

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.071

全液压驱动高地隙履带作业车设计与试验

王宝山¹ 王万章^{1,2} 王淼森¹ 种东风¹ 陈 蒋¹

(1. 河南农业大学机电工程学院, 郑州 450002; 2. 河南粮食作物协同创新中心, 郑州 450002)

摘要: 针对玉米、烟草等高秆作物中耕管理作业需求,设计了一种液压驱动的小型遥控高地隙履带作业车。作业车采用龙门架式车架结构,可以在田间实现跨行行走和原地转向,液压系统中采用分流集流阀以提高作业车行走的直线性。为研究重心偏移和分流集流阀对作业车直线行驶稳定性的影响,在作业车左侧车架上添加不同配重,使用 SolidWorks 软件对作业车重心偏移量进行精确评估,选取空载、添加 2 块和 4 块配重 3 种典型负载工况,对含有和去除分流集流阀的作业车行驶直线性进行仿真和样机试验。使用 AMEsim 软件对液压系统进行仿真表明:有、无分流集流阀时两侧马达稳定工作时转速差相对于总转速偏差分别小于 1% 和大于 38%。样机试验表明,含有分流集流阀时偏驶率分别为 4.12%、4.28%、4.62%;无分流集流阀时偏驶率为 5.08%、6.54%、9.43%。仿真和试验结果表明,采用分流集流阀提高行驶直线性的液压方案可行,作业车直线行驶稳定性满足国家标准要求。

关键词: 履带作业车; 液压驱动; 高地隙; 分流集流阀

中图分类号: S224.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2016)S0-0471-06

Design and Experiment of Full Hydraulic Drive High Clearance Tracked Vehicle

Wang Baoshan¹ Wang Wanzhang^{1,2} Wang Miaosen¹ Chong Dongfeng¹ Chen Jiang¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2. Collaborative Innovation Center of Henan Grain Crops, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To complete the field management of tobacco corn and other high stalk crops, a small high clearance tracked vehicle with remote control and full hydraulic drive was designed. The vehicle was more compact than most of the vehicles which used mechanical transmission structures and it had better passing ability in the field. A synchro-valve was used to improve the straight driving stability of the vehicle. The effect of offset barycenter and synchro-valve for the straight driving stability of the vehicle was studied. SolidWorks software was used to accurately assess the positions of the offset barycenter when the vehicle was no-load and put two or four counterweights on the left frame. The quality of each counterweight was 42.6 kg. Torques of left hydraulic motor were 23.19 N·m, 32.79 N·m and 42.41 N·m. Torques of right hydraulic motor were 34.28 N·m, 34.47 N·m and 34.65 N·m. Static torque values were applied to the motors and AMEsim software was used to simulate the hydraulic system. Simulation results showed that the differences between the motors were less than 1% and more than 38% relative to the total speed when the system had or didn't have synchro-valve. The driving direction of the tracked vehicle was adjusted well on the dry and hard cement floor. The direction was marked with red rope and marked the end point 50 m away in right ahead of the vehicle. The vehicle was driven forward to the end point and the offset distance was measured. Deviation rate was equal to offset distance divided by 50. Prototype tests showed that when hydraulic system had synchro-valve, the deviation rates of the vehicle were 4.12%, 4.28% and 4.62%. When hydraulic system didn't have synchro-valve, the deviation rates of

收稿日期: 2016-07-20 修回日期: 2016-08-22

基金项目: 河南省现代农业产业技术体系玉米全程机械化岗位专项(S10-02-G07/2016)和河南省烟草公司科技专项(HYKJ1206/2016)

作者简介: 王宝山(1992—),男,硕士生,主要从事新型农业机械设计与性能试验研究,E-mail: wangbaoshanworks@126.com

通信作者: 王万章(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事农业工程装备、机电一体化及信息技术应用研究,E-mail: wangwz@126.com

the vehicle were 5.08%, 6.54% and 9.43%. Simulations and tests showed that using synchro-valves to improve the straight driving stability of the vehicle was feasible. Deviation rates of the vehicle could meet the requirements of the relevant national standards. This research could provide references for small high clearance tracked vehicles which were driven by hydraulic.

Key words: tracked vehicle; hydraulic drive; high clearance; synchro-valve

引言

玉米、烟草、棉花等高秆作物是我国重要的粮食作物和经济作物,中耕施肥、除草、喷药等对提高农作物品质和产量具有重要作用。苑进等^[1]、倪静等^[2]、杨方飞等^[3]针对高地隙喷雾机结构形式、可靠性和防滑系统进行了设计和研究,张传斌等^[4]、张晓辉等^[5]、郑超等^[6]、肖宏儒等^[7]、范国强等^[8]、陈书法等^[9]开展了应用于烟草、棉田、果园、茶园、玉米和水田的高地隙田间作业机械的设计和试验研究,设计过程中充分考虑了作业对象的农艺要求。国外植保机械多以大中型植保机械和航空植保为主,并且大量使用精细农业技术,作业效率高、喷施效果好^[10-13],然而由于价格高、不适合小地块作业等原因,大型植保机械和航空植保作业在国内发展缓慢^[14],主要应用在新疆、东北等地,开发适应能力强的小型作业车有着重要的现实意义。目前已有的小型作业车多采用有人驾驶和机械传动,机械传动机构和驾驶室使作业机械整体结构尺寸较大,影响田间通过性,并且驾驶室位置普遍较高,降低了作业机械的稳定性。本文设计一种小型多功能履带作业车平台,作业车采用全液压驱动和遥控操作,无驾驶室、变速箱等部件,挂接中耕、施肥、喷药、货厢等作业模块,以实现中耕、植保和运输功能。

1 结构与工作原理

如图1所示,作业车采用龙门架式高地隙车架

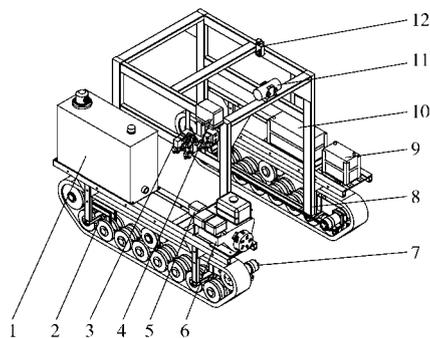


图1 作业车结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of vehicle

1. 液压油箱 2. 履带总成 3. 液压阀块总成 4. 遥控接收器
5. 液压泵 6. 发动机 7. 液压马达 8. 车架 9. 启动蓄电池
10. 电磁阀蓄电池 11. 分流集流阀 12. 手动溢流阀

结构,发动机、液压元件、蓄电池等设置在两侧履带上方。动力传动路线为:由汽油机经联轴器带动液压泵,液压泵输出的高压油经电磁阀驱动两侧履带的液压马达和配套作业机具的液压缸或液压马达。作业车的结构尺寸充分考虑了烟草和玉米的农艺要求^[15],作业车履带中心距1200 mm,单侧履带及车架上方各部件最大宽度均低于450 mm,具有良好的通过性。作业车采用无线遥控器操作,最大遥控距离100 m,通过电磁阀控制作业车前进、倒退、转向和作业机具启停。

2 液压系统设计

2.1 液压系统原理

液压系统原理如图2所示,由液压泵提供液压动力,调速阀、分流集流阀、二位四通电磁阀、右侧三位四通电磁阀和液压马达构成行走和转向分系统,三位四通电磁阀可以控制作业车的前进、倒退和急停,调速阀实现对作业车行走速度的控制,分流集流阀保证两侧履带行走机构的同步性;在前进或者倒退时,通过控制其中一个二位四通电磁阀通电,使对应侧的液压马达反转,实现转向,如果忽略滑移、滑转等因素的影响,作业车最小理论转向半径为零,可以实现原地转向。左侧三位四通电磁阀是为配套作业机具预留的液压接口,后期根据配套作业机具不

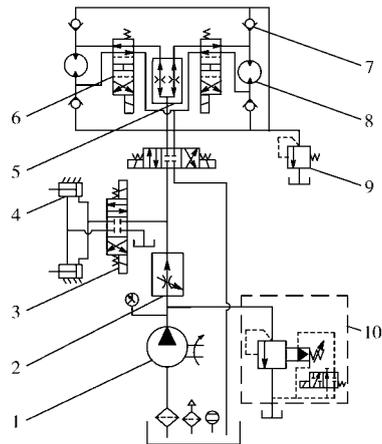


图2 液压系统原理图

Fig. 2 Schematic diagram of hydraulic system

1. 液压泵 2. 调速阀 3. 三位四通电磁阀 4. 液压缸 5. 分流集流阀
6. 二位四通电磁阀 7. 单向阀 8. 液压马达 9. 手动溢流阀
10. 电磁溢流阀

同,可以连接液压缸或者液压马达,为配套施肥铲、除草铲的升降和喷药泵提供动力;采用常闭型电磁溢流阀,在发动机启动或者液压系统需要卸荷时,使电磁溢流阀通电卸荷,行走和作业过程中,电磁溢流阀断电,充当普通的溢流阀使用,保护主油路液压系统安全。单向阀和手动溢流阀的主要作用是减轻作业车行走过程中突然停止和转向时带来的液压冲击,其中单向阀的作用是避免两侧液压马达油路的相互干扰,手动溢流阀用来限定液压冲击时的最大系统压力。

2.2 液压系统选型计算

液压系统所需要提供的驱动力应不小于各工况下最大阻力,选取最大负载爬坡、满负载中耕施肥作业和满负载原地转向3种工况进行计算,以确定最大阻力。

满负载爬坡时阻力

$$F_Y = (m + m_z)gf + (m + m_z)gsin\alpha \quad (1)$$

式中 m ——作业车质量,kg

m_z ——负载质量,kg

α ——最大爬坡角度, ($^\circ$)

f ——滚动阻力系数

g ——重力加速度, m/s^2

中耕作业总阻力

$$F_S = (m + m_z)gf + F_f \quad (2)$$

式中 F_f ——中耕作业施肥铲阻力

原地转向阻力为

$$F_Z = (m + m_z)gf + 2(m + m_z)g\mu\kappa' \quad (3)$$

式中 μ ——转向阻力系数

κ' ——与履带长度、履带宽度和两侧履带中心距有关的无量纲系数^[16]

代入设计参数计算得知,转向阻力最大,故以转向阻力为准对液压元件选型计算。

马达所受扭矩为

$$M_m = \frac{F_Z R}{n\eta_1\eta_2} \quad (4)$$

式中 R ——驱动轮半径,m n ——液压马达个数

η_1 ——液压马达机械效率

η_2 ——履带行走机构效率

液压马达的理论排量为

$$V_m = \frac{2\pi M_m}{P\eta_3} \quad (5)$$

式中 P ——系统工作压力,MPa

η_3 ——液压马达容积效率

液压泵的理论排量

$$V_p = \frac{1000Q_p}{n_f\eta_p} \quad (6)$$

式中 Q_p ——液压泵流量, L/min

n_f ——液压泵转速, r/min

η_p ——液压泵的容积效率

3 作业车偏载计算与系统仿真

作业车跑偏会增加作业车遥控操作的劳动强度,作业时易对农作物造成伤害,因此液压系统采用分流集流阀以增加作业车直线行驶的稳定性。作业车行驶的直线性受作业车安装结构偏差、履带张紧度、作业车质心偏移、液阀工作性能和地面阻力变化等因素影响。为分析作业车结构布局是否合理,根据作业车零部件实际质量和安装位置,使用SolidWorks进行三维建模,评估作业车重心位置,评估结果如图3所示,图中XYZ和 I_x, I_y, I_z 坐标原点分别对应作业车接地面几何中心和作业车重心,空载时作业车重心高度582.0 mm,重心在水平面内投影相对于几何中心横向和纵向偏移为115.7 mm和6.5 mm。纵向偏移量较小,忽略其对两侧履带受力的影响,并假定地面对两侧履带压力集中作用于履带中心,在水平地面直线行驶时,两侧履带所受地面压力关系为

$$F_{N1} \left(\frac{B}{2} + e \right) = F_{N2} \left(\frac{B}{2} - e \right) \quad (7)$$

$$F_{N1} + F_{N2} = mg \quad (8)$$

式中 F_{N1} ——左侧履带所受地面压力,N

F_{N2} ——右侧履带所受地面压力,N

e ——重心横向偏移距离,m

B ——履带中心距,m

由摩擦力和压力关系及式(4)、(7)、(8),求得空载时左、右侧马达扭矩为23.19,34.28 N·m。

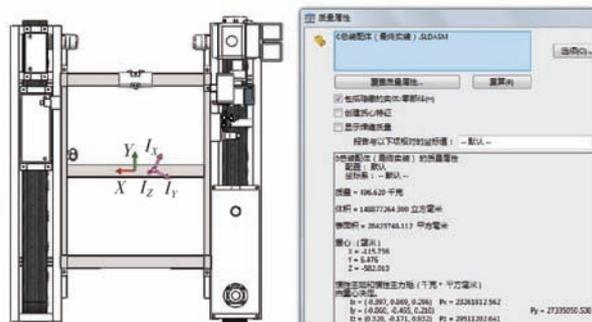


图3 作业车重心评估

Fig. 3 Evaluation of gravity center for vehicle

作业车在运输工况下,由于装载货物会导致整车重心位置的变动,为验证在不同重心偏移下分流集流阀工作特性,在作业车左侧车架靠近中间位置添加配重,配重块为TN654型拖拉机前部配重块,单块质量42.6 kg,共计4块,依次添加1~4块配重,使用上文提到的SolidWorks重心评估和扭矩计

算方法,得出左、右侧负载扭矩依次为 28.02、32.79、37.60、42.41 $\text{N}\cdot\text{m}$ 和 34.36、34.47、34.56、34.65 $\text{N}\cdot\text{m}$ 。选取左、右侧马达扭矩值负向偏差最大、最接近和正向偏差最大 3 种工况,即空载、使用 2 块和 4 块配重块时的扭矩值,进行仿真和样机试验。

根据液压原理图和以上设计参数,调用 AMEsim 自带元件库中的相应模型,同时使用软件中的 HCD 库搭建电磁调速阀和分流集流阀模型,液压系统仿真模型如图 4 所示。为保证仿真结果与实际情况更加符合,实际测量作业车液压管路长度,并在 AMEsim 仿真系统中选用考虑摩擦力的 HL001 和 HL003 模型代替实际液压管路。

在液压系统含有和不含有分流集流阀时,分别给两侧马达施加 3 种负载对应的扭矩值,对液压系统行走特性进行仿真,两侧液压马达的转速随时间变化情况如图 5 所示:由仿真结果可知,两侧马达负载不同时,受扭矩小的马达转速更高。使用分流集流阀时,即使两侧马达扭矩存在差异,分流集流阀两出口流量在一段时间调整后接近等量输出,两侧马达转速稳定时转速差低于 $2\text{ r}/\text{min}$,转速差低于总转速的 1%;而无分流集流阀时,即使扭矩相差较小时两侧马达转速相差也较大,扭矩相差较大时,受扭矩较大的一侧马达转速接近于零,3 种负载工况下两

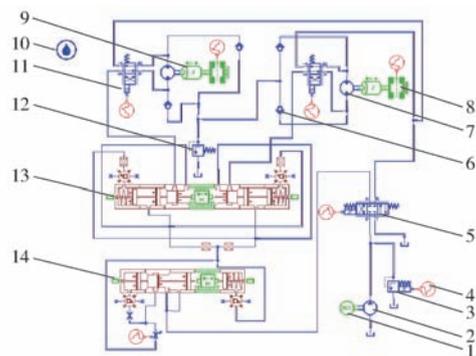


图 4 液压系统仿真模型

Fig. 4 Simulation model of hydraulic system

1. 发动机 2. 液压泵 3. 电磁溢流阀 4. 控制信号源 5. 三位四通电磁阀 6. 单向阀 7. 液压马达 8. 扭矩发生器 9. 旋转负载 10. 液压油源 11. 二位四通电磁阀 12. 手动溢流阀 13. 分流集流阀 14. 电磁调速阀

侧马达转速偏差均大于总转速的 38%。

4 样机直线性试验

依据 GB/T 15370.4—2012《农业拖拉机 通用技术条件 第 4 部分:履带拖拉机》中规定,拖拉机在干硬平整、坡度(纵横)不大于 1% 路面上的百米跑偏量应不超过 6 m。试验过程如图 6 所示。试验场地:学校实习工厂内水泥路面,仪器设备:秒表、皮卷尺、彩色水笔、标记线、配重块。试验内容和方法:

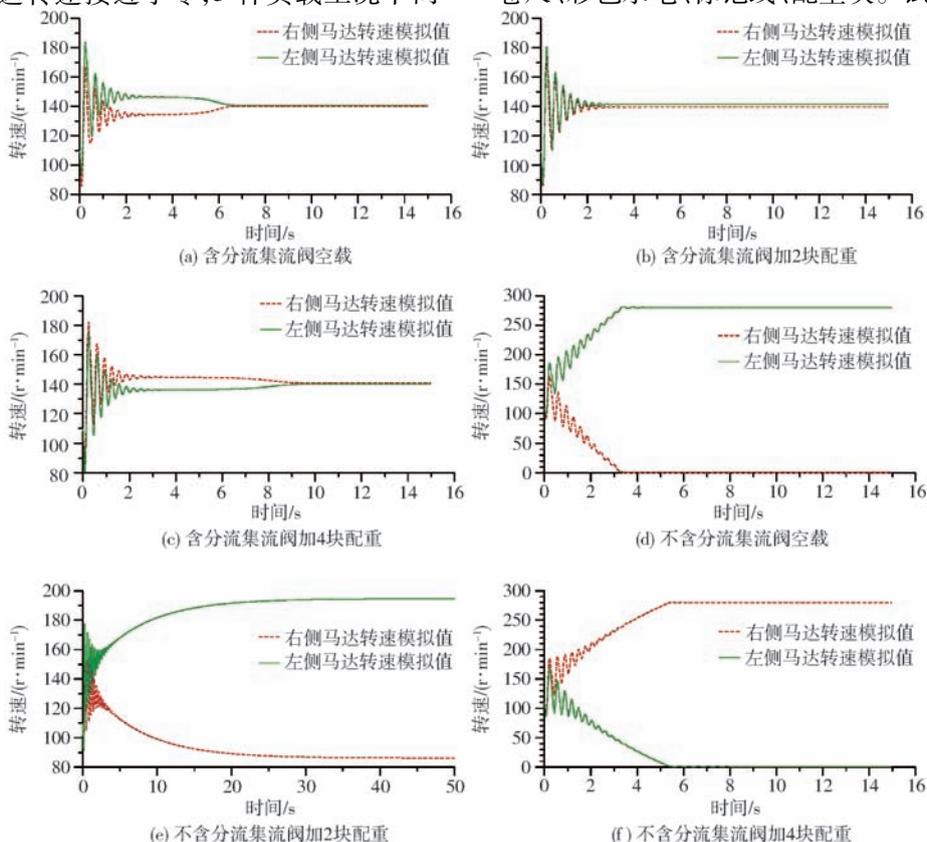


图 5 各工况液压系统仿真曲线

Fig. 5 Simulation curves of hydraulic system under different conditions

选取与上文仿真对应的6种工况进行试验,每种工况重复测定3组数据。首先,将作业车停放在合适位置,使用标记线以右侧履带外边沿为基准向前标定一条直线,以履带右前方最外侧着地点为起点,使用皮卷尺沿直线向前标定50 m作为终点,在起点和终点作好标记,并在终点处作一横向垂线^[17],不对作业车方向进行任何调整使作业车向前行至终点,使用卷尺量出相距标定直线的垂直偏驶距离,并按照向左偏移为正、向右偏移为负记录试验数据,偏驶率计算公式为

$$\xi = \frac{\Delta S}{S} \times 100\% \quad (9)$$

式中 ξ ——偏驶率 ΔS ——跑偏量, m
 S ——标定的行驶距离, m



图6 作业车行驶直线性试验

Fig. 6 Test on straight driving stability of vehicle

各次测定试验过程中,作业车平均行驶速度均在1.21~1.25 m/s之间。试验偏差记录如表1所示,在使用分流集流阀时,作业车能够满足GB/T 15370.4—2012《农业拖拉机 通用技术条件 第4部分:履带拖拉机》中关于履带拖拉机偏驶率不超过6%的要求,不使用分流集流阀时,仅空载符合标准要求。

表1 样机试验结果

Tab.1 Test results of vehicle

试验数据记录 和处理	含分流集流阀			不含分流集流阀		
	空载	2块 配重	4块 配重	空载	2块 配重	4块 配重
跑偏量/m	2.06	2.18	2.30	2.54	3.38	4.67
平均跑偏量/m	2.09	2.10	2.28	2.51	3.17	4.71
平均偏驶率/%	2.04	2.15	2.36	2.58	3.27	4.77
	2.06	2.14	2.31	2.54	3.27	4.72
	4.12	4.28	4.62	5.08	6.54	9.43

对比仿真和样机试验可知,在全部试验过程中作业车始终向左跑偏,未出现仿真中图5a、5b所示左侧马达快于右侧马达,作业车向右跑偏的情况;也未出现与图5d、5f仿真结果对应的原地打转的情况。由于仿真中施加的扭矩值为静态的理想试验条件,而在实际过程中,由于车架的固连作用,以及地

面阻力变化等因素的影响,马达所受扭矩在时刻变化,分流集流阀处在动态调节的过程中,并未达到仿真中后半段理想的稳定状态,所以未出现原地打转的情形。作业车始终向左跑偏,可能是由液压系统中液压阀加工误差、卡阀或者作业车机械结构安装偏差造成。为验证以上猜想,采用将分流集流阀两出油口的液压管对调安装、将作业车抬高使履带离开地面进行运转试验和测定作业车履带底盘安装偏差的方法进行验证。对调油管后,实车试验中作业车依然向左跑偏;作业车履带不接触地面运转试验中,在履带上粘贴红色胶带,记录初始位置,启动机器,当一侧履带达到20圈时按下制动键,以20圈履带周长加减每次试验中停止和初始位置的偏差量作为实际位移,测定3次求平均,测定结果如表2所示,可知左侧履带位移均大于右侧,此种情况有导致作业车向右跑偏的倾向;由以上两组试验可知作业车始终向左跑偏不是由液压系统造成的。观察履带发现,左侧履带总成的轴承室机构和张紧机构均向左外侧倾斜,而驱动轮和张紧轮套装在以上机构中,使用游标卡尺测量轴承室机构和张紧机构内端面不同点与固定5个支重轮的安装梁内侧面的距离,计算出驱动轮和张紧轮分别向左外侧偏斜 0.67° 和 1.53° ,进行多次样机验证试验知,各工况下作业车前进、倒退均向左侧跑偏,且后退时跑偏量更大,可知左侧履带安装偏差是作业车始终向左跑偏的一个重要原因。

表2 作业车两侧履带位移

Tab.2 Displacement of two tracks

参数	试验结果		
	第1组	第2组	第3组
左侧履带位移 L_L/m	83.15	83.20	83.35
右侧履带位移 L_R/m	82.50	82.45	82.65
位移差 $\Delta L/m$	0.65	0.75	0.70
总位移 L/m	165.65	165.65	166.00
ΔL 与 L 百分比/%	0.39	0.45	0.42

5 结论

(1)作业车采用龙门架式高地隙结构,单侧最大宽度低于450 mm,空载时重心高度582.0 mm,结构紧凑,重心较低,具有良好的通过性和稳定性,能够较好地满足高秆作物中耕管理作业需求。

(2)液压系统使用定量泵和定量马达,采用电磁调速阀实现行驶速度的控制,依靠分流集流阀保证作业车行驶直线性,使用电磁换向阀可以灵活的控制任意一侧液压马达转动方向和转向时间,能够实现原地转向到任意半径的转向,作业车液压系统

成本低廉,行走性能良好。

(3)左、右侧液压马达扭矩为23.19、32.79、42.41 N·m和34.28、34.47、34.65 N·m,液压系统含有分流集流阀时,作业车偏驶率为4.12%、4.28%、

4.62%,偏驶率满足国家相关标准要求,作业车采用分流集流阀提高行驶直线性的方案可行。减小履带底盘安装误差、使用分流集流阀有助于提高作业车直线行驶稳定性。

参 考 文 献

- 苑进,赵新学,李明,等.高地隙喷杆式与隧道式一体喷雾机的设计与试验[J].农业工程学报,2015,31(增刊2):60-68.
YUAN Jin, ZHAO Xinxue, LI Ming, et al. Design and test of high clearance boom-tunnel type sprayer[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(Supp. 2): 60-68. (in Chinese)
- 倪静,毛罕平,韩绿化,等.高地隙四轮驱动喷雾机防滑系统控制仿真与试验[J].农业机械学报,2010,41(12):13-17.
NI Jing, MAO Hanping, HAN Lihua, et al. Simulation and test on anti-skid system control for four-wheel drive of high clearance spray machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 13-17. (in Chinese)
- 杨方飞,韩小进,段垚奇,等.高地隙喷杆喷雾机底盘可靠性试验[J].农业机械学报,2014,45(10):73-78.
YANG Fangfei, HAN Xiaojin, DUAN Yaoqi, et al. Reliability experiment on high clearance boom sprayer chassis [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 73-78. (in Chinese)
- 张传斌,余泳昌,吴亚萍.高通过性四轮自走式烟草田间作业机的设计[J].农业工程学报,2011,27(11):37-41.
ZHANG Chuanbin, YU Yongchang, WU Yaping. Design of high trafficability four wheel self-propelled field machine for tobacco [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 37-41. (in Chinese)
- 张晓辉,刘刚,初晓庆,等.自走式棉田打顶定向施药管理机的设计与试验[J].农业工程学报,2015,31(22):40-48.
ZHANG Xiaohui, LIU Gang, CHU Xiaoqing, et al. Design and experiment of self-propelled cotton topping and directional spraying machine[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22): 40-48. (in Chinese)
- 郑超,刘俊峰,李建平,等.高地隙果园动力底盘液压系统的设计[J].农机化研究,2014(4):91-93.
ZHENG Chao, LIU Junfeng, LI Jianping, et al. Design of the hydraulic system of the high clearance orchard dynamic chassis[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(4): 91-93. (in Chinese)
- 肖宏儒,李建国,秦广明,等.高地隙自走式多功能茶园管理机田间试验研究[J].中国农机化,2010(6):41-44.
XIAO Hongru, LI Jianguo, QIN Guangming, et al. Field experimental study on the high-clearance self-propelled multi-function tea farm manger[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(6): 41-44. (in Chinese)
- 范国强,张晓辉,王金星,等.四轮菱形布置农用高地隙作业机设计与试验[J].农业机械学报,2016,47(2):84-89.
FAN Guojiang, ZHANG Xiaohui, WANG Jinxing, et al. Design and test of high clearance agricultural machine with four-wheel diamond arrangement[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(2): 84-89. (in Chinese)
- 陈书法,张石平,孙星钊,等.水田高地隙自走式变量撒肥机设计与试验[J].农业工程学报,2012,28(11):16-21.
CHEN Shufa, ZHANG Shiping, SUN Xingzhao, et al. Design and experiment of self-propelled high-ground-clearance spreader for paddy variable-rate fertilization[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(11): 16-21. (in Chinese)
- 薛新宇,兰玉彬.美国农业航空技术现状和发展趋势分析[J].农业机械学报,2013,44(5):194-202.
XUE Xinyu, LAN Yubin. Agricultural aviation applications in USA [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 194-202. (in Chinese)
- 刘丰乐,张晓辉,马伟伟,等.国外大型植保机械及施药技术发展现状[J].农机化研究,2010(3):246-249.
LIU Fengle, ZHANG Xiaohui, MA Weiwei, et al. Current development status of foreign big—scale protection machinery and application technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010(3): 246-249. (in Chinese)
- BAE Yeonghwan, KOO Youngmo. Flight attitudes and spray patterns of a roll—balanced agricultural unmanned helicopter[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2013, 29(5): 675-682.
- ESTEY R H. Canadian use of aircraft for plant protection[J]. Phytoprotection, 2004, 85(1): 7-12.
- 周志艳,臧英.中国农业航空植保产业技术创新发展战略[J].农业工程学报,2013,29(24):1-10.
ZHOU Zhiyan, ZANG Ying. Technology innovation development strategy on agricultural aviation industry for plant protection in China[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(24): 1-10. (in Chinese)
- 张传斌,张士领.1YSG-1型烟田施肥起垄机的改进与试验[J].农机化研究,2011(6):119-122.
ZHANG Chuanbin, ZHANG Tuling. Design of grannary intelligent measurement and control terminal[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011(6): 119-122. (in Chinese)
- 陈世教.履带式液压挖掘机原地转弯阻力计算[J].建筑机械,1998(4):6-9.
- 迟媛,蒋恩臣.履带车辆差速式转向机构性能试验[J].农业机械学报,2008,39(7):14-17.
CHI Yuan, JIANG Enchen. Performance tests on differential steering mechanism of tracked vehicle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 14-17. (in Chinese)