

CAD 系统与方法

潘云鹤 编著



华航Z0195203

浙江大学出版社

CAD 系统与方法

潘云鹤 编著

浙江大学出版社

内容简介

本书较全面地讲述了构成计算机辅助设计系统(CAD)的各种硬件、软件设备,以及进行CAD的方法。书中讲述了国际标准图形学软件的原理、概念、系统结构以及程序实现方法,包括图形输出基元的生成方法,各种坐标系概念及变换,图形数据结构及管理,剪裁,消隐以及真实感显示算法,并指出在一个图形软件系统中,上述概念与算法的关系。随后讲述各种造型系统的概念及方法,并详细给出基于半边数据结构的实体造型算法。接着,讲述了常用的设计优化方法,包括一维优化、多维优化、直接优化和间接优化。最后讲述了智能CAD的常用方法和模型,包括约束满足法,规则生成法,CBR法,原型法和知识工程法等等。书中大量算法都用C语言给出程序,以利读者在学习与工作参考。

本书可作为计算机、信息处理、机械设计、建筑设计、工业设计等专业研究生和高年级本科生的教材,并可供从事计算机研究、开发、应用和管理工作的科技人员参考。

CAD 系统与方法

潘云鹤 编著

责任编辑 龚建勋

* * *

浙江大学出版社出版

(杭州玉古路20号 邮政编码310027)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

浙江大学出版社电脑排版中心排版

浙江地质田地质制图印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

* * *

787×1092 16开 21.25印张 544千字

1996年5月第1版 2000年1月第3次印刷

印数:7001—9000

ISBN 7-308-01658-7/TP·148 定价:25.00元

序

计算机辅助设计是计算机应用最重要的领域之一。设计是人类认识世界和改造世界的重要活动。就其领域广泛性而言,从飞机、轮船、建筑,直至家具、器皿,一切制造及工程行业无不需设计。因此,所有高等院校工科专业,几乎都将设计人材培养作为教学的重要目标。近年来,中国市场经济的兴起更将设计推向一个至关重要的位置。不断设计出胜人一筹的新产品,成为企业在竞争中获胜的一种关键武器。在这样的背景下,从 80 年代开始,CAD 技术在我国便如火如荼地发展起来。

计算机辅助设计可以有效地提高设计的速度与质量,从而产生十分显著的经济效益。如果将设计、制作、工艺处理、管理等多个步骤用计算机集成处理,则产品的整个生产效率与质量可获极大改善。如果将人工智能引入 CAD 技术,则计算机可直接用于产品的创新,会极大地提高人类的创造能力。如果再将多媒体网络技术引入 CAD 领域,并综合发挥设计师与计算机的互补功能,则企业可大大增强其产品翻新与占领市场的能力。我们可以将今后十年 CAD 技术的这些发展方向概称为 I⁴,即:集成化(Integrated),智能化(Intelligent),网络化(Internetwork)和人机交互化(Interactive)。

本书按照从整体到局部的视角,全面介绍 CAD 的方法、系统的构成、数据结构、典型算法和人机交互界面,并以 C 语言给出算法,以便读者练习。全书共分九章。第一章概述 CAD 的概念及发展历史、硬件与软件系统的结构及简介,以及 CAD 的各种方法。第二章到第五章介绍计算机图形学软件的系统结构与算法。其特点是将国际图形学标准的概念和命令作为系统描述的框架,依次介绍了图形输出基元的概念和生成算法;各种坐标系的概念、变换与剪裁算法;图形数据结构及其管理方法;真实感显示的算法。力求使读者不仅了解图形学的算法,而且了解标准图形支撑软件系统的整体结构,以便既见树木,又见森林。第六章介绍设计优化的常用方法,内容有:单目标优化、多目标优化、直接优化、间接优化等等各种典型算法。第七章简单介绍设计对象造型的各种方法,包括实体模型和非几何模型。第八章详细介绍了一个基于半边数据结构上的边界模型的系统结构以及其中各层次上的算法。这两章使读者较全面而系统地了解实体造型的原理与算法。第九章简单介绍了智能 CAD 的概念和方法,分别给出了基于搜索、推理、约束满足、知识工程等等不同的智能 CAD 方法模型,并引用范例加以解释。智能 CAD 是一个正在迅速发展的重要领域,也是作者的主要研究方向之一,更多的内容将在另一部关

于智能 CAD 的专著中详细论述。

庄越挺副教授执笔参加了本书第九章的编写;童欣、杨晓松、杨宇艇、邬浩等同志为书中的程序作上机验证,并帮助打印与绘图,作者在此表示衷心感谢!我还要感谢何志均教授。1988 年,我由美回国,他指定我给计算机系的研究生讲授“CAD 系统与方法”课程,正是此举直接导致了本书的写作。

CAD 是一个内容广泛且发展迅速的领域,作者的见识与水平有限,故本书难免有不当之处,敬请读者不吝指正。

潘云鹤

1995 年 9 月 25 日

目 录

第一章 CAD 概论

1.1 CAD 概念	1
1.1.1 CAD 基本概念	1
1.1.2 CAD 系统的类型	3
1.1.3 CAD 方法	4
1.2 CAD 硬件系统	8
1.2.1 CAD 硬件	8
1.2.1.1 图形显示设备	8
1.2.1.2 图形输入设备	10
1.2.1.3 3D 物体输入设备	13
1.2.1.4 图形输出设备	15
1.2.1.5 PC-CAD 硬件与工作站	18
1.2.2 CAD 局部网络	20
1.2.2.1 以太网	20
1.2.2.2 环形网	21
1.3 CAD 软件系统	22
1.3.1 CAD 软件系统的层次	22
1.3.2 CAD 通用软件	24
1.3.2.1 图形软件及其标准	24
1.3.2.2 造型软件	25
1.3.2.3 工程分析软件	27
1.3.2.4 工程数据库管理软件	27
1.3.2.5 人工智能软件	28

第二章 图形的输出基元

2.1 输出基元	30
2.1.1 输出基元的种类	30
2.1.2 输出基元的命令	30
2.1.3 图形基本指令集	32
2.2 直线的生成算法	33
2.2.1 直线的 DDA 算法	33
2.2.2 直线的 Bresenham 算法	35
2.3 圆的生成算法	38
2.3.1 基础知识	38

2.3.2 圆的 Bresenham 算法	38
2.4 字符的生成	40
2.4.1 点阵式字符	40
2.4.2 矢量式字符	41
2.4.3 方向编码式字符	41
2.5 多边形填色	42
2.5.1 基础知识	42
2.5.2 扫描线填色算法	43
2.5.3 种子填色算法	50
2.5.4 区域边界的反走样	51
2.6 输出基元的性质	55
2.6.1 定义基元的性质	55
2.6.2 性质的组合定义	58
2.6.3 性质的查询	60
第三章 坐标变换和剪裁	
3.1 基本几何变换	61
3.1.1 二维几何变换	61
3.1.2 三维几何变换	64
3.2 二维坐标系统的标准化变换	68
3.2.1 基本概念	68
3.2.2 定义标准化变换	69
3.2.3 窗口操作	70
3.3 投影变换	72
3.3.1 基本概念	72
3.3.2 平行投影变换	73
3.3.3 透视投影变换	74
3.4 三维视域变换	75
3.4.1 基本概念	75
3.4.2 视域变换	76
3.4.3 定义三维视域参数	78
3.5 二维剪裁	82
3.5.1 直线的剪裁	83
3.5.2 多边形的剪裁	88
3.5.3 字符串的剪裁	92
3.6 三维剪裁	93
3.6.1 基本概念	93
3.6.2 三维剪裁算法分析	94
第四章 图形数据管理	
4.1 图段	97
4.1.1 图段的概念	97

4.1.2	图段的操作	98
4.2	逻辑工作站	99
4.2.1	逻辑工作站的概念	99
4.2.2	工作站变换	101
4.2.3	独立于工作站的图段存储器和图文件	101
4.2.4	工作站上的图段操作	101
4.3	图形数据的输入	103
4.3.1	逻辑输入设备	103
4.3.2	图形输入的命令	103
4.3.3	输入模式	105
4.3.4	输入模式的命令	107
4.4	图形数据结构	109
4.4.1	图形数据的逻辑结构	109
4.4.2	图形数据的主要操作	111
4.4.3	图形数据操作的基本算法模块	113
第五章 三维形体的真实感显示		
5.1	线和面的消隐	116
5.1.1	消隐的基本概念	116
5.1.2	背面的删除	117
5.1.3	Z-buffer 消隐算法	119
5.1.4	扫描线消隐算法	122
5.2	光照模型	131
5.2.1	光源特性和物体表面特性	131
5.2.2	光照模型	133
5.2.3	光照模型的计算实现	135
5.2.4	明暗的光滑处理	137
5.3	光照模型的改进	138
5.3.1	天空光照模型	138
5.3.2	色彩的空间感模型	141
5.4	光线跟踪方法	142
5.4.1	基本概念	142
5.4.2	光线与实体的求交	144
5.4.3	光线跟踪算法	146
5.5	表面图案和纹理	151
5.5.1	表面图案的描绘	151
5.5.2	表面纹理的描绘	153
第六章 设计对象的造型		
6.1	概述	155
6.1.1	对象的信息	155
6.1.2	多面体的欧拉(Euler)特性	156

6.1.3	实体造型系统的结构和类型	157
6.1.4	模型的评价	158
6.2	分解模型	160
6.2.1	八叉树表达	160
6.2.2	八叉树的操作	161
6.2.3	线性八叉树	163
6.2.4	小结	163
6.3	结构实体几何模型(CSG)	164
6.3.1	结构实体几何的表达	164
6.3.2	CSG 的操作算法	166
6.3.3	CSG 的一般基元	167
6.3.4	小结	168
6.4	边界模型	169
6.4.1	边界模型的元素	169
6.4.2	边界模型的关系数据结构	170
6.4.3	翼边数据结构	172
6.4.4	小结	174
6.5	混合模型	175
6.5.1	混合模型的结构	175
6.5.2	分布式模型系统	176
6.6	随机模型	177
6.6.1	分维几何	177
6.6.2	随机模型构成算法	178
6.6.3	基于随机模型思想的纹理生成方法	180
第七章 实体模型软件系统的结构和算法		
7.1	概述	182
7.1.1	实体模型软件系统的结构	182
7.1.2	用户界面	183
7.1.3	实体造型的过程	185
7.2	半边数据结构	186
7.2.1	半边结构的概念	186
7.2.2	半边数据结构的程序描述	187
7.2.3	半边结构中的数据检索算法	190
7.2.4	半边结构中的数据增和删算法	192
7.3	欧拉操作	197
7.3.1	基本欧拉操作	197
7.3.2	欧拉操作的造型过程	199
7.3.3	半边结构上的欧拉操作算法	199
7.3.3.1	低层欧拉操作算法	202
7.3.3.2	高层欧拉操作的实现	207

7.4 实体基元的生成	212
7.4.1 移动掠扫算法	212
7.4.2 长方体产生算法	214
7.4.3 圆柱生成算法	215
7.4.4 以曲线为基的旋转掠扫算法	217
7.4.5 球生成算法	219
7.4.6 以面为基的旋转掠扫算法	220
7.4.7 环生成算法	224
7.5 几何特性分析	225
7.5.1 相交性判断	225
7.5.2 求实体的体积	226
7.5.3 求实体的面积	227
7.6 布尔集合操作	229
7.6.1 在 B-rep 模型上的布尔集合操作	229
7.6.2 剖切操作	231
7.6.3 集合操作	246
第八章 设计优化的基本方法	
8.1 设计优化的概念	254
8.1.1 优化方法的模型	254
8.1.2 设计优化方法的分类	255
8.1.3 函数的极值	255
8.2 一维搜索方法	257
8.2.1 总体搜索	258
8.2.2 黄金分割搜索	259
8.3 多维搜索方法	261
8.3.1 模式搜索	261
8.3.2 单纯形法	262
8.3.3 多维搜索方法的程序实现	264
8.4 线性规划	277
8.4.1 线性规划问题的表达	277
8.4.2 图解法解线性规划	278
8.4.3 线性规划的标准形式	279
8.4.4 单纯形法解线性规划的原理	280
8.4.5 单纯形表解线性规划	283
第九章 智能 CAD	
9.1 智能 CAD 的概念及历史	286
9.2 智能 CAD 方法的分类	287
9.3 约束满足方法	288
9.3.1 利用约束交互作图	288
9.3.1.1 系统功能	288

9.3.1.2 系统的设计	290
9.3.1.3 工作机理	292
9.3.2 利用约束进行设计	293
9.4 规则生成法	298
9.4.1 形状文法	298
9.4.2 用 SG 描述风格	300
9.4.3 用 SG 进行建筑组合	305
9.4.3.1 基本概念	305
9.4.3.2 风格的改变和关系	306
9.4.3.3 语义描述	308
9.4.4 SG 的用途及局限	311
9.5 基于 Case 推理的设计方法	311
9.5.1 CBR 和 CBD 概念	311
9.5.2 CBD 的技术要点	312
9.5.3 CYCLOPS——基于 CBR 的设计系统	314
9.6 原型法	315
9.6.1 概念	315
9.6.2 原型法的分类	316
9.6.3 原型法设计的例子	316
9.7 知识工程的方法	322
9.7.1 基本原理	322
9.7.2 设计知识的表达	322
9.7.3 设计专家系统的分类	326
参考文献	327

第一章 CAD 概论

1.1 CAD 概念

1.1.1 CAD 基本概念

CAD 是计算机辅助设计(Computer Aided Design)的简称。CAD 是指利用计算机技术完成设计过程中的信息检索、分析、计算、综合、修改及文件编制工作。

设计是一个范围广泛的概念范畴。在这个范畴中含有差异颇大的众多成员,如建筑设计,工程设计,产品设计,环境设计,视觉传达设计,电路设计,程序设计,生产流程设计,加工工艺设计等等。因此,设计的一个最一般的定义为:设计是付诸行动的一种规划。但是,在人们的心理中,设计范畴所含诸成员的地位并非相等,而有典型程度的差异。设计的典型成员是那些关于形状的设计。当大多数人提到设计这个概念时,首先想到的是建筑设计,机械设计,产品设计等关于形状的设计。而程序设计,生产流程设计等关于过程的设计,则为设计范畴中的非典型成员。关于形状的设计是一种造型活动的规划,它必须满足功能的、技术的、经济的、美观的等等诸多要求中所指定的各种因素。

现在再回到设计的定义中来。我们看到“付诸行动”的行动包括两个部分:一个是行动的目标,一个是行动的过程。一个完整的设计行为是先规划行动的目标,再规划行动的过程。关于形状的设计,都是关于行动的目标的设计行为。因此我们推得这样的结论:关于行动目标的规划构成了设计概念的核心。

设计过程是由信息检索、分析、计算、综合、修改及文件编制等诸多设计环节构成,其中形状的分析、综合、修改及图纸绘制是最具设计特色的典型设计环节。尽管计算机辅助完成设计活动中的任一个设计环节都可以被泛称为 CAD,例如内应力计算,但是 CAD 的典型含义是计算机辅助含有典型设计环节的设计活动。

1963 年,美国麻省理工学院(MIT)24 岁的研究生 I. E. Sutherland 首次提出 CAD 的术语与概念。他在美国计算机联合会的年会上发表《SKETCHPAD-A,一种人机对话系统》,介绍了一个能在 10~15 分钟内完成手工通常数周时间才能完成的设计工作的系统。设计者使用光笔和键盘,在阴极射线管(CRT)上画图,并对图形进行变换和编辑操作,从而实现从概念设计到生产设计的过程。

MIT 的研究者的新概念激动了美国工程界。一些大公司立即投入 CAD 实用系统的开发研究。美国通用汽车公司为汽车外形设计开发了 DAC-1 系统(Design Augmented by Computer-1),用以分析和综合车身的三维曲线设计。美国洛克希德航空公司开发了飞机设计的 CGADAM

系统(Computer Graphics Augmented Design and Manufacturing),具有强度分析、绘图和数控编程等功能。贝尔实验室开发了 Graphic1,用于电路方案设计、印制板的电路元件布局和布线设计。

在 70 年代,CAD 系统采用以超级小型机为基础的集中分时方式,CAD 系统开始商品化,但仍很昂贵。为了减轻用户和开发者的工作量,图形标准被着手研究。到了 70 年代末,光栅扫描显示开始出现,并由此引导计算机图形学算法研究进入一个新天地。

到了 80 年代,分布式联网的工作站已成为 CAD 的典型硬件环境,其性能价格比年复一年地迅速提高,光栅扫描显示器及其算法统治图形学硬、软件,CAD 方法从绘图进入造型,实体模型系统成熟,计算机动画开始兴起,集成 CAD 系统开始商业化,CAD 应用迅猛发展,市场十分繁荣。1980 年世界市场的销售额为 9 亿美元;1986 年则猛增至 58 亿美元,其中美国的销售量为 43 亿美元,占世界销售总量的 70%以上。

进入 90 年代,CAD 的发展呈现如下趋向:

- CAD 的硬件支撑已从工作站扩展到个人计算机(PC)。彩色图形显示系统和图形加速卡已经成为或正在成为工作站和 PC 的通用设备。
- 各种各样的模型描述方法出现,并逐步标准化。工程数据库的研究和实现日益重要。以设计为核心的集成制造系统越来越实用和普及。
- CAD 技术逐渐智能化,使 CAD 系统更灵活、易用、高效,并且有创造性。
- CAD 技术逐渐多媒体化,使得设计的结果容易控制,质量更加提高。
- 由于 CAD 系统性能价格比的提高,工程、制作和娱乐行业普遍使用 CAD 技术。CAD 逐步成为计算机应用中最重要领域之一。
- 工科类专业教学中将普遍开设 CAD 课程,从而使 CAD 技术迅速普及。
- 各种新的计算机图形输入输出设备不断涌现,特别是 3D 彩色数字化仪的出现,使得造型和数据库的建立越来越容易。

现在,以 CAD 概念为核心,已经发展出了 CAM、CAE、CAPP 和 CIMS 等等一系列相邻或相关的概念,它们和 CAD 有着密切关系。

CAM 是计算机辅助制造(Computer Aided Manufacture)的简称。它包括:

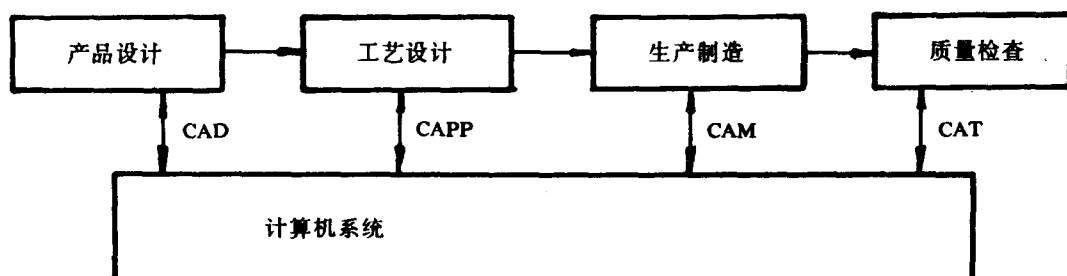
- 数控技术(NC):用数字信息控制机床进行加工。首先将加工对象的形状、尺寸、数量表达为数字信息,并由 NC 装置将这些信息变换为刀具和部件实际移动量的数值,由这些数值通过执行机构自动加工。
- 工业机器人(Robot):工业机器人主要用于搬运、装配和焊接。它主要由手、眼、腿、记忆等部分构成,以示教或编程的方式进行控制。
- 柔性制造系统(Flexible Manufacture System)FMS:由数控机床群,一个在机床间运送物料和刀具的输送网络,和一个协调加工与运储的总体控制系统构成。FMS 可用于高效率的多品种,小批量的零件生产。

CAPP 是计算机辅助工艺设计(Computer Aided Process Planning)的简称。工艺设计是将产品的设计信息转换成产品的加工信息,是连接设计和制造的桥梁。工艺设计包括这些过程:根据设计决定加工或装配的工序,及各工序所需的机床和工具的加工工时,然后根据现有设备与人员进行规划,以获得最佳的生产时效。常用的 CAPP 方法有:

- 检索法。它首先对加工对象进行分类,然后从数据库中相应的零件类中检索出该类的标准加工工艺。对照这类标准与加工对象之间的异同修改标准加工工艺而得到所需的加工工艺。
- 生成法。它以加工对象的几何形状、材料等数据为出发点,自动综合出最佳工艺。生成

法适宜用专家系统的方法予以实现。

CAE 是计算机辅助工程(Computer Aided Engineering)的简称,是指对 CAD、CAPP、CAM 所组成的过程进行统一管理。CAE 概念可以表达为图 1.1。



CIMS 是计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacture System)的简称。CIMS 可以简略地解释为 CAE 加上 MIS(Management Information System),即在 CAE 的基础上,加上财务管理、计划调度、仓库管理、工资档案、供销统计等等管理信息的处理功能。CIMS 将生产自动化与办公自动化用更高层的协调知识统一集成起来,以计算机进行规划调度,从而产生更大的经济效益。它是 CAD、CAM 横向发展的一个方向。

1.1.2 CAD 系统的类型

CAD 系统可以从三个不同的角度予以分类:应用领域的角度,系统结构的角, CAD 方法的角度。本小节叙述前两种分类。关于 CAD 方法,在下小节中描述。

一、按照应用领域分,主要有:

1. 机械 CAD 汽车 CAD 和飞机 CAD 是这个行业的 CAD 先驱。使用 CAD 设计车身外形,可提高工效 20 倍,使企业在激烈竞争中取得优势。我国造船工业在 60 年代末就开始 CAD/CAM 的研究,和其他制造行业相比,起步较早,现在已建成规模巨大的船舶 CAD/CAM 系统 CASIS-1,覆盖船舶设计与制造全过程。模具 CAD,机械零件 CAD,以及 CAD/CAM/CAPP 的结合,是机械 CAD 研究较集中的领域。

2. 建筑 CAD 包括建筑设计、结构设计、水电设计、预算决算、小区规划、路桥设计、城市规划等等不同功能的领域。其中建筑设计功能最复杂,要同时满足功能、技术、经济、审美等多种要求,是 CAD 难点和研究前沿之一。

3. 电子 CAD 包括集成电路 CAD、印刷电路板 CAD、整机系统模拟、故障测试与诊断、电子线路 CAD 等等。特别是大规模集成电路的设计与制造,由于密集度和精度很高。采用 CAD 技术进行电路的布局与布线已成为生产之必要手段。

4. 计算机辅助工业设计(CAID) 包括家电、相机、钟表、车辆、器皿、家具等等日用工业产品设计;室内、室外、园林等环境设计;图案、广告、展览、包装、动画等视觉传达设计。由于工业设计与制造企业兴衰、国家的兴旺发达和人民生活水平有密切关系,CAID 具有巨大的经济效益和广阔的发展前景。

5. 地图 CAD 包括行政区域图、地形图和电子沙盘、地质图、城市规划图、地下管网图、交

通图、人口分布图、环境保护图、生物、品种、产量分布图、海图、气象图等等一切与地域位置有关信息的操作和图形设计。由于这些信息数量巨大,变化频繁,使用要求复杂,用手工方式来管理、分析、编辑、绘制已难以完成,地图 CAD 便成了发展方向。地图 CAD 经常和地域信息的管理、分析、处理等功能合在一起,称为 GIS。它是地域信息系统(Geographic Information System)的简称。GIS 将 CAD 技术与 MIS 技术结合起来,以图形数据库为核心,形成一个图形信息的管理、分析、操作与显示系统。它在工业、农业、商业、城乡建设业、军事、环境保护和政府管理部门等各行各业中都有重要的应用价值,近年来已有迅速发展。

二、按照系统结构分,主要有:

1. 单环节 CAD 系统 这类 CAD 系统主要用于一个设计过程中的某一特定设计环节,例如有限元分析系统,专门用于分析构件的力学性能。这种系统的数据结构与操作是专门为这一环节而设计。由于这类系统的目标狭窄,虽然可以做得模型精确,算法效率较高,但功能狭窄,扩充性差,并在数据的输入输出上开销太大。从设计全过程来看,这类系统的性能价格比较低。

2. 顺序多环节 CAD 系统 为了克服单环节 CAD 系统的缺点,一个自然的做法是将若干环节的 CAD 系统顺序联结起来。前一系统的输出作为后一系统的输入,形成一个,大系统。各子系统的不同数据结构,用数据文件之间的转换方式进行耦合。顺序多环节-CAD 系统减少了各子系统的人机输入输出工作量,提高了效率。这类系统也有缺点。首先,各子系统必须顺序执行,而在很多设计过程中,各子系统的进行往往是穿插并行的。例如建筑设计中的建筑结构、水、电等子系统的设计是彼此穿插并行进行的,很难将一个做完了再去做另一个。因此顺序多环节结构不适应复杂的工程设计。其次,由于各子系统分别各自设计,使用各自的数据文件,有很大数据冗余,彼此又要经过转换才能交换信息,因此,在空间和时间上都不经济。

3. 集成化 CAD 系统 集成化 CAD 系统以工程数据库为核心构成各子系统,实现数据共享。各子系统以统一设计的工程数据库为数据资源各自开展工作。各自的数据变化又通过数据库内容的修改传达给其他子系统,从而使各子系统正确地协调地工作。集成化 CAD 系统的难点在于设计能兼顾多个子系统进行复杂操作的工程数据库。目前市场上已有初步规模的集成 CAD 系统出售,运行效率比前两类系统大有提高。集成 CAD 系统是 CAD 技术发展的一个重要方向。

1.1.3 CAD 方法

为了研究 CAD 的方法的各种类型,首先让我们考察一个典型的设计过程。图 1.2 给出这个过程的主要步骤。

首先,设计者获得设计要求。这些要求包括功能要求、经济要求、制作技术要求、环境要求、审美要求等等。例如,对一幢住宅设计而言,功能要求常常包括建筑面积,房间数量与类型,房间朝向与面积等等;经济要求常常包括各种造价之上下限;技术要求指出房子能施工的种种约束;环境要求由基地的大小、形状及周围的建筑与道路所刻划;审美要求指出房子的外型应呈现的某种美感。

第二步,设计师进行方案设计。这一步骤的信息源既来自设计要求,也来自设计师的知识。当设计要求不完整时,设计师按经验予以补充。当设计要求彼此矛盾时,设计师须分清主次,通过协商而予以平衡。方案设计包括功能的满足,技术的可行和审美的满足等多方面思考。方案设计是整个设计过程中最活跃、最具创造性,也是智力活动最复杂的一个环节。方案设计是一种特殊的问题求解的形式。H. A. Simon 将这种形式称为综合(Synthesis)^[1]。设计师们通常将它

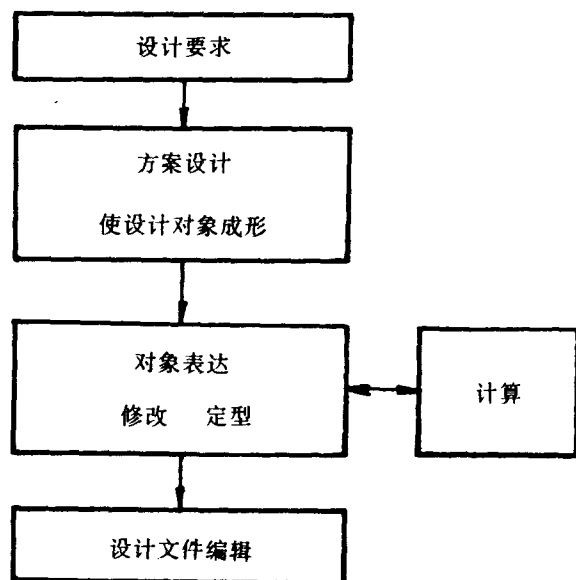


图 1.2 典型的设计过程的主要步骤

称为构思。构思的结果在大脑中产生形象,设计对象在此步骤中基本成形。

方案设计过程是一种从要求向约束的转换过程。要求是用户对物理和心理上某些需要的描述,因此它是基于用户的。约束是对设计对象所含(隐式或显式)变量变化范围的一种限制,因此它是基于设计对象的。方案设计就是一种从基于用户的描述转化为基于对象描述的过程。由于这两种描述之间有相当大的跨度,很少一一对应,因此,这种转换是整个设计过程的难点所在,同时也是最能发挥创造性的地方。通常可以用下列方法来实现这种转换:

1. 功能—对象单元。这种单元描述了对象及其能实现的功能。一个设计方案的形成可以由选择一组覆盖全部功能,而又彼此相容的对象加以完成。这种方法已被用于机械设计之中。它的缺点是一些难以分解的整体性功能(如审美功能等等)和彼此影响的功能(如空间的邻接和流通)无法转化。

2. 功能—设计范例。其中范例描述了已往的设计结果及其能完成的功能。这样,设计方案的形成便可以由选择一个或一组有类似功能的范例,并对范例加以修改而完成。如果找不到一个符合全部设计要求的范例,则可以找到一组部分符合设计要求的范例,而它们的全体则覆盖了全部设计要求。这时,就需要对这组范例加以综合。所谓综合,就是在保证结构合理的情况下,对部件进行再组合。为此,范例必须含有部件组及结构两种信息,而选择、判别和综合过程则需要类比推理、分解和综合推理才能完成。这种设计方法与人工智能中的 Case 推理相类似,但比 Case 推理原来的概念进了一步。

总之,方案设计需要一种能使基于用户和基于对象相联系的知识才能完成。方案 CAD 研究的就是这样的一种知识工程技术。

第三步,设计对象的验证、修改、定型。这一步骤首先要将大脑中的设计对象表达出来。这可以使用示意图的方法,也可使用做模型的方法。然后要根据功能、技术、经济、审美等各个方面的详细要求和数据,对模型作进一步的计算,不合适之处予以改善,细节予以补充,最后定型。

第四步,将定型的设计结果制成适合于施工的技术文件。它们通常由对象的三视图、剖面图、部件图、各种详图和说明构成。

CAD 方法与设计过程的层次有密切的联系。常见的 CAD 方法可以分为如下四类:

1. 面向画面方法(Picture Oriented) 简称为 PO 方法。这类 CAD 方法主要作用于设计文件编辑步骤。PO 方法的主要对象是画面上的各个部分,因此,数据结构呈现较少的层次,表达的对象主要是二维的。使用 PO 方法的 CAD 系统所提供的操作,主要为完成各种画面效果和制图要求服务,计算机内没有完整的设计对象数据结构,而只有设计图面的数据结构。完整的设计对象保存在使用该系统的用户头脑中。PO 方法 CAD 系统主要用于编辑各种工程图纸或艺术效果图。它利用计算机对图形变换、拷贝、着色、修改及图象处理等强大的图形编辑能力而获得经济效益。PO 法所使用的主要软件是图形软件。PC 使用者所熟悉的 10.0 以前版本的 AUTO CAD 就是以 PO 法为主的一种 CAD 系统。

尽管 PO 法主要只使用交互图形学的功能,但当它和数据库技术巧妙配合时,可以发展出一种相当实用的 CAD 方法——范例修改法。它是基于这样一种设计思想:即很多设计并非从头创造,而是在以前的设计实例上,按目前要求加以修改而已。因此,把优秀的设计范例图存储起来,形成范例数据库。设计时,调出合适的范例加以修改,形成新的设计图纸。这种方法,速度快、成本低,可以用于一些创造性要求较少的设计领域。

使用 PO 法进行 CAD 时,同一对象的不同图纸之间会出现不相容的现象,因此校图工作量大,这是因为系统内部没有设计对象统一的数据结构所致。

2. 面向计算方法(Computation Oriented) 简称 CO。这类方法主要作用于设计过程中的计算步骤。例如大坝应力分析,楼层的框架或排架力学分析,汽轮机叶片计算,光学镜片设计,土建预算决算等等。这类方法的应用前提是设计对象所含各物理量间的关系和约束可以用公式描述,或者可以转化为现成的数学方法(如有限元、线性规划等)进行计算。

纯 CO 方法一般被认为仅是 CAD 的一种局部手段。但当 CO 法与 PO 法相结合时,可以构成基于计算和绘图的实用 CAD 系统。例如它们可构成一个齿轮设计系统:输入标准压力角、模数等参数之后,利用正齿轮尺寸与这些参数的关系公式就可以计算出正齿轮的主要尺寸,然后通过图面编辑程序进行绘图输出。

3. 面向模型造型方法(Model Oriented) 简称 MO。这类方法主要作用于设计过程中的对象模型表达、修改、定型阶段。MO 方法的 CAD 系统以设计对象模型为操作对象,一般表达为三维实体。最后的设计结果是由很多子实体构成,因此,数据结构需要较多层次。其主要操作是对实体的几何变换和交、并、差等集合运算,用于实体的描述及修改。MO 方法在系统内保存设计对象模型的完整描述。这种描述可供计算步骤作分析校验的数据源,也能通过投影或其他变换而生成工程制图所需要的形状信息。当用 MO 方法产生工程图纸时,不同的图纸的信息是由同一对象实体的不同投影或分解而得,因此 MO 方法能自动保持不同设计文件之间的一致性。这就免去校核图纸之麻烦。这是 MO 法的一个优点。