

三角转子发动机 3D 实体造型的数字化实现^{*}

李振华¹, 李立君¹, 徐学林¹, 康意雄^{1,2}

(1. 中南林业科技大学 机电工程学院, 长沙 410004; 2. 南车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要:采用基于特征的造型机制,提出了采用特征元素树创建缸体,转子采用三维参数化程序设计的技术方案,利用 Pro/Engineer 设计软件,采用二次开发工具 Pro/Toolkit 完成了对三角转子发动机的三维自动建模系统.造型实例证明了本方法具有适用性强、速度快的特点,为进行高效率的三角转子发动机 CAD、FEA 及高精度的流场计算(CFD)提供了一种新的途径.

关键词:三角转子发动机;自动建模;Pro/Engineer;二次开发

中图分类号:TH318

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2009)11-0019-03

三维模型不但能使计算机辅助设计与辅助制造(CAD/CAM)软件具备零件造型设计、装配、干涉检查、加工模拟等功能,而且还可对结构有限元分析(FEA)和内部流场的计算流体动力学分析(CFD)提供初始网格,从而可让用户有效进行零件应力分析、热场计算、速度场和压力场求解.因此,对零件三维造型,特别是三维自动建模的研究,越来越引起人们的重视.特征造型是当代 CAD 零件设计的定型主导技术^[1].以特征作为产品定义的基本单元,将产品描述成特征的有机集合,能够打破设计制造活动的各个阶段和各种应用活动间的时间序列和信息次序,使 CAD/CAM 的集成,结构分析与流动分析的集成等成为可能.这种技术国内外都进行了研究并应用到某些领域中^[2-4].现有的转子发动机 CAD 设计系统大部分是基于二维绘图环境,对其三维造型,特别是三维自动建模的研究较少.目前需要三维模型的场合越来越多,如利用 Fluent 软件进行 CFD 分析时,显得非常迫切.开发实用的具有三维自动实体造型功能的转子发动机 CAD 软件是内燃机 CAD 的一个发展方向.本文中对转子发动机特征造型方法和 CAD 实施方案进行研究,并在目前使用最广泛的 CAD 支撑平台 Pro/Engineer 上实现.

1 基本思路

转子发动机主要由缸体、转子两大部分组成.因不同部件具有不同的几何和结构特征,为此,需要采用不同的造型策略才能实现自动造型.此外,还需要考虑并充分发挥现有 CAD 支撑软件所提供的辅助功能,才能设计出方便快速、具有极高精度的三维实体模型程序.参数化的 CAD 支撑软件 Pro/Engineer 不仅提供了交互设计功能,还向用

户提供了二次开发工具 Pro/Toolkit,这使得我们在常规 CAD 软件中自动完成转子发动机三维造型成为可能.

对于转子发动机的缸体而言,其截面图由曲线组成,但是曲线的数量、组合方式可能不一样,即模型不固定,因此可以使用特征描述法来实现,特征描述法虽然需要从产品的底层详细构建模型,难度和工作量都很大,但是能够动态、灵活的实现一些非固定模型的构件.

转子发动机的转子是 3 个曲面和内啮合齿轮构成,如果直接利用特征描述法来创建三维模型,程序设计繁琐.为此,利用设计参数来控制三维模型.参数化设计模型是以约束来表达产品模型的形状特征,以一组参数来控制设计结果,从而能通过变换一组参数值,方便地创建一系列形状相似的零件^[5].

2 缸体模型的自动生成

缸体是一个二维截面的拉伸体,然后创建孔特征.其自动造型程序的创建过程如下:先创建特征元素树,接着给出树的各个元素,如截面、参考面等,最后创建完整的特征、释放特征元素树.

1) 缸体的拉伸特征元素树的定义

```
static ElemTreeData tree [] = {
    {0, PRO. E. FEATURE. TREE, {- 1} },
    {1, PRO. E. FEATURE. TYPE, {PRO. FEAT. PROTRU-
        SION, PRO. FEAT. FIRST. FEAT}},
    {1, PRO. E. FEATURE. FORM, PRO. EXTRUDE},
    {1, PRO. E. ETD. SECTION, {- 1} },
    {2, PRO. E. STD. SEC. SETUP, {- 1} },
    {3, PRO. E. STD. SECTION. PLANE, {- 1} },
```

* 收稿日期:2009-09-05

作者简介:李振华(1982—),男,湖北荆门人,博士研究生,主要从事发动机研究.

```
{3, PRO. E. STD. SEC. METHOD, PRO. SEC.
SKETCH},
{1, PRO. E. STD. EXT. DEPTH, {- 1}},
{2, PRO. E. EXT. DEPTH. FROM, {- 1}},
{3, PRO. E. EXT. DEPTH. FROM. TYPE, ProExtDepth-
FromType},
{4, PRO. E. EXT. DEPTH. FROM. VALUE, {PRO. VAL-
UE. TYPE. DOUBLE}},
};
2) 根据特征树创建特征, 得到非完全特征
ProUtilElemtreeCreat (tree, SIZEOFARR (tree), NULL,
&elem. tree);
ProFeatureCreate (sel, elem. tree, opts, 1, &feature, &errors);
3) 定义完整的特征截面
ProSection section;
ProSectionEntityAdd (section, (Pro2dEntdef *), &line,
&line. id1);
ProSectionEntityAdd (section, (Pro2dEntdef *), &arc, &arc.
id1);
.....
4) 向特征元素树添加草绘器元素
UsrElemtreeElementAdd (PRO. E. SKETCHER, stdsec. el-
em, &section, PRO. VALUE. TYPE. POINTER, &element);
5) 向特征树添加拉伸深度设置元素
ProElemtreeElementAdd (elem. tree, NULL, depth. elem);
6) 最后重新定义特征, 使特征完整, 得到缸体实体
ProFeatureRedefine (Null, &feature, elem. tree, opts, 1,
&errors);
7) 孔特征元素树的定义如下
static ElemTreeData tree [] = {
{0, PRO. E. FEATURE. TREE, {- 1}},
{1, PRO. E. FEATURE. TYPE, PRO. FEAT. HOLE}, {1,
PRO. E. FEATURE. FORM, PRO. HLE. TYPE. STRAIGHT},
{1, PRO. E. HLE. COM, {- 1}},
{2, PRO. E. HLE. TYPE. NEW, PRO. HLE. NEW.
TYPE. STRAIGHT},
{2, PRO. E. DIAMETER, {PRO. VALUE. TYPE. DOU-
BLE}},
{2, PRO. E. HOLE. STD. DEPTH, {- 1}},
{1, PRO. E. HLE. PLACEMENT, {- 1}},
};
8) 孔的元素定义
ProElemtreeElementAdd (elem. tree, NULL, elem. com);
9) 孔的放置参考定义
ProElemtreeElementAdd (elem. tree, NULL, elem. plac-
ement);
10) 创建孔特征
ProFeature (sel, elem. tree, NULL, 0, &feature, &errors);
```

3 转子模型的自动生成

Pro/E 系统提供了 2 种零件模型自动化生成的方法 Family Tab(族表)。族表是利用表格来驱动的工具, 可以将事先定义好的模型中可供驱动的尺寸参数、特征、模型参数等放入表格中, 通过在表格中输入参数值就可以创建一个新的零件。族表的产生过程是: 首先创建一个具有代表性的零件, 此零件称为通用零件。然后, 根据可变情况编辑族表项目。Pro/Program 程序^[6]。在 Pro/E 中, 每建立一个模型, 都会有一个宏文件记录模型的产生过程, Program 就是这样控制并修改宏文件的工具。运用 Program 可以修改一切与模型建立过程相关的参数, 从而控制所要生成的零件或组件。针对转子的二次开发, 该文主要就是应用 Pro/Program 里的变量设定对转子进行参数化设计。首先确定转子的各参数: 创成半径 (R)、偏心距 (e)、模数 (M)、齿数 (Z)、齿顶高系数 (HA)、顶隙系数 (C)、分度圆压力角 (ANG)、齿轮宽度 ($GEAR.WID$), 然后输入关系式:

$$\begin{aligned} D. DIA &= M * Z. TH \\ DA. DIA &= M * (Z. TH - 2 * HA) \\ DF. DIA &= M * (Z. TH + 2 * HA - 2 * C) \\ S. TP &= PI * M / 2 \\ RB. RAD &= D. DIA / 2 * COS(ANG) \\ ANG. A &= ACOS(RB. RAD / (DA. DIA / 2)) \\ ANG. F &= ACOS(RB. RAD / (DF. DIA / 2)) \\ INV. ANG &= TAN(ANG) - ANG * PI / 180 \\ \dots \end{aligned}$$

利用参数关系式设定所要确定的基本数据, 例如: 分度圆半径、基圆半径。对于渐开线, 采用绘制基准曲线中的用方程方式进行绘制, 在记事本输入柱坐标表示的方程:

$$\begin{aligned} r &= rb. rad / (\cos(t * ang. f)) \\ \theta &= (\tan(t * ang. f) * 180 / \pi) - t * ang. f \\ z &= 0 \end{aligned}$$

对于转子型线, 在记事本输入坐标表示的方程:

$$\begin{aligned} v &= 30 + t * 60 \\ d &= -3 * e * \sin(3 * v) / R \\ u &= 2 * v - \text{asin}(d) \\ x &= 2 * e * \cos(u) * \cos(3 * v) + R * \cos(2 * v) \\ y &= 2 * e * \sin(u) * \cos(3 * v) + R * \sin(2 * v) \end{aligned}$$

4 转子发动机的三维参数化重建

要实现参数化, 必须实现数据流双向传递, 即一方面从基准模型设计参数传递到交互界面, 供用户修改; 另一方面, 用户修改后的新参数值要从用户界面返回到基准模型以实现参数更新, 进而重建零件模型。首先用 ProMdlRetrieve() 把零件从模型库调入内存, 通过 ProParameterInit() 或 ProParam

eterVisit() 函数检索出参数对象之后, 通过 ProParameter

指针数组中各参数的指针调用 ProParameterValueGet() 函数可获得类型为参数值 ProParamvalue 的结构体变量,以此结构体变量为输入参数调用函数 ProParam

eterValueSet() 可设置修改参数之值. 在参数更新之前,须按照约束条件进行参数值合法性检查. 满足约束条件的新的参数值才能向模型参数值结构体赋值. 最后,用 ProSolid

Regenerate() 函数再生三维模型,完成零件的参数化自动重建. 这样,通过函数检索参数变量并对其赋值,再通过关系式传递驱动关系和约束关系,便可控制模型的几何特征,重建模型. 应用该系统设计转子发动机的界面和整体三维装配图,如图 1、2 所示.

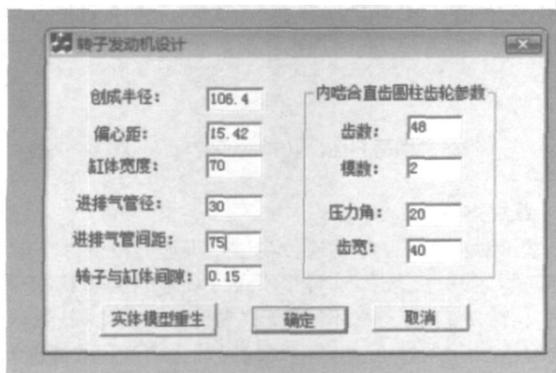


图 1 用户界面

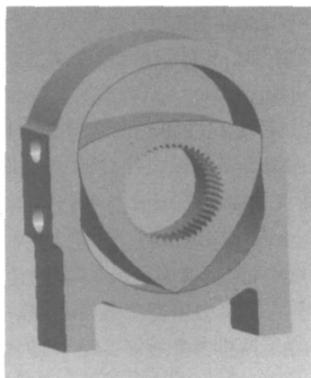


图 2 转子发动机 3D 装配图

5 结束语

本文中首次利用 Pro/E 提供的二次开发工具 Pro/Toolkit,综合运用了特征描述法和参数化程序设计,实现了三角转子发动机的自动建模. 利用该建模系统,可快速地、高精度地构造各种型号的转子发动机. 同时,该系统还允许用户快速修改模型,让用户实时地对不同 CAD 方案进行分析比较. 从而,为进行更深入的转子发动机 CAD、结构分析和流场 CFD 计算奠定了基础. 作者已成功地将本文中所述方法运用于转子发动机 CAD 及内部流场网格自动生成系统.

参考文献:

- [1] 唐荣锡,席平,宁涛. 协同设计特征造型软件发展概况[J]. 计算机辅助设计与图形学报,2003,15(1):15-20.
- [2] Bidarra R, Bronsvort W F. Semantic feature modeling[J]. Computer-aided Design, 2000, 32(3):201-225.
- [3] Hoffmann C M, JOARR Arinyo R. On user-defined features[J]. Computer Aided Design, 1998,30(5):193-196.
- [4] Chung J C H, Patel D R, Cook R I. Feature-based modeling for mechanical design[J]. Computers & Graphics, 1990,14(2):189-199.
- [5] Parametric Technology Corporation. Toolkit User's Guide[Z]. USA: PTC 公司出版,1998.
- [6] Parametric Technology Corporation. Pro/Engineer Wildfire User's Guide[Z]. USA: PTC 公司出版,2003.