

## SGTN-180 型旋耕埋草施肥联合作业机的设计与试验

李永磊 宋建农\* 王继承 张军奎 董向前

(中国农业大学 工学院,北京 100083)

**摘要** 针对现有秸秆还田机械存在的正转秸秆还田机械覆盖性较差、功能单一,需多次作业才能满足农艺要求;而反转秸秆还田机械刀辊前方壅土严重,功耗较大等问题,设计了 SGTN-180 型旋耕埋草施肥联合作业机。该联合作业机采用双辊配置:前辊正转,进行秸秆粉碎;后辊反转旋耕,完成秸秆翻埋和碎土作业的独特作业模式,有效提高覆盖性能和降低功耗;并设计有施肥装置,完成播种前土壤整备的联合作业。鉴定检测试验结果表明:该旋耕埋草施肥联合作业机可一次性实现秸秆粉碎还田、旋耕碎土、施肥等多项作业,具有较好的耕作质量:作业后,植被覆盖率 94.8%、碎土率 93.1%、耕后平整度 0.4 cm、耕深稳定性 97.2%,肥料在 2~11 cm 耕层内与土壤混合,呈条带状分布。

**关键词** 联合作业机; 双辊旋耕; 秸秆还田; 施肥

中图分类号 S 222

文章编号 1007-4333(2011)02-0143-05

文献标志码 A

## Design and experiment of a SGTN-180 type rotary tillage-straw returning-fertilization combined machine

LI Yong-lei, SONG Jian-nong\*, WANG Ji-cheng, ZHANG Jun-kui, DONG Xiang-qian

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** In order to improve the working performance and reduce the power consumption, a combine machine SGTN-180 is designed. The structure design and working characteristics of the combine machine are introduced. The configuration of the double roller position and the design of the power transfer system were mainly analyzed. This combined machine works with a special working pattern that has a front roller forward rolling and a rear roller reversing rolling. The front roller chops the straw and sends the crushed straw to the rear roller. The rear roller breaks the soil and returns the straw-soil mixture to the ground. The experimental results indicate that the combined straw returning-rotary tillage-fertilization machine has a fine working quality, which is characterized by the quality indexes as follows: vegetation coverage 94.8%, soil broken rate 93.1%, surface smoothness after working 0.4 cm, stability coefficient of tillage depth 97.2%, and a banding distribution of fertilizer mixed with soil in depth of 2-11 cm.

**Key words** combined machine; double roller rotary tillage; straw returning; fertilization

秸秆含有丰富的氮、磷、钾元素和多种微量元素,并能够促进土壤微粒团聚和改善土壤状况,直接还田可以较快的提高土壤有机质含量,改善土壤结构,增强土壤肥力,对提高作物产量有着重要的作用<sup>[1-2]</sup>。机械化秸秆还田是利用秸秆资源最经济有效的技术,具有较大的经济效益、生态效益和社会效益<sup>[3]</sup>。从 20 世纪 70 年代末开始,我国在消化吸收

国外农业科研成果的基础上,先后研制了秸秆粉碎还田机、根茬粉碎还田机和整秆还田机以及联合作业机等秸秆还田机械<sup>[4-5]</sup>。

目前我国部分地区使用正转旋耕机进行秸秆粉碎作业<sup>[6]</sup>,受刀辊转向及结构限制,其覆盖性能差,碎土率低,秸秆不能得到充分的覆盖和掩埋,不能很好的满足农艺要求;尤其是水稻产区,地表过多的秸

收稿日期: 2010-10-28

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B04)

第一作者: 李永磊, 博士研究生, E-mail: liyonglei0393@163.com

通讯作者: 宋建农, 教授, 博士生导师, 主要从事农业装备工程及农业机械设计理论研究, E-mail: songjn@cau.edu.cn

秆影响了水稻机插秧作业和秧苗的后期生长。同时正转旋耕机存在耕深较浅、耕深稳定性差及易产生寄生功率等固有特点。反转灭茬旋耕机有较好的覆盖性能,但刀辊前方易形成壅土并重复切削,功耗也较高<sup>[7]</sup>,在土壤黏重地区问题更加突出。稻麦区水稻种植前对土壤整备、秸秆覆盖率要求较高,现有秸秆还田机械需多次作业才能满足农艺要求<sup>[8]</sup>,增加了土壤压实和能量消耗。

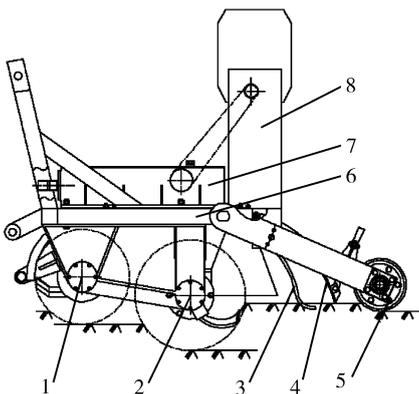
本研究拟探索双辊配置联合作业模式,以期解决正转秸秆还田机械覆盖性差和反转秸秆还田机械功耗高,以及作业次数较多等问题,提高秸秆还田机械作业性能和降低功耗。

## 1 旋耕埋草施肥联合作业机设计

SGTN-180型旋耕埋草施肥联合作业机采用双刀辊配置:前辊正转,进行秸秆粉碎;后辊反转完成秸秆翻埋和碎土作业,并设计有施肥装置,完成播种前土壤整备的联合作业。

### 1.1 整机结构及工作特点

采用双刀辊配置:前端粉碎刀辊正转(转向与拖拉机驱动轮转向一致),刀辊安装有秸秆粉碎切刀,切割粉碎秸秆和浅耕土壤,并将秸秆土壤混合物向后抛送。后端旋耕刀辊反转(与拖拉机驱动轮转向相反),安装有旋耕刀,进行秸秆覆盖还田和旋耕碎土作业。旋耕刀辊后方配置挡草栅,形成下粗上细的良好耕层。施肥装置安装在机架,导肥管出肥口在旋耕刀辊后上方和挡草栅前方,使肥与土壤充分混合,形成带状混施。挡土板进一步粉碎土壤并防止土壤飞散。镇压辊镇压及平整地表(图1)。



1. 粉碎刀辊;2. 旋耕刀辊;3. 挡草栅;4. 挡土板;5. 镇压辊;  
6. 机架;7. 变速箱;8. 施肥装置。

图1 旋耕埋草施肥联合作业机结构简图

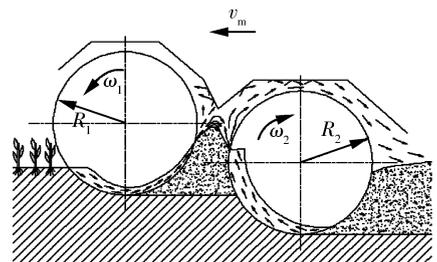
Fig. 1 Structure of the combined machine

该机工作特点为:1)双刀辊配置,前辊秸秆粉碎,后辊秸秆覆盖还田及旋耕碎土。前端粉碎灭茬刀辊对秸秆和土壤混合物的抛送有利于减少反转旋耕刀辊前端壅土和重复切削,降低功率消耗。2)传动采用中间传动箱立轴传动,结构紧凑,防漏耕装置容易实现。3)施肥装置可以实现肥的带状混施,肥与土壤混合充分,能够满足农艺要求。

### 1.2 粉碎刀辊和旋耕刀辊的配置特点

双辊秸秆还田(灭茬)旋耕机依粉碎刀辊和旋耕刀辊转向、刀型等参数配置有多种形式:如前辊正转粉碎秸秆,后辊正转旋耕碎土;前辊反转粉碎秸秆,后辊正转旋耕碎土;前辊正转粉碎秸秆,后辊反转旋耕碎土和覆盖还田等常用形式。在试验研究的基础上,宋建农<sup>[9]</sup>依据川村登等人提出的4种旋耕模型,分析了砂土旋耕抛土运动轨迹。王长兵<sup>[10]</sup>进一步研究了不同耕深半径比( $H/R$ )旋耕受力和功耗状况,指出从减少机组能耗考虑,对有较大耕深要求的旋转耕作,以刀轴位于地表以下( $H/R > 1$ )的潜土逆转旋耕能够能效的减少刀辊前方壅土和二次切削,为节省能量的耕作方法。

SGTN-180型旋耕埋草施肥联合作业机,采用前粉碎刀辊正转,后旋耕刀辊反转组合形式(图2)。前端粉碎刀辊粉碎秸秆和旋耕表层较浅土层,形成混合物并向后上方抛送,其落散在后旋耕刀辊前方且具有向后方运动的趋势,形成了后旋耕刀辊事实上的潜土作业( $H/R > 1$ ),减少了反转旋耕刀辊前端壅土和二次切削,降低了功耗。秸秆经过二次粉碎和反转旋耕翻埋,有良好的还田状态。该组合具有反转旋耕在耕深稳定性、碎土程度、覆盖性能、地表平整度及耕作质量方面的优点。



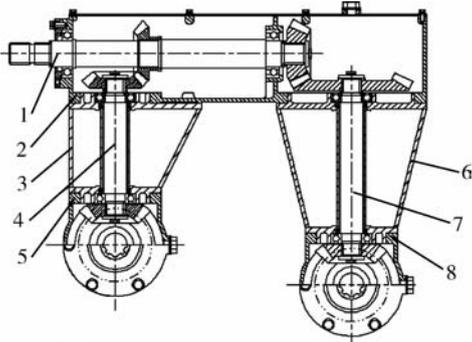
$v_m$  为机组前进速度, m/s;  $R_1$  为粉碎刀辊回转半径, mm;  $\omega_1$  为粉碎刀辊角速度, rad/s;  $R_2$  为旋耕刀辊回转半径, mm;  $\omega_2$  为旋耕刀辊角速度, rad/s。

图2 粉碎刀辊与旋耕刀辊配合作业效果图

Fig. 2 Working effects of straw-chopping roller and tillage roller working effect

### 1.3 粉碎刀辊和旋耕刀辊动力传递系统设计

传统中央传动形式的旋耕机动力由中央变速箱到刀辊的下传部分,多采用直齿轮传动,这种设计因为直齿轮传动轴轴承的安装而导致动力下传箱体横向尺寸过大,不利于旋耕刀辊消除漏耕<sup>[11]</sup>。本机两辊传动采用立轴传动设计<sup>[12]</sup>(图 3)。动力传递中间传动箱横向尺寸较小( $\leq 45\text{ mm}$ ),与宽旋耕刀片配合可直接消除漏耕。



1. 主传动轴;2. 主变速箱;3. 前中间传动箱;4. 前传动立轴;  
5. 前刀辊变速箱;6. 后中间传动箱;7. 后传动立轴;8. 后刀辊变速箱。

图 3 粉碎刀辊与旋耕刀辊动力传递结构简图

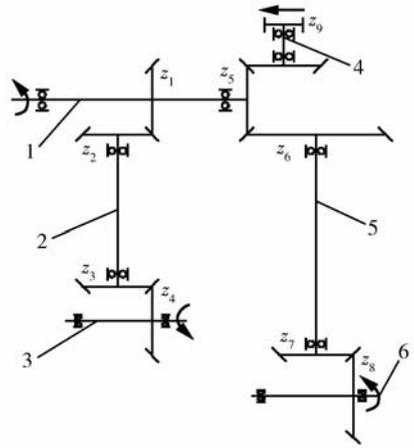
Fig. 3 Power transfer structure of straw-chopping roller and tillage roller

动力传递路线为:动力经主变速箱中主传动轴由两锥轮分配给前后两个中间传动箱,由立轴将动力传递至前后刀辊变速箱,驱动前粉碎刀辊和后旋耕刀辊(图 4)。前粉碎刀辊转速  $n_1$  和旋耕刀辊转速  $n_2$  为:

$$n_1 = nz_1 z_3 / (z_2 z_4)$$

$$n_2 = nz_5 z_7 / (z_6 z_8)$$

式中:  $n$  为拖拉机动力输出轴转速,  $n = 540\text{ r/min}$ ;  $z_1$  为主传动轴锥轮 1 齿数;  $z_2$  为前立轴锥轮 1 齿数;  $z_3$  为前立轴锥轮 2 齿数;  $z_4$  为粉碎刀辊锥轮齿数;  $z_5$  为主传动轴锥轮 2 齿数;  $z_6$  为后立轴锥轮 1 齿数;  $z_7$  为后立轴锥轮 2 齿数;  $z_8$  为旋耕刀辊锥轮齿数。综合考虑取:  $z_1 = 15, z_2 = 15, z_3 = 16, z_4 = 18, z_5 = 15, z_6 = 30, z_7 = 16, z_8 = 18$ 。计算得  $n_1 = 480\text{ r/min}, n_2 = 240\text{ r/min}$ 。旋耕刀轴转速  $n_2$  大于反转旋耕临界转速  $180\text{ r/min}$ , 能够满足作业要求<sup>[13]</sup>。



1. 主传动轴;2. 前立轴;3. 粉碎刀辊轴;4. 排肥驱动轴;5. 后立轴;6. 旋耕刀轴。

图 4 旋耕埋草施肥联合作业机动力传递路线简图

Fig. 4 Power transfer routing of the combined machine

### 1.4 粉碎刀辊设计

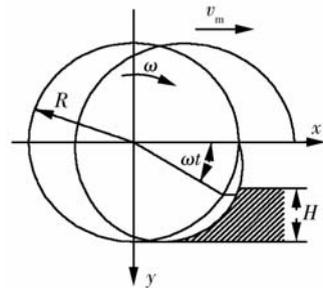
粉碎刀辊正转,切碎秸秆、灭茬,同时浅耕表层土壤。粉碎切刀绝对运动为机组前进速度和刀辊回转运动的合成<sup>[7]</sup>(图 5)。运动方程:

$$\begin{cases} x = R\cos(\omega t) + v_m t \\ y = R\sin(\omega t) \end{cases}$$

式中:  $R$  为粉碎刀辊回转半径,  $m$ ;  $\omega$  为粉碎刀辊角速度,  $\text{rad/s}$ ;  $t$  为粉碎刀辊运动时间,  $s$ ;  $v_m$  为机组前进速度,  $m/s$ 。速度方程:

$$\begin{cases} v_x = v_m - R\omega\sin(\omega t) \\ v_y = R\omega\cos(\omega t) \end{cases}$$

式中:  $v_x$  和  $v_y$  为某时刻刀尖速度分量。当  $v_x \leq 0$ , 且  $v_x \geq v_0$  时,粉碎刀辊能有效工作,其中  $v_0$  为由试验测定的秸秆粉碎所需切削速度。刀片采用 L 型旋耕弯刀,螺旋线排列。



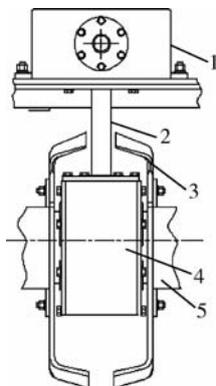
$v_m$  为机组前进速度,  $m/s$ ;  $R$  为粉碎刀辊回转半径,  $mm$ ;  $\omega$  为粉碎刀辊角速度,  $\text{rad/s}$ ;  $t$  为粉碎刀辊运动时间,  $s$ ;  $H$  为耕作深度,  $cm$ 。

图 5 粉碎刀辊运动分析图

Fig. 5 Movement of the straw chopping roller

### 1.5 旋耕刀辊设计

旋耕刀辊反转,选用 GB/T 5669—2008《旋耕机械 刀和刀座》中 II T225 旋耕刀,反向安装,人字形螺线排列。旋耕埋草施肥联合作业机采用 1.3 中所述中央传动箱体,箱体较窄,立轴传递动力,配合使用大耕宽刀片能够防止漏耕。防漏耕装置见图 6。



1. 主变速箱;2. 后中间传动箱;3. 大耕宽刀片;4. 后刀辊变速箱;5. 旋耕刀辊。

图 6 旋耕刀辊防漏耕装置

Fig. 6 Tilling-proof device of the tillage roller

### 1.6 施肥装置设计

施肥装置采用外槽轮排肥器排肥,按农艺要求布置导肥管。导肥管管口安装在旋耕刀辊后上方,挡草栅前方。工作原理为:颗粒肥料由外槽轮排肥

器排出,沿导肥管落到旋耕刀辊后方,在旋耕刀辊抛起的土壤的冲击下与土壤混合,形成带状混施作业效果。该装置适用于颗粒肥料。

## 2 试验结果与分析

2010-06-21,农业部农业机械试验鉴定总站在江苏东海县石榴镇浦西村由对 SGTN-180 型旋耕埋草施肥联合作业机样机进行了鉴定检测。该区为稻麦轮作区,水稻种植前作业方式为旱耕水整,即由秸秆还田机械麦秆全量还田后放水泡田整地。试验条件见表 1。

表 1 SGTN-180 型旋耕埋草施肥联合作业样机鉴定试验条件

Table 1 Prototype identification and experimental conditions

项目	测定结果	项目	测定结果
前茬作物	小麦	耕前平整度/cm	1.8
留茬高度/cm	16.0	原耕作深度/cm	15.0
植被类型	根茬和秸秆	配套动力/kW	55.15
植被量/(kg/m <sup>2</sup> )	0.562	作业速度/(m/s)	0.63
土壤类型	砂壤土	滑移率/%	1.3
土壤含水率/%	21.8	肥料类型	复合肥
土壤坚实度/kPa	1 198	肥料物理性状	颗粒状

表 2 SGTN-180 型旋耕埋草施肥联合作业样机鉴定检测结果

Table 2 Prototype identification and experimental results

项目	检验结果	项目	检验结果
各行排肥量一致性变异系数/%	0.90	施肥情况	条带状混施深度 2~11 cm
总排肥量稳定性变异系数/%	0.90	纯工作小时生产率/(hm <sup>2</sup> /h)	0.41
耕深/cm	15.7	作业幅宽/m	1.80
耕深稳定性系数/%	97.2	碎土率/%	93.1
耕后平整度/cm	0.4	植被覆盖率/%	94.8

由检验结果(表 2)可知:

1)SGTN-180 型旋耕埋草施肥联合作业机作业性能良好,有较高的碎土率、植被覆盖率、耕后平整度及耕深稳定系数。

2)施肥装置排量稳定,肥料在 2~11 cm 范围与土壤混合呈条带状分布,满足农艺要求。因其为鉴

定试验,本研究未能就两刀辊位置配置、两辊转速、刀片类型及罩板安装位置与形状等与耕作质量、功率消耗的相关性进行深入研究。

## 3 结束语

SGTN-180 型旋耕埋草施肥联合作业机可一次

性完成秸秆粉碎还田、旋耕碎土、施肥等多项作业,有较好的作业性能,能够满足农艺要求。鉴定结果表明:作业后,植被覆盖率为94.8%、碎土率93.1%、耕后平整度0.4 cm、耕深稳定系数97.2%;施肥装置排量稳定,肥料在2~11 cm耕层内与土壤混合,呈条带状分布。

本研究初步探讨了前粉碎刀辊正转和后旋耕刀辊反转的双辊配置作业模式,若进一步提高机械作业性能和降低功耗,需就两刀辊位置配置、两辊转速、刀片类型及罩板安装位置与形状等与耕作质量、功率消耗的相关性进行深入研究。

### 参 考 文 献

- [1] 毛罕平,陈翠英. 秸秆还田机工作机理与参数分析[J]. 农业工程学报,1995,11(4):62-66
- [2] 申源源,陈宏. 秸秆还田对土壤改良的研究进展[J]. 中国农学通报,2009,25(19):291-294
- [3] 慕永红,曹书恒,李珍,等. 水稻机械化秸秆直接还田现状及发展趋势[J]. 黑龙江农业科学,2000(5):42-43
- [4] 夏萍,江家伍. 机械化秸秆还田技术及配套机具(综述)[J]. 安徽农业大学学报,2001,28(1):106-108
- [5] 李春胜. 秸秆-根茬粉碎还田联合作业机的研究[D]. 长春:吉林大学,2009
- [6] 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,2003,38(10):54-56
- [7] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:下册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007
- [8] 贾洪雷,马成林,刘枫,等. 秸秆与根茬粉碎还田联合作业工艺及配套机具[J]. 农业机械学报,2005,36(11):46-49
- [9] 宋建农. 反转旋耕切土理论试验研究[D]. 北京:北京农业工程大学,1988
- [10] 王长兵. 逆转旋耕基础理论研究[D]. 镇江:江苏工学院,1993
- [11] 刘小伟. 双辊秸秆还田旋耕机的研制开发[D]. 北京:中国农业大学,2000
- [12] 中国农业大学. 一种变速箱:中国,ZL200920247094.7[P]. 2010-08-04
- [13] 孔令德. 斜置旋耕过程研究[D]. 镇江:江苏理工大学,1998

(责任编辑:刘迎春)