

卫生香包装振动上料装置研究

赵仕奇¹, 黄银花^{1,2}, 何晓佑³

(1. 淮安信息职业技术学院 传媒艺术系, 淮安 223003; 2. 南京理工大学 机械工程学院, 南京 210004; 3. 南京艺术学院, 南京 210013)

摘要: 为实现卫生香六边形截面包装的自动上料, 研究了一种新型的振动上料装置。该装置采用电磁铁为驱动元件, 建立模块化单元。采用离散的 PID 控制系统控制, 通过调节电压值、频率值实现振动上料的振幅变化。实验结果表明, 当激振力幅为 258 N, 频率为 65 Hz 时, 振动上料装置的动态性能最优。研究的装置能完成物料器中杂乱堆放的卫生香规律分离后定量、定时、定向排列振动上料, 可应用于卫生香自动包装生产线。

关键词: 卫生香; 电磁铁; 结构原理; PID 控制系统; 振动上料

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2013)23-0084-04

Development on Vibration Feeding Device of Incense Stick Packaging

ZHAO Shi-qi¹, HUANG Yin-hua^{1,2}, HE Xiao-you³

(1. Art and Media Department, Huaian College of Information Technology, Huaian 223003, China; 2. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210004, China; 3. Nanjing University of the Arts, Nanjing 210013, China)

Abstract: In order to achieve automatic packaging of fragrant incense hexagon section, a new type vibration feeding device was developed. Electromagnet was used as driving unit and modular units were established. The discrete PID control system control was used and the voltage and frequency values were adjusted to implement the amplitude change of vibration feeding. The experimental results showed that the dynamic performance of feeder is the optimal when the vibration force is 258 N and the frequency is 65 Hz; the device can do quantitative, timing, and directional alignment of incense stick for feeding after separation from material feeder; it can be applied in the automatic packing production line of incense stick.

Key words: incense stick; electromagnet; structure principle; PID control system; vibration feeding

由于自动化流水线所加工产品的品种繁多, 形式多样, 因此上下料机构的种类庞杂, 上下料原理、结构形式各不相同。国外比较发达的国家特别是德国、意大利、日本等国家虽然在自动上下料理论及实践研究中都已很成熟, 但是针对卫生香细长棒料截面成形包装振动上料的研究很少。我国在这方面的研究工作上比国外起步晚^[1-5]。Ohio State University, Gary Maul 在基于传感器的智能振动传输方面进行了大量研究, 而且还尝试了在振动传输装置上加压缩空气喷嘴代替工业机械臂完成工件剔出动作的研究^[6-8]。日本神钢电机株式会社制造了双运动机构供料器, 通

过微机控制单独给予料斗水平振动和垂直振动的振幅及相位差, 达到最大相位差时, 物件可以得到椭圆振动, 得到最佳振动特性^[9]。查阅相关文献发现, 我国现阶段一些大型工程的上下料生产采用的是电机振动供料器, 小型精密工程也采用压电振动供料器, 但大部分是进口或仿制这些发达国家地区的相关振动物料器。对于卫生香这类上料装置至今尚未形成产业, 对于截面成形包装自动化生产上料研究处于很落后的状态^[10-12]。针对这一现状, 笔者研究了一种新型的卫生香截面成形包装振动上料装置, 此装置振动上料速度、振动幅值可根据实际生产调节, 上料振

收稿日期: 2013-10-14

基金项目: 江苏省淮安市科技支撑计划工业项目(HAG2012030)

作者简介: 赵仕奇(1981-), 男, 满族, 硕士, 淮安信息职业技术学院讲师, 主要研究方向为工业产品设计。

动装置规律自动分离物料器中杂乱无章的卫生香细长棒料、采用离散的 PID 控制系统,操作方便,稳定性好,低噪音,控制精度高,使用寿命长。

1 振动上料装置结构及工作原理

卫生香截面成形包装振动上料装置的结构原理见图 1,该装置包括控制器、物料器、传感器、电磁铁、倾斜板弹簧,电磁铁采用电磁线圈由离散的 PID 控制系统控制,电压值、频率值可调节,电磁线圈通电后,产生脉冲电磁力,驱动振动弹簧变形。衔铁与铁芯之间脉冲电磁力作周期性变化,使上料装置振动,因物料与振动滑道之间摩擦力变化,使卫生香上料装置物料存放器中杂乱堆放的卫生香实现自动定向排列,完成规律的分离滚动上料。

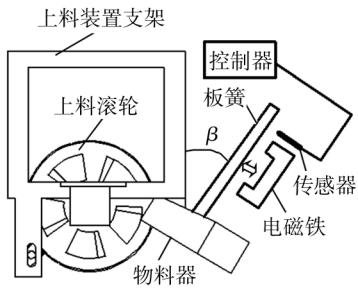


图 1 振动上料装置原理结构

Fig. 1 Vibration feeding device structure principle diagram

2 电磁振动装置设计

设计的振动装置采用电磁铁为驱动元件,结构简单,分工明确,建立模块化单元。电磁铁驱动与控制信号相连接,通过电源线输入电力,驱动供料斗振动,实现料斗中的管棒料振动下分离、定向、定量的滚动上料。具体的模块框图见图 2。

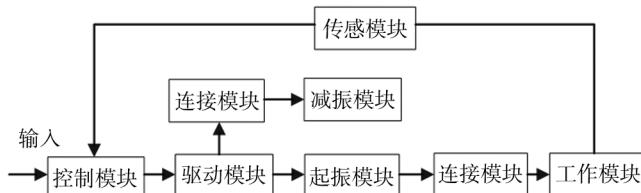


图 2 振动模块

Fig. 2 Vibration block diagram

电磁铁是振动器能量转换装置,电磁铁设计的好

坏直接影响振动的预期效果,所以要保证激振频率、振幅、磁极气隙等参数,设供电电压有效值为 U ,角频率为 ω ,频率 $f_z = \frac{\omega}{2\pi}$, 铁芯线圈匝数为 Z ,铁芯最大磁通量 $\phi_{\max} = \frac{U}{4.4Zf_z}$, 电磁铁磁极个数为 2,磁极面积为 S ,最大磁感应强度 $B_{\max} = \frac{\phi_{\max}}{\sigma_0 S}$, 激振动力力幅为 $F = \frac{4B_{\max}^2 S}{3\pi\mu} = \frac{4U^2}{4.44^2 \times 3 \times \pi \mu f_z^2 Z^2 \sigma_0^2 S \cos 45^\circ}$, 在设计中, 取 $B_{\max} = 0.5$ T,漏磁系数 $\sigma_0 = 1.1$,空气磁导率 $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m, $S = 3.5 \times 10^{-3}$ m²,取 $f_z = 60$ Hz, $U = 220$ V。

$$\text{电磁铁线圈匝数 } Z = \frac{0.9U}{4.44 \times f_z \phi_{\max}} = 386$$

$$\text{激振力力幅 } F = 258 \text{ W}$$

为了保证近共振状态下上料料斗可靠地进行上料,该振动器采用橡胶弹簧作为减振弹簧。

该减振弹簧采用邵氏硬度 HS525,弹性模量 $E = 0.73$ N/mm²,切变模量 $G = 0.25$ N/mm²,减振弹簧个数 $i = 2$,与料斗底盘中心距 $r_c = 110$ mm,弹簧的初始内径 $r_1 = 3$ mm, $r_2 = 12$ mm,高 $H = 38$ mm,弹簧外径 $r_o = 110$ mm。取弹簧动载系数 $d = 1.1$,计算:

$$F_0 = \pi \times (r_2^2 - r_1^2) = 424 \text{ mm}^2$$

$$\mu_0 = d \times \left[1 + 1.65 \left(\frac{r_2 - r_1}{2H} \right)^2 \right] = 1.13, \text{ 弹簧动刚度}$$

$$K = \frac{d i F_0}{H} \left[\mu_0 E + \frac{G}{2r_o^2} (r_1^2 + r_2^2 + 2r_c^2) \right] = 26.43 \text{ N/mm}, \text{ 弹簧}$$

$$\text{静刚度 } K' = \frac{i \mu_0 E F_0}{H} = 18.43 \text{ N/mm}, \text{ 减振弹簧最大压缩}$$

$$\text{应变量 } \varepsilon_{\max} = \frac{1}{H} \left(\frac{G_0}{K'} + \frac{A}{\xi} \right) = 12.9\%, \text{ 小于 } 15\%, \text{ 符合设计要求。}$$

3 振动上料装置控制系统

3.1 振动上料装置控制系统数学模型

根据电磁振动装置的控制系统原理,由于传感器检测振幅形成闭环,应对返回的信号进行校核,以达到连续调整激振频率和自动稳定的物料器振幅的效果。考虑到此原因,该装置采用离散的 PID 数字控制器,控制原理见图 3^[13-14]。

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

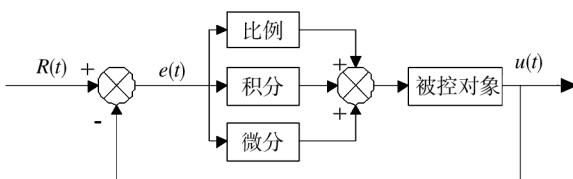


图 3 PID 控制原理

Fig. 3 PID control system diagram

式中: $u(t)$ 为调节器的输出信号; $e(t)$ 为偏差信号, 其值为给定量与输出量之差; K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数, $t \approx kT$, ($k = 0, 1, 2, \dots, n$)

$$\int_0^t e(t) dt \approx T \sum_{j=0}^k e(jk) = T \sum_{j=0}^k e(j) \frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T}$$

也可表示为:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)]$$

式中: $t = kT$, ($K = 0, 1, 2, \dots, n$), T 为采样周期; K_i 为积分系数, $K_i = \frac{K_p T}{T_i}$; K_d 为微分系数, $K_d = \frac{K_p T_d}{T}$; $e(k)$ 为系统第 k 次采样时刻的偏差值; $e(k-1)$ 为系统第 $(k-1)$ 次采样时刻的偏差值。

3.2 振动上料装置控制算法

由于在执行器为电动阀门或步进电动机的系统中采用增量控制算法, 文中选用增量式控制算法。数字调节器的输出只是增量 $\Delta u(k)$:

$$\Delta u(k) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

也可以表示为:

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_d [\Delta e(k) - \Delta e(k-1) + e(k-2)]$$

由于一般计算机控制系统采用恒定的采样周期 T , 一旦 K_p, K_i, K_d 参数值确定, 只要使用前后 3 次测量值的偏差, 即可求出控制增量。它仅与最近 3 次的采样值有关, 所以比较容易通过加权处理来获得较好的控制效果, 并且计算机工作量小, 计算速度快, 便于实现。

PID 调节算法中各参数的选择关系到其性能的优劣, 需要经过多次试验确定合适的参数。本项目经过反复试验后确定比例系数 K_p 为 2, 积分常数 T_i 为 4.3, T_d 为 1.14, 其控制系统输出响应曲线见图 4, 曲

线 1 为无 PID 校正输出, 曲线 2 为比例加积分校正输出, 曲线 4 为 K_p 为 2 输出, 曲线 4 为比例加积分微分 PID 输出。

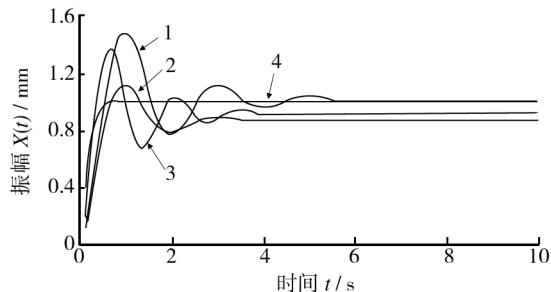


图 4 PID 控制输出响应曲线

Fig. 4 PID control output response curve

3.3 振动上料装置实验结果

图 5 为输入电压为 135 V 保持不变, 依次改变频率值, 输出位移与输入电压频率的关系, 改变电压频率, 振幅发生相应变化。图 6 为输入电压频率为 60 Hz 保持不变, 依次改变输入电压值, 输出位移与输入电压的关系, 改变电压值, 振幅也发生相应变化。实验表明输出幅值受频率变化的影响比电压变化的影响大, 当频率在 65 Hz 左右时, 物料器的动态性能最

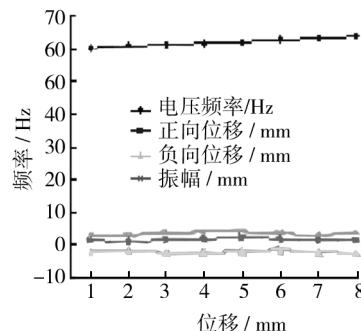


图 5 输出位移与输出电压频率关系

Fig. 5 Output displacement and output voltage frequency relations

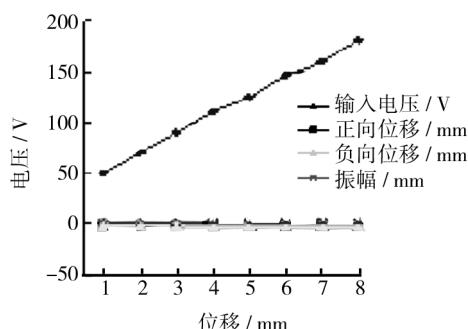


图 6 输出位移与输入电压关系

Fig. 6 Input voltage and output displacement relations

优,基本达到共振状态。

4 结语

文中研究的卫生香自动化包装振动上料装置是现代加工和包装机械不可缺少的组成部分,也可以说是整个生产线“咽喉”,其结构与工作性能的好坏,对提高产品质量、生产效率和自动化水平均起着重要作用。该装置是集传感器和智能控制于一体的柔性振动上料系统,满足了敏捷制造技术要求,充分发挥了振动式上料的优势,代替人工完成简单重复性、劳动强度高的工作,提高了生产自动化程度,提高了生产率,提高了产品一致性,降低了生产成本,更好地为卫生香自动包装生产服务。

参考文献:

- [1] 魏泽鼎,樊明,魏国清.振动上料装置的动态研究及动力驱动问题研究[J].机械设计与制造,2008(6):141-142.
WEI Ze-ming, FAN Ming, WEI Guo-qing. Vibration Feeding Device of Dynamic Study and Dynamic Drive[J]. Journal of Mechanical Design and Manufacturing, 2008(6):141-142.
- [2] 胡海清,刘雪雪. PLC 与自动生产线技术[M].北京:北京理工大学出版社,2010.
HU Hai-qing, LIU Xue-xue. PLC and Automatic Production Line Technology[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2010.
- [3] MAHDAVIAN S A, MAHDAVIAN S M, BROOY R L. Effects of Driving Signal Forms and Frequency in the Performance of a Vibratory Bowl Feeder [C]//Proceedings of the International Conference on Manufacturing Automation, Hong Kong, 1992, 836-8411.
- [4] 蔡锦达,秦绪祥,王亮.全自动封口旋盖机控制系统设计[J].包装工程,2012,33(3):5-9.
CAI Jin-da, QIN Xu-xiang, WANG Liang. Design of Control System of Automatic Sealing Capping Machine [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3):5-9.
- [5] OKABE S, KAMIYA Y, TSUJIKADO K, et al. Vibratory Feeding by Non-sinusoidal Vibration Optimum Wave Form of Vibration, Acoustics, Stress and Reliability Design [J]. ASME Transaction, 1985, 107:188-195.
- [6] EMILIANO M, RAFFAELE D G, GIORGIO D. Elastodynamic Analysis of Vibratory Bowl Feeders: Modeling and Experimental Validation[J]. Mechanism and Machine Theory, 2013, 60:60-72.
- [7] CHAO P C P, SHEN C Y. Dynamic Modeling and Experimental Verification of a Piezoelectric Part Feeder in a Structure with Parallel Bimorph Beams [J]. Ultrasonics, 2007, 47(3):205-218.
- [8] WIENDAHL H P, RYBARCZYK A. Using Air Stream for Part Feeding Systems-innovative and Reliable Solutions for Orientation and Transport[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 138:189-195.
- [9] 贺相,王亚军.日本振动料斗的调查[J].组合机床与自动化加工技术,1994(11):17-21.
HE Xiang, WANG Ya-jun. Japan's Vibration Hopper Survey [J]. Combination Machine Tools and Automatic Processing Technology, 1994(11):17-21.
- [10] 赵建城,李树.全自动粉料灌装机结构设计[J].包装与食品机械,2005(1):14-16.
ZHAO Jian-cheng, LI Shu. Structure Design of the Automatic Powder Filling Machine [J]. Packaging and Food Machine, 2005(1):14-16.
- [11] ASHRAFIZADEH H, ZIAEI-RAD S. A Numerical 2D Simulation of Part Motion in Vibratory Bowl Feeders by Discrete Element Method[J]. Journal of Sound and Vibration, 2013, 332(13):3303-3314.
- [12] 黄斌.基于图像识别的包装机下料控制系统设计[J].包装工程,2012,33(23):75-79.
HUANG Bin. Design of Feeding Control System of Packaging Machine Based on Image Identification [J]. Packaging Engineering, 2012(23):75-79.
- [13] GUNTHER R, MICHAEL L. Design of a Modular Feeder for Optimal Operating Performance [J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2010, 3(3):191-195.
- [14] 陈满儒,王海峰,张文明.神经网络 PID 在包装机控制系统中的应用研究[J].包装工程,2009,30(4):10-11.
CHEN Man-ru, WANG Hai-feng, ZHANG Wen-ming. Applied Research of Neural Network PID in Control System of Packaging Machine [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(4):10-11.
- [15] 尚欣,刘晶.基于 TRIZ 的卷筒纸包装机折边机构设计[J].包装工程,2011,32(4):76-79.
SHANG Xin, LIU Jing. Flanging Mechanism Design of Web Packaging Machine Based on TRIZ [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(4):76-79.
- [16] 丁毅,陈艳.横烟检测装置包装机的应用研究[J].包装工程,2008,29(6):96-97.
DING Yi, CHENG Yan. Transverse Tobacco Detection Device Packaging Machine Application Research [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(6):96-97.