

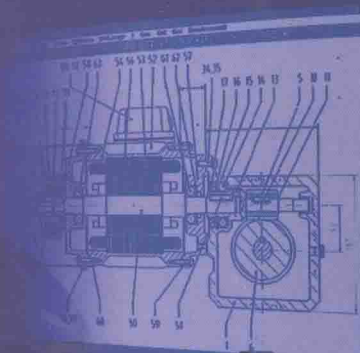


普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育机电类规划教材

机械CAD/CAM技术

(第2版)

王隆太 主 编
朱灯林 戴国洪 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育机电类规划教材

机械 CAD/CAM 技术

第 2 版

主 编 王隆太
副主编 朱灯林 戴国洪
参 编 张剑锋 孙春华
宋爱平 陈 飞
主 审 赵汝嘉



机械工业出版社

本书系统地讲述了机械 CAD/CAM 的基础概念、应用方法和关键技术。主要内容包括 CAD/CAM 系统的软硬件支撑环境和支撑技术、设计数据处理技术、计算机图形处理技术、几何建模技术、机械 CAD/CAM 应用软件开发、计算机辅助工艺过程设计、数控加工编程、CAD/CAM 集成技术等。

全书在力求保持内容的系统性、完整性基础上,尤其突出内容的实用性,尽量列举不同应用实例说明各种原理和方法。各章节之间衔接自然、语言通俗流畅,便于组织教学和自学。

本书有配套的 CAI 课件,向授课老师免费提供,请按书末信息反馈表索取。另外,与本书配套的还有《机械 CAD/CAM 实训指导书》,对学生进行三维造型和数控编程的实践操作训练,提示学生对 CAD/CAM 软件的实际应用能力。

本书可作为机械工程及其自动化专业的本科生教材,也可作为从事 CAD/CAM 技术研究和工程应用技术人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD/CAM 技术/王隆太主编.—2 版.—北京:机械工业出版社,2005.1 (2008.1 重印)
普通高等教育机电类规划教材
ISBN 978-7-111-09465-4

I. 机… II. 王… 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 106097 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:高文龙 责任编辑:邓海平 版式设计:霍永明
责任校对:张晓蓉 责任印制:李 妍
北京蓝海印刷有限公司印刷
2008 年 1 月第 2 版·第 6 次印刷
169mm×239mm·8.75 印张·341 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-09465-4
定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379711
封面无防伪标均为盗版

第 2 版前言

本教材自 2002 年 1 月第 1 版出版以来,受到不少读者的支持和关爱,到 2004 年 7 月已进行 5 次印刷。然而,由于编者的水平所限,在第 1 版中无论是教材结构、内容选取还是语言文字等方面均存在不少缺陷和不足。两年多来,不少热心的读者对本教材提出了许多善意意见和积极改进建议。为了满足读者的要求,适应我国制造业快速发展的形势,编者在征求和整理读者意见的基础上,对第 1 版教材进行了修订。

第 2 版教材的读者对象仍然面向普通高等教育应用型机械工程类专业在校学生,侧重点在于 CAD/CAM 技术的工程应用,同时保留基本的 CAD/CAM 技术原理和方法;在内容选取方面,主要体现 CAD/CAM 的成熟实用技术,尽可能反映本领域的前沿发展;在内容编排上,每个主要章节附有具体的技术应用实例,便于读者学习与理解;在教学计划和课程设置方面,建议匹配一定学时量的实践性教学环节,如课程实验或课程实习。

在本新版教材中对原版主要增删的内容包括:

1) 将第 1 版第一章中“CAD/CAM 支撑技术”单列为一章,其中包括数据结构、数据管理技术、计算机网络技术和成组技术等内容。

2) 第三章增加了数据库应用示例,包括数据库数表的建立和查询以及数据库技术在 CAD/CAM 系统开发中的应用。

3) 在第四章图形变换部分增加投影变换和透视变换内容,增加图形变换应用举例。

4) 第五章加强机械零件三维造型示例部分,包括 AutoCAD 和 UG 系统的三维造型示例。

5) 第六章删除了有关 CAD 系统类型的内容,从软件工程方法出发,侧重阐述机械 CAD/CAM 应用软件开发原则和步骤,以及机械 CAD 应用软件二次开发技术。

6) 第八章在介绍数控编程基本方法和原理基础上增加了 UG 系统编程示例。

7) 第九章删除了原有集成系统信息流以及集成系统类型等内容,增加了基于 PDM 平台的 CAD/CAM 集成技术和网络化制造技术等新内容。

本书有配套的 CAI 课件,向授课老师免费提供,请按书末信息反馈表索取。另外,与本书配套的还有《机械 CAD/CAM 实训指导书》,对学生进行三维造型和数控编程的实践操作训练,提高学生 CAD/CAM 软件的实际应用能力。

IV

第2版教材由王隆太教授担任主编，朱灯林博士、戴国洪博士担任副主编。具体章节编写人员分工如下：第一、八章由王隆太编写，第二章由陈飞编写，第三章由宋爱平编写，第四章由张剑锋编写，第五章由朱灯林编写，第六章由孙春华编写，第七、九章由戴国洪编写。全书由王隆太统稿，并参与第二章和第九章部分小节的编写，陈飞老师协助有关章节的图稿整理。

全书由西安交通大学赵汝嘉教授担任主审。

由于编者水平有限，书中不足、漏误之处在所难免，敬请读者指正。

编 者
于扬州大学

第 1 版前言

于 20 世纪 60 年代产生形成的机械 CAD/CAM 技术, 经过近 40 年的快速发展, 现已成为一种高新技术产业。该技术的迅猛发展和广泛应用, 给机械制造业从产品设计到加工制造整个生产过程带来了深刻、全面、根本性的变革, 被评为 20 世纪最杰出的工程技术成就之一。目前, CAD/CAM 技术已被广泛应用于机械、电子、汽车、船舶、航天、航空、轻工等各个领域, 其应用水平和开发能力已成为衡量一个国家、一个企业技术水平的重要标志之一。

随着信息化时代的到来和全球化市场的形成, 商品市场的竞争更趋激烈。在刚刚跨入新世纪之际, 如何提高市场快速响应能力, 以最短的时间、以最低的成本, 向市场推出质量最好的新产品, 已成为制造型企业竞争的焦点。CAD/CAM 技术是企业技术创新、市场开拓的强有力的技术工具和手段。CAD/CAM 技术的发展和推广应用不仅受到国家和企业的重视, 更为广大工程技术人员所关心, 如何全面、熟练地掌握 CAD/CAM 技术已成为工程技术人员适应新形势、新要求的重要任务。

CAD/CAM 技术所涉及的内容极其广泛, 学科跨度大, 通过本门课程的学习究竟应掌握哪些知识和内容一直是人们所关注的话题。本教材以机械工程类专业应用型人才的培养为对象, 以实际、实践和实用为原则, 兼顾理论基础和实际应用, 系统地讲述 CAD/CAM 技术基本概念、应用方法和关键技术。在内容的安排上, 按照设计、工艺和加工制造三个主要机械产品生产环节, 着重介绍计算机在工程图样绘制、产品几何建模、工艺规程编制和数控编程中的应用技术; 在介绍具体应用方法时, 通过多样化的应用实例开拓学生的思路, 培养学生对实际问题的分析和解决能力; 在语言描述方面, 力求简洁、通俗、准确、易懂, 利于培养学生自学能力和拓展知识能力。

本书由王隆太教授担任主编, 朱灯林、戴国洪副教授担任副主编。各章分工如下: 第一、七章由王隆太编写, 第二章和第三章第一节由袁新芳编写, 第三章第二、三节由章永健编写, 第四、五章由朱灯林编写, 第六、八章由戴国洪编写; 全书由王隆太统稿; 陈飞老师协助全书图稿的整理。

全书由东南大学吴锡英教授担任主审, 在此表示感谢。

由于编者水平有限, 书中不足、漏误之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编 者

2001 年 8 月

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

第一章 机械 CAD/CAM 技术概述... 1

第一节 CAD/CAM 技术的基本概念 1

一、CAD 技术 1

二、CAPP 技术 2

三、CAM 技术 2

四、CAD/CAM 集成技术 2

第二节 CAD/CAM 系统的功能和作业过程 3

一、CAD/CAM 系统的主要功能 3

二、CAD/CAM 系统作业过程 5

第三节 CAD/CAM 系统的硬件和软件 7

一、CAD/CAM 系统的组成 7

二、CAD/CAM 系统的硬件 8

三、CAD/CAM 系统的软件 13

第四节 CAD/CAM 技术的发展和应⤿ 17

一、CAD/CAM 技术的产生与发展 17

二、CAD/CAM 技术在制造工程中的应用 18

三、CAD/CAM 技术的研究热点 19

思考题 21

第二章 CAD/CAM 的支撑技术 22

第一节 CAD/CAM 系统常用的数据结构 22

一、数据结构的概念 22

二、线性表 23

三、栈和队列 28

四、树与二叉树 29

第二节 数据管理技术 34

一、文件管理模式 35

二、数据库管理模式 35

三、工程数据库管理模式 37

四、产品数据管理 (PDM) 38

五、CAD/CAM 集成系统的数据管理方法 42

第三节 计算机网络技术 42

一、计算机网络的概念 42

二、局域网系统的组成 43

三、网络的拓扑结构 43

四、网络协议 44

五、基于网络的 CAD/CAM 系统模式结构 45

第四节 成组技术 47

一、成组技术的基本原理 47

二、零件的分类编码系统 48

三、零件的分类成组技术 50

四、基于成组技术的 CAD 应用系统 51

思考题 53

第三章 设计数据的处理技术 54

第一节 数表的计算机处理技术 54

一、数表的程序化 54

二、数表的文件化 58

第二节 线图的计算机处理技术 60

一、一般线图处理 61

二、复杂线图的处理 62

第三节 数表的公式化处理技术 64

一、函数插值 64

二、函数拟合 65

第四节 数据库在 CAD/CAM 作业中的应用 67

一、Visual FoxPro 数据库管理系统简介 67

二、数据库数表的建立和查询 68

三、数据库技术在 CAD/CAM 系统开

发中的应用	71	思考题	146
思考题	72	第六章 机械 CAD/CAM 应用软件	
第四章 计算机图形处理技术	73	开发	147
第一节 图形变换	73	第一节 软件工程基础	147
一、窗口与视区变换	73	一、软件工程的内涵	147
二、二维图形的几何变换	74	二、软件生存周期	147
三、三维图形的几何变换	79	三、软件开发模型	149
四、三维图形的投影变换和透视变换	81	四、软件文档的编制	151
第二节 计算机辅助绘图	85	第二节 机械 CAD/CAM 应用软件开发	
一、交互式绘图	85	原则和步骤	152
二、程序参数化绘图	89	一、机械 CAD/CAM 应用软件开发的意义	152
三、尺寸驱动式参数化绘图	94	二、机械 CAD/CAM 应用软件开发应遵循的原则	153
四、参数化图库的使用与建立	96	三、机械 CAD/CAM 应用软件开发步骤	154
五、工程图的自动生成	97	第三节 机械 CAD 应用软件二次开发	
第三节 曲线和曲面	101	技术	157
一、曲线曲面的参数表示	101	一、机械 CAD 应用软件二次开发环境与工具	157
二、Bezier 曲线曲面	104	二、AutoCAD 二次开发技术	158
三、B 样条曲线曲面	109	三、AutoLISP 编程技术	162
四、NURBS 曲线曲面	113	四、机械 CAD 应用软件开发实例	167
思考题	115	思考题	171
第五章 机械 CAD/CAM 建模技术	116	第七章 计算机辅助工艺过程设计	172
第一节 几何建模概述	116	第一节 概述	172
一、机械 CAD/CAM 几何建模概述	116	一、CAPP 技术及其发展概况	172
二、机械 CAD/CAM 几何建模技术的基本知识	117	二、CAPP 系统的结构组成	173
第二节 三维几何建模技术	121	第二节 零件信息的描述与输入	174
一、线框建模	121	一、零件信息描述的要求和内容	174
二、表面(曲面)建模	122	二、零件信息描述的基本方法	175
三、实体模型	123	第三节 CAPP 系统的基本原理和方法	176
第三节 特征建模技术	129	一、派生式 CAPP	176
一、特征建模的概念	129	二、创成式 CAPP	181
二、特征的分类与特征间的关系	130	三、综合式 CAPP	186
三、常见的特征建模方式	131	第四节 CAPP 专家系统	196
第四节 常用 CAD 软件三维造型功能简介	133	一、专家系统定义与组成	196
一、AutoCAD 三维造型功能及应用示例	133	二、知识表示及其推理	198
二、UG 三维造型功能及应用示例	140		

三、CAPP 专家系统开发工具	200	思考题	242
思考题	201	第九章 CAD/CAM 集成技术	243
第八章 数控加工编程	202	第一节 CAD/CAM 集成系统总体结 构与关键技术	243
第一节 数控编程方法及其发展	202	一、CAD/CAM 集成系统总体结构...	243
一、手工编程	202	二、CAD/CAM 信息集成方式	244
二、数控语言自动编程	203	三、CAD/CAM 集成的关键技术 ...	246
三、CAD/CAM 系统自动编程	205	第二节 产品定义数据模型	247
第二节 数控编程系统中的基本概念 和术语	208	一、零件信息模型	247
一、数控机床的坐标系统	208	二、产品信息模型	250
二、常用的切削刀具	209	第三节 产品数据交换标准	254
三、刀具运动控制面	210	一、产品数据交换标准的发展	254
四、切削加工过程中的阶段划分 ...	211	二、IGES 标准	255
第三节 数控编程中的刀位计算	212	三、STEP 标准	259
一、非圆曲线刀位点的计算	213	第四节 基于 PDM 平台的 CAD/CAM 集成技术	262
二、球头铣刀行距和步长的确定 ...	216	一、基于 PDM 构筑 CAD/CAM 集成 平台	262
三、平面型腔零件加工刀位点的计算...	217	二、基于 PDM 平台 CAD/CAM 系统 集成模式	262
四、转角过渡处理	219	三、基于 PDM 平台的 CAD/CAM 集成系统实现方法	264
五、曲面加工中的刀位计算	220	第五节 网络化制造技术	265
六、刀具的干涉检验	222	一、网络制造的内涵和功能结构 ...	265
第四节 数控编程中的工艺策略	224	二、网络制造中的共享信息	266
一、粗、精加工的工艺选择	224	三、网络制造的关键技术	267
二、刀具的切入和切出引导	226	思考题	270
三、加工路线的确定及优化	229	参考文献	271
第五节 后置处理及 DNC	232		
一、后置处理	232		
二、DNC 系统	233		
第六节 数控编程举例	237		

第一章 机械 CAD/CAM 技术概述

CAD/CAM (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 技术是制造工程技术与计算机技术相互结合、相互渗透而发展起来的一项综合性应用技术。自 20 世纪 50 年代问世以来, CAD/CAM 技术走完了近半个世纪的发展历程, 具有涉及知识门类宽、综合性能强、处理速度快、经济效益高的特点, 是当今先进制造技术的重要组成部分。CAD/CAM 技术的发展和运用, 不仅使之成为企业产品设计开发和加工制造的手段和工具, 还大大促进了企业的技术进步和管理水平, 对国民经济的快速发展、促进科学技术的进步产生了深远的影响。CAD/CAM 技术在 1989 年被美国工程科学院评为当代最杰出贡献的十项工程技术之一, 已成为衡量一个国家和地区科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。

第一节 CAD/CAM 技术的基本概念

一、CAD 技术

CAD (计算机辅助设计, Computer Aided Design) 是指工程技术人员以计算机为工具, 应用自身的知识和经验, 对产品进行包括方案构思、总体设计、工程分析、图形编辑和技术文档整理等一切设计活动的总称。

CAD 是一个设计过程, 它是“在计算机环境下完成产品的创造、分析和修改, 以达到预期设计目标”的过程。

一般认为, CAD 系统具有几何建模、工程分析、模拟仿真、工程绘图等主要功能。就目前 CAD 技术可实现的功能而言, CAD 作业过程是在设计人员进行产品概念设计的基础上从事产品的几何造型, 完成产品几何模型的建立; 提取模型中的相关数据进行工程分析和计算, 例如有限元分析、仿真模拟等; 根据计算结果决定对设计结果的修改, 满意后编辑全部设计文档, 输出工程图的一个完整的过程。从 CAD 作业过程可以看出, CAD 技术也是一项产品建模技术, 它是将产品的物理模型转化为计算机内部的数据模型, 以供后续的产品开发活动所共享, 驱动产品生命周期的全过程。

一个功能完备的 CAD 系统应包含产品设计数据库、应用程序库和多功能交互图形库。产品设计数据库存储有各类标准规范、计算公式、经验曲线等产品设计信息; 应用程序库包含有常规的设计程序、优化方法、有限元分析、可靠性分析等通用或专用的设计分析和计算程序; 多功能交互图形库用于图形处理、工程图

绘制、标准零部件图库的建立等图形处理作业。

在 CAD 系统中,若加入人工智能技术,用计算机模拟人类专家解决问题的思路和方法进行设计过程中的推理和决策,可大大提高设计过程自动化水平,可对产品进行功能设计、总体方案设计等产品的概念设计过程,以实现对产品设计全过程提供有力的支持。

二、CAPP 技术

CAPP (计算机辅助工艺设计, Computer Aided Process Planning) 是根据产品设计结果进行产品的加工方法和制造过程的设计。一般认为, CAPP 系统的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工序设计、工艺路线制定和工时定额计算等。其中的工序设计包含有加工设备和工装的选用、加工余量的分配、切削用量选择、机床刀具选择和工序图生成等内容。

工艺设计是制造型企业技术部门的主要工作之一,其设计效率的高低以及设计质量的优劣,对生产组织、产品质量、生产率、产品成本、生产周期等均有极大的影响。长期以来,工艺人员依据个人的经验以手工的方式进行工艺设计规划,由于其固有的缺陷:设计效率低、工艺方案因人而异、难以取得最佳方案等,不能适应当今快速发展的市场需求。应用计算机辅助工艺设计 (CAPP) 能够迅速编制出完整、详尽、优化的工艺方案和各种工艺文件,可极大提高工艺人员的工作效率、缩短工艺准备周期,加快产品投放市场的进程。此外,应用 CAPP 技术可获得符合企业实际的优化工艺,给出合理的工时定额和材料消耗,这为企业的科学管理提供可靠的数据。

三、CAM 技术

CAM (计算机辅助制造, Computer Aided Manufacturing) 到目前为止尚无统一的定义。一般而言, CAM 是指计算机在制造领域有关应用的统称,有广义 CAM 和狭义 CAM 之分。

所谓广义 CAM,一般是指利用计算机辅助完成从毛坯到产品制造过程中的直接和间接的各种活动,包括工艺准备、生产作业计划制定、物流过程的运行控制、生产控制、质量控制等方面的内容,其中工艺准备包括计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 编程、计算机辅助工时定额和材料定额的编制等任务;物流过程的运行控制包括物料的加工、装配、检验、输送、储存等生产活动。

而狭义 CAM,通常指数控程序的编制,包括刀具路线的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及后置处理和 NC 代码生成等作业过程。通常 CAD/CAM 系统中的 CAM 概念指的是狭义的 CAM。

四、CAD/CAM 集成技术

自 20 世纪 60 年代开始, CAD 和 CAM 技术各自独立地发展,国内外学者和

工业界研究开发了众多性能优良的相互独立的商品化 CAD、CAPP、CAM 系统。这些系统各自在产品自动化、工艺过程自动化和数控编程自动化方面起到了重要的作用。这些系统的应用和推广,无疑使制造企业大大提高了生产效率,缩短了产品设计与制造周期,使企业能够比过去以更快的速度更新自己的产品和响应市场的需求。

然而,这些各自独立的系统相互割裂,不能实现系统之间信息的自动传递和转换,大量的信息资源得不到充分地利用和共享。例如:CAD 系统设计的结果不能直接为 CAPP 系统所读取,进行 CAPP 作业时,仍需设计者将 CAD 输出的图样文档转换成 CAPP 所需的数据信息进行人工录入,这不仅影响了设计效率的提高,而且难以避免人为的错误。因而,随着计算机辅助技术日益广泛的应用,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生产制造环节(如 CAE、CAPP、CAM)直接应用才能取得最大的经济效益。为此,人们提出了 CAD/CAM 集成的概念,并首先致力于 CAD、CAPP 和 CAM 系统之间数据自动传递和转换的研究,以便将业已存在和使用的 CAD、CAPP、CAM 系统集成起来。目前,这一技术已达到实用化水平。

所谓 CAD/CAM 集成,指的是 CAD、CAPP、CAM 各应用模块之间进行信息的自动传递和转换。集成化的 CAD/CAM 系统借助于工程数据库技术、网络通信技术、以及标准格式的产品数据接口技术,把分散于机型各异的各个 CAD/CAM 模块高效、快捷地集成起来,实现软、硬件资源共享,保证整个系统内的信息流畅通无阻。

随着网络技术、信息技术的不断发展和市场全球化进程的加快,出现了以信息集成为基础的更大范围的集成技术,包括信息集成、过程集成、资源集成、工作机制集成、技术集成、人机集成以及智能集成等,譬如将企业内经营管理信息、工程设计信息、加工制造信息、产品质量信息等融为一体的计算机集成制造系统 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)。而 CAD/CAM 集成技术则是计算机集成制造系统、并行工程、敏捷制造等新型集成系统中的一项核心技术。

第二节 CAD/CAM 系统的功能和作业过程

一、CAD/CAM 系统的主要功能

作为一种计算机辅助工具和手段,CAD/CAM 系统应能对产品整个设计和制造全过程的信息进行处理,包括产品的概念设计、详细设计、数值计算与分析、工艺设计、加工仿真、工程数据管理等各个方面。就目前技术所及水平,CAD/CAM 系统具有如下的主要功能。

1. 产品几何建模

产品几何建模是 CAD/CAM 系统的核心功能, 它为产品的设计和制造提供基本数据, 是后续工作的基础。

在产品构思阶段, 系统能够描述基本几何实体及其相互间的关系, 在计算机中构造每一个零件的三维几何模型; 构造产品及其部件的三维结构模型, 进行装配干涉分析, 分析和评价产品的可装配性; 对运动机构, 进行机构内部零部件间以及与周围环境的干涉碰撞分析, 避免各种可能存在的干涉问题; 动态显示产品三维图形, 进行消隐、色彩浓淡处理, 提高图形的真实感。

利用 CAD/CAM 系统提供的几何建模功能, 用户不仅能构造各种产品的几何模型, 还能随时观察、修改所建产品模型。现有商品化的 CAD/CAM 系统, 应具备完善的实体造型和曲面造型功能, 同时应具备参数化特征造型功能, 实现各种规则形状和复杂曲面或雕塑曲面造型。

2. 产品模型的工程分析处理

在产品几何模型的基础上, 可以开展各种必要的计算和分析, 这种分析的深度和广度是手工设计方法所不可比拟的。借助于计算机工具, 在分析处理之后, 可以采用各种可视化手段把分析结果表示出来, 非常直观、形象, 发现问题及时进行修改。这种方法可以取代大量的模型实验, 节省了时间和费用, 可以获取更多更全面的实验结果。目前常用的工程分析处理内容有:

1) 运动学、动力学分析。对运动机构的位移、速度、加速度以及受力状况进行分析, 并形象直观地进行运动仿真, 可全面了解机构的设计性能和运动情况, 发现问题可及时对设计对象进行修改。

2) 有限元分析。根据产品结构特征, 自动生成有限元网格, 对产品进行应力、应变结构分析, 进行振动、热变形、温度场分析。分析计算完成之后, 自动生成应力分布图、温度场分布图、位移变形曲线等图形和文件, 使用户方便、直观地看到分析结果。

3) 优化设计。为了追求产品的性能, 不仅希望设计的产品是可行的, 还希望设计的产品是最优的, 如体积最小、重量最轻、寿命最合理等。优化设计包括产品总体方案优化、产品零件结构优化、工艺参数优化等。

3. 工程绘图

机械产品设计的结果往往是以工程图样的形式输出, CAD/CAM 中的某些中间结果也是通过图形来表达的。CAD/CAM 系统一方面应具备从几何造型的三维数据模型直接向二维图形转换的功能, 另一方面还需有处理二维图形的能力, 包括基本图元的生成、尺寸的标注、图形的编辑(图形的缩放、平移、复制、删除等)、显示控制、技术条件标注等功能, 生成满足实际生产需要、符合国家标准的机械工程图。

4. 辅助制定工艺规程 (CAPP)

CAPP 是连接 CAD 与 CAM 的桥梁, 是设计与加工制造的中间环节。工艺设计的目的是为产品的加工制造提供指导性的文件。因而, CAPP 系统应根据产品建模后所生成的产品信息和制造工艺要求, 自动决策生成产品加工所采用的加工方法、工艺路线、工艺参数和加工设备。CAPP 设计结果一方面生成工艺规程和工艺卡片, 用于指导实际生产; 另一方面为 CAM 系统接收和识别, 以自动生成 NC 控制代码, 控制生产设备的运行。

5. NC 自动编程

根据 CAD 所建几何模型, 以及 CAPP 所制定的加工规程, 选择所需要的刀具和工艺参数, 确定走刀方式, 自动生成刀具轨迹, 经后置处理, 生成具体机床的 NC 控制代码。当前, CAD/CAM 系统具备了 3 至 5 轴的联动加工的数控编程能力。

6. 加工过程仿真模拟

在产品投入实际生产加工之前, 利用计算机工具, 建立虚拟加工制造设备或制造系统, 进行虚拟的数控加工, 用以检查 NC 代码的正确性, 检查产品制造过程中的几何干涉和物理碰撞, 分析产品的可制造性, 预测产品的工作性能, 避免实际现场加工调试所造成的人力、物力的消耗, 减少制造费用, 缩短产品研制周期。

7. 工程数据管理

CAD/CAM 系统所涉及的数据量大, 数据种类多, 既有几何图形数据, 又有属性语义数据; 有产品模型数据, 又有加工工艺数据; 有静态的, 也有动态的, 数据结构复杂。因此, CAD/CAM 系统应能提供有效的工程数据管理手段, 支持产品设计与制造全过程的数据信息的流动和处理。通常, CAD/CAM 以工程数据库管理系统为工具, 实现 CAD/CAM 作业过程的数据管理。

二、CAD/CAM 系统作业过程

通常, 一个创新产品设计过程需要经历需求分析、功能设计、方案设计、总体设计、分析评价、详细设计等工作流程。传统产品设计开发过程主要凭借设计者的经验, 借助于原始的手段和工具进行, 存在着效率低、出错率高、预见性差、精度低、修改困难、难以协调等缺陷, 这些缺陷必然导致产品的开发周期长、产品质量差、开发费用高。面对日益激烈的市场竞争, 采用一切可以利用的新技术, 改造产品开发过程、提高产品开发水平, 已经成为制造业的当务之急。

CAD/CAM 系统是设计、制造过程中的一种信息处理系统, 它克服了传统手工设计的缺陷, 充分利用计算机高效、精确的计算功能, 图形、文字处理功能, 大容量数据存储、传递和处理功能, 结合设计人员的知识、经验和创造性, 形成

一个人机交互、各尽所长、紧密配合的人机一体化系统。它在设计人员对产品创意、构思的基础上主要从事设计对象的描述、系统的分析、方案的优化、计算分析、图形处理、工艺设计、NC 编程、仿真模拟等工作。下面以图 1-1 为例阐述 CAD/CAM 系统的作业过程，其中实线箭头表示作业实施过程，虚线箭头为信息的反馈。

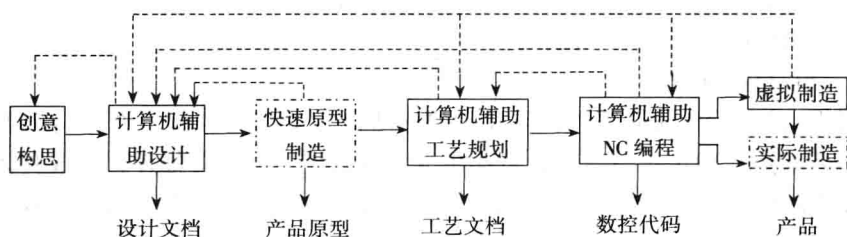


图 1-1 CAD/CAM 系统的作业过程

(1) 创意与构思 就目前 CAD/CAM 系统所具备的功能而言，这部分工作主要仍是由人工来完成，即产品设计人员在需求分析的基础上，创造性地进行产品的原理设计、功能设计、方案设计、总体结构的构思，可充分发挥人的灵感思维和聪明才智。可以断言，这部分工作最终将由专家系统和人工智能系统辅助完成或自动完成。

(2) 计算机辅助设计与分析 在方案设计的基础上，借助计算机工具，人机交互地完成产品零件造型、装配设计，以及详细设计工作，在计算机内建立产品数据模型；对所建产品模型进行工程分析，进行参数的和结构的优化与计算，不断地加以修改和完善，最终获取满意的设计结果。

(3) 快速原型制造 传统的产品开发方法，直到开发活动接近完成时才能看到具体的产品，产品设计中的错误往往到最后才能觉察和发现。快速原型技术是应用数字化制造原理、以非切削加工方法、用非金属材料，直接根据计算机设计的产品数据，快速而廉价地生成与实际设计的产品形状和尺寸一致的产品模型，供人们进行分析和评价，借此发现设计中问题，进行多个设计方案的比较。

(4) 计算机辅助工艺规划 系统从数据库中提取所设计的产品数据模型，在分析其几何特征、工艺特征以及有关技术要求后，对产品进行工艺规程设计，生成工艺文件。

(5) 计算机辅助编程 现代产品的加工制造采用大量的数控加工设备，而这些数控设备的各种加工动作是靠数控程序进行驱动控制的，CAD/CAM 系统利用产品设计的结果和相关的工艺信息，自动规划计算刀具运动轨迹，自动生成 NC 控制代码，大大提高了数控编程的效率和质量。

(6) 虚拟制造 虚拟制造 (Virtual Manufacturing, VM) 不消耗资源和能

量,也不生产现实世界的产品,是在计算机环境下将现实制造系统映射为虚拟制造系统,借助三维可视的交互环境,对产品从设计、制造到装配的全过程进行全面仿真的技术。应用虚拟制造技术可使所设计开发的产品在投入实际加工制造之前,模拟整个加工制造和装配工艺过程,以便事先发现产品设计开发中的问题,重新修改完善,保证产品的设计和制造一次成功。

从上述 CAD/CAM 系统作业过程可以看出,现代产品设计与制造过程具有如下的特征:

(1) 开发设计对象的数字化 开发设计的产品在计算机中以数据形式保存,产品的各项开发活动是对存储在计算机内的产品数据进行操作、处理和转换的活动过程,而不再需要用图纸作为产品信息的传输媒介。

(2) 开发设计环境的网络化 产品的设计开发是一个群体的作业过程,通过计算机网络将不同的开发人员、不同的开发部门、不同的开发地点联系起来,做到每个开发活动的及时沟通和响应,避免了信息的延误和错误的传递,避免了常见的扯皮和责任推诿现象。

(3) 开发设计过程的并行化 建立了上下游产品开发活动的关联和反馈机制,在上游开发活动中可以对下游活动预先进行分析,确保开发活动的整体正确性;在下游活动中,若发现上游活动的缺陷,可以及时地对上游活动的结果进行修改,并重新进行下游活动,使产品的设计不断得到完善和优化。

(4) 新型开发工具和手段的应用 在现代产品开发设计过程中,应用了如快速原型技术、虚拟制造技术、动静态工程分析技术等多项先进制造技术,有力地保证了产品开发质量,缩短产品开发周期,提高了产品开发一次成功率。

第三节 CAD/CAM 系统的硬件和软件

一、CAD/CAM 系统的组成

一般认为 CAD/CAM 系统是由硬件、软件和设计者组成的人机一体化系统。硬件是 CAD/CAM 系统运行的基础,主要包括计算机主机、计算机外部设备以及网络通信设备等具有有形物质的设备。软件是 CAD/CAM 系统的核心,包括操作系统、各种支撑软件和应用软件等。CAD/CAM 软件在系统中占据越来越重要的地位,软件配置的档次和水平决定了 CAD/CAM 系统性能的优劣,软件的成本已远远超过了硬件设备。软件的发展呼唤更新更快的计算机系统,而计算机硬件的更新为开发更好的 CAD/CAM 软件系统创造了物质条件。

设计者在 CAD/CAM 系统中起着关键的作用。从使用方法角度看,目前各类 CAD/CAM 系统基本都采用人机交互的工作方式,通过人机对话完成 CAD/CAM 的各种作业过程。CAD/CAM 系统这种工作方式要求设计者与计算机密切

合作,各自发挥自身的特长:计算机在信息的存储与检索、分析与计算、图形与文字处理等方面有着特有的功能;而设计策略、信息组织、以及经验、创造性和灵感思维方面,设计者将占有主导地位,尤其在目前阶段人还起着不可替代的作用。

二、CAD/CAM 系统的硬件

如图 1-2 所示,CAD/CAM 系统的硬件主要由计算机主机、输入设备、输出设备、存储器、自动化生产装备以及计算机网络等几部分组成。为保证 CAD/CAM 系统的作业,其硬件系统应满足如下的要求:

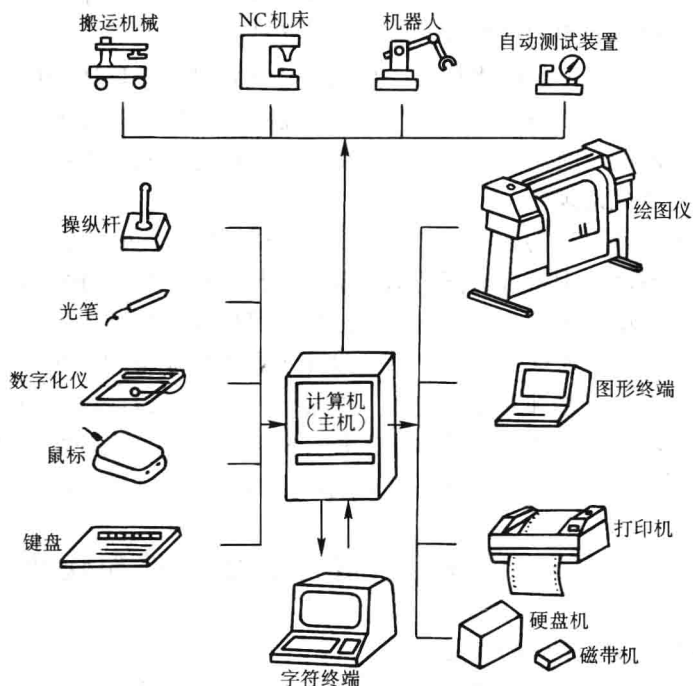


图 1-2 CAD/CAM 系统的硬件组成

(1) 强大的图形功能 在机械 CAD/CAM 系统中,图形信息的处理所占比例较大,一般都配有高档的图形软件。为满足图形处理和显示的需要,机械 CAD/CAM 系统要求具有大的内存容量、高的图形分辨率。

(2) 大的外存储容量 CAD/CAM 作业通常需要存储的内容有:各种不同的支撑软件、用户开发的图形库和数据库、大量的应用软件、各类产品的图样和技术文档等,这就需要有足够大的硬盘存储容量。

(3) 方便的人机交互功能 CAD/CAM 系统一般采用人机交互作业方式,要求硬件系统能够提供方便的人机交互工具和快速的交互响应速度。