

降低套筒滚子链传动多边形效应的常用措施及其应用

杨海卉

(安徽机电职业技术学院机械工程系,安徽 芜湖 241001)

摘要:说明套筒滚子链传动多边形效应,提出了降低套筒滚子链传动多边形效应的三种常用方法。通过一则工程案例,详细说明了利用交错齿多排链传动降低链传动多边形效应并提高链传动运动精度的一种实用措施。

关键词:套筒滚子链传动;多边形效应;交错齿多排链链轮;运动精度

中图分类号:TH16;TJ765.4+3

文献标志码:A

引言

链传动可以认为是一种多边形传动^[1]。图 1 中,链条紧边处于水平位置,主动链轮角速度为 ω_1 ,齿数为 Z_1 ,则该链传动水平方向的链速及传动比为:

$$V_x = r_1 \omega_1 \cos \alpha = r_2 \omega_2 \cos \beta$$

$$r = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$$

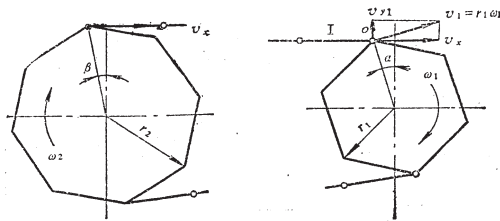


图 1 链条速度的变化

r_1 、 r_2 ——分别为主从动链轮分度圆半径

α ——啮合过程中,链节铰链中心在主动链轮上的

相位角($-\frac{\pi}{Z_1} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{Z_1}$)

β ——啮合过程中,链节铰链中心在从动链轮上的

相位角($-\frac{\pi}{Z_2} \leq \beta \leq \frac{\pi}{Z_2}$)

显然,水平链速按余弦函数规律变化,如图 2 所示。

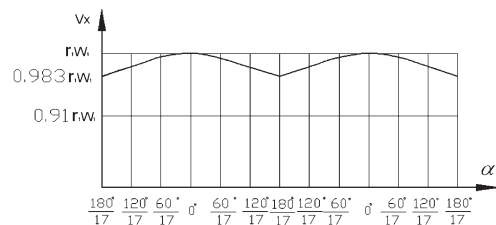


图 2 普通三排链传动水平速度变化线图 ($Z_1 = 17$)

若以链速不均匀系数 k_t 衡量^[2-3],则

$$k_t = \frac{V_{x\max} - V_{x\min}}{V_m}$$

其中,水平链速的平均值:

$$V_m = \frac{\int_{-\frac{\pi}{Z_1}}^{\frac{\pi}{Z_1}} r_1 \omega_1 \cos \alpha d\alpha}{\frac{2\pi}{Z_1}} = \frac{Z_1 r_1 \omega_1}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{Z_1}$$

水平链速的最大值

$$V_{x\max} = r_1 \omega_1$$

水平链速最小值

$$V_{x\min} = r_1 \omega_1 \cos \frac{\pi}{Z_1}$$

所以,

$$k_l = \frac{V_{x\max} - V_{x\min}}{V_m} = \frac{r_1 \omega_1 (1 - \cos \frac{\pi}{Z_1})}{\frac{Z_1 r_1 \omega_1}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{Z_1}} = \frac{\pi}{Z_1} \cdot \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{Z_1}$$

当 $Z_1 = 17$ 时, $k_l = 0.0171 = 17.1\%$ 。

因此,一般情况下,即使主动链轮以等角速度回转,瞬时链速、链传动的瞬时传动比仍作周期性波动,此现象称为链传动多边形效应^[4]。

1 降低链传动多边形效应的常用方法

消弱与消除套筒滚子链传动多边形效应,通常采用下列几种方法:

(1) 利用链传动的紧边长度为链节距整数倍(即同相位, $\alpha = \beta$) 且 $Z_1 = Z_2$ 的方法使主、从动链间的瞬时传动比恒等于 1^[5]。

(2) 利用附加小节距链传动装置减轻多变形效应。图 3 所示为用于输送链中降低水平方向链速 V_x 变化幅度的机构原理图。图 3 中输送链 5 的节距为 p_1 , 传动链 4 的节距为 p_2 。从动轮 2 与输送链的主动轮 3 具有相同齿数, 且安装初始相位角相同^[6](即在啮合过程中,任何瞬时相位角 $\varphi_3 = \varphi_2$ 、角速度 $\omega_3 = \omega_2$)。

未增加小节距链条时, 输送链链速:

$$V_x = \omega_3 \cdot \frac{d_3}{2} \cdot \cos \varphi_3 = \omega_2 \cdot \frac{d_3}{2} \cdot \cos \varphi_2$$

前面增加一级小节距传动链后

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}$$

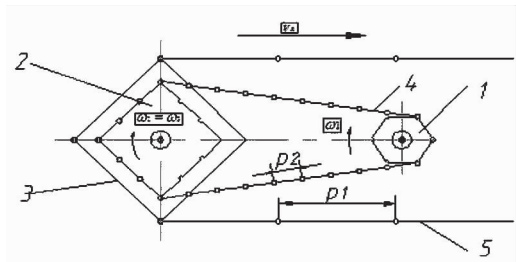
代入可得:

$$V_x = \omega_1 \cdot \frac{d_1}{d_2} \cdot \frac{d_3}{2} \cos \varphi_1$$

因为链轮 1 的节距小, 齿数多, $\varphi_1 = 180^\circ/Z_1$, $\varphi_3 = 180^\circ/Z_3$, $\varphi_1 < \varphi_3$, 所以这种方法可以实现用多齿数小节距传动的微弱的多边形效应代替大节距输送链的剧烈的多边形效应, 使输送链的瞬时链速变化幅度减小^[6]。

(3) 利用多根单排链同具有交错齿的多排链轮啮合来减轻多变形效应^[6-7]。

图 2 示出了三根单排链同具有交错齿的三排链轮相啮合时, 水平链速变化情况, 这种链传动工作时, 其速度变化曲线大为平缓。交错齿三排链轮的加工方法可以采用专用刀具在插齿机上加工, 每排轮齿之间相位依次相差 $120^\circ/Z_1$, 由插齿刀保证。



1 - 主动小节距链轮; 2 - 主动小节距链轮; 3 - 输送链链轮; 4 - 附加的小节距链传动链条; 5 - 输送链
图 3 利用附加小节距链传动装置来降低链条线速度 V_x 的变化幅度

2 工程案例

2.1 技改原因

某公司从德国进口一台园网印花设备, 该设备具有多套色、高精度(花位精度 $\pm 0.1 \text{ mm}$) 等优点。工作时, 环形橡胶输送带与印花园网之间具有一定的同步要求(图 4)。

原设备橡胶导带和印花园网分别由两台主电机拖动, 其中橡胶导带运转的第一级机械传动为同步齿形带传动(DIN 制), 由于该设备三班连续运转, 同步齿形带及带轮易磨损, 同步带传动失效后, 同步齿形带(DIN 制)不易采购且价格较贵, 同步带轮加工也不方便, 使设备的维修费用增加, 且影响生产效率。

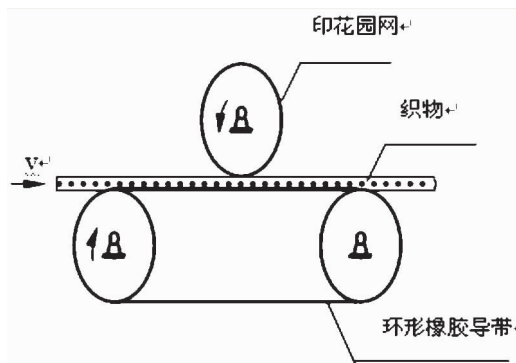
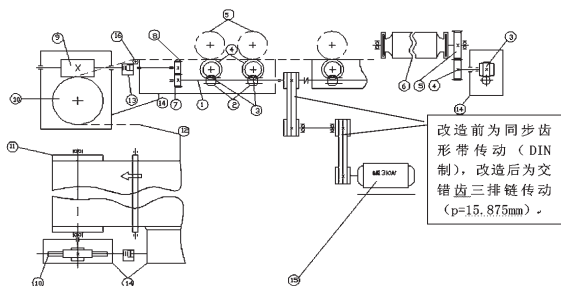


图 4 园网印花示意图

2.2 技改措施与效果

针对上述不足, 该公司对原设备进行了技术改造: 将导带 12 和印花园网 6 的运转由同一台主电机 15 拖动(图 5)。在机械传动部分改造过程中, 将原同步齿形带传动改为链传动。为减轻链传动多边形效应对速度同步的影响, 同时保证传递功率的要求, 采用三根单排链(节距 $P = 15.875 \text{ mm}$, $Z_1 = 17$, $Z_2 = 39$) 同具有交错齿的三排链轮相啮合来传递运动和动力(交错齿三排链轮如图 6 所示)。改造后, 该设备仍能满足使用精度要求, 使设备故障率下降, 维修成本大幅度减少。



1 - 主轴 $\phi 35$; 2 - 传动圆网的蜗杆 ($Z = 2$); 3 - 蜗轮 ($Z = 19$); 4 - 主动齿轮 ($Z = 53$); 5 - 从动齿轮 ($Z = 63$); 6 - 圆网 ($d = 641.8\text{mm}$); 7 - 胶毯主动齿轮 ($Z = 29$); 8 - 胶毯被动齿轮 ($Z = 34$); 9 - 传动胶毯的蜗杆 ($Z = 2$); 10 - 胶毯蜗轮 ($Z = 54$); 11 - 胶毯主动辊 ($d = 1420\text{mm}$); 12 - 胶毯 (厚 2.7mm); 13 - 联轴器; 14 - 减速机; 15 - 主电机; 16 - 支承辊。

图5 改造后的传动示意图

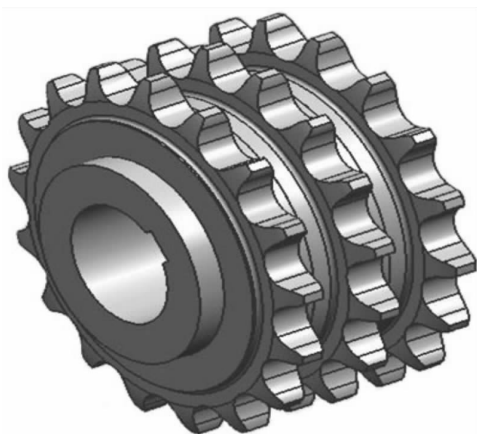


图6 交错齿三排链轮

2.3 技改中提高链传动运动精度的措施分析

技改过程中, 采用三根单排链 (节距 $P = 15.875\text{mm}$) 同具有交错齿的三排链轮相啮合 ($Z_1 = 17, Z_2 = 39$), 且每排链轮轮齿之间相位依次相差 $120^\circ/Z_1$, 每根单排链的水平链速如下:

$$V_{x_1} = r_1 \omega_1 \cos(\alpha + \frac{120^\circ}{Z_1}) = r_1 \omega_1 \cos(\alpha + \frac{120^\circ}{17}) \quad (1)$$

$$V_{x_2} = r_1 \omega_1 \cos \alpha \quad (2)$$

$$V_{x_3} = r_1 \omega_1 \cos(\alpha - \frac{120^\circ}{Z_1}) = r_1 \omega_1 \cos(\alpha - \frac{120^\circ}{17}) \quad (3)$$

该链传动的水平链速变化曲线如图7所示。

从图7可以看出, 三根单排链同具有交错齿的三排链轮啮合时, 该链传动在任一瞬时的水平链速均和三根单排链中最大的瞬时水平链速相等。一个周期内 (即 $[-180^\circ/17, 180^\circ/17]$) 该链传动水平链速的变化:

(1) 在区间 $[-180^\circ/17, -60^\circ/17]$, 水平链速按(1)式变化

$$V_{x_1} = r_1 \omega_1 \cos(\alpha + \frac{120^\circ}{17})$$

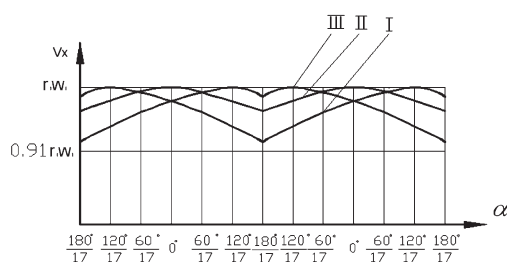


图7 交错齿三排链传动水平速度变化线图 (链条仍为三根单排链, $Z_1 = 17$)

其中,

$$V_{x_{\max}} = r_1 \omega_1$$

$$V_{x_{\min}} = r_1 \omega_1 \cos(-\frac{60^\circ}{17} + \frac{120^\circ}{17}) = r_1 \omega_1 \cos \frac{60^\circ}{17}$$

平均速度

$$V_m = \frac{\int_{-\frac{60^\circ}{17}}^{\frac{60^\circ}{17}} V_{x_1} d\alpha}{\frac{120}{17} \cdot \frac{\pi}{180}} = \frac{51}{\pi} r_1 \omega_1 \sin \frac{60^\circ}{17}$$

故在此区间, 链速不均匀系数:

$$k_t = \frac{V_{x_{\max}} - V_{x_{\min}}}{V_m} = \frac{r_1 \omega_1 (1 - \cos \frac{60^\circ}{17})}{\frac{51}{\pi} r_1 \omega_1 \cdot \sin \frac{60^\circ}{17}} = \frac{\pi}{51} \text{tg} \frac{60^\circ}{34} = 1.89\%$$

(2) 在区间 $[-60^\circ/17, 60^\circ/17]$, 水平链速按(2)式变化

$$V_{x_2} = r_1 \omega_1 \cos \alpha$$

其中,

$$V_{x_{\max}} = r_1 \omega_1 \quad V_{x_{2\min}} = r_1 \omega_1 \cos \frac{60^\circ}{17}$$

同理可得:

$$V_m = \frac{\int_{-\frac{60^\circ}{17}}^{\frac{60^\circ}{17}} r_1 \omega_1 \cos \alpha d\alpha}{\frac{120}{17} \cdot \frac{\pi}{180}} = \frac{51}{\pi} r_1 \omega_1 \sin \frac{60^\circ}{17}$$

$$k_t = \frac{V_{x_{\max}} - V_{x_{\min}}}{V_m} = \frac{\pi}{51} \text{tg} \frac{60^\circ}{34} = 1.89\%$$

(3) 在区间 $[60^\circ/17, 180^\circ/17]$, 水平链速按(3)式变化

$$V_{x_3} = r_1 \omega_1 \cos(\alpha - \frac{120^\circ}{17})$$

同理可得:

$$V_m = \frac{\int_{\frac{60^\circ}{17}}^{\frac{180^\circ}{17}} r_1 \omega_1 \cos(\alpha - \frac{120^\circ}{17}) d\alpha}{\frac{120}{17} \times \frac{\pi}{180}} = \frac{51}{\pi} r_1 \omega_1 \sin \frac{60^\circ}{17}$$

$$k_l = \frac{V_{x,\max} - V_{x,\min}}{V_m} = \frac{\pi}{51} \operatorname{tg}\left(\frac{60^\circ}{34}\right) = 1.89\%$$

综合上述三种情况,在区间 $[-180^\circ/17, 180^\circ/17]$ 内,(亦即该链传动每转过一个链节),该链传动的水平链速是波动的,且 $V_{x,\max} = r_1\omega_1$, $V_{x,\min} = r_1\omega_1 \cos\frac{60^\circ}{17}$,水平链速的不均匀系数 $k_l = 1.89\%$,而相同参数的普通三排链传动 $k_l = 17.1\% \gg 1.89\%$,此结论表明三根单排链同具有交错齿的三排链轮相啮合后,水平链速的波动性比相同参数的普通三排链传动得到大大改善。使用效果也表明,三根单排链同具有交错齿的三排链轮相啮合可以替代同步齿形带传动,完全满足该设备的花位精度要求。

3 结束语

链传动多边形效应会破坏传递运动的同步性与均匀性,对工作性能影响很大,常采取如下措施来减弱多边形效应:

(1) 利用链传动的紧边长度为链节距整数倍(即同相位, $\alpha = \beta$)且 $Z_1 = Z_2$ 的方法使主、从动链间的瞬时传动比恒等于1。

(2) 利用附加小节距链传动装置来减轻多边形效应。

(3) 利用多根单排链同具有交错齿的多排链轮啮合来减轻多边形效应。

参考文献:

- [1] 邱宣怀.机械设计[M].北京:高等教育出版社,2001.
- [2] 梁志民.链速补偿机构设计[J].甘肃工业大学学报,2003,29(2):47-48.
- [3] 张玲玲,陆天炜,吴鹿鸣,等.链传动多边形效应的实验研究[J].机械工程与自动化,2010,161(4):98-99.
- [4] 杨玉虎.套筒滚子链的动力学建模研究[J].中国机械工程,2005,16(16):1474-1475.
- [5] 郑志峰.链传动设计与应用手册[M].北京:机械工业出版社,1992.
- [6] 郑志峰.链传动[M].北京:机械工业出版社,1984.
- [7] 张玲玲.链传动速度波动测试装置开发与链传动多边形效应的实验研究[D].成都:西南交通大学,2010.

Universal Measure and Its Application for Decreasing Multilateral Effect of Bush Roller Chain Drive Motion

YANG Hai-hui

(School of Mechanical Engineering, Anhui Technical College of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhu 241000, China)

Abstract: The multilateral effect of bush roller chain drive motion is briefly introduced, three kinds of universal methods of decreasing multilateral effect for bush roller chain drive motion is proposed. Using staggered tooth multiple rows of chain drive motion to decrease multilateral effect of motion which by an engineering case. It is a practical measure to improve chain drive motion accuracy.

Key words: bush roller chain drive motion; multilateral effect; staggered tooth multiple rows of chain