

[加拿大] Andrew Kusiak

曹永上 包于泮 乌国卿 译 蔡建国 校

柔性制造系统的 建模与设计

上海科学技术文献出版社



柔性制造系统的 建模与设计

[加拿大] Andrew Kusiak 编

曹永上 包子洋 乌国卿 译

蔡建国 校

上海科学技术文献出版社

柔性制造系统的建模与设计

曹永上 包于泮 乌国卿 译
蔡建国 校

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号)

全国各书店经销
上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 12.625 字数 305,000

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数: 1—1,400

ISBN 7-80513-754-4/T·185

译 序

本书系 ELSEVIER 科学出版公司推出的“制造工艺研究 (Manufacturing Research and Technology)”系列丛书之三。这是一本论文集, 书中收集的文章均有一定的针对性。虽然是单篇论文的汇集, 但经主编加拿大曼尼托巴大学 (University of Manitoba) 安德鲁·柯西阿克 (Andrew Kusiak) 教授的精心编辑成为论述柔性制造系统 (FMS) 方面系统性强、内容较新的书籍。书中划分的章节集中了柔性制造系统和计算机集成制造 (CIM) 技术当前研究的热点, 而且在每篇文章的结尾均列出了重要的参考文献, 这对有兴趣了解当前国际上研究 FMS 和 CIM 技术现状和动向的读者可能不无裨益。

在我国 CIM 技术作为当代机械制造自动化领域科研中的前沿课题已经列入国家发展高科技的规划。而实现 CIM 技术首先必须解决 FMS 的建立和正常运行。为了推动 FMS 和 CIM 技术在我国的应用, 普及 FMS 的基础知识, 我们翻译此书作为抛砖引玉。限于我们的业务知识和外语水平, 而且书中内容较多涉及新的技术知识, 故译文中错误和不妥之处在所难免, 恳请读者批评指正。

本书第一、三、七章由曹永上译, 第四、五、六章由包于泮译, 第二、八章由乌国卿译, 全书由蔡建国总校。为方便读者摘编了部分名词术语的英汉对照和索引。

译 者

1990.3

前 言

许多公司已经意识到,在今天的世界市场中,为了竞争必须依靠制造工艺的创新和发展。为了提高生产率,制造商们正在应用计算机控制的机床和自动的物料搬运系统。随着制造工艺和生产组织方面的进步,出现了柔性制造的原理。

由于一个典型的柔性制造系统(FMS)要求在系统的制造部分和计算机控制方面进行高额投资,因此建立模型已经成为柔性制造系统设计和管理工作方法学的一个基本部分。本书阐明了柔性制造系统建模的重要性。

第一章综述柔性制造系统的规划模型和基本组成部份,第二章重点在物料搬运系统的建模和设计方面,第三章提出了生产计划和工艺规程编制的新方法,第四章阐明柔性制造系统设计中随机模型的应用,第五章和第六章讨论了柔性制造系统的高利用率能够由合理设计信息、决策和专家系统来保证,第七章概述了用于柔性制造系统建模的一种现代化工具——皮特里网络。第八章讨论了成功实施柔性制造系统的实例和启示。

编 者 Andrew Kusiak

目 录

前 言	
第一章 概 论	1
一、柔性制造系统各种规划模型述评	1
二、制造业中机器人学的进展	32
第二章 物料搬运系统	70
一、物料搬运和物资管理——对效率和柔性的要求	70
二、计算机综合制造(OIM)中物料的自主搬运	84
三、零件和工具搬运系统	103
四、用“事件树”评价机器人系统的事故	115
第三章 生产计划和工艺规程编制	140
一、柔性制造系统中生产计划和控制的分层结构	140
二、柔性制造的生产进度计划和物料需求计划	160
三、计算机辅助编制工艺规程：方法、系统和应用 经验	183
第四章 系统设计	220
一、由柔性制造单元组成的系统的建模	220
二、应用逼近法分析柔性制造系统设计任务	233
第五章 信息和决策支持系统	243
一、柔性制造系统：信息系统框架	243
二、柔性制造系统环境中制订生产计划的决策支持 要求	263

第六章 专家系统	280
一、供自动加工和装配用的基于知识的控制系统	280
二、决策支持与专家系统在柔性制造系统中的应用	306
第七章 皮特里(PETRI)网络	326
用于详细说明柔性制造系统的皮特里网络	326
第八章 柔性制造系统的应用	348
柔性制造系统在联邦德国的应用——目标和约束	348
名词术语英汉对照和索引	366

第一章 概 论

一、柔性制造系统各种规划模型述评

A. J. VAN LOOVEREN, L. F. GELDERS AND L. N. VAN WASSENHOVE

Katholieke Universiteit Leuven (BELGIUM)

1. 引言

柔性制造系统 (或 FMS) 可以定义为能够加工各种形状零件的计算机控制生产系统。图 1.1.1 概括了这样一种系统的主要组成部分:

— 数控加工机床 (数控、计算机群控、计算机数控——NC、

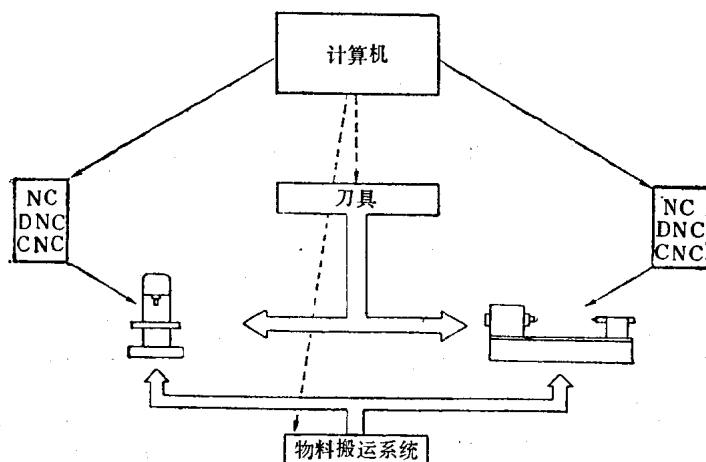


图 1.1.1 柔性制造系统的基本原理

DNC、ONC), 包括操纵这些机床要用的刀具;

—一个自动的物料搬运系统(MHS)运送工件通过系统;

—联机控制计算机管理着整个柔性制造系统, 包括数控机床和物料搬运系统。

所谓柔性制造系统, 即指它们在自动化程度和零件品种范围方面可以有很大差别。按我们的定义, 柔性加工中心(FMO)和柔性装配系统(FAS)可认为是特殊型式的柔性制造系统, 然而这类系统的具体规划问题本文将不讨论, 而且柔性物料搬运系统(FMHS)不包括在我们的定义中也应是明确的。比较详细的柔性制造系统分类已由 Dupont-Gatelmand^[18] 和 Browne 等人^[7] 阐明, 本文也不复赘述。

柔性制造系统同时具有组合机床自动线和成批生产车间两者的特点。固定顺序的组合机床自动线是典型的以瞄准大量生产、高设备利用率和短投入产出时间为目的的, 而传统的成批生产车间则是为制造多品种小批量的产品而设计的, 这种柔性通常要以低的设备利用率、长的投入产出时间和高的在制品库存量为代价。高度集成的柔性制造系统, 则为组合机床自动线的效率和成批生产车间的柔性两者结合提供了可能性。

纵然柔性制造系统能有极大的效益, 诸如较高的设备利用率、较低的单件成本、较短的投入产出时间、较高的加工质量和对市场变化有较快的响应等, 但要实现这些潜在的优点却并不容易。事实上柔性制造系统是一种非常复杂的系统, 它是由许多互相连接的硬件和软件以及许多有限的资源如随行托具、夹具和刀具所组成。这种复杂性使要成功地实施这样的系统变得非常困难。

在建立柔性制造系统时会面对技术和组织两方面的问题。特别应予注意的技术方面的问题是: 余量切除, 切屑清理和回

收, 夹具的设计、维修和调整、刀具管理和刀具状态监控。Hartley^[27]已对这些技术问题给予了详细的论述。显然, 解决这些技术问题是取得成功的前提, 而且一个柔性制造系统的成功实施将更多地取决于选择有效的规划和控制方针。对柔性制造系统的生产管理比组合机床自动线和成批生产车间要复杂得多, 其原因是:

- 每一台机床都是万能的, 能实现多种不同的工序;
- 系统能制造几种类型的零件;
- 每类零件都可以有变通的工艺路线;
- 系统中几乎没有停顿时间, 因为系统内部相关组成部分要求实时运行。

总之, 在筹划一个柔性制造系统时, 一方面要提高性能(即处理大量的决策变量), 另一方面又有许多附加约束条件。这就要求开发一种新的、合适的规划和控制顺序, 以取得系统高生产率的优良性能。

本文打算对正在迅速增加的柔性制造系统文献推荐的规划方法和技术作一回顾与评述。第2节要确定设计柔性制造系统的控制系统时应予考虑的各种规划问题。第3节到第5节将论述用排队网络、数学规划和仿真分析来解决这些规划问题的适用范围。第6、7节分别为结论和参考文献。

2. 柔性制造系统的规划问题

由于柔性制造系统的复杂性, 因而显然不能用单个的分析模型来解决所有的规划问题。经典的三级组织图(Holstein^[31])可以用来提供一个能够识别几个较小的次一级问题的分层框架。图1.1.2就是在柔性制造系统上下关系中的这种传统分层规划结构的战略、战术和工作级。

柔性制造系统仅仅是较大的制造环境的一部分, 因此由公

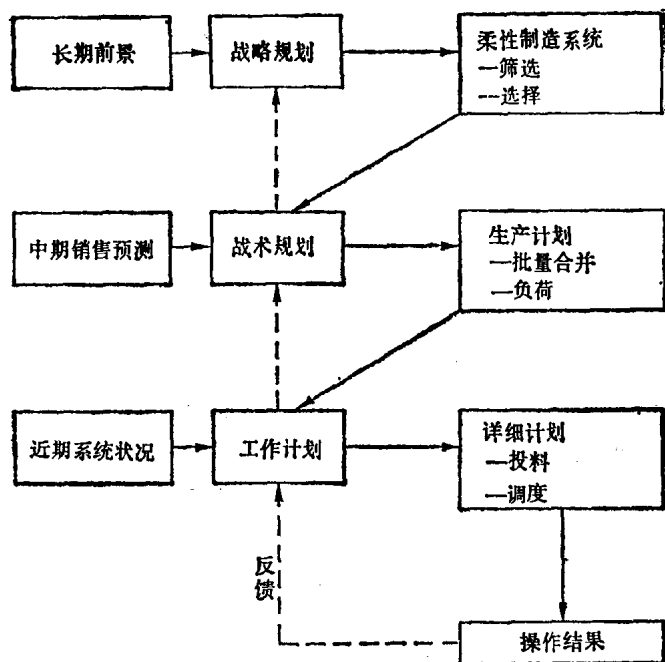


图 1.1.2 分层规划结构

司级确定的总任务和生产目标将作为柔性制造系统决策分层的三级输入。

2.1 战略级

战略级是高级管理部门特有的职责，而且要作出长期的决策。这一级的决策关系重大，应极为谨慎地从事。在系统柔性的设计阶段有大量内容有待确定，其设计过程可概括为如图 1.1.3，由此可区分技术设计部分和经济设计部分。

技术设计部分从选择零件谱开始，理想情况下应对系统在其整个工作寿命期内制造什么零件作出详细说明。事实上，人们只能力求对一组(或多组)零件设计系统，而不是为在系统建

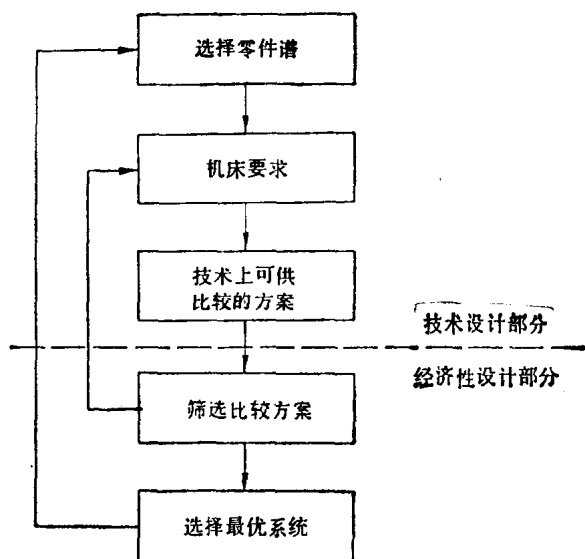


图 1.1.3 设计过程

成前会被市场淘汰的许多特殊零件来设计系统。这里包含着应在周密考虑的长期生产计划基础上去选择系统的加工对象。只有通过这种方法建立的系统才会具有响应市场变化的柔性，并为产品设计和加工过程的迅速和有效的改变准备好条件。在已知零件谱总的清单后就可以确定对机床的需求。零件类型技术特征(例如形状、材料、尺寸、表面数目、精度)的审核,可为每一道工序以及挑选刀具和切削条件选择合适的机床。这样,便可依次规定每种型号机床所需数量。在大多数场合下,可以得到好几个可行的技术方案。显然在技术设计部分成组技术(Hyer和Wemmerlöv^[36])和计算机辅助设计/计算机辅助制造——CAD/CAM(Groover和Zimmers^[26])是不可缺少的决策手段。

当然,这还不足以保证技术上的可行性,昂贵的柔性制造系统还应当有效地完成经济指标。这里要对筛选问题和选择问题加以区分。

筛选过程是为识别无效设计而对比较方案进行初步经济评估之用,其指标就是系统性能的量度如利用率和生产率。在经过初次筛选后只留下很少几个比较方案,对这些比较方案来说,应当对系统作如下更详细的说明:物料搬运系统的类型和能力,缓冲站的类型和尺寸,随行托具的数目,刀具和夹具的数目,计算机系统等等。

最后,按考虑的技术(如工艺进度)和财政(如利率)参数、内部(如库存水平)和外部(如产品的寿命周期)参数的选择程序,就可以确定有最大净节约的比较方案。采用柔性制造系统带来的最有代表性的好处是:由于综合协同而提高了柔性和效益,这一点是难以量化的。对于出现的这些新问题用常规的经济核算系统很难迅速求出明确的答案。例如将来迅速投入新产品对财政后果的影响是什么?应将传统的投资分析法延伸到既考虑数量因素,又考虑质量因素的更为综合的形式。

为了使技术上、生产组织上和经济上承担的风险最小,可以选择逐步建立柔性制造系统的办法(Eversheim 和 Pferdmenges^[22])。有几家机床制造商提供了任何时候都可扩展的模块化系统,这也就为使现有机器设备适用于系统而提供了机会。

图 1.1.4 表示了一个技术可行性已满足要求但尚未完成的设计过程。这是用于制造阀体的柔性机器人装配系统的两种可资比较的平面布置方案。两种系统的主要不同是工件通过系统时的移动方式。显然方案2的柔性更好,它可以用模块化方式建立,对于事故不是那么易受损失,并且一旦有新的零件类型投入就能方便地进行扩展。虽然这种柔性很难用精确的数字来表达

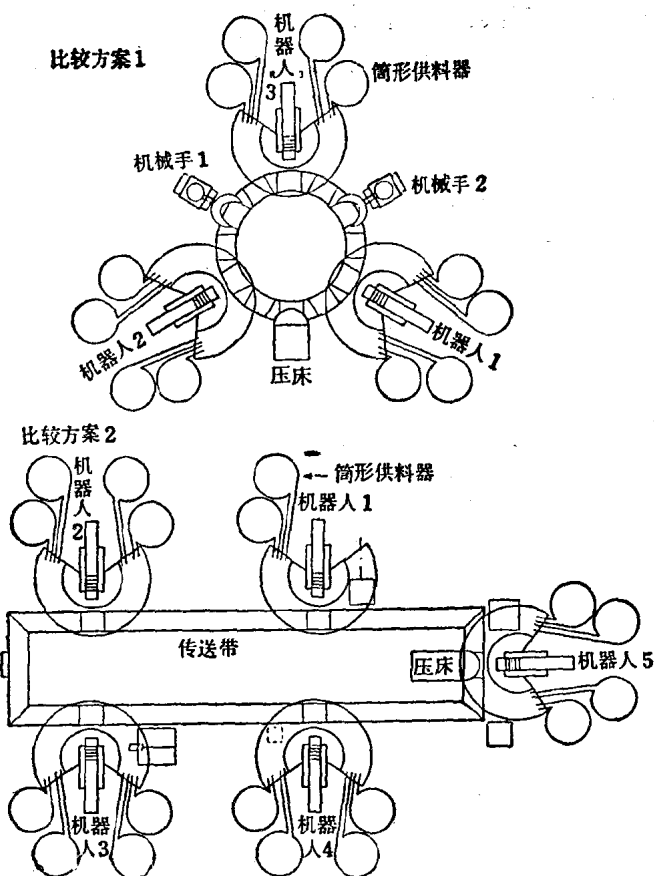


图 1.1.4 用于柔性装配系统的比较方案

它的值,但和周期时间及投资费用合在一起,它仍是一个重要的因素用来作出最后的选择。Warnecke 和 Vettin^[69] 给出了说明这一设计过程的更多例子。

应当明确在设计过程(图 1.1.3)中各步骤之间是互相关联的。在筛选方案时,为了满足可行性要求可以按需要加一台机

床或一台运载工具。同样，由于一个“最佳系统”总是根据特定的零件谱确定的。因此研究不同零件谱对设计系统的影响是很有用处的。

后面我们不考虑工艺问题，并将注意限于设计过程的经济部份：即筛选问题和选择问题。

2.2 战术级

柔性制造系统有能力用柔性方法生产一组零件。为了使这些可能的效益得以实现，不仅对系统的设计要予以重视，而且在系统一旦建立起来对系统的生产规划也应给以重视。

因为柔性制造系统通常仅是多阶段制造系统的一个部分，系统的输入和输出由总生产计划规定。这一计划详细说明了原材料和零部件的需用日期以及完工产品的交货日期。柔性制造系统的生产规划问题包含了生产的组织，诸如，如何满足总生产计划以及如何达到系统资源（机床、随行托具、夹具、刀具）的有效利用。在适当大小的柔性制造系统中，由于这个规划过程是十分复杂的，因此如果能把问题分解成一组较小的、较易处理的子问题将是有帮助的。

有人建议在战术级可分成几类问题（如Suri和Whitney^[66]、Stecke^[59]）。本文在批量合并问题和负荷问题之间作了区分（图1.1.5）。

批量合并问题涉及各零件及与零件有关的问题，如交货期、随行托具和夹具。考虑到随行托具和夹具的数目，批量合并的目标是为了组织生产以便准时完成指令。通常这将导致把生产要求分解成若干子集或批量（选择零件的类型和零件的搭配）。显然完全不考虑系统的性能就不可能有效地进行批量合并。然而，在这一级只校核如机床组的平均工作负荷一类的集合量度。定义一个集合的工艺路线组合是为了在批量合并和系统性能之

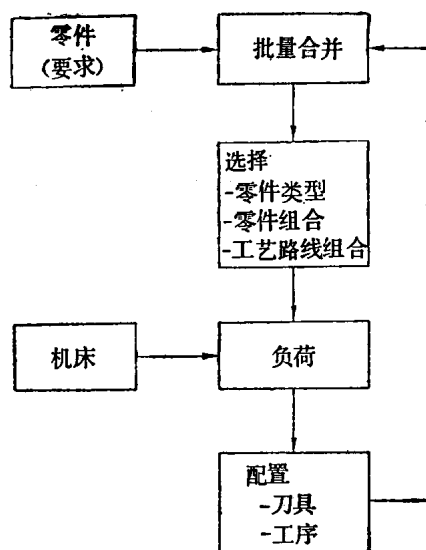


图 1.1.5 批量和负荷

间提供一种连接的方法。

已知各零件的批量后，应当更详细地确定如何制造组中的每一个零件，即在什么机床上用什么刀具完成各道工序。这就是所谓的负荷问题。

从上面的讨论也可看到，批量合并和负荷问题不可能完全隔裂开来，例如一个好的零件组合可以因为刀具采用的限制而不能实行。因此在批量合并和负荷问题之间必须逐步逼近。

下面的例子说明了批量合并问题的复杂性。假定有一个包括四台加工中心 (M1 到 M4) 和一台在机床之间搬运零件的机器人的制造系统(图 1.1.6)。对下一个周期的生产要求是：

A 类零件：15 件

B 类零件：15 件

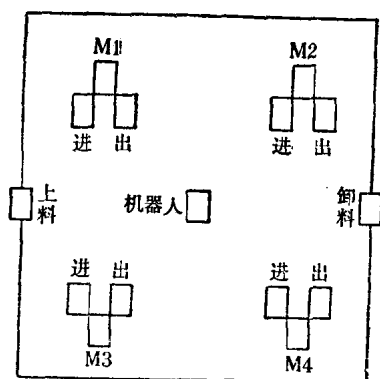


图 1.1.6 柔性制造系统的工艺路线组合问题

O类零件: 15件

D类零件: 15件

为了提高系统的柔性, 开发了可变通的工艺路线。表 1.1.1 列

表 1.1.1 加工时间和加工顺序(工序号/秒)

零件类型	工艺路线	M1	M2	M3	M4
A	1	1/234	2/1456	3/1785	4/352
	2	1/1438	—	—	2/2387
B	1	2/98	1/1098	—	3/1785
	2	1/762	—	2/1164	3/1023
C	1	3/1785	—	1/2785	2/576
	2	2/3987	1/1078	—	3/167
D	1	—	1/892	—	1/352
	2	3/72	—	2/584	1/578