

## 垄膜种植残膜回收机边膜铲的设计与试验

连 潇, 王建吉, 寇元哲\*

(陇东学院机械工程学院, 庆阳 745000)

**摘 要:** 针对垄膜种植作物收获后的垄侧边膜回收时因其风化且与覆土粘连, 捡拾难度大易遗漏, 严重降低了残膜回收率的问题, 设计了一种边膜铲。采用犁体曲面的水平元线设计法进行设计计算, 建立三维结构模型并做仿真分析, 加工边膜铲进行了田间试验。仿真结果表明边膜铲的结构设计及材料选型均满足要求, 田间试验结果表明边膜铲可将覆盖在边膜上的土翻起, 实现膜土分离。此边膜铲可有效协助捡拾机构完成边膜的捡拾, 提高了整机残膜回收率。

**关键词:** 残膜; 水平元线法; 边膜; 边膜铲

中图分类号: S223.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2020)03-0494-05

### Design and experiment of side-film shovel of residual film recycling machine for ridge and film trend-planting

LIAN Xiao, WANG Jianji, KOU Yuanzhe

(College of Mechanical Engineering, Longdong University, Qingyang 745000)

**Abstract:** A kind of side-film shovel was designed to solve the problem of low recovery of residual film after harvest, which was caused by weathering and adhesion with the overlying soil, difficulty in picking up and easy to miss. The horizontal element design method of the plough body surface was adopted in the design and calculation, the three-dimensional structure model was established and the simulation analysis was carried out. The side-film shovel was machined and field experiments were carried out. The simulation results showed that the structure design and the material selection of the side-film shovel meet the requirements. The field experiment results showed that the side-film shovel can lift the soil covering the side-film and realize the separation of the film and soil. The side-film shovel can effectively assist the pickup mechanism to complete the side-film pickup, and improve the recovery rate of residual film.

**Key words:** residual film; horizontal straight-line elements method; side-film; side-film shovel

我国西北旱地农业区, 因降雨量少且降雨时间与农作物生长期错位, 导致粮食产量低且不稳<sup>[1]</sup>, 地膜覆盖保墒技术, 实现了秋雨春用, 能够有效缓解春旱对农业生产的影响<sup>[2]</sup>, 因此成为保墒、增温、增加粮食产量最重要的途径<sup>[3]</sup>。据《中国农村统计年鉴》, 地膜使用量从 1981 年的 0.6 万 t 增加到 2018 年的 143.7 万 t<sup>[4]</sup>, 使用量增长约 240 倍, 且占世界地膜使用总量的近 90%<sup>[5]</sup>。随着覆膜种植的不断推广发展, 地膜残留导致的污染问题也日益突出, 以甘肃为例, 调查表明平均残留量在 100 kg·hm<sup>-2</sup> 以上<sup>[6]</sup>。

残膜回收作业中, 垄两侧边膜被土覆盖, 秋收

后回收残膜, 因日晒、风雨等的作用, 被覆盖的边膜与泥土粘连, 力学性能改变<sup>[7]</sup>, 强度下降, 回收比较困难, 导致残膜回收率不高<sup>[8]</sup>。以西北旱地垄膜玉米为例, 玉米种植垄宽 900 mm, 使用的地膜膜宽为 1 200 mm, 单边覆膜宽度为 150 mm, 则被土覆盖的边膜所占覆膜比例达 25%。

目前的残膜回收机边膜铲普遍采用双翼铲、单翼铲及开沟器等种类, 工艺简单, 工作时只将边膜的土进行简单的疏松, 不能很好的起到翻土、碎土及向垄集中边膜的作用, 作业中边膜有残留<sup>[9]</sup>。应用犁体曲面的水平元线法设计并加工了一种边膜

收稿日期: 2019-07-17

基金项目: 2017 甘肃省科技计划项目 (17YF1GM046) 和 2017 年陇东学院青年科技创新项目 (XYZK1625) 共同资助。

作者简介: 连 潇, 讲师。E-mail: 317808120@qq.com

\* 通信作者: 寇元哲, 副教授。E-mail: 625431832@qq.com

铲, 能够将玉米垄两边被土覆盖的边膜翻出并向垄集中, 使边膜能够与垄上的地膜一起被回收。

### 1 边膜铲的设计及仿真

#### 1.1 边膜铲导曲线设计

在机具前进过程中, 为了顺利清理垄两边被土覆盖的边膜, 需要将覆盖边膜的土壤从垄两侧向垄翻起的同时进行碎土, 使边膜能够被挑膜机构挑起回收。因此应用碎土型犁式犁导曲面的设计方法对起膜边铲的导曲面进行设计<sup>[10]</sup>。

以垄膜玉米为研究对象, 起垄宽度 900 mm, 膜宽 1 200 mm, 则单边膜宽 150 mm, 覆土后边膜宽度 80~100 mm, 铺膜断面示意图如图 1 所示, 设计参数如表 1 所示。

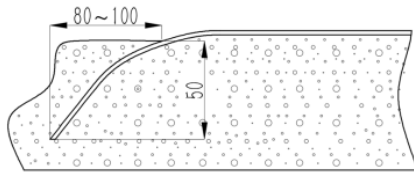


图 1 边膜覆盖断面图

Figure 1 Cross-section diagram of side film cover

表 1 导曲线设计参数

Table 1 Design parameters of guiding curves

设计参数 Design parameter	参数值 Parameter values
边膜宽 Wide of side-film (a)	60 mm
宽深比 Breadth depth ratio (k)	1.5
入土深度 The depth of the soil (b)	90 mm
顶边线最大高度 Maximum height of top edge(h <sub>max</sub> )	120 mm
导曲线开度 Opening of guide curve (L)	70 mm
入土刃下部直线 Lower line of the entry blade (S)	50 mm
入土刃起土角 Start angle of the entry blade (ε)	30°
切线夹角 Angularity of tangent line (ω)	110°
导曲线上倾角 Dip angle of guide curve Δε	10°

如图 2 所示, 以高度方向为 Z 轴, 开度方向为 M 轴建立直角坐标系, 根据铲体曲面的数学模型有, I 的直线方程为:

$$Z = M \times \tan \varepsilon \quad (1)$$

II 的直线方程为:

$$Z = h_{\max} - (M - L) \times \tan (90^\circ - \Delta \varepsilon) \quad (2)$$

$$O' \text{ 的坐标为: } \begin{cases} M_{O'} = S \times \cos \varepsilon \\ Z_{O'} = S \times \sin \varepsilon \end{cases} \quad (3)$$

$$p \text{ 点的坐标为: } \begin{cases} M_p = L \\ Z_p = h_{\max} \end{cases} \quad (4)$$

$$q \text{ 点的坐标为: } \begin{cases} M_q = \frac{h_{\max} + L \times \tan (90^\circ - \Delta \varepsilon)}{\tan (90^\circ - \Delta \varepsilon) + \tan \varepsilon} \\ Z_q = M_q \times \tan \varepsilon \end{cases} \quad (5)$$

将 I、II 直线等分 m 段, 则 I 上第 i 分隔点的

$$\text{坐标为: } \begin{cases} I M(i) = M_{O'} + i \times \frac{M_q - M_{O'}}{m} \\ I Z(i) = Z_{O'} + i \times \frac{Z_q - Z_{O'}}{m} \end{cases} \quad (6)$$

II 上第 i 各点的坐标为:

$$\begin{cases} II M(i) = M_q + i \times \frac{M_p - M_q}{m} \\ II Z(i) = Z_q + i \times \frac{Z_p - Z_q}{m} \end{cases} \quad (7)$$

将参数带入的 O' 点的坐标为 (43.3, 25), p 点的坐标为 (70, 120), q 点的坐标为 (82.7, 47.7)。qp 与 O'p 上 6 个分隔点的坐标值如表 2、3。

表 2 直线 I 上分隔点的坐标

Table 2 Coordinates of separation point on straight I

分隔点 Splitting point	1	2	3	4	5	6
I M(i)	49.9	56.5	63.0	69.6	76.2	82.7
I Z(i)	28.8	32.6	36.3	40.1	44.0	47.7

表 3 直线 II 上分隔点的坐标

Table 3 Coordinates of separation point on straight II

分隔点 Splitting point	1	2	3	4	5	6
II M(i)	84.8	86.9	89.1	91.2	93.8	95.4
II Z(i)	59.8	71.8	83.9	95.9	108.0	120.0

共 6 根水平直元线, 第 n 根的高度为  $Z_n = n \times \Delta H$ , 则水平直元线与直线 I、II 的交点横坐标为:

$$M(n, i) = I M(i) + [Z(n) - I Z(i)] \times \frac{II M(i) - I M(i)}{II Z(i) - I Z(i)} \quad (8)$$

将表 2、3 的参数代入 (8) 式可求得导曲线上各点的坐标值, 如表 4, 导曲线如图 2 所示。

表 4 水平元线各点坐标

Table 4 Coordinate of each point on the horizontal straight-line elements

分隔点 Splitting point	1	2	3	4	5	6
M(n, i)	40.0	62.2	76.0	85.0	91.2	95.4
Z(n)	11.0	22.0	33.0	44.0	55.0	66.0

#### 1.2 元线角的变化规律

初始元线角选择值  $\theta_0 = 45^\circ$ , 最小元线角  $\theta_{\min} = \theta_0 - 3^\circ = 42^\circ$ ,  $\theta_{\max} = \theta_0 + 5^\circ = 50^\circ$ 。

如图 3, 将水平坐标设为 Z 值, 以元线高度为

间隔,取Z值水平元线高度作为水平坐标,以元线号表示, $Z=n \times \Delta H$ ,取F代表 $\theta - \theta_{\min}$ 作为垂直坐标。坐标原点  $O_1(0, 0)$  相当于元线高度为0,  $\theta$  角为 $\theta_{\min}$ 时的数值,各元线角的值如表5。

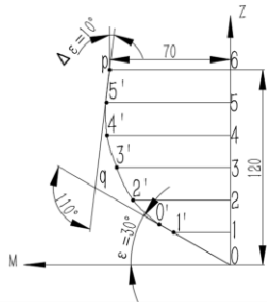


图2 导曲线

Figure 2 Guiding curves

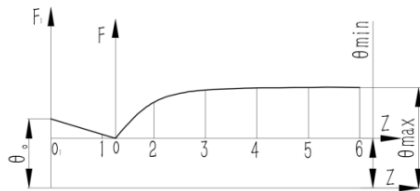


图3 元线角变化规律

Figure 3 Variation law of angle of element line

表5 元线角角度

Table 5 Angle of element line

元线数 Numbers of line elements	1	2	3	4	5	6
元线角角度 Angle of element line $\theta_i$	43.6	47.6	49.5	49.8	49.9	50.0

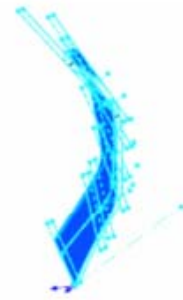
1.3 边膜铲导曲面的建立

如图3中所示,直线段  $OO'$  为入土刃段的高度,曲线段  $O'q$  为铲壁,根据导曲线与水平元线角  $\theta$  值建立铲曲面模型<sup>[11]</sup>,如图4(a)所示。铲刃线120 mm,胫刃线70 mm,壁顶线20 mm,顶边线最大高度120 mm,根据数值修正后的铲型如图4(b)所示。

1.4 边膜铲的结构及工作原理

边膜铲的设计结构如图5所示,主要由铲柄(尺寸、样式不受限制,加工时可根据机型需要重新调整)、铲壁、入土刃组成。入土刃仿梯形铧设计,通过沉头螺栓与铲壁连接构成铲体曲面。铲通过螺栓与机体上的方管连接,高度可通过调整螺栓在方管上的连接孔位来调节,随整机在拖拉机的牵引下前进,起膜铲的入土深度随整机的挑膜及起根装置一起调节。在重力及入土刃角的作用下入土,前进过程中垄两侧被土覆盖的边膜被翻起并通过边膜铲的

铲体曲面翻向垄面,在拾膜机构的作业过程中与垄上地膜一起被挑起回收。



(a) 导曲面建模图

(a) Guided surface modeling diagram

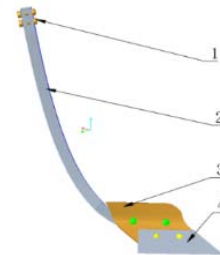


(b) 边膜铲型模型图

(b) Modeling diagram of side-shovel surface

图4 边膜铲导曲面建模

Figure 4 Modeling diagram of side-shovel guide surface



1. 连接螺栓; 2. 铲柄; 3. 铲壁; 4. 入土刃

1. Connecting bolt; 2. Shovel shaft; 3. Shovel wall; 4. The grave blade

图5 边膜铲结构

Figure 5 Structure diagrams of side-film shovel

1.5 边膜铲仿真分析

利用有限元 ANSYS14.0 对边膜铲进行仿真分析,用Creo进行实体建模,生成igs格式文件导入Workbench DM中进行网格划分,铲型为不规则形状,采用四面体法划分网格,网格大小0.5 mm。工作时,边膜铲与机架通过螺栓连接,在拖拉机牵引下工作。依据农业机械设计手册<sup>[12]</sup>,一般土壤的犁耕比阻为  $0.04 \sim 0.05 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,计算时取最大值  $0.05 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,求得边膜铲受牵引阻力  $q=270 \text{ N}$  及入土后的法向压力  $N=275.28 \text{ N}$ ,将力计算之后分解在空间坐标系  $x, y, z$  三个方向进行力的加载<sup>[13]</sup>,应力分布如图6所示。

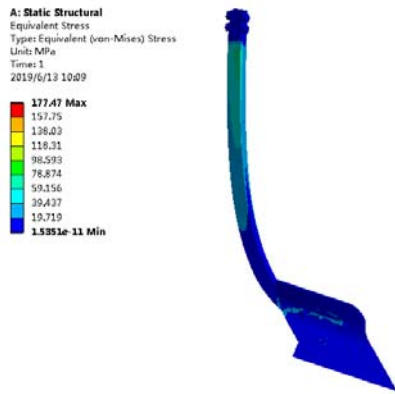


图 6 边膜铲应力云图

Figure 6 Stress nephogram of side-film shovel

45 号钢的许用应力 $[\sigma]=220$  Mpa, 65Mn 钢的许用应力 $[\sigma]=340$  MPa, 安装时采用方管加螺栓固定, 从应力云图中可以看出边膜铲收到的最大应力 177.47 MPa, 小于各材料的许用应力, 满足设计要求。

## 2 田间试验

### 2.1 试验条件

采用 45 号钢钢管为铲柄材料, 10 mm 厚的 65Mn 钢为入土刃材料, 3 mm 厚的 45 号钢做铲体曲面材料加工边膜铲, 如图 7 所示。

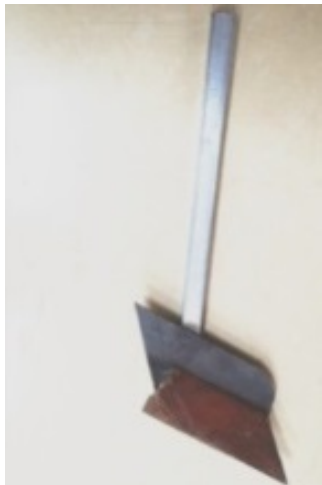


图 7 边膜铲加工成品图

Figure 7 Finished product of side-film shovel

表 6 样机参数

Table 6 Parameters of the prototype

参数名称	参数值
Name of parameter	parameter values
长 Length	1 000 mm
宽 Width	500 mm
高 Height	970 mm
拾膜机构转速	540~560 r·min <sup>-1</sup>
Speed of film pick up mechanism	
可调节高度 Adjustable height	25 mm



图 8 边膜铲试验过程图

Figure 8 Process diagram of side-film shovel



(a) 边膜铲试验过程图

(a) Test process diagram of side-film shovel



(b) 拾膜机构拾膜效果图

(b) Effect drawing of film picking mechanism

图 9 边膜铲试验过程图

Figure 9 Process diagram of side-film shovel

为了测试边膜铲性能, 将加工的边膜铲安装在垄膜玉米残膜回收机的二代样机上进行田间验证性试验<sup>[14]</sup>, 样机参数如表 6 所示, 采用电机驱动, 方

向需要人力辅助控制,作业宽度 500~600 mm。地膜厚度 0.008 mm,宽 700 mm,边膜掩埋深度为 50~60 mm。

## 2.2 试验方法

为了对比分析,试验时样机一侧安装边膜铲,另一侧未安装。选边膜的起膜及回收效果为试验指标,同时考察各装置的工作情况<sup>[15]</sup>。试验覆膜垄在试验区内,提前一周起垄并覆膜,垄长 10 m,垄高 50~60 mm。试验过程如图 8 所示为作业过程中边膜铲入土、翻土、翻膜的效果。

## 2.3 试验结果

试验结果如图 9 所示,(a)图可看到工作结束后安装边膜铲的一侧(图左边)边膜被全部挑起回收,而未安装的一侧因拾膜齿旋转作业过程中将膜割断,边膜未被挑起,几乎全部残留。(b)图中可看到被翻起的边膜与垄上的地膜一起被拾膜机构清理缠绕在拾膜辊上。

试验结果证明,边膜铲入土、翻土效果良好,可将覆盖边膜的土与边膜一起翻起向垄集中,样机整机工作性能良好,拾膜机构可将边膜及其他地膜顺利的拾起回收,边膜无残留,有效提高了残膜回收率。

## 3 结论

边膜铲的设计计算与仿真分析。以垄膜种植模式为研究对象,应用犁体曲面的水平元线设计法进行边膜铲的设计计算,确定了边膜铲的作业宽度、入土深度、导曲线及元线角,在 Creo 中建模并导入 Ansys Workbench 中进行仿真分析,求得边膜铲的最大应力为 177.47 MPa,小于各材料的许用应力,设计符合要求。

加工边膜铲并进行了试验验证。将边膜铲安装在垄膜残膜回收样机上,进行了田间验证性试验,结果表明,边膜铲入土及翻土效果良好,能够将覆

土的边膜顺利翻向垄使拾膜机构将边膜挑起回收,边膜无残留,有效的提高了残膜回收率。

## 参考文献:

- [1] 王绍美,金胜利,王刚.半干旱区全覆膜双垄沟播技术对玉米产量和水分利用效率的影响[J].甘肃农业大学学报,2010,45(4):100-106.
- [2] 张亚萍,胡志超,游兆延,等.铲筛式残膜回收机膜土分离技术研究[J].中国农机化学报,2018,39(8):21-26.
- [3] 辛尚龙,赵武云,戴飞,等.玉米全膜双垄沟残膜回收机改进设计与试验[J].农业机械学报,2018,49(S1):311-319.
- [4] 国家统计局农村社会经济调查司.中国农村统计年鉴 2018[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [5] 李开宇,杨宁,冯良山,等.地膜覆盖带来的残膜污染与解决对策[J].农机使用与维修,2019(2):29-30.
- [6] 赵岩,陈学庚,温浩军,等.农田残膜污染治理技术研究现状与展望[J].农业机械学报,2017,48(6):1-14.
- [7] 方旭,靳伟,张学军,等.农用地膜力学性能试验与分析[J].农机化研究,2019,41(10):203-207.
- [8] 张琴,李亚丽,王保爱,等.残膜捡拾机起膜铲的设计与仿真[J].中国农机化学报,2016,37(7):33-37.
- [9] 张佳喜,张丽,刘旋峰,等.不同边膜铲起膜性能分析及其起膜率对比试验[J].农业工程学报,2017,33(4):10-15.
- [10] 李宝筏.农业机械学[M].北京:中国农业出版社,2003:340-348.
- [11] 王海新,张学军,张朝书,等.基于 Solidworks 起膜铲设计及模糊评价[J].农机化研究,2016,38(11):55-57.
- [12] 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:机械工业出版社,1990:584-683.
- [13] 梁长江,吴雪梅,王浦舟,等.残膜捡拾机机架及梳齿的仿真设计与试验[J].安徽农业大学学报,2019,46(1):203-208.
- [14] 王建吉,孙旖彤,弥宁,等.一种玉米地残膜捡拾机的设计与试验[J].农机化研究,2019,41(7):148-153.
- [15] 王旭峰,胡灿,鲁兵,等.抛膜链齿输送式残膜回收机设计与试验[J].农业机械学,2018,49(3):122-129.