

自动硬币分点装置设计与样机研制

赵静¹, 邱海飞¹, 段航波², 姚瑶¹

(1.西京学院, 西安 710123; 2.西安石油大学, 西安 710065)

摘要: **目的** 为了方便快捷地实现硬币的分类与清点, 设计研制了一种新型自动硬币分点机械装置。**方法** 利用送币漏斗和水平传送带将混合硬币(1角、5角及1元硬币)运输至倾斜滑道, 通过低频振动和直径筛选对硬币进行快速分类, 然后在基于C语言、单片机和压力传感器开发的控制程序作用下对硬币进行称量计数, 并在液晶屏上实时显示清点结果, 直至硬币分点完毕。**结果** 研制的实验样机造型轻巧、性能可靠, 能够快速、精确地对硬币进行自动分点, 最大硬币分点量约260枚/min。**结论** 该装置有效降低了硬币分点的技术难度和复杂性, 可适用于硬币流通量大的工作机构和生活场所, 具有较好的应用价值和推广前景。

关键词: 硬币; 机架; 分点; 振动; 3D打印; 实验; 传感器

中图分类号: TB486; TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)03-0193-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.03.029

Design and Prototype Development of the Automatic Device for Coins' Sorting and Counting

ZHAO Jing¹, QIU Hai-fei¹, DUAN Hang-bo², YAO Yao¹

(1.Xijing University, Xi'an 710123, China; 2.Xi'an Shiyu University, Xi'an 710065, China)

ABSTRACT: The work aims to design and develop a new type of automatic mechanical device used to sort and count coins conveniently and quickly. The mixed coins (1 jiao, 5 jiao and 1 yuan) were transported to inclined ramp by feeding funnel and horizontal conveyor belt, and the coins were quickly sorted through low-frequency vibration and diameter filter. Then, the coins were weighed and counted under the control program developed by C language, single chip micro-computer and pressure sensor; besides, the results were displayed on the LCD screen in real time until the coins were sorted and counted. With light structure and reliable performance, the developed experimental prototype could automatically sort and count the coins quickly and accurately, and the maximum amount of the coins suitable to it was about 260 per minute. The device effectively reduces the technical difficulty and complexity of the coins' sorting and counting. It can be applied in some working organizations and living places which need large coin circulation, and has better application value and promotion prospect.

KEY WORDS: coins; rack; sorting and counting; vibration; 3D printing; experiment; sensor

货币是人类社会活动和文明发展的重要产物。我国是世界上最早使用货币的国家之一,如贝币、刀币、布币、环钱及蚁鼻钱等,都是远古时代的流通货币^[1]。

硬币是现代社会生活中常用的交易币种之一,在农贸市场、无人超市、公交公司、地铁站及银行等场所,每天都会涉及大量的硬币流通与交易^[2]。虽然硬币自

收稿日期: 2018-10-10

基金项目: 陕西省教育厅科研计划(15JK2177); 西京学院校科研基金(XJ170104)

作者简介: 赵静(1979—),女,硕士,西京学院讲师,主要研究方向为工业设计、产品造型设计。

身具有携带方便、不易磨损、造价低廉等诸多优点^[3],但是长期以来,硬币清点工作是一直困扰相关行业及人员的一项难题。传统的人工清点不仅工作量大、耗时费力,而且效率低下、容易出错。市场上现有的硬币清点设备规格多样、参差不齐,不仅在精度和性能方面难以达到预期要求,而且还存在功能单一、可靠性差及自动化程度不高等共性问题。针对硬币分点工作的技术难度和复杂性,文中设计研发一种基于“物理属性和称重原理”的新型硬币自动分点装置,可方便快捷地实现混合硬币(1角、5角及1元硬币)的精确分类与清点,为烦心劳力的硬币分点工作提供技术支持。

1 硬币物理属性

自公元前221年秦始皇统一中国以来,不同历史时期都出现过具有朝代特征的货币,虽然在钱币形状及币额等方面存在差异,但基本都是由金、银、铜等贵金属铸造而成^[4-5]。当前,我国发行的市面流通硬币主要有3种,即1角、5角和1元硬币,其中,1角硬币又包括2种,即2000年版铝合金材质和2005年版不锈钢。硬币物理属性见表1^[6],分析比较可知,3种硬币的厚度较为接近,但其直径大小各不相同;另外,为了携带和使用便利,往往要求硬币的质量较轻^[7-8],尽管如此,由于其体积和材质等原因,市面流通的1角、5角和1元硬币在质量方面还是存在明显差异。

表1 硬币物理属性
Tab.1 Physical attributes of coins

币种	材质	质量/g	直径/mm	厚度/mm
1角	铝合金	1.15	19	1.67
	不锈钢	3.2	19	1.67
5角	钢芯镀铜	3.80	20.5	1.65
1元	钢芯镀镍	6.10	25	1.85

2 系统结构及组成

2.1 总体结构

自动硬币分点装置采用箱式框架结构(见图1),以机架结构为支撑基础,对其余零部件进行装配和固定,如送币漏斗、传送带、驱动电机、开关电源、显示屏、压力传感器、集币漏斗、回收盒及滑道等。该装置具备硬币分类和清点两大功能,主要由三大模块构成:第1部分是可调速传送带,用于硬币的输送和速度控制;第2部分是具有振动功能的倾斜滑道,用于混合硬币的分类;第3部分是硬币清点系统,用于回收硬币的计数和信息显示。

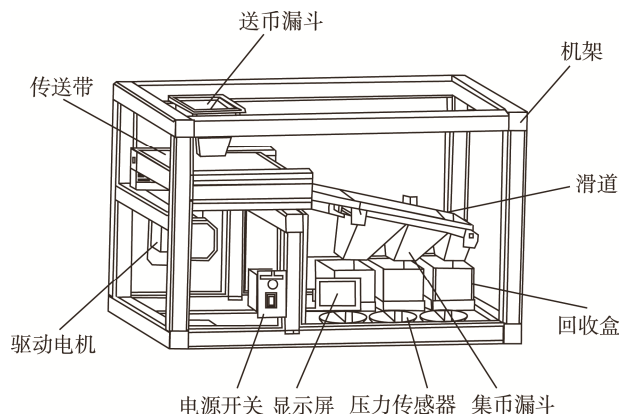


图1 机械结构组成

Fig.1 Composition of the mechanical structure

硬币分点工作过程为:首先按下电源开关,启动机械传动和电子控制系统;然后将混合硬币由送币漏斗下落到传送带;接着通过滑道低频振动对硬币进行分类,使1角、5角和1元硬币按照直径大小分别落入相应回收盒,与此同时,压力传感器通过质量检测计算出回收盒中硬币的数量和金额,并在LCD屏上实时显示硬币清点信息。

2.2 关键功能部件

传动装置主要功能是将混合硬币输送至倾斜滑道,见图2,其结构主要包括直流电机、链传动、传送带、滚筒支架、调节丝杠等。为了能够实现混合硬币的流畅分点,选用可调速三相直流电机作为动力输入,通过带速控制实时调节硬币送入流量,以防止混合硬币在滑道入口处发生堵塞。电机输出转速为0~40 r/min,功率为60 W,电压为220 V,频率为60 Hz,调速范围为18~40 r/min。

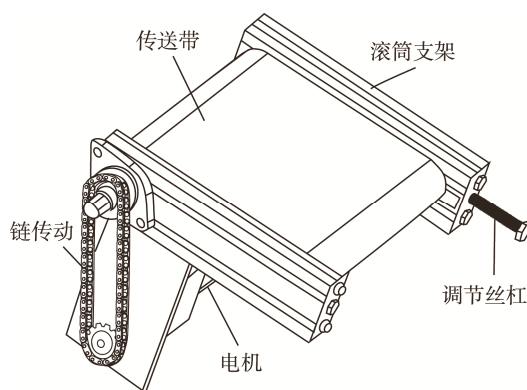


图2 传动装置

Fig.2 Transmission device

分拣滑道主要用于对不同规格的硬币进行分类,见图3。滑道表面设计有5组平行排列而成的圆孔,各排圆孔之间设计有1 mm厚,15 mm高的导流分隔板(如图3中黑色粗实线)。其中,1角硬币分拣圆孔有4排,孔径为19.5 mm>19 mm(实际1角硬币直

径);5角硬币分拣圆孔有3排,孔径为24 mm>20.5 mm(实际5角硬币直径)。最下方的矩形空心区域为1元硬币分拣区,尺寸为134 mm×55mm,远大于实际1元硬币的直径(25 mm)。混合硬币经由传送带运送至分拣滑道,在硬币惯性和滑道低频振动作用下,硬币在各排导流分隔板之间沿滑道倾斜表面向下运动进入分拣区,并按照1角→5角→1元的顺序依次落入下方回收盒。

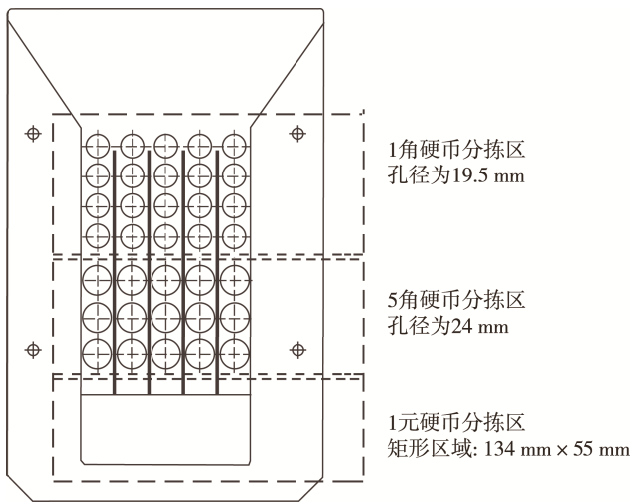


图 3 分拣滑道
Fig.3 Sorting ramp

2.3 三维造型设计

从产品设计和人机工程角度出发,在 SolidWorks 平台上对各零部件进行三维 CAD 实体造型,主要包括机架、送币漏斗、传送装置、分流罩、分拣滑道、支架、回收盒及盖板等。严格按照结构组成和功能要求对各造型零部件进行组装,避免数字样机出现干涉、约束过定义等装配问题^[9]。

在造型设计过程中充分考虑各零部件的功能要求,在性能可靠的前提下尽量使其结构轻巧、外观新颖,送币漏斗造型见图 4。其主要功能是将混合硬币快速且流畅地滑落至传送带表面,因此将漏斗内部结

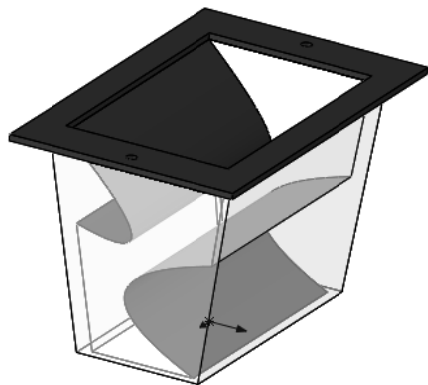


图 4 曲面漏斗造型
Fig.4 Surface funnel modeling

构设计为仿 S 形曲面形状,这样不仅可以有效减缓硬币下落速度,避免硬币在漏斗出口处发生堵塞,而且能够减轻硬币对传送带表面的冲击载荷,有利于送币传动系统的稳定运行。

3 控制系统构成

利用物理属性差异来实现硬币的分类与清点,其控制流程见图 5。首先通过振动分流和直径筛选,将混合在一起的1角、5角及1元硬币进行分类,然后通过压力传感器对硬币重量进行检测来实现计数,同时将清点完成的硬币信息(数量、金额等)实时显示在 LCD 屏上。考虑到压力传感器的称量范围,对其承载负荷设定一个阈值,当清点的硬币数量超过计数上限时,系统会发出警报提醒,此时将集币装置中的硬币进行回收以备再次利用。

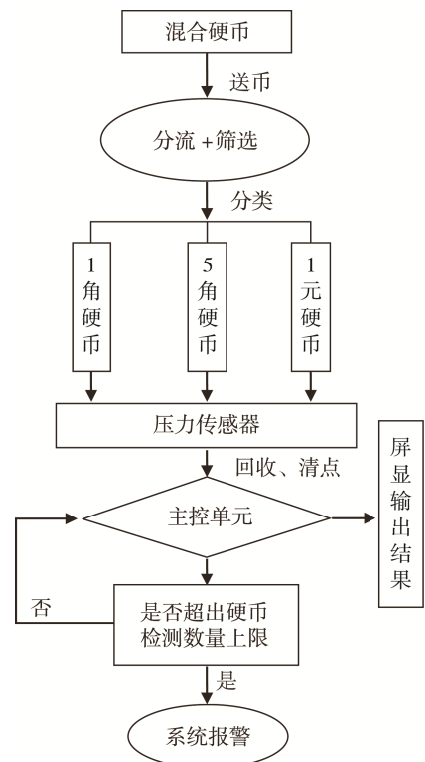


图 5 硬币分点控制流程
Fig.5 Control process of coins' sorting and counting

利用 C 语言开发硬币分点过程控制程序。电路系统硬件主要由压力传感器、单片机、液晶显示屏、蜂鸣器、降压模块、电源适配器及相关电气控制元器件等构成。其中,压力传感器采用 24 位 A/D 转换器芯片 HX711,见图 6。该芯片可将由硬币质量和电阻应变片形成的模拟电压转化为数字信号,并实现数据的快速采集与传送。

主控单元采用宏晶科技生产的单时钟/机器周期(1 T)的单片机 STC12C5A60S2,该芯片是高速、低功耗、超强抗干扰的新一代 8051 单片机,指令代



图 6 压力传感器
Fig.6 Pressure sensor

码不仅完全兼容传统 8051, 而且其处理速度也增快了 8~12 倍^[10—11]。STC12C5A60S2 内部集成了 MAX810 专用复位电路、2 路 PWM 及 8 路高速 10 位 A/D 转换^[12], 其引脚结构见图 7。芯片内部包含中央处理器 (CPU)、程序存储器 (Flash)、数据存储器 (SRAM)、UART 串口、40 个管脚 (4 组×8 个 I/O) 接口、高速 A/D 转换、看门狗及片内 R/C 振荡器和外部晶振振荡电路, 其工作电压范围为 3.5~5.5 V, 频率范围为 0~35 MHz。

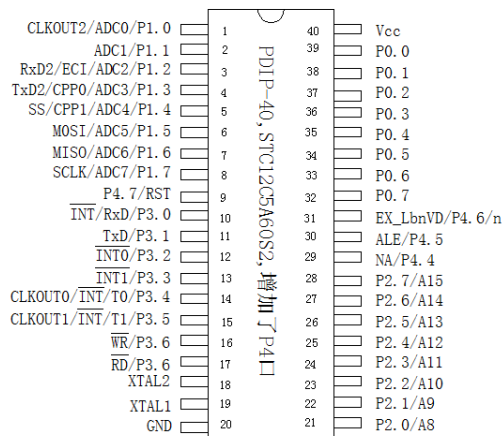


图 7 STC12C5A60S2 引脚结构
Fig.7 Pin structure of STC12C5A60S2

4 机架结构性能

4.1 有限元模型

机架是硬币分点装置的主要承载部件, 其余相关零部件均以机架为支撑进行装配和固定^[13]。利用有限单元法对机架结构性能进行分析与计算, 在 SolidWorks/Simulation 环境下建立机架结构有限元模型。机架采用 40 mm×40 mm 工业铝型材, 其弹性模量为 69 GPa, 泊松比为 0.33, 密度为 2705 kg/m³。采用四面体实体单元对机架进行结构离散, 见图 8, 机架网格化模型产生 589 363 个单元和 1 068 932 个节点, 各型材之间的装配关系按照实体接触定义。

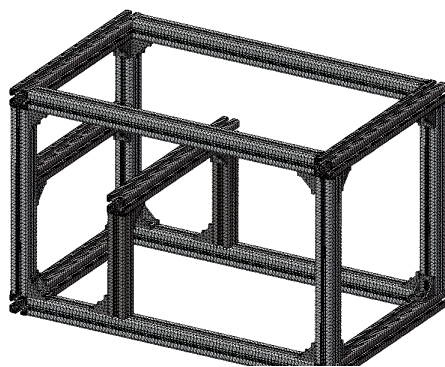


图 8 机架有限元模型
Fig.8 Finite element model of rack

4.2 静力学分析

机架主要承受来自带传动装置的静态载荷^[14], 根据实际情况设置边界条件, 在带传动支撑型材表面添加相应载荷。由于带传动组件主要由 2 根铝型材支撑, 因此机架静态承载力的计算方法见式 (1)。

$$P = \frac{mg}{2S} \quad (1)$$

式中: P 为机架承受的静态载荷 (N/m²); m 为带传动装置质量, $m=15$ kg; g 为重力加速度, $g=9.8$ m/s²; S 为单根支撑型材承载面积, $S=0.0086$ m²。将各参数值代入式 (1) 计算得 $P=8546.5$ N/m²。

由图 9a 所示有限元应力分析图解可知, 机架最大应力出现在支撑型材连接角件附近区域, 其应力值为 799 687.5 N/m², 根据最大 Von Mises 应力准则, 如式 (2) 所示, 机架最大 Von Mises 应力远小于铝型材的极限应力 $[\delta_{\text{limit}}]$ (317 MN/m²), 符合强度设计要求。此外, 支撑带传动的型材无明显变形, 如图 9b 所示的位移图解, 最大变区域位于型材中心位置, 且变形量仅为 3.438 μm, 可见此位置的变形量非常小, 说明机架结构具有足够的刚度储备。

$$\delta_{\text{Von Mises}} \leq [\delta_{\text{limit}}] \quad (2)$$

4.3 动态特性

模态分析是预测和评估结构动力学特性的基础^[15]。由振动力学理论可知, 实际危害较大的往往是由于低阶模态被激发而产生的同频共振^[16]。机架的低阶 (1—3 阶) 模态振型见图 10, 分析可知, 机架第 1 阶振动模式尤为明显, 主要振动趋势表现为铝型材边框的弯扭组合变形。相比之下, 第 2, 3 阶振动模式的形变量则较小, 主要是由各边框型材产生的小幅弯曲振动, 较明显的形变区域集中于传送带的支撑型材之上。由此可知, 机架的第 1 阶模态振型危害较大, 为防止机架结构发生破坏, 可通过机架结构优化设计来消除其 1 阶模态, 或使电机运行时的转速频率尽量避开 1 阶模态频率。

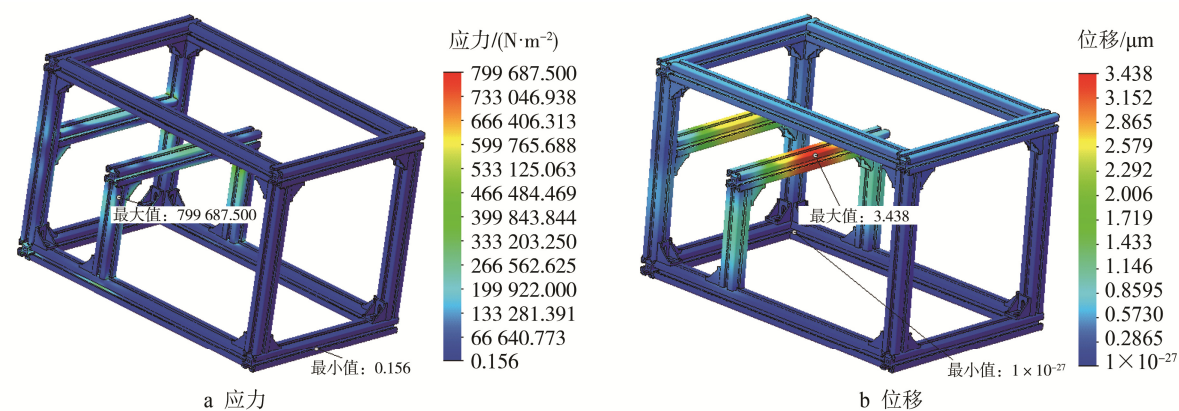


图 9 机架静力学分析结果
Fig.9 Static analysis results of rack

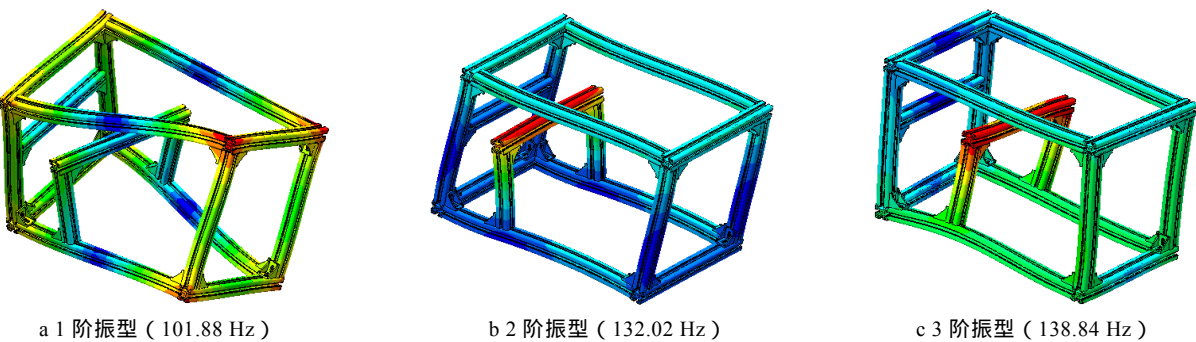


图 10 机架 1—3 阶振型
Fig.10 Vibration mode of the rack from orders 1 to 3

机架第 1 阶自振频率为 101.88 Hz，与之对应的安全工作转速高达 6113 r/min，而带传动的电机工作转速调速范围在 18~40 r/min，远小于机架可承受的安全工作转速；此外，滑道振动片的振动频率为 30 Hz，也小于机架第 1 阶自振频率，说明作用在滑道上的振动载荷不会对机架产生影响，可见整机系统具有良好的动态稳定性。

5 样机与实验

根据硬币分点装置的系统结构及组成，首先将不同长度段的工业铝型材（40 mm×40 mm）通过角件连接搭建机架，然后将各功能零部件和电子元器件按要求装配于机架之上，并利用 keil uvision4 软件上传和编译硬币分点程序，同时对硬币分点装置各项功能进行调试和检测。对于部分非标件如送币漏斗、分拣滑道、分流罩、支架及回收盒等，利用 3D 打印构建其三维制件，即分拣滑道的 3D 打印模型，见图 11。

由于对滑道表面质量和制作精度要求较高，故采用 SLA 立体光固化成型工艺制作滑道 3D 模型，成型设备选用上海联泰科技股份有限公司的 RS Pro450 工业 3D 打印机，该设备以液态光敏树脂为成型材料，成型尺寸范围为 1350 mm×1100 mm×1880 mm，分层

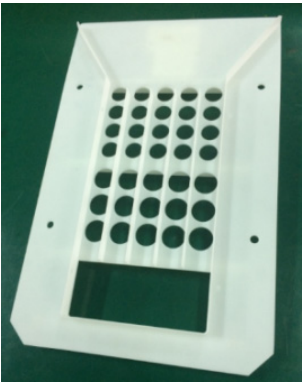


图 11 滑道 3D 打印模型
Fig.11 3D printing model of the ramp

厚度为 0.05 ~ 0.25 mm。滑道 STL 模型的切片层数为 3000 层，制作时间约 14 h，模型打印完成后还需经过清洗、固化等工艺后处理^[17—18]。

研制完成的实验样机见图 12，该样机不仅外观新颖、结构轻巧，而且整体框架具有强度高、不易变形等特点，为硬币分点装置的整机系统稳定性提供了可靠保障。实验结果表明，当电动机以最大转速（40 r/min）运行时，该样机每分钟可完成约 260 枚左右的硬币分类与清点，并可通过液晶屏实时显示回收硬币的数量与金额，见图 13，清点过程高效直观、结果准确，具有良好稳定的硬币分点效能。

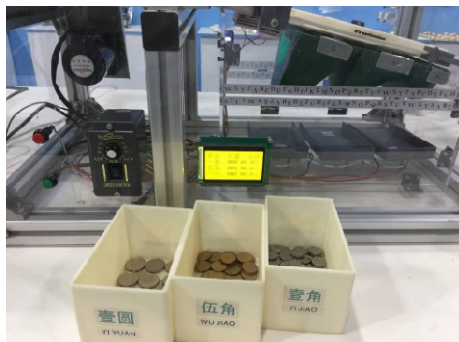


图 12 硬币分点装置样机

Fig.12 Prototype of coin sorting and counting device



a 屏显信息



b 硬币回收

图 13 硬币清点与回收

Fig.13 Counting and recycling of coins

6 结语

以“简单、精准、高效、稳定”为创意初衷,综合运用机械设计、三维 CAD 造型、有限单元法、3D 打印、单片机开发及 C 语言编程等,设计研制了一种基于“物理属性和称重原理”的混合硬币自动分点装置,方便快捷地实现了 1 角、5 角及 1 元硬币的自动分类与清点。样机实验结果表明,该装置每分钟可完成的硬币分点量约 260 枚左右,在节省人力的同时有效提升了硬币的分点效率和准确性。相比于同类硬币清分机械,该装置创意新颖、造型轻巧、结构紧凑、性能可靠,具有良好的功能性与实用性,为硬币分点工作的技术创新和实践应用提供了有力支持。

参考文献:

- [1] 邵相. 硬币分类清点机的设计[J]. 南方农机, 2018, 49(12): 54.
SHAO Xiang. Design of Coin Sorting and Counting Machine[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2018, 49(12): 54.
- [2] 马超, 王宏祥, 姚佳. 自动硬币清分打包机的设计[J]. 包装工程, 2018, 39(11): 214—218.
MA Chao, WANG Hong-xiang, YAO Jia. Design of Automatic Belt Coin Differentiating and Wrapping Machine[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(11): 214—218.
- [3] 刘佳欣, 张含叶, 林伟明, 等. 一种自动化硬币包装机机械系统设计[J]. 制造业自动化, 2018, 40(5): 120—122.
LIU Jia-xin, ZHANG Han-ye, LIN Wei-ming, et al. Design of Mechanical System for A Type of Automatic Coin Packing Machine[J]. Manufacturing Automation, 2018, 40(5): 120—122.
- [4] 李军, 李小兵, 赵桢, 等. 硬币分类、整理、包装机系统研究与设计[J]. 机械设计与制造, 2018(2): 104—106.
LI Jun, LI Xiao-bing, ZHAO Zhen, et al. Research and Design on Coin Sorting, Sorting, Packaging Systems[J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(2): 104—106.
- [5] MILES J, MAVROGORDATO M, SINCLAIR I, et al. The Use of Computed Tomography for the Study of Archaeological Coins[J]. Journal of Archaeological Science: Reports, 2016, 6: 35—41.
- [6] 佚名. 人民币 1 元硬币、5 角硬币、1 角硬币的重量、尺寸及发行日期[DB/OL]. [2010-06-18]. <http://www.docin.com/p-60606009.html>.
ANON. The Weight, Size and Issuing Date of RMB 1 Yuan Coin, 5 Jiao Coin and 1 Jiao Coin [DB/OL]. [2010-06-18]. <http://www.docin.com/p-60606009.html>.
- [7] 符宝鼎, 皮康. 自动硬币清分卷包机研制[J]. 包装工程, 2017, 38(7): 169—172.
FU Bao-ding, PI Kang. Development of Automatic Coin Differentiating and Wrapping Machine[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(7): 169—172.
- [8] GONZALEZ K W, REDDY S R, MUNDAKKAL A A, et al. The Financial Impact of Flipping the Coin[J]. Journal of Pediatric Surgery, 2017, 52: 153—155.
- [9] 丁源, 周文华. SolidWorks2016 中文版从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
DING Yuan, ZHOU Wen-hua. From Introduction to Master for Chinese Version of Solidworks2016[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017.
- [10] 臧轩. 基于 STC 单片机的多路银针温控仪的研制[D]. 西安: 西安科技大学, 2017.
ZANG Xuan. Research on the Multichannel Silver Needle Temperature Controller Based on STC Microcontroller[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and

- Technology, 2017.
- [11] 康思闻, 荆学东, 魏鼎. 基于 PLC 的硬币包卷机控制系统设计[J]. 机械设计与制造, 2013(5): 167—169.
KANG Si-wen, JING Xue-dong, WEI Ding. Design of Control System of a Coin-Wrapping Machine Based on PLC[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(5): 167—169.
- [12] 方林, 龙建军. 基于 STC 单片机和 CPLD 的声波信号采集装置研制[J]. 中国仪器仪表, 2018(3): 64—70.
FANG Lin, LONG Jian-jun. Development of Multi-wave Acoustic Wave Acquisition Devices on Seabed Sediments[J]. China Instrumentation, 2018(3): 64—70.
- [13] 康智强, 程瑞锋, 何秋明. 重叠轨道融合传动带的硬币分拣机器的创新设计[J]. 机械设计与研究, 2017, 33(5): 68—72.
KANG Zhi-qiang, CHENG Rui-feng, HE Qiu-ming. Overlap Track Fusion of Belt Coin Sorting Machine Innovation Design[J]. Machine Design & Research, 2017, 10(5): 68—72.
- [14] 成大先. 机械设计手册单行本[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
CHENG Da-xian. Offprint of Mechanical Design Handbook[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [15] HUANG Zi-yuan, HAN Bang-cheng, LE Yun. Modeling Method of the Modal Analysis for Turbomolecular Pump Rotor Blades[J]. Vacuum, 2017, 144: 145—151.
- [16] BRUSEWICZ K, STERPEJKOWICZ-WERSOCKI W, JANKOWSKI R. Modal Analysis of a Steel Radial Gate Exposed to Different Water Levels[J]. Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics, 2017, 64(1): 37—47.
- [17] 邱海飞. 3D 打印成型工艺及其应用研究[J]. 中国塑料, 2016, 30(11): 76—83.
QIU Hai-fei. Study of Molding Process and Application of 3D Printing Technology[J]. China Plastics, 2016, 30(11): 76—83.
- [18] WOHLERS T T. Wohlers Report 2013: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report[M]. Wohlers Associates, 2013.