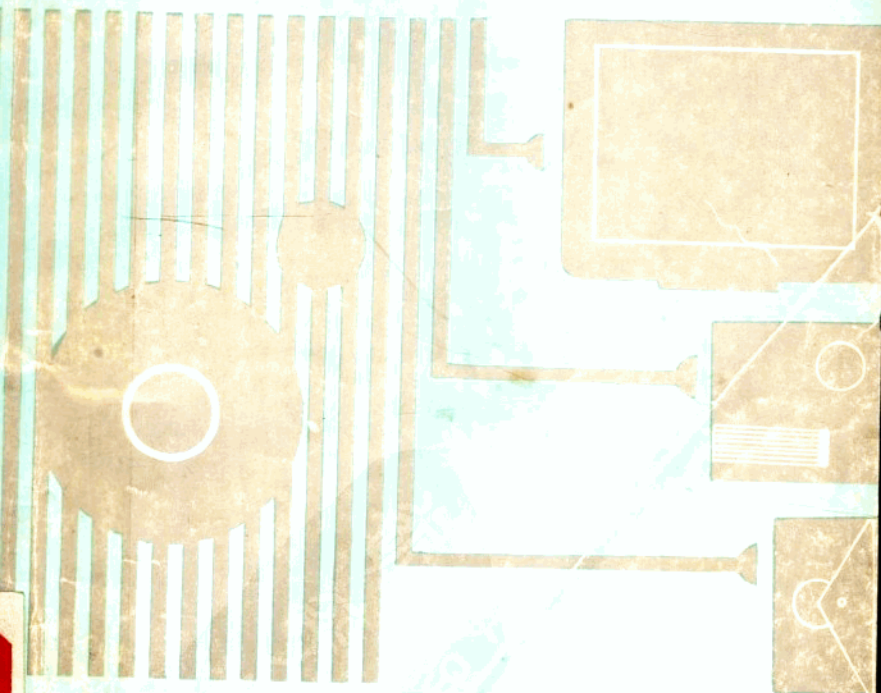


顾元宪 编著

计算机辅助设计 及其软件设计方法



AN JI FU ZHU SHE JI JI QI RUAN JIAN SHE JI FANG FA

科学普及出版社

计算机辅助设计及其软件设计方法

国家自然科学基金资助项目

顾元宪 编著
程耿东 审

科学普及出版社

计算机辅助设计及其软件设计方法

顾元宪 编著

责任编辑:刘国恒

科学普及出版社出版、发行(北京海淀区白石桥路 32 号)

大连印刷工业总厂印刷

开本:787×1092 毫米 1/32 印张:8.81 字数:175 千字

1992 年 8 月第一版 1992 年 8 月第一次印刷

印数:1—3000 册 定价:4.00 元

ISBN 7-110-01643-9/TP·31

内 容 提 要

本书介绍了计算机辅助设计的基础知识及其软件的研制和应用方法。主要包括 CAD 的硬件和软件基础,计算机图形学和工程数据管理的基本方法,CAD 图形软件典型介绍以及软件设计和二次开发技术,工程计算、有限元分析、优化设计及其前后处理的常用方法,CAD 软件设计与集成化方法。部分内容反映了作者的科研成果。

本书可作为大专院校研究生或高年级学生教材及参考书,也可供研究和应用 CAD 技术的科技人员学习参考。

前 言

计算机辅助设计(Computer Aided Design),简称 CAD,是一门新兴的综合性学科。它将计算机科学与工程科学结合起来,充分利用计算机科学的硬件和软件成果,帮助设计人员进行设计,高效率、高质量地完成许多繁复的工作,如计算、画图、建立和修改产品模型、数据的存储和处理等,使设计人员能及时对设计作出判断、修改和优化。它减轻了设计人员的劳动,缩短了设计周期,提高了设计质量,改变了工程和产品的传统设计方法,在工业领域里引起一场设计技术革命,产生了重大的社会效益。

CAD 产生于 60 年代,70 年代初开始应用于工业部门,由于当时计算机硬件条件的限制,应用范围有限。80 年代初,随着大规模、超大规模集成电路技术的发展,硬件的性能价格比迅速提高,各种图形输入输出设备和其他外围设备不断更新和完善,特别是微型计算机和超级微机工作站的迅速发展,极大地改善了 CAD 的硬件条件。加之计算机图形学、数据库和软件工程学等领域的研究工作趋于成熟,以及各种应用软件大量地开发和使用,出现了一股 CAD 发展热潮。CAD 系统的功能不断增强、内容日益丰富,应用范围迅速扩大到几乎所有的工业领域。各种类型的 CAD 产品及其产品化软件不断投入市场,而且价格下降很快。计算机已开始成为广大工程技术人员日常的辅助设计工具,在工程领域中发挥了更大的作用。CAD 技术水平已成为一个国家工业技术水平高低的重要方面。我国的 CAD 研究和开发起步较晚,但近年来已经引起各方面的重视,成为国家“七、五”规划中计算机应用的重点之一,并且在“八、五”规划中仍被列为重点项目。因此,大力发展 CAD 技术是十分紧迫的任务。

本书的目的在于向读者介绍 CAD 的基本知识、软件开发及

其集成化的方法,并力求反映出当前的发展动态,为从事 CAD 的研究、开发和应用提供帮助。主要内容有:CAD 发展概述,基本的硬件和软件知识,计算机图形学简介,CAD 图形软件的设计与应用,工程数据管理,常用的分析计算与优化设计方法,系统设计与软件集成方法。其中部分内容反映了作者以及所在单位的科研成果,希望对读者有参考价值。由于本书涉及的内容如此之多,在现有篇幅内不可能面面俱到,有些与 CAD 交叉的学科又有专门的论著,所以,本书有些部分在给出参考文献的同时,只能作非常简要的介绍。

CAD 的显著特点是涉及多种学科,发展很快,实践性很强。因此,研究和开发 CAD 技术需要多方面专业人员合作,不断吸收各种专业、特别是计算机科学的研究新成果。由于作者水平所限,对 CAD 及其在国内外发展状况的研究和了解不够深入、全面,所以本书难免有许多不恰当以至错误之处,诚恳地希望读者批评指正。

本书初稿写于 1986 年,作为大连理工大学研究生课程《计算机辅助设计》的教材使用,此次出版又作了补充和修改。程耿东教授认真审阅了全书并提出许多重要意见。在编写过程中,作者还得到了钱令希教授和钟万勰教授的鼓励与指导,书中介绍的部分研究工作得到国家自然科学基金的资助,作者在此表示衷心的感谢。

作者

1991 年 5 月 20 日于大连理工大学

目 录

前 言	(1)
第一章 绪论	(1)
§ 1.1 什么是 CAD	(1)
§ 1.2 CAD 的功能和作用	(4)
§ 1.3 CAD 技术发展概况	(12)
第二章 CAD 的硬件和软件基础	(17)
§ 2.1 计算机硬件的一些基本概念	(17)
§ 2.2 CAD 系统的配置与分类	(22)
§ 2.3 32 位及微型机 CAD 工作站	(27)
§ 2.4 图形输入输出设备	(31)
§ 2.5 数据存贮与输入输出设备	(36)
§ 2.6 CAD 的系统软件	(38)
§ 2.7 CAD 的支撑软件	(44)
§ 2.8 CAD 的应用软件	(48)
第三章 计算机图形学	(51)
§ 3.1 计算机图形学的基本内容	(51)
§ 3.2 基本的图形生成和图形变换	(55)
一、线素的生成	(55)
二、汉字的输出	(58)
三、曲线的生成	(61)
四、曲面的生成	(64)
五、基本的图形变换方法	(66)

§ 3.3	消隐图形	(70)
一、	消隐线图形	(70)
二、	消隐面图形	(73)
三、	有限元网格的消隐线和消隐面方法	(75)
§ 3.4	数据的图形表示	(78)
§ 3.5	几何造型技术	(83)
第四章	CAD 图形软件	(86)
§ 4.1	图形软件包 AutoCAD 简介	(86)
一、	AutoCAD 的概貌	(86)
二、	AutoCAD 的操作命令	(93)
三、	AutoCAD 的二次开发	(99)
§ 4.2	32 位工作站的图形软件	(112)
一、	Apollo 工作站的图形支撑软件	(112)
二、	Sun 工作站的图形支撑软件	(117)
§ 4.3	CAD 图形软件设计	(119)
§ 4.4	微型机图形支撑软件开发	(127)
一、	IBM PC 的图形显示原理	(127)
二、	设计人机交互环境	(134)
三、	汉字化交互图形支撑软件 CIGSS	(139)
§ 4.5	图形标准化	(142)
第五章	CAD 的工程数据管理	(152)
§ 5.1	数据库系统的基本概念	(152)
§ 5.2	数据库系统的结构	(158)
§ 5.3	数据库管理系统(DBMS)	(164)
§ 5.4	CAD 的工程数据库及其特点	(168)
§ 5.5	一种微机 CAD 数据管理系统	(176)

第六章 CAD 的分析计算与优化设计	(184)
§ 6.1 CAD 对分析和优化的要求	(184)
§ 6.2 常规工程计算的程序化方法	(186)
§ 6.3 CAD 中的有限元分析及其前后处理	(194)
一、有限元分析及其软件	(195)
二、有限元模型化的计算机实现	(199)
三、有限元数据后置处理	(205)
§ 6.4 计算机辅助优化设计	(212)
第七章 CAD 系统设计与软件集成化	(221)
§ 7.1 CAD 软件工程	(221)
§ 7.2 CAD 软件研制的若干方法	(229)
§ 7.3 CAD 的软件集成化方法	(233)
参考文献.....	(239)

第一章 绪论

§ 1.1 什么是 CAD

计算机辅助设计(Computer Aided Design)通常简称为 CAD, 是利用计算机系统辅助设计人员进行产品或者工程的设计。

产品或工程设计的内容非常广泛, 包含了初始方案确定、可行性分析与经济论证、工程计算、优化选型、绘制图纸、编制表格文件、成本概预算、试制检验等许多环节。利用计算机辅助设计人员完成某个环节的设计工作, 都可称作 CAD。例如, 用计算机进行产品性能分析和工程计算, 从简单的物性(物体表面积、体积、重心、惯性矩等)计算, 到复杂的结构性能(应力、应变、动力特性、稳定性等)的数值分析。又如计算机辅助绘制设计图纸、处理试验数据等。人们最初就是把 CAD 等价于有限元分析, 后来又把计算机绘图当作 CAD 的主要内容, 即使现在许多 CAD 系统实际上也只是计算机绘图软件。

但是, 今天完整意义上的 CAD 已经不再局限于在某个设计环节和阶段中、部分地利用计算机的帮助, 而是将计算机的软件硬件技术, 与各个工业领域的专业技术结合起来, 在整个设计过程的每个阶段和所有环节中, 尽可能地使用计算机系统去完成那些重复性高、劳动量大、以及单纯依靠人力难以完成的设计工作。作为 CAD 特征的交互式计算机图形处理和工程数据管理系统, 为设计者提供了方便灵活而且高效率的设计环境, 使他們有更多的时间和精力、利用现代化的设计工具进行创造性的设计而整个设计过程在计算机系统的协调和控制下, 也逐步朝着集

成化和自动时方向发展。

下面是 CAD 应用的几个例子。

计算机辅助几何设计。这在飞机和汽车等产品设计中有着重要应用。设计者在计算机图形终端前,操作三维几何造型系统及交互图形软件,通过输入若干坐标点和控制信息,交互式地生成空间曲线、曲面或实体、构造飞机、汽车或其他复杂形体的模型。设计者可以利用鼠标、数字化仪等设备直接修改、增补、删除几何模型,对图形进行平移、旋转、剪裁、缩放等几何变换。几何模型可以经过消去隐藏线和隐藏面,利用彩色、阴影、灰度和浓淡等图象处理方式进行逼真、形象的显示。模型的几何信息和有关属性数据可以保存在外存贮器上,以供随时使用或者修改。这些数据经过加工处理和转换,可以绘制设计图纸,产生数控加工指令和参数,或者为结构强度分析生成计算模型数据。这样的 CAD 系统,能够帮助设计者迅速地完成飞机和汽车外形以及复杂空间形体的设计。

计算机辅助建筑设计。首先,在建筑设计阶段,设计者可以利用计算机图形显示和图形数据库中的标准图形元素,在图形显示屏幕上构造建筑物的三维模型,进行建筑外形、周围环境、场地规划、日照效应等的设计。然后,对每一楼层进行平面布置设计、安排门、窗、开间、房间内部设施布置。门、窗、桌、椅、柜、橱等基本设施的图形都可以从图形库中随时调出,在图上摆放、移动、插入、删除。可以绘制各种剖面图和立面图,进行成本概算。在结构设计中,CAD 系统中的结构分析程序供设计者进行结构内力分析和动力响应计算,对不同荷载工况进行内力组合,根据计算得出的内力分布按规范选配钢筋,由配筋结果从数据库中提取材料表,快速绘制施工图纸,在图上标注尺寸,写明钢

筋规格、数量、尺寸、形状等。有各种专用软件供电气、采暖、通风、给排水和结构设计者生成用于设计和施工用的图纸、一览表和材料表。各种设计数据由统一的数据库管理,对设计方案做局部修改时,能够迅速修改所有相关数据,保证设计的一致性。而且,能够通过干扰碰撞检查,最大限度地保证各个专业设计之间的相容性,以防止在传统设计方法中所不可避免的由于设计发生矛盾而造成的错误。

又如机械设计的 CAD 系统,使设计者用一些简单的几何体素如立方体、圆柱、楔形体、锥体、球体等,经过体素之间的交、并、差等逻辑运算构成各种零部件的模型。由计算机程序计算零部件的表面积、体积、重心、转动惯量等参数,生成有限元模型并用来进行力学特性分析,自动绘制设计图纸并生成数控加工纸带等。利用运动模拟来验证设计的正确性,如部件装配是否合理?机构运动是否正确?数控加工的刀具和零件运动轨迹是否正确?

从这几个例子中,可以看到 CAD 的概貌和某些特点。它与我们比较熟悉的数值计算不同,也不仅限于计算机自动绘图。除了计算、绘图和数据处理,它能够实时地、交互式地处理图形信息。因为图形是工程中最常用、最有效的交流媒介,正是在解决了图形实时处理之后,计算机才真正进入了广泛的工程设计领域。特别是交互式图形显示和图形输入输出成为有效的设计工具,使传统设计方式发生了根本的变化。完整的 CAD 系统不仅涉及个别的设计环节,而且将不同专业在整个设计过程中联结起来,形成集成化的辅助设计系统。在工程数据库基础上实现各部门协同作业、数据和资源共享,以及有效地保存和修改设计方案 CAD 是辅助而非代替人的设计,它将计算机的强大的计算、

存贮能力与设计者的智力、经验、创造才能结合起来,极大地增强和扩展了人的记忆存贮能力、计算与推理能力,并提供了几何造型、动态模拟等特殊功能,把人们从日常的重复性工作中解脱出来,有更多的机会发挥聪明才智和经验,更加主动地进行创造性的设计工作。

如果给 CAD 下一个定义,可以这样来概括:CAD 是一种将计算机科学和工程科学相结合、利用计算机系统辅助工程或产品设计的产生、修改、分析、优化和检验,从而更有效地发挥人和计算机各自特长以获得最佳效益的技术。这里所说的计算机系统包括为实现特定的设计功能而必需的硬件设备和软件系统。

§ 1.2 CAD 的功能和作用

首先,让我们了解一下设计过程以及计算机在设计中的作用。设计的含义非常广泛,而且对于不同的对象有着差别很大的具体内容。但是从总体来说,产品或工程设计一般都包括下面几个阶段:

- 需要性分析。
- 概念设计,选择初步设计方案。
- 试验、验证设计。
- 细节设计,绘制图纸、编制技术文档。

设计是一个不断产生、处理、转化信息的过程,在各个设计阶段之间有信息反馈和交互作用。例如,在分析优化或试验验证阶段中产生的信息,可能会使设计者重新修改设计方案,进行新的方案设计,这种交互作用往往会进行多次。所以,整个设计过程是以迭代的形式进行的。

从上述的设计过程来看,设计者的任务主要是:

(1)构思设计方案。除了依据设计规范和标准、凭借经验和惯例、参照以往设计方案外,经常需要绘设计草图、构造几何模型,还要进行可行性论证,经济和成本分析,以及某些简单粗略的总体方案分析计算。

(2)工程分析计算。既包括由查表、使用计算尺能够完成的简单计算,也包括如有限元分析这种必须求助于计算机的复杂数值计算。计算工作量在设计中一般占有相当大的比例。

(3)试验、模拟、检验设计性能。包括制作试件、样机,测试其性能,对设计对象进行静态或动态模拟,验证设计是否合理。

(4)绘制各种设计和施工图纸。这常常是设计中工作量最大的一部分。

(5)编制技术文档。制作材料明细表、设备表等各种技术文件,编排工艺流程等等。

这些设计工作有这样一些特点:

(1)大量的数据处理。复杂的工程设计要涉及到材料、设备、结构、工艺等许多方面,综合了许多专业和工种,不仅数据量非常大,而且数据的类型、属性和形式也多种多样,数据的有效存取、加工、传递、检查是非常重要的。

(2)大量的图形处理。图纸是工程技术人员的公用语言,是表达、记录设计的主要方式,大量图形信息的处理和交流是各个工程领域的共同特点。在概念设计阶段需要快速地设计几何模型和布局,生成和编辑图形,在最终设计阶段需要绘制和修改大量的图纸,这两种要求是不同的。

(3)工程中的数值计算,最有效的方法之一是有限元分析,工程优化设计方法也将发挥重要的作用。

从计算机系统所具备的功能来看,完全可以利用它的特长

来帮助设计者更快更好地完成设计任务。计算机系统的特长是什么呢?主要是存贮容量大、记忆能力强、运算速度快,而且具有图形和方案处理等非数值计算的能力。

计算机系统的大容量存贮、长久“记忆”的硬件功能和数据库管理等软件技术,极大地扩充了设计者的记忆力;改变了工程信息的存贮管理、处理方法。在系统这一级别上将各部门、各专业的数据、资料统一管理起来,供给人们方便地查询、调用、修改、增删、实现各个专业用户对数据资源的共享和不同用户间数据的自动转换和传递,并且保证数据变化的同步性。

计算机自动绘图不仅使设计人员摆脱了绘图、描图等繁重的手工劳动,而且绘图的质量好、速度快、标准化程度高。计算机的交互式图形显示和几何造型的功能,使设计者能够直接在显示屏幕上作图、设计几何模型,比在图板上画图还要方便,并且很容易修改和保存图形。图形动态显示的动画技术可以用来进行仿真模拟,例如公路设计中对汽车驾驶员操作环境的三维仿真,对机构或加工刀具运动的动态模拟等。

计算机的高速运算能力是人们早已熟悉的,这种能力与有限元等数值方法结合,完成了许许多多过去无法想象的工程计算。通过数据转换并借助于图形显示和计算机绘图,将会进一步改善计算模型的生成,计算结果的编辑、整理和表示等前置处理和后置处理,减少人工劳动,提高设计计算的效率。在设计中使用的各种计算公式、数表、线图以及规范等,也可以采用程序化的方法由计算机及其相应软件来表述、存贮、管理,供设计者检索、调用、更方便地使用这些设计资料。

计算机虽然有很多长处,但是与人相比,它也存在许多短处。这在处理设计信息方面主要表现为:不能直接使用规则工

作,要求将规则公式化或用算法表述,但是许多设计规范是难以做到这一点的;能够对固定的模型很好地进行分析,但对动态变化的模型进行综合不那么有效;缺乏对环境的判断、识别能力和逻辑推理的能力;不善于处理设计中经常存在不确定性、模糊因素等等。如果将设计者的知识、经验、逻辑思维能力与计算机的长处结合起来,会有助于解决上述问题,更有效地工作。所以说,计算机只能是辅助设计的工具,决不能取代设计者。知识工程、专家系统等人工智能方面的研究,旨在采集和保存特定领域的专家知识,将专家知识形式化并在计算机内以特定形式存贮,以便在知识上实现推理及解释,希望能在特定领域内完成专家水平的咨询、决策、诊断或设计工作。把这些研究成果和 CAD 技术结合,必将逐步克服现有 CAD 系统的局限性,提供智能化 CAD 的方法。这是当前 CAD 技术发展中的一个重要方向[31—34]。

充分发挥计算机系统的特长,创造一个对用户友好的、实时人机交互的设计环境,更好地发挥设计者和计算机的各自优势,提高工程和产品设计的生产率,这就是 CAD 的作用。这种作用应当而且能够贯穿于设计的全过程,如图 1—1 所示。

由于设计的对象和工作内容不同,各个工程领域和专业部门对 CAD 系统的要求也不相同。但是就整体来说,CAD 系统的主要功能可以概括为:

- 交互式图形显示与几何模型构造。
- 工程计算分析和对设计的模拟、验证、优化。
- 计算机自动绘图与辅助文档编辑。
- 工程数据库和图形库的管理与共享。
- 知识工程与专家系统基础上的智能型辅助设计和决策。

交互式的图形处理,包括图形的输入、生成、显示、修改、输

出和存贮,是 CAD 最突出的特点和最基本的功能。CAD 技术的开端就是以实时图形处理为标志的,计算机的任务从数值计算发展到图形信息处理,才真正大规模地进入工程设计领域。实际上,图形显示和自动绘图是目前大多数商品化 CAD 系统的主要功能。

图 1-1

交互式的计算机图形处理,极大地改变了设计工作的环境和方式。设计者不仅可以用他们所熟悉的图形方式表达设计思想,而且具备了先进的图形处理技术和工具,这就是实用图形软件和图形输入输出设备。他们可以利用数字化仪和图形扫描仪,将图纸输入计算机;使用鼠标、光笔等设备人机交互地编辑、修改图形、并借助于各种辅助作图、标注尺寸、几何变换等软件功能;利用旋转、剖切、着色、消隐、动画等图形显示技巧,使得计算机图形比图纸更为逼真、形象和易于理解。几何造型软件能够帮助设计者更有效地设计复杂的三维曲面和实体模型,并且自动计算物性参数,生成各种剖面图形和加工数据、检查模型的空间位置相容性。