

智能制造专业群“十三五”规划教材

智能制造导论

主 编 张小红 秦 威

副主编 杨 帅 孙炳孝



上海交通大学出版社

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

智能制造专业群“十三五”规划教材

智能制造导论

主 编 张小红 秦 威

副主编 杨 帅 孙炳孝



上海交通大学出版社

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书主要讨论了制造系统的概念与发展、智能制造系统的概念与内涵、制造系统的数字化和自动化以及制造系统智能化的智能装备、智能服务、智能决策,最后介绍了智能制造系统的支撑技术及典型应用等。

本书内容精练、语言通顺、概念性强,可作为高校智能制造专业的教材使用,也可作为有志于从事智能制造工作的读者提供理论参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能制造导论 / 张小红,秦威主编. —上海: 上海交通大学出版社, 2019
ISBN 978 - 7 - 313 - 21360 - 0

I. ①智… II. ①张… ②秦… III. ①智能制造系统—高等学校—教材 IV. ①TH166

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 105371 号

智能制造导论

主 编: 张小红 秦 威

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

印 制: 上海春秋印刷厂

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

字 数: 319 千字

版 次: 2019 年 7 月第 1 版

书 号: ISBN 978 - 7 - 313 - 21360 - 0/ TH

定 价: 42.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021 - 64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 14

印 次: 2019 年 7 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 021 - 33854186

智能制造专业群“十三五”规划教材 编委会名单

委 员 (按姓氏首写字母排序)

- | | |
|-----|-----------------|
| 蔡金堂 | 上海新南洋教育科技有限公司 |
| 常韶伟 | 上海新南洋股份有限公司 |
| 陈永平 | 上海电子信息职业技术学院 |
| 成建生 | 淮安信息职业技术学院 |
| 崔建国 | 上海智能制造功能平台 |
| 高功臣 | 河南工业职业技术学院 |
| 郭 琼 | 无锡职业技术学院 |
| 黄 麟 | 无锡职业技术学院 |
| 江可万 | 上海东海职业技术学院 |
| 蒋庆斌 | 常州机电职业技术学院 |
| 孟庆战 | 上海新南洋合鸣教育科技有限公司 |
| 那 莉 | 上海交大教育集团 |
| 秦 威 | 上海交通大学机械与动力工程学院 |
| 邵 瑛 | 上海电子信息职业技术学院 |
| 王维理 | 上海交大教育集团 |
| 徐智江 | 上海豪洋智能科技有限公司 |
| 薛苏云 | 常州信息职业技术学院 |
| 杨 萍 | 上海东海职业技术学院 |
| 杨 帅 | 淮安信息职业技术学院 |
| 杨晓光 | 上海新南洋合鸣教育科技有限公司 |
| 张季萌 | 河南工业职业技术学院 |
| 赵海峰 | 南京信息职业技术学院 |

前言



p r e f a c e

智能制造(Intelligent manufacturing, IM)是由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统,它在制造过程中能进行智能活动,诸如分析、推理、判断、构思和决策等。通过人与智能机器的合作共事,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。它把制造自动化的概念更新,扩展到柔性化、智能化和高度集成化。

2015年9月10日,工业和信息化部公布2015年智能制造试点示范项目名单,46个项目入围。46个试点示范项目覆盖了38个行业,分布在21个省,涉及流程制造、离散制造、智能装备和产品、智能制造新业态新模式、智能化管理、智能服务6个类别,体现了行业、区域覆盖面和较强的示范性。智能制造日益成为未来制造业发展的重大趋势和核心内容,是加快发展方式转变,促进工业向中高端迈进,建设制造强国的重要举措,也是新常态下打造新的国际竞争优势的必然选择。

本书以智能制造为重点进行讲解,主要包含10章内容。第1章主要介绍了制造系统的基本概念,使读者对制造系统有基本了解。第2章主要介绍了制造系统的发展历程。由前两章进行铺垫引出第3章,介绍了智能制造系统的概念与内涵。第4章和第5章详细介绍了智能制造系统的两大特征:自动化和数字化,让读者对智能制造有比较全面的认识。第6章至第10章主要介绍了智能制造系统的典型应用以及支撑技术,包含智能装备、智能决策和智能服务三大应用以及制造系统智能化的主要支撑技术:物联网、云计算、大数据和人工智能技术,最后介绍了当今社会智能制造系统的典型应用案例。

本书由江苏淮安信息职业技术学院张小红、上海交通大学秦威共同担任主编,具体编写分工如下:第1章至第4章由江苏淮安信息职业技术学院张小红老师编写;第5章至第8章由江苏淮安信息职业技术学院孙炳孝老师编写;第9章至第10章由江苏淮安信息职业技术学院杨帅老师编写;由上海交通大学秦威副教授指导与统稿。本书的编写得到了ABB、上海新时达、北京华航唯实等企业支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中可能存在不足和缺陷,敬请专家、广大读者批评指正。

编者

2019年5月

中英文术语缩略形式对照表

名 称	英 文 名 称	简 写
并行工程	concurrent engineering	CE
产品结构/配置管理	product configuration management	PCM
产品全生命周期管理	product overall lifecycle management	PLM
产品数据管理	product data management	PDM
产品数据交换	product data exchange	PDE
成组技术	group technology	GT
处理时间最长	longest processing time	LPT
处理时间最短	shortest processing time	SPT
传统统计制程控制	statistical process control	SPC
单位剩余工序数的松弛时间最小	least ratio of slack to operation	SLOPN
电子数据互换	electronic data interchange	EDI
分布式控制系统	distributed control system	DCS
分布式数字控制	distributed numerical control	DNC
刚性自动线	demand automation line	DAL
工业计算机	industrial personal computer	IPC
供需链管理	supply chain management	SCM
管理信息系统	management information system	MIS
光学字符识别	optical character recognition	OCR
活动循环图	activity cycle diagram	ACD
机床控制器	machine control unit	MCU
计算机辅助工程	computer aided engineering	CAE
计算机辅助工艺过程设计	computer aided process planning	CAPP
计算机辅助设计	computer aided design	CAD
计算机辅助生产管理	computer aided production management	CAPM
计算机辅助制造	computer aided manufacturing	CAM
计算机辅助质量控制	computer aided quality planning	CAQC
计算机辅助作业计划	computer aided operation planning	CAP
计算机集成制造	computer integrate manufacturing	CIM
计算机集成制造系统	computer integrate manufacturing system	CIMS
计算机视觉	computer vision	CV

(续表)

名 称	英 文 名 称	简 写
计算机数字控制机床	computerized numerical control machine	CNC
加工中心	machining center	MC
交付期最早	earliest due date	EDD
精益生产	lean production	LP
可编程逻辑控制器	programmable logic controller	PLC
客户关系管理	customer relationship management	CRM
面向检验设计	design for testing	DFT
面向制造设计	design for manufacturing	DFM
面向质量设计	design for quality	DFQ
面向装配设计	design for assembly	DFA
能力需求计划	capacity requirements planning	CRP
企业资源计划	enterprise resource planning	ERP
人工智能	artificial intelligence	AI
人机接口	human machine interface	HMI
柔性加工线	flexible manufacturing line	FML
柔性生产线	flexible transfer line	FTL
柔性制造单元	flexible manufacturing cell	FMC
柔性制造系统	flexible manufacturing system	FMS
柔性装配线	flexible assembly line	FAL
软件即服务	software as a service	SAAS
射频识别技术	radio frequency identification	RFID
剩余工序加工时间最长	longest remaining processing time	LR
剩余工序加工时间最短	shortest remaining processing time	SR
剩余工序数最多	most operation remaining	MOPNR
剩余工序数最小	fewest operation remaining	FOPNR
剩余松弛时间	slack time remained	STR
实时定位技术	real time location system	RTLS
数据库	date base	DB
数字控制	numerical control	NC
松弛量最小	least amount of slack	SLACK

(续表)

名 称	英 文 名 称	简 写
无线传感器网络	wireless sensor network	WSN
物料清单	bill of materials	BOM
物料需求计划	material requirement planning	MRP
下道工序加工时间最长	longest subsequent operation	LSOPN
先进先出	first in first out	FIFO
先进制造技术	advanced manufacturing technology	AMT
先进制造系统	advanced manufacturing system	AMS
信息管理系统	information management system	IMS
信息物理系统	cyber physical system	CPS
有轨小车	rail guide vehicle	RGV
制造执行系统	manufacturing execution system	MES
制造资源计划	many facturing resource planning	MRP
智能数字控制系统	intelligent numerical control system	INCS
智能制造	intelligent manufacturing	IM
智能制造技术	intelligent manufacturing technology	IMT
智能制造系统	intelligent manufacturing system	IMS
准时制生产	just in time	JIT
自动编程工具	automatically programmed tool	APT
自动导向小车	automatic guide vehicle	AGV
作业平均通过时间	mean flow time	MFT
作业平均延误时间	mean lateness	ML

目录



c o n t e n t s

1 制造系统的基本概念	001
1.1 制造	001
1.2 系统	003
1.3 制造系统	005
1.4 制造模式	013
1.5 本书的主要内容和章节安排	019
思考题	019
2 制造系统的发展	020
2.1 制造系统的演变历史	020
2.2 制造系统的发展现状	022
2.3 制造系统的发展分析	036
2.4 制造系统的发展趋势	040
思考题	043
3 智能制造系统的概念与内涵	044
3.1 智能制造概述	044
3.2 智能制造系统的定义	051
3.3 智能制造系统的典型特征	051
3.4 智能制造系统的实现基础	052
3.5 智能制造系统体系结构与关键技术	058
思考题	060
4 制造系统自动化	061
4.1 制造系统自动化概述	061
4.2 自动化制造系统的常见类型	061
4.3 自动化制造系统的构成单元与系统	068
4.4 自动化制造系统的总体设计	080

4.5	自动化制造系统的分系统设计	093
	思考题	107
5	制造系统信息化	108
5.1	制造系统信息化概述	108
5.2	制造系统常用信息管理系统	108
5.3	制造系统的计划管理系统	118
5.4	制造系统的调度控制系统	127
	思考题	140
6	制造系统智能化：智能装备	141
6.1	智能装备的定义	141
6.2	智能装备的技术特征	141
6.3	智能制造系统中的典型智能装备	146
6.4	智能装备的发展趋势与重点研究领域	154
	思考题	155
7	制造系统智能化：智能决策	156
7.1	智能决策的定义	156
7.2	智能决策的技术特征	158
7.3	智能制造系统中的典型智能决策	161
7.4	智能系统的发展趋势与重点研究领域	163
	思考题	164
8	制造系统智能化：智能服务	165
8.1	智能服务的定义	165
8.2	智能服务的技术特征	165
8.3	智能化集成制造系统中的典型智能服务	167
8.4	智能服务的发展趋势与重点研究领域	170
	思考题	170
9	制造系统智能化：支撑技术	171
9.1	智能化集成制造系统的技术体系	171
9.2	物联网技术	172
9.3	大数据技术	181
9.4	云计算和云服务技术	186
9.5	人工智能技术	190
	思考题	196

10 制造系统智能化：典型应用	197
10.1 智能制造系统的功能组成	197
10.2 智能制造系统的应用场景	197
10.3 智能制造系统的应用案例	202
思考题	205
参考文献	206
后记	207

制造系统的基本概念

在日常生活和工业生产中人们广泛使用工业产品,如飞机、汽车、手机等。这些产品虽然结构、性能各有不同,但是都包含机械和电子元件,紧紧依托着制造这一重要环节。

1.1 制造

制造的英文为 manufacturing。该词起源于拉丁文词根 manu(手)和 facere(做)。这说明几百年来人们把制造理解为用手来做。随着自动化技术、信息技术、先进制造和管理技术的进步以及生产力的发展,人们对制造过程的定义和内涵的理解发生了较大的变化,逐渐形成了“小”制造概念下的制造过程和“大”制造概念下的制造过程。

1.1.1 “小”制造

“小”制造即狭义制造或传统机械制造,主要是指产品的制作过程。或者说,制造是原材料(农产品和采掘业的产品)在物理性质和化学性质上发生变化而转化为产品的过程。

传统上把制造理解为产品的机械工艺过程或机械加工与装配过程。例如,“机械制造基础”主要是介绍热加工和冷加工;“机械制造工艺学”主要是介绍机械零件加工技术和产品装配技术。英文词典对制造(manufacturing)解释为“通过体力劳动或机器制作物品,特别是适用于大批量(making of articles by physical labor or machinery, especially on a large scale)”。

“小”制造指的是通过机器和工具将原材料转变为有用产品的过程,重点强调的是工艺过程。

1.1.2 “大”制造

“大”制造,即广义制造或现代制造系统,主要是指在产品的全寿命周期过程中,从供应市场到需求市场的整条供应链,其所包含的各类活动,涉及产品设计、物料选择、加工、装配、销售和服务、报废和再制造等一系列的相关活动和工作。

广义制造包含 4 个过程:概念过程(产品设计、工艺设计、生产计划等);物理过程(加工、装配等);物质(原材料、毛坯和产品等)的转移过程;产品报废与再制造过程。广义制造还有 3 个特点:

(1) 全过程。从产品生命看,不仅包括毛坯到成品的加工制造过程,还包括产品的市场信息分析,产品的决策,产品的设计、加工和制造过程,产品销售和售后服务,报废产品的处

理和回收,以及产品生命周期的设计、制造和管理。

(2) 大范围。从产品类别来看,不只是机械产品的制造,还有光机电产品的制造、工业流程制造和材料制备等。

(3) 高技术。从技术方法来看,不仅包括机械加工技术,而且包括高能束加工技术、微米加工技术、电化学加工技术、生物制造技术等,还包括现代信息技术特别是计算机技术与网络技术。现代制造与高新技术是“你中有我,我中有你”的关系。

从词义上来看,制造概念的内涵目前在过程、范围和层次 3 个方面拓展。从本质特征上认识,制造是一种将原有资源(如物料、能量、资金、人员、信息等)按照社会需求转变为具有更高实用价值的新资源(如有形的产品和无形的软件、服务)的过程。

1.1.3 制造过程

无论是“小”制造过程还是“大”制造过程,都是一个把制造资源转变为可用产品的过程(见图 1-1),它由信息处理过程和物质转化过程组成。物质转化过程包含原材料或零部件的采购、产品加工、装配、检验或销售等。其中,由产品的加工和装配过程组成了产品的基本制造过程,属于狭义制造概念。信息处理是关于制造信息采集、分析、处理、存储、应用的过程,包括自上而下的生产指令和自下而上的反馈信息。

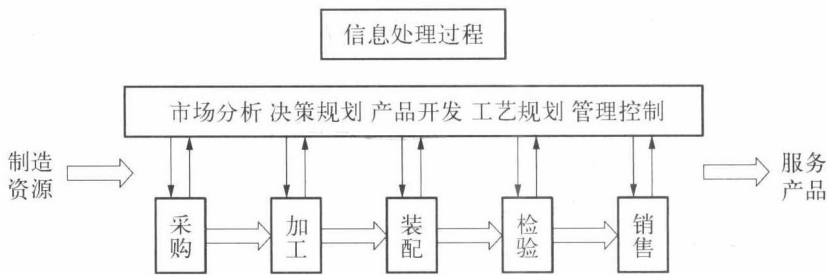


图 1-1 产品制作过程

根据生产的工艺流程不同,将制造型生产过程分为离散型制造过程和流程型制造过程。

离散型制造过程: 分别在不同时间、地点生产出零部件,再按一定的设计要求装配成成品的生产制造过程。

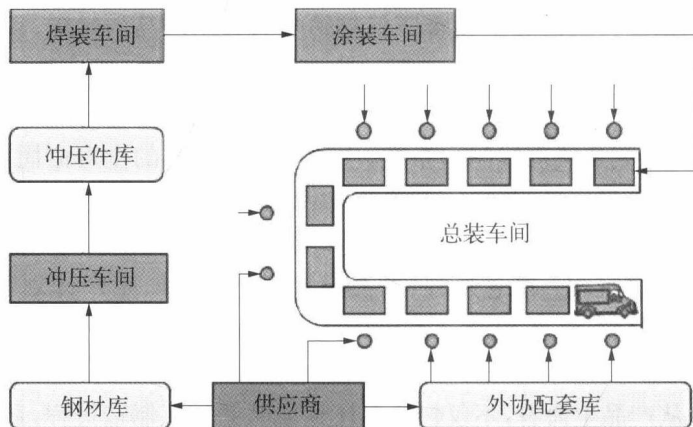


图 1-2 离散型生产过程

特点：离散型生产的协作关系复杂，协调任务关系复杂，协调任务繁重，生产管理也更复杂。离散性生产过程，如图 1-2 所示。

流程型制造过程：在生产过程中，物料按一定工艺顺序连续地通过生产各环节，在过程中不断改变形态和性能，最后形成产品的生产过程。图 1-3 为属于流程型制造过程的塑料生产线。

特点：流程型生产协调和协作任务少，但一旦发生故障就会影响全局。

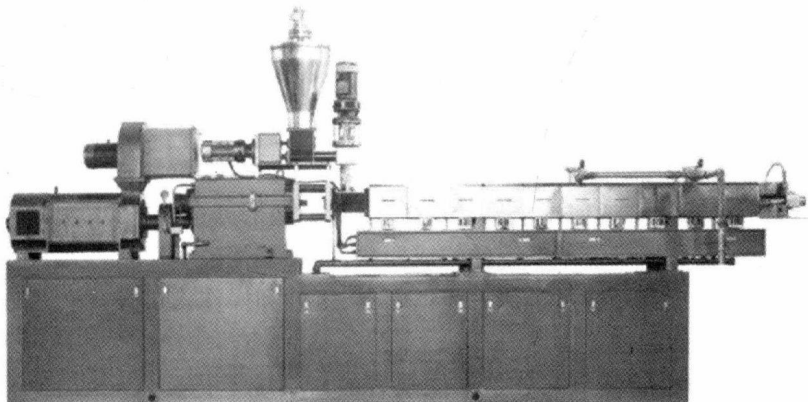


图 1-3 属于流程型制造过程的塑料生产线

1.2 系统

1.2.1 系统的定义

系统(system)是目前各个领域广泛应用的观念。系统的定义是“由若干相互联系的要素组成的一个具有特定功能的整体”。比如一台机器、一个部门、一个车间、一座工厂、一条公交线路、一条高速客运专线、一项计划、一个研究项目、一种组织、一套制度都可以看成一个系统；机床、夹具、刀具、工件和操作人员组成的一个机械加工系统，其功能是改变工件形状和尺寸。因此，系统的概念蕴含多方面的含义：系统是由输入要素、转化过程、输出要素组成的有机整体；各要素具有特定的属性；各要素之间具有特定的关联性，并在系统内部形成特定的系统结构；系统具有边界，边界确定了系统的范围，也将系统与周围环境区别开来，系统与环境之间存在物质、能量和信息的交流；系统具有特定的功能，系统功能受到系统结构和环境的影响。

根据系统状态随时间的变化，可以将系统分为连续系统和离散事件系统。连续系统指系统状态随时间发生连续变化，诸如电力系统、石油冶炼、自来水生产等；离散事件系统是指只有当在某个时间点上事件发生时，系统状态才会发生变化，诸如机械零件加工车间、汽车装配线、交通路口通行流量、车站/机场/码头的客流、电信网络的电话流量、理发店/商店/餐厅等的服务系统。

1.2.2 系统的特征

每个系统都具有如下特征：

(1) 集合性。系统由两个或两个以上的要素(组成部分)构成。例如,将一台机床看作一个子系统,它可分解为许多部件、组件和零件等。系统的要素既可以是物理实体,也可以是非物理的抽象事物。例如,管理信息系统是一个抽象的系统。

(2) 层次性。一个系统总是由若干个子系统组成的,该系统本身又可看作是更大的系统的一个子系统,这就构成了系统的层次性。不同层次上的系统运动有其特殊性。在研究复杂系统时要从较大的系统出发,考虑到系统所处的上下左右关系。

(3) 有界性。系统具有与外界联系的边界,是一个可辨别的研究对象。通过这种边界,系统与外界环境产生联系,外界环境对系统施加影响。系统与环境的边界是随研究目的的变化而变化的。例如,对于工厂系统的订货问题,既可将其视为外界环境对生产产生的影响,也可将销售纳入系统作为系统内的活动研究。

(4) 相关性。系统内部各部分之间是按一定的关系互相联系和制约。它不是一些杂乱无章的事物的集合。系统中任何一个元素发生变化,其他部分也会随之变化,以保持系统的整体最优化。因此,集合性确定了系统的组成要素,而相关性说明了这些组成要素之间的关系。例如,机械加工系统就是通过机床、夹具、刀具、工件和操作人员按工艺规程的要求相互发生作用,才能实现零件的加工。

(5) 整体性。系统内的各个部分是不能缺省的。系统不是要素功能的线性叠加,整体大于部分的总和。系统的要素各自具有自身的特性和内在规律,但其彼此之间是有机地结合在一起,由此形成一个整体,对外体现综合性的整体功能。系统的各要素组成一个整体,如果系统的整体性受到破坏,将不再成为系统。例如,计算机的各要素(中央处理器、存储器、显示器、键盘、鼠标、软件程序等)通过配置而彼此联系,当构成协调运行的整体时,方能显示计算机系统的整体功能。而将计算机拆为分散零件后,就不再成为一个计算机系统。

(6) 目的性。功能是系统存在的目的。系统内的要素组织在一起是为了完成某些确定的功能,并且在运行过程中总是力求使某些性能指标更优。如果把工厂看成是一个系统的话,它就是通过将生产要素(人、财、物和信息等)有效地转变成财富(产品),以达到使原材料增加价值而创造高效益的目的。

(7) 环境适应性。任何一个系统都存在于一定的环境之中。有序与无序是系统的两种基本状态。系统的发展过程就是在这两种状态中交替、转变。环境适应性反映了系统的动态性。系统为了维护有序性,必须与环境发生物质的、能量的和信息的交换,进行新陈代谢,以适应环境的变化。

(8) 生物性。任何一个系统都有从孕育、出生和成长,经过成熟和衰老,直到死亡的生命周期。虽然系统的生命周期是不可逆的,但是它可以实现生命周期的循环。例如,产品可以更新换代;报废的产品可以再生或“再制造”。

理解系统的上述特性,有助于把握系统定义的内涵。系统研究主要是为了处理各部分之间的相互关系。系统观念强调局部之间的联系与协调,使人们全面地分析与综合各种事物。

1.2.3 系统的功能

不同的系统所拥有的具体功能是不一样的。然而,从一般意义上分析,系统的功能可表示为图 1-4 的功能结构,即系统接受外界的输入,通过内部的处理和转换,向外界输出结果。

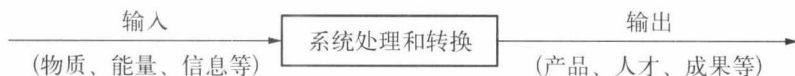


图 1-4 系统的功能

系统的输入是系统所需的物质、能量和信息等原材料,系统的输出是经过系统处理和转换的结果,如产品、人才、成果、服务等。所以,系统可以理解为是一种处理和转换的机构,它将输入转变为人们所需要的输出。

系统工程的宗旨是提高系统的功能,特别是提高系统处理和转换的效率,即在输入一定的条件下使得系统输出尽可能的好、多、快,或者说,在一定的输出要求下使得系统输入尽可能少和省。

系统功能的实现关键在于系统要素之间的关系和系统的结构。建立起合理的系统结构,调整好各要素之间的关系,就能提高和增加系统的功能。

1.3 制造系统

1.3.1 制造系统的定义

国际生产工程学会于 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。英国著名学者帕纳比(Pamaby)1989 年给出制造系统的定义为: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。美国麻省理工学院于 1992 年描述的制造系统为:由人、机器和装备以及物流和信息流构成的一个组合体。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。概括而言,制造系统是按照一定的制造模式将制造过程所涉及的人力资源、加工设备、物流设备、原材料、能源和其他辅助装置,以及设计方法、加工工艺、管理规范 and 制造信息等要素整合而成的有机整体,它具有将制造资源转变为有用产品的特定功能,蕴含着 3 个方面的含义。

(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。

综合上述的几种定义,可将制造系统定义如下:制造系统是制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员所组成的一个将制造资源转变为产品或半成品的输入/输出系统,它涉及产品生命周期(包括市场分析、产品设计、工艺规划、加工过程、装配、运输、产品销售、售后服务及回收处理等)的全过程或部分环节。其中,硬件包括厂房、生产设备、工具、刀具、计算机及网络等;软件包括制造理论、制造技术(制造工艺和制造方法等)、管理方法、制造信息及其有关的软件系统等;制造资源包括狭义制造资源和广义制造资源,狭义制造资源主要是指物能资源,包括原材料、坯件、半成品、能源等,广义制造资源还包括硬件、软件、人员等。

依据制造系统的定义,机械制造系统是一种典型的制造系统,它由可实现物质转化、信息传递或转换的机床、夹具、刀具、被加工工件、操作人员等组成,是具有制造功能的有机整体。诸如工业、电子、石油、化工、仪器仪表、建筑、印刷、纺织、矿冶、农业、交通、食品、医疗、家电、通信、航空航天、船舶、电力等部门的机械制造都属于这一范畴。机械制造系统所涉及的领域和生产构成如图 1-5 所示。

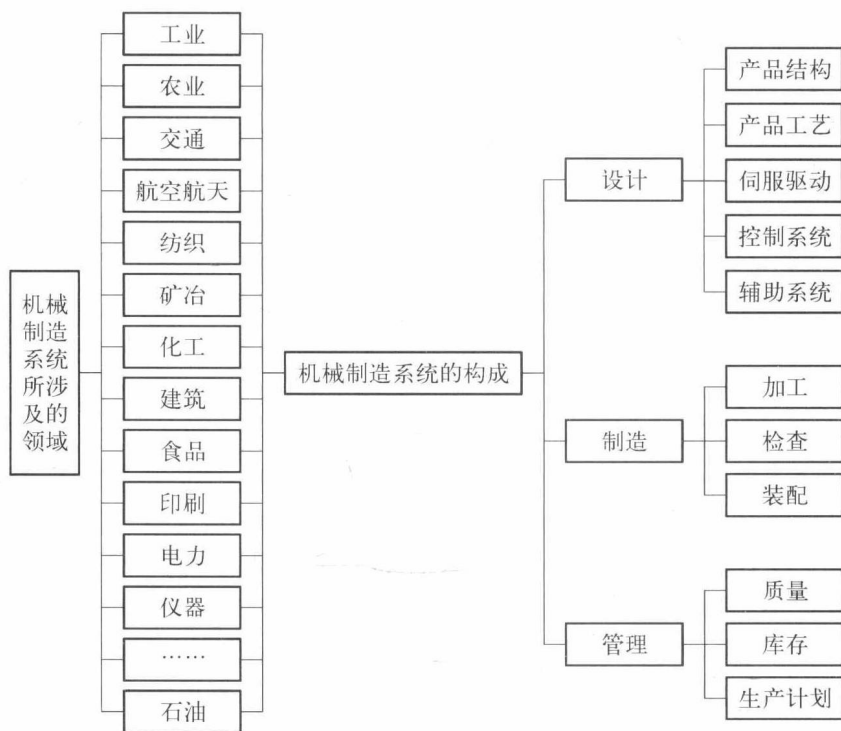


图 1-5 机械制造系统所涉及的领域和生产构成

一般情况下,机械制造系统是复杂的离散事件动态系统,它输入制造资源,经过机械加工过程输出零件或者产品,这个过程就是制造资源向零件或产品的转变过程。图 1-6 表示了离散制造系统的典型结构。

现代制造系统是指在时间、质量、成本、服务和环境诸方面,能够很好地满足市场需求,采用先进制造技术和先进制造模式,协调运行,获取系统资源投入的最大增值,具有良好社会效益,达到整体最优的制造系统。

现代制造系统是包含了多项现代制造技术和多种现代制造模式的一个整体概念。有的文献把现代制造模式称为制造系统集成技术,或整体制造技术,这表明没有把“模式”从“技术”的概念中分离出来。当代信息技术和自动化技术为企业提供了改变常规制造模式的机遇,只有打破常规制造模式的框框而产生现代制造模式,才能发挥现代制造技术的作用,从而形成现代制造系统,真正提高企业的综合竞争力。

1.3.2 制造系统的特征

系统结构从其结构、功能到过程考查,均涉及诸多要素,是诸要素相互作用、相互依赖、相互关联的一个有机整体,具备系统科学中“系统”的全部特征。① 集合性。一个实际的制