

高等职业教育智能制造系列精品教材  
校企“双元”合作开发新形态教材

# 智能制造概论

主 编 吕栋腾  
副主编 黄 旭 李俊雨  
潘俊兵 赵瑞丰



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

## 内 容 简 介

本书分为智能制造概述、智能制造技术、智能制造管理及应用上中下3篇共14个模块,包括智能制造基础知识、人工智能导论、碳中和倒计时、工业机器人技术、多传感器融合、工业互联网与工业大数据、物联网与射频识别技术、数字孪生、制造执行系统、企业信息管理系统、精益生产、项目管理、人工智能营销和智能制造应用案例。本书详细介绍了智能制造的基本概念、架构体系、关键技术和典型应用,力求使学习者了解和掌握智能制造的基础知识和关键技术。

本书既可作为高职院校智能制造装备技术、机电一体化技术、机械制造与自动化、数控技术、电气自动化技术等专业的教材,也可供相关工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

智能制造概论 / 吕栋腾主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2024. 3  
ISBN 978-7-5635-7209-0

I. ①智… II. ①吕… III. ①智能制造系统—概论 IV. ①TH166

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2024)第 066992 号

策划编辑:朱婉茜 责任编辑:高 宇 封面设计:许胜文

出版发行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路10号

邮政编码:100876

发行部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:三河市骏杰印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:17.5 插页 2

字 数:362 千字

版 次:2024年3月第1版

印 次:2024年3月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-7209-0

定 价:58.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

服务电话:400-615-1233

# 前言

## Preface

近年来,国家政府工作报告和两会文件精神均指出:“促进传统产业改造升级,培育壮大战略性新兴产业,着力补强产业链薄弱环节。”智能制造已经成为数字中国的重要组成部分、世界经济复苏的关键抓手。智能制造领域高质量人才培养不仅成为高等职业教育学科融合的典型代表,更被视作战新产业不断发展的人才供给源头。智能制造日益成为制造业发展的重大趋势和核心内容,承载着带动传统制造业数智化转型升级、建设制造强国的重要使命。

为深入贯彻现代职教体系建设改革重点工作要求,根据高等职业教育智能制造领域高素质技术技能人才培养目标,开发优质新形态教材,助推产业结构升级、突出重点技术领域、兼顾不同发展需求,服务国家战略性新兴产业发展,本书在兼顾学习内容深度和广度的基础上,从知识应用和技能培养实际出发,结合智能制造最新教学实践编写而成。

全书分为智能制造概述、智能制造技术和智能制造管理及应用 3 篇共 14 个模块,包括智能制造基础知识、人工智能导论、碳中和倒计时、工业机器人技术、多传感器融合、工业互联网与工业大数据、物联网与射频识别技术、数字孪生、制造执行系统、企业信息管理系统、精益生产、项目管理、人工智能营销和智能制造应用案例。本书详细介绍了智能制造的基本概念、架构体系、关键技术和典型应用。

本书采用模块化结构设计,各专业可根据需要选取教学内容。各模块均配备了立体化教学资源,读者可扫描二维码观看相关视频;同时各模块均设有扩展阅读版块,通过讲述中国故事,体现中国发展硬实力,实现素质教育与专业教育协同推进。学习者可登录华腾教育网站([www.huatengedu.com.cn](http://www.huatengedu.com.cn))下载精品教学资源包进行自主学习。

本书由陕西国防工业职业技术学院吕栋腾(编写模块 1~9)担任主编,陕西国防工业职业技术学院黄旭(编写模块 10~12)、李俊雨(编写模块 13.1~13.2)、潘俊兵(编写模块 13.3~13.4)、随机数(浙江)智能科技有限公司赵瑞丰(编写模块 14)担任副主编。陕西国防工业职业技术学院孟繁增担任主审并对书中内容做最终校核。



本书在编写过程中参考和引用了相关的资料和文献,并得到了许多工程技术人员和多家科研单位的无私帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中内容难免存在不足之处,敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

# 目录

## Contents

### 上篇 智能制造概述

<b>模块 1 智能制造基础知识</b>	3
学习目标	3
1.1 智能制造的基本理论	3
1.2 智能制造技术的体系、特征与发展趋势	5
1.3 智能制造的关键技术	7
1.4 智能制造系统的架构与智能制造总体模型	9
1.5 企业智能制造的需求	11
习题	15
扩展阅读	15
<b>模块 2 人工智能导论</b>	16
学习目标	16
2.1 人工智能概述	16
2.2 人工智能的发展	19
2.3 人工智能的研究内容	22
2.4 人工智能的应用	24
习题	34
扩展阅读	34
<b>模块 3 碳中和倒计时</b>	36
学习目标	36
3.1 “双碳”目标	36
3.2 重塑发展模式	39
3.3 从信息文明到智慧文明	42
3.4 企业转型进行时	46
习题	52
扩展阅读	52



## 中篇 智能制造技术

<b>模块 4 工业机器人技术</b> .....	55
学习目标 .....	55
4.1 工业机器人的定义、特点与发展 .....	55
4.2 工业机器人的基本组成 .....	62
4.3 工业机器人的技术参数 .....	65
4.4 工业机器人的分类与应用 .....	66
习题 .....	73
扩展阅读 .....	73
<b>模块 5 多传感器融合</b> .....	74
学习目标 .....	74
5.1 多传感器融合概述 .....	74
5.2 智能式传感器 .....	77
5.3 多传感器融合的应用 .....	81
习题 .....	91
扩展阅读 .....	91
<b>模块 6 工业互联网与工业大数据</b> .....	92
学习目标 .....	92
6.1 工业互联网概述 .....	92
6.2 工业互联网技术体系 .....	98
6.3 工业大数据 .....	103
习题 .....	108
扩展阅读 .....	108
<b>模块 7 物联网与射频识别技术</b> .....	109
学习目标 .....	109
7.1 物联网 .....	109
7.2 自动识别技术 .....	113
7.3 RFID 系统的组成、工作流程和分类 .....	119
7.4 RFID 系统的工作原理 .....	123
习题 .....	126
扩展阅读 .....	127
<b>模块 8 数字孪生</b> .....	128
学习目标 .....	128
8.1 数字孪生概述 .....	128
8.2 数字孪生的意义 .....	135



8.3 数字孪生的应用领域 .....	137
8.4 数字孪生在不同阶段的形态 .....	142
8.5 数字孪生应用的关键技术 .....	143
习题 .....	146
扩展阅读 .....	146

## 下篇 智能制造管理及应用

<b>模块 9 制造执行系统</b> .....	149
学习目标 .....	149
9.1 走进数字化工厂 .....	149
9.2 认识 MES .....	153
9.3 MES 的发展趋势 .....	161
9.4 SIMATIC IT 概述 .....	164
习题 .....	170
扩展阅读 .....	170
<b>模块 10 企业信息管理系统</b> .....	171
学习目标 .....	171
10.1 企业资源计划系统 .....	171
10.2 产品生命周期管理 .....	178
10.3 供应链管理 .....	188
10.4 客户关系管理 .....	192
习题 .....	196
扩展阅读 .....	196
<b>模块 11 精益生产</b> .....	197
学习目标 .....	197
11.1 精益生产的基础知识 .....	197
11.2 精益生产的管理工具 .....	204
11.3 精益生产的生产计划管理 .....	213
11.4 精益生产的生产控制 .....	218
习题 .....	223
扩展阅读 .....	223
<b>模块 12 项目管理</b> .....	224
学习目标 .....	224
12.1 项目管理概述 .....	224
12.2 可行性研究 .....	231
12.3 项目质量管理 .....	235

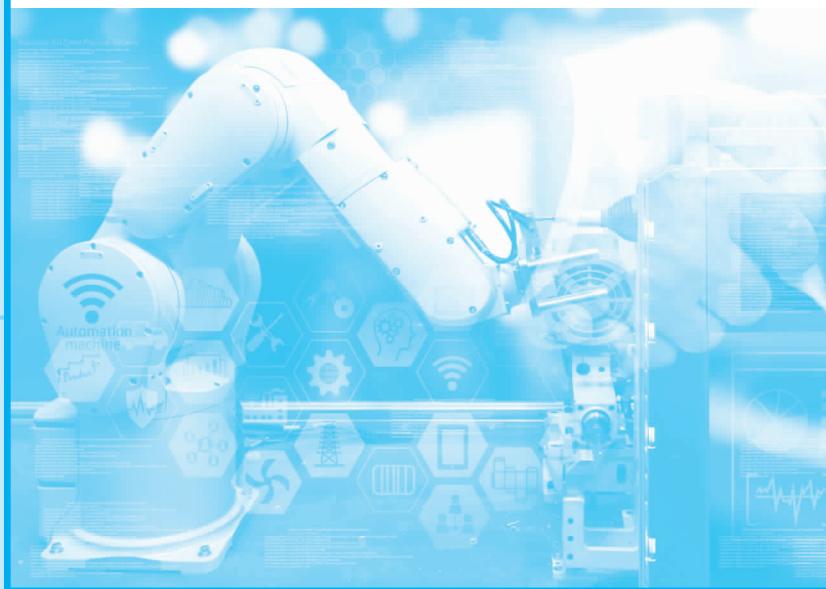


12.4 项目后评价 .....	242
习题 .....	244
扩展阅读 .....	244
<b>模块 13 人工智能营销 .....</b>	<b>245</b>
学习目标 .....	245
13.1 市场与市场营销 .....	245
13.2 市场营销的任务与模式 .....	252
13.3 人工智能营销概述 .....	256
13.4 开启企业营销新时代 .....	259
习题 .....	265
扩展阅读 .....	266
<b>模块 14 智能制造应用案例 .....</b>	<b>267</b>
14.1 比亚迪 5G 智慧工厂 .....	267
14.2 法士特高智新工厂 .....	268
14.3 格力电器长沙数字化工厂 .....	268
14.4 京东方 G8.5 智能制造工厂 .....	269
14.5 新松数字化智能工厂 .....	270
14.6 海尔 COSMOPlat .....	271
<b>参考文献 .....</b>	<b>273</b>



上篇

# 智能制造概述





# 模块 1 智能制造基础知识



## 学习目标

### 知识目标

1. 了解智能制造的基本理论。
2. 了解智能制造技术的体系与特征。
3. 了解智能制造的关键技术。

### 能力目标

1. 能选用合适的技术提高企业生产效益。
2. 能设计简单的智能制造模型。
3. 能制定简单的企业生产线改造方案。



资源 1

制造过程主要涉及生产、采购、设计、工艺、人力资源、企业管理、质量控制、财务管理和存货控制等业务。智能制造是指企业在制造环节通过自动化、精益化、数字化、信息化、柔性化、网络化和可视化实现智能化的过程。在网络化、数字化和信息化制造系统的基础上引入相关的人工智能技术,可使制造系统得到更加柔性、精细和优质的制造能力。本模块将对智能制造基础知识进行简单介绍,主要包括智能制造的基本理论,智能制造技术的体系、特征与发展趋势,智能制造的关键技术,智能制造系统的架构与智能制造总体模型,企业智能制造的需求等。

## 1.1 智能制造的基本理论

实现智能制造的一种形式是智能制造系统(Intelligent Manufacturing System,IMS),它被认为是下一代新型制造系统。在工业自动化时代,IMS通过互联网使用面向服务的架构(Service Oriented Architecture,SOA)为最终用户提供协作的、可定制的、灵活的和可重新配置的服务,从而实现高度集成的人机界面制造系统。人机的高度集成合作是指在一个智能制造系统中建立各种制造要素的生态系统,以使组织、管理和技术实现无缝连接。

### 1.1.1 智能制造的定义及特点

目前,国际和国内都尚且没有关于智能制造的准确定义,但《智能制造发展规划(2016—2020年)》给出了一个比较全面的描述性定义: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。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。推动智能制



造,能够有效缩短产品研制周期、提高生产效率和产品质量、降低运营成本和资源能源消耗,并促进基于互联网的众创、众包、众筹等新业态、新模式的孕育发展。

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,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4个关键环节,同时还包括一些衍生出来的智能制造产品。智能制造需要实现的目标有4个:产品智能化、生产自动化、信息流和物流合一,以及价值链同步。

从智能制造的定义和智能制造要实现的目标来看,传感器技术、测试技术、信息技术、数控技术、数据库技术、数据采集与处理技术、互联网技术、人工智能技术、生产管理等与产品生产全生命周期相关的先进技术均是智能制造的技术内涵。

智能制造的特点体现在以下5个方面。

(1)全面互联。智能源于数据,数据来自互联感知。互联感知是智能制造的第一步,其目的是打破制造流程中物流、信息流和能量流的壁垒,全面获取产品全生命周期活动中产生的各种数据。

(2)数据驱动。产品全生命周期的各种活动都需要数据支持并且会产生大量数据,而在科学决策的支持下,通过对大数据进行处理分析,提升了产品的研发创新、生产过程实时优化、运维服务动态预测等性能。

(3)信息物理融合。信息物理融合是指将采集到的各类数据同步到信息空间,在信息空间中分析、仿真制造过程并做出智能决策,然后将决策结果反馈到物理空间,对制造资源、制造服务进行优化控制,实现制造系统的优化运行。

(4)智能自主。通过将专家知识、人工智能与制造过程集成,实现制造资源智能化和制造服务智能化,使制造系统具有更好的判断能力,能够进行自主决策,从而更好地适应生产状况的变化,提高生产效率和产品质量。

(5)开放共享。分散经营的社会化制造方式正在逐步取代集中经营的传统制造方式,制造服务打破了企业边界,实现了制造资源的社会化开放共享。企业能够以按需使用的方式充分利用外部优质资源进行协同生产,从而满足顾客个性化的需求。

### 1.1.2 智能制造与先进制造的区别与联系

智能制造是以智能技术为指导的先进制造,包括以智能化、网络化、数字化和自动化为特征的先进制造技术的应用,涉及制造过程中的设计、工艺、装备(结构设计和优化、控制、软件、集成)和管理。智能制造的核心是制造,本质是先进制造,基础是数字化,趋势是(人工)智能,灵魂和难点是工艺,载体(外在表现形式)是智能装备,精神表现形式(内在表现形式)是软件。

先进制造并不等同于智能制造,各种用于描述技术变革的术语使先进制造的定义变得十分混乱。“先进制造”这个表述经常被用来代替“智能制造”。智能制造源于人工智能的研究。一般认为智能是知识和智力的总和,前者是智能的基础,后者是指获取和运用知识求解的能力。智能制造技术和智能制造系统不仅能够在实践中不断地充实知识库,具有自学习功能,还具有搜集与理解环境信息和自身信息,并进行分析判断和规划自身行为的能力。从



本质上讲,先进制造包括两个方面的概念:先进产品的制造以及先进的、基于信息通信技术的生产过程。而智能制造则主要指的是后者,智能制造将制造、生产、使用各个环节的信息同制造相结合,它并不是由单一技术和因素组成的。智能制造必须包括产品从设计(包括能量利用以及操作方面的构思)到产品系统运行效率,再到产品应用的智能程度和可持续性整个产品全生命周期中的连续过程的优化。

智能制造是制造业正经历的一次历史性变革,它将重塑全球产业竞争格局,世界上的大部分国家和地区纷纷加紧布局、加快发展智能制造。新一代智能制造是人工智能技术与先进制造技术的深度融合,贯穿于产品设计、制造、服务全生命周期的各个环节及相应系统的优化集成,将不断提高企业的产品质量、效益,提升服务水平,减少资源能耗,是新一轮工业革命的核心驱动力,是今后数十年制造业转型升级的主要路径。

## 1.2 智能制造技术的体系、特征与发展趋势

### 1.2.1 智能制造技术的体系

智能制造技术的体系由复杂的系统组成,其复杂性一方面来自智能机器的计算机理,另一方面则来自智能制造网络的形态。智能制造技术体系的框架如图 1-1 所示,主要由信息物理系统、物联网、服务互联网和智慧工厂等组成。物联网和服务互联网是智慧工厂的信息技术基础,在典型的工厂控制系统和管理系统信息集成的三层架构基础上,充分利用正在迅速发展的物联网技术和服务互联网技术。与制造生产设备和生产线控制、调度、排产等相关的制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)、过程控制系统(Process Control System, PCS),通过信息物理系统(Cyber Physical Systems, CPS)实现,信息物理系统与物联网紧紧相连。与生产计划、物流、能源和经营相关的企业资源计划(Enterprise Resource Planning, ERP)、供应链管理(Supply Chain Management, SCM)、客户关系管理(Customer Relationship Management, CRM),以及与产品设计技术相关的产品生命周期管理(Product Lifecycle Management, PLM)等处在上层,这一层与服务互联网紧密相连。从产品形成和产品全生命周期服务的维度来看,智慧工厂还需要和智慧产品的原材料供应、智慧产品的售后服务等环节构成实时互联互通的信息交换。



图 1-1 智能制造技术体系的框架



### 1.2.2 智能制造技术的特征

#### 1. 无人化制造

工业机器人、机械手臂等智能设备的广泛应用,使工厂无人化制造成为可能。数控加工中心、智能机器人和三坐标测量仪及其他柔性制造单元,让“无人工厂”不再遥不可及。

#### 2. 基于大数据分析的生产决策

在智能制造背景下,信息技术渗透到制造业的各个环节,条形码、二维码、射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)、工业传感器、工业自动控制系统、工业物联网、ERP及CAD(计算机辅助设计)/CAM(计算机辅助制造)/CAE(计算机辅助工程)/CAI(计算机辅助教学)等技术的广泛应用,使得数据日益丰富。这就要求企业顺应制造领域趋势,利用大数据技术,实时纠偏,建立产品虚拟模型,模拟并优化生产流程,从而降低生产成本与能耗。

#### 3. 生产设备网络化

借助物联网,通过各种信息传感设备,可实时采集需要监控、连接、互动物体或过程等的各种信息,实现物与物、物与人,以及所有的物品与网络的连接,以方便识别、管理和控制。

#### 4. 绿色制造

无纸化生产是指构建绿色制造体系、建设绿色工厂,实现生产洁净化、废物资源化和能源低碳化,是我国智能制造的重要战略之一。传统制造业在生产过程中会产生繁多的纸质文件,不仅造成大量的浪费,而且存在查找不便、共享困难、追踪耗时等问题。实现无纸化管理后,工作人员在生产现场即可快速查询、浏览、下载所需要的生产信息,大幅减少纸质文档的人工传递及流转,从而杜绝文件、数据丢失,进一步提高生产准备效率和生产作业效率。

#### 5. 生产过程透明化

通过建设智能工厂,可促进制造工艺的仿真优化、数字化控制、状态信息实时监测和自适应控制,进而实现整个过程的智能管控。在机械、汽车、航空、船舶、轻工、家用电器和电子信息等行业,企业建设智能工厂模式并推进生产设备(生产线)智能化,目的是拓展产品价值空间,通过生产效率和产品效能的提升实现价值增长。

### 1.2.3 智能制造技术的发展趋势

#### 1. 智慧制造

智慧制造旨在通过物联网、人际网、互联网等网络的融合实现对现有制造模式(如云制造、物联制造等)思想与理念的整合、延伸以及拓展,从而形成一种兼容性较高的制造模式,能够最大限度满足智能制造的发展需求。

智慧制造包括开发智能产品、打造智能工厂、践行智能研发和实现智能决策。在智慧制造的关键应用技术中,智能产品与智能服务可以帮助企业实现商业模式创新;智能装备、智能产线、智能车间和智能工厂,可以帮助企业实现生产模式的创新;智能研发、智能管理、智能物流与供应链可以帮助企业实现运营模式的创新;而智能决策则可以帮助企业实现科学决策。

#### 2. 数字孪生

数字孪生思想是由美国密歇根大学的 Michael Grieves 命名的“信息镜像模型”(Information



Mirroring Model)演变而来的。数字孪生也被称为数字双胞胎和数字化映射。数字孪生是指充分利用物理模型、传感器和运行历史等数据,集成多学科、多尺度的仿真过程。它作为实体产品在虚拟空间中的镜像,反映了对应实体产品全生命周期的过程。

随着信息化时代的到来,制造业早已摆脱了传统的物理机械加工制造手段。为了能够加快制造业的资源和服务在信息空间与物理空间的融合,必须充分利用好新一代信息技术,而数字孪生的出现恰好能够完美地解决这一问题,实现智能制造的目标。数字孪生作为产品全生命周期中连接信息空间与物理空间的重要技术,可以为制造业的智能化生产提供新思路和新方法。

### 3. 全生命周期大数据

智能制造产生的数据量呈现爆发式的增长,这对制造企业来说既是机遇亦是挑战。制造企业能够从大量的数据中挖掘出丰富的资料与知识,可以进一步增强企业洞察商机的能力,这有助于促进企业的长效发展,提高产品生产的效率和质量。同时,除了关注产品全生命周期的初期制造和服务设计的创新、优化产品中期的运维服务之外,还要重视产品使用终期的回收决策过程,并且要将产品全生命周期阶段的数据与涉及的知识全面整合。

## 1.3 智能制造的关键技术

### 1. 物联网技术

物联网(Internet of Things, IOT)即“万物相连的互联网”,是在互联网基础上延伸和扩展的网络,通过各种信息传感设备(RFID、红外线感应器、全球定位系统、激光扫描器),按照约定的协议,将各种物体与互联网结合起来,进行信息交换和通信,实现对物体的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

物联网的基本特征可概括为整体感知、可靠传输和智能处理。整体感知是指可以利用RFID、智能传感器等设备来感知、获取物体的各类信息。可靠传输是指通过对互联网、无线网络的融合,将物体的信息实时、准确地传送,以便信息交流、分享。智能处理是指使用各种智能技术,对感知和传送到数据、信息进行分析处理,实现监测与控制的智能化。智能制造系统的运行,需要物联网的统筹细化。物联网通过基于无线传感网络、RFID和传感器的现场数据采集应用,使用无线传感网络对生产现场进行实时监控,将与生产有关的各种数据实时传输给控制中心,控制中心再将数据上传给大数据系统进行云计算。为了有效管理一个跨学科、多企业协同的智能制造系统,物联网是必需用到的。

### 2. 识别技术与实时定位技术

识别技术是智能制造服务系统的一项关键技术,主要包括基于深度三维图像识别技术、RFID技术等。基于深度三维图像识别技术的任务是识别出图像中有什么类型的物体,并给出物体在图像中所反映的位置和方向,是对三维世界的感知和理解。结合人工智能科学、计算机科学和信息科学之后,基于深度三维图像识别技术在智能制造服务系统中成为识别物体几何情况的关键技术。以RFID技术、传感器技术和实时定位技术为核心的实时感知技术已广泛用于制造要素信息的识别、采集、监控与管理。RFID技术是无线通信技术中的一种,通过识别特定目标应用的无线电信号即可读写出相关数据,而不需通过要机械接触或光学接触来识别系统和目标。RFID系统的频率可分为低频、高频和超高频3种,读写器可分



为移动式 and 固定式 2 种。RFID 标签贴附于物体表面,可自动远距离读取、识别无线电信号,可用于快速、准确记录和收集信息。使用 RFID 技术能够简化业务流程,增强企业的综合实力。RFID 技术可以在产品全生命周期中为访问、管理和控制产品数据与信息提供可能。

在生产制造现场,企业要对各类别材料、零件和设备等进行实时跟踪管理,监控生产过程中制品、材料的位置、行踪,包括相关零件和工具的存放等,这就需要建立实时定位管理体系。通常的做法是将有源 RFID 标签贴在跟踪目标上,然后在室内放置 3 个以上的读写器天线,这样就可以方便地对跟踪目标进行定位查询。

### 3. 信息物理系统

信息物理系统是一个综合了计算、网络和物理环境的多维复杂系统,通过计算机技术、通信技术、控制技术(Computing、Communication、Control,3C)的有机融合与深度协作,实现大型工程系统的实时感知、动态控制和信息服务,使生产设备具有计算、通信、精确控制、远程协调和自治 5 大功能,从而实现虚拟网络世界与现实物理世界的融合。信息物理系统可以将资源、信息、物体及人紧密联系在一起,从而创造物联网及相关服务,并将生产工厂转变为一个智能环境。

信息物理系统取代了以往制造业的逻辑。在该系统中,生产设备能计算出哪些服务是自己所需的,在现有生产设备升级后,该生产系统的体系结构就被彻底改变了。这意味着现有工业可通过不断升级信息物理系统得以改造,从而将以往僵化的中央工业控制系统,转变成智能分布式控制系统,并应用传感器精确记录所处环境,通过生产控制中心独立的嵌入式处理器系统做出决策。信息物理系统作为智能制造系统的关键技术,在实时感知条件下实现了动态管理和信息服务。信息物理系统被应用于计算、通信和物理系统的一体化设计中,其在实物中嵌入计算与通信的过程,使智能制造系统增加了实物系统的使用功能。

### 4. 工业大数据

工业大数据是从客户需求到销售、订单、计划、研发、设计、工艺、制造、采购、供应、库存、发货和交付、售后服务、运维、报废或回收再制造等产品全生命周期各个环节所产生的各类数据及相关技术和应用的总称。其以产品数据为核心,极大地延展了传统工业数据的范围。工业大数据是智能制造的关键技术之一,其主要作用是打通物理世界和信息世界,推动生产型制造向服务型制造转型。工业大数据技术是使工业大数据中所蕴含的价值得以挖掘和展现的一系列技术与方法,包括数据规划、采集、预处理、存储、分析挖掘、可视化和智能控制等。工业大数据应用则是对特定的工业大数据集,集成应用工业大数据系列技术与方法,获得有价值信息的过程。

依托工业大数据,通过采集现有工厂设计、工艺、制造、管理、监测和物流等环节的信息,可实现对生产过程的快速、高效及精准的分析决策。将这些数据综合起来,有助于发现问题、查找原因、预测类似问题重复发生的概率,帮助完成安全生产、提升服务水平、改进生产水平和提高产品附加值。除工业大数据外,智能制造还需要高性能计算机系统和相应的网络设施,如云计算。云计算能提供计算资源专家库,通过现场数据采集系统和监控系统,将数据上传至云端进行处理、存储和计算,计算后能够发出云指令,对现场设备进行控制(如控制工业机器人)。

### 5. 传感器技术

智能制造与传感器紧密相关。传感器是支持人们获得信息的重要手段。传感器用得越





多,人们可以掌握的信息就越多。传感器体积很小,可以灵活配置。传感器属于基础零部件的一部分,它是工业的基石、性能的关键,同时也是智能制造发展的瓶颈。传感器的智能化、无线化、微型化和集成化是未来智能制造技术发展的关键之一。

### 6. 人工智能技术

人工智能是研发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的科学。该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统、神经科学等。

### 7. 网络安全系统

数字化对制造业的促进作用得益于计算机网络技术的进步,但同时也给工厂网络埋下了安全隐患。产品设计、制造和服务的整个过程都用数字化资料呈现出来,整个供应链所产生的信息又可以通过网络成为共享信息,这就需要进行信息安全保护。针对网络安全系统可采用 IT 保障技术和相关的安全措施,如设置防火墙、扫描病毒仪,控制访问,设置黑白名单、加密信息等。网络安全系统将信息安全理念应用于工业领域,实现对工厂及产品使用维护环节所涵盖的系统及终端的安全防护。其所涉及的终端设备及系统包括工业以太网、数据采集与监视控制(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)系统、分布式控制系统(Distributed Control System, DCS)、过程控制系统、可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC)、远程监控系统等网络设备及工业控制系统。网络安全系统可确保工业网络及工业系统不被未经授权的人员访问、使用、中断、修改和破坏等,为企业正常生产和产品正常使用提供信息服务。

## 1.4 智能制造系统的架构与智能制造总体模型

### 1.4.1 智能制造系统的架构

智能制造系统是通过生命周期、系统层级和智能功能 3 个维度构建完成的。从系统功能角度,智能制造系统可以看作若干复杂相关子系统的整体集成,包括产品生命周期管理系统、制造执行系统、过程控制系统、企业资源计划及将各子系统无缝衔接起来的信息物理系统等。如图 1-2 所示,智能制造系统的架构可分为 5 层。前面所说的几种子系统贯穿在这 5 层中,可帮助企业实现各个层次的最优管理。

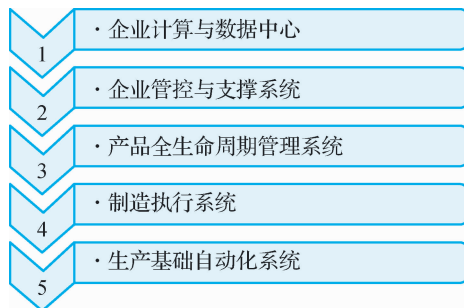


图 1-2 智能制造系统的架构



### 1. 企业计算与数据中心层

该层包括网络、数据中心设备、数据存储和管理系统、应用软件等,提供企业实现智能制造所需的计算资源、数据服务及具体的应用功能,并具备可视化的应用界面。企业为识别用户需求而建设的各类平台,包括面向用户的电子商务平台、产品研发设计平台、制造执行系统运行平台、服务平台等,都需要以该层为基础,才能实现各类应用软件的有序交互工作,从而实现全体子系统信息共享。

### 2. 企业管控与支撑系统层

该层包括不同的子系统功能模块,典型的子系统有战略管理、投资管理、财务管理、人力资源管理、资产管理、物资管理、销售管理、健康安全与环保管理等。

### 3. 产品生命周期管理系统层

这一层主要分为研发设计、生产和服务三个环节。研发设计环节主要包括产品设计、工艺仿真和生产仿真。应用仿真模拟生产现场设备可形成效果反馈,促使产品改进设计。在研发设计环节产生的数字化产品原型是生产环节的输入要素之一;生产环节涵盖了生产基础自动化系统层与制造执行系统层的内容;服务环节主要通过网络进行实时监测、远程诊断和远程维护,并对监测数据进行大数据分析,完成与服务有关的决策、指导、诊断和维护工作。

### 4. 制造执行系统层

该层包括不同的子系统功能模块(计算机软件模块),典型的子系统有制造数据管理系统、计划排程管理系统、生产调度管理系统、库存管理系统、质量管理系统、人力资源管理系统、设备管理系统、工具工装管理系统、采购管理系统、成本管理系统、生产看板管理系统、生产过程控制系统、底层数据集成分析系统和上层数据集成分解系统等。

### 5. 生产基础自动化系统层

该层主要包括生产现场设备及其控制系统。其中生产现场设备主要包括传感器、智能仪表、可编程控制器、机器人、机床、检测设备、物流设备等。控制系统主要包括适用于流程制造的过程控制系统、适用于离散制造的单元控制系统和适用于运动控制的数据采集与监控系统。

## 1.4.2 智能制造总体模型

在了解了智能制造的系统架构和各个系统层的作用后,就可以清晰地描绘出智能制造的总体模型。智能制造总体模型分为以下4个部分,如图1-3所示。

第一部分是本质贯标的两化融合管理体系为基础,进行智能制造模型构建,此部分需要参照两化融合管理体系的贯标、评定等政策。

第二部分为智能制造基础模型部分,通过把传统管理技术进行智能升级,使之工具化,形成智能管理,贯穿整个制造过程;通过智能技术将设备设施自动化、智能化,与信息技术、设备管理技术、新管理技术集成和融合后,使之具有自我感知、自主分析、自主推理、自主诊断、自主决策和控制功能;基于业务需求建立适应智能制造的基础网络设施。

第三部分为应用模型部分,建立基于动作分析和生产工艺的生产管理模型,即由集成设备、控制、操作建立智能工序,通过工序和运载集成建立智能生产线,智能生产线通过工艺集成形成智能车间,再由智能车间和执行层系统的融合构建智能工厂;建立以物料清单(Bill of Material, BOM)和流程管理为核心的运营管理模型;建立基于工业大数据分析的决策管理



模型;建立基于智能产品、智能服务的商业管理模型。

第四部分是信息安全。信息安全是智能制造的重要部分,企业须参照 ISO 27001 信息安全管理体系标准,制定自身的信息安全体系,用以规范企业员工行为,这是各种信息技术实施的有效保证。从企业层面统筹安排软硬件系统,保证信息安全体系协同工作高效、有序地进行;通过信息安全管理体系实施,不仅对安全事故及时采取有效措施,更重要的是通过过程管理预防和避免更多的信息安全事件,避免因信息安全造成经济损失。

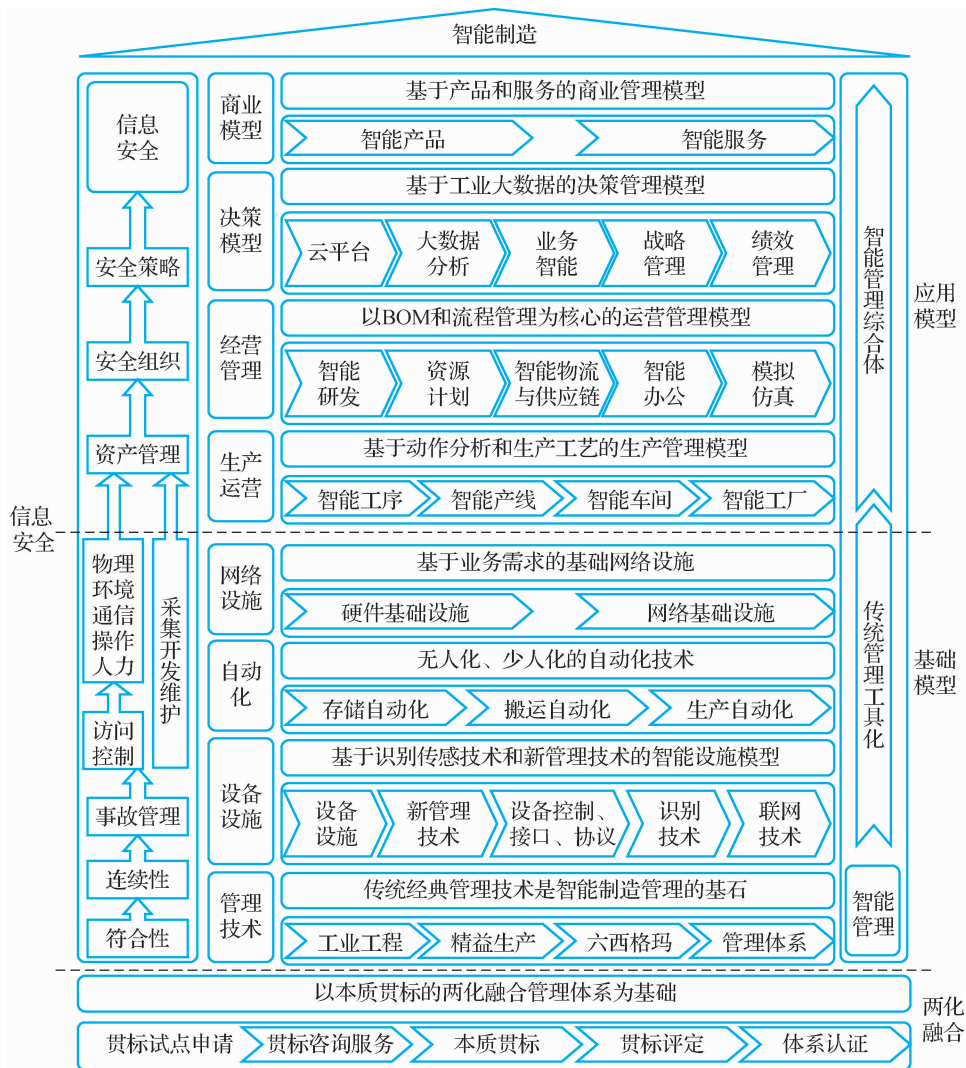


图 1-3 智能制造的总体模型

## 1.5 企业智能制造的需求

当前,我国制造企业面临向中高端转型的压力,如人力资源成本压力增加、企业运营绩效不高、利润率低、高污染、高能耗、缺乏有效的业务管理和数据管理体系、无法快速应对市



场变化、创新能力不足、自动化设备及生产线缺乏柔性、产品质量和可靠性不高、上下游企业之间缺乏协作、信息不透明等。同时,制造企业产能过剩、竞争激烈、低成本竞争策略已经走到了尽头。制造企业遭遇这些困境的根本原因是其在质量、成本、效率、效益等关键竞争力要素上失去了优势,因此迫切需要通过产业变革来彻底改变这种局面。随着客户个性化需求的日益增长,新一代信息技术、物联网、协作机器人、增材制造、大数据、人工智能、移动互联网、预测性维护、机器视觉等新兴技术迅速兴起,为制造企业推进智能工厂建设提供了良好的技术支撑。通过智能制造来革命性改变企业目前遇到的困境,从根本上提升企业关键竞争力要素是我国制造企业的现实需求。

### 1.5.1 企业的国际化需求

中国制造企业的“国际化”之路刚刚开始,许多产业的集中度相对较低,加之全球竞争格局并没有完全定型,中国企业面临的局面更加严峻。中国制造企业的国际化需求体现在以下几点。

(1)质量控制的国际化水平需求。中国制造企业的产品难以进入国际市场上的主流通路。国外发达国家的市场经过多年的发展、演变,产业呈现出集中度高、结构稳定的特征。中国企业的产品要进入国际市场,必须在质量控制体系上真正与国际接轨,满足国外用户验厂要求,用数字化、网络化、可视化等技术保证产品的质量性能。

(2)技术标准话语权的需求。中国企业在很多产业领域没有掌握技术标准。技术标准与部分市场准入条款相关联,不遵从者难以进入国外市场,它也使国外用户产生了依赖和惯性。同时,以技术标准为基础,行业已形成了内部关联的产业生态,不遵从者难以整合国际供应链资源。不掌握技术标准的中国企业在国际市场上所处的竞争地位是不言而喻的。在这一轮全球智能制造大潮中,中国企业必须实现“弯道超车”,更多地参与相关标准的制定。

(3)资源利用效率的需求。中国出口的初级产品占比较大,产品附加值不高,且消耗大量资源。我国的石油、铁矿石等重要资源供不应求,需大量进口以弥补国内供应的缺口。国际企业及资本完全可以利用这一短期无法改变的态势,通过供应链上的多个因素制约、削减中国产品的国际竞争力。因此,通过智能制造提高资源利用效率,增加产品附加值,降低制造成本,是中国制造企业获得国际竞争力的根本需求。

(4)国际化人才培养的需求。长期以来的过度低价竞争,导致我国制造企业在人才引进、使用、培养上缺乏投入,况且有些企业并不具备兼容并包的企业文化和管理基础。而造成这类问题的根本原因在于中国制造企业自身管理基础的薄弱和能力的欠缺。智能制造为培养国际化的制造领域人才提供了机会和条件。

### 1.5.2 企业精益管理的需求

管理水平是企业资源发挥作用的基础,然而,我国智能制造企业在市场、生产和服务等前端部门仍然存在以下几个问题。

(1)客户信息管理。很多客户信息、线索信息都藏在销售人员的“口袋”里,销售人员离职后这类信息便无从查证。通过各种渠道购买产品的客户数量多、类型复杂,管理部门希望获知每个产品的购买客户、使用客户、产品使用状态、再次购买需求等信息。

(2)销售过程管理。企业缺乏一套销售管理体系,不能统一管理各个渠道从线索到订单



的销售管理体系;企业管理者难以控制销售人员的客户拜访,销售拜访计划、执行过程,成果评估缺乏闭环管理,销售费用难以控制。

(3)服务管理。产品销售合同重产品、轻服务,忽略服务交付管理过程,客户体验差,货款难收回;不能实时监控设备运行状态,无法做到设备故障发生前提前预警,而通常故障发生后的维修成本较高;客户故障请求直接到制造商,售后服务、维修、退换货处理请求无法及时传达至各级经销、代理渠道。

(4)产品管理。产品更新快,品类和型号多而复杂,前端营销人员需及时熟悉新产品,而新产品详细信息在后端设计或制造部门,前后端信息难以协同。

(5)订单管理。为满足客户定制化需求,销售人员需要与技术、采购、商务等专业人员协同销售,稍有疏忽就容易造成订单的产品方案或商务报价问题;企业管理者期望有完善的对商机立项、报价、投标、合同签署的评审体系,旨在预测合同,控制合同收入;销售人员负责合同签署和回款,订单生产和交付过程不透明,销售人员不仅难以快速答复客户交付进度,也难以制订回款计划以及准备应急方案。

(6)采购和库存。缺乏及时可信的销售订单预测数据,采购和库存管理人员难以根据客户需求制订适合的采购或安全库存计划,容易贻误合同交付;销售和服务人员需要及时了解产品库存状况,以期避免响应客户需求不及时、贻误商机或订单延期等状况。

(7)产销协同管理。企业管理者关注能支持订单快速交付的产销协同管理模式,即合同签署或合同变更后能快速制订跨部门的生产交付计划,旨在控制成本,保障合同利润;生产资源计划管理精细度影响成本控制。

显而易见,企业要解决这些问题,就必须从精益管理、信息化、数字化、网络化等方面系统地实施智能制造。

### 1.5.3 企业智能工厂建设的需求

我国制造企业在推进智能工厂建设方面存在诸多问题与误区,具体体现在以下几个方面。

(1)盲目购买自动化设备和自动化生产线。很多制造企业认为智能工厂就是推进自动化和机器人化,盲目追求“黑灯工厂”,推进单工位的机器人改造,推行“机器换人”,购买只能加工或装配单一产品的刚性自动化生产线,或只注重购买高端数控设备,但没有配备相应的软件系统。

(2)尚未实现设备数据的自动采集和车间联网。企业在购买设备时没有要求开放数据接口,大部分设备还不能自动采集数据,没有实现车间联网。目前,各大自动化厂商都有自己的工业总线和通信协议,OPC UA(OPC 统一架构)标准的应用还不普及。

(3)工厂运营层还是“黑箱”。企业在工厂运营方面缺乏信息系统支撑,车间仍然是一个“黑箱”,生产过程难以实现全程追溯,与生产管理息息相关的制造物料清单数据、工时数据也不准确。

(4)设备利用率不高。设备没有得到充分利用,设备的健康状态未进行有效管理,设备故障常常造成非计划性停机,影响生产。

(5)依然存在大量信息化孤岛和自动化孤岛。智能工厂建设涉及智能装备、自动化控制、传感器、工业软件等领域的供应商,集成难度很大。很多企业不仅存在诸多信息化孤岛,



还存在很多自动化孤岛,自动化生产线没有进行统一规划,生产线之间还需要中转库转运。

造成这类问题的原因是智能制造和智能工厂涵盖领域多,系统极为复杂,企业对其缺乏深刻理解。企业要根据自身的产品和生产工艺,做好需求分析和整体规划,结合企业内部的IT、自动化和精益团队,在此基础上稳妥推进,取得实效。

### 1.5.4 企业智能制造实施的需求

现阶段,制造企业迫切需要通过实现智能制造,以增强企业综合竞争力水平。

#### 1. 企业智能制造的实施内容

(1)车间、工厂的总体设计,工艺流程及布局需建立数字化模型,并进行模拟仿真,实现规划、生产、运营全流程数字化管理。

(2)应用数字化三维设计与工艺技术进行产品、工艺设计与仿真,并通过物理检测与试验进行验证与优化。建立产品数据管理(Product Data Management, PDM)系统,实现产品设计、工艺数据的集成管理。

(3)制造装备数控化率超过70%,同时实现高档数控机床与工业机器人、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备等关键技术装备之间的信息互联互通与集成。

(4)建立生产过程数据采集和分析系统,实现生产进度、现场操作、质量检验、设备状态、物料传送等生产现场数据自动上传,并实现可视化管理。

(5)建立车间MES,实现计划、调度、质量、设备、生产、能效等管理功能。建立ERP系统,实现供应链、物流、成本等企业经营管理功能。

(6)建立工厂内部通信网络架构,实现设计、工艺、制造、检验、物流等制造过程各环节之间,以及制造过程与MES、ERP系统的信息互联互通。

(7)建立工业信息安全管理和技术防护体系,具备网络防护、应急响应等信息安全保障能力。建立功能安全保护系统,采用全生命周期方法有效避免系统失效。

#### 2. 企业智能制造的实施要点

(1)实施智能制造的组织,前期任务是组建一个知识资源开发小组。该小组由不同层次知识的智慧型专业人员组成,这个小组的使命是实施本企业的知识生产。知识生产的目的是知识分配,而知识分配的目的是供不同层次的决策人员加以应用。

(2)知识应用的主要情境,即反复性情境、变更性情境、交叉性情境、异步性情境。

(3)离散制造企业智能制造的实施原则:需在两化融合或数字化车间技术基础上,自主开发新的、更深层次的关键技术——智能制造技术,建立起自我纠偏、自我完善的“智力组织”,形成基于知识的制造智能。智能制造的实现是逐步的,直到覆盖整个生产过程。

#### 3. 改善企业智能制造需求的方法

(1)引入智能识别技术,辨识并汇集出新的实体数据,以此消除因交叉作业而引起的产品质量退化。

(2)在数字化车间既有基础上设置分析推进系统,形成自底向上的闭环反馈系统,实现流程工业过程那样的实时感知,精准调控。

(3)引入机器学习技术,提取交叉性知识和关联性规则,促进不同专业人员向多专业自适应方向发展,创新技术协同机制。



(4)提高生产过程管控机制的时空分辨率。在数字化车间大规模网络化集成应用环境下,仅凭个人的智慧,如果没有细致的物流测量和设备监测,只能做出大概的、宽时间分辨率的判断,难以应对复杂、多变的局面。



## 习 题

1. 简述智能制造的定义。
2. 智能制造的特点主要体现在哪些方面?
3. 简述智能制造与先进制造的区别与联系。
4. 智能制造技术体系主要由哪几部分组成?
5. 简述智能制造的发展趋势。
6. 智能制造总体模型包括哪几部分?
7. 简述企业智能制造的需求。
8. 谈谈身边智能制造和智能工厂的例子。



## 扩 展 阅 读

### 赶 超 之 路

在引进、消化、吸收的基础上,在实现赶超的征程中,中国的装备企业默默坚守,勇往直前。

中车唐山机车车辆有限公司制造了中国第一台蒸汽机车。如今的中车唐山机车车辆有限公司已经能够接受西门子发来的订单,制造难度更大的宽体客车。中车唐山机车车辆有限公司制造的 CRH3 动车组的各项技术参数均达到世界一流的先进水平,创造了运营速度、载容量、节能环保、舒适度四个“世界第一”。

北京第一机床厂已成为数控铣床的领跑企业。通过并购德国科堡公司,它极大缩短了技术创新的时间,并以“独门绝活”保持世界领先的技术创新地位。

沪东中华集团早在多年前就已经把目光锁定在造船业公认的三颗“明珠”之一的液化天然气船,登上造船极端制造赶超的顶峰。而沪东人当时对液化天然气船的制造技术完全不了解,是一份图纸给沪东中华集团带来了机会,获得机会的沪东人抱着决胜信念研发出了液化天然气船,摘下了世界造船业“皇冠顶上的明珠”。

# 模块2 人工智能导论



## 学习目标

### 知识目标

1. 了解人工智能的起源、定义及其发展历史。
2. 了解人工智能的主要应用领域。
3. 了解专家系统、智能机器人及机器学习。

### 能力目标

1. 能正确理解什么是人工智能。
2. 能对人工智能系统进行简单分析。
3. 能进行简单的智能控制系统设计。



资源 2

人工智能主要研究用人工的方法和技术,模仿、延伸和扩展人的智能,实现机器智能。人工智能的长期目标是实现达到人类智力水平的机器智能。自 1956 年诞生以来,人工智能取得了许多令人兴奋的成果,在很多领域得到了广泛的应用。本模块将对人工智能进行简单介绍,主要包括其发展历史、研究内容以及主要应用领域。

## 2.1 人工智能概述

人工智能是极具挑战性的领域。伴随着大数据、类脑计算和深度学习等技术的发展,人工智能的浪潮又一次掀起。目前,搜索引擎、智能硬件、机器人和无人机等领域发展突破的关键环节都与人工智能有关。

1956 年,四位年轻学者(麦卡锡、明斯基、罗彻斯特和香农)共同发起和组织召开了用机器模拟人类智能的夏季专题讨论会。会议邀请了包括数学、神经生理学、精神病学、心理学、信息论和计算机科学领域的 10 名学者参加,为期两个月。此次会议在美国新罕布什尔州的达特茅斯召开,因而也称为达特茅斯夏季讨论会。

会议上,科学家运用数理逻辑和计算机的成果,提供关于形式化计算和处理的理论,模拟人类某些智能行为的基本方法和技术,构造具有一定智能的人工系统,让计算机去完成需要人的智力才能胜任的工作。其中,明斯基的神经网络模拟器、麦卡锡的搜索法、西蒙和纽厄尔的“逻辑理论家”成为讨论会的三个亮点。

会议上,麦卡锡提议用人工智能作为这一交叉学科的名称,将其定义为制造智能机器的科学与工程,这标志着人工智能学科的诞生。半个多世纪以来,人们从不同的角度、不同的层面给出人工智能的定义。下面介绍四种人工智能的定义方法。





### 2.1.1 类人行为方法

库兹韦勒提出,人工智能是一种创建机器的技艺,这种机器能够执行需要人的智能才能完成的工作。它与图灵测试的观点吻合,属于类人行为方法。1950年,图灵提出图灵测试,并将“计算”定义为:应用形式规则,对未加解释的符号进行操作。

图2-1为图灵测试示意图,将一个人A与一台机器置于一间房间中,使其与另外一个人B和机器分隔开来,并把A称为询问者。询问者不能直接见到房间中的任何一方,也不能与他们说话,因此他不知道到底哪一个实体是机器,只可以通过一个类似终端的文本设备与他们联系。让询问者仅根据通过机器提问收到的答案辨别出哪个是机器,哪个是人。如果询问者不能区别出机器和人,那么根据图灵测试的理论,就可以认为这台机器是智能的。



图2-1 图灵测试

图灵测试具有直观上的吸引力,成为许多现代人工智能系统评价的基础。如果一个系统已经有可能在某个专业领域实现了智能,那么就可以通过把它对一系列给定问题的反应与人类专家的反应相比较来对其进行评估。

当然,图灵测试引发了很多争议,其中最著名的是塞尔的“中文屋论证”。塞尔设想自己被锁在一间屋子里,并得到大批的中文文本,塞尔本人对中文一窍不通,既不会写也不会说,甚至不能将中文文本与日文中的汉字、平假名或片假名一样的图形相区别。这时他又得到了与这个中文文本相联系的英文规则书,由于塞尔的母语是英文,所以他认为自己可以轻易地理解并把握这本规则书。

接下来,塞尔接收到屋外传来的英文指令和中文问题,指令教他怎样将规则书与中文文本联系起来以得到答案。当塞尔对规则书和脚本足够熟悉时,就可以熟练地输出中文答案。一般人也难以区分塞尔与母语讲中文的人,但是事实上,塞尔认为整个过程中他根本不懂也不理解中文,只是执行规则书上的“程序”,虽然自己成功通过了图灵测试,但并不具有理解中文的能力。基于这一点,塞尔认为即使机器通过了图灵测试,也不一定说明机器就真的像人一样有思维和意识。

### 2.1.2 类人思维方法

1978年,贝尔曼提出,人工智能是那些与人的思维、决策、问题求解和学习等有关活动的自动化。他对人工智能的定义采用的是认知模型的方法——关于人类思维工作原理可检测的理论。为确定人类思维的内部是怎样工作的,可以采用以下两种方法:通过内省或者通过心理学实验。一旦有了关于人类思维足够精确的理论,就可能通过计算机程序实现这种理论。如果该程序的输入/输出和实时行为与人的行为相一致,就证明该程序是按照人类思



维模式运行的。例如,纽厄尔和西蒙开发的“通用问题求解器”。他们并不满足于仅让程序能够正确地求解问题,而是更关心程序的推理步骤与人对同一个问题的求解步骤的比较。他们把来自人工智能的计算机模型与来自心理学的实验技术相结合,试图创立一种精确而且可检验的人类思维工作方式理论。

20世纪50年代末,研究人员在对神经元的模拟中提出了用一种符号来标记另一些符号的存储结构模型,这是早期的记忆块概念。20世纪80年代初,纽厄尔认为,通过获取任务环境中关于模型问题的知识可以改进系统的性能,记忆块可以作为对人类行为进行模拟的模型基础。通过观察问题求解过程,获取经验记忆块,用其代替各个子目标中的复杂过程,可以明显提高系统求解问题的速度,由此奠定了经验学习的基础。1987年,纽厄尔、莱尔德和罗森布鲁姆提出了一个通用解题结构 SOAR,并希望该解题结构能实现各种弱方法。SOAR 是“State, Operator and Result”的缩写,即“状态、算子和结果”之意,它意味着实现弱方法的基本原理是不断地用算子作用于状态,以得到新的结果。SOAR 是一种理论认知模型,它既从心理学角度对人类认知建模,又从知识工程角度提出一个通用解题结构。SOAR 的学习机制是根据专家的外部指导来学习一般的搜索控制知识。外部指导可以是直接劝告,也可以是给出一个直观的简单问题。系统把外部指导给定的高水平信息转化为内部表示,并学习搜索记忆块。

### 2.1.3 理性思维方法

1985年,查尼艾克和麦克德莫特提出人工智能是用计算模型研究智力能力的。这是一种理性思维方法。一个系统如果能够在它所知范围内正确行事,它就是理性的。古希腊哲学家亚里士多德是首先试图严格定义“正确思维”的人之一,他将其定义为“不能辩驳的推理过程”。他的三段论方法给出了一种推理模式,即当已知前提正确时总能产生正确的结论。例如,专家系统是推理系统,所有的推理系统都是智能系统,所以专家系统是智能系统。这些思维法则被认为支配着心智活动,人们基于对它们的研究创立了“逻辑学”研究领域。

19世纪后期至20世纪早期发展起来的形式逻辑给出了描述事物的语句以及事物之间关系的精确的符号。到了1965年,原则上已经有程序可以求解任何用逻辑符号描述的可解问题。在人工智能领域中,传统上所谓的逻辑主义希望通过编制逻辑程序来创建智能系统。

这种逻辑方法有两个主要问题。其一,把非形式的知识用形式的逻辑符号表示是不容易做到的,特别是当这些知识不是100%确定的时候。其二,“原则上”可以解决一个问题与实际解决问题之间有很大的不同,如对仅有几十条事实的问题进行求解,如果不根据一定的外部指导来选择合适的推理步骤,可能会耗尽计算机资源。

### 2.1.4 理性行为方法

尼尔森认为人工智能关心的是人工制品中的智能行为。这种人工制品主要指能够动作的智能体。行为上的理性指的是已知某些信念,执行某些动作以达到某个目标。智能体可以看作可以进行感知和执行动作的某个系统。在这种方法中,人工智能可以认为就是研究和建造理性智能体。

理性思维方法所强调的是正确的推理。做出正确的推理有时被作为理性行为的一部



分,因为判断理性行为的一种方法是能否逻辑地推出结论。另外,正确的推理并不是理性行为的全部,因为在有些情境下,往往没有某个行为一定是正确的,而其他的是错误的。

当知识是完全的,并且资源是无限的时候,就是所谓的理性思维。当知识是不完全的,或者资源有限时,就是理性行为。理性思维和理性行为常常能够根据已知的信息(知识、时间和资源等)做出最合适的决策。

## 2.2 人工智能的发展

很久以前,人类对智能机器就有了研究。东汉时期,张衡发明的指南车是世界上最早的机器人雏形。三国时期,蜀国丞相诸葛亮发明了一种交通运输工具——木牛流马。亚里士多德的《工具论》为形式逻辑奠定了基础。布尔创立的逻辑代数系统用符号语言描述了思维活动中推理的基本法则,被后世称为“布尔代数”。这些理论基础对人工智能的创立发挥了重要作用。

人工智能的发展可大致分为孕育期、形成期、低潮期、基于知识的系统、神经网络的复兴和智能体的兴起。

### 2.2.1 孕育期

1956年以前可称为人工智能的孕育期,这一时期的主要成就是数理逻辑、自动机理论、控制论、信息论、神经计算和电子计算机等学科的建立和发展,这为人工智能的诞生奠定了理论和物质的基础。这一时期的主要贡献如下。

(1)1936年,图灵创立了理想计算机模型的自动机理论,提出了以离散量的递归函数作为智能描述的数学基础,给出了基于行为主义的测试机器是否具有智能的标准,即图灵测试。

(2)1943年,心理学家麦克洛奇和数理逻辑学家皮兹建立了第一个神经网络的数学模型。这个模型现在一般称为M-P神经网络模型。他们总结了神经元的一些基本生理特性,提出神经元形式化的数学描述和网络的结构方法,从此开创了神经计算的时代。

(3)1945年,冯·诺依曼提出存储程序概念,其1946年研制成功的第一台通用计算机ENIAC,为人工智能的诞生奠定了物质基础。

(4)1948年,香农发表了《通信的数学理论》,标志着一门新学科——信息论的诞生。他认为人的心理活动可以用信息的形式来研究,并提出了描述心理活动的数学模型。

(5)1948年,维纳创立了控制论。它是一门研究和模拟自动控制的生物和人工系统的学科,标志着人们根据心理学和行为科学进行计算机模拟研究和分析的基础已经形成。

### 2.2.2 形成期

人工智能的形成期大约为1956年至1969年。这一时期的主要成就包括1956年在美国达特茅斯召开的为期两个月的学术研讨会,会上提出了“人工智能”这一术语,标志着这门学科的正式诞生;此外还包括在定理机器证明、问题求解、表处理语言、模式识别等关键领域的重大突破。这一时期的主要贡献包括以下几点。



(1)1956年,纽厄尔和西蒙研制了“逻辑理论家”,利用它来模拟人们用数理逻辑证明定理时的思维规律。该程序证明了怀特海和罗素合著《数学原理》一书中第二章中的38条定理,后来经过改进,该程序又于1963年证明了第二章中的52条定理。这一工作受到人们的高度评价,该程序被认为是计算机模拟人的高级思维活动的一个重大成果,是人工智能的真正开端。

(2)1956年,塞缪尔研制了跳棋程序,该程序具有学习功能,能够根据棋谱学习,也能在实践中总结经验,提高棋艺。该程序在1959年打败了塞缪尔本人,又在1962年打败了美国的一个跳棋冠军。这是模拟人类学习过程的一次卓有成效的探索,是人工智能的一个重大突破。

(3)1958年,麦卡锡提出表处理语言(List Processing Language,LSP),它不仅可以处理数据,而且可以方便地处理符号,成为人工智能程序设计语言的重要里程碑。目前,LSP仍然是人工智能系统重要的程序设计语言和开发工具。

(4)1960年,纽厄尔、西蒙等研制了通用问题求解器,它是对人们求解问题时的思维活动的总结。他们发现人们求解问题时的思维活动包括三个步骤:①制订出大致的计划;②根据记忆中的公理、定理和解题计划,按计划实施解题过程;③在实施解题过程中不断进行方法和目的的分析,修正计划。他们首次提出了启发式搜索的概念。

(5)1965年,罗宾逊提出的归结法被认为是一个重大的突破,也为定理证明的研究带来了又一次高潮。

(6)1968年,斯坦福大学的费根鲍姆等成功研制了化学分析专家系统DENDRAL,该系统被认为是专家系统的萌芽,是人工智能研究从一般思维探讨到专门知识应用的一次成功尝试。

该系统的知识表示采用了奎林提出的特殊的结构——语义网络。明斯基在1968年从信息处理的角度对语义网络的使用做出了很大的贡献。

此外还有很多其他的成就,如1956年乔姆斯基提出的文法体系等。正是这些成就,使人们对这一领域寄予了过高的希望。1958年,西蒙预言:“不出10年,计算机将会成为国际象棋的世界冠军。”但是一直到了1998年这一预言才成为现实。

20世纪60年代,美国麻省理工学院一位教授提到:“在今年夏天,我们将开发出电子眼。”然而,直到现在,仍然没有通用的计算机视觉系统可以很好理解动态变化的场景。20世纪70年代,很多人相信大量的机器人很快就会从工厂进入家庭。但直到现在,服务机器人人才开始进入家庭。

### 2.2.3 低潮期

人工智能快速发展一段时期后,遇到了很多困难,遭受了很多挫折。例如,罗宾逊的归结法的归结能力是有限的,在证明两个连续函数之和还是连续函数时,人们利用它推导了十万步还没有推出来。

人们曾以为只要用一部字典和某些语法知识就可以很快地解决自然语言之间的互译问题,结果发现并不那么简单,甚至闹出许多笑话。例如,英文句子“The spirit is willing but the flesh is weak”(心有余而力不足),先译成俄语再译成英语后竟成了“The wine is good but the meat is spoiled”(酒是好的,肉变质了)。这里遇到的是单词的多义性问题。人类能翻译好这些句子,而机器为什么不能呢?二者的差别在哪里呢?主要原因在于,人类在翻译



之前首先要理解这个句子,但机器不能,它只是靠快速检索、排列词序等一套办法进行翻译,并不能“理解”这个句子,所以出错在所难免。1966年,美国国家研究委员会的一份报告指出:“还不存在通用的科学文本机器翻译,也没有很近的实现前景。”

罗森布拉特于1957年提出了感知器的概念,它是一个具有一层神经元、采用阈值激活函数的前向网络。通过对网络权值的训练,可以实现对输入矢量的分类。感知器收敛定理使罗森布拉特的工作取得圆满的成功。20世纪60年代,感知器好像可以做任何事。1969年,明斯基和佩珀特利用数学理论证明了单层感知器的局限性,引起全世界范围削减神经网络和人工智能的研究经费,使得人工智能走向低谷。

#### 2.2.4 基于知识的系统

1968年,斯坦福大学的费根鲍姆等研制出DENDRAL系统。1972年至1976年,费根鲍姆又成功开发出医疗专家系统MYCIN。此后许多著名的专家系统相继研发成功,其中较具代表性的有探矿专家系统PROSPECTOR、青光眼诊断治疗专家系统CASNET、钻井数据分析专家系统ELAS等。20世纪80年代,专家系统的开发趋于商品化,创造了巨大的经济效益。

1977年,费根鲍姆在第五届国际人工智能联合会议上提出知识工程的新概念。他认为:“知识工程是人工智能的原理和方法,为那些需要专家知识才能解决的应用难题提供求解的手段。知识工程是一门以知识为研究对象的学科,它将具体智能系统研究中那些共同的基本问题抽取出来,作为知识工程的核心内容,使之成为指导具体研制各类智能系统的一般方法和基本工具。”

知识工程的兴起,确立了知识处理在人工智能学科中的核心地位,使人工智能摆脱了纯学术研究的困境,同时使人工智能的研究从理论转向应用,从基于推理的模型转向知识的模型,使人工智能的研究走向实用。

为了适应人工智能和知识工程发展的需要,日本在1981年宣布了第五代电子计算机的研制计划。其研制的计算机的主要特征是具有智能接口、知识库管理和自动解决问题的能力,并在其他方面具有人的智能行为。由于这一计划的提出,形成了一股热潮,促使世界上重要的国家都开始制订对新一代智能计算机的开发和研制计划,人工智能进入一个基于知识的兴旺时期。

#### 2.2.5 神经网络的复兴

1982年,美国加州工学院物理学家霍普菲尔德使用统计力学的方法来分析网络的存储和优化特性,提出了离散的神经网络模型,从而有力地推动了神经网络的研究。1984年,霍普菲尔德又提出了连续神经网络模型。

神经网络复兴的真正推动力是反向传播算法的重新研究。该算法最早由布莱森于1969年提出。1986年,鲁梅尔哈特和麦克莱伦德等提出并行分布处理(Parallel Distributed Processing, PDP)的理论,致力于对认知的微观结构的探索,其中多层网络的误差传播学习法,即反向传播算法广为流传,引起人们极大的兴趣。世界上许多国家掀起了神经网络研究的热潮。从1985年开始,专门讨论神经网络的学术会议规模逐步扩大。1987年,第一届神经网络国际会议在美国召开。同年,国际神经网络学会(INNS)成立。



### 2.2.6 智能体的兴起

20世纪90年代,随着计算机网络、计算机通信等技术的发展,关于智能体的研究成为人工智能的热点。1993年,肖哈姆提出面向智能体的程序设计。1995年,罗素和诺维格出版了《人工智能》一书,提出“将人工智能定义为对从环境中接收感知信息并执行行动的智能体的研究”。斯坦福大学计算机科学系的海斯·罗斯在1995年人工智能联合会议的特约报告中谈道:“智能体既是人工智能最初的目标,也是人工智能最终的目标。”

在人工智能研究中,智能体概念的回归并不仅仅是因为人们认识到应该把人工智能各个领域的研究成果集成为一个具有智能行为概念的“人”,更重要的是因为人们认识到人类智能的本质是一种社会性的智能。要对社会性的智能进行研究,构成社会基本构件的“人”的对应物“智能体”理所当然地成为人工智能研究的基本对象,而社会的对应物“多智能体系统”也成为人工智能研究的基本对象。

我国的人工智能研究起步较晚。智能模拟纳入国家计划的研究始于1978年。1984年,智能计算机及其系统的全国学术讨论会召开。1986年,智能计算机系统、智能机器人和智能信息处理(含模式识别)等重大项目被列入国家高技术研究863计划。1997年,智能信息处理、智能控制等项目被列入国家重大基础研究973计划。进入21世纪后,在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中,“脑科学与认知科学”已列入八大前沿科学问题之一。信息技术将继续向高性能、低成本、普适计算和智能化等主要方向发展,寻求新的计算与处理方式和物理实现是未来信息技术领域面临的重大挑战。

从1981年起,我国相继成立了中国人工智能学会、全国高校人工智能研究会、中国计算机学会人工智能与模式识别专业委员会、中国自动化学会模式识别与机器智能专业委员会、中国软件行业协会人工智能协会、中国智能机器人专业委员会、中国计算机视觉与智能控制专业委员会以及中国智能自动化专业委员会等学术团体。1989年,我国首次召开了中国人工智能联合会议。1987年创刊《模式识别与人工智能》杂志。2006年创刊《智能系统学报》和《智能技术学报》杂志。2011年创刊 *International Journal of Intelligence Science* 国际刊物。

中国的科技工作者已在人工智能领域取得了具有国际领先水平的创造性成果。其中尤以吴文俊院士关于几何定理证明的“吴氏方法”最为突出,其在国际上产生重大影响。吴文俊院士也因此荣获2001年国家科学技术最高奖励。现在,我国已有数以万计的科技工作者从事不同层次的人工智能研究与学习。人工智能研究已在我国深入开展,它必将为促进其他学科的发展和我国的现代化建设做出新的重大贡献。

## 2.3 人工智能的研究内容

一方面,人工智能是一门新兴的学科,是自然科学和社会科学的交叉学科,它吸取了自然科学和社会科学的最新成果,以智能为核心,形成了具有自身研究特点的新的体系。人工智能的研究涉及广泛的领域,包括知识表示、搜索技术、机器翻译、求解数据和知识不确定性问题等各种方法等。人工智能的应用领域包括专家系统、博弈、定理证明、自然语言理解、图像理解和机器人等。另一方面,人工智能也是一门综合性的学科,它是在控制论、信息论和



系统论的基础上诞生的,涉及哲学、心理学、认知科学、计算机科学、数学以及各种工程学方法,这些学科为人工智能的研究提供了丰富的知识和研究方法。图 2-2 所示为人工智能相关学科和应用的示意图。

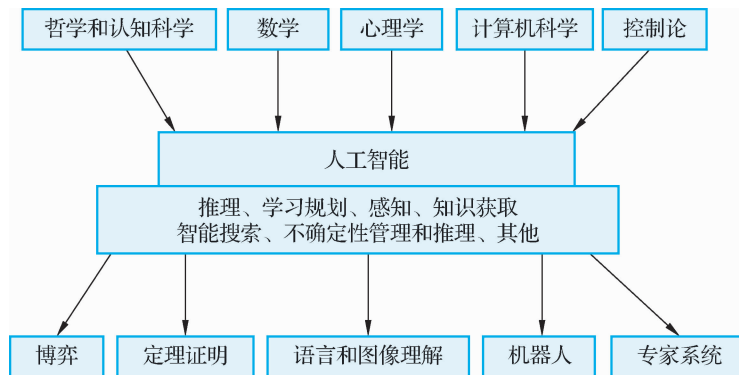


图 2-2 人工智能的相关学科和应用

随着人工智能技术的发展,现如今几乎各种技术的发展都涉及人工智能,人工智能已经渗透到许多领域,其研究内容主要包括以下几个方面。

(1)符号计算。计算机最主要的用途之一就是科学计算。科学计算可分为两类:一类是纯数值的计算,通常是对函数、公式的求值;另一类是符号计算,也称代数运算,这种运算是对符号进行运算,并且符号既可以代表整数、有理数、实数和复数,也可以代表多项式、函数、集合等。

(2)模式识别。模式识别就是通过计算机对数据样本进行特征提取,并用数学方法来研究模式的自动处理和判读。这里常说的模式是指文字、语音、生物特征、数字水印等环境与客体的结合体。

(3)机器翻译。机器翻译是通过计算机把一种自然语言转换成另一种自然语言的过程,用以完成这一过程的软件系统称为机器翻译系统。机器翻译是计算语言学(Computational Linguistics)的一个分支,涉及计算机、认知科学、语言学、信息论等学科,是人工智能的终极目标之一,具有重要的科学研究价值。

(4)机器学习。机器学习是机器具有智能的重要标志,同时也是机器获取知识的根本途径。机器学习是一个难度较大的研究领域,它与认知科学、神经心理学、逻辑学等学科都有着密切的联系,并对人工智能的其他分支,如专家系统、自然语言理解、自动推理、智能机器人、计算机视觉、计算机听觉等方面也起到重要的推动作用。

(5)逻辑推理与定理证明。逻辑推理是人工智能研究中最持久的领域之一,其中特别重要的是要找到一些方法,只把注意力集中在一个大型数据库中的有关事实上,留意可信的证明,并在出现新信息时适时修正这些证明。

(6)自然语言处理。自然语言的处理是人工智能技术应用于实际领域的典型范例,经过研究学者的多年艰苦努力,这一领域已获得了大量令人瞩目的成果。目前该领域的主要课题是:计算机系统如何以主题和对话情境为基础,注重大量的常识——世界知识和期望作用,生成和理解自然语言。

(7)分布式人工智能。分布式人工智能在 20 世纪 70 年代后期出现,是人工智能研究的



一个重要分支。分布式人工智能系统一般由多个智能体(Agent)组成,每一个 Agent 又是一个半自治系统,Agent 之间以及 Agent 与环境之间进行并发活动,并通过交互来完成问题求解。

(8)计算机视觉。计算机视觉主要研究的是使计算机具有通过二维图像认知三维环境信息的能力,这种能力不仅包括对三维环境中物体形状、位置、姿态、运动等几何信息的感知,而且还包括对这些信息的描述、存储、识别与理解。

(9)专家系统。专家系统是目目前人工智能中最活跃、最有成效的一个研究领域之一,它是一种具有特定领域内大量知识与经验的程序系统。人类专家因其丰富的知识,能够高效、快速地解决相应领域的众多问题,基于这一事实,让计算机程序学习并灵活运用这些知识,不仅能解决人类专家可以解决的问题,而且能帮助人类专家发现推理过程中出现的差错。

## 2.4 人工智能的应用

当前,绝大多数领域在共享着人工智能领域所提供的理论和技术。这里介绍一些人工智能经典的、有代表性和有重要影响的应用领域。

### 2.4.1 专家系统

#### 1. 专家系统概述

专家系统(Expert System)是一类具有专门知识和经验的计算机智能程序系统,通过对专家求解问题能力建模,采用人工智能中的知识表示和知识推理技术来模拟专家解决复杂问题的思维,达到具有与专家同等解决问题能力的水平。这种基于知识的系统设计方法是以知识库和推理机为中心而展开的,即专家系统=知识库+推理机。

专家系统把知识从系统中与其他部分分离开来。专家系统强调的是知识而不是方法,很多问题没有基于算法的解决方案,或算法方案太复杂,采用专家系统可以利用人类专家拥有的丰富知识,因此专家系统也称为基于知识的系统(Knowledge-based System)。一般来说,一个专家系统具备以下 3 个要素。

- (1)存储有某个应用领域的专家级知识。
- (2)能模拟专家的思维。
- (3)能达到专家级的解题水平。

建造一个专家系统的过程可以称为“知识工程”,它把软件的思想应用于设计基于知识的系统。知识工程包括以下几个方面。

- (1)从专家那里获取系统所需的知识(即知识获取)。
- (2)选择合适的知识表示形式(即知识表示)。
- (3)进行软件设计。
- (4)以合适的计算机编程语言实现。

20 世纪 80 年代以来,在知识工程的推动下,涌现出了不少专家系统开发工具,如 EMYCIN、CLIPS(OPS5、OPS83)、G2、KEE、OKPS 等。专家系统与传统计算机程序的主要区别如表 2-1 所示。





表 2-1 专家系统与传统计算机程序的主要区别

列 项	传统计算机程序	专家系统	列 项	传统计算机程序	专家系统
处理对象	数字	符号	系统修改	难	易
处理方法	算法	启发式	信息类型	确定性	不确定性
处理方式	批量处理	交互式	处理结果	最优解	可接受解
系统结构	数据和控制集成	知识和控制分离	适用范围	无限制	封闭世界假设

## 2. 专家系统的特点

专家系统使用某个领域的实际专家经常使用的领域知识来求解问题,通常适用于完成那些没有公认的理论和方法、数据不精确或信息不完整、人类专家短缺或专门知识十分昂贵的诊断、解释、监控、预测、规划和设计等任务。一般专家系统具有以下特点。

(1)启发性。专家系统能够运用专家的知识 and 经验进行推理、判断与决策,利用启发式信息找到问题求解的捷径。

(2)透明性。专家系统能够解释本身的推理过程,并回答用户提出的问题,使用户能够理解其推理过程,提高用户对系统的信赖感和结果的可靠性。

(3)灵活性。一般专家系统的体系结构采用知识库与推理机相分离的构造原则,它们彼此既有联系,又相互独立。当对知识库增、删、修改或更新时,灵活方便,并且对推理机不会造成很大的影响。

(4)交互性。专家系统一般采用交互方式进行人机通信,这种交互性既有利于系统从专家那里获取知识,又便于用户在求解问题时输入条件或事实。

(5)实用性。专家系统是根据具体应用领域的问题开发的,针对性强,具有非常好的实用性。

(6)易推广。专家系统使人类专家的领域知识突破了时间和空间的限制,专家系统的知识库可以永久保存,并可复制任意多的副本或者在网上供不同地区或不同部门的人使用,从而使专家的知识和技能更易于推广和传播。

## 3. 专家系统的基本结构

专家系统的基本结构如图 2-3 所示,其中箭头方向为信息流动的方向。专家系统通常由人机交互界面、知识库、推理机、解释器、综合数据库和知识获取 6 个部分构成。

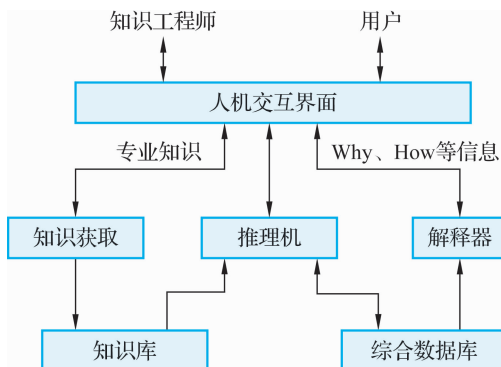


图 2-3 专家系统的基本结构



知识库是问题求解所需要的领域知识的集合,包括基本事实、规则和其他有关信息。知识的表示形式可以是多种多样的,包括框架、规则和语义网络等。知识库中的知识源于领域专家,是决定专家系统能力的关键,即知识库中知识的质量和数量决定着专家系统的质量水平。知识库是专家系统的核心组成部分,一般来说,专家系统中的知识库与专家系统程序是相互独立的,用户可以通过改变、完善知识库中的知识内容来提高专家系统的性能。

推理机是实施问题求解的核心执行机构,它实际上是对知识进行解释的程序,根据知识的语义对按一定策略找到的知识进行解释执行,并把结果记录到综合数据库的适当空间中。推理机的程序与知识库的具体内容无关,即推理机和知识库是分离的,这是专家系统的重要特征。这一设计的优点是对知识库的修改无须改动推理机,但是纯粹的形式推理会降低问题求解的效率。将推理机和知识库相结合也不失为一种可选方法。

知识获取环节负责建立、修改和扩充知识库,是专家系统中把问题求解的各种专门知识从人类专家的头脑中或其他知识源那里转换到知识库中的一个重要机构。知识获取可以是手工的,也可以采用半自动知识获取方法或自动知识获取方法。

人机交互界面是系统与用户进行交流时的界面。通过该界面,用户输入基本信息、回答系统提出的相关问题。系统输出推理结果及相关的解释也是通过人机交互界面。

综合数据库也称为动态库或工作存储器,是反映当前问题求解状态的集合,用于存放系统运行过程中所产生的所有信息,以及所需要的原始数据,包括用户输入的信息、推理的中间结果和推理过程的记录等。综合数据库中由各种事实、命题和关系组成的状态,既是推理机选用知识的依据,也是解释器获得推理路径的来源。

解释器用于对求解过程做出说明,并回答用户的提问,其中两个最基本的问题是“Why”和“How”。解释器涉及程序的透明性,它让用户理解程序正在做什么和为什么这样做,向用户提供了一个关于系统的认识窗口。在很多情况下,解释器是非常重要的。为了回答“为什么”得到某个结论的询问,系统通常需要反向跟踪动态库中保存的推理路径,并把它翻译成用户能接受的自然语言表达方式。

### 2.4.2 数据挖掘

数据挖掘是人工智能领域中一个令人激动的成功应用,它能够满足人们从大量数据中挖掘出隐含的、未知的、有潜在价值的信息和知识的要求。而要实现这些目标,就需要有大量的原始数据、明确的挖掘目标、相应的领域知识、友善的人机界面,以及合适的开发方法。数据挖掘结果供数据拥有者决策使用,必须得到数据拥有者的支持、认可。

数据挖掘在市场营销、银行、制造业、保险业、计算机安全、医药、交通和电信等领域已经有许多成功案例。具有代表性的数据挖掘工具或平台有美国 SAS 公司的 SAS Enterprise Miner、IBM 公司的 Intelligent Miner、Solution 公司的 Clementine、加拿大 Cognos 公司的 Scenario、美国大数据公司的 Palantir 以及中国科学院计算技术研究所智能信息处理重点实验室开发的大数据挖掘云引擎 CBDME 等。

### 2.4.3 自然语言处理

自然语言处理研究计算机通过人类熟悉的自然语言与用户进行听、说、读、写等交流技术,是一门与语言学、计算机科学、数学、心理学和声学等学科相联系的交叉性学科。自然语



言处理研究内容主要包括:语言计算(语音与音位、词法、句法、语义和语用等各个层面上的计算)、语言资源建设(计算词汇学、术语学、电子词典、语料库和知识本体等)、机器翻译或机器辅助翻译、汉语和少数民族语言文字输入输出及其智能处理、中文手写和印刷体识别、中文语音识别及文语转换、信息检索、信息抽取与过滤、文本分类、中文搜索引擎和以自然语言为枢纽的多媒体检索等。

中文信息处理(包括对汉语以及少数民族语言的信息处理)在我国信息领域科学技术进步与产业发展中占有特殊位置,推动着我国信息科技与产业的发展。例如,王选的汉字激光照排(两次获得国家科学技术进步奖一等奖)、联想式汉卡(获国家科学技术进步奖一等奖)、刘迎建的汉王汉字输入系统(获国家科学技术进步奖一等奖)、陈肇雄的机器翻译系统(获国家科学技术进步奖一等奖)、丁晓青的清华文通汉字 OCR 系统(获国家科学技术进步奖二等奖)等。这些体现着鲜明的自主创新精神的成果,既是我国中文信息处理事业发展历程的见证,同时也将为该学科未来的继续蓬勃发展提供宝贵的精神财富。

当今已经进入以互联网为主要标志的海量信息时代,一个与此相关的严峻事实是数字信息有效利用已成为制约信息技术发展的一个全局性瓶颈问题。自然语言处理无可避免地成为信息科学技术中长期发展的一个新的战略制高点。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》指出,我国将促进“以图像和自然语言理解为基础的‘以人为中心’的信息技术发展,推动多领域的创新”。

#### 2.4.4 智能机器人

机器人是一种自动化的机器,具有相当发达的“大脑”,具备一些与人或其他生物相似的智能能力,如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力,是一种具有高度灵活性的自动化机器。随着人们对机器人技术智能化本质认识的加深,机器人技术开始向人类活动的各个领域渗透。结合这些领域的应用特点,人们发展了各式各样的具有感知、决策、行动和交互能力的特种机器人和智能机器人,如移动机器人、微机器人、水下机器人、医疗机器人、军用机器人、空间机器人和娱乐机器人等。机器人已被广泛应用于生产生活的许多领域,按其拥有智能的水平可以分为3个层次。

(1)工业机器人。它只能死板地按照人们规定的程序工作,不管外界条件有何变化,它都不能对程序也就是对所做的工作做相应的调整。如果要改变机器人所做的工作,必须由人对程序做相应的改变,因此它是毫无智能的。

(2)初级智能机器人。它和工业机器人不一样,具有类似人一样的感觉、识别、推理和判断能力,可以根据外界条件的变化在一定范围内自行修改程序,能适应外界条件变化并自己做相应调整。不过,修改程序的原则由人预先设定。这种初级智能机器人已拥有一定的智能,虽然还没有自动规划能力,但这种初级智能机器人也开始走向成熟,达到实用水平。

(3)高级智能机器人。它和初级智能机器人一样,具有感觉、识别、推理和判断能力,同样可以根据外界条件的变化,在一定范围内自行修改程序。不同的是,高级智能机器人修改程序的原则不是由人规定的,而是机器人自己通过学习,总结经验获得的。所以它的智能高出初级智能机器人。这种机器人已拥有一定的自动规划能力,能够自己安排工作,不需要人的照看而完全独立地工作,故又称为高级自律机器人。目前这种机器人也开始走向实用。



从广义上理解所谓的智能机器人,它给人最深刻的印象是一个独特地进行自我控制的“活物”。其实,这个自控“活物”的主要“器官”并不像真正的人那样微妙而复杂。智能机器人具备许多内部信息传感器和外部信息传感器,如视觉、听觉、触觉和嗅觉传感器。除具有传感器外,它还有效应器,或称为自整步电动机,效应器作为机器人作用于周围环境的手段,控制机器人各种部件的运动。

智能机器人之所以智能,是因为它有相当发达的“大脑”。在它“大脑”中起作用的是中央计算机,这种计算机与操作它的人有直接的联系。最重要的是,这种计算机可以完成按目的安排的动作。正因为这样,我们才说这种机器人是真正的智能机器人,尽管它们的外表可能有所不同。智能机器人能够理解人类语言,用人类语言同操作者对话,在它自身的“意识”中单独形成了一种使它得以“生存”的外界环境——实际情况的详尽模式。它能分析出现的情况,能调整自己的动作以达到操作者所提出的全部要求,能拟定操作者所希望的动作并在信息不充分的情况下或者环境迅速变化的条件下完成这些动作,具有自适应的能力。

### 2.4.5 模式识别

模式识别(Pattern Recognition)是指对表征事物或现象的各种形式的信息进行处理和分析,以便对事物或现象进行描述、辨认、分类和解释的过程。模式是信息赖以存在和传递的形式,如波谱信号、图形、文字、物体的形状、行为的方式和过程的状态等。人们通过模式感知外部世界的各种事物或现象,模式是人们获取知识、形成概念和做出反应的基础。

早期的模式识别研究强调仿真人脑形成概念和识别模式的心理和生理过程。20世纪50年代,罗森布拉特提出的感知器就是一个模式识别系统,同时也是研究人脑的数学模型。但随着实际应用的需要和计算技术的发展,模式识别研究更多采用不同于生物控制论、生理学和心理学等方法的数学技术方法。1957年,周绍康首先提出用决策理论方法对模式进行识别。1962年,纳拉西曼提出模式识别的句法方法,此后美籍华人学者傅京孙深入开展了这方面的研究,并于1974年出版了第一本专著《模式识别的句法方法》。现代发展的各种模式识别方法基本可以归纳为决策理论方法和结构方法两大类。

随着信息技术应用的普及,模式识别呈现多样性和多元化趋势,可以在不同的概念粒度上进行,其中生物特征识别技术,如指纹(掌纹)识别、人脸识别、虹膜识别和行为姿态识别成为模式识别研究的热点。通过小波变换、模糊聚类、遗传算法、贝叶斯理论、支持向量机等方法进行图像分割、特征提取、分类、聚类和模式匹配,生物特征识别成为确保经济安全、社会安全的重要工具。

### 2.4.6 分布式人工智能

分布式人工智能(Distributed Artificial Intelligence)研究一组分布的、松散耦合的智能体如何运用知识、技能和信息,来实现各自或全局目标的协同工作。20世纪90年代以来,互联网的迅速发展为新的信息系统、决策系统和知识系统的发展提供了极好的条件,使它们在规模、范围和复杂程度上发展极快,分布式人工智能技术的开发与应用是这些系统研发成功的关键。

分布式人工智能的研究可以追溯到20世纪70年代末。早期分布式人工智能的研究主



要是分布式问题求解,其目标是创建大粒度的协作群体,协作群体之间共同工作以对某一问题进行求解。1983年,休伊特和他的同事们研制了基于ACTOR模型的并发程序设计系统。ACTOR模型采用分布式系统中的并行计算理论,并能提供一组专家或ACTOR获得智能行为的能力。1983年,马萨诸塞大学的莱塞等研制了分布式车辆监控测试系统DVMT。1987年,加瑟等研制了MACE系统,这是一个实验型的分布式人工智能系统开发环境。MACE系统中每一个计算单元都称作智能体,它们具有知识表示和推理能力,智能体之间通过消息传送进行通信。1991年,休伊特提出开放信息系统语义,指出竞争、承诺、协作和协商等性质应作为分布式人工智能的科学基础,试图为分布式人工智能的理论研究提供新的基础。

20世纪90年代以来,智能体和多智能体成为分布式人工智能研究的主流。智能体可以看作一个可自动执行动作的实体,它通过传感器感知环境,通过效应器作用于环境。智能体的BDI模型是基于智能体的思维属性建立的一种形式模型,其中B表示Belief(信念),D表示Desire(愿望),I表示Intention(意图)。多智能体是由多个智能体组成的系统,其研究的核心是如何在一群自主的智能体之间进行行为的协调。多智能体可以构成一个智能体社会,其形式包括群体、团队、组织和联盟等。智能体社会具有更大的灵活性和适应性,更适合开放和动态的世界环境,因而成为当今人工智能研究的热点。

#### 2.4.7 互联网智能

如果说计算机的出现为人工智能的实现提供了物质基础,那么互联网的产生和发展则为人工智能提供了更加广阔的空间。互联网是当今人类社会信息化的标志,已经成为越来越多人的“数字图书馆”,人们在日常工作和生活中普遍使用Google、百度等搜索引擎。

语义网(Semantic Web)是万维网联盟(World Wide Web Consortium, W3C)领导下的协作项目,有大量研究人员和业界伙伴参与。它追求的目标是让网络上的信息能够被机器理解,从而实现网络信息的自动处理,以适应网络信息资源的快速增长,更好地为人类服务。语义网提供了一个通用的框架,允许用户跨越不同应用程序、企业和团体的边界共享和重用数据。语义网以资源描述框架为基础,而资源描述框架以可扩展标记语言(XML)作为语法,以统一资源标识符(URI)作为命名机制,将各种不同的应用集成在一起。

语义网成功地将人工智能的研究成果如知识表示、推理机制等应用到互联网。人们期待未来的互联网是一本按需索取的百科全书,可以定制搜索结果,可以搜索隐藏的网络页面,可以考虑用户所在的位置,可以搜索多媒体信息,甚至可以为用户提供个性化服务。

#### 2.4.8 博弈

博弈(Game Playing)是人类社会和自然界中普遍存在的一种现象。博弈的双方可以是个人、群体,也可以是生物群或智能机器,各方都力图用自己的智慧获取成功或击败对方。博弈过程可能产生庞大的搜索空间。搜索这些庞大而且复杂的空间需要使用强大的技术来判断备择状态、探索问题空间,这些技术被称为启发式搜索。博弈为人工智能提供了一个很好的实验场所,可以对人工智能的技术进行检验,以促进这些技术的发展。

在人工智能发展史上,1959年,塞缪尔研制的跳棋程序打败了自己;1997年,IBM“深



蓝”计算机战胜了国际象棋大师卡斯帕罗夫；2006年，在北京举办的首届中国象棋人机大赛中，计算机以3胜5平2负的微弱优势战胜人类象棋大师。

下棋是一个典型的智力问题，求解过程通常是一个启发式搜索过程。下棋以棋盘的全部格局为状态，以合法的走步为操作，以启发式知识作导航，博弈双方在一个状态空间内寻找获胜的路径。博弈中的棋局易于在计算机中表示，不需要表征更复杂问题所必需的复杂格式。状态空间搜索是大多数博弈研究的基础。

## 2.4.9 机器学习

### 1. 简单的学习模型

学习能力是人类智能的根本特征，人类通过学习来提高自己的能力。学习的基本机制是设法把在一种情况下成功的表现行为转移到另一种类似的新情况中去。1983年，西蒙将学习定义为“能够让系统在执行同一任务或同类的另外一个任务时比前一次执行得更好的任何改变”。这个定义虽然简洁，却指出了设计学习程序要注意的问题：学习包括对经验的泛化，因此学习者不仅仅是重复执行同一任务，还要将领域中相似的任务执行得更好。学习者感兴趣的范围可能很大，但通常研究的内容只是一小部分。学习者必须从有限的经验中学会泛化并对领域中未见的数据进行正确的推理。这是个归纳的问题，也是学习的中心问题。在大多数学习问题中，不管采用哪种算法，能用的数据不足以保证最优的泛化。学习者必须采取启发式的泛化，也就是说，他们必须选取经验中对未来更为有效的部分。这样的选择标准就是归纳偏置。

从事专家系统研究的学者认为，学习就是知识获取。因为在专家系统中，知识的自动获取是很困难的，所以有研究学者认为知识获取就是学习的本质。也有的观点认为，学习是对客观经验的表示形式的构造或修改。客观经验包括对外界事物的感受，以及内部的思考过程，学习系统是通过客观经验来获取对客观世界的认识的。

从认识论的观点看，学习是事物规律的发现过程。这种观点将学习看作从感性知识到理性知识的认识过程，从表层知识到深层知识的泛化过程，也就是说，学习是发现事物规律，上升形成理论的过程。

总结以上观点，可以认为学习是一个有特定目的的知识获取过程。通过获取知识、积累经验、发现规律，学习可使系统的性能得到改进，并使系统实现自我完善和环境自适应。图2-4所示为简单的学习模型。

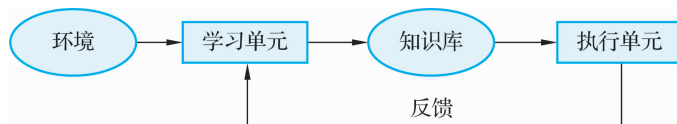


图 2-4 简单的学习模型

#### 1) 环境

环境是指系统外部信息的来源，它可以是系统的工作对象，也可以包括工作对象和外界条件。例如，在控制系统中，环境就是生产流程或受控的设备。环境就是为系统提供获取知识所需的相关对象的素材或信息，如何构造高质量、高水平的信息，将对系统获取知识的能力有很大影响。