

气力输送式小麦免耕施肥播种机设计与试验

于兴瑞¹ 耿端阳¹ 杜瑞成¹ 金诚谦¹ 杨善东¹ 鹿秀凤²

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049; 2. 山东理工职业学院, 济宁 272067)

摘要: 针对山东省土地经营模式的转变,小麦玉米一年两熟轮作制度导致小麦播种时间紧张且现有机械工作效率低的问题,设计了小麦气力式高效免耕施肥播种机,一遍作业可一次性完成灭茬、施肥、播种、覆土、镇压等工作。采用了集排式气流排种/肥装置,该装置利用同一风道对排出的种子和肥料进行同时输送,在保证种/肥同步的同时又提高了排种/肥的效率和均匀性;利用燕尾槽式布种器进行布种作业,达到了宽苗带效果;对整机进行了田间试验测试,测试结果表明,机具通过性良好,播种深度合格率、施肥深度合格率以及种肥间距合格率分别为93.0%、93.6%和85.4%,变异系数分别为4.7%、2.8%、5.3%;平均苗带宽度为11.83 cm,合格率为94.5%,变异系数为4.2%,各项指标与理论设计差异不显著且符合农艺要求。

关键词: 小麦; 免耕播种; 播种机; 气力输送; 设计; 试验

中图分类号: S223.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)S0-0141-08

Design and Experiment of Wheat Planter by Pneumatic Conveying with No-tillage

YU Xingrui¹ GENG Duanyang¹ DU Ruicheng¹ JIN Chengqian¹ YANG Shandong¹ LU Xiufeng²

(1. School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China

2. Shandong Polytechnic College, Jining 272067, China)

Abstract: At present, the land management mode in Shandong has changed. The rotation system of wheat and corn is two ripe for one year. The situation causes wheat sowing time become tense, and the existing machinery is inefficient. In order to solve the above problems, a kind of wheat planter was developed by pneumatic conveying with no-tillage. The seeding machine can finish stubble, fertilizing, sowing, covering and pressing at one time. The pneumatic conveying seeds/fertilizers device was utilized in seeds and fertilizers discharging device of wheat planter, which used the same air duct to simultaneously transport the discharged seeds and fertilizers. The form of seeds/fertilizers transportation was the combination of mechanical trough wheel and pneumatic conveying. The diameter of the grooved wheel was 60 mm and its effective length was 1 100 mm. This kind of seeds metering device could improve the efficiency and uniformity of seeds/fertilizers at the same time, which ensured the synchronization of seeds/fertilizers. And the velocity of air flow was determined to be 24 m/s. The seeds and fertilizers settling chamber were designed according to the principle of cyclone separator. Their diameter was determined to be 102 mm, and the ratio of height to height was 3.5. According to the agricultural requirements of wide band seedling, the structure of wide mouth swallowtail type seeds arrangement device was adopted. The shape of the seeds outlet was “saddle” with high in the middle and low on both sides. The width of the seedling band could reach 12 cm. The soil covering device was counter rotating auger to cover the soil from both sides to the middle. It could effectively ensure the consistency of the covering depth and the smoothness of the surface after sowing, which laid the foundation for the uniformity of planting depth. The whole machine was tested in the field. The test results showed that the machine with good trafficability characteristic. The qualification rate of seeds depth was 93.0%, the qualified rate of fertilizers depth was 93.6% and the qualified rate of spacing

收稿日期: 2018-07-10 修回日期: 2018-08-24

基金项目: 山东省农机装备创新研发项目 (NJGG201502) 和山东省高等学校优势学科人才团队培育计划项目

作者简介: 于兴瑞 (1994—), 男, 硕士生, 主要从事现代农机装备研究, E-mail: 971674968@qq.com

通信作者: 耿端阳 (1969—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事现代农机装备研究, E-mail: dygxt@sdu.edu.cn

between seeds and fertilizers was 85.4%. The coefficient of variation was 4.7%, 2.8% and 5.3%, respectively. The average width of the seedling belt was 11.83 cm. The qualified rate was 94.5% with the coefficient of variation of 4.2%. The indexes fully conformed to the requirements of the design and agronomy.

Key words: wheat; no-tillage sowing; planter; pneumatic conveying; design; experiment

0 引言

小麦作为我国三大粮食作物之一,种植地区幅员辽阔,在我国的农业生产中占有非常重要的地位,对我国国民的日常生活保障具有重要的意义^[1]。针对目前的小麦种植状况,张玉^[2]指出利用科学的机械设备,可提升种子的出苗率和小麦的抗倒伏能力;余松烈院士^[3]早年就提出小麦宽幅精播技术的概念,认为苗带宽度为 80 ~ 100 mm,可以充分利用光照等资源达到增产的目的。

对此,我国科技工作者经过多年的研究,已经开发出了多种免耕播种机。刘立晶等^[4]针对普通的排种器存在脉动性和排种不均匀以及作业速率低等问题,开发了 2BMG-24Q 型气流输送式小麦免耕播种机,为宽幅播种提供了借鉴;MATTHEWS^[5]、牛琪等^[6]探索了撒播能够简化播种机结构,但对均衡营养、通风透气等很难控制,影响产量;李朝苏等^[7]认为撒播小麦种子会造成种子分布不均,出苗集中且覆土困难等;祁兵^[8]针对种子质量和栽培技术的提升以及我国当前农业生产对精量播种迫切的需求,研究了中央集排气送式精量排种器,证明了利用气力式输送技术不仅可以进行远距离投种,还能有效提高作业效率。

本文针对山东省土地经营模式转变、小麦玉米一年两熟轮作导致小麦播种期紧张、传统播种存在作业效率低,种子、肥料浪费严重等问题,结合以上的研究成果,提出宽幅高速气力输送式宽苗带播种技术,并设计样机,以期小麦高效安全生产提供装备支持。

1 整机结构与工作原理

1.1 整机结构

气力输送式小麦免耕施肥播种机整机结构如图 1 所示,主要技术指标如表 1 所示。主要结构包括机架、三点悬挂装置、限深轮、灭茬装置、开沟播种装置、覆土装置、镇压装置、瞭望架以及种肥箱等。其中灭茬装置为长短刀交错排列,起灭茬和苗带清理作用;本机采用了燕尾槽式布种器,使苗带宽度达到 12 cm;进一步考虑增光透气和养分充分利用的需求,该布种器采用了中高侧低的马鞍式布种口,从

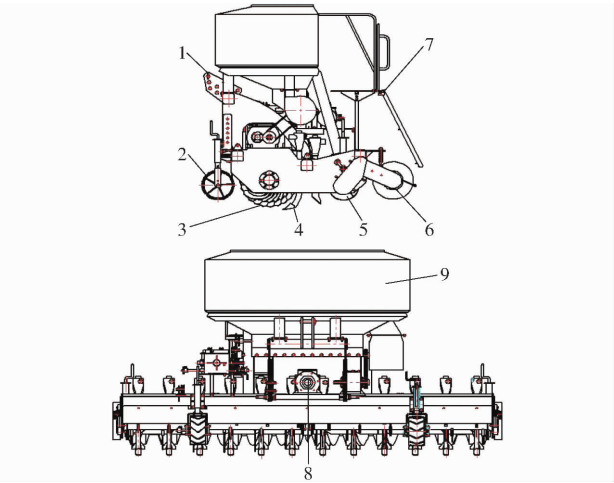


图 1 整机结构

Fig. 1 Structure of whole machine

1. 三点悬挂装置 2. 限深轮 3. 灭茬装置 4. 开沟器 5. 覆土装置 6. 镇压装置 7. 瞭望架 8. 动力输入轴 9. 种肥箱

表 1 主要技术参数

Tab. 1 Primary technical parameters

参数	数值/型式
整机尺寸/(mm × mm × mm)	2 010 × 3 860 × 2 480
悬挂方式	三点悬挂
配套功率/kW	88.2 ~ 117.6
工作行数	12
行距/cm	30
作业幅宽/m	3.6
作业速度/(km · h ⁻¹)	8 ~ 10
播种深度/cm	1 ~ 5
播种量/(kg · hm ⁻²)	60 ~ 450(可调)
苗带宽度/mm	120
施肥深度/cm	8 ~ 10
排种开沟器形式	燕尾式宽苗带布种器
排肥开沟器形式	凿式开沟器
排种/肥器形式	人字轮
排种/肥器数量	12
灭茬防堵部件形式	旋刀
覆土形式	反向输送器覆土

而形成了边疏中密的种子分布形式;开沟施肥器和布种器均安装在灭茬装置和覆土装置之间的机架上,其中开沟施肥器位于布种器的前方;为了精简结构,本机的种肥箱采用了组合式结构,即根据黄淮海地区小麦播种种肥比例设置为 3:7 比例的组合式结构;为了满足宽幅远距离输送种子的要求,本机增设了气力输送式结构,即在种箱和肥箱内又各有一侧

板,两侧板和隔板分别与种箱内壁及肥箱内壁构成种子通风道和肥料通风道,排肥器位于肥料通风道的底部,排种器位于种子通风道的顶部;风机安装在种肥箱一侧,出风口与种肥箱风道的进风口连接,导种管和导肥管的上端分别与种子/肥料通风道底部连通;导种管与导肥管下端分别经种子沉降器和肥料沉降器与布种器和开口施肥器连通;覆土器采用反向输送机覆土形式,其叶片为旋向相反的两片叶片,由镇压轮通过链条提供动力;镇压轮位于机架的后下方,共分为3组,随着机具前进分别为外槽轮排种排肥器和覆土输送机提供动力,并将土壤进行镇压;本机一次作业可同时完成灭茬、施肥、播种、覆土、镇压等工作^[9]。

1.2 工作原理

整机通过三点悬挂装置挂接在拖拉机后部,作业时拖拉机动力输出轴带动机具主变速箱转动,再将动力传递给灭茬装置进行残茬的处理和苗带的清理;镇压轮随着机具的前进而转动,并通过链条来带动外槽轮排种装置和排肥装置转动,将种子和肥料排到送种口和送肥口;拖拉机动力输出轴通过增速变速箱带动风机高速运转而产生气流,气流通过种肥箱的进风口进入风道,将排种装置排出的种子和排肥装置排出的肥料分别送往导种管和导肥管;导肥管中的肥料经过肥料沉降器落入开沟施肥器内,最后落入开沟器所开出的沟内,导种管中的种子经过种子沉降器落入布种器,然后成带状落入布种器所滑出的种床上;另一组镇压轮通过链条带动输送机覆土装置工作,实现开沟土壤向种沟两侧的回填,保证了覆土的一致性要求;最后,由浮动式镇压轮进行苗带种床的镇压,保证种、肥与土壤的充分接触。

2 关键部件设计

2.1 排种/肥装置

2.1.1 主要结构及工作过程

本气力输送式小麦免耕播种机(图2)的排种/肥装置采用集排式排种/肥装置,其大体结构如图3所示。肥箱内,肥料在重力作用下落到外槽轮排肥器上,外槽轮排肥器在地轮的带动下转动,将肥料抛到送肥口,风机产生的气流由进风口进入到送肥口,种子由气流带动通过排种管进入肥料沉降室,落入到开口器开出的沟内,完成排肥过程;同理,种箱内,种子在重力作用下落到外槽轮排种器上,外槽轮排种器在地轮的带动下转动,将种子抛到送种口,风机产生的气流由进风口进入到送种口,种子由气流带动通过排种管进入种子沉降室,经布种口落到种床上,完成布种过程。



图2 播种机实物图

Fig.2 Physical picture of planter

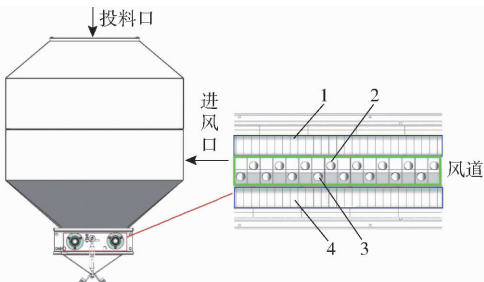


图3 集排式排种/肥系统

Fig.3 Centralized pneumatic system for transforming seed and fertilizer

1. 外槽轮式排种器 2. 送种口 3. 送肥口 4. 外槽轮式排肥器

2.1.2 人字形外槽轮主要设计尺寸

根据文献[4],撒播小麦要求播种量在300~420 kg/hm²之间,根据公式^[6]

$$\pi d L \rho_s (\alpha_0 + \kappa) = \frac{\pi D b Q_b (1 + \delta)}{10 i} \tag{1}$$

- 式中
- d ——外槽轮直径,cm
 - L ——槽轮有效工作长度,cm
 - ρ_s ——种/肥密度,取0.82 g/cm³
 - α_0 ——槽内种/肥充满系数,取0.8
 - κ ——带动层特性系数,取0.3
 - D ——地轮直径,取48 cm
 - b ——槽轮对应的播宽,360 cm
 - Q_b ——小麦播种量,取300~420 kg/hm²
 - δ ——行走轮滑移系数,取0.05
 - i ——排种槽轮与地轮传动比,取0.12

可得

$$502.98 \text{ cm}^2 \leq dL \leq 704.04 \text{ cm}^2 \tag{2}$$

考虑到整机尺寸与种肥箱尺寸,取 $L=110$ cm,则 $d=6$ cm,因此,人字形外槽轮直径为6 cm,有效工作长度为110 cm。

2.1.3 输送系统参数

(1) 气流输送速度

小麦种子的临界速度是设计气力输送式排种系统的关键参数,当气流速度大于种子临界漂浮速度时,种子才会被气流带动。由于小麦种子属于不规则形状的物料,其临界漂浮速度计算公式为^[10]

$$v_i = \frac{1}{\sqrt{K_c}} \sqrt{\frac{4gd_s(\gamma_s - \gamma)}{3\gamma C}} \tag{3}$$

式中 v_i ——种子临界漂浮速度, m/s
 K_c ——不规则形状物料修正系数, 取 2. 47
 g ——重力加速度, 取 9. 8 m/s²
 d_s ——小麦种子平均粒径, 取 0. 3 cm
 γ_s ——小麦种子密度, 取 820 kg/m³
 γ ——标准状态下空气密度, 取 1. 29 kg/m³
 C ——粘性阻力系数, 取 0. 44

代入数据可得, 小麦种子的临界漂浮速度约为 6 m/s, 而在实际生产中需考虑到各部件对种子及气流的碰撞、摩擦损失及密封漏气的问题, 所以气流速度应远大于小麦种子的临界漂浮速度。取气流速度 v_f 为小麦种子临界漂浮速度的 4 倍, 为 24 m/s。

(2) 料气输送比

料气输送比即气力输送系统中输送物料的质量流量与所需要气体的质量流量之比, 其计算公式为^[11]

$$\mu_s = \frac{G_s}{G_f} \tag{4}$$

其中 $G_s = \frac{Q_b v_m B_s}{3. 6 \times 10\ 000} \tag{5}$

$$G_f = \frac{1}{4} \pi D_s^2 v_f \gamma \tag{6}$$

式中 μ_s ——料气输送比
 G_s ——所输送物料的质量流量, kg/s
 G_f ——所需空气的质量流量, kg/s
 B_s ——作业幅宽, 取 3. 6 m
 v_m ——播种机作业速度, 取 10 km/h
 D_s ——输种管内径, 取 0. 03 m

代入数据计算可得 $G_s \approx 300$ g/s, $G_f \approx 262$ g/s, 料气输送比 $\mu_s \approx 1. 15$ 。

2. 1. 4 风机参数计算

气力输送式小麦排种系统正常作业时所需风量计算公式为^[12]

$$Q_s = (1 + 0. 2) \frac{G_s}{\mu_s \gamma} \tag{7}$$

则可求得排种系统所需风量 Q_s 约为 874 m³/h, 因为排肥系统与排种系统共用一个风道, 所以所需风量近似为排种所需风量的 2 倍, 为 1 748 m³/h。

根据所需风量计算风机参数, 由文献[13]可知, 风机风量计算公式为

$$Q_s = \pi R B N_s \tag{8}$$

式中 Q_s ——风机输出风量, m³/h
 R ——风机叶轮直径, m
 B ——风机叶片宽度, 取 0. 4 m

N_s ——风机转速, r/min

根据式(8)可知, 风机转速越高, 整体尺寸越小, 取风机转速为 2 900 r/min, 代入数据可得出风机叶轮直径 $R = 0. 48$ m。

风机所需功率计算公式为^[14]

$$P = \frac{1. 1 Q_s p}{3\ 600 \times 1\ 020 \eta} \tag{9}$$

式中 P ——风机所需功率, kW
 p ——风机的全压, 取 5 000 Pa
 η ——风机的效率, 取 0. 95

可得出风机所需功率 $P = 2. 76$ kW。风机由拖拉机动力输出轴驱动, 88. 2 kW 拖拉机动力输出轴标定功率约为 75 kW, 远大于风机所需功率。

2. 2 种/肥沉降室

2. 2. 1 工作原理

由于种子和肥料都是通过高速气流输送的, 在排出输种/肥管时还有很高的速度, 如果种/肥直接接触其他部件, 难免会造成机械损伤甚至破碎, 还会使种子在着床时发生弹跳现象, 严重影响种子在种床的分布, 此外高速气流如果直吹地表土壤还会造成扬尘, 因此本机增设了种/肥沉降装置以降低种/肥着床的速度, 同时又不会造成扬尘, 污染环境。

种/肥沉降室的设计原理参考工业设备中常用的旋风分离器。旋风分离器^[15-17]是用于气-固体系或者液-固体系分离的一种设备, 其采用立式圆筒结构, 内部沿轴向分为集液/固区、旋风分离区、净化室区等。旋风分离器的分离效果: 在设计压力和气流速度条件下, 可除去 10 μm 以上的固体颗粒, 适用于净化大于 1 ~ 3 μm 的非粘性、非纤维的干燥粉尘。

本设计工作原理如图 4 所示, 由高速气流携带着种/肥沿分离器壁的切向进入容腔内而在容腔内沿器壁作高速旋转运动, 此时在较大惯性离心力的作用下, 气流携带的种子和肥料被甩向外壁面而分开, 由于气流沿外壁高速运动, 因此旋风分离器的中央会形成一个负压, 当气流运动到旋风分离器底端时, 接触到负压区域从而沿着负压区域向上由出风口排出而不会向下排出; 种子或者肥料则在自身重力下沿着容腔内壁到达出种/肥口进入布种器或排肥器中。

2. 2. 2 主要设计参数

(1) 种/肥沉降室筒体直径

筒体直径是旋风分离器的一个关键尺寸, 通过这一尺寸按照设计步骤即可计算其他尺寸。筒体直径计算公式为^[18]

$$D_c = \left(\frac{Q_t}{2\,826v_p} \right)^{0.5} \tag{10}$$

式中 D_c ——沉降室筒体直径,m
 Q_t ——系统流量,取 $72.8\text{ m}^3/\text{h}$
 v_p ——品种物料速度,取 2.5 m/s
可以求得筒体直径 $D_c = 102\text{ mm}$ 。

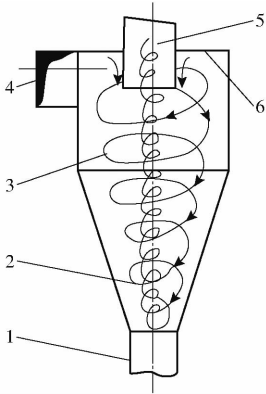


图 4 种/肥沉降室
Fig. 4 Seed/fertilizer settling chamber

1. 出种口 2. 外旋气流 3. 内旋气流 4. 进种口 5. 出气口
6. 顶板

(2)其他尺寸的确定

由文献[19]可知,根据种/肥沉降室的筒体直径,确定其他结构尺寸为:种/肥沉降室筒体高度 $L_a = 153\text{ mm}$,锥体段高度 $H = 204\text{ mm}$,升气管插入深度 $s = 51\text{ mm}$,升气管直径 $D_e = 30.6\text{ mm}$;整个沉降室的高径比 $h/D_c = 3.5$, h 表示种肥沉降室高度。

2.3 布种装置

传统的小麦播种机均采用小麦条播的形式,先由开沟器开出一条沟,再将种子排出,这样种子会集中分布在一条种沟内,这样不仅使苗带变窄,而且在小麦的生长后期会造成倒伏现象;而余松烈院士^[3]曾提出小麦的苗带宽度以 $80 \sim 100\text{ mm}$ 为宜;文献[20-21]根据小麦种植的农艺要求设计了燕尾槽式布种器,苗带宽度达到了 120 mm ,并具有显著的增产效果。文献[22-23]对此进行了改进,根据小麦生长的边行优势,将燕尾槽式布种器设计为中间凸起,并进行了 EDEM 仿真,得出当布种器的下种角 $\alpha = 45^\circ$,中间凸起的高度 $h' = 4\text{ mm}$ 时,既能实现分种要求,又能保证排种顺畅。

本播种机的布种器(图 5)设计根据宽苗带小麦种植的农艺要求,采用燕尾槽式排种口,苗带宽度设计为 120 mm ,因此布种器排种口设计为 120 mm ,排种口下端与地表距离为 20 mm 。此布种装置在前置苗带清理器和开沟施肥器将土壤松散的情况下,先将地面抹平,创造出种床环境,再将种子排布到种床上,此时,种子向后运动,有效减少播种机高速作业

引起弹跳影响种子分布的问题。

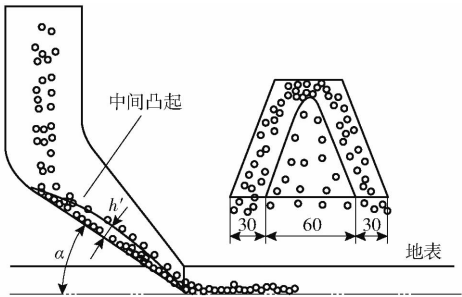


图 5 布种器
Fig. 5 Seed discharger

2.4 灭茬装置

由于黄淮海地区是一年两熟的小麦玉米轮作区,以及近年来为了降低玉米生产成本开始推行玉米籽粒直收机械化技术导致玉米收获期的拖延,而小麦播种期的后延会显著降低其产量,所以本文采用了灭茬与播种的集成化技术,其结构如图 6 所示。

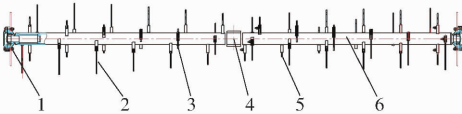


图 6 灭茬装置
Fig. 6 Stubble device

1. 旋耕轴头 2. 旋耕长刀 3. 旋耕短刀 4. 中间传动 5. 旋耕刀座 6. 旋耕轴

本机设计为免耕播种机,因此只需进行苗带的残茬处理与土壤松动,便于开沟器进行开沟作业,防止作业过程中拥堵现象的发生。灭茬装置采用了仅针对苗带旋耕灭茬作业的灭茬装置。旋耕刀轴采用 $\Phi 95\text{ mm}$ 的空心钢管,灭茬刀采用长短刀交错安装的方式,短刀排在排种、排肥口的正前方,两侧为长刀,长短刀各按照一条螺旋线排列,如图 7 所示。长刀入土,起旋耕和苗带清理的作用,短刀起灭茬作用。灭茬刀共有 48 把,其中长刀 24 把,规格为国标 IT260,短刀 24 把,规格为 IT245。

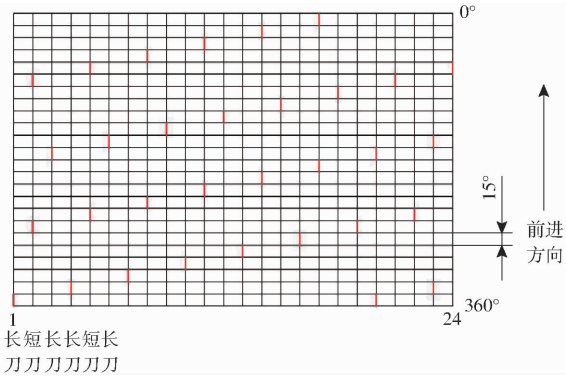


图 7 旋耕刀排列方式
Fig. 7 Arrangement of rotary tillage knives

根据农业机械设计手册^[24]设计要求可得,灭茬

刀转速要求为 300 ~ 500 r/min, 根据切土节距计算公式

$$S = \frac{6\,000v_m}{Nz} \quad (11)$$

式中 S ——切土节距, 取 14 cm

z ——小区内旋耕刀数量, 取 3

N ——灭茬刀转速, r/min

可得 $N = 400$ r/min, 故灭茬旋耕刀轴的转速设计为 400 r/min。

2.5 覆土装置

在布种器完成布种作业后需进行覆土作业, 将所有小麦种子充分掩埋, 避免晾种问题的发生。为了保证播种深度的一致性, 结合本机属于免耕条件下的播种需要, 本覆土装置采用输送器结构, 如图 8 所示, 其中输送器螺旋角设计为 120° , 可随地表的起伏自由浮动, 避免对种床造成破坏而使种子产生位移。开沟器的动作会将种床的土壤翻向两边, 这样输送器在转动过程中, 由于两侧限深装置的作用以及叶片遇到未耕坚实地表时, 能够实现地表滑动而很少推送土壤的作用, 这样在整个覆土过程, 叶片只能将由开沟器翻向两边的土壤推送到种沟, 而坚实地表的土壤基本不动, 从而不仅保证了播种深度的一致性, 而且保证了作业后地表的平整性。

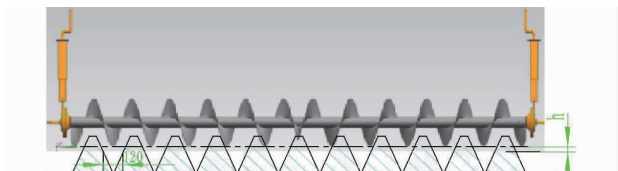


图 8 反向输送器覆土装置

Fig. 8 Reverse auger covering soil device

3 田间试验

3.1 试验条件

试验地点为山东省淄博市张店区南定镇崔军村 ($118^\circ 05' E, 39^\circ 74' N$) 山东理工大学农业工程与食品科学学院试验田, 试验田地势平坦, 土壤类型为壤土, 土壤含水率为 20.4%。本次试验前茬作物为玉米, 玉米收获后使用秸秆粉碎还田机械进行作业, 要求秸秆切碎长度在 100 mm 以内, 且秸秆均匀抛撒。

试验材料为济麦 22 号, 其物理特性为: 百粒质量 3.4 g, 容重 759.2 g/L, 含水率 11.8%, 净度 99.0% 以上, 种子外形尺寸 (长 × 宽 × 高) 为 3.6 mm × 3.5 mm × 3.2 mm; 试验用肥料为颗粒状复合肥, 其容重为 1 028.9 g/L, 含水率为 10.8%; 试验用拖拉机为约翰迪尔-1204 型拖拉机, 作业速度为 8 km/h 以上, 图 9 为田间试验图片。



图 9 田间试验图片

Fig. 9 Picture of field testing

3.2 试验方法

根据 GB/T 20865—2007《免耕施肥播种机》测定方法和 NY/T 1143—2006《播种机质量评价技术规范》对本气力输送式小麦免耕施肥播种机进行试验测试^[25-26]。主要测试内容包括旋耕质量、播种质量、施肥质量、覆土质量、机具通过性等。主要检测设备包括卷尺、铁刮板、电子秤、计算器、秒表、苫布、标杆、塑料袋、土壤硬度计、铁锹等。

3.2.1 机具通过性

拖拉机挂接机具按照设定速度 8.6 km/h 进行连续作业 60 m 以上, 在一个往返行程内不发生堵塞或者有一次轻度堵塞视为合格, 连续进行 3 次测定, 且在地表有前茬秸秆覆盖的情况下进行。

3.2.2 旋耕灭茬质量

在机具按照正常作业速度进行作业后, 随机选取 3 行, 每行选取 10 个点, 检测其旋耕灭茬质量, 并记录。

3.2.3 种/肥深度

拖拉机按照正常作业速度作业 (约 8.6 km/h), 在完成作业后, 随机选取 3 行, 每行随机选取 10 点进行测定, 将土层扒开, 进行种/肥深度的测定并记录试验数据。

3.2.4 苗带宽度与播种量

拖拉机按照正常作业速度作业 (约 8.6 km/h), 在完成作业后, 随机选取 3 行, 每行随机选取 10 点进行测定, 扒开土层进行苗带宽度的测定, 记录试验数据。

将拖拉机悬挂升起, 随机选取 3 个布种器, 用集种袋套住排种口, 测量其行走 20 m 时所播小麦种子粒数, 并记录试验数据。

3.3 试验结果与分析

本机通过了山东省农业机械科学研究院检测鉴定中心鉴定 (检测报告编号为 NW201803048), 其检测结果如下。

3.3.1 机具通过性试验

根据国家标准和农机鉴定站规定的方法进行测试, 拖拉机挂接机具以正常作业速度进行连续 3 次

往返测试,均未出现秸秆堵塞、覆土不均等状况,结果显示,机具通过性良好,符合播种机设计要求。

3.3.2 播种作业测试结果

在机具作业之后,根据测试方法对施肥深度、播种深度、种肥垂直间距以及苗带宽度进行测试并记录,得出播种深度、施肥深度、种肥垂直间距的合格率分别为 93.0%、93.6% 和 85.4%,苗带宽度的合格率为 94.5%。其余各项测试结果如表 2 所示。

表 2 测试结果
Tab.2 Test results

项目	行 数	测定值		实测 平均值	标准 差	变异 系数/%
		预计值	实测值			
施肥深度/cm	1	12	11.8			
	2	12	12.3	11.87	0.33	2.8
	3	12	11.5			
播种深度/cm	1	4	4.2			
	2	4	4.7	4.5	0.21	4.7
	3	4	4.6			
种肥垂直间 距/cm	1	8	7.5			
	2	8	8.3	7.8	0.43	5.3
	3	8	8.5			
苗带宽度/cm	1	12	11.3			
	2	12	11.7	11.83	0.50	4.2
	3	12	12.5			
施肥量/ (kg·hm ⁻²)	1	675	663			
	2	675	654	657.9	3.74	0.6
	3	675	657			
播种量/粒	1	100	98			
	2	100	102	99.67	1.67	1.7
	3	100	99			

由测试结果可以看出,在本次试验地进行作业,测得施肥深度平均值为 11.87 cm,播种深度平均值为 4.5 cm,苗带宽度平均值为 11.83 cm。因为施肥深度只受开沟深度的影响,因此变异系数较小,为

2.8%,而播种深度受旋耕灭茬质量和覆土质量两个因素的影响,所以其变异系数相对较大,为 4.7%,苗带宽度受到种床环境和覆土质量的影响,因此变异系数也相对较大,为 4.2%;播种量和施肥量的测试结果均与预期设计值相差较小,符合设计要求。影响施肥量和播种量的因素有机械式外槽轮排种/肥器转速和输送种/肥气流的稳定性等,从测试结果得出施肥量和播种量的变异系数均较低,分别为 0.6% 和 1.7%,反映出排种/肥系统的工作质量较高。

4 结论

(1)针对山东省土地经营模式的转变,小麦玉米一年两熟的轮作制度导致小麦播种时间紧张且现有机械工作效率低、传统气力输送式排种器排种施肥分配不均匀,无法形成宽苗带播种、传统覆土装置覆土不均匀等问题设计了小麦气力式高效免耕精量施肥播种机。

(2)设计了集排式气流排种/肥装置,该装置利用同一风道对排出的种子和肥料进行同时输送,在保证种/肥同步的同时又提高了排种/肥的效率及其均匀性;利用燕尾槽式布种器,达到了宽苗带边疏中密的播种效果;采用了反向覆土装置,既保证了覆土均匀性,又在一定程度上提高了播种深度的均匀性;整机在山东省淄博市张店区南定镇崔军村进行了田间测试。

(3)通过了山东省农业机械科学研究院检测鉴定中心鉴定。其检测结果表明,机具通过性良好,播种深度合格率、施肥深度合格率以及种肥垂直间距合格率分别为 93.0%、93.6% 和 85.4%,变异系数分别为 4.7%、2.8%、5.3%;平均苗带宽度为 11.83 cm,合格率为 94.5%,变异系数为 4.2%,各项指标与理论设计差异较小且符合农艺要求。

参 考 文 献

1 刘旭波,夏会香. 小麦种植技术的创新性研究[J]. 吉林农业,2018(13):39.

2 张玉. 浅析小麦种植技术推广意义及有效途径[J]. 种子科技,2018,36(5):25.

3 余松烈. 冬小麦精播高产栽培[J]. 山东农学院学报,1980(2):1-13.

4 刘立晶,刘忠军,杨学军,等. 气力输送式小麦免耕播种机设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(2):54-57.

LIU Lijing,LIU Zhongjun,YANG Xuejun,et al. Design and test on pneumatic no-till wheat planter[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(2):54-57. (in Chinese)

5 MATTHEWS J. Broadcast sowing,crop row spacing and crop density for the suppression of ryegrass in wheat rotations[C]//13th Australian Weeds Conference,2002:709-711.

6 牛琪,王庆杰,陈黎卿,等. 秸秆后覆盖小麦播种机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(11):52-59. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171107&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.007.

NIU Qi,WANG Qingjie,CHEN Liqing,et al. Design and experiment on straw post-covering wheat planter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(11):52-59. (in Chinese)

7 李朝苏,汤永禄,吴春,等. 播种方式对稻茬小麦生长发育及产量建成的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(18):36-43.

LI Chaosu,TANG Yonglu,WU Chun,et al. Effect of sowing patterns on growth,development and yield formation of wheat in rice

- stubble land[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering,2012,28(18):36-43. (in Chinese)
- 8 祁兵. 中央集排气送式精量排种器设计与试验研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
QI Bing. Design and experiment of a centralized pneumatic metering device[D]. Beijing:China Agricultural University,2014. (in Chinese)
- 9 耿端阳,何珂,杜瑞成,等. 气力输送式免耕深松施肥播种机:中国,CN106304872A[P]. 2017-01-11.
- 10 王孙. 基于 CFD-DEM 耦合的小区收割机气流清选装置的设计研究[D]. 成都:西华大学,2015.
WANG Sun. Research on airflow cleaning device used on plot wheat combine harvester[D]. Chengdu:Xihua University,2015. (in Chinese)
- 11 邢金龙. 基于 CFD-DEM 耦合的气流一阶集排式排种系统仿真与试验[D]. 昆明:昆明理工大学,2017.
XING Jinlong. Simulation and test of one-step centralized pneumatize seeding system based on CFD-DEM coupling method[D]. Kunming:Kunming University of Science and Technology,2017. (in Chinese)
- 12 连学通. 气力输送系统及其设备的研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2009.
LIAN Xuetong. The research of pneumatic conveying system and its device[D]. Hefei:Hefei University of Technology,2009. (in Chinese)
- 13 张文海. 对风机风量计算公式的认识[J]. 微电机,2007,40(10):82-83.
- 14 孙冶,蔡立军. 气力输送用离心通风机与罗茨鼓风机的选型比较[J]. 风机技术,2010(1):22.
SUN Ye,CAI Lijun. The selection and comparison of centrifugal fan and roots blower for pneumatic conveying[J]. Compressor Blower & Fan Technology,2010(1):22. (in Chinese)
- 15 苏伟,武昌晶,于建奇,等. 旋风分离器的气相流场的性能分析及数值模拟[J]. 机械制造与自动化,2017,46(3):161-163.
SU Wei,WU Jingjing,YU Jianqi,et al. Performance analysis and numerical simulation of gas flow field in cyclone[J]. Mechanical Manufacture and Automation,2017,46(3):161-163. (in Chinese)
- 16 MAREK W. Analysis of the effect of counter-cone location on cyclone separator efficiency[J]. Separation and Purification Technology,2017,179:236-247.
- 17 徐洋洋. 旋风分离器数值模拟分析与优化设计研究[D]. 成都:西南石油大学,2017.
- 18 郭建军,刘文生. 旋风分离器的设计方法[J]. 煤矿现代化,2012(5):54-55.
- 19 曹素红,康惠宝. 旋风分离器设计方法的研究[J]. 广东化工,2007(4):88-89,102.
CAO Suhong,KANG Huibao. Research on design method of cyclone separator[J]. Guangdong Chemical Industry,2007(4):88-89,102. (in Chinese)
- 20 刁培松,杜瑞成,李复辉,等. 小麦深松免耕施肥播种机的研制[J]. 农机化研究,2013,35(11):103-106.
DIAO Peisong,DU Ruicheng,LI Fuhui,et al. Development of wheat subsoiling and no-tillage fertilization planter[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2013,35(11):103-106. (in Chinese)
- 21 王志伟,张银平,刁培松,等. 小麦深松分层施肥宽苗带免耕播种机的设计与试验[J]. 农机化研究,2018,40(6):102-106.
WANG Zhiwei,ZHANG Yinping,DIAO Peisong,et al. Design and experiment on wheat precision no-tillage planter with subsoiling layered fertilization and wide seedling[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2018,40(6):102-106. (in Chinese)
- 22 刁怀龙,张银平,刁培松,等. 基于 EDEM 的小麦宽苗带深松免耕播种机设计与试验[J]. 农机化研究,2017,39(1):58-62.
DIAO Huailong,ZHANG Yinping,DIAO Peisong,et al. Design and experiment of a no-tillage and wide band wheat planter with subsoilers based on EDEM[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2017,39(1):58-62. (in Chinese)
- 23 张银平,杜瑞成,刁培松,等. 正反转组合式水稻宽苗带灭茬播种机设计与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(3):7-13.
ZHANG Yinping,DU Ruicheng,DIAO Peisong,et al. Design and experiment of wide band seeding rice seeder with reversed stubble cleaning and anti-blocking[J]. Transactions of the CSAE,2017,33(3):7-13. (in Chinese)
- 24 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007:235-243.
- 25 胡红,李洪文,李传友,等. 稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2016,32(4):24-32.
HU Hong,LI Hongwen,LI Chuanyou,et al. Design and experiment of broad width and precision minimal tillage wheat planter in rice stubble field[J]. Transactions of the CSAE,2016,32(4):24-32. (in Chinese)
- 26 朱惠斌,李洪文,何进,等. 稻茬地双轴驱动防堵式小麦免耕播种机[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(6):39-44. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130608&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.06.008.
ZHU Huibin,LI Hongwen,HE Jin,et al. No-till wheat seeder with two-axel drive anti-blocking in rice stubble field[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(6):39-44. (in Chinese)