



高等学校教材

电子信息系列

现代CAPP技术与应用

张振明 许建新 贾晓亮 田锡天 编著

*Electronic
Information*

西北工业大学出版社



现代 CAPP 技术与应用

张振明 许建新 编著
贾晓亮 田锡天

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书针对 CAPP 技术的最新发展及企业对 CAPP 的迫切需求,阐述了现代 CAPP 的特点、技术及应用,着重论述了现代 CAPP 的基本理论、工艺知识处理技术、基于特征的 CAPP 集成技术、制造工艺信息系统、现代 CAPP 系统的工程应用等内容。

本书内容大部分选自于近几年来有关 CAPP 的研究成果与应用,内容新颖丰富,实用性强,可作为机械设计制造及其自动化、机械电子工程等专业的本科生、研究生教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代 CAPP 技术与应用/张振明等编著. —西安:西北工业大学出版社,2003. 10

ISBN 7-5612-1650-5

I. 现… II. 张… III. 机械制造工艺-计算机辅助设计:机械设计 IV. TH162

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 078291 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电话:(029)8493844, 8491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:陕西天元印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:10.125

字数:239 千字

版次:2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

印数:1~3 000 册

定价:15.00 元

前 言

目前,以微电子技术、软件技术为核心,以数字化、网络化为特征的信息技术正以其强大的渗透力影响着社会各个领域,促使人类生存和生产方式发生深刻的革命,已成为影响世界的高新技术之一。发展信息产业,首先要把信息技术应用到制造业,只有建立在现代信息技术基础之上的制造业,才能构筑我国综合国力的强大基础,才能满足各行各业发展的基本物质需求。

工艺过程设计确定制造过程及制造所需的制造资源、制造时间等,是连接产品设计与产品制造的桥梁,对产品质量和制造成本具有极为重要的影响。随着先进制造技术及制造业信息化的发展,CAPP受到越来越多的关注。传统的CAPP研究与开发以零组件加工工艺编制为主体对象,片面追求工艺决策的自动化,忽视CAPP系统的实际应用,使得CAPP的发展缺乏坚实的实践基础。进入20世纪90年代后,CAPP研究与开发逐步走向以实用化为基础,以集成应用为目标,综合考虑包括工艺决策自动化等问题在内的各种工艺技术问题的现代CAPP发展阶段。实用化CAPP系统在开发应用过程中,其目标与传统CAPP系统目标有很大的不同。这类CAPP系统在国内越来越多的企业得到应用,短短几年已取得相当显著的效果。目前,现代CAPP的发展正在逐步体现现代先进制造思想,向基于网络化和数字化环境、以信息集成和工程知识为主体、实现工艺设计与工艺管理一体化的制造工艺信息系统方向发展。

本书从系统的角度,阐述现代CAPP的特点、方法与技术,着重论述现代CAPP基本理论、工艺知识处理技术、基于特征的CAPP集成技术、制造工艺信息系统、现代CAPP系统的工程应用等内容;选材大都为近几年的研究成果,紧密结合工程应用,力求先进性与实用性的有机统一。其目的是为了增大信息量,扩大知识面,提高人们对CAPP的认识层面,以促进CAPP的应用与发展。

西北工业大学是国内最早开展生成式CAPP研究的单位,也是国内最早开展CAPP研究的单位之一。20多年来,以黄乃康教授为代表的老一辈CAPP研究开创者,为CAPP的发展不懈努力,取得了丰硕成果,并为培养新一代的CAPP研究开发者倾注了大量的心血。编者近10年所取得的研究成果,大都是在黄乃康等教授的指导下完成的。在本书的编写过程中,黄乃康教授对内容的选取、安排,都给出了建设性的指导意见,并且多次悉心审读书稿,提出了许多宝贵的建议和意见,在此,我们谨表示深深的谢意和崇高的敬意。

本书共分7章。第1章由张振明编写,第2章由张振明、田锡天编写,第3章由张振明编写,第4章由许建新编写,第5章由许建新、张振明编写,第6章由贾晓亮、田锡天编写,第7章由贾晓亮编写。

由于编者水平有限,书中难免有不足甚至错误之处,敬请读者不吝指教。

编 者

2003年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工艺过程设计	1
1.1.1 制造系统与产品制造过程	1
1.1.2 产品工艺过程设计与管理	1
1.2 计算机辅助工艺过程设计	3
1.2.1 计算机技术在工艺过程设计中的应用	3
1.2.2 CAPP 的基本组成	4
1.2.3 CAPP 的发展阶段	5
1.3 现代 CAPP 与发展	6
1.3.1 现代 CAPP 概念	6
1.3.2 现代 CAPP 与工艺知识库	8
1.3.3 现代 CAPP 系统结构	8
1.3.4 制造工艺信息系统	8
1.3.5 现代 CAPP 的应用效益与发展	9
第 2 章 CAPP 基础技术	12
2.1 成组技术	12
2.1.1 成组技术基本原理	12
2.1.2 零件的相似性	12
2.1.3 零件分类编码系统	13
2.1.4 零件的分类成组与分类编码法	14
2.2 CAPP 基本内容	19
2.2.1 产品零件信息描述	19
2.2.2 工艺决策过程	21
2.2.3 工艺尺寸计算	23
2.3 修订式 CAPP 系统	28
2.3.1 修订式工艺决策的原理	28
2.3.2 修订式 CAPP 系统的开发	28
2.3.3 修订式 CAPP 系统的应用	29
2.4 生成式 CAPP 系统	30
2.4.1 生成式方法的原理	30
2.4.2 生成式 CAPP 系统的开发	30
2.4.3 工艺决策方法	30

2.5	工艺决策专家系统	32
2.6	数据库技术	34
2.6.1	数据库的基本概念	34
2.6.2	关系数据库	36
第3章	现代 CAPP 基本理论	38
3.1	面向产品 CAPP 方法论	38
3.2	基于 O-O 的面向产品 CAPP 信息建模	39
3.2.1	面向产品 CAPP 基本信息模型	39
3.2.2	面向对象方法基本概念	40
3.2.3	CAPP 面向对象基本模型	41
3.2.4	面向产品 CAPP 基本对象类体系	42
3.2.5	面向产品 CAPP 对象模型的建立过程	42
3.3	现代 CAPP 的集成化与智能化	44
3.3.1	现代 CAPP 的集成化	44
3.3.2	现代 CAPP 的智能化	46
3.4	现代 CAPP 体系结构与开发模型	47
3.4.1	现代 CAPP 系统总体结构	47
3.4.2	现代 CAPP 系统开发模型	48
3.5	CAPP 应用开发平台——CAPPFramework	49
3.5.1	CAPPFramework 的基本目标与组成	49
3.5.2	基于 CAPPFramework 的 CAPP 应用系统软件结构	50
第4章	工艺知识处理技术	53
4.1	知识及知识表示	53
4.1.1	数据、信息与知识	53
4.1.2	知识表示	55
4.2	工艺知识分析与获取	57
4.2.1	工艺知识分析	57
4.2.2	知识获取	58
4.2.3	工艺知识的获取	59
4.3	CAPPFramework 的工艺知识处理技术	62
4.3.1	工艺对象属性表示	63
4.3.2	工艺对象方法表示	63
4.3.3	工艺决策过程控制方法	66
4.3.4	知识表示示例	67
4.3.5	推理机制	69
4.4	知识库系统	71
4.4.1	知识库系统的构成	71

4.4.2	知识库实现	71
4.4.3	知识库管理系统构成	72
4.5	面向对象工艺知识库管理系统	72
4.5.1	体系结构与实现	72
4.5.2	对象模式与关系模式的转换	72
4.5.3	知识库的一致性维护	74
4.5.4	外部工程数据关联	76
4.6	专家系统的开发步骤	76
第 5 章	基于特征的 CAPP 集成技术	78
5.1	特征技术	78
5.1.1	特征的概念	78
5.1.2	形状特征的分类	80
5.2	加工元	81
5.2.1	加工元概念	81
5.2.2	安装	84
5.2.3	加工工步	84
5.2.4	加工元基本关系定义	85
5.3	基于加工元的工艺决策模型	85
5.3.1	工艺决策依据的基本准则	85
5.3.2	加工元的相近度及其描述	86
5.3.3	工艺决策过程模型	88
5.3.4	主要决策阶段	88
5.4	CAD/CAPP/CAM 集成技术	89
5.4.1	特征信息模型与建立	89
5.4.2	CAD/CAPP/CAM 集成	91
5.5	飞机结构件 CAD/CAPP/CAM 集成系统	92
5.5.1	飞机结构件数控加工工艺性分析	93
5.5.2	飞机结构件的特征定义	94
5.5.3	工序排序方法	97
5.5.4	FA—CAPP 应用	99
第 6 章	制造工艺信息系统	102
6.1	制造工艺信息系统概述	102
6.1.1	制造工艺信息及工艺管理	102
6.1.2	制造工艺信息系统的概念及要求	104
6.1.3	基于单一工艺数据源的工艺设计与管理一体化	105
6.1.4	制造工艺信息系统的体系结构	106
6.2	工艺数据库	109

6.2.1	关系数据库设计	109
6.2.2	切削参数库设计	112
6.3	计算机辅助工艺分工路线编制	117
6.3.1	工艺分工路线编制内容	117
6.3.2	计算机辅助工艺分工路线编制目标	119
6.3.3	计算机辅助工艺分工路线编制系统	119
6.4	计算机辅助材料定额编制	121
6.4.1	材料定额编制概念	121
6.4.2	计算机辅助材料定额编制系统	122
6.5	计算机辅助工时定额制定	125
6.5.1	工时定额制定	125
6.5.2	计算机辅助工时定额制定内容	126
6.5.3	计算机辅助工时定额制定系统	127
6.6	基于 PDM 的制造工艺信息系统	129
6.6.1	PDM 技术	129
6.6.2	基于 PDM 的制造工艺信息系统	130
第 7 章	现代 CAPP 系统的工程应用	132
7.1	CAPP 工程化应用管理	132
7.1.1	软件工程	132
7.1.2	CAPP 工程化	133
7.2	从电子表格走向 CAPP 集成化应用	136
7.2.1	系统应用背景	136
7.2.2	工艺设计的特点	137
7.2.3	CAPP 集成系统	137
7.2.4	工艺分工路线专家系统	138
7.2.5	CAPP 集成系统实施的效果	144
7.3	飞机工艺装备 CAPP 系统	144
7.3.1	飞机工艺装备生产概述	144
7.3.2	飞机工艺装备制造工艺特点与工艺规程工作	145
7.3.3	飞机工艺装备 CAPP 系统	146
7.3.4	飞机工艺装备 CAPP 汇总统计	148
7.3.5	飞机工艺装备 CAPP 系统实施经验	149
参考文献		151

第 1 章 绪 论

1.1 工艺过程设计

1.1.1 制造系统与产品制造过程

制造工业是国民经济的重要基础,对国民经济的发展有决定性的影响,其先进程度是一个国家经济发展的重要标志。

制造企业通过产品的制造过程,即利用制造资源(设计方法、工艺、设备和人力等)将材料和信息“转变”为有用物品的过程,来为社会提供所需的产品与服务。按传统的理解,人们一般将“制造”理解为产品的机械工艺过程或机械加工过程。随着社会生产力的发展,“制造”的概念和内涵在“范围”和“过程”两个方面大大拓展:在“范围”上,包括了机械、电子、化工、轻工、食品、仪器仪表、医药等行业;在“过程”上,制造不是仅指具体的工艺过程,而是包括市场分析、产品设计、工艺过程设计、零部件加工、装配检验、销售服务等产品全生命周期过程。国际生产工程协会 1990 年给“制造”下的定义是:制造是涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称。

随着制造技术的发展,人们以系统论、信息论和控制论等所形成的系统科学和方法论为工具,从系统各组成部分之间的相互联系、相互作用、相互制约的关系来分析和研究制造过程,形成了制造系统(Manufacturing System)的概念。制造系统是由物质流、能量流、信息流 3 个基本要素组成的,而信息流是制造系统最关键的因素。

以产品为主线,制造系统具有产品设计、工艺过程设计、零部件加工、库存、装配检验、包装、发货、售后服务、回收利用等功能。以企业经营管理为主线,制造系统主要执行计划管理、生产控制、财务管理、销售管理、质量管理、后勤管理等功能。这两条主线之间存在着密切的信息联系,如图 1.1 所示。

工艺过程设计是为实现工艺过程而制订详细工作计划所进行的活动,它是连接产品设计与产品制造的桥梁。机械加工工艺过程设计所要解决的问题是:根据产品的设计要求,确定零件从原始状态转变到规定的最终状态所需要的一系列加工方法、加工顺序、工装设备和加工参数等。

工艺过程设计确定制造过程及制造所需的制造资源、制造时间等。它是完成产品设计信息向制造信息转换的关键性环节,因而是制造系统的重要环节,对产品质量和制造成本具有极重要的影响。

1.1.2 产品工艺过程设计与管理

在制造业中,机械产品制造是制造业的基础,它承担着为国民经济各部门提供各种装备的

任务。据我国有关部门统计,在整个工业生产总值中,机械制造业约占 25%。在现代机械制造业中产品工艺过程设计与管理具有十分重要的地位。

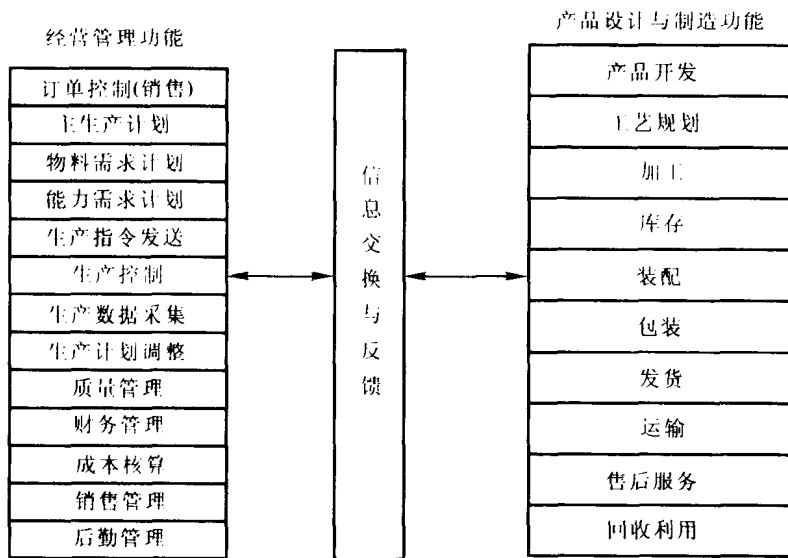


图 1.1 制造系统的两大功能主线

通常,产品工艺过程设计与管理可划分为两个层次:企业级工艺过程设计与管理;车间级工艺过程设计与管理。

1. 企业级工艺过程设计与管理

(1) 产品结构工艺性审查:产品结构工艺性审查的目的在于早期发现产品设计中的工艺性问题,并及时解决,以防止或减少在生产中可能发生的重大技术问题;较早预见产品制造中的主要件、关键件所需的关键设备或特殊工艺装备,以便及早安排制造或外协。

(2) 产品工艺零组件划分:从制造角度可划分为能相对独立进行装配和制造的产品构成,如将产品划分为若干个部件,部件划分为若干个组合件等。

(3) 产品工艺流程制定:在企业中,工艺流程又称为(车间)工艺路线、分工路线、分工计划等,它要确定产品零组件在整个企业中的制造过程。

2. 车间级工艺过程设计与管理

在一般产品制造中包括的车间级工艺过程设计种类有 4 种。

(1) 变形加工工艺设计:使原材料产生形态、形状或结构变化来制造零组件的工艺过程设计,如各类零件毛坯制造(铸、锻、下料等)、零件加工(机械加工、钣金冲压等)等。

(2) 变态、变性加工工艺设计:通过改变原材料的性质来满足制造零组件需要的工艺过程设计,如热处理、表面处理等。

(3) 连接和组装加工工艺设计:使工件与其他原材料或工件与工件、组件与组件结合而形成组件或产品的工艺过程设计,如焊接、装配等。

(4) 其他环节的工艺设计:产品制造过程中其他环节工艺过程设计,如检测、试验等。

工艺过程设计是典型的复杂问题,包含了分析、选择、规划、优化等不同性质的各种业务工作和功能要求,涉及的范围十分广泛,用到的信息量相当庞大,又与具体的生产环境及个人经

验水平密切相关,因此是一项技术性和经验性很强的工作。长期以来,工艺过程设计都是依靠工艺设计人员个人积累的经验完成的。这种设计方法与现代制造技术的发展要求不相适应,主要表现在3个方面。

(1) 工艺设计要花费相当多的时间,但其中实质性的技术工作可能只占总时间的5%~10%,大部分时间用于重复性劳动和填写表格等事务性工作上。这不仅加大了工艺人员的劳动强度,容易出错,而且延长了产品的生产周期。

(2) 同一零件由不同工艺员编制工艺时,往往得到不同的工艺文件;即使同一工艺员,每次设计结果也可能不完全相同。这就是说,人工设计的工艺,一致性差,难以保证工艺文件的质量和实现规范化、标准化。

(3) 繁琐而重复的密集型劳动会束缚工艺人员的设计思想,妨碍他们从事创造性工作,并且工艺人员的知识积累过程太慢,而服务时间相对过短,因而不利于其工艺水平的迅速提高。

1.2 计算机辅助工艺过程设计

1.2.1 计算机技术在工艺过程设计中的应用

随着计算机技术的迅速发展,计算机技术在工艺过程设计中得到了应用,即计算机辅助工艺过程设计(CAPP, Computer Aided Process Planning)。计算机在工艺过程设计等制造工程中的辅助作用主要体现在数值计算、数据存储与管理、图形处理、逻辑决策等方面。

计算机作为计算工具使用的优越性显而易见,人工计算容易发生错误的问题在这里可以得到完全的克服。许多需要多次迭代的复杂运算,只有计算机才能完成。在制造工程中,一些设计分析方法,例如优化方法、有限元分析,离开计算机便难以实现。计算机作为计算工具提高了计算精度,保证了运算结果的正确性。

计算机可靠的记忆能力,使其能够在数据存储与管理方面发挥重要作用。例如,常规设计时,设计人员必须从有关的技术文件或设计手册中查找数据,费时而且容易出错。使用计算机辅助系统时,标准的数据存放在统一的数据库中,检索或存储起来方便、迅速而且准确。有了数据库,设计人员便不再需要记忆具体的数据,也不必关心数据的存储位置,可以全神贯注于创造性的工作。

图样是工程中的语言,是人们交流思想的工具。在工艺规程编制中,工艺草图的绘制工作量往往很大,有时可达60%以上,因此计算机绘图是对设计工作的有力辅助。

随着人工智能技术的发展,人们将人工智能融进工艺过程设计中,使计算机能够帮助工艺人员完成许多逻辑决策功能,从而提高CAPP的智能化水平。

应用CAPP技术,可以使工艺人员从烦琐重复的事务性工作中解脱出来,迅速编制出完整而详尽的工艺文件,缩短生产准备周期,提高产品制造质量,进而缩短整个产品开发周期。从发展的角度看,CAPP可逐步全部或部分实现工艺过程设计的自动化及工艺过程的规范化、标准化与优化,从根本上改变工艺过程设计依赖于个人经验的状况,提高工艺设计质量,并为制定先进合理的工时定额以及改善企业管理提供科学依据。

随着集成技术的发展,CAPP被公认为是CAD/CAM集成的关键,是FMS及CIMS等先进制造系统的技术基础。因此,CAPP技术逐渐引起越来越多的人的重视,世界各国都在大

力研究。比如,美国国家关键技术委员会在 1991 年海湾战争后向总统提出的报告中,介绍了 22 项被认为是对美国长期安全 and 经济繁荣至关重要的技术,其中在第 6 项计算机集成制造(CIM, Computer Integrated Manufacturing)中就介绍了 CAPP 技术的发展状况及重要性。美国总统办公厅科技政策办公室于 1995 年公布的第 3 个双年度美国国家关键技术报告中再次将 CAPP 技术列为对美国经济繁荣和国家安全至关重要的 290 个专项技术之一。

1.2.2 CAPP 的基本组成

传统的 CAPP 系统通常包括 3 个基本组成部分:产品设计信息输入、工艺决策、产品工艺信息输出。

1. 产品设计信息输入

工艺过程设计所需要的原始信息是产品设计信息。对于机械加工工艺过程设计而言,这些原始信息是指产品零件的结构形状和技术要求。表示产品零件和技术要求的方法有多种,如常用的工程图纸和 CAD 系统中的零件模型。工艺人员进行工艺过程设计时,首先通过阅读工程图纸获取有关工艺设计所需的产品设计信息。对于 CAPP 系统,必须将这些有关的产品设计信息转换成系统所能“读”懂的信息。目前,CAPP 系统的信息输入方法主要有两种:一种是人机交互输入系统所需的产品设计信息;另一种是直接 from CAD 系统读取所需的产品设计信息。

2. 工艺决策

所谓工艺决策,是指根据产品设计信息,参照利用工艺经验和具体的生产环境条件,确定产品的工艺过程。总体来看,工艺决策要解决 3 种类型的问题:① 选择性问题,如加工方法选择、工装设备选择等;② 规划性问题,如工序安排与排序、工步安排与排序等;③ 计算性问题,如工序尺寸计算等。

对于计算性问题,可建立数学模型和算法加以解决;对于选择性问题和规划性问题,CAPP 系统所采用的基本工艺决策方法有以下两种。

(1) 修订式方法(Variant Approach):也称派生式方法,其基本思路是将相似零件归并成零件族,设计时检索出相应零件族的标准工艺规程,并根据设计对象的具体特征加以修订。通常人们把采用修订式方法的 CAPP 系统称为修订式 CAPP 系统。

(2) 生成式方法(Generative Approach):也称创成式方法,其基本思路是将人们设计工艺过程时的推理和决策方法转换成计算机可以处理的决策逻辑、算法,在使用时由计算机程序采用内部的决策逻辑和算法,依据制造资源信息,自动生成零件的工艺规程。通常,人们把采用生成式方法的 CAPP 系统称为生成式 CAPP 系统。

许多 CAPP 系统,往往综合使用修订式方法和生成式方法,所以也有人提出半创成式(Semi-Generative)方法的概念,并把这类系统称为半创成式 CAPP 系统。

20 世纪 80 年代年至 90 年代初期,CAPP 的研究与开发主要集中在采用专家系统(ES, Expert System)及人工智能(AI, Artificial Intelligence)技术。虽然在 CAPP 中所采用的人工智能技术多种多样,但基本是针对工艺决策问题,系统结构基本是按专家系统构造的,因此,这样的系统常被称为工艺决策专家系统或 CAPP 专家系统。国内外开发的许多 CAPP 专家系统,采用的工艺决策方法基本上都是生成式方法,但也有在修订式 CAPP 系统中采用专家系统技术的。

3. 产品工艺信息输出

通常人们要以工艺卡片形式表示产品工艺过程信息,如工艺过程卡、工序卡等,而且在一些卡片中,还包括工序简图。在 CAD/CAPP/CAM 集成系统中,CAPP 需要提供 CAM 数控编程所需的工艺参数文件;在集成环境下,CAPP 需要通过数据库存储产品工艺过程信息,以实现信息共享。

1.2.3 CAPP 的发展阶段

CAPP 研究开发始于 20 世纪 60 年代末,在 CAPP 发展史上具有里程碑意义的是设在美国的国际性组织 CAM-I 于 1976 年开发的 CAPP(CAM-I's Automated Process Planning)系统。国内最早开发的 CAPP 系统是同济大学的 TOJICAP 修订式系统和西北工业大学的 CAOS 生成式系统,其完成的时间都在 80 年代初。经过 30 多年的历程,国内外对 CAPP 技术已进行了大量的探讨与研究,无论在研究的深度上和广度上都不断取得进展。例如:

(1) 在设计对象上,所涉及的零件从回转体零件、箱体类零件、支架类零件到复杂的飞机结构件等。

(2) 在涉及的工艺范围上,从普通加工工艺到数控加工工艺;从机械加工工艺到装配工艺、钣金工艺、热处理工艺、表面处理工艺、特种工艺、数控测量机检测过程设计、试验工艺等。

(3) 在系统设计上,从单一的修订式或生成式模式,到应用专家系统等人工智能技术,并具有检索、修订、生成等多种决策功能的综合/智能化系统模式。

(4) 在系统应用上,从独立的计算机辅助技术“孤岛”,到满足集成系统环境需求的集成化系统。

(5) 在系统开发上,从单纯的学术性探索和技术驱动的原型系统开发,逐步走向以应用和效益驱动的实用化系统开发。

综观 CAPP 的发展,可分为 3 个发展阶段。

1. 基于自动化思想的修订/生成式 CAPP 系统

20 世纪 90 年代中期前,人们在传统的修订式 CAPP 系统、生成式 CAPP 系统以及 CAPP 专家系统的开发研究中,已取得了一定成果。但由于以工艺决策自动化为惟一目标,以期在工艺设计上代替工艺人员的劳动,因此,造成开发应用中的诸多问题,如系统开发周期长、费用高、难度大;工艺人员在使用中需交互输入大量的零件信息,麻烦而又容易出错,难以掌握系统的使用;系统功能和应用范围有限(局限性大),缺乏适应生产环境变化的灵活性和适用性,难以推广应用等。尽管国内外不断地在开发工具(包括专家系统开发工具)的开发、面向对象(O-O, Object-Oriented)技术的应用、CAD/CAPP 集成应用等方面进行探索,但始终未能有效地推进 CAPP 的实用化,因而未能给 CAPP 发展奠定坚实的实践基础。

2. 基于计算机辅助的实用化 CAPP 系统

20 世纪 90 年代以来,CAPP 的实用化问题引起研究者和企业技术工作者的重视,以实现工艺设计的计算机化为目标或强调 CAPP 应用中计算机的辅助作用的实用化 CAPP 系统成为新的主题。这些实用 CAPP 系统或是专用开发或是基于商品化系统的应用开发,大致可分为以下两大类:

(1) 基于文字、表格处理软件或二维 CAD 软件的工艺卡片填写系统。

由于以自动化为目标的修订/生成式 CAPP 应用存在问题,许多企业基于文字、表格处理

软件或二维 CAD 软件等通用软件开发工艺卡片填写系统。在这些系统中,很多只是基于简单模板的计算机输出工艺卡片,仅取得了有限的应用效果。但也有一些系统是企业工艺标准化、规范化的基础上花费大量人力、物力所开发出来的,且取得了很好的应用效果。

1997 年以来,国内推出了几个商品化 CAPP 系统,其中许多是基于 AutoCAD 和其他一些图形系统的工艺卡片填写工具系统。这类系统片面强调工艺设计的“所见即所得”,完全以文档为核心,忽视企业信息化中产品工艺数据的重要性,存在难以保证产品工艺数据准确性、一致性和难以实现工艺信息集成等致命问题。这类系统基本用文件形式进行管理,有些虽然用数据库进行管理,但事实上是基于文件封装概念的管理,产品工艺数据的准确性、一致性和工艺信息集成等问题仍无法解决。

(2) 基于结构化数据的 CAPP 系统。

该系统从信息系统开发角度,分析产品工艺文件中所涉及的数据/信息,建立结构化的数据模型,并以模型驱动进行工艺设计。一些企业基于数据库开发的专用 CAPP 系统基本属于该类系统,大都采用通用数据库管理系统进行开发。

3. 面向企业信息化的制造工艺信息系统

面向企业信息化的制造工艺信息系统,代表了现代 CAPP 系统研究开发方向,将在 1.3 节中讨论。

1.3 现代 CAPP 与发展

1.3.1 现代 CAPP 概念

传统 CAPP 系统的研究与开发,无论是修订式系统、生成式系统,还是 CAPP 专家系统,都具有以下两大特征。

(1) 以零组件加工工艺编制为主体对象进行系统的研究与开发,因此,从 CAPP 系统结构上一般有回转体零件 CAPP 系统、箱体类零件 CAPP 系统、支架类零件 CAPP 系统、机床部件装配 CAPP 系统等区分,而每一种系统只适用于少数几种零部件。如前所述,在一个制造企业中,一个最终产品在整个生命周期内的工艺设计通常涉及产品装配工艺、机械加工工艺、钣金冲压工艺、焊接工艺、热处理工艺、表面处理工艺、毛坯制造工艺、返修处理工艺等各类工艺设计。在一般产品的机械加工工艺中通常涉及回转体类零件、箱体类零件、支架类零件等各种零件类型。显然,若采用以零组件为主体对象的 CAPP 应用模式和系统结构,CAPP 在企业的应用只能是局部的应用。

(2) 片面追求工艺决策的自动化,忽视系统的应用,特别是 20 世纪 80 年代中后期,大都认为生成式 CAPP 系统是 CAPP 的主要发展方向。一方面,在信息处理系统中,决策的自动化程度越高,输入信息就必须越详尽。而受 CAD/CAM 技术发展的限制,CAPP 系统中工艺自动决策所需的零件信息,是无法自动获取的,而且从技术发展方面来看,在相当长时期内这也是难以完全解决的问题。因此,对于传统的 CAPP 系统,信息输入问题成为系统难以应用的主要原因。另一方面,工艺决策问题是典型的复杂规划问题,决策所需的信息量大,且与具体环境关系密切。因此,传统的 CAPP 系统适应性差,难以满足应用环境变化带来的不同需求。

现代 CAPP 则以实用化为基础,以企业全面集成应用为目标,综合考虑包括工艺决策自动化等问题在内的各种工艺技术问题的研究与开发。现代 CAPP 的研究与开发呈现出如下 3 大特征。

1. CAPP 系统采用面向工程应用的、基于交互式的体系结构

CAD, CAM 等计算机辅助系统的研究与开发,无不是以坚实的工程实践为基础,以工程应用中所提出的技术需求为驱动力。然而长期受 CAPP 发展目标片面性的限制,尽管各种新概念、新方法、新技术在 CAPP 研究与开发中不断获得应用,但却得不到实际生产环境的验证,使 CAPP 的发展缺乏生产实践的推动力,从而导致 CAPP 的整体发展缺乏坚实的工程实践基础。20 世纪 90 年代以后,传统的以自动化为主要目标的 CAPP 研究开发状况已经使人们对 CAPP 研究与开发产生怀疑。1995 年 Dimitris Kiritsis 在回顾了 CAPP 专家系统的发展状况后,对一个有效益的 CAPP 系统必须高度自动化这一目标感到怀疑。1996 年 A. M. Luscombe 和 D. J. Toncich 在针对 CNC 机床进行的 CAPP 研究中,强调“辅助(Aided)”而不是“自动化(Automatic)”。1997 年 G. Van Zeir 提出了交互式工艺设计(Interactive Process Planning)的概念,并开发了基于交互式的 CAPP 原型系统。1995 年 Ali K. Kamrani 等认为难以开发出能够代替熟练工艺人员的自动化 CAPP 系统,已有的 CAPP 系统不能成为企业实用的解决方案。90 年代中后期,国内开始了以交互式 CAPP 系统的研究、开发与应用。实践证明,只有以交互式为基础,才能真正理顺先进性与实用性、普及与提高等各方面的关系,满足企业对 CAPP 广泛应用的需求。

从系统体系结构来看,现代 CAPP 以交互式为基础的发展趋势,看上去好像是回到 CAPP 系统发展的初级阶段,但实际上并非如此。现代 CAPP 系统在开发应用过程中,其目标与早期的交互式系统以及后来的其他各种传统 CAPP 系统有很大的不同,这类符合现代制造系统需求的 CAPP 系统在国内越来越多的企业得到应用,在短短几年内已取得相当显著的效果。

2. CAPP 的应用从以零组件为主体的局部应用走向以整个产品为对象的全面应用

如果继续采用以零组件为主体对象的集成与应用模式,CAPP 在企业的应用只能是局部的应用,CAPP 的集成也只能是局部的集成,不可能实现企业产品工艺设计与管理的全面信息化,必将造成企业工艺管理上的不一致与不协调,从而难以真正实现 PDM, ERP 等相关系统对产品工艺信息的全面集成共享,并将在根本上阻碍 CAPP 的应用和发展。在企业为了增强市场竞争力和快速响应市场的变化而采用多种新技术的环境下,推广并普及计算机辅助技术,改变传统的工艺设计手段,采用以计算机为工具的现代化工艺设计和管理方式是企业上水平、上台阶的关键之一,也是企业发展的必由之路。当前国内制造企业正在大力推行信息化工程,许多企业在成功实施 CAD 之后正在积极拓展 CAPP 的应用范围,即从以零组件为主体对象的局部应用走向以整个产品为对象的全面应用,逐步建立企业及制造工艺信息系统,以便从根本上解决企业中关键的工艺信息共享问题。

3. CAPP 的应用开发以平台/工具类 CAPP 软件为基础

由于工艺过程设计与具体的生产环境、生产对象及生产技术水平密切相关,因此,难以开发通用的 CAPP 系统。而专用的 CAPP 系统开发模式,将造成大量的低水平重复,浪费不少的人力、财力。因此,如何把工艺过程设计中一般性的方法内容和特殊性的要求相结合,建立易于扩充的工艺信息系统结构,发展符合各类制造企业实际需求并可大力推广的 CAPP 应用支撑软件(平台/工具类 CAPP 系统),成为 CAPP 研究与开发的重要方向。

20 世纪 90 年代以前,国内外曾不断地在 CAPP 开发工具的开发及面向对象技术的应用上进行探索,但受限于以自动化为目标和以零组件为主体对象,CAPP 的工具化、平台化问题并未得到解决。在以交互式为基础的 CAPP 系统体系结构指导下,短短几年,CAPP 的工具化、平台化就得到了很大的发展。目前,国内外已有相应的商品化软件推出。从总体来看,以交互式设计和数据化、模型化、集成化为基础,并综合应用数据库技术、网络技术等是这些商品化 CAPP 软件的共同特点。

基于 CAPP 平台/工具类软件,用户可以根据具体的功能需求、生产环境、生产对象特点,方便地开发出实用化的专用 CAPP 系统,而无须从头开发。

针对当前国内 CAPP 实际应用情况,CAPP 平台/工具类软件至少应具有 3 大基本功能:工艺卡片格式定义、工艺知识库的建立与维护、工艺设计与管理功能。

1.3.2 现代 CAPP 与工艺知识库

工艺过程设计是典型的复杂问题,所涉及的范围十分广泛,信息量和知识量相当庞大。在传统的 CAPP 专家系统中,知识库通常是狭义的知识库,即知识库中主要存储推理规则等规则性知识。这些知识库主要是面向系统自动决策,因此,知识的数量同实际需要相比,只是很少的一部分,且缺少足够的事实性知识,局限性很大。

在现代 CAPP 系统中,知识库的作用首先是为工艺人员的决策提供详尽的帮助。这可分为两个层次。

- (1) 代替手工查阅工艺手册及相关资料;
- (2) 代替手工查阅已设计好的工艺实例。

进一步地,知识库还可提供相关自动工艺决策功能,辅助工艺人员提高工作效率,帮助具有较少经验的工艺人员能够设计出具有专家或准专家水平的产品工艺。

在此意义上的知识库是广义的知识库,它包含了工艺数据库、典型工艺库、工艺规则库等。

1.3.3 现代 CAPP 系统结构

现代 CAPP 系统结构是以交互式为基础,以知识库为核心,并采用检索、修订、生成等多工艺决策混合技术和多种人工智能技术的基于知识的交互式 CAPP 系统框架,其结构如图 1.2 所示。图中,产品工艺数据库包括 1.3.2 中所述的工艺数据库和典型工艺库,而 CAPP 知识库主要存放工艺决策规则等。

1.3.4 制造工艺信息系统

从企业工艺管理来看,各类工艺数据统计汇总(包括工装设备、材料、工艺关键件、外协外购件、工时定额、辅助用料、关键工序、MBOM 等),以及各级各类工艺文件的版本管理、更改与归档管理占有十分重要的地位和大部分工作量。其中,工艺数据的汇总、抄写等重复性劳动往往占全部工作量的 50%~60%,工艺数据的汇总统计等重复性劳动工作,不仅工作效率低,而且很难保证工艺文件的准确性、一致性。

在企业为了增强市场竞争力和快速响应市场的变化而采用信息化技术的环境下,仅仅实现工艺规程编制的计算机化难以满足企业信息化的需求。除了有方便的计算机辅助工艺规程编制功能外,更要包含对企业制造工艺信息及工艺工作流程进行快速有效的管理,实现产品工

艺设计及管理一体化,建立企业完整的制造工艺信息系统。

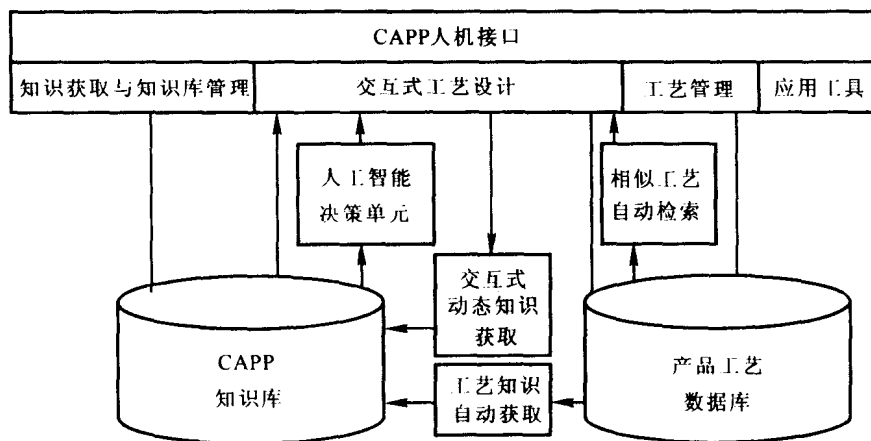


图 1.2 基于知识的交互式 CAPP 系统结构

一个企业中,完整的制造工艺信息系统以各专业工艺的计算机辅助设计为基础,实现基础工艺信息管理、面向制造的产品结构管理、材料定额编制、工艺分工与工艺设计流程管理、产品工艺数据综合管理等工艺管理功能以及与 CAD/CAM,PDM,ERP 的集成和资源共享。制造工艺信息系统的结构如图 1.3 所示。

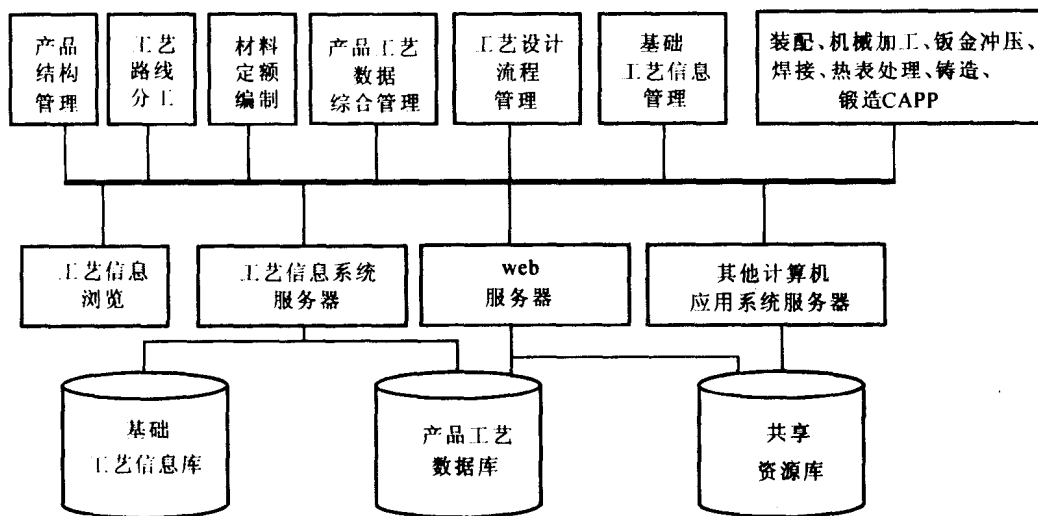


图 1.3 制造工艺信息系统结构

1.3.5 现代 CAPP 的应用效益与发展

企业制造工艺信息系统的开发与应用,将从下述 4 个方面解决企业工艺设计与管理中所