

文章编号:1007-1180(2011)09-0064-04

圆柱螺旋扭簧在无间隙直线传动机构中的应用

刘立国,丁亚林,惠守文

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 在研究一种钢带无间隙直线传动机构的过程中, 提出一种采用圆柱螺旋扭簧实现钢带张紧的新方法。介绍了钢带无间隙直线传动机构的工作原理; 详细介绍了圆柱螺旋扭簧的张紧作用; 分析了在运动周期内圆柱螺旋扭簧张紧扭矩的变化对钢带所受拉力和弹性变形的影响, 以及引起的编码器输出误差, 并给出了数学公式。对设计结果进行了验证, 结果表明, 圆柱螺旋扭簧能较好地实现张紧钢带的功能, 满足设计要求。

关键词: 钢带无间隙直线传动机构; 误差分析; 弹性变形

中图分类号: TH132 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI20112809.0064

Application of Cylinder Helix Torsional Spring to Gapless Linear Transmission System

LIU Li-guo, DING Ya-lin, HUI Shou-wen

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

Abstract: A new method of achieving steel band tension by using cylinder helix torsional spring was presented in the course of studying the gapless linear transmission system. The principle of the gapless linear transmission system was briefly described in this paper. The characteristics of the cylinder helix torsional spring were researched. The change of the steel band's tension and elastic deformation, as well as the encoder's output error was analyzed because of the cylinder helix torsional spring's inflection in periodic motion. A mathematical model was established and tested. The results indicated that the cylinder helix torsional spring could better achieve the function. It is concluded that the method can meet the design requirements.

Keywords: steel band-gapless linear transmission system; accuracy analysis; elastic deformation

*基金项目: 国家863高技术研究发展计划资助项目 (NO.2007AA701203)

1 引言

钢带无间隙直线传动在精密机械、仪器中的应用范围日益扩大,在光学仪器、精密机械手、生产线传动系统中均获得了广泛应用。

钢带无间隙直线传动机构具有多种结构形式,现有的多采用双带轮和钢带组合方式实现,张紧方式多采用圆柱螺旋拉簧或圆柱螺旋压簧结构,因而存在体积较大的问题^[1-2]。

本文提出一种采用钢带、单带轮、圆柱螺旋扭簧实现无间隙直线传动的机构,减少了结构件,降低了装调复杂性,提高了可靠性。用单只圆柱螺旋扭簧实现张紧钢带的作用,简化了张紧机构的复杂程度。详细分析了圆柱螺旋扭簧扭矩变化对钢带所受拉力和弹性变形的影响,给出了数学方程,并通过实验验证设计的合理性。

2 钢带无间隙直线传动机构原理

钢带无间隙直线传动机构的工作原理如图1所示。光学部件在驱动力的带动下,按图2所示的速

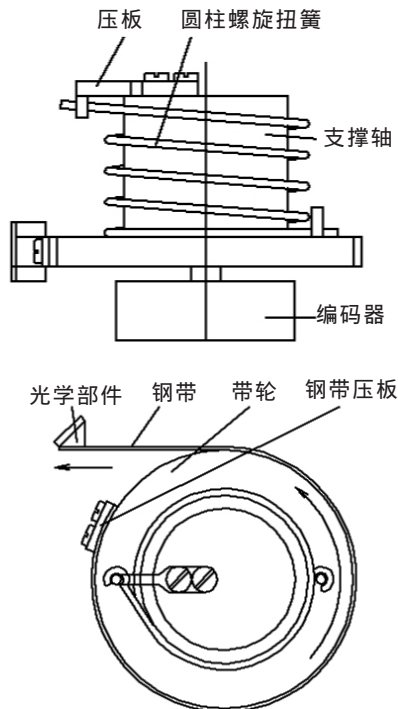


图1 钢带无间隙直线传动机构的工作原理图

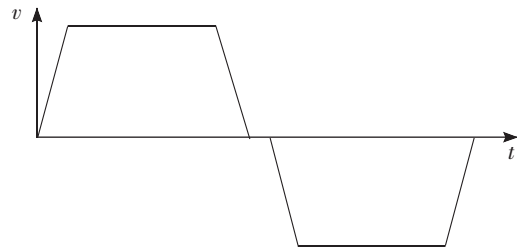


图2 光学部件直线运动速度示意图

度曲线运动,光学部件通过钢带带动带轮和编码器旋转,编码器输出光学部件位置信号。圆柱螺旋扭簧有一定的预紧力矩,使光学部件处于静止时钢带被张紧。光学部件向图示方向运动时圆柱螺旋扭簧扭矩连续增大,反向运动时,圆柱螺旋扭簧的扭矩作用在带轮上,驱动其反向旋转,使钢带缠绕在带轮上。反向运动过程中,圆柱螺旋扭簧的扭矩连续变小,但是始终不小于初始张紧力。

光学部件直线运动距离 S 与编码器转角 ϕ (即带轮转角) 输出的关系为:

$$S=R\phi \quad (1)$$

取 $S_{\max}=108.64 \text{ mm}$, $R=22.8 \text{ mm}$, 得 $\phi_{\max}=273^\circ$, 光学部件的线加速度 a 和带轮角加速度 α 的关系为:

$$a=R\alpha \quad (2)$$

3 钢带拉力变化和弹性变形分析

3.1 钢带拉力变化分析

取带轮和钢带为分离体,受力分析图如图3所示,当光学部件按图示方向运动时,

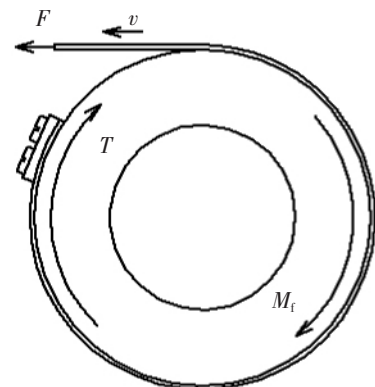


图3 钢带、带轮受力分析图

$$F = \frac{J\alpha + M_f + T}{R} \quad (3)$$

$$T = K_T \theta \quad (4)$$

$$\theta = \theta_0 + \phi$$

参考图3, 当光学部件反向运动时, T 方向不变化, 大小发生变化, M_f 大小和方向都发生变化。 F 方向不变。

$$F = \frac{T - J\alpha - M_f}{R} \quad (5)$$

式中 F 为钢带受到的拉力, R 为带轮有效半径, T 为扭簧扭矩, K_T 为弹簧刚度, M_f 为摩擦力矩, θ 为圆柱螺旋扭簧相对于自由状态的转角, θ_0 为初始张紧状态圆柱螺旋扭簧相对于自由状态的转角。

由式 (3)、(4)、(5) 可知, 圆柱螺旋扭簧的扭矩变化、摩擦力矩变化、带轮角加速度变化引起钢带所受拉力周期变化, 变化值过大会加快钢带的疲劳并引起光学运动部件的运动平稳性, 同时, 拉力的变化引起钢带弹性变形, 导致编码器输出误差^[3]。由于本设计中带轮采用精密滚动轴承支撑, 并加润滑措施, 摩擦力矩较小, 因而圆柱螺旋扭簧的扭矩变化和带轮角加速度变化是钢带所受拉力变化的主要原因。

3.2 钢带弹性变形分析

在运动周期内, 圆柱螺旋扭簧的扭矩变化引起钢带应变变化, 钢带应变变化按下式计算:

$$\Delta E = \frac{\Delta F}{AE} = \frac{FR - K_T \theta_0}{AER} \quad (6)$$

编码器输出角度误差由下式计算:

$$\Delta \phi = \frac{\Delta \varepsilon L \cdot 180 \cdot 3600}{R\pi} \quad (7)$$

式中, L 为钢带长度。

由式 (3)、(5)、(6) 可知, 摩擦力矩、圆柱螺旋扭簧的扭矩、带轮角加速度变化都会引起钢带产生纵向应变, 使钢带发生弹性变形。

4 弹簧设计

根据上述分析, 将圆柱螺旋扭簧扭矩的变化控制在合理范围内是本设计的关键。在一个运动周期

内, 弹簧扭矩的最大变化值为:

$$\Delta T_{\max} = K_T (\theta_{\max} - \theta_0) \quad (8)$$

4.1 圆柱螺旋扭簧刚度的设计

根据式 (8), 工作角度已确定, 因而降低圆柱螺旋扭簧刚度 K_T , 可以有效控制钢带应变变化。圆柱螺旋扭簧刚度为:

$$K_T = \frac{Ed^4}{3667Dn} \quad (9)$$

其中, E 为材料弹性模量, d 为钢丝直径, D 为扭簧中径, n 为扭簧有效圈数。选取小的 d 值、 E 值, 大的 D 值、 n 值, 可使 K_T 有效降低。

在本设计中, 设计 K_T 的理论值为 $0.411 \text{ N} \cdot \text{mm}^\circ$ 。

5 试验验证

为检验圆柱螺旋扭簧扭矩变化对钢带所受拉力变化和弹性变形的实际影响, 考虑到圆柱螺旋扭簧刚度可能出现非线性特性, 采用专用测试仪对圆柱螺旋扭簧刚度进行测试, 测试的刚度曲线如图4所示。又对钢带无间隙直线传动机构进行应变静态测试, 测试原理如图5所示。将应变片粘贴在钢带上,

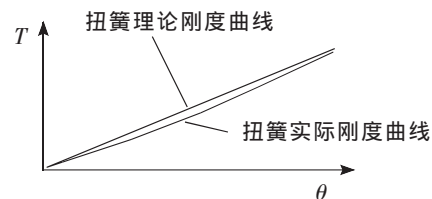


图4 圆柱螺旋扭簧刚度实测曲线

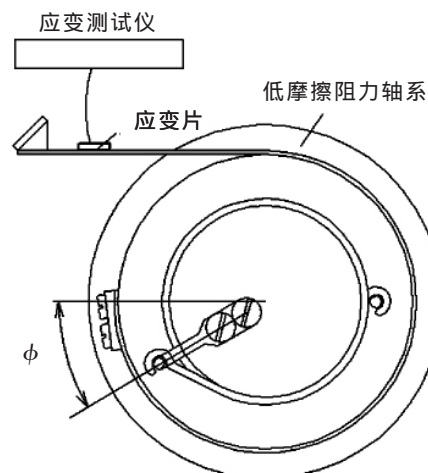


图5 钢带应变测试原理图

通过导线与测试仪器连接，将编码器工作角度值分成十六等分进行应变测试。计算和测试结果如表

表1 钢带应变测试数据

ϕ ($\phi=\theta-\theta_0$)	ε	ε'	ε''
0	3.56E-05	3.31E-05	3.33E-05
18.2	3.64E-05	3.36E-05	3.39E-05
36.4	3.72E-05	3.42E-05	3.46E-05
54.6	3.80E-05	3.48E-05	3.46E-05
72.8	3.88E-05	3.54E-05	3.51E-05
91.0	3.96E-05	3.68E-05	3.69E-05
109.2	4.04E-05	3.75E-05	3.77E-05
127.4	4.12E-05	3.83E-05	3.85E-05
145.6	4.20E-05	3.90E-05	3.93E-05
163.8	4.28E-05	3.98E-05	4.02E-05
182.0	4.36E-05	4.07E-05	4.12E-05
200.2	4.44E-05	4.16E-05	4.19E-05
218.4	4.52E-05	4.25E-05	4.27E-05
236.6	4.60E-05	4.34E-05	4.36E-05
254.8	4.68E-05	4.44E-05	4.46E-05
273.0	4.76E-05	4.68E-05	4.70E-05

参考文献

[1] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
 [2] 刘明, 吴宏圣, 匡海鹏, 等. 航相机的像移补偿方法及应用[J]. 光学 精密工程, 2004, 12(4): 30-34.
 [3] 惠守文, 远国勤, 丁亚林, 等. 等径共轭调焦凸轮机构的精度分析及优化设计[J]. 光电工程, 2010, 37(5): 133-138.

作者简介: 刘立国 (1978-), 男, 汉族, 吉林长春人, 学士, 助理研究员, 2001年于北京理工大学获得学士学位, 主要从事航空相机的研究。E-mail: 45575579@qq.com

1 所示。

$$\Delta\varepsilon' = \frac{K_T \text{实测值} (\theta - \theta_0)}{RAE} \quad (10)$$

ε' 是根据圆柱螺旋扭簧刚度实测值计算的应变值, ε'' 是应变测试仪实际测量值。由表 1 分析可知, ε' 值和 ε'' 基本吻合, 可认为是由微小摩擦和仪器测量误差及扭簧刚度曲线微小测试误差引起的微小差别, 因而可以根据实测扭簧刚度值进行误差计算。在工作周期内 $\Delta\varepsilon_{\max}=1.2\times 10^{-5}$, $\Delta\varepsilon'_{\max}=1.37\times 10^{-5}$, $\Delta\phi_{\max}=11.8''$, $\Delta\phi'_{\max}=13.5''$, 从实验数据可以看出, 合理设计圆柱螺旋扭簧的刚度和工作转角范围, 使用圆柱螺旋扭簧对多数编码器的输出误差不会有太大的影响。

6 结 论

在研究一种钢带无间隙直线传动机构的过程中, 提出一种采用圆柱螺旋扭簧实现钢带张紧的新方法, 通过优化设计圆柱螺旋扭簧参数, 实现张紧钢带功能, 简化了直线传动机构的复杂性。实验结果证明了该方法的合理性, 可为后续研究钢带传动张紧机构提供技术支持。