

# 自走式棉秆联合收获机设计与试验<sup>\*</sup>

王锋德 陈 志 董世平 孙玉峰 吴丽丽

(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

**【摘要】** 阐述了自走式棉秆联合收获机的基本结构及工作原理,对总体结构、底盘配置及喂入切碎机构进行了设计和参数计算,采用纵向对称配置、简化喂入机构、交错对称布置切碎滚筒动刀等方法,实现了棉秆收割、切碎、集箱、自卸的一体化。试验结果表明作业流程安排合理,适用性较好,是棉秆资源规模化工业利用的适用设备。

**关键词:** 棉秆联合收获机 自走式 喂入切碎机构 设计 试验

中图分类号: S225.91<sup>+2</sup>

文献标识码: A

## Exploiture and Experiment of Self-walking Cotton-stalk Combine Harvester

Wang Fengde Chen Zhi Dong Shiping Sun Yufeng Wu Lili

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

### Abstract

The basic structure and principle of cotton-stalk combine harvester were introduced. Whole configuration, chassis structure and feed cutter mechanism were designed. The automation in harvest, cut up, collection load, unload, was achieved, by adopting the following methods: principle of lengthways symmetric configuration simplification of feed mechanism, and configuration of the roller cutter by cross symmetry in left and right. The result indicate that the process is reasonable with the good applicability, which accelerates the development of cotton-stalk large-scale utilization.

**Key words** Cotton-stalk combine harvester, Self-walking, Feed cutter mechanism, Design, Experiment

### 引言

加快推进秸秆综合利用,实现秸秆资源化、商品化是国家促进资源节约、环境保护和农民增收的重要举措之一。棉秆木质化程度高、韧皮纤维丰富、容积密度和热值高,是非常好的生物质资源。我国作为世界上最大的棉花生产国和消费国,已形成长江流域、黄河流域和西北内陆三大棉花主产区。据统计,2007年全国棉花种植面积 559 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>,约产棉花秸秆 2 000 万 t。但由于其分散、收储季节性强,现有的小型棉秆田间收运设备已满足不了发电厂大规模工业化利用,急需开发高效率农田棉秆联

合收获设备。

自走式棉秆联合收获机在田间可一次完成棉秆收割、切碎、集箱、自卸至专用运输车,将棉花秸秆的传统分段收获环节浓缩成联合收获一个环节,可实现棉秆收获的机械化,降低棉秆收集综合成本,提高作业效率。

### 1 整机结构及工作原理

#### 1.1 结构

自走式棉秆联合收获机主要由割台、输送桥、喂入装置、切碎装置、发动机、底盘、驾驶室、液压系统和电气系统组成。采用 T 型布置,结构紧凑,配置

收稿日期: 2008-12-02 修回日期: 2009-02-10

<sup>\*</sup> “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B00)

作者简介: 王锋德, 博士生, 主要从事生物质能工程装备技术研究, E-mail: fengdewang@163.com

通讯作者: 陈志, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业机械化工程技术研究, E-mail: chenz@caams.org.cn

合理,结构如图1所示。

## 1.2 工作原理

自走式棉秆联合收获机作业时,随着机器的向前行走,棉秆被收割台上的切割装置切断,经割台螺旋输送机送至输送过桥,由输送过桥送至喂入装置,再由喂入装置中的喂入对辊将棉秆输送至滚筒式切碎装置进行切碎;切碎后的棉秆借助甩刀高速旋转所产生的惯性力和气流作用力通过抛送筒将棉秆抛送至储料箱,储料箱充满后,由液压装置将切碎的棉秆卸至运输车內。

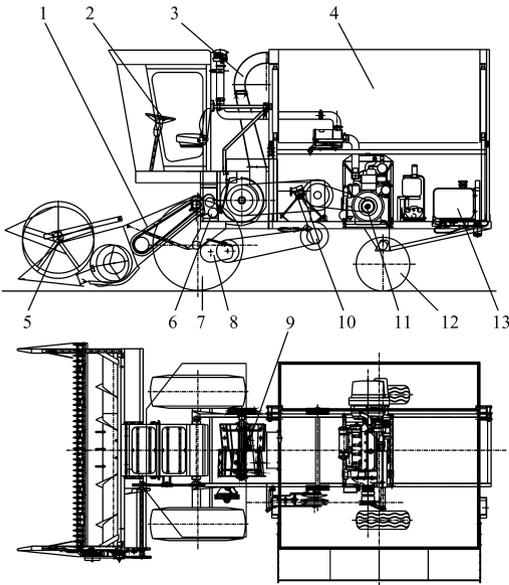


图1 自走式棉秆联合收获机总体结构图

Fig.1 Structure of self-walking cotton-stalk combine harvester

1. 输送过桥 2. 驾驶室 3. 抛送筒 4. 储料箱 5. 割台 6. 喂入对辊 7. 驱动前轮 8. 变速箱及离合器 9. 切碎部件 10. 传动系统 11. 发动机 12. 后转向轮 13. 油箱

## 1.3 主要技术参数

按照棉秆收获的要求,确定了联合收获机的主要参数,如表1所示。

表1 自走式棉秆联合收获机技术参数

Tab.1 Parameter of self-walking cotton-stalk combine harvester

名称	指标值
收割(捡拾)幅宽/mm	2 750
切碎刀片结构型式	组合刀式切碎滚筒
割茬高度/mm	≤100(垄作);≤60(平作)
主茎切段长度/mm	≤60
外形尺寸/mm×mm×mm	6 510×2 800×3 293
发动机功率/kW	64
整机质量/kg	5 280
作业速度/km·h <sup>-1</sup>	3~5

## 2 工作部件结构设计及参数分析

### 2.1 整机结构设计

总体配置采用割台、驾驶室、喂入机构、切碎滚筒及发动机等全部沿主机纵轴线对称配置的方式。为保证割台收割时能有较低的割茬,需要将切碎滚筒的位置尽量降低,其解决方案是把前管梁下移,行走变速箱移至物料切碎装置的前下方,这样既可以简化喂入机构,又可将发动机横向配置于主机后部。

喂入机构、切碎滚筒等工作部件的传动轴全部垂直于主机的纵轴线,同时与发动机的动力输出轴线平行,这样可简化主传动设计,发动机位于后部还可减小驾驶室的噪音。割台、喂入机构、切碎滚筒与主机采用独立单元结构,用快速挂接机构进行相互连接,并全部配置于主机前驱动桥横梁前方,整体可绕切碎滚筒中心转动。

驱动桥采用前进三挡、后退一挡变速箱,每挡采用液压控制的无级变速系统。驾驶室采用独立密封结构,内配各种监控仪表、按钮和操纵手柄。液压系统采用四路手动阀,分别控制割台油缸升降、拨禾轮油缸升降、卸料及平衡油缸升降和行走的无级变速。

### 2.2 传动比与功耗

#### (1) 变速机构

根据整机布置的要求,变速箱选用D3加强型,即加大离合器摩擦片直径,加粗半轴。该变速箱各挡位传动比与行走速度如表2所示。

表2 减速机构技术参数

Tab.2 Parameter of reduction gearbox

挡位	齿轮传动次序	传动比	行走速度/km·h <sup>-1</sup>
I	12→50→11→63→13→79	145.018	1.55~3.45
II	22→41→11→63→13→79	64.863	3.43~7.61
III	37→20→11→63→13→79	18.813	9.25~20.51
倒	22→15→19→50→11→63→13→79	62.448	3.62~8.03

#### (2) 最大行走功耗

棉秆联合收获机行走部件所需功率与机器前进速度、机器质量以及土壤状况有关。可分为道路行走和作业行走两种型式进行计算。其计算公式如下<sup>[2]</sup>

$$N_x = \frac{m_x g v_{mx} f_x}{\eta_x} \quad (1)$$

式中  $N_x$ ——收获机行走所需功率,kW

$m_x$ ——收获机满载质量,kg

$g$ ——重力加速度  $v_{mx}$ ——行走速度,m/s

$f_x$ ——滚动阻力系数,棉田为0.2,道路为0.11

$\eta_x$ ——行走装置传动效率系数

式(1)中,  $\eta_x$  一般取 0.85~0.9, 棉田取 0.88, 道路上取 0.9;  $m_x$  取值为 6 300 kg。由式(1)得, 道路行走时, 行走速度  $v_{dx} = 20.51 \text{ km/h} = 5.6972 \text{ m/s}$ , 行走功耗  $N_{dx} = 43 \text{ kW}$ ; 作业行走时, 作业速度  $v_{zx} = 5 \text{ km/h} = 1.39 \text{ m/s}$ , 行走功耗  $N_{zx} = 19 \text{ kW}$ 。

## 2.3 喂入和切碎机构设计

### 2.3.1 喂入和切碎装置

喂入装置采用上、下各一个喂入辊, 上喂入辊可以随喂入量的大小上下浮动, 由压簧压紧, 使喂入的作物始终处于压实状态, 这样有利于切碎, 并可保证切碎质量。为了提高对棉秆的抓取能力, 上喂入辊采用锯齿叶片外槽轮结构, 下喂入轮采用光滑轮辊结构固定在机架上, 只能转动不能移动。上喂入辊直径为 130 mm, 下喂入辊直径为 140 mm, 两个喂入辊直径较小, 这能使喂入辊尽量靠近切碎装置的刀刃、有效地压紧棉秆层, 从而有利于提高切碎质量和减少功率消耗。工作时, 喂入装置把从割台切割输送来的棉秆层压紧并均匀可靠地喂入切碎装置, 上喂入轮抬起高度 10~50 mm, 喂入口宽度 720 mm。喂入对辊结构如图 2 所示。滚筒式切碎装置结构简图如图 3 所示, 主要包括动刀、滚筒体、凹板及定刀组件等。

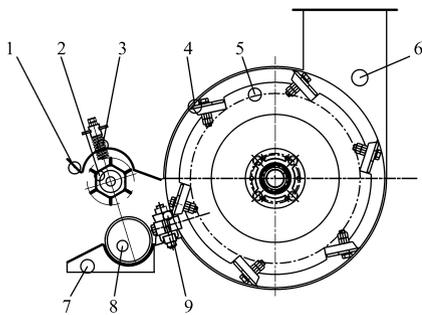


图 2 喂入对辊与切碎滚筒示意图

Fig.2 Structure of symmetrical feed roller and cutter mechanism

1. 上输送辊上护板 2. 上输送辊 3. 张紧弹簧 4. 动刀 5. 切碎滚筒体 6. 出料壳体 7. 下输送辊护板 8. 下输送辊 9. 定刀

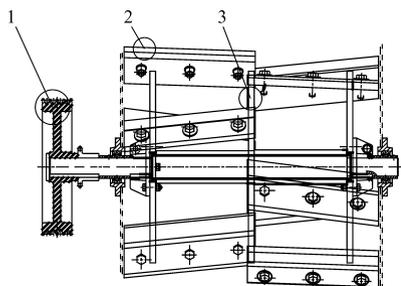


图 3 切碎滚筒体装配图

Fig.3 Assembling drawing of cutter mechanism

1. 输入带轮 2. 定刀 3. 切碎滚筒体

滚筒式切碎装置的圆周直径 600 mm, 动刀分左右两组排列, 均匀交错地对称安装在滚筒体上, 每组 6 片, 均匀地与轴线呈  $6^\circ$  布于筒体上, 以保证用滑切方式将棉秆切碎, 从而减少功率消耗, 改善切碎质量<sup>[3]</sup>。切碎装置在动刀与定刀的配合下切碎物料, 并将切碎物料沿抛送筒直接抛出。定刀组件上的定刀在偏心螺母的作用下可以前后移动, 以保证动刀和定刀之间的间隙, 间隙一般为 0.5~1.0 mm<sup>[4]</sup>。

### 2.3.2 棉秆切碎长度

为了满足不同要求, 棉秆散料应能获得不同长度的切段。生物质能发电厂水冷振动炉排式秸秆锅炉设备要求棉秆的切碎长度小于 50 mm<sup>[5]</sup>。棉秆理论切断长度<sup>[6]</sup>

$$L_p = \frac{60\,000 v_w}{n_2 z} \quad (2)$$

式中  $L_p$ ——棉秆切碎长度, mm  
 $v_w$ ——喂入辊喂入速度, m/s  
 $n_2$ ——切碎滚筒转速, r/min  
 $z$ ——切碎滚筒动刀片数

本设计选用参数: 喂入辊外径  $D_1 = 0.13 \text{ m}$ , 喂入辊转速  $n_1 = 526 \text{ r/min}$ , 切碎滚筒转速  $n_2 = 1\,208 \text{ r/min}$ , 切碎滚筒圆周上均布 6 片刀。故喂入辊喂入速度  $v_w = 0.13 \times 3.141\,59 \times 8.756\,6 = 3.58 \text{ m/s}$ , 理论上棉秆切碎长度为 29.6 mm。

由式(2)可知, 改变切碎滚筒转速  $n_2$  或刀片数量  $z$ , 可以改变棉秆的切碎长度。

### 2.3.3 切碎滚筒参数

切碎滚筒采用直抛式直刃切碎刀, 根据试验研究结果<sup>[7]</sup>, 满足茎秆切段长度要求的切刀线速度可满足抛送距离的要求, 切刀线速度是影响切碎装置工作性能指标(包括功率消耗、棉秆切碎长度和抛送距离等)的最主要因素。所以采用多刀片和较低切刀线速度可以有效地降低功率消耗。切碎滚筒采用 6 片刀, 在满足切碎长度在 30~50 mm 时, 取切碎滚筒的转速  $n_2 = 1\,208 \text{ r/min}$ ; 切碎滚筒刀刃外圆直径  $D_2 = 600 \text{ mm}$ , 所以棉秆切碎后脱离切碎滚筒的线速度  $v_2 = 37.95 \text{ m/s}$ , 符合气流输送的初始速度条件<sup>[8]</sup>。

## 3 试验结果

### 3.1 试验指标

(1) 切碎长度合格率

$$\eta_m = \frac{m}{M} \times 100\% = \frac{M - m'}{M} \times 100\% \quad (3)$$

式中  $\eta_m$ ——切碎长度合格率, %  
 $m$ ——合格棉秆总质量, g

$M$ ——取样棉秆总质量, g

$m'$ ——不合格棉秆总质量, g

### (2) 割茬高度

每个测定区内抽取 5 株棉秆, 测量割茬高度, 计算其平均值。

### (3) 平均喂入量

$$m_0 = M_0 / T \quad (4)$$

式中  $m_0$ ——平均喂入量, kg/s

$M_0$ ——收获的棉秆总质量, kg

$T$ ——作业时间, s

### (4) 生产能力

$$E = 10^{-4} LB / t \quad (5)$$

式中  $E$ ——生产能力,  $\text{hm}^2/\text{h}$

$L$ ——测定区长度, m

$B$ ——测定区宽度, m

$t$ ——作业时间, h

## 3.2 试验条件

棉花种植方式为穴播垄作, 垄高 80 mm, 棉秆平均株高 1 100 mm, 冠部直径 611 mm, 棉秆直径 12 mm, 平均株距 240 mm, 行距 900、400 mm, 棉秆产量 5 366  $\text{kg}/\text{hm}^2$ , 秸秆含水率 24.3%~51.9%。

## 3.3 试验测试结果

### (1) 棉秆切碎效果试验

合格的切碎长度为 50 mm, 取样 5 次, 取其平均值。如表 3 所示, 合格率为 97.94%。

表 3 棉秆切碎长度合格率测定记录表

Tab.3 Measure of qualification for cotton-stalk cut length

序号	取样总质量/g	不合格棉秆质量/g	合格率/%
1	1 118.70	15.7	98.59
2	1 209.7	20.6	98.30
3	1 558.7	48.1	96.91
4	858.6	20.8	97.58
5	1 053.5	17.8	98.31
平均			97.94

### (2) 割茬高度试验

穴播垄作、垄高 80 mm 的条件下, 割茬高度试验结果如表 4 所示, 平均割茬高度为 77.3 mm。

### (3) 生产能力试验

表 4 割茬高度测定记录表

Tab.4 Measure record of cut stubble height mm

序号	12月11日	12月12日	12月13日
1	80	78	75
2	75	70	76
3	82	72	80
4	77	82	83
5	83	74	73
平均	79.4	75.2	77.4

在上述试验条件下, 分别在规定时间内进行作业试验, 测得其平均作业效率 0.949  $\text{hm}^2/\text{h}$ 、平均喂入量 1.46  $\text{kg}/\text{s}$ , 试验结果如表 5 所示。

表 5 生产能力和喂入量测定记录表

Tab.5 Throughput and feed quantity record

序号	试验区面积/ $\text{hm}^2$	作业时间/min	作业效率/ $\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$	棉秆总质量/t	喂入量/ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
1	0.131	10	0.787	0.726	1.21
2	0.153	10	0.918	0.852	1.42
3	0.487	30	0.974	2.700	1.50
4	1.050	60	1.050	5.796	1.61
5	2.040	120	1.020	11.376	1.58

## 4 结论

(1) 喂入机构采用上、下各一个喂入辊, 上喂入辊可以随喂入量的大小上下浮动, 用压簧压紧, 使喂入的作物始终处于压实状态, 有利于保证切碎质量。

(2) 滚筒式切碎装置中定刀轴向固定, 动刀与轴线倾斜布置, 分左右交错对称布置在滚筒体上, 刃口向内倾斜一定角度, 产生滑切, 减少切碎阻力, 实现棉秆高效切碎。

(3) 整机结构采用纵向对称配置原则, 机器的割台、喂入机构、直抛式切碎滚筒均在主机纵向恰好位于主机纵轴线对称位置, 与发动机的动力输出轴线平行, 简化了主传动设计。采用模块化单元设计, 可根据动力大小, 组合不同割幅和不同的切碎长度。

(4) 自走式棉秆联合收获机能同时完成田间棉秆的收割、喂入、切碎、集箱、自卸等功能, 试验结果表明作业流程安排合理, 适用性较好, 工作可靠、安全。提高了棉秆收获效率, 降低了成本, 是棉秆资源规模化工业利用的适用设备。

## 参 考 文 献

- 1 中华人民共和国国家统计局. 2007 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- 2 中国农业机械化科学研究院《实用机械设计手册》编写组. 实用机械设计手册[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1998.

## 参 考 文 献

- 1 鲁植雄,吴小平,Perdok U D,等. 耕作土壤表面不平度分析[J]. 农业机械学报,2004,35(1):112~116.  
Lu zhixiong, Wu Xiaoping, Perdok U D, et al. Analysis of tillage soil surface roughness[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(1):112~116. (in Chinese)
- 2 侯占峰,鲁植雄,赵兰英. 耕作土壤地表不平度的分形特性[J]. 农业机械学报,2007,38(4):50~53.  
Hou Zhanfeng, Lu Zhixiong, Zhao Lanying. Fractal behavior of tillage soil surface roughness[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(4):50~53. (in Chinese)
- 3 李志强,马吉胜,张亚欧,等. 基于 Matlab 的路面不平度功率谱计算[J]. 测控技术,2006(3):77~79.  
Li Zhiqiang, Ma Jisheng, Zhang Yaou, et al. Power spectrum computation of road roughness based on Matlab[J]. Measurement and Control Technique, 2006(3):77~79. (in Chinese)
- 4 马俊福,周晓军,徐志农. 路面不平度模拟及其可视化系统的研究[J]. 机床与液压,2006(4):187~189.  
Ma Junfu, Zhou Xiaojun, Xu Zhinong. A study on the system of road roughness simulation and its visualization[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2006(4):187~189. (in Chinese)
- 5 Taconet O, Ciarletti V. Estimating soil roughness indices on a ridge-and-furrow surface using stereo photogrammetry[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(1): 64~76.
- 6 Frédéric Darboux, Huang Chihua. An instantaneous-profile laser scanner to measure soil surface microtopography[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2003,67(1): 92~99.
- 7 陈塑寰. 结构动态设计的矩阵摄动理论[M]. 北京:科学出版社,1999.
- 8 余志生. 汽车理论[M]. 第3版,北京:机械工业出版社,2005.
- 9 Ahmed A. Dynamics of multibody systems[M]. Edinburgh: Cambridge University Press, 2005.
- 10 Werner Schiehlen. Computational dynamics: theory and applications of multibody systems[J]. European Journal of Mechanics A/Solids, 2006,25(4): 566~594.

## (上接第 70 页)

- 3 李百傲. 单叶双曲面平板直刀滚筒式切碎器的研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.  
Li Baijiao. Research on the one-sheet hyperboloid cylindrical cutter with flat surface and straight edge[D]. Beijing: China Agricultural University,2005. (in Chinese)
- 4 成大先. 机械设计手册:第3卷[M]. 第四版. 北京:化学工业出版社,2002.
- 5 [荷兰]雅克·范鲁,耶普·克佩耶. 生物质燃烧与混合燃烧技术手册[M]. 田宜水,等,译. 北京:化学工业出版社,2008.
- 6 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- 7 贾红雷,王增辉,安希忠. 直抛式曲面直刀圆筒式切碎刀的实验研究[J]. 吉林农业大学学报,1990,15(2):72~77.  
Jia Honglei, Wang Zenghui, An Xizhong. The test of the direct-throwing curve-surfaced straight-bladed barrel-like chopping cutter[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1990,15(2):72~77. (in Chinese)
- 8 刘洋. 玉米青贮机滚筒式切碎装置的设计与有限元分析[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2008.  
Liu Yang. Design and finite element analysis of roller shredding mechanism for silage maize harvester[D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2008. (in Chinese)
- 9 燕明德,贾卫东. 翅碱蓬联合收获机关键部件设计与试验[J]. 农业机械学报,2008,39(9):56~59.  
Yan Mingde, Jia Weidong. Experiment and design on key parts of suaeda-heteroptera-kitag combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(9):56~59. (in Chinese)
- 10 陈霓,龚永坚,陈德俊,等. 全喂入联合收获机双动刀切割器与驱动机构研究[J]. 农业机械学报,2008,39(9):60~63,29.  
Chen Ni, Gong Yongjian, Chen Dejun, et al. Double knife section reciprocating cutter and drive mechanism for combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(9):60~63,29. (in Chinese)