

柔性制造系统

张培忠 主编

机械工业出版社



柔性制造系统

张培忠 主编



机械工业出版社

本书系统地介绍了有关 FMS 的基本知识和基础技术。首先介绍 FMS 产生的背景、分类及其发展；接着详细地叙述了 FMS 中的加工系统、物流系统、质量保证系统以及 FMS 的控制和管理，对作为 FMS 基础技术的成组技术、CAPP、CAM 也作了相应的介绍；最后叙述了 FMS 的安装、调试、验收以及 FMS 的规划与设计。

本书可作为高等工科院校高年级师生的教学参考书，也可供从事机械制造技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

柔性制造系统/张培忠主编.-北京:机械工业出版社,1997.11
ISBN 7-111-05981-6

I. 柔… II. 张… III. 计算机辅助制造 IV. TP391.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 22726 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑:徐彤 张亚秋 版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:郭景云 责任印制:路琳

机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年2月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·17.75印张·429千字

0 001—2 000册

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

柔性制造系统 (FMS) 是当今制造领域迅速发展和应用的高新技术之一, 从它的出现到今天已经走过了近三十年的发展历程, 进入到完全实用化的阶段。它的问世, 克服了传统的刚性自动化生产线只能适用于大量生产的局限性, 展示了对中小批量、多品种生产的适应性, 提高了制造过程的柔性和质量, 提高了设备的利用率, 缩短了产品的周期, 也提高了企业对市场需求变化的响应速度和竞争能力。随着科学技术的发展, 出现了计算机集成制造系统 (CIMS), 并且逐渐成为制造工业的热点, 是未来工厂的一种模式, 将成为 21 世纪占主导地位的新型生产方式。而 FMS 作为 CIMS 的重要组成部分, 在 CIMS 环境下, 体现了底层物流集成和信息流集成的高度统一, 并随着 CIMS 技术的发展而不断得到新的发展。由于 FMS 的特点及其经济效益, 越来越多的人希望了解 FMS, 不少的大专院校希望开设“FMS”课程, 以培养相应的人才。本书就是为适应这种形势而编写的。

全书由张培忠主编, 其中第 1、2、3 章由张培忠编写, 第 4 章由郁鼎文编写, 第 5 章由成晔编写, 第 6 章由王家海编写, 第 7、8 章由乔宗萱编写。蔡复之教授为本书的主审, 在百忙中抽出宝贵的时间对全书进行了详细的审阅。吴海峰同志在文稿计算机输入中花费了大量时间。香港力丰公司为本书的出版提供支持帮助, 在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限, 错误之处在所难免, 请读者指正。

编 者

1996 年 6 月

目 录

前言

第1章 FMS 概述	1
1.1 FMS 产生的时代背景	1
1.2 FMS 的定义、组成及其分类	4
1.3 FMS 的适用范围和效益	14
1.4 FMS 的发展趋势	19
第2章 FMS 中的加工系统	24
2.1 FMS 对机床的要求及其配置	24
2.2 加工中心	27
2.3 车削中心	42
2.4 清洗与去毛刺设备	51
2.5 切屑处理及冷却液处理系统	53
第3章 成组技术、计算机辅助工艺规程设计及数控编程	58
3.1 成组技术概述	58
3.2 零件的分类和编码系统	59
3.3 零件分类成组方法	64
3.4 生产流程分析法	67
3.5 成组技术在机械加工中的应用	69
3.6 成组技术的经济效益及其与 FMS 的关系	71
3.7 计算机辅助工艺规程设计 (CAPP) 的基本概念和功能	71
3.8 派生式 CAPP 系统	75
3.9 创成式 CAPP 系统	77
3.10 CAPP 系统的适用范围及其发展	83
3.11 计算机辅助数控编程概述	87
3.12 图形数控编程系统的原理、功能和编程步骤	88
3.13 图象数控编程软件 SurfCAM 简介	92
3.14 SurfCAM 应用举例	95
第4章 FMS 物流系统	102
4.1 物流系统的功能和组成	102
4.2 工件流支持系统	103
4.3 刀具流支持系统	120
4.4 输送设备	130
第5章 FMS 中的质量控制系统	147
5.1 集成质量控制系统的概念	147

5.2	质量检测	152
5.3	坐标测量技术与坐标测量机	154
5.4	加工过程的监测技术	174
5.5	柔性制造系统中的质量故障诊断	189
第6章	FMS 的控制与管理	192
6.1	FMS 中的信息处理技术基础	192
6.2	FMS 的控制结构	206
6.3	FMS 的运行控制系统	216
6.4	FMS 的仿真	224
第7章	FMS 的安装、调试及验收	235
7.1	FMS 的安装	235
7.2	FMS 的试车调试	238
7.3	FMS 的验收	241
第8章	FMS 的规划与设计	247
8.1	FMS 规划与总体设计的作用和意义	247
8.2	建造 FMS 的可行性论证	248
8.3	FMS 系统的设计	253
	参考文献	274

第1章 FMS 概述

1.1 FMS 产生的时代背景

1.1.1 市场的发展与变化促使传统生产方式变革

当代机械制造业面临着巨大的压力，必须以低的生产成本、短的生产周期开发更多的新产品，以适应市场的多样化需求和全球范围内的激烈竞争。本世纪初，通过采用自动机或刚性自动生产线来实现单一品种的大批量生产，以达到提高生产率，降低成本，提高产量，满足和扩大市场需求。美国福特汽车公司在1910~1920年建立了一条生产线，创造了1分钟生产一辆“T”型车的记录，使成本从刚推出时的890美元/辆，降到1926年的290美元/辆，从而使汽车从少数富翁的奢侈品变成了大众化的交通工具，开创了机械工业大规模生产的时代。这是一种“单一品种（或少品种）大批量→以大批量降低成本→以低成本扩大市场→以市场进一步扩大批量”的发展模式。由于这种发展模式的成功，因此在30~50年代，各种机械的、电气的、液压的自动化装置被发明，各种高效的专用自动化机床被设计出来。通过自动输送带将各单机联结成各种各样的自动化生产线，从而使单一品种、大批量生产的刚性自动化生产达到成熟阶段。

进入60年代以后，世界市场发生很大的变化，用户对产品的需求千变万化，而且要求供货及时，这是市场的最新发展趋势。起初，这一趋势主要对产品装配领域有影响，往往用大批量生产出的相同零部件装配出有所变化的最终产品（如同一类型不同颜色的汽车），然而现在的用户却需要用不同的零部件形成真正有特色的产品。

随着经济的发展，生活水平的提高，追求多样化、新颖化成为社会风尚，对消费品的要求更高，希望产品有自己的特色。目前，每个制造商都必须迎合顾客的需求去开发新产品和组织生产。激烈的竞争使传统的大规模生产环境发生了改变，要求对传统的零部件生产工艺加以改进。如汽车只在外观上不同还远远不够，必须要有实质的改型。可以看到，如今的汽车发动机依然是过去的样子，但其零件的加工工艺和原材料却在不断的改进。激烈的市场竞争，使产品品种日益增多，产品的生产周期日趋缩短。在1983年出版的《丰田生产方式的新发展》中有一个典型的统计（表1-1），在3个月中，该公司生产了364000辆汽车，共4个基本车型，32100种型号，平均每种型号的产量是11辆，最多是17辆，最少是6辆。由此可见，即使大规模生产的汽车工业也成了一种要求进行多品种小批量生产的典型行业。另一种统计指出，汽车的平均生命周期在1970年时为12年，1980年缩为4年，而1990年仅为1.5年。再以机电产品为例，产品的生命周期超过10年的在60年代约占32%，到了80年代降为15%，而市场寿命在5年以下者则由38%增长到65%~70%。

在激烈的市场竞争中，人们也认识到缩短从订货到交货的周期是赢得竞争的主要手段。而30年代到50年代建立的单品种生产自动线，它有固定的生产节拍，而且设计复杂，投资巨大。当产品的生命周期结束而必须生产其它品种时，对原有的制造系统的改造难度相当大，改造周期相当长，改造费用也相当昂贵。所以，这种刚性自动化生产线是无法满足不同顾客对产

品的不同要求，也无法在激烈的市场竞争中占据优势。

表 1-1 丰田汽车公司三个月内的生产统计资料

基本车型	型号数	生产数 (辆)	每种型号生产数 (辆)
A	3700	63000	17
B	16400	204000	12
C	4500	53000	12
D	7500	44000	6
合计	32100	364000	11

市场要求产品的品种越来越多，而每种产品的批量却越来越小，这就导致现代机械工业生产结构中多品种，中小批量生产类型的企业在数量上占绝对优势地位。多品种中小批量生产在社会生产总量中所占的比重日益增大，世界机电产品中属于中小批量生产的产品种数由 60 年代占 50% 左右到 80 年代上升为 85%，产值由占 45% 上升为 75%。我国机械制造企业属中小批量生产的占企业总数的 95% 左右，它们绝大多数在传统的生产方式下，处于低效率、长周期、高成本的落后状态。

市场的变化与发展促使企业界寻求一条有效的途径，来解决多品种、中小批量生产自动化的问题。经过几十年不懈的努力，终于找到了解决这个问题的金钥匙——柔性制造系统 (FMS)。

1.1.2 科学技术的发展为传统生产方式的变革提供了可能

一种新的生产方式的出现，必须要有技术的发展作为基础和依托。对机械制造来说，影响最大的是电子计算机的出现及其飞速发展和广泛应用。50 年代数字化技术在机床上开始应用，这就是所谓的数控 (NC) 机床。几乎与数控机床研制的同时，开始了自动编程系统的研制，以摆脱手工编写数控程序的落后状态。1954 年，美国麻省理工学院完成了第一个用于零件数控编程的工具，起名为自动编程工具 (APT)，从 1965 年起，美国又开始研制图形编程 (即用图形验证数控加工程序)，1967 年初步完成并投入使用，从而解决了 APT 语言编程存在的基本问题。70 年代，随着微处理机的应用，数控机床进一步迅速发展，出现了计算机数控 (CNC) 机床，它是独立的自适应的自动化机床。有了 CNC 机床，又有了自动编程手段，使中小批量的外形复杂零件的自动化加工问题得以很好解决，提高了生产率和加工精度，缩短了生产准备周期，使机床趋于“柔性化”。

60 年代初，美国首先研制出第一台工业机器人，为完善地解决加工过程中物料搬运自动化，为解决单调、笨重、危险、有害和超过人能胜任的极限环境下作业自动化，特别是装配自动化提供了现实的可能性。

60 年代末期开始研究的计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)，其基本功能在于工艺路线设计、每道工序的详细设计、切削用量的选择、时间定额的制定，等等。尽管由于零件形状的复杂性和加工技术的多样性，开发 CAPP 的技术难度相当大，然而目前已有一些系统投入应用。

70 年代末，80 年代初，计算机辅助管理，物料自动搬运，刀具管理，计算机网络，数据库的发展以及 CAD/CAM 技术的不断发展，更为 FMS 的发展提供了有力的支持。

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，这些都为 FMS 的发展提供了必要的环境。

1.1.3 FMS 的起源及发展

在大部分制造业中，都存在着设备利用率低、生产效率差的现象。由于采用了自动装夹技术、成组技术，以及实现两班制和三班制，使得生产时间有所改善。因此，自动化初期把重点放在加工方法上，而后来把注意力集中到用于搬运和等待的 95% 的非生产时间的利用上，如今又把注意力集中到如何减少机床闲置的时间，以期提高机器设备的生产效率和利用率。

FMS 的概念诞生于 20 世纪 60 年代的伦敦，由一位做研究和开发工作的工程师大卫·威廉逊 (David Williamson) 提出的。当时他使用 Flexible Machining System 这个名称，并在一个机加工车间里安装了第一套 FMS。它是在计算机控制下，每天工作 24h (实际上在中班和晚班的 16h 内进行无人化加工)，故称之为 24 系统，这就是 1967 年英国创建的世界最初柔性加工系统 (molins system-24)，由英国 molins 公司将其公诸于世。Williamson 在该系统中用人工将工件装到托盘上，然后托盘被送到各机床处，并在需要的时候自动安装工件，用数控机床加工一系列不同的零件。每台机床配置一个刀库，系统从刀库中选用刀具进行各种不同的加工操作，整个过程还包括清除切屑和清理工件，该系统用计算机控制机床的多种操作，无需人力介入。这种用计算机分散控制机床加工和每天 24h 加工相结合的思想就是 FMS 的起源。

随着计算机控制设备的发展以及在金属成形和装配方面的广泛应用，柔性加工系统 (Flexibel Machining System) 逐渐发展为柔性制造系统 (Flexible manufacturing System)，美国 Kearney Trecher 公司首先使用这个名称来命名可以完成多品种、中小批量制造加工任务，并由计算机控制的自动加工线。

Williamson 提出的 FMS 在欧洲应用后，人们很快发现其中的许多原则对于加工小批量、多品种产品来说趋于理想化，于是进行了各种改进。70 年代初期原联邦德国、日本、原民主德国、前苏联、美国、意大利等相继开发了本国的第一代 FMS，经过了 10 年的发展和完善，FMS 开始走出实验室而逐步成为先进制造企业的主力装备。由于显著的经济效益，各国相继投入大量资金，竞相开发 FMS。到 90 年各国投入运行的 FMS 已达到 1020 套。各国拥有的数量见图 1-1，由图 1-2 中可见 FMS 的发展进程。

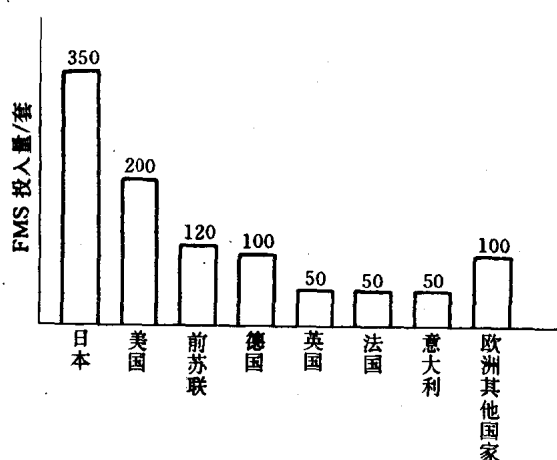


图 1-1 1990 各国投入运行的 FMS 数

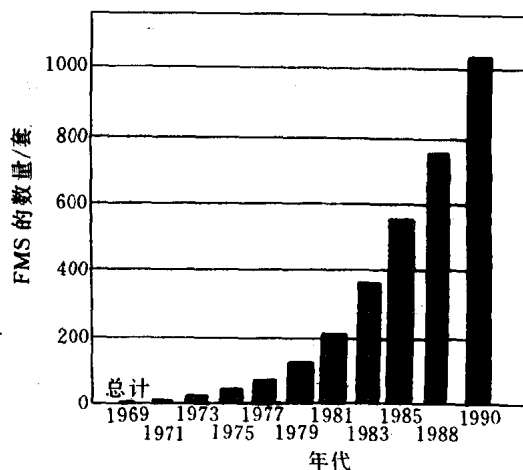


图 1-2 FMS 的发展过程

由于 FMS 在世界范围内得到广泛的应用, 形成了一个新兴的产业, 出现了一批能提供 FMS 成套设备的供应厂商, 其年销售额达到十几亿美元乃至几十亿美元。据美国福斯特·萨里文咨询与预测公司 (Frost & Sullivan) 对美国市场的调查表明, 1990 年 FMS 的销售总额达到 2.26 亿美元, 又根据《制造自动化新闻》调查, 欧洲 FMS 市场在 1990 年销售约 8.25 亿美元。这些不完整的统计资料足见 FMS 市场之大。

1.2 FMS 的定义、组成及其分类

1.2.1 FMS 的定义和分级

(1) FMS 的定义 目前, 对于柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System 简称 FMS) 还没有统一的定义, 它作为一种新的制造技术的代表, 不仅限于零件的加工, 而且在与加工和装配相关的领域里也得到越来越广泛的应用, 这就决定了 FMS 组成和机理的多样性, 可以说, 有关 FMS 的定义和描述, 在许多情况下, 与其说依赖于制造商的观点, 不如说依赖于用户的看法。目前见到的一些权威性单位对 FMS 的定义很多, 不下几十种。

美国国家标准局 (United States Bureau of Standards) 把 FMS 定义为: “由一个传输系统联系起来的一些设备, 传输装置把工件放在其它联结装置上送到各加工设备, 使工件加工准确、迅速和自动化。中央计算机控制机床和传输系统, 柔性制造系统有时可同时加工几种不同的零件。”

美国政府称之为“由一组自动化的机床或制造设备与一个自动化的物料处理系统相结合, 由一个公共的、多层的、数字化可编程的计算机进行控制, 可对事先确定类别的零件进行自由地加工或装配的系统。”

国际生产工程研究协会指出“柔性制造系统是一个自动化的生产制造系统, 在最少人的干预下, 能够生产任何范围的产品族, 系统的柔性通常受到系统设计时所考虑的产品族的限制。”

欧共体机床工业委员会认为“柔性制造系统是一个自动化制造系统, 它能够以最少的人干预, 加工任一范围的零件族工件, 该系统通常用于有效加工中小批量零件族, 以不同批量加工或混合加工; 系统的柔性一般受到系统设计时考虑的产品族限制, 该系统含有调度生产和产品通过系统路径的功能。系统也具有产生报告和系统操作数据的手段。”

在“中华人民共和国国家军用标准”有关“武器装备柔性制造系统术语”中的定义为“柔性制造系统是由数控加工设备、物料运储装置和计算机控制系统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。”

为简单起见, 不妨这么定义柔性制造系统, 它是由若干 CNC 设备, 物料运储装置和计算机控制系统组成的并能根据制造任务和生产品种的变化而迅速进行调整的自动化制造系统。

各种定义的描述方法虽然不同, 但反映了 FMS 应该具备的一些共同特点。

1) 硬件的组成部分

a. 两台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、清洗机、动平衡机, 各种特种加工设备等);

b. 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 (具体结构可采用传送带、有轨小车、无轨小车、搬运机器人、上下料托盘、交换工作站等);

c. 一套计算机控制系统。

2) 软件的主要内容

a. FMS 的运行控制；

b. FMS 的质量保证；

c. FMS 的数据管理和通信网络。

3) FMS 的功能

a. 能自动进行零件的批量生产；

b. 简单地改变软件，便能制造出某一零件族中的任何零件；

c. 物料的运输和储存必须是自动的（包括刀具工装和工件）；

d. 能解决多机条件下零件的混合比，且无须额外增加费用。

(2) FMS 的柔性 柔性制造系统中的“柔性”，从某种意义上讲，是 FMS 的灵魂，是区别于传统生产方式的关键所在。分析 FMS 的柔性，不难发现，应该包含两个不同范畴的柔性，即 FMS 用户的柔性和 FMS 供应商的柔性。其中用户柔性是用户最为关切的，也是 FMS 第一位的柔性，而供应商的柔性属第二位柔性，那是 FMS 供应商最感兴趣的，因为他们不可能每次都从头设计 FMS，他们需要足够的柔性，能把不同的机床集成为不同的 FMS，以满足不同的生产需要。然而 FMS 的用户对此也很重视，因为标准化的联结可以使系统的安装费用大大降低。

1) FMS 用户的柔性

a. 瞬时柔性 指的是主控计算机可以随意安排加工机床的能力，以便处理个别机床发生故障时，工件可在其它互替机床上继续进行加工，不使生产停滞，克服单一机床加工的瓶颈问题。另外，当 FMS 同时加工多种类型工件时，可以从调度上提高机床的利用率，使机床始终处于加工状态，没有闲置时间。根据卡盘/卡具数目、刀具库的刀具设置和系统加工能力，对每一零件的加工路线进行实时规划，在多条路径中选定，而且对每一类零件的加工时间也要进行分配，不要让加工能力有限的机床影响工件在其它机床上的加工。

b. 操作柔性 指的是操作人员在其所处的制造环境中能够规划生产并自动运行，必要时还能进行干预和及时改变现行生产的方便程度。这种柔性，使操作人员能对生产中可能出现瓶颈的地方进行调整，并实时改变零件的工艺路线或对生产的规模进行调整。遇到加急定单时，不需要先规划，立刻就能上线加工。

c. 短期的生产柔性 指的是在短期内处理不同类型零件混合加工的能力。当在线的一批混合零件陆续加工完时，新的零件（往往也是多种类型的但又不一定与原先的类型相同）就不断补充上线从而使待加工零件群处于动态的变化之中（可能每个星期都变），短期柔性就可以保证 FMS 对任意的加工零件群进行加工，并保持很高的生产率，适应用户的需要。

d. 长期柔性 指的是在 FMS 的生命周期内（一般 10~15 年），通过主控计算机修改和更新数据库（不需修改程序原码）来适应产品类型、工艺路线、刀具等方面的各种变化，从而对新的零件族进行加工的能力，这是一种战略柔性。

e. 实施过程的柔性 指的是不属主控计算机的功能、却又需主控计算机处理的那些柔性。主要是指设备柔性和工艺柔性。设备柔性又包含三方面的内容，即机床能够按任意顺序加工多种零件的能力；运输系统能在不同路线上传送各类运输单元（如托盘、卡盘等）的能力；机床 CNC 能够运行多种零件加工程序的能力。为此要求 FMS 中的设备必须与 FMS 系统

完全集成，否则就会降低整个 FMS 的柔性。工艺柔性是指在不改变主控计算机软件的条件
下，修改零件加工工艺过程的方便程度，这里包括取消和包括在某类机床上的加工，在互替
机床进行某种加工以及改变某些互替机床的加工顺序。

2) FMS 供应商的柔性 指的是主机能适应不
同用户加工需求的能力。体现在要有一套能符合上
述各种柔性要求的主机通用的标准软件上。这就
要求有正确的软件设计思路和正确的主机系统
设计思路。在硬件配置上，使主机的外设接口
能够满足多种类型 FMS 的设计需要，应能与
用户决定的各种机床相联结。在数据库的建
立上，主机的软件应能对数据库进行参数化
配置，建立一批特定的数据库。只要由通用
标准 FMS 软件包对参数化的数据库进行处
理，而不必对软件进行修改和再次开发，就
可适应不同 FMS 的要求。

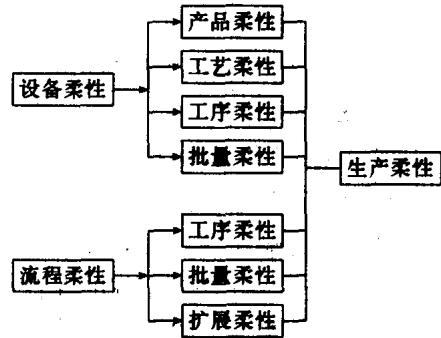


图 1-3 各种柔性的相互关系

对于 FMS 的具体使用过程也应该使之参数化，避免用户僵硬地使用供应商提供的主机
控制功能，可以通过人机对话来确定每天的生产操作内容、建立和修改工艺路线。

3) 柔性及其衡量指标 (量化柔性) 描述制造系统的柔性定义比较多，力求量化以便设计
和评估时的应用，在这方面，有八种柔性，其定义及衡量指标见表 1-2。一个理想的 FMS 应
具备所有的柔性，而这些柔性是互相影响、密切相关的，其关系如图 1-3 所示。

表 1-2 柔性及其分类

分 类	定 义	衡 量 指 标
设备柔性	系统中的设备易于实现加工不同类型零件所具备的转换能力	系统中设备实现加工不同零件所需的调整时间。包括： 1. 更换磨损刀具的时间 2. 为加工同一类而不同组的零件所需的换刀时间 3. 组装新夹具所需的时间 4. 机床实现加工不同类型零件所需的调整时间，含： (1) 刀具准备时间 (2) 零件安装定位和拆卸时间 (3) 更换数控 (NC) 程序的时间
工艺柔性	系统能够以多种方法加工某一零件组的能力，又称加工柔性，即系统能加工的零件品种数	系统不采用成批方式而能同时加工零件的品种数
产品柔性	系统能经济而迅速地转向生产新产品的能力，即转产能力，也称为“反应柔性”，表明为适应新环境而采取新行动的能力	系统从生产一种零件转向生产另一种零件所需的时间
流程柔性	系统处理其故障并维持其生产持续进行的能力	系统发生故障时生产率下降程度或零件能否继续加工的能力
批量柔性	系统在不同批量下运行都有经济效益的能力	系统保证有经济效益的最小运行批量
扩展柔性	系统能根据需要通过模块进行组建和扩展的能力	系统能扩展的规模大小
工序柔性	系统变换零件加工工序、顺序的能力	以实时方式进行工艺路线决策的能力
生产柔性	上述柔性的总和	系统能够生产各种类型零件的总和

(3) FMS 柔性水平的分级 按照柔性制造技术在工厂生产的应用领域, 可将 FMS 的水平等级划分为 VI 个等级, 见表 1-3。

表 1-3 FMS 柔性水平的等级

应用领域水平等级	毛坯加工	机械加工	零件检查	特殊加工	装 配	产品检查
I		✓				
II		✓	✓			
III		✓	✓	✓		
IV	✓	✓	✓	✓		
V	✓	✓	✓	✓	✓	
VI	✓	✓	✓	✓	✓	✓

目前几乎大部分的 FMS 都只用于零件的机械加工, 也即 I ~ III 级的水平, 只有极少数的 FMS 具有机械加工和装配功能, 如果能实现 VI 级水平, 那么 FMS 就是由柔性加工系统、柔性装配系统和柔性检验系统所组成的生产系统, 使生产的全过程都是柔性的、自动化的。

1.2.2 FMS 的组成

FMS 的规模虽然差异较大, 功能不一, 但都必须包含三个基本部分, 即加工系统、物料运送及管理系统和计算机控制系统。除此之外, 还根据 FMS 的不同要求, 配置不同的辅助工作站, 如清洗工作站、监控工作站等。详见表 1-4。

表 1-4 FMS 的水平等级

组成名称	作用	组成内容
基本部分	加工系统	FMS 的主体部分, 用于加工产品零件 加工单元指有自动换刀及换工件功能的数控机床
	物料运送及管理系统	向加工单元及辅助工作站运送工件、夹具、刀具及工具 工件运送及管理系统组成: 毛坯、半成品、夹具组件的存储仓库 工件、夹具装卸站 缓冲存储站 工件托盘运输小车 刀具运送及管理系统组成: 刀具存储库 刀具刃磨、组装及预调工作站 交换刀具的携带装置 交换刀具的运送装置
	计算机控制系统	控制并管理 FMS 的运行 由递阶计算机及其通信网络组成
辅助工作站	选件功能 根据不同的 FMS 需求, 配置不同的辅助工作站, 如在线测量工作站、清洗工作站、监控工作站等	

(1) 加工系统 实施对产品零件的加工, 包括一群 CNC 机床。对于以加工箱体形零件为主的 FMS, 应配备数控加工中心 (有时用 CNC 铣床); 对于以加工回转体零件为主的 FMS 多数配备 CNC 车削中心和 CNC 车床 (有时也配备 CNC 磨床); 对于既加工箱体形零件, 又加工回转体零件的 FMS, 需既配备 CNC 加工中心, 也配备 CNC 车削中心; 对于加工特殊零件

的 FMS，需配备专用的 CNC 机床，如加工齿轮应配有 CNC 齿轮加工机床；有的 FMS 还应根据需要，配备焊接、喷漆等设备。根据规模的不同，系统中的机床数由 2 台~20 台或更多些。从目前的趋势看，系统中的机床数均较少，多数为 2 台~4 台。

(2) 物料运送及管理系统 又称传递系统。实施对毛坯、夹具、工件、刀具等出入库的搬运、装卸工作。如果工件和刀具的传递分别由各自的传送系统完成，那么运送系统就分为工件运送系统和刀具运送系统。在大多数的 FMS 中，进入系统的毛坯在工件装卸站装夹到托盘夹具上，然后由工件传递系统进行输送和搬运。该系统包括工件在机床之间、加工单元之间，自动仓库与机床或加工单元之间以及托板存放站与机床之间的输送和搬运。托板存放站与机床之间的工件托板装卸设备有托板交换器 (APC)，多托板库运载交换器 (APM) 和机器人。装卸工件的机器人还分为内装式机器人、安装式机器人和单置万能式机器人。

自动搬运设备包括有滚柱式传送带、链式传送带、无人线导小车、地下链牵引线式小车、有轨小车、桥式行车机械手 (或悬挂式机械手) 等。

加工所需的各种刀具经刀具预调仪预调，将有关参数送到计算机后，由人工把刀具放置到刀具进出站的刀位上 (或刀盒中)，由换刀机器人 (或 AGV) 将它们送到机床刀库或中央刀库。

(3) 计算机控制系统 实施对整个 FMS 的控制和监督。由一台中央计算机 (主机) 与各设备的控制装置组成分级控制网络，构成信息流。

根据 FMS 的规模大小，系统的复杂程度有所不同。一般采用多级 (通常是三级) 递阶控制系统。第一级只要对各种机床、工件装卸机器人、坐标测量机、小车、传递装置以及储存检索系统等进行控制，包括对各种加工作业的控制和监测。这一级也称设备级控制器。第二级相当于 DNC 的控制，它包括对整个系统运转的管理，零件流动的控制，零件程序的分配以及第一级生产数据的收集。又称为工作站控制器。FMS 控制系统的第三级是单元控制器，通常也称为 FMS 控制器。作为制造单元的最高一级控制器，是柔性制造系统全部生产活动的总体控制系统，全面管理，协调和控制单元内的制造活动。同时它还是承上启下，沟通与上级 (车间) 控制器信息连接的桥梁。图 1-4 是 FMS 的递阶控制结构图。

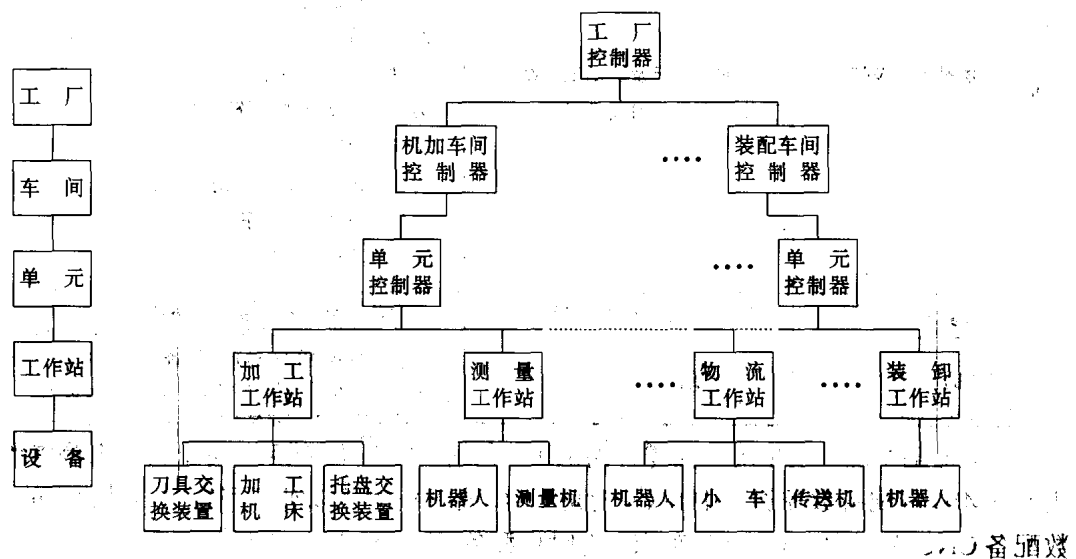


图 1-4 FMS 的递阶控制结构

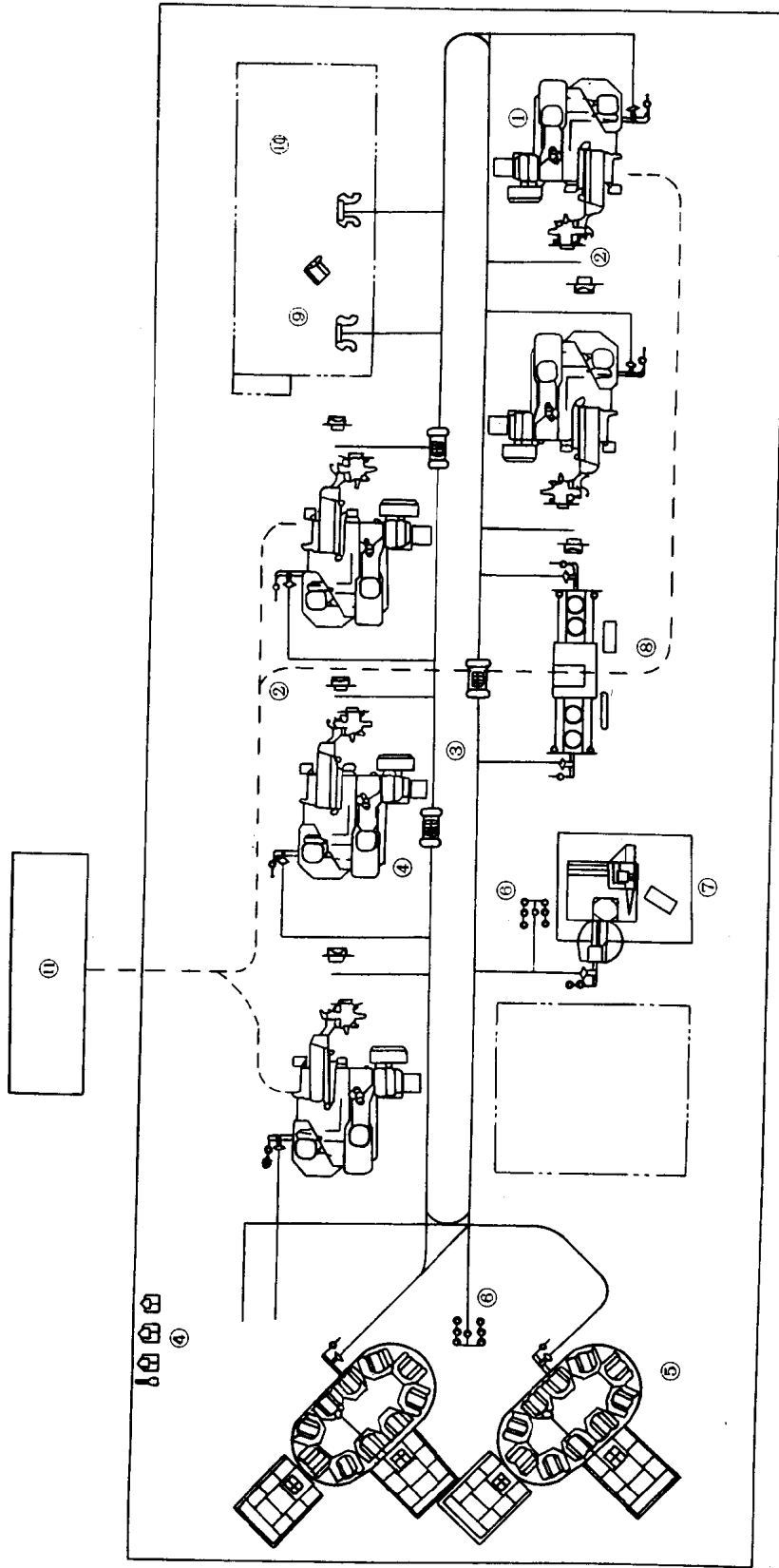


图 1-5 典型的 FMS 系统及其主要组成

①—加工单元 ②—刀具交换站 ③—无人导引小车 ④—小车维修站 ⑤—工件装卸/缓冲站
 ⑥—物料检查站 ⑦—测量站 ⑧—清洗站 ⑨—刀具装卸、刀具测量、预调
 ⑩—VAX8200 ⑪—切屑收集和切削液再生系统

(4) 典型的 FMS 系统及其主要组成 图 1-5 所示为美国麦道公司的 FMS。该系统有五台 CNC 加工中心机床①，每台加工中心配有 90 把刀和一个换刀站②，用小车输送合格的刀具。系统共有三辆计算机控制的小车③，按导引线指示的路径运行，并设有小车保养站④进行维护。两台配有 10 个托盘的自动工件交换台⑤，通过 90 度倾斜和 360 度转动使之具有两个装夹和拆卸工件的位置。物料检查站⑥用于检查工件是否合格。测量站⑦配有卧式坐标测量机，用于测量加工好的零件尺寸。测量前零件要经过清洗站⑧予以自动清洗。刀具装卸站⑨还能对刀具进行测量、预调。中央计算机使用 DEC VAX8200，置于高架机房⑩内。⑪是切削收集和切削再生系统，配有两条水槽。

1.2.3 柔性制造自动化的分类

(1) 柔性制造模块 (FMM) FMM 由单台 CNC 机床配以工件自动装卸装置组成，并能进一步组成柔性制造单元和柔性制造系统。它可以有各种不同的组合，例如加工箱体零件的加工中心配以托板交换器 (APC) 或配以多托板库运载交换器 (APM) 组成，分别如图 1-6 所示；也有的加工中心配以工件托板存放站，中间通过机器人传递、装卸工件，如图 1-7 所示。柔性制造模块本身可以独立运行，但不具备工件、刀具的供应管理功能，没有生产调度功能。

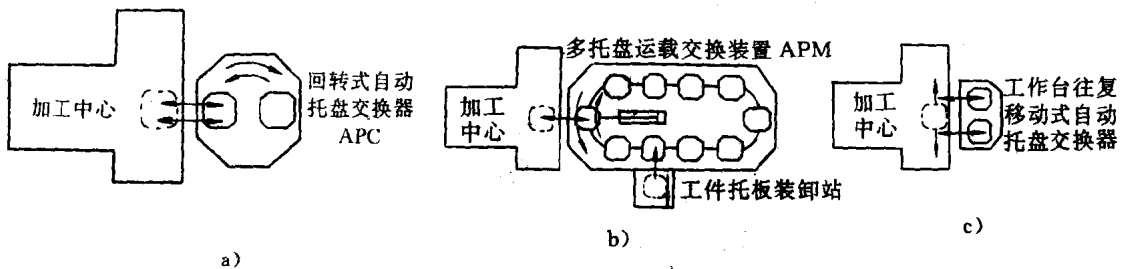


图 1-6 柔性制造模块

a) 加工中心+APC b) 加工中心+APM c) 加工中心+工作台往复移动式自动托盘交换器

(2) 柔性制造单元 (FMC) FMS 由 2~3 个柔性制造模块组成。它们中间由工件自动输送设备进行连接，整个单元由计算机控制，能完成整套工艺操作，并在毛坯和工具储量保证的情况下能独立工作，具有一定的生产调度能力。图 1-8 所示的 FMC 采用有轨小车连接两台具有 APC 的加工中心，也属直线型 FMC。图 1-9 是由一台机器人为两台 CNC 机床服务的机器人型 FMC，同时还附加一个工件传输系统。而图 1-10 所示为用无人搬运小车连接两台 CNC 加工中心的环路型 FMC。当工艺设备按照采用的工艺操作顺序布置时，就形成柔性自动线，又称为柔性制造线 (FML)，它是柔性制造单元的变种，适应于少品种，中大批量加工任务，线中的主要机床为多轴主轴箱式和转塔式加工中心。与传统的刚性自动线类似之处是加工过程中有一定的生产节拍，工件沿一定的方向顺序输送。不同之处是在工件变换后，各机床的主轴箱可自动进行相应的更换，同时调入相应的数控程序，此时生产节拍也可能作相应的调整。图 1-11 为由双面铣床和换箱组合加工中心支持的加工箱体零件的柔性自动线示意图。

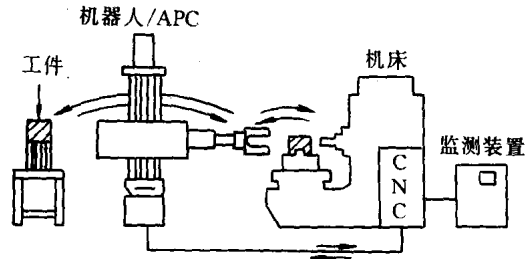


图 1-7 加工中心+机器人+工件托板存放器

图 1-11 为由双面铣床和换箱组合加工中心支持的加工箱体零件的柔性自动线示意图。

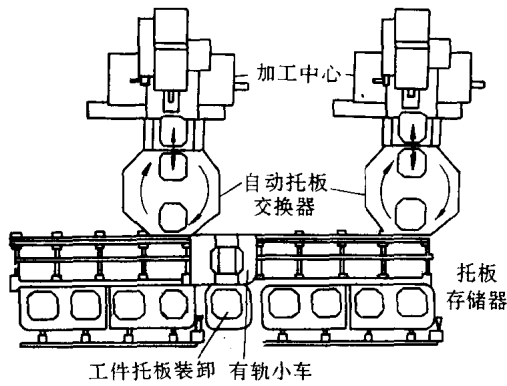


图 1-8 直线型箱体零件加工 FMC (日立精机)

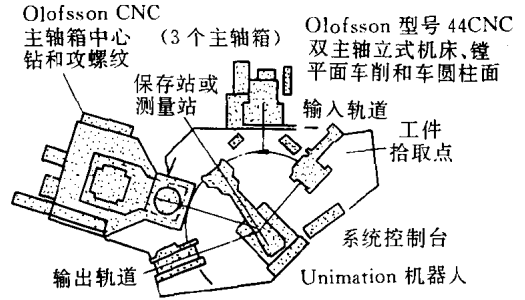


图 1-9 机器人型 FMC (Olofsson 公司)

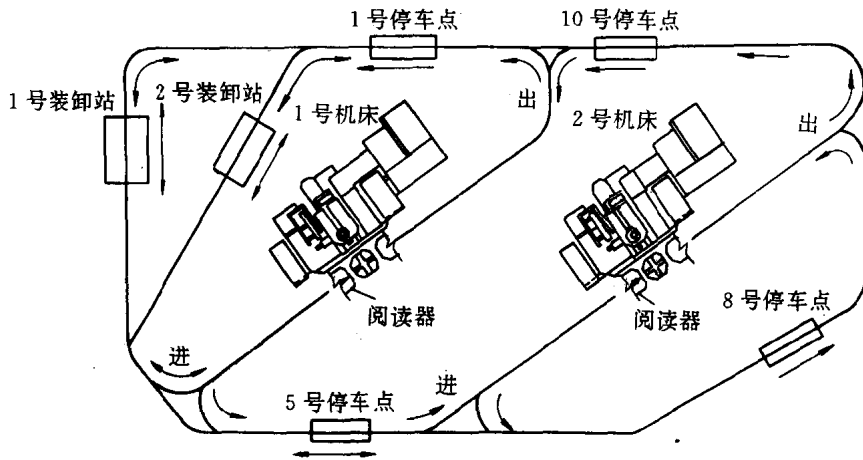


图 1-10 环型 FMC (辛辛那提·米拉克隆 VMM)

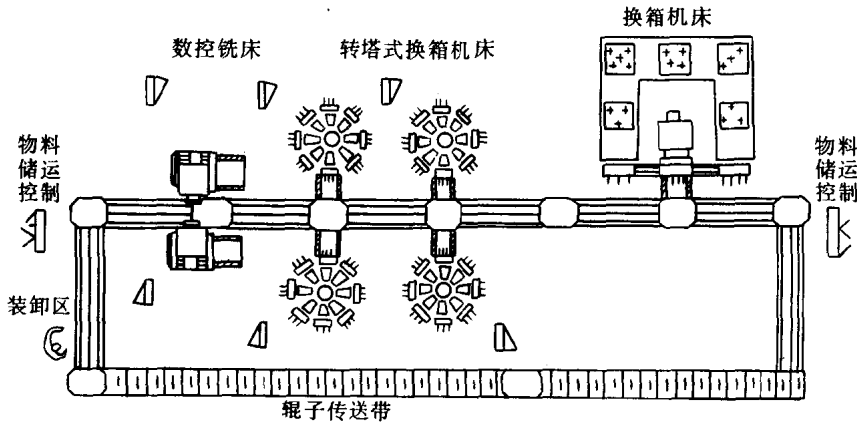


图 1-11 柔性自动线

(3) 柔性制造系统 将柔性制造单元进行扩展, 增加必要的加工中心台数(4台以上), 配备完善的物料和刀具运送管理系统, 通过一整套计算机控制系统管理全部生产计划进度, 并对物料搬运和机床群的加工过程实现综合控制。这样就可以形成一个标准的 FMS、且具有良好的生产调度、实时控制能力。图 1-12 是由 FMC 组成的柔性制造系统。图 1-13 为加工齿轮