

包装机械

圆压圆中封制袋机结构设计及控制系统

刘瑞素, 刘亚男, 邢新闻, 刘玉川

(河北工业大学, 天津 300130)

摘要: **目的** 设计一种新型中封制袋机构, 实现烫压过程中塑料薄膜的连续进给, 从而提高制袋效率。**方法** 应用圆压圆技术, 设计一种中封制袋机构, 利用 SolidWorks 建立关键机构的三维模型, 对关键结构进行运动学分析, 并采用电子凸轮曲线的方法对电机进行调速控制。**结果** 提出了中封制袋机的牵引、热封和剪裁的控制策略, 通过改变牵引电机的速度, 实现了在同一设备上对不同长度包装袋烫压的功能, 完成了速度控制系统的硬件设计和软件编程, 做出了样机, 并进行了烫压实验, 样机在 0.5 s 及更长的烫压时间下运行稳定, 热封速度最快达到 120 袋/min, 与市面上现有制袋机的制袋速度基本持平。**结论** 圆压圆中封制袋机实现了在烫压过程中薄膜的连续进给, 验证了机构的合理性。

关键词: 圆压圆; 制袋机; 凸轮曲线; 控制系统

中图分类号: TB486⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)23-0129-06

Structural Design of Sealing Bag-Making Machine and Its Control System Based on Cylindrical Extruding Cylinder Technology

LIU Rui-su, LIU Ya-nan, XING Xin-chuang, LIU Yu-chuan
(Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

ABSTRACT: The work aims to design a new type of bag-sealing mechanism and achieve the continuous feeding of plastic film in the process of hot pressing, so as to improve the bag-making efficiency. A bag-sealing mechanism was designed with cylindrical extruding cylinder technology. The 3D model of key mechanism was established with SolidWorks to analyze the kinematics of the key structure. Motor speed was controlled with electronic cam curve. The control strategies of traction, heat sealing and cutting of bag-sealing machine were put forward. By changing the speed of traction motor, the function of hot pressing of packaging bags of different lengths on the same equipment was realized, and the hardware design and software programming of speed control system were completed. The prototype was made and the pressing experiment was carried out. The prototype was stable at 0.5 s and longer hot pressing time. The heat sealing speed reached up to 120 pcs/min, which was substantially equal to the speed of the existing bag-making machine. The rotary bag-sealing machine can continuously feed film in hot pressing process, which verifies the rationality of the mechanism.

KEY WORDS: cylindrical extruding cylinder; bag-making machine; cam curve; control system

随着薄膜袋需求的与日俱增, 制袋机设备的应用也愈发广泛。目前, 制袋机的制袋方式主要包括三边封、四边封、中封、自立袋等, 其中三边封和中封方式使用较多^[1]。传统制袋机在热封过程中,

塑料薄膜进给是步进式的, 塑料薄膜前进 1 个袋长后停止, 然后烫刀对薄膜进行烫压, 这种间歇式的工作方式严重影响了生产效率的提高^[2]。文中介绍的是圆压圆中封制袋机, 圆压圆技术广泛应用于烫

收稿日期: 2016-07-01

作者简介: 刘瑞素 (1963—), 女, 河北石家庄人, 博士, 河北工业大学教授, 主要研究方向为机电控制及其自动化。

金、印刷和模切等领域,相比平压平的工作方式,圆压圆运动方式因没有往复运动,可以达到很高的运动速度,能够显著提高生产效率^[3-4]。该中封制袋机上、下烫压装置应用圆压圆原理,通过传动齿轮传递动力,实现薄膜连续的进给,可克服现有技术中制袋速度低、生产效率差的问题^[5]。此外,该中封制袋机通过电子凸轮曲线来协调控制各个机构的速度,可实现改变袋长的功能。

1 制袋机的结构及其工作原理

该制袋机的关键结构见图1,主要包括中封烫压机构、剪裁机构、薄膜牵引机构,该3部分机构均采用步进电机驱动。为保证良好的烫压效果和剪裁效果,采用分离烫压工序和剪裁工序的方式,分别由烫压机构和剪裁机构实现。实现薄膜连续进给的核心机构是中封烫压机构。

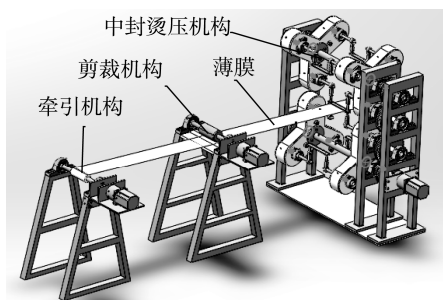


图1 制袋机结构

Fig.1 The structure of bag making machine

在烫压过程中,需要保证烫刀水平烫压与薄膜水平进给的一致,这就要求烫刀需要时刻保持在竖直方向上,于是设计烫压装置由左右2个转盘构成,转盘由3组行星轮系组成,转盘的传动机构原理见图2。其中,太阳轮、惰轮、行星轮通过转盘支架连接,太阳轮通过中齿固定件固定安装在机架上,转盘支架通过盘轴连接件与主轴固定连接,从而实现太阳轮不动,主轴带动转盘旋转,动力从主轴经转盘传递给行星轮。烫刀竖直固定安装在行星轮上,太阳轮与惰轮啮合,惰轮与行星轮啮合,惰轮和行星轮能随转盘支架相对于太阳轮“公转”,同时惰轮和行星轮能绕各自的轴线“自转”。在周转轮系中,太阳轮和行星轮齿数相等,给整个行星轮系加上一个与行星架的转速大小相等、方向相反且绕定轴线的公共转速 $-\omega_4$,则有传动比 $i_{31}^4 = \frac{\omega_3 - \omega_4}{\omega_1 - \omega_4} = \frac{z_1}{z_3}$,其

中 ω_1 为太阳轮转速, ω_3 为行星轮转速, z_1 为太阳轮齿数, z_2 为行星轮齿数。由于太阳轮不旋转, $\omega_1=0$,即 $\frac{\omega_3 - \omega_4}{-\omega_4} = 1$,可得 $\omega_3=0$,则在整个轮系转动过程中,行星轮平动,保证烫刀始终保持竖直。

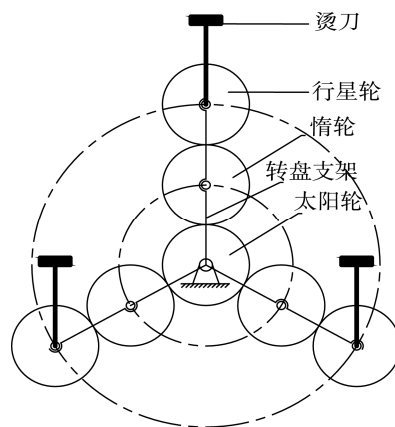


图2 转盘传动机构原理

Fig.3 Schematic diagram of turntable drive mechanism

实现烫压需要上、下2个烫压装置,2个烫压装置原理相同,最终设计的中封烫压机构见图3。上、下烫压装置对称安装在机架上,上、下烫压装置结构相同且通过传动齿轮传动,电机作为动力源,实现上、下烫压装置的同步旋转。烫刀固定在弹簧组件上,当转盘转到一定角度时,上、下烫刀开始接触,上弹簧组件和下弹簧组件开始被压缩并提供热封的压力,同时,烫刀加热,带动薄膜水平匀速进给,实现烫压。

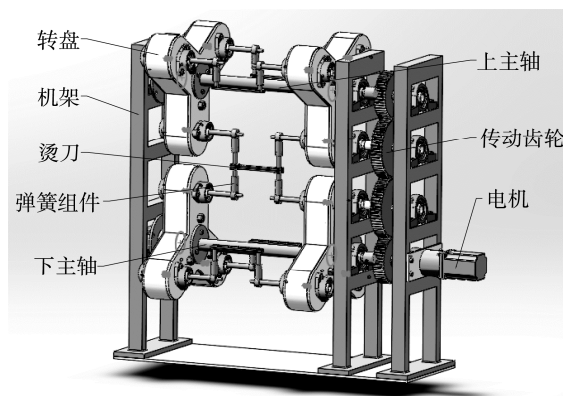


图3 中封烫压机构

Fig.3 The diagram of middle sealing and pressing mechanism

此外,为了解决线路缠绕的问题,采用电滑环连接线路。电滑环1安装在行星轮轴上,电滑环2安装在上主轴的一端,电滑环安装方式见图4。图4中电线为火线和零线,实现为烫刀供电。其余各烫刀供电走线方式与此相同。

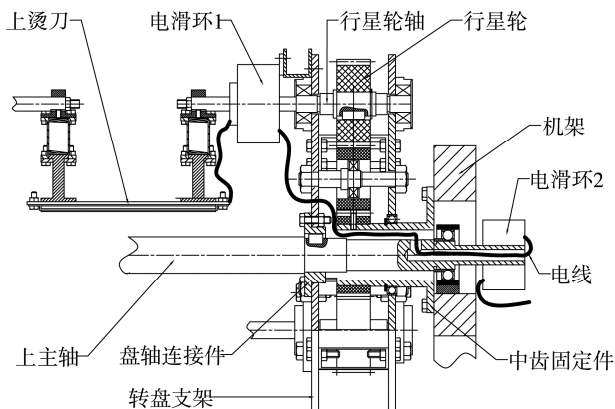


图 4 电滑环安装方式
Fig.4 Slipring installation diagram

2 运动规律

控制系统需要协调烫压周期 $T_{烫刀}$ 、剪裁周期 $T_{刀辊}$ 和牵引周期 $T_{牵引}$ 的相互关系，这里以烫压周期为基准，来协调剪裁周期和牵引周期。

2.1 中封烫压机构

中封烫压机构的转盘转动一周需完成 3 个烫压周期，在每个烫压周期内，烫刀运动轨迹由 2 部分组成：转盘匀速的转动，上下烫刀未啮合，定义为非烫压区；烫刀匀速水平运动，上下烫刀啮合，定义为烫压区。其中，薄膜的烫压是在水平运动过程中完成的，这就要求烫刀的水平分速度与薄膜的进给速度相同。为保证烫压区烫刀匀速运动，须对转盘驱动电机进行变速控制。烫刀开始接触时，上、下烫刀的烫压轨迹见图 5。图 5 中， O_1 、 O_2 分别为下、

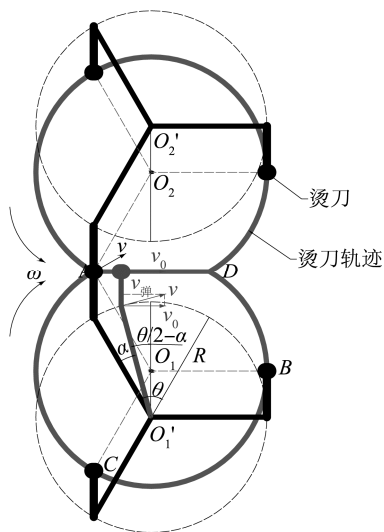


图 5 上、下烫刀的烫压轨迹
Fig.5 Hot pressing track of upper and lower pressing knife

上烫刀轨迹的圆心； R 为圆弧段运动轨迹的半径；烫刀轨迹水平行程的距离为 AD ； θ 为 AD 所对的轨迹圆心角； v_0 为薄膜的牵引速度； v 为烫刀架根部速度。当烫刀转过的角度为 α 时， $v=v_0/\cos(\theta/2-\alpha)$ ，电机的减速比为 i ，输出角速度为 ω ，则 $\omega=v_0/[R\cos(\theta/2-\alpha)]$ 。取转盘一根支架处于竖直位置时为初始时刻，采用绝对式编码器采集主轴的旋转角度 β ，得到电机转速分段函数：

$$\omega = \begin{cases} \frac{v_0}{R\cos\theta} & 0^\circ < \beta < 29.4^\circ \\ \frac{v_0}{R\cos(60-\beta)} & 29.4^\circ \leq \beta \leq 90.6^\circ \\ \frac{v_0}{R\cos\theta} & 90.6^\circ < \beta < 149.4^\circ \\ \frac{v_0}{R\cos(180-\beta)} & 149.4^\circ \leq \beta \leq 210.6^\circ \\ \frac{v_0}{R\cos\theta} & 210.6^\circ < \beta < 269.4^\circ \\ \frac{v_0}{R\cos(300-\beta)} & 269.4^\circ \leq \beta \leq 330.6^\circ \\ \frac{v_0}{R\cos\theta} & 330.6^\circ < \beta < 360^\circ \end{cases}$$

2.2 剪裁机构

剪裁工序由刀辊来完成。为保证连卷袋一个剪裁痕配合一个烫压痕，须使剪裁周期 $T_{刀辊}$ 和烫压周期 $T_{烫刀}$ 相等且同步。剪裁周期由一个同步区和一个变速区组成，定义刀辊刀尖速度等于薄膜牵引速度的区域为同步区，刀辊空转区为变速区^[6]。刀辊的运动轨迹见图 6。烫刀进入烫压区的同时，刀辊的刀尖在 E 点开始进入同步区，烫压区结束时，刀辊的刀尖也恰好走完同步区到达 F 点。在一个周期内，定义烫刀的烫压区时间为 t_1 、非烫压区时间为 t_2 ，刀辊的同步区时间为 t_3 、变速区时间为 t_4 。可

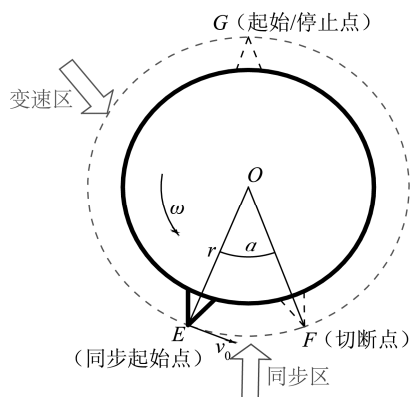


图 6 刀辊的运动轨迹
Fig.6 Sketch of the motion of the cutter roller

得到刀辊同步区参数关系： $\widehat{EF} = v_0 t_3 = r\alpha$ 。 $\widehat{EF}$ 为刀尖在同步区所走的弧长。烫刀的烫压周期 $T_{\text{烫刀}}$ 与刀辊的剪裁周期 $T_{\text{刀辊}}$ 相等且同步，且 $t_1 = t_3$ ， $t_2 = t_4$ 。

2.3 薄膜牵引机构

牵引机构由上下正对的2个同步牵引辊组成，牵引辊由电机驱动。生产不同的袋长可通过调节薄膜牵引辊转速来实现^[7]。在一个周期内，定义牵引辊调速区时间为 t_5 、同步区为 t_6 。在烫刀的烫压区 t_1 时间段内，牵引辊牵引薄膜以 v_0 的速度进给，该段定义为牵引同步区；在烫刀非烫压区 t_2 时间段内，烫刀、刀辊均不与薄膜接触，该段定义为牵引变速区。在牵引变速区，通过改变牵引辊的转速来调整制袋长度。牵引电机周期性运转，牵引周期 $T_{\text{牵引}}$ 也与烫压周期同步，即 $T_{\text{牵引}} = T_{\text{烫刀}} = T_{\text{刀辊}}$ 。牵引周期与烫压周期同步关系为 $t_1 = t_5$ ， $t_2 = t_6$ 。

3 控制系统

目前，从总体的控制架构看，包装和制袋设备控制系统有集中式和分布式2种模式^[8]。该系统采用FCS集中管理、分散控制的思想，将整个的控制系统分为几个模块，从而单独控制各个模块提高产品研发效率。从功能实现的角度考虑，将制袋机控制系统分为以下几个子模块：中封控制器、剪裁控制器、薄膜牵引控制器、温度控制器、纠偏控制器、张力控制器^[9]。

3.1 硬件设计

系统硬件设计原理见图7。系统硬件主要包括核心微处理器、外围存储器、凸轮曲线存储器、总线通信、串口通讯、差动线路、驱动器、A/D转换等模块^[10]。

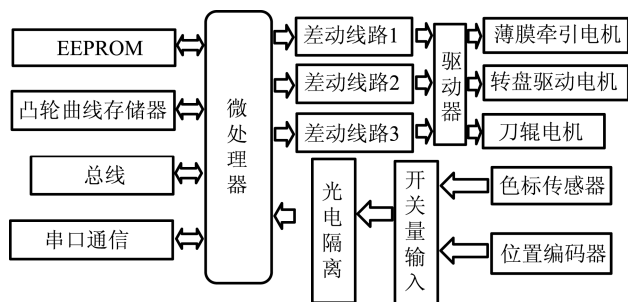


图7 系统硬件设计原理

Fig.7 Principle block diagram of system hardware design

3.2 软件设计

3.2.1 中封烫压机构速度控制

制袋机的效率由中封烫压机构的速度决定。安装在下主轴的传感器利用定时器中断定时采集下主轴的角位移信号，采集到的角位移信号经过A/D转换成下主轴的实际角度值，根据下主轴实际的角度值控制转盘驱动电机的转速。根据得到的电机转速函数，设计转盘驱动电机速度控制流程见图8。

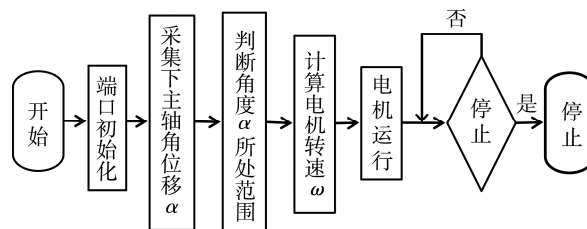


图8 转盘驱动电机速度控制流程

Fig.8 Speed control flow chart of rotary table drive motor

转盘驱动电机调速程序为：

```
While(1)
{
    a=0.3515*get_AD_result(0);
    if(a>=29.4&a<=90.6)
    {
        rad=0.01744*(60-a);V=554.7/(cos(rad));X=
        65536-step/V;fr2=X;fr1=X>>8;}
    if((a<29.4)||((a>90.6&a<120)||((a>120&a<149.4)||
    (a>210.6&a<240)||((a>240&a<269.4)||((a>330.6&a<
    360)))
    {
        V=411;X=65536-step/V;fr2=X;fr1=X>>8;}
    if(a>=149.4&a<=210.6)
    {
        rad=0.01744*a;V=554.7/(cos(rad));X=65536-
        step/V;fr2=X;fr1=X>>8;}
    if(a>=269.4&a<=330.6)
    {
        rad=0.01744*(300-a);V=554.7/(cos(rad));X=
        65536-step/V;fr2=X;fr1=X>>8;}
}
```

3.2.2 剪裁控制

剪裁周期要和烫压周期同步，烫刀烫压的同时刀辊也进行剪裁，烫刀转到非烫压区时刀辊也处在变速区。刀辊的运动曲线通过电子凸轮技术来完成。

自动化控制系统中，利用软件程序与电机来实现三维空间联动传动关系和控制软件系统，称为电子凸轮技术。如图6所示，刀辊G点为起始和终止位置，当转盘的任一烫刀运行到烫刀的初始位置时，触发中断，刀辊在起始点开始进入加速阶段，在 $t_4/2$ 内加速到同步区的速度 v_0 ，匀速运行，同步区结束并进入减速阶段，刀辊在 $t_4/2$ 内减速运行到停止点G，等待下一中断的触发，进入下一剪裁周期，从而保证烫压周期和剪裁周期同步。

为了使剪裁步进电机在启动和停止时不发生失步并且满足刀辊的运动规律, 升降速曲线拟合 S 型升降速曲线, 确定了刀辊的凸轮曲线 $y=f(\delta)$, 然后进行电子凸轮曲线离散化, 将角度 δ 等分为 n 等份, 计算出每等份对应的步进电机的步数(脉冲数), 确定时钟, 绘制出凸轮表, 将凸轮表编程在单片机的 FLASH 程序存储器中, 控制器中定义一个定时器, 每次中断时传输一次数据。同时根据内部索引在凸轮表中找到定时值, 修改定时器, 控制电机通过周期性地给驱动器发送命令, 实现凸轮曲线^[11-12]。剪裁机构控制系统流程见图 9。

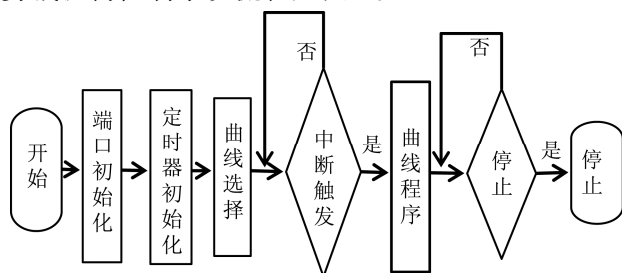


图 9 剪裁机构控制系统流程

Fig.9 Flow chart of control system for cutting mechanism

3.2.3 牵引控制

袋长的改变可通过控制牵引电机来实现。在牵引同步区, 薄膜以速度 v_0 进给, 实现烫压和剪裁; 在牵引变速区, 通过对牵引辊升降速的控制, 实现薄膜进给长度的变化。牵引辊直接牵引薄膜, 速度的突变会造成薄膜的打滑甚至撕裂, 这就要求牵引电机能够在短时间内平滑无振动地实现加减速运动。这里同样应用电子凸轮曲线的方法实现^[13-14]。

采用多项式凸轮曲线来设计牵引电机的运动曲线: $s=C_0+C_1\varphi+C_2\varphi^2+C_3\varphi^3+\dots+C_n\varphi^n$ 。用牵引辊位移 y 取代从动件位移 s , 把原动件的角位移 φ 用时间 t 代替, 为计算简便对变量进行无量纲化处理, 对 y 和 t 进行无量纲化后, 牵引辊的无量纲位移为 y' , 无量纲时间为 t' 。在一个牵引周期 $T_{\text{牵引}}$ 内, 牵引辊以速度 v_0 运行所牵引的位移定义为 $L_{\text{基准}}$, 包装袋的长度为 $L_{\text{袋}}$, 根据所需包装袋长度不同可分为 3 种情况: $L_{\text{袋}} > L_{\text{基准}}$, $L_{\text{袋}} = L_{\text{基准}}$, $L_{\text{袋}} < L_{\text{基准}}$ 。相应的单周期的运动曲线见图 10。其中, 运动曲线的横轴为 $T_{\text{牵引}}$, 纵轴为 $L_{\text{袋}}$ 。当 $L_{\text{袋}}$ 小于某值时, 牵引辊可能出现反转^[15], 这种情况下牵引辊的运动曲线需要调整为减速段、静止段、加速段^[16], 刀辊的修正运动曲线见图 10d。然后用同样的凸轮曲线方法来实现牵引辊的运动曲线。

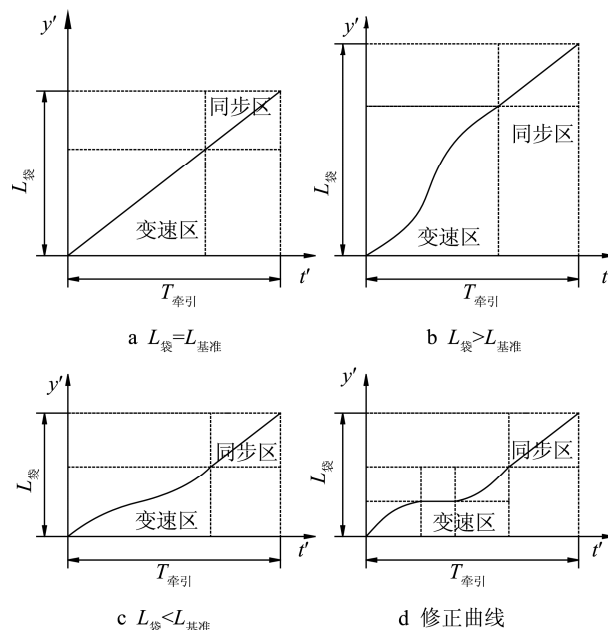


图 10 运动曲线

Fig.10 Motion curve

4 实验验证

由于该制袋机正处于研发阶段, 该实验室只对中封烫压机构进行了烫压实验。该实验材料选用的是市面上常见的 PE/BOPP 复合型薄膜, 干式复合, BOPP 的厚度为 $22\mu\text{m}$, PE 的厚度为 $30\mu\text{m}$ 。当热封温度为 145°C 、热封压力为 0.2MPa 、热封时间为 0.5s 时, 热封效果良好。

5 结语

与传统制袋机步进式的工作方式不同, 文中的新型中封制袋机应用圆压圆的工作原理, 从根本上改变了工作方式, 实现了薄膜的连续进给, 显著地提高了制袋效率, 还提出了制袋机的牵引、热封和剪裁的控制策略, 达到了改变袋长的需求。制作了样机, 并进行了连续的中封烫压实验, 验证了该中封制袋机的可行性。该中封制袋机具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 张志勇, 赵淮. 包装机械选用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
ZHANG Zhi-yong, ZHAO Huai. Selection Guide for Packaging Machinery[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2012.

- [2] 邓连超. 高速制袋机烫压装置的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2013.
DENG Lian-chao. Hot Pressure Machinery Research of High Speed Bag-making Machine[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2013.
- [3] 广东省软包装印刷设备制造业产业技术路线图工作小组. 国内外软包装的产业现状对比[J]. 印刷工业, 2009(8): 22—27.
Working Group on Industrial Technology Roadmap of Soft Packaging and Printing Equipment Manufacturing Industry in Guangdong Province. Comparison of Domestic and Foreign Soft Packaging Industry[J]. Print China, 2009(8): 22—27.
- [4] MANN G, HU B G, GOSINE R G. Analysis of Direct Action Fuzzy PID Controller Structures[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 1999, 29(3): 371—388.
- [5] 刘玉川. 圆压圆技术在中封制袋机上的应用研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2011.
LIU Yu-chuan. Study on Application of Rotary Technology in Sealing Bag Making Machine[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2011.
- [6] 王吉岱, 张兆健, 梁存仙, 等. 包装机械电子凸轮关键技术研究与应用[J]. 包装工程, 2013, 34(7): 48—51.
WANG Ji-dai, ZHANG Zhao-jian, LIANG Cun-xian, et al. Research and Application of Electronic CAM Key Technology in Packing Machine[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7): 48—51.
- [7] 韩凌, 陆荣鉴. 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.
- [8] 唐宗美, 杨光友, 马志艳, 等. 包装设备控制系统综述[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 107—110.
TANG Zong-mei, YANG Guang-you, MA Zhi-yan, et al. Summarization of Packaging Equipment Control System[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 107—110.
- [9] 段龙. 热封切制袋机控制系统设计[D]. 厦门: 厦门大学, 2007.
DUAN Long. The Design of Control System for Machine Making Bags by Hot-sealing and Cutting[D]. Xiamen: Xiamen University, 2007.
- [10] 张磊. 基于 STM32 的连续式分包装机的研发[D]. 泉州: 华侨大学, 2014.
ZHANG Lei. Research of Continuous Type Packaging Machine Based on STM32[D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2014.
- [11] 王吉岱, 梁存仙, 孙爱芹, 等. 基于 ARM7 的电子凸轮技术实现方法研究[J]. 包装工程, 2014, 35(7): 104—108.
WANG Ji-dai, LIANG Cun-xian, SUN Ai-qin, et al. Implementation of Electronic CAM Based on ARM7[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7): 104—108.
- [12] 李俊美. 轮切电子凸轮的研究与开发[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
LI Jun-mei. Research and Development of Rotary Kinfe Electronic CAM[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2012.
- [13] YUE J, ZHANG G T. Mechanism and Effect of Energy Saving for the Beehive Type Crown of Glass Melting Furnace[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 1994, 20(2): 187—190.
- [14] QIU H, LIN C J. A Universal Optimal Approach to Cam Curve Design and Its Application[J]. Mechanism and Machine Theory, 2005, 40(6): 669—692.
- [15] HU Z Q. A Calculating Method of the Least Feeding Times in Cylinder Cam's Grinding[J]. Key Engineering Material, 2008(1): 180—184.
- [16] ALTINTANS A. Electronic Cam Motion Generation by Using Stepper Motors and Gears[J]. Journal of Science, 2009, 22(3): 197—201.