

新能源装载机远程驾驶控制器开发

岳远航¹, 纪少波^{1,2*}, 刘振革³, 胡珑渝¹, 陈忠言⁴, 张强¹

1. 山东大学能源与动力工程学院, 山东 济南 250061;

2. 汽车动力系统智能检测及高端装备山东省工程研究中心, 山东 济南 250357;

3. 山东技师学院智慧交通学院, 山东 济南 250204; 4. 山东氢探新能源科技有限公司, 山东 济南 250100

摘要:为提高某混合动力装载机远程操作性能,采用32位高性能单片机开发控制器,基于5G通信技术和Simulink软件,设计开发装载机行走系统、液压系统、制动系统、转向系统及附件系统的控制策略,并通过时延、行走制动、作业测试进行试验验证,实现对装载机的远程驾驶控制。测试结果表明:整车端与远程端之间数据传输完整,数据传输时延约为25ms;随着踩下远程端制动踏板,大约经过0.3s整车端电机转矩从100N·m降为0,大约经过0.7s电机转速从800r/min降为0;装载机摇臂、动臂均能根据远程先导手柄的控制指令正确反应,但动作存在轻微滞后;远程驾驶控制逻辑设计符合远程驾驶要求,满足实际需要。

关键词:新能源装载机;远程驾驶;控制策略;功能测试

中图分类号:TH243

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2024)04-0071-06

引用格式:岳远航,纪少波,刘振革,等.新能源装载机远程驾驶控制器开发[J].内燃机与动力装置,2024,41(4):71-76.

YUE Yuanhang, JI Shaobo, LIU Zhenge, et al. Development of remote driving controller for a new energy loader[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2024,41(4):71-76.

0 引言

装载机施工环境恶劣,噪音、粉尘污染严重,影响驾驶员人身安全与健康。装载机体型较大,由于驾驶室和作业设备的遮挡,操作者视野受限,影响作业精度及安全性^[1]。近年来,随着无线通信技术的飞速发展,工程机械发展趋向智能化、信息化,车辆远程控制成为其中一个发展方向^[2]。驾驶员在远程端的驾驶室内通过视频图像得到装载机全景实况及各种状态信息,实现对装载机的远程操控,通过人-机分离,使驾驶员远离恶劣的施工环境,提高了作业安全性。

目前国内相关企业及科研院所围绕工程机械远程控制系统进行了研究:2015年,某集团研制了无驾驶室远程遥控挖掘机^[3];2017年,某集团SY215型挖掘机采用虚拟现实技术,以三维视觉为基础,实现对挖掘机的远程控制^[4];2019年,某企业通过5G技术,实现对DE17推土机的远程控制^[5];黄志凌等^[6]以厦工装载机为试验平台,研制出一套多通道无线远程控制系统,并进行了相关的试验研究;鲁恒愿^[7]通过分析挖掘机整体结构和作业规律,设计了远程操纵挖掘机人-机交互系统的整体方案;蔡皓^[8]基于远程控制挖掘机智能清运港口船舱物料的需求,开发了完整的挖掘机远程操控系统,并设计出完善的安全性辅助控制策略;邵彦杰^[9]针对电动挖掘机开发了一套基于5G的远程遥控系统,并通过了通信测试和远程控制系统功能性测试。目前,围绕装载机远程控制方面的研究较少,已开发产品的性能在实时性及功

收稿日期:2024-05-10

基金项目:山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目(2022TSGC2041);动力机械与工程教育部重点实验室开放课题项目(202302)

第一作者简介:岳远航(2001—),男,山东济宁人,硕士研究生,研究方向为汽车测控技术,E-mail:480491661@qq.com。

***通信作者简介:**纪少波(1979—),男,山东烟台人,教授,主要研究方向为新能源车辆测控技术研究,E-mail:jobo@sdu.edu.cn。

能方面尚有改进空间。

本文中基于5G通信技术,开发新能源装载机的远程控制系统,并通过测试试验对控制系统性能进行验证,开发的装载机远程驾驶控制器可满足功能需求。

1 远程驾驶系统

1.1 系统设计

远程驾驶系统主要包括远程端、整车端、网络通信3部分。远程端由模拟驾驶舱、远程端控制器(vehicle control unit, VCU)、显示系统构成。VCU采集驾驶舱油门、刹车、方向盘、先导手柄及控制面板等模拟信号,并通过5G通信发送给车端控制器。整车端除传统执行机构外,加装了视频系统、远程驾驶所需的传感器及执行器,通过摄像头、角度传感器、惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU)传感器、毫米波雷达分别获得车辆外围全景图像、工作机构角度、姿态、后方障碍物位置等,利用无线网络通信技术传送到远程端,并显示在远程端显示屏上,便于驾驶员实时了解车辆端状态。此外,整车端改造了液压系统,实现了转向系统远程控制。网络通信负责远程端与整车端的数据传输,两端控制器发出的数据首先通过控制器局域网(controller area network, CAN)通信进入CAN转以太网模块,转化成网络信号,再通过5G网关互传,整车端视频图像直接接入5G网关并传输至远程端。远程驾驶系统结构如图1所示。

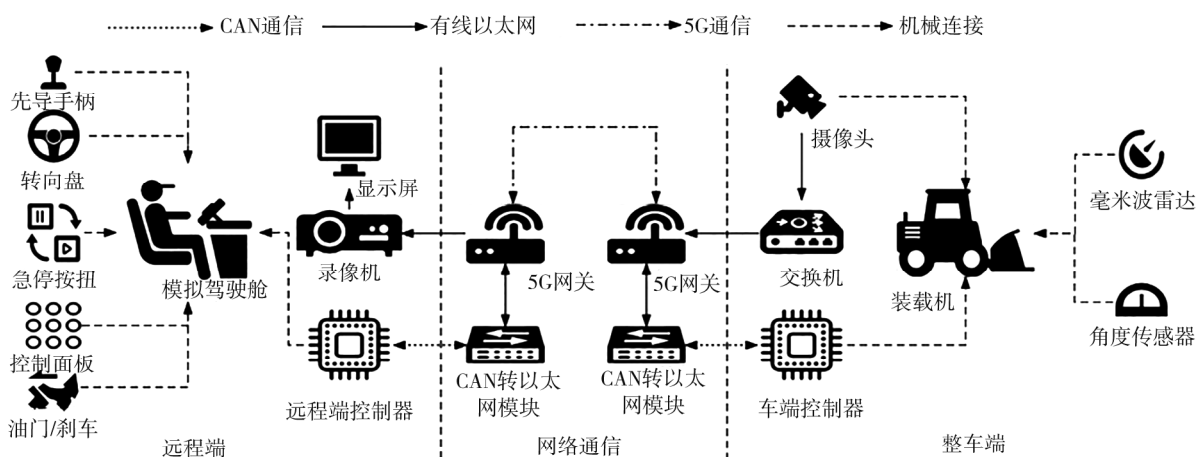


图1 远程驾驶系统结构

1.2 控制器硬件、软件开发环境

远程端控制器选用某公司32位单片机MPC5744P作为控制器主控单元,控制器采用铝合金壳体封装,主频为200 MHz,随机存取存储器(random access memory, RAM)为384 KiByte,Flash为2.5 MiByte,带电可擦可编程只读存储器(electrically erasable programmable read-only memory, EEPROM)为96 KiByte^[10]。根据控制器功能需求,设计电源电路、单片机及外围电路、模拟信号输入电路、数字信号输入电路、H桥功率输出电路及CAN通信电路。处理器为32位MPC5744P;电源输入为直流电压9~32V;模拟信号输入34路;数字信号输入8路;CAN通道3路,其中CAN0仅用于程序下载;功率输出通道2路,由H桥直流电机驱动,支持脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)。

宏程式块设计(macroblock design, MBD)方法简单便捷,基于模型搭建,省去了C语言中复杂的编程和调试过程,提高工程开发效率,在汽车电子等行业中得到广泛应用^[11]。Simulink是MBD方法常用的编程环境,具有良好的建模与编译功能^[12]。本文中基于Simulink开发远程端控制程序,包括建模、编译、下载3个环节,控制软件开发流程如图2所示。



图2 控制软件开发流程

由图2可知:在 Simulink 软件中搭建控制模型,生成 .slx 模型文件;向模型下达 rtwbuild 命令,对模型进行预编译,生成包含模型各个模块参数和界面信息的 .rtw 文本文件;利用 Simulink coder 中的目标语言编译器(target language compiler, TLC),将 .rtw 文本文件转换为 C 语言目标源代码;利用程序下载软件将生成的 C 代码刷写到控制器中。

2 控制策略开发

2.1 转向系统

为实现整车端远程转向控制,在远程端模拟驾驶舱安装转向盘,并连接转向电机,转向盘转动时,带动转向电机转动,产生模拟信号输入远程端控制器;根据模拟信号与转向角度的关系得到转向盘当前转向角度;该角度通过网络通信传送整车端,电控转向阀实现车辆转向控制;为实现转向盘在特定角度内转动,通过 H 桥控制电路控制转向电机。根据当前转向角度确定电机控制信号占空比,转向角度绝对值越大,电压占空比越大,转向电机输出转矩越大。当转向盘正转或反转角度到达最大限度时,转向电机控制电流最大,转向阻力矩最大。远程端转向系统控制策略流程如图3所示。

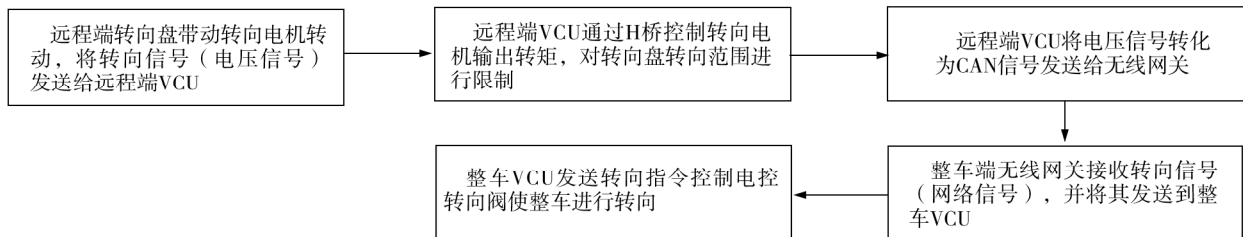


图3 远程端转向系统控制策略

2.2 行走系统

行走系统控制包括油门控制、挡位控制及制动控制等功能。油门控制策略为根据油门踏板输出的模拟信号和油门开度的线性关系,计算得到油门开度。在实际使用中,踏板零位会发生变化,即零位漂移现象,导致油门开度计算出现误差,因此,在油门控制程序中添加加速踏板零位自学习功能,修正油门开度;此外,若驾驶员踩下油门的速度过快,会使整车端行走电机目标转矩变化过快,出现较大的冲击电流,对行走电机造成损伤,应对加速踏板进行开度滞后处理。挡位控制策略为通过控制远程端挡位功能开关,实现前进、后退挡位切换,将挡位开关输出信号输入远程端控制器。远程端油门控制策略流程如图4所示。

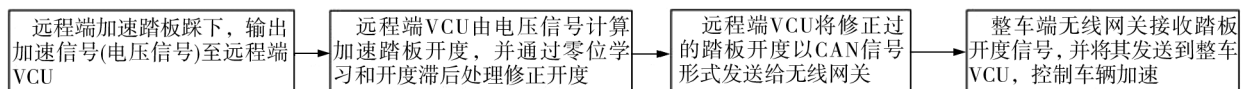


图4 远程端油门控制策略

远程制动功能包括远程制动踏板控制、远程驻车控制及急停控制:远程制动踏板控制可以根据制动踏板输出的模拟信号和踏板开度的线性关系,得到制动踏板开度;由于制动踏板在使用过程中也会出现类似油门踏板零位漂移现象,所以在制动踏板开度计算中同样添加零位自学习功能;为保证制动安全,对制动踏板的开度不做滞后处理。远程驻车控制通过在远程端安装的驻车按钮实现,该按钮输出开关信

号。为保证车辆远程控制的可靠性,在远程端与整车端均安装急停按钮,紧急情况下,按下按钮产生开关信号,实现车辆紧急制动。远程端制动控制策略流程如图5所示。

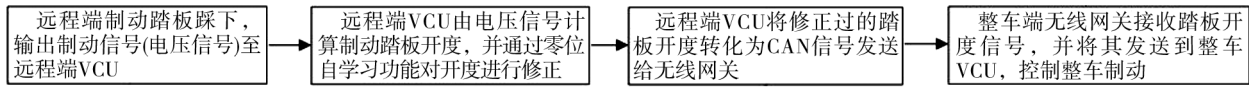


图5 远程端制动控制策略

2.3 工作系统

远程端有2个先导手柄,可前、后移动,分别控制装载机摇臂、动臂,手柄1不同开度实现铲斗收、放,手柄2不同开度实现动臂升、降。手柄不同开度以CAN信号发送到远程端控制器,通过网络通信发送到整车端液压微控制单元(microcontroller unit,MCU)控制动臂升、降与铲斗收、放。整车端角度传感器及摄像头分别将检测的动臂、铲斗的角度变化信号及车辆外围全景图像,通过网络通信显示在远程端显示屏上,反馈整车端工作指令执行情况。远程端液压系统控制策略流程如图6所示。

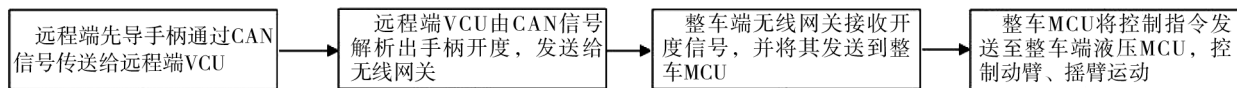


图6 远程端液压系统控制策略

2.4 附件系统

通过远程端控制面板上灯光、雨刮、喇叭等附件系统的控制按键实现附件系统控制,控制面板各按键输出的数字信号输入至整车端控制器,实现车辆相应部件的运行控制,各部件运行状态通过网络通信传输给远程端,反馈整车端附件控制指令执行情况。远程端附件系统控制策略流程如图7所示。

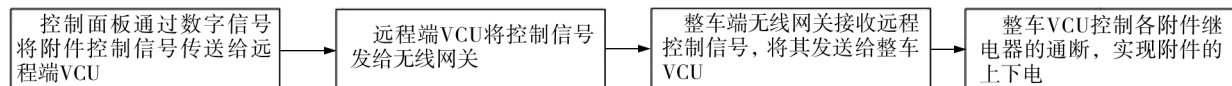


图7 远程端附件系统控制策略

3 实车测试

3.1 时延测试

不起动车辆,操作员转动转向盘,远程控制装载机原地转向,同时采集远程端请求转向角度与整车端接收转向角度,测试远程端与整车端的数据传输时延,数据传输时延测试如图8所示。

由图8可知:远程端请求转向角度与整车端接收转向角度完全一致,数据完整无误地从远程端传递到整车端;远程端请求转向角度传递到整车端接收转向角度的平均时延约为25 ms。参考文献[13-15],数据传输时延满足远程驾驶控制要求。

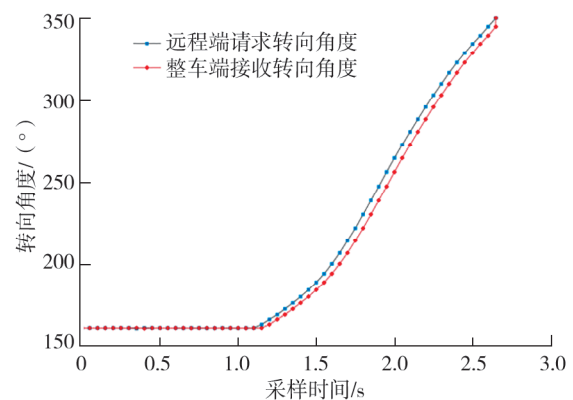


图8 数据传输时延测试

3.2 功能测试

3.2.1 行走制动测试

装载机在试验场地行走过程中,踩下制动踏板远程控制装机制动动作,同时采集远程端制动踏板开度,整车端行走转速与转矩信号,行走制动测试如图9所示。

由图9可知:操作员踩下制动踏板,踏板最大开度达到100%,维持一段时间后松开;随着踩下制动踏板,整车端电机转速及转矩均逐渐减小,大约经过0.3 s电机转矩从100 N·m降为0,大约经过0.7 s电机转速从800 r/min快速降为0。电机转矩、转速迅速减小并出现负值,原因为测试过程制动过急,使转速转矩下降到0后,出现波动。远程端发出的行走指令能够传递到整车端,整车端响应迅速、准确,实现了远程控制行走功能。

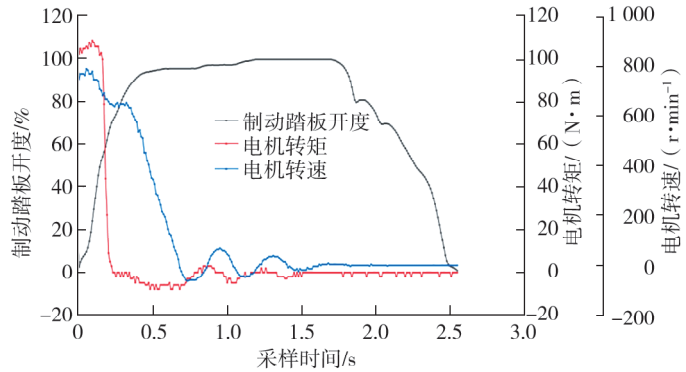


图9 行走制动测试

3.2.2 作业测试

以手柄中间位置开度为0,相对手柄中间位置,向前移动开度为+,向后开度为-,测试时将手柄至于开度为0处,向前移动到最大开度,维持一段时间后,再移至开度为0,并向后移动,至反向开度最大,维持一段时间后,复归开度为0处。2个手柄不同开度下,整车端摇臂、动臂测试结果如图10所示。

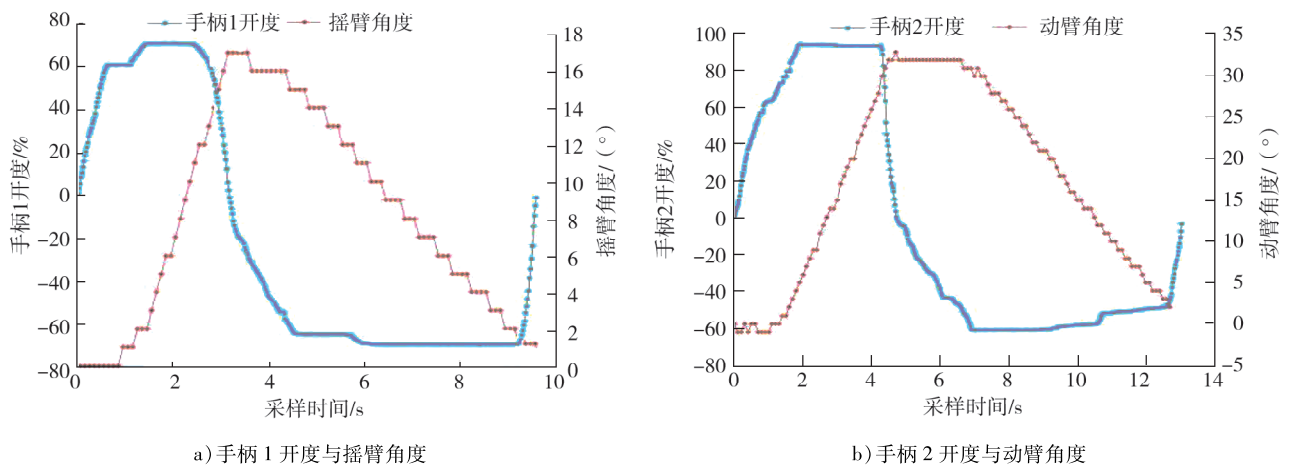


图10 2个手柄不同开度下,整车端摇臂、动臂测试结果

由图10a)可知:手柄1向前最大开度约为+77%,向后最大开度约-76%;结合摇臂角度变化,分析摇臂动作滞后约0.5 s;手柄1正向移动过程中摇臂角度逐渐增大,至开度为0时,达到最大,为17°;负向移动过程中摇臂角度逐渐减小,至手柄1开度复归为0时,达到最小。由图10b)可知:手柄2与手柄1操作大致相同,动臂动作滞后约1.0 s;手柄2正向移动过程中动臂角度逐渐增大,至开度为0时,达到最大,为33°,动臂达到最大旋转角度后持续约2 s;负向移动过程中动臂角度逐渐减小,至手柄2开度复归为0时,达到最小。摇臂、动臂均能根据远程先导手柄的控制指令正确反应,但动作存在滞后,滞后时间与网络通信延迟、整车端控制器发出控制信号后至机械结构开始动作存在延迟等方面因素有关。

4 结论

针对某新能源装载机,开发了远程端控制器硬件,并完成了远程端不同系统控制策略的设计与开发,通过试验测试验证远程驾驶系统功能。

1) 基于5G通信技术能够实现整车端与远程端的图像及运行数据传输,远程端到整车端的数据传输时延约为25 ms,数据传输完整,满足远程控制数据传输要求。

2) 基于32位单片机开发了远程端控制器硬件,通过宏程式块设计开发转向系统、行走系统、工作系

统及附件系统控制模型,实现车辆远程控制。

3)行走制动测试、作业测试表明,远程端发出的各项指令能够迅速传递到整车端,整车端响应及时、准确,满足远程驾驶时行走制动、功能控制的要求。

参考文献:

- [1] 翟建波,张宝金,刘育明,等. 铲运机遥控系统智能技术应用研究[J]. 设备管理与维修,2024(10):25-27.
- [2] 李运华,范茹军,杨丽曼,等. 智能化挖掘机的研究现状与发展趋势[J]. 机械工程学报,2020,56(13):165-178.
- [3] 王荣标. 智能遥控“小天鹅”:徐工首款XE15R型挖掘机诞生[J]. 工程机械,2015,46(6):94.
- [4] 张磊庆. 透过 BICES 2017 看工程机械的智能化[J]. 建筑机械化,2017,38(10):10-13.
- [5] 郑宇. BICES 2019 以优异成绩向祖国 70 华诞献礼[J]. 建筑机械,2019(10):6-13.
- [6] 黄志凌,冯勇建. 一种装载机的无线遥控系统设计[J]. 机电工程,2011,28(2):235-237.
- [7] 鲁恒愿. 远程操纵挖掘机人机交互系统设计与实现[D]. 西安:长安大学,2021.
- [8] 蔡皓. 挖掘机远程操控及主动安全防护系统研究[D]. 济南:山东大学,2023.
- [9] 邵彦杰. 基于 5G 无线通信的电动挖掘机远程遥控系统研究[D]. 泉州:华侨大学,2022.
- [10] 程绍琿. 基于 MPC5744P 的线控转向控制系统研究[D]. 大连:大连理工大学,2021.
- [11] 张亚楠,谢冬红. 基于模型设计的嵌入式软件测试技术研究[J]. 电子世界,2018(9):66.
- [12] 李洋. 纯电动装载机整车控制器及控制策略研究[D]. 济南:山东大学,2022.
- [13] 申开宇. 小型挖掘机远程控制系统设计与轨迹规划研究[D]. 太原:太原科技大学,2023.
- [14] 王锐松,吴晓东. 面向远程驾驶的数据通讯交互时延分析[J]. 电子技术与软件工程,2021(22):22-25.
- [15] 孙宇彤. 5G 远程实时控制的时延分析[C]//5G 网络创新研讨会(2019)论文集. 北京:TD 产业联盟,2019:5.

Development of remote driving controller for a new energy loader

YUE Yuanhang¹, JI Shaobo^{1,2*}, LIU Zheng³, HU Longyu¹,
CHEN Zhongyan⁴, ZHANG Qiang¹

1. School of Energy and Power Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. Shandong Province Engineering Research Center, Intelligent Testing and High-end Equipment of Automotive Power Systems, Jinan 250357, China;

3. School of Intelligent Transportation, Shandong Technician Institute, Jinan 250204, China;

4. Shandong Fuel Cell Power in Technology Co., Ltd., Jinan 250100, China

Abstract: To enhance the remote operation performance of a hybrid loader, a controller is developed using a 32-bit high-performance microcontroller. Based on 5G communication technology and Simulink software, control strategies are designed for the loader's walking system, hydraulic system, braking system, steering system, and accessory systems. Experimental validation is conducted through tests on delay, braking, and operational performance to achieve remote driving control of the loader. The test results indicate that data transmission between the vehicle end and the remote end is complete, with a data transmission delay of approximately 25 ms. When the remote braking pedal is pressed, after about 0.3 s, the motor torque at the vehicle end drops from 100 N·m to 0; after about 0.7 s, the motor speed decreases from 800 r/min to 0. The loader's rocker arm and boom respond correctly to the control commands from the remote pilot handle, although there is a slight delay in action. The design of the remote driving control logic meets the requirements for remote driving and satisfies practical usage needs.

Keywords: new energy loader; remote driving; control strategy; functional testing

(责任编辑:胡晓燕)