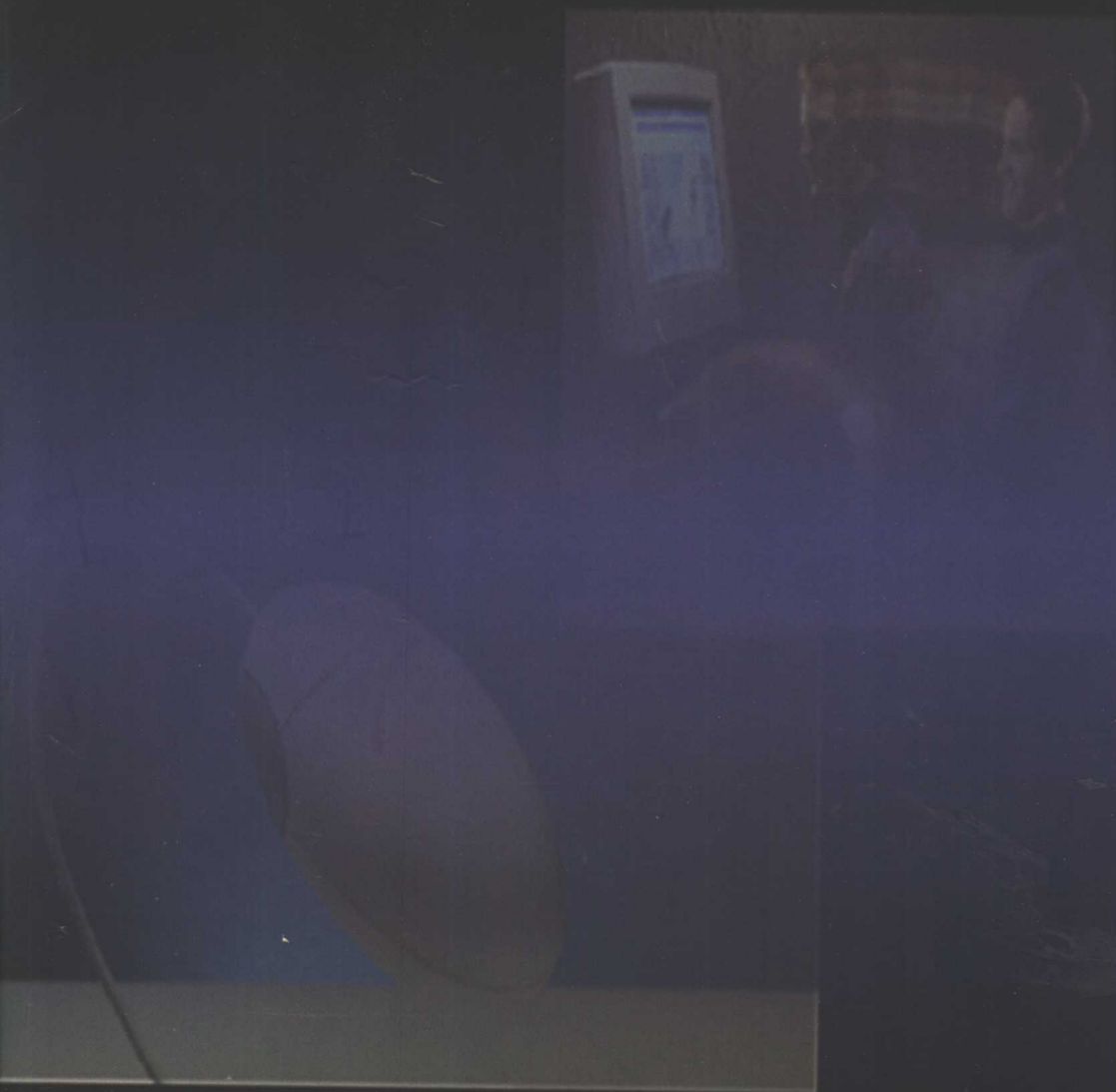


工业设计 CAD

薛澄歧 编著

INDUSTRIAL DESIGN CAD



东南大学出版社

工业设计 CAD

薛澄歧 主编

东南大学出版社

· 南京 ·

内 容 提 要

本教材介绍工业产品造型CAD的基本理论、方法、过程,可用于产品造型CAD的主要常用软件,以及利用相关工具软件进行产品造型设计的方法和过程。本书共分五章,并附上机实验指导书。

本书可作为大专院校机电类专业高年级学生或研究生学习工业造型设计的教材或教学参考书,也可供从事工业设计的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业设计CAD/薛澄歧主编. —南京:东南大学出版社,
2001.1

ISBN 7-81050-650-1

I.工... I.薛... II.工业-计算机辅助设计 N.TB47

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第79778号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼2号 邮编 210096)
出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 溧阳市印刷厂印刷
开本:787mm×1092mm 1/16 印张:11.125 字数:280千字
2001年3月第1版 2001年3月第1次印刷
印数:1—2500 定价:14.00元

前 言

工业产品(尤其是机电产品)的造型设计已经成为工科院校中机电专业学生一门必不可少的必修课。国内许多高校已经开设了工业设计专业和相关课程。作为一名具有现代设计思维的工科学生,应该具有较高的产品造型设计能力和对色彩、型体、美学的感知力,将现代工业设计和计算机技术结合起来。掌握这一技术和方法,将会极大地提高工业产品造型设计水平,并有助于学生充分理解和消化产品造型设计原理、方法。

计算机辅助造型技术可产生已有物体的真实模型,也可以产生人们大脑中所构思创意的设计模型。本书的主要特点在于既有计算机辅助造型设计基础的内容,又有工业设计的相关内容;既有理论基础,又有大量的设计实例供读者参考。

全书共分5章,第1章介绍计算机辅助造型设计的理论基础;第2章介绍计算机辅助平面造型设计理论及相关的设计实例;第3章介绍计算机辅助立体造型设计理论及设计实例;第4章介绍工业产品造型CAD的过程、方法及实例;第5章介绍目前最常用的造型设计软件及其使用方法。附录为上机实验指导书。

本书既可作为机械类、机电类专业的高年级大学生或研究生学习工业设计CAD的教材或教学参考书,也可供从事产品造型设计的工程技术人员学习参考。

本书由东南大学薛澄歧副教授主编,周晶副教授负责第1、第2、第3章中理论基础部分的编写工作,姚陈副教授参加了第2章、第3章部分内容的编写,其余由薛澄歧编写。

在本书的编写过程中,蒋全兴教授和桂林电子工业学院李泉水教授给予了无私的关怀和指导,桂林电子工业学院罗源伟副教授对本书提出了许多宝贵意见,在此向他们表示衷心的感谢;同时感谢被引用文献的作者及所有对本书的出版给予帮助的人士。

由于我们水平有限,加之计算机辅助工业设计是一门较新且发展很快的技术,故书中难免会存在一些问题,恳请读者批评指正。

编 者

2000.9

目 录

引 言	(1)
1 计算机辅助造型设计的理论基础	(3)
1.1 造型基础	(3)
1.1.1 形体的定义和性质	(3)
1.1.2 造型中形体常用的表示形式	(5)
1.1.3 造型中的数据结构	(11)
1.2 造型常用方法	(12)
1.2.1 离散法造型	(12)
1.2.2 代数法造型	(13)
1.2.3 自由曲面造型	(15)
1.3 造型用参数曲线与曲面	(17)
1.3.1 参数曲线	(17)
1.3.2 参数曲面	(24)
2 计算机辅助平面造型设计	(30)
2.1 平面造型设计要素及一般要求	(30)
2.1.1 平面造型设计的形象要素	(30)
2.1.2 平面造型设计中形象要素的表情特征	(31)
2.2 窗口、视图及其坐标变换	(33)
2.2.1 用户域和窗口区	(33)
2.2.2 屏幕域和视图区	(33)
2.2.3 窗口区和视图区的坐标变换	(34)
2.3 二维图形的变换	(35)
2.3.1 齐次坐标	(35)
2.3.2 二维图形的变换	(36)
2.4 二维图形的裁剪	(45)
2.4.1 二维线段的裁剪	(46)
2.4.2 任意多边形的裁剪	(49)

2.4.3 字符的裁剪	(51)
2.5 平面造型设计实例	(51)
2.5.1 典型平面设计构成	(52)
2.5.2 平面设计实例	(56)
3 计算机辅助立体造型设计	(61)
3.1 立体造型设计要素及一般要求	(61)
3.1.1 立体造型设计中的材料要素	(61)
3.1.2 立体造型设计的基本方法	(62)
3.1.3 立体造型设计的美感要素	(64)
3.2 立体造型技术	(67)
3.2.1 数据结构	(67)
3.2.2 三维裁剪	(74)
3.2.3 逼真图形的产生	(79)
3.3 三维图形的变换	(85)
3.3.1 平移变换	(85)
3.3.2 比例变换	(85)
3.3.3 绕坐标轴的旋转变换	(86)
3.3.4 对称变换	(87)
3.3.5 沿坐标轴的错移变换	(88)
3.3.6 组合变换	(90)
3.4 立体造型 CAD 设计实例	(91)
3.4.1 典型立体设计构成	(91)
3.4.2 立体设计的应用	(92)
4 工业产品造型 CAD	(94)
4.1 工业产品造型设计特点	(94)
4.2 产品造型 CAD 设计实例	(96)
4.2.1 概述	(96)
4.2.2 可视电话造型设计	(97)
5 计算机辅助造型设计常用软件介绍	(109)
5.1 Autodesk 3DS MAX	(109)
5.1.1 系统配置	(109)

5.1.2 安装方法	(109)
5.1.3 3DS MAX 界面	(111)
5.1.4 菜单栏功能	(112)
5.1.5 工具栏命令	(117)
5.1.6 命令面板	(122)
5.1.7 材质编辑器	(124)
5.2 3D STUDIO 软件介绍	(129)
5.3 其他常用造型设计软件	(131)
5.3.1 Auto CAD 软件	(131)
5.3.2 Coreldraw 软件	(131)
5.3.3 Adobe photoshop 软件	(132)
5.3.4 Aldus photostyler 软件	(132)
附录《上机实验指导书》	(133)
实验一 熟悉 3DS MAX 基本操作和指令	(133)
实验二 简单平面造型设计	(139)
实验三 复杂平面造型设计	(146)
实验四 简单立体造型设计	(149)
实验五 工业产品造型设计一	(152)
实验六 工业产品造型设计二	(155)
实验七 工业产品造型设计三	(159)
实验八 工业产品造型设计四	(160)
参考文献	(161)
附(彩)图 1~26	(163)

引 言

1 工业造型设计方法

工业设计是一门技术与艺术相结合的学科,受环境、社会形态、文化观念以及经济等方面的制约和影响。

工业设计是一个创造过程,在整个创造过程中,不仅像技术创造那样服从自然科学的客观法则,而且在其中蕴含美的追求,正是这种美的追求界定了设计师和工程师工作的区别,也界定了工业设计产品与一般工业品的区别。

工业设计从其孕育—诞生—成长—至今,已经走过了二百多年的历程,综观工业设计的发展,可以发现工业设计是随现代社会技术和艺术的变革而产生的。其目的是把艺术与技术结合起来,把理论与实践结合起来,创造出符合时代要求的新产品。

工业设计研究的对象是“人—机—环境—社会”这一大系统。工业设计的出发点是人,设计的目的是为人所用。把人作为设计的主体,使人的生存空间更加“合乎人性”。因此工业设计具体表现为对产品的设计,而从更深的角度来看,是对人类生活方式的设计。工业设计不仅研究人—机的关系,并且扩及整个人类的人造环境,除对产品主体因素进行设计外,还要将环境(人造环境和自然环境)作为一个整体来规划设计。

传统的工业设计方法,很大程度上取决于设计师的经验、感觉、艺术创作灵感进行直觉思考。从今天科学技术的发展水平来看,认为一个设计可以不经严密的科学分析、研究,而只凭直觉、经验就可以获得成功,那是错误的。

随着科学技术水平的不断提高,在工业设计上形成了精密、精确、高质量的技术文化特征。生物工程、材料科学、计算机辅助设计在工业设计中的应用日趋普及与成熟。发达国家对工业设计的计算机辅助设计领域进行了大量的投入和研究,已取得巨大的成就,使今天工业设计的方法与传统方法相比,发生了本质的区别。特别是计算机技术的飞速发展,为其奠定了坚实的基础和技术保障。

2 计算机辅助设计

目前,计算机辅助设计已经用于很多领域,根据使用要求的不同,CAD 系统有二维和三维之分。常用的二维系统有:服装设计用 CAD;电子线路 CAD;艺术形象设计 CAD;地图及公用系统 CAD 等。三维系统有:建筑设计 CAD;产品设计 CAD;动画广告设计 CAD 等。随着计算机技术的发展,各种应用软件不断推陈出新,使各系统 CAD 的功能不断提高和完善。

工业设计 CAD 近年来得到了巨大发展。这得益于计算机硬件、软件的飞速发展。工业设计是一门技术与艺术相结合的学科。它包括了二维设计和三维设计。二维设计的主要表现形式为平面设计要求的平面构成,具体的体现有平面广告设计、商标设计、包装设计、装帧设计等。目前可进行二维设计的软件很多,代表性的有 AutoCAD、Coreldraw、Freehand、3Dstudio 等。三维设计主要表现为设计要素的立体构成,具体的体现为产品设

计、装帧设计、工艺品设计等。目前可进行三维设计的软件主要有 AutoCAD、3DS、3DSMAX、Solidworks、MDT 等。

工业设计中色彩设计和材料的选择是一个重要的组成部分。现有的造型设计软件提供了多种色彩体系,使色彩的调配十分方便、快捷。有些软件提供的材质编辑功能,使得设计者可以根据要求,制作出绝大部分天然材料。

计算机辅助造型设计,在实践中已显示出常规方法远不能及的强大威力和广阔的发展前途。它在平面和立体设计构成方面及色彩构成方面都具有常规传统方法无法比拟的能力。这种新技术手段已被越来越多的工业设计人员采用,使产品的设计周期大大缩短、产品的表现力明显提高。正是这一技术的出现和迅速推广,使工业设计界长期以来存在的“理工型”和“艺术型”人才培养的争论,也因此得以解决。

计算机辅助造型设计使得工业设计师在产品造型设计过程中,可以充分借助计算机这一工具,实现脑海中所能创意和构思的各种模型,并以最完美、最真实、最夸张的表现形式加以表现。真正体会和感受到计算机辅助设计带来的魅力和惊喜。

1 计算机辅助造型设计的理论基础

1.1 造型基础

造型设计中涉及的造型是一种几何形体。一般具有长、宽、深的特征属性。下面将从计算机图形学的角度,简单地讨论形体的定义和性质、造型中形体的常用表示形式、造型用形体的数据结构等问题。

1.1.1 形体的定义和性质

造型设计中的几何造型应具有下列功能和作用:

- ① 形体定义输入(将形体从用户格式转换成计算机要求的格式);
- ② 形体在计算机内部的存储方式和信息管理;
- ③ 对形体进行几何变换(平移、比例、旋转、对称、透视等);
- ④ 应用相关运算对形体进行修改(集合运算、欧拉运算等);
- ⑤ 显示、输出形体和形体的光色效应;
- ⑥ 形体的属性及相关参数。

下面首先讨论造型的基本概念。

1) 形体的定义

形体在计算机图形学中通常用图 1-1 所示拓扑结构来定义。并规定下面的定义均是在三维欧氏空间 R^3 中进行的。

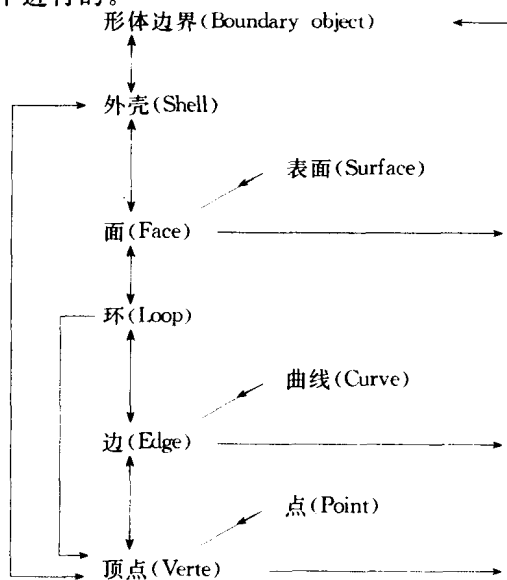


图 1-1 形体定义的拓扑结构

(1) 体

体是由封闭表面围成的有效空间,是 R^3 中非空、有界的封闭子集,外壳是形体的最大边界。单位立方体可定义为

$$\{(x, y, z) \in R^3 \mid 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1\}$$

上面定义的形体不要求形体是一个连续的封闭集合,因而这样的定义可以扩大几何造型的域,使形体可以由不连续的体系或是仅由某些相交边的形体组成。

(2) 面

面是形体表面的一部分,且具有方向性。由一个外环和若干个内环界定其有效范围。面可以无内环,但必须有外环。

(3) 环

环是有序、有向边组成的面的封闭边界,环中各条边不能自交,相邻两条边共享一个端点。环有内外之分,确定面中内孔或凸台边界的环称为内环,其边按顺时针走向;确定面的最大外边界的环称为外环,其边按逆时针走向,基于这种定义,在面上沿一条边前进,左侧总是面内,右侧总是面外。

(4) 边

边是形体两个相邻面的交界,一条边只能有两个相邻的面。一条边由两个端点定界,称为该边的起点和终点。

(5) 点

点是边的端点,点不允许出现在边的内部,也不能孤立地存在于物体内部、物体外部或面内。

(6) 体素

体素是由有限个尺寸参数定义的一个简单封闭空间,如圆锥、长方体、球、环等。

2) 形体的表示方式

形体在计算机内常用的表示方法有线框模型、表面模型和实体模型三种。线框模型是表面模型和实体模型的基础。一般画出棱边和轮廓线就能惟一地表示出该形体。对于多面体,由于其轮廓线和棱边经常是一致的,所以多面体的线框模型便于认识。图1-2给出了用线框模型表示圆柱的多种方法。由此可见,线框模型的主要特点是结构简单,易于处理。其数据结构是由端点坐标表达。线框模型适用于输出三视图、透视图的要求。由于线框模型是用棱边和轮廓线来代表形体的形状,因此只反映出三维物体的一部分形状信息。用线框模型输出物体的剖面图、消除隐藏线和面、画出二个面的交线和轮廓线时就会发生困难。

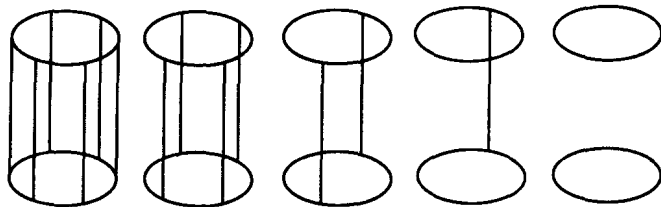


图 1-2 圆柱的线框模型

线框模型中棱线包围的部分定义成面,所形成的模型就是表面模型。其数据结构是在线框模型的基础上附加一些指针,使棱线有序地连接。由于表面模型中具有形体的各个面,所以与图形有关的大多数问题都可以处理。

采用表面模型后,形体的边界全部可以定义了,但形体的实心部分在边界的哪一侧是不明显的。

因而要处理完整的三维形体,最终必须用实体模型,它确定了形体表面的哪一侧存在实体这个问题。图 1-3 给出了表示表面某一侧存在实体的四种方法。图 1-3(a) 定义一个表面外,再给出实体存在于表面一侧的点 P ; 图 1-3(b) 以箭头指明实体存在的方向; 图 1-3(c) 利用表面边界线的方向,设定沿闭合边界右螺旋前进的方向为实体存在方向; 图 1-3(d) 表示若每条边界两侧表面的方向相反,表明表面一侧存在实体。

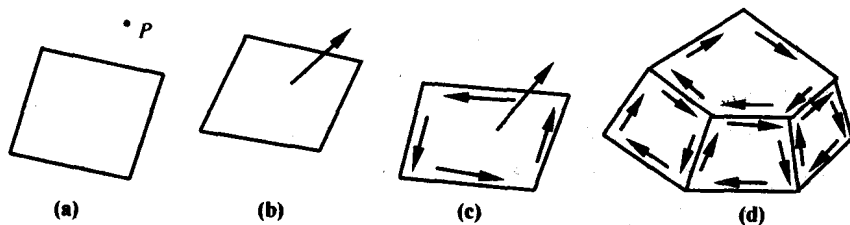


图 1-3 面与实体的关系

目前 PC 机上使用的各种 CAD 软件,几乎全部采用实体模型(三维)直接进行设计。

3) 拓扑关系

空间几何图形,如在变换时,正、逆两个方向都是单值而又连续的,则此种变换称为拓扑变换。图形经拓扑变换而不改变的性质,称为图形的拓扑性质。在图形不发生断裂和折逆的任何变形下,将保持这种性质。

多面体是指由任意多个多边形的组合,这种组合本质适应两个条件:

- ① 在任一棱边相遇的多边形只有两个;
- ② 从任一多边形出发,跨过一些棱边,能到达任何一个别的多边形。

多面体的顶点、棱边和面数之间符合欧拉公式,即

$$V - E + F = 2$$

其中, V 代表多面体顶点数, E 代表多面体的边数, F 代表多面体的面数。

在几何造型中,基本的几何造型元素有三种:面、边和点。

4) 几何造型的要求

形体是通过点、边、面定义的,在造型过程中,通常对形体的边界和其连接部分感兴趣。作为几何造型的形体表面必须满足一些条件:封闭;有向;非自交;有界;连接。此外,形体还应是刚性的,即形体的形状与形体的位置方向无关;三维一致性,即形体没有悬面、悬边及孤立的边界;有限描述表示及边界确定等要求。

1.1.2 造型中形体常用的表示形式

形体生成和表示的方法很多,目前常用的表示形式有六种:

- ① 参数化形状和形状调用;
- ② 单元分解,包括四叉树、八叉树、多叉树分解;
- ③ 扫描变换表示;
- ④ 构造的实体几何(CSG;Constructive Solid Geometry);
- ⑤ 边界表示(B-kep;Boundary representations);
- ⑥ 线框表示。

一个形体如用指针把它的面、边、点连接起来,则在这种结构中只会含有两种信息:一种是指针定义的顶点、边、面之间的拓扑连接关系;另一种是定义顶点的坐标及其面、边的有关方程。前者称为拓扑信息,后者称为几何信息。几何造型的操作就是为了改变形体的拓扑信息、几何信息或两者都改变。几何变换则只改变形体的几何信息,而不改变形体的拓扑性质。

下面讨论几种几何造型中形体常用的表达形式。

1) 基于图论的形式

主要是从形体的点、边和面三要素出发,表达形体的形式。从这种形式可得到相应形体的线框图。用这种形式来表示平面体,所有的边是直线段,必须存储相应的顶点对,对面的边界只要存储一张有序的顶点表。也可以将平面体看成是一张图,用一个数组存放其顶点及其坐标,另一个数组存放它的连接关系,形成一个连接矩阵。如图 1-4 所示。

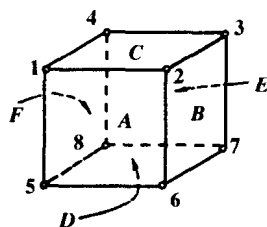


图 1-4 连接矩阵

1 = 连接 0 = 不连接

		顶 点										面						
		1	2	3	4	5	6	7	8			A	B	C	D	E	F	
顶 点	1	0	1	0	1	1	0	0	0	面	A	0	1	1	1	0	1	
	2	1	0	1	0	0	1	0	0			B	1	0	1	1	1	0
	3	0	1	0	1	0	0	1	0			C	1	1	0	0	1	1
	4	1	0	1	0	0	0	0	1			D	1	1	0	0	1	1
	5	1	0	0	0	0	1	0	1			E	0	1	1	1	0	1
	6	0	1	0	0	1	0	1	0			F	1	0	1	1	1	0
	7	0	0	1	0	0	1	0	1									
	8	0	0	0	1	1	0	1	0									

2) 集合形式

一个形体可以通过两个或两个以上的简单形体的集合来表示。常用集合运算见图 1-5。

图 1-6 是一形体集合形式表示的例子。

3) 参数形体及其调用形式

产生形体的一种最直接的方法是对已有的形体作线性变换。参数形体及调用形式即将定义形体的多种尺寸参数作为变量,通过在调用这些形体的过程中指定相应的参数,从而产生用户需要的各种形体。

通常形体调用不能产生比较复杂的形体。

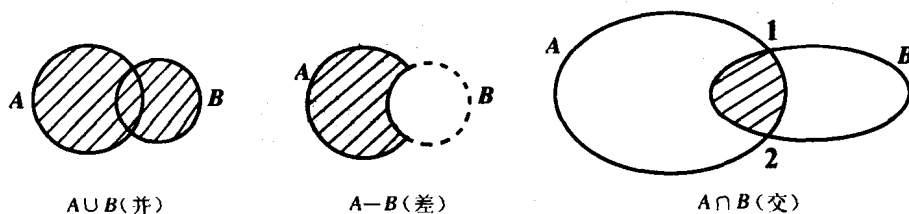


图 1-5 集合运算

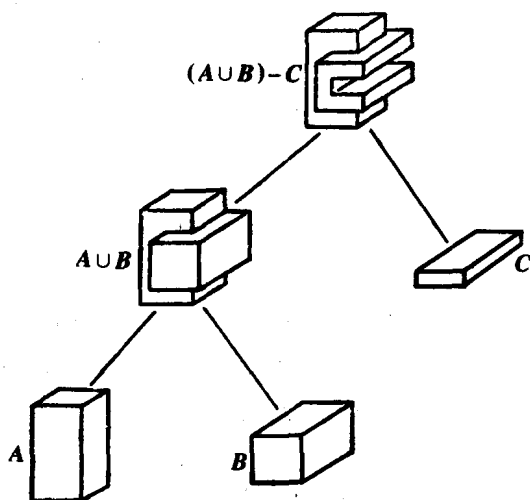


图 1-6 形体综合表示

4) 单元分解形式

单元分解常用的是以固定形状(如正方形、立方体等),有规则地分布在空间网络位置上。这样,形体就可以分解成这些具有邻接关系的固定形状单元的集合,单元的大小决定了单元分解形式的精度。单元分解的优点:一是易于存取一个信息点;二是能保证空间的惟一性。缺点是需要大量的存储空间。

根据基本单元的形状,又分为四叉树、八叉树和多叉树分解等。

(1) 四叉树法

四叉树法是对二维形体进行单元分解的一种方法。是对形体的外接正方形递归地等分成四个子正方形。分解过程所形成的树,每个节点有四个坐标,直至叶节点。图1-7为四叉树法对一二维形体的分解过程。其分解原则是对外接正方形一分为四,如果正方形为空(没有形体在其中)、或为满(形体充满其中),则不需要对这类正方形再作分解;如子正方形是部分被形体占有,则需要对它再进行一分为四的分解,这样递归分解下去,直到满足子正方形全满或全空,或达到规定的精度。

(2) 八叉树法

将四叉树表示形体的思想扩展到三维空间,就形成了八叉树法。八叉树法是对形体所

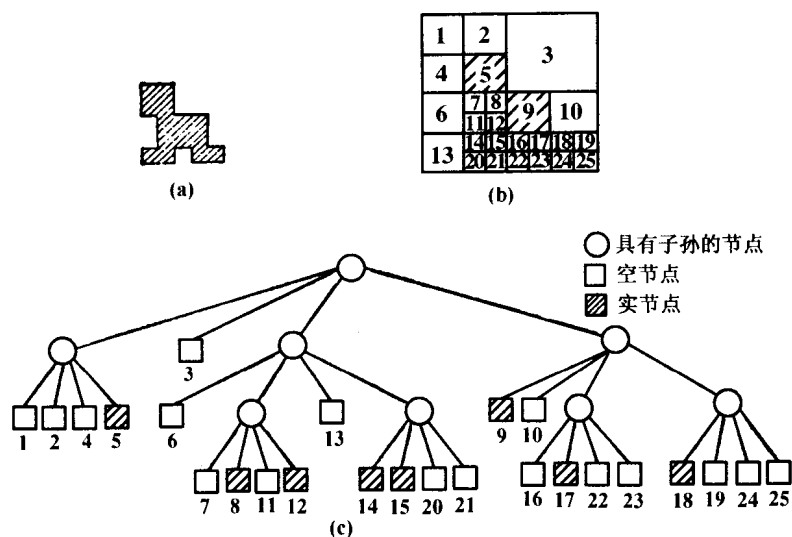


图 1-7 四叉树表示形体

占空间进行分解。对形体定义一外接正方体,将此正方体分解成八个子立方体,若子立方体单元为满或空,则该子立方体全在或不在形体中,可停止分解;对部分被形体占据的子立方体,则需对单元作进一步分解,直到所有的子立方体单元完全为满或空,或已达到规定精度时,停止分解。充满形体的子正方形叠加生成形体。

八叉树表示形体的好处是:

- ① 任意形状的形体,如凸、凹、有孔洞的形体都能表示到最小单元精度;
- ② 可以根据精度要求计算形体的连接性、包含性等特性。

八叉树表示形体尚存在一些缺陷:对形体的表示是一种近似,精度要求高,则存储量大;对有一定特性的形体,八叉树表示后将会造成较大误差;用八叉树表示的形体结构难以和边界表示或结构的实体几何表示形式统一起来。这些缺陷导致八叉树的形体表示形式难以纳入已有的 CAD/CAM 系统和数据库系统中去。

为解决八叉树表示中的问题,近年来提出了多叉树的表示形式。

(3) 多叉树法

与八叉树一样,多叉树的根节点(形体的外接立方体)代表了整个形体。在四、八叉树中,足够简单的含意是指一致性,即一个单元或满或空。而在多叉树中足够简单的含意有五种情况:

- ① 满单元:全部在形体内部的单元;
- ② 空单元:全部在形体外部的单元;
- ③ 顶点单元:含有原形体的一个顶点和连接到该顶点的所有边;
- ④ 边单元:含有形体中一个多边形的一条边的一部分,或两个多边形相交的一条边的一部分;
- ⑤ 表面单元:含有和此单元边界交叉又在其内部的平面。

多叉树比八叉树增加了叶子节点的复杂性,从而带来了一些优点:节省存储单元;提

供精确表示面和多面体的手段;保留了原形体的坐标数据,可重新构造形体的边界表示和结构的实体几何表示,可以与现有的 CAD/CAM 和数据库系统结合起来使用。

5) 扫描变换形式

扫描变换表示是基于一个点、一条曲线、一个表面或一个形体沿某一路径运动而产生的形体。扫描变换表示便于理解和执行,在当今的许多几何造型系统中都采用了这种表示形式。

在几何造型中,扫描变换表示需要两个分量:一个是被运动的形体,称之为基体;另一个是基体运动的路径。基体可以是曲线、表面、立体等;路径为空间线段。扫描的方法常用的有平移和旋转。图 1-8 为平移和旋转法扫描产生的形体。

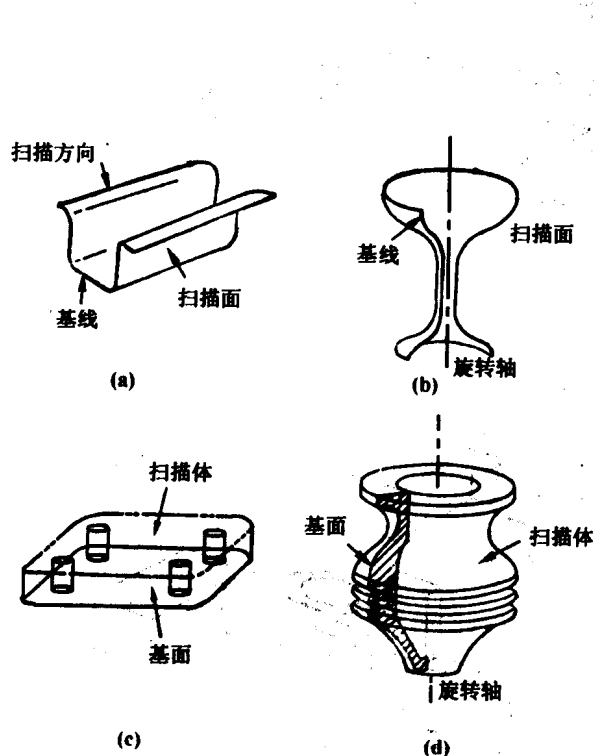


图 1-8 扫描形体的生成

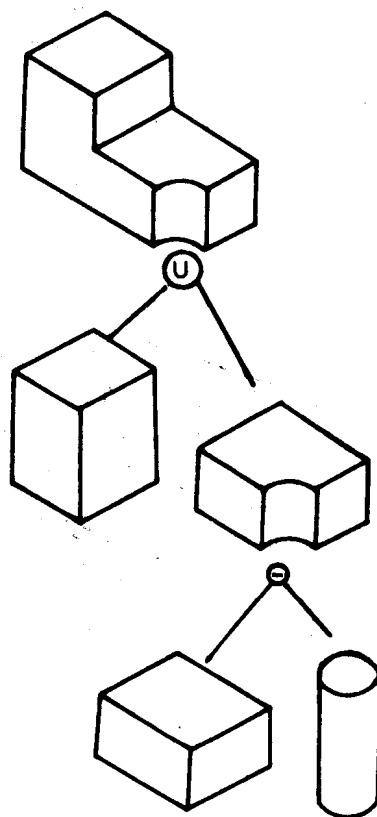


图 1-9 实体的 CSG 生成

6) 结构的实体几何形式(CSG)

CSG 的含意是任何复杂形体都可用简单形体的组合来表示。一般用正则集合运算来实现这种组合,其中可配合执行有关的几何变换。正则集合运算有并($\cup$)、交($\cap$)、差($-$)等。在已有的大型 CAD 系统中,一般都有这种造型方法。系统中基本几何体的生成有各种办法。在布尔操作中,参加运算的体素可以是基本体素,也可以是其他造型方法生成的实体。参加布尔操作的基本体素视不同 CAD 系统的造型功能的不同而不同。对于生成同一实体,可以进行不同的布尔操作。图 1-9 是一实体的 CSG 生成。在具体 CAD 系统中生成

形体时,CSG 常和其他方法相结合生成形体。图 1-10 中的形体生成利用了边界表达(a), 平移扫描(b),CSG 生成(c)(d)(e)(f)。

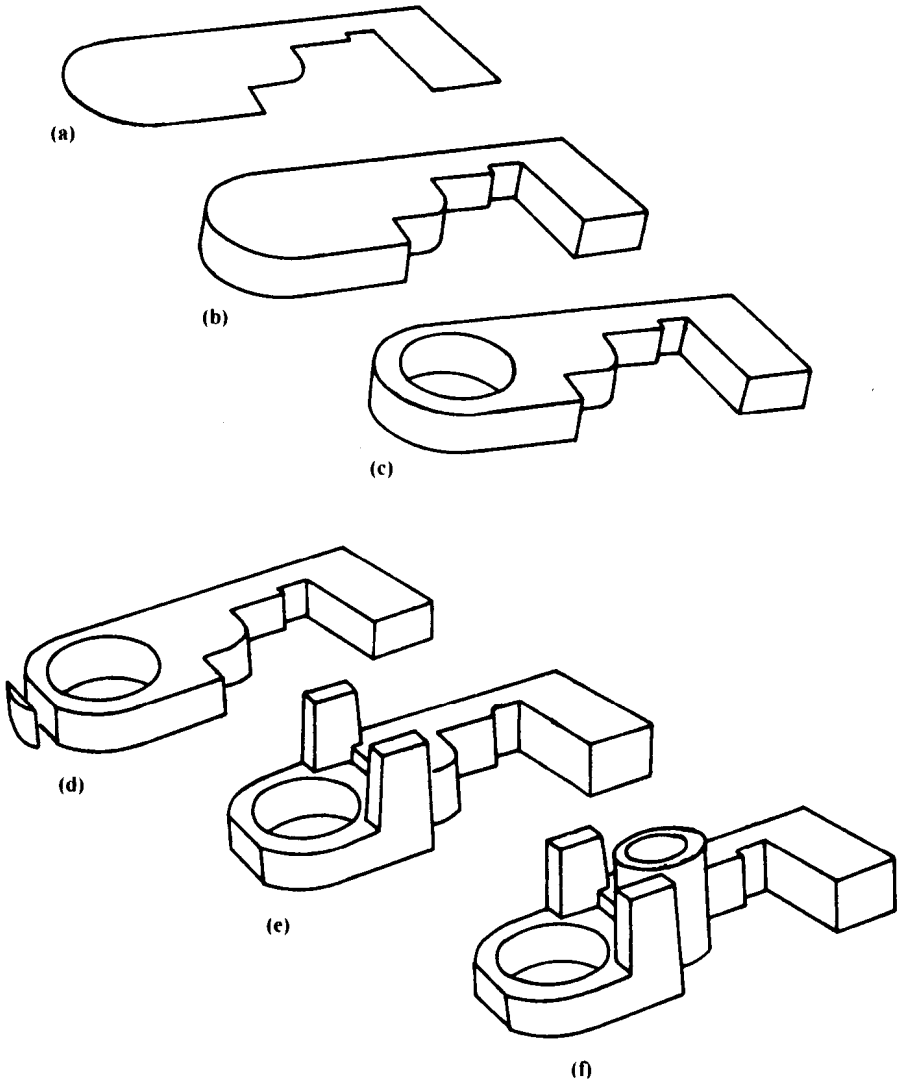


图 1-10 综合法生成实体

7) 边界表示形式

边界是形体和周围环境之间的界面。形体对光照的反射,以及形体的光色效应取决于形体界面的形状、颜色和纹理材料性质。边界表示形式将形体以面、边和顶点三维几何元素进行定义。认为形体是由表面构成,而表面由一些平面组成,平面则由边和顶点构成。我们可以用连续的边界边来定义平面,若要保证形体边界表示的合法性,需要满足以下条件:

- ① 每一条边必须精确地有两个端点;