

计算机辅助制造技术

沈斌 钱增新 编著

高等教育出版社

计算机辅助制造技术

沈斌 钱增新 编著

高等教育出版社

(京)112 号

内 容 提 要

本书简要叙述机械制造系统、柔性自动化和成组技术等概念之后,着重介绍计算机辅助制造技术有关的设备、系统、工艺过程设计和作业计划编制等的原理、组成及特点等内容,并介绍一种适合我国国情的机械制造自动化的新途径——独立制造岛。

本书不仅可作为“机械制造基础”课程的教学参考书,使学生对现代制造技术的某些发展有概括的了解,以拓宽知识视野;而且可供从事机械制造工艺、设计、生产管理和计算机应用等方面的有关技术人员参考。

计算机辅助制造技术

沈斌 钱增新 编著

317032

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

北京朝阳北苑印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 3.25 字数 80 000

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

印数 0001—3 508

ISBN 7-04-004296-7/TH·341

定价 3.35 元

前 言

随着科学技术的发展,特别是微电子技术和计算机技术的迅速发展,使机械制造技术与整个制造业在近 20 多年来发生了极为深刻和广泛的变化。制造的概念已经不是指一台机床、一种工具和一种加工方法,也不是几台机床的组合,而是具有信息流、物料流和能量流,且有整体目的性的系统。在现代化生产中,要取得最佳综合效果,即实现高效率、高柔性、高质量和低成本的生产,必需用系统的观点和方法,从生产决策、产品设计、制造过程以及生产计划与控制等各项技术环节进行分析研究,实现综合优化,才能提高机械工业的技术经济效益和市场竞争能力。

本书限于篇幅,在简要叙述机械制造系统、柔性自动化和作为相关技术的基础——成组技术等概念之后,着重对计算机辅助制造技术介绍有关的设备、系统、工艺过程设计和作业计划编制等的原理、组成及特点等内容,不涉及具体的软件结构和程序设计,最后介绍一种适合我国国情的机械制造自动化的新途径——独立制造岛。本书不仅可作为“机械制造基础”课程的教学参考用书,使学生对现代制造技术的某些发展有概括的了解,以拓宽知识视野,而且可供从事机械制造工艺、设计、生产管理和计算机应用等方面的有关技术人员参考。

编者

1992 年 9 月

目 录

第一章 概论	1
1.1 引言	1
1.2 机械制造系统和生产系统	3
1.3 柔性自动化生产的概念	7
1.4 计算机集成制造系统的概念	9
1.5 成组技术简介	11
第二章 数控加工技术	13
2.1 数控的概念	13
2.2 数控机床的组成与工作原理	14
2.3 数控的坐标系统	17
2.4 数控运动控制方式	19
2.5 数控的应用和效益	21
2.6 数控编程	22
2.7 CNC 和 DNC 系统	27
第三章 工业机器人	32
3.1 工业机器人的定义	32
3.2 工业机器人的分类	32
3.3 工业机器人的坐标系和自由度	34
3.4 工业机器人的组成和工作原理	35
3.5 工业机器人的应用	37
3.6 工业机器人的效益	39
3.7 工业机器人的发展趋势	41
第四章 计算机辅助工艺过程设计	43
4.1 工艺过程设计的作用及存在的问题	43
4.2 计算机辅助工艺过程设计的基本原理和方法	45
4.3 计算机辅助工艺过程设计系统举例	48
4.4 计算机辅助工艺过程设计的经济效益	58

第五章 计算机辅助作业计划编制及实时调度	63
5.1 引言	63
5.2 计算机辅助作业计划	64
5.3 作业计划排序的优化	67
5.4 实时作业调度	71
第六章 柔性制造技术	77
6.1 柔性的概念	77
6.2 柔性制造单元	79
6.3 柔性制造系统	82
6.4 柔性生产线	87
第七章 独立制造岛	90
7.1 独立制造岛的基本概念	90
7.2 独立制造岛的组织形式和特征	91
7.3 独立制造岛的建立	94

第一章 概 论

1.1 引 言

当今,正处在科学技术飞跃发展的时代,电子计算机的广泛应用是这个时代的重要标志。微电子技术和计算机技术的迅速发展及其在机械制造业中的广泛应用,使机械制造业发生了极为深刻和广泛的变化。这些变化不仅会使社会生产力产生一次大飞跃,而且必将深刻地改变机械制造业的生产方式和企业面貌。

长期以来,机械制造主要依靠工人和技术人员的技艺和经验,制造技术主要是制造经验的总结,而在未来,机械制造将越来越密切地依靠诸如数学、物理、化学、电子技术、计算机技术、系统论、信息论、控制论等各门学科的基本理论和最新成果,而形成一种新的制造模式。因而这种新的模式对工人和技术人员在技艺、经验上的要求将逐渐降低,知识上的要求将迅速提高。

计算机进入机械制造业,不仅能代替大量的体力劳动和繁琐重复的操作,而且能代替部分脑力劳动,使人们能更多地从事富有创造性的工作。脑力劳动的自动化和机器的智能化将是未来机械制造业的主要特征。

随着科学技术的发展和人们生活水平的提高,反映在市场上,商品多样化的需求不断增长,变型产品比标准产品日益受到更大的欢迎,产品更新换代的周期大为缩短,新产品不断涌现,特殊要求的定货比重明显增长。近代机电产品的市场寿命有逐渐缩短的趋势,据资料统计,在70年代初期,产品市场寿命在10年以上的占32%,5年以内的占38%。而到70年代末期产品市场寿命在10年以上的仅占25%,5年以内的却上升到45%。这种发展趋势迫使机械制造业要能够迅速适应市场的需要,新产品投放市

场要快,生产准备时间要尽量缩短.生产批量少而品种规格多样已成为近代机械制造业的一种日益明显的特征.另据国际生产工程协会(CIRP)调查统计,在欧美和日本的制造业中,单件、小批生产的产量占整个机械制造业的将近85%,而产值占60%(图1-1).可见,提高中小批量生产的生产率和对市场的适应能力是有很重要意义的.

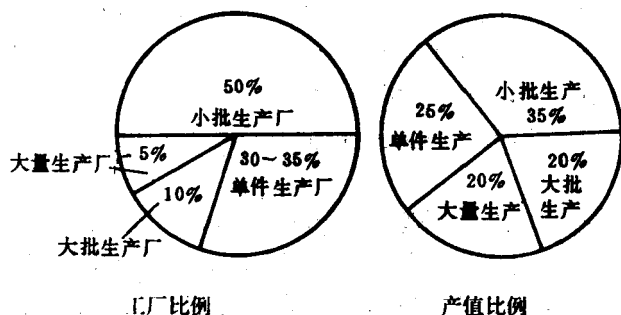


图1-1 欧美日等国不同生产批量的工厂比例

生产实践表明,传统的单件、小批生产方式,大都采用普通机床和通用或专用工艺装备进行生产,故生产周期长、效率低、成本高.据统计,小批生产中工件在车间内停留的时间假设为100,则工件在机床上的时间仅占其中的5%,其余的95%时间是材料、工件的运输和等待时间,如图1-2所示.工件在机床上

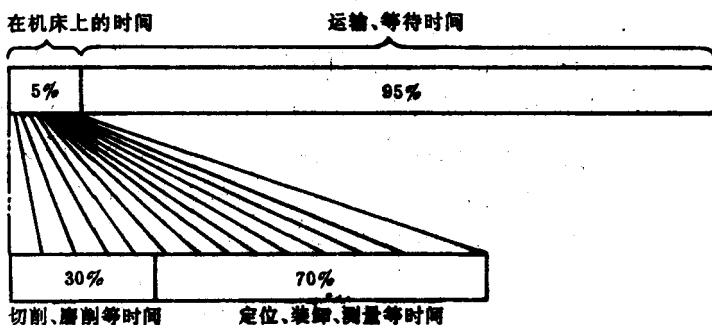


图1-2 小批生产中零件制造过程的时间分配

5% 的时间中, 实际进行切削、磨削的时间只占其 30%, 其它 70% 的时间用于工件的装卸、定位、换刀、测量等辅助工作上。所以, 要提高小批生产的生产率, 缩短生产周期, 不仅要提高切削、磨削等机械加工效率, 减少工件的装卸、定位、换刀、测量等时间, 改变机动时间与辅助时间的比例关系, 更重要的是要尽量扩大工件在机床上的时间比例, 减少生产中材料、工件的运输和等待时间。

总之, 技术进步和市场竞争都要求人们寻求新的制造原理和生产方式, 以解决机械制造业面临的新问题。探索和创造同时具有高生产率、低成本和高柔性的生产方式和制造技术, 已成为一项迫切的任务。

1.2 机械制造系统和生产系统

1.2.1 系统的概念

系统工程学认为, 系统就是由若干互相联系和互相作用的部分组成的、并具有特定功能的有机整体。

在一个系统中, 应有两个或两个以上的部分组合而成, 这些组成部分是互相作用和互相制约的, 且具有其整体目的性。这里“整体”思想是系统概念的核心, 研究系统问题时, 必须明确整体的目的性, 着重研究系统整体中各组成部分之间的互相关系和作用, 而不是仅着眼于某一组成部分, 切忌因某一部分的优化而牺牲整体的优化。

系统是有层次的, 若干小系统组成较大的系统, 集合几个较大的系统又组成更大的系统。在机械加工中, 机床、刀具、夹具和工件组成“机械加工工艺系统”, 其整体目的是完成材料切削加工成形的要求。由于零件加工过程往往要经过多道工序、多台机床加工才能完成, 如果把零件的整个加工过程看作一个系统, 这个系统就包括了多个工艺系统。

任何一个系统都处于一定的环境之中，系统要能适应其所处环境的变化，所以要重视环境的研究。环境一般是更广泛的高级系统，它必然对处于其中的系统产生反馈作用。例如工厂的产品进入市场，就会产生技术和经济的反应，向工厂输送反馈信息。

1.2.2 机械制造系统

任何机械制造厂都是由一定数量的设备、材料、人员和加工过程的有秩序的组合，它们之间根据产品图纸、工艺文件、计划和管理等相互发生作用去完成统一的生产目的——制造机械产品。过去，人们对机械制造领域所涉及的有关问题，诸如材料、设备、加工过程和生产管理等等，往往惯于分别地、单个地进行研究，尽管许多方面和发展工作取得了卓越的成就，然而在同时提高生产率、扩大品种、提高质量从而达到最佳经济效益的综合要求上，并未发生重要突破。直到 60 年代后期，人们才逐步认识到，必须把机械制造的各个组成部分看成一个有机的整体，用系统工程的观点进行研究，才能对机械制造过程实行最有效的控制，并大幅度地提高加工质量和加工效率，取得生产的最佳综合效果。基于这一认识，通过许多研究和实践，形成了机械制造系统的概念。

在“机械制造基础”课中，分别介绍了各种直接改变材料的形状、尺寸和性能的加工过程（如铸造、锻压、焊接、热处理、切削加工等）。它们是各相应车间生产过程中的一个重要组成部分，但仅有加工过程还不能完成一个车间的产品（如毛坯、零、部件或整台机器等）生产。以机械加工车间生产为例，不仅包括工件在机床上的加工和控制，而且还包括物料（如毛坯、半成品等）的存储、运输、检验以及计划和调度等工作，才能完成机械加工车间的生产，形成该车间的制造系统。所以必须从该系统的整体出发，对各个局部进行研究，才有可能实现其整体目的，使车间按最佳化方案生产。

图 1-3 示意地绘出机械制造系统各组成部分之间的相互联系。图中将具有一定几何参数和物理参数的材料、毛坯或半成品、刀具、夹具、量具及其它辅助物料作为“物料”输入制造系统，经过存储、运输、加工、检验等环节，最后作为加工后的成品（如零、部件或产品等）输出。由于这个流程都属“物料”的流动，故称为物料流；而由加工任务、加工顺序、加工方法和物料流要求等所确定的计划、调度、管理等，都属“信息”的范畴，故称为信息流；此外，制造系统中能量的消耗及其流程，称为能量流。

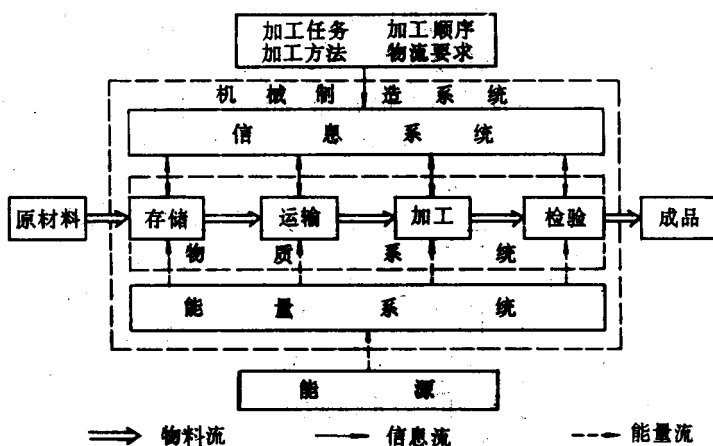


图 1-3 机械制造系统图

现代制造的概念已经不是指一种加工方法、一种刀具和一台机床或几台机床的组合，而是具有物料流、信息流和能量流，且有整体目的性的系统。只有综合地考虑整个系统的物料流、信息流和能量流，才能实现系统的最佳化。

1.2.3 生产系统

一个机械制造厂是社会生产的具体单位，工厂应根据国家的经济政策、发展计划、市场动态、科技情报以及本厂的生产条件等，决定生产的产品类型和产量，制定生产计划，进行产品的设

计、制造等，最后输出产品。所有这些生产活动的总和，用系统的观点看，就是一个具有输入和输出的生产系统。

图 1-4 是生产系统的基本框图，虚线框内所表示的是一个生产系统；虚线框外表示生产系统的外界环境。整个生产系统的生产活动过程可分为三个阶段：第一阶段是决策和控制阶段，工厂决策机构根据国家计划、市场供销、生产条件以及数据库提供的有关信息，作出产品类型、生产纲领等决定，并对全厂的生产过程进行组织和控制。第二阶段是技术发展阶段，即进行产品的设计和开发。第三阶段是制造。在制造阶段中必须输入材料、能源和信息，经过这三个阶段的生产活动，系统输出工厂生产的产品。产品输出后，应及时将产品在市场的销售情况、质量评价、改进要求等信息反馈到工厂决策机构，以便作出新的决策。

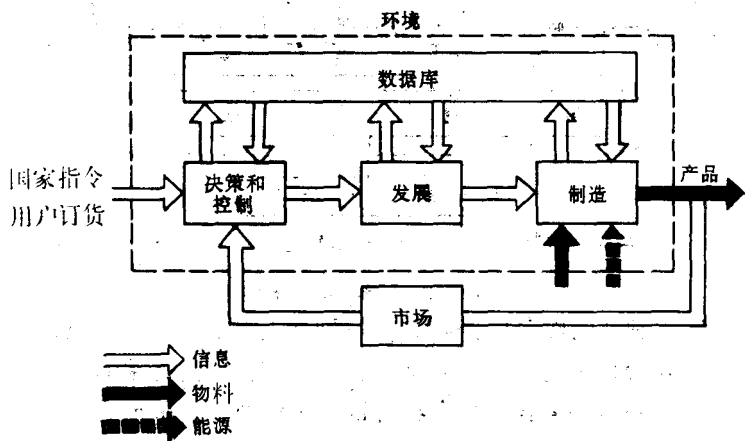


图 1-4 生产系统的基本框图

从框图可知，生产系统中每个阶段的工作过程，都需要与数据库交换必要的信息，进行数据存取。数据库中存有大量的工艺、设计、管理等方面的信息，正确的构思和决策是以数据为基础的，经营管理离不开数据，发展新产品和新工艺也有赖于数据，整个

产品的制造过程更是与数据密切相关。准确和及时的数据是保证生产有效进行的前提，要把数据当作一种资源来利用，所以信息流在一个生产系统中占有重要的作用及地位。

用系统工程学的原理和方法分析生产过程的各个环节及其相互关系，进而组织和控制生产，可以使生产和管理科学化，提高企业的竞争能力，降低生产成本，更好地满足社会的需求和国民经济的发展。

1.3 柔性自动化生产的概念

生产自动化的目的不仅在于节省大量劳动力，改善劳动条件，更重要的是在于提高制造业的竞争能力，即对市场变化的适应能力和适应速度，包括提高生产效率、优化控制过程、提高产品质量和保证质量的一致性、降低生产成本、缩短制造周期、加速产品的更新换代等。可见，认为发展中国家劳动力资源丰富，就不重视自动化生产，是没有根据的。事实上，随着高技术的发展，要提高竞争能力主要依赖于技术的增值，而劳动密集的优势正逐渐丧失。

机械制造过程是将原材料变换为机械产品的过程。研究如何取代人对这个过程中的计划、控制、操作、组成和管理等方面的直接参与，是机械制造自动化的任务。由于机械制造过程是一种离散的生产过程，与冶金、化工、纺织等连续生产过程相比较，实现其自动化更为困难。

在制造领域，自动化生产方式主要取决于产品对象（包括产品的品种、结构、性质、性能等）和生产批量，前者决定自动化方案的内容，后者影响自动化的程度、性能及效果。不同的产品对象和生产批量，需要有不同的方式和不同的自动化程度生产，只有相互适应，才能充分发挥其作用，从而获得最佳的技术经济效益。图1-5表示了各种自动化制造方法的适应范围，从图可见，生产率与柔性两者是矛盾的。

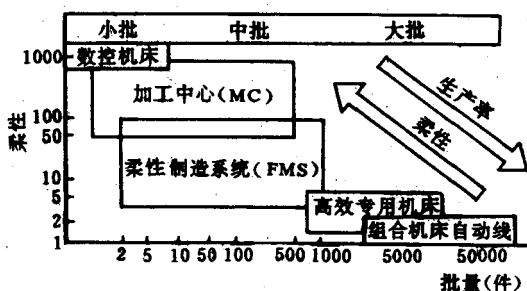


图 1-5 各种自动化制造方法的适应范围

单一品种大批量自动化生产，广泛采用自动机床、高效专用机床和自动生产线，这种自动化生产方式能大幅度提高生产率，使生产成本显著降低，但是缺乏加工多种零件的柔性。若要加工不同的零件，就必须改变机床的结构，更换所用的工艺装备，因而无法将效率与柔性统一起来。

本世纪 50 年代初出现的数控机床，是机械加工自动化发展的一个重要突破。机床数字控制 (Numerical Control, 缩写为 NC) 是用数字和符号的形式描述一个待加工零件的程序指令，通过一定的介质 (如穿孔纸带) 输入到控制装置，以自动控制机床的动作，加工出所要求的形状和尺寸。当工件变换时，只要相应地改变程序，对夹具、刀具稍作调整就能加工出不同的零件，而编写一个新的程序自然比更改机床装置要方便得多。所以 NC 机床很适用于中、小批量零件的自动加工。

在 NC 机床上装有刀具库、自动换刀机构以及工件自动交换装置，就成为加工中心 (Machining Center, 缩写为 MC)。工件在加工中心上一次安装后，数控系统就能按程序来控制机床自动地更换刀具，依次地对工件的多个加工面自动进行如铣、镗、钻、扩或攻丝等加工。它可以提高加工效率，缩短加工周期。

60 年代以后，计算机技术不断深入到制造业，出现了用小型计算机或微型计算机控制的计算机数控 (Computer Numerical

Control, 缩写为 CNC) 机床, 它比普通 NC 具有较大的柔性, 当需要增加或改变某项控制功能时, 只需修改控制程序即可容易地实现。

为了改进数控机床的使用, 60 年代后期出现了用一台较大型的计算机直接控制一群 (从几台到几十台) 机床的控制系统, 称为直接数控 (Direct Numerical Control, 缩写为 DNC), 又称群控。计算机作为共同的存贮器具有收集来自各台机床的数据, 并按要求把指令信息分配给各台机床的功能。

可是, 单台数控机床或加工中心的效能被充分发挥受到许多局限, 如果在计算机控制下借助自动化物料输送装置 (如工业机器人等) 把若干台数控机床或加工中心连接起来, 实现制造过程物料流和部分信息流的自动化, 就形成柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, 缩写为 FMS)。它能在提高柔性和保证质量的前提下, 大幅度地提高数控机床的利用率和生产率, 它是现代机械制造业的新型自动化生产方式。

本节所述 NC、CNC、DNC 及 FMS 等柔性自动化设备及生产方式, 将在以下有关章节中适当介绍。

1.4 计算机集成制造系统的概念

对一个机械制造厂来说, 仅仅提高制造过程的效率还难以获得最佳的综合经济效益, 必须从产品设计开始, 以及工艺过程设计、生产计划与调度和经营管理等环节都采用计算机辅助方法, 实现信息流自动化、物质流自动化和加工过程自动化, 形成计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, 缩写为 CIMS)。CIMS 是由以计算机辅助设计 (Computer Aided Design, 缩写为 CAD) 为核心的技术信息处理系统, 以计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, 缩写为 CAM) 为核心的自动化加工、检验和装配, 以及经营管理信息系统 (Management Information System, 缩写为 MIS) 三大部分组成。

图 1-6 为 CIMS 的构成框图。图中实线方框表示系统的八

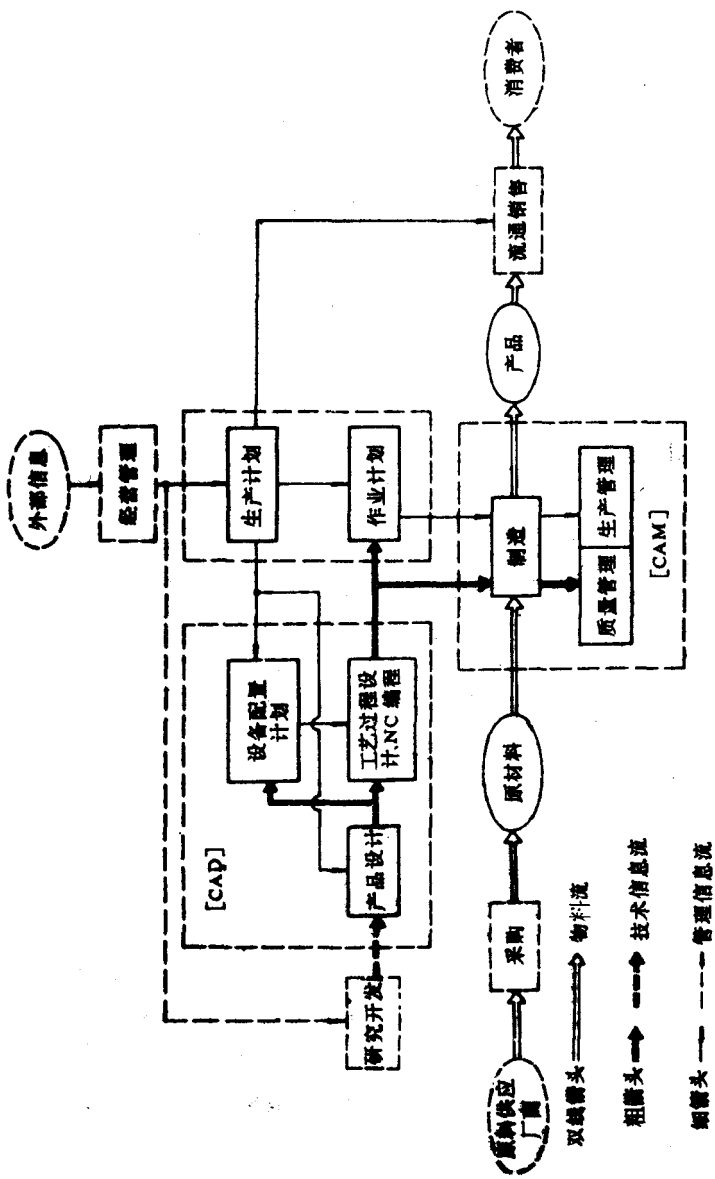


图1-6 CIMS 构成框图

个基本功能, 整个系统通过计算机网络对全厂物料流和信息流进行集中的控制。其中“产品设计”、“工艺过程设计”(包括 NC 编程)、“设备配置计划”以及“质量管理”(包括检测)属于技术信息; “生产计划”、“作业计划”和“生产管理”属于管理信息。

从物料流的角度看, 从原材料采购、贮运到零件加工、检测和产品装配, 都按时间顺序和功能要求由计算机实时控制和调度, 从而实现全厂的自动化。

CIMS 为未来机械制造工厂提供了一幅蓝图, 它是机械制造业发展的战略目标, 其所追求的不仅是自动化, 而且包括最优化、柔性化、智能化和集成化, 将产生巨大的经济效益。美、日、德、原苏联等发达国家为在 21 世纪的经济发展中取得竞争优势奠定技术基础, 都已把 CIMS 技术列为高技术发展计划之一。在我国制定的高技术发展计划中, 也列入 CIMS 主题项目。

1.5 成组技术简介

如前所述, 在单一品种大批大量生产的条件下, 可采用高效率的自动化专用设备和流水线的生产方式; 但在多品种、中小批量生产条件下, 采用自动化专用设备和流水线生产, 经济上极不合理, 所以通常采用效率低的万能性机床和机群制的组织形式。这样的生产方式是落后的, 经济效果很差。在美国, 批量等于和小于 50 的中小机械产品, 其成本比大批大量生产的同样产品高 10 ~ 30 倍。

如何改变传统的中、小批量生产企业的落后面貌? 成组技术 (Group Technology, 缩写 GT) 正是在这种背景下发展起来的一门新技术, 已被公认为中小批量生产中提高劳动生产率、缩短生产周期、改善经营管理和降低产品成本的有效技术措施。除了加工范围外, 成组技术已渗透到企业生产活动的各个方面, 如产品设计、生产准备和计划管理等, 并成为现代数控技术、柔性制造技术和高度自动化的计算机集成制造系统 (CIMS) 的基础。