

文章编号:1671-6833(2006)02-0120-04

基于虚拟制造技术的增压机模型分析及仿真

刘 军, 赵东辉, 张 慧, 高献坤

(河南农业大学机电工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 采用 Pro/Engineer 建立增压机工作装置参数化实体模型, 以此为基础, 建立运动学模型, 对工作装置进行运动仿真. 首先将模型的连杆部分导入 Ansys 分析软件进行有限元受力分析, 然后将活塞和连杆部分通过 Pro/E 和 Adams 之间的无缝接口软件 Mechanical/Pro 导入 Adams 软件中进行动力学分析, 得出其在多种情况下的运动曲线, 各项数据基本上达到了实际的要求.

关键词: 增压机; 运动仿真; 虚拟制造

中图分类号: TH 16; TG 68

文献标识码: A

0 引言

虚拟制造 (VM, Virtual Manufacturing) 是实际制造在计算机上的本质实现, 是计算机仿真技术和虚拟现实技术在制造领域的综合发展及应用, 是企业以信息集成为基础的一种新的制造理念. 虚拟制造技术的广泛应用将从根本上改变现行的制造模式, 给企业组织、企业管理及生产方式等方面带来深刻的变化, 对相关行业也将产生巨大影响, 是下一代制造技术的重要内容之一.

增压机是我们常用的一种机械, 其种类很多, 适用于输气管道增压站的主要有往复式增压机和离心式增压机. 往复式增压机主要适用于小排量、高压或超高压条件, 而离心式增压机则适用于大流量、中低压条件.

目前, 国外一些发达国家对增压机的研究已经进入虚拟制造技术阶段, 国外的一些大公司如《英兰动力科技有限公司》, 他们都已通过一些建模及分析软件如 Pro/Engineer 这种集 CAD/CAM/CAE 于一体的大型设计软件来建立增压机模型, 然后用动力学分析软件如 Adams 来模拟其运动过程, 不仅提高了产品质量而且减少了成本.^[1]但目前国内外对增压机进行全面的分析, 即从使用的材料、运动学、动力学、热力学及结构等方面进行综合分析的还很少, 欧美和日本在这方面处于领先地位, 但主要是在动力学和热力学方面的模拟, 在国内大部分公司只把模型建出来就马上投入生

产, 没有进行仿真, 所以产品质量相对较差. 本文的目的是建立较为完善的增压机模型, 对某个部件进行有限元分析和动力学分析, 并为优化增压机的结构提供一定的依据. 主要采取了 Pro/E, Ansys (Ansys 是专业的有限元分析软件, 其在热力学分析和结构分析上运用十分广泛) 及 Adams 三种软件来分别对其进行建模、有限元分析及动力学仿真, 通过多次模拟分析及优化, 得出的受力及运动曲线与理想情况基本吻合.

1 增压机模型参数化建立过程

在 Pro/Engineer 软件中采用参数化建模, 实体模型的参数化是指模型的尺寸用相应的关系式来表示, 而不用确定的数值, 变化一个参数值, 将自动改变所有与它相关的尺寸. 采用参数化模型, 可以通过调整参数来修改和控制几何形状, 自动实现产品的造型.^[2]

参数化设计方法与传统设计方法相比, 其最大的不同在于它存储了设计的整个过程, 能设计出一族而不是单一的产品模型. 形状特征的参数化中使用参数代替形状特征的几何尺寸, 它包括独立参数和关联参数. 独立参数需要根据具体设计情况赋值, 关联参数不需要赋值, 它与独立参数间有着特定的关系, 当独立参数发生变化时, 关联参数也随之发生变化. 例如活塞部分的设计, 本文选择缸径、行程、活塞高度、压缩高度、活塞顶岸高

收稿日期: 2005-10-29; 修订日期: 2006-01-11

基金项目: 河南省自然科学基金项目 (200510466026)

作者简介: 刘 军 (1952-), 男, 山东济宁人, 河南农业大学副教授, 硕士, 主要从事先进制造技术方面的研究.

度、第一环岸高度、第二环岸高度作为独立参数。其余结构尺寸作为关联参数,关联参数的值是根据活塞设计的经验公式,通过与独立参数间的数学关系式来求解。当改变独立参数时,关联参数与之联动,以获得新的活塞模型。通过这种方法建立活塞、活塞套、连杆、曲轴、后盖、前盖、飞轮的模型,这个过程始终记录在 Pro/E 零件实体模块下的 program 中,program 是 Pro/E 的一个记录文件,记录着模型自始自终得的建立过程,在程序文件 relation 段中建立参数关系式,确定独立参数与关联参数之间的关系。^[3]具体实现方法如下:

```
INPUT/ * 独立参数定义 * /
D NUMBER/ * 定义数值型参数—缸径 * /
“ENTER THE DIAMETER OF CYLINDER”/ *
输入提示信息 * /
...
... / * 其他独立参数的定义 * /
END INPUT/ * 结束独立参数定义 * /
RELATIONS/ * 参数间关系式 * /
TH = 0.091 * D/ * 活塞顶部壁厚与缸径的关系 * /
R = 2.06 * D/ * 活塞顶内部型线与缸径的关系 * /
...
... / * 定义其它参数间关系式 * /
END ADD/ * 结束添加 * /
END IF / * 结束参数控制条件 * /
```

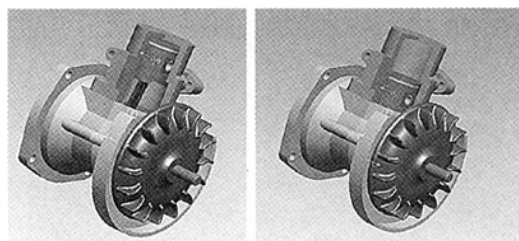
各个零件的模型的尺寸建立必须要预先设计好,以免装配时不匹配。再以活塞处于最高位置进行装配。装配时不仅要保证零件的位置,还要定义运动副,即各构件之间组成的可动连接。如活塞与活塞套可采用滑杆连接,飞轮和曲轴之间可采用销钉连接等。装配零件时,可能发生位置偏差,不准确或无法装配的情况,装配使用平移、旋转、插入、匹配等,会得到较佳的结果。以此创建的增压机模型如图 1 所示。

2 用 Pro/E 对增压机模型进行运动仿真

增压机装配完并确定下来后,进入机构模块,定义驱动器和仿真运动参数,从而建立工作装置的运动模型。

首先,定义其伺服电动机,伺服电动机一般都定义在两个零件的连接处。然后,对装配体进行拖动,再定义拖动速度及每秒的帧数,然后便可以运

行,进行运动分析,例如运动仿真显示、运动干涉检测、运动轨迹、速度、加速度等。MDX 所创建的的运动机构,既可以导入 Pro/M 中进行进一步分析,也可以引入动画模块中以创建更完善的仿真动画。^[4]MDX 用于运动分析,与 Pro/Engineer 完全集成,无需单独安装,操作简便易于使用,但功能并不是很强。Pro/M 包括 Motion(运动分析)、Structure(结构分析)、Thermal(热力学分析)三部分,功能强大,需要单独安装。另外,Pro/M 的集成工作模式能够直接调用建模参数进行优化分析,这是其他分析软件无法做到的。



(a) 活塞处于顶部 (b) 活塞处于底端

图 1 增压机活塞的运动状态图

Fig.1 Movement of piston of supercharge

运动模型建立后,即可进行机构的运动模拟,并将模拟结果以动画形式在屏幕上显示。具体过程如下:

(1) 点击(运动分析)、新建,在弹出的对话框中的“电动机”选卡中正确设置好各伺服电动机作用的起止时间、运行、确定、关闭。

(2) 点击(结果回放),选择“全局干涉”、播放,弹出动画控制面板,通过控制面板就可以控制动画的播放、停止等。在动画中,红色加亮部分产生干涉的区域。执行[capture],可以输出动画的影像文件(MPG)等。图(a)和(b)分别是活塞运动到最上端和最下端时工作装置瞬时状态图。

还可以将该运动模型导入 Pro/MECHANICA Motion 中进一步分析,例如:求各铰接点的反力;计算机构任一时候的位置、速度、加速度;通过运动分析可以得出装配的最佳位置;通过尺寸变量对机构进行优化分析等。还可以通过 Pro/E 和动力仿真软件 Adams 的接口程序导入 Adams 动力仿真软件进行更全面的动力仿真分析。

3 用 Ansys 和 Adams 对模型进行受力分析和运动仿真

用 Pro/E 画出连杆部分简图,保存成 .iges 文

件,然后打开 Ansys,将此图导入,进行受力分析,如图 2 所示:不同的颜色表示其受力大小不同,红色部分受力最大,最易折断.故设计时这一部分可采用延展性较强的金属或进行特殊的热处理过程,以延长其使用寿命.通过分析受力,了解到增压机最薄弱的地方,并加以改善,从而延长了其使用寿命.同时,运用 Ansys 软件还可以对其进行受热分析.然后将增压机的有限元分析图导入 Adams 动力仿真软件进行动力分析,这样我们便把增压机在实际工作过程中基本上所有的因素都考虑到了,这就大大提高了设计增压机的成功率.

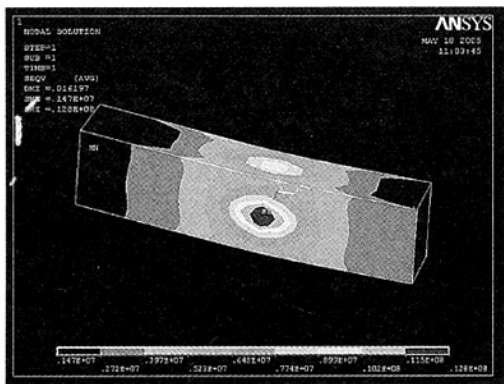


图 2 连杆受力分析

Fig.2 Ansys the force on connect rod

在 Ansys 软件中对活塞进行温度场分析之后,再将其模型导入 Pro/E,与连杆等部分进行装配,再导入 Adams 进行动力学分析,Adams 在机械系统运动学及动力学分析上具有无可比拟的优越性,将活塞部分导入 Adams 可以更全面的分析其运动过程,并绘制出其运动曲线和受力曲线. Pro/E 和 Adams 之间采用无缝连接程序 Mechanical/Pro,首先在 Pro/E 中定义各个刚体,然后再用接口程序将模型导入 Adams 进行动力学仿真^[5].

一个实际的机械系统中,构件与支架之间存在运动副的联接,这些运动副可以用系统广义坐标表示为代数方程^[6].设表示运动副的约束方程数为 nh ,则用系统广义坐标矢量表示的运动学约束方程组为

$$\Phi^k(q) = [\Phi_1^k(q), \Phi_2^k(q), \dots, \Phi_{nh}^k(q)]^T = 0 \quad (1)$$

这里给出的是定常完整约束情况.考虑运动学分析,为使系统具有确定运动,也就是要使系统实际自由度为零,为系统施加等于自由度($nc - nh$)的驱动约束:

$$\text{万方数据} \quad \Phi^D(q, t) = 0 \quad (2)$$

由式(1)表示的系统运动学约束和式(2)表示的驱动约束组合系统所受的全部约束:

$$\Phi(q, t) = \begin{bmatrix} \Phi^k(q, t) \\ \Phi^D(q, t) \end{bmatrix} = 0 \quad (3)$$

对式(3)运用链式微分法则求导,得到速度方程:

$$\dot{\Phi}(q, \dot{q}, t) = \Phi_q(q, t)\dot{q} + \Phi_t(q, t) = 0 \quad (4)$$

对式(4)运用链式微分法则求导,可得加速度方程:

$$\ddot{\Phi}(q, \dot{q}, \ddot{q}, t) = \Phi_q(q, t)\ddot{q} + (\Phi_q(q, t)\dot{q})\dot{q} + 2\Phi_{q\dot{q}}(q, t)\dot{q} + \Phi_{tt}(q, t) = 0 \quad (5)$$

用以上几个方程对模型进行约束和运动分析,然后再进行动力学仿真.通过 Adams 仿真软件,可以对模型的各个关键部位进行运动分析,并且绘出运动曲线,如图 3 所示为活塞部分的线速度、加速度和角速度曲线.通过反复测量和多次仿真,得活塞运动的最高速度为 22 m/s,最低速度为 -22 m/s;活塞运动的加速度最高为 $5.9E + 006 \text{ mm/s}^2$,最低为 $-5.9E + 006 \text{ mm/s}^2$;最大角速度为 1 000 r/min,最低角速度为 250 r/min.

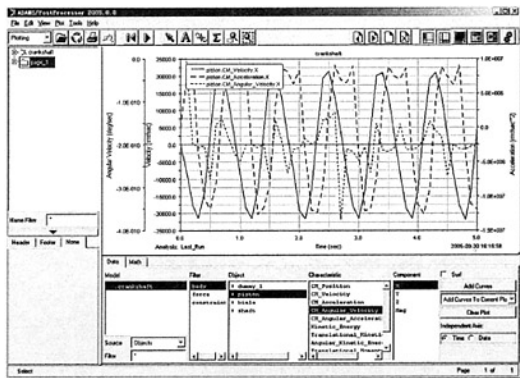


图 3 活塞的运动曲线

Fig.3 Piston's movement curve

4 结束语

Pro/Engineer 作为集 CAD/CAM/CAE 一体的大型设计软件,其强大的三维参数化造型功能为大家所熟悉,然而在其分析模块很多人还不是很了解,我们在小型增压机的设计中尝试应用 Pro/Engineer 的分析模块,它的高度集成能满足机械系统的设计分析要求,使之能成为设计者的有力工具.此外,作者用 Ansys 软件对连杆进行了有限元受力分析,导入 Adams 动力仿真软件进行运动仿真,得出的数据基本上满足了增压机的工作要求,并取得了较好的效果,证实了虚拟制造技术的可行性.

参考文献:

- [1] 詹友刚. Pro/E 中文野火版教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2004, 125 ~ 126.
- [2] 张淑珍. CAD 系统二次开发方法的研究[J]. 西北纺织工学院学报, 2000, 22(3): 25 ~ 28.
- [3] 杨 萍, 韩 飞. 基于 PRO/E 软件二次开发复杂钣金件的展开设计[J]. 工程图学学报, 2005, 21(5): 157 ~ 62.
- [4] 王艳萍, 胡金星. 基于 Pro/E 软件的产品三维曲面造型设计方法[J]. 机械工人·冷加工. 2002, 24(3): 67 ~ 68.
- [5] 陈立平, 张云清, 任卫群, 等. 机械系统动力学分析及 ADAMS 应用教程[M]. 北京:清华大学出版社, 2005.

Model Analysis and Emulation about the Device of Supercharger Based on Virtual Technology

LIU Jun, ZHAO Dong - hui, ZHANG Hui, GAO Xian - kun

(School of Mechanical & Electrical Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this paper, the parametric model of the supercharge device is set up by Pro/E, based on this, the kinematics model is built, and the working device is simulated. First, the connecting rod of the model is done finite element analyzed by the Ansys software. Then with Mechanical/Pro, which is a seamless connected software between Pro/E and Adams, the piston and the connecting rod which constructed by Pro/E are received dynamics analyzed by Adams, and sport curves in many kinds of cases have been got, and every data are reached the actual requirements basically.

Key words: supercharger; kinetic simulation; virtual manufacturing

(上接第 119 页)

Application of Partial Least - squares Regression to Seepage Monitoring Model

LI Zong - kun¹, CHEN Le - yi¹, SUN Ying - zhang²

(1. School of Environment & Water Conservancy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450002, China; 2. Construction Management Bureau of Xiaolangdi Hydraulic Engineering, Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Among the indicators of seepage monitoring model, there is serious collinearity between each water level, water levels and rainfalls. In a seepage monitoring model built by ordinary multilinear regression, the multicollinearity between each monitoring indicator will influence the parameter estimation, enlarge the model error and damage the robustness of model. To avoid multicollinearity's disturbance, partial least - squares regression which can identify system information and noise is introduced into the model, and a program is compiled. It is illustrated by a case that the components of partial least - squares model can give a reasonable physical interpretation to variation of prototype observation data, and predictive power of partial least - squares regression is stronger than ordinary multilinear regression, the sum square predictive error of former is nearly one of twentieth of the latter.

Key words: partial least - squares regression; seepage monitoring model; prototype observation