

轮式丘陵山地拖拉机扭腰姿态调整装置设计与试验

张开兴¹ 张 斓¹ 李政平² 殷月鹏² 刘贤喜^{1,3} 赵秀艳⁴

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 山东五征集团有限公司, 日照 276800;

3. 山东省农业装备智能化工程实验室, 泰安 271018; 4. 山东农业大学信息科学与工程学院, 泰安 271018)

摘要: 针对目前姿态调整式丘陵山地拖拉机只能实现静态调平和差高调平、调平精度低等问题,设计了一种轮式丘陵山地拖拉机扭腰姿态调整装置,该装置通过调整前后车身的相对转动来实现丘陵山地拖拉机对复杂路面的适应。首先,根据丘陵山地特殊作业要求,对拖拉机坡地作业稳定性进行研究,设计了扭腰姿态调整装置;然后,对扭腰姿态调整装置进行动力学仿真,建立轮式拖拉机模型并进行多工况动力学仿真分析,仿真试验结果显示,扭腰姿态调整装置最大转动角为 15.2°,拖拉机纵向坡行驶保持稳定的最大倾角为 23.2°,横向坡行驶保持稳定的最大倾角为 16.8°;最后,进行了样机田间试验,田间试验结果表明,扭腰姿态调整装置平均转动角为 15.03°,拖拉机最大纵向爬坡角为 25.6°,最大横向爬坡角为 16.2°;在坡度为 15°的地面上,旋耕作业平均生产率为 0.65 hm²/h,犁耕作业平均生产率为 0.36 hm²/h,该拖拉机能够较好地适应丘陵山地环境,满足丘陵山地正常作业需求。

关键词: 丘陵山地; 轮式拖拉机; 扭腰姿态调整装置; 多工况动力学仿真; 试验

中图分类号: S219.85

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2022)06-0425-09

OSID:



Design and Test of Twisting and Swinging Attitude Adjustment Device of Wheel Hilly Tractor

ZHANG Kaixing¹ ZHANG Lan¹ LI Zhengping² YIN Yuepeng² LIU Xianxi^{1,3} ZHAO Xiuyan⁴

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China

2. Shandong Wuzheng Group Co., Ltd., Rizhao 276800, China

3. Shandong Provincial Engineering Laboratory of Agricultural Equipment Intelligence, Taian 271018, China

4. College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

Abstract: Aiming at the current attitude-adjustable hilly tractors can only achieve static leveling, height difference leveling, and low leveling accuracy, an attitude adjustment device of the twisting and swinging wheel hilly tractor was designed. This device realized the tractor's adaptation to complex roads by adjusting the relative rotation of the front and rear vehicle bodies. Firstly, according to the requirements of the special pavement in hilly areas, the stability of tractors on slopes was studied, and a twisting and swinging attitude adjustment device was designed. Then, dynamic simulation of twisting and swinging attitude adjustment device was carried out, model of the tractor was established, and dynamic simulation analysis of multiple working conditions was performed. The dynamic simulation showed that the device maximum rotation angle was 15.2°, the maximum inclination angle for the tractor to maintain stability on longitudinal slopes was 23.2°, and the maximum inclination angle for stable driving on transverse slopes was 16.8°. Finally, field trials of prototypes were conducted. The test results showed that the average angle of rotation of the twisting and swinging attitude adjustment device was 15.03°, the maximum longitudinal climbing angle of the tractor was 25.6°, and the maximum transverse climbing angle was 16.2°. The average productivity of rotary farming was 0.65 hm²/h, and the average productivity of plow farming was 0.36 hm²/h on the ground with a slope of 15°. The tractor met the design and technical requirements, and can better adapt to the hilly and mountainous environment, and it can meet the normal operation requirements of the hilly and mountainous areas.

Key words: hilly; wheeled tractor; twisting and swinging attitude adjustment device; multi-conditions dynamics simulation; test

收稿日期: 2021-08-13 修回日期: 2021-10-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0700502)、山东省自然科学基金项目(ZR2021ME181)和山东省重点研发计划项目(2019GNC106120)

作者简介: 张开兴(1984—),男,副教授,博士,主要从事农业机械化与信息化研究,E-mail: kaixingzhang@139.com

通信作者: 赵秀艳(1977—),女,副教授,博士,主要从事农业机械化与信息化研究,E-mail: zhaoxy@sdau.edu.cn

0 引言

“十三五”以来,我国丘陵山区的农业机械化水平不断提高,作为最主要的农业动力机械,丘陵山地拖拉机的需求量持续增加^[1-5]。但是,丘陵山区坡地居多且不平,拖拉机在作业时容易出现滑移倾翻的危险,驾驶人员安全无法保证,生产效率低下,会造成直接的经济损失^[6-8]。因此,设计具有姿态调整功能的丘陵山地拖拉机对于丘陵山区的农业机械化发展具有非常重要的意义。

国外对于丘陵山地拖拉机姿态调整的研究开始较早,瑞士 Aebi 公司生产的 TT270 型和奥地利 Reform 公司生产的 Mountry100 型山地拖拉机具有较好的稳定性^[9];LEONARD 等^[10]设计了一种车辆自动调平系统,通过测量车身倾斜角来进行姿态调整;AHMADI^[11]设计了一种拖拉机动态调平模型,研究了在位置扰动下,速度、坡度及地轮摩擦因数对拖拉机横向稳定性的影响;国内对于丘陵山地拖拉机的研究起步较晚,齐文超等^[12]设计了一种基于双闭环 PID 控制算法的丘陵山地拖拉机姿态主动调整系统,研制了一种姿态调整机构,使拖拉机在坡地作业时能够缩短车身调平时间;彭贺等^[13]基于液压缸驱动的轮式拖拉机车身四点调平机构,设计了一种能实现丘陵山地轮式拖拉机车身调平且传递动力的新型车身调平系统;孙景彬等^[14]提出基于平行四杆机构的车身横向调平方案和基于双车架机构的纵向调平方案,设计了一种遥控全向调平山地履带拖拉机,整机能够在 0°~15°的横向坡地和 0°~10°的纵向坡地实现车身的调平。

目前对姿态调整式丘陵山地拖拉机的研究大部分处于理论分析和样机研发阶段^[15-16],主要实现的是车身调平功能,拖拉机在静止状态下能够实现差高调平,但是由于拖拉机车身属于刚性连接,当一侧轮胎通过障碍物时,其余轮胎会出现不能着地的情况,因此此类拖拉机不能很好地适应丘陵山地的作业环境。基于此,本文设计一种轮式丘陵山地拖拉机扭腰姿态调整装置,根据丘陵山地拖拉机的实际行走状态调节前后车身产生相对转动,实现拖拉机对复杂作业环境的适应以提高其稳定性,为姿态调整式丘陵山地拖拉机的研究提供参考。

1 整机结构与稳定性

1.1 姿态调整要求

结合丘陵山地特殊的地形地貌,在保证安全性的前提下,要求设计的姿态调整装置需要满足以下使用要求:①在拖拉机车身姿态调整过程中,车身需根据作业地面的变化实现快速姿态调整,尽量缩短

车身姿态调整过程中耗费的时间。②轮式拖拉机作业过程中,需要克服由于作业坡地高低不平、障碍物多导致拖拉机轮胎受力不均的问题,有效避免轮式拖拉机构件的磨损和变形。③在姿态调整过程中,尽量避免车轮悬空的情况,并减少对地面破坏,提高作业效率。

1.2 整机结构与技术参数

如图 1 所示,轮式丘陵山地拖拉机主要由电子控制单元 ECU、智能方向盘、发动机、前驱装置、后驱装置、扭腰姿态调整装置等构成。

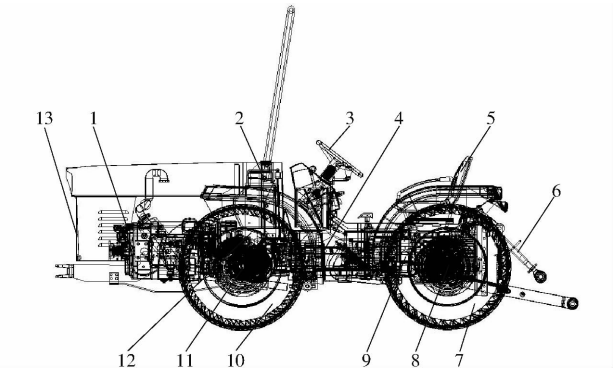


图 1 拖拉机整机结构示意图

Fig. 1 Schematic of whole tractor structure

1. 发动机 2. 电子控制单元 ECU 3. 智能方向盘 4. 扭腰姿态调整装置 5. 座椅 6. 牵引装置 7. 后轮 8. 后驱动桥 9. 后变速箱 10. 前轮 11. 前驱动桥 12. 前变速箱 13. 环境感知模块

在丘陵山地作业时,拖拉机前部的环境感知模块对农田边缘、障碍物和地面起伏情况进行监测,并将监测信号实时传送给 ECU,ECU 控制扭腰姿态调整装置工作,调节前、后驱动装置摆动,通过姿态调整使拖拉机适应丘陵山地作业环境,提高拖拉机的稳定性。整机的主要技术参数如表 1 所示。

表 1 主要技术参数

Tab. 1 Main technical parameters

参数	数值
轴距/mm	1 370
轮距/mm	1 300
最小离地间隙/mm	205
动力输出轴功率/kW	≥25. 9
最大牵引力/kN	≥10. 5
纵向爬坡角/(°)	≥20
横向爬坡角/(°)	≥15
转弯半径/mm	3 600~4 000
拖拉机质量/kg	1 650
尺寸(长×宽×高)/(mm×mm×mm)	3 245×1 570×2 130

1.3 拖拉机稳定性

丘陵山地不易通行且工作环境复杂,为确保拖拉机能够顺利完成作业,需研究其通过稳定性,为扭

腰姿态调整装置的设计提供基础。

1.3.1 纵向坡地

拖拉机的纵向稳定性是指拖拉机在纵向坡地作业时不发生倾翻或滑移的能力^[17]。拖拉机在纵向坡地作业时的受力情况如图 2 所示。拖拉机沿着坡地的方向纵向低速行驶,不考虑速度的变化,将其认定为匀速行驶,忽略空气阻力的影响。

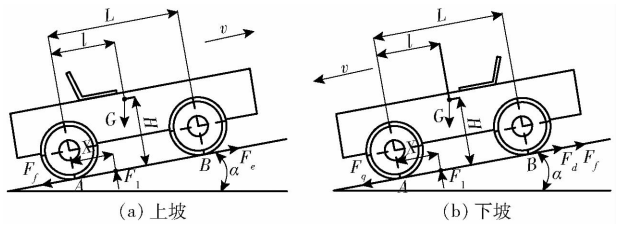


图 2 拖拉机纵向坡地受力图

Fig. 2 Longitudinal slope force diagrams of tractor

图 2 中, L 为拖拉机的轮距; F_e 为上坡受到的牵引力; F_f 为车轮受到的滚动阻力; F_d 为下坡时的制动力。对车轮与地面接触点 A 进行受力分析, 点 A 力矩平衡, 可得到

$$F_1 X + GH \sin \alpha - Gl \cos \alpha = 0 \tag{1}$$

则
$$X = \frac{G(l \cos \alpha - H \sin \alpha)}{F_1} \tag{2}$$

式中 F_1 ——地面对轮胎的反作用力, N
 G ——拖拉机整机重力, N
 l ——拖拉机质心到点 A 的横向距离, mm
 H ——拖拉机质心到地面的垂直距离, mm
 α ——纵向斜坡角, ($^\circ$)
 X ——反作用力到地面接触点的距离, mm

分析式(2), 随着斜坡角 α 的增大, F_1 逐渐向点 A 移动, 当 F_1 移动到点 A 即作用于轮胎时, 拖拉机失去稳定性, 发生滑移侧翻。因此, 当拖拉机在纵向坡地作业时, 防止发生侧翻的条件为

$$X = \frac{G(l \cos \alpha - H \sin \alpha)}{F_1} \geq 0 \tag{3}$$

$$\alpha \leq \arctan \frac{l}{H} \tag{4}$$

1.3.2 横向坡地

拖拉机的横向稳定性是指丘陵山地拖拉机静止在横向坡地时不发生滑移失控和侧翻的能力^[17], 地面倾角是导致拖拉机侧翻最主要因素。拖拉机静止在横向坡地时的受力情况如图 3 所示。

图 3 中, N_1 、 N_2 分别为左右轮胎受到的地面支撑力; N_3 、 N_4 分别为左右轮胎受到的静摩擦力。对拖拉机左侧轮胎与地面的接触点 C 取力矩平衡方程, 可得

$$GH \sin \beta + N_2 L - Gl \cos \beta = 0 \tag{5}$$

式中 β ——横向斜坡角, ($^\circ$)

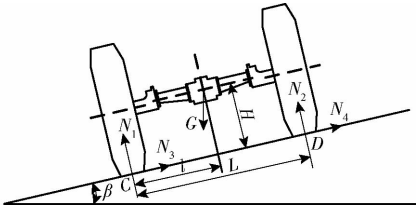


图 3 拖拉机横向坡地受力图

Fig. 3 Transverse slope force diagram of tractor

当斜坡角 $\beta = 0^\circ$ 时, 拖拉机与地面水平, 则 $N_3 = N_4 = 0$, 将 $\beta = 0^\circ$ 代入式(5)中, 可得

$$N_2 = \frac{Gl}{L} \tag{6}$$

拖拉机在地面支撑力的作用下保持稳定, 不会发生侧翻现象。

当斜坡倾角 $\beta > 0^\circ$ 时, 拖拉机与水平面间存在角度, 将 $\beta > 0^\circ$ 代入式(5)中, 可得

$$N_2 = \frac{Gl \cos \beta - GH \sin \beta}{L} = \frac{G(l \cos \beta - H \sin \beta)}{L} \tag{7}$$

当 $N_2 = 0$ 时, 拖拉机右轮失去支撑力的作用, 会发生侧翻, 此时维持拖拉机稳定的最大地面倾角为

$$\beta = \arctan \frac{l}{H} \tag{8}$$

扭腰姿态调整装置的形状和大小会影响拖拉机整机质心的位置, 当 H 增大、 l 减小时, 拖拉机作业的最大横、纵向爬坡角都会减小, H 与 l 过大或过小都不利于拖拉机坡地作业。本文所设计扭腰姿态调整装置会使拖拉机的整机结构产生变化, 从而影响拖拉机的作业稳定性。

2 姿态调整装置结构设计

根据拖拉机在丘陵山地作业时的姿态调整要求, 设计了一种扭腰姿态调整装置, 并对其进行工作原理分析, 验证设计的合理性。

2.1 扭腰姿态调整装置结构设计

丘陵山地拖拉机采用前后分段扭腰式柔性连接传动系统布置方案, 扭腰姿态调整装置布置于车身中部, 可实现车身姿态扭摆, 最大摆幅角为 15° , 提高整机稳定性、通过性。扭腰姿态调整装置如图 4 所示, 包括过桥壳体、前桥壳体、摆转轴、扭腰调整油缸等, 其实物图如图 4d 所示。

扭腰姿态调整装置用于调整前桥壳体与过桥壳体之间的扭动, 该装置包括与过桥壳体连接的滚架和两个相对设置的安装座, 扭腰调整油缸连接在过桥壳体与滚架之间, 通过左、右摆电磁换向阀与三位四通扭腰电磁总控阀并联可以实现双向运动; 扭腰调整油缸的缸杆分别固定安装在两个安装座之间, 缸套兼做扭腰调整拖动机并

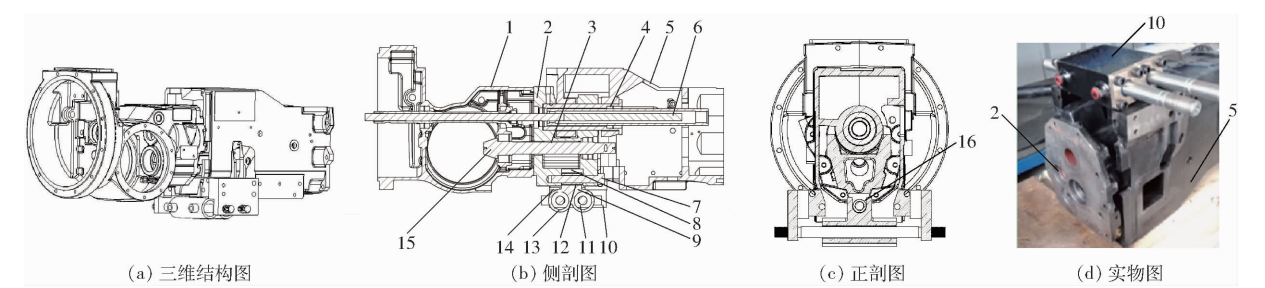


图4 扭腰姿态调整装置结构图

Fig.4 Structure diagrams of twisting and swinging attitude adjustment device

- 1.前桥壳体 2.滚架 3.前驱动桥轴孔 4.摇摆轴孔 5.过桥壳体 6.摆动轴 7.连接销轴 8.避让凹口 9.扭腰调整拖动机构
- 10.扭腰调整油缸 11.缸杆套装孔 12.销轴套 13.缸杆套装部件 14.安装座 15.前桥驱动轴 16.扭腰调整拖动槽

架连接;避让凹口与扭腰调整拖动槽(缸杆套装孔与扭腰调整拖动机构平行设置的U型槽)安装有连接销轴,其外周活动套装有销轴套,销轴套两端分别固定连接在避让凹口的两侧壁上,并设于扭腰调整拖动槽内且外壁与扭腰调整拖动机构固定连接,最大转动角为15°。

2.2 姿态调整装置工作原理

当拖拉机在丘陵山地作业时,环境感知模块将监测到的路面障碍传递给电子控制单元ECU,ECU连接扭腰姿态调整装置,通过控制扭腰调整油缸与滚架的配合使用,前桥壳体随着油缸运动,从而实现拖拉机扭腰姿态调整。不同状态下扭腰姿态调整装置位置变化如图5所示。

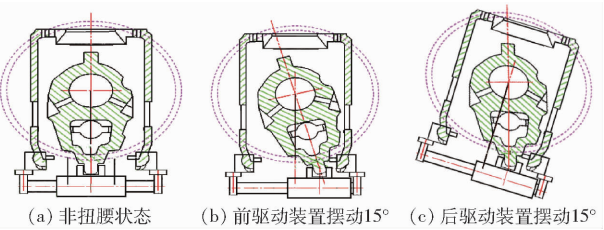


图5 不同状态下扭腰姿态调整装置位置

Fig.5 Position of twisting and swinging attitude adjustment device under different conditions

如图5a所示,在非扭腰状态下,扭腰姿态调整装置不发生偏转,扭腰调整油缸处于中位;如图5b所示,当前轮通过障碍物时,滚架在扭腰调整油缸的作用下发生偏转,从而带动前驱装置发生转动;如图5c所示,当后轮通过障碍物时,过桥壳体带动后驱装置绕摆动轴发生一定角度的转动。前、后驱装置在不同状态下绕摆动轴转动都可以增加前后轮与地面的接触面积,提高拖拉机的稳定性。

拖拉机后驱装置扭腰摆动状态如图6所示。拖拉机在平地行驶时前桥壳体与过桥壳体处于同一水平,二者刚性连接;当拖拉机后轮的一侧通过障碍时,在扭腰调整油缸的作用下,过桥壳体相对前桥壳体绕摆动轴发生偏转,使得后驱装置相对于前驱装置转动一定角度,最大转动角为15°。

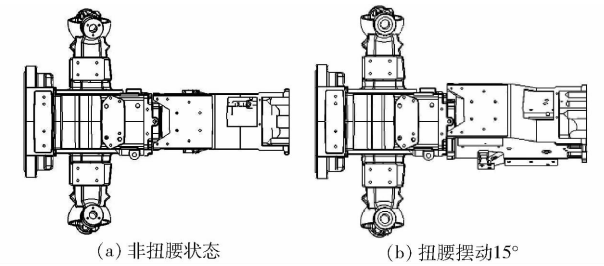


图6 后驱装置扭腰摆动状态

Fig.6 Swinging of rear drive device

3 轮式拖拉机多工况动力学仿真

为了探究姿态调整装置对丘陵山地拖拉机稳定性的影响,建立了轮式丘陵山地拖拉机约束模型,如图7所示,并进行了扭腰姿态装置工作仿真试验及拖拉机在越障路面、横纵向坡路等多工况下动力学仿真试验。赋予模型部件相应材料与密度,添加轮胎驱动力与接触力,在扭腰装置处添加旋转副和扭簧(Torsion spring),对仿真结果不产生影响的部件均用固定副相连。



图7 轮式丘陵山地拖拉机约束模型

Fig.7 Constraint model of wheeled hilly tractor

3.1 扭腰装置工作过程仿真

将扭腰姿态调整装置单独仿真,模拟转动时的工作状态,仿真过程如图8所示。

仿真结果如图9所示,液压油缸向右移动带动扭腰装置右扭腰,到达极限位置时转动的最大角度为15.2°,符合设计要求。在液压缸工作行程最大

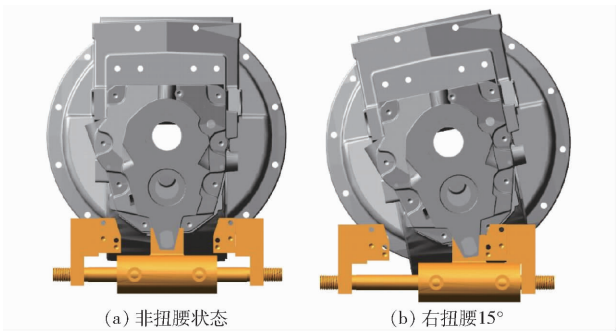


图 8 扭腰姿态调整装置仿真过程

Fig. 8 Simulation of twisting and swinging attitude adjustment device

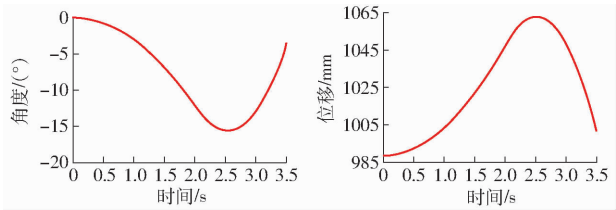


图 9 扭腰装置仿真结果

Fig. 9 Simulation results of twisting device

时,扭腰装置转动角度也是最大,随着油缸向左运动,扭腰装置逐渐回到初始位置。

3.2 坡度稳定性仿真

3.2.1 坡地模型建立

丘陵山地多为坡地,拖拉机在坡地稳定地行驶与作业是保证拖拉机安全性的一个重要前提^[18-19]。建立一个面积较大的平台来模拟坡地,在地面的不同位置添加旋转驱动来模拟地面角度的变化,在仿真过程中形成不同角度的纵向坡与横向坡路面,整体模型如图 10 所示。

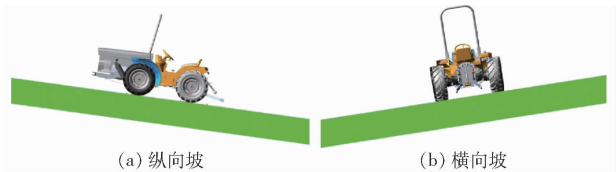


图 10 坡地路面仿真

Fig. 10 Simulation of slope road

3.2.2 纵向坡度与横向坡度稳定性仿真

在进行坡度稳定性仿真时,拖拉机刚开始出现滑移或倾翻的瞬间为拖拉机失稳的临界状态,此时坡地角即为该拖拉机的坡地最大稳定角^[20],仿真结果如图 11 所示。

由图 11a 可知,随着纵向坡度的增大,Y 轴方向的位移呈线性增加;当地面坡度超过 23.2°时,拖拉机重心下降,此时拖拉机出现了滑移,这表明拖拉机在纵向坡地保持稳定的最大稳定角为 23.2°。

由图 11b 可知,随着横向坡度的增加,拖拉机在 X 轴方向的位移无变化,拖拉机正常直线行驶,当坡

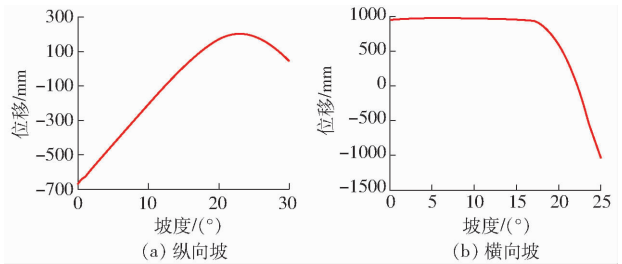


图 11 坡度与模型重心位置关系曲线

Fig. 11 Relationship lines between slope and model center of gravity

度超过 16.8°时,拖拉机在横向上产生位移,出现滑移现象,这表明拖拉机在横向坡地保持稳定的最大稳定角为 16.8°。

通过仿真丘陵山地拖拉机在不同坡度的运动情况可知,拖拉机纵向坡行驶保持稳定的最大倾角为 23.2°,横向坡行驶保持稳定的最大倾角为 16.8°,满足使用要求。

3.3 车辆行驶动力学仿真

3.3.1 水平越障仿真

水平越障仿真是指模拟拖拉机在行驶时通过不同障碍时的运动情况,图 12 为水平障碍路面。



图 12 水平越障路面

Fig. 12 Road of horizontal obstacle

(1)非扭腰状态

将拖拉机的扭腰装置关闭,车身变为刚性连接,前后无法发生相对转动,图 13 为拖拉机行驶过程中 4 个轮胎的受力情况,由于无法发生转动,车辆在行驶过程中当 1 个轮胎通过障碍时,另外 3 个轮胎总会存在离地的情况,轮胎不受力致使拖拉机抓地力不足,行驶作业不稳定,可能引起拖拉机倾翻,存在安全隐患。

(2)扭腰状态

将拖拉机的扭腰装置打开,拖拉机车身变为柔性连接,前后车身可以相对转动,扭腰装置转动角的仿真结果如图 14 所示。从车辆前进方向看,当拖拉机在越障路面作业,车轮经过不同的障碍,扭腰装置会转动不同角度来适应路面的起伏变化,始终保持车轮与地面接触,避免出现轮胎悬空的情况,保证了拖拉机作业的稳定性的。

3.3.2 纵向坡行驶稳定性仿真

建立一个 20°的纵向坡度路面,使得路面与拖拉机模型处于合适的位置,如图 15 所示。

对拖拉机上坡行驶稳定性进行仿真分析,仿真结果如图 16 所示。

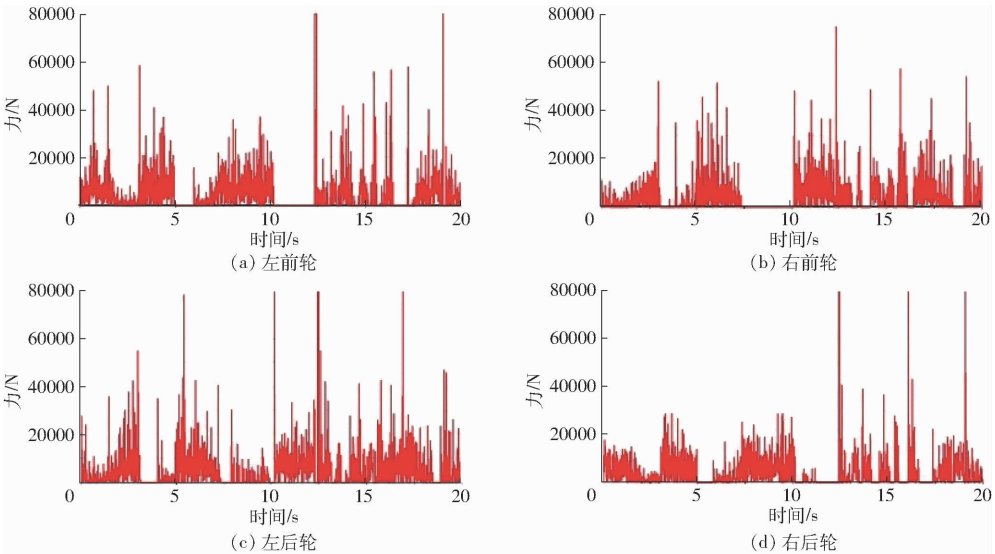


图 13 轮胎受力变化曲线
Fig. 13 Curves of tire force

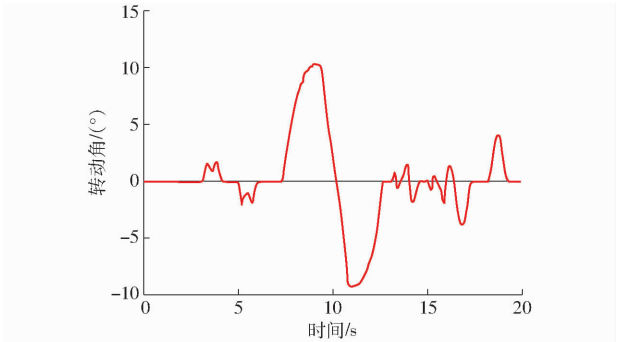


图 14 扭腰姿态调整装置转动角变化曲线
Fig. 14 Rotation angle change curves of twisting
and swinging attitude adjustment device



图 15 纵向上坡路面
Fig. 15 Longitudinal uphill road

在 20°的纵向斜坡行驶,拖拉机 4 个轮胎受到的摩擦力较为均匀,保证了拖拉机能够稳定直线行驶;从车辆前进方向看,在横向上拖拉机重心无位移变化,在垂向和纵向上,车辆重心位移随时间变化为直线上升且保持此趋势不变,表明拖拉机在 20°纵向坡上未出现侧翻或滑移,能够稳定正常作业。

对拖拉机下坡行驶进行仿真分析,下坡路面模型如图 17 所示。

仿真结果如图 18 所示,拖拉机在 20°的纵向斜坡下坡过程中,由于重力势能转换为车辆的动能,拖拉机速度有所提升,但维持在一定范围之内,车辆重心位移在垂向和纵向上随时间直线下降且保持此趋势不变,表明拖拉机能够平稳地下坡。

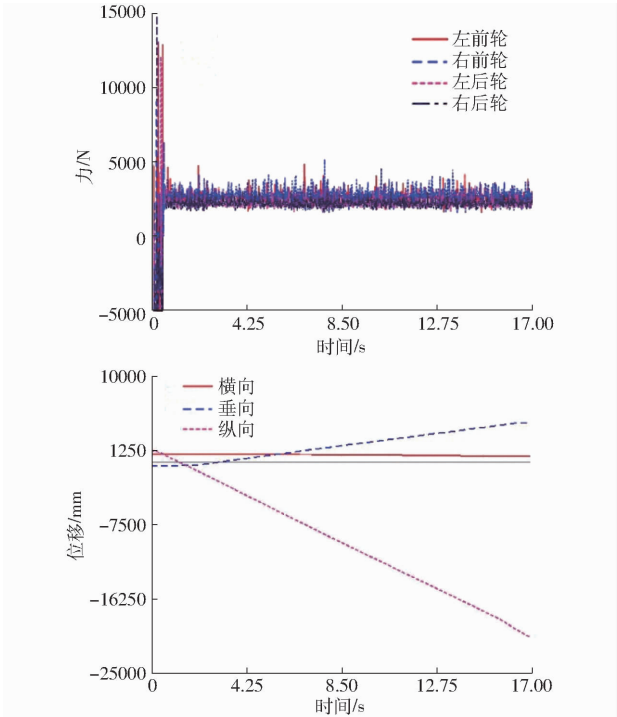


图 16 纵向上坡稳定性仿真结果
Fig. 16 Simulation results of longitudinal uphill stability



图 17 纵向下坡路面
Fig. 17 Longitudinal downhill road

3.3.3 横向坡行驶稳定性仿真分析

建立一个坡度为 15°的横向坡路面,路面与车辆模型如图 19 所示。对拖拉机行驶稳定性进行仿真分析,仿真结果如图 20 所示。

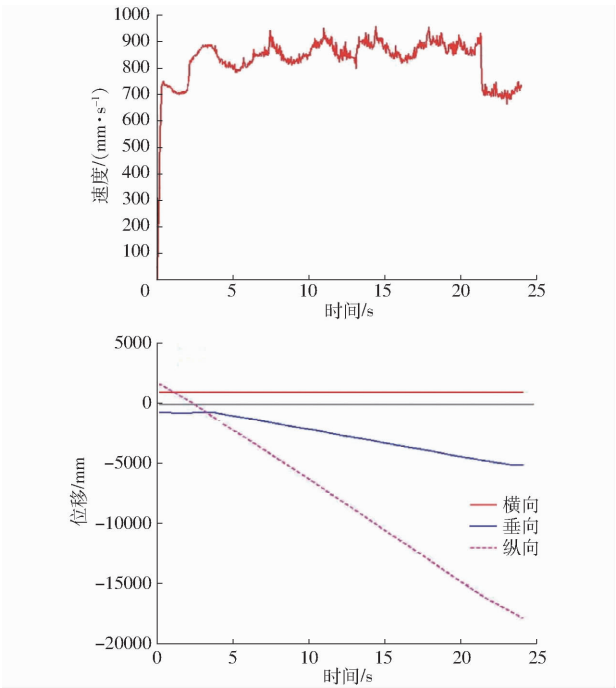


图 18 纵向下坡稳定性仿真结果

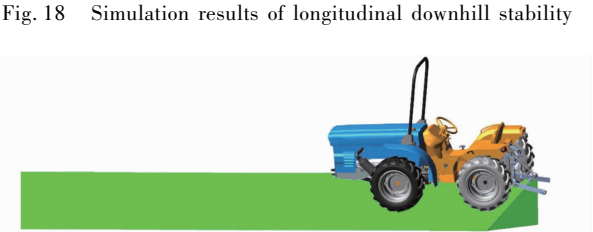


图 19 横向坡路面
Fig. 19 Transverse slope road

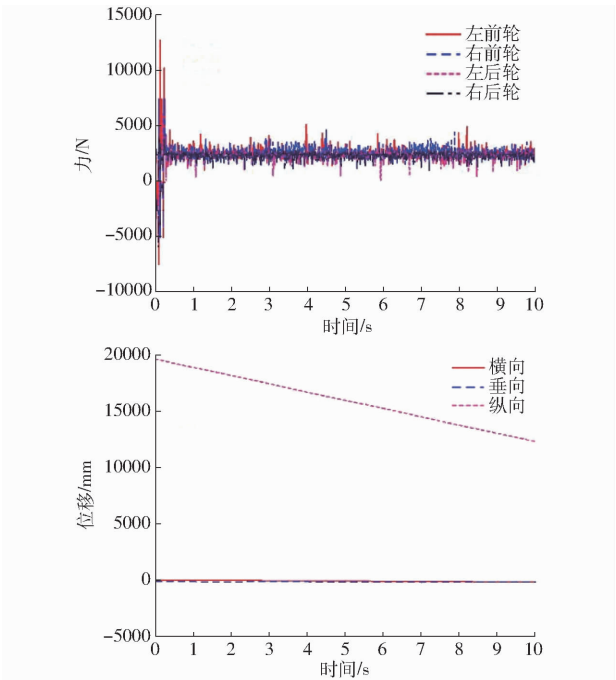


图 20 横向坡稳定性仿真结果

Fig. 20 Simulation results of lateral slope stability

拖拉机在 15°的横向斜坡行驶过程中受到的摩擦力较为均匀;从车辆前进方向看,在横向与垂向上

拖拉机重心无位移变化,在纵向上,车辆重心位移随时间变化直线下降并保持此趋势不变,表明拖拉机未在 15°横向坡上出现侧翻或滑移,能够稳定直线作业。

3.3.4 转向行驶稳定性仿真分析

图 21 为拖拉机在行驶过程中转向工况下的运动轨迹。

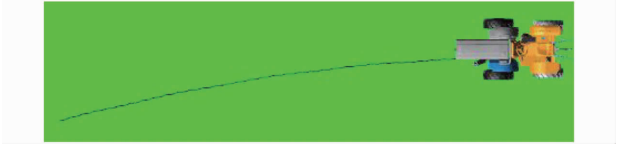


图 21 拖拉机转向行驶路线

Fig. 21 Steering route of tractor

本次仿真拖拉机两前轮之间存在转速差,实现差速转向。仿真结果如图 22 所示,拖拉机在左转过程中,右前轮的转速明显高于左前轮,受到的振动比较明显,其他 3 个轮胎的受力较为均匀。拖拉机向左转,质心向左偏移,速度平稳,这表明拖拉机能够稳定地进行转向。

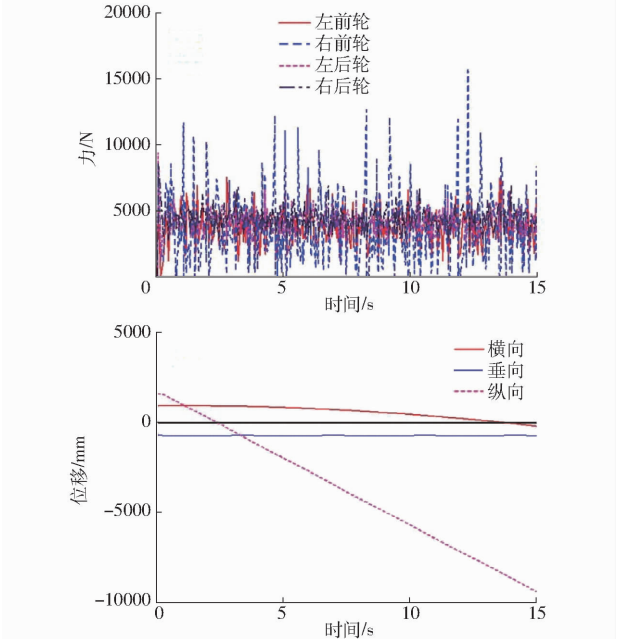


图 22 转向稳定性仿真结果

Fig. 22 Simulation results of steering stability

4 田间试验

2020 年 6 月与 12 月分别在山东五征集团有限公司和中国一拖孟津崔沟试验场进行了试验。整机试验性能按照 Q/1121LWZ056—2020《丘陵山地扭腰轮式拖拉机 通用技术条件》、GB/T 3871.1—2006《农业拖拉机试验规程 第 1 部分:通用要求》进行。

4.1 扭腰装置摆动试验

为检验扭腰姿态调整装置的实际转动角,进行了扭腰姿态调整装置的摆动试验,如图 23 所示。

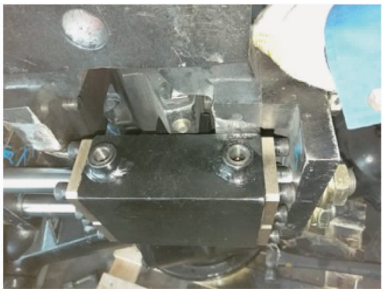


图 23 扭腰姿态调整装置摆动试验

Fig. 23 Swing test of twisting and swinging attitude adjustment device

将扭腰姿态调整装置整体置于台架上,并将前桥壳体安全固定,推动油缸使扭腰姿态调整装置处于左右两端极限位置,用记号笔标记,进行角度测量和记录,左右各重复 10 次试验,结果如表 3 所示,扭腰装置平均转动角为 15.03°,结果符合要求。

表 3 扭腰姿态调整装置转动角

Tab. 3 Rotation angle of twisting and twisting attitude adjustment device (°)			
试验序号	左端	右端	均值
1	14.9	15.0	14.95
2	15.2	15.0	15.10
3	15.0	14.8	14.90
4	15.3	15.0	15.15
5	14.8	15.0	14.90
6	15.2	15.4	15.30
7	15.1	14.7	14.90
8	14.9	15.2	15.05
9	15.4	15.0	15.20
10	14.7	14.9	14.80
平均值	15.05	15.0	15.03

4.2 田间适应性试验

对拖拉机行驶速度、转弯半径、最大爬坡角等指标进行检测,如图 24 所示。对各项指标重复 5 次试验并对数据进行处理取平均值,结果如表 4 所示。



图 24 指标测量试验

Fig. 24 Index measurement test

由试验结果可知,扭腰轮式丘陵山地拖拉机最大纵向爬坡角为 25.6°,最大横向爬坡角为 16.2°,满足设计技术要求。

耕地作业试验于 2020 年 12 月在孟津崔沟试验场进行。在坡度为 15°的地面上分别进行 50 h 旋耕

表 4 试验结果

Tab. 4 Results of field experiment

技术指标	试验结果	技术要求
行驶速度/(km·h ⁻¹)	0~40	0~40
最小转弯半径/mm	3 774	≤4 000
最大纵向爬坡角/(°)	25.6	≥20
最大横向爬坡角/(°)	16.2	≥15

作业(1GQN-40 型旋耕机)和 50 h 犁耕作业(1LF-235 型犁耕机),如图 25 所示,耕地作业试验结果如表 5 所示。



图 25 耕地作业试验

Fig. 25 Farming operations

试验结果表明,旋耕作业平均生产率为 0.65 hm²/h,犁耕作业平均生产率为 0.36 hm²/h,二者均满足丘陵山地作业需求。

表 5 耕地作业试验结果

Tab. 5 Results of farming operations

参数	旋耕作业	犁耕作业
作业耕深/cm	12	35
作业宽幅/cm	140	70
工作挡位	Ⅱ-2	Ⅱ-2
平均作业速度/(km·h ⁻¹)	4.56	5.23
作业面积/hm ²	0.65	0.36
平均生产率/(hm ² ·h ⁻¹)	0.65	0.36
负荷率/%	65.81	58.60

5 结论

(1)结合丘陵山地对拖拉机的姿态调整要求,设计了一种扭腰姿态调整装置,该装置由滚架、前桥壳体、过桥壳体、液压油缸等组成,能够调节拖拉机前后车身的相对转动,提高作业稳定性。

(2)对扭腰姿态调整装置进行动力学仿真及扭腰轮式拖拉机多工况动力学仿真,仿真结果表明,扭腰姿态调整装置最大转动角为 15.2°;拖拉机纵向坡行驶保持稳定的最大倾角为 23.2°,横向坡行驶保持稳定的最大倾角为 16.8°;拖拉机在通过不同障碍时能够进行姿态调整,保持车辆稳定行驶。

(3)扭腰轮式拖拉机田间试验结果表明,拖拉机的行驶速度为 0~40 km/h,最小转弯半径为

3 774 mm,最大纵向爬坡角度为 25.6°,最大横向爬坡 耕作平均生产率为 0.36 hm²/h,该拖拉机能够满
角度为 16.2°,旋耕作业平均生产率为 0.65 hm²/h,犁 足丘陵山地正常作业需求。

参 考 文 献

[1] 谢斌,武仲斌,毛恩荣. 农业拖拉机关键技术发展现状与展望[J]. 农业机械学报,2018,49(8):1-17.
XIE Bin, WU Zhongbin, MAO Enrong. Development and prospect of key technologies on agricultural tractor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2018, 49(8):1-17. (in Chinese)

[2] 郑永军,江世界,陈炳太,等. 丘陵山区果园机械化技术与装备研究进展[J]. 农业机械学报,2020,51(11):1-20.
ZHENG Yongjun,JIANG Shijie,CHEN Bingtai,et al. Review on technology and equipment of mechanization in hilly orchard[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2020,51(11):1-20. (in Chinese)

[3] 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.
BAI Xuefeng, YANG Haoyong, CHANG Jiangxue. Present situation analysis and development suggestion of crawler tractor[J]. Tractor & Farm Transporter, 2017,44(6):1-4. (in Chinese)

[4] 潘冠廷,杨福增,孙景彬,等. 小型山地履带拖拉机爬坡越障性能分析与试验[J]. 农业机械学报,2020,51(9):374-383.
PAN Guanting, YANG Fuzeng, SUN Jingbin, et al. Analysis and test of obstacle negotiation performance of small hillside crawler tractor during climbing process[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2020,51(9):374-383. (in Chinese)

[5] 冯雪. 丘陵山地拖拉机四轮转向系统特性研究[D]. 长春:吉林大学,2018.
FENG Xue. Research on the characteristics of wheel steering system in hillside tractor[D]. Changchun: Jilin University,2018. (in Chinese)

[6] 蒋欢. 国内外农业机械化发展研究[J]. 农业科技与装备,2013(3):83-84.
JIANG Huan. Research on the development of domestic and oversease agricultural mechanization[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2013(3):83-84. (in Chinese)

[7] 刘孟楠,周志立,徐立友,等. 基于多性能目标的拖拉机运输机组优化设计[J]. 农业工程学报,2017,33(8):62-68.
LIU Mengnan, ZHOU Zhili, XU Liyou, et al. Multi-objective optimization and design of tractor trailer systems [J]. Transactions of the CSAE,2017,33(8):62-68. (in Chinese)

[8] 刘平义,柯呈鹏,柯婷,等. 丘陵山区农用预检测主动调平底盘设计与试验[J]. 农业机械学报,2020,51(3):371-378.
LIU Pingyi,KE Chengpeng,KE Ting,et al. Design and experiment of pre-detection active leveling agricultural chassis for hilly area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2020,51(3):371-378. (in Chinese)

[9] 吴清分. 国外专用型拖拉机技术发展浅析[J]. 现代农业装备,2007(4):63-67.

[10] LEONARD K E, WOODY V O. Automatic leveling system; US6106402[P]. 2000-08-22.

[11] AHMADI I. Dynamics of tractor lateral overturn on slopes under the influence of position disturbances; modle development [J]. Journal of Terramechanics, 2011,48(5):339-346.

[12] 齐文超,李彦明,陶建峰,等. 丘陵山地拖拉机姿态主动调整系统设计与实验[J]. 农业机械学报,2019,50(7):381-388.
QI Wenchao, LI Yanming, TAO Jianfeng, et al. Design and experiment of active attitude adjustment system for hilly area tractors[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(7):381-388. (in Chinese)

[13] 彭贺,马文星,赵恩鹏,等. 丘陵山地轮式拖拉机车身调平系统设计与物理模型试验[J]. 农业工程学报,2018,34(14):36-44.
PENG He, MA Wenxing, ZHAO Enpeng, et al. Design and physical model experiment of body leveling system for roller tractor in hilly and mountainous region[J]. Transactions of the CSAE, 2018,34(14):36-44. (in Chinese)

[14] 孙景彬,楚国评,潘冠廷,等. 遥控全向调平山地履带拖拉机设计与性能试验[J]. 农业机械学报,2021,52(5):358-369.
SUN Jingbin, CHU Guoping, PAN Guanting, et al. Design and performance test of remote control omnidirectional leveling hillside crawler tractor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021,52(5):358-369. (in Chinese)

[15] 张锦辉,李彦明,齐文超,等. 基于神经网络 PID 的丘陵山地拖拉机姿态同步控制系统[J]. 农业机械学报,2020,51(12):356-366.
ZHANG Jinhui, LI Yanming, QI Wenchao, et al. Synchronous control system of tractor attitude in hills and mountains based on neural network PID[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020,51(12):356-366. (in Chinese)

[16] 邵明玺,辛喆,江秋博,等. 拖拉机后悬挂横向位姿调整的模糊 PID 控制[J]. 农业工程学报,2019,35(21):34-42.
SHAO Mingxi, XIN Zhe, JIANG Qiubo, et al. Fuzzy PID control for lateral pose adjustment of tractor rear suspension[J]. Transactions of the CSAE,2019,35(21):34-42. (in Chinese)

[17] 肖魏巍. 35 马力丘陵山地拖拉机稳定性研究[D]. 长春:吉林大学,2018.
XIAO Weiwei. Study on stability of 35 horsepower hilly tractor[D]. Changchun: Jilin University,2018. (in Chinese)

[18] 种昆,李洪迁,李政平,等. 丘陵山地姿态调整轮式拖拉机的设计与仿真[J]. 农机化研究,2021,43(1):247-251.
ZHONG Kun, LI Hongqian, LI Zhengping, et al. Design and simulation of wheel tractor with full attitude adjustment in hilly and mountain areas[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021,43(1):247-251. (in Chinese)

[19] 胡永明. 基于多体动力学的整车建模与仿真分析研究[D]. 大连:大连理工大学,2012.
HU Yongming. Research on the modeling and simulation of full vehicle based on multi-body dynamics[D]. Dalian: Dalian University of Technology,2012. (in Chinese)

[20] 王涛,杨福增,王元杰. 山地拖拉机车身自动调平控制系统的设计[J]. 农机化研究,2014,36(7):232-235.
WANG Tao, YANG Fuzeng, WANG Yuanjie. Design of body automatic leveling control system of hillside tractor[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014,36(7):232-235. (in Chinese)