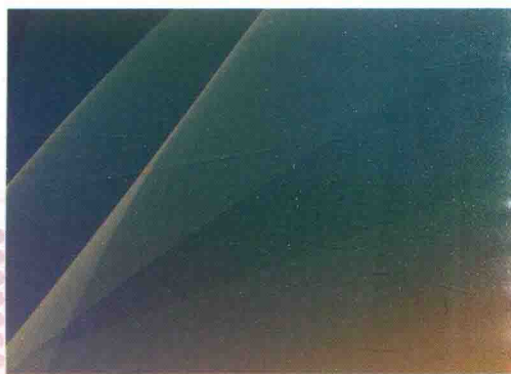


计算机辅助设计基础

JISUANJI FUZHU SHEJI JICHU

主编 谢华龙 李 飞 吕 昊
主审 刘永贤



東北大學出版社
Northeastern University Press

计算机辅助设计基础

主 编 谢华龙 李 飞 吕 昊
主 审 刘永贤

东北大学出版社

图形绘制、程序调试、校稿等方面做了大量的工作。

© 谢华龙 李 飞 吕 昊 2016

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机辅助设计基础 / 谢华龙, 李飞, 吕昊主编

— 沈阳: 东北大学出版社, 2016. 11

ISBN 978-7-5517-1462-4

I. ①计… II. ①谢… ②李… ③吕… III. ①计算机
辅助设计—教材 IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 283808 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路三号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024-83687331(市场部) 83680267(社务部)

传真: 024-83680180(市场部) 83687332(社务部)

网址: <http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 11

字 数: 271 千字

出版时间: 2016 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2016 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘 莹

封面设计: 刘江旸

责任校对: 木 卫

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-5517-1462-4

定 价: 28.00 元

前言

计算机辅助设计是一种利用计算机硬软件系统辅助人们对产品或工程进行设计的方法与技术,被广泛地应用于机械、电气、电子、轻工、纺织等产品的生产过程中,甚至延伸到艺术、电影、动画、广告和娱乐等领域,产生了巨大的经济效益和社会效益,有着广泛的应用前景。本书是面向机械工程学科相关专业学生学习的计算机辅助设计教材,其内容选取符合教学大纲要求,并兼顾学科的广度和深度,适用于不同层次的读者学习及参考。

全书共分6章。第1章“CAD技术概论”介绍了设计的概念与本质、CAD产生的背景、CAD的内涵与功能、CAD技术的发展及CAD系统的组成与分类;第2章“CAD图形处理技术”介绍了坐标系、几何变换、投影变换、窗口视区变换、图形裁剪、图形消隐及交互技术;第3章“CAD数据处理技术”介绍了CAD数据的程序化处理、CAD数据的文件化处理、CAD数据的数据库处理及工程数据库系统;第4章“机械CAD中常用的数据结构”介绍了数据结构中的基本概念、线性表、栈和队列、树及二叉树等数据结构;第5章“CAD建模技术”介绍了建模技术基础知识、几何建模技术、实体建模的造型与表示方法、特征建模、参数化建模与变量化建模;第6章“SolidWorks三维CAD系统”介绍了SolidWorks概述、参数化草图绘制、特征建模、曲线曲面、装配设计及工程图。

本书理论联系实际,既阐述了CAD的基本原理及技术,又介绍了相关软件的具体操作。讲述由浅入深,突出重点内容。为了加深理解和熟练掌握有关内容,给出了相应的C语言程序。

本书第1章和第3章由东北大学谢华龙编写,第2章和第6章由沈阳工业大学李飞编写,第4章由谢华龙和李飞合编,第5章由东北大学吕昊编写,谢华龙、李飞、吕昊担任本书主编。东北大学陈科利、赵德明、杨玉莹、贾政、赵维东、刘志波、王庆东、张浩参加了本书的编写工作,在资料收集与整理、图形绘制、程序调试、校稿等方面做了大量的工作。

东北大学博士研究生导师刘永贤教授担任本书主审，对本书进行了细致审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

我们还要感谢有关院校领导，在本书编写过程中自始至终给予大力的支持和帮助，同时要感谢东北大学出版社给予的大力支持、指导与帮助。

本书吸取、参考并引用了许多专家、学者的研究成果，在此致以谢意。第4章“机械CAD中常用的数据结构”中的程序主要来自严蔚敏等主编的《数据结构（C语言版）》，在此表示特别感谢。

鉴于本书涉及的知识面非常广泛，加之编者水平有限，难免有欠妥之处，恳请读者提出宝贵意见，以求改进。

编者

2016年9月于沈阳

目 录

1 CAD 技术概论	1
1.1 设计的概念与本质	1
1.2 CAD 产生的背景	2
1.3 CAD 的内涵与功能	4
1.4 CAD 技术的发展	5
1.5 CAD 系统的组成与分类	7
2 CAD 图形处理技术	23
2.1 坐标系	23
2.2 几何变换	24
2.3 投影变换	36
2.4 窗口视区变换	39
2.5 图形裁剪	41
2.6 图形消隐	44
2.7 交互技术	46
3 CAD 数据处理技术	50
3.1 CAD 数据的程序化处理	50
3.2 CAD 数据的文件化处理	63
3.3 CAD 数据的数据库处理	68
3.4 工程数据库系统	77
4 机械 CAD 中常用的数据结构	79
4.1 数据结构中的基本概念	79
4.2 线性表	81

4.3 栈和队列	89
4.4 树	94
4.5 二叉树	97

5 CAD 建模技术 101

5.1 建模技术基础知识	101
5.2 几何建模技术	104
5.3 实体建模的造型与表示方法	109
5.4 特征建模	115
5.5 参数化建模与变量化建模	119

6 SolidWorks 三维 CAD 系统 121

6.1 SolidWorks 概述	121
6.2 参数化草图绘制	130
6.3 特征建模	136
6.4 曲线曲面	147
6.5 装配设计	149
6.6 工程图	157

参考文献 168

1 CAD 技术概论

1.1 设计的概念与实质

自有人类以来,人类为了取得生活之源,不断改造自然界、改造人类社会本身,从而萌发了有目的的活动。人类从事任何有目的活动之前,都要有所构思或谋划,正如常言所说:“凡事预则立,不预则废”,这种构思或谋划活动就是广义的设计。

产品是设计结果的物质表现。若设计人员所设计的产品是以一定技术手段来实现社会特定需求的人造系统,则称之为技术系统。工程设计主要是对技术系统而言的,它是广义设计在工程技术领域中的特有表现,是对技术系统进行构思、分析并把设想变为现实的技术实践活动。

从信息处理角度来看,设计是一种信息转换装置,输入的是设计要求和约束条件信息,设计者运用一定的知识和方法,通过计算机、试验设备等工具进行设计,最后输出的是方案、图纸、程序、文件等设计结果。随着信息和反馈信息的增加,通过设计者的合理处理,将使设计结果更趋合理。

设计并不仅仅是计算和绘图,随着高新技术的发展和社会需求的多样化,工业生产迅速走向大规模、集成化和复杂化,从而使现代工业,特别是机械工业面临新的机遇和挑战。在这样的环境下,单一地考虑和孤立地进行设计往往会事与愿违。设计不再是单纯的科学技术问题,要统一考虑市场需求、社会效益、经济成本、加工工艺、生产管理等问题,最终反映到质优价廉的产品上。只有将设计与市场信息密切配合,通过在设计、生产、市场三者之间寻求最佳匹配关系,才能建立性能优良的技术系统,得到令人满意的设计结果。

设计的本质可以从下面几方面来说明。

① 从工作性质与内容看,设计的内容广泛。在传统的工程设计中,将设计过程划分为方案设计、技术设计和工艺设计。随着计算机和信息技术的发展,工程设计的范畴已经从传统的设计内容扩展到产品规划、制造、检测、试验、营销、运行、维护、报废、回收等全过程的全生命周期设计。

② 从设计的过程与方法看,设计是一种活动。

- 设计是一种工程活动。设计师的任务就是运用自然科学的知识与法则去创造物质文明,它几乎涉及人类生活、生产的全部方面。

- 设计是一种创造性的智力活动。设计的全过程需要设计师提出各种不同的构思和设想,具有灵活运用知识和经验处理技术、经济等问题的能力与优良的品质、作风,能创造

性地寻求设计目标和任务的实现。

③ 设计是一个综合、决策、迭代、寻优的过程。设计流程就是输入信息→处理加工→综合、判断、决策→输出信息,是寻求满意的设计目标、方案、参数、结构等最优的过程。设计过程也是一个信息综合、反馈(或迭代)、交流的过程。设计要求和约束条件及多种约束之间相互制约,甚至是相互矛盾的,虽然经过优化,但也只能综合、权衡各方面因素,取得相对满意的结果。

创新是设计的灵魂。进行设计工作,自然离不开计算、绘图,也需要各种设计手册的帮助,但更重要的是要突出创新的原则,通过直觉、借鉴、推理、组合等途径,探求创新的原理方案和结构,做到有所发明、有所创造、有所前进,把创造性贯穿于设计过程的始终。

1.2 CAD 产生的背景

对于一个产品而言,其市场竞争力主要取决于三个因素:质量保证、成本低廉、交货及时。随着技术的进步,按照规定期限生产优质产品的难度逐渐下降,但在这一前提下,降低产品成本的难度越来越高,因而成本因素成为决定产品竞争力三要素中的核心要素。研究表明,设计阶段的投入费用虽然只占产品总成本的5%,却决定了70%~80%的产品成本和80%以上的产品性能,包括功能特性、加工特性、装配特性和使用维护特性等。

随着科学技术的飞速发展,产品的功能要求日益增多、复杂性增加、寿命周期缩短、更新换代速度加快。然而,产品的设计,尤其是机械产品方案的设计手段,则显得力不从心,跟不上时代发展的需要。图1-1所示为机械产品设计过程的工作循环流程图。

首先是对设计对象做出正确的分析,确定它的技术经济指标。同时,对过去生产的同类产品进行调查(包括性能、技术参数、生产经验、使用情况、市场情报等),为拟订初步的设计方案打下基础。

其次是采用系统学或创造性的设计方法,确定可能的设计方案,根据经验或通过简单的计算做出分类,再用价值分析方法或优选方法选择方案。

最后是用优化设计方法确定所选方案的主要参数,选择经济的材料和工艺过程,并完成设计阶段的一切技术目标。

新产品的试制工作是很重要的,以便通过理论或实验的方法对产品做出技术经济的鉴定。假如通过鉴定证明产品设计是成功的,则可以组织试生产,然后进入产品销售、利润、资金回收周期的预算阶段。在这个阶段中,希望产品达到预期的综合技术经济指标,否则还要对产品设计做进一步的修改,直至满足要求为止。但设计工作永远不会完结,因为一切设计工作的成效最后是以产品的销售情况为评定依据的。所以,还需要根据市场情报,按照图1-1所示的工作过程,反复进行,才能使新产品的的设计质量不断提高。由此可见,机械产品设计是一个“设计—评价—再设计”的反复迭代、不断优化的过程。

过去,整个设计过程(包括资料检索、设计计算、绘图等)全部是由设计人员来承担的,这就是所谓的传统设计方法。这种方式存在以下不足之处。

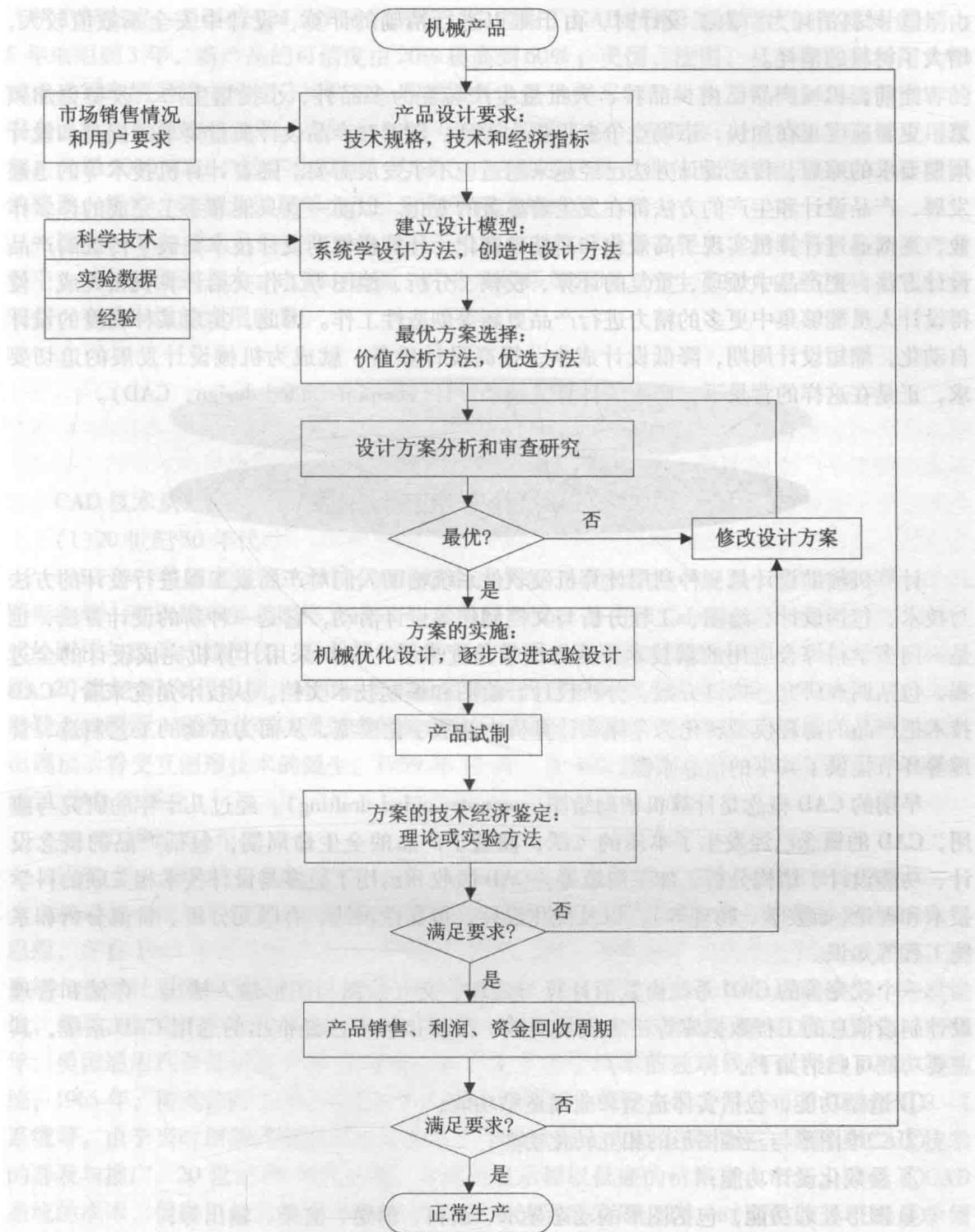


图 1-1 机械产品设计过程的工作循环流程

① 难以实现最优化设计。凭个人经验设计, 只能停留在靠类比和估算来代替设计计算阶段, 设计的精确性和可靠性受到很大的限制, 影响了设计质量。

② 设计周期长。设计人员花费大量的时间和精力, 用于烦琐、重复的手工计算、绘图和编制表格, 延长了设计周期。

③ 材料消耗大。人工设计时, 由于难以进行精确的计算, 设计中安全系数值较大, 增大了材料的消耗。

当前, 机械产品已由少品种、大批量生产转变为多品种、小批量生产, 改型更加频繁, 更新速度正在加快, 市场竞争变得更为激烈。随着对产品设计质量要求的提高和设计周期要求的缩短, 传统设计方法已经越来越适应不了发展需要。随着计算机技术等的迅速发展, 产品设计和生产的方法都在发生着显著的变化。以前一直只能靠手工完成的许多作业, 逐渐通过计算机实现了高效化和高精度化。计算机辅助设计技术突破了传统的产品设计方法, 把产品中烦琐、重复的计算、校核、分析、绘图等工作交给计算机去完成, 使得设计人员能够集中更多的精力进行产品更新等创造性工作。因此, 实现某种程度的设计自动化, 缩短设计周期, 降低设计成本, 提高设计质量, 就成为机械设计发展的迫切要求, 正是在这样的背景下, 产生了计算机辅助设计(computer aided design, CAD)。

1.3 CAD 的内涵与功能

计算机辅助设计是一种利用计算机硬软件系统辅助人们对产品或工程进行设计的方法与技术, 包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动, 它是一种新的设计方法, 也是一门多学科综合应用的新技术。从方法学角度来看, CAD 采用计算机完成设计的全过程, 包括调查研究、拟订方案、分析设计、绘图和编制技术文档。从技术角度来看, CAD 技术把产品的物理模型转化为存储在计算机中的数字化模型, 从而为后续的工艺制造、管理等环节提供了共享的信息来源。

早期的 CAD 概念是计算机辅助绘图(computer aided drafting)。经过几十年的研究与应用, CAD 的概念已经发生了本质的飞跃, 涵盖了产品的全生命周期, 包括产品的概念设计、功能设计、结构分析、加工制造等。CAD 吸收和运用了更多与设计技术相关联的科学技术和理论(如数学、物理等), 以及优化设计、可靠性设计、有限元分析、价值分析和系统工程等知识。

一个较完善的 CAD 系统由数值计算与处理、交互绘图与图形输入输出、存储和管理设计制造信息的工程数据库等三大模块组成。分析市场上已经推出的通用 CAD 系统, 其主要功能可归纳如下:

- ① 造型功能, 包括实体造型和曲面造型功能;
- ② 二维图形与三维图形的相互转化功能;
- ③ 参数化设计功能;
- ④ 图形处理功能, 包括图形的动态显示、编辑、消隐、渲染、输出等;
- ⑤ 三维运动机构的分析与仿真功能;
- ⑥ 有限元分析与优化功能;
- ⑦ 数据处理与数据交换功能;
- ⑧ 二次开发功能。

CAD 技术在机械行业的应用最早, 也最为广泛, 所带来的经济效益十分可观。例如, 美国的波音 747 飞机比英国的三叉戟飞机晚开工, 但由于采用了 CAD 技术, 先于三叉戟

飞机1年完成;美国的GM公司在汽车设计中应用了CAD技术,使新型汽车的设计周期由5年缩短到3年,新产品的可信度由20%提高到60%;美国、法国、日本等国家利用CAD技术进行车辆运输中冲撞分析研究,帮助设计人员选择车辆的材料及结构,以确保乘客的安全,获得了很好的效果。我国在1992年以“甩掉图板”为突破口,启动了CAD应用工程;又于2000年以“数字化设计”为核心,启动了“制造业信息化工程”,在CAD技术的普及、推广、应用及发展等方面,取得了巨大的成就。

目前,CAD技术已经被广泛地应用于机械、电气、电子、轻工、纺织等产品的生产过程中,甚至延伸到艺术、电影、动画、广告和娱乐等领域,产生了巨大的经济效益和社会效益,有着广泛的应用前景。

1.4 CAD 技术的发展

CAD技术从出现至今,其发展大致可分为以下五个时期。

(1) 20世纪50年代

1950年,美国麻省理工学院(MIT)研制出类似于示波器的“旋风I号”(Whirlwind I)图形终端,可以简单显示图形。1958年,美国Gerber公司和Calcomp公司先后研制出平板式绘图仪与滚筒式绘图仪。显示器和绘图仪的发明,表明该时期的硬件具有了图形输出功能。20世纪50年代末期,MIT林肯实验室研制的空中防御系统能将雷达的信号转换为显示器上的图形,操作者可以通过光笔指向显示屏幕上的目标来拾取所需信息,这种功能的出现预示着交互图形技术的诞生。1959年12月,在MIT召开的一次计划会议上,明确提出了CAD的概念。

(2) 20世纪60年代

1962年,MIT林肯实验室的I. E. Sutherland发表了博士论文《SKETCHPAD——一个人机通信的图形系统》,首次提出了计算机图形学、交互技术、分层存储的数据结构等思想,并在1963年开发的SKETCHPAD系统中,第一次实现了人机交互的设计方法。该系统允许设计者坐在显示器前,操纵光笔和键盘,对屏幕上显示的图标进行操作,完成设计,最后由计算机产生设计图。在这一时期,出现了一些实用的CAD系统。例如,1964年,美国通用汽车公司和IBM公司成功地开发了用于汽车前玻璃线性设计的DAC-I系统;1965年,洛克希德飞机公司推出了CAD/CAM系统;贝尔电话公司公布了GRAPHICS-1系统等。由于当时刷新式图形显示器价格十分昂贵且与大型主机相连,限制了CAD技术的普及与推广。20世纪60年代后期,存储式显示器以低廉的价格进入市场,降低了CAD系统的成本,促进了计算机图形学和CAD技术的迅速发展。这一时期是计算机图形学领域的多产期,图形理论的研究取得了很多成果,有的已经被应用于图形系统中。

(3) 20世纪70年代

在70年代,随着计算机硬件的快速发展,CAD技术的应用有了较大突破。当时,由于CAD技术被应用于电子电路设计,使集成电路技术大为提高,出现了性价比很高的小型计算机。图形显示技术(即CRT技术)不断发展,成本下降。计算机图形学在理论上也有了较大发展,特别是产生了以小型计算机为基础的独立CAD系统,即CAD工作站。

在 CAD 技术方面, 曲面造型系统的出现被认为是第一次 CAD 技术革命。该时期, 基于大型机的商用 CAD/CAM 系统开始上市。此外, 基于小型机的“交钥匙系统”(Turnkey System) 开始向中小型企业扩展。所谓“交钥匙系统”, 指的是软件服务商提供的以小型计算机为基础、软硬件齐备的 CAD 系统。1970 年, 美国 Applicon 公司第一个推出了完整的 CAD 系统; 法国 Dassault 公司开发了基于表面模型的自由曲面建模技术, 推出三维曲面造型软件 CATIA; 美国 GE 公司开发了 CALMA; 美国麦道飞机公司推出了 UG 等。众多商品化软件的出现, 使得图形标准化问题被提上日程, 1974 年, 美国计算机学会成立了图形标准化委员会。

(4) 20 世纪 80 年代

随着微型计算机的飞速发展, CAD 系统逐渐开始从小型计算机向微型计算机转化, 为 CAD 技术的广泛应用创造了良好的硬件条件。在 CAD 技术方面, 实体造型理论和几何建模方法出现, 构造实体几何法(CSG)和边界表示法(B-rep)等实体表示方法在 CAD 软件开发中得到了广泛的应用。实体造型技术被认为是第二次 CAD 技术革命。1988 年, PTC 公司推出了全球第一套基于参数化造型技术的 CAD/CAM 软件 Pro/E。参数化造型技术的主要特点是基于特征、全数据相关、全尺寸约束、尺寸驱动, 被认为是第三次 CAD 技术革命。1993 年, SDRC 公司推出了基于变量化设计的全新体系结构的 I-DEAS Master Series 软件。变量化设计既保留了参数化设计的优点, 又克服了参数化设计的不足(如全尺寸约束), 被认为是第四次 CAD 技术革命。

该时期, 小型机, 特别是微型机性能价格比的提高, 极大地促进了 CAD 的发展。同时, 计算机外围设备(如彩色高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动绘图机等图形输入输出设备)已经逐步形成质量可靠的系列产品, 为推动 CAD 技术向更高水平发展提供了必要条件。在此期间, 大量的、商品化的、适用于小型机及微型机的 CAD 软件不断涌现, 又促进了 CAD 技术的应用和发展。

(5) 20 世纪 90 年代

20 世纪 90 年代, 随着各种先进设计理论和先进制造模式, 以及高档微机、操作系统、编程软件及因特网的发展, CAD 技术更趋成熟, 正在朝着集成化、网络化和标准化的方向发展。

CAD 集成化一般包括信息集成和物理设备集成两个方面。从信息集成角度看, 主要是指在 CAD, CAPP, NCP 等各模块间信息的提取、交换、共享和处理的集成, 也就是信息流的整体集成。因特网和 Web 技术的发展, 迅速将设计工作推向网络协同模式, CAD 技术应能提供基于因特网的完善的协同设计环境及网上多种 CAD 应用服务。将人工智能技术引入 CAD 系统, 形成智能化 CAD 系统, 是 CAD 技术发展的必然趋势, 可以大大提高设计的自动化程度, 如专家系统在产品的概念设计和构思评价阶段, 起到了积极的作用。标准化主要是图形接口、图形功能日趋标准化。从 1977 年由 SIGGRAPH 特别兴趣小组 GSPC 推出 CORE 图形标准以后, 先后出现了计算机图形接口 CGI(computer graphics interface)、计算机图形文件标准 CGM(computer graphics metafile)、计算机图形核心系统 GKS(graphics kernel system)、面向程序员的层次交互式图形标准 PHIGS(programmer hierarchical interactive graphics standard)和基本图形转换规范 IGES(initial graphics exchange specification)。随着技术进步, 新标准还会不断出现。这些标准的制定和采用对 CAD 技术的推广与移植及

资源信息共享起到了重要作用。

1.5 CAD 系统的组成与分类

所谓系统,是指为某个共同目标而组织在一起的相互关联部分的组合。一个完整的 CAD 系统包括硬件系统和软件系统两大部分。硬件系统是 CAD 系统的物质基础和技术保证;软件系统是 CAD 系统的核心和灵魂,决定了系统所具有的功能。

1.5.1 硬件系统

CAD 硬件系统一般由计算机主机、常用外围设备和专用外围设备组成。专用外围设备是指从事 CAD 工作必须配置的图形输入和输出设备。图 1-2 表示一个 CAD 系统的基本硬件构成。

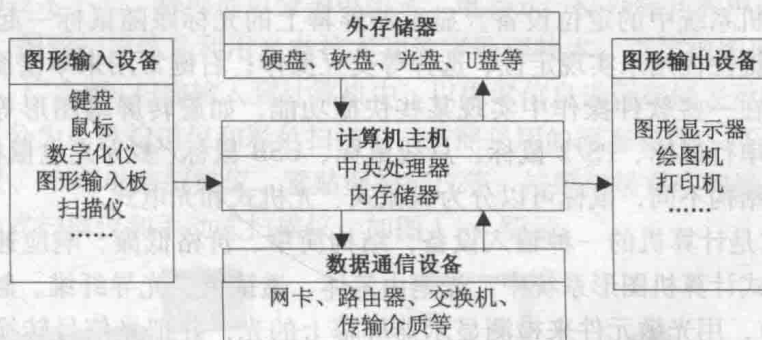


图 1-2 CAD 系统硬件组成

(1) 计算机主机及其常用外围设备

计算机主机是由中央处理器(central processing unit, CPU)和内存(简称内存)构成的。中央处理器是一块超大规模的集成电路,是一台计算机的运算核心和控制核心,其物理结构包括运算逻辑部件、寄存器部件和控制部件等。内存是计算机与 CPU 进行沟通的桥梁,内存包括寄存器、高速缓冲存储器(cache)和主存储器,其作用是暂时存放 CPU 中的运算数据,以及与硬盘等外部存储器交换的数据。根据主机性能,计算机可分为大中型机、小型机、工程工作站和微机。

外围设备是计算机系统中除主机外的其他设备,包括输入/输出设备、外存储器、模数转换器、数模转换器、数据通信设备等。输入设备是向计算机输入数据和信息的设备,常见的有键盘、鼠标、摄像头、扫描仪、光笔、手写输入板、游戏杆、语音输入装置等。输出设备把各种计算结果数据或信息以数字、字符、图像、声音等形式表示出来,常见的有显示器、打印机、绘图仪、影像输出系统、语音输出系统、磁记录设备等。外存储器是指除计算机内存及 CPU 缓存以外的存储器,此类存储器一般断电后仍然能保存数据。常见的外存储器有硬盘、软盘、光盘、U 盘、磁带等。模数转换器即 A/D 转换器,通常是指一个将模拟信号转变为数字信号的电子元件。数模转换器即 D/A 转换器,它是把连续的模拟信号转变为离散的数字信号的器件。数据通信设备是指利用有线、无线的电磁或光,发送、接收或传送二进制数据的硬件和软件系统组成的电信设备,在物理上,通常都

是由网卡、集线器、交换机、路由器、网线、RJ45 接头等网络连接设备和传输介质组成的。

(2) 图形输入设备

图形输入设备是把图形数据或指令传送给计算机的一种装置，它是用户同 CAD 系统进行人机交互的工具。常用的图形输入设备分为两种：矢量型图形输入设备，它采取跟踪轨迹、记录坐标点的方法输入图形，常用的有数字化仪、鼠标器、光笔等；光栅扫描型图形输入设备，它采取逐行扫描、按照一定密度采样的方式输入图形，常用的有扫描仪和摄像机。

① 键盘和鼠标。它们是最常用也最主要的输入设备。

通过键盘可以将英文字母、数字、标点符号等输入到计算机中，从而向计算机发出命令、输入数据等。在 CAD 系统中，除了作为一般的输入输出装置外，键盘还有以下用途：通过数字键输入每点的坐标值来确定该点的位置；选择菜单项；键入非图形数据，进入图形系统数据库；用控制光标的特殊键来辅助交互式绘图或修改屏幕上已有图形。

鼠标是计算机系统上的定位设备，显示器屏幕上的光标跟随鼠标一起运动。在 CAD 系统中，鼠标左键往往用来实现定位、选择等交互操作；右键常用来单击图标，弹出相应菜单；中键用于在一些软件操作中实现某些快捷功能，如旋转屏幕图形等。按照接口类型，鼠标可分为串行鼠标、PS/2 鼠标、总线鼠标、USB 鼠标(多为光电鼠标)四种；按照工作原理及内部结构不同，鼠标可以分为机械式、光机式和光电式。

② 光笔。它是计算机的一种输入设备，结构简单、价格低廉、响应速度快、操作简便，常用于交互式计算机图形系统中。光笔由笔体、透镜组、光导纤维、触钮开关和导线等组成(图 1-3)，用光敏元件来检测显示器屏幕上的光，并把光信号转换放大成脉冲信号输入到计算机中。光笔具有定位、拾取、跟踪等多种功能，可用光笔在屏幕上拾取点和图形，也可以让光标跟踪光笔，在屏幕上直接作图。

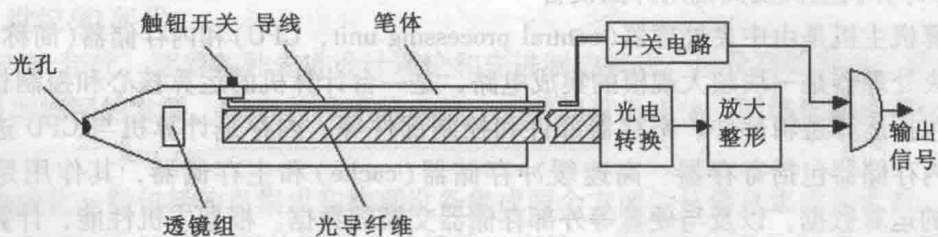


图 1-3 光笔结构原理图

③ 数字化仪。它是一种图形数据采集装置，能将各种图形根据坐标值准确地输入电脑，并通过屏幕显示出来。数字化仪一般由一块类似于绘图板的平板和带有十字叉丝的游标定位器组成，如图 1-4 所示，游标定位器可用感应触笔代替。当使用者在电磁感应板上移动游标或感应触笔到指定位置，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(多用串行接口)传送到主计算机。数字化仪有电磁式、超声波式、机械式等多种类型，最常用的是电磁式坐标数字化仪。

④ 图形输入板。如图 1-5 所示，其原理和数字化仪基本相同，其更多地用于交互设计，使用时，大多画出一个台板图形区，其余部分放置菜单，称为菜单区。

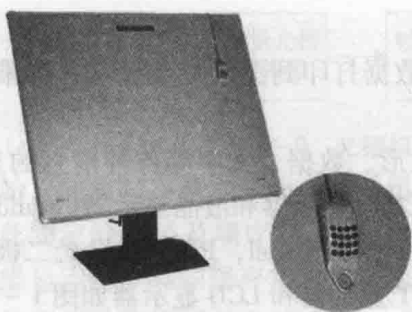


图 1-4 数字化仪



图 1-5 图形输入板

⑤ 触摸屏。又称触控屏、触控面板，是一种可接收触头等输入讯号的感应式液晶显示装置。当接触了屏幕上的图形按钮时，屏幕上的触觉反馈系统可以根据预先编制的程序驱动各种连接装置，可用以取代机械式的按钮面板，并借由液晶显示画面制造出生动的影音效果。触摸屏作为一种最新的电脑输入设备，是目前最简单、方便、自然的人机交互方式。根据采用的技术不同，触摸屏可分为电阻式、电容式、红外线式和声表面波式。

⑥ 扫描仪。图形扫描仪是利用光电技术和数字处理技术，直接把图形（如工程图纸）和图像（如照片、广告画）扫描输入到计算机中，以像素信息进行存储表示的设备。按照所支持的颜色，可分为单色扫描仪和彩色扫描仪；按照采用的固态器件，可分为电荷耦合器件（CCD）扫描仪、MOS 电路扫描仪、紧贴型扫描仪等；按照扫描宽度和操作方式，可分为大型扫描仪、台式扫描仪和手动式扫描仪，如图 1-6 所示。



(a) 大型扫描仪



(b) 台式扫描仪



(c) 手动式扫描仪

图 1-6 扫描仪

采用 CCD 的扫描仪技术经过多年的发展，已经相当成熟。CCD 是市场上主流扫描仪主要采用的感光元件。CCD 扫描仪的工作原理是：用光源照射原稿，投射光线经过一组光学镜头射到 CCD 器件上，再经过模/数转换器、图像数据暂存器等，最终输入到计算机或图形/文字输出设备。扫描仪的主要技术指标有分辨率、灰度级、色彩数、扫描速度及扫描幅面等。分辨率是扫描仪最主要的技术指标，它表示扫描仪对图像细节上的表现能力，通常用每英寸长度上扫描图像所含有像素点的个数来表示，单位是 dpi。大多数扫描仪的分辨率为 300~2400dpi。dpi 值越大，扫描的分辨率越高，扫描图像的品质越高。

⑦ 其他图形输入设备。图形输入设备还有很多，如数码摄像机、数码照相机、语音识别器、操纵杆、跟踪球等。其中，跟踪球是用以操纵显示屏上光标移动的设备，包含用手自由推动的球和两个对应于 x 方向及 y 方向的轴角编码器，球转动时，送出相应的 x 方向与 y 方向的编码，控制屏幕上的光标随着球的移动方向移动。

(3) 图形输出设备

图形输出设备是把计算机中生成的图形或数据打印到图纸上或显示在屏幕上的设备,包括显示器、打印机和绘图仪等。

① 显示器。通常也被称为监视器,用于图形、数据、文字等各种信息的显示。常用的显示器主要有阴极射线管(cathode ray tube, CRT)显示器和液晶显示器(liquid crystal display, LCD)。此外,还有等离子显示器(plasma display panel, PDP)、发光二极管(light emitting diode, LED)显示器和3D显示器等。CRT显示器和LCD显示器如图1-7所示。

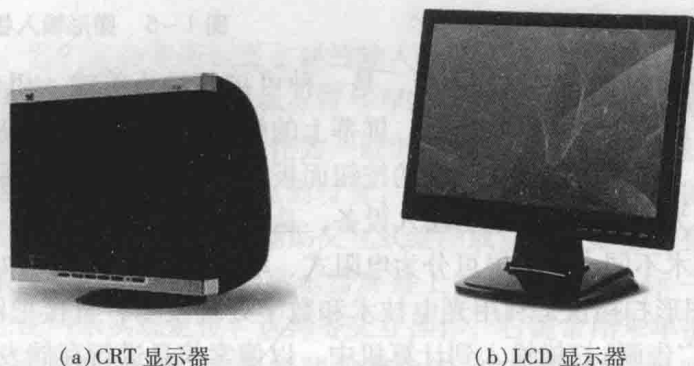


图1-7 显示器

- 阴极射线管显示器。它是一种使用阴极射线管的显示器,经历了从黑白到彩色,从球面到柱面再到平面直角、直至纯平的发展。CRT利用电磁场产生高速的、经过聚焦的电子束,偏转到屏幕上的不同位置,并轰击其表面荧光材料而产生可见图形。CRT可分为黑白CRT和彩色CRT,彩色CRT显示器的荧光屏上涂有红、绿、蓝3种荧光物质,通过控制3个电子束的强弱,就能控制屏幕上点的颜色,混合后,即产生不同的颜色。

图1-8所示为黑白CRT的结构简图。电子枪可产生沿着管轴线方向(z 轴)、强度可控的电子束;聚焦系统可将电子枪发射出的分散的电子束在荧光屏上聚焦成一个细小的圆点;偏转系统可使电子束产生 x 方向及 y 方向偏转,以控制电子束在屏幕上的运动轨迹。

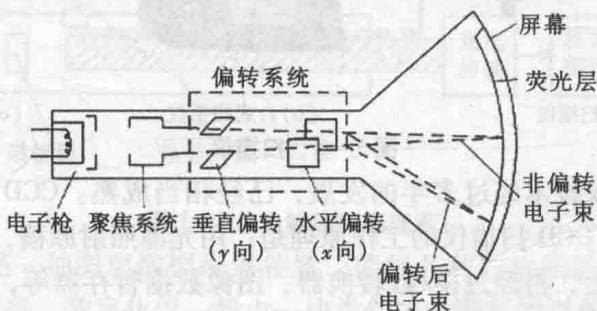


图1-8 黑白CRT的结构简图

按照其工作原理,CRT显示器可分为随机扫描刷新式显示器、存储管式显示器及光栅扫描显示器。其中,光栅扫描显示器的应用最为普遍。光栅扫描显示器的系统组成如图1-9所示,其中内存显示文件代表图形的矢量信息,经矢量光栅转换器转换成数字化的光栅点阵信息,存入帧缓冲存储器,再经显示控制器,图形就在CRT的屏幕上显示出来。

光栅扫描显示器显示图形时,电子束依照固定的扫描线和规定的扫描顺序进行扫描。显示控制器(也称图形适配器,简称显示卡)发出的信号控制CRT中的电子束,先从荧光