

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107639

基于 LabVIEW 的接触网作业车状态 监控与姿态跟踪系统

余刚毅 刘放 姚怀智

(西南交通大学 机械工程学院 成都 610031)

摘要: 针对实际工程项目需要,为一种创新型多功能接触网作业车设计一套状态监控系统,实现对钢筋探测、钻孔打锚、拉拔测试、吊柱安装、维修保养等作业过程的实时监控和运动姿态的模型跟踪。系统基于 LabVIEW 和 CAN 总线设计实现,系统中传感器等下位机设备挂载在 5 条 CAN 总线上,经控制器将信息整合后,通过 CAN 盒传递给上位机软件进行展示,并利用双机械臂和支腿的姿态运动数据驱动三维模型同步运动。此外,软件将所有数据存于 Access 创建的本地数据库,重要数据存于基地中心数据库。最后,现场测试界面显示和模型姿态跟踪功能,并利用姿态数据进行倾覆性验算。结果表明,系统程序运行稳定、各界面显示功能正常、模型运动同步性较好;AB 倾覆线最小和力矩约 210 000 N·m,远大于 0。说明系统能够完成实时监控和姿态跟踪任务,且测试工况下没有倾覆危险。

关键词: 接触网;LabVIEW;CAN 总线;姿态跟踪;监控系统

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

State monitoring and attitude tracking system of catenary operating vehicle based on LabVIEW

Yu Gangyi Liu Fang Yao Huaizhi

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: In view of the actual project needs, a set of state monitoring system is designed for an innovative multi-functional catenary operation vehicle, which can realize the real-time monitoring and motion attitude model tracking such as reinforcing bar detection, drilling anchor, drawing test, hanging column installation, maintenance and so on. The system is designed and implemented based on LabVIEW and CAN bus. In the system, sensors and other lower computer devices are mounted on five CAN buses. After the information is integrated by the controller, it is transmitted to the upper computer software for display through the CAN box. In addition, the software stores all data in the local database created by Access, and important data in the base central database. Finally, the interface display and model attitude tracking function are tested in the field, and the attitude data are used to perform capsizing calculation. The results show that the system program runs stably, the display function is normal, and the model motion synchronization is good. The minimum sum moment of AB overturning line is about 210 000, much greater than 0. This indicates that the system can complete real-time monitoring and attitude tracking tasks, and there is no danger of overturning in test conditions.

Keywords: catenary; LabVIEW; CAN bus; attitude tracking; the monitoring system

0 引 言

接触网作业车是一种主要用于铁路电气化接触网上部设备安装、检修、调整和保养等作业的工程装备^[1]。目前国内接触网作业车只能依靠单机械臂完成某个作业工序,或高度依赖人工完成多个工序,且在参数检测精度和效率上

难以满足要求^[2]。具体而言,安装作业存在低效、高风险、高损耗等问题,对作业人员综合素质要求也较高^[3]。检修作业高度依赖人工完成,效率低、“天窗”占用时间长^[4]。并且,检修装备大多采用梯车或多台作业车连挂进行,需较多的作业人员配合完成,过程复杂^[5]。此外,双机械臂在国内接触网作业过程中的应用几乎空白,胶轮路轨系统也应用

收稿日期:2021-08-19

很少,故有极大研究空间和意义^[6]。

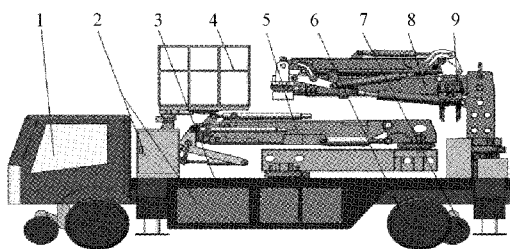
将隧道接触网作业问题和难点分析后,设计并实现了多功能融合的实验性接触网作业车。该设备拥有机器视觉模块和双机械臂,搭载不同机具后,可智能化完成隧道顶部接触网吊柱安装时一系列作业流程。为了使该设备便于使用和后续科研工作开展,为其创建了一套基于 LabVIEW 的监控系统。最终实现了在全面监测接触网作业车工作状态的同时,传感器姿态数据可同步驱动三维模型运动,进而可全方位实时观察设备运动姿态。

1 系统的组成和通信

1.1 系统的组成与双臂系统

1) 系统的组成

多功能接触网作业车要由监控系统、驾驶控制系统、车体、辅助臂和工作臂组成。设备的车体装有胶轮和钢轮,切换使用可实现普通地面和轨道两用。工作臂端部可搭配多种机具:钢筋探测机具、钻孔打锚机具、拉拔测试机具和机械爪。并且靠近端部位置装有机器视觉系统,辅助工作臂进行智能化作业。辅助臂端部装有作业篮可搭乘工作人员,完成接触网部件检修、保养等常规工作。驾驶控制系统设有自动和手动控制模式,可对车体和双臂运动进行控制;监控系统可全面监测设备工作状态,并可通过三维模型跟踪机械臂运动,进而全方位观测设备运行姿态。设备三维模型如图 1 所示。



注:1-监控系统、2-驾驶控制系统、3-车体、4-作业篮、5-辅助臂、6-胶轮、7-钢轮、8-作业臂、9-机械爪

图 1 设备三维模型

监控系统由车载计算机、GPS 模块、WIFI 模块、CAN 盒、运动控制器、多种传感器和发电机等需要监测的下位机设备组成。系统中各个下位机设备并联挂载在 CAN 总线上,将信息传递给控制器,经处理和整合后传递给 CAN 盒及监控软件,系统的组成框图如图 2 所示。

2) 双臂系统

由于接触网作业过程工序繁多,故双臂系统在接触网作业过程的应用既是一种创新也是极具研究价值的方向。系统双臂的运动由液压系统驱动,位移或变幅运动由液压缸实现,旋转运动由液压马达实现,通过控制电磁阀实现对双臂运动的控制。每条臂都有 7 个自由度,在每个自由度位置都装有基于 CAN 协议的多圈绝对值编码器或位移传

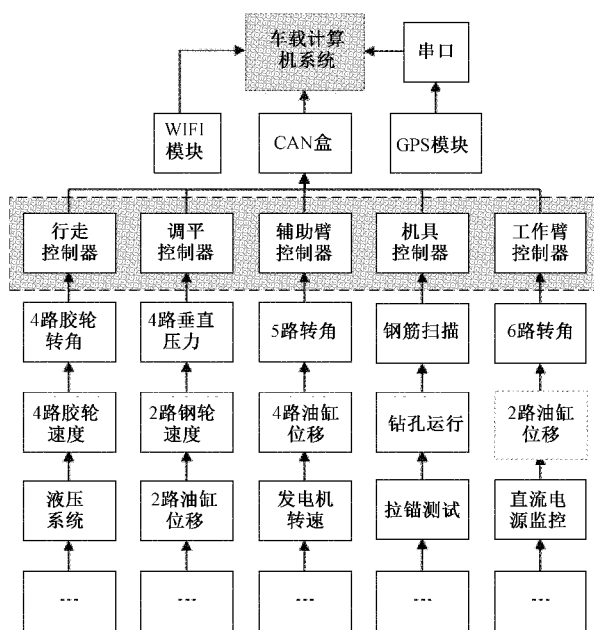


图 2 监控系统组成框图

感器。对机械臂角度和位移的监测既是为了精准控制,也是为了便于进行末端坐标计算和防止运动干涉,从而精准完成打孔和吊柱安装等工序。

1.2 系统的通信

1) 通信方式

系统各部件之间通信基于 CAN 总线实现,5 条 CAN 通信线分别连接 5 个控制器,控制器将信息整合后经终端 CAN 通信线和 CAN 盒把信息传递给监控软件,使其能够监测和控制总线上挂载的设备。CAN 通信协议的通信帧包括数据帧、远程帧等 5 种格式,本文采用数据帧格式,其结构由 7 个域组成,分别为帧头、仲裁域、控制域、数据域、校验域、应答域和帧尾,如图 3 所示^[7-8]。

帧头	仲裁域		控制域	数据域	校验域	应答域	帧尾
	COB-ID	RTR					
1 位	11 或 29 位	1 位	6 位	0-8 字节	16 位	2 位	7 位

图 3 数据帧的结构

CAN 通信协议的报文中仲裁域和数据域需要由用户来定义。相同情况下,仲裁域的帧 ID 值越小,优先级越高^[9]。数据域除了可传递传感器信息,还可根据需要传递源节点地址和报警信息等更多信息^[10]。鉴于此,通信时系统将含有“行走急停”、“工作臂急停”、“复位急停”以及各种报警信息数据的帧 ID 值设为最小,且排在数据域中的 0 和 1 字节中。

2) 通讯实现

在 LabVIEW 中通过“调用库函数节点函数”控件,调用 USB-CAN 适配器厂家提供的 DLL 库文件“ControlCAN”,结合内含的 CAN 通信函数和相关参数,编

写与 CAN 盒进行通讯的程序,此方法可极大缩短软件开发周期^[11-12]。通信程序结构框图如图 4 所示。

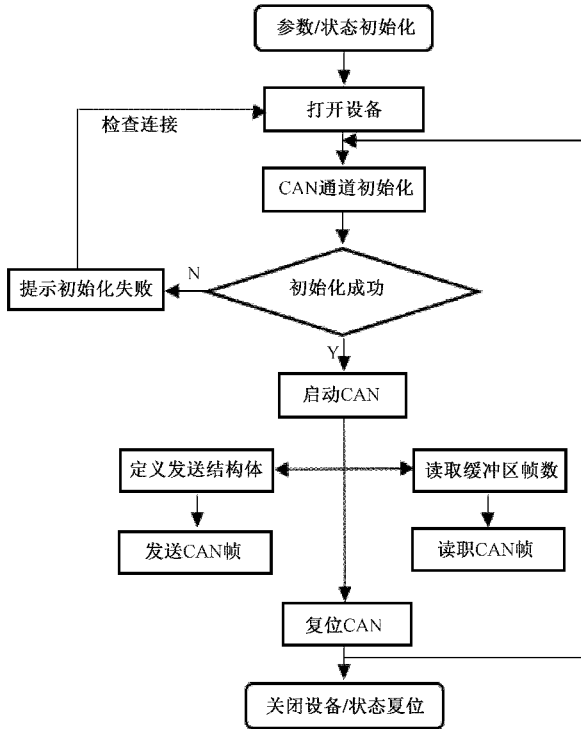


图 4 通信程序结构框图

2 系统软件设计

2.1 数据解析及本地存储

1) 数据解析与本地存储

下位机设备将信息传递给各个控制器以后,将信息整合打包在数据帧的数据域中,数据域中每个字节或者每位所代表含义,由自定义协议决定,本系统一般将数字量信息由 1 位表示,模拟量信息由 2 字节或者 4 字节表示。CAN 盒读取控制器的信息后传递给 LabVIEW 上位机,LabVIEW 接受到的信息会存到 CAN 通信程序的 CAN_OBJ 信息帧结构体。解析时需设置足够大的 CAN 报文接收缓冲区,以及足够大的解析消息队列,然后进行报文过滤^[13]。过滤时先判别仲裁域帧 ID,然后根据自定义协议方式解析该帧数据域内的信息。

由于传感器数据输出频率存在差异和数据解析方式的限制,为了提高软件运行速度和程序稳定性,故对每帧数据分别存储。进行数据本地存储时,系统采用 ODBC 链接方式让 LabVIEW 访问 Access 创建的数据库,此过程须遵循 SQL 语句规则,且数据表中数据类型需与 LabVIEW 中的相匹配^[14-15]。数据解析与本地存储程序如图 5 所示。

2) 数据远程传输

数据远程传输时,LabVIEW 访问基地中心 SQL Server 数据库采用 ADO 方式通过 UDL 文件实现。该过程只需将基地中心需要的特定数据上传,这一功能实现需

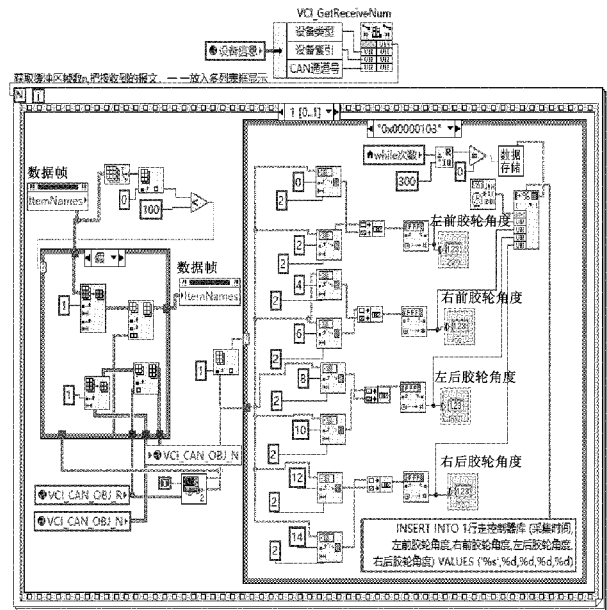


图 5 数据解析程序

配置 WIFI 设备联网。由于远程访问基地中心数据库需要经过账户密码验证且存在网络延时,为了不影响监控主程序运行,远程传输程序单独编写在了一个 while 循环内,并可利用 while 循环次数和时钟延时函数控制数据发送的频率,程序如图 6 所示。

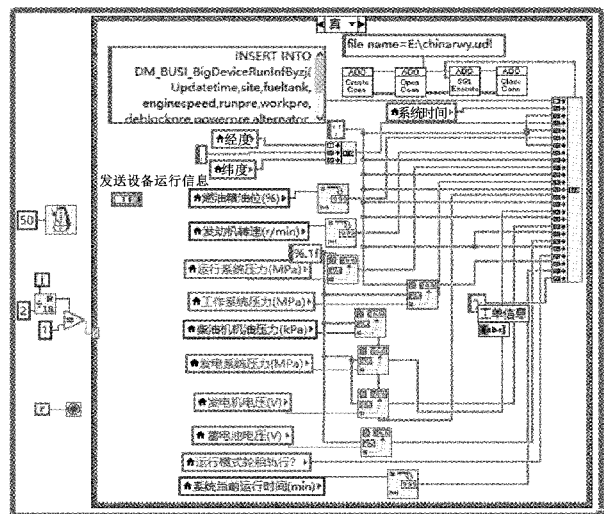


图 6 数据远程传输程序

2.2 软件界面及数字驱动

软件界面设计主要是根据驱动器控制内容分类,界面分为行走控制器界面、调平控制器界面、辅助臂控制器界面、机具控制器界面、工作臂控制器界面、GPS、数据查询和模型 3D 状态显示。传感器数据经 LabVIEW 程序解析后,一方面会在监控界面显示,如图 7 所示为辅助臂控制器界面,主要包括对 4 个支撑脚、胶轮状态、钢轮状态、辅助臂各部分的转角和油缸位移的监控。

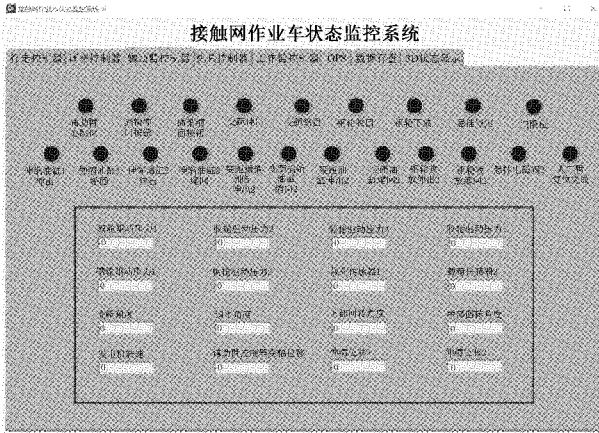


图 7 辅助臂控制器界面

另一方面,传感器监测的双臂和支撑腿姿态数据,还会传递给软件姿态跟踪程序,使工作臂和辅助臂相对位置和空间运动姿态实现三维可视化。设计此界面时,首先需对模型进行前处理,简化结构并定义结构坐标系,以便进行程序化对象关系装配,最后编写运动控制程序,使监控软件拿到姿态数据后能驱动模型按照相应姿态运动。模型 3D 状态显示界面如图 8 所示。



图 8 模型 3D 状态显示

3 现场测试

在设备加工、装配完毕,控制工程师进行初步调试后,将监控程序安装并进行了现场测试。目的是测试各界面监控显示功能是否正常,以及模型运动跟踪效果如何。现场测试工况为工作臂旋转到车体左侧约 3.5 m 后,加持吊柱举高 6 m 左右。表 1 为从监控界面得到的工作臂及支腿最终位置的主要监控数据。

进一步,从 Access 本地数据库拿到一系列运动数据后,对其进行了倾覆性验算,图 9 为理论计算模型图,图中 $Lr1$ 、 $Lr2$ 、 $Ll1$ 、 $Ll2$ 为 4 个支腿伸展距离, $S1$ 、 $S2$ 为车宽和车长, $Q1$ 、 $Q2$ 、 $Q3$ 、 $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ 分别为辅助臂旋转中心、车

表 1 工作臂及支腿最终位置时主要监控数据

参数名称	物理意义	参数值
θ_1	座子旋转角度/ $^\circ$	76
θ_2	节臂 1 变幅角度/ $^\circ$	42
l_1	节臂 2 伸缩位移/mm	102
θ_3	节臂 3 旋转角度/ $^\circ$	180
θ_4	节臂 3 变幅角度/ $^\circ$	8
θ_5	机具俯仰角度/ $^\circ$	-17
θ_6	机具旋转角度/ $^\circ$	0
$Lr1$	右前支腿伸展位移/mm	716
$Lr2$	右后支腿伸展位移/mm	735
$Ll1$	左前支腿伸展位移/mm	721
$Ll2$	左后支腿伸展位移/mm	702

体质心、工作臂旋转中心,以及它们到倾覆线 AB 的车宽方向距离。

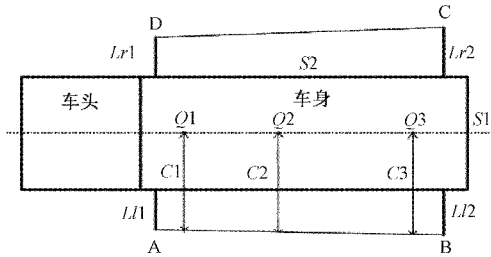


图 9 倾覆性理论计算模型

此时机械爪端部高度约为 6.2 m,以 AB 作为倾覆线,倾覆验算的和力矩结果需大于 0,计算公式为:

$$\sum M = M_C - \left(1.25 + 0.1 \frac{G_{b1}}{P_{a1}}\right) M_{P1} - \left(1.25 + 0.1 \frac{G_{b2}}{P_{a2}}\right) M_{P2} \geq 0 \quad (1)$$

式中: $\sum M$ 为和力矩;单位 $N \cdot m$; M_C 为作业车自重,单位 N ; G_{b1} 为工作臂自重,单位 N ; P_{a1} 为辅助臂外载荷,单位 N ; M_{P1} 为辅助臂外载荷对倾覆线 AB 力矩,单位 $N \cdot m$; G_{b2} 为工作臂自重,单位 N ; P_{a2} 为工作臂外载荷,单位 N ; M_{P2} 为工作臂外载荷对倾覆线 AB 力矩,单位 $N \cdot m$ 。

代入姿态驱动数据后可生成如图 10 所示关于 AB 倾覆

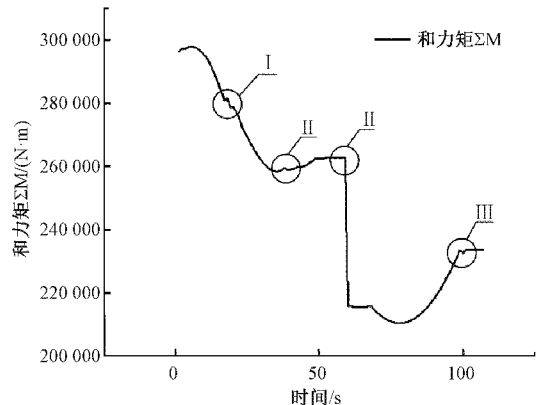


图 10 倾覆性和力矩验算

线的和力矩验算图,由图可知最小和力矩约 210 000 N·m,远大于 0,说明工作臂此种工况下作业时完全没有倾覆危险。此外,图中 I 区为旋转座带动工作臂旋转 76°停止时带来的抖动,II 区为节臂 3 旋转 180°停止时带来的抖动,III 区为加持吊住时带来的力矩突变,VI 区为夹持吊柱举高 6.2 m 停止时带来的抖动,与实际乘车体验相符。



图 11 模型姿态跟踪显示效果对比

实验和观测结果表明:1)系统通讯正常,各界面显示功能正常,系统程序运行稳定。2)数据采集效果良好,数据本地存储和远程传输功能正常。3)CAN 通讯实时性好,3D 模型的态度同步运动显示效果较好,但存在误差。说明,接触网作业车状态监控系统能够完成全面监测工作状态的任务和姿态跟踪的功能。

4 结 论

根据实际工程项目和接触网作业装备前沿发展需要,设计并实现了一种多功能融合的实验性接触网作业车,并为该设备创建了一套监控系统。该系统基于 LabVIEW 编写的上位机监控软件,利用 CAN 总线协议通过双臂系统及车体其他重要部位传感器,实现了对吊柱安装过程中钢筋探测、钻孔打锚、拉拔测试、吊柱安装、维修保养等一系列作业流程的全面监控。并可利用双臂和支腿姿态运动数据,驱动模型同步运动,实现数字孪生效果。还可为危险作业状态提供报警提示,并存储所有监测数据。经现场测试,结果表明软件各界面显示功能正常,系统运行稳定可靠,模型姿态同步性良好,能够完成全面监测任务。而且,姿态数据用于倾覆性验算后,表明该实验工况下没有倾覆危险。

但本研究亦存在不足,比如 3D 模型同步跟踪的误差难以测量,主要误差来源于机械臂初始位置标定。但即使标定准确,虚拟模型运动和实际运动的误差也只能理论推导,无法实际测量。最后,望该设备的设计和实现,能为隧道智能化装备研发提供经验。

参考文献

[1] 孙梅玉,吴欢欢.接触网多功能作业车低速走行系统及

图 11 为接触网作业车进行机械爪夹持吊柱测试时,工作臂运动姿态和此时监控系统 3D 模型姿态跟踪显示效果对比图。可以看出跟踪和显示效果较好,但有些许误差,比如节臂 1 的变幅角度。产生此误差的主要原因是数字系统 3D 模型的空间坐标系是绝对准确的,但机械臂实物初始位置标定是存在误差的。

控制[J].计算机测量与控制,2014,22(4):1155-1156.

- [2] 李宗荫,郭迎庆.基于单片机的接触网参数检测控制系统设计[J].电子测量技术,2020,43(8):17-21.
- [3] 戚广枫,李红梅,畅洪亮.新一代高铁接触网腕臂安装作业装备与工法研究[J].电气化铁道,2021,32(3):1-6.
- [4] 赵力,李永哲,任涛龙.适用于接触网集中修模式的接触网检修作业车研制[J].机车电传动,2016(1):49-52.
- [5] 王开元,吴焱明,兰毅,等.新型铁路接触网检修车梯的控制系统设计[J].机械设计与制造,2016(2):150-152.
- [6] 梁师嵩,包佳健.无人驾驶胶轮路轨系统的应用探讨[J].城市轨道交通研究,2019,22(10):91-94.
- [7] 范业明.基于 CAN 总线的海洋环境信息监测系统[J].电子测量技术,2018,41(13):49-52.
- [8] 郭志成,郭宁,李晓青.基于 CAN 总线的煤矿安全监控系统设计[J].煤矿机械,2021,42(7):208-210.
- [9] 尚捷,吉玲,孙师贤,等.基于 CAN 总线的旋转导向仪器控制节点设计[J].电子测量技术,2017,40(11):230-234.
- [10] 杜蕙,方彦军,孔政敏.基于 CAN 总线的锅炉膨胀监测系统设计[J].仪表技术与传感器,2018(2):113-117.
- [11] 李中立,黄菊花,郭伟春.基于 LabVIEW 的汽车网络监控系统研究[J].测控技术,2013,32(2):93-96.
- [12] 崔志新,陈学军,沈军.基于 CAN 和 LabVIEW 的风机在线监测系统[J].仪表技术与传感器,2020(1):75-78,82.

- [13] 马建辉,王知学,侯冬冬,等.基于 ID 快速匹配的 CAN 报文滤波解析方法[J].电子测量技术,2018,41(3):60-63.
- [14] 韩剑,莫德清.基于 LabVIEW 的智能家居多参数监控系统设计[J].现代电子技术,2020,43(4):48-50.
- [15] 李琳,杨永侠,陈昱含.基于 LabVIEW 的示波器采集存

储系统[J].国外电子测量技术,2019,38(2):132-137.

作者简介

余刚毅,硕士研究生,主要研究方向为隧道设备智能化与控制系统研究。

E-mail:745008672@qq.com

刘放,副教授,主要研究方向为智能检测与控制技术。