

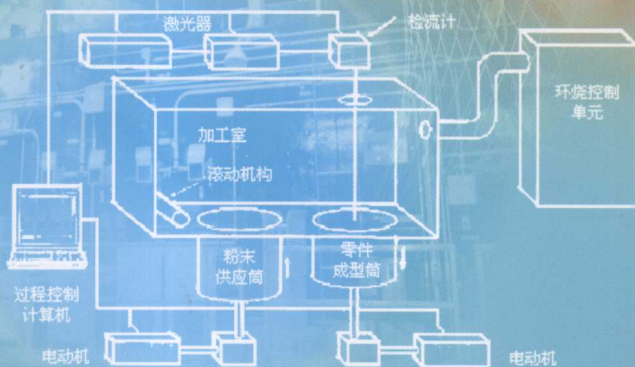


面向21世纪全国高职高专机电类规划教材

先进制造技术

XIANJIN ZHIZAO JISHU

张迪妮 主编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材

先进制造技术

张迪妮 主编

宗晓 高磊 范磊 参编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书作为概述性的教材,适度地介绍了目前发展比较稳定、成果比较显著的一些先进制造技术和管理思想,包括:计算机辅助设计、计算机辅助制造、计算机辅助工艺设计、产品数据管理、制造资源的分配与管理、计算机集成制造与并行工程以及新兴技术概述等内容。

全书内容丰富,逻辑层次清楚,行文流畅,可作为机电与制造专业高职高专和低层次本科教学使用,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/张迪妮主编. —北京:北京大学出版社, 2006.1

(面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材)

ISBN 7-301-08849-3

I. 先… II. 张… III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 031071 号

书 名: 先进制造技术

著作责任者: 张迪妮 主编

责任编辑: 郭芳

标准书号: ISBN 7-301-08849-3/TH·0008

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印 刷 者: 河北涿县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 13.25 印张 289 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 19.00 元

前 言

先进制造技术是在传统的制造加工技术基础上,结合新兴的计算机技术以及先进的管理理念等发展起来的一门极具生命力的学科。先进制造技术有几个非常突出的方面,计算机技术的广泛使用就是其中之一。计算机辅助设计、计算机辅助工艺设计、计算机辅助制造技术都是利用计算机技术,从制造过程的设计、制造两方面进行辅助,减少了许多费时费力的人工劳动。计算机由于其庞大的存储能力和强大的运算速度,成为管理制造业众多数据的工具,并且在产品数据管理的基础上,发展出了 ERP、MRP、SCM 等辅助的管理工具,这同样为制造业带来了深刻变化。所以说,现代先进制造技术不仅是技术硬件上的提升,同时也是各种先进管理思想的成果。

制造业是我国全面建设小康社会的第一位支柱产业,是国家高技术产业的基础和国家安全的重要保障,而先进制造技术则是保障制造业高水平持续快速发展的基础。它的发展,必将持续地推动我国制造业跻身世界先进行列。

我国经过改革开放以来经济的持续快速增长,综合国力大大增强,首先是由于制造业能力的增强。中国制造业已经形成了完整的工业体系,总体规模已进入世界前列。很多工业品产量已经位居世界第一,例如钢铁、水泥、平板玻璃、彩色电视机、家用电冰箱、洗衣机、空调器、微波炉、各类纺织品以及日用轻工业品等。不少制造业部门,如纺织服装、化工、非金属矿物制品、钢铁、有色金属、交通运输设备、电气机械及器材、石油加工等,投资增长率高达 60%~120%。制造业部门正成为 GDP 增长的主要支撑力量。

正是由于制造业在我国国民生产中的基础性地位,掌握先进制造技术的人才受到市场和企业的广泛关注,而传统的制造从业人员也依靠先进制造技术来提升自己的竞争力。本书作为概述性的教材,适度地介绍了目前发展比较稳定、成果比较显著的一些制造技术,为广大急需这方面知识的人员提供了一个了解的窗口。

本书由张迪妮主编并统稿,参加本书编写的有张迪妮(第 1、6、8 章),宗晓(第 2 章),高磊(第 3、5 章),范磊(第 4、7 章)。

本书作为教材,广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果,编写的主要参考书目附后,未及一一注明,在此谨表谢意,并请谅解。由于成书时间仓促,同时限于编者的水平,本书存在着种种不足和缺点,恳切希望得到大家的批评指正。

编 者

2005 年 11 月

目 录

第 1 章 概述.....	1
第 2 章 计算机辅助设计.....	5
2.1 CAD 技术概述.....	5
2.1.1 CAD 技术的发展概况.....	5
2.1.2 CAD 技术的功能和意义.....	6
2.1.3 CAD 系统的组成.....	8
2.2 CAD 软件的关键技术.....	13
2.2.1 基础造型技术 (参数化设计、变量化设计及特征造型技术)	13
2.2.2 数据库技术.....	17
2.2.3 CAD 的数据交换格式及标准化 (DXF 格式、IGES 格式及 STEP 标准)	18
2.2.4 模拟仿真技术.....	21
2.2.5 智能 CAD 技术.....	22
2.3 主要 CAD 软件概述.....	23
2.3.1 国际知名的 CAD 软件.....	23
2.3.2 国内的 CAD 软件.....	29
2.3.3 国内 CAD 软件的发展现状和前景.....	31
2.4 CAD 技术应用基础.....	32
2.5 思考题.....	37
第 3 章 计算机辅助制造.....	38
3.1 数控技术概论.....	38
3.1.1 数控技术的发展历史.....	38
3.1.2 数控机床的组成和工作原理.....	39
3.1.3 数控机床的分类.....	41
3.1.4 数控机床的特点.....	42
3.1.5 数控系统的发展前景.....	43
3.2 数控加工工艺.....	44
3.2.1 加工工序的划分.....	44
3.2.2 加工路线的确定.....	45

3.2.3	工装.....	45
3.2.4	刀具的选用.....	46
3.2.5	切削用量的确定.....	47
3.2.6	对刀点和换刀点的确定.....	48
3.3	数控编程.....	48
3.3.1	数控编程概述.....	48
3.3.2	数控编程的内容与步骤.....	49
3.3.3	数控编程的代码.....	53
3.3.4	数控编程的方法.....	59
3.3.5	数控计算机仿真技术.....	63
3.4	思考题.....	64
第4章	计算机辅助工艺设计.....	65
4.1	CAPP 概论.....	65
4.1.1	CAPP 的概念.....	65
4.1.2	CAPP 的产生原因.....	66
4.2	CAPP 技术分析.....	67
4.2.1	CAPP 系统的基本结构.....	67
4.2.2	CAPP 系统的分类.....	70
4.2.3	派生式 CAPP 系统.....	71
4.2.4	创成式 CAPP 系统.....	79
4.2.5	其他 CAPP 系统简介.....	86
4.2.6	制造资源库的建立.....	86
4.3	CAPP 软件基本功能及应用现状.....	91
4.3.1	CAPP 软件的基本功能.....	91
4.3.2	我国 CAPP 软件的应用现状.....	92
4.4	思考题.....	94
第5章	产品数据管理.....	95
5.1	PDM 概论.....	95
5.1.1	PDM 的基本概念.....	95
5.1.2	PDM 的发展背景.....	95
5.1.3	PDM 的意义.....	97
5.2	PDM 系统分析.....	98
5.2.1	PDM 功能分析.....	98
5.2.2	PDM 技术分析.....	103
5.2.3	PDM 中的集成技术.....	103

5.2.4	PDM 的分类	105
5.3	PDM 的应用	106
5.3.1	应用现状	106
5.3.2	应用范围	107
5.3.3	PDM 系统简介	108
5.3.4	PDM 实施	113
5.3.5	PDM 实施案例	114
5.4	思考题	117
第 6 章	制造资源的分配与管理	118
6.1	制造资源计划	118
6.1.1	物料需求计划	118
6.1.2	制造资源计划	122
6.2	企业资源计划	126
6.2.1	企业资源计划的产生和概念	126
6.2.2	ERP 与 MRP-II 系统的区别	128
6.2.3	ERP 系统功能模块	129
6.2.4	ERP 发展趋势	132
6.3	供应链管理系统 (SCM)	135
6.3.1	SCM 发展背景	135
6.3.2	SCM 基本概念	136
6.3.3	供应链的组成	137
6.3.4	供应链管理的理念	139
6.3.5	供应链管理功能	140
6.4	客户关系管理系统	141
6.4.1	客户关系管理系统发展的背景与概念	141
6.4.2	CRM 核心观点	143
6.4.3	功能模块	145
6.4.4	CRM 系统的作用	146
6.5	思考题	147
第 7 章	计算机集成制造与并行工程	148
7.1	计算机集成制造系统的概述	148
7.1.1	计算机集成制造系统 (CIMS) 的产生背景	148
7.1.2	CIMS 概论	149
7.2	并行工程	153
7.2.1	并行工程相关概念、核心问题及系统组成	153

7.2.2	并行工程的实施与应用	157
7.2.3	并行工程实施案例	160
7.3	并行工程与 DFX	164
7.3.1	概述	164
7.3.2	面向制造的设计	165
7.3.3	面向装配的设计	168
7.4	思考题	170
第 8 章	新兴技术概述	171
8.1	虚拟制造技术 (VM)	171
8.1.1	VM 概念	171
8.1.2	VM 特点	173
8.1.3	VM 分类	174
8.2	快速成型 (RP)	177
8.2.1	RP 技术产生背景	177
8.2.2	RP 技术的基本原理	178
8.2.3	几种典型的 RP 技术	181
8.2.4	RP 技术的特点	184
8.3	精益生产 (LP)	185
8.3.1	LP 的产生与定义	186
8.3.2	LP 的思想内涵	187
8.3.3	LP 的特征	188
8.3.4	精益生产与大批量生产方式的比较	189
8.4	准时制生产 (JIT)	190
8.4.1	JIT 与 LP 的关系	190
8.4.2	JIT 的基本手段	191
8.4.3	JIT 的看板管理工具	194
8.5	全面质量管理 (TQM)	196
8.5.1	TQM 的基本思想	196
8.5.2	TQM 的基本内容	198
8.5.3	TQM 的工作方式	199
8.6	先进制造技术的发展与展望	201
8.7	思考题	203
参考文献	204

第 1 章 概 述

近年来,我国机械工业发展迅速,制造业规模已达世界第四位,仅次于美国、日本和德国,已经成为世界制造大国。2003年,统计数据显示中国收录机年产量2.4亿台,DVD机2000万台,电话机9600万台,一次性电池170亿只,彩电产量占世界的29%,洗衣机占24%,冰箱占16%,微波炉占30%,显示器占42%,空调占50%以上,照相机占55%和玩具占70%,汽车工业也发展迅速,年增长率保持在15%以上,2003年产量达444.39万辆。但中国的制造业大而不强,仍处于较低水平,劳动生产率水平仅是美国的1/25、日本的1/26。在世界企业500强中,中国制造业仅有两家。在我国,由于劳动力价格便宜,大量生产的是劳动密集型产品,而一些高水平、高质量的产品,如数控机床、飞机、精密仪器等,还都依靠进口,无法自行生产。我国机械制造业与发达国家相比仍有较大差距。主要表现为如下几点。

(1) 制造技术比较落后。生产工艺和设备落后,加工精度低,生产周期长,整体生产效率低。落后的设备使生产系统硬件条件不足,而同样落后的工艺知识又限制了生产人员对生产制造流程的优化,软硬件两方面都存在许多问题,效率自然无法保证。国家和企业对研究开发投入少,技术创新少,没有新鲜的血液注入到制造行业,企业当然难以适应快速变化的市场。中国仍属于发展中国家,在研发工作方面可以适当采用跟随战略,也就是紧跟发达国家的的技术发展趋势,逐渐探索适合本国发展实际的方式,日本和韩国许多企业的成功就证明了这一途径的有效性。中国企业在这方面仍有待摸索和提高。这些问题还只是实际制造过程中暴露出来的,而要建立和维持一个高效的生产系统,还有着管理、人员等多方面的整体考虑。

(2) 企业管理水平落后。中国制造企业管理粗放,经营成本高,整体管理水平不高。这些年来,中国企业的管理者不断吸收外国企业管理的优秀经验,但是从学习到实践成功还有很长的路要走。中国的企业环境复杂,生产水平、生产能力、人员素质等都与国外发达国家制造企业有很大差距,因此,照搬国外的先进管理经验并不一定能取得成功,甚至在实施过程中就可能由于多种原因而半途夭折。根据我国企业的实际生产水平,寻找先进管理经验和实际生产能力的最佳平衡点,才能为中国制造企业的管理带来新的生机。

(3) 劳动力素质不高。中国之所以成为世界制造大国,很大程度是因为我国大量的廉价劳动力。制造企业中生产人员众多,但从事的大多是初级而且单一的重复性劳动,比如在流水线上只进行一个简单的动作,许多生产活动都不需要操作人员具备专业知识,对劳动力素质的要求不高。现代制造技术的发展使得生产人员从大量重复劳动中解脱出来,去

从事一些相对复杂的脑力活动，对技术的创新，对管理系统的改善，对劳动力的要求也就越来越高。要想成为制造强国，必须加强人才培养，提高人才素质，充分发挥劳动力的潜在价值，才能促进制造技术的应用和发展，不断更新管理观念和管理手法。

正是由于制造业面临着许多不足，我们亟待在技术、管理等多方面进行改进，先进制造技术的应用和开发已经成为制造业发展的趋势。先进制造技术是近几年频繁出现的词语，先进制造技术在机械制造业领域中的应用越来越广泛和深入，并且取得了很大的效果。从制造业两百多年的发展历史来看，20世纪70年代，美国的一部分学者把制造业视为夕阳产业，认为制造业已经穷途末路，企图把发展的重点转向服务业等第三产业，阻碍了制造业的发展。到了20世纪80年代末，美国重新认识到制造业在国民经济中的作用，而对制造业的现状进行深刻地反省和分析。同时，以计算机为中心的新一代信息技术迅速发展，与制造技术结合产生了许多新的技术，从而全面推动了制造技术的发展。先进制造技术作为一个专用名词，正是在这种背景下提出来的，并立即获得欧洲各国、日本及亚洲新兴工业化国家的响应。从20世纪90年代开始，先进制造技术在工业发达国家得到大规模的应用，并有大量专门人员从事先进制造技术的研究和开发。

先进制造技术是以提高制造企业对市场的快速响应能力和企业综合效益为目的，以计算机技术为支持，集机械、电子、信息、材料、能源和管理等各项先进技术而发展起来的高新技术。先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)指的是不断吸收信息技术和现代管理技术的成果，并将其综合应用于产品设计、加工、检测、生产管理、产品销售、使用、回收等制造全过程的制造技术的总称。先进制造技术作为一种系统的工程技术，可以划分为3个层次：一是优质、高效、低耗、清洁的基础制造技术，这是先进制造技术的核心，大多是生产中铸造、锻压、焊接、热处理、表面保护、机械加工等基础工艺经过优化而产生的；二是新型的制造单元技术，这是制造技术与信息、材料、能源、环境科学、系统工程、现代管理等高新技术相结合而形成的制造技术，如制造业自动化单元技术、极限加工技术、质量与可靠性技术、系统管理技术、CAD/CAM等；三是先进制造的集成技术，这是应用信息技术和系统管理技术，通过网络与数据库对上两个层次的技术集成而产生的，如FMS、CIMS以及虚拟制造技术等。

先进制造技术的应用和研发，深刻改变了制造业的设计方法、产品结构、制造方式、工艺设备和生产组织，极大地提高了生产率，拓展了制造活动的深度和广度，使制造业的面貌发生了巨大变化。一方面，先进制造技术在机械制造业的广泛应用，极大推动了机械制造业的发展；另一方面，机械制造业技术的更新和发展又集中体现着先进制造技术，并补充和丰富着先进制造技术。因此，先进制造技术在工业发达国家得到广泛应用，为制造企业带来了新的经济增长点，支撑起整个制造行业。先进制造技术的研发已成为衡量一个国家科技水平与制造业实力的重要指标。

下面从几个先进制造技术的主要方面来简单介绍一下其重要组成技术。

计算机技术从20世纪50、60年代诞生到现在的广泛应用，其发展速度让人难以置信。

与计算机技术结合的制造业新兴技术也迅速发展,对制造业产生越来越大的影响。各个企业都在进行信息化的过程,其信息化的程度也可以看作是衡量企业生产能力的指标。企业的信息化是个很庞大的工程,包括以下几个方面。

(1) 计算机辅助设计 (CAD)。它是以计算机为工具,协助设计人员完成设计的技术的总称。设计人员可以将设计思想、设计方法经过综合分析,转换成计算机可以处理的数学模型和解析这些模型的程序,计算机简单方便的输入方式避免了从前大量的手工作业,大大简化了设计人员的操作,也减少了实际的设计时间。在设计过程中,可以对设计结果进行评价,对设计过程进行控制,计算机以其快速的运算能力和庞大的信息存储能力,帮助设计人员出色地完成信息存储、绘图、优化和其他数值分析任务。计算机辅助设计包括的内容很多,如二维绘图设计、三维几何造型设计、有限元分析及优化设计等。

(2) 计算机辅助制造 (CAM)。它也是在计算机的帮助下,完成产品生产制造过程中的一些工作,诸如从毛坯到产品制造过程中的直接或间接的活动。狭义的 CAM 仅仅指数控部分的辅助制造。而广义上来说,则包括从工艺的设计、数控程序编制、生产计划的安排、生产资料的运输储存到生产过程的质量控制等,是内容上丰富得多的概念。

(3) 计算机辅助工艺规划 (CAPP)。它利用计算机技术帮助工艺人员进行零件从毛坯到成品的工艺设计,是将产品设计数据转换为产品制造数据的技术。它诞生于 20 世纪 60 年代末,几十年来一直在不断发展。它以工艺人员的设计流程为模型,建立零件的信息数据库和设备的工艺参数库,具有专门的工艺经验和知识库,通过一系列专门的标准规则来产生工艺过程,设计人员只需对计算机处理的结果进行适当的调整和修改就可以得到标准的工艺文件,避免了以前手工设计工艺步骤的大量画图和重复修改工作,大大提高了工作效率。

(4) 计算机集成制造系统 (CIMS)。计算机集成制造是利用现代自动化技术、信息技术、管理技术和生产技术,对生产企业从市场预测、产品设计、生产管理、加工制造,直到用户服务整个生产过程的信息进行统一管理、控制,以优化企业生产活动、提高企业效益与市场竞争力的思想方法和生产模式。而计算机集成制造系统则是借用计算机技术,将各项技术综合应用形成的一个具体的生产系统,是计算机集成制造思想的实现系统。CIMS 不是简单的工厂自动化,而是以信息集成为特征的技术集成,为企业提供了一个整体化、高效的生产系统。

(5) 管理理念的发展也为制造业带来了许多变革。新的管理思想与计算机技术相结合产生了许多新的领域。产品数据管理 (PDM),是一门用来管理所有与产品相关的信息(包括零件信息、配置、文档、CAD 文件、结构、权限信息、过程定义和管理)的技术。它以软件技术为基础,以产品为核心,实现对产品相关的数据、过程、资源一体化集成管理。PDM 系统管理的信息非常多样,凡是最终可以转换成计算机描述和存储的数据都可以利用 PDM 进行管理,例如 CAD 绘图文件、零件定义及设计数据、制造计划及规范、项目规划书、NC 编程文件、产品说明书、软件产品、各种电子报表、成本核算、产品注释等。PDM

系统可以被看作是一个集成框架，各种应用程序模块，诸如 CAD/CAM/CAPP、MRP 等，可以通过应用接口、封装等，直接作为对象而被集成进来，使得分布在企业不同地方的产品数据得以高度共享，为产品从设计到制造带来极大的方便。

(6) 物料需求计划 (MRP)。它是对物料进行管理的生产系统，也是一种生产计划系统，可以根据需求来确定物料的采购计划，尽可能降低物料的库存水平，同时还能根据产品本身的特点和物料供给信息来安排车间的生产计划。MRP 系统为生产的物料管理提供必要的信息，以保证能在预期时间内完成生产计划，避免库存积压。制造资源计划 (MRP-II)。它是在 MRP 的基础上发展起来的一种现代企业生产管理模式，也是一体化的企业管理系统。它将 MRP 的信息共享程度扩大化，生产、销售、财务、采购、工程技术等各子系统共用一个数据库，保持了数据的一致性。在 MRP-II 中，考虑的不仅仅是物料，而是包括物料在内的设备、人力、资金等一切制造资源，体现了对企业整体资源的规划和利用。

(7) 企业资源计划 (ERP)。它是以系统化的管理思想，将企业内部各个部门，包括生产、物料管理、品质管理、销售与分销、财务、人力资源管理、供应链管理等，利用信息技术整合在一个管理平台上的企业管理模式。ERP 将企业的各部门用网络联系起来，所有信息都在网上显示，工作人员可以获得与自身管理职责相关的其他部门的数据。信息的极大共享为企业管理人员提供了准确及时的信息，便于做出最优决策。通过网络，ERP 还支持集团化、跨地区、跨国界运行，将企业各方面的资源充分调配和平衡，从而取得更好的经济效益。

(8) 供应链管理 (SCM)。它指的是用供应链管理思想对整个供应链的经营活动进行组织、计划、协调与控制。供应链是由客户需求拉动的，供应链管理是包括对用户需求把握在内的整条供应链的优化运作，追求整体成本的最低化，最大限度地发挥供应链的整体优势，最终达到供应链成员整体获益的目的。

(9) 不仅是管理观念的改变，在产品的设计、生产运作、企业生产方式等许多方面的新思想、新概念，都为制造业带来了诸多变化。在产品的设计方面，有与计算机技术结合的计算机辅助设计，有从产品的全生命周期来考虑设计的并行工程，有与计算机模拟仿真结合的虚拟制造；在生产方式上，有新兴的快速成型技术，从企业各方面整体优化的精益生产，以客户需求为起点的 JIT，以及进行生产全过程控制的质量管理。

如上所述的许许多多的新型技术都为制造业注入了新的活力，为企业带来了高质量、低成本的产品，带动了整个制造业生产效率的提高。在本书后面章节中将一一介绍这些概念。

第 2 章 计算机辅助设计

2.1 CAD 技术概述

2.1.1 CAD 技术的发展概况

计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 技术起步于 20 世纪 60 年代。1963 年, 美国麻省理工学院 (MIT) 的学者首次提出 CAD 的概念。他们描述的 CAD 是这样的: 设计者坐在阴极射线管 (Cathode Ray Tube, CRT) 显示器前, 用光笔进行操作, 从概念设计到生产设计以至于制造, 都可以实现人机对话; 设计者对计算机显示的结果进行修改, 直至设计满意为止。正是这样一个在当时看来新奇的想法, 奠定了 CAD 技术的基础。

CAD 技术最先应用于发达国家的航空和军事工业中。但在其发展的初期, 受计算机速度和存储容量的限制, CAD 技术在整个 20 世纪 60 年代发展都很缓慢。

进入 20 世纪 70 年代以后, 随着计算机技术的高速发展, CAD 技术也取得了长足的进步。一批功能较强的 CAD 软、硬件研制成功, 外围设备日益丰富, 图形终端、数字化仪、光笔、绘图机相继出现并商品化, 为 CAD 技术提供了强有力的手段。从软件方面来说, 高级语言、数据库、计算机图形学、网络技术等的发展使 CAD 技术日趋完善。因此 CAD 技术在 20 世纪 70 年代得到了广泛的应用, 从飞机公司、汽车行业到电子行业, 甚至到建筑、服装设计领域都不同程度地采用了 CAD 技术。

20 世纪 80 年代以来, 随着计算机功能的进一步强大, 计算机设备和外围设备成本的下降, CAD 技术开始从大企业、大公司走向中小型企业公司。在小型机、微型机上开发的 CAD 系统开始出现。发达国家在 CAD 方面的投入也逐年增加。1989 年美国国家工程科学院将 CAD/CAM 技术评为当代 (1964—1989 年) 十项最杰出的工程技术成就之一。

四十几年来, CAD 技术和系统有了飞速的发展, CAD 的应用迅速普及。在工业发达国家, CAD 技术的应用已迅速从军事工业向民用工业扩展, 由高技术领域的应用向家用电器、轻工产品的设计和制造中普及。目前, 这一技术正在从发达国家向发展中国家扩大发展。

从 CAD 技术的发源地美国的情况来看, 许多大型公司成为了引领 CAD 技术发展的先锋, 如波音飞机公司、麦道飞机公司、通用汽车公司、福特汽车公司、美国石油公司、贝尔电话公司等, 都大量采用了 CAD 技术, 用来开发它们的新产品, 甚至致力于 CAD 系统的开发, 极大地推动了 CAD 技术的发展。同时, 许多大学也都较早开设了 CAD 专业和相

关课程, 比如哈佛大学、MIT、宾州大学、密执安大学、罗彻斯特大学、斯坦福大学、加州理工大学等, 都是这方面的先行者。

我国的 CAD/CAM 工作始于 20 世纪 70 年代, 三十几年来取得了长足的进步, 并已取得了良好的经济效益。一些高等院校, 如上海交大、浙大、北航、国防科大等, 一些产业部门, 如航空工厂、船舶总公司、第二汽车厂等在 CAD 方面做了大量的工作, 引进了一些系统, 并进行了自主的研究。少数大型企业, 如一汽、二汽等, 已建立起比较完整的 CAD 系统, 其应用水平也接近国际先进水平。许多中小型企业也应用 CAD 技术在保证产品质量、提高劳动率等方面取得了显著的经济效益。但总的说来, 国内在 CAD 技术应用的深度和广度方面与国外先进水平相比还有很大差距。

2.1.2 CAD 技术的功能和意义

计算机辅助设计是指在设计活动中, 利用计算机作为工具, 帮助工程技术人员进行设计的一切适用技术的总和。因此 CAD 技术是一个包括范围很广的概念, 概括来说, CAD 的设计对象有两大类, 一类是机械、电气、电子、轻工和纺织产品; 另一类是工程设计产品, 即工程建筑, 国外简称 AEC (Architecture、Engineering 和 Construction)。而如今, CAD 技术的应用范围已经延伸到艺术、电影、动画、广告和娱乐等领域, 产生了巨大的经济及社会效益, 有着广泛的应用前景。

CAD 技术包括的内容也很多, 如概念设计、计算机绘图、计算机仿真、有限元分析、优化设计等。在计算机辅助设计工作过程中, 计算机的任务实质上是进行大量的信息加工、管理和交换, 也就是在设计人员的初步构思、判断、决策的基础上, 由计算机对数据库中大量设计资料进行检索, 根据设计要求进行计算、分析及优化, 将初步设计结果显示在图形显示器上, 以人机交互方式反复加以修改, 经设计人员确认之后, 在自动绘图机及打印机上输出设计结果。在 CAD 作业过程中, 逻辑判断、科学计算和创造性思维是反复交叉进行的。一个完整的 CAD 系统, 应在设计过程中的各个阶段都能发挥作用。

CAD 技术在机械制造行业的应用最早, 也最广泛。就其在机械制造领域的应用来说, CAD 系统的主要功能包括如下几方面。

(1) 快速生成二维图形。它包括快速完成图形数据计算和二维图形元素的生成, 提供对图形元素的添加、删除和修改等编辑功能。

(2) 实现人机交互。它能够处理交互过程中输入和输出的图形、数据和相关信息, 并能根据系统配置的不同为输入/输出设备提供支持。

(3) 三维几何形体造型。它能够直接描绘三维物体, 一般包括如下几方面。

① 线框模型造型。系统能够提供在线框模型造型中描述物体的边和棱所需要的基本定义方法, 包括: 空间点的定义、直线段和曲线段的定义以及样条曲线的定义, 并在计算机内部生成相应的三维模型数据结构。

② 实体造型。系统具有定义和生成基本三维几何体素（如长方体、圆柱体、锥体和球体等）的能力，以及用体素构造法（Constructive Solid Geometry, CSG）或边界表示法（Boundary Representation, B-rep）构造实体模型的能力，并能够提供用规则几何形体构造产品几何模型所需要的实体造型技术。

③ 曲面造型。系统具有根据给定的离散数据和工程问题的边界条件，来定义、生成、控制和处理自由曲面的造型及过渡曲面的拼合能力，为用自由曲面构造产品几何模型提供了曲面造型技术。

（4）二、三维图形的转换。设计过程是一个反复的过程，而在这一过程中，产品三维立体模型和二维视图的转换是不可避免的。从图形系统的角度分析，设计过程也是由三维图形向二维图形转换，二维图形向三维图形转换的过程。因此，CAD 系统应该具有二、三维图形的转换功能。

（5）三维几何模型的显示处理。系统具有动态显示图形、消除隐藏线或隐藏面 and 进行彩色浓淡处理的能力，以便使设计者通过视觉直接观察、构思和检查产品模型。

（6）绘制工程图。在工程设计过程中，绘制工程图是必不可少的工作内容。因此对任何系统来说，除了具有在图形显示设备上输出图形的功能外，还应具有在绘图机或其他图形输出设备上绘制工程图的功能。

（7）运动机构的分析和仿真。系统具有分析机构运动的能力，即具有对运动机构的运动参数、运动轨迹和干涉检查进行研究的能力，系统还能够实现运动机构的仿真过程，从而为设计人员在设计运动机构时，提供直观的交互式设计技术。

（8）物体质量特性分析。系统具有根据产品几何模型计算相应物体的体积、表面积、质量、密度、重心、周长以及轴的转动惯量和回转半径等几何特性的能力，为系统对产品进行工程分析和数值计算提供必要的参数和数据。

（9）有限元分析（Finite Element Analysis, FEA）。系统具有用有限元法对产品的静态及动态特性、强度、震动、热变形、磁场强度和流场等进行分析的能力，并能够自动生成有限元网格，特别是复杂的三维模型有限元网格的自动划分能力更为重要。

（10）优化设计。一般来说，CAD 系统具有一定的产品设计评价和优化设计能力，如用参数优化法进行方案优选和产品设计的工艺性优化等。

（11）信息处理和信息管理。系统具有统一处理和管理有关产品设计、制造、装配及生产计划等全部信息（包括相应软件）的能力。或者说，应当建立一个与系统规模匹配的统一数据库，并能达到自动检索、快速存取和不同系统之间的数据交换和传输的目的。

（12）数控编程。系统具有生成数控加工程序和选择加工参数的能力，并能以图形方式显示刀具运动轨迹，对加工过程进行仿真，从而为用户提供识别、校核刀具运动和检查刀具干涉的手段。

与传统的机械设计相比，采用 CAD 技术进行产品设计不但可以使设计人员“甩掉图板”，更新传统的设计思想，实现设计的自动化，降低产品的成本，提高企业及其产品在市

场上的竞争能力；还可以使企业由原来的串行式作业转变为并行作业，建立一种全新的设计 and 生产技术管理体制，缩短产品的开发周期，提高劳动生产率。具体表现在以下 4 个方面：

(1) CAD 可以提高设计质量。传统的设计是依靠设计者的经验进行类比的过程，而在 CAD 系统的数据库中存储了各种有关专业的综合性的技术知识，为产品设计提供了科学的基础。计算机与人交互作用，有利于发挥人、机各自的特长，使产品设计更加合理化。有些国家的一次设计成功率高达 95% 以上，就是运用 CAD 技术的结果。另外，CAD 技术采用的优化设计方法有助于某些工艺参数和产品结构的优化；由于不同部门可利用同一数据库中的信息，还保证了数据的一致性。

(2) CAD 可以节省时间，提高生产率。设计计算和图样绘制的自动化大大缩短了设计时间。CAD 和 CAM（计算机辅助制造）的一体化可显著缩短从设计到制造的周期。由于现代产品正从少品种、大批量向多品种、小批量方向发展，所以缩短产品设计周期具有尤为重要的意义。有资料表明，与传统的设计方法相比，使用 CAD 技术可以使设计效率提高 3~6 倍以上。

(3) CAD 可以较大幅度地降低成本。计算机的高速运算和绘图机的自动工作大大节省了劳动力。同时，优化设计带来了原材料的节省。CAD 的经济效益有些可以估算，有些则难以估算。由于采用 CAD 技术，生产准备时间缩短，产品更新换代加快，大大增强了产品在市场上的竞争能力。

(4) CAD 技术解放了设计人员。从繁琐的计算和绘图工作中解放出来以后，设计人员可以从事更多的创造性劳动。在以往产品设计中，绘图工作量约占全部工作量的 60%，在 CAD 设计过程中，这一部分的工作由计算机完成，产生的效益十分显著。

2.1.3 CAD 系统的组成

一个完整的 CAD 系统是由计算机硬件和计算机软件构成的。设计人员通过人机交互或批处理的方式来控制和操纵 CAD 系统的运行过程，从而完成产品设计和其他有关的任务，比如产品模型设计、设计计算、工程分析、绘图、模拟和编制数控加工程序等。

1. CAD 系统的硬件

CAD 系统对硬件的要求一般都比较高的。20 世纪 70 年代，CAD 软件主要在大中型机上运行，硬件价格很高，所以很难在企业推广。20 世纪 80 年代末、90 年代初，由于图形工作站的性能价格比不断提高，各种 CAD 软件都移植到工作站上运行，主要的工作站有 SGI、SUN、HP、DEC、IBM 等。

20 世纪 90 年代以来，微机的性能有了很大的提高。现在，微机的 CPU 性能指标已接近或超越几年前的工作站的性能指标。国外一些主要 CAD 软件也都开始向微机移植，如 Pro/Engineer、IDEAS、UG 等，并在 Windows NT 或 Windows 95 平台上出现了一些优秀的

CAD 软件, 如 Solid works、MDT 等。微机 CAD 系统已经成为主流。

CAD 系统的硬件配置与通用计算机系统有所不同, 其主要差异在于 CAD 系统硬件配置中, 应具有较强的人机交互设备及图形输入、输出装置, 为 CAD 系统作业时提供一个良好的硬件环境。如图 2-1 所示为 CAD 系统的硬件组成, 下面分别介绍。

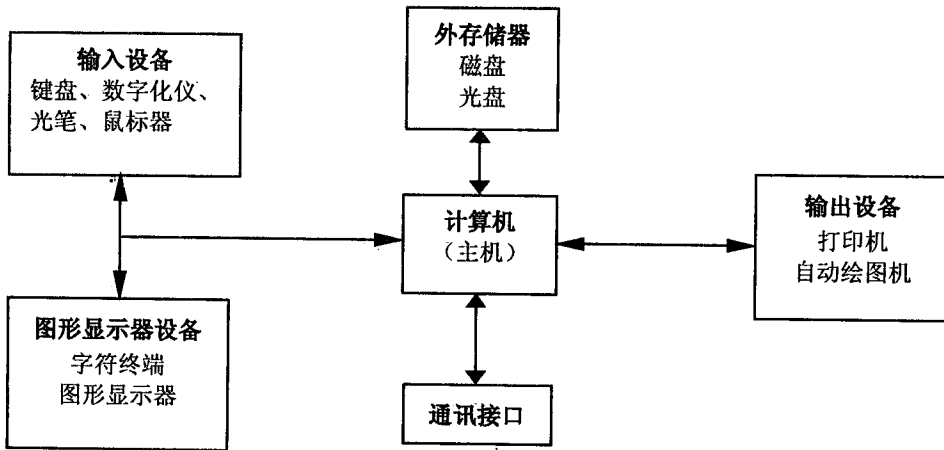


图 2-1 CAD 的硬件组成

(1) 主机

主机由中央处理器 (CPU) 及内存储器 (简称内存) 组成。主机是整个 CAD 系统的核心, 衡量主机性能的指标主要有如下两项。

① CPU 功能。CPU 的功能决定了计算机的数据处理能力、运算精度及速度。CPU 的功能常用每秒可执行的指令数目或进行浮点运算的速度这一指标来衡量, 其单位为 MIPS。一般情况下, 用芯片的时钟频率来表示运算速度更为普遍, 时钟频率越高, 运算速度越快。目前, 微机的主流芯片为 Intel 公司的 Pentium 系列芯片和 AMD 公司的 K6 芯片, 其时钟频率均为 300 MHz 以上。

② 内存容量。内存是存放运算程序、原始数据、计算结果等的记忆装置, 若内存容量过小, 将直接影响 CAD 软件系统的运行。内存容量越大, 主机能容纳和处理的信息量就越大。目前, 微机的内存容量一般均在 64 MB 以上, CAD 系统主机的内存容量应在 128 MB 以上更为适宜。

(2) 外存储器

外存储器简称外存。前面介绍的内存储器可以直接和运算器、控制器交换信息, 存取速度很快, 但由于内存储器成本较高, 又受 CPU 的直接寻址能力限制, 其容量通常是有限的。所以外存作为内存的后援, 可以将 CAD 系统中大量的程序、数据库、图形库均存放