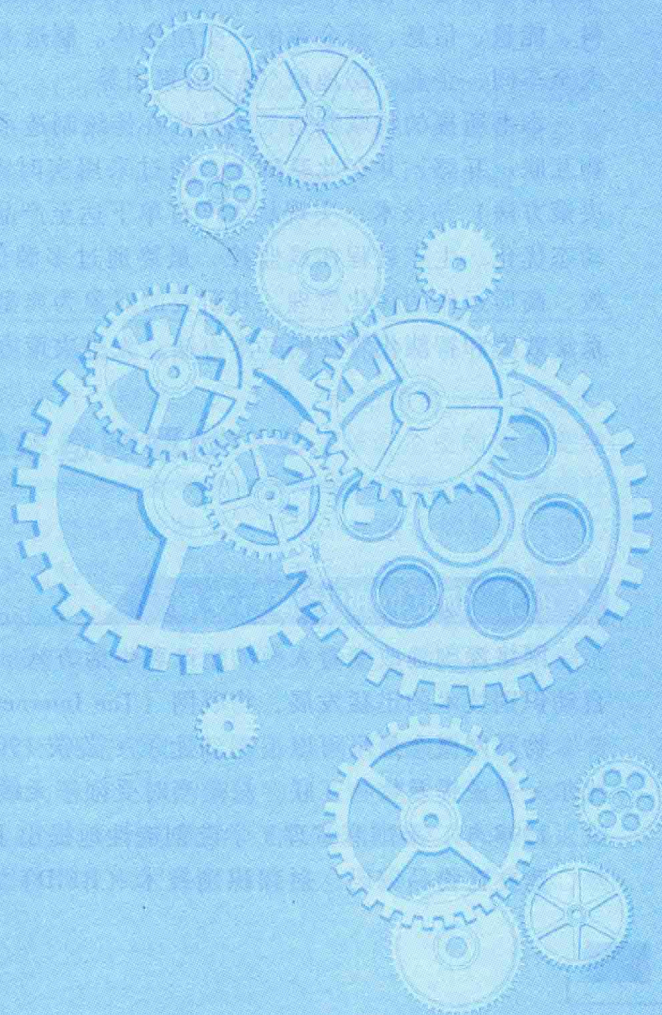
- 8.3 基于分层时间着色 Petri 网的关键
事件建模 118

8.4 基于决策树的生产过程实时性能分析	124
习题	135
第 9 章 制造系统运行过程协同优化方法	136
9.1 基于多 Agent 技术的制造系统运行过程协同优化体系	137
9.2 多 Agent 系统的通信与交互	140
9.3 设备 Agent	144
9.4 任务分配 Agent	145
9.5 实时调度 Agent	147
9.6 运行过程监控 Agent	150
9.7 基于 JADE 的多 Agent 系统	152
9.8 案例仿真设计	154
习题	156

第 10 章 制造服务组合优选智能决策理论与方法	157
10.1 制造服务组合概述	158
10.2 制造服务组合 QoS 评估	162
10.3 制造服务组合优选问题建模	166
10.4 制造服务组合优选智能决策方法	170
习题	182
第 11 章 典型智能制造系统案例分析	183
11.1 汽车行业典型零部件智能车间案例	184
11.2 航空发动机典型零部件智能制造车间案例	196
习题	215
参考文献	216

第1章

物联制造系统概述



知识点

- 1. 了解物联制造系统的研究对象。
- 2. 了解物联制造系统的内涵和特征。
- 3. 了解物联制造系统的发展趋势。

1.1 物联制造系统的研究对象

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。制造（Manufacture）一词源于拉丁语“manu”（用手工）和“facere”（制作），英语词典里定义为“用体力劳动或机械制作某物体”。

系统在哲学中被定义为是由相互联系、相互作用的若干要素构成的具有特定功能的有机整体。著名科学家钱学森认为：系统是由相互作用相互依赖的若干组成部分结合而成的，具有特定功能的有机整体，而且这个有机整体又是它从属的更大系统的组成部分。制造作为一个系统，是指按一定制造模式将制造过程所涉及的各种相互关联、相互依赖、相互作用的有关要素组成的具有将制造资源转变为有用产品这一特定功能的有机整体，是人员、机器、物料、能量、信息、资金等的一个组合体。制造系统是一个相对的概念，小如柔性制造单元，大至车间、企业、跨地域/国家的集团等。

本书所提的物联制造系统是指在传统制造系统中引入物联网技术，形成各类制造资源物物互联、互感，并在此基础上，通过采用实时多源制造信息驱动的优化管理方法（如智能决策方法）与技术，实现从生产订单下达至产品完成整个过程的制造执行过程的主动感知、动态优化、生产过程在线监控，最终通过多源信息的增值和决策技术实现制造执行过程高效、高质运作的优化管理。其研究的对象为典型的制造系统，研究的内容则是有关提升制造系统效率和智能化管控的基本方法、先进决策方法和技术等。

1.2 物联制造系统的内涵和特征

1.2.1 物联网的起源与发展

网络深刻地改变着人类的生产和生活方式。特别是进入 21 世纪以来，随着信息技术与自动识别技术的迅猛发展，物联网（The Internet of Things, IoT）概念与技术应运而生。

物联网概念最早可以追溯到比尔·盖茨 1995 年出版的《未来之路》一书。在此书中，比尔·盖茨提及物物互联，只是当时受限于无线网络、硬件及传感设备的发展，并未引起重视。1998 年，美国麻省理工学院创造性地提出了当时被称作 EPC 系统的物联网构想。1999 年，建立在物品编码、射频识别技术（RFID）和互联网的基础上，美国 Auto-ID 中心首先

提出物联网概念。

2005年11月17日,国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)发布的《ITU Internet reports 2005: The Internet of Things》报告中正式提出了物联网概念。该报告指出,无所不在的“物联网”通信时代即将来临,世界上所有的物体从轮胎到牙刷、从房屋到纸巾都可以通过因特网主动进行交换。射频识别技术、传感器技术、纳米技术、智能嵌入技术将得到更加广泛的应用,并从功能与技术两个角度对物联网的概念进行了解释。物联网一经提出,立即受到各国政府、企业和学术界的重视,在需求和研发的相互推动下得到了迅猛发展,深刻地改变着现有的生产和生活方式。

2009年1月28日,奥巴马就任美国总统后,与美国工商业领袖举行了一次圆桌会议,作为仅有的两名代表之一,IBM首席执行官彭明盛首次提出“智慧地球”这一概念,建议新政府投资新一代的智慧型基础设施。

2009年8月,温家宝总理“感知中国”的讲话把我国物联网领域的研究和应用开发推向了高潮,无锡市率先建立了“感知中国”研究中心,中国科学院、运营商、多所大学在无锡建立了物联网研究院。自温总理提出“感知中国”以来,物联网被正式列为国家五大新兴战略性产业之一,写入“政府工作报告”,物联网在中国受到了全社会极大的关注,其受关注程度是在美国、欧盟以及其他各国不可比拟的。

业内专家纷纷表示,物联网把我们的生活拟人化了,万物成了人的同类。在这个物物相联的世界中,物品(商品)能够彼此进行“交流”,而无需人的干预。物联网利用RFID技术,通过计算机互联网实现物品(商品)的自动识别和信息的互联与共享。可以说,物联网描绘的是充满智能化的世界。在物联网的世界里,物物相连、天罗地网。

欧洲智能系统集成技术平台(EPoSS)在《Internet of Things in 2020》报告中分析预测,未来物联网的发展将经历四个阶段:2010年之前RFID被广泛应用于物流、零售和制药领域,2010—2015年物体互联,2015—2020年物体进入半智能化,2020年之后物体进入全智能化。

1.2.2 物联制造的定义及内涵

物联网在制造行业生产过程中的应用可以极大地提高制造企业的核心竞争力。将信息技术融入到制造过程的各个阶段,如传统的产品设计、制造工艺过程、产品销售与售后服务,使得企业提高了产品质量、生产水平与销售能力,从而极大地提高了制造企业的核心竞争力。随着互联网、云计算、物联网、数据仓库、信息安全等技术的出现和发展,并与制造技术融合,特别是集成协同技术、制造服务技术和智能制造技术,形成了制造业信息化的核心使能技术,推动着以绿色、智能和可持续发展为特征的新一轮产业革命的来临,一种新型的智能制造模式——制造物联(Internet of Manufacturing Things, IoMT)应运而生。制造物联的概念和技术研究还处于萌芽阶段,不同领域的专家学者对制造物联的定义和特征有不同的见解。

中国海洋大学的侯瑞春通过阐述物联网技术研究现状及综合分析制造物联需求与发展背景,指出制造物联是物联技术与先进制造技术的融合,认为制造物联是在制造业服务化和协同化的发展趋势下,面向产品、用户、企业以及企业间实施的一种新型制造模式和信息服务模式,通过运用以RFID和传感网为代表的物联网技术、先进制造技术与现代管理技术,构

建服务于供应链、制造过程、物流配送、售后服务和再制造等产品全生命周期各阶段的基础性、开放性网络系统,形成对制造资源、制造信息和制造活动的全面感知、精准控制以及透明化与可视化管理,实现产品智能与价值的提升,进而形成新型的智慧生态制造模式。制造物联可以满足产业链企业交互管控、快速响应及跨组织协同制造的需求,为云制造提供基础技术支撑,为物联网提供基础性、开放性的设施部署和原位服务。

浙江省机械工业情报研究所赵群认为, IoMT 技术以嵌入式、RFID、商务智能、虚拟仿真与建模等技术为支撑,实现产品智能化、制造过程自动化、经营管理辅助决策等应用。《计算机集成制造系统》的《制造物联与 RFID 技术》专刊中,将其定义为:制造物联是将网络、嵌入式、RFID、传感器等电子信息技术与制造技术相融合,实现对产品制造与服务过程及全生命周期中制造资源与信息资源的动态感知、智能处理与优化控制的一种新型制造模式。

国家“十二五”制造业信息化科技工程规划中明确提出:制造物联技术基于互联网以及嵌入式系统技术、RFID 技术和传感网等,构建现代制造物联网络,以中间件、海量信息融合处理和系统集成技术等为基础,基于物联网络开发服务平台与应用系统,解决产品设计、制造与服务过程中的信息综合感知、可靠传输和智能处理问题,提高产品技术附加值,增强制造与服务过程的管控能力,催生新的现代制造模式。

智能制造领导联盟(Smart Manufacturing Leadership Coalition, SMLC)从工程角度出发,认为智能制造(Smart Manufacturing, SM)是高级智能系统的深入应用,即从原材料采购到成品市场交易等各个环节的广泛应用,为跨企业(公司)和整个供应链的产品、运作、业务系统创建一个知识丰富的环境,以实现新产品的快速制造、产品需求的动态响应及生产制造和供应链网络的实时优化。Davis 等 SMLC 会员进一步指出, SM 是一种新型企业运作模式,是网络化信息技术在制造和供应链企业普适(pervasive)而深入的应用。另外,与 SM 相关的概念还有智能工厂(Smart Factory, SF)、U-制造等。德国斯图加特大学的 Dominik Lucke 认为, SF 是帮助人和机器执行任务的情景感知工厂,在这种情景感知的制造环境下,利用分布信息和通信技术来处理生产的实时扰动,实现生产过程的优化管理。浙江大学机械工程学院教授唐任仲认为, U-制造是将 U-计算技术引入制造系统,以此开展产品研发、采购、生产、销售、使用、维护和回收等一系列活动所形成的制造模式。

与当前已有制造执行系统相比,基于物联技术的制造执行系统的核心目标是通过更精确的过程状态跟踪和更完整的实时数据获取更丰富的信息,并在科学的决策支持下对生产现场进行更科学的管理,它通过分布在物理制造资源中的物联技术和智能,基于多源信息的融合及复杂信息处理与快速决策技术,主动地发现异常,采用实时多源制造数据对生产过程进行全方位的监控与优化。制造资源的物物互联、互感,生产过程的主动感知与监控,多源信息的透明与增值,执行过程的动态优化,管理的智能化等是基于物联技术的制造执行系统的重要特征。

1.2.3 物联制造执行系统的特点

1. 制造过程各制造资源实时状态的全面感知

通过融合信息技术、自动化技术和传感网技术,实现物物互联,对制造企业中需要监控、连接、互动的产品和制造资源的多源信息进行自动采集和全面感知,同时对制造过程中的人、机、料、质量、进度计划、工艺参数、生产环境、工装模具、水电气等制造资源的实

时状态信息进行可靠传输和智能处理。

2. 具有主动感知与智能的底层加工制造资源

传统的制造执行系统,由于缺乏有效的传感设备和通信网络,使得产品制造过程中的一些关键环节及信息难以被及时、准确地反映,状态信息的获取是被动式的。这导致了制造执行系统运作效率低下、工序流程周转不畅、在制品缺乏有效控制、库存积压等问题。融合了物联网技术的底层加工制造资源,能够实时反馈产品、制造资源及自身的状态信息,决策者能把握制造瞬间的动态规律,从而实现数字化高效、高质生产。通过传感器、RFID、全球定位系统等技术,实时采集任何需要监测的物体或过程,实现物与物、物与人的泛在链接,达到对物品和过程的智能化感知、识别、管理及自我决策能力。

3. 制造系统关键性能参数的实时感知

制造系统关键性能参数的感知主要包括实时进度、产品质量及实时制造成本的实时感知。传统流程下,生产数量的统计、生产报表的制作由统计员工手动完成,并递交生产管理人员。这种信息反馈方式延迟严重,导致生产异常情况不能及时处理,效率低下。而物联制造系统通过数据终端自动采集生产数量,实时反映零件、部件及产品的生产进度,计划人员根据这些数据,对现场生产情况及时跟踪处理和调度,保证生产计划按时完成,大大提高了生产效率。当生产过程发生变化时,物联制造系统可通过对人、机、料、环境等资源状态变化的全面实时感知,在数据终端和电子看板上提醒质量检验,对产品的合格数、不良数、工废数及料废数等进行在线统计;对产品的缺陷数量、类型、发生时间、操作员等信息进行追溯查询。

根据物联制造系统的实时监测和消息通知功能,分析造成生产浪费的主要因素。根据作业计划和进度安排,按需配送物料,同时将物料属性和来源与生产指令绑定,以便实时核算产品的电能耗和机物料消耗成本。通过数据终端对设备运行的监控,物料消耗进程被实时核减,并在电子看板上实时显示需求数量、欠料数量和工位上剩余物料的可加工时间。

4. 实时信息驱动的制造过程智能化管控

根据动态获取制造单元和加工现场的实时生产信息,并向制造任务动态调度层及其他企业管理层进行实时传输,以及制造单元上层下达的指令信息,如新任务的加入、交货期更改等,建立制造任务动态调度模型及决策模型,产生满足实际生产需求的调度方案和决策方案,实现对制造过程的自动化、智能化的控制和管理。

1.3 物联制造系统的发展趋势

1.3.1 数字孪生

数字孪生(Digital Twin)是以数字化方式创建物理实体的虚拟模型,借助数据模拟物理实体在现实环境中的行为,通过虚实交互反馈、数据融合分析、决策迭代优化等手段,为物理实体增加或扩展新的能力。作为一种充分利用模型、数据、智能并集成多学科的技术,数字孪生面向产品全生命周期过程,发挥连接物理世界和信息世界的桥梁和纽带作用,提供

更加实时、高效、智能的服务。

数字孪生能够实现多物理量、多尺度、多概率的集成与仿真过程，并利用历史的产品生命周期数据、实时的传感器数据以及物理模型，刻画和反映物理对象的全生命周期。目前数字孪生被广泛应用于产品的设计、制造、健康管理等方面。例如借助设计理论和有限元分析，在产品的设计阶段实施面向设计的数字孪生；在生产阶段构建生产数字孪生，以实现产品操作的可视化和信息的实时共享；在产品运维阶段，通过建立数字孪生模型预测产品的磨损和故障概率等。

1.3.2 制造物联网与工业大数据

制造物联网是通过在制造系统中应用先进的信息和通信技术，如智能传感器、无线射频识别、信息传输等技术，构建制造资源物联网，以形成一种物物互联、智能感知的生产环境。制造物联网能够通过这些先进的信息和通信技术，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程，实现物与物、物与人的泛在链接，达到对物品和过程的智能感知、识别与管理，推动制造系统向全球化、信息化、智能化和绿色化方向发展。

近年来，随着物联网技术的普遍应用，在工业企业的生产和管理过程中产生了海量的数据，包括信息化的数据、物联网的数据、工业和用户跨界的数据、工业和供应商跨界的数据等，这些数据具有多模态、高通量、强关联的特点，被统称为工业大数据。借助 Hadoop、MapReduce 等分布式计算和并行处理方法，企业管理者可以实现对工业大数据的深度挖掘、融合、信息增值等目标，有效解决信息“孤岛”问题，提供实时在线的工业解决方案，以便为工业从自动化到智能化跨越发展提供核心动力。

1.3.3 基于人工智能的制造系统自组织优化与自适应协同

随着硬件、数据分析以及智能算法等技术的日趋成熟，近年来，基于深度学习的人工智能技术得到了突破性发展。通过将人工智能与云计算、大数据分析、无线通信等先进的信息和数据分析技术结合，传统的制造系统可以在构建多 Agent 体、信息物理系统（CPS）、云机器人等基础上，向高度智能、自治的智能制造系统转变，以实现复杂、动态生产活动的自组织优化与自适应协同。

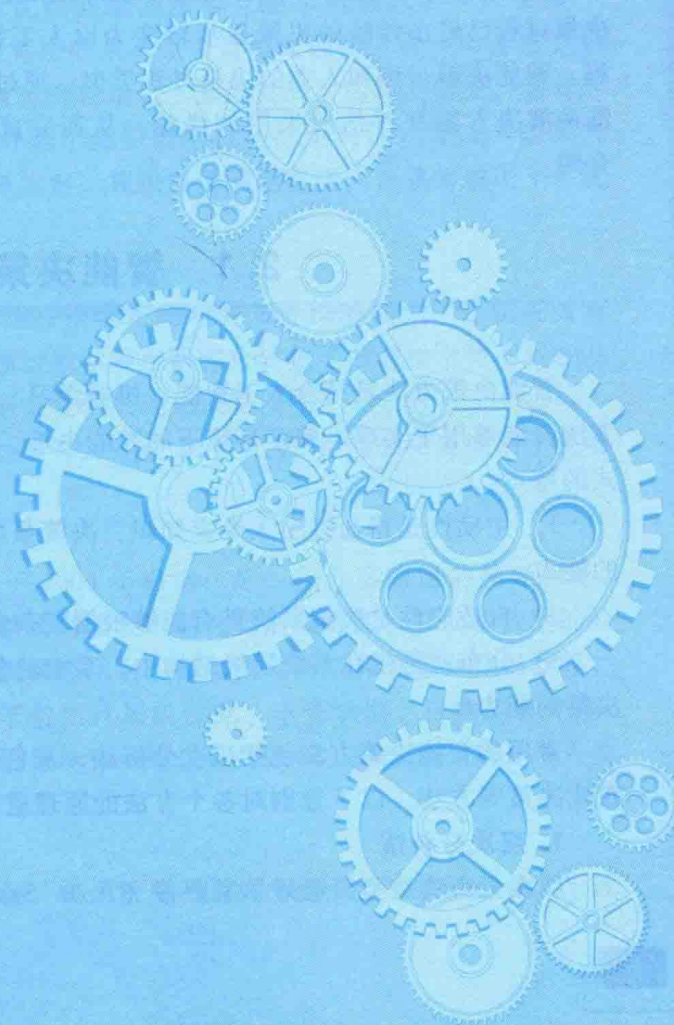
基于人工智能的制造系统，可以适应环境、任务、故障等因素的变化，对生产过程进行实时的调整、重组、分布式管理及优化，以形成能够自治、独立解决问题的智能体。智能体间可以沟通、交互，实现信息共享，在自治基础上协商解决复杂、动态的制造问题，实现协同制造和协同管理。传统制造系统向基于人工智能的自组织优化与自适应协同制造系统的转变，可实现生产过程的高度自治、自主协同与无人化管理，并能够促进生产过程的高效性和可持续性。

习 题

- 1-1 简述物联制造的特点。
- 1-2 简述物联制造系统的发展趋势。
- 1-3 比较说明当前先进制造模式（如网络化制造、云制造、物联制造）的优点和特色。

第2章

智能决策方法介绍



知识点

1. 常用的智能决策方法包括层次分析法、灰色理论、遗传算法、博弈决策、深度学习和分布式决策方法。
2. 层次分析法分为四个步骤：建立层次结构模型、构造判断矩阵、层次单排序及其一致性检验、层次总排序及其一致性检验。
3. 灰色关联分析的一般步骤是：确定评价指标体系、确定参考数据列、指标数据无量纲化、计算绝对差值、计算关联系数以及计算关联度及排序。
4. 遗传算法的基本求解步骤包括：编码并初始化群体，以及群体复制、选择、交叉、变异和适应度评价。遗传算法有适用范围广泛、适合并行计算、趋向全局最优解等优势。
5. 博弈决策包括博弈论、完全信息静态博弈——纳什均衡、完全信息动态博弈——子博弈精炼纳什均衡三方面的内容。
6. 深度学习就是“很多层”的神经网络。深度学习常用的方法包括卷积神经网络、深度信念网络和堆叠自编码器三种。
7. 目标层解法是一种分布式决策方法，应用步骤包括：原始系统问题的层级分解，层级结构中各元素间关键连接识别，目标层解元素的公式化以及各元素的协同并行求解。

随着物联网的应用和信息物理系统的发展，越来越多的信息可以被感知、分析和处理。决策过程已经由传统的决策逐步转变为以人工智能、专家系统等技术为支撑的智能决策过程。智能决策过程和人类的决策过程类似，通过搜集和整理信息、确定和诊断问题、提出可能的解决方案并评估所采用的措施，从而完成决策。本章将对常用的智能决策方法进行介绍。

2.1 智能决策方法的原理

智能决策方法是结合人工智能、机器学习、数据挖掘等方法，采用推理实现决策功能的方法，能够用于实现不确定环境下的智能决策。智能决策方法具有主动性、自适应性和分布式的特点。

- 1) 主动性是指通过引入专家知识，决策系统具有部分人类智能，能够主动地完成决策的能力。
- 2) 自适应性是决策系统具有能够根据复杂多变的环境，动态地调整自身决策的能力。
- 3) 分布式是指在系统层级结构中，系统的各个主体能够互相协商，每个主体具有自主决策的能力。

常用的智能决策方法包括层次分析法、灰色理论、遗传算法、博弈决策、深度学习和分布式决策等方法，以下分别对各个方法的原理进行简要介绍。

1. 层次分析法

层次分析法是美国运筹学家萨蒂 (T. L. Saaty) 等人于 20 世纪 70 年代初提出的一种决