

家用小型玉米脱粒机的设计

冯 瑞, 石港威, 张永康, 韩 峥, 吕青青, 杨立权

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

收稿日期: 2025年1月20日; 录用日期: 2025年2月20日; 发布日期: 2025年2月28日

摘 要

我国玉米种植地区广, 对于一些偏远山区丘陵地带, 大型脱粒设备不便运输, 因此设计一种小型的, 效率高的家用设备具有十分重要的实际意义。本设计主要采用板齿式的脱离滚筒和筛网组成, 这两个原件间隙组合, 滚筒上有螺旋式的推进结构。工作时, 通过入料口进入的玉米由螺旋结构将玉米推入板齿与筛网的间隙中, 通过与滚筒上的板齿和筛网进行充分的旋转接触, 进而将玉米棒上的籽粒脱掉, 以达到脱粒的目的, 不同于钉齿式和打击式的脱粒, 板齿式的脱粒方法也能有效地降低破损率。

关键词

玉米脱粒机, 建模, 仿真, UG, ANSYS

The Design of a Small Corn Thresher for Household Use

Rui Feng, Gangwei Shi, Yongkang Zhang, Zheng Han, Qingqing Lyu, Liquan Yang

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

Received: Jan. 20th, 2025; accepted: Feb. 20th, 2025; published: Feb. 28th, 2025

Abstract

China's corn planting area is wide, for some remote mountainous and hilly areas, large-scale threshing equipment is inconvenient to transport, so the design of a small, high-efficiency household equipment has very important practical significance. This design is mainly composed of plate-tooth type detachment drum and screen, the gap between the two elements is combined, and the drum has a spiral propulsion structure. During the work, the corn entering through the inlet is pushed into the gap between the plate tooth and the screen by the spiral structure, and the grain on the corn cob is removed by making full rotational contact with the plate tooth and the screen on the drum, so as to achieve the purpose of threshing. Unlike the nail-tooth and impact threshing methods, the

plate-tooth threshing method can also effectively reduce the breakage rate.

Keywords

Corn Thresher, Modeling, Simulation, UG, ANSYS

Copyright © 2025 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

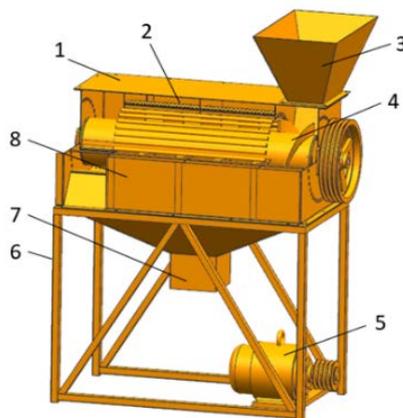
1. 引言

在农业机械化的进程中，发展玉米收获机械化是农业生产的必然，是农机化发展的客观要求；解决玉米收获的机械化这一问题不仅是广大农民朋友的迫切追求，也是农业生产不可或缺的一部分[1]，就目前的状况来看，玉米生产机械化水平低下是农业机械化发展的一处瓶颈。就目前的发展趋势来讲，首先我们可以对现有的小型玉米脱粒设备理论进行深入的研究，使脱粒效率进一步提升。在研究其质量和生产效率时，我们可以利用现代的理论研究方法进行深入性的研究，不只是依靠以往的经验 and 进行的试验，要使用先进的技术对玉米脱粒设备进行综合性的分析和研究。其次在对脱粒装置进行选材时，一定要使用新型材料，确保能够降低玉米粒的破损率[2]。然后我们可以运用现代化的设计技术，创造出新型的脱粒装置；比如说用模块化的设计方法，再结合微电子自动化控制技术等对整个装置进行优化。最后可以选择对整个脱粒装置和整机的性能进行改良，例如对脱粒钉齿进行改良降低破损率，在滚筒的尾部设置一个去芯装置，防止破碎的玉米芯造成堵塞等，达到多功能化的脱粒设备，进一步提高其适应性[3]。

该设计主要采用板齿式玉米脱粒滚筒进行工作脱粒，通过使用 UG 建立三维模型，然后使用 ANSYS 对滚筒和板齿进行静力学分析和模态分析，以确保该设计的可行性。

2. 总体结构及工作原理

采用 UG NX 软件对家用小型玉米脱粒机进行三维数字化建模，其主要由填料部分、脱粒部分、筛选部分、支撑部分和动力源部分组成，整体结构如图 1 所示。



1: 机箱盖; 2: 筛网; 3: 入料斗; 4: 脱粒滚筒; 5: 电动机; 6: 机架; 7: 集料斗; 8: 脱粒仓。

Figure 1. Small corn thresher

图 1. 小型玉米脱粒机

其工作原理是由电动机输出动力，经过皮带传动将动能传递给脱粒滚筒，玉米经过入料斗进入脱粒仓，然后玉米在螺旋板齿的作用下进入脱粒区，在旋转的滚筒和板齿的共同作用下与格栅凹板充分挤搓完成脱粒工作；筛网对玉米粒和破碎的玉米芯进行分离，玉米粒经过筛网后通过料斗被收集，破碎的玉米芯在倾斜的板齿作用下被推到直板齿处，最后经出料口排出。

3. 主要零部件设计

3.1. 电动机的选择

3.1.1. 板齿转速的确定

5TY-10A 型板齿的脱粒滚筒转速设计为 530 r/min, 此转速下玉米的未脱净损失基本不受转速的影响；滚筒板齿齿顶直径为 125 mm, 栅格式凹板直径为 320 mm, 在主轴上螺旋均匀分布着板齿, 以便玉米芯随螺旋板齿的旋转产生的轴向推力前进, 进而使玉米芯排出机体外[3]。

脱粒滚筒上板齿顶部的线速度。

$$v = \frac{\pi \times D \times n}{60} \quad (1)$$

代入数据计算得 $v = 5.3 \text{ m/s}$ 。

其中： n ——滚筒的转速，r/min；

D ——滚筒齿顶距轴心的距离，m。

3.1.2. 滚筒切向力的确定

参考相关文献[4]得知，玉米静载挤压能够承受的最大值为 120 N, 因此单个板齿的受力取玉米籽粒破碎受力的临界值 120 N, 在滚筒工作旋转时受到的切向力以临界值计算。

$$F = N \times M = 148 \times 16 = 2368 \text{ N} \quad (2)$$

其中： N ——板齿所受到的力。

M ——参与工作的板齿数量。

3.1.3. 电动机功率的确定

设玉米脱粒机的所需要得功率为 P_w , 该参数由脱粒机的工作阻力和滚筒的旋转速度确定, 即

$$P_w = \frac{F \times v}{1000} \quad (3)$$

查阅文献[5]可得知各传动副的效率分别为：滚动轴承 0.98~0.995, 此设计取 $\eta_1 = 0.99$, v 带传动 0.94~0.97, 此设计取 $\eta_2 = 0.97$, 滚筒转动(由于板齿固定在滚筒上)即取 $\eta_3 = 1$ 。

则

$$\eta_a = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0.99 \times 0.97 \times 1 = 0.9603 \quad (4)$$

故此电动机的功率

$$p = \frac{P_w}{0.96} = 10.6 \approx 11 \text{ kW} \quad (5)$$

3.1.4. 电动机转速的确定

本设计采用交流电机为动力来源, 通过 V 带传动来实现脱粒滚筒的工作转动以完成脱粒工作。而 V 带传动, 传动比过大时会减小带轮包角。当带轮的包角减小到一定程度会发生打滑, 进而会影响传动效

率。因此,带传动比一般取传动比 $i \leq 7$,推荐选择值为2~5。应选用工业上广泛应用的Y系列的三相异步电动机[6]。

由于本次设计为小型的脱粒机,考虑到装置的尺寸和质量问题[7],该装置选用电动机型号为Y160M1-2。其具体参数如表1所示。

Table 1. Motor parameter table

表 1. 电动机参数表

电动机型号	额定功率/kW	满载转速/r·min ⁻¹	效率/%	重量/kg	功率因数
Y160L-6	11	970	86	147	0.78
Y160M-4	11	1460	88	122	0.84
Y160M1-2	11	2930	87.2	115	0.88

3.2. 传动带的设计

已知带的计算功率公式

$$P_{ca} = K_A P \quad (6)$$

式中: K_A ——工作情况系数。

P ——电动机的功率, kW。

根据式(6)工况系数取 $K_A = 1.1$,则 $P_{ca} = 14.3$ kW,根据表1可得小带轮的转速1460 r/min,结合文献[8]确定V带型号选为B型。

将主动带轮的基准直径设为 d_1 ,B型带的基准直径选择范围为 $125 \text{ mm} \leq d_1 \leq 1120 \text{ mm}$,考虑到设备的体积,此设计选择 $d_1 = 125 \text{ mm}$ 。

综合以上计算数据,可以确定小型玉米脱粒机的传动带主要参数为4根普通B型V带,其基准长度为2180 mm,小带轮的基准直径为125 mm,大带轮的基准直径为350 mm,中心距为600 mm,单根带的初拉力为258 N。

3.3. 滚筒轴的结构设计

轴的结构设计主要包括设计轴的外形及结构尺寸,在设计的过程中要考虑轴在机器中的安装位置;轴上所需要安装的零部件;工作时所受到的载荷;加工工艺等各方面的因素的影响,故轴的结构形式会随着具体情况的不同而不同。因此在设计时确保轴和零部件有准确的工作位置,轴上的零件便于安装和拆卸,并且具有良好的制造工艺性[9]。

在本设计中,为了减少震动使脱粒滚筒工作的更稳定,让玉米与滚筒上的板齿能够充分的接触以达到最好的脱粒效果,这里采用贯穿轴,这种设计方法不仅能增强滚筒的刚度,也有效地增大了滚筒的直径,并且整机工作状态更加的稳定。轴的材料为调质处理的45号钢。

计算传动轴上的功率、转速和转矩

已知选用电机的效率为11 kW,查阅文献[7]得知带传动的机械效率 $\eta = 0.92$,则

$$P_2 = P \times \eta = 11 \times 0.92 = 10.12 \text{ kW} \quad (7)$$

$$n_2 = n_1 \times i = 1460 \times \frac{125}{350} = 521.43 \text{ r/min} \quad (8)$$

$$T_2 = 9.5 \times 10^6 \times \frac{P_2}{n_2} = 184377.5 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (9)$$

已知从动带轮的直径的厚度为 $B = 80 \text{ mm}$ ，孔径则应该为轴的轴径，长度取 100 mm ，结构如图 2 所示。

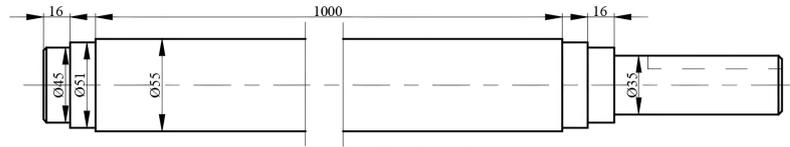


Figure 2. Dimensional parameters of axis
图 2. 轴的尺寸参数

4. 基于 ANSYS 软件的有限元分析

4.1. 对滚筒整体进行受转矩分析

使用 UG NX 绘制出的三维简化模型如图 3 所示。生成“*.xt”格式文件并导入到 Workbench 中的 Static Structural 模块。定义模型材料种类及属性，具体数值同板齿材料的定义类型。划分网格，圆柱筒直接采用随机划分的网格，筒上的板齿定义间距为 2 mm ，局部如图 4 所示。添加约束和转矩，对滚筒的两侧面添加 Fixed Support 约束固定两端，并对板齿面添加 $184377.5 \text{ N}\cdot\text{mm}$ 的转矩。最后求解，查看模型的等效应力云图和总变形云图，如图 5 所示。

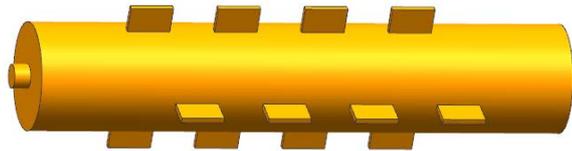
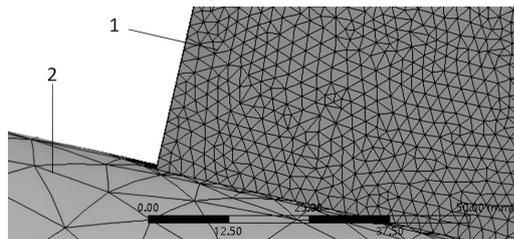


Figure 3. Simplified drawing of threshing drum
图 3. 脱粒滚筒简化图



1. 板齿; 2. 圆柱滚筒体。

Figure 4. Mesh division diagram of threshing drum
图 4. 脱粒滚筒网格划分图

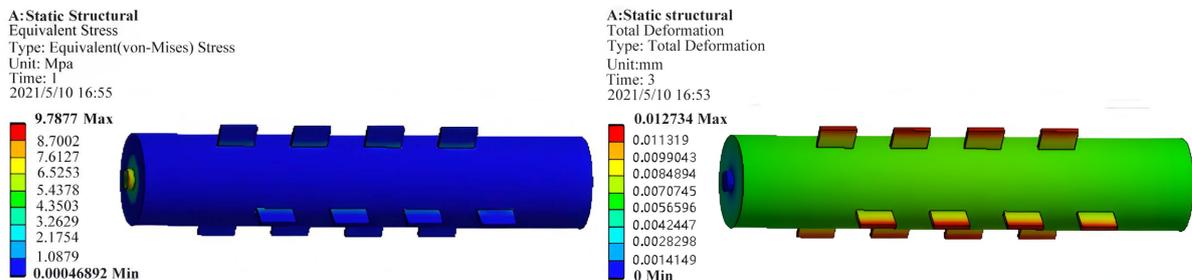


Figure 5. Total deformation and equivalent stress nephogram of threshing drum
图 5. 脱粒滚筒总变形云图和等效应力云图

通过对以上求解结果分析得知,脱粒滚筒在受到对应的转矩后,在工作中其受到的最大应力为 9.7877 MPa, 应力主要集中在板齿与滚筒的连接处, 这个最大应力是远小于材料的许用应力的, 因此是安全可靠的; 滚筒受转矩的影响产生的做大变形也只有 7.0745×10^{-3} mm, 是肉眼观察不到的变形, 对整个脱粒工作也是没有影响的, 因此该小型玉米脱粒机的核心部件脱粒滚筒的设计是符合要求的[10]。

4.2. 对滚筒整体进行模态分析

将 4.1 中的模型导入到 Modal 模块; 定义模型材料种类及属性, 具体数值同板齿材料的定义类型。划分网格, 划分速度选择较慢的。添加约束, 考虑到实际工作中轴的两端是有轴承进行固定的, 轴承的两端有轴肩和端盖进行固定, 一般情况下是不会发生轴向位移的, 因此约束应该加在轴的两侧面, 保证轴不会发生轴向位移。调整接触关系滚筒和中间轴的关系为 Bonded, 即轴与滚筒两圆盘的接触既无法相运动也无切向运动。求解 6 阶中每一阶对应的总变形, 模态对应频率及变形如图 6 所示。

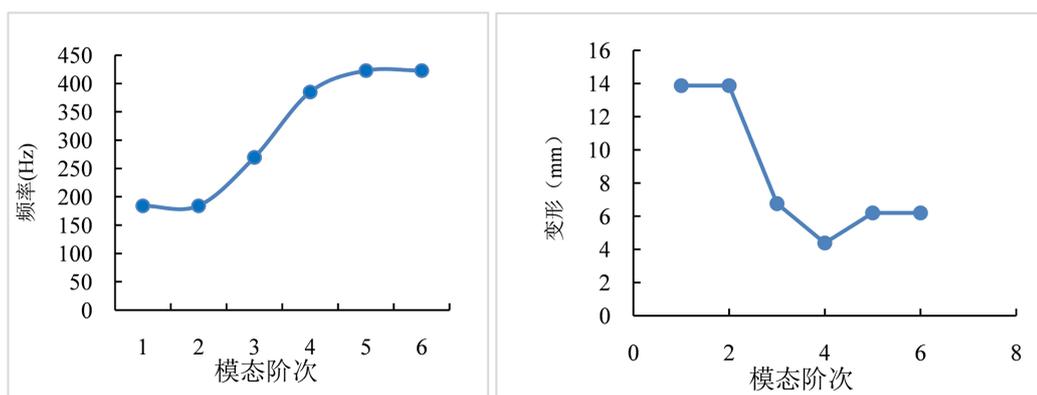
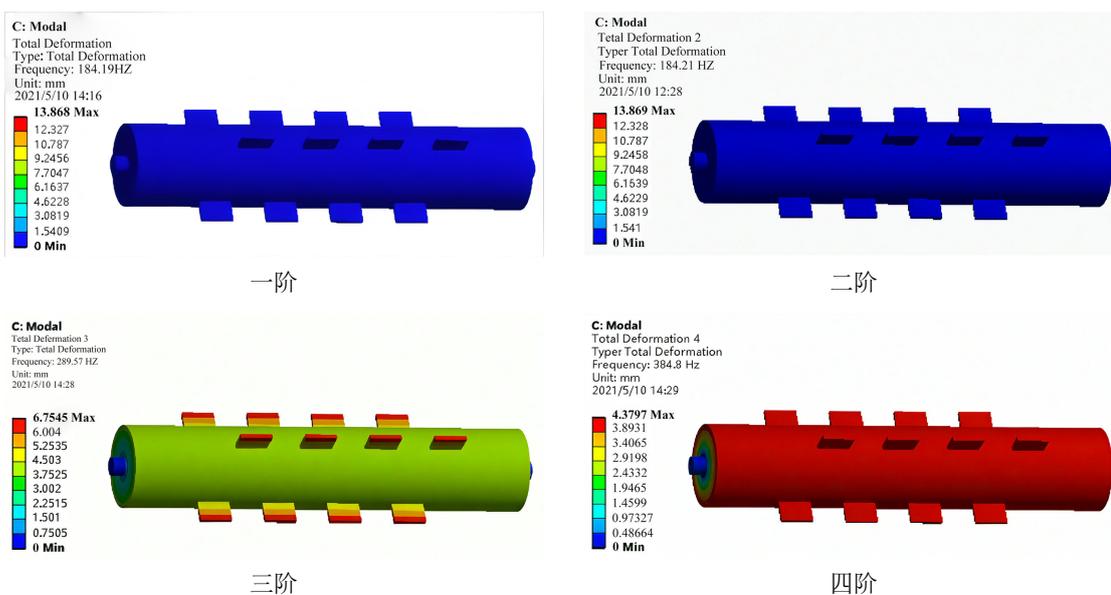


Figure 6. Frequency and deformation diagram of the corresponding modes

图 6. 模态对应频率及变形图

通过观察动画模型, 看出一二阶的变形主要是轴沿 Z 轴弯曲, 第三阶的变形沿着 X 轴扭转, 第四阶是沿 X+、X-方向位移, 第五阶沿 X 轴弯曲, 第六阶沿 Y 轴弯曲, 各阶的变形云图如图 7 所示。



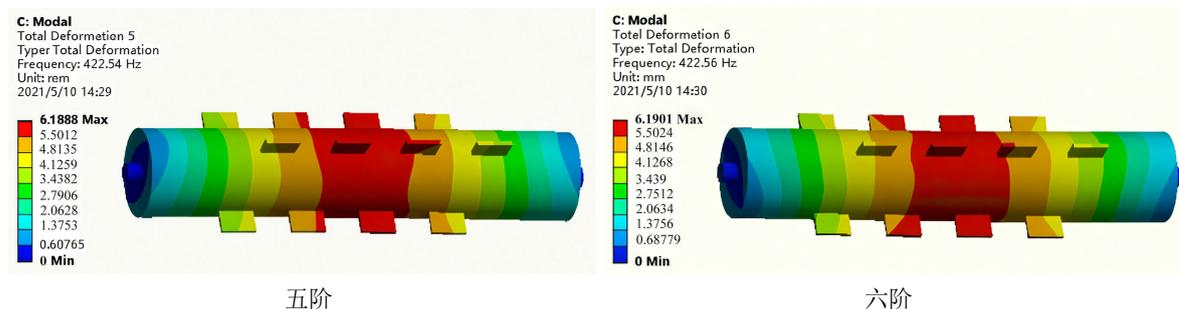


Figure 7. Deformation cloud map of each stage
图 7. 各阶变形云图

通过对图 7 的各阶的变形云图分析可知, 在一二阶的变形主要是轴的变形, 最大径向位移为 13.868 mm, 四五六阶的变形主要集中在滚筒上, 且最大变形不超过 7 mm, 考虑到实际工作中的环境变量等因素, 因此在设计滚筒时可以考虑在滚筒内部增加配重块, 其中为减小滚筒中部的变形可以在轴上增加一块支撑板用于滚筒。

4.3. 对滚筒整体进行谐响应分析

对于旋转设备, 在设备高速旋转时, 由于结构偏心, 会产生一个类似简谐激励的载荷, 如果结构的固有频率和激励频率接近, 那么此时结构就会发生共振, 影响结构的使用, 严重时直接导致机器无法使用。为解决这个问题, 我们采取对滚筒进行力激励下的谐响应分析[11]。

对滚筒的总变形和频率响应曲线进行求解, 结果如图 8 所示。

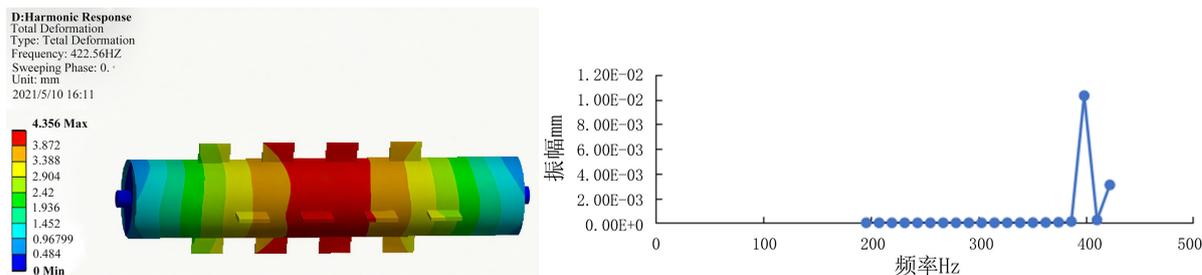


Figure 8. Total deformation and frequency response curves
图 8. 总变形及频率响应曲线

通过分析可以看出在最大频率 422.56 Hz 的固有频率下, 滚筒中部的变形会达到 4.356 mm, 在 196~422 Hz 的频率下, 振幅最大不超过 0.02 mm, 因此在正常的工作频率下, 结果满足实际工作要求[12]。

5. 结论

该小型玉米脱粒机的主体尺寸为 1090 mm × 610 mm × 1280 mm, 主轴转速 530 r/min, 脱粒区域长度为 656 mm, 喂入量在 1.3~1.5 kg/s, 理论上该装置能将玉米的破损率控制在 1% 以内。本次设计主要是对脱粒滚筒、板齿、通轴进行分析, 滚筒的直径为 200 mm, 长度为 1000 mm, 在工作过程中单个板齿在受 120 N 力的作用下最大变形不超过 0.02 mm, 板齿宽度为 10 mm, 最大变形约占板齿宽度的 0.2%, 滚筒及板齿受到的最大应力不超过 10 MPa, 远低于所选材料的最大许用应力; 在受 184377.5 N·mm 的转矩作用时滚筒及板齿的最大变形不超过 0.02 mm, 最大变形占滚筒直径的 0.01%, 其中变形主要集中在板齿顶部, 应力主要集中在两侧轴端和板齿根部, 轴端应力不超过 10 MPa, 板齿根部不超过 5 MPa; 通过模态

和谐响应分析看得出在 196~422 Hz 的频率下, 滚筒的振动变形最大不会超过 0.02 mm, 满足工程应用。

基金项目

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

参考文献

- [1] 邱翰林. 小型玉米脱粒机的研究现状及发展[J]. 时代农机, 2018, 45(8): 242.
- [2] 孙桂芹. 小型电动玉米脱粒机的设计及性能分析[J]. 湖南农机, 2014, 41(8): 38-39.
- [3] 杨茂林, 焦巍, 王俊伟. 小型揉搓式玉米脱粒机的设计[J]. 产业与科技论坛, 2023, 22(13): 47-48.
- [4] 张永丽. 种子玉米损伤机理与 5TYZ-1 型脱粒机总体方案研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007.
- [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] 濮良贵, 陈国定, 吴立言. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [7] 闻邦椿. 机械设计手册单行本机电系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [8] 周鹏, 秦书安, 李全军. 《同步带传动 安装技术规范》国际标准提案解析[J]. 机械工业标准化与质量, 2024(10): 11-15.
- [9] 杨立权, 强哲, 齐建豪, 等. 小区收获种质玉米脱粒机设计[J]. 农业科学, 2024, 14(12): 1438-1446.
- [10] 高朋飞, 张新伟, 易克传, 等. 鲜食玉米脱粒机的设计与试验[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2024, 24(6): 137-145.
- [11] 田新庆, 于占海, 马文军, 等. 玉米种子脱粒精选装置的研究[J]. 农机使用与维修, 2023(7): 19-22.
- [12] 吴娜. 制种玉米脱粒仓结构的研究设计[J]. 农业与技术, 2024, 44(10): 27-30.