

## 计算机几何造型技术在工程图学 CAI 课件中的应用

李晓娟<sup>①</sup>

殷光复

(中国农业大学机械工程学院) (中国农业大学 CAD 中心)

**摘要** 利用组合体形体分析法对组合体几何造型方法进行了研究,采用边界表示法,以面、环、边、点层次结构来定义物体,并进行体素拼合运算和相应的图形显示处理。自行开发的软件系统实现了交互式基本体素的造型,通过拼合运算生成组合体,并根据造型产生的立体几何信息及拓扑信息进行图形变换。

**关键词** 几何造型;工程图学;CAI

**分类号** TB 231; TP 391.7

### Application of Geometric Modeling on Engineering Graphics CAI Software

Li Xiaojuan

Yin Guangfu

(College of Machinery Engineering, CAU) (CAD Centre, CAU)

**Abstract** Based on the principle of construction analysis, the method of solid geometric modeling is discussed. By using B-Reps, the object is recorded by a hierarchical data structure of face, loop, edge and vertex. The object Boolean operations and graphics displays are carried out. The software system can accomplish the interactive elements modeling, the Boolean operations and the graphics translations according to the geometrical measurements and topological information.

**Key words** geometric modeling; engineering graphics; CAI

几何造型作为研究如何在计算机内定义一个 3 维物体的科学<sup>[1]</sup>,是随着计算机辅助设计与制造的需要发展起来的。由于它对物体有完整的几何描述,因而可供随时提取所需要的信息,它支持 CAD/CAM 过程的任何一个方面,已成为新一代 CAD/CAM 系统几何定义的核心,同时在工程图学 CAI 中也有很好的应用前景。

形体分析法就是把物体分析成一些简单的基本形体并确定它们之间组合形式的一种思维方法。由此我们可以将大多数机器零件看作是由一些基本形体经过结合、切割、穿孔等方式组合而成的组合体,形体分析的逆过程就是几何造型的过程。在计算机内定义表示一个组合体时,先定义组成这些组合体的基本体素,然后对其进行拼合运算(即将基本体的几何信息与拓扑信息按一定的规则分别进行几何处理与拓扑处理),最后得到该组合体。此时组合体的几何信息及拓扑信息也相应地产生了,可供随时提取;基于这些信息进行图形变换还可按用户的要求输出相应的图形(如三视图、轴测图等)。

收稿日期:1999-01-12

①李晓娟,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)146 信箱,100083

## 1 工程图学 CAI 课件中几何造型软件的结构设计

该软件系统主要包括基本体定义输入、拼合运算形成组合体、图形变换、图形显示、作业题库等 5 部分,每部分都完成一个独立的功能,可单独运行,或几个模块组合运行。软件的流程框图见图 1。

1)基本体参数化。通过用户输入定义基本体的基本参数,系统按用户要求定义该基本体素并产生几何信息及拓扑信息,对所产生的基本体素进行图形变换(如投影变换、几何变换等),以满足不同的教学要求。此外,基本体素信息是进行拼合运算所必需的数据。用平面立体来逼近任意形体,使数据结构变得比较简单,处理方便准确<sup>[2]</sup>。

2)拼合运算形成组合体。根据用户的要求将待拼合的基本体素的几何信息及拓扑信息按一定的规则进行并、交、差运算,产生、输出所生成的组合体及其相应的信息。基于这些信息可进行图形变换来满足需求。

3)图形显示处理。主要是将定义输入的基本体素或由它们拼合而成的组合体进行几何变换和投影变换以 2 维或 3 维形式输出。

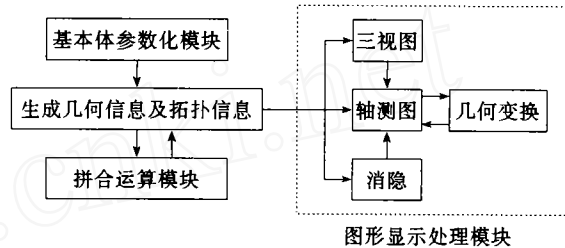


图1 组合体体素造型与显示

## 2 几何模型

形体在计算机内通常采用 5 层拓扑结构来定义,包括形体边界、外壳、表面、面、环、边点和顶点。进行 3 维立体造型,最主要的问题是如何将 1 个 3 维立体映射到 1 维的计算机存储中。常用的方法有构造立体几何表示法(CSG 法)、边界表示法(B-Reps)、扫描表示法和单元分解法。本系统在几何构型上采用边界表示法;以面—环—边—点层次结构表示物体的几何信息,进行拼合运算;在图形输入部分吸取了扫描表示法的优点,对图形交互使用了扫描法,在一定程度上完善了系统的实用效果。用构造立体几何表示的思想方法形成组合体。

由于曲面造型最大的难点在于拼合运算的效率与可靠性,2 个自由曲面一般很难由代数方法直接精确求交。目前采用的曲面求交大都是近似算法,本系统用平面立体逼近曲面立体。几何模型表示形式的确定是几何造型系统中的一个重要环节,它反映了形体覆盖的范围、输入手段及输出形式<sup>[3]</sup>。在计算机内,表示形式还取决于数据结构的设计与实现<sup>[4]</sup>。

## 3 拼合运算

几何造型常用离散法、代数法、自由曲面、由三视图重建 3 维形体等方法<sup>[4]</sup>。本系统采用离散法造型,即在用平面多面体近似表示曲面体的基础上进行造型;生成离散点,确定近似多面体各顶点的坐标;根据离散点的连接关系,确定近似多面体的边界线;根据 2 个共一顶点但不共线的边界线确定一平面的原理,求出近似多面体各个平面的面方程。在进行体素离散化表示时,为提高程序的灵活性,由用户任意指定离散的精度。在拼合运算的实现中,系统采用体素拼合的几何造型方法,通过不断地对比较简单的几何形体进行集合运算来形成复杂的形体<sup>[5]</sup>。系统的几何模型是平面立体,简化了拼合运算;在几何方面,参与运算的物体仅为平面、直线,易

于实现求交;在拓扑方面,每个新产生的顶点必然位于原参与运算的物体的原有边上。物体的拼合运算须在求交的基础上进行,即求出2个物体之间的交点、交边及交边对物体环、面的影响结果。

#### 4 图形显示处理

在工程制图课中,常用轴测图、三视图来表达一个立体,这就需要系统能输出一个立体的轴测图并能进行旋转、平移、投影等变换。几何变换不影响图形的拓扑关系,只有点和面的几何定义变化。在3维图形变换中,利用4维齐次坐标与不同形式的4阶变换矩阵的乘积,可进行各种情况的图形变换和输出<sup>[3]</sup>。

#### 5 消 隐

消隐即消除隐藏线、面。规定多面体表面外法线向量的方向为从物体内部指向外部空间。利用物体各表面法向量进行判断。在消隐过程中,最基本的一项任务是判别物体表面上的每条边是否可见,或部分可见。步骤如下:

1)分别计算出立体各表面外法线的方向余弦( $\cos \phi$ ),根据 $\cos \phi$ ,把立体上所有表面分为潜在可见面和不可见面2类:潜在可见面即朝前面;不可见面包括朝后面和在投影面上有积聚性的表面。删除所有的不可见面,保留潜在可见面。

2)在潜在可见面之间进行隐藏关系的判别计算。工作对象是围成潜在可见面的边框线段。计算判别哪些线段被遮挡,逐一确定线段上的可见子段和不可见子段。

3)求出可见子段的交集,用于最终输出可见线段组成图形。

#### 参 考 文 献

- 1 孙家广,许隆文. 计算机图形学. 北京:清华大学出版社,1984. 60~70
- 2 何援军. 计算机图形学算法和实践. 长沙:湖南科学技术出版社,1989. 80~88
- 3 Boyse J W, Gilchrist J E. Interactive modeling for design and analysis of solids. *Computer Graphics and Applications*, 1982, 2(2): 86~97
- 4 孙家广,陈玉健,辜凯宁. 计算机辅助几何造型技术. 北京:清华大学出版社,1994. 50~68
- 5 Mamtyla M. Boolean set operation of 2-manifolds through vertex neighborhood classification. *Transaction on Graphics*, 1986, 5(1): 1~29