

计算机 辅助工艺设计

● CAPP系统设计

赵良才 主编



机械工业出版社

计算机辅助工艺设计

——CAPP 系统设计

主编 赵良才

参编 张胜文 戴建人 王波 潘宝俊

主审 吴锡英 华瑞敖



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

本书以深入浅出的方式阐述了与 CAPP 有关的基本概念: 计算机集成制造系统 (CIMS)、CAPP 原理、开发 CAPP 系统的效益、CAPP 发展现状和方向、传统和数控工艺设计标准化、CAPP 输入和特征技术、CAPP 支撑环境、逻辑推理技术、人工智能和专家系统、数据管理和数据库管理系统、CAPP/NC 和 CAD/CAPP/CAM 集成、CAPP 开发系统和 CAPP 产品化以及 CAPP 系统维护。

本书以大量示例, 从设计实用 CAPP 系统出发叙述了常规工艺和数控工艺标准化方法和步骤、CAPP 输入信息描述方法 (回转和箱体零件)、CAPP 输出要求和工艺规程排印系统以及工序图绘制系统、CAPP 支撑环境和逻辑推理技术的选择, 并以一个半生成式系统 (回转零件) 和一个半生成式系统 (箱体零件) 为例详细地说明了实用 CAPP 系统设计的步骤, 使读者不仅能了解 CAPP 设计过程, 而且能仿效设计实用 CAPP 系统。

本书还给出了复习思考题、简单 CAPP 系统设计练习以及三个 CAPP 教学示范系统, 以着重培养学生在 CAPP 系统操作、维护和设计方面的基本技能和能力。书中备有大量紧密与工厂实际结合的示例和练习。

本书编写的目的是为了普及推广应用 CAPP 技术, 促进技术进步和人才培养, 所以本书不仅可作为本科和大专学生的教材, 亦可作为所有 CAPP 开发和应用维护人员、所有在职机械工程师的参考书。

计算机辅助工艺设计

——CAPP 系统设计

主编 赵良才

参编 张胜文 戴建人 王波 潘宝俊

主审 吴锡英 华瑞敦

*

责任编辑: 王世刚 版式设计: 冉晓华

封面设计: 姚毅 责任校对: 王世刚

责任印制: 卢子祥

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编号: 100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京交通印务实业公司印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆ · 印张 9¹/₄ · 字数 218 千字

1994 年 4 月北京第 1 版·1994 年 4 月北京第 1 次印刷

印数 0 001—3 000 · 定价: 9.00 元

*

ISBN 7-111-03869-X/TP·193

前 言

机械制造行业中,随着产品的不断更新换代,有大量的工艺规程设计工作。传统的工艺规程都是由有经验的工艺人员手工设计的,不仅工作效率低,设计出的工艺多样化,而且工艺设计工作重复繁琐,质量参差不齐。这种状况使制造行业生产准备周期长,很难适应市场竞争机制。

为了缩短生产准备周期,提高工艺文件质量,并使广大工艺人员从繁琐和重复的劳动中解放出来,开发和推广应用计算机辅助工艺设计(CAPP)系统是根本的出路。应用CAPP系统,不仅可以大大提高工艺规程的生成速度和质量,而且CAPP系统操作人员对工艺设计的熟练程度的要求可以较低,即工艺经验较少的工艺人员也能借助于CAPP系统设计出高质量的工艺规程。

本书编写的目的就是为了普及、推广、应用和发展CAPP技术,促进技术进步。

本书系统阐述了与CAPP有关的基本概念、原理、开发条件、方法和步骤以及CAPP开发应用的现状和发展方向,对研究开发各种类型的CAPP系统所需涉及的相关知识也作了介绍和说明,并以典型示例来说明设计实用CAPP系统开发的方法和步骤。例如,工艺标准化和零件输入信息描述方法;开发CAPP系统的软硬件环境选择;数据管理;工艺知识的表达方法、决策逻辑和推理技术的选用;系统总控、工艺生成、工序尺寸计算、NC程序生成、工序图绘制和工艺文件排版打印等各功能模块的详细设计以及CAPP系统的维护等,以便读者能从本书中学会和掌握CAPP系统开发和维护的要点。

本书还给出了复习思考题,简单CAPP系统设计练习以及两个CAPP教学示范系统,以着重培养初学者在CAPP系统操作、维护和设计方面的基本技能和能力。书中备有大量紧密与工厂实际结合的示例和练习。

本书可作为机械设计和机械制造专业的本科和大专学生的选修教材,也可作为CAPP系统开发和维护人员及机械制造业有关工程技术人员的技术参考书。

本书由赵良才主编,并编写第一、二、七章;第三章由张胜文、赵良才编写;第四章由戴建人编写;第五章由王波编写;第六章由赵良才、张胜文、潘宝俊、王波编写。全书由东南大学吴锡英教授和华东船舶工业学院华瑞教教授审稿,他们提出许多有益的建议和修改意见,在此表示衷心感谢。

本书编写过程中还得到院内外许多同志的帮助,在此谨表示诚挚的感谢。由于编写者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1993年3月

046 P0/10

目 录

前言

第一章 CAPP 与机械制造系统自

动化..... (1)

第一节 机械制造系统概念..... (1)

一、机械产品的生产过程..... (1)

二、机械制造系统..... (1)

第二节 计算机集成制造系统 (CIMS)..... (3)

一、计算机集成制造系统概念..... (3)

二、计算机集成制造系统组成..... (4)

三、CAPP 在 CIMS 中的重要地位和

作用..... (5)

第三节 CAPP 系统发展概况及经济效益... (6)

一、传统的工艺设计..... (6)

二、计算机辅助工艺设计及发展概述..... (7)

三、计算机辅助工艺设计的社会和经济

效益..... (9)

复习思考题..... (10)

第二章 工艺设计标准化..... (11)

第一节 工艺设计标准化基本概念..... (11)

第二节 零件分类编码和成组工艺..... (11)

一、成组原理..... (11)

二、零件的分类编码和编码系统简介... (11)

三、零件分类成组方法..... (14)

四、常规工艺设计特点和存在问题..... (17)

五、典型工艺和成组工艺..... (17)

第三节 数控工艺及其设计标准化..... (19)

一、数控工艺概念..... (19)

二、数控工艺设计标准化..... (21)

复习思考题..... (25)

第三章 计算机辅助工艺设计系统的

输入与输出..... (26)

第一节 CAPP 输入信息概述..... (26)

一、特征概念..... (26)

二、输入信息的组成..... (27)

三、零件输入信息描述方法和输入方法

简述..... (27)

第二节 回转零件信息描述方法..... (28)

一、用 GT 代码描述法..... (28)

二、特征表面描述法..... (28)

第三节 箱体零件信息的描述方法..... (32)

一、方位特征描述法..... (32)

二、特征柔性描述法..... (33)

三、输入模块对制造特征数据文件处理

简介..... (36)

第四节 从 CAD 系统中获取 CAPP 输入

信息..... (36)

第五节 CAPP 系统的输出简述..... (37)

一、工艺规程..... (37)

二、工序图..... (38)

复习思考题..... (38)

第四章 开发 CAPP 的软硬件环境... (39)

第一节 CAPP 的支撑环境..... (39)

一、微机系统..... (39)

二、图形工作站系统..... (41)

第二节 CAPP 系统的数据管理和数据库

简介..... (42)

一、数据管理技术的进展..... (42)

二、dBASE 和 FoxBASE 数据库及应用

简介..... (43)

三、工程数据库简述..... (47)

复习思考题..... (49)

第五章 生成式和专家系统开发基础

知识..... (50)

第一节 决策表和决策树..... (50)

一、决策表..... (50)

二、决策树..... (55)

第二节 人工智能技术..... (56)

一、知识表达方法..... (56)

二、工艺知识表达..... (57)

三、正向推理技术和反向推理技术	(59)	四、系统详细设计	(96)
四、LISP 和 Prolog 语言以及专家系统工具		五、软硬件选择	(111)
简述	(60)	六、人机接口设计	(111)
复习思考题	(62)	七、文件结构设计	(111)
第六章 CAPP 系统设计	(63)	八、系统规格说明	(112)
第一节 CAPP 原理和系统结构	(63)	九、程序编制	(113)
一、CAPP 原理	(63)	十、编制系统文档	(113)
二、CAPP 系统的组成	(66)	十一、系统的调试	(113)
第二节 CAPP 系统设计步骤	(66)	第五节 CAPP 专家系统设计	(113)
一、系统的需求分析	(66)	一、CAPP 专家系统概念	(113)
二、工艺设计标准化	(66)	二、CAPP 专家系统结构	(114)
三、系统的功能设计	(67)	三、CAPP 专家系统设计简介	(116)
四、系统详细设计	(67)	第六节 CAD/CAPP/CAM 集成	(119)
五、硬件及软件的选择	(67)	一、CAD/CAPP/CAM 集成概念	(119)
六、人机接口设计	(67)	二、CAD/CAPP/CAM 集成途径	(120)
七、数据结构和文件设计	(67)	复习思考题	(122)
八、编制系统规格说明	(68)	第七章 CAPP 系统开发、应用、维护及	
九、编写程序	(68)	产品化	(123)
十、编制程序文档	(68)	第一节 CAPP 系统开发应用	(123)
十一、程序的测试	(69)	第二节 CAPP 系统的维护	(124)
第三节 回转类零件半生成式 CAPP 系统		一、CAPP 系统维护的概念	(124)
设计	(69)	二、CAPP 系统维护工作内容	(125)
一、零件分类编码	(69)	第三节 CAPP 系统产品化	(125)
二、零件的分类归族	(70)	一、CAPP 产品概念	(126)
三、复合工艺编制	(70)	二、CAPP 开发系统概念	(126)
四、零件族的搜索和复合工艺的检索	(72)	三、CAPPDS 结构	(126)
五、零件信息的描述与输入	(72)	四、CAPPDS 的层次	(127)
六、工艺的生成和编辑	(74)	五、CAPP 产品化的过程	(128)
七、半生成式 CAPP 系统的工序设计	(76)	复习思考题	(129)
八、工艺文件的输出	(92)	附录 A CAPP 课程学习框图	(130)
第四节 箱体零件半生成式 CAPP 系统		附录 B CAPP 课程综合练习	(131)
设计	(92)	附录 C CAPP 教学示范系统操作	
一、系统需求分析	(92)	说明	(136)
二、工艺设计标准化和工艺用语		参考文献	(140)
规范化	(94)		
三、系统的功能设计	(94)		

第一章 CAPP 与机械制造系统自动化

第一节 机械制造系统概念

一、机械产品的生产过程

机械产品的生产过程如图 1-1 所示，一个生产企业的决策机构根据市场信息和工厂生产条件（包括外协）制订企业产品开发和生产计划，并组织制造和销售。这一产品的生产过程在不断循环，并通过循环使产品质量和水平也不断得到提高。在产品生产循环中，对一个企业来说，决策和计划部门是企业的核心；产品开发和销售部门是企业的支柱；制造部门是企业的基础，而用户和市场信息及企业数据库中的各种数据是决策最重要的依据。

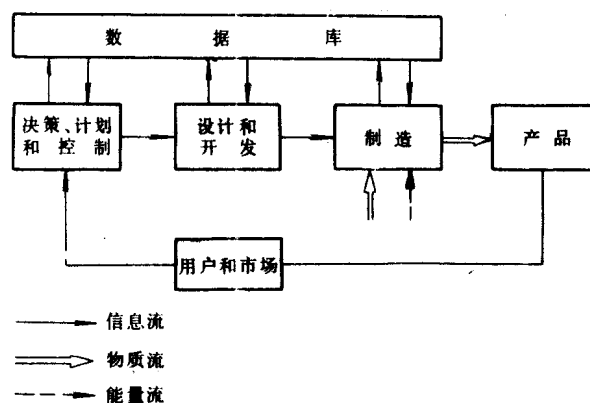


图 1-1 机械产品生产过程

二、机械制造系统

系统是由几个相互作用和相互依赖的部分组成，并且具有特定功能的有机整体。对于机械制造企业来说，系统可大可小。图 1-1 中的制造部门可用图 1-2 来表示为一个制造系统，它可以是具体企业中的分厂或车间，也可以是一条生产线或一个柔性制造系统。图 1-2 形象地描绘出机械制造系统各组成部分之间的相互联系。图中，原材料输入系统后，经过存储、运输、加工、检验等环节，最后作为系统的成品输出。由于这个流程属于物质的流动，故称之为物质流。由加工任务、加工要求以及据此确定车间计划、调度、管理等则属于信息范畴，故其流程称为信息流。此外，制造系统中能量的消耗及其流程——能量流亦是不可忽视的。因此，如何综合使用整个系统的物质流、信息流和能量流，以实现系统最佳化的问题，是提高系统效益的重要课题。

随着社会发展和技术的进步，特别是大规模集成电路和计算机技术的迅速发展，促进了

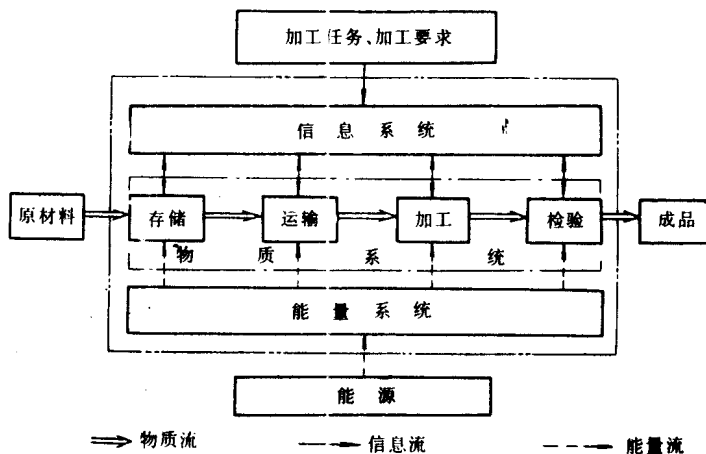


图 1-2 机械制造系统简图

计算机数控 (CNC——Computer Numerical Control)、直接数控 (DNC——Direct Numerical Control) 和柔性制造 (FMS——Flexible Manufacturing System) 技术的发展, 推动了机械制造系统的自动化。

现有的机械制造系统可以根据系统中加工方式和设备, 分为自动线 (Transfer Line)、专用自动机 (Special Purpose Automation)、柔性制造系统 (FMS)、制造单元 (MC——Manufacturing Cell) 和通用机床等五大类 (见图 1-3)。按一般制造规律, 随着被加工零件数量的增加, 生产成本将下降。但是, 用不同的系统和设备来制造零件时, 究竟生产多少零件比较经济是不同的, 对每种系统和设备都有一个经济批量范围, 这是由制造零件的不变成本对可变成本的比例变化决定的 (见图 1-4)。

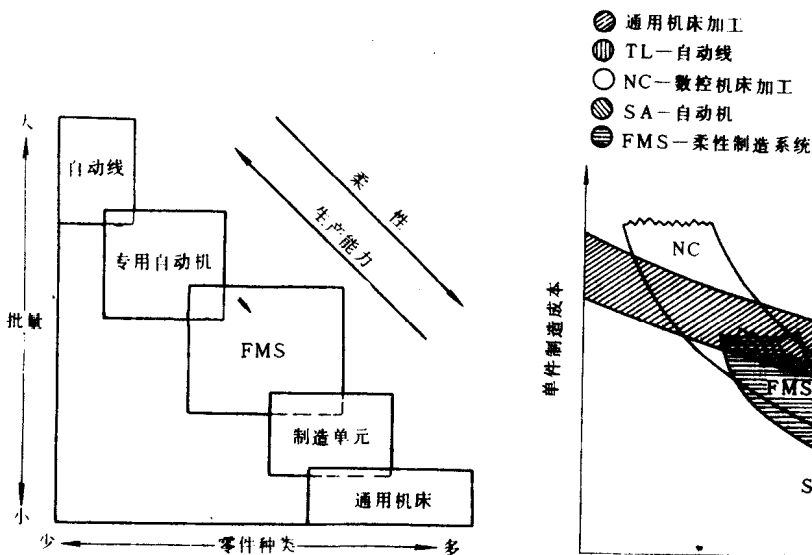


图 1-3 机械制造系统与零件种类变化和批量关系

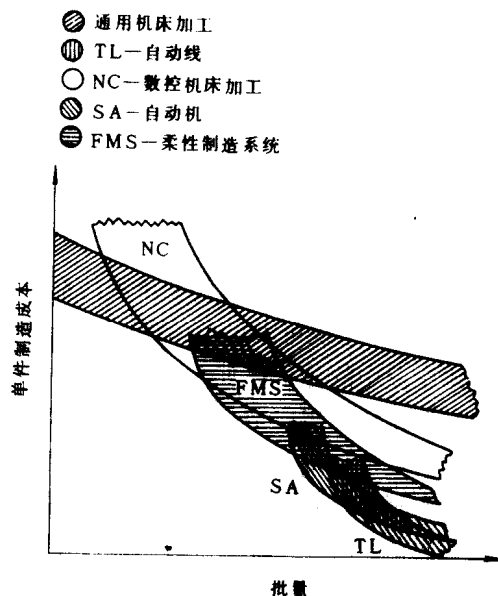


图 1-4 机械制造系统与单件制造成本、批量的关系

第二节 计算机集成制造系统 (CIMS)

一、计算机集成制造系统 (CIMS——Computer Integrated Manufacturing System) 概念

计算机集成制造系统已被认为是未来机械制造业的生产模式。

什么是 CIMS? CIMS 是企业生产活动全过程中各功能子系统的完美集成,即从市场预测、经营决策、计划控制、工程设计、生产制造、质量控制到产品销售等支持功能部门,合理地通过计算机网络联结成一个整体,以保证企业内部信息的一致性、共享性、可靠性、精确性和及时性,实现生产的自动化和柔性化,达到高效率、高质量、低成本和灵活生产的目的。虽然目前世界上还没有真正完善的 CIMS,但普遍认为它是机械工业自动化发展方向。CIMS 也是当前世界各国高科技研究的一个重要课题,特别是美国、西欧各国、日本等发达的经济大国都投巨资进行研究。在这些发达国家中,计算机、CNC 设备和 FMS 的普遍应用,为逐步实施 CIMS 创造了极为有利的环境。我国的高科技研究计划中,CIMS 也是一个很重要的研究主题,目前还布署了实施 CIMS 的试点工厂,建立了一个试验基地,预期到 21 世纪将会对我国机械制造业的技术改造和技术进步产生巨大影响。

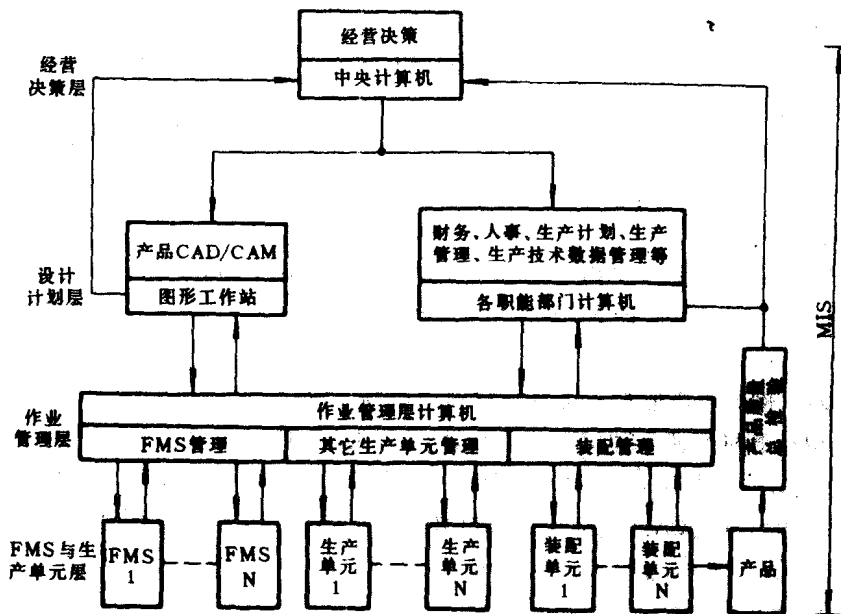


图 1-5 CIMS 简要结构框图

CIMS 的关键首先是集成问题。集成不是简单的组合,在机械制造工厂这个多层次多环节的离散型生产系统中,各子系统传统上都是分散、独立地运行着。由于各子系统既要调用各子系统共用的数据和信息,又要处理本系统的特有数据和信息,因此如何划分层次结构,正确处理集中和分散的关系,又能有效地使各子系统成为一个集成环境,就成了实施 CIMS 的关键之一。图 1-5 是 CIMS 简要结构框图,从图中可以看到 CIMS 的层次性。最高层是经营决策

层,它是 CIMS 的核心;设计计划层其次,此层可划分为两大部分,一是产品的计算机辅助设计与制造;另一是生产组织准备和管理,它是系统的支柱;作业管理层与 FMS 和生产单元层(实际上还可划分也更高的层次,此处略)是产品具体生产的层次,它是系统的基础。图中的箭头表示了 CIMS 各个层次的计算机之间的信息交换,最重要的信息将汇总到决策层,作为决策的依据。所以 CIMS 系统的计算机通讯网络和数据库系统(图中没有列出)是系统的神经系统和集成关键。计算机管理信息系统(MIS——Management Information System)将贯穿 CIMS 各个层次。

二、计算机集成制造系统组成

一般可以认为,CIMS 由计算机管理信息系统、计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)以及柔性制造系统(还可能其它生产单元)组成。下面分别就这三个主要部分作扼要叙述。

1. 计算机管理信息系统

由图 1-5 中可以看出,管理信息系统从 CIMS 的最高层贯穿到最低层。

管理信息系统包括最高层的经营决策子系统,第二层的财务、人事管理、经营管理、生产计划、物料供应、生产技术数据管理、数据采集、生产控制、质量管理与办公系统等,由于 MIS 系统中集成有企业绝大部分的信息和数据,所以它是工厂信息集成最重要环节。

实施计算机管理,除了硬件外,还需要功能齐全的数据库软件和系统管理软件。目前从国外引进较多的是制造资源计划(MRP—II)软件,它是一个管理信息系统的核心软件。实践表明,要使它在一个具体工厂应用得好,还要进行针对工厂大量实际的应用开发。

2. 计算机辅助设计与制造

(1) 计算机辅助设计(CAD——Computer Aided Design)就是应用计算机辅助进行产品设计,其中包括产品造型,工程图绘制,工程分析和计划,编制零部件明细表等功能。

(2) 计算机辅助制造(CAM——Computer Aided Manufacturing)包括以下功能:

- 1) 计算机辅助工艺编制(CAPP——Computer Aided Process Planning);
- 2) 零件数控加工程序编制即 NC 编程(NC Programming);
- 3) 工夹具的 CAD/CAM;
- 4) 其它功能,例如生产监控,工具和材料定额制定等。

CAPP 是应用计算机快速处理信息功能和具有各种决策功能的软件来自动生成工艺。NC 编程是将加工过程以 NC 指令形式写成加工程序。然后通过 NC 程序指挥 CNC 机床加工出合格的零件。工夹具的 CAD/CAM 是应用计算机来设计和制造工夹具,其原理与产品的计算机辅助设计和制造相似。

3. 柔性制造系统(FMS)

柔性制造系统是现代机器制造业中新型的自动化生产线。它是由计算机控制,并能灵活加工多种工件的制造系统。

FMS 主要由数控加工设备(一般是加工中心)、物流系统(工件和刀具运输和存储)以及信息采集和控制系统(中央计算机及其网络)组成。在目前运行的 FMS 中,除了工件装卸和刀具刃磨、测量仍由人工操作外,其它都在中央计算机控制下自动进行。当工件被装上随行托盘或刀具刃磨和测量后,工人即把有关数据输入计算机终端。中央计算机根据零件在数控机床上的加工情况和调度计划,能自动指挥物流系统中运输小车或换刀机器人将工件或刀具

输送到需要的位置。同样,数控机床上已加工好的零件或需要刃磨的刀具也会在计算机调度下自动更换。此外,数控机床加工零件所需的 NC 程序也会由中央计算机适时地通过网络送到机床的 CNC 控制器。整个 FMS 系统就是这样在中央计算机的控制下有条不紊地循环工作,能最大限度地缩短辅助时间,充分发挥数控机床的功能和提高生产率。中央计算机及其网络在 FMS 中起着核心作用,它能收集统计信息,按进度安排和调度零件生产,并能自动生成生产状态汇总报告。

图 1-6 是 FMS 的一个示例。由图可见,它由中央控制计算机系统(图中只给出计算机及系统终端示意图);两台 TC500 加工中心;工件运输系统(工件装卸站、托盘存储库、托盘输送小车和托盘交换装置);刀具输送系统(对刀仪、刀具输入输出站、刀具机器人以及中央刀库)组成。

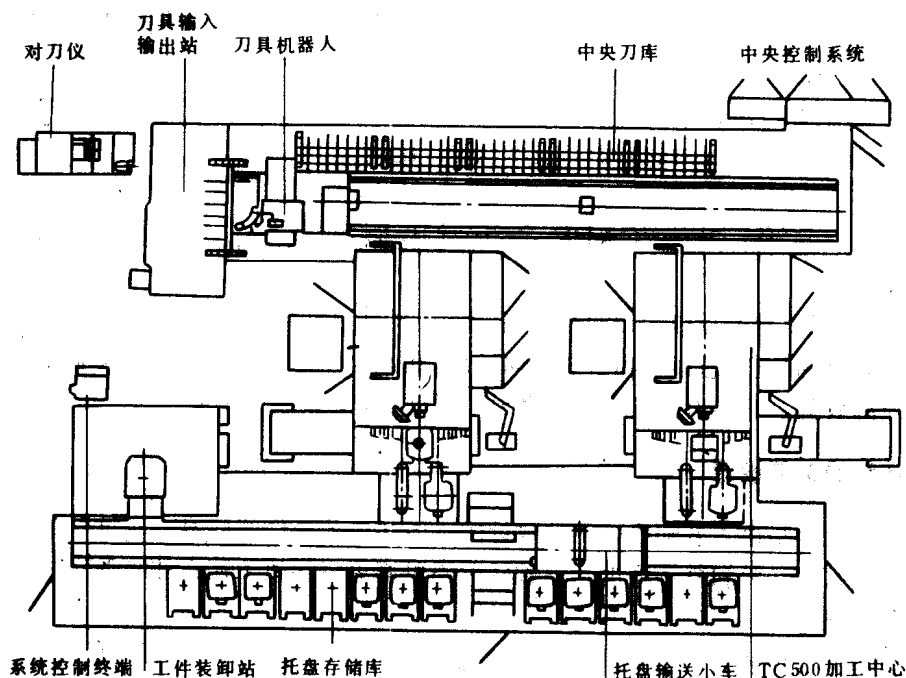


图 1-6 柔性制造系统示例

由图 1-3 可知,多品种中小批量零件生产时采用 FMS 较合适。由于 FMS 投资大,所以具体选用时应经过充分论证。

三、CAPP 在 CIMS 中的重要地位和作用

如上所述,CIMS 的关键是信息集成,而 CAD 和 CAM 的集成是实施 CIMS 最重要的环节之一。众所周知,人们常称 CAPP 是 CAD 和 CAM 之间的桥梁,可见 CAPP 的研究开发对 CAD 和 CAM 的有效集成具有关键作用。除此之外,CAPP 还与 MIS 系统息息相关,因为它生成的工艺文件中还包含许多管理所需要的信息。显然,CAPP 技术的不断发展正在为 CIMS 的成功开辟着道路。

虽然 CAD 和 CAM 还需要进一步发展和完善,但它们中的一些应用技术,如计算机绘图

技术和 NC 加工编程技术等已经相当成熟。而 CAPP, 从 60 年代开始研究, 直到 80 年代才逐步受到工业界的重视。此外, 工艺设计受具体制造环境及传统经验和习惯的影响较大。因此, 要制订较完善的 CAPP 工艺生成决策规则难度很大。近年来, 国内外开发了许多 CAPP 系统, 但真正用于实际生产并不多, 且都是专用 CAPP 系统, 高水平的 CAPP 系统, 即能真正使 CAD/CAPP/CAM 集成的系统还未出现。目前商品化的 CAD/CAM 系统基本上是 CAD/NC 或 CAD/APT (APT——Automatically Programmed Tool) 系统, 即 CAD 系统生成零件几何图形后, 要通过交互方式, 由操作人员输入工艺过程和其它数据后, 系统才能生成零件的 NC 加工程序。为了推进 CAD 和 CAM 的真正集成, CAPP 研究已成为目前 CIMS 中的最紧迫的任务之一。与此同时, 开发实用的 CAPP 系统, 推进工艺设计自动化, 缩短生产准备周期, 以加深工业界对 CAPP 的认识也是加一项极重要的任务。

CAPP 系统的开发涉及许多领域的知识和技术, 它们是工艺设计标准化的原理和方法, 零件待加工表面信息的描述, 计算机及其外围设备的选用, 编程语言的选择和程序设计, 数据的存储和管理 (数据库), 决策逻辑的开发和应用, 计算机绘图和制表排印输出, 人工智能和专家系统等。当然, 不是所有的 CAPP 系统的开发都需要应用上述全部知识和技术, 但是 CAPP 系统水平越高, 则应用的知识和技术就越广泛。

第三节 CAPP 系统发展概况及经济效益

CAPP 系统开发研究始终是以克服传统工艺设计缺点和推进工艺设计自动化为主要目标的, 目前已向设计制造信息集成和智能方向发展。在工业界推广应用 CAPP 系统可以产生很好的社会 and 经济效益, 并能引起各方面的重视, 促进 CAPP 技术的发展。

一、传统的工艺设计

传统工艺设计是由工艺师手工逐件设计的, 因此工艺文件的内容、质量以及编制时间主要取决于工艺师的经验和熟练程度。这种状况不可避免将导致工艺文件的多样性、设计时间和质量不易保证。

传统设计方法要求设计人员具有丰富的生产经验, 他们必须: ①具有丰富的生产经验; ②熟悉企业内部各种加工方法及相应的设备使用情况; ③熟悉企业内部各种生产加工规范和有关规章制度; ④能与各方面保持友好合作。这样的工艺师估计需要 20 年左右的工作实践, 目前国内外企业都较缺乏这样的工艺设计人员。

按传统设计方法, 工艺师是对零件逐个进行工艺设计的。所以, 由于各人的经历和习惯不同, 不仅对相似零件, 而且甚至对同一零件设计出的工艺也有差别。例如对美国辛辛那提工厂的一次调查表明, 生产 425 种直齿轮, 人工设计工艺规程结果是: 有 327 份不同的工艺, 使用 57 台不同的机床。这么多的不同设备和工艺规程对组织生产和提高工人操作水平是极为不利的。船用低速大功率柴油机大型箱体零件的生产是单件小批方式。这些零件形状复杂, 工艺设计工作量大。由于手工设计, 相同零件的工艺, 不仅在不同的工厂, 甚至在同一工厂因设计人员不同而差别较大。有些工艺, 不仅过于简单而且很不规范, 只有少数人能读懂。这对于规范化和标准化的文明生产极为不利, 当然也不利于生产率的提高。

手工编制工艺一般要经过以下步骤: 由工艺师按零件设计工艺过程, 然后填写工艺卡、画

工序图等；校核；誊写和描图；晒图装订成册。这个过程要花费很长时间。据某造船厂统计，前述的低速大功率柴油机一个箱体零件的工艺设计及 NC 加工程序编制一般需要半个月左右时间。特别应指出的是，目前的柴油机设计已系列化，对同一机型有许多变型，它们的箱体一般是大同小异。由于逐件工艺设计使得工艺师们不得不化很多精力去修改原有的工艺设计并誊写。这种工作不仅重复，而且繁琐乏味，抑制人的创造能力。这种情况在其它机械加工行业也同样存在。

二、计算机辅助工艺设计及发展概述

计算机辅助工艺设计这一课题研究是在 60 年代后期开始的。在 CAPP 发展史上具有里程碑意义的是 CAM-I (Computer Aided Manufacturing—International)，设在美国的计算机辅助制造国际组织) 于 1976 年推出的 CAM—I's Automated Process Planning) 系统。取其字首的第一个字母，称为 CAPP 系统。现在对 CAPP 这缩写表示法虽然还有不同的释义，但把计算机辅助工艺过程设计称为 CAPP 已经举世公认。CAPP 研究直到 80 年代才比较受到工业界的重视，研究工作进展较快。美国机械工程师协会 (ASME) 在 1985 年和 1986 年连续召开讨论 CAPP 的学术会议，国际生产工程研究会 (CIRP) 也在 1985 年和 1987 年两次召开 CAPP 专题讨论会。目前国内外召开许多生产自动化学术会议也包括 CAPP 的内容。我国的 CAPP 研究工作是 80 年代才开始的，目前也取得很多的成绩。与发表大量论文的同时，国内外已开发了许多 CAPP 系统，其中部分列于表 1-1。

早期开发的 CAPP 系统主要是检索方式，即操作 CAPP 系统时，首先检索出适合一组相似零件的标准工艺，然后通过编辑修改生成具体零件的工艺并打印输出。与传统工艺设计相比，应用检索式 CAPP 系统能大大减少工艺师重复繁琐的修改誊写工作，并能提高工艺文件质量。

随着计算机技术的发展，CAPP 系统开发人员将成组技术和逻辑决策技术引入 CAPP，开发出许多以成组技术为基础的派生式系统和混合式（半生成）系统以及以决策规则为工艺生成基础的半生成式系统。与传统的工艺设计相比，一个企业要应用这些 CAPP 系统，首先要由有经验的工艺工程师进行工艺设计标准化工作，选出优化的工艺路线或生成工艺的决策规则以及各种加工参数；然后依据这些原始数据和其它要求开发 CAPP 系统。所以用 CAPP 系统生成的工艺规程是企业工艺专家们的智慧结晶，并不取决于使用 CAPP 系统的人员，而且不要求使用 CAPP 系统的人员要有很多工艺知识和经验，只要求他们能有所了解并会使用 CAPP 系统即可。近来，以人工智能为基础的 CAPP 专家系统以及着重 CAD/CAPP/CAM 集成的系统正在研究开发之中。

分析世界近 30 年来和我国近 10 年来的 CAPP 发展情况，可以对 CAPP 研究发展情况归纳如下几点：

- 1) 由派生式系统向生成式系统发展。
- 2) 从传统的 CAPP 系统向智能化 CAPP 系统发展。
- 3) 由回转类零件 CAPP 系统向复杂的非回转类零件 CAPP 系统发展。
- 4) 从孤立的 CAPP 系统向 CAPP/NC 和 CAD/CAPP/CAM 一体化方向发展。
- 5) 从开发研究性质和专用 CAPP 系统进展到 CAPP 开发系统和专家系统工具的开发，使 CAPP 系统开发应用逐步普及并提高到一个新的水平。

由表 1-1 列举的一些 CAPP 系统也可以看出 CAPP 系统的发展进程。

表 1-1 CAPP 系统简介

系统名称		CAPP	XPS-I	XPS-E	BHCAPP	BHCAPP	EXCAPP
零件类型	回转体	0	0	0	0	0	0
	棱形体	0	0	0			
	钣料	0					
设计方法	派生法	0	0		0		
	生成法		0	0	0	0	0
自动化功能	工艺路线/工序设计	0	0	0	0	0	0
	机床选择		0		0	0	0
	刀具选择		0		0	0	0
	夹具选择		0	0	0	0	0
	确定加工参数		0				
	确定刀具路径						
	用户提供	标准工艺	决策表	产生式规则		产生规则	产生式规则
人工编辑		0	0				
商品 C/学术性 A		C	C	C	A	A	A
开发单位		CAM-I	CAM-I	CAM-I	北京航空航天大学	北京航空航天大学	北京航空航天大学
注释		LINK 1976	1980		1984 (BASIC)	1987 (PASCAL)	1988 (PROLOG)
系统名称		TOJICAP	NIT-ZLCAP	SE-CAP/NC	NHCAPP	HUDACAPP-I	BCAPP-NC
零件类型	回转体	0	0		0		
	棱形体					0	0
	钣料						
设计方法	派生法	0	半生成	半生成	0		
	生成法				0	0	0
自动化功能	工艺路线/工序设计	0	0	0	0	0	0
	机床选择	0	0	0	0	0	0
	刀具选择		0	0	0	0	0
	夹具选择				0		
	确定加工参数	0	0	0		0	0
	确定刀具路径			0		0	0
	用户提供						决策表和部分规则
人工编辑		0					
商品/学术性 A			A	C/A	A	C/A	C/A
开发单位		同济大学	东南大学	东南大学	南京航空航天大学	湖南大学	华东船舶工业学院
注释		1983 年	1985 年	1992 年	1990 年	1990 年 (FMS 用)	1991 年 (PASCAL 等)

如上所述, CAPP 发展方向是 CAD/CAPP/CAM 一体化和智能化, 这是制造自动化技术发展的需要。为了使集成和开发通用的 CAPP 专家系统工具, 达到高的水平, 国内外研究人员付出了大量的精力并已取得很多进展。我国 CIMS 研究计划中也有跟踪世界先进技术的研究项目, 这些研究项目的完成将推动我国先进制造技术的应用推广。另一方面, 我国很多应用研究工作者也正在全力以赴致力于如何从中国实际情况出发推广应用 CAPP 系统, 在推广应用中不断提高 CAPP 系统的水平, 提高企业工程技术人员的素质, 为今后实施高水平的 CAD/CAPP/CAM 集成和智能技术打下基础。推广应用 CAPP 虽然要从实际出发, 但也应考虑向 CAD/CAPP/CAM 集成方向发展, 但此时研究工作的着眼点不是从现有商品化软件 CAD/CAM 系统的缺点出发, 研究如何改造它或如何建立新的系统, 而是研究如何应用它来实现适合某些具体类型零件的 CAD/CAPP/NC 集成。此外在开发 CAPP 系统时, 应用人工智能技术也不是从如何开发完善的专家系统工具出发, 而是从 CAPP 系统决策中最需要最适合采用人工智能的部分首先实施智能化。即在 CAPP 开发中, 首先考虑的是满足企业的具体要求, 实用第一, 然后才考虑其先进性。并且从推广应用的角度来逐步建立 CAPP 开发系统以促进某行业的 CAPP 推广工作。

以 CAPP 研究成果指导 CAPP 推广应用, 在普及推广中逐步提高 CAPP 系统的水平, 将使我国 CAPP 研究和推广应用工作都获得丰硕的成果。

三、计算机辅助工艺设计的社会和经济效益

将 CAPP 与传统工艺设计方法比较, 显而易见可得到以下应用 CAPP 系统的效益。

首先, 如上所述, 实践经验较少的工艺人员能应用 CAPP 系统设计出较好的工艺过程, 这样不仅可以弥补有经验高级工艺师的难求和不足, 而且能使大量有经验的工艺师从目前繁琐的重复劳动中解放出来, 去从事不断研究新工艺和改进现有工艺的工作, 促进工厂技术进步, 提高生产率。

其次, 采用 CAPP 系统不仅可以充分发挥计算机高速处理信息的能力, 而且由于将工艺专家的集体智慧融合在 CAPP 系统中, 所以保证了高速获得高质量优化的工艺规程。据一些工厂统计, 一般可将工艺设计时间缩短到原来的 $1/7 \sim 1/10$ 。此外, 若工艺规程由专用排印模块输出, 工序图由绘图机绘制, 则工艺规程的外观也将是规范化和高质量的。工艺过程标准化、优化、工艺用语和文件的规范化也将促进企业文明生产。

第三, 应用 CAPP 系统还可获得综合经济效益。据美国联邦技术研究中心的报告称, 一个先进的 CAPP 系统可以在几个方面获得节约。例如, 在一个零件的成本中, 其费用组成以及运用 CAPP 系统可以节省的百分比如下 (表 1-2):

表 1-2 运用 CAPP 节省的百分比

项 目	费用占总费用的百分比	节省的百分比
工艺过程设计费	8%	58%
材料费	23%	4%
工时费	28%	10%
返修及废品费	4%	10%
刀具费	7%	10%
管理、利润等	30%	

根据上面的数字可以算出,采用 CAPP 可以使零件生产成本降低 9.6%。

目前,在我国由于工资水平较低,所以以上国外统计计算并不完全符合国内情况,但是采用优化的工艺路线以及优化的 NC 程序可以减少加工时间,降低零件返修和刀具费用等还是客观存在的。

复习思考题

1. 系统的定义?什么是机械制造系统?其主要组成部分是哪些?
2. 机械制造系统的类型有哪些?如何选择这些系统?在以一个车间为对象的机械制造系统中,三流(物质流、信息流、能量流)包括哪些具体内容?
3. CIMS 的定义?为什么它是机械工业自动化的方向?
4. CIMS 由哪几个主要部分组成?为什么信息集成是 CIMS 的关键?
5. CAPP 在 CIMS 中的地位和作用是什么?
6. 发展 CAPP 系统有哪些社会 and 经济效益?
7. 简述 30 多年来 CAPP 发展的特点和今后 CAPP 发展的主要方向。

第二章 工艺设计标准化

第一节 工艺设计标准化基本概念

长期以来,人们均按“批量法则”组织生产,对大量生产的工艺采用比较先进的工艺方法,其工艺的标准化程度较高。而对中小批量生产,一般只采用通用设备和万能工具进行加工,其工艺设计要求不规范和不够严格,更谈不上工艺的标准化。但是,随着市场对产品更新换代的加快,生产愈来愈向着中小批量发展,为了将计算机推广应用于中小批量生产企业的工艺设计,使工艺设计自动化,则工艺设计的标准化和优化是必要的先决条件。工艺设计标准化的目的,就在于使同类零件能够在相同生产条件下采用经过优化的标准工艺过程,并且用规范的语言来描述这一过程。这不仅可以防止不必要的工艺多样化,而且能在一定程度上提高加工质量和工效。从应用计算机使工艺设计自动化角度来考虑,工艺设计标准化的目标主要是:使较大范围内相似零件上的同一类型加工表面,在相同的生产条件下的工序工步标准化(包括加工方法和加工余量分配,设备,工、夹、刀、量具和切削参数选择原则,加工过程描述用语和语句格式规范化,工艺规程和工序图格式标准化等)。

实践证明,成组工艺是促进中小批量零件工艺设计标准化的有力工具,而工序(工步)标准化思想在CAPP系统开发中则应用更为广泛,特别是对数控工艺的自动生成。

第二节 零件分类编码和成组工艺

一、成组原理

成组技术(GT——Group Technology)是一门生产技术科学和管理科学,研究如何识别和发展生产活动中有关事物的相似性,并充分利用它把各种问题按它们之间的相似性归类成组,并寻求解决这一组问题相对统一的最优方案,以取得所期望的经济效益。

成组技术(GT)应用于机械加工方面,则是将多种零件按其工艺的相似性分类以形成零件族,并对一个零件族采用一种加工方法或工艺路线,使该族中的零件都能用同一的工艺方法和路线加工完成。图2-6所示为一个零件族的简单例子。

成组技术的基本原理是符合客观生产规律的,所以它可以用作指导生产的通用准则。实际上,人们很早以来已应用成组技术的思想来指导生产实践,诸如生产专业化,零部件标准化等,都可以认为是成组技术在机械工业中的应用。因此,有人认为成组技术是指导工作和生产的哲理。本节着重介绍成组技术在工艺方面的应用。

二、零件的分类编码和编码系统简介

1. 零件的分类编码

工程图能详尽描述一个产品或零件的全部信息和数据,为制造者提供待加工零件的全部工艺决策信息。但是,在采用计算机来对这些信息处理时,计算机无法识别,必须用计算机