

# 偏心齿轮驱动式玉米全膜双垄沟播 联合作业机的设计

孙步功,石林榕,赵武云,孙 伟,孙友谊,吴建民

(甘肃农业大学工学院,甘肃 兰州 730070)

**摘 要:** 针对传统全膜覆盖双垄沟玉米播种存在播种效率低,易撕膜和挂膜,操作不方便等问题,设计一种集起垄、压膜和播种为一体的联合作业机。该机的动力传动装置由非圆齿轮连接的曲柄连杆机构和圆柱齿轮连接的曲柄连杆机构,共同控制成穴器运动,提高了播种机播种的准确度。田间试验表明,偏心齿轮驱动式玉米全膜双垄沟播联合作业机的设计作业后相关指标均达到了技术规范要求;同时以非圆齿轮的偏心率、非圆齿轮带动的曲柄与连杆长度的比值和切膜刀角为自变量,以膜孔扩大率作为测试指标,进行多组田间试验,得出椭圆齿轮的偏心率  $e=0.1$ 、非圆齿轮曲柄与连杆的长度比值  $k=0.05$  和切膜刀角  $\alpha=31^\circ$  最佳,此时膜孔扩大率为 1.22%。

**关键词:** 联合作业机;玉米;全膜双垄沟播

**中图分类号:** S223.2<sup>+</sup>4      **文献标志码:** A

## Design of eccentric gear driving whole film double furrow sowing corn combine harvester

SUN Bu-gong, SHI Lin-rong, ZHAO Wu-yun, SUN Wei, SUN You-yi, WU Jian-min

(College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** In the light of problems of traditional full film coverage double furrow sowing maize having low seeding efficiency, easy tearing film, the biofilm formation and inconvenient operation, a jointing ridging, film, and seeding operation machine was designed. The power transmission device of the machine was connected with a crank connecting rod mechanism which was connected by a noncircular gear and a crank connecting rod mechanism connected with a cylindrical gear. Test experiment showed eccentric gear drive type of maize in the whole film double furrow sowing combined operation machine working related indicators have reached machine operation requirements. Also saw non circular gear eccentric rate, non circular gear driven crank and connecting rod length ratio and cutting membrane knife angle as independent variables, film hole enlargement rate as index for testing. The results indicated that it was the best when the elliptic gear eccentricity( $e$ ), non circular gear crank and connecting rod length ratio( $k$ ) and cutting membrane knife angle( $\alpha$ ) was 0.1, 0.05 and  $31^\circ$ , respectively, while the film hole expansion rate was 1.22%.

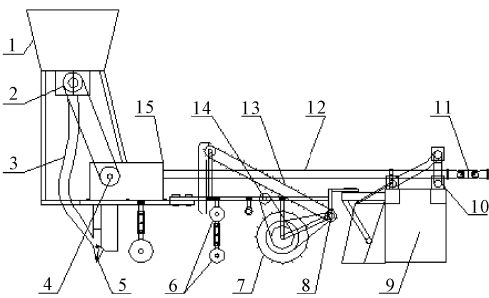
**Keywords:** combined machine; maize; the whole film double furrow

全膜双垄沟玉米栽培技术主要在干旱地区应用推广,它是在传统覆膜技术上发展起来的一种新的种植方式,主要利于集雨、保墒和抗旱<sup>[1-6]</sup>。通过实地调研,干旱地区全膜双垄沟种植是覆膜后采用手持式点播枪、滚轮点播机以及带有动力装置的槽轮垂直播种机和凸轮播种机播种。前两种播种效率

低、劳动强度大;滚轮式播种器极易撕膜和挑膜;后两种是播种机在膜上行走,易对膜造成伤害,错孔率高,不能满足高效播种<sup>[7-11]</sup>。本文在对全膜双垄沟播种机工作状况和运行原理深入研究的基础上,将起垄、覆膜和播种集一台机械进行作业。动力传动机构采用非圆齿轮带动曲柄滑块机构和圆柱齿轮连

收稿日期:2016-04-20  
基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503124);甘肃农业大学青年导师基金资助项目(GAU-QNDS-201303)  
作者简介:孙步功(1971—),男,副教授,硕士生导师,主要从事农业工程研究。E-Mail:sunbg@gsau.edu.cn。  
通信作者:吴建民,教授,博士生导师,主要从事机械化保护性耕作技术及机具研究。E-mail:wujm@gsau.edu.cn。

接的曲柄连杆机构,共同控制成穴器运动,提高了成穴器的准确度,并且加速度连续不产生刚性冲击。以播种机主要工作参数作为自变量,试验测得不同因素组合条件下膜孔的扩大率,采用响应面分析法确定各因素及其交互作用对穴孔大小的影响,获得最优变量组合。



1.种箱;2.窝眼轮播种器;3.导种管;4.外齿轮;5.成穴器;6.压膜轮;7.落地轮;8.旋土轮;9.起垄装置;10.拉力座;11.万向联轴器;12.传动轴;13.输送带;14.薄膜套筒;15.减速器;16.窝眼

1.Seed box; 2.hole wheel seeder; 3.the duct; 4.external gear; 5.the spade; 6.a film pressing wheel; 7.landing wheels; 8.soil revolving wheel; 9.a ridging device; 10.pull force seat; 11.universal coupling; 12.the transmission shaft; 13.conveyor belt; 14.film sleeve; 15.reducer; 16.nest of eye

图 1 联合作业机结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of combined machine structure

1.2 工作原理

如图 1 所示,整机通过挂结盒与拖拉机连接,作业时,由起垄装置完成起垄。落地轮经链条连接驱动旋土轮旋转,将旋土轮的一路土壤旋起,由输土带输送到覆土装置,土壤均匀地覆到地膜,纵向两边由镇压轮压实。拖拉机经万向联轴器和传动轴将动力传送到差速器,差速器调节传动速度和转换旋转方向,推动成穴器运行,种子在种箱靠重力落入窝眼,差速器外部链轮(4)经链条连接带动窝眼轮转动,窝眼轮排种经导种管进入成穴器,成穴器在运动过程中,其开关阀中受拉力座作用完成开启和闭合。

1.3 主要工作参数

偏心齿轮驱动式玉米全膜双垄沟播联合作业机的主要工作参数见表 1。

2 关键机构设计

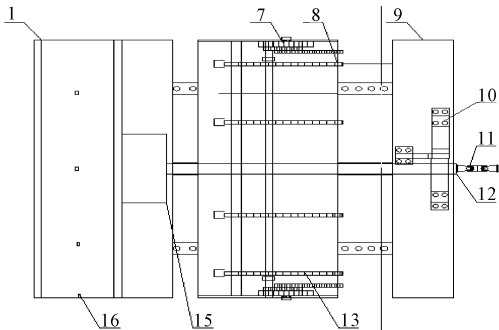
2.1 播种机传动机构

播种机动力传动结构示意图见图 2。拖拉机的输出转轴经万向联轴器与传动轴连接,传动轴带动主动锥齿轮旋转,主动圆锥齿轮与从动圆锥齿轮啮合,从动圆锥齿轮与圆柱齿轮同轴,动力传递到圆柱齿轮,圆柱齿轮与过渡轮啮合,经过渡齿轮将动力传

1 整机结构、工作原理和主要工作参数

1.1 整机结构

偏心齿轮驱动式玉米全膜双垄沟播联合作业机的整机结构如图 1 所示。

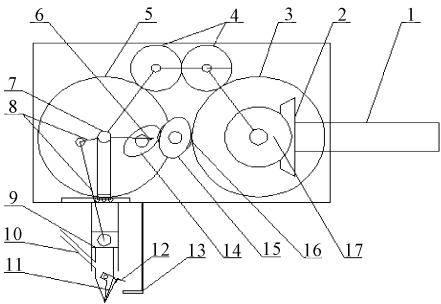


递到圆柱齿轮,圆柱齿轮带动曲柄连杆运动,曲柄连杆带动成穴器的滑块做竖直运动。圆柱齿轮与圆柱齿轮啮合,圆柱齿轮与主动非圆齿轮同轴,主动圆柱齿轮与从动非圆齿轮啮合,带动曲柄连杆运动,曲柄连杆带动圆柱齿轮的轴和成穴器在导轨上做水平运动。计算传动比,实现准确传动,调节两曲柄连杆的开始角度,实现准确配合,最终达到垂直插入播种。该装置由于采用非圆齿轮进行穴播补偿,较杆件机构运行平稳可靠,穴播杆惯性较小。

表 1 联合作业机主要技术参数

Table 1 Processor main technical parameters

| 参数 Parameter                          | 数值 Value  |
|---------------------------------------|-----------|
| 拖拉机动力 Tractor power/kw                | 18.4      |
| 大/小垄宽 A large/small ridge width/mm    | 400/700   |
| 株距 Rows/mm                            | 400       |
| 作业行数 Columns                          | 4         |
| 地膜宽 Film width/mm                     | 1300      |
| 外形(长×宽×高) Dimension(long×wide×high)/m | 1.9×2.9×1 |
| 大/小垄高 Large/small ridge height/mm     | 170/130   |
| 作业速度 Speed/(m·s <sup>-1</sup> )       | 1.38      |
| 播种深度 Sowing depth/mm                  | 50        |

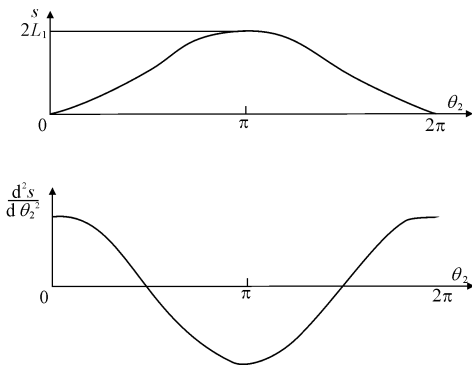


1.轴;2.主动锥齿轮;3.从动锥齿轮的同轴圆柱齿轮;4.滚渡轮;5.水平运动的圆柱齿轮;6.非圆齿轮的曲柄连杆;7.活动支座;8.圆柱齿轮的曲柄连杆;9.导种管的滑块;10.导种管;11.成穴器;12.限位开关;13.当座;14.从动非圆齿轮;15.主动非圆齿轮;16.主动非圆齿轮的同轴圆柱齿轮;17.从动圆锥齿轮

1. Axial; 2. the active bevel gear; 3. the driven bevel gear coaxial cylindrical gear. 4. roll ferry; 5. the horizontal movement of the cylindrical gear; 6. non circular gear crank connecting rod; 7. support; 8. cylindrical gear of crank and connecting rod; 9. the duct slider; 10. the duct; 11. the spade; 12. limit switch; 13. when the seat; 14. driven non circular gear; 15. active non circular gear; 16. active non circular gear coaxial cylinder gear; 17. driven bevel gear

图 2 播种机成穴装置

Fig.2 Device of seeding machine



2.2 成穴器

成穴器的运动是由非圆齿轮驱动曲柄连杆机构和圆柱齿轮驱动另一曲柄连杆机构配合完成,实现成穴器在入膜到出膜阶段水平绝对速度为零。两曲柄连杆运动周期相同,角度配合准确,达到成穴器入膜到出膜阶段的水平速度与车前进速度大小相等方向相反。若用  $s$  表示成穴器水平方向的移动位移,则得:

$$s = L_1 \cos \theta_2 + L_2 \sqrt{1 - K^2 \sin^2 \theta_2} - (L_2 - L_1) \quad (1)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{L_2^2 - L_1^2 - (S + L_2 - L_1)^2}{2L_1(S + L_2 - L_1)} \quad (2)$$

$$\frac{ds}{d\theta_2} = L_1 \left( \sin \theta_2 - \frac{K \sin^2 \theta_2}{2\sqrt{1 - K^2 \sin^2 \theta_2}} \right) \quad (3)$$

$$\frac{ds}{d\theta_2} = L_1 \left( \cos \theta_2 - K \frac{\cos^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_2 (1 - K^2 \sin^2 \theta_2)}{\sqrt{1 - K^2 \sin^2 \theta_2}} \right) \quad (4)$$

式中,  $L_1$ 、 $L_2$  分别为两曲柄长度,  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  为两曲柄的旋转角度,连杆的长度;  $K = \frac{L_1}{L_2}$ ;  $s - \theta_2$ 、 $\frac{ds}{d\theta_2} - \theta_2$ 、 $\frac{d^2s}{d\theta_2^2} - \theta_2$  曲线如图 3 所示。

$- \theta_2$ 、 $\frac{ds}{d\theta_1} - \theta_1$  曲线如图 3 所示。

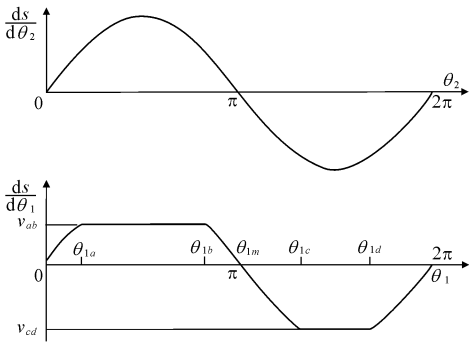


图 3 周期内曲线图

Fig.3 Cycle curve

设非圆轮的  $\omega_1 = \frac{d\theta_1}{dt}$  匀速回转,并使成穴器具

合方程由分段式给出:

有匀速运动,则  $\frac{ds}{d\theta_1} - \theta_1$  可设计成如图 3 所示,其啮

$$\left. \begin{aligned} \frac{ds}{d\theta_1} &= k_1 \theta_1 + k_2 \theta_2^2 & 0 < \theta_1 < \theta_{1a} \\ \frac{ds}{d\theta_1} &= v_{ab} & \theta_{1b} \leq \theta \leq \theta_{1c} \\ \frac{ds}{d\theta_1} &= c_1(\theta_1 - \theta_{1m}) + c_2(\theta_1 - \theta_{1m})^2 + c_3(\theta_1 - \theta_{1m}) + c_4(\theta_1 - \theta_{1m})^4 & \theta_{1b} \leq \theta \leq \theta_{1c} \\ \frac{ds}{d\theta_1} &= v_{cd} & \theta_{1c} \leq \theta \leq \theta_{1d} \\ \frac{ds}{d\theta_1} &= k_1(\theta_1 - 2\pi) + k_3(\theta_1 - 2\pi)^2 + k_4(\theta_1 - 2\pi)^3 & \theta_{1d} \leq \theta \leq 2\pi \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中,式中  $c_1, c_2, c_3, c_4, k_1, k_2, k_3, k_4$  可由各段曲线光滑连接的边界条件求得。两非圆齿轮转角  $\theta_1, \theta_2$  应满足下列约束要求:  $\theta_1 = 0$  时,  $\theta_2 = 0, s =$

$$L_1 = \frac{1}{2} \left[ k_1 \theta_{1a} + k_2 \theta_{1a}^2 + v_{ab} (\theta_{1b} - \theta_{1a}) - \frac{1}{2} c_1 (\theta_{1b} - \theta_{1m})^2 - \frac{1}{3} c_2 (\theta_{1b} - \theta_{1m})^3 - \frac{1}{4} c_3 (\theta_{1b} - \theta_{1m})^4 - \frac{1}{5} c_4 (\theta_{1b} - \theta_{1m})^5 \right] \quad (6)$$

非圆齿轮的半径和传动比:

$$i_{12} = \sqrt{\frac{L_1(1-K)}{c_1}}, (\theta_1 = 0, 2\pi; \theta_2 = 0, 2\pi) \quad (7)$$

$$i_{12} = \sqrt{\frac{-L_1(1+K)}{c_2}}, (\theta_1 = \theta_{1m}, \theta_2 = \pi) \quad (8)$$

设两圆中心距  $O_1O_2 = a$ , 则两个非圆齿轮节圆半径  $r_1, r_2$  为:

$$r_1 = \frac{a}{1+i_{12}}, r_2 = \frac{ai_{12}}{1+i_{12}} \quad (9)$$

通过以上计算得到在成穴器水平运动要求内, 设计两非圆齿轮的尺寸和传动比, 保证成穴器入膜和出膜阶段内水平绝对速度等于零, 并且具有急回特性, 无刚性冲击, 提高作业效率。

### 3 大田试验

#### 3.1 试验材料

全膜覆盖双垄沟玉米播种机非圆齿轮工作参数优化试验在甘肃省洮河拖拉机制造有限公司农机装备工程中心试验地进行。试验地面积 333.33 m<sup>2</sup>, 地势平坦, 土壤为黄绵土, 土壤含水率为 12.2% ~ 13.1%。试验地依照全膜双垄沟农艺技术要求进行起垄铺膜整地作业, 覆膜厚度为 0.008 mm, 播种玉米种子为宁单 12 号, 千粒质量为 368 g, 含水率为 11.8%, 种子外形尺寸长 × 宽 × 高平均值为 11.5 mm × 9.4 mm × 4.5 mm。

#### 3.2 空穴率、穴粒数合格率、膜下播种深度合格率、垄宽和高、地膜采光面宽度测定

以样机一个播幅为宽、播种株距为长的面积为 1 个作业小区, 测定点为小区内所有的穴孔, 用钢卷尺进行人工测量、挑拣及垂直切开种床土壤相结合的作业方式获取每个穴孔内的种子粒数、最上层种子的覆土层厚度、穴孔错位个数。起垄试验按照铺膜机作业质量指标的评价及检测方法<sup>[12]</sup>进行测定。垄宽和垄高的平均值分别为 72.41 cm 和 14.74 cm。覆膜试验按照 NY/T 986 - 2006《铺膜机作业质量》<sup>[13]</sup>进行测定, 沿对角线随机等距离取 5 个测区, 长度为 10 m, 随机测定采光面宽度。采光面宽度在(膜宽 - 300 mm) - (膜宽 - 150 mm) 范围内为合格。

0;  $\theta_1 = \theta_{1m}$  时,  $\theta_2 = \pi, s = 2L_1$ ;  $\theta_1 = 2\pi$  时,  $\theta_2 = 0, s = 0$ 。由此可求得  $L_1$ :

$$H_k = \frac{k_h}{f} \times 100\%, H_l = \frac{l_h}{f} \times 100\%, H_b = \frac{b_h}{f} \times 100\%, \\ H_c = \frac{c_h}{f} \times 100\%, S_a = \frac{N_1}{N_2} \times 100\%$$

式中,  $f$  为总膜孔个数(个);  $k_h$  为空穴个数(个);  $H_k$  为空穴率(%);  $l_h$  为穴粒数合格穴数(个);  $H_l$  为穴粒数合格率(%);  $b_h$  为膜下播种深度合格穴数(个);  $H_b$  为膜下播种深度合格率(%);  $S_a$  为采光面宽度合格率(%);  $N_1$  为采光面宽度合格点数(个);  $N_2$  为采光面宽度总测点数(个)。

分别以每 10 个作业小区的测定平均值为测试结果。

表 2 田间播种性能试验结果

Table 2 Coding of factors and levels

| 参数<br>Parameter                                            | 试验值<br>Test value | 技术要求<br>Technical requirement |
|------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 种子破碎率 Seed crushing rate/%                                 | 0.2               | ≤0.5                          |
| 空穴率 Empty hole rate/%                                      | 1.1               | ≤2                            |
| 穴粒数合格率<br>Qualified rate of points/%                       | 93.2              | ≥85                           |
| 膜下播种深度合格率<br>Seed depth of film under the qualified rate/% | 90.1              | ≥75                           |
| 穴位错孔率<br>Rate of acupuncture point/%                       | 0.3               | ≤6                            |
| 采光面宽度合格率<br>Pass rate of lighting surface width/%          | 93.1              |                               |

按照 NY/T 987—2006《铺膜穴播机作业质量》<sup>[13]</sup>标准对播种机作业性能的要求, 测定计算玉米全膜覆盖双垄沟播种机膜上播种后膜孔的大小。整机运行速度是 1.38 m·s<sup>-1</sup>, 以播种株距 400 mm × 12 的长度为 1 个测定小区长度, 应用钢卷尺进行人工测量、挑拣相结合的作业方式获取膜孔大于标准膜孔直径 1/4 及以上的膜孔个数和播种总膜孔数, 以 3 个作业小区的测定平均值为测试结果。膜孔扩大率计算式为:

$$Y = \frac{A}{B} \times 100$$

式中,  $Y$  为大于标准膜孔 1/4 的概率(%);  $A$  为作业小区内大于标准膜孔 1/4 的膜孔个数;  $B$  为作业小

区内测定总膜孔。

### 3.3 膜孔扩大率

非圆齿轮的偏心率  $e$  对滑块速度的影响:随着偏心率的增大,滑块速度波动也较大。在  $e = 0.1$  附近,滑块速度比较平稳,稳定区的速度为  $1.38\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;非圆齿轮曲柄与连杆长度比值  $k$  对滑块速度的影响:随着曲柄连杆比值  $k$  的增加,滑块速度波动也较大。在  $k = 0.05$  附近,滑块速度变化比较平稳,稳定区的速度为  $1.38\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;切膜刀角  $\alpha$  对膜孔的影响:随着切膜角  $\alpha$  的变化,膜孔的扩大率有变化。在  $\alpha = 31^\circ$  附近,膜孔的扩大率最小。

## 4 结 论

1) 全膜双垄沟联合作业机集起垄、覆膜和播种于一体。由齿轮啮合经两曲柄连杆配合驱动成穴器运行,提高了成穴器运行准确度和整机作业效率。

2) 田间试验表明,偏心齿轮驱动式玉米全膜双垄沟播联合作业机的种子破碎率为0.2%,空穴率为1.1%,穴粒数合格率为93.2%,膜下播种深度合格率为90.1%,穴位错孔率为0.3%,采光面宽度合格率为93.1%,相关指标均达到了 NY/T 987—2006《铺膜穴播机作业质量》<sup>[13]</sup>评价技术规范要求。同时,试验表明:当椭圆齿轮的偏心率  $e = 0.1$ 、非圆齿轮曲柄与连杆的长度比值  $k = 0.05$  和切膜刀角  $\alpha = 31^\circ$  最佳,此时膜孔扩大率为1.221%。

### 参 考 文 献:

[1] 杨祁峰,刘广才,熊春蓉,等.旱地玉米全膜双垄沟播技术的水分高效利用机理研究[J].农业现代化研究,2010,31(1):113-116.

[2] 刘广才,杨祁峰,段鑫全,等.甘肃发展旱地全膜双垄沟播技术的主要模式[J].农业现代化研究,2008,29(5):629-632.

[3] 魏宏安,邵世禄.垂直插入式小麦覆膜穴播机的研究[J].农业机械学报,2001,32(6):34-37.

[4] 赵建托,赵武云,任颜华,等.玉米全膜覆盖双垄沟播机直插式播种装置设计与仿真[J].农业机械学报,2010,41(10):40-43.

[5] 赵武云,吴建民,王苏娥,等.旱地玉米全膜覆盖双垄沟播精密播种机:中国,200910022858.7[P].2011-07-20.

[6] Canakci M, Karayel D, Topakci M, et al. Performance of a no-till seeder under dry and wet soil conditions[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009,25(4):459-465.

[7] Goswami G, Chakraborty S, Chaudhuri S, et al. Optimization of process parameters by response surface methodology and kinetic modeling for batch production of canthaxanthin by dietzia maris NIT-D[J]. Bioprocess Biosyst Engineering, 2012,35(8):1375-1388.

[8] 戴飞,赵武云,唐学鹏,等.旱地玉米全膜覆盖双垄沟精良播种机参数优化[J].农业机械学报,2013,44(增刊1):39-45.

[9] 易军鹏,朱文学,马海乐.牡丹籽油超声波辅助提取工艺的响应面法优化[J].农业机械学报,2009,40(6):103-110.

[10] 赵凡.旱地玉米全膜覆盖双垄面集雨沟播栽培技术[J].甘肃农业科技,2004,(11):22-23.

[11] 孙伟,吴建民.鸭嘴式成穴器的选型与研究[J].甘肃农业大学学报,2009,44(5):140-142.

[12] 冯文华.铺膜机作业质量指标的评价及检测方法[J].农机使用与维修,2012,5:47-49.

[13] 程兴田,王天辰,潘卫云,等.NY/T 987—2006.铺膜穴播机作业质量[S].北京:中华人民共和国农业部,2006.

(上接第 295 页)

[2] 牛坡,杨玲,张引航,等.基于 ANSYS Workbench 的微耕机用旋耕弯刀有限元分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2015,37(12):162-167.

[3] 李超军,叶进,薛元鹏.小型多功能联合作业耕耘机设计[J].农机化研究,2016,(11):150-153.

[4] 畅雄勃.微耕机安全生产问题和建议[J].农机化研究,2015(9):254-258.

[5] 赵启明,张云文,鲁媛,等.微耕机作业事故与机具设计缺陷的关联性分析[J].农机化研究,2016,(7):255-261.

[6] Verhaeghe R W, Elishakoff I. Eliability based bridging of the gap between system's safety factos associated with different failure modes[J]. Engineering Structures, 2013,49(4):606-614.

[7] Lee C E, Kim S W, Park D H. Target reliability of caisson sliding of vertical breakwater based on safety factors[J]. Coastal Engineering, 2012,(60):167-173.

[8] Jones D R, Schonlau M, Welch W J. Efficient global optimization of expensive black-box functions[J]. Journal of Global Optimization, 1998,13(4):455-492.

[9] Huang D, Allen T T, Notz W I, et al. Global optimization of stochastic black-box systems via sequential kriging meta-models[J]. Journal of Global Optimization, 2006,34(3):441-466.

[10] Ranjan P, Bingham D, Michailidis G. Sequential experiment design for contour estimation from complex computer codes[J]. Technometrics, 2008,50(4):527-541.

[11] Du X, Chen W. Sequential optimization and reliability assessment for probabilistic design[J]. ASME Journal of Mechanical Design, 2004,126(2):225-233.

[12] Ibrahim Y. Observations on applications of impotance sampling in structural reliability analysis[J]. Structural Safety, 1991,9(4):269-281.

[13] 日力夏提·阿布都热西提,尼加提·玉素甫,买买提明·艾尼.旋耕刀结构优化设计与动力稳定性分析[J].农机化研究,2016,(1):57-61.

[14] 宋雅婷,李粤,唐宁宁,等.香蕉秸秆粉碎还田刀辊参数研究[J].农机化研究,2016,(6):78-83.

[15] 曾晨,李兵,李尚庆,等.1WG-6.3 型微耕机的设计与实验研究[J].农机化研究,2016,(1):132-137.

[16] 朱留宪,杨玲,朱超,等.基于 ANSYS Workbench 的微耕机旋耕刀有限元分析[J].机械研究与应用,2014,27(1):88-89.

[17] 沈鸿主编.机械工程手册(机械产品 第 11 卷)[M].北京:机械工业出版社,1982.