DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2026.01.020

可变履带式莲藕采收机底盘的设计与分析

刘岸卓[1], 杨晨升[1, 2*], 梁海斌[1], 杜历琪[1]

(1. 黑龙江科技大学机械工程学院,黑龙江哈尔滨,150022; 2. 黑龙江科技大学国家级大学生校外实践教育基地,黑龙江哈尔滨,150022)

摘要:我国莲藕产业在国际市场占据主导地位,但莲藕采收机械化率较低。传统农机刚性底盘难以满足稳定性、通过性与适应性要求。针对这一问题,研究设计了一种可变式三角履带底盘,以提升采收机在复杂藕田环境中的作业性能。通过分析藕田工况及底盘受力特性,确定了履带接地比压、牵引力、功率等关键参数,采用模块化设计结合ZL303铝合金材料优化整机结构,实现减重与成本控制。利用SolidWorks建立三维模型,基于ANSYS Workbench对驱动轮、可变装置及承重部件进行有限元分析,涵盖应力分布、疲劳安全裕度及模态特性等关键指标。仿真结果表明:当整机满载总质量1.1 t、最高速度15 km/h时,驱动轮最大应力为44.05 MPa,关键部件疲劳安全系数均高于2.4,最低固有频率为323.3Hz,可有效避免与附加设备振动频率(50~300 Hz)产生共振。通过液压系统动态调节履带张紧力(400~2 000 N)和可变轨距机构,底盘具备300 mm垂直越障能力及0.4 m水深适应性。整机采用冗余设计与模块化维修体系,有效解决了现有技术系统集成度不足、能量效率偏低、制造成本较高等问题。该底盘满载时有效载荷比达54.5%,重心高度控制在420 mm以下,倾覆力矩安全系数满足GB/T19930-2005标准要求,且预留3组动力输出接口与4个标准化安装基座,支持多功能农业作业装置快速换装,为智能农机装备开发提供了可靠平台。

关键词:莲藕采收;可变式底盘;三角履带底盘;模态分析;履带底盘;经济水生植物产业

中图分类号:S225.79 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-7217(2026)01-0190-07

刘岸卓, 杨晨升, 梁海斌, 杜历琪. 可变履带式莲藕采收机底盘的设计与分析[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2026, 7(1): 190-196

LIU Anzhuo, YANG Chensheng, LIANG Haibin, DU Liqi. Design and analysis of the variable track chassis for lotus root harvesters [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2026, 7(1): 190-196

0 引言

我国莲藕产业在国际市场占据主导地位,年出口量占全球总量的68%以上。然而,农业农村部2024年统计数据显示,莲藕采收机械化率不足12%,远低于水稻、玉米等大宗作物[1]。这一现状的核心制约因素在于池塘特殊作业环境,其土壤含水率达65%~80%,抗压强度仅0.15~0.3 MPa,且随机分布10~30 cm高的莲藕垄埂,导致传统刚性底盘难以满足稳定性、通过性与适应性要求[2]。

在国外,德国研究人员WALENTOWSKI等[3]基开发了一套用于车辆半主动液压底盘稳定系统。该设计能够依据土壤压力动态调节底盘高度与支撑结构,使机器在含水率高达70%的淤泥环境中实现更平稳、高效地行进。CRANE等[4]提出一种混合动力机器人车辆设计方案,通过在车轮组件基础上集成履带组件,引入了包含一个垂直轴和两个水平轴在内的3个自由度。这种多自由度结构增强了机器人在障碍物密集地形中的通过能力,并具备实时感知土壤硬度的功能,可自动将悬架刚度在15~75 kN范围内进行调节,从而显著提升在松软地面的行驶稳定性。

国内研究同样取得了显著进展。中南林业科技大学[5]推出的自适应丘陵山地作业的履带式行走液压底盘。其核心结构包括履带行走组件、机架、液压驱动系统、作业头安装架及操作电控台,通过操作电控台控制液压驱动系统,进而驱动履带行走组件运动,实现全液压驱动。液压驱动系统含柴油发动机、液压泵及多路控制阀等,支持手动与遥控双重操控;机架设4个矩形

收稿日期:2025-03-02 修回日期:2025-05-02

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目(202410219095);省级大学生创新创业训练计划项目(S202410219022S);2024年度农业农村部规划设计研究院自主研发项目(QX202424)

第一作者:刘岸卓,男,2004年生,江苏徐州人;研究方向为农业机械化设备。E-mail: 3200874011@qq.com。

*通信作者:杨晨升,男,1979年生,黑龙江黑河人,硕士,教授;研究方向为机械设计及理论。E-mail: yangchensheng1234@163.com

分布的振减块，保障液压驱动系统稳定性，排气管水平向前布置以缩减体积；作业头安装架通过4个矩形分布的挂钩，可快速更换多种作业头。实现了底盘在极小角度范围内的高精度姿态控制，旨在解决传统机械式底盘体型大、操控不便、地形适应性差及作业头通用性低等问题，显著提高了装备通用性与自动化水平。

尽管上述技术已取得阶段性成果，但仍普遍存在系统集成度不足、能量效率偏低、制造成本较高等共性问题。为此，响应国家《“十四五”全国农业机械化发展规划》中“智能农机装备”的重点发展方向，本研究设计了一款可变式三角履带底盘装置，并采用有限元分析软件对其关键结构进行了力学性能验证[6-7]。

1　整机结构与工作原理

1.1　整机结构

整机采用模块化可变三角履带底盘设计，主体结构由电力驱动，各部分布局如图1、图2所示，主要规格见表1。

前端配置宽幅水枪收集装置与刮板输送系统，用于莲藕的采收与初步输送。后端集成莲藕装载斗（容积0.6 m^3）、蜗壳水泵及动力系统，实现莲藕的装载与运输。内部设置传动箱与智能控制系统，保障整机的动力传输与智能化操作。底盘采用可变三角履带结构，双履带组有效接触长度可变（调整前1.6 m，调整后1.3 m），单条履带宽度0.2 m，适应不同藕塘工况。整机满载质量1 100 kg时有效载荷比达54.5%，搭载600 kg作业装置时重心高度控制在420 mm以下[8-9]。通过高离地间隙（380 mm）与低重心耦合设计，实现不同水深条件下的动态稳定性，其倾覆力矩安全系数满足GB/T19930－2005[10]标准要求。

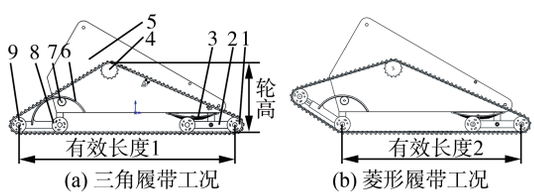


图1　总设计简图

Figure 1　General design drawing

1. 承重轮　2. 后桥　3. 减震弓片　4. 驱动轮　5. 封闭式车体　6. 旋转齿圈　7. 驱动齿轮　8. 内置液压张紧系统　9. 伸长部件



图2　样机图

Figure 2　Prototype diagram

表1　莲藕采收机主要规格参数表

Table 1　Main specification parameters of lotus root harvester

项目名称	参数
机长/mm	1 713
机宽/mm	1 215
整机重量/kg	547.2
满载重量/kg	1 100
接地长度（可变装置变化前）/m	1.6
接地长度（可变装置变化后）/m	1.3
最大行驶速度/(km·h^{-1})	15
最大越障高度/mm	300
越沟宽度/mm	600
接地比压（变化前）/kPa	17.6
接地比压（变化后）/kPa	21.6
驱动轮离地间隙/mm	460
履带节数/节	123

1.2　工作原理

通过可变三角履带底盘动态调整接地参数，双履带组根据工况改变有效接触长度，结合履带宽度0.2 m，确保接地比压在安全范围（许用阈值30～80 kPa）[11]。当MCU触发越障指令时，液压系统降低张紧力至400 N，驱动齿轮带动外齿圈旋转抬升装置，同时伸缩轮架前伸，维持系统张紧力，实现越障或脱离困境[12]。

前端水枪收集装置利用高压水流冲刷莲藕周围淤泥，使莲藕松动。刮板输送系统将松动的莲藕输送至后端装载斗，装载斗容积0.6 m^3，可容纳0.6 t莲藕。蜗壳水泵配合水体润滑，降低机械阻力，同时提升水位至200～300 mm，保证浮筒式采收机的漂浮稳定性[13]。

整机采用电力驱动，动力系统通过传动箱将动力传递至驱动轮，最大行驶速度15 km/h。智能控制系统实时监测设备状态，根据工况自动调节可变装置、液压系统等参数，保障作业安全高效。

1.3　关键创新设计

通过动态调整接地参数，适应0.5～5 hm^2不同形态藕塘，解决黏土与壤土高含水率下承载力下降问题。同时采用模块化结构，内置液压张紧系统与伸缩轮架，通过液压控制器调节柱塞杆张紧力，实现接地比压优化[14-15]。

针对高湿度、有机质腐蚀环境，采用齿式啮合结构（节距52 mm，宽度200 mm），搭配人字形花纹，解决黏着磨损与磨粒磨损失效问题。履带板结构为橡胶体＋帘布层＋钢丝圈组合，增强耐磨性与抗腐蚀性[16]。

组合式驱动轮（表2、图3）由内板（30 mm）、腹板

(25 mm)、外板(35 mm)组成,驱动齿 $Z=14$,通过齿孔啮合传动(矩形通孔 30 mm×22 mm),解决三角履带小包角(≈135°)下的传动效率问题,传动效率≥92%。整件由 ZL303 铝合金铸造而成,金属型铸造工艺的使用可以兼顾强度与轻量化[17]。

表 2 主要设计参数

Table 2 Main parameters

名称	参数
啮合方式	齿式啮合
履带宽度/mm	200
履带节距/mm	52
花纹形式	人字形
最高线速度/(km·h^{-1})	15

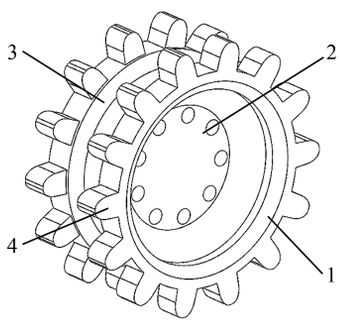
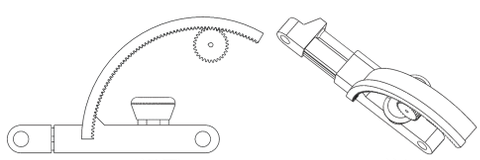


图 3 驱动轮设计

Figure 3 Drive wheel design

1. 外板 2. 腹板 3. 内板 4. 驱动齿

主动调节可变装置(图 4)安装于前桥的主动调节机构,通过液压控制器与驱动齿轮协同工作,实现抬升角度与伸缩轮架伸出距离的动态调节,赋予设备越障与自救能力。



(a) 正视图 (b) 立体图

图 4 可变装置设计图

Figure 4 Design drawing of variable device

液压系统驱动柱塞杆张紧履带,伺服电机通过弹性联轴器带动驱动齿轮,避免齿圈疲劳损伤,仅需定期更换弹性联轴器,降低维护成本。实现对 300 mm 垂直越障高度及 0.4 m 水深环境的全地形适应。系统通过性指数预计达到 0.85,较传统履带底盘提升 23%[18-19]。

2 仿真计算与数值分析

2.1 驱动轮的仿真与分析

采用 SolidWorks 三维建模软件构建莲藕采收机驱动轮的三维实体模型,将其导入 ANSYS 有限元分析软件,针对驱动轮启动工况开展瞬态动力学仿真分析。通过仿真计算,获取驱动轮在该工况下的疲劳安全系数、等效应力安全系数、最大主应力安全系数及最大剪切应力安全系数。

2.1.1 前处理

驱动轮三维模型基于 SolidWorks 建立,忽略非承载细节后导入 ANSYS Workbench。材料属性定义为 ZL303 铝合金,定义接触对为驱动轮齿－履带板啮合副,随后进行网格划分。对载荷作用区域网格实施局部加密处理,最终模型包含 7 953 个单元。

仿真工况设定为:采收机在藕塘满载工况下全功率输出启动,此时可变机构处于最大偏转角度,仅 3 个驱动轮齿与履带板保持啮合。基于虚位移原理建立载荷分配模型,计算结果表明危险截面轮齿需承受单侧转矩与履带张紧力的 50% 合成载荷。由扭矩公式可以得到单个轮齿承受的转矩为 169 N·m。

仿真加载条件设定为:电机启动转矩以斜坡载荷形式施加,履带张紧力根据藕池底质松软度及机构运行状态在 400～2 000 N 范围内变化。

仿真计算取典型工况值:张紧力 $F=2\,000$ N,对应轮齿法向载荷 $F_n=1\,000$ N。由于张紧力为持续作用载荷,故以常值载荷形式施加。按照上述载荷条件施加斜坡转矩与常值张紧力,开展瞬态动力学仿真分析。

2.1.2 计算结果

鉴于极端恶劣工况及启停频繁、人为误操作等复杂现实条件,本研究基于多因素耦合影响开展关键部件疲劳寿命评估。通过材料的 S-N 曲线分析,采用保守疲劳强度折减系数:$K_f=0.5$。最小安全系数为 3.76,安全系数分布云图如图 5 所示。仿真计算结果如图 6 所示,该驱动轮在此工况下的最大应力为 44.05 MPa。

在正常满功率和张紧力地运转的情况下,该驱动轮的危险单元集中在轮齿的齿根处,以最大等效应力失效理论来计算(图 7)可以得出驱动轮的安全系数为 6.36。同理,按最大剪切应力失效理论来分析,可以得出驱动轮的安全系数为 5.79,如图 8 所示。

驱动轮的极限工况下疲劳安全系数最小值达到 3.76,最大主应力分析安全系数最小值达 6.36,最大剪切应力分析安全系数达 5.79;各条件下安全系数最大值均大于 15,符合安全使用标准。

分析结果表明,该驱动轮作为莲藕采收机的核心承载部件,其力学性能满足设计要求与服役需求,验证了驱动轮结构设计方案的合理性与工程可行性,为后续整机性能优化及实际生产应用提供了可靠的理论依据与数据支撑。

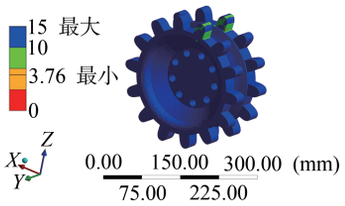


图 5　驱动轮的疲劳安全系数图

Figure 5　Equal effect diagram of driving wheel

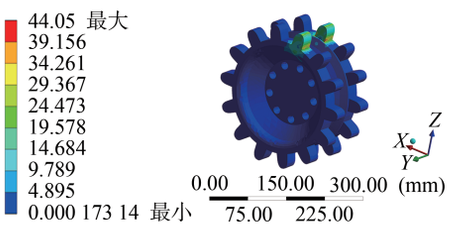


图 6　驱动轮的等效应力图

Figure 6　Equivalent force diagram of driving wheels

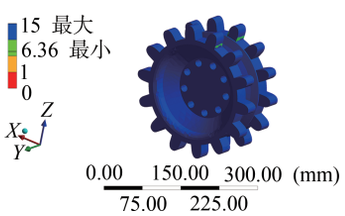


图 7　驱动轮的最大主应力安全系数图

Figure 7　Safety factor diagram of maximum principal stress for driving wheels

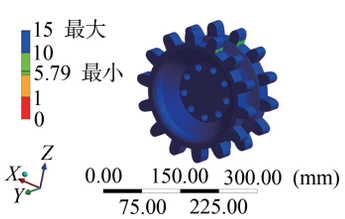


图 8　驱动轮的最大剪切应力安全系数图

Figure 8　Maximum shear stress analysis and safety factor diagram of drive wheel

2.1.3　路径计算结果

仿真结果表明，等效应力云图与安全系数云图均显示驱动轮危险区域集中于轮齿工作面边缘。基于此，首先在轮齿工作面 4 条边线创建路径坐标系，通过路径提取技术获取 15 个等距采样点的应力数据，并拟合形成应力分布折线图以定位峰值位置。同理，对 15 个等距应变采样点数据采用柱状图可视化，清晰呈现应变梯度变化趋势，如图 9 和图 10 所示。

分析结果显示：轮齿各工作面最大应力与应变均出现在齿根区域，即橡胶履带板与驱动轮接触区域。其中，应力应变极值点位于第 3 路径内板轮齿位置。为提升轮齿强度，将对轮齿表面实施表面淬火处理在轮齿工作面转折处进行半径 0.5 mm 倒圆角过渡，最后模具制造时将内板轮齿厚度由原设计值增加 0.8 mm。分析结果显示：轮齿各工作面最大应力与应变均出现在齿根区域，即橡胶履带板与驱动轮接触区域。其中，应力应变极值点位于第 3 路径内板轮齿位置。为提升轮齿强度，将对轮齿表面实施表面淬火处理在轮齿工作面转折处进行半径 0.5 mm 倒圆角过渡，最后模具制造时将内板轮齿厚度由原设计值增加 0.8 mm。

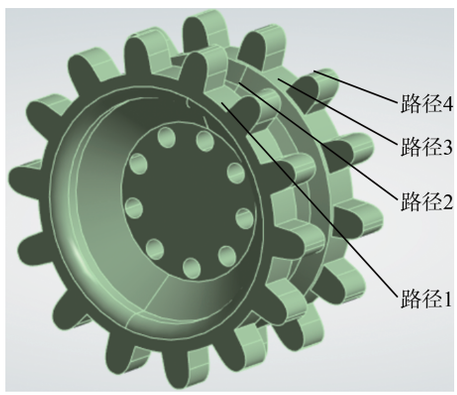


图 9　路径划分示意图

Figure 9　Path partition diagram

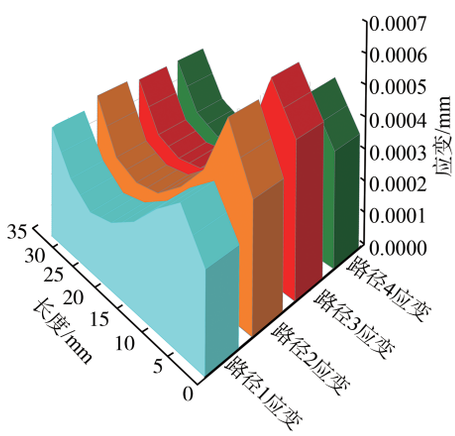


图 10　路径上应变趋势示意图

Figure 10　Diagram of strain trend on the path

2.2　可变部件伸长部分的模态分析

在机械系统里，结构振动特性对系统的动态稳定性以及使用期限有着直接影响。模态分析是弄清楚振动本质的关键工具，它的工作方式是对自由振动方程进行求解，进而把系统的振动响应拆分成不同阶次模态振动的线性叠加形式。

在描述系统振动特性的指标中，模态质量和模态动能是衡量振动能量分布情况的重要参数。其中，模态质量是通过对应阶次模态的振型向量转置后，与系统质量矩阵相乘，再乘以该阶次模态的振形向量计算得到的；模态动能则是由对应阶次的模态质量乘以该阶次模态固有角频率的平方，然后再乘以 0.5 得到[20]。对于可变部件伸长部分的结构而言，由于其材料具有连续分布的特点，且整体结构刚度较高，所以这类结构的振动响应主要是由低阶次的模态振动所决定[21-23]。

为了确保用于分析的仿真模型能够准确反映实际

结构的振动特性,需要采用模态置信准则来进行验证仿真模型的准确性,从而为后续开展结构振动控制研究和结构优化设计工作提供可靠的理论基础[24]。

2.2.1 柱塞杆的模态质量和模态动能分析

鉴于承重杆、柱塞杆及柱塞缸需承受动态交变载荷与振动激励,需通过模态特性分析确定其固有频率。因其振动模型并不复杂,所以为低阶模态主导的振动响应。故只分析其1~6阶模态。

研究表明,在动力系统设计及采收部件安装过程中,应通过有限元法模态分析规避共振风险,确保电机选型与安装位置满足频率隔离要求。分析结果如图11所示。如表3所示,第5阶模态的模态质量及模态动能占比最高,表明该阶模态对系统动态响应具有显著贡献。根据模态叠加原理,当外部激励频率与第5阶固有频率(1 697.5 Hz)接近时,频率响应函数峰值显著增大,可能引发共振效应及局部应力集中。

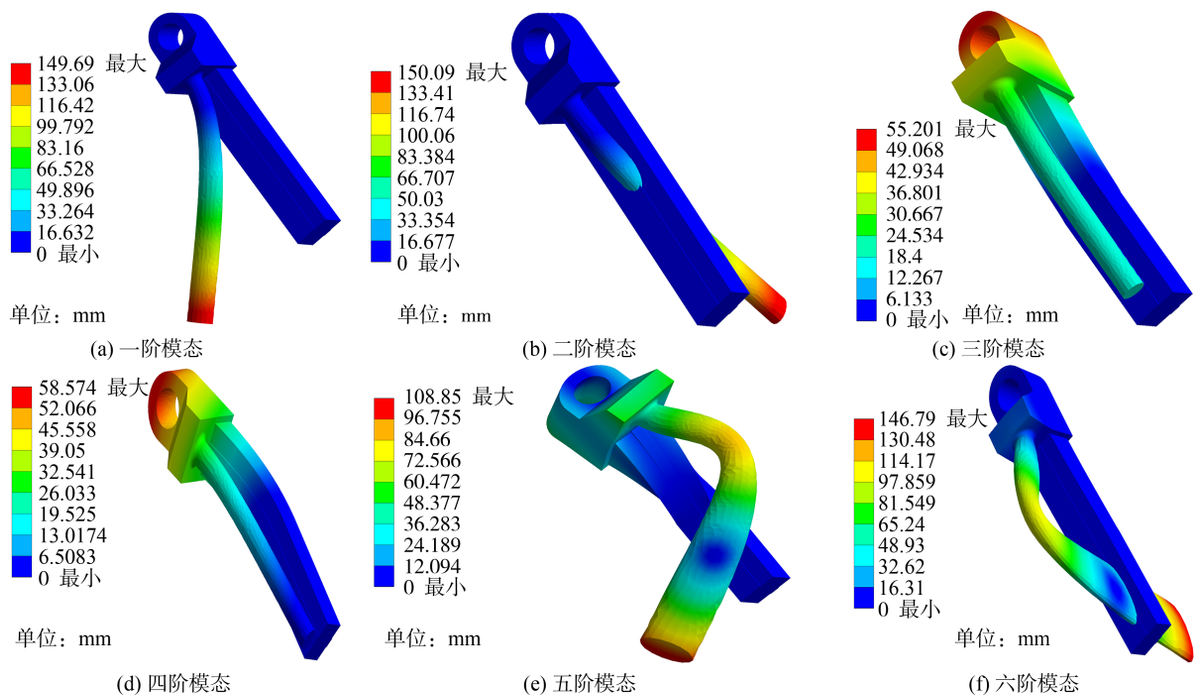


图11 承重杆和柱塞杆的模态分析模拟结果

Figure 11 Modal analysis simulation results of load-bearing rods and plunger rods

表3 柱塞杆各阶模态所对应的固有频率

Table 3 The natural frequency corresponding to each mode of the load-bearing rod and plunger rod

名称	固有频率/Hz	模态质量/($\times10^{-9}$ kg)	模态动能/J
一阶模态	323.36	4 479	92.45
二阶模态	323.5	4 475	92.44
三阶模态	752.4	33 780	3 774
四阶模态	814.04	29 150	3 813
五阶模态	1 697.5	8 440	4 800
六阶模态	1 976.2	5 086	3 920

2.2.2 柱塞杆的振型分析

进一步分析图11可见,该阶模态下结构呈现显著的弯扭耦合变形特征,最大变形量达108.85 mm,且应力集中区域位于柱塞杆部位。此类复合变形易导致材料疲劳损伤累积,严重时可能引发结构失效。基于模态分析结果,建议将系统工作频率避开1 697.5 Hz±5%的敏感频段(即1 612.6~1 782.4 Hz)。

3 结论

基于多体动力学仿真与有限元分析,该全地形底盘系统在藕塘复杂工况下展现出卓越的工程适用性,其产业化可行性主要体现在以下技术特征:

1)自适应地形能力。采用静液压驱动系统与可变轨距履带机构的耦合设计,通过多模式切换技术(三角履带模式/正常履模式),实现对300 mm垂直越障高度及0.4 m水深环境的全地形适应。系统通过性指数预计达到0.85,较传统履带底盘提升23%。

2)载荷匹配优化。基于轻量化结构设计,整机满载质量1 100 kg时有效载荷比达54.5%,搭载600 kg作业装置时重心高度控制在420 mm以下。通过高离地间隙(380 mm)与低重心耦合设计,实现不同水深条件下的动态稳定性,其倾覆力矩安全系数满足GB/T 19930—2005标准要求。

3)全生命周期经济型。采用ZL303铝合金材料(密度2.7 g/cm^3),结合精密铸造工艺使制造成本降低

40%。结构冗余度设计(安全系数1.8～2.2)与模块化维修体系,使关键部件疲劳寿命提升30%。易损件采用标准件配置(如GB/T 10611弹性联轴器),显著降低维护成本。

4)平台化拓展潜力。基于开放式架构设计,预留3组动力输出接口与4个标准化安装基座,支持农业作业装置(如旋耕机、播种机)的快速换装。经ANSYS Workbench模态分析验证,其结构刚度可满足附加设备振动频率(50～300 Hz)的动态响应要求,为多功能农业装备开发提供理想载体。

参 考 文 献

[1] 谢晋，韩迪，王靖，等．中国莲藕产业发展现状及展望[J]．农业展望，2017，13(12)：42－45，51.
XIE Jin，HAN Di，WANG Jing，et al. Development status quo and prospect of China′s lotus root industry [J]. Agricultural Outlook，2017，13(12)：42－45，51.

[2] 李旭，杜铮，刘海，等．浅水莲藕种植机械化作业技术[J]．长江蔬菜，2021(17)：7－10.

[3] TRW AUTOMOTIVE GMBH. WALENTOWSKI，S. Semi-active hydraulic chassis system for use in semi active hydraulic chassis stabilization system for vehicle，has reverse function realized in one hydraulic connection，and pressure relief valve provided in other hydraulic connection. DE102009023419(A1)[P]. 2010－12－02.

[4] CRANE Ⅲ C D，HAUKOOS D S. Hybrid robotic vehicle. US04977971(A)[P]. 1990－12－18.

[5] 中南林业科技大学．自适应丘陵山地作业的履带式行走液压底盘：202122744246.8[P]. 2022－06－10.

[6] 农业农村部．农业农村部关于印发《"十四五"全国农业机械化发展规划》的通知[EB/OL]．(2021－12－27)[2025－02－20]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022－01/06/content_5666677.htm.

[7] 张佳，李锋霞，潘江如，等．莲藕收获机械研究现状与发展趋势[J]．中国农机化学报，2022，43(10)：12－17.

[8] 安徽信息工程学院．可变底盘式移动机器人：202320285427.5[P]. 2023－11－03.

[9] 李帅，韩卓，雷迪迪，等．采棉机三角履带行走装置设计与仿真[J]．农业装备与车辆工程，2024，62(4)：21－25.
LI Shuai，HAN Zhuo，LEI Didi，et al. Design and simulation of triangular crawler traveling device for cotton harvester [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering，2024，62(4)：21－25.

[10] 机械工业工程机械标准化技术委员会．土方机械　小型挖掘机　倾翻保护结构的试验室试验和性能要求：GB/T 19930－2005[S]．中国标准出版社，2005.

[11] 刘岸卓，杨晨升．新型莲藕机械化采收系统开发设计研究[J]．模具制造，2024，24(11)：225－227.
LIU Anzhuo，YANG Chensheng. Development and design of a new type of mechanized lotus root harvesting system [J]. Die & Mould Manufacture，2024，24(11)：225－227.

[12] 孙振杰，刘俊峰，李彩凤，等．微型农用履带式行走装置的设计方法[J]．农机化研究，2011，33(10)：55－58.
SUN Zhenjie，LIU Junfeng，LI Caifeng，et al. The design method of mini agricultural crawler running device [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research，2011，33(10)：55－58.

[13] 郭洋民．水田莲藕采挖机设计与研究[D]．武汉：华中农业大学，2015.
GUO Yangming. The research and design of lotus digging machine for paddy field [D]. Wuhan：Huazhong Agricultural University，2015.

[14] 甘肃金科峰农业装备工程有限责任公司．一种全地形调姿仿形移动底盘：202421263327.3[P]. 2025－01－07.

[15] 浙江省农业科学院．造林装备及其自适应地形识别越障方法：202411103018.4[P]. 2024－12－17.

[16] 孙运强．橡胶履带底盘结构设计与实验仿真研究[D]．大庆：大庆石油学院，2010.
SUN Yunqiang. Rubber-tracked chassis structure design and experimental simulation [D]. Daqing：Daqing Petroleum Institute，2010.

[17] 李平，王祝堂．汽车压铸及铸造铝合金[J]．轻合金加工技术，2011，39(12)：1－19.

[18] 韩长仪．液压系统节能方法基础研究[D]．沈阳：东北大学，2010.
HAN Changyi. The fundamental study on energy-saving methods of hydraulic system [D]. Shenyang：Northeastern University，2010.

[19] 徐立友．拖拉机液压机械无级变速器特性研究[D]．西安：西安理工大学，2007.
XU Liyou. Study on characteristics of hydro-mechanical continuously variable transmission of tractor [D]. Xi′an：Xi′an University of Technology，2007.

[20] 曹妍妍，赵登峰．有限元模态分析理论及其应用[J]．机械工程与自动化，2007(1)：73－74.
CAO Yanyan，ZHAO Dengfeng. Finite element modal analysis theory and application [J]. Mechanical Engineering & Automation，2007(1)：73－74.

[21] 商霖．基于ANSYS有限元分析的模态质量计算方法[J]．导弹与航天运载技术，2011(3)：55－57.
SHANG Lin. Modal mass computation based on ANSYS finite element analysis [J]. Missiles and Space Vehicles，2011(3)：55－57.

[22] 宾光富，何立东，高金吉，等．基于模态振型分析的大型汽轮机低压转子高速动平衡方法[J]．振动与冲击，2013，32(14)：87－92.
BIN Guangfu，HE Lidong，GAO Jinji，et al. High-speed

dynamic balancing method for low pressure rotor of a large steam turbine based on modal shape analysis [J]. Journal of Vibration and Shock, 2013, 32(14): 87－92.

[23] 雷小龙, 陈宇, 李举, 等. 谷物联合收获机底盘自动升降液压系统设计与试验[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2024, 5(2): 9－18.
LEI Xiaolong, CHEN Yu, LI Ju, et al. Design and experiment of chassis automatic lifting hydraulic system for harvester [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2024, 5(2): 9－18.

[24] 孙广俊, 李爱群. 关于结构振型参与系数和振型贡献的分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2009, 29(5): 485－490.
SUN Guangjun, LI Aiqun. Analysis of mode participation factor and modal contribution of structures [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2009, 29(5): 485－490.

Design and analysis of the variable track chassis for lotus root harvesters

LIU Anzhuo[1], YANG Chensheng[1, 2*], LIANG Haibin[1], DU Liqi[1]

(1. *School of Mechanical Engineering, Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin* 150022, *China*; 2. *National-level Off-Campus Practical Education Base for College Students of Heilongjiang University Of Science And Technology, Harbin* 150022, *China*)

Abstract: China's lotus root industry holds a dominant position in the international market. Given that the rigid chassis of traditional agricultural machinery fails to meet the requirements for stability, trafficability, and adaptability, this study designed a variable triangular track chassis to improve the passability and stability of the harvester in soft and high water content lotus root fields. By analyzing the working conditions of the lotus root field and the force characteristics of the chassis, key parameters such as ground contact pressure of the track, traction force, and power were determined. The overall structure was optimized by using modular design and lightweight aluminum alloy material (ZL303). A three-dimensional model was established using SolidWorks, and finite element analysis was conducted on the drive wheel, variable device, and load-bearing components based on ANSYS Workbench, including stress distribution, fatigue safety margin, and modal characteristics. The simulation results show that when the total mass is 1.1 t and the maximum speed is 15 km/h, the maximum stress of the drive wheel is 44.05 MPa, the fatigue safety factor of key components is all higher than 2.4, and the lowest natural frequency is 323.3 Hz, effectively avoiding resonance with the vibration frequency (50－300 Hz) of auxiliary equipment. In addition, by hydraulically adjusting the track tension (400－2 000 N) and the variable track gauge mechanism, the chassis has a vertical obstacle crossing ability of 300 mm and water depth adaptability of 0.4 m. The whole machine adopts redundant design and modular maintenance system, effectively solving problems such as insufficient system integration, low energy efficiency, and high manufacturing costs in existing technologies. The chassis achieves a load-to-weight ratio of 54.5% when fully loaded, with a center of gravity height controlled below 420 mm. The overturning moment safety factor meets the requirements of GB/T19930－2005 standard, and it reserves 3 sets of power output interfaces and 4 standardized mounting bases, supporting rapid replacement of multi-functional agricultural operation devices, providing a reliable platform for the development of intelligent agricultural machinery equipment.

Keywords: lotus root harvesting; variable chassis; triangular track chassis; modal analysis; crawler chassis; economic aquatic plant industry

Foundation items: National-level College Students' Innovative Entrepreneurial Training Plan Program Project (202410219095); Provincial-level College Students' Innovative Entrepreneurial Training Plan Program Project (S202410219022S); 2024 Independent Research and Development Project of the Academy of Agricultural Planning and Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs (QX202424)

First Author: LIU Anzhuo, E-mail: 3200874011@qq.com

* **Correspondence Author:** YANG Chensheng, E-mail: yangchensheng1234@163.com