

计算机辅助设计 (CAD) 应用工程统一培训教材

CAD/CAM技术概论

冯辛安 主编



机械工业出版社

计算机辅助设计(CAD)应用工程统一培训教材

CAD / CAM 技术概论

——计算机辅助设计与制造

冯辛安 葛巧琴 主编



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

内 容 简 介

CAD/CAM 技术是一门新兴学科,涉及的内容极其广泛,学科跨度大。本书对 CAD/CAM 技术从总体上作一个概括的介绍。在内容处理上,着重介绍一些基本概念、应用技术、发展水平、实施方法和关键技术。

全书共分 11 章,内容包括概述;计算机软硬件系统的组成、配置和选型;数据处理与分析的常用方法;成型技术(它是引进 CAD/CAM 技术必须了解的技术);CAD 和 CAPP 应用软件的开发策略;数控编程技术;计算机辅助生产管理系统的基本原理和实施;计算机辅助质量系统的基本概念和方法;CAD/CAM 系统的集成技术(重点放在总体规划和信息流的集成)等。

本书可作为机械、电子、冶金、轻工、军工、化工、建筑、医疗、仪器设备等行业的企业技术领导,以及从事产品设计、制造、管理和 CAD/CAM 引进、开发和应用的科技人员更新知识、改变观念、增强决策能力进行技术培训用教材,使读者可以站在较高的位置,规划和开发应用 CAD/CAM 应用工程;也可作为各类大专院校本科生和研究生的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAM 技术概论 / 冯辛安主编. — 北京:机械工业出版社, 1995.3

计算机辅助设计(CAD)应用工程统一培训教材

ISBN 7-111-04606-4

I. C... II. 冯... III. ①计算机辅助设计 ②计算机辅助制造 IV. ①TP391.72 ②TP391.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 15332 号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 黄永友 石 俊 版式设计: 李松山 责任校对: 李尔斌

封面设计: 林 波 责任印制: 金嘉楠

机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1995 年 3 月第 1 版·1995 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm¹/16·12.625 印张·315 千字·202 页

0 001—5000 册

定价: 17.00 元

编 审 委 员 会

主任委员: 石定环

副主任委员: 路继广 石教英 唐泽圣 陈贤杰 周全胜
韩中光

委 员: 王豪才 冯辛安 刘永贤 孙林夫 陆皓
周济 周嘉玉 赵汝嘉 胡树根 贾昌传
黄陆光 葛巧琴 蔡青

序 言

计算机辅助设计 (CAD) 是随着计算机、外围设备及其软件的发展而形成的一门新技术。经过最近 20 多年的发展, CAD 技术在国外工业发达国家已被广泛应用于机械、电子、航空、航天、汽车、船舶、轻工、纺织、建筑及工程建设等各个领域, 成为提高产品与工程设计水平、降低消耗、缩短产品开发与工程建设周期、大幅度提高劳动生产率和产品质量的重要手段; CAD 技术及其应用水平已成为衡量一个国家的科技现代化和工业现代化水平的重要标志之一。

自 80 年代开始, CAD 技术应用工作在我国逐步得到了开展, 经过“七五”的努力, 取得了明显的效益。采用 CAD 技术以后, 工程设计行业提高工效 3~10 倍, 航空、航天部门的科研试制周期缩短了 1~3 年; 机械行业的科研和产品设计周期缩短了 $1/3 \sim 1/2$, 提高工效 5 倍以上。特别是近两年以来, 我国在 CAD 技术的开发和应用方面, 取得了较大的进展。但是, 从总体水平上来看, 我国的 CAD 技术开发和应用水平与国外工业发达国家相比, 存在着较大的差距; 各地、各行业的 CAD 技术应用, 发展很不平衡, 特别是在 CAD 技术应用的广度和深度上, 以及在 CAD 技术对促进生产力发展的重要作用的认识上, 都存在着亟待解决的问题。

1991 年, 国家科委、原国务院电子办、国家技术监督局、原机电部、建设部、原航空航天部、国家教委、中国科学院等八个部委联合向国务院提交了《关于大力协同开展我国“计算机辅助设计 (CAD) 应用工程”的报告》。经国务院有关领导批示, 国务院于 1992 年以国办通〔1992〕13 号文批复了该报告, 同意由国家科委牵头, 原国务院电子办、国家技术监督局协助, 会同国家计委、国家教委、国防科工委、原国务院生产办、建设部、原机电部、原航空航天部、中国科学院等部门联合组成 CAD 应用工程协调指导小组, 协

前 言

我国目前实行的是社会主义市场经济模式，企业根据市场的需要来组织生产。与计划经济模式的情况不同，企业要生存，必须通过激烈的市场竞争，与众多实力强大的国内外同行较量，拿到足够多的订单，并取得足够的利润。为此，企业对所生产产品的质量、性能和更新速度提出了越来越高的要求，把降低成本、提高经济效益提到越来越重要的地位。在这种通过激烈竞争求生存的形势下，企业的产品必须具备技术含量高、更新速度快、品种和规格多样化、批量小、生产装备自动化和柔性化、生产计划管理灵活和高效等特点。在这种情况下，继续按以前计划经济模式下形成的一套传统的设计、生产和管理模式去组织生产，产品品种单调、性能差、质量低劣和成本高，生产出来的产品必然不受欢迎，而市场急需的产品又一下子生产不出来，等到慢慢地开发出来了，产品质量和生产批量又一下子上不去，占领不了市场和形成规模经济，利润很少，甚至赔钱，或者市场的需求又变了。企业始终处于消极被动的困境。

企业要搞活，必须进行改造，使其运行机制能适应上述多品种、小批量、高效率的生产模式，充分采集和利用各方面的信息，快速作出正确决策，合理有效地利用企业内部各方面的资源，缩短设计和生产周期，提高机器设备的生产效率和利用率，减少在制品和库存，加快流动资金周转等。

要实现上述技术改造，必须广泛采用微电子技术，采用 CAD 和 CAE 技术，加快设计速度，提高设计质量，促进产品的更新换代；采用 CAM 技术，提高生产的自动化和柔性化程度，适应多品种、小批量和新产品快速投产的生产环境；采用 PPC（生产计划与控制），有效地缩短生产周期、提高设备利用率、减少在制品和库存、加快流动资金的周转。

实践证明, CAD/CAM 技术是解决多品种、小批量、高效率生产的最有效途径,是实现自动化生产的基本要素,也是提高设计、制造质量和生产率的最佳方法;是当今世界最引人关注的重大技术,也是衡量一个国家工业技术水平的重要标志之一。

CAD/CAM 技术贯穿于企业的产品设计、制造、计划和管理的全过程。国内外大量的经验表明, CAD 系统的效益往往不是从其本身,而是通过 CAM 和 PPC 系统体现出来;反过来, CAM 系统如果没有 CAD 系统的支持,花巨资引进的设备往往很难有效地得到利用; PPC 系统如果没有 CAD 和 CAM 的支持,既得不到完整、及时和准确的数据作为计划的依据,订出的计划也较难贯彻执行,所谓的生产计划与控制将得不到实际效果。

为此,作为各企业、行业和地区的技术领导和主要的技术骨干,必须对 CAD/CAM 的各个应用模块的功能和各模块间的集成关系有一个比较清楚的了解,才不至于在引进计算机应用技术时,单纯地满足于单项模块的开发应用,不重视计算机应用的总体规划,使企业的计算机应用误入歧途,造成巨大的经济损失。

CAD/CAM 技术所涉及的内容极其广泛,学科跨度大。编写本书的目的,是使读者对 CAD/CAM 技术从总体上有一个概括的了解。在内容处理上,偏重于介绍一些基本概念、应用技术、发展水平、实施方法和关键技术;紧密联系企业的实际需要,讲清楚每项技术是什么,应用该项技术可以解决什么问题,国内外该项技术的应用水平和发展趋势;如企业要开发应用该项技术,如何规划和实施。使读者可以站在较高的位置,规划和开发 CAD/CAM 工程的应用技术。

本书由大连理工大学冯辛安教授、东南大学葛巧琴教授主编。

各章分工如下:第 1、2、3、11 章由冯辛安编写;第 4 章由东北大学王仁德编写;第 5、9 章由大连理工大学蒋贵善编写;第 6 章由东北大学史忠德和冯辛安合编;第 7、10 章分别由东南大学黄和风和葛巧琴编写;第 8 章由大连理工大学赵立国编写。

全书由北京航空航天大学唐荣锡教授主审。

由于编者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，恳请批评指正。

编 者

1994年3月

目 录

序言		
前言		
第 1 章 概述	1	
1.1 CAD/CAM 技术的定义	1	
1.2 CAD/CAM 所涉及的内容	2	
1.3 CAD/CAM 一体化系统的 总体结构	3	
1.4 CAD/CAM 技术可产生的效益	3	
1.5 CAD/CAM 技术的产生、现状 和发展	5	
第 2 章 CAD/CAM 的硬件系统	9	
2.1 CAD/CAM 硬件系统的组成 与特点	9	
2.2 计算机	10	
2.3 图形显示系统	14	
2.4 图形输入设备	15	
2.5 外存储器	17	
2.6 图形输出设备	20	
2.7 计算机网络	20	
2.8 CAD/CAM 硬件系统正确选型 的基本原则	25	
第 3 章 CAD/CAM 的支撑 软件系统	28	
3.1 CAD/CAM 软件系统的分类	28	
3.2 操作系统	28	
3.3 数据库及其管理系统	31	
3.4 图形支撑软件系统	39	
3.5 CAD/CAM 支撑软件系统 选购要点	50	
第 4 章 计算机数据处理与分析	53	
4.1 设计资料的数据处理及其主要 内容	53	
4.2 计算分析的主要内容与方法	56	
4.3 有限元分析及其前、后处理	57	
4.4 优化设计	59	
4.5 仿真	62	
第 5 章 成组技术	65	
5.1 成组技术的基本原理	65	
5.2 零件的分类编码系统	67	
5.3 零件的分类成组方法	71	
5.4 成组技术的应用及其技术 经济效果	79	
5.5 成组技术在企业中的推行	85	
第 6 章 CAD 应用软件的开发	88	
6.1 概述	88	
6.2 参数化 CAD	91	
6.3 成组 CAD	93	
6.4 交互式 CAD	94	
6.5 智能化 CAD	96	
6.6 图形录入方法	97	
第 7 章 CAPP 应用软件的开发	99	
7.1 概述	99	
7.2 检索型 CAPP 系统	102	
7.3 生成型 CAPP 系统	104	
7.4 智能型 CAPP 系统	106	
7.5 CAPP 的几项关键技术	109	
第 8 章 数控编程	113	
8.1 人工编程	113	
8.2 自动编程	122	
8.3 CAD/CAM 一体化自动编程	130	
第 9 章 计算机辅助生产管理系统	135	
9.1 生产计划与管理	135	
9.2 企业生产计划管理	138	
9.3 车间作业计划的编制与实施	144	
9.4 制造资源计划系统(MRP-II)	146	
第 10 章 计算机辅助质量 系统(CAQ)	152	
10.1 计算机辅助质量保证(CAQA)	152	

10.2 计算机辅助质量控制(CAQC)	155	的制订	172
第 11 章 CAD / CAM 系统的		11.4 CAD / CAM 系统的信息流	176
集成技术	167	11.5 CAD / CAM 系统的信息	
11.1 概述	167	集成技术	183
11.2 CAD / CAM 一体化系统是 CIMS		11.6 生产数据采集系统	186
的核心	169	参考文献	190
11.3 CAD / CAM 一体化系统总体规划			

第1章 概述

1.1 CAD/CAM 技术的定义

CAD/CAM 是计算机辅助设计与计算机辅助制造的英文 (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 缩写, 是一项利用计算机帮助人们完成设计与制造的技术; 将两者连在一起写的意思是指采用计算机后, 传统的设计与制造彼此相对分离的任务应作为一个整体来规划和开发, 实现信息处理的高度一体化。

计算机辅助设计是在 CAD 系统硬件、软件的支撑下, 研究对象的描述、系统分析和优化、产品设计、仿真、图形处理的理论和工程方法, 使计算机可辅助设计师完成产品的全部设计过程, 最后输出满意的设计结果和产品图纸。采用计算机进行辅助设计, 有可能改变传统的经验设计方法, 由静态和线性分析向动态和非线性分析、可行性设计向优化设计过渡。

完整的生产过程包括设计与制造两部分。狭义的 CAM 仅包括计算机辅助编制数控机床加工指令。广义的 CAM 则是应用计算机进行制造信息处理的全部内容, 包括采用计算机系统进行生产的规划、管理和控制产品制造的全过程。它既包括与加工过程直接联系的计算机监测与控制, 如控制数控机床、工业机器人和进行质量的监控等; 也包括间接控制, 即利用计算机来支撑工厂生产经营, 提供计划、进度表、预报、指令和数据等, 根据这些信息能更有效地管理生产。广义的 CAM 的具体内容包括编制制造工艺规程和数控机床加工指令, 控制数控机床和机器人等工作, 安排生产计划和进度, 制订材料需求计划, 进行车间工段控制和进行质量监控等。

CAM 中所需的信息和数据许多来自 CAD, 许多数据和信息对 CAD 和 CAM 来说是共享的。实践证明, 将 CAD 和 CAM 作为一个整体来规划和开发, 可以取得更明显的效益; 而且 CAD 的效益最终也多半是通过 CAM 体现出来的。这就是所谓的“CAD/CAM 一体化技术”。尽管目前许多企业的 CAD 和 CAM 技术仍然处于单独使用状态, 也就是说, 各系统完成其功能后所产生的信息, 还不能直接传送给与其相关的其它系统。随着生产技术的发展, 要求不同功能的 CAD 和 CAM 模块的信息能相互传递, 把越来越多的 CAD 和 CAM 功能融合为一体。

实现 CAD/CAM 一体化的初期, 通常由人工把一个程序的输出结果转化为另一个程序的输入。进一步的方法是开发一些联接用的接口转换程序, 保证信息流的传输, 组成程序的运行序列。这种集成方式广泛用于为一定专业目标服务的程序包或程序系统。但对于涉及到多种学科、多种专业和大量应用程序的 CAD/CAM 一体化系统, 这种集成方式会因接口繁多而成灾。理想的 CAD/CAM 一体

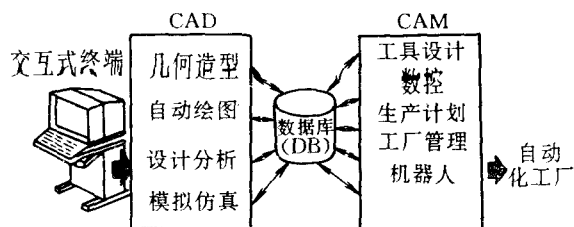


图 1-1 CAD/CAM 一体化系统的理想模式

化模式如图 1-1 所示, 所有的 CAD/CAM 功能都与一个公共数据库联接。用户利用图形终端或字符终端与计算机对话, 众多的应用程序使用储存在公共工程数据库里的信息, 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流集成。

为实现上述目标, 目前正在大力开展适合于 CAD/CAM 系统的, 以公共工程数据库、网络通信技术等为内容的集成技术的研究, 以便把散布于各种独立设备和计算机的 CAD 和 CAM 功能模块高效地集成起来, 达到硬、软件资源的共享, 使集成系统里的信息畅通无阻。

1.2 CAD/CAM 所涉及的内容

1.2.1 传统的生产流程

传统的生产流程如图 1-2 内圈框图所示。首先根据市场需要进行产品的设计。产品的设计过程是通过创造、分析和综合以达到满足某特定功能要求的一种活动。设计过程大致为:

(1) 产品的设计要求一经确定, 依据经验、实验数据以及有关产品的标准规范等创建设计模型。

(2) 对模型进行分析计算以至优化, 不断地改进模型, 直到比较理想地满足设计目标为止。

(3) 进行结构设计, 绘出产品图纸, 有时因结构方面的原因需要对设计模型进行修改。

(4) 编制技术文档。

(5) 进行产品的试制、样机试验和性能考核, 如不满意, 需对设计图纸甚至设计模型作进一步修改。

(6) 产品销出后, 根据用户的反映, 还可能继续对设计图纸和设计模型进行进一步修改。

生产过程的下一步是根据产品图纸和技术文件进行生产准备工作, 包括工艺性审查, 确定工艺方法, 编制工艺规程, 设计工、夹、量具。有了产品图纸和工艺规程, 生产部门可以制订生产计划, 进行作业调度、安排生产。在生产过程中需对产品进行质量控制, 产品出厂后还需不断征求用户的意见, 对产品进行改进。

1.2.2 人与计算机的能力比较

在上述设计和生产过程中, 下列几方面的工作由人工完成显得繁琐、复杂、甚至难以胜任。

1. 大量的数据处理 这些数据涉及到材料、设备、结构和工艺等许多方面的标准规范、经验和试验数据, 不仅数据量非常大, 而且数据的类型、属性和形式也是多种多样的。设计过程中需要对这些数据进行存取、加工、传递、检查等, 有时是非常繁琐和复杂的操作。

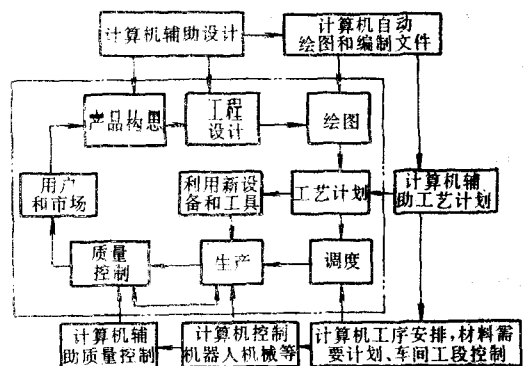


图 1-2 CAD/CAM 的工作内容

2. 大量的图形处理和绘制工作 图纸是工程师的语言，是表达和记录设计的主要方式。在概念设计阶段，需要快速地设计产品的模型和系统的布局，生成和编辑有关的图形；在结构设计阶段，需要绘制大量的工程图纸。

3. 大量的数值计算工作 在过去，人们凭借计算器，只能采用材料力学、结构力学提供的近似公式进行计算，还需要对实际结构进行较大的简化。因此，计算精度低、易出错、效率低，已满足不了产品发展的需要。采用现代设计计算方法，可以进行较精确的分析计算，但其计算工作量之大是人力难以完成的。

计算机可以较好地胜任上述人们感到头疼的工作。它可以大量地存储数据，并快速地进行数据的检索和处理；具有很强的构造模型和图形处理能力；善于迅速准确地从事诸如绘图、编制报表等繁琐和重复性的工作；具有高速运算和逻辑分析能力，可完成过去无法想象的复杂的工程分析计算。但计算机不善于处理一些无法形成规则和模型的问题，对“模糊”问题的处理能力较差，也不善于处理一些临时出现的意想不到的问题。在设计过程中，上述问题是大量的，而人可以凭经验、直觉、想象力、判断力甚至灵感去处理上述问题。因此，计算机无法代替人的作用。利用计算机辅助人们完成设计任务，可以发挥人和计算机各自的优势，有效地提高工作效率和质量。在这里，人是起主导作用的，计算机只能辅助人进行工作，而不能取代人的作用。近年来，专家系统和人工智能的广泛采用，计算机可以部分地替代人的智能。

1.2.3 CAD/CAM 技术的应用范围

在生产过程中，计算机可以辅助人们进行的工作如图 1-2 外圈框图所示的内容。计算机可以有效地辅助设计人员进行产品的构思和模型的构造（概念设计）；工程分析计算和优化；不必经过样机试制，可在计算机上对设计的产品性能进行模拟仿真；计算机辅助绘制工程图纸和文档编辑；辅助工艺人员和管理人员编制工艺规程，制订生产计划和作业调度计划；控制工作机械（机床、机器人等）工作，并在加工过程中进行质量控制等。

在 CAD/CAM 系统中，进行科学计算有时可达到可视化效果，也就是在计算过程中，将计算结果的数据转换为几何图形及图象信息，在屏幕上显示出来并进行交互处理，对计算过程进行干预和引导，发现和理解科学计算过程中各种现象。

1.3 CAD/CAM 一体化系统的总体结构

CAD/CAM 一体化系统可实现产品设计和制造各技术功能模块之间的信息传输和存储，并对各功能模块进行管理和组织运行，其总体结构如图 1-3 所示。

CAD/CAM 一体化系统是建立在计算机系统上，在操作系统和网络软件的支持下运行的 CAD/CAM 软件系统。数据库管理系统、图形系统、软件工具直接依赖于计算机的操作系统和网络软件，形成 CAD/CAM 软件系统的支撑环境。

1. 数据库管理系统 用于集中管理 CAD/CAM 系统的所有数据文件，实现用户对数据库的共享，保证数据的一致性。

2. 图形系统 它主要用于建立产品的几何模型，进行外形设计，绘制工程图，以及生成各种图象。它也是交互式设计系统的基础和核心。

3. 软件工具 主要包括用于编制各种 CAD/CAM 应用软件所需的高级语言编译系统、文字处理系统、用户界面等。

在上述支撑软件的支持下,建立数据库和档案库,形成 CAD/CAM 软件系统的核心层。数据库是一体化系统集成核心、应用程序的统一接口,它把应用程序之间复杂的网状联接关系简化为以数据库为核心的并联关系。档案库实际上是 CAD/CAM 一体化系统的一个特殊的数据库集,用于一体化系统的全部技术文档的存档和管理。

通过接口程序,实现 CAD/CAM 软件系统核心层与各工程应用系统之间的数据通信、转换和交换。工程应用系统包括:计算机辅助几何设计(CAGD)、计算机辅助工程分析(CAEN)、计算机辅助制造(CAM)和计算机辅助计划管理(CAPM)等。

各工程应用系统、数据库和档案库等可在上述支撑环境下运行。由图 1-3 可见,它们也可以直接在操作系统的支持下运行,也就是可处于未经集成的应用程序的使用状态。

各工程应用系统实现执行控制,包括对内负责协调参与集成的各模块间的关系,对外为用户提供统一的使用界面和方便的使用手段,解决系统可能出现的问题。执行控制程序通常采用菜单式屏幕格式进行操作,用户可以通过它实现应用程序的输入数据准备,以及调用接口程序和应用程序进行输出数据的处理;还可以通过它对数据库和文档系统进行操作等。

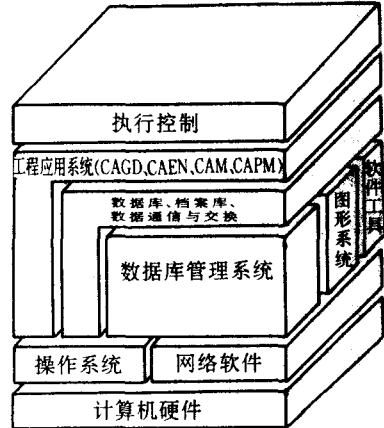


图 1-3 CAD/CAM 一体化系统的总体结构

1.4 CAD/CAM 技术可产生的效益

随着市场经济的发展,用户对产品的质量、更新速度以及产品从设计、制造到投放市场的周期都提出了越来越高的要求。在这种激烈竞争的严峻形势下,生产类型正发生根本的变化,大批量的生产将被多品种、小批量生产或单件生产所取代。只有高质量、高效率和高产品更新速度才能适应产品多变和环境多变的要求。

实践证明, CAD/CAM 技术是解决多品种、小批量、高效率生产的最有效途径,是实现自动化生产的基本要素,也是提高设计、制造质量和生产率的最佳方法,是当今世界最引人注目的重大技术。尽管理想中的 CAD/CAM 一体化系统还在发展中,但现有的初级的 CAD/CAM 一体化系统所获得的效益也已远远超过任何非集成的 CAD 和 CAM 系统。

众所周知,生产任何一种产品,其投资的 70%~80% 都消耗在生产制造中。因此, CAD/CAM 一体化系统不仅可以提高设计效率和质量,更重要的是可以缩短工艺流程时间,提高加工精度,改进产品质量。

归纳起来,采用 CAD/CAM 系统可带来的效益有:

(1) 提高了设计效率 采取 CAD 技术后所取得的综合效益与手工作业相比:高度重复性工作可提高效率 15 倍;标准化的工作可提高效率 5 倍;通用典型化的工作可提高效率 2 倍;新产品开发工作可提高效率 1 倍。

(2) 减免了重复的计算、查表工作及繁重的绘图工作,节省了时间,减少了设计劳动

量，把设计人员解放出来，去从事新产品的开发。

(3) 提高了生产效率 CAD/CAM 系统可提高设计和加工速度几倍至十几倍。一些用传统的加工手段无法处理的问题，用 CAD/CAM 系统可以在很短的时间内处理完毕。

(4) 提高了设计和制造的质量 这是因为 CAD/CAM 系统可以对数据作高效的处理，提高了设计精度，并能使偶然性错误降低到最低程度。

(5) 缩短新产品开发周期，降低成本 CAD/CAM 系统能动态地模拟生产过程和产品在使用时的状况。这样就可以在设计的同时发现设计上的缺陷，修改设计，使设计更为合理，免去了样机试制或产品使用后再提出改进设计的问题。

(6) 减少了生产资源的消耗 CAD/CAM 系统可以合理地编排生产工艺过程，合理地安排生产进度，节省了加工时间，提高了材料的利用率，降低了生产资源的消耗。

(7) 可以提高产品和工、夹、量具的标准化程度，便于优化管理。

(8) 可以为数控机床提供高效、高质量的数控信息，提高机床的利用率。

(9) 有助于缩小传统的设计与制造之间的间隙。

(10) 可以加快培养熟练的产品设计人员，工、夹、量具设计人员和加工设备操作人员。

(11) 在产品设计师，工、夹、量具设计人员，管理人员和制造加工人员之间建立更好的联系和更多的理解。

1.5 CAD/CAM 技术的产生、现状和发展

CAD/CAM 技术的产生和发展如图 1-4 所示。图的左部表示硬件技术的发展，右部表示相应的软件技术的发展。由此可见，在技术发展的过程中，是先有了 CAM，再出现 CAD 的需求。

随着工业的发展，产品的品种越来越多，生产批量越来越小。在中、小批量的生产条件下如何提高生产的自动化程度和产品质量的稳定性，显得非常重要。1952 年，美国麻省理工学院 (MIT) 研制成功了世界上第一台数控机床，从理论上解决了上述问题。在这以后，数控技术发展很快，并得到了广泛的应用。

数控机床是根据加工指令进行加工的。如采用人工编制数控加工指令，所需的时间往往超过加工时间的好几十倍。编程中最为费时而且容易出错的是根据被加工零件的图形计算工件和刀具之间的相对运动轨迹和节点坐标，尤其进行三维和三维以上加工的编程显得更为复杂和容易出错。

解决上述生产中提出的难题，可以借助计算机的高速计算能力。50 年代美国麻省理工学院 (MIT) 开发的自动编程工具 (APT) 语言，解决了如何方便地将被加工零件的形状输入到计算机中去进行轨迹计算的问题。它是由一些基本符号、字母和数字组成，并有一定词法和语法，用来描述零件的几何形状、尺寸、几何元素间的相互关系 (相交、相切、平行等)，以及刀具运动的顺序、走向和工艺参数等。采用这种语言进行数控编程，程序员先用 APT 语言规定的格式方便地手编出一个源程序。在源程序中，规定了被加工零件的几何形状、刀具类型以及刀具与工件之间的相对运动方向、机床主轴转速、进给量以及其它与机床有关的数据等。将编成的源程序输入到计算机，由 APT 主处理程序进行大量的数据分析和处理，其中主要是对刀具和工件之间的相对运动轨迹进行大量的几何计算，得到各线段节点

的坐标值。这些数据进入 APT 后处理程序，为特定的数控机床产生加工指令带。

采用 APT 语言可以控制数控机床运动，当然也可以控制数控绘图机画图，这就是最初的计算机辅助绘图。用这种方法绘图，图形描述由键盘或穿孔卡输入，无法进行人机实时交互，不能称为设计。

1963 年，美国 MIT 研制成功了世界上第一台可进行实时交互图形处理的计算机图形显示系统，称为 SKETCHPAD，并在美国计算机联合会的年会上发表了 5 篇论文。其中一篇题为“计算机辅助设计要求纲要”的论文，提出了如下的设想：“设计师坐在 CRT（阴极射线管）的控制台前用光笔操作，从概念设计到生产设计以至制造，都可以实现人机对话，设计员可以随心所欲地对计算机所显示的图形进行增、删、改，能在 10 至 15min 时间内完成通常要花费几个星期时间的手工作业”。这在当时看来，多少有一些神奇，但极大地震动了追求实效的工程界，普遍认为这一工作开始了 CAD 技术的新纪元，也是现代计算机图形学的开端。由此可见，CAD 技术的发展与计算机图形学的发展从一开始就是密切相关的。

在这以后，计算机硬件和软件技术相辅相成地发展，经历了几个发展阶段：

(1) CAD/CAM 阶段 这个阶段的主要特征是计算机图形软件进一步商品化，出现了各式各样的交互式图形系统，简化了图象、图表和其它图形的生成；采用计算机进行绘图和曲面造型，以及把计算机图形显示用于数控加工零件编程；成组技术开始用于计算机辅助设计和工艺规程编制。

(2) CAD/CAM 集成系统阶段 这个阶段的主要特征是计算机辅助设计、辅助工艺规程编制、辅助制造、以及辅助计划管理各大模块之间的信息流实现一体化；采用仿真技术，在计算机屏幕上可以预测产品的性能。实现信息流的一体化和进行产品性能仿真，发展了几何实体造型和特征模型技术，使人工智能与专家系统开始应用于计算机辅助设计和辅助工艺规程编制等领域。随着微型计算机和超级微型计算机的大量涌现，尤其在 80 年代初出

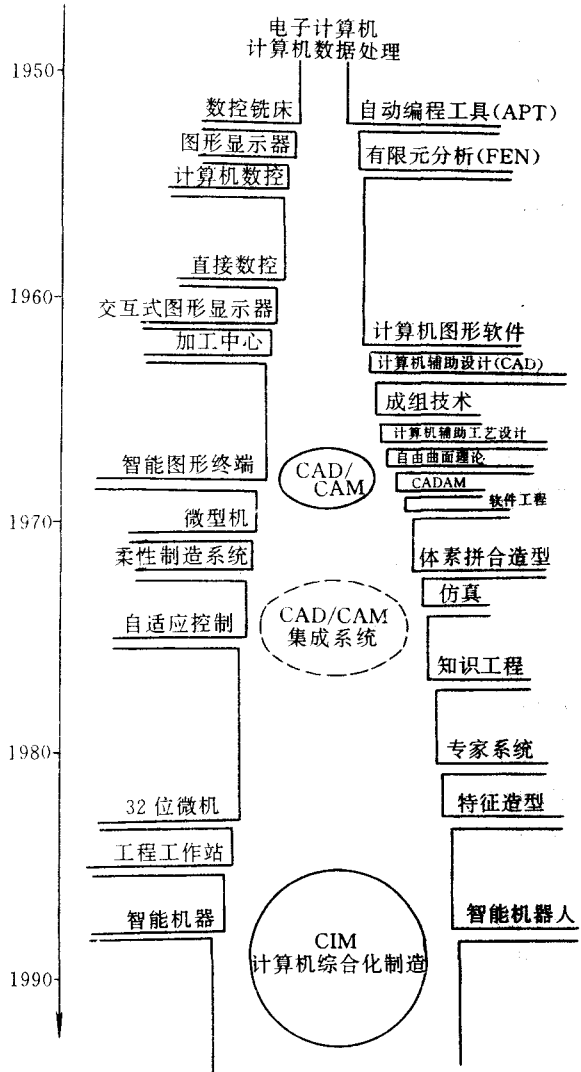


图 1-4 CAD/CAM 技术的发展

现了把主机和图形终端合在一起的“工程工作站”，使以工程工作站、网络服务器和局域网组成的网络化计算机系统代替了原来的小型机或超级小型机为基础的集中式计算机系统，显示了明显的优势。

(3) CIM (计算机集成制造) 阶段 这个阶段的主要特征是除了信息流实现高度的集成外，在物料流、刀具流等方面也进行集成。

据报道，目前美国大型汽车行业 100%、电子行业 60%、建筑行业 40% 在使用 CAD/CAM 技术。CAD/CAM 系统的销售额在近 10 年内增长了 40 倍左右。在未来的 5 年中，预测仍将以每年 15% 的速度增长。英国、日本等发达国家近几年来在汽车制造业、飞机制造业和机械制造业使用 CAD/CAM 的速度也显著加快。

我国 CAD/CAM 技术与国际先进水平相比，总的估计是落后约 10~15 年。我国的计算机硬件和支撑软件主要依靠进口。对采用 CAD/CAM 的认识也有一个发展的过程，从开始的单纯地为了减少重复型劳动提高到目前的改造传统产业、增强企业的活力、进入国际市场的高度。因此，企业在使用 CAD/CAM 的积极性和投资强度上也随着提高。尤其在当前，为适应社会主义市场经济的发展，大中型企业要搞活，需要对企业传统的产品结构、生产装备和管理模式进行改造，以提高企业的活力和适应市场的应变能力。其中，首当其冲的是进行产品结构的调整，提高产品的技术档次，缩短新产品的开发周期，提高产品设计质量，降低物耗和造价，以适应当代产品的多品种、小批量和及时更新换代的要求，提高产品在国内外市场的竞争能力。要达到上述情况，采用 CAD/CAM 技术是唯一的出路。所以，一些有远见的企业家不惜在这方面投入大量的资金和人力，适当超前一些进行技术开发。因为 CAD/CAM 技术的应用，通常较难做到当年投资当年见效，需要有一段时间进行应用软件的开发和进行企业内部机制的调整，使之适应 CAD/CAM 技术的应用环境。

我国的 CAD/CAM 技术是从“六五”开始起步的，当时的计算机硬、软件条件均很落后，较多的是采用计算机进行一些分析计算。在“七五”期间，国家在机械 CAD/CAM 方面有较大投资，开展了 24 个重点产品的 CAD 系统的开发和研制。24 个重点产品是：汽车、中小功率异步电机、大型发电设备及系统、工业汽轮机、大型电力变压器、钻削类组合机床、镗铣类数控加工中心、复杂刀具、压力机、中小功率内燃机、轮式拖拉机及耕作机、桥式起重机、轮式装载机、重型机械基础件、透平压缩机、通风制冷机、石油钻采设备部件、通用滚动轴承、特种轴承、出口仪器仪表造型、分析仪器、光学仪器、液压元件及系统、链传动元件及系统。通过“七五”期间的工作，为我国 CAD/CAM 技术的发展奠定了一定的物质基础，培养和锻炼了一批技术骨干，为“八五”的大发展创造了良好的条件。

据调查，就 CAD/CAM 的应用情况分析，目前国内的企业可分为三类：

第一类，设备、技术力量及系统基本配套，并已开展零部件设计、绘图、分析计算、数控编程、计算机辅助工艺规程编制和计算机辅助管理等方面的应用。这些企业在“八五”需要扩充系统功能，增加应用的深度和广度，向 CAD/CAM 集成化阶段努力。

第二类，只有较简单的设备，仅进行过绘图、分析计算等单项技术的应用。“八五”需要进行系统配套，提高应用水平。

第三类，尚缺设备和技术力量，但有一定的应用需要。

上述三类企业中，第三类占绝大多数，第一类仅占很少一部分，通常为一个行业中的个别骨干企业。为此，任重道远。国家在“八五”期间的计划是：1991~1992 年为试点阶段，