

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.05.002

基于模块化设计的全自动纸箱包装机

尚东阳¹, 赵树国¹, 姜阳², 刘子靖¹

(1. 沈阳航空航天大学机电工程学院, 辽宁 沈阳 110011;
2. 沈阳航空航天大学工程训练中心, 辽宁 沈阳 110011)

摘要:针对现有的纸箱包装机存在的占地面积大、设备昂贵及使用有局限性等问题,课题组设计了一种结构简单,能够满足多种用途的纸箱包装机。采用模块化设计思想,设计了纸板进给、纸箱成型、折页封口和成型输出等模块;介绍了不同模块的结构组成以及工作原理;应用 CATIA 软件完成包装机的三维结构设计;介绍了包装机的硬件组成与控制原理;设计了应用于纸箱包装机的移动凸轮轮廓曲线,并通过 CATIA 软件对其进行了运动仿真分析,验证了凸轮轮廓的正确性。应用结果表明该包装机具有安全可靠、组合灵活等特点。课题组所设计的纸箱包装机械能够实现高效、安全及快速地包装。

关键词:纸箱包装机;CATIA 软件;模块化;运动仿真;凸轮轮廓

中图分类号:TB486 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2017)05-0006-06

Full-Automatic Carton Packaging Machine Based on Modular Design

SHANG Dongyang¹, ZHAO Shuguo¹, JIANG Yang², LIU Zijing¹

(1. School of Mechatronics and Electrical Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110011, China;
2. Engineering Training Center, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110011, China)

Abstract: A multipurpose carton packaging machine with simple structure was designed to solve the problems that exist in present automatic carton packaging machine such as large area occupation, expensive equipment and limited utilization. Modular idea was adopted to design the carton-board feeding, carton molding, folding seal and molding output. The structure composition assembly and working principle were introduced. The three-dimensional (3D) structure of the system was designed by the CATIA software and the hardware configuration and control principle were introduced. The movable cam contour curve used in the system was designed and CATIA software provided the motion simulation analysis that proved the alidity of cam contour curve. The result of the application shows that the mechanism is reliable and flexible. The carton packaging machine in the paper can achieve high-efficient, safe and quick packaging.

Keywords: carton packaging machine; CATIA; modular idea; motion simulation; cam contour curve

20世纪80年代以来,由于国民经济迅速发展,对外贸易不断扩大,人民生活水平迅速提高,对产品的包装要求越来越高,迫切要求包装实现机械化和自动化,从而大大地促进了包装机械工业的发展,使其在国民经济中占有的位置越来越重要^[1]。伴随着互联网电

子消费模式的兴起,越来越多的商品需要长时间、远距离运输,因此商品的包装应符合高效、便捷、环保及造价低的要求。纸箱包装因其材质轻,强度高,印刷及后续加工适应性好且绿色环保,因而在商品包装中被广泛使用^[2]。目前国内学者对包装机进行了研究,取得

收稿日期:2016-12-24;修回日期:2017-03-13

基金项目:2016年地方高校国家级大学生创新创业训练计划项目(201610143054);2016年辽宁省大学生创新创业训练计划项目(S1610606)。

第一作者简介:尚东阳(1995),男,黑龙江佳木斯人,本科,主要研究方向为虚拟样机技术、机械CAD/CAM。通信作者:赵树国(1963),男,辽宁阜新人,博士研究生,硕士生导师,教授,主要研究方向为轻质耐磨合金及成形技术,机械表面效应与表面技术。E-mail:844377236@qq.com

了一些成果:刘武等设计的胶带自动封箱机^[3];黄柏青设计的全自动折盖封箱机^[4];张有良等设计的多工位高速纸箱成型封底机^[5]。在高新技术的发展带动下,西方发达国家的自动化整体水平不断提高,在包装技术上领先于中国。到目前为止,国外的包装工业现已经形成了完整的产业体系,成为机械制造的一个重要分支^[6]。然而大多数的纸箱包装机,只能满足单一的工作任务,如纸箱进给、纸箱胶带封口等,或者通过流水线方式的作业实现纸箱的全自动包装,存在占地面积大,设备昂贵及使用具有局限性的问题。课题组设计的全自动纸箱包装机通过纸箱在多个工位之间反复作业,实现纸板从进给到成型输出的全自动包装。

1 全自动纸箱包装机结构设计

课题组根据全自动纸箱包装机的功能将其划分为纸板进给、纸箱成型、折页封口和成型输出4个模块;根据这4个模块的功能分别设计了纸板垂直进给机

构、真空吸盘纸箱成型机构、折合机构、胶带封口机构及成箱输出机构等。将全自动纸箱包装机在空间上划分为A(纸板等待工位)、B(中央工位)、C(下折页折合工位)、D(上折页折合工位)和E(成箱输出工位)5个工位,工位分布平面如图1所示。通过各个结构在不同工位的机械运动,实现纸箱的全自动包装。全自动纸箱包装机4个模块的结构划分、工位划分及模块功能如表1所示。

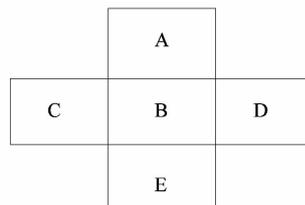


图1 工位分布平面

Figure 1 Station distribution plane

表1 模块划分表

Table 1 Module partition

序号	模块名称	主要机构	工位	功能
1	纸板进给	纸板垂直进给机构	A	不间断的供给纸板,并使纸板到达指定位置
2	纸箱成型	真空吸盘纸箱成型机构	B,E	将纸板打开成箱体固定,为折页折合做好准备
3	折页封口	下折页折合机构、上折页折合机构、 下胶带封口机构、上胶带封口机构	B,C,D	按照固定顺序对纸箱上下部的折页进行折叠, 并对纸箱下方胶带封口
4	成型输出	成箱输出机构	E	将已经包装完成的纸箱推送到包装机外侧

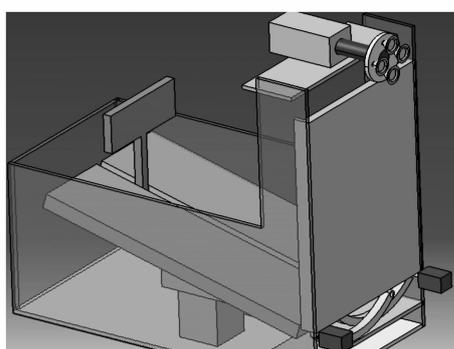
课题组应用CATIA软件对全自动包装机的纸板进给、纸箱成型、折页折合和成型输出4个模块进行三维造型设计。

纸板进给模块将纸板从储存区域连续快速移动到纸箱成型模块的入口区域,主要由纸板储存运输槽道、纸板垂直进给机构和真空吸盘机构等组成,位于工位A。纸板垂直进给机构中的舵机转动一定角度,通过一端与舵机端连接的弓形拨板绕舵机转动,弓形拨板另一端将纸板移动槽体顶到相应区域,实现纸板的垂直进给。真空吸盘机构利用直线电机控制滑杆前端真空吸盘移动,实现吸附固定到达相应区域的纸板,为后续纸箱成型做好准备。当折页折合开始时,真空吸盘泄压,舵机反转一定角度使纸箱移动槽体落回到初始位置,为接下来的纸板进入做好准备。

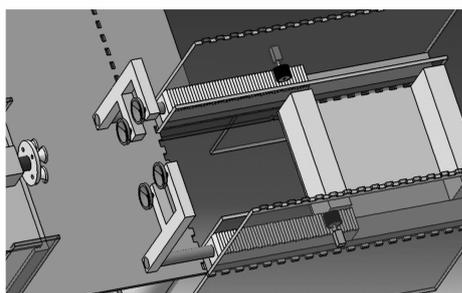
纸箱成型模块将已经移动到指定位置的纸板展开成纸箱并将其固定,主要由真空吸盘纸箱成型机构和挡板组成,位于工位E。在真空吸盘纸箱成型机构中齿条与直线电机连接固定,电机带动齿轮转动,将齿条与直线电机向工位B推出,使直线电机到达工作区

位。当纸板已固定于相应区域时,直线电机在工作区位置启动将连接桁架的滑杆向工位B推出,使桁架上已固定的真空吸盘与纸板相吸附。随后直线电机反转,带动滑杆向后移动,利用真空吸盘拉伸以及另一面已经固定的纸板,完成开箱的动作并起到固定纸箱的作用,方便后续纸箱折页折合。为了适应不同尺寸的纸板,防止吸盘处于纸板折痕位置或纸板边缘,不利于吸取,可根据需要,通过直线轴承在滑轴上的移动调整至合适位置^[7]。当折页折合开始时,真空吸盘泄压,电机反转将齿条与直线电机置于初始位置,为下一张纸板开箱做好准备。纸板进给模块和纸箱成型模块示意图如图2所示。

折页封口模块作为全自动纸箱包装机的核心部分主要实现纸箱折页折合、胶带封口和自动装载物品等功能,位于B,C和D工位,主要由上方移动机构、下折页折合机构、下胶带封口机构、物品传入机构、纸箱平动机构、上折页折合机构、上胶带封口机构、挡板和底板组成。各个结构组成划分如表2所示,折页封口模块的三维造型如图3所示。



(a) 纸板进给模块



(b) 纸箱成型模块

图2 纸板进给和纸箱成型模块示意图
Figure 2 Schematic diagram of cardboard feed and schematic diagram of carton molding

表2 机构组成表

Table 2 Structure composition table

机构名称	机构组成
上方移动机构	电磁继电器、传送带及电磁继电器固定板等
下折页折合机构	齿轮、齿条、电机、推块、挡板、齿条底板、移动凸轮、短边折叠挡板及铁片等
下胶带封口机构	胶带卷、胶带卷固定架、齿轮、齿条、锯齿形刀片、弹簧滚及电机等
物品传入机构	短传送带及传送带固定槽体等
纸箱平动机构	限位块、电机、齿轮齿条及底承接板等
上折页折合机构	齿轮、齿条、电机、推块、挡板、齿条底板、舵机及弓形拨板等
上胶带封口机构	胶带卷、胶带卷固定架、齿轮、齿条及电机等

在纸箱成型后,上方移动机构中的2个电磁继电器在传送带的带动下向工位B移动,当电磁继电器到达已成型的纸箱上方时,对其通电使之产生磁性夹住纸箱。纸箱在上方移动机构的带动下,到达下折页折合机构。在下折页折合机构中,传送带向工位C运动时,纸箱底部一侧短边折页与短边折叠挡板相遇,使短边折页折合。此时电机正转带动移动凸轮向前移动,滑杆向上运动,使纸箱另一侧短边与铁片接触并折叠。电机正转带动与齿条连接的推块推出,使纸箱下方两

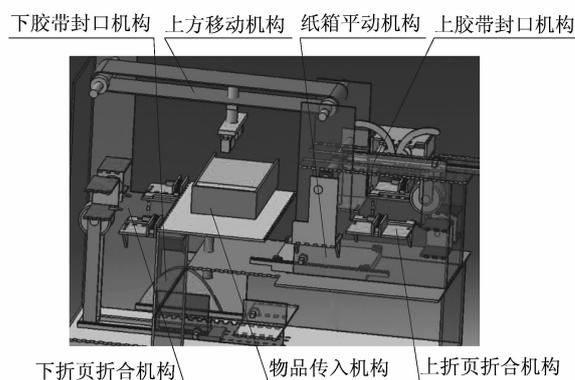


图3 折页封口模块示意图

Figure 3 Schematic diagram of carton page folding seal

侧长折页折叠。至此完成纸箱下折页折叠过程。接下来用胶带对纸箱进行封口。电机正转,带动胶带固定架与胶带卷移动将胶带粘到纸箱下部。电机反转后再正转,使固定于滑杆上的锯齿形刀片向上运动将胶带割断,实现封口纸箱下部。

完成纸箱下部胶带封口后,纸箱在上方移动机构的带动下返回工位B,随后电磁继电器断电,使纸箱下落。纸箱下落后,物品传入机构利用传送带将物品传入纸箱内。完成装载物品后,纸箱平动机构电机正转将纸箱送到工位C,进行纸箱的上折页折合。在上折页折合机构中的舵机带动下,弓形拨板绕舵机转动,使纸箱上部短折页折合。上胶带封口机构运动原理与下胶带封口机构一致,只是通过固定的弹簧刀片将胶带滑断。此时,纸箱已经完成包装,纸箱平动机构电机反转将纸箱运送到工位B,在实现对纸箱的折页封口同时为下一步成型输出做好准备。当成箱输出后,上述各个机构复位,准备对下一个纸箱进行折页封口。

成箱输出是纸箱包装的最后环节,主要实现将已经包装完毕的纸箱运输出包装机,该模块位于工位E,由成箱输出机构、底板和侧板组成,三维模型如图4所示。纸箱完成包装并到达工位B时,成箱输出机构中的直线电机启动将滑杆推出,带动真空吸盘与纸箱接触。在真空吸盘吸附纸箱后,直线电机反转拉动滑杆后退。在真空吸盘的吸附下,纸箱由工位B运动到工位E,此时真空吸盘泄压,使纸箱落入下方传送带上,并随传送带输出包装机。在完成纸箱输出后,机构复位。

经过上述4个模块和其余零部件的三维结构设计后,应用CATIA软件进行零部件装配,装配后得到全自动纸箱包装机的三维立体结构如图5所示。

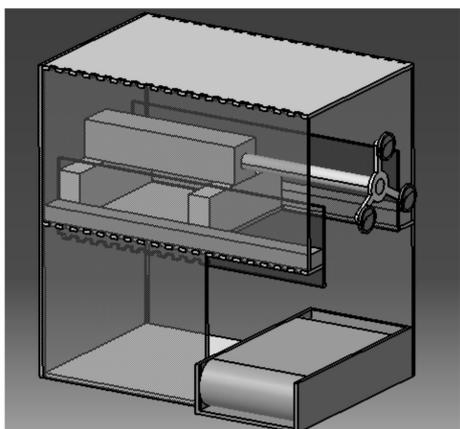


图4 成箱输出模块示意图

Figure 4 Schematic diagram of mold output

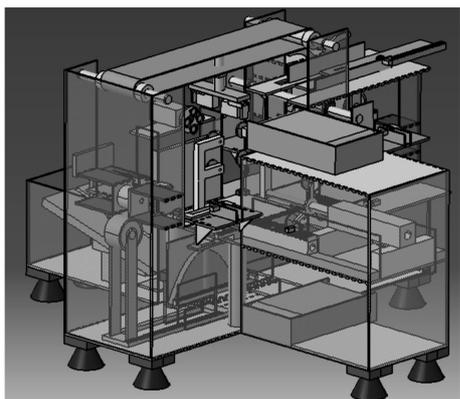


图5 全自动纸箱包装机三维立体图

Figure 5 Three-dimensional graph of full-automatic carton packaging machine

2 全自动纸箱包装机控制系统

全自动纸箱包装机各个机构运动功能的实现关键在于对机械进行高效、稳定的电子运动控制。纸箱包装机因其动作复杂、干扰信号多,包装产品品种及规格多,故采用具有工作可靠,抗干扰能力强,与工业现场信号直接输入、输出连接容易,编程简单,安装维修方便等优点^[8-9]的编程控制器(PLC)进行控制。为完成纸板进给、纸箱成型等模块的动作要求,全自动纸箱包装机电子运动控制系统主要由 PLC、磁性开关、光电开关、电磁继电器、电机舵机驱动模块、伺服电机控制器、伺服电机、舵机、减速电机和直线电机等主成,其控制原理如图6所示。其中 PLC 选用西门子公司生产的 S7-200CN 系列。

全自动包装机控制系统除 PLC 电子运动控制部分外,还需人机友好界面及包装机运行位置检测装置等。其中人机友好操作界面应用 Visual Basic 软件进

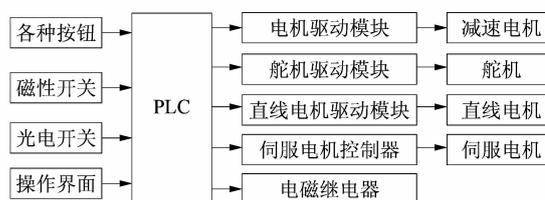


图6 控制原理图

Figure 6 Principle diagram for control

行设计,界面主要包括控制包装机的启动与暂停、包装数量与速度的选择等。包装机运行位置检测是根据伺服电机旋转编码器产生反馈信号,伺服电机在伺服控制器的控制下进行开闭环。在包装机包装运行位置检测设置中,只要通过应用编码器中的专用接口,将主编码器中的数据传送到全自动高速纸箱包装机控制系统运动控制器中,通过运动控制器中的数据反映出纸箱包装机的包装运行位置,从而进行包装设置与监测^[10]。由 PLC 电子运动控制部分、人机友好界面和包装机运行位置检测装置等组成的包装机控制系统可以保证机械安全稳定的运行。

3 凸轮机构外轮廓设计与运动仿真

凸轮是一种广泛应用的机构,具有许多优点,主要体现在:高速时平稳性好,重复精度高,运动特性好,体积小,结构紧凑,刚性大,可靠性好,寿命长,出现在诸多机械中^[11-12]。全自动包装机内机构众多,尖顶从动件移动凸轮机构为其关键机构。课题组对尖顶从动件移动凸轮机构进行设计,得到最佳的凸轮廓线,并对其进行运动仿真,验证设计结果。

3.1 尖顶从动件移动凸轮外轮廓设计

尖顶从动件移动凸轮从动件(推杆)的运动规律由凸轮轮廓形状所决定。对移动凸轮的外轮廓进行设计,可以使从动件的运动更加准确。文中利用相对运动的原理,在水平方向上对凸轮机构加以速度 $v = -v$ 的反向移动后,移动凸轮静止,而从动件将以 $v = -v$ 的速度反向在水平方向上移动,同时在竖直方向上按其运动规律运动,绘制尖顶位移曲线即移动凸轮的理论廓线。对于尖顶从动件移动凸轮,其工作廓线与理论廓线重合。

要确定凸轮廓线首先需要明确从动件的运动规律。选择从动件运动速度、加速度连续,机构出现刚性、柔性冲击,故从动件的运动规律选择简谐运动规律。

设从动件的的运动方程为

$$S = f(x)$$

式中: S 表示从动件的位移; x 表示凸轮的移动距离。

根据从动件的运动规律,分为推程、远休止期、回程、近休止期。令 H 表示推程, t 表示运动时间,运动方程如下所示:

1) 推程

$$S = \frac{H}{2}[1 - \cos(\pi \times t)], \quad 0 \leq t \leq 1;$$

2) 远休止期

$$S = H;$$

3) 回程

$$S = \frac{H}{2}[1 + \cos(\pi \times t)], \quad 0 \leq t \leq 1;$$

4) 近休止期

$$S = 0。$$

移动凸轮轮廓曲线笛卡尔坐标系方程为:

$$X = x \times t;$$

$$Y = H_0 + S(t)。$$

式中: X 表示凸轮廓线横坐标; Y 表示凸轮廓线纵坐标; H_0 表示凸轮的初始高度。

将从动件运动方程代入笛卡尔坐标系方程后可得移动凸轮轮廓曲线方程:

1) 推程

$$X = x_1 \times t;$$

$$Y = H_0 + \frac{H}{2}[1 - \cos(\pi \times t)]。$$

2) 远休止期

$$X = x_1 + x_2 \times t;$$

$$Y = H_0 + H。$$

3) 回程

$$X = x_1 + x_2 + x_3 \times t;$$

$$Y = H_0 + \frac{H}{2}[1 + \cos(\pi \times t)]。$$

4) 近休止期

$$X = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \times t;$$

$$Y = H_0。$$

式中: x_1 表示推程凸轮的移动距离; x_2 表示远休止期凸轮的移动距离; x_3 表示回程凸轮的移动距离; x_4 表示近休止期凸轮的移动距离。

设计数据: $H = 20 \text{ mm}$, $H_0 = 10 \text{ mm}$, $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 25 \text{ mm}$ 。利用 MATLAB 软件绘制移动凸轮轮廓,得到凸轮轮廓曲线如图 7 所示。

3.2 移动凸轮运动仿真

课题组应用 CATIA 软件中的 DMU 运动机构模块建立移动凸轮的运动学仿真模型。将利用 MATLAB 软件所得到的移动凸轮轮廓曲线参数造型成凸轮实

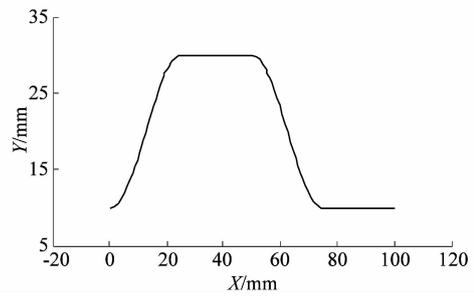


图 7 MATLAB 绘制移动凸轮轮廓曲线图

Figure 7 Movable cam contour curve drawn by MATLAB

体,得到的凸轮机构由齿条、移动凸轮、固定机架和滑杆组成,其三维示意图如图 8 所示。其中齿条与移动凸轮刚性连接,在齿轮的带动下,齿条与移动凸轮组成的刚性连接体在固定机架的槽道内滑动,使滑杆上下往复运动。

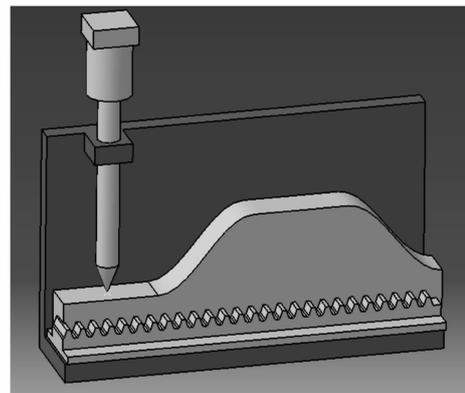


图 8 凸轮机构三维示意图

Figure 8 Three-dimensional graph of cam structure

在整个运动仿真过程中,凸轮机构没有出现错位或者干涉的情况,从动件的运动仿真结果如图 9 ~ 10 所示。图 9 显示从动件的运动位移 H 随时间 t 的变化规律,图 10 显示从动件的运动速度 v 随时间 t 的变化规律。通过仿真所得数据可知,该类型的移动凸轮不存在刚性冲击,符合设计要求。

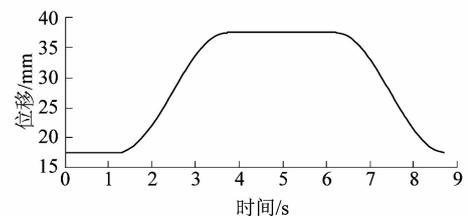


图 9 从动件的位移曲线图

Figure 9 Displacement curve diagram of followers

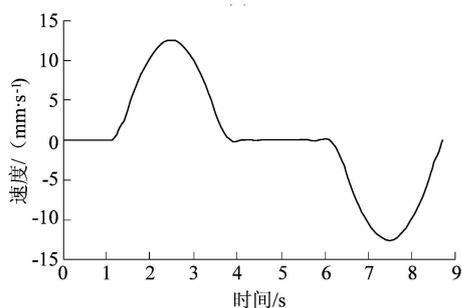


图 10 从动件的速度曲线图

Figure 10 Speed curve diagram of followers

4 结语

课题组应用 CATIA 软件设计了纸箱包装机的三维立体结构,介绍了包装机的控制系统的硬件组成和控制原理,并应用 MATLAB 软件设计了移动凸轮轮廓。运动仿真结果表明:移动凸轮机构无错位、干涉情况,所得轮廓实验运动规律与设计规律一致。课题组所设计的纸箱包装机较目前已有包装机体积更小,由于采用模块化设计更方便包装机的检修。在进行纸箱包装试验后仍存在的问题:①调换纸箱规格,包装效果不理想;②在包装机连续工作的情况下易出现卡死现象。针对纸箱包装机的后续研究可与力学分析相结合,找出包装机运行过程中易损坏的零部件,并加以改善。

参考文献:

- [1] 陈建民.我国包装机械行业发展现状[J].机械工业标准化与质量,2012(4):25-28.
- [2] 陈麒祥.美观、实用、适度、环保—我国纸盒包装发展之方略[J].印刷杂志,2007(7):9-14.
- [3] 刘武,李克天.胶带自动封箱机的结构设计[J].轻工机械,2001,19(1):18-20.
- [4] 黄柏青.ZF5050 全自动折盖封箱机的研制[J].福建农机,1999(增刊1):45-46.
- [5] 张有良,李彩琴,荀向民,等.多工位高速纸箱成型封底机设计[J].包装与食品机械,2009,27(1):6-13.
- [6] 孟令立.模块化包装机械的设计仿真与优化研究[D].天津:天津大学,2011:11-12.
- [7] 李丽阁,张有良,段移丽,等.纸箱包装机纸板取送机构的设计与研究[J].包装与食品机械,2014,32(4):28-30.
- [8] 赵汉雨,姬少龙,刘存祥,等.新型纸箱包装机 PLC 控制系统设计[J].轻工机械,2011,29(3):56-59.
- [9] 马彩云,李振华,胡佳文.基于 PLC 的大型螺杆抛光机控制系统研究[J].机电工程,2014,31(5):612-615.
- [10] 仇海东.全自动高速纸箱包装机的设计与电气控制[J].产业与科技论坛 2014(7):51-52.
- [11] 包海涛,高媛,王德伦,等.凸轮综合特性实验开发设计与实践[J].实验室科学 2014,17(5):16-21.
- [12] 高琨,张森林.基于 PLC 控制的电子凸轮系统设计[J].机电工程,2014,31(11):1419-1422.

(上接第 5 页)

- [5] YUN R, KIM Y, HEO J. Film condensation heat transfer characteristics of R134a on horizontal stainless steel integral-fin tubes at low heat transfer rate [J]. International journal of refrigeration, 2009,32(5):865-873.
- [6] CAVALLINI A, COL D D, DORETTI L, et al. Heat transfer and pressure drop during condensation of refrigerants inside horizontal enhanced tubes [J]. International journal of refrigeration, 2000, 23(1):4-25.
- [7] 钱颂文. 换热器设计手册[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [8] 杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 4 版.北京:高等教育出版社,2006.
- [9] KIM Y, SEO K, JIN T C. Evaporation heat transfer characteristics of R-410A in 7 and 9.52 mm smooth/micro-fin tubes [J]. International journal of refrigeration, 2002, 25(6):716-730.
- [10] KLINE S J, MCCLINTOCK F A. The description of uncertainties in single sample experiments [J]. Mechanical engineering, 1953, 75:3-9.
- [11] PAMITRAN A S, KHABIBAH U, MOHD-GHAZALI N, et al. Characteristics of two-phase flow heat transfer of R-22 and R-290 in horizontal circular small tube [J]. Applied mechanics & materials, 2016, 819(Suppl 1):181-185.

- [12] HAO Bin, TAN Lei, CAO Shuliang, et al. Prediction method of impeller performance and analysis of loss mechanism for mixed-flow pump [J]. Science China (technological sciences), 2012, 55(7):1988-1998.
- [13] MUGGLI F A, HOLBEIN P, DUPONT P. CFD calculation of a mixed flow pump characteristic from shutoff to maximum flow [J]. Journal of fluids engineering, 2002, 124(3):798-802.
- [14] 陈愈,常兆华,华泽钊. 低温工质双相流加速压降与摩擦压降的比较 [J]. 上海理工大学学报, 1985, 7(2):115-122.
- [15] RAMIREZ-RIVERA F, LÓPEZ-BELCHÍ A, VERA-GARCÍA F, et al. Two phase flow pressure drop in multiport mini-channel tubes using R134a and R32 as working fluids [J]. International journal of thermal sciences, 2015, 92:17-33.
- [16] KATTAN N, FAVRAT D, THOME J R. Flow boiling in horizontal tubes, part 1: development of a diabatic two-phase flow pattern map [J]. Journal of heat transfer, 1998, 120(1):140-147.
- [17] HAJAL J E, THOME J R, CAVALLINI A. Condensation in horizontal tubes, part 1: two-phase flow pattern map [J]. International journal of heat and mass transfer, 2003, 46(18):3349-3363.
- [18] 杨英英,李敏霞,马一太. 水平光滑细管内 R32 冷凝换热的流型特性 [J]. 化工学报, 2014, 65(2):445-452.