

高等学校教材

机械 CAD/CAM

■ 杨欣 许述财 王家忠 主编



 中国质检出版社

高等学校教材

机械 CAD/CAM

主 编 杨 欣 许述财 王家忠

副主编 吴 娜 张 伏 赵彦如 冯晓静

中国质检出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

机械 CAD/CAM/ 杨欣, 许述财, 王家忠主编. —北京: 中国质检出版社, 2011.8
高等学校教材
ISBN 978-7-5026-3433-9

I. ①机… II. ①杨…②许…③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. ①TH122②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 058629 号

内 容 提 要

本书系统介绍了机械 CAD/CAM 的基本概念、基本原理和基本方法, 并结合工程软件 AutoCAD、Inventor、Pro/E、ANSYS 等介绍了产品设计建模、工程分析和加工制造的应用技术。主要内容包括 CAD/CAM 概述、图形处理技术、三维建模技术、工程分析技术、计算机辅助工艺规划、计算机辅助制造技术、计算机辅助逆向工程、产品数据与生命周期管理、协同设计制造与 CAD/CAM 集成等。

本书可作为普通高等院校机械设计制造及自动化、热能与动力工程、车辆工程、机电一体化、机械电子工程等相关专业的 CAD/CAM 教材, 也可作为工程技术人员或相关研究者从事产品设计、分析和制造的技术参考书。

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区复外三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

电话: (010) 64275360 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 19 字数 471 千字

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月第一次印刷

*

定价: 36.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

前 言

在科技发展日新月异的今天，制造企业要在日益激烈的市场竞争中立于不败之地，必须追求 TQCSE，即以更短的时间（Time）、更优的质量（Quality）、更低的成本（Cost）、更好的服务（Service）和更好的环保（Environment）指标推出新产品，去赢得更大的市场份额。机械 CAD/CAM 技术为制造企业实现 TQCSE 目标提供了很好的工具和手段。借助机械 CAD/CAM 技术，可以把创意快速变为现实，降低创新的成本，提高创造的效率。

机械 CAD/CAM 技术为提高产品整体质量和性能、降低开发与制造成本提供了更为先进的技术手段，取得了巨大的经济效益和社会效益。过去，产品开发人员分为负责图纸设计和 CAD 建模的设计工程师，专职产品性能分析的仿真工程师，决定产品最优化设计方案的优化工程师和产品制造工艺师等。现在，随着企业更加注重研发成本的控制以及 CAD、CAM 软件的快速发展，传统的分工界限已被打破。既掌握设计和仿真技术，又懂得优化方法和制造工艺的综合型技术人才已成为企业的宠儿，从事 CAD 的人员掌握 CAE、CAPP 和 CAM 技术已经成为时代发展的必然要求。为了适应形势发展的需要，培养技术发展和市场竞争中所需要的综合型技术人才，我们在现有计算机辅助设计与制造课程体系基础之上，增加了 CAE、数字样机和逆向工程等新内容，并结合编者在机械 CAD/CAM 等相关领域的最新教学和科研成果编写了本书。

机械 CAD/CAM 是一门很强的技术科学，除了设计和制造中的具体技术之外，还涉及计算机图形学、计算机仿真、信息处理、多媒体技术和管理科学等领域，况且 CAD/CAM 技术的内涵还在不断地发展。基于这种现实，本书将重点介绍机械 CAD/CAM 技术的基本概念、基本原理和基本方法，同时力求兼顾学生知识的完整性和系统性，借助相关支撑软件列举具体应用实例，以避免繁琐的理论推导。本书理论与实践相结合、内容新颖、图文并茂、语言简洁、思路清晰，具有系统性、先进性、针对性和实用性的特点，可作为高等院校工科机械平台各专业的教材，也可作为工程技术人员或相关研究者从事产品设计、分析和制造的技术参考书。

本书第1、2章由河南科技大学张伏和张国英编写；第3、4章由清华大学杨欣和许述财编写；第5、6章由河北农业大学王家忠编写；第7章由山东交通学院吴娜编写；第8章由河南理工大学赵彦如、东北大学化建宁和崔玉洁编写；第9章由河北农业大学冯晓静和李建平编写。全书由杨欣汇总、整理和校审。

本书编写融入了编者多年机械CAD/CAM教学和科研工作的经验总结与体会，同时参考了大量相关文献和最新研究成果，吸收了有关网络专业论坛和行业应用报告的大量新知识，应用了相关机械CAD/CAM教育版或专业版软件，在此向所有文献和软件作者一并表示最真诚的感谢！

本书编写虽然力求缜密严谨，但由于编者在机械CAD/CAM理论和实践方面水平有限，加之编写时间仓促，不足之处在所难免，敬请读者不吝指正。

编 者

2011年7月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 机械 CAD/CAM 技术概述	(1)
1.2 机械 CAD/CAM 系统的组成	(6)
1.3 机械 CAD/CAM 技术的应用	(20)
思考题	(22)
第 2 章 CAD/CAM 的图形处理	(23)
2.1 图形处理技术概述	(23)
2.2 图形裁剪与几何变换	(27)
2.3 曲线与曲面的表示	(43)
2.4 图形渲染技术	(55)
2.5 图形数据处理与交互绘图	(61)
思考题	(71)
第 3 章 CAD/CAM 的三维建模	(72)
3.1 产品建模技术概述	(72)
3.2 实体建模技术	(81)
3.3 特征建模技术	(88)
3.4 装配设计建模技术	(103)
3.5 由三维模型生成工程图	(113)
思考题	(117)
第 4 章 CAD/CAM 的工程分析	(118)
4.1 计算机辅助工程概述	(118)
4.2 有限元分析	(120)
4.3 机械优化设计	(137)
4.4 样机仿真技术	(148)
思考题	(160)
第 5 章 计算机辅助工艺规划	(161)
5.1 CAPP 技术概述	(161)
5.2 CAPP 的基本类型	(165)
5.3 CAPP 零件信息的描述与输入	(168)
5.4 工艺过程的生成	(176)

5.5 CAPP 的发展趋势	(186)
思考题	(187)
第 6 章 计算机辅助制造技术	(188)
6.1 CAM 技术概述	(188)
6.2 数控加工技术	(189)
6.3 数控编程技术	(192)
6.4 几种常见的 NC 系统	(201)
6.5 CAD/CAM 集成数控自动编程系统的应用	(206)
思考题	(215)
第 7 章 计算机辅助逆向工程	(216)
7.1 逆向工程概述	(216)
7.2 技术引进与逆向工程设计	(218)
7.3 实物逆向工程设计关键技术	(220)
7.4 快速原型制造技术	(233)
思考题	(241)
第 8 章 产品数据与生命周期管理	(242)
8.1 产品数据管理概述	(242)
8.2 PDM 系统体系	(248)
8.3 产品生命周期管理	(254)
8.4 PLM/PDM 系统的实施	(257)
思考题	(269)
第 9 章 协同设计制造与 CAD/CAM 集成	(270)
9.1 协同设计与网络化制造	(270)
9.2 机械 CAD/CAM 集成	(281)
9.3 现代集成制造系统	(287)
9.4 制造业信息工程技术与系统	(292)
思考题	(296)
参考文献	(297)

第1章 绪 论

本章导读

设计和制造是最基本的生产实践活动，其最终目的是创造出满足用户需求的产品。CAD/CAM 为产品的设计和制造提供了完美的工具和手段，并成为当今世界发展最快的综合技术之一。它不仅促使了生产模式的转变，同时也促进了市场的发展。目前，机械 CAD/CAM 技术已经在诸多工程领域得到广泛应用，并不断有创新的技术成果出现。本章主要介绍机械 CAD/CAM 技术的基本概念、基本作用、系统组成和应用与发展等。

1.1 机械 CAD/CAM 技术概述

机械 CAD/CAM (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 技术是由多学科和多项技术综合形成的一项技术科学，是当今世界发展最快的工程技术之一。机械 CAD/CAM 技术的发展与应用，对现代制造业的生产模式和人才知识结构等产生了重大的影响，它不仅改变了制造业设计和制造产品的传统作业方式，而且有利于提高企业的创新能力、技术水平和市场竞争能力，也是企业进一步向现代集成制造和数字化制造等先进生产模式发展的重要技术基础，成为衡量一个国家科技现代化水平的重要标志之一。

1.1.1 CAD/CAM 的基本概念

1.1.1.1 CAD 技术

CAD 即计算机辅助设计 (Computer Aided Design)，是指工程技术人员以计算机为工具，对产品和工程进行设计建模、计算分析、绘图表达并编写技术文档的过程。CAD 技术是 CAD/CAM 的基础，也是一项理论与实际相结合的技术。在最初阶段，CAD 技术的应用主要是围绕着几何建模展开的，先后经历了线框建模、曲面建模、实体建模和特征建模等发展阶段。几何建模技术满足了设计对象的计算机内部表达问题，但从产品设计角度看还远远不够，因为一个完整的产品不仅仅对几何形状有所要求，更有诸如运动学特性、力学特性等方面的要求。随着计算机辅助手段在制造业中日益广泛地应用，CAD 从概念上进一步扩展到与制造全过程相关联，被赋予了比较广泛的意义，成为当今数字化设计与制造的核心技术。该项技术将人和计算机有机地结合在一起，充分发挥各自的优点，从而大大减轻了设计者的劳动强度，使劳动者能将更多的精力投入到创造性的工作中去。

CAD 的技术内涵如图 1-1 所示。利用计算机进行辅助设计工作不再仅仅是依靠设计者个人的知识，而是运用包括设计者和存储在计算机中的多种知识 (知识库)，在 CAD 系统和图形库、数据库、程序库的支持下工作。这种工作方式能够在设计的同时应用 CAE (Computer Aided Engineering) 技术进行产品仿真、工程分析和性能优化，获得最优的结构参数和研究对象的运动学和动力学特性等，提供直观的、可以交互的设计技术以指导改进产品设计，从而大大缩短设计周期。CAD 系统输出的结果是设计制造过程中

所需要的各种应用信息，方便进行后期编辑以及工程数据的保存、传递和再利用。

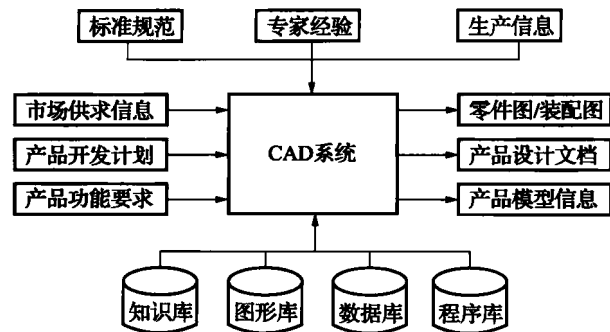


图 1-1 CAD 的技术内涵

1.1.1.2 CAM 技术

CAM 即计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing)，是指应用计算机技术监控产品生产制造过程，从而实现生产自动化，降低人力物力和成本。CAM 的主要任务是选择加工工具、生成加工路径、消除加工干涉、配置加工驱动、仿真加工过程等，以满足小批量、高精度、短周期和加工一致性要求高的产品制造的需要，进而实现 CAD/CAM 的集成。数控 (NC) 加工是 CAM 最核心的技术环节之一，加工对象的性状越复杂，加工精度越高，设计更改越频繁，数控加工的优势越容易得到发挥。从制造的全过程看，还有许多技术和方法可以归类于 CAM 的范畴，如计算机辅助工艺规划 (CAPP)、计算机辅助生产管理 (CAPM)、生产活动控制 (PAC)、基于逆向工程 (RE) 的快速原型制造等。其中有些内容已经超出了制造概念的本质而上升到管理概念的层面，形成了包括直接制造过程和间接制造过程的广义 CAM 概念。

图 1-2 所示 CAM 的技术内涵是目前大部分商品化 CAM 软件所体现的一种狭义的 CAM 解释，指在制造过程中某个环节上应用计算机，核心内容是数控编程 (NCP)。它由 CAD 系统向 CAM 系统提供零件信息，CAPP 系统向 CAM 系统提供加工工艺信息和工艺参数，CAM 系统根据工艺流程和几何尺寸、精度要求，生成数控加工程序。

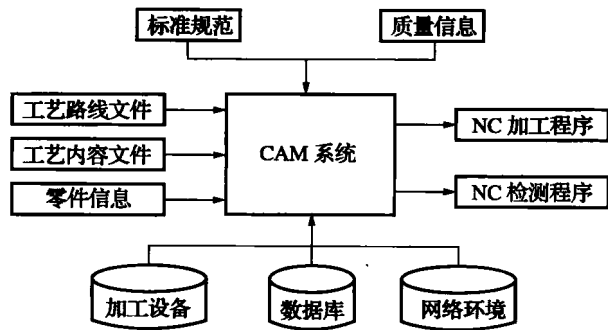


图 1-2 CAM 的技术内涵

1.1.1.3 CAD/CAM 技术集成

CAD 和 CAM 在产品自动设计、性能分析自动化、工艺规程自动化和加工制造自动

化方面起到非常重要的作用，但它们是相对独立的系统，数据模型彼此不相容，各系统之间的信息无法进行自动传递和交换。制造业自动化发展和市场竞争的需求使 CAD/CAM（包含 CAE、CAPP 和 NC）有机地结合起来，给企业带来生存和竞争力。例如，CAE 与 CAD 和 CAM 集成等，可使设计师在产品制造和样机试验之前用 CAE 分析设计方案，从而节省大量的费用和时间。

CAD/CAM 技术集成包括信息集成、过程集成和功能集成。目前的 CAD/CAM 系统大多是指信息集成，即把 CAD、CAM（包含 CAE、CAPP 和 NC）软件有机地结合在一起，用统一的程序来控制和组织各软件信息的提取、转换和共享，从而达到系统协调运行的目的。例如，CAPP 系统直接读入 CAD 系统的数据，生成零件加工工艺规程；CAM 系统读入 CAPP 系统的数据，生成加工零件的数控程序。图 1-3 所示是以工程数据库为核心的 CAD/CAM 系统。

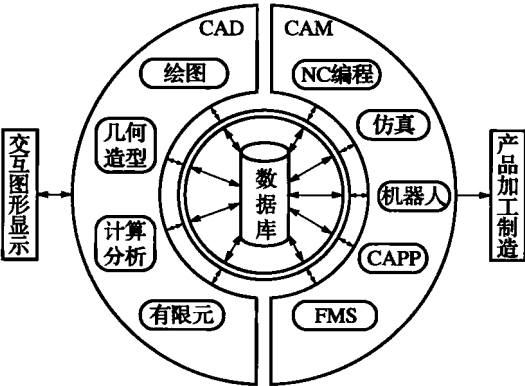


图 1-3 以工程数据库为核心的 CAD/CAM 系统

CAD/CAM 在制造业中的应用改变了传统的设计制造方式，在流程、信息、控制等模式上发生了质的变化，成为先进制造技术的核心，如图 1-4 所示。这种模式将各个设计制造阶段及过程的信息汇集在一起，使设计制造过程在时间上缩短，在空间上拓展。技术人员作为系统的操作和控制者，通过计算机网络平台，几乎可同时介入到产品设计与制造的各个环节，即后续的技术人员可以参与产品的设计，产品在设计阶段可以预测后续产品制造和使用性能，产品的整个设计制造过程实现了有序化和并行化，从而大大缩短了产品开发周期。

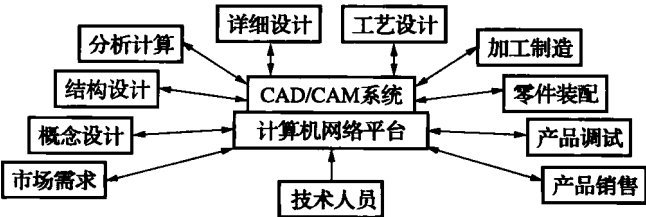


图 1-4 以 CAD/CAM 为核心的设计制造过程

1.1.2 CAD/CAM 的基本作用

现代产品的开发模式是充分利用 CAD/CAM 等计算机辅助手段，最大限度地去支持和

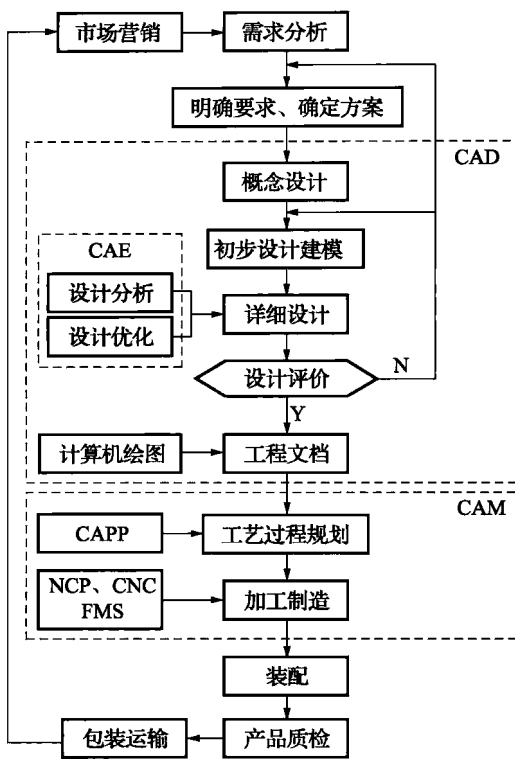


图 1-5 产品设计与制造过程

完成设计与制造的全过程。CAD/CAM 系统是设计、制造过程中的信息处理系统，它主要研究对象描述、系统分析、方案优化、计算分析、工艺设计、模拟仿真、图形处理、数控编程和数控加工等理论和工程方法，输入的是产品设计要求，输出的是零件的制造加工信息。CAD/CAM 技术几乎贯穿了设计和制造过程的所有环节，如图 1-5 所示。

(1) 方案确定。方案确定主要是根据市场需求信息，搜集、整理和分析与设计相关的数据，确定机械产品的总体开发方案。该方案应包括产品的市场定位、功能划分、设计要求、性能指标和技术路线与方法手段等具体内容。方案确定过程是一个综合分析的过程，其结果就是产品概念化设计方案。

(2) 概念设计。概念设计是设计人员对各种可能的方案进行讨论和评价的结果，可以勾勒出新产品的初步布局和概念草图，定义出产品各个部件之间的内在联系及约束关系。在这个阶段，CAD/CAM 的图形功能起到了十分重要的作用。

(3) 初步设计。初步设计又称为总体设计，是对概念设计输出的结果进行方案分析比较，进一步修正概念设计模型。为了预测和评价产品初步设计结果，需要以定量的方法对产品总体布局 and 结构进行描述，这就是产品建模。产品建模为进行产品总体分析创造了条件，通过产品建模可以对产品基本构成、总体尺寸、运动关系等进行优化和改进，有利于做出更好的设计决策。

(4) 详细设计。详细设计要确定所有零部件的结构和尺寸。由概念模型产生的数据对详细设计起着重要的指导作用，同时详细设计的结果也要进行必要的分析与评价，并适时根据设计需求修改概念模型。在详细设计过程中，可以借助计算机环境及软件对设计进行分析和优化，典型的产品分析包括：应力分析，以确定结构的强度和材料是否满足要求；干涉分析，以检查运动和拆装时是否会发生碰撞；运动学分析，以检查产品是否满足规定的运动要求；动力学分析，以检测产品受力状态是否满足性能指标等。

(5) 工程文档。各设计阶段都根据不同的需求产生相应的文档，以便指导后续工作，使得从产品市场需求分析到开发、制造及销售的过程能够有机地组织起来。详细设计的结果是生成工程文档，包括图样、材料报表 (Bill of Materials, BOM)、成本分析等文件。工程文档的图样多是二维工程图纸，可以通过计算机绘图工具完成图纸的制图表达规则，也可以根据产品的三维模型关联产生二维工程图纸。图纸等工程文档为产品制造做了必要的准备。

(6) 工艺规划。制造过程以产品的工程文档为基础，起始于工艺规划，结束于实际物理产品。在零件批量生产中，技术人员首先要了解零件的形状、尺寸、公差、表面粗糙度及材

料；然后决定工艺路线、工序，选择加工机床和刀具，确定毛坯、夹具、走刀路线、切削速度、进给量，计算工时定额、加工费用；最后形成一个系列工艺文件。采用计算机辅助工艺规划（CAPP）的工作内容与人工进行工艺过程设计的内容完全相同，即输入产品的图纸信息，输出工艺文件。工艺规划是联系设计与加工的桥梁。

（7）加工制造。加工制造是指按照工程图纸和工艺规程的要求，将毛坯加工成型，完成零件的制造。新产品的加工制造还包括的试制加工和装配，组成物理样机用于性能试验和用户试用，只有样机实际使用达到设计要求时，经组织对新产品的技术鉴定，才可以最后将产品定型，进行批量生产的工艺规程设计，进行产品批量加工制造，供应市场。

1.1.3 CAD/CAM 发展简史

（1）CAD/CAM 技术酝酿阶段。1946 年计算机的诞生，极大地解放了生产力，并逐渐成为产品设计的重要辅助工具。1949 年，Parsons 公司与 MIT 的伺服机构实验室合作开始数控机床的研制工作，并从自动编程语言（Automatically Programmed Tools, APT）的研究起步。1952 年，MIT 以 APT 编程思想对一台三坐标铣床进行改造，首次实现了数控加工，并很快投入航空工业。1953 年，MIT 推出 APT I 系统，实现了编程的自动化，并用于加工复杂的零件曲面。1955 年，美国空军开始订购数控机床。此后，数控机床在许多国家受到重视。

1958 年，我国第一台三坐标数控机床由清华大学和北京第一机床厂联合研制成功。同年，MIT 推出 APT II 系统，进一步增强了 APT 语言的描述能力。Keany & Trecker 公司研制成功带自动刀具交换装置的数控机床（即加工中心），有效地提高了数控加工的效率。到 20 世纪 50 年代末，数控装置中开始采用晶体管和印制电路板，数控机床进入第二个发展阶段。与此同时，人们构想能不能不描述走刀轨迹，而直接描述零件本身，由此酝酿产生了 CAD 的最初概念，但并没有明确提出 CAD 这一术语，而 CAM 也仅侧重于自动编程。

（2）CAD/CAM 技术诞生阶段。1962 年，MIT 林肯实验室的 Ivan E Sutherland 发表了“SketchPad：一个人机通信的图形系统”的博士论文，首次确定了计算机图形学（CG）的基本概念和独立地位，提出的功能键操作、分层存储符号、交互设计技术等新思想，成为 CAD 的理论基础，并提出 CAD 这一术语，是 CAD 技术发展道路上的一个重要里程碑。

1964 年，美国通用汽车公司推出了 ADC-I 体系。1965 年，洛克希德飞机公司推出了 CADAM 系统，贝尔电话公司推出了 GRAPHIC-1 系统。1967 年，英国模林公司建造了一套由计算机集中控制的自动制造系统，可进行 24 小时连续加工，并用计算机编制 NC 程序和作业计划、统计报表。1969 年，挪威正式公布了 AUTOPROS 系统，它是根据成组技术原理开发得最早的 CAPP 系统。1970 年初，美国辛辛那提公司研制了一套 FMS 柔性制造系统。总之，20 世纪 60 年代至 70 年代初期，CAD 和 CAM 各自发展着自己的技术，二者还无法实现集成。

（3）CAD/CAM 技术发展阶段。进入 20 世纪 70 年代，为沟通 CAD 与 CAM 之间的信息流，CAD、CAM 开始走向共同发展的道路。美国波音公司和通用电气公司于 1980 年制定了数据交换规范 IGES（Initial Graphics Exchange Specification）中性文件格式，实现了不同的 CAD、CAM 系统间的数据交换。这种通过适当媒介整合信息的想法成为后来许多商品化 CAD/CAM 系统集成开发的指导思想。

20 世纪 80 年代，实体建模的边界表示法（B-Rep）和构造实体几何法（CSG）在软件

开发中得到应用。SDRC 公司推出的 I-DEAS 能进行三维建模、自由曲面设计和有限元分析等工程应用。由于实体建模技术能够表达零件的全部几何信息,有助于 CAD/CAM 的集成,被认为是 CAD 系统在技术上的突破性进展。与此同时,超大规模集成电路的出现,使计算机硬件成本大幅下降,为推进 CAD/CAM 技术向高水平发展提供了必要条件,出现了许多高性能集成系统,如 CADD5、UGII、Intergraph、CATIA、EUCLID、Pro/E、AutoCAD、Microstation 等。

在此期间,一些与制造过程相关的计算机辅助单项技术得到快速发展,如计算机辅助工艺规划 (CAPP)、计算机辅助工装设计 (CAFD)、计算机辅助质量控制 (CAQ) 等。这些单项技术的发展都带来一些局部效益。20 世纪 80 年代后期,人们在上述单项技术的基础上,致力于计算机集成制造系统的研究。

(4) CAD/CAM 技术成熟阶段。20 世纪 90 年代以来,CAD 技术的基础理论是以 PTC 公司的 Pro/E 为代表的参数化建模理论和以 SDRC 公司的 I-DEAS 为代表的变量化建模理论,形成了基于特征的实体建模技术,为建立产品信息模型奠定了基础。Pro/E 系统以统一的数据库为轴线,以实体建模为核心,把从设计到生产的全过程集成在一起。SDRC 公司的 Master Series 以实体造型系统为核心,集设计、仿真、加工、测试、数据库为一体,实现比较完美的集成。UGS 公司在 UG 软件采用了复合建模技术,提出了针对产品级参数化设计技术 WAVE (Wlternative Value Engineering),提供了实际工程产品设计中所需要的自顶向下的全相关产品级设计环境,以快速适应市场变化的要求。

这一时期的 CAD/CAM 技术突破了过去单一模式、单一功能、单一领域的水平,向着标准化、集成化、智能化的方向发展。面向对象技术、并行工程思想、分布式环境技术和人工智能技术得到发展,促进了 CAD/CAM 技术向高水平集成化发展。

(5) 设计与制造的数字化阶段。20 世纪 90 年代后期,CAD/CAM 系统的集成化、网络化、智能化以及企业应用的深入发展,促使企业从发展战略的高度来思考企业级的信息化系统建设和构建数字化企业的技术问题,促进企业迈进了实施现代集成制造、制造业信息化工程的新阶段。企业通过应用创新的技术和工艺,采用新的生产方式和经营管理模式,提高产品质量,开发新产品,从而为参与国际市场竞争并增加企业效益创造条件。

基于上述背景,如何改善、发展新的产品设计和制造方法受到世界各国的普遍重视。近年来,以计算机为基础的数字化设计与制造 (Digital Design and Maunufacturing) 技术被广泛地应用到产品开发中,成为提高企业综合竞争力的有效工具。以计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工程分析 (CAE) 和计算机辅助制造 (CAM) 为核心的数字化设计与制造技术作为当今最杰出的工程技术之一,成为制造业信息化的显著时代特征。

1.2 机械 CAD/CAM 系统的组成

机械 CAD/CAM 系统是为完成机械产品设计和制造任务而由相关部件或要素组成的有机整体,包括硬件 (Hardware) 系统和软件 (Software) 系统两部分。硬件是 CAD/CAM 系统的物质基础,提供系统潜在的能力,而软件则是信息处理的载体,是开发、利用其能力的钥匙。CAD/CAM 系统以计算机软/硬件为基础,且有其自身的特点和要求。CAD/CAM 系统的组成如图 1-6 所示。

根据应用领域和所完成的任务不同,CAD/CAM 系统的软、硬件组成也不尽相同。一

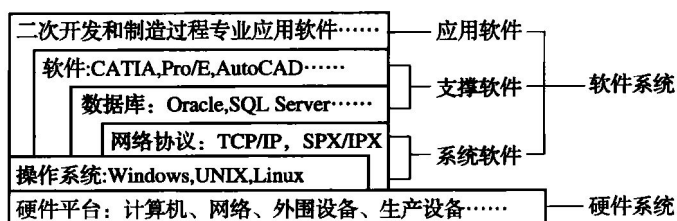


图 1-6 CAD/CAM 系统的组成

般来讲，硬件系统由计算机及其外围设备组成，包括主机、存储器、输入输出设备、网络通信设备以及生产加工设备（如数控机床、加工中心等）；软件系统通常是指程序及相关的文档等，包括系统软件、支撑软件和应用软件。

1.2.1 机械 CAD/CAM 硬件系统

CAD/CAM 系统的硬件是指可以触摸到的计算机物理设备实体。根据系统的应用范围和软件规模，可配备不同结构、不同功能的计算机、外围设备及其生产加工设备。在典型的 CAD/CAM 系统中，硬件应具有高速的图形处理能力、大量的信息存储能力、方便的输入输出功能、友好的人机交互界面。硬件系统组成如图 1-7 所示，其中包括：主机（计算机）、外存储设备（如硬盘、软盘、光盘等）、输入装置（如键盘、鼠标、扫描仪、数字化仪等）、输出装置（如打印机、绘图仪等）、生产设备（如数控机床、机器人、搬运机械和自动测量装置等）和网络设备等。

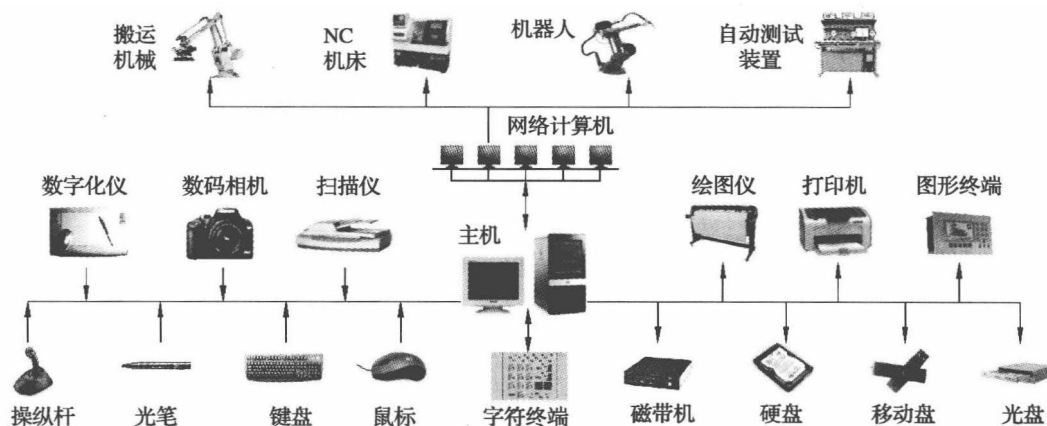


图 1-7 CAD/CAM 的硬件系统组成

1.2.1.1 主机（计算机）

主机（计算机）是 CAD/CAM 硬件系统的核心，其类型及性能在很大程度上决定着 CAD/CAM 系统的性能。主机由中央处理器（CPU）和内存存储器等组成，其中中央处理器由控制器、运算器及各种不同作用的寄存器组成，如图 1-8 所示。中央

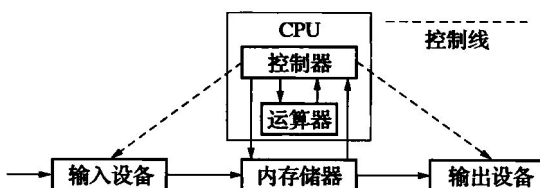


图 1-8 主机结构示意图

处理器的功能是存取指令、分析指令、执行指令等，CPU 主频和寄存器的位数是影响 CPU 性能和速度的重要因素。

内存储器是主机内部直接与 CPU 相连的存储装置，是计算机的记忆及存储部件。内存容量的大小直接影响程序运行的速度。由于 CAD/CAM 系统要处理大量的信息，因此一般需要配置较大容量的内存储器。内存通常以 MB 为单位来定义其容量的大小，目前内存已经达到 GB 量级。

1.2.1.2 外存储设备

用户程序、数据及各类软件通常放置在外存储器中。目前常用的外存储器主要有硬盘、U 盘、SD (Security Data) 卡、TF (T-Flash) 卡、软盘、磁带、光盘等。硬盘、U 盘、磁带等属于磁存储器，它们是根据磁介质不同的磁化状态实现数据的读写的。一般广泛使用的硬盘容量在 3GB 到 3TB 之间。软盘容量较小，携带不便，目前已经很少使用。磁带是典型的顺序存储设备，存储容量比较大，在信息必须按顺序存入及顺序读出的情况下使用。光盘基板是聚碳酸酯 (PC)，冲击韧性极好、使用温度范围大、尺寸稳定性好、无毒性。光盘记录信息（称为刻录或烧录）时，激光照射到介质表面上，用输入数据调制光点的强弱，在盘面上形成一系列凹凸不平的变化来记录信息；读取信息时，根据光的强弱变化经过调制输出数据。CD 盘片容量是 700MB，DVD 盘片单面容量是 4.7GB。

1.2.1.3 交互输入设备

对于 CAD/CAM 系统来说，除了具备一般计算机系统的输入设备外，还应能够提供定位（输入点坐标）、笔划（输入一系列点坐标）、数值（数入一个整数或实数）、选择、拾取和输入字符串等功能。常用的输入设备有光笔、数字化仪、鼠标（定位轮、操纵杆或跟踪球）、扫描仪等。

(1) 键盘。键盘是计算机最基本的配置之一，可以用来输入文本、命令和数据。键盘上的键主要有字母键、数字键、功能键和控制键等。键盘有机械式、电容式、膜片式三类，其中机械式信号稳定，不易受灰尘干扰；电容式操作灵活、触感好；膜片式触感稍差，但可以防潮。目前大多数微机使用的键盘是电容式键盘。

(2) 鼠标。鼠标是一种手持式屏幕坐标定位设备，有机械式和光电式两种。CAD/CAM 系统中常用的是三键鼠标，左键是拾取键，可选择菜单、绘图工具和命令。右键为确认键，其快捷菜单选项常常根据光标所在位置不同而不同，以完成一些快捷操作。中间滚轮键可以滚动或按下，以实现翻页或平移操作。在 CAD/CAM 系统中，能够实现坐标定位功能的输入设备还有定位指轮、操纵杆和跟踪球等。

(3) 光笔。光笔是一种常用于交互式计算机图形系统中的定位装置，结构简单，响应速度快，操作简便。光笔由笔体、透镜组、光导纤维、开关和导线等组成，如图 1-9 所示。

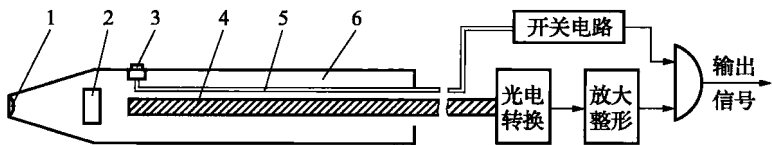


图 1-9 光笔结构示意图

1—光孔；2—透镜组；3—触钮开关；4—光导纤维；5—导线；6—笔体

光笔一端为光敏元件，另一端用导线连接到计算机上。工作时，光笔接受显示屏幕上的光，并将其变成电信号经放大、整形，产生脉冲信号，向计算机发出中断请求。计算机根据这些信号便可以确定光点在屏幕上的位置，再配合使用按键，可以对光笔指点的位置进行图形的增删、修改。

(4) 数字化仪。数字化仪是将图像（胶片或像片）和图形（包括各种地图）的连续模拟量转换为离散的数字量的装置。数字化仪由电磁感应板、触笔（或游标）和相应的电子电路组成，如图 1-10 所示，尺寸一般为 $900\text{mm} \times 1200\text{mm}$ 及 $1200\text{mm} \times 1800\text{mm}$ ，分辨率和精度分别达到 0.025mm 和 0.076mm 。

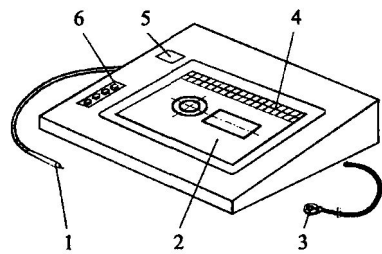
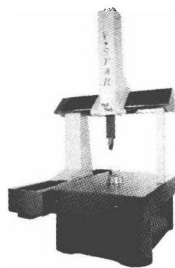


图 1-10 数字化仪结构组成
1—触笔；2—图样；3—游标；4—菜单；
5—显示单元；6—功能按键

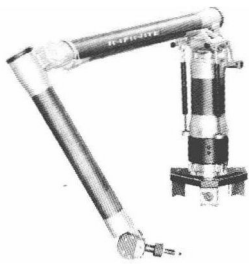
在电磁感应板上移动触笔（或游标）到指定位置，并将十字叉的交点对准数字化的点位时，按动按钮，数字化仪则将此时对应的命令符号和该点的位置坐标值排列成有序的一组信息，然后通过接口（串行接口）传送到主计算机。利用数字化仪既可以画图，又可以通过建立的图形菜单调用一些专用的图形符号，减少重复击键的次数，提高作图的速度和效率。

(5) 扫描仪。扫描仪是通过对将要输入的图样进行扫描，将扫描后得到的光栅图像进行去污及字符识别处理，再将点阵图像矢量化，通过编辑、修改成 CAD/CAM 系统所需的图形文件。这种输入方式在已有图样建立图形库、或在图像处理及识别等方面有重要意义。在 CAD/CAM 领域，如何迅速获取物体的三维信息并将其转化为计算机能直接处理的三维数字模型越来越受到重视。三维扫描仪正是实现三维信息数字化的一种极为有效的工具。

常用的三维扫描仪根据传感方式的不同，分为接触式和非接触式两种。接触式的采用探头直接接触物体表面反馈回来的光电信号转换为数字面形信息，从而实现对物体面形的扫描和测量，以三坐标测量机为代表，如图 1-11(a) 所示。非接触式三维扫描仪可分为三维激光扫描仪（激光扫描测量）、照相式三维扫描仪（结构光扫描测量）和工业 CT 扫描仪（断层扫描测量，已用于医疗诊断）等，如图 1-11(b) 和 (c) 所示。



(a) 接触式三坐标测量系统



(b) 三维激光扫描仪



(c) 照相式三维扫描仪

图 1-11 三维扫描测量系统

除此之外，随着硬件的发展，语言图形输入设备也逐渐投入使用，它允许人通过自然语言描述图形特征及有关参数，在显示器上直接看到图形。图形输入板（原理与数字化仪相似）、触摸屏等设备也可以用作 CAD/CAM 系统的输入设备。

1.2.1.4 交互输出设备

(1) 显示器。图形显示器是交互显示设备，显示输出数据和图形，可以随时对用户的操作做出及时的响应，将设计过程的中间结果提供给用户，以便不断编辑、修改。因此，显示器是 CAD/CAM 系统人际交互必不可少的工具。

图形显示器的性能指标包括屏幕的尺寸大小、最高分辨率、点距、刷新频率、行扫描频率等。显示器的类型有阴极射线管 (Cathode Ray Tube, CRT) 显示器、液晶 (Liquid Crystal Display, LCD) 显示器、等离子 (Plasma Display Panel, PDP) 显示器等。

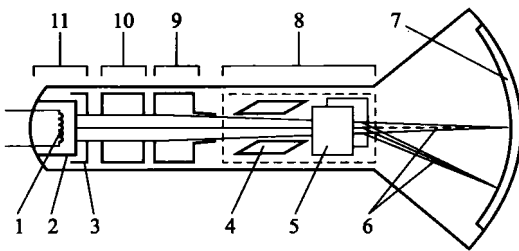


图 1-12 CRT 显示器结构示意图

- 1—加热极；2—阴极；3—控制板；4—垂直偏转；
5—水平偏转；6—电子束；7—荧光屏；8—磁偏转系统；9—聚焦机构；10—加速机构；11—电子枪

CRT 显示器是目前应用最广泛的显示器之一，主要由电子枪、偏转线圈、荫罩、荧光粉层及玻璃外壳等组成，其结构如图 1-12 所示。常用的 CRT 纯平显示器具有可视角度大、无坏点、色彩还原度高、色度均匀、可调节的多分辨率模式、响应时间极短等优点。按照不同的标准，CRT 显示器可划分为向量刷新式、存储管式、光栅扫描式等不同类型。

LCD 显示器常用在便携式笔记本电脑，因其机身薄，占地小，办公场所台式机多有配备。但 LCD 显示器不太适合 CAD/CAM 领域的图形及动画显示。PDP 显示器是采用了等离子平面屏幕技术的新一代显示设备。

(2) 打印机。打印机可分为击打式和非击打式两大类。击打式打印机按工作方式可分串行打印机和并行打印机。串行打印机有针形、菊花瓣形、球形、轮形、杯形等多种。针形点阵式打印机机械结构比较简单，打印速度比较高，应用比较广泛，但噪音较大。并行打印机有鼓形、点阵形、链式、带式等多种，打印速度显然比串行打印机高得多。非击打式打印机有喷墨式、激光式、静电式、热敏式等多种，打印质量和打印速度远高于击打式打印机。目前，喷墨打印机和激光打印机应用最为广泛。打印规格一般以纸张幅面来区别，如 A4 幅面、A3 幅面等。此外还有激光打印—复印一体机、热敏打印机、染色升华打印机等，由于它们的耗材较贵，投入相对较大，在 CAD/CAM 系统中使用较少。

(3) 绘图仪。绘图仪是获取设计结果，并表示为最终工程图样形式的工具。绘图仪按工作原理可以分为笔式绘图仪和非笔式绘图仪两大类。

笔式绘图仪以墨水笔作为绘图工具，计算机通过程序指令控制笔和纸的相对运动，同时，对图形的颜色、线型和线宽以及绘图过程中的抬笔、落笔动作加以控制。根据笔与纸的相对运动实现方法的不同，笔式绘图仪可分为平板式和滚筒式两类。平板式绘图仪结构如图 1-13 所示。在绘图过程中，图纸固定在平面上保持不动，笔架沿 x 和 y 两个方向移动，可以自始至终观察图形的绘制过程。由于纸是固定的，因此绘图精度比较高，但是平板式绘图仪受图纸幅面的限制，占地面积比较大。有时使用刀具代替绘图笔，可以完成在平板上刻字等其他特殊功能。

滚筒式绘图仪是由一水平滚筒和一个能沿滚筒轴线方向移动的笔组成。其工作原理如图 1-14 所示。绘图笔沿一个方向移动，卷在滚筒上的纸作回转运动，从而实现笔相对于纸