

柔性制造系统

实例

吴季良 编

机械工业出版社



柔性制造系统实例

吴季良 编

赵鹤君 审



机械工业出版社

内 容 简 介

本书是一本实用性比较强的书。全书分二篇。第一篇系统地综述了柔性制造系统(FMS)的概况。第二篇列举了世界上一些工业国家的各种规模和各种类型的比较成熟的柔性制造系统47例,包括从单机柔性制造模块至车间规模的柔性制造系统。每一例中介绍了该系统的发展沿革、系统构成和平面布置、系统的物流和信息流、计算机控制系统、经济效益及未来的改进方向等。

本书内容通俗易懂,附有大量的现场布置图,很有实用价值,对我国今后制造业的技术改造和引进新技术有重要的参考价值。

本书主要供从事机械制造、计算机应用的工程技术人员使用,也可供有关管理人员及有关大专院校师生参考。

柔性制造系统实例

吴季良 编

赵鹤君 审

责任编辑:孙本强 版式设计:霍永明

封面设计:姚 毅 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 16·字数 393 千字

1989年7月北京第一版·1989年7月北京第一次印刷

印数 0,001—1,610·定价:12.00元

*

ISBN 7-111-00708-5/TP·50

前 言

为了解决中、小批量生产的自动化问题，人们进行了几十年的不懈努力。终于找到了解决这个问题的金钥匙——柔性制造系统（FMS）。

自从1967年英国创建了最初的柔性制造系统以来，由于微电子技术、数控技术、机器人技术、自动检测技术、计算机软件与联网技术的发展，FMS经历了70年代有成果的研制与实验阶段，到了80年代，FMS已趋成熟而进入实用推广阶段，于是世界各先进工业国竞相发展各种类型的FMS——从单机柔性制造模块（FMM）、柔性制造单元（FMC）、完整的柔性制造系统（FMS）到规模宏大的柔性制造工厂（FMF）。它们的应用大部分在机械加工领域，但也已经扩展到装配、钣金加工、测量、焊接、铸造与锻压等加工领域，而且还有向机械工业以外的领域扩展——如制鞋、服装加工与粮食加工等。

发展FMS不仅解决中、小批量生产领域里的自动化问题，而且能极大地提高劳动生产率、降低生产成本、缩短生产周期，增加企业的产品更新换代和国内外市场的竞争能力，所以世界各国的制造工业均在加速发展FMS。我国为了实现四个现代化也把FMS列为重点攻关项目，而且现在国内已经有许多有条件的工厂已经和正在引进各自所需的FMS或FMC，许多研究所和高等院校也纷纷开展研究课题或者与工厂挂钩共同开发FMS，因此，当前普及柔性制造系统及其应用的知识有着很重要的意义。

本书选编了国内、外应用实例共47例，其中大多数是柔性机加工系统实例，也有几个柔性钣金加工系统、柔性装配系统实例，此外还有综合制造系统（既有机加工又有装配等）实例。在柔性机加工系统实例中，有各种规模的系统，其中包括单机FMM、各种FMC、完整的FMS乃至FMF。机加工对象包括飞机与导弹、汽车与拖拉机、机床、机器人、纺织机械、塑料注射成型机、电机、电力开关装置、控制装置、断路器、汽油机与柴油机等零件的机加工和齿轮与齿轮箱、各种刀具、油泵体、各种箱形体与旋转体零件的机加工；装配对象包括传感器、止逆阀和电机等的装配；钣金加工包括机床控制柜、配电盘箱柜、纺织机械控制柜、储运设备控制柜等的钣金件加工。

每一个例子均有设备平面（或立体）布置图、多级计算机控制系统框图，系统构成与功能特点描述（各例有不同的介绍侧重点），还有系统技术经济效益等。有些例子还说明计算机仿真技术应用的重要性，有些例子则说明在FMS中也采用了专家系统，有的例子对辅助功能自动化介绍得相当全面和详细，有的例子采用了近年来的最新技术（如标准通信协议MAP的采用）。

由于FMS是新发展起来的技术密集型系统，对许多人还不熟悉，所以在介绍各实例之前于第一篇中有必要先有系统地综述FMS的基本知识和基本情况。

参加本书编写的还有戴绪愚、李藩海、凌培修、张道抒等同志。

编 者 1987.4

DAG 10/09

目 录

前言

第一篇 柔性制造系统概述	1
引言	1
一、发展FMS的历史和技术背景	1
二、FMS的定义	2
三、FMS的优点	2
四、FMS的适用范围	3
五、FMS的主要构成	3
六、FMS的类型	5
七、各国发展FMS的统计	11
八、FMS的技术经济效益	18
九、FMS的几个发展动向	19
十、各种类型计算机在工厂自动化中的应用	20
十一、柔性装配单元和柔性装配系统	24
第二篇 柔性制造系统实例	31
引言	31
第1例 具有多托板储运交换装置(APM)的 加工中心柔性制造模块	31
第2例 装有机器人的车削中心FMM	36
第3例 可变任务制造(VMM)系统	40
第4例 辛辛那提·密拉克隆公司的 CINTURN FMC和FMCC	44
第5例 廉价连接的柔性加工单元	49
第6例 雪铁龙柔性制造单元	53
第7例 新潟铁工所NEFAMS系统	58
第8例 GMF的小批量生产FMC	61
第9例 采用语言输入、容易扩展的FMS (日立精工FMS-M1002H)	63
第10例 丰田工机的AFMS TIPROS-90系 统	72
第11例 日立精工Seiki Production Master 107系统	77
第12例 可适应于多品种小批量生产的单件 生产FMS	79
第13例 适用于小零件加工的FMS	84
第14例 ALSTHOM UNELEC FMS	87
第15例 大隈铁工的OKUMA FMS LMG 系统	98

第16例 KTM公司的FMS和CIM	100
第17例 相连的汽轮机叶片柔性加工单元	107
第18例 模块化零件加工用的FMS	112
第19例 北京机床研究所的JCS-FMS-1	117
第20例 Diesel Kiki 喷射油泵体加工的 FMS	120
第21例 汽缸盖的FMS	123
第22例 通用动力公司的FMS	135
第23例 大隈FMS-MC-1	138
第24例 东芝Tungaloy小批量刀具生产的 FMS	142
第25例 带自动输送刀具的箱体零件加工 FMS	147
第26例 伏尔伏工厂曲轴加工的FMS	154
第27例 G. E公司埃里机车工厂的FMS	157
第28例 三菱电机产业机的FMS	160
第29例 休斯飞机公司的FMS	164
第30例 潼泽铁工所的FMS	166
第31例 村田机械的FMF	171
第32例 牧野FMS-MAX系统	173
第33例 池贝铁工ツクバ FMS	180
第34例 日立精机的FMS-112/113/114	183
第35例 东芝派川机械加工FAPS车间	189
第36例 ZF公司的齿轮加工FMS	194
第37例 由光缆局部网络连接加工3000种 机械零件的FMS	198
第38例 发那科的五个FMF和公司综合自 动化	205
第39例 山崎铁工的美浓加茂FMF	210
第40例 三F工厂自动化系统	213
第41例 发那科系统F系列	218
第42例 日本国家研究项目“复合柔性制造 系统”(FMSC)	223
第43例 柔性综合制造与装配系统	232
第44例 适用于小型企业的柔性装配系统	236
第45例 奥南公司的柔性钣金加工单元	240
第46例 西屋公司钣金加工FMS	244
第47例 村田机械·犬山工厂钣金FMS	249

第一篇 柔性制造系统概述

引言

近几年来国外一些工业技术比较发达的国家为了进一步提高劳动生产率，降低生产成本，缩短产品的研制或生产周期以增强产品更新换代和产品市场竞争能力，正在机械制造领域里进行技术革新，大力发展高度自动化的柔性制造系统（FMS）。这在我国的机械制造行业中已引起极大的重视，因此有必要对 FMS 作一个比较全面的和有系统的介绍。

一、发展FMS的历史和技术背景

机械制造自动化已有几十年的历史，最早由于技术水平的局限性，自动化的引入只在大量生产领域里，从三十年代到五十年代人们主要建立由机械式或液压式的自动车床、组合机床或专用机床组成的单品种生产自动线，这种自动线有其固定的生产节拍，而要改变生产品种则是非常困难和昂贵的。故这种自动线称为刚性自动化生产线。到了六十年代，当国外多数大量生产的工厂已经实现自动化后，人们认识到大量生产只是机械制造业的一小部分，只占15%~25%，而中、小批量生产则占75%~85%；在日本，多品种中、小批量生产企业的产量是大批大量生产企业的两倍，而其雇员人数为大批大量生产企业的四倍，由此可见，在国民经济生产部门中比重占绝对优势的多品种中、小批量生产企业的劳动生产率极大地落后于大批大量生产企业。另一方面，由于从六十年代开始到七十年代计算机技术得到了飞速发展，计算机控制的数控机床（CNC 机床）在自动化领域中取代了机械式或液压式的自动机床，在CNC 机床上只要改变软件零件程序即可加工新的零件，改变加工对象的灵活性很大，而所需调整的时间却很少，故CNC 机床非常适合于多品种中、小批量生产领域，CNC 机床称得上是柔性加工设备，它为柔性制造系统打下了很好的基础。于是近十多年来，人们把自动化生产技术的发展重点转移到中、小批量生产领域。

通常使用普通加工设备进行多品种小批量生产时，在零件的生产过程中，坯料和在制品的运输、存放时间约占生产过程时间的95%，花在机床上的时间仅5%，而这5%中真正进行切削加工的只占30%，其它70%时间用于零件的定位、装夹、换刀、测量、机床的调整和维修以及清除铁屑、待料等。数控机床只是减少了机床上部分的非切削时间和部分的工序间零件搬运、存放等时间（由于能进行集中工序加工），因此，为了进一步提高劳动生产率，缩短零件生产周期，充分发挥机床利用率，必须在中小批量生产领域里进一步提高自动化程度，对上述各个环节尽量实现自动化，如仓库的工件存取自动化、工件输送和搬运自动化、工件装卸自动化、刀具输送和交换自动化、机床上刀具寿命管理自动化和刀具磨损的自动检测与自动补偿、刀具破损的自动检测与自动换刀、工件精度自动测量、自动清除切屑、机床运行状态和加工状态的自动监视和故障的自动诊断等。

十多年来，由于微处理器技术、自动检测技术的迅速发展，由于微型机成功地应用于

CNC 机床、工业机器人、自动仓库、无人化搬运小车和分布式多级计算机控制系统，再加上成组技术的利用，国外已经成功地开发了上述各个自动化环节并通过计算机控制系统把它们联结成以数控机床为基础的各种规模的自动加工系统。在该系统中由于数控机床实现工件装卸自动化和其它辅助功能自动化，使切削时间可以提高到 90% 以上，并且日夜 24 小时开机，夜班（二班、三班）实现无人化加工，日班把工作准备好，于是机床利用率和人员的劳动生产率又获得成倍地增长。

在发展自动加工系统中因自动化程度和范围的不同，系统曾经有过各种不同称呼，但它们都是计算机控制的制造系统，经过近一、二十年的实践和各种工业技术的发展，目前工业先进国家一致认为 FMS 是今后若干年内机械制造自动化发展的重点。1982 年美国芝加哥国际机床展览会和日本 11 届大阪国际机床展览会充分证明 FMS 已从实验阶段进入实用阶段并已开始商品化。柔性制造系统最初是从加工领域开始开发的，故又称柔性加工系统 (Flexible Machining System——有的简称为 FMS)，目前在已开发的 FMS 中，机加工领域仍居大多数，但也有一些其它柔性系统如装配、焊接等，本文首先并着重讨论柔性加工系统。

二、FMS 的定义

由于 FMS 还正在发展中，目前尚无统一的定义，但综合一些有关文献可以认为，FMS 是一个自动化制造系统，它主要包括若干台 CNC 机床（或其它直接参加产品零部件生产的自动设备），用一套自动物料（包括工件和刀具等）搬运系统连接起来，由分布式多级计算机系统进行全面管理与控制，协调机床加工系统和物料搬运系统的功能，以适应柔性的高效率零件加工（或零部件生产）。所谓柔性的零件加工是指能够同时地和交替地加工不同的但是同系族的零件。

根据上述定义，FMS 也可以说是从直接数字控制（DNC）发展过来的，60 年代在一些工厂里安装了许多数控机床并用中央计算机对它们进行连接和控制，称为 DNC，那时在 DNC 中的数控机床大都是硬连线数控控制，数控机床的零件程序是由中央计算机编制和提供的，后来 DNC 得到了改进，其中的数控机床改为 CNC 机床，能自存零件程序，新的 DNC 引入了工序间自动工件输送装置和机床上自动装卸工件的机器人以及其它自动化措施，便发展成柔性加工系统。

三、FMS 的优点

如上所述，从坯料进入车间到加工成成品零件的全生产过程中，由于各个环节自动化的实现，两班与三班无人化加工的实现，以及按生产需要由计算机编排最佳零件加工进度计划产生最佳的物流和信息流的实现，使 FMS 具有下列无可比拟的优点：（1）极大地提高劳动生产率（如发那科的机器人工厂 FMS 比分散的数控机床加工方式，生产率提高了 5 倍）；

（2）大大缩短了生产周期（如吉丁刘易斯-弗雷泽公司建立了一条 FMS，用传统方法加工规定的若干零件时，需 200 h，用独立的 CNC 机床加工时需 80 h，而用 FMS 生产时只需 20 h）；（3）提高产品质量；（4）充分提高了机床利用率；（5）较多地减少操作人员；（6）

较大地降低成本；(7) 减少在制品数量和库存容量。因此许多工业先进国家在大力发展各种规模的 FMS。

四、FMS 的适用范围

国外许多书刊介绍了 FMS 的适用范围，一个代表性的数据范围可以从下图了解（见图 0-1），图中的纵坐标表示各种加工系统适用的批量加工零件数，横坐标表示适用的加工零件种类数。从图中可以看出，FMS 的适用批量加工零件数是 50~2000 件，而适用的加工零件种类数是 4~100 种。

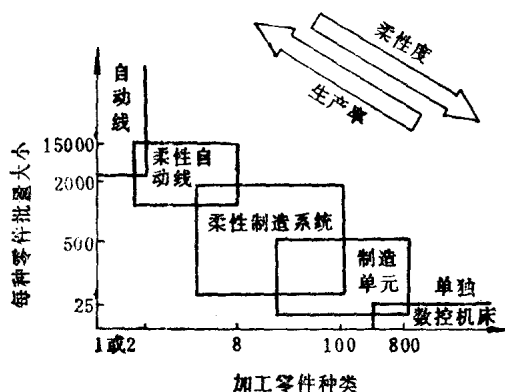


图 0-1 自动化柔性性与产量的关系

五、FMS 的主要构成

FMS 主要由以下几个组成部分构成：

1. 若干台加工零件的 CNC 机床或 CNC 板材加工设备

对以加工箱体形零件为主的 FMS 配备有数控加工中心（有时也有 CNC 铣床）；对以加工旋转体零件为主的 FMS 多数配备有 CNC 车削中心和 CNC 车床（有时也有 CNC 磨床）；也有能混合加工箱体形零件和旋转体零件的 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 则除配备有 CNC 车床外还配备 CNC 齿轮加工机床。

2. 物料搬运系统

在 FMS 中，工件经常装夹在托板（有的称随行夹具）上进行输送和搬运。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。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（Towline）小车、有轨小车、桥式行车机械手（或悬挂式机械手）等；托板存放站与机床之间工件托板的装卸设备有托板交换器（APC）、多托板库运载交换器（APM—Automatic Pallet Magazine）和机器人。装卸工件的机器人还分内装式机器人（如日立精机 CNC 车床上的 SAMTOS-RP 型机器人）、安装式（附装式）机器人（如大隈铁工所 CNC 车

床上安装的OSR-10型机器人)和单置万能式机器人(如发那科加工中心配套使用的M-1型机器人)。在某些FMS中,自动搬运系统也输送刀具和夹具。

担任自动输送任务的几种常用设备比较:

滚柱式等传送带在刚性自动化生产线中已经得到普遍的使用,它适合于大量生产而且非常耐用。但是它相当昂贵,缺乏灵活性,故在FMS中的应用受到一定的限制。在FMS中,传送带常被使用于具有短的循环时间(在几秒到一分钟左右)的小件组装系统(或小零件小规模加工系统中的短程传送)。对于大型工件,自动化小车较为适用,因传送带占居空间较多,机械结构(如转台等)较复杂,易磨损和失灵,一旦传送带停车,整个输送系统停止运行,而一辆自动化小车失灵,则系统的大部分仍然工作。

最接近传送带的设备是有轨小车,但它比传送带要灵活得多。有轨小车结构简单又相当便宜,停靠和精确定位无问题,适用于运载重型工件,一般来讲,有轨小车控制容易。使用可编程控制器(PC)即可控制,但它只能直线行走,移动距离仍然受到局部地限制,故适用于中等规模的直线型FMS系统。有轨小车由于移动距离短(直线移动),因此比线导式小车移动时间短而快,使用的台数可少些,但灵活性不如线导式小车。

包括线导式小车在内的自动导引小车(AGV)在FMS中使用愈来愈广泛,它的优点是非常灵活,可以拐圆角、也能绕转,可到之处不受限制并很易扩展到辅助区。它备有升降机构和托板横向移动的装卸机构,停位精度可达 $\pm 1\text{mm}$ 。AGV使用台数可以较多,一辆小车失灵,对全系统工作影响很小,不同之处是AGV较贵、需要一种特殊标准的地面。目前正在研制一种行程不限(不需轨道)的AGV,对那些难以安装电缆的工厂或高温或污染区是理想的设备。这些车的额外费用可以用免装电缆的费用加以抵偿,颇有发展前途。有的行程不限的AGV使用了激光导引。该类AGV停靠精确,不需专门位置垫片。此外,还有载有机器人的AGV,AGV/机器人可以服务于一个完整的FMS系统中刀具的更换任务。

3. 计算机控制系统

根据FMS的规模大小,系统的复杂程度有所不同,一般为多级(通常是三级)分布式计算机控制系统。美国工业工程公司研究所设计了一个用于FMS的三级计算机控制系统(见图0-2),第一级主要是对机床和工件装卸机器人的控制,包括对各种加工作业的控制和监测;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;第三级计算机负责生产管理,主要编制日程进度计划,把生产所需的信息如加工零件的种类和数量、每批生产的期限、刀夹具种类和数量等送到第二级系统管理计算机。主计算机也可以与CAD相联,因此也可以利用CAD的零件设计数据进行数控的编程而后把数控数据送到第二级。此外还可以从第二级接受生产结果及其有关数据。

4. 其它

除了上述三种主要组成部分以外,尚有刀具监视和管理系统(监视刀具的异常磨损和破

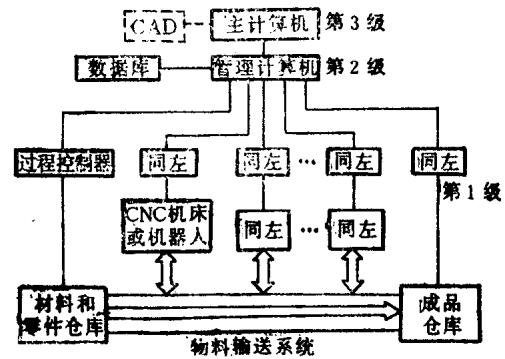


图0-2 用于FMS的三级计算机控制系统(信息流和物流)

损以便对刀具的磨损进行补偿、对破损刀具进行更换以及进行刀具寿命的管理)、切屑排除系统(经常和切削液回收系统相结合)以及零件的自动清洗和自动测量设备。

六、FMS 的类型

FMS 经过 70 年代的研制和实验阶段,到八十年代已进入实用和推广阶段。近几年来,是向大型化、高度自动化的柔性制造工厂(FMF)发展。建造 FMF 的企业一般在技术上和经济上均需有雄厚的实力,这是因为 FMF 技术密集、投资巨大、建造周期长(5~7 年),投资回收约需 2 年左右,当然它的技术经济效益是高的(见后述)。另一个发展方向是向廉价化、小型化的柔性制造单元(FMC)方向发展。70 年代 FMS 对多数机械制造企业来说,还是不熟悉的新鲜事物,多数经济实力和技术力量均较薄弱的中小企业对耗资大、技术复杂的 FMS 是不敢轻易尝试的,到了 70 年代末,FMS 技术已趋成熟,如何在工业中把它推广到为数甚多的中小企业便提到日程上来,国外各主要工业化国家在这方面进行了不少努力,许多机械制造专家主张可以分阶段实现中大规模的 FMS 乃至进一步发展成 FMF,采取的手段是先建立 FMC 甚至最小规模的单机柔性制造单元(有的称为柔性制造模块)(FMM),等到取得经验以后再逐步扩大,这种方法称为“逐步扩展法”或者叫做“增量法”,为此许多机床制造厂把 CNC 机床设计成能适用于可以扩展成 FMC 和 FMS 的具有高度自动化的加工设备,备有自动工件装卸、自动工件测量、自动刀具监测和自动切屑排除等装置,可以进行无人化加工。为了灵活使用,CNC 机床设计实现模块化,既可单独使用也可纳入 FMC 和 FMS; FMC 的设计也同样需要模块化,既可单独使用也可纳入 FMS,即 FMC 具有:(1)自动化的核心加工功能;(2)自动化的系统内部工件装卸、输送与存储功能;(3)对前两者的协调和控制功能;(4)有自动检测、维护、监视等功能,只要设置与外部输送系统的连接点,就构成可供组成 FMS 的模块,进一步可以作为组成 FMF 的基本组成单元。因此,国外有些专家把 FMS 按其规模的大小级别分成四类:

1. 第一级

柔性制造模块(FMM)——是单台 CNC 机床+工件自动装卸装置。如(1)加工箱体零件的加工中心+APC 或 APM(简图见图 0-3),具体例子如日立精机的 HC500、HC630 卧式加工中心,辛辛那提·米拉克隆的 T-20、T-30 卧式加工中心;(2)加工中心+机器人+工件托板存放站(如发那科的组合 FMM,见图 0-4);(3)加工旋转体零件的安装有机器的 CNC 车床(如大隈铁工的 LC20-M 装有 OSR-10 机器人,见图 0-5)+坯料储运工作台。

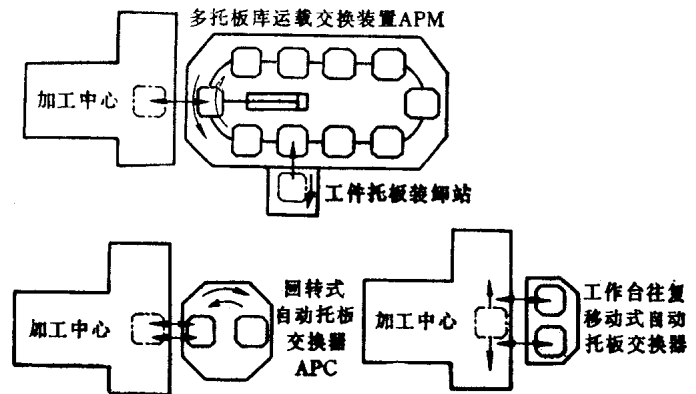


图 0-3 带 APC 或 APM 的加工中心简图

2. 第二级

柔性制造单元(FMC)——包括 2~3 个 FMM,它们之间由工件自动输送设备进行连

结。如（1）由二台LC20（各带 OSR-10 机器人）+ 工件传送装置的直线型轴类加工 FMC（见图 0-6，大隈铁工）；（2）采用有轨小车连结两台具有 APC 的加工中心（日立精机的 HC500，图 0-7），也属直线型 FMC；（3）由一台机器人为两台 CNC 机床服务的机器人型 FMC（如 Olofsson 公司使用一台 Unimate2105 机器人为一台 CNC 立式车镗床和一台 CNC 多主轴箱钻床服务，图 0-8）；（4）用无人搬运小车连接两台 CNC 加工中心的环路型 FMC（如辛辛那提·米拉克隆的可变任务制造系统 VMM，图 0-9）。

3. 第三级

柔性制造系统（FMS）——包括 4 台或更多的全自动 CNC 机床，备有自动搬运小车自动输送物料和一套计算机控制系统用以管理全部生产计划进度、物料搬运和对机床群加工过程实现综合控制。如（1）由 9 台 CNC 机床+ 检验站、工件托板装卸站和轨道小车组成的加工齿轮箱的直线型 FMS Omniline（图 0-10，怀特·森斯特兰德公司）；（2）由 10 台 CNC 机床、链式牵引线式搬运小车、两个装卸站和一个检验站以及计算机控制系统组成的可以随机加工 8 种不同零件的米尔沃基 FMS-1 型的环路型 FMS（见图 0-11、卡尼-特雷克公司）；（3）由两台单设的机器人服务六台 CNC 机床的机器人型 FMS（图 0-12，大隈铁工）；（4）由几个机器人型 FMC 模块组成的用于加工行星齿轮毛坯的组合式 FMS（图 0-13，新英国机器公司）。

4. 第四级

柔性制造工厂（FMF，又称自动化工厂）——由 FMS 扩大到全厂范围，它可达到在全厂范围内生产管理过程、机械加工过程和物料储运过程全盘自动化，并由计算机系统有机的联系。因此，在 FMF 中，分布式多级计算机系统必须包括制定生产计划和日生产进度计划的生产管理级主计算机，以它作为最高一级计算机，它往往与 CAD/CAM 系统相连，以取得自动编制数控零件程序的数据；物料储运系统必须包括自动仓库，以满足大量地存取为数众多的工件和刀具；CNC 机床数量一般在十几台以上乃至几十台，可以是各种形式的加工中心、车削中心、CNC 车床、CNC 磨床、CNC 板材加工机床。系统可以自动地加工各种形状、尺寸和材料的工件。全部刀具可自动交换和废刀自动更换，自

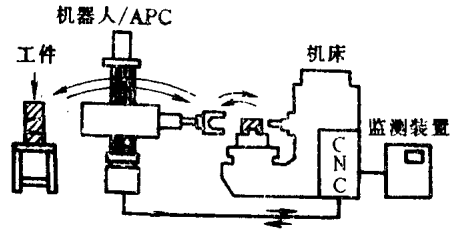


图 0-4 加工中心 + 机器人 + 工件托板存放站

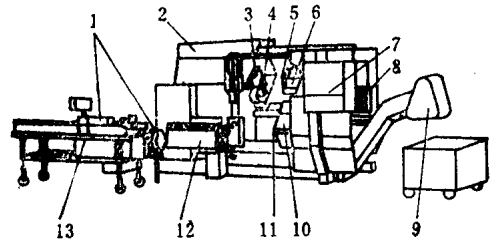


图 0-5 大隈铁工的 LC20-M

- 1—坯料检验测量装置 2—NC 装置 3—刀具检测补偿装置 4—油压式、长行程三爪卡盘（内装锁卡检测装置） 5—工件测量传感器 6—车铣共用刀架 7—机床操作面板 8—NC 机器人操作面板 9—切屑传送装置 10—车削专用刀架 11—零件推动器 12—NC 机器人 13—坯料储运台（坯料 20 个）

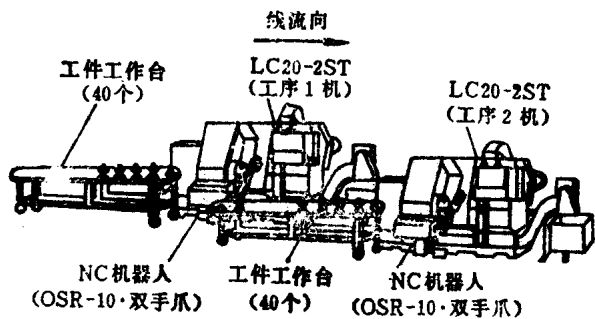


图 0-6 直线型轴类加工 FMC（大隈铁工）

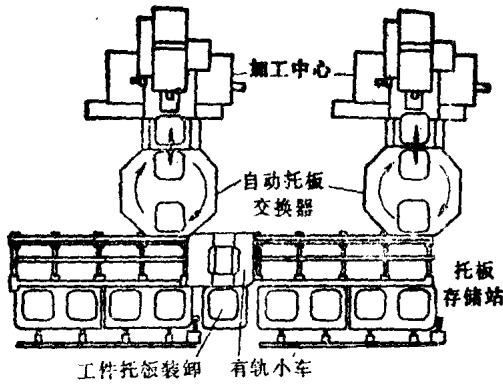


图0-7 直线型箱体形零件加工FMC(日立精机)

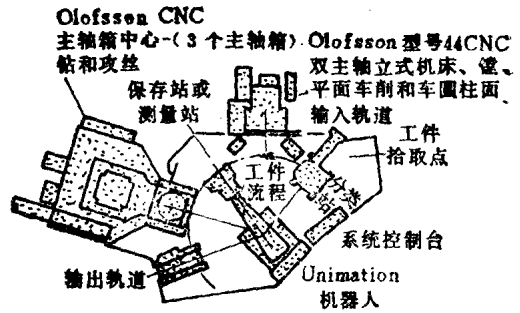


图0-8 机器人型FMC(Olofsson公司)

动地测量刀具、工件位置并按照来自主计算机的指令自动地纠正(补偿)位置。FMP全部的日程计划进度和作业由主计算机和各级计算机通过在线控制系统可以进行调整。系统可以从自动仓库提取所需的坯料并以最有效的途径进行物流与加工。FMP可以在夜班(二、三班)进行无人化加工,只有一个人在中央控制室监视着全厂各制造单元的运转状况。如发那科公司设计了一个FA系统(规模可达到FMP),其原理图如图0-14。它的每个制造单元相当于上述的FMM,包括一台CNC机床(加工中心或CNC车床)、一个装卸机器人或APC,以及监测装置和一个工件托板存放站(三位的),物料由无人搬运车按计算机指令从自动仓库提取并送到有关的制造单元托板站,然后由机器人把工件装到机床上加工(见图0-4和0-14),加工完的工件由机器人再从机床上卸下送返托板站,由无人搬运车取送至下一工序的加工单元或送回自动仓库存放。监测装置主要用于监测刀具的异常切削情况。发那科以上述制造单元为FA系统的基本单元,用若干个基本单元可以构成任何规模的FA系统,视工厂的需要而定,并且日后可以灵活地更改和扩大。发那科公司在积累开发它们的两个FMP(一个制造机器人工厂、另一个制造电机工厂)的技术经验基础上,现在可以向用户提供各种规模的FA系统。FA系统一般采用三级计算机控制系统进行综合管理和控制。图0-15示出一种工厂规模的FA控制系统框图(图示以机械加工系统为主,可达到工厂的装配区),读者从图中可以理解到信息流和物流的途径。系统中主计算机级和系统管理计算机级的功能与图0-2类同,

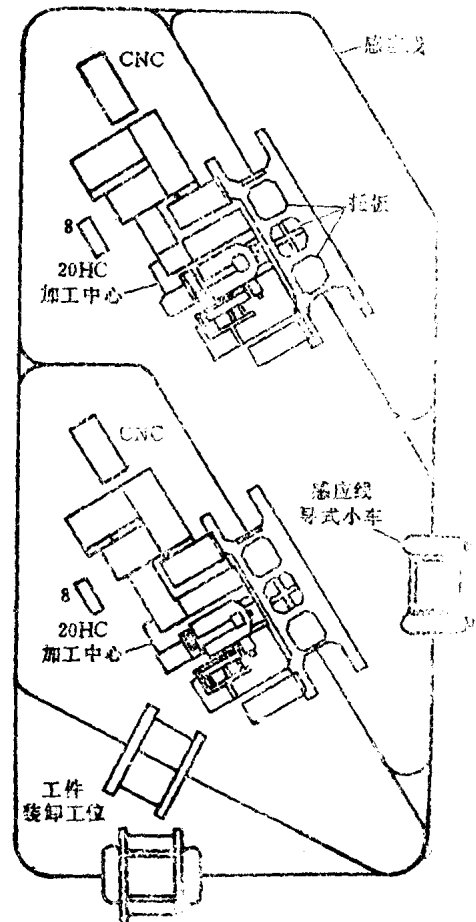


图0-9 环路型FMC(辛那提·米拉克隆VMM)

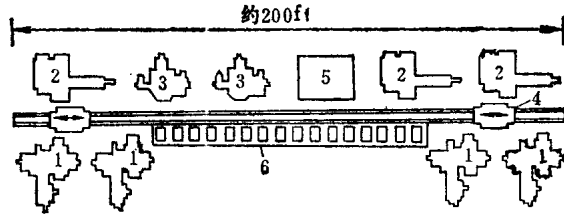


图0-10 Omniline直线型FMS(怀特·森斯特兰德)

- 1—加工中心 2—钻削中心 3—立式转塔车床
- 4—轨道小车 5—检验站 6—工件托板装卸站

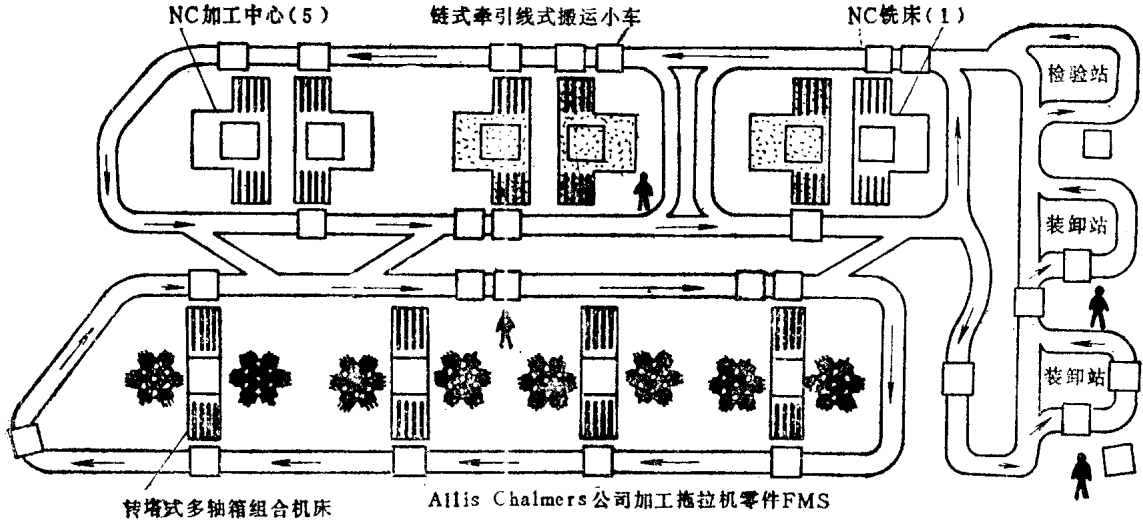


图0-11 米尔沃基FMS-1型环路型FMS(卡尼-特雷克)

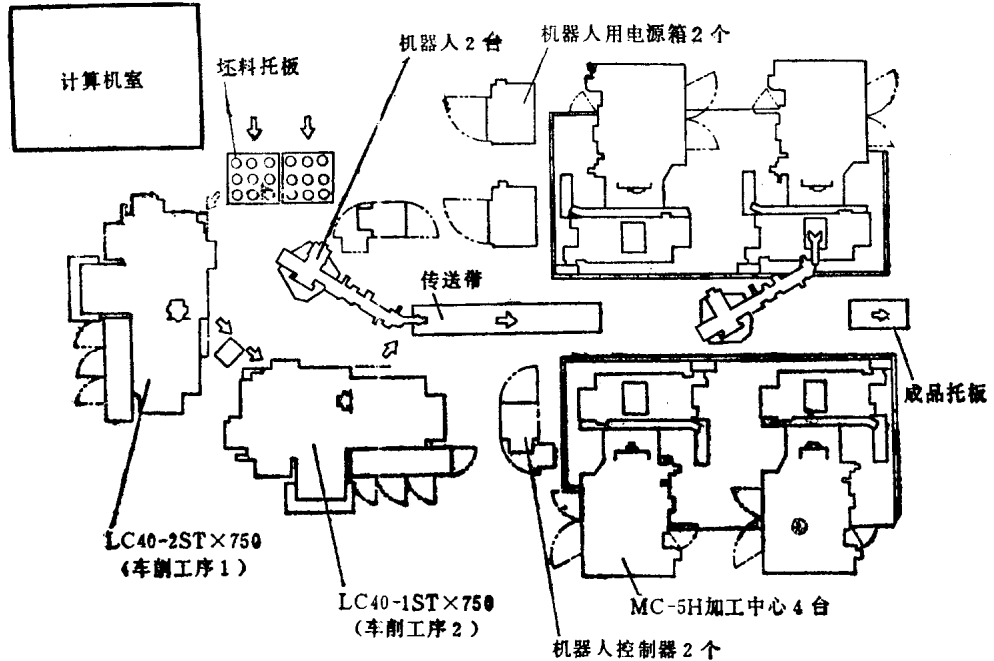


图0-12 机器人型FMS(大隈铁工)

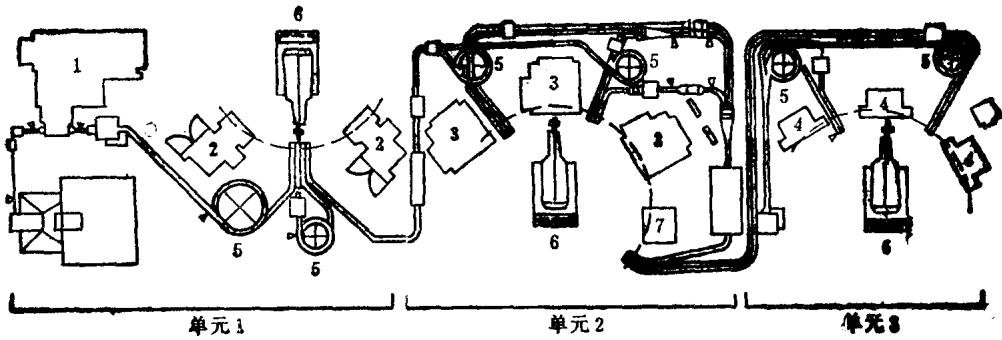


图0-13 由机器人型FMC组合的FMS(新英国机器公司)
 1—拉床 2—双主轴立式自动车床 3—齿轮加工机床 4—制齿机
 5—储料架 6—机器人 7—去毛刺装置

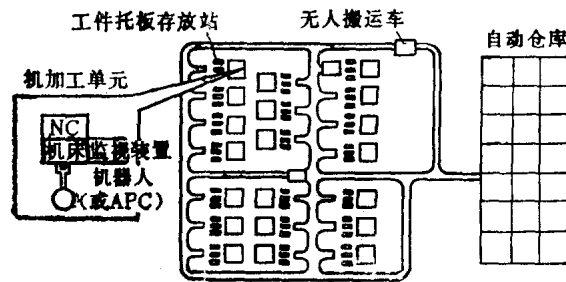


图0-14 发那科FA系统的原理图

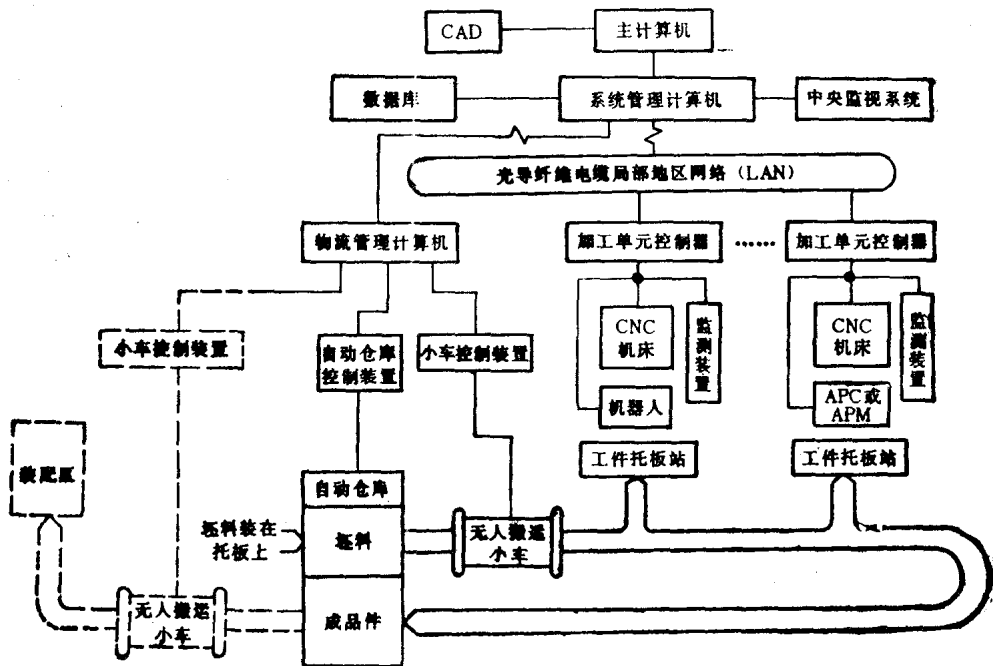


图0-15 较大规模的FA控制系统框图

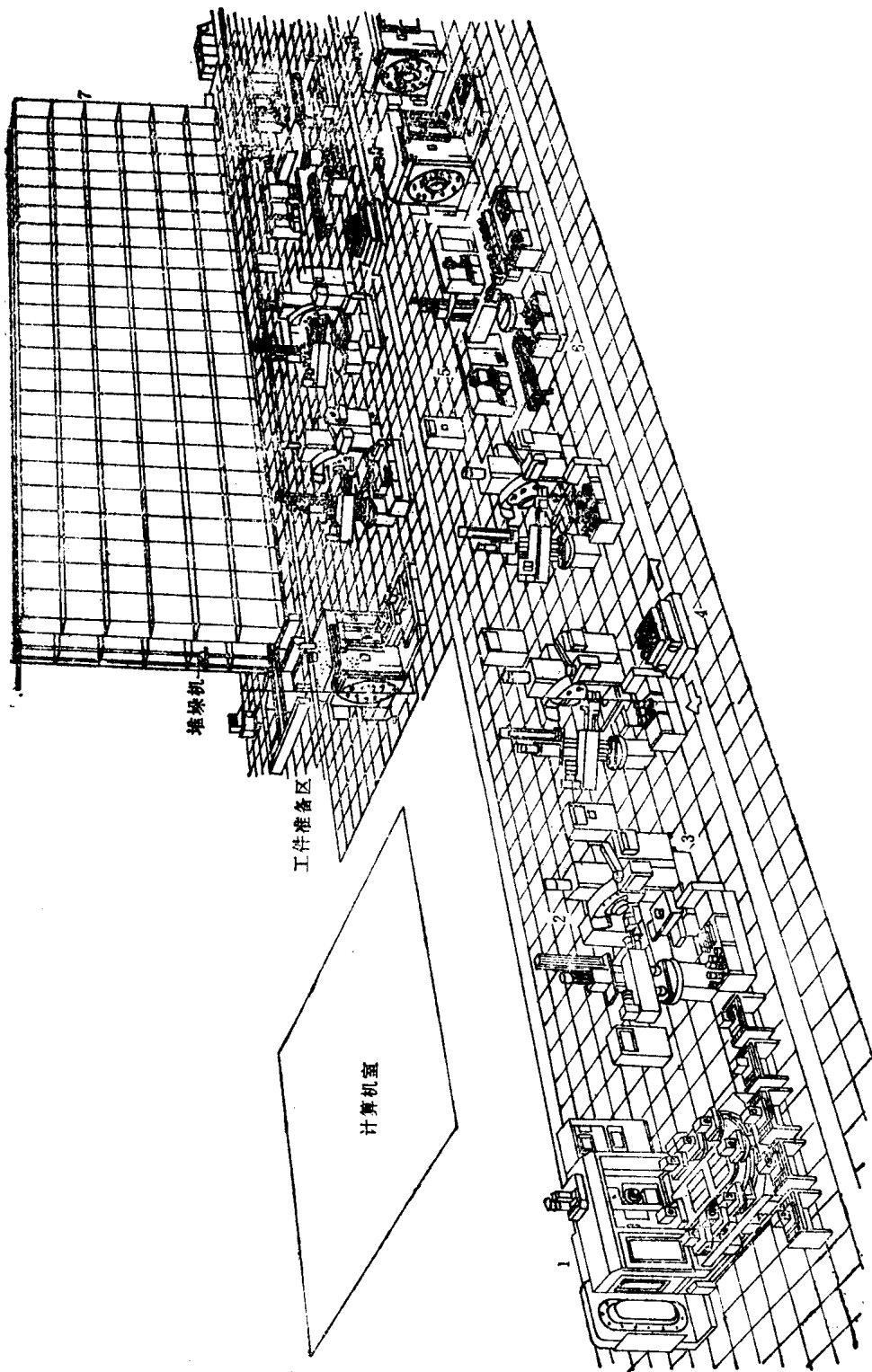


图0-16 发那科工厂FA系统一角

1—大型加工中心 + APM 2—CNC转塔式主轴加工中心 + 机器人 3—加工单元 4—无人搬运车 5—装有机器人CNC车床 + 工件储运工作台 6—工件托板存放站 7—自动仓库

而现场控制级则比图 0-2 更具体。系统管理计算机与制造单元之间采用光导纤维电缆局部地区网络 (LAN) 连接, 光导纤维的使用可以防止在车间现场外界噪音对信息传送的干扰。系统管理计算机根据主计算机的总的日程进度计划对每个制造单元制定单元日生产进度计划, 然后把有关信息 (如作业命令数据、数控程序和物流命令数据等) 传送给各制造单元和物流管理计算机。物流管理计算机存储和执行物流命令 (数据), 把物流命令分成存入/取出命令和输送命令, 负责物流设备的储运管理和物流运行状况的监视等。自动仓库和无人搬运小车均各有其自己的控制装置, 它们接受物流管理计算机的各种物流运行命令, 对各自的对象进行控制。制造单元控制器负责联结单元内的 CNC 机床、机器人和监视装置等, 并协调它们的动作, 还负责与系统管理计算机的通信, CNC 机床和机器人则分别由它们的 CNC 和控制器控制。在较小规模的 FA 系统中, 发那科只采用两级计算机控制系统, 系统不连主计算机。

图 0-16 示出发那科工厂规模的 FA 系统一角, 图中示出了各种具体制造单元, 包括大型加工中心 + 多托板储运器的制造单元、装有机器人的 CNC 车床 + 工件储运工作台的制造单元、CNC 转塔式主轴箱加工中心 + 单置式机器人的加工单元等。图中还示出工件托板存放站、无人搬运车、自动仓库等。

对以上各级类型, FMC 和 FMS 一般可分为直线型、机器人型和环路型, 而 FMF 则均为环路型。

七、各国发展 FMS 的统计

根据 1985 年、1986 年的七篇国外杂志上的有关文章, 现将各国发展 FMS 的简况与统计分述如下:

1. 在美国

美国森斯特兰德公司在 1967 年建成世界上最早的 FMS, 在随后的十年中, 主要是在七十年代, 继续开发了几十套 FMS。在此期间, FMS 作为一种先进的技术已获得证明, 并且当精心设计专配于一定的应用时, 它的经济效益是高的。在这个基础上, 从 1979 年至 1983 年的五年中, FMS 及其相关的柔性系统的数目增加到三倍, FMS 的制造厂也增加到三倍。用户的兴趣和需求也比任何时候高涨。预计在以后的五年中 (从 1984 年开始) FMS 的平均年增长率将在 30%~40% 之间。下表示出了 1984 年~1990 年期间美国 FMS 总的安装数估计。

美国总的 FMS 安装套数估计

年份	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
套数	38	50	70	98	137	196	284

但是由于完整 FMS 技术的复杂性和投资的昂贵, 一般中、小企业实非力之所及, 所以比 FMS 投资少、规模小、仍具有 FMS 的某些优点的柔性制造单元 (FMC) 在美国发展较快, 预计将从 1985 年的 600 套以上增长到 1989 年的 7000 套以上。

据波士顿市场与技术研究公司杨基集团的调查报告报导, 1984 年 56% 的 FMS 是用于制造机械设备 (如机床、压缩机、液压泵、复印机、塑料机械等), 而 41% 用于制造运输机械的零件 (如飞机零件、拖拉机零件等)。在以后的六年, 该百分比不会有大的变化。

据调查,美国 FMS 的加工零件种类数为 3~700 种,加工批量大小为 3~300 件,开机率为 60%~90%,在 1984/1985 年间,在美国安装与订货的 FMS 平均成本为 1200 万美元(见表 0-2),它们是具有一定规模的 FMS,相当普遍地采用自动换刀系统、AGV、自动仓库和坐标测量机。美国大多数 FMS 是由 FMS 制造厂筹建的。美国 FMS 制造主要公司共有 23 家,其中许多是机床制造厂,如卡尼-特雷克公司(Kearney & Trecker)已建造了 18 套以上的 FMS,为美国最多的 FMS 制造厂。其它机床制造公司如辛辛那提·米拉克隆(Cincinnati·Milacron)、本迪克斯(Bendix)、吉丁-刘易斯(Gedding & Lewis)、怀特-森斯特兰德(White Sundstrand)等也都建造 FMS。

2. 在日本

自从 1970 年日本日立精机公司开发了日本第一套 FMS 以后,1977 年柔性制造在日本得到了重大的发展。在该年,日本通产省(MITI)发起了一个“无人化制造方法”(MUM)规划。该项规划把政府部门、工业部门和大学技术力量联合起来,其目标是要建立一个包括零件加工与装配的无人化 FMS 模型。虽然该项规划的整套装备还不是尽善尽美,但是它的成功已能有助于在日本促进 FMS 的发展并引起国际上较大关注。

当今,在日本大约有 70 套 FMS 正在运行(有的日本统计资料为 100 套以上)。在每个系统中所加工的零件种类数为 7~150 种。在多数情况下,物料搬运由传送带、自动线导式小车或有轨小车来完成。所制造的产品包括有柴油机、传动系统和机床。

有的专家把日本 FMS 的增长归因于以下二个因素——CNC 机床制造有广泛的基础和着重于制造 FMS 而不是购买 FMS 作为策略。由此而获得的专门技术知识,各公司可以由 FMS 的用户转而成为 FMS 的供应者。全国性的 FMS 规划(MUM)似乎鼓励了这种策略。

据有关杂志报导,1985 年如果包括 FMC 在内,日本也拥有五、六百套柔性系统。

据 1983 年名古屋 FMS 展览会上统计,日本制造 FMC 与 FMS 的厂家共有 36 家,其中许多是机床制造厂,如日立精机、发那科、山崎铁工、大隈铁工、丰田工机等,这是因为 CNC 机床是 FMS 的核心设备。

3. 在联邦德国

联邦德国第一套 FMS 在 1971 年开始运行。今天正在运行的大约有 30 套以上,大多数是在七十年代的后期安装的。这些系统的成本约在 250 万马克~2500 万马克之间。在全国 FMS 总投资之中,机加工设备大约占据半数,物流系统占了 30% 以及控制系统占 20%。与美国和日本将 FMS 主要安装在大型制造企业形成鲜明的对比,大多数联邦德国 FMS 应用于中型公司。

根据以上调查,可以得出如下结论,从整体上讲,联邦德国的 FMS 是世界上最柔性的系统。就大多数来讲,能够制造 50 种~250 种不同零件。系统的平均加工站为 10 个,最大的 FMS 则包含有 28 台机床。绝大多数的联邦德国 FMS 由联邦德国公司建造的,外国制造的部分大约只占总数的 10%。主要的 FMS 制造厂有特朗普夫(Trumpf)、弗里茨沃纳(Fritz Werner)、伯克哈特·韦伯(Burkhardt & Weber)和沙曼(Scharmann)等。

4. 在英国

尽管英国早在 1967 年安装了第一套 FMS,但其在 70 年代的增长率较为缓慢,不过,从 80 年代开始,英国的 FMS 大量增加,之所以如此,很重要的原因是由于英国政府的有力措施。该措施包括计算机在制造工程中应用管理局的建立,用以促进工业部门与大学之间在