

## 拉伸机冲杆行星齿轮式驱动机构的设计与分析

张亚伦<sup>1</sup>, 何卫锋<sup>1</sup>, 罗慧琴<sup>1</sup>, 黄卯生<sup>2</sup>

(1.广东工业大学, 广州 510006; 2.深圳环亚精密机器有限公司, 东莞 523850)

**摘要:** **目的** 介绍一种新型拉伸机冲杆行星齿轮式驱动机构。**方法** 首先, 对易拉罐成型拉伸动作进行概述; 然后, 简要分析了传统拉伸机冲杆驱动机构的结构组成及工作原理; 其次, 详尽分析新型拉伸机冲杆行星齿轮式驱动机构的结构组成及工作原理, 并进行了受力分析; 最后, 对传统与新型拉伸机驱动机构进行比较分析, 得出了新型拉伸机驱动机构的优异特点。**结果** 传统的驱动机构实质上是曲柄滑块机构, 冲杆会受到垂直水平方向变化的分力, 从而影响冲杆的工作性能; 新型的驱动机构实质上是行星齿轮式直线运动机构, 冲杆不受到垂直水平方向的分力, 不会影响冲杆的工作性能。**结论** 新型拉伸机冲杆行星齿轮式直线运动驱动机构的特点是振动小, 稳定性能好, 能达到设计要求。

**关键词:** 拉伸机; 驱动机构; 行星齿轮; 直线运动

**中图分类号:** TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)13-0117-04

## Design and Analysis of the Bodymaker Punch Planetary Gear Driving Mechanism

ZHANG Ya-lun<sup>1</sup>, HE Wei-feng<sup>1</sup>, LUO Hui-qin<sup>1</sup>, HUANG Mao-sheng<sup>2</sup>

(1.Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2.Shenzhen Huanya Precision Machinery Co., Ltd., Dongguan 523850, China)

**ABSTRACT:** To introduce a new kind of bodymaker punch planetary gear driving mechanism, this paper firstly summarized the cans forming and stretching movements; secondly, briefly analyzed the structures and working principles of the traditional bodymaker driving mechanism; thirdly, detailedly analyzed the structures and working principles of the new bodymaker punch planetary gear driving mechanism; finally, compared the traditional with the new driving mechanism bodymaker and obtained the excellent features of the new bodymaker driving mechanism. The traditional driving mechanism was essentially the slider-crank mechanism. The punch of the slider-crank mechanism was subject to a system of forces from horizontal and vertical direction, which badly affected the punch's performance. The new driving mechanism was essentially the planetary gear type linear motion mechanism. The punch would not change by vertical and horizontal direction component, without degrading performance of the punch. The features of the new bodymaker punch planetary gear driving mechanism are small vibration, good stability, and conformance with the design requirements.

**KEY WORDS:** bodymaker; driving mechanism; planetary gear; linear motion

铝制 2 片易拉罐的拉伸工艺是整条易拉罐生产工艺中的一个重要环节, 而易拉罐的拉伸工艺是

由拉伸机来完成的<sup>[1-2]</sup>。易拉罐从冲杯机出来后通过输送带逐个进入拉伸机的进料系统, 易拉罐以堆

收稿日期: 2015-12-02

基金项目: 广东省数控一代机械产品创新应用示范工程专项资金 (2013B011301023)

作者简介: 张亚伦 (1991—), 男, 湖北人, 广东工业大学硕士生, 主攻结构设计与机构运动仿真分析。

通讯作者: 何卫锋 (1961—), 男, 广东丹江人, 广东工业大学副教授, 主要研究方向为自动机构和包装设备。

叠的方式一个个落入杯定位器中,然后冲杆垂直冲压至易拉罐底部,对易拉罐进行拉伸。为了实现这一工艺,需要有一个可靠的驱动机构来驱动冲杆作往复直线运动。文中介绍一种拉伸机冲杆行星齿轮式直线运动驱动机构,该机构相比于传统的驱动机构,能够更好地完成拉伸工艺,并适用于类似的拉伸机械。

### 1 易拉罐成型拉伸工艺

易拉罐拉伸过程<sup>[3-5]</sup>,首先杯坯以堆叠的形式,在进料系统中一个个落入杯定位器;然后冲杆在驱动装置的驱动下作直线进给运动,将杯坯进行拉伸,依次通过再拉伸环、I#拉伸环、II#拉伸环、III#拉伸环、导环。具体结构见图1。

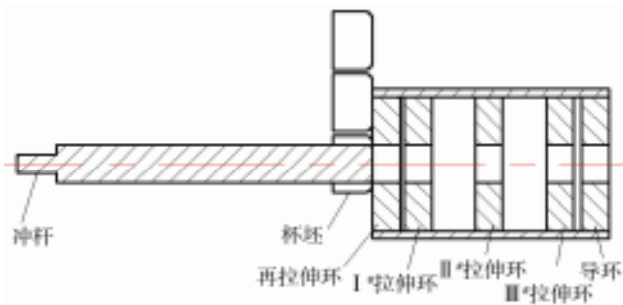


图1 拉伸部分结构

Fig.1 The structure of the stretching section

### 2 传统拉伸机冲杆驱动机构

#### 2.1 结构组成及工作原理

该机构实质上是曲柄滑块机构的应用<sup>[6-7]</sup>,将曲柄的整周旋转运动,通过两级连杆,转换为滑块的往复直线运动,从而带动冲杆运动,见图2。大飞轮带动曲轴作整周旋转运动,通过一级连杆带动摆杆作定角度的摆动,接着通过二级连杆带动滑块作往复直线运动,由于冲杆是通过螺栓固定在滑块上的,故冲杆随着滑块一起作往复直线运动。

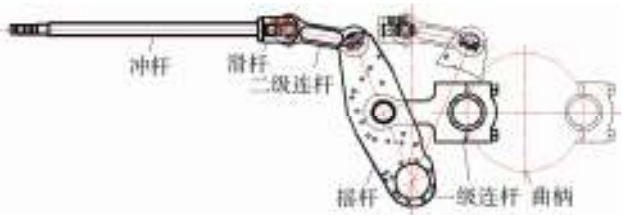


图2 传统拉伸机冲杆驱动机构结构组成

Fig.2 The structures of the traditional bodymaker driving mechanism

### 2.2 滑块受力分析

机构简图见图3,对滑块的受力分析即为对滑块铰链点 $C(C_1)$ 的受力进行分析<sup>[8]</sup>。

当摇杆运动到 $A_1B_1$ 位置时,滑块铰链点 $C_1$ 只受到水平方向的力 $F_1$ ,故垂直于水平方向向上的分力为0;当摇杆运动到 $AB$ 位置时,滑块铰链点受到斜向上的力 $F$ ,其垂直于水平方向向上的分力为 $F_y$ 。

综上所述,滑块受到一个变化的竖直向上的分力。滑块在导轨内往复直线运动,从而带动冲杆对易拉罐进行拉伸。在拉伸机高速运动过程中,由于滑块受到一个竖直向上变化的力,会在导轨内产生振动,甚至卡死,从而影响拉伸出来的易拉罐的质量<sup>[9]</sup>,降低了成品率。

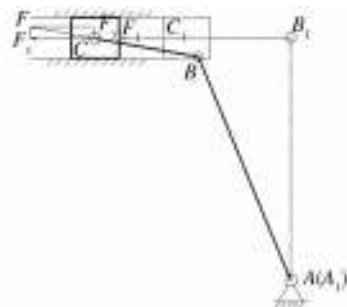


图3 传统拉伸机冲杆驱动机构运动简图

Fig.3 The motion sketch of the traditional bodymaker driving mechanism

### 3 新型拉伸机冲杆行星齿轮式驱动机构

#### 3.1 新型拉伸机冲杆驱动机构设计

由于传统拉伸机冲杆驱动机构会导致冲杆在运动过程中受到竖直向上变化的力,从而影响拉伸出来易拉罐的质量,故新型拉伸机冲杆驱动机构需要冲杆在运动过程中所受到的合力只沿水平方向,由此来提升拉伸出来易拉罐的质量。

#### 3.2 结构组成及工作原理

新型拉伸机冲杆驱动机构实质上是一种特殊的行星齿轮机构<sup>[10-11]</sup>,见图4,该机构使用了一个行星齿轮,其直径是内啮合齿轮的一半。该机构中内啮合齿轮是固定不动的,转臂绕着内啮合齿轮的中心,带动行星齿轮一方面绕着内啮合齿轮公转,另一方面又在转臂的驱动下进行自转运动。由于该机构是特殊的行星齿轮机构,其行星齿轮直径是内

啮合齿轮直径的一半,所以行星齿轮上处于内啮合齿轮节圆上的销轴的运动轨迹,是一条过内啮合齿轮圆心的直线,从而销轴带动连杆推动滑块作直线运动,又因为冲杆是通过螺栓固定在滑块上的,故冲杆随滑块作往复直线运动。

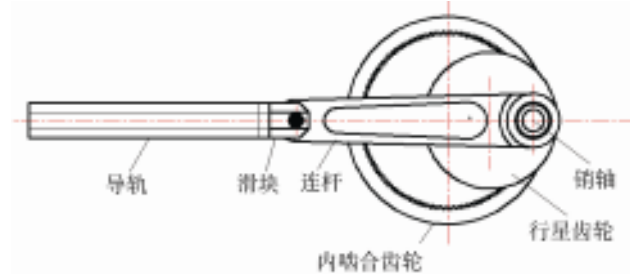


图 4 新型拉伸机冲杆行星齿轮式驱动机构的结构组成  
Fig.4 The structures of the new bodymaker punch planetary gear driving mechanism

### 3.3 行星齿轮节点运动方程

设节点  $A$  为行星齿轮节圆上的任意一点,其最初位置在  $x$  轴上的  $A_0$  点,  $OO_1$  为转臂,

现以转臂回转中心  $O$  为坐标原点,  $OA_1$  为  $x$  轴,建立直角坐标系  $xOy$ , 见图 5。

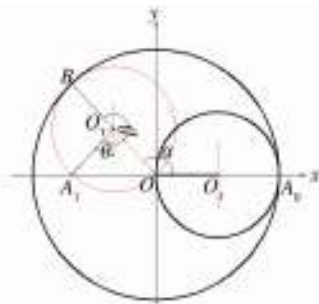


图 5 行星齿轮机构坐标系  
Fig.5 The coordinate system of the planetary gear mechanism

设转臂角速度为  $\omega$ , 经过时间  $t$  后, 行星齿轮在转臂的驱动下运动到图 5 中的虚线位置, 此时, 行星齿轮和内啮合齿轮的啮合点为  $B$ , 而节点  $A$  在自转和公转运动的合成下, 由起始点  $A_0$  运动到  $A_1$  处<sup>[12-13]</sup>。

设行星齿轮公转角度为  $\alpha$ , 自转角度为  $\beta$ , 则  $\alpha = \omega t$ 。

根据齿轮啮合原理<sup>[14-15]</sup>可得  $\widehat{A_0B} = \widehat{A_1B}$ 。设行星齿轮节圆半径为  $\gamma$ , 内啮合齿轮节圆半径为  $2\gamma$ , 则  $\alpha 2\gamma = \beta \gamma$ , 即  $\alpha = \frac{\beta}{2}$ 。

由图 5 可知,  $A_1$  点的  $x$  坐标值  $x_1$  和  $y$  坐标值  $y_1$  分别为:

$$x = \gamma \cos(\pi - \alpha) + \gamma \sin \theta \tag{1}$$

$$y = \gamma \sin(\pi - \alpha) - \gamma \cos \theta \tag{2}$$

又因为  $\pi = \theta + \frac{\pi}{2} - (\pi - \alpha) + 2\pi - \beta$ , 所以  $\theta = \beta - \alpha - \frac{\pi}{2}$ 。

将  $\alpha = \frac{1}{2}\beta$  带入式 (1) 与 (2) 得到:

$$x = \gamma \cos(\pi - \alpha) + \gamma \sin\left(\beta - \alpha - \frac{\pi}{2}\right) \tag{3}$$

$$y = \gamma \sin(\pi - \alpha) - \gamma \cos\left(\beta - \alpha - \frac{\pi}{2}\right) \tag{4}$$

化简后得到  $A$  点的运动方程为:

$$x = -2\gamma \cos \alpha \tag{5}$$

$$y_1 = 0 \tag{6}$$

### 3.4 滑块受力分析

滑块受到冲杆拉伸易拉罐时的阻力  $f$ , 以及滑块与导轨的摩擦阻力  $F_f$ 。由上面内容可知销轴沿  $x$  轴作直线运动, 所以滑块受的主动动力  $F$ , 沿  $x$  轴方向。滑块受力分析见图 6。

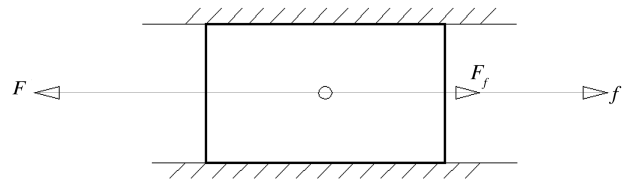


图 6 滑块受力分析  
Fig.6 The stress analysis of the slider

根据力平衡条件, 得:

$$\sum F_x = F - F_f - f \tag{7}$$

$$\sum F = 0 \tag{8}$$

由式(7)和(8)可知, 新型拉伸机冲杆驱动机构中, 由于  $\sum F_y = 0$ , 则在拉伸机高速运动的情况下, 滑块在导轨中不容易振动以及卡死, 从而能提高拉伸机生产易拉罐的质量, 降低废品率, 使得该机构具有更长的使用寿命。

## 4 结语

该新型拉伸机冲杆驱动机构, 巧妙使用行星齿轮机构代替老式的曲柄滑块机构, 成功解决了老式机构在拉伸过程中受到变化的纵向分力的问题, 大大提高了机构的稳定性, 降低了冲杆的振动, 提高

了易拉罐的质量,从而降低了废品率。由于齿轮机构的限制,该机构承受冲击力的能力不是很好,故还需从提高缓冲减震能力上对该机构进行优化。

#### 参考文献:

- [1] 宋卫生,胡晓波.基于曲屈准则的两片罐力学性能分析[J].包装工程,2014,35(13):61—65.  
SONG Wei-sheng, HU Xiao-bo. Analysis of Mechanical Properties of Two-piece Can Based on Buckling Criteria[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 61—65.
- [2] 相秀芬,唐世星.易拉罐的最优设计方案[J].包装工程,2008,29(1):94—96.  
XIANG Xiu-fen, TANG Shi-xing. Optimal Design of Tear-off Tin[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(1): 94—96.
- [3] 韩向东,李志见.铝制易拉罐成型工艺及模具[J].模具工业,2004(4):17—20.  
HAN Xiang-dong, LI Zhi-jian. The Technological Process and Die for Forming the Aluminum Easy-Pulling CANS[J]. Die&Mould Industry, 2004(4): 17—20.
- [4] 叶凯.铝制易拉罐成型技术及应用[J].轻合金加工技术,2014(6):19—27.  
YE Kai. Study and Application of the Forming Technique of Aluminum Beverage Cans[J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2014(6):19—27.
- [5] FOLLE L F, NETTO S E S, SCHAEFFER L. Analysis of the Manufacturing Process of Beverage Cans Using Aluminum Alloy[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 205(1-3):347—352.
- [6] 董伟,李克天,李启定.自动装盒机推料机构设计与仿真[J].包装工程,2015,36(19):89—92.  
DONG Wei, LI Ke-tian, LI Qi-ding. Designing and Simulation of Pusher Mechanism for Automatic Cartoning Machine[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19):89—92.
- [7] ZHENG En-lai, ZHOU Xin-long. Modeling and Simulation of Flexible Slider-crank Mechanism with Clearance for a Closed High Speed Press System[J]. Mechanism and Machine Theory, 2014(74):10—30.
- [8] 孙桓.机械原理[M].北京:高等教育出版社,2006.  
SUN Huan. Theory of Machines and Mechanisms[M]. Beijing:Higher Education Press, 2006.
- [9] REID J D, BIELENBERG R W, COON B A. Indenting, Buckling and Piercing of Aluminum Beverage Cans[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2001, 37(2): 131—144.
- [10] 王旭,付亚平.行星齿轮传动机构的设计[J].煤矿机械,2006,27(2):198—199.  
WANG Xu, FU Ya-ping. Planetary Transmission Organization Design[J]. Coal Mine Machinery, 2006, 27(2):198—199.
- [11] SELCUK E, SUKRU S, LBRAHIM U. Dynamic Analysis of a Slider-Crank Mechanism with Eccentric Connector and Planetary Gears[J]. Mechanism and Machine Theory, 2006, 42(4):393—408.
- [12] 严帅.基于解算法的行星齿轮式直线运动机构的设计与分析[J].机械传动,2014(1):71—73.  
YAN Shuai. Design and Analysis of Planetary Gear Type Liner Motion Mechanism Based on Solution Algorithm[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2014(1):71—73.
- [13] 李陆俊.割刀行星齿轮传动机构的优化设计研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011.  
LI Lu-jun. Research on Optimum Design of Planetary Gear Transmission Mechanism for Cutterbar[M]. Yangling:North West Agriculture and Forestry University, 2011.
- [14] 陈国华.机械机构及应用[M].北京:机械工业出版社,2008.  
CHEN Guo-hua. Mechanical Mechanism and Application[M]. Beijing:Mechanical Industry Press, 2008.
- [15] ZHAO Y, SU D, WEI W, et al. A Meshing Principle for Generating a Cylindrical Gear Using an Archimedes Hob with Two Degrees of Freedom[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2010, 224(C1): 169—181.