

小葱收获机关键部件设计

朱友帅, 苏展, 张正中, 施志恒, 童浩瀚
金华职业技术大学, 浙江金华, 中国

【摘要】我国小葱产量居全球前列, 但收获主要依赖人工, 机械化水平低。为此, 本文基于小葱收获特性, 设计了一款小型手推式小葱收获机。该机集成了旋耕分土、夹持传输、去杂及收集装置。运用 Creo 软件完成整机三维建模, 并重点对关键部件夹持传输装置进行参数设计, 通过 ANSYS 软件对夹持传输装置进行有限元分析, 验证结构设计的合理性, 为小葱机械化收获提供有益参考。

【关键词】小葱收获; 夹持传输; 结构设计; 仿真分析

【基金项目】2025年浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)项目(编号: 2025R480A005); 金华市科技计划农业重点类项目(编号: 2023-2-024)

1. 引言

我国作为全球主要小葱生产国, 其种植面积与产量均位居世界前列[1]。葱类蔬菜是我国主要特色经济作物, 成本收益很高, 且种植历史悠久[2,3]。小葱属茎叶类蔬菜, 在机械化收获过程中容易受外力损伤[4]。国外葱类收获机研究主要聚焦大葱, 有牵引式和自走式两类[5]。欧美国家的葱类收获机主要收获韭葱, 不适于国内葱类[6-8]。目前, 我国小葱收获主要依赖人工, 效率低、成本高。随着农村劳动力减少和产业规模扩大, 实现小葱机械化收获尤为迫切。研制专用的小葱联合收获机, 对于提升收获效率、减轻劳动强度、保障葱株完整性与保鲜期, 以及推动小葱产业可持续发展具有重要意义[9]。

2. 小葱收获机的整机设计

2.1 总体方案设计

本文设计的小葱收获机主要包括旋耕装置(旋耕刀)、分土装置(挖掘铲、曲柄摇杆震动机构)、传输装置(纵向传输机构、横向传输机构以及收集篮)、去杂装置(清土刷)组成。小葱收获机整体的尺寸为2130mm×1265mm×1050mm; 满足了小葱收获机轻量化和小型化的需求, 适应丘陵山地等复杂耕地情况。图1为其整体示意图。

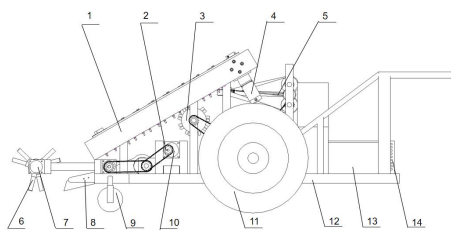


图1.小葱收获机整体二维示意图

图中, 1-纵向夹持传输装置; 2-链轮; 3-清土刷; 4-电机I; 5-换向传输装置; 6-旋耕刀; 7-直角减速器; 8-挖掘装置; 9-导向轮; 10-电机II; 11-行走轮; 12-机架; 13-电池; 14-收集篮。

2.2 工作原理

通过旋耕刀松垄后, 挖掘铲深入根部振动去土; 由于机器向前移动, 小葱根部脱离土块的同时整体向斜上方运至纵向输送带; 传输机构的皮带将夹持小葱茎叶部传输, 经旋转清土刷二次清土; 换向传输装置通过垂直带轮将小葱转为横向输送, 最终使其落至收集篮, 完成收获。其三维建模如图2所示。

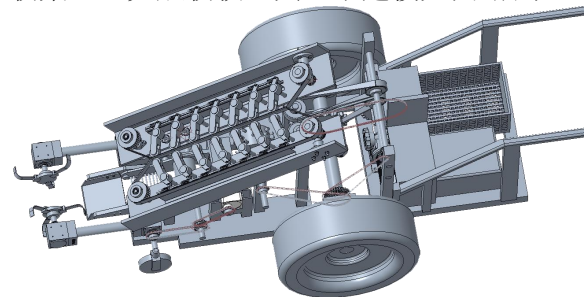


图2.小葱收获机三维建模

2.3 整机动力传递

小葱收获机以直流电机作为动力源, 运用到带传动、链传动以及齿轮传动。

参考小型拖拉机的动力机功率, 选用BMD-160M-B3直流制动电机: 额定功率7.5kW, 额定转速2910r/min, 防护等级为IP68, 可以适应田间的恶劣环境。该直流电机通过链传动、齿轮传动控制行走轮、清土刷、换向传输装置带轮。图3和表1分别为该部分的动力传递简图和传动比分配。

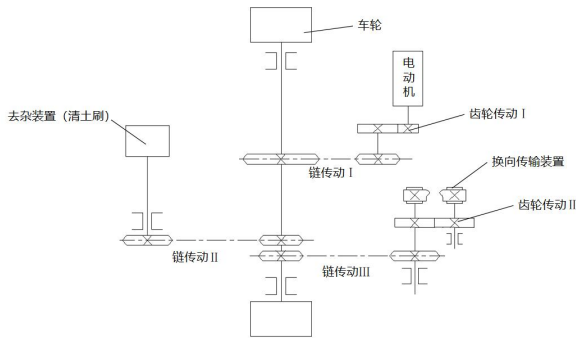


图 3.动力传递简图 1
表 1.传动比分配表 1

传动类型	传动比	传动类型	传动比
齿轮传动 I	4	链传动 III	0.25
链传动 I	8	齿轮传动 II	1
链传动 II	2		

参考相关微耕机的旋耕刀运动功率，选用DC5GU250-N-24—34S直流电机作为动力输出，通过链传动、齿轮传动将动力传递给旋耕刀、震动挖掘铲。该电机额定功率为2.2kw，额定转速为2800r/min，可配套不同速比的减速器。图4和表2分别为该部分的动力传递简图和传动比分配。

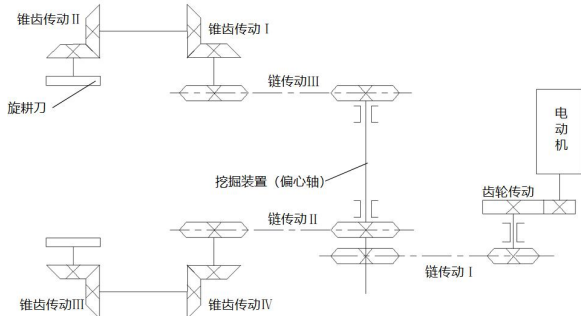


图 4.动力传递简图 2
表 2.传动比分配表 2

传动类型	传动比	传动类型	传动比
齿轮传动	6	锥齿传动 I	1
链传动 I	3	锥齿传动 II	1
链传动 II	1	锥齿传动 III	1
链传动 III	1	锥齿传动 IV	1

选用两个 DC4GN60-N-24-31s 小功率直流电机分别控制纵向传输装置左右两部分，额定功率为 60 W，额定转速为 2800r/min 可配套不同速比的减速器。该装置采用两个对称分布的齿轮传动，传动比为 9。

3.夹持传输装置设计与参数分析

3.1 夹持传输装置总体设计

夹持传输装置是小葱收获机的关键部件，本文使用了双带夹持机构，根据小葱的粗细和送入夹持传输装置的小葱数量动态调

整夹持力的大小。如图 5 所示。

夹持机构由同步带轮、夹持带、张紧轮及弹簧等组成。小葱经分土后进入，由两根柔性海绵带自适应夹持，弹簧保证其间距可调。双电机驱动同步带轮，使两侧带速一致，防止小葱打滑或旋转。海绵带的弹性变形既可有效夹持，又能避免损伤小葱。

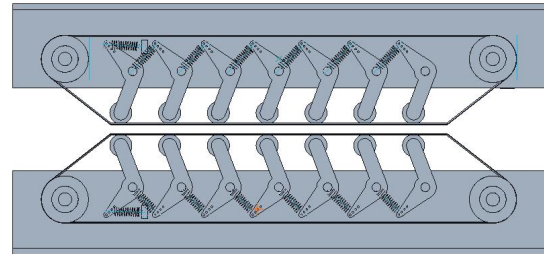


图 5.双带夹持传输装置

3.2 夹持输送带速度分析

在收获作业中，夹持带的传输速度受整机前进速度影响，而夹持点处速度的方向与大小直接决定了小葱的拔取姿态。为减少损伤，小葱在进葱端被夹持时，夹持带的拔取方向应尽量垂直于地面。夹持带传输速度的矢量分析如图 6 所示。

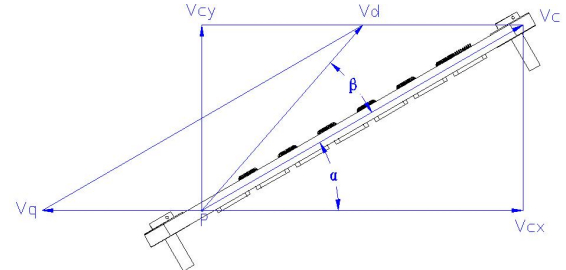


图 6.夹持带速度分解矢量

图中， V_c —夹持带输送相对速度； V_d —夹持带输送速度； V_q —行走速度； α —夹持输送装置倾斜角度； β —合成运动方向倾斜角度。

夹持力作用点为 P 点；

输送带的速度由以下公式确定：

$$\vec{V}_d = \vec{V}_q + \vec{V}_c \quad (1)$$

由正弦定理可得：

$$V_c / V_q = \sin(\alpha + \beta) / \sin \beta = K \quad (2)$$

当 $K > 1$ ， $\beta < \pi/2$ 时， V_d 偏向夹持带运动方向。而当 $K < 1$ ， $\beta < \pi/2$ 时， V_d 偏向收获机行进方向，此时，小葱形成一个相对倾斜的角度，会造成小葱收获时发生拥堵，也将影响到换向输送的效果。因此必须保证 $K > 1$ [10]。为了防止拥堵，提高收获效益，查阅相关设计资料得出夹持带的绝对速度 V_d 与相对速度 V_c 矢量方向的夹角 β 应设置在

10°~20° 范围内， $K=2\sim 4$ 。本文设计值 $\alpha=30^\circ$ ， $V_q=0.5\text{ m/s}$ ， $V_c=1.5\text{ m/s}$

3.3 小葱在夹持时的力学模型

小葱夹持输送时的受力分析，如图 7 所示。

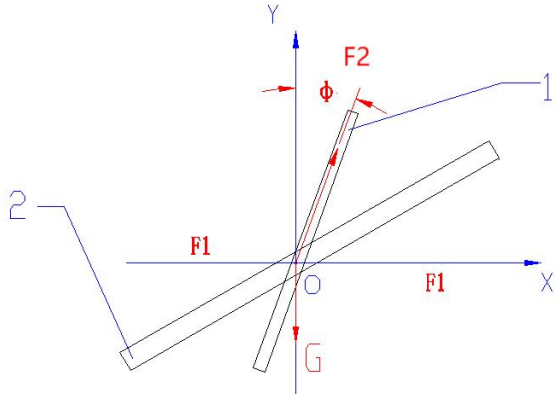


图 7. 夹持带夹持小葱力学模型

图中，1—小葱；2—夹持带；G—小葱自身重力； F_1 —小葱所受的夹持力； F_2 —小葱受到的摩擦力； ϕ —小葱倾斜角度。

小葱夹持输送时受摩擦力满足：

$$F_2 = G \cdot \cos \phi \quad (3)$$

小葱夹持输送时受到的夹持力为：

$$F_1 = G \cdot \cos \phi / \mu_1 \quad (4)$$

其中， μ_1 为夹持带对小葱的摩擦系数，取 0.75。

考虑到小葱从土垄中拔出会携带部分泥土，单束小葱的质量为 15g—50g，倾斜角度为 0-10°，对小葱夹持输送时受到的力进行近似计算，求得小葱在夹持输送过程中所受的夹持力范围为 0.193N—0.653N。由于葱垄土质疏松，经过旋耕机与振动铲的清土作用，拔取小葱时的土壤阻力可以忽略。综上，单根小葱夹持力应大于 0.653N。

为防止夹持力过大对小葱造成损伤，应对小葱最大夹持力进行计算。

$$F_{\max} = \sigma s \quad (5)$$

其中 σ —小葱在弹性末端受到的最大弯曲应力； s —小葱夹持时受力面积。

经查阅相关文献，小葱的抗压强度约为 0.11 MPa，结合所选同步带型号粗略计算单束小葱在夹持带上的受力面积为 600 mm²，则最大夹持力为 66 N。

由于小葱与带的接触面积在实际情况中存在偏小，最终选取 24N 作为带对小葱的夹持力。

4. 夹持传输装置模态分析

为保证夹持传输的稳定性，需对带轮轴

进行模态分析。带轮在旋转过程中易引发轴系轻微变形，若外部激振频率接近其固有频率，将导致剧烈共振，进而影响夹持性能、降低作业效率，甚至造成部件损坏。通过模态分析获取固有频率，可有效规避共振风险。

4.1 定义材料

在 Ansys workbench 软件中创建模态系统，添加 45 号钢材料，其杨氏模量 206 GPa，密度 7800 kg/m³，泊松比为 0.3，将带轮轴导入。如图 8 所示。

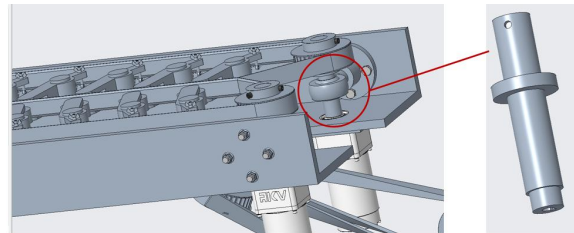


图 8. 带轮轴

4.2 网络划分

设定模型单元大小和网格。为了提高计算速度，在“网格”菜单中点击单元尺寸设定默认单元尺寸为 2 mm。共生成 48380 个节点与 28630 个四面体。图 9 为带轮轴网格生成图。

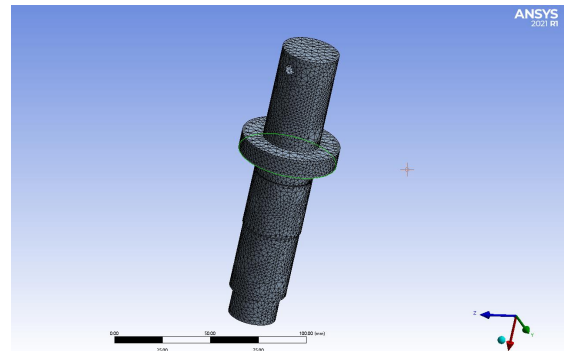


图 9. 带轮轴网格生成图

4.3 模态分析结果

带轮轴前 6 阶固有频率数值见表 3。

表 3. 带轮轴前 6 阶固有频率值

模态阶数	固有频率 (Hz)
1	0
2	5165
3	5174
4	10307
5	17197
6	18424

对于模态分析来说，阶次越低对系统产生影响越大，图 10 所示为 1~6 阶的振型结果，第 3 阶产生的形变值最大，为 Y 向弯曲震动。

计算带轮轴工作产生的激振频率，其计算公式为：

$$f = n / 60 \quad (6)$$

其中 n —轴工作的转速 (r/min)。

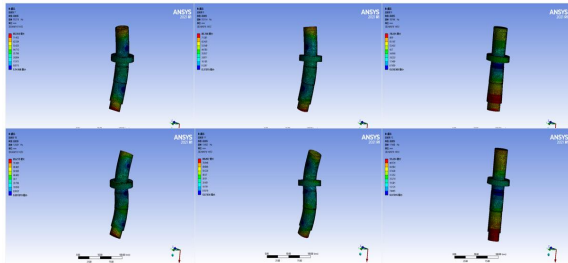


图 10.带轮轴 6 阶振型结果云图

本文所选型的电机转速为 286 r/min，代入式 (6)，计算频率为 4.77 Hz，远小于上述结果，故本设计合理，工作时将稳定运行。

5.结论

针对国内小葱收获作业机械率低以及收获装备研究较少的现状，设计了一款自走式小葱收获机，着重对其关键部件夹持传输装置进行三维建模，并通过有限元分析验证设计合理性。下一步将进行样机制造，着重对小葱收集过程中可能出现的堆叠问题进行验证，以期为我国小葱收获的机械化作业提供一定借鉴意义。

参考文献

- [1] 王丽乔, 袁瑞江, 安进军, 等.小葱种质资源的创制及应用[J].蔬菜, 2023, (06): 55-59.
- [2] 高莉敏, 陈运起, 高秀云, 等.大葱不同类型品种主要营养成分分析[J].山东农业科学, 2008 (4): 50-51.
- [3] 邵秀丽, 卢伟娜, 张慎璞, 等.中原地区大葱优质高产栽培技术[J].中国瓜菜, 2018 (6): 63-64.
- [4] 王伟, 吕晓兰, 王士林, 等.茎叶类蔬菜机械化收获技术研究现状与发展[J].中国农业大学学报, 2021, 26 (04): 117-127.
- [5] 彭帅, 杨勇, 陈龙, 等.大葱种植与机械化收获分析[J].中国农机化学报, 2017 (9): 30-35.
- [6] Medlock H, Ragsdale H. Green onion harvester: US3989110 [P].1976-11-02.
- [7] Provitola A. Ground surface crop harvester and harvesting method: US 6419028 [P].2002-07-16.
- [8] Kido D, Shuff D. Onion harvester with leaf topper: US 7007449 [P].2006-03-07.
- [9] 李正浩.自走式大葱联合收获机的设计与试验[D].山东农业大学, 2022.
- [10]孔志勇.无损伤大葱收获机关键部件的设计与仿真[D].天津农学院, 2019.