



高等学校机械设计制造及自动化专业“十一五”规划教材



机械CAD/CAM

欧长劲 编著
邬义杰 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校机械设计制造及自动化专业“十一五”规划教材

机械 CAD/CAM

欧长劲 编著

邬义杰 主审

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

本书系统地阐述了机械 CAD/CAM 的基础理论、基本方法、关键技术及应用系统。全书分为 10 章, 具体内容包括绪论, 机械 CAD/CAM 系统环境, 机械 CAD/CAM 几何建模技术, CAD/CAM 装配建模技术, 数字化制造基础, 计算机辅助数控程序编制, 计算机辅助工艺过程设计, 计算机辅助工程分析, 机械 CAD/CAM 集成技术, 机械 CAD/CAM 技术的发展。

本书内容新颖, 体系完整, 系统性强, 注重基本原理、方法和典型应用的介绍, 并力求反映机械 CAD/CAM 技术最新的发展趋势。

本书可作为高等学校机电工程专业本科学生的教材, 也可供相关专业的本科生、研究生以及工程技术人员参考。

★本书配有电子教案, 需要者可与出版社联系, 免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM / 欧长劲编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2007.8

高等学校机械设计制造及自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-1868-5

I. 机… II. 欧… 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 (2007) 第 107653 号

策 划 毛红兵

责任编辑 邵汉平 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15.75

字 数 368 千字

印 数 1~4000 册

定 价 21.00 元

ISBN 978-7-5606-1868-5/TH·0076

XDUP 2160001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

前 言

机械 CAD/CAM 技术是随着计算机技术和数字信息化技术的发展而形成的一项高新技术,是 20 世纪最杰出的工程成就之一,同时它也是数字化、信息化制造的基础。该项技术的迅速发展和广泛应用,给制造业从产品设计到加工制造的整个生产过程带来了深刻和根本性的变革,并已成为企业技术创新、开拓市场的强有力的技术手段。因此,了解和掌握机械 CAD/CAM 技术成为了工程技术人员面临的重要任务,同时该技术也成为了工程类专业学生的必修知识。

机械 CAD/CAM 技术所涉及的内容十分广泛,学科跨度很大;同时,机械 CAD/CAM 技术本身的发展也非常迅速,新的概念和技术不断涌现,内容的深度和内涵都在不断变化中。作为一本机械 CAD/CAM 教材,如何针对教学需求在众多的技术内容中提取精华、突出重点,少而精地奉献给读者,是本书的编写重点和难点。为此,本书在内容上做了精心组织,力求理论叙述通俗易懂,注重理论与实际应用相结合,同时尽可能反映机械 CAD/CAM 技术研究发展的最新成果。

机械 CAD/CAM 是一门理论和实际应用结合非常紧密的技术,对学生机械 CAD/CAM 工程软件知识的掌握与应用能力的培养显得极为重要。目前,众多世界顶级的主流 CAD/CAM 软件在国内的应用日趋广泛,它们既反映了机械 CAD/CAM 的应用现状,在某种意义上又代表了机械 CAD/CAM 的发展方向。因此,本教材的示例选材都以这些主流 CAD/CAM 软件为背景,目的是帮助学生加深对内容的理解,增强学生理论联系实际和实践动手能力的培养。另外,作为加强学生机械 CAD/CAM 实践能力培养的补充,满足机械 CAD/CAM 上机训练的教学需求,作者专门编写了与本教材配套的《机械 CAD/CAM 上机指导及练习教程》,从而构成了较完整的理论与实践教学配套体系,以适应高等教育改革的发展和应用型高级人才培养的需求。

本书可作为高等学校机电工程类专业本科学生的教材,也可供相关专业的本科生、研究生及工程技术人员参考。

全书由浙江大学邬义杰教授主审,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了浙江工业大学机电学院有关领导和同事们的关心和支持,在此表示感谢。

在本书编写过程中参阅了大量的文献资料,在此向有关作者一并表示感谢。

限于作者水平和经验,加之时间仓促,书中疏漏与欠妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者
2007 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论..... 1	3.1.4 实体建模..... 35
1.1 CAD/CAM 技术的基本概念..... 1	3.1.5 三维实体建模中的计算机内部表示... 37
1.1.1 CAD/CAM 技术的定义..... 1	3.2 曲面造型技术..... 40
1.1.2 CAD/CAM 集成技术..... 2	3.2.1 参数曲面..... 40
1.2 现代产品的 CAD/CAM 过程与 CAD/CAM 的功能..... 3	3.2.2 曲面造型方法..... 43
1.2.1 现代产品的 CAD/CAM 过程..... 3	3.2.3 曲面处理..... 46
1.2.2 CAD/CAM 的主要功能..... 5	3.3 参数化设计技术..... 49
1.3 CAD/CAM 技术的发展和应..... 7	3.3.1 参数化设计的概念..... 49
1.3.1 CAD/CAM 技术的产生与发展..... 7	3.3.2 参数化设计的约束..... 53
1.3.2 CAD/CAM 技术的应用..... 8	3.3.3 参数化设计的动态导航技术..... 55
1.4 CAD/CAM 技术的发展趋势..... 9	3.3.4 参数化的表驱动技术..... 56
习题与思考题..... 11	3.4 特征造型技术..... 58
第 2 章 机械 CAD/CAM 系统环境..... 13	3.4.1 形状特征的概念..... 58
2.1 CAD/CAM 硬件系统..... 13	3.4.2 特征造型技术的应用..... 60
2.1.1 CAD/CAM 硬件系统的组成..... 13	3.4.3 特征管理..... 62
2.1.2 硬件系统配置..... 14	3.5 反求建模..... 63
2.1.3 CAD/CAM 系统典型硬件设备..... 15	3.5.1 逆向工程概述..... 63
2.2 CAD/CAM 的软件系统..... 17	3.5.2 反求建模的流程..... 64
2.2.1 CAD/CAM 软件系统的分类和组成..... 17	3.5.3 三维数字化测量设备..... 64
2.2.2 系统软件..... 17	3.5.4 三维数字化测量方法..... 66
2.2.3 支撑软件..... 18	3.5.5 反求模型重建技术..... 68
2.2.4 应用软件..... 19	3.5.6 反求建模的应用..... 70
2.2.5 常见主流 CAD/CAM 软件简介..... 20	习题与思考题..... 70
2.3 CAD/CAM 的网络环境..... 22	第 4 章 CAD/CAM 装配建模技术..... 72
2.3.1 计算机网络概述..... 22	4.1 装配建模概述..... 72
2.3.2 Internet/Intranet 技术..... 25	4.2 装配模型..... 72
2.3.3 网络化 CAD/CAM 系统..... 27	4.2.1 装配模型的特点与结构..... 73
习题与思考题..... 28	4.2.2 装配模型的信息组成..... 75
第 3 章 机械 CAD/CAM 几何建模技术..... 29	4.2.3 装配树..... 76
3.1 三维几何建模..... 29	4.3 装配约束技术..... 78
3.1.1 三维几何建模的基本概念..... 29	4.3.1 装配约束分析..... 78
3.1.2 线框建模..... 32	4.3.2 装配约束规划..... 81
3.1.3 表面建模..... 34	4.4 装配模型的管理与分析..... 82
	4.4.1 装配模型的管理..... 82

4.4.2 装配模型的分析	83	6.3.2 两坐标加工的刀轨生成方法	128
4.5 装配设计的两种方法	85	6.3.3 多坐标加工的刀轨生成方法	131
4.5.1 自底向上的装配设计	85	6.4 刀具轨迹编辑	135
4.5.2 自顶向下的装配设计	86	6.5 数控加工仿真	137
4.5.3 两种装配设计方法的比较	87	6.5.1 数控加工仿真的概念	137
4.6 装配建模技术的应用	88	6.5.2 刀具轨迹仿真验证	138
4.6.1 UG 软件装配功能简介	88	6.5.3 机床仿真系统	139
4.6.2 基于 UG 的自底向上装配设计	89	6.6 后置处理	140
4.6.3 基于 UG 的自顶向下装配设计	92	6.6.1 后置处理的概念	140
习题与思考题	95	6.6.2 通用后置处理系统	141
第 5 章 数字化制造基础	96	6.7 数控程序的传输	143
5.1 数控技术与数控机床	96	6.7.1 串行通信	143
5.1.1 数控技术的基本概念	96	6.7.2 传输通信软件	144
5.1.2 数控机床的组成及分类	96	6.8 CAD/CAM 集成数控编程的应用	145
5.1.3 数控机床的特点	99	习题与思考题	149
5.2 数控加工与编程	99	第 7 章 计算机辅助工艺过程设计	151
5.2.1 数控加工的基本概念	99	7.1 概述	151
5.2.2 数控编程的概念	100	7.1.1 CAPP 技术及其发展	151
5.2.3 数控编程的步骤与方法	105	7.1.2 CAPP 系统的基本结构	152
5.2.4 数控加工工艺	106	7.2 CAPP 系统零件信息的描述及输入	153
5.2.5 常用数控程序指令代码	108	7.2.1 零件信息描述的内容及要求	153
5.2.6 数控手工编程举例	109	7.2.2 零件信息的描述方法	154
5.3 DNC 与 FMS 技术	110	7.3 变异式 CAPP 系统	155
5.3.1 DNC 技术	110	7.3.1 成组技术的概念	155
5.3.2 柔性制造系统	112	7.3.2 变异式 CAPP 系统的原理	160
5.3.3 柔性制造单元	115	7.4 创成式 CAPP 系统	163
5.4 快速成型制造	115	7.4.1 创成式 CAPP 系统原理	163
5.4.1 概述	115	7.4.2 创成式 CAPP 系统的工艺决策	164
5.4.2 快速成型技术原理	116	7.5 智能型 CAPP 系统	167
5.4.3 快速成型的方法	117	7.5.1 智能型 CAPP 专家系统概述	167
5.4.4 快速成型中的切片方法与 STL 数据格式	119	7.5.2 CAPP 专家系统的主要技术	168
5.4.5 快速成型制造的过程与应用	121	7.5.3 智能型 CAPP 系统的发展趋势	173
习题与思考题	122	7.6 其他类型的 CAPP 系统	173
第 6 章 计算机辅助数控程序编制	124	习题与思考题	175
6.1 计算机辅助数控编程概述	124	第 8 章 计算机辅助工程分析	176
6.2 CAD/CAM 集成数控编程系统	125	8.1 有限元分析	176
6.3 数控加工刀具轨迹生成	127	8.2 有限元分析的原理与方法	177
6.3.1 概述	127	8.2.1 弹性力学的基础知识	177
		8.2.2 有限元法的基本解法与步骤	179

8.2.3 有限元分析的前置处理和 后置处理	182	9.3.2 基于特征的集成化产品数据模型	214
8.3 有限元分析的应用	184	9.4 基于产品数据管理的 CAD/CAM 系统集成	216
8.3.1 有限元分析的应用领域	184	9.4.1 产品数据管理的概念	216
8.3.2 有限元分析软件简介	185	9.4.2 产品数据管理系统的主要功能	217
8.3.3 UG 有限元分析功能	186	9.4.3 基于 PDM 的 CAD/CAM 集成	221
8.3.4 有限元分析实例	188	习题与思考题	222
8.4 机构运动分析	190	第 10 章 机械 CAD/CAM 技术的发展	224
8.4.1 机构运动分析概述	190	10.1 计算机集成制造系统	224
8.4.2 UG 机构运动分析	191	10.1.1 CIMS 的概念	224
8.5 虚拟样机技术简介	196	10.1.2 CIMS 的基本构成和体系结构	225
8.5.1 概述	196	10.1.3 CIMS 的关键技术	228
8.5.2 虚拟样机分析软件	198	10.2 并行工程	229
习题与思考题	200	10.2.1 并行工程的概念	229
第 9 章 机械 CAD/CAM 集成技术	201	10.2.2 并行工程的特点	230
9.1 概述	201	10.2.3 并行工程的关键技术	231
9.1.1 CAD/CAM 集成的概念	201	10.3 敏捷制造	232
9.1.2 CAD/CAM 集成系统	201	10.3.1 敏捷制造的概念	232
9.1.3 CAD/CAM 集成的方法	203	10.3.2 动态联盟	233
9.1.4 CAD/CAM 集成的关键技术	204	10.3.3 动态联盟的远程协同设计系统	234
9.2 产品数据交换技术	205	10.4 虚拟制造	237
9.2.1 产品数据交换技术的发展	205	10.4.1 虚拟制造的概念	237
9.2.2 IGES 标准	206	10.4.2 虚拟制造的关键技术	239
9.2.3 STEP 标准	209	习题与思考题	240
9.3 产品数据建模	214	参考文献	242
9.3.1 产品定义数据模型	214		

第1章 绪 论

随着市场经济的发展,用户对各类产品的质量,产品更新换代的速度,产品从设计、制造到投放市场的周期等的要求越来越高,致使企业之间的竞争空前激烈。为适应这一高效率、高技术竞争的时代,各类企业均通过采用一系列先进的技术来提高企业在市场中的竞争力,其中应用计算机技术是最引人注目的趋势之一。计算机技术与设计、制造技术的相互结合与渗透,产生了计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)这一综合性的应用技术,它具有高智力、知识密集、综合性强、效益高等特点。本章主要介绍机械 CAD/CAM 的基本概念、基本功能、发展历史、应用状况及发展趋势。

1.1 CAD/CAM 技术的基本概念

1.1.1 CAD/CAM 技术的定义

产品的生产从市场需求分析开始,需经过产品设计和制造等过程,才能将产品从抽象的概念变成具体的最终产品。这一过程具体包括产品设计、工艺设计、数控编程、加工、装配、检测等阶段。

计算机辅助设计与制造(Computer Aided Design & Computer Aided Manufacturing)简称 CAD/CAM,是指以计算机作为主要技术手段,帮助人们处理各种信息,进行产品设计与制造等活动的总称。CAD/CAM 能够将传统的设计与制造这两项彼此相对独立的工作作为一个整体来考虑,实现信息处理的高度一体化。CAD/CAM 的定义范畴如图 1.1 所示。

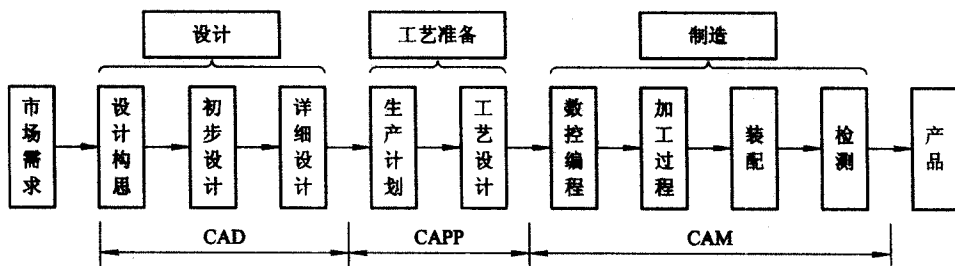


图 1.1 CAD/CAM 的定义范畴

由图可知, CAD 的概念涉及设计构思、初步设计和详细设计; CAPP 的概念涉及生产计划和工艺设计; CAM 的概念涉及数控编程、加工过程、装配和检测等。

CAD(Computer Aided Design, 计算机辅助设计)是指工程技术人员以计算机为工具, 用各自的专业知识, 对产品进行的总体设计、绘图、分析和编写技术文档等设计活动的总称。一般认为, CAD 的功能包括草图设计、零件设计、装配设计、工程分析、自动绘图、真实感显示及渲染等。

CAPP(Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺设计)是指工程技术人员以计算机为工具, 根据产品设计所给出的信息, 对产品的加工方法和制造过程进行的工艺设计。一般认为, CAPP 的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工艺路线制定、工序设计和工时定额计算等。其中, 工序设计又包含装夹设备的选择或设计, 加工余量分配, 切削用量选择, 机床、刀具和夹具的选择, 必要的工序图生成等。

CAM(Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造)目前尚无统一的定义, 一般而言, 是指计算机在产品制造过程中有关应用的总称。CAM 有广义和狭义之分。

狭义 CAM 通常仅指数控程序的编制, 包括刀具路径的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及 NC 代码的生成等。

广义 CAM 一般是指利用计算机辅助从毛坯到产品制造过程中的直接和间接的活动, 可分为 CAM 直接应用(也称在线应用)和 CAM 间接应用(也称离线应用)。CAM 的直接应用主要包括计算机对制造过程的监视与控制。CAM 的间接应用包括计算机辅助工艺设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 自动编程、计算机辅助物料需求计划编制、计算机辅助工时定额和材料定额编制、计算机辅助质量控制等。

1.1.2 CAD/CAM 集成技术

在实际生产中, 设计和制造是密切相关的, 制造阶段所需的信息和数据大多来自设计阶段, 因此, 对制造和设计来说, 这些数据和信息应该是共享的。但是, CAD 和 CAM 两项技术在相当长的时间里是按照各自的轨迹独立发展起来的, 在它们的形成和发展过程中, 针对不同的应用领域、用户需求和技术环境, 表现出了不同的发展水平和构造模式。二者在数据结构、软件组织结构、数据标准方面存在很大差异, 各系统之间很难自动完成数据交换, 由 CAD 生成的设计信息往往需要手工转录到 CAPP、CAM 系统中, 这样不但效率低下, 且难免发生错误, 从而严重阻碍了 CAD、CAPP、CAM 效益的发挥。

为此, 自 20 世纪 70 年代后期, 业界就开始研究 CAD、CAPP 和 CAM 之间的信息和数据的传递、转换与共享技术, 将 CAD、CAPP、CAM 集成起来, 形成一体化的 CAD/CAM 集成系统, 这就是 CAD/CAM 集成技术。自 20 世纪 80 年代起, 出现了一大批工程化的 CAD/CAM 集成软件系统, 其中较著名的有 CATIA、UG II、I-DEAS、Pro/E 等, 它们在机械、航空航天、造船等领域得到了广泛的应用。特别是自 20 世纪 90 年代以来, CAD/CAM 系统的集成度不断增加, 使得 CAD/CAM 系统能够发挥更高的效益。

理想的 CAD/CAM 集成化系统的模式如图 1.2 所示。所有的 CAD/CAM 功能都应该与一个公共数据库相连, 应用程序使用存储在公共数据库里的信息, 实现产品设计、工艺规程编制、生产过程控制、质量控制、生产管理等产品生产全过程的信息集成。

CAD/CAM 集成技术作为工业技术界公认的重要课题之一, 得到了广泛的研究并取得了很大的进展, 有些技术已达到了实用的水平。

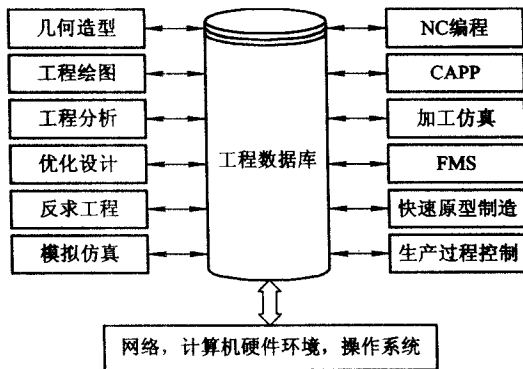


图 1.2 CAD/CAM 集成系统的总体模式

1.2 现代产品的 CAD/CAM 过程与 CAD/CAM 的功能

1.2.1 现代产品的 CAD/CAM 过程

从计算机科学的视角而言，设计与制造的过程是一个关于产品信息的产生、处理、交换和管理的过程。人们利用计算机作为主要技术手段，对产品从构思到投放市场的整个过程中的信息进行分析和处理，生成和运用各种数字信息和图形信息，进行产品的设计和制造。CAD/CAM 技术不仅是传统设计、制造流程和方法的简单映像，而且该技术的应用使得产品的设计制造模式发生了变化，形成了现代产品 CAD/CAM 模式。该模式如图 1.3 所示。

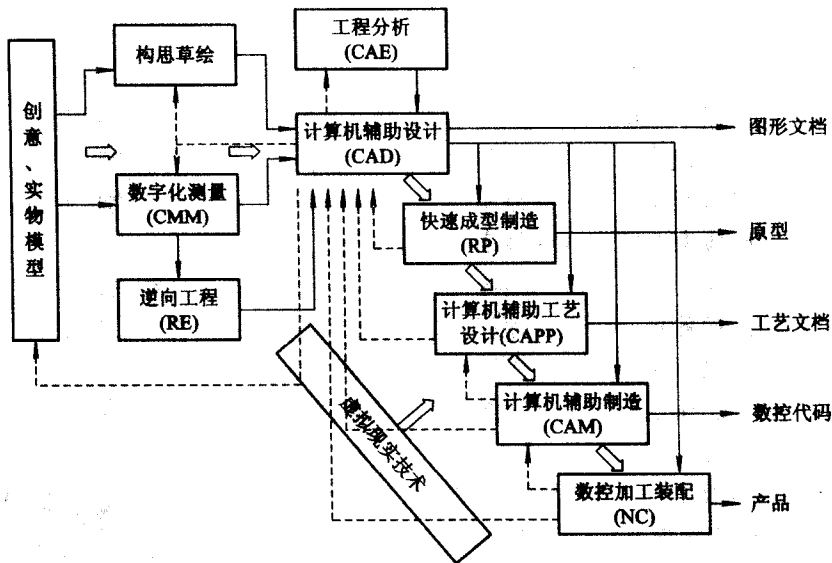


图 1.3 现代产品的 CAD/CAM 模式

1. 创意

该环节进行需求分析，并生成产品的概念和功能创意。

2. 构思、草绘

该环节进行总体方案设计、原理设计和工业设计。方案设计和原理设计在条件具备时可以由方案设计专家系统辅助完成；工业设计可在 2D 和 3D 工业设计软件的辅助下，结合人工的创造性工作完成产品外观造型。

3. 计算机辅助设计与工程分析

该环节应用 CAD 技术展开详细设计、分析与计算，包括装配设计、零件造型设计、工程计算与有限元分析等。这是现代产品开发模式中最有代表性的活动。

4. 快速成型制造

在传统的产品设计制造中，产品只有在接近完成时才能成为看得见摸得着的产品，而快速成型制造(也称快速原型制造)应用数字化制造原理提供了一种廉价和快速产生接近于真实的产品的方法。在快速成型制造中，人们利用快速成型设备，以非切削加工的方法，直接根据计算机设计的产品数据，快速而廉价地生成和实际设计的产品形状、尺寸一致的产品模型，供人们分析和评价，借此发现设计问题和进行多个设计方案比较。

5. 计算机辅助工艺设计

该环节应用计算机取代工艺人员设计并编写产品的加工和装配工艺，这样编制的工艺更合理，工艺文件更规范，提高了质量和效率。

6. 计算机辅助制造

现代产品的制造手段和传统加工方法的重要区别，是大量采用数控机床进行零件的加工。数控机床的各种加工动作靠数控程序设置并通过计算机来控制，计算机自动编程技术的应用，可以实现数控代码的自动生成和正确性检验，大大提高了数控编程的质量和效率。各种数控加工设备和装配机器人的使用，使得产品加工和装配过程的效率、质量相对于传统方法都有着质的提高。

7. 逆向工程与数字化测量

逆向工程也称为反求工程，是指设计和制造者在只有实物样件而没有图纸或 CAD 模型数据的情况下，通过对已有实物的数字化测量和工程分析，得到重新制造产品所需的几何模型、物理和材料特性数据，从而复制出已有产品的过程。这种从实物样件获取产品数字模型的技术，已发展成为 CAD/CAM 技术中相对独立的重要技术。

可用三维数字化测量的方法对产品样件或创作的实物原型进行测量，从而获得计算机数据，以便进行后续的各种分析、设计和计算。三维数字化测量工作目前主要在坐标测量设备上完成。典型的坐标测量设备有接触式三坐标测量仪、接触式多自由度测量臂、激光测量仪等。这些测量设备上配备有功能强大的测量软件系统，可完成各类测量任务。

8. 虚拟现实技术的运用

虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术可以使人们“沉浸”在计算机创建的虚拟环境中，对产品进行构思、设计、制造、测试和分析。VR 技术的应用，为 CAD/CAM 提供了真实感更强的工作环境，为创新产品设计开发提供了良好的运行条件与机制。图 1.4 所示是虚拟现实设备的应用。



图 1.4 虚拟现实设备的应用

现代产品的 CAD/CAM 过程有如下特点:

(1) 建立了产品设计制造活动的并行机制。通过自上而下的关联和自下而上的反馈机制,现代产品的 CAD/CAM 过程可确保设计制造活动的整体正确性。例如,在开展产品设计时,就可以分析该产品的可装配性与可制造性(DFA & DFM)。同时,因为设计和制造的过程是集成的,所以能及时发现各过程和环节中的问题并进行修改。这种机制由图 1.3 中各实线和虚线箭头表示。

(2) 每项设计制造活动无论在广度上还是深度上,其能力都得到大大加强。例如:设计中普遍采用三维造型技术开展零部件的设计;采用虚拟装配技术在计算机上完成装配设计与仿真;采用有限元技术对结构进行深入分析;采用分析与仿真技术开展产品机构的运动设计和分析。

(3) 一系列新技术的不断产生和应用(如逆向工程、快速原型制造、三维数字化测量、模拟仿真、虚拟现实等),为产品的设计制造提供了有力的保证。

CAD/CAM 过程的基本特征如下所述:

(1) 产品设计制造环境的计算机化和网络化。几乎每一项设计制造活动都是借助计算机来实现的,同时在不同人员、不同部门、不同地点之间,通过计算机网络实现了统一的设计制造平台,建立了密切的联系。

(2) 设计制造对象的数字化。产品的设计制造模型在计算机中以电子数据的形式保存,各个设计制造活动都是对计算机内的产品数据进行操作、处理,并生成新的数据。

(3) 制造过程的数字化。CAD/CAM 使产品的加工、成型、装配、测量等制造过程实现了数字指令控制,产生了“无纸化”制造。

1.2.2 CAD/CAM 的主要功能

为了实现现代产品的 CAD/CAM 过程,需要对产品设计、制造全过程的信息进行处理,这些处理包括设计、制造中的数值计算、设计分析、绘图、工程数据库的管理、工艺设计、加工仿真等各个方面。一般而言, CAD/CAM 应具备的基本功能如下。

1. 产品的计算机辅助几何建模

几何建模功能是 CAD/CAM 的核心功能。几何建模所提供的有关产品设计的各种信息是后续作业的基础。几何建模包括以下三部分内容:

(1) 零件的几何造型:在计算机中构造出零件的三维几何结构模型,并能够以真实感很强的方式显示零件的三维效果,供用户随时观察、修改模型。现阶段对 CAD/CAM 的几何造型功能的要求是,不但应具备完善的实体造型和曲面造型功能,更重要的是应具备很强的参数化特征造型功能。

(2) 产品的装配建模:在计算机中构造产品及部件的三维装配模型,解决三维产品模型的复杂的空间布局问题,完成三维数字化装配并进行装配及干涉分析,分析和评价产品的可装配性,避免真实装配中的种种问题;对运动机构进行机构内部零部件之间及机构与周围环境之间的干涉碰撞分析检查,避免各种可能存在的干涉碰撞问题。

(3) DFX 分析:包括 DFA(面向装配的设计)、DFM(面向制造的设计)、DFC(面向成本的设计)、DFS(面向服务的设计)等。在零部件设计时,运用 DFX 技术在计算机中分析和评价

产品的可装配性和可制造性,可以避免一切导致后续制造困难或制造成本增加等不合理的设计。

2. 产品模型的计算机辅助工程分析

采用产品的三维几何模型和装配模型可以对产品进行深入准确的分析,这种分析的深度和广度是手工设计方法无法比拟的,并且,可以采用丰富多彩的手段把分析结果表示出来,非常形象直观。常用的工程分析内容包括:

(1) 运动学、动力学分析(Kinematics & Dynamics)。对机构的位移、速度、加速度以及关节的受力进行自动分析,并以形象直观的方式在计算机中进行运动仿真,从而全面了解机构的设计性能和运动情况,及时发现设计问题,进行修改。

(2) 有限元分析(Finite Element Analysis)。结构分析常用的方法是有限元法,用有限元法对产品结构的静/动态特性、强度、振动、热变形、磁场、流场等进行分析计算。

(3) 优化设计(Optimization)。为了追求产品的性能,不仅希望设计的产品是可行的,而且希望设计的产品是最优的,比如,体积最小、重量最轻、寿命最合理,等等。因此,CAD/CAM 应具有优化设计功能。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。

3. 工程绘图

在现阶段,产品设计的结果往往需要用产品图样形式来表达,因此,CAD/CAD 系统的工程绘图功能必不可少。CAD/CAM 系统应具备处理二维图形的能力,包括基本视图的生成、标注尺寸、图形的编辑及显示控制等功能,以保证生成合乎生产实际要求、符合国家标准的产品图样。

目前三维 CAD 逐渐成为主流,这要求 CAD/CAM 系统应具有二、三维图形的转换功能,即从三维几何造型直接转换为二维图形,并保持二维图形与三维造型之间的信息关联。

4. 计算机辅助工艺规程设计

计算机辅助工艺规程设计是连接 CAD 与 CAM 的桥梁。CAPP 系统应根据建模后生成的产品信息及制造要求,自动决策出加工该产品所应采用的加工方法、加工步骤、加工设备及加工参数。CAPP 的设计结果一方面能被生产实际采用,生成工艺卡片文件;另一方面能直接输出一些信息,为 CAM 中的 NC 自动编程系统接收、识别,直接转换为刀位文件。

5. NC 自动编程

CAD/CAM 系统应具备三、四、五坐标机床的加工产品零件的能力,能够直接产生刀具轨迹,完成 NC 加工程序的自动生成。

6. 模拟仿真

模拟仿真是根据建立的产品数字化模型进行产品的性能预测、产品的制造过程和可制造性分析的重要手段。通过模拟仿真软件代替、模拟真实系统的运行,避免了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,减少了成本并缩短了产品设计周期。

7. 工程数据处理和管理

CAD/CAM 工作时涉及大量种类繁多的数据,既有几何图形数据,又有产品定义数据、生产控制数据,既有静态标准数据,又有动态过程数据,结构相当复杂。因此,CAD/CAM 系统应能提供有效的管理手段,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,支持工程设计与制造全过程的信息流动与交换。

1.3 CAD/CAM 技术的发展和应用

1.3.1 CAD/CAM 技术的产生与发展

CAD/CAM 技术是随着电子技术、计算机技术和自动控制技术的发展而逐步发展起来的。值得注意的是,计算机辅助制造(CAM)和计算机辅助设计(CAD)是相对独立地先后发展起来的。

20 世纪 50 年代初期,美国麻省理工学院伺服机构实验室采用 Whirlwind 计算机研制成功了第一台数控铣床,并实施 APT(Automatically Programmed Tools, 自动编程系统)的开发。APT 的出现被认为是 CAM 的起源。

20 世纪 60 年代初, CAD 的创始人之一、年仅 24 岁的 MIT 研究生 I. E. Sutherland 在美国计算机联合会年会上宣读了题为“Sketchpad——人机交互系统”的论文,文中提出了对 CAD 的设想:设计师坐在交互式制图机的显示器前,通过人机对话的方式,实现从概念设计到技术设计的整个过程,并首次提出了 CAD 术语。这标志着 CAD 技术的诞生。

CAD/CAM 的整个发展过程大致可分为以下几个阶段:

1. 研究初始阶段(20 世纪 50~60 年代)

该阶段主要提出了 CAD/CAM 的设想,并为 CAD/CAM 的应用进行硬、软件准备。1951 年,美国麻省理工学院研制成功第一台数控铣床和自动数控程序 APT,被认为是实施 CAM 的起点;1956 年发明了 CRT 显示装置;1957 年巴克斯(Backus)创建了 FORTRAN 语言,同年有人发明了大尺寸的自动绘图机;1958 年发明了数控作图机。这些成就使得 CAD/CAM 具有了一定的硬、软件基础。

2. 工程研究阶段(20 世纪 60~70 年代)

该阶段以 CAD/CAM 进入工程实际应用的研究与开发为主要特征。1963 年, CAD 的创始人之一 Sutherland 研制出 Sketchpad 程序,实现了人机图形交互系统;60 年代中期,美国 MIT、通用汽车(GM)、贝尔电话实验室(Bell Telephone Lab.)、当时的洛克希德飞机公司(Lockheed Aircraft)以及英国剑桥大学等都投入大量精力从事计算机图形学的研究。美国通用汽车公司研制出 DAC-1 系统,使汽车工业首先进入 CAD 时代;1964 年, IBM 公司公布了计算机图像仪终端 IBM2250 显示装置;1965 年,洛克希德加里福尼亚分公司研制出对话式图像仪;1966 年,由上述两种系统发展而成的对话式计算机图像仪系统(CADAM 系统)问世。1964 年,麦道公司开发了一个由计算机控制、采用阴极射线管显示、功能较强的三维计算机辅助设计图像仪系统(CADD 系统),并于 1970 年 3 月首次在 F-15 飞机研制中投入使用。在制造领域,1962 年,在机床数控技术的基础上研究成功了工业机器人,实现了物料搬运的自动化;1966 年,出现了大型计算机控制多台数控机床的 DNC 系统。

3. CAD/CAM 开发应用阶段(20 世纪 70~80 年代)

随着大规模和超大规模集成电路的出现,计算机的硬件性能得以大幅度提高而使成本下降,外围设备日趋完善,工作站和微机进入了市场,这些都为开发和应用 CAD/CAM 技

术提供了良好的条件。这一时期是 CAD/CAM 技术研究的黄金时代, CAD/CAM 技术日趋成熟, CAD/CAM 的功能模块已基本形成, 各种建模方法及理论得到了深入研究, CAD/CAM 的单元技术及功能得到了较广泛的应用。但就技术及应用水平而言, CAD/CAM 各功能模块的数据结构尚不统一, 集成性较差。该阶段 CAD/CAM 的发展具有如下特点:

(1) 小型成套系统(Turnkey Systems)的出现使 CAD/CAM 进入了廉价的工业实用开发阶段。

(2) 三维几何造型和仿真软件迅速发展, 开发了许多面向中小企业的商品化 CAD/CAM 系统。

(3) 快速绘图技术得到发展。

(4) 有限元分析、优化设计、数据库技术等商品化软件的发展, 使 CAD/CAM 从用于产品设计发展到用于工程设计。

(5) 发展了与制造过程相关的计算机辅助技术, 比如 CAQ、MRP 等。

(6) 计算机集中控制的自动化制造系统——柔性制造系统(FMS)得以发展和应用。

自 20 世纪 80 年代起, CAD/CAM 技术的研究重点不再局限于三维几何设计、加工编程、仿真分析等单元技术的提高, 而进入了将各种单元技术集成起来, 提供更完整的工程设计、分析和开发环境的时期。

4. 完善提高阶段(1990 年至今)

自 20 世纪 90 年代起, 各种集成的 CAD/CAM 商品化软件日趋成熟, 应用越来越广泛。CAD/CAM 技术已不停留在过去单一模式、单一功能、单一领域的水平, 而向着标准化、集成化、网络化、智能化的方向发展。随着计算机软硬件及网络技术的发展, PC+Windows 操作系统、工作站+UNIX 操作系统以及以太网(Ethernet)为主的网络环境构成了 CAX 系统的主流平台。同时, CAX 系统的功能日益增强, 接口趋于标准化, GKS、IGES、STEP 等国际或行业标准得到了广泛应用, 实现了不同 CAX 系统之间的信息兼容和数据共享, 有力地促进了 CAX 技术的普及。

特别应指出的是, 20 世纪 90 年代以后, 随着改革开放的深入和经济全球化步伐的加快, 我国在 CAD/CAM 领域与世界迅速接轨, UG、CATIA、Pro/E、I-DEAS、ANSYS、SolidWorks、SolidEdge、MasterCAM、Cimatron 等世界领先的 CAD/CAM 软件纷纷进入我国, 并在生产中得到广泛应用。

1.3.2 CAD/CAM 技术的应用

科学技术的迅速发展和市场竞争的日益加剧, 促使制造业发生了根本性的变革。其显著特点是产品向着机电一体化、智能化和精密化方向发展, 其生产组织方式从传统的大批量、少品种的刚性生产结构向着多品种、中小批量的柔性生产结构转变。与此同时, 设计与制造的手段和方法也随之改变, 以 CAD/CAM 为代表的现代设计制造技术正以惊人的速度向前发展。这一切预示着制造业的发展开始进入一个崭新的时代。CAD/CAM 技术的普及已给企业带来了巨大的经济效益。1989 年, 美国权威科学家评出的 25 年间当代 10 项最杰出的工程技术成就中, CAD/CAM 技术名列第 4(如表 1.1 所示)。

表 1.1 当代 10 项最杰出的工程技术成就

登月	应用卫星	微处理器	CAD/CAM	CT	高级复合材料	喷气客机	激光	光纤通信	遗传工程
----	------	------	---------	----	--------	------	----	------	------

1991 年 3 月 20 日, 即海湾战争结束后的第三周, 美国政府发表了跨世纪国家关键技术发展战略, 列举了与美国国家安全和经济繁荣至关重要的 6 大技术领域的 22 项关键项目, 其中就有两大领域的 11 个项目与 CAD/CAM 技术密切相关。

CAD/CAM 充分发挥计算机及其外围设备的能力, 将计算机技术与工程领域中的专业技术结合起来, 实现产品的设计、制造, 这已成为新一代生产技术发展的核心技术。随着计算机硬件和软件的不断发展, CAD/CAM 系统的性能价格比不断提高, 使得 CAD/CAM 技术的应用领域也在不断扩大。据统计, 到 20 世纪 90 年代初, CAD/CAM 技术的应用已进入近百个工业领域。

航空航天、造船、汽车和机械制造等都是国内外应用 CAD/CAM 技术较早的工业部门。应用 CAD/CAM 系统可首先进行飞机、船体、汽车和机械产品零部件的外形设计; 然后进行一系列的分析计算, 如结构分析、优化设计、仿真模拟, 并根据 CAD 的几何数据与加工要求生成数控加工纸带; 最后采用数控机床、加工中心等高效加工设备完成产品的制造。CAD/CAM 技术在这些行业的应用已取得了明显的效益。比如在机械制造行业, 应用 CAD/CAM 系统进行产品的设计和制造, 可实现对用户要求的快速响应设计与制造, 缩短生产周期, 提高产品质量。而在飞机制造和汽车工业中, CAD/CAM 技术的应用更为普遍, 使得国际上一些著名的企业已完全实现了无图纸化生产。例如, 美国波音 777 客机已 100% 实现数字化三维设计和制造, 实现了无图纸化生产。

CAD/CAM 技术在其它领域中的应用也得到迅速发展。比如, 电子工业应用 CAD/CAM 技术进行印刷电路板生产, 以至于现在不采用 CAD/CAM 根本无法实现集成电路的生产。除此之外, CAD/CAM 技术还在建筑、轻纺、服装设计、制造等许多领域得到了广泛的应用。

1.4 CAD/CAM 技术的发展趋势

随着信息技术、计算机网络技术和先进制造技术的发展, 企业内部、企业之间、区域之间实现了资源信息共享, 异地、协同、虚拟设计和制造开始成为现实, 这些都不断推进着 CAD/CAM 技术向更高的水平发展。当今, CAD/CAM 发展的重要趋势是集成化、智能化、网络化。

1. 集成化 CAD/CAM 技术

集成化问题一直是 CAD/CAM 技术研究的重点。目前, 为适应现代制造技术发展的趋势, CAD/CAM 的集成化正向着深度和广度发展, 从 CAD/CAM 的信息集成、功能集成, 发展为可实现整个产品生命周期的过程集成, 进而向企业动态集成、虚拟企业发展。信息集成主要实现单元技术自动化孤岛的连接, 实现其信息交换与共享; 过程集成通过并行工程等实现产品设计制造过程的优化; 企业动态集成通过敏捷制造模式来建立虚拟企业(动态联盟), 达到提升产品和企业整体竞争力的目的。

计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing, CIM)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, 使企业的经营

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,进而为企业赢得市场竞争的目的。CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)则是一种基于 CIM 哲理构成的复杂的人机系统,从第 10 章关于 CIMS 的内容可以看出,作为 CIMS 的主要子系统,CAD/CAM 及其集成系统是实现 CIMS 的重要一步。

2. 智能化 CAD/CAM 技术

设计和制造是一项创造性活动,在这一活动过程中,很多工作是非数据、非算法的,所以,应用人工智能技术实现产品生命周期(设计、制造、销售、售后服务到报废)各个环节的智能化显得尤为重要。将人工智能技术、专家系统应用于 CAD/CAM 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。

将智能技术运用于 CAD 领域目前已取得了令人瞩目的进展,智能 CAD(Intelligent CAD, ICAD)已作为新的 CAD 概念迅速崛起。近几年来,国内外在开发 ICAD 方面做了大量工作,其应用研究已遍及建筑、工程设计、机械产品设计等许多领域,新的思想和方法不断出现,已成为现代 CAD 研究的热门领域之一。

在制造方面,人们一直着力于研究智能技术在制造领域的应用,比如应用智能控制实现对制造系统的控制,智能机器人的研究,作业的智能调度与控制,制造质量信息的智能处理系统,智能监测与诊断系统等。这些研究已取得了许多重要的进展。智能制造系统作为制造系统新的发展方向,其前景非常广阔。

另外,智能化和集成化两者之间存在着密切联系,要实现系统集成,智能化是不可缺少的研究方向。

3. 网络化 CAD/CAM 技术

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。计算机网络特别是 Internet 正在以令人惊奇的深度和广度影响着制造业,对 CAD/CAM 技术的影响则更为巨大。引入网络技术,把 Internet 作为系统的扩展部分,是所有 CAD/CAM 系统的发展方向。

现代制造企业往往分散于不同地域,产品的设计开发需要各地的工程师密切合作。大型 CAD/CAM 系统为适应这种分布式设计制造模式而提供了许多基于网络的解决方案。通过 Internet/Intranet,可以让身处不同地理位置的工程师实时观察、操作同一产品模型,进行并行设计,加快产品开发速度。为此,支持团队协同设计及并行设计是 CAD/CAM 系统所必须解决的首要问题,这已成为目前 CAD/CAM 系统重点研究与开发的功能。

随着基于 Internet 网络的支持异地设计制造的 CAD/CAM 技术迅速发展和敏捷制造理念的应用,可针对某一特定产品,将分散在不同地区的现有智力资源和生产设备资源迅速整合,建立动态联盟制造体系。这种分散网络化制造体系是人们正在研究和探索的一种生产模式,用以适应全球化制造的发展趋势。