

非矩形蜂窝纸板包边工艺分析与实现

李超, 姚齐水, 余江鸿, 汤迎红
(湖南工业大学, 株洲 412000)

摘要: **目的** 研究非矩形蜂窝纸板包边工艺与实现方案。**方法** 采用文献调查法和比较研究法, 在分析传统蜂窝纸板包边工艺的基础上, 针对特定纸板和生产要求, 将包边全过程细分至工步。提炼出包边各工步的转角及行程数据, 制定运动工况表和工艺路线, 设计工艺实现方案。**结果** 将包边过程分为6个工步, 由步进电机实现包边纸的间歇进给, 采用PLC控制步进电机和纸板的旋转角度和方向, 液压系统控制纸板运动的行程, 由包边机构完成对纸板的包边。**结论** 该工艺及实现方案能提高非矩形蜂窝纸板的包边效率, 适用面广, 适当改进后可用于不同厚度不同形状的蜂窝纸板, 可为包边工艺自动化的实现提供参考。

关键词: 非矩形蜂窝纸板; 包边; 工艺; PLC; 液压系统

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0071-05

Hemming Process Analysis and Realization of Non-rectangular Honeycomb Paperboard

LI Chao, YAO Qi-shui, YU Jiang-hong, TANG Ying-hong
(Hunan University of Technology, Zhuzhou 412000, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the program and hemming process of non-rectangular honeycomb paperboard. **Methods** Aiming at designated paperboard and its production requirements, the whole process of hemming was classified into work steps on the basis of analyzing the traditional hemming process by the methods of literature search and comparison research. From the classification, angle and stroke data of each step were obtained. Motion working conditions and process route were established and thereby the program was designed. **Results** Six work steps were classified. Interval feeding of the hemming board was conducted by stepping motor, with a PLC controlling the rotation angle and direction of the motor and paperboard, and a hydraulic system controlling the motion route of the paperboard. Then, the paperboard was hemmed by the hemming machine. **Conclusion** The program and process could enhance the hemming efficiency of the non-rectangular honeycomb paperboard. It could be widely used for honeycomb paperboard of various shapes and thickness if appropriately improved. Besides, the research will provide reference for automation of the hemming process.

KEY WORDS: non-rectangular honeycomb paperboard; hemming; process; PLC; hydraulic system

蜂窝纸板是由高强度的牛皮纸和高强度的蜂窝纸芯复合而成的新型绿色环保型缓冲包装材料^[1], 具有结构新颖、性能优越、承重大、成本低、强度高、弹性

好等特点, 同时防震、防潮、隔热性能都很突出^[2], 可消除EPS泡沫带来的白色污染, 能保护环境, 在包装领域得到广泛的推广和应用^[3]。学界对蜂窝纸板相关的

收稿日期: 2014-03-04

基金项目: 湖南省科技计划重点项目(2014GK4014); 湖南省高等学校科学研究项目(12C0065)

作者简介: 李超(1991—), 男, 湖南益阳人, 湖南工业大学硕士生, 主攻机械传动关键零部件设计与优化。

通讯作者: 汤迎红(1973—), 男, 湖南株洲人, 硕士, 湖南工业大学讲师, 主要研究方向为包装机械设计及理论、液压传动与控制。

研究应用较多,如王军^[4]基于相对湿度对蜂窝纸板面内平台应力进行了分析,朱大鹏^[5]建立了蜂窝纸板动态性能模型和相关参数的识别,Wang^[6]通过相关实验研究了蜂窝纸板缓冲性能,E^[7]从相对湿度的角度探讨了蜂窝纸板能量吸收性能,Zhang^[8]对蜂窝纸板填充聚氨酯从而得到了其动态能量吸收性能,Wang^[9]建立了7种规则胞形结构蜂窝材料弹性模量和屈服强度与相对密度之间的关系函数,张幸^[10]对蜂窝纸板在摩托车整车包装上的应用进行了研究,叶柏彰^[11]对蜂窝纸板在长虹家电产品包装上的应用进行了探讨,齐建虹^[12]研发了基于ARM9的蜂窝纸板包边机控制系统,曾台英^[13]设计了一种新型的蜂窝纸托盘包边设备。然而我国传统的蜂窝纸板行业包边工艺存在诸如部分工序靠手工作业、生产效率不高、产品单一、难以满足用户需求等不足^[14]。尤其是针对不规则形状蜂窝纸板包边工艺及实现方案的研究较少,基于此,文中在分析传统蜂窝纸板包边工艺的基础上,针对非矩形蜂窝纸板的包边工艺及实现进行分析和研究。

1 蜂窝纸板包边工艺分析

1.1 传统蜂窝纸板包边工艺分析

蜂窝纸板的应用日益增加,很多包装企业已经开始意识到提高蜂窝纸板包边生产效率的重要性,并且设计了各种包边工艺实现方案,如某纸板自动包边机见图1a,该设备主要包括底架支座,底座支架上设有送料滚筒组、滚筒座、折痕装置、涂胶水管及弯折装置等,滚轮座装设有下压滚轮。其生产工艺流程包括送纸、压入蜂窝纸芯形成上下包边、折痕、涂胶、弯折及烘干等。该纸板自动包边机实现了压楞包边纸板的自动化包边批量加工,大大提高了压楞包边纸板的生产效率,加强了纸板边沿处的承载强度,降低了其生产成本,进步明显,实用性强^[15]。

某常用蜂窝纸托盘包边机见图1b,其主要结构包括机器支架、送纸盘、冲角装置、送纸压紧组件、送纸口、剪纸组件和包边压紧组件等,工艺流程包括送纸、冲角、压紧、包边、剪纸等。该纸板自动包边机可以实现全自动的包边加工,降低了人员的劳动强度,特别是对很长的边沿进行包边时,操作人员无需来回走动,只需要监管即可^[16]。此类工艺实现方案主要针对

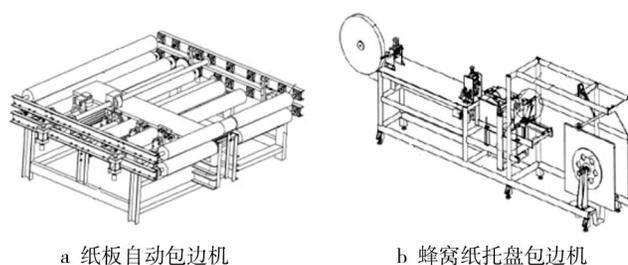


图1 传统蜂窝纸板自动包边设备

Fig.1 Traditional automatic hemming device for honeycomb paperboard

矩形纸板的包边,加工对象的适应性较低,其应用受到较大的制约。

1.2 问题的提出

伴随着蜂窝纸板应用的多元化发展,对蜂窝纸板包边工艺提出了越来越高的要求,如某公司在某蜂窝纸板制品生产过程中需要对非矩形纸板进行包边,纸板形状见图2,该纸板为不规则六边形,传统的包边工艺及设备难以满足要求。该类非矩形蜂窝纸板包边工艺在实际生产中应用越来越多,因此分析非矩形蜂窝纸板包边工艺及设计工艺实现方案具有非常大的工程应用和经济价值。

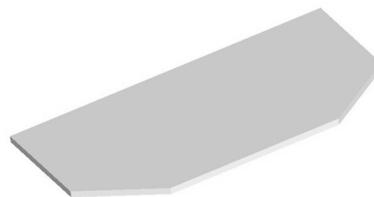


图2 非矩形蜂窝纸板

Fig.2 No-rectangular honeycomb paperboard

结合厂家要求和对现有包边工艺的分析总结,对非矩形蜂窝纸板包边工艺实现方案进行设计的原则有:提高工艺方案对于新型蜂窝纸板的适应性能,提高工序集中程度和工艺方案的通用性,降低劳动强度,提高生产效率。

2 非矩形蜂窝纸板尺寸与运动数据分析

2.1 纸板尺寸分析

非矩形蜂窝纸板所需包边的各段长度分别为

106, 137, 160, 360 mm, 厚度为 12 mm, 见图 3。为避免包边效率过低, 将长度为 106, 137, 160 mm 的包边作为同一规格设计, 而将 360 mm 作为另一规格设计。此外, 在设计中应注重提高方案的使用范围和通用性, 使其能适用于不同厚度的蜂窝纸板。

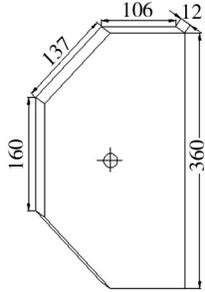


图3 样品尺寸

Fig.3 Sample dimensions

2.2 纸板运动的数据分析

纸板的运动包括垂直平面内的旋转运动及上下运动, 以夹持点和包边纸为基准位置, 通过控制纸板的旋转角度及上下运动行程来达到纸板的精准运动。分析纸板从开始包边到复位的全过程, 得出纸板包边各工步的转角及行程数据, 见图 4。以时间作为参照, 制定出一个完整包边过程中的纸板运动工况表, 见表 1。

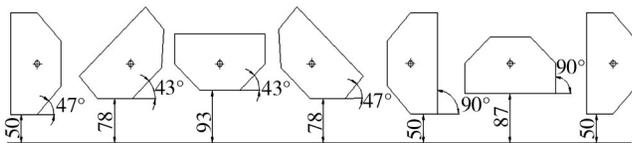


图4 纸板转角及行程数据

Fig.4 Paperboard angle and stroke data

3 非矩形蜂窝纸板包边工艺实现方案及设备

3.1 包边工艺路线制定

根据纸板尺寸及纸板运动的数据分析, 制定工艺路线。

1) 送纸。将与纸板边长相匹配的包边纸放置于传送带指定位置, 由带轮带动, 步进电机提供动力, 通过步进电机实现包边纸的间歇进给, 以配合整套装置

表 1 纸板运动工况

Tab.1 Paperboard movement conditions

时间/s	项目	
	上下运动行程/mm	转角/(°)
0~1	50	0
2~3	78	47
3~4	78	0
5~6	93	43
6~7	93	0
8~9	78	43
9~10	78	0
11~12	50	47
12~13	50	0
14~15	87	90
15~16	87	0
17~18	50	90

完成对纸板的包边。

2) 纸板下压。待包边纸到达相对应的位置时, 纸板在垂直平面内向下运动, 动力来自双支撑式液压缸, 使纸板边缘与包边纸充分接触。

3) 短边包边。短边长度为 106, 137, 160 mm, 当到达纸板下压行程时, 短边包边机构做垂直平面内的向上运动, 动力来自双支撑式液压缸, 完成长度为 106 mm 边长的包边, 接着纸板通过液压缸做垂直平面内的向上运动, 同时根据纸板运动工况表旋转 47°, 动力来自步进电机。重复动作(1)(2)可完成长度为 137, 160 mm 的包边。

4) 包边机构换位。完成短边包边后, 长、短边包边机构进行换位, 动力来自液压缸, 以配合装置完成对长边的包边。

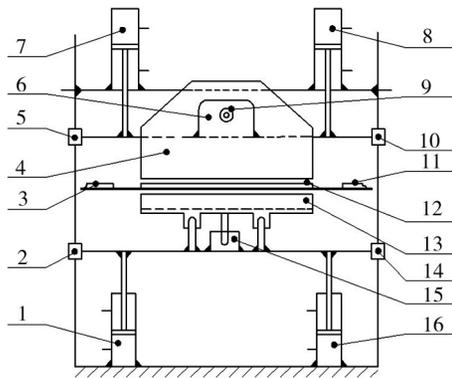
5) 长边包边。长边长度为 360 mm, 重复步骤(1)(2), 当达到纸板下压行程时, 长边包边机构做垂直平面内的向上运动, 完成长度为 360 mm 边长的包边。

6) 复位, 完成。完成包边之后, 根据纸板运动的数据分析, 纸板向上运动的行程为 50 mm, 转动角度为 90°, 恢复至原位, 重复(1)~(5), 进行下一纸板的包边。

3.2 非矩形蜂窝纸板包边工艺实现设备总体设计

非矩形蜂窝纸板包边设备总体结构见图 5, 纸板夹持部分工作原理是, 包边支撑液压缸 1 和包边支撑

液压缸2焊接在机架上,液压缸活塞杆与步进电机焊接在滑块杆上,滑块通过液压缸带动,可沿着机架作上下运动。通过控制双液压缸活塞杆的行程来实现纸板的上下运动,保证纸板的运动过程平稳。同时,纸板通过真空吸盘与步进电机连接,真空吸盘实现纸板的夹持,步进电机带动纸板做垂直平面内的旋转运动,步进电机由PLC可编程控制器控制,当控制系统根据表1中纸板运动的工况发出一系列脉冲信号,并计算所需角度与步进电机步距角的倍数关系,即可带动纸板按设定的方向及角度旋转。



1.包边支撑液压缸1 2.包边滑块1 3.短边包边纸 4.非矩形蜂窝纸板 5.夹持滑块1 6.步进电机 7.夹持支撑液压缸1 8.夹持支撑液压缸2 9.真空吸盘 10.夹持滑块2 11.短边包边纸 12.长边包边纸 13.U形槽 14.包边滑块2 15.换位液压缸 16.包边支撑液压缸2

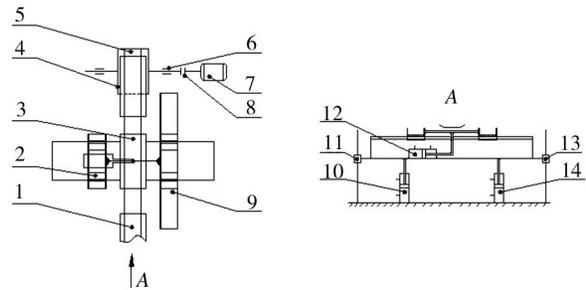
图5 非矩形蜂窝纸板包边设备总体结构

Fig.5 Overall structure of the hemming equipment for non-rectangular honeycomb paperboard

3.3 包边部分工艺实现方案及机构设计

非矩形蜂窝纸板包边设备中纸板包边机构见图6,包边纸由传动带送进,带轮动力来自步进电机。包边由U形槽完成,U形槽由机架支撑,并可左右换位,动力来自换位液压缸,短边U形槽完成纸板边长为106,137,160 mm的包边,为避免U形槽过长而导致包边效率过低,纸板边长为360 mm由长边U形槽负责完成包边。长边U形槽、短边U形槽和换位液压缸焊接在一起,当换位液压缸一接到控制系统发出的信号时,对U形槽进行换位。整个U形槽和包边支撑液压缸1、包边支撑液压缸2的活塞杆与滑块杆焊接在一

起,包边滑块可沿机架上下运动,通过控制包边支撑液压缸活塞杆的行程,可达到纸板包边的目的。此外,U形槽为可拆卸,能根据纸板的形状及尺寸进行更换,以满足不同工艺的要求。



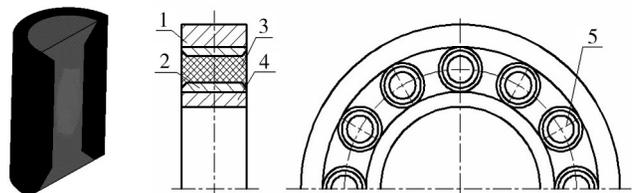
1.长边包边纸 2.短边U型槽 3.短边包边纸 4.带轮 5.传送带 6.弹性复合圆柱滚子轴承 7.步进电机 8.联轴器 9.长边U形槽 10.包边支撑液压缸1 11.包边滑块1 12.换位液压缸 13.包边滑块2 14.包边支撑液压缸2

图6 纸板包边机构

Fig.6 Paperboard hemming device

3.4 带轮传动支撑系统轴承的选择

该方案采用带传动作为包边纸的传送机构,其机械传动特性对整个设备的稳定性起着重要作用,由此,支撑带轮转动的轴承选择非常关键。基于弹性复合圆柱滚子轴承的特点,带轮传动支撑选用新型弹性复合圆柱滚子轴承^[17],其结构见图7。弹性复合圆柱滚子轴承相对传统空心圆柱滚子轴承,因填充PTFE高分子材料,能有效改善滚动体的受力状况,增强轴承的承载能力,降低空心圆柱滚动体的内壁弯曲应力,进一步提高轴承的疲劳寿命^[18]。PTFE材料的优良



1.轴承外圈 2.深穴空心滚动体 3.高分子材料 4.轴承内圈 5.弹性复合圆柱滚子体

图7 弹性复合圆柱滚子轴承结构

Fig.7 The structure chart of elastic composite cylindrical roller bearing

物理特性还可使轴承具有降噪、减振的作用^[19]。选择弹性复合圆柱滚子轴承作为带轮传动的支撑部件,在一定程度上提高了设备的性能。

4 结语

在分析传统蜂窝纸板包边工艺的基础上,以某公司蜂窝制品生产过程中需要进行包边的一非矩形纸板为具体包边对象,应用PLC可编程控制器、步进电机和液压控制系统,引入弹性复合圆柱滚子轴承作为传动支撑部件,对包边工艺及实现方案进行了分析和研究。该包边工艺路线制定合理,工序集中程度高,通用性强,包边质量稳定。该实现方案能显著提高非矩形蜂窝纸板的包边效率,适用面广,适当改进后可用于不同厚度不同形状的蜂窝纸板,可为蜂窝纸板包边工艺的设计提供全新的思路。

参考文献:

- [1] 张书彬,陈文朗. 电饭锅的蜂窝纸板缓冲包装设计[J]. 包装工程, 2007, 28(8): 121—122.
ZHANG Shu-bin, CHEN Wen-lang. Honeycomb Board Cushioning Packaging Design of Electric Cooker[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8): 121—122.
- [2] 黄秀玲,王晓敏. 影响家电产品恰当包装的因素[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 192—193.
HUANG Xiu-ling, WANG Xiao-min. Factors Influencing the Appropriate Packaging of Electric Appliances Product[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1): 192—193.
- [3] 刘晓红,周鲁兵. 蜂窝板在代木托盘中的应用研究[J]. 中国包装, 2005, 25(3): 65—70.
LIU Xiao-hong, ZHOU Lu-bing. Application Study on the Honeycomb Paperboard in Taking the Place of the Wooden Pallet[J]. China Package, 2005, 25(3): 65—70.
- [4] 王军,卢立新. 蜂窝纸板面内平台应力表征[J]. 工程力学, 2012, 29(8): 354—359.
WANG Jun, LU Li-xin. Characterization of In-plane Plateau Stress for Honeycomb Paperboard[J]. Engineering Mechanics, 2012, 29(8): 354—359.
- [5] 朱大鹏,周世生,张志昆. 蜂窝纸板动态特性建模与参数识别[J]. 振动与冲击, 2010, 29(4): 213—217.
ZHU Da-peng, ZHOU Shi-sheng, ZHANG Zhi-kun. Dynamic Model and Parameter Identification of the Honeycomb Paperboard[J]. Vibration and Shock, 2010, 29(4): 213—217.
- [6] WANG D M, WANG Z W. Experimental Investigation into the Cushioning Properties of Honeycomb Paperboard[J]. Packaging Technology and Science, 2008, 21(6): 309—316.
- [7] E Y P, WANG Z W. Effect of Relative Humidity on Energy Absorption Properties of Honeycomb Paperboards[J]. Packag Technol, 2010, 23(8): 471—483.
- [8] ZHANG Y, XIE W Y, CHEN L, et al. Experimental Research on the Dynamic Energy Absorbing Capacity of the Honeycomb Paperboard Filled with Polyurethane[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2013, 20(5): 41—45.
- [9] WANG A J, MCDOWELL D L. In-plane Stiffness and Yield Strength of Periodic Metal Honeycombs[J]. Journal of Engineering Materials and Technology, 2004, 126(2): 137—156.
- [10] 张幸. 蜂窝纸板在摩托车整车包装上的应用[J]. 摩托车技术, 2004, 16(5): 20—21.
ZHANG Xing. Application of Cellula Paper Board to Package of Motorcycle[J]. Motorcycle Technology, 2004, 16(5): 20—21.
- [11] 叶柏彰,张涛. 蜂窝纸板在长虹家电产品包装上的应用研究[J]. 中国包装, 2003(5): 88—90.
YE Bai-zhang, ZHANG Tao. Study for Application of Honeycomb Cardboard at Changhong's Electrical Home Appliances Packaging[J]. China Package, 2003(5): 88—90.
- [12] 齐建虹,蔡锦达,许鹏程. 基于ARM9的蜂窝纸板包边机控制系统研发[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 74—77.
QI Jian-hong, CAI Jin-da, XU Peng-cheng. Research and Development of Control System of Honeycomb Paperboard Hemming Machine Based on ARM9[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 74—77.
- [13] 曾台英,齐建虹,蔡锦达. 蜂窝纸托盘包边设备设计[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 60—63.
ZENG Tai-ying, QI Jiang-hong, CAI Jin-da. Design of Honeycomb Paper Pallet Binging Equipment[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 60—63.
- [14] 吴国荣. 小议我国蜂窝纸板业的发展[J]. 包装工程, 2003, 24(5): 116.
WU Guo-rong. A Tentative Study of Honeycomb Paperboard Industry Development in Our Country[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(5): 116.
- [15] 詹正义. 纸板自动包边机: 中国, 201220135766.7[P]. 2012—11—14.
ZHAN Zheng-yi. Paperboard Automated Hemming Device: China, 201220135766.7[P]. 2012—11—14.
- [16] 沈汉春,刘崇文. 蜂窝纸托盘包边机: 中国, 201110447280.7

制算法相结合,在被控参数发生变化时,通过模糊推理系统,进行PID参数的调整。通过以上实验数据及结果,可以看出控制质量得到明显提高,系统的稳定性和精确度达到了预期目标。

参考文献:

- [1] ZHANG H N, LIU H X. Fuzzy PID Control of the Suspension System in a Bearingless Synchronous Reluctance Motor[J]. *Small & Special Electrical Machines*, 2010, 38(3): 50—52.
- [2] ZHANG Y. Fuzzy-PID Hybrid Control for Temperature of Melted Aluminum in Atomization Furnace[C]//*Intelligent Systems Design and Applications, Sixth International Conference on IEEE*, 2006: 332—335.
- [3] ZIMMERMANN H J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications Second, Revised Edition*[M]. Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [4] 齐建虹,蔡金达. 基于ARM9和自适应模糊PID控制算法的蜂窝纸板飞剪控制系统[J]. *包装工程*, 2013, 34(21): 75—79.
 QI Jian-hong, CAI Jin-da. Honeycomb Cardboard Flying Shear Control System Based on ARM9 and Adaptive Fuzzy PID Control Algorithm. *Packaging Engineering*[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(21): 75—79.
- [5] LEE Y S, YANG T T, CHENG M W. Measurement and Mitigation of Conducted Emission for Voltage Phase Controlled Capacitor-run Single Phase Induction Motor[C]// *Power Electronics and Drives Systems, International Conference on IEEE*, 2005: 1622—1627.
- [6] LATT A Z, WIN N N. Variable Speed Drive of Single Phase Induction Motor Using Frequency Control Method[C]//*Education Technology and Computer, International Conference on IEEE*, 2009: 30—34.
- [7] MAUER G F. A Fuzzy Logic Controller for an ABS braking System[J]. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, 1995, 3(4): 381—388.
- [8] ALI F H, ALGREER M M F. Fuzzy PID Control for Positioning Plants with Uncertain Parameters Variation[C]//*Information and Communication Technologies IEEE*, 2006: 1428—1433.
- [9] PETROV M, GANCHEV I, TANEVA A. Fuzzy PID Control of Nonlinear Plants[C]// *2002 First International IEEE Symposium*, 2002: 30—35.
- [10] NIU Z G, ZHANG J. Method of Smooth-switch Fuzzy PID for Linear Motor Control[J]. *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao: Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering*, 2006, 26(8): 132—136.
- [11] DUAN X G, LI H X, DENG H. Effective Tuning Method for Fuzzy PID with Internal Model Control[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2008, 47(21): 8317—8323.
- [12] ABOU El-Ela A A, BISHR M A, ALLAM S M, et al. An Emergency Power System Control Based on the Multi-stage Fuzzy Based Procedure[J]. *Electric Power Systems Research*, 2007, 77(5): 421—429.
- [13] PEREZ C, STREFEZZA M. Speed Control of a DC Motor by Using Fuzzy Variable Structure Controller[C]//*Control Conference, IEEE*, 2008: 311—315.
- [14] WU Y, JIANG H, ZOU M. The Research on Fuzzy PID Control of the Permanent Magnet Linear Synchronous Motor[J]. *Physics Procedia*, 2012, 24: 1311—1318.
- [15] LIU J, XIE Q W. Research on the Fuzzy PID Speed Control System of Permanent Magnet Linear Synchronous Motor Based on Genetic Algorithm[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, 494: 1582—1586.
- [16] (上接第75页)
 [P]. 2012-07-04.
 SHEN Han-chun, LIU Chong-wen. Honeycomb Paper Pallet Binging Equipment; China, 201110447280.7[P]. 2012-07-04.
- [17] 姚齐水. 一种弹性复合圆柱滚子轴承; 中国, 201120066406.1 [P]. 2011-11-23.
 YAO Qi-shui. A Elastic Composite Cylindrical Roller Bearing; China, 201120066406.1[P]. 2011-11-23.
- [18] YAO Q S, YANG W, YU D J, et al. Bending Stress of Rolling Element in Elastic Composite Cylindrical Roller Bearing[J]. *J Cent south Univ*, 2013, 20(12): 3437—3444.
- [19] 杨文, 姚齐水, 余江鸿, 等. 弹性复合圆柱滚子轴承结构设计研究[J]. *中国机械工程*, 2012, 23(24): 2899—2902.
 YANG Wen, YAO Qi-shui, YU Jiang-hong, et al. Research on Structure Design of Elastic Composite Cylindrical Roller Bearing[J]. *China Mechanical Engineering*, 2012, 23(24): 2899—2902.