

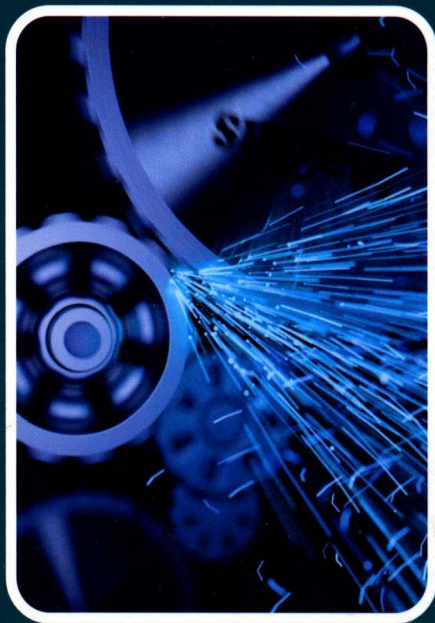


全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

丛书顾问 ▶ 李培根 林萍华

现代制造 系统

李文斌 王宗彦 闫献国 ▶ 主编



XIANDAI ZHIZHAO XITONG



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

现代制造系统

主 编 李文斌 王宗彦 闫献国
副主编 董长双 白艳艳

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书的编写基于作者的教学改革经验,章节安排合理,内容全面、系统和新颖,反映了当前国内外现代制造系统的最新成果和发展,力求满足学科专业、教学过程和社会服务等方面的需求。全书共分为8章,主要包括绪论、FMS的加工系统、FMS的物流系统、FMS的信息流系统、FMS的质量控制系统、FMS应用实例、计算机集成制造系统和智能制造系统简介等。

本书可作为机械设计制造及其自动化、机械电子工程等专业的本科生教材或研究生的教学参考书,亦可作为从事机械制造及其自动化专业人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代制造系统/李文斌,王宗彦,闫献国主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.9

全国普通高等学校机械类“十二五”规划系列教材

ISBN 978-7-5680-1961-3

I. ①现… II. ①李… ②王… ③闫… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 138370 号

现代制造系统

李文斌 王宗彦 闫献国 主编

Xiandai Zhizao Xitong

策划编辑:俞道凯

责任编辑:刘 飞

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:10.25

字 数:264千字

版 次:2016年9月第1版第1次印刷

定 价:25.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

随着时代的前进和科技的进步,制造系统始终处在不断发展变化之中。现代制造系统是为了达到预定的制造目的而构成的物理或组织系统,是将制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成一个具有特定功能的有机整体。现代制造系统代表了先进制造技术(advanced manufacturing technology, AMT)的发展方向之一,并向着柔性化、可重构化、集成化、智能化和网络化方向持续推进,其目的在于快速响应产品的变换和混流生产,降低投资损耗和制造成本,缩短生产周期,保证交货时间,提高制造生产效率和效益,保证产品质量与服务效果,消除或尽量降低对环境的污染,以提高企业竞争力,增强综合国力。目前,科技发展日新月异,人们把追求和谐设计制造及装备安全绿色运行作为时代发展的重要特征,也对制造系统技术提出更高要求。这就需要在人才培养、教材建设和工程实践方面不断汲取、消化国内外先进的制造技术,深入研究、探索新的制造系统。

本书在编写过程中按照机电类人才培养的需要和教学改革经验,注重理论联系实际、工程应用背景等,结合了编者多年的现代制造系统教学经验和科研实践,经过确定编写大纲、讨论编写内容、分析授课对象等过程,并合理安排各章节内容而进行编写。全书共分8章,主要内容包括:现代制造系统概述、FMS产生的历史背景,以及FMS的组成、工作原理和发展趋势;FMS对加工设备的配置要求、加工(或车削)中心及其构成FMS的机床选择原则;FMS物流系统的功能和组成,工件流支持系统、刀具流支持系统、物料运储设备;FMS的信息流模型及特征、FMS的信息流网络通信、FMS实时调度与控制决策、FMS的自动控制技术、FMS的计算机仿真;集成质量控制系统的概念、FMS的质量检测、工件清洗与去毛刺设备、切屑处理及冷却液处理系统;FMS应用实例;CIMS的基本概念及其发展概况,CIMS的基本组成、体系结构及其关键技术,CIMS工程的设计与实施及CIMS应用实例;智能制造的提出、智能加工与智能加工设备、智能制造系统的构成、智能制造系统的主要支撑技术等。本书通过介绍FMS、CIMS应用实例,进一步分析了现代制造系统实际的应用情况。

本书由太原理工大学李文斌、中北大学王宗彦、太原科技大学闫献国担任主编,太原理工大学董长双、白艳艳担任副主编。全书共分为8章,其中,第1、7章由李文斌编写,第2、8章由董长双编写,第3章由王宗彦编写,第4章由李文斌、王宗彦编写,第5章由闫献国编写,第6章由白艳艳编写。全书由李文斌统稿。本书编写过程中参考了诸多同仁的著作和论文,在此深表谢意。

由于编者的水平和经验所限,书中难免有欠妥和不足之处,敬请读者提出宝贵意见,不吝指正。

编 者

2016年5月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 现代制造系统概述	(1)
1.2 FMS 产生的历史背景	(4)
1.3 FMS 的组成及工作原理	(6)
1.4 柔性制造技术的发展趋势	(14)
思考题与习题	(16)
第 2 章 FMS 的加工系统	(17)
2.1 FMS 对加工设备的要求及其配置	(17)
2.2 FMS 的自动化加工设备	(19)
2.3 构成 FMS 的机床选择原则	(24)
思考题与习题	(27)
第 3 章 FMS 的物流系统	(28)
3.1 物流系统的功能和组成	(28)
3.2 工件流支持系统	(29)
3.3 刀具流支持系统	(36)
3.4 物料运储设备	(45)
思考题与习题	(51)
第 4 章 FMS 的信息流系统	(53)
4.1 FMS 的信息流模型及特征	(53)
4.2 FMS 中的信息流网络通信	(60)
4.3 FMS 实时调度与控制决策	(62)
4.4 FMS 中的自动控制技术	(74)
4.5 FMS 的计算机仿真	(81)
思考题与习题	(89)
第 5 章 FMS 的质量控制系统	(90)
5.1 集成质量控制系统的概念	(90)
5.2 FMS 中的质量检测	(94)
5.3 工件清洗与去毛刺设备	(99)
5.4 切屑处理及冷却液处理系统	(101)
思考题与习题	(104)
第 6 章 FMS 应用实例	(105)
6.1 DENFORD FMS 系统概述	(105)
6.2 DENFORD FMS 的数控车床	(109)

6.3	DENFORD FMS 的数控铣床	(118)
6.4	DENFORD FMS 编程与实现	(121)
	思考题与习题	(125)
第 7 章	计算机集成制造系统	(127)
7.1	CIMS 的基本概念及其发展概况	(127)
7.2	CIMS 的基本组成、体系结构及其关键技术	(130)
7.3	CIMS 工程的设计与实施	(139)
7.4	CIMS 应用实例	(142)
	思考题与习题	(147)
第 8 章	智能制造系统简介	(148)
8.1	智能制造的提出	(148)
8.2	智能加工与智能加工设备	(150)
8.3	智能制造系统的构成	(152)
8.4	智能制造系统的主要支撑技术	(153)
	思考题与习题	(153)
	参考文献	(155)

第1章 绪论

1.1 现代制造系统概述

制造是人类所有经济活动的基石,是人类历史发展和文明进步的动力,没有制造,就没有一切。“制造”的英文是 manufacturing 或 manufacture,它源于拉丁语,原意为“用手工制作”或“手工业”,是指把原材料制成人们需要的货物或产品。传统的制造是指制作可触摸的货物或产品。从 20 世纪 80 年代初到现在,人们进一步扩展了“制造”的内涵,使之成为一个泛指的概念。

1983 年,国际生产工程学会(CIRP)把制造定义为:“包括制造企业的产品设计、材料选择、规划、制造的生产、质量保证、管理和营销的一系列有内在联系的活动和运作/作业。”这一定义突破了传统的狭义观念。1988 年,美国国家研究委员会(NRC)把制造定义为:“创造、开发、支持和提供产品及服务所要求的过程与组织实体。”1999 年,美国麻省理工学院(MIT)定义的现代制造包括:产品设计与开发、产品规划、销售和服务,以及实现这些功能所应用的技术、流程/过程和人与技术结合的途径等。2002 年,美国生产与库存控制学会(APICS)把制造定义为:包括设计、物料选择、规划、生产、质量保证、管理和对离散顾客与耐用货物营销的一系列相互关联的活动和运作/作业。

按照上述定义与内涵,现代制造业不仅包含传统、已为公众广泛认知的制造行业,而且还包括以计算机技术、通信和基于微电子学的检测与传感技术为主的信息技术,生物工程技术与制造用生物技术,以及某些农业机械装备,从而构成了包容面更大、技术创新更强的现代制造领域和范畴。因此,现代制造的概念突破了可触摸的产品货物生产的范围,并同不可触摸的软件、服务和利用高新知识与技术产生附加价值的活动与过程/流程等融合在一起。

由以上分析不难得出制造的一般概念,这就是:人类按照市场需求,运用主观掌握的知识和技能,借助于手工或可以利用的客观物质工具,采用有效的工艺方法和必要的能源,将原材料转化为最终物质产品并投放市场的全过程。制造的概念有广义和狭义之分:狭义的制造是指生产车间内与物流有关的加工和装配过程;而广义的制造则包含市场分析、产品设计、工艺设计、生产准备、加工装配、质量保证、生产过程管理、市场营销、售前售后服务,以及报废后的回收处理等整个产品生命周期内一系列相互联系的生产活动。

制造系统是在制造技术的基础上产生的,即为了达到预定的制造目的而构成的一种物理或组织系统,是指由制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成的一个具有特定功能的有机整体。这里所指的制造过程,即产品的经营规划、开发研制、加工制造和控制管理的过程;所谓的硬件包括生产设备、工具和材料、能源以及各种辅助装置;而软件则包括制造理论、制造工艺和方法及各种制造信息等。可以看出,上述所定义的制造系统实际上就是一个工厂企业所包含的生产资源和组织机构。而通常意义所指的制造系统仅是一种加工系统,仅是上述定义系统的一个组成部分,例如:柔性制造系统只应称为柔性加工系统。

1.1.1 现代制造系统的组成及功能

制造系统是一个由输入制造资源开始,包括原材料、能源和信息等,通过制造过程而输出产品(包括半成品)的输入/输出系统,它同时产生废弃物,并可能造成环境污染。制造系统的整体性能与系统的各个组成部分之间是紧密相关的。概括起来说,现代制造系统是由下列具有相对独立功能的各子系统构成。

(1) 经营管理子系统,它是确定企业的经营方针和发展方向,进行战略规划和决策的系统。

(2) 市场与销售子系统,它是进行市场调研预测,制定销售计划,开展销售与售后服务的系统。

(3) 采购供应管理子系统,它是进行原材料及外购件的采购、验收、存储和供应的系统。

(4) 财务管理子系统,它是制定财务计划,进行企业预算和成本核算,发展财务会计工作的系统。

(5) 人事管理子系统,它是人力资源管理、人事安排、招工与裁员的系统。

(6) 研究与开发子系统,它是制定开发计划、应用研究与产品开发的系统。

(7) 工程设计子系统,它是进行产品设计、工艺设计、工程分析、样机试制、试验和评价。

(8) 生产管理子系统,它是制定生产计划、作用计划,进行库存管理、成本管理、资源管理和生产过程管理的系统。

(9) 车间制造子系统,它是零件加工、部件及产品装配、检验、物料存储与输送、废料存放与处理的系统。

(10) 质量控制子系统,它完成收集用户的需求与反馈信息,进行质量监控和统计过程控制系统。

上述各个子系统既相互联系又相互制约,相辅相成,形成一个有机的整体,从而实现从用户订货到产品发送的生产全过程。

1.1.2 现代制造系统的特性

1. 结构特性

由上所述可知,现代制造系统的硬件是包括生产设备、工具、运输装置、厂房、劳动力等在内的集合体,体现了制造系统的结构特性,为使其充分发挥效能,必须有相应的软件支持。例如,制造科学、生产信息、制造技术等。

2. 转化特性

现代制造系统是一个将生产要素转化成产品的输入/输出系统,其主要功能便是转化功能。它体现在:科学、合理、充分、有效地开发利用各种资源,按照优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产原则进行资源转化,也就是生产制造,提供用户需要的产品、服务和相关的社会责任。从技术的角度出发,制造是通过加工和装配将原材料转化为产品的过程,该过程总是伴随着机器、工具、能源、劳动力和信息的作用。这种转化同时包括物料流、信息流和能量流的转化。从经济的观点考虑,制造过程可以理解为通过改变物料形态或性质而使其不断增值的过程。因此,研究现代制造系统的转化特性,主要是从技术和经济方面进行,比如,研究如何使转化过程更加有效。

3. 过程特性

现代制造系统的资源转化本质上是一个过程,是一个面向客户需求、不断适应市场环境变化、不断改进的动态过程。在这个过程中,它又包含了若干个子过程或子子过程,如经营决策子过程、研究开发子过程、生产制造子过程等。所以,制造系统的过程特性包含在各个制造子系统中。

1.1.3 现代制造系统的分类

随着时代的前进和科技的进步,制造系统始终处在不断的发展变化之中。我们可以从人在系统中的作用、加工对象的品种和批量的变化、零件及其工艺类型、系统的柔性、系统的自动化程度和系统的智能程度等方面对制造系统分类,如表 1-1 所示。而各种类型制造系统的不同组合,又可以得到不同类型的制造系统。例如,“刚性自动化离散制造系统”就是按工艺类型、系统柔性和自动化程度三种分类方式的组合。它适合于离散型制造企业的大批量自动化制造。

表 1-1 现代制造系统的分类

分类方式	制造系统类型	主要特点
按人在系统中的作用	人机一体化的制造系统	人机结合,充分发挥人的主导作用,系统容易实现,但要受人的情绪等影响
	无人化制造系统	追求无人化生产,系统结构复杂,技术水平高,可靠性差,难以实现
按品种和批量	多品种、小批量制造系统	适合制造技术形势发展需要,但要求系统的柔性很大
	少品种、大批量制造系统	曾经对提高生产率、降低成本、提高质量发挥过重要作用,正在被多品种、小批量制造系统所取代
	大规模定制制造系统	产品设计模块化、产品制造专业化、生产组织和管理网络化、企业间的合作关系伙伴化
按工艺类型	连续型制造系统	制造对象呈“连续不断”状态
	离散型制造系统	制造对象相互分离,制造过程按单个对象进行
按系统柔性	刚性制造系统	难以适应制造对象的经常改变,适合少品种、大批量制造
	柔性制造系统	具有较宽的制造对象变化范围,适合多品种、小批量制造
	可重构制造系统	系统的结构可随产品对象的不同而改变,加工范围很宽,适合多品种、小批量制造
按自动化程度	手动制造系统	以普通机床装备为主,设计和制造过程主要依靠手工进行,而自动化设备极少
	半自动制造系统	部分工作由人完成,部分工作由机器完成,但在系统的设计和运行方式上与以人为中心的制造系统有着本质区别
	自动制造系统	可以是刚性自动化,也可以是人机一体化,还可以是无人化制造系统
按智能程度	常规制造系统	与智能制造系统相比较,常需要人工的大量干预
	智能制造系统	将人工智能与自动化集成制造相结合的人机一体化系统

由于篇幅所限,本书主要介绍人机一体化,面向机械制造业的多品种、中小批量现代制造系统——柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)的构成原理及应用,兼述计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)和智能制造系统(intelligent manufacturing, IMS),这些类型的现代制造系统是制造自动化技术的主要发展方向。

1.2 FMS 产生的历史背景

制造技术的发展与人类文明的进步密切相关,并互相促进。在石器时代,人类利用天然石料制作劳动工具,采集自然资源为主要生活手段。到青铜器、铁器时代,人们开始采矿、冶炼、铸锻、织布及制造工具,满足以农业为主的自然经济的需要,生产方式是作坊式手工业。1765年,瓦特发明了蒸汽机,纺织业和机器制造业发生了革命性的变化,引发了第一次工业革命,开始出现近代工业化大生产。1820年,奥斯特发现了电流的电磁效应,接着安培提出电流相互作用定律。1831年法拉第提出电磁感应定律,1864年麦克斯韦电磁场理论的建立,为发电机、电动机的发明奠定了基础,从而迎来电器化时代。以电作为动力源,改变了机器的结构,开拓了机电制造的新局面。电机的产生、电力的应用具有划时代的意义,是以电力应用为特征的第二次技术革命。

19世纪末20世纪初,内燃机的发明,使汽车进入欧美家庭,引发了制造业的又一次革命。流水线及泰勒管理方法应运而生,进入大批大量生产时代,尤其是汽车工业和兵器工业,并为第二次世界大战的大规模军工生产准备了物质基础、技术基础和管理经验。第二次世界大战后,市场需求多样化、个性化、高品质趋势推动了微电子技术、计算机技术、自动化技术的飞速发展,导致了制造技术向程序控制的方向发展,数字控制技术、柔性制造单元、柔性生产线、计算机集成制造及精益生产等相继问世,制造技术由此进入了面向市场多样需求的柔性生产的新阶段,引发了生产模式和管理技术的革命。

20世纪50年代以来,一些工业发达国家和地区,在达到了高度工业化的水平以后,就开始了从工业社会向信息社会转化的过程,形成了一个从工业社会向信息社会过渡的时期。这个时期的主要特征是电子计算机、遗传工程、光导纤维、激光、海洋开发等技术的日益广泛而深入的应用。

对机械制造业来说,对它的发展影响最大的是电子计算机的应用,出现了机电一体化的新概念,如机床数字控制(numerical control, NC)、计算机数字控制(computer numerical control, CNC)、计算机直接控制(又称群控群管理, direct numerical control, DNC)、计算机辅助制造(computer aided manufacturing, CAM)、计算机辅助设计(computer aided design, CAD)、成组技术(group technology, GT)、计算机辅助工艺规程设计(computer aided process planning, CAPP)、计算机辅助几何图形设计(computer aided graphic design, CAGD)、工业机器人(robot)等新技术。这些新技术的产生有多种内在的和外在的因素。但最根本的有两个:一是市场发展的需要;二是科学发展到一个新阶段,为新技术的出现提供了一种可能。

1.2.1 市场需求的驱动

20世纪初,工业化形成的初期,市场对产品有充分的需要。这一时期市场的特点是,产品品种单一,生命周期长,产品数量迅速增加,各类产品的开发、生产、销售主要由少数企业控制着。促使制造企业通过采用自动化或自动生产线提高生产率来满足市场的需求。

20世纪60年代以后,世界市场发生了很大的变化,对许多产品的需求呈现饱和趋势。在这种饱和的市场中,制造企业面临着激烈的竞争,企业为了赢得竞争就必须按照用户的不同要求开发新产品。这个时期市场的变化,归纳起来有以下一些特征。

(1) 产品品种日益增多。为了竞争的需要,生产企业必须根据用户的不同要求开发新产品。为适应这种产品的多变,企业必须改变已有的适用于大批量生产的自动线生产方式,寻求一条有效途径来解决单件小批量生产的自动化问题。

(2) 产品生命周期明显缩短。由于生产、生活的需要对产品的功能不断提出新的要求,同时由于技术的进步为产品的不断更新提供了可能,从而使产品的生命周期越来越短,以汽车为例,1970年的汽车平均生命周期为12年,1980年缩短为4年,1990年仅为18个月,2000年缩短为1年左右,2010年缩短为约6个月。

(3) 产品交货期的缩短。缩短从订货到交货的周期是产品赢得竞争的重要手段。据报道,美国公司的交货期最少可为几十小时。

1.2.2 科学技术的发展条件

近几十年来,科学技术在各个领域发生了深刻变化,出现了新的飞跃。据有关资料介绍,人类掌握的科学知识在19世纪是每50年增加1倍,20世纪中叶每10年增加1倍,20世纪70年代每6年增加1倍,目前每2~3年增加1倍。科学知识增加的周期缩短意味着技术手段变得先进。

1945年,美国制造出第一台电子计算机以后,计算机经历了电子管、晶体管、小规模集成电路、大规模和超大规模集成电路的发展过程。

计算机的发展和应用给制造业带来了深刻的变化,出现了一系列新技术、新概念。其中CAM、CAPP、FMS、CIMS经过几十年的发展,技术上日益成熟,已部分地或完全地应用于生产实践中。与此同时,自动控制理论、制造工艺以及生产管理科学,也都有了日新月异的变化,这就为FMS的产生提供了基础。

计算机辅助制造技术的发展应从数控机床的产生发展算起,自1952年美国麻省理工学院研制成功世界上第一台数控铣床后,计算机辅助制造技术就被公认为是解决单件小批量生产自动化的有效途径。仅50年的时间,就有了飞速的发展。先是控制元器件方面的不断革新,电子管、晶体管、大规模集成电路的相继出现,仅用了20年就发生了四次根本性的变革。与此同时,机床本身也在机械结构和功能方面有了极大的发展,滚珠丝杠、滚动导轨、变频变速主轴的应用,加工中心的出现,都给机床结构带来了巨大的变化。伺服系统也从步进电动机驱动、直流伺服驱动发展到了交流伺服驱动,同时控制理论方面有了长足进步。

20世纪70年代初期出现了计算机数控系统(CNC),给计算机软件的发展带来了一个极大的转机。过去的硬件数控系统要进行某些改变或是增加一些功能都要重新进行结构设计,而CNC系统只要对软件进行必要的修改,就可以适应新的要求。与此同时,工业机器人(industrial robot, IR)和自动上下料机构、交换工作台、自动换刀装置都有很大的发展,于是出现了自动化程度更高、柔性更强的柔性制造单元(flexible manufacturing cell, FMC)。又由于自动编程技术和计算机通信技术的发展而出现了由一台大型计算机控制若干台机床或由中央计算机控制若干台CNC机床的计算机直接控制系统,即DNC。

20世纪70年代末80年代初,计算机辅助物料管理和物流自动搬运、刀具管理和计算机网络,数据库的发展以及CAD/CAM技术的成熟,出现了更加系统化、规模更加扩大的柔性制

造系统,即 FMS。

综观世界的工业发展,从 20 世纪初到 80 年代,以大量生产为代表的先进制造方式曾经创造过辉煌。在 1955 年的全盛时期,作为工业发达的美国汽车制造业,首次创出年产 700 万辆汽车并占世界汽车总销售量的 75% 的纪录,通过广泛应用专业高效机床、组合机床、单品种加工自动线和流水装配线等制造技术,使汽车的装配周期从过去单件装配方式的 514 min,缩短为 19 min。大量生产创造了比单件生产高数百倍的生产效率,成为世界主导的生产方式,并传播到各工业国家,甚至连欧洲最保守的汽车公司也向大量生产方式转变。美国汽车产量在 1965 年达到 930 万辆,1973 年达 1260 万辆,在经济衰退期后的 1993 年还达到近 1000 万辆。但随着经济的发展,世界经济的构成出现了多元化,经济和科技的发展市场日益国际化、全球化,用户对产品的需求日益多样化、个性化,竞争更加激烈。日本汽车工业摒弃了大量生产方式在人力资源、库存资金积压上造成的极大浪费,特别是单一品种生产对市场变化的需求极不适应的种种弊端,发展了按市场订单进行即时生产的丰田汽车模式,即精益生产(lean production, LP)模式。日本汽车从 1950 年仅生产 67 万辆,到 1970 年已达 530 万辆,1980 年达到 1000 万辆,开始超过美国。20 世纪 60 至 80 年代,以数控机床应用为基础的柔性制造技术在汽车、飞机以及其他一些行业中得到发展,其应用结果表明:柔性制造适用于多品种、变批量产品的生产。20 世纪 80 年代末,柔性制造技术发展了以数控加工中心、数控加工模块及多轴加工模块组成的柔性自动线,使得自动线柔性化,给单一品种的大量生产方式带来了转机。

可以认为,正在不断发展和进步的柔性制造方式是适应 21 世纪工业生产的主导方式。改革开放以来,中国的制造业有了很大的进步。产品的外观和包装有了很大的提高,产品的品种和规格也增加了很多,已有不少产品打入了国际市场。但与工业发达国家相比,除了价格优势外,在功能、质量、投放市场时间和售后服务等方面均存在一定的差距。中国政府及社会各界人士已充分认识到了这个问题,积极商量对策,采取多种措施,赶上世界潮流。在 2002 年 12 月召开的中国机械工程学会的年会上,把“制造业与中国未来”作为大会的主题;我国的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》也强调了大力振兴装备制造业,并以低碳技术为特征可持续发展,作为机械工程学科领域的重要研究特点和时代特征之一。放眼世界,随着经济全球化进程日益加快,新一轮的世界产业结构调整正在不断推进,国际分工正在更为宽广的领域中展开。如何在全球经济格局中占据有利位置,如何应对高科技时代的激烈竞争,如何化解全球化这把双刃剑可能带来的伤害,如何赢得未来世界对自己国家和民族的尊重,已经成为各国必须应答的命题。

从以上制造业的发展历程可以看出:制造技术变革总是在市场需求及科技发展这两方面的推动作用下降化的,当前制造技术的前沿已发展到以信息密集的柔性自动化生产方式满足多品种、变批量的市场需求,并开始向知识密集的智能自动化方向发展的阶段。

1.3 FMS 的组成及工作原理

1.3.1 柔性制造技术

柔性制造技术(flexible manufacturing technology, FMT)是建立在数控装备应用基础上的、正随着制造业技术进步而不断发展的新兴技术,是一种主要用于多品种、中小批量或变批量生产的制造自动化技术,它是将各种不同形状的加工对象有效且适应性转化为成品的各种

技术的总称。FMT 的根本特征是“柔性”，它是指制造系统或制造企业对系统内部及外部环境的一种适应能力，也是指制造系统能够适应产品变化的能力。柔性可分为瞬时、短期和长期三种：① 瞬时柔性是指设备出现故障后，系统自动排除故障或将零件转移到另一台设备上继续进行加工的能力；② 短期柔性是指系统在短期（如间隔几小时或几天）内适应加工对象变化的能力，包括在任意时刻混合加工两种以上的零件的能力；③ 长期柔性则是指系统在较长时间（几周或几个月）使用中，加工各种不同零件的能力。迄今为止，柔性还只能定性地进行分析，还没有科学的量化指标。因此，凡具备上述三种柔性特征之一的具有物料或信息流的自动化制造系统都可以称为柔性自动化制造系统。

FMT 是计算机技术在生产过程及其装备上的应用，是将微电子技术、人工智能技术与传统加工技术融合在一起，具有柔性化、自动化、高效率的先进制造技术。FMT 是在机械转换、刀具更换、夹具调整、模具转位等硬件柔性化的基础上发展而成为自动变化、人机对话转换以及智能化地对不同加工对象实现程序化的柔性制造加工的一种崭新技术，是自动化制造系统的基本单元技术。

FMT 有多种不同的应用形式，按照制造系统的规模、柔性和其他特征，柔性自动化具有如下形式，如独立制造岛（alone manufacturing island, AMI）、柔性制造单元（FMC）、柔性生产线（flexible manufacturing line, FML）、准柔性制造系统（P-FMS）、柔性制造系统（FMS）和以 FMS 为主体的自动化工厂（factory automation, FA）。概括地说，凡是在计算机辅助设计、辅助制造系统支持下，采用数控设备（NC）、分布式数控设备（DNC）、柔性制造单元、柔性制造系统、柔性自动线（flexible technology line, FTL）、柔性装配系统（flexible assemble system, FAS）等具有一定制造柔性的制造自动化技术，都属于 FMT 的应用范围。所以，FMT 是在数控机床研制和应用的基础上发展起来的，考察其产生的背景，则离不开计算机技术、微电子技术的发展。为了获得较明确的技术概念，对 FMT 各构成单元结构阐述如下。

NC 是一种机床或工业加工设备（包括焊机、金属成形及钣金加工设备等），其加工运动的轨迹或加工顺序是由数字代码指令确定的，它通常是由计算机辅助制造（CAM）软件生成的。

CNC 是一种具有内装式专用小型计算机的数控系统。

DNC-1 是将一组数控设备连接到一个公共计算机存储器的系统，该存储器按需要在线地分配数控指令给数控设备的控制器。

DNC-2 是能将主控计算机存储器中存储的各种零件加工的 NC 程序，通过分布式前端控制器（也称工作站）分配、发送到数控设备的控制器去，并能采集数控设备上报的工况信息的系统。

MC（machining center，加工中心）是一种带有刀库和自动换刀装置、对零件进行一次装夹多工序加工的自动化机床，常用的有钻镗铣类、车削类、车铣复合加工中心等。

FMC 通常是由一台加工中心、一组公共工件托盘及其传送装置组成的制造单元，工件托盘按单一方向传送，传送装置的循环起点是工件装卸工位，控制系统没有生产调度功能。但也有少数 FMC 由多台加工中心组成，具有初步的调度功能。

FMS 是一个在中央计算机控制下由两台及以上配有自动换刀装置和自动更换工件托盘的数控机床与为之供应刀具和工件托盘的物料运送装置组成的制造系统，它具有生产负荷平衡调度和对制造过程实时监控的功能以及制造多种零件族的柔性自动化功能。

FTL 由多台柔性加工设备及一套自动工件传送装置和控制管理计算机组成。柔性加工设备可以是 2~3 坐标数控加工模块、多轴加工模块（转塔式或自动换箱式）或数控加工中心的

组合,其关键是按传送线输送方向的顺序加工工件,适合于大批量生产,并具有加工零件品种数在一定范围内变化的制造柔性生产线。

FAS由控制计算机、若干台工业机器人、专用装配机及自动传送线和线间运载装置,包括AGV(automated guided vehicle)、滚道式传送器等组成,用于印制电路板插装电子器件或各种电动机、机械部件等的自动装配。

1.3.2 FMS 概念及其分类

由于柔性制造系统还在深入发展中,所以,目前对于FMS的概念还没有统一的定义,它作为一种新的制造技术的代表,不仅在零件的加工中,而且在与加工有关的领域里也得到了越来越广泛的应用,这就决定了FMS的组成和机理的多样性。

根据我国国家军用标准有关“武器装备柔性制造系统术语”的定义,柔性制造系统是由数控加工设备、物料运储设备和计算机控制系统等组成的自动化制造系统,它包括多个柔性制造单元,能根据制造任务或生产环境的变化迅速进行调整,适用于多品种、中小批量生产。该标准还对与FMS密切相关的术语的定义作了规定。

美国制造工程师协会的计算机辅助系统和应用协会把柔性制造系统定义为:“使用计算机控制、柔性工作站和集成物料运储装置来控制并完成零件族某一工序或一系列工序的一种集成制造系统。”

还有一种更直观的定义是:柔性制造系统是至少由两台数控机床、一套物料运输系统(从装载到卸载具有高度自动化)和一套计算机控制系统所组成的制造系统,它采用改变软件的方法便能制造出某些部件中的任何零件。

综合现有的各种定义,我们认为:柔性制造系统乃是在机械制造技术、自动化技术和信息技术的基础上,通过计算机软件科学,把工厂生产活动中的自动化设备有机地集成起来,打破设计和制造的界限,实现计算机辅助设计及工艺规程设计,使产品设计、加工制造工艺相互结合,以适合多品种、中小批量零件生产的高柔性、高效率的制造自动化系统。

与刚性自动化工序分散、节拍固定和流水线生产的特征相反,柔性制造自动化的特征是:工序相对集中,没有固定的生产节拍,物料排序输送。柔性制造自动化的目标是:在中小批量生产条件下,接近大量生产方式的刚性自动化所达到的高效率和低成本,并同时具有刚性自动化所没有的灵活性。主要体现在加工、运储、调度决策、控制等方面具有柔性。

图1-1所示的是一个典型的柔性制造系统。在装卸站将毛坯安装在起初已固定在托盘上的夹具中,然后物料传送系统把毛坯连同夹具和托盘输送到进行第一道加工工序的加工中心旁边排队等候,一旦加工中心空闲,零件就立即被送上加工中心进行加工。每道工序加工完毕后,物料传送系统将该加工中心完成的半成品取出并送至执行下一工序的加工中心旁边排队等候。如此不断地进行,直至完成最后一道加工工序。在完成零件的整个加工过程中,除进行加工工序外,若有必要还可进行清洗、检验以及压套组装等工序。

FMS具有较好的柔性,但是,这并不意味着一条FMS生产线就能生产所有类型的产品。事实上,现有的柔性制造系统都只能制造一定种类的产品。据统计,从工件形状来看,95%的FMS可用于加工箱体类或回转体类工件。从工件种类来看,很少有加工20种产品以上的FMS,多数系统只能加工10多个品种。现有的FMS大致可分为三种类型。

(1) 专用型。以一定产品配件为加工对象组成的专用FMS,例如,汽车底盘柔性加工系统。

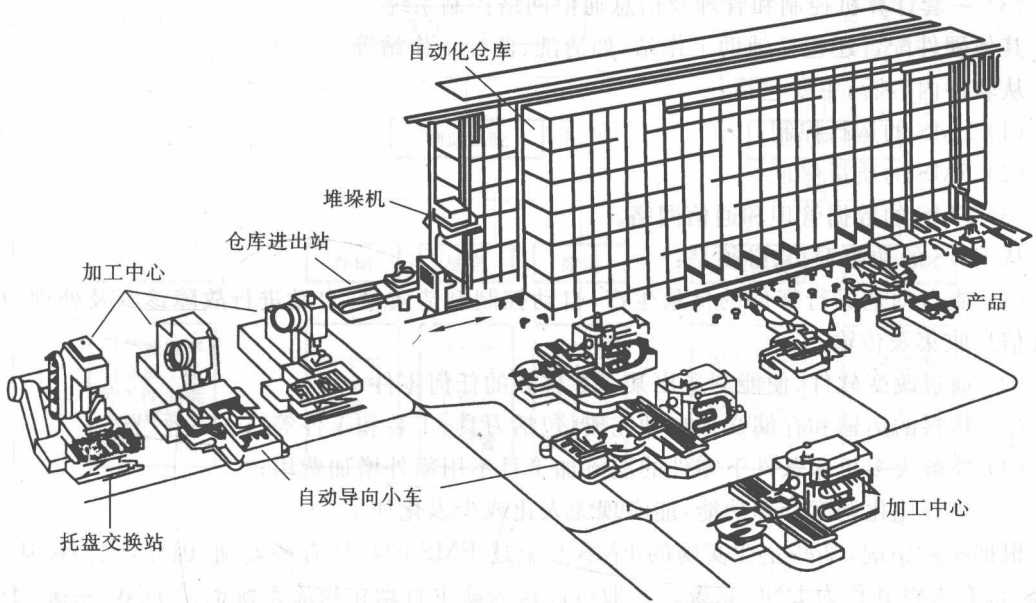


图 1-1 典型的柔性制造系统

(2) 监视型。具有自我检验和校正功能的 FMS,其监视系统的主要功能如下。

- ① 工作进度的监视。包括程序运行、循环时间和自动电源切断的监视。
- ② 运行状态的监视。包括刀具破损检测、工具异常检测、刀具寿命管理、工具及夹具的识别等。

③ 精度监视。包括镗孔自动测量、自动曲面测量、自动定位中心补偿、刀尖自动调整和传感系统。

④ 故障监视。包括自动诊断监控和自动修复。

⑤ 安全监视。包括障碍物、火灾的预检。

(3) 随机任务型。可同时加工多种相似工件的 FMS。

在加工中、小批量相似工件(如回转体类、箱体类以及一般对称体工件等)的 FMS 中,具有不同的自动化传送方式和存储装置,配备有高速数控机床、加工中心和加工单元;有的 FMS 可以加工近百种工艺相近的工件。与传统加工方法相比,FMS 的优点如下所述。

- ① 生产效率可提高 140%~200%。
- ② 工件传送时间可缩短 40%~60%。
- ③ 生产面积利用率可提高 20%~40%。
- ④ 设备(数控机床)利用率每班可达 95%。

1.3.3 FMS 的特征

对 FMS 各种定义的描述方法虽然不同,但它们都反映了 FMS 应具备下面这些特征。

从硬件的形式看,它由三部分组成:

(1) 两台及以上的数控机床或加工中心以及其他的加工设备,包括测量机、各种特种加工设备等;

(2) 一套能自动装卸的运储系统,包括刀具的运储和工件原材料的运储。具体可采用传送带、有轨小车、无轨小车、搬运机器人、上下料托盘、交换工作站等;

(3) 一套计算机控制和管理及信息通信网络控制系统。

其他硬件配置还包括辅助工作站,如清洗、监控工作站等。

从软件内容看,主要包括:

- (1) FMS 的运行控制;
- (2) FMS 的质量保证;
- (3) FMS 的数据管理和通信网络。

从 FMS 的功能看,它必须是:

- (1) 能自动地进行零件的批量生产,自动控制制造质量,自动进行故障诊断及处理,自动进行信息收集及传输;
- (2) 通过改变软件,便能制造出某一零件族的任何零件;
- (3) 物料的运输和存储必须自动完成(包括刀具、工装和工件等);
- (4) 能解决多机床条件下零件的混流加工且不用额外增加费用;
- (5) 具有优化调度管理功能,能实现无人化或少人化加工。

根据实际情况,某些企业实施的 FMS 与上述 FMS 的特征有些差别,因此,人们称其为准 FMS,也有人将其称为 DNC 系统。一般可以认为缺少自动化物流系统的是 DNC 系统,否则,可称为 FMS 系统。所以,DNC 系统与 FMS 系统主要的区别在于是否有自动化物流系统,二者在系统的调度和管理上存在一些差别。

由于 FMS 将硬件、软件、数据库和信息集成在一起,融合了普通数控机床的灵活性和专用机床及刚性自动化系统的高效率、低成本等特点,因而它具有许多优点。

- (1) 在计算机直接控制下实现产品的自动化制造,大大提高了加工精度和生产过程的可靠性。
- (2) 使生产过程的控制和流程连续进行,并且达到最佳化,有效提高了生产效率。
- (3) 实现了系统内材料、刀具、机床、运储、夹具以及测量检验站的理想配置,具有良好的柔性。
- (4) 可直接调整物流(即工件流、刀具流、配套流)和制造中的各道工序,制造了不同品种的产品,大大提高了设备的利用率。

1.3.4 FMS 的一般组成

一种柔性制造系统(FMS)由三部分组成:多工位数控加工系统(简称加工系统)、自动化的物料运储系统(简称物流系统)和由计算机控制的信息系统(简称信息流系统),如图 1-2 所示。

1. 加工系统

加工系统的功能是以任意顺序自动加工各种工件,并能自动地更换工件和刀具,通常由若干台加工零件的 CNC 机床和 CNC 板材加工设备以及刀具构成。

加工箱体零件为主的 FMS 配备有 CNC 加工中心(有时也配置 CNC 铣床);加工回转体零件为主的 FMS 配备有 CNC 车削中心和 CNC 车床(有时也称为 CNC 磨床)。也有能混合加工箱体零件和回转体零件的 FMS,它们既配备有 CNC 加工中心,也配备有 CNC 车削中心和 CNC 车床。对于专门零件加工,如齿轮加工的 FMS,则除配备 CNC 车床外还配备 CNC 齿轮加工机床(数控滚齿、数控磨齿机床)。在现有的 FMS 中,加工箱体零件的 FMS 占的比例较大,主要是由于箱体、框架类零件采用 FMS 加工时经济效益特别显著。

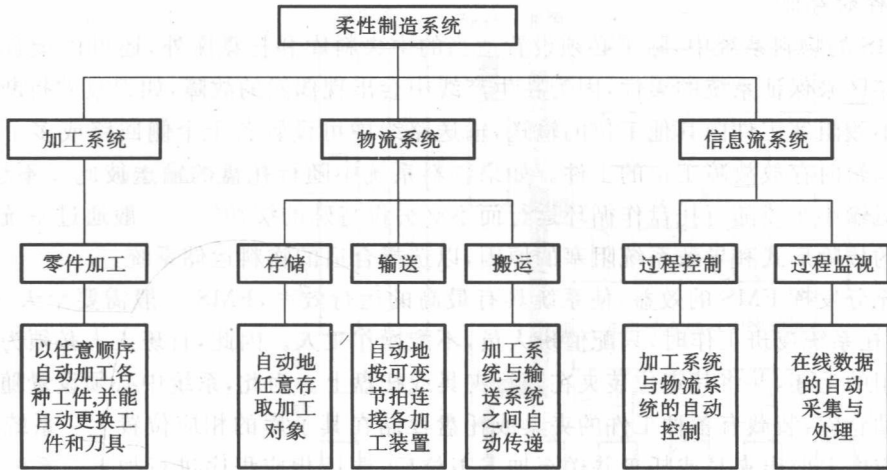


图 1-2 FMS 构成框图

在加工较复杂零件的 FMS 加工系统中,由于机床上机载刀库能提供的刀具数量有限,除尽可能使产品设计标准化以便使用通用刀具和减少专用刀具的数量外,必要时还需要在加工系统中设置机外自动刀库,以补充机载刀库容量的不足。

2. 物流系统

FMS 中的物流系统与传统的自动线或流水线有很大的差别,整个工件传输系统的工作状态是可以进行随机调度的,而且都设置有储料库以调节各工位上加工时间的差异。物流系统包括工件的输送和存储两个方面。

1) 工件的输送

工件的输送应包括工件从系统外部送入系统和工件在系统内部的传送两部分。目前,大多数工件送入系统和向夹具上装夹工件仍由人工操作,系统中设置装卸工位,较重的工件可用各种起重设备或机器人搬运。工件输送系统按所用运输工具可分成四类:自动运输小车、轨道传送系统、带式传送系统和机器人传送系统。

按物料输送的路线,可将工件输送系统概括为直线形输送和环形输送两种类型,直线形输送主要用于顺序传送,输送工具是各种传送带或自动运输小车,这种系统的存储容量很小,常需要另设储料库。而环形输送时,机床布置在环形输送带的外侧或内侧,输送工具除各种类型的轨道传送带外,还可以是自动输送车或架空悬挂式输送装置,在输送路线中还设置若干支线作为储料和改变输送路线之用,使系统能具有较大的灵活性来实现随机输送。在环形输送系统中还有用许多随行夹具和托盘组成的连续送料系统,借助托盘上的编码器能自动识别地址以达到任意编排工件的传送顺序。这种输送方式的存储功能大,一般不设中间料库,近年来,采用较为普遍。

为了将带有工件的托盘从输送线或输送小车上送上机床,在机床前还必须设置穿梭式或回转式的托盘交换装置。

在选择物料输送系统的输送工具和输送路线时,都必须根据具体加工对象和工厂具体环境及工厂投资能力做出经济合理的选择。例如,箱体类零件较多时采用环形或直线形轨迹传送系统或自动输送小车系统,而回转体类零件较多时采用机器人或自动输送小车系统,以及二者的组合。采用感应线导向或光电导向的无轨自动输送小车虽具有占地面积小、使用灵活等优点,但控制路线复杂,难以保证高的定位精度,车间的抗干扰设计要求和投资也比较高。