

# 柔性制造系统

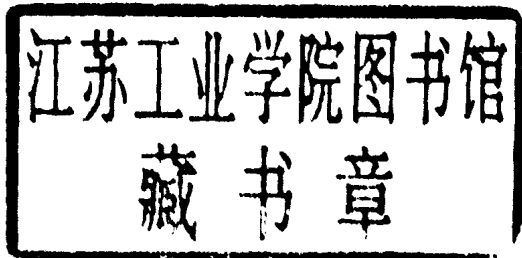
## 设计指南

吴盛济等 编著

兵器工业出版社

# 柔性制造系统设计指南

吴盛济 陈仙法 陈晓群 编著  
张秋菊 吴 平



兵器工业出版社

(京)新登字 049 号

### 内 容 简 介

本书介绍了柔性制造系统(FMS)总体设计所涉及的有关内容,它是  
以作者的理论研究和设计实践为基础编写的。全书主要包括四个方面:①FMS  
的基本概念;②FMS 总体设计有关的理论与实践;③FMS 的安装、调试、验  
收及运行维护;④FMS 设计与运行可靠性和运行效益评估体系。此外,附录  
中给出一些 FMS 设计所需的参考资料。

本书可供机械制造、自动化、管理工程等领域从事研究、设计、生产、管  
理、教育和用户单位的科技人员以及大专院校师生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

柔性制造系统设计指南/吴盛济等编著. —北京:兵器工业出  
版社, 1995

ISBN 7-115-0369-7

I. 柔… II. 柔… III. 柔性制造系统-设计 H165-  
62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 02996 号

兵器工业出版社出版发行

(北京市海淀区车道沟 10 号)

(各地新华书店经销)

南京理工大学印刷厂印装

开本: 850×1168 1/32 印张: 9 字数: 220.6 千字

1995 年 4 月第 1 版 1995 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1200 定价: 10.00 元

## 前 言

柔性制造系统 (FMS) 是 60 年代后期以来制造领域迅速发展和应用的高新技术之一。它是由若干数控设备、物料运贮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变化而迅速进行调整的自动化制造系统。在计算机集成制造 (CIM) 环境下, FMS 体现了底层物流集成和信息集成的高度统一。采用柔性制造技术, 可以加速新产品的研制和生产过程, 提高产品质量和降低生产成本, 提高企业对市场需求变化的响应速度和竞争能力。在美国、德国和日本等工业化国家, FMS 的应用甚为广泛, 研究工作处于本领域的前列。

在国内, 对 FMS 的研究和应用起步较晚。80 年代初, 刚开始有人涉足于 FMS 的研究; 80 年代中, 才从德国引进第一条 FMS 用于生产; 直到 80 年代末 90 年代初, 才出现由我国科技人员独立设计的 FMS。虽然目前国内已有 10 条左右的 FMS 在运行, 或用于生产或用于教学、科研实验, 但总体水平与工业化国家相比有较大差距。

与选用单机不同, 采用 FMS 必须在充分考虑被加工零件族的前提下, 结合工厂实情来进行规划、设计或引进。倘若工作稍有失误, 将导致应用 FMS 失败。这样, 不但体现不出 FMS 的各种优点, 还将造成巨大的经济损失。这种事例在国外并不鲜见。因此, 如何正确规划设计或引进与工厂需求相匹配的 FMS 是从事这方面工作的人员和用户关心的问题。

本书的内容主要包括四个方面: ①FMS 的基本概念; ②与 FMS 总体设计有关的理论与实践; ③FMS 的安装、调试、验收和

运行维护；④FMS设计与运行可靠性以及运行效益评估体系。此外，附录A、B系采用IDEF0和IDEF1X方法设计的FMS功能和信息参考模型；附录C、D为FMS中采用的托盘和加工中心上用的刀柄标准；附录E、F为FMS验收和可靠性评估推荐用表。以上内容是作者结合多年来从事FMS研究、教学、设计和引进等工作经验为基础编写的，它们符合我国国情。我们希望这本《柔性制造系统设计指南》对于FMS的规划设计者和用户具有参考价值。

本书主要编写人员为吴盛济（第一、二、五章）、陈晓群（第三、四、五章，附录A、B）、吴平（第二、六、七、十二章，附录F）、张秋菊（第八、九、十、十一、十三章，附录E）、陈仙法（第一章、附录C、D），全书由田雨华、吴盛济审阅。此外，张丽娟、陈方军、谭仪蓉、龚光容等同志在本书编写过程参加了部分工作或提供部分资料，冯诚研究员、沈嘉伟工程师、邓子琼教授对本书的出版给予了指导和支持，在此致以谢意。

限于作者水平，书中不妥之处难免，恳请读者批评、指正。

作者 1994.10

# 目 录

## 前言

1	FMS 概述 .....	(1)
1.1	FMS 的定义和概念 .....	(1)
1.2	FMS 的基本组成 .....	(5)
1.3	FMS 的特点 .....	(6)
1.4	FMS 的适用范围 .....	(7)
1.5	FMS 总体设计涉及的内容 .....	(7)
2	FMS 零件族确定与工艺分析 .....	(9)
2.1	零件族确定与工艺分析的目的 .....	(9)
2.2	零件族初选的理论模型研究 .....	(9)
2.2.1	数学模型 .....	(10)
2.2.2	算例 .....	(14)
2.3	零件工艺分析 .....	(16)
2.3.1	FMS 上线零件工艺分析的特点 .....	(16)
2.3.2	工艺分析的步骤 .....	(17)
3	FMS 功能模型设计规范 .....	(19)
3.1	建立功能模型的目的 .....	(19)
3.2	建立 FMS 功能模型使用的工具 .....	(19)
3.3	FMS 的基本功能需求 .....	(20)
3.3.1	信息变换的基本功能需求 .....	(20)
3.3.2	制造变换的功能需求 .....	(22)
3.4	建立 FMS 功能模型的步骤 .....	(23)
3.5	FMS 功能模型示例 .....	(25)

4	FMS 的信息模型设计规范 .....	(27)
4.1	建立 FMS 信息模型的目的 .....	(27)
4.2	建立 FMS 信息模型使用的工具 .....	(27)
4.3	FMS 的基本信息需求和数据需求 .....	(28)
4.3.1	单元控制器的信息需求 .....	(28)
4.3.2	工作站控制器的信息需求 .....	(28)
4.3.3	各层之间交往的数据 .....	(29)
4.4	建立 FMS 信息模型的步骤 .....	(30)
4.5	FMS 信息模型示例 .....	(33)
5	FMS 独立工位的配置与总体布局 .....	(34)
5.1	FMS 各独立工位及其配置原则 .....	(34)
5.1.1	机械加工工位 .....	(34)
5.1.2	装卸工位 .....	(35)
5.1.3	检测工位 .....	(35)
5.1.4	清洗工位 .....	(36)
5.2	FMS 的物料运贮系统及其配置 .....	(36)
5.2.1	工件搬运系统 .....	(37)
5.2.2	托盘 .....	(38)
5.2.3	FMS 的夹具设计原则 .....	(38)
5.2.4	刀具搬运系统 .....	(39)
5.2.5	托盘缓冲站 .....	(40)
5.2.6	刀具进出站 .....	(40)
5.2.7	中央刀库 .....	(40)
5.2.8	立体仓库 .....	(41)
5.3	FMS 总体平面布局 .....	(42)
5.3.1	平面布局的形式 .....	(42)

5.3.2	平面布局的原则 .....	(43)
5.3.3	平面布局示例 .....	(44)
5.4	FMS 仿真软件介绍 .....	(46)
5.4.1	概况 .....	(46)
5.4.2	FMS 仿真的内容 .....	(48)
5.4.3	FMS 仿真的输入数据 .....	(48)
5.4.4	FMS 仿真研究的趋势 .....	(49)
6	<b>FMS 多级计算机控制系统示例</b> .....	(54)
6.1	FMS 控制层次概述 .....	(54)
6.2	控制系统的体系结构 .....	(55)
6.2.1	硬件体系结构 .....	(55)
6.2.2	软件体系结构 .....	(57)
6.3	控制软件模块示例 .....	(62)
6.3.1	基本功能的软件模块 (基本软件) .....	(63)
6.3.2	扩大功能的软件模块 (可选软件) .....	(68)
7	<b>FMS 中检测监视设置原则及示例</b> .....	(72)
7.1	FMS 检测监视系统总体功能 .....	(72)
7.2	设置检测监视系统的原则及要求 .....	(72)
7.3	FMS 检测监视系统的监控内容 .....	(74)
7.3.1	检测监视的方式 .....	(74)
7.3.2	对工件流系统的监视 .....	(74)
7.3.3	对刀具流系统的监视 .....	(74)
7.3.4	对机械加工设备的监视 .....	(75)
7.3.5	工件加工质量检测 .....	(75)
7.3.6	环境参数及安全监控 .....	(75)
7.3.7	检测数据 .....	(76)



7.4	FMS 检测监视系统示例及说明 .....	(76)
7.4.1	功能树 .....	(76)
7.4.2	工件流系统检测监视设置示例 .....	(78)
7.4.3	刀具流系统检测监视设置示例 .....	(80)
7.4.4	设备运行状态检测监视设置示例 .....	(82)
7.4.5	系统安全检测监视装置设置示例 .....	(85)
7.4.6	工件质量检测 .....	(87)
7.5	检测监视系统的通信与集成 .....	(88)
7.6	故障诊断 .....	(89)
8	FMS 的安装 .....	(92)
8.1	一般要求 .....	(92)
8.1.1	对设计者的要求 .....	(92)
8.1.2	对生产厂的要求 .....	(92)
8.1.3	对用户的要求 .....	(93)
8.2	安装准备 .....	(93)
8.2.1	地基要求 .....	(93)
8.2.2	安装现场的准备 .....	(94)
8.2.3	安装实施小组 .....	(94)
8.2.4	加工零件准备 .....	(94)
8.2.5	培训计划制定 .....	(94)
8.2.6	资料要求 .....	(95)
8.3	安装要求 .....	(96)
9	FMS 的调试 .....	(97)
9.1	一般要求 .....	(97)
9.1.1	调试任务和级别 .....	(97)
9.1.2	调试准备 .....	(98)

9.2	单机及分系统调试 .....	(98)
9.2.1	加工设备的单机调试 .....	(98)
9.2.2	工件流分系统及其单机调试 .....	(100)
9.2.3	刀具流分系统及其单机调试 .....	(101)
9.2.4	辅助设备的调试 .....	(102)
9.3	全系统联调 .....	(102)
9.3.1	软件系统调试 .....	(102)
9.3.2	空转调试 .....	(103)
9.3.3	起动调试 .....	(103)
10	<b>FMS 的验收</b> .....	(104)
10.1	一般要求 .....	(104)
10.1.1	验收的基本任务 .....	(104)
10.1.2	验收方式一般要求 .....	(104)
10.2	试运行试验 .....	(105)
10.2.1	试运行试验的目的 .....	(105)
10.2.2	试运行的要求与规定 .....	(105)
10.3	验收试验 .....	(106)
10.3.1	验收试验的目的 .....	(106)
10.3.2	验收试验的组织机构 .....	(107)
10.3.3	验收试验的内容 .....	(107)
10.3.4	验收试验准备 .....	(109)
10.3.5	验收试验的进行 .....	(110)
10.4	验收评审 .....	(114)
10.4.1	评审通过的依据 .....	(114)
10.4.2	评审结论 .....	(115)
11	<b>FMS 运行维护</b> .....	(116)

11.1	一般要求 .....	(116)
11.1.1	FMS 运行维护的必要条件 .....	(116)
11.1.2	生产厂提供的服务内容 .....	(117)
11.1.3	用户的技术准备 .....	(117)
11.1.4	系统监测数据的分析 .....	(118)
11.2	运行维护要求 .....	(119)
11.2.1	日常运行维护 .....	(119)
11.2.2	运行维护记录 .....	(119)
11.2.3	定期维护 .....	(119)
12	FMS 设计和运行可靠性评估 .....	(122)
12.1	可靠性评估的基本任务 .....	(122)
12.1.1	FMS 设计可靠性评估的基本任务 .....	(122)
12.1.2	FMS 运行可靠性评估的基本任务 .....	(123)
12.2	可靠性评估的特点和一般要求 .....	(123)
12.2.1	评估 FMS 可靠性的特点 .....	(123)
12.2.2	对评估 FMS 可靠性的一般要求 .....	(124)
12.3	FMS 可靠性评估有关的术语定义 .....	(125)
12.4	FMS 可靠性评估指标 .....	(127)
12.4.1	评估指标的选择 .....	(127)
12.4.2	指标类型 .....	(127)
12.4.3	单一指标 .....	(128)
12.4.4	综合指标 .....	(130)
12.4.5	系统寿命 .....	(133)
12.5	FMS 可靠性评估的具体要求 .....	(133)
12.5.1	评估方法 .....	(133)
12.5.2	评估准备 .....	(134)
12.5.3	FMS 物料运贮系统可靠性评估 .....	(135)

12.5.4	FMS 加工系统可靠性评估 .....	(135)
12.5.5	FMS 检测监视系统可靠性评估 .....	(136)
12.5.6	FMS 管理控制系统可靠性评估 .....	(136)
12.5.7	FMS 网络系统可靠性的评估 .....	(137)
12.6	FMS 设计与运行可靠性的保证 .....	(139)
12.6.1	可靠性保证的工作内容 .....	(139)
12.6.2	编制《FMS 可靠性保证计划》 .....	(139)
<b>13</b>	<b>FMS 运行效益的评价体系 .....</b>	<b>(141)</b>
13.1	运行效益与评价指标体系 .....	(141)
13.1.1	FMS 运行效益 .....	(141)
13.1.2	评价指标体系 .....	(142)
13.1.3	评价步骤 .....	(143)
13.2	技术效益指标分析 .....	(144)
13.3	经济效益指标分析 .....	(147)
13.3.1	经济分析的一般程序与方法 .....	(147)
13.3.2	经济效益指标的计算 .....	(150)
13.3.3	有关数据的说明与计算 .....	(155)
13.4	FMS 运行效益的综合评价 .....	(159)
<b>附录</b>		
附录 A	FMS 功能 (参考) 模型 .....	(164)
附录 B	FMS 信息 (参考) 模型 .....	(195)
附录 C	FMS 中托盘结构型式 .....	(210)
附录 D	加工中心用刀具的柄部结构型式 .....	(228)
附录 E	FMS 验收用表 .....	(258)
附录 F	FMS 可靠性评估用表 .....	(268)
参考文献	.....	(272)

# 1 FMS 概述

## 1.1 FMS 的定义和概念

柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, 简称 FMS) 是 60 年代后期发展起来的一种新的制造系统。目前, 对 FMS 还没有一个公认的确切定义, 但是, 它代表一种新的制造技术, 并已从零件加工发展到组件装配, 它也是越来越重要的制造技术发展趋势。

一种定义认为: FMS 是一种在控制之下的过程。这种过程能按照预定的作业计划, 并在规定的生产能力限度之内, 生产不同零部件和产品。

另一种定义认为: FMS 是一种技术。这种技术能帮助收益较差的工厂获得较强的应变能力 (对市场变化)、较低的单件成本和较高的产品质量。

美国技术评价办公室 (United States Office Technology Assessment) 认为: “柔性制造系统是一个在最少人的干预下, 能够生产一定范围的离散产品生产设备, 它包括生产设备工作站 (机床和其它加工、装配或热处理设备), 这些设备通过一个物料传送系统把工件从一个工作站送到另一个工作站, 同时以一个集成的系统进行可编程控制”。

美国国家标准局 (United States Bureau of Standards) 指出: “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接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。”

美国国家电子加工协会控制分会（National Electrical Manufacturers Association Industrial Control Division）认为：“柔性制造系统是四个或更多的机械设备，具有完全的集成物料传输，通过计算机可编程控制器控制。”

国际生产工程研究协会（International Institute for Production Engineering Research，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（CECIMO）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。”

前苏联有关机构认为：“柔性制造系统是一计算机化的设备系统，该系统可以随机地、实时地、按量地按照装配部门要求生产它能力范围内的任何工件，费用相当于大量生产或更低”。

以上给出一些具有权威性的单位对 FMS 给出的定义和概念。为简单起见，我们可以这么定义，柔性制造技术是一种能迅速响应市场需求且能适应生产品种变化的制造技术；柔性制造系统是由若干数控设备、物料运贮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变化而迅速进行调整的自动化制造系统。

采用 FMS，生产过程是在计算机全面控制下，在规定的生产能力限度内，按照预定的作业计划进行多品种生产。

在 FMS 内，每一时刻的功能和决策均由系统独立完成。要强

调指出的是，这些功能与决策并不依靠人的干预。除正常的机床功能之外，这些实时作出的决策，不仅有物料运送，还有检验和测量、零部件清洗、刀具存贮以及装夹与入库。

FMS 具有按随机方式加工零件的能力，也就是说，FMS 可以设计成能在某个制造单元 (cell) 内以任意次序生产一个零件族内的任何一个零件。

FMS 能以适当的时间和顺序，同时在适当的机床上采用合适的刀具与夹具加工各种零件。

功能完善的 FMS 具有如下诸柔性：

- 设备柔性 (Machine Flexibility) 设备柔性是指系统易于实现加工不同类型零件所需转换的能力。衡量这种转变难易程度的指标有：更换磨损刀具的时间；为加工同一类而不同组的零件所需的换刀时间；组装新夹具所需的时间；机床实现加工不同类型零件所需的调整时间，包括刀具准备时间、零件安装定位和拆卸时间以及更换数控 (NC) 程序的时间等。

- 工艺柔性 (Process Flexibility) 工艺柔性是指系统能够以多种方法加工某一零件组的能力，也称为“加工柔性” (Job Flexibility)。“加工柔性”系指系统能加工的零件品种数，因而，也有人称之为“混流加工柔性” (Mix Flexibility)。工艺柔性是随机床调整费用下降而提高的，高工艺柔性的系统能单独地加工各种零件，勿需按成批方式进行生产。衡量工艺柔性的指标是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 (Product Flexibility) 产品柔性是指系统能经济而迅速地转向生产新品的能力，即转产能力，也称为“反应柔性” (Action Flexibility)，即指为适应新环境而采取新行动的能力。有人提出的“设计更新柔性” (Design-change-Flexibility) 也包括在产品柔性这一概念之内。产品柔性增强了企业的竞争力和对市场变化的潜在反应能力。衡量产品柔性的指标是系统从生产一

种零件转向生产另一种零件所需的时间。

• 流程柔性 (Routing Flexibility) 流程柔性是指系统处理其故障并维持其生产持续进行的能力。这种能力来自以下两种能力：一是零件能采用不同的工艺路线进行加工；二是能够用来完成加工某工序的机床不只配备一台。应当指出，流程柔性有潜在和现实两种之分。

潜在的流程柔性是指零件加工路线虽已确定，但一旦发生停工故障，零件自动改换另一路线进行加工。

现实流程柔性是指同一零件可以通过不同的工艺路线来进行加工，而不管设备是否发生故障。

总之，当系统的某个部分（如某台机床）发生故障时，就需要流程柔性。衡量这种柔性的标准是 FMS 在发生故障时的生存能力，即生产率不致显著下降或零件加工能继续进行。

• 批量柔性 (Volume Flexibility) 批量柔性是指系统在不同批量下运转有利可图的能力。提高自动化水平，由于机床调整费用下降，与直接劳动费用有关的可变成本下降，系统的批量柔性也就随之提高。衡量批量柔性的指标是保证系统运转有利可图的最小批量。该批量愈小，系统的批量柔性就愈高。

• 扩展柔性 (Expansion Flexibility) 扩展柔性是系统能根据需要通过模块进行组建和扩展的能力。多数普通的装配流水线和自动加工流水线均不具备这种柔性。衡量这种柔性的指标是系统能扩展的规模大小。

• 工序柔性 (Operation Flexibility)。工序柔性是指系统变换零件加工工序顺序的能力。在一定系统下，通常每种零件都有其确定的最佳工序顺次。但是，对某些工序来说，其最佳顺序却是随机的。有些工艺人员通常是将一个零件在各台机床上的加工工序都规定为固定的顺序。然而，不将流程顺序限死、或不预先确定“下一工序”或“下一机床”，则会大大提高以实时方式进行工艺



路线决策的柔性。这种决策将根据当前系统的状态（哪台机床空闲、哪台有任务，哪台机床负荷过重）来进行。

• 生产柔性(Production Flexibility) 生产柔性是指系统能够生产各种类零件的总和,衡量这种柔性的指标是现有的技术水平。提高这种柔性的措施是提高系统的技术水平和机床的多功能性。系统的生产柔性即上述全部柔性的总和。

在 CIM 环境下, FMS 必将与计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)、车间层或工厂层管理信息系统 (MIS) 集成, 成为 CIM 系统的组成部分。

## 1.2 FMS 的基本组成

一个 FMS 通常包括以下三部分:

- 能独立工作的数控机床;
- 在各机床、装卸站、缓冲站之间运送零件和刀具的传送系统;
- 使系统中各部分协调工作的计算机控制系统。

如果工件和刀具的传送分别由各自的传送系统完成, 那么传送系统就分为工件传送系统和刀具传送系统。

在大多数 FMS 中, 进入系统的毛坯在工件装卸站装夹到托盘夹具上, 然后由工件传送系统中的自动引导小车 (AGV) 将它们取走并送到机床或机床旁的托盘缓冲站排列等待。

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。

在 FMS 中, 各种活动均由计算机控制和协调。根据规模不同, 系统中的机床数由 2~20 台或更多些。从目前的趋势看, 系统中的机床数均较少, 多为 2~4 台。