

文章编号:1671-6833(2005)02-0067-05

基于Pro/E 和Ansys 的铰链梁设计系统集成研究

秦东晨, 梁 颖, 喇凯英

( 郑州大学机械工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 研究了人造金刚石生产设备的六面顶压机关键零部件——铰链梁的结构分析和设计系统 (CAD/CAE) 集成. 选择成熟通用的Pro/Engineer 和Ansys 分别作为设计系统和分析系统, 通过IGES 数据交换标准, 经前置处理和后置处理, 将二者集成为一个铰链梁的分析设计系统. 对铰链梁进行特征参数化建模, 建立有限元力学模型, 利用Ansys 分析系统得到了铰链梁的位移、应变和应力分析结果, 为铰链梁的结构优化设计提供了可靠的分析数据.

关键词: 铰链梁; 计算机辅助设计; 计算机辅助工程; 三维实体建模; 有限元分析; 数据交换标准

中图分类号: TH 123; TP 311 文献标识码: A

0 引言

人造金刚石是超高压高温技术发展的重要成果. 我国采用的金刚石的人工合成法是以铰链式结构为核心的六面顶超高压技术, 其合成需要的对中性、同步性、稳定性均由设备保证. 六面顶压机是人造金刚石的生产设备, 铰链梁是其中的关键机械零部件之一, 它的设计和加工精度直接影响着六面顶压机的加工质量和整机设计水平. 目前铰链梁设计主要采用传统的设计方法, 需要对其进行大量的假设和简化, 使得计算数据精度很低, 安全系数过大, 设计成本高. 因此, 采用现代设计方法加快铰链梁的开发与创新刻不容缓.

CAD/CAE 是综合建模和计算分析为一体的集成软件系统, 是当今先进的现代设计手段. 目前研究人员仍在致力开发在统一数据库支持下, 基于网络的更为完整的CAD/CAE 大型软件系统, 可为用户设计开发提供包括从产品造型到结构分析制造多种途径的解决方案<sup>[1~3]</sup>. 我国则从 20 世纪 70 年代中期便开始结合自身行业特点对CAD/CAE 技术进行研究, 例如安徽叉车集团建立了基于以太网络的CAD/CAE/MS 系统, 引进UG II 软件, 在较短时间内实现了产品创新和各部门之间的工程信息共享. 多年来, 我国的研发人员也在努力发展国内自主的CAD/CAE 软件, 虽然与发达

国家水平仍有一定的差距, 仍然取得了不少成果, 大连理工大学开发了JIFEX 系统和Adopt—Smart, 清华CAD 实验室开发了集成电路设计系统IC-CAD、FEM、FEPS 等. CAD/CAE 集成系统基本上都是通过统一的数据库和接口技术将建模和分析软件集成为一体, 可靠而且高效. 目前国内主要集中在行业内的CAD/CAE 应用, 扩展了系统的适用性, 尤其在模具注塑及加工<sup>[3]</sup>、汽车工业<sup>[4]</sup>研究较深.

本文作者在铰链梁的分析设计中应用CAD/CAE 技术, 从而提高了铰链梁的结构性能, 改善了铰链梁目前较传统的设计状况.

1 铰链梁设计系统的组成

有限元技术<sup>[5,9]</sup>是现代机械产品设计中的一种重要方法, Ansys 是大型通用的有限元(FEA) 分析代表软件. 由于Ansys 不是专业的三维实体建模软件, 对于像铰链梁这类复杂结构的机械零部件, 有时直接利用软件提供的工具进行几何建模较为困难. 对于大多数的零部件结构, 采用用户擅长的CAD 系统建模来代替在Ansys 中建模, 并把它输入Ansys 中进行分析, 不仅减少了零部件实体建模的工作量, 同时用户也可利用自己熟悉的工具建模. 美国PTC 公司开发的Pro/Engineer 是以特征为主体的三维实体建模系统(Feature—

based Solid Modeling System),它具有3个重要特征<sup>[7]</sup>:基于特征、尺寸驱动、单一的且全关联的数据库,具有强大的参数化造型功能,并且自带接口可输出多种图形格式,在建模后可方便地被Ansys有限元分析所接受。

本文作者利用实体建模软件Pro/E和有限元分析软件Ansys各自的功能优点,对铰链梁进行实体建模和有限元结构分析,通过数据转换接口,将二者有效地集成为一体,最终构造了一个较为完整的零部件CAD/CAE设计系统。图1为系统的流程图。

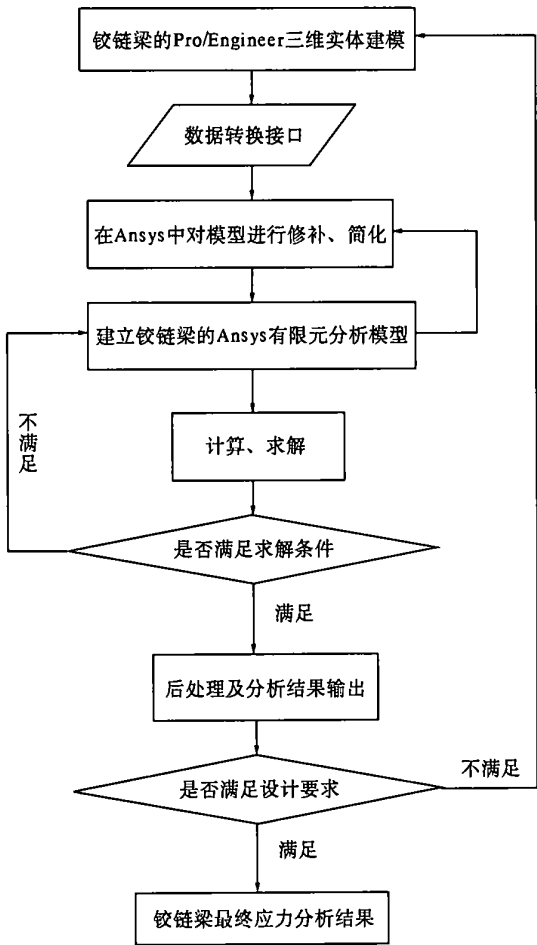


图1 铰链梁设计系统集成流程图

Fig. 1 The flow chart of the hinge sleeve's design system

## 2 Pro/Engineer与Ansys之间的数据转换及系统集成

### 2.1 数据转换标准

接口技术是CAD/CAE系统实现无缝集成的关键技术。为了满足系统集成的需要,提高数据交换的速度,保证数据传输的完整、可靠和有效,则必须使用有效的数据交换标准。目前最为通用的数据交换标准有IGES标准和STEP标准。

IGES(原始图形信息交换技术规范)是由美国国家标准协会(ANSI)制定的CAD/CAE/CAM系统之间图形信息交换的一种规范。它由一系列产品的几何、绘图、结构和其它信息组成,是用来定义产品几何形状的现代交互图形系统,可以处理CAD/CAE/CAM系统中大部分信息,进行产品定义数据的相容性交换。IGES标准现已发展成为一种主流的通用图形数据交换格式,大多数软件都配有IGES接口。STEP标准是一个关于产品数据的计算机可理解的表示和交换国际标准,提供一种不依赖于具体系统的中性机制,它描述的是包括产品的设计、制造、使用、维护、报废等整个生命周期的信息。相对STEP标准,IGES更加侧重于几何图形信息描述、几何实体信息描述和有限元模型数据传递交换,而且Ansys本身具有内置的IGES转换过滤器,其IGES的输入能力在工业界是最强的,因此本例采用IGES作为中间标准格式。

CAD软件几何模型和有限元几何模型记录数据和保存文件的格式不同,且IGES的一些语法结构有二义性,不同的系统也会对同一个IGES文件给出不同的解释;有时IGES对数据传输不可靠,往往一个CAD系统只有一部分数据能转换成IGES数据,在读入IGES数据时,也经常有部分数据被丢失,可能导致数据交换的失败;另外交换文件所占的储存空间通常较大,影响数据文件的处理速度和传输效率。因此,在把三维模型通过IGES文件转换为有限元模型之前,必须对模型进行修补、简化工作。

### 2.2 Ansys中的IGES标准转换方式

对于输入IGES文件,ANSYS提供了两种选项:DEFAULT和ALTERNATE。DEFAULT选项使用一种增强的几何数据库,它可自动地进行IGES文件的转换,转换包括自动地合并和生成体,为模型划分网格做准备。DEFAULT选项不能转换文本、面积、注解图元、结构图元等数据,会忽略它不能识别的IGES图元,不过它会转换所有的IGES拓扑和几何图元;输入后,Ansys将不允许从DEFAULT选项转换到ALTERNATE选项,因而不容许自底向上的模型生成方法。ALTERNATE选项使用标准的ANSYS几何数据库,没有自动生成体的能力,而且通过它转换的模型还需要进行一些手工的修补。在大多数情况下建议使用DEFAULT选项,只在以下几种情况中可能使用ALTERNATE选项:无法通过DEFAULT选项输入模型;希望把模型输出到一个IGES文件中;希望在输入的基础之

上建立新的图元.本例选用DEFAULT选项,其下的设置皆为YES(缺省),即允许合并重合关键点;如果可用选择生成实体;允许删除小的面.

### 2.3 模型修改

Pro/E生成的模型文件中包含了一些难以进行网格划分的物理细节,如铰链梁上许多“细而长”的倒角和小圆角面、两个面之间的间隙和重叠等;而且Pro/E程序采用了一种带有特殊格式的方式来定义图元,这种定义图元的方式与ANSYS定义图元的方式不一致,这些问题最终都会导致模型网格划分失败,因此需要对模型进行以下修补和简化:①拓扑修改和几何修复.使用拓扑修改工具闭合模型中各图元的间隙,可用间隙检查调整间隙容差的方法对所有间隙进行合并,修改不完全的图元以生成线、面和体.如果在模型的输入过程中发现模型的拓扑和几何结构有问题,或模型输入时关闭了合并的开关,则把拓扑工具(Topo Repair)变为可用状态.②几何结构简化.删除一些无关紧要(或无限制的)的图元,找出并去掉模型中产生问题的细节和小线或小特征,简化几何结构以改善网格划分性能.

## 3 铰链梁的实体建模

### 3.1 Pro/Engineer 的建模思路

与线框模型和曲面模型相比,特征实体模型是最为完善的一种几何模型.采用这种模型,可以从CAD系统中得到工程应用所需要的各种信息.Pro/E就是以特征为基础的三维实体建模系统,其模型的创建思路类似于模型的加工制造过程:首先绘制二维草图,由草图同过拉伸、旋转、扫描、混成等方法构造基本实体特征,然后再创建其上的孔、倒角、抽壳、圆角、加强筋等各类设计特征,以构造复杂的三维模型.每一个零件都是由一连串特征所组成,零件模型采用完全参数化驱动,可以随时更改特征的几何形状及其所含的设计信息,以达到变更的目的.

### 3.2 铰链梁的三维实体建模

Pro/E系统提供了灵活多样的特征建构方法<sup>[7]</sup>,从整体上讲,铰链梁外形具有一定的对称性,缸体可视为旋转体.凸耳因其截面和放置位置都不太规则,成为较难实现的部分,另外还要对模型进行有限元分析,因此可以先用旋转加材料、拉伸加材料、加强筋等特征,生成半个实体模型,再对模型进行细节修饰,如挖孔、圆角、倒角,最后用镜像复制完成整体的铰链梁三维实体模型.具体

的建模过程如下:

(1) 利用旋转加材料特征(Protrusion),生成铰链梁半个缸体,旋转角度 $180^{\circ}$ .

(2) 利用加强筋,创建一个以基准面为中心对称面的凸耳,再用拉伸去除材料特征切(Cut)出凸耳上的通孔.

(3) 再利用拉伸加材料特征和镜像拷贝直接生成其两侧的带通孔的凸耳.根据凸耳偏移中心的位置特点,需要创建临时的基准面、基准点和基准线,以确定二维草绘平面.

(4) 重复上面步骤,生成其余的凸耳.在此期间压缩(Suppress)一些无关紧要的特征,便于二维截面的绘制和三维实体的生成.

(5) 利用Feature Resume命令恢复所有被压缩的特征,再进行模型的修补,生成各种倒角、圆角.

(6) 最后用镜像拷贝生成另一半模型,完成整体的铰链梁实体模型的创建(见图2).



图2 铰链梁实体模型

Fig.2 The hinge sleeve's 3D solid modeling

在铰链梁实体模型的过程中,需要注意以下问题:

(1) 对于同一个产品零件而言,其创建方法和顺序不是唯一的,建模之前应认真思考规划,选择合适的建模思路和特征生成顺序,尽量减少返工的可能性.本例中,采用自顶向下的设计思路,即符合Pro/E的建模思路,也便于对模型进行必要的修补和简化.

(2) 合理使用各种绘制技巧.对重复的结构特征应尽可能采用特征的镜像、复制等功能简化设计过程,减少工作量.

(3) 大多数凸耳使用拉伸特征生成,需用偏移基准面作为二维草绘平面.基准面的生成有两种方法:插入法直接创建基准和生成临时基准.前者创建的基准平面可当作其他特征的基准重复使用;而后者所创建的基准平面只有在目前所创建

的特征中才会出现,优点是不会因为有太多基准平面在屏幕上而打扰设计工作,也便于特征的修改和重定义,因此选用临时基准平面.

### 4 铰链梁的有限元分析

#### 4.1 单元类型与网格划分

进入 Ansys 环境,导入 Pro/E 输出的 IGES 模型文件.考虑到铰链梁具有一定的对称性,为了减小计算规模,节省机时,只取模型的四分之一部分作为研究对象.

GUI : Utility Menu >File >Import >IGES .

选用四面体块单元 Solid 92,此单元是 10 节点等参单元,具有较强的边界适应性和单元位移柔顺性,适合于不规则的几何模型的网格划分,例如从不同 CAD 系统输入 的模型.考虑到模型较大,不用 MeshTool 进行自由网格划分,选取设置 MOPT ,AORDER ,ON .由于铰链梁的主要失效形式一般情况下都是在凸耳处的断裂,凸耳也就是最大应力和主要承载处,因此,这里对凸耳部分适当进行网格细化<sup>[9]</sup>,最终生成有限元网格模型如图 3 所示.单元数为 8 784,节点数为 15 478.

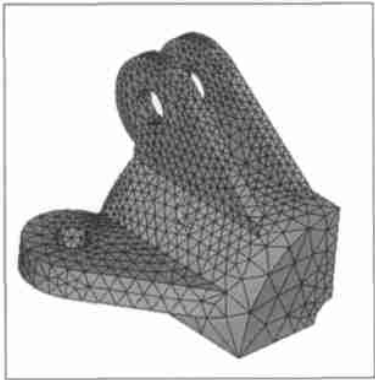


图 3 铰链梁的有限元模型

Fig.3 Finite element modeling of the hinge sleeve

#### 4.2 边界约束与载荷

铰链梁的材质为 35CrMo 合金钢,材料属性为:弹性模量为  $3.07 \times 10^{11}$ ,泊松比  $\mu = 0.28$ .铰链梁在工作时,是由凸耳来进行定位的,将约束加在凸耳内孔的半个孔面上.由于取用半个模型,因此需在模型对称面上施加对称约束.加压时,由进油孔加入油压,推动顶锤活塞在缸套内前行,且缸套固定在铰链梁缸体的凸平面上.工作载荷即加入缸内的油压为 20 MPa,根据弹性力学圆筒受均布压力的理论<sup>[9]</sup>,可求得加载油压作用于铰链梁内壁上的压力为:  $P_1 = 1.1 \times 10^7$  Pa,同时,油压通过固定的缸套对铰链梁缸体凸平面作用的均布载

荷,经计算得:  $P_2 = 9.9 \times 10^7$  Pa .

#### 4.3 结果处理

ANSYS 求解器进行求解得出模型应力云图,如图 4 所示;凸耳处应力云图如图 5 所示.

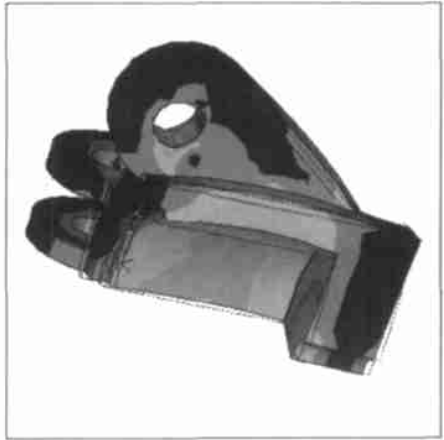


图 4 铰链梁模型的应力云图

Fig.4 Von Mises contours of the hinge sleeve

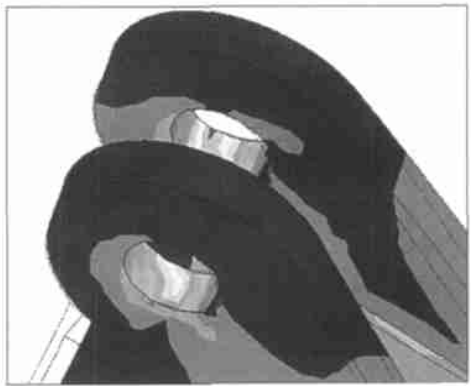


图 5 铰链梁凸耳处的 Von Mises 应力云图

Fig.5 Von Mises contours of the lug

由图 5 可以得出如下结论:

(1) 铰链梁结构所受的 Von Mises 综合应力最小值为  $1.46 \times 10^5$  Pa,最大值为  $1.75 \times 10^8$  Pa .

(2) 凸耳部分是结构中所受应力较大也较为集中之处,这与实际工作中的结果是一致的.而且从图 2 与图 3 比较可以看出,凸耳的内侧的应力比外测大,因此凸耳内侧是应力最大也是最先可能发生失效的部分.如何降低凸耳处的应力,提高机械疲劳强度,成为铰链梁设计与分析的重点,也是增强零件寿命的关键.

(3) 零件所受的应力从总体结构上看,除了凸耳部分,其余均较低,可以满足强度要求,而且有一定的优化空间.

### 5 结论

本文作者以铰链梁为实例,利用 CAE 软件与

Pro/E 系统对其进行建模和结构分析,得到了满意的结果,为后续的优化工作提供了可靠的设计基础.

(1) 用 Pro/E 对铰链梁进行了三维实体造型设计,代替了传统的手工二维绘图.

(2) 本文作者利用 Ansys 解决了接口模块的数据转换问题,与 Pro/E 实现了有效的集成,完成了对铰链梁的结构应力分析.

(3) 作者尝试用 CAD/CAE 技术对铰链梁进行结构分析,可继续在此基础上实现铰链梁参数化设计,通过基于特征的尺寸驱动,灵活地实现模型的修改,并对铰链梁进行更深入的设计.

参考文献:

[ 4 ] 陈永亮·徐燕申·变量化分析的原理及其在机械产品快速设计中的应用[J]·机械设计,2002,( 3 ):

6~8.

[ 2 ] 李 强·有限元法及 CAE 技术在现代机械工程中的应用[J]·机械科学与技术,2003,( 11 ) :126~128.  
[ 3 ] 刘 强,蒋玉明·虚拟制造技术与模具 CAD/CAE/CAM[J]·锻压技术,2001,( 6 ) :45~49.  
[ 4 ] 王成龙,余光伟·CAE 在提高轿车钢圈强度的方法研究中的应用[J]·上海大学学报(自然科学版),2004,10( 2 ) :13~16.  
[ 5 ] 杨荣柏·机械结构分析的有限元法[M]·武汉:华中理工大学出版社,1986.  
[ 6 ] 易日·使用 Ansys 6.1 进行结构力学分析[M]·北京:北京大学出版社,2002.  
[ 7 ] 林清安·Pro/Engineer 2001·零件设计基础篇[M]·北京:清华大学出版社,2003.  
[ 8 ] 孙雪梅·有限元单元网格加密方法的研究[J]·西安工业学院学报,1999,19( 3 ) :54~57.  
[ 9 ] 徐芝纶·弹性力学[M]·北京:高等教育出版社,1990.

Research on Hinge Sleeve's Design System Integration Based on Pro/Engineer and Ansys

QIN Dong -chen , LIANG Ying , LA Kai -ying

(School of Mechanical Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China)

**Abstract :** This paper studies the structural analysis and design system ( CAD/CAE ) integration of the hinge sleeve which is a key part of diamond six -faces presser .The general and effective Pro/Engineer and Ansys are selected as the design and analysis system .The system is integrated effectively by using data exchange standards ——IGES as well as the preprocessing and post -procesing .The 3D solid feature modeling and the finite element modeling are built .Using the Ansys software ,the precious displacements ,stresses and strains of the hinge sleeve are calculated and can be used for the structural opti mization design of hinge sleeve .

**Key words :** hinge sleeve ; CAD ; CAE ; 3D solid feature modeling ;finite element analysis ; data exchange standard