

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.09.002

吾斯曼·吾木尔, 如山古丽·吾斯曼, 阿拉法特·买尔旦, 等. 玉米精量播种机排种器关键部件延寿降本优化研究[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(9): 08-14

Wusiman Wumuer, Rushanguli Wusiman, Alafate Maerdan, et al. Study on optimization of life extension and cost reduction of key components of seed discharger of corn precision planter [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(9): 08-14

玉米精量播种机排种器关键部件延寿降本优化研究*

吾斯曼·吾木尔¹, 如山古丽·吾斯曼², 阿拉法特·买尔旦³, 沙塔尔·司马义⁴

(1. 新疆社会科学院农村发展研究所, 乌鲁木齐市, 830011; 2. 新疆社会科学院经济研究所, 乌鲁木齐市, 830011; 3. 新疆交通职业技术学院机电工程学院, 乌鲁木齐市, 831401; 4. 新疆鄯善县惠民农业研究咨询服务站, 新疆吐鲁番, 838011)

摘要:为合理优化玉米精量播种机关键部件结构, 延长机具使用寿命, 降低维修成本, 以排种器中关键部件支撑盘为研究对象, 对其尺寸参数进行设计, 通过有限元法分析其静力学特性、固有频率及振型特征。以支撑盘前两阶模态固有频率为指标, 以支撑盘外边缘直径、支撑盘整体厚度、外边缘厚度为因素进行三因素三水平正交试验。最终分析得到优化后的最低固有频率为52.456 Hz, 大于外界激励频率范围1~33 Hz, 优化后的最大振幅由5.847 3 mm降为3.685 9 mm, 有效避免共振干扰; 试制样机进行台架疲劳试验, 最终得到支撑盘的平均使用寿命为213 h, 满足标准要求。为播种机的关键部件延寿降本优化提供理论参考。

关键词:玉米精量播种机; 排种器; 有限元分析; 固有频率; 结构优化

中图分类号: S223.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553 (2024) 09-0008-07

Study on optimization of life extension and cost reduction of key components of seed discharger of corn precision planter

Wusiman Wumuer¹, Rushanguli Wusiman², Alafate Maerdan³, Satar Simayi⁴

(1. Institute of Rural Development, Xinjiang Academy of Social Sciences, Urumqi, 830011, China; 2. Economic Research Institute, Xinjiang Academy of Social Sciences, Urumqi, 830011, China; 3. School of Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Vocational & Technical College of Communications, Urumqi, 831401, China; 4. Huimin Agricultural Research and Advisory Service Station of Shanshan, Xinjiang, Turpan, 838011, China)

Abstract: In order to reasonably optimize the structure of key components of corn precision seeder, prolong the service life of the machine and reduce the maintenance cost, the key component of the support disc in the seed releaser was designed with its parameters and dimensions, and its static characteristics, inherent frequency and vibration characteristics were analyzed by the finite element method. With the natural frequencies of the first two modes of the support disc as the index, the three-factor and three-level orthogonal tests were carried out with the diameter of the outer edge of the support disc, the overall thickness of the support disc and the thickness of the outer edge as the factors. The final analysis shows that the optimized minimum inherent frequency is 52.456 Hz, which is greater than the external excitation frequency range of 1-33 Hz, and the optimized maximum amplitude is reduced from 5.847 3 mm to 3.685 9 mm, which reasonably avoids the resonance interference, the trial prototype is subjected to bench fatigue test, and the average service life of the support disk is 213 h, which meets the standard requirements. It provides theoretical reference for the optimization of life extension and cost reduction of key components of the seeding machine.

Keywords: corn precision planter; seed-metering device; finite element analysis; fixed frequency; structural optimization

收稿日期: 2023年7月3日 修回日期: 2023年8月13日

* 基金项目: 新疆维吾尔自治区党委农办“三农”问题项目(2021-SNKT-06)

第一作者: 吾斯曼·吾木尔, 男, 1985年生, 新疆吐鲁番人, 博士, 副研究员; 研究方向为农业机械推广。E-mail: 1499869343@qq.com

0 引言

玉米作为经济、粮食、饲料兼用的作物,在我国农业经济体系中占据重要地位,其种植面积占我国粮食总播种面积的 37%^[1]。精量播种技术因其节本增效、合理利用资源等优点,在玉米种植过程中得到广泛使用,玉米精量播种机作为实现这一技术的重要农用机械,经过多年来国内外学者的研究,已延伸发展形成多种机型,如指夹式、舀勺式、夹持式等^[2-5]。现有机型虽然已基本满足玉米播种农艺使用需求,但仍存在结构可靠性差、部件易损、寿命较低以及更换成本相对较高的缺点^[6-9],因此结合实际使用环境针对播种机关键部件进行结构优化,是提高精量播种机排种器寿命、降低成本的重要途径。

为优化播种机的整体作业性能,近年来相关学者进行了大量研究。谢善亮等^[10]通过对玉米播种机机架进行有限元分析,得到了机架的载荷分布规律及屈服强度,为播种机机架的优化提供了依据;张印^[11]针对玉米播种机受地面激励的振动特性展开研究,提出一种降低播种机振动的有效措施;刘泽松等^[12]采用有限元法对播种机机架进行轻量化设计,使机架的重量有效减少 27.4%。由此可见,目前对于播种机的结构优化已初见成效,但仍多以播种机整体结构及支架为对象进行的研究,而对于排种器的相关结构优化研究鲜有报道,排种器作为播种机的关键部件,作业过程中直接与地面接触,同时受地面及播种机其他接触部件的共同作用,其可靠性及稳定性直接决定了播种机的使用性能。

针对这一问题,本文以玉米精量播种机排种器内部关键部件支撑盘为研究对象展开研究,采用有限元法对其载荷分布规律及共振阶进行分析,以对其结构进行优化^[13-15],并通过疲劳试验验证优化结果的合理性及可行性。

1 排种器结构及工作原理

1.1 排种器结构

玉米精量排种器主要由挡盘、支撑盘、压盘、取投种模块、轴等组成,如图 1 所示。其中龙骨条装于支撑盘内侧,支撑盘通过卡槽与取投种模块配合安装,左右压盘通过螺栓对排种器进行压装固定,各部件相互配合安装,组成排种器整体。

1.2 排种器工作原理

如图 2 所示,支撑盘在排种器内部起到支撑作用的同时将排种器分为左右 A、B 两室,播种作业时,播种机定速前进,排种器在播种机的牵引下随地形滚动,此时玉米种在导种管的导向作用下进入 A 室,形成自转种群,此时位于 B 室中的驱动杆在龙骨条的作用下

发生不同角度偏转,带动 A 室中的取种勺在固定位置开启和关闭,从而完成取种和投种的过程。

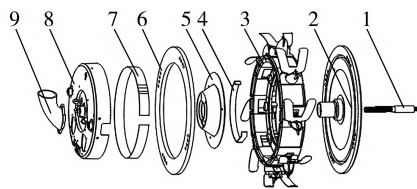


图 1 排种器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the seed discharger structure

- 1.轴 2.右压盘 3.取投种模块 4.龙骨条 5.支撑盘
- 6.左压盘 7.钢圈 8.挡盘 9.导种管

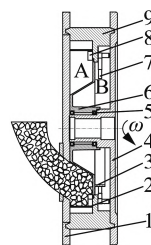


图 2 支撑盘安装剖视图

Fig. 2 Cutaway view of support plate installation

- 1.左压盘 2.钢圈 3.龙骨条 4.右压盘 5.滚动轴承
- 6.支撑盘 7.驱动杆 8.取种勺 9.模块单体

1.3 支撑盘参数设计

由农业机械设计^[16-18]及上述工作原理可知,支撑盘是排种器内部的重要支撑部件,其参数与排种器整体尺寸有关,为减小支撑盘对种子的损伤,将其设计为圆台状,其结构如图 3 所示。

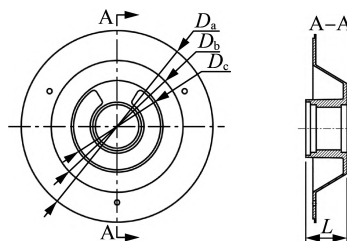


图 3 支撑盘结构

Fig. 3 Structure of support plate

其中,支撑盘外径 D_a 是支撑盘的基础尺寸参数,其大小影响了排种器整体尺寸及单次排种作业时间,当排种器前进速度一定时,适当增加排种器直径可有效延长单次作业时间,提高充种效果;但当排种器穴数一定时,直径越大,株距越长,无法满足密植要求。为研究排种器直径对于一次作业时间的影响,建立充种作业时 t_0 关于排种器尺寸的方程为

$$\begin{cases} t_0 = \frac{r_0}{\omega} \\ \omega = \frac{\pi n}{30} \\ r = \frac{\varphi \pi}{180} \end{cases} \quad (1)$$

式中： ω ——排种器角速度，rad/s；
 r_0 ——相邻排布取种勺对应弧度，rad；
 φ ——相邻取种勺对应角度，(°)；
 n ——排种器转速，r/min。

式(1)整理后可得

$$t_0 = \frac{\varphi}{6n} \quad (2)$$

$$n = \frac{60v_c}{N_0 l_0} \quad (3)$$

式中： v_c ——排种器滚动线速度，m/s；

N_0 ——排种器穴数；

l_0 ——相邻排布取种勺对应弧长，m。

将式(3)代入式(2)可得

$$t = \frac{N_0 l_0 \varphi}{360 v_c} = \frac{N_0 \varphi^2 R_0}{360 v_c} \quad (4)$$

式中： R_0 ——取种勺分布半径，m。

由式(4)可知，当排种器前进速度一定时，排种器充种时长与排种器穴数和直径有关，当穴数一定时，排种器直径越大，充种时间越长，但过大的直径不易于播种机机架的适配性以及不同类型排种器之间通用件的互换性，结合市场上现有机械式排种器外形尺寸，设定支撑盘外径 D_a 为230 mm，中径 D_b 为155 mm，内径 D_c 为110 mm，厚度 L 为50 mm。

2 支撑盘有限元分析

在播种过程中，排种器直接与地面接触滚动，受自身机械结构及地面平整度的共同影响，会产生大量载荷及振动，支撑盘是排种器内部重要支撑部件，其自身稳定性对于取投种模块的回转运动平稳性具有重要作用，通过有限元法对支撑盘的静力学和模态进行分析，进而得到支撑盘的静态及动态特性，以及其载荷分布规律、固有频率和振型特征，通过分析最大变形状态进而判断支撑盘强度是否满足玉米种植需求。

2.1 静力学分析

2.1.1 分析前处理

通过三维建模软件SolidWorks对支撑盘进行建模并保存为中间格式.x_t导入到ANSYS WorkBench软件，设置支撑盘材料为Q235，对应输入其材料特性如表1所示。

表1 支撑盘材料属性

Tab. 1 Support plate material properties

参数	数值
密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	7 850
弹性模量/Pa	2.1×10^{11}
泊松比	0.3
抗拉强度/MPa	390
屈服应力/MPa	235

在Mechanical application中进行网格划分，得到网格节点数为17 672个，网格数为9 112个，如图4所示。

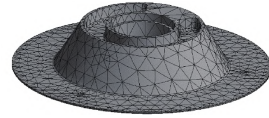


图4 前处理模型

Fig. 4 Pre-processing model

2.1.2 施加载荷

通过对支撑盘的安装位置及安装方式进行分析可知，支撑盘主要受排种器轴的径向约束及挡盘的轴向约束，因此在支撑盘内壁及卡槽处添加固定约束；在播种过程中支撑盘主要受取投种模块单体对其产生的压力载荷，因此在支撑盘外源加载0.015 MPa的均布载荷边界，模拟实际工况，如图5所示。

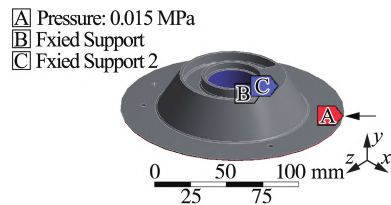


图5 施加载荷情况

Fig. 5 Applied load condition

2.1.3 后处理分析及结论

经过计算处理后得到支撑盘总变形云图及应力云图如图6、图7所示。

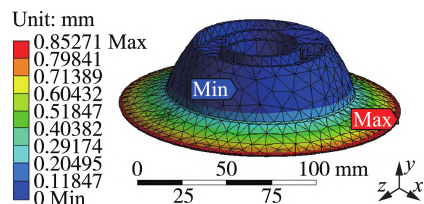


图6 总变形云图

Fig. 6 Total deformation cloud map

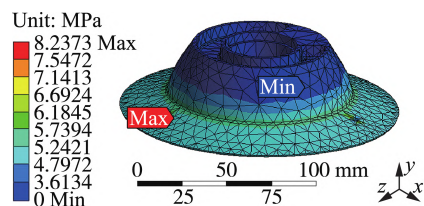


图7 应力云图

Fig. 7 Stress cloud diagram

由图6、图7可知，排种器支撑盘的载荷分布较为规律且形变均匀，最大形变量发生于支撑盘外边缘，其值为0.852 71 mm，最大应力位于龙骨条安装孔处，其值为8.237 3 MPa，小于支撑盘所选用材料Q235的屈服强度，故排种器支撑盘的结构设计满足强度使用需求。

2.2 模态分析

因排种器直接与地面接触滚动，受其工作方式及地面平整度影响，在作业过程中会产生大量振动，为探明支

撑盘的振动特性,取其前 6 阶模态中的固有频率及最大形变进行分析,如表 2 所示,形变云图如图 8 所示。

表 2 各阶模态固有频率及振型特征

Tab. 2 Inherent frequency and vibration characteristics of each order of mode

阶数	固有频率/Hz	最大振幅/mm	振型特征
1	31.462	5.847 3	支撑盘整体轻微扭转变形
2	32.697	5.338 5	支撑盘边缘轻微弯曲变形
3	45.134	0.948 1	支撑盘边缘弯曲变形
4	54.423	0.842 6	支撑盘边缘弯曲变形
5	62.485	0.639 4	支撑盘边缘弯曲变形
6	72.993	0.399 7	支撑盘整体扭转变形

由表 2 可知,作业过程中,排种器支撑盘的最大振幅发生于前两阶振型中,其对应固有频率分别为

31.462 Hz 及 32.697 Hz,对应的最大振幅分别为 5.847 3 mm 及 5.338 5 mm,其振型特征为支撑盘的扭转及弯曲变形,此类变形易导致排种器转动受阻,影响作业效果。在播种作业过程中,排种器转速及拖拉机前进速度产生的激励频率

$$f = \frac{n_0}{60} \tag{5}$$

式中： n_0 ——转速,r/min。

在播种作业过程中,排种器转速通常为 10~60 r/min,其对应最大频率为 1 Hz;播种作业拖拉机转速为 1 500~2 000 r/min,对应最大频率为 33 Hz;地面的激励频率约为 3 Hz。因此外界对于排种器的激励频率为 1~33 Hz,由表 2 可知,支撑盘的前两阶固有频率位于此范围之内,因此为避免发生共振,需对支撑盘结构进行优化。

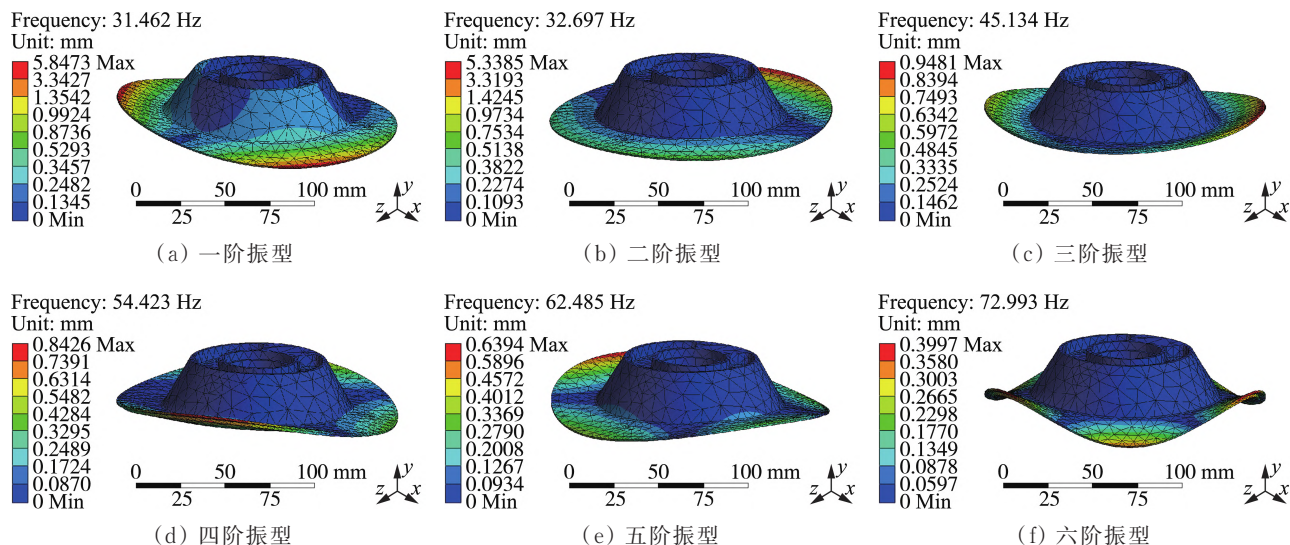


图 8 支撑盘前六阶振型云图

Fig. 8 Cloud diagram of the 6th order vibration pattern before the support disk

3 支撑盘结构优化

1) 正交试验。由前文分析可知,排种器支撑盘的一、二阶固有频率处于外界激励频率范围之内,因此需通过对支撑盘结构参数进行优化以提高其一、二阶对应频率,使其满足使用需求,避免共振。因此根据理论分析,取排种器支撑盘一、二阶固有频率为试验指标,取支撑盘外边缘直径、支撑盘整体厚度、外边缘厚度为因素进行三因素三水平正交试验,对试验结果进行优化,选取较优参数组合值,各因素对应水平值如表 3 所示。

根据试验方案开展正交试验^[19],每次进行 9 组试验,通过 Ansys Workbench 软件分别计算各组对应的一、二阶固有频率,在正交试验设计表中加入一空白列,建立

$L_9(3^3)$ 正交试验表,结果如表 4 所示,其中 A、B、C 为因素编码值。对试验结果进行方差分析见表 5。

表 3 试验水平和因素

Tab. 3 Experimental factors and levels mm

水平	因素		
	外边缘直径	整体厚度	外边缘厚度
1	225	45	2
2	230	50	3
3	235	55	4

由表 4 和表 5 可知,排种器支撑盘一、二阶固有频率正交试验结果显著,其中一阶固有频率范围为 42.391~50.818 Hz,二阶固有频率范围为 44.405~53.005 Hz,各因素对于一、二阶固有频率的最优参数组合为 $A_2B_2C_1$,即支撑盘外边缘直径 230 mm,整体厚度 50 mm,外边缘厚度 3 mm。

表 4 试验方案与结果

Tab. 4 Experimental scheme and results

序号	试验因素				一阶固有频率/Hz	二阶固有频率/Hz
	A	B	C	空列		
1	1	1	1	1	47.832	49.847
2	1	2	2	2	48.611	50.575
3	1	3	3	3	47.590	49.603
4	2	1	2	3	49.509	50.968
5	2	2	3	1	50.818	53.005
6	2	3	1	2	50.382	52.412
7	3	1	3	2	42.391	44.405
8	3	2	1	3	45.473	47.469
9	3	3	2	1	43.292	45.301
$(k_1)_1$	48.011	46.577	47.896	47.314		
$(k_1)_2$	50.236	48.301	47.137	47.128		
$(k_1)_3$	43.719	47.088	46.933	47.524		
R_1	6.517	1.724	0.963	0.396		
因素主次:A>B>C						
$(k_2)_1$	50.008	48.407	49.909	49.384		
$(k_2)_2$	52.128	50.350	48.948	49.131		
$(k_2)_3$	45.725	49.105	49.004	49.347		
R_2	6.403	1.943	0.961	0.253		
因素主次:A>B>C						

2) 优化结果验证。为验证优化结果的合理性, 对调整后的三维模型重新进行有限元分析, 其中静力学分析如图 9、图 10 所示。优化后的支撑盘最大形变量仍位于外边缘处, 其值为 0.839 28 mm, 最大应力同样位于龙骨条安装孔处, 其值为 7.304 1 MPa, 满足材料许用强度。

对优化后的结构进行模态分析, 结果如图 11 所示。由图 11 可知, 优化后的排种器支撑盘前两阶固有

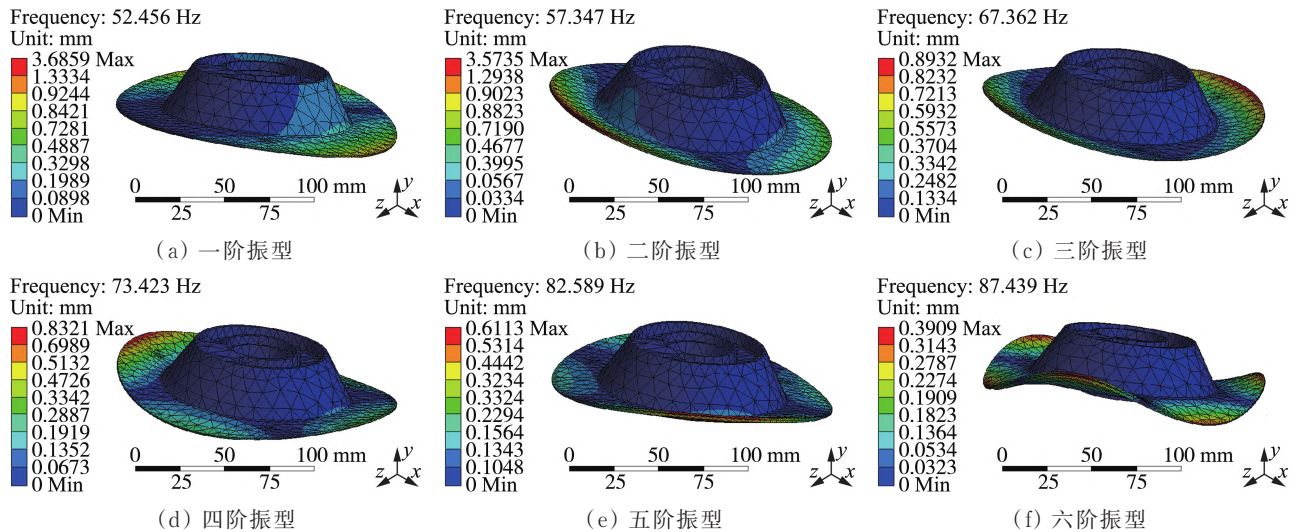


图 11 优化后支撑盘前六阶振型云图

Fig. 11 Optimized 6th order oscillation cloud before support disc

频率分别为 52.456 Hz、57.347 Hz, 避免了 1~33 Hz 的外界激励频率范围, 防止共振现象产生, 且最大振幅由 5.847 3 mm 降为 3.685 9 mm, 工作过程更为稳定。

表 5 方差分析

Tab. 5 Variance analysis

指标	方差来源	平方和	自由度	均方	F	显著性
一阶固有频率	A	64.399	2	32.199	269.365	**
	B	4.679	2	2.339	18.447	*
	C	1.474	2	0.737	5.376	
	误差	0.238	2	0.119		
	总和	70.79	8			
二阶固有频率	A	59.473	2	29.736	259.277	**
	B	4.553	2	2.276	17.396	*
	C	1.390	2	0.695	4.299	
	误差	0.242	2	0.121		
	总和	65.658	8			

注: *为显著, **为极其显著。

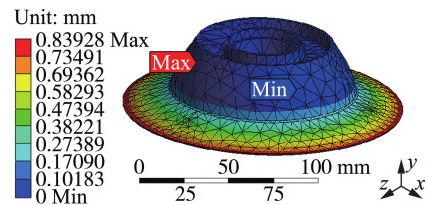


图 9 优化后总变形云图

Fig. 9 Total deformation cloud after optimization

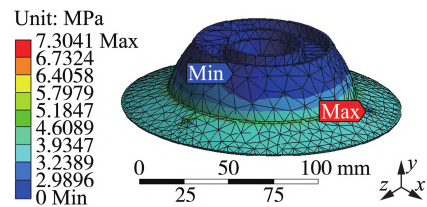
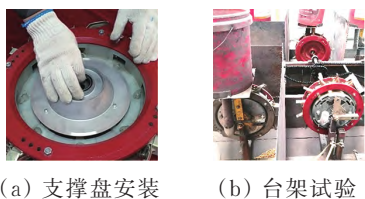


图 10 优化后应力云图

Fig. 10 Optimized stress cloud

4 验证试验

为验证有限元仿真结果的合理性,对支撑盘进行安装并进行台架疲劳试验,试验时为模拟田间真实作业环境、缩短试验时长,在排种器内部种群中混入粒径为0.25~0.35 mm细沙,试验过程如图12所示。



(a) 支撑盘安装 (b) 台架试验

图12 台架疲劳试验

Fig. 12 Bench fatigue test

试验分3组同时进行,在排种器转动平稳、未出现明显异响的前提下,每间隔4 h进行停机观察,当支撑盘出现明显磨损、变形时停止试验,并记录此次运转时长,最终试验结果如表6所示。

表6 耐磨疲劳试验结果

Tab. 6 Wear resistance fatigue test results

试验号	作业时长/h	失效形式
1	216	支撑盘外边缘磨损
2	228	支撑盘盘面磨损
3	196	支撑盘微曲变形
平均值	213	

由表6可知,玉米精量排种器支撑盘的平均耐磨寿命为213 h,通过参考相关标准JB/T 9783—2013《播种机外槽轮排种器》^[20],验证此排种器的零部件强度可满足实际作业使用要求。

5 结论

为合理优化播种机关键部件结构,有效延长播种机使用寿命,提升播种机作业性能,本文以排种器中关键部件支撑盘为研究对象,通过ANSYS Workbench软件对其进行有限元分析并通过试验验证仿真结果的合理性。

1) 以玉米精量排种器整体尺寸为基础对排种器关键部件支撑盘尺寸进行设计,得到支撑盘外径为230 mm、中径155 mm、内径110 mm、厚度50 mm,对支撑盘进行有限元静力学分析和模态分析,最终得到支撑盘静力学强度满足要求,但位于共振范围内。

2) 为避免共振现象出现,以支撑盘前两阶模态固有频率为指标,以支撑盘外边缘直径、支撑盘整体厚度、外边缘厚度为因素进行三因素三水平正交试验,对试验结果进行优化,选取较优参数组合值,最终分析得到优化后的最低固有频率为52.456 Hz,大于外界激

励频率范围,有效避免共振现象发生。

3) 对参数优化后的支撑盘装配后进行台架疲劳试验,最终得到支撑盘的平均使用寿命为213 h,满足标准要求。

参 考 文 献

- [1] 李玉环,杨丽,张东兴,等. 气吸式玉米精量排种器双侧清种装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(7): 29—39.
Li Yuhuan, Yang Li, Zhang Dongxing, et al. Design and test of double-side cleaning mechanism for air-suction maize seed-metering device [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(7): 29—39.
- [2] 李洪昌,高芳,赵湛,等. 国内外精密排种器研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2): 12—16, 56.
Li Hongchang, Gao Fang, Zhao Zhan, et al. Domestic and overseas research status and development trend of precision seed-metering device [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(2): 12—16, 56.
- [3] 王耀凤,褚春年,郭变梅,等. 玉米免耕深松多层施肥精量播种机械化技术试验研究[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(2): 32—36.
Wang Yaofeng, Chu Chunian, Guo Bianmei, et al. Experimental research on the mechanized technology of maize no-tillage & deep loosening multilayer fertilization sowing and seeding [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(2): 32—36.
- [4] 李兆东,何顺,钟继宇,等. 油菜扰动气力盘式穴播排种器参数优化与试验[J]. 农业工程学报, 2021, 37(17): 1—11.
Li Zhaodong, He Shun, Zhong Jiyu, et al. Parameter optimization and experiment of the disturbance pneumatic plate hole metering device for rapeseed [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(17): 1—11.
- [5] 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.
- [6] 李玉环,杨丽,张东兴,等. 气吸式玉米高速精量排种器直线投种过程分析与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(9): 26—35.
Li Yuhuan, Yang Li, Zhang Dongxing, et al. Analysis and test of linear seeding process of maize high speed precision metering device with air suction [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(9): 26—35.
- [7] 史嵩,张东兴,杨丽,等. 气压组合孔式玉米精量排种器

- 设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 10-18.
- Shi Song, Zhang Dongxing, Yang Li, et al. Design and experiment of pneumatic maize precision seed-metering device with combined holes [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(5): 10-18.
- [8] 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.
- Yuan 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.
- [9] 杨丽, 颜丙新, 张东兴, 等. 玉米精密播种技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2016, 47(11): 38-48.
- Yang Li, Yan Bingxin, Zhang Dongxing, et al. Research progress precision planting technology of maize [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 38-48.
- [10] 谢善亮, 李永奎. 基于SolidWorks的玉米免耕播种机机架有限元分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2013, 44(4): 453-456.
- Xie Shanliang, Li Yongkui. Finite element analysis on the frame of corn no-till planter based on SolidWorks [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2013, 44(4): 453-456.
- [11] 张印. 气力式玉米免耕播种机振动特性分析与优化设计[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2022.
- Zhang Yin. Vibration characteristics analysis and optimization design of pneumatic no-tillage corn planter [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2022.
- [12] 刘泽松, 王浩屹, 李骅, 等. 基于有限元的大蒜播种机机架轻量化设计[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(1): 27-32.
- Liu Zesong, Wang Haoyi, Li Hua, et al. Lightweight design of a garlic planter frame based on finite element method [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(1): 27-32.
- [13] 刘双喜, 徐春宝, 张宏建, 等. 果园开沟施肥机机架优化设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(S1): 113-122.
- Liu Shuangxi, Xu Chunbao, Zhang Hongjian, et al. Optimization design and experiment for rack of orchard ditching-fertilizer machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(S1): 113-122.
- [14] 李成华, 夏建满, 何波, 等. 倾斜圆盘勺式精密排种器清种过程分析与试验[J]. 农业机械学报, 2004(3): 68-71.
- [15] Singh R C, Singh G, Saraswat D C. Optimisation of design and operational parameters of a pneumatic seed metering device for planting cottonseeds [J]. Biosystems Engineering, 2005, 92(4): 429-438.
- [16] 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [17] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(下册)[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [18] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [19] 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [20] JB/T 9783-2013, 播种机外槽轮排种器[S].
- (上接第7页)
- [5] 王后新, 吴彦强, 李天华, 等. 我国大葱收获机械及关键技术研究现状[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(8): 67-71.
- Wang Houxin, Wu Yanqiang, Li Tianhua, et al. Research status of green Chinese onion harvesting machinery and key technologies in China [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(8): 67-71.
- [6] 李青江, 闵令强, 孙志民, 等. 4CX-1型大葱收获机的优化设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2013, 51(8): 63-67.
- Li Qingjiang, Min Lingqiang, Sun Zhimin, et al. Optimization design of 4CX-1 scallion harvesting machine [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2013, 51(8): 63-67.
- [7] 袁永伟, 弋景刚, 吴红雷, 等. 多功能农用底盘结构设计及关键技术研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(13): 173-176.
- Yuan Yongwei, Yi Jinggang, Wu Honglei, et al. Research on the structure design and key technology of multifunctional agricultural chassis [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(13): 173-176.
- [8] 孙逢春, 史青录, 翟丽, 等. 履带式车辆接地比压在斜坡转向时的变化分析[J]. 农业机械学报, 2006(5): 14-18.
- [9] JB/T 6682-1993, 谷物联合收割机橡胶履带系列参数[S].
- [10] 陈志. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业机械科学技术出版社, 2007.
- [11] 贾智博. 大葱茎秆力学特性测试系统的设计与试验[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
- [12] 李艳聪, 卫勇, 李继明, 等. 大葱力学特性试验研究[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(8): 73-76.
- Li Yancong, Wei Yong, Li Jiming, et al. Experimental study on mechanical properties of scallion [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(8): 73-76.
- [13] 刘学峰, 张军强, 刘学申, 等. 4CZ-1型大葱联合收获机液压系统设计研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(9): 118-123.
- Liu Xuefeng, Zhang Junqiang, Liu Xuechuan, et al. Design and research of hydraulic system for 4CZ-1 onion combined harvester [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(9): 118-123.
- [14] T/NJ 1110-2018, 自走式大葱收获机[S].