

# 手动精密微调平台的设计研究 \*

张丽敏 杨 飞 张艳辉

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

Survey on design of accurate-fine tuning structure by hand

ZHANG Li-min, YANG Fei, ZHANG Yan-hui

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

【摘 要】针对光学系统等精密调整系统中,在紧凑的空间内实现简单、小范围、多自由度精密调整,设计了一个 3 自由度手动微调平台。在机构的设计中借鉴了现有的微动平台以节省加工成本和周期,改进的 3 点运动支撑使平台操作方便,并且采用差动螺纹结构,从而整个结构的调整精度优于  $2''$ 。整个研究方法可作为同类光机系统设计时的参考,在望远镜等光学系统中有较大的应用价值。

关键词 精密的 3 自由度 差动螺纹 手动

【Abstract】Accurate-fine systems like optical systems often had to be adjusted simply and slightly in multi-degree-of-freedom in the compact space. According to this, a new and manual platform was designed, which could be tuned slightly in three degree-of-freedom. A commercial micro drive platform was applied for decreasing the cost and process cycle. Improved 3-points kinetic support made the operation conveniently. And the accuracy of platform is better than  $2''$  by taking advantage of using a differential screw. The whole way can be taken as a reference for optical and mechanical system and it is worth of application in optical systems like telescope systems.

Key words Accurate Multi-degree-of-freedom Differential screw Manual adjustment

中图分类号: TH122 文献标识码: A

## 1 前言

在精密机械加工、光学系统、微机电系统等领域,微位移技术是精密工程和精密仪器的关键技术之一。随着技术进步,纳米定位技术已经广泛应用于精密调整机构,如望远镜系统中的主动光学和自适应光学系统。但是,如何在紧凑的空间内实现小范围和多自由度调整,而且操作简单和具有良好的稳定性,值得深入研究。<sup>[1]</sup>普遍使用的微调平台具有 2 自由度或 3 自由度,即绕水平面内两个坐标轴的转动自由度和沿 Z 轴的平动自由度<sup>[2]</sup>。本文设计的手动精密微调平台是由六自由度的 Stewart 机构衍生而来,采用差动螺纹结构,具有结构简单、刚度好、精度高、操作方便等特点,在望远镜等光学系统中有较大的应用价值。

## 2 精密微调平台概述

分类依据的不同,微调平台有不同的分类。

根据系统的自由度,精密微调平台可以分为 2 自由度平台和多自由度平台(3 个和 3 个自由度以上)。

根据驱动器不同,精密微调平台可以分为电动平台和手动平台。驱动器是驱动平台运动的设备。在没有摩擦和理想移动情况下,驱动器决定设备的分辨率和重复性。

当需要自动处理时,需要电动调整机构,如高分辨率步进电机驱动精密螺杆来产生直线或旋转运动,分辨率和重复性小于 50nm。

手动驱动器一般分为:手旋螺杆、标准测微头和差动测微头。他们的分辨率由螺纹质量、有效螺距和调节旋钮的大小决定,

其中螺距越小分辨率越高,旋钮越大分辨率越高。手旋螺杆如果螺纹质量好,分辨率可达几个微米,但重复性差。标准的测微头将内螺纹与外刻度集为一体,可以提供精确的位置且重复性好,分辨率和重复性小于  $1\mu\text{m}$ 。差动测微头的分辨率小于 50nm,重复性小于  $1\mu\text{m}$ 。<sup>[3]</sup>在实现精密微调过程中,运动支撑是平台的关键技术。通常也有 3 类:锥/球、沟槽和平面的组合支撑、柔性支撑和两轴框架式支撑。其中,锥/球、沟槽和平面支撑是最简单的支撑,如图 1 所示。

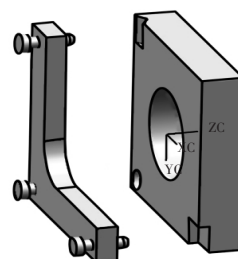


图 1 组合支撑

它们组合约束未知运动,其中球铰约束 x、y 和 z 向的运动,沟槽约束  $\theta_x$  和  $\theta_y$  向运动,平面约束 z 向运动。这种方法通常通过螺纹驱动调整运动平台的倾角。柔性支撑使用柔性元件约束运动平台。结构形式多样,如图 2(a)和(b)所示,均为柔性支撑。驱动器可以灵活控制其余的自由度。柔性支撑的性能优于简单的动态支撑,因为它对偏摆的约束刚度更好,没有摩擦,而且机械滞后小。柔性支撑和组合支撑的共同缺点是直线运动和旋转运动会产

生耦合。两轴框架式支撑可以倾斜被支撑平台,但是不会引起直线平移。它的旋转轴正交,相互之间没有干涉,稳定而且位于平台的中心,如图 3 所示。

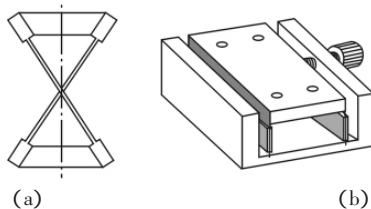


图 2 柔性支撑

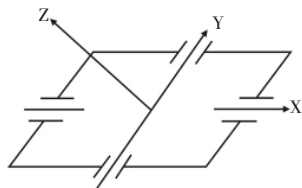


图 3 两轴框架式支撑

### 3 手动精密微调平台的设计

#### 3.1 自由度计算

自由度计算依据两个重要引理:

没有约束的刚体有 6 个自由度;

2 个完全刚体之间接触点的数量等于约束的数量。

机构的自由度可以通过以下的运动准则得到:

$$M=6(n-g-1)+\sum_{i=1}^g f_i \quad (1)$$

式中:  $N$ —系统元件数量;  $g$ —铰链数;  $f_i$ —第  $i$  个铰链的自由度数量。

本系统中,元件数量  $n=5$ ,包括固定底座、运动平台、3 个有相对直线运动的驱动器(6 条支腿);铰链数  $g=9$ ,包括 3 个球铰、3 个直线运动副、3 个回转副各自对应的自由度分别为 3、1、1,所以  $M=6(5-9-1)+(3 \times 3+3 \times 1+3 \times 1)=3$ ,其原理框图如图 4 所示。

#### 3.2 直线驱动器

直线驱动器采用差动螺旋结构。其要求是精度高,具有良好的耐磨性和易于加工。为减小磨损,螺杆和螺母需要选择不同的材料,而且螺杆的硬度应高于螺母的硬度。所以螺杆选用轴承钢 40Cr,而且进行调质热处理以增加表面硬度。螺母选用锡青铜 QSn6.5-0.1。

##### 3.2.1 选择合适的螺距

系统要求倾斜运动的分辨率为  $2''$ ,人手对给定大小的手轮转动最小角度设定为  $0.3^\circ$ 。当螺杆转动  $\varphi$  角时,可动螺母的移动距离为:

$$l=\frac{\varphi}{360}(P_{h1}-P_{h2}) \quad (2)$$

式中:  $\varphi$ —转角;  $P_{h1}-P_{h2}$ —螺距之差。

支撑点距转轴的距离为 30mm,所以螺距之差为 0.35mm。圆整为标准螺纹  $P_{h1}-P_{h2}=0.25\text{mm}$ 。最后,差动螺旋采用旋向相同但螺距分别为 0.75mm 和 0.5mm。通过计算,分辨率为  $1.43'' < 2''$ ,满足系统要求。

##### 3.2.2 消除螺旋传动空回。

对于正反向转动的精密螺旋传动,空回将直接引起传动误

差,必须设法予以消除。为此本系统使用轴向调整法,利用弹簧的回弹来达到调整的目的,如图 5 所示。

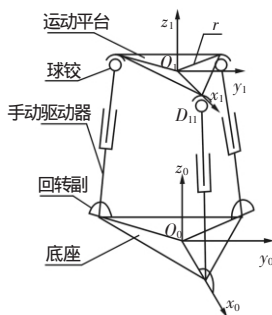
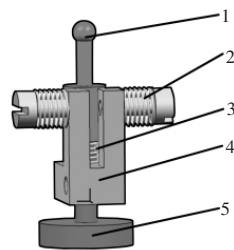


图 4 设计原理框图

图 5 直线驱动器三维效果图  
1.运动螺母 2.导向杆 3.消除螺母 4.固定螺母 5.螺杆

#### 3.3 运动支撑

本结构是由 Stewart 平台结构简化,并对常规锥/球、沟槽和平面组合支撑进行了改进<sup>[9]</sup>。为了保证调整精度,结构中球铰不直接采用市场上可以购买到的普通球轴承,而是将球头放置于两个锥形槽内,通过调整两槽之间的间隙使球铰回转自如而且没有间隙。回转副也充分考虑它的回转间隙,保证配合为间隙(0.001~0.003)mm。总体装配图如图 6 所示。

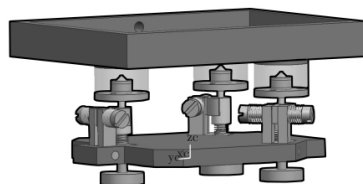


图 6 微调平台装配图

### 4 结束语

在诸多应用中,精密微调是一个基本但又非常重要的技术,为了使结果最优,需要将微调结构、应用参数和需求性能协调匹配。该手动精密微调机构可以在 3 个自由度微调,而且分辨率小于  $2''$ ,满足一般功能要求。与全约束的传统机构相比,在装调和使用方面均具有很突出的便捷性。而且根据上述研究和分析,该多自由度微调机构具有结构简单、研制成本低、性能良好、使用方便等特点,整个设计方法可以作为同类产品的设计参考。

#### 参考文献

- 杨飞,张景旭,张丽敏.三镜多自由度微调机构方案的研究[J].光学精密工程,2008(16)
- 王旭永,吴江宁,李世伦等.六自由度并联平台的空间位置运动算法及实现[J].机电工程,1995(4)
- Rick Sebastian.Successful positioning requires an understanding of positioner limitations along with the requirements and constraints of the application[J].oemagazine of SPIE Newsroom, 31 April 2004
- 王旭永,王显正,张颖,等.三自由度并联驱动平台机构的位置逆解及其分析[J].上海交通大学学报,1998,32(1):102~104
- 庞振基,黄其圣.精密机械设计[M].北京:机械工业出版社,1995
- Slocum, Alexander H. Design of three-groove kinematic couplings [J]. Prec Eng. 1992, 14(2): 67~76
- Layton C. Hale, Alexander H. Slocum. Optimal design techniques for kinematic couplings. Precision Engineering [J]. 2001, 25:114~127