

石英微机械陀螺双轴减振设计

张清媛,冯立辉

(北京理工大学 光电学院,北京 100081)

摘 要:石英微机械陀螺是一种应用广泛的惯性测量元器件,对于常见的双轴微机械陀螺,在使用过程中需要同时测量两个轴向的角速度,但各敏感元器件间存在振动干扰。因此,需要减振结构降低这种干扰,若采用单轴减振结构,则每个敏感元器件都需要减振结构,导致双轴微机械陀螺的体积较大,为解决这一问题,设计了一种石英微机械陀螺双轴减振装置,采用新型减振体和减振橡胶垫环形分布的稳固结构,且通过有限元 ANSYS 软件仿真优化。结果表明,石英微机械减振装置可有效避开石英微机械敏感元器件的工作频率,减振效果良好,可达 97%,减少了外界噪声,提高了石英微机械双轴陀螺的性能。

关键词:微机械;减振装置;陀螺;双轴结构;ANSYS 仿真

中图分类号:TN249

文献标识码:A

Design of Biaxial Vibration Damping Device of Quartz Micromachined Gyroscope

ZHANG Qingyuan, FENG Lihui

(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The quartz micromachined gyroscope is a widely used inertial measurement component. In the application of biaxial gyroscope, two axial angular velocities need to be measured at the same time, but there is vibration interference between the sensitive devices, and the vibration reduction structure should be adopted to reduce the interference. When the uniaxial vibration reduction structure is used in the gyroscope, each sensitive element needs a vibration reduction structure, which leads to larger volume of biaxial micromachined gyroscope. In order to solve this problem, a biaxial vibration damping device of quartz micromechanical gyroscope is designed to reduce the vibration of two-axis gyroscope. A new type of vibration damping body and vibration ring rubber ring are used as the stable structure and the simulation and optimization are carried out by ANSYS software. The results show that the quartz micro-mechanical vibration damping device can avoid the working frequency of the quartz micro-mechanical sensitive device effectively, the damping effect is more than 97%. The structure can reduce the external noise effectively and improve the performance very well.

Key words: micromachined; vibration damping device; gyroscope; biaxial structure; ANSYS simulation

0 引言

石英微机械陀螺是一种重要的惯性敏感器件,是导航、制导和稳瞄稳像等系统的核心部件,广泛应用于航天器、飞行器、汽车安全和工业自动化等领域^[1-3]。对于石英微机械陀螺,为使其在振动和冲击的环境下能正常工作,降低其他振动噪声的干扰,必须采用减振装置以保证产品性能^[4-5]。满欣等^[6]对石英微机械陀螺减振装置进行了研究,设计了一种集成式单轴减振器,并利用有限元法模拟仿真减振器,减振效果良好。但石英微机械陀螺使用时通常需要多轴应用,如双轴或三轴检测,需安装多个单轴

减振器进行逐一单独减振,会导致体积增加,且不同轴间会产生相互干扰。为解决此类问题,本文研究并提出了一种能同时满足两个轴向的石英微机械陀螺的双轴减振装置,并使用有限元 ANSYS 软件仿真分析了减振效率。

1 减振机理

典型的石英微机械陀螺依赖于由相互正交的振动和转动引起的交变科里奥利力,如图 1 所示。在 x 方向给质量块施加驱动力使其维持平衡幅振动,如果存在 z 方向的旋转运动作用在陀螺上时,则沿着 y 方向会产生一个作用力。图中, C_x 、 C_y 分别为陀

收稿日期:2016-12-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(面上项目)(61675025)

作者简介:张清媛(1993-),女,内蒙古赤峰人,硕士生,主要从事微机械陀螺的研究。通信作者:冯立辉(1976-),男,吉林人,副教授,主要从事惯性技术的研究。

螺在 x 、 y 方向上的阻尼系数, K_x 、 K_y 分别为陀螺在 x 、 y 方向上的弹性系数, M_x 为陀螺的驱动模态质量块质量, M_y 为陀螺检测模态质量块质量。

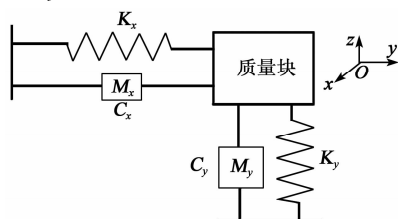


图1 微机械陀螺振动模型

陀螺工作时驱动轴和检测轴的运动相互影响, 振动过于剧烈会导致陀螺的性能指标下降, 故需要减振器来降低干扰。隔振系数 η 是微机械陀螺减振器性能的重要参数。根据激振源的不同, 隔振可分为两类。对于本身是振源的设备, 需要主动隔振, 积极隔振系数 η_z 表示积极隔振效果。对于振源来自支承振动的情况, 需要被动隔振, 消极隔振系数 η_b 表示消极隔振效果。两类隔振系数的计算式相同。 η 越小, 表示隔振效果越好。对于本文设计的隔振结构有

$$\eta_z = \eta_b = \eta = \frac{\sqrt{1 + (2\zeta k)^2}}{\sqrt{(1 - k^2)^2 + (2\zeta k)^2}} \quad (1)$$

式中: $k = \omega_j / \omega_n$, ω_j 为激励频率, ω_n 为隔振系统固有频率; $\zeta = c / c_c$, c 为粘性阻尼系数, c_c 为临界阻尼系数。

减振器的设计要求是不降低石英微机械陀螺的正常工作性能, 且达到良好的减振效果。若 $\eta < 1$, 则起减振作用; 若 $\eta > 1$, 则不起减振作用。

2 建立模型

根据以石英叉为敏感元件的单轴微机械陀螺的产品特点, 设计了双轴减振装置, 它能够满足 2 个轴向的减振, 且比 2 个敏感元件分别加装单轴减振器的体积小, 如图 2 所示, 结构包含法兰、减振体和减振橡胶垫。法兰是空心圆柱, 外侧有 4 个螺钉孔, 通过螺钉组装在需要检测角速度的结构体内, 减振

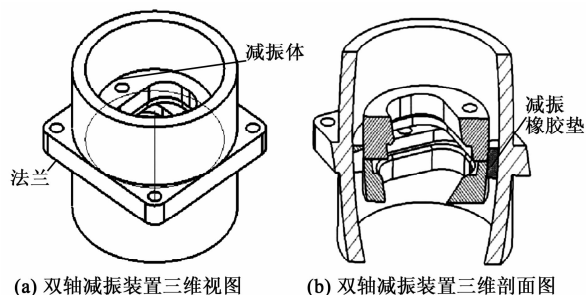


图2 双轴减振装置三维图

体在法兰的空心部分与法兰同轴, 且与法兰内壁有间隙, 包括减振体上、下层部分, 两部分大小、形状相同, 正交放置, 减振橡胶垫在法兰及双层减振体的中间位置, 共 4 块, 呈环形均匀分布, 采用胶粘接的方式连接法兰和减振体。

由上述设计的双轴减振结构, 通过采用 ANSYS 仿真建立有限元模型, 需要根据不同物质的参数定义材料属性, 其中包括弹性模量 (E)、泊松比 (ν) 和密度 (ρ), 对于法兰和减振体均采用钢型材料。减振橡胶垫采用特定硅橡胶材料, 其各方向的方向刚度均相同, 不会出现偏振现象。根据使用需求可自行配比原材料制成特定硅橡胶。

根据材料的力学性能, 减振橡胶垫的弹性模量和泊松比的关系为

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \quad (2)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (3)$$

式中 λ 和 G 为拉梅常数, G 又称剪切模量。其中, 弹性模量的值越小, 则硅橡胶垫越软, 易变形, 也易恢复。

3 减振效率优化

为使该减振装置有良好的减振效果, 对其进行模态和谐响应分析的不同优化。通过改变减振橡胶垫的结构或尺寸, 以及弹性模量等自身参数, 使其满足条件: 双轴减振装置的振动频率需避开石英微机械陀螺的工作频率 (通常为 10 000~12 000 Hz), 为避免共振现象的产生; 减振效率尽可能高, 即 η 尽可能小, 通常用位移-频率曲线来反映。从而优化双轴减振装置。

3.1 模态分析优化

有限元分析中的模态分析可确定结构的振动特性, 如固有频率和振型。因此, 首先采用模态分析对减振装置进行模拟仿真: 根据仿真设计的结构, 建立有限元模型, 并对减振橡胶垫的材料进行改进, 选取四面体三维实体单元类型, 根据已确定的边界条件, 将其施加在法兰的安装面上, 约束法兰安装面的所有自由度, 仿真出双轴减振装置前 10 阶固有频率如表 1 所示。

表1 前10阶模态频率

阶数	一	二	三	四	五
频率/Hz	796.17	937.07	937.73	1 026.1	1 286.2
阶数	六	七	八	九	十
频率/Hz	1 288.5	1 8516	19 257	19 446	19 499

双轴减振装置一~六阶的振型如图 3 所示。

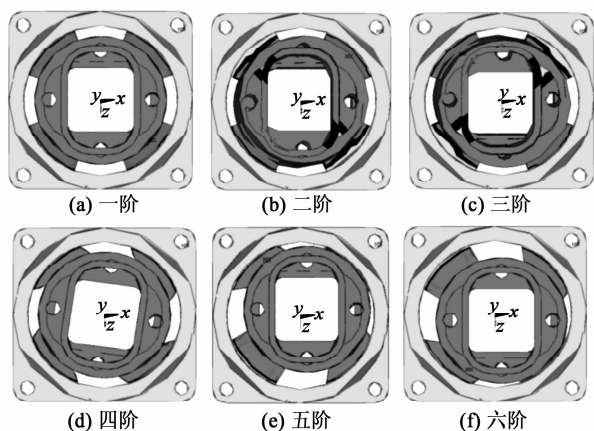


图3 减振装置一~六阶模态

表1中,第六阶频率是1 288.5 Hz,第七阶频率是18 516 Hz,表明双轴减振装置完全避开了石英微机械陀螺的工作频率,使减振装置能发挥减振的作用,满足设计要求^[7-9]。

3.2 谐响应分析优化

为确定双轴减振装置结构在已知频率的正弦(简谐)载荷下的稳态响应,进一步采用谐响应分析: x 方向在由 $x-z$ 方向组成的水平面上, y 方向为垂直方向,从 x 方向施加作用于法兰安装位置100 N压力、振幅为0.5 mm、频率是10 000~12 000 Hz的正弦激励,计算获得双轴减振装置的有限元模型上各点的位移响应谱;然后随机选取双轴减振装置的有限元模型中减振体上、下层部分上各3个不同位置的节点,分析正弦激励下的位移。同时,还随机选取螺孔处的节点,观察其实际位移变化,采用位移变化值除以振幅(0.5 mm)的方式推导出隔振系数,进而分析得到减振装置的有限元模型的减振效率。

减振装置进行谐响应分析的数据结果如下:

1) 减振体上层部分上随机选取3个节点, y_1 是点471, y_2 是点3 912, y_3 是点3 957。谐响应分析的位移结果如图4所示。

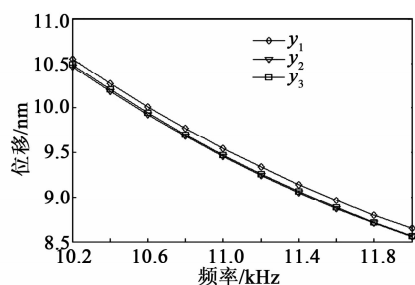


图4 减振体上层部分谐响应分析的位移结果

2) 减振体下层部分上随机选取3个点, y_4 是点

2 542, y_5 是点3 199, y_6 是点4 430。谐响应分析的位移结果如图5所示。

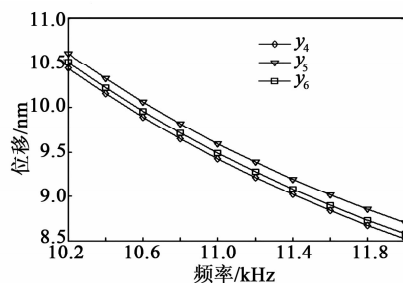


图5 减振体下层部分谐响应分析的位移结果

3) 法兰螺孔上随机选取3个点, y_7 是点6 275, y_8 是点6 271, y_9 是点1 355。谐响应分析的位移结果如图6所示。

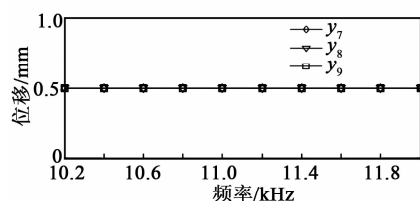


图6 法兰螺孔谐响应分析的位移结果

由图4~6可知,减振体上点位移变化均小于0.015 mm,则 $\eta=0.015/0.5=3\%$,即减振效果可达97%,结果说明减振效率良好,法兰螺孔的实际位移变化也说明此双轴减振装置在使用时能够达到减振效果。

4 结束语

对于双轴减振装置的设计,经过多次测试选用了合适的减振橡胶垫的材料、尺寸和分布情况,并运用ANSYS有限元分析,进行了模态分析和谐响应分析的仿真数值测验,结果说明该双轴装置的减振效果良好。石英微机械陀螺双轴减振装置的成本低,体积小,可靠性高、抗振动冲击能力强,实用价值高,可广泛应用。

参考文献:

- [1] 王巍. 惯性技术研究现状及发展趋势[J]. 自动化学报, 2013, 39(6): 723-729.
WANG Wei. Status and development trend of inertial technology[J]. Acta Automatica Sinica, 2013, 39(6): 723-729.
- [2] 赵民智, 纪丽敏, 万承军. 我国惯性仪器仪表的技术特点及发展综述[J]. 传感器世界, 2009, 7: 16-19.