

微电机临界转速计算方法研究

韩旭¹, 马军², 付跃刚¹, 王加科¹, 吕天宇²

(1.长春理工大学 光电工程学院, 长春 130022; 2.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 为了减少微电机临界转速对电机的危害, 对微电机转子临界转速计算方法进行了研究。以分析法为基础设计了适合各种类型的微电机转子临界转速的计算程序, 介绍了计算程序考虑各种主要因素。以轴承支承类型设计了两种转子支承夹具, 对样品进行了频率响应测试。实验测量结果显示, 两种支承计算和测试数据误差在10%以内。由此可见, 该计算程序可以计算各种类型微型电机转子, 对工程实践具有重要的指导意义。

关键词: 微型电机; 临界转速; 分析法; 频率响应

中图分类号: TB535+.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2011)04-0074-03

Study on Calculation Method for Critical Speed of Micromotor

HAN Xu¹, MA Jun², FU Yuegang¹, WANG Jiake¹, LV Tianyu²

(1.College of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130033;

2.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130022)

Abstract: In order to reduce the damage of critical speed for micromotor, make research on the calculation method of critical speed for micromotor. Based on analytic method, the calculation program is designed, which is suitable for all kinds of rotors. The main factors are introduced for calculation program. Two kinds of fixture were designed based on the kinds of bearing. The frequency response test for samples is done. The test result shows that the datum error is below 10 percent between calculation and test for two kinds of supports. The calculation program can be suitable for all kinds of rotors of micromotor. It is helpful to engineering practice.

Key words: micromotor; critical speed; analytic method; frequency response

所谓的回转体临界转速是指某些特定的转速, 当回转体在这些转速回其附近运转时, 本身将出现很大变形并作弓状回旋, 引起支承及整个机械的剧烈振动, 甚至造成轴承和回转体的破坏, 而当转速在这些特定转速的范围之外时, 运转即趋于平稳, 这些引起剧烈振动的特定转速称为回转体的临界转速^[1], 对应此转速的频率为该回转体的固有频率。对工程师来说很重要的是要知道临界转速的大小。一般的原则是要求回转体的转速要小于一阶临界转速的20%。

微型电机属于高速回转体, 在微电机设计过程中, 为了改善电机性能, 工程师经常会更改电机的尺寸, 比如轴的直径, 绕线直径或者轴承间距等。这些更改将不可避免遇到结构改变后微型电机的

设计转速是否与它的临界转速相近的问题。

转子临界转速的计算方法和实验研究已经有很多研究成果^[2-6], 但针对微型电机研究还未见。本文对微型电机的临界转速进行了研究, 根据临界转速解析计算公式设计了适合不同类型的微型电机临界转速的计算软件。通过实验验证, 该方法可以为工程设计阶段提供帮助。

1 临界转速计算理论

现今, 由于认识到临界转速的重要性, 已经有很多计算临界转速的方法, 比如分解置换法、分析法、矩阵迭代法和传递矩阵法等。但是考虑到微型电机结构的复杂性, 有必要找到一个适合微型电机临界转速的理论。微型电机临界转速的大小与电

收稿日期: 2011-08-25

作者简介: 韩旭(1974-), 男, 博士, 讲师, 主要从事光学仪器热光学和家用电器NVH研究, E-mail: frequency126@126.com。

机轴和轴上的零件的材料,几何形状和尺寸,轴承类型等有很大的关系。综合以上因素,选择分析法作为计算软件的理论基础。

分析法计算临界转速适合转轴有两个支撑,并且能够计算出旋转轴第二阶临界转速。它的特点是计算量小、精度高。根据旋转轴的直径和载荷(轴段和轴段上安装零件的重力)的不同,模型简化为如图1所示m段受均匀的分布载荷阶梯轴^[9]。

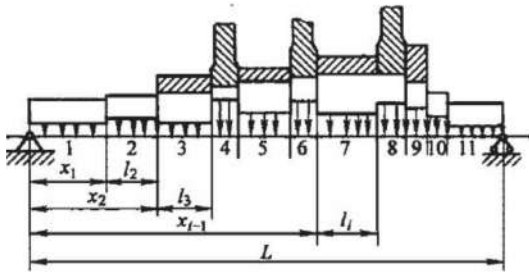


图1 轴系的计算模型

Fig.1 Calculation model of shafting

各段的均布载荷可以用 $q_i = \frac{m_i g}{l_i}$, m_i 为 i 段轴和装在该段轴上零件的质量(kg); l_i 为该轴段长度(m); g 为重力加速度。那么,临界转速的公式由下式表示

$$n_{ci} = \frac{2.95 \times 10^2 k^3}{L^2} \sqrt{\frac{1}{\left(\sum_{i=1}^m q_i \Delta_i\right) \left(\sum_{i=1}^m \frac{\Delta_i}{E_i I_i}\right)}}$$

其中, k —临界转速的阶数; L —转子两支承距离(m); I_i —第 i 段轴的截面惯性矩(m^4); q_i —第 i 段轴的均布载荷(N/m); Δ_i —第 i 段轴的位置函数, $\Delta_i = \Phi(\xi_i) - \Phi(\xi_{i-1})$, $\xi_i = \frac{kx_i}{L}$, $\Phi(\xi_i) = \xi_i - \frac{\sin 2\pi\xi_i}{2\pi}$

2 微电机临界转速计算程序

由于微型电机的结构复杂性,要同时考虑全部的影响因素,准确计算临界转速的数值是非常困难的,也是不必要的。根据微型电机不同的设计要求,只考虑主要影响因素,通过Labview 软件建立。

计算程序进行了必要的简化,输入相关的参数后,就可以得到电机转子的临界转速。相关参数解释如下所示。

Order of critical speed: 临界转速的阶数(一阶或二阶)

Shaft diameter: 电机轴直径

Bearing distance: 轴承中心间距(滑动轴承或滚珠轴承)

Bearing to lamination distance: 轴承中心到电枢右端距离

Lamination diameter: 电枢直径

Height of slot bottom: 电枢叠片齿底部高度

Height of slot top: 电枢叠片齿上部高度

Lamination teeth width: 电枢叠片齿宽度

Lamination length: 电枢叠片长度

Lamination slot number: 电枢叠片齿数

Winding number: 绕线数量

Winding diameter: 绕线直径

Commutator diameter: 换向器直径

Commutator length: 换向器长度

Commutator to lamination distance: 换向器右端到电枢左端距离

将以上参数带入临界转速计算软件后,可以计算出每段轴的质量和惯性矩,再根据位置函数表,根据每段轴的位置计算出它们的位置函数,最后根据临界转速分析法的公式,可以得到微电机的临界转速值。

3 试验验证

微电机临界转速测试系统示意图如图2所示,它主要包括B&K多功能分析仪3560,加速度传感器4393,力传感器8203和手持式信号发生器5961等。

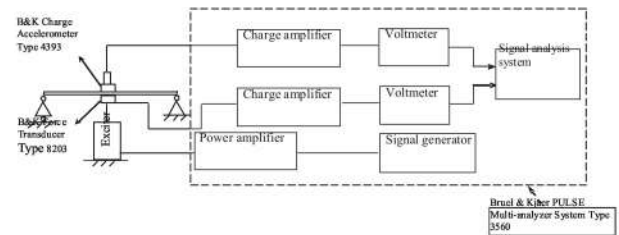
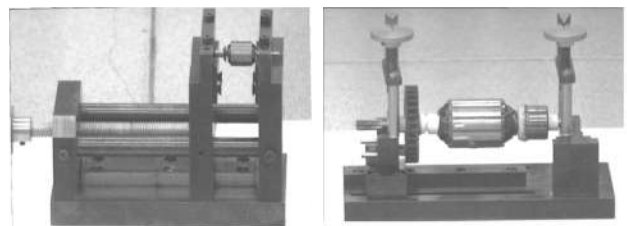


图2 临界转速测试系统示意图

Fig.2 Sketch map for critical speed test system

根据微电机轴承类型,实验夹具的装置如图3所示,夹具可以根据转子的长度和高度进行调节。



a. 滑动轴承夹具 b. 滚动轴承夹具

图3 微型电机临界转速夹具

Fig.3 Fixture for critical speed for micromotor

图4和图5分别是滑动轴承和滚动轴承夹具测试结果。四条曲线分别是在转子上随机选取的激励点得到的。

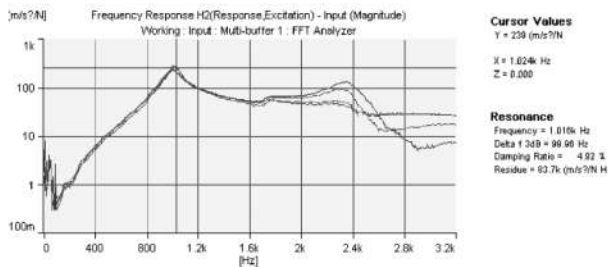


图4 滑动轴承微型电机临界转速测试结果

Fig.4 Test result for critical speed of bushing micromotor

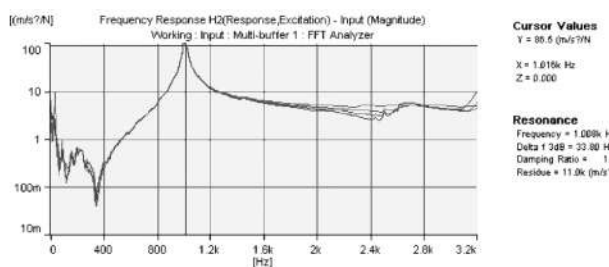


图5 滚动轴承微型电机临界转速测试结果

Fig.5 Test result for critical speed of bearing micromotor

从测试结果可以看到,无论是滑动轴承或滚动轴承,随机选取的四个测试的结果的一致性都很好。

4 结果分析与讨论

分别选取10个滑动轴承和滚动轴承样品,它们的长度,高度,以及重量各不相同。测试结果和计算结果如表一所示。

从表1和表2可以看出,通过编制的软件计算的临界转速结果与测试结果误差可以控制在10%以内。这主要是微电机的复杂性,它的临界转速的数值还与磁拉力、支撑的柔度、回转力矩、系统的阻尼有很大的关系。在软件的编制过程中,以上因素并没有考虑进去。

5 结论

本文以分析法为核心,建立了适合不同类型微电机转子临界转速的计算软件。设计了适合不同类型微电机转子测试系统,通过计算结果与测试结果对比,误差在10%以内。

由于计算软件考虑通用性,对影响微电机临界转速的一些主要因素没有完全考虑进去,需要以后

表1 滑动轴承微型电机临界转速测试与计算结果

Tab.1 Test and calculation result for critical speed f or bushing micromotor

| 样本号 | 计算结果(Hz) | 测试结果(Hz) | 误差(%) |
|-----|----------|----------|-------|
| 1 | 1732.8 | 1630 | 6.3% |
| 2 | 963.8 | 1013 | -4.9% |
| 3 | 1039.4 | 990 | 5.0% |
| 4 | 1106.5 | 1064 | 4.0% |
| 5 | 1129.7 | 1201 | -5.9% |
| 6 | 782.02 | 800 | -2.2% |
| 7 | 861.3 | 923 | -6.7% |
| 8 | 966.2 | 915 | 5.6% |
| 9 | 962.6 | 985 | -2.3% |
| 10 | 1032 | 1060 | -0.3% |

表2 滚动轴承微型电机临界转速测试与计算结果

Tab.2 Test and calculation result for critical speed for bearing micromotor

| 样本号 | 计算结果(Hz) | 测试结果(Hz) | 误差(%) |
|-----|----------|----------|-------|
| 1 | 979 | 958 | 2.2% |
| 2 | 681 | 732 | -7.0% |
| 3 | 991 | 1018 | -2.6% |
| 4 | 916 | 887 | 3.3% |
| 5 | 831 | 803 | 3.5% |
| 6 | 782 | 731 | 7.0% |
| 7 | 1013 | 970 | -4.4% |
| 8 | 1143 | 1109 | 3.0% |
| 9 | 928 | 935 | -0.7% |
| 10 | 960 | 1013 | -5.2% |

进一步优化。

参考文献

- [1] 郑凌云.机械振动中临界转速的工程意义及实践应用[J].机械研究与应用,2004,17(2):19-22.
- [2] 杨橙,马力,王仲范.复合材料高速储能飞轮临界转速与极限转速的研究[J].中国机械工程,2003,14(18):1555-1557.
- [3] 王天煜,王凤翔,方程,等.高速电机转子临界转速计算与振动模态分析[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(5):805-808.
- [4] 陈双涛,侯予,陈汝刚,等.高速透平膨胀机临界转速的计算与分析[J].西安交通大学学报,2010,44(9):33-37.
- [5] 赵明,魏德明,任平珍,等.模态综合法计算双转子临界转速研究[J].燃气涡轮试验与研究,2003,16(3):38-41.
- [6] 李建丰,徐鸿,马鑫,等.有限元法求解搅拌轴临界转速[J].石油化工设备,2003,32(2):28-30.