

# 一种小型山地农用机械驱动底盘的设计

刘世磊 鲁开讲

重庆科创职业学院,重庆 402160

**摘要:**针对农用机械在山地农田行驶困难的问题,设计了一种小型履带电动驱动底盘。双驱动四履带的底盘结构在狭窄、凹凸路面具有更强的附着力和适应性。驱动底盘可搭载多种作业模块,将控制系统集成在底盘上,通过航空插头连接,可实现机械装置及电控线路的快速切换。首先通过底盘的功能设计,确定履带底盘整机结构,计算整机的最大接地比压等参数,完成履带选型及验证;其次对底盘在满载时不同工作状态进行受力分析,确定单侧电机的最大扭曲,计算电机功率,完成电机选型;再通过电机功率及其他电器元件的设计参数计算电池容量;最后完成小型山地农用机械驱动底盘的结构设计及关键零部件选型。

**关键词:**丘陵农地;农用机械;驱动底盘设计

**中图分类号:**S224.4

**DOI:** 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.07.005

## 0 引言

我国是山区较多的国家,据统计,全国坡度在25°以上的耕地约有9 100万亩(606.66万hm<sup>2</sup>),复杂地形的耕地超过全国耕地面积的66%<sup>[1]</sup>。山区耕地占总耕地面积的46%,山区粮食年产量占我国粮食总年产量近1/3,因此山区农业占有重要的地位。山地农业机械化是实现山区农业现代化的中心环节,是建设山区、实行农业技术改造的重要手段<sup>[2]</sup>。目前,我国山地农业机械落后于平原农业机械的主要原因是山道路陡峭且狭窄,大型农用机械作业困难。小型农用机械一般为专用机械,成本高。针对以上问题,笔者设计了一款多功能的双动力四履带驱动底盘,其2条履带的最小轮距为190 mm,可在250 mm宽的狭窄路面行驶,满足大部分山地农田道路的行驶要求。每边有2条履带驱动,增加路面适应性,可在凹凸不平的地里平稳行驶。

## 1 方案设计

### 1.1 功能设计

驱动底盘以电池为动力来源,可驱动山地作业的小型农用机械,搭载播种机、施肥机、农药喷洒机、运输料斗等作业模块。驱动底盘属于动力和控制模块,将作业模块与驱动底盘的机械装置及电控线路连接后,可通过驱动底盘把手上的操作单元控制作业模块的作业。底盘外观如图1。

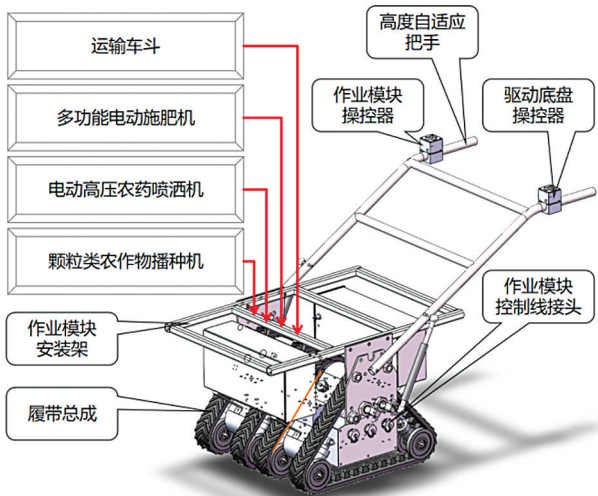


图1 底盘外观

### 1.2 工作原理设计

#### 1.2.1 结构设计

底盘主要由驱动模块、电控系统、辅助模块组成。驱动模块主要由履带总成、履带总成连接轴、履带总成连接扣框组成,每套履带总成由1套220V交流无刷电机动力组件、2个驱动轮组件、2个张紧组件、2条履带、4个弹簧减震器、8个涨紧轮组成。设计2条履带的目的是适应复杂的山区地形,具有更大的地面附着力。辅助模块主要由1个作业模块安装架、1个高度自适应扶手、2个液压阻尼器、1套底盘驱动控制器(控制底盘前进、后退、左右转弯)、1套作业模块控制器(通过切换作业模块按钮实现不同作业模块的控制)、1套支架连接固定板组成,作业模块安装架可搭载配套的播种机、施肥机、农药喷洒机、120 kg以内的农作物运输料斗(包括5kg的运输料斗)。电控模块有电池、逆变器、降压模块、控制器等电器元件,作业模块的电控单元统一安装在底盘,实现一对多的控制。图2为机械部分的主要

部件爆炸图,图 3 为履带总成爆炸图。

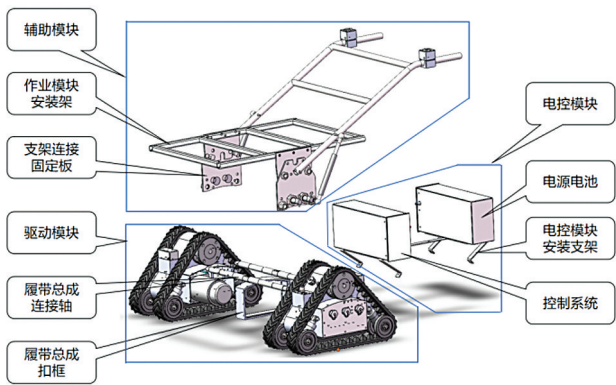


图 2 主要部件爆炸图

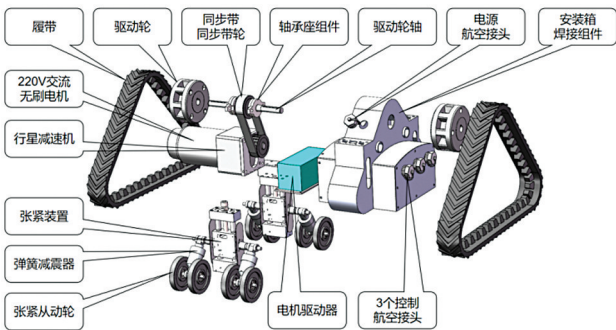


图 3 履带总成爆炸图

1.2.2 电控原理设计

(1)控制原理。设备控制系统由自主设计的stm32 主控板和电机驱动器组成。通过切换作业模块按钮可由 1 个控制器控制多个作业模块。驱动模块控制器可分别控制每台电机的正反转及转速,从而实现底盘的前进、后退及转弯。控制原理如图 4 所示。

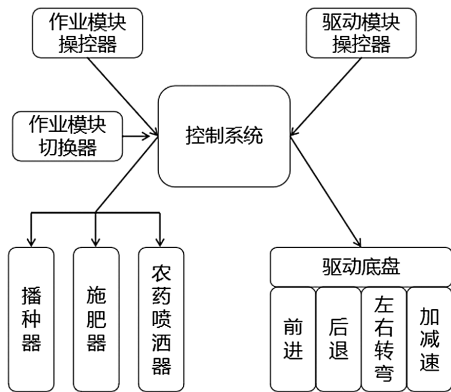


图 4 控制原理

(2)电路原理。考虑经济性及实际作业需求,电源选择铅酸电池。设计电源电压为 48 V,主控板电压为 5 V,作业模块电压为 24 V,驱动电机为 220 V 交流无刷电机。通过逆变器将 48 V 直流电转变成 220 V 交流电给电机驱动器供电,电机由变频驱动器提供电源。作业模块通过 48 V 转 24 V 降压模块提供电源,主控模块由 48 V 转 5 V 降压模块提供电

源。电路原理如图 5 所示。

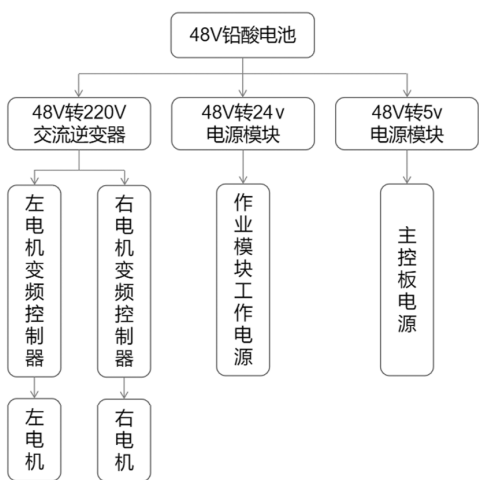


图 5 电路原理

2 关键部件参数计算及选型

底盘将履带作为行走装置,并采用电机驱动,因此关键部件主要有电机、减速机、电池、履带及减震装置,根据设计要求对关键部件进行参数计算及选择。底盘驱动装置应满足农业拖拉机通用技术条件和农业履带式拖拉机的相关规范<sup>[3-4]</sup>,下面分析主要参数设计过程。

2.1 履带参数计算及选型

履带设计需考虑履带的节距、宽度、接地长度、轨距、数量。由于底盘用于山区的小型农用机械,考虑路面狭窄且凹凸不平,故单侧采用 2 条窄履带,共 4 条履带。

根据节距的经验计算公式<sup>[5]</sup>:

$$j = (15 \sim 17.5) \sqrt[4]{m_F} = 57 \text{ mm} \tag{1}$$

式中, $j$  为履带节距,mm; $m_F$  为满载质量,kg。

因为轻载,故节距系数取 15。

根据履带设计经验,履带接地长度  $L$  与履带轨距  $B$  的比值即接地轨距比  $i_{LB}$  一般在 1.0~1.7 之间, $i_{LB} < 1$ ,底盘直线行驶性能差; $i_{LB} > 1.7$ ,底盘转向阻力大。笔者设计的履带接地长度  $L$  为 330 mm,左右履带轨距为 230 mm,计算得  $i_{LB} = 1.4$ ,在适宜范围内。

履带宽度为 50 mm,接地长度为 330 mm,总接地面积  $A_T = 4LB = 0.06 \text{ m}^2$ 。

满载接地比压公式:

$$p_F = \frac{G_F}{A_T} = \frac{210 \times 9.8}{0.06} \text{ Pa} = 34\,300 \text{ Pa} \tag{2}$$

履带行驶允许最大的接地比压  $p_{\max} \leq 50 \text{ kPa}$ ,满足  $p_F \leq p_{\max}$  的要求。

根据设计参数,选择德州正鼎机械设备有限公司生产的 ZDLD-50 型号的履带。

2.2 电机及减速机参数计算及选型

2.2.1 底盘不同工作状态下最大牵引力的计算

底盘的工作状况有启动、水平路面行驶、爬坡、转弯,求出每种工作状况下的牵引力,并取最大牵引力计算电机的输出扭矩,进而求出电机需要的最大功率<sup>[6-9]</sup>。

启动时单边履带牵引力为:

$$F_1 = \frac{m_0 a + m g f}{2 \eta_d} \tag{3}$$
$$m_0 = m_d + m_z$$

式中, $m_0$  为底盘满载质量; $m_d$  为底盘质量; $m_z$  为最大载质量; $\eta_d$  为传动系统机械效率; $f$  为滚动阻力系数,底盘在山地行驶; $a$  为底盘最大加速度。

代入参数  $m_d=90\text{ kg}$ ,  $m_z=120\text{ kg}$ ,  $\eta_d=0.85$ ,  $f=0.1$ ,  $a=0.5\text{ m/s}^2$  得  $F_1=182.8\text{ N}$ 。

水平行驶时,单边履带的牵引力为

$$F_2 = \frac{m g f}{2 \eta_d} = 121.1\text{ N} \tag{4}$$

最大坡度行驶时,单边履带的牵引力为

$$F_3 = \frac{m g \sin \theta_{\max} + m g f}{2 \eta_d} = 665.8\text{ N} \tag{5}$$

式中, $\theta$  为最大爬坡角度,  $\theta=25^\circ$ 。

转弯时,单边履带的牵引力为

$$F_4 = \frac{m g}{2 \eta_d} (f + \frac{1}{2} \mu i_{LB}) = 714.2\text{ N} \tag{6}$$

式中, $\mu$  为切边转向时阻力系数,  $\mu=0.7$ ;  $i_{LB}$  为接地轨距比,  $i_{LB}=1.4$ 。

通过计算得出转弯时,履带的牵引力最大,利用该值计算电机扭矩。

2.2.2 电机及减速机选型

设计最高时速  $v_{\max}=5\text{ km/h}$ ,驱动带轮的设计半径  $R=0.05\text{ m}$ 。忽略履带与地面的滑动,最高时速时,驱动轮转速:

$$n = \frac{1}{2 \pi R} v_{\max} = 265.4\text{ r/min} \tag{7}$$

电机输出扭矩:

$$T = F_4 R = 35.7\text{ N} \cdot \text{m} \tag{8}$$

电机功率:

$$P = \frac{T n S_F}{9550} \tag{9}$$

其中,  $S_F$  为安全系数,  $S_F=1.2$ ;  $n$  取  $270\text{ r/min}$ ;进而求得  $P=1.18\text{ kW}$ 。因此电机功率取  $1.5\text{ kW}$ 。

选择长沙奇沃科技有限公司的交流无刷电机,根据厂家提供的减速机电机参数(表 1),选择  $220\text{ V}$  交流无刷电机,功率选择  $1.5\text{ kW}$ ,减速机的减速比选择  $10/1$ 。减速机输出转速为  $20\sim300\text{ r/min}$ ,最高转速  $n_{\max}=270\text{ r/min}$ 。额定输出扭矩为  $41.28\text{ N} \cdot \text{m}$ ,超过最大输出扭矩  $35.7\text{ N} \cdot \text{m}$ 。

表 1 奇沃 220V 交流无刷电机减速机参数表

功率	减速机等级	减速比	调速范围(r/min)	长度(mm)	质量(kg)	扭矩(N·m)
1 500W	一级减速机	3/1	67~1000	288	12.7	12.96
		4/1	50~750			17.28
		5/1	40~600			21.60
		6/1	34~500			25.92
	二级减速机	10/1	20~300	313	14	41.28
		12/1	17~250			49.54
		16/1	13~187			66.05
		20/1	10~150			82.56
		24/1	9~125			99.07
		30/1	7~100			123.84
		36/1	6~83			140.00

2.3 电池参数计算及选型

电源选择铅酸电池,设计电压为  $48\text{ V}$ ,控制板电压为  $5\text{ V}$ ,作业模块的设计电压为  $24\text{ V}$ ,驱动电机为  $220\text{ V}$  交流无刷电机。采用  $48\text{ V}$  转  $24\text{ V}$  开关电源给控制模块及作业模块供电,采用逆变器给驱动电机供电。主要耗电设备为  $2$  台交流无刷电机、作业模块电机,逆变器功耗、降压模块、控制板功耗较低,估算在  $0.25$  的安全系数  $\eta$  里。

电机运行需的电池容量:

$$C_M = I_{\text{out}} t_M \tag{10}$$

式中,  $I_{\text{out}}$  为逆变器的输出电流;  $t_M$  为续航里程内运行的时间。

逆变器输出电流:

$$I_{\text{out}} = \frac{P}{1.732 U_{\text{ac}}} \tag{11}$$

式中,  $U_{\text{ac}}$  为逆变器输出电压,  $U_{\text{ac}}=220\text{ V}$ ;  $P$  为逆变器输出功率。

输出功率与负载有关,设电机一直在额定功率  $1\,500\text{ W}$  状态工作,则逆变器输出功率为  $3\,000\text{ W}$

(2 台电机),进而求得  $I_{out}=7.87\text{ A}$ 。

电机运行时间时间：

$$t_M=\frac{S}{v_{\max}}$$

(12)

式中, $S$  为续航里程, $S=20\text{ km}$ 。

进而求得  $t_M=4\text{ h}$ ,电机在续航里程内需要的  
电池容量  $C_M=31.6\text{ A}\cdot\text{h}$ 。

作业模块工作需要的电池容量：

$$C_Z=I_{Z,\max}t_Z=33.2\text{ A}\cdot\text{h}$$

(13)

式中, $I_{Z,\max}$  为作业模块的最大工作电流; $t_Z$  为工作时间,  
 $t_Z=4\text{ h}$ 。

最大工作电流：

$$I_{Z,\max}=\frac{P_{Z,\max}}{U_Z}=8.3\text{ A}$$

(14)

式中, $P_{Z,\max}$  为作业模块的最大功率,设计值为  $200\text{ W}$ ; $U_Z$  为  
作业模块工作电压,设计值为  $24\text{ V}$ 。

电池总容电量：

$$C_A=(C_M+C_Z)(\eta+1)=81\text{ A}\cdot\text{h}$$

(15)

设定剩余电量 20% 为标称零电量,则电池容量：

$$C=C_A(1+0.2)=97.2\text{ A}\cdot\text{h}$$

(16)

因此,电池容量取  $100\text{ A}\cdot\text{h}$ ;电池选择超威牌  
铅酸电池,电压  $48\text{ V}$ ,容量  $100\text{ A}\cdot\text{h}$ 。

通过结构设计、原理分析、参数计算、三维验证,  
本农用机械驱动底盘的主要性能的设计参数见表 2。

表 2 底盘性能设计参数

参数	数值	备注
底盘的长、宽、高(mm)	1000、480、760	不包括作业模块尺寸
履带总成的长、宽、高(mm)	450、430、340	
整机重量(kg)	90	
载重(kg)	120	包括作业模块重量
履带条数	4	
履带型号	ZDLD—50	德州正鼎机械设备有限公司
最小履带轨距(mm)	230	
平地最大行驶速度(km/h)	5	
爬坡最大速度(km/h)	1.5	
最大加速度(m/s <sup>2</sup> )	0.5	
最大爬坡度(°)	20	
转弯半径(m)	0	
防护等级	IP65	
续航里程(km)	20	
电池电压(V)	48	
电池容量(A·h)	100	超威电池
驱动电机	1 500 W 交流无刷电机	长沙奇沃科技有限公司
驱动电机工作电压(V)	220	

3 结论

采用双动力四履带驱动底盘的驱动装置具有山地路面适应性好、地面附着力强的优点,适应狭窄的山地路面行驶,采用一个驱动底盘搭载多个作业模块可降低硬件成本。根据设计需求完成主要部件的参数计算及选型,有助于山地小型农用机械的发展。

参考文献：

[1] 杨利. 浅谈山地农用机械的使用和发展[J]. 农机使用与维修,2016(12):20.

[2] 石金开. 关于我国山地农用机械化问题的探讨[J]. 贵州社会科学,1982(5):15-22.

[3] 全国拖拉机标准化技术委员会. GB 18447.3—2008,拖拉机安全要求第 3 部分:履带拖拉机[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[4] 全国拖拉机标准化技术委员会. GB/T 15370.4—

2012,农用拖拉机通用技术条件第 4 部分:履带拖拉机[S]. 北京:中国标准出版社,2012.

[5] 巩青松. 履带式工作车辆设计及分析的关键技术研究[D]. 扬州:扬州大学,2008.

[6] 孙欣欣. 小型电动履带底盘系统设计与试验[J]. 农业开发与装备,2023(4):26-30.

[7] 齐英杰,孙志刚,马岩,等. 小型履带拖拉机行走系统设计分析与实验研究[J]. 农机化研究,2018,40(1):228-233.

[8] 鲁鸣,沈文龙. 电动农业车辆履带式底盘设计[J]. 汽车实用技术,2018(19):17-19.

[9] 杜蒙蒙,姬江涛,杜新武,等. 丘陵山区双履带式小型动力底盘的设计[J]. 农机化研究,2013,35(9):116-119.

作者简介:刘世磊,男,1988 年生,讲师。研究方向为机械设计制造及自动化。鲁开讲,男,1964 年生,博士,教授。研究方向为机械设计及其自动化。