

基于LabVIEW的闭环步进电机运动系统设计及精度分析

张博 于宏柱 姚雪峰 李文昊 吉日嘎兰图

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要:当前闭环步进电机在自动化设备中的应用越来越广泛,故为了进一步满足闭环步进电机的应用需求,采用LabVIEW上位机+运动控制卡+驱动器模块的控制方案进行了多轴运动系统的设计,通过设计的上位机软件实现闭环步进电机的实时控制与监测。同时,基于编码器搭建了系统精度测试平台,测试结果表明,系统不适用于精度要求不高于 0.216° 的场合和小角度高精度定位的情况,而更适用于应用场合为大角度定位的情况。

关键词:闭环步进电机;运动控制系统;编码器;精度测试;LabVIEW

中图分类号: TM301.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-0797(2023)03-0030-06

DOI: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2023.03.008

0 引言

随着社会工业化的不断发展,工业对于设备自动化的需求不断提高,运动控制系统显得愈发重要^[1-3]。作为驱动自动化设备的重要部件,闭环步进电机在开环步进电机的基础上增加了位置反馈器来实现闭环控制,同样是通过调节脉冲信号的数量和频率来调整位移及速度,其运行时的发热和振动都小于开环步进电机,精度和可靠性却优于开环步进电机,因此,基于闭环步进电机的运动系统设计成为一个有着重要意义的研究课题^[4]。与此同时,虚拟仪器由于其强大的底层驱动程序以及便捷的可视化编程特性,在自动化领域的应用已经越发广泛,在工业界的认可度也不断提高^[5-7]。通过LabVIEW虚拟仪器搭配运动控制卡、驱动器及闭环步进电机进行运动系统的设计,可使系统具有高移

植性、高稳定性和高扩展性^[8]。

1 运动控制系统总体结构

本文以驱动闭环步进电机为研究对象,采用LabVIEW上位机+运动控制卡+驱动器模块的控制方案进行运动系统的设计;伴随着运动的多元化,多轴控制得到进一步关注,故系统设计从四轴控制的角度出发。系统总体结构框图如图1所示,该运动控制系统主要分为硬件和软件两部分,硬件部分主要由工控机、四轴运动控制卡、驱动器模块、闭环步进电机构成,其中工控机主要用于LabVIEW上位机软件的硬件环境,四轴运动控制卡通过驱动器模块进行闭环步进电机的控制管理,同时闭环步进电机自带的编码器向驱动器模块实时反馈位置信息,驱动器模块依据反馈信息进行输出指令调节,提高电机运转精度。

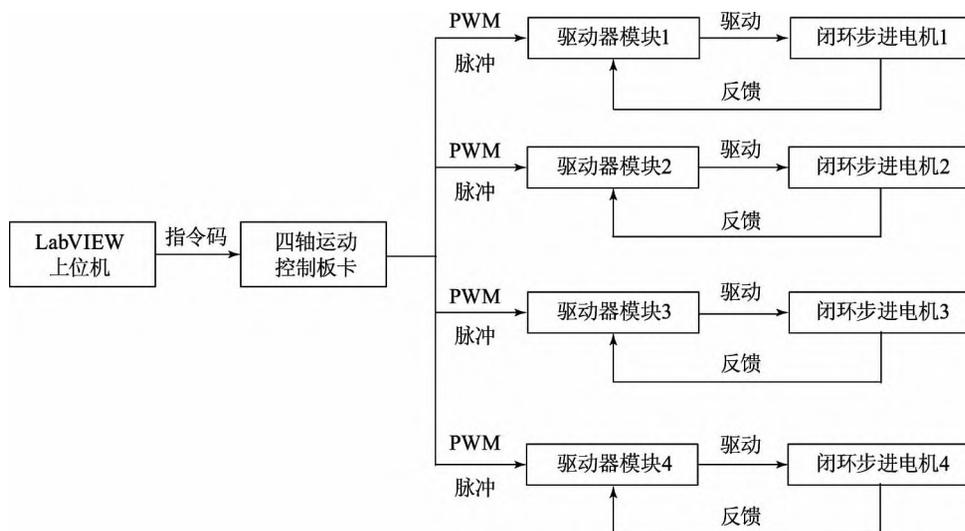


图1 系统总体结构框图

软件部分主要是通过LabVIEW进行上位机控制软件的设计,来实现对整个系统的操控。LabVIEW上位机软件基于工控机硬件环境与运动控制卡通过高实时性的PCI总线进行通信,实现对系统的实时控制及系统状态的实时采集。

2 运动控制系统的硬件配置

依据电机负载、电机额定转速、额定扭矩及最大扭矩、动作模式、编码器分辨率等方面进行闭环步进电机的选择,本系统选用了富兴的SC42-03型闭环步进电机以及与其配套的TS808D伺服驱动器,四轴运动控制卡选用了研华的PCI-1245L运动控制卡。

PCI-1245L运动控制卡是四轴的SoftMotion PCI总线控制器卡,能够实现运动轨迹和时间控制,以满足精确运动中的同步应用需求,其在CW/CCW模式的编码器输入为1 MHz,脉冲输出高达1 Mb/s,可实现高精度的控制、线性插补和同步启停等功能。闭环步进电机的精度为1.8°,其编码器精度为0.36°。单个电机系统硬件接线图如图2所示,TS808D伺服驱动器的A、B接线端需要与闭环步进电机的动力线相连,用于驱动步进电机,TS808D伺服驱动器的EA、EB接口连接到闭环步进电机的编码器信号接口,进行编码器反馈信息的接收,依据该信息调节速度指令和电流指令,进一步提高电机转动精度。PCI-1245L运动控制卡的PULS、DIR、ENA、ALM分别连接到伺服驱动器的脉冲输入端、方向输入端、使能输入端、报警信号输出端,以实现了对系统运动状态的控制及监视。

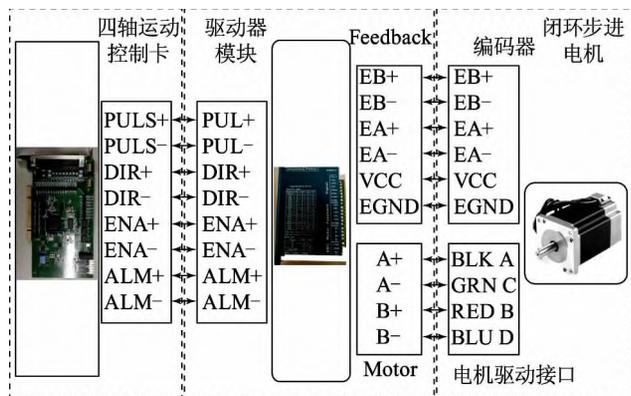


图2 单电机硬件接线图

3 基于LabVIEW的运动控制程序设计

上位机程序基于LabVIEW搭配PCI-1245L运动控制卡设备驱动进行设计,PCI-1245L运动控制卡设备驱

动是基于通用运动架构,基于该架构设计的上位机包含设备驱动层、整合层和应用层,这样当支持该架构的设备发生变化时,设计中的应用也无须修改,保证了程序的可移植性。

该通用运动架构的操作对象主要包括设备对象和轴对象,程序设计时,需要调用相应的对象来实现相应的操作,以保证每次动作都有明确的操作对象。上位机程序控制流程如图3所示,为了确保程序的适用广泛性,故程序设计需要先确定操作设备来获取设备句柄,之后在该设备句柄的基础上进行轴使能,即打开运动控制卡目标轴的操控接口,之后打开设备驱动器以保证驱动器的有效工作。

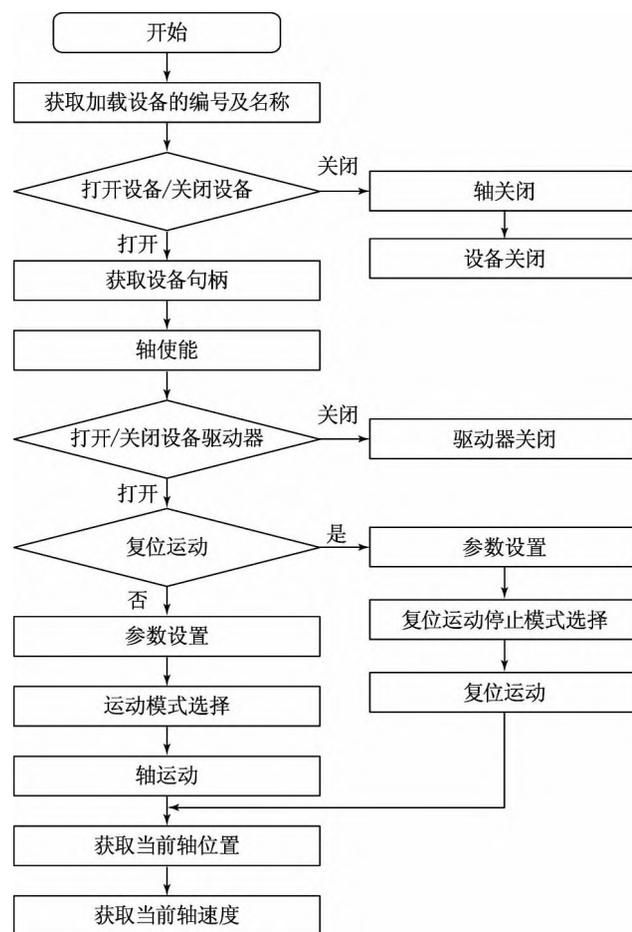


图3 上位机程序控制流程

回原点运动是运动控制必备的功能,目前实现方法主要有硬件复位或软件复位,硬件复位是将光电开关放置在目标位置,当运动到原点位置时,光电开关发出限位信号指示运动停止;软件复位是依据程序记录的位置信息进行回原点运动,直至当前位置处于原点

位。上位机程序集合了两种限位措施,既可以通过硬件限位,又可以基于软件限位进行回原点运动。在程序中通过动态链接库来调用相关函数实现相关参数的设置,参数设置中包括了运动距离、速度等信息,通过调整脉冲数量和频率来改变移动距离和速度。整个运动过程中都对位置、速度等参数进行实时显示,以实现运动状态的实时监控,以免出现运动状态的不确定性。

运动控制上位机程序控制界面如图4所示,程序开始运行后,设备编号成功显示PCI-1245L,代表板卡加载成功并已获取板卡信息,之后打开设备、打开驱动器才能成功进行后续操作,同时可以通过设备开启、驱动开启、轴开启指示灯来判断操作的成功与否以及闭环步进电机能否正常运行。每次电机运行前,需要在上位机程序控制界面选择相应的运动模式,运动模式主要包括绝对运动和相对运动,之后输入运行距离和运行速度等参数,运行时,各轴的位置和速度信息实时显示在上位机程序控制界面上,当想停止本次运动时,选择停止方式,即立即停止或减速停止,点击“停止”按钮即可结束本次运动。通过复位即可使电机进行回原点运动,在原点模式一栏进行复位运动停止模式的选择。当程序因轴处于“ErrorStop”状态而无法进行动作时,通过

重置错误按钮消除该状态来保证程序的正常运转。界面中的重置计数按钮是针对轴位置信息的清除,由于每次移动距离的输入为脉冲数,故轴位置信息的清除即是相应轴脉冲总数清除,重置计数后,位置信息重新从零累计。

4 精度测试

为了进一步测试设计好的运动控制系统的性能,基于编码器搭建了实验测试平台,如图5所示,通过设计的转接件将电机和编码器相连,其中,编码器分辨率为 0.018° 。当电机旋转一定角度时,编码器也随之转动相同角度,编码器将该角度发送给运动控制卡,再通过编写的精度测试上位机程序进行该角度的采集,即可完成编码器每次测量结果的记录,精度测试上位机界面如图6所示,每次测量结果都存入目标文件中。

4.1 定位精度测试

定位精度是系统运行中必不可少的参数,故首先通过编码器来进行电机定位精度的测试,通过上位机向运动控制卡发送一定脉冲数^[9]。运动控制卡依据脉冲数进行闭环步进电机步距的控制,为了更好地覆盖闭环步进电机一周各位置的定位精度,运动角度选取最小步距角 1.8° ,进行7 200次运动,这样累计步距成功覆

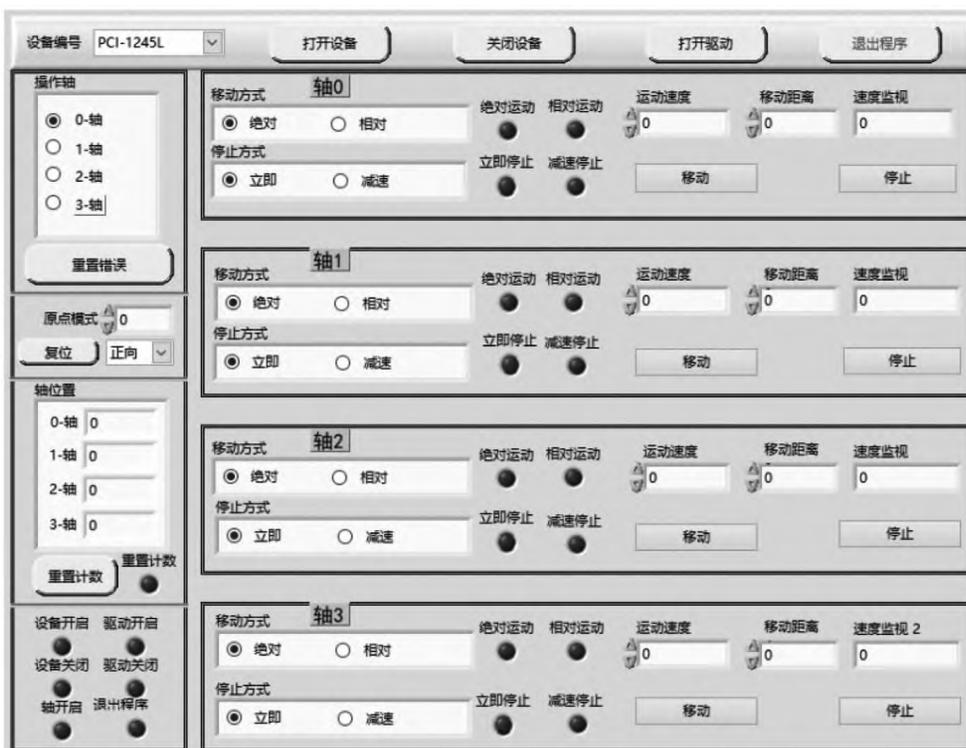


图4 上位机操控界面



图5 实验测试平台



图6 精度测试上位机界面

盖超过一周,每个位置测试36次。

测试结果如图7所示,最大偏差值是 0.216° ,故搭配该闭环步进电机的情况下,该运动系统不适用于精度要求不高于 0.216° 的场合。

4.2 重复定位精度测试

重复定位精度作为系统的另一个指标,其重要性不言而喻。该参数的测量同样是基于搭建好的测试平台,测试过程中,在转动一圈内均匀选取 n 个位置,如图8所示,在每个位置测试 a 次,即在同一个位置进行 a 次运动,这样总共测试1 000次。每次运动过程中让电机不

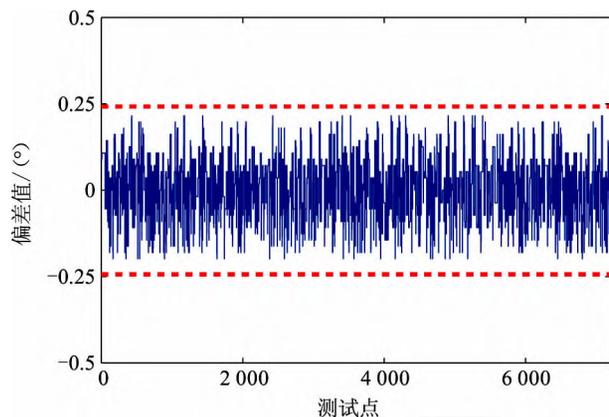


图7 定位精度测试偏差

断重复走过固定步距,之后通过编码器观察每次走过的实际步距与给定的固定步距差值,再通过上位机进行测试以实现针对重复定位精度的测试。通过选取不同步距角度来不断重复该测量步骤,以保证测试结果的可靠性。

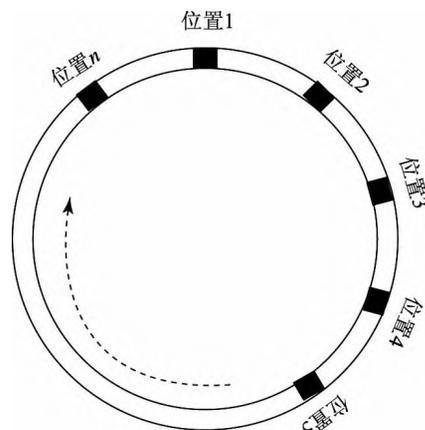


图8 重复定位精度测试位置的选取

测试中选取了 5° 、 36° 、 90° 、 144° 、 180° 、 360° 等6个步距角,实现了从小角度步距到大角度步距的覆盖。在电机转动一圈范围内均匀选取10个位置,每个位置进行100次测试。当步距角为 5° 时,测量结果如图9所示,最大偏差值为 0.216° ;当步距角为 36° 时,测量结果如图10所示,最大偏差值为 0.198° ;当步距角为 90° 时,测量结果如图11所示,最大偏差值为 0.108° ;当步距角为 144° 时,测量结果如图12所示,最大偏差值为 0.09° ;当步距角为 180° 时,测量结果如图13所示,最大偏差值为 0.09° ;当步距角为 360° 时,测量结果如图14所示,最大偏差值为 0.036° 。

虽然步距角为 144° 与步距角为 180° 时的最大偏差值都为 0.09° ,但从图12与图13的对比中可以看出,步距

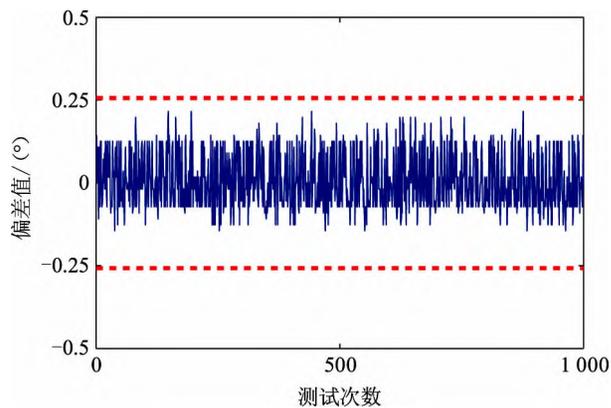


图9 步距角为5°重复定位精度偏差值

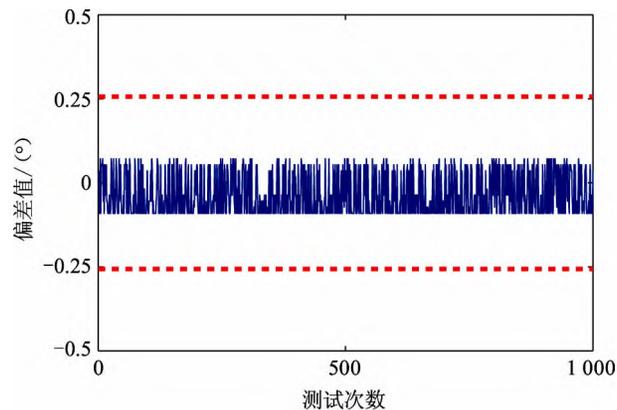


图12 步距角为144°重复定位精度偏差值

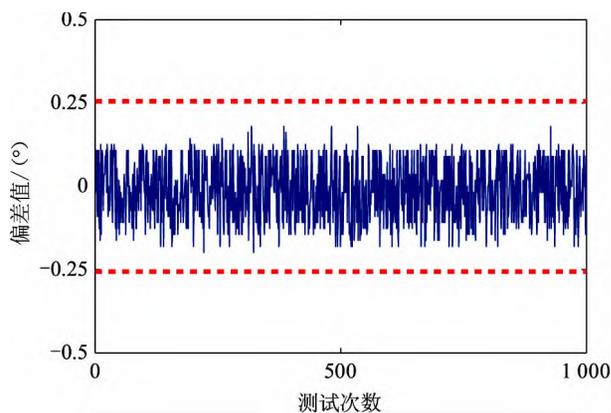


图10 步距角为36°重复定位精度偏差值

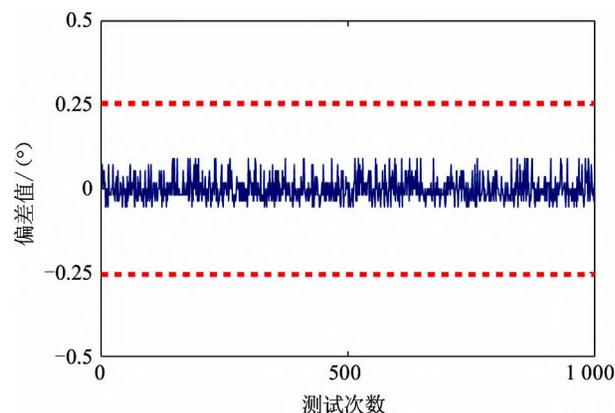


图13 步距角为180°重复定位精度偏差值

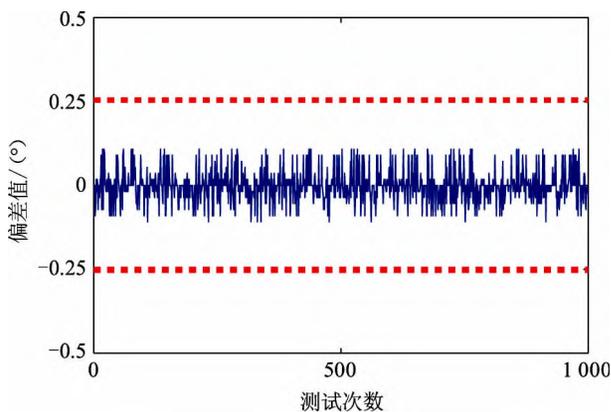


图11 步距角为90°重复定位精度偏差值

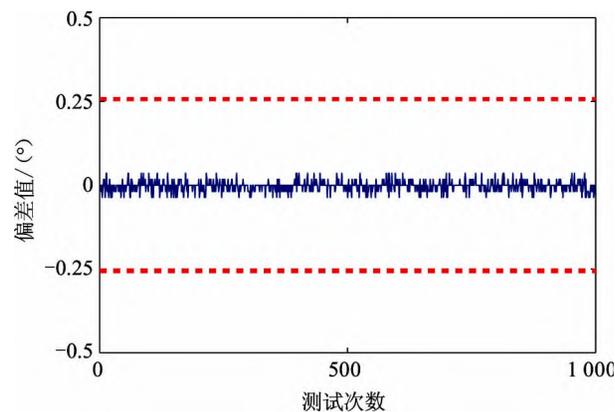


图14 步距角为360°重复定位精度偏差值

角为180°的重复定位精度要优于步距角为144°的情况。从测量结果也可以看出,大角度的重复定位精度要优于小角度的,也进一步说明该系统不适用于小角度高精度定位的情况,而更适用于应用场合为大角度定位的情况。当然,也可以从各角度重复定位精度的偏差情况分析得出是否符合应用场景,测试结果进一步为该系统应用场合的选择提供了数据支持。

5 结语

本文基于LabVIEW上位机+运动控制卡+驱动器模块的控制方案进行四轴运动系统的设计,通过设计的上位机控制程序实现了闭环步进电机的实时控制及监视。之后基于编码器搭建了电机测试平台,对电机的定位精度和重复定位精度进行测试,通过设计精度测试上位机程序进行测试结果的采集。定位精度测试结果

显示该运动系统不适用于精度要求不高于 0.216° 的场合,重复定位精度测试结果显示该系统不适用于小角度高精度定位的情况,而更适用于应用场合为大角度定位的情况。该系统采用精度更高的闭环步进电机,在成本没有提高的情况下优化了系统性能,同时测试结果为系统应用场合的选择提供了数据支持,为后续使用提供了方便。

[参考文献]

- [1] 梁建智,谢祥强,杨铭,等.数控机床位置伺服系统的无模型自适应迭代学习控制[J].机床与液压,2020,48(13):124-128.
- [2] 王辉,咎涛,刘智豪,等.基于LabVIEW和MPScope的多轴伺服电机控制系统开发与应用[J].制造业自动化,2018,40(6):40-43.
- [3] 刘聪俊,何岭松. EtherCAT架构的PC型多机器人控制方案[J].制造业自动化,2020,42(8):51-57.
- [4] 李晓凤,王景存.基于FPGA和LMD18200的步进电机控制系统[J].电机与控制应用,2018,45(1):18-22.
- [5] 毛计庆,云乃彰,孟轶,等. LabVIEW——快速构建步进电机控制系统的利器[J].电机与控制应用,2009,36(1):30-32.
- [6] 赵甜,张飞飞.基于LabVIEW的机器人的运动控制系统研究[J].工业控制计算机,2022,35(2):116-117.
- [7] 沈琦.基于LabVIEW的机器人控制软件系统设计[J].电子技术与软件工程,2013(15):73.

- [8] 韩明,彭琦.基于虚拟仪器的多轴运动控制系统的研究与设计[J].信息技术与信息化,2019(8):98-100.
- [9] 黄强,李松涛,高源,等.一种架空导线巡检机器人的运动控制系统[J].仪表技术与传感器,2020(12):86-89.

收稿日期:2022-09-26

作者简介:张博(1996—),男,吉林长春人,硕士研究生,研究实习员,研究方向:运动控制、光谱仪设计。

通信作者:于宏柱(1977—),男,吉林长春人,硕士研究生,教授级高级工程师,研究方向:运动控制、光栅测量、光栅制造。

(上接第29页)

机型。

[参考文献]

- [1] WILLIAMS R, ZHAO F, LEE J, et al. Global offshore wind report[R]. Brussels Belgium:GWEC, 2022.
- [2] 元国凯,李耀能,卢钦先,等.以设计为龙头的海上风电工程总承包项目管理研究[J].南方能源建设,2022,9(1):1-8.
- [3] 海上风力发电场设计标准:GB/T 51308—2019[S].
- [4] 风电场工程微观选址技术规范:NB/T 10103—2018[S].
- [5] 林鹤云,郭玉敬,孙蓓蓓,等.海上风电的若干关键技术综述[J].东南大学学报(自然科学版),2021,41(4):882-888.

收稿日期:2022-10-18

作者简介:罗晓健(1981—),男,河北灵寿人,硕士,高级工程师,研究方向:海洋工程及海上风电开发设计。