



高等学校教材

Textbook for Higher Education

# 先进制造系统

王润孝 主编

西北工业大学出版社

TH166  
W-696

高等学校教材

# 先进制造系统

主 编	王润孝				
副主编	唐 虹	孙树栋	秦现生		
编 者	王润孝	卜 昆	张振明	田锡天	
	陈佩琳	秦现生	唐 虹	孙树栋	
	汤军社				

西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书从系统的角度全面地论述了先进制造技术的特点、内涵及其应用。全书共9章,分别介绍了计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、成组技术(GT)、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)、管理信息系统(MIS)、质量工程(QE)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)以及先进制造技术的发展背景与趋势。

本书选材新颖,内容丰富,深入浅出,信息量大,可作为机械设计制造及其自动化、工业工程、机械电子工程等专业的教材,也可供研究生、工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

先进制造系统/王润孝主编. —西安:西北工业大学出版社, 2001.8

ISBN 7-5612-1374-3

I. 先… I. 王… III. 计算机辅助制造: 机械制造 IV. TH/64

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第009101号

出版发行:西北工业大学出版社

通讯地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072 电话:029—8493844

网 址:<http://www.nwpup.com>

印刷者:高陵县印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16

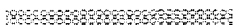
字 数:388千字

版 次:2001年8月 第1版 2001年8月 第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:20.00元

# 前 言



制造业是机械工业中实现产品设计目标、完成产品生产、保证产品质量、提高经济效益的基本方法和手段的产业总称，它是衡量一个国家实力与水平的重要标志之一，也是国民经济赖以生存发展的重要支柱产业。在工业化国家中，60%~80%的财富是由制造业提供的。

从远古时期的人们利用石器狩猎开始，制造工具就得到了重视。在开始阶段，制造业可以说是以一种手工的、分散的、单件的、低级的方法进行的，制造作为一种工业得到快速发展还是第一次工业革命之后的事。1784年瓦特在改进的蒸汽机上采用了离心式调速装置，开创了自动化装置应用的新篇章。20世纪初，汽车工业竞争激烈。1913年诞生的由专用机床组成的刚性流水生产线大大促进了汽车工业乃至整个制造业的发展。在此基础上，1947年出现了自动生产线。之后，数控机床、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等相继诞生。自20世纪80年代以来，生产环境发生了以下变化：①市场的动态多变、用户需求的多样化和个性化，使产品的生命周期缩短，供货期成为主要竞争因素。②由于市场的国际化，生产能力向全球扩散，产品走向国际市场，使之国际竞争非常强烈。③产品技术含量提高，国际竞争紧密地依赖于制造技术的竞争。从而使制造系统的模式趋于开放、自律、分散。先进制造技术(AMT)之目的就是实现优质、高效、低消耗、精良、敏捷的制造自动化和智能化。

本书将从系统的角度阐述先进制造技术，论述其特点、构成、技术内涵及其应用。全书共分9章。第1章由王润孝编写；第2章由卜昆编写；第3章由张振明编写；第4章由田锡天、张振明编写；第5章由陈佩琳编写；第6章由秦现生编写；第7章由唐虹编写；第8章由孙树栋编写；第9章由汤军社编写。全书由王润孝主编，唐虹、孙树栋、秦现生任副主编，全书由唐虹统稿。

本书是为满足机械制造类专业大学生教学需要而编写的，力求深入浅出，内容先进，增大信息量，增强宏观性，扩大知识面。全书文笔流畅，图文并茂，便于自学。

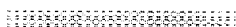
西安交通大学的江平宇教授悉心审读了本书稿，并提出了许多宝贵建议和意见，在此深表谢意。

由于先进制造技术层出不穷，编者的资料及水平所限，书中难免有不足甚至错误之处，敬请读者不吝指教。

编 者

2001年3月

# 目 录



<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 制造业的产生与发展 .....	1
1.2 制造系统的基本概念与特点 .....	3
1.3 先进制造系统的若干问题 .....	5
<b>第 2 章 计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)</b> .....	10
2.1 概述.....	10
2.2 计算机辅助设计基础.....	15
2.3 计算机图形软件和数据库.....	21
2.4 传统的数字控制.....	32
2.5 数控机床.....	32
2.6 计算机数控 (CNC) .....	41
2.7 直接数字控制 (DNC) .....	42
2.8 数控编程及数控加工.....	45
<b>第 3 章 成组技术 (GT)</b> .....	55
3.1 成组技术基本原理.....	55
3.2 零件分类编码系统.....	56
3.3 零件的分类成组.....	60
3.4 成组技术的应用.....	66
<b>第 4 章 计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)</b> .....	69
4.1 CAPP 的基本概念.....	69
4.2 CAPP 中零件信息描述.....	72
4.3 CAPP 系统原理与开发应用 .....	75
4.4 CAPP 技术的发展.....	82
4.5 实用 CAPP 系统分析 .....	86
<b>第 5 章 管理信息系统 (MIS)</b> .....	93
5.1 概述.....	93

5.2	物料需求计划 (MRP)	95
5.3	MRP I	104
5.4	企业资源计划 (ERP)	112
<b>第 6 章</b>	<b>质量工程 (QE)</b>	<b>114</b>
6.1	概述	114
6.2	质量体系	121
6.3	质量功能配置 (QFD)	134
6.4	统计过程控制及其他质量管理方法	146
<b>第 7 章</b>	<b>柔性制造系统 (FMS)</b>	<b>152</b>
7.1	柔性制造系统概述	152
7.2	FMS 的硬件与软件	155
7.3	FMS 的设计与建造	185
7.4	FMS 的一个范例——SSI 型板材 FMS 的实现	197
<b>第 8 章</b>	<b>计算机集成制造系统 (CIMS)</b>	<b>206</b>
8.1	概述	206
8.2	CIMS 的基本概念及特点	208
8.3	CIMS 中的集成技术	211
8.4	企业 CIMS 实施方法	215
8.5	CIMS 研究的新特点	221
<b>第 9 章</b>	<b>先进制造技术发展趋势</b>	<b>225</b>
9.1	概述	225
9.2	几种典型先进制造技术简介	227
9.3	先进制造技术发展趋势	242
	<b>习题与思考题</b>	<b>246</b>
	<b>参考文献</b>	<b>248</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 制造业的产生与发展

人们的生活用品和消费资料以及工业产品大多由制造业加工制造出来。制造业将可用资源和能源通过制造过程，转化为可供人们使用或利用的工业品或生活消费品。制造技术是工业技术中最复杂、最重要的技术之一。制造业涉及国民经济中机械、电子、轻工、化工、食品、能源、军工等大量行业。制造业是国民经济和综合国力的支柱产业。

制造过程是制造业的基本行为，它是将制造资源（原材料、劳动力、能源等）转变为有形财富或产品的过程。机械制造过程是一种离散的生产过程。劳动离散化的特点表现在：毛坯、零件、组件、部件和机器是采用顺序作业或平行作业的方式来制造的，各工序、工步转移和定位之间可以彼此关联或不相关联，零件的制造或机器的装配需要各种设备、工装、刀具和控制程序以及各种专业和技能的专家才能实现。

在用手工和机器把原料加工成产品的生产活动中，人们总是希望在节省人力的情况下（包括体力和脑力），多出产品，快出产品，出好产品。人们永远追求机器设备和制造技术的发展，用以代替人类的部分劳动。科学技术的进步使得制造产品的机器和技术从简单到复杂，由低级向高级发展，并促使加工和制造能力以及自动化水平不断提高，为社会创造出充足的财富，促进人类社会的进步。

福特建立的流水线生产方式，开始了刚性自动生产线的历史。到 20 世纪 40 年代后，人们通过设计各种高效的自动化机床，并用自动物料输送装置将单机连接起来，形成了以单一品种、大批量生产为特征的成熟刚性自动化生产方式。当以大量生产方式制造的产品使市场趋于饱和时，顾客开始要求制造系统能制造各种不同的产品以满足他人不同的需求。因而，在生产中引入柔性制造系统成为必然。开始的柔性是以提高加工柔性为主。1949 年出现了数字控制（NC）技术，并开发了能执行多种加工工作的、复杂的机床控制器，这种控制装置的作用和手工编程方法相结合，大大提高了机床加工的柔性。由于编程是一项十分困难的工作，这样便导致了计算机辅助编程工具的产生，从而出现了可编程自动化的概念。大约在 1964 年，过程控制计算机开始出现在一些汽车和飞机制造系统的生产设备上。随着计算机的进一步应用，出现了制造系统多级计算机控制的概念，直接数控（DNC）就是多级计算机控制的例子。1968 年诞生了世界上第一条柔性生产线，开始了柔性制造系统（FMS）的发展历史。FMS 能较好地适应市场多品种、中小批量的产品需求。随着制造系统全面自动化需求的日益增长和计算机辅助设计、辅助制造等相关技术的发展，1974 年出现了计算机集成制造（CIM）的概念。进入 20 世纪 80 年代后，CIM 成为制造系统自动化的研究热点。专家们认为，CIM 的实

施，将对制造系统产生深刻的变革，并促进制造系统由局部自动化走向全面自动化。

实现制造系统的自动化，除能将人们从繁重的体力劳动和脑力劳动中解放出来外，同时还能提高生产率，改善产品质量，减少生产面积，节约能源和原材料消耗，降低生产成本等。

制造系统自动化的含义很广，从工作性质分有设计自动化、制造自动化、智能活动自动化等；从工作内容上分有直接生产自动化、辅助过程自动化、管理规划自动化等；从技术含量看，制造系统自动化技术是集制造技术、计算机技术、自动化技术等为一体的综合技术，其涉及的学科领域比较复杂，是一门交叉技术学科，且正在不断发展和完善。

机械制造是将原材料变换为机械产品的过程，研究如何取代人对这个过程计划、管理、组织、控制与操作等方面的直接参与是机械制造自动化的任务。换句话说，随着科学技术的发展，相关学科的交叉渗透与融合，使制造领域的许多技术与人、与社会环境组成了更大的“系统”。这一系统不断吸取新的制造哲理而变得庞大，同时又具有明显的柔性化、精密化、宜人化、自动化、集成化、最优化、智能化、清洁化，这是当代机械制造行业正在经历的巨大变化，也是今后发展的必然趋势。这一发展的目标是使物力资源和智力资源更有效的转向应用以达到更高的经济效益。

制造系统的历史是一部由渐变到突变的发展史。制造新技术的发明和应用，积累到一定程度便引起生产方式的变革，从而形成制造系统自动化的相应发展阶段。迄今为止，制造系统自动化经历了单机自动化、刚性自动化生产线、柔性自动化生产线和制造系统全面自动化发展阶段。图 1-1 列出了自动化制造技术的发展历程。

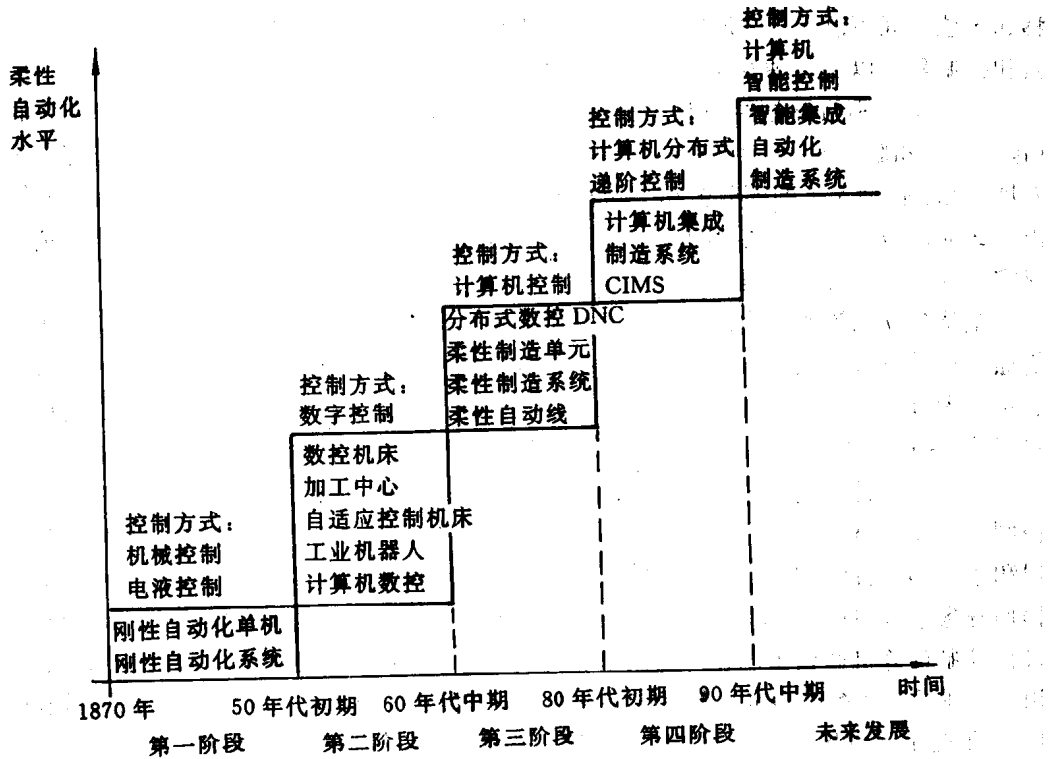


图 1-1 自动化制造技术的发展



## 1.2 制造系统的基本概念与特点

### 1.2.1 制造系统的定义

关于制造系统的定义，至今还未统一，目前仍在发展和完善之中。现列举国际上比较权威的几个定义作为参考。

英国著名学者帕纳比 (Parnaby) 1989 年给出的定义为：制造系统是工艺、机器系统、人、组织结构、信息流、控制系统和计算机的集成组合，其目的在于取得产品制造经济性和产品性能的国际竞争性。

国际生产工程学会 (CIRP) 于 1960 年公布的制造系统的定义是：制造系统是制造业中形成制造生产 (简称生产) 的有机整体。在机电工程产业中，制造系统具有设计、生产、发运和销售的一体化功能。

美国麻省理工学院 (MIT) 教授克理索罗里斯 (G. Chryssolouris) 于 1992 年给出的定义为：制造系统是人、机器和装备以及物料流和信息流的一个组合体。

国际著名制造系统工程专家、日本京都大学人见胜人教授于 1994 年指出：制造系统可以从三个方面来定义：①制造系统的结构方面，制造系统是一个包括人员、生产设施、物料加工设备和其他附属装置等各种硬件的统一整体；②制造系统的转变特性方面，制造系统可以定义为生产要素的转变过程，特别是将原材料以最大生产率转变成为产品；③制造系统的过程方面，制造系统可定义为生产的运行过程，包括计划、实施和控制。

综合上述的几种定义，可将制造系统定义如下：

制造过程及其所涉及的硬件 (包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置) 以及有关的软件 (包括制造理论、制造工艺和制造方法等) 和制造信息组成了一个具有特定功能的有机整体，称之为制造系统。以上定义可以看成是制造系统的基本定义。根据所研究问题的侧重点的不同，制造系统还可以有以下三种特定的定义：

(1) 制造系统的结构定义：制造系统是制造过程所涉及的硬件 (包括人员、设备、物料流等) 及其相关软件所组成的一个统一整体。

(2) 制造系统的功能定义：制造系统是一个将制造资源 (原材料、能源等) 转变为产品或半成品的输入输出系统。

(3) 制造系统的过程定义：制造可看成是制造生产的运行过程，包括市场分析、产品设计、工艺规划、制造实施、检验出厂、产品销售等各个环节的制造全过程。

由上述制造系统的定义可知，机械加工系统就是一种典型的制造系统，它由机床、夹具、刀具、被加工工件、操作人员、加工工艺等组成。机械加工系统输入的是制造资源 (毛坯或半成品、能源和劳动力)，经过机械加工过程制成产品或零件输出，这个过程就是制造资源向产品 (成品) 或零件的转变过程。一个正在制造产品的机床、生产线、车间乃至整个工厂可看作是不同层次的制造系统；加工中心、柔性制造系统、计算机集成制造系统均是典型的制造系统；另外，一个新产品的开发、一个技术改造项目、一个与制造有关的工程项目、科研课题以及它们所涉及的硬件和软件，也可以看成为不同的制造系统。图 1-2 和图 1-3 分别示出了 ISO 制造系统通用行为模型和人机一体化的自动化制造系统。

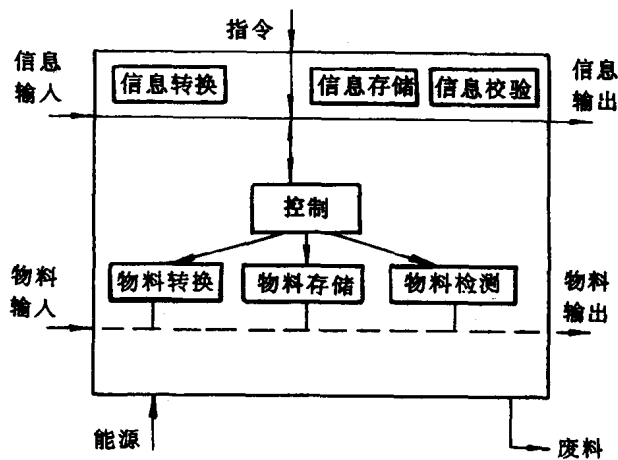


图 1-2 ISO 制造系统通用行为模型

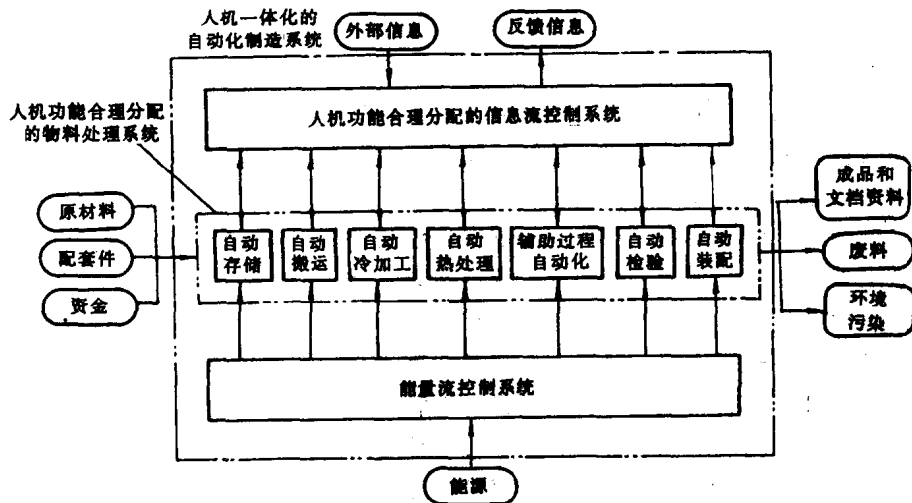


图 1-3 人机一体化的自动化制造系统

### 1.2.2 制造系统的特征

一个制造系统，具备系统科学中所说“系统”的全部特征：

(1) 集合性：制造系统是由两个或两个以上的可以相互区别的要素（或环节、子系统）所组成。例如柔性制造系统（FMS）是由共性加工系统（如若干数控机床和加工中心）、物流系统（输送、存储、装卸装置等）、能量流系统、控制系统、监测系统等诸多部分组成。

(2) 相关性：制造系统内各要素是相互联系的。集合性确定了制造系统的组成要素，而相关性则说明这些组成要素之间的关系。制造系统中任一要素与存在于该制造系统中的其它要素是相互关联和互相制约的，当某一要素发生变化时，则其它相关的要素也相应地改变和调整，以保持系统的整体最优状态。

(3) 目的性：一个实际的制造系统是一个整体，要完成一定的制造任务，或者说要达到

一个或多个目的。制造系统的目的就是要把制造资源转变成财富或产品。

(4) 环境适应性：一个具体的制造系统，必须具有对周围环境变化的适应性。外部环境与系统是互相影响的，两者之间必然要进行物质、能量或信息的交换。如果系统能进行自我控制，即使外部环境发生了变化，也能始终保持最优状态，这种系统被称为自适应系统，该系统的动态适应性表现为以最少的时间延迟去适应变化的环境，使系统接近理想状态。现在的自适应控制机制，就是典型的自适应性系统。

制造系统除具有上述一般系统的普遍特征外，还具有以下4个显著特点：

(1) 制造系统总是一个动态系统。制造系统的动态特性主要表现在：①制造系统总是处于产生要素（原材料、能量、信息等）的不断输入和有形财富即产品的不断输出这样一个动态过程中；②制造系统内部的全部硬件和软件也是处于不断的动态变化之中；③制造系统为适应生存的环境，特别是在激烈的市场竞争中总是处于不断发展、不断更新、不断完善的运动中。

(2) 制造系统在运行过程中无时无刻不伴随着物料流、信息流和能量流的运动。

(3) 制造系统中总是包括着决策子系统。从制造系统管理的角度看，制造系统内除包括物料流、能量流和信息流构成的物料子系统、能量子系统和信息子系统外，还包括若干决策点构成的制造系统运行管理决策子系统。因此，物料、能量、信息和决策点集合这四个要素的有机结合，才构成了一个完整的制造系统。

(4) 制造系统具有反馈特性。制造系统在运行过程中，其输出状态如产品质量信息和制造资源利用状况总是不断地反馈回制造过程的各个环节中，从而实现制造过程的不断调节、改善和优化。

## 1.3 先进制造系统的若干问题

### 1.3.1 制造系统中的能量流与信息流

#### 一、制造系统的能量流

能量是一切物质运动的基础。制造系统是一个动态系统，其制造过程中的所有运动，均需要能量来维持，都伴随着能量的流动。来自制造系统外部的能量（如电能），流向制造系统的各有关环节或子系统，一部分用以维持各个环节或子系统的运动，另一部分通过传递、损耗、储存、释放、转化等有关过程，以完成制造过程的有关功能。这种制造系统中的能量运动过程，称为制造系统的能量流。

#### 二、制造系统中的信息流

机械制造系统由物质（料）、能量、信息和决策四要素构成。物料与能量按一定的流程处于动态变化之中，构成了制造系统中的物料流与能量流。制造系统中的信息，同样也是以一定的流程形式在制造系统内部处于连续的动态变化之中，不断地被使用、保存、更新、删除等，这些流程形成了制造系统中的信息流。

按制造系统的过程特性，也可将制造系统功能按其实现的先后顺序划分成战略研究、技术规划、生产计划、制造及统计几个阶段，信息流贯穿了其中每一阶段，而物料流仅仅存在于“制造”一个阶段中，因此，制造系统中的信息流无处不有、无时不有，离开制造系统中

的信息流而研究制造系统是不全面的。

在传统制造系统中，从产品设计阶段开始，工程设计人员就必须不断地接受信息（产品需求信息、设计规范、标准等）加工信息（绘制设计图纸及编码说明）、存储并传递信息（交与下一设计阶段）。为了完成产品加工制造，工艺技术人员必须搜集工艺过程、材料、工具、机床、刀具等物质对象的各种参数（信息），并进行传递、管理等。在生产管理中更离不开对信息的处理。这些工作过程中各种信息变化与传递便形成了制造系统中的信息流。

在传统制造系统中对信息的处理有两点不足：一是信息处理的方式和工具相对落后，从而使制造系统中信息流的响应明显滞后于系统对信息的需求，有时甚至使信息失去了应有的价值；二是没有用系统的观点将信息流同制造系统中的能量流和物料流作为一个有机整体看待，相应地也没有用系统的方法处理信息流同物料流、能量流之间的关系。现代制造系统工程的主要贡献，就是采用系统科学的观点、系统工程的理论与方法将制造系统的信息流、物料流和能量流有机地结合，系统地加以研究，从而使制造技术由工程技术的范畴向“科学”的范畴迈进了一步，为制造系统的发展奠定了理论基础。

### 1.3.2 先进制造系统发展的新哲理

微电子技术与计算机技术的迅速发展及其在机械制造业中的广泛应用，使机械制造业正在成为集机械、电子、光学、信息科学、材料科学、生物科学、管理学最新成就的一个新兴技术与新兴工业。自动化、柔性化、最优化、集成化、精密化和智能化是当今机械制造业的特征，也是今后发展的必然趋势。其目的是缩短产品的生产周期、降低成本、提高产品的质量，并为用户提供良好的服务，以提高企业的市场竞争能力。近年来，柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）、敏捷制造（AM）、精益生产（LP）、并行工程（CE）、智能制造（IM）、再生工程（Reengineering）等新的制造系统模式和哲理层出不穷，一些发达国家投入巨资进行各种现代化制造系统新模式的研究与开发。这些新方法、新技术、新概念的引入，无疑更新了人们的观念，也给机械产品的制造带来了巨大的效益，使人们耳目一新。

#### 一、先进的制造系统及技术

##### 1. 柔性制造单元（FMC）和柔性制造系统（FMS）

柔性制造单元（FMC）溯源于20世纪60年代后期出现的群控（DNC）系统。一般来说，由一台计算机管理多台机床的系统都是FMC。按照上下料方式可以将FMC分为两大类：一类是加工中心配上托盘交换系统（APC）；另一类是数控机床配上工业机器人（Robot）。按照系统计算机控制形式，也可将其划分为分别控制型FMC和封闭控制型FMC。与采用若干单台的数控机床相比，FMC有着显著的特点，主要体在实现了上下物料及多工位加工的集成，增加了柔性，便于实现计算机化的生产管理。

柔性制造系统（FMS）是由一组数控机床（或制造单元）通过一个公用的物料输送系统和中央控制系统相互连接而成的制造系统，即由自动化物料输送和存储系统，多工位的数控加工系统，计算机控制的信息系统等三部分所组成，FMS的主要特征是实现了包括物料输送与存储在内的车间级或工段级的机械加工过程的集成，提高了自动化程度、柔性及生产效率。在FMS中还增加了作业调度等生产管理方面的功能，这为与企业生产管理、制造资源计划及经营管理的进一步集成创造了条件。

## 2. 计算机集成制造系统 (CIMS)

计算机集成制造的观点在于，通过信息技术将设计与工艺、管理这三个功能模块集成在一起，它是全厂、全企业范围内生产、经营和工程设计等所有活动的计算机集成或综合自动化系统。一般认为，CIMS 具体应由 6 个子系统组成：①计算机辅助经营和生产管理系统；②计算机辅助产品设计/制造等开发工程系统；③自动化制造加工系统；④计算机辅助储运系统；⑤质量控制系统；⑥数据库与通信系统。系统通过计算机网络对全厂物质流、能量流和信息流进行广泛而有效的控制与管理。

人们对 CIMS 的认识过程经历了从过去强调工程设计、制造工程、信息管理和工厂生产等技术的集成、功能的集成，到现在强调经营、技术和人的集成；由过去的“技术推动”变为现在的“需求牵引”；由过去只注重自动化到现在充分发挥人的作用，强调人的参与等。目前，衡量 CIMS 是否达到全局最优化有四个要素，即 TQCS，T 为新产品研制和产品上市的时间，Q 为产品质量，C 为产品成本，S 为为满足用户不断增长的需求所提供的增值服务。

## 3. 敏捷制造 (AM)

敏捷制造 (AM) 是一种新的制造企业战略，其出发点是基于对未来产品和市场发展的分析。随着社会的进步和科学技术的发展，人们对产品的需求和评价标准将从质量、功能的角度进一步扩展到最大限度地使客户满意、资源保护及污染控制等。产品市场总的发展趋势将从当今的标准化到大批量再到未来的多元化和个体化。与产品发展多元化、个体化相适应，未来产品的利润和成本结构也将发生变化。以往，决定产品成本和利润的主要是制造过程中的各种消耗。而多元化、个体化的产品结构中，决定产品成本、利润和竞争能力的主要因素是开发、生产该产品所需的知识的价值，而不是材料、设备或劳动力。

敏捷制造 (AM) 的总目标是建立一种对用户要求 (产品和服务) 作出灵敏快速反应的、市场竞争力强的制造组织和活动。当前的目标主要有：①分布式企业有时限的动态网络集成；②动态公司 (虚拟公司) 的常规组织结构和成员间合作关系的建立；③高柔性制造；④实现快速生产；⑤优化人力、物力资源；⑥关注诸如有效利用能源、环境保护等社会问题；⑦及时的信息；⑧分布式智能网络结构。

柔性技术、新型的管理机构和有知识的工作人员的技艺称为敏捷制造的三大基石。而“制造柔性”和“成员间的合作-虚拟公司”是构成敏捷制造的两个最主要的特点。

## 4. 精益生产 (LP)

精益生产 (LP) 是日本丰田汽车公司在 20 世纪 50 年代为解决所面临的市场小、产品品种多而又没有资金和外汇购买西方最新生产技术问题而创造的一种生产方式。后来被 IMVP (International Motor Vehicle Programme) 项目研制组织称之为精益生产。精益生产从企业生产的组织与管理出发，强调剔除生产过程一切不增值的部分，精简生产过程。

精益生产 (LP) 的最大目标是使企业的综合效益达到高指标。简单地说，就是要以最小的投入，取得最大的产出，在花色品种和质量上让用户满意。以最快的速度设计生产出产品来，并以最低的成本、合理的价格在市场上销售，以便在竞争中具有优势。精益生产的实质是在产品开发、生产过程中，通过项目组和生产小组把各方面的人集成在一起，提倡雇佣多面手，优化生产组织结构，把生产、检验、修理等场地集成在一起，并通过相应措施做到与零部件协作厂、销售商和用户的集成，从而简化产品的开发、生产和销售过程，去掉一切不增值的生产过程和环节，获取最大效益，最大限度地满足用户需求，提高企业竞争力。

## 5. 并行工程 (CE)

并行工程 (CE) 由美国国防分析研究所 (IDA) 于 1986 年提出, 其把并行工程定义为: “并行工程是集成地、并行地设计产品及相关的各种过程 (包括制造工程和支持工程) 的系统方法。这种方法要求产品开发人员在设计一开始就考虑产品整个生命周期中从概念形成到产品报废处理的所有因素, 包括质量、成本、进度计划和用户的需求。”

并行工程 (CE) 的核心是把产品开发和生产的全过程中所涉及的各种各样的工程行为集成在一起, 尽量并行 (而不是串行) 统筹和实施。

CE 的目标是适销、快速、优质、低成本。现代工业品要求在设计周期里做到设计面向制造 (DFM)、设计面向价格 (DFV)、各环节的质量控制 (QFD)、重视用户要求 (VOC)、连续不断的改进 (CPI), 等等, 确保在设计周期内把市场调查、外供、设计、制造、销售和服务的资源 and 经验结合在一起。并行工程强调“过程设计”, 强调满足用户的需求, 用户的需求不仅仅是产品使用者的要求, 而且是产品生命周期中各相关过程的需求, 这种需求的变化反映为从面向功能的需求扩展到面向制造、成本、装配、测试的需求, 即产品的生产周期的需求。因此, 要求设计时不仅要考虑产品的各项性能, 还必须考虑制造产品的各种工艺过程, 以达到减少工程变动、返工和便于制造的目的。

并行工程的关键是产品及其相关过程设计工作的集成, 相关过程包括加工工艺, 装配与检测, 质量保证, 销售和售后服务等, 产品开发过程中的各阶段工作交叉、并行进行。

除上述介绍的新技术之外, 还有智能制造、合弄制造系统, 适时制造、仿生 (生物) 型制造系统以及自动分布式制造系统等。

### 二、机械制造领域新技术的共同特性与关键技术

这些新的有关制造系统概念的提出背景是在全世界出现市场变化、竞争更趋激烈的情况下产生的。其共同的理论基础和技术有: 自动化技术、计算机与信息处理技术、数据库与网络通信技术、信息集成技术、人机交互技术等。之所以制造领域新技术能如雨后春笋, 取决于观念的更新和 20 世纪 80 年代 CAD, CAM, CAE, CAPP, MRP 等的深入而广泛的发展等。

产生上述新技术的途径和出发点显然是: ①产品的结构发生变化, 小批量产品需求量愈来愈大; ②新技术的广泛应用, 使机械产品市场的需求变化较大, 多变的市场, 要求产品及时更新换代; ③产品的成本和功能要求不仅涉及设计与制造过程, 还包括销售及维修等产品的全生命周期; ④生产组织的个体化或动态公司化; ⑤多种资源、技术、信息的综合利用或集成; ⑥制造业市场竞争加剧。

可见, 现代制造新技术所追求的共同目标是成本低、生产率高、灵活性好、全生命周期服务、适应市场变化、质量优, 即以“快速、灵活、便宜、质优”而取胜。其特征是: ①借助于计算机技术, 让计算机参与或计算机辅助完成各种相关工作, 如设计、制造、测试、管理、工艺规划等; ②强调人的参与, 形成人机一体化的交互式系统; ③改变组织结构; ④强调缩短研制、开发周期, 强调减少辅助环节, 降低成本, 争取时间; ⑤强调产品的全生命周期的总成本和总满意度, 统筹规划, 用户早参与, 既顾及产品本身性能, 又能顾及对环境、社会的影响; ⑥强调各种过程 (设计、制造、质检等)、各种资源 (人、财、物、信息、设备)、各种技术的综合与集成; ⑦将人的智能引入制造工程。总之, 新的制造技术的共同特征是高度柔性化、敏捷化、集成化、质量全面化和智能化。所追求的目标都是提高产品质量及生产效率, 缩短设计及制造周期, 降低生产成本, 最大限度地提高制造业对市场的应变能力, 满

足用户需求。

我们应针对我国的具体情况，对现代和未来制造业的共有特征作出分析，研究发展战略，制定发展对策，赶上现代制造技术的主流。

## 第 2 章 计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)

### 2.1 概 述

#### 2.1.1 CAD/CAM 技术发展概况

计算机辅助设计(Computer Aided Design)和计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing),常用 CAD/CAM 表示,是指产品设计和制造技术人员在计算机系统的支持下,根据产品设计和制造流程进行设计与制造的一项技术,也是人类智慧与系统中的硬件和软件功能的巧妙结合。它可以使远非单纯人脑所能承担的设计和制造任务当作日常工作处理,其处理能力和复杂程度,将随着一代又一代新的计算机硬件和软件的出现而不断提高。

CAD/CAM 技术是近 20~30 年中迅速发展起来的一门新兴的综合性计算机应用系统技术。20 世纪 40 年代出现第一台计算机,50 年代出现第一台数控机床,60 年代出现交互式图像显示设备、定义自由曲面的方法和力学计算的有限元法,70 年代出现的工作站(Workstation)和造型技术(Wireframe Modeling, Solid Modeling, Surface Modeling)、数据库技术、专家系统,80 年代出现智能机器人技术,CAD/CAM 历经形成、发展、提高和集成各个阶段。市场环境(企业竞争,产品市场寿命短)、设计环境(开发新产品的成功率要高而设计周期短)、制造环境(多品种、小批量和高质量)的变化是 CAD/CAM 技术发展的动力。今天 CAD/CAM 已渗透到工程技术和人类生活的几乎所有领域,并日益向纵深发展。迄今为止,在计算机技术的应用领域中,CAD/CAM 的覆盖率可达 60%。

CAD/CAM 技术主要服务于机械、电子、宇航、建筑、轻纺、管道敷设等产品的总体设计、外形设计、结构设计、优化设计、运动机构的模拟设计、有限元分析的前后置处理、物体质量特性计算、工艺过程设计、数控加工、检验测量等环节,它涉及计算机科学、计算数学、计算几何、计算机图形学、数据结构、数据库、数控技术、软件工程、仿真技术、机器人学、人工智能等新的学科领域。

CAD/CAM 技术具有高智力、知识密集、更新速度快、综合性强、效益高、初始投入大等特点,是世界各国竞相大量投资的高新技术——计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 的核心技术基础之一。CAD/CAM 技术的发展,不仅深刻地改变了人们能够借以设计和制造各种产品的常规方式,而且影响到企业的管理和商业对策。因此,任何一个企业和研究机构要想保持设计和制造中的竞争能力,就必须努力研究、开发或使用 CAD/CAM 技术。

设计、制造和市场被看做是从设计思想形成到交付产品的生产过程中三个不可分割的组



成部分(图 2-1)。市场把产品的需求信息提供给设计部门,设计部门将产品的定义数据和各种参数传送到制造部门,制造部门中的计划职能单位将产品的定义数据(例如几何数据、加工信息等)转换成工艺定义数据和有关产品制造的说明,然后将这些信息传送到工厂的加工现场,工厂据此进行生产。以计算机为基础的计划工作和管理工作,直接制订出进度计划并监视制造过程和控制产品质量。

我国研究 CAD/CAM 技术始于航空工业,1965 年应用多点加载的弹性梁理论设计了拟合翼型曲线的力学样条算法和机翼外形计算程序,同时以美国的 APT I 为蓝本研制了具有  $2\frac{1}{2}$  坐标功能的 PCL

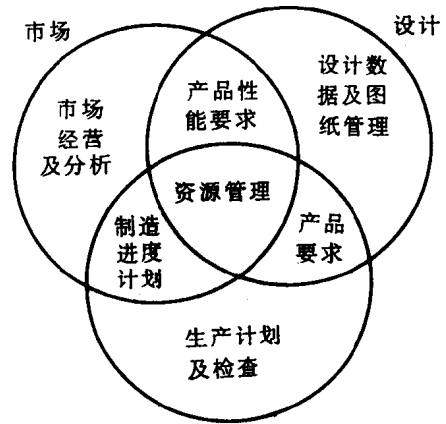


图 2-1 市场、设计、制造的相互关系

数控加工自动编程系统 SKC-1。在此基础上,以后又发展了 SKC-2, SKC-3 和 CAM251 数控加工绘图语言,功能从  $2\frac{1}{2}$  坐标扩大到 3, 4, 5 坐标。与此同时,在 TQ-16 机上发展了若干种拟合飞机外形的曲线、曲面处理系统,在数学方法上使用了  $y=f(x)$  形式的小挠度样条、孔斯 (Coons) 参数曲面、可以准确表示二次曲线的有理参数三次样条、非均匀 B 样条等,并相继研制了 SKHT、AD80、飞龙 79、飞龙 81 等数控绘图系统。

除航空工业外,我国的造船工业也是发展 CAD/CAM 技术卓有成效的行业。这主要表现在船体的数学放样、线型光顺、绘图以及火焰切割语言、数据库配置、集成化系统的设计等方面都有很多创造。

进入 20 世纪 80 年代中期, CAD/CAM 技术已在我国机械、电子、建筑、宇航、轻纺等行业得到了迅速发展。到目前为止,已经引进了近千套大、中、小型机和超级微机的 CAD 硬件系统、I-DEAS, ProE, UG, CADAM, CATIA, CALMA, MEDUSA, TIPS, GEOMOD, EUCLID 等商用 CAD 软件系统以及 ADAN, ANSYS, NASTRAN 等有限元分析软件系统。但是,硬件利用率较低,软件的应用和二次开发进展缓慢。

### 2.1.2 CAD/CAM 系统

物质世界的各种发明创造,都是为了满足人类的需要而发展起来的。在每种情况下,总是先有某种需要,而后产生一种怎样才能满足那种需要的思想,最后经过努力将其变为现实。人们把从需要到产生思想,再把这种思想变成实物,一般称其为设计和制造过程。这一过程包括市场需求分析、产品性能要求的确定、总体设计模型的建立、模型的综合分析、结构设计、方案优选、评估决策、工程描述、工艺规程设计、加工、装配和检测等环节或者概括地说,产品设计和制造是指从市场需求分析开始,直到形成为产品所必需的一系列有序活动。

从计算机科学的角度看,设计和制造过程是一个信息处理、交换、流通和管理的过程。因此,人们能够对产品从构思到投放市场的整个过程进行分析和控制,即对设计和制造过程中信息的产生、转换、存储、流通、管理进行分析和控制。CAD/CAM 系统实质上是一个有关产品设计和制造的信息处理系统。

产品的类型虽然成千上万,但其设计和制造的时间顺序模式却大同小异。任何设计制造