

# 丘陵山区小型多功能底盘液压系统的设计

吕小荣<sup>1</sup> 丁为民<sup>2</sup> 吕小莲<sup>3</sup>

1. 四川农业大学信息与工程技术学院, 雅安 625014; 2. 南京农业大学工学院, 南京 210031;  
3. 滁州学院机械与电子工程学院, 滁州 239000

**摘要** 针对中国西南丘陵山区地形及套作种植的特点, 设计了小型多功能底盘液压系统, 并通过理论计算完成液压元件的选型。设计的全液压传动系统, 能缩小机器的外形尺寸, 减轻机器的重量, 实现机器的无极变速和原地转向, 有效解决套作地头小空间转向问题。液压力测试的爬坡试验结果表明, 该多功能底盘液压系统的样机能平稳通过小于 25° 的斜坡, 可以满足农业机械在西南丘陵山区行走作业的基本要求。

**关键词** 丘陵山区; 多功能底盘; 液压系统; 设计

**中图分类号** S 220.2; S 223 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)02-0128-05

丘陵山区主要粮食和经济作物产量在中国农业生产上占有较大比重。由于缺乏适用的农机具, 导致机械化生产水平低, 生产成本不断增高, 因而制约了丘陵山区的进一步发展。机械种植是解决该问题的重要途径<sup>[1]</sup>。目前, 小型履带自走农业机械在农业工程学科中的运用不断增加, 但利用全液压底盘实现双边反向差速转向在农业机械中解决转向难的问题研究较少。Wong 等<sup>[2]</sup>分析了履带底盘达到稳定转向状态时的平衡条件, 但未分析单边制动转向及双边反向转向过程。曹付义等<sup>[3]</sup>和杨洪征等<sup>[4]</sup>的研究曾涉及到差速转向机构设计; 张涛等<sup>[5]</sup>和游四海等<sup>[6]</sup>的研究只涉及到差速转向机构的动态仿真以及相关研究。

与现有农业机具相比, 套作机具面临转向的问题更为复杂且严重。中国西南丘陵山区套作种植土地规模小、分散、不规则、坡地多、道路差, 而且作物种植在窄行距空间, 所以农机化作业的难度更大<sup>[7-11]</sup>, 尤其在转向方面, 由于地头转向空间有限, 地区土质粘重度大, 加之底盘长宽比较大, 要求转弯半径小, 使得转向成为制约丘陵地区发展农业机械的主要问题之一。笔者针对中国西南丘陵山区套作种植严重缺乏小型农业机具, 特别是解决在窄行距空间转向难问题, 专门设计了全液压自走式小型多功能底盘。这种小型多功能底盘采用全液压传动, 使机器具有外形尺寸小、结构紧凑、重量轻、小半径

转向等特点, 可为我国西南丘陵山区套作田间耕作、播种、灌溉等作业提供服务。

## 1 主要结构与设计要求

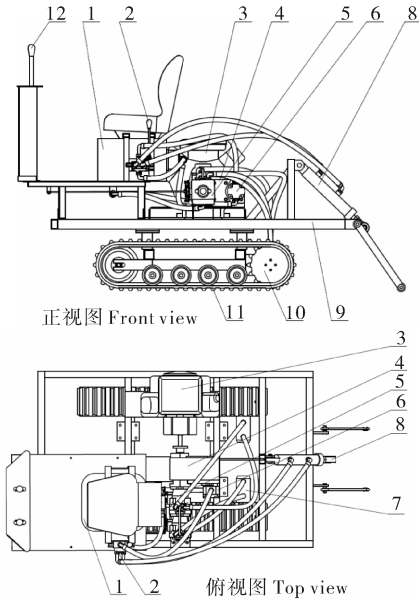
### 1.1 总体结构与工作原理

根据中国西南丘陵山区地形的特点及套作种植的特点<sup>[1,7-11]</sup>, 设计的小型机具必须具有外形尺寸小、结构简单、运行平稳等特性。在本试验设计中, 小型多功能底盘最宽处只有 1100 mm, 离地间隙为 180 mm, 轨距为 720 mm。小型多功能底盘的总体结构设计如图 1 所示, 主要由行走装置、操纵系统、液压系统、悬挂装置等组成。

设计的多功能底盘在作业时, 发动机通过分动箱把动力传给液压传动系统, 液压传动系统把动力分别传递到行走系统和悬挂装置, 从而实现机器的前、后、转向等行走运动及挂接机具进行播种、耕作等作业。

### 1.2 液压系统的设计要求

为研发适合中国西南丘陵山地套作田间作业的小型多功能底盘, 在充分结合西南丘陵山区套作种植的实际情况下, 对液压系统的设计提出以下要求: 整车初定质量 600 kg; 发动机功率 15 kW; 系统工作压力 16 MPa; 采用全液压传动与控制, 无级调速; 行走速度 0~5 km/h; 滚动摩擦系数 0.12<sup>[12]</sup>。路面情况: 西南丘陵套作田间道路。



1. 驾驶台 Bridge; 2. 液压缸操纵手阀 Hydraulic cylinder hand control valve; 3. 发动机 Engine; 4. 分动箱 Transfer case; 5. 双联泵 Double pump; 6. 齿轮泵 Gear pump; 7. 马达 Motor; 8. 液压油缸 Hydraulic cylinder; 9. 底盘支架焊合 Chassis bracket; 10. 驱动系统 Drive system; 11. 履带 Track; 12. 操纵系统 Operating system.

图 1 小型多功能底盘的总体结构图

Fig. 1 The overall structure diagram of the small multi-functional chassis

## 2 全液压系统的设计

设计的小型多功能底盘采用全液压系统,管路连接简单,缩小了安装空间,有效减轻了底盘的重量,使液压底盘传动易实现无极调速;液压元件采用标准化、系列化的产品,便于设计、制造和推广应用<sup>[13-15]</sup>。另外,设计的全液压底盘能解决西南丘陵山区套作种植地头空间小,农业机械转向难的瓶颈问题<sup>[8-9,16-17]</sup>。

### 2.1 全液压系统的总体方案设计

1) 液压系统的传动。底盘的发动机通过分动箱提供动力传给双联泵和齿轮泵,系统分为两路:一路是双联泵给 2 个行走马达供应压力油,液压循环采用左右 2 个闭式回路,双联泵上的 2 个操纵手柄的旋转方向开度,使行走马达正转、反转,驱动底盘前进、后退、转向和停止;另一路是齿轮泵给液压油缸提供压力油,液压循环采用开式回路,通过操纵多路阀控制,可提升或降落各执行部件,从而完成播种、施肥、灌溉等作业。液压系统的传动如图 2 所示。

2) 液压系统的工作原理。多功能底盘液压系统包括的液压元件主要包括双联泵、齿轮泵、行走马达、液压油缸等等,其系统结构如图 3 所示。

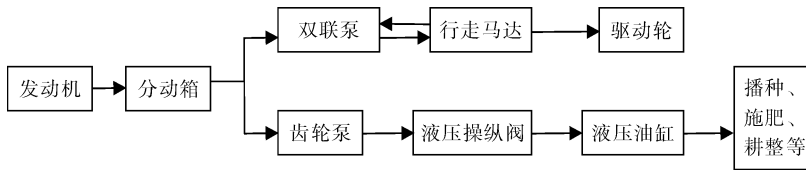
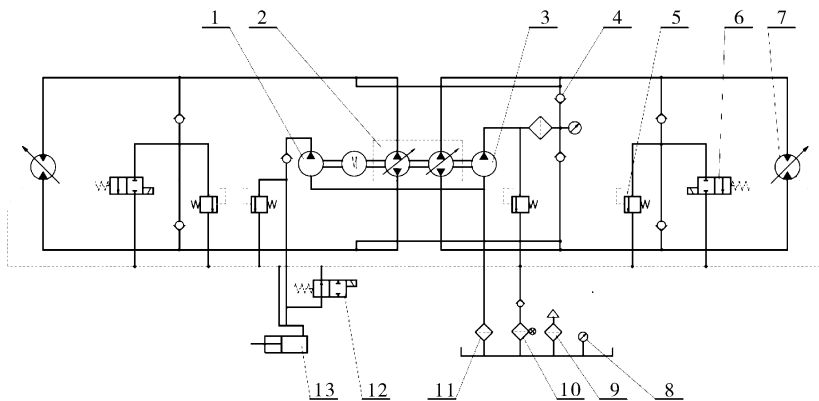


图 2 液压系统传动示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the hydraulic drive



1. 齿轮泵 Gear pump; 2. 双联泵 Double pump; 3. 补油泵 Charge pump; 4. 单向阀 Check valve; 5. 溢流阀 Overflow; 6. 常闭卸荷阀 Normally closed unloading valve; 7. 马达 Motor; 8. 压力表 Pressure gauge; 9. 空气过滤器 Air filter; 10. 回油过滤器 Oil filter; 11. 吸油过滤器 Oil suction filter; 12. 常开卸荷阀 Open the unloading valve; 13. 液压油缸 Hydraulic cylinder.

图 3 多功能底盘液压系统示意图

Fig. 3 Hydraulic diagram of the multi-functional chassis

发动机主轴转动,带动分动箱各轴转动,进而带动双联泵和齿轮泵进行旋转,由泵把机械能转换为液压能。液压油去向有两路:其一,当推动操纵手柄,双联泵的手柄转动,双联泵阀门被打开(随着手柄阀门开度的不同来控制液压流量),双联泵中的液压油由主油口 A 出来进入马达的进油口,液压油由马达的出油口返回双联泵的主油口 B,这样双联泵与马达形成一个循环闭式回路,当闭式回路中油量减少、油压下降时,油箱中的液压油通过双联泵中的补油泵进行补油,当闭式回路中由于特殊原因如温度升高等油压增加,回路中的油便通过双联泵中的溢流阀返回油箱进行减压;马达将液压能转化为机械能,其输出轴带动驱动轮运动,进而带动履带运动,从而实现机器运动,带动农机具进行作业;其二,当推动液压操纵阀手柄时,齿轮泵油路被打通,油箱中的油进入齿轮泵,液压油由齿轮泵的出油口进入液压操纵阀的进油口,由液压操纵阀的主油口进入液压油缸的进油口,由液压油缸的出油口返回液压操纵阀,液压操纵阀的出油口返回油箱,液压操纵阀控制液压油的流量进入液压油缸,当油路中的液压突然升高,液压油由操纵阀中的溢流阀迅速卸荷减压,液压油缸带动后面的小型农业机械进行运动作业,如小型播种机等。

3) 主要液压元件的选型。液压系统的主要参数是压力和流量,它们是设计液压系统和选择液压元件的主要依据<sup>[13-15]</sup>。压力决定于外载荷,流量决定于液压执行元件的运动速度和结构尺寸。

行走马达的选取:液压马达是一种将液压能转换为动能的转换装置,是实现连续旋转的执行元件。马达驱动扭矩的计算<sup>[13-14]</sup>:

$$T_p = F_T \times r \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} F_T &= F_q - F_f \\ F_q &\leq F_\varphi \\ F_f &= f \times G_s \end{aligned} \right\} \Rightarrow F_T \leq F_\varphi - f G_s \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} F_\varphi &= \varphi G_\varphi \\ G_\varphi &= G_s \end{aligned} \right\} \Rightarrow F_\varphi = \varphi G_s \quad (3)$$

式中  $T_p$  为马达驱动扭矩, N·m;  $r$  为履带驱动轮半径, mm;  $F_T$  为牵引力, N;  $F_q$  为切线驱动力, N;  $F_f$  为滚动阻力, N;  $F_\varphi$  为附着力, N;  $G_\varphi$  为附着质量, kg;  $G_s$  为使用质量 (800 kg);  $f$  为滚动阻力系数 (0.06~0.07);  $\varphi$  为附着系数 (0.9~1.1)。

由式(1)、(2)和(3)可得

$$T_p \leq 1\ 223.04 \approx 1\ 223\ \text{N} \cdot \text{m}$$

液压马达排量为

$$V_{gm} = \left( \frac{2 \times \pi \times T_g}{\Delta P} \right) / \eta_m \leq 266.68\ \text{mL/r} \quad (4)$$

式中  $V_{gm}$  为马达排量;  $T_g$  为单个马达驱动扭矩,  $T_p = 2 \times T_g$ ;  $\Delta P$  为马达压差,  $\Delta P = 16\ \text{MPa}$ ;  $\eta_m$  为马达机械效率 (0.90~0.99)。

因此,以理论计算为依据,综合考虑,选取马达的型号为 BM5-250; 扭矩为 620 N·m; 排量为 250 mL/r。

双联泵的选取:选择液压泵的主要依据是其最大工作压力和最大流量<sup>[13-14]</sup>。多功能底盘计算液压泵的最大工作压力  $p_p$  (Pa) 取决于执行元件液压马达的最大工作压力,即

$$p_p \geq p_1 + \Sigma \Delta p = 16.5\ \text{MPa}$$

式中  $p_p$  为液压泵最大工作压力;  $p_1$  为液压马达最大工作压力, 16 MPa;  $\Sigma \Delta p$  为从液压泵出口到液压马达入口之间总的管路损失。根据经验数据选取 0.2~0.5 MPa, 确定液压泵的流量

$$q_{vp} \geq K \left( \sum q_{v\max} \right) \quad (5)$$

$$\sum q_{v\max} = \frac{V_{gm} \times n}{1\ 000} = 23\ \text{L/min} \quad (6)$$

式中  $q_{vp}$  为液压泵的最大流量;  $K$  为系统的泄漏系数,一般取 1.1~1.3;  $\sum q_{v\max}$  为液压马达的最大流量, L/min;  $V_{gm}$  为马达排量 (250 mL/r);  $n$  为轴转速 (89 r/min)。

由式(5)得  $q_{v\max} \geq 30\ \text{L/min}$ 。

根据理论计算,综合考虑,选取双联泵的型号为 OYP12, 最大工作压力为 21 MPa; 最大流量为 33.6 L/min。

油管的选取:管子内径  $d$ , 按流速选取<sup>[13]</sup>

$$d \geq 1\ 130 \sqrt{\frac{q_v}{v}} \quad (7)$$

式中  $q_v$  为液体流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $v$  为流速 (m/s), 对于吸油管  $v \leq 1 \sim 2\ \text{m/s}$ , 对于压油管  $v \leq 3 \sim 6\ \text{m/s}$ , 对于回油管  $v \leq 1.5 \sim 2.5\ \text{m/s}$ 。

依据理论计算,综合考虑,选取泵吸油内径为 32 mm, 排油管内径为 13 mm。

## 2.2 液压系统的虚拟安装和样机制造

运用 UG 三维软件进行多功能底盘的液压系统的三维建模、装配,进行零部件的干涉检测和整机的质心检测<sup>[18-20]</sup>。结果表明各部件之间不存在干涉现象。西南丘陵山区小型多功能底盘液压系统的总体虚拟装配如图 4 所示。

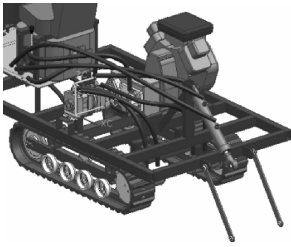
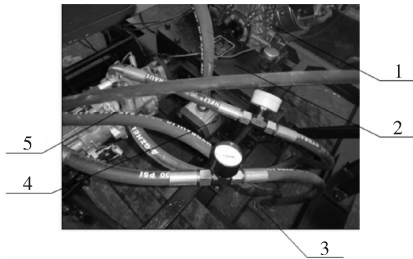


图4 液压系统的虚拟装配

Fig. 4 Virtual assembly of hydraulic system

经过上述分析、理论计算和液压主要元件的选型,2012年9月进行了液压系统的连接安装,并进行了样机的试验,试验证明液压系统设计合理安全可靠,满足设计要求。设计制造的多功能底盘样机液压系统实物如图5所示。



1. 发动机 Engine; 2. 分动箱 Transfer; 3. 马达 Motor case; 4. 齿轮泵 Gear pump; 5. 双联泵 Double pump.

图5 液压系统的实物图

Fig. 5 Hydraulic system actual picture

### 3 液压动力的性能测试

#### 3.1 试验地点与测试方法

2012年11月,在四川农业大学试验试制基地和后山进行小型多功能底盘液压动力试验。四川农业大学后山有不同坡度的水泥路面(与农村机耕道相同),最陡的坡度可达 $31^\circ$ ,是爬坡试验的最佳地点。依据GB/T 3871《农业轮式和履带拖拉机试验方法》<sup>[21]</sup>中相关规定,对样机进行液压动力测试。

测试开始时,选择不同坡度的斜坡进行爬坡试验(图6)。将样机停止在坡度较平直路段,用低速起步后再将油门加到最大,使样机在所测坡底达到速度稳定,然后以该稳定速度进行爬坡。试验共爬坡3次,以通过1次为合格。

对多功能底盘的最大速度和转向进行测试,主要考察样机机器运动的平稳可靠性和是否适合在狭小空间转向。转向采用双边正向差速、单边制动,双边反向差速进行转向试验,观察并测量转向轨迹的半径。



图6 爬坡通过性试验

Fig. 6 Climbing through test

#### 3.2 结果与分析

在爬坡试验中,小型多功能底盘液压动力样机在行驶速度 $0.8\text{ km/h}$ 、坡度为 $31^\circ$ 的条件下,机器平稳通过。根据相关标准<sup>[22]</sup>规定开荒限制坡度即开荒种植农作物的坡度应小于 $25^\circ$ ,而样机爬坡坡度已超过 $25^\circ$ ,表明机器具有良好的爬坡能力。

在行走试验中,测试样机直线运动平稳,转向灵活,最大速度为 $5.12\text{ km/h}$ ,最大速度与设计基本相同,达到设计要求。测试结果表明,转向试验效果良好,采用双边反向差速试验,可实现机器 $360^\circ$ 原地转向,留下的轨迹如图7所示。



图7 转向试验轨迹

Fig. 7 Climbing through test

### 3 讨论

本试验根据中国西南山地特有地形和套作种植模式的特点,设计了一套适合西南丘陵山地套作种植的小型多功能底盘全液压系统。测试结果表明,小型多功能底盘液压动力样机具有良好的爬坡能力和转向功能。设计的全液压系统缩小了底盘的外形尺寸、减轻了底盘的质量,达到了底盘反向差速原地转向的目的,从而有效解决了小空间转向的难题。通过爬坡试验证明,液压元件选型可靠,液压系统设计合理,达到了预期的目的,所设计制造的样机有良好的爬坡性能,能够在小于 $25^\circ$ 的坡上稳定通过,较好地满足了农业机械在西南丘陵山区行走作业的基本要求。但设计的全液压系统尚存在不足之处,如底盘需要大量的田间生产试验来检测液压系统的可靠

性。另外,怎样通过液压系统进行制动,怎样测试液压系统的功率等,都还有待进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] 杨文钰,张含彬,牟锦毅.南方丘陵地区旱地新三熟麦/玉/豆高效栽培技术[J].作物杂志,2006(5):43-44.
- [2] WONG J Y,CHIANG C F. A general theory for skid-steering of tracked vehicles of firm ground [J]. Journal of Automobile Engineering,2001,215:52-57.
- [3] 曹付义,周志立,贾鸿社.履带拖拉机液压机械双功率流差转向机构设计[J].农业机械学报,2006(9):5-8.
- [4] 杨洪征.基于 ADAMS 的履带车辆差速转向机构虚拟样机分析[D].淄博:山东理工大学图书馆,2010.
- [5] 张涛,郭志强,周志立.橡胶履带车辆行走系统的动力学模型及脱轮问题的仿真分析[J].河南科技大学学报,2006,27(6):12-15.
- [6] 游四海,俞宁,李和言,等.零差速综合传动履带车辆的转向动态特性[J].重庆大学学报,2008,31(8):874-880.
- [7] 吕小荣,刘丽娜,吕小莲.套作模式下小型农业机械化技术的运用前景[J].农机化研究,2011(12):245-248.
- [8] 吕小荣,丁为民.西南丘陵山地套作小型多功能底盘的应用前景分析[J].农机化研究,2013(9):250-252.
- [9] 陈长林,闵启超,梁苏宁.微型播种机在我国丘陵山地推广应用初探[J].中国农机化,2012,240(2):81-83.
- [10] 王小春,杨文钰,雍太文.西南丘陵旱地农作制现状及早地新三熟“麦/玉/豆”发展优势分析[J].安徽农业科学,2009,37(9):3962-3963,3982.
- [11] 雍太文,任万军,杨文钰.旱地新三熟“麦/玉/豆”模式的内涵、特点及栽培技术[J].耕作与栽培,2006(6):48-50.
- [12] 丁为民.农业机械学[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [13] 机械设计手册编委会.机械设计手册:液压传动与控制[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [14] 张利平.液压传动系统设计与使用[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [15] 严国英.多功能全液压钻机液压系统设计[J].液压与气动,2005(8):38-39.
- [16] AHMED A,SHABANA, JALIL R, et al. A survey of rail vehicle track simulations and flexible multi-body dynamics [J]. Monitoring and Simulation Techniques,2005,26(2):179-212.
- [17] LIU K, AYERS P, HOWARD H. Influence of turning radius on wheeled military vehicle induced rut formation[J]. Journal of Terra Mechanics,2009,46:49-55.
- [18] 张黎华,吕小荣.UG NX 6.0 计算机辅助设计与制造实用教程[M].北京:北京大学出版社,2009.
- [19] WONG J Y, PRESTON-THOMAS J. Parametric analysis of tracked vehicle performance using an advanced computer simulation model [J]. Proc Instr Mech Engrs, Part D, 1986, 200 (D2):101-114.
- [20] 邱威,丁为民,汪小煜,等.3WZ-700 型自走式果园风送定向喷雾机[J].农业机械学报,2012,43(4):26-30,44.
- [21] 中华人民共和国农业部.GB/T 3871-2004 农业轮式和履带拖拉机试验方法[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [22] 中国国家标准化管理委员会.中华人民共和国《水土保持法》[S].北京:中国标准出版社,2012.

## Design of hydraulic system of small multi-function chassis in hilly area

LYU Xiao-rong<sup>1</sup> DING Wei-min<sup>2</sup> LYU Xiao-lian<sup>3</sup>

1. College of Information and Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China;

2. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China;

3. College of Machinery and Electronic Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China

**Abstract** A hydraulic system for small multi-function chassis was designed to be used in the hilly and mountainous regions of southwestern China after a full consideration of the characteristics of the terrain and the relay intercropping in this area. The selection of hydraulic components was determined by a theoretical calculation. A complete hydraulic drive system was adopted in the design to effectively reduce the size and weight, and to realize the stepless speed change and the pivot turn, which effectively solves the problem caused by the small space in the intercropping fields. Climbing experiments show that the machine can smoothly run through slopes less than 25°. All these prove that this machine can meet the basic requirement of walking operation in the southwest hilly areas.

**Key words** hilly and mountainous area; multi-function chassis; hydraulic system; design