

Design of Truss Structure for Auxiliary Feeding of Agricultural Seeder

Jiaqi Deng Shufeng Jiang* Ran Zhang Jiawen Li

School of Electrical and Mechanical Engineering, Qiqihar University, Qiqihar, Heilongjiang, 161001, China

Abstract

At present, China's agricultural production is facing the problem of labor shortage. In order to improve the mechanization and automation level of agricultural production, especially the application of automatic feeding devices. Therefore, design an auxiliary agricultural seeder feeding device that can be mounted on the seeder and achieve automation. Conduct static and modal analysis on the truss structure under actual working conditions, and study the stress deformation and natural frequency of the truss; According to the simulation results, topology optimization was carried out, and the results showed that the maximum deformation of the truss structure was 0.176mm, and the natural frequency was within the expected working conditions. The conclusion is that installing fixed frames on both sides of the truss structure is the optimal structure, which improves the application of auxiliary mechanisms in agricultural sowing equipment.

Keywords

automatic feeding device; truss structure; finite element analysis; optimization design

农业播种机辅助上料用桁架结构设计

邓佳奇 姜淑凤* 张然 李嘉文

齐齐哈尔大学机电工程学院, 中国·黑龙江 齐齐哈尔 161001

摘 要

目前中国农业生产面临劳动力不足的问题, 为提高农业生产机械化和自动化程度, 特别是自动上料装置的应用。因此设计一款可以搭载播种机上并实现自动化的辅助农业播种机上料装置。根据桁架结构的实际工况进行静力学分析和模态分析, 研究桁架受力变形情况与固有频率; 根据仿真结果进行拓扑优化, 结果表明桁架结构最大变形量为0.176mm, 固有频率在预计工况内, 结论为桁架两侧加装固定架为最佳结构, 提高了农业播种设备的辅助机构的应用。

关键词

自动上料装置; 桁架结构; 有限元分析; 优化设计

1 引言

随着中国农业劳动力不断流失问题的日益突出, 农业生产的用工成本持续上升, 这严重影响了“三农经济”的可持续发展。若要降低农业生产成本和提高生产效率, 必须采用自动化与智能化的农机具, 例如自动巡航播种机, 无人机

等。但其控制系统人机交互复杂, 不适宜所有年龄段或不同文化程度的农民。因此, 需要在原有拖拉式半自动农业机具上设计出人机交互良好, 操作简单的辅助自动上料的播种设备即辅助机械手臂。

目前, 农业播种机市场销售的播种机没有配备自动上料装置, 农民只能自己设计附加其他辅助上料装置, 在应用过程中费时费力。因此, 就需要设计一款自动化程度高, 并且可以适用多种播种机型的辅助上料装置。

2 桁架结构设计

根据辅助上料装置的运用场景, 该装置的设计应当遵循环境适应性、结构可靠性和经济适用性的设计原则。首先, 该辅助上料装置主要在室外耕地中使用, 因此设计过程中首先要考虑环境中的风沙、雨水及其他异物对装置的不良影响; 其次, 需要结合该设备的工作负荷选择合适的结构形式; 最后, 作为一种农业生产装备, 该装置的设计方案还应

【基金项目】黑龙江省省属本科高校基本科研业务费项目(项目编号: 145109406); 2021 年大学生创新创业训练计划项目(项目编号: 202110232015)。

【作者简介】邓佳奇(1998-), 男, 中国黑龙江齐齐哈尔人, 在读硕士, 从事机械设计及理论研究。

【通讯作者】姜淑凤(1979-), 女, 中国黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 教授, 从事工业设计相关技术及逆向工程应用技术研究。

当考虑其使用成本,在实现其主要功能的前提下,尽可能选择价格亲民、维护成本低廉的设计方案。

桁架机械手主要在机床上的应用非常广泛,并且由于其高效性和精确性,已经显示出优良的效果。适用于生产线的上下料、工件翻转、工件转序等^[1]。

桁架机械手作为一种常用的工业机械手,其具备以下优势^[2]:

- ①输送距离可自由设定,范围广泛。
- ②负载能力大,可通过增加移动单元提高承载能力。
- ③输送效率高,移动速度和加速度较高。
- ④结构简单,刚性好,维护成本低。
- ⑤经济性好,使用年限长。

2.1 静力学仿真

①网格模型的建立。全局网格取10mm六面体网格,共381221个网格单元。

②边界条件设置。辅助装置运载过程中主要受到自身重力以及货物载荷,种子预估重量为50kg,考虑到后续机

械手会增加结构的负载,但机械手的具体重量尚未确定。为了确保桁架结构在未来可能承受更大负载下仍能保持稳定性和安全性,将预估的最大重量提高到了150kg,即1500N作用力。由于运载过程主要涉及的是滚动摩擦,摩擦系数 μ 为0.02, N 为1500N,根据公式(1)计算出滚动摩擦力的大小为30N,因此仿真过程中忽略摩擦力的影响。桁架与横梁间采用螺栓连接;滚轮与桁架间采用不分离接触;底部采用固定支撑。此外,论文分别计算了横梁导轨位于中间位置和侧边两个位置的受力变形情况。

$$F=\mu \times N \quad (1)$$

其中, μ 为摩擦系数; N 为正压力。

2.2 仿真结果分析

横梁位于中间位置和侧边极限位置的等效应力和位移分布云图如图1所示。从图中可以看出整体桁架的最大应力发生在横梁与提升机的接触位置;横梁与两侧桁架也出现了不同程度的应力集中;最大位移低于0.19mm,结构稳定性较好;中间位置时整体的受力情况和位移均大于侧边位置。

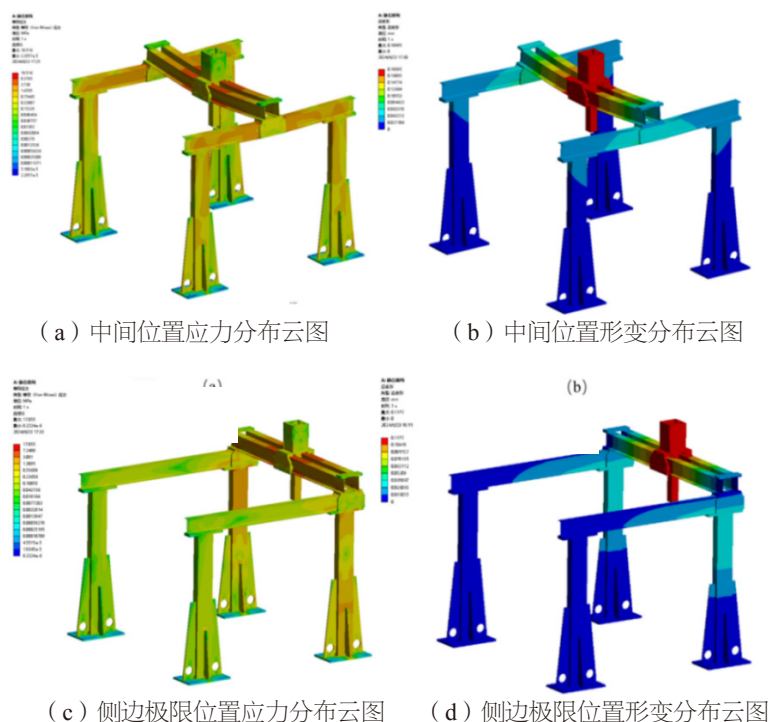


图1 横梁不同位置的等效应力分布云图和形变分布云图

2.3 模态分析

农业设备的工作环境往往复杂多变,因此设计过程中需要着重考虑环境对设备工作的影响。论文研究的辅助装置是一款用于农业播种的设备,正常作业过程中需要搭载在播种设备上,并长时间工作在田间凹凸不平的土地上,则该装置的设计过程中必须考虑震动对设备的不良影响。模态分析是计算结构固有频率和振型的数值技术^[3],可以给整体结构的刚度优化提供理论基础。

在运动学中,当系统受到一个外在的激振力的作用下,振动微分方程表达式如式:

$$[M]\{\ddot{x}\}+[C]\{\dot{x}\}+[K]\{x\}=\{F(t)\} \quad (2)$$

其中, M 为质量矩阵; C 为阻尼矩阵; K 为刚度矩阵; $F(t)$ 为力矢量; x 为位移矢量; $\dot{x}$ 为速度矢量; $\ddot{x}$ 为加速度矢量。

模态分析中,桁架结构的动力学性能分析是在桁架自由状态下,所以阻尼对分析影响不大,可以忽略不计,同时

桁架自身的固有频率和振型也不会因外部载荷而有所改变，故外部载荷设为 0；因此式（2）简化为式（3）^[4]，即：

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0 \quad (3)$$

当发生谐振动时，桁架振动任意时刻 t 的位移值 $W = U \sin(\omega t)$ ，其中 U 为桁架横梁振动的幅度， ω 为角频率，则式（3）变为式（4），即：

$$K - \omega_n^2 M \varphi_n = 0 \quad (4)$$

其中， ω_n 为桁架第 n 阶固有频率； φ_n 为桁架第 n 阶振型向量。

模态分析的边界条件采用与静力学计算相同，计算整体桁架的 1~6 阶模态。中间位置 1~6 阶模态和侧边极限位置 1~6 阶模态的位移分布云图分别如图 2 和图 3 所示。在 1~6 阶模态情况下，整体的最大位移均出现在提升机处，且两侧桁架随着频率的增加扭曲变形愈加严重。

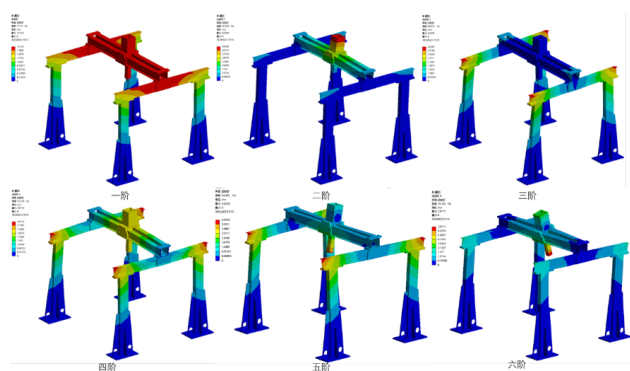


图 2 中间位置的 1~6 阶模态形变分布云图

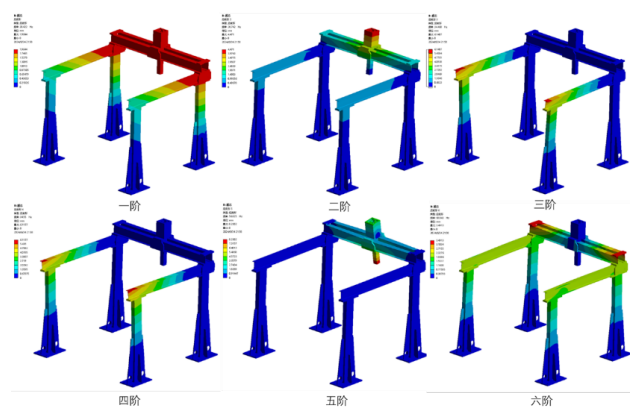


图 3 侧边极限位置的 1~6 阶模态形变分布云图

2.4 结果分析

根据静力学分析结果可知：当横梁位于中间位置时，最大等效应力为 18.516MPa，最大位移为 0.189mm；当横梁位于两侧极限位置时，最大等效应力为 17.055MPa，最大位移为 0.1172mm；当横梁位于中间位置时整体的最大等效应力大于两侧的极限值，因此可以根据中间位置的计算结果对结构进行优化。

3 桁架结构优化

3.1 结构优化

根据静力学分析和模态分析探究出辅助上料装置存在的设计缺陷及进一步优化方向。其一，桁架自身和货物重力造成横梁的变形，可以减少桁架重量；其二，两侧桁架的震动稳定性欠佳，需要进一步增加支撑结构。

3.2 优化结果

拓扑优化后的结果如图 4 所示，实体部分为保留的外形。优化后的结构如图 5 所示，两侧加装固定架，防止两侧桁架结构扭曲变形，整体结构做了减重处理。



图 4 拓扑优化后结果

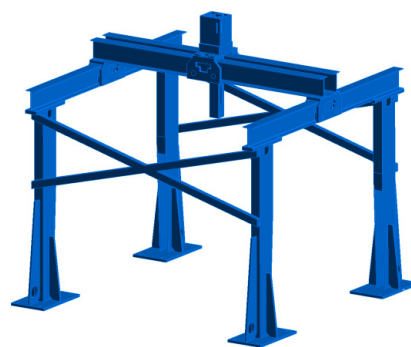


图 5 优化后三维模型

4 优化结果对比

优化后模型的等效应力分布云图如图 6、图 7 所示。从图中可知：优化后模型的最大等效应力为 15.569MPa，小于原模型的 18.516MPa，降幅达 15.9%；优化模型的最大位移为 0.176mm，低于原模型的 0.189mm；从优化后模型的模态分析中可知，优化后模型两侧桁架的扭曲变形显著减小，1~6 阶模态中桁架的最大位移低于 0.7mm。显然，优化后模型的稳定性得到了大幅提升。

对比优化前后的静力学计算和模态分析计算的结果列出表 1。由表 1 可知，1~6 阶模态频率分别提高了 17.983Hz、5.312Hz、6.252Hz、5.912Hz、9.651Hz、8.730Hz。

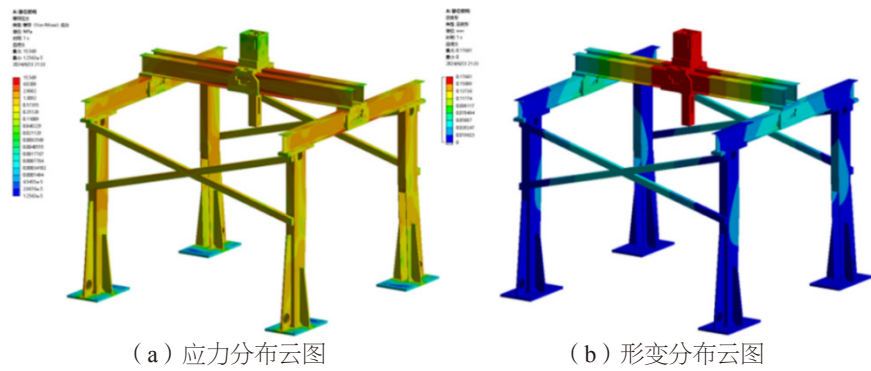


图6 整体装置等效应力分布云图和形变分布云图

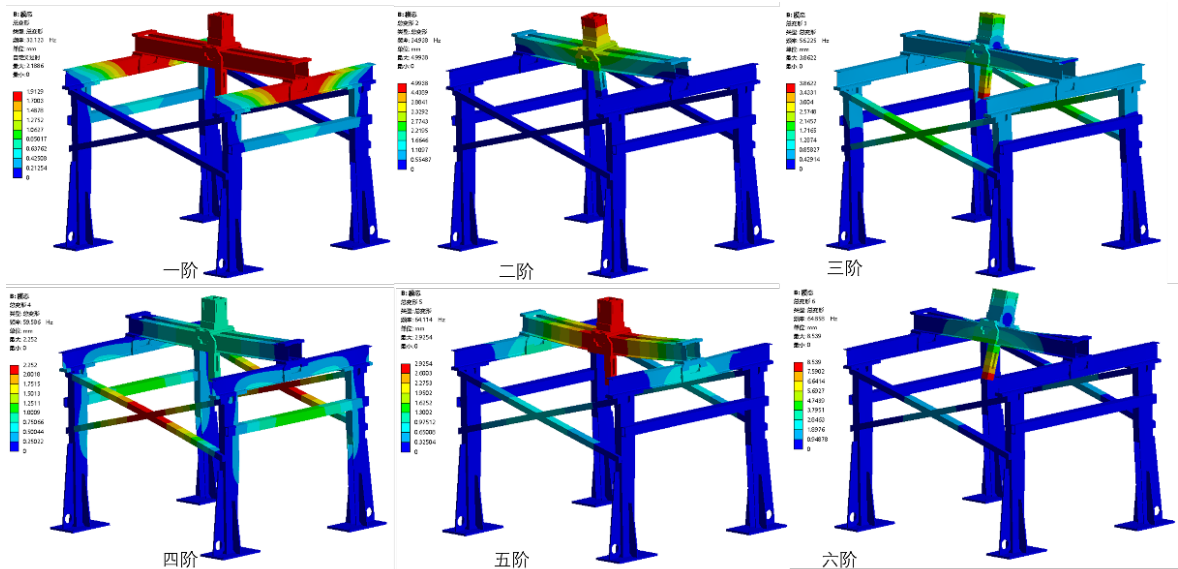


图7 优化后桁架结构的1~6阶模态形变分布云图

表1 优化前后桁架动态特性对比结果

状态	1 阶 (Hz)	2 阶 (Hz)	3 阶 (Hz)	4 阶 (Hz)	5 阶 (Hz)	6 阶 (Hz)
原结构桁架	15.14	29.626	49.973	53.674	54.463	56.128
新结构桁架	33.123	34.938	56.225	59.586	64.114	64.958
百分率 %	118.77	17.93	12.51	11.01	17.72	15.55

5 结论

针对目前播种机辅助上料装置自动化程度低的问题,论文结合播种机使用场景和自动化提升的需求,设计了一台辅助上料装置,得出如下结论:

①该装置具有良好的环境适应性、结构可靠性和经济适用性。

②通过对比优化前后桁架结构的静态和动态性能,根据拓扑优化结果,最终在两侧加装了固定架,以防止桁架结构发生扭曲变形。经过优化后,桁架总变形量的最大值为0.176mm,相较于优化前减少了6.87%,这表明优化后的桁架结构在刚性上得到显著改善,满足设计要求。

③通过模态分析发现,改进后的桁架前六阶固有频率均有提升,其中第六阶模态频谱增加了15.55%。综合分析表明,改良后的桁架在静态和动态特性方面得到显著改善,证明了这种优化方法的合理性。

参考文献

- [1] 顾根新,姚富强,胡嘉靖,等.四轴架机械手上下料系统[J].浙江三易智能科技有限公司,2023(3).
- [2] 王成龙.大桁架机械手设计与仿真[D].沈阳:沈阳工业大学,2017.
- [3] 阚志涛.底板锚固钻机圆柱式给进机构设计与动态仿真分析[J].矿业工程,2021,42(9):116-119.
- [4] 姜淑凤,贾瑞超,王俊峰,等.双立柱式车床横梁结构轻量设计研究[J].现代制造工程,2022(4).