

现代CAPP

技术与应用

邵新宇 蔡力钢 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

现代 CAPP 技术与应用

主 编 邵新宇 蔡力钢

参 编 章万国 王启付 张国军 陈万领

邓 超 管 强



机械工业出版社

本书分析了 CAPP 的现状, 指出了存在的问题; 介绍了一种零件信息模型和工艺信息模型, 对基于约束的工艺决策方法, 基于实例的工艺决策方法, 基于 PDM 面向制造过程的工艺决策方法, 基于 3D 的定量化工艺设计方法, 面向并行工程的工艺设计方法, 基于知识复用的工艺设计技术、量化 CAPP 设计技术、基于虚拟现实技术的装配工艺规划与优化、面向制造过程的离散事件仿真及调度优化、模板定制技术与工艺设计导航技术、CAPP 的系统结构与集成等关键技术进行了论述。书中介绍了几个典型的 CAPP 系统和案例, 如 ICAPP 系统、开目 CAPP 系统和 InteCAPP 系统等; 指出了 CAPP 的发展方向。

本书以作者从事十多年 CAPP 研究与开发为基础, 参考国内外 CAPP 的最新进展进行论述, 内容新颖、技术先进、紧扣实际, 是一本指导 CAPP 研发、应用与教学的实用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代 CAPP 技术与应用/邵新宇, 蔡力钢主编. —北京:
机械工业出版社, 2004.10
ISBN 7-111-15226-3

I. 现... II. ①邵... ②蔡... III. 机械制造工艺—计
算机辅助设计 IV. TH162

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 091499 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 周国萍

封面设计: 陈 沛 责任印制: 施 红

北京忠信诚胶印厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·16 印张·393 千字

0001—4000 册

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

计算机辅助工艺设计 (CAPP) 是提高企业工艺水平、推动技术进步、增强竞争力的重要手段, 是连接产品设计和生产制造的桥梁。由于工艺设计的复杂性和产品与制造环境的特殊性, 导致 CAPP 很难实用化和通用化。因此, 在 CAD、CAE、CAM、MRP II、ERP、电子商务等应用系统十分成熟的今天, CAPP 这一关键技术仍然未能很好地突破, 成为现代制造业的“瓶颈”。本书重点对现代 CAPP 技术及其应用方面最新研究成果进行介绍, 其核心内容是作者十余年来从事 CAPP 研究与应用的成果, 其关键技术已经产业化, 开发出了适合不同需求的工具化、实用化、集成化和自主知识产权的 CAPP 产品, 并在数百家企业成功应用。本书是国家 863/CIMS 成果, 其核心技术于 2002 年获国家科技进步二等奖。

全书共分 10 章。

第 1 章绪论, 主要介绍了 CAPP 的发展背景、CAPP 在企业信息化建设中的作用和地位、CAPP 研究与应用中存在的问题与解决方法。

第 2 章一种基于特征的零件信息、工艺信息与工艺决策信息模型, 主要介绍了模型的建立方法。

第 3 章几种常用的现代工艺决策方法, 阐述了基于约束的工艺决策方法, 基于实例的工艺决策方法, 基于 PDM 面向制造过程的工艺决策方法, 面向并行设计的工艺设计方法及其他工艺决策方法, 如基于人工神经网络的工艺决策方法、基于模糊推理的工艺决策方法、基于基因算法的工艺决策方法等。

第 4、5、6、7、8 章分别论述了基于知识复用的工艺设计技术、基于 3D 的定量化工艺设计方法、基于虚拟现实技术的装配工艺规划与优化、面向制造过程的离散事件仿真及调度优化、模板定制技术与工艺设计导航技术等现代 CAPP 的设计技术。

第 9 章典型 CAPP 系统, 介绍了基于 PDM 与 Web 的 CAD/CAPP/MRP II/ERP 集成系统——ICAPP、开目 CAPP 系统和 InteCAPP 工具系统。

第 10 章 CAPP 技术展望, 对 CAPP 的发展趋势进行了介绍。

本书适合于科研单位、企业中从事 CAPP、CIMS、企业信息化建设的研究以及应用系统开发与实施的人员使用, 也可以作为大学的本科生和研究生教材。

本书由邵新宇、蔡力钢主编。全书由章万国同志统稿。参与编写的人员有章万国、王启付、张国军、陈万领、邓超、管强等。

书中内容为作者多年来从事 CAPP 教学、科研和应用系统开发与实施工作的总结与体会, 希望能为 CAPP 的研究开发与发展起到抛砖引玉的作用, 但由于编著水平有限, 书中谬误遗漏之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

作 者

2004 年 7 月于华中科技大学

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 CAPP 发展的背景	1
1.2 CAPP 的发展历程	2
1.3 CAPP 在企业信息化建设中的作用和地位	3
1.4 CAPP 研究与应用中存在的问题	3
第2章 一种基于特征的零件信息、工艺信息与工艺决策信息模型	5
2.1 引言	5
2.2 基于特征的回转类零件信息模型	6
2.2.1 零件信息模型的几个基本概念	6
2.2.2 零件信息模型的结构	7
2.2.3 零件信息模型的主要特点	11
2.3 工艺信息模型	11
2.3.1 工艺信息模型的特点和要求	11
2.3.2 工艺信息模型的结构	12
2.4 工艺决策规则模型	15
2.4.1 工艺决策规则的一般模型	15
2.4.2 工艺决策规则模型的表达示例	17
第3章 几种常用的现代工艺决策方法	19
3.1 基于约束的工艺决策方法	19
3.1.1 分级规划	20
3.1.2 基于约束的分级规划	20
3.1.3 加工方法排序的基本策略	21
3.1.4 主要工序排序	25
3.1.5 工步排序	31
3.1.6 辅助工序排序	31
3.1.7 工序修正	33
3.1.8 运行实例	35
3.2 基于实例的工艺决策方法	35
3.2.1 实例的定义	36
3.2.2 实例的获取	37
3.2.3 实例的表达	39
3.2.4 实例管理	41

3.2.5	决策准备	43
3.2.6	实例匹配与抽取	46
3.2.7	实例工艺信息筛选	55
3.2.8	实例工艺路线修正	57
3.2.9	基于实例的工艺决策示例	61
3.3	基于 PDM 面向制造过程的工艺决策方法	61
3.3.1	面向制造的灵活实用的工艺决策方法	61
3.3.2	基于 PDM 的统一产品信息模型 (含工艺信息模型)	63
3.3.3	基于 PDM 面向制造或 BOM 的变异式工艺设计的基本思路	64
3.4	面向并行工程的工艺设计方法	68
3.4.1	并行工程概述	68
3.4.2	CAPP 与并行工程	73
3.4.3	并行环境下的工艺决策	75
3.4.4	面向并行工程的 CAPP 关键技术	78
3.5	其他工艺决策方法	80
3.5.1	基于人工神经网络的工艺决策方法	80
3.5.2	基于模糊推理的工艺决策方法	82
3.5.3	基于基因算法的工艺决策方法	84
第 4 章	基于知识复用的工艺设计技术	86
4.1	基于知识复用的工艺设计基本原理	86
4.1.1	直接工程与知识复用	86
4.1.2	可复用设计定义与原理	88
4.1.3	可复用工艺设计及其基本过程	92
4.2	可复用工艺设计知识的表达与获取	96
4.2.1	常见的几种知识表示方法及其局限性	96
4.2.2	一种新的知识表达与处理体系	97
4.2.3	工艺设计知识获取的内容及其基本问题	100
4.2.4	从决策表中提取设计规则的方法	103
4.3	可复用工艺设计的基本方法	107
4.3.1	工艺设计知识处理体系	107
4.3.2	工艺设计知识管理的几个基本问题	108
4.3.3	知识的可复用性度量及复用代价评估	110
4.3.4	复用元聚类的灰色关联法	112
4.3.5	基于相似粗集的模糊检索方法及应用	115
第 5 章	基于 3D 的定量化工艺设计方法	119
5.1	基于 3D 的定量化工艺设计方法的提出	119
5.2	基于 3D 与几何推理的工艺决策方法	120
5.3	基于 3D 的交互式工艺建模与变形工艺设计方法	125

5.3.1	系统的体系结构	126
5.3.2	基于 3D 的参数化工艺建模方法	127
5.3.3	面向定单配置、基于参数化工艺模型的工艺变形设计方法	129
5.3.4	工艺优化	130
第 6 章	基于虚拟现实技术的装配工艺规划与优化	133
6.1	基于虚拟现实技术的装配工艺规划的体系结构	133
6.1.1	系统体系结构	133
6.1.2	系统运行机制	136
6.2	虚拟人机协同拆卸理论与方法	138
6.2.1	虚拟人机协同拆卸模型	138
6.2.2	人机协同虚拟拆卸系统执行流程	139
6.2.3	基于装配约束的零件可拆卸方向推理	140
6.2.4	拆卸操作稳定性分析	145
6.2.5	拆卸序列和路径表达及记录	148
6.2.6	本章实例	149
6.3	虚拟装配工艺规划优化方法及实例	151
6.3.1	面向装配过程优化的多层次并行演化方法	151
6.3.2	装配过程的几何推理	159
6.3.3	演化算法和实例	162
第 7 章	面向制造过程的离散事件仿真及调度优化	167
7.1	面向制造过程的建模方法	168
7.1.1	面向对象的制造过程信息建模	168
7.1.2	基于 Petri 网的制造过程建模	171
7.2	面向制造过程的离散事件仿真	175
7.2.1	面向制造过程的离散事件仿真策略	175
7.2.2	面向制造过程的离散事件仿真系统及应用	177
7.3	面向制造过程的调度控制与分析	182
7.3.1	面向制造过程的调度控制	182
7.3.2	调度问题的分析方法	185
第 8 章	模板定制技术与工艺设计导航技术	189
8.1	模板的意义	189
8.2	模板的信息模型	189
8.2.1	模板组成对象分析	189
8.2.2	模板的相关概念	191
8.2.3	模板的数据模型	192
8.3	模板定制技术	193
8.3.1	对象生成模式分析	193
8.3.2	对象参数的交互式定义	194

8.3.3 各对象属性定义	195
8.3.4 模板格式的交互式调整	196
8.4 工艺设计导航的意义	197
8.5 工艺设计导航的模型与术语	198
8.6 工艺设计导航的关键技术	199
8.6.1 系统的可扩充性	199
8.6.2 “设计关联”和“操作关联”的管理与评价	200
8.6.3 工作流程	200
8.7 工艺设计导航示例	202
第9章 典型 CAPP 系统	204
9.1 基于 PDM 与 Web 的 CAD/CAPP/MRP II/ERP 集成系统——ICAPP	204
9.1.1 ICAPP 的体系结构和特点	205
9.1.2 ICAPP 的主要功能	207
9.1.3 ICAPP 与 CAD/PDM 集成	208
9.1.4 CAPP 与 MRPII/ERP 集成	209
9.1.5 ICAPP 的其他若干关键技术	211
9.1.6 ICAPP 主要界面介绍	215
9.2 开目 CAPP 系统	220
9.2.1 开目 CAPP 设计思想与主要特点	220
9.2.2 开目 CAPP 系统架构	220
9.2.3 开目 CAPP 功能简介	221
9.3 InteCAPP 工具系统	231
第10章 CAPP 技术展望	234
10.1 智能化	234
10.2 网络化与集成化	235
10.3 工具化	237
10.4 基于 3D 的定量化与参数化 CAPP 方法与系统	237
附表	239
参考文献	243

第1章 绪 论

1.1 CAPP 发展的背景

信息时代的来临给社会和企业带来了前所未有的挑战和机遇，同时也给现代企业的产品设计、生产、管理乃至市场策划与销售提出了新的要求。伴随着时代的信息化，激烈的市场竞争迫使企业的产品向多样化、系列化、个性化的方向发展。产品流通领域的扩大，生产经营活动节奏的加快，使产品从策划、设计、制造到市场的周期正在缩短。传统的产品设计、制造、生产经营管理模式和信息处理手段已不能适应现代化企业高质量、高素质、高效率的发展需求。制造业正面临前所未有的挑战！

工艺设计是现代制造业的重要基础工作，是连接产品设计与产品制造的桥梁。工艺设计的质量和效率直接影响企业制造资源的配置与优化、产品质量、生产组织效率、产品成本与生产周期等方方面面。

传统的工艺设计一般由手工进行。现在许多企业采用了计算图文工具（如 Word、Excel、二维绘图工具如 AutoCAD 等）进行工艺设计，但一般情况下只是用电子图板（计算机屏幕）代替了传统的图板以及纸和笔，与手工工艺设计的没有本质的区别，存在以下缺陷：

1）不便于标准化，一致性差。由于个人经验有限、设计水平不同，设计出来的工艺文件因人而异，一致性差、质量不稳定、难以优化、不便于标准化，工艺设计经验的继承性亦较困难。

2）效率低下，不能快速反应产品的变化。当产品更换时，即使其中某些零部件与原有零部件相似，也必须重新设计新的工艺规程，存在大量重复劳动，很难适应产品和制造环境的变化。

3）过于依赖工艺设计人员个人的经验和水平。工艺文件的合理性、可操作性以及编制时间的长短主要取决于工艺人员的经验和熟练程度。

4）难于保证数据的准确性。工艺设计时需要处理大量的图形信息、数据信息、文字信息，并通过工艺设计产生大量的工艺文件和工艺数据。传统的工艺设计方式处理数据的方式非常落后与繁琐，而且非常容易出错。

5）难于实现信息共享和集成。信息的共享与集成是现代企业信息化建设发展的必然，如果工艺部门仍采用传统方式，所产生的工艺数据则无法与其他部门进行共享与集成。

6）不便于将工艺专家的经验 and 知识集中起来加以充分地利用。

显然，传统的工艺设计方式已不能满足现代制造业的要求。随着计算机技术在企业应用的不断深入，计算机辅助工艺设计 CAPP（Computer Aided Process Planning）便应运而生。

毋庸置疑，CAPP 是提高企业工艺水平、推动技术进步、增强竞争力的重要手段，是连接产品设计和生产制造的桥梁。然而，由于工艺设计问题的复杂性和产品与制造环境的特殊性，导致 CAPP 很难实用化和通用化，在制造自动化领域，CAPP 是发展最迟的部分。

即使在 CAD(计算机辅助设计)、CAE(计算机辅助工程)、CAM(计算机辅助制造)、MRPII(制造资源计划)、ERP(企业资源需求计划),乃至电子商务十分成熟和广泛应用的今天,CAPP 的若干关键问题仍然未能很好地解决,成为现代制造业的关键“瓶颈”。

1.2 CAPP 的发展历程

综观 CAPP 的发展历程,基本上沿着“定性—定量—定性—定量……”的螺旋式上升模式发展。

最早的基于 GT 或检索式 CAPP 系统是典型的定性 CAPP 系统;从 20 世纪 80 年代末到 90 年代中后期,人们探索了许多 CAPP 方法,企图解决 CAPP 的自动化和定量化问题,如各种创成式 CAPP 方法与系统等,其特点是追求 CAPP 的乃至 CAD/CAPP/CAM 集成的全自动化;从 20 世纪 90 年代中期开始,一方面,由于企业对 CAPP 的迫切需求,另一方面,由于 CAPP 的自动化和定量化难于实用化,所以又回到了定性型的 CAPP 上来,只是这次上升到基于网络、数据库与 PDM 的高度开发的 CAPP 系统;从 20 世纪 90 年代后期,越来越多的人注意到定性型 CAPP 仍未能解决 CAPP 的根本问题,于是基于三维的定量化 CAPP 方法和系统应运而生。

定性型 CAPP 的特点是只能完成工艺文件管理和工艺过程设计等定性的工艺设计工作,对具体的工序设计、工序图设计和 NC 程序设计等则无能为力。定性型 CAPP 是在工业界对 CAPP 的需求日趋迫切,而理论型 CAPP 又大都停留在好听不好用的背景下产生的。最早的定性型 CAPP 系统是基于 GT 的 CAPP。这种 CAPP 只能用于某类特定零件和某种特定的制造环境的工艺过程设计,适应性和通用性差。检索式和基于实例的 CAPP 也属于定性型 CAPP。近年来流行的简易填表式 CAPP 系统和基于网络与数据库的 CAPP 系统也是典型的定性型 CAPP。简易填表式 CAPP 的主要特点是利用工艺文件报表工具定制各种工艺文件格式,然后人机交互地进行填表和编辑,从而完成工艺文件(主要是工艺过程卡和工序卡)的设计。这种 CAPP 系统的实质是用电子表格代替传统的手工填表,不是真正意义上的 CAPP 系统。基于网络和数据库的 CAPP 系统强调面向产品、BOM 或制造进行工艺设计时,强调工艺文件的管理与重复利用,强调利用已有的工艺信息解决新的工艺设计问题,解决了工艺文件的统一管理以及 CAD/PDM 与 CAM/MRPII/ERP 的信息集成等问题。CAPP 开发工具也属于定性型 CAPP 的一种,其特点是试图提供一种通用的开发工具或框架,供用户二次开发后形成所需要的 CAPP,但由于工艺设计的复杂性、经验性和多样性,建立通用的 CAPP 开发工具存在很大困难。这些方法均重视工艺设计的上层问题,对工艺设计的底层问题,即量化的工艺设计则采取了回避策略,所以并没有从根本上解决 CAPP 的难题。

定量型 CAPP 是 CAPP 追求的根本目标和最高境界。在现代企业,特别是高性能机床、军工、航天航空、车辆制造等领域的需求越来越强烈。定量型 CAPP 系统不但能完成工艺过程设计、工艺文件管理、信息集成等定性化的工艺设计,更重要的是能针对系列产品或新产品建立一种面向产品和制造过程,基于 3D 的定量化的工艺设计模型,并以此模型为基础,而对零部件进行快速准确的工序设计,如工艺尺寸链、工序图的生成,切削用量、加工余量、工时与材料定额的计算等内容。工艺建模与工艺变形设计过程全部在辅助智能和可视化导航工具引导下进行。

1.3 CAPP 在企业信息化建设中的作用和地位

CAPP 在企业信息化建设中占有重要的作用和地位。

1) 从产品设计制造的角度看, CAPP 是连接 CAD 和 CAM 之间的桥梁和纽带; 从管理的角度看, CAPP 又是连接产品信息同 MRPII 的纽带。CAPP 是实现 CAD/CAPP/CAM/MRPII 集成的关键。

2) CAPP 使工艺设计人员摆脱大量、繁琐的重复劳动, 将其主要精力转向新产品、新工艺、新装备和新技术的研究与开发。

3) CAPP 可以显著缩短工艺设计周期, 保证工艺设计质量, 提高产品的市场竞争能力。

4) CAPP 可以提高产品工艺的继承性, 最大限度地利用现有资源, 降低生产成本。

5) CAPP 可使没有经验的工艺师设计出高质量的工艺规程, 以缓解当前机械制造工艺设计任务繁重, 且缺少有经验工艺设计人员的矛盾。

6) CAPP 有助于推动企业开展工艺设计标准化的最优化工作, 提高工艺设计水平。

7) 为企业信息化提供正确的工艺数据, 保证数据的一致性和安全性, 为企业逐步推行 CIMS 应用工程打下重要基础。

1.4 CAPP 研究与应用中存在的问题

由于 CAPP 在计算机辅助设计与制造以及企业信息化建设中的重要作用, 20 世纪 70 年代初以来国内外投入了大量人力和物力对其进行研究, 80 年代以来, 我国开始对其进行重点攻关。但由于 CAPP 问题的复杂性和特殊性, CAPP 系统仍然面临如下问题:

1) CAPP 系统零件信息的描述与输入问题。这个问题实际关系到 CAD 与 CAPP 及其他应用系统集成的问题, 直接关系到 CAPP 系统能否真正实用化与商品化。事实证明, 在 CAD 系统绘出工程图以后, 由 CAPP 系统使用者对照已有零件图用手再次输入零件信息的方法, 在生产实际中是行不通和不受欢迎的。因为输入过程繁琐、费时、易出错, 有时甚至还不如手工编制工艺文件来得快。所以机械制造业迫切需要建立满足 CAD、CAPP、CAM、PDM 乃至 MRPII、ERP、URP (企业联盟体资源需求计划)、电子商务系统等统一的产品信息模型, 以满足各应用系统之间的信息共享和集成, 彻底解决 CAPP 系统的产品数据二次输入问题。

2) 工艺决策方法问题。工艺决策是 CAPP 系统进行工艺设计的关键, 是制约 CAPP 系统实用化、通用化、智能化的核心问题。长期以来, 人们研究开发了多种工艺决策方法, 如变异或派生 (Variant Process Planning) 式工艺决策方法、创成式工艺决策方法 (Generative Process Planning)、智能化工艺决策方法 (如基于知识的方法、人工神经元方法等)、混合式 (Hybrid Process Planning)、基于 3D 的定量化工艺决策方法、基于虚拟现实的三维装配工艺决策方法等等, 但至今没有彻底解决 CAPP 系统的工艺决策方法问题。

3) CAPP 系统的通用性问题。工艺设计是一项个性很强的工作, 各个企业由于产品不同、零件批量不同、加工环境不同, 其工艺设计方法习惯都可能会不一样, 所以 CAPP 系统很难像 CAD 系统那样设计成通用的系统。要想解决 CAPP 系统的通用化问题, 首先需

要研究解决 CAPP 系统结构和方法上的许多基础问题，如怎样才能使 CAPP 所用的工艺决策规则与系统各工艺决策模块完全独立，以做到只修改和添加有关规则而完全不必要修改源程序就能满足不同用户的需要，还有大量的工作要做；其次要对工艺设计进行大量的规范化和标准化工作；另外也有待于通用化、标准化和开放性的工艺数据库和知识库的建立。

4) 系统的柔性问题。CAPP 系统的应用环境千差万别，CAPP 系统开发者应向用户提供多种设计手段，以满足不同用户的需要。为此，系统应同时具有基于典型工艺或实例的检索式设计功能，基于实例的派生式设计功能，以及基于知识的创成式设计等功能。系统不但能生成面向普通机床的工艺文件，还应能生成面向数控加工与半数控加工环境的工艺文件，系统还应能输出各种格式的工艺文件。

5) 工艺决策所用的通用数据库知识的获取、表达和相应数据库与知识库的建造问题。工艺决策所用的数据有加工方法、余量、切削用量、机床、刀具、夹具、量具、辅具以及材料、工时、成本核算等多方面的信息。如何组织和管理这些信息，并便于扩充和维护，使之适用于各种不同的企业和产品，是当今 CAPP 系统需要迫切解决的问题。CAPP 系统所需的工艺知识，包括工艺决策逻辑、决策习惯、经验、规则等众多内容。如何获取和表达它们，并便于系统的应用、维护和扩充也是 CAPP 要解决的关键问题。

6) 工序间尺寸的计算与确定（包括毛坯尺寸的确定），以及基于 3D 的参数化的基于特征的工序图生成方法，也是当今 CAPP 要解决的重要问题。

7) 面向产品或制造过程进行工艺设计的问题，从企业信息集成的整体和产品生命周期去实施 CAPP，以免继续造成新的信息孤岛。

本书重点对现代 CAPP 技术及其应用方面最新研究成果进行介绍，其核心内容是作者十余年来从事 CAPP 研究与应用的成果，其关键技术已经产业化，开发出了适合不同需求的工具化、实用化、集成化和自主知识产权的 CAPP 产品，并在数百家企业成功应用。

第2章 一种基于特征的零件信息、工艺信息 与工艺决策信息模型

2.1 引言

CAPP 的主要任务之一是生成零件的工艺路线或工艺过程，即如何生成零件的加工顺序或工序与工步的次序问题，这一任务称之为工艺路线决策。要想进行正确的工艺路线决策必须有相应的零件模型和工艺信息模型来支撑。本章将对一种基于特征的零件信息、工艺信息与工艺决策信息模型进行论述。

零件信息模型是计算机内部对零件信息的描述与表达方式，是计算机进行零件设计、工艺决策、工序尺寸链计算、工序图生成、刀具路径规划、NC 程序生成以及加工过程仿真等的依据和核心。如何组织和表达零件信息，建立合理的零件信息模型，使之既便于 CAPP 系统进行工艺设计，又便于 CAD、CAM 等其他应用系统的应用，是 CAPP 系统以及 CAD/CAPP/CAM/MRPII 集成要解决的首要问题。

工艺信息模型是对 CAPP 系统各个设计阶段（如工艺决策、工序尺寸链计算、工时确定、工序图生成、刀具路径规划、NC 程序生成、工艺文件格式化输出等）的中间结果和最后结果的描述和表达，是工艺文件的计算机内部表达形式，也是上述各个设计阶段之间进行信息交换的依据。显然，工艺信息模型在工艺设计各个阶段所表达的内容是不同的。

工艺决策信息（或规则）模型是工艺决策知识的一种表达结构。计算机只能按照事先规定的算法调用存储在计算机中的规则才能进行有关决策，并结合有关工艺设计数据生成工艺文件。因此，在计算机内部如何对工艺决策规则进行描述是 CAPP 系统进行工艺决策的重要条件。

图 2-1 描述了零件信息模型、工艺信息模型和工艺决策规则模型在 CAD、CAPP、CAM，以及 CAD/CAPP/CAM 集成中的作用。图中的双向箭头表示信息的双向传递。

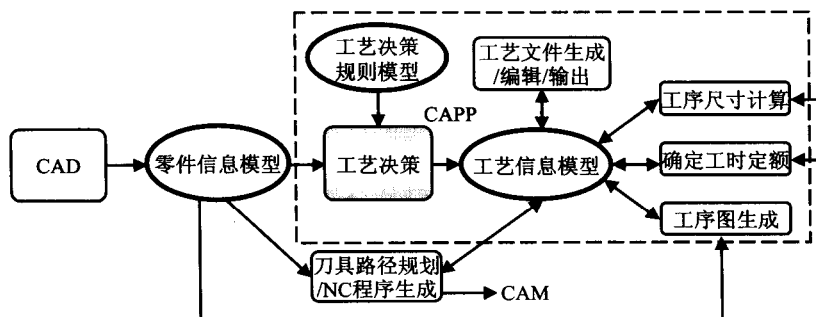


图 2-1 各种模型在工艺决策、以及 CAD/CAPP/CAM 集成中的作用

本章介绍了一种实用性很强的基于特征的零件信息模型、工艺信息模型和工艺决策规则模型，并给出了各模型的应用表达示例。本书第 3 章将介绍基于这种模型的几种实用的工艺决策方法。

2.2 基于特征的回转类零件信息模型

目前对基于特征的零件信息模型的研究大都是站在 CAD 的角度进行的，本节以图 2-2 所示零件为例，论述了一种基于特征的既便于 CAPP 系统进行工艺设计，又便于 CAD、CAM 等其他系统应用，乃至 CAD/CAPP/CAM 集成的实用化零件信息模型。

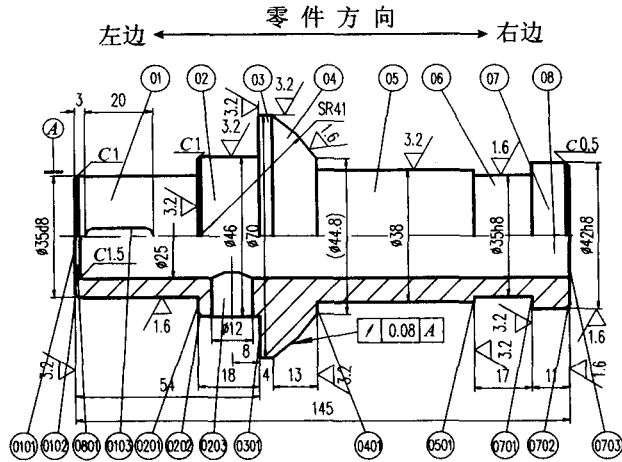


图 2-2 示例零件简图

2.2.1 零件信息模型的几个基本概念

1. 特征

特征是具有有一定几何形状、工程意义和加工要求的一组信息的集合，是构造零件几何形状和零件信息模型的基本信息单元。例如，在图 2-2 所示的零件中，圆柱面是由直径、长度等几何形状信息，以及附着在其上的精度、表面粗糙度、形位公差等加工信息的集合，所以圆柱面是一个特征。由此类推，球面、端面、倒角、螺孔等都是特征。

2. 特征类型与特征图谱

特征类型有主特征和辅特征。主特征是用于构造零件的总体几何结构形状的特征，如圆柱面、圆锥面、内圆柱面等。辅特征依附于主特征或其他辅特征之上，是对主特征或其他辅特征的进一步修饰，如键槽、倒角、端面、螺纹等。

在对特征进行分类的基础上，可以建立特征分类树和特征图谱。图谱中包括了各种特征的关键字（即特征名称）、特征代码、特征示意图和特征的几何尺寸、功能与加工等方面的信息的描述参数等。

3. 特征属性

描述特征几何形状的信息（如直径、长度、宽度、深度、角度等），描述特征加工要求

的信息（如精度等级、表面粗糙度、形位公差、特征热处理要求等），以及描述特征功能的信息等等，都从属于特征，依附在特征之上，是对特征的进一步描述，所以被称之为特征的属性。特征属性是由属性名、属性值等若干属性项组成的。如圆柱面特征的直径这一属性是由尺寸名、尺寸值、偏差代号、公差等级以及公差值等属性项组成的，称之为尺寸属性；表面粗糙度是由表面粗糙度名、值等属性项组成的，称之为表面粗糙度属性等。

4. 特征 ID

对于某一具体零件，所有特征都用唯一的特征号（即特征 ID）来标识。主特征的 ID 号用字符串“01~99”表示；辅特征的 ID 号用“主特征 ID+01~99”表示。例如在图 2-2 中，01~08 分别代表零件的 1~8 号主特征。主特征编号的原则是从左至右、先外特征、后内特征（如内圆柱面）；0101~0103 分别代表 01 号主特征的三个辅特征，其他辅特征表示方法由此类推。

5. 特征方向

为了便于工艺决策，基于特征的工序图绘制与零件设计，必须对特征在零件中的方向也进行规定。用 L（左）、M（中）、R（右）来表示特征在零件中的方向。

（1）辅特征的方向 凡与主特征左端面相邻的辅特征的特征方向为 L；凡与主特征右端面相邻的辅特征的特征方向为 R；凡与主特征左、右端面不相邻，或同时与主特征的左、右端面相邻的辅特征，其特征方向为 M。例如在图 2-2 中，0101、0201 等特征的方向为 L，0401、0501 等特征的方向是 R，0203 号特征的方向是 M。

（2）主特征的方向 左边有端面而右边无端面的主特征（如图 2-2 中的 01、02 号圆柱面），以及左小右大的主特征其特征方向为 L；右边有端面而左边无端面的主特征（如图 2-2 中的 05 号圆柱面），以及右小左大的主特征（如图 2-2 中的 04 号球面）等，其特征方向为 R；特征左右一样大（对称），且左右均有端面（如图 2-2 中的 07），或无端面（如图 2-2 中的 06、08）的主特征，其特征方向为 M。

6. 零件方向

以零件直径最大的主特征（即最大特征）为准，靠近零件坐标系轴向坐标 x （参见图 2-7）起点的一边称为零件的左边，另一边称为零件的右边（如图 2-7 所示）。

2.2.2 零件信息模型的结构

根据回转类零件信息的特点，将零件信息分成三个层次，即总体信息层、特征层和特征属性层。由此建立了基于特征的零件信息模型的总体结构，如图 2-3 所示。

1. 总体信息层

总体信息层用于描述与零件的总体描述有关的信息，包括管理信息节点、零件属性信息节点、总体技术要求节点，以及轴向尺寸链表等。

（1）管理信息节点 管理信息节点是一个“对象”（即 C++语言中的类 class，本书以后所述的节点均是“对象”），用于描述零件的管理信息。管理信息节点的属性包括：零件号、零件名、产品编号、设计者、审校者，以及更改信息等。

（2）零件属性节点 用于描述零件的属性信息，包括：零件类型、材料名称、材料牌号、最大直径、最大长度等。

（3）总体技术要求节点 用于描述零件的总体热处理信息，以及其他技术要求信息等。

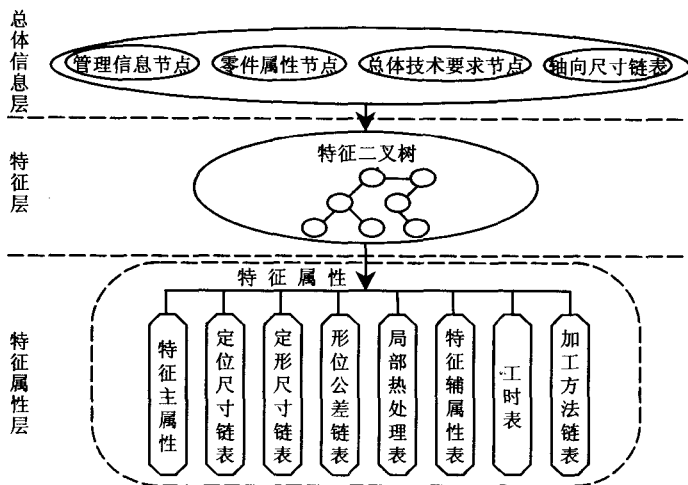


图 2-3 零件特征模型的总体结构

(4) 轴向尺寸链表 将组成零件的各个轴向尺寸用前 (prior)、后 (next) 指针连接起来, 就组成了零件的轴向尺寸链表。图 2-4 所示是该链表的一个尺寸节点。在图 2-4 中, dim_link_info 寸链的第一个节点(即尺寸)。在尺寸节点图中, 所谓尺寸起点和终点位置是指, 尺寸是从特征的什么位置开始或结束的。用 l(左)、m(中)、r(右) 来表示尺寸起点或终点位置。例如在图 2-2 中, 组成环尺寸 54 在该零件的轴向尺寸链表数据文件中的记录格式为:

0101 m 03 l 54.00 none none free free

表示尺寸 54 从 0101 号特征中间开始, 到 03 号特征的左端面结束, 偏差代号和精度等级均为 none (即该尺寸没有标注偏差代号和精度等级), 上、下偏差均为 free (表示自由公差)。图 2-4 中的变量前面的符号 “*” 是指针标识符 (以下同), 尺寸 54 可记为 dim_link_info→value=54.00。

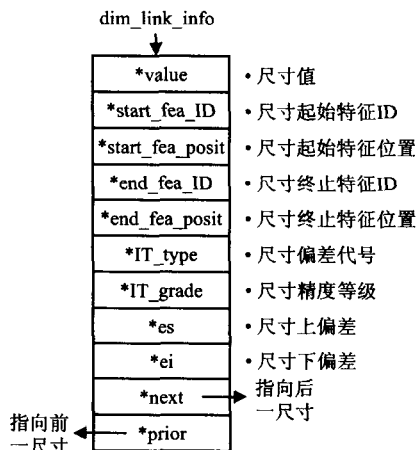


图 2-4 轴向尺寸链表的节点

2. 特征层

特征层用于描述组成零件的各特征之间的关系 (包括主特征之间的关系以及主特征与辅特征之间的关系), 是零件信息模型的主干或骨架。

根据回转类零件的主特征与主特征, 主特征与辅特征, 以及辅特征与辅特征之间的关系, 可以构造出回转类零件的特征关系图。图 2-2 所示零件的特征关系图如图 2-5a 所示。为了便于编程, 可将特征关系图转换成特征二叉树结构, 这个特征二叉树就是零件信息模型的主干。图 2-5b 是从图 2-5a 所示的特征关系图转换而来的特征二叉树。该树的每一个节点对应着零件的一个特征 (主特征或辅特征)。图 2-5b 中, pts_start 指向零件的第一个主特征, pts_last 指向零件的最后一个主特征, pts_info 指向零件的当前特征, pts_af 指向零件的当前辅特征。习惯上, 将 pts_start、pts_last、pts_info、pts_af 等均称做特征。

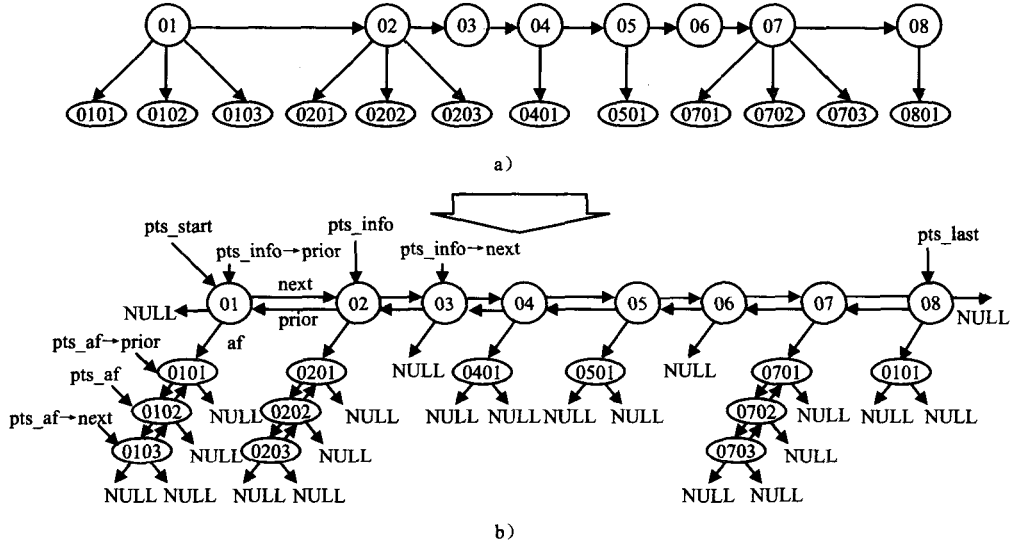


图 2-5 特征关系图及特征二叉树

a) 特征关系图 b) 特征二叉树

3. 特征属性层

特征属性层用于描述特征二叉树中每一个特征的属性，由于一个特征就是特征二叉树中的一个节点，所以特征属性层就是对特征二叉树每个节点的属性的描述。特征属性包括：主属性（包括特征名称、特征号、特征方向等）、几何尺寸属性、位置尺寸属性、形位公差属性、局部热处理属性、加工方法链属性以及特征辅助属性等多方面的信息。因为特征的每一个属性都是由若干属性项组成的，用双向链表将各个属性项连接起来，就组成了相应的属性链表，如定位尺寸链表、定形尺寸链表等。特征属性层的内容如图 2-6 所示。

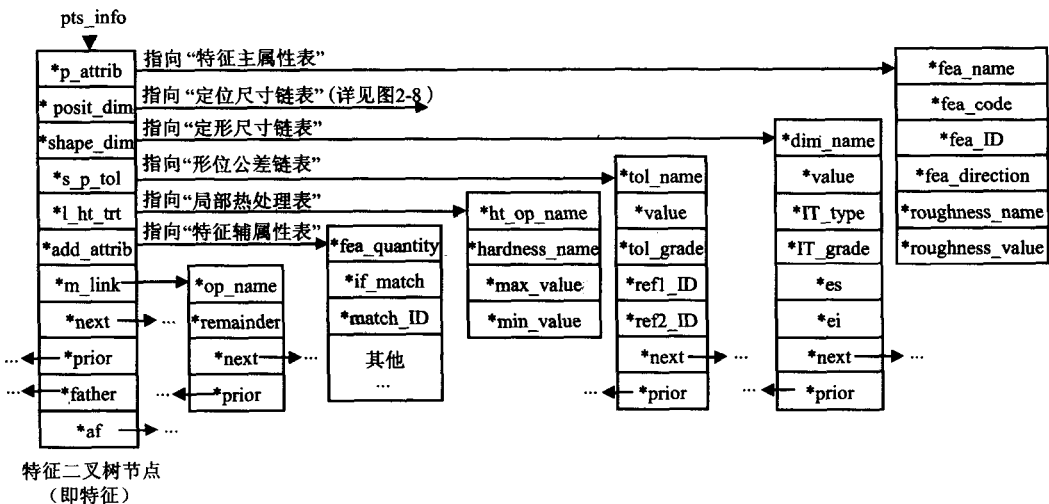


图 2-6 特征二叉树的节点