

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.11.010

某风洞试验装置动力学特性分析

罗凌江¹, 康林²

(1. 中国兵器工业第五八研究所军品部, 四川 绵阳 621000; 2. 总装重庆军代室驻绵阳地区军事代表室, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对某型飞机进气道的优化设计和性能评估装置问题, 对 U 型运动机构进行模拟分析。采用 2 个力矩电机同时直接驱动俯仰轴, 引入 ALGOR 23 有限元分析软件, 对试验装置进行运动学分析和有限元分析, 有限元分析包括静应力分析和模态分析。分析结果表明: 试验装置的结构设计满足指标要求, 能为相关设计提供借鉴。

关键词: 运动学分析; 有限元分析; 静应力分析; 模态分析

中图分类号: TJ011 **文献标志码:** A

Dynamic Characteristics Analysis of Tester in the Wind Tunnel

Luo Lingjiang¹, Kong Lin²

(1. Dept. of Armament Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China;

2. Mianyang Office of Chongqing Military Representative Bureau of PLA, Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at the optimal design and evaluate tester problem certain type aircraft inlet channel, simulation analysis the motion mechanism of U model. Adopt two electromotor to drive straightly the pitching axes, use an ALGOR 23 finite element analysis (FEA) software to analyze kinematics and finite element of testing set, FEA includes static analysis and modal analysis. The result indicates that the structure design of tester satisfies requirement of specifications, can to afford reference for design.

Keywords: kinematic analysis; FEA; static analysis; modal analysis

0 引言

飞机过失速机动飞行中, 姿态角以较高的速率变化, 此时飞机内、外流场与定常飞行时相比差异很大, 气动力呈现出较强的非常特性。本试验装置就是为给某型飞机进气道的优化设计和性能评估提供的试验装置。根据系统方案要求, 飞机模型最大重量为 50 kg, 最大角速度为 240 (°)/s, 最大振荡频率为 1 Hz, 风速 15~70 m/s^[1]。该试验装置采用倒摆式结构, 模型居中, 通过支杆与 U 型运动机构连接, U 型运动机构通过两端的俯仰轴支撑在立柱上, 立柱间跨度大, 为了提高系统响应特性, 采用两个力矩电机同时直接驱动俯仰轴, 实现模型在风洞中摆动。为了尽可能减小电机功率, 需对核心部件 U 型运动机构进行合理设计, 减少它的转动惯量。对于试验装置机械力学性能, 这个部件起着决定性的作用, 它刚度达到要求, 则试验装置刚度达到要求。为此, 引入了 ALGOR 23 有限元分析软件, 对 U 型运动机构进行了模拟分析, 从实际的环境模拟证明设计的合理性, 并进行系统优化。

1 建模、分析及加载

在进行 ALGOR 23 分析之前, 要建立 SolidWorks 模型, 进行运动学分析, 列举分析单元

和分析项, 导入 ALGOR 分析模型, 施加载荷。

1.1 设计方案

试验装置总体模型图见图 1, 采用单轴摆动式结构, 底座固定, 2 个立柱支撑, 通过电机驱动 U 型运动机构实现模型的摆动, U 型运动机构包括 2 个纵支杆、模型连接杆和横支杆。由于立柱的间距约为 4600 mm, 跨度较大, 对 U 型运动机构设计要求高, 模型参考点允许变形量要求高。

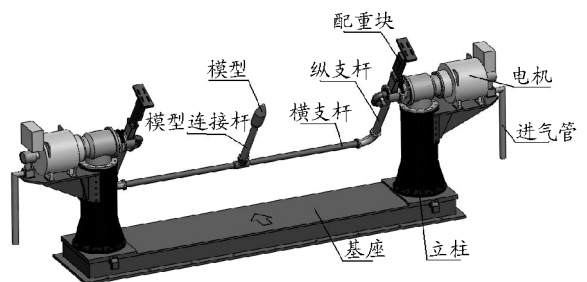


图 1 试验装置总体模型图

1.2 运动学分析

根据系统要求, 系统要实现快速拉起和正弦曲线两种运动形式, 下面仅列举正弦曲线运动情况的分析。

运行轨迹为正弦曲线, 振幅和频率可变, 则

$$\theta = A_0 \sin(2\pi\alpha \cdot t)$$

收稿日期: 2011-07-27; 修回日期: 2011-08-21

作者简介: 罗凌江(1973—), 男, 重庆人, 本科, 高级工程师, 从事军品结构设计。

其中 A_0 为正弦振幅, $1/a$ 为正弦频率, 则可得出:

$$\theta' = A_0 \cdot 2\pi a \cos(2\pi a \cdot t)$$

$$\theta'' = -A_0 \times 2\pi a \times 2\pi a \sin(2\pi a \cdot t)$$

当飞机以振幅为 20° , 频率为 1 Hz 的正弦运动时, 可以得出:

$$\theta = \frac{\pi}{9} \sin(2\pi \cdot t) \quad (1)$$

$$\theta' = \frac{2\pi^2}{9} \cos(2\pi \cdot t) \quad (2)$$

$$\theta'' = -\frac{4\pi^3}{9} \sin(2\pi \cdot t) \quad (3)$$

则可以得出, 实现该运动所需的最大力矩为:

$$M_{\max} = J \cdot \theta''_{\max} + M_c \quad (4)$$

式中: M 为力矩电机输出转矩, $N \cdot m$; J 为折合到电机轴的总转动惯量, $kg \cdot m^2 (N \cdot m \cdot s^2)$, 根据初步设计 SolidWorks 模型可得; θ'' 为模型旋转角加速度, rad/s^2 ; M_c 为折合到电机轴的负载静阻力矩 M_c , 由速度摩擦阻力引起, $N \cdot m$ 。在本系统中, 还应考虑因风速对模型迎风面产生的阻力矩^[2-3]。根据上式, 可估算出最大力矩为 $2\,701.9\, N \cdot m$ 。

根据式 (3) 和式 (4), 可得到模型作正弦 1 Hz 运动的角加速度曲线和力矩曲线, 见图 2。

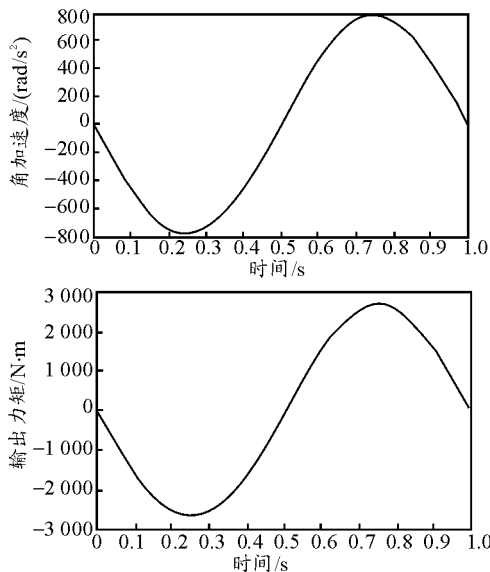


图 2 作正弦 1 Hz 运动的角加速度曲线和力矩曲线

1.3 确定分析项目

在该装置工作过程中, 承受的载荷主要有: 模型的重力 (作用于模型连接杆), 模型和 U 型运动机构的转动惯量作用于各零件的载荷。对整个装置, U 型运动机构的变形量起决定作用, 需要了解其零件的变形量是多少, 零件内部应力多大, 会不会构成零件的破坏、失效。因此, 进行以下分析计算:

1) 静应力分析。分析 U 型运动机构在负载重力

作用及加速度冲击下产生的变形;

2) 模态分析。进行模态分析的目的是用于确定装置的振动特性, 确定轴系的固有频率。

1.4 建模

在 SolidWorks 环境中, 将 U 型运动机构导入 ALGOR 23 环境中。零件与零件模型之间接触采用粘合方式, 实体网格类型选用四面体, 并忽略一些小特征, 如小孔和小圆角等。将三维模型导入 ALGOR, 需要设置网格大小、目标边缘长度、绝对长度尺寸公差值, 随之进行有限元网格划分, 划分后的有限元网格如图 3。图中所示为进行模态分析时导入的模型。单元划分网格总数为 $123\,370$ ^[4]。

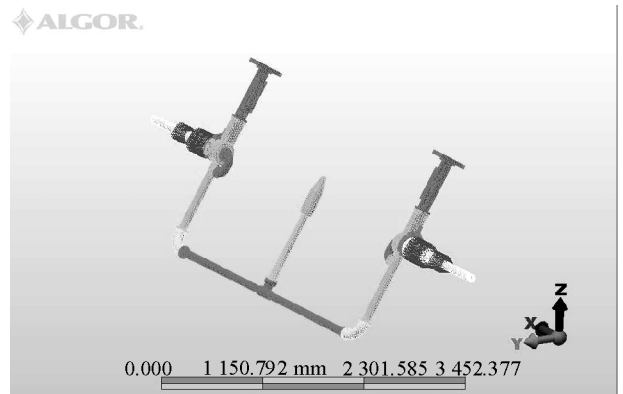


图 3 有限元网格图

2 计算结果及分析

根据确定的分析项目, 依次进行分析, 得出分析结果。

2.1 静应力分析

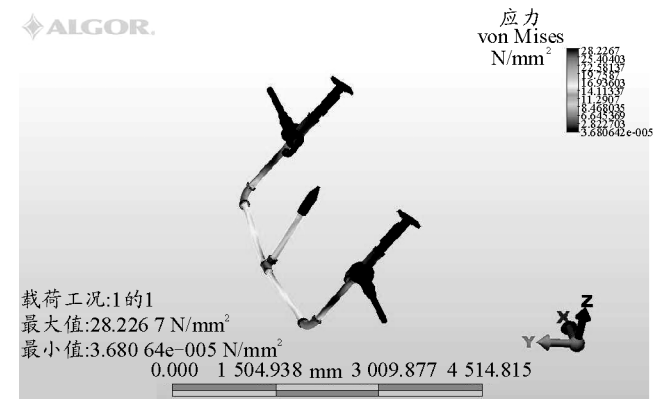


图 4 模型承受静应力分布图

在进行静应力分析之前, 需要设定边界条件及施加载荷。边界条件为: 限制俯仰轴配合面相关节点的 6 个自由度。所施加的载荷有: 各结构件和模型的重力, 风洞中风吹产生的力, U 型运动机构管道内部气体的压力, 进行静应力分析, X、Y、Z 方向最大变形结果如表 1 及图 4 所示, 图 4 所示 U 型

运动机构承受静应力分布图。

表 1 模型参考点 X、Y、Z 方向最大变形量 mm

比较项目	X	Y	Z
指标	±2.5	±5	±2.5
分析结果	0.093 7	3.950 6	0.761 67
结论	符合	符合	符合

从静应力分布图可以看出，最大应力为 28.226 7 N/mm²，远小于材料的许用应力，符合要求。最大应力出现在横支杆和模型连接杆相交的位

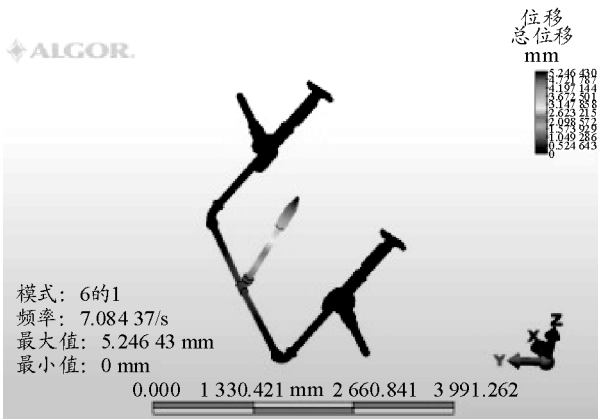
置，优化时可考虑这里。

2.2 模态分析

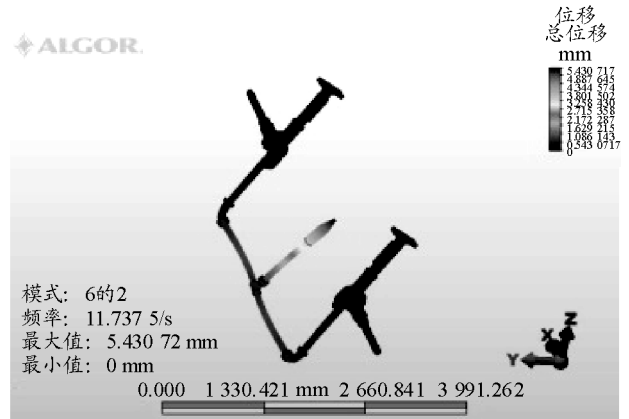
通过对 U 型运动机构进行模态自然频率的分析，模态分析结果如表 2 及图 5。

表 2 模态分析结果

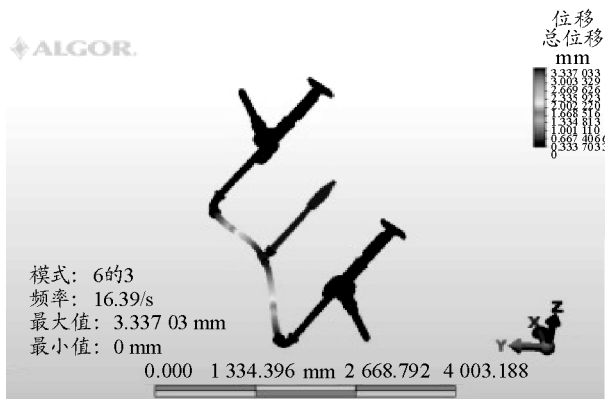
阶	频率	最大变形量/mm	特征
1	7.084 37	5.246 43	模型 Y 向摆动
2	11.737 50	5.430 72	模型 X 向摆动
3	16.390 00	3.337 03	横支杆 Z 向摆动
4	21.081 60	5.179 92	横支杆 Y 向摆动



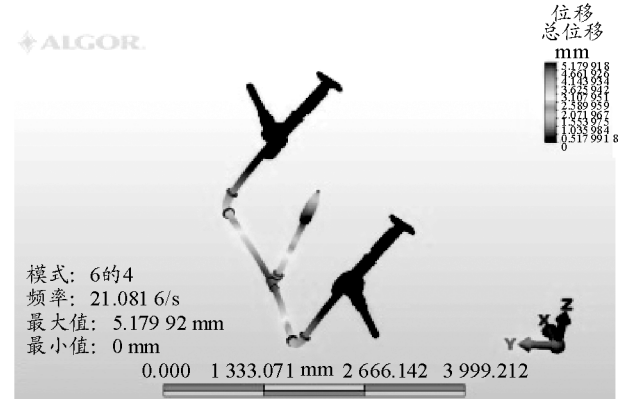
(a) 1 阶模态



(b) 2 阶模态



(c) 3 阶模态



(d) 4 阶模态

图 5 U 型运动机构前四阶模态

考虑到系统的第 1 阶模态频率达到 7.034 87 Hz，大于试验装置需要满足运动形式的最大振荡频率 1 Hz，不会引起系统的共振或振荡，确认系统的刚性是合适的。

3 结论

通过以上分析可知：

1) 模型试验装置的变形量比较小，按试验装置最恶劣的工作条件进行分析，最大应力出现在横支杆和模型连接杆相交的位置，最大应力为 28.226 7 N/mm²，远小于不锈钢材料的许用应力，强度符合要求；2) 试验装置最低固有频率为 7.034 87 Hz，从指标要求看，大于运动形式的最大

振荡频率 1 Hz，不会引起振荡，装置刚度满足要求；

3) 从静应力分布图看，纵支杆强度及刚度留有很大余量，可作为下一步优化工作的重点，以便减小 U 型运动机构的转动惯量，减小电机负载。

参考文献：

[1] 巫朝君. $\Phi 3.2$ 米风洞大迎角机动进气道试验装置外委研制任务书[J]. 2011, 03.

[2] 李再军. 某牵引高炮液压调平油缸动态特性研究[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(12): 28.

[3] 陈秋良. $\times\times\times$ 牵引高炮随动系统工作状态分析[J]. 2008, 08.

[4] 寇晓东. ALGOR 结构分析高级教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008, 10.