

制造业信息化系列教材

现代制造 信息系统

□ 孙延明 赖朝安 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



F407.406

2

制造业信息化系列教材

现代制造信息系统

孙延明 赖朝安 编著
王先逵 主审



机械工业出版社

本书系统地介绍了现代制造信息系统的形成与发展,现代制造企业常用的信息系统,现代制造信息系统的集成技术和方法,常用信息系统建设、规划、开发、组织与实施的技术方法,以及现代制造信息系统的发展趋势。

本书在内容、知识难度和深度等方面精心设计,有较强的针对性,适合各类制造专业、信息及管理专业的学生作为教材选用,也适用于从事与制造企业信息系统的工程技术人员、管理人员及研究应用方面的人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代制造信息系统/孙延明,赖朝安编著. —北京:机械工业出版社, 2005.8

(制造业信息化系列教材)

ISBN 7-111-17367-8

I. 现… II. ①孙…②赖… III. 制造业-工业
企业管理-管理信息系统-教材 IV. F407.406

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 103471 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:刘小慧

责任编辑:闫晓宇 版式设计:冉晓华 责任校对:张莉娟

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2005 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·14.5 印张·353 千字

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

制造业包括机械、电子、电力、化工、轻工、造纸、食品、军工等国民经济的很多行业。随着信息技术的不断普及和应用,现代制造企业的信息技术应用不断深入和系统化,信息系统在现代制造企业中发挥的作用越来越大。制造企业的信息化技术是典型的计算机、网络等信息技术与传统的制造技术和现代管理科学相交叉的一门新兴学科,是当今我国用信息化带动工业化,实现跨越式发展的基础科学和知识。

针对目前我国实施制造业信息化工程中,既掌握信息系统技术又掌握传统制造技术的复合型人才缺乏的现状,顺应现代制造企业的发展趋势,以培养制造企业信息系统应用的人才为目标,作者结合多年来在该领域的实际教学、科研经验,编写了本书。全书包括六章,每章内容简介如下。

第一章,首先从分析传统制造向现代制造演变的特点出发,阐述了现代制造的系统观和信息驱动观,然后通过介绍信息系统的形成与发展,从系统论观点对现代制造信息系统进行阐述,包括现代制造信息系统的内涵、分类、作用、体系结构、支撑技术及应用领域等内容,使读者对现代制造信息系统这一新的事物有一个全面系统的了解。

第二章,以现代制造企业产品生命周期中应用的信息系统为主线,从概述、基本内容、功能及应用实例、系统选型四个层面,全面系统地介绍了目前现代制造企业常用的信息系统,包括 CAD (Computer Aided Design, 计算机辅助设计) / CAPP (Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺过程设计,也叫计算机辅助工艺过程规划) / CAM (Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造) / CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程) / PDM (Product Data Management, 产品数据管理) 的设计/制造领域单元信息系统,以及 ERP (Enterprise Resource Planning, 企业资源计划) / SCM (Supply Chain Management, 供应链管理,也叫供应链管理) / CRM (Customer Relationship Management, 客户关系管理) / OA (Office Automation, 办公室自动化系统) 的制造企业管理领域单元信息系统,使读者可以从系统的观点全面了解现代制造企业常用的单元信息系统情况。

第三章,针对目前制造企业普遍存在的信息集成问题,首先阐述现代制造信息系统集成的基本思想、原则和分类方法,然后从网络集成、数据集成、应用集成和过程集成四个层面介绍了目前常用的相应层次的集成技术和方法,并给出具体的案例。

第四章,介绍了常规现代制造信息系统的生命周期及相关建设的复杂性和社会性问题,并介绍了一些常用的信息系统规划方法,使读者了解和掌握信息系统规划方法。

第五章,系统地介绍了包括结构化、面向对象和原型法常用的系统分析、设计方法,以及软件编程、测试与实施的常用方法,使读者了解信息系统开发和实施的常用技术方法。

第六章,首先从现代制造信息系统的发展动力、国内外现状及先进制造模式几个方面阐述现代制造信息系统未来发展的动因和背景,然后从网络化、标准化、虚拟化、智能化和社会化几个方面阐述了现代制造信息系统的发展趋势。

由于本书涉及较多英文缩写的专有名词,为了便于读者查阅,本书除了在某英文缩写第

一次出现时注明外，附录中按照英文字母顺序对书中出现过的英文缩写的专有名词做了索引。

本书中的知识横跨于制造和信息两个科学领域之间，有较强的读者针对性。书中信息系统方面的知识广泛而又成体系，主要针对从事与制造业信息系统相关的人员所需，在内容、知识难度和深度等方面精心设计，提供了交叉学科的知识体系和内容。例如，学制造出身的读者可以从本书中全面了解到平时接触和使用的信息系统，它们的集成技术，有关系统开发、实施、测试、组织与集成等原来没学过的基本知识；学信息科学出身的读者可以通过本书全面了解到应用在制造业的信息系统知识，所面临的关键的集成问题和解决思路，及未来在制造业中应用的发展趋势，使所学的知识（偏基础）和制造业具体应用情况紧密结合起来，更好地实现学有所用。所以，本书适合各类制造专业、信息及管理专业的学生作为教材选用，同时也适用于社会上从事与制造企业信息系统相关工作的工程技术人员、管理人员及研究应用方面的人员阅读参考。

本书由华南理工大学的孙延明、赖朝安编写，清华大学的王先逵教授主审。第1、3、4、5章由孙延明编写，第2、6章由赖朝安编写，博士研究生田志军参与了第3章的编写工作。华南理工大学的郑时雄教授对全书的编写框架提出了宝贵的意见，清华大学的王先逵教授对本书的初稿提出了很多宝贵的修改建议，在此一并表示感谢。

本书涉及的学科领域多，由于编者的水平和学识有限，书中难免存有缺点和不足之处，衷心期待读者批评指正。

编 者

2005年8月

《现代制造信息系统》

(孙延明 赖朝安 编著)

信息反馈表

尊敬的老师:

您好!感谢您多年来对机械工业出版社的支持和厚爱!为了进一步提高我社教材的出版质量,更好地为我国高等教育发展服务,欢迎您对我社的教材多提宝贵意见和建议。另外,如果您在教学中选用了本书,欢迎您对本书提出修改建议和意见。

一、基本信息

姓名: _____ 性别: _____ 职称: _____ 职务: _____

邮编: _____ 地址: _____

任教课程: _____ 电话: _____ — _____ (H) _____ (O)

电子邮件: _____ 手机: _____

二、您对本书的意见和建议

(欢迎您指出本书的疏误之处)

三、对我们的其他意见和建议

请与我们联系:

100037 机械工业出版社·高教分社 刘小慧收

Tel: 010—8837 9712, 88379715, 68994030 (Fax)

E-mail: lxh@mail.machineinfo.gov.cn

目 录

前言

第1章 现代制造信息系统概论	1
1.1 现代制造发展概况	1
1.1.1 传统制造技术	1
1.1.2 现代制造技术的产生	2
1.1.3 现代制造技术的特点	3
1.2 现代制造是一个系统工程	3
1.2.1 制造系统与制造系统工程	4
1.2.2 现代制造是信息驱动的系统工程	6
1.3 信息系统的形成与发展	7
1.3.1 信息技术的由来与发展	7
1.3.2 信息技术与信息化	9
1.3.3 信息系统	12
1.4 现代制造信息系统的形成	15
1.4.1 现代制造信息系统的内涵	15
1.4.2 现代制造信息系统的分类	16
1.4.3 现代制造信息系统的作用	16
1.5 现代制造信息系统的体系结构	17
1.5.1 现代制造信息系统的信息流	17
1.5.2 现代制造信息系统的功能结构	19
1.5.3 现代制造信息系统的软件体系结构	20
1.5.4 现代制造信息系统的硬件体系结构	21
1.5.5 现代制造信息系统的相关支撑技术	22
1.6 现代制造信息系统的应用	23
1.6.1 产品开发	24
1.6.2 生产管理	24
1.6.3 加工控制	26
1.6.4 营销管理	26
1.6.5 财务管理	27
1.6.6 人力资源管理	28
1.6.7 决策支持	29
问题与思考	30

第2章 现代制造工程中的单元信息

系统	31
2.1 现代制造单元信息系统概论	31
2.2 计算机辅助设计 (CAD)	33
2.2.1 概述	33
2.2.2 基本内容及功能	34
2.2.3 应用实例	36
2.2.4 系统选型	36
2.3 计算机辅助工程分析 (CAE)	37
2.3.1 概述	37
2.3.2 基本内容及功能	38
2.3.3 应用实例	40
2.3.4 系统选型	40
2.4 计算机辅助工艺规程设计 (CAPP)	41
2.4.1 概述	41
2.4.2 基本内容及功能	41
2.4.3 系统选型	42
2.5 产品数据管理系统 (PDM)	46
2.5.1 概述	46
2.5.2 基本内容及功能	46
2.5.3 应用实例	53
2.5.4 系统选型	54
2.6 计算机辅助制造 (CAM)	56
2.6.1 概述	56
2.6.2 基本内容及功能	57
2.6.3 应用实例	58
2.6.4 系统选型	59
2.7 企业资源计划 (ERP)	60
2.7.1 概述	60
2.7.2 基本内容及功能	65
2.7.3 应用实例	69
2.7.4 系统选型	70
2.8 供应链管理 (SCM)	71
2.8.1 概述	71
2.8.2 基本内容及功能	72
2.8.3 应用实例	73

2.8.4 系统选型	73	4.1.1 信息系统建设的复杂性	131
2.9 客户关系管理 (CRM)	74	4.1.2 信息系统的生命周期	132
2.9.1 概述	74	4.2 软件项目的组织	134
2.9.2 基本内容及功能	75	4.2.1 建立信息系统的基础条件	134
2.9.3 应用实例	77	4.2.2 系统开发的准备工作	135
2.9.4 系统选型	79	4.2.3 选择开发方式	136
2.10 办公自动化系统 (OA)	80	4.2.4 系统开发的计划与控制	137
2.10.1 概述	80	4.3 现代制造信息系统规划综述	138
2.10.2 基本内容及功能	81	4.3.1 系统规划的步骤	138
2.10.3 应用实例	82	4.3.2 系统规划的原则	139
2.10.4 系统选型	84	4.3.3 系统规划的特点	139
问题与思考	84	4.3.4 总体规划的准备工作	140
第3章 现代制造信息系统的集成	85	4.4 企业信息系统的战略规划	141
3.1 现代制造信息系统集成的概念	85	4.4.1 信息系统战略规划的内容	141
3.1.1 基本概念	85	4.4.2 信息系统战略规划的方法	142
3.1.2 系统集成的思想	86	4.5 企业信息系统流程规划	144
3.1.3 系统集成的原则	86	4.5.1 识别信息系统功能	144
3.1.4 系统集成的分类	87	4.5.2 优化企业的业务流程	146
3.2 现代制造信息系统中的网络集成	88	4.5.3 定义信息系统管理功能	148
3.2.1 网络集成概述	88	4.6 企业信息系统数据规划	148
3.2.2 网络系统集成的体系结构	88	4.6.1 定义数据类	148
3.2.3 网络传输介质	91	4.6.2 定义子系统	149
3.2.4 网络传输设备	94	4.6.3 计算机逻辑配置方案	152
3.2.5 网络交换技术	98	4.7 可行性研究及可行性研究报告	153
3.2.6 网络接入技术	100	4.7.1 可行性研究的内容	153
3.2.7 综合布线	105	4.7.2 可行性分析报告	153
3.2.8 网络管理与安全	106	问题与思考	154
3.3 现代制造信息系统的集成	109	第5章 现代制造信息系统的开发	155
3.3.1 产品数据交换技术	109	5.1 信息系统程序设计的方法	155
3.3.2 数据库集成	112	5.1.1 好程序的标准	155
3.4 现代制造信息系统应用集成	114	5.1.2 结构化程序设计	156
3.4.1 软件构件标准	114	5.1.3 面向对象的程序设计	157
3.4.2 Microsoft 的应用集成技术	114	5.1.4 可视化编程技术	158
3.4.3 OMG 的应用集成技术	119	5.2 信息系统分析方法	159
3.4.4 Java 平台上的应用集成技术	121	5.2.1 信息系统需求分析概述	159
3.5 现代制造信息系统的过程集成	123	5.2.2 结构化分析方法	160
3.5.1 对企业原有系统的集成	124	5.2.3 面向对象的分析方法	164
3.5.2 CAx/CAPP/PDM 集成技术	125	5.2.4 快速原型化分析方法	168
3.5.3 制造企业的 PLM 系统	126	5.2.5 软件需求规格说明和需求 评审	170
3.6 企业集成的实例	128	5.3 信息系统设计方法	172
问题与思考	130	5.3.1 软件设计的过程	172
第4章 现代制造信息系统的规划	131	5.3.2 软件设计的原则	174
4.1 现代制造信息系统建设概述	131		

5.3.3 有效的模块设计	177	6.2.1 国外现状	196
5.3.4 结构化设计方法	180	6.2.2 国内现状	197
5.3.5 面向对象设计 (OOD)	184	6.3 各种先进制造模式及其对制造信息	
5.3.6 设计规格说明与设计评审	185	系统的要求	197
5.4 信息系统测试	186	6.3.1 分散网络化制造模式	197
5.4.1 测试的概念	186	6.3.2 大规模定制模式	199
5.4.2 测试的原则	188	6.3.3 智能制造	200
5.4.3 测试用例设计	188	6.3.4 虚拟制造	201
5.4.4 排错	191	6.4 现代制造信息系统的发展方向及	
5.5 信息系统实施	192	关键技术	202
5.5.1 系统实施阶段的任务	192	6.4.1 现代制造信息系统的网络化	202
5.5.2 系统的交付使用	193	6.4.2 现代制造信息系统的标准化	204
问题与思考	194	6.4.3 现代制造信息系统的虚拟化	207
第 6 章 现代制造信息系统的发展		6.4.4 现代制造信息系统的智能化	209
趋势	195	6.4.5 现代制造信息系统的社会化	212
6.1 现代制造信息系统发展的动力	195	问题与思考	215
6.1.1 全球化趋势	195	附录 本书常用专有名词索引	
6.1.2 客户化市场驱动	195	(按字母顺序)	216
6.1.3 科技进步	196	参考文献	220
6.2 国内外对制造信息系统的研究	196	信息反馈表	

第 1 章 现代制造信息系统概论

本章从分析制造业发展特点出发,以系统工程的角度看待制造过程,通过追溯信息系统的形成与发展等一些相关背景知识引出现代制造信息系统的概念、内涵、作用范围及体系结构等内容,形成对现代制造信息系统全面的认识和了解。

1.1 现代制造发展概况[⊖]

1.1.1 传统制造技术

从 17 世纪中叶开始,传统制造业技术经历了工场手工加工制造业、18 世纪的工业革命及其机器-蒸汽机技术时代、19 世纪至 20 世纪初的电气技术时代三个阶段的发展和完善过程。在各阶段,生产力的发展和科学技术的进步,以及社会需求的提高,都为传统制造业的发展及其技术的提高创造了必要的条件和科学技术基础。

(1) 17 世纪中叶西方工场手工加工制造业的兴起 在 17 世纪中叶,工场手工加工制造业的兴起,具备机器三要素(工作机、传动机、动力机)的钟表、水磨机等传统机械雏形的出现,奠定了传统制造业的发展基础和技术。而随着殖民扩张和世界贸易的增长,为提供廉价竞争产品,手工业者联合生产同一产品,形成以分工为基础的协作工场手工制造业,为大机器生产提供了工艺前提。

(2) 18 世纪的西方工业革命(机器-蒸汽时代) 1784 年瓦特发明了蒸汽机,标志着机器-蒸汽动力时代的到来,工场手工制造业向传统的大机器制造业发展。在这一阶段,1797 年莫兹利发明了有移动刀架和导轨的机床,为制造提供了机械加工基础装备,并制造出满足加工、纺织、矿山、农业、化工、机械制造、原材料、交通运输、通信和建筑等不同行业需求的各种机器。这些技术和大机器的产生,促使早期传统制造工业以及以机器和蒸汽动力技术为核心的各类技术相互连接和依存的工业技术体系的形成。

(3) 19 世纪至 20 世纪初传统制造业和技术的革命性全面发展(电气时代) 蒸汽机在 18 世纪给制造业提供了动力,使各种非自然或人力的大机械的产生成为可能,并初步形成了传统制造业及其制造技术体系,为 19 至 20 世纪传统制造业的全面发展和完善建立了技术基础。到 19 世纪,工业革命继续发展,生产规模逐渐扩大,产品需求对制造材料的质量要求提高,使早期的传统制造技术体系与社会发展和需求产生矛盾。这些矛盾,随着 19 世纪新型冶炼技术(大型冶炼技术、合金冶炼技术)、内燃机技术(N.B. 澳托的四冲程煤气内燃机,4 马力,约为 3kW,具有 14%热效率)、电气技术(电机、电报和电话、电能及其传输)的发明和完善,随着 H. 福特的大规模生产方式和技术的出现(汽车装配生产线,零件互换技术),产生了工业技术的全面革命和创新,传统制造业及其大工业体系也随之建立和逐渐

⊖ 本小节相关内容可参阅参考文献 [2] 中的论述。——编者注

成熟。近代传统制造工业技术体系的形成，其特点是以机械-电力技术为核心的各类技术相互连接和依存的制造工业技术体系。

由于传统制造是以机械-电力技术为核心的各类技术相互连接和依存的制造工业技术体系，其支撑技术的发展，决定了传统制造业的生产和技术具有如下特点：

- 1) 单件小作坊式生产加高度的个人制造技巧，大量的机械化刚性规模生产加一体化的组织生产模式，再加细化的专业分工；
- 2) 制造技术的界限分明及其专业的相互独立；
- 3) 制造技术一般仅指加工制造的工艺方法，即制造全过程中某一段环节的技术方法；
- 4) 制造技术一般只能控制生产过程中的物质流和能量流（原材料到产品的物质流动过程，能量的投入、转换和消耗过程）；
- 5) 制造技术和制造生产管理的分离。

1.1.2 现代制造技术的产生

19世纪末，自然科学和工业技术进入了鼎盛发展时期，出现了许多划时代的科学发现和新技术发明，并相应建立了新的自然科学理论和新的学科体系，为能量驱动型的传统制造向信息驱动型的现代制造发展奠定了理论基础、创造了技术条件。这些科学和技术进展可归纳如下。

(1) 19世纪末自然科学的全面发展 19世纪末，自然科学领域进入了一个全面发展的时期，不断产生新的重大发现和创立新的科学理论体系。例如，1895年W.C.伦琴发现X射线，1896年H.贝克勒发现放射性，1897年J.J.汤姆逊发现电子，1898年居里夫人发现镭，20世纪初量子论、相对论和量子力学的建立，人们对原子结构的认识，核裂变的发现，固体电子理论建立，高温和低温物理研究，超导发现等。在此基础上，本世纪兴起了粒子物理学、现代宇宙学、量子化学、分子生物学、环境科学和脑科学等新学科，现代数学也得到发展（数理逻辑和集合论、非标准分析、突变论、模糊数学等），并且贝塔朗菲于1934年提出系统论，1948年申农创立并在20世纪70年代后全面发展了信息论，1948年维纳创立控制论。

(2) 新技术的产生 自然科学的全面进步，促进了新技术的发明和创造，老技术的革新、发展及完善，产生了新兴材料技术（新冶炼技术、新合金材料、高分子材料、无机非金属材料、复合材料等），新切削加工技术（数控机床、新刀具、超高速和精密加工），大型发电和传输技术，核能技术，微电子技术（集成电路、计算机、电视、广播和雷达），自动化技术，激光技术，生物技术和系统工程技术。

(3) 社会发展对制造技术提出了需求 人类社会跨入20世纪后，物质需求不断提高，在科学和技术进步的同时，受到地球有限资源和环境条件约束，随着全球市场的逐渐形成，世界范围的竞争日益加剧，日益提高的生活质量要求与世界能源的减少和人口增长的矛盾更加突出。因此，社会发展对其经济支撑行业——制造技术体系提出了更高的要求，要求制造业具有更加快速和灵活的市场响应、更高的产品质量、更低的成本和能源消耗以及良好的环保特性，这一需求促使传统制造在20世纪开始了又一次新的革命性的变化和进步，传统制造开始向现代制造发展。

1.1.3 现代制造技术的特点

社会发展和市场发展以及生活质量的提高向制造业提出了新的需求，而科学和技术的进步为制造业的革命提供了理论和技术条件。特别是现代数学、系统论、控制论和信息论等理论和学科的创建和进展，新材料技术、数控技术、微电子技术和自动化技术的提出和发展，使传统制造技术体系在20世纪开始向现代制造技术体系发展。其过程呈现如下特点。

1) 在制造的生产规模上，从单件小批量→少品种大批量→多品种变批量的发展。

2) 在生产方式上，呈现出从劳动密集型→设备密集型→信息密集型→知识密集型变化。

3) 制造装备的发展过程是手工→机械化→单机自动化→刚性自动线→柔性自动线→智能自动化。

4) 在制造技术和工艺方法上，现代制造在发展中，其特征表现为：重视必不可少的辅助工序，如加工前后处理；重视工艺装备，使制造技术成为集工艺方法、工艺装备和工艺材料为一体的成套技术；重视物流、检验、包装及储藏，使制造技术成为覆盖加工全过程的综合技术；不断发展优质高效低耗的工艺及加工方法，以取代落后工艺；不断吸收微电子、计算机和自动化等高新技术成果，形成CAD/CAM/CAPP/CAT（Computer Aided Test，计算机辅助测试）/CAE/NC（Numerical Control，数字控制，简称数控）/CNC（Computer Numerical Control，计算机数字控制，简称计算机数控）/MIS（Management Information System，管理信息系统）/FMS（Flexible Manufacturing System，柔性制造系统）/CIMS（Computer integrated Manufacturing System，计算机集成制造系统）/IMT（Intelligence Manufacturing Technology，智能制造技术）/IMS（Intelligence Manufacturing System，智能制造系统）等一系列现代制造技术，并实现上述技术的局部或系统集成，形成从单机到自动生产线等不同档次的自动化制造系统。

5) 引入工业工程和并行工程概念，强调系统化及其技术和管理的集成，将技术和管理有机的结合在一起；引入先进的管理模式，使制造技术及制造过程成为覆盖整个产品生命周期，包含物质流、能量流和信息流的系统工程。

6) 覆盖全生产过程（设计、生产准备、加工制造、销售和维修，甚至再生回收）。

1.2 现代制造是一个系统工程^①

随着制造业向着高层次发展，现代制造过程及其相应的制造理论、制造技术（包括制造工艺和制造方法）愈来愈呈现两个显著的特性：一是系统科学性，即涉及系统理论和系统工程的方法越来越多；二是学科综合性或技术集成性，即现代制造过程和制造技术绝非单一学科知识能够支撑，而是依赖于多门学科知识的有机结合。例如，目前应用十分广泛的机电一体化技术，就涉及大量系统理论和系统工程方法，并依赖于机、电、计算机等多学科知识的有机结合。机电一体化实质上是从系统的观点出发，应用机械、电子信息、计算机等有关技术，对电子器件和机械装置进行有机的组合与统一，实现机电系统的整体优化。机电一体化

① 本小节内容可参阅参考文献[3]中的论述。——编者注

不是机械与电子技术的简单叠加，而是机械系统和电子系统有机结合起来而形成的一种新的高层次的综合系统。又如，计算机集成制造系统（CIMS）是一种更高层次的制造系统，其系统科学性和学科综合性更为显著。计算机集成制造系统是用系统工程的理论和方法，把工厂生产的全部活动，包括市场信息、产品开发、生产准备与组织管理、产品制造、装配及检验、产品销售、售后服务等在计算机通信网络和数据库的支撑下集成起来，形成一个有机的整体（系统）。这个系统涉及机械工程、计算机技术、自动化技术、工业工程、管理工程等多学科的知识。

正是由于现代制造过程具有上述系统科学性和学科综合性这两个特性，并且这两个特性随着制造业的发展将愈来愈突出，为此，研究如何应用系统工程的理论和方法，有机综合和集成制造过程涉及的多学科知识，以解决制造过程涉及的综合性技术问题及相关的管理问题，从而追求制造过程整体优化，是制造业发展需要解决的重要问题。这类问题的研究无疑推动了制造系统工程学科的出现和发展。

1.2.1 制造系统与制造系统工程

传统地理解，人们一般将“制造”理解为产品的机械工艺过程或机械加工过程。例如，著名的 Longman 词典对“制造”（Manufacture）的解释为“通过机器进行（产品）制作或生产，特别适用于大批量（to make or produce by machinery, esp. in large quantities）。”

随着人类生产力的发展，“制造”的概念和内涵在“范围”和“过程”两个方面大大拓展。在范围方面，制造涉及的工业领域远非局限于机械制造，包括了机械、电子、化工、轻工、食品、军工等国民经济的大量行业。制造业已被定义为将可用资源（包括物料、能源等）通过相应过程转化为可供人们使用和利用的工业品或生活消费品的产业。在过程方面，制造不是仅指具体的工艺过程，而是包括市场分析、产品设计、生产工艺过程、装配检验、销售服务等产品整个生命周期过程，如国际生产工程学会 1990 年给“制造”下的定义是“制造是一个涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称”。

综上所述，“制造”目前有两种理解，一是通常的制造概念，指产品的“制作过程”或称作“小制造概念”，如机械加工过程；另一是广义制造概念，包括产品整个生命周期过程，又称为“大制造概念”。“制造系统工程”中的制造主要指“大制造概念”。

1. 制造系统

关于制造系统的定义，尚在发展和完善之中，至今还没有统一的定义。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的经济性和产品性能的国际竞争性。”

国际生产工程学会（CIRP）于 1990 年公布的制造系统的定义^[3]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 G. Chryssolouris 于 1992 年定义道“制造系统是人、机器和装备以及物料和信息流的一个组合体。”^[3]

国际著名制造系统工程专家、日本京都大学见胜人教授于1994年指出^[1]“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，制造系统可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软件，包括制造理论、制造技术（制造工艺和制造方法等）和制造信息等组成的具有特定功能的一个有机整体，称之为制造系统。

根据研究问题侧重面不同，借鉴见胜人教授的观点，制造系统还可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 制造系统可看成是制造生产的运行全过程，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、回收处理等各个环节的制造全过程。

2. 制造系统工程

制造系统工程的定义和内涵一般包括以下几点。

1) 制造系统工程是制造领域的系统工程，它从系统的角度、应用系统理论和方法来研究和处理制造过程的有关问题。制造系统工程的研究对象是各种具体的制造系统，如机械制造系统，电器制造系统等。其主要内容是制造系统的分析、决策、规划、设计、管理、运筹和评价等，重点是研究和处理制造过程中的综合性技术问题及相关的管理问题，从整体的角度和系统的角度研究制造系统。

2) 由于制造过程所涉及的硬件和软件，特别是现代制造设备、制造理论和制造技术，绝非单一学科知识足以支撑，一般涉及多门学科知识，而制造系统工程从整体的角度和系统的角度研究制造系统，因此它必然是一门多学科交叉的工程学科。而且它涉及的多学科不是简单的结合，而是以系统工程的理论和方法为纽带，以制造系统为结合对象而形成的多学科密切结合、融会贯通的有机整体。

3) 它追求的总目标是制造过程的整体最优。

制造系统工程的知识基础由三部分组成。一是“系统”理论和“系统”思想贯穿着制造过程的始终，因此系统科学是制造系统工程的思维基础。二是人们在设计、规划、控制和运筹制造系统时，总是追求总体最优，因而必然要涉及大量的运筹学、控制论和信息论的技术和方法，这些构成了制造系统工程的技术基础。三是制造过程所涉及的制造工艺、制造方法、制造技术、制造设备等是制造过程赖以存在的基石，它们构成了整个制造过程的专业基础。所以，制造系统工程的学科支撑体系比较复杂，目前还没有较为统一的描述。综合有关文献的论述，参考文献[3]中刘飞教授的观点，制造系统工程的学科支撑体系应是以制造学科（如机械制造学科）为基础、以系统工程的理论和方法为纽带，有机地结合机械工程、

计算机技术、电气工程、工业工程、管理工程等多学科知识而形成的一门综合性学科。制造系统工程的学科特点在于学科复合性与技术集成性，强调多学科的结合与融会贯通。

1.2.2 现代制造是信息驱动的系统工程

1. 制造系统的三流结构论

制造系统在运行过程中，无时无刻不伴随着“三流”，即物料流、信息流和能量流的运动。下面以机械加工系统为例予以简要说明。

机械加工系统的“三流”（即物料流、信息流和能量流）的运动分述如下。

(1) 物料流 机械加工系统输入的是原材料或坯料（有时也包括半成品）及相应的刀具、量具、夹具、润滑油、冷却液和其他辅助物料等，经过输送、装夹、加工和检验等过程，最后输出半成品或产品（一般还伴随着切屑的输出）。整个加工过程（包括加工准备阶段）是物料的输入和输出的动态过程，这种物料在机械加工系统中的流动被称为物料流。

(2) 信息流 为保证机械加工过程的正常进行，必须集成各方面的信息，这些信息主要包括加工任务、加工工序、加工方法、刀具状态、工件要求、质量指标、切削参数等等。这些信息又可分为静态信息（如工件尺寸要求、公差大小等）和动态信息（如刀具磨损程度、机床故障状态等）。所有这些信息及其交换和处理过程构成了机械加工过程的信息系统，这个系统不断地和机械加工过程的各种状态进行信息交换，从而有效地控制机械加工过程，以保证机械加工的效率 and 产品质量。这种信息在机械加工系统中的作用过程称为信息流。

(3) 能量流 能量是一种物质运动的基础。机械加工系统是一个动态系统，其动态过程是指机械加工过程中的各种运动过程，这个运动过程中的所有运动，特别是物料的运动，均需要能量来维持。来自机械加工系统外部的能量（一般是电能），多数转变为机械能。一部分机械能用以维持系统中的各种运动，另一部分通过传递、损耗而到达机械加工的切削区域，转变为分离金属的动能和势能。这种在机械加工过程中的能量运动称为能量流。

制造系统中的物料流、信息流和能量流之间是相互联系、相互影响的，是一个不可分割的有机整体。

2. 现代制造系统的制造信息观

传统制造观是指所谓的机械制造观，其本质在于认为制造过程是对原材料进行加工处理，使之具有一定用途的产品的过程，其中使用了能源作为加工制造的驱动源。传统制造观注重用制造系统中的物流与能量流来描述制造系统。

随着计算机、自动化及现代通信等高新技术在制造系统中的应用以及系统信息论的发展，一种新的制造观即制造信息观正在孕育和发展之中。这是因为信息在制造系统中起着越来越重要的作用。首先，信息是连接各系统要素、从而形成一定生产组织结构的制造系统的纽带；第二，产品制造过程中的信息投入已逐步成为决定产品价值的主要因素；第三，现代制造系统（如 CIMS）研究的重点之一是如何提高制造系统的信息处理能力；第四，制造系统中的信息已成为制造系统中与设备等等重要的制造资源，如同能量一样是驱动制造系统运行的重要驱动源；第五，智能制造的概念从本质上看是指制造系统在信息处理的某些方面“具备”人的智能。因此从上述诸方面看，制造过程的实质是对制造过程中各种信息资源的采集、输入和加工处理过程，最终形成的产品可看作信息的物质表现。从信息的角度看，制

造过程实质上是一个使原材料的熵降低,使产品信息含量增高的过程。上述即为制造信息观的主要思想。

当前研究制造信息的一个重要方向是考虑如何有效地建立起与制造系统功能相适应的制造信息系统,其中除涉及到信息系统分析与实现的硬软件技术外,还要考虑制造信息的分类、描述与处理问题。

1.3 信息系统的形成与发展^①

随着融合了计算机、通信和信息处理技术的电子信息技术的飞速发展,人类在经历了农业社会、工业社会后,已步入信息化社会。物质、能源与信息已成为社会发展的三大资源。信息技术是当代人类最活跃的生产力,正在对经济和社会的发展产生巨大而深远的影响。信息化水平的高低已成为衡量一个国家、一个地区现代化水平和综合国力的重要标志。20世纪90年代以来,信息化浪潮一浪高过一浪,世界各国更加关注和重视未来的信息社会,发达国家借助掌握信息技术的优势,大力推进国家信息基础设施的建设,促进本国产业结构重组,从而增强了自身的国际竞争力。

Internet/Intranet 技术的兴起,给企业业务流程、管理模式、组织机构的重组乃至整体的发展带来新的机会,并将导致产业结构及企业经营方式的变革。

1.3.1 信息技术的由来与发展

信息作为一种社会资源自古就有,人类也是自古以来就在利用信息资源,只是利用的能力和水平很低而已。

人类社会的早期,人们只能利用大自然给予的器官及功能来进行信息的简单处理。眼、耳、鼻、舌和身体是收集信息的门户;神经系统是信息在人体中传递的渠道;大脑则是记忆和处理信息的器官。这一阶段,反映了人类利用生理本能的自然形态。以后,经过漫长的进化演变,人类处理信息的方式逐渐由自然到自由,由被动到主动,由低级到高级,由本能到理智,由动物的共性到人类独有的个性。语言的出现,可以说是人类向独有的信息交流迈出的最初一步,也是人类成为社会人的最基本条件。当然,在语言出现以前,人类的信息交流也已经有通过动作、表情、甚至动物的其他本能等多种方式了。显然,在这样原始的条件下,人类作为一个整体,其能力处于极低的水平。无论是抗击野兽或自然灾害,还是集中力量改造自身的生存环境,都还是十分无力的,更谈不上更多地积累知识、发展文明了。

然而,即使在如此原始的时代,人类的祖先在开始使用石斧、石刀等原始工具生产物质财富与大自然斗争的同时,也已在能源与信息的处理方面迈出了最初的步伐。火的使用作为人类利用能源的最初尝试,后人对此在人类进步中的作用给予高度的评价。同样,在信息的处理和利用方面,原始的人类也已通过结绳记事、用筹码计算等手段,开始超出大自然所赋予的器官与功能,借助于各种“身外之物”来帮助自己处理信息。因此,应当说,信息技术的萌芽在这里已经开始了。原始的人类在利用工具延长自己的手臂,利用钻木取火获取能量的同时,也已经开始利用各种原始的技术协助自己处理信息。这可以称为人类处理信息,即

^① 本小节的相关内容可参阅参考文献[4]中的论述。——编者注

信息技术的最原始的阶段——史前时代。

信息处理手段的第一次飞跃应当说是文字的产生与使用，包括纸张的产生与印刷术的进步。文字的出现使人们在信息的存储方面有了重大的突破。作为一个整体、一个民族、一个部落有了独立于个别人的头脑之外的、可靠稳定的、不受时间与空间限制的、共同的信息存储形式，用现代信息处理的专用术语来说，有了永久的外存储器。这与只靠语言来传播和继承知识与信息的时代相比，无疑是一个极大的进步。正是由于这个进步，人类就能够有效地积累经验，形成对自然界以及人类自身的知识的理解，而这正是人类社会得以迅速发展进步的必要条件。至此，人类才摆脱了缓慢发展、无法积累经验成果的史前时期，在相对比较短的几千年的时间内（与上百万年的史前时期相比），推动了古代社会的发展。与此同时，在信息的存储、加工、传递和显示方面，也有了相应的进步与发展。众所周知，纸张与印刷术是中华民族引以为自豪的对人类的伟大贡献；同样，从古代的筹算到流传至今的算盘，都是早期信息处理技术的典型例子；遍布全国的烽火台系统和驿道系统同样表现出我们的祖先为加快信息传递速度而作出的巨大努力；我国古代发明的指南针则是原始的感测技术和显示技术。这个阶段可以称为信息处理的手工时代。

以蒸汽机的出现为标志，工业革命在物质和能量的使用方面开创了一个全新的时代。在信息处理方面，工业革命的思想与技术同样产生了一系列成果。例如，帕斯卡发明的机械计算机，这种设备可以在一定程度上帮助人们从事大量数据的累加、乘、除等运算。以其为原形发展起来的手摇计算机直到 20 世纪 60 年代初还在许多地方使用。在信息的加工与传递上，由于电的使用，人类又发明了一系列新的技术，如电报（包括有线的与无线的）和电话。这些技术与设备使人类在信息处理方面有了进一步的提高。这个时期可以称之为机械与电气为主要手段的机电时代。

20 世纪中叶，由于生产社会化程度的空前提高，人类在信息处理方面也进入了一个全新的阶段，可以称之为信息处理的现代阶段，或信息处理的电子时代。所谓现代信息技术，就是指在这几十年内迅速发展起来并且迅速普及的一系列技术，正是这些技术构成了现代信息处理的基础。

现代信息技术的核心是电子计算机和现代通信技术。作为信息处理的设备，电子计算机无论在信息量的存储方面，还是在信息处理加工速度方面都有长足的发展。电子计算机的价格大幅度下降，性能大幅度提高，这些都为电子计算机广泛应用于信息处理提供了可能。现代通信技术主要包括数字通信、卫星通信、微波通信、光纤通信等。通信技术的普及应用，是现代社会的显著标志。通信技术的迅速发展大大加快了信息传递的速度，使地球上任何地点之间的信息传递速度缩短到几分钟之内甚至更短，加上价格的大幅度下降，通信能力的大大加强，多种信息媒体（数字、声音、图形、图像）的传输，使社会生活发生了极其深刻的变化。

除了以上最主要的技术外，现代信息技术还包括了现代办公设备、印刷设备、缩微技术、遥测技术等方面的内容，它们同样对人类信息处理水平的提高发挥了巨大的作用。信息技术领域的历史与现状见表 1-1。可以看出，在游牧时代、农业时代以至工业时代，信息资源的利用都处于从属地位。只有到了信息时代，信息资源的利用才上升到主导地位。也只有到了信息时代，社会经济的发展才要求形成强大的信息基础结构。这种社会基础结构的变迁过程可用表 1-2 来说明。