

# 双节距齿形输送链条设计与试验\*

王文成<sup>1</sup> 刘晓论<sup>2</sup> 孙威<sup>1</sup> 何丽妍<sup>1</sup> 武添松<sup>1</sup> 刘家郡<sup>2</sup>

(1. 吉林大学机械科学与工程学院, 长春 130025; 2. 吉林大学链传动研究所, 长春 130025)

**摘要:** 研究了齿形链啮合机理和设计方法, 提出了一种双节距齿形输送链条。对其结构特性及啮入冲击速度进行了分析, 给出了链条主要设计参数及其关系式, 并对其进行了 200 h 的磨损试验, 试验结果表明: 200 h 后, 双节距齿形输送链条的磨损伸长率仅为 0.149%, 明显低于传统的双节距滚子输送链条。验证了双节距齿形输送链设计方法的合理性。

**关键词:** 滚动铰链 双节距齿形链 变节距特性 设计 试验

**中图分类号:** TH132.45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)02-0243-05

## Design and Experiment of Double-pitch Silent Chain for Conveyors

Wang Wencheng<sup>1</sup> Liu Xiaolun<sup>2</sup> Sun Wei<sup>1</sup> He Liyan<sup>1</sup> Wu Tiansong<sup>1</sup> Liu Jiajun<sup>2</sup>

(1. Institute of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

2. Chain Transmission Institute, Jilin University, Changchun 130025, China)

**Abstract:** A type of double-pitch silent chain for conveyors was proposed. Its structure was designed and the relative parameters and designed formula were given. And wear test for 200 h was done. The results showed that the ratio of wear elongation of double-pitch silent chain for conveyors was 0.149%, which was shorter than the double-pitch roller chain's, and the design could improve the conveying conditions distinctly. Therefore, the design of double-pitch silent chain for conveyors showed the feasibility of application.

**Key words:** Rolling joint Double-pitch silent chain Pitch changing feature Design Experiment

### 引言

双节距滚子链是应用最广泛的输送链条之一<sup>[1]</sup>。但是在输送环节中, 由于采用双节距滚子链输送的输送装置的多边形效应, 磨损严重<sup>[2]</sup>; 而且由于其内链节内宽过大, 输送的物料透过滚子链掉入输送装置内部造成机器卡死的现象屡见不鲜<sup>[3~4]</sup>, 造成不可估量的经济损失。

近年来随着国内学者对齿形链啮合原理<sup>[5~6]</sup>、动态分析<sup>[7]</sup>、模拟仿真<sup>[8]</sup>、设计方法<sup>[9~10]</sup>等方面进行了深入研究, 国产齿形链的应用范围越来越广泛。但是国内外学者对于齿形链的研究大多局限于传动用短节距齿形链, 本文针对双节距滚子链输送装置

存在的问题, 在齿形链研究的基础上, 提出双节距齿形输送链条, 并对其结构进行设计与试验分析。

### 1 结构设计

双节距齿形输送链能够有效改善传统滚子链输送装置传动过程中的噪声和磨损严重的问题。该新型链条主要由 M 型链板、导板、加强板、滚动销轴和定位销轴装配而成, 其中 M 型链板和导板与销轴间隙配合, 加强板与销轴过盈配合。该链条和双切齿渐开线齿廓的链轮配合使用, 其传动示意图如图 1 所示。

#### 1.1 工作链板参数设计

双节距齿形输送链工作链板如图 2 所示, 具有

收稿日期: 2012-02-17 修回日期: 2012-03-05

\* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA04Z225)

作者简介: 王文成, 博士生, 主要从事链传动理论及应用研究, E-mail: wangwc11@mails.jlu.edu.cn

通讯作者: 刘晓论, 教授, 博士生导师, 主要从事精密机械传动技术、链传动理论及应用研究, E-mail: liuxiaolun\_jldx@163.com

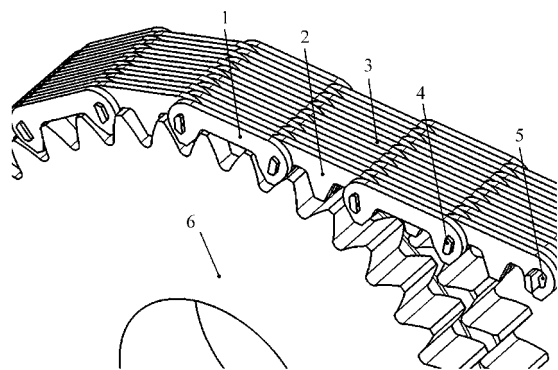


图1 双节距齿形输送链传动结构示意图

Fig. 1 Transmission structure of double-pitch silent chain for conveyors

1. 加强板 2. M型链板 3. 导板 4. 定位销轴 5. 滚动销轴  
6. 链轮

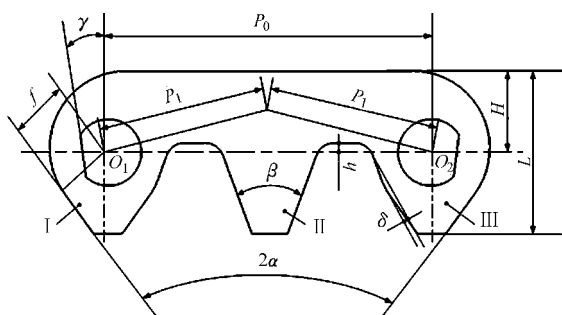


图2 工作链板参数示意图

Fig. 2 Parameters schematic of chain plate

3个齿,其中齿I和齿III为工作齿,在传动过程中与链轮啮合,传递动力与运动;齿II为减磨齿,加大输送导轨与链板之间的接触面积,以减小磨损。其主要参数计算公式如下:

基准孔心距

$$P_0 = 2P_1 \cos \frac{\pi}{z} \quad (1)$$

式中  $z$ ——小链轮齿数

$P_1$ ——单倍齿形链节距

定位偏置角

$$\gamma \approx \arccos \frac{\Delta x}{r\theta}$$

其中

$$\theta = \frac{4\pi}{z}$$

式中  $\Delta x$ ——多边形效应振动减小量

$r$ ——滚动销轴曲率半径

齿形角

$$2\alpha = 2\alpha_1 + \frac{360^\circ}{z} \quad (2)$$

式中  $\alpha_1$ ——滚刀压力角,通常  $\alpha_1$  取  $30^\circ$  或  $31.5^\circ$

基准边心距

$$f = 0.375P_1 \quad (3)$$

孔心至板顶距离

$$H = P_1 \left( \sin \frac{180^\circ}{z} + 0.375 \right) \quad (4)$$

孔心至肩部距离

$$h = 0.06P_1 \quad (5)$$

中间齿形角

$$\beta = 40^\circ \sim 46^\circ \quad (6)$$

## 1.2 铰链设计

拉直状态下,双节距齿形输送链条铰链示意图如图3所示,其采用滚动式铰链,销轴分为滚动销轴I和定位销轴II。

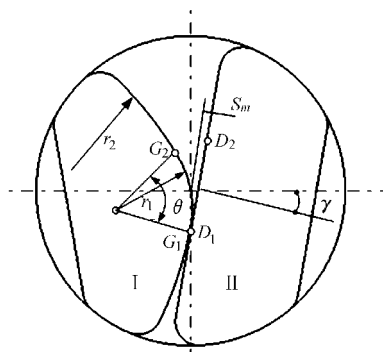


图3 铰链参数示意图

Fig. 3 Parameters schematic of joint

(1)滚动销轴滚动段圆弧,指在相邻链节发生相对转动时,滚动销沿定位销大端面发生纯滚动的圆弧,其半径为

$$r_1 = \frac{P(\csc\phi - \cot\phi)}{2\cos\gamma} \quad (7)$$

其中

$$\phi = \frac{\pi}{z_0}$$

式中  $z_0$ ——双切齿链轮的有效齿数

(2)滚动圆弧极限转角  $\theta$ ,指相邻链节可以发生相对转动的最大转角及滚动端圆弧对应的圆心角,即

$$\theta = \frac{4\pi}{z_0} \quad (8)$$

(3)滚动销轴定位段圆弧,指在相邻链节相对转角超过极限转角  $\theta$  时,起缓冲定位作用的圆弧。其半径

$$r_2 \geq 10r_1 \quad (9)$$

(4)定位销大端面到孔心的距离  $S_m$  的选取影响到拉直状态下铰链的初始接触点  $G_1$  的位置,若链条拉直时同一铰链的孔心重合,其取值为

$$S_m = \frac{2r_1 \tan\gamma}{\tan\gamma + \cot \frac{\theta}{2}} \quad (10)$$

双节距齿形输送链的其他尺寸可以参照节距为  $P_1$  的齿形链的设计标准进行设计。

## 2 结构特性

双节距变节距齿形输送链采用对滚式铰链连接,具有变节距特性和变节圆特性,能够有效地减轻运转过程中的多边形效应从而减少磨损,提高链条的使用寿命。

### 2.1 变节距特性

定义相邻铰链中滚销接触点  $G$  之间的距离为节距  $P$ ,链条运转过程中,滚销在定位销大端面  $D_1D_2$  段内往复滚动,由于偏置角  $\gamma$ ,当相邻铰链相对转动  $\theta_k$  后,链节节距将会增大  $\Delta P$ 。

由图4的几何关系可知

$$P = P_0 + r_1(2 - \cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (11)$$

式中  $\theta_1$ ——铰链1相邻链节的相对转角

$\theta_2$ ——铰链2相邻链节的相对转角

当  $\theta_1 = \theta_2 = \theta$  时,节距  $P$  最大为

$$P_{\max} = P_0 + 2r_1 \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right) \quad (12)$$

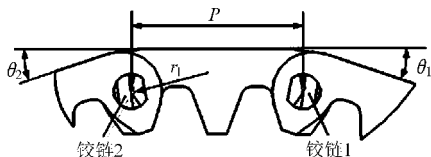


图4 双节距齿形输送链变节距特性示意图

Fig.4 Schematic of pitch change of double-pitch silent chain for conveyors

### 2.2 节圆变化特性

节距的增大,使双节距齿形链在运转过程中呈现出不同的啮合特性,双节距滚子输送链在运转过程中与链轮定位的链节销轴中心始终分布在分度圆上,而双节距齿形输送链条铰链接触点  $G$  随相邻链节夹角的变化而变化,在链节和轮齿啮合过程中,从节圆 I 过渡到节圆 II 上(图5)。

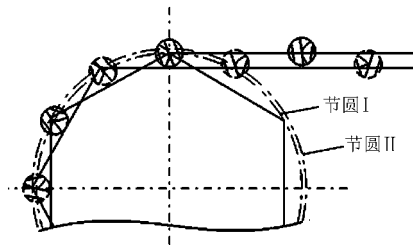


图5 节圆变化特性示意图

Fig.5 Schematic of pitch cycle change of double-pitch silent chain for conveyors

节圆半径随啮入过程变化如图6所示,其中  $G_0$  和  $G_v$  分别表示最小节圆半径  $R_{\min}$  对应的滚销接触点和啮合过程中随转角  $\delta$  变化的滚销接触点。可得最小节圆半径为

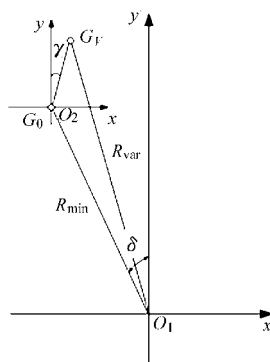


图6 节圆半径变化过程示意图

Fig.6 Schematic of pitch cycle change process

$$R_{\min} = \frac{P_0}{\sin(\pi/z_0)}$$

随啮入过程变化的节圆半径为

$$R_{\text{var}} = \sqrt{X_{G_v}^2 + Y_{G_v}^2}$$

其中 
$$X_{G_v} = -\frac{P_0}{\sin(\pi/z_0)} \cos\delta + \rho \sin\gamma$$

$$Y_{G_v} = \frac{P_0}{\sin(\pi/z_0)} \sin\delta + \rho \cos\gamma$$

$$\rho = r_1(\delta + \pi/z_0)$$

$\delta$  在啮合过程中取值从  $-\pi/z_0$  到  $\pi/z_0$ 。

## 3 冲击速度分析

链条与链轮齿在啮合时产生的速度冲击,对链条、链条附件以及轮齿均有破坏,并随之产生了冲击噪声和冲击磨损。

图7a为双节距滚子链啮入时,滚子与主动轮轮齿发生的速度冲击,图7b为双节距齿形链啮入时,工作链板齿廓与主动轮轮齿发生的啮合冲击。

由几何关系易知,双节距滚子输送链在啮入时

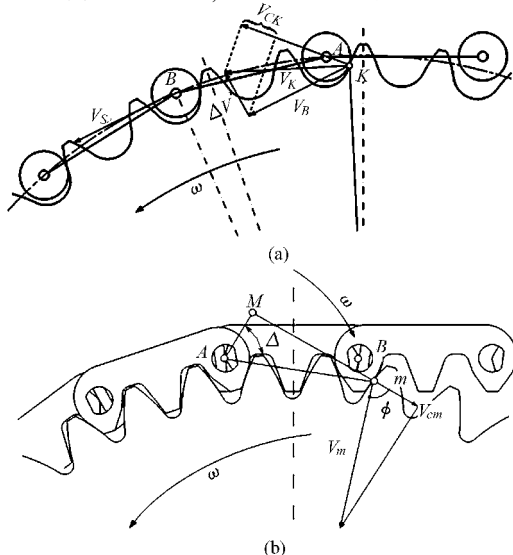


图7 冲击速度对比示意图

Fig.7 Schematic of impact speed compare between two kind of chains

滚子与轮齿发生硬性冲击,其冲击速度为<sup>[11]</sup>

$$V_{CK} = \omega P \sin(\varphi + 2\pi/z_0)$$

式中  $\omega$ ——主动轮转速  $\varphi$ ——链轮齿形角

然而,双节距齿形输送链在啮入时,齿廓与轮齿发生啮合冲击,其冲击速度为<sup>[12]</sup>

$$V_S = V_{cm} = V_m \cos\phi = \omega l_{Am} \cos\Delta$$

通过计算可知,与双节距滚子输送链相比,双节距齿形输送链条采用齿形轮廓使啮入过程中产生的冲击速度大大减小,有效减小了冲击噪声与冲击磨损。

## 4 试验分析

为了验证双节距齿形输送链的低磨损特性,对该新型链条与双节距滚子输送链的磨损特性进行对比试验。

### 4.1 试验规范

试验在封闭力流试验台(图8)上进行,试验用链条为双节距齿形输送链条和双节距滚子输送链条,节距  $P$  为 25.4 mm,链条节数  $L_p$  为 72,主从动轮齿数  $Z_1 = Z_2 = 39$ ,链条紧边工作张力  $F = 400$  N,压力喷油润滑,试验用链条的材料及热处理工艺完全相同,硬度分布一致。

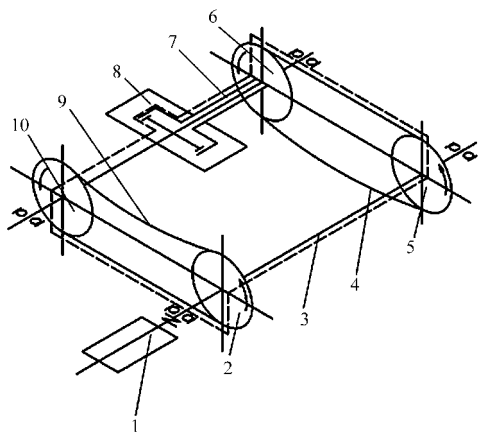


图8 封闭力流试验台原理图

Fig.8 Schematic of closed force flow test bench

1.电动机 2,5,6,10.链轮 3,8.轴 4,9.链条 7.自动加载器

### 4.2 磨损试验及结果分析

试验测量转速  $n_1 = 300$  r/min,转矩  $T = 4$  N·m,时间均为 200 h,每隔 10 h 采集一次数据。采用传动链中心距测量仪测量链条中心距,计算其磨损伸

长率

$$\varepsilon = (\alpha_t - \alpha_0) / \alpha_0 \times 100\%$$

式中  $\alpha_t$ ——运行时间  $t$  后,测量获得的中心距

$\alpha_0$ ——初始中心距<sup>[13]</sup>

测量载荷均为 80 N。

对比分析试验进行过程中所测得的试验数据,得到链条的磨损伸长率的变化曲线如图9所示。

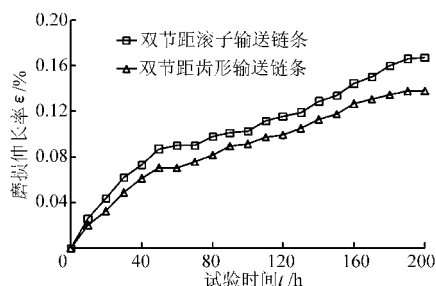


图9 磨损伸长率变化曲线

Fig.9 Curves of wear elongation ratio change

从图9可以看出,试验 200 h 后,双节距滚子输送链条的磨损伸长率为 0.187%,双节距齿形输送链的磨损伸长率仅为 0.149%,由此可见在相同试验条件下,双节距齿形输送链条的磨损特性明显优于双节距滚子输送链条。

双节距齿形输送链条之所以优于双节距滚子输送链条,是由于其齿形轮廓变滚子与轮齿的硬性冲击为齿与齿之间的啮合冲击,大大减小了冲击能量;其采用滚动铰链,具有的变节距性能和变节圆特性使其在传动过程中能够有效地削弱多边形效应,减小速率波动以及速度变化而导致的冲击载荷,从而有效地减少磨损。而在试验初期(0~50 h 之间)的 2 条试验曲线斜率均较大,其主要是由于试验链条的制造和安装误差等原因造成的。

## 5 结束语

对双节距齿形输送链的主要参数进行了设计与试验。双节距齿形输送链的变节距特性和变节圆性能有效削减链传动系统的多边形效应,从而减小速率波动以及由于速率变化引起的附加载荷,使其磨损特性优于双节距滚子输送链条。200 h 磨损对比试验显示,双节距齿形输送链磨损伸长率仅为 0.149%,明显小于双节距滚子输送链条的磨损伸长率 0.187%。

## 参考文献

- 1 郑志峰. 链传动设计与应用手册[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
- 2 李纯涛. 水泥输送链磨损机制及其温度场特性的研究[D]. 长春:吉林大学,2005:15~39.  
Li Chuntao. Research on wear mechanism and temperature field feature of cement conveyor chain [D]. Changchun: Jilin University, 2005:15~39. (in Chinese)
- 3 张广义,王义行. 农机链传动的可靠性设计[J]. 农业机械学报,1994,25(3):79~82.

- Zhang Guangyi, Wang Yixing. The reliability design of chain drive of agricultural machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1994,25(3):79~82. (in Chinese)
- 4 梁志民,安宗文,李朝晖. 输送链运行平稳性分析[J]. 起重运输机械,2003(2):18~20.  
Liang Zhimin, An Zongwen, Li Chaohui. Analysis of running smoothness of conveyor chains[J]. Hoisting and Conveying Machinery,2003(2):18~20. (in Chinese)
- 5 Meng Fanzhong, Feng Zengming, Chu Yaxu. Meshing theory and design method of new silent chain and sprocket[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2006,19(3):425~427.
- 6 黄超俊. 静音链的啮合分析[D]. 台南:国立成功大学,2003:19~50.  
Huang Chaojun. The tooth contact analysis of silent chains[D]. Tainan: National Cheng Kung University 2003:19~50. (in Chinese)
- 7 孟繁忠,李启海,冯增铭. 新型 Hy-Vo 齿形链与链轮的啮合分析及其设计方法[J]. 机械工程学报,2007,43(1):116~119.  
Meng Fanzhong, Li Qihai, Feng Zengming. Meshing analysis and design method of new Hy-Vo silent chain and sprocket[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering,2007,43(1):116~119. (in Chinese)
- 8 王君玲,杨玉芬,程玉来. 链轮齿数对链传动动载荷的影响[J]. 沈阳工业大学学报,2004,26(1):17~18,22.  
Wang Junling, Yang Yufen, Cheng Yulai. Effects of teeth number of sprocket on dynamic load of chain drive[J]. Journal of Shenyang University of Technology,2004,26(1):17~18,22. (in Chinese)
- 9 张克仁. 新型齿形链传动的链条设计[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,1996,19(2):105~111.  
Zhang Keren. Chain design of the new typical tooth chain drive[J]. Journal of Hefei University of Technology:Natural Science, 1996,19(2):105~111. (in Chinese)
- 10 孟繁忠,曲绍朋,董成国. 基于多元变异的 Hy-Vo 齿形链设计方法[J]. 农业机械学报,2012,43(2):230~234.  
Meng Fanzhong, Qu Shaopeng, Dong Chengguo. Multi-variation design method of Hy-Vo silent chain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(2):230~234. (in Chinese)
- 11 郑志峰,王义行. 链传动[M]. 北京:机械工业出版社,1984.
- 12 薛云娜,王勇,王宪伦. 齿形链传动啮合冲击机理[J]. 机械设计,2005,22(9):37~39.  
Xue Yunna, Wang Yong, Wang Xianlun. Meshing impact mechanism for odontoid chain drive [J]. Journal of Machine Design, 2005,22(9):37~39. (in Chinese)
- 13 孟繁忠. 齿形链啮合原理[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

(上接第 242 页)

- 3 张勇. 梯形滑块双定子轴向马达的研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2009.  
Zhang Yong. Analysis of trapezoidal slider double stator axial motor[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2009. (in Chinese)
- 4 王志力. 矩形滑块双定子轴向液压马达的理论与实验研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2009.  
Wang Zhili. Theoretical and experimental analysis of double-stator radial hydraulic motor with rectangle slider[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2009. (in Chinese)
- 5 张军,许贤良,章晓飞. 低速大扭矩 I 型复合齿轮转子马达的机理研究[J]. 农业机械学报,2004,35(2):44~47.  
Zhang Jun, Xu Xianliang, Zhang Xiaofei. Theoretical study on the first kind of compound gear rotator motor with low speed and high torque[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(2):44~47. (in Chinese)
- 6 闻德生,吕世君,刘晓晨,等. 等宽双定子泵和马达的原理研究[J]. 哈尔滨工业学报,2008,40(11):1840~1844.  
Wen Desheng, Lü Shijun, Liu Xiaochen, et al. Theoretic research on variable displacement of equal width double-stators pump and motor[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008,40(11):1840~1844. (in Chinese)
- 7 闻德生,高俊,王志力,等. 双作用多泵多马达传动中马达输出转矩分析[J]. 中国机械工程,2010,21(23):2836~2838.  
Wen Desheng, Gao Jun, Wang Zhili, et al. Output torque of double-acting multi-pump and multi-motor[J]. Chinese Mechanical Engineering, 2010,21(23):2836~2838. (in Chinese)
- 8 闻德生,吕世军,闻佳,等. 等宽、单滚柱、单作用、双输出、双定子变量泵和马达的原理研究[J]. 现代制造工程,2005(增刊):162~163.  
Wen Desheng, Lü Shijun, Wen Jia, et al. Theoretic research of the variable displacement pump and motor of the same width and with single-roller, single-action, double-output and double-stator[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2005(Supp.):162~163. (in Chinese)
- 9 闻德生,吕世军,杜孝杰,等. 双定子液压马达差动连接理论分析[J]. 农业机械学报,2011,42(9):220~224.  
Wen Desheng, Lü Shijun, Du Xiaojie, et al. Theoretical analysis of differential connection of double-stator hydraulic motor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(9):220~224. (in Chinese)
- 10 李壮云. 液压元件与系统[M]. 北京:机械工业出版社,2005.