

方草捆集捆机设计与试验

高旭宏^{1,2} 徐向阳¹ 王书翰¹ 刘立强² 赵伟² 李杨²

(1.北京航空航天大学交通科学与工程学院,北京100191;2.航天新长征电动汽车技术有限公司,北京100176)

摘要:为解决方草捆捡拾效率低、费用高,长途运输难等问题,设计了方草捆集捆机。该机由底盘、捡拾器、推草机构、举草机构、压绳器和卸草机构等部件组成,基于EPEC2024搭建了控制系统,只需单人驾驶和操作,通过变量泵、马达和油缸驱动各部件快速实现对方草捆的捡拾、挤压和捆扎。按照作业功能对各结构部件采用分模块设计,通过计算各液压回路的流量保证作业速度和作业效率,匹配硬件电路并使用Codesys编写程序控制作业流程。分别在内蒙古自治区赤峰市和辽宁省黑山县对方草捆和秸秆方捆进行了捡拾及捆扎的场地试验,结果表明:整机最大牵引车速达到20.5 km/h,作业时系统最大流量为101.6 L/min,一次能实现12个方草捆的捆扎。方草捆的集捆成捆率达到89.5%,纯工作小时内集捆生产率为12大捆/h,同等条件下与人工捡拾方式相比,捡拾效率提高了34.5%,人工费用降低了62.5%,综合费用降低了18.2%,而且增强了对自然环境的适应性,缩短了长途运输的准备周期,满足实际生产的使用要求。

关键词:方草捆;集捆机;设计;试验

中图分类号:S817.11⁺3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1298(2017)04-0111-07

Design and Experiment of Rectangular Bale Multipack

GAO Xuhong^{1,2} XU Xiangyang¹ WANG Shuhan¹ LIU Liqiang² ZHAO Wei² LI Yang²

(1. School of Transportation Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

2. Aerospace New Long March Electric Vehicle Technology Co., Ltd., Beijing 100176, China)

Abstract: A new rectangular bale multipack was designed to solve the difficulty of low efficiency, high costs and transportation inconvenience in the process of collecting rectangular bale. The rectangular bale multipack was composed of chassis, pickup, pushing bale device, raising bale device, pressuring line device and unloading bale device, etc. Based on EPEC2024 controller, the pump, motors and cylinders were driven to make some rectangular bales into one big rectangular bale. In operation, the rectangular bale multipack had the ability of collecting 12 rectangular bales at one time. The maximum driving speed of the rectangular bale multipack exceeded 20.5 km/h and the maximum hydraulic flow was 101.6 L/min. The field experiments for picking up rectangular bale and straw rectangular bale were carried out in Inner Mongolia and Liaoning Province, respectively. The test results showed that collecting bale rate and collecting bale productivity of the rectangular bale multipack was 89.5% and 12 bdl/h, respectively. Compared with artificial operation, the collecting bale efficiency was improved by 34.5%, meanwhile, the artificial costs and composite expenses were declined by 62.5% and 18.2%, respectively. The preparation cycle for long-distance transportation was also cut down. All of the works, including picking up and packing some rectangular bales were done by one operator driving the tractor simultaneously, and the rectangular bale multipack can meet reality needs.

Key words: rectangular bale; multipack; design; experiment

引言

我国草原辽阔,牧草资源丰富,但牧草收获机械

化水平还很低^[1]。当前,国内牧草收获的作业流程一般为割草—搂草—打捆压捆—捡拾装车—贮存等,与欧美等经济发达国家牧草收获全程的机械化

收稿日期:2017-01-05 修回日期:2017-01-31

基金项目:国家自然科学基金项目(51105017)和航天技术应用产业“高端农牧设备”项目(0504150111)

作者简介:高旭宏(1979—),男,博士生,航天新长征电动汽车技术有限公司高级工程师,主要从事特种车辆总体设计研究,E-mail:

gaoxuhong@htxczgs.com

通信作者:王书翰(1979—),男,副教授,博士,主要从事多学科系统动力学建模和仿真研究,E-mail:wangshuhan@buaa.edu.cn

相比,还有较大差距,特别是在捡拾装车环节,普遍存在劳动强度大、作业成本高等不足,亟需研制专用的捡拾机械来解决^[2-5]。

对牧草收获各环节机械设备,国内科研工作者做了大量的研究工作。其中割草机和搂草机已获得显著的成果^[6-10];打捆压捆机实用效果也很突出^[11-14]。但在草捆捡拾装车环节,国内主要采用人工捡拾或机械辅助捡拾的方式,作业效率偏低,成本偏高。美国 NEW HOLLAND 公司推出了方草捆捡拾机^[15],郝兴玉等^[16]研制了方草捆的收集车。但这些捡拾设备在方草捆捡拾过程中,仅是对分散的方草捆进行集合以便于堆放,并没有改变单捆的零散状态;尽管这些捡拾设备在天然草场和苜蓿草场还有较好的适应性,但在秸秆捆、麦秆捆等田间场地却暴露出适应性差的缺点^[17]。同时,由于这些捡拾设备均不能实现长距离运输,且集中堆垛后的方草捆仍处于单捆的零散状态,不便于快速实现转运或使用大型货车进行长途运输。

为此设计一款方草捆集捆机,对零散分布的方草捆或秸秆捆先进行集捆捆扎,再借助抱夹机或伸缩臂叉车等设备堆垛或转运。本文重点阐述方草捆集捆机的组成和原理,分析其液电匹配性能,并对样机进行场地试验测试,为后续市场化推广提供依据。

1 结构与原理

1.1 整机结构及关键部件

方草捆集捆机由底盘、变速箱、捡拾器、推草机构、举草机构、压绳器、打结机构、夹草器、卸草机构、框架、外罩、液压系统、电控系统等组成,整机的设计结构如图1所示。

方草捆集捆机的主要技术参数如表1所示。

1.1.1 捡拾器

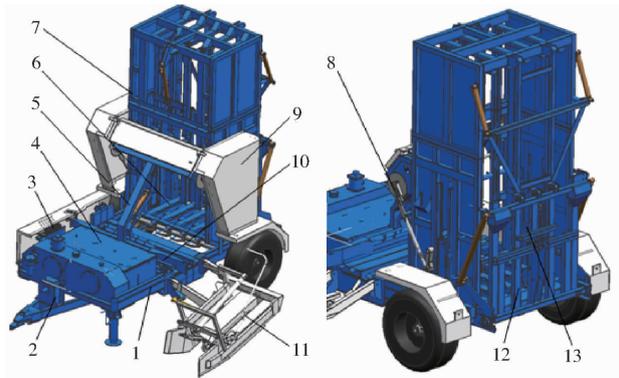
捡拾器主要由架体、压杆、导向板、链条机构等零件组成,如图2所示。

捡拾器安装在底盘的左侧,由捡拾缸驱动实现下放或上翻。两侧导向板呈“V”型布置,引导方草捆顺利进入;压杆总成通过压板将方草捆压住防止传送过程中跳起;而链条机构由纵向段和横向段两部分组成,纵向段由拾草马达驱动,将导入的方草捆抬起,横向段则由转弯马达和横移马达驱动,将方草捆运送至推草机构前方的车体上表面处。

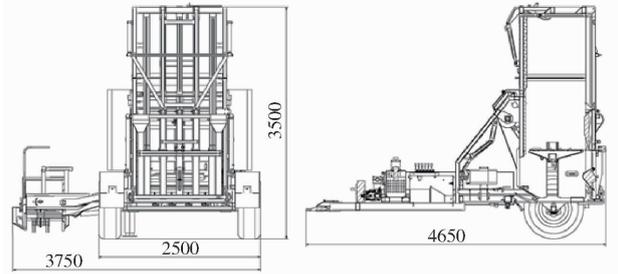
1.1.2 推草机构与举草机构

推草机构主要由推杆和挡板等零件组成,如图3所示。

推草缸驱动推杆绕上端转动,将方草捆推送至框架下方。挡板设计为圆弧结构,以防止推草机构



(a) 三维模型



(b) 总体参数

图1 方草捆集捆机结构图

Fig. 1 Structure diagrams of rectangular bale multipacker

1. 底盘 2. 变速箱 3. 电控系统 4. 液压系统 5. 推草机构
6. 举草机构 7. 框架 8. 打结机构 9. 外罩 10. 压绳器
11. 捡拾器 12. 卸草机构 13. 夹草器

表1 集捆机主要技术参数

Tab. 1 Specifications of multipacker

参数	数值
长×宽×高(收藏状态)/(mm×mm×mm)	4 650×2 500×3 500
轮距/mm	2 100
整机质量/kg	2 500
牵引动力/kW	≥60
最大牵引车速/(km·h ⁻¹)	20.5
最大承载量/kg	650
一次集捆数/个	12
轮胎直径/mm	900
最大压力/MPa	25
最大流量/(L·min ⁻¹)	120
液压油箱容量/L	180
电源电压/V	12

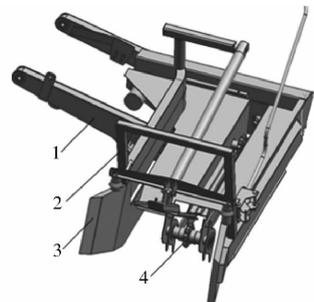


图2 捡拾器结构简图

Fig. 2 Structure diagram of pickup device

1. 架体 2. 压杆 3. 导向板 4. 链条机构

下端挤压松软的草捆时嵌入内部引起卡滞。

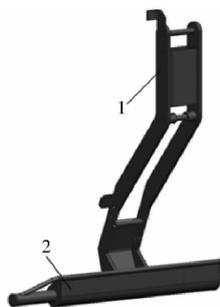


图3 推草机构结构简图

Fig. 3 Sketch of pushing bale device

1. 推杆 2. 挡板

举草机构主要由托架、支柱、滚轮等零件组成,如图4所示。两侧的支柱安装在框架中部的导槽内,在举草缸的驱动下,通过滚轮的滚动实现上下运动。



图4 举草机构结构简图

Fig. 4 Structure diagram of raising bale device

1. 滚轮 2. 支柱 3. 托架

当2个方草捆都推送到位后,举草缸驱动举草机构将2个方草捆同时举起。

1.1.3 压绳器

压绳器安装在底盘下部,主要由弹簧座和压板等零件组成,如图5所示。



图5 压绳器结构简图

Fig. 5 Structure diagram of pressuring line device

1. 弹簧座 2. 压板

压绳器由压绳缸驱动,并与举草缸同时动作,在举草向上运动时,将捆扎绳压紧,以防止草捆举升过程中捆扎绳发生松弛。

1.1.4 卸草机构

卸草机构主要由上挡架、下导架和卧推杆等零件组成,如图6所示。



图6 卸草机构结构简图

Fig. 6 Structure diagram of unloading bale device

1. 上挡架 2. 下导架 3. 卧推杆

倒卧上缸驱动上挡架向上翻转,倒卧下缸驱动下导架向下翻转并形成斜坡,但捆扎后的大方草捆并不能自动沿斜坡滑下,需要由倒卧推缸驱动卧推杆将大方草捆推倒并沿斜坡下滑至地面。

1.2 工作原理及过程

方草捆集捆机一般由拖拉机牵引,通过拖拉机发动机将动力传递至变速箱,而后带动液压泵、马达、油缸等元件,在电控系统的控制下,实现对小方草捆的捡拾、挤压、捆扎等作业。操作控制箱固定在拖拉机驾驶室内,操作面板处布置各种按钮、仪表和指示灯,操作简单,驾驶员一人即可完成所有工作,具体工作过程如下:

(1)方草捆集捆机由拖拉机牵引行进,驾驶员在驾驶室内操纵捡拾功能按钮,捡拾器向下翻转至离地面约5 cm高度处自动停止。

(2)在行进过程中,方草捆从捡拾器开口导入,通过链条的转动运送至推草机构前方的车体上表面处。

(3)推草机构将方草捆推送至框架下方举草机构的托架表面处。

(4)当集合2个方草捆后,举草机构将方草捆举升至框架上方,随后夹草器将方草捆挤压并夹紧。

(5)重复步骤(1)~(4),直至将12个方草捆全部集中在框架内夹紧后,压绳器放线,打结器完成对方草捆的捆扎。

(6)卸草机构在倒卧油缸驱动下分别向上和向下翻转,下导架向下翻转至离地面约5 cm高度处自动停止,捆扎后的大方草捆在倒卧推缸的推动下倾倒并沿斜坡滑至地面。

(7)对完成集捆的大方草捆,使用抱夹机或伸缩臂叉车等设备转运至堆场或运输货车处。

2 液电控制

2.1 液压系统设计

集捆机的液压系统主要由液压泵、马达、多路阀组、液压油缸、平衡阀、油箱、滤油器和管路等元件组成。集捆机的所有作业功能均通过液压系统的驱动完成,其控制流程如图7所示。

集捆机液压系统原理如图8所示。

集捆机的液压系统选用美国SAUER J45系列变量泵作为动力源,持续工作压力可达到31 MPa,流量126 L/min,输入转速500~3360 r/min,效率系数0.95,实际最大流量约120 L/min。集捆机的各作业功能可依次动作或组合动作,尽管所有功能不会同时动作,但作业时液压系统必须提供充足的流量,相关计算式为

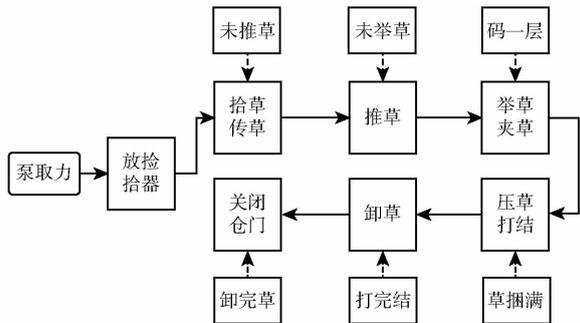


图7 作业流程图

Fig.7 Operation process diagram

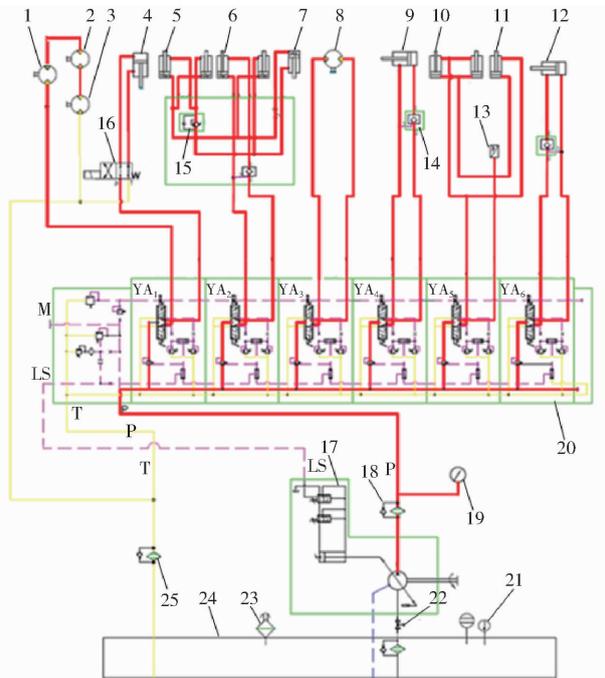


图8 液压原理图

Fig.8 Schematic of hydraulic

- 1. 拾草马达 2. 转弯马达 3. 横移马达 4. 捡拾缸 5. 倒卧下缸 6. 倒卧上缸 7. 倒卧推缸 8. 打结马达 9. 夹草缸 10. 举草缸 11. 压绳缸 12. 推草缸 13. 压力传感器 14. 液控单向阀 15. 平衡阀 16. 电磁换向阀 17. 变量泵 18. 高压滤油器 19. 压力表 20. 多路阀 21. 液位温度计 22. 截止阀 23. 空气滤清器 24. 油箱 25. 回油滤油器

$$Q_{max} = \sum_{i=1}^6 Q_i \quad (1)$$

式中 Q_{max} ——作业时需要的最大流量, L/min

Q_i ——某作业功能动作时所需流量, L/min

马达和液压油缸所需流量计算式为

$$Q_j = \frac{V_j n_j \eta}{1000} \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

$$Q_{ek} = \frac{\pi D_k^2 l_k \times 60 \times 10^{-6}}{4 t_{ek}} \quad (k = 1, 2, \dots, 8) \quad (3)$$

$$Q_{rk} = \frac{\pi (D_k^2 - d_k^2) l_k \times 60 \times 10^{-6}}{4 t_{rk}} \quad (k = 1, 2, \dots, 8) \quad (4)$$

式中 Q_j ——马达流量, L/min

Q_{ek} ——油缸伸出时的流量, L/min

Q_{rk} ——油缸缩回时的流量, L/min

V_j ——马达排量, mL/r

n_j ——马达转速, r/min

η ——马达效率系数, 取 0.95

D_k ——油缸活塞直径, mm

d_k ——油缸活塞杆直径, mm

l_k ——油缸全行程, mm

t_{ek} ——油缸伸出全行程的时间, s

t_{rk} ——油缸缩回全行程的时间, s

根据各马达和油缸技术参数, 结合式(1)~(4)的计算方法, 各种作业功能所需流量的计算结果如表2所示。

根据表2计算结果, 结合控制要求, 组合动作能出现的情况是拾草和卸草同步或拾草和举草同步, 所以集捆机作业时理论上需要的最大流量出现在举

表2 各作业功能的流量

Tab.2 Hydraulic flow of each operation

元件	参数	最大流量
拾草马达	$V_1 = 100 \text{ mL/r}$ $n_1 = 148 \text{ r/min}$	$Q_1 = 14.1 \text{ L/min}$
转弯马达	$V_2 = 100 \text{ mL/r}$ $n_2 = 148 \text{ r/min}$	$Q_2 = 14.1 \text{ L/min}$
横移马达	$V_3 = 100 \text{ mL/r}$ $n_3 = 148 \text{ r/min}$	$Q_3 = 14.1 \text{ L/min}$
打结马达	$V_4 = 315 \text{ mL/r}$ $n_4 = 160 \text{ r/min}$	$Q_4 = 47.9 \text{ L/min}$
捡拾油缸	$D_1 = 50 \text{ mm}, d_1 = 30 \text{ mm}$ $l_1 = 340 \text{ mm}$ $t_{e1} = 5.0 \text{ s}, t_{r1} = 5.0 \text{ s}$	$Q_{e1} = 8.01 \text{ L/min}$ $Q_{r1} = 5.13 \text{ L/min}$
倒卧下缸	$D_2 = 50 \text{ mm}, d_2 = 30 \text{ mm}$ $l_2 = 715 \text{ mm}$ $t_{e2} = 3.2 \text{ s}, t_{r2} = 2.5 \text{ s}$	$Q_{e2} = 26.32 \text{ L/min}$ $Q_{r2} = 21.56 \text{ L/min}$
倒卧上缸	$D_3 = 40 \text{ mm}, d_3 = 25 \text{ mm}$ $l_3 = 355 \text{ mm}$ $t_{e3} = 1.0 \text{ s}, t_{r3} = 0.6 \text{ s}$	$Q_{e3} = 26.77 \text{ L/min}$ $Q_{r3} = 27.18 \text{ L/min}$
倒卧推缸	$D_4 = 40 \text{ mm}, d_4 = 25 \text{ mm}$ $l_4 = 400 \text{ mm}$ $t_{e4} = 1.0 \text{ s}, t_{r4} = 0.6 \text{ s}$	$Q_{e4} = 30.16 \text{ L/min}$ $Q_{r4} = 30.63 \text{ L/min}$
夹草油缸	$D_5 = 50 \text{ mm}, d_5 = 30 \text{ mm}$ $l_5 = 140 \text{ mm}$ $t_{e5} = 0.6 \text{ s}, t_{r5} = 0.4 \text{ s}$	$Q_{e5} = 27.49 \text{ L/min}$ $Q_{r5} = 26.39 \text{ L/min}$
举草油缸	$D_6 = 50 \text{ mm}, d_6 = 30 \text{ mm}$ $l_6 = 600 \text{ mm}$ $t_{e6} = 1.0 \text{ s}, t_{r6} = 0.6 \text{ s}$	$Q_{e6} = 70.68 \text{ L/min}$ $Q_{r6} = 75.40 \text{ L/min}$
压绳油缸	$D_7 = 40 \text{ mm}, d_7 = 25 \text{ mm}$ $l_7 = 20 \text{ mm}$ $t_{e7} = 0.5 \text{ s}, t_{r7} = 0.4 \text{ s}$	$Q_{e7} = 3.02 \text{ L/min}$ $Q_{r7} = 2.30 \text{ L/min}$
推草油缸	$D_8 = 40 \text{ mm}, d_8 = 25 \text{ mm}$ $l_8 = 270 \text{ mm}$ $t_{e8} = 1.0 \text{ s}, t_{r8} = 0.6 \text{ s}$	$Q_{e8} = 20.36 \text{ L/min}$ $Q_{r8} = 20.68 \text{ L/min}$

草压绳油缸同步缩回或倒卧油缸同步伸出的过程中(此时拾草马达、转弯马达和横移马达处于满载或空载),分别达到了 97.35 L/min 和 91.8 L/min,但均小于液压系统能提供的最大流量。

集捆机的液压系统使用多路阀并设有 6 路并联油路,保证了既能按照控制要求顺序动作,也能通过手动控制单独动作,所以操作方便,维修性好。为降低整机液压系统的发热,减少元器件数量,优化布置空间,节约生产成本,设计中使用了负载敏感反馈控制方式^[18-19]。同时,液压回路中安装了多级过滤装置,以满足现场恶劣的作业环境要求。

2.2 电控系统设计

集捆机的电控系统为液压系统的作业功能制定控制逻辑、编写控制程序并提供各种控制信号和指示信号,所以电控系统主要由控制器、操作箱、传感器、电磁阀、行程开关、线缆等元件组成,电控系统的原理如图 9 所示。

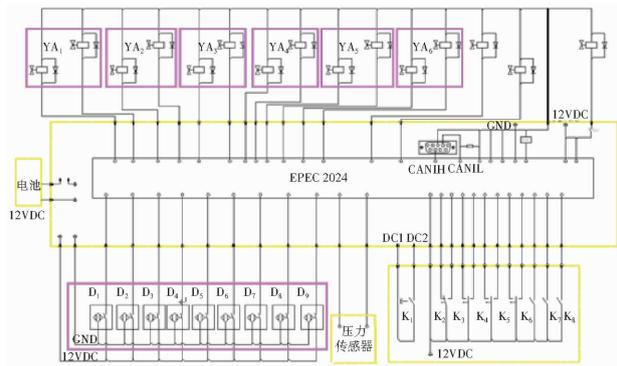


图 9 电控原理图

Fig.9 Schematic of electronic control

图中, YA₁ ~ YA₆ 为控制多路阀, D₁ ~ D₉ 为接近开关, K₁ 为启停开关, K₂ 为手动开关, K₃ 为卸草开关, K₄ 为推草开关, K₅ 为捡拾开关, K₆ 为压力初始化开关, K₇ 为压力“+”, K₈ 为压力“-”。

接近开关均选用德国 Schmersal 产品,根据不同的控制功能再选用常开式或常闭式的触发结构,其触发状态与多路阀的开启和压力传感器的功能相匹配,具体如表 3 所示。

表 3 组合控制关系

Tab.3 Combination of control

实现功能	控制状态	多路阀状态
传送到位	D ₁	YA ₁ 右位
推草到位	D ₂	YA ₆ 左位
推草收回	D ₃	YA ₆ 右位
举升草捆(2 捆入仓)	D ₅	YA ₅ 左位
压草夹持(12 捆满仓)	D ₄	YA ₄ 左位
打结停止	D ₇	YA ₃ 右位
卸料门收回	D ₈	YA ₂ 左位
举草收回	D ₉	YA ₅ 右位
马达横移停	D ₆	YA ₁ 中位

集捆机电控系统选用 EPEC2024 作为主控制器,软件程序基于 Codesys2.1 编写,对各控制功能采用成熟的模块化设计,还嵌入了安全冗余的控制策略,可靠性高,维护性好^[20]。

3 试验测试

3.1 试验过程

2016 年 5 月份,方草捆集捆机样机研制成功后,首先在试制车间进行了各种功能和性能的调试测试;随后分别在内蒙古自治区赤峰市的天然草场和辽宁省黑山县的秸秆农田中进行了现场试验,其中天然草场平坦且开阔,秸秆农田也比较平坦,但有垄沟的影响(垄沟宽约 60 cm,高约 10 cm),试验现场如图 10 所示。



(a) 调试测试



(b) 捡拾草捆试验

(c) 捡拾秸秆捆试验

图 10 集捆机试验测试现场图

Fig.10 Field experiments of multipack

3.2 试验结果及分析

在试验测试中,使用 STAUFF 的 PPC-PAD 测试仪,对满载工况下各液压回路的压力、流量进行了测试,结果如表 4 所示。

通过现场的集捆测试,液压系统各回路的压力、流量满足实际的使用需求,将表 4 的测试结果和表 2 的计算数值进行比较可知:

(1)从液压系统的测试压力看,瞬间的最大压力为 17.7 MPa,小于设计压力 20 MPa。从测试的实际流量看,瞬间最大流量为 101.6 L/min,超过对应的计算结果 91.8 L/min 约 10.7%,但小于系统可提供的流量 120 L/min。

表4 液压回路测试结果

Tab.4 Test results of hydraulic circuits

功能	压力/MPa	流量/(L·min ⁻¹)
捡拾器下放	6.2 (YA ₁ 左伸)	9.56
倒卧过程	11.8 (YA ₂ 伸)	101.6
	12.1 (YA ₂ 缩)	97.5
打结过程	16.5 (YA ₃ 右正转)	45.4
夹草过程	15.5 (YA ₄ 伸)	30.66
	14.2 (YA ₄ 缩)	34.12
举草压绳	10.6 (YA ₅ 伸)	88.27
	14.2 (YA ₅ 缩)	85.86
推草过程	8.6 (YA ₆ 伸)	31.58
	8.1 (YA ₆ 缩)	33.22
草捆传送	17.7 (YA ₁ 右侧道)	13.23

(2)各作业功能流量的测试值总体上略高于计算值,但误差并不大,这一方面是由于对某作业回路,实际测得的是系统的流量值,包含了马达空转或承载所需的部分流量;另一方面是作业效率引起的流量损耗。

在天然草场和秸秆农田的现场试验过程中,方草捆或秸秆捆的实际质量为25~35 kg/个,其尺寸(长×宽×高)为1 100 mm×460 mm×360 mm,平均散落间距为15~20 m。牵引拖拉机实际的行驶速度为10~12 km/h,捡拾速度为8~10 s/捆(现场经测试,最大牵引速度达到了20.5 km/h,但受驾驶员操作熟练程度的影响,实际的捡拾准确度大幅降低,所以实际作业时的车速并不高)。当然,考虑天然草场和秸秆农田不同地形的特点,操作者熟练程度及设备检修并排查故障等客观因素的影响,实际的作业效率并不相同。集捆机在两种现场实际作业共7 d,其中天然草场4 d,秸秆农田3 d,对实际的捡拾数量、集捆生产率和人工费用均做了统计,并与同步进行的人工捡拾方式进行了对比,结果如表5所示。

表5 效率与费用比较

Tab.5 Comparison of efficiency and costs

条件	集捆机捡拾	人工捡拾	误差/%
天然草场效率	1 344 捆/d	1 081 捆/d	24.3
	1 452 捆/d	1 102 捆/d	31.7
	1 308 捆/d	996 捆/d	31.3
	1 404 捆/d	1 006 捆/d	39.5
秸秆农田效率	1 140 捆/d	792 捆/d	43.9
	1 056 捆/d	811 捆/d	30.2
	1 044 捆/d	743 捆/d	40.5
车辆费用	600 元/d	300 元/d	100
人工费用	300 元/d	800 元/d	-62.5
综合费用	900 元/d	1 100 元/d	-18.2

在表5中,每天计算的有效工作时间为8 h。其中4 d在天然草场共捡拾约5 952捆,实际集捆5 508捆,集捆成捆率92.5%;3 d在秸秆农田共捡拾3 744捆,实际集捆3 240捆,集捆成捆率86.5%。

在集捆机工作稳定后,连续工作时间内所能够完成捡拾、挤压、捆扎全部工作的大草捆总数量称为纯工作小时集捆生产率,计算方法为

$$E_{cx} = \frac{W}{T_c} \quad (5)$$

式中 E_{cx} ——纯工作小时集捆生产率,大捆/h

W ——连续工作时间内的草捆总数量,大捆

T_c ——纯工作时间,h

根据式(5),天然草场和秸秆农田纯工作小时的集捆生产率分别为14大捆/h和11大捆/h,综合的纯小时集捆生产率为12大捆/h。

通过表5中统计数据的比较和式(5)的计算结果,可以看出:

(1)集捆机的捡拾效率明显高于人工捡拾作业,平均综合效率提升了34.5%;集捆机在天然草场的捡拾效率又明显高于秸秆农田,日均捡拾效率高出27.5%。

(2)集捆机在天然草场的集捆成捆率为92.5%,而在秸秆农田的集捆成捆率为86.5%,综合的集捆成捆率为89.5%。综合的纯工作小时集捆生产率为12大捆/h,但天然草场的集捆生产率又比秸秆农田高27.3%。这些差异主要是由于草捆和秸秆捆在密度、含水率等方面的不同(试验中草捆密度约130 kg/m³,含水率14%;秸秆捆密度约200 kg/m³,含水率20%),且场地条件也明显不同,降低了秸秆捆的实际集捆能力。

(3)使用集捆机的人工费用比人工捡拾作业节省了62.5%,这是由于集捆机只需1人操作即可实现作业,而人工捡拾至少需要3人;相比之下,使用集捆机后的车辆费用却高出人工捡拾作业1倍。这主要是因为集捆机只是完成对方草捆的捡拾和捆扎,使零散的小方草捆变成了大草捆,而大草捆的收集仍需要使用抱夹机或伸缩臂叉车等设备,运送至集中堆放地点或运输货车处,所以设备费用有所增加。但使用集捆机的日均综合费用与人工捡拾作业相比,还是节省了18.2%。

4 结论

(1)在整机研制过程中,按照功能对各结构部件采用了模块化设计,通过计算各液压回路的流量保证了作业速度和作业效率,匹配硬件电路并使用Codesys编写程序控制作业流程。

(2)方草捆集捆机先后在天然草场和秸秆农田进行了集捆的试验测试,结果表明:整机作业时系统最大压力和流量分别为17.7 MPa和101.6 L/min,在2 min内可快速实现对12个方草捆的捡拾和捆扎。

方草捆的集捆成捆率达到 89.5%,纯工作小时的集捆生产率为 12 大捆/h;与同等条件下人工捡拾方式相比,捡拾效率提高 34.5%,人工费用降低 62.5%,综合费用降低 18.2%。

参 考 文 献

- 邵世禄,韩正晟,魏宏安.我国牧草收获机械发展[J].草业科学,2010,27(5):152-156.
SHAO Shilu,HAN Zhengsheng,WEI Hongan. Development of machinery used for pasture harvesting in China[J]. Pratacultural Science,2010,27(5):152-156. (in Chinese)
- 马国玉,袁洪方,刘鹏军,等.现阶段我国牧草机械的需求分析[J].农机化研究,2011,33(2):222-225.
MA Guoyu,YUAN Hongfang,LIU Pengjun,et al. Research survey on demand of Chinese forage machine at present[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2011,33(2):222-225. (in Chinese)
- 万其号,王德成,王光辉,等.自走式牧草青贮联合装袋机设计与试验[J].农业工程学报,2014,30(19):30-37.
WAN Qihao,WANG Decheng,WANG Guanghui,et al. Design and experiment of self-propelled grass silage combined bagging machine[J]. Transactions of the CSAE,2014,30(19):30-37. (in Chinese)
- 刘志刚.我国牧草机械发展现状及主要机具工作原理[C]//中国农业机械学会2008年学术年会论文集,2008:656-658.
- 王生.苜蓿收获机械化与草产业发展关系的研究[D].兰州:甘肃农业大学,2008.
WANG Sheng. Study on the relationship between the mechanization of herbage harvest and the development of grass industry[D]. Lanzhou:Gansu Agricultural University,2008. (in Chinese)
- 赵满全,张宁,杨铁军,等.双圆盘割草机切割器虚拟样机设计与试验[J/OL].农业机械学报,2014,45(8):101-105. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20140816&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.08.016.
ZHAO Manquan,ZHANG Ning,YANG Tiejun,et al. Design and experiment of virtual prototype of double disc mower cutter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(8):101-105. (in Chinese)
- 邹备,王德成,王光辉,等.小型自走式割草机仿形装置仿真分析与试验[J/OL].农业机械学报,2015,46(7):123-129. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150719&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.07.019.
WU Bei,WANG Decheng,WANG Guanghui,et al. Simulation analysis and experiment of profiling device of small self-propelled mower[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2015,46(7):123-129. (in Chinese)
- 张宁.双圆盘割草机关键部件的虚拟样机设计及动力学分析[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
ZHANG Ning. Kinetic analysis and virtual prototype design of the dual disc mower crucial components[D]. Huhhot:Inner Mongolia Agricultural University,2014. (in Chinese)
- 翟改霞,刘贵林,贺刚,等.水平旋转搂草机设计与试验[J].农机化研究,2014,36(7):168-173.
ZHAI Gaixia,LIU Guilin,HE Gang,et al. Design and experiment on the horizontal rotary rake[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2014,36(7):168-173. (in Chinese)
- 林加庆.新型搂草机构的优化设计与仿真研究[D].镇江:江苏大学,2013.
LIN Jiaqing. Optimization design and simulation research on new type of straw-raking mechanism[D]. Zhenjiang: Jiangsu University,2013. (in Chinese)
- 杨莉,刘贵林,王振华,等.自带传动动力横频方草捆捡拾压捆机设计与实验[J].农业机械学报,2011,42(增刊):147-151.
YANG Li,LIU Guilin,WANG Zhenhua,et al. Design and experiment of engine-driven constant frequency rectangular pickup baler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(Supp.):147-151. (in Chinese)
- 王振华,王德成,刘贵林,等.方草捆压捆机捡拾器参数设计[J].农业机械学报,2010,41(增刊):107-109.
WANG Zhenhua,WANG Decheng,LIU Guilin,et al. Pickup parameters design of square baler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(Supp.):107-109. (in Chinese)
- 王锋德,陈志,王俊友,等.4YF-1300型大方捆打捆机设计与试验[J].农业机械学报,2009,40(11):36-41.
WANG Fengde,CHEN Zhi,WANG Junyou,et al. Design and experiment of 4YF-1300 large rectangular baler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2009,40(11):36-41. (in Chinese)
- 巴隆业.方草捆捡拾压捆机压捆室设计与有限元分析[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
BA Longye. Square hay baler design and bailing room finite element analysis based on ansys[D]. Huhhot:Inner Mongolia Agricultural University,2013. (in Chinese)
- 王德福,张全国.青贮稻秆圆捆打捆机的改进研究[J].农业工程学报,2007,23(11):168-171.
WANG Defu,ZHANG Quanguo. Improvement of round baler for rice straw ensiling[J]. Transactions of the CSAE,2007,23(11):168-171. (in Chinese)
- 郝兴玉,贺刚,董佳佳,等.基于ARIZ算法的方草捆收集车改进设计与实验[J].农业机械学报,2016,47(增刊):254-260,316. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2016s039&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.039.
HAO Xingyu,HE Gang,DONG Jiajia,et al. Improved design and test on collecting wagon of rectangular bale based on ARIZ algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(Supp.):254-260,316. (in Chinese)
- 刘立强,邓克军,付曙光,等.一种方草捆捡拾机:中国,CN203661638U[P].2014-06-25.
- ANDREA Vacca,GIOVANNI Campanella. Modeling and optimization of the control strategy for the hydraulic system of an articulated boom lift[C]//SAE Commercial Vehicle Engineering Congress,2010:427-445.
- 王伟伟.负载敏感系统动态特性与节能分析[D].秦皇岛:燕山大学,2011.
WANG Weiwei. Load sensitive system dynamic characteristics and energy-saving analysis[D]. Qinhuangdao:Yanshan University,2011. (in Chinese)
- 高旭宏,徐向阳,孙迪.传感器在自行式高空作业平台上的应用[J].仪表技术与传感器,2016(6):84-87.
GAO Xuhong,XU Xiangyang,SUN Di. Application of sensors in the self-propelled aerial work platform[J]. Instrument Technique and Sensor,2016(6):84-87. (in Chinese)