

基于多批任务处理的温度传感器智能检定系统设计

李 兴^{1,2}, 任 燕^{1,3}, 张雪晗^{1,3}

(1. 山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南 250031;

2. 枣庄市气象局, 山东 枣庄 277148; 3. 山东省气象工程技术中心, 山东 济南 250031)

摘要:为提升气象计量检定业务自动化水平,解决地面自动气象站中温度传感器周期检定需求数量多、检定效率低的问题,设计了一种基于机械臂的温度智能检定系统。系统由机械臂本体、PLC 控制装置和温度计量检定装置组成。检定中,系统通过安装于各工位的光电传感器来实时获取各批次任务的检定状态和位置等信息;实时调度生成各任务的移动路径,依次完成各温度点的示值检定,从而完成多任务协同化智能检定模式作业。与单任务检定系统进行时效比对测试,结果表明:该系统在多批次传感器集中检定中时效提升 62.5%,能全程实现无人化检定有效满足温度传感器集约化计量检定业务需求,是人工智能技术在气象计量业务应用中的有益尝试。

关键词:机械臂;温度传感器;检定系统

中图分类号:TP23

文章编号:1000-0682(2024)02-0015-06

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.02.003

Design of intelligent verification system for temperature sensor based on multi-batch task processing

LI Xing^{1,2}, REN Yan^{1,3}, ZHANG Xuehan^{1,3}

(1. Shandong Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation, Shandong Jinan 250031, China;

2. Zaozhuang Meteorological Bureau, Shandong Zaozhuang 277148, China;

3. Shandong Meteorological Engineering Technology Center, Shandong Jinan 250031, China)

Abstract: In order to improve the automation level of meteorological metrology verification business, solve the problem of high demand for periodic verification of temperature sensors and low verification efficiency in ground automatic weather stations, an intelligent temperature verification system based on robotic arm was designed. The system consists of a robotic arm body, a PLC control device, and a temperature measurement calibration device. In the calibration process, the system obtains real-time information on the calibration status and position of each batch of tasks through photoelectric sensors installed at each workstation, schedules and generates the movement path of each task in real time, and completes the calibration of temperature points in sequence, thus completing the multi-task collaborative intelligent calibration model. The time comparison test with the single task verification system shows that the system has improved the time efficiency by 62.5% in the centralized verification of multiple batches of sensors, and achieved unmanned verification throughout the entire process. It is a beneficial attempt of artificial intelligence technology in the application of meteorological measurement business.

Keywords: manipulator; temperature sensor; verification system

收稿日期:2023-12-12

基金项目:山东省气象局科研项目(2022sdqx06,2020sdqxm04)

第一作者:李兴(1974—),男,山东枣庄人,学士,工程师,主要从事气象装备保障和计量技术研究。E-mail:879326942@qq.com

通信作者:任燕(1979—),女,山东济南人,硕士,高级工程师,主要从事综合气象观测仪器计量技术研究。

E-mail:15666973293@126.com

0 引言

气象用铂电阻温度传感器^[1]（简称“温度传感器”）被广泛应用于各类自动气象站的气温、地温和草温的观测中,为了保障观测数据质量,需定期对其开展计量工作。实验室检定中,依据检定规程^[2]在 $-50 \sim +80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内对温度传感器进行多温度点示值检定。目前实验室应用的自动检定系统^[3-5]多是基于单任务控制设计,应用单槽检定的时效受恒温槽的升降温速度限制;使用多槽则需人工根据检定进程完成温度设定及温度传感器在恒温槽间的移动,整个示值检定过程需人工全程参与在检定中,自动化效率不高。随着气象观测站网布局建设推进,各类要素传感器周期检定需求量在不断增长,以山东为例,2023 年温度传感器周期检定需求量已达 3000 台左右,且未来仍会持续增长。

随着工业机器人技术的发展及广泛应用^[6-9],国内计量领域开始在检定需求量大、人工操作难度大的电表类和衡器类仪器计量中开展了基于工业机器人的自动化检定研究^[10-12],实现了将重复性强、

人工完成难度大的工作交由机器人完成。为提升温度传感器检定的自动化程度,该文开展了机械臂在温度示值检定中的应用研究,通过引入人工智能技术,建立了一套可集约化多任务控制的温度智能检定系统,实现多批次温度传感器集中智能检定,并基于云端完成数据存储。该系统解决了单任务检定系统下采用单槽或多槽面临的检定时间长、全程依赖人工的问题,实现了温度传感器无人化智能检定,检定效率有效提高。

1 系统结构

温度智能检定系统主要由温度计量装置和机械臂系统组成,系统结构如图 1 所示。其中,温度计量装置包括恒温槽、多通道扫描开关、标准器、数字多用表等;机械臂系统包括机械臂本体、PLC 等。系统通过网络实现上位机与计量检定设备进行通信,上位机通过串口服务器虚拟多个串口实现了与恒温槽^[13]、标准器、扫描开关、数字多用表的串口连接,待检传感器通过接线台接入扫描开关,数字多用表完成扫描开关接入通道的四线制电阻值测量。

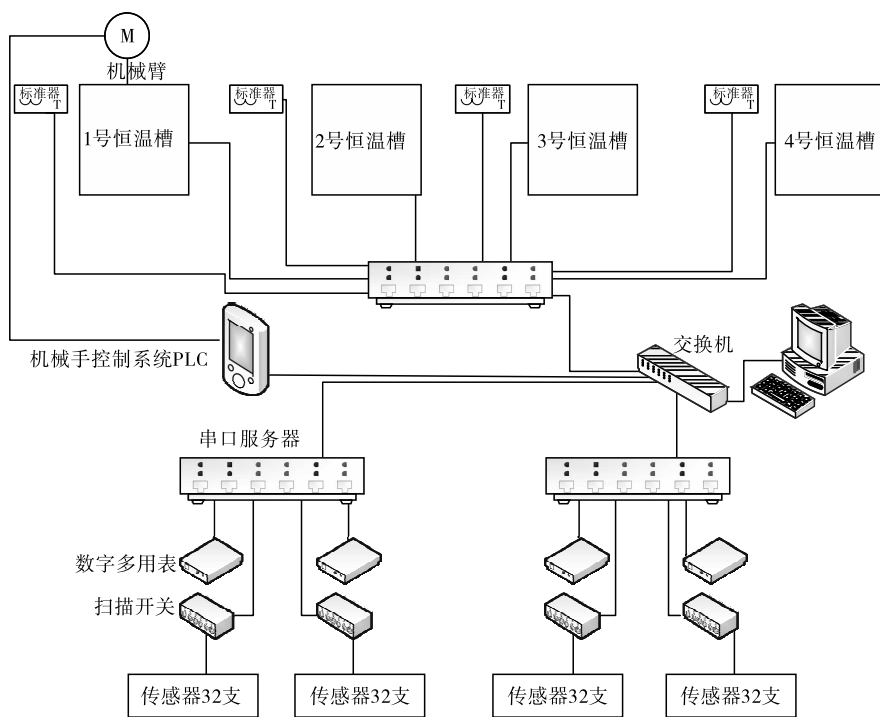


图 1 系统布局结构图

2 机械臂控制装置系统 PLC 通信设计

上位机与机械臂控制系统 PLC 通信采用 Modbus/TCP^[14-16]工业通信协议,以主站/从站方式进行数据通信,通信数据帧结构分为 MBAP 和 PDU 两部

分。其中 MBAP 为报文头,由事务处理标识、协议标识、长度、单元标识符组成,具体定义见表;PDU 部分由功能码+数据组成,功能码为 1 字节,数据长度不定,由具体功能决定。

2.1 PLC 信息存储设计

系统与 PLC 通信任务:一是获取机械臂、被检传感器的位置及状态信息,二是发送机械臂抓取被检传感器移动轨迹指令。为此系统设计上料位(A,B,C,D)、温槽检定位、温槽缓存位和卸料位(A,B,C,D),其中 A,B,C,D 分别对应为被检传感器的批次号,并在各位置安装光电传感器,系统将机械臂运行状态以及各光电传感器信号状态以二进制形式存储在 PLC 指定寄存器字节位中,PLC 寄存器各字节位设计定义见表 1。

表 1 PLC 寄存器信息定义

数据字节	字节位	存储信息
寄存器 1 高 8 位	8	远程信号
	7	启动信号
	6	停止信号
	5	暂停信号
	4	机械手抓取光电
	3	上料 A 光电
	2	上料 B 光电
	1	上料 C 光电
寄存器 1 低 8 位	8	上料 D 光电
	7	1 水槽光电
	6	2 缓存槽光电
	5	2 水槽光电
	4	3 缓存槽光电
	3	3 水槽光电
	2	4 缓存槽光电
	1	4 水槽光电
寄存器 2 高 8 位	8	卸料 A 光电
	7	卸料 B 光电
	6	卸料 C 光电
	5	卸料 D 光电
	4	机械手故障
	3	机械手具备运行条件
	2	通信信号反馈
	1	保留

2.2 路径预设

系统以最大 4 批次检定任务数量预设计各任务的移动路径,所有路径预设于机械臂控制系统中,各任务的移动路径如表 2 所示,移动路径用 3 位数表示,首位代表任务序号,第 2 位代表路径起始位置,第 3 位代表路径目标位置,如 A01 表示第 1 批次检定传感器从待检工位移至 1 号温槽中。根据数据库中存储的各任务状态信息数据,按照任务序号优先原则,实时生成任务移动路径,并及时发送给 PLC,由 PLC 根据预设路径设置完成相应移动指令。

2.3 PLC 通信

系统通过向 PLC 发送读取寄存器连续块的内容请求指令来获取状态信息,报文结构为:MBAP 功能码起始地址 H 起始地址 L 寄存器数量 H 寄存器数量 L(共 12 字节)。PLC 收到请求报文后,进行处理并返回相应信息。如系统向 PLC 发送读取机械臂状态信息指令为:00010000000060103077E0003,其中“000100000000601”为报文头 MBAP,03 为功能码表示读 PLC 保持寄存器,077E 为存储机械臂及工位状态信息寄存器的起始地址,0003 为读取数量。PLC 收到请求指令并执行返回:00010000000090103060021000000000,其中“000100000000901”为报文头,03 为功能码,06 为数据长度,第一个寄存器的数据为 0x21,其余为 0x00000。表 1 中列出系统中用到的机械臂状态信息在 PLC 指定寄存器的存储定义。

给 PLC 发送移动轨迹指令,发送命令为:0001000000006010605EC00C9,其中“000100000000601”为报文头 MBAP,后面为 PDU,06 为功能码表示写单个保持寄存器,05EC 为保持寄存器地址,00C9 为写入内容。00C9 转换为十进制为 201,表示将第 2 批次传感器由起始位移至第 1 水槽内。PLC 在收到移动轨迹指令后,检索路径列表,匹配成功则发送给机械臂控制器,由其控制机械臂本体完成相应路径动作。

表 2 移动路径

各任务移动路径	目标位置							
	1 号槽	2 号缓存	2 号槽	3 号缓存	3 号槽	4 号缓存	4 号槽	5 号卸料
A 路径	A01	A16	A02	A17	A03	A18	A04	A15
			A12	A27	A13	A28	A14	A25
			A62		A23	A38	A24	A35
					A73		A34	A45
							A84	

续表 2

各任务移动路径	目标位置							
	1 号槽	2 号缓存	2 号槽	3 号缓存	3 号槽	4 号缓存	4 号槽	5 号卸料
B 路径	B01	B16	B02	B17	B03	B18	B04	B15
			B12	B27	B13	B28	B14	B25
			B62		B23	B38	B24	B35
					B73		B34	B45
							B84	
C 路径	C01	C16	C02	C17	C03	C18	C04	C15
			C12	C27	C13	C28	C14	C25
			C62		C23	C38	C24	C35
					C73		C34	C45
							C84	
D 路径	D01	D16	D02	D17	D03	D18	D04	D15
			D12	D27	D13	D28	D14	D25
			D62		D23	D38	D24	D35
					D73		D34	D45
							D84	

3 软件设计

3.1 功能模块

温度传感器智能检定系统设计包含:权限识别、任务管理、参数管理、仪器检定、数据存储、机械臂控制 PLC 通信等模块,如图 2 所示。

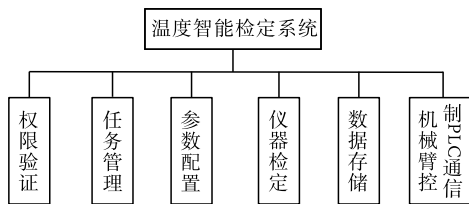


图 2 系统功能模块组成图

3.2 流程设计

软件流程设计如图 3 所示。在完成任务参数配置开启示值检定后,系统控制流程设计如下:

(1)系统依次启动检定任务,根据任务启用温度槽及检定点信息,向恒温槽温控器发送温度设定指令,开始定时读取恒温槽、标准器及机械臂控制系统 PLC 状态信息。

(2)系统轮询任务状态信息参数,在有任务移动请求且 PLC 状态信息参数具备移动条件时,给 PLC 发送机械臂移动轨迹指令。

(3)PLC 收到移动轨迹指令后将其发送给机械臂控制器,驱动机械臂本体完成指定动作,动作执行后反馈给 PLC,系统解析 PLC 状态信息获取动作指令执行反馈。

(4)在任务移动完成后,实时更新任务位置信

息,若任务传感器在缓冲位置,未进入恒温槽,则当前任务移动请求标识依然为 1(1 为请求,0 为无请求),继续等待。若任务传感器位置为恒温槽内,则更新任务移动请求标识为 0,进入数据采集保存环节。

(5)任务传感器置于恒温槽内,在按照稳定性条件判断稳定后,设置延迟(300 s)开始采集保存传感器数据,采集完成后保存当前检定点数据至本地数据库,更新任务传感器恒温槽、温度点参数信息,移动请求标识变为 1。

(6)若任务传感器位置为卸料位,则任务结束,任务状态信息更新为完成,数据自动上传提交至计量业务平台数据库。

3.3 数据库设计

由于系统运行过程中会调用设备参数,同时产生大量检定数据和状态信息,需要对各类设备参数、状态信息及检定数据进行存储与管理。系统设计了检定点管理、任务状态信息、传感器检定数据信息、检定结果、设备配置表、设备类型管理、传感器采集信息、PLC 地址信息以及修正值管理等数据表。

系统是基于省级气象计量业务系统^[17]设计开发,与省级气象计量业务系统数据交互的主要有信息读取与数据写入两部分。信息读取主要为系统登录时用户验证和获取待检状态的传感器基本信息;数据写入部分是向省级气象计量业务系统提交检定数据和变更传感器状态。表 3 ~ 表 5 给出了数据写入部分的数据字段信息。

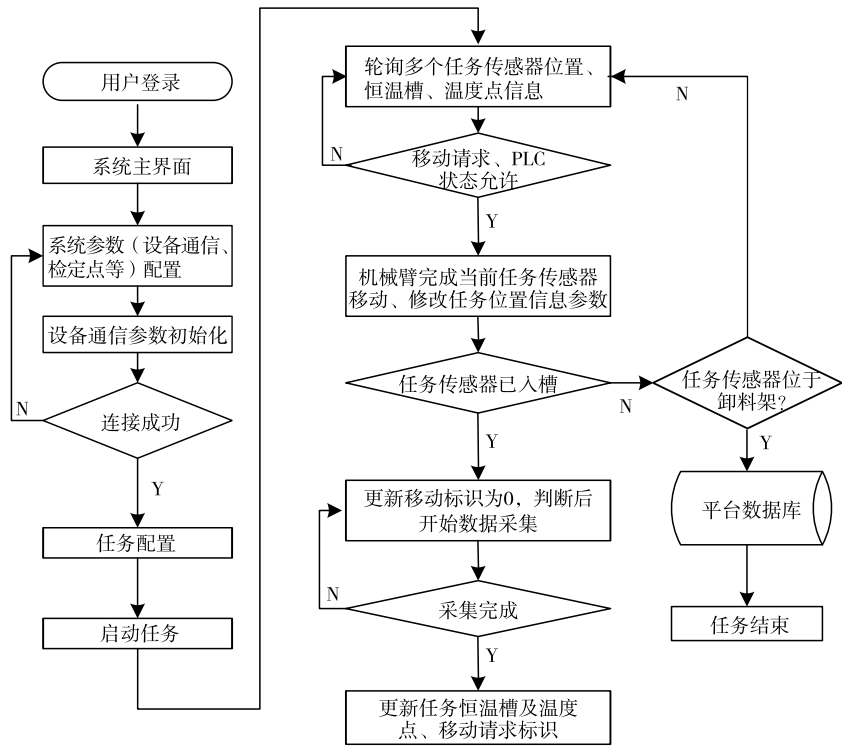


图 3 控制流程图

表 3 检定数据写入字段信息

字段名称	内容释义
strMeterID	唯一性标识取值为 tbl_MeterInfo 表中 strID
strRawRecordsetId	_MeterInfo 表中对应字段值
intDataID	表示当前检定点第几次读数，如温度每个点读 4 次数，其取值为 0,1,2,3
strStandVal	标准器读数
strStandRevisedVal	标准器修正值
strStandValReal	标准器修正后读数
strViewPressureVal	被测传感器读数
strTempReviseVal	写入 0.0
strDiffPressVal	误差值,被测减 strStandValReal 值
strRealPressureVal	同 strViewPressureVal
strCalibrationPointPressureVal	检定点
intValidate	检测有效性,写入值为 1
intType	写入值为 1
intCaliPointIndex	检定点序号,从 0 开始排序
intCaliTYpe	检定值为 0,校准为 1
strDateTime	检定点读数采样时间

表 4 检定结论写入字段信息

字段名称	内容释义
strAppearance	外观检查结论,写入合格或不合格
strEnvirHumidity	检定环境湿度
strEnvirTemp	检定环境温度
strCalibrationPeople	检定人员,取登录用户名
strCalibrationDate	检定日期写入格式为:2021-07-05
strCaliResult	检定结论
strCaliValidateDate	检定有效期,根据检定周期和检定日期计算后写入

表 5 状态变更字段信息

字段名称	内容释义
bCalibrationForCheck	状态标识由 0 变为 1
bMeterSelectFlag	状态标识由 0 变为 1

4 系统时效测试

为验证系统检定时效,选取 128 支温度传感器开展测试,与单任务检定系统的“单槽”和“多槽”方式进行比对,比较不同模式下的检定时效、人力投入的差异。测试中选取 -30℃、0℃、20℃ 和 50℃ 为检定点,按照扫描开关的通道数每批次接入 32 支温度传感器,分为 4 个批次检定任务。3 种检定工作模式下的检定控制方式、示值检定用时和人力投入方面的具体测试情况见表 6。

表 6 检定效能比对

系统名称	控制方式	温槽 数量/台	检定次序	单批用时 /min	累计用时 /min	人力投入说明
单任务 检定系统	自动控制	1	0℃, -30℃, 20℃和50℃	约150	约600	示值检定启动后无需人工参与,但若温 场介质不适宜所有检定点时,需人工更 换介质。
单任务 检定系统	手动控制	4	0℃为首检点,其他点 不限次序	约80	约320	人工设定温槽温度,人工判稳启动数据 采集,恒温槽间人工数次搬移传感器。
温度智能 检定系统	自动控制	4	0℃为首检点,其他点 次序不限	—	120	示值检定启动后无需人工参与。

注:检定用时仅考虑示值检定过程,示值检定前后接拆线等准备用时不计入;检定用时会受恒温槽温控性能以及传感器稳定读数时间设置影响,表中所列数值仅作为不同模式时效差异的展示,不用作示值检定用时依据参考。

表 6 中所列单批次检定用时是针对采用单任务检定系统进行单批 32 支温度传感器检定所需时间,累计用时是在不同模式下,完成 128 支温度传感器的示值检定过程的总计用时。从表 6 中看出,单任务控制系统和该文设计的系统一样均可实现自动控制,但由于采用单槽检定温槽的升降温过程用时较长,使得单批次和累计检定用时较长。采用多槽的单批次检定用时和累计用时可明显缩短,但因单任务检定系统不支持多槽温场控制,整个检定过程均需要人工去触发检定过程。集成机械臂的多任务检定系统则通过集中调度 4 批次传感器检定过程,充分使用恒温水槽,有效节约了检定过程中恒温水槽升降温的时间,且全程无人化的作业模式,不仅解放人工,更为检定数据客观准确提供了保障,其检定时效与单任务检定系统的单槽和多槽模式相比,分别提高了 80% 和 62.5%,集中控制优势得到了充分展现。

5 结语

基于温度传感器检定工作量大的业务现状,设计了基于机械臂的温度智能检定系统,系统配合 AI 算法采集检定中温度传感器的进入温场、温场稳定、数据采集、移出温场等各个环节的数据,实现了多批次检定任务协同运行的智能自动化管理。通过多任务状态管理,实现了多批次温度传感器检定任务按检定流程充分使用恒温水槽,改变了原有的单批次传感器单独运行模式。系统已在山东省温度气象计量检定业务开展中得到了有效应用,多任务检定过程无人化作业模式,不仅使示值检定时效得到有效提升,且为示值检定的客观和计量数据质量有效提供了技术保障。下一步针对检定前后耗时较长的接拆线等问题,继续开展适应模拟量和数字量信号输

出的传感器接入和采集模式研究,为温度传感器的高效、智能、集约化检定提供有价值参考。

参考文献:

[1] 王敏,王毛翠,张世国,等. 气象用温度传感器检定结果的测量不确定度评定与应用[J]. 成都信息工程大学学报,2022,37(04):406-411.

[2] 自动气象站铂电阻温度传感器检定规程:JJG(气象)002—2015[S].

[3] 崔学林,梁宝龙,黄斌,等. 基于串口服务器的智能温度检定系统设计[J]. 电子测量技术,2018,41(13):74-78.

[4] 陈建峰,钱同伍,高雪. 多通道压力传感器校准系统的研制[J]. 现代电子技术,2023,46(16):49-54.

[5] 谭晗凌,邹庆彪,黄飞龙,等. 一种温度传感器智能检定系统的设计及应用[J]. 广东气象,2022,44(16):65-67.

[6] 张师瑜,任永杰,张腾. 基于视觉定位与改进 RRT 的机械臂自动拾放系统[J]. 自动化与仪器仪表,2022(07):221-228.

[7] 秦俊非,毕江海,王继军,等. 基于 PLC 的铁路信号机房焊接机器人控制系统设计[J]. 制造业自动化,2022,44(05):119-123.

[8] 于丽丽,雷声媛. 基于 PLC 控制的红枣无损自动分拣系统设计[J]. 机械制造与自动化,2021,50(05):215-218.

[9] 张日红,任雷,朱立学,等. 香蕉采摘与吊运作业机器人 PLC 遥控系统设计[J]. 机械工程与自动化,2022(05):145-148.

[10] 李青. 智能电表自动化检定系统设计与应用分析[D]. 北京:华北电力大学,2018.

[11] 李维明,蔡永洪,韦志坚,等. 玻璃量器自动检定技术研究[J]. 机电工程技术,2022,51(04):150-153.

[12] 陈元杰,葛锐,孔新雄,等. 机器人技术在电子天平检定过程中的应用[J]. 衡器,2019,48(01):7-10+26.

(下转第 38 页)

等方法,通过对某型号舱段模拟件柔性装配试验、标准体质量质心与长度测量及几何水平测量试验进行一体化平台功能性试验验证工作,试验表明:

(1)一体化平台设计合理可行,关键部件选型与设计有效、可靠;

(2)一体化平台满足多种弹径舱段柔性装配与质量质心、长度及几何水平测量的需求;

(3)一体化平台采用电驱动设计、多机构自动化协同作业,减少人工参与,提高装配与测量效率、质量,实现舱段自动化、柔性化装配及质量质心、几何水平测量数据可视化;

(4)一体化平台设计方法对舱段装配与测量技术普及应用具有较好借鉴意义,对未来进一步建设导弹总装智能化工厂具有一定探索价值。

参考文献:

- [1] 董云龙,李祥飞,刘行,等. 航空航天领域机器人化智能装配技术综述[J]. 人工智能,2022(03):6-20.
- [2] 袁桢棣,周愿愿,张解语,等. 导弹舱段六自由度并联调姿托架设计及运动学分析[J]. 机械设计与制造,2022(01):202-205.
- [3] 吴昉,李桢,张礼立. 数字化柔性装配生产线的建设方法与实践[J]. 自动化仪表,2022,43(10):86-90.
- [4] 赵罡,李瑾岳,徐茂程,等. 航空发动机关键装配技术综述与展望[J]. 航空学报,2022,43(10):475-507.
- [5] 刘如才. 飞行器舱段柔性装配系统设计与控制仿真研

究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.

- [6] 宋兴君. 导弹舱段对接中的非接触测量系统设计与分析[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.
- [7] 李亚军. 基于双机器人协同的舱段对接装置结构设计与分析[D]. 西安:西安电子科技大学,2021.
- [8] 张解语. 面向舱段对接的位姿自动化测量关键技术研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2021.
- [9] 高健程. 筒类舱段调姿机构控制系统设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2021.
- [10] 陈胜政,高晓波. 小型飞航导弹发展综述[J]. 兵器装备工程学报,2020,41(01):94-99.
- [11] 杨波,江晨,冯立杰,等. 面向自动化物料传送的被动驱动托架设计与分析[J]. 航空制造技术,2021,64(Z1):94-98.
- [12] 李强,黄小春,张志博,等. 大型运载火箭质量质心测量系统校准方法[J]. 机械工程与自动化,2019(2):5-7.
- [13] 刘明勇,罗锋,徐健. 质量质心测量方法及实例分析[J]. 制造技术与机床,2019(04):138-141.
- [14] 段礼才. 西门子 S7-1200 PLC 编程及使用指南[M]. 北京:机械工业出版社,2020.
- [15] 西门子(中国)有限公司. S7-1200 可编程序控制器[Z]. 2023.
- [16] 廖常初. S7-1200 PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2021.

(上接第 20 页)

- [13] 王兴鑫. 高精度快速升降温电阻检定恒温槽的研制[D]. 泰安:山东农业大学,2022.
- [14] 庞党锋,宋亚杰,王春光,等. 基于工业机器人的数控加工控制系统设计[J]. 机床与液压,2020,48(21):62-64.
- [15] 罗旋,李永忠. Modbus TCP 安全协议的研究与设计

[J]. 数据采集与处理,2019,34(06):1110-1117.

- [16] 韩丹涛,赵艳领,公彦杰. 一种工业以太网状态安全监视器的设计[J]. 电子测量技术,2019,42(08):110-114.
- [17] 张建敏,罗昶,王建森,等. 省级气象计量检定业务自动化系统[J]. 应用气象学报,2012,23(02):251-256.

(上接第 24 页)

- [8] 郑田娟. 基于可编程逻辑控制器的变频调速系统研究[J]. 现代电子技术,2019,42(19):164-167.
- [9] 张丽. 基于 PLC 和 HMI 的电机无级调速系统的设计与实践[J]. 今日制造与升级,2022(10):45-47.
- [10] 郑伟卫. 基于 PLC 控制的三相异步电动机变频调速系统设计[J]. 能源与环保,2022,44(07):260-264.
- [11] 王付军,宋妮俐,杨长青. 基于 Modbus RTU 协议的 Delta 系统与西门子 S7-200 SMART PLC 串行通信[J]. 工业控制计算机,2023,36(08):38-39.
- [12] 李建飞,王万成,卢斯煜,等. 基于 Modbus RTU 协议

实现 DCS 与 PLC 实时数据通讯设计[J]. 自动化应用,2021(03):76-78.

- [13] 张伟,周鹏飞. 基于 S7-300 PLC 和 WinCC 组态软件的自动打料控制系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2020(03):99-102.
- [14] 乔社娟,陈佩. 基于 PLC 与组态软件的异步电机在线故障诊断设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2021(06):17-20+73.
- [15] 孙子贻,孙国靖,孙延寿,等. 基于 PLC 与力控组态软件的液化天然气工厂模拟仿真系统设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2021(03):22-25+70.