

文章编号:1671-6833(2005)03-0079-04

某发动机的参数化动态仿真分析

石明全¹, 薛运锋¹, 陈维义², 伍明辉¹

(1. 华东交通大学机电工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 海军工程大学五系, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 基于虚拟样机技术, 利用 ADAMS 软件建立了某发动机的参数化动力学分析模型. 对影响发动机性能的几个关键参数进行了参数化仿真分析, 如斜盘分布圆半径、斜盘倾角以及导槽形式. 结果表明, 随斜盘倾角的增大, 机构的输出转速也增大; 直导槽形式的结构比八字导槽形式的结构运行更加平稳.

关键词: 参数化建模; 仿真; 虚拟样机
中图分类号: TJ 301 **文献标识码:** A

0 引言

随着计算机辅助设计技术的发展, 虚拟样机技术已广泛应用于各个领域. 在对机械系统的设计和优化过程中, 往往需要进行多次修改, 反复分析, 以便得到满意的设计方案. 因此参数化建模分析方法越来越受人关注. ADAMS 软件为用户提供了参数表达式、参数化点坐标、运动参数化以及使用设计变量等 4 种参数化方法来实现参数化建模和分析^[1], 只需改变样机模型中的有关参数值, 就可自动更新整个样机模型, 大大提高了分析效率. 从而可以通过对仿真结果的分析归纳, 观察设计参数变化的影响, 在设计早期确定关键的设计参数, 并最终达到缩短开发周期、降低生产成本、提高产品质量的目的.

1 虚拟样机模型的建立

为了既反映发动机的主要运动和受力情况又能将问题尽量简化, 将发动机系统抽象为如图 1 所示的系统.

图中, 因为其结构尺寸不大且布局紧凑, 不考虑其弹性变形的影响各部分为匀质刚体. 忽略运动副间隙. 将整个发动机系统简化为包括斜盘轴、箱体、活塞 (6 个, 沿圆周均布)、连杆 (6 个) 和滚轮 (6 个, 均布) 共 20 个刚体.

根据实际结构建立的发动机系统的拓扑关系 (如图 1、图 2) 和约束关系如下:

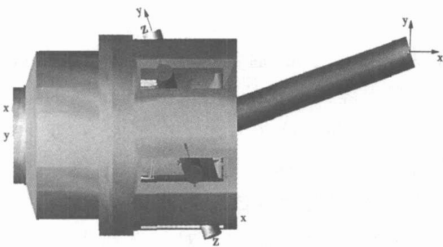


图 1 发动机实体模型图
Fig. 1 Virtual Prototype of wobble motor

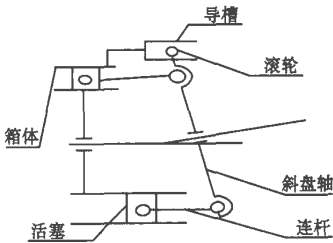


图 2 发动机抽象模型及其拓扑关系图
Fig. 2 Topology of wobble motor

斜盘轴与静参考系铰接, 仅保留绕其自身轴线的旋转自由度; 各个滚轮与斜盘铰接, 仅保留绕其自身轴线的旋转自由度. 且各个滚轮与相应的导槽 (固接在箱体上) 间定义实体-实体接触 (共 6 个); 各个连杆与斜盘及对应的活塞都采用球铰连接; 活塞与连杆球铰连接, 与箱体间用圆柱副连接, 保留其沿自身轴线的平动和绕自身轴线的转动自由度; 箱体与静参考系铰接, 保留绕其自身轴线的转动且和每个活塞间圆柱副连接.

收稿日期: 2005-03-20; 修订日期: 2005-05-30

作者简介: 石明全 (1975-), 男, 重庆市人, 华东交通大学副教授, 博士, 研究方向为多体动力学, 动态仿真.

整个机构的运动关系为:气体进入汽缸推动活塞运动,通过连杆驱动斜盘转动,斜盘驱动负载运动;同时,斜盘带动滚轮,滚轮和导槽接触,从而带动箱体同步旋转,带动活塞也有整体绕箱体轴线的旋转运动.显然,运动关系为闭环^[1].

综上,该发动机系统共有 8 个旋转铰,12 个球铰,6 个圆柱铰,6 个实体接触.所以系统共有 $20 \times 6 - 8 \times 5 - 12 \times 3 - 6 \times 4 - 6 \times 0 = 20$ 个自由度.

2 动力学分析模型的建立及力元

ADAMS 软件利用第一类 Lagrange 方程自动建立系统的动力学方程,但是,这对模型的建立、加载和求解提出了更高的要求,尤其是系统中定义了接触约束时更是如此.系统的除重力以外的力可以统称为力元,通常包含动力、系统负载等.为了使基于虚拟样机的仿真结果有足够的可信度和实用价值,要求这些力元无论是大小、变化规律及作用位置等方面都要和物理样机足够一致.

2.1 发动机汽缸内气体压力及其变化率

由文献[2]及文献[3],对气体热力学方程求导,可得:

dp/dt = (RT/dm)/V dt + mRdT/V dt - mRTdV/V^2 dt (1)

式中,R 为气体常数,V 为汽缸容积,m³;m 为汽缸内的气体质量,kg;P 为汽缸压强,Pa;T 为气体温度,K.根据上式编制计算程序,并将力加载于活塞端面,模拟气体作用.

2.2 发动机所受负载

由参考文献[3,4]可知,发动机所受的负载为

M = (P_B Q) / (2 * pi * n_p * eta_B) (2)

式中,M 发动机所受的负载,N·m;P_B 为泵的输出海水压强,Pa;eta_B 为泵的效率;n_p 为泵的转速 r/min;Q 为泵的流量,m³/s.根据上式得负载规律并将其施加在斜盘发动机输出轴末端.

3 发动机模型参数化设计^[5,6]

基于虚拟样机技术的动态仿真工作可对模型进行参数优化和结构重修改.为了便于下一步的分析和优化工作,需在模型中提取关键的、对机构性能有直接影响的几何参数和控制参数进行仿真实验,通过分析比较多次仿真结果,得到优化的方向和建议.即所谓参数化仿真及优化.

考虑到对机构性能直接影响比较大的因素,

我们选取了几个关键参数来进行参数化设计:连杆和斜盘连接点在斜盘分布圆半径(简称“斜盘分布圆半径”)、斜盘倾角、以及直导槽与八字导槽的导槽形式互换.整个参数化过程在如图 1 所示的实体模型基础上进行.

根据现有的文献,利用 ADAMS 建立机械系统的参数化模型往往是定义设计变量,采用变量驱动的方式自动更新整个系统的变化.这种方式在一些便于用形状规则的物体来抽象的系统及运动关系不复杂的情况下是可行的.但是,一旦系统中物体形状复杂、运动关系不单一或者含有非常规约束,这种参数化方法将会导致一些根本的误差,得不到期望的结果.比如,零件的某一结构尺寸改变必将使其质量、质心位置和转动惯量等物理特性变化,而对不规则的物体,这种变化在每个方向上的变化率是不一样的,因此不能自动替换.否则将导致方程组的雅可比矩阵和实际情况不一样,使结果和实际结果不一致.

对于本文作者所研究的对象,由于结构复杂,运动关系为闭环,尤其八字导槽的形式包含空间曲线,以及定义了随机接触约束,参数驱动显然无法满足参数化的需要.因此,经过探索,提出一种结构参数驱动和约束重建的参数化方法.概括起来就是这样的过程:①参数化之初删除所有约束;②改变某一参数或从模型库中调入模型替换并调整机构位置,重装配;③约束重建.整个过程自动完成.图 3 为参数化菜单.

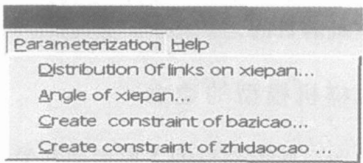


图 3 参数化菜单
Fig. 3 Parametric menu

4 仿真结果及其分析

在进行仿真时,原始模型的主要参数为斜盘倾角 18°,斜盘分布圆半径 105 mm,导槽形式为八字导槽.仿真进行了以下几种工况:①斜盘分布圆半径为 125 mm 及 85 mm;②斜盘倾角变为 16°及 20°;③将八字槽形式换为直导槽.每种工况其它参数和原始模型一致.

斜盘分布圆半径及斜盘倾角对仿真结果的影响分别如图 4、图 5 所示.

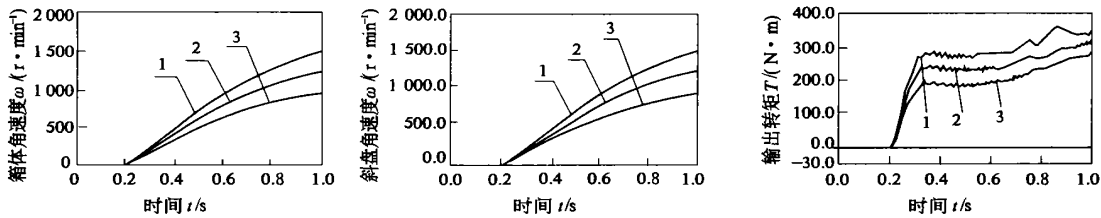


图 4 斜盘分布圆半径对箱体角速度、斜盘角速度和发动机输出转矩影响 1 为半径 125mm；2 为原始方案；3 为半径 85mm)
Fig. 4 Influences of the wobble distribution circle radius to cabinet's angular velocity, wobbler's angular velocity and engine's output torsion

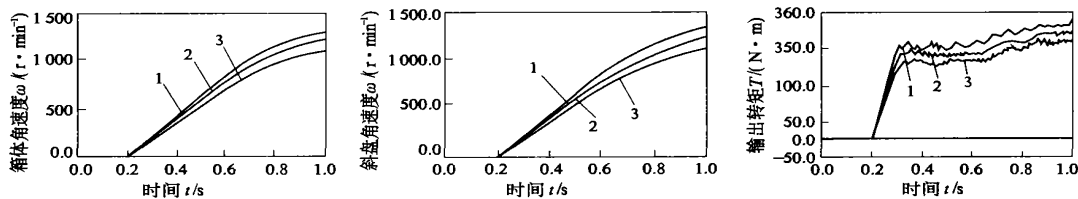


图 5 斜盘倾角对箱体角速度、斜盘角速度和发动机输出转矩的影响 1 为倾角 20°；2 为原始方案；3 为倾角 16°)
Fig. 5 Influences of wobble angle to cabinet's angular velocity, wobbler's angular velocity and engine's output torsion

从图 4 可以看出,随着斜盘倾角加大,斜盘和箱体角速度也是增大的,发动机输出转矩同样增大.但是,这种增大不是无限制的,仿真表明,如仅仅增大斜盘倾角而不改变任何其它结构参数,则当斜盘倾角稍大于 20°时,机构将处于死点附近,机构将锁死,斜盘和箱体几乎没有角速度、滚轮与导槽的接触力将无限加大直至破坏约束关系.这些结果和文献 [2,3] 的结论一致.

从图 4 和图 5 可以看出,箱体的转动有较明显但是幅度较小的波动,而且随着角速度增加其波动幅值增大,显然引起这种情况的主要原因有二:由于箱体质量偏心带来的附加动载荷;滚轮和导槽之间的随机碰撞.总体看来,箱体由于结构上的对称性,波动较小.另一方面,斜盘旋转的波动较明显且幅度越来越大.这是由机构本身的特点决定的,产生并影响波动情况的最主要原因是由于滚轮和箱体上导槽的随机碰撞,根据接触理论,相碰撞物体间相对运动越大,碰撞力将越大,使得斜盘受的附加力矩增大,从而波动越来越大.

在图 6 中,由于定义的是实体-实体碰撞,滚轮的接触力是一种随机碰撞的形式,因此其曲线显然是扰动的,而且曲线谷值处很尖,体现了刚性碰撞的特性.总的说来,八字导槽时滚轮的受力要

比直导槽时大,这一方面是由于滚轮并不能完全按照“8”字的理论轮廓运动,从而不及直导槽容易形成持续接触;另一方面是由于八字导槽形式在接触时比直导槽形式压力角明显要大.而且在不同导槽形式仿真结果对比中,其它诸如整个机构的不平衡动载荷、约束反力等都表明,直导槽形式更能充分体现和利用机构的对称性,使机构的运动更平稳.

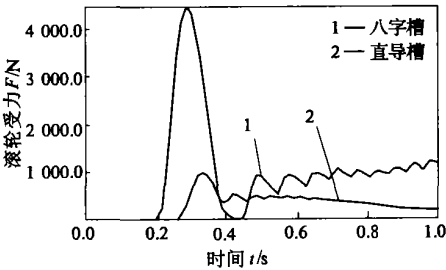


图 6 不同导槽形式对滚轮受力的影响
Fig. 6 Influences of different grooves to the force on rollers

5 结束语

笔者对某斜盘发动机进行了基于虚拟样机的 CAE 仿真分析,得到以下结论:

(1) 斜盘分布圆半径以及斜盘倾角对斜盘发动机的性能均有很大影响. 在发动机其它结构参数不变的情况下, 增大斜盘分布圆半径(或斜盘倾角), 相当于使活塞行程加大, 进气压力相同的情况下, 进入气缸内气体做功增加, 从而使机构的输出功率和转速也增加.

(2) 斜盘发动机中, 导槽的不同形式对发动机的性能也有着重要的影响. 在分别利用直导槽与八字导槽进行仿真的结果对比中, 可以发现直导槽形式更能充分体现和利用机构的对称性, 机构的运动更加平稳.

(3) 提出了一种在 ADAMS 中新的参数化思想: 全系统参数化. 通过结构置换和约束重建, 完成复杂模型的快速修改.

参考文献:

[1] 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.
[2] 李冬梅, 王树宗, 吴朝晖. 弹性直导槽摆盘发动机的动力学分析[J]. 水中兵器, 2002, 10(2): 48~52.
[3] 马世杰. 鱼雷热动力装置设计原理[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992.
[4] 郑学贵, 王国治. 斜盘发动机虚拟样机的动力学仿真分析[J]. 华东船舶工业学院学报, 2004, 18(4): 81~85.
[5] MDI. Using ADAMS /View[M]. 美国: 美国机械动力公司, 2000.
[6] 郭旭伟, 王知行. 基于 ADAMS 的并联机床运动学和动力学仿真[J]. 中国制造业信息化, 2003, 32(7): 119~122.

The Parametric Simulation of an Engine Based on ADAMS

SH Meng -quan , XUE Yun -feng , CHEN Wei -yi , WU Meng -hui

(1 School of Mechanical and Electrical Engineering , East China Jiaotong University , Nanchang 330013, China ; 2. Department Five , Naval University of Engineering , Wuhan 430033, China)

Abstract : In this paper , the parameterized dynamic model of an engine has been established by using virtual prototyping . Three key parameters affecting the performance of the wobble motor including the radius of wobble distribution circle , the inclining angle of wobble and the form of groove , have been studied by parametric simulation . The output rotational speed of the mechanism will increase by increasing the radius of wobble distribution circle or the inclining angle of wobble . In comparison with the groove with a figure of 8 shape , the running of mechanism of the straight groove is more stable .

Key words : parametric modeling simulation virtual prototyping