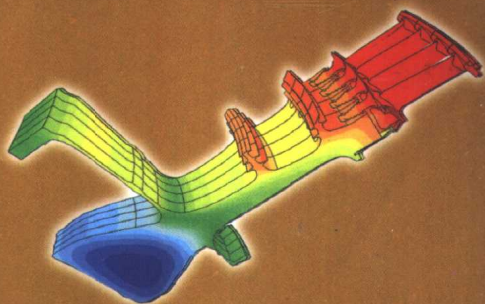


王细洋 著



计算机辅助

零件工艺过程设计原理



航空工业出版社

计算机辅助零件工艺过程 设计原理

王细洋 著

航空工业出版社

内 容 提 要

本书全面地介绍了计算机辅助零件工艺过程设计的基本原理和软件设计方法。内容包括:工艺过程设计基础、CAPP 软件工程、工艺数据库、零件工艺信息描述、工艺自动设计方法、面向产品集成的 CAPP、敏捷制造环境下的 CAPP 技术、典型系统分析。

本书可作为高等院校机械设计制造及自动化专业本科生和研究生的教材,也可供机械制造企业中的工艺设计人员、CAPP 软件开发人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助零件工艺过程设计原理/王细洋著. —北京:航空工业出版社,2003.12

ISBN 7-80183-305-8

I. 计... II. 王... III. 机械零件—生产工艺—计算机辅助设计 IV. TH13—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 120527 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

南昌航空工业学院印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2004 年 1 月第 1 版

2004 年 1 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:14

字数:350 千字

印数:1—2000

定价:22.6 元

前 言

机械零件制造工艺过程设计是从产品设计向产品制造过渡的桥梁和纽带,是制造企业生产准备工作的首要步骤。计算机辅助零件工艺过程设计(CAPP)是制造企业致力于生产现代化所必须采用的环节。它不仅仅是工艺设计自动化的重要手段,而且是现代集成制造系统中联系 CAD 和 CAM 的桥梁和纽带。企业生产管理和计划调度等部门也必须依赖 CAPP 系统的输出信息。可以认为,工艺过程设计是企业各部门产品信息的交汇点,是生产现代化的必由之路。

工艺自动设计理论的进展,商品化通用 CAPP 系统的出现和发展,以及诸如敏捷制造、分散网络化制造等先进制造生产模式的产生,使得计算机辅助工艺过程设计出现了若干新的要求和内容。一方面,过去的工艺自动设计理论与方法已被生产实际证明为较难实现,另一方面,通用 CAPP 系统在工艺自动决策方面做得并不够,难以适应制造模式和制造技术的发展要求。

鉴于此,编者根据从事该领域多项研究课题的经验,以及为本科生和研究生讲授多轮计算机辅助工艺过程设计原理课程的体会,在参考大量资料文献的基础上,整理编写成本书。书中提出的较多方法和观点是编者的个人见解。

本书第一章分析了手工编制工艺规程的缺陷,讨论了计算机辅助工艺过程设计的意义、发展历史和现状,初步探讨了 CAPP 系统的实现方法。第二章介绍了实现 CAPP 系统的一些基础理论,包括工艺设计理论、工艺标准和成组技术。第三章从软件工程观点对 CAPP 进行了系统分析。第四章讨论了工艺数据库的实现方法以及制造资源建模理论。第五、六章讨论了工艺自动设计理论。第七章介绍了现代制造企业和现代制造模式下的 CAPP 技术。第八章评述了国内典型的 CAPP 系统。

研究生张晓荣参与了第八章的编写工作。编写过程中,南昌航空工业学院机械工程系的许多老师和学生提出了不少宝贵的意见,在此深表谢忱!

哈尔滨工业大学王新荣教授认真审阅了全稿,并提出了许多宝贵意见和建议,在此谨致谢意。

由于编者水平有限,本书缺点和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2003 年 11 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 发展 CAPP 的意义	1
一、手工编制工艺规程的缺陷	1
二、发展 CAPP 的意义	2
第二节 CAPP 系统特点及发展概况	3
一、企业对 CAPP 系统提出的要求	3
二、CAPP 系统设计特点	4
三、CAPP 技术现状与发展	4
四、CAPP 系统的实现方式	6
第三节 现代集成制造系统	7
一、CIMS 的概念与发展	7
二、制造业信息化	9
三、CIMS 组成	9
四、CAPP 在 CIMS 中的地位和作用	10
第二章 CAPP 系统设计基础	12
第一节 机械加工工艺过程设计基本原理	12
一、基本概念	12
二、制定机械加工工艺规程的步骤和指导思想	12
三、工艺路线设计	13
四、机床工序设计	17
第二节 工艺文件编制规范	19
一、工艺文件完整性	19
二、工艺规程	24
第三节 数控加工工艺	28
一、数控加工工艺特点	28
二、数控加工工艺编制要点	29
第四节 成组技术	32
一、成组技术原理	32
二、零件的分类编码系统	32
三、零件的分类成组方法	41
四、成组工艺过程的设计	46
第三章 CAPP 软件工程	51
第一节 软件工程概述	51
一、软件工程定义、目标与原则	51

二、软件工程过程	53
第二节 CAPP 系统需求分析	54
一、软件需求分析	54
二、CAPP 软件系统的需求分析	56
第三节 CAPP 系统总体设计	58
一、CAPP 系统的实现方法	58
二、CAPP 系统的软硬件环境	60
第四节 CAPP 系统测试	60
一、软件测试的原则	61
二、软件测试的方法	61
三、CAPP 软件测试	62
第五节 CAPP 系统的面向对象分析法	63
一、面向对象的分析方法	63
二、CAPP 系统的面向对象分析	65
三、CAPP 系统结构	71
第四章 工艺数据库	72
第一节 数据库技术	72
一、基本概念	72
二、数据模型	73
第二节 工艺数据库	76
一、工艺数据内容与特点	76
二、工艺数据模型	77
三、工艺资源管理器	82
第三节 工艺规程库	84
一、工艺规程库的设计步骤	84
二、工艺规程的描述与存储	84
三、工艺卡片制作方式	87
第四节 制造资源建模	87
一、制造资源信息分类	87
二、以企业为对象的制造资源建模	88
三、以产品为对象的制造资源建模	90
四、简例	91
第五章 零件信息描述	93
第一节 概述	93
第二节 零件表面元素描述法	94
第三节 方位特征描述法	102
一、特征概念	102
二、方位特征描述法	105
第四节 CAD/CAPP 系统集成	110

一、STEP 简介	111
二、STEP 中性文件概要	112
三、集成方法	116
第五节 零件信息输入方法	118
一、交互式输入系统	118
二、零件信息输入模板	118
第六章 工艺自动生成技术	119
第一节 概述	119
一、自动生成工艺的困难	119
二、工艺自动生成系统的设计方法	120
第二节 判定树与判定表	121
一、判定表	121
二、判定树	122
三、判定表的完整性和无歧义性	123
第三节 CAPP 专家系统	124
一、专家系统技术	124
二、CAPP 专家系统	129
第四节 工艺知识表示方法	131
一、知识及其分类	131
二、知识表示	132
三、工艺知识表示方法	137
第五节 工艺知识的获取与维护	141
一、工艺知识获取	141
二、工艺知识库维护	143
第六节 工艺路线的自动决策	146
一、工艺路线决策的问题与对策	146
二、定位基准决策	148
三、夹紧方案设计	151
四、工艺路线排序的主干约束匹配法	152
第七节 利用基因算法对工艺路线排序	154
一、基因算法概述	154
二、工艺路线排序的问题描述	157
三、适用度函数的确定	158
四、GA 方法应用于工艺路线排序的过程	161
五、示例	163
六、GA 方法应用于工艺路线排序的特点总结	170
第八节 机床工序的设计	170
一、工序组合	170
二、工序图绘制	171

三、工序尺寸计算	172
四、工时定额计算	176
五、机床和工艺装备选择	176
第七章 CAPP 技术的发展	177
第一节 面向敏捷制造的 CAPP 系统	177
一、敏捷制造概念	177
二、面向敏捷制造的产品工艺设计特征	179
三、基于 Internet 的工艺设计	180
四、面向敏捷制造的产品可制造性评价	183
五、适应性工艺	188
六、概略式工艺规划	190
第二节 面向产品的 CAPP 系统	191
一、产品数据管理的概念	191
二、面向产品的 CAPP 技术	194
第八章 典型系统分析	198
第一节 开目 CAPP	198
一、开目 CAPP 系统的特点及功能	198
二、开目 CAPP 系统的功能模块	199
三、工艺编制流程	200
四、开目 CAPP 客户化的基本操作	200
五、工艺规程设计步骤	207
六、基于产品结构树的工艺设计	208
第二节 CAXA 工艺图表	209
一、CAXA 工艺图表的特点	209
二、工艺编制流程	210
参考文献	214

第一章 绪 论

现代机械制造业面临的是产品结构复杂、品种变化、批量小、生产周期短,并且要求低成本和高质量的生产环境。面对激烈的市场竞争,制造企业需要采用先进的制造技术和生产模式,以最短的时间和最低的成本生产出高质量的产品,使自己立于不败之地。

机械零件制造工艺过程设计(有时又称工艺设计)的任务是编排零件的机械加工工艺规程,它是从产品设计向产品制造过渡的桥梁和纽带,是制造企业生产准备工作的首要步骤。工艺设计是优化配置工艺资源,合理编排工艺过程的一门艺术。工艺规程是其他一切生产准备工作的依据和原始资料,是产品制造的法规性文件。

计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)是以计算机为工具,人机交互地或自动地确定产品制造工艺过程的一门软件技术。目的是解决传统的手工编制工艺规程的缺陷,以适应现代机械制造系统的发展需要。

第一节 发展 CAPP 的意义

一、手工编制工艺规程的缺陷

机械产品制造工艺包括机械零件铸造工艺、锻压工艺、焊接工艺、热处理工艺、机械制造工艺和产品装配工艺等。本书所讨论的工艺规程主要是指机械零件制造工艺规程,即金属切削加工工艺规程,或称为机械加工工艺规程。

长期以来,机械加工工艺规程一直是由工艺人员根据他们多年从事相关生产实践积累起来的经验,以手工方式进行设计的。这种手工编制零件工艺规程方法存在着很多缺陷和不足之处,主要表现在:

1. 需要经验丰富并具有扎实理论基础的制造工艺师。

为了使编制出的零件工艺规程能在满足质量的前提下,在生产率和生产成本两方面得到综合平衡,工艺师必须熟知本企业各种设备的使用情况、企业内各种生产工艺方法、各种工艺规范、各车间工人的技术状况,并与生产有关各方面保持良好的协作关系。最主要的是,工艺师必须透彻理解零件工艺过程设计的各种原则和方法,具有丰富的生产经验,并能在生产实际中灵活应用。

能胜任本行业工作的制造工艺师一般需要有十年以上的生产经历,并在大学中得到系统正规的培训。无论是在我国,还是在西方发达国家,这样的专业人员在生产实际中是很缺乏的。许多制造企业,将刚刚走上工作岗位的本科毕业生推上生产第一线。由于缺乏经验,这些人编制的零件工艺规程,或者是不能保证零件的制造质量,或者是效率低下、生产成本低,难以被生产车间所接受。

2. 工艺规程一致性差,设计质量不稳定。

由于工艺员考虑问题的侧重点不同,工作经历各异,思维习惯也有所差异,因此,对同一零件编制出的工艺规程是各不相同的。即使是同一个工艺编制者,在不同时期对同一零件编制

出的工艺也是有所差异的。

机械制造工艺学是一门经验性很强的学科,在缺乏严格、统一的工艺原则的情况下,很难避免由于人的主观因素而造成的同类零件工艺的不必要的多样性。具体而言,机械零件具有多个加工表面,每个表面可以通过不同加工方法来保证,加工工序组合顺序的不同又可以导致整个零件加工工艺规程的差异。

工艺规程一致性差所带来的后果是,原应具有相似工艺过程的零件,却人为地设计出不同的工艺过程,在不同种类和数量的机床上加工,使零件制造过程产生了不必要的多样化。这对生产的组织管理、降低产品生产成本、提高生产效率和保证加工质量是相当不利的。

3. 设计效率低下,需要大量的重复性劳动。

一种新产品问世,要经历产品设计—生产准备—加工生产等三个大阶段。生产准备包括工艺过程设计、专用夹具和刀具设计、专用机器及其他工艺装备设计等。据统计,工艺过程设计所占的比重,约为整个生产准备时间的 40%。

编制零件工艺规程,常常需要查阅大量的工艺手册,参考许多工艺文件,并填制很多表格,绘制大量的加工简图。此外还需要进行一些烦琐的尺寸换算、余量校核。这些工作劳动量大、周期长,如果纯粹用手工进行则很难满足生产自动化的要求。并且,繁琐而重复的简单劳动也束缚了工艺人员的创造性,妨碍他们从事开拓型的工作。

4. 工艺过程很难实现优化,很难真正起到引导生产的作用。

工艺过程的优化是指在产品质量、生产成本和生产效率三方面获得最佳的平衡,它包括整个工艺过程的优化和局部机床工序的优化。在没有引入计算机之前,工艺过程的优化是很难实现的,主要依据工艺人员的模糊经验以及主观的直感。

工艺设计主要是在分析和处理大量信息的基础上进行选择(加工方法、机床、刀具、加工顺序等)、计算(加工余量、工序尺寸、公差、切削参数、时间定额等)、绘图(工序图)以及填写工艺文件等工作,而计算机能有效地管理大量的数据,进行快速、准确的计算,进行各种形式的比较和选择,能自动绘图和编制表格文件等。这些功能恰恰能适应工艺优化设计的需要。CAPP 不仅能实现工艺设计自动化,还能把生产实践中行之有效的若干工艺设计原则及方法转换成工艺设计决策模型,并建立科学的决策逻辑,从而编制出最优的制造方案。

5. 不能适应现代集成制造系统的需求。

现代集成制造系统(CIMS - Contemporary Integrated Manufacturing Systems)要求工艺设计能够实现自动化,也就是能够自动地将产品设计数据转化为制造数据。人们已越来越认识到,工艺规程设计难以实现自动化,是现代集成制造系统中实现 CAD、CAM 集成的瓶颈因素。CAPP 是实现现代集成制造系统的关键性环节。产品数据管理系统也需要计算机辅助工艺过程设计提供的大量数据。

二、发展 CAPP 的意义

CAPP 技术将能克服手工编制工艺规程的上述缺陷,并将带来以下几个方面的好处。

由于采用了技术经济分析和优化手段,因而提高了设计质量和一致性。大幅度缩短了设计周期,对修改设计、变更计划能快速响应。编制的工艺规程更加详尽和完善。减少了产生计算错误的可能性。提高了工艺过程典型化程度和工装利用率。减少了编写工艺文件的工作量。工艺人员的经验可以得到积累和继承。

计算机辅助零件工艺过程设计不仅仅是工艺设计自动化的重要手段,而且在现代集成制

造系统中发挥重要的作用。有关这方面的内容,详见后述。

需要指出的是,CAPP在泛CAD领域中是研究和较早发展的软件技术之一,但与同类的CAD/CAM软件技术相比,CAPP软件的发展却大大地落后。在许多制造企业,加工部门早已用上了CAM软件,产品的设计部门早已甩掉了图板,甚至用上了三维的设计和分析软件,而工艺设计部门却迟迟扔不了钢笔和工艺手册,仍然重复着几十年来的工作习惯和方法。个别企业为了追求计算机应用的普及,使用一些通用的办公软件,或者二维CAD软件来代替CAPP工作。20世纪90年代中后期,制造业的企业信息集成成为大家关注的热门话题,在一些企业实施了企业级的PDM或MRP II甚至ERP软件后,才发现CAPP成为阻碍企业信息化建设的瓶颈。

第二节 CAPP系统特点及发展概况

一、企业对CAPP系统提出的要求

现代制造企业对CAPP系统提出了如下基本要求:

简单方便的零件工艺信息描述方法,自动接收并识别零件原始输入信息;检索标准工艺文件;选择加工方法;安排工艺路线;选择机床和工装设备;选择切削用量;确定工序尺寸;计算工时定额;绘制工序简图。一些CAPP系统将数控自动编程和加工过程仿真也作为其中的一个功能模块。

上述功能全部由计算机自动实现,在目前是比较困难的,在大多数情况下,只要实现其中的部分功能模块就可以了。

为了适应现代集成制造的需要,制造企业对CAPP的功能需求往往不限于上述方面,还要涉及到以下方面:

1. 基于产品结构。在企业中,一切生产活动都是围绕产品而展开的,而不是仅仅围绕某个零件。工艺规程作为产品的属性之一,应在工艺设计计划指导下,围绕产品结构(基于装配关系的产品零/部件明细表)展开。基于产品结构进行工艺设计,可以直观、方便、快捷的查找和管理工艺文件。

2. 工艺管理功能。在工艺工作中,工艺管理是非常重要的一部分,它包括产品级的工艺设计、工艺汇总、材料定额汇总、工装夹具设计等。企业往往希望将CAPP纳入产品数据管理(PDM)的一部分,输出诸如工艺汇总卡片、工艺设计目录、工夹具申请单等文件。

3. 资源的利用和管理。在工艺设计的过程中,需要用到企业资源,所谓资源就是工艺设计需要支配的工艺资源数据(设备、工装物料和人力等)、应用工艺技术支持数据(工艺规范、国家/企业技术标准)、参考工艺技术基础数据(工艺样板、工艺档案)。各个企业的资源是不同的,并且使用资源的方式也是不同的。CAPP系统应提供广泛而灵活的资源内容和资源使用方式,对资源进行有效的管理与维护。

4. 流程管理。工艺设计要经过设计、审核、批准、会签等工作流程。CAPP系统应能实现这种工艺工作中的流程作业,并实现对定型产品的工艺进行分类归档,以及归档后的有效利用。

5. 标准工艺和工艺数据库。CAPP系统中应具有标准或典型工艺的存储、查询和利用功能。在工艺设计中根据相似零件具有相似工艺的原理,将标准工艺规程作为进行类似工艺设

计的参考或模板。系统还应具有包含工厂设备、工艺参数等数据的工艺数据库。

6. 集成化的要求。企业实施 CAPP 技术的目的并不是“放下钢笔,甩掉手册”,而是为企业的信息化建设准备准确的数据。计算机集成制造是现代制造业的发展趋势,作为集成系统中的一个单元技术,CAPP 系统实现集成化是必然的。在并行工程思想的指导下实现 CAD/CAPP/CAM 的全面集成,进一步发挥 CAPP 在整个生产活动中的信息中枢和功能调节作用。这包括:与产品设计实现双向的信息交换与传送;与生产计划调度系统实现有效集成;与质量控制系统建立内在联系等。

就使用而言,CAPP 软件系统应满足:使用简便,软件风格规范、人机界面友好,针对性强,具有二次开发功能等。

二、CAPP 系统设计特点

CAPP 的研究在机械制造领域获得广泛重视,也取得了较大进展。但毋庸置疑的是,真正意义上的通用 CAPP 系统尚未出现,工厂能够实际应用,或至少能初步应用的系统仍然较少。成功的 CAPP 系统的前景仍然比较模糊,这与它在现代制造领域的重要作用很不相称。之所以存在这些问题,这与 CAPP 系统的设计特点是分不开的。

1. 工艺设计具有较强的领域针对性,难以构建通用的 CAPP 系统。

机械制造业的范围很广,不同的工厂,甚至同一工厂的不同车间,由于加工对象、加工设备、生产批量、工艺方法和工艺习惯都不一样,对该工厂适用的工艺规程,不一定适合另一工厂。通用的工艺决策逻辑难以实现。工艺设计的这种特点,使得难以像 CAD 系统那样,能够研发出通用的、能普遍为制造企业所接受的 CAPP 系统。CAPP 系统的开发,应针对特定制造企业,具有项目性质。目前,市场上商品化的所谓通用 CAPP 系统,实际上是一种工艺图表辅助填充工具,不能称之为真正的 CAPP 系统。

一般认为,专家系统技术将是实现通用 CAPP 系统的较好方法,它将领域知识和决策推理机独立。但在知识表达和通用决策推理机的实现方面还存在许多有待解决的问题。

2. CAPP 的自动化决策实现困难。

工艺人员的知识大多是模糊的经验知识,不具备精确的定义和严格的数学模型,难以纳入程序开发中。工艺设计缺乏坚实的科学基础和优良的工艺设计自动化理论。这使得难以实现工艺规程的自动化决策,难以构建真正意义上的工艺自动化设计系统。只有针对具体的零件对象和制造环境,才有可能实现局部的工艺决策自动化。

3. CAPP 系统必须基于二维 CAD 系统平台。

工艺设计实际上是填写大量的规范化的工艺表格,例如工艺路线卡、机床工序卡,并常常需要绘制大量的工艺简图。设计时还需要将零件图作为设计参考。这一切使得 CAPP 系统的开发必须基于二维 CAD 系统平台,并将 CAD 内核与工艺设计融为一体。理想的模式是由具有自主知识产权的 CAD 软件商来开发 CAPP 系统,例如目前的开目 CAPP、CAXA 工艺图表及 CAPPFramework。由于具有自主知识产权的 CAPP 开发者毕竟是少数,因此大多数开发者只能将商品化 CAD 系统(例如 AutoCAD)作为平台,借用其表面上的二次开发功能或图形功能来实现。存在的问题是开发困难,使用不方便,依附性强,软件成本高。

4. CAPP 系统涉及大量的选择性决策逻辑和数据库操作,纯计算模型较少。

这使得它与 CAD 系统的开发不同,但也与纯粹的信息管理系统不同。开发 CAPP 系统的技术起点要求低,技术积累需求少。领域型的 CAPP 系统甚至可由工厂工艺人员自主开发。

三、CAPP 技术现状与发展

CAPP 系统的研究和发展经历了较为漫长曲折的过程。一般认为, Niebel 于 1965 年首次探讨用计算机来辅助工艺设计, 当时只是尝试用数据库技术检索和查询一些工艺数据及已有工艺。1976 年研究出第一个派生式 CAPP 系统 (CAM - I 的 CAM - I'S Automated Process Planning 系统)。CAPP 系统的实现方法经历了派生式、创成式、半创成式以及采用人工智能 (专家系统) 的阶段。如图 1-1 所示, 20 世纪 60 年代以前手工编制工艺规程, 70 年代用数据库技术存储和检索格式化的工艺规程, 80 年代采用专家

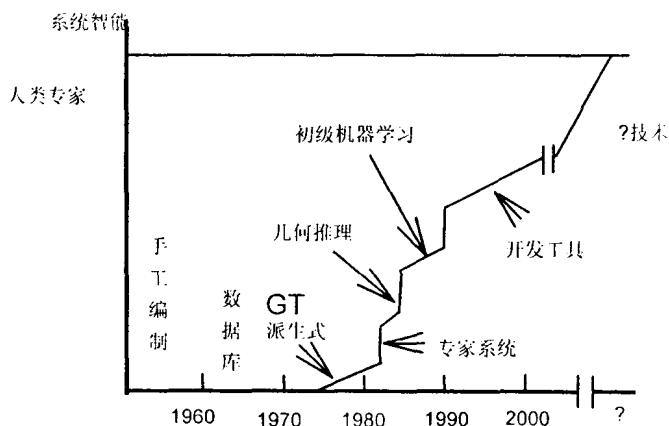


图 1-1 CAPP 系统发展历程

系统技术, 并出现几何推理 (特征识别) 技术, 90 年代开始初级机器学习, 并朝专家系统开发工具的方向发展。国内 CAPP 研究的深入程度、覆盖面和发展水平如果保留地说还没有超过国外, 则至少也已处于并驾齐驱的阶段。

同时一些比较敏感的专家在 90 年代中后期重新衡量了 CAPP 软件在企业内应发挥的作用, 逐步抛弃了传统的 CAPP 的研究方法。开发重点从注重工艺过程的自动生成, 转变到为工艺人员提供软件工具, 在制造业信息化的大环境下为企业提供服务。商品化 CAPP 产品的研发自 90 年代末开始在中国重新活跃起来, CAPP 在企业的应用得到了迅速的发展。

各种商品化的 CAPP (如开目 CAPP、CAXA 工艺图表、CAPPFramework、PRO/Process for MFG 等) 开始走向市场。这些商品化的 CAPP 系统开发方法和侧重点各不相同, 有的 CAPP 系统在二维 CAD 图形平台的基础上开发, 然后将生成的工艺数据传送到其他的数据库系统中; 有的 CAPP 系统在某种特定的数据库系统上生成工艺数据, 然后在 CAD 平台上生成工艺卡片。甚至也有 CAPP 系统是纯粹的工艺卡片填写工具, 其生成的工艺卡片是某种特定的文件。虽然存在若干问题, 但这些 CAPP 软件能为工艺人员提供一定的服务, 能满足制造企业部分需求。

预计, CAPP 系统将会朝以下几个方向发展:

1. 集成化、网络化。

不仅需要考虑到与 CAD、CAM 的集成, 还需要考虑到与 ERP、PDM、CAQ 等系统的集成。不仅将 CAPP 系统纳入企业的设计自动化系统中, 还需纳入企业管理信息系统中。

其中, CAD/CAPP/CAM 集成一直是研究的热点和难点。集成的困难之处在于 CAD、CAPP 和 CAM 各自的研究侧重点不同: CAD 关心的是几何形状信息, CAPP 关心的是加工信息, CAM 既关心零件几何形状信息又关心加工信息。由于历史的原因, 三者是独立发展的。CAD 常以线框、面模型或者实体模型来描述零件, 提供的零件信息仅仅是几何数据和图形拓扑数据, 而 CAPP 要求以加工表面来描述零件, CAD 实际输出与 CAPP 输入需求的这种不协调性是集成的主要障碍。集成的基本任务就是实现各独立系统间信息的顺畅传递, 因此数据交换双方必须遵循统一的产品数据模型和数据交换机制。目前数据交换标准在向 STEP (Standard for the Exchange of Product model data) 靠拢。支持 STEP 标准的特征建模和特征造型是 CAD 的重要发展

方向之一。

支持网络功能,使分布在企业不同部门的设计人员能共享功能和信息。更进一步借助于互联网,不同地域的企业也可以分享和交流工艺信息。

2. 系统通用化与决策自动化的统一。

为了能使 CAPP 系统中更好的推广应用,CAPP 系统应提供更好的开发模式。领域型 CAPP 系统虽然针对性强,但通用化程度低,难以适应企业的产品类型、工艺方法和制造环境的发展和变化。而目前商品化的 CAPP 系统由于强调了通用性,则过分牺牲了决策的自动化,不能适应发展的需求。

以基于数据库的交互式设计方法为基础,采用多元化决策策略,将是解决问题的较好方法。

3. 支持以敏捷制造为代表的先进制造模式。

敏捷制造是网络化时代,为了实现基于时间的市场竞争策略而提出的一种制造模式和哲理。它将柔性的先进制造技术、熟练掌握生产技能的有知识的劳动力,以及促进企业内部和企业之间的灵活管理,三者集成在一起,对千变万化的市场机遇作出快速响应,最大限度地满足顾客的需求。它应允许企业管理者根据市场的要求对产品的生产速度进行调整,并不需要额外的投资。敏捷制造包含了许多新思想和新方法,例如,可重构的和不断改变的生产系统、以信息为主和与批量无关的制造系统、向基层下放权力和简化领导层次等。

传统 CAPP 系统一般针对特定的零件类、生产批量和制造环境,并以某一类工艺师的经验为基础。输出的工艺规程一般是单一的和固定的,不能适应变化了的情况。而敏捷制造的核心是基于网络技术的快速重组制造系统,零件类型、制造环境乃至批量和工艺习惯都是变化的。敏捷制造概念中的工艺设计理论与方法必须适应这些变化。

四、CAPP 系统的实现方式

(一) 传统的观点

就实现原理上考虑,人们一直将 CAPP 系统分为三类:派生式、创成式和混合式。

派生式系统(Variant system),又称变异式系统、样件式系统。派生式系统建立在成组技术基础上,利用零件的相似性进行系统设计和新零件工艺规程的生成。对每一族相似零件提取其工艺特征,建立能包容其所有特征的假想零件(主样件)及其工艺规程。对于新的零件,按照特定编码查找对应的主样件,检索其典型工艺规程,进行必要的修改,最后生成该零件的工艺规程。派生式 CAPP 技术成熟,原理简单,因而发展最早,针对特定的零件类和制造环境,能够研制出实用的系统。但这样的系统只能完成检索式设计任务,难以适应零件类型和加工环境的变化;从实质上说编制工艺规程都是由人来完成的,不能摆脱对工艺编制人员的依赖,因而自动化程度低,并且系统的准备时间较长。

创成式系统(Generative system)主要依靠系统的逻辑决策,自动生成新零件的工艺规程。它不依赖作为典范的标准工艺规程,因而具有较高的柔性。“创成”是就生成工艺过程的宏观而言的,它并不意味着工艺过程的每一个决策步骤都必须是从无到有地创成,这很容易成为研究创成式系统的误区。早期的创成式 CAPP 系统将决策逻辑植入程序代码中,依靠决策树和决策表进行设计。由于工艺过程设计较为复杂,针对性强,这种创成式方法难以随零件类型和生产环境的变化自动生成所需的合理的工艺规程。

目前,专家系统已成为创成式 CAPP 的技术基础。它将工艺实践经验以产生式规则或其

他知识表达形式纳入知识库中,成为系统推理的依据。系统推理机和知识库实现了分离,便于系统设计者和工艺师的合作。工艺过程设计的主要问题不是数值计算,而是对工艺信息和工艺知识的处理,这正是专家系统的特长。并且,专家系统的追踪解释功能使工艺设计过程透明化,易于被工艺人员接受,并便于使用、检验和维护。

当企业生产的大多数零件相似程度较高,因而划分的零件族数较少,每族零件数较多时,采用派生式系统具有明显的优越性,例如专业齿轮厂。派生式系统检索的是整个工艺规程,创成式系统检索的是工艺决策知识和数据,从本质上说两者有一致之处。如果能由系统自动修改并编辑标准工艺规程,则派生式系统与创成式系统孰高孰低尚难定论。

混合式系统则是综合采用这两种方法,例如,在全局性的零件加工工艺路线生成方面,采用派生式,而在局部的机床工序设计方面则可以采用创成式原理。

(二) 现实情况

由于工艺过程设计问题本身的特殊性,无论是专家系统式还是传统式的创成式系统,完全实现是非常困难的,甚至是不可能的。一些学者甚至认为,派生式和创成式原理仅只有理论价值,没有实践意义。目前,多数商品化通用 CAPP 系统(例如开目 CAPP、CAXA 工艺图表)的研发者们已抛弃了工艺自动化决策的想法,无视工艺自动化设计已有的研究成果,以一种更实际的交互式工艺图表填充思想来开发 CAPP 系统。

这些商品化 CAPP 系统仅提供一个工艺编制的平台,大量的工作均由作为设计者的人来完成,系统只完成简单的数据填写和表格生成的工作,不能适应制造业自动化的要求。

我们认为,CAPP 系统应采用交互式多元化设计策略,即“交互式填表+工艺检索+工艺数据管理+部分自动决策”方式,其中人机交互式为主体。所谓多元化设计,指在 CAPP 系统中,从实际需要和系统实现方便出发,采用检索式、派生式、半创成式、创成式以及所谓“基于实例”的混合设计策略。构造 CAPP 系统的每种方法各有其适用条件和优缺点,生产实际中的问题常常是复杂的,单一的方法不能满足千变万化的生产要求,所以多元化设计思想有其合理之处。创造性的工作主要由设计者来完成,简单重复的工作由计算机来实现。应充分利用已有的软件开发工具,工艺图表采用“所见即所得”的方式来实现。

第三节 现代集成制造系统

一、CIMS 的概念与发展

传统的“制造”概念只局限于产品的加工和装配过程,现代意义上的制造,实际上是一组相关操作和活动的集合,它包括市场需求、设计开发、制造生产、销售使用、报废处理和再循环等一系列与制造工业有关的生产活动。

制造系统通常定义为一个包含若干相互关联的制造功能子集的生产组织,在这个组织中,将生产时间、制造成本、设备利用等生产功能要素联系起来,达到总生产性能的优化。制造功能子集包括设计、计划、生产和控制,并与系统外的产品估价、市场、投资和人等生产功能因素相联系。

“计算机集成制造”(CIM - Computer Integrated Manufacturing)最早是由美国人约瑟夫·哈林顿博士于 1973 年提出来的。哈林顿强调了制造的全局观点(即系统观点)和信息观点。这是信息时代企业组织、管理现代化生产的最基本、最重要的两个指导性观点,也是理解现代化企

业生产、管理模式的基础。可以说,CIM 是信息时代组织、管理企业生产的一种哲理,是信息时代新型企业的一种生产模式。按照这一哲理和技术构成的具体实现便是计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS)。

1987 年我国 863 计划 CIMS 主题专家组认为:“CIMS 是未来工厂自动化的一种模式。它把以往企业内相互分离的技术(如 CAD、CAM、FMC、MRP II 等)和人员,通过计算机有机地综合起来,使企业内部各种活动高速度、有节奏、灵活和相互协调地进行,以提高企业对多变竞争环境的适应能力,使企业经济效益持续稳步地增长。”

经过十多年的实践,我国 863 计划 CIMS 主题专家组在 1998 年提出 CIMS 的新定义:“将信息技术、现代管理技术和制造技术相结合,并应用于企业产品全生命周期(从市场需求分析到最终报废处理)的各个阶段。通过信息集成、过程优化及资源优化,实现物流、信息流、价值流的集成和优化运行,达到人(组织、管理)、经营和技术三要素的集成,以加强企业新产品开发的 T(时间)、Q(质量)、C(成本)、S(服务)、E(环境),从而提高企业的市场应变能力和竞争能力。”

与国外 CIMS 的发展相比较,我国 CIMS 不仅重视了信息集成,而且强调了企业运行的优化,并将计算机集成制造发展为以信息集成和系统优化为特征的现代集成制造系统(Contemporary Integrated Manufacturing Systems)。

随着信息技术的发展,系统集成技术领域发展十分迅速,如基于 Web 技术的制造应用系统的集成、面向对象和浏览器/客户机/服务器及 CORBA 和 COM/OLE 规范的企业集成平台和集成框架技术、以互联网和企业内部网及虚拟网络为代表的企业网络技术、异构分布的多库集成和数据仓库技术等。

CIMS 的应用范围也越来越广。在欧美等发达国家已有许多大中型企业实施了 CIMS,不少小型企业也在纷纷采用 CIM 技术。根据美国乔治·华盛顿大学新兴技术预测委员会的预测,到 2012 年,80% 的工厂将采用 CIM 技术。

在 CIMS 的研究方面,目前我国已造就了一支约 3000 人的具有较高水平的 CIMS 研究队伍,CIMS 总体技术的研究已处于国际上比较先进的水平。在企业建模、系统设计方法、异构信息集成、基于 STEP 的 CAD/CAPP/CAM/CAE、并行工程及离散系统动力学理论等方面也有一定的特色或优势,在国际上已有一定的影响。清华大学国家 CIMS 工程技术研究中心和华中理工大学 CIMS 研究中心分别获得了 1994 年度和 1999 年度美国制造工程师学会 SME“大学领先奖”。

在 CIMS 的应用方面,我国已在 20 多个省市(行业)的 200 多个企业实施或正在实施 CIMS 应用示范工程,其中已有 50 家左右通过验收,并取得显著效益。北京第一机床厂 CIMS 工程荣获 1995 年度美国 SME“工业领先奖”。863 计划 CIMS 主题在 10 年的实践中,形成了一支大约 3000 人的工程设计、开发、应用骨干队伍,总结出了一套适合国情的 CIMS 实施方法、规范和管理机制。

预计 CIMS 技术将朝着集成化、智能化、全球化、虚拟化、标准化和绿色化的方向发展。

- 集成化。CIMS 的“集成”已经从原先的企业内部的信息集成和功能集成,发展到当前的以并行工程为代表的过程集成,并正在向以敏捷制造为代表的企业间集成发展。

- 智能化。智能化是制造系统在柔性化和集成化基础上进一步的发展和延伸,目前已广泛开展对具有自律、分布、智能、仿生和分形等特点的下一代制造系统的研究。

- 全球化。随着“网络全球化”、“市场全球化”、“竞争全球化”和“经营全球化”的出现,许

多企业都积极采用“敏捷制造”、“全球制造”和“网络制造”的策略。

- 虚拟化。在数字化基础上,虚拟化技术的研究正在迅速发展。它主要包括虚拟现实(VR)、虚拟产品开发(VPD)、虚拟制造(VM)和虚拟企业(VE)等。

- 标准化。在制造业向全球化、网络化、集成化和智能化发展的过程中,标准化技术(STEP、EDI 和 P-LIB 等)已显得愈来愈重要。它是信息集成、功能集成、过程集成和企业集成的基础。

- 绿色化。绿色制造、面向环境的设计与制造、生态工厂、清洁化工厂等概念是全球可持续发展战略在制造技术中的体现,是摆在现代制造业面前的一个新课题。

二、制造业信息化

随着 CIMS 技术的发展,人们又提出了制造企业信息化的概念。

制造企业信息化是指企业利用信息技术(包括计算机技术、通信技术和自动化技术等)改善企业的经营、管理、生产的各个环节,提高生产效率,提高产品质量,降低消耗,提高企业的创新能力。它是企业组织、管理现代化生产的有效途径。

按计算机应用的规模,制造业信息化大致可分为如下几个阶段:

1. 单机的计算机应用。如采用 CAD 提高工程设计及绘图的效率和质量,采用计算机进行财务、工资或合同等单项管理。

2. 局域网支持下的计算机应用。用计算机网络技术实现跨部门的计算机应用,如产品设计部门基于网络和数据库的 CAD、CAPP、CAE 以及各管理部门的 MRP II 应用。其技术水平和效益比前者提高了一步。

3. 网络数据库支持下全企业范围的计算机应用综合系统。这是 CIMS 的信息集成阶段。这一阶段把企业各个单元的计算机应用,如 CAD、CAE、CAPP、CAM、MRP II 车间管理与控制、质量保证以及办公、辅助决策等集成起来,实现信息资源共享、优化运行,使企业产品上市更快(T)、质量更好(Q)、成本更低(C)、服务更好(S),使企业有更强的竞争能力。

4. 广域网、互联网支持下的企业间信息集成和资源优化。这一阶段企业的信息化突破了企业的界线,这是敏捷制造阶段的企业信息化。

863 计划 CIMS 主题提出的现代集成制造系统,包含了企业信息化的第三、第四两个阶段。可以说,CIMS 是一体化的企业信息化,是企业信息化的高级阶段。企业信息化的第一、第二阶段为 CIMS 的实施创造了技术和人才的基础。

需要指出:(1)企业信息化是企业从经营、生产、管理需求出发,量力而行的实现过程。一切以是否对提高企业竞争能力为依据。(2)在今天,企业信息化不一定从第一阶段开始,因为单机计算机应用的一些软件和资源软件在第二、第三阶段可能是不能用的。比较好的办法是企业在需求和经营战略目标的指导下,按 CIM 哲理,做一个一体化的信息化设计,然后分步实施。

CIMS 是一个发展中的概念,实际上现代化企业的模式也是发展中的。CIMS 的发展,吸收了大量的先进管理思想和信息技术的新成果,伴随着现代企业的发展而发展起来的,因此 CIMS 成为现代化企业的一种模式是很自然的。

三、CIMS 组成

CIMS 通常由管理信息分系统、设计自动化分系统、制造自动化分系统、质量保证分系统、计算机网络分系统和数据库分系统,共六个部分有机组成,即 CIMS 由四个功能分系统和两个