

文章编号 1004-924X(2000)01-0060-03

丝杠扭转刚度的探讨

张景和, 宋立维, 刘 伟, 冯晓国

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 精密传动, 尤其是位置闭环的精密传动, 必需计算传动链的刚度。本文从实际出发, 讨论了由丝杠组成的传动链刚度问题, 分析了传动链刚度对位置闭环控制的重要性, 提出了计算丝杠传动刚度的量纲问题, 最后推导了丝杠的扭转刚度与拉压刚度的量纲转换公式, 利用量纲转换公式, 可以很方便地计算出丝杠传动链的量纲。

关键词: 传动链; 刚度; 扭转刚度

中图分类号: TH139 **文献标识码:** A

1 引言

精密设备中的传动有很多种类, 为了达到高传动分辨率, 其传动一般为变速传动。对精密设备变速系统传动的设计应保证: 传动链刚度要大, 一定的功率和扭矩的传递, 一定范围内的变速, 符合对振动、噪声、发热以及重量、体积等方面的规定和要求^[1]。在精密设备中, 计算传动链的刚度极为重要, 尤其是在位置闭环控制中, 传动链的刚度不够, 会导致位置闭环控制电子学振荡。在丝杠组成的传动链中, 其传动接点大致为: 联轴节、齿轮、丝杠及丝母与导轨的接点等。这些接点的刚度形式基本为接触刚度, 量纲为 $\text{kg}/\mu\text{m}$ 。而丝杠处的刚度则为扭转刚度, 量纲为 $\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{rad}$ 。为了方便计算传动链的刚度, 需要统一传动链的量纲。本文讨论了丝杠扭转刚度与接触刚度的转换问题, 推导了相关公式。

在高精密设备中, 导轨精度一般为(直线性) $0.1\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}/100\text{mm}$, 传动精度(位置精度或位移精度)也大致在 $0.1\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ 之间。一般情况下, 精密传动的传动链为: 电机输出的角位移经联轴节、消间隙齿轮或蜗轮蜗杆传递到丝杠上, 然后再经丝杠将角位移转变成导轨的直线位移。影响导轨的位置或位移精度的因素很多, 其中传动链的刚度就是一个很重要的因素。

传动链的刚度一般是这样的: 电机 M_1 经联轴节的接触刚度 K_1 , 及齿轮啮合的接触刚度 K_2 , 然后经丝杠的扭转刚度 K_3 、丝母刚度 K_4 , 最后到达丝母与导轨 M_2 连接处的接触刚度 K_5 。如图 1 所示。

在整个传动链中, 只有丝杠的刚度为扭转刚度, 其它均为接触刚度。要计算传动链的刚度, 就要统一传动链各点刚度的量纲。即把丝杠的扭转刚度转变成接触刚度。

2 传动链刚度讨论

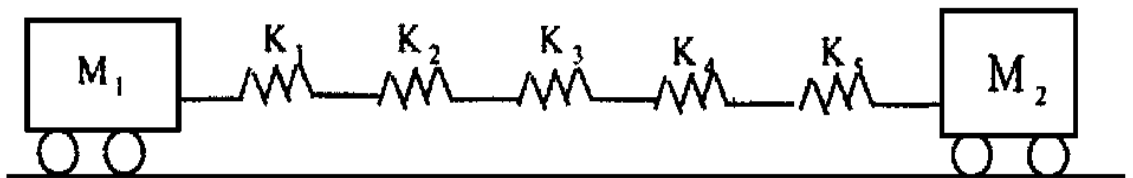


Fig. 1 Mathematical model of calculating transmission chain

3 丝杠扭转刚度与接触刚度的转换

设丝杠的直径为 d , 丝杠的升角为 α , 丝杠的输入力矩为 M , 作用在丝杠的轴向力为 P 。如图 2 所示, M 与 P 之间的关系为:

$$M = \frac{d}{2} P \tan(\alpha + \varphi) \quad (1)$$

式中: α —— 丝杠升角。

φ —— 丝杠与丝母的摩擦角。

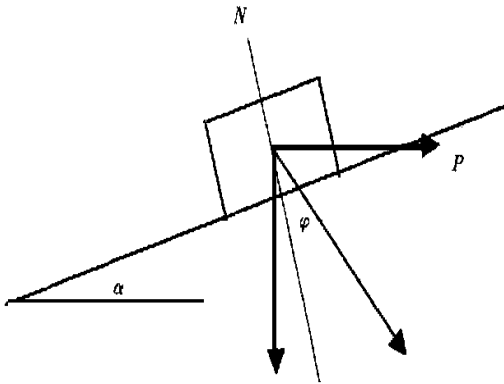


Fig 2 Schematic diagram of lead screw and nut under force

丝杠受轴向力 P 的作用, 其刚度变化式为:

$$P = K \Delta x \quad (2)$$

在力矩 M 的作用下, 丝杠的轴向位移 Δx 与丝杠转角 θ 之间的关系为:

$$\Delta x = \frac{h\theta}{2\pi} \quad (3)$$

式中: h —— 丝杠导程

把(3)代入(2)式得到:

$$P = K \frac{h\theta}{2\pi} \quad (4)$$

把(4)代入(1)式得到:

$$M = \frac{d}{2} K \frac{h\theta}{2\pi} \tan(\alpha + \varphi)$$

$$= \left[\frac{d}{2} K \frac{h}{2\pi} \tan(\alpha + \varphi) \right] \theta$$

设

$$K_{\theta} = \frac{d}{2} K \frac{h}{2\pi} \tan(\alpha + \varphi) \quad (5)$$

则:

$$M = K_{\theta} \theta \quad (6)$$

上式符合圆轴扭转时的虎克定律, K_{θ} 即为扭转刚度。

由(5)式可以得到丝杠的扭转刚度 K_{θ} 与丝杠的拉压刚度 K 之间的关系式为:

$$K_{\theta} = \frac{d}{2} K \frac{h}{2\pi} \tan(\alpha + \varphi)$$

$$\text{或 } K = \frac{4\pi}{dh \tan(\alpha + \varphi)} K_{\theta} \quad (7)$$

有了扭转刚度转换公式, 就可方便计算传动链的刚度^[2]。

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5}$$

式中: K —— 传动链刚度,

K_1 —— 联轴节刚度,

K_2 —— 齿轮啮合的接触刚度,

K_3 —— 丝杠的拉压刚度,

K_4 —— 丝母接触刚度

K_5 —— 丝母与导轨 M_2 连接处的接触刚度。

4 小 结

丝杠扭转刚度转换的推导, 是我们在工作中遇到的实际问题, 是计算丝杠传动链刚度中不可缺少的步骤。在丝杠直径的选择时, 该计算值可作为参考。丝杠扭转刚度转换的推导, 解决了丝杠传动链计算刚度时量纲的一致性, 为丝杠传动链的设计提供了一点理论依据。

参考文献:

[1] 史习敏 精密机械设计[M] 上海: 上海科学技术出版社, 1985

[2] 张景和 精密谐波传动在三坐标测量机上的应用[J] 光学 精密工程, 1998, 2(6): 44~ 48

Transformation of twist rigidity of lead screw

ZHANG Jing-he, SONG Li-wei, LIU Wei, FENG Xiao-guo

*(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)*

Abstract: Rigidity of transmission chain must be calculated in precise transmission, especially in precise transmission of close control. Rigidity of transmission chain, which consists of lead screw, is discussed in this paper. Significance of transmission chain is also analyzed in position close control. Simultaneously, calculating dimension of rigidity of transmission chain of lead screw is put forward. Finally, transformation equation of twist rigidity of lead screw and dragging and pressing rigidity is inferred in this paper. Rigidity of transmission chain of lead screw can be calculated conveniently by using transformation equation of dimension.

Key words: transmission chain; rigidity; twist rigidity

作者简介: 张景和(1955-),男,山东阳谷县人。中国科学院长春光学精密机械与物理研究所副研究员,1982年获长春光学精密机械学院学士学位。毕业后一直从事光学精密机械的科研工作。