

基于 ProE 的超剪切设备关键结构的有限元分析

邓晓明 浦广益 张裕中

(江南大学生生化与食品机械研究所, 江苏 无锡 214063)

摘要:通过使用三维造型软件 ProE 的特征建模功能,建立了高速超剪切分散细化设备关键结构转子模型,利用有限元软件 ANSYS 分析得到了转子超高速转动下的变形、应力分布及转子的固有频率和振型。所得的结果可以指导此类转子的结构参数化设计。

关键词:高速超剪切;关键结构;ProE;有限元

中图分类号:TQ051.7;O241.2.82

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2004)S1-0196-03

Finite element analysis of key structure of ultra-shearing equipment based on ProE

DENG Xiao-ming, PU Guang-yi, ZHANG Yu-zhong

(Institute of Biochemical and Food Machinery, Southern Yangtze University, Wuxi 214063, China)

Abstract: By using the characteristic modeling function of three dimensional sculpting software, namely ProE, the model of the key structure-rotor of high speed ultra-shearing dispersing and disintegrating equipment was established. The stress distributing, deformation of rotors at super high-speed, the natural frequency and mode of rotors were analyzed with finite element method software (ANSYS). And the results obtained can provide a basis to optimize the characteristic parameters of rotors of this kind.

Key words: high speed ultra shearing; key structure- rotor; ProE; finite element method

高速超剪切分散细化设备是一种全新的化工、食品物料超细化粉碎,微量物料与大量物料均匀分散混合的高效加工设备,其工作原理是利用一对相互交错配合的定、转子(转子和定子上都带有梳条状的齿),由转子的高速旋转,物料从底部被吸入定、转子之间狭窄的剪切工作带,因转子与定子之间的狭小间隙而形成极大的速度梯度以及高频机械效应带来的强劲动能,使物料在间隙中受到强烈的液体剪切、离心挤压、液层摩擦、撞击撕裂和湍流等综合作用而最终变成分散、细化的高品质产品。因其能将物料粉碎至 $2\ \mu\text{m}$ 以下,且生产率极高,因而在食品工业、医药工业、石油化工等有着广阔的应用前景。

1 工作原理

该设备的核心技术是转子与定子结构参数的选择,工作原理如图 1 所示。

要减小产品的平均粒径,应减小转子与定子的工作间隙 s ,提高剪切率 γ^{-1} ,但间隙太窄则带来零部件设计、加工精度和装配工艺上的困难,且在高速转动时转子变形后易与定子发生碰撞。目前国内外

的高剪切均质机转子转速大都为 $3\ 000 \sim 4\ 500\ \text{r/min}$,江南大学生生化与食品机械研究所研制的高速超剪切分散细化设备的转子将转速提高到 $3 \times 10^4\ \text{r/min}$,其剪切线速率达到 $100\ \text{m/s}$,在这样的超高剪切速率下设计转子,综合考虑其变形、应力、振动等力学性能就尤为重要。文献[2-3]用解析法分析了底盘为实体圆盘的转子的变形与应力分布,而超高速下转子底盘改为辐条筋板结构,解析法计算公式不再适用,笔者通过采用 ProE 的特征建模功能建立了关键结构转子模型,并利用有限元分析法解决实际工程应用中复杂而迫切需要解决的问题。

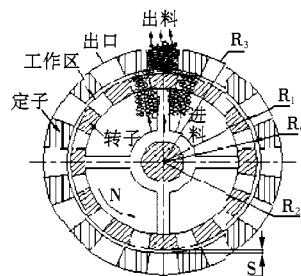


图 1 高速超剪切设备工作原理图

收稿日期:2004-01-07

作者简介:邓晓明(1980-),男,硕士生,013915350990, dxmwuxiboy@163.com;张裕中(1955-),男,大学,教授,硕士生导师,主要从事湿法粉碎、黏稠物料分散混合以及食品螺杆挤压技术的研究。

2 关键结构转子的特征建模

特征建模^[4]是建立在实体建模的基础上,在已有的几何信息上附加诸如形位公差、尺寸公差、表面粗糙度等信息。特征主要分为形状特征、装配特征、精度特征、材料特征等。形状特征描述零件的几何形状信息,是零件最基本的特征;装配特征表达零件的装配关系以及在装配过程中所需的信息;精度特征主要描述零件的几何形状和尺寸的许可变动量或误差;材料特征描述材料的类型与性能。

依据特征分解^[5]的原则并结合 ProE 的建模功能,将超高速转子特征分解如下:

①基圆盘特征。由一个特征半径形成转子的盘体,可用拉伸和旋转方法建立。

②单齿基本齿廓特征。主要由一个特征圆心角形成的扇形截面构成,可用切除方法建立。

③整圈齿廓特征。由周向均布的单齿基本齿廓特征组成,用于形成周向梳条状的齿,可用阵列方法建立。

④辐条筋板特征。为了减小转子的质量及超高速下的转动惯量,将传统的实体底盘更改为辐条筋板特征,替代转子、叶轮分体式的结构,可用切除方法建立。

利用 ProE 丰富的特征建模功能将转子进行特征分解后,建立各个子特征,对这些子特征进行布尔运算,就形成关键结构转子的模型,如图 2 所示。

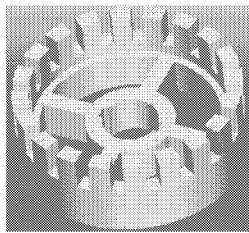


图 2 关键结构转子模型图

3 有限元分析

江南大学设计制造的高速超剪切分散细化设备的关键元件是转子,其转速为 3×10^4 r/min,在这样高的转速下,为了减小转子的转动惯量及质量,底盘不采用实体圆盘状,而在其背后采用辐条筋板结构,这时若要用解析法计算位移变形及应力分布就十分困难了,同样若要用解析法计算整个转子的前四阶固有频率也十分困难,而这些数据在设计过程中是必要的。准确获得以上技术参数最有效的方法就是

应用有限元分析方法。

3.1 有限元模型的建立

高速超剪切分散细化设备的关键元件是定子和转子,其结构为对称形式,整体模型也为周向均布且以长孔型转子最为典型,根据 ProE 特征建模方法建立的关键结构转子模型的主要技术参数为:内腔轴径 d 为 22 mm,齿圈均匀分布有 20 个梳状齿,外圈直径 d_1 为 81.2 mm,各部分厚度(包括筋板与齿厚)均为 6 mm,齿深 h 为 16 mm。再将已建立好的三维模型导入有限元分析软件 ANSYS 中,从而形成有限元模型。

3.2 有限元单元的确定及网格的划分

选用 ANSYS 软件中的 SOLID45 单元对转子进行离散化网格划分,SOLID45 单元是三维 8 节点单元,具体地说是指 8 个节点的六面体的等参基本单元映射成 8 节点的等参实际单元,此单元是分析弹性结构空间问题中应用较为广泛的一种单元。由于采用了八节点的单元,故可利用更复杂的形状函数,因而就达到了结构对实际变形的一个更准确程度的表达,计算精度较高。在 ANSYS 中对实体模型进行网格划分后共有 5215 个节点,如图 3 所示。

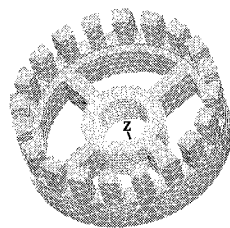


图 3 有限元网格划分图

3.3 静态分析

关键元件转子在超高转速驱动下,受到应力作用后必会变形,而且其应力变形具有不均匀性。所以只要寻找应力变形最值点,便可了解其应力分布情况。转子材料为高强度合金不锈钢,将材料的特征参数(弹性模量为 2×10^{11} Pa,密度为 $7\,800$ kg/m³,泊松比为 0.3)和转速输入 ANSYS 中,求解转子在高速转动时的应力变形值。变形结果如图 4 所示,其圈齿顶部的最大径向位移为 0.155 mm。

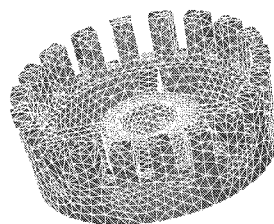


图 4 转子应力变形分布图

转子高速转动时的应力分布结果如图 5 所示。

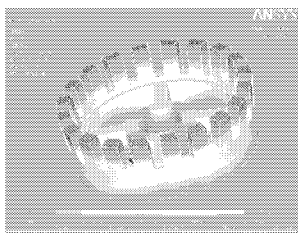


图 5 转子振动模态应力分布图

从图 5 中可知,在圈齿根部径向侧面与底盘连接面上的交线处为最大应力区,应力最大处为该圈齿根部内侧三线相交的一点处,该点处的应力值为 476.5 MPa,由于转子材料为高强度合金钢,所以该应力值还未达到塑性值,不可能发生塑性变形,转子在工作中也证明了这一点。为防止出现应力集中,实际转子应在齿根部与底盘连接面处采取圆弧过渡,不应采用倾角。

3.4 模态分析

关键元件转子本身具有某种程度的刚性,故其自然振动频率及模态是机械结构设计中必须了解的特性之一。为防止转子在工作时出现共振现象,需利用有限元法求解其前四阶固有频率。

建模划分网格与上面一样,再输入材料的弹性模量、泊松比、密度,约束内腔表面所有节点的自由度,使用 ANSYS 中的求解模块,采用 Subspace 法,即子空间迭代法。此法是近几年发展起来的求解广义特征值的有效方法,它的特点是能充分利用刚度矩阵及质量矩阵的稀疏带状性质,而且能一次求解出前几个模最大的广义特征值和对应的特征向量。在求解大型结构的少数特征对时,Subspace 法是很有效的方法^[6]。

经计算得出,前四阶的固有频率分别为 101.4、

121.16、121.39 和 153.06 Hz。从 ANSYS 软件显示的转子在超高速旋转下的动画可以看出:一阶固有频率的振型实际上是以转子本身的对称轴即 Z 轴为对称轴沿转子径向振动;二阶固有频率的振型是以与坐标轴 X 轴重合的直径为节径发生振动;三阶固有频率的振型是以与 Y 轴重合的直径为节径发生振动;四阶固有频率的振型是以 1 对互相垂直的直径为节径发生振动。

4 结语

高速超剪切分散细化设备作为食品与化工工业中十分必要的操作单元,其最佳关键结构设计的可靠性十分关键。应用 ProE 丰富的特征建模方法建立关键结构转子的模型,直观有效;运用有限元理论建立转子有限元模型,并进行高速旋转下的静态和模态分析,得出其应力分布和变形情况及转子叶片受力危险区;用工程有限元软件 ANSYS 很好地分析出静态应力分布、模态扩展时频率与相对应力和相对最值应力的分布,得出在高速运动情况下稳定区的频率,为高速超剪切分散细化设备关键结构的研究和设计提供理论依据。

参考文献

- [1] 沈培玉.高剪切均质机理与结构参数的研究[D].无锡:江南大学,2000.
- [2] 范本勇.[J].力学与实践,2002,24(3):32-34.
- [3] 范本勇.[J].江南大学学报(自然科学版),2002,1(4):388-389.
- [4] 黄圣杰,张益三,洪立群,等.ProEngineer2001 高级开发实例[M].北京:电子工业出版社,2002.21-29.
- [5] 于忠海,吴凤和,高道明,等.[J].机床与液压,2002,30(6):91-92.
- [6] 夸克工作室.有限元分析 ANSYS 与 Matlab[M].北京:清华大学出版社,2002.2-47.■

上海索维机电设备有限公司

主要产品:实验室高剪切乳化机,管线式高剪切乳化机,间歇式高剪切乳化机,固液混合装置,非标设计及制造等
电 话:021-63548616
63541871

杭州美宝炉窑工程有限公司

主要产品:高洁净直接式燃煤热风炉。
电 话:0571-85185926
85284088
<http://www.cnmb.com>