

荣获2002年全国普通高等学校优秀教材二等奖



普通高等教育“十五”国家级规划教材



面向21世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

CAD/CAM技术

第2版

北京理工大学 宁汝新 主 编
西安交通大学 赵汝嘉

大连理工大学 欧宗瑛 副主编



策划：邓海平
封面设计：张静



普通高等教育“十五”国家级规划教材

08474	知识创新学	助柏
15107	机械原理与机械设	策
0	机械设计基础	秀珍
07154	机械制造技术基础	秉恒
13114	机械制造技术基础	骏一
07046	机械基础 第2版	恩冲
07447	机械基础习题集 第2版	范恩冲
07085	CAD/CAM 技术 第2版	宁汝新
0	数控技术	杨有君
0	数控技术	易红
0	工程测试技术	康宜华
07611	液压与气压传动	左健民
07148	机械制造装备设计 第2版	冯辛安
06869	自动化制造系统 第2版	张根保
06868	特种加工 第4版	刘晋春
12261	先进制造技术	王隆太
06866	机械设计学 第3版	黄靖远
06871	液压元件与系统	李壮云
13689	机电一体化系统设计	赵松年
13919	机械 CAD	程晓民
06865	工业设计概论 第2版	程能林
06882	机械工程材料 第2版	沈 莲
07931	材料成形技术基础 第2版	陈金德
08177	机床数控技术	李郝林
07734	互换性与测量技术基础 第2版	王伯平
07611	液压与气压传动 第2版	章宏甲
0	液压与气压传动 第2版	王积伟
0	液压与气压传动习题集 第2版	王积伟
07597	机械工程测量与试验技术	黄长艺
04673	机械工程测试技术基础 第2版	黄长艺
0	机械工程测试技术基础 第3版	熊诗波
07924	(机械)控制工程基础 第2版	洪迈生
06850	机床电气控制 第3版	王益群
09939	电气控制技术(基础) 第3版	王炳实
07152	机械创新设计 第2版	齐占庆
06459	机械优化设计 第2版	张春林
03098	机械系统设计 第3版	孙靖民
03748	机构设计 第3版	朱龙根
06491	液压控制系统 第2版	曹惟庆
07091	机电一体化系统设计	王春行
07610	现代机械产品创新分析与设计	谢存禧
06870	流体力学 第2版	赵松年
05866	机械故障诊断学	罗惕乾
07155	精密与超精密加工技术	钟秉林
0	精密工程与纳米加工技术	袁哲俊
04422	机械工业企业管理 第3版	王先逵
05039	机械工程英语 第2版	王久征
07872	机电产品市场营销学	陈统坚
07920	现代质量工程	李元元
10803	先进制造技术(英文版)	张根保
		唐一平

赵汝嘉

洪迈生

ISBN 7-111-07085-2



0 1 >

定价：29.00 元

地址：北京市百万庄大街22号

邮政编码：100037

联系电话：(010) 68326294

网址：http://www.cmpbook.c

E-mail:online@cmpbook.com

荣获 2002 年全国普通高等学校优秀教材二等奖
普通高等教育“十五”国家级规划教材
面向 21 世纪课程教材

CAD/CAM 技术

第 2 版

主 编 宁汝新 赵汝嘉
副主编 欧宗瑛
参 编 蔡 颖 何清刚 华顺刚
陈 桦 曹 岩 刘成颖
易 红 倪中华 吴 丹
张 旭 (按章节顺序)
主 审 王先逵



机械工业出版社

本书重点讲述先进制造中的 CAD/CAM 的基础技术、关键技术和应用技术。内容包括: CAD/CAM 系统的支撑环境、CAD/CAM 设计方法、CAD/CAM 建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺过程及工装设计、计算机辅助加工及仿真、计算机辅助装配工艺设计、计算机集成质量管理、基于 PDM 的集成技术等。

考虑到 CAD/CAM 技术的迅速发展及企业应用的日益广泛,教材编写中除注意内容安排的系统性、完整性之外,还注意突出了介绍方法和思路上的多样性和实用性,并体现了 CAD/CAM 技术的最新发展趋势。

本书可作为机械工程及自动化专业的本科生和研究生教材,也可作为广大从事 CAD/CAM 技术研究的工程技术人员的参考资料或培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

CAD/CAM 技术/宁汝新等主编. —2 版. —北京:
机械工业出版社, 2005.1
普通高等教育“十五”国家级规划教材·面向 21 世纪课程教材
ISBN 7-111-07085-2

I. C… II. 宁… III. ①机械设计: 计算机辅助
设计—高等学校—教材②机械制造: 计算机辅助制造
—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 131909 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 邓海平 刘小慧
责任编辑: 邓海平 版式设计: 霍永明 责任校对: 姚培新
封面设计: 张 静 责任印制: 洪汉军
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2005 年 2 月第 2 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·20 印张·493 千字
定价: 29.00 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
68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

CAD/CAM 技术是随信息技术的发展而形成的一门新技术,它的应用和发展引起了社会和生产巨大变革,因此 CAD/CAM 技术被视为 20 世纪最杰出的工程成就之一。目前 CAD/CAM 技术广泛应用于机械、电子、航空、航天、汽车、船舶、纺织、轻工及建筑等各个领域,它的应用水平已成为衡量一个国家技术发展水平及工业现代化水平的重要标志。

随着市场竞争的日益激烈及全球市场的形成,对制造业来说,21 世纪企业竞争的核心将是新产品的开发能力及制造能力,CAD/CAM 技术是提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品生产成本的强有力手段。因此,国内外的企业对 CAD/CAM 技术的发展及应用都十分重视。我国的 CAD/CAM 技术推广应用工作,在党的十六大提出的“以信息化带动工业化,工业化促进信息化”的战略方针的指导下,已成为改造传统企业的重要战略措施。因此,如何引进、使用、开发和研究 CAD/CAM 技术,使其更好地为我国的四个现代化服务是摆在广大工程技术人员面前的重要任务。

另外,CAD/CAM 技术随着其推广应用和数字化设计与制造技术的发展,已逐渐从一门新兴技术发展成为一种高新技术产业,所以 CAD/CAM 技术也是未来工程技术人员必须掌握的基本工具。

CAD/CAM 技术涉及的内容十分广泛,本教材以机械制造专业的本科生和研究生的教学为对象,在学生已掌握了计算机的基本知识、计算机编程语言、计算机辅助绘图及工艺基本知识的基础上,系统学习计算机在设计与制造中的应用和开发技术。教材编写的特点是从系统的观点、集成的观点 and 发展的观点讲述 CAD/CAM 技术,从而使学生建立总体和效益的概念。在章节安排上,按照产品开发过程链,从设计方法和建模技术入手,讲述计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺规划和工装设计、数控编程和加工过程仿真、计算机辅助装配工艺设计、计算机集成质量管理、基于 PDM 的 CAD/CAM 集成及 CAD/CAM 技术的发展;在内容安排上,着重介绍一些基本概念、实施方法和关键技术;在介绍实施方法时,突出思路和方法的多样化,以开阔学生思路,培养学生分析问题和解决问题的能力;在关键技术中,突出产品建模技术,以适应 CAD/CAM 技术的不断发展。

本书是 1999 年出版的同名书的修订版。考虑到 CAD/CAM 技术应用引起的设计方法的变更及 PDM 技术应用的日益增多,因此将原书第三章计算机辅助图形处理技术改为计算机辅助产品设计的方法;将原书第九章计算机辅助生产管理与控制改为基于 PDM 的 CAD/CAM 集成技术;其它章节仅做局部修改。该书由北京理工大学宁汝新教授、西安交通大学赵汝嘉教授任主编,大连理工大学欧宗瑛教授任副主编。

各章分工如下:第一、四章由北京理工大学宁汝新教授编写,第二章由大连理工大学欧宗瑛教授、何清刚副教授编写,第三章由北京理工大学蔡颖教授编写,第五章由大连理工大学欧宗瑛教授、华顺刚副教授编写,第六章由西安交通大学赵汝嘉教授与陕西科技大学陈桦教授编写,第七章由清华大学刘成颖副教授编写,第八章由东南大学易红教授、倪中华副教

授编写，第九章由清华大学吴丹副教授编写，第十章由北京理工大学张旭副教授编写，第十一章由西安交通大学赵汝嘉教授与曹岩博士编写。

全书由清华大学王先逵教授主审，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足、不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

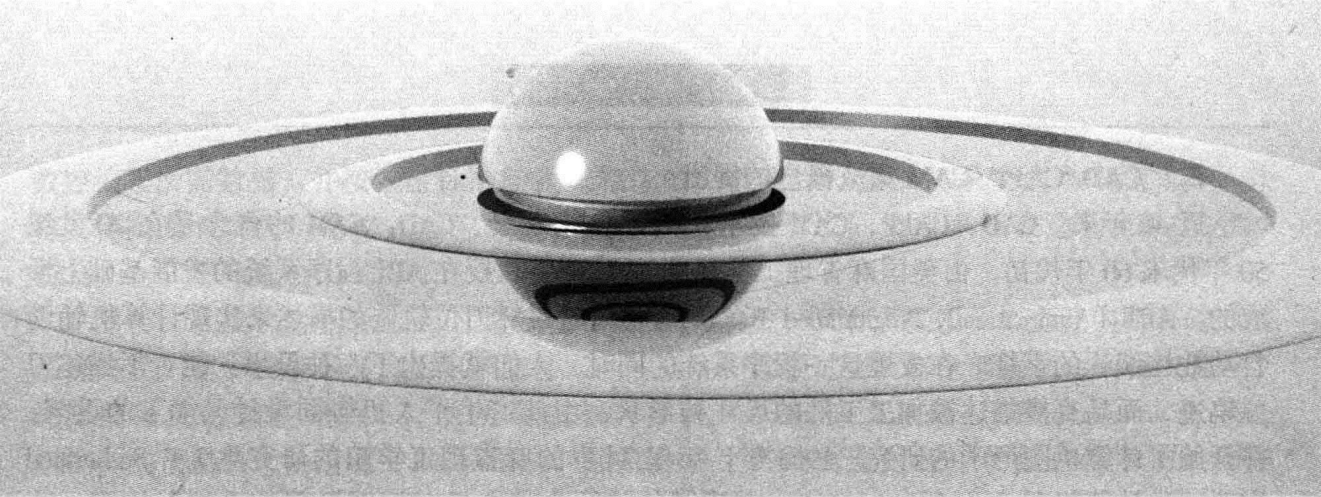
编者

于北京理工大学

目 录

前言	
第一章 概述	1
第一节 CAD/CAM 的基本概念	1
第二节 CAD/CAM 系统的结构	3
第三节 CAD/CAM 系统的应用和发展	6
思考题	9
第二章 CAD/CAM 系统的支撑环境	10
第一节 CAD/CAM 系统的软硬件配置	10
第二节 CAD/CAM 系统的硬件	11
第三节 CAD/CAM 系统的软件	21
第四节 工程数据库	27
第五节 计算机网络和协同工作环境	31
思考题	37
第三章 计算机辅助产品设计的	
方法	39
第一节 概述	39
第二节 计算机辅助设计过程分析	40
第三节 计算机辅助概念设计	42
第四节 参数化与模块化设计	48
第五节 产品设计的可视化技术	58
思考题	75
第四章 CAD/CAM 建模技术及产品数据模型	76
第一节 基本概念	76
第二节 几何建模技术	79
第三节 特征建模技术	96
第四节 集成产品数据模型及数据交换接口	100
思考题	108
第五章 计算机辅助工程分析	109
第一节 工程分析的主要内容及分析计算方法	109
第二节 有限元分析计算	110
第三节 优化设计方法	121
第四节 工程分析中的仿真技术	136
思考题	139
第六章 计算机辅助工艺过程及工装设计	140
第一节 概述	140
第二节 CAPP 系统的工作模式	145
第三节 基于知识的 CAPP 系统	153
第四节 CAPP 系统开发平台	161
第五节 计算机辅助工装设计	167
思考题	177
第七章 计算机辅助数控加工	178
第一节 计算机辅助数控编程	178
第二节 数控编程中的数学处理	188
第三节 加工过程仿真	199
第四节 DNC 技术	201
思考题	213
第八章 计算机辅助装配工艺设计	214
第一节 概述	214
第二节 装配信息描述方法及工艺知识库	220
第三节 装配工艺的自动生成	225
第四节 装配过程仿真	230
第五节 装配 CAD/CAAPP 集成方法与系统实现	235
思考题	237
第九章 计算机集成质量管理	238
第一节 概述	238
第二节 集成质量管理系统的功能与结构	240
第三节 计算机辅助质量检测	244
第四节 统计质量控制	251
第五节 计算机辅助加工过程监控	255
思考题	259
第十章 基于 PDM 的 CAD/CAM 集成技术	260

第一节 产品数据管理技术概述.....	260	的需求.....	290
第二节 基于 PDM 的 CAD/CAM 集成 技术.....	279	第二节 计算机集成制造 系统 (CIMS)	294
第三节 产品全生命周期管理技术.....	285	第三节 并行工程 (CE)	297
思考题.....	289	第四节 虚拟制造系统 (VMS)	300
第十一章 CAD/CAM 集成技术及其发展	290	第五节 网络化制造.....	305
第一节 21 世纪制造业对 CAD/CAM		思考题.....	310
		参考文献	311



第一章

概 述

第一节 CAD/CAM 的基本概念

一、CAD、CAPP、CAM 的基本概念

计算机的出现和发展实现了将人类从繁琐的脑力劳动中解放出来的愿望。早在 40 多年前,计算机就已作为重要的工具,辅助人类承担一些单调、重复的劳动,如辅助数控编程、工程图样绘制等。在此基础上逐渐出现了计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)及计算机辅助制造(CAM)等概念。

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是指工程技术人员在人和计算机组成的系统中以计算机为工具,辅助人类完成产品的设计、分析、绘图等工作,并达到提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品成本的目的。一般认为 CAD 系统的功能包括:①概念设计;②结构设计;③装配设计;④复杂曲面设计;⑤工程图样绘制;⑥工程分析;⑦真实感及渲染;⑧数据交换接口等。

计算机辅助工艺过程设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)是指在人和计算机组成的系统中,根据产品设计阶段给出的信息,人机交互地或自动地完成产品加工方法的选择和工艺过程的设计。一般认为 CAPP 的功能包括:①毛坯设计;②加工方法选择;③工艺路线制定;④工序设计;⑤刀夹量具设计等。其中工序设计又包含:机床、刀具的选择,切削用量选择,加工余量分配以及工时定额计算等。

计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)有广义和狭义两种定义。广义 CAM 一般是指利用计算机辅助完成从生产准备到产品制造整个活动的过程,包括工艺过程设计、工装设计、NC 自动编程、生产作业计划、生产控制、质量控制等。狭义 CAM 通常是指 NC 程序编制,包括刀具路径规划、刀位文件生成、刀具轨迹仿真及 NC 代码生成等。本教材采用狭义定义方法,并适当扩展了有关集成质量管理的内容。

二、CAD/CAPP/CAM 集成概念的提出

近 40 年来, CAD、CAPP、CAM 技术获得了飞速发展。CAD、CAM 的概念是在 20 世纪 50 年代末 60 年代初, 由美国麻省理工学院的 D.T. Ross 教授在 APT 程序系统的发展基础上形成的。APT (Automatically Programmed Tools) 语言是通过对刀位轨迹的描述来实现计算机辅助自动数控编程的系统。在发展这一程序系统的同时, 人们就提出了一种设想: 能否不描述刀位轨迹, 而是直接描述被加工工件的尺寸和形状? 由此产生了人机协同设计、加工的设想, 并开始了计算机图形学的研究。1963 年, 年仅 24 岁的麻省理工学院的研究生 I.E. Sutherland 在美国的计算机联合大会上 (SJCC) 宣读了他的题为“人机对话图形通信系统”的博士论文。由他推出的二维 SKETCHPAD 系统, 允许设计者坐在图形显示器前操作光笔和键盘, 在荧光屏上显示图形。这一研究成果具有划时代的意义, 促进了计算机辅助设计和辅助制造的发展。同年第一个被工业界发展的系统 DAC-1 (Design Augmented by Computers) 也在通用汽车公司问世, 并且 IBM 公司发展了 2250 系列的显示装置。这些研究在今天看来是很粗糙和不完善的, 尽管如此, 它却大大推动了人们对 CAD、CAM 的关注和兴趣。首先做出响应的是美国的汽车工业, 然后英国、日本、意大利等国的汽车公司也开始了实际应用, 并逐步扩展到其他部门。

从 20 世纪 60 年代中期到 70 年代中期, 针对某个特定领域的 CAD 系统蓬勃发展, 出现了主要以自动绘图为目的的配套 CAD 系统 (Turnkey System)。所谓配套 CAD 系统一般是由 16 位小型计算机、数字化仪、显示装置、绘图机等硬件组成, 并与软件配套出售的自动绘图系统。使用时操作者拧开开关就可使用, 因此很容易掌握。与此同时, 为适应设计和加工任务的要求, 三维几何处理软件也相继发展。

自 20 世纪 70 年代中期以来, 计算机的应用日益广泛, 几乎深入到生产过程的所有领域, 并形成了很多计算机辅助的分散系统。如果不考虑企业行政管理方面的因素, 这些分散系统是: ①计算机辅助生产计划与控制 (PPS); ②计算机辅助产品设计 (CAD); ③计算机辅助工程分析 (CAE); ④计算机辅助工艺过程设计 (CAPP); ⑤计算机辅助制造 (CAM); ⑥计算机辅助质量管理 (CAQ); ⑦计算机辅助夹具设计 (CAFD) 等。

这些独立的分散系统分别在产品设计自动化、工艺过程设计自动化和数控编程自动化等方面起到了重要作用。但是, 采用这些各自独立的分散系统不能实现系统之间信息的自动传递和交换。例如 CAD 系统设计的结果不能直接为 CAPP 系统接受, 若进行工艺过程设计时还需要人工将 CAD 输出的图样文档等信息转换成 CAPP 系统所需要的输入数据, 这不但影响了效率的提高, 而且在人工转换中难免发生错误。所以, 随着计算机日益广泛深入的应用, 人们很快认识到, 只有当 CAD 系统一次性输入的信息能为后续环节 (如 CAPP、CAM) 继续应用时才是最经济的。为此提出了 CAD/CAPP/CAM 集成的概念, 并首先致力于 CAD、CAPP 和 CAM 系统之间数据的自动传递和转换的研究, 以便将业已存在并使用的 CAD、CAPP、CAM 系统集成起来。目前, 这一技术已达到实用化水平。

利用数据传递和转换技术实现 CAD 与 CAPP、CAM 集成的基本工作步骤如下: ①CAD 设计产品结构, 绘制产品图样, 为 CAPP、CAM 过程准备数据; ②经数据转换接口, 将产品数据转换成中性文件, 如初始图形交换规范文件 (Initial Graphics Exchange Specification, IGES)、产品数据交换标准文件 (Standard for the Exchange of Product Model Data, STEP); ③CAPP 系统读入中性文件, 并将其转换为系统所需格式后生成零件工艺过程; ④CAD、CAPP 系统生成

数控编程所需数据，并按一定标准转换成相应的中性文件；⑤CAM 系统读入中性文件，并将其转换为本系统所需格式后生成数控程序。这样所形成的集成系统表达为 CAD/CAPP/CAM，也可简写为 CAD/CAM。

随着信息技术的不断发展，为使企业产生更大效益，又有人提出要把企业内所有的分散系统集成。这一设想不仅包括生产信息，也包括生产管理过程所需全部信息，从而构成一个计算机集成的制造系统。计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）的重要概念是集成（Integration），通过企业生产经营全过程的信息流和物流的集成，达到产品上市快、质量好、成本低、服务好，提高企业的经济效益和市场竞争能力的目的。实现 CIMS 集成的核心技术是 CAD/CAM 技术。

第二节 CAD/CAM 系统的结构

一、产品生产过程与 CAD/CAM 过程链

产品是市场竞争的核心。对于产品有不同的定义和理解，一般认为产品是指被生产的东西，所以从生产的观点来看，产品是从需求分析开始，经过设计过程、制造过程最后变成可供用户使用的成品，这一总过程也称为产品生产过程。产品生产过程具体包括：产品设计、工艺设计、加工检测和装配调试过程。每一过程又划分为若干个阶段，例如产品设计过程可分为任务规划、概念设计、结构设计、施工设计四个阶段；工艺设计过程可划分为毛坯及定位形式确定、工艺路线设计、工序设计、刀、夹、量具设计等阶段；加工、装配过程可划分为 NC 编程、加工过程仿真、NC 加工、检测、装配、调试等阶段（见图 1-1）。

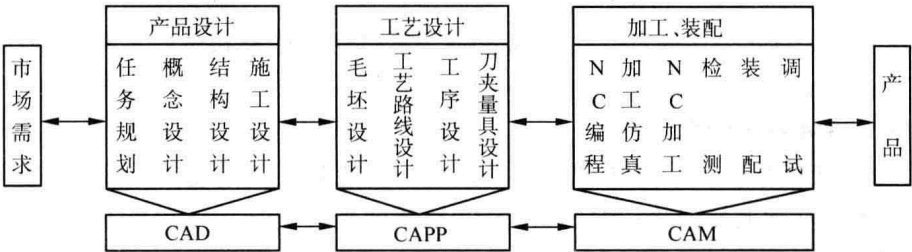


图 1-1 产品生产过程及 CAD/CAM 过程链

在上述各过程、阶段内，随着信息技术的发展，计算机获得不同程度应用，并形成了相应的 CAD/CAPP/CAM 过程链。按顺序生产观点，这是一个串行的过程链，但按并行工程的观点考虑到信息反馈，这也是一个交叉、并行的过程。

另外，从市场变化的观点来看，产品又可以分为投入期、生长期、成熟期、饱和期和淘汰期，这是产品生命周期的概念。同时从产品全生命周期整体考虑，还应包括有关产品的研究阶段及市场超前的研究，所以产品的生命周期可分为产品研究、产品规划、产品设计、产品试剂、产品制造、产品销售、产品使用及产品报废、回收等阶段。随着计算机应用领域的日益扩大，当前不仅从事生产过程建模技术的研究，而且还面对产品的整个生命周期，从事产品生命周期建模技术研究，以便从根本上解决产品在设计、生产、组织管理、销售、服务等各个环节内产品数据的交换和共享问题。

二、CAD/CAM 系统的组成

系统是指为一个共同目标组织在一起的相互联系部分的组合。一个完善的 CAD/CAM 系统应具有如下功能：①快速数字计算及图形处理能力；②大量数据、知识的存储及快速检索、操作能力；③人机交互通信的功能；④输入、输出信息及图形的能力。为实现这些功能，CAD/CAM 系统应由人、硬件、软件三大部分组成。其中电子计算机及其外围设备称为 CAD/CAM 系统的硬件；操作系统、数据库、应用软件称作 CAD/CAM 系统的软件。不言而喻，人在 CAD/CAM 系统中起主导作用。

由人、硬件、软件组成的 CAD/CAM 系统将实现设计和制造各功能模块之间的信息的传输和存储，并对各功能模块运行进行管理和控制。一般其总体结构如图 1-2 所示。

从图 1-2 的结构可见，CAD/CAM 系统是建立在计算机系统上，并在操作系统、网络系统及数据库的支持下运行的软件系统。用户通过用户界面操作、控制 CAD/CAM 系统的运行。近几年来，如何使

CAD/CAM 系统具有一个良好的、直观的、易学易用的用户界面已成为 CAD/CAM 系统追求的目标之一，因为它直接关系到系统运行的效率及推广应用的可能性问题。为满足高质量用户界面的需求，自 20 世纪 80 年代中期起，开始研究窗口管理系统。窗口是一种多任务编程的屏幕显示和人机界面技术，目前国际上著名的窗口管理系统有麻省理工学院（MIT）开发的 X-Windows 和 Microsoft 公司开发的 MS-Windows，它们在工作站和微机上都获得广泛应用，已成为事实上的 CAD/CAM 应用软件的标准界面。

三、CAD/CAM 系统的集成方案

CAD/CAM 系统的集成有信息集成、过程集成、功能集成。目前的 CAD/CAM 系统大多都停留在信息集成基础上。因此一般的 CAD/CAM 集成指的是把 CAD、CAE、CAPP、CAFD、CAM 等各种功能软件有机结合在一起，用统一的执行程序来控制和组织各功能软件信息的提取、转换和共享，从而达到系统内信息的畅通和系统协调运行的目的。

CAD/CAM 系统集成关键是信息的交换和共享。根据信息交换方式和共享程度的不同，CAD/CAM 系统的集成方案主要有以下四种。

1. 通过专用数据接口实现集成

这是一种初级的文件传输的集成方式。利用这种方式实现集成时，各子系统都是在各自独立的数据模式下工作，如图 1-3 所示。当系统 A 需要系统 B 的数据时，需要设计一个专用的接口文件将系统 B 的数据格式直接转换成系统 A 的数据格式，反之亦然。

这种集成方式原理简单，运行效率较高，但开发的专用数据接口无通用性，不同的 CAD、CAPP、CAM 系统要开发不同的接口，且当其中一个数据结构发生变化时，与之相关的所有接口程序都要修改。

2. 利用标准格式接口文件实现集成



图 1-2 CAD/CAM 系统总体结构

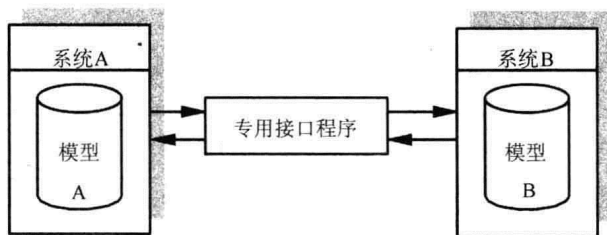


图 1-3 专用数据接口

这种集成方式的思路是建立一个与各子系统无关的公共接口文件（见图 1-4），当某一系统数据结构发生变化时只需修改此系统的前、后置处理程序即可。这种集成的关键是建立公共的标准格式文件，目前世界上已研制出多个公共标准格式，其中典型的有 IGES、STEP 等。一般 CAD/CAM 商用软件都提供了它们符合标准格式的前、后置处理器，故用户不必自行开发。

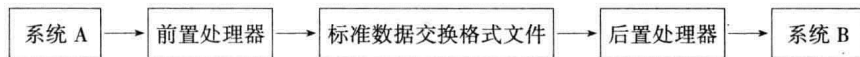


图 1-4 标准格式数据接口

3. 基于统一产品模型和数据库的集成

这是一种将 CAD、CAPP、CAM 作为一个整体来规划和开发，从而在企业内或部门内实现系统纵向高度集成和信息共享的方案。图 1-5 为一 CAD/CAPP/CAM 集成系统框架图。从图 1-5 中可见，集成产品模型是实现集成的核心，统一工程数据库是实现集成的基础。各功能模块通过公共数据库及统一的数据库管理系统实现数据的交换与共享，从而避免了数据文件格式的转化，消除了数据冗余，保证了数据一致性、安全性和可靠性。

4. 基于产品数据管理（PDM）的系统集成

PDM 技术是以产品数据的管理为核心，通过计算机网络和数据库技术把企业生产过程中所有与产品相关的信息和过程集成管理的技术。与产品相关的信息包括开发计划、产品模型、工程图样、技术规范、工艺文件、数控代码等，与产品相关的过程包括设计、加工制造、计划调度、装配、检测等工作流程及过程处理程序。基于 PDM 的系统集成是指集数据库管理、网络通信能力和过程控制能力于一体，将多种功能软件集成在一个统一平台上，它不仅能实现分布式环境中产品数据的一致性管理，同时还能为人与系统的集成及并行工程的实施提供支持环境，它可以保证正确的信息在正确的时刻传递给正确的人。图 1-6 为基于 PDM 的集成系统体系结构。其中系统集成层即 PDM 核心层，向上提供 CAD/CAPP/CAM 的集成平台，把与产品有关的信息集成管理起来；向下提供对异构网络和异构数据库的接口，实现数据跨平台传输与分布处理。由图 1-6 可见，PDM 可在更大程度和范围内实现企业内部和企业间的信息共享。

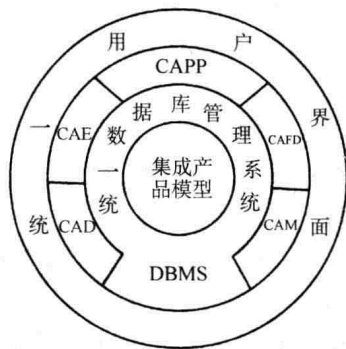


图 1-5 基于统一产品模型和数据库集成的框架图

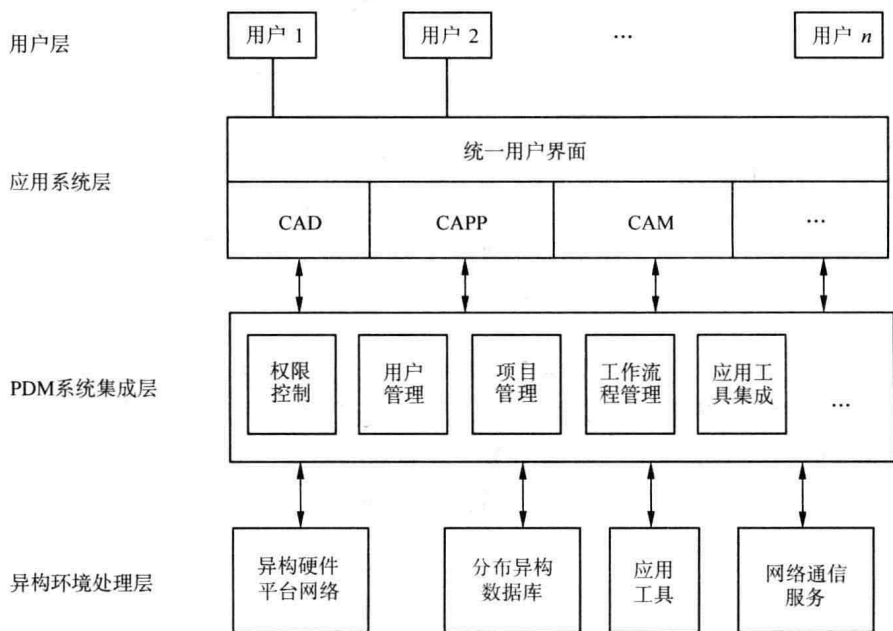


图 1-6 基于 PDM 的集成系统体系结构

第三节 CAD/CAM 系统的应用和发展

一、CAD/CAM 技术在工业中的应用

从 20 世纪 60 年代初第一个 CAD 系统问世以来，经过 30 多年的发展，CAD/CAM 系统在技术上、应用上已日趋成熟。尤其进入 80 年代以后，硬件技术的飞速发展使软件在系统中占有越来越重要地位。作为商品化 CAD/CAM 软件，如美国 SDRC 公司的 I-DEAS，美国 Computer Vision 公司的 CADD5，美国 EDS 公司的 UG II，美国 PTC 公司的 PRO/Engineer，法国 MATRA 公司的 Euclid，以及数据库管理软件 Oracle 等大量投入市场。目前 CAD/CAM 软件已发展成为一个受人瞩目的高技术产业，并广泛应用于机械、电子、航空、航天、船舶、汽车、纺织、轻工、建筑等行业。据统计，美国大型汽车业的 100%，电子行业的 60%，建筑行业的 40% 采用 CAD/CAM 技术，例如美国波音 777 已 100% 实现数字化三维实体设计，实现了无图纸制造。

我国的 CAD/CAM 技术在近 20 年间也取得了可喜成绩。在“七五”计划期间国家支持对 24 个重点机械产品进行了 CAD 的开发研制工作，为我国 CAD/CAM 技术的发展奠定了一定的基础。另外，通过国家科委实施的 863 计划中的 CIMS 主题，也促进了 CAD/CAM 技术的研究和发展。尤其是机械行业自 1995 年以来，相继开展了“CAD 应用 1215 工程”和“CAD 应用 1550 工程”，前者是树立 12 家“甩图板”的 CAD 应用典型企业，后者是培育 50 ~ 100 家 CAD/CAM 应用的示范企业，扶持 500 家，继而带动 5000 家企业的计划。近几年来市场上已越来越多地出现了拥有自主知识产权的 CAD、CAM 软件，如清华大学的高华 CAD 软件、天河公司的 CAPP 软件和华中理工大学的开目 CAD 软件等；CAD/CAM 的应用日益广泛。但总体上我国 CAD/CAM 的研究应用与工业发达国家相比还有较大差距，主要表现在：① CAD/CAM 的应用集成化程度较低，很多企业的應用仍停留在绘图、NC 编程等单项技术的应用

上;②CAD/CAM 系统的软、硬件主要依靠进口,拥有自主知识产权的软件较少;③缺少设备和技术力量,有些企业尽管引进了 CAD/CAM 系统,但二次开发能力弱,其功能没能充分发挥。

随着市场竞争的日益激烈,用户对产品的质量、成本、上市时间提出了越来越高的要求。事实证明,CAD/CAM 技术是加快产品更新换代,增强企业竞争能力的最有效手段,同时也是实施先进制造和 CIMS 的关键和核心技术。目前,CAD/CAM 技术应用已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。因此,我们应抓紧时机,结合国情,积极开展 CAD/CAM 的研究和推广工作,提高企业竞争能力,加速企业现代化的进程。

二、CAD/CAM 技术的发展趋势

CAD/CAM 技术还在发展之中,发展的主要趋势是集成化、并行化、智能化、虚拟化、网络化和标准化。具体说主要体现在如下几个方向上:

1. 计算机集成制造 (CIM)

CIM (Computer Integrated Manufacturing) 是 CAD/CAM 集成技术发展的必然趋势。CIM 的最终目标是以企业为对象,借助于计算机和信息技术,使生产中各部分从经营决策、产品开发、生产准备到生产实施及销售过程中,有关人、技术、经营管理三要素及其形成的信息流、物流和价值流有机集成并优化运行,从而达到产品上市快、高质、低耗、服务好、环境清洁,使企业赢得市场竞争的目的。CIMS 是一种基于 CIM 哲理构成的计算机化、信息化、智能化、集成化的制造系统。它适应多品种、小批量市场需求,可有效地缩短生产周期,强化人、生产和经营管理联系,减少在制品,压缩流动资金,提高企业的整体效益。所以,CIMS 是未来工厂自动化的发展方向。CIMS 技术的发展体现了信息技术、自动化技术与管理技术的集成,然而由于 CIMS 是投资大、建设周期长的项目,因此不能一揽子求全,应总体规划、分步实施。而分步实施的第一步是 CAD 与 CAM 集成的实现。

2. 并行工程 (CE)

并行工程 (Concurrent Engineering, CE) 是随着 CAD/CAM、CIMS 技术的发展而提出的一种新系统工程方法。这种方法的思路就是并行的、集成的设计产品开发的过程。它要求产品开发人员在设计的阶段就考虑产品整个生命周期的所有需要,包括质量、成本、进度、用户要求等,以便最大限度地提高产品开发效率及一次成功率。并行工程的关键是并行设计方法代替串行设计方法。图 1-7 为两种方法示意图。由图 1-7 可见,在顺序法中信息流向是单向的,在并行法中,信息流向是双向的。

随着市场竞争的日益激烈,并行工程必将引起越来越多的重视。但其实施也决非一朝一夕的事情,目前应为并行工程的实现创造条件和环境,其中与 CAD/CAM 技术发展密切相关的有如下几项要求:①研究特征建模技术,发展新的设计理论和方法;②开展制造仿真软件及虚拟制造技术的研究,提供支持并行工程运行的工具和条件;③开展企业经营过程重构研究,实现可制造性、可装配性、可维修性设计;④借助网络及 PDM 技术,建立并行工程中数据共享的环境;⑤提供多学科开发小组的协同工作环境,充分发挥人在并行工程中的作用。以上要求将极大地促进 CAD/CAPP/CAM 技术的变革和发展。

3. 智能化 CAD/CAM 系统

机械设计是一项创造性活动,在这一活动过程中,很多工作是非数据、非算法的。所以随着 CAD/CAM 技术的发展,除了集成化之外,将人工智能技术、专家系统应用于系统中,

形成智能的 CAD/CAM 系统,使其具有人类专家的经验 and 知识,具有学习、推理、联想和判断功能及智能化的视觉、听觉、语言能力,从而解决那些以前必须由人类专家才能解决的概念设计问题。这是一个具有巨大潜在意义的发展方向,它可以在更高的创造性思维活动层次上给予设计人员有效的辅助。

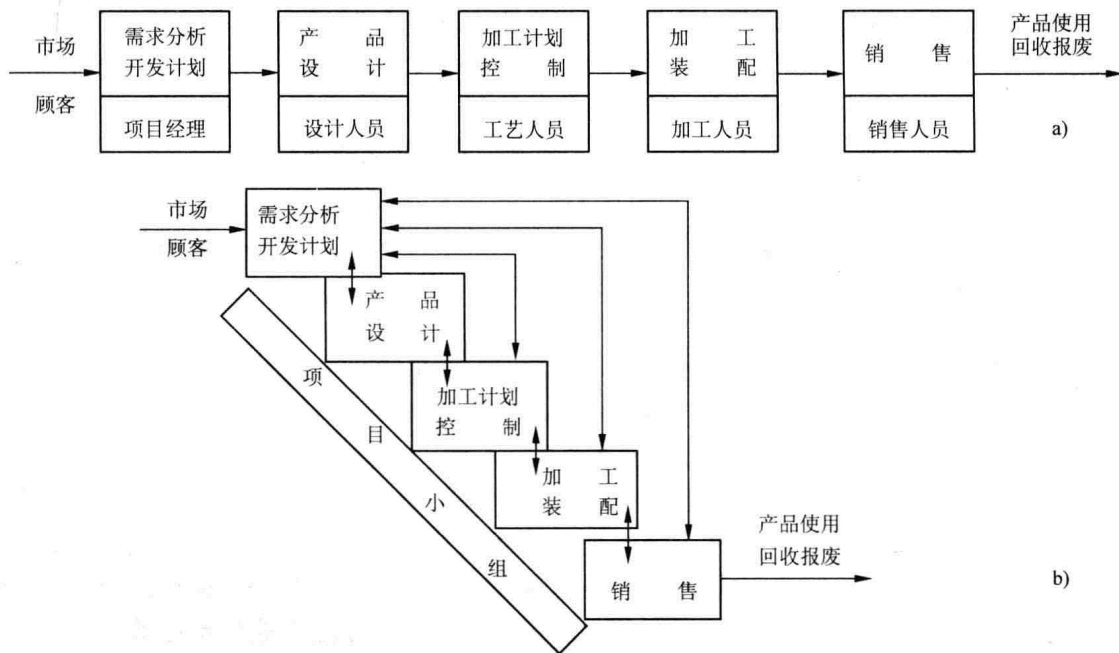


图 1-7 两种开发方法示意图

a) 串行法 b) 并行法

另外,智能化和集成化两者之间存在密切联系。为了能自动生成制造过程所需的信息,必须理解设计师的意图和构思。从这一意义上讲,为实现系统集成,智能化也是不可缺少的研究方向。

4. 虚拟产品开发

数字化建模技术、仿真技术和虚拟现实技术的发展,为人类提供了从定性到定量,从模糊到精确、从直觉到科学的工具,因而设计活动开始了从定性、经验型设计向定量、可预测性设计的方向发展。虚拟产品开发(Virtual Product Development, VPD)是建立在虚拟现实技术与 CAD/CAM 技术的有机结合基础之上产生的新概念,它以计算机仿真和产品生命周期建模技术为基础,集计算机图形学、人工智能、并行工程、网络技术、多媒体技术和虚拟现实等技术于一体,在虚拟环境下,对产品进行构思、设计、制造、测试和分析。

虚拟产品开发的显著特点之一是利用存储在计算机内部的“数字化样机”(Digital Mock-Up, MDU)来代替实物样机进行仿真、分析,从而提高了产品在时间、质量、成本、服务和环境等多目标中的决策水平,达到缩短产品开发周期和一次性开发成功的目的。

虚拟产品开发技术通过采用虚拟现实和增扩现实技术(Virtual and Augmented Reality Technology, VR、AR)为产品开发人员提供了高度可视化和高度柔性化的人机交互接口,操作者可以通过视觉、触觉及语音和手势等与数字化样机进行交互,从而将人类的观察、思

维、想象和操作能力有机地集成在一起，为产品开发人员提供了更为广阔的创造性空间。可以说，这是设计发展史上的一大进步。尽管它的出现只有短短的数年，但已在新产品的开发中显示出巨大影响，波音 777 的开发成功是其最明显的实例。

5. 网络化设计与制造

自 20 世纪 90 年代以来，计算机网络已成为计算机发展进入新时代的标志。随着 Internet 的迅速发展和广泛应用，人们可以突破地域的限制，在广域区间和全球范围内实现协同工作和资源共享。由于分布在异地的资源信息可以方便、迅速地通过网络获取和交换，因此可实现资源的取长补短和优化配置，为此出现了“全球制造”和“分布式网络化生产系统”等先进制造模式。异地协同设计和制造，可以方便地吸收最优秀人才，采用最可靠、最经济的元器件，开发出最有竞争力的产品，然后在最接近用户、最有条件的生产基地制造出产品，以满足世界上任何一地的订货要求，提高企业的快速响应能力和市场竞争力。

思 考 题

1. 一般所说的 CAD/CAM 过程链主要包括哪些内容？
2. CAD/CAM 系统实现集成的方案有哪几种？
3. CAD/CAM 技术发展趋势如何？