空间位移测量装置中的精密机械传动系统

张 二 星

摘要：本文介绍一种精密机械传动系统，并给出它的运动方程。同时对某些动态特性进行了分析。实验证明，它有较高的动态精度。

一、前 言

空间位移测量装置是一种无导轨的大型三座标测量装置。它利用四台迈克尔逊型干涉仪跟踪高速运动的目标，进行三座标的精密测量[1]。

不用干涉仪整体转动的方案，而采用在干涉仪的测量臂上设置一个可绕空间定点转动的半球反射镜，构成活动的测量臂，进行跟踪的方案。这是通过一套有优良动态特性的精密机械传动系统来实现的。

二、传动系统的结构

精密机械传动系统的简图如图1所示。微型力矩电机1的转动经联轴器2，传给滚珠丝杠3，经螺母4变为移动。与螺母固联的拨叉5的一端与轴向轴承6联接，可在光杠7上滑动。拨叉的另一端开有长槽并夹在二个止推圆盘8之间。止推圆盘与钢丝9固联。因此，螺母的平移1:1地传给钢丝。钢丝牵动压钣10，使其连同半球反射镜11一起绕球心转动。半球反射镜由空气轴承支承。每个半球反射镜配置二套上述机械传动系统，以实现它绕二个座标轴的转动。

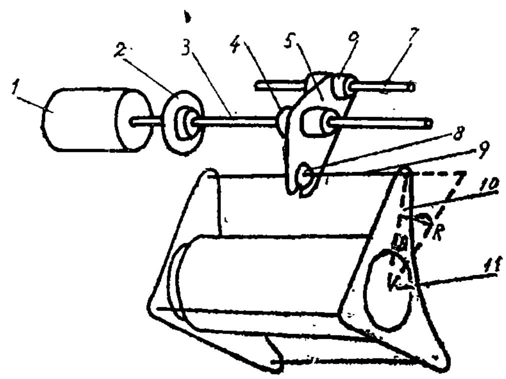

图1 1—电机； 2—联轴器； 3—滚珠丝杠； 4—螺母； 5—拨叉； 6—轴向轴承； 7—光杠； 8—止推圆盘； 9—钢丝； 10—压钣； 11—半球反射镜

下面，我们给出系统的运动方程。设电机转角为α，滚珠丝杠的螺距为T，半球反射镜中心至钢丝端点的距离为R，半球反射镜的转角为θ，则有

$$\frac{\alpha T}{2\pi}=R\sin\theta,$$

$$\alpha = \frac{2\pi R}{T}\sin\theta \quad (1)$$

此方程给出了电机转角与半球反射镜转角之间的关系。

三、主要特性

对这套精密机械传动系统,“空迴”是比较重要的指标。微小的空迴也会引起机电系统的振动，以致不能正常地工作。为了弄清空迴的影响，把（1）式写成

$$\theta = arc\ \sin\left(\frac{\alpha T}{2\pi R}\right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial\alpha} = \frac{T}{2\pi R} \Bigg/ \sqrt{1-\left(\frac{\alpha T}{2\pi R}\right)^2};$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial T} = \frac{\alpha}{2\pi R} \Bigg/ \sqrt{1-\left(\frac{\alpha T}{2\pi R}\right)^2};$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial R} = -\frac{\alpha T}{2\pi R^2} \Bigg/ \sqrt{1-\left(\frac{\alpha T}{2\pi R}\right)^2} \quad (3)$$

$$\triangle\theta = \frac{\partial\theta}{\partial\alpha}\triangle\alpha + \frac{\partial\theta}{\partial T}\triangle T + \frac{\partial\theta}{\partial R}\triangle R \quad (4)$$

其中　$R=45\text{mm}$，$T=2.5\text{mm}$，$\alpha=11.25°$ 时

$$\frac{\partial\theta}{\partial\alpha}\triangle\alpha \cong 0.009\triangle\alpha;$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial T}\triangle T \cong 0.08\triangle T;$$

$$\frac{\partial\theta}{\partial R}\triangle R \cong 0.004\triangle R$$

可见，$\triangle T$ 的影响较大。采用螺距误差较小的丝杠和双螺母的结构，保证间隙小，运动又平稳、舒适。至于$\triangle\alpha$ 是由光杠的弯曲引起螺母的附加旋转产生的，$\triangle R$ 是空气轴承的半球反射镜中心的变动产生的。它们的数值很小，可以忽略不计。

对这套机械传动系统的另一重要要求是惯性小。这样才能保证系统能跟上高速运动的目标。为了控制整个机械传动系统的惯量，必须了解它们的计算公式。对实心圆柱体、空心圆柱体、转轴过中心的矩形板、球体和从动轴我们采用了手册上可以查到的公式。而随螺母一起移动的几个零件，它们的惯量有多大？容易理解，当丝杠产生角加速度时，要受到螺母的惯性阻力。因此，它也有转动惯量。我们称它为“当量转动惯量”。参看图 2，螺旋机构的转矩为

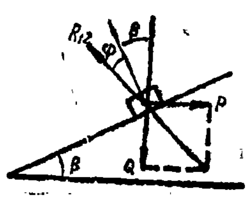

图 2

$$M = \frac{d_0}{2}Q\ \tan(\beta+\varphi) \quad (5)$$

其中Q是轴向力。d_0是螺纹中径。β是螺旋升角。φ是摩擦角。而

$$Q = m\frac{d^2x}{dt^2} \tag{6}$$

$$x = \frac{T}{2\pi}\alpha,$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{T}{2\pi}\cdot\frac{d^2\alpha}{dt^2} \tag{7}$$

其中m是螺母及随螺母一起移动的几个零件的质量。x是螺母的直线位移。T是螺距。α是丝杆对应于x的角位移。t是时间变量。把(6)、(7)式代入(5)式得

$$M = \frac{md_0T}{4\pi}\tan(\beta+\varphi)\frac{d^2\alpha}{dt^2} \tag{8}$$

因此，螺母及随螺母一起移动的零件的“当量转动惯量”为

$$I = \frac{md_0T}{4\pi}\tan(\beta+\varphi) \tag{9}$$

用类似的方法求得半球反射镜的“当量转动惯量”为

$$i = \frac{d_0T}{4\pi R^2\sin\theta}\tan(\beta+\varphi)\cdot I_q \tag{10}$$

其中I_q为半球反射镜的转动惯量。

用上述公式计算后，我们看出：与电机同轴的构件，其转动惯量的数值不变。通过一定传动被带动的构件，其转动惯量的数值就要减小。已经算出，半球反射镜的转动惯量（指简化到电机轴上的“当量转动惯量”）很小，可以忽略不计。整个机械传动系统的转动惯量被控制在 $0.03\mathrm{g\cdot cm\cdot s^2}$ 以内。

四、结 束 语

空间位移测量装置的光、机、电系统联调实验证明：当目标以 250mm/s 的速度做圆周运动时，仍有比较好的干涉信号。

参 考 文 献

[1] Tilo Pfeifer und Albrecht Hof; VDI—Z, Bd, 127, 1985, Nr.12, S.441

The Fine Mechanic Drive in a Spatial Displacement Measurement Device

Zhang Erxing

Abstract

In this paper a fine mechanic drive is described and the kinematic equation is given with some dynamic characteristic analyses. It has been proved to have high dynamic accuracy by the experiments.