

一种鸡蛋包装机器人系统的设计与研究

何余海

(江西科技学院, 南昌 330098)

摘要: **目的** 为了提高鸡蛋的包装效率、缩短加工周期, 在整体鸡蛋包装系统工作流程的基础上, 设计一种用于鸡蛋自动包装的机器人, 对鸡蛋进行自动装箱。**方法** 通过分析包装机器人的机械本体结构和控制系统, 设计鸡蛋包装机器人末端抓手的运动轨迹。为了提高鸡蛋的包装效率和抓手的运动柔性, 对末端抓手的速度控制进行算法研究。**结果** 对鸡蛋装箱作业过程进行了仿真研究, 验证了算法设计的合理性, 实际装箱实验表明该系统具有效率高、自动化程度高以及运动柔性高等特点。**结论** 该鸡蛋包装机器人系统实际应用较好, 具有广阔的市场应用前景。

关键词: 包装机器人; 鸡蛋包装; 轨迹规划; 速度控制

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)23-0116-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.23.020

Design and Research of a Kind of Egg Packaging Robot System

HE Yu-hai

(Jiangxi University of Technology, Nanchang 330098, China)

ABSTRACT: The work aims to design an automatic egg packaging robot to automatically pack the eggs based on the general arrangement of egg packaging system, in order to improve egg packaging efficiency and shorten the cessing cycle. On the basis of analyzing the mechanical structure and control system of the packaging robot, the trajectory of the gripper at the end of the egg packaging robot was designed. To improve the egg packaging efficiency and motion controllability of the gripper, the speed control algorithm of the gripper at the end was researched. The simulation study on the egg packaging process was conducted, which verified the rationality of the algorithm design. The actual packaging experiment showed that, the system had high efficiency, high automation and high flexible movement, etc. The proposed egg packaging robot system is practically applied, and has a broad market application prospect.

KEY WORDS: packaging robots; egg packaging; trajectory planning; speed control

在传统鸡蛋包装产业中, 包装盒装鸡蛋存在工人劳动强度大、工作环境差等缺点, 因此, 设计一种用于鸡蛋自动包装的机器人系统是现代食品包装业的发展趋势。利用智能机器人^[1-2]和鸡蛋分级^[3-5]包装来代替人工对鸡蛋进行自动包装, 这对于提高鸡蛋包装的工作效率^[6], 降低人力、物力, 以及提高禽蛋包装加工水平^[7]都有着十分重大的意义。

1 鸡蛋包装机器人系统的构成和工作流程

鸡蛋包装系统总体布置见图 1。该鸡蛋包装系统由蛋架推出装置、自动清洗装置、自动烘干装置、旋

回机械爪、分级装置、蛋盒封口装置, 以及包装机器人、鸡蛋包装盒流水线和鸡蛋包装箱流水线等构成, 分工完成鸡蛋的清洗、烘干、分级、封口、包装后的输送等工序。其中, 高速智能自动称量分级机械装置用于完成鸡蛋的分级作业^[8-12]。包装机器人用于从自动化鸡蛋分级包装机的托盘输送带上抓取装有鸡蛋的托盘, 并放入箱子中, 完成鸡蛋的装箱作业。输送流水线用于对鸡蛋的输送, 以及在包装机器人包装完成后对包装盒和包装箱进行运送, 以便完成后序处理。

鸡蛋包装机器人的包装工作流程见图 2。

1) 首先由欧姆龙光电传感器装置来检测空的鸡蛋包装袋箱子是否已经被运送到指定位置, 并且将检

收稿日期: 2018-09-15

作者简介: 何余海 (1980—), 男, 江西科技学院讲师, 主要研究方向为艺术设计。

测到的信息传送给 ARM 主控制器。如果包装袋箱子没有到位，此时鸡蛋包装盒输送线上有包装盒到达时，则鸡蛋包装盒输送线必须停止，应通过控制器的报警单元进行提示报警；如果有空箱，则进行第 2 步的工作流程。

2) 检测到鸡蛋包装盒输送线上有包装盒到达时，则码垛机器人抓取包装盒，并放入鸡蛋包装箱内。

3) 主控制器记录当前包装箱中包装盒的个数。

4) 判断包装箱是否已经被装满。如果被装满，

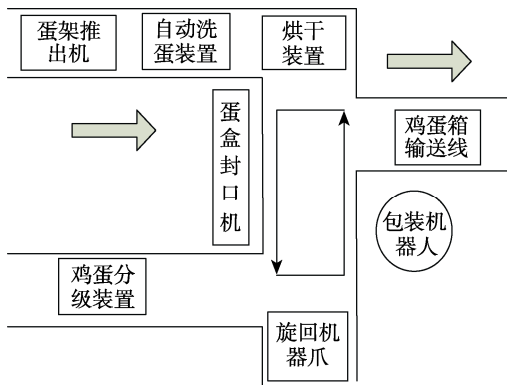


图 1 鸡蛋包装整体系统
Fig.1 Overall egg packaging system

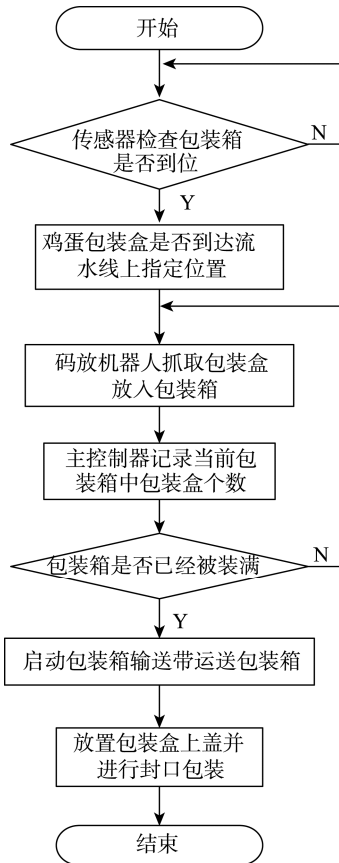


图 2 鸡蛋包装机器人的包装流程
Fig.2 Packaging process of egg packaging robot

则启动包装箱输送带，传送包装箱；如果没有装满，则等待包装机器人将包装盒抓取至包装箱。

5) 放置包装盒上盖，并进行封口包装，至此鸡蛋包装机器人工作流程结束。

2 鸡蛋包装控制系统整体设计

2.1 包装机器人总体结构

该包装机器人有 4 个自由度，包括 2 个移动副、2 个旋转副，其总体结构见图 3。分别由 4 台步进电机驱动，机座上带动机器人自身进行旋转的腰部结构由 1 台步进电机带动，机器人抓手部的步进电机带动抓手绕自身轴旋转，以调整物品在托盘上放置的方位；另外 2 个步进电机分别控制机器人的水平运动和垂直运动，这 2 个电机均通过控制同步带轮来控制滚珠丝杠，从而带动滑块沿丝杠运动，以实现机器人抓手的水平或垂直运动。

2.2 包装机器人的控制系统方案

整个包装机器人的控制系统由 ARM 控制器、PLC 控制器、触摸屏、步进电机驱动器、步进电气、伺服电机驱动器、伺服电机、光电传感器、限位开关、汽缸、鸡蛋包装盒流水线、鸡蛋包装箱输送线等组成，见图 4。ARM 处理器负责接收信号，并进行算法运算，且将结果传递给 PLC 来控制执行包装动作。

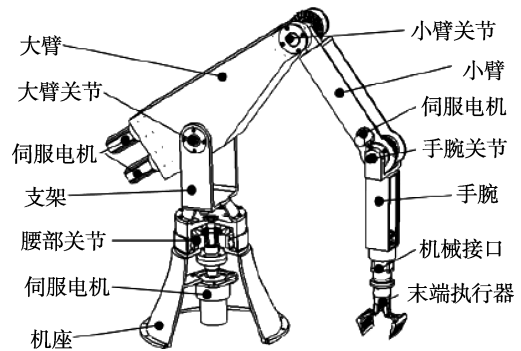


图 3 包装机器人结构
Fig.3 Packaging robot's mechanical structure

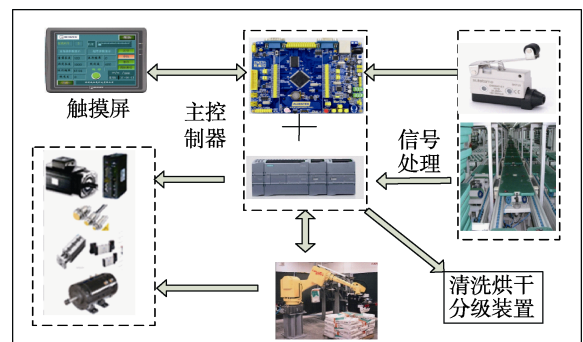


图 4 包装码垛机器人控制系统组成
Fig.4 Composition of control system of pack-stack robot

3 关键算法

3.1 包装机器人抓手运动轨迹

如果需要包装机器人在作业空间里准确完成包装鸡蛋的任务, 则其末端抓手的运动轨迹应十分准确^[13]。在前级鸡蛋包装系统完成鸡蛋的清洗、分级等工序后, 包装机器人在对鸡蛋装箱时所需进行的动作过程是: 包装机器人从输送线托盘上抓取已经被装进包装盒的鸡蛋, 然后机器人的机械臂在 z 方向抬升一定高度后, 机器人的腰部关节自动旋转 90° , 之后控制机械末端抓手将盒装鸡蛋放进鸡蛋包装箱中。鸡蛋自动包装机器人的末端抓手在三维空间里的运动轨迹曲线表示为 $ABCD$, 而且在经过 B 点和 C 点时, 由于末端抓手要急速停止启动, 因此对其运动轨迹进行空间的圆弧过渡, 见图 5。

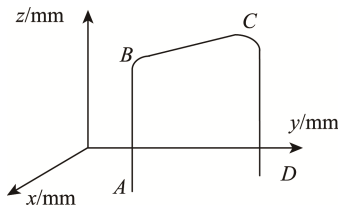


图 5 鸡蛋包装机器人的末端抓手运动轨迹
Fig.5 Trajectory of gripper at the end of the egg packaging robot

3.2 码垛机执行末端速度控制研究

包装机器人在包装过程中, 为了提高自动包装的效率应该快速启动, 需通过步进电机的联动来实现, 步进电机具有很好的数据控制特性^[14]。

文中采用一种简化的五段式 S 型曲线高柔性加减速控制方法, 这样的加速度控制方法具有响应快、冲击小等优点^[15-16]。由此, 文中规划整个加减速过程包括加加速、减加速、匀速、加减速及减减速等 5 个阶段, 且令初速度与末速度不相等, 即不一定减速到与初速度相等的情况, 这样可以提高鸡蛋包装的效率, 曲线见图 6。

包装机器人抓手末端运动速度的情况需要根据抓取点和下一经过点或者经过点与码放点之间的距离来分类讨论, 其中鸡蛋的抓取点和经过点之间的距离 L 的计算公式如下:

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

根据拾取点和经过点之间的距离 L 进行讨论。

1) 当拾取点和经过点之间距离 L 大于加速与减速距离之和时, 机械人的末端抓手经过两点间距离足够长, 即 $L \geq S_a + S_d$, 能够达到匀速运动的速度 F , 此时按照正常的加减速过程进行。

2) 当拾取点和经过点之间距离 L 小于加速与减速距离之和时, 分成以下 3 种情况来讨论:

a. 机器人的末端抓手经过两点间距离较短, 即 $L < S_a + S_d$, 此时加减速情况退化情况见图 7, 不存在匀速运动的情况, 即 $T_v = 0$, 同样 $S_v = 0$ 。

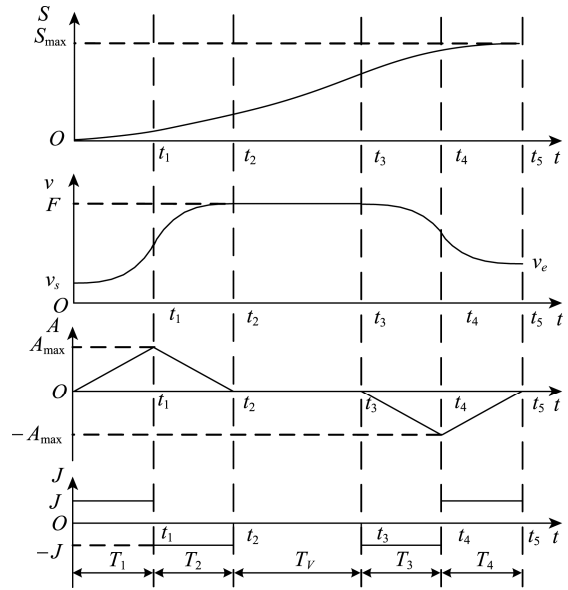


图 6 五段 S 型曲线加减速法曲线
Fig.6 Curves of accelerating and decelerating method based on five stages of S-shaped profile

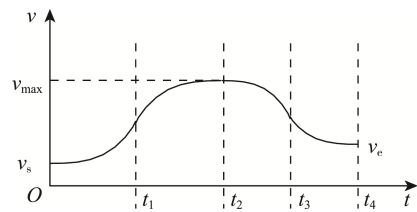


图 7 退化 S 型曲线加减速的速度曲线
Fig.7 Velocity curve of accelerating and decelerating based on degraded S-shaped profile

由码放点和抓取点的两点坐标可以计算出距离 L , 并推出 v_{max} 的计算公式:

$$L = (v_{max} + v_s) \sqrt{\frac{v_{max} - v_s}{J}} + (v_{max} + v_e) \sqrt{\frac{v_{max} - v_e}{J}} \quad (2)$$

式 (2) 用一般的方法无法求得解, 通过导数公式推导可知式 2 右边是关于 v_{max} 的一个单调递增的函数, 这样可以利用数值法求解, 因此, 结合牛顿-拉弗森迭代求解末端抓手的最大速度。文中首先需要构造函数 $f(v)$, 并且令 $f(v) = 0$, 转化为一元四次方程:

$$b^2v^4 + (2bc - 4a^2)v^3 + (c^2 + 2bd - 4a^2e)v^2 + (4a^2e^2 + 2cd)v + (d^2 + 4a^2e^3) = 0 \quad (3)$$

其中, $v = v_{max}$, $c = v_e^2 - v_s^2$, $d = L^2J + v_e^3 - v_s^3$, $a = L\sqrt{J}$, $b = v_s - v_e$, $e = v_s$ 。具体实现方法: 选取迭代初值, 初值的选取对牛顿迭代算法次数的影响非

常大,取合适的初值,可减少迭代计算量和减轻 ARM 控制器的负担,选取初次迭代值: $v_0 = \min(v_s, v_e)$; 求取公式 3 的导数,并将 v_0 代入迭代格式 $v_{k+1} = v_k - f(v_k) / f'(v_k)$ 求得 v_{k+1} , 其中 $k=0,1,\dots$; 若 $|v_{k+1} - v_k| \leq \delta$, 输出 v_{k+1} 并结束迭代; 若 $|v_{k+1} - v_k| > \delta$, 且迭代次数 k 小于最大迭代次数 N , 转回上一步骤。如果抓取点和下一经过点之间的距离过短,不足以完成先加速后减速的 S 型曲线,此时,对 S 型加减速进行必要的简化处理。

b. 当 $v_s \leq v_e$ 时, 此时由 v_s 加速到 v_e 的距离为 S_a^1 。若 $S_a^1 > L$, 则在机器人末端抓手的速度控制中对 S 型加减速进行简化, 这样直接由 v_s 加速到 v_e , 见图 8。

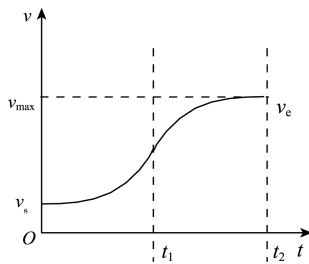
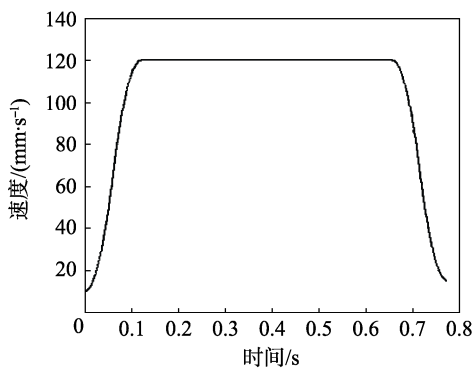
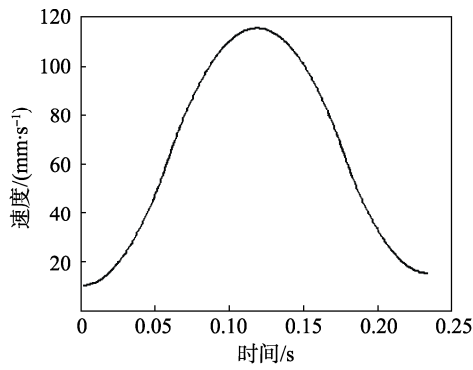


图 8 简化 S 型曲线匀加速的速度曲线
Fig.8 Velocity curve of accelerating based on degraded S-shaped profile

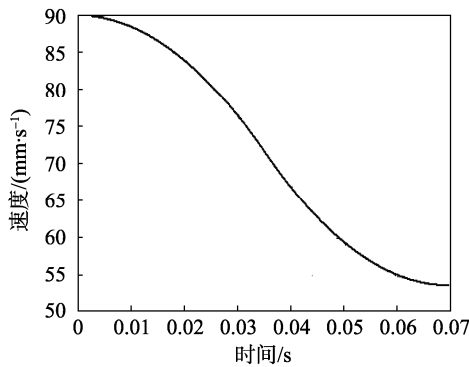
c. 当 $v_e \leq v_s$ 时, 此时由 v_s 直接减速到 v_e 的距离



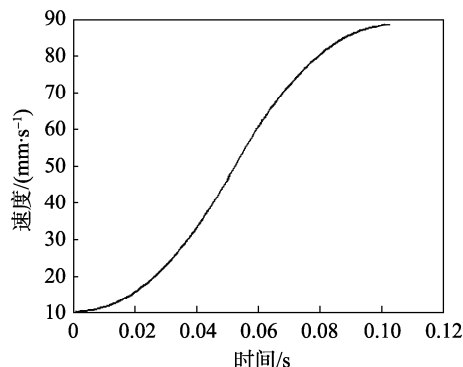
a 存在匀速运动



b 无匀速运动



c 仅存在匀减速运动



d 仅存在匀加速运动

图 10 速度仿真曲线
Fig.10 Velocity simulation curve

S_d^1 。若 $S_d^1 > L$, 则在机器人末端抓手的速度控制中对 S 型加减速进行修正, 这样由 v_s 经过减速阶段 v_e , 见图 9。

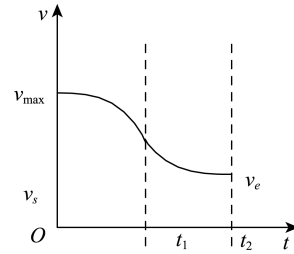


图 9 简化 S 型曲线匀减速的速度曲线
Fig.9 Velocity curve of decelerating based on degraded S-shaped profile

4 实验验证

4.1 速度算法仿真

在 MATLAB 中对文中采用的速度控制算法进行仿真, 对包装机器人在运动过程中抓取点、经过点和码放点中坐标值输入并且设定匀速运动的速度, 其中, 存在匀速运动、无匀速运动、仅存在匀减速、仅存在匀加速等 4 种情况下的速度算法进行仿真实验, 见图 10。

从图8可以看出,文中采取的速度算法合理而有效,并且增加了抓取过程中的运动柔性。

4.2 包装机器人装袋实验

在实际生产过程中,对鸡蛋包装机器人工作过程进行实验,记录实验结果见表1。整个鸡蛋包装系统能够持续工作1500 h,鸡蛋包装箱平均包装时间短,在鸡蛋运动过程中拾取和码放效率高、运动柔性高。

表1 鸡蛋包装实验结果
Tab.1 Results of egg packaging test

组别	包装个数	成功次数	平均包装时间/s	处理时间/s	平均迭代次数
1	500	497	3.9	0.18	3
2	500	498	3.8	0.20	4
3	500	496	3.8	0.16	4
4	500	499	3.7	0.17	5

5 结语

在充分调研了当前鸡蛋分级装置和机械结构发展现状的基础上,利用以ARM控制器和西门子PLC双控制器为核心,设计了一种用于鸡蛋自动包装的系统,实现了一种粮食包装机器人系统的国产化设计,并且重点对系统中的包装机器人机械结构和控制系统进行了研究,并规划了其末端执行器轨迹和运动速度算法,提高了速度,降低了包装的运动冲击,提高了包装效率。

对鸡蛋装箱作业过程进行了仿真研究,验证了算法设计的合理性,并进行了实际装箱实验。实验结果表明,该系统具有效率高、自动化程度高以及运动柔性高等特点。文中研究的鸡蛋包装机器人系统实际应用较好,具有广阔的市场应用前景。

参考文献:

- [1] 王树才,文友先,苏工兵. 禽蛋检测与分级智能机器人系统的设计[J]. 机械工程学报, 2008, 44(2): 182—188.
WANG Shu-cai, WEN You-xian, SU Gong-bing. System of Intelligent Robot Detecting and Grading Eggs[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(2): 182—188.
- [2] 王鹏云. 鸡蛋分级包装设备主要结构设计和运动仿真[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
WANG Peng-yun. The Main Structure Design and Motion Simulation of the Egg Grading Packaging Equipment[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [3] 杨春伟. 基于DSP的多通道禽蛋动态称量及分级控制研究与开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
YANG Chun-wei. Research and Development of Multichannel Egg Dynamic Weighing and Grading Control System Based on DSP[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [4] 蔡文. 水果动态称量与自动化分选控制系统的研究与开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2011.
CAI Wen. Research and Development of the Control System for Fruit Dynamic Weighing and Automatic Sorting Lines[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [5] 王树才,吴曼琳,吴闯. 鸡蛋电子称量分级包装生产线自动控制系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 265—270.
WANG Shu-cai, WU Man-lin, WU Chuang. Design and Test of Automatic Control System for Egg Electronic Weighing and Grading Packaging Production Line[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2017, 33(3): 265—270.
- [6] 江应红. 国内外洁蛋生产装备对比分析与展望[J]. 中国禽业导刊, 2009(14): 44—45.
JIANG Ying-hong. Analysis and Prospect of Domestic and International Comparison of Clean Egg Production Equipment[J]. Guide To Chinese Poultry, 2009(14): 44—45.
- [7] 宁欣. 禽蛋的分级、检测与包装[J]. 中国家禽, 2004, 26(12): 56—60.
NING Xin. Grading, Testing and Packaging of Eggs[J]. The Chinese Poultry, 2004, 26(12): 56—60.
- [8] 王树才. 禽蛋检测与分级智能机器人研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
WANG Shu-cai. Research on Egg Detection and Classification Intelligent Robot[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2006.
- [9] 王树才,任奕林,文友先. 禽蛋检测与分级智能机器人系统的软件实现[J]. 华中农业大学学报, 2008, 27(2): 335—339.
WANG Shu-cai, REN Yi-lin, WEN You-xian. Software Realization of Egg Detection and Classification Intelligent Robot System[J]. Huazhong Agricultural University, 2008, 27(2): 335—339.
- [10] 舒祖菊,刘盛全,李锐,等. 鲜鸡蛋运输包装中缓冲结构的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(2): 311—314.
SHU Zu-ju, LIU Sheng-quan, LI Rui, et al. Study on Buffer Structure in Fresh Egg Transport Packaging[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2012, 39(2): 311—314.
- [11] NG Y K, XIE Y, WANG C, et al. Development of a New Velocity Profile Generation for Improvement of CNC Machining Efficiency[C]// IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2008: 313—318.
- [12] 王亮,郁志宏,温鹿,等. 鸡蛋自动检测分级与包装装置的设计[J]. 农业化研究, 2013, 3(23): 117—120.

- WANG Liang, YU Zhi-hong, WEN Lu, et al. The Setting of a Chicken Egg Auto-check Rating and Package Placement[J]. *Agrochemical Study*, 2013, 3(23): 117—120.
- [13] 李悦凤. 用“正交试验法”优化滚锥轴承滚道粗超精工艺参数[J]. *机械工程师*, 2010(9): 34—36.
- LI Yue-feng. Using the "Orthogonal Test Method" to Optimize the Parameters of the Roller Bearing of Roller Cone[J]. *Mechanical Engineer*, 2010(9): 34—36.
- [14] 刘宝志. 步进电机的精确控制方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2010.
- LIU Bao-zhi. The Precise Control Method of Stepping Motor is Studied[D]. Jinan: ShanDong University, 2010.
- [15] 王彩芳. 一种简化 S 型加减速算法的研究[J]. *加工技术与机床*, 2016, 45(7): 56—59.
- WANG Cai-fang. A Study on Simplifying S-type Addition and Reduction Method[J]. *Processing Technology and Machine Tools*, 2016, 45(7): 56—59.
- [16] 杨超, 张冬泉. 基于 S 曲线的步进电机加减速的控制[J]. *机电工程*, 2011(7): 813—817.
- YANG Chao, ZHANG Dong-quan. Control of Acceleration and Deceleration of Step Motor Based on S Curve[J]. *Electromechanical Engineering*, 2011(7): 813—817.