

三列中封全自动制袋机拉膜跑偏的有限元分析

彭杭¹, 文晟², 张铁民², 许美强¹, 彭泽光¹

(1. 广东中包机械有限公司, 潮州 515638; 2. 华南农业大学, 广州 510642)

摘要: **目的** 研究三列中封全自动制袋机牵引装置对膜料偏移的影响规律。**方法** 基于有限元软件 Ansys 对膜料跑偏问题进行数值分析, 通过对牵引装置的显式动力学分析, 确定了膜料在上、下胶辊的摩擦驱动力作用下的应力、变形及位移。**结果** 在传送过程中, 上、下胶辊的轴线不平行以及膜料与胶辊接触面摩擦因数的不均匀都会引起膜料的偏移, 且膜料向上、下胶辊轴线间隙大的一侧或摩擦因数小的位置偏移。**结论** 上、下胶辊的轴线不平行是引起膜料偏移的主要原因, 当轴线两端的高度差 $h=0.5\text{ mm}$ 时, 在膜料传输的初始时刻就产生了最大约 2 mm 的偏移, 而且偏移量会随着时间呈非线性增大。

关键词: 三列中封; 制袋机; 拉模跑偏; 有限元分析

中图分类号: TB486⁺.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)05-0041-05

Finite Element Analysis of Film Deviation on the Three-row-middle-envelope Bag Making Machine

PENG Hang¹, WEN Sheng², ZHANG Tie-min², XU Mei-qiang¹, PENG Ze-guang¹

(1. Guangdong Zhongbao Machine Co., Ltd., Chaozhou 515638;

2. South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

ABSTRACT: **Objective** To investigate the deviation of the film drawn by rubber rollers in automatic bag making machine. **Methods** The stress, deformation and displacement of the film were calculated based on the explicit dynamic analysis of the towing apparatus using the FEM method. **Results** The results showed that both the nonparallelism of the rollers and the inhomogeneity of the friction coefficients between the film and roller could cause the film deviation. The film skewed to the side of larger gap between the rollers, or to the side of smaller friction coefficient. **Conclusion** In comparison, the nonparallelism of the rollers was more important to the film deviation. When the height difference between the ends of the central axis h was 0.5 mm , the film deviation could reach almost 2 mm at the initial moment, and the deviation increased nonlinearly as the time increased.

KEY WORDS: three-row-middle-envelope; bag making machine; film deviation; finite element analysis

中封全自动制袋机作为软包装制袋设备的重要组成部分,是食品、化工、医药等诸多行业包装工艺中的一项关键设备。近年来,随着这些行业的发展,产品包装的需求量不断增加,直接带动了包装行业的快速发展,使得国内制袋机行业在较长时间内维持着迅

猛增长的趋势,这也导致用户对制袋机生产效率的要求不断提高^[1-2]。目前国产的中封全自动制袋机的最高制袋速度一般在每分钟 $120\sim 150$ 个,与国外同类产品相比尚有一定差距^[3-5],因此如何在保证制袋精度条件下更有效地提高生产效率,是目前包装机械

收稿日期: 2013-12-18

基金项目: 广东省教育部产学研结合项目(2012B091000006)

作者简介: 彭杭(1988—),男,广东汕头人,广东中包机械有限公司工程师,主要从事食品包装机械设计及生产工作。

通讯作者: 张铁民(1961—),男,华南农业大学教授、博士生导师,主要从事智能控制、微机电系统控制及自动化研究。

行业面临的一个重要问题。提高制袋机生产效率的一条有效途径,是在保障设备运转速度的前提条件下向自动控制的多列机发展^[6-7],但随着供膜速度及幅宽的增大,容易产生送膜过程的跑偏问题^[8-10]。跑偏是指膜料在牵引输送过程中因受某些因素影响,不能保持直线运行而使其幅宽中心线偏离基准中心线的现象。膜料跑偏将直接影响制袋的成品率,为缩短辅助时间,提高制袋机生产效率并降低废品率,需对引起膜料跑偏的主要原因进行探讨。文中基于有限元软件 Ansys,对某厂自主研发的三列中封全自动制袋机拉膜跑偏问题进行数值计算,分析了膜料跑偏的机械影响因素,并着重研究了上压紧胶辊与下牵引胶辊的轴线不平行、膜料与胶辊摩擦因数的改变等因素,对跑偏过程中偏移距离及偏移角的影响规律。

1 三列中封全自动制袋机的结构

某厂项目组研发的新一代三列中封全自动制袋机的结构形式见图 1,放置在送料位置的卷筒膜料 1 经牵引装置 2,按程序送至中封第 1 次预成形部件 3,并通过割刀装置 4 把膜料割成三列。三列膜料通过中封第 2 次预成形部件 5、三列中封成形部件 6 及立体成形部件 7 后,完成中封成形工艺。完成中封成形工艺的膜料再继续由牵引装置输送至压边部件 8 及纵横热封装置 9,完成立体压边及横向热封。最后横向热封后的膜料经冲孔器装置及切刀装置完成袋子的冲孔及分切。显然对于三列中封全自动制袋机而言,牵引装置能否有效避免膜料跑偏,是整机能否顺

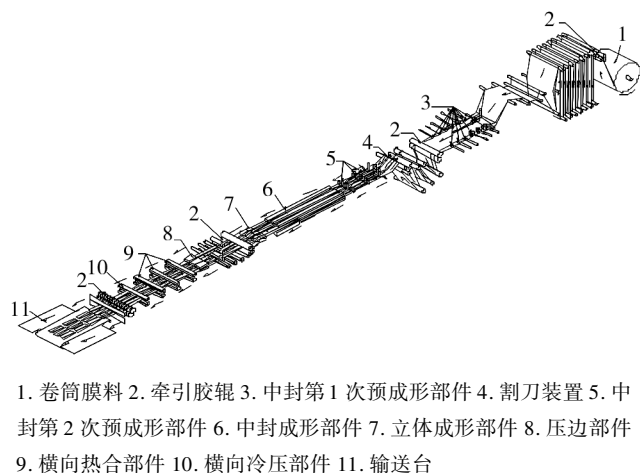
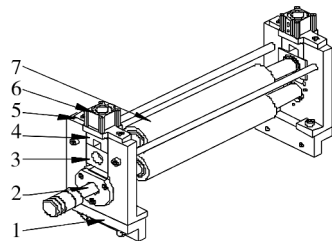


图 1 三列中封全自动制袋机结构

Fig. 1 Structure diagram of the three-row-middle-envelop bag making machine

利完成拉袋、制袋及控制袋长稳定的一个关键因素。

三列中封全自动制袋机的牵引装置结构见图 2。上压紧胶辊 7 与下牵引胶辊 2 通过轴承与胶辊轴承座 3 联接,并安装于胶辊座 1 的 U 型槽内,左右两胶辊压紧气缸座 5 上各安装一胶辊压紧气缸 6。胶辊压紧气缸的轴心末端安装有联接压紧块 4,联接压紧块与胶辊轴承座联接,通过胶辊压紧气缸轴心的伸缩,实现上压紧胶辊与下牵引胶辊的压紧和脱离。控制系统控制伺服电机的转动,电机通过同步带驱动下牵引胶辊转动,利用上、下胶辊与膜料的摩擦来实现膜料的牵引和输送。由于牵引装置主要通过胶辊摩擦完成滚动拉膜,因此当上、下胶辊在夹紧过程中,因轴线不平行而引起两端的压紧力不均匀,以及胶辊长时间工作磨损后,在拉膜过程中均易产生跑偏。



1. 胶辊座 2. 牵引胶辊 3. 胶辊轴承座 4. 联接压紧块
5. 胶辊压紧气缸座 6. 胶辊压紧气缸 7. 上压紧胶辊

图 2 牵引装置结构

Fig. 2 Structure diagram of the pulling device

2 牵引装置的有限元分析

2.1 有限元模型

中封全自动制袋机上采用的膜料主要是塑料薄膜与铝箔等薄型材料构成的复合膜,在摩擦牵引力作用下较容易产生塑性变形,因此文中采用 Ansys 的显式动力学分析模块^[11-12],对膜料在上、下胶辊摩擦接触下的动力学问题进行数值模拟。为使建立的有限元模型能准确反应膜料的位移及变形情况,选择单元库中的显示实体单元 Solid 164,并建立牵引装置三维有限元网格模型,见图 3。其中上、下胶辊的网格单元尺寸设为 2 mm,其轴芯部分采用 45# 钢,表面覆以厚度为 10 mm 的丁晴橡胶;膜料的整体尺寸为 500 mm×200 mm×1 mm(长×宽×厚),网格单元尺寸设为 0.5 mm。上胶辊的长度 $l_1 = 538$ mm,下胶辊的长度 $l_2 = 711$ mm,相应的材料参数见表 1。

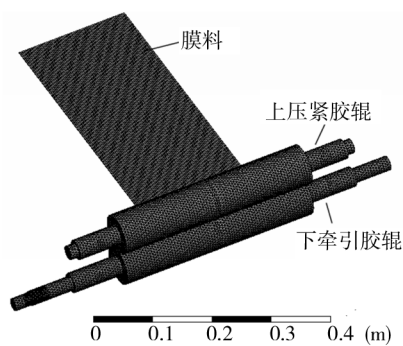


图 3 三有限元网格模型

Fig.3 Finite element mesh model

Tab.1 Material constants of model components				
参数名称	密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 /MPa	泊松比	摩擦 因数
钢	7850	2.1×10^5	0.30	
橡胶	1000	3.7	0.49	0.7
膜料	2700	7.1×10^4	0.33	0.7

在计算的初始时刻,膜料的前端夹持在上、下胶辊之间,并设置下牵引胶辊旋转的初始角速度为 4.5 rad/s 。通过对膜料在上、下胶辊摩擦驱动作用下的动力学问题进行数值计算,以实现对膜料的应力、位移及跑偏现象的数值模拟。

2.2 偏移距离与偏转角

为方便对拉膜跑偏问题进行描述,引入 2 个变量,即中心线偏移距离 ζ 及偏移角 α ,见图 4。其中图 4a 为膜料牵引传输的初始时刻,图 4b 为膜料经一段时间的牵引传动后产生偏移的示意图。设膜料顶部两端点 P_1, P_2 偏移后,相对于初始位置的坐标分别为

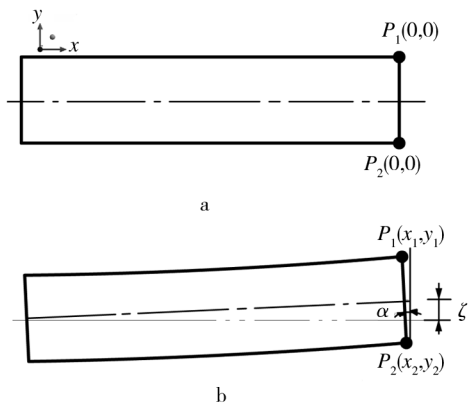


图 4 膜料的偏移距离和偏移角

Fig.4 Deviation distance and deviation angle

(x_1, y_1) 及 (x_2, y_2) , 则偏移距离 ζ 及偏移角 α 可分别表示为:

$$\zeta = \frac{y_1 + y_2}{2}$$
(1)

$$\tan \alpha = \frac{x_2 - x_1}{l + y_2 - y_1}$$
(2)

式中: l 为膜料的宽度。

3 数值结果与讨论

上、下胶辊轴线不平行以及胶辊表面磨损后,与膜料接触部分摩擦因数的改变,都将使得胶辊两端产生的驱动力不等,而膜料左右两边牵引力的不同必然导致拉膜跑偏。

3.1 上、下胶辊轴线不平行的影响规律

导致压紧胶辊和牵引胶辊出现轴线不平行的主要原因有:输送到胶辊两端气缸内的气压因漏气等原因,造成压力不一致,气压大小的不一致导致压紧胶辊两端的伸缩程度不一样,从而造成了压紧胶辊与牵引胶辊的轴线产生夹角;上、下胶辊以及胶辊轴承座因制造及装配误差,导致安装在胶辊座的 U 型槽内出现轴线不平行。令 $h = h_1 - h_2$ 表示上压紧胶辊轴线两端到下牵引胶辊轴线的高度差,见图 5。

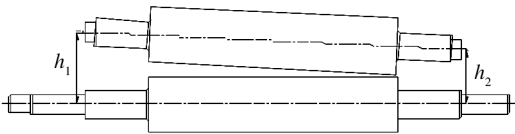


图 5 上、下胶辊轴线不平行

Fig.5 Nonparallel axes of rubber rollers

上、下胶辊两端高度差 $h = 0.5 \text{ mm}$ 时,膜料在某一时刻的应力云图见图 6。从图 6 中可看出,膜料在胶辊的摩擦驱动作用下产生了拉应力,且上、下胶辊

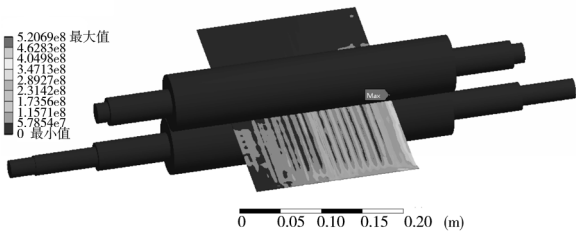


图 6 显式动力学应力云图 ($h = 0.5 \text{ mm}$)

Fig.6 Stress diagram based on explicit dynamics

间隙越小的区域膜料的拉应力越大。

利用 Ansys 得到膜料的偏移距离 ζ 和偏移角 α 与时间的关系曲线,见图7。从图7中可知,当上压紧胶辊与下牵引胶辊的轴线不平行时,膜料在传送过程中将产生偏移,且向间隙较大的方向偏移;膜料的偏移距离 ζ 随着牵引时间的增大而呈非线性增大;偏移角 α 随时间的增大呈线性增大;轴线两端的高度差 h 越大,则偏移距离 ζ 及偏移角 α 越大。

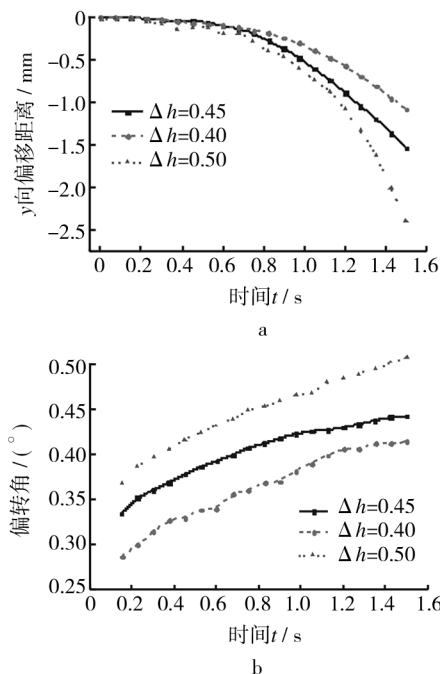


图7 偏移距离、偏移角与时间的关系曲线($h=0.5$ mm)

Fig. 7 Relationship curves among Deviation distance, deviation angle with time

国外科研工作者^[13-15]对使用胶辊驱动的打印机进纸系统进行了研究,结果表明,处于夹紧状态的胶辊表面速度 v_{roller} 略大于其圆周速度 r ,即^[15]:

$$v_{\text{roller}} = r\omega(1 + \varepsilon) \quad (3)$$

式中: r 为胶辊半径; ε 为胶辊表面橡胶层的平均应变,其表达式为:

$$\varepsilon = \sigma \frac{P/h}{Er} \quad (4)$$

式中: P/h 为单位长度上所受载荷; E 为弹性模量; σ 为常数。

打印机的进纸速度可表示为:

$$v_{\text{memb}} = v_{\text{roller}} - v_r = r\omega(1 + \varepsilon) - v_r \quad (5)$$

式中: v_r 为胶辊与纸张间的相对滑动速度。 v_r 与摩擦力 F 之间的表达式为:

$$F = \mu P \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \frac{V_r}{C} \quad (6)$$

式中: μ 为摩擦因数; C 为需实验确定的相对滑动系数。

由于打印机的进纸方式与文中胶辊对膜料的牵引拉膜有相似性,因此可借鉴式(4)~(6)对膜料的跑偏进行分析。为便于分析膜料在上、下胶辊间的偏移现象,将膜料沿中线分成左右2部分,见图8。当上压紧胶辊与下牵引胶辊轴线不平行时,将导致两边的载荷不等($P_1 < P_2$)。由式(4)可知 ε 与载荷 P 成正比,显然 $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$,而且当胶辊与膜料间的载荷越大,越不容易产生相对滑动,因此相对滑动速度 $v_{r1} > v_{r2}$ 。利用式(5)可知 $v_{\text{memb1}} < v_{\text{memb2}}$,即膜料将向间隙较大的一侧偏斜。

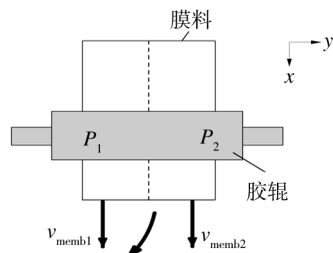


图8 膜料跑偏示意($P_1 < P_2$)

Fig. 8 Film skew direction

3.2 摩擦因数的影响

为研究摩擦因数对膜料跑偏的影响,依然将膜料沿中线分成左右2部分,并设此时上、下胶辊轴线平行,但膜料左右两部分与上下胶辊的摩擦因数 μ 不同,即 $\Delta h = 0$ 且 $\mu_1 > \mu_2$,见图9。

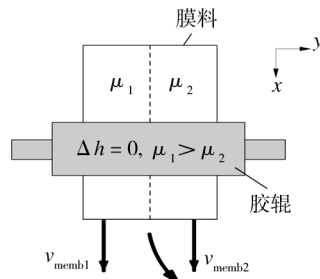


图9 膜料跑偏示意($\mu_1 > \mu_2$)

Fig. 9 Film skew direction ($\mu_1 > \mu_2$)

显然膜料与胶辊接触部分的摩擦因数越大,则相对滑动越少,因此使得相对滑动速度 v_r 也越小,即 $v_{r1} < v_{r2}$ 。由式(5)可知,此时 $v_{\text{memb1}} > v_{\text{memb2}}$,即膜料将

向摩擦因数较小的那部分偏移。

膜料左右两部分与胶辊接触部分摩擦因数不相等($\mu_1 \neq \mu_2$)时,膜料在某一时刻的应力云图见图10。膜料左右两部分与胶辊摩擦因数不相等时,偏移距离 ζ 和偏转角 α 与时间的关系曲线见图11。从图11可知,偏移距离和偏转角随时间的增大以及摩擦因数 μ 的减小而呈现出递增关系。

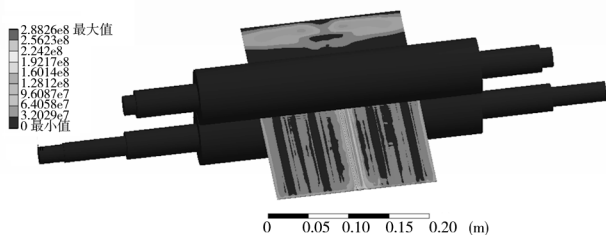


图10 显式动力学应力云图($h=0, \mu_1 \neq \mu_2$)

Fig. 10 Stress diagram based on explicit dynamics

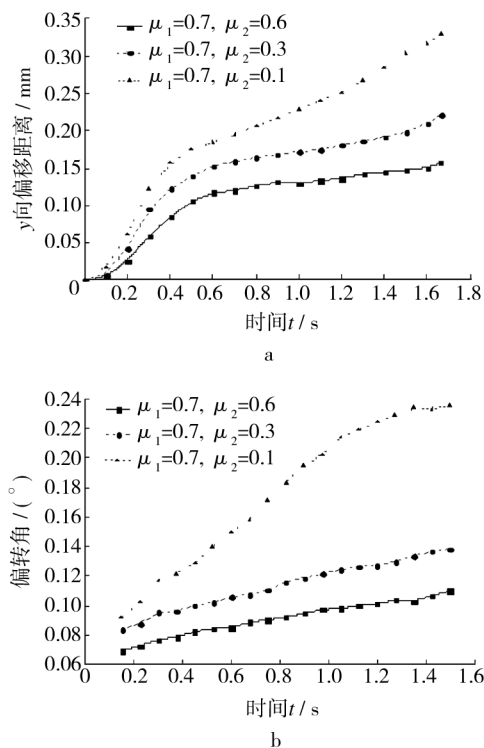


图11 偏移距离及偏移角与时间的关系曲线
($h=0, \mu_1 \neq \mu_2$)

Fig. 11 Relationship curves among Deviation distance, deviation angle and time

4 结语

1) 研究表明,对于三列中封全自动制袋机而言,

上、下胶辊的轴线不平行是引起膜料跑偏的一个重要原因。数值结果显示,在传送过程中膜料向上、下胶辊轴线间隙大的一侧偏移,偏移量随着时间呈非线性增大,而且轴线两端的高度差 h 越大则偏移距离 ζ 和偏转角 α 越大。在设备的日常维护中,技术人员需定期检查并实时调整,保证上压紧胶辊两端的气压一致。若遇到膜料跑偏的问题,可以优先考虑上、下胶辊轴线的不平行因素。

2) 胶辊长期运行后产生的辊面老化磨损,也是生产中出现膜料跑偏的另一原因。数值结果显示,当胶辊表面因磨损而导致与膜料接触部分的摩擦因数不等时,膜料向摩擦因数较小的那部分偏移。在实际生产中需保证胶辊的工况良好,同时为延缓胶辊表面的磨损速度,可考虑将胶辊表面的丁晴橡胶更换为其他耐磨材料。

参考文献:

- [1] 王琼琦,陈安军. 高速制袋机关键机构运动学分析[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 82—86.
WANG Qiong-qi, CHEN An-jun. Kinematic Analysis of Critical Mechanism of High Speed Bag Machine[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 82—86.
- [2] 韩凌,陆荣鑑. 制袋机的检测与控制技术发展概述[J]. 包装工程, 2010, 31(11): 135—139.
HAN Ling, LU Rong-jian. Profile of Bag-making Machine Detection and Development of Control Technique[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(11): 135—139.
- [3] 彭泽光,彭杭,辛少荣,等. 全自动多功能多制式制袋机的创新与研究[J]. 中国包装工业, 2012(2): 58—59.
PENG Ze-guang, PENG Hang, XIN Shao-rong, et al. Fully Automatic Multi-function More Innovation and Research[J]. China Packaging Industry, 2012(2): 58—59.
- [4] 翟阳,曹亦轩,肖永松. 热封切制袋机中多通道温控系统的设计[J]. 包装工程, 2013, 34(17): 68—71.
ZHAI Yang, CAO Yi-xuan, XIAO Yong-song. Design of Multi-channel Temperature Control System for Heat Sealing and Cutting Bag Machine[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(17): 68—71.
- [5] 郭祖卿. 国产制袋机与进口制袋机的比较[J]. 中国包装工业, 2005(7): 50—51.
GUO Zu-qing. Chinese Bag-maker vs Bag-maker in Foreign Countries[J]. China Packaging Industry, 2005(7): 50—51.
- [6] MAHALIK N P, NAMBIAR A N. Trends in Food Packaging and Manufacturing Systems and Technology[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(3): 117—128.

(下转第72页)

- 2013,116:532—540.
- [7] 李志忠,虞龙,王志强. 新型半桥串并联谐振高频感应加热封口机电源[J]. 电力电子技术,2008,42(5):42—44.
LI Zhi-zhong, YU Long, WANG Zhi-qiang. New Half-bridge Series-parallel Resonant Power Supply for High Frequency Induction Heating Sealing Equipment[J]. Power Electronics, 2008, 42(5): 42—44.
- [8] 刘晓路,陈英武,荆显荣,等. 优化拉丁方试验设计方法及其应用[J]. 国防科技大学学报,2011,33(5):73—77.
LIU Xiao-lu, CHEN Ying-wu, JING Xian-rong, et al. Optimized Latin Hypercube Sampling Method and Its Application[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2011, 33(5): 73—77.
- [9] FABIAN F, JOHANN S. Decomposed Surrogate Based Optimization of Carbon-fiber Bicycle Frames Using Optimum Latin Hypercubes for Constrained Design Spaces[J]. Computers & Structures, 2013, 119: 48—59.
- [10] 李文钊,高敏,刘俊涛. 基于自适应遗传算法的弹药单元包装的优化设计[J]. 包装工程,2008,29(2):67—69.
LI Wen-zhao, GAO Min, LIU Jun-tao. Optimized Design of Ammunition Unit Packaging Based on Self-adaptive Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(2): 67—69.
- [11] MENG Xiang-zhong, SHI Xiu-hua, DU Xiang-dang. Application of MIGA to Multi-objective Optimization in Active Vibration Control[J]. Modern Applied Science, 2007, 1(2): 24—26.
- [12] ZHANG Yan, XIE Ji-long. Truss Structural Optimization Based on NLPQL and MIGA[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 365—366: 150—154.
- [13] GB 150.2—2011, 钢制压力容器[S].
GB 150.2—2011, Steel Pressure Vessels[S].
- [14] 王东衡,石秀东. 基于综合策略的金属簧片阻尼隔振器参数优化[J]. 机械设计,2011,28(7):34—38.
WANG Dong-heng, SHI Xiu-dong. Parameter Optimization of Metal Plate Spring Damping Isolator Based on Comprehensive Strategy[J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(7): 34—38.
- [15] 李俊承,张思才,张方晓. 基于响应面法的刀口金属密封结构优化设计[J]. 包装工程,2012,33(5):32—35.
LIU Jun-cheng, ZHANG Si-cai, ZHANG Fang-xiao. Optimization Design of Knife-edge Metals Sealing Structure Based on Response Surface Method[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 32—35.

(上接第45页)

- [7] 陶慧君,盖作有. 塑料制袋机的科学发展及技术创新[J]. 饮料工业,2010,13(10):42—45.
TAO Hui-jun, GAI Zuo-you. Scientific Development and Technological Innovation of Plastic Bag Making Machines[J]. The Beverage Industry, 2010, 13(10): 42—45.
- [8] 姜久红,朱若燕,杨明涛. 多列立式袋成形包装机的自动纠偏控制[J]. 包装工程,2004,25(4):187—188.
JIANG Jiu-hong, ZHU Ruo-yan, YANG Ming-tao. Intelligent Deviation Rectifying Control of the Multi-row-Vertical-forming Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 187—188.
- [9] PETRONI A, PANCIROLI B. Innovation As a Determinant of Suppliers' Roles and Performances: An Empirical Study in the Food Machinery Industry[J]. European Journal of Purchasing & Supply Management, 2002, 8(3): 135—149.
- [10] 戴远敬. 立式袋成形包装机中常用拉膜机构分析[J]. 包装与食品机械,1999,17(1):7—9.
DAI Yuan-jing. Analysis on the Conventional Film-drawing Mechanisms in Vertical Bag-forming Packaging Machine[J]. Packaging and Food Machinery, 1999, 17(1): 7—9.
- [11] 尚锐,何云芳,张祯,等. 基于 ANSYS 的立式袋包装机有限元分析[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版),2012,32(6):397—400.
- SHANG Rui, HE Yun-fang, ZHANG Zhen, et al. Finite Element Analysis of Vertical Bag Packing Machine Based on ANSYS[J]. Journal of Liaoning University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 32(6): 397—400.
- [12] 张改梅,仵季红,郭福宾. 基于 ANSYS /LS-DYNA 的易拉罐跌落研究[J]. 包装工程,2011,32(5):4—6.
ZHANG Gai-mei, WU Ji-hong, GUO Fu-bin. Drop Analysis of Pop Can Based on ANSYS /LS-DYNA[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 4—6.
- [13] OKAMOTO N, OHTANI K, MISAWA K, et al. Study on Velocity Characteristics and Mechanics of Paper Feeding with Rubber-covered Roller Drive[J]. Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, 2001, 67(654): 475—482.
- [14] TAMAMOTO J, YOSHIDA K. A Paper-transport Mechanism Using Tapered Rubber Rollers to Generate Cross-directional Tractive Force[J]. Microsystem Technologies, 2003, 9(8): 567—572.
- [15] YANABE S, ENDO M, NAKANISHI M. Wrinkle Occurring Process of a Paper Fed to a Fixing Roller Unit in Printers and Copiers[J]. Journal of Environment and Engineering, 2011, 6(1): 28—40.