



ROUXING ZHIZAO
JISHU DE LILUN
YU SHIJIAN

柔性 制造技术的 理论与实践

■ 张曙 陈炳森 张浩 编著
■ 西安交通大学出版社



内 容 提 要

本书是作者根据近年的科研实践成果并结合国内外最新技术编写而成的,除介绍柔性制造技术的现状与发展趋势外,还阐述了柔性制造系统组成、控制结构、控制系统及其通讯、系统的规划设计,以及经济分析与评估等。本书内容丰富,对国内从事该技术领域研究和实践工作的科技人员有参考价值,也可供大学机械制造、工业自动化、计算机和企业管理专业高年级学生、研究生作为教学参考书。

(陕)新登字 007 号

柔性制造技术的理论与实践

张曙 陈炳森 张浩 编著

责任编辑 林全

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码 710049)

陕西轻工业厅印刷厂印装

陕西省新华书店经销

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 8.5 字数: 212 千字

1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—500

ISBN7-5605-0788-3/TH·37 定价: 12.00 元

前 言

该书由同济大学 CIM 研究中心组织编写。张曙教授编写第一和第二章,陈炳森教授编写第三和第四章,张浩研究员编写第五和第六章。全书由张曙教授统稿,候镇冰教授审阅。

现代市场竞争的结果,使得世界制造业必须面对产品的小批量、多品种和保证交货期的挑战,柔性制造技术便是现代制造业从传统生产模式向现代生产模式转变的一个重要支柱。西方发达国家在柔性制造技术的理论和实践方面已积累了 20 多年的经验,我国也在 863 计划的 CIMS 项目应用实验工程中有了十几年的尝试并取得了一定的发展。面对下一世纪市场更加激烈的竞争局面,制造的水平 and 能力,将影响到一个国家的综合国力。

作者根据近 20 年来世界主要工业国家的柔性制造技术发展和应用情况,以及自己多年来在这一领域中的研究和实践经验,编写成此书,希望能把柔性制造技术的思想、方法和应用经验,较为系统地介绍给读者,起到抛砖引玉的作用。

本书共分六章。第一章是柔性制造技术的概述,阐述可以柔性制造系统为代表的柔性制造技术的现状和发展趋势;第二章重点介绍柔性制造系统的组成;第三章柔性制造系统的控制结构;第四章是柔性制造系统中控制系统的组成通讯结构;第五章介绍了柔性制造系统的规划设计方法;第六章介绍了柔性制造系统经济性分析和评估的方法。

本书既可供从事柔性制造技术领域科研和实践的工程技术人员参考,也可供工业企业的规划部门的领导作为分析决策的参考,同时它还可作为大专院校机电专业、计算机和企业管理专业师生的教学参考书。

在本书的编辑出版过程中,得到了西安交通大学出版社朱兆雪总编和几位编辑的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢。由于时间仓促,水平有限,书中错误不当之处难点,敬请读者指正。

作者

目 录

第一章 柔性制造技术概论

1.1	柔性制造技术的现状和发展趋势	(1)
1.1.1	概念与定义	(1)
1.1.2	不同柔性自动化方案的选用	(5)
1.1.3	现状和各国的特点	(7)
1.1.4	90 年代的发展趋势	(11)
1.2	柔性制造技术与精简化生产	(16)
1.2.1	精简化生产的基本概念	(16)
1.2.2	新的生产组织模式	(20)
1.2.3	工作设计和人员素质	(22)
1.3	独立制造岛	(24)
1.3.1	技术构思	(24)
1.3.2	系统的功能和结构	(30)
1.3.3	独立制造岛的信息流	(33)
1.3.4	应用实例	(39)
1.4	柔性制造系统	(42)
1.4.1	齿轮加工柔性制造单元	(42)
1.4.2	具有刀具自动供给的柔性制造系统	(45)
1.4.3	工件和刀具混流的柔性制造系统	(49)
1.4.4	面向精简化生产的柔性制造系统	(51)
1.4.5	集成化钣金加工的自动化车间	(56)
1.4.6	由 FMS 组成的 CIM 工厂	(57)
1.5	计算机集成生产系统	(60)
1.5.1	CIMS 的基本概念	(60)
1.5.2	生产过程中的信息和数据	(62)
1.5.3	计算机集成生产系统的组成	(65)

第二章 柔性制造系统的组成

2.1	柔性制造系统的功能模块	(68)
2.2	机床	(70)
2.2.1	柔性制造系统中的机床特点	(70)
2.2.2	柔性制造系统中的机床配置	(73)
2.3	工件流	(75)
2.3.1	托板交换装置	(75)
2.3.2	工件运输装置	(76)
2.4	刀具流	(81)
2.4.1	FMS 的刀具	(81)
2.4.2	刀具的供应方式	(85)
2.4.3	刀具的管理	(90)
2.5	信息流	(98)
2.5.1	FMS 的信息流模型	(98)
2.5.2	FMS 的信息流特征	(101)
2.5.3	作业计划管理	(105)
2.5.4	制造过程协调控制	(107)
2.5.5	加工过程监控	(112)

第三章 柔性制造系统的控制结构

3.1	柔性制造系统的模块化、开放式的控制结构	(117)
3.1.1	对 FMS 控制结构的要求	(117)
3.1.2	FMS 控制系统的结构设计	(120)
3.1.3	FMS 内部结构的信息流	(127)
3.2	FMS 系统中软件模块的组织	(132)
3.2.1	相对于设备的独立性	(135)
3.2.2	相对于计算机的独立性	(139)
3.2.3	相对于过程的独立性	(142)

第四章 控制系统的组成及其通信结构

4.1	面向制造过程的用户操作界面的配置	(147)
4.1.1	图形交互的对话形式	(148)
4.1.2	面向制造过程的用户操作界面的配置方案 ..	(151)
4.1.3	物料流的图象设计	(154)
4.2	柔性制造系统控制用的数据库	(157)
4.2.1	用于制造系统控制的数据库	(160)
4.2.2	在FMS控制系统中数据维护的要求	(162)
4.2.3	数据模型的比较	(166)
4.2.4	数据库设计过程	(170)
4.2.5	数据库在柔性制造系统控制技术中的应用实例	(174)
4.3	分布式制造系统的开放式通信	(179)
4.3.1	计算机网络	(180)
4.3.2	网络通信协议	(186)
4.3.3	开放式的制造系统	(189)

第五章 柔性制造系统的规划设计

5.1	制造系统的规划设计概述	(201)
5.2	规划的步骤	(203)
5.2.1	目标定义	(205)
5.2.2	项目内容研究	(206)
5.2.3	项目的规划	(208)
5.2.4	系统设计	(210)
5.2.5	制造商和用户ในระบบ订货时的分工	(211)
5.3	设计规划	(212)
5.3.1	设计的系统学	(212)
5.3.2	规划的计算机辅助技术	(214)
5.4	柔性制造系统的排队网络模型	(216)

5.4.1	系统的模型及其参数	(216)
5.4.2	系统的性能指标	(218)
5.4.3	系统的性能极限	(220)
5.4.4	实例分析	(222)
5.5	引入系统的组织工作	(224)
5.6	人员的准备	(227)
5.6.1	工作组织和人员素质	(227)
5.6.2	培训方法和措施	(229)
5.7	维护和服务	(230)
第六章 系统经济性分析与评估		
6.1	经济评价	(231)
6.2	单元加工中心与柔性制造系统的经济性比较	(233)
6.2.1	机床利用率	(235)
6.2.2	资金投入需求	(237)
6.2.3	人员需求	(241)
6.2.4	系统费用	(242)
6.2.5	经济性比较	(245)
6.3	经济性比较的评价	(245)
6.4	柔性自动化带来的间接效益	(246)
6.4.1	工件周转和库存贮量减少	(246)
6.4.2	生产控制费用的降低	(246)
6.4.3	由于面向市场而提高了销量和利润	(247)
6.4.4	对新加工任务的柔性带来的费用降低	(247)
6.5	效益的分析	(248)
6.6	制造系统的资源利用	(252)
6.6.1	基本定义	(252)
6.6.2	传统的资源利用概念及其存在的问题	(253)

6.6.3	评价资源利用率的新方法	(255)
6.6.4	提高资源利用的途径	(260)

第一章 柔性制造技术概论

1.1 柔性制造技术的现状和发展趋势

1.1.1 概念和定义

工业发展的历史表明,生产自动化和合理化的进步是以市场需要为基础的。随着科学技术的迅速发展,新产品不断涌现,产品的复杂程度也随之增高,而产品的市场寿命日益缩短,更新换代加速,中小批量生产占有越来越重要的地位。面临这一新的局面,必须寻求新的制造原理和方式,大幅度提高制造柔性和生产率,显著缩短生产周期,保证产品的质量,降低能耗和物耗,从而降低生产成本,以获得明显的经济效益和社会效益。制造的柔性和生产率是互相矛盾的。现代制造技术的任务,就是要解决这个矛盾,提高企业的竞争能力。制造技术的发展对一个国家的科学技术水平和经济实力具有十分重大的影响,各国政府都给予极大的重视。制造柔性是一个制造系统适应产品变化的能力,可分为瞬时、短期和长期柔性三种:

① 瞬时柔性——设备突然出现故障后,自动排除故障或将零件转移到另一台设备上继续加工的能力;

② 短期柔性——系统在短期(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零件的能力;

③ 长期柔性——系统在长期使用(一个月以上)中能加工各种

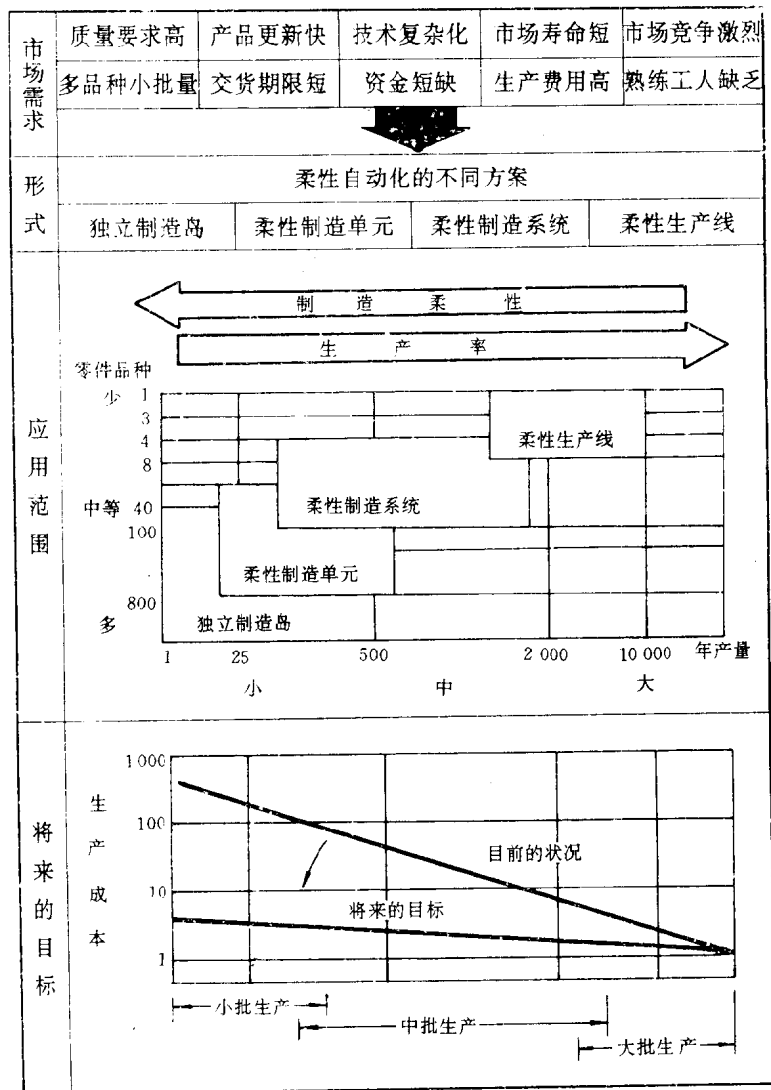


图 1-1 柔性自动化的应用范围和目标

不同零件的能力。

迄今为止,制造柔性还只能定性地加以分析,还没有科学的量化指标。因此,凡具备上述三种柔性之一的、具有物料流或信息流自动化的制造系统都可以称为柔性自动化系统。

按照制造系统的规模、柔性和其他特征,柔性自动化具有多种形式:如独立制造岛、柔性制造单元、柔性制造系统、柔性生产线和自动化工厂等。与刚性自动化的工序分散、固定节拍和流水生产的特征相反,柔性自动化的主要共同特征是:工序集中,没有固定的生产节拍,以及物料的非顺序输送。柔性自动化的目标是,在中小批量生产的条件下接近大量生产中由刚性自动化所达到的高效率和低成本的生产水平。不同形式的柔性自动化的应用范围如图 1-1 所示。

柔性自动化的重要基础是微电子技术,特别是计算机技术和数控技术。因此,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,还应考虑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,作者将不同形式柔性自动化作如下描述。

独立制造岛(AMI)是以成组技术为基础,由若干数控机床和普通机床组成的制造系统,特点是将生产准备、组织管理和制造过程结合在一起,重点放在信息流的自动化,由计算机进行工艺过程设计、作业计划编制和实时生产调度等。

柔性制造单元(FMC)通常由 1~2 台加工中心或其他数控机床组成,并具有不同形式的刀具交换或工件的自动装卸、输送或存储功能。除了机床的数控装置外,还有一台单元计算机来进行数控程序的管理。

柔性制造系统(FMS)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,基本上完成零件的整个制造过程。除主控计算机外,还配备有

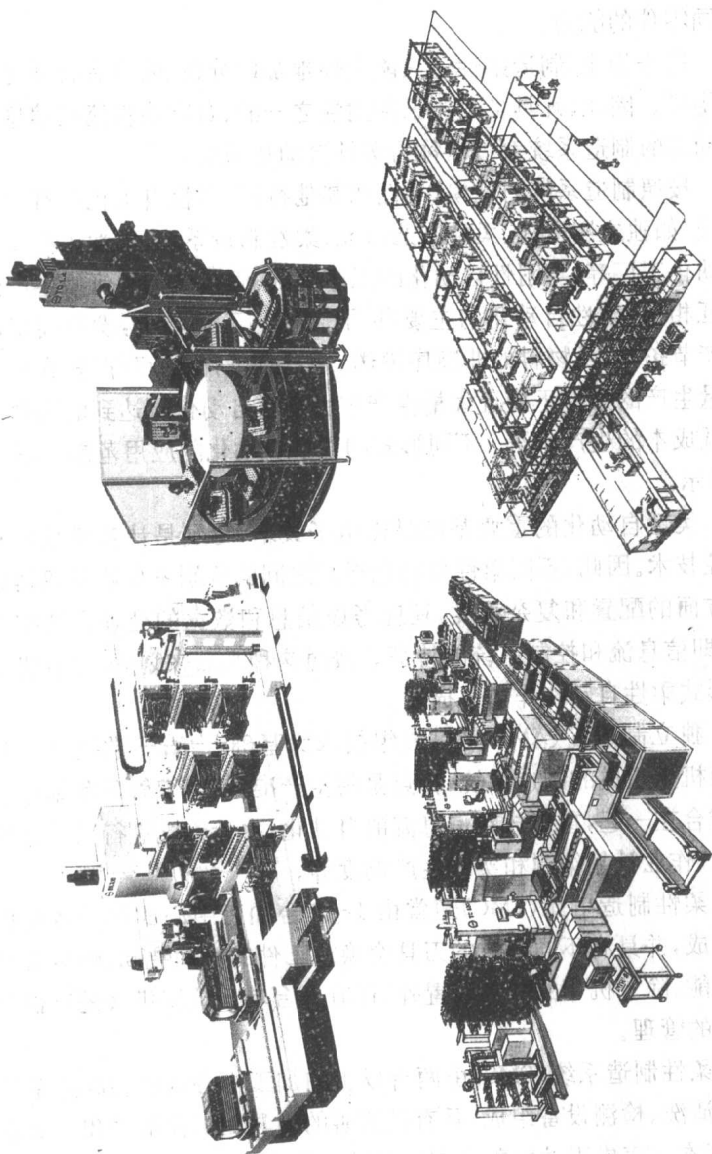


图 1-2 柔性自动化的不同形式

数控程序管理计算机和分布式数控终端等,形成多级控制系统或组成局部网络。柔性较小的、具有自动生产线特征的柔性制造系统则称为柔性生产线。

柔性制造车间或柔性自动化工厂由若干柔性制造系统、柔性装配系统以及自动化物料仓储和运输系统组成。通常由多级计算机网络进行控制。

柔性自动化的几种主要形式如图 1-2 所示。但必须指出,任何一种分类方法和定义都不是绝对的。例如在某些文献中,常把具有托板库的加工中心称为单元,而把具有两台以上加工中心的单元称为柔性制造系统。因此,从广义来讲,柔性制造系统在某种程度上覆盖了柔性制造单元,是工厂自动化的基本组成部分,本书主要讨论柔性制造系统,但对其他形式的柔性制造技术也将作简要的介绍。

1.1.2 不同柔性自动化方案的选用

不同柔性自动化方案的应用范围和条件涉及到产品品种、批量、零件相似性、加工方法以及投资强度等多方面因素。表 1-1 从产品、零件、人员、材料等角度来分析比较三种主要柔性自动化方案的适用范围。

在选择不同柔性制造方案时,“柔性”是一个主要的评价指标。这里“柔性”是指一个制造系统适应各种生产条件变化的能力,它与系统方案、人员和设备有关。系统方案的柔性是指能加工不同零件的自由度,它与加工工艺方法、设备的连接形式和作业计划在出现干扰时重新安排的余地和生产调度的灵活性有关。人员柔性是指操作人员能够保证加工任务实现数量和时间要求的适应能力。人员柔性高,就可以利用现有人员完成不同的加工任务。设备柔性是机床能在短期内适应新零件加工的能力,设备柔性高,改变加工对象时的调整时间就短。

表 1-1 不同柔性制造方案的应用范围

影 响 因 素			独立制造岛	柔性制造单元	柔性制造系统
与零件有关	零件形状	复杂	●	●	●●
		简单	●	○	△
	工序数目	多	○	△	●●
		少	●	●●	○
	加工时间	长	●	●●	●
		短	●●	○	○
	加工方法	多	○	△	●
		少	●	●	○
	加工费用	大	●	●	●●
		小	●●	●	●
与生产有关	加用批量	大	○	●	●
		小	●●	●●	●
	任务变化	经常	●●	●●	●
		不多	△	●	●
	重复次数	经常	●●	●●	●●
		不多	●●	△	△
	零件相似性	高	●●	●●	●●
		低	●	○	△
	机床负荷波动	大	●●	△	○
		小	●	●●	●●
与人员有关	人员素质	高	●●	○	○
		低	△	△	△
与材料有关	切削性能	难	●●	○	△
		易	●●	●●	●●

注：△不太合适 ○适合 ●有利 ●●很有利

从表 1-1 可见,柔性制造单元适合小批量加工形状较复杂、加工工序不多而加工时间较长的零件,它有较大的设备柔性,但人员和工艺柔性都较低。由于它是单台机床,而很难集中加工一个零件所需全部工艺方法,也不可能在出现故障后,进行内部调整,很方

便地实现替代。此外,工人的任务也是固定的,主要是装卸工件和更换刀具,所以人员柔性较低。柔性制造系统适用于加工形状复杂、加工工序较多、并具有一定批量的若干种零件,它的重点在于实现加工过程和物料流的高度自动化,因而投资较大。柔性制造系统在加工柔性上有明显的提高,它具有多种加工方法,可通过计算机及时调度和控制。系统内由于某个工位故障而出现停机时,有可能不影响整个系统的运行。但操作人员的任务仍主要是装卸工件,因而人员柔性也比较低。独立制造岛则具有较广泛的适用范围,在某些情况下,可以包括柔性制造单元或小型柔性制造系统在内,它的重点是信息流的自动化和生产组织模式的改革,投资相对较小。这种生产模式无论在加工柔性、人员柔性和设备柔性方面都比其它柔性自动化方案 and 传统生产模式有明显的优越性,它特别强调人员柔性的重要性:在现代化生产中,“人”仍然起着主导作用。在评价不同的柔性自动化方案时,是以“技术”为中心还是以“人”为中心,是个值得深入探讨的问题。总之,究竟确定选用哪一种柔性自动化方案不能一概而论,应该根据企业的具体情况从多方位进行全息评价。

1.1.3 现状和各国的特点

80年代以来,柔性制造技术已从探索阶段走向实用化和商品化。1990年初统计,世界各国已投入运行的FMS约有1000个。其中,日本300个,美国200个,原苏联150个,原联邦德国和英国各75个,法国和意大利各50个,其他各国100个。1987年美国建立了400个FMC和FMS,并以每年10%递增。日本1988年FMS的拥有量已达254个。由此可见,柔性制造技术发展是非常迅速的。柔性制造系统的应用标志着一个国家机械制造工业现代化的程度,它与整个国家的工业特点和水平,包括历史背景和社会环境有关。

美国是最早在工业中采用柔性制造系统的国家,也是目前在 FMS 应用研究和投资方面最多的国家。美国经济实力雄厚,计算机技术世界领先,数控机床拥有量为 18 万台。汽车、航空航天工业发达。因此,大多数美国的 FMS 用于汽车、航空航天、工程和农业机械以及机床工业等。这些制造系统的规模较大,柔性较小,一般由 9~12 台机床(包括可换主轴箱机床)组成,平均投资约 1 400 万美元,加工对象为 3~150 种零件,零件年产量从 2 000 件到 10 万件。零件的输送大多采用感应线导式和有轨式输送车。80 年代以来建立的系统大多配置有清洗机、测量机和刀具监控系统。现已投入运行的 FMS 中,50%的 FMS 由美国制造商提供,另外的 50%由日本和原联邦德国的厂商提供。到 1990 年为止,美国的主要工业部门已装备 2.7 亿美元的柔性制造设备,其中 FMC 占 30%,FMS 占 28%,装配系统占 18%,其他占 24%。美国 FMS 的著名生产厂是 Kearney & Trecker, Cincinnati Milacron, Ingersoll Milling, Sundstrand 以及 Bendax。

日本的第一条 FMS 是在 70 年代初建造的,70 年代中期以后获得了迅速发展,FMS 的拥有量已有 300 个左右,占世界首位。1977 年日本通产省组织了工业界、研究机构和大学经过 8 年的努力,于 1985 年在筑波建成了一个举世瞩目的无人化实验工厂。此外,山崎株式会社(Mazak)在美浓加茂工厂建立了 CIM-FMS-21 系统,这是一个由五个 FMS 组成的自动化车间,共有 38 台机床,用于加工 543 种机床零件,月产 200 种机床的 11 120 个零件,实现了第三班无人看管操作。Mazak 还在英国 Worcester 建造了一个世界最先进的机床厂,有三个 FMS 和称为“刀具公路”的现代化的刀具管理系统。可以认为,日本的 FMS 在物料流自动化方面是世界领先的。

柔性自动化在日本迅猛发展的原因有二。首先,日本在数控机床和机器人的产量和出口量皆居世界首位,数控机床拥有量近 15

万台,为 FMS 打下了扎实的基础。第二,国家有发展 FMS 的长期规划,鼓励机床工业自己先应用以积累经验,提倡先做用户,后做供应商。因此,绝大多数 FMS 建造立足国内,不从国外进口。

据统计,日本 75% 的 FMS 用于箱体类零件加工,尺寸范围为 450~750mm,主要加工对象为柴油机、传动箱和机床的零件。系统的规模大小不一,物料输送大多采用滚动输送带、感应线导式和有轨式输送车。日本著名的 FMS 制造商有:山崎、法那克、新泻铁工、日立精机、丰田工机、大隈铁工等。

原联邦德国在 1971 年建造了第一个 FMS,近 20 年来,稳步发展。与美国和日本不同,原联邦德国的 FMS 主要应用于中等规模的企业。已运行的 FMS 的价格在 250 万到 2 500 万马克(其中大约 50% 是加工系统,30% 为物料输送系统,20% 是控制系统)之间。只有 1/3 的 FMS 用于大型企业,如著名的 MBB 飞机制造厂。

原联邦德国数控机床的拥有量约 10 万台,原联邦德国的 FMS 的特点是柔性较大,加工零件的种数为 50~250 种,某些系统的加工零件数与机床数之比高达 100,这是日本和美国所不及的。中小企业中应用的系统规模较小,不超过 4~6 台机床,重视发展柔性制造单元。只有在大型企业中,如汽车工业和飞机工业采用 8 台机床以上的大型 FMS。最大的一个系统由 28 台机床组成。德国在机床制造方面具有悠久的历史和较高的水平,只有 10% 的 FMS 由国外进口。原联邦德国提供 FMS 的著名生产厂有 Werner & Kolb, Burkhardt & Weber, Hüller Hille 以及 Scharman 等。

我国第一个 FMS 于 1986 年 10 月在北京机床研究所投入运行,用于加工伺服电机的零件。1987 年以来,已有 6~10 个 FMS 先后在郑州纺织机械厂、湘潭江麓机械厂、大连机床厂和沈阳飞机制造厂等工厂投入运行。这些 FMS 大都是引进的,由 2~4 台加工中心组成。目前我国正在规划和建造的 FMS 大约还有 10 个左右,都是小型的 FMS,但已开始从引进逐步过渡到自行开发设计和制