

柔性制造系统

主编 杨承涛 马 柯
王 筠 商玉林

西安地图出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了柔性制造系统有关的理论和技术，其中包括柔性制造系统的发展背景、定义、组成，现状和发展趋势，柔性制造系统的主机，夹具，刀具及物流系统，柔性制造系统的监视系统和控制系统，柔性制造系统的规划设计，柔性制造系统的经济性分析评估等内容。

本书可作为高等工科院校高年级及研究生的教学参考书，也可供从事机械制造的工程技术人员及有关人员之参考。

前 言

自 20 世纪 60 年代英国莫林氏公司系统 24 问世以来, 柔性制造系统 (FMS) 已有 40 余年的发展历史, 随着主机数控机床, 加工中心的发展, 计算机技术的发展以及其监视、控制技术和各项配套技术的发展, 90 年代以来, FMS 已走出实验室达到了实用化阶段。它已成为解决多品种, 中、小批量生产自动化唯一有效的途径。

随着科学技术的不断发展, 国际市场竞争的日益激烈, 制造业对现代化的制造技术要求越来越迫切, 其中如计算机集成制造系统 (CIMS), 精益生产、优化生产、智能制造, 敏捷制造, 虚拟生产, 自动化工厂等, 均以 FMS 为其最主要的核心硬件, 为此对制造业中的决策层、工程技术人员、管理人员及高等学校的学生而言学习了解和掌握 FMS 显得尤为重要。

本书是根据作者多年从事 FMS 的教学工作, 结合国内、外有关参考文献及科研成果编写而成。它主要包括 FMS 的基本概念, FMS 的主机, FMS 的夹具系统, FMS 的刀具系统, FMS 的工件, 夹具的存储及输送系统, FMS 的辅机系统, CIMS 环境下的 FMS 的监视及控制系统, FMS 的规划设计, FMS 的经济性分析及评估以及 FMS 的安装, 调试及验收等内容。

全书共分为十章, 其中第一、七章杨承涛教授编写, 第三、四、十章由马柯副教授编写, 第六、八章由王筠副教授编写, 第二、五、九章由商玉林副教授编写, 全书由杨承涛教授统稿并审定。

本书从实际应用出发, 以大量图例对 FMS 的结构功能作了较为详细的介绍。可作为高等工科院校机械制造、自动化、企业管理专业学生、研究生及教师的教学参考书, 还可作为机械制造企业中的工程技术人员和管理人员工作之参考。

由于编者水平所限, 其中错误不足之处在所难免, 诚望有关专家学者及读者提出批评与建议。

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 FMS的发展背景.....	1
1.1.1 生产方式和市场结构的变化.....	1
1.1.2 生产柔性化的要求.....	2
1.1.3 数控机床的迅速发展和普及.....	2
1.1.4 智能化计算机、工业机器人及各项相应配套技术的发展.....	3
1.2 柔性制造系统的发展现状.....	3
1.3 FMS的发展趋势.....	6
1.3.1 FMS将进一步迅速发展.....	6
1.3.2 FMS向多种加工能力方向发展.....	6
1.3.3 FMS向小型化方向发展.....	10
1.3.4 控制管理软件结构的典型化、模块化.....	11
1.3.5 FMS与计算机集成制造相结合.....	11
1.3.6 FMS向自动化车间和自动化工厂方向发展.....	14
第二章 FMS的基本概念.....	17
2.1 FMS的定义.....	17
2.2 FMS的功能.....	18
2.2.1 内容广泛的加工功能.....	18
2.2.2 工件及夹具的搬运和存储功能.....	18
2.2.3 完备的辅助功能.....	19
2.2.4 测量和监视功能.....	20
2.2.5 管理和控制功能.....	21
2.2.6 与其他系统的接口功能.....	21
2.3 FMS的分类.....	22
2.3.1 按结构分类.....	22
2.3.2 按功能分类.....	29
2.4 柔性制造系统的组成.....	29
2.4.1 主机.....	30
2.4.2 FMS的工件、夹具、刀具存储和输送装置.....	30
2.4.3 FMS的辅助机械.....	32
2.4.4 FMS的控制系统.....	33
2.5 FMS的经济效益及特点.....	34
2.5.1 提高了企业生产的灵活性,可快速地满足市场的要求.....	35
2.5.2 提高了生产能力,缩短供货时间.....	35
2.5.3 减少生产人员,减少占地面.....	35
2.5.4 提高了产品质量.....	36

2.5.5 降低了生产成本	36
2.5.6 为企业的生产现代化奠定了良好的基础	36
2.6 FMS 存在的问题	37
2.6.1 对 FMS 缺乏了解, 选购的 FMS 不适合企业情况, 不能发挥应有的生产能力	38
2.6.2 投资巨大使人望而生畏	38
2.6.3 缺少训练有素的操作人员和技术人员	39
2.6.4 加工现场的 FMS 缺乏协调性和综合性	39
第三章 FMS 的主机	40
3.1 概述	40
3.2 FMS 主机的主运动系统	41
3.2.1 滚动轴承主轴系统	41
3.2.2 静压主轴系统	42
3.2.3 陶瓷滚动轴承支承的电动主轴	43
3.2.4 磁浮主轴	44
3.2.5 FMS 主运动的调速系统	44
3.3 FMS 主机的辅助运动系统	50
3.3.1 数控机床的导轨系统	50
3.3.2 FMS 主机的辅助运动的执行机构	55
3.4 FMS 主机的位置检测及精度保证系统	63
3.4.1 概述	63
3.4.2 同步分解器	64
3.4.3 感应同步器	67
3.4.4 光栅测量装置	70
3.4.5 磁栅位置检测装置	74
3.5 FMS 主机的典型示例	79
第四章 FMS 的夹具系统	82
4.1 概述	82
4.2 通用夹具	82
4.3 专用夹具	83
4.4 成组夹具	84
4.5 组合夹具	85
4.6 柔性数控夹紧装置	87
4.6.1 回转式柔性数控夹紧装置	87
4.6.2 直线移动式柔性数控夹紧装置	89
4.6.3 柔性数控夹紧装置的优点	91
第五章 FMS 的刀具系统	94
5.1 概述对刀具系统的要求	94
5.2 FMS 的刀具系统	97
5.3 FMS 的刀库系统	104
5.4 FMS 刀具地址的识别	106

5.5 FMS 刀具的更换	111
5.5.1 刀具预调仪	111
5.5.2 换刀机械手	112
5.5.3 刀具的更换	114
第六章 FMS 物料的存储和输送及辅助系统	118
6.1 概述	118
6.2 自动化立体仓库	119
6.2.1 立体仓库的规划设计	120
6.2.2 自动化立体仓库的组成及功能	121
6.2.3 立体仓库的布局形式	122
6.2.4 仓储机械及设备	125
6.2.5 立体仓库的地址识别	127
6.2.6 立体仓库的控制系统	129
6.3 机械手与工业机器人	130
6.3.1 基本概念	130
6.3.2 工业机器人的设计	137
6.3.3 工业机器人的运动学	141
6.3.4 机器人手爪	147
6.3.5 传感器	149
6.3.6 工业机器人的驱动及控制系统选择	155
6.4 无人小车	162
6.4.1 有轨小车	163
6.4.2 自动导引无人小车	163
6.5 清洗与去毛刺设备	172
6.5.1 清洗机的类型及其操作过程	172
6.5.2 去毛刺机的类型及应用	174
6.6 切屑及冷却液处理系统	175
6.6.1 便于处理的切屑形状	175
6.6.2 切屑的排除	175
6.6.3 切屑处理系统设计	178
第七章 FMS 的质量监视及控制系统	180
7.1 概述	180
7.2 集成化的质量监测系统的的基本概念	180
7.2.1 质量控制计划	181
7.2.2 质量控制功能	182
7.2.3 质量控制方法及测试程序	183
7.2.4 计算机化测试系统的体系结构	185
7.2.5 质量控制的设备配置	186
7.3 FMS 的质量检测	187
7.3.1 机床系统的监测	187

7.3.2	刀具状态的监视	189
7.3.3	工件加工精度的监视和测量	194
7.4	FMS 的质量故障诊断	202
7.4.1	故障诊断的层次结构	202
7.4.2	柔性制造系统故障树	203
7.5	FMS 的控制系统	205
7.5.1	FMS 的控制结构	205
7.5.2	FMS 的运行控制系统	215
7.5.3	FMS 的仿真	223
7.5.4	图形仿真	231
第八章	FMS 的规划设计	235
8.1	概述	235
8.2	建造或购置 FMS 的可行性论证	236
8.2.1	需求论证	236
8.2.2	技术论证	237
8.2.3	投资效益论证	238
8.2.4	制定实施计划	240
8.3	FMS 的设计	242
8.3.1	FMS 零件族的确定及其工艺分析	243
8.3.2	加工设备配置方案的确定	248
8.3.3	FMS 的功能模型设计	248
8.3.4	FMS 的信息模型设计	251
8.3.5	FMS 独立工位的配置与总体布局	253
8.3.6	FMS 检测监视系统的设置原则及其内容	258
8.3.7	FMS 的控制结构体系方案	259
8.3.8	FMS 设计方案的计算和仿真	260
8.3.9	FMS 的可靠性分析	261
第九章	FMS 的经济性分析与评估	266
9.1	经济评价	266
9.2	加工中心与柔性制造系统的经济性比较	267
9.2.1	机床利用率	268
9.2.2	资金投入需求	270
9.2.3	人员需求	273
9.2.4	系统费用	274
9.2.5	经济性比较	274
9.3	经济性比较的评价	276
9.4	柔性自动化带来的间接效益	277
9.4.1	工件周转和库存量减少	277
9.4.2	生产控制费用的降低	277
9.4.3	由于面向市场而提高了销量和利润	277

9.4.4 对新加工任务的柔性带来的费用降低.....	278
9.5 效益的分析.....	278
9.6 制造系统柔性的评价.....	281
9.6.1 概述.....	281
9.6.2 制造系统柔性的评价方法——柔性特征参量.....	281
9.6.3 结论.....	284
第十章 FMS 的安装、调试及验收.....	285
10.1 FMS 的安装.....	285
10.1.1 安装环境.....	285
10.1.2 典型的 FMS 的安装步骤.....	286
10.2 FMS 的试车调试.....	288
10.2.1 加工设备的单机调试.....	289
10.2.2 分系统调试.....	289
10.2.3 全系统联调.....	290
10.3 FMS 的验收.....	291
10.3.1 一般要求.....	291
10.3.2 试运行.....	292
10.3.3 验收测试.....	292
参考文献.....	298

第一章 绪论

1.1 FMS 的发展背景

20 世纪 80 年代以来柔性制造系统已走出了实验室达到了实用阶段。近年来更是取得了突飞猛进的发展，它已成为世界各国机床制造行业竞相研究开发的重点。在日本、美国、欧洲几乎所有有名的机床制造厂都制造出一系列各具特色的 FMS，其销售量还有不断增加的趋势。世界有名的三大机床展览会，即美国芝加哥机床展览会，日本东京机床展览会和欧洲机床展览会也将 FMS 作为重点展出对象。柔性制造系统之所以能在短短的十几年时间内获得如此迅速的发展，主要是由以下原因所造成。

1.1.1 生产方式和市场结构的变化

20 世纪 30 年代到 50 年代限于当时的生产条件，只有在大量生产条件下才能应用高效率的设备。如专用夹具、六角机床、自动机床、组合机床、流水线等，也只有大批、大量生产才能提高产量、提高生产率，降低成本。因而当时的制造业所追求的目标是尽一切可能进行大批、大量生产。在这种背景下，使得自动机床、组合机床，自动流水线有了很大的发展，成为当时达到高效率生产的主要设备，大批大量生产则是当时的主要生产特征。

50 年代以后随着科技和生产的发展，随着市场要求的变化，产品更新换代的速度不断加快。市场对各种类型产品的花色品种、规格要求也愈来愈苛刻，使得供需方式发生了根本的变化，由过去买方根据生产厂的样本有什么买什么，转而成为生产厂按照客户和市场的需要生产和研制产品，生产厂要尽一切可能去满足客户的要求。在这种形势下制造业的生产方式从单一品种、大量生产方式转变成多品种，中、小批量生产方式。根据国际生产工程协会(CIRP)的统计，目前制造业中以多品种，中、小批量方式生产的产品的产量和产值已超过 70%，而且还有增加的趋势。这不仅表现在机床制造行业，即使在传统的大量生产行业，如汽车、拖拉机、军工、自行车、缝纫机、手表、照相机等行业中，也在更新产品，增加变型产品，不断翻新花样，以满足激烈的市场竞争的需要。

而在多品种，中、小批量生产企业中生产的自动化和合理化历来都是一个大难题，因为根据传统的批量法则，对多品种，中、小批量生产企业只能采用通用设备、万能夹具等的生产手段，因而想要高度自动化生产十分困难。在此背景下迫使各制造企业的研究开发中心、研究所和高校的科技人员研究解决多品种，中、小批量生产企业生产自动化的设备和手段，使得数控机床和柔性制造系统有了得以发展的前提条件。

1.1.2 生产柔性化的要求

20 世纪 60 年代以来工业化国家的制造业面临着激烈、严酷的生产竞争。有些企业即使在国内的竞争中获得了胜利，却又敌不过国际同行企业的竞争。随着资本主义经济周期性地繁荣→萧条→繁荣→萧条使得许多企业面临倒闭的危险。为了在激烈的竞争中生存，则必须不断加快产品的更新换代速度，增加产品的花色品种，而且还要优质、高效率、低成本地将这些产品投放到市场上去，这就要求企业拥有雄厚的技术储备和柔性化的生产能力，随时投入已试制成功和生产准备就绪的新产品，加快企业对市场变化的响应速度。这种响应能力和速度决定了企业的竞争能力和优势，因而评价一个企业是否现代化的标志之一就是企业生产的柔性化。

要想使企业生产具有柔性化，能在短时间内变换不同的生产对象，同时又能满足生产的合理化要求，采用传统的通用设备及传统的生产准备和生产组织方法是不行的，只有应用数控加工技术和柔性制造系统才能满足高度生产柔性化的要求。

1.1.3 数控机床的迅速发展和普及

20 世纪 50 年代末美国的制造业为解决多品种，中、小批量生产企业，生产落后、效率低、成本高、生产周期长、自动化程度低等矛盾致力于开发研究数控机床。在数控机床开发研究的初期由于它的控制技术及机床本身的许多技术问题（如主轴及导轨的运动精度，工件的加工精度，刀具、工件及机床的检测问题等），使其进展比较缓慢，直到 70 年代数控机床随着机床主机的精度，控制技术的解决，以及计算机的微型化和廉价化，即计算机从电子管→晶体管→集成电路→大规模集成电路，控制部分从占据很大的空间变成可装在机床控制柜上的一小块微型机，使得数控机床有了很大的发展，达到了实用阶段。目前工业化国家的机床制造业几乎全部转向技术含量高、获利更高的数控机床而不再生产普通机床，市场需求的迅速的增加也使得数控机床的制造、销售和应用的数目迅速增加。在日本、美国和德国数控机床的普及率已达到 70% 以上。

柔性制造系统是在数控机床和加工中心的基础上发展起来的。尽管数控机床比普通机床、自动机床、组合机床有无法比拟的高质量、高效率，高度自动化和高的柔性，但是它只能解决被加工零件进入机床之后的工作过程自动化问题。据统计机械加工零件在机床上的制造时间仅占 5%，其余 95% 的时间为等待、转序、停放等时间。因而数控机床并不能解决 95% 的零件停留时间，况且对零件的更换、夹具的改装、刀库的更换、程序更换等数控机床也需要耗费大量的时间。这与目前所追求的无停滞的物料流的目标仍相距甚远。因而如何使数控机床能连续不停顿地工作，实现从毛坯→成品无停滞地流通，而且在加工过程中不受零件品种和数量的限制，柔性制造系统便是实现这一目标的最佳选择。FMS 使用若干台数控机床和加工中心顺序加工相同或不同的零件，此时零件的数量和形式可以有较大的变化，只要存储的夹具、刀库和机床的程序的变更能适应这些加工要求便可进行加工。

因此可以说 FMS 是使数控机床和加工中心能够得以充分发挥经济效益的良好途径, 而 FMS 也只有数控机床, 加工中心充分发展的条件下才有实现的可能。

1.1.4 智能化计算机、工业机器人及各项相应配套技术的发展

由若干台数控机床或加工中心组成的 FMS 要完成不同零件加工程序的自动转换、刀具的更换和连续加工的管理, 单依靠数控机床的计算机是不能胜任的, 而必须由能控制若干台机床的 DNC 群控中央计算机来处理 FMS 的物料系统的信息, 使之能不停顿进行连续加工。为此智能化的计算机对 FMS 是至关重要的, 近年来所开发的大容量、高速运算的计算机为 FMS 的管理和控制创造了良好的条件。

随着立体仓库技术的发展, 大型的 FMS 可以毫无任何困难地建立所需的工件、夹具、刀具及随行夹具工作台的立体仓库。这些线内的立体仓库可以存储和调用 FMS 的各种棒料、钣金材料、非回转体类零件、工件夹具以及数控加工所需的各种类型的夹具。为 FMS 具备强大的加工能力, 功能广泛的柔性化生产能力带来了前所未有的良好的机遇。集成化的计算机管理系统可将 ERP 的生产准备及生产作业计划传送给 FMS 的控制系统, 通过立体仓库可为 FMS 无停滞的生产创造了良好的条件, 为 FMS 逐步走向无人化的自动车间和自动化工厂奠定了良好的基础。

其次 FMS 工作时整个系统为封闭系统, 操作人员无须进入机床区域, 因而零件加工过程中, 加工状态的监视, 机床状态的监视, 机床故障的报警、故障诊断, 刀具系统的监视等监控技术应能满足 FMS 的工作要求。近年来加工和工作状态的监视(用电子摄像机监视), 刀具磨损及破损的监视, 机床故障报警和诊断技术有了很大的发展。这部分技术是标志 FMS 水平的部分, 受到了较大的重视, 因而其发展也十分快速, 尤其是自适应控制目前采用的切削力监视、振动监视等方法也已达实际阶段。

FMS 的工件、刀具自动输送装置如工业机器人、无人小车也有了很大发展, 加之冷却液、切屑的自动输送等相应配套技术的发展, 例如在加工中心上工件的加工面始终位于垂直位置这样有利于切屑排除等均有了较大发展。

综上所述, 上世纪 80 年代 FMS 技术发展很快, FMS 是集制造业中各项科学技术的进步, 如计算机、CIM、工业机器人、立体仓库、数控技术、自适应控制、模拟仿真技术等, 发展起来的一项综合系统。成功的解决了中、小批量和多品种的生产自动化和合理化的问题。

1.2 柔性制造系统的发展现状

随着数控技术的发展, 自美国 Melrose 公司 1963 年制造出加工多种柴油机零件的数控自动线之后, 在国际的学术会议和市场出现了 FMS(Flexible Manufacturing System)即柔性制造系统的专业名词, 用以表示能完成多品种, 中、小批量制造任务的计算机控制的自动生产系统。1968 年 CIRP 国际生产工程研究会创办有关 FMS 的专业杂志, 作为 FMS 开发

研究的学术交流平台,各工业化国家对 FMS 也相继进行了研究与开发。世界上公认的第一条 FMS 是英国莫林斯公司于 1967 年研制出的系统 24。它是最早的较为完整的柔性制造系统。当然由于当时技术条件的限制,该系统还有许多不完善、不能令人满意的地方,但是它的思路引起世界各国尤其是工业化国家机床制造业、研究所和高校的高度重视。从 60 年代末起美国、英国、东德、日本和德国等国对 FMS 进行了大量的开发研究工作,到 70 年代后期随着它的一些基本理论问题的解决和主机、联机设备、辅助设备的主要技术问题的解决,特别是 FMS 控制系统即计算机的廉价化、实用化,使它走出了实验室达到了商品化和实用化阶段,目前世界上几乎所有的著名机床制造厂都在竞相研制开发生产各种不同形式的 FMS。

FMS 已成为世界三大有名的机床博览会(美国芝加哥、日本东京、欧洲、米兰、巴黎、汉诺威)的主要展出对象, FMS 是未来工厂的主要生产手段和硬件,因而也已成为工业国家倾力开发的重点。

在 FMS 的研制和生产方面,日本、美国和德国在世界上处于领先地位。日本是目前生产和使用 FMS 最多的国家,根据日本伊东谊 1981 年 10 月统计的资料表明,当时世界上研制和在线运行的 192 条 FMS 中日本占 49 条约为 25%,美国 44 条,德国 35 条,再根据日本东京都大学古川勇二教授来华讲学时介绍 90 年代后日本已拥有 350 条以上的 FMS。

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 11120 个零件,实现了三班无人看管,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 的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方面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、感应致导式和有轨式输送车。

日本著名的 FMS 生产厂家有:山崎铁工、丰田工机、东芝机械、牧野、池贝、大隈、新日本工机、日立精机、潼泽、三井精机、三菱重工等公司。

美国在开发研究 FMS 方面起步较早,其中 Omniline—1 是 1967 年投产较早的 FMS 之一。由于美国对 FMS 研究的出发点为将大量生产中的刚性流水线改为柔性自动线。故它所研制的 FMS 多为 FML。

美国生产 FMS 的厂家有辛辛那提—朱拉柯罗,克考司(Cross),本弟克期(Bendis),埃克期—凯尔(Ex—cell),White—Sundstrand, Keaney&Treaker 等公司。

德国对 FMS 的研究从航空制造业到机床制造业以及研究所,高等院校均给予较大重视,从技术水平来看它在欧洲和世界也属于领先地位,德国在设备中不太成功的新技术应用较少,但设备的可靠性、稳定性等给人以深刻的印象,如导轨普遍采用镶钢导轨,工作十分可靠,精度高,目前德国已有八十条以上 FMS 在运行。

德国的斯图加特大学,阿亨工业大学,西柏林工业大学,慕尼黑大学,汉诺威大学等的机器制造专业有关的教研室和研究所均在从事 FMS 的研究开发工作,由于德国的科研与实际结合比较紧密,研究所的课题大部分来自工厂企业或研究发展部,所取得的成果可迅速在实际生产中应用,科技成果转化为产品,用于生产领域的周期短、速度快,因而德国七十年代末期八十年代初在 FMS 的开发研制方面取得了较大的进展。目前德国所有的机床厂均不生产普通机床转而生产数控机床和 FMS,有名的厂家为 Werner—Korb, Hunsberk, Huller, Heller Traub, Lndex, Steiel, Schaut, Weber, Scharer Deckel, Alding 等。

由于美国、日本、德国对 FMS 研究的出发点不同,因而对 FMS 的柔性要求也不同,美国认为能加工 10 种零件的系统即为 FMS,日本则认为应在 10~100 种之间算 FMS,德国多偏重于 100 种以上,故其数量和柔性上有不同特征。

我国对 FMS 的研究目前属于起步阶段。在理论方面国内的《组合机床及自动化加工技术》、《机床》及《成组技术与生产现代化》杂志对 FMS 的基本理论、研究进展、动态均作了不同程度的报道,这对开展 FMS 的研究试验工作是很有意义的。在实际研究工作方面北京机床所已提出从法奈克、富士通合作引进了一条加工回转零件的 FMS,但利用率较低,大连组合所已从意大利、英国引进部分组件,郑州纺机厂 1988 年引进了两条 FMS 用于加工纺机上的墙板及冲压件,湖南兵器工业部的江麓机械厂从德国 Werner—Kolb 公司引进 630 × 633 的 FMS。国内机床行业也正在生产 FMC。通过这些工作以加快 FMS 的研究开发速度,高校方面上海同济大学的张曙教授在这一领域有许多论著,上海工业大学、成都科技大学的部分研究生已从事这方面的课题研究。

总的来说我国由于种种条件的限制,FMS 的研究还处于试验研究及试用阶段,尽管在工业化国家中对自动化和失业问题进行着喋喋不休的争论,各国的制造业却都在全力以赴地加速开展 FMS 的研究工作,科技的进步,生产的自动化,优质、高产、低消耗地生产是历史的发展趋势。因而在我国也正在加快对 FMS 的开发研究,使我国的机床制造行业赶上世界先进水平的。

但是也应看到我国的财力还不十分富余,因而在投入的经费上还要根据自己的实际情况予以控制,切忌盲目引进,避免设备不能充分发挥作用,造成不必要的浪费。

从图 1-1 和图 1-2 可看出 FMS 的发展过程。

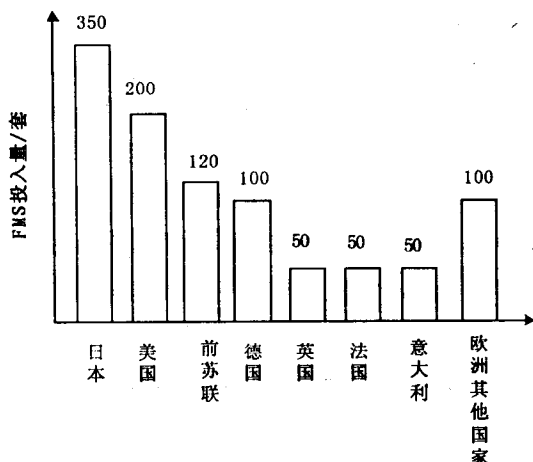


图1-1 1990年各国运行的FMS数量

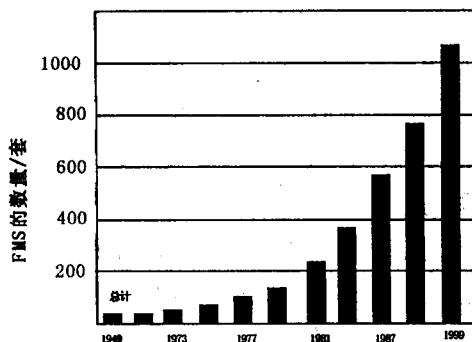


图1-2 FMS的发展过程

1.3 FMS 的发展趋势

1.3.1 FMS 将进一步迅速发展

早在上个世纪 80 年代末 FMS 就进入实用阶段，技术已日臻成熟，形成了高技术产业。由于它具有生产柔性，较之传统的加工技术在解决多品种、中小批量生产上有明显的经济效益，因此随着国际市场竞争的加剧，各先进工业国家迫切需要采用现代化制造技术。而发展中国家，尽管其工业基础较差，又没有足够的经济力量来发展制造业的高技，但是随着市场全球化的发展，也摆脱不了面临的国际、国内市场的激烈竞争的严峻形式，因而不得不寻求和发展能促进国民经济发展的现代化制造技术。基于这样一种形势，近十年来很多国家，无论是发达国家还是发展中的国家都越来越重视柔性制造技术，将它定为制造业的关键技术，形成投资重点，特别是美国将其列为重中之重，进一步加速发展 FMS。

1.3.2 FMS 向多种加工能力方向发展

FMS 应用初期只是非回转体类零件的机械加工，随着 FMS 技术发展，FMS 不仅能完成其他非回转体类零件的加工，还可完成回转体零件的车削、磨削、齿轮加工，甚至于拉削等工序。从机械制造行业看，现在的 FMS 不仅能完成机械加工，而且还能完成钣金加工、锻造、焊接、装配、铸造和激光、电火花等特种加工以及喷涂，热处理、注塑和橡胶模制作等工作。从生产的产品看，FMS 还可用于计算机、半导体、木制产品、服装、食品、饮料以及医药品和化工等产品的生产。其生产的有效批量也扩展至既可以单件生产，也可以大批量生产。有关的研究表明，凡是能用数控和计算机控制的工序均可由 FMS 完成，所以随着 FMS 应用范围的不断扩展，FMS 会得到迅速的发展。

图 1-3 所示为加工小型回转体类零件的 FMS。该系统由一台车削加工中心、刀具和夹具库、棒料立体仓库、锯削中心及工件和夹具自动装卸和更换的机械手组成，加工好的成品由输送装置自动输送到系统外。

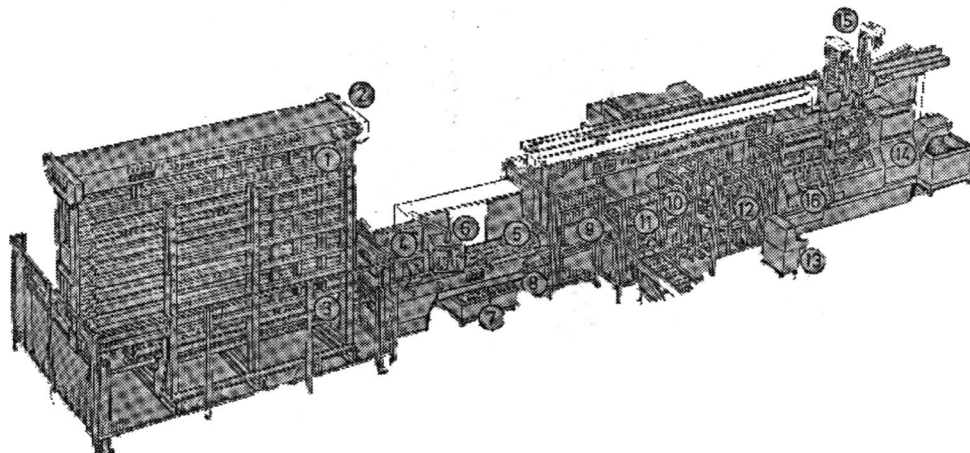


图 1-3 加工小型回转体类零件的 FMS

1. 棒料立体仓库；2. 棒料存入和取出的堆垛机；3. 棒料的转换供应装置；
4. 数控锯削中心用于棒料的锯切；5. 分类装置；6. 锯削中心的控制装置；7. 余料存储装置；
8. 将锯好的棒料送入车削加工中心系统联接系统的装置；9. 联接装置；10. 用车削加工中心的机械手将锯切好的棒料送到车削加工中心的接收位置；11. 成品的输出装置；12. 刀具和夹具存储仓库；13. 柔性车削加工中心刀具、夹具的控制台；14. 特劳浦 TNA480 型高效率车削加工中心 15. 特劳浦 FHS 输送机械手；16. 车削加工中心的控制台

图 1-4 所示为加工小型非回转体类零件的 FMS。该系统由六台数控加工中心，两个中央刀具库、一个中央零件库、一台有轨式无人小车、一台激光制导的无人小车和两台用于工件和夹具更换的有轨式机械手组成。在系统外配有一个刀具更换、调整、对零位的工作位置和一个用于夹具重新调整和组装的工作位置。中央刀具仓库的刀具通过有轨式无人小车与数控加工刀库上的刀具进行更换。每台加工中心均有交换工作台以便在加工的同时可无辅助时间地进行已加工好工件的卸下和待加工工件的安装，待加工的零件或制成品由激光制导的无人小车进行输送。

由于每个工件托盘可放置 40 多个工件，系统内可存放 12 个工件托盘，由此有足够的工件存储和加工存储的缓冲时间。每台数控加工中心的侧置刀库上配有 50 把刀具加之两个中央刀具库存储有数百把备用刀具。该系统具有可连续自动工作有强大、功能齐全的加工能力，是一套柔性化生产能力非常高的生产系统。

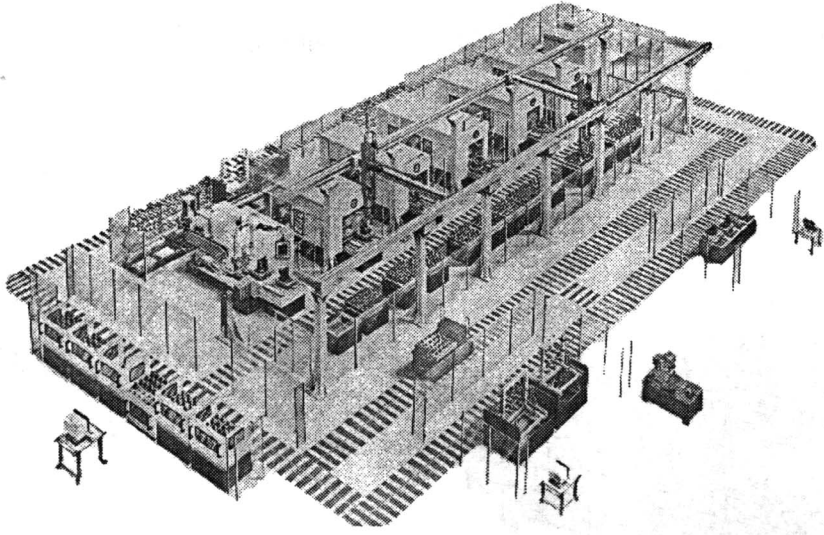


图 1-4 加工小型非回转体类零件的 FMS

图 1-5 为加工钣金类零件的 FMS。该系统由两台激光切割及冲压成型的钣金类数控加工中心组成。中央立体钣料仓库存储了市场所需的各种不同尺寸规格及原材料的钣金材料。通过计算机控制的堆垛系统根据 ERP 的生产作业计划自动抓取待加工的钣料并输送到数控激光冲压加工中心机床上。可更换的带冲压模具库的冲头可以加工各种类型的曲线槽、孔及弯曲成型等。加工后的成品和余料可自动分离并输送到 FMS 系统之外，该系统由世界知名的德国快通公司制造，目前已在世界的汽车制造、电气产品的生产中获得日益广泛的应用。

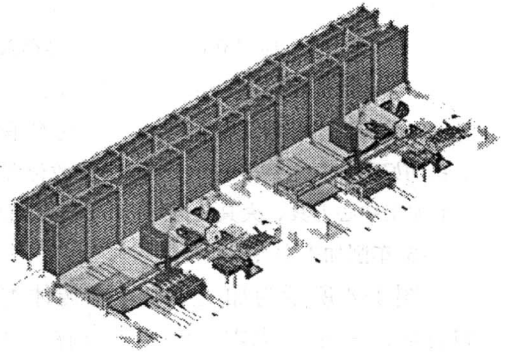


图 1-5 加工钣金类零件的 FMS

图 1-6 所示为用于各类汽车曲轴锻造的 FMS。该系统由一台 160 吨偏心式压力机，一台 12.5 吨的去毛刺飞边的冲床和两台校直装置组成，曲轴毛坯的输送由机械手来进行，其生产过程由线外的控制台进行操纵和控制。

图 1-7 所示为汽车车身部件焊接的焊接 FMS。该系统由 12 台三坐标六自由度的焊接机器人和汽车车体的输送系统组成。系统的入口端存储有用于缓冲的待加工汽车车体。其生产过程根据预先给定的计算机控制指令由机器人自动完成汽车车体。各个焊接工位的要求。焊接加工后的车体由输送装置送往后续加工和装配的区域，由于工业机器人可以根据生产的需要随时变更其控制指令，因此，它的柔性化生产能力十分强大，可以适合各种不同形状、尺寸要求的或人工无法到达的操作场地进行工作，同时它可以有效地防止对人及环境

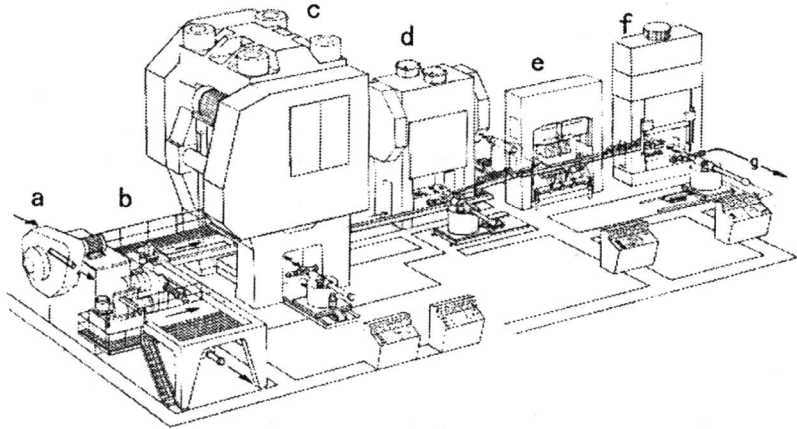


图 1-6 加工发动机曲轴的 FMS

的污染和危害，目前，该系统已在汽车行业中得到广法的应用。

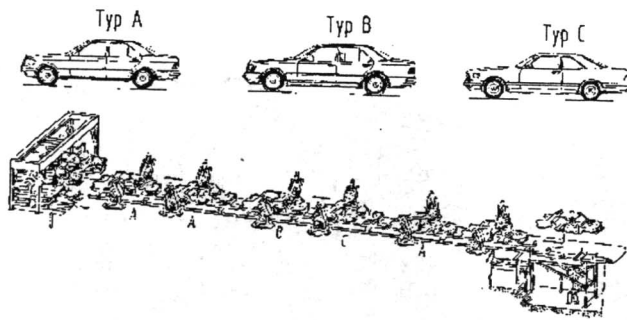


图 1-7 用于汽车车体焊接的 FMS

传统的工业生产装配一直是需要大量劳动力的一道工序，近年来随着市场的需求和科学技术不断进步已出现了相当多的自动装配生产线和柔性装配线（FML），图 1-8 所示为用于小型产品的柔性装配线。

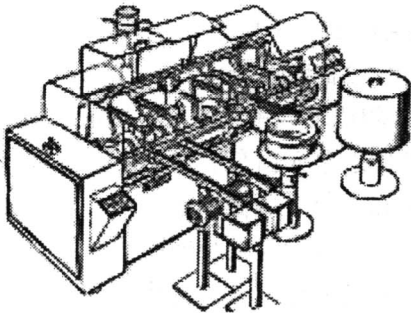


图 1-8a

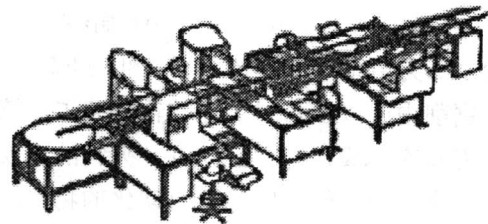


图 1-8b

图 1-8 柔性装配线