

## 基于振动盘硬币分选机设计及其振动模态分析

刘旭, 高士同, 朱学超, 万长东

(苏州市职业大学 机电工程学院, 苏州 215104)

**摘要:** **目的** 为硬币分选提供一种集分类、计数、整理于一体的多功能、自动化硬币分选机, 以降低人工成本, 提高硬币分选效率。**方法** 硬币分选机主要由振动分料盘、光电传感器、截停机构、接料装置、控制系统、液晶显示屏等6个部分组成, 振动盘为其提供动力来源, 硬币经过由分料杆和分料槽组成的分选区后, 进入各自料道并向前推进; 光学传感器分别感应每个料道硬币落下信号, 并传递给控制系统; 控制系统获得光学传感器的信号后进行硬币计数、金额统计等工作; 当硬币计数满足截停设置个数时, 控制系统控制3个截停电机工作, 截停机构执行挡料动作, 取出硬币并手动复位后, 挡料机构停止挡料, 硬币分选继续进行。**结果** 样机的有效工作空间为900 mm×600 mm×420 mm, 整机净质量为40 kg, 能够对新版1元硬币(25 mm)、5角硬币(20.4 mm)、1角硬币(19 mm)进行分选, 分选速度达到500枚/min。**结论** 所设计的多功能硬币分选机可实现3种硬币的自动分选、计数、整理工作, 具有占地空间小、性价比高、速度可调、升级空间大等特点。

**关键词:** 硬币; 分选机; 振动盘; 模态分析

**中图分类号:** TB486 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-3563(2018)15-0199-05

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.15.031

## Design and Vibration Modal Analysis of Coin Sorter Based on Vibrating Plate

LIU Xu, GAO Shi-tong, ZHU Xue-chao, WAN Chang-dong

(School of Mechano-electrical Engineering, Suzhou Vocational University, Suzhou 215104, China)

**ABSTRACT:** The work aims to provide a multifunctional automatic coin sorter integrated with classification, counting and sorting for coin sorting, so as to reduce labor cost and improve coin sorting efficiency. Coin sorter was mainly composed of vibrating separator plate, photoelectric sensor, stopping mechanism, picking device, control system and uid crystal display. The vibrating plate provided its power source. After passing by the sorting area composed of material-splitting rod and slot, the coins entered their respective feeding channel and moved forward. The optical sensor respectively sensed the falling signal of coins in each feeding channel, and passed it to the control system. The control tem carried out coin counting, amount statistics and other work after obtaining the signals of photoelectric sensor. When the coin counting met the number set for stopping, the control system controlled the operations of 3 stopping motors. After the stopping mechanism stopped the stock and was manually reset with coins taken out, the stock stop ceased stock stopping and the coin sorting continued. The effective working space of prototype was 900 mm×600 mm×420 mm, and the net weight of whole machine was 40 kg. The prototype could sort new 1 yuan coin (25 mm), 5 jiao coin (20.4 mm) and 1 jiao coin (19 mm). The sorting rate was up to 500 coins/min. The designed multifunctional coin sorter can realize the automatic sorting, counting and collation of 3 kinds of coins, featured by small floor space, high cost performance, adjustable speed and large upgrade space, etc.

**KEY WORDS:** coin; sorter; vibrating plate; modal analysis

大面值货币电子化、小面值货币硬币化是世界各国货币的发行趋势。在目前国内的小面值货币流通领

收稿日期: 2017-03-13

基金项目: 苏州市科技计划(SYG201648)

作者简介: 刘旭(1985—), 男, 工程师, 主要研究方向为机械制造技术、机械设计等。

域中,硬币分选、统计、整理等大多为人工操作,生产效率低,浪费人工成本<sup>[1-2]</sup>。硬币分选机至今已有30年历史,国外发展较早,其技术也比较成熟,已经具备可靠的传动系统和先进的统计分选功能<sup>[3-4]</sup>。国外著名的硬币分选机器厂家有日本的荣光、瑞典的SCANCOIN。在国内,清华大学、上海交通大学等多家单位均对如何正确的硬币分选做过深入的研究,在机理上普遍采用电涡流法<sup>[5-8]</sup>。这些研究单位在可能涉及的硬币范围内取得较好的效果,但对硬币的鉴别仅仅局限于项目本身,存在不系统、不完整等问题<sup>[9-10]</sup>。整体来看,当今国内外大部分硬币分选装置要么设计简单、抗振动能力差;要么制造复杂、价格昂贵,很难推广使用。

## 1 硬币分选机整体设计

所设计的多功能硬币分选机由振动分料盘、光电传感器、截停机构、接料装置、控制系统、液晶显示屏6个部分组成一个系统,见图1。由振动盘提供动力来源,硬币沿着3料道向前移动,经过由分料杆和分料槽组成的分选区后,3种硬币成功分选,进入各自料道并向前推进;3个光学传感器分别感应每个料道是否落下硬币,并传递给控制系统;控制系统获得光学传感器的信号后进行硬币计数、金额统计等工作;当硬币计数满足截停设置数据时,控制系统控制3个截停电机工作,截停机构执行挡料动作,当工作人员取出硬币,并手动复位后,挡料机构停止挡料,硬币分选继续进行。

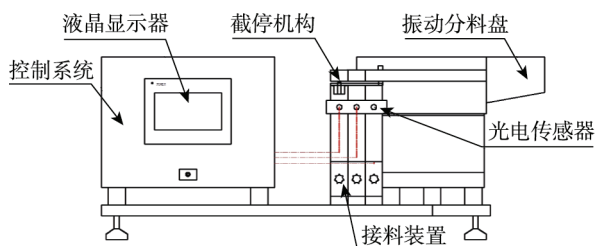


图1 多功能硬币分选机工作系统  
Fig.1 Working system of multifunctional coin sorter

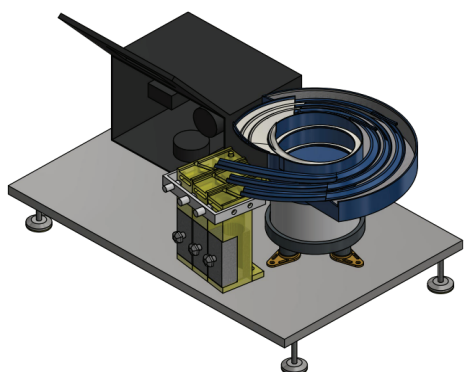


图2 多功能硬币分选机三维模型  
Fig.2 Three-dimensional model of of multifunctional coin sorter

### 1.1 振动分料盘

振动分料盘主要包括投料区、回料区、爬坡道、缓冲区、分选区、料道等核心区域,见图3。硬币进入投料区,经振动盘振动后进入螺旋爬坡道,然后进入缓冲区,不同硬币由于质量大小关系在缓冲区呈分散状态;硬币进入料道后,呈单个不堆叠状态往前运动,经分选区后,1元、5角、1角进入各自料道,不符合料道分选要求的硬币进入回料区重新循环振动分选。

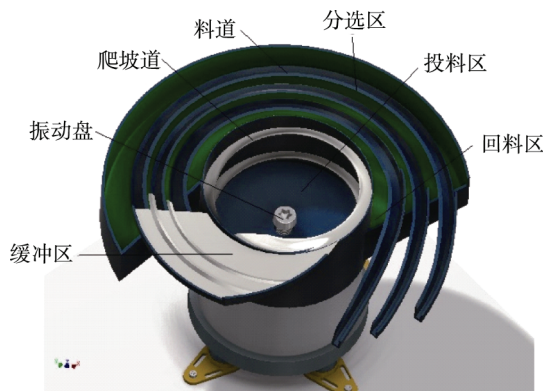


图3 振动分料盘  
Fig.3 Vibration separator plate

投料区:硬币投放区域,中间向四周形成锥面。回料区:硬币经分选区分选后,不满足分选要求的硬币被分选结构剔除到回料区,重新进入投料区,循环往复地进行重新分选,直到进入正确的料道。爬坡道:以螺旋线形式向上爬坡,螺旋线向外倾斜,抬高硬币爬坡高度。缓冲区:在缓冲区开口区域根据硬币自身重力,将不同质量的硬币分散开,不同质量的硬币不会堆叠;在料道进料口处将同质量硬币堆叠情况排除。分选区:分选区是实现硬币分选的核心区域,是设计的重点,利用3种硬币的外形尺寸特点,在分选区成功实现分选。

为了区分3种硬币,设计异型分选区结构,见图4,主要采用分料杆和分料槽。目前新版1元、5角、1角硬币直径分别为25,20.4,19mm,第1料道分选1角硬币,排除5角和1元,采用分料杆结构,分料

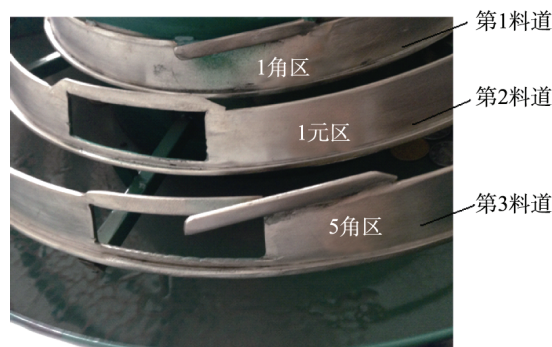


图4 分选区结构  
Fig.4 Structure of sorting area

杆和料道底部的距离为 19.5 mm ( $19\text{ mm}<D<20.4\text{ mm}$ )；第 2 料道分选 1 元硬币，排除 5 角和 1 角，采用分料槽结构，分料槽顶距离料道底部距离为 22.3 mm ( $D<25\text{ mm}$ )；第 3 料道分选 5 角硬币，排除 1 元和 1 角，采用分料杆和分料槽结构，分料杆与底面距离 22.3 mm，排除 1 元硬币，分料槽与料道底部距离 19.5 mm，排除 1 角硬币。经过异型分料区分选后，1 元、5 角、1 角硬币成功实现分选，沿着各自料道向前运动。

1.2 接料装置

接料装置主要由接料筒、光电传感器、截停结构、电机等组成，见图 5。截停机构上开有硬币落料孔，正常工作时，落料孔和接料筒孔重合，截停机构和电机之间通过连杆相连，可作伸缩运动；光电传感器通过支架固定在接料底座上，接料底座两侧开有感应孔，光电传感器能够准确感应硬币落下；接料筒镶嵌在接料底座中，可自由取出。3 种不同硬币对应 3 种不同接料筒，硬币由料槽进入料筒，光电传感器工作，当满足截停个数设置时，电机带动截停机构作截停动作，该料道停止分选，待取出料筒中硬币后，分料继续。

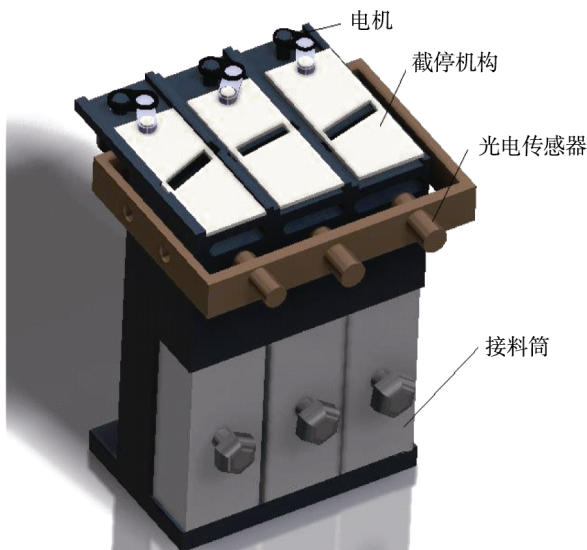


图 5 接料装置  
Fig.5 Picking device

1.3 控制系统

在触摸屏上设定具体截停个数，启动系统，PLC 启动振动盘开始分料，硬币通过接料装置；光电开关开始计数，当计数数值满足设定数值时，PLC 向电机发出动作指令，电机启动，截停机构挡住料道；当操作者把接料装置中硬币取出，并将接料装置放回原处后，点击复位按钮，所对应截停机构电机恢复原位，该料道分料继续；当分料结束时，点击关闭按钮，系统结束工作，见图 6。

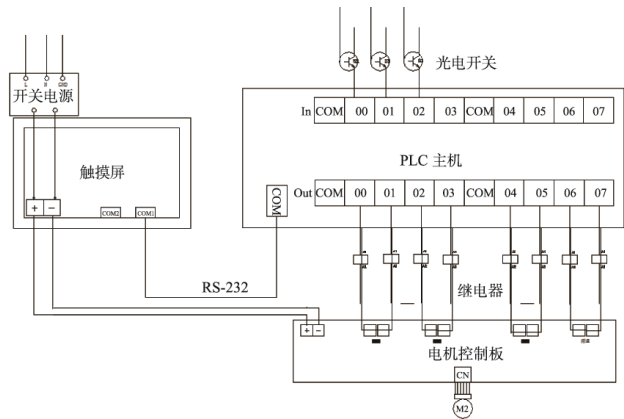


图 6 控制系统  
Fig.6 Control system

2 分料盘的振动分析

分料盘与振动盘电磁激振器固定连接，电磁激振器带动分料盘沿着轴向高频振动，硬币分散放在分料盘倾斜轨道面上，在高频振动的分料盘作用下，硬币沿着分料盘轨道斜面移动，因此，分料盘高频振动时的振幅大小对硬币移动效率有较大的影响，需考虑如何增大分料盘的振幅<sup>[11—13]</sup>。可通过两方面来增大分料盘的振幅，一方面通过提高电磁激振器输入信号的幅值来增大分料盘的振幅，但电磁激振器输入信号的幅值受控制器的限制不能过大，提升空间有限。另一方面可让电磁激振器的输入信号频率设置在分料盘轴向固有振动的自然频率附近，从而提升分料盘的振幅。为此，通过对分料盘进行模态分析，得出分料盘的轴向纵振的振型及其频率，为振动盘的选型提供理论参考。分料盘工作过程见图 7。

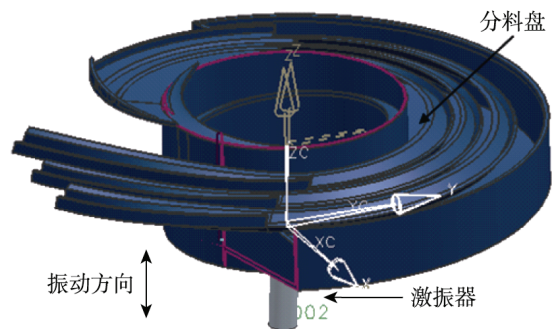


图 7 分料盘工作过程  
Fig.7 Working process of separator plate

在 CAD/CAM/CAE 软件中创建分料盘初始的三维几何模型，将三维几何模型通过通用数据格式传入到 Ansys 中，在 Ansys 中建立分料盘的有限元网格模型<sup>[14—15]</sup>，见图 8。

分料盘采用 45 钢，其密度为 7860 kg/m<sup>3</sup>，弹性模量为 209 GPa，泊松比为 0.267。对双晶振子有限元模型进行模态分析，其轴向纵振的模态振型及频率

见图9,其频率约为51 Hz。

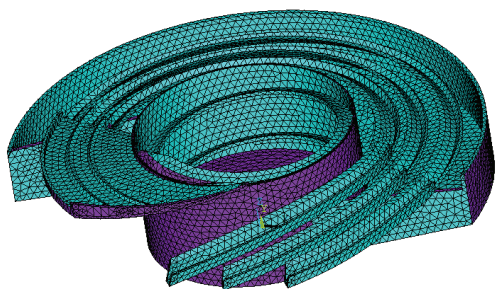


图8 分料盘有限元模型  
Fig.8 Finite element model of separator plate

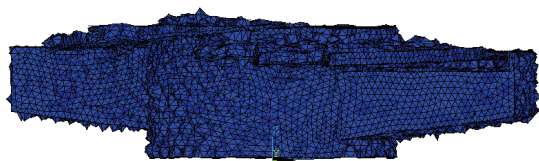


图9 分料盘振型及频率  
Fig.9 Vibration mode and frequency of separator plate

该振型及其所在频率是分料盘的工作振型和频率,振动盘选型时,频率可考虑设置在该频率附近,以增大分料盘轴向振动的幅值。

### 3 振动分料盘中硬币的力学分析

从振动分料盘中选取一料道斜面作为分析对象,硬币位于斜面上,见图10。在图1中,振动分料盘料道斜面与水平面的夹角为 $\alpha$ ,硬币受到重力 $G$ (其中 $G=mg$ , $m$ 为硬币的质量)、分料盘料道斜面的法向支撑力 $N$ 以及摩擦力 $f$ 作用。硬币在斜面上运动时还受到振动简谐力 $F$ 的作用,简谐力为振动驱动源施加,与底座水平面的夹角为 $\alpha+\beta$ 。在此设定振动分料盘振动时的角频率为 $\omega$ ,振幅为 $K_0$ ,振动频率为 $f$ ,则 $\omega=2\pi f$ ,因此硬币受到的简谐力 $F=mK_0\omega^2$ 。简谐力 $F$ 分别沿着 $x$ 轴和 $y$ 轴的分量为 $F_x=mK_0\omega^2\cos\beta$ 和 $F_y=mK_0\omega^2\sin\beta$ 。

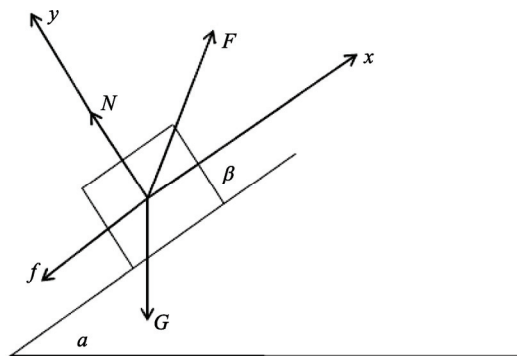


图10 振动分料盘中硬币的受力情况  
Fig.10 The force condition of coins in a vibrating separator plate

当硬币在振动分料盘料道斜面上开始滑动时,硬

币所受到的简谐力 $F$ 必须能够克服重力 $G$ 和摩擦力 $f$ 作用,必须满足:

$$F_x > F_y + f \quad (1)$$

式中: $F_x=mK_0\omega^2\cos\beta$ ;  $F_y=mK_0\omega^2\sin\beta$ ;  $f=\mu_d(mg\cos\alpha-mK_0\omega^2\sin\beta)$ ;  $\mu_d$ 为硬币与分料盘料道斜面的静摩擦因数,带入式(1)可得:

$$K_0\omega^2 > \frac{\mu_d g \cos\alpha}{\cos\beta - \sin\beta + \mu_d \sin\beta} \quad (2)$$

方程(2)给出了振动分料盘上硬币能够移动的必须条件,在确定振动分料盘结构参数时需满足该方程。取振动分料盘振动时的角频率 $\omega=5 \text{ rad/s}$ ,振幅为 $K_0=0.35 \text{ mm}$ ,硬币与分料盘料道斜面的静摩擦因数 $\mu_d=0.1$ ,振动分料盘料道斜面与底座水平面的夹角 $\alpha=60^\circ$ ,简谐力与底座水平面的夹角 $\alpha+\beta=80^\circ$ ,满足以上条件。

### 4 实验

多功能硬币分选机实物见图11,主要针对新版1元、5角、1角3种硬币,外观尺寸为 $900 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \times 420 \text{ mm}$ ,整机净质量40 kg。由频率为50 Hz,振幅为0.35 mm,功率为220 W的空载噪音55 Wb的振动盘提供动力来源,将硬币置入振动分料盘中,开启电源开关,在液晶显示屏上进行硬币个数及金额清零、电机复位,设置截停个数20枚,启动硬币分选按键,进行硬币分选。经过反复试验,多功能硬币分选机振动分料盘的储币容量达到10 000枚,分选速度为500枚/min,每秒出错率仅为0.005%。



图11 多功能硬币分选机实物  
Fig.11 Physical object of multifunctional coin sorter

### 5 结语

随着硬币在自动售货机、儿童娱乐设备、公交车、超市等场合的普及应用,为相关商家提供了一种能够快速实现硬币的分选、计数、整理工作的多功能硬币分选机。其创新点在于:以振动盘作为动力来源,采用分料杆和分料槽结构,三料道同时出料,分选效率较高;用户可任意设置定额整理硬币的个数;具备硬币的分选、计数、金额统计、定额整理等多种功能;体积小、升级空间大、制作成本低。目前该项技术已

经申请国家专利, 专利号 ZL201621474457.7。

### 参考文献:

- [1] 郭星, 陈亦仁, 商云男, 等. WBH1314 型纸袋式硬币清分包装一体机的设计研发[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 63—47.  
GUO Xing, CHEN Yi-ren, SHANG Yun-nan, et al. WBH1314 Coin Bag Type and Distribution of Packaging Machine Designed and Developed[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 63—47.
- [2] 肖丽英. YB50 全自动硬币计数包卷机的研制[J]. 包装工程, 2003, 24(3): 28—29.  
XIAO Li-ying. The Development of YB50 Automatic Coin Counting Lapped Machine[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(3): 28—29.
- [3] 芮晓明, 翟江兰. 基于虚拟装配的硬币自动包装机设计方法[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 92—94.  
RUI Xiao-ming, ZHAI Jiang-lan. Coins Automatic Packaging Machine Design Based on Virtual Assembly Method[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 92—94.
- [4] 杨浩, 刘洋. 硬币检测传感器[J]. 电子测量技术, 2004(6): 25—26.  
YANG Hao, LIU Yang. Coin detection sensor[J]. Electronic Measurement Techniques, 2004(6): 25—26.
- [5] 林洪贵. 基于分离盘的硬币清分机实例介绍[J]. 现代商贸工业, 2007, 19(9): 280—281.  
LIN Hong-gui. Based on the Separating Plate and Coin Sorting Examples[J]. Modern Trade Industry, 2007, 19(9): 280—281.
- [6] 康思闻, 荆学东. 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. Coins Lapped Machine Based on PLC Control System Design[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2013(5): 167—169.
- [7] 张新未, 郭哈萌, 董雪. 振动式硬币清分机的设计[J]. 装备制造, 2009(11): 212—213.  
ZHANG Xin-wei, GUO Han-meng, DONG Xue. The Design of The Vibrating and Coin Sorting[J]. Equipment Manufacturing, 2009(11): 212—213.
- [8] 刘嘉. 新型硬币分类整理装置的设计[J]. 工业设计, 2016(12): 149—151.
- LIU Jia. The Design of The New Type of Coin Sorting Device[J]. Equipment Manufacturing, 2009(12): 212—213.
- [9] 裴进灵. 一体化硬币识别及找零机的设计[J]. 机械管理开发, 2004(4): 19—20.  
PEI Jin-ling. Identify and Change Machine Design Integration Coins[J]. Mechanical Management Development, 2004(4): 19—20.
- [10] 夏开虎, 伍文进, 夏辉. 一种新型硬币分拣机构的设计与研究[J]. 黑龙江科技信息, 2017(4): 101—102.  
XIA Kai-hu, WU Wen-jin, XIA Hui. A New Type of Coin Sorting Mechanism Design and Research[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2017(4): 101—102.
- [11] 李慧琴, 丁丽, 王佩云. 硬币分拣机的发展现状及系统设计[J]. 河南农业, 2017(4): 55—56.  
LI Hui-qin, DING Li, WANG Pei-yun. The Development Status of Coin Sorting Machine and System Design[J]. Henan Agricultural, 2017(4): 55—56.
- [12] 林君, 赵新月. 简易电子式硬币分拣装置的设计[J]. 山东工业技术, 2016(23): 141—142.  
LIN Jun, ZHAO Xin-yue. The Design Of The Electronic Coin Sorting Device[J]. Shandong Industrial Technology, 2016(23): 141—142.
- [13] 郝志伟, 刘思聪, 程亚亚. 新型硬币分拣包装机的设计[J]. 科技创新导报, 2016(22): 68—70.  
HAO Zhi-wei, LIU Si-cong, CHENG Ya-ya. The Design of the New Type of Coin Sorting Packing Machine[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2016(22): 68—70.
- [14] 雷永刚, 韦沛东, 侯文龙. 一种简洁硬币分拣机的设计与实现[J]. 河南科技, 2016(7): 61—62.  
LEI Yong-gang, WEI Pei-dong, HOU Wen-long. A Concise and Coin Sorting Machine Design and Implementation[J]. Henan Science and Technology, 2016(7): 61—62.
- [15] 杜衍喆, 徐永敏, 李冬. 基于单片机的硬币识别系统开发[J]. 自动化应用, 2016(3): 31—32.  
DU Yan-zhe, XU Yong-min, LI Dong. Coin Recognition Based on Single-chip Microcomputer System Development[J]. Automation Applications, 2016(3): 31—32.