

胎圈钢丝工字轮包纸机的设计与试验

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2019.03.013

莫易敏 董文博
江石磊

武汉理工大学
机电工程学院
湖北 武汉 430070

摘要:针对手工包装胎圈钢丝工字轮劳动强度高、生产效率低的问题,设计了国内首台胎圈钢丝工字轮包装机,并对胎圈钢丝工字轮包装机的关键机构进行了分析和设计。包装过程中气相防锈纸易偏移,为此设计了防止包装材料偏移的纠偏机构,从夹纸位置和放纸位置分析纠偏机构,并确定了其结构设计和工作参数。试验结果表明,胎圈钢丝工字轮包装机的包装成功率为98.9%,纸带褶皱率为0.05%,包装速度为30.4个/h;比较同一时段内机器包装和手工包装的数量和质量,一台机器可替代企业10~12名工人。本包装机为企业降低了生产成本,也为胎圈钢丝工字轮包装提供了新的方向。

关键词:胎圈钢丝;工字轮;包纸机;纠偏机构;气相防锈纸

中图分类号: TB482.2; TB486⁺.3 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2019)03-0088-07

引文格式: 莫易敏,董文博,江石磊.胎圈钢丝工字轮包纸机的设计与试验[J].包装学报,2019,11(3):88-94.

0 引言

胎圈钢丝是镀铜钢丝,是轮胎重要的骨架材料之一。从国际市场来看,中国作为世界上最大的轮胎消费、生产和出口的国家,其轮胎行业在未来很长一段时间内将保持相对稳定的发展速度,因此轮胎骨架材料行业也将迎来巨大的市场需求。从近年国内胎圈钢丝行业的发展来看,胎圈钢丝产量呈上升趋势^[1-2]。与此同时,胎圈钢丝的包装质量要求也更加严格。因而制造厂商需不断提高产品质量及其包装质量,以满足轮胎的使用要求^[3]。目前,我国对胎圈钢丝的研究还处于起步阶段,且在国内外有关胎圈钢丝的工字轮防锈纸包装机的研究尚未被检索到。

本课题组对山东大业股份有限公司^[4]进行调研,发现其胎圈钢丝的包装机械化水平较低,且人工包装

胎圈钢丝的工字轮时存在耗时长、产量低等问题^[5-6]。为此,本课题组设计了国内首台自动包装两层气相防锈纸工艺的包纸机,以期对胎圈钢丝的工字轮包装工艺提供参考。

1 总体机构及工作原理

1.1 包装作业对象与包装材料

目前,胎圈钢丝工字轮包装的首道工艺是在缠绕胎圈钢丝的工字轮(如图1所示)上包裹两层气相防锈纸。该工艺能有效避免胎圈钢丝在运输过程中因晃动而与工字形缠绕轴脱离,且在储存过程中还能对胎圈钢丝起防锈作用。气相防锈纸不仅具有防锈功能,还具有易清洗、无毒无害和环保安全的特点^[7-8],如图2所示。

收稿日期:2019-04-02

作者简介:莫易敏(1960-),男,湖南桃源人,武汉理工大学教授,博士生导师,主要从事机电一体化,摩擦学,表面工程学,先进管理与先进制造技术方面的教学与研究, E-mail: moyimmin@whut.edu.com

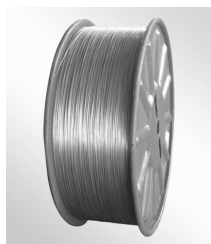


图1 缠绕胎圈钢丝的工字轮

Fig. 1 Winding wheel with bead wire

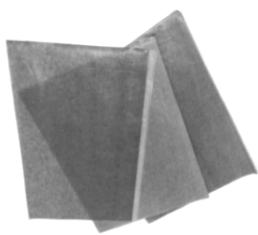


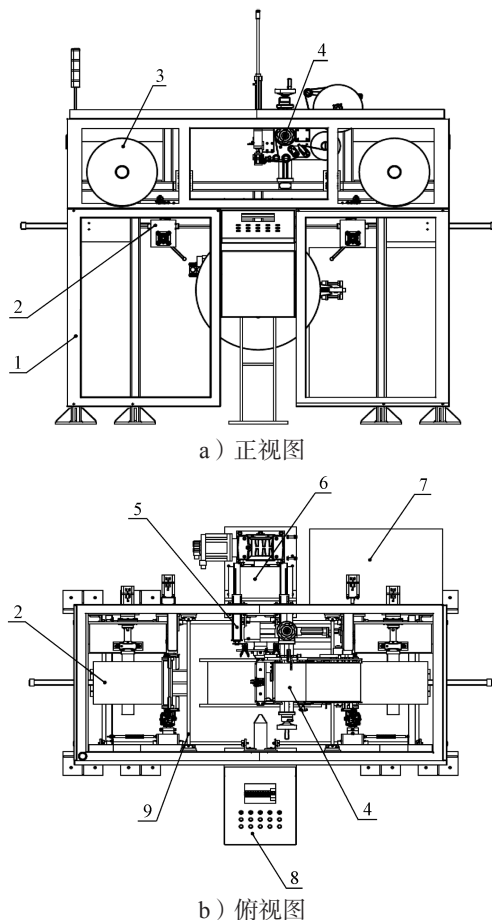
图2 气相防锈纸

Fig. 2 Volatile corrosion inhibitor paper

本课题组设计的胎圈钢丝工字轮包纸机可用于两种不同材质的气相防锈纸。包装过程中,内层纸称为防潮纸,外层纸称为覆膜牛皮纸。

1.2 结构设计

通过功能分析,采用模块化划分,将每个功能的实现都由特定的机构完成^[9-13],如图3所示。



1—整体机架; 2—纠偏机构; 3—供纸机构;
4—封口机构; 5—切断机构; 6—压纸机构;
7—控制装置; 8—操作台; 9—导纸机构

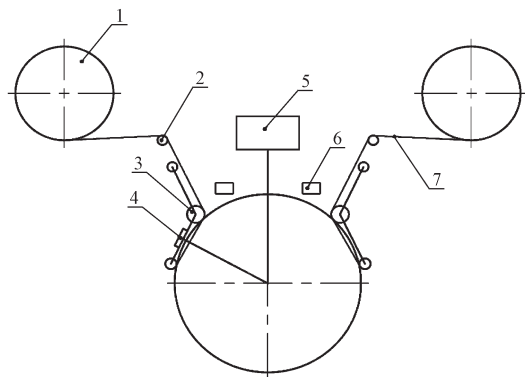
图3 胎圈钢丝工字轮包纸机的结构图

Fig. 3 Overall structure of bead wire wheel wrapping machine

包纸机的主要功能有气相防锈纸纸带供给、纸带传输、纸带纠偏、纸带固定、纸带裁剪和纸带封口。因此,该包纸机由供纸机构、导纸机构、纠偏机构、压纸机构、切断机构、封口机构、整体机架和控制装置等组成。为了提高两层气相防锈纸的包装效率和质量,胎圈钢丝工字轮包纸机有两套供纸机构、导纸机构、纠偏机构和切断机构,且两组机构对称布置,两套机构共用一个压纸机构和封口机构。

1.3 工作原理

胎圈钢丝工字轮包纸机的工作原理如图4所示。



1—供纸机构; 2—导纸机构; 3—纠偏机构; 4—压纸机构;
5—封口机构; 6—切断机构; 7—纸带

图4 胎圈钢丝工字轮包纸机的工作原理图

Fig. 4 Working principle diagram of bead wire spool wheel wrapping machine

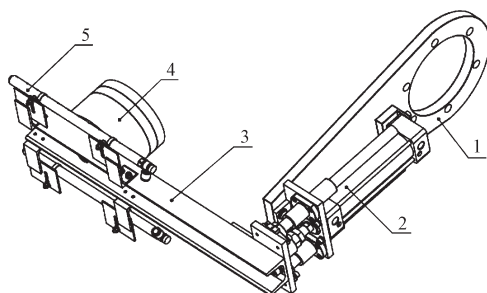
包纸机的作业流程如下: 1) 将两卷不同材质的气相防锈纸依次放置在左右供纸机构上,并将纸卷定位; 2) 运行时,胎圈钢丝工字轮通过传送带被送至压纸机构的工作区,压纸机构定位并顶起胎圈钢丝工字轮; 3) 左侧供纸机构开始输送气相防锈纸,纸带通过导纸机构,再由纠偏机构带动纸带转动,纸带被送至压纸机构的工作区; 4) 压纸机构将纸带定位在胎圈钢丝工字轮表层,胎圈钢丝工字轮边旋转,边被气相防锈纸包装一周; 5) 纠偏机构转动以夹紧纸带,随后切断机构切断纸带,同时封口机构用胶条包裹两个纸头,压纸机构松开并回转到初始位置,完成胎圈钢丝工字轮包裹一层气相防锈纸的包装过程; 6) 右侧供纸机构开始输送另一种气相防锈纸,重复上述包装过程,即完成两层不同气相防锈纸的包装工艺。

2 关键机构分析与设计

2.1 压纸机构

气相防锈纸的起头是包装胎圈钢丝的关键步骤

之一。由于胎圈钢丝的特殊工艺性,不能用传统的胶带或胶水将纸带固定在胎圈钢丝表面。因此,本课题组设计了压纸机构以有效解决纸带起头的问题。压纸机构主要有旋转臂、伸缩气缸、压纸杆、纸头定位装置以及固定纸带装置,如图5所示。其中,固定纸带装置由高密度海绵和浮动接头等组成。高密度海绵可以将纸带紧紧地固定在胎圈钢丝的表层,同时保证纸带的完整性。浮动接头可以实现固定纸带装置的多自由度方向运动,有效避免了由于胎圈钢丝表层的起伏导致纸带定位不准确的缺陷。



1—旋转臂; 2—伸缩气缸; 3—压纸杆;
4—固定纸带装置; 5—纸头定位装置

图5 压纸机构结构图

Fig. 5 Structure of the platen mechanism

压纸机构的工作原理如下: 纠偏机构将纸带送至压纸机构的工作区域, 压纸机构旋转至工作位置, 纸头定位装置将纸带定位在工字轮内缘, 伸缩气缸驱动压纸杆, 固定纸带装置将纸带固定在胎圈钢丝表层。

2.2 纠偏机构

2.2.1 胎圈钢丝工字轮的尺寸

胎圈钢丝工字轮的尺寸如图6所示。法兰直径 A 为760 mm, 排线宽度 B 为280 mm, 总宽度 C 为320 mm, 中心孔直径 D 为54 mm, 驱动孔 E 为32 mm, 工字轮的内圈缠绕胎圈钢丝的层高 F 为 (600 ± 20) mm。

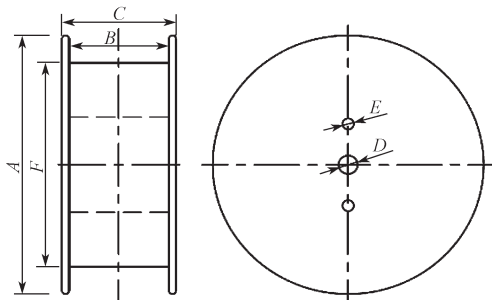
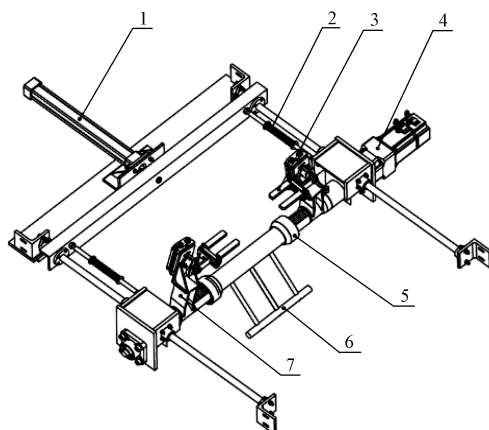


图6 胎圈钢丝工字轮的尺寸图

Fig. 6 Bead wire spool wheel size chart

2.2.2 纠偏机构工作原理

纠偏机构是包装胎圈钢丝工字轮的核心机构。为了有效地保证包装质量, 本课题组对防止包装材料偏移的纠偏机构进行了设计。该机构主要由夹纸带旋转装置、纸带纠偏装置、纠偏推进装置、固定纸带头装置, 以及辅助元件(电控装置和气动手指)组成, 如图7所示。



1—纠偏推进装置; 2—缓冲装置; 3—气动手指; 4—电控装置;
5—纸带纠偏装置; 6—固定纸带头装置; 7—夹纸带旋转装置

图7 纠偏机构结构图

Fig. 7 Correction mechanism structure diagram

纠偏机构的作业流程如下:

1) 气动手指旋转装置旋转至导纸机构下方, 气动手指夹住穿过导纸机构的纸带, 并将纸带送至压纸机构的作业区域, 从而使纸带准确贴合在胎圈钢丝工字轮的轮圈内, 以有效避免气相防锈纸带的偏差;

2) 纠偏推进装置将纸带纠偏装置紧紧贴在胎圈钢丝工字轮的两个轮缘上转动, 以保证纸带准确包装在胎圈钢丝表层, 防止纸带在包装过程发生偏移;

3) 用纸带包装胎圈钢丝工字轮一周后, 固定纸装置将纸带紧紧地压在胎圈钢丝表层上, 同时气动手指旋转装置旋转至导纸机构下方, 气动手指将穿过导纸机构的纸带夹紧, 保证纸带的张力, 切断机构切断纸带后, 可避免纸带松散堆积, 也有利于封口机构将两个纸头紧密贴合;

4) 纠偏推进装置将纸带纠偏装置恢复到初始位置, 纠偏机构的一个作业周期完毕。

2.2.3 纠偏机构的工作位置

纠偏机构在整个运动过程中有2个工作位置: 一个是夹纸位置(如图8a所示), 另一个是放纸位置(如图8b所示)。

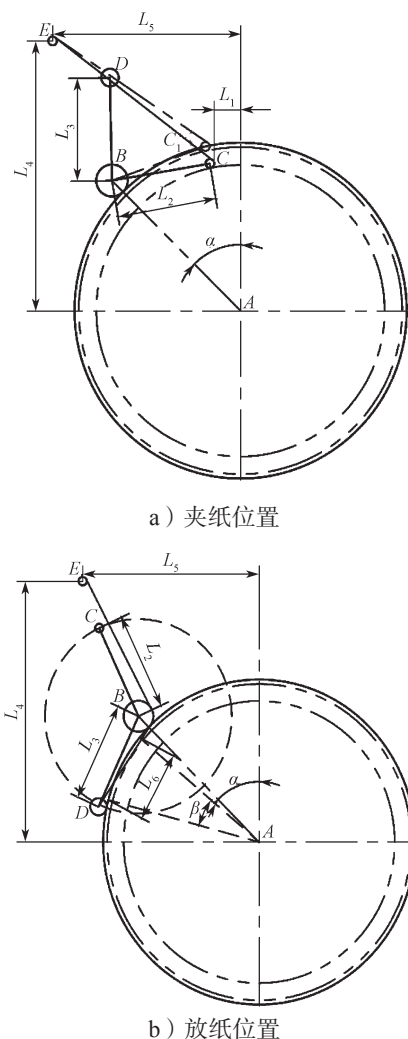


图 8 纠偏机构的工作位置

Fig. 8 Correction mechanism movement position

由于工字轮缠绕胎圈钢丝的高度是在一定的范围内变化, 因此纠偏机构要适应胎圈钢丝工字轮表层高度的变化。图 8 中, 以 A 点为圆心的两个虚线圆表示胎圈钢丝工字轮表层高度的变化范围。

在夹纸位置时, 纸带纠偏装置 B 与胎圈钢丝工字轮贴合 A 之间形成夹角 α , 纸带经导纸机构 E 处, 固定纸带头装置 C 旋转将纸带定位, 同时夹纸带旋转装置 D 旋转至纸带位置将纸带夹住。对夹纸位置进行分析, 工字轮内圈缠绕的胎圈钢丝层高的变化范围为 (300 ± 20) mm, 因此, 固定纸带头装置 C 和夹纸带旋转装置 D 需要满足层高变化的要求, 同时考虑避免固定纸带头装置 C 和封口机构工作位置干涉。纠偏装置的参数需满足以下方程式^[14-15]:

$$L_5 > (L_3 + 360) \sin \alpha, \quad (1)$$

$$L_4 > (L_3 + 360) \cos \alpha, \quad (2)$$

$$L_2 > 360 \sin \alpha - L_3, \quad (3)$$

$$L_1 > 55. \quad (4)$$

式中: L_5 为导纸机构 E 距离工字轮中心 A 的横向距离, mm; L_4 为导纸机构 E 距离工字轮中心 A 的纵向距离, mm; L_3 为夹纸带旋转装置 D 转臂长度, mm; L_2 为固定纸带头装置 C 转臂长度, mm; L_1 为封口机构作业所需区域, mm。

在放纸位置时, 纸带纠偏装置 B 与胎圈钢丝工字轮贴合 A 之间形成夹角, 纸带经导纸机构 E 处, 夹纸带旋转装置 D 由夹住位置带动纸带旋转至放纸位置处, 同时固定纸带头装置 C 旋转至纸带下侧, 不接触纸带。对放纸位置进行分析, 为避免固夹纸带旋转装置 D 和压纸机构工作位置干涉, 需满足以下方程式

$$L_3 > L_6 \approx \frac{2\pi \times 360 \times \beta}{360}. \quad (5)$$

式中: L_6 为压纸机构压纸作业区域, mm; 夹角 β 为压纸机构作业角度, $^\circ$ 。

对纠偏机构进行测试, 可知, 当夹角 $\alpha = 45^\circ$ 时, 纠偏机构的纠偏效果最好。设计时, 考虑机构尺寸的紧凑性及结构的合理性, 由式 (1) ~ (5) 得结构尺寸, 即: $L_1 = 60$ mm, $L_2 = 224$ mm, $L_3 = 233$ mm, $L_4 = 430$ mm, $L_5 = 610$ mm, $L_6 = 190$ mm。

3 性能测试

3.1 试验条件

本文所设计的胎圈钢丝工字轮包纸机 (如图 9 所示) 在山东省诸城市山东大业股份有限公司进行测试试验。试验材料为山东大业股份有限公司在实际生产中所采用的两种不同材质的气相防锈纸, 作业对象为山东大业公司所生产的胎圈钢丝工字轮。



图 9 胎圈钢丝工字轮包纸机实物图

Fig. 9 Physical picture of bead wire wheel wrapping machine

3.2 评价指标

目前,国内外胎圈钢丝工字轮的包装几乎全部是手工包装,也就是说,我国尚未制定胎圈钢丝工字轮包装机械试验方法的标准。包装成功率、纸带褶皱率和包装速度可以从不同方面反映包纸机的工作性能^[16-19]。因此,本课题组选择包装成功率、纸带褶皱率和包装速度作为评价包纸机包装质量和运行性能的指标。

包装成功的标准是指胎圈钢丝工字轮被气相防锈纸顺利包装,且包装后不会出现气相防锈纸褶皱现象,符合企业包装要求。包装成功率计算公式为

$$\eta_1 = \frac{N_1}{N} \quad (6)$$

式中: N_1 为包纸机成功包装胎圈钢丝工字轮的数量,个;

N 为包纸机包装胎圈钢丝工字轮的数量,个。

气相防锈纸包装胎圈钢丝工字轮后,出现纸带褶皱现象,其原因主要是包装过程中纸带发生偏移。纸带褶皱率计算公式为

$$\eta_2 = \frac{N_2}{N} \quad (7)$$

式中, N_2 为包纸机出现纸带褶皱的胎圈钢丝工字轮数量,个。

包装速度是指1 h内包装胎圈钢丝工字轮的数量。包装速度计算公式为

$$V = \frac{N}{T} \quad (8)$$

式中, T 为包纸机的工作时间, h。

3.3 试验结果与分析

胎圈钢丝工字轮包纸机和人工的包装效果如图10所示。从图中可以看出,人工包装的成品密封性不够;机械包装的成品,包装的紧密度更高,更有利于气相防锈纸与胎圈钢丝的接触。可以看出,机器包装比人工包装好。

胎圈钢丝加工制造企业通常使用两种不同材质的气相防锈纸,即内层纸为防潮纸,外层纸为覆膜牛皮纸。因此,本课题组随机选取两卷不同材质的气相防锈纸进行试验,10次试验结果如表1所示。



图10 不同方式包装胎圈钢丝工字轮的效果图

Fig. 10 Effect of different ways of packaging bead wire I-shaped wheel

表1 胎圈钢丝工字轮包纸机试验结果

序号	$\eta_1/\%$	$\eta_2/\%$	$V/(\text{个}\cdot\text{h}^{-1})$
1	99	0	31
2	97	0.1	30
3	100	0.1	30
4	98	0.0	31
5	99	0.1	29
6	100	0.0	31
7	100	0.1	31
8	99	0.0	30
9	98	0.1	30
10	99	0	31
均值	98.9	0.05	30.4

由表1可知,胎圈钢丝工字轮包纸机的包装成功率 η_1 的均值为98.9%,纸带褶皱率 η_2 的均值为0.05%,包装速度 V 的均值为30.4个/h。比较某时段内机器包装和人工包装的数量和质量,一台机器的包装效率相当于10~12名工人的工作效率。可见,本文设计的胎圈钢丝工字轮包纸机能够满足胎圈钢丝制造企业的生产要求。

4 结语

为解决手工包装胎圈钢丝工字轮存在的耗时长、产量低等问题,本课题组设计了国内首台采用气相防

锈纸包装胎圈钢丝工字轮的包纸机。对包纸机的关键机构进行分析, 确定了纠偏机构的结构及工作参数, 并设计了防止包装材料偏移的纠偏机构, 以有效解决包装过程中纸带偏移问题, 提高工作效率。试验结果表明, 本包装机的包装成功率为 98.9%, 纸带褶皱率为 0.05%, 包装速度为 30.4 个/h; 一台机器的工作效率相当于 10~12 名工人的工作效率。可见, 胎圈钢丝工字轮包装机的 3 项指标均符合行业标准要求, 且包装效果和效率优于人工包装, 包装机降低了劳动强度和生产成本。

参考文献:

- [1] 冯 威. 胎圈钢丝行业现状及未来发展趋势分析 [J]. 中国橡胶, 2017, 33(2): 11-13.
FENG Wei. Analysis of the Current Status and Future Development Trend of the Bead Wire Industry[J]. China Rubber, 2017, 33(2): 11-13.
- [2] 肖九梅. 子午线轮胎胎圈钢丝的应用和发展 [J]. 现代橡胶技术, 2013, 39(2): 9-15.
XIAO Jiumei. Application and Development of Radial Tire Bead Wire[J]. Advanced Rubber Technology, 2013, 39(2): 9-15.
- [3] 李文军. 胎圈钢丝的包装方式及轮胎企业使用时的建议 [J]. 中国橡胶, 2010, 26(16): 40-41.
LI Wenjun. Packaging Methods of Bead Wire and Application Direction for Tire Enterprise[J]. China Rubber, 2010, 26(16): 40-41.
- [4] 宫海涛. 山东大业股份有限公司竞争战略研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016.
GONG Haitao. Research on Competitive Strategy of Shandong Daye Limited by Share Ltd[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2016.
- [5] 黄颖为. 包装机械结构与设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007, 1-5.
HUANG Yingwei. Packaging Machinery Structure and Design[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007, 1-5.
- [6] 卢立新. 包装机械概论 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011, 2-15.
LU Lixin. Introduction to Packaging Machinery[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011, 2-15.
- [7] 赵艳东, 郝晓秀, 邢紫玉. 金属包装用气相防锈纸缓蚀性能研究 [J]. 包装工程, 2019, 40(1): 128-132.
ZHAO Yandong, HAO Xiaoxiu, XING Ziyu. Corrosion Inhibition of Gaseous Phase Antirust Paper for Metal Packaging[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(1): 128-132.
- [8] 黄颖为, 曹 磊, 赵 佳, 等. 环保型金属包装用气相防锈纸的研究 [J]. 包装工程, 2010, 31(1): 51-53, 78.
HUANG Yingwei, CAO Lei, ZHAO Jia, et al. Development of a New Type Volatile Corrosion Inhibitor Paper for Metal Packaging[J]. 2010, 31(1): 51-53, 78.
- [9] 胡威林, 吴吉平, 孙 晓, 等. 全自动彩珠筒外装潢纸裹包机的设计 [J]. 包装学报, 2015, 7(3): 36-39.
HU Weilin, WU Jiping, SUN Xiao, et al. The Design of Color Bead Tube External Decoration Paper Wrapping Machine[J]. Packaging Journal, 2015, 7(3): 36-39.
- [10] 尚 欣, 殷国富, 杨佐卫. 可重构卷筒纸包装机模块方案设计 [J]. 机械设计与制造, 2010(1): 3-5.
SHANG Xin, YIN Guofu, YANG Zuowei. Reconfigurable Module Scheme Design of Roll Paper Package Machinery[J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(1): 3-5.
- [11] 王 丹, 孟 悦, 尹伟萌, 等. 可重构模块化空间机械臂的模块库与构型 [J]. 机械设计与研究, 2018, 34(6): 176-181.
WANG Dan, MENG Yue, YIN Weimeng, et al. Study on Module Library and Configuration of Reconfigurable Modular Space Manipulator[J]. Machine Design and Research, 2018, 34(6): 176-181.
- [12] 蒋国生. 新型双足攀爬机器人夹持器模块的改型设计 [J]. 湖南农机, 2013, 40(5): 36-39.
JIANG Guosheng. New Feet Climbing Robot Gripper Module Retrofit Design[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2013, 40(5): 36-39.
- [13] 李梦奇, 谢志江. 基于市场供应的包装机械模块化设计 [J]. 包装工程, 2008, 29(9): 119-122.
LI Mengqi, XIE Zhijiang. Modular Design of Packaging Machinery Based on Market Supply[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(9): 119-122.
- [14] 孙 桓, 陈作模, 葛文杰. 机械原理 [M]. 8 版. 北京: 高等教育出版社, 2013: 109-139.
SUN Huan, CHEN Zuomo, GE Wenjie. Mechanical Principle[M]. 8th ed. Beijing: Higher Education Press, 2013: 109-139.
- [15] 濮良贵, 陈国定, 吴立言. 机械设计 [M]. 9 版. 北京: 高等教育出版社, 2013: 3-45.
PU Lianggui, CHEN Guoding, WU Liyan. Mechanical Design[M]. 9th ed. Beijing: Higher Education Press, 2013: 3-45.
- [16] 陈 魁. 试验设计与分析 [M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2005: 94-178.

- CHEN Kui. Experimental Design and Analysis[M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 94–178.
- [17] 王金峰, 高观保, 翁武雄, 等. 水田侧深施肥装置关键部件设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(6): 92–104.
- WANG Jinfeng, GAO Guanbao, WENG Wuxiong, et al. Design and Experiment of Key Components of Side Deep Fertilization Device for Paddy Field[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(6): 92–104.
- [18] 郑兆启, 马季威, 杜志龙, 等. 负压式生鲜食品包装机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 344–351.
- ZHENG Zhaoqi, MA Jiwei, DU Zhilong, et al. Design and Experiment on Fresh Food Packaging Machine with Negative Pressure[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1): 344–351.
- [19] 辜松, 张青, 李恺, 等. 盆花包装机开袋机构设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(24): 38–46.
- GU Song, ZHANG Qing, LI Kai, et al. Design and Experiment on Opening Bag Mechanism of Sleeving Machine for Potted Flowers[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(24): 38–46.
- (责任编辑: 邓彬)

Design and Tests of Bead Wire I-shaped Wheel Paper-Wrapping Facility

MO Yimin, DONG Wenbo, JIANG Shilei

(School of Mechanical and Electronic Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Aimed at the problems of high labor intensity and low production efficiency of hand-wrapped bead wire spool, the first bead wire spooler was designed and the key mechanism of bead wire spool packaging machine was analyzed. As the volatile corrosion inhibitor paper tended to shift during the packaging process, a correction mechanism for preventing the deviation of the packaging material was designed. The correction mechanism was analyzed from the paper clamping position and the paper feeding position, and the structural design and working parameters were determined. The test results showed that the packaging success rate of the bead wire spooler was 98.9%, the paper wrinkle rate was 0.05%, and the packaging speed was 30.4/h. Comparing the quantity and quality of machine packaging and manual packaging within the same period, the machine could replace 10 to 12 workers owing to its productivity. This packaging machine reduced the cost for the enterprise and also provided a new direction for the bead wire spool packaging.

Keywords: bead wire; I-shaped wheel; paper wrapping machine; correction mechanism; volatile corrosion inhibitor paper