

智能电控精量播种技术研究现状及展望^{*}

陈书法, 冯博, 芦新春, 牛晏瑞, 张海峰

(江苏海洋大学机械工程学院, 江苏连云港, 222005)

摘要: 精量播种可有效减少种子使用数量, 节省成本开支, 且通过精量播种的农作物生长质量较高。为把握国内外电控精量播种技术的发展水平, 从精量播种在线检测技术、播种量控制技术和补种技术开展研究, 重点分析光电传感器检测、压电传感器检测、电容传感器检测、视觉图像检测和精量播种控制技术的优缺点; 指出我国精量播种机缺乏标准化、高精度传感器研发力度不足、智能控制技术不成熟等问题, 并提出相关建议; 最后, 结合国内外发展现状, 展望我国精量播种技术在多机协同、远程控制、智能控制等方向的发展趋势, 为今后研究人员了解我国电控精量播种技术提供一定的参考。

关键词: 电控系统; 精量播种; 检测技术; 智能化; 漏播补种

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553 (2022) 12-0005-08

陈书法, 冯博, 芦新春, 牛晏瑞, 张海峰. 智能电控精量播种技术研究现状及展望[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(12): 05-12

Chen Shufa, Feng Bo, Lu Xinchun, Niu Yanrui, Zhang Haifeng. Research progress and prospect of intelligent electronic control precision seeding technology [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(12): 05-12

Research progress and prospect of intelligent electronic control precision seeding technology

Chen Shufa, Feng Bo, Lu Xinchun, Niu Yanrui, Zhang Haifeng

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang, 222005, China)

Abstract: Precision sowing can effectively reduce the number of seeds used, save costs and money, and the quality of crops grown through precision sowing is high. In order to grasp the development level of electronically controlled precision sowing technology at home and abroad, this paper carries out research from precision sowing online detection technology, sowing volume control technology and seed replenishment technology, focusing on the advantages and disadvantages of photoelectric sensor detection, piezoelectric sensor detection, capacitive sensor detection, visual image detection and precision sowing control technology; and points out the lack of standardization of precision sowing machines in China, insufficient research and development of high precision sensors, and immature intelligent control technology. Finally, combined with the current development situation at home and abroad, the development trend of China's precision sowing technology in the direction of multi-machine collaboration, remote control and intelligent control is to provide some reference for future researchers to understand electronically controlled precision sowing technology in China.

Keywords: electronic control system; precision seeding; detection technology; intelligence; missed seeding replenishment

0 引言

播种是农业生产的关键一环, 而传统的播种驱动方式为地轮驱动, 该方式在潮湿土地上工作易发生打滑和偏移现象, 导致播种不均匀、重播和漏播情况^[1-2]。只改进排种管的结构, 难以解决这些问题。国内外研

究者用电驱动排种代替地轮驱动排种, 利用检测技术来监控排种管的堵塞、种量、漏播、重播等情况, 利用控制技术实现精量播种与补种, 极大地提高了农机作业效率^[3]。随着现代科技智能化的发展和农业劳动人口老龄化的加重, 国家已将智能农业装备发展列为中国制造 2025 计划^[4-5]。未来需要将导航技术、智能控制

收稿日期: 2021 年 12 月 11 日 修回日期: 2022 年 3 月 23 日

^{*} 基金项目: 2019 年江苏省农机新装备新技术研发与推广项目(NJ2019-11); 2020 年江苏省苏北科技专项(SZ-LYG202009)

第一作者: 陈书法, 男, 1970 年生, 江苏连云港人, 硕士, 教授; 研究方向为农业机械。E-mail: csf7012@aliyun.com

通讯作者: 芦新春, 女, 1980 年生, 江苏连云港人, 硕士, 副教授; 研究方向为精密播种技术。E-mail: luxinchun111@126.com

技术、无线通信技术以及云平台远程控制监控等多学科融合,来促进智能化电控播种机的发展^[6-7]。

本文从智能电控精量播种在线检测和播种量精量控制两方面,阐述国内外在光电传感器检测、压电传感器检测、电容式传感器检测、视觉图像检测和精量播种控制技术的研究现状,分析各研究之间的优缺点。对存在的问题提出改进建议,并展望未来我国智能化电控精量播种技术的发展方向。

1 电控精量播种在线检测技术

由于传统的机械式播种机作业过程封闭,机手难以实时获取机具内外的状况,出现漏播、重播、堵塞和种量不足时,机手不能及时处理,影响播种效率与质量^[8-9]。为了解决这一问题,国外早在 20 世纪中期就有针对漏播、重播等状况的检测技术研究^[10]。而我国在检测技术方面的研究起步相对较晚,近些年,经过研究人员的不断努力,在播种检测技术与国外已差距不大^[11-12]。播种机的播种检测主要采用光电传感器检测、压电传感器检测、电容传感器检测和视觉图像检测。四种检测方法的优缺点对比如表 1 所示。

表 1 四种播种状况的检测方法对比
Tab. 1 Comparison of four seeding condition detection methods

检测方法	检测原理	优点	缺点
光电传感器检测	利用种子对光线的遮挡,转化脉冲信号	漏播检测效果好、速度快	重播检测效果差,易受灰尘、光线影响
压电传感器检测	利用种子与压电元件的碰撞产生电荷变化	结构简单、可靠性高	不适合微小种子检测
电容传感器检测	种子下落引起传感器电容值变化	对重播、漏播检测效果好、抗灰尘	对微小种子检测不足、输出阻抗高、负载差
视觉图像检测	通过相机捕捉种子下落,利用图像处理分析播种状况	准确性高	成本高、技术难度大、易受光线等环境影响

1.1 光电传感器检测

光电传感器检测是国内外研究者采用最多的一种播种检测方式,光电传感器的原理是利用光电效应将被测量的变化向光信号的变化转化,光电元件进一步把非电信号转换为有用的电信号。常见的光电传感器由测量头、光学系统、光电元件以及电子测量电路组成。光电传感器组成框图如图 1 所示。

在国外,澳大利亚某公司基于红外线传感器研究了一套监测设备^[13],通过检测排种管内种子的运动来

判断排种管是否堵塞,该设备检测功能单一,不能用于检测漏播和重播。而美国在 cyclo-500 型播种机上利用光电传感器设计了一套监控系统^[14],通过检测种子的下落状况,不仅能监控种子的漏播、重播,还可以统计株距和作业面积,极大地提高了作业效率。为了检测作业时种子流量状况,Karimi 等^[15]基于非接触式红外传感器设计了种子流量检测系统,能够准确检测种子流量。

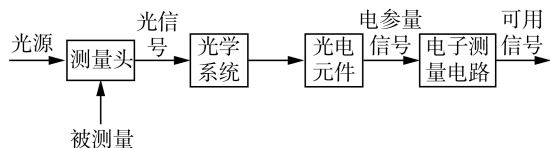


图 1 光电传感器组成框图
Fig. 1 Composition block diagram of photoelectric sensor

在国内,光电传感器检测是被采用最多的一种检测方式。譙睿等^[16]研究了一套基于双层对射式激光传感器的五管集排式重播漏播检测系统。如图 2 所示,在导种管的下方安装了一个双层对射式激光传感器,激光的光束覆盖广,解决了以往因检测盲区,不易检测的问题。该系统在作业速度为 120 m/h 时,最小落种时间间隔为 1.492 s,对单粒种子的漏播重播检测精度为 99.96%,对紧密相连的种子重播检测精度为 93%左右。解春季等^[17]针对激光传感器可以穿透透明物体的特点,设计了一套透明的激光传感器安装盒,如图 3 所示。针对漏播和重播检测,该系统对单粒种子和双粒重叠种子的检测精度均在 95%以上;通过抗灰尘模拟试验、播种试验以及与红外传感器对比试验,证明该系统所用的激光传感器装置与红外传感器相比,对环境有更好的适应能力。

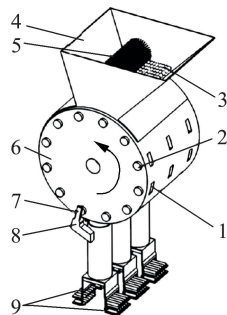


图 2 重播漏播检测系统主要布局示意图
Fig. 2 Main layout sketch of replay missed broadcast detection system

1. 窝眼 2. 圆形磁铁片 3. 种子 4. 种箱 5. 毛刷
6. 窝眼滚筒 7. 霍尔传感器感应端 8. 霍尔传感器
9. 对射式激光传感器发射和接收头

结合国内外对光电传感器的应用情况,可知常用于播种检测的光电传感器有红外传感器、激光传感器和光纤传感器等。其中,红外传感器应用最为广泛,常被用于种子流量检测;激光传感器的定向性较好,能准

确检测种子漏播情况; 光纤传感器常用于检测微小粒种子流量。但是, 受光电传感器特性限制, 光电传感器对重播检测精度较差, 传感器易受灰尘等环境因素影响, 而且对微小粒种子的检测精度不足。国内的光电传感器性能较国外有一定差距, 在光电传感器应用上, 需设计合适的装置, 用来防止环境对光电传感器的干扰, 结合控制器性能特点, 优化程序算法, 提高软件响应速度, 弥补我国在硬件生产上的不足^[18-19]。

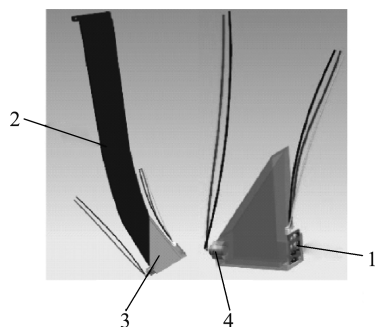


图 3 激光传感器安装盒设计与组装

Fig. 3 Laser sensor installation box design and installation

1. 激光传感器接收部分 2. 导种管 3. 透明安装盒
4. 激光传感器发射部分

1.2 压电传感器检测

相比于光电传感器易受灰尘影响的缺点, 压电式传感器在灰尘、振动等环境下仍具有很高的准确性。压电传感器结构简单、灵敏度高、工作可靠, 多用在堵塞检测上^[20]。检测装置上常采用压电薄膜作为传感元件, 一种 PVDF 压电薄膜装置如图 4 所示, 由保护层、电极层和 PVDF 压电薄膜组成, 其中电极层和保护层都分为上下两层, PVDF 压电薄膜发生形变产生的电荷通过电极层导出。

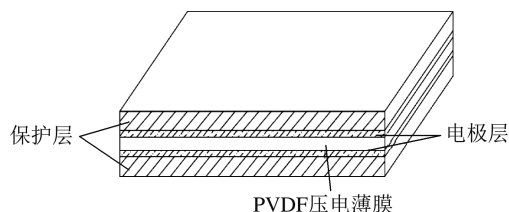


图 4 一种 PVDF 压电薄膜

Fig. 4 PVDF piezoelectric film

压电传感器需接收种子的碰撞, 才会产生电荷变化, 对于一些质量轻的种子, 感应单元要有很高的灵敏度。因此, 针对不同粒径的种子, 需设计感应单元的材质来提高灵敏度。Hoberge 等^[21]采用压电陶瓷设计了触摸式传感器阵列, 具有很高的灵敏度, 能有效检测不同种子的播种量情况。在国内, 也有研究者采用压电陶瓷传感器用于播种量的检测。赵博等^[22]设计了一种基于压电陶瓷的弧形阵列式播种流量传感器, 如图 5 所示, 传感器内部设计了信号处理电路和计数电路, 可通过 CAN 总线发送, 能快速准确的检测气流输

送播种机的播种流量和堵塞状况。该系统在排种量小于 170 粒/s 时, 对排种量的检测精度大于 95%, 在排种量大于 204 粒/s 时, 检测准确率下降明显; 另外, 在多种排种量情况下, 该装置对堵塞情况的检测精度均为 100%。张翌^[23]设计了一种压电冲击式水稻穴直播监测系统, 设计一种 PVDF 压电薄膜作为监测系统的传感器, 通过采集稻种冲击 PVDF 压电薄膜产生的信号, 来判断播种状况。当排种器转速为 10~35 r/min 时, 系统对重播、漏播情况的检测精度为 90.83%~99.17%, 满足系统对播种过程中重播、漏播情况的监控。不过, 排种器的工作转速对传感器的灵敏度有明显影响, 对此影响尚未有较好的解决方案。

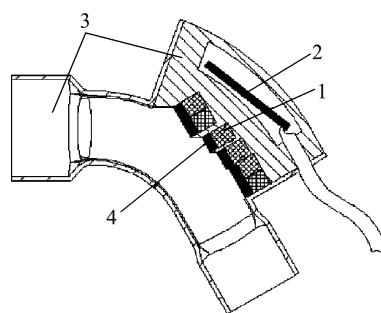


图 5 弧形阵列式播种流量传感器结构图

Fig. 5 Structure diagram of arc array seeding flow sensor

1. 隔振材料 2. 信号处理电路板 3. 传感器头外壳 4. 感知单元

结合国内外对压电传感器的应用, 可知压电传感器在种子堵塞的检测上有较高的准确率, 被广泛应用于种子流量和堵塞状况检测。国外的压电传感器种类繁多, 经过封装好的传感器可直接应用于播种机中, 具有很好的抗干扰能力; 而我国压电传感器的生产种类较少, 大多研究者需重新设计压电传感器装置, 而有些研究者不善于传感器电路的设计与封装。因此, 这种现状不利于整个行业的发展, 需研究几种具有普适性的压电传感器装置, 用以满足更多农机研究者的需求。通过研究发现, 压电传感器易受振动、潮湿环境等因素影响, 且对微小粒径种子的碰撞感知不足^[24-25]。另外, 在排种管高速工作时, 压电传感器检测效果不理想。需加强压电材料的研究, 降低潮湿、高温环境对压电传感器的影响, 提高对微小粒径种子的感知, 增强传感器的稳定性。

1.3 电容式传感器检测

电容式传感器具有结构简单、灵敏度高、动态响应好等特点^[26]。电容式传感器检测原理如图 6 所示, 当种子下落经过排种管里的电容传感器时, 极板间介质的等效介质常数改变, 传感器的输出电容值产生变化, 通过建立此变化与种子数量间的算法, 实现对种子数量的检测。

Taghinezhad 等^[27]设计了一种甘蔗排种器播种检

测装置,对甘蔗播种过程中的重播和漏播检测有很高的准确率。Snell 等^[28]使用射频应用装置与电容器来感测各种农产品的干物质含量,经试验发现,材料的密度对检测准确度有很大的影响。陈建国等^[29]基于电容法设计了一种小麦播种量检测系统,通过排种轮的转速与采样频率约束关系,设计传感器结构尺寸,建立种子数量与电容变化量之间的线性关系,实现了对小麦播种量的精准检测。在采样周期 15 ms,排种轮转速为 20 r/min 时,测得小麦籽粒数与实际粒数的相对误差为-1.57%~1.37%之间,但是该系统在排种轮的转速大于 25 r/min 时,检测精度明显下降。为了解决电容传感器在不同影响因素下,检测精度不高的问题。刘坤^[30]对电容法检测机理深入研究,通过播种量实际值与检测值之间的非线性关系,基于神经网络与遗传算法建立电容式传感器非线性校正模型。该方法经多次试验,检测精度均超过 99.57%,具有很高的应用价值。

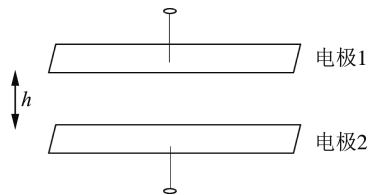


图 6 电容传感器检测原理图

Fig. 6 Schematic diagram of capacitance sensor detection

结合各研究发现,微小种子难以引起电容传感器的电容值变化,导致电容式传感器对微小种子识别精度不高,不适用于微小粒径种子检测和精确计数^[31]。对比各研究之间的试验结果,利用滤波技术能有效减少噪声对传感器脉冲信号的干扰,结合相应的数值关系,建立神经网络、模糊控制等智能控制模型,可有效提高检测精度。在后续的研究中。可考虑通过软件算法弥补硬件上的不足。与压电式传感器检测一样,电容式传感器检测装置也大多处于试验阶段。

1.4 视觉图像检测

随着视觉图像检测技术的发展,国内外研究者将视觉图像识别技术用于播种机排种检测。视觉图像检测工作原理如图 7 所示,用相机获取图像,传送给专用的图像处理系统,通过算法处理图像的特征,分析出排种信息^[32-33]。

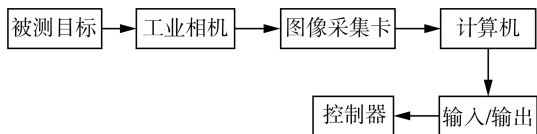


图 7 视觉图像检测工作原理图

Fig. 7 Visual image detection working principle diagram

Lin 等^[34]基于图像技术设计了小麦精密播种试验

系统。实现了高效、高精度的小麦精密播种检测,通过选择合适的阈值,给出了种子识别和种子空间测量的方法。Navid 等^[35]通过相机采集种子下落过程,用 MATLAB 处理图像信息,获得漏播、重播和均匀性等状况。刘长青等^[36]设计了一种种子形态和质量检测装置,根据合格种子与坏种子之间表皮光泽度和外观形状的区别,基于图像处理技术对坏种子进行检测,判断种子的好坏情况。试验中,对每个种子的检测时间为 14 ms,对重复种粒的检测精度为 95%,对种子的外观破损检测精度为 97%,该方法可有效识别破损的种子,为后续实现更高质量的精量播种提供了思路。赵郑斌等^[37]基于视觉图像技术设计了一套播种性能检测系统,用视觉算法对图像进行处理,分析穴盘的播种情况。在图像处理中,每个种子图像的处理时间为 0.3 s,对种子的重播检测精度为 98.94%,对漏播的检测精度为 99.33%。在理想条件下,该系统检测准确度较高。

与其他几种检测方式相比,视觉图像检测在种子播种检测上有着更高的精度。视觉图像检测方法可以识别出播种过程中的劣质种子和微小粒径种子,极大的提高精量播种质量,这是其他检测方法难以具备的优点。通过各研究的分析可知,视觉图像检测也有着明显的缺点,该方法易受环境的影响,尤其是光线和振动,会导致相机采集的种子图像质量不高,影响计算机对图像的处理;视觉图像检测的精度和图像处理算法有着密切的联系,在建立程序算法时,应选择种子的突出特征,选取合适的阈值,搭建种子识别模型;在程序设计中,应考虑软件响应速度,优化相关算法,用于满足播种机的播种速度。当前,由于视觉图像检测技术难度大、设备成本高,而且对环境要求严格,该方法极少用于实际生产中,多用于实验室验证^[38]。

2 电控精量播种控制技术

播种量决定了田间作物的疏密程度,播种过稀,就会浪费土地资源,而播种过密,又会影响作物的生长^[39]。因此,研究播种机实现精量播种具有非常重要的意义。

2.1 播种量控制技术

相较机械化精量播种技术的成熟,电控精量播种技术研究起步晚,有较大的发展空间,国内外通过不同的控制方式来提高播种的均匀性和准确性^[40]。

意大利研制的 MT 系列 ISOTRONIC 电控播种机^[41],由驱动马达直接驱动排种盘,不需担心地轮打滑引起播种不均匀的状况。电控系统支持调整株距,异常情况报警,实现分段播种控制,避免重播、漏播,播

种效率远高于地轮驱动的机械式播种机。He 等^[42]设计了一个基于 PID 控制的玉米精量播种控制系统,当电机的理论转速与实际转速相差较大时,系统通过 PID 控制算法调节电机转速,获得较好的排种速度,从而提高排种质量。排种管转速为 0~24 r/min 时的阶跃响应时间、超调量和稳定误差分别为 0.4 s、1.56% 和 0.75%,单粒播种的精度为 98.4%,在最高种植速度 12 km/h 时,重播率和漏播率均低于 1%。

在国内,闫青^[43]设计了气吸式小麦电控播种系统。系统原理如图 8 所示,利用旋转编码器采集播种机行进速度,结合设定好的株距参数,通过算法得出合理的排种器转速,对电机进行控制,实现可控株距的小麦单粒精量播种。试验结果表明,排种器的排种合格指数为 88.05%,重播率为 3.64%,漏播率为 6.96%,播种质量符合 JB/T 10293—2013《单粒(精密)播种机技术条件》要求。但是,排种器在低速和高速工作时,播种质量有所下降。丁筱玲^[44]基于 STM32F103C8T6 构建小麦精播控制系统,运用 PID 控制算法和 PWM 技术设计闭环控制回路,对排种轴、施肥轴的转速进行实时调节,实现自适应牵引机前行速度的变化,有效保障播种均匀、施肥稳定。该系统在满足精量播种的条件下,搭配了自动驾驶装置、智能导航定位和机器视觉装置等,进一步实现智能化控制变量精量播种。在 0~8 km/h 工作速度下,该系统的播种精度为 85.8%~95.5%,由于该系统功能和工作参数过多,仍有很大的调节空间。该研究融合了多学科技术,对我国智能化精量播种机的研究有较好的参考价值。

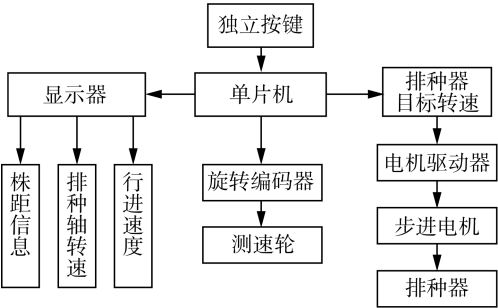


图 8 电控播种系统工作原理框图
Fig. 8 Working principle block diagram of electric control seeding system

综上所述,国外在精量播种控制技术上研究较深,所研究产品的精度较高。而我国当前精量播种机的智能化研究程度较低,多数研究的系统功能单一,难以满足未来我国农业机械智能化发展的需求;当前在实现多功能的情况下,仍不能提高播种的精度,表明研究者在多学科融合的过程中遇到不少难题,难以打破技术壁垒。通过国内外研究发现,研究多会采用智能控制技术(如模糊 PID 控制、专家系统)来调节控制系统的

稳定性,后续需结合导航技术、机器视觉等来提高播种效率和质量;需进一步增加系统功能的多样性,优化算法,加速集路径规划、多机协同和云平台控制等功能于一身的智能化精量播种机的实现,以满足未来需求。

2.2 补种技术

播种机在田间作业时,漏播的情况难以避免。为了提高播种质量,需在电控精量播种机上设计补种装置。

陈刚等设计了玉米免耕精密播种机漏播补偿系统,如图 9 所示,系统根据传感器采集到的漏播情况,根据各动作时间关系,通过算法分析补种位置,及时启动补种系统装置,实现实时补种。经试验,安装漏播补偿系统后,工作速度在 5~7 km/h 时,播种合格率为 99%左右,补种效果较好。刘树峰等设计了马铃薯漏播检测自动补种装置。利用两对激光对射传感器和接触式行程开关传感器,分别采集马铃薯漏播状况和补种的位置,通过单片机控制步进电机以驱动补种装置实现精确补种。在工作速度为 2~5 km/h 时,补种合格率为 82.17%,总播种率为 98.5%。

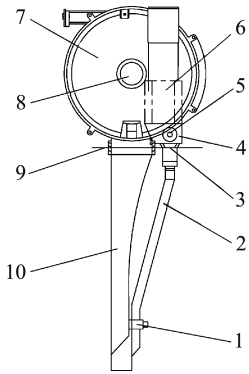


图 9 漏播补偿系统结构图
Fig. 9 Structure of the missed broadcast compensation system

- 1. 电磁阀 2. 补种管 3. 落种检测传感器 4. 补种系统排种装置
- 5. 补种电机 6. 补种箱 7. 主排种装置 8. 排种电机
- 9. 种子检测传感器 10. 排种管

当前我国播种机以机械式为主,给机械式播种机设计补种装置,可以有效提高播种质量。应针对当前存在的问题,优化传感器的设计,提高检测精度和抗干扰能力,优化控制系统的响应速度,用以匹配未来智能电控精量播种机,实现实时补种。

3 存在问题

近些年,我国在智能电控精量播种技术的研究取得了极大进展,播种质量和效率有了很大提高。同时,也存在一些问题。

1) 缺乏实际生产验证。与国外约翰迪尔和凯斯纽荷兰这些技术强大的公司不同,我国农机产商对于

机具的智能化研究缓慢;研究者研发的新技术和新装置,一般都是改装到现有的播种机上用于试验研究,缺少针对新技术的机具整体研发,导致市面上播种机新技术的更新缓慢,在一定程度上限制了精量播种机智能化的发展。研究者与厂商需加强合作,积极推广现已成熟的智能化技术,用市场的验证来促进播种机的发展,早日实现我国高集成度的智能化播种机生产。

2) 系统稳定性及传感器精度不足。结合各研究发现,当前国内研究者常采用的控制器(如 51 单片机、stm32 单片机)都会随着工作速度加快而稳定性下降,而且控制器的性能难以满足未来智能化播种机的需求,利用软件算法优化和装置结构设计不能很好地解决这些问题,未来需加强自主控制器硬件装置的研发;在播种检测时,当前市场上几种传感器型号对于微小粒径的种子检测精度不足(如微小粒径的种子难以引起压电传感器感知层的电荷变化),当前需加强传感器自主研发,研究适合国内农业作物和播种环境的传感器,打破国外在传感器行业的技术垄断,以解决破损种子和小粒径种子难以检测的难题。

3) 现阶段的播种机智能化程度不足。当前仍未实现成熟的人工智能监控和智能控制技术,多机协同、路径规划及无人农机播种作业的集成还有很长的距离。应大力加强针对农机相关的智能感知技术、无线通信技术、智能控制技术、导航及路线规划技术的研究,将多学科融合才能快速发展智能化农机,以减少劳动力,适应未来农业劳动人口减少的趋势。

4 展望

智能检测控制技术是播种装备实现智能化、精量化的关键核心技术。从精量播种状态检测技术、电控精量播种控制技术方面,系统分析了国外和国内智能播种机检测和精量控制研究现状,以及我国智能检测精量控制技术与国外的差距,未来需要从以下几方面进行突破。

1) 针对目前电控系统存在的信号干扰、复杂恶劣环境下的稳定性能下降等问题,可借鉴国外传感器研究,加强我国传感器自主研发力度,开发灵敏度高、抗干扰能力强的新型传感器。针对微小种子感应不足等问题,研发特定的适用传感器。优化排种管性能,研发适合电控播种机的排种管结构,提高播种质量。将电控播种机与农艺要求深度结合,研发满足我国耕地情况的新型智能化电控播种机。加强我国动力设备‘卡脖子’问题攻关,研发适用于我国农机动力要求的动力装备,便于电控系统的适配。

2) 生产厂商与国家相关部门应制定电控精量播

种机的相关标准和规范,促进智能化精量播种机的推广和应用。国家应加强智能化农机的投入,吸引更多行业的人才投入智能播种机的研究。我国企业和研究院所应加强合作,自主研发一台集多功能为一身的智能化播种机,为其他研究者和厂家提供研究指导。随着技术的发展与成本的降低,智能控制技术、智能测控技术的引入,形成多功能的高精度播种控制系统。有望解决当前控制系统存在的不稳定、不灵敏等问题,将会大大的提高电控精量播种系统的稳定性与准确性。结合通信技术,实现远程监控播种信息,实时调整播种机参数设定,实现多机协同作业以及无人作业,实现智能化农业。

3) 加快国产农机控制芯片和基于国际标准的控制器研发。建立农机研究数据库,加快促进国产农机装备的生产。构建多学科融合的智能农业数据库,开发农业领域云服务平台,搭建与其他领域人才沟通的桥梁,便于人才相互交流帮助,为智能化播种机的发展,提供知识和平台的支撑。

5 结语

本文梳理了近年来国内外智能化播种技术的发展现状,对比分析各种传感器检测技术和控制技术的优缺点和应用场景,指出我国当前对高精度传感器研发力度不足、智能控制技术不成熟等问题,给出促进精量播种机技术标准化、多方合作攻克“卡脖子”技术、多学科优势技术融合等建议,为我国实现智能化精量播种技术提供一定的参考。

我国农业机械发展迅速,大型农场基本上实现了农业机械化,促进了我国农业经济的发展。而精量播种技术作为农业机械较为重要的技术,可有效减少播种过程产生的浪费,为农业生产创造更大的利益。因此,我国应重视精量播种技术的研究,加强研究经费和人才投入,争取早日实现我国精量播种机具的智能化。

参 考 文 献

- [1] 丁幼春,王凯阳,刘晓东,等. 中小粒径种子播种检测技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2021, 37(8): 30—41.
Ding Youchun, Wang Kaiyang, Liu Xiaodong, et al. Research progress of seeding detection technology for medium and small-size seeds [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(8): 30—41.
- [2] Karthikeyan P R, Chandrasekaran Gokul, Kumar Neelam Sanjeev, et al. IoT based moisture control and temperature monitoring in smart farming [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1964(6): 062056.

- [3] Ramasamy S S. Sustainable development in agriculture through information and communication technology (ICT) for smarter India: Sustainable agricultural development through ICT in India [J]. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, 2021, 12 (3): 79—87.
- [4] 罗锡文, 廖娟, 胡炼, 等. 我国智能农机的研究进展与无人农场的实践[J]. *华南农业大学学报*, 2021, 42(6): 8—17, 5.
Luo Xiwen, Liao Juan, Hu Lian, et al. Research progress of intelligent agricultural machinery and practice of unmanned farm in China [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2021, 42(6): 8—17, 5.
- [5] He X, Zhang D, Yang L, et al. Design and experiment of a GPS—based turn compensation system for improving the seeding uniformity of maize planter [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2021, 187(22): 106250.
- [6] 冯玉岗, 金诚谦, 袁文胜, 等. 基于卫星测速小麦精量电驱式播种控制系统[J]. *中国农机化学报*, 2020, 41(12): 124—130.
Feng Yugang, Jin Chengqian, Yuan Wensheng, et al. Research on precision electric seeding control system based on satellite velocity measurement for wheat [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(12): 124—130.
- [7] 万星宇, 廖庆喜, 廖宜涛, 等. 油菜全产业链机械化智能化关键技术装备研究现状及发展趋势[J]. *华中农业大学学报*, 2021, 40(2): 24—44.
Wan Xingyu, Liao Qingxi, Liao Yitao, et al. Situation and prospect of key technology and equipment in mechanization and intelligentization of rapeseed whole industry chain [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40 (2): 24—44.
- [8] Nielsen S K, Munkholm L J, Lamandé M, et al. Seed drill depth control system for precision seeding [J]. *Computers and electronics in Agriculture*, 2018, 144: 174—180.
- [9] 廖宜涛, 李成良, 廖庆喜, 等. 播种机导种技术与装置研究进展分析[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(12): 1—14.
Liao Yitao, Li Chengliang, Liao Qingxi, et al. Research progress of seed guiding technology and device of planter [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(12): 1—14.
- [10] 杨硕, 王秀, 高原源, 等. 玉米精密播种粒距在线监测与漏播预警系统研究[J]. *农业机械学报*, 2021, 52(3): 17—24, 35.
Yang Shuo, Wang Xiu, Gao Yuanyuan, et al. Design of on-line seed spacing monitoring and miss seeding warning system for maize precision planting [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021, 52 (3): 17—24, 35.
- [11] 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.
- [12] 李甜, 席新明. 漏播检测技术的现状与发展趋势[J]. *北京农业*, 2016(2): 43—44.
- [13] 陈建国. 小麦精量播种与精准控制智能决策系统研究与设计[D]. 上海: 上海交通大学, 2019.
- [14] 邹贻俊. 水稻直播机播量控制系统设计与试验[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [15] Karimi H, Navid H, Besharati B, et al. A practical approach to comparative design of non-contact sensing techniques for seed flow rate detection [J]. *Computers and electronics in agriculture*, 2017, 142: 165—172.
- [16] 譙睿, 杨文彩, 韩文霆, 等. 三七精密播种机漏播重播检测系统设计与试验[J]. *传感技术学报*, 2019, 32(7): 1115—1122.
Qiao Rui, Yang Wencai, Han Wenting, et al. Design and test of missed broadcast and over sowing system for panax precision seeder [J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2019, 32(7): 1115—1122.
- [17] 解春季, 杨丽, 张东兴, 等. 基于激光传感器的播种参数监测方法[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(3): 140—146.
Xie Chunji, Yang Li, Zhang Dongxing, et al. Seeding parameter monitoring method based on laser sensors [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(3): 140—146.
- [18] 曹叶, 王旭峰, 王龙, 等. 精量穴播器排种性能检测方法研究分析及展望[J]. *新疆农机化*, 2020(6): 19—24.
Cao Ye, Wang Xufeng, Wang Long, et al. Research and prospect of seed metering performance of precise dibbler [J]. *Xinjiang Agricultural Mechanization*, 2020(6): 19—24.
- [19] 刘亚明, 邢剑飞, 王龙. 基于光电传感器的排种性能检测装置的设计与试验[J]. *塔里木大学学报*, 2019, 31(4): 65—72.
Liu Yaming, Xing Jianfei, Wang Long. Design and test of seeding performance testing device based on photoelectric sensor [J]. *Journal of Tarim University*, 2019, 31(4): 65—72.
- [20] 汤允猛. 玉米精量播种机排种监测系统设计与试验[D]. 石河子: 石河子大学, 2019.
- [21] Hoberge S, Hilleringmann U, Jochheim C, et al. Piezoelectric sensor array with evaluation electronic for counting grains in seed drills [C]. *Africon. IEEE*, 2011.
- [22] 赵博, 樊学谦, 周利明, 等. 气流输送播种机压电式流量传感器设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(8): 55—61.
Zhao Bo, Fan Xueqian, Zhou Liming, et al. Design and test of piezoelectric flow sensor for pneumatic seeder [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(8): 55—61.
- [23] 张翌. 压电冲击式水稻穴直播精准实时监测系统设计与试验[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [24] Wang Tongzhao, Quan Qiquan, Tang Dewei, et al. Effect of hyperthermal cryogenic environments on the performance of piezoelectric transducer [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2021, 193.
- [25] 赵程, 蒋春燕, 张学伍, 等. 压电传感器测量原理及其敏感元件材料的研究进展[J]. *机械工程材料*, 2020, 44

- (6): 93—98.
- Zhao Cheng, Jiang Chunyan, Zhang Xuewu, et al. Piezoelectric sensor measurement principles and research sensitive element materials [J]. *Materials for Mechanical Engineering*, 2020, 44(6): 93—98.
- [26] Yang T, Li X, Sun X, et al. An embedded capacitive sensor for in-situ angular detection of micromotor [J]. *Microelectronics Journal*, 2021, 114: 105088.
- [27] Taghinezhad J, Alimardani R, Jafary A. Design a capacitive sensor for rapid monitoring of seed rate of sugarcane planter [J]. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2013, 15 (4): 23—29.
- [28] Snell H G J, Oberndorfer C, Lücke W, et al. PA-Precision agriculture: Use of electromagnetic fields for the determination of the dry matter content of chopped maize [J]. *Biosystems Engineering*, 2002, 82(3): 269—277.
- [29] 陈建国, 李彦明, 覃程锦, 等. 小麦播种量电容法检测系统设计及试验[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(18): 51—58.
- Chen Jianguo, Li Yanming, Qin Chengjin, et al. Design and test of capacitive detection system for wheat seeding quantity [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(18): 51—58.
- [30] 刘坤. 玉米精量播种装置排种性能电容法检测机理与方法研究[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019.
- [31] 任德良. 电容式排种性能检测传感器试验研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [32] Zhang Y, Zhu B, Xie B, et al. Visual image and radio signal fusion identification based on convolutional neural networks [J]. *Journal of Optics*, 2021, 50 (2): 237—244.
- [33] 苑严伟, 白慧娟, 方宪法, 等. 玉米播种与测控技术研究进展[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(9): 1—18.
- Fan Yanwei, Bai Huijuan, Fang Xianfa, et al. Research progress on maize seeding and its measurement and control technology [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(9): 1—18.
- [34] Lin H B, Dong S L, Qiu Y, et al. Research of wheat precision seeding test system based on image processing [J]. *Advanced Materials Research*, 2011, 311: 1559—1563.
- [35] Navid H, Ebrahimian S, Gassemzadeh H R, et al. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method [J]. *Australian journal of agricultural Engineering*, 2011, 2(1): 1—4.
- [36] 刘长青, 陈兵旗, 张新会, 等. 玉米定向精播种粒形态与品质动态检测方法[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(9): 47—54.
- Liu Changqing, Chen Bingqi, Zhang Xinhui, et al. Dynamic detection of corn seeds for directional precision seeding [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(9): 47—54.
- [37] 赵郑斌, 刘昱程, 刘忠军, 等. 基于机器视觉的穴盘精密播种性能检测系统[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(S1): 24—28.
- Zhao Zhengbin, Liu Yucheng, Liu Zhongjun, et al. Performance detection system of tray precision seeder based on machine vision [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45 (S1): 24—28.
- [38] 史永博, 帅超, 王海刚. 浅谈机器视觉在农产品检测中的应用[J]. *数码世界*, 2020(6): 45.
- [39] 唐利忠, 谢宜芝, 孙小成, 等. 播种量和施肥量对南方春大豆产量形成和机收质量的影响[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(8): 1—7.
- [40] 王丽丽, 梁学修, 胡小鹿, 等. 气流输送式播种机测控技术研究进展[J]. *中国农机化学报*, 2021, 42(2): 15—24.
- Wang Lili, Liang Xuexiu, Hu Xiaolu, et al. Research progress on measurement and control technology for pneumatic seeder [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2021, 42(2): 15—24.
- [41] 马斯奇奥 MT 型气吸式精量播种机优势[J]. *现代化农业*, 2014(4): 69.
- [42] He X, Ding Y, Zhang D, et al. Design and evaluation of PID electronic control system for seed meters for maize precision planting [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33 (17): 28—33.
- [43] 闫青. 电控排种系统设计及试验研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2020.
- [44] 丁筱玲. 小麦智能精播系统及自主导航机理研究与应用[D]. 济南: 山东大学, 2018.