

# 轻型履带车辆行走系的结构设计与选型计算

李绍武<sup>1,2</sup>, 郭春阳<sup>1,2</sup>, 杜元鹏<sup>1,2</sup>, 于春伟<sup>1,2</sup>, 朱文娟<sup>1,2</sup>, 魏磊<sup>1,2</sup>

(1. 智能农业动力装备全国重点实验室, 河南 洛阳 471039; 2. 洛阳拖拉机研究所有限公司, 河南 洛阳 471039)

**摘要:**随着辣椒种植规模的扩大, 缺乏适宜的套种作业机械、人工成本高及作业效率低的问题严重制约了辣椒产业的发展。开发一种适应“麦椒套种”的轻型履带车辆显得尤为重要。本文结合轻型履带车辆的使用环境、工作目标及工作性能, 确定轻型履带车辆的行走系结构, 并对行走系的关键部件和参数进行了选型设计; 通过对轻型履带行走系转向受力分析, 计算出转向时所需的最大驱动力矩, 并以此选择静液压装置; 为行走系设计提供依据并为后续变形设计积累技术资料。

**关键词:**套种; 履带车辆; 行走系

中图分类号: S219.2

文献标志码: B

文章编号: 1006-0006(2024)02-0095-04

## Structural Design and Selection Calculation of Walking System of Light Tracked Vehicles

LI Shaowu<sup>1,2</sup>, GUO Chunyang<sup>1,2</sup>, DU Yuanpeng<sup>1,2</sup>, YU Chunwei<sup>1,2</sup>, ZHU Wenjuan<sup>1,2</sup>, WEI Lei<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Intelligent Agricultural Power Equipment, Luoyang 471039, China;

2. Luoyang Tractor Research Institute Co., Ltd., Luoyang 471039, China)

**Abstract:** With the expansion of chili planting scale, the lack of suitable interplanting machinery, high labor costs, and low labor efficiency have seriously constrained the development of the chili industry. It is particularly important to develop a lightweight tracked vehicle suitable for “wheat pepper interplanting”. This article establishes the walking system structure of light tracked vehicles based on their usage environment, work objectives, and performance, and selects and designs the key components and parameters of the walking system; By analyzing the steering force of the lightweight tracked walking system, the maximum driving torque required for steering is calculated, and a hydrostatic device is selected based on this. This article provides a basis for the design of the walking system and accumulates technical information for subsequent deformation design.

**Key words:** Inter-planting; Tracked vehicles; Walking System

履带车辆具有接地比压小、附着性能好、转弯半径小、越障能力强等优点<sup>[1]</sup>, 因此在地形差或土地湿软的状况下, 也可稳定高效地完成农业生产任务。特别是在我国南方水田、丘陵山区, 履带车辆在性能与经济上都具有无可比拟的优势。

随着“麦椒套种”规模的扩大, 特别是以柘城、临颖、内黄为代表的河南辣椒优势产区, 因缺乏适宜的套种机械、人工成本高及作业效率低等问题, 严重制约了当地辣椒产业的发展。因此, 开发一种适合套种、结构紧凑、接地面大、土壤压实度小<sup>[2]</sup>, 可自动驾驶的轻型履带车辆显得尤为重要。行走系是轻型履带车辆的重要组成部分, 其性能直接影响整机的作业质量和效率。本文将重点阐述一种适用于麦椒

套种农艺, 并且易于实现智能化控制的静液压驱动橡胶履带行走系的结构设计和选型计算, 为轻型履带行走系设计提供一定的参考。

### 1 轻型履带车辆行走系的结构设计

此次介绍的轻型履带车辆的工作目标是为“麦椒套种”作业农机具提供动力, 同时在配备北斗卫星定位导航系统后可实现机组的无人驾驶作业。轻型履带车辆在满足套种农艺种植要求的同时, 还可作为能够挂载不同农机具的通用动力平台, 因此要具有良好的动力性、稳定性以及通过性。结合轻型履带车辆的使用环境、工作目标及工作性能, 确定轻型履带车辆的行走系结构下:

收稿日期: 2023-07-14

基金项目: 科技部2023年国家重点研发计划: 标准化果园智能化生产技术装备创制与应用; 果园通用动力平台及其自主导航系统研发(2023YFD2001102)

(1) 为方便整机的总体布置,采用驱动轮前置的形式;

(2) 行走系统由履带、驱动轮、支重轮、张紧轮、托带轮及张紧装置等组成;

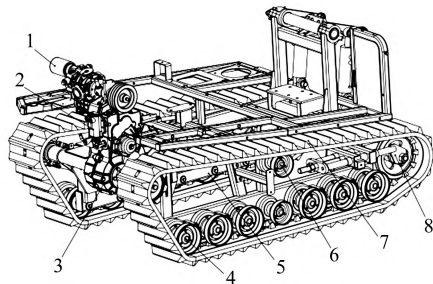
(3) 采用橡胶履带可以减轻机重、降低噪声、减少震动,使车辆的道路行驶性更加平稳、高速,对路面状况适应性高;

(4) 采用静液压驱动方式,由行走机械变速箱和静液压传动装置组成,采用电控技术,实现车辆的前进、后退、停止及无极调速,且运动平稳;

(5) 转向制动系统采用电液控制技术,可实现任意转弯半径的精准控制及制动。

## 2 行走系的工作原理及结构

轻型履带车辆行走系由履带行走装置和车架组成。履带行走装置包括橡胶履带、行走变速箱、静液压传动装置、转向油缸、支重轮、托带轮、张紧装置。轻型履带车辆在前进过程中,由柴油发动机提供动力,经皮带传动带动静液压传动装置,静液压传动装置将动力传递给行走变速箱,行走变速箱带动履带转动,张紧装置起到张紧履带的作用,同时引导履带的转动方向,支重轮的作用是将车辆的质量通过履带作用于地面;行走变速箱前端安装有转向油缸,通过电液控制技术控制转向油缸的伸缩,实现行走系的转向和制动。轻型履带车辆行走系结构如图1所示。



1. 静液压传动装置 2. 转向油缸 3. 行走变速箱 4. 支重轮  
5. 车架 6. 托带轮 7. 履带 8. 张紧装置

图1 轻型履带车辆行走系结构图

Fig.1 Structure Diagram of Walking System of Light Tracked Vehicles

## 3 行走系主要机构参数计算及选型

将履带拖拉机行走系设计的基本原理作为指导<sup>[3]</sup>,并参考现有的轻型履带行走系相关参数,通过计算得出轻型履带车辆行走系的主要理论参数,并以此为依据,选取市场上成熟的行走系零部件。

### (1) 履带的主要参数和选型

1) 履带的节距  $t$  (mm)。轻型履带车辆的履带节距与车辆使用质量有关,一般情况下,底盘的总质量越大,节距的设计值就越大。减少节距可有效的

减少驱动轮与导向轮所受的冲击,提高履带使用寿命。先计算出理论履带节距  $t$ ,然后在参照橡胶履带厂家图册进行选型。理论计算可由式(1)<sup>[3]</sup>:

$$t = (17.5 \sim 23) \sqrt[4]{m_s} \quad (1)$$

式中,  $m_s$  为轻型履带车辆使用质量,kg,取履带车辆使用质量为 2 100 kg。经式(1)计算并分析相似机型参数,确定履带节距  $t = 90$  mm。

2) 履带车辆的轨距  $B$  (m) 及履带宽度  $b$  (mm)。缩小轨距  $B$  值可减少转向半径,但对抗横向翻倾的稳定性不利;针对具体机型及结构布置特点,农用履带拖拉机轨距  $B$  值可式(2)<sup>[3]</sup> 确定:

$$B = 0.08 \sqrt[3]{m_j} \quad (2)$$

式中,  $m_j$  为轻型履带车辆结构质量,kg,取履带车辆结构质量为 2 000 kg。

目前,河南优势产区大多采用“3-2”式小麦—辣椒套种模式,即3行小麦、2行辣椒的间作套种模式,为适应宽窄行“麦椒套种”农艺要求,轻型履带车辆的轨距应是套种作物行距的整数倍。结合市场上成熟的履带车辆产品轨距,初步确定轻型履带车辆轨距  $B = 1.0 \sim 1.2$  m。

履带的宽度  $b$  值是影响履带接地面积的主要因素,在履带车辆的总质量一定的情况下,履带的接地面积越大,接地比压就会越小。对于骑跨在作物上方进行行间作业的履带车辆来说,履带的宽度  $b$  值也可由行间作物保护带宽度  $\Delta$  来确定范围,然后结合橡胶履带厂家图册进行选型。保护带宽度  $\Delta$  (mm) 可由式(3)~(4)计算:

$$\text{外保护带 } \Delta_w = \frac{2(A + s) - (B + b)}{2} \quad (3)$$

$$\text{内保护带 } \Delta_n = \frac{B - b - 2s}{2} \quad (4)$$

式中,  $A$  为宽行作物行距,mm;  $s$  为窄行作物行距,mm;  $B$  为轨距,mm;  $b$  为履带宽度,mm。一般保护带宽度为 100 ~ 250 mm。为使履带车辆能在套种作物中顺利完成作业,应保证内外保护带宽度相等;最终确定履带车辆的轨距  $B = 1.2$  m,履带宽度  $b = 350$  mm。

3) 履带接地长度  $L_0$  (m)。对于采用前置驱动的履带车辆且驱动轮和履带张紧轮均离地较高的行走机构,履带接地长度  $L_0$  等于最前和最后两支重轮轴线间的水平距离再加上一个履带节距,即:

$$L_0 = l + t \quad (5)$$

式中,  $l$  为最前到最后支重轮轴线间水平距离,m;  $t$  为履带的节距,mm。

$L_0$  值得选取应满足对土壤平均接地比压力的要求,可由式(6)计算:

$$L_0 = \frac{m_s g}{2bq_p} \quad (6)$$

式中,  $q_p$  为平均接地压力, kPa。

为减轻履带车辆在套种作业时对地块的碾压, 选定平均接地压力  $q_p = 16 \sim 22$  kPa; 而对于一般用途的农业中、小型履带车辆  $L_0/B$  值一般选取范围为  $1.1 \sim 1.4$ <sup>[3]</sup>; 结合使用工况, 选择农机橡胶履带, 履带接地长度  $L_0 = 1\,470$  mm。橡胶履带结构如图 2 所示。

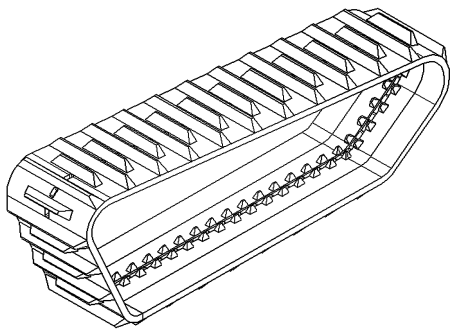


图 2 橡胶履带结构图  
Fig. 2 Structure Diagram of Rubber Track

(2) 驱动轮参数及行走变速箱选型

行走变速箱是通过驱动轮将动力传递给橡胶履带。驱动轮的节圆直径  $D_q$ 、齿数  $Z$  与行走系统的稳定性有着密切关系。如果驱动轮的齿数过少会产生速度波动的现象, 驱动轮在使用过程中也会非常容易被破坏。如果驱动轮的齿数过多, 可以使履带速度均匀性得到改善并减少摩擦损失, 但会导致驱动轮直径增大, 使履带车辆行走装置的体积变大, 对底盘的布局会产生不利影响。

驱动轮节圆直径  $D_q$  (mm) 可由式(7)计算:

$$D_q = \frac{t}{\sin \frac{180^\circ}{Z}} \quad (7)$$

式中,  $t$  为履带节距, mm;  $Z$  为驱动轮转一圈轮齿与履带接触的工作齿数。

为实现自动驾驶, 要求轻型履带车辆具备无极变速、自动换向及转向的功能; 经调研分析, 确定市场上一款与静液压驱动装置相结合的行走变速箱可满足轻型履带车辆的设计要求, 其驱动轮齿数  $Z = 8$ ; 行走变速箱结构如图 3 所示。

(3) 支重轮选型计算

轻型履带车辆的重量是通过支重轮轮毂传递到履带面上, 进而传递到地面上的。支重轮的结构如图 4 所示。为保证接地压力均匀, 支重轮的直径  $D_z$  可通过式(8)进行计算:

$$D_z \leq 2t \quad (8)$$

结合行走装置前后支重轮轴距  $l$ , 确定支重轮的

外轮廓直径为 180 mm, 相邻支重轮心轴间距为 230 mm。

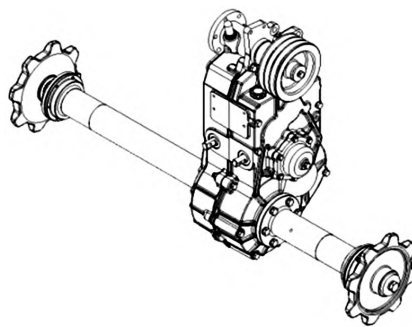


图 3 行走变速箱结构图  
Fig. 3 Structure Diagram of Running Gear

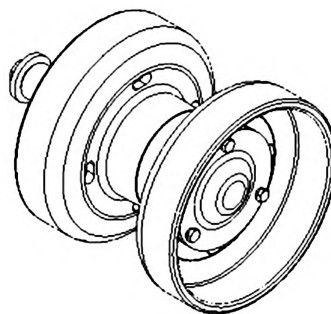


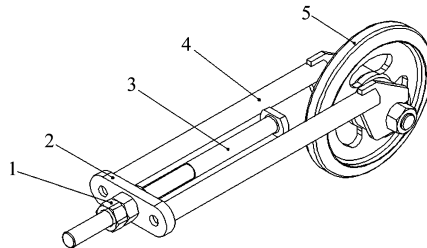
图 4 支重轮结构图  
Fig. 4 Structure Diagram of Supporting Wheel

(4) 托带轮选型

轻型履带车辆前进的过程中, 由于上方履带悬空距离较长, 车辆的振动会使履带跳振, 增加履带磨损, 因此在履带上侧下表面装配托带轮可以有效地缓解这一现象, 同时还能承担一部分履带重量。根据参考资料<sup>[3]</sup>并分析相似机型参数, 选择直径为 140 mm 的托带轮, 每侧履带一个, 安装于履带上部下侧表面的中间部位。

(5) 张紧装置选型计算

张紧装置用来调整上方履带的下垂度以保证履带合适的张紧度, 并且可以在履带转动时引导其运动方向。张紧装置结构如图 5 所示。张紧装置的张紧轮可以在履带的转动下被动的转动, 通过转动张紧螺母可使调节螺杆杆进行伸缩, 从而控制履带张紧力的大小。通过参相似机型, 选择张紧轮直径为 280 mm; 调整行程  $S_c$  为 100 mm。



1. 螺母 2. 导向杆座 3. 调节螺杆 4. 导向杆 5. 张紧轮  
图 5 张紧装置结构图  
Fig. 5 Structure Diagram of Tensioning Device

### 4 行走系转向驱动力矩的计算

履带行走车辆的转向原理是通过改变两侧驱动轮上驱动力矩的大小和方向,使两侧履带具有不同的驱动力从而实现转向。因此可以通过对行走系转向驱动力矩的计算,从而进行轻型履带车辆静液压驱动系统的设计和校核。

根据履带拖拉机转向运动学及转向动力学原理,可知履带车辆在一定地面条件下,按一定转向半径实现稳定转向的基本条件为: $M_B = M_\Sigma$ ,即转向力矩等于合成转向阻力距。

为便于计算,假定车辆在转向时无牵引阻力,无滑转、滑移,载荷均匀分布,重心位于  $O_T$  点,两侧履带转向极点在  $O_1$ 、 $O_2$  点,则横向阻力如图6所示呈矩形分布,横向阻力距的计算式(9)为:

$$M_p = \frac{\mu m_T g l}{4} = M_\Sigma \quad (9)$$

式中, $M_p$  为转向阻力距,  $N \cdot m$ ;  $M_\Sigma$  为合成转向阻力距,  $N \cdot m$ ;  $m_T$  为轻型履带车辆质量,  $kg$ ;  $\mu$  为横向阻力系数;横向阻力系数  $\mu$  为转向性能的重要参数,通常通过横向阻力系数与转向半径的试验曲线可以求得<sup>[4]</sup>。

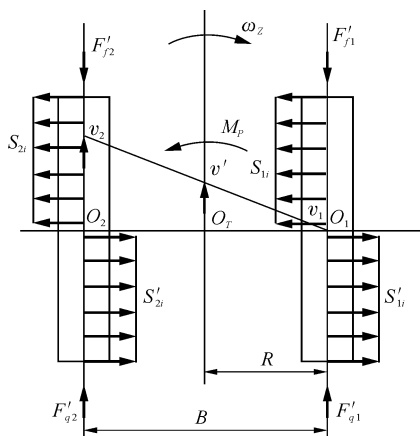


图6 履带车辆转向时受力情况

Fig.6 Force Situation of Tracked Vehicle During Turning

由于行走变速箱采用转向离合器转向,当内侧驱动力  $F'_{q1}$  变为制动力时,转向半径  $R_{min} = 0.5B$ ,此时转向时转向阻力距  $M_p$  为最大值,则横向阻力系数取最大值  $\mu_{max} = 0.7$ <sup>[4]</sup>。将各数值代入公式计算可得  $M_p = 4\,790\, N \cdot m$ 。

根据轻型履带车辆转向时力系平衡可知:

$$F'_{q1} + F'_{q2} = F'_{f1} + F'_{f2} \quad (10)$$

$$M_p = \frac{B}{2}(F'_{q2} - F'_{q1}) \quad (11)$$

由上式可得:

$$F'_{q2} = 0.5F_f + \frac{M_p}{B} \quad (12)$$

式中, $F'_{q1}$  为内侧驱动力,  $N$ ;  $F'_{q2}$  为外侧驱动力,  $N$ ;  $F_f$  为直线行驶时的滚动阻力,  $N$ 。

轻型履带车辆直线行驶时的滚动阻力  $F_f$  的计算公式如下:

$$F_f = f m_T g \quad (13)$$

式中, $f$  为履带车辆滚动阻力系数,已耕地取  $0.1$ <sup>[4]</sup>。

则轻型履带车辆在转向时需要的最大驱动力矩

$$M_{max} = \frac{1}{2} F'_{q2} D_q \quad (14)$$

将数值代入上式计算,可知轻型履带底盘转向时最大驱动力矩约为  $607.5\, N \cdot m$ ,据此可选择功率合适的静液压驱动装置。

### 5 结束语

本文根据轻型履带底盘工作目标和使用环境,确定轻型履带行走系的结构,并对行走系的关键部件和参数进行了选型设计,确定了关键零件的相关尺寸。通过对轻型履带行走系特定工况下的转向受力进行分析,计算出轻型履带行走系转向时所需的最大驱动力矩,并以此选择合适的静液压装置。轻型履带车辆行走系的结构设计不仅为该产品的开发提供理论依据,而且为后续设计及变型设计积累技术资料。

### 参考文献:

- [1] 王伟,陈黎卿,杨洋,等. 农业机械底盘技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报,2021,52(8):1-15.
- [2] 白学峰,杨浩勇,常江雪. 履带拖拉机发展现状分析与发展建议思考[J]. 拖拉机与农用运输车,2017,44(6):1-4.
- [3] 机械电子工业部洛阳拖拉机研究所. 拖拉机设计手册(下册)[M]. 北京:机械工业出版社,1994:201-253.
- [4] 机械电子工业部洛阳拖拉机研究所. 拖拉机设计手册(上册)[M]. 北京:机械工业出版社,1994:281-290.

(编辑 张晓超)

作者简介:李绍武(1986-),男,河南息县人,工程师,本科,主要从事农业机械的设计与开发工作。