

小区收获种质玉米脱粒机设计

杨立权¹, 强哲¹, 齐建豪¹, 朱晨辉², 吕青青^{1*}, 冯柯鑫¹, 刘晓东¹, 张贺¹

¹平顶山学院, 河南省超声技术应用工程研究中心, 河南 平顶山

²河南农业大学机电工程学院, 河南 郑州

收稿日期: 2024年11月15日; 录用日期: 2024年12月12日; 发布日期: 2024年12月20日

摘要

在现有的玉米脱粒机中, 大多数都是针对商业生产场地而设计, 过于笨重、昂贵并且需要耗费大量的电力。本研究致力于设计一种高效、低成本的小区种质玉米脱粒机。该玉米脱粒机设计致力于解决小型玉米种植场地的实际问题, 为农民们提供一种更加经济实用的解决方案。在设计脱粒机时, 考虑了多个因素, 如处理速度、能量效率、成本和可持续性等。从这些方面考虑后, 本装置的设计理念是将传统的脱粒机设备放大, 适应小型种植场地的要求。该玉米脱粒机设计采用了一系列先进的传动系统, 以有效控制磨损和精度方面的问题。在脱粒机的处理区域, 采用了一种新颖的、适用于种质玉米的凹槽装置。凹槽设计能够减少零部件之间的磨损, 从而延长脱粒机的使用寿命。

关键词

玉米脱粒机, 凹槽装置, 小区种质, 效率

Design of Thresher for Harvesting Germplasm Corn in Small Area

Liquan Yang¹, Zhe Qiang¹, Jianhao Qi¹, Chenhui Zhu², Qingqing Lyu^{1*}, Kexin Feng¹, Xiaodong Liu¹, He Zhang¹

¹Henan Province Engineering Research Center of Ultrasonic Technology Application, Pingdingshan University, Pingdingshan Henan

²School of Mechanical and Electrical Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan

Received: Nov. 15th, 2024; accepted: Dec. 12th, 2024; published: Dec. 20th, 2024

Abstract

Most of the existing corn shulers, designed for commercial production sites, are bulky, expensive and require a lot of electricity. The aim of this study is to design an efficient and low-cost corn sheller

*通讯作者。

文章引用: 杨立权, 强哲, 齐建豪, 朱晨辉, 吕青青, 冯柯鑫, 刘晓东, 张贺. 小区收获种质玉米脱粒机设计[J]. 农业科学, 2024, 14(12): 1438-1446. DOI: 10.12677/hjas.2024.1412182

for small area germplasm. The corn thresher is designed to solve the practical problems of small-scale corn growing sites, providing farmers with a more economical and practical solution. When designing the threshing machine, several factors were considered, such as processing speed, energy efficiency, cost, and sustainability, among others. With these aspects in mind, the design concept of this unit is to scale up the traditional thresher equipment and adapt it to the requirements of small planting sites. The corn thresher is designed with a range of advanced drive systems to effectively control wear and accuracy issues. In the treatment area of the threshing machine, a novel groove device suitable for germplasm corn is used. The groove design can reduce wear between parts, thus extending the service life of the thresher.

Keywords

Corn Sheller, Fluting Device, Cell Germplasm, Efficiency

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前中国的农业机械化水平越来越高，玉米脱粒机也在不断地进行改进和优化。研究方向主要集中于有效提高脱粒效率、降低能耗、提高智能化水平，同时向着绿色、环保、可持续发展的方向发展。近年来，一些城乡结合部地区出现了一些小型收割机，其中包括种植园收获种质玉米脱粒机。同时，针对粮食机械化方向的新政策出台，玉米脱粒机等农业机械化设备的市场前景被看好。为此，需要降低玉米在收获时的破碎率和损失，同时研究新型玉米脱粒装备，以促进我国玉米生产和玉米籽粒机械化收获的发展[1]。本课题主要研究四轴式甩锤脱粒装置，其工作原理是：在玉米脱粒机入料口投入作物，通过轴上的钉齿使玉米在桶内翻转，工作轴上的小锤击打作物实现脱粒作业，同时在甩锤上安装相应的橡胶皮套来保护种质[2]。在脱粒完成后通过出料口进行出料，并在出料口安装一道栅板进行二次筛选，筛选出种子从栅板漏下达到二次收集[3]。在床身后安装风扇，对筛出种粒进行除杂，然后通过弹簧装置以及偏心圆装置实现让栅板运动以达到筛选种粒的目的[4]。

2. 玉米脱粒机总体结构

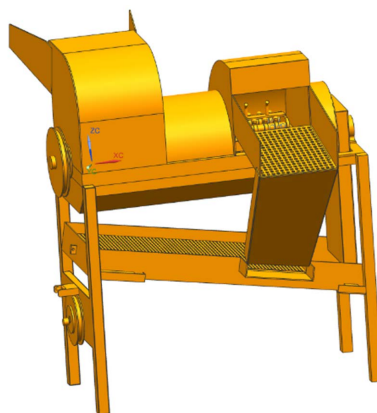


Figure 1. Overall structure of corn sheller

图 1. 玉米脱粒机总体结构

该玉米脱粒机采用电力拖动和玉米脱粒机专用电机，并将电机安装在机架旁边，与机架下机梁相连接[5]。该脱粒机可以在一个工作舱内完成从入料到脱粒再到分离玉米粒和芯等多项功能[6]。该脱粒机可在短时间内完成大量劳动，提高工作效率，具有高安全性、高效率、坚固耐用、简单易维护等优点。整体结构如图1所示。

入料口是小区收获种质玉米脱粒机的一个关键部位，可以将玉米安全高效地填入机体让其在工作舱内进行脱粒[7]。出料口是一种通常连接于设备底部或侧面的开口，用于将物料从设备中排出。脱粒部分是甩锤式玉米脱粒机的核心部件之一，主要用于将玉米籽粒与玉米芯粉和外壳进行分离。在我的设计中，脱粒部分包括鼓风机、甩锤轴、筛子等主要部分[8]。鼓风机是脱粒部分的重要组成部分，它利用风力将玉米籽粒和芯粉外壳分离，具有快速高效的脱壳效果[9]。筛选部分主要用于分离玉米籽粒和杂质，在筛选过程中，玉米籽粒通过筛子，被筛选出来并收集到一个容器中，而杂质会被留在筛网上，层层筛选能够获得不同粒度大小玉米的筛分效果，不同的筛网的筛孔尺寸、排列结构、净筛面积等，适用于不同的加工需求和粮食品种处理的不同粒径级别[10]。对于机架的设计应该满足方便工作人员使用，可以承担轴、电动机以及筛板的冲击和应力[11]。为了确保机架的稳定性，应尽量减少冲击载荷和内部应力，并且选用合适的电动机类型。

3. 玉米脱粒机工作轴的设计

3.1. 玉米脱粒机的工作轴计算

3.1.1. 求轴上的载荷

求输出轴上所受的作用力由

$$T = 9550000 \times \frac{p}{n} \quad (1)$$

式中： p ——电动机的额定功率，kW。

主轴转速 n ——主轴转速， r/min 。

计算得：

$$T = 9550000 \times \frac{5.8}{850} = 65164.7 \text{ N} \cdot \text{m} \approx 6.52 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3.1.2. 轴承的受力

$$F_t = 2 \frac{T_1}{d_1} \quad (2)$$

$$F_r = F_t \tan \alpha \quad (3)$$

$$F_n = \frac{F_t}{\cos \alpha} \quad (4)$$

式中： T_1 ——传递的转矩， $\text{N} \cdot \text{mm}$ ；

d_1 ——输出轴直径， mm ；

α ——啮合角；

F_t ——圆周力， N ；

F_n ——法向载荷， N ；

F_r ——径向力， N 。

3.1.3. 计算各力的值

已知分度圆直径 $d_1 = 25 \text{ mm}$, $F_t = 521 \text{ N}$, $F_r = 189.6 \text{ N}$, $F_n = 554 \text{ N}$,

由 $F_t = F_{NH1} + F_{NH2}$, $F_{NH1} \cdot L_2 = F_{NH2} \cdot L_3$, $L_2 = 150 \text{ mm}$, $L_3 = 450 \text{ mm}$,

解得: $F_{NH1} = 390.8 \text{ N}$, $F_{NH2} = 130 \text{ N}$,

由 $F_r = F_{NV1} + F_{NV2}$, $F_{NV1} \cdot L_2 = F_{NV2} \cdot L_3$,

解得: $F_{NV1} = 142.2 \text{ N}$, $F_{NV2} = 47.4 \text{ N}$ 。

3.1.4. 计算弯矩弯矩值

水平弯矩:

$$M_H = F_{NH1} \cdot L_2 = 58620 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (5)$$

垂直弯矩:

$$M_V = F_{NV1} \cdot L_2 = 21330 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (6)$$

总合成弯矩:

$$M = \sqrt{M_V^2 + M_H^2} = 62380.1 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (7)$$

$$T = \frac{F_t \times d}{2} = 6512.5 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (8)$$

将水平弯矩, 垂直弯矩, 总合成弯矩计算结果汇总, 如表 1 所示。

Table 1. The main data of the shaft force

表 1. 轴受力的主要数据

载荷	水平面 H	垂直面 V
支反力(N)	$F_{NH1} = 390.8$ $F_{NH2} = 130$	$F_{NV1} = 142.2$ $F_{NV2} = 47.4$
弯矩 M (N·mm)	$M_H = 78015$	$M_V = 26700$
总弯矩 (N·mm)		62380.1
扭矩 T (N·mm)		6512.5

3.1.5. 通过弯矩合成力校核轴的强度

在进行校核时, 通常只考虑轴上能承受最大弯矩和扭矩的截面的强度。此时, 所使用抗弯截面系数为:

$$W = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt(d-t)^2}{2d} = 1244 \text{ mm}^3 \quad (9)$$

已知轴选用 45 钢, 调制处理, $[\sigma_{-1}] = 60 \text{ Mpa}$ 。

取 $\alpha = 0.6$, 轴的计算应力

$$\sigma_{ca} = \frac{\sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}}{W} = 50.25 \text{ MPa} < [\sigma_{-1}] \quad (10)$$

即轴的强度符合要求。

3.2. 基于工作轴的模型设计

工作轴设计采用甩锤式设计, 甩锤式工作轴是一种常用的玉米脱粒机工作轴[12]。它具有简单、高效、

低成本等特点，适用于各种规模的农业生产。该工作轴的设计思路是通过一组高速旋转的锤头甩打玉米棒，使玉米的颗粒脱离玉米棒的芯粒[13]。设计结构如下图 2 所示：

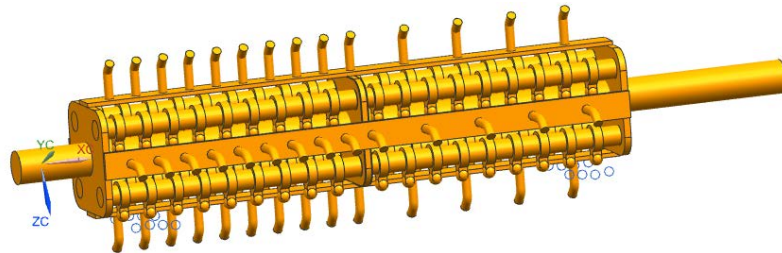


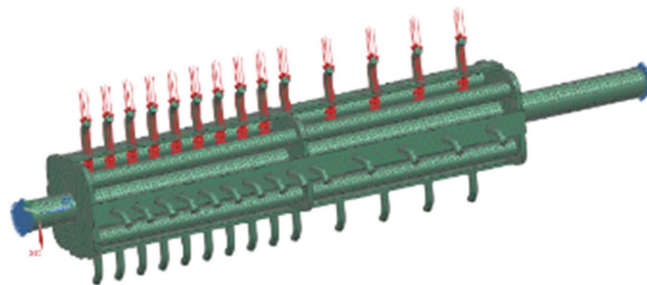
Figure 2. The design of swing hammer working shaft
图 2. 甩锤式工作轴的设计

该工作轴采用四轴式甩锤设计，由一根主轴带动四根小轴运动，小轴上均匀分布 9 个小甩锤，工作时大轴与小轴一体匀速运动，小轴上的甩锤在离心力的作用下往外甩，主轴上附有铁爪，使玉米在工作舱内搅拌，然后在小甩锤的工作下击打玉米实现脱粒[14]。

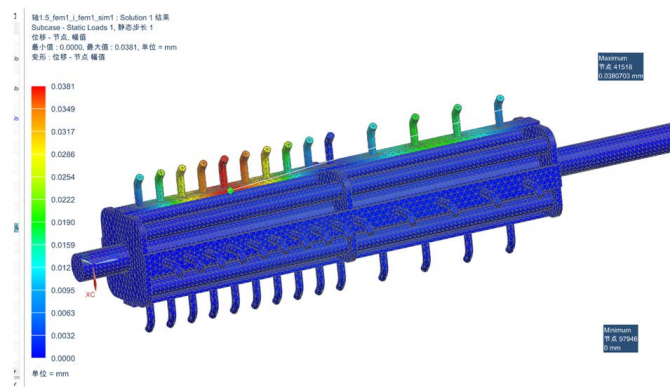
4. 工作轴的仿真与优化设计

当四轴式甩锤工作时，其受力最大为转向下的钉齿，每个钉齿受力大概为 40 N，分析固定钉齿的四个固定在轴上的方盘，以及轴的受力情况[15]。

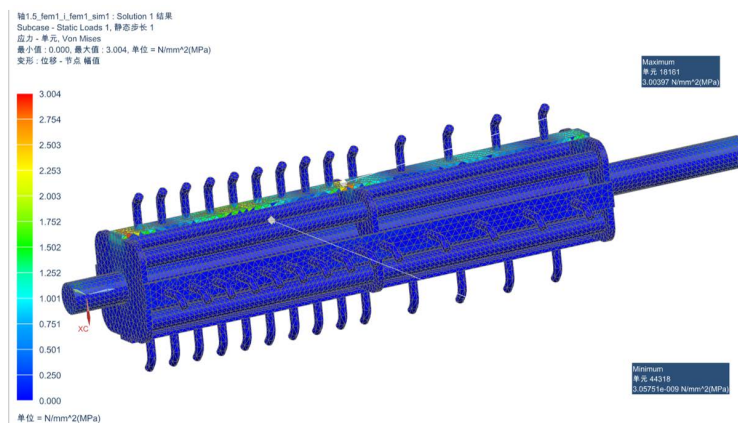
在建模分析过程中，要用到的软件为 UG，进行相应的建模和模态分析。此分析将轴受力最大部分进行受力分析，材料为钢[16]，密度为 7.85 g/cm³，杨氏模量为 210 GPa，泊松比为 0.3。新创建仿真 SIM 文件，对模型进行固定，以及对相应位置施加力，并进行求解[17]。



(a) 对模型施加载荷



(b) 模型位移分析图



(c) 模型应力分布图

Figure 3. Force analysis of the working shaft
图 3. 工作轴受力分析

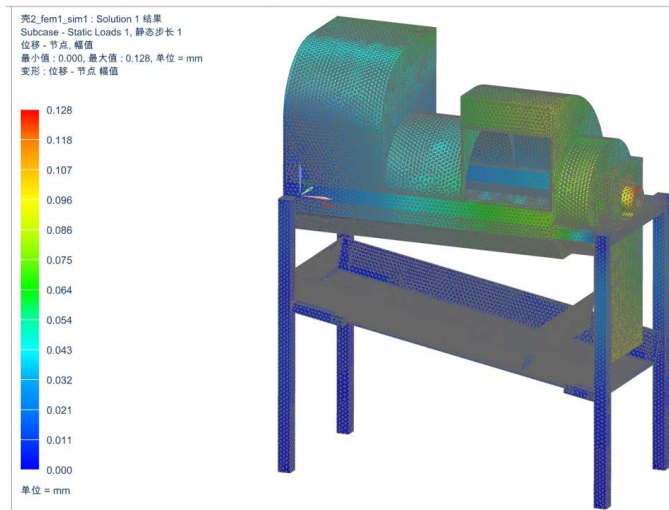
应用 UG 对工作轴进行建模，该工作轴设计为四轴式甩锤工作轴，并对工作轴模型进行划分网格处理，设置工作轴材料，对工作轴附加相应载荷，如图 3(a)所示，然后求解所得结果，在设计的范围内，工作轴的最大位移是 0.386 mm，如图 3(b)所示，对于脱粒装置来说，其变形可忽略不计。最大应力为 3.077 MPa，其材料屈服强度为 355 MPa，如图 3(c)所示，其大小在允许范围内，因此，该设计合理。

5. 机架的模态分析

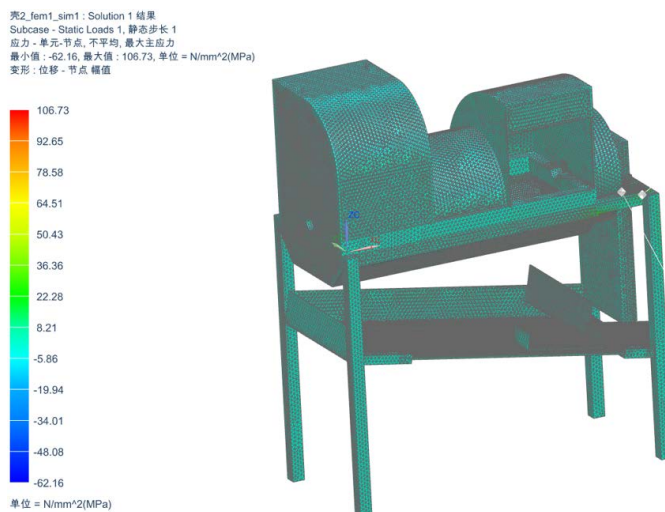
本文将入料口和出料口进行简化，筛板、轴等原件进行去除，然后对所剩机架部分进行有限元分析 [18]。针对机架的受力，此分析将机架受力最大部分赋予载荷，针对图 4(a)的设计模型，然后进入前/后处理，新建仿真文件，对模型总体进行提升操作，再进入 FEM 环境，进行指派材料，然后对模型进行划分网格，网格参数大小为 10，对模型进行单元质量检测。新创建仿真 SIM 文件，对模型进行固定，以及对相应位置施加力，并进行求解。



(a) 约束后的机架



(b) 机架位移分析图



(c) 机架最大应力图

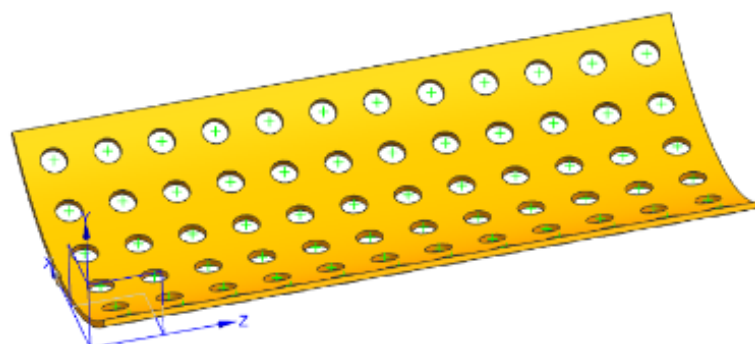
Figure 4. Frame force analysis
图 4. 机架受力分析

总结：针对机架的有限元分析如图 4(c)所示，最大应力为 106.73 MPa，其所用材料正火后屈服强度 295 MPa，在其允许范围内，因此满足需要，其最大位移为 0.128 mm，如图 4(b)所示，可忽略不计，因此其设计合理。

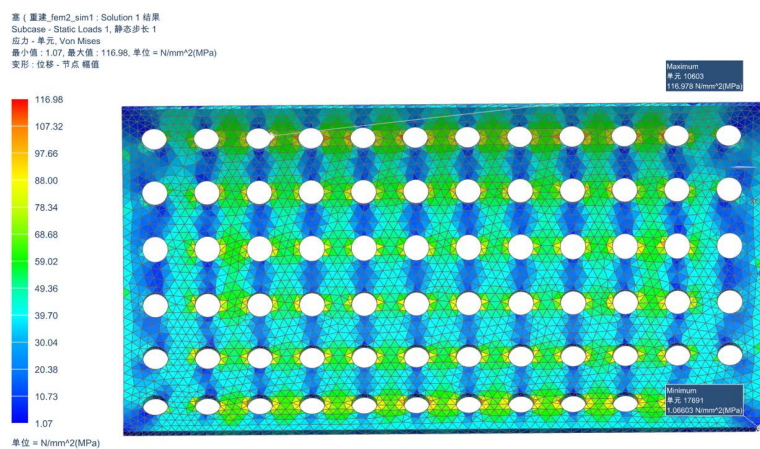
6. 筛板的模态分析

在入料口投入农作物后，农作物落入玉米脱粒机的机舱中，机舱下部连接栅板兜底，栅板与四轴式甩锤工作轴配合，在工作轴上钉齿的搅拌下实现脱粒，脱粒后种子随栅板上孔落下，将大粒度的、杂质较多的种子从生产线上分离出来实现玉米脱粒清选的功能[19]。这种装置通常是一张曲面筛子上面均匀分布着大小为 40 mm 的孔，如图 5(a)所示。

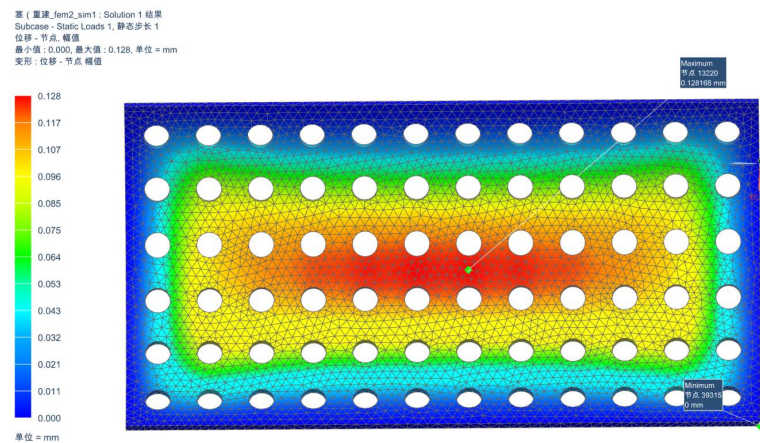
栅板固定在脱粒仓内，在钉齿朝下且都受力的情况下，所面对载荷最大，因此，针对载荷最大的情况下进行分析。针对栅板的受力不均，此分析将轴受力最大部分进行受力分析，进行求解。



(a) 筛板的模型结构



(b) 筛板最大应力图



(c) 筛板最大位移图

Figure 5. Force analysis of the sieve plate
图 5. 筛板的受力分析

根据工作轴的相应尺寸, 对工作舱进行设计, 直径为 500 mm, 长度为 623 mm, 筛板上均匀分布大小为 40 mm 的孔以便打料的种粒漏下。该尺寸设计完全满足工作轴的需要和要求, 然后对其进行网格化处理, 施加相应的载荷, 求解得出结果。根据其结果显示, 筛板的最大位移变形为 0.128 mm, 如图 5(c) 所示, 符合设计要求, 其所用材料正火后屈服强度 295 MPa, 所受最大应力为 1.066 MPa, 如图 5(b) 所示, 在所选参考值内, 因此该筛板的设计满足需要。

7. 结论

本文设计的小区收获种质玉米脱粒机, 针对工作轴的设计和筛板的受力分析, 可得出以下结论:

1) 运用 UG 对小区种质收获玉米机的初步建模, 针对小区种质玉米脱粒机的设计要求, 确定其整个轮廓形状, 完成了对工作轴、机架以及栅板等主要各种部件的要求, 以及入料口、出料口、筛选部分的设计。

2) 通过 UG 完成对主要工作部件的有限元分析, 先用软件中的 NX Nastran 模块实现对设计工作部件的静力学分析, 分析出工作轴所受最大应力为 3.077 MPa, 最大位移为 0.386 mm; 机架所受最大应力为 106.73 MPa, 其所用材料正火后屈服强度 295 MPa, 在其允许范围内, 因此满足需要, 其最大位移为 0.128 mm, 可忽略不计, 因此其设计合理; 然后对主要筛板分析, 最大应力为 116.978 MPa, 最大位移为 0.128 mm。该设计满足设计要求。

3) 本设计使用了一种传动轴和各种齿轮的组合方法, 针对甩锤式脱粒机的自身问题进行了改进, 设计出了四轴式甩锤工作轴, 在四个小轴上分布有小甩锤, 在工作轴工作时, 甩锤同时在离心力的作用下进行工作, 实现脱粒, 并且在甩锤上安装橡胶机构, 以此来保证种子的质量。采用了更加灵活的自动处理过程, 利用齿轮机构来最大程度地减少了机器可能产生的故障和磨损, 从而拓展了机器的寿命, 增加了高效和可持续性。

基金项目

河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(242102111173, 242102111172, 232102110269); 平顶山学院机械重点学科基金项目(PXY-JXZDXK-202306)。

参考文献

- [1] 杨立权. 切流横轴流玉米脱粒系统设计及试验研究[D]: [博士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
- [2] 郝贵锋. 玉米脱粒机的使用与维护[J]. 农业知识, 2024(7): 90-91+93.
- [3] 吕静, 赵一青, 赵鹏. 玉米脱粒机的使用与维修保养[J]. 南方农机, 2024, 55(16): 81-83.
- [4] 杨茂林, 焦巍, 王俊伟, 等. 小型电动玉米脱粒机设计及性能的分析[J]. 产业与科技论坛, 2022, 21(20): 47-48.
- [5] 王旖旎, 李逢振, 黄通灵. 新型玉米脱粒机的设计与实现[J]. 中国新技术新产品, 2021(9): 80-82.
- [6] 罗莉, 张蔚然, 韩金钢, 等. 玉米脱粒机的发展现状及前景[J]. 南方农机, 2021, 52(17): 59-61+70.
- [7] 邵永明. 玉米籽粒收获机低损伤脱粒装备设计与试验研究[D]: [硕士学位论文]. 滁州: 安徽科技学院, 2020.
- [8] 赵青龙. 玉米脱粒机的技术原理及使用注意事项[J]. 农机使用与维修, 2020(2): 67.
- [9] 张玉虎. 玉米脱粒装置[J]. 当代农机, 2020(5): 60.
- [10] 潘卫云. 新型高效玉米脱粒机的研发及推广[Z]. 会宁县耘丰农业机械制造有限公司, 2019-11-09.
- [11] 林通, 张涛, 张莹, 等. 小型玉米脱粒机机架模态分析与优化设计[J]. 干旱地区农业研究, 2022, 40(5): 277-284.
- [12] 张文斌, 俞利宾, 江洁, 等. 一种新型立式辊条玉米脱粒机的设计[J]. 机电工程, 2019, 36(7): 740-743.
- [13] 张希升, 由盛昌, 吴明清. 玉米脱粒分离装置关键结构的设计与优化[J]. 农村实用技术, 2019(8): 40.
- [14] 张中华, 夏铭. 一种智能玉米脱粒机设计[J]. 南方农机, 2019, 50(15): 13+17.
- [15] 曲阜市君达机械设备有限公司. 全自动玉米脱粒机[J]. 新疆农机化, 2018(6): 44.
- [16] 张洪军, 常传东, 刘萌, 等. 基于 MatLab 玉米脱粒机清选机构优化设计[J]. 农机化研究, 2017, 39(8): 102-106+111.
- [17] 王天元. 切削式鲜食玉米脱粒机构的设计与试验[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020.
- [18] 高朋飞, 张新伟, 易克传, 等. 鲜食玉米果穗的物理力学特性[J]. 安徽科技学院学报, 2024, 38(2): 95-102.
- [19] 吴瑶瑶. 4YZZ-2 型小型籽粒玉米收获机的设计研究[J]. 农业技术与装备, 2023(5): 48-50.