

稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机设计*

陈玉仑 丁为民 汪小■ 杨宏图

(南京农业大学工学院, 南京 210031)

【摘要】 设计了一种集稻麦收获开沟埋草等功能于一体的复式作业机械, 该机采用联合作业方式, 一次作业可完成联合收获、开沟、埋草等作业。田间试验表明, 该机传动合理、工作可靠、开沟作业质量稳定, 梯形沟上、下口宽分别约为 220 mm 和 160 mm, 平均深度为 193 mm, 满足农艺埋草、排水的要求。

关键词: 联合收获 开沟 秸秆还田 复式作业 设计

中图分类号: S225.3

文献标识码: A

Design of Harvest Ditch and Stalk-disposing Machine

Chen Yulun Ding Weimin Wang Xiaochan Yang Hongtu

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

A multifunctional machine with functions of harvest, ditch and stalk-disposing was developed, by using which, the working procedure of harvest, ditch and stalk-disposing can be implemented in one work operation. Test results showed that the power transmission system is reasonable, firm ditch device works well, trapezoid ditch (193 mm mean depth, 220 mm top and 160mm bottom width) can be obtained and meets the agricultural requirement.

Key words Combine harvest, Ditch, Stalk return to cropland, Combined operation, Design

引言

机械化秸秆还田可及时处理大量农作物秸秆, 避免因秸秆腐烂、焚烧造成的环境污染问题, 并可增加土壤有机质含量、培肥地力、提高农作物产量^[1]。为了进行秸秆还田利用, 我国研制了多种农作物秸秆还田机械, 如秸秆粉碎还田机、反转旋耕灭茬机、水田埋草机等^[1~4]。但这些机具都是在农作物收获后再进行一次作业使秸秆还田, 且这些机具的作业质量及功率消耗等方面都存在一些问题, 未被广大农民所认同和接受。在我国稻麦两熟地区, 有墒沟埋草处理田间秸秆法^[5], 即在稻麦联合收获后, 用开沟机在田间开出墒沟, 再用人工将联合收获机排出的秸秆埋入墒沟内, 实现秸秆还田并利于田间排水。同时, 埋入墒沟的秸秆在腐解过程中, 不接触下茬作物, 不会产生“烧苗”。这种方法的缺点是机

器需两次作业(联合收获、开沟)及人工埋草。为了能方便、有效地处理农作物秸秆, 降低机具两次作业的动力消耗及作业成本, 本文设计一种能一次完成联合收获、开沟、埋草等作业的多功能复式作业机具——稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机, 实现机械化秸秆还田, 提高作业效率。

1 总体方案

多功能一体机是在现有的全喂入式联合收获机上加装开沟导(埋)草装置, 在联合收获的同时, 完成机械化墒沟埋草。无论是联合收获, 还是开沟埋草, 都具有成熟的技术, 因此本机设计的关键是集成配套, 将各部分成熟的技术和工作部件集成、组合起来, 使联合收获与开沟作业动力匹配、速度同步、动作协调、平衡, 不相互干涉和影响。

稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机主要由割

收稿日期: 2008-09-09 修回日期: 2008-11-05

* 江苏省农机三项工程项目(NJ2006-41)、江苏省科技攻关资助项目(BE2007354)和江苏省科技支撑计划资助项目(BE2008315)

作者简介: 陈玉仑, 博士生, 主要从事农机现代设计方法研究, E-mail: chenylun01@163.com

通讯作者: 丁为民, 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械理论与设计研究, E-mail: wmding@jlonline.com

台、输送槽、脱粒清选装置、履带行走装置以及开沟、导草装置等组成,如图 1 所示,机器的主要性能指标及技术参数如表 1 所示。作业时,收获部件一边收割、脱粒,一边完成秸秆的向后输送,并将秸秆从出草口经导草装置排出;与此同时,开沟装置对收获后的土壤进行开沟,墒沟的位置与导草装置对齐,使出草口排出的秸秆落入沟内,达到机械化墒沟埋草的目的。两沟之间的田面可种植下茬作物,待下茬作物收获时,重复上述作业工序,而开沟位置按一定规律排列(图 2)。这样经过几年,整个田间被开沟、埋草一遍,相当于进行了一次机械耕翻,达到秸秆还田

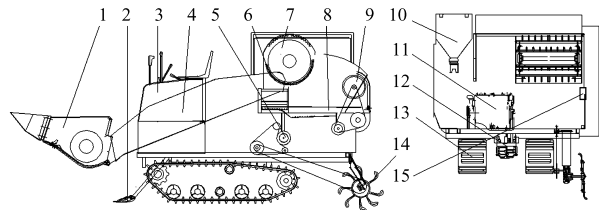


图 1 多功能一体机结构简图

Fig. 1 Structure diagram of multifunctional machine

- 1. 割台 2. 二次切割器 3. 操纵台 4. 输送槽 5. 清选风扇
- 6. 凹板筛 7. 脱粒滚筒 8. 清选筛 9. 后风机 10. 粮箱
- 11. 发动机 12. 变速器总成 13. 履带行走装置 14. 开沟总成
- 15. 排草口

表 1 多功能一体机主要参数

Tab.1 Parameters of multifunctional machine

参数	数值	参数	数值
外形尺寸(长×宽×高)/mm×mm×mm	5 300×2 250×2 350	开沟方式	圆盘旋转式
整机质量/kg	2 195	开沟刀型式	旋耕弯刀
配套动力/kW	46	刀片数(切土刀+削壁刀)	8+2
割幅/m	1.8	刀盘转速/r·min ⁻¹	350
清选筛型式	振动筛	刀盘回转直径/mm	680 或 700
最小地隙/mm	260	作业速度/km·h ⁻¹	≤2.2
接地压力/kPa	18	作业效率/hm ² ·h ⁻¹	0.27~0.40

序号	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4					
田	A1					A1					A1														
面					B1	A2				B1				A2			B1				A2				
墒				B2	A3						B2			A3						B2		A3			
沟	B3		A4						B3			A4					B3		A4						
	B4		A5						B4			A5					B4		A5						
						B5										B5									

注:A1、A2、A3、A4、A5 分别为第 1、2、3、4、5 年夏季开的墒沟(埋入麦草);B1、B2、B3、B4、B5 分别为第 1、2、3、4、5 年秋季开的墒沟(埋入稻草)。

图 2 开沟位置示意图(以 5 年为 1 个周期)

Fig. 2 Sketch map of ditch positions (5 years as a period)

与少耕、轮耕结合的作业效果^[6-7]。

2 主要部件设计

由于多功能一体机是在现有全喂入式联合收获机上加装开沟、导草装置而成,其主要问题是要实现收获与开沟作业动力匹配、速度同步、动作协调。因此,其关键部件是与联合收获机配套的传动系统及开沟装置等。

2.1 传动系统

多功能一体机传动系统主要包括发动机胶带轮、中间轴以及割台、脱粒清选、行走、开沟等各装置的传动系统。传动系统采用带传动、链传动及齿轮传动相结合,其中胶带兼有离合器的作用,即通过胶带的张紧与放松实现动力的结合与分离。为了在联

合收获的同时又能进行开沟作业,设计了中间轴、尾梁过渡轴、传动链轮组、变速箱等在内的开沟装置传动系统及开沟导草装置^[8]。

通过重新设计中间轴(加长),并在其上加装链轮,使中间轴不仅传递原联合收获机各装置所需动力,还分配出开沟所需动力(在原联合收获机上加装开沟装置,通过降低割幅减小收获动力,分配出开沟动力)。发动机动力通过发动机胶带轮(图 3),一路传向行走装置的无级变速器输入胶带轮,另一路传向中间轴。动力传递到中间轴后,一路通过胶带、链条传向割台的拨禾轮、切割器和螺旋输送机,一路通过胶带、链条传向脱粒滚筒、输送槽,同时通过胶带、链条和齿轮分别传向清选筛、清选风机和开沟刀盘。

开沟刀盘(反转)位于出草口的后下方,为了将

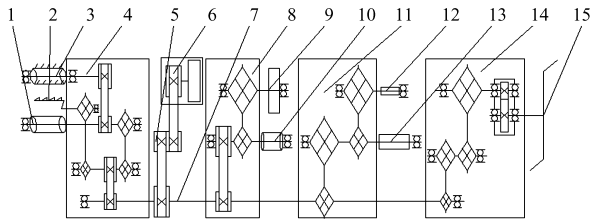


图3 多功能一体机传动系统结构简图

Fig.3 Structure diagram of transmission system for multifunctional machine

- 1.螺旋输送机 2.切割器 3.拨禾轮 4.割台传动系统 5.发动机胶带轮 6.变速器胶带轮 7.中间轴 8.脱粒输送传动系统 9.输送槽 10.脱粒滚筒 11.清选装置传动系统 12.清选筛 13.清选风机 14.开沟装置传动系统 15.开沟刀盘

开沟动力从机器左侧中部的中间轴,传递到开沟刀盘,设计了尾梁过渡轴、传动链轮组及齿轮副(图4,变速箱中)。齿轮副不仅可以改变刀盘旋转方向,还可以改变传动比。尾梁过渡轴通过过渡轴支架固定在机器尾梁上;变速箱通过螺栓固定在刀盘旋转底座上,并与其一起通过销轴与固定在机器尾梁上的刀盘固定支架连接。两级传动链皆为套筒滚子链,传动比分别为1.78和1.42;齿轮副为模数4 mm的直齿圆柱齿轮,传动比为1.8。这样,从中间轴到刀盘轴的总传动比约为4.56。通过优化设计^[9-12],合理分配传动比的同时,不仅使传动机构结构尺寸较小,还使联合收获、开沟埋草以及行走装置获得各自所需的功率和工作速度,保证各部分协调工作。

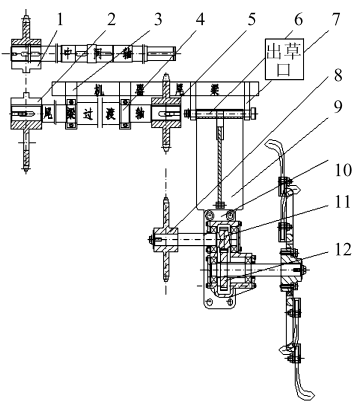


图4 开沟装置传动系统结构简图

Fig.4 Structure diagram of transmission system for ditch device

- 1.链轮I 2.链轮II 3.过渡轴支架 4.轴承座 5.链轮III 6.销轴 7.固定支架 8.链轮IV 9.刀盘旋转底座 10.变速箱 11.主动齿轮 12.被动齿轮

2.2 开沟装置

开沟装置为圆盘式,主要由双作用油缸、刀盘体、开沟刀、削壁刀以及刀盘法兰等组成,如图5所示。开沟装置的升降通过油缸的伸长或缩短来实现,动力经变速箱、刀盘轴、刀盘法兰传递至开沟刀

盘。开沟刀包括8把切土刀和2把削壁刀,切土刀采用ⅢS175型旋耕弯刀,削壁刀为无正切刃的平面刀。切土刀在刀盘两侧左右弯交替、星状对称安装,以保证刀盘每转过一定角度就有一把刀入土,以减小扭矩波动,平衡侧向力^[13]。削壁刀安装于刀盘两侧,相位上相差180°;削壁刀由根至尖部的平面与刀盘中心平面呈约15°夹角,以保证所开沟为梯形。在开沟刀盘的前上方安装了由两块弧形铁板加工成的分土板。被开沟刀片抛出的土壤在与分土板碰撞过程中,均匀抛向刀盘两侧,使抛出的土块较碎,直径小于4 cm的占90%以上。

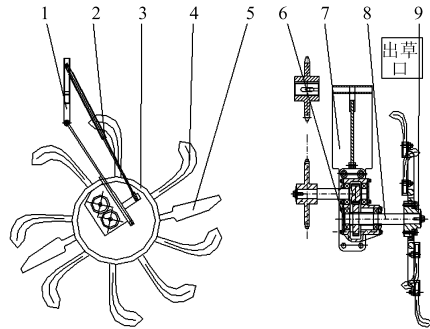


图5 开沟装置结构简图

Fig.5 Structure diagram of ditch device

- 1.油缸支架 2.油缸 3.刀盘 4.切土刀 5.削壁刀 6.变速箱 7.变速箱旋转底座 8.刀盘轴 9.刀盘法兰

作业时,转动刀盘、伸长油缸、降低刀盘,待刀盘降到一定位置时,刀片切土,进行收获及开沟作业。地头转弯、过埂或运输前,收获及开沟装置停止工作,随后缩短油缸、提高刀盘,如此可完成收获及开沟作业。开沟深度的调整,通过改变油缸的伸长量来实现。

3 田间试验

3.1 试验条件

2008年6月在江苏省姜堰市进行田间试验。试验地作物为品种扬麦16,面积172 m×50 m(约0.86 hm²),田间作物状况及土壤条件如表2所示。

3.2 试验内容及测定方法

目前,我国稻麦联合收获机和开沟机都有各自的试验方法^[13-14],但多功能一体机没有相应的测试标准。鉴于该机是在现有成熟的联合收获机上加装开沟装置而开发的,因此在重点参照开沟机试验标准基础上,针对该机的收获、开沟及墒沟埋草功能,提出适宜评价指标,以便对该机作业效果进行评价。评价指标主要有:喂入量、开沟质量、作业效率、秸秆入沟率等。

表2 田间作物状况及土壤条件

Tab.2 Crop and soil condition in field

参数	植被量/kg·m ⁻²	产量/kg·hm ⁻²	茎秆含水率/%	籽粒含水率/%	土壤含水率/%	土壤坚实度/MPa
数值	1.54	6 816(湿重)	56.46	17.1	34.38	1.07

3.2.1 喂入量的测定

机器正常作业时,分别接取机器通过测定区内的籽粒、秸秆等排出物,并随即分别称量,同时记录机器通过测定区所用的时间,测定5个行程取平均值,喂入量为

$$q = \frac{W_1 + W_2}{t} \quad (1)$$

式中 W_1 ——测定区内接取的籽粒质量
 W_2 ——测定区内接取的秸秆质量
 t ——机器通过测定区的时间

3.2.2 开沟质量的测定

沿机器作业方向上,在清除沟底回土及沟边撒落土后,用直尺测定沟深及沟的上、下口宽,同时测量土壤在沟两边的抛撒距离。每个行程内等距离测量对应点的沟形截面及抛土距离不少于5个,取均值,分别计算沟深平均值、沟深标准差及沟深变异系数

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} a_{ji}}{n_j} \quad (2)$$

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (a_{ji} - a_j)^2}{n_j - 1}} \quad (3)$$

$$V_j = \frac{S_j}{a_j} \times 100\% \quad (4)$$

式中 a_j ——第 j 个行程的沟深平均值
 a_{ji} ——第 j 个行程中第 i 个测点的沟深值
 n_j ——第 j 个行程中的测定数
 S_j ——第 j 个行程的沟深标准差
 V_j ——第 j 个行程的沟深变异系数

3.2.3 作业效率的计算

按生产考核要求,分别记录纯生产作业、地头转弯、卸粮装袋称量、开沟深度调整及机器故障排除等时间。并根据生产作业时间及作业面积计算作业效率。

3.2.4 秸秆入沟率的计算

沿机器作业方向,在每个行程内根据排出秸秆分布状况,选择有代表性的秸秆排放段,分别收集10 m长度上沟内秸秆和沟外秸秆进行称量,按沟内秸秆质量与10 m测定区内秸秆总质量的比值,计算秸秆入沟率。

3.3 试验结果及分析

3.3.1 喂入量及作业效率

试验表明,除在不利于机器连续作业的地头空间,由于操作不慎、转弯过程中刀盘横扫机耕道(碎石路)造成削壁刀折断外,没有出现其他机器故障。在172 m×50 m的作业面积上,机具纯作业时间为2.7 h,地头转弯为1.25 h,卸粮装袋称重及开沟深度调整时间分别为3.3 h和0.82 h,加上前面预备试验,样机总的作业面积约为2.67 hm²,总作业时间超过25 h。

表3 多功能一体机与原联合收获机作业效率的比较

Tab.3 Comparison of multifunctional machine with original combine harvester

测试项目	多功能一体机	原联合收获机
作业速度/km·h ⁻¹	1.69~1.87	2.16~3.96
喂入量/kg·s ⁻¹	0.58~0.64	0.74~1.35
收获作业效率/hm ² ·h ⁻¹	0.30~0.34	0.39~0.71
开沟耗时/h·hm ⁻²	2.67~2.96 (免去)	3.57~4.55 (另行开沟)

由表3可以看出,多功能一体机及原联合收获机收获作业平均效率分别约为0.32 hm²/h和0.55 hm²/h。与原联合收获机相比,多功能一体机由于配套动力不足,其收获作业效率有所下降(多功能一体机和原联合收获机的收获质量基本没有差别,损失率、破碎率分别小于或等于1.5%、2.0%)。但由于多功能一体机进行复式作业,其每公顷作业耗时约为3.12 h;而若先收获、再开沟,按每隔2.0 m开一条沟,每公顷约开沟5 000 m(农艺上畦面宽1.8~2.0 m,作业速度1.1~1.4 km/h^[15-16]),在不计人工埋草的情况下,则每公顷仅收获及开沟作业就耗时约5.82 h(收获、开沟耗时分别约为1.82 h、4.0 h)。由此可知,多功能一体机综合作业效率较高。

3.3.2 开沟质量及秸秆入沟率

开沟装置开出梯形沟的上、下口宽分别约为220 mm和160 mm,平均深度约为193 mm。梯形沟不仅利于秸秆入沟,墒沟边坡也不易塌陷,满足农艺上的埋草、排水要求。由表4可看出,沟深变异系数为4%,开沟效率为64 m³/h,沟深稳定,开沟效率较高;刀盘左侧抛土幅宽小于右侧,主要由于变速箱旋

表4 开沟装置性能试验结果
Tab.4 Test results of ditch device

参数	数值	参数	数值
开沟截面积/m ²	0.033~0.039	抛土幅宽/m	左侧1.2、右侧1.6
平均开沟深度/mm	193	开沟效率/m ³ ·h ⁻¹	64
沟深变异系数/%	4.01	秸秆入沟率/%	80~90(无风)

转底座影响刀盘左侧抛土所致。由表4还可看出,无风时秸秆入沟率较高,达80%~90%;有风时,在风力作用下,排出秸秆会出现侧向飘移。为此,可在出草口下方加装导草装置,以利于秸秆入沟,提高秸秆入沟率。

4 结论

(1)通过技术集成,在稻麦联合收获机上加装开沟、导草装置,开发稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机,方法简单、原理可行。

(2)与原联合收获机相比,尽管多功能一体机收获效率有所降低,但采用复式作业,一次作业可完成收割、脱粒、开沟、埋草等工序,实现了机械化秸秆还田,提高了综合作业效率。

(3)通过合理设计传动比和进行动力分配,使多功能一体机的联合收获、开沟埋草以及行走等装置能获得各自所需要的功率和工作速度,工作协调。

(4)田间试验表明,多功能一体机开沟装置工作可靠、开沟质量稳定,梯形沟不仅利于秸秆入沟,培沟边坡也不易塌陷,满足农艺埋草、排水的要求。

参 考 文 献

- 毛罕平,陈翠英. 秸秆粉碎掩埋复式作业机的试验研究[J]. 农业机械学报,1996,27(3):42~46.
Mao Hanping, Chen Cuiying. General design and test of straw chopper combine with burying[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(3): 42~46. (in Chinese)
- 贺文胜,仇志强,孟秀兰. 机械化秸秆整体翻埋还田的试验研究[J]. 农业机械学报,2003,34(5):179~180.
- James G. Effect of knife and velocity on the energy required to cut cassava tubers[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1996, 64(2): 90~106.
- 魏天路,周海波,杨海,等. 灭茬机工作参数的多目标模糊优化[J]. 农业机械学报,2008,39(6):73~76.
Wei Tianlu, Zhou Haibo, Yang Hai, et al. Multi-objects fuzzy optimization of stubble working parameters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(6): 73~76. (in Chinese)
- 蒋植保. 秸秆还田利用方法:中国,ZL 200410041004.0[P], 2007-01-03.
- Ekboir J M. Research and technology policies in innovation system: zero tillage in Brazil[J]. Research Policy, 2003, 32(4): 573~586.
- Gemtos T A, Galanopoulou S, Kavaliris C. Wheat establishment after cotton with minimal tillage[J]. European Journal of Agronomy. 1998, 8(1~2): 137~147.
- 邱宣怀,郭可谦,吴宗泽,等. 机械设计[M]. 北京:高等教育出版社,1997.
- 孙靖民. 机械优化设计[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- Simites G.J, Answani M. Minimum-weight design of stiffened cylinders under hydrostatic pressure[J]. Ship Res., 1977, 21(4): 217~224.
- Alzahabi B. Optimum design of submarine hulls[C]//Proceedings of the International Conference on High Performance Structures and Composites, Seville, Spain, 2002: 463~470.
- 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(上)[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- GB/T 8097—2008 收获机械 联合收割机 试验方法[S].
- NY/T 740—2003 田间开沟机械作业质量[S].
- 罗海峰,官春云,汤楚宙,等. 稻茬田油菜免耕播种机开沟部件的研究[J]. 农业工程学报,2007,23(11):153~157.
Luo Haifeng, Guan Chunyun, Tang Chuzhou, et al. Ditching parts of no tillage sower in paddy stubble field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(11): 153~157. (in Chinese)
- 王金武,尹大庆,韩永俊,等. 水稻秸秆整株还田机的设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(10):54~56.
Wang Jinwu, Yin Daqing, Han Yongjun, et al. Design and experiment of whole rice straw returning machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(10):54~56. (in Chinese)