

履带自走式大葱跨行收获机设计与试验

邵明玺¹ 圣宇¹ 田洁² 傅生辉³

(1. 青海大学机械工程学院, 西宁 810016; 2. 青海大学农林科学院, 西宁 810016;

3. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018)

摘要: 针对青海地区大葱平地深栽栽培模式及收获装备缺乏、人工收获成本高、效率低等问题, 本文设计了一种履带自走式大葱跨行收获机。该机集成了限深挖掘、夹持输送与有序铺放等多项功能, 可一次性完成开沟、大葱挖掘、传输和收集作业。采用 U 形犁破土挖掘结构与旋转刀组开沟配合实现低阻收获, 通过全液压驱动系统提升整机通过性与稳定性。对液压系统进行了参数匹配与优化, 完成了液压马达与变量泵选型。同时, 开展了液压泵流量-压力特性试验及液压马达流量特性试验。性能试验结果表明, 在收获机启动和工作情况下, 液压泵流量与压力和液压马达流量均有突变, 随后进入稳定状态, 系统供能稳定、响应迅速, 液压泵-马达匹配良好, 可适应不同高原工况。田间试验结果表明, 该机净工作效率 0.35 hm²/h, 损伤率 1.22%, 损失率 0.81%, 夹送成功率 98.63%, 有效挖掘率 97.84%, 各项指标均优于行业标准, 验证了本机结构可行性与适应性。研究结果为高原地区大葱收获机械化提供了技术支持与装备基础。

关键词: 大葱跨行收获机; 履带自走式; 全液压驱动; 夹持输送; 限深挖掘

中图分类号: S225.92

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2026)06-0154-09

OSID:



Design and Test of Crawler Self-propelled Scallion Cross-row Harvester

SHAO Mingxi¹ SHENG Yu¹ TIAN Jie² FU Shenghui³

(1. College of Mechanical Engineering, Qinghai University, Xining 810016, China

2. Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810016, China

3. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: In view of the problems such as the lack of deep planting mode and harvesting equipment for scallions on flat land in Qinghai region, as well as the high cost and low efficiency of manual harvesting, a crawler self-propelled cross-row scallion harvester was designed. This machine integrated multiple functions such as depth limit excavation, clamping and conveying, and orderly laying, and can complete the operations of trenching, scallion excavation, conveying and collection in one go. Low-resistance harvesting was achieved by using a U-shaped plough for soil breaking and excavation structure in combination with a rotating knife group for trenching. The overall passability and stability of the machine were enhanced through a hydraulic drive system. The parameters of the hydraulic system were matched and optimized, and the selection and design of the hydraulic motor and variable pump were completed. Meanwhile, the flow - pressure characteristic tests of the hydraulic pump and the flow characteristic tests of the hydraulic motor were carried out. Performance tests showed that under the start-up and high-load conditions of the harvester, the flow rate and pressure of the hydraulic pump and the flow rate of the hydraulic motor all underwent sudden changes, and then entered a stable state, indicating that the system provided stable energy supply, responded quickly, and had a good pump - motor matching, which can adapt to different high-altitude working conditions. The results of field trials showed that the net working efficiency of this machine was 0.35 hm²/h, the damage rate was 1.22%, the loss rate was 0.81%, the success rate of loading and unloading was 98.63%, and the effective excavation rate was 97.84%. All indicators were superior to the industry standards, verifying the structural feasibility and adaptability of

收稿日期: 2025-09-22 修回日期: 2025-10-16

基金项目: 青海省科技厅重点实验室项目(2023-1_4)和青海省蔬菜遗传与生理重点实验室开放课题项目(2024-SCSYS-0*)

作者简介: 邵明玺(1980—),男,副教授,博士,主要从事智能农机装备研究,E-mail: nifengfeiyang@163.com

通信作者: 傅生辉(1989—),男,副教授,博士,主要从事智能农机装备研究,E-mail: fush@sdau.edu.cn

this machine, and providing technical support and equipment foundation for the mechanization of scallion harvesting in plateau areas.

Key words: scallion cross-line harvester; self-propelled crawler type; full hydraulic drive; clamping and conveying; depth limitation excavation

0 引言

大葱是我国北方重要的辛香类经济作物,在青海、山东、河北等地,已逐步形成以沟内深栽、分次覆土为核心的区域化栽培模式^[1-2]。青海地区受高海拔、昼夜温差大及劳动力资源紧张等因素影响,迫切需要适应性强、性能可靠的收获装备^[3]。目前青海大葱收获仍以人工为主,存在劳动强度大、效率低、损伤率高等问题^[4],一定程度上制约了其产业化与标准化发展。

在国外,大葱收获装备较为成熟。欧美多以韭葱为主,栽培方式不同,装备难以直接适应我国^[5-8];日韩模式与我国相似,机械化条件成熟,典型装备有日本小桥 HG100、山本自走式收获机及韩国禾田牵引式收获机^[9]。近年来,国内大葱机械化水平提升,但收获环节仍以人工为主,效率与质量不足。现有装备分为分段式与联合式,前者较成熟,后者仍在研发^[10-12]。目前国内针对根茎类收获机械研究较多^[13-20],叶茎类收获机械研究相对较少,履带自走式大葱收获机虽在若干关键技术已取得进展,但在复杂田间环境下仍面临挑战。

本文以青海典型大葱为对象,综合区域气候、土壤与作物结构特性,设计一款面向青海地区的履带自走式大葱跨行收获机。通过开展整机动力与液压系统、全液压驱动的匹配设计,以实现整机高效驱动、有序夹持及对行输送机构优化。同时开展田间试验验证,以系统评估整机作业效率、破损率与环境适应性能,以期为高原大葱机械化收获提供可靠技术支撑。

1 履带自走式大葱跨行收获机整机设计

1.1 大葱收获农艺要求与设计目标

青海地区气候寒冷、昼夜温差大,为大葱种植提供了良好条件。当地大葱品种葱白长、耐寒性强、商品性优,产量高、品质佳,深受市场欢迎。青海地区大葱种植多采用平地深栽模式和条播方式,葱株栽植深度为 10~15 cm,株距为 10~15 cm,行距为 30~40 cm,以确保葱株间有足够的生长空间和通风条件。成熟后大葱直径为 2~3 cm,优质品种可达 4 cm 以上,长度通常为 50~80 cm。收获农艺要求包括土壤适湿松软、完整拔出葱株、去除泥土及减少

机械损伤。收获机应具备可调作业深度、有效清土机构,田间行距匹配等要求,一般为单行或双行作业。青海地区大葱种植特点如图 1 所示。

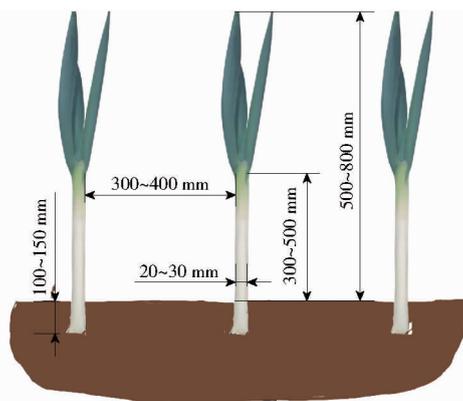


图 1 大葱种植特点图

Fig. 1 Characteristic diagram of scallion cultivation

1.2 整机结构与工作原理

履带自走式大葱跨行收获机主要由履带行走机构、驱动总成、限深挖掘机构、夹持输送机构、铺放机构和液压系统等关键部件组成,具体结构如图 2 所示。

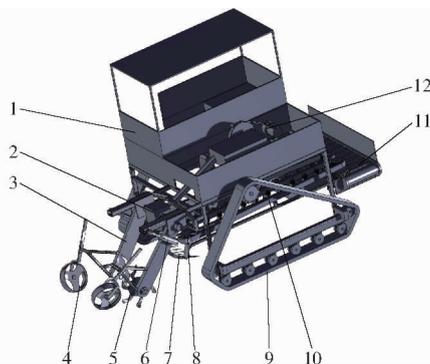


图 2 履带自走式大葱跨行收获机

Fig. 2 Crawler self-propelled cross-row scallion harvester

1. 主架 2. 调节机构 3. 限深挖掘机构 4. 限深轮 5. 破土刀刃 6. 液压缸 7. U 形犁破土挖掘结构 8. 旋葱导向装置 9. 全液压行走装置 10. 夹持带 11. 铺放机构 12. 动力驱动装置

工作时,根据大葱种植宽度调节限深挖掘机构作业宽度,控制液压缸调整挖掘深度和限深轮深度,左右限深轮辅助收获,破土刀刃将大葱两侧土壤旋松并分别抛向外侧,U 形犁破土挖掘结构从葱垄底部将大葱铲出,再由旋葱导向装置将葱有序送入夹持带中,并经铺放机构运输至收集筐,完成大葱低阻挖掘及有序输送。履带自走式大葱跨行收获机主要技术参数如表 1 所示。

表1 履带自走式大葱跨行收获机主要技术参数

Tab.1 Main technical parameters of crawler self-propelled cross-row scallion harvester

参数	数值
行驶速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	≤ 3.6
挖掘深度/mm	200~300
履带高度/mm	1100
工作宽度/mm	600
作业行数	1
转动半径/mm	≥ 800
载质量/kg	≥ 300
总质量/kg	2500
驱动轮半径/mm	250
减速器减速比	20
前后支重轮轴线间距/mm	1750
前支重轮轴线与质心间距/mm	800

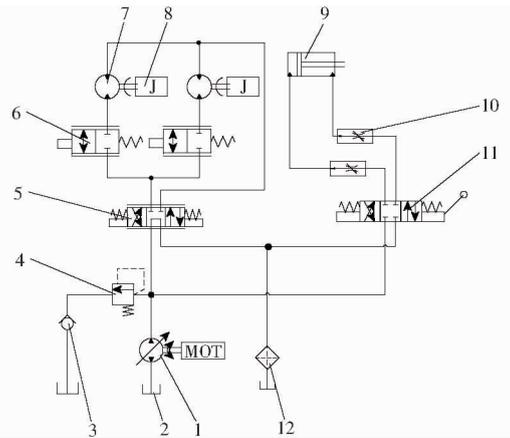


图3 液压系统原理图

Fig.3 Schematic of hydraulic system

1. 变量泵 2. 油箱 3. 单向阀 4. 安全阀 5. 比例方向控制阀
6. 比例换向阀 7. 液压马达 8. 负载 9. 液压缸 10. 流量控制阀
11. 手动电磁升降阀 12. 过滤器

2 整机关键部件设计与选型

2.1 全液压行走装置设计

2.1.1 工作原理

全液压行走装置负责行走、转向,应具备良好的牵引力、操控性和爬坡能力,以应对复杂地形及土壤黏重湿滑的复杂作业环境。大葱收获机理论工作速度如表2所示。由于我国尚无统一设计标准,液压驱动系统参数多依赖计算和农业生产实际。

表2 大葱收获机理论工作速度

Tab.2 Theoretical working speed of harvester

作业类型	理论工作速度/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)
收获	3~8
运输	5~12
分选与包装	4~6

液压系统采用单变量泵驱动双液压马达闭式回路结构,通过节流控制,实现高效动力传输。利用变量泵和比例方向控制阀,根据工况调节液压马达转速,确保系统在多种作业场景下具有良好的响应性与动力适应性。液压系统主要由变量泵、液压马达、安全阀、比例换向阀、液压油箱等构成,系统原理如图3所示。此外,系统设有过载保护功能的安全阀,可根据泵出口压力设定限值,在负载异常升高时迅速卸荷,保障液压系统安全运行。液压马达输出动力经减速器传递至驱动轮,驱动整机实现前进、倒退、变速及转向等基本功能。

2.1.2 液压元件选型

(1) 液压马达选型

液压马达是液压系统关键组件。液压马达主要性能参数包括压力、排量、转矩和转速等关键指标。

大葱收获机质量为2500 kg,当大葱收获机田间工作时,外部阻力主要包括摩擦阻力和工作阻力,即

$$F = F_g + F_x \quad (1)$$

其中

$$F_g = f_1 G \quad (2)$$

式中 F ——大葱联合收获机最大驱动力, N

F_g ——摩擦阻力, N

F_x ——工作阻力, N

G ——大葱联合收获机总重力, N

f_1 ——摩擦因数,取0.7

正常行驶时滚动阻力通常远大于工作阻力,在计算阻力时,工作阻力的影响可以忽略不计。因此,驱动力主要用于克服滚动阻力。可得,最大驱动力 F 为17.15 kN。

驱动履带运动所需转矩 M_m 计算式为

$$M_m = \frac{F r_d}{\eta_j i} \quad (3)$$

式中 r_d ——驱动轮半径,取0.25 m

i ——减速器减速比,取20

η_j ——减速器效率,取0.9

可得转矩 M_m 为238.19 N·m。

马达排量 $V_{m\max}$ 计算式为

$$V_{m\max} = \frac{2\pi M_m}{p_m \eta_m} \quad (4)$$

式中 η_m ——马达容积效率,取0.9

p_m ——马达最大工作压力,取25 MPa

可得马达排量 $V_{m\max}$ 为66.52 mL/r。

大葱收获机最高行驶速度计算式为

$$v_{m\max} = \frac{2\pi r_d n_{m\max}}{60i} \quad (5)$$

式中 $v_{m\max}$ ——大葱收获机最高行驶速度,取3.6 km/h

$n_{m\max}$ ——马达最高转速, r/min

可得马达最高转速为

$$n_{m\max} = \frac{60iv_{m\max}}{2\pi r_d} = 763.94 \text{ r/min} \quad (6)$$

故单个液压马达在作业工况和最高行驶速度下最大流量 $Q_{m\max}$ 为

$$Q_{m\max} = \frac{n_{m\max} V_{m\max}}{\eta_m} = 56.46 \text{ L/min} \quad (7)$$

依据上述结果,查阅液压系统元件选型手册,选取派克 F11-100 型液压马达,主要参数如表 3 所示。

表 3 液压元件选型主要参数

Tab. 3 Main parameters for selecting hydraulic components

参数	派克 F11-100 型	派克 PV080 型
	液压马达	液压泵
额定压力/MPa	25	25
最大转速/(r·min ⁻¹)	800	2 500
最大排量/(mL·r ⁻¹)	70	80
额定转矩/(N·m)	320	320

(2) 液压泵选型

液压泵最大工作压力 p_b 取决于液压马达最大工作压力,即

$$p_b \geq p_m + \Delta p_s \quad (8)$$

式中 Δp_s ——系统管路上压力损失

由于大葱收获机行驶驱动系统采用容积调速回路,且管道长度较短,因此,系统管道压力损失 Δp_s 取 1 MPa。则液压泵最大工作压力大于等于 26 MPa。

液压泵流量由液压马达最大流量所决定。因此,液压泵流量 Q_b 计算式为

$$Q_b = \sum Q_{m\max} - Q_l = \sum Q_{m\max} - C p_b \quad (9)$$

式中 Q_l ——泄漏流量, L/min

C ——泄漏系数,取 0.2 L/(min·MPa)

采用单液压泵驱动双液压马达机构形式,计算得液压泵流量 Q_b 为 118.13 L/min。

因此,液压泵排量为

$$V_b = \frac{Q_b}{n_b \eta_b} \quad (10)$$

式中 n_b ——液压泵额定转速,取 2 500 r/min

η_b ——液压泵容积效率,取 0.95

可得 V_b 为 49.74 mL/r。

最终,液压泵所选型号为派克 PV 系列柱塞式液压泵,主要参数如表 3 所示。

2.1.3 履带行走结构设计

履带行走系统主要结构参数包括单侧履带宽

度、接地长度、节距以及驱动轮半径等。为实现合理的载荷分布与牵引性能,结构参数需根据整机质量、单位接地压力及作业阻力进行匹配设计。计算式为

$$L_c = \frac{Mg}{2Bp} \quad (11)$$

$$r_d = \frac{z}{2\sin \frac{\pi}{m}} \quad (12)$$

$$n = \left\lceil \frac{L_c + D}{z} \right\rceil \quad (13)$$

式中 L_c ——单侧履带接地长度, mm

M ——整机质量, kg

B ——履带宽度, mm

p ——设计接地比压, kPa

z ——履带节距, mm

m ——驱动齿数

n ——履带总节数

D ——导向轮间距, mm

收获机履带宽度取 0.3 m。接地比压取 30 kPa。代入式(11)计算得 L_c 为 1 361.11 mm,为满足整机稳定性要求,设计接地长度取整后为 1 400 mm。常用橡胶履带节距为 100 mm,驱动齿数 m 为 6,代入式(12)计算得驱动轮半径 r_d 为 100 mm。导向轮间距 D 为 180 mm,由式(13)计算可得履带总节数 n 为 16。由式(11)可得履带宽度 B 为 291.67 mm < 300 mm,因此,选择履带宽度为 300 mm 符合实际需要。整体结构如图 4 所示。

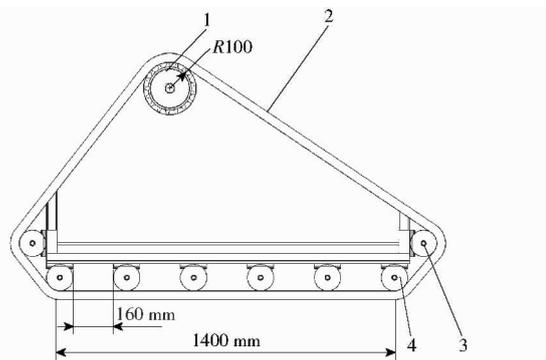


图 4 履带结构示意图

Fig. 4 Schematic of crawler structure

1. 主动轮 2. 履带 3. 张紧轮 4. 从动轮

2.2 发动机选型

为实现燃油经济性与动力输出的最优平衡,应基于作业负载和系统需求,合理选取柴油机额定功率 P_{fe} ,计算式为

$$P_{fe} = P_b = \frac{Q_b \Delta p}{60 \eta_b} \quad (14)$$

式中 P_b ——发动机输入液压泵净功率, kW

Δp ——液压泵进出口压差, MPa

可得 P_{fc} 为 51.81 kW。

根据以上要求,参考现有履带大葱联合收获机,选取玉柴 YC4D80 - T20 型发动机,其主要参数如表 4 所示。

表 4 玉柴 YC4D80 - T20 型发动机主要参数

Tab. 4 Main parameters of Yuchai YC4D80 - T20

参数	数值
标定功率/kW	55
标定转速/(r·min ⁻¹)	2 500
最大转矩/(N·m)	330
最低燃油消耗率/(g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	203
外形尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	1 200×740×1 050

2.3 对行装置设计

针对青海省大葱类对行种植和收获需求,设计对行收获装置集挖掘、夹持、输送、调节功能于一体兼具高效性、低损伤性和适应性,降低劳动强度,显著提高收获效率。

2.3.1 限深挖掘机构设计

限深挖掘机构用于在收获过程中剥离大葱两侧土壤,避免因阻力导致葱体断裂。该装置主要由限深轮、导葱板、挖掘支架及破土刀刃构成,如图 5 所示。

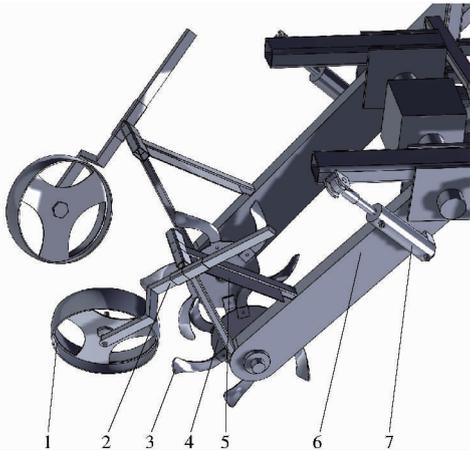


图 5 限深挖掘机构

Fig. 5 Excavation mechanism with limited depth

1. 限深轮 2. 限深轮支架 3. 旋转刀刃 4. 旋转刀盘 5. 导葱板 6. 前大架 7. 液压缸

其中,限深轮与导葱板控制挖掘深度并稳定葱体方向,破土刀刃完成土壤破土,夹持输送机构紧随其后保证作业连续性。限深轮行走于沟底,既稳定机具姿态,又限定作业深度,提高收获一致性与精度。针对青海地区深栽高培土、土壤紧实等特点,设计引入液压系统,通过比例阀实时调节挖掘刀刃姿态与速度,实现对土壤条件的自适应。整体结构既能防止过挖、降低能耗,又提升了收获质量与效率。

2.3.2 夹持输送机构

夹持输送机构主要由夹持带、前张紧轮、后张紧轮、旋葱导向装置和 U 形犁破土挖掘结构组成,结构如图 6 所示。

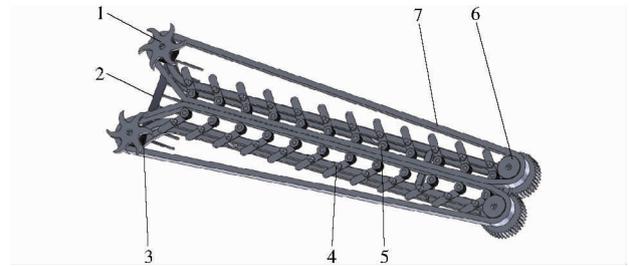


图 6 夹持输送机构

Fig. 6 Clamping and conveying mechanism

1. 旋葱导向装置 2. U 形犁破土挖掘结构 3. 前张紧轮 4. 固定栓 5. 中间张紧轮 6. 后张紧轮 7. 夹持带

夹持带采用左右对称的复合结构,兼顾夹持力与防损伤。前张紧轮调整 V 形入口以顺畅导入葱体,中间张紧轮提供内侧支撑,保证不同规格大葱均能稳定夹持。青海大葱深栽且根系浅,收获对夹持力和输送速度要求更高,速度过慢易拥堵挤压,过快则因土壤未松动导致葱损伤。为降低损伤率并提高效率,需实现夹持带速度与机具前进速度的协调匹配,一般应略高于前进速度,以确保大葱在水平方向保持静止,仅在竖直方向被平稳提拉。速度匹配关系计算式为

$$v_j \cos \varepsilon = v \quad (15)$$

式中 v_j ——夹持带速度,km/h

ε ——夹持输送装置与水平面夹角,(°)

大葱收获机作业速度为 1.2 km/h,夹持输送装置与水平面夹角 20°,代入式(15)计算得夹持带线速度 v_j 为 1.42 km/h。设计夹持带驱动半径 R 为 90 mm,驱动夹持带发动机所需转速为

$$n_1 = \frac{1\,000v_j}{2\pi R \times 60} \quad (16)$$

可得驱动夹持带发动机需转速为 41.92 r/min。

3 整机稳定性

稳定性直接关系到收获机作业安全性与操纵性能,主要体现在横向与纵向 2 个方面。采用极限倾翻角和极限滑移角作为评价整机稳定性评价指标。整机附着性能以及质心位置是影响其行驶通过性的核心因素。通过 Solidworks 软件质量属性模块,测得整机质心在纵向中心平面上偏移量为 86.14 mm,垂直地面高度为 1 030 mm。

3.1 横向稳定性

履带自走式大葱跨行收获机处于横向坡道上静止或匀速行驶状态时,其受力如图 7 所示。设 F_L 与

F_R 分别为地面对左、右履带法向支撑力, h_l 为质心到地面的垂直距离, d 为履带间距。上述参数共同影响整机横向稳定性与通过性能。

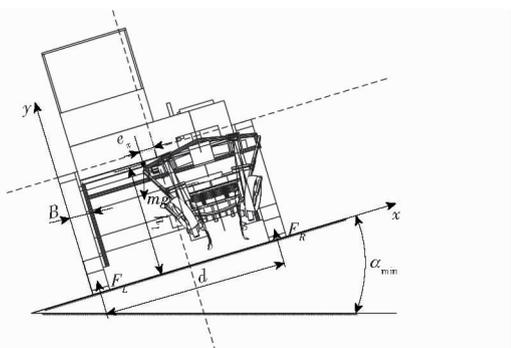


图7 横向稳定性分析示意图

Fig.7 Schematic of lateral stability analysis

选择履带接地面边缘 O_1 为原点建立笛卡尔平面直角坐标系,取沿 x 轴方向为正方向,以点 O_1 作为矩心,构建 xy 平面力系平衡方程为

$$\begin{cases} F_L + F_R - mg\cos\alpha_{\min} = 0 \\ F_R s + mgs\sin\alpha_{\min} h_l = mg\cos\alpha_{\min} (s - e_x) \\ s = d + B/2 \end{cases} \quad (17)$$

式中 e_x ——质心与纵向平面偏移距离,mm

α_{\min} ——极限倾翻角, $(^\circ)$

m ——整机质量,kg

由式(17)计算得出地面对右侧履带法向支撑力 F_R 为

$$F_R = \frac{mg \left[\left(\frac{d+B}{2} + e_x \right) \cos\alpha_{\min} - \sin\alpha_{\min} h_l \right]}{d + \frac{B}{2}} \quad (18)$$

大葱收获机稳定通过横向坡道的条件为面对右侧履带法向支撑力 $F_R \geq 0$,则极限倾翻角 α_{\min} 满足

$$\alpha_{\min} \leq \arctan \frac{d+B+2e_x}{2h_l} \quad (19)$$

整机横向极限滑移角 α'_{\min} 为

$$\alpha'_{\min} = \arctan\mu \quad (20)$$

式中 μ ——地面附着系数

计算得横向极限倾翻角 46.79° ,整机横向极限滑移角 34.99° 。

3.2 纵向稳定性

为简化分析,将匀速上坡或下坡时的履带自走式大葱跨行收获机视为相对于纵向坡地面静止,其处于静力平衡状态。纵向坡面上整机保持稳定的条件为地面对整机垂直反支力作用线应在支重轮与履带接触点的前方,根据文献[21-24]可得纵向上行、下行极限倾角计算式为

$$\beta_1 = \arctan \frac{L-l}{h_l} \quad (21)$$

$$\beta_2 = \arctan \frac{l}{h_l} \quad (22)$$

式中 β_1 ——纵向上行极限倾角, $(^\circ)$

β_2 ——纵向下行极限倾角, $(^\circ)$

L ——前后支重轮间距,mm

l ——前支重轮轴线与质心间距,mm

通过式(21)、(22)计算得纵向上行极限倾角 42.72° ,下行极限倾角 37.95° ,均在 30° 以上,满足田间转移及作业要求^[21-25]。

4 田间试验

4.1 试验条件

试验于2025年8月在青海省西宁市湟中区进行,验证履带自走式大葱跨行收获机的田间作业性能。试验田块为壤质粘土,土壤容重 1.25 g/cm^3 ,硬度 1.2 MPa ,含水率 18.5% ,具备典型青藏高原栽培环境特征。选用“大葱青杂一号”品种,植株高大、健康,具有代表性。

试验仪器与设备包括履带自走式大葱跨行收获机、ECLWGY15A1LC2SSN型流量传感器、ECPB20B40MBIG1/2C3型压力传感器、EC72R08V1型显示仪、计时器、卷尺、游标卡尺、钢尺等,田间试验如图8所示。



(a) 田间采收试验

(b) 田间整机性能试验

图8 田间试验

Fig.8 Field experiments

4.2 田间整机性能试验

4.2.1 试验方法与指标

参照GB/T 3766—2015《液压传动系统及其元件的通用规则和安全要求》和GB/T 5667—2008《农业机械生产试验方法》设计试验,传感器布置如图9所示,测试方法为:

(1) 液压泵输出流量与压力特性:分析不同工况下液压泵流量稳定性与供能能力。

(2) 液压马达出口流量特性:在恒定压力下测试液压马达的流量稳定性。

(3) 动力性能(收获速度):测试收获机在低速挡($0 \sim 1.2 \text{ km/h}$)、中速挡($1.2 \sim 2.4 \text{ km/h}$)、高速挡($2.4 \sim 3.6 \text{ km/h}$)和倒车挡行驶与收获速度,观察收获稳定性及动力需求是否满足。



图9 传感器布置图

Fig. 9 Sensor layout diagram

4.2.2 试验结果与分析

收获机在非作业和作业状态下测得液压泵和液压马达出口流量特性和液压泵出口压力特性,如图10、11所示。由图10、11可知,在收获机启动时,液压泵流量与压力和液压马达流量均有突变,随后进入稳定状态,液压泵流量稳定在96.23 L/min,压力稳定在21.4 MPa,液压马达流量稳定在56.23 L/min。在作业工况下,流量也均有突变,随后进入稳定状态。从流量与压力特性分析可得收获机液压系统响应迅速且性能稳定。

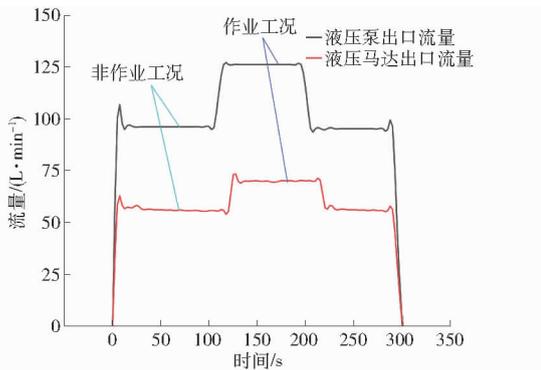


图10 流量特性曲线

Fig. 10 Flow characteristic curves

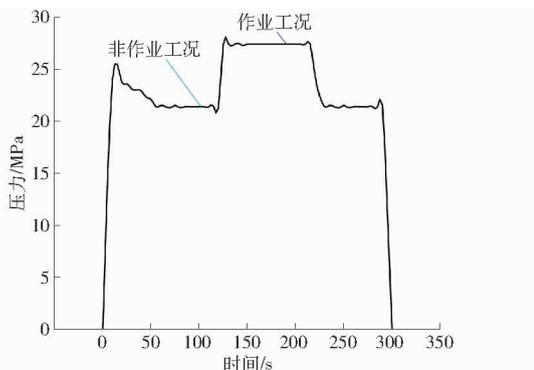


图11 液压泵压力特性曲线

Fig. 11 Pressure characteristic of hydraulic pump

收获机在非作业和作业状态下测得通过目标路段的时间,如表5所示。试验结果表明,收获机非作业最高速度为3.56 km/h,可满足田间转场与短途运输;作业低速挡速度为1.16 km/h,与设计值基本一致,保证夹持输送与作业节奏匹配。整机

动力系统匹配合理,适应高原田间作业及转场需求。

表5 不同挡位下通过非作业和作业路段的时间

Tab. 5 Time for passing through non-operational and operational sections in different gears

挡位	通过非作业路段时间	通过作业路段时间
低速挡	60.2	61.8
中速挡	33.5	37.2
高速挡	20.2	22.4

4.3 田间采收试验

4.3.1 试验方法与指标

试验依据 JB/T 14654—2023《大葱收获机》及实际作业情况开展。采用履带自走式跨行收获机在典型田块完成收获作业。选取5~10条大葱垄,设定测试区长度为20 m,确保作物分布均匀。测试大葱总株数、漏挖、掉落、损伤株数及作业时间,计算净作业效率、损伤率、损失率、有效挖掘率等性能指标,全面评价收获机作业效果。

(1) 净作业效率

$$E_N = \frac{SA}{10\,000t_N} \quad (23)$$

式中 E_N ——净作业效率, hm^2/h
 t_N ——样机通过测定区所用时间, h
 S ——测定区长度, m
 A ——作业幅度, m

(2) 损伤率

$$D_s = \frac{w_s}{w} \times 100\% \quad (24)$$

式中 D_s ——损伤率, %
 w_s ——测定行程内损伤大葱株数
 w ——测定行程内大葱总株数

(3) 损失率

$$D_{ss} = \frac{w_{ss}}{w} \times 100\% \quad (25)$$

式中 D_{ss} ——损失率, %
 w_{ss} ——测定行程内损失大葱株数

(4) 有效挖掘率

$$E_e = \frac{w - w_e}{w} \times 100\% \quad (26)$$

式中 E_e ——有效挖掘率, %
 w_e ——测定行程内漏挖大葱株数

(5) 夹送成功率

$$D_r = \frac{w_r}{w} \times 100\% \quad (27)$$

式中 D_r ——夹送成功率, %
 w_r ——有效夹持输送大葱株数

4.3.2 试验结果及分析

样机在试验期间运行平稳,各主要部件工作正常,能够满足大葱机械化收获作业要求。依据前述试验方案及评价方法,分别测定了测试区域内净工作效率、损伤率、损失率、夹送成功率、有效挖掘率等指标,并对5次试验结果取平均值,结果如表6所示,田间作业效果如图12所示。

表6 田间试验结果

Tab.6 Field experiment results

参数	数值	指标
净作业效率/($\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)	0.35	≥ 0.3
损伤率/%	1.22	≤ 2
损失率/%	0.81	≤ 3
有效挖掘率/%	98.63	≥ 95
夹送成功率/%	97.84	≥ 95



(a) 破土挖掘

(b) 夹持输送

图12 田间作业效果

Fig.12 Field operation effect

试验结果表明,履带自走式大葱跨行收获机净工作效率为 $0.35 \text{ hm}^2/\text{h}$, 损伤率 1.22%, 损失率 0.81%, 夹送成功率 98.63%, 有效挖掘率 97.84%, 整体作业稳定, 性能良好, 基本满足青海地区大葱种植的机械化收获要求, 具有良好的应用前景。

5 结论

(1)设计一款履带自走式大葱跨行收获机,实现低阻挖掘、夹持运输和有序铺放一体化作业。组合式挖掘结构降低阻力,夹持带与张紧机构减少损伤并适应不同葱白尺寸,铺放机构实现整齐平铺,改善现有收获机械铺放杂乱的问题。

(2)整机采用单变量泵驱动双液压马达闭式液压回路,完成了液压元件选型及液压泵-马达参数匹配。性能试验结果表明,液压泵在不同工况下流量稳定、压力调节灵敏,液压马达输出平稳,系统具备良好的动力适应性和控制响应性,能够满足多工况作业需求。

(3)田间试验结果表明,该收获机收获质量高、性能稳定,净工作效率 $0.35 \text{ hm}^2/\text{h}$, 损伤率 1.22%, 损失率 0.81%, 夹送成功率 98.63%, 有效挖掘率 97.84%, 均符合大葱收获机设计指标。

参 考 文 献

- [1] 刘海磊, 刘建敏, 刘国生, 等. 大葱高产栽培技术[J]. 河北农业, 2017(2): 23-25.
LIU Hailei, LIU Jianmin, LIU Guosheng, et al. High-yield cultivation techniques of scallions[J]. Hebei Agriculture, 2017(2): 23-25. (in Chinese)
- [2] 田晓庆, 于法常, 王瑞, 等. 章丘大葱成分及其作用分析[J]. 中国果菜, 2016, 36(11): 17-20.
TIAN Xiaoqing, YU Fachang, WANG Rui, et al. Analysis of components and functions of Zhangqiu onion[J]. Chinese Journal of Fruits and Vegetables, 2016, 36(11): 17-20. (in Chinese)
- [3] 刘敬伟. 双行大葱联合收获机的设计与研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
LIU Jingwei. Design and research of double-row scallion combine harvester[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [4] 王方艳. 大葱生产技术及收获装备[J]. 农业工程, 2017, 7(5): 1-4.
WANG Fangyan. Scallion production technology and harvesting equipment[J]. Agricultural Engineering, 2017, 7(5): 1-4. (in Chinese)
- [5] MEDLOCK H G, RAGSDALE H F. Green onion harvester: US 3989110[P]. 1976-11-02.
- [6] PROVITOLA A I. Ground surface crop harvester and harvesting method: US 6419028[P]. 2002-07-16.
- [7] KIDO D, SHUFF D. Onion harvester with leaf toppler: US 7007449[P]. 2006-03-07.
- [8] HONG S, LEE K, CHAO Y, et al. Development of welsh onion harvester for tractor[J]. Journal of Biosystems Engineering, 2014, 39(4): 290-298.
- [9] FUJII Y, OHNISHI M, TSUGA K. Farmers' satisfaction and preference assessment of a Welsh onion harvester[J]. Engineering in Agriculture Environment and Food, 2014, 7(2): 70-77.
- [10] 张德学, 张军强, 刘学峰, 等. 4CZ-1型履带自走式大葱联合收获机的研制[J]. 农机化研究, 2022, 44(4): 71-79.
ZHANG Dexue, ZHANG Junqiang, LIU Xuefeng, et al. Development of 4CZ-1 crawler self-propelled combined harvester for scallions[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2022, 44(4): 71-79. (in Chinese)
- [11] 侯加林, 陈彦宇, 李玉华, 等. 定量铺放自走式大葱联合收获机研制[J]. 农业工程学报, 2020, 36(7): 22-33.
HOU Jialin, CHEN Yanyu, LI Yuhua, et al. Development of self-propelled scallion combine harvester with quantitative spreading[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(7): 22-33. (in Chinese)
- [12] 王小雪, 陈光辉, 刘涛, 等. 4DC-1型振动式大葱收获机的研制与试验[J]. 农业装备与机械化, 2021(6): 45-49.
WANG Xiaoxue, CHEN Guanghui, LIU Tao, et al. Development and experiment of 4DC-1 vibrating scallion harvester[J]. Agricultural Equipment and Mechanization, 2021(6): 45-49. (in Chinese)

- [13] 于昭洋,胡志超,曹明珠,等. 切流式花生全喂入联合收获机清选机构设计[J]. 农业工程学报,2019,35(9):29-37.
YU Zhaoyang, HU Zhichao, CAO Mingzhu, et al. Design of cleaning mechanism for cross-flow peanut full feed combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2019,35(9):29-37. (in Chinese)
- [14] 陈小冬,胡志超,王冰,等. 单垄单行甘薯联合收获机薯秧分离机构设计与参数优化[J]. 农业工程学报,2019,35(14):12-21.
CHEN Xiaodong, HU Zhichao, WANG Bing, et al. Design and parameter optimization of potato stalk separation mechanism for single-row and single-row sweet potato combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(14):12-21. (in Chinese)
- [15] 魏忠彩,李洪文,苏国梁,等. 缓冲筛式薯杂分离马铃薯收获机研制[J]. 农业工程学报,2019,35(8):1-11.
WEI Zhongcai, LI Hongwen, SU Guoliang, et al. Development of a buffer sieve type potato and miscellaneous material separation potato harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2019,35(8):1-11. (in Chinese)
- [16] YANG Ranbing, YANG Hongguang, SHANG Shuqi, et al. Design and experiment of vertical circular separating and conveying device for potato combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(3):10-18.
- [17] 杜冬冬,费国强,王俊,等. 自走式甘蓝收获机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(14):16-23.
DU Dongdong, FEI Guoqiang, WANG Jun, et al. Design and experiment of self-propelled cabbage harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2015,31(14):16-23. (in Chinese)
- [18] 顾峰玮,胡志超,吴惠昌,等. 4LT-A型错行作业挖掘甜菜联合收获机研制与试验[J]. 农业工程学报,2014,30(23):1-9.
GU Fengwei, HU Zhichao, WU Huichang, et al. Development and experiment of 4LT-A type cross-row operation excavation beet combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(23):1-9. (in Chinese)
- [19] 尚书旗,周亚龙,王晓燕,等. 三种花生收获机的作业性能对比试验研究[J]. 农业工程学报,2008,24(6):150-153.
SHANG Shuqi, ZHOU Yalong, WANG Xiaoyan, et al. Comparative experimental study on the operating performance of three peanut harvesters[J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(6):150-153. (in Chinese)
- [20] 王德成,赵彦瑞,尤泳,等. 履带自走式缓坡地王草收获机底盘设计与试验[J]. 农业机械学报,2023,54(9):178-187.
WANG Decheng, ZHAO Yanrui, YOU Yong, et al. Chassis design and experiment of crawler self-propelled gentle slope soil king grass harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(9):178-187. (in Chinese)
- [21] 万星宇,舒彩霞,廖庆喜,等. 高地隙履带自走式中间条铺油菜割晒机设计与试验[J]. 农业机械学报,2022,53(9):109-121.
WAN Xingyu, SHU Caixia, LIAO Qingxi, et al. Design and experiment of high clearance track self-propelled intermediate strip spread rapeseed swather[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(9):109-121. (in Chinese)
- [22] 吴正敏,陈乐,汪义勇,等. 履带自走式采茶机行走底盘通过性设计与试验[J]. 农业机械学报,2025,56(1):474-483.
WU Zhengmin, CHEN Le, WANG Yiyong, et al. Design and experiment on traversibility of traveling chassis of crawler self-propelled tea picker[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2025, 56(1):474-483. (in Chinese)
- [23] 张兆国,王媛,温博,等. 自走式三七联合收获机设计与行驶通过性试验[J]. 农业机械学报,2024,55(11):306-319.
ZHANG Zhaoguo, WANG Yuan, WEN Bo, et al. Design and trafficability experiment of self-propelled *Panax notoginseng* combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(11):306-319. (in Chinese)
- [24] 王法安,曹钦洲,李彦彬,等. 丘陵山区自走式马铃薯联合收获机设计与通过性试验[J]. 农业机械学报,2023,54(增刊2):10-19.
WANG Fa'an, CAO Qinzhou, LI Yanbin, et al. Design and trafficability experiment of self-propelled potato harvester in hilly and mountainous areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(Supp.2):10-19. (in Chinese)
- [25] 费焱,王涛,李怡鹏,等. 履带自走式单行茭白收获机设计与试验[J]. 农业机械学报,2025,56(7):403-410.
FEI Yan, WANG Tao, LI Yipeng, et al. Design and experiment of crawler self-propelled single-row harvester for *Zizania latifoliu*[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2025, 56(7):403-410. (in Chinese)