

文章编号: 1005-5630(2015)04-0358-05

# 基于牛顿反射式红外系统的二维转台 的结构设计与有限元分析

王 瑾, 柳 鸣, 安志勇

(长春理工大学 光电工程学院, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 针对轻武器红外光学瞄具稳定性检测的需求, 设计了一种基于牛顿反射式红外系统进行工作的电动二维精密转台。利用 CATIA 建立了电动二维精密转台的三维模型, 该二维精密转台采用小型二维 U 形转台结构形式, 采用直流力矩伺服电机直接驱动和 24 位绝对式轴角编码器进行角度测量。通过有限元分析软件 PATRAN 对转台的关键部件进行热力学分析与模态分析, 获取转台的应力分布云图。云图结果表明, 其设计方案可行, 结构合理。

**关键词:** 反射式红外系统; 二维精密转台; 热力学分析; 模态分析

**中图分类号:** TH122 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2015.04.016

## Two-dimensional turntable structure design and finite element analysis based on Newton's reflex infrared system

WANG Jin, LIU Ming, AN Zhiyong

(School of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

**Abstract:** For light-arm infrared optical sight stability testing requirements, we design a two-dimensional electrical-turntable platform based on Newton's reflex infrared system. Electrical control was established based on CATIA three-dimensional model of two-dimensional precision turntable model. The two-dimensional precision turntable model was using small two-dimensional U turntable structure, driven by a DC servo motor directly. 24-level axial angle encoder was used for angle measurement. Through finite element analysis software PATRAN on the turntable platform, key components of the thermodynamic analysis and modal analysis were conducted, obtaining the turntable stress distribution nephogram. The results show that the design scheme is feasible and reasonable.

**Keywords:** reflex infrared system; the two-dimensional turntable; thermodynamic analysis; modal analysis

用于红外光学瞄具瞄准基线变化量测量的高精度二维精密转台, 由于其有方位转台和俯仰转台等部件组成, 同时平面反射镜又是安装在二维精密转台上, 通常处在温差变化较大的环境下工作, 因此需要二维转台的结构具有足够的抵抗温度变形的能力。只有合理进行二维转台的结构设计, 才能保证整个红外

收稿日期: 2014-12-14

作者简介: 王 瑾(1987—), 男, 硕士研究生, 主要从事精密仪器及机械方面的研究。E-mail: wangjin001yy@163.com

通信作者: 安志勇(1943—), 男, 教授, 主要从事精密测控技术与仪器方面的研究。E-mail: an-zhiyong@126.com

系统既可以满足体积重量的要求,又可以满足抗温度特性,从而保证测量结果正确。

本文给出了二维精密转台的结构设计,方位轴系和俯仰轴系等重要部件以及驱动部件的结构设计,并对二维转台的关键部件平面镜的温度特性进行了分析和试验。

## 1 牛顿反射式红外系统的组成及工作原理

红外反射式平行光管系统是用来模拟红外目标,进行瞄准基线变化量和装表量的测量。它由抛物面反射镜、平面反射镜、红外窗口、二维精密转台、黑体及靶标、瞄具安装座、光楔夹持座、底座、温控器件、壳体及支架等部分组成,红外系统工作原理示意图如图1所示。

牛顿反射式红外平行光管由黑体、靶标、抛物面反射镜和平面反射镜组成,它是用来模拟无穷远红外目标的,被测瞄具是通过红外窗口来观察无穷远的靶标。电控二维精密转台上安装有平面反射镜,转台的两个转轴均配有轴角编码器,可测量方位和俯仰转动角位移。二维调整架上安装有被测瞄具的瞄准镜,二维调整架具有水平方向的平动和垂直方向的俯仰二维姿态,可以用来实现瞄准镜的位置调整。

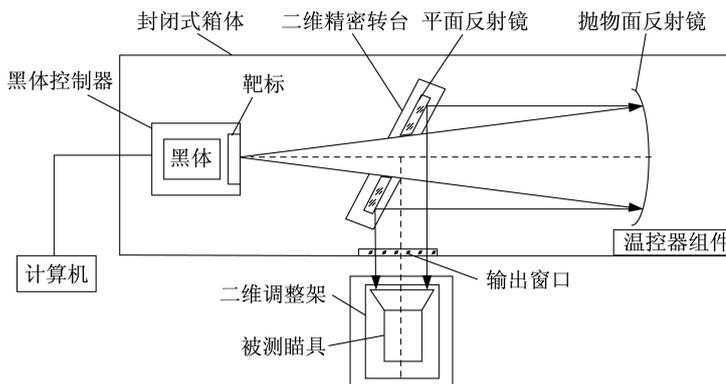


图1 红外系统工作原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of working principle of the infrared system

当红外系统在低温环境下工作时,在

试验室开始降温时便开启温控器组件,始终保持封闭式箱体内温度在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。测试时,将红外被测瞄具安装在二维调整架上,调整二维调整架使被测瞄具大致对准靶标,然后调节黑体的温度,使得被测瞄具的红外十字分划线清晰可见。通过控制电动二维精密转台,使被测瞄具的十字分划线与靶标的十字分划线重合,记录此时二维精密转台的两轴角度值。取下被测瞄具去进行力学、高低温等各种试验;被测瞄具经过一些试验应力后,再将红外瞄具重新安装在二维调整架上;通过控制二维精密转台的平面镜的转动,使得红外瞄具的十字分划线与靶标的十字分划线再次出现重合,记下此时二维精密转台的两轴角度值。根据二维精密转台前后位置的变化,经计算机处理得到红外瞄具的瞄准基线的变化量。

## 2 电控二维精密转台

### 2.1 二维精密转台主要技术指标:

二维精密转台主要技术指标如表1所示。

### 2.2 二维精密转台的结构组成

二维精密转台主要完成水平方向和竖直方向的转动,其包括方位转台和俯仰转台两部分。方位转台包括:底座、非标准滚动轴承、力矩电机和编码器以及方位电限位和机械限位等组件,其中底座、非标准滚动轴承起支撑作用,它们的精度直接影响转台的测量精度。转台的转动是通过力矩电机的驱动来实现的,编码器是用于转台转角的测量,从而满足方位位置调整的需要,方位电限位和机械限位限制方位调整范围

在 $\pm 10^{\circ}$ 。俯仰转台具有5 kg的负载能力,俯仰转台的转动是靠直流力矩电机的驱动来完成的,轴承结构采用传统的固定方式,即一端固定,一端游动的方式,同时保证了在温度变化时轴系精度的稳定性。二维精密

表1 二维精密转台主要技术指标

Tab. 1 Majour technical indicators of two-dimensional precision turntable platform

技术参数	指标
调整范围	$\geq \pm 3^{\circ}$ (方位、俯仰)
分辨率	$\leq 0.36''$
重复定位精度	$\leq 1.44''$
测量精度	$\leq 2''$
工作温度	$-40 \sim +50\text{ }^{\circ}\text{C}$

转台的结构如图 2 所示,本文的二维转台的工作状态采用的是右边的卧式结构。

### 3 机械结构中的关键部件的设计

#### 3.1 U 型架的设计

U 型架是整个二维转台承受动力学载荷的主要环节之一,由于要考虑体积、重量的要求,因此选用硬铝作为 U 形支架的制造材料,其机械结构形式为中空框架。U 型架包括 24 位俯仰编码器、俯仰轴、俯仰力矩电机、方位轴、标准轴承、侧盖等部件,其具体的结构形式如图 3 所示。

#### 3.2 轴系的设计

二维精密转台轴系的设计包括方位轴系和俯仰轴系两部分。方位轴系包括:底座、非标准的滚动轴承、方位轴、方位力矩电机、24 位方位编码器 etc 部件。俯仰轴系包括:标准轴承、俯仰轴、俯仰力矩电机、24 位俯仰编码器 etc 部件。方位轴系与俯仰轴系的回转运动是通过力矩电机的驱动来完成的,其具体的结构形式如图 3 所示。

方位、俯仰轴都由方位、俯仰编码器和直流力矩电机来驱动。二维转台的锁定是由电限位和机械限位组件来实现。转台采用长春光学精密机械与物理研究所研制的 24 位绝对式编码器,其精度为  $2''$ ,分辨率为  $360^\circ/2^{24} \times 3\ 600 = 0.08''$ ,并采用轴系、直流力矩电机和轴角编码器一体化设计,使其结构紧凑,运行平稳。

### 4 有限元分析

#### 4.1 有限元模型的建立

有限元模型的建立包括三维模型的简化和单元网格的划分,对二维转台中的部件进行有限元分析时,需要考虑一些特殊件的有限元分析,比如轴承和电机等。为了进行准确的模拟,必须先对轴承和电机的三维模型进行简化和处理。

##### (1) 轴承模型的简化

本文所研究的轴承,其滚珠的受力情况和内外圈的边界条件都很难确定。哈尔滨工业大学顾东<sup>[1]</sup>在利用 ANSYS 对微型机床主轴系统进行模态分析时,得出这样一个结论:采用间隙单元 COMBIN40 对轴承进行等效处理效果较好,而 COMBIN14 是可以用来模拟轴承的径向和轴向刚度的。所以本文中的轴承可以采用间隙单元 COMBIN40 和弹簧单元 COMBIN14 结合来处理。

##### (2) 驱动电机和测量元件的建模处理

驱动电机的转子和定子可以分别用两个实体来进行模型的简化,这样简化处理的电机和实际的电机结构基本上是一样的。材料的弹性模量和泊松比可选取为 230 GPa 和 0.3。绝对式轴角编码器是用来进

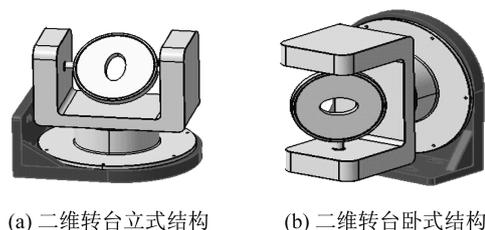


图 2 二维转台的示意图

Fig. 2 Schematic diagram of two-dimensional turntable platform

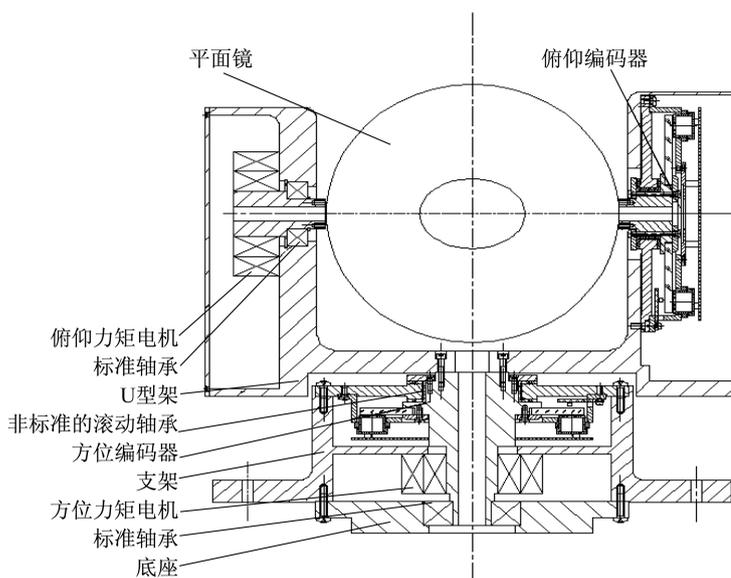


图 3 二维精密转台二维结构组成图

Fig. 3 2D structure of two dimensional precision turntable platform

行角度测量的,其模型的简化同样用一个实体来进行等效处理,其材料的弹性模量和泊松比可选取为 130 GPa和 0.3。

#### 4.2 单元网格的划分

本文所研究的二维转台的单元网格包括实体单元和弹簧单元两部分。常用的实体单元有 SOLID45, SOLID92 和 SOLID95 单元<sup>[2]</sup>,其中 SOLID45 是线性的六面体单元,单个单元上的应力状态是不变的<sup>[3-6]</sup>,而 SOLID92 和 SOLID95 的应力状态呈线性变化。综上分析,采用手动划分和自由划分相结合的方式对二维转台进行单元网格的划分,实体单元选择 SOLID95,弹簧单元选择 COMBIN14。现将二维转台的关键部件平面镜做有限元分析,网格的划分如图 4 所示。

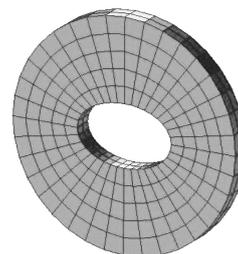


图 4 二维转台关键件平面镜的网格划分  
Fig. 4 The mesh diagram of the plane mirror in the two-dimensional turntable platform

#### 4.3 平面镜的热力学和模态分析

##### (1) 热力学分析

热力学分析是指具有可以模拟材料固化和熔解过程的相变分析能力以及模拟热与结构应力之间的热-结构耦合分析能力。热力学分析有线性和非线性之分,本文采用线性分析,关键部件平面镜的热力学分析云图如图 5 所示。

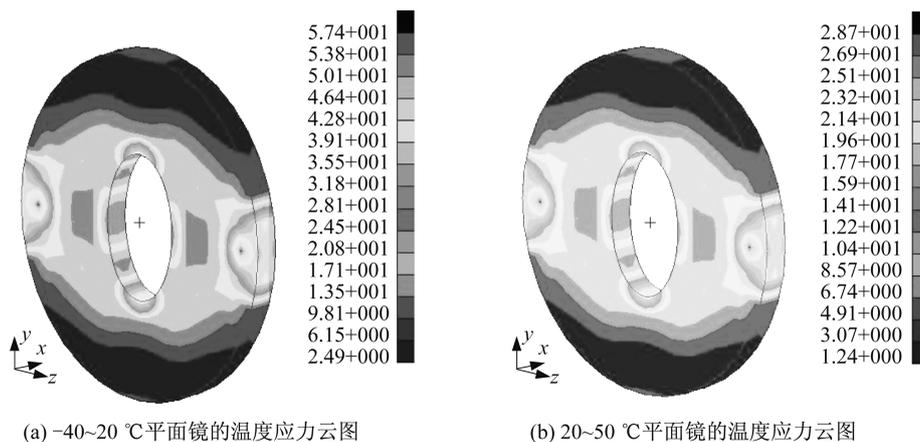


图 5 不同温度下平面镜的温度应力云图

Fig. 5 the temperature of the plane mirror under different temperature stress nephogram

由温度应力云图可以看出,温度在 $-40\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $20\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围时,最大热应力都发生在平面镜椭圆孔短半轴的两个边缘部分。

##### (2) 模态分析

通过数据结果来观察平面镜的振动频率,现取其前 6 阶的模态,得到相应的振型云图,二维转台的关键件平面镜的各阶模态振型云图如图 6 所示。

由模态云图可以看出:1,2 阶的模态最大的变形发生在平面镜的边缘部分,3,4 阶的模态最大的变形发生在平面镜的 4 个  $45^{\circ}$ 角的位置,5 阶模态变形开始向中心孔扩散,而 6 阶模态,平面镜的中心孔部分变形相对较大。平面镜的 6 阶模态的数据如表 2 所示,由表 2 可以看出 1 阶模态的固有频率是 805 Hz,这远远大于设计要求的频率范围(100 Hz 以上的频率)。

表 2 模态分析结果

Tab. 2 The modal analysis results

阶数	固有频率/Hz	振动形式
1	805.41	上部扭转
2	1320.3	上部弯曲
3	3166.2	中部扭转
4	3822.2	中部弯曲
5	4129.1	整体扭转
6	5589.3	整体弯曲

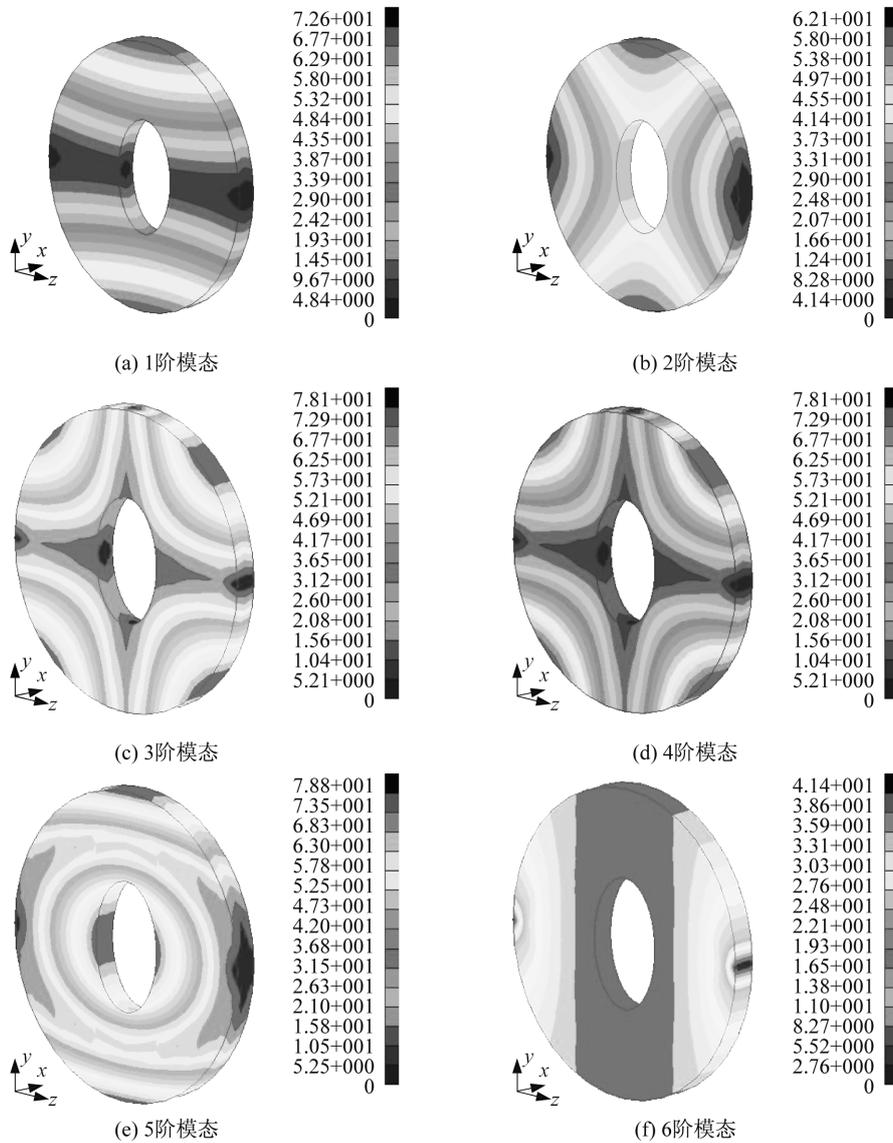


图 6 平面镜的不同模态

Fig. 6 Different modal of the plane mirror

## 5 结 论

有限元分析结果表明,二维精密转台的俯仰、方位轴系设计合理,能保证二维精密转台平稳、可靠、顺畅的运转。本文通过对二维转台的轴承、电机进行模型简化处理,从而保证了转台的精度要求,达到了所要求的技术指标。

## 参考文献:

- [ 1 ] 顾东. 微型机床的结构分析及微切削仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002.
- [ 2 ] 刘涛, 杨凤鹏. 精通 PATRAN[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [ 3 ] 李国洪. OUT 三轴仿真转台结构分析及优化设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1997.
- [ 4 ] 孙长明. 光学仪器工业发展动向和趋势[J]. 光学仪器, 1994, 16(2): 34-40.
- [ 5 ] 袁安富, 陈俊. ANSYS 模态分析中的应用[J]. 制造技术与机床, 2007(8): 79-82.
- [ 6 ] 程坤. PCR-80 冷辗扩机模态分析及整机刚度多目标优化[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.

(编辑: 刘铁英)