

實用柔性制造系統

應用、設計和仿真

(美) 约瑟夫·泰拉威治 著
(英) 罗吉尔·G·汉纳姆

西安航空发动机公司科技处 编译。

實用柔性制造系統

應用、設計和仿真

(美) 约瑟夫·泰拉威治 著
(英) 罗吉尔·G·汉纳姆

西安航空发动机公司科技处 编译

内 容 提 要

柔性制造系统(Flexible Manufacturing Systems)英文缩写为FMS。它是计算机数字控制机床(CNC)、工业机器人及物料传输系统通过中央计算机所汇集的一种全新的生产系统。各个加工单元的协调和零件流动的控制均由中央计算机管理,其生产准备周期短,加工流程精度高;通过软件编程的改变,可适用于不同规格、不同要求、不同批量的零件加工,故称之为柔性(意为适应性强)制造系统。

FMS 是一项先进的工业制造技术。它是计算机、电子技术及系统工程在机械制造领域的综合应用,亦是完成适时制造(JIT)和计算机集成制造(CIM)的基础。它要求供需双方在系统设计和技术要求的各个方面密切合作。

本书由浅入深,详细介绍了FMS的来龙去脉;从衍变的角度,回顾了美国及欧洲早期的各种FMS系统。作者以丰富、生动的实例,论述了FMS模型设计的方法、技术设备的特点,以及经济价值的评估;同时,以进一步发展的战略目光,讨论了人工智能化的作用及其对FMS设计的潜在影响。

这本权威性的指导书,按照逻辑顺序介绍了FMS的应用、设计和仿真,介绍了FMS硬件、软件的选择和计算机建模方法,从而阐明了柔性制造的工业生产可行性。书中所提供的FMS硬、软件单元的细节和范围,实施途径,以及用来分析和改善运行的数学方法,对从事于柔性制造研究的工程师们有所裨益。

本书的价值,将被工业现代化的实践所证明。

译 序

《实用柔性制造系统》(Flexible Manufacturing Systems in Practice / Applications, Design, and Simulation)是一部理论精辟,资料翔实的专业著作。它总结了多年来世界上工业发达国家在柔性制造系统领域内的成功之路,并介绍了该系统在应用、设计和仿真方面的知识,颇具参考价值。

随着我国机械制造业的发展,柔性制造系统(FMS)越来越受到重视。国家“863 高科技跟踪”规划中,有一项“计算机集成制造系统(CIMS)”,其基础就是FMS。为了满足研制柔性制造系统的需要,我们特组织编译了这部《实用柔性制造系统》,以给有关工程技术人员提供指导性资料。

该书作者之一(美)约瑟夫·泰拉威治(Joseph Talavage)1968年获博士学位,系美国普渡大学(Purdue University)工业工程系教授,执教系统和仿真建模课程,他关于工业和制造系统结构的一些模型已在世界范围内获得认可。该作者兼任《制造系统》期刊的编委、《仿真》期刊的助理编辑、几家刊物的评论员;还是电气电子工程学会(IEEE)的高级会员,系统、人和控制论学会会员,计算机仿真学会会员。他本人或与他人合作,已发表60多篇论文和专著。

另一位作者(英)罗吉尔·G·汉纳姆(Roger·G·Hannam)1968年获博士学位,兼任英国UMIST大学(University of Manchester Institute of Science and Technology)高级讲师,讲授自动、先进和集成制造系统的设计及仿真。该作者在几家机床制造公司担任发展部门总工程师和产品经理,作为制造系统和CAD/CAM方面的顾问,他通过讲学和科研同工业界保持

着联系。他本人或与他人合作,曾发表了 30 多篇论文和专著。
该作者还是机械工程师学会会员、计算机和自动系统协会高级会员。

本资料编译由西安航空发动机公司科技处负责。

编审:区颖敏、马世英、李 东

参加本书翻译的有:

前言: 应家骊、戴先乐译 郭在新校

第一、二、三章: 马世英译 戴先乐校

第四章: 应家骊译 孙冬生校

第五章: 孙冬生译 叶宏坚校

第六、七章: 叶宏坚译 应家骊校

第八、九章: 戴先乐译 郭在新校

第十章: 罗先义译 张耦耕校

第十一、十二章: 郭在新译 戴先乐校

第十三、十四章: 张耦耕译 戴先乐校

戴先乐同志负责翻译总校。

本资料专用于柔性制造系统的学习、交流和科研。由于编者个人水平所限,如有不确之处,诚请提出批评、指正。

西安航空发动机公司科技处

原版前言

这本书是为所有对柔性制造系统(FMS)和各类计算机集成制造系统(CIMS)感兴趣的人们而写的。因此,它的对象是制造工程师、工业工程师和生产工程师,这些行业的经理们以及大专院校、中专中这一领域内从事初级和高级研究的师生们。

此外,本书也为广大的工业界读者所著。在公司中,对柔性制造系统的介绍要比新的先进技术系统的介绍多得多。这可能代表了直接反映到公司经营目标上的方向和方法的一种变革。理论上,实施一项柔性制造系统应该是满足一个公司的经营目标的需求而产生的。然而,一个公司要制订出其开发新技术的经营目标只有当公司的上层人物了解技术并且把这些目标彼此进行商讨使得全体雇员都得以理解之后才有可能。因此,本书对所有从事制造专业的人都会有参考价值。

本书出版之时恰逢人们对柔性制造系统和其它类型的计算机集成系统的兴趣剧增之日,而且这种兴趣正在转换成对系统的直接需求。形成这种局面的主要原因有两个:一是柔性制造系统的好处越来越为人们认识;二是柔性制造系统还为实施两种现代化制造方法即及时制造(JIT)和计算机集成制造(CIM)铺平了道路。对于与制造业有关的人们而言,他们已经和柔性制造系统及这两种新方法有了联系了,而且更重要的是所有各学科、各职能的工作人员已经了解它们。以往,几乎没有什么制造工程师需要参与设计制造系统的细节。要做的只是与专家签订合同(特别是当涉及较大型集成系统的情况)或者制造系统的开发是通过采购单个机器来实现的。人们会看到,柔性制造系统在若干方面与其它形式的制造系统不

同。一个主要的差别是柔性制造系统需要由供需双方组成的合作小组来进行设计。因此,现在许多工程师都得知道设计柔性制造系统要涉及哪些内容。

设计一套柔性制造系统同设计其它产品有许多相似之处。产品设计过程要经过一系列的阶段,从制订暂行技术规格开始,经过伴有大量计算的规划阶段直至最终的细节阶段,在这一阶段要对设计进行更深入的分析和检查,如有可能还要进行设计优化。设计人员必须知道产品硬件单元的细节和限制条件、实施途径、研究法和用于分析和改进设计的数学近似法。柔性制造系统就是如此。柔性制造系统硬件和用于设计的数学方法的至关重要的结合成为本书的主题。

本书一开始就把柔性制造系统和更广泛的制造系统揉合在一起,并解释了柔性制造系统的由来,接着回顾了某些早期的系统,讨论了柔性制造系统的好处,并利用众多系统实例介绍了系统的详细单元和技术。本书全面评述了系统硬件、软件、控制、管理和可能影响系统将来发展的当前研究成果。

柔性制造系统不是一台可以从货架上随便买到的好设计,它需要供需双方在系统设计和规格规格的诸多方面的密切合作。在最终技术规格确定之前,为了保证能对柔性制造系统硬件和存储部分多种可能的组合对其系统的影响进行充分研究,计算机建模和仿真技术是必不可少的。而且,当柔性制造系统投入实际运行和系统管理人员在作计划和安排进行要帮助的时候,这些模型还能继续有用。

由于柔性制造系统是如此复杂,本书讨论的建模方法是很广的。然而,为便于筹划柔性制造系统,我们努力把互相补充的方法集合成单一的结构。由于柔性制造系统

的寿命包括设计和运行两个阶段,模型在寿命的两个阶段都会得到使用。通常最有用的模型类型是计算机仿真和排队网络模型。当这些建模应用于柔性制造系统的设计与运行时,我们再讨论这些建模方法。设计过程进一步要求对这些相当昂贵的系统作经济性论证,而且对一些新的方法应予以考虑,新方法指的是柔性制造系统的特别(非劳动密集型)前景对经济模式的影响。根据柔性定义可知,柔性制造系统的运行意味着伴有计划、加载和进度安排等复杂的问题。就这些极端复杂的问题我们论述了两种解决的办法,一是为了说清它们的复杂性把问题归纳成为公式来表达,二是在合理的时间范围内解决这些问题。

两位作者给美国和欧洲的学生和工业家们讲授柔性制造系统和仿真已有相当的经验,作者与若干公司在很多分析设计方法的应用方面有着密切的工作联系,所以他们非常熟悉设计与分析系统的实际情况,然而,本书所涉及的内容远不止这些经验。当研究柔性制造在工业中的实际情况时,作者访问了美国和欧洲的某些公司。感谢这些公司的工程师们腾出时间来解释他们的系统和介绍他们的经验。感谢惠特瓦兹(Whitworth)基金会为罗吉尔·汉纳姆的这些访问提供了资助。我们访问过的公司和其他许多公司为本书提供了数据、信息和图片,对他们的协助我们表示衷心的感谢。

约瑟夫·泰拉威治(Joseph Talavage)

罗吉尔·G·汉纳姆(Roger G Hannam)

目 录

1 引言	(1)
1.1 一种历史观点	(1)
1.2 柔性制造系统设计概述	(3)
1.3 制造系统	(7)
1.4 柔性制造	(9)
2 制造系统的发展	(12)
2.1 专业化的来临	(12)
2.2 大量生产的起始	(14)
2.3 传输机和连续加工线	(18)
2.4 批量生产	(26)
2.5 小结	(36)
参考文献	(37)
3 柔性制造系统——它们的发展和利益	(39)
3.1 早期集成系统	(39)
3.2 早期柔性系统	(47)
3.3 对柔性的探讨	(64)
3.4 柔性制造系统的优点	(69)
3.5 柔性制造系统的难题	(78)
参考文献	(79)
4 托具、夹具和机床	(82)
4.1 引言	(82)

4.2	用于棱体件的托具·····	(82)
4.3	用于棱体件的夹具·····	(88)
4.4	用于回转件的托具及夹具·····	(94)
4.5	用于加工棱体件的机床·····	(98)
4.6	用于回转件的机床 ·····	(109)
	参考文献·····	(112)
5	工件运贮及系统配置 ·····	(113)
5.1	工件运贮设备 ·····	(113)
5.2	辊道式传送装置 ·····	(115)
5.3	机床的往复传送器和系统存贮 ·····	(121)
5.4	导向车(Tow Carts) ·····	(127)
5.5	轨道车 ·····	(130)
5.6	自动导向车 ·····	(135)
5.7	货栈吊车 ·····	(142)
5.8	机器人 ·····	(145)
5.9	从“自动化岛”建立柔性系统 ·····	(147)
	参考文献·····	(152)
6	系统管理和发展现状 ·····	(154)
6.1	引言 ·····	(154)
6.2	柔性制造系统的控制 ·····	(154)
6.3	柔性制造系统的人员配置 ·····	(163)
6.4	刀具管理 ·····	(169)
6.5	精度控制 ·····	(175)
6.6	发展中 FMS 的前景 ·····	(178)

6.7 小结	(190)
参考文献.....	(193)
7 柔性制造系统设计中的仿真和分析	(195)
7.1 引言	(195)
7.2 设计师进退两难	(197)
7.3 解决设计师难题的模型化方法	(198)
7.4 模型可对所需的资源进行评定	(201)
7.5 FMS 的环境	(203)
7.6 建模方法的集成化	(204)
参考文献.....	(205)
8 仿真建模	(207)
8.1 FMS 仿真建模的三种途径	(207)
8.2 网络仿真建模	(210)
8.3 数据驱动仿真程序	(223)
8.4 仿真数据库	(232)
8.5 利用基本编程语言仿真	(233)
8.6 用于 FMS 设计的仿真程序比较	(235)
8.7 小结	(236)
参考文献.....	(237)
9 排队网络建模	(241)
9.1 引言	(241)
9.2 n-o-q 模型和仿真的关系	(242)
9.3 经典 n-o-q 法	(246)

9.4	平均值分析:第二种 $n-o-q$ 法	(258)
9.5	运行分析法实施 $n-o-q$ 模型	(262)
9.6	小结	(265)
	参考文献	(270)
10	借助“排队网络分析”进行柔性 制造系统设计	(272)
10.1	引言	(272)
10.2	“粗略”(Rough-Cut)的 FMS 设计	(272)
10.3	有关 $n-o-q$ 模型性能评估的灵敏度	(288)
10.4	灵敏度结果的解释	(291)
10.5	借助灵敏度的数据帮助 FMS 的设计	(292)
10.6	小结	(295)
	参考文献	(296)
11	FMS 设计仿真	(298)
11.1	基于 FMS 的 $n-o-q$ 模式的仿真模式 ...	(298)
11.2	设计中的不可控因素	(308)
11.3	FMS 中 U 因素的类型	(309)
11.4	FMS 设计中对 U 因素的考虑	(310)
11.5	说明 U 因素的试验设计	(311)
11.6	在不确定状态下的仿真输出分析	(311)
11.7	借助仿真的自动化设计	(317)
11.8	仿真图象输出	(329)
11.9	FMS 设计中仿真的使用前景	(332)
	参考文献	(332)

12 FMS 设计的常规方法	(335)
12.1 引言	(335)
12.2 线性规划	(337)
12.3 FMS 设计与控制中的 MP 问题	(338)
12.4 FMS 工艺制订问题的线性规划法	(350)
12.5 小结	(356)
参考文献	(356)
13 FMS 的经济性论证	(358)
13.1 引言	(358)
13.2 柔性制造模型	(362)
13.3 辅助经济性论证的模型	(364)
13.4 柔性论证	(375)
13.5 经济性论证:一个异议观点	(377)
13.6 小结	(377)
参考文献	(378)
14 人工智能在 FMS 设计中的应用	(380)
14.1 引言	(380)
14.2 LISP 语言	(380)
14.3 PROLOG 语言	(382)
14.4 专家系统	(387)
14.5 在 FMS 设计和控制方面的专家系统	(389)
14.6 AI 语言的集成状况	(394)
14.7 小结	(395)

参考文献.....	(396)
-----------	-------

1 引言

1.1 一种历史观点

本书涉及柔性制造系统的设计、运行和仿真的许多方面。柔性制造系统代表着各种形式的集成制造系统的最新进展，其根源可追溯到大量生产的早期形式。发达国家在很大程度上把生活水平提高归功于大量生产技术以及那些过去开发这些技术的工程师和企业家们。

亨利·福特也许是这些开拓者中最知名的一个。由于创造了一种能使许多装配工序联系起来的一种制造系统，他终于使过去视一辆标准汽车为好奇者的玩具或富有者的便利设施的许多人能够买上一辆标准汽车了。汽车价格的下降导致其销售市场的扩大，从而引起汽车生产厂规模与雇用来制造它们的劳动大军的膨胀。那些被雇员工必须承认需要在自动化的环境中进行的那种工作类型与他们以往所从事的是根本不同的。它需要不同的技艺和不同的训练，并导致一种不同的工作社会环境。

绝大多数人会同意汽车生产的自动化将会给一般居民带来大的利益。它已经并仍在产生一种社会的革命，其影响已是，并将继续是深远的。一种产品的市场的扩大往往导致其支持或辅助工业的壮大，从而使初始的变化效益成倍增长。例如，车辆数量增加的一个附带的影响是带来了建设更多公路的需求。于是，在汽车工业的后面，几十亿美元的公路建设工

业兴起了。现在,新的和更好的公路的需要就更明显了。不过,铁路却由于汽车的成功而受到损失。

我们可以列举出许多工业由于实现了制造自动化而带来的变化的同样的例子。制造过程的自动化几乎无例外地已经通过降低产品的成本提高了一般的生活标准。它还产生了雇用,但这种雇用形式已然不同。而向自动化变化已不可避免地产生工业的和社会的附带影响。适应这种社会的附带影响的过程对被卷入这种变化的人们来说往往是不容易的,但新产生的职业的数量总是超过被去掉的职业的数量的。

今日制造方法的各种类型的变革基于第二章中将描述的许多因素的,但主要的因素却在于电子学和计算机的发展。当然,计算机的发展已经对从工厂的场地到办公室和家庭生活的各个方面产生了影响。现在,办公室已都装上语言处理机和私人计算机。此外,一个拥有两辆汽车的家庭现在已成为两台计算机之家了。如果青少年的玩具和洗衣机都包括进去,那么数目就更大了。“硅谷”(地名)现已和底特律一样出名了,成千上万的工人正做着十年前所不存在的工作。在许多方面,柔性制造系统就是基于开发硅谷和底特律发展中的一些想法的综合而形成的。

正如我们将要看到的,柔性制造系统可以看成是通过自动化以提高制造效率的持续过程中的最新阶段,虽然,如本书第3章将说明的,隐含在柔性制造系统之后的想法范围较此更为广阔。虽说早期的柔性制造系统现在已运转了十年以上时间了,这种系统的使用对许多公司,同时必然对进取的一代工程师们仍然是新的和未充分认识的经验。基本的途径是较易理解的——它有亨利·福特装配线的特色——而其效益似

乎是吸引人的。可是,这种理解水平导致对柔性制造系统复杂性的正确评价(并且往往引起对它的担心)。一系列问题产生了:柔性制造系统究竟是什么?它与其他形式的制造系统有什么区别?一种柔性制造系统的规范是如何发展起来的?这种系统怎样才能满足需要的产量?系统如何运转才能给出最佳效能?柔性制造系统是否与无人管理制造相同?为何有些人拥有柔性制造单元,而另一些人则拥有柔性制造系统?柔性制造系统与更新的制造策略,如“适时”制造,有什么联系?这一连串需要解答的潜在问题是大量的,而本书则是为提供其中的一部分答案而写。

1.2 柔性制造系统设计概述

设计一个柔性制造系统需要回答刚才列举的以及许多类似问题的能力。它特别要求对柔性制造系统的设计和分析起重要作用的硬件和软件工具的知识 and 正确评价。这些工具就是仿真、数学程序设计和排队理论的数学和运算的研究技巧。正如计算机赐给柔性制造系统的发展一样,它们的应用同样对软件工具的发展作出了贡献,而这种贡献使上述的技巧在今日的计算机上能有效地使用于柔性制造系统的可能的各种设计的分析。

图 1.1 举例说明一个新式的柔性制造系统。它的硬件包含 8 台卧式加工中心、2 台测量机、1 台清洗机和多个被传送带和自动牵引小车联系起来的工件装卸站。硬件的一个非常重要的部分(图上未示出)就是计算机硬件,而它却和它的相联的软件一起,控制着整个系统。关于这个系统和其它系统各