

# 挤出橡胶高精度自动称重与分剪系统的研究

肖遵文,聂晓根,陈立挺,唐宁东  
(福州大学 机械工程及自动化学院,福建 福州 350108)

**摘要:**根据某橡胶制品企业对挤出橡胶自动称重与分剪机构的功能需求,为提高产品质量与生产效率,解决人工成本高昂与称量精度不足的问题,以数字化动态称量技术为基础,以称重分剪机构与控制系统为研究对象,设计开发了一种挤出橡胶高精度自动称重与分剪系统。控制系统以台达 SV2 型 PLC 为核心,由此展开硬件选型并开发上、下位机程序。实验结果满足了生产自动化和加工精度的需求。

**关键词:**橡胶分剪;自动称重;PLC;高精度

**中图分类号:**TP271+.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2019)05-0204-05

## Research on High-Precision Automatic Weighing and Separating System for Extruded Rubber

XIAO Zunwen, NIE Xiaogen, CHEN Liting, TANG Ningdong

(College of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** To meet the function requirements of automatic weighing and slitting mechanism of extruded rubber. In a rubber product enterprise, improve product quality and production efficiency, and solve the problem of high labor cost and insufficient weighing accuracy, this paper takes the weighing and shearing mechanism and control system as object of study, designs and develops, a high-precision automatic weighing and dividing system for the extrusion rubber. In the control system the Delta SV2 PLC is used as the core, the hardware is selected and the upper and lower computer programs are developed. The processing experimental results meet the needs of the production automation and machining accuracy.

**Keywords:** rubber shear; automatic weighing; PLC; high-precision

## 0 引言

橡胶富有弹性、性能稳定,具有优良的电绝缘性、耐磨性、耐旱性以及良好的加工性等优点,被广泛应用于人们的日常生活和工业产品中,如制作轮胎、减震器、电线电缆的绝缘层和密封圈以及其他通用制品<sup>[1]</sup>。

橡胶密封圈用于安装在各种机械设备上,在规定的温度压力条件下处于静止或运动状态时起密封作用,其主要通过压注的方法制造而成。在加工工艺上,需要对预成型胶料进行定量分配。预成型过程中,若胶料用料不足则会造成压槽填充不足,导致制品出现成型缺陷;若胶料用料过多,容易产生飞边和压力缺失的现象,影响制品致密性,最终也影响制品的质量<sup>[2]</sup>。因此实现精准配料具有重要意义。

国外橡胶分条设备研究起源于 20 世纪初,20 世纪中叶发明了组合裁切和分切机,而后在动态称量与电机控制方面的研究形成体系。在国内,当前大部分橡胶制品企业的定量与分剪大都采用人工作业方式完成,往往需要反复进行,效率与称量精度低,材料浪费大,操作者劳动强度大且单调,同时人工成本居高不下。针对橡胶加工企业

自动化生产与设备高精化的需求,本文对挤出橡胶高精度自动称重与分剪设备进行研究,以实现自动化分剪与高精度称量的目标。

## 1 一体机方案设计

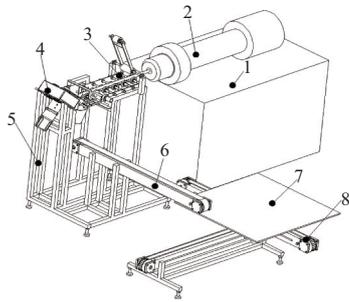
### 1.1 整机设计

课题研究目的是设计一台集高精度称量、自动分剪和自动堆垒一体机,实现挤出橡胶自动化配料。一体机机械本体组成包括分剪机构、传输与称重机构以及送料与堆垒机构。胶料由挤出机上料加热后挤出至传送机构,传输至称重部分称重后再由分剪机构分剪,在此过程中将获得速度参数与质量参数。传输与称重机构和分剪机械本体为方案设计重点,在称重与分剪工作完成后,为了最终的堆垒动作,需要在分剪设备下方设置已分剪胶料传输带。在已分剪胶料传输带后,根据胶料的摆放方式,可采用将载料板安装在二轴运动平台上,通过二轴平台的运动带动载料板对已分剪胶料进行堆垒。一体机整体设计如图 1 所示。

一体机主要技术参数如表 1 所示。

**基金项目:**福建青年教师研究项目(JAS151249);校企合作项目(2017112101)

**作者简介:**肖遵文(1992—),男,江西南昌人,硕士研究生,研究方向为机电一体化技术。



1—挤出机机座;2—挤出机;3—出料传送结构;4—分剪机构;5—一体机机座;6—已分剪胶料传输带;7—载料板;8—二轴运动平台。

图1 一体机整体设计图

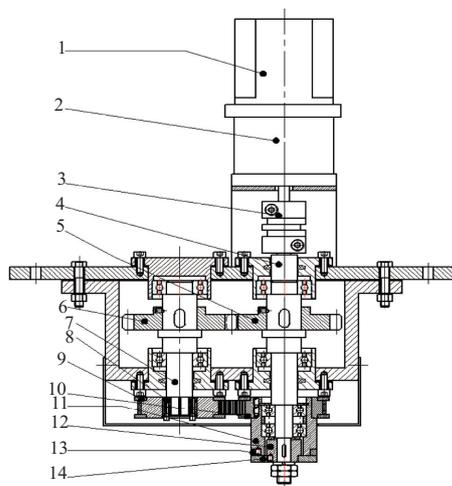
表1 一体机主要参数值

参数名称	值
尺寸/mm	2 110×1 413×1 070
加工误差/(%)	±1
原材类型	SNR、NR
可加工橡胶规格	
加工质量范围/g	10~100
截面直径范围/mm	8~30
出料速度/(m/min)	0~20
传感器量程/g	0~500
载料平台尺寸/mm	800×800

## 1.2 分剪机构设计

为减少分剪机构产生的冲击和分剪运动冲击对称量系统的影响,采取分剪机构与称量系统分离的布置方案。

根据分剪机构功能要求设计了图2所示的分剪机构的传动系统。总体上,分剪机构的传动系统用于实现单一电机驱动下两刀片的同步反向旋转运动。要实现两刀片同步反向旋转运动有多种方案,为简化传动系统结构并减少制造成本,本文选用齿轮和同步带传动。

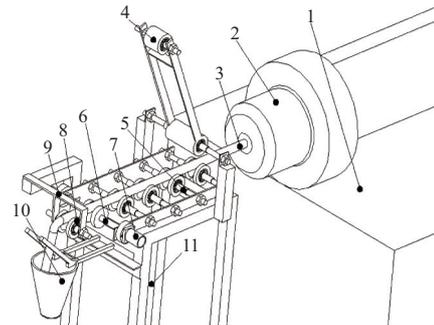


1—电机;2—减速器;3—联轴器;4—主轴;5—主动齿轮;6—从动齿轮;7—从动轴;8—无键紧固轴套;9—主带轮;10—从带轮;11—下刀片基底;12—上刀片基底;13—下刀片;14—上刀片。

图2 同轴双向分剪机构剖面图

## 1.3 传输与称重机构设计

自挤出机挤出的橡胶型料具有较高的粘性<sup>[3]</sup>,若传送部分为固定式,则会使橡胶运动阻力过大,不足以依靠橡胶挤出力推动其运动,且有可能使得挤出橡胶运动不平稳,故挤出橡胶传输采用滚送方式,滚送机构由多个滚轴组合而成,以便挤出橡胶依靠自身挤出力顺畅运行。在靠近称重装置的滚轴上安装圆光栅,通过橡胶对滚轮的摩擦力带动编码器所在轴辊作无打滑的转动,实现对橡胶挤出速度的检测。据此设计的挤出橡胶传输机构如图3所示。



1—挤出机座;2—挤出机;3—胶料;4—压料辊;5—传送轴辊;6—测速轴辊;7—圆光栅编码器;8—称重轴辊;9—称重结构;10—胶料导向筒;11—出料传送装置底座。

图3 出料口传送结构

现有自动称重配料系统或分装系统主要采用区段称量方式。这种方式中,有较多机械本体区域作用于称量传感器区,区域中非称量物占总称量质量比例较大<sup>[4]</sup>,将导致系统误差增加。本文设计了图4所示的悬臂梁式称重结构,将称量机构与分剪机构分离,避免了分剪动作产生的冲击对称量精度的影响。

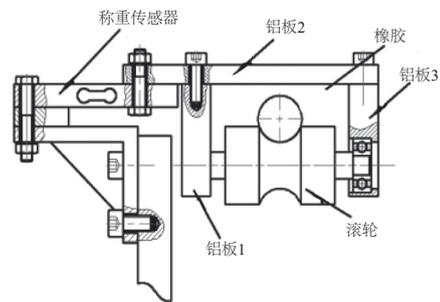


图4 悬臂梁式称重结构

## 2 控制系统方案设计

### 2.1 控制系统设计

控制系统采用具有高稳定性的PLC作为控制中心,主要对工序中的两个物理量进行采集,一是橡胶实时质量,二是橡胶挤出速度,橡胶挤出速度通过将圆光栅编码器安装在滚轴传送带中靠近末端的轴辊上进行测量。编码器由轴辊带动产生转动并触发光栅信号,产生的光栅信

号输入至 PLC 高速计数端口实时进行读取,测得橡胶挤出速度。橡胶质量通过设计的称量机构进行测量,称量信号经称重仪表中的信号处理电路高速读取并定重比较处理,质量到达后给 PLC 发送分剪指令,PLC 根据橡胶挤出速度和实测质量计算出分剪机构执行时间与速度,进而控制分剪机构完成分剪操作。

此外,PLC 也将根据分剪速度和预成型制品大小计算堆垒机构的运动,以规整地堆垒预成型制品。控制系统选用触摸屏实现人机交互,实现系统归零、制品参数和系统运行设置等,以适应不同制品的加工,同时,系统设计了系统故障提示、实时加工数据采集和显示模块等,便于企业实现自动化管理。控制系统组成框图如图 5 所示。

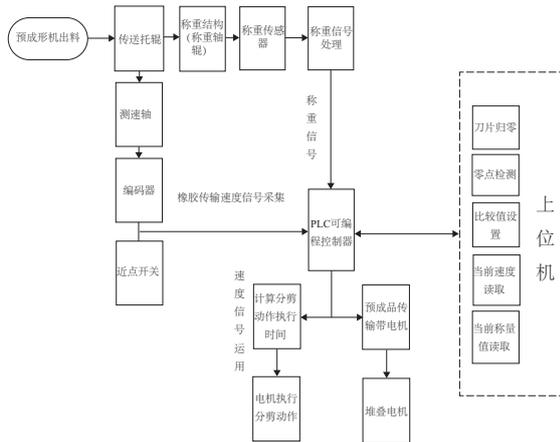


图 5 控制系统组成框图

## 2.2 控制器与称重模块选型

一体机控制器选型需从程序执行周期、PLC 选型需从 I/O 口(输入输出)数量、控制需求、使用便捷性以及经济型等多方面考虑。所选 PLC 需支持多种通讯协议以兼容其他模块,具有可扩展性以便为后期改进工作做准备<sup>[5-6]</sup>,且价格经济,适合中小企业规模化使用。本课题所需 PLC 应为现场安装型,因此要求对现场环境适应性强,特别需具有良好的抗振、抗腐蚀性等性能。根据上述需求,本文选择台达 DVP-28SV 高性能小型 PLC,其技术参数如表 2 所示。

表 2 DVP-28SV 型号 PLC 技术参数

型号	I/O 口数	程序存储空间	高速脉冲输出能力
DVP-28SV	16 个输入点 + 12 个输出点	16K Steps	4 组高速 (200 kHz) 脉冲输出
执行速度	运算能力	通讯端口	通讯协议
基本指令执行速度 0.24μs	32 位 CPU + ASIC 处理器支持浮点运算	支持 232/485 通讯端口	支持 Modbus RTU/ASCII 通讯协议

电机选型时,由于刀片与橡胶之间存在复杂的摩擦力、刀片之间的摩擦力、轴系零件惯性等因素,直接以计算

方式对电机选型太过复杂,本文先以空载情况下的负载能力为最低要求选择电机,再以实际测试的方法来确定电机合适的功率与型号。经计算分剪电机空载启动最大所需转矩( $T_{max}$ )为  $0.794 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。经试验后选择一款 57 系列转矩为  $2.1 \text{ N} \cdot \text{m}$  的两相步进电机,型号为 57H2P7842AH4,并配置 10 速比行星齿轮减速器以提升力矩,减速器转动惯量为  $0.41 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ ,电机步距角为  $1.8^\circ$ 。

称重用传感器采用压力传感器,在压力传感器中,主要有压电式、金属应变片式、压阻式和电容式,几种压力传感器原理及优缺点各不相同。综合灵敏度、精度与结构的要求,本文选择金属应变片式传感器,型号为力准 CZY611,技术参数如表 3 所示。

表 3 CZY611 传感器技术参数

型号	量程/g	灵敏度/(mV/V)	材质	滞后性/(%F.S)	重复性/(%F.S)
CZY611	500	$1.0 \pm 10\%$	铝	0.03	0.03
非线性/(%F.S)	电阻值/ $\Omega$	使用电压/V	工作温度范围/ $^\circ\text{C}$	安全过载/(%)	极限过载/(%)
0.03	300	5~10	-20~80	120	150

仪表的选择需要与传感器相匹配,并具有基本的信号处理功能与良好的输入/输出特性。根据采样频率与信号输入范围等要求,称重信号处理模块中选用力准 L400 型称重仪表,该型号仪表除具有一些基础功能外,还具有多种的输出形式,如比较输出、峰值捕获输出等,扩展了仪表的应用场合。同时,该仪表可进行零点追踪与蠕变追踪以改变追踪参数<sup>[7]</sup>,以减少传感器力学性能缺陷的影响。另外仪表的最小检定质量为  $1 \text{ mg}$ ,检定分度值为  $5000$ ,分辨率满足课题需求。

## 3 剪切运动分析与控制算法

### 3.1 分剪运动分析

分剪动作执行时,需合理进行加减速控制,否则分剪机构产生的冲击将影响系统对质量信号和速度信号的采集,因此需要对分剪电机的运动采用多段控制方法。将分剪动作分为 3 个阶段:

第 1 阶段为电机启动开始动作到刀片接触到橡胶,这段动作可看作分剪电机的空载运行,如图 6 所示。

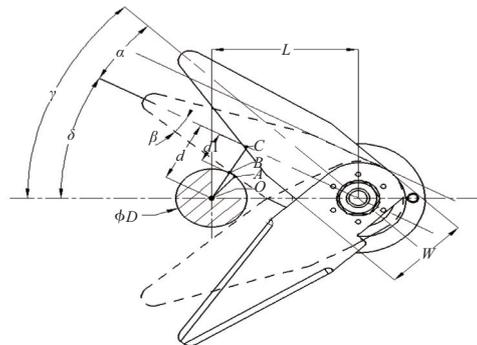


图 6 分剪动作第 1 阶段示意图

第2阶段为分剪刀片从切入橡胶开始到上、下刀片完全剪断橡胶结束,刀片中心线与刀片旋转中心和橡胶圆心连线处于第1阶段结束时的角处,进行角度计算时假设刀片为刀刃与中心线平行的矩形刀体,最重要的剪切过程——分剪刀片的旋转角度,刀片位置状态如图7所示,至虚线部分完成分剪动作。

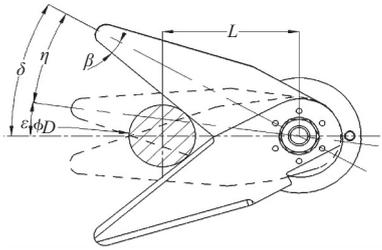


图7 分剪动作接触至分剪完成过程示意图

第3阶段为分剪刀片剪切完成并继续旋转至规定零点位置准备下一个工作循环的过程。上述3个阶段的分剪刀片旋转角度在当前加工橡胶规格参数写入后,可直接预先计算出再存放至PLC中,停电保持用寄存器D2011、D2012和D2013,由此可将电机控制曲线在分剪动作开始时根据以上计算结果进行阶段时序分配,对分剪电机动作进行更加精准且稳定地控制。

### 3.2 分剪电机加减速曲线与控制算法

在自动分剪时,机械本体不可避免地存在机械惯性,在运行时,直接表现为柔性冲击,其原因是由于电机运动本身并非一个连续稳定曲线,而是由无数个脉冲段所组成的拟合频段,各个频段在脉冲输出频率切换的过程中,因脉冲速度增量的增大使得电机产生一个加速力矩<sup>[8]</sup>。柔性冲击的控制取决于电机自身所采取的控制方案。柔性冲击对分剪系统影响大,可能导致刀片归零产生累计误差和称量结果上的抖动误差。因而需要对分剪步进电机选择更好的控制方案,尽可能在电机平稳运行状态下保证电机的快速运行。具体而言,即对电机脉冲频率变化进行合理规划,使分剪电机能够遵照给定的加减速曲线规律完成变速<sup>[9-10]</sup>。

对目前常见的加减速控制曲线优缺点进行对比后,本文选择S型加速曲线中的5段S型,5段S型加减速曲线分为加速度上升、减速度减小、匀速、减速度上升和减速度减小5个阶段,加减速曲线各参数变化如图8所示。

从5段S曲线相关推导公式中可知在其他条件已知的情况下,只需确定最大速度( $v_m$ )、最大加速度( $a_m$ )和加加速度( $J$ )3个5段S型曲线的主要参数之一,就可对其他2个参数进行导出。因此可控制参数有最大加速度( $a_m$ )、最大速度( $v_m$ )和加加速度( $J$ )。分别以其一为控制参数,在MATLAB软件中对另2个参数的变化趋势进行解析。以 $v_m$ 作为基础控制参数时, $a_m$ 与 $J$ 的整体变化平缓,变化范围内无突变点,具有良好的稳定性能。最终选择将 $v_m$ 作为基本控制参数,该参数可根据所选择电机的矩频特性图来进行选择。

在步进电机运行时,步进的速度变化是非连续的,而是按照规定频率以阶梯形式进行分档,且每个阶梯的运行

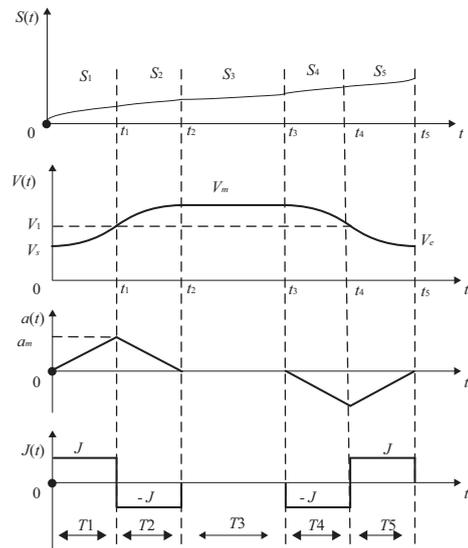


图8 5段S型加减速曲线各参数变化图

时间也不同。为使各频段柔滑过渡,需要对理想5段S型加减速曲线进行离散化处理。如图9所示,在时间轴 $t$ 上取得相同间隔的时间小段后,将曲线细分为对应的 $A_0B_0$ 、 $A_1B_1$ 、 $A_2B_2$ 、...、 $A_{n-1}B_{n-1}$ 小段,并设每段小频段( $A_iB_i$ ),选择合理分段数对理想曲线进行逼近,所取时间段数( $n$ )越多,插值点越多,则逼近程度越好,电机运行更平稳。但实际工作时, $n$ 的增加会使控制中心运算负荷加大,当频段与频段切换频率超过一定值时,插值点可能丢失。

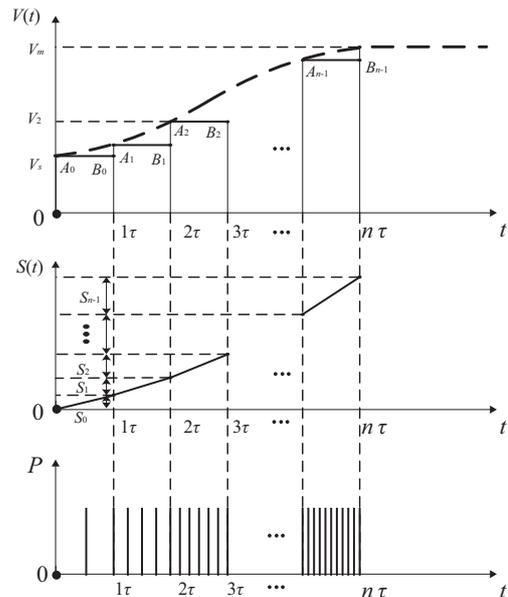


图9 5段S型曲线等时长离散处理

每段小频段( $A_iB_i$ )包含脉冲数为 $S_i$ ,起始点( $A_i$ )对应时刻为 $t_i$ , $S_m$ 为曲线匀速阶段包含脉冲数, $S$ 为刀片转过工作角度对应的脉冲数, $T$ 为运行周期。以上参数可通过计算得出,从而算出所有阶段频率与所需脉冲数。然后通过PLC脉冲输出指令控制特定脉冲频率与脉冲数达到精准控制电机的目的。

### 4 控制系统上位机软件设计

有关运算等程序在 PLC 中实现,上位机软件需实现对系统运行状态的实时监测、当前采集数据的显示、参数设置与导入等任务,上位机软件使用台达公司 DOPsoft 软件开发。上位机程序以模块化方式进行开发,分为 3 层结构框架,分别为通信、人机交流以及参数管理;上位机软件结构如图 10,按照操作界面分为主界面和生产工艺参数界面,分别如图 11、图 12 所示。

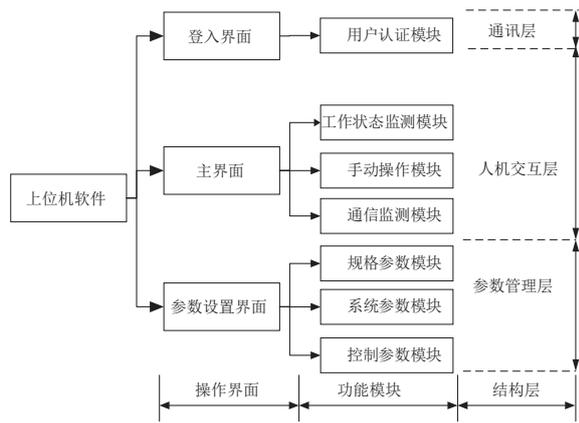


图 10 上位机软件结构图

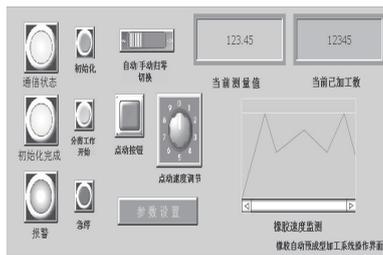


图 11 系统主界面

### 5 结语

本课题研究了挤出橡胶高精度自动称量与分剪系统。设计了传送机构、称重机构和分剪机构等机械本体结构。



图 12 参数写入界面

控制系统以台达 SV2 型号 PLC 为控制核心,并对传感器及称重仪表等附件选型,搭建了实时信号采集与处理系统。以伺服步进电机为驱动机构,对剪切运动过程进行了解析,并对电机脉冲频率进行了合理规划以使电机按照给定的加减速曲线规律完成变速,最后对上位机程序设计以完成加工过程管理,实现了橡胶高精度自动称量与分剪系统的设计目标。

#### 参考文献:

- [1] 龚克诚. 合成橡胶工业发展史[J]. 合成橡胶工业,1987(2): 154-155.
- [2] 周峰,刘寅. 橡胶机械自控技术研究[J]. 橡塑技术与装备, 2015(15):21-22,26.
- [3] 陈春花. 橡胶型氯化聚乙烯与三元乙丙橡胶共混胶性能的研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2010.
- [4] 易彪. 固态散料的动态称量方法研究[D]. 重庆:重庆理工大学,2015.
- [5] 胡立志,胡赤兵,吴坡,等. 基于 PLC 的自动称重系统[J]. 新技术新工艺,2009(12):61-62.
- [6] 刘培宇,赵学庆. 学用可编程控制器(PLC)之四——PLC 分类计数控制系统(上)[J]. 电子制作,1999(10):29-31.
- [7] 深圳市力准传感技术有限公司. L400 型通用力值测量仪使用说明书[Z]. 深圳:深圳市力准传感技术有限公司,2013.
- [8] 熊晶晶. 基于 DSP 的三相混合式步进电机驱动器的研究与实现[D]. 武汉:武汉理工大学,2014.
- [9] 周一飞. 基于 Simulink 的步进电机控制系统仿真[D]. 成都:西南交通大学,2014.
- [10] 崔洁,杨凯,肖雅静,等. 步进电机加减速曲线的算法研究[J]. 电子工业专用设备,2013,42(8):45-49.

收稿日期:2018-09-03

(上接第 178 页)

- [2] 梁嘉羿,王友仁,黄薛,等. 蓄电池能量均衡技术研究综述[J]. 机械制造与自动化,2018,47(3):26-30.
- [3] 范发靖,袁晓玲. 基于 MATLAB 的光伏电池建模方法的比较[J]. 机械制造与自动化,2012,41(2):157-159,163.
- [4] Li Yong, Wang Shuan, He Yanbing. Li-ion and Na-ion transportation and storage properties in various sized TiO2 spheres with hierarchical pores and high tap density[J]. Journal of Materials Chemistry A, 2017, 5(9):4359-4367.
- [5] Zhang X, Long E, Li Y, et al. CeO2-ZrO2-La2O3-Al2O3 composite oxide and its supported palladium catalyst for the treatment of exhaust of natural gas engined vehicles[J]. Journal of Natural Gas Chemistry, 2009, 18(2):139-144.

- [6] Chen W, Zhao S, Ding H, et al. Improving the electrochemical performance of LiFePO4/C by doping magnesium trisilicate[C]. International Conference on Smart Materials & Nanotechnology in Engineering. Third International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering, 2011.
- [7] Nobili F, Mancini M, Dsoke S, et al. Low-temperature behavior of graphite-tin composite anodes for Li-ion batteries[J]. J. Power Sources, 2010, 195(20):7090-7097.
- [8] Xu K. "ChargeTransfer" process at graphite/electrolyte interface and the solvation sheath structure of Li+ in nonaqueous electrolytes[J]. J. Electrochem Soc, 2007, 154(4):162-167.

收稿日期:2018-09-07