

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.03.031

弹性拔取式白萝卜收获机的设计和试验

崔锦,王亚娟,王清强,马愈龙,耿凯旋

(陕西能源职业技术学院,陕西 咸阳 712099)

摘要:为解决现有白萝卜收获机存在漏拔和破损萝卜的问题,设计一种弹性拔取式白萝卜收获机。利用 SolidWorks 软件对行走底盘、弹性夹取装置、调节装置及其他附属装置进行设计,采用有限元分析软件 SW Simulation 对松土组件进行强度校核,结果表明组件最大变形和最大应力在材料允许范围内。进行弹性夹取性能试验,确定拔取装置间距为 90 mm;弹性材料的最佳配合厚度为:EPE 单边 30 mm,EVA 单边 10 mm;可提供最大拔取力 200 N,弹性材料平均刚度 2.3 N/mm。制作样机进行田间试验,表明机具能顺利收获白萝卜并有效防止漏拔和损坏萝卜的情况发生。

关键词:白萝卜;收获机;结构设计;弹性夹取;有限元分析

中图分类号:TH122 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)03-0162-05

Design and Experiment of Elastic Pull-type White Radish Harvester

CUI Jin, WANG Yajuan, WANG Qingqiang, MA Yulong, GENG Kaixuan

(Shaanxi Energy Institute, Xianyang 712099, China)

Abstract: Addressing the issues of missed pulling and damaged radishes in existing white radish harvesters, an elastic pull-type white radish harvester is designed. Walking chassis, elastic clamping device, adjusting device and other auxiliary devices are designed with SolidWorks software. The strength of the soil loosening component is verified using the finite element analysis software SW Simulation, with the results showing that the maximum deformation and maximum stress of the parts are within the allowable range of the materials. Elastic clamping performance experiments are conducted, determining the distance between the pulling devices as 90 mm, and the optimal combined thickness of elastic materials as 30 mm for EPE on one side and 10 mm for EVA on one side, which can provide a maximum pulling force of 200 N and 2.3 N/mm average stiffness value of the elastic materials. A prototype is fabricated and field experiments are performed, which demonstrate that the machine can successfully harvest white radishes and effectively prevent missed pulling and radish damage.

Keywords: white radish; harvester; structural design; elastic clamping; finite element analysis

0 引言

我国是世界上白萝卜生产和消费第一大国,近年来种植面积和产量呈现持续增长趋势^[1]。白萝卜的收获在其整个生产环节中是最费时、费力的环节。目前我国白萝卜收获方式主要有传统人工收获和机械化收获两种^[2-4],而人工收获存在效率低、用工量大、劳动强度高问题。

为了提高白萝卜收获的机械化和自动化水平,很多学者对白萝卜收获机进行了研究,并取得了一定的研究进展^[5-8]。现有的白萝卜收获机主要分为拔取式和挖掘式两种方式。研究主要存在的问题有:体积大,不适用于我国的一些小地块种植模式和部分山地环境;易破损,在进行松土作业

和切缨作业时易对白萝卜造成破损;易漏拔,收获机拔取装置多使用带传动拔取萝卜缨,在拔取时可能会将茎叶夹断从而造成漏拔。

为解决上述问题,本文在现有拔取式白萝卜收获机的基础上,设计一种弹性自适应拔取式白萝卜收获机,以期获得较好的夹持力,避免损伤萝卜果实,可适应白萝卜的大小不一和果实高度不同的生长情况,提高白萝卜收获的机械化程度。

1 总体设计方案和工作原理

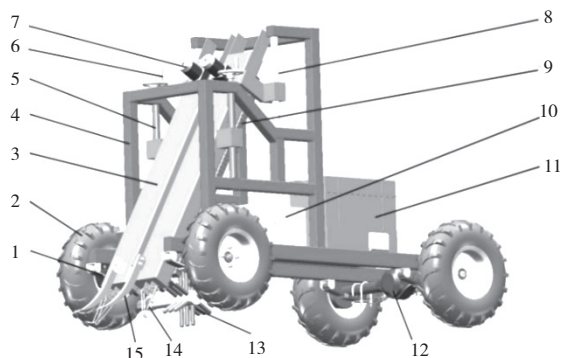
1.1 总体设计方案

本文设计的白萝卜收获机主要由行走底盘、拔取装置、调节装置、附属装置等组成,在自动行

基金项目:陕西省重点研发计划一般项目(2024GX-YBXM-253);咸阳市创新服务能力支撑计划(科技创新人才)项目(L2024-CXNL-KIRCTD-KJRC-0013);陕西能源职业技术学院自然科技重点项目(2022KY05KJZ)

第一作者简介:崔锦(1990—),男,陕西西安人,讲师,工程师,硕士,研究方向为机械产品设计与制造,cuijin20082009@163.com。

走的过程中一次性完成松土、拢纓、拔取、清土、运输、收集等动作,总体结构如图1所示。



1—底盘前桥部分;2—轮胎;3—链轮架体;4—车体支架;
5—丝杠调节装置;6—手轮;7—链轮电机;8—光杠装置;
9—弹性夹取装置;10—收集箱;11—电池及控制部分;
12—底盘后桥部分;13—拢纓架;14—清土架;15—松土组件。

图1 总体结构

行走底盘采用四轮框架结构,利用蓄电池提供动力,具有遥控前进、后退、转弯、变速等功能,自动化程度高。拔取装置可完成夹、拔、输送等功能,采用两条带有K形附板链条^[9]进行挤压夹持,链条表面拼接设置一定厚度的弹性材料组合。调节装置采用丝杠螺母机构设计,可以根据具体拔取萝卜的田间情况,通过手轮调节夹拔输送装置的距垄高度。附属装置主要包括松土组件、清土架、拢纓架、相关架体和电器控制模块等。

1.2 工作原理

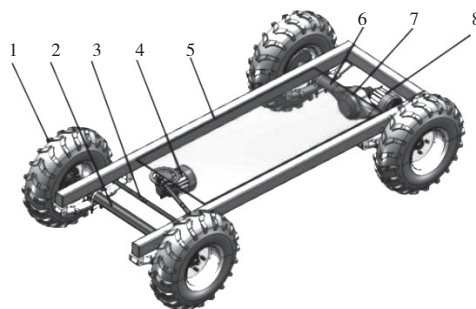
本文设计的白萝卜收获机采用先松土后拔取的收获方式。在作业前将机具开至白萝卜种植地垄沟处,根据该地块白萝卜生产的实际情况设定松土装置的入土深度和调节拔取装置的距地面高度;开启弹性拔取装置控制电机,调节链轮电机速度;遥控开启机具行走,收获机具有前进、后退、左转弯、右转弯、1挡位、2挡位、3挡位、停止等基本功能。松土组件先对萝卜果实的两侧进行松土,拢纓架进行纓子拢集;随着机具的前进,弹性夹取装置直接接触萝卜露出地面的部分,弹性夹取装置开始变形获得夹取力;白萝卜在夹取力的作用下被拔出地面,随着运输装置输送到机具后方进行收集。

2 机具结构设计

2.1 行走底盘

底盘的主要作用是支撑和安装机具的其他部

件,提供动力并通过遥控器控制机具的地面运动。行走底盘结构如图2所示,主要由框架、前(后)桥总成、轮胎、转向电机、转向执行总成、差速器、驱动电机等组成。设计底盘前(后)桥长度时,要考虑白萝卜种植的垄高和垄距,保证机具正常行驶能通过垄沟,所以选取底盘前(后)桥长度为800 mm。

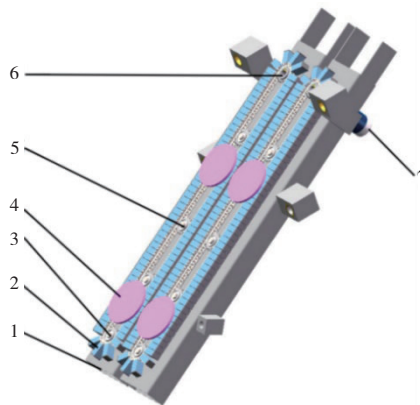


1—轮胎;2—前桥总成;3—转向执行总成;4—转向电机;
5—框架;6—后桥总成;7—差速器;8—驱动电机。

图2 行走底盘

2.2 弹性夹取装置

弹性夹取装置是整个机具的主要部分。利用两个电机带动两条链条反向转动,依靠链条上方布置的弹性组合材料和白萝卜露出地面部分果实的表面摩擦力拔取白萝卜,其结构如图3所示。主动链轮置于机架后端,从动链轮置于机架前端,为保证链条运行过程中的稳定性,设置辅助链轮和托轮。链条选用带K型附板的08A型滚子链,链条和弹性材料组合的连接方式如图4所示。弹性组合材料可以根据不同的实际需求进行替换,操作简单,实用性强。



1—链轮架体;2—弹性夹取材料组合;3—被动链轮;
4—托轮;5—辅助链轮;6—主动链轮;7—链轮电机。

图3 弹性夹取装置(翻转观察)

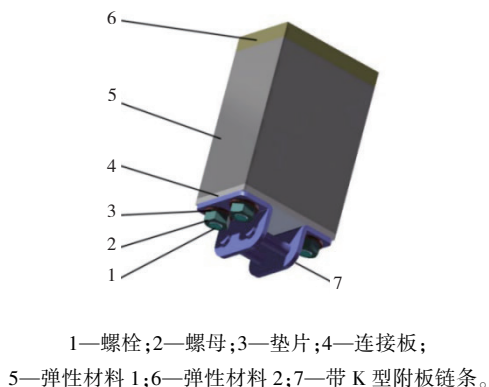


图4 弹性材料组合连接方式

2.3 调节装置

根据实际生产情况,白萝卜果实露出土壤的根块由于长度不同,垄高也存在不同的高度和误差。为了适应不同地块的实际情况,要求夹取机构距地面的高度可调,提高机具的实用性。为了简化机具并且方便操作,采用丝杠和光杆装置进行调高,丝杠通过手轮进行人工操作。操作者根据本地块实际情况,在运行前手动调节夹取装置两侧距地面高度。由于本机具有弹性自适应性,运行过程中对高度和两侧是否对齐没有过高要求,更适合农业收获实际情况。调节装置结构如图5所示。

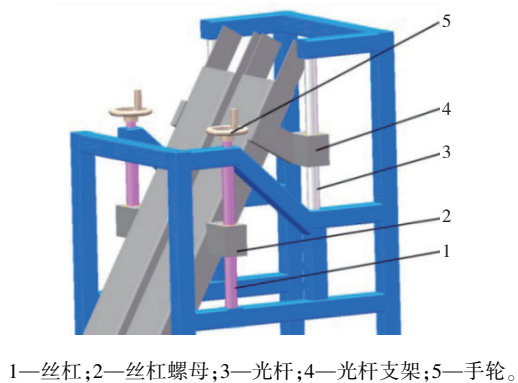


图5 调节装置

2.4 其他附属装置

附属装置主要包括松土组件、拢缨架、清土架等。松土组件可通过弧形槽调节入土深度;拢缨架在拔取之前将萝卜缨子适当聚拢;在白萝卜上升运输过程中,清土架利用橡胶棒旋转碰撞作用给白萝卜清土。松土组件结构如图6所示。

3 关键零部件强度校核

松土组件是机具收获过程中受力最大的零部

件。土壤对入土的松土铲柄施加作用力。为保证收获装置在作业时的稳定性,采用有限元分析软件 SW Simulation 对松土组件进行强度校核^[10-13]。

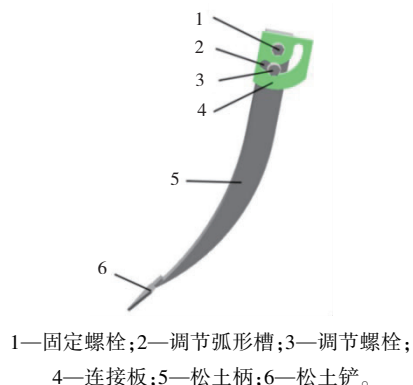


图6 松土组件

1) 材料属性:松土组件材料采用 Q345,材料密度为 7.85 g/cm^3 ,屈服强度为 345 MPa,弹性模量为 206 GPa,泊松比为 0.3。

2) 载荷分析:松土组件主要受到土壤阻力。土壤阻力与作业的具体工况、土壤性质、松土组件的入土深度等有关。根据实际田间考察,并在本文的试验田现场测定,取最大阻力 1 500 N 作为最大载荷施加在松土组件内侧区域。将松土组件最上端固定约束。

3) 仿真结果:松土组件的变形云图和应力云图如图7所示。

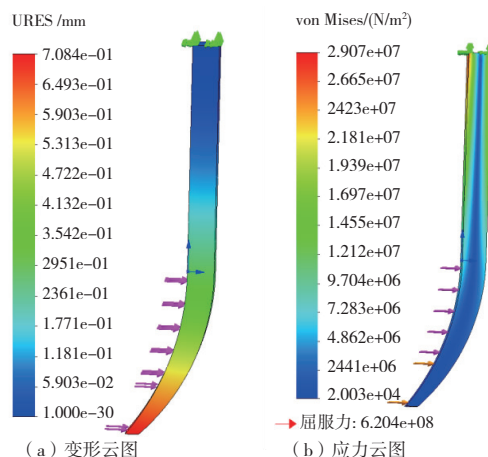


图7 松土组件静力学分析结果

根据松土组件的变形云图和应力云图可知,变形量最大的位置在松土组件的顶端,最大变形量为 0.7 mm,变形量很小可忽略不计;最大应力位置在铲柄固定点,最大应力为 29 MPa,远小于材料所能承受的最大应力 345 MPa,符合设计要求。

4 弹性夹取性能试验

弹性组合体的几何厚度和组合材料的刚度是决定拔取力的重要因素。通过模拟拔取萝卜试验来验证弹性组合体的拔取力,以确定最合适的拔取装置间距和弹性材料的最佳配合厚度。

弹性材料的选取既要充分考虑拔取力和表面摩擦力,也要考虑材料的实用性和经济性。本文选取的弹性组合体试验样本材料为:乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)^[14]、可发性聚乙烯(EPE)^[15]。EVA材料具有良好的柔软性和弹性,化学稳定性良好、无毒性^[16-17],可直接接触白萝卜表面,利用摩擦力提供拔取力;EPE材料轻质、耐水、耐油、耐酸碱^[18-19],可以很好地利用其弹性力提供压力,经济实用,适合农业收获环境。

使用两台型号相同的多功能台虎钳分别进行模拟拔取试验和弹性组合材料刚度试验。使用的工具仪器有钢直尺、压力传感器(HX711)^[20]、拉力器(精度50 g,最大测量力500 N)等。白萝卜拔取力试验结果如表1所示。

表1 弹性拔取力试验结果

样本 编号	单边 EPE 厚度/mm	单边 EVA 厚度/mm	双边变形 量/mm	距离/ mm	夹取最大 拉力/N
1-1	20	10	25	90	100
2-1	30	10	35	90	200
3-1	20	20	20	110	60
3-2	20	20	33	100	96
3-4	20	20	40	90	120
4-1	25	10	10	110	70
4-2	25	10	20	100	120
5-1	28	10	40	100	70
5-2	28	10	50	90	80
6-1	15	50	55	110	20
7-1	10	30	36	110	40
7-2	10	30	42	100	64
7-3	10	30	50	90	88
8-1	10	20	30	100	40
8-2	10	20	40	90	65
9-1	15	15	40	90	100

从拔取力试验结果可以看出,弹性夹取组合所提供的白萝卜拔取力大小和材料的类型、厚度、变形量不同是有关系的。弹性组合的材料和尺寸设计应根据拔取力的要求确定。设定拔取力不小于150 N的情况下,选择2-1样本尺寸进行后续

刚度试验,即可以确定拔取装置间距90 mm,弹性材料的最佳配合厚度为:EPE单边30 mm,EVA单边10 mm,可提供最大拔取力200 N。

选择2-1样本尺寸进行组合材料刚度试验。将对应的弹性组合体固定到装有压力传感器的多功能台式虎钳上,观察并记录弹性夹取组合体的双面变形量,测得白萝卜受到的对应压力。通过试验结果可以看出,弹性组合对萝卜的压力和变形量基本呈线性关系,平均刚度值为2.3 N/mm。

5 样机试验

试验样机总长2 100 mm,宽1 200 mm,高1 500 mm。选择蓄电池提供动力,环保可靠。蓄电池为行进电机、转向电机和链轮电机提供动力。选择蓄电池额定电压48 V,额定电流60 A,电池容量200 Ah;行进电机选择额定电压48 V,功率500 W;转向电机选择额定电压48 V,功率350 W;链轮电机额定电压24 V,功率120 W,配备低转速大转矩齿轮减速机。综合本机所有用电设备,蓄电池可连续放电工作6 h。白萝卜采用垄作方法种植,垄宽40 cm,垂直高度15 cm,一垄一行。样机实物如图8所示。



图8 样机实物

从试验结果可以看出,机具可以很好地适应白萝卜种植田的实际情况,调节装置和拔取装置进行配合作业可将白萝卜顺利地拔出并进行运输收获。由于本机具有弹性自适应,故在拔取过程中没有发生漏拔和破损萝卜的情况。

6 结语

1)本文设计了一种弹性拔取式白萝卜收获机,主要由行走底盘、拔取装置、调节装置、附属装置等组成。该机具在自动行走的过程中一次性完

成松土、拢纓、拔取、清土、运输、收集等动作。松土组件静力学分析符合设计要求。

2) 弹性夹取性能试验表明,在合适的夹取间隔和材料厚度情况下,利用弹性组合体可以获得所需的夹取力。拔取装置间距 90 mm,弹性材料的最佳配合厚度为:EPE 单边 30 mm,EVA 单边 10 mm,可提供最大拔取力 200 N。弹性组合材料平均刚度值为 2.3 N/mm。

3) 田间试验结果表明,机具能将白萝卜顺利地收获,有效地防止了漏拔和损坏萝卜情况的发生,具有很好的实用性,能进一步提高我国白萝卜收获机械化和自动化水平,降低劳动强度,减少用人需求,从而提高经济效益。

参考文献:

- [1] 张丽,王庆彪,王艳萍,等. 我国萝卜产业发展现状、存在问题及对策[J]. 蔬菜,2025(3):12-17.
- [2] 姚帅,薛臻,缪磊,等. 拔取式白萝卜联合收获机研制与试验[J]. 中国农机化学报,2023,44(8):27-33.
- [3] 刘新柱,王树林,王玉花,等. 东北大红萝卜收获机结构设计[J]. 农机化研究,2023,45(4):124-128.
- [4] 张富贵,范维. 白萝卜收获机械化研究现状及发展趋势[J]. 新疆农机化,2021(3):25-27,31.
- [5] 肖霄,谢方平,赵周桥,等. 4BL-1 型白萝卜联合收获机纓叶聚拢装置优化与试验[J]. 农业工程学报,2024,40(11):38-47.
- [6] XIAO X, XIE F P, ZHAO Z Q, et al. Design and experimentation of a self-propelled picking type white radish combine harvester [J]. Agriculture, 2023, 13(8):1578.
- [7] KIM W S, ABU AYUB SIDDIQUE M, KIM Y J, et al. Simulation of the rollover angle of a self-propelled radish harvester for different load conditions [J]. Applied Sciences, 2022, 12(21):10733.
- [8] 付威,陈海涛,坎杂. 萝卜收获机振动松土铲参数的优化[J]. 农业工程学报,2011,27(11):46-50.
- [9] 卢建富,寿飞峰,周健,等. GB/T 1243—2024《传动用短节距精密滚子链、套筒链、附件和链轮》解读[J]. 机械工业标准化与质量,2024(10):16-19,30.
- [10] 王清强. 草方格铺设车传动系统设计与分析[J]. 机械制造与自动化,2024,53(1):78-81.
- [11] 董睿,鸦婧,俞竹青. 基于 2R 型并联舰载稳定平台的运动学及静力学[J]. 机械设计与研究,2023,39(2):70-74.
- [12] 张洪,刘侃,刘林沂. 新型瓷砖铺贴机器人结构设计与分析[J]. 机械设计与研究,2021,37(2):149-153.
- [13] 徐涛,丁长涛. 仿生扑翼结构优化设计及动力学仿真分析[J]. 机械制造与自动化,2024,53(1):128-132.
- [14] 田东鹏,王芳,刘辉,等. 乙烯-醋酸乙烯酯共聚物国内生产应用现状[J]. 合成材料老化与应用,2023,52(4):110-113.
- [15] 陈家璇,周卫中,张美,等. 高弹 EPE 泡沫两自由度连续冲击包装动力学响应研究[J]. 包装工程,2024,45(19):318-324.
- [16] 姚明奇,荣静,段思雨,等. 三水碳酸镁纤维的制备及其在 EVA 中的应用[J]. 塑料科技,2024,52(9):73-78.
- [17] 林华杰. 光伏组件用 EVA 胶膜改性研究进展[J]. 现代塑料加工应用,2024,36(3):56-59.
- [18] 伍瑾,卢富德,王彪,等. 易损件在连续跌落冲击载荷作用下的动力学响应[J]. 振动与冲击,2023,42(20):275-279.
- [19] 陶连豪,高金国,吴雨萌,等. EPE 网套包装皇冠梨的静力学特性及损伤研究[J]. 包装工程,2024,45(9):1-9.
- [20] 李朝阳. 基于 HX711 带记忆功能的饮水量计量装置[J]. 电脑知识与技术,2023,19(26):95-98.

收稿日期:2024-11-15

(上接第 156 页)

- [12] 韩亮,付丽华,张文武. 单级直齿齿轮传动多目标模糊优化控制[J]. 机械设计与制造,2024(12):134-138.
- [13] 莫帅,王冬冬,胡效松,等. 考虑齿面摩擦的斜齿轮副时变啮合刚度计算方法[J]. 中国科学院大学学报(中英文),2024,41(4):558-565.
- [14] 孙斌,王友仁,高佳豪. 考虑中心距安装误差下的齿面磨损特性分析[J]. 机械制造与自动化,2024,53(2):15-19.
- [15] 漆鹏飞,石建飞,靳伍银,等. 局部破损下考虑摩擦的直齿轮系统多状态啮合-碰撞动态特性研究[J]. 西北工业大学学报,2024,42(3):531-539.
- [16] 刘炆,王结鑫,崔熙. 随机扰动和摩擦下的斜齿轮系统动态特性分析[J]. 机械设计与制造,2024(6):379-384.
- [17] 张学叶,张平平. 齿轮啮合接触磨损的参数相似模型研究[J]. 机械设计与制造,2024(11):93-98.
- [18] 莫帅,黄轩,刘文斌,等. 面齿轮-行星齿轮耦合传动系统非线性动力学研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2024,52(10):40-46.
- [19] 何泽银,裴世丰,杨金,等. 计入冲击与摩擦的齿轮副传动特性研究[J]. 机床与液压,2025,53(1):1-8.
- [20] 闫晓丽,崔钺,孟丽丽. 齿轮啮合周期内摩擦载荷变化有限元仿真分析[J]. 计算机仿真,2024,41(4):512-516.

收稿日期:2023-12-06