

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.006

玉米苗期地膜回收机结构参数分析与试验*

杨丽 张东兴 侯书林 徐飞

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 针对玉米收获后地膜老化碎裂、机收困难的问题,结合玉米幼苗柔韧、不易折断的特点,采用起膜轮起膜、卸膜胶带脱膜和卸膜轮收集地膜的结构方案,设计出一种玉米苗期地膜回收机。通过机构分析和试验,确定了关键部件的结构参数。起膜齿倾角 θ 和长度 l 是影响机具起膜性能的主要因素,当 $\theta=20^\circ$ 、 $l=40$ mm时,机具起膜率不低于95%,同时具有良好的通过性。田间试验表明:当玉米苗株高度不大于30 cm时,地膜收净率可达92.1%,伤苗率不大于7.2%,能实现一膜两行苗期玉米地的地膜捡拾回收。

关键词: 地膜回收机 玉米 苗期 结构参数 试验

中图分类号: S223.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)12-0029-06

Analysis of Structural Parameters and Experiment of Plastic Film Collector for Corn Fields During Seedling Period

Yang Li Zhang Dongxing Hou Shulin Xu Fei

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

Abstract

Focusing on the problem of fragmentation of plastic film and difficult recovery using machine, combining with the flexible features of corn seedlings, a plastic film collector which could recover plastic film during corn seedling period was designed. The plastic film was picked up by using pick-up wheels which had inclined fingers, and separated from the wheels by using flat belt and sent to collecting box by using sweeping wheel. The key structural parameters were determined by mechanism analysis and tests. The main factors which influenced picking up of plastic film were inclined angle θ and length l of the inclined fingers. The picking up rate was no less than 95% and passing ability of the collector was good when $\theta=20^\circ$ and $l=40$ mm. Experiment results showed that the recovery rate was 92.1% and the injury rate to corn seedlings was less than 7.2% when the height of corn seedlings was lower than 30 cm. The collector could fulfill to pick up plastic film during corn seedling period.

Key words Plastic film collector, Maize, Seedling period, Structural parameters, Experiment

引言

国内一些科研机构对机械化地膜回收进行过相关机具的研究。中国农业大学开发了1ZSM-II型残膜回收机^[1~4],新疆农业科学院研制了QSM-2型残膜回收机^[5~8]和棉秸秆切碎及残膜回收联合作业机^[9~11],新疆和硕县农机局开发了QMB-1500

型后置式起膜拔棉秆机^[12],东北农业大学研制了收膜整地多功能作业机^[13]等。这些机型都是针对作物收获后的地膜回收。然而,目前国内使用的地膜厚度大多为6 μ m左右,如此薄的地膜经过播种、中耕和收获等作业环节,以及自然风化侵蚀作用后裂化或断裂成碎片,导致机械化作业地膜回收率不高,动力消耗较大。

收稿日期:2010-01-12 修回日期:2010-05-07

*“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2007BAD89B04)

作者简介:杨丽,副教授,博士,主要从事农业装备、农业机器人研究,E-mail:yl_hb68@126.com

通讯作者:张东兴,教授,博士生导师,主要从事农业装备研究,E-mail:zhangdx@cau.edu.cn

针对作物收获后机械化回收地膜存在的问题,结合苗期地膜老化较轻、比较完整、膜上土层积累少、便于机械化收膜的特点,同时考虑到在作物生长后期,对提高地温的要求已不明显,有学者提出在苗期进行收膜。新疆农业科学院研制了 MSM 系列棉花苗期残膜回收机^[14-16],东北农业大学研制了 MS-2 型玉米苗期收膜中耕联合作业机^[17],这些机具都采用卷膜轮卷膜方式,需由人工将膜端缠绕在卷膜轮上,待残膜卷到一定程度停机,再由人工将膜卸下来,费时费力。另外,中国农业大学也进行了苗期地膜回收机起膜轮的设计和研 究^[18]。

针对上述问题,本文设计一种不需人工辅助,能自行挑膜、卷膜和卸膜的玉米苗期地膜回收机,分析其结构参数,并进行田间性能试验。

1 整机结构

玉米苗期地膜回收机三维示意图如图 1 所示,主要由机架、起膜轮、卸膜轮、卸膜胶带、集膜箱、松土铲、地轮等组成。

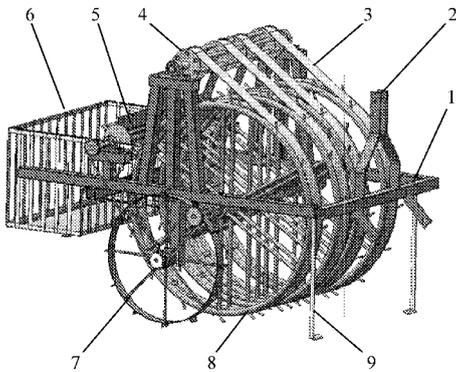


图 1 地膜回收机三维示意图

Fig. 1 3-D schematic diagram of collector

1. 机架 2. 悬挂架 3. 卸膜胶带 4. 张紧轮 5. 卸膜轮
6. 集膜箱 7. 地轮 8. 起膜轮 9. 松土铲

机具后悬挂于小四轮拖拉机上,起膜轮和卸膜轮均由地轮驱动。固连在地轮轴上同轴的两个链轮分别用于驱动起膜轮和卸膜轮。卸膜平胶带张紧于起膜轮与张紧轮之间,用于将地膜从起膜轮齿上脱离。松土铲位于起膜轮前方,用于松动膜边的土壤,便于起膜。集膜箱位于卸膜轮后下方,用于盛放收集起来的地膜。

2 起膜与卸膜原理及参数分析

2.1 起膜与卸膜原理

地膜回收机的起膜、卸膜原理如图 2 所示。在拖拉机牵引力作用下,机具以图示的速度 v 向前运动。松土铲伸入边膜下方将其上的土壤松动,以便顺利起膜。起膜轮在地轮的驱动下作顺时针转动,

其上的起膜齿穿透地膜,在滚动前进的同时将地膜挑起,并随之一起向后上方运动。当地膜运动到起膜轮与卸膜胶带分开的位置 A 点时,在卸膜胶带的作用下开始与起膜轮分离(但仍挂在起膜齿上);当运动到 B 点时,地膜被卸膜胶带绷着完全脱离起膜齿,同时由与地膜运动方向相反的卸膜轮在此处将地膜从卸膜胶带上刮下,并扫入集膜箱中。

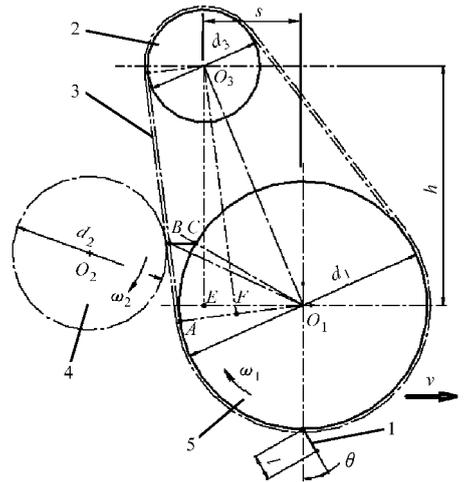


图 2 起膜与卸膜原理图

Fig. 2 Schematic diagram of picking and separating film

1. 起膜齿 2. 张紧轮 3. 卸膜胶带 4. 卸膜轮 5. 起膜轮

2.2 起膜轮与张紧轮位置参数

为了使地膜在 B 点处能顺利从起膜齿上脱离,此时起膜齿应处于水平位置(图 2)。因此,起膜轮和张紧轮之间的水平距离 s 和垂直距离 h 必须满足

$$s = h \tan \gamma + \frac{d_1 - d_3}{2 \cos \gamma} \quad (1)$$

式中 d_1 ——起膜轮直径

d_3 ——张紧轮直径

γ ——直线 AO_1 与 EO_1 (或直线 EO_3 与 FO_3) 之间的夹角

$$\gamma = \angle BO_1A - \angle BO_1E =$$

$$\arccos \frac{l_{AO_1}}{l_{BO_1}} - \left(\theta - \arccos \frac{l_{CO_1}^2 + l_{BO_1}^2 - l_{BC}^2}{2l_{CO_1}l_{BO_1}} \right) \quad (2)$$

式中 θ ——起膜齿倾角

已知 $l_{BC} = l$ (起膜齿长), $l_{CO_1} = l_{AO_1} = \frac{d_1}{2}$, 当起膜

齿倾角 θ 和齿长 l 确定以后,代入式(2),即计算出 γ ,再代入式(1),即可得出起膜轮和张紧轮之间的水平距离 s 和垂直距离 h 之间的关系。

2.3 起膜轮结构参数

为了使起膜轮能顺利扎起地膜,其起膜齿倾角 θ 和齿长 l 的选取至关重要。当机具以图 3 所示的速度 v 向前运动时,若起膜齿沿 MN_1 所示的方向设置 ($\theta < 0^\circ$),则起膜效果最好,但卸膜位置应在 B_1 点

处(起膜齿在 $C_1 B_1$ 位置处于水平状态),则集膜箱就必须设置在起膜机构和拖拉机之间,势必造成收膜机整机结构不合理,因此起膜齿必须沿 MN 或 MN_2 方向设置。显然起膜齿沿 MN 方向($\theta = 0^\circ$)比沿 MN_2 方向设置起膜效果更好,设此时卸膜轮中心 O_2 与地面间距离为 h_1 ,则

$$h_1 < \frac{d_1}{2} \quad (3)$$

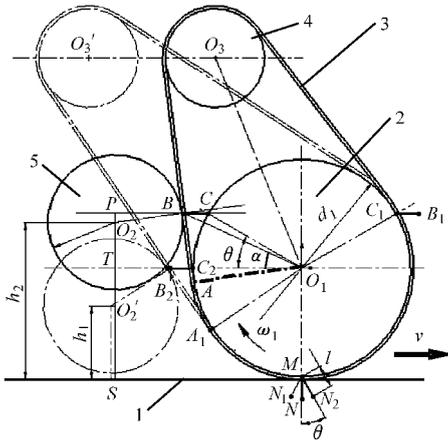


图 3 起膜齿与卸膜机构参数关系图

Fig. 3 Parameter relationship between pick-up finger and separation mechanism

- 1. 地面 2. 起膜轮 3. 卸膜胶带 4. 张紧轮 5. 卸膜轮

由式(3)可知,要使卸膜轮下方有足够的空间设置集膜箱,并使集膜箱下部 30 cm 的玉米苗顺利通过,则起膜轮直径 d_1 必须足够大。但 d_1 太大会使整机结构庞大,增加不必要的动力消耗,因此起膜齿不能沿 MN 方向设置。

当起膜齿沿 MN_2 方向设置时,设此时卸膜轮中心 O_2 与地面间距离为 h_2 ,则

$$h_2 = l_{O_2T} + l_{TS} = l_{PT} - l_{PO_2} + l_{TS} = l_{BO_1} \sin \alpha - \frac{d_2}{2} \sin \beta + \frac{d_1}{2} \quad (4)$$

式中 $l_{BO_1} = \sqrt{l^2 + \left(\frac{d_1}{2}\right)^2} - ld_1 \cos(180^\circ - \theta)$

令 $l_{BO_1} = a$, 得

$$\alpha = \theta - \angle CO_1B = \theta - \arccos \frac{\frac{d_1^2}{2} - ld_1 \cos(180^\circ - \theta)}{ad_1} \quad (5)$$

$$\beta = 90^\circ - \angle ABC =$$

$$90^\circ - \left[\arcsin \frac{d_1}{2a} + \arccos \frac{a^2 + l^2 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^2}{2al} \right] \quad (6)$$

令 $\angle CO_1B = \phi$, $\angle ABC = \lambda$, 将式(5)、(6)代入式(4),得

$$h_2 = a \sin(\theta - \phi) - \frac{d_2}{2} \sin(90^\circ - \lambda) + \frac{d_1}{2} \quad (7)$$

由式(7)可知,卸膜轮中心与地面间的距离 h_2 与起膜轮直径 d_1 、卸膜轮直径 d_2 、起膜齿倾角 θ 和齿长 l 有关。当 d_1 、 d_2 一定时, θ 值越大, l 值越小,卸膜轮中心与地面距离越大,机具的通过性越好,但随着 θ 值的增大或 l 值的减小,起膜齿起膜性能变差。 θ 和 l 值由试验确定。

3 起膜与卸膜速度的匹配

3.1 起膜与地轮行走速度的匹配

在收膜过程中,为了不出现地膜撕断现象,在相同时间内地轮前进的距离应与起膜轮卷起的地膜长度一致,则有

$$\frac{d}{2} \omega t = \frac{d_1}{2} \omega_1 t \quad (8)$$

式中 d ——地轮直径,取 600 mm

d_1 ——起膜轮直径,取 1 000 mm

ω ——地轮角速度

ω_1 ——起膜轮角速度

t ——机具前进时间

由于起膜轮由地轮采用链条驱动(图 4),链轮 1 和链轮 3 的线速度相等,都等于链条 1 的速度 v_3 ,则有

$$v_3 = \frac{z_3 p \omega}{60 \times 1000} = \frac{z_1 p \omega_1}{60 \times 1000} \quad (9)$$

式中 z_1 ——链轮 1 的齿数

z_3 ——链轮 3 的齿数

p ——链条 1 节距, mm

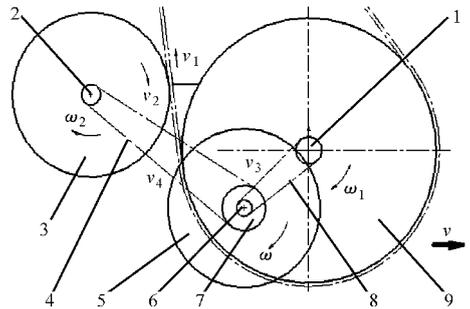


图 4 链轮传动系统示意图

Fig. 4 Schematic diagram of transmission system

- 1. 链轮 1 2. 链轮 2 3. 卸膜轮 4. 链条 2 5. 地轮 6. 链轮 3 7. 链轮 4 8. 链条 1 9. 起膜轮

由式(8)、(9)可得

$$\frac{z_1}{z_3} = \frac{d_1}{d} \quad (10)$$

因此,只要使链轮 1 和链轮 3 的齿数满足式(10),即可保证地膜不会被撕断。设计时选链轮 3 的齿数 $z_3 = 18$,链轮 1 的齿数 $z_1 = 30$ 。

3.2 卸膜与起膜速度的匹配

在收膜过程中,为了不出现地膜滞留或堵塞现象,起膜轮卷起的地膜在脱离起膜齿后,应由卸膜轮将其迅速、及时地卸入集膜箱中,即卸膜轮在卸膜点处的线速度 v_2 必须大于卸膜胶带的线速度 v_1 ,即

$$v_2 > v_1 \quad (11)$$

由于 $v_2 = \frac{d_2}{2}\omega_2$, $v_1 = \frac{d_1}{2}\omega_1$, 则有

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} < \frac{d_2}{d_1} \quad (12)$$

式中 d_2 ——卸膜轮直径,取 220 mm

ω_2 ——卸膜轮角速度

由于卸膜轮由地轮采用链条驱动,链轮 2 和链轮 4 的线速度相等,都等于链条 2 的速度 v_4 ,则有

$$v_4 = \frac{z_4 p' \omega}{60 \times 1000} = \frac{z_2 p' \omega_2}{60 \times 1000} \quad (13)$$

式中 z_2 ——链轮 2 的齿数

z_4 ——链轮 4 的齿数

p' ——链条 2 节距,mm

由式(9)和式(13)可得

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2 z_3}{z_1 z_4} \quad (14)$$

由式(12)和式(14)可得

$$\frac{z_2}{z_4} < \frac{d_2 z_1}{d_1 z_3} \quad (15)$$

因此,只要使链轮 2 和链轮 4 的齿数满足式(15),即可保证起膜轮卷起的地膜能被迅速、及时地卸下。设计时选链轮 2 的齿数 $z_2 = 22$,链轮 4 的齿数 $z_4 = 62$ 。

4 结构参数对起膜性能的影响

地膜回收机的起膜性能是确定起膜轮结构参数的主要依据。为了比较起膜轮不同组合的结构参数对起膜性能的影响,以起膜齿长度 l 、起膜齿倾角 θ 和起膜轮单边圆周上起膜齿个数 n 为试验因素安排正交试验,试验因素和水平如表 1 所示。

表 1 试验因素和水平

Tab.1 Experimental factors and levels

水平	因素		
	起膜齿长度 l /mm	起膜齿倾角 θ /($^\circ$)	起膜齿个数 n /个
1	30	15	12
2	40	20	15
3	50	25	18

选用 $L_9(3^4)$ 正交试验表安排试验,以起膜轮的起膜率为评价指标。起膜率的计算方法是:每组试

验设置长 2 m 的测试区 30 个,在测试区上铺好地膜,以起膜轮从测试区起始处即能平整卷起地膜的次数与该组试验次数的比值计算起膜率。试验方案及结果如表 2 所示。

表 2 起膜轮结构参数对起膜性能影响试验结果

Tab.2 Test results of picking up film by structural parameters of pick-up wheel

试验序号	因素			起膜率 /%
	起膜齿长度 a	起膜齿倾角 b	起膜齿个数 c	
1	1	1	1	93.3
2	1	2	2	93.3
3	1	3	3	86.7
4	2	1	3	100
5	2	2	1	96.7
6	2	3	2	90.0
7	3	1	2	100
8	3	2	3	96.7
9	3	3	1	93.3
k_1	91.1	97.8	94.4	
k_2	95.6	95.6	94.4	
k_3	96.7	90.0	94.5	
R	5.6	7.8	0.1	
优水平	a_3	b_1	c_3	
主次因素	b, a, c			

由表 2 可知,试验因素对起膜性能影响的主次因素为 b, a, c , 优化组合为 $a_3 b_1 c_3$, 即起膜轮的最优结构参数为:起膜齿长 $l = 50$ mm、起膜齿倾角 $\theta = 15^\circ$ 、起膜轮单边圆周上起膜齿个数 $n = 18$ 。从表中也可看出,起膜齿长 l 取 40 mm 和 50 mm、齿倾角 θ 取 20° 和 15° 时的起膜率基本相同,而当 $l = 50$ mm、 $\theta = 15^\circ$ 时,代入式(7)可得 $h_2 = 606.8$ mm; 当 $l = 40$ mm、 $\theta = 20^\circ$ 时,代入式(7)可得 $h_2 = 662.5$ mm,可见取 $l = 40$ mm、 $\theta = 20^\circ$,可在保证起膜率基本相同的情况下,使卸膜轮位置升高 55.7 mm,从而使机具获得更好的通过性。

5 田间性能试验与结果分析

5.1 试验条件

田间试验在河北省唐山市丰南区四王庄村进行。试验地土壤为沙壤土,旋耕后由铺膜机铺放地膜,然后由人工播种玉米,一膜播玉米 2 行。地膜宽为 800 mm、厚为 0.006 mm。地膜铺好后,露在土壤外的宽度为 560 mm,膜面上玉米播种行距为 400 mm,株距 330 mm,大小行种植。当玉米苗长至 300 mm 左右时,进行收膜试验。

5.2 试验方法

随机选取测试区 10 块,每块测试区长 100 m,

由机具进行地膜回收,测定机具的地膜收净率和伤苗率两个指标。地膜收净率的测试方法是:在每个测试区上,先由机器作业收集地膜,然后由人工捡拾未收起的地膜,将地膜分别洗净、晾干、称量,以机收地膜与全部地膜的质量比计算本测试区地膜收净率,总地膜收净率取 10 个测试区地膜收净率的均值。伤苗率的计算方法是:在每个测试区上,先由人工数出所有玉米苗的棵数,在机器收集完地膜以后,再由人工数出被拔起和折断的玉米苗棵数,以被拔起和折断的玉米苗的棵数与所有玉米苗棵数的比值计算本测试区伤苗率,总伤苗率取 10 个测试区伤苗率的均值。

5.3 试验结果与分析

玉米苗期地膜回收机田间试验地膜收净率和伤苗率如表 3 所示。

表 3 地膜回收机田间试验结果

Tab. 3 Test results of plastic film collector

试验 编号	地膜质量/g		地膜收净 率/%	苗株数/棵		伤苗率 /%
	机收 地膜	未收起 地膜		苗株 总数	损伤 苗数	
1	799.9	54.5	93.6	605	19	3.1
2	813.1	44.9	94.8	603	15	2.5
3	789.6	61.3	92.8	598	43	7.2
4	778.7	58.4	93.0	610	9	1.5
5	743.5	102.0	87.9	612	24	3.9
6	791.2	65.5	92.4	605	23	3.8
7	765.3	83.6	90.2	595	21	3.5
8	761.9	89.7	89.5	601	12	2.0
9	789.4	69.8	91.9	609	36	5.9
10	806.6	38.2	95.5	608	16	2.6
平均值			92.1			3.6

试验结果表明,机具的平均地膜收净率为 92.1%,伤苗率最大为 7.2%,平均值为 3.6%,均满足机具设计要求。

影响地膜收净率的主要原因是:当膜面破口较大或膜面上积土较多并已板结时,会导致起膜齿捡拾不起地膜,或膜面挑起时不平整,一部分被起膜齿挑起,一部分被拖拽,影响机具的地膜收净率,同时也会造成伤苗。因此,华北地区一般要在 6 月上中旬之前完成收膜作业,此时地膜还没老化,破损较小,膜上的土壤板结情况较轻,地膜容易被顺利收起。当边膜压土太厚时,会导致地膜纵向撕裂并留在土里,因此压膜土厚度不宜超过 50 mm。

除了上述膜面破口较大或膜面上积土较多造成伤苗之外,影响伤苗率的原因还有:当播种行距变化较大时,容易引起伤苗,因此植株与地膜同行中心之间的偏差要小,尽量保持在 $200\text{ mm} \pm 20\text{ mm}$,以减少伤苗。玉米植株高度应在 30 cm 左右,过高容易伤苗。

6 结论

(1) 玉米苗期地膜回收机实现一膜两行苗期玉米地的地膜捡拾回收。田间试验表明,当玉米苗株高度不大于 30 cm 时,地膜收净率可达 92.1%,伤苗率不大于 7.2%。

(2) 采用起膜齿挑膜、起膜轮卷膜的方式,能很好适应玉米苗柔韧、不易折断的特点,起膜效果好;采用卸膜胶带和卸膜轮相配合的结构方案,能实现自动卸膜,不用人工辅助。

(3) 起膜齿倾角 θ 和长度 l 是影响机具起膜性能的主要因素。正交试验表明,当 $\theta = 20^\circ$ 、 $l = 40\text{ mm}$ 时,机具起膜率不低于 95%,同时具有良好的通过性。

参 考 文 献

- 张东兴. 残膜回收机的设计[J]. 中国农业大学学报, 1999, 4(6):41~43.
Zhang Dongxing. Research and design on collector of used plastic film on farm field[J]. Journal of China Agricultural University, 1999, 4(6):41~43. (in Chinese)
- 罗东升, 张东兴, 娄秀华. 地膜回收机拢膜机构的设计[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(4):39~41.
Luo Dongsheng, Zhang Dongxing, Lou Xiuhua. Design of a raking component on plastic mulch lifter[J]. Journal of China Agricultural University, 2001, 6(4):39~41. (in Chinese)
- 娄秀华, 张东兴, 耿端阳, 等. 残膜回收机起膜器的设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6):88~90.
Lou Xiuhua, Zhang Dongxing, Geng Duanyang, et al. Research and design on loosening shovel of polythene film collector [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(6):88~90. (in Chinese)
- 娄秀华, 张东兴, 张淑敏, 等. 1MS-II 型地膜回收机起膜铲动力性能试验分析[J]. 农业机械学报, 2004, 35(5):67~69.
Lou Xiuhua, Zhang Dongxing, Zhang Shumin, et al. Experimental investigation on performance of loosening shovel of 1MS-II polythene film collector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(5):67~69. (in Chinese)

- 5 王春耀, 陈发, 郭小军, 等. 弧形挑膜齿残膜清理滚筒运动分析[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 38~40.
Wang Chunyao, Chen Fa, Guo Xiaojun, et al. Analysis on the movement of arc spring-finger type plastic film residue pickup cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 38~40. (in Chinese)
- 6 陈发, 史建新, 赵海军, 等. 固定凸轮残膜捡拾机构的优化设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 43~46.
Chen Fa, Shi Jianxin, Zhao Haijun, et al. Optimum design of fixing cam combination mechanism for collecting plastic residue [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(12): 43~46. (in Chinese)
- 7 陈发, 史建新, 王学农, 等. 弧形齿残膜捡拾滚筒捡膜的机理[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 36~41.
Chen Fa, Shi Jianxin, Wang Xuenong, et al. Study on collecting principle of arc-type tooth roller for collecting plastic residue [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(6): 36~41. (in Chinese)
- 8 王学农, 陈发, 张佳喜, 等. 基于 SolidWorks 的残膜捡拾滚筒 3D 设计及运动仿真[J]. 农机化研究, 2007(4): 47~48.
Wang Xuenong, Chen Fa, Zhang Jiayi, et al. Residue based on the software of SolidWorks [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(4): 47~48. (in Chinese)
- 9 王学农, 冯斌, 陈发, 等. 棉秸秆切碎及残膜回收联合作业关键技术研究[J]. 新疆农业大学学报, 2005, 28(3): 49~52.
Wang Xuenong, Feng Bin, Chen Fa, et al. Research on key technic of cotton stalk shredding and used polythene film collecting combined machine[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2005, 28(3): 49~52. (in Chinese)
- 10 王学农, 史建新, 郭俊先, 等. 悬挂式棉秆粉碎还田搂膜机搂膜机构的设计与试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 135~140.
Wang Xuenong, Shi Jianxin, Guo Junxian, et al. Experimental study and design on film raking mechanism of hanging film raker with cotton-stalk crushing and returning to field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(1): 135~140. (in Chinese)
- 11 冯斌. 4JSM-1800 棉秸秆切碎还田残膜回收机的研究[D]. 北京:北京工业大学, 2004.
- 12 蒋建荣. QMB-1500 型后置式起膜拔棉秆机[J]. 新疆农机化, 2007(2): 12.
- 13 张惠友, 侯书林, 那明君, 等. 收膜整地多功能作业机的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 130~134.
Zhang Huiyou, Hou Shulin, Na Mingjun, et al. Multifunctional machine for retrieving the used plastic film after harvesting and soi preparation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(8): 130~134. (in Chinese)
- 14 薛文瑾, 王春耀, 朱振中, 等. 卷膜式棉花苗期残膜回收机的设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(3): 147~149.
- 15 刘晨, 薛文瑾, 朱振中, 等. MSM-3 型苗期残膜回收机[J]. 新疆农机化, 1999(4): 13.
- 16 王国强, 刘晨. MSM 型棉花苗期残膜回收机的改进及调整[J]. 新疆农机化, 2002(2): 37.
- 17 董欣, 那明君, 李元强, 等. MS-2 型玉米苗期收膜中耕联合作业机研究[J]. 农机化研究, 2003(2): 175~176.
- 18 张秋芳, 张东兴. 苗期地膜回收机起膜轮的设计[J]. 农机化研究, 2007(9): 84~86.
Zhang Qiufang, Zhang Dongxing. Design of film removing wheel for a polythene film collector during seedling period[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(9): 84~86. (in Chinese)
- 19 阎楚良, 杨方飞, 张书明. 数字化设计技术及其在农业机械设计中的应用[J]. 农业机械学报, 2004, 35(6): 211~214.
- 20 阎楚良. 农业机械数字化设计新技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2003.

(上接第 38 页)

- 11 胡建平, 陆黎. 磁吸式穴盘播种器图像监控系统设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(11): 88~92.
Hu Jianping, Lu Li. Design of the image monitored control system for the magnetic type precision seeder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(11): 88~92. (in Chinese)
- 12 曹辉. 磁道钉磁场特性试验研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2007.
Cao Hui. Experimental study on magnetic field characteristic of magnetic marker [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2007. (in Chinese)
- 13 苟晓凡, 杨勇, 郑晓静. 矩形永磁体磁场分布的解析表达式[J]. 应用数学和力学, 2004, 25(3): 271~278.
Gou Xiaofan, Yang Yong, Zheng Xiaojing. Analytic expression of magnetic field distribution of rectangular permanent magnets[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2004, 25(3): 271~278. (in Chinese)