

自带传动动力恒频方草捆捡拾压捆机设计与试验^{*}

杨莉 刘贵林 王振华 董忠义 李文广 戴晓军

(中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院, 呼和浩特 010010)

【摘要】 阐述了自带传动动力恒频方草捆捡拾压捆机的基本结构及工作原理,对压捆机的总体结构、捡拾器、输送喂入机构和压缩机构进行了结构设计和参数分析。试验结果表明:本机结构合理、自动化程度高,其成捆率达到了99.1%,规则草捆率为98%,草捆密度达到了130~230 kg/m³,可对牧草、农作物秸秆进行捡拾、压缩和打捆联合作业。

关键词: 方草捆捡拾压捆机 设计 试验

中图分类号: S817.11⁺5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)S0-0147-05

Design and Experiment of Engine-driven Constant Frequency Rectangular Pickup Baler

Yang Li Liu Guilin Wang Zhenhua Dong Zhongyi Li Wenguang Dai Xiaojun

(Huhhot Branch, Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Huhhot 010010, China)

Abstract

The basic structure and work principle of engine-driven constant frequency rectangular pickup baler were introduced. The general structure, pickup, feeding mechanism and pressing mechanism were designed and computed. The result indicated that the baler which could pick up, press and tie grass and crops straw had the characteristics of reasonable structure and high degree of automation. The fully bale rate of the baler was 99.1%, the regular bale rate was 98%, and bale density was 130~230 kg/m³.

Key words Rectangular pickup baler, Design, Experiment

引言

在饲草、秸秆等纤维物料的商品化生产过程中,利用压捆机把饲草、秸秆压成高密度的草捆,再储存、运输,是节省饲草储存空间、降低其运输成本的重要步骤。随着我国草业的发展和农作物秸秆的利用,压捆机的市场需求量越来越大,人们对其性能方面的要求也越来越高。目前我国方草捆捡拾压捆机存在草捆密度低、捆形小、捆绳用量大、压缩设备功率消耗大、生产能力和自动化程度低等问题,已经难以满足我国产业结构调整 and 市场需求。

针对压捆机存在的上述问题,本文设计自带传动动力恒频方草捆捡拾压捆机,以满足对切割晾干后的牧草或农作物秸秆进行捡拾、压缩和打捆联合作业。

1 整机结构及工作原理

1.1 整机结构

自带传动动力恒频方草捆捡拾压捆机主要由捡拾器、输送喂入机构、压缩机构、打捆机构、柴油发动机、传动系统、液压系统、控制系统和过载保护装置等组成。该机采用正牵引和侧牵引2种方式,其主要工作部件沿压捆室纵向对称分布,结构如图1所示。

1.2 工作原理

该压捆机由拖拉机牵引在田间进行打捆作业,通过放在拖拉机驾驶室内的智能控制器调节牵引梁调节油缸,实现整机的正牵引和侧牵引2种作业形式。通过智能控制器启动柴油发动机,由柴油发动机将动力通过传动轴传递到捡拾器、压缩机构及打捆机构。作业过程为:捡拾—输送—喂入—压缩成

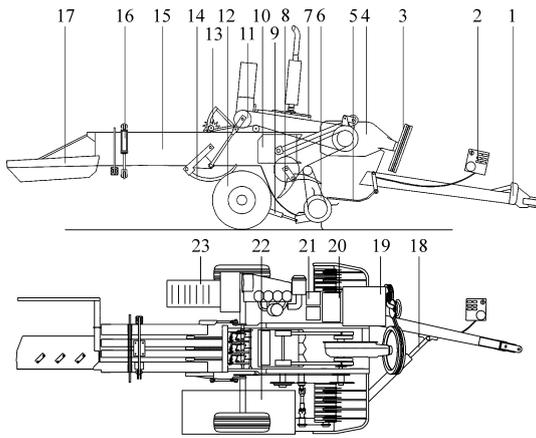


图1 捡拾压捆机总体结构图

Fig.1 Structure of rectangular pickup baler

1. 牵引梁 2. 智能控制器 3. 飞轮 4. 齿轮箱 5. 导向器
6. 捡拾器 7. 柴油发动机 8. 拨草叉 9. 捡拾器升降油缸
10. 活塞 11. 打结器 12. 行走轮 13. 草捆长度调节器 14. 打捆针
15. 压捆室 16. 草捆密度调节油缸 17. 草捆翻放架
18. 牵引梁调节油缸 19. 柴油箱 20. 液压油箱 21. 电瓶
22. 捆绳箱 23. 梯子

形一打捆。当机具前进时,捡拾器弹齿捡起地面上的草条,经导向器送入喂入口,再由拨草叉连续不断地输送至压捆室。活塞在压缩行程中将物料切断、压实并逐渐推向压捆室后部。当压捆室内被压实的物料达到草捆长度调节器调整的长度时,打捆机构离合器接合,打结器开始工作,并沿着草捆的宽度方向打好3道捆绳。随着牧草不断被喂入和压缩,被捆扎好的草捆在后续草捆的推动下被推出压捆室,最后通过放捆板将草捆放到地面上。在作业过程中,发动机转速、草捆密度的调整、捡拾器的升降以及机器由工作状态转换成运输状态等操作过程均可在拖拉机驾驶室内通过智能控制器控制。

1.3 主要技术性能指标

压捆机主要技术规格及性能指标见表1。

表1 主要技术规格及性能指标

Table 1 Main technical specification and performance indexes

参数	数值
捡拾器工作幅宽/mm	1 970
活塞工作速率/次·min ⁻¹	90
草捆密度/kg·m ⁻³	130 ~ 230(饲草含水率为17% ~ 23%时)
草捆截面尺寸(高×宽)/cm×cm	374×568
草捆长度调节范围/mm	350 ~ 1 300
自带发动机功率/kW	≤50
纯工作小时生产率/t·h ⁻¹	6 ~ 10
规则草捆率/%	≥95
捡拾损失率/%	禾本科牧草, ≤2; 豆科牧草, ≤3
成捆率/%	≥98

2 主要工作部件结构设计及参数分析

2.1 配套动力和传动计算

该压捆机由拖拉机牵引作业,由机具自带的柴油发动机提供动力,实现移动式自动捡拾打捆。整机设计总质量约3 850 kg,因此牵引动力采用48 kW以上拖拉机。机具通过自带的柴油发动机将动力由传动轴传递给大飞轮,由大飞轮通过齿轮箱把动力分配给捡拾器、压缩机构及打捆机构。传动系统简图如图2所示。

已知发动机的额定转速是2 300 r/min,发动机飞轮(即小飞轮)半径 $R_1 = 123$ mm,变速箱的减速比为1:9.88,要求活塞工作速率为90次/min,此时大飞轮转速应为890 r/min,计算可得大飞轮半径为 $R_2 = 318$ mm。

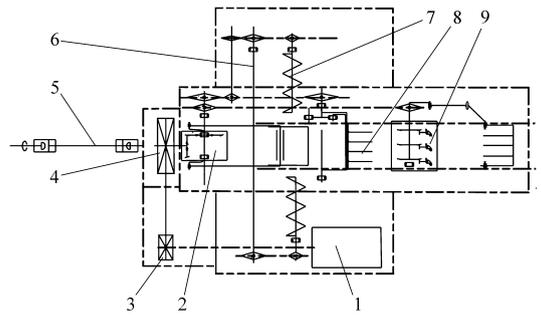


图2 传动系统简图

Fig.2 Sketch of transmission system

1. 柴油发动机 2. 齿轮箱 3. 小飞轮 4. 大飞轮 5. 万向节传动装置
6. 捡拾器 7. 螺旋输送机 8. 拨草叉 9. 打结器

2.2 捡拾器

捡拾器由捡拾弹齿、捡拾弹齿梁、捡拾器护板、定向滚轮机构和捡拾滚筒组成。定向滚轮机构装在捡拾滚筒的一端,由凸轮盘、定向滚轮和曲柄组成,其功能是控制捡拾弹齿的运动轨迹。为保护捡拾器的正常运转,采用了安全离合器传动,以便饲草堆积和堵塞时起到安全作用。捡拾器配置液压升降装置、悬挂浮动装置和仿形轮。捡拾器上方装有导向器,将捡起的饲草导向喂入平台。

2.2.1 捡拾器工作幅宽

捡拾器工作幅宽应与田间铺放的草条宽度相匹配。据有关资料,各种型号割、搂草机和切割压扁机铺放的草条宽度一般在1.2 ~ 1.6 m之间^[1]。由于玉米秸秆等高秆作物其捡拾幅宽较其他物料要大,所以为了适用于多种物料,本机选择捡拾器工作幅宽为1.97 m,既降低了物料在捡拾器两侧的漏捡率,又提高了捡拾器的适用范围。

2.2.2 捡拾滚筒转速

捡拾压捆机作业速度一般小于或等于捡拾器弹

齿端点的线速度^[1]。压捆机的作业速度为 $v = 6 \text{ km/h} = \frac{6\,000}{3\,600} = 1.67 \text{ m/s}$, 捡拾器弹齿的线速度为

$$v_1 = \frac{\pi R n}{30} \geq v = 1.67 \text{ m/s}$$

式中 R ——弹齿端点最大回转半径, 取 215 mm

n ——捡拾器滚筒转速, r/min

在实际作业中草条铺放不匀。为使牧草在地面不致堆积, 捡拾器不致堵塞, 考虑到机器作业的实际情况并结合拖拉机的前进速度, 在上式中应代入捡拾滚筒转速修正系数 k 。选 $k = 1.74$, 则捡拾滚筒设计转速为

$$n = \frac{30vk}{\pi R} = \frac{30 \times 1.67 \times 1.74}{\pi \times 0.215} = 129 \text{ r/min}$$

从图3可以看出, 捡拾器如果按上述给定的结构参数设计, 其漏检区较小, 捡拾遗漏率也小, 完全可以避免牧草在地面堆积和漏捡^[2]。

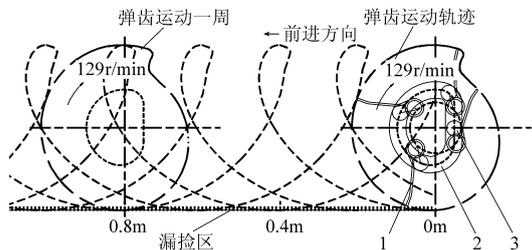


图3 捡拾器运动轨迹图

Fig. 3 Trajectory diagram of pick-up device

1. 弹齿 2. 凸轮盘 3. 滚轮

2.3 输送喂入机构

本机采用横向螺旋输送器和拨草叉输送喂入机构, 饲草由捡拾器捡起向后输送到横向螺旋输送机, 再均匀地输向拨草叉, 由拨草叉将饲草填入压捆室。拨草叉为一曲柄摇杆机构, 主要由曲柄、摇杆和拨叉组成。为防止在喂入口堆积牧草过多而堵塞, 拨草叉驱动链轮处设计过载保护剪切螺栓。拨草叉运动轨迹如图4所示, 由曲柄摇杆机构控制拨叉齿端沿着图中封闭曲线运动。拨叉有两个齿, 前面的齿将饲草输送, 后面的齿将饲草喂入压捆室中。

拨草叉应与活塞同步运动。当活塞处于空行时, 拨草叉处于工作行程, 并将饲草喂入到压捆室内; 当活塞压缩饲草时, 拨草叉处于空行程。故拨草叉曲柄转速应为 90 r/min ; 螺旋输送机转速为 278 r/min ; 曲柄长度为 130 mm 。

2.4 压缩机构

2.4.1 压捆室

压捆室是使饲草压缩成形的腔体, 主要由左侧板、右侧板和活塞导轨等组成。压捆室的横截面尺寸与草场条件、运输和贮存空间有关, 而且要与机具

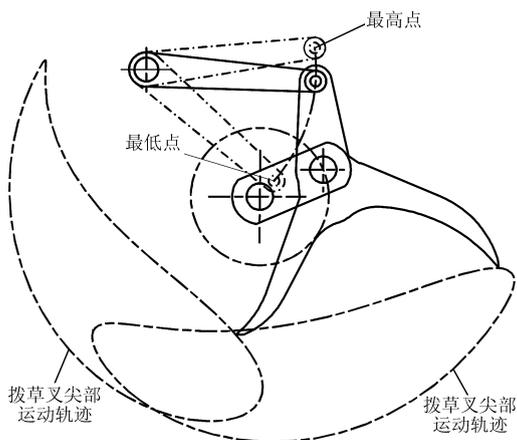


图4 拨草叉运动轨迹图

Fig. 4 Trajectory diagram of feeding grass fork

的喂入量、生产率及配套动力相匹配。通过用户调查及对有关试验资料的分析, 选定压捆室截面尺寸为 $374 \text{ mm} \times 568 \text{ mm}$ 。

2.4.2 活塞

活塞是压捆机直接进行压缩饲草的运动部件, 与输送喂入机构相合作往复运动。活塞的设计很大程度上决定了压捆机的性能以及最终产品的成捆密度^[3]。活塞采用双曲柄连杆机构, 由曲柄、连杆和活塞体等组成。图5为活塞实体模型。活塞体的前端侧面装有切刀, 与压捆室喂入口的定刀相配合, 切断饲草, 以便使草捆层与层之间能够分开。

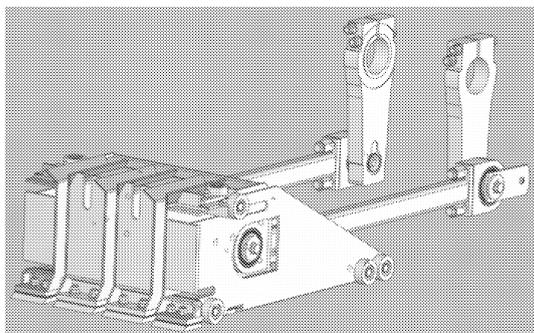


图5 活塞实体模型

Fig. 5 Solid modeling of plunger

2.4.2.1 生产率

生产率计算公式为

$$Q = vg \quad (1)$$

式中 v ——压捆机的作业速度, km/h

g ——每米草条质量, kg/m

当前, 在我国普遍使用的各种割、搂草机制备的草条, 其每米草条质量一般在 $2.5 \sim 3.5 \text{ kg/m}$ 之间, 收获时牧草的含水率为 $17\% \sim 23\%$, 压捆机的作业速度为 6 km/h , 初步估算压捆机的生产率为

$$Q = 6 \times (2.5 \sim 3.5) = 15 \sim 21 \text{ t/h}$$

2.4.2.2 活塞工作速率

活塞工作速率和喂入量与生产率之间的关系为

$$Q = \frac{60Gn'}{1000} \quad (2)$$

式中 G ——喂入量,即压缩1次物料的量,kg/次
 n' ——活塞工作速率,即活塞每分钟压缩次数,次/min

从式(2)可以看出,压捆机的生产率与活塞工作速率和喂入量呈正比关系。在允许的范围内提高活塞工作速率和喂入量可以增加生产率。但两者不可任意提高,它们受到多种因素的限制。活塞工作速率的提高,会增加活塞的惯性力和机器各部的振动,压实的草片由于形成时间较短,内应力得不到有效地减缓和松弛,导致草捆的内应力增大,在成捆出仓后或运输过程当中由于震动而造成散包现象^[4]。由于压捆机的各工作部件在运转过程中尚需保持严格的同步关系,因此随着活塞工作速率的提高,捡拾器、输送喂入机构、打捆机构的转速和工作频率也将增加。有关试验研究表明,喂入量主要与喂入口截面尺寸、连杆强度、传动系统的负担能力等因素有关。随着喂入量的增加,活塞连杆机构和传动系统承受的载荷也将增加。因此,增加喂入量,必须加大上述机构的结构尺寸,刚性要好,导致机具动力消耗的增加^[5]。为了保证机器具有较高的生产率,同时为保证机器各部件结构较为先进、合理,应选择活塞工作速率和喂入量。根据文献[6]选定喂入量为3 kg,活塞工作速率

$$n' = \frac{1000Q}{60G} = \frac{1000 \times (15 \sim 21)}{60 \times 3} = 83 \sim 116 \text{ 次/min}$$

故选择活塞工作速率90次/min。

3 试验结果

3.1 试验条件

试验作物品种为苜蓿,收获时处于初花期-盛花期,苜蓿草长势好,割后苜蓿平均植株长度约63.3 cm。先由切割压扁机和搂草机把苜蓿整秆铺条,铺条平均宽度为1.4 m,铺放均匀、整齐。铺条线密度平均为2.4 kg/m,苜蓿含水率为19.8%左右。

试验地比较平坦,坡度约5°左右,试验条件满足试验要求。

3.2 性能试验

试验前按GB/T 25423—2010《方草捆打捆机》中试验方法有关条款的规定划分了试验区,对压捆机进行了试运转和调试打捆,并将压捆机调整到最佳状态。在机器正常工作状态下进行性能试验,主要进行成捆率、草捆密度、纯工作小时生产率、规则

草捆率和抗摔率测试,并对试验指标测定结果进行分析。

3.2.1 成捆率

成捆率计算公式为

$$S_k = \frac{I_d - I_s}{I_d} \times 100\% \quad (3)$$

式中 I_d ——纯工作时间内累积打捆数,捆
 I_s ——纯工作时间内累积散捆数,捆
 试验中,压捆机在2 h内累积打捆460捆,其中散捆4捆,按式(3)计算成捆率为99.1%。

3.2.2 草捆密度

对苜蓿进行打捆试验中,拖拉机行驶速度保持在6 km/h左右,设定草捆长度为0.75 m,测定压捆机完成草捆的质量和尺寸,并计算草捆密度。草捆密度计算公式为

$$\rho = \frac{G_k}{V_k} \quad (4)$$

式中 G_k ——草捆质量,kg
 V_k ——草捆体积,m³

测量和计算结果见表2,测定草捆密度可达到212 kg/m³。

表2 草捆密度测定记录

Tab.2 Measure record of bale density

试验序号	草捆尺寸 (长×宽×高) /cm×cm×cm	草捆体积 /cm ³	草捆质量 /kg	草捆密度 /kg·m ⁻³
1	75×57×39	166 725	35	209.9
2	75×57×38	162 450	34	209.3
3	75×57×39	166 725	36	215.9
4	75×57×38	162 450	35	215.5
平均值		164 588	35	212.65

3.2.3 纯工作小时生产率

纯工作小时生产率计算公式为

$$E_{cx} = \frac{W_p(I_d - I_s)}{10^3 T_c} \quad (5)$$

式中 W_p ——草捆平均质量,kg/捆
 T_c ——纯工作时间,h

机组工作稳定后,连续作业2 h,从试验区内的草捆中任选10个草捆称量,其平均值为35 kg/捆,并统计纯工作时间打捆数为460捆和累积散捆数为4捆,按式(5)计算得纯工作小时生产率为8 t/h。

3.2.4 规则草捆率

测定草捆4个边长的尺寸,当其最大值与最小值之差不大于长边平均值的10%时,应判为规则草捆;否则,应判为不规则草捆。规则草捆率计算公式为

$$S_g = \frac{I_{gc} - I_{gb}}{I_{gc}} \times 100\% \quad (6)$$

式中 I_{gc} ——被测草捆数, 捆

I_{gb} ——不规则草捆数, 捆

试验中, 每个单向行程取 11 个草捆, 共测 4 次, 累积草捆 44 捆。测量和计算结果见表 3, 由表 3 可知规则草捆率为 98%。

表 3 规则草捆率测定记录

Tab. 3 Measure record of regular bale rate

试验序号	测定草捆数/捆	不规则草捆数/捆	规则草捆率/%
1	11	0	100
2	11	1	91
3	11	0	100
4	11	0	100
累积值	44	1	
平均值			98

3.2.5 抗摔率

抗摔率计算公式为

$$S_k = \frac{I_{kc} - I_{ks}}{I_{kc}} \times 100\% \quad (7)$$

式中 I_{ks} ——累积摔散草捆数, 捆

I_{kc} ——被测草捆数, 捆

试验中, 每个单向行程取 10 个草捆, 共测 3 次, 累积打捆 30 个, 自 5 m 高度自由下落, 每捆连续摔 3 次, 按式(7)计算抗摔率。记录摔散的草捆数和计算结果见表 4。由表 4 可知抗摔率为 97%。

4 结论

(1) 该压捆机把捡拾器、输送喂入机构布置在

表 4 抗摔率测定记录

Tab. 4 Measure record of rate of resisting to fall

试验序号	测定草捆数/捆	摔散草捆数/捆	抗摔率/%
1	10	1	90
2	10	0	100
3	10	0	100
累积值	30	1	
平均值			97

压捆室前端正下方。饲草自地面捡拾起来到由输送喂入机构从压捆室底部直接喂入压捆室内的过程中, 都始终沿着机器纵向轴线流动, 而且流动顺畅。这种布置减少了机具宽度方向的总体尺寸, 增加了捡拾器的幅宽, 捡拾能力更强, 从而提高了机器的喂入量。

(2) 活塞采用双曲柄连杆传动机构, 减小了活塞运动时产生的侧向力。本机采用 3 道捆绳, 比 2 道捆绳更不易散捆, 而且草捆的密度大、体积大, 更适合我国现阶段畜牧业装备的需要。

(3) 捡拾器采用 4 排捡拾弹齿, 在捡拾器同样转速的情况下比传统的 3 排捡拾弹齿的捡拾效果更好。同时采用双侧凸轮盘使得捡拾器弹齿梁受力均匀转动灵活。

(4) 本机自带柴油发动机, 故没有拖拉机与机具之间的传动轴, 因此机组的转弯半径小、机动性能高, 在工作过程中机具的工作转速稳定。

(5) 试验结果表明, 本机的性能指标和作业质量全部达到了使用要求, 性能稳定可靠, 证明该机的主要技术参数选择及主要部件结构设计合理。

参 考 文 献

- 王振华, 张俊国. 9YFQ-1.9 型方草捆拾压捆机捡拾器的参数分析[J]. 草业科学, 2006, 23(6): 106~107.
- 王振华, 王德成, 刘贵林, 等. 方草捆压捆机捡拾器的参数设计[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)
- 赵洪刚, 于建国. 牧草压捆机设计理论探索 and Pro/Engineer 仿真[J]. 农机化研究, 2006(11): 113~116.
Zhao Honggang, Yu Jianguo. Design theory research and Pro/Engineer imitation on pasture pressbaler [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(11): 113~116. (in Chinese)
- 赵洪刚, 于建国. 饲草压捆机压缩活塞结构 ANSYS 分析及压缩理论[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2006, 7(6): 560~563.
Zhao Honggang, Yu Jianguo. Analysis of compressing piston ANSYS and compressing theory on forage baler [J]. Journal of Beihua University: Natural Science, 2006, 7(6): 560~563. (in Chinese)
- 刘志杰. 饲草压捆机的设计及结构分析[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004: 18~19.
Liu Zhijie. Design and structural analysis of hay baler[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2004: 18~19. (in Chinese)