

调谐质量阻尼器用于改善硬盘驱动器 读写头动臂的动力特性*

曾 胜

徐利梅

(浙江大学玉泉化工机械研究所 杭州, 310027) (新加坡南洋理工大学微系统力学研究中心 新加坡, 639798)

摘 要 通常计算机硬盘中的读写头动臂在 3~4 kHz 的频率范围内有一个准刚性模态, 这个准刚性模态限制了伺服带宽进而限制了硬盘存储密度的提高。设计了一种调谐阻尼器结构来降低准刚性模态导致的振动, 该阻尼器安装在音圈马达的线圈内部, 结构简单, 不影响动臂移动。所使用的阻尼材料取材于硬盘本身的密封橡胶, 也避免了可能的气体污染。实验证明, 该阻尼器能够很好地降低动臂在准刚性模态下的振动, 因而有利于存储密度的提高。

关键词: 固有频率; 模态; 动力特性; 硬盘驱动器; 读写头动臂

中图分类号: TN911; TB122

作为 PC 电脑和工作站的基本存储设备, 近年来硬盘驱动器发展很快。存储容量不断提高, 单位存储容量的价格不断下降。硬盘的存储容量决定于两方面, 即磁盘磁碟数和单碟存储密度。目前高存储容量的硬盘已经达到 4 碟和 5 碟, 继续增加碟数以增加存储容量已经非常困难。因而人们希望通过提高存储密度的方法来提高存储容量。硬盘驱动器是一个典型的机电一体化设备, 其中运用了较为复杂且可靠的伺服控制系统^[1]。存储密度的大小是由伺服系统的伺服带宽决定的。从技术上看, 硬盘驱动器的电子部分的带宽可以做得很高。但是由于机械方面的原因, 限制了带宽的提高。实践证明驱动器中的读写头动臂的动力特性是目前制约存储密度提高的瓶颈。

1 硬盘驱动器结构及存在的动力学问题

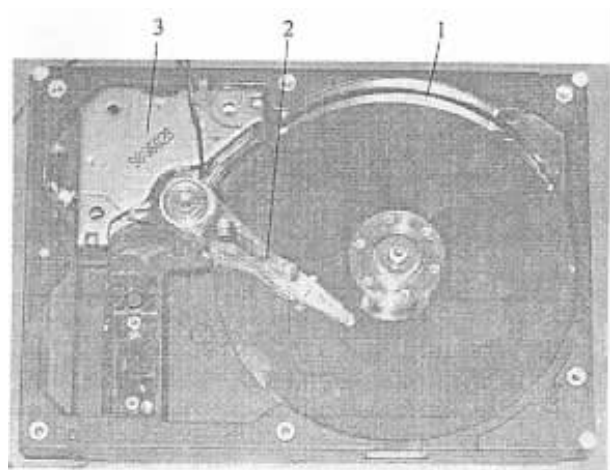
图 1(a) 为一硬盘的实物照片图。图中 1 为存储数据的磁盘, 2 为读写头动臂, 3 为音圈马达。其中读写头动臂是最关键和紧凑的部件, 如图 1(b) 中小图所示。在读写头动臂的顶端有合成位置传感器的读写头 4, 臂身 5 通过滚珠轴承支承在枢轴 6 上。在动臂的另一端为音圈马达的线圈 7。当线圈馈入由控制驱动电路来的电流时就能使动臂绕枢轴转动, 从而带动读写头沿磁盘的径向移动。读写头还能将本

身相对于磁盘的位置检测后返回给控制驱动电路控制器, 形成闭环, 实现动臂停留在某一磁道的闭环精确定位。读写头定位的精度一般取决于闭环控制回路的伺服带宽。而当前伺服带宽又取决于动臂的动力特性。

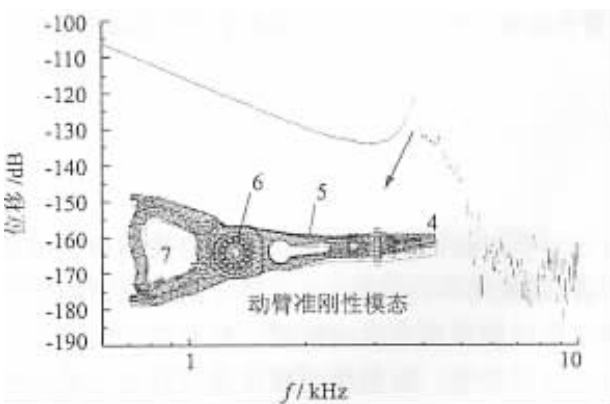
如果在线圈内输入等幅的不同频率的正弦电压信号, 同时检测读写头的位置就能得到如图 1(b) 所示的频响曲线。可以看出在 3~4 kHz 的范围内有一峰值响应, 这一响应限制了控制器伺服带宽的提高。

对读写头动臂的有限元分析表明^[2], 图 1(b) 中的响应峰值对应的模态为蝶状的准刚性模态, 如图 1(b) 中的小图所示。该模态是由支承动臂的滚珠轴承柔性、动臂本身的柔性和质量共同引起的, 主要是在动臂的整体(刚体)横向移动的基础上耦合有动臂的小幅蝶状变形。这个模态在硬盘工业界称为准刚性模态。要提高伺服宽度, 有两种方法: (1) 总体设计, 提高频响峰值的频率; (2) 引入阻尼, 降低频响峰值的幅度。对于第一种方法, 由于动臂的结构已是优化过的, 再优化效果也不明显。所以目前的思路主要是在原有伺服机构的基础上增加一个二级伺服驱动机构^[3~4]。该思路已经在实验室成功实现, 但是造价非常高。相比之下, 第二种方法就容易得多。引入阻尼的要求是, 不引入污染物, 不影响动臂转动的灵活性。本文就是要采用这种方法, 用调谐阻尼器来降低频响峰值幅度, 提高动力学特性。

另外, 动臂经常在磁道之间移动, 因此对动臂动



(a) 硬盘驱动器结构



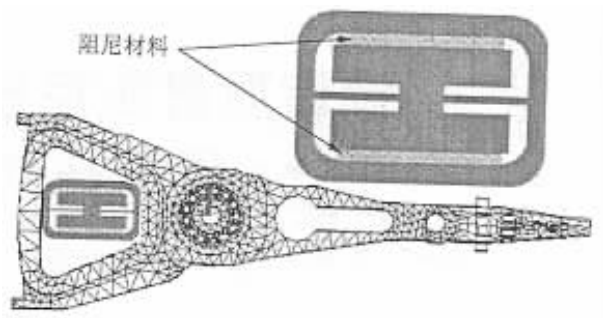
(b) 动臂频响特性

图1 硬盘驱动器结构及动臂频响特性

力学的要求除了要求(稳态)频响特性以提高磁道定位精度外,还要求它从一磁道到另一磁道的瞬态响应时间尽量短。调谐阻尼器同样也可以改善这一方面的动力特性。

2 调谐阻尼器

调谐阻尼器已被广泛用于降低构件的振动,它可以是单自由度的也可以是多自由度的^[5~6]。从图1中的动臂结构图可以看出动臂上的线圈内部是空的,因此可以利用这一空间安装调谐阻尼器。所设计的调谐阻尼器如图2(a)所示。该调谐器为弹性铝材板框结构,线切割加工。中间的实体为调谐质量,调谐质量通过两根弹性梁支承在边框上。调整梁的长度就能改变阻尼器的固有频率。调谐质量与边框之间填充阻尼橡胶。阻尼橡胶取材于硬盘本身内部的橡胶密封圈以避免普通橡胶挥发出来的气体造成污染。阻尼器的厚度与线圈的厚度相同,这样不影响动臂转动的灵活性。根据调谐阻尼器的原理,阻尼器的固有频率应当与所要调谐结构的频率一致。在本文中,该频率为 $\omega_0 = 3\ 850\ \text{Hz}$ 。阻尼器安装到动臂后的



(a)



(b)

图2 调谐阻尼器

情形见图2(b)。图中音圈马达上半部磁极被移取,以利于观察。

3 实验装置

图3(a)为实验装置的原理框图。该装置用于测量硬盘驱动器中读写头动臂的动力特性。图中HP35670A为波形发生器,它产生的扫描正弦电压信号馈入动臂线圈。在音圈马达磁极的同时作用下产生正弦电磁激励力。动臂上读写头的响应最为关键,而读写头的尺寸又非常小,因而它的响应只能用非接触的多普勒激光测振仪PSV300获得。对动臂的激励和它的稳态响应都导入HP35670A,在HP35670A中可计算出动臂的频响函数。HP35670A还和计算机连接以提取频响函数实验数据。

图3(b)为测量调谐阻尼器中阻尼值的实验装置原理框图。激励信号仍然由HP35670A产生。信号经过放大后馈入激振台。调谐阻尼器的外框就紧固在激振台上。振动台的激励振动和调谐质量的响应都由PSV300来取得。比较它们之间的振动就能计算出调谐阻尼器的阻尼值。

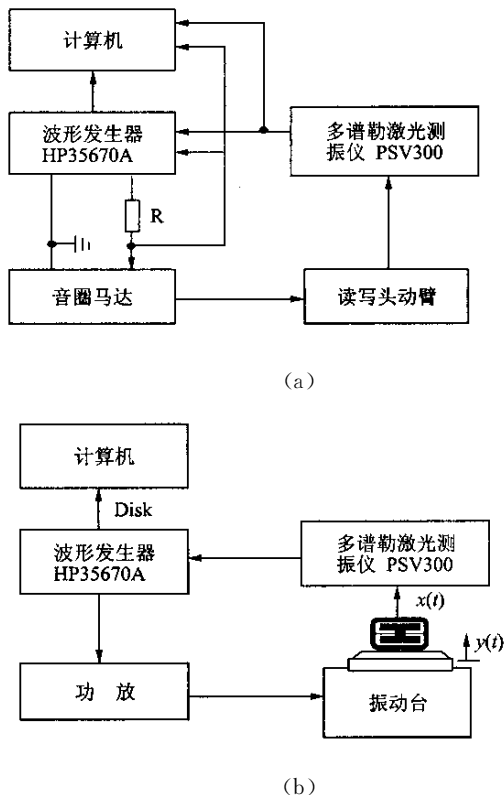


图 3 实验装置框图

4 调谐阻尼器阻尼的确定

调谐阻尼器阻尼值必须在合适的范围内才具有减振效果。图 1(b)所示的模式是准刚性模式。因而在这个模式对应的频率附近可将整个动臂看作一集中质量。同时考虑调谐阻尼器动臂的力学模型可用图 4 所示的简化模型代表。图中 M 和 m 分别为动臂的质量和调谐质量($M=10\text{g}$, $m=0.3\text{g}$), K 和 k 分别为动臂枢轴的刚度和调谐阻尼器的梁刚度, C

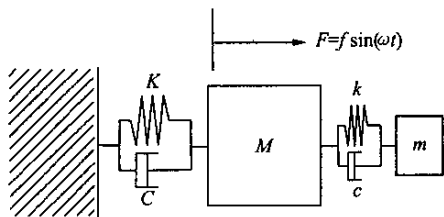


图 4 简化模型

和 c 分别为动臂枢轴的阻尼和调谐阻尼。设计使得调谐阻尼器的固有频率与准刚性模式的频率相同, 为 $\omega_0=3\ 850\text{ Hz}$ 。经过计算在不同调谐阻尼时动臂的频响如图 5 所示。可以看出理想的调谐阻尼范围为 $1\sim 2\text{ N}\cdot\text{s/m}$ 。对本文中调谐阻尼器的结构, 可以通过增加或减少调谐质量与边框之间的阻尼橡胶的

长度来调整。

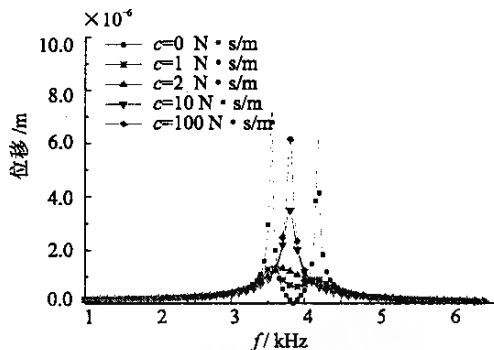


图 5 计算结果

5 实验结果

在不同阻尼值时用图 3(b)的装置测试调谐阻尼器的频响, 并拟合实验数据得到实际的阻尼值。图 6 给出了一个例子。经数据拟合得到该例的阻尼比为 $\zeta=c/(2m\omega_0)=0.076$, 或绝对阻尼值 $c=1.1\text{ N}\cdot\text{s/m}$ 。这个阻尼值刚好在理想范围内, 所以可以用来对动臂进行减振。

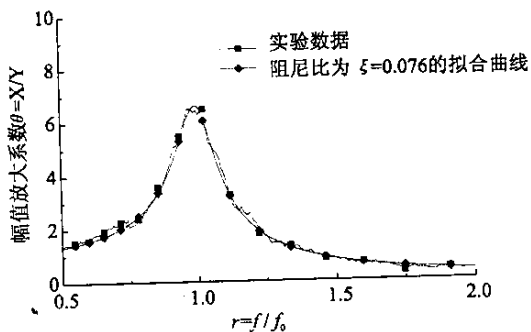
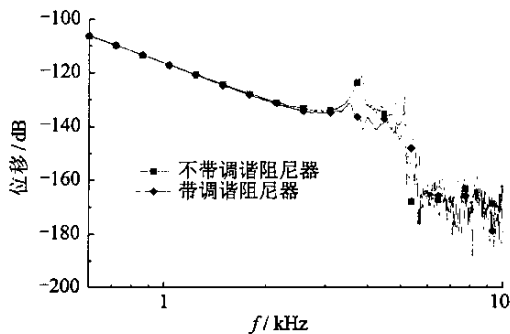


图 6 实验结果

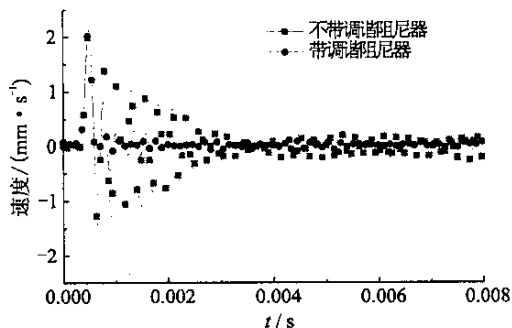
将带有上述阻尼值的调谐阻尼器安装到动臂上测试, 其频响曲线如图 7(a)所示。没装阻尼器的曲线也在图中示出作为比较。可以看出在响应峰值的幅度从最初的 -121 dB 降低到了 -131.28 dB , 或幅度降低了 3.5 倍, 减振效果还是很明显的。图中还可以看出在原峰值附近, 明显地出现了两个峰, 前一个峰值的频率为 $3\ 543\text{ Hz}$ 而后一个为 $4\ 000\text{ Hz}$, 原峰值的频率为 $3\ 855\text{ Hz}$, 这情形与图 5 预测的相近。

动臂装上调谐阻尼器后, 实验证明其瞬态响应的特性也提高了。将同一形状的电脉冲输入动臂的线圈, 读写头在安装和未安装调谐阻尼器时的瞬态响应如图 7(b)所示。可以看出安装了阻尼器的动臂瞬态响应在 1 ms 内就衰减到 0.25 mm/s 以下, 而

未安装的则用了 3ms。



(a) 频响特性



(b) 瞬态响应

图7 动臂动力特性比较

低硬盘读写头动臂的准刚性模态产生的振动,将振动降低了 10 dB 左右。实验证明该阻尼器是行之有效的。它结构简单,对原来动臂的结构影响不大,不引入污染物,不影响动臂转动的灵活性。因而可以运用到实际硬盘驱动器当中。

致谢 本文得到了新加坡国家科技理事会和新加坡教育部的资助,在此表示感谢!

参考文献

- 1 Mee C D, Daniel E D. Magnetic storage handbook. 2nd ed. P. R. Donnelley Sons Company, 1996
- 2 Zeng S, Xu L M, Lin R M. Head actuator dynamics in hard disk drives. Journal of Systems and Control Engineering, IMECH, Part I, 2001;215:1—13
- 3 Fan L S. Design and fabrication of micro-actuators for high density data storage. IEEE Trans. on Mag., 1996; 32: 1 855—1 862
- 4 Guo W, Weerasooriya S. Dual stage actuators for high density rotating memory devices. IEEE Trans. on Mag., 1998; 34: 450—455
- 5 Nashif A D, David I G J, John P H. Vibration damping. John Wiley & Sons Inc., 1985
- 6 季文美, 方同, 陈松淇. 机械振动. 北京: 科学出版社, 1985

6 结论

本文设计了一种调谐阻尼器,该阻尼器用来降

Dynamics Improvement of the Head Actuator Assembly in HDDs with Tuned Damper

Zeng Sheng

(Institute of Chemical Machinery, Zhejiang University Hangzhou, 310027)

Xu Limei

(Centre for Mechanics of Micro-Systems, Nanyang Technological University Singapore, 639798)

Abstract It is common that in present hard disk drives (HDDs) there exists quasi-rigid vibration mode between 3 kHz and 4 kHz. This mode hinders servo bandwidth improvement and thus limits the storage density growth of HDDs. In this paper a tuned damper is presented. It makes use of the hollow space within the voice coil motor in HDDs so it doesn't influence the move of the head actuator. In addition the damping is from the rubber seal ring of HDD itself so it will not cause gas pollution. Through experiment it is proved that this damper can work effectively to suppress the quasi-rigid vibration of the head actuator in HDDs.

Key words: natural frequency; modal; dynamic characteristics; hard disk drive; head actuator

第一作者 曾一胜,男,博士,副教授,1970年10月生。电话:(0571)87953097; E-mail:shengzeng@hotmail.com

万方数据

作者: 曾胜, 徐利梅

作者单位: 曾胜(浙江大学玉泉化工机械研究所, 杭州, 310027), 徐利梅(新加坡南洋理工大学微系统力学研究中心, 新加坡, 639798)

刊名: 振动工程学报 

英文刊名: JOURNAL OF VIBRATION ENGINEERING

年, 卷(期): 2003, 16(4)

引用次数: 3次

参考文献(6条)

1. Mee C D, Daniel E D Magnetic storage handbook 1996
2. Zeng S, Xu L M, Lin R M Head actuator dynamics in hard disk drives 2001
3. Fan L S Design and fabrication of micro-actuators for high density data storage 1996
4. Guo W, Weerasooriya S Dual stage actuators for high density rotating memory devices 1998
5. Nashif A D, David I G J, John P H Vibration damping 1985
6. 季文美, 方同, 陈松洪 机械振动 1985

相似文献(10条)

1. 期刊论文 吴建华 基于物理模型开关磁阻电机定子模态和固有频率的研究 -中国电机工程学报 2004, 24(8)

准确计算定子模态和固有频率是降低电机噪声和振动的基础. 该文基于开关磁阻电机(SR电机)物理模型, 利用3维有限元软件, 全面研究了定子模态和固有频率, 系统分析了绕组、端盖和安装对定子模态和固有频率的影响. 研究表明, 对小功率SR电机, 2阶模态对噪声和振动的贡献最大, 定子绕组对固有频率的影响非常严重, 弹性模态远低于实心铜材, 绕组不宜采用质量计入磁极或铁心的方式处理. 端盖、底脚安装均导致定子固有频率明显升高. 最后讨论了2维有限元模型与3维有限元模型计算结果的差异. 计算结果与试验结果进行了比较验证.

2. 学位论文 李志宁 神经网络在框架结构损伤诊断中的应用研究 2007

目前, 结构损伤诊断方法的研究已成为土木工程领域的一个前沿研究课题. 由于结构损伤会导致其固有频率和模态振型的变化, 因此, 如果建立结构动力特性变化与结构损伤之间的映射关系, 那么可以利用结构振动测试信息实现结构损伤识别. 人工神经网络在损伤检测中的应用是近年来迅速发展, 并得到广泛应用的一种新方法. 由于其具有良好的非线性映射能力、强大的解决反问题能力、实时计算能力, 可以作为一种优秀的结构损伤诊断方法. 本文对一个五层的框架结构进行了数值模拟分析, 并利用神经网络技术对该结构的损伤进行识别, 结果表明本文所提的方法在理论上是可行的、有效的. 主要研究内容如下: 1. 本文在分析结构固有频率和模态振型的基础上, 把结构损伤识别问题分为损伤识别、损伤定位、损伤程度标定3个子模块. 对每个子模块用不同的模态参数(频率变化比 $\Delta FFCR$ 、 i)、固有频率的相对变化比 ΔFFC 、 i)、损伤特征量 $\Delta D\Phi$ 等)构造对损伤敏感的标识量, 并作为特征参数输入到不同的神经网络(PNN、RBF和BP)中实现损伤的逐步识别. 2. 在不同的损伤阶段, 结构的固有频率和模态振型的改变对结构损伤非常敏感. 通过对结构损伤前后模态参数(模态频率、模态振型)各种组合的分析, 构造出了基于模态振型的损伤识别指标 $\Delta D\Phi$. 并给出了各种损伤指标的数学推导, 得出它们与损伤位置和程度的关系, 通过对比选择了包含更多信息的网络输入参数. 3. 在研究中, 利用有限元分析软件(ANSYS)对一五层框架结构进行建模、分析. 进而求出其固有频率和模态参数作为神经网络的输入参数; 通过降低刚度的方法来模拟不同位置和程度的损伤, 得到训练样本和检验样本, 应用人工神经网络技术进行结构损伤识别. 各损伤工况损伤位置的识别虽然不是完全正确, 但是基本上能够把损伤定位, 这表明本文方法具有实用性.

3. 期刊论文 吴男, 金基铎, WU Nan, JIN Ji-duo 弹性地基两端铰支输流管的模态和固有频率 -沈阳航空工业学院学报 2008, 25(1)

根据对单元体受力分析推导出了弹性地基输流管道的振动微分方程, 应用分离变量法和数值方法计算了弹性地基输流管道在两端铰支情况下的模态和固有频率. 研究了固有频率与管道内输送流体流速之间的关系; 重点讨论了弹性地基、质量比、轴向力对固有频率与流速之间关系的影响, 结果表明这些系数对于输流管道的振动特性有显著的作用.

4. 学位论文 王同章 大型汽轮发电机定子绕组端部模态及固有振动频率的测定和预防 2006

本课题研究的对象是齐鲁电机制造有限公司引进法国ALSTOM公司(原瑞士ABB公司)技术生产的200MW~300MW大容量空内冷汽轮发电机. 针对220MW汽轮发电机, 其中的典型产品, 的定子绕组端部结构及绑扎工艺进行分析, 并对定子绕组端部模态及固有频率进行测试, 对比不同工况下对模态及固有频率的影响, 并结合测试数据从系统阻尼、振型节点的改变两个方面对端部出现近2倍频椭圆型振动进行有效的预防.

5. 会议论文 潘罗平, 唐澍, 唐拥军 变时基信号采集在水轮机固有频率和模态测试中的应用 2007

在水轮机结构部件的固有频率和模态测试中, 由于力脉冲信号作用的时间较短, 对力脉冲信号的数据采集要求有足够的采样的速率以满足其波形的精度, 另一方面, 为了确保测试结果的频率分辨率, 要求对响应信号的采样速率不能太高. 因此, 这两方面就存在频率分辨率和时域波形精度这一矛盾. 为了解决这一矛盾, 本文结合现场实测, 介绍了在水轮机固有频率和模态测试中采用变时基信号采集和传递函数分析方法.

6. 会议论文 董洪波, 陈雪峰, 李兵, 祁克玉, 何正嘉 基于小波有限元模型和高精度模态参数辨识的转子裂纹检测方法 2008

研究了一种基于小波有限元模型与高精度模态参数辨识的转子横向裂纹检测新方法. 将转子系统通过区间B样条小波有限元建模, 转子裂纹等效为旋转弹簧, 建立裂纹诊断数据库. 为了从结构脉冲响应信号中精确识别结构模态参数, 提出一种基于Laplace小波相关滤波的结构模态参数精确识别方法. 利用提出的方法可以精确的获取转子系统的前三阶固有频率值. 将其带入裂纹诊断数据库, 获得前三阶固有频率等高线, 三条曲线的交点定量的识别了转子的裂纹参数. 试验结果表明, 所提出的方法能够比较精确的识别转子裂纹的位置和深度, 方法的有效性得到了验证.

7. 期刊论文 王旻晖, 陈雷, Wang Minhui, Chen Lei 大功率感应式高速异步发电机转子模态和固有频率研究 -船电技术 2008, 28(1)

本文基于大功率感应式高速异步发电机转子物理模型,利用 3 维有限元软件,计算了其模态和固有频率,计算结果与实验结果进行了比较验证,并将计算模型进行了修正。

8. 学位论文 [李晓军 平带驱动系统横向耦合振动分析](#) 2006

七十年代末以来,汽车发动机中的多重V形皮带驱动已被多回旋的单一多凸棱平皮带驱动所替代。后者称为平带驱动系统(SerpentineBeltDriveSystems),通常由主动曲柄转轴、皮带、若干从动滑轮和张紧装置构成。平带驱动系统的特点是包含动态张紧装置,可以调节带的张紧程度以在较大的操作条件变化范围中使带的张力保持为设定值。尽管平带驱动系统的采用已使得发动机运转过程中的噪声和振动大为减小,但为改进设计仍有必要分析系统的振动特性和振动响应。首先,研究两端固定轴向运动梁的横向振动,导出了系统的频率方程,提出了求解该非显式表达的非线性超越方程的数值算法,得到了固有频率和模态函数。并在一端铰支一端固支的定边界条件下确定一匀速运动梁固有频率和模态函数的方法。当轴向运动速度在其常平均值附近作简谐波波动时,应用多尺度法给出轴向变速运动梁参数共振时的不稳定条件。用数值仿真说明相关参数对固有频率和不稳定边界的影响。其次,使用模态分析的方法研究了基于弦线模型平带驱动系统的耦合振动。从控制方程推导得到了系统的特征方程,通过数值计算研究了轴向运动速度和初始张力对系统频率的影响。再次,提出了一个考虑了带的抗弯刚度(即梁模型)的平带驱动系统线性模型。与静平衡位形为直线型的弦线模型不同,考虑了小抗弯刚度的梁模型的静平衡位形除了直线型之外,还可能是曲线型(即梁的屈曲)。其中,非直线型的静平衡位形将会导致线性的轮-带耦合。对此,作者发展了一种普遍的模态分析方法,从控制方程和边界条件推导得到了各系统的显式特征方程,并得到了其固有频率和模态函数。进一步地,在线性模型的基础上,提出了考虑抗弯刚度的平带驱动系统的非线性模型,并通过多重尺度法得到了系统的解谱方程,通过求解其平衡点问题,可以得到系统的稳态响应。最后,对本文所做的工作和得到的结果进行了总结,并且展望需要进一步深入研究的工作。

9. 期刊论文 [生汉芳, 孙本利, SHENG Han-fang, SUN Ben-li 一个线性振动系统的固有频率与特征模态](#) [-科技信息](#)

(科学·教研) 2007 (22)

本文对于一个链式结构的多自由度的线性质量弹簧振动系统,证明了关于其固有频率的一个猜想,同时讨论了相关的平方根矩阵的特征值与特征向量。

10. 会议论文 [李祥松, 洪玮, 李鹤, 闾邦椿 滚动转子式压缩机机体的模态试验分析](#) 2008

不管产生机理如何,压缩机最终还是以封闭外壳振动向外辐射的形式产生噪声,对壳体特性的研究当然也是至关重要的。在壳体的所有参数中,对其辐射能力影响的最大系数是其固有频率。本文以一台空调用制冷滚动转子压缩机为例,对其进行模态实验测试与分析。

引证文献(3条)

1. [史宝军, 孙亚军, 舒东伟, 姜华, 杨廷毅 硬盘抗冲击振动特性的研究进展](#)[期刊论文]-[计算力学学报](#) 2009 (3)
2. [张加庆, 徐利梅, 曾胜 一种降低微结构瞬态响应的方法](#)[期刊论文]-[振动工程学报](#) 2006 (02)
3. [董政, 蔡爽, 徐利梅, 黄大贵 二自由度两弹簧系统振动实验设计与分析](#)[期刊论文]-[电子科技大学学报](#) 2006 (04)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zdgcxb200304012.aspx

下载时间: 2010年1月24日