

高等学校教材

电器计算机辅助设计

主 编	孟庆龙	王赞明	
参 编	崔芮华	周春来	陈堂功
	黄伟红	孟凡中	王 岚
	修士新	梁秀霞	武 兵

机械工业出版社

本书为适应电器领域推广应用计算机辅助设计技术而编写,是作者十余年科研成果和教学经验的总结。本书中较系统地介绍了有关进行电器CAD的基本理论、方法和技能,反映了CAD领域的最新发展,内容较丰富且有实例,各章附有小结和一定数量的习题,便于读者自学。

全书共分八章。主要内容有国内外电器CAD技术的最新发展,电器的数学模型,最优化设计,数据结构与数据库技术,几何造型与图形变换,计算机绘图技术,电器CAD系统的智能化,电器CAD系统的发展与相关技术。

本书可作为高等工科院校电机电器专业本科学生或研究生的选修课教材,也可供其他相关专业高年级学生、研究生学习CAD及从事CAD技术研究与应用的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电器计算机辅助设计/孟庆龙,王赞明主编. —北京:
机械工业出版社, 1998.12
高等学校教材
ISBN 7-111-06575-1

I. 电… II. ①孟… ②王… III. 电器-计算机辅助设计-
高等学校-教材 IV. TM502

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第20583号

出 版 人: 马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)
责任编辑: 卢若薇 刘 辉 版式设计: 张世琴 责任校对: 申春香
封面设计: 海之帆 责任印制: 路 琳
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1998年12月第1版第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·12印张·287千字
0 001—3 000册
定价: 19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

本书是根据高等学校电器专业教学指导委员会第五次会议审定的《电器计算机辅助设计》教学大纲而编写的。本课程是电器专业选修课。

大力发展中国的软件事业是当代中国最紧迫的战略任务之一。党的十五大要求全面实施科教兴国战略和可持续发展战略,还提出改造和提高传统产业,发展新兴产业和高技术产业,推进国民经济信息化。全面推广应用以计算机技术为基础的人工信息智能技术是已经开始了的新技术革命的关键所在。所以,发展软件产业,广泛地、全面地推广应用人工信息智能技术,成十倍地提高智力劳动和体力劳动的社会生产率,是一项必须完成的战略性任务。在广泛、全面地推广应用人工信息智能技术时,其中CAD技术占有突出的地位,它表征国家应用现代先进技术的综合技术水平。我国规划:到本世纪末,主要的设计和企业部门普及CAD技术,实现产品设计现代化将成为现实。预计到那时,CAD人才约需50万人,因此CAD基础教育已刻不容缓。本教材的任务就是为电器行业培养上述人才的宏大目标提供一本合适的基础教程。同时,通过本课程的学习,使学生初步掌握应用计算机进行电器产品的结构设计和特性分析的能力。

本教材扼要地介绍了电器计算机辅助设计的理论和方法。内容包括CAD技术的发展概况及CAD系统,电器数学模型分析与简介,工程数据库技术,结构造型与自动绘图,智能CAD与专家系统以及CAD相关的技术等。

本书可以作为电机电器专业的本科学生和研究生教材,也可供工程技术人员和其他相近专业的师生作参考。

书稿中第一、二章由王赞明教授编写,第三章由陈堂功讲师编写,第四章由崔芮华博士编写,第五章由孟庆龙教授、王岚讲师和武兵硕士编写,第六章由周春来高级工程师、黄伟红讲师和王赞明教授编写,第七章由孟庆龙教授、修上新博士、陈堂功讲师编写,第八章由孟凡中高级工程师和梁秀霞硕士编写,全书由王赞明教授、崔芮华博士校阅,对有关章节进行了修改和补充,并提供了修改意见。研究生贾文军、徐涛和张怀亮对书稿进行了录入工作,并对有关章节提出了修改意见。本书由孟庆龙教授和王赞明教授主编。

哈尔滨工业大学刘茂恺教授对本书也进行了审阅,并提出了许多宝贵意见和建议,谨致以深深的谢意。

由于时间仓促,且受水平所限,不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

主编: 孟庆龙 王赞明

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 电器设计的一般方法	1
一、电器设计技术的发展过程	1
二、电器设计的一般过程	2
三、CAD 技术的发展过程	2
四、国内外电器 CAD 技术的应用情况	5
第二节 CAD 系统的构成	6
一、CAD 系统的硬件	6
二、CAD 软件	7
第三节 CAD 系统的型式	9
一、信息检索式设计系统	9
二、自动设计系统	9
三、交互设计系统	10
第四节 CAD 系统开发的准备工作	11
一、CAD 系统应用市场的跟踪	11
二、企业现状及 CAD 需求分析	11
三、CAD 系统的选择	12
四、系统的运行准备	12
第五节 CAD 的标准化	12
小结	13
习题	13
第二章 电器数学模型	14
第一节 数学模型的概念与 一般方法	14
一、数学模型 (Math Model)	14
二、建立数学模型的方法	15
三、模型的修正与近似	15
第二节 电器数学模型的 综合分析	16
一、电磁机构的数学模型及其数 值解法	16
二、电器中的温度场问题	30
三、电弧弧柱等离子体的数学模型	37
小结	39
习题	39

第三章 最优化设计	41
第一节 概述	41
一、最优化概念	41
二、最优化方法	41
第二节 一维搜索法	42
一、搜索区间的确定	42
二、Fibonacci 法与黄金分割 法——区间消去法	43
第三节 无约束最优化方法	45
一、坐标轮换法	45
二、Powell 法	46
三、单纯形加速法	48
第四节 约束最优化方法	51
一、随机试验法	51
二、SUMT 法	53
三、SWIFT 法	56
第五节 几种全局最优化方法	57
一、模拟退火法	57
二、模拟进化法	59
小结	60
习题	60
第四章 数据结构与数据库技术	62
第一节 数据结构	62
一、静态数据结构	62
二、动态数据结构	62
第二节 数据库结构	64
一、数据模型	64
二、数据库结构	66
第三节 数据库管理系统	67
一、关于 DBMS 的几个概念	67
二、DBMS 的功能及系统软件的 典型结构	68
第四节 电器 CAD 数据库应用 系统设计	69
一、CAD 数据库的优点	69
二、CAD 系统数据特点	69

三、CAD 数据模型	69	习题	107
四、CAD 工程数据库的特点	70	第六章 计算机绘图技术	108
五、CAD 数据库的分类	70	第一节 绘图技术	108
六、CAD 数据库的总体结构	71	第二节 图形显示技术及装置	109
七、CAD 数据库设计方法简介	71	一、图形显示器的基本原理	109
第五节 当前工程数据库发展中的		二、IBM PC 显示器	111
几个特点	72	第三节 图形输入设备	112
一、参数化绘图	72	一、键盘功能	112
二、工程数据库技术	73	二、图形输入板	113
小结	75	三、光笔	113
习题	75	四、操作手柄、跟踪球、鼠标器	114
第五章 几何造型与图形变换	76	五、图形扫描输入仪	114
第一节 三维形体的描述——		六、声音输入装置	114
几何造型	76	第四节 图形输出设备	115
一、形体模型的几何信息和拓扑信息	76	一、打印机	115
二、线框造型 (Wireframe Modelling)	77	二、绘图机	115
三、表面造型 (Surface Modelling)	78	第五节 交互绘图技术	118
四、实体造型 (Solid Modelling)	79	一、交互输入功能的实现	118
第二节 实体造型技术及其方法	79	二、交互修改功能的实现	123
一、实体造型的定义与性质	79	三、参数化绘图	125
二、基本算法	81	第六节 AutoCAD 绘图软件包	126
三、实体模型的造型方法	83	小结	127
四、实体模型造型方法简介	84	习题	128
第三节 参数化造型和特征造型	88	第七章 电器 CAD 系统的智能化	129
一、参数化造型	88	第一节 传统的 CAD 技术所面	
二、特征造型	89	临的问题	129
第四节 二维几何变换	92	第二节 智能化 CAD 系统	131
一、几何图形变换的概念	92	一、设计概念与特点	131
二、齐次坐标和齐次变换矩阵	92	二、设计的方法与步骤	132
三、常见几何变换矩阵	93	三、设计过程中的知识	133
第五节 三维几何变换	95	四、实现智能 CAD 的策略	134
一、平移变换矩阵	95	五、开发智能 CAD 系统——专家	
二、比例变换矩阵	95	系统	134
三、绕坐标轴旋转变换矩阵	96	第三节 专家系统的特性与构成	136
四、投影变换矩阵	96	一、专家系统的定义	136
五、例题	97	二、知识库与知识表示	137
第六节 三维变换矩阵的应用	98	三、知识获取	141
一、投影的分类	98	四、推理机	143
二、三面正投影变换矩阵	99	五、人工智能语言	144
三、轴测投影变换矩阵	101	六、专家系统工具	144
四、透视变换矩阵	104	第四节 继电器 CAD 专家系统	145
小结	106		

一、开发的目 的	145	推广应用	163
二、系统总体设计	146	一、成组技术的理论基础——相似性原理	163
三、系统功能的具体实现	147	二、零件分类成组法	165
第五节 模式识别在 CAD 中的应用	150	三、成组技术用于产品设计	165
一、模式识别理论及方法简介	151	四、成组技术的发展与计算机发展技术相结合	167
二、图样自动输入及其识别系统	153	第五节 计算机辅助工艺设计	168
三、由三视图构造三维实体	154	一、概述	168
小结	154	二、CAPP 系统的结构与原理	170
习题	155	三、CAPP 系统的设计步骤	174
第八章 电器 CAD 系统的发展与相关技术	156	第六节 电器的模块化设计	174
第一节 概述	156	一、模块化设计的概念	174
第二节 计算机辅助制造集成系统	157	二、模块化设计和传统设计的关系	176
第三节 机电制造系统自动化及其发展	159	三、模块化设计的基本原理和方法	178
一、大批量生产的自动化	160	四、模块化设计与成组技术和 CAD 技术相结合	181
二、多品种小批量生产的自动化	160	五、模块化设计的技术经济意义及发展前景	181
三、柔性制造系统在电器制造中的应用实例	161	小结	183
第四节 成组技术在电器中的		习题	183
		参考文献	183

第一章 绪 论

第一节 电器设计的一般方法

一、电器设计技术的发展过程

电器设计是电器产品从设计、制造、装配、销售到使用整体中的最重要的环节，它对产品性能的影响通常占 80%。设计技术的发展大致经历了下述三个发展阶段：经验设计阶段、科学实验设计阶段和计算机辅助设计阶段。

1. 经验设计阶段 从 19 世纪到本世纪 40 年代中期，电器产品的设计是以物理基本定律和生产经验为基础，应用一些具有经验系数的公式，完成典型计算。样机图样产生后试制成样机，进行反复试验和多次修改，直到满足原定技术条件，试制才告完成。这种方法只能掌握整机的综合性能，而对零部件性能掌握甚少。由于对产品的各部件缺乏系统、科学的试验，整机试验分析也不够深入，对产品在临界、瞬态情况下的研究亦不充分，再加上受测试手段和试验方法水平的限制，所以新产品研制周期长，寿命和质量指标低，所设计的结构件的安全裕度较大，材料消耗也较多。

2. 科学实验设计阶段 从 40 年代后期到 60 年代后期，国外技术先进的电器企业都致力于改进和充实试验手段，提高测量技术水平，加强了新产品的基础技术和零部件的试验研究，不断改进与发展模拟技术及模型试验，使大型电器产品的专用试验台（站）更加完善。其技术特征，一是产品整机试验日益完善，能在各种环境使用条件下对产品的性能和结构稳定性进行测试；二是对产品的部件进行材料力学、热学和电磁学等方面的试验和技术分析，从而掌握了主要部件的应力应变、弹性疲劳、机电振动、电磁作用力等规律。这样，新产品的质量可靠性、寿命和效率得到提高，材料消耗降低，更新换代周期也缩短了。60 年代，国外已开始将计算机应用于电器产品的电磁设计，缩短了设计时间；弥补了新产品型式试验的不足，加强了技术分析。这一阶段也称为 CAD 技术发展的起步阶段。

3. 计算机辅助设计阶段 自 70 年代初，由于计算机功能的日益提高，应用日益普及，在产品零部件、整机作用规律的进一步明确的基础上，使得计算机的应用进入了产品的设计领域，并使其面貌为之一新，设计技术也就进入了一个新的阶段——计算机辅助设计阶段。先后出现了 CAD (Computer Aided Design——计算机辅助设计)，CAPP (Computer Aided Process Planning——计算机辅助工艺规程设计)，CAM (Computer Aided Manufacturing——计算机辅助制造) 等计算机与各部类工业技术相结合的新技术。其应用遍及各个工业部门，用于完成分析、研究、设计、工艺编程、测试检验、生产制造、管理等各项工作，使人类科学进步历史迈出了巨大而关键的一步，人类利用它使自身的创造力产生了一个飞跃。70 年代人们惊叹计算机应用进入一个又一个的领域。现在感到疑惑的是：是否还存在其尚未涉及的处女地？

CAD 广义是指凡有计算机参与的设计过程，如发展新产品的技术分析和计算，成套工程的设计计算等。若仅就 CAD 系统来说，是指对某种新产品和零件的全部设计过程完全由计算

机辅助完成,包括零部件分解设计、编制材料明细表、自动绘图、用智能终端进行实时交互式设计修改,直至获得最优化设计。最后输出加工指令和数据,供生产线上的CAM系统自动加工完成。总之,CAD是综合计算机硬件技术、软件技术、自动绘图技术、计算技术、数据库技术和各类工程技术的产物,是人类的创造力和计算机高速性、可靠性的结合,它能够完成过去靠人工难以完成或不能完成的工作,是一门正在推动工业生产向更高层次发展的新技术。采用CAD可显著提高设计质量、缩短设计周期、减少错误、降低成本、提高劳动生产率,是加速产品更新换代,改造传统生产过程的必由之路,是衡量一个国家工业水平的重要标志。

二、电器设计的一般过程

典型电器产品设计过程大致可分为以下五个步骤:

1. 调查研究阶段 其中心任务是了解已有产品的市场情况和技术、经济指标以及发展趋势,对这些情况进行综合分析,确定欲研制的产品的相应指标,从而避免重复开发的浪费,并使研制工作立足于先进技术的基础上,完成概念设计。

2. 建立符合实际情况的数学模型 对完成概念设计的方案进行设计实现:绘制总布置图,确定各部件基本结构和形状;根据内在规律、经验以及实际观测,按照所需解决的特定问题,将其用数学语言表达出来;再经过必要的科学抽象和简化,建立相应数学模型。

3. 模型的求解和结构设计 工程中数学模型一般采用数值解法求解。对主要设计参数进行分析计算与优化,确定内部结构,进行结构设计,完成总布置图和零部件图。

4. 样机试验与分析 按结构设计结果制成样机,然后对样机进行规定指标的考核试验,以检验其是否达到设计要求,并对各部件及整机进行分析,提出改进意见。

5. 编制技术文件 以上各步骤中,尤其是第二到第四步,常常需经过多次循环反复,直到满足技术要求为止。设计流程图见图1-1。

电器产品的设计是一个“设计-评价-再设计”的反复更新、不断优化的过程。目前的工程设计周期长,而当前市场85%的生产是多品种小批量,因此实现设计自动化,缩短设计周期,降低设计成本,提高设计质量,就成为电器产品设计发展的迫切要求,将人工经验设计变为自动化设计,以适应市场瞬息万变的需求。这就产生了CAD计算机辅助设计。

三、CAD技术的发展过程

计算机辅助设计(CAD)技术是用计算机及其外围设备,辅助人们进行工程和产品设计的一种新技术,用它可以改造传统的人工设计方法,极大地提高设计效率和设计质量,它随着微电子技术、计算机技术及其外围设备、图形设备及其软件的发展而发展,并日趋完善。

CAD技术经历了早期准备、形成与推广应用、应用日益广泛和蓬勃发展以及标准化、集成化、智能化等若干个发展阶段。

1. 早期准备阶段 从50年代开始,计算机开始应用于数值计算和工业控制。1956年研制成阴极射线管CRT显示器,1958年研究出平板绘图仪和滚筒式绘图仪,为交互式CAD技术提供了有效的显示、输出手段。

2. 形成与推广应用阶段 进入60年代以后,1962年美国麻省理工学院(MIT)林肯实验室Ivan Sutherland发表的博士论文首次提出了计算机绘图学、人机通信、交互技术、分层存储符号等数据结构的新思想。这一发明被认为是计算机图形学发展史上的一个里程碑,为人机交互式CAD系统的进一步发展奠定了理论基础,推动60年代中期CAD技术的迅速发展,并使其进入了实用阶段。这个时期的CAD技术的特点是工程数值计算和工程绘图分别由两

个独立的软件系统完成，而绘图是用绘图机完成的。还未形成在屏幕上进行绘图的交互功能，主要用于汽车、航空、造船等工业部门。这就是第一代CAD系统的特征。

3. 应用日益广泛和蓬勃发展的阶段 进入70年代，随着计算机技术、计算技术和图形处理技术的发展，尤其是超大规模集成电路的出现，使计算机的运算速度迅速提高，存储容量大大增加，计算功能显著增强；有限元法和最优化等数值计算方法的日益完善并大量应用于工程设计，从而应用计算机可设计出更为复杂的产品；高分辨率图形终端的出现，绘图机精度和速度的提高，高性能的数字化仪以及手动游标和光笔等多种型式的图形输入设备的应用，同时推出各类高性能的绘图软件（从二维扩展到二维半）。应用软件和硬件配置的日趋完善，形成了人机交互式的绘图系统，使CAD技术水平达到了新的高度。交互式CAD系统的出现，成为第二代CAD技术发展的特征。

微处理器的广泛使用，功能更强、价格低廉、配套齐全的小型CAD系统的出现，推进了CAD技术的应用从大型企业走向中小型企业，进一步普及了CAD技术的应用，同时面向中小企业的商品化CAD/CAM系统不断面市。

1983年IBM公司推出了IBM PC/XT后，配置了硬盘存储器，以PC为主机的CAD系统相继问世。该系统配置简便、功效显著、性能价格比优异，非常适宜于在中小企业中推广应用CAD技术。尤其80年代中期以后，Intel公司开发出16位的80286、80386微处理器，最近几年又研制出32位的80486、奔腾（Pentium）以及奔腾Ⅱ（Pentium Ⅱ）微处理器，主频速度达300MHz以上，可以满足CAD中所需的浮点运算及图形处理功能。高档微机组成的CAD系统成为CAD技术推广普及发展的重要方向。现在还可以利用数字通信及联网，共享主机和工作站的资源，这更为PC-CAD系统的发展开辟了广阔的前景。

据近几年的统计，美国各行业的CAD应用率为：大型汽车业100%，电子工业60%~70%，机械行业63%，建筑业40%；德国的机械行业，千人以上的大型企业CAD工作站普

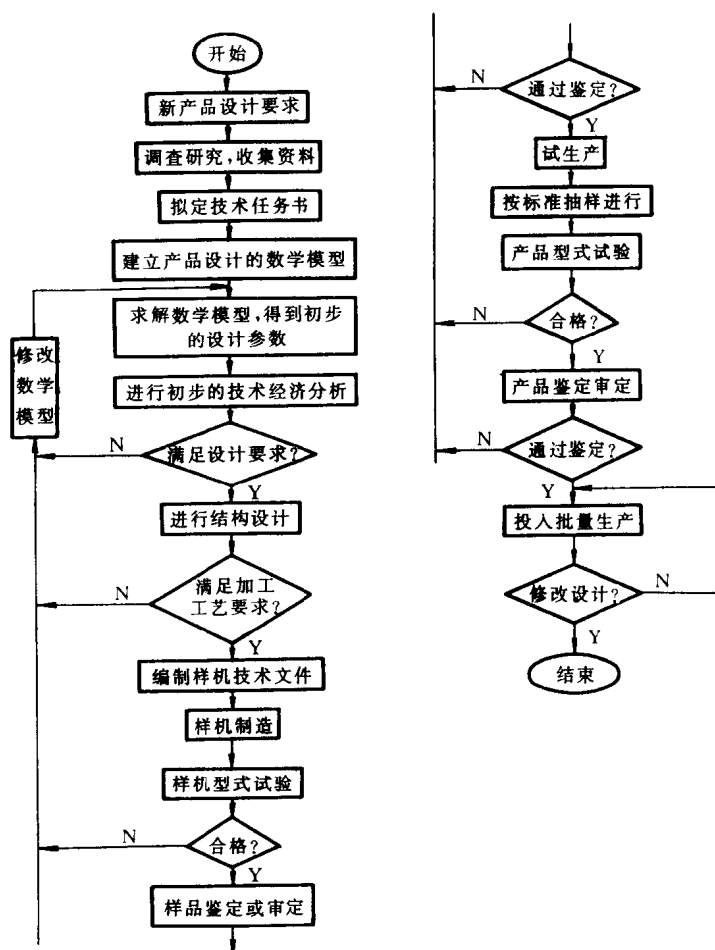


图 1-1 产品设计流程图

及率已达 59%，300~1000 人的企业为 57%，300 人以下的企业为 42%。德国现在已有 18 万人以上的 CAD 工作位置，从事着 15% 左右计算机能够做的工作。随着计算机技术的发展，将进一步推动 CAD 技术的普及应用。

我国从 70 年代开始引进一些大型机 CAD 系统，主要用于汽车、造船、航空等工业部门。80 年代开始，伴随着我国引进大量先进的计算机系统，小型机、微型机大量普及，促进了 CAD 技术的迅速发展，并取得了明显的效益。1991 年的统计表明，我国大型设计院 90% 以上的计算工作、50% 的方案设计、25% 的绘图工作均已用 CAD 系统来完成。采用 CAD 后工程设计行业提高功效 3~10 倍，航空、航天的科研试制周期缩短了 1~3 年；机械行业的科研和产品的设计周期缩短了 1/3~1/2，提高功效 5 倍以上。

4. 标准化、集成化、智能化的发展阶段 80 年代中期以后，CAD/CAM 技术向标准化、集成化、智能化方向发展。CAD 技术的进一步推广应用，以及硬件的迅速发展，使图形软件标准化成为迫切需要解决的问题。从而，一些标准的图形接口软件、标准的图形功能如 CORE 图形标准，计算机图形接口 CGI、计算机图形文件标准 CGMC、计算机图形核心系统 GKS、面向程序员的层次交互式图形标准 PHIGS 以及基本图形转换规范 IGES 相继研究出来，使图形接口和图形功能日趋标准化。这些标准的制订和采用为 CAD 技术的推广、软件的移植、资源（数据）信息的共享起到了重要的促进作用。

随着计算机应用的不断扩大，CAD 系统由过去单一的产品设计功能，走向了由 CAD、CAPP、CAM 和 CAT 等多功能综合的计算机辅助技术，形成了所谓的计算机辅助工程（Computer Aided Engineering，简称 CAE）的新概念。

传统的 CAD 系统只能产生工程图及有关的技术说明，只有把 CAD、智能专家系统及生产制造结合在一起，才能进一步提高设计水平、生产力和加工水平。不论 CAD 的应用范围有多么广泛，它在各个具体的应用领域总是面向某个专业。利用专家系统这类开发工具进行辅助设计，可以使知识信息处理、决策判断和一般的数值信息处理结合起来，充分利用专家广泛的知识和实践经验来求解专门问题。若通过工程数据库、基本图形转换规范以及相关应用接口，实现 CAD、CAPP 及 CAM 的集成化，就能促进设计生产的自动化，并进一步使其发展成为设计、制造、生产和管理连成一个统一体。不仅在设计和制造中应用计算机，而且在材料的库存管理、生产计划、财务管理、销售等领域中使用计算机，并通过计算机通信、控制连成一个整体进行工作，所以也称为计算机集成制造系统（CIMS: Computer Integrated Manufacturing System）。制造业的发展趋势是向 CIMS 方向迈进，目标是实现产品设计、工程分析、加工、装配、测试、管理都由计算机集成化的系统来完成。从而可取得各种效益，如降低成本、在制造业的各个层次上增加了灵活性、使操作连续化、缩短设计及生产周期、提高劳动生产率和实现优良的产品质量等，必然使企业的经济效益和社会效益显著提高。

CIMS 系统的结构图如图 1-2 所示。

网络技术在 CAD 系统中普遍采用，使近程和远程的资源能同时为多用户所共享，使不同节点及不同地区的用户能够协同工作。多处理机、并行处理技术用于 CAD 系统中，使工作速度成倍地增加。CAD 系统中有许多国际标准和常用算法可以用集成电路和专用的功能块来实现，可大大提高运行速度。

人工智能和专家系统技术在 CAD 系统中的应用，使设计向自动化、最优化前进一步，而且还适应多方面的要求，出现了 AICAD 技术新学科，它将工程数据库及其管理系统、知识库

及其专家系统、用户接口管理等系统集成于一体。

实体造型和仿真技术的应用,推动了CAD技术向更高的层次发展。随着三维、彩色、具有浓淡效应和模拟不同光照效果的图形显示技术的发展,使CAD系统所实现的三维实体造型更具真实感。目前对零件、部件、动态轨迹都可以采用实体造型技术来建立各种模型,为CAD和CAM系统提供几何信息和拓扑信息。目前具有实体造型的CAD系统已进入商品化阶段。实体造型(Solid Modelling)正在成为CAD系统的基本构成部分。仿真(Simulation)技术和造型密切相关,例如在产品设计中可以应用仿真技术分析零部件的应力分布、弹性变形和振动等问题。利用图形学显示计算结果的过程称为可视化(Visualization)技术。

四、国内外电器CAD技术的应用情况

国外电器行业对成套电器、开关、继电器及接触器的设计基本上均采用CAD技术。日本东芝公司开发了一种带有CAD的自动生产系统(PAS),采用了检索式和会话式两种CAD系统,应用于电机、变压器、开关板、低压电器、高压断路器等新产品的开发和研制,同时还应用于自动化、保护装置和集成电路的计算机辅助设计。利用这一系统使生产准备周期缩短为原来的1/5~1/10。日本三菱电机公司专门建立了设计系统中心,用于改善、推进设计,以I-DEAS系统为核心开发了塑壳断路器CAE系统,使塑壳断路器通断机构的设计、分析自动化,将2DCAD系统的数据过渡给3DCAD,然后引入到ADAMS系统进行分析,使连杆机构的动作可视化,可以进行必要的模拟仿真,并正在开发热设计系统TNET、弹簧设计系统VENUS、树脂成型分析系统MOLBFLOW,为以后设计一体化作准备。在CAM中配备了加工中心用的SUNCS-MC,线切割用的SUNCS-WC,激光划片用的SUNCS-LC,转台冲孔用的SUNCS-TP,板金展开用的SUNCS-BT和做成NC数据的刀具NCOT。美国通用电气公司和西屋电气公司已对低压电器、变压器、电机等产品采用了计算机辅助设计,其CAD系统中包括有二维、三维图像处理程序等。德国西门子继电器厂的设计人员可以将用户提出的继电器的技术参数输入计算机,在系统的推荐下选择较为理想的结构模式,然后调用隶属于该结构模式的技术参数输入计算机,在系统的推荐下选择较为理想的结构模式,然后调用隶属于该结构模式的各零部件,并逐一在屏幕上显示,除显示对应于该零部件的轴测图、三视图以及编辑命令菜单外,同时显示零件的尺寸及物理参数等。设计人员可以用鼠标器或键盘选择编辑命令,对零部件进行修改、更新。在所有零件设计完毕后,可以组装成装配图。设计人员还

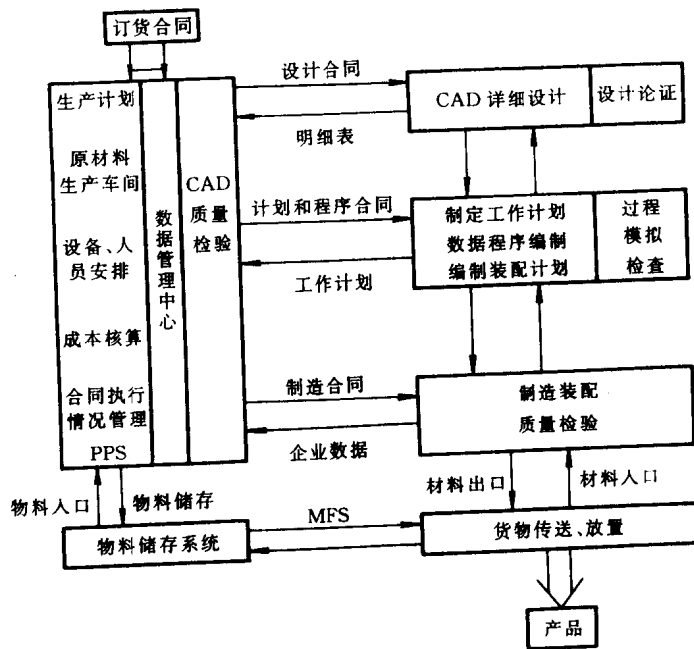


图 1-2 CIMS 系统的结构图

可以应用绘图程序对设计的新产品进行图样绘制；可以通过相关的算法和程序对产品的电磁、机械动态特性，热特性等进行模拟分析；对设计进行检索、校正，当不符合设计要求时重新进行设计；当满足设计要求时或作为最终产品时，与其他设计方案进行比较，选择最优设计方案。该系统还包括一个线圈骨架的快速造型 CAM 系统，用于加工线圈骨架。它是利用由计算机控制的光来照射一种特殊的装在一透明容器内的液体，该液体受光照后凝固，按加工要求一层一层照射，从而加工成线圈的骨架。该骨架的加工时间短，缩短了产品的研制周期，这一系统还可用来加工模具。

我国 CAD 技术的研究虽然起步较晚，但近十几年来发展较快。在电子工业领域主要用于印制电路板和集成电路的设计和制造，以及半导体器件的模拟等方面。其软件包括逻辑模拟、自动布线、设计规范检查和掩膜图生成等，均已达到实用化水平。在机械、航空、造船和汽车等骨干企业，大都采用从国外引进的大型 CAD 系统，经过一段时间的消化和二次开发，已开始发挥作用。与此同时，国内的一些高校和研究机构也陆续开发了一批机械、电子及电器 CAD 软件，其中包括二、三维交互绘图、几何造型、有限元分析、特性计算、数控指令生成等功能。软件大都面向微型机，便于推广。电器行业的 CAD 工作也开展得相当广泛，有电磁铁及电磁系统的 CAD，电器产品的动特性研究和优化设计，开关板、保护屏等成套装置的 CAD，模具的 CAD 等多种应用，获得了较好的成果。但从总体上看，我国电器 CAD 的研究还处于起步阶段，实际应用还不普遍。一是因为开发单位缺少将软件系统作为商品推向市场的意识，系统通用性欠佳；二是工厂企业缺乏引入新技术的紧迫感。故需要科研开发单位和工厂企业进一步合作，做些踏实细致的工作，使研究成果更快地转化为生产力。同时也需要工厂企业的进一步重视 CAD 技术的推广与应用。

第二节 CAD 系统的构成

CAD 系统的基本构成可分为硬件和软件两部分。

一、CAD 系统的硬件

CAD 系统的硬件基本是由计算机、常用外围设备（外存和图形显示终端）及图形输入输出设备组成。根据不同的用户要求，其硬件存在不同的组成：普及型、工作站型和主机成套型等。

1. 主机成套型 主机成套型系统是以高性能的大型通用计算机作为主机，用分时方式连接几十个乃至上百个图形或字符终端。其特点是计算机来自大型计算机公司，维护很好，可以从公司得到较多的服务项目，可较好地解决通信、保密及数据库管理问题。可带有较多的终端，这意味着众多的终端可以从一个数据库存取数据。

主机系统在内存方面至少有 128MB 以上的容量，硬盘容量以数万 MB 计，与主机相配有高档外围设备。这类系统的功能很强，适应于对大型、复杂、精密的产品 CAD，如大型汽车厂、飞机厂及发电设备厂等生产产值高，产品寿命长的企业。但这种系统一次投资大，对产品方向的变更适应性不太灵活。

2. 工作站型 CAD 工作站是具有高功能计算、图形交互处理能力的单用户计算机系统。其特点如下：

32 位字长的 CPU；内存容量一般在 64MB 到 128MB，硬磁盘容量可达数千 MB；具有高

分辨率的大屏幕图形显示终端；可以在局部网络中使多用户共享资源。

在我国应用较多的是 SUN、HP/APOLLO、SGI 及 DEC VAX 工作站。工作站成功的标志是面向为数众多的中型企业。能满足其解决工程设计问题的需要。它支持大型应用程序，并具有强有力的图形功能，克服了大型机响应时间慢以及微型机硬软件资源贫乏的缺点，在采用网络技术后，又进一步克服了计算机资源私有和共享的矛盾。在其功能提高的同时，价格也为大多数企业接受。

3. 微机普及型 对用户来说，能完成 90% 大型机的设计功能，而其价格仅为 2%~10% 的微机 CAD 系统，当然是一种很好的选择，况且生产一般产品的企业也用不着非把自己的 CAD 系统装备成能够设计飞机等复杂产品。目前有些微机具备了某些大型机的指标。配备 32 位奔腾多功能处理器的高档微机主频速度达 200MHz，可用内存达到 64MB~128MB，硬盘容量已达 1G。显示器的分辨率和图形功能也大大增强，分辨率可达 1650×1024。最近各公司又推出了功能更强的图形卡。

4. 微机网络服务器型 将独立的 CAD 系统通过网络联接起来，用户能共享网络内全部软、硬件资源，可以使工作小组共同进行某个产品的辅助设计，这一形式将成为今后微机 CAD 主要使用的环境之一。CAD 系统常采用局域网：总线网、环形网和星形网的网络型式。网络软件常用 NetWare 和 TCP/IP 的 NFS 网络文件系统。网络软件的使用会或多或少占用一定内存，会使运算速度受到影响。利用网络技术使微机、工作站和大型机相连，利用数字通信及联网，可用共享主机和工作站的资源。这种系统有着众多的用户和广阔的应用前景。

二、CAD 软件

CAD 软件的发展是趋向于标准、集成。操作系统及编程语言软件、网络管理软件、数据管理软件称为系统软件，为用户提供一个好的软件工作及开发环境；交互式图形显示软件、工程应用软件和用户二次开发的专用软件则构成应用软件。

(一) 系统软件

1. 操作系统 操作系统是计算机及外围设备整体系统资源的管理软件。常见的操作系统有 UNIX, OS/2, DOS, Windows 等。虽然在 CAD/CAM 领域中各公司开发的系统大都在各自的专门操作系统下运行，但越来越多的公司在最近开发的系统中都注意到与标准操作系统兼容。

(1) DOS 是面向微机的操作系统。它具有很强的功能，但仅直接管理 640K 内存，为单用户操作系统。它使用较简单，支持着众多的应用系统。

(2) OS/2 操作系统是 IBM 公司开发的操作系统，它有虚拟内存管理能力，可以管理 1G 的内存容量，完成多种工作，也具有窗口图形管理功能，是一种多用户操作系统。

(3) UNIX 操作系统是由 AT&T 公司贝尔 (BELL) 实验室开发的与计算机型式无关的具有虚拟内存寻址能力的操作系统。对程序的大小没有限制，是一种多用户、多功能的操作系统。专家预料，UNIX 将会成为 CAD/CAM 领域的主要操作系统。现在大约 50% 工作站用计算机是在 UNIX 操作系统下运行的。

(4) Windows 是由视窗、菜单、按钮等图形对象组成的一个图形用户界面。用户的操作就是对这些图形对象的操作。现在应用的越来越广泛，可为新一代操作系统。它构成了多任务、多窗口的工作环境，采用位图形或图标、窗口、菜单、按钮等界面组成部分。用鼠标移动光标，直接指点图形对象完成各种操作。界面可裁剪和定制，有出错保护与强有力的学习

指示功能,提供强有力的开发工具,使用户的应用纳入它的环境当中。典型的视窗软件有在 UNIX 环境下的 Open Windows, Motif, DEC Window, Office Vision, 在微机上有 Windows 3. X、95、98、NT, Macintosh, 以及在 OS/2 操作系统上的 Presentation Manager 等。

2. 编程语言 计算机语言是一种人与计算机硬件理解和沟通的约定,通过用语言的表述即编写程序使计算机按人们的意愿工作。汇编语言是一种与计算机硬件相关的符号指令,属低级语言,编程复杂,但能充分发挥硬件功能。与自然语言比较接近的高级语言,所编程序与具体计算机无关,经编译及与有关库连接后即可执行。有 C, FORTRAN, PASCAL 语言等。

3. 网络系统软件 在网络 CAD 工程中,网络系统软件是必不可少的。如 NetWare 就是 Novell 公司专门为微机局域网产品设计的网络软件。它包括服务器操作系统、文件服务器软件、通信软件等。应用这些软件可以进行网络文件系统管理、存储的管理、任务调度、用户间通信、软硬件资源共享等项工作。

4. 数据管理软件 随着 CAD 技术应用的深入,对工程产品设计中的数据管理也逐步由原来的文件管理系统发展到具有数据共享、数据独立、集中管理及安全性、一致性功能的工程数据库管理系统。在文件管理系统中,对 CAD 的整个过程,即从设计开始,随之的分析、计算、绘图,均用文件作为相互间传递的媒介和方式。它具有容易实现,使用效率高等优点。但其数据不能共享,难以适应多用户的环境,数据缺少独立性,过于分散,且冗余度大。工程数据库管理系统所管理的数据是随着设计工作的进展而不断变化的,库模式也具有动态构造的性质,数据库中还必须包括大量的文本和图形数据,而且对响应速度和用户接口也有较高要求,这些方面与商用数据有较大区别。在数据模型上有传统的层次、网状、关系数据模型及新的混合扩充网状模型。新的数据模型使人工干预减少,对数据处理效率提高。常用的商品化关系型数据库管理系统有 dBASE、Foxbase、FoxPro 等。

用户可以直接利用已有的数据管理系统进行工作,也可以自行开发。前者避免了重复设计工作,但也受到原系统的限制;后者虽是一条比较彻底、全面解决 CAD 以及工程应用中数据管理问题的方法,但设计和实现这样的系统是一项非常复杂而庞大的工作,况且在这个领域中还没有形成很成熟的基础。

(二) 应用软件

1. 交互式图形设计软件 交互式 CAD 系统,必须允许用户动态实时地输入各种参数和指定选择功能,生成图形,进行图形编辑,标注尺寸,拼装图形等工作,以期对设计进行交互修改。80 年代开始,图形软件通用化、标准化的问题在几种有名的独立于设备的图形软件问世后得以解决,被人们称为标准图形系统。常用的标准图形软件有 CGI、GKS、PHIGS 等。

几何造型软件主要解决零部件的结构设计问题,存储它们的三维几何数据及相关信息。二、三维绘图软件完成零部件的详细设计,输出符合工程要求的零件图或装配图。工作站上常用的系统是 I-DEAS、ProENGINEER 和 ECULID,微机上常用的系统是 AUTOCAD、CAD-KEY 和高华绘图软件包,它们以其强大的功能和方便的使用方式,在许多行业获得了广泛的应用。

不少工程分析及计算软件,如: SAP、ANSYS、CADAM 已经与一些著名的三维造型绘图软件有接口,进行数据交换,相互支持。

2. 用户专用软件 用户为完成专门设计,针对不同行业,甚至不同的产品在通用的图形

软件平台上进行二次开发而得到的专门的应用软件,各应用软件由于用户侧重不同,在其功能上各有侧重,不下几百种。一些量大面广的产品的CAD软件已商品化,如集成电路的CAD/CAM系统软件,开关控制柜的CAD/CAM系统软件等。

第三节 CAD系统的型式

计算机辅助设计的一般过程可由图1-3来表示。

对这一过程的实现,由于设计对象的不同,设计过程也有所侧重,导致设计过程的自动化程度、设计人员的参与程度及设计过程的灵活性不同,因此通常可将CAD系统分为以下三种型式。

一、信息检索式设计系统

将某种定型产品的已标准化的图样加以分类整理,将其图形及有关的技术数据(如确定的尺寸、材料、加工方式等)存入系统的数据库中,在需要时可按订货要求,从系统的数据库中自动检索出适宜的标准图形及数据。

这种主要以信息检索的方式进行设计的系统称为信息检索型设计系统,多适用于已有具体设计和已标准化的产品,例如已成批大量生产的接触器、断路器、继电器、开关板(屏)、继电保护屏等产品。系统建立的步骤为:

- (1) 整理已经定型产品的图样,结合将来可能的扩展,汇总成几种标准图形;
- (2) 对于已规格化的产品,建立能提供选择最适宜标准图样的数据库检索系统;
- (3) 把标准图样和附加信息(如决定尺寸、材料、作图规程及决定加工条件和工程管理指令等信息)分类编目,输入数据库中。

系统建成后就可按订货需要由计算机输出所选用的标准图。但由于信息检索型CAD是一种专用系统,只适用于特定对象,即已存储的定型产品,因而系统的适应面较窄。这种系统,在新产品设计、修改标准图形方面较困难,不易实现产品的改型设计。

对开关板的辅助设计,可以采用检索式进行设计。首先将许多常用的标准开关板的一次原理图、二次原理图、面板布置图、开孔图、二次接线图、元件设备清单等图样归纳分类,形成数据信息,储存到磁盘中。当用户向生产厂家订货后,设计人员将图样代号输入计算机,通过检索程序在接线图库和屏面开孔图库中检索所需图样,把该图样所对应的数据文件存入内存,根据所需的方式在屏幕上显示图样及技术资料。若符合要求则驱动绘图机绘出接线图和开孔图,打印机输出元件设备清单。

二、自动设计系统

将作为产品设计目标的目标函数编成程序输入计算机,基本不靠人的参与,计算机自动

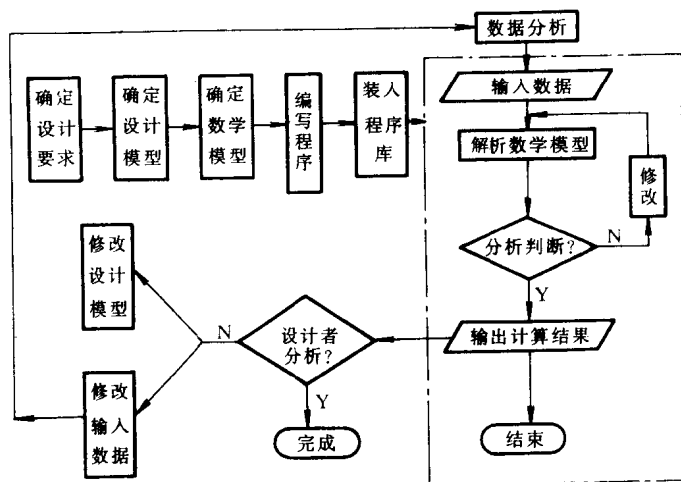


图 1-3 计算机辅助设计过程

调入相应的程序来计算,评价一些参数变化后对产品性能(目标函数或约束条件)的影响,从而择优来选择设计方案。解析目标函数所需的数据和解析程序亦能从数据库和程序库中获得,整个设计过程由机器自动进行。标准化或系列化的零部件具有相似结构,但尺寸可改变,采用参数化设计的方法建立图形程序库,调出后赋予一组新的尺寸参数就能生成一个新的图形。

如果说信息检索型设计系统是从数据库检索系统发展而来的话,那么自动设计系统即是从过去参数设计优化系统配以相应图形输出而发展起来的。应当指出,虽然自动设计系统有较高的自动化程度和较高的工作效率,但存在以下问题:

(1) 由于它根据目标函数来进行优化设计,因此只适用于能用数学公式描述的工程问题,即要求这类工程问题能够建立描述其特性的数学模型;

(2) 它的作用过程基本上不需人的参与,而由已生成的程序来执行求得最优解。但设计中的许多问题往往需要靠人的直觉、经验判断和临场智慧的发挥来完成,缺少人机交互,就降低了系统的灵活性;

(3) 完全由计算机来自动处理问题,势必要求程序面面俱到,必须把所有与设计有关的资料、解释程序和最优优化程序等全部存入计算机,因此要求计算机的存储容量相当大。目前该系统还只适用于求解目标函数比较简单的设计问题。

例如,起重电磁铁辅助设计项目是采用自动设计方式的。对不同类型(吸散料、吸整料)的电磁铁圆盘、矩形的典型结构,取几个设计参量,建立以设计参量为变量的考虑铁心磁阻、漏磁、气隙边缘扩散磁通等许多因素的有强迫过程的数学模型。针对不同型式的电磁铁的不同的目标要求及约束条件,调用计算机程序库中的最优化方法进行优化设计,得到最优值。而后利用所获得的最优参数,调用有限元分析程序中的前处理部分,按要求自动剖分,而后对磁场和温度场进行分析计算。计算完成后,调用后处理程序对计算结果进行后处理,用等位线描述场域的函数分布,若分析结果符合设计要求,则启动绘图程序绘制产品的装配图及零件图等工程图样,从而完成了自动设计。

三、交互设计系统

在产品的改型设计时,必须对原设计图样进行修改,这需要设计者参与这个过程,于是在信息检索型和自动设计型的基础上,发展成一种会话型设计系统。这种设计系统是日前较为方便、完善的计算机辅助设计系统。

在早期,“会话”是依靠打印机和键盘进行的,这是低级的会话方式。随着计算机和外围设备的发展,目前它主要用带有光笔的CRT显示器、鼠标、数字化图形输入仪、图形扫描输入仪、绘图机等人机交互设备。系统的工作过程是:由设计者描述出设计模型,由计算机对有关产品的大量资料进行搜索,并对有关数据和公式进行高速运算,通过草图和标准图显示,设计者在分析结果的基础上,利用光笔、鼠标或键盘等输入设备和人机对话语言直接对图形进行实时修改,计算机根据修改指令,再次作出响应并重新组织显示,通过人机交互对话反复修改,一直到获得满意的结果,输出工程图,其过程见图1-4。

这种系统把设计者的创造性活动与计算机的高速运算、处理的特性有机的结合起来,显示出该系统的极大优越性。系统设有数据库,存储为解释这些数学模型所必须的各种数据文件,如实验数据、材料、零件、工夹具之类的各种规范及相关数据,还设有程序库,存储着许多分析、计算程序,系统为输出结果配有打印机和绘图机。期望新研制出的图形扫描输入装置和声音识别装置不久会成为CAD系统的重要输入装置之一。

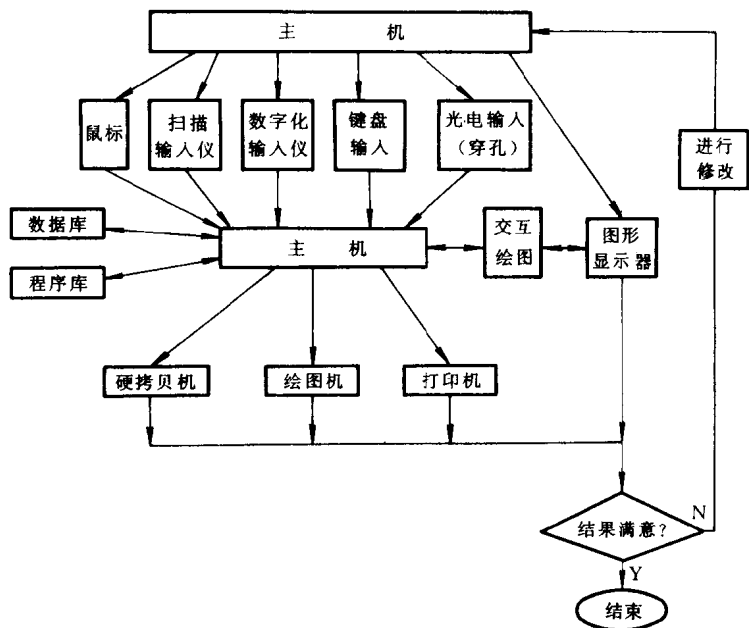


图 1-4 交互式设计系统框图

会话型设计系统目前也存在一些问题：所需外设较多，系统成本较高。如大屏幕高分辨率的显示器和幅面大、高精度的图形输入仪和绘图仪等的价格都很高。若采用小型设备，则输入、输出的速度、精度难以保证。另外，它的设计速度由于有对话过程而慢于前两种系统。但随着硬件功能的提高和其成本的下降，相信这种交互式的设计系统不久将会成为 CAD 系统中的主导力量。

第四节 CAD 系统开发的准备工作

CAD 是设计技术发展 to 一定程度的产物，是人类为自身的创造力产生飞跃而发明的，是产品设计的发展趋势。企业在认清设计技术发展方向的同时，也应注意现阶段本企业的实际需求情况，不宜盲目追求。因为它在带来效益的同时，也需要可观的投资、懂专业及计算机技术的人员。CAD 技术在初期应用时，由于操作人员对系统及有关技术不熟悉，应用资料和经验数据还没有输入计算机中，或系统的设置还不完善等原因，会出现生产力下降的现象。对此情况应事先有所准备。

一般来说，CAD 系统的开发应用工作应有以下几个步骤：

一、CAD 系统应用市场的跟踪

了解 CAD 系统应用现状可通过 CAD 技术讨论会、制造商的信息发布会、新系统展示表演会及博览会，以及通过用户调研、文献检索、专家咨询等方式来获取信息。

二、企业现状及 CAD 需求分析

对企业现状的分析通常有下述内容：产品分类情况，产品结构的复杂性，设计种类、图样种类，设计过程分析，设计过程组织和工作准备，必要数据、信息的准备，已有的硬软件及其它辅助工具可用性分析，辅助设计的可行性及程度，应用的环境分析，设计对象的分析，