

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.015

墒沟集草型稻麦联合收获机设计与试验^{*}

陈玉仑 丁为民 杨宏图 丁启朔 汪小昆
(南京农业大学江苏省智能化农业装备重点实验室, 南京 210031)

【摘要】 在现有全喂入式稻麦联合收获机上,采用技术集成的方法,重新配套动力,加装开沟、导草及其传动等装置,设计了墒沟集草型稻麦联合收获机。试验表明,该机设计方案可行,作业质量稳定,平均作业速度可达0.8 m/s,作业效率0.27 hm²/h,秸秆入沟率不小于95%,能一次完成稻麦联合收获、墒沟开挖、秸秆集沟还田作业。

关键词: 墒沟集草 联合收获机 开沟

中图分类号: S225.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)S0-0073-06

Design and Experiment of Combine Harvester with Function of Stalk-discharging to Ditch

Chen Yulun Ding Weimin Yang Hongtu Ding Qishuo Wang Xiaochan
(Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment in Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract

A multifunctional machine with functions of ditching and stalk-disposing while harvesting was developed. Field tests results showed that the mean working velocity and efficiency of the machine were about 0.8 m/s and 0.27 hm²/h. The ratio of stalk discharged to ditch was up to 95%. The field operation of harvesting, ditching and stalk-disposing was complete in one time.

Key words Stalk-discharging to ditch, Combine harvester, Ditch

引言

随着收获机械化的快速发展,全国小麦机收水平已达87.8%,水稻机收水平达60%。抢收抢种季节,为抢农时、赶季节,减轻机具收获作业负荷、提高作业质量,作物收获留茬普遍较高,给后续耕整地及秸秆还田造成困难的同时,迫使许多地方进行秸秆焚烧,造成资源浪费、环境污染^[1~3]。我国稻、麦两熟地区墒沟集草还田耕作栽培模式需分步进行联合收获、墒沟开挖及秸秆集沟还田作业^[4]。针对上述问题,本文设计墒沟集草型稻麦联合收获机并进行试验。该机前部收获、尾部开沟,并将原收获过程中散落于田面的秸秆收集在沟中裸露腐解,两沟之间

的田面进行免耕播种。

1 机具结构与工作原理

1.1 机具结构

墒沟集草型稻麦联合收获机是在现有全喂入式稻麦联合收获机上,通过重新配套动力,设计开沟、传动、秸秆输送等装置而成。机具主要由收获、开沟、导草等装置以及开沟装置传动系统、液控系统等组成,如图1所示。

1.2 工作原理

作业时,机具前部联合收获机进行收割、脱粒、清选等作业,尾部开沟装置(排草口后下方)进行开沟作业,脱粒后秸秆通过导草装置排放到墒沟内裸

收稿日期: 2012-07-07 修回日期: 2012-07-19

^{*} 国家自然科学基金资助项目(50875131)、江苏省科技支撑计划资助项目(BE2008315)、江苏省农机三项工程资助项目(NJ2006-41)和南京农业大学工学院引进人才基金资助项目(RCQD11-04)

作者简介: 陈玉仑,讲师,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@njau.edu.cn

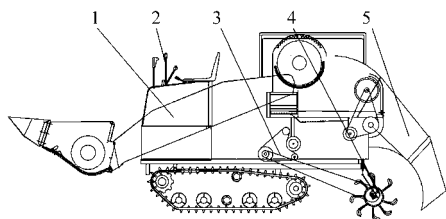


图1 墒沟集草型联合收获机结构示意图

Fig.1 Structural diagram of harvester of stalk discharged to ditch

1. 收获装置 2. 操纵台 3. 开沟装置传动系统 4. 开沟装置
5. 导草装置

露腐解,从而一次完成联合收获、墒沟开挖和秸秆集沟还田。通过机具将秸秆历年、移位还田,几年后田间被开沟、集草还田一遍,相当于机械耕翻一次,达到秸秆还田与少耕、轮耕结合的效果^[5-6]。

1.3 主要参数选择

墒沟集草型稻麦联合收获机要同步完成联合收获、秸秆集沟还田等工序。为使机具收获与开沟作业速度同步、动作协调,并达到一定的作业效率,需结合作物状况、农艺要求等,综合考虑机具作业幅宽、作业速度和沟形等参数。

由《2010—2011 年度小麦高产优质高效栽培技术规程》知,尽管各地畦面宽度、排水沟形不尽相同,但畦面宽度一般为 1.5 ~ 3.0 m、沟宽 20 ~ 30 cm、沟深 15 ~ 30 cm。又由机具试验知,平均宽度 20 ~ 25 cm、深度 15 ~ 20 cm 的墒沟,可容纳 1.6 ~ 2.0 m 割幅的稻、麦秸秆。因此,为保证稻、麦秸秆能有效集沟还田(秸秆入沟率不小于 80%),且机具能达到一定作业效率,选取机具割幅为 2.0 m、作业速度不小于 0.7 m/s、开沟宽度为 20 ~ 25 cm、沟深为 15 ~ 20 cm。

2 关键技术及主要部件

2.1 动力配套

合理配套动力是保证机具作业性能、降低作业成本的关键。为防止墒沟集草型稻麦联合收获机因配套动力过小而造成效率降低、性能下降,或因配套动力过大而造成能源浪费,对开沟功耗进行了试验测定。由试验知,在上述沟深、沟宽范围内,作业速度 0.75 m/s、刀盘转速 446 r/min 时,开沟功耗约需 12 kW^[7]。

鉴于开沟作业工况复杂多变,为防止机具超负荷损坏,开沟作业需储备约 30% 功率。结合原相同割幅联合收获机配套动力(46 kW),墒沟集草型稻麦联合收获机要同步完成稻麦收获、墒沟开挖等作业,为其配套 62 kW 动力。

2.2 开沟部件

开沟部件为圆盘旋转式结构,主要由开沟刀片、刀盘体和刀盘支架等组成,如图2所示。

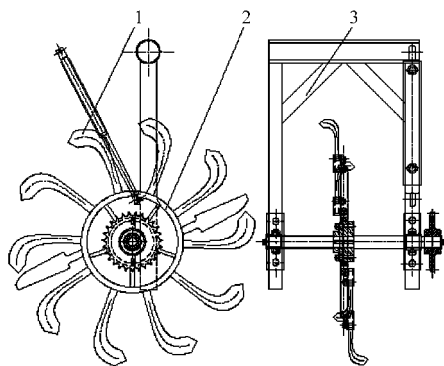


图2 开沟部件结构

Fig.2 Structure of ditcher

1. 开沟刀片 2. 刀盘体 3. 刀盘支架

(1) 开沟方式选择

开沟时,刀片一面绕刀盘轴旋转,一面随机器前进,其上任意一点的绝对运动是平动和转动的合成,轨迹为摆线。由试验知,正转或反转开沟(刀盘与驱动轮转向相同或相反)机具均能正常作业。但正转开沟土堡后抛,需在合适的位置安装适宜的清沟铲才能获得理想的集草沟;反转开沟土堡前抛,后续刀片具有清沟铲的功能,为此选取反转开沟作业。

(2) 刀盘回转直径与转速

刀盘回转直径 D 不仅取决于开沟深度 H 、刀盘回转中心到刀盘支架最底端的距离 δ ($D \geq 2H + 2\delta$),还取决于刀盘最大提升高度 D_1 (图3)。为达到设计开沟深度,并使刀盘获得一定的提升高度 (≥ 450 mm),以方便机器运输、灵活转移,避免刀片破损、支架变形,通过优化设计及试验验证,得开沟刀盘回转直径为 720 mm。

研究表明,要将土堡抛出一定距离并能均匀散开,刀盘线速度须大于 10 ~ 15 m/s^[8-9]。但线速度越高,铤切力越大,开沟功耗越高^[8]。为使土堡能抛出一定距离并均匀散开、且开沟功耗不至于过大,结合试验,刀盘线速度取 13 ~ 15 m/s,代入各参数,得刀盘转速为 345 ~ 400 r/min。

(3) 刀片数量与布置

切土刀片数量与切土进距 S 密切相关,影响着土伐厚度及土壤破碎程度。切土进距(农业生产中一般为 40 ~ 60 mm^[9])主要由机器作业速度、刀盘转速及同一切剖面上刀片数量决定,即

$$Z = \frac{60\,000v_m}{Sn} \quad (1)$$

式中 Z ——刀盘同一切剖面上刀片数

v_m ——机器作业速度, m/s

n ——刀盘转速, r/min

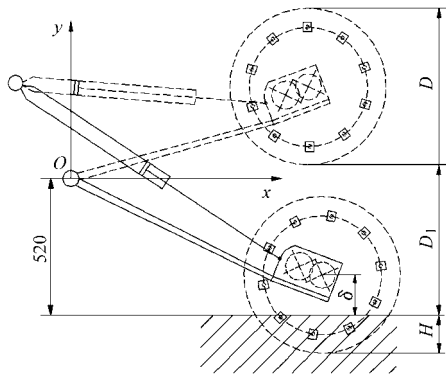


图3 刀盘提升示意图

Fig. 3 Schematic diagram of elevated ditcher

将参数 v_m 、 n 及 S 取中值代入式(1), 可得 Z 为 2.3, 即刀盘同一切削面上刀片数约为 2.3 把。考虑反转开沟土堡会与前方分土板及后续刀片碰撞产生二次破碎, 取刀片数为 2。

鉴于旋耕弯刀具有翻土、碎土和抛土功能及较好的滑切性和互换性, 刀片选用 SH195 型^[10-11]。为能达到一定开沟宽度, 在刀盘两侧分别采用左、右弯刀分两路切削(各 4 把)。为避免漏切, 在刀盘中增加左、右弯刀各 1 把。为能获得两壁光滑、外形完整、边不塌陷、便于秸秆收集的梯形沟, 在两切剖面最外侧安装平面削壁刀各 1 把。为使刀片能均匀入土, 以减小扭矩波动, 平衡轴向力, 10 把切土刀、2 把削壁刀在刀盘圆周上径向、成对、交错安装^[12]。

2.3 开沟动力传递系统

为使反转开沟作业动力接合、分离方便, 收获、开沟、行走等部分能获得各自所需的动力和速度, 保证各部分协调工作, 设计了开沟动力传递系统, 优化了链轮组的参数^[13-15]。

2.3.1 开沟动力传递路线

开沟动力传递系统主要由四联组传动带、变速箱和链轮组等组成。其中四联组传动带兼有离合器的作用, 传动比为 1.6, 通过其张紧与放松实现开沟动力的接合与分离。齿轮副模数为 4 mm, 主、被动轮分别为 15 齿和 27 齿, 变异系数分别为 0.15 和 -0.15 的一对直齿圆柱齿轮组成。齿轮副不仅用于改变传动比, 还用于改变刀盘旋转方向。链轮组为两级套筒滚子链, 传动比分别为 1.42 和 1.77。墒沟集草还田型稻麦联合收获机的收获、行走等动力皆由发动机飞轮端输出, 为改善曲轴受载状况将开沟动力由曲轴的另一端输出(图 4)。

2.3.2 传动链轮组参数优化

受空间布局限制, 变速箱输出轴至刀盘需采用两级链传动。由初始方案知, 变速箱输出轴及刀盘转速分别为 902 r/min 和 350 r/min。为充分发挥链

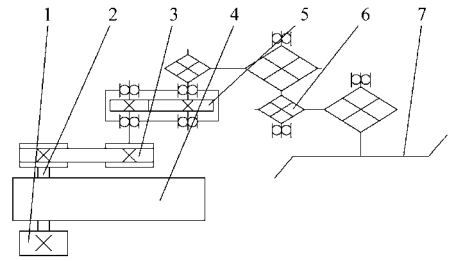


图4 开沟部件传动系统简图

Fig. 4 Schematic diagram of power transmission system for ditcher

1. 发动机飞轮 2. 发动机曲轴 3. 四联组传动带 4. 发动机
5. 变速箱 6. 传动链轮组 7. 开沟刀盘

传动能力、缩小链轮组体积和减轻质量, 并使传动平稳、轻便、灵活, 采用优化设计的方法对传动链轮组参数进行了优化。

由机械设计基础知, 链传动设计公式^[13]为

$$P_0 \geq \frac{K_A P}{k_z k_i k_a k_p} \quad (2)$$

式中 P_0 ——特定条件下单列链可传递的功率, kW

K_A ——工况系数 k_i ——传动比系数

P ——链传动所需传递的负载功率, kW

k_z ——小链轮齿数系数

k_a ——中心距系数 k_p ——链排数系数

将链传动设计中使用的数表和图线公式化^[14], 得

$$P_0 = 0.003 Z_1^{1.08} n_1^{0.9} \left(\frac{t}{25.4} \right)^{3-0.028t} \quad (3)$$

$$k_z = \left(\frac{Z_1}{19} \right)^{1.08} \quad (4)$$

$$k_p = Z_p^{0.84} \quad (5)$$

$$k_i = 0.0685 - 0.15i(1 - 0.1i) \quad (i \leq 3) \quad (6)$$

$$k_a = 0.71332 + 0.0085 \frac{a}{t} - \frac{0.0001 \left(\frac{a}{t} \right)^2}{3} \quad (7)$$

$$a = \frac{t}{4} \left[L_p - \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \sqrt{\left(L_p - \frac{Z_1 + Z_2}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2} \right] \quad (8)$$

其中

$$Z_2 = iZ_1$$

式中 Z_1 ——小链轮齿数 t ——链节距

n_1 ——小链轮转速 L_p ——链节数

Z_p ——排数 i ——传动比

a ——链传动中心距

Z_2 ——大链轮齿数

(1) 选取设计变量

取两级链传动中的小链轮齿数 Z_1 、 Z_3 , 链节距 t_1 、 t_2 , 链节数 L_{p1} 、 L_{p2} , 链排数系数 k_{p1} 、 k_{p2} 以及第 1 级

链传动的传动比*i*为设计变量,得

$$\mathbf{X} = [Z_1 \quad Z_3 \quad t_1 \quad t_2 \quad L_{p1} \quad L_{p2} \quad k_{p1} \quad k_{p2} \quad i_1]^T =$$
$$[X_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad X_4 \quad X_5 \quad X_6 \quad X_7 \quad X_8 \quad X_9]^T$$

(2) 建立目标函数

令 $[P_j] = P_{0j}k_{zj}k_{aj}k_{ij}k_{pj}$, $P_j = K_A P$, 为能充分发挥链传动能力,以实际工作条件下链条所能传递的许用功率 $[P_j]$ 与计算功率 P_j 充分接近为目标函数,得承载能力目标函数

$$\min f(\mathbf{X}) = \sum ([P_j] - P_j)^2 \tag{9}$$

取 $K_A = 1.5$,开沟作业平均功耗约为9.3 kW。

(3) 确定约束条件

为保证各级链能可靠传动,实际传递功率 P_j 应小于许用功率 $[P_j]$,即 $P_j - [P_j] \leq 0$ 。

由小链轮齿数约束条件 $17 \leq Z_j \leq 25$,得 $17 \leq X_1 \leq 25$ 、 $17 \leq X_2 \leq 25$ 。

由链节距约束条件 $15.875 \leq t_j \leq 25.4$,得 $15.875 \leq X_3 \leq 25.4$ 、 $15.875 \leq X_4 \leq 25.4$ 。

由中心距约束条件 $30t_j \leq a_j \leq 60t_j$,得 $30X_3 \leq a_1 \leq 60X_3$ 、 $30X_4 \leq a_2 \leq 60X_4$ 。

由链速约束条件 $0.6 \leq v_j \leq 15$,得 $0.6 \leq X_1X_3n_1/6\,000 \leq 15$ 、 $0.6 \leq X_2X_4n_1/(6\,000X_9) \leq 15$ 。

由链排数系数须为整数且 $1 \leq k_{pj} \leq 3$ 约束条件,得 $1 \leq X_7 \leq 3$ 、 $1 \leq X_8 \leq 3$ 、 $\text{int}X_7 - X_7 = 0$ 、 $\text{int}X_8 - X_8 = 0$ 。

由链节数取偶条件 $L_{pj}/2 - \text{int}(L_{pj}/2) = 0$,得 $X_5/2 - \text{int}(X_5/2) = 0$ 、 $X_6/2 - \text{int}(X_6/2) = 0$ 。

由链齿数取奇数条件 $Z_j/2 - \text{int}(Z_j/2) - 0.5 = 0$,得 $X_1/2 - \text{int}(X_1/2) - 0.5 = 0$ 、 $X_2/2 - \text{int}(X_2/2) - 0.5 = 0$ 。

(4) 运行参数优化

根据目标函数及约束条件,代入已知参数,通过编写M文件,运用优化软件Matlab 7.0.4进行优化,得 $\mathbf{X} = [23.0 \quad 19.0 \quad 19.05 \quad 21.069 \quad 152.0 \quad 100 \quad 1 \quad 1 \quad 1.77]^T$ 。

鉴于链节距已标准化,从保证强度角度考虑,取第2级传动链节距 t_2 为25.4 mm。经计算得 i_2 为1.45、 Z_2 为40.7、 Z_4 为27.55,再经链轮齿数奇数化圆整,得各设计参数的实际值如表1所示。

表 1 两级传动链的实际参数
Tab.1 Actual parameters of transmission chains

传动链	主动轮齿数 Z_1	被动轮齿数 Z_2	链节距 t/mm	链节数 L_p	链排数系数 k_p	传动比 i
第 1 级	23	41	19.05	152	1	1.77
第 2 级	19	27	25.4	100	1	1.42

经参数优化,变速箱输出轴至刀盘的实际传动比*i*约为2.51,刀盘理论转速约358.9 r/min,与初始方案相比,误差为2.54%。试验中实测刀盘转速均值为351.7 r/min,满足碎土、抛土要求。

2.4 液控系统

墒沟集草型稻麦联合收获机要同步完成作物收获、集草沟开挖,各功能部件应能方便地根据作物倒伏状况、机具所处不同工作状态进行调整。为此,在结构优化的基础上,通过加装刀盘油缸(行程为230 mm、安装距为410 mm)及其控制阀等,改进设计了整机液压控制系统(图5)。

作业前,油缸伸长,刀盘支架绕回转点*O*旋转(图3),当刀盘下降至合适高度时开始作业;机器转弯、过埂前,刀盘停止工作,随后油缸缩短,刀盘上升,如此往复实现刀盘的升降。

2.5 分土板

反转开沟,土垡前抛,不仅产生安全隐患,还易造成前方壅土,进而形成重复切抛土、增加开沟功耗。为使土垡能均匀抛向刀盘两侧畦面,在刀盘上前方10~20 mm处设计安装了2块半径约1.5 m、圆心位于刀盘轴中心延长线上的弧形分土板^[16]

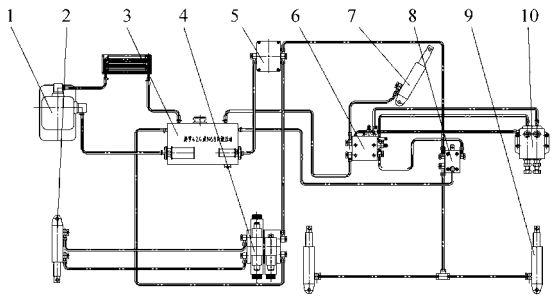


图 5 液控系统简图

Fig.5 Schematic diagram of hydraulic control system

- 1. 无级变速器 2. 刀盘油缸 3. 液压油箱 4. 刀盘控制阀
- 5. 双联齿轮泵 6. 集成控制阀 7. 割台油缸 8. 拨禾轮控制阀
- 9. 拨禾轮油缸 10. 转向油缸

(图6)。土垡经切削、抛掷后,与分土板碰撞并被反射向刀盘两侧畦面,从而保证田面土碎地平。

2.6 导草装置

田间试验表明,经脱粒分离后的秸秆若仅依赖惯性被抛向机器后上方(抛高约30~50 cm),则易被侧向风吹拂漂移而不能顺利入沟。为此,依据开沟宽度、秸秆惯性排放特性,设计安装了上端铰接于排草口底面,下端自由放置于分土板上,并可依据开沟装置工作情况绕铰链旋转而升降的槽形导草装

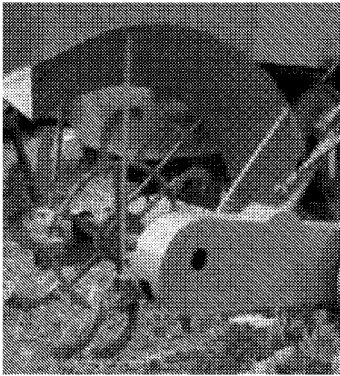


图6 分土板安装图

Fig. 6 Diagram of fixed reflecting board for soil particles

置。导草装置上、下口宽度分别为 23 cm 和 20 cm，高 50 cm，长 120 cm。作业过程中，脱粒后秸秆可沿导草槽顺利滑向集草沟。

3 田间试验

近年来,机具先后在安徽省来安县、江苏省泰州市、扬州市、姜堰市、兴化市和张家港市等地区进行稻、麦收获及墒沟集草还田试验,面积超过 34 hm²。现以江苏省泰州市麦收试验为例,进行说明。

3.1 试验条件

2011 年 6 月 3 日,墒沟集草型稻麦联合收获机在江苏省泰州市九龙镇进行小麦收获、秸秆还田试验。作物品种为扬麦 16,平均株高 83 cm、产量 6 195 kg/hm²、谷草比 1∶0.9、籽粒含水率 21.23%,土壤含水率 27.1%,土壤坚实度 624 kPa。

3.2 试验方法

试验测试方法及指标参照国标 GB/T 8097—2008《收获机械 联合收割机 试验方法》和行标 NY/T 740—2003《田间开沟机械作业质量》及 NJ 211—80 型旋转开沟机试验中制定的标准进行,主要测试指标:喂入量、损失率、作业速度、作业效率、开沟质量、抛土幅宽和秸秆入沟率等^[17~18]。

秸秆入沟率测定:沿机器作业方向上,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,收集 10 m 长度上沟面及沟边秸秆,分别称量并计算秸秆入沟率。

3.3 试验结果

试验表明,墒沟集草型稻麦联合收获机一次作业可完成稻麦作物的联合收获、墒沟开挖和秸秆集沟还田等作业,且工作可靠、动作协调、性能稳定,试验结果如表 1 所示。

表 1 性能试验结果

Tab. 1 Results of performance test

测试项目	测试结果
喂入量/kg·s ⁻¹	0.9
作业速度/m·s ⁻¹	0.8
作业效率/hm ² ·h ⁻¹	0.27
损失率/%	1.17
开沟宽度/cm	23(沟面)、18(沟底)
开沟深度/cm	18
抛土幅宽/m	约 1.5(左、右两侧)
秸秆入沟率/%	95

由表 1 知,墒沟集草型稻麦联合收获机喂入量 0.9 kg/s、作业速度 0.8 m/s、作业效率 0.27 hm²/h,与同类联合收获机相比,作业效率没有明显差别(原机具生产率 0.2~0.4 hm²/h)。总损失率 1.17% 符合行业标准 JB/T 5117—2006《全喂入联合收割机 技术条件》所规定的全喂入式联合收获机总损失率不超过 2% 的要求。开沟部件所开梯形沟,沟面和沟底宽度分别为 23 cm 和 18 cm,沟深 18 cm,满足设计要求。配以合适的导草装置,可使 95% 的秸秆落入墒沟。

4 结论

(1) 通过重新配套动力、设计开沟导草装置及其传动系统设计的墒沟集草型稻麦联合收获机,工作可靠、动作协调、性能稳定,满足同时完成稻麦联合收获、秸秆集沟还田的农艺要求。

(2) 墒沟集草型稻麦联合收获机平均作业速度可达 0.8 m/s,作业效率 0.27 hm²/h,收获损失率符合要求。所开梯形沟上、下底宽分别约 23 cm 和 18 cm,沟深 18 cm,可使 95% 的秸秆落入沟内。

参 考 文 献

1 臧英,罗锡文,周志艳. 南方水稻种植和收获机械化的发展策略[J]. 农业机械学报,2008,39(1):60~63.
Zang Ying, Luo Xiwen, Zhou Zhiyan. Development strategy on rice planting and harvesting mechanization in south China [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1): 60~63. (in Chinese)

2 罗锡文,朱立学. 关于南方农业机械化发展战略的思考[C]//中国农业工程学会学术年会论文集,2005:4~8

3 周勇,许绮川,夏俊芳,等. 高秆翻埋还田分禾镇压装置的设计与性能[J]. 华中农业大学学报,2005,24(3):308~311.
Zhou Yong, Xu Qichuan, Xia Junfang, et al. Design and performance of dividing and compacting device by returning high

- straw[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2005, 24(3): 308~311. (in Chinese)
- 4 蒋植保. 秸秆还田利用方法: 中国, ZL 200410041004.0 [P]. 2007-01-03.
- 5 Ekboir J M. Research and technology policies in innovation system: zero tillage in Brazil [J]. Research Policy, 2003, 32(4): 573~586.
- 6 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.
- 7 陈玉仑, 丁为民, 姚立健, 等. 稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机开沟功耗研究[J]. 南京农业大学学报, 2010, 33(2): 101~104.
- Chen Yulun, Ding Weimin, Yao Lijian, et al. Research on power consumption of ditcher device of harvest ditch and stalk-disposing machine [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2010, 33(2): 101~104. (in Chinese)
- 8 李金琦. 旋转开沟机[M]. 北京: 中国农业出版社, 1984.
- 9 江苏淮阴地区开沟机课题组. 圆盘式开沟机工作部件的试验研究[J]. 粮油加工与食品机械, 1980(10): 16~22.
- 10 丁为民, 王耀华, 彭嵩植. 反转旋耕刀滑切角分析与计算[J]. 农业机械学报, 2001, 32(6): 26~29.
- Ding Weimin, Wang Yaohua, Peng Songzhi. Calculation and analysis of grass removing angles of up-cut rotary blade [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(6): 26~29. (in Chinese)
- 11 丁为民, 王耀华, 彭嵩植. 反转旋耕刀正切面分析及参数选择[J]. 农业机械学报, 2004, 35(4): 40~43.
- Ding Weimin, Wang Yaohua, Peng Songzhi. Analysis on sidelong portion of a up-cut rotary blade [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(4): 40~43. (in Chinese)
- 12 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 上册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- 13 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.
- 14 陈秀宁. 机械优化设计[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1991.
- 15 王文娟. 基于 MATLAB 优化工具箱的平面连杆机构设计[J]. 轻工机械, 2006, 24(4): 76~78.
- Wang Wenjuan. Optimal design of planar linkage based on MATLAB optimization toolbox [J]. Light Industry Machinery, 2006, 24(4): 76~78. (in Chinese)
- 16 李伯全, 陈翠英. 旋耕机曲面罩壳与被抛土堡碰撞过程动态仿真[J]. 江苏理工大学学报: 自然科学版, 2000, 21(1): 1~4.
- Li Boquan, Chen Cuiying. Dynamic simulation of the collision of throwing soil with camber cover of rotary plow [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology: Natural Science, 2000, 21(1): 1~4. (in Chinese)
- 17 GB/T 8097—2008 收获机械 联合收割机 试验方法[S]. 2008.
- 18 NY/T 740—2003 田间开沟机械作业质量[S]. 2003.

(上接第 62 页)

参 考 文 献

- 1 黄年生, 张洪熙, 徐卯林, 等. 烟草种子丸粒化高吸水种衣剂的研制与应用[J]. 江苏农业科学, 2002(5): 67~69.
- Huang Niansheng, Zhang Hongxi, Xu Maolin, et al. Development and applications of high-hydroscopicity resin seed-coating material of tobacco seeds pelleting [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2002(5): 67~69. (in Chinese)
- 2 郭树栋, 施宝顺, 马福. 牧草种子丸衣化技术的应用[J]. 青海草业, 2000(2): 38~39.
- Guo Shudong, Shi Baoshun, Ma Fu. Application of pelleting and coating technology of herbage seed [J]. Qinghai Prataculture, 2000(2): 38~39. (in Chinese)
- 3 李文琴, 贺长征. 种子丸化技术[J]. 蔬菜, 2002(7): 37.
- 4 黄雪玲. 桉树种子丸化技术[J]. 福建农业科技, 2006(4): 65~66.
- 5 熊自立, 朱剑, 宋文坚. 浅谈种子包衣、丸化技术[J]. 上海农业科技, 2004(4): 11~13.
- 6 杨俊岗, 陈德凡. 油菜种子丸粒化、包衣试验[J]. 中国种业, 2004(9): 35.
- 7 陈德星, 周立友, 陈其军, 等. 油菜种子丸粒化包衣技术研究[J]. 种子, 2004(7): 85~86.
- 8 阎富英, 赵祥和, 贺长征, 等. 种子包衣技术[J]. 天津农林科技, 2003(3): 32~35.
- 9 王海鸥, 胡志超, 田立佳, 等. 种子丸化技术及其研究与应用概况[J]. 现代农业装备, 2003(3): 48~50.
- 10 谢焕雄, 高刚华, 田立佳, 等. 种子丸化机自动控制系统[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 147~149.
- Xie Huanxiong, Gao Ganghua, Tian Lijia, et al. Automatic control system of seed pellet machine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003, 34(4): 147~149. (in Chinese)