

现代工业企业自动化丛书

智能制造概论

曾芬芳 景旭文 等编著
白英彩 主审

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书是《现代工业企业自动化丛书》中的一本。

本书主要介绍了智能制造技术在柔性制造系统和 CIMS 中的重要地位和作用以及智能制造技术的今天与未来。内容包括专家系统的知识表达、获取与推理以及专家系统的开发,神经网络的基本模型和神经网络专家系统,智能制造环境下的产品建模以及智能 CAD 系统的设计,智能化工艺设计 CAPP 系统中零件信息的描述、工艺知识的获取与处理,制造过程中的智能监视、诊断与控制以及柔性装配等制造技术的智能化与自动化等。

本书主要面向工矿企业中的中高级工程技术人员以及管理人员,也可作为工科大学机械及其自动化等专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能制造概论/曾芬芳等编著.—北京:清华大学出版社,2001
(现代工业企业自动化/白英彩主审)

ISBN 7-302-04160-1

智... 曾... 计算机辅助制造 .TP391 .73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 79145 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

印刷者:清华大学印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:16.5 字数:374 千字

版 次:2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-04160-1/TP·2456

印 数:0001~4000

定 价:23.00 元

《现代工业企业自动化丛书》编委会

名誉主任：张钟俊

顾问：吴钦炜

主任：白英彩

副主任：邵世煌 王行愚 吴启迪 孙廷才

编委：(按姓氏笔划)

于海川 王行愚 白英彩 孙振飞 孙廷才

江志道 刘元元 邵世煌 吴启迪 张兆琪

杨德礼 周德泽 柴天佑 虞孟起 魏庆福

序

当今世界先进工业国家正处于由“工业经济”模式向“信息经济”模式转变的时期,其中技术进步因素起着极为重要的作用,它在经济增长中占70%~80%。“以高新技术为核心,以信息电子化为手段,提高工业产品附加值”已经成为现代工业企业自动化重要的发展目标。从我国经济发展史来看,其工业经济增长主要是依靠投入大量资金和劳动力来实现的,尚未充分发挥技术进步在工业经济增长中的“二次效益倍增器”的作用。“如何加快发展电子信息技术、调整产业结构,适应世界经济发展需求”是当前我国工业企业自动化界研究的重要课题之一。

工业自动化是一门应用学科,它主要包括单机系统自动化、工业生产过程自动化和工业系统管理自动化等三个方面。企业自动化包括企业生产管理信息电子化、信息处理的自动化以及网络化。现代工业企业自动化涉及到自动化技术、计算机技术、通信技术、先进制造技术和管理学等诸多学科,它需要各学科的专家和工程技术人员通力合作,从而形成“多专业知识与技术集成”的现代工业自动化发展思路。目前工业企业自动化系统主要呈现开放性、集散性、智能性和信息电子化与网络化的特点。在现代工业企业自动化中,计算机控制技术充当了极为重要的角色,它是计算机技术和控制理论有机的结合。自动控制理论的发展是伴随着被控制对象的复杂性、不确定性等因素的研究成果而发展的,它由经典控制理论(频域方法)和现代控制理论(时域方法)发展到第三代控制理论——智能控制理论。计算机控制系统分为数据采集与处理系统、计算机在线操作指导控制系统、直接数字控制系统、监督控制系统、分级控制系统和集散控制系统以及分布式智能控制系统。从当前计算机技术和自动控制技术发展状况来看,高性能工业控制机系统、智能控制系统和基于网络系统的虚拟企业自动化系统将是未来工业企业自动化的重要发展方向。

从系统工程的角度来看,工业自动化技术研究与应用过程分为三个阶段:自动化技术研究阶段、科研成果向实用转化阶段和产品应用阶段。经过我国科技工作者半个世纪卓有成效的研究,在自动化技术研究与应用方面取得可喜的成绩,并给我国的工业自动化事业带来了深刻影响和变革,产生了巨大的社会和经济效益,其中有的技术已经接近或达到世界先进水平,但从应用以及成果向产品的转化的总体发展角度来看,仍存在着一些问题,仍需花大力气进一步探索和研究。例如,我国在工控机及其配套设备的生产方面尚需进一步构成规模经济;建立并发展企业网络及其协议和数据库集成技术,为全面实现我国“金企工程”提供技术和手段;开发系列的工控机软件包、实时操作系统,以提高工控机系统的总体水平;充分运用以工控机为核心的电子信息技术来改造我国各类传统工业的工

装设备及产品;在我国的部分现代企业中大力倡导推行 MIS, MRP- 和 CIMS/ CIPS 以及信息网络系统,以提高企业管理水平和竞争能力等。在 20 世纪 40 年代,计算机刚问世不久,它的应用除在军事、政要部门之外,主要是在各传统工业领域的应用。在 60 年代~70 年代,各国的工业计算机应用极为普遍促进了其工业企业自动化高速发展,而我国的工业企业自动化非但没有大踏步前进,反而停滞不前。到了 90 年代这个问题就显得十分严重了,因此我们必须“补上这一课”。我们编写了《现代工业企业自动化丛书》(目前暂定 42 册,并根据实际需要不断增加新的书目),该《丛书》内容既包括工业生产过程自动化,又包括现代企业管理自动化技术,如基于总线工控机系统、工程数据库、CIMS/ CIPS 以及企业网络技术。其编写原则为:理论与实践密切结合,为实现工业企业自动化提供典型示范系统。编委会特邀请了国内在该领域有扎实理论基础和富有实践经验的专家分别承担各分册的编审任务,以期在向读者展示国内外相关技术的最新成果和发展动态的同时,提供解决现代工业企业自动化的思路、方法、技术和设备等。

该《丛书》以工程技术人员为主要读者对象。我们相信该《丛书》的出版必将在推动我国工业企业自动化应用的普及和发展进程中起到积极的作用,为进一步提高我国工业企业自动化水平做出贡献。

清华大学出版社颇具魄力和眼光、高瞻远瞩,及时提出组稿这套《丛书》的任务,他们为编好《丛书》做了认真、细致的准备工作,并为该丛书的出版提供了许多有利的条件,在此深表谢意。同时对于参加各分册编审任务的专家、学者所付出的艰辛劳动表示衷心感谢。编审《丛书》的任务十分繁杂而艰巨,加之时间仓促,书中出现疏漏、欠妥之处也是难免的,希望广大读者不吝赐教,以使我们逐步完善这个《丛书》系列。

中国科学院院士、上海交通大学教授

前 言

制造业是最古老的学科之一。近年来,随着计算机技术的飞速发展,特别是人工智能(AI)技术,如专家系统、人工神经网络等渗透到各个领域,也使制造业发生了巨大的变化。智能制造正是制造技术和人工智能技术结合的产物。

所谓智能制造是在制造生产的各个环节中,以一种高度柔性和高度集成的方式,应用智能制造技术和智能制造系统进行制造的生产模式。智能制造系统是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,通过计算机模拟人类专家的智能活动,进行诸如分析、推理、判断、构思和决策等方式,旨在取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动,并对人类专家的制造智能进行收集、存储、完善、共享、继承和发展;智能制造技术的宗旨在于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专家在制造过程中的脑力劳动,以实现制造过程的优化。可见智能制造使制造过程中人的体力劳动通过自动化技术获得了很大的解放,而脑力劳动通过智能决策使自动化程度获得了巨大的提高。智能制造可实现决策自动化的优势使其能很好地与未来制造生产的知识密集型特征相吻合,实现“制造智能”和制造技术的“智能化”。智能制造将是未来制造自动化发展的重要方向。有人预言下一世纪的制造工业将由两个“ I ”来标识,即 Integration(集成)和 Intelligence(智能)。

本书共分 8 章。第 1 章概论,主要介绍了智能制造技术在柔性制造系统和 CIMS 中的重要地位和作用、智能制造发展的历史背景、国内外智能制造技术的发展状况以及智能制造技术的今天与未来。第 2 章专家系统,主要介绍了专家系统的知识表达、获取与推理机以及专家系统的开发。第 3 章神经网络,主要介绍了神经网络的基本模型、学习规则以及基于神经网络的机器学习和神经网络专家系统。第 4 章智能制造环境下的产品模型及其建模,主要介绍了产品模型的概念,包括几何模型、参数化模型、产品特征模型以及智能制造环境下的产品模型及其建模技术。第 5 章智能 CAD 系统及其设计,主要介绍了智能 CAD 系统的设计模型、设计方法、智能化空间布局设计以及智能 CAD 系统实例。第 6 章计算机辅助工艺设计及其智能化,主要介绍了 CAPP 系统中零件信息的描述、工艺知识的获取与处理以及 CAPP 专家系统及其研究动向。第 7 章制造过程的智能监视、诊断与控制,主要介绍了接口技术、智能监视与诊断、制造过程的结构模型、智能控制策略以及制造过程的智能控制等。第 8 章智能装配,主要介绍了智能装配的装配技术知识表达、装配任务的描述、装配顺序规划、基于特征的装配方法、柔性自动装配系统以及虚拟装配等。

由于智能制造所包含的知识范围十分广阔,同时也由于作者所从事的专业的限制,本书将着重于智能制造技术在机械制造领域中的应用。

本书主要是面向工矿企业的,因此,它适合工矿企业的高、中级工程技术人员和管理

人员使用,也可作为工科大学的教材和研究生的辅导参考资料。

本书由曾芬芳、范牧昌、王建华、俞孟蕪、景旭文等编著,王颖、苏勇、赵丽英等参加了编写工作。全书由白英彩教授担任主审。

智能制造是一个新兴的、发展中的学科,作者衷心希望本书的出版能对理解、推动和开发智能制造系统有所贡献。限于作者的业务水平,疏漏或不妥之处在所难免,敬请读者不吝批评指正。

作 者

2000年12月

目 录

第 1 章 概论.....	1
1.1 柔性制造系统	2
1.1.1 柔性自动化和柔性制造系统.....	2
1.1.2 柔性制造系统的基本结构.....	4
1.1.3 柔性制造系统的实例.....	5
1.1.4 智能制造技术在柔性制造系统中的应用.....	7
1.2 计算机集成制造系统.....	10
1.2.1 计算机集成制造(CIM)和计算机集成制造系统(CIMS).....	10
1.2.2 CIMS 的构成	11
1.2.3 智能制造在 CIMS 中的重要地位和作用	12
1.3 智能制造技术的今天与未来.....	12
1.3.1 智能制造发展的历史背景	12
1.3.2 国内外智能制造技术的发展状况	14
第 2 章 专家系统	16
2.1 专家系统简述.....	16
2.2 知识的表达与获取.....	17
2.2.1 知识的分类	17
2.2.2 专家系统的知识表示	17
2.2.3 知识获取	21
2.3 推理机.....	22
2.3.1 正向推理控制策略	23
2.3.2 逆向推理控制策略	23
2.4 专家系统开发工具.....	24
2.5 Prolog 语言简介	25
2.5.1 Turbo Prolog 的程序结构	25
2.5.2 Prolog 中的基本编程元素和语法	27
2.5.3 Prolog 的工作方式	30
2.5.4 用 Turbo Prolog 构造一个齿轮设计专家系统	31
2.6 知识工程语言 GEST	33
2.6.1 知识工程语言 GEST 的基本组成和语法	33

2.6.2	事实库及其操作	34
2.6.3	规则库及其操作	36
2.6.4	模式匹配	37
2.6.5	待议事件表及其执行	38
2.6.6	一个简单的应用实例	39
2.7	专家系统的开发	41
2.7.1	开发专家系统的特点	41
2.7.2	开发专家系统的基本步骤	42
2.7.3	专家系统的发展趋势	44
第3章	神经网络	47
3.1	概述	47
3.2	神经网络的基本模型	47
3.2.1	感知机	47
3.2.2	BP 模型	49
3.2.3	Hopfield 模型	51
3.2.4	Boltzmann 模型	53
3.3	神经网络学习规则	55
3.3.1	Hebb 规则	55
3.3.2	Delta 规则	56
3.3.3	ART 规则	57
3.3.4	Kohonen 规则	57
3.3.5	Boltzmann 规则	58
3.4	基于神经网络的机器学习	59
3.4.1	机器学习	59
3.4.2	基于神经网络的机器学习	61
3.5	神经网络专家系统	63
3.5.1	一般描述	63
3.5.2	基于神经网络的专家系统	64
第4章	智能制造环境下的产品模型及其建模	67
4.1	产品模型	67
4.1.1	产品模型的概念	67
4.1.2	产品模型的演变	68
4.2	几何模型	70
4.2.1	几何模型的概念	70
4.2.2	几何模型的建模方法	71
4.2.3	模型的操作	76

4.3	参数化模型	77
4.3.1	参数化设计	77
4.3.2	约束	78
4.3.3	参数化建模技术	80
4.4	产品的特征模型及建模	88
4.4.1	特征的定义	88
4.4.2	特征的分类	89
4.4.3	特征建模	90
4.5	智能制造环境下的产品模型	96
4.5.1	智能制造对产品模型的要求	96
4.5.2	产品的知识模型	98
4.5.3	产品的集成表示模型	99
第5章	智能 CAD 系统及其设计	102
5.1	智能 CAD 系统的设计模型	102
5.1.1	设计模型简介	102
5.1.2	基于 CASE 的设计模型	104
5.2	智能 CAD 系统的设计方法	108
5.2.1	面向对象的求解方法	108
5.2.2	智能 CAD 的广义类比推理方法	111
5.2.3	设计过程模型的特征设计方法	113
5.3	智能化空间布局设计	117
5.3.1	智能化空间布局的分类、建模、求解简介	118
5.3.2	三维正交方位图模型及其布局搜索算法	123
5.3.3	基于正交方位图与遗传算法的包装布局	127
5.3.4	基于约束满足的多策略布局设计算法及其应用	132
5.3.5	基于不同粒度布局中的模糊建模及其应用	136
5.4	智能 CAD 系统实例	141
5.4.1	插齿刀智能辅助设计系统	141
5.4.2	铣刀设计的智能 CAD 系统	144
5.4.3	机床夹具设计专家系统	148
第6章	计算机辅助工艺设计及其智能化	151
6.1	简介	151
6.1.1	工艺设计	151
6.1.2	工艺设计标准化	152
6.1.3	计算机辅助工艺设计(CAPP)发展概述	153
6.1.4	派生式 CAPP	154

6.1.5	创成式 CAPP	156
6.1.6	CAPP 专家系统	158
6.2	CAPP 系统中零件信息的描述	158
6.2.1	零件分类编码法	159
6.2.2	零件的图形要素描述法	160
6.2.3	直接从 CAD 中提取信息	164
6.2.4	特征建模	166
6.3	工艺知识的获取与处理	167
6.3.1	工艺知识的获取	167
6.3.2	工艺知识的表达	170
6.4	应用实例——回转体零件 CAPP 专家系统中的夹具设计	173
6.4.1	夹具设计模块的数据库和规则库	173
6.4.2	实例	178
6.4.3	系统的运行环境	180
6.5	CAPP 专家系统及其研究动向	180
6.5.1	以知识为基础的 CAPP 系统	180
6.5.2	CAPP 开发(工具)环境的研究	181
6.5.3	动态 CAPP	181
6.5.4	面向并行工程的 CAPP	182
第 7 章	制造过程的智能监视、诊断与控制	184
7.1	概述	184
7.2	接口、显示与控制器	185
7.2.1	智能传感器	185
7.2.2	信号变换与接口电路	189
7.2.3	显示与记录设备	198
7.2.4	可编程控制器	201
7.3	智能监视与诊断	205
7.3.1	智能监视与诊断系统的开发	205
7.3.2	系统硬件体系结构设计	207
7.3.3	系统软件设计	210
7.4	制造过程的结构模型	212
7.4.1	输入输出变量的划分	212
7.4.2	结构模型	212
7.5	智能控制策略	213
7.5.1	反馈控制	213
7.5.2	直接数字控制(DDC)	214
7.5.3	最优控制	215

7 5 4	自适应控制.....	216
7.6	制造过程的智能控制	218
7 6 1	计算机过程监控.....	218
7 6 2	智能集散型自动控制系统.....	220
第 8 章	智能装配.....	224
8.1	概述	224
8.2	人工装配特点	225
8.3	智能装配	226
8 3 1	装配技艺知识表达.....	227
8 3 2	装配任务的描述.....	229
8 3 3	装配顺序规划.....	231
8 3 4	基于特征的装配方法.....	236
8 3 5	柔性自动装配系统.....	237
8 3 6	智能装配机器人.....	240
8 3 7	虚拟装配 VA(virtual assembly)	241
	参考文献.....	244

第 1 章 概 论

制造业可能是人类有史以来最古老的产业之一。制造业的发展同工具的使用和发展密切相关,以工具的发明和使用为里程碑,人类经历了石器时代、青铜器时代、铁器时代、蒸汽机时代、电气时代,目前以计算机为工具的信息时代。由于生产工具的不断改进,人类从其所从事的生产环境中不断得到解放,如蒸汽机的发明,大大提高了劳动生产率,使人们有更多的时间从事设计和管理方面的工作。随着制造技术的发展,自动化技术在工业化大生产中得到了迅速的发展,本世纪初,在汽车制造业为代表的大批量生产中,采用凸轮和样板的机床可以高效地生产出大批量相同规格的零件,聪明的设计人员设计出带有自动上下料装置的机床设备并采用传送带把它们连接起来,由于劳动力价格相对便宜,在自动化机床无法使用的地方,采用手工劳动来补充。

随着劳动力价格的不断升高,在大批量生产中节约人力的要求越来越高,可编程控制器和工业机器人得到了广泛的应用,在 20 世纪 80 年代,在汽车制造业中采用点焊机器人和喷漆机器人代替手工劳动,降低了生产成本。

由于社会需求的不断变化,人们要求产品多样化和个性化,市场竞争的加剧,要求产品的更新换代时间不断缩短,这就意味着产品的品种将越来越多,而批量则越来越小。对于加工工业情况也是一样,特别是在飞机制造业、造船工业、机床制造业和模具制造业更是如此,据调查,单件生产和小批量生产比例的增长速度令人吃惊。为了适应这种发展需要,柔性加工技术得到了越来越广泛的应用。近年来,人们对制造过程的自动化给予了极大的热情,资料表明,从 1870 年到 1980 年间,制造过程的效率提高了 20 倍,而生产管理效率只提高了 1.8 ~ 2.2 倍,产品设计的效率只提高了 1.2 倍。以上数据表明体力劳动通过采用自动化技术得到了极大的解放,而脑力劳动的自动化程度则很低。为了进一步解放生产力,特别是提高脑力劳动的自动化程度,柔性制造技术(FMT)和计算机集成制造(CIM)等先进制造技术的研究和开发受到各工业发达国家的普遍重视。

柔性制造技术是近年来国际上一些工业技术比较发达的国家为了进一步提高多品种、中小批量生产自动化,以及提高劳动生产率,降低生产成本,缩短产品的研制或生产周期,增强产品更新换代和市场竞争能力而推出的一种新型制造技术。在柔性制造系统中,机床上装备了工件和刀具的自动更换系统,实现了在线计算机辅助加工过程的调度和规划,出现了完善的加工中心。柔性制造技术至今仍在继续发展之中。

计算机集成制造系统(CIMS)不仅是现有生产模式的计算机化和自动化,而且是在新的生产组织原理和概念指导下形成的一种新型生产实体,也是将在 21 世纪占主导地位的新型生产方式。因此,世界上许多国家和企业都把 CIMS 定为国家或企业的发展战略。

智能制造是人工智能技术和制造技术结合的产物,其目的在实现整个制造过程,即市场预测、生产决策、研究与开发、设计、制造、物流、经营和销售等产品生产的各个环节的自动化和智能化以及它们的集成。它以取代人的部分智能性脑力劳动为目标,以实现制造

过程的自组织能力和制造环境的全面智能化为其最终目标。因此,智能制造技术已在柔性制造系统(FMS)和 CIMS 中得到了广泛的应用。

人工智能理论是智能制造技术的理论基础。目前,国内外对于各种专家系统和人工神经网络的研究为其在制造领域中的应用提供了强有力的技术手段。在本书中的以下两章中对这两方面的基础知识也将加以简单介绍。

1.1 柔性制造系统

1.1.1 柔性自动化和柔性制造系统

在机械制造自动化的早期,由于技术水平的局限,自动化的引入只在大量生产领域里。为了提高劳动生产率,降低生产成本,采用了大批量化、标准化和生产流水线等生产方式,建立起主要由机械式或液压式的自动机床、组合机床或专用机床组成的单一品种的生产自动线。这种自动线有其固定的生产节拍,在这种自动线上,一般无法改变产品的品种,因而也被称为刚性自动化生产线。

到了 60 年代,当国际上多数大批量生产的工厂已实现自动化以后,人们发现,由于市场对商品的需求发生了很大的变化,商品开始向个性化、多样化发展,产品的更新换代周期明显缩短,多品种、小批量生产增加,市场竞争激化。大批量生产只是机械制造业的一小部分,约占 15% 到 25%,而中、小批量生产则占 75% 到 85%,而且其比重还在逐年加大。多品种,中、小批量生产已成为主流生产方式。这就迫使机械制造业的生产企业对市场变化作出快速响应,解决多品种,中、小批量生产的劳动生产率大大落后于大批、大量生产企业的状况。另一方面,由于从 60 年代开始到 70 年代计算机技术和自动化技术得到了飞速的发展,计算机数控(CNC)机床和加工中心在自动化机床领域中逐渐取代了液压式和机械式的自动机床。在各种 CNC 机床和加工中心上,只要改变机床的加工程序就可用来加工各种不同的零件,改变加工对象的灵活性很大,而所需的调整时间却很少,所以 CNC 机床和加工中心非常适合多品种,中、小批量生产领域。由于 CNC 机床本身已具备很好的柔性,故为柔性自动化打下了良好的技术基础。

据统计,在使用普通设备进行多品种小批量生产时,在零件的生产过程中,毛坯和在制品的运输及存放时间上占据了整个生产过程的大部分时间,而花在机床上的时间仅占整个生产过程的一小部分,而在这一小部分时间中,真正用于切削加工的时间一般只占 30% 左右,而 70% 左右的时间用于零件的定位、装夹、换刀、测量,机床的调整以及清除铁屑等。CNC 机床只是减少了机床上部分非切削时间和部分工序间零件搬运存放的时间,因此,为了进一步提高劳动生产率,缩短零件生产周期,充分发挥机床利用率,必须在中、小批量生产领域里进一步提高自动化程度。对上述各个环节尽量实现自动化,如仓库的工件存取自动化、工件输送和搬运自动化、工件装卸自动化、刀具的输送和更换自动化、刀具磨损的自动检测和自动补偿、刀具破损的自动检测与自动换刀、在线检测、自动清除铁屑、机床的运行状态和加工状态的自动监测和自动诊断等。

近年来,由于微电子技术、自动控制技术、计算机网络和数据库技术的迅速发展,以及

微机和可编程控制器在机床、工业机器人、自动仓库、自动导引小车上的广泛应用,通过分布式多级计算机的控制系统就可把它们联结成以数控机床为核心的各种规模的柔性自动化加工方式。

柔性自动化有柔性制造单元、柔性制造系统、柔性生产线、独立制造岛等多种形式。各种不同柔性自动化形式之间的区别不仅在于机器设备方面的配置和复杂程度,还在于信息和数据的处理方法和手段,即信息流和控制系统的特征。按照这种观点来划分,可将不同形式的柔性自动化作如下描述:

柔性制造单元(FMC)通常由1~2台加工中心或其它数控机床组成,并具有不同形式的刀具交换和工件的装卸、输送及存储功能。除了机床的数控装置外,通常还有一台单元计算机来进行数控程序的管理和外围设备的协调。

柔性制造系统由两台以上的加工中心或柔性制造单元以及清洗、检测设备组成,具有较完善的刀具和工件输送和存储系统,除主控计算机(又称单元控制器)外,下面还设有工作站级和设备级,形成三级控制组成的局部网络。

在柔性制造系统中由于实现了较高水平的自动化和智能化,可大大提高生产效率,有许多系统还实现了日班把工作准备好,夜班无人化加工的生产方式,进一步提高了劳动生产率。

柔性制造系统的适用范围主要取决于其制造批量,图1.1所示为各种不同加工方式的加工范围。图中纵坐标为各种加工方式适用的批量加工零件数,横坐标表示适用的加工零件种类数。从图中可以看出,柔性制造系统的适用批量加工零件数是50~2000件,而适用的加工零件种类数是4~100种。

图 1.1 制造方式与零件种类和批量的关系

以FMS为代表的柔性自动化生产经过70年代的研制和实验阶段,到80年代已进入实用和推广阶段。近年来,其发展方向主要有两个:一个方向是向大型化、高度自动化、智能化的柔性制造工厂(FMF)方向发展。建造FMF的企业一般在技术上和经济上均需有雄厚的实力,这是因为FMF技术密集、投资巨大、建造周期长(5~7年),投资回收

的时间也较长,其技术经济效益很高。另一个方向是向廉价化、小型化的柔性制造单元方向发展。由于 FMS 耗资大、技术复杂,因此许多中小企业采用分阶段实现 FMS 的方法,采用的方法是首先建立 FMC 甚至更小规模的单机柔性制造单元(也有称为柔性制造模块 FMM),等到取得经验后再逐步扩大,这种方法称为“逐步扩展法”或“增量法”。为适应这一潮流,许多机床厂家把 CNC 机床设计成能适用于可扩展为 FMC 和 FMS 的具有高度自动化的加工设备,这种设备带有交换工作台、自动换刀机械手和一定数量的刀库、在线工件测量和自动排屑装置等,可以进行无人化加工。为了方便使用,机床设计实现模块化,既可单独使用也可纳入 FMC 和 FMS。这些机床一般带有串行接口和 DNC 接口,通过这些接口可以很方便地和上级计算机相连。

柔性较小的,具有自动生产线特征的柔性制造系统称为柔性生产线。

独立制造岛(AMI)是我国同济大学张曙教授首先提出的一种柔性制造技术。独立制造岛是以几台 CNC 机床和数控加工中心为主体,同时配备有普通机床和手工操作工位(如毛坯准备和检验站),不同形式的物料输送装置以及相应的工件库、刀具库和夹具库,在计算机软件的支持下组成能完成一定范围零件加工的制造系统。独立制造岛的机床布置,不同于传统的机群方式,而是按成组技术的原理,转变为加工过程相对封闭的单元,连同工件库、刀具库和夹具库,构成了独立制造岛的硬件基础。独立制造岛的软件采用模块化结构,分为计算机辅助工艺设计子系统、数控程序管理子系统、计算机作业计划和调度子系统、物料管理子系统和质量控制子系统等五个子系统。各子系统之间及系统内部通过数据接口进行信息交换,软件系统设有公共数据库,数据库内存有零件、资源、工艺及工况等方面信息供各子系统共享,并可通过局域网与上级计算机管理系统相连,这样就构成了独立制造岛的信息基础。独立制造岛结合我国一部分中小企业资金有限,无法大量购买先进制造设备的具体情况,在引进部分关键数控设备的同时,允许采用部分普通设备,不过分强调无人化生产和完全自动化,而是把重点放在先进管理技术、软件开发方面,强调人的因素。事实证明,独立制造岛是一种适应我国国情的准柔性制造系统。

1 1 2 柔性制造系统的基本结构

柔性制造系统一般由 CNC 加工设备、物流系统和计算机控制系统三部分组成。

1. CNC 加工设备

柔性制造系统根据其加工对象的不同,可分为以加工箱体类零件、回转体零件、混合型零件、钣金零件等为主的加工系统。对于以加工箱体类零件为主的柔性制造系统,一般配备有多台立式和卧式加工中心。对于以加工回转体零件为主的柔性制造系统多数配有 CNC 车削中心或 CNC 车床,由于许多回转体零件上还有平面或键槽加工,所以这类系统中往往还配备有立式或卧式加工中心。对于一些专门零件加工,如齿轮加工,还需要配备 CNC 齿轮加工机床等。

在加工较复杂零件的柔性制造系统中,加工中心本身的刀库容量往往不能满足加工的需要,因此,在许多柔性制造系统中都设有自动刀库以补充机载刀库容量的不足。

2 . 物流系统

柔性制造系统的物流系统与传统的自动线或流水线的零件传送系统有很大差别,柔性制造系统的零件传送没有固定节拍,也没有固定顺序,有时甚至是几种零件混杂在一起传送,也就是说,整个物流系统的工作状态是可以随机控制的。

柔性制造系统的物流系统可以有多种型式,对于箱体类零件,工件经常装在托盘上进行输送和搬运。该系统包括工件在机床之间、加工单元之间、自动仓库和托盘存放站之间,托盘存放站和机床之间的输送和搬运等。自动搬运设备有链式传送带、滚筒式传送带、有轨小车、无轨自动导引小车、悬挂式机械手等;托盘存放站与机床之间的装卸设备有托盘交换台(APC)和机器人,装卸工件的机器人又可分为内装式机器人、附装式机器人和单置万能式机器人等,在柔性制造系统中,自动导引小车有时也用来输送刀具。

3 . 计算机控制系统

根据柔性制造系统的规模大小,控制系统的复杂程度也有所不同,通常多为三级分布式控制系统,低级为控制级,高级为决策级。在各级的决策与控制中,生产的计划与调度、加工过程途径的确定是主要问题。第一级为过程控制及逻辑控制级,其主要功能是对加工设备和工件装卸机器人或托盘交换台的控制,包括对各种加工作业的控制和监测等,其计划时限(planning horizon)为数毫秒至数分钟。第二级为工作站控制级,其主要功能是对柔性制造系统中各种自动化环节或FMS分系统进行控制与管理。其对象包括物流运送、自动料仓存取、刀具管理、清洗、在线检测及自动加工单元等,其计划时限为数分钟至数小时。第三级为单元控制级,其主要功能是对各工作站进行管理和控制,因此有时也称为单元控制器(cell controller),这一级控制主要负责生产管理,编制日程进度计划,把生产所需的信息,如加工零件的种类和数量、每批的生产期限、刀夹具种类和数量等送到第二级管理计算机。单元控制级的计划时限为几小时至几十小时。

1 1 3 柔性制造系统的实例

由于国际市场上柴油机的需求的变化,使日本的 Diesel Kiki 柴油机制造公司决定改变其生产方式,从传统的大量生产方式转到柔性制造方式。

Diesel Kiki 柴油机制造公司原来依靠传统的专用机床和自动生产线制造喷油泵体,这种生产方式适用于大批量生产。但随着市场需求的不断变化,产品品种的需求量大大增加,因而需要从成品库控制的生产方式改变为面向用户的及时供应产品的生产方式,为此,有必要采用柔性制造系统进行生产。

Diesel Kiki 公司的柔性制造系统由 3 台 Yasda 卧式加工中心和一台 Yasda 立式加工中心、一个单层托盘库(容量为 70 个托盘)、一台带自动托盘交换装置的有轨小车及一个装卸站组成,系统由一台微机控制。用一个集中的切屑与冷却液系统和传送带排除切屑。

加工 8 种泵体的全部零件的 NC 程序存储在各台机床的控制器内,使得每台机床可以在系统内单独地工作。Yasda YBM-70 卧式加工中心具有 240 KB 存储器和一个 120