

基于响应面法的梳齿式采棉机采收台优化设计*

康建明 陈学庚 温浩军 王士国
(新疆农垦科学院机械装备研究所, 石河子 832000)

摘要: 为寻求梳齿式采棉机采收台结构与工作参数的最优组合, 对其进行了参数优化试验。采用二次回归正交旋转中心组合优化试验方法, 以行走速度、梳齿间距、梳齿振动频率为影响因素, 以采净率、撞落棉率为目标函数, 对影响该机采收性能的结构与工作参数进行优化试验研究。结果表明: 当行走速度为 0.45 m/s、梳齿间距(轴线距离)为 51 mm、梳齿振动频率为 2.65 Hz 时, 采净率为 96.5%, 撞落棉率为 2.8%。
关键词: 梳齿式采棉机 采收台 试验 优化
中图分类号: S225.91⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0057-05

Optimization of Comb-type Cotton Picker Device Based on Response Surface Methodology

Kang Jianming Chen Xuegeng Wen Haojun Wang Shiguo
(Mechanical Equipment Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000, China)

Abstract: In order to find the optimal combination of the structure and working parameters of comb-type cotton picker harvesting device, the experiments were conducted. A central composite rotatable orthogonal experimental design of response surface methodology was employed to find the optimum combination effect on working properties. The three parameters, including working speed, comb space and vibration frequency of comb, were selected as input variables. Picking rate and loss rate were selected as response functions. Experimental results indicated that the most optimum combination region was: working speed of 0.45 m/s, comb space of 51 mm, and comb vibration frequency of 2.65 Hz, the picking rate was 96.5%, the loss rate was 2.8%.
Key words: Comb-type cotton picker Harvesting device Experiments Optimization

引言

新疆的棉花生产在全国占有很重要的地位, 约占全国棉花产量的 50%, 是我国重要的优质棉生产基地^[1~3]。棉花机械收获是保证棉花产业安全的重要手段, 同时也是耗费巨大人力与财力的农业系统工程^[4~5]。棉花采收是棉花全程机械化的最终环节, 同时也是最关键环节之一。
梳齿式采棉机是近几年在新疆棉区采用的一种棉花采收机械。该机结构简单, 采净率高, 对棉花的

种植模式没有任何要求。(水平摘锭式采棉机只能采收(66+10) cm 和 76 cm 等行距的棉田)。梳齿式采棉机的普及不仅是解放劳动力、节约成本的有效途径, 又可以为植棉团场在棉花采收时节增加一种可供选择的机型, 因此对梳齿式采棉机的研发具有重要意义^[6~7]。
研究发现, 现有梳齿式采棉机采收台普遍存在撞落棉率高、作业效率低、可靠性差等问题, 制约了梳齿式采棉机的推广应用。本文通过自行研制的梳齿式采棉机采收台进行棉花采收试验, 以采净率和

收稿日期: 2013-06-26 修回日期: 2013-07-10
* “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAF07B02)
作者简介: 康建明, 助理研究员, 主要从事农业机械研究, E-mail: kjm531@sina.com
通讯作者: 陈学庚, 研究员, 主要从事农业机械研究, E-mail: chenxg130@sina.com

撞落棉率为目标函数,对采收台的结构参数和工作参数进行优化,得到不同工作条件下采收台结构参数与工作参数的最佳配置,为梳齿式采棉机采收台的产品定型设计提供依据。

1 试验装置结构与工作原理

梳齿式采棉机采收台结构如图 1 所示,主要由出棉管、升降机构、螺旋输送机、仿行滑板、凸轮轴、拨棉辊和梳齿等组成。试验台工作时长、宽、高分别为 3 000、1 340 和 1 430 mm,梳齿由采收架支撑,根据地面的平整程度,油缸通过液压泵调整梳齿与地面的间距。梳齿式采棉机采摘台主要参数如表 1 所示。

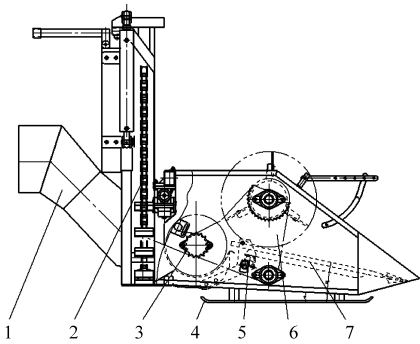


图 1 梳齿式采棉机采收台

Fig. 1 Picking platform of comb-cotton picker

1. 出棉管 2. 升降机构 3. 螺旋输送机 4. 仿行滑板 5. 凸轮轴 6. 拨棉辊 7. 梳齿

表 1 梳齿式采棉机采摘台主要参数

Tab. 1 Parameters of comb-type picking device

参数	数值
拨棉辊直径/mm	190
拨棉辊转速/r·min ⁻¹	48
梳齿数	61
梳齿与水平夹角/(°)	10
梳齿长度/mm	920
螺旋输送机直径/mm	320
螺旋输送机转速/r·min ⁻¹	48

工作时,采收台随着拖拉机前进,棉株进入梳齿之间的空隙,由于梳齿与地面呈一定的夹角,且梳齿间距小于棉铃桃直径,故籽棉、铃壳和棉桃一并被梳齿梳下,拨棉辊将此混合物抛送到螺旋输送机,螺旋输送机将其送入吸棉管,进入棉杂分离装置。整个过程中,凸轮轴迫使梳齿产生振动,防止籽棉、铃壳和棉桃在梳齿间拥堵,以提高机具可靠性。

2 试验条件与方法

2.1 试验条件与设备

试验地为覆膜精量播种的棉田,行距(66 +

10) cm,株距 9.5 cm,棉花品种为新陆早 33,平均株高 70 cm,最低高度 12 cm,棉花脱叶率 82%、吐絮率 95%,籽棉含水率 10%,该棉田产量 4 500 kg/hm²。试验使用的主要仪器设备为 JA1003 型电子天平(精度 0.1 g),HV300 型测速仪,DT-838 型光电转速表。

2.2 试验方法

试验于 2012 年 10 月 2~14 日在第八师 145 团实施。采用三因素五水平二次回归正交旋转中心组合优化试验方法^[8~11]。以行走速度 x_1 、梳齿间距 x_2 和梳齿振动频率 x_3 为影响因素,以采净率 y_1 和撞落棉率 y_2 为目标函数,共实施 16 组试验^[12~18]。应用 Design-Expert 7.1.6 进行数据处理分析,根据预备试验及采摘台生产实践确定各个因素水平,因素水平编码如表 2 所示。各项性能指标根据国家标准 GB/T 21397—2008 棉花收获机作业质量试验方法测定,分别以 3 次重复的均值为测试结果^[19~22]。

表 2 因素水平编码

Tab. 2 Factors and levels

编码	因素		
	行走速度 $x_1/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	梳齿间距 x_2/mm	梳齿振动频率 x_3/Hz
1.682	0.65	56	2.90
1	0.57	54	2.80
0	0.45	51	2.65
-1	0.33	48	2.50
-1.682	0.25	46	2.40

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

试验方案和试验结果如表 3 所示。表中 X_1 、 X_2 、 X_3 为编码值。

3.2 数据处理

(1) 回归方程及显著性分析

经 Design-Expert 7.1.6 分析,采净率和撞落棉率的方差分析如表 4 所示。

(2) 回归方程确定

对于采净率 y_1 和撞落棉率 y_2 ,将回归方程中各项回归系数在置信度为 0.05 下采用 F 检验,回归方程为

$$y_1 = 95.10 - 0.55X_1 + 0.30X_2 + 3.05X_3 - 0.98X_1X_2 - 1.38X_1X_3 - 0.075X_2X_3 - 3.56X_1^2 - 3.51X_2^2 - 3.86X_3^2$$

(1)

$$y_2 = 3.6 + 1.83X_1 - 0.050X_2 - 0.025X_3 - 0.30X_1X_2 - 0.35X_1X_3 - 0.45X_2X_3 + 1.05X_1^2 + 0.80X_2^2 - 0.55X_3^2$$

(2)

表 3 试验方案与试验结果

Tab.3 Experimental sheme and results

编号	X_1	X_2	X_3	$y_1/\%$	$y_2/\%$
1	1	1	1	86.5	8.0
2	1	1	-1	88.5	2.8
3	1	-1	1	90.0	3.2
4	1	-1	-1	93.5	3.9
5	-1	1	1	94.8	3.1
6	-1	1	-1	85.6	7.5
7	-1	-1	1	85.6	4.2
8	-1	-1	-1	92.0	3.1
9	1.682	0	0	86.1	5.8
10	-1.682	0	0	95.6	2.4
11	0	1.682	0	85.3	3.6
12	0	-1.682	0	91.0	5.1
13	0	0	1.682	91.5	3.5
14	0	0	-1.682	94.5	3.8
15	0	0	0	90.0	4.4
16	0	0	0	97.1	4.8
17	0	0	0	81.6	2.4
18	0	0	0	91.2	3.8
19	0	0	0	88.6	4.2
20	0	0	0	93.5	2.6

表 4 方差分析

Tab.4 Analysis of variance

变异来源	平方和	自由度	均方	F	临界值 F
回归	276.89	9	30.77	7.50	0.007 3
剩余	28.71	7	4.10		
y_1 拟合	21.45	3	7.15	3.94	0.109 2
误差	7.26	4	1.81		
总和	305.60	16			
回归	36.91	9	4.10	5.57	0.016 9
剩余	5.15	7	0.74		
y_2 拟合	1.89	3	0.63	0.77	0.566 6
误差	3.26	4	0.81		
总和	42.06	16			

3.3 各因素对性能指标的影响分析

3.3.1 各因素对采净率影响分析

由图 2a 可知,随着行走速度和梳齿间距的增加,采净率先升高后降低。这是由于行走速度达到

0.45 m/s、梳齿间距达到 52.5 mm 时,继续增大行走速度和梳齿间距,采摘台上囤积的棉杂混合物来不及进入螺旋输送机,采摘台堵塞,梳齿不能自动复位,采净率降低,撞落棉率升高。

由图 2b 可知,在梳齿振动频率小于 2.65 Hz 时,梳齿振动频率变化对采净率的影响较大;梳齿振动频率大于 2.65 Hz 时,采净率降低。这是由于成熟的棉桃对棉秆的附着力降低,振动频率太快将棉桃抖落。行走速度小于 0.45 m/s 时,采净率随着行走速度的增加而提高;行走速度大于 0.45 m/s 时,采净率随着行走速度的增加而较低。

由图 2c 可知,在行走速度为零水平时,随着梳齿间距和振动频率的增加,采净率呈先升高后降低的趋势。这是由于梳齿间距大于 51 mm 时,进入梳齿间隙的棉秆增多,梳齿对棉桃的作用力不均匀,使得一些成熟度低的棉桃未能脱离棉秆。梳齿振动频率的变化对采净率的影响较大。

3.3.2 各因素对撞落棉率影响分析

由图 3a 可知,梳齿间距小于 49.5 mm 时,撞落棉率呈减小趋势,继续增大梳齿间距,撞落棉率升高。这是因为梳齿间距小于 49.5 mm 时,单行棉株恰好被梳齿梳刷,随着梳齿间距的增大,相邻的棉株被梳齿撞倒,成熟的棉桃掉在地上。随着行走速度的增大,撞落棉率呈上升趋势,且大于 0.45 m/s 时撞落棉率急速上升。行走速度的变化对撞落棉率的影响较大。

由图 3b 可知,在梳齿间距为零水平时,撞落棉率随采收台行走速度和梳齿振动频率的增大而增大,行走速度的变化对撞落棉率的影响较大。

由图 3c 可知,当梳齿间距小于 49.5 mm 时,撞落棉率随着梳齿振动频率的增大而减小,梳齿间距大于零水平时,撞落棉率随着梳齿振动频率的增大而升高。当梳齿振动频率一定时,撞落棉率随着梳齿间距的增大先降低后升高。梳齿振动频率的变化大于梳齿间距对撞落棉率的影响。

3.3.3 优化分析

为得到最佳的试验因素水平,对试验因素进行

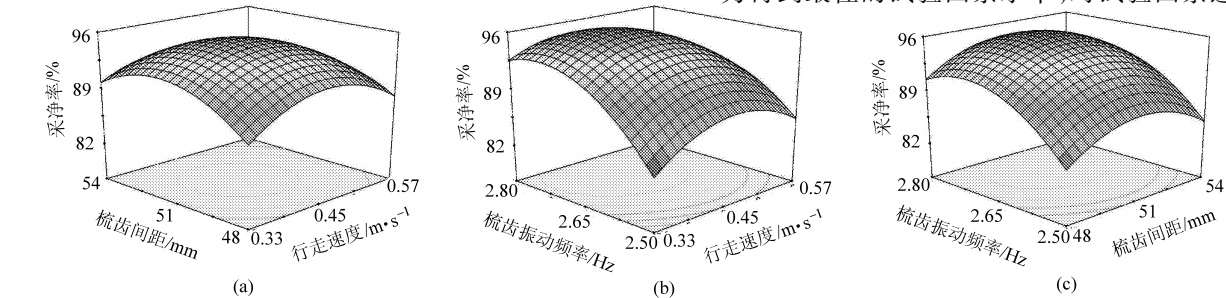


图 2 各因素对采净率影响的响应曲面

Fig.2 Response surface of factor effect on picking rate

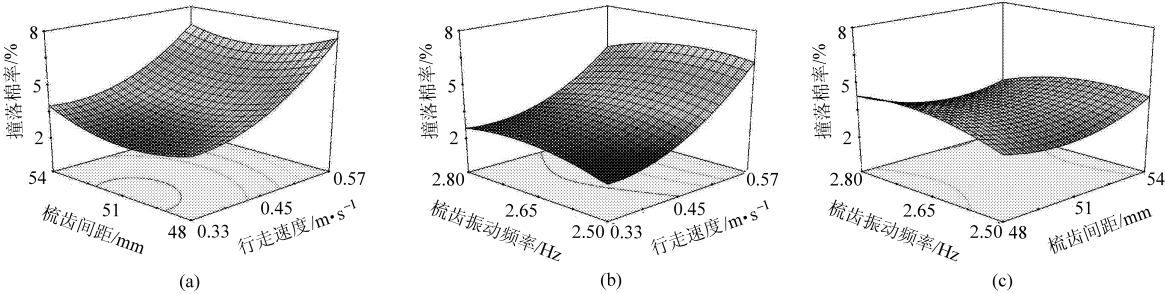


图3 各因素对撞落棉率影响的响应曲面

Fig.3 Response surface of factor effect on loss rate

优化。建立参数优化数学模型,结合试验因素的边界条件,对得出的采净率和撞落棉率的回归方程进行分析,得到非线性规划的数学模型为

的最佳参数组合。

表5 试验结果

Tab.5 Results of experiment

试验区	采净率/%	撞落棉率/%
1	95.6	2.90
2	93.8	2.83
3	96.1	3.00
4	97.0	2.95
5	96.5	2.86

$$\begin{aligned} &\max y_1 \text{ 或 } \min y_2 \\ \text{s. t. } &\begin{cases} 0.25 \leq x_1 \leq 0.65 \\ 46 \leq x_2 \leq 56 \\ 2.40 \leq x_3 \leq 2.90 \\ 0 \leq [y_1(x_1, x_2, x_3) \text{ 或 } y_2(x_1, x_2, x_3)] \leq 1 \end{cases} \end{aligned}$$

根据优化数学模型和采净率和撞落棉率的回归方程,利用 Matlab 软件对回归方程进行优化,得到采净率和撞落棉率的优化结果为:行走速度 0.45 m/s,梳齿间距 51 mm,梳齿振动频率 2.65 Hz,此时采净率 96.5%,撞落棉率 2.8%。

3.3.4 优化参数试验验证

根据试验优化参数的结果进行验证性试验,选取同一块地 5 块不同试验区。采摘台前进速度 0.45 m/s,梳齿间距 51 mm,梳齿振动频率 2.65 Hz,试验结果如表 5 所示。试验结果接近参数优化值,所以,优化结果可以作为梳齿式采棉机采摘台设计

4 结论

- (1)采用二次正交旋转回归试验设计方法,建立了影响因素与性能指标的数学回归模型,并研究了行走速度、梳齿间距和梳齿振动频率对采净率和撞落棉率的影响。
- (2)梳齿式采棉机采收台的最佳结构及工作参数组合为:行走速度 0.45 m/s、梳齿间距 51 mm、梳齿振动频率 2.62 Hz,此时采净率 96.5%,撞落棉率 2.8%。

参 考 文 献

1 陈学庚,康建明. 梳齿式采棉机籽棉清杂系统参数优化[J]. 农业机械学报,2012,43(增刊):370~374.
Chen Xuegeng,Kang Jianming. Optimization of parameters for cotton cleaning unit of comb-type cotton picker [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(Supp.):370~374. (in Chinese)

2 周亚立,刘向新. 机采棉技术的发展现状、问题及对策[C]//2010 国际农业工程大会论文集,2010.
Zhou Yali,Liu Xiangxin. Development situation, problem and counter measure of cotton technology [C]//Proceedings of the 2010 International Conference of Agricultural Engineering,2010. (in Chinese)

3 温浩军,陈学庚,康建明. 梳齿式采棉机籽棉清理装置的研制[J]. 农机化研究,2010(4):59~62.
Wen Haojun,Chen Xuegeng,Kang Jianming. Comb cotton picking machine development of seed cotton cleaning equipment study on agricultural mechanization[J]. Agricultural Mechanization Research,2010(4):59~62. (in Chinese)

4 王锋德,陈志,董世平,等. 自走式棉秆联合收获机设计与试验[J]. 农业机械学报,2009,27(12):66~70.
Wang Fengde,Chen Zhi,Dong Shiping,et al. Exploiture and experiment of self-walking cotton-stalk combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,27(12):66~70. (in Chinese)

5 李生军,周亚立,闫向辉. 棉花收获机械化[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2008.

6 康建明. 梳齿式采棉机籽棉清杂装置的理论及试验研究[D]. 石河子:石河子大学,2011.
Kang Jianming. Comb-type cotton picker seed cotton cleaning device theoretical and experimental study [D]. Shihezi: Shihezi University,2011. (in Chinese)

7 陈发,阎洪山,王学农. 棉花现代生产机械化技术与装备[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2008.

8 付威,陈海涛,坎杂. 萝卜收获机振动松土铲参数的优化[J]. 农业工程学报,2011,27(11):46~50.
Fu Wei, Chen Haitao, Kan Za. Optimizaiton of parameters on vibration breakshovel of radish harvester[J]. Transactions of the

Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27(11):46~50. (in Chinese)

9 侯守印,陈海涛. 立式轴流大豆育种脱粒机参数优化[J]. 农业工程学报,2012,28(5):19~25.
Hou Shouyin, Chen Haitao. Parameters optimization of vertical axial flow thresher for soybean breeding[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012,28(5):19~25. (in Chinese)

10 费荣昌. 试验设计与数据处理[M]. 无锡:江南大学出版社,2001:59~63.

11 徐中儒. 农业试验最优回归设计[M]. 哈尔滨:黑龙江科技出版社,1998:181~187.

12 Kahraman F. The use of response surface methodology for prediction and analysis of surface roughness of AISI 4140 steel[J]. Materials and Technology,2009,43(5):267~270.

13 Gemtos M T. Reliability of cotton pickers and its effect on harvesting cost[J]. Biosystems Engineering,2002,82(4):381~391.

14 Fite G C. Recent progress in the mechanization of cotton production in the United States[J]. Agricultural History,1950(1):19~28.

15 中国农业科学院农业机械化研究所. 棉花收获机械译文集[M]. 北京:机械工业出版社,1960.

16 康建明,陈学庚,温浩军,等. 梳齿式采棉机籽棉清理装置的设计与性能试验[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2010,28(5):631~635.
Kang Jianming, Chen Xuegeng, Wen Haojun, et al. Comb cotton picking machine design and performance test of seed cotton cleaning plant [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2010, 28 (5): 631~635. (in Chinese)

17 王业成,陈海涛,林青. 黑加仑采收装置参数的优化[J]. 农业工程学报,2009,25(3):79~83.
Wang Yecheng, Chen Haitao, Lin Qing. Optimization of parameters of black currant harvesting mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2009,25(3):79~83. (in Chinese)

18 坎杂,谷趁趁,王丽虹,等. 脱绒棉种介电分选参数的优化[J]. 农业工程学报,2010,26(9):114~119.
Kan Za, Gu Chenchen, Wang Lihong, et al. Optimization of parameters for delinted cottonseeds dielectric selection [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2010, 26(9):114~119. (in Chinese)

19 迟久鹏,王春耀,王学农,等. 基于 ADAMS/View 的偏牵引梳齿式采棉机侧向稳定性分析[J]. 新疆农业科学,2012,49(12):2292~2298.
Chi Jiupeng, Wang Chunyao, Wang Xuenong, et al. Analysis of lateral stability on partial traction comb cotton picker based on ADAMS/View[J]. Xinjiang Agricultural Science,2012,49(12):2292~2298. (in Chinese)

20 董伟. 梳指式采棉机的设计与关键技术研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2009.
Dong Wei. Design and key technology research for comb finger-type cotton picker [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2009. (in Chinese)

21 王贤斐. 梳齿式采棉机采收台的优化设计与实验研究[D]. 石河子:石河子大学,2012.
Wang Xianfei. The optimal design and experimental research of comb cotton picker harvesting platform [D]. Shihezi: Shihezi University,2012. (in Chinese)

22 韩宁. 带清理装置的梳齿式棉花采收台设计与试验研究[D]. 石河子:石河子大学,2013.
Han Ning. The design and experimental study of comb-type cotton harvest table with cleaning device [D]. Shihezi: Shihezi University,2013. (in Chinese)

(上接第 110 页)

参 考 文 献

1 丁志刚,任安海,苏亮明. 浅谈沙柳的生物学特性,自然分布及平茬复壮技术[J]. 内蒙古林业科技,2005,28(增刊1):36~37.

2 许凤, Jones-Gwynn L L, 孙润仓. 速生灌木沙柳的纤维形态及解剖结构研究[J]. 林产化学与工业,2006,26(1):91~94.
Xu Feng, Jones-Gwynn L L, Su Runcang. Fibre morphology and anatomical structure of sandlive willow (*Salix psammophila*) [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2006,26(1):91~94. (in Chinese)

3 Guillaume L. Cutting, bundling and chipping shortrotation Willow[C]//CSAE/SCGR 2005 Meeting, 2005: 29~33.

4 邹玉明. 沙柳平茬复壮的技术要点[J]. 内蒙古林业科技,1989(4):23~24.

5 姚建成,梁海荣,张松林,等. 沙柳平茬不同留茬高度对比试验[J]. 内蒙古林业科技,2009,35(4):35~36.
Yao Jiancheng, Liang Hairong, Zhang Songlin, et al. Comparison on different stubble height after stumping for *Salix psammophila* [J]. Journal of Inner Mongolia Forestry Science & Technology, 2009, 35(4): 35~36. (in Chinese)

6 中国农业机械化科学研究院呼和浩特分院. 多功能自走式灌木平茬收获机:中国,ZL200920156056.0[P]. 2010-02-24.

7 马永康,张振国,边胤. 柠条收割机切割器的设计与试验[J]. 农业机械学报,2007,38(7):202~204.

8 李黎. 木材切削原理与刀具[M]. 北京:中国林业出版社,2012:2,33~39,67.

9 镇江农业机械学院. 农业机械学:下册[M]. 北京:中国农业机械出版社,1981:367~371.

10 庄继德. 计算汽车地面力学[M]. 北京:机械工业出版社,2001:20~26.

11 GB/T 15833—2007 林业轮式和履带拖拉机试验方法[S]. 2007.