

张国忠,赵状状,刘浩蓬,等. 铰链杠杆式肥箱排肥量监测系统设计与试验[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(6): 270-276.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.06.032

铰链杠杆式肥箱排肥量监测系统设计与试验

张国忠,赵状状,刘浩蓬,韩宇航,查显涛

华中农业大学工学院/农业农村部长江中下游农业装备重点实验室,武汉430070

摘要 为实时监测施肥量以提高施肥精度,设计了一种可对肥箱剩余肥量实时监测的铰链杠杆式肥箱排肥量监测系统。该监测系统由称质量、多路排肥量监测两部分组成。其中,称质量部分主要由铰链杠杆机架、平行梁称质量传感器等组成,以平行梁称质量传感器为工作元件,承载并测量安装在铰链杠杆机构上方的肥箱以及肥箱内实时肥料质量。多路排肥量监测部分由控制器、排肥量监测、数据通讯、监视器等模块组成,负责收集各称质量传感器获取的排肥量信号,并将其处理后传输至监视器交互界面便于对施肥系统作业参数实时查看、配置。田间试验结果表明,该排肥量监测系统可对各肥箱排肥量独立、同步实时测量,其监测相对误差最大为4.79%,最小为3.55%。

关键词 水稻直播;变量施肥;排肥量监测;智能施肥;智能调节;称质量传感器;精准农业

中图分类号 S24; S233.71 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)06-0270-07

施肥是水稻生产中的重要环节,直接影响水稻产量^[1]。水稻机械化直播是一种省去育秧管理和秧苗搬运等作业的轻简、高效、可持续发展种植方式,节本省工,是提高水稻生产机械化的重要发展方向^[2]。当前在水田直播种植过程中,施肥环节多采用撒施,肥料施于地表,存在易流失、利用率不高、施量不精准、污染环境等问题,为此亟需开展与水稻直播配套的肥料深施以及精准变量施肥技术研究^[3-4]。围绕排肥量精准测控以实施精准变量施肥,国内外研究者进行了广泛研究。如吴月^[5]设计了能实现肥管堵塞监测和肥箱料位检测功能的小麦深松分层施肥机监控系统。谭星祥^[6]设计了一种测试平台,可用于变量施肥机排肥口实时排肥量检测。周利明等^[7]设计了一种基于电容传感器的播种机种肥监测系统,可对管路阻塞、排空等故障状况进行监测和报警,适于田间高尘作业环境。余洪锋等^[8]设计了一种基于皮带秤的施肥机施肥性能检测装置,通过检测排肥口肥料的实时流量以及皮带秤的运行速度,在室内实现施肥机单位面积实时施肥性能的检测。查显涛^[9]采用光电传感器同步测定排肥轴转速与动力输出轴转速,利用PID闭环反馈算法实现排肥轴转速与前进速度实时精确匹配,施肥精度明显提高。

上述研究多集中在排肥管路及排肥口,通过肥料流速、排肥轴转速等间接方式检测肥料的状态及排肥量,而对肥箱内肥料的状态进行直接监测的研究较少。在实际施肥作业时,肥料由于流动性、振动以及堵塞、排肥轴转速回转、测量误差等原因,会导致通过监测排肥管内的肥料流动变化、肥箱内肥料所处位置以及排肥轴的转速等方式获取的排肥量存在误差,影响施肥精度。为此,本研究设计了一种铰链杠杆式肥箱排肥量监测系统,以期为实现排肥量智能调节以及提升施肥精度提供新思路。

1 材料与方法

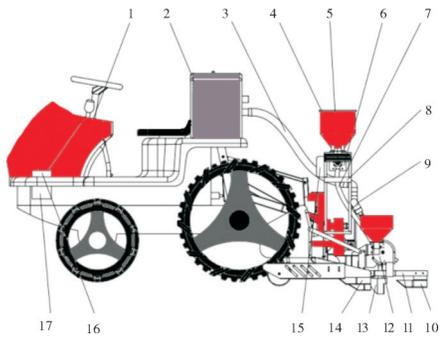
1.1 水稻直播同步侧深施肥机总体方案

设计的排肥量监测系统搭建在自主设计的水稻直播同步侧深施肥机上(图1),该机由洋马(VP6D)动力底盘、双腔气力式水稻精量排种器、螺旋排肥器、变量施肥控制系统、开沟系统、气流管路、动力输出轴、三点悬挂装置、仿形浮板等部件构成,变量施肥系统安装于直播机后部仿形浮板支撑架上。该机有5条施肥通道,每条施肥通道由1个肥箱和1个螺旋排肥器组成。各排肥器排肥轴由联轴器连接,在电机驱动下同轴转动、同步施肥。每个排肥器对应1

收稿日期: 2022-03-17

基金项目:湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划项目(T201934);国家重点研发计划(2017YFD0301404-05;2018YFD0301304-3);中央高校基本科研业务费专项(2662018PY038)

张国忠, E-mail: zhanggz@mail.hzau.edu.cn



1. 洋马VP6D型插秧机 Yanmar VP6D rice transplanter; 2. 汽油涡轮风机 Gasoline turbine fan; 3. 气流管路 Air piping; 4. 肥箱 Fertilizer box; 5. 螺旋排肥器 Spiral fertilizer discharger; 6. 驱动电机 Drive motor; 7. 肥管 Fertilizer tube; 8. 排肥支架 Fertilizer drainage bracket; 9. 负压总管路 Negative pressure main piping; 10. 开蓄水沟器 Open water storage trencher; 11. 开沟系统支架 Trenching system holder; 12. 双腔气力式水稻精量排种器 Double chamber pneumatic rice precision seed device; 13. 施肥开沟器 Fertilizer trencher; 14. 种沟开沟器 Seed furrow opener; 15. 排肥控制系统 Fertilizer discharge control system; 16. 逆变器 Inverter; 17. 蓄电池 Battery.

图1 水稻直播同步侧深施肥机结构简图

Fig.1 Structure diagram of synchronous side deep fertilizer applicator for rice direct seeding

条排肥管,肥料自排肥器排出,沿肥管依靠自身重力下落至开沟器开设的肥沟内。开沟系统由施肥开沟器和水沟开沟器组成,作业时施肥开沟器开出肥沟,水沟开沟器在开出水沟的同时也对已开好的肥沟进

行弥合封闭,覆盖深施的肥料、减少流失。控制系统控制驱动电机对排肥轴转速进行调节,实现变量施肥^[10-11]。

1.2 施肥机排肥量监控系统组成

直播同步侧深施肥机排肥量监控系统组成及原理如图2所示。笔者所在研究团队前期对该系统中人机交互、机具速度测定、数据通讯、排肥量校验、排肥轴转速测定以及动力驱动模块进行了研究^[9]。为进一步提高施肥精度,本研究基于上述基础研究增设了肥箱排肥量监测系统模块(图2中红框部分)。该系统包括称质量、多路排肥量监测两部分。称质量部分由铰链杠杆机架、平行梁称质量传感器等组成,以平行梁称质量传感器为工作元件,承载并测量安装在铰链杠杆机构上方的肥箱以及肥箱内实时肥料所受重力。多路排肥量监测部分由控制器、排肥量监测、数据通讯、监视器等模块组成,负责收集各称质量传感器获取的排肥量信号,并将其处理后传输至监视器交互界面,便于机手对施肥系统作业参数实时查看、配置。各排肥器上安装的称质量装置以及称质量传感器相互独立,分别为每个监测通道配置节点,节点间采用串口通讯方式与控制器连接,控制器与监视器采用无线通讯方式,通讯方案设计如图3所示。

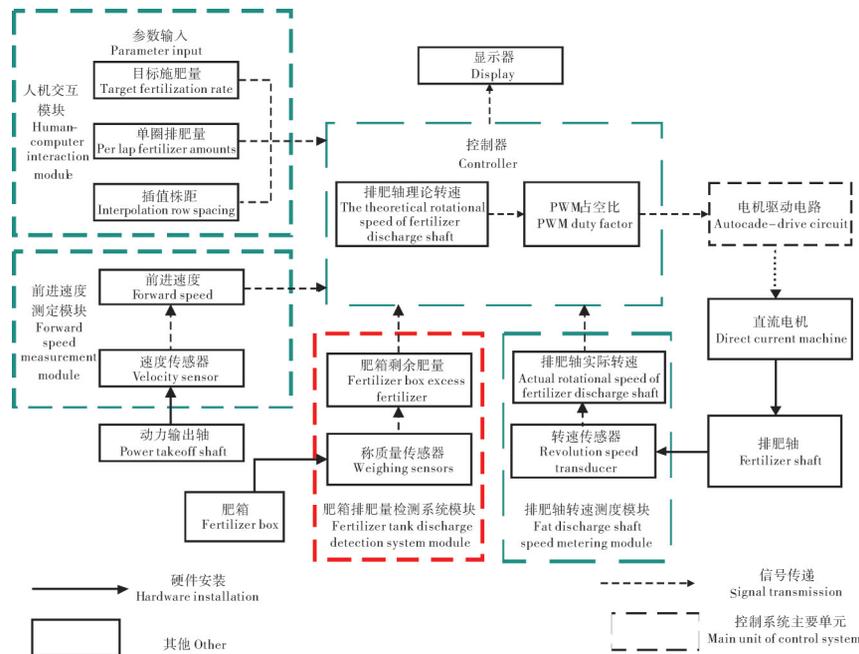


图2 施肥机排肥量监控系统组成及工作原理

Fig.2 Composition and working principle of fertilizer discharge monitoring system

1.3 称质量装置设计

平行梁称质量传感器由弹性体、测量桥路、电阻

应变片等组成,可将力引起的变形转化成电信号并经过测量电路处理转换后得到所称质量物体实际质

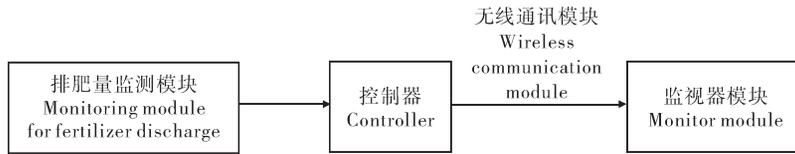


图3 通讯方案框图

Fig.3 Block diagram of communication

量^[12-13]。根据平行梁称质量传感器的受力方式,综合考虑机械装置安装使用空间大小以及维护成本,设计了一种独立肥箱平行梁称质量装置,主要由排肥箱、称质量传感器、上安装板、下安装板、铰链、垫板、排肥料斗构成。该装置上安装板一侧与铰链固定连接,另一侧与称质量传感器悬空端接触,排肥漏斗固连在上安装板中间矩形槽内,其结构及工作原理如图4所示。由图4可知,设排肥箱重力为 m_1g ,排肥箱内肥料重力为 m_2g ;肥箱及肥料重心作用点到铰链回转中心 O 点距离为 L_1 ;称质量传感器受力 F_1 ,其受力作用点 A 到回转中心 O 点距离为 L_2 。为简化分析,不考虑肥料排放引起的重心位置变化,当 OA 连线相对于水平面夹角为 α ,排肥箱安装面相对于水平面夹角为 γ 时,存在如下杠杆关系:

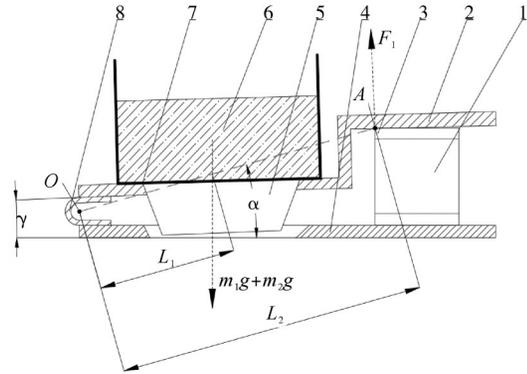
$$F_1 L_2 \cos \alpha = (m_1 g + m_2 g) L_1 \cos \gamma \quad (1)$$

由结构设计可知,排肥箱安装面相对于水平面夹角 γ 大小保持不变,有:

$$m_2 g = \frac{F_1 L_2 \cos \alpha}{L_1 \cos \gamma} - m_1 g \quad (2)$$

通过式(2)可知,可由称质量传感器测得受力 F_1 换算获得排肥箱内实时剩余肥料质量 m_2 ,其与肥箱起始装肥量 m_0 之间的差值即为所在排肥通路的实时实际排肥量。该值与文献[9]中由监测排肥轴转速获取的排肥量值因测量位置、对象不一样,相互独立,两者进行校验,从而可对排肥器是否堵塞、肥箱肥料排放是否通畅等进行监测,也可对实际排肥量进行实时调整,有效提高实际排肥精度。

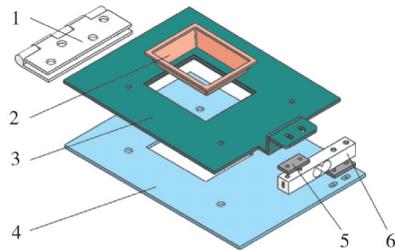
所设计的铰链杠杆式称质量装置三维结构如图5所示,平行梁称质量传感器安装于上下安装板之间,承受上方肥箱、肥料所受重力;排肥箱体安装于上安装板上,用安装螺栓与上安装板固联;下安装板固定于排肥支架上,铰链安装于上下安装板之间,上安装板与排肥箱一起可绕铰链销轴回转。在上安装面与肥箱底面之间加装厚度5 mm的高密度EPE珍珠棉,以减小振动影响。所采用的平行梁称质量传感器技术参数见表1。



1. 称质量传感器 Weighing sensors; 2. 上安装板 Upper mounting plate; 3. 垫板 Pads; 4. 下安装板 Lower mounting plate; 5. 排肥漏斗 Fertilizer funnel; 6. 肥料 Fertilizer; 7. 排肥箱 Fertilizer box; 8. 铰链 Hinge。 m_1 为排肥箱质量, m_2 为肥箱内肥料质量, α 为称质量传感器受力作用点 A 与回转中心 O 连线相对于水平面夹角, γ 为排肥箱安装面相对于水平面夹角。 m_1 is the mass of the fertilizer box, m_2 is the mass of fertilizer in the fertilizer box, α is the angle which is between line OA and the horizontal plane, A is the force action point on weighing sensor and O is the rotary center, γ is the angle between the installation plane of the fertilizer box and the horizontal plane.

图4 铰链杠杆式称质量装置工作原理

Fig.4 Working principle diagram of hinge lever weighing device



1. 铰链 Hinges; 2. 排肥箱漏斗 Fertilizer drainage funnel; 3. 上安装板 Upper mounting plate; 4. 下安装板 Lower mounting plate; 5. 垫板 Pads; 6. 称质量传感器 Weighing sensors.

图5 铰链杠杆式称质量装置

Fig.5 Hinge lever weighing device

1.4 多路排肥量监测装置设计

施肥机排肥量监测装置包括控制器、排肥量监测、数据通讯、监视器等模块。各模块组成和功能为:(1)控制器。采用单片机为控制核心,对传感器输出数据进行处理,并由无线传输模块发送给监视器。(2)排肥量监测模块。负责读取称质量传感器获

表1 平行梁称质量传感器参数

传感器技术参数 Sensor technical parameters	量值 Value
综合误差/(%F.S) Comprehensive error	0.05
灵敏度/(mV/V) Sensitivity	1.0±0.1
非线性/(%F.S) Nonlinear	0.05
重复性/(%F.S) Repetitive	0.05
滞后/(%F.S) Hysteresis	0.05
蠕变/(%F.S/3 min) Creep property	0.05
零点漂移/(%F.S/min) Zero drift	0.05
零点温度漂移/(%F.S/10 °C) Zero temperature drift	0.2
额定输出温度漂移/(%F.S/10 °C) Rated output temperature drift	≤0.15
零点输出/(mV/V) Zero output	±0.1
输入电阻/Ω Input resistance	1 000±50
输出电阻/Ω Output resistance	1 000±50
绝缘电阻/MΩ Dielectric resistance	≥2 000 (100 VDC)
推荐激励电压/V Recommended excitation voltage	3~12
工作温度范围/°C Operating temperature range	-10~+50
过载能力/(%F.S) Overload capacity	150

注 Note:(%F.S)为满量程的百分比。(%F.S) is the percentage of full scale.

取到的数据,经AD转换模块之后通过串口通讯方式将数据信息传输给控制器。(3)数据通讯模块。负责将控制器内的数据通过无线通讯方式发送给监视器。(4)监视器模块。实时显示机具的作业状态,便于机手对系统作业参数实时查看、配置。

主要硬件选型为:控制器选用ST公司生产的STM32F103ZET6型32位单片机。AD转换模块型号为HX711,其不仅能实现AB双通道数据采集,在数据传输方面还具有主动发送和被动发送功能,稳定性较高,成本低。为提高监测系统的传输稳定性,保证安装于机具尾部的传感器数据能快速稳定的传输给监视器,选用EBYTE公司生产的UART无线串口模块E34-2G4D20D,该模块具有传输速率高、不限波长、支持大数据传输的特点。

为实现施肥系统多通道排肥量变化的显示、施肥机作业参数以及排肥量监测系统控制,选用淘晶驰X5-7寸串口电容触摸组态液晶显示屏。该显示屏采用串口通讯、页面和控件特效丰富、支持多点触控,结构简单,扩展功能强大,且其硬件电路简单、显示方向可以任意设置、价格低,性价比高。

1.5 监视器设计

为方便作业机手或田边人员随时查看作业状态,开发了基于串口显示屏的监视器界面程序以及人机交互界面,可显示直播施肥机作业时动力底盘行驶速度、排肥轴转速、作业面积等。监测系统的硬件主要由显示器、无线通讯模块、电源等组成,设计完成后的显示界面如图6所示。监视器置于作业机手前侧,采用无线传输方式,实现施肥系统各通道肥箱质量参数的远程显示。该监视器输出传输功能由串口触摸屏、E34-2G4D20D双向传输无线串口模块、LM2596S直流可调稳压电源模块和7.4V聚合物锂电池组成。

监视数据传输方式工作过程为:由可调稳压模块将聚合物锂电池输出的7.4V电压调至5.0V,并稳定输出给监视器和无线传输模块供电。串口屏通电后进入开机显示界面,点击用户登录即可进入参数显示界面,可观察到各通道及肥箱排肥情况以及作业机具各项变化参数。各通道传感器获得数据通过有线传输给控制器,控制器所获得各项数据通过串口端发送给E34-2G4D20D双向无线传输串口模块,无线传输模块将数据发送给串口屏实时显示,实现对作业参数的动态观察。

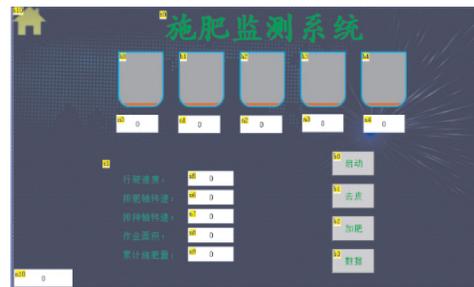


图6 监视器显示界面

Fig.6 Monitor display interface

2 结果与分析

2.1 平行梁称质量传感器精度校验

对平行梁称质量传感器进行了精度校验。校验前,采用Arduino平台设计了20kg电子秤段码液晶显示程序,以方便显示传感器称质量测量数值,辅助进行精度检验。硬件包含Arduino UNO R3主板、平行梁称质量传感器、HX711 AD转换模块和8位数码管。称质量前采用精度0.01g、量程0~30kg天平称量好每份质量均为1 000g的“肥料砝码”10份,测试时每隔5s向排肥箱内加入1份“肥料砝码”,随后依次取出,待显示屏内示数显示稳定后读取并记录。

试验重复5次,对获得数据进行回归分析。结果如图7所示,可见称质量结果与排肥箱内加入肥料质量存在显著线性关系,平行梁称质量传感器精度高,数据输出稳定,满足使用要求。

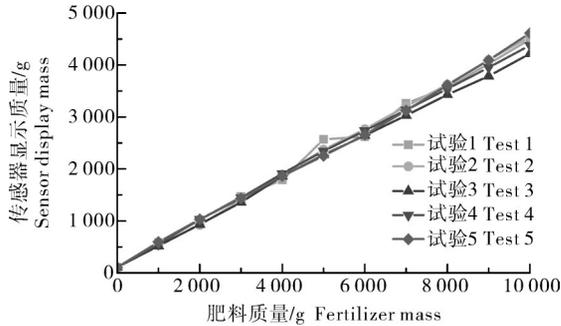


图7 平衡梁传感器精度校验结果
Fig.7 Verification results

2.2 监测系统标定结果

以水稻直播同步侧深施肥机为试验台架,综合考虑监测系统的应用场景,将标定试验分为静态标定和动态标定2种情况,检验监测系统在不同工况下的测试性能。标定试验及各施肥通道编号情况如图8所示。静态标定时,直播机原地静止,排肥轴回转,开启肥箱排肥量监测系统,在0~20 kg范围内,每隔5 s向排肥箱内加入1 kg肥料并记录1次数据,每通道重复试验3次。动态标定试验中,直播机不移动但启动发动机,其他条件与静态标定试验保持一致,所得结果如表2所示。结果表明,各通道监测系统在0~20 kg范围内呈线性相关关系: $y=kx$,其中, x 代表肥料质量,g; y 代表监测系统显示数值,g; k 为各通道测量横纵坐标之间的比例系数。结果显示,静态和动态标定下各通道曲线拟合度 R^2 均大于0.999,监测系统测量值与实际值之间均具有良好线性拟合度,各监测通道相对误差在1%以内。

2.3 监测系统动态性能

机具田间实际作业前进时会产生振动,为此以水泥平地为试验场地,根据NY/T 1003—2006《施肥

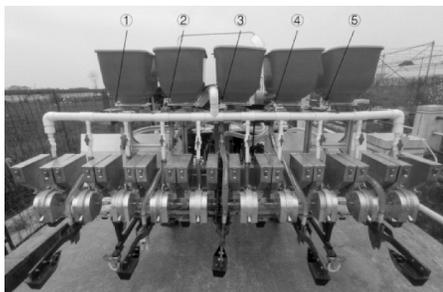


图8 监测系统标定试验现场
Fig.8 Monitoring system calibration test site

表2 静态、动态标定回归分析结果

Table 2 Static and dynamic calibration regression analysis results

名称	静态回归方程 Static regression equation	R^2	动态回归方程 Dynamic regression equation	R^2
传感器1 No.1	$y=0.4956x$	0.999 7	$y=0.5106x$	0.999 8
传感器2 No.2	$y=0.5090x$	0.999 9	$y=0.4986x$	0.999 9
传感器3 No.3	$y=0.5132x$	0.999 9	$y=0.4977x$	0.999 9
传感器4 No.4	$y=0.5176x$	0.999 8	$y=0.4985x$	1
传感器5 No.5	$y=0.4955x$	0.999 9	$y=0.4979x$	1

机械质量评价技术规范》相关要求,模拟实际作业情况,开展了动态性能试验。试验过程中用油门控制直播机前进速度,每行驶15 m记录1次各通道实际排肥量和监视器显示数值,重复3次。结果显示,各通道平均相对误差最大为4.75%,最小为3.13%,通道之间差值仅为1.42%,满足作业需求。

2.4 田间试验效果

试验地点为湖北省洪湖市四屋门村春露合作社种植基地。试验小区面积为217 m²。采用“三宁”复合肥料,其中N、P₂O₄、K₂O质量比例为18:10:12,总养分≥40%,施用目标值设为30 kg/667 m²。每次试验前各肥箱依次加入6 kg复合肥,每完成1个施肥单元作业视为1次试验,重复3次,试验现场如图9所示,结果如表3所示。表3中,监测系统监测剩余总肥量指作业结束后各通道称质量传感器监测出的各肥箱剩余肥料总质量。实际测量剩余总肥量指作业结束后收集各肥箱内实际剩余肥量之和,该值由人工用称量天平称量获取。监测系统相对误差指的是监测系统监测剩余总肥量 M_c 与实际测量剩余总肥量 M_z 之间的相对误差,该值可用于评价监测系统的精



图9 监测系统田间试验现场
Fig.9 Field test site of monitoring system

表3 监测系统性能分析

Table 3 Performance analysis of monitoring system

编号No.	M_c/g	M_z/g	$\delta_1/\%$
1	19 932	20 721	3.81
2	19 865	20 596	3.55
3	20 012	21 018	4.79

注 Note: M_c , 监测系统监测剩余总肥量 Monitoring system monitors residual total fertilizer; M_z , 实际测量剩余总肥量 Actual measurement of residual fertilizer; δ_1 , 监测系统相对误差 Relative error of monitoring system.

确性, 计算公式如下:

$$\delta_1 = \frac{|M_c - M_z|}{M_z} \quad (3)$$

由表3结果可知, 本研究监测系统相对误差最大为4.79%, 最小为3.55%。

3 讨论

近年来, 农业生产对环境的影响日益受到关注, 对施肥的精准化要求不断提高, 多种先进施肥量监测装置不断被开发出来。如金敏峰^[14]设计的一种小麦播种施肥一体机及其播量监测装置, 其田间试验表明肥箱在小负载(5 kg)时, 相对误差最大为5.4%, 最小为4.2%; 大负载(50 kg)时, 相对误差最大为0.7%, 最小为0.38%。姜萌等^[15]设计了一种小麦精播种播量监测装置, 其田间试验表明系统的绝对检测误差范围为1.12%~5.63%, 平均绝对百分比误差为3.12%。丁永前等^[16]提出了一种基于动态称量原理的泛函式播种施肥量监测方法, 其动态播量的检测数据在作业面积大于0.033 hm²时, 测试最大绝对偏差为9.61%, 单次测试中, 最大平均值为4.73%, 最大标准差为1.97%。本研究设计了一种铰链杠杆式肥箱排肥量监测系统, 该系统可对各肥箱排肥量独立、同步实时测量, 田间试验结果表明其监测相对误差最大为4.79%, 最小为3.55%, 本研究设计的肥箱排肥量监测系统精度与上述研究相当, 但结构更加简单。将该监测系统与基于排肥轴回轮的排肥量监测系统联合, 可实现施肥机排肥量实时自主调节, 可为智能施肥技术与装备研究提供参考。

参考文献 References

[1] 王姣琳, 黄晓萌, 王博博, 等. 长江流域中稻施肥增产效应及其影响因素[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(2): 105-114. WANG J L, HUANG X M, WANG B B, et al. Yield-enhancing effects of fertilizer application and its influencing factors in middle rice in the Yangtze River Basin[J]. Journal of Huazhong

Agricultural University, 2022, 41(2): 105-114 (in Chinese with English abstract).

[2] 罗锡文, 王在满, 曾山, 等. 水稻机械化直播技术研究进展[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(5): 1-13. LUO X W, WANG Z M, ZENG S, et al. Recent advances in mechanized direct seeding technology for rice[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(5): 1-13 (in Chinese with English abstract).

[3] 刘爱民, 封志明, 徐丽明. 现代精准农业及我国精准农业的发展方向[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(2): 20-25. LIU A M, FENG Z M, XU L M. The modern precision agriculture and technological system[J]. Journal of China Agricultural University, 2000, 5(2): 20-25 (in Chinese with English abstract).

[4] 初金哲, 庄卫东, 梁冉冉. 精准变量施肥技术发展与分析[J]. 农业机械, 2018(10): 68-71. CHU J Z, ZHANG W D, LIANG R R. Development and analysis of precise variable fertilization technology[J]. Farm machinery, 2018(10): 68-71 (in Chinese).

[5] 吴月. 深松分层施肥机施肥监控系统研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2020. WU Y. Research on fertilization control and monitoring system of deep loosening layered fertilizing machinery[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).

[6] 谭星祥. 变量施肥性能测试平台的设计与实现[D]. 南京: 南京农业大学, 2014. TAN X X. The design and realization of performance testing platform for variable rate fertilization[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014 (in Chinese with English abstract).

[7] 周利明, 苑严伟, 董鑫. 基于RS485总线的条播机种肥监测系统[J]. 农机化研究, 2014, 36(6): 189-192. ZHOU L M, YUAN Y W, DONG X. The monitoring system of the drill based on RS485 bus[J]. Journal of agricultural mechanization research, 2014, 36(6): 189-192 (in Chinese with English abstract).

[8] 余洪锋, 丁永前, 谭星祥, 等. 施肥机施肥性能检测装置的设计与试验[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(3): 511-517. YU H F, DING Y Q, TAN X X, et al. Design and experiments on equipment for detecting performance of fertilizer applicator[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016, 39(3): 511-517 (in Chinese with English abstract).

[9] 查显涛. 集中分风气送式水稻栽插同步精量深施肥机设计与试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2021. ZHA X T. Design and experiment research on centralized pneumatic synchronous deep precision fertilizer applicator for rice transplanter[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2021 (in Chinese with English abstract).

[10] ZHA X T, ZHANG G Z, ZHANG S J, et al. Design and experiment of centralized pneumatic deep precision fertilization device for rice transplanter[J]. International journal of agricultural and biological engineering, 2020, 13: 109-117.

[11] 邢赫, 张国忠, 韩宇航, 等. 双腔气力式水稻精量水田直播机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(24): 29-37. XING H, ZHANG G Z, HAN Y H, et al. Development and experiment of double cavity pneumatic rice precision direct seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(24): 29-37 (in Chinese with English abstract).

[12] 程晓晓, 王秋晓. 平行梁式传感器弹性体的设计与有限元分析[J]. 重庆理工大学学报(自然科学版), 2011, 25(4): 55-60. CHENG X X, WANG Q X. Design and finite element analysis of

- elasmeter of parallel girder load sensor[J]. Journal of Chongqing University of Technology (natural science edition), 2011, 25(4): 55-60 (in Chinese with English abstract).
- [13] 周俊, 刘成良. 平行梁冲量式谷物质量流量传感器弹性元件设计[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 110-114. ZHOU J, LIU C L. Load cell design for parallel beam impact-based grain mass sensor[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(4): 110-114 (in Chinese with English abstract).
- [14] 金敏峰. 小麦播种施肥一体机及其播量检测装置的设计与试验[D]. 南京: 南京农业大学, 2019. JIN M F. Design and test of wheat seed-fertilizer drill machine equipped with an application rate measure system[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019 (in Chinese with English abstract).
- [15] 姜萌, 刘彩玲, 都鑫, 等. 小麦精少量播种播量检测系统研制[J]. 农业工程学报, 2021, 37(5): 50-58. JIANG M, LIU C L, DU X, et al. Development of seeding rate detection system for precision and small amount sowing of wheat [J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(5): 50-58 (in Chinese with English abstract).
- [16] 丁永前, 刘卓, 陈冲, 等. 基于动态称量原理的泛函式播种施肥量检测方法[J]. 农业机械学报, 2021, 52(10): 146-154. DING Y Q, LIU Z, CHEN C, et al. Functional detection method of application rate based on principle of dynamic weighing [J]. Transactions of the CSAM, 2021, 52(10): 146-154 (in Chinese with English abstract).

Design and test of the monitoring system for the fertilizer discharge of hinged lever type fertilizer box

ZHANG Guozhong, ZHAO Zhuangzhuang, LIU Haopeng, HAN Yuhang, ZHA Xiantao

College of Engineering/Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-Lower Yangtze River, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Fertilizer application is an important part of rice production, which affects rice yield and may cause environmental pollution, therefore, it is important to study the technology of precision variable fertilizer application. The monitoring system for the discharge of a hinged lever type fertilizer box, which can actively monitor the remaining fertilizer quantity of fertilizer box in real time, was designed on the self-designed rice direct seeding synchronous side depth fertilizer application machine to realize the real-time monitoring of the accuracy of fertilizer application. The monitoring system consists of a weighing device and a multiplexed fertilizer discharge monitoring device. The weighing device consists of hinged lever frame, balance beam load cell, etc. The parallel beam load cell is used as the working element to carry the fertilizer box installed above the hinged lever mechanism and the real-time fertilizer gravity inside the fertilizer box. The multi-circuit fertilizer discharge monitoring part consists of the controller, fertilizer discharge monitoring, data communication, monitor, etc. It collects the fertilizer discharge signals obtained from each load cell and transmits them to the monitor interactive interface after processing, so that the operator can easily view and configure the operational parameters of the fertilizer application system in real time. The results of the field trial showed that the maximum relative error of monitoring was 4.79% and the minimum was 3.55%. The monitoring system is combined with the fertilizer discharge volume monitoring system based on the rotation of the fertilizer discharge shaft, which can realize the real-time self-adjustment of the fertilizer discharge volume of the fertilizer applicator. It will provide reference for the research of intelligent fertilization technology and equipment.

Keywords direct seeding of rice; variable rate fertilization; monitoring of fertilizer discharge; intelligent fertilization; intelligent adjustment; weighing mass sensor; precision agriculture

(责任编辑: 陆文昌)