

胶辊砻谷机性能参数试验与优化

阮竞兰, 向光波, 程相法

(河南工业大学机电工程学院, 郑州 450007)

摘要: 为了提高胶辊砻谷机的工艺性能, 确定胶辊砻谷机的最佳工作参数, 对胶辊砻谷机的工作参数与工艺效果进行了试验与优化。研究表明, 在固定流量、快辊线速和线速差的情况下, 当胶辊砻谷机辊压为 7.0 kg/cm 时, 脱壳率 93.35%、产量 146.41 kg/cm·h、胶耗 4.63 g、破碎率 4.66% 等工艺参数都达到最优。同理, 在固定其他工作参数不变的情况下, 快辊线速为 18.47 m/s 时, 破碎率 5.29%、产量 142.16 kg/cm·h 和胶耗 3.22 g 等工艺参数都取得最优; 流量为 172.31 kg/cm·h 时, 产量 148.36 kg/cm·h、破碎率 4.63%、胶耗 3.62g 等均取得最优; 线速差为 3.16 m/s 时, 脱壳率 90.83%、胶耗 4.51 g、破碎率 4.41% 等均达到最优值。研究结果可为胶辊砻谷机的设计提供重要依据。

关键词: 农产品, 加工, 设计, 胶辊砻谷机, 辊压, 线速, 流量, 破碎率

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.05.061

中图分类号: TS212.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-05-0353-05

阮竞兰, 向光波, 程相法. 胶辊砻谷机性能参数试验与优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 353-357.

Ruan Jinglan, Xiang Guangbo, Cheng Xiangfa. Experiments and optimization of performance parameters on rubber roll husker [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 353-357. (in Chinese with English abstract)

0 引言

稻谷是中国第一大粮食作物, 其种植面积、总产和单产均居粮食作物首位, 年产量常年保持在 1.8~2 亿 t。中国又是世界最大稻谷生产国和消费国, 产量和消费量约占世界稻谷产量和消费量 30% 和 42%。稻谷加工作为农产品面向市场的主要后续加工产业, 在国民经济中有着重要的地位, 对推动农业产业化具有重要作用^[1]。

稻谷加工过程一般包括: 清理、砻谷、碾米、成品处理 4 个工序。其中砻谷是一个极为重要环节, 也是关键工序, 它不仅影响后续工序的工艺效果, 还直接影响着成品的质量、出率和产量。砻谷工序的关键设备是胶辊砻谷机, 作用是将稻谷脱壳, 其工作原理为利用一对做相向不等速旋转运动的橡胶辊筒, 对进入两胶辊间工作区的谷粒施加挤压和摩擦力, 产生撕搓作用而使稻壳破裂与糙米分离, 达到脱壳。胶辊砻谷机具有产量高、脱壳率高、糙碎率低等良好的工艺性能, 在国内外得到广泛的使用^[2]。

评定胶辊砻谷机工艺性能优劣的指标有: 脱壳率、破碎率、胶耗和产量等。影响胶辊砻谷机工艺效果的主要工作参数为: 辊压、快辊线速、快慢辊线速差及流量。究竟胶辊砻谷机工作参数与工艺评定参数之间的内在关系如何; 怎样选取胶辊砻谷机工作参数才能获得最优脱壳工艺效果; 相关研究在技术资料报道中多为定性分析, 系统的理论结果尚未找到。目前, 胶辊砻谷机的设计多采用类比法, 根据已有参数和经验数据运用分析对比方

法进行设计, 缺乏深入系统的参数试验研究与优化设计研究。要想使胶辊砻谷机的性能得到最大限度的提高, 获得最佳工艺效果, 仅靠经验和类比设计方法是难以解决。因此, 为了提高产品设计质量, 合理选取技术参数, 非常有必要对胶辊砻谷机开展参数试验与优化设计研究, 具有重要的实际意义。

近年来, 国内外对胶辊砻谷机的研究多侧重于结构方面的改进创新。注重设备的工作稳定性和操作维护方便性, 新型材料的选用使设备更加轻便耐用, 符合食品卫生要求, 自动控制系统更加稳定可靠。喂料系统采用先进的无脉冲振动系统, 利用变频器控制喂料器的振动频率, 实现流量连续平稳。传动系统采用新型双面同步齿型带传动, 提高了传动效率, 使机器运行更平稳。并不断改进胶辊冷却方式, 以降低胶辊表面温升、胶耗和糙碎率, 提高脱壳率。在理论研究方面, 对胶辊砻谷机差速传动工作原理、降低破碎率工艺与方法、线速差对脱壳的作用、线速差和辊压关系、进料线速和胶辊线速与脱壳率的关系等开展了大量的研究。但是, 结合胶辊砻谷机参数试验的优化研究未见报道^[3-11]。

本文通过对胶辊砻谷机工作参数与工艺效果的试验研究, 寻找胶辊砻谷机工作参数: 辊间压力、快辊线速、流量、线速差与工艺指标之间的相互关系, 在此基础上运用 MATLAB 软件对胶辊砻谷机参数试验得到的离散点进行连续化数据处理, 绘制其对应关系曲线图表, 通过对比拟合评价优劣, 寻找合适的函数关系式。建立胶辊砻谷机不同辊压、快辊线速、流量、线速差与所对应工艺评定参数脱壳率、破碎率、产量、胶耗之间的数学模型, 并得到胶辊砻谷机工艺评定参数优化综合评定最优数值。

收稿日期: 2010-08-05 修订日期: 2011-05-02

作者简介: 阮竞兰 (1958-), 女, 广东广州人, 教授, 主要从事粮油加工机械、农业机械设计理论研究。郑州 河南工业大学机电工程学院, 450007。
Email: ruanjl@126.com

1 材料与参数

1.1 试验原材料与设备

根据生产提供选用早籼稻谷为试验原料。试验采用 MLGT36 压砣自动紧辊胶辊砟谷机。为了保证试验结果具有可比性，每次试验原料一致。

1.2 试验参数和优选范围

快辊线速：12.0~20.0 m/s，流量：135~185 kg/cm·h，线速差：2.3~3.4 m/s，胶辊间压力：4~7 kg/cm，辊径：180~225 mm。

2 结果与分析

2.1 辊压与脱壳率、产量、胶耗、破碎率对应关系。

固定流量、快辊线速和线速差，改变不同辊压试验测得工艺参数见表 1。

表 1 不同辊压对应工艺参数

辊压/ (kg·cm ⁻¹)	脱壳率/ %	破碎率/ %	产量/ (kg·cm ⁻¹ ·h ⁻¹)	胶耗/ (g·100kg ⁻¹)
4.0	78.9	4.3	124	3.4
4.5	83.3	4.21	131.4	3.51
5.0	87.1	4.15	137	3.64
5.5	89.6	4.30	141.6	3.84
6.0	91.3	4.39	144	4.08
6.5	92.8	4.5	146.1	4.34
7.0	93.5	4.65	146.5	4.65

试验数据表明：辊压与脱壳率、产量、胶耗、破碎率之间均呈正相关，其相关关系均极为显著或显著。

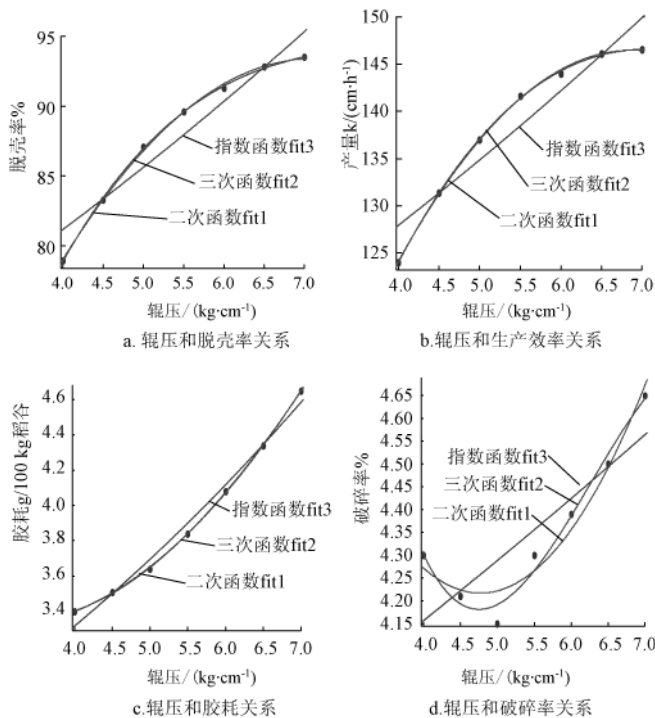


图 1 不同辊压下对应工艺参数关系曲线

Fig.1 Relation curves between different roller pressure and process parameters

运用 MATLAB 多项式指数函数拟合^[12-13]，进行数据处理，对比拟合优度选取脱壳率、产量、胶耗、破碎率与辊压之间函数关系式，其拟合关系曲线如图 1。

$$\text{脱壳率 } y_{f_1} = -1.505x_1^2 + 21.34x_1 + 17.74 \quad (r=0.964)$$

$$\text{产量 } y_{f_2} = -2.71x_1^2 + 37.23x_1 + 18.59 \quad (r=0.953)$$

$$\text{胶耗 } y_{f_3} = 0.824x_1^2 - 0.488x_1 + 4.034 \quad (r=0.986)$$

$$\text{破碎率 } y_{f_4} = 0.092x_1^2 - 0.877x_1 + 6.311 \quad (r=0.837)$$

经检验，回归拟合效果均高度显著。

为综合评价不同辊压下对应工艺参数优劣，建立如下评定数学模型

$$\min_{x_1 \in D} F(x_1) = \min_{x_1 \in D} \left\{ \sum_{i=1}^4 W_i f_i(x) \right\} \quad (1)$$

其中 $W_i = 1/f_i^*$ ($i=1,2,3,4$), $f_i^* = \min_{x \in D} f_i(x)$ ($i=1,2,3,4$)

本文采用线性加权和法分析四个工艺评定函数在试验中重要程度。结合辊压对脱壳率和产量的影响较大，脱壳率和产量随辊压增大而增加，但胶耗和破碎率也随之增加等因素，综合计算的权数依次取值为

$$\omega(p) = [\omega_1(p), \omega_2(p), \omega_3(p), \omega_4(p)]^T = [0.5, 0.3, 0.1, 0.1]^T$$

其中：脱壳率 $f_1(x_1) = -1.505x_1^2 + 21.34x_1 + 17.74$

产量 $f_2(x_1) = -2.71x_1^2 + 37.23x_1 + 18.59$

胶耗 $f_3(x_1) = 0.824x_1^2 - 0.488x_1 + 4.034$

破碎率 $f_4(x_1) = 0.092x_1^2 - 0.877x_1 + 6.311$

目标函数 $F_1(x_1) = -1.57x_1^2 + 21.84x_1 + 15.84 \quad (2)$

工艺约束条件 $4 - x_1 \leq 0, x_1 - 7 \leq 0, f_1(x_1) - 95 \leq 0,$

$f_3(x_1) - 5 \leq 0, f_4(x_1) - 5 \leq 0;$

解此一维约束优化数学模型可得，当 $x_1=6.97$ 时， $F(x_1)$ 取得最大值，此时对应工艺参数分别为 $f_1(x_1)=93.5, f_2(x_1)=146.41, f_3(x_1)=4.63, f_4(x_1)=4.66$ 。

结果表明：当压砣紧辊胶辊砟谷机两辊间压力取 7.0 kg/cm 时，对应工艺参数脱壳率、产量、胶耗、破碎率等均达到综合评价最优工艺效果。

2.2 快辊线速与破碎率、产量、胶耗及脱壳率对应关系

固定辊压、流量和线速差，改变不同快辊线速试验测得工艺参数见表 2。

表 2 不同快辊线速对应工艺参数

快辊线速/ (m·s ⁻¹)	产量/ (kg·cm ⁻¹ ·h ⁻¹)	破碎率/ %	胶耗/ (g·100kg ⁻¹)	脱壳率/ %
12.5	131.3	3.65	4.47	82.3
14	133.2	4.12	4.25	84.7
15.5	135.7	4.76	4.02	86.8
17	139.6	5.22	3.65	88.5
18.5	141.5	5.92	3.82	90.6
20	143.3	4.65	3.91	90.5

试验数据表明：快辊线速与脱壳率、产量、破碎率之间均呈正相关的关系,而与胶耗呈负相关。由于快辊线速对脱壳率的影响不显著,故仅对产量、破碎率和胶耗进行分析。

利用 MATLAB 得到快辊线速与破碎率、产量和胶耗的拟合函数关系为^[12-13]

$$\text{破碎率 } y_{s1} = 0.4084x_2 - 2.264 \quad (r=0.568)$$

$$\text{产量 } y_{Q2} = -0.128x_2^2 + 5.888x_2 + 77.22 \quad (r=0.978)$$

$$\text{胶耗 } y_{J2} = 0.0272x_2^2 - 0.9672x_2 + 12.34 \quad (r=-0.326)$$

经检验,回归拟合效果均高度显著。

建立不同快辊线速对应工艺评定参数综合评价函数模型。利用线性加权和法,结合快辊线速主要影响破碎率、产量及胶耗,对脱壳率的影响不大,综合得出各工艺评定指标加权系数为: $\omega(v)=[\omega_1(v),\omega_2(v),\omega_3(v)]^T = [0.4,0.4,0.2]^T$ 。

目标函数

$$F_2(x_2) = -0.06285x_2^2 + 2.3219x_2 + 32.44 \quad (3)$$

工艺约束条件 $12 - x_2 \leq 0, x_2 - 20 \leq 0,$

$$f_1(x_2) - 5.5 \leq 0, 120 - f_2(x_2) \leq 0$$

解此一维约束优化问题可知,当快辊线速 $x_2=18.473$ 时,破碎率 $f_1(x_2)=5.291$,产量 $f_2(x_2) =142.16$,胶耗 $f_3(x_2)=3.216$,此时均都取得综合评价最优工艺效果。

2.3 流量与产量、破碎率、胶耗、脱壳率对应关系

固定辊压、快辊线速和线速差,改变流量试验测得工艺参数见表 3。

运用 MATLAB 拟合的工艺参数产量、破碎率、胶耗与流量之间函数关系式为

$$\text{产量 } y_{Q2} = -0.006897x_3^2 + 2.895x_3 - 145.7 \quad (r=0.987)$$

$$\text{破碎率 } y_{s2} = 0.000193x_3^2 - 0.0402x_3 + 5.844 \quad (r=0.989)$$

$$\text{胶耗 } y_{J2} = 0.000493x_3^2 - 0.1757x_3 + 19.3 \quad (r=-0.924)$$

表 3 不同流量对应工艺参数

Table 3 Process parameters with different flow

流量/ (kg·cm ⁻¹ ·h ⁻¹)	产量/ (kg·cm ⁻¹ ·h ⁻¹)	破碎率/ %	胶耗/ (g·100kg ⁻¹)	脱壳率/ %
135	120.2	3.95	4.6	88.9
145	128.5	4.05	4.15	88.7
155	136.7	4.21	3.92	88.2
165	145.3	4.5	3.74	88
175	150.6	4.73	3.70	86.4
185	153.5	4.99	3.65	85.2

利用线性加权和法,结合流量主要对产量、破碎率和胶耗影响,综合得到权重

$$\omega(q)=[\omega_1(q),\omega_2(q),\omega_3(q)]^T = [0.6,0.2,0.2]^T$$

从而建立不同流量对应工艺参数函数模型

目标函数

$$F_3(x_3) = -0.004058x_3^2 + 1.6215x_3 - 82.391 \quad (4)$$

工艺约束条件 $135 - x_3 \leq 0, x_3 - 180 \leq 0,$

$$120 - f_1(x_3) \leq 0, f_2(x_3) - 5.5 \leq 0。$$

解此一维约束优化问题可得,当流量 $x_3=172.31$ 时,产量 $f_1(x_3)=148.32$,破碎率 $f_2(x_3)=4.63$,胶耗 $f_3(x_3)= 3.624$,此时,工艺参数产量、破碎率、胶耗等均取得综合评价最优工艺效果。

2.4 线速差与脱壳率、胶耗、破碎率、产量对应关系

固定辊压、快辊线速和流量,不同线速差试验测得工艺参数见表 4。

表 4 不同线速差对应工艺参数

Table 4 Process parameters with different line speed

线速差/ (m·s ⁻¹)	脱壳率/ %	胶耗/ (g·100kg ⁻¹)	破碎率/ %	产量/ (kg·cm ⁻¹ ·h ⁻¹)
2.3	85.2	3.25	4.6	134.5
2.5	86.3	3.37	4.15	137.9
2.7	88.7	3.7	3.92	140.3
2.9	89.0	4.21	3.74	138.5
3.1	87.6	4.45	3.70	136.5
3.3	91.3	4.67	3.65	141

运用 MATLAB 拟合的工艺参数脱壳率、破碎率、胶耗与线速差之间函数关系式为

$$\text{脱壳 } y_{t1} = 6.4x_4 + 70.58 \quad (r=0.859)$$

$$\text{胶耗 } y_{J2} = 0.0625x_4^2 + 1.2x_4 + 0.08438 \quad (r=0.987)$$

$$\text{破碎率 } y_{s1} = -0.3705x_4^2 + 2.158x_4 + 1.29 \quad (r=0.224)$$

利用线性加权和法,线速差主要影响脱壳率、胶耗和破碎率,对胶耗影响最大,综合得权重

$$\omega(v_c)=[\omega_1(v_c),\omega_2(v_c),\omega_3(v_c)]^T = [0.2,0.6,0.2]^T$$

建立线速差与对应工艺参数函数关系模型

目标函数

$$F_4(x_4) = -0.036x_4^2 + 7.5516x_4 + 1.29 \quad (5)$$

工艺约束条件 $2.3 - x_4 \leq 0, x_4 - 3.3 \leq 0,$

$$75 - f_1(x_4) \leq 0, f_3(x_4) - 5.5 \leq 0$$

求解此约束优化问题可得,当线速差取得 $x_4=3.164$ 时,脱壳率 $f_1(x_4)=90.83$,胶耗 $f_2(x_4)=4.507$,破碎率为 $f_3(x_4)= 4.409$,此时均都取得综合评价最优工艺效果。

2.5 优选组合工作参数验证试验

胶辊砟谷机工作参数最优组合在试验优选方案中没有出现,为确保优选前后胶辊砟谷机工艺参数的可比性,选取辊压 7.0 kg/cm、快辊线速 18.47 m/s、流量 172.31 kg/cm·h 及线速差 3.16 m/s,进行参数验证试验。试验结果表明:优选组合后所得工艺参数为脱壳率 95.34%、胶耗 3.84 g、产量 149.5 kg/cm·h、破碎率 4.15%。优选后胶辊砟谷机评定工艺参数优于其它工作参数组合。

3 结论

本文通过对胶辊砟谷机工作参数与工艺参数的试验研究,所得结果为:

1) 当压砟紧辊砟谷机取辊压 7.0 kg/cm 时,脱壳率 93.35%、产量 146.41 kg/cm·h、胶耗 4.63g、破碎率 4.66%,

综合工艺评定参数都取得最优值。

2) 当快辊线速 18.47 m/s 时, 破碎率 5.29%、产量 142.16 kg/cm-h 和胶耗 3.22 g, 综合工艺评定参数都取得最优值。

3) 当流量 172.31 kg/cm-h 时, 产量 148.36 kg/cm-h、破碎率 4.63%、胶耗 3.62 g, 综合工艺评定参数都取得最优值。

4) 当线速差 3.16 m/s 时, 脱壳率 90.83%、胶耗 4.51 g、破碎率为 4.41%, 综合工艺评定参数都取得最优值。经过验证试验, 采用优选组合后的工作参数所得工艺效果优于其它工作参数组合。

[参 考 文 献]

- [1] 姚惠源. 世界稻米加工业发展趋势与我国未来十年的发展战略[J]. 粮食与饲料工业, 2003, 26(12): 5-8.
Yao Huiyuan. Developing trend of the worldwide rice milling industry and its developing strategy in china for the next ten years[J]. Cereal and Feed Industry, 2003, 26(12): 5-8. (in Chinese with English abstract)
- [2] 阮竞兰. 粮食机械原理及应用技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006, 334-344.
- [3] 顾尧臣. 辊式磨粉机和胶辊砻谷机差速传动工作原理的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2001, 24(3): 1-3.
Gu Yaochen. A study of differential drive principle of roller mill and rubber roll huller[J]. Cereal and Feed Industry, 2001, 24 (3): 1-3. (in Chinese with English abstract)
- [4] Shitanda D, Nishiyama Y, Koide S. Husking characteristics of short and long grain rice by rubber roll husker (Part 1) -dynamic analysis of a single grain motion[J]. 配管・装置・プラント技術, 2001, 63(1): 55-63.
- [5] Shitanda D, Nishiyama Y, Koide S. Variation of friction and normal force in rubber roll husker[J]. Agricultural Engineering Journal, 2002, 11(2/3): 121-31.
- [6] 朱恩俊. 大米降碎工艺的分析与探讨[J]. 粮油加工, 2008, 39(6): 45-46.
Zhu Enjun. Analysis and discussion the technique of reducing broken rice[J]. Cereals and Oils Processing, 2008, 39(6): 45-46.
- [7] 贺为群. HU10FT 新型砻谷机简介[J]. 粮食与饲料工业, 2006, 29(3): 6-7.
He Weiqun. The Introduction HU10FT of the new roller husker[J]. Cereal and Feed Industry, 2006, 29(3): 6-7. (in Chinese with English abstract)
- [8] 代江前. 碎米产生的原因及降碎方法的探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2005, 28(9): 6-7.
Dai Jiangqian. Discussion about the causes and methods of reducing broken rice[J]. Cereal and Feed Industry, 2005, 28(9): 6-7. (in Chinese with English abstract)
- [9] 徐润琪. 降低杂交稻谷加工破碎率途径的研究[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(4): 5-8.
Xu Ruanqi. Research on approaches of reducing broken ratio of the hybrid rice during processing[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2003, 18(4): 5-8. (in Chinese with English abstract)
- [10] 吴仁树. 胶辊砻谷机主要工作参数与脱壳工艺的关系[J]. 粮食与饲料工业, 1994, 17(3): 12-18.
Wu Renshu. Relationship between main working parameters and hulling technology of the rubber roll huller[J]. Cereal and Feed Industry, 1994, 17(3): 12-18. (in Chinese with English abstract)
- [11] 龙继英. 对胶辊砻谷机胶辊冷却方式的改进[J]. 粮食与饲料工业, 2008, 31(11): 1-4.
Long Jiying. The improvement of the cooling of rubber roller husker[J]. Cereal and Feed Industry, 2008, 31(11): 1-4. (in Chinese with English abstract)
- [12] 苏金明. MATLAB 工程数学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005, 460-470.
- [13] 徐立友. 基于 MATLAB 的柴油机性能试验数据的处理[J]. 河南科技大学学报, 2006, 27(4): 33-35.
Xu Liyou. Test data processing of diesel engine performance based on matlab[J]. Journal of Henan University of Science and Technology, 2006, 27(4): 33-35. (in Chinese with English abstract)
- [14] 冯冠德. MATLAB 曲线拟合工具箱在试验数据处理上的应用[J]. 拖拉机与农用运输车, 2006, 33(4): 90-91.
Feng Guande. MATLAB Curve fitting toolbox in disposing of experiment data[J]. Tractor and Farm Transporter, 2006, 33(4): 90-91. (in Chinese with English abstract)
- [15] 吴建民. 用综合加权评分法优化钻井泥浆配方的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 45-48.
Wu Jianmin. Experimental study on optimizing mud prescription for well drilling by using comprehensively weighted grading method[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 45-48. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王晓燕, 梁洁, 尚书旗, 等. 半喂入式花生摘果试验装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 94-98.
Wang Xiaoyan, Liang Jie, Shang Shuqi, et al. Design and experiment of half feeding type peanut picker [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 94-98. (in Chinese with English abstract)

Experiments and optimization of performance parameters on rubber roll husker

Ruan Jinglan, Xiang Guangbo, Cheng Xiangfa

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: To improve the process performance of the rubber roll husker and determine the optimum technical parameters, optimization on the technical parameters and the experiments on the process effect were carried out. The results indicated that the process parameters were all optimal, such as husked rice ratio (93.35%), output(146.41 kg/cm·h), rubber consumption (4.63 g) and percentage of raw broken (4.66%) when the roll pressure of rubber roll husker was 7.0 kg/cm on the condition that feeding , fast linear speed and difference of linear speed were all invariable. By the same ruler, when the fast linear speed was 18.47m/s, the process parameters of percentage of raw broken, output and rubber consumption were optimal, which were 5.29%, 142.16 kg/cm·h and 148.36 kg/cm·h respectively. When the feeding was 172.31 kg/cm·h, the optimal results were achieved which were 148.36 kg/cm·h in output, 4.63% in percentage of raw broken, and 3.62 g in rubber consumption; And when the difference of linear speed was 3.16 m/s, the optimal results were obtained, which were 90.83% in husked rice ratio, 4.51 g in rubber consumption and 4.41% in percentage of raw broken. The research results can offer references for the design of rubber roll huskers.

Key words: agriculture products, processing, design, rubber roll husker, roller pressure, line speed, flow, breakage rate