

网络出版时间:2016-04-07 09:00 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2016.05.031
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20160407.0900.062.html>

被动式圆盘刀试验装置设计与试验研究

程 阳, 闫小丽, 朱瑞祥, 李成鑫, 刘 源, 刘正道, 卢 琦

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] **【目的】**针对目前开沟破茬圆盘工作部件机具设计缺少精确设计参数等问题,设计了一种角度可调的圆盘刀试验装置。**【方法】**以缺口圆盘为研究对象,选取等直径但缺口数为8,9,10的3种圆盘,前进速度取3,4和5 km/h,偏角取5°,7.5°,10°,倾角取2°,4°,6°,利用4因素3水平正交试验,以破茬率和工作阻力为评价指标进行试验研究。**【结果】**圆盘刀试验装置符合设计要求,倾角调节范围设定为-10°~10°,精度为1°,偏角的调节范围为-20°~20°,精度为2.5°;影响破茬率和工作阻力的主次因素依次为圆盘刀类型、前进速度、偏角、倾角;最优组合是8缺口圆盘、前进速度4 km/h、偏角5°、倾角4°,平均破茬率为76.5%,牵引阻力为3 714.8 N。**【结论】**被动式圆盘刀的破茬率较主动式低,其原因在于缺口处破茬效果较差,但其结构简单且工作阻力较小,在地表无残茬或覆盖量不大的条件下仍具有应用价值。

[关键词] 农业机械;被动式圆盘刀;试验装置;破茬性能

[中图分类号] S222.5⁺2

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2016)05-0228-07

Design and experiment of testing device for passive disc

CHENG Yang, YAN Xiao-li, ZHU Rui-xiang, LI Cheng-xin,
LIU Yuan, LIU Zheng-dao, LU Qi

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Aiming at the long testing time of cutting and ditching disc opener, low parameter adjustment accuracy and low working efficiency, a testing device with adjustable angle for passive disc was designed. **【Method】** Choosing different notch numbers of disc (8 notches, 9 notches, 10 notches), forward speeds (3, 4, 5 km/h), sweep angles (5°, 7.5°, 10°) and tilt angles (2°, 4°, 6°) as influencing factors and using notched discs as research objects, stubble-cutting rate and traction resistance were studied based 4 by 3 orthogonal experiment. **【Result】** The testing device met design requirements, the sweep angle was in the range of -20°—20° with precision of 2.5°, and the tilt angle was in the range of -10°—10° with precision of 1°. The factors affecting cutting rate and traction resistance were type, velocity, sweep angle, and tilt angle in order. The optimal combination of notched disks was notch number 8, speed 4 km/h, sweep angle 5°, and tilt angle 4°, under which the average of passive notched disk stubble-cutting rate was 76.5% and the traction resistance was 3 714.8 N. **【Conclusion】** Compared with the active disk, the notched disk stubble-cutting rate was lower since the disc notches stubble-cutting performance was lower. But its simple structure and small working resistance make it applicable for not covered or less covered land.

Key words: agricultural machinery; passive disc; testing device; stubble-cutting performance

[收稿日期] 2014-10-08

[基金项目] 国家“十二五”科技支撑计划项目子课题“关中平原农田循环生产综合技术集成研究与示范”(2012BAD14B11-2)

[作者简介] 程 阳(1990—),男,河南商城人,在读硕士,主要从事保护性耕作机具研究。E-mail:chengyanglc@163.com

[通信作者] 闫小丽(1969—),女,陕西永寿人,副教授,硕士生导师,主要从事农机装备开发研究。E-mail:yx19212@nwsuaf.edu.cn

随着保护性耕作技术在我国的应用推广,不同类型的保护性耕作机具也得到了较快发展^[1]。破茬圆盘刀作为保护性耕作机械常用的重要工作部件^[2],主要用于破茬防堵和减少工作阻力^[3-4],但目前缺乏关于不同类型破茬圆盘刀适应条件、偏角和倾角对其性能影响的研究报道。传统的研究方法主要是将已设计好的圆盘以不同角度反复安装在试验机具上,通过大量的田间试验来完成^[5],但其缺点是试验装置通用性差、效率低,难以满足研究需要^[6]。此外由于设计参数不可调,也就无法获得精确的设计参数^[7-8]。为此,本研究设计了一种角度可调、可以更换不同类型圆盘刀的试验装置,并利用土槽模拟田间状况,对不同偏角、倾角条件下各种类型被动式圆盘刀的作业性能进行了试验研究,旨在确定最佳的被动式破茬圆盘刀工作参数,进而为相关产品的设计提供科学依据。

1 试验装置方案设计

1.1 设计思路

为研究不同试验因素下被动式圆盘刀的作业性能,本试验装置的设计应满足以下要求:(1)能够适应不同类型和尺寸的圆盘刀;(2)可实现圆盘刀偏角和倾角的精确可调,且调整时无干扰;(3)能进行多圆盘不同作业条件下的作业性能分析;(4)试验装置通用性好,各部件拆卸、调整快捷方便。

1.2 方案设计

为使试验装置既可考察在试验条件一致情况下,不同类型圆盘、不同作业行距对破茬、牵引阻力综合影响的需要,还要能够实现多圆盘作业性能测试,根据设计原则,本试验装置可以同时安装 2 个圆盘刀,其总体结构如图 1 所示,主要由机架、限深轮、倾角调节机构、偏角调节机构及圆盘刀等部件组成。

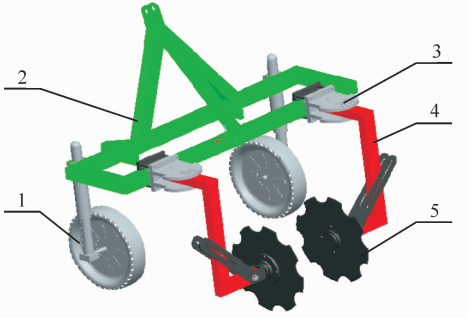


图 1 圆盘刀试验装置的结构

1. 限深轮;2. 机架;3. 偏角调节部件;4. 倾角调节部件;5. 圆盘刀

Fig. 1 Overall structure of testing device

1. Depth limit wheel;2. Frame;3. Sweep angle adjusting component;4. Tilt angle adjusting component;5. Disc

1.3 工作原理

本试验装置可同时测试 2 个圆盘刀,圆盘刀部件在机架上的固定位置可调。通过丝杠调节限深轮高度,达到调节圆盘刀入土深度的目的;圆盘刀偏角和倾角的调整通过分别调节偏角调节座、倾角调节板和异型架之间的相对位置来实现。

圆盘刀试验装置与四驱农机土槽车的 3 个悬挂点连接,且每个悬挂点上均安装有力传感器,可以实时测量每个悬挂点的受力情况。试验装置在电力四驱车的牵引下按照预设的速度前进,圆盘刀在电力车牵引力和土壤阻力的共同作用下旋转,在土壤中开出沟槽并切断秸秆,由计算机读取并存储力传感器上传的实时数据。

2 关键部件设计

本试验装置的核心是通过偏角调节机构、倾角调节机构来实现对圆盘刀偏角和倾角的精确调节。如图 2 所示,圆盘刀的偏角是指圆盘刀水平轴与前进方向的夹角,倾角是指圆盘刀竖直轴与竖直方向的夹角^[9]。在偏角和倾角的调节过程中,两角度调节部分的相关性较强,为防止调整时干扰的发生,将偏角调节机构和倾角调节机构在空间上设计为异面垂直。

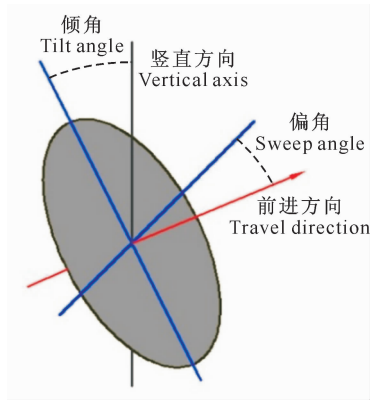


图 2 圆盘刀偏角和倾角示意图

Fig. 2 Diagrammatical representation of sweep and tilt angle

2.1 倾角调节机构设计

在圆盘刀工作过程中,其倾角主要影响机具开沟深度。在限深轮高度不变的情况下,随倾角角度增大,开沟深度随之减小;当倾角过大(绝对值大于 10°)时,开沟深度不足,破茬率也随之降低。为满足对开沟深度和破茬率的要求,倾角调节范围不宜过大,根据预试验分析,本试验装置的倾角调节范围设

定为 $-10^{\circ}\sim 10^{\circ}$,精度为 1° 。

倾角调节结构如图 3 所示,主要由异形架、倾角调节板以及圆盘刀 3 部分组成。圆盘刀及法兰盘相关机构固定在倾角调节板上,异型架和倾角调节板通过倾角铰接螺栓进行连接。异型架上开有倾角调节孔和倾角铰接孔,调节板上开有倾角调节槽。当需要调节倾角时,倾角调节板绕着铰接螺栓旋转,通过倾角调节螺栓对倾角调节孔和倾角调节槽进行定位,从而实现对开沟破茬圆盘倾角的精确调节。

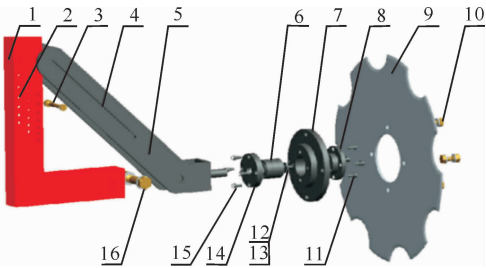


图 3 圆盘刀倾角调节机构示意图

- 1. 异形架;2. 倾角调节孔;3. 倾角调节螺栓;4. 倾角调节槽;
- 5. 倾角调节板;6. 轴承;7. 法兰盘;8. 轴承端盖;9. 缺口圆盘;
- 10. 圆盘刀固定螺栓;11. 轴承端盖固定螺栓;
- 12. 轴承止动片;13. 止动螺钉;14. 轴承端盖;
- 15. 轴端盖固定螺栓;16. 铰接螺栓

Fig. 3 Adjusting mechanism of tilt angle

- 1. Shaped frame;2. Tilt angle adjusting hole;
- 3. Tilt angle adjusting bolt;4. Tilt angle adjusting slot;
- 5. Tilt angle adjusting board;6. Bearing;7. Flange;
- 8. Bearing cover;9. Notched disc;10. Set bolt for tilt angle;
- 11. Set bolt for bearing cover;12. Bearing locking piece;
- 13. Retainer bolt;14. End caps;15. Set bolt for end caps;16. Hinged bolt

以图 4 中的-1、0、1 号孔为例:以倾角调节孔中心为圆心,规定圆盘刀在竖直位置时的倾角为 0° ,对应调节孔序号为 0。以 0° 倾角为基准,向上偏移 1° 为 -1° 的倾角,向下偏移 1° 为 1° 的倾角,在倾角调节装置上均布置对应调节孔,但由于角度相差 1° 时,对应 2 调节孔的竖直间距过小,若在同一竖直方向上布置会产生干扰,因此将所有调节孔在异形架上分 3 排交错布置,如图 4 所示。不同序号的孔,对应不同的倾角角度;同一竖直方向上相邻两孔角度差为 3° ,其对应竖直距离在加工安全距离内,可避免加工时干扰。

2.2 偏角调节机构设计

偏角的大小主要影响开沟宽度,偏角越大则开沟宽度越大,土壤阻力也越大。根据预试验分析,考虑到偏角调整范围较大,设定偏角的调节范围为

$-20^{\circ}\sim 20^{\circ}$,精度为 2.5° 。偏角调节机构主要由偏角调节座和异型架组成,如图 5 所示。异型架用偏角铰接销和偏角固定螺栓固定在偏角调节座上,偏角调节座上有偏角调节孔与异型架上的偏角调节孔对应,工作时通过调节偏角固定螺栓对偏角调节孔进行定位,从而实现对开沟破茬圆盘刀偏角的精确调节。调节孔的布置方式如图 6 所示,其调节原理与倾角的调节原理(图 4)类似。

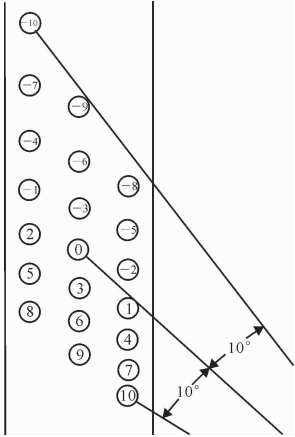


图 4 圆盘刀倾角角度调节示意图

Fig. 4 Schematic diagram of tilt angle

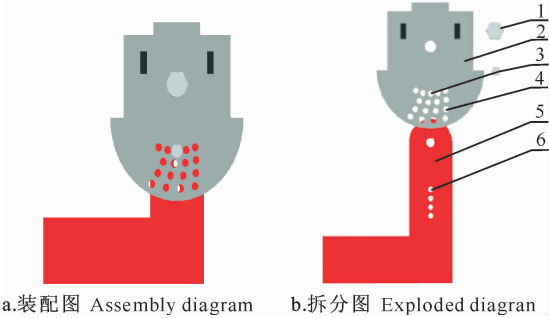


图 5 圆盘刀偏角调节机构示意图

- 1. 偏角铰接销;2. 偏角调节座;3. 偏角固定螺栓;
- 4. 偏角调节孔;5. 异型架;6. 偏角调节孔

Fig. 5 Adjusting mechanism of sweep angle

- 1. Sweep hinge pin;2. Regulation seat;3. Retaining bolt;
- 4. Tilt regulation hole;5. Baroque frame;
- 6. Sweep regulation hole

3 被动式圆盘刀作业性能试验

3.1 试验地点及试验设备

试验在西北农林科技大学机械与电子工程学院土槽实验室进行。试验设备包括土槽、电力四驱农机土槽车、圆盘刀试验装置、数据采集系统、高速摄像设备等。数据的采集主要是通过传感器获取扭矩和转速实时信号并输入到计算机中,利用传感器附带的数

据采集系统软件进行数据的采集与处理,得到实时的圆盘刀阻力及功率消耗情况。选用 CYB-602S 型拉力传感器,该传感器组件安装于土槽车的 3 个悬挂点上,可实时测量试验装置的六分力及上拉杆角度的变化情况。

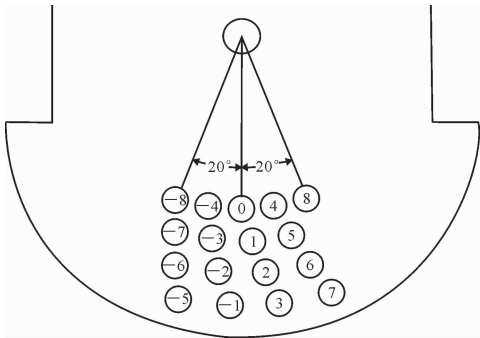


图 6 圆盘刀偏角角度调节示意图

Fig. 6 Schematic diagram of sweep angle

3.2 试验方案

3.2.1 评价指标 缺口圆盘刀的综合作业性能主

表 1 圆盘刀作业性能试验的因素与水平

Table 1 Factors and levels for testing the operating performance of passive disc

水平 Levels	A 圆盘刀类型 Disc type	B 前进速度/(km·h ⁻¹) Forward speed	C 偏角/(°) Sweep angle	D 倾角/(°) Tilt angle
1	缺口圆盘Ⅰ型(缺口数为 8) Disc type I (notch number is 8)	3.0	5	2
2	缺口圆盘Ⅱ型(缺口数为 9) Disc type II (notch number is 9)	4.0	7.5	4
3	缺口圆盘Ⅲ型(缺口数为 10) Disc type III (notch number is 10)	5.0	10	6

如图 7 所示,试验选用 3 种基本参数相同但缺口数不同的缺口圆盘。缺口圆盘材料为 65Mn,直径 430 mm,厚度 4.5 mm,边缘刃口厚度 1.5 mm;缺口数分别为 8,9,10。配重是影响破茬深度的重要因素^[14],为保证缺口圆盘切土深度为 80 mm,选择配重为 120 kg。

为模拟田间实际作业情况,结合测试内容,确定土壤和地表的秸秆状况详见表 2。每次测试前必须进行土壤和地表整理,使其达到试验设定条件,确保

表 2 缺口圆盘性能测试的土槽试验条件

Table 2 Experimental conditions for the performance of disc

土壤 Soil			秸秆 Straw		
土壤性质 Soil properties	平均含水率/% Average moisture content	平均坚实度/kPa soil compactness	平均直径/mm Average diameter	平均含水率/% Average moisture content	秸秆量/(根·m ⁻¹) Number of straw
壤土 Loam	13	205	17.56	15.2	10

3.2.3 试验方案 根据试验因素水平进行正交试验设计,试验方案及结果分析如表 3 所示。

3.3 试验结果与分析

按照试验方案实施试验,每组试验重复 3 次,取

要表现为作业质量和功率消耗。通过预试验及考虑实际作业状况,选择破茬率作为作业质量的评价指标,以牵引阻力作为功率消耗的评价指标。破茬率 φ 的计算公式为:

$$\varphi=n/N\times100\%。$$

式中: n 为切断秸秆数, N 为被切秸秆总数。

牵引阻力 F 的计算公式为:

$$F=F_1+F_2。$$

式中: F_1 为圆盘刀切土阻力, N ; F_2 为圆盘刀破茬阻力, N 。

3.2.2 试验因素 根据国内外学者的研究,影响圆盘刀破茬能力和功耗的主要因素有圆盘刀类型、入土深度、土壤含水率、前进速度、配重、圆盘刀的安装参数等^[10-13]。其中圆盘刀类型对破茬能力影响较为显著,作业速度与圆盘刀的安装参数既影响破茬率,也对牵引阻力有影响。因此,根据试验目的和经验,本试验确定前进速度、圆盘刀类型、圆盘刀的偏角和倾角为试验因素。各试验因素及其水平见表 1。

试验数据的可比性与科学性。

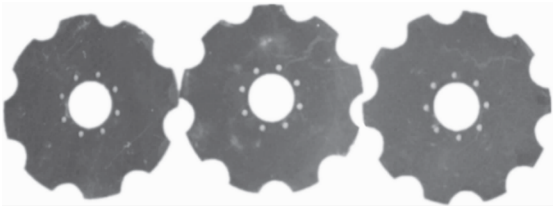


图 7 供试的不同类型的缺口圆盘

Fig. 7 Different types of passive notched discs

其平均值,试验结果如表 3 所示。对所得试验数据进行极差分析,结果表明,对于破茬率,最优组合为 $A_1B_2C_1D_2$;对于牵引阻力,最优组合为 $A_2B_1C_1D_1$,这与包文育^[15]、白晓虎^[16]缺口圆盘田间试验的结论

基本一致。

表 3 缺口圆盘性能试验方案及结果分析

Table 3 Test program and results analysis for the performance of disc

试验号 No.	试验因素 Experimental factor				试验指标 Experimental index	
	A 圆盘刀类型 Disc types	B 前进速度/ (km·h ⁻¹) Speed	C 偏角/(°) Sweep angle	D 倾角/(°) Tilt angle	破茬率/% Stubble- cutting rate	牵引阻力/N Traction resistance
1	1	1	1	1	78.7	3 929.7
2	1	2	2	2	82.7	4 236.2
3	1	3	3	3	76.3	4 126.6
4	2	1	2	3	71.4	3 779.6
5	2	2	3	1	72.0	3 735.5
6	2	3	1	2	75.0	3 796.9
7	3	1	3	2	71.3	3 820.7
8	3	2	1	3	77.5	3 834.0
9	3	3	2	1	67.5	3 891.2
破茬率/% Stubble- cutting rate	极差 Range	0.071 3	0.045	0.038 7	0.036	
	优水平 Optimal levels	A ₁	B ₂	C ₁	D ₂	
	主次因素 Factors order	A、B、C、D				
牵引阻力/N Traction resistance	极差 Range	326.86	94.86	115.43	99.14	
	优水平 Optimal levels	A ₂	B ₁	C ₁	D ₁	
	主次因素 Factors order	A、C、D、B				

试验结果还表明,被动式缺口圆盘破茬率平均为 74.71%。而马洪亮等^[2]、李卫等^[17]分别研究了不同种类主动式圆盘的破茬情况,在转速为 350 r/min 时破茬率分别可达到 97%和 93%以上,可见被动式缺口圆盘破茬率明显低于主动式。对试验过程的高速录像进行观察分析,结果(图 8)显示:秸秆①为圆盘缺口处秸秆,圆盘缺口处将秸秆①压入土

中,但秸秆①未被完全切断,附着于圆盘缺口处向前滚动,遇到异形架阻挡后掉落;秸秆②为圆盘刃口处秸秆,圆盘边缘刃口处则可以直接切断秸秆②,且秸秆②几乎不被圆盘带走。由此可见,对缺口圆盘破茬性能起主要作用的是圆盘边缘而非其缺口,这也是被动式缺口圆盘破茬率不高的主要原因。

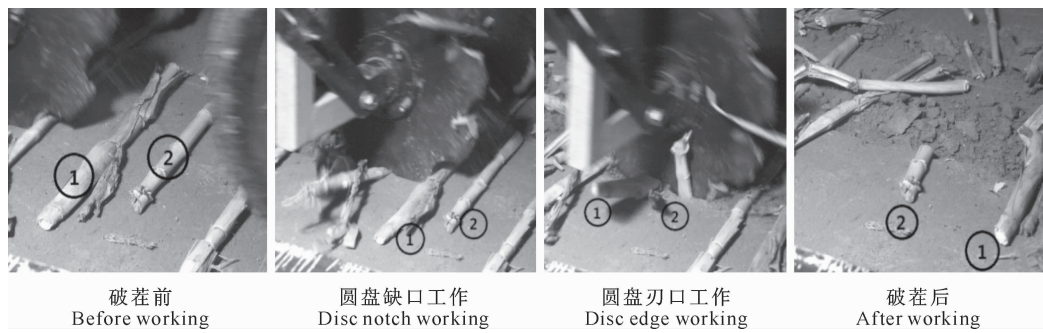


图 8 缺口圆盘破茬效果的高速摄影观察

Fig. 8 High-speed photography of stubble-cutting

方差分析结果(表 4)表明:对破茬率影响最显著的因素是圆盘刀类型,前进速度次之,此后依次是偏角和倾角;对牵引阻力影响最显著的因素是圆盘刀类型,其次依次为倾角、前进速度、偏角。

综合考察破茬率和牵引阻力 2 个指标,圆盘刀类型的影响程度最大,而 A₁ 相对 A₂ 而言,虽然牵引阻力提高 7.9%,但破茬率提高 8.8%,因此圆盘刀类型取 A₁ 为好;对于前进速度,相对 B₁ 而言,虽然 B₂ 牵引阻力升高 2.4%,但破茬率提高 4.9%,因

此取 B₂ 为好;对于倾角,相对 D₁ 而言,虽然 D₂ 牵引阻力升高 2.6%,但破茬率提高 4.9%,因此取 D₂ 为好。运用综合平衡法^[18],可得出最优组合方案为 A₁B₂C₁D₂。

对正交试验得出的最优组合进行了 3 次重复试验,最优方案重复验证试验结果稳定性很高,牵引阻力有了明显降低,破茬率平均为 76.5%,牵引阻力平均为 3 714.8 N。与正交试验结果(表 2)中最接近最优组合的试验 2(A₁B₂C₂D₂)相比,虽破茬率降

低 7.5%,但牵引阻力降低了 12.3%。综合考虑,可以认为最优试验组合为 A₁B₂C₁D₂。

表 4 圆盘刀性能正交试验结果的方差分析

Table 4 Variance analysis of orthogonal test

指标 Index	方差来源 Sources of variance	偏差平方和 DEVSSQ	自由度 Degree of freedom	均方和 Mean square	F 值 F numbers	临界值 F _α	显著性 Significance
破茬率 Stubble- cutting rate	A	3.09×10 ⁻³	2	1.55×10 ⁻³	31.63	F _{0.05} (2,2)=19.00	* * *
	B	1.12×10 ⁻³	2	5.61×10 ⁻⁴	11.45	F _{0.10} (2,2)=9.00	* *
	C	8.55×10 ⁻⁴	2	4.27×10 ⁻⁴	8.71	F _{0.25} (2,2)=3.00	*
	D	6.67×10 ⁻⁴	2	3.33×10 ⁻⁴	6.80	F _{0.25} (2,2)=3.00	*
	误差 Error	9.80×10 ⁻⁵	2	4.90×10 ⁻⁵			
牵引阻力 Traction resistance	A	5.83×10 ⁴	2	2.91×10 ⁴	47.31	F _{0.05} (2,2)=19.00	* * *
	B	5.82×10 ³	2	2.91×10 ³	4.73	F _{0.25} (2,2)=3.00	*
	C	6.85×10 ³	2	3.43×10 ³	5.58	F _{0.25} (2,2)=3.00	*
	D	5.01×10 ³	2	2.50×10 ³	4.07	F _{0.25} (2,2)=3.00	*
	误差 Error	1.23×10 ³	2	6.15×10 ²			

4 结 论

1)所设计的被动式圆盘刀试验装置可以满足圆盘刀多种条件下的作业性能试验要求,且具有很好的试验精度。

2)各因素对牵引阻力影响的主次顺序为圆盘刀类型、前进速度、偏倾角,且均影响显著。

3)本研究在室内土槽试验条件下,通过正交试验和验证试验,综合考虑破茬率与牵引阻力,得到被动式缺口圆盘影响因素及水平的最佳组合为:8 缺口圆盘、前进速度 4 km/h、偏角 5°、倾角 4°,在此条件下平均破茬率为 76.5%,平均牵引阻力为 3 714.8 N。

[参考文献]

[1] 农业部农机化管理司. 中国保护性耕作 [M]. 北京:中国农业出版社,2008:1-5.
Agricultural Mechanization Management Division. Conservation tillage in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008:1-5. (in Chinese)

[2] 马洪亮,高焕文,李洪文,等. 驱动圆盘刀切断玉米秸秆和根茬的土槽试验 [J]. 农业机械学报,2007,38(5):47-50,54.
Ma H L,Gao H W,Li H W,et al. Experimental study on corn stalk and rootstalk cutting by driven disc [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(5): 47-50,54. (in Chinese)

[3] 庄 健,贾洪雷,马云海,等. 具有滑刀式缺口的圆盘开沟器设计与试验 [J]. 农业机械学报,2013,44(1):83-88.
Zhuang J,Jia H L,Ma Y H,et al. Design and experiment of sliding-knife-type disc opener [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44 (1): 83-88. (in Chinese)

[4] 高焕文,李洪文,姚宗路. 我国轻型免耕播种机研究 [J]. 农业机械学报,2008,39(4):78-82.
Gao H W,Li H W,Yao Z L. Study on the Chinese light no-till

seeders [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2008,39(4):78-82. (in Chinese)

[5] 吴仕宏,李宝筏,包文育. 新型垄作耕播机破茬清垄装置的研究 [J]. 农机化研究,2007(1):116-122.
Wu S H,Li B F,Bao W Y. Research on the new type residues cutting and ridge cleaning device of till planter [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007 (1): 116-122. (in Chinese)

[6] 廖庆喜,高焕文,舒彩霞. 免耕播种机防堵技术研究现状与发展趋势 [J]. 农业工程学报,2004,20(1):108-112.
Liao Q X,Gao H W,Shu C X. Present situations and prospects of anti-blocking technology of no-tillage planter [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2004, 20(1):108-112. (in Chinese)

[7] 张守勤,左春桢,马成林. 圆盘开沟器受力模型的研究 [J]. 农业机械学报,1998,29(1):71-75.
Zhang S Q,Zuo C C,Ma C L. The study on the model of disc coultter force [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1998,29(1):71-75. (in Chinese)

[8] 左春桢,张守勤,马成林,等. 圆盘开沟器减粘降阻的试验研究 [J]. 农业机械学报,1997,28(1):41-44.
Zuo C C,Zhang S Q,Ma C L,et al. The study on the adhesion-decreasing and resistance-reducing of disc opener [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1997, 28(1):41-44. (in Chinese)

[9] Mike A,Jack D,EIKamil T. Disc seeding in zero-till farming systems;a review of technology and paddock issues [M]. Cunderdin,Australia;Western Australian No-Tillage Farmers' Association (WANTFA),2010:7-39.

[10] 林 静,李 博,李宝筏,等. 阿基米德螺旋线型缺口圆盘破茬刀参数优化与试验 [J]. 农业机械学报,2014,44(6):1-9.
Lin J,Li B,Li B F,et al. Parameter optimization and experiment on Archimedes spiral type gap cutting disc [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014, 44(6):1-9. (in Chinese)

[11] 张守勤,马 旭. 圆盘开沟部件的受力及计算机模拟 [J]. 农业工程学报,1995,11(4):52-56.

Zhang S Q, Ma X. Force the disc opener parts and computer simulation [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1995, 11(4): 52-56. (in Chinese)

[12] William R G, Alvin C B, Carl A R. Harrow disk curvature-influence on soil penetration [J]. Transactions of the ASAE, 1982, 4(6): 105-112.

[13] 潘 涛. 小麦免耕播种机防堵装置的设计研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.

Pan T. Design and research of the anti blocking equipment for wheat no tillage planter [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2005. (in Chinese)

[14] 赵 旭, 张祖立, 唐 萍, 等. 被动式倾斜波纹圆盘破茬刀工作性能试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 64-67.

Zhao X, Zhang Z L, Tang P, et al. Behavior of passive stubble-cutting disc with oblique ripples [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(1): 64-67. (in Chinese)

[15] 包文育. 东北垄作免耕播种机关键部件研究与整机设计 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009.

Bao W Y. Study on key parts and holistic device of the no-till planter of the ridge cropping system in northeast area of China [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009. (in Chinese)

[16] 白晓虎. 免耕播种机关键部件及其参数化设计方法研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.

Bai X H. Study on key karts of no-till planter and parameterization resign method [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012. (in Chinese)

[17] 李 卫, 李问盈, 孙先鹏. 几种圆盘驱动破茬开沟性能的土槽试验比较 [J]. 农机化研究, 2008(8): 127-129, 133.

Li W, Li W Y, Sun X P. Comparison and experiment on cutting and ditching capability of four driven disc [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(8): 127-129, 133. (in Chinese)

[18] 林维宣. 试验设计方法 [M]. 辽宁大连: 大连海事大学出版社, 1995: 134-142.

Lin W X. Design of experiment [M]. Dalian, Liaoning: Dalian Maritime University Press, 1995: 133-142. (in Chinese)

(上接第 221 页)

[18] 黄素群, 徐宏利, 刘从军. 光电旋转编码器在自动化生产线的应用 [J]. 现代显示, 2006(69): 63-66.

Huang S Q, Xu H L, Liu C J. Application of elctro-optic rotary encoder in automatic production line [J]. Advanced Display, 2006(69): 63-66. (in Chinese)

[19] 毕立海, 王 静, 金红兵. 解决 PLC 控制系统应用中干扰问题的方法 [J]. 机械制造与自动化, 2007, 36(2): 126-128.

Bi L H, Wang J, Jin H B. Method of the problem with signal to noise in PLC control system [J]. Manufacture of Machinery and Automation, 2007, 36(2): 126-128. (in Chinese)

[20] 张存礼. PLC 控制系统的干扰源分析及抑制干扰对策 [J]. 电力自动化设备, 2006, 26(8): 8-11.

Zhang C L. Interference source analysis of PLC control system and its countermeasures [J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(8): 8-11. (in Chinese)

(上接第 227 页)

[13] 杨仁全, 王 纲, 周增产, 等. 精密施肥机的研究与应用 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(S1): 197-199.

Yang R Q, Wang G, Zhou Z C, et al. Research and application of precise fertilizer applicator [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(S1): 197-199. (in Chinese)

[14] 姚舟华, 魏新华, 左志宇. 自动灌溉施肥机工作状态监测系统 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(S1): 44-46.

Yao Z H, Wei X H, Zuo Z Y. Development of working status monitoring device for automatic fertigation system [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2012, 43(S1): 44-46. (in Chinese)

[15] 俞卫东, 刘永华, 孔德志, 等. 基于 PLC 的智能灌溉施肥机的研制 [J]. 中国农机化学报, 2013, 34(6): 177-179.

Yu W D, Liu Y H, Kong D Z, et al. Development of an intelligent fertigation applicator based on PLC [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(6): 177-179. (in Chinese)

[16] 蔡象元. 现代蔬菜温室设施和管理 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2009.

Cai X Y. Modern vegetable greenhouse facilities and management [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2009. (in Chinese)