

面向 21 世纪 机械工程及自动化 专业规划教材
机 电 一 体 化

计算机辅助设计 与制造

主编 唐承统 阎 艳

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了 CAD/CAM 技术的基本理论和基础知识, 主要包括: CAD/CAM 的基本概念、CAD/CAM 系统的硬件与软件、工程数据管理、计算机图形处理技术基础、CAD/CAM 建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控编程、计算机辅助装配工艺规划和 CAD/CAM 集成技术及其发展等。本书的目的是培养学生分析和解决计算机辅助设计与制造问题的综合能力。

本书主要用作高等院校机械工程及自动化、机电一体化专业的教材, 也可作为普通高等院校其他相关专业的教材, 还可供从事 CAD/CAM 和现代制造系统技术的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机辅助设计与制造/唐承统, 阎艳主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2008. 1

面向 21 世纪机械工程及自动化、机电一体化专业规划教材

ISBN 978—7—5640—1376—9

I. 计… II. ①唐…②阎… III. ①计算机辅助设计—高等学校—教材②计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 008440 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 21.25

字 数 / 504 千字

版 次 / 2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 35.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 周瑞红

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 技术是计算机技术与信息技术、机械设计、制造技术相互结合与渗透而产生的一门综合性应用技术, 具有知识密集、综合性强、应用效率高、数字化等特点, 也是信息化制造技术的基础。CAD/CAM 技术的发展与应用, 不仅改变了产品设计制造的工作内容与方式, 而且有利于发挥设计人员的创造性。经过几十年的发展和应用, CAD/CAM 已形成规模庞大的产业, 为制造业带来了巨大的社会效益和经济效益。

我国 CAD/CAM 技术的开发和应用于 20 世纪 90 年代中后期取得了长足的发展, 诞生了不少具有自主知识产权的 CAD/CAM 系统, 一举改变了 CAD/CAM 软件市场基本上由国外产品所垄断的局面。不少制造企业的软、硬件条件与国外相比也相差不大, 但在 CAD/CAM 技术应用的深度和广度方面与国外先进水平相比还有一定差距。为了尽快缩短这一差距, 应加强 CAD/CAM 及相关技术的研究, 开发先进的软件产品, 深化和普及 CAD/CAM 技术的应用, 提高新产品开发的能力。近年来, 从事 CAD/CAM 技术应用的人员不断增加, 因此, 希望本书能对他们有所参考, 为进一步应用和开发 CAD/CAM 技术打下基础。

CAD/CAM 技术涉及内容 and 应用范围十分广泛, 本着系统性、先进性、实用性相结合的原则, 本书力求合理安排核心技术内容, 主要涉及计算机辅助设计和制造中的具体技术问题和相关理论, 以最新的 CAD、CAM、CAE 软件为背景, 兼顾各相关技术的最新发展, 以期形成易读、易懂、实用的教材。本书将重点介绍 CAD/CAM 技术最基本、最核心的技术。鉴于产品装配工艺规划问题越来越突出, 本书还重点介绍了计算机辅助装配工艺规划技术的内容。

本书以机械设计、制造及其自动化专业的本科生和专科生教育为主要对象。在学生已掌握了计算机、产品设计与制造等知识的基础上, 系统学习 CAD/CAM 技术的基本原理与方法, 为学生理解、应用和开发 CAD/CAM 软件工具奠定基础, 培养学生应用计算机手段从事产品开发、生产和系统集成的综合能力。

本书由北京理工大学唐承统、阎艳任主编。第 1 章由唐承统编写; 第 2、8 章由王爱民编写, 第 3、4、7、10 章由阎艳编写, 第 5、6、9 章由刘检华编写。全书由唐承统和阎艳统稿。

由于编者水平有限, 加之时间仓促, 书中疏漏与错误之处难免, 诚恳欢迎读者批评指正。

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com 编 者

目 录

第 1 章 CAD/CAM 概述	1
1.1 CAD/CAM 基本概念	1
1.2 CAD/CAM 技术的发展历程	7
1.3 CAD/CAM 技术的应用	11
1.4 CAD/CAM 技术的发展趋势	13
习题	16
第 2 章 CAD/CAM 系统的硬件与软件	17
2.1 CAD/CAM 系统结构	17
2.2 CAD/CAM 系统的类型	18
2.3 CAD/CAM 系统的硬件	21
2.4 CAD/CAM 系统的软件	31
2.5 计算机网络和协同工作环境	38
习题	50
第 3 章 CAD/CAM 中的工程数据管理	51
3.1 CAD/CAM 中的数据结构	51
3.2 工程数据的计算机处理	66
3.3 工程数据管理	75
3.4 工程数据库	82
习题	88
第 4 章 计算机图形处理技术基础	89
4.1 图形变换	89
4.2 图形消隐技术	107
4.3 图形裁剪技术	113
4.4 计算机图形的光照处理	120
习题	123
第 5 章 CAD/CAM 建模技术	125
5.1 概述	125
5.2 几何建模技术	129
5.3 特征建模技术	149

5.4 智能 CAD 技术	156
习题	163
第 6 章 计算机辅助工程分析	164
6.1 概述	164
6.2 有限元法	165
6.3 优化设计	181
6.4 计算机仿真	191
6.5 CAE 技术应用	195
习题	199
第 7 章 计算机辅助工艺过程设计	200
7.1 概述	200
7.2 CAPP 系统零件信息的描述和输入	204
7.3 派生式 CAPP 系统	209
7.4 创成式 CAPP 系统	216
7.5 基于知识的 CAPP 系统	222
习题	233
第 8 章 计算机辅助数控编程	234
8.1 概述	234
8.2 数控编程基础	236
8.3 APT 自动编程语言及其编程技术	253
8.4 图形交互式自动数控编程技术	263
8.5 数控加工过程仿真	266
习题	271
第 9 章 计算机辅助装配工艺规划技术	272
9.1 概述	272
9.2 产品装配模型和工艺知识库	279
9.3 计算机辅助装配顺序规划	285
9.4 装配路径规划	290
9.5 装配工艺生成	291
9.6 虚拟装配技术	295
习题	302
第 10 章 CAD/CAM 集成技术及发展	303
10.1 概述	303
10.2 产品数据交换标准	306

10.3 基于 PDM 的 CAD/CAM 集成	314
10.4 基于 PDM 的集成技术的发展趋势	326
10.5 基于 PLM 的集成技术	327
习题.....	329
参考文献.....	330

第 1 章

Chapter 1

CAD/CAM 概述

本章要点

计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 是计算机技术、信息技术、网络技术与设计制造理论及方法相结合的一门多学科综合性技术。其在制造业的广泛应用,极大地促进了制造模式的转变。CAD/CAM 技术的研究、开发与应用水平已经成为衡量一个国家工业现代化的重要标志之一。本章主要介绍 CAD/CAM 的基本概念、CAD/CAM 的发展历程、CAD/CAM 的功能、CAD/CAM 技术的应用状况和 CAD/CAM 技术新的发展方向。

1.1 CAD/CAM 基本概念

1.1.1 CAD/CAM 与先进制造技术

先进制造技术是当今世界经济和社会发展的重要推动力。在 20 世纪 90 年代,制造技术已进入了计算机辅助制造的时代,它是通过一个计算机分级结构网络来监测、控制和管理制造过程各个阶段的工作,其中包括生产管理与控制、工程设计与分析等方面。在制造系统中,存在着以生产对象为中心,由原材料→毛坯→零件→成品构成的物质流,以生产管理和信息管理等管理技术为主体的信息流以及为了保证生产活动正常进行而必须的能量流。其中,信息流的引入是形成先进制造系统最关键的要素。制造技术的进步与发展催生和促进了计算机辅助设计与计算机辅助制造 (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, CAD/ CAM) 技术,而 CAD/CAM 技术广泛、深入应用对制造技术产生了巨大影响。CAD/CAM 技术是 20 世纪全球最杰出的工程技术成果之一。先进的设计与加工技术是先进制造技术的核心之一,与 CAD/CAM 技术密切相关。作为先进制造技术的重要组成部分和制造业信息化的重要工具, CAD/CAM 在制造业中从产品工程设计、工程分析、工艺规划到产品加工和装配整个过程中占有重要的地位。图 1—1 所示为制造企业信息化基

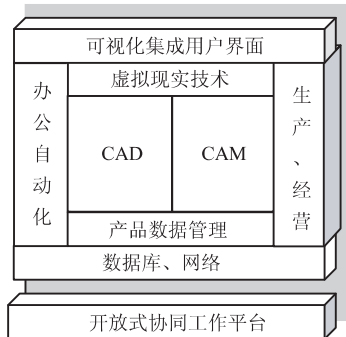


图 1—1 制造企业信息化基本结构

本结构框图，表明了 CAD/CAM 技术在企业信息化中的作用与地位。

CAD/CAM 技术的发展和水平已成为衡量一个国家现代化和工业化水平的重要标志。近 20 年来，通过技术改造和引进国外先进技术，我国制造技术水平不断发展和提高，已经具有相当的规模和实力。但是，从总体上看，在产品质量、品种、成本、效率和售后服务等方面与国外先进水平相比都有一定差距，国际竞争力不强。目前，制造业仍然是我国的支柱产业，将先进的 CAD/CAM 技术应用于制造业，提升我国制造业的国际竞争力，将有力推动我国从“制造业大国”向“制造业强国”转型，促进国民经济实现又好又快的发展。

1.1.2 CAD/CAM 的内涵

随着计算机技术的迅速发展和在制造领域的广泛应用，导致了制造信息的表述、存储、处理、传递等方法的深刻变革，使制造业逐步从传统的生产模式向数字化和知识化模式转化。计算机技术与信息技术、机械设计、制造技术相互结合与渗透，产生了计算机辅助设计与计算机辅助制造这样一门综合性的应用技术，简称 CAD/CAM 技术。它具有高智力、知识密集、综合性强、效益高、数字化等特点。CAD/CAM 技术的发展，不仅改变了人们设计、制造各种产品的常规方式，有利于发挥设计人员的创造性，而且极大提高了计算机在设计、分析、生产准备、企业管理等方面的能力与水平，增强了企业的市场竞争能力。

CAD 是指利用计算机对产品进行设计、绘图、工程分析和有关技术文档编制。CAD 技术是一项产品建模技术，它将产品的物理模型转化为产品的数据模型，并存储以供后续的计算机辅助技术共享。其主要工作是建立产品零件的几何模型，基于该模型建立产品的装配模型，并利用这些模型自动生成产品的零件图和装配图。同时，产品的 CAD 模型为计算机辅助工程分析（Computer Aided Engineering, CAE）提供了实体模型，利用 CAE 系统的功能进行产品结构分析与优化；另外，利用 CAD 输出的信息可实现计算机辅助工艺规划（Computer Aided Process Planning, CAPP）。

CAM 指的是数控（Numerical Control, NC）编程等生产准备过程，可以直接利用 CAD 模型进行 NC 程序自动编制。近年来计算机在先进制造领域的深入应用，CAM 技术所涉及的范围和内涵有了深刻变化，人们按应用范围将其分为广义 CAM 和狭义 CAM。所谓广义 CAM 是指工程技术人员利用计算机辅助系统和工具，完成从生产准备到制造的整个活动的过程，包括生产作业计划、工艺规划、NC 自动编程、工装设计、生产过程控制、质量检测与控制等；而狭义 CAM 一般是指产品加工的 NC 程序编制，包括选择机床、选择刀具、加工参数设置、刀具路径规划、刀具轨迹仿真和 NC 代码生成等。

1.1.3 产品制造过程与 CAD/CAM 技术

从产品制造过程分析，应用 CAD/CAM 技术的数字化制造与传统制造有着本质的区别。数字化制造实际上是对制造过程和产品的全生命周期进行精确定义和数字化的描述，来实现对产品的制造。制造过程是根据用户需求，由原材料、零件图形或模型、工艺信息、生产指令、加工、检验、运输、装配和销售等环节构成，最终目的是要生产出达到用户性能要求的合格产品。

产品制造过程是一个涉及制造企业产品全生命周期的复杂过程。从传统的制造过程来看，产品生产从市场需求分析开始，经过产品设计、工艺设计、产品生产等环节，最后形成

用户所需要的产品。在产品设计阶段,主要完成任务规划、概念设计、结构设计、结构分析、详细设计等工作。这一阶段的工作可以利用 CAD、CAE 系统功能实现。在工艺设计阶段,主要完成毛坯设计、工艺路线规划、工序设计和工装设计等任务。这一阶段的工作可以利用 CAPP 系统功能实现。在产品生产阶段,主要完成 NC 编程、加工仿真、NC 加工、质量检验、产品装配和性能测试等工作。这一阶段的工作可以利用 CAM 系统功能实现。

CAD、CAM 是数字化制造的重要环节,利用 CAD/CAM 系统和各种接口可实现产品信息的生成、转换与传递。目前,在国内外的一些企业已经实现了 CAD/CAE/CAPP/CAM 的集成应用。图 1-2 所示是 CAD、CAE、CAPP、CAM 技术在现代制造过程中应用的信息流程图。

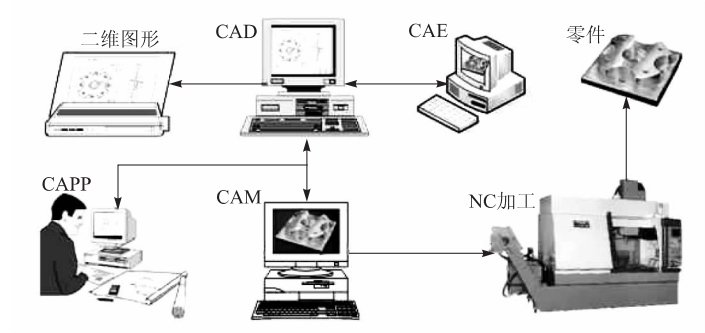


图 1-2 CAD/CAM 在制造过程中的信息流程

CAD 最核心的任务是将加工的产品、零件进行三维实体建模,获得其数字化模型。一般采用商品化的 CAD 系统,按给定的参数利用该系统的几何建模功能建立零件模型,同时也可以利用二维绘图系统得到零件的二维工程图。目前,在一些先进的、功能强大的 CAD/CAM 一体化系统中,当建立了零件的三维模型后,可以利用 CAE 系统进行产品结构分析和优化,基于分析结果修改设计。亦可直接进入 CAM 模块编制其数控程序,或通过接口利用专用的 CAM 软件系统实现 NC 编程;在有条件的情况下,可利用 CAPP 系统进行数控加工工艺规划和参数确定,实现 CAD/CAE/CAPP/CAM 的集成。在完成零件的 NC 程序编制后,首先要进行加工模拟验证,再将验证合格的 NC 程序经网络或其他介质传递到数控机床,最后加工出合格的零件。

1.1.4 CAD/CAM 的功能

CAD/CAM 以计算机软硬件、外围设备、协议和网络为基础。在产品设计、制造过程中,人们利用 CAD/CAM 系统完成产品结构设计、工程信息描述与转化、结构分析与优化、信息管理与传输等工作。因此,CAD/CAM 系统应具备以下基本功能。

1. 人机交互

人机交互实际上是一个输入和输出的过程。用户通过人机界面向计算机输入指令,计算机经过处理后把输出结果呈现给用户。在 CAD/CAM 系统中,大量的信息是以人机交互方式输入系统的,而人机接口是用户与系统之间的桥梁。友好的用户界面,是保证用户直接而有效地完成复杂设计任务的必要条件,目前 CAD/CAM 系统一般采用图形用户界面,实现

数据交互和图形交互。CAD/CAM 系统的信息输出包括各种信息在显示器上的显示、工程图的输出、各种文档的输出和控制命令输出等。除软件界面设计外，还必须有交互设备实现人与计算机之间的通信。随着虚拟现实技术在产品设计制造中的应用，人机交互界面将产生根本性的变化。

2. 图形处理

图形处理主要是对图形进行各种变换以改善视觉效果，即把图形转换成具有所希望的视觉与特性的另一幅图形的过程。在产品设计中利用 CAD/CAM 系统进行二维绘图和三维造型，要涉及大量的图形处理任务，主要包括图形的坐标变换、图形的裁剪、图形的消隐处理、图形的渲染、图形的光照处理等。

3. 产品建模

在 CAD/CAM 系统中，产品建模主要包括几何造型和产品装配建模。几何造型是 CAD/CAM 系统的核心，用于产品信息及其相关过程信息的描述，可以说是产品设计制造信息的源头。在产品的设计阶段，应用几何造型系统来表达产品结构形状、大小及精度等；产品装配建模以零件实体模型为基础，建立与零件实体模型相关联的产品装配模型，实现产品的装配操作与显示。同时，产品结构分析中可基于几何模型进行网格划分，建立有限元模型，才能进行解算和后置处理；在数控编程中，可直接利用零件的几何模型来完成刀具轨迹定义和参数定义等。

4. 工程分析与优化

在产品计算机辅助设计制造过程中，涉及大量的分析计算，例如，基于产品几何形状进行其几何特性和物性计算，包括体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等。CAD/CAM 系统中结构分析常用的方法是有限元法，这是计算机辅助工程分析的主要功能。有限元法是一种数值近似解方法，用于结构形状比较复杂零件的静态、动态特性分析，如强度、振动、热变形、应力分布状态等计算分析。

CAD/CAM 系统应具有优化求解的功能，也就是在某些条件的限制下，使产品或工程设计中的预定指标达到最优。优化包括总体方案的优化、产品零件结构的优化、工艺参数的优化等。优化设计是现代设计方法学中的一个重要的组成部分。

CAD 软件与 CAE 软件已实现无缝集成，即在用 CAD 软件完成零件或装配部件的造型设计后，可自动生成有限元网格并进行计算或进行结构动力学、运动学等方面的分析计算。如果分析计算的结果不符合设计要求则重新修改产品造型和计算，直到满足要求为止。这将及时发现产品设计中存在的问题，极大地提高设计水平、效率和质量。

5. 数控编程

数控编程是基于零件图形或实体模型获得数控加工程序的全过程，一般称为图形数控编程。首先，对要加工的对象进行 NC 加工工艺分析，确定加工方案；在完成了加工位置选择，输入机床、刀具、加工参数等数据后，由计算机自动生成刀位轨迹；再利用 CAM 系统的后置处理功能得到适合于不同数控系统和机床的 NC 程序。

6. 模拟与仿真

在现代产品设计和制造过程中，模拟与仿真技术得到了更加广泛的应用。在 CAD/CAM 系统中利用仿真技术分析产品性能，通过运行仿真软件，代替、模拟真实系统的运行，用以预测产品的性能、产品的制造过程和产品的可制造性，力求设计和加工出的产品性

能最优。通常有机构运动学模拟、机器人仿真、加工轨迹仿真等。特别是一些专用数控加工仿真系统，将工件、刀具、夹具和机床一体化建模，并完成刀位轨迹模拟、碰撞与干涉检验，可避免现场调试带来的人力、物力的投入以及加工设备损坏的风险，减少制造费用，缩短产品设计周期。一些大型制造企业将采用虚拟制造技术，实现产品整个制造过程的仿真，达到对生产过程最优控制的目的。

7. 工程信息转换与传输

随着 CAD/CAM 技术的广泛、深入应用，根据实际需求，产生了各种系统，如：CAD、CAM 系统和 CAD/CAM 一体化系统。为了实现不同 CAD/CAM 系统之间的信息转换与传输，必须进行信息互联，即使是在 CAD/CAM 内部，各功能模块之间也要进行信息交换，因此，CAD/CAM 系统应具备良好的信息传输、管理和信息交互功能。在已有的商品化 CAD/CAM 系统中，开发商提供了一些基本的数据转换接口，如 IGES、DXF、STEP 等，并且还提供了二次开发工具，便于用户根据实际需求编制用户程序，实现有关信息的提取、转换与传输。

8. 信息存储与管理

CAD/CAM 系统生成和处理大量的产品设计、制造信息，具有数据量大、种类繁多的特点。这些数据包括静态标准数据、动态过程数据，如产品定义数据、几何图形数据、属性语义数据、加工数据和生产控制数据等，其数据结构非常复杂。通常，CAD/CAM 系统采用工程数据库系统作为统一的数据环境，实现各种工程数据的管理与共享。

近年来，CAD/CAM 技术的深入应用对产品设计基础数据及其管理提出了新的要求，应用产品数据管理（Product Data Management，PDM）是深化 CAD/CAM 应用的重要途径。PDM 的应用不但大大减少 CAD 二次开发工作量，进一步发挥 CAD/CAM 技术的作用，而且还可以解决目前我国企业信息化中严重的“信息孤岛”现象，为解决 CAD/CAE/CAPP/CAM 的集成提供了可行的解决方案。另外，尽管 PLM（Product Life-cycle Management，PLM）在我国企业中的应用仍处于初级阶段，但已经引起了许多企业的关注。PLM 就像一个不间断环路，它从制造到售后服务各阶段跟踪产品的整个生命过程，然后又返回到设计理念和生产阶段等环节，以重新设计或升级产品。应用 PLM 将是提升制造业的核心竞争力最直接的方式之一。有关内容将在第十章进行介绍。

基于上述基本功能的分析，CAD、CAE、CAPP、CAM 中各系统的具体功能和产品数据管理可用图 1—3 表示。

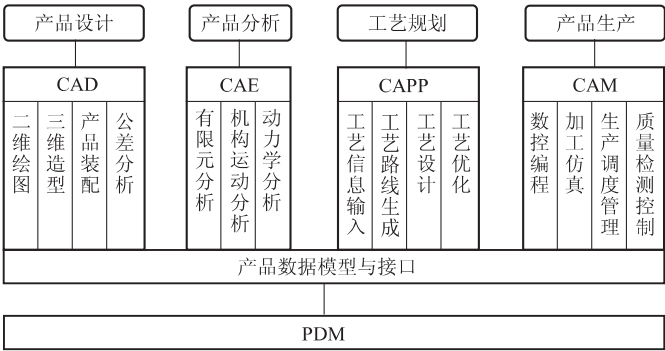


图 1-3 CAD/CAE/CAPP/CAM 系统功能与数据管理

图 1-4 CAD/CAM 系统的工作过程

(4) 显示设计、计算结果, 对其进行分析评价。如果不满意, 可以通过人机交互的方式进行修改, 直到满意为止, 将修改后的结果及生成的相关工程文档存入数据库中。

(5) 工艺设计人员利用 CAPP 系统从数据库中提取产品的设计制造信息, 在分析其几何形状和技术要求后, 调用工艺数据库、材料数据库和制造资源库信息, 对产品进行工艺规程设计, 并完成工艺规程的交互修改, 将设计结果存入数据库中。

(6) 进入 CAM 系统, 提取要编程零件的三维实体模型, 读取相关工艺规程文件, 定义或调用合适刀具, 设置加工参数, 自动生成刀位文件。

(7) 在生成零件的刀位文件后, 可以利用一般 CAM 系统具备的加工模拟功能对其刀位轨迹进行模拟, 验证其是否合理、可行, 还可以利用一些专门的加工仿真软件, 建立包括工件、刀具、夹具和机床的加工仿真模型, 实现它们之间的碰撞、干涉检查。

(8) 经检查、评价合格后, 通过后置处理, 生成数控加工代码。如果发现零件结构设计引起的加工工艺问题, 需要返回 CAD 系统进行修改。

(9) 按照工艺文件, 可以在普通机床上完成零件加工。通过网络或其他传递介质, 将所编制的数控加工程序传递到 NC 机床, 加工出相应产品。

由上述过程可以看出, 从设计要求输入到产品设计与分析、工艺规划到编制出合格的 NC 代码, 是一个产品信息的不断产生、变换、修改、存取的过程。在整个设计过程中, 设计人员起着主导的作用。

1.1.6 CAD/CAM 的特点

综上所述, CAD/CAM 技术与 CAPP、CAE 技术相结合, 可实现产品设计、制造一体化, 具有如下特点:

(1) 提高创新能力。将工程技术人员从大量繁琐的重复劳动中解放出来, 集中精力进行创造性的劳动, 有利于发挥设计人员的创造性。

(2) 增强市场竞争力。有利于提高产品设计自动化、生产过程自动化的水平, 最大限度地获得满足客户需求的产品, 有利于企业提高应变能力和市场竞争力。

(3) 提高效率。减少了设计、计算、制图、制表所需的时间, 修改设计方便, 数控编程效率高, 可缩短产品设计制造周期。

(4) 提高质量。利用有限元分析及装配运动仿真技术, 可以从多个产品设计方案中进行分析、比较, 选出最佳方案, 有利于实现设计方案的优化。同时, 减少人为设计、加工误差, 可提高产品的设计制造质量和可靠性。

(5) 有利于标准化。利用 CAD/CAM 系统进行产品设计制造, 必须对相关数据进行整理、规范, 便于信息的描述、转换和传递, 有利于实现产品的标准化、通用化和系列化。

(6) 为实现 PDM, 进而实现 PLM 奠定基础。CAD/CAM 一体化, 使产品的设计、制造过程形成一个有机的整体, 通过信息的集成, 给企业在经济上、技术上带来巨大的综合效益。

1.2 CAD/CAM 技术的发展历程

1.2.1 CAD 技术的发展

CAD 技术的发展与计算机技术、计算机图形技术的发展密切相关。20 世纪 50 年代后期,随着计算机图形学的诞生,利用阴极射线管(CRT)实现了图形的动态显示,CAD 技术处于准备和酝酿时期,被动式的图形处理是此阶段 CAD 技术的特征。进入 20 世纪 60 年代,提出了交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想,从而为 CAD 技术的进一步发展和应用打下了理论基础。人们主要用传统的三视图方法来表达零件,即二维计算机绘图技术。CAD 技术随着在计算机屏幕上绘图变为可行而开始迅速发展,出现了采用线框造型来表示三维实体的 CAD 技术,即线框造型技术。

20 世纪 70 年代,为解决飞机及汽车制造中遇到的大量自由曲面问题,人们开发出了以表面模型为特点的自由曲面造型技术,推出了三维曲面造型系统。CAD 技术得到蓬勃发展并进入应用时期。20 世纪 80 年代初,为了准确表达零件的各种集合和物理特性,提出了实体造型技术,开发了一批实体造型 CAD 软件系统。实体造型系统的出现,标志着 CAD 技术从单纯模仿工程图纸的绘图模式中解放出来,使产品开发手段有了质的飞跃,新产品开发速度大幅度提高。

20 世纪 80 年代中期,CAD 技术的研究又有了重大进展,提出了参数化实体造型技术。它的主要特点是:基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。此时,CAD 技术进入迅猛发展时期,CAD 技术的应用也从大中企业向小企业扩展,从发达国家向发展中国家扩展,从用于产品设计发展到用于工程设计和工艺设计。

20 世纪 90 年代初期,人们对现有各种造型技术进行了充分地分析和比较,以参数化技术为蓝本,提出了一种比参数化技术更为先进的实体造型技术——变量化技术。变量化技术既保持了参数化技术的原有优点,同时又克服了它的许多不利之处。它的成功应用,为 CAD 技术的发展提供了更大的空间和机遇。90 年代以后 CAD 技术进入开放式、标准化、集成化的发展时期,这阶段的 CAD 系统都具有良好的开放性,图形接口、功能日趋标准化。微机加视窗操作系统与工作站加 Unix 操作系统在因特网环境下构成了 CAD 系统的主流工作平台。在 CAD 系统中,文本、图形、图像、语音等多媒体技术和人工智能、专家系统等高新技术得到初步应用,大大提高了 CAD 自动化设计的程度,智能 CAD 应运而生。智能 CAD 把工程数据库及管理系统、知识库及专家系统、拟人化用户界面管理系统集于一体。具有世界一流水平并得到广泛应用的 CAD 系统有 Pro/E、UGNX、CATIA、Solidworks、Solidedge 和 MDT 等。

1.2.2 CAE 技术的发展

CAE 技术利用计算机对产品进行性能与安全可靠性分析,并对其工作状态和运行行为进行模拟,及早发现设计缺陷,改进产品设计。CAE 技术的研究始于 20 世纪 50 年代中期,CAE 软件系统出现于 20 世纪 70 年代初期,到 80 年代中期 CAE 软件在可用性、可靠性和计算效率上已基本成熟。但其数据管理技术尚存在一定缺陷,运行环境仅限于当时的大型计算机和高档工作站。

近 20 年来, CAE 软件系统开发和商品化快速发展, 其理论和算法日趋成熟, 已成为航空、航天、机械、土木结构等领域工程和产品结构分析中必不可少的数值计算工具, 同时也是分析连续过程各类问题的一种重要手段。其功能、性能、前后置处理能力、单元库、解法库、材料库, 特别是用户界面和数据管理技术等方面都有了巨大的发展。前后置处理是 CAE 软件实现与 CAD、CAM 等软件无缝集成的关键性软件功能, 通过增设与相关软件的接口数据模块, 实现了有效的集成。用户可通过增加面向行业的数据处理和优化算法模块, 实现特定行业的有效应用。

CAE 软件现已可以在超级并行机, 分布式微机群, 大、中、小、微各类计算机和各种操作系统平台上运行。目前国际上先进的 CAE 软件, 已经可以对工程和产品进行静力和动力学的线性与非线性分析, 包括对各种单一和复杂组合结构的弹性、弹塑性、塑性、蠕变、膨胀、几何大变形、大应变、疲劳、断裂、损伤, 以及多体弹塑性接触在内的变形与应力应变分析。国际上知名的 CAE 软件有 NASTRAN、ANSYS、ASKA、MARC、MODULEF、DYN-3D 等。

1.2.3 CAPP 技术的发展

CAPP 是 20 世纪 60 年代后期出现并开始发展的一个新的技术领域。从 1965 年 Niebel 首次提出 CAPP 思想, 至今已经有 40 多年了, CAPP 领域的研究得到了极大的发展。基本经过了检索式、派生式、半创成式、创成式和混合式等不同的发展阶段。CAPP 的应用为提高工艺文件的质量, 缩短生产准备周期, 并为广大工艺人员从繁琐、重复的劳动中解放出来提供一条切实可行的途径。但与 CAD、CAM 软件技术相比, CAPP 软件系统的发展却大大落后于 CAD、CAM 软件系统。

世界上最早研究 CAPP 的国家是挪威, 于 1969 年正式推出了第一个 CAPP 系统—AUTOPROS, 1973 年正式推出商品化的 AUTOPROS 系统。在 CAPP 发展史上具有里程碑意义的是 CAM-I, 1976 年推出了 CAM'S Automated Process Planning 系统。

20 世纪 80 年代末, 人们探索了多种 CAPP 方法, 以解决 CAPP 的自动化问题, 开发了基于智能化和专家系统的 CAPP 系统, 片面强调工艺设计的自动化, 即过分强调工艺决策、编制的自动化, 忽略人在工艺决策中的作用和工艺工作的复杂性和个性化。到 20 世纪 90 年代中后期, 人们重新衡量了 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, 转向为工艺设计人员提供软件工具, 为企业的信息化建设提供服务。因此, CAPP 产品的研发开始活跃起来, CAPP 软件技术得到了迅速地发展。

20 世纪 90 年代末, 一些实用化的 CAPP 开始走向市场。但其开发方法和重点各不相同, 有的 CAPP 系统在 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; 甚至有的 CAPP 系统是纯粹的工艺卡片的填写工具, 其生成的工艺卡片是某种特定的文件。这些 CAPP 软件系统都为工艺人员提供了一定的服务与辅助功能。

现已开发的 CAPP 系统还不能满足企业工艺设计的全过程要求, 也不能满足现代企业对信息化建设的需求。现代 CAPP 系统基于网络、PDM 进行开发, 即面向企业信息化的网络化集成工艺设计平台将成为目前和今后 CAPP 研究开发的重点。我国对 CAPP 的研

究始于上世纪 80 年代初,经过了 20 多年的发展,涌现了一大批 CAPP 原型系统和商品化的 CAPP 系统,但被工厂、企业正式应用的只是少数,真正形成商品化的 CAPP 系统还不多。

近年法国达索公司开发了数字企业精益制造交互式应用 (Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application, DELMIA) 软件产品,提供了当今业界可用的最全面、集成和协同的数字制造解决方案。通过以工艺为中心的技术来定义、监测和控制各类生产系统。从单个的设备单元、生产线、工厂物流直到整个企业的生产过程。DELMIA 为企业用户提供了一套完整的数字化制造解决方案,将数字化制造分为工艺规划、工艺细化与验证、资源建模与仿真。

1.2.4 CAM 技术的发展

1952 年,美国麻省理工学院在世界上首次研制成功数控机床,并于 1955 年开发出了自动编程工具系统—APT (Automatically Programmed Tools, APT),基本实现了 NC 程序编制自动化。APT 为第一代 CAM 系统,其处理方式是人工或辅助式直接计算数控刀路,编程目标与对象也都是数控刀路。其缺点是功能差,操作困难,专机专用。

随着曲面与实体 CAD 系统的出现,人们开发出了曲面 CAM 系统。其系统结构一般为 CAD/CAM 一体化系统,以零件的 CAD 模型为编程对象,自动生成刀路轨迹,使 NC 编程的自动化程度得到了大幅度提高。曲面 CAM 系统的基本特点是面向局部曲面的加工方式,表现为编程的难易程度与零件的复杂程度直接相关,而与产品的工艺特征、工艺复杂程度等没有直接相关关系。

目前,CAM 技术已经成为 CAX (CAD、CAE、CAM 等)体系的重要组成部分,可以直接在 CAD 系统上建立起来的参数化、全相关的三维几何模型上进行加工编程,生成正确的加工轨迹。典型的 CAM 系统有 UG、Pro/E、Cimatron、MasterCAM 等。目前,以 Delcam 公司的 PowerMILL 及 WorkNC 为代表,采用面向工艺特征的处理方式,系统以工艺特征提取的自动化来实现 CAM 编程的自动化。当模型发生变化后,只要按原来的工艺路线重新计算,即实现 CAM 的自动修改。

纵观 CAM 技术的发展历程,可以看出:CAM 的发展是一个不断吸收和利用 CAD 及周边相关技术的应用成果、不断发展的过程,也是 CAM 系统结构及基本处理方式不断向适应工程化概念的方向发展的过程。目前正在发展的新一代 CAM 系统,其突出特点是:面向对象、面向工艺特征,基于知识的智能化,能够独立运行,更方便的工艺管理。其系统的自动化水平、智能化程度大大提高。

美国 UGS 公司发布了 Tecnomatix Production Management 系统——数字制造解决方案。该组合是由多个领先的车间制造应用程序组成的,是制造行业内第一个把生产管理与整个 PLM 流程集成在一起的软件解决方案。每个解决方案都可以支持制造过程周期,包括从过程规划到详细设计再到生产执行。基于网络的软件工具可以使企业、工厂和供应商之间就制造过程信息进行通信和交流。Tecnomatix Production Management 弥补了产品设计与生产流程之间的差异,有效地扩展了 PLM 的价值,让制造商能够加快推出新产品的速度,促进精益制造,对流程进行持续改进。

1.2.5 我国的 CAD/CAM 技术的发展

我国的 CAD/CAM 技术起步较晚,但发展速度较快。早在上世纪 80 年代,国家提供了大量资金开展了 CAD/CAM 技术研究。一些工厂、研究所和高校购买了国外 CAD、CAM 系统。在引进、消化吸收的基础上,开发了不同的接口软件和前后置处理程序。随后根据不同行业的需要二次开发了一些典型零件、典型产品的软件,并且应用到了生产实际。第一汽车制造厂和第二汽车制造厂、天津内燃机研究所共同完成了“汽车计算机辅助设计和辅助制造”项目,该项目重点是汽车车身的 CAD/CAM 的开发及应用,汽车结构的有限元分析和内燃机的 CAD 技术。

20 世纪 90 年代初,我国 CAD/CAM 软件市场基本上由国外产品所垄断。在我国政府的积极支持和引导下,CAD/CAM 技术的开发和应用于 90 年代中后期取得了长足的发展,除对许多国外软件进行了汉化和二次开发以外,一些高校开始开发具有自主知识产权的软件。在 CAD/CAM 支撑和应用软件的开发上担任了极其重要的角色,推出了不少具有自主知识产权的 CAD/CAM 系统。流行的国产 CAD/CAM 软件有:CAXA 电子图板和 CAXAME 制造工程师、高华 CAD、开目 CAD、凯图 CAD、PANDA 软件、CADMIS 系统等,实现了参数化特征造型、曲面造型、数控加工、有限元分析的集成。在数控方面,南京航空航天大学的超人 CAD/CAM 和华中理工大学的 GHNC 均实现了复杂曲面的造型和数控代码的自动生成。

国产 CAD/CAM 软件发展道路比较艰辛,市场竞争相对激烈,但也有自己的优势,体现在了解本国市场,提供技术支持方便,价格便宜等。在这些前提下,国产 CAD/CAM 软件开发,正在紧跟时代潮流,跟踪国际最新动态,遵守各种国际规范,在国际国内形成自己独特的优势。同时,立足国内,结合国情,面向国内经济建设的需要开发了具有特色、符合中国人习惯的 CAD/CAM 软件。CAD/CAM 软件产品已从单一的二维绘图软件发展到涵盖 CAD、CAPP、CAE、CAM、PDM 和 ERP 等方面的系列化产品。

21 世纪企业竞争的焦点是产品的创新。我国制造业的整体水平与发达国家相差约 15 年。为了尽快缩短这一差距,应加强 CAD/CAM 及相关技术的研究,开发先进的软件产品。在现有的基础上,深化和普及 CAD/CAM 技术的应用,提高新产品开发的能力,进军国际市场,使我国的企业和产品在激烈的世界经济竞争中占有一席之地。

1.3 CAD/CAM 技术的应用

CAD/CAM 技术可以应用在许多领域,机械制造是应用最早,也是应用最广泛的领域。随着 CAD/CAM 技术的发展,在建筑、电子、化工等领域也逐步得到应用。在 CAD/CAM 技术半个世纪的发展过程中,CAD 系统以其强大的冲击力,影响和改变着工业的各个方面,甚至社会的各个方面,使传统的产品技术、工程技术发生深刻的变革;CAE 系统的应用解决了产品的设计分析问题,使设计人员在产品设计早期阶段就可对产品的设计及制造过程中的各种问题进行预测仿真,提高产品的性能、质量,节省大量资金;CAM 的应用解决了实际产品的生产、加工问题,提高了产品的制造质量。CAD、CAE、CAPP、CAM 技术的使用,极大地提高了产品质量,加速了产品的开发,缩短了从设计到生产的周期,缩短了产品的上市时间,实现了产品设计的自动化,使设计人员从繁琐的绘图中解放出来,集中精力进