

# 智能精密播种机的优化设计

吴政

(内蒙古机电职业技术学院, 呼和浩特 010070)

**摘要:** 智能精密播种机是一种自动化的农业设备,可大幅提高种植效率、减少种植成本。但是,目前智能精密播种机依赖高精度的传感器、控制系统和算法来实现准确的种子投放和深度控制,需要较高的技术要求和技术支持,且对于一些不规则形状的种子或大粒小种的种子,适应性较差。为此,提出了一种智能精密播种机优化方案,并使用高精度传感器和控制系统实现多功能播种,控制种子的投放量和调整播种深度,使用节能设备模块化设计和使用易于更换的部件、数据分析功能和简单易用的用户界面。最后,通过田间试验进行功能性试验,结果表明:经过优化后的智能精密播种机播种变异系数 $\leq 5\%$ ,满足播种农艺要求,可以实现准确的种子投放和深度控制,避免种植密度不均匀和深度不一致等问题,从而提高种植效率和作物品质。

**关键词:** 智能精密播种机; 优化设计; 精度; 多功能性; 种植效率

中图分类号: S223.2<sup>+</sup>5

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2025)01-0114-06

DOI: 10.13427/j.issn.1003-188X.2025.01.018

## 0 引言

随着农业现代化和数字化的推进,智能农业设备的应用越来越广泛,智能精密播种机作为其中的代表之一,已经成为现代农业生产的重要工具<sup>[1-3]</sup>。智能精密播种机利用高精度的传感器、控制系统和算法,可以对种子实现准确地投放和控制深度,避免了由传统播种机造成的种植密度不均和深度不一致等问题<sup>[4-5]</sup>,从而提高了种植效率和作物品质。此外,使用智能精密播种机还可以节约种子、水和化肥,降低了成本,减少了环境污染。

智能精密播种机作为一种新型的农业设备,虽然有许多优点,但仍然存在一些问题。

1) 成本高: 智能精密播种机的制造成本比传统的播种机要高,在一定程度上限制了其在农业生产中的普及和应用。

2) 技术要求高: 智能精密播种机需要高精度的传感器和控制系统,对制造商和操作人员的技术水平提出了更高的要求<sup>[6]</sup>。

3) 对环境的依赖: 智能精密播种机需要在一定的环境条件下才能实现最佳效果,如土壤质量、湿度、温度等。

4) 适应性差: 智能精密播种机在不同的作物种植中可能存在一定的适应性问题,需要根据不同的作物进行不同的参数设置和调整。

5) 维护难度高: 智能精密播种机涉及到多个机械部件和电子元件,一旦出现故障需要由专业的维护人员进行修复。

因此,对智能精密播种机进行优化设计,不仅可以进一步提高其精度和多功能性,还可以降低成本、节约能源、提高可维护性,同时还可以简化操作流程、提高用户体验和数据分析能力。本文旨在探讨智能精密播种机的优化设计,并分析其对农业现代化的推进和对种植效率的提高,以期为智能农业设备的发展提供参考。

## 1 精密播种机结构设计

### 1.1 整体设计方案

智能精密播种机的整体结构主要包括机架结构、播种部分、传感器部分、控制器部分和能源部分等几部分<sup>[7-9]</sup>。

1) 机架结构: 包括车体、支架、行走轮和悬挂装置等部分,主要负责机器的运动和支撑稳定。

2) 播种部分: 包括种植箱、种子输送装置、种子分配装置和种子排出装置等部分,主要负责将种子按照一定的规律均匀地撒在地里。

3) 传感器部分: 包括土壤湿度传感器、土壤温度传感器、光照强度传感器等部分,主要负责获取土壤

收稿日期: 2023-03-09

基金项目: 内蒙古自治区教育厅科研项目(NJZY23065)

作者简介: 吴政(1979-),男,呼和浩特人,副教授,硕士,(E-mail) wuzheng010070@163.com。

和气象等相关环境信息。

4) 控制器部分: 包括主控板、执行机构驱动模块、数据采集模块等部分, 主要负责对传感器获取到的信息进行分析和处理, 并通过执行机构驱动播种部分完成播种操作。

5) 能源部分: 包括电池、太阳能电池等部分, 主要负责为智能精密播种机提供能量供应。

### 1.2 工作原理

智能精密播种机通过环境检测、种子分配、播种操作、移动控制和数据处理等步骤, 实现了自动化、高效率 and 精准化的精密播种, 可以简单概括为以下几个工作步骤:

1) 环境检测。智能精密播种机通过内置的传感器检测周围的环境条件, 如土壤湿度、温度、光照强度等信息。

2) 种子分配。根据环境检测结果和预设的播种方案, 智能精密播种机将种子分配到种植箱中, 并且按照一定规律分配到种子输送装置中。

3) 播种操作。当智能精密播种机移动到目标位置时, 种子输送装置开始将种子均匀地分配到种子排出装置中, 并通过执行机构排放到土壤中。

4) 移动控制。智能精密播种机通过内置的控制器控制车体和行走轮的运动, 确保播种操作按照预设方案进行, 覆盖整个播种区域。

5) 数据处理。智能精密播种机内置的数据采集模块可以采集播种时的各项数据, 如播种速度、种子数量、播种深度等信息, 并对数据进行处理和存储, 以备后续分析和优化<sup>[10-11]</sup>。

### 1.3 关键部件的设计

#### 1.3.1 排种器的设计

智能精密播种机通过环境检测、种子分配、播种操作、移动控制和数据处理等步骤, 实现了自动化、高效率 and 精准化的精密播种。目前, 市面上常见的排种器及其应用特点如表 1 所示。在此选取播种效率较高的气吸式种子排种器作为本研究的排种装置<sup>[12]</sup>。

在选择气吸式排种器时, 需要考虑到种子流量和种子大小, 进而选用合适的排种器孔径, 避免种子卡住或过大过小。

种子流量计算公式为<sup>[13]</sup>

$$Q = nfd \quad (1)$$

式中  $Q$  — 种子流量;

$n$  — 种子数量;

$f$  — 种子频率;

$d$  — 单个种子平均直径。

气吸流量计算公式为<sup>[14-15]</sup>

$$Qa = V\rho \quad (2)$$

式中  $Qa$  — 气吸流量;

$V$  — 气体体积;

$\rho$  — 气体密度。

气吸速度计算公式为

$$Va = \frac{Qa}{A} \quad (4)$$

式中  $Va$  — 气吸速度;

$A$  — 排种口面积。

表 1 不同排种器及其应用特点

Table 1 Different seed dispensers and their application characteristics

种子排出装置	应用优势	应用缺点	适用范围
气吸式种子排种器	速度快、准确度高	结构复杂、维护成本高	各种大小和形状的种子
振动式种子排种器	结构简单、维护方便	速度较慢、适用于较小的种子	较小的种子
滚动式种子排种器	结构简单、使用方便	速度较慢、适用于各种大小的种子	各种大小的种子
旋转式种子排种器	速度快、准确度高	结构较为复杂、维护成本高	各种大小和形状的种子

最后, 结合上述参数与综合考虑气吸强度、排种器孔径、排种器结构和种子性质等因素, 本研究选择约翰迪尔 ProMax 40 平板硬盘排种器, 技术参数如表 2 所示<sup>[16]</sup>。

表 2 排种器技术参数

Table 2 Seed dispensers technical parameters

类型	参数
种子类型	适用于各种颗粒状或粉末状种子, 包括小麦、玉米、大豆、棉花等
种子流量范围/(L/min)	0.1~5.5
排种行距/cm	15.2~101.6(可调)
排种速度/(km/h)	6~9
排种精度/%	≤2
排种深度/cm	1.3~5.1(可调)
气吸流量/(cm <sup>3</sup> /h)	14~28
气吸速度/(m/s)	50~75

### 1.3.2 开沟器的设计

开沟器是精密播种机的一个重要组成部分,主要功能是在土壤中挖开种植行,以便将种子精确地定位在所需深度处。开沟器的设计需要考虑多种因素,包括土壤类型、作物类型、作业深度和行距等。在进行开沟器设计时,需要遵循以下几个设计原则:

1) 刀片形状和尺寸。玉米播种器的开沟器需要选用适合玉米种子的刀片,一般为尖头或 V 型刀片,刀片长度应适中,以确保开沟的深度和宽度符合要求<sup>[17]</sup>。

2) 工作深度和行距。玉米种植需要较深的开沟深度和较宽的行距,一般开沟深度在 10~15 cm 之间,行距在 50~70 cm 之间。

3) 结构材料和强度。开沟器应选用高强度、耐磨、耐腐蚀的材料,如铸钢、不锈钢等。

4) 防止堵塞。开沟器的结构需要设计合理,防止土壤、杂草堵塞刀片和排沟口。

5) 运动轨迹和速度。开沟器的运动轨迹和速度需要根据播种机的整体设计 and 要求进行调整和优化。

针对玉米播种器的开沟器设计,建议选用 V 型刀片,开沟深度 10~15 cm,行距 50~70 cm,选用铸钢或不锈钢等高强度材料,结构设计合理,运动轨迹和速度可根据整机要求进行调整和优化。

综上,选择 John Deere-JD-KG1026 开沟器,技术参数如表 3 所示。其开沟深度可调节,采用高强度材料制作,具有良好的耐磨性和耐腐蚀性能,结构合理,能够有效防止堵塞和卡住的情况<sup>[18]</sup>。

表 3 John Deere-JD-KG1026 开沟器技术参数

Table 3 John Deere-JD-KG1026 trencher technical parameters

参数名称	单位	技术参数
适用作物		玉米
作业幅宽	m	2~6
耕深范围	cm	8~15
沟宽范围	cm	12~20
整体尺寸	mm	2 900×900×1 000
自重	kg	350

### 1.3.3 覆土镇压轮的设计

覆土镇压轮的设计和选型需要考虑土壤性质、播种机的工作速度和功率、种子大小等因素。

1) 覆土镇压轮结构。覆土镇压轮是农业机械中

的一个重要组成部分,用于将播种后的种子与土壤充分接触,促进种子的萌发和生长。其结构通常由一个轮辋和一个压实轮组成,轮辋是支撑整个轮子的主体,而压实轮则是直接与土壤接触的部分。压实轮上通常设置有凸起的压路齿或圆形压路板,通过与土壤接触和滚动的方式,将播种后的种子与土壤充分接触并压实,以提高种子的发芽率和生长速度<sup>[19-20]</sup>。

在设计和选型时,需要考虑种植作物的特点、播种方式、土壤类型等因素。一般来说,覆土镇压轮的直径、轮宽、轮胎压力和轮胎材质等参数都需要根据具体情况进行计算和选择,以确保轮子的覆土效果和稳定性。目前,市面上的品牌主要包括美国 L&D Ag Service 公司生产的 FT40 覆土轮、意大利 Maschio Gaspardo 公司的 RotaRiv 覆土镇压轮等。这些产品具有较好的覆土效果和耐用性,可提高作物的种植效率和产量。

2) 覆土镇压轮材料。覆土镇压轮作为播种机械中的重要组成部分,其材料选择至关重要。一般情况下,建议选择高强度、耐磨损、抗腐蚀的材料,以确保其在使用过程中的稳定性和耐用性<sup>[21]</sup>。常用的覆土镇压轮材料包括高碳钢、铸铁等。高碳钢具有强度高、硬度高、耐磨损等优点,而铸铁具有耐磨性好、抗腐蚀性能好、制造成本低等优点。因此,在进行覆土镇压轮的设计和选型时,需要根据具体情况综合考虑材料的性能、成本和使用环境等因素,选择最适合的材料。

3) 覆土镇压轮大小。覆土镇压轮大小的选择需要综合考虑多个因素,包括播种机的工作速度和功率、种子大小、土壤性质等。一般来说,覆土镇压轮的直径应在 30~40 cm 之间,轮宽为 10~15 cm。如果播种机的工作速度较快、功率较大,应该选择较大直径和宽度的覆土镇压轮,以确保足够的覆土深度和压实力度;相反,如果播种机的工作速度较慢、功率较小,应该选择较小直径和宽度的覆土镇压轮,以避免过度覆土和过度压实。

综上所述,本研究选择 John Deere AA81649 的覆土镇压轮,其直径为 40 cm,轮宽为 15 cm。

## 2 智能精密播种机的设计与选型

### 2.1 智能控制系统硬件选型

智能精密播种机控制系统硬件包括中央处理器(CPU)、存储器、输入输出模块(I/O 模块)和人机交互界面等。整体结构如图 1 所示。

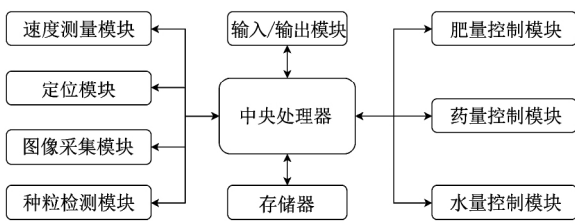


图 1 智能精密播种机控制系统结构图

Fig. 1 Structure diagram of intelligent precision seeder control system

### 2.1.1 中央处理器(CPU)

中央处理器(CPU)是智能精密播种机控制系统的核心部件,是一块集成电路芯片,主要负责运算和控制指令的执行。CPU内部由运算器、控制器、存储器和输入输出接口等组成。其中,运算器是执行算术和逻辑运算的核心部分,控制器则是控制指令的执行,存储器则用于存储指令和数据,输入输出接口则负责与外界进行数据交互。

在智能精密播种机控制系统中,CPU通常需要具备高性能、低功耗、稳定可靠的特点,以确保系统能够快速、准确地响应各种指令和控制信号。同时,为了提高系统的可靠性和稳定性,CPU还需要具备一定的容错能力,能够自动检测和修复出现的错误。目前,市面上常见的CPU芯片有英特尔、AMD等。在选择CPU时,需要根据系统的具体要求和性能指标进行综合考虑。

综合考虑以上因素,选用 Intel Core i5-11600K 作为精密播种机控制系统的中央处理器,该处理器性能优异,价格适中,能够满足系统的要求。

### 2.1.2 存储器

存储器是计算机中用于存储数据和程序的硬件设备,可以分为随机存储器(RAM)和只读存储器(ROM)两种类型。随机存储器可以被反复写入和读出,是计算机运行时临时存储数据的主要设备;只读存储器中存储的数据一经写入就无法更改,主要用于存储程序代码和固件等需要长期保存的数据。

在智能精密播种机控制系统中,存储器的作用是存储程序代码、传感器采集的数据和系统参数等信息,以供中央处理器调用和处理。为了保证控制系统的稳定和可靠性,存储器需要具备读写速度快、数据保存可靠、容量大等特点。常用的存储器包括动态随机存储器(DRAM)、静态随机存储器(SRAM)和闪存存储器等。其中,DRAM具有容量大、价格便宜等优点,适用于存储大量的临时数据;SRAM读写速度快,适用于存储需要快速访问的数据;闪存存储器具有非

易失性、抗震动等优点。

为提高精密播种机的使用性能,本研究选择 Span-sion S29GL01GS10TFI010 闪存存储器和闪迪 SDSDQM-016G-B35A 微型 SD 卡存储器两种存储器组合使用,以满足智能精密播种机控制系统的需求;同时,为了保证数据的安全性和可靠性,采用备份和冗余存储等措施。

### 2.1.3 输入输出模块(I/O 模块)

输入输出模块(I/O 模块)是控制系统与外部设备进行信息交互的重要部件,主要负责将外部设备的输入信号转换为数字信号,或将数字信号转换为外部设备的控制信号。常见的 I/O 模块有数字输入模块、数字输出模块、模拟输入模块和模拟输出模块等。

针对精密播种机控制系统的输入输出模块(I/O 模块)选型,需要根据系统的具体需求和使用场景进行选择。一般而言,I/O 模块需要具备以下特点<sup>[20-22]</sup>:

1) 输入模块需要具备稳定、快速、准确读取传感器信息的能力,支持多种输入信号类型,并具备反应迅速的响应能力。

2) 输出模块需要具备可靠、稳定的输出能力,支持多种输出信号类型,能够保证输出信号的准确性和稳定性。

综上所述,本研究选择高速数字输出模块,型号为西门子 6ES7322-1HF01-0AA0。

### 2.1.4 人机交互界面

人机交互界面(HMI)是指人与计算机系统之间进行互动和通信的界面。在智能精密播种机的控制系统中,人机交互界面是非常重要的组成部分,它能够让用户通过简单的操作来实现对整个系统的控制和监控。

人机交互界面通常包括显示屏、键盘、鼠标、触摸屏和语音识别器等,通过这些设备,用户可以实现对播种机控制系统各个部件的控制和监控,如设定播种参数、调整设备状态、查看数据报告等。

本研究在进行人机交互界面设计时,考虑用户的使用习惯和需求,设计有简单直观、易于理解和操作等特点,设计的界面简洁大方,便于用户直观地观察播种性能,如图 2 所示。

## 2.2 软件程序设计

### 2.2.1 功能设计

软件程序功能设计是指根据智能精密播种机的需求和目标,可设计实现各种功能的软件程序。本研

究主要通过软件程序控制气吸式种子排种器和开沟器等设备,实现种子的精密播种,并且通过传感器收集环境数据,如土壤温度、湿度、pH 值和气象数据等,用于判断是否适宜播种及优化播种效果。

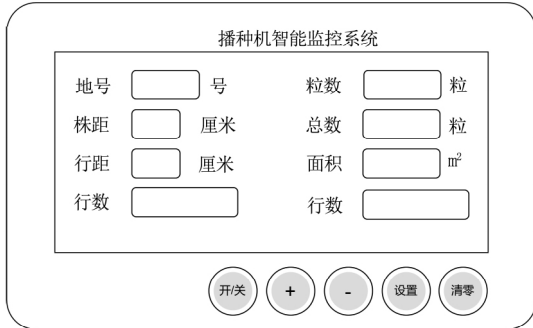


图 2 人机交互界面

Fig. 2 Human-computer interaction interface

### 2.2.2 开发环境

在开发精密播种机控制系统的软件程序时,使用 Eclipse 作为编程语言开发环境。Eclipse 是一款开放源代码的集成开发环境 (IDE),适用于 Java、C++、PHP、Python 等多种编程语言。Eclipse 具有丰富的插件和工具,能够提供全面的开发支持,包括代码编辑、调试、版本控制等功能。操作系统使用嵌入式操作系统 Embedded Linux,可以提供更好的系统资源管理、任务调度、实时性能力和更小的系统占用空间,且嵌入式操作系统可更好地管理硬件资源,如中央处理器、存储器、输入输出模块等。

## 3 田间试验

### 3.1 试验方法

设计了两组不同的试验,分别是单行播种试验和多行播种试验。在单行播种试验中,将播种机设置为单行模式,通过控制系统精确地控制种子数量和种子的位置,完成了对一行玉米的精准播种。在多行播种试验中,将播种机设置为多行模式,通过控制系统精确地控制种子的数量、位置,完成了对多行玉米的精准播种。

试验过程中,对播种机进行了多次调试和优化,以确保其能够在田间环境下正常工作。同时,对播种机的种子排放、开沟、覆土和镇压等关键工艺进行了实时监测和控制,以保证播种的质量和效率。

### 3.2 结果与分析

试验结果表明:该精密播种机具有较高的播种精度和作业效率,可以满足精密农业生产的要求。由表 4 可知:播种机在试验中的播种精度为 98.5% 以上,播

种间距和播种深度误差均控制在  $\pm 3$  mm 以内;同时,该播种机作业效率也较高,为  $0.07 \sim 0.1 \text{ hm}^2/\text{h}$ ,相比传统播种机提高了 30%~50% 的效率。同时,在田间试验过程中,播种机还表现出良好的适应性和稳定性,能够适应不同类型的土壤和气候条件,且在连续作业过程中稳定性良好,机器故障率低。

表 4 试验结果

Table 4 Test results

测定指标	单位	试验结果
播种精度	%	>98.5
播种间距误差	mm	$\leq \pm 3$
播种深度误差	mm	$\leq \pm 3$
作业效率	$\text{hm}^2/\text{h}$	0.07~0.10
播种变异系数	%	$\leq 5$

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

1) 对关键部件进行设计与选型,主要包括排种器、开沟器和覆土镇压轮,并设计了一套可以针对玉米、小麦等多种作物通用的精密播种机。

2) 对智能精密播种机硬件进行设计与选型,并给予人机友好基本原则,设计智能精密播种机人机交互界面,且主要通过软件程序控制气吸式种子排种器和开沟器等设备,实现了种子的精密播种,并通过传感器收集环境数据。

3) 在试验验证过程中,所开发的精密播种机表现出了较高的播种精度和作业效率,与传统播种机相比较,本研究开发的播种机可以有效地提高作业效率,其控制精度更高,可大幅减少种子的浪费。

### 4.2 展望

1) 虽然本研究开发的精密播种机在试验中取得了较好的效果,但仍有些方面可以改进,如目前该机器的操作需要较高的专业技能,未来可以研发更加智能的控制系统,降低使用门槛。此外,在不同的土壤条件下,播种机的性能也会有所差异,因此需要进一步优化设计,以适应更广泛的使用场景。

2) 随着农业现代化的不断推进,越来越多的农业机械开始实现智能化和自动化,精密播种机也是一个很好的例子。未来随着技术的不断发展和市场的不断需求,可以预见精密播种机会越来越智能化,操作

也会更加简单方便,从而为农业生产提供更好的帮助和支持。

#### 参考文献:

- [1] 李军宇. 气吸式精密播种机排肥装置的设计与研究[J]. 当代农机, 2023(1): 46-47.
- [2] 王淞, 赵斌, 衣淑娟, 等. 基于 IGWO-LADRC 的电动绿豆播种机控制系统研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(增刊1): 87-98.
- [3] 李冰, 杨奥棋. 基于 ZigBee 技术的精密播种机监测系统设计与试验[J]. 信息与电脑(理论版), 2022, 34(14): 111-113.
- [4] 杨奥棋, 李冰. 农作物精密播种机漏播监测系统设计与试验[J]. 信息与电脑(理论版), 2022, 34(13): 112-114.
- [5] 刘彩玲, 李方林, 姜萌, 等. 点胶-纸带式小粒径种子蔬菜精密播种机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2022, 38(13): 20-29.
- [6] 吕勤. 西洋参精密播种机设计与试验[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2022.
- [8] 陈林涛, 薛俊祥, 马旭, 等. 双行整秆喂入式木薯精密播种机设计与试验[J]. 农机化研究, 2023, 45(3): 75-82, 87.
- [9] 李成良. 窄行密植精密播种机设计与试验[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [10] 赖庆辉, 吕勤, 贾广鑫, 等. 开沟-排种单体式人参精密播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(9): 72-82, 98.
- [11] 张志巧. 气振式精密播种机械臂跟随运动控制方法及试验研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2022.
- [12] 陈子威. 轮勺式三七精密播种机设计与试验[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2022.
- [13] 马彪. 气吸式免耕玉米播种机智能控制系统设计[D]. 合肥: 安徽建筑大学, 2022.
- [14] 陈书法, 刘星, 于超, 等. 基于北斗导航系统的精密播种机结构设计及试验[J]. 农机化研究, 2022, 44(11): 90-95.
- [15] 廖宜涛, 李成良, 廖庆喜, 等. 窄行密植西洋参精密播种机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(1): 92-103.
- [16] 刘雄佩, 赖庆辉, 苏微, 等. 双轮驱动压穴式三七精密播种机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2022, 44(8): 57-64.
- [17] 印祥, 杨腾祥, 金诚谦, 等. 玉米精量播种智能控制系统研制[J]. 农机化研究, 2018, 40(9): 125-128, 133.
- [18] 郭宏亮, 赵瑜会, 李名伟, 等. 基于 BLDCM 的智能播种控制系统设计[J]. 农机化研究, 2019, 41(2): 201-205, 210.
- [19] 夏兴宇. 马铃薯精量播种智能测控系统研究[D]. 长沙: 中国科学技术大学, 2022.
- [20] 徐姣姣. 智能播种机器人控制系统设计及其关键技术研究[D]. 吉林: 吉林化工学院, 2022.
- [21] 梅鹤波, 刘卉, 付卫强, 等. 小麦精量播种智能监测系统的设计与试验[J]. 农机化研究, 2013, 35(1): 68-72.
- [22] 董文浩. 基于嵌入式系统的机器视觉杂交稻智能恒量播种装置研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2020.

## Optimal Design of Intelligent Precision Seeder

Wu Zheng

(Inner Mongolia Technical College of Mechanics & Electrics, Hohhot 010070, China)

**Abstract:** Intelligent precision seeder is an automated agricultural equipment that can significantly improve planting efficiency and reduce planting cost. However, the current intelligent precision seeder relies on high-precision sensors, control systems and algorithms to achieve accurate seed placement and depth control, which requires high technical requirements and technical support, and is poorly adapted to some irregularly shaped seeds or large and small seeds. Therefore, this study proposes an optimized solution for an intelligent precision seeder. This study uses high-precision sensors and control systems, achieves multi-functional seeding, controls seed placement and adjusts seeding depth, uses energy-efficient equipment, modular design and easily replaceable components, data analysis function and easy-to-use user interface. Finally conducts functional tests through field trials, and the results show that the optimized intelligent precision seeder sowing coefficient of variation  $\leq 5\%$  and met the agronomic requirements for sowing. The research results can achieve accurate seed placement and depth control to avoid problems such as uneven planting density and inconsistent depth, thus improving planting efficiency and crop quality.

**Key words:** intelligent precision seeder; optimized design; precision; versatility; planting efficiency