

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.03.018

新型球式稳定平台内框架的模态分析与优化

孙路伟, 武秀东*, 吕琼莹, 海智渊

(长春理工大学 机电工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要:针对新型球式稳定平台光电设备视轴稳定的问题和其内框架动态性能的研究,通过 Pro/E 软件建立了内框架与光电设备的装配三维模型,利用 ANSYS Workbench 软件,对新型球式稳定平台内框架进行了有限元分析。通过对内框架和光电设备进行有限元网格划分、设置各项材料参数、添加边界条件等一系列步骤,计算出了内框架的前五阶固有频率和振型,在前五阶模态振型云图中找出了内框架最薄弱的部分,从而检查出所设计的新型球式稳定平台不在关心的频率范围内发生共振,符合设计要求。研究结果表明,有限元模态分析对于优化系统的动态性能是十分有效的,它能够确保新型球式跟踪平台远离共振失效。根据计算结果提出修改意见,可以为以后新型球式稳定平台的整体动态性能的优化改善提供理论基础。

关键词:球式稳定平台;模态分析;固有频率;有限元法

中图分类号:TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)03-0350-04

Model analysis and optimization of internal framework of new type spherical stabilized platform

SUN Lu-wei, WU Xiu-dong, LV Qiong-ying, HAI Zhi-yuan

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Changchun University of Science
and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Aiming at the stabilization of the line of sight(LOS) of electro-optical(EO) of the new type spherical stabilized platform and the study of the dynamic performance of system's framework, the 3D model of the framework and the EO was built by Pro/E software, at the same time, the modal analysis of the internal framework and the EO of the new type spherical stabilized platform was done by ANSYS Workbench software. The first five natural frequencies and mode shapes were calculated through finite element mesh, setting the material parameters, adding boundary conditions and a series of steps about the internal framework, it was found out that the frequency of the design of the new type spherical platform was not in the frequency range of resonance, the requirements of design was satisfied by identifying the weakest part of the framework in the first five modes of the natural frequency. The results show that, the finite element method(FEM) analysis is an effective tool to optimize the system's dynamic performance to assure the optimal working conditions far from the resonating failure. According to the result of the calculation, the modifications to the design are presented for the future improving of the new type spherical stabilized platform to the overall dynamic performance and it provides a theoretical basis about the design of the new type spherical stabilized platform.

Key words: spherical stabilized platform; model analysis; natural frequency; finite element method(FEM)

0 引 言

稳定平台作为惯性测量与跟踪装置,被广泛应用

于各种无人机、舰艇以及其它飞行器中,它是集光、机、电为一体的、保持光电设备(EO)的视轴(LOS)稳定的复杂精密设备,它的正常与否直接关系到测量与跟踪

收稿日期:2013-11-13

作者简介:孙路伟(1988-),男,山东潍坊人,主要从事现代机械设计理论与方法方面的研究. E-mail:sunluwei12@163.com

通信联系人:武秀东,男,副教授,硕士生导师. E-mail:wuxiudong@cust.edu.cn

任务成败^[1-2]。而平台系统的实际工作环境处于高能量、宽频带的随机激励条件下,结构系统的动态响应与静态响应相差很大,如果单纯采用静态分析的方法进行结构设计,将难以满足恶劣环境对稳定平台结构系统的要求。对于光电跟踪平台而言,在方位、俯仰方向上,载体的振动将会降低光电传感器的精度,导致采集图像模糊更严重的将会影响目标的捕捉,最终导致跟踪任务的失败^[3-5]。对平台台体组件进行有限元模态分析,以确定其固有频率和振型,从而避免系统工作时发生共振和出现有害振型,是平台结构设计中不可或缺的过程^[6-7]。

本研究通过对新型球式稳定平台进行有限元模态分析,找出新型球式稳定平台内框架组件的薄弱环节,与 ANSYS Workbench 分析结果相比较,以证明所建立的有限元模型以及各项分析的正确性,为后续的新型球式稳定平台设计与改进提供重要的参考数据。

1 新型球式稳定平台结构有限元模型的建立

1.1 新型球式稳定平台结构模型的建立

本研究所设计的新型两轴球式稳定平台用于装载光电跟踪 CCD 相机和激光测距仪。该设计的球式稳定平台依旧延续经典概念中的方位与俯仰运动机构。方位转动能够实现 $\pm 160^\circ$ 转动,俯仰运动能实现 $\pm 45^\circ$ 转动。本研究利用三维软件 Pro/E 设计出新型两轴球式稳定平台的三维模型,其中球式稳定平台内框架的三维模型如图 1 所示。

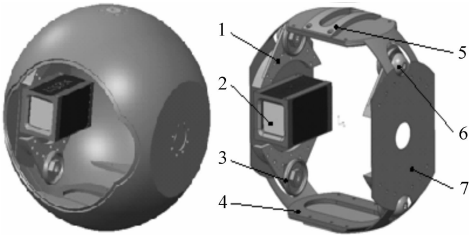


图 1 球形稳定平台及内框架模型

1—驱动球固定架;2—LDS 激光测距仪;3—驱动轮;4—内框架连接片;5—X 轴旋转导向块;6—驱动球;7—内框架

1.2 新型球式稳定平台内框架模型的简化

对球式稳定平台进行有限元分析时,在组件本身强度、刚度和计算精度影响不大的前提下^[8],为了提高计算速度,应当对球式稳定平台内框架作适当的简化。通过理论分析,影响球式稳定平台动力学的主要因素是内框架组件的转动惯量,因此没有必要画出内框架组件的每一个零件,需要保证球式稳定平台内框

架转动惯量与实物的转动惯量一致,同时也要保证整体的质量中心和分布与简化前保持一致。这样不但简化了模型结构,尽量减小了简化模型分析结果与真实值的误差,而且更加有利于在 ANSYS Workbench 的分析计算,节省运算时间。

模型简化如下:

- (1)对于球式稳定平台的内框组件结构中半径小于 2 mm 的孔,进行忽略,认为孔是实的,做填充处理。
- (2)把球式稳定平台的内框组件结构中半径小于 2 mm 倒角和倒圆去掉。

简化处理后,新型球式稳定平台内框架模型简化图如图 2 所示。

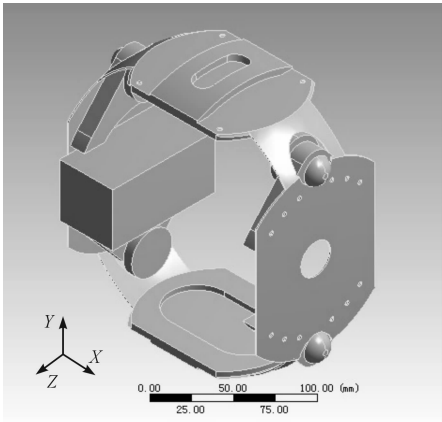


图 2 新型球式稳定平台内框架模型简化图

1.3 零件的材料属性

在有限元模型中,为了减轻自身重量,内框架选用铝合金 ZL107,为使分析更符合实际,所有轴承采用轴承钢 GCr15,驱动机构根据实际情况,选用钢的材料特性,根据激光测距仪实际整体质量折算出当量材料参数,简化换算后,要求与实物的转动惯量相同,具体材料参数如表 1 所示。

表 1 所选结构材料相应参数

编号	材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 /GPa	泊松比	对应部件
1	ZL107	2 776	73	0.3	平台内框架
2	GCr15	7 810	207.0	0.29	所有轴承
3	45	7 830	206.8	0.29	驱动机构
4		5 090	206.8	0.3	激光测距仪

1.4 边界条件的设定

在稳定平台中,轴承起到了十分重要的连接作用,因此轴承的边界条件设置的好坏,直接影响到整个稳定平台系统的工作精度和可靠性。在 ANSYS Workbench 的边界设置时,本研究将 4 个与驱动球配合的轴承的外圈与驱动球固定架胶结在一起,从而避免零部件之间相

对滑动,影响计算误差。为了节省计算时间,本研究将轴承内圈与滚珠、保持架定义为绑定接触,轴承内圈与驱动球定义为理想的无摩擦接触的转动副。4 个驱动球与外球壳之间定义摩擦系数为 0.12 的摩擦接触。

2 模态计算及结果分析

2.1 模态分析

自由振动并忽略阻尼时,其方程为:

$$[M]\ddot{\mathbf{u}} + [K]\mathbf{u} = \mathbf{0} \quad (1)$$

式中: $[M]$ —质量矩阵; $[K]$ —刚度矩阵; $\mathbf{u}$ —加速度向量; $\mathbf{u}$ —位移向量。

当发生谐振动时,即:

$$\mathbf{u} = U \sin(\omega t) \quad (2)$$

式中: ω —结构振动的固有频率。

将式(2)代入式(1),得:

$$([K] - \omega_i^2 [M])\{\phi_i\} = \mathbf{0} \quad (3)$$

故对于一个结构的模态分析,其固有圆周频率 ω_i 和振型 ϕ_i 都能从上面矩形方程式中得到。这个方程的根是 ω_i^2 , 即特征值; i 的范围从 1 到自由度的数目, 相应的向量是 $\{\mathbf{u}\}_i$, 即特征向量。特征值的平方根是 ω_i , 它就是结构的自然圆频率(单位为 rad/s), 进而可得出自然频率 $f_i = \omega_i/2\pi$ 。特征向量 $\{\mathbf{u}\}_i$ 表示振型, 即假定结构以频率 f_i 振动时的形状。

2.2 模态计算

由于一般低阶模态响应应对结构整体响应贡献比较大^[9], 此处仅给出球式稳定平台内框架的前五阶固有频率值, 通过利用 ANSYS Workbench^[10] 软件对模型分析计算, 得出其具体数值如表 2 所示。

表 2 内框架前五阶固有频率

阶数	1	2	3	4	5
固有频率/Hz	281.73	285.87	478.34	523.34	639.2

球式稳定平台中的测距仪为标准件, 而本研究最为关心的是内框架上的变形情况。因为台体上的测距仪安装面的变形都影响其精度和可靠性, 为了较好地观察安装面的变形, 而列出的球式稳定平台内框架具体振型云图, 如图 3 所示。

2.3 新型球式稳定平台模态分析求解结果分析

(1) 从内框架的前五阶振型云图可以看出: 整个内框架的最大变形量主要发生在内框架及简化的激光测距仪上, 其他部位变形量较小。第 1 阶表示为 Y 方向的纵弯曲, 内框架的下半部分变形较大; 第 2 阶表示

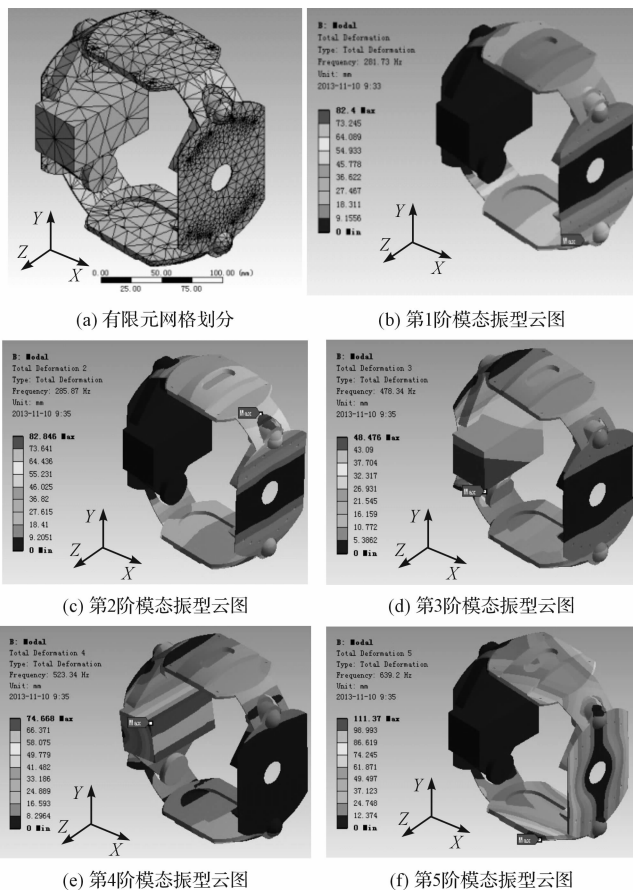


图 3 有限元网格划分及前五阶固有频率振型云图

为沿 X 方向的摆动, 内框架驱动球附件变形较大; 第 3 阶表示为 X 方向的扭转模态, 激光测距仪镜头部位出现较大弯曲; 第 4 阶表示为 Y 向的垂直弯曲, 激光测距仪纵向出现较大形变; 第 5 阶表示为 $\pm Z$ 向的纵向弯曲, 内框架连接片出现轻微形变; 在图 3 中已经标示出来。

(2) 从图 3 中可以看出, 整个内框架的最大形变基本都发生在激光测距仪上, 这一形变将影响整个测量的精确度, 尤其是测量装置的安装精度和可靠性, 所以尽量避免在该频率下的共振和有害振型所产生的不利影响。

2.4 修改建议

根据第 3、4 阶模态分析结果, 结合结构动力调整的基本原理, 对于结构进行动力调整可通过增加内框架激光测距仪安装板的厚度, 增加其安装板的刚度, 相应地提高激光测距仪的刚度, 从而减小激光测距仪的误差。同时通过在内框架上添加质量块, 达到转移重心的目的, 从而达到最好的动态性能。但究竟在哪个位置以及调整量是多少使效果最佳, 需要多次实验才能获得^[11]。

3 结束语

由于本研究采用球式稳定平台,从而可以省去传统稳定平台中的关键部件一万向节,这样可以减轻平台自身重量,这样内框架可以在球壳内部的分辨率为 $9.55 \times 10^{-3}^\circ$,转动的角速度和角加速度分别为 $212^\circ/\text{s}$ 和 $1740^\circ/\text{s}^2$ 的俯仰与方位运动。

本研究通过借助有限元分析软件,利用计算机的分析计算,根据分析结果对所研究的新型球式稳定平台内框架进行了动力修改,这不仅可以使结构件获得较好的动态性能,而且能大大缩短平台的研制周期,节省研制费用。

参考文献(References):

- [1] 高 准,屈孝池.基于有限元法的惯性平台外框架组件失稳倒台动力学分析[J].机械制造,2012,51(2):57-59.
- [2] 薛 珊,曹国华,杨浦良,等.某光电雷达稳定平台关键部件转板的动态特性分析[J].应用光学,2011,32(6):1067-1071.
- [3] 许德新.无人机光电载荷视轴稳定技术研究[D].哈尔

滨:哈尔滨工程大学自动化学院,2011.

- [4] 薛 珊,曹国华,宋玉龙,等.某型内转子光电雷达稳定平台的模式分析与优化[J].光学技术,2011,37(5):562.
- [5] 薛 珊,曹国华,吕琼莹,等.新型外转子雷达稳定平台的动态特性分析与优化[J].机械设计与制造,2012(4):124-126.
- [6] 钟万登,催佩勇.液浮惯性器件[M].北京:宇航出版社,1987.
- [7] 许德新.机载光电跟踪陀螺稳定技术[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学自动化学院,2007.
- [8] 杨朋军,靳长权.惯性平台台体组件的有限元模态分析[J].机械与电子,2004(4):15-18.
- [9] MOKBEL H F, Design optimization of the inner gimbal for dual axis inertially stabilized platform using finite element modal analysis[J]. **International Journal of Modern Engineering Research**, 2012, 2(2):239-244
- [10] 马静静,胥光申.重要电子设备机箱动态特性分析与试验[J].机械,2013,40(6):26-29.
- [11] 白化同,郭继忠.模态分析理论与实验[M].北京:北京理工大学出版社,2001.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

孙路伟,武秀东,吕琼莹,等.新型球式稳定平台内框架的模式分析与优化[J].机电工程,2014,31(3):350-353.

SUN Lu-wei, WU Xiu-dong, LV Qiong-ying, et al. Model analysis and optimization of internal framework of new type spherical stabilized platform[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(3):350-353.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第337页)

参考文献(References):

- [1] 倪晓宇,易 红,汤文成,等.机床床身结构的有限元分析与优化[J].制造技术与机床,2005(2):47-50.
- [2] 刘 峻.基于ANSYS的数控冲床床身优化设计[J].机械研究与应用,2013,26(1):53-55.
- [3] 陈桂平,文桂林,崔 中.高速磨床床身结构动态分析与优化[J].制造技术与机床,2009(2):19-23.
- [4] 杨明亚,王 辉,张长泉,等.数控机床床身筋板布局方式的动态特性分析及优化[J].贵州大学学报:自然科学版,2013,30(1):37-42.
- [5] 张士强.锯片对磨机床床身动态分析与优化[J].组合机床与自动化加工技术,2013(7):34-36.
- [6] 张祥雷,姚博世,江铁强,等.五轴数控磨床床身结构分析

与优化[J].机床与液压,2012,40(15):18-21.

- [7] 马青芬.高速立式加工中心床身结构动态设计[J].机械制造与研究,2011,40(2):19-21.
- [8] 耿新海,刘玉堂,王世杰.六主轴数控车床床身的模态分析[J].装备制造技术,2010(1):71-73.
- [9] 陈叶林,丁晓红,郭春星,等.机床床身结构优化设计方法[J].机械设计,2010,27(8):65-68.
- [10] WOON S Y, QUERIN O M, STEVEN G P. Structural application of a shape optimization method based on a genetic algorithm[J]. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, 2001, 22(1):1415-1488.
- [11] 胡维东,周新建,吴智恒,等.GSLM3308五轴联动镗铣加工中心立柱有限元分析[J].机械,2013,40(7):36-39.

[编辑:洪炜娜]