

基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制

孟志刚, 李晓丽, 刘丽芳
(开封大学, 河南 开封 475004)

摘要: **目的** 由于全自动称量包装精度控制容易受到物料冲力等因素的影响, 导致精度控制很难保持稳定, 降低其抗扰性能。为此, 提出基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制方法。**方法** 建立称量传感器的数学模型, 采用滑动平均滤波和程序判断滤波处理称量原始信号, 去除动态振荡和干扰因素, 将处理的信号作为输入数据, 利用 PLC 冗余技术制定同步机制, 实现数据传输和控制命令的同步传输, 在此基础上, 使用设计的专家控制器, 根据灵活的控制规则库实现全自动称量包装的精度控制。**结果** 设计的基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制方法过码质量计量偏差小、通讯数据协同性好。**结论** 通过滤波处理的控制方法可以有效提高控制系统的抗扰性能。

关键词: PLC 冗余技术; 全自动称量; 包装; 精度控制

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)19-0287-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.19.038

Automatic Weighing and Packaging Accuracy Control Based on PLC Redundancy Technology

MENG Zhi-gang, LI Xiao-li, LIU Li-fang
(Kaifeng University, Kaifeng 475004, China)

ABSTRACT: Because the accuracy control of fully automatic weighing and packaging is easily affected by the impact of materials and other factors, it is difficult to keep the accuracy control stable and reduce its anti-interference performance. Therefore, the control method of fully automatic weighing and packaging accuracy based on PLC redundancy technology is proposed. Establish the mathematical model of the load cell, use the moving average filter and program judgment filter to process the weighing original signal, remove the dynamic oscillation and interference factors, use the processed signal as the input data, use the PLC redundancy technology to develop a synchronization mechanism to realize the synchronous transmission of data transmission and control commands. On this basis, the designed expert controller is used to realize the precision control of fully automatic weighing and packaging according to a flexible control rule library. The designed fully automatic weighing and packaging accuracy control method based on PLC redundancy technology has small cross-code weight measurement deviation and good communication data coordination. The anti-interference performance of the control system can be effectively improved by the control method of filter processing.

KEY WORDS: PLC redundancy technology; fully automatic weighing; package; precision control

称量技术在现阶段的工业生产中有着非常重要的作用, 在实际生成中主要有静态称量和动态称量 2 种, 但日常生活中人们遇到的大多数都是静态称量,

不需要考虑物体的冲力^[1]。对于全自动称量包装工艺来说, 精度的控制十分困难, 全自动称量包装工艺往往需要根据事先制定的要求, 对不同的物品进行称

收稿日期: 2021-02-18

作者简介: 孟志刚 (1983—), 男, 开封大学讲师, 主要研究方向为 PLC 控制、工业机器人。

量,再根据质量的不同进行不同的处理,是一个动态称量过程。在动态称量过程中需要考虑被测对象的冲力、振动等因素,而且被测对象有可能是时刻变化的,称量传感器从一个状态变化到另一个状态要经历一个过渡阶段,在这个过渡阶段,测量值和实际质量值相差较大,很难满足精度上的需求^[2-5]。

通过上述内容可知精度控制在全自动称量包装中是一个研究难点,国内外对称量包装精度控制的研究中电子秤的发展是重要的一个节点,随着电子技术的发展,逐渐渗入衡器制造业中,在近些年需要称量的工艺中,电子衡器越来越多地参与到称量过程控制中,现代称量技术已经成为各行各业中不可缺少的部分^[6]。一个好的精度控制方法,是在各种动态因素影响下依然能够保持较高的称量精度,但是现阶段比较成熟的精度控制方法中,还存在一些问题,如基于强化学习的精度控制方法、基于自适应神经网络的精度控制方法,这种精度控制方法在外界因素(如传动带速度、物品冲力)的影响下,为了控制精度使得计量偏差较高,通讯数据协同性较差^[7-9],因此,文中提出基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制方法,解决上述中传统精度控制方法存在的问题。

1 基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制方法

1.1 称量信号处理

根据典型的称量传感器结构和称量模型,构建称量传感器数学模型。传感器称量部分模型见图 1。

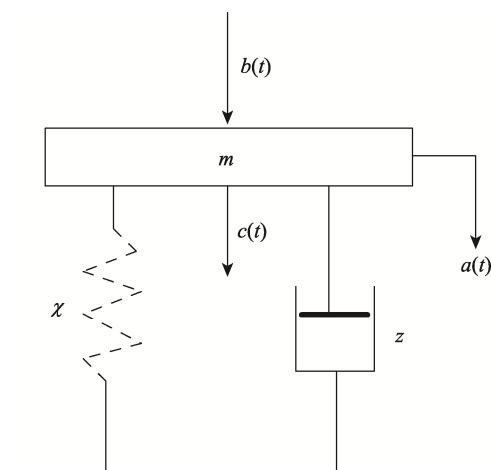


图1 称量部分模型
Fig.1 Weighing part model

根据力学分析,称量传感器的数学模型为:

$$b(t) + c(t) = m \frac{a(t)}{t^2} + z \frac{a(t)}{t} + \chi a(t) \quad (1)$$

式中: t 为目标物料; m 为秤体质量; $a(t)$ 为秤体相对于参考零点的位移; z 为等效阻尼系数; χ 为弹簧弹性系数; $b(t)$ 为目标物料质量; $c(t)$ 为目标物料冲力^[10]。在实际称量过程中,目标物料冲量消失后传感器就会调整过来,所以忽略式(1)中的 $c(t)$,同时将其进行拉式变换,得到传感器的传递函数:

$$\begin{cases} \omega_0 = \sqrt{\frac{\chi}{m}} \\ \gamma = \frac{z}{2\sqrt{m\chi}} \end{cases} \quad (2)$$

式中: ω_0 为自然频率; γ 为阻尼比。在获得动态称量数学模型之后,考虑到实际测量的噪声,在信号采集端加入滑动平均滤波和程序判断滤波方法,去除信号的扰动噪声^[11]。在信号处理过程中,将扰动噪声看成随机噪声,根据随机信号处理理论可知,大部分的随机噪声都符合正态分布,假设输入信号扰动均值为 0,方差为 σ^2 ,服从正态分布的不相关随机噪声^[12],则输入输出信号的似然函数为:

$$F(O_n/I_n, \alpha) = \prod_{i=1}^n b(t) + c(t) \left(\frac{O_n}{O_{n-1}}, I_n, \alpha \right) \quad (3)$$

式中: O_n 为输出信号; I_n 为输入信号; α 为构造的未知参数,该参数为自变量; n 为噪声数据序列数^[13]。为了使式(1)值达到最大,则:

$$\frac{\partial F(O_n, \alpha)}{\partial \sigma^2} = 0 \quad (4)$$

此时式(4)中的 σ^2 就是使似然函数最大的值,将其记为 $\hat{\sigma}^2$,代回式(3)中得到:

$$F(O_n, \alpha) = \frac{1}{2} \left[1 + \ln 2\pi + \ln \frac{2}{n} + \ln \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n g^2(i) \right] \right] \quad (5)$$

式中: $g^2(i)$ 为扰动均值。经过上述处理后,将原始信号中的动态振荡和干扰因素去除,得到目标物料质量的真实数据,并将其作为输入数据,为下一步冗余单元同步机制建立奠定基础。

1.2 建立冗余单元同步机制

在上述基础上,使用 PLC 冗余技术建立冗余单元同步机制,保证称量信号的同步输出。在全自动称量包装精度控制方法中插入控制冗余模块,利用冗余模块完成 PLC 的主要功能。

通过安全总线在冗余单元之间对数据进行采样。输入数据对 2 个冗余单元均可见。当输入数据在总线上传输时,冗余单元将同时接收数据,并同时进入中断以完成输入数据的采集,此时的同步误差为 0。

执行冗余单元对用户程序扫描是同步机制中重要的一环,需要冗余单元之间互相进行同步数据交互来完成同步功能^[14]。同步机制的执行见图 2。

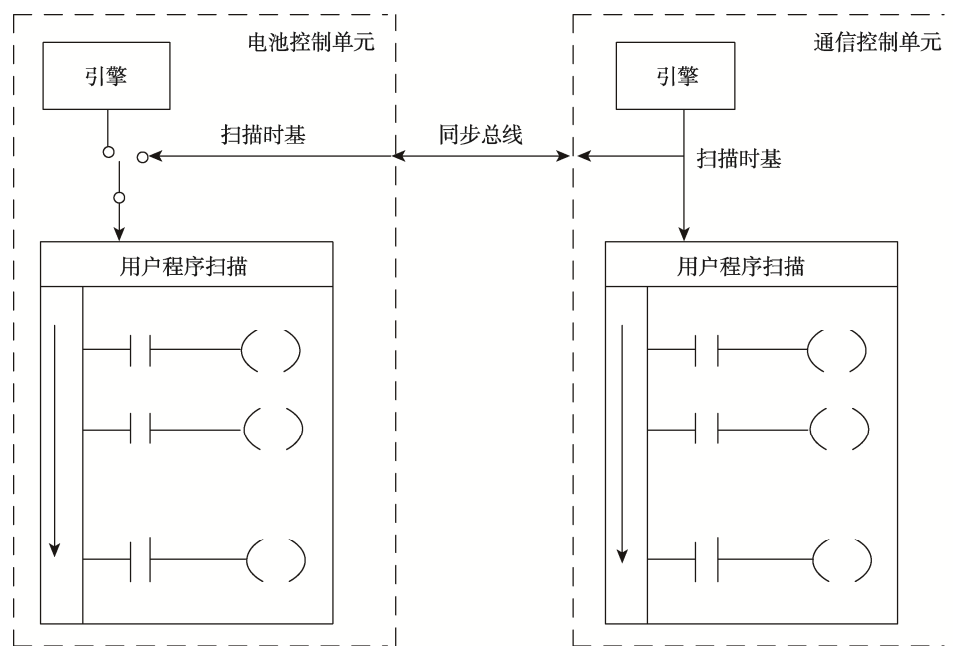


图 2 执行同步机制

Fig.2 Execution synchronization mechanism

执行同步机制保证了冗余单元之间用户程序的执行不存在误差,同时在检测到精度控制出现失效或主动控制器主动让出控制权时,能够自动切换扫描时钟源,接管控制权,保证数据同步^[15]。

在使用 PLC 冗余技术实现全自动称量包装精度控制时,利用 MPI 方式实现计算机与 PLC 之间的通信,将一颗 MPI 通信电缆作为信息传输媒介,如果通信电缆是 PC/MPI 电缆,将一段与 PLC 主机上的第一个通信端口相连,另一端与主机的 RS232 接口相连;如果是 USB/MPI 接口,将电缆的一端连接到 USB 接口上,另一端与上述连接相同。

在连接好电缆后,打开控制面板找到设置主机接口,在弹出的设置接口中找到使用的接口分配参数,选择 PC Adapter (MPI),选择完成后进入属性设置对话框,直接连接中选择通信接口,完成 PLC 与计算机的通信连接,以便执行同步机制和传输控制命令。

1.3 设计称量包装精度的控制器

在建立冗余单元同步机制后,设计专家控制器,控制称量包装精度,控制器结构见图 3。

根据专家控制器设计原则,结合全自动称量包装的实际情况,为了保证优良的控制品质,采用闭环控制策略,在线实时采集信息,根据实时信息及时修改控制规则,实现对精度的控制。上述中的控制规则指产生式规则,其基本形式为 $f < \text{条件} > \text{then} < \text{操作或理论} >$;采用产生式规则描述过程中因果关

系,并通过带有调整因子的控制规则建立控制规则集。专家控制规则库模型为:

$$D=\varphi(W,Q,H)F(O_n,\alpha)$$

(6)

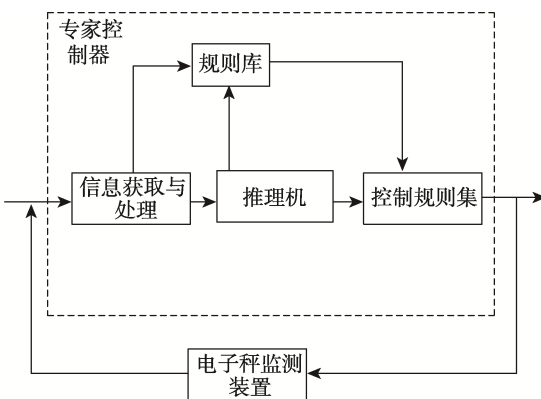


图 3 专家控制器结构

Fig.3 Structure of expert controller

式中: φ 为智能算子,是可解析型和非解析型的结合.其基本形式为: $f \ W \ \text{and} \ Q \ \text{then} \ (\text{if} \ H \ \text{then} \ D)$ 。

其中, $W=\{w_1,w_2,\dots,w_i\}$ 为控制器输入信息集; $Q=\{Q_1,Q_2,\dots,Q_j\}$ 为控制规则库中的经验数据与事实集; $H=\{h_1,h_2,\dots,h_n\}$ 为推理机构的输出集; $D=\{d_1,d_2,\dots,d_m\}$ 为控制规则输出集。通过上述控制,即可保证设计的基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制方法最大限度地发挥控制作用。

2 仿真实验分析

2.1 实验准备

为了验证文中提出的基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制方法在实际应用中的性能,选取质量均为 6.5 g 的颗粒类物料为实验对象,在电源电压为 AC(220±10%)V,频率为 50 Hz,工作温度为 0~40 °C 下进行一次仿真实验。在全自动称量包装精度控制方法实验研究中,通过实验室内模拟出包装厂动态称量系统,使用单片机实验板模拟称量传感器输出信号,输送到数据采集电路中。完成硬件连接之后,运行动态称量系统,打开参数设置窗口进行参数设置,数据采样间隔为 5 s、速度为 0~10 m/s、设置载荷限为 0~2 t、运行时间最大值为 1 h、流量最大值为 2000 t。参数设置后动态称量系统使用新的参数自动重新连通。调节传感器模拟信号,每隔 5 s 数据库窗口输出一条计量数据。动态称量系统具体结构见图 4。

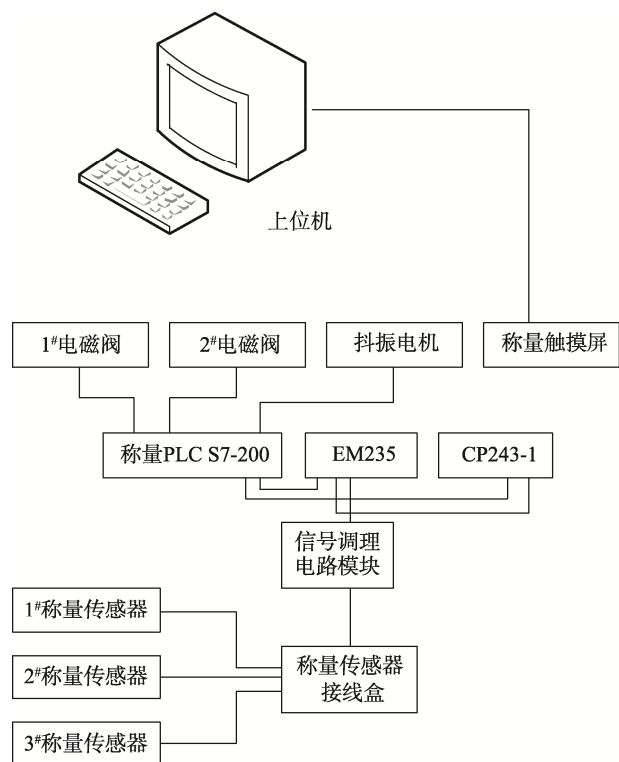


图4 动态称量系统结构

Fig.4 Structural block diagram of dynamic weighing system

在保证计量数据能够完整显示的基础上,以传统的基于强化学习的精度控制方法、基于自适应神经网络的精度控制方法以及文中提出的基于 PLC 冗余技术的精度控制方法为实验对象,设计 2 组对比实验,分别是过码质量计量偏差实验和通讯数据协同性实验,设计这 2 组实验主要考虑传统的精度控制方法在

实际工作中,受到称量包装装置(如传送带传送速度)的影响,存在较高的计量偏差,在传输数据时,通讯数据协同性差导致不能及时纠正,因此,使用不同的精度控制方法控制动态称量系统,计算其过码质量计量偏差。

2.2 过码质量计量偏差实验及分析

在称量现场,结合实际称量包装装置,使用不同的控制方法对计量精度进行测试,在全自动称量包装装置运行 30 min 后,对控制方法进行零点标定。设置装置运行速度,使用不同的控制方法分别在 4, 6, 8 m/min 条件下,计算出计量误差,分析不同精度控制方法在不同称量包装装置运行速度下,精度控制是否受到影响,计算结果见表 1。

表1 不同控制方法过码质量计量偏差计算结果

Tab.1 Calculation results of cross-code weight measurement deviation by different control methods mm

精度控制方法	运行速度		
	4 m/min	6 m/min	8 m/min
基于自适应神经网络	1.24	2.59	4.26
基于强化学习	0.94	2.63	4.79
基于 PLC 冗余技术	0.09	0.14	0.16

由表 1 可知,随着速度的逐渐增加,精度控制方法下的过码质量计量偏差逐渐增加,存在一定的规律性。对比观察各个精度控制方法的计算结果,传统的基于自适应神经网络的精度控制方法和基于强化学习的精度控制方法计算结果偏差比较大,在速度变化的影响下,成倍数增加;设计的基于 PLC 冗余技术的精度控制方法计算偏差极小,在速度参数的影响下,没有出现成倍数的情况。

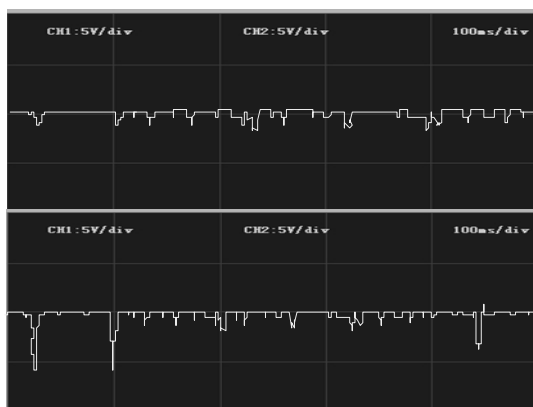
2.3 通讯数据协同性实验及分析

对于通讯数据协同性实验,使用不同的精度控制方法控制动态称量系统精度变化,设置相同的控制参数,在相同的控制命令下,使用示波器输出不同控制方法的通讯数据信号谱,根据输出的结果分析不同的精度控制方法的实际性能。通讯数据协同性实验结果见图 5。

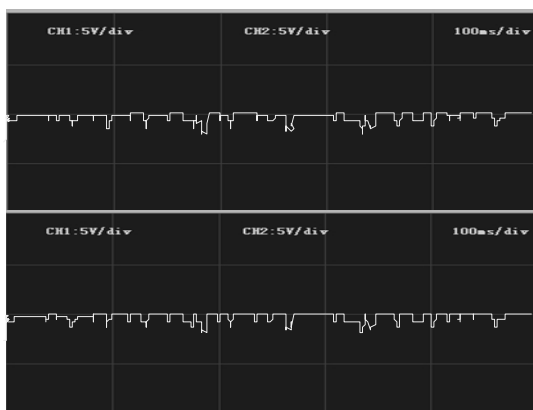
图 5 中显示信号谱横坐标为时间,单位为 ms,纵坐标为幅值。从图 5a 中可以看出,基于强化学习的精度控制方法在前期和后期出现了不同的波动,图 5b 中同样出现了这种情况,只有图 5c 中上下 2 幅波形图中波动变化基本一致。结合计量偏差结果可知,设计的基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制方法抗干扰性能更强,设计的精度控制方法优于传统的控制方法。



a 基于强化学习



b 基于自适应神经网络



c 基于 PLC 冗余技术

图 5 不同精度控制方法通讯数据协同性实验结果
Fig.5 Experimental results of communication data coordination of different precision control methods

3 结语

对全自动称量包装整体流程进行研究分析,设计基于 PLC 冗余技术的全自动称量包装精度控制方法。在设计完成后,通过对比实验证明了提出的精度控制方法的可靠性和抗扰性能。称量包装精度控制是一个十分复杂的问题,影响因素较多且复杂,在设计中还存在没有考虑到的问题,如装置的动作滞后等细节问

题可能被隐藏,接下来的研究工作还需要进一步深入,进行更多的实验和研究,提高全自动称量包装精度控制方法的实际水平。

参考文献:

- [1] 贾磊, 张宏祥. 基于 PLC 的称量包装生产线控制系统设计[J]. 科技通报, 2018, 34(12): 74—78.
JIA Lei, ZHANG Hong-xiang. Design of Control System for Weighing and Packaging Production Line Based on PLC[J]. Science and Technology Bulletin, 2018, 34(12): 74—78.
- [2] 任少伟, 杨传民, 孟祥飞. 基于 PLC 的全自动给袋式包装机称量控制系统研究[J]. 包装工程, 2019, 40(3): 162—168.
REN Shao-wei, YANG Chuan-min, MENG Xiang-fei. Research on Weighing Control System of Automatic Bag-Feeding Packaging Machine Based on PLC[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(3): 162—168.
- [3] 冯硕. 基于 PLC 的全自动粮食包装机电气控制系统的设计[J]. 农机化研究, 2019, 41(12): 199—203.
FENG Shuo. The Design of the Electrical Control System of the Automatic Grain Packaging Machine Based on PLC[J]. Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(12): 199—203.
- [4] 林蒙丹, 赵雪林. 基于 PLC 的自动包装码垛生产线的研究与设计[J]. 包装工程, 2019, 40(11): 148—154.
LIN Meng-dan, ZHAO Xue-lin. Research and Design of Automatic Packaging and Palletizing Production Line Based on PLC[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(11): 148—154.
- [5] 郑焕祺, 朱科, 杜光月, 等. 气候室智能前馈 PID 高精度控制方法[J]. 林业科学, 2018, 54(11): 79—86.
ZHENG Huan-qi, ZHU Ke, DU Guang-yue, et al. Intelligent Feedforward PID High-Precision Control Method for Climate Room[J]. Forestry Science, 2018, 54(11): 79—86.
- [6] 左大利, 吴悦明, 李晋芳, 等. 全自动偏光片贴覆机贴覆精度超差原因探析[J]. 机床与液压, 2018, 46(16): 30—35.
ZUO Da-li, WU Yue-ming, LI Jin-fang, et al. Analysis of the Reasons for the Ultra-Poor Pasting Accuracy of the Automatic Polarizer Pasting Machine[J]. Machine Tools and Hydraulics, 2018, 46(16): 30—35.
- [7] 赵孟文, 王瑞峰, 樊泽明. 伺服阀滑阀副配磨的精度控制方法[J]. 探测与控制学报, 2019, 41(4): 112—117.
ZHAO Meng-wen, WANG Rui-feng, FAN Ze-ming. The Precision Control Method of Servo Valve Sliding Valve Auxiliary Grinding[J]. Journal of Detection and

- Control, 2019, 41(4): 112—117.
- [8] 纪春明. 基于自适应神经网络的注塑机料筒多段温度控制精度提升技术研究[J]. 塑料工业, 2019, 47(11): 74—77.
JI Chun-ming. Research on Improving Technology of Multi-Stage Temperature Control Accuracy of Injection Molding Machine Barrel Based on Adaptive Neural Network[J]. Plastic Industry, 2019, 47(11): 74—77.
- [9] 徐意钧, 张强, 吕振华, 等. 基于强化学习的机械臂关节高精度控制方法研究[J]. 空间控制技术与应用, 2020, 46(1): 37—42.
XU Yi-jun, ZHANG Qiang, LYU Zhen-hua, et al. Research on High-Precision Control Method of Robotic Arm Joints Based on Reinforcement Learning[J]. Space Control Technology and Application, 2020, 46(1): 37—42.
- [10] 郑永, 彭东林, 陈艳, 等. 基于 TE 检测与控制理论的插齿机分度精度提高方法研究[J]. 机械传动, 2019, 43(7): 1—5.
ZHENG Yong, PENG Dong-lin, CHEN Yan, et al. Research on Improving Method of Indexing Accuracy of Gear Shaper Based on TE Detection and Control Theory[J]. Mechanical Transmission, 2019, 43(7): 1—5.
- [11] 张殿华, 孙杰, 陈树宗, 等. 高精度薄带材冷连轧过程智能优化控制[J]. 钢铁研究学报, 2019, 31(2): 180—189.
ZHANG Dian-hua, SUN Jie, CHEN Shu-zong, et al. Intelligent Optimization Control of High-Precision Thin Strip Cold Tandem Rolling Process[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2019, 31(2): 180—189.
- [12] 冯甜甜, 高晶敏. 一种空间目标高精度指向控制方法[J]. 中国空间科学技术, 2020, 40(2): 1—9.
FENG Tian-tian, GAO Jing-min. A High-Precision Pointing Control Method for Space Targets[J]. China Space Science and Technology, 2020, 40(2): 1—9.
- [13] 姜仁华, 刘闯, 宁银行, 等. 雷达伺服系统的高跟踪精度改进型自抗扰控制器[J]. 电机与控制学报, 2019, 23(5): 102—109.
JIANG Ren-hua, LIU Chuang, NING Yin-hang, et al. Improved Active Disturbance Rejection Controller with High Tracking Accuracy for Radar Servo System[J]. Journal of Electrical Engineering and Control, 2019, 23(5): 102—109.
- [14] 曹全. 超大直径圆涵顶进精度控制技术[J]. 施工技术, 2018, 47(S4): 1335—1338.
CAO Quan. Jacking Precision Control Technology of Super Large Diameter Circular Culvert[J]. Construction Technology, 2018, 47(S4): 1335—1338.
- [15] 祁超, 谢馨, 陈凌宇, 等. 精密转台 S 曲线轨迹规划及高精度控制[J]. 光学精密工程, 2018, 26(12): 2971—2981.
QI Chao, XIE Xin, CHEN Ling-yu, et al. S-Curve Trajectory Planning and High-Precision Control of Precision Turntable[J]. Optical Precision Engineering, 2018, 26(12): 2971—2981.