

CAD 实心体造型技术

任 庆 华

摘要 论述了当今CAD技术中热点之一——实心体 (Solid) 造型技术。

从已推出的几种软件出发详细论述了实心体造型技术的二大方法、各自的优缺点、实用性及参数化等。对各种实用软件作了评价,对实心体造型技术的发展提出了看法。

一、概 述

在CAD技术术语中,可以把Entity和Solid统称为实体,为了区分二者,本文把Solid称为实心体。实心体和实体(Entity)不同,它是一个实实在在的,有骨头有肉的,封闭几何体,它不能有缝隙,是连续的物体。在CAD技术中,实心体造型技术是七十年代才兴起的一门计算机造型技术。近20年来它一直是世界各国研究和开发的热点之一,许多软件开发公司都给予了极大的重视。

实心体造型与普通几何体(点、线、面)造型最大的差别在于:实心体含有非常丰富的信息量,由实心体不仅可以得到长度、角度、距离、面积等一般几何量,还可以得到体积、重量、重心、转动惯量、惯性积等物理量。由于实心体是表达一个实实在在的物体,它又含有该物体的拓扑和工程美学信息。经计算机模拟的光度学和色度学技术处理后的实心体不但给人一个直观、具体的物体概念,而且还能展示一个经艺术加工了的生动图像。

从实心体造型开始进行工程设计完全符合工程技术人员的思维逻辑。例如工程技术人员在考虑设计某一部件时,都是先根据设计的技术要求,收集必要的数据和资料,结合自己的丰富知识和经验,先在头脑中建立一个立体模型。实心体造型技术恰恰能把这一思维过程反映出来,甚至能把设计者对实心体的各种修改(打洞、加工、切削等)也全面地反映出来。

由于实心体具有给出所设计项目的直观、具体概念的优点,它广泛用于设计的初始论证中。运用实心体造型技术可以设计项目还没有加工生产之前,就给出该项目具体的真三维设计图像。或者说和真的一样的图片。它可以表达设计对象的三维构造、尺寸关系、装配关系等各种信息。用它来进行工程论证要比用设计图具体、直观得多。据报导我国航空设计院即有50%的方案论证是先由实心体造型开始的。

先进的实心体造型技术可以非常方便地实现设计参数化,可以把二维上的设计更改直接地反映到实心体模型中,也可以直接在

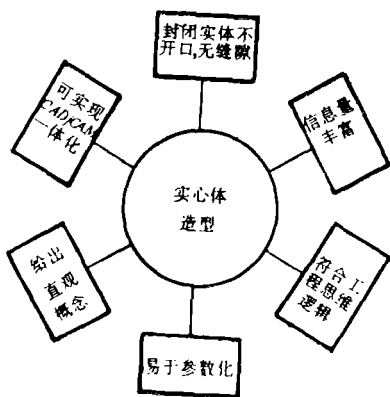


图 1 实心体造型技术的特点

实心体模型上生成数控加工的刀具路径 (NC.path) 实现CAD/CAM一体化。因而计算机实心体造型技术是一项很有前途的、具有工程实用意义的CAD技术。图1表示了实心体造型技术的特点。

二、实心体造型技术的两种基本方法

目前,实心体造型技术主要有两种基本方法:一是由基本三维体素(长方体、圆柱、圆锥、楔形块、球、环等)经布尔运算(Boolean Operation)生成,称之为结构几何实体法(Constructive Solid Geometry, CSG)。另一种是由边界定义形成的二维断面扫描生成,称之为边界表达法(Boundary-Representation, B-rep)。两种方法生成的实心体模型共同的是均能提供零件设计所需的各种数据,清楚地定义物体的几何和容积特性,成为零件进一步分析的数据库基础。不同的是定义实心体的方法不一样,这一差别也导致了软件的不同发展前途。表1给出了早期开发的一些三维实心体建模系统。由该表可看出当时的软件系统是以CSG为主。

表1 一些早期三维建模系统

SC—子程序调用 IG—交互图形
 T/B—文本/插块 T/I—文本交互作用
 QS—二次曲面 SS—雕塑曲面
 Sweep—平移扫描和旋转扫描
 CSG—结构几何实体法
 B-rep—边界表示法

表1

系统名	国别	开发单位	所用语言	输入基础	输入形态
GDP/GRIN	美	IBM公司	FORTRAN	CSG	SC IG
PADL-1	美	罗杰斯特大学	FLECS+ FORTRAN	CSG	T/B
TIPS	日	北海道大学	FORTRAN	CSG	T/I
DESIGN	美	MDSI	PASCAL	CSG + B-rep + QS	IG
MEDUSA	英	CIS有限公司	FORTRAN	CSG + Sweep B-rep + QS + SS	SC, T/I
COMPAC	德	柏林工科大学	FORTRAN	CSG + Sweep B-rep + QS	T/B

(一) CSG法

CSG法的特点是以体素(Primitive)为基础进行实心体造型。造型时设计者要先在适当位置处生成各种体素,经各种布尔运算形成设计者所要设计的实心体模型,由于最终模型是经过布尔运算后才生成的,就不能简单地由改变体素尺寸来改变设计模型了。

当然也可用编程的方法以体素树的形式描述零件模型再由人工或程序编辑改变体素树,

构成各体素的尺寸清单和位置清单来参数化地进行实心体造型。但由于这种树占有较大的存储空间，不太实用。因而，CSG法不太容易实现参数化设计，一般是由重新生成来改变模型。

采用这种实心体造型技术的主要软件有美国SDRC - Ideas-Geomod, Auto-Trol S7k, Nedusa, Appllicon-Bravo等,各种软件所定义的基本体素随软件要求而不同,比如Geomod中就定义了八种体素,而S7k中只定义了六种体素,但其造型的基本流程均如图2所示。

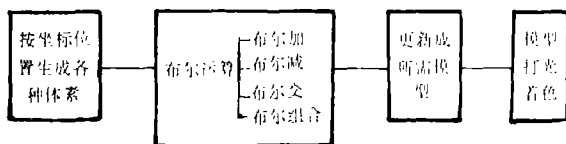


图2 CSG法实心体造型流程

图3是结合我所课题,用CSG法生成的空间相机卧式双台方案的实心体模型,图4为用CSG法参数化设计的某零件实心体模型。

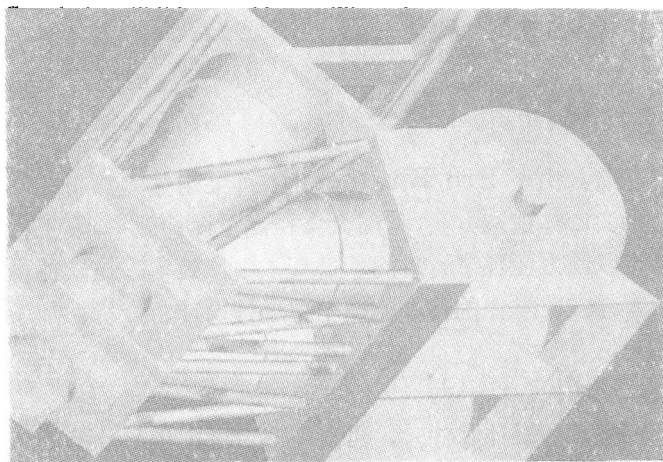


图3 空间相机卧式双台实心体模型

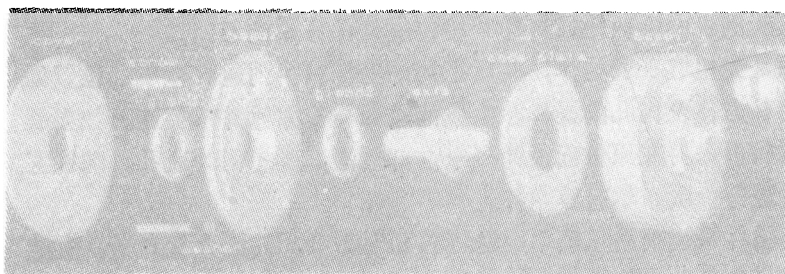


图4 某零件参数化设计实心体模型

(二) B-Rep法

B-Rep法的特点是以形素为基础 (Feature-Based Design) 进行实心体造型设计。它的基本手段是由边界定义的方法形成二维面、经扫描 (Sweep)生成,可形成回绕体 (Rotational-Sweep), 线性延伸体 (Linear Extrusion)、多棱体 (Conver Prism, N-Gon)、边界线造皮体 (Skinning) 等。

这种造型技术在前面所提到的SDRC-Ideas-Geomod, Auto-Trol-S7k等软件-中也有所体现, 但都是根据基本原理的简单造型, 实用性不很强。图5表示了B-Rep法造型的基本流程。



图5 B-Rep法实体造型流程

八十年代后期, 美国麻省参数技术公司 (Parametric Technology Corp.) 首先推出了名为Pro/Engineer的软件。该软件较好地运用了B-Rep法完全以形素为基础进行实体造型。由于其实心体模型不是按三维体素一步步生成, 而是依据实心体各几何单元实物间的函数关系而构成, 使工程设计人员只简单地调整各参数关系就可迅速地改变实体模型。为了清楚地阐明此软件功能, 现对Pro/E进行一些详细说明。

(三) Pro/Engineer 软件

Pro/Engineer 是一种与一般传统方法不同的新的参数化实心体模型生成软件, 其主要特点是

- 参数化设计
- 以形素为基础生成零件实心体模型
- 二维与三维完全一致

从实心体造型技术来看, 由于Pro/Engineer不再采用体素加布尔运算的方法, 而是采用形素加参数化设计的实心体造型方法, 从而大大提高了设计效率, 使工程项目的设计、分析、生成文件、加工、均比以前方便且节省时间, 提高了生产效率。该软件可使设计工程师自始至终在一个一体化的零件或装配件的实心体模型中进行设计、分析、加工、并可随时运用参数设计的特点进行修改,

1. 参数化设计

所谓参数设计是指设计者在设计零件时, 可以不必考虑零件尺寸的实际大小, 而以一个个变量 $d_0, d_1, d_2, \dots, d_n$ 代表它们。当零件模型生成后, 则可根据设计需要而用各实际值修改它们。参数化设计可确保零件实际形状、大小完全依照所送入的参数改变。现以在一长方体上生成一通孔为例说明参数化设计与一般传统设计方式的不同。

传统设计方法是先生成一长方体, 其后把局部坐标转换到通孔生成的位置处, 生成一圆柱由布尔减完成在长方体上打孔的操作。生成的通孔与长方体并不关连。如果长方体的三维尺寸变大, 原通孔将仍保持在原位而成为一个内部气泡, 要想仍为通孔, 圆柱必须改变尺寸重新生成一次, 再进行一次布尔运算才行。

对参数设计的软件来说则是从菜单中送“打孔”命令, 其后人机对话, 会进一步询问“打通孔”还是“打盲孔”, 当选定“打通孔”命令, 给定通孔直径参数 d_0 , 孔中心位置的几何参数 d_1, d_2 后, 不论长方体尺寸如何改变通孔始终保持不变, 其位置则由 d_1, d_2 决定。图6表示两种方法的对比情况。

参数化设计的优点是

- (1) 零件模型修改非常容易, 可在零件设计的任何阶段送入参数进行修改
- (2) 可以建立零件尺寸间的关系, 根据尺寸关系式只需给定几个参数即可迅速改变一个复杂的零件模型

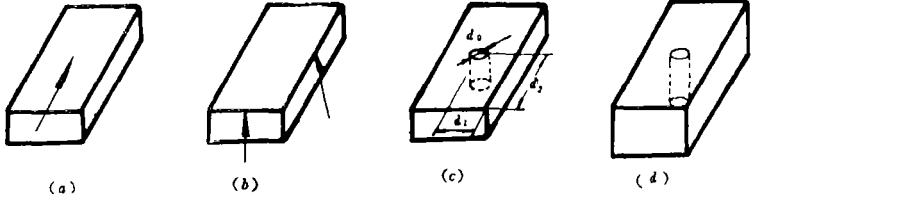
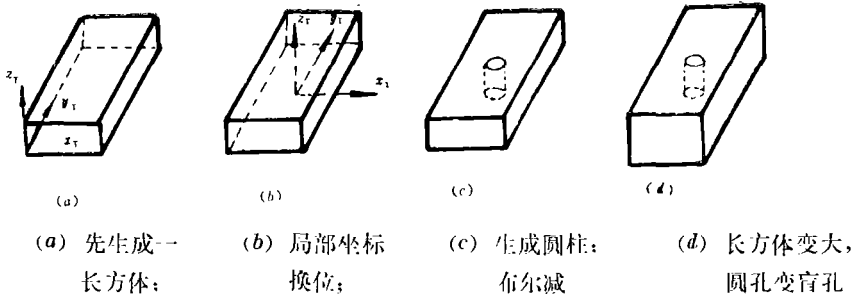


图6 传统方法与参数化方法通孔生成过程对比

(3) 无须编程，由各种参数即可生成一族零件，对可以进行系列化设计的零件特别方便

2. 形素为基础设计

以形素为基础的设计可使设计者按零件加工的方式来设计零件。设计者可用倒圆角、切角、打孔、切槽、打鱼眼坑等加工命令来完成零件模型，而不必去考虑为此而进行的布尔运算。

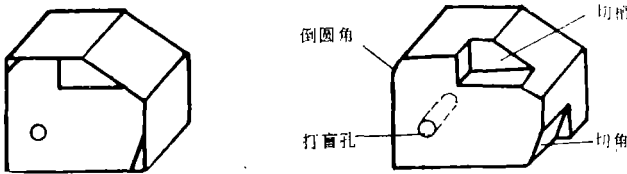


图7 按加工方式设计模型

以形素为基础设计完全符合设计者的设计思路。设计者在开始设计时，可先构思好整个装配布置草图，之后进行零件设计。每个零件都从一块基本坯料开始设计，坯料是根据基本

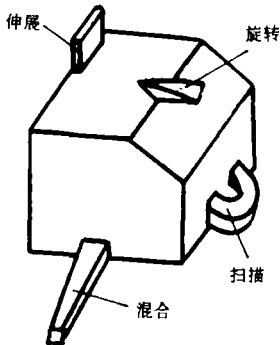


图8 按设计者构思设计的模型

截面由拉伸等办法生成的，其后设计者再根据自己的设计知识用基本形素在坯料上或进行加工或用伸展、旋转、混合、扫描等办法生成所需模型。所有这些形素和它们在模型中的具体位置都是参数化的，可随给定的参数变化。模型也可非常方便的按设计者意愿随形素参数而变。

3. 二维和三维完全一致性所谓二维和三维的一致性是指二维图上的改变自动反映到三维模型上，而三维模型上的任何修改也

自动反映到二维图上。在整个设计阶段 Pro/Engineer 均可自动生成注有尺寸的工程图。由于一体化的数据库,使零件模型和工程图间始终存在着充分的双向一致性。即工程图上的任何变化自动反映到零件或装配件的模型上。零件或装配件上的任何修改也自动更新到相关的工程图上。这一特点确保了Pro/Engineer在工程实用上修改方便、快,大大提高了软件的实用性。

Pro/Engineer是用C语言编写的,用户用C语言编写的应用程序可以与它接口。它有几种隐线显示选择(显示隐线、隐线变暗、不显示隐线),可在多窗口环境下工作。它单独使用即可生成零件,完成零件工作图和装配等。它还可按用户需要扩展,生成或定义更为复杂的零件模型。所有扩展软件均保持参数化、一体化不变。这些可选择的软件如下:

- Pro/DETAIL—ANSI (American National Standards Institute) 标准绘图软件,它扩展了Pro/Engineer的工程绘图能力

- Pro/ASSEMBLY—参数化装配管理软件,可实现按零件表装配

- Pro/AFD (Advanced Feature Design) —生成具有特殊要求模型的高级软件,如复杂拱面模型薄壁模型、三维扫描模型、不同截面轮廓非平行移动生成的模型等

- Pro/FEATURE—用户自定义参数形素软件

- Pro/INTERFACE—一组工业标准数据传输软件

- Pro/DXF—以DXF格式输出二维信息

- Pro/IMPORT—接受IGES输入的软件

- Pro/NESH—实体参数化有限元网格生成软件

- Pro/SURNESH—自动生成面网格软件

- Pro/DEVELOP—用户开发软件

综上所述,实体造型技术的两种基本方法中以B-Rep法更有发展前途。

三、几点看法

1. 实体造型技术由于是从生成真实的物体出发,葆有较丰富的信息又能够按照工程技术人员的设计思路生成模型,很符合实际设计过程,必将逐步受到重视和发展。目前已有象 Pro/Engineer 这样较受欢迎的软件了。随着软件的进一步应用和开发一定会出现更为实用的实体造型技术。

2. 要解决好几个技术问题

(1) 由实体直接生成FEM网格

在CAD技术中,生成实体后,常常需要进行工程计算,要对物体进行静态或动态的强度或刚度计算,必须用有限元分析程序,因而从实体直接生成FEM网格则是重要的技术问题之一。解决它的办法有两个,一是由实体模型直接生成四面体实体有限元分析网格,网格生成后提供一中性文件,在FEA程序中使用,并用以完成后处理分析,二是在实体模型上自动生成面网格,再与标准有限元分析程序相接。目前,有的软件已较好地解决了这一问题。

(2) 对于工程实用来说,实体造型技术必须与完善的二维图形转换能力相结合。实体生成后能很方便地得到二维图,并能自动标注尺寸、打剖面线、注公差等才在工程设计中有较好的实用价值。现今已有的软件,有的已具备此功能,但仍有待于完善。

(3) 由实体直接生成NC刀具路径

CAD/CAM一体化已经是CAD技术的发展方向。在实体模型上直接生成刀具路径很接近于实际加工过程,已成为各软件公司竞相努力的方向。

上述三方面的技术问题在现有的软件中均有所体现,但都不够完善,有待于进一步开发和提高其实用性。

3. 参数化设计和零件图修改与装配图修改的相应一致性是一重要技术。实体造型实现参数化并完成二维与三维相互转换的一致性在工程实用中对提高效率、修改方便很有意义。一般三维模型修改后可反映到二维图上,这很容易,但反过来则比较困难。Pro/Engineer软件,在这一方面有所突破,但仍须进一步完善。

4. 一体化数据库

对实体造型技术来说,一体化数据库尤为重要。只有一体化数据库才可实现充分参数化、真正的二维和三维转换一致性、以及许多其它的先进功能。一体化数据库还可保证出二维图、文件材料等。

四、结 语

从本文的论述中可知实体造型技术将越来越受到重视,也将日益实用化,其前景是可观的。本文从阐述实体造型技术特点开始,对比了CSG和B-Rep两种方法,目的在于使大家对实体造型有一全面的了解。实体造型技术的强大生命力必将在参数化,二维、三维完全一致化、CAD/CAM一体化三方面充分得到显示。随着软件的不断完善和发展一定还会出现更多、更好的实体造型软件。

参 考 文 献

- [1] Steven Nalske; Machine Design, 90, No. 16, July, 1988
- [2] Auto-trol's Brochure; Pro/Engineer The Parametric, Feature-based Solid Modeling System, 1989.
- [3] Pro/Engineer User's Guide; User Guide, Release 3.0 May, 1989.
- [4] PTC Brochure; Tablet of Contents, 1987
- [5] 任庆华; 光学机械, No. 4, 1989.

Computer Solid Modeling Technology

Ren Qinghua

Abstract

One of the focus today-solid modeling technology is stated in this paper. Starting with severa software soled, the two dif-

ferent methods for solid modeling and their advantages, shortages, practicability as well as parametric method have been discussed in more detail. Comments on some practical software are made and the opinion about development of solid modeling technology is mentioned.