

# 智能制造系统

〔美〕安德鲁·库夏克 著

杨静宇 陆际联 译

INTELLIGENT  
MANUFACTURING  
SYSTEMS

清华大学出版社



73.82  
180

# 智能制造系统

[美] 安德鲁·库夏克 著  
杨静宇 陆际联 译



清华大学出版社

9310095

(京)新登字 158 号

DT22/05

### 内 容 简 介

本书是国内外第一本全面论述智能制造系统的教科书,涉及系统设计和管理的理论 and 实际问题。全书共分 14 章,分别研究 CIMS 总体结构、FMS 组成特点和工艺设计原则、知识基系统的基本原理、机械零件和产品设计的知识基系统以及工艺规划、成组技术机床布局和生产调度问题的建模和知识基系统。

本书内容新、信息量大,每章均有习题并列大量参考书。本书的出版对我国 CIMS 和 FMS 的教学与科研将起重要作用。工业自动化、计算机、机械制造、人工智能、管理工程等专业的师生可把本书作为教材。在上述领域工作的研究及工程技术人员也可把本书作为熟悉现代制造系统的参考资料。

## INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS

Andrew Kusiak

Original English language edition published by Prentice Hall

Copyright © 1990 by Prentice Hall, Inc.

All Rights Reserved

\*

### 智能制造系统

[美] 安德鲁·库夏克 著

杨静宇 陆际联 译

\*

清华大学出版社出版

北京 清华园

国防工业出版社印刷厂计算机排版

国防工业出版社印刷厂印装

新华书店总店科技发行所发行

\*

开本:850×1168 1/32 印张:15% 字数:406千字

1993年1月第1版 1993年1月第一次印刷

印数:0001~2000

ISBN 7-302-01077-3/TP·403 定价:14.80元

## 中文版前言

制造技术和计算技术的迅速发展带来了许多新问题。要解决这些问题,需要用现代的工具和方法。人工智能为解决复杂的工业问题提供了一套最适宜的工具。

本书为设计和制造技术之间的沟壑架起一座桥梁。虽然重点在设计与制造,但也讨论了很多对成功应用并发工程很重要的内容。设计和制造技术提出的问题与用来解决这些问题的工具和方法一样,是五花八门的。有些问题可以用简单的推断方法求解,有些可能需要更复杂的优化方法,而另一些就要涉及到人工智能工具。本书每一章中讨论的解题方法都是当代最合适的方法。随着研究人员和专业人员取得新经验,将会研究出更有效、更适宜的工具,所求得解与问题将会达到更完美的匹配。

在很多工业国家,人工智能已被当作求解现代工业提出的问题的方法。本书着力于智能系统研究与应用中提出的问题。

本书是为工业和生产工程师、管理人员、系统设计师和程序员编写的。

华东工学院杨静宇教授和北京理工大学陆际联教授为本书中文版的翻译和出版作出了努力,对此,我谨致深切谢意。

美国 衣阿华州 衣阿华市  
衣阿华大学工业工程系  
智能系统实验室  
安德鲁·库夏克

# 前 言

近年来,制造技术有了长足的进步。数控机床、自动物料系统、计算机控制系统在工业公司中得到了广泛的应用。越来越多的公司使用了“柔性制造系统”、“集成制造系统”或“自动化工厂”等等术语。先进的计算机技术和制造技术向产品、工艺和系统的设计师和管理人员提出了挑战。传统的设计和管理方法不再能有效地解决现代制造系统提出的问题了。

本书涉足自动化制造环境中的设计和管理问题。作者认为,在现代制造系统中不应该把“设计”和“管理”功能性地划分开来。零件、产品和系统的设计,对系统运营阶段的复杂性有很大影响。任何一种设计活动都应该考虑它与系统运行和管理方面的关系。本书将使读者熟悉零件、产品、系统的设计,以及自动制造系统的规划和调度。为了解决设计和管理问题,本书的大部分篇幅将讨论已实现的基于知识的级联结构系统。级联系统把基于知识的方法和优化方法结合在一起。实践证明,这种系统在解决涉及定性和定量要素的制造问题时是有效的。

本书内容分为14章。第1章讨论计算机集成制造系统的总体结构和组成,并用一个工业应用实例来说明智能系统的概念。

第2章阐明柔性制造和装配系统的硬件组成及特点,提出了自动化环境中的产品、零件和工艺的设计原则。

第3章可以看成是关于知识基系统<sup>①</sup>的指导性材料,讨论了知识基系统中有关知识获取和优化的各种问题。

第4章论述了自动知识获取(学习)的各种方法。

第5章研讨用基于知识的方法进行机械零件和机构的设计,

---

<sup>①</sup> 本书中,“基于知识的系统”和“知识基系统”两个术语是通用的。——译注

以及自动装配工艺的设计。

第6章是工艺规划七个阶段的概述,根据本章给出的资料,可以构造一个智能的工艺规划系统。

工业部门需要考虑设备采购问题。第7章描述了一个智能系统的结构,此系统可以生成选择设备的模型和求解模型。

第8章和第9章是密切相关的。前一章集中讨论了成组技术的模型和算法。后一章则给出一个嵌入这些模型和算法的知识基系统。为了给读者一些编程的乐趣,在这一章的附录中示出了一个用于成组技术的知识基系统的程序,它是用LISP语言写的。

第10章和第11章的关系与前两章差不多。第10章论述机床布局问题的各种建模和求解方法,而第11章则给出一个用于机床布局的知识基系统。

最后三章属于制造系统管理的范畴。第12章概述在一个有加工和装配系统的工厂中的产品级集中调度问题。第13章则研究在操作级上分散调度的模型和算法。来自集中调度的某些资料和分散调度的模型及算法汇入第14章的知识基调度系统。

本书主要有助于三种类型的读者。第一类是在校学习工业、系统工程、加工规划的学生,以及那些对在制造业中应用人工智能感兴趣的学生。第二类是对制造设计和管理的发展趋势有兴趣的工程师、系统设计师和生产管理人员。最后是接受零件、产品、系统设计以及制造系统设计和专门培训的人员。

本书第1、2章使读者熟悉制造系统及其组成。第3、4章从制造角度讨论基于知识的系统的有关问题。第5至14章就各种产品设计和制造管理问题论述知识基系统和优化方法。

读者也许希望根据自己的基础和爱好以自己的方法研读本书的内容。图1给出了本书所包含的材料的结构概貌。

图1的结构可能会有助于本书的学习。读者最好先阅读第1章至第4章。不过,可以按任意次序阅读平行排列的那几章,有些章(5~7)是独立的,有些章(8~14)是成组的。建议读者在阅读数章一组的内容时,按照图1所示的顺序。

本书写作时采用了不十分正规的方法,以便把数学知识限制在维持清晰表达所需的水平。

本书应该对理解、推动和开发智能制造系统的应用有所贡献。

本书得益于与我的同事和学生们的多次讨论。豪斯顿大学的 Farrokh Mistree 教授,伊利诺斯大学的 Mike Shaw,东北大学的 Miet Kokar,乌司特理工大学的 Lee Becker 和 Suranjan De,仔细阅读了手稿的各部分,提出了宝贵的意见,谨向他们致以深切的谢意。我在加拿大马尼托巴大学的学生 Wing Chow, Mingyuan Chen, Sunderesh Heragu 以及衣阿华大学工业管理工程系的 G. Vidyashankar 协助我准备了一些章节的材料。

与我长期共事的爱尔兰盖尔威大学的 Jim Browne,挪威特龙海姆大学的 Asbjorn Rolstadas,法国 INRIA 的 Jean-Marie Proth,麻省理工学院的 Gabriel Bitran,麻萨诸塞大学的 Bart Nnaji,日本 NEC 公司的 Ichiro Inoue 和我进行过多次讨论,我为他们的见解深深致谢。

还要特别感谢欧洲、北美和日本工业界的朋友们,对他们公司的多次访问和交谈帮助我形成了一个智能化工厂的构想。

衣阿华大学  
工业管理工程系  
Andrew Kusiak

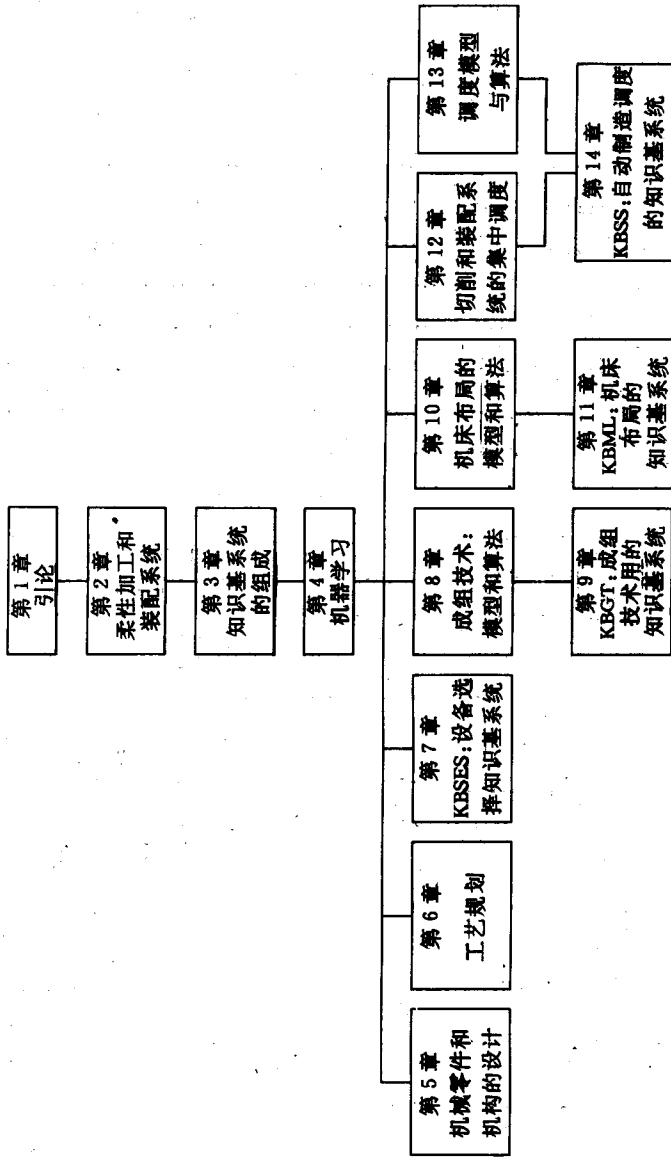


图1 本书的结构



# 目 录

第 1 章 引论 .....	1
1.1 计算机集成制造系统 .....	1
1.2 制造业通信系统 .....	8
1.3 集成制造 .....	12
1.3.1 系统的组成 .....	13
1.3.2 系统结构和数据流 .....	14
1.3.3 系统的运行 .....	15
1.3.4 结语 .....	16
参考书目 .....	17
习题 .....	18
第 2 章 柔性加工和装配系统 .....	19
2.1 柔性加工系统 .....	19
2.2 柔性装配系统 .....	28
2.2.1 FAS 的工艺规划 .....	28
2.2.2 自动装配的产品设计 .....	30
2.2.3 自动装配的零件设计 .....	31
2.3 刀具管理 .....	38
2.3.1 刀具传送和管理系统的硬件组成 .....	40
2.3.2 刀具储存策略 .....	44
参考书目 .....	47
习题 .....	48
第 3 章 基于知识的系统之组成 .....	50
3.1 引言 .....	50
3.2 知识表示 .....	50
3.2.1 一阶逻辑 .....	50

3.2.2	一阶逻辑 Horn 子句子集 .....	53
3.2.3	产生式规则 .....	54
3.2.4	结构化产生式规则 .....	56
3.2.5	框架 .....	57
3.2.6	语义网络 .....	63
3.3	知识表示方法的比较 .....	66
3.4	推理机 .....	69
3.5	知识采集 .....	78
3.5.1	议事录分析 .....	78
3.6	优化和知识基系统 .....	83
3.6.1	独立知识基系统 .....	84
3.6.2	级联知识基系统 .....	84
	参考书目 .....	87
	习题 .....	89
<b>第 4 章</b>	<b>机器学习</b> .....	<b>91</b>
4.1	引言 .....	91
4.2	概念学习 .....	92
4.2.1	学习的实例 .....	96
4.2.2	学习的计算复杂性 .....	97
4.3	学习和神经网络 .....	98
4.3.1	神经网络 .....	98
4.3.2	神经网络中的学习 .....	102
	参考书目 .....	107
	习题 .....	109
<b>第 5 章</b>	<b>机械零件和机构的设计</b> .....	<b>111</b>
5.1	引言 .....	111
5.2	机械零件设计:改进法 .....	111
5.2.1	Dominic 综述 .....	112
5.2.2	控制流程 .....	113
5.2.3	设计过程 .....	114

5.2.4	性能 .....	115
5.3	机械零件设计:基于模型的方法 .....	116
5.3.1	PROMPT 概述 .....	117
5.3.2	模型图 .....	119
5.3.3	修改算子 .....	120
5.4	机构设计 .....	123
5.4.1	形态空间方法:综述 .....	126
5.4.2	计算形态空间 .....	130
5.4.3	机构的分析 .....	131
5.4.4	运动副的设计 .....	132
5.4.5	设计的约束 .....	133
5.4.6	形态空间形状设计 .....	135
5.5	基于特征的设计 .....	136
5.6	基于知识的自动装配设计 .....	138
5.6.1	知识库 .....	140
5.6.2	解释系统 .....	147
5.6.3	编入新的产生式规则 .....	151
	参考书目 .....	152
	习题 .....	154
第6章	工艺规划 .....	156
6.1	引言 .....	156
6.2	特征识别 .....	162
6.3	工艺规划的几个阶段 .....	168
6.4	体积分解 .....	169
6.5	选择可用机床、刀具和夹具 .....	171
6.6	加工优化 .....	171
6.6.1	单次模型 .....	172
6.6.2	多次模型 .....	173
6.7	切削量分解 .....	175
6.8	选定切削量 .....	175

6.9	优先约束的生成	182
6.10	切削量排序	183
6.11	选定自动制造系统的工艺计划	184
6.11.1	问题的背景	186
6.11.2	整数规划表述	188
6.11.3	结构算法	189
	参考书目	192
	习题	195
附录 6.1		196
附录 6.2		198
<b>第7章</b>	<b>KBSES:设备选择知识基系统</b>	<b>201</b>
7.1	引言	201
7.2	制造系统的设计	202
7.2.1	设备选择问题	203
7.2.2	机床单元构成	204
7.2.3	机床布局问题	204
7.2.4	单元布局问题	204
7.3	制造设备选择问题的建模	204
7.3.1	模型 M7.1	206
7.3.2	模型 M7.2	207
7.3.3	模型 M7.3	207
7.3.4	模型 M7.4	207
7.3.5	模型 M7.4 的特例	210
7.4	KBSES 中的解题方法	211
7.5	设备选择知识基系统的结构	212
7.5.1	数据库	213
7.5.2	知识库	214
7.5.3	推理机	217
7.6	实例	217
7.7	文献中的设备选择专家系统	222

参考书目	227
习题	228
附录 7.1	230
第 8 章 成组技术	231
8.1 引言	231
8.1.1 直观方法	232
8.1.2 编码方法	232
8.2 集群分析方法	233
8.2.1 矩阵表示法	235
8.2.2 数学规划表示法	255
8.2.3 图表示法	260
8.2.4 成组技术的特殊应用	267
8.3 结语	268
参考书目	269
习题	271
附录 8.1	273
附录 8.2	274
第 9 章 KBGT:成组技术用的知识基系统	279
9.1 自动制造中的成组技术	279
9.2 知识基系统 KBGT 的结构	280
9.2.1 输入数据	281
9.2.2 成组过程	282
9.2.3 输出数据	282
9.3 数据库	284
9.4 知识基子系统(KBS)	285
9.4.1 知识库	286
9.4.2 推理机	290
9.4.3 请求处理机	290
9.5 分群算法	290
9.6 实例	291
9.7 KBGT 的应用	295

9.8 解的质量 .....	298
9.9 工业实例研究 .....	302
9.10 结语 .....	306
参考书目 .....	307
习题 .....	308
附录 9.1 .....	309
<b>第 10 章 机床布局的模型和算法 .....</b>	<b>325</b>
10.1 引言 .....	325
10.2 单行机床布局问题的模型 .....	325
10.3 单行布局问题的求解 .....	329
10.3.1 改进的生成树(MST)算法 .....	329
10.4 多行布局问题的模型 .....	333
10.4.1 二次分配模型 .....	333
10.5 多行机床布局问题的高效模型 .....	336
10.5.1 等面积机床多行布局问题的模型 .....	336
10.5.2 不等面积机床多行布局问题的模型 .....	340
10.6 多行布局问题的算法 .....	343
10.6.1 最优算法 .....	343
10.6.2 次优算法 .....	343
10.7 罚函数算法 .....	348
10.7.1 罚函数算法的数值例 .....	351
参考书目 .....	355
习题 .....	358
<b>第 11 章 KBML:机床布局的知识基系统 .....</b>	<b>362</b>
11.1 KBML 的数据输入 .....	362
11.2 问题求解方法 .....	364
11.3 KBML 的结构 .....	365
11.4 数值实例 .....	372
11.5 文献中的设备布局知识基系统 .....	377
11.5.1 FADES .....	377

11.5.2	IFLAPS .....	379
11.6	结语 .....	379
	参考书目 .....	380
	习题 .....	380
<b>第12章</b>	<b>切削和装配系统的集中调度 .....</b>	<b>382</b>
12.1	引言 .....	382
12.2	集中调度问题的分类 .....	383
12.3	单个产品调度问题 .....	386
12.4	$N$ 种产品调度问题 .....	395
12.5	单批调度问题 .....	397
12.6	$N$ -批调度问题 .....	399
	参考书目 .....	400
	习题 .....	401
附录	12.1 .....	401
<b>第13章</b>	<b>调度模型和算法 .....</b>	<b>403</b>
13.1	引言 .....	403
13.2	单台机床上几道工序的调度 .....	405
13.3	柔性锻机调度 .....	406
13.3.1	柔性锻机调度问题的特点 .....	407
13.3.2	柔性锻机调度问题的建模 .....	409
13.4	双机床单向生产线问题 .....	417
13.4.1	双机床双向生产线问题 .....	418
13.4.2	三机床单向生产线问题的特例 .....	420
13.5	$m$ 台机床上 $n$ 道工序调度问题的建模 .....	422
13.6	自动制造系统中调度问题的求解 .....	428
	参考书目 .....	432
	习题 .....	432
附录	13.1 .....	435
附录	13.2 .....	436
附录	13.3 .....	437

附录 13.4 .....	439
附录 13.5 .....	443
第 14 章 KBSS:自动制造调度的知识基系统 .....	446
14.1 知识基调度系统 KBSS 的结构 .....	446
14.1.1 知识库 .....	446
14.1.2 算法库 .....	453
14.1.3 数据库 .....	453
14.1.4 推理机 .....	453
14.2 启发式算法 .....	453
14.2.1 算法 .....	456
14.3 数值实例 .....	458
14.4 计算结果 .....	462
14.5 文献中知识基调度系统 .....	470
参考书目 .....	481
习题 .....	482



# 第1章 引 论

## 1.1 计算机集成制造系统

计算机集成制造系统(CIMS)是制造技术和计算机技术发展的结果。在把图 1.1 所示 CIMS 的下述功能模块集成在一起时,计算机起到了重要的作用(Kusiak 和 Heragu 1988):

- 零件(部件)和产品设计
- 工具和夹具设计
- 工艺规划
- 数控(NC)机床、物料传送系统(MHS)的编程
- 生产规划
- 切削加工
- 装配
- 维护
- 质量管理
- 检验
- 仓储和提取

为了强调计算机的作用,使用了计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助质量管理(CAQC)和自动存取(ASR)等术语。每个术语涉及一个或多个功能模块。CAD 涉及零件和产品设计;CAPP 涉及工艺规划;CAM 涉及制造硬设备的编程、生产规划、切削加工、装配和维护;CAQC 涉及质量控制和检验;ASR 涉及原材料、制成品和半成品的仓储和提取。

在制造系统硬件(即机床、运料车)和软件的集成和自动化中,计算机起了主导作用。为了了解 CIM 的子系统和把它们集成起来

9310095

1