

# 秸秆丝化机锤片参数的优化设计

刘德军, 王 强, 汪红建, 高连兴

(沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161)

**摘 要:** 目前市场上秸秆丝化机机型众多, 但存在消耗功率较大, 生产效率低, 丝化质量差等问题。为了对秸秆丝化机的主要参数设计提供理论参考, 该文通过正交试验的方法, 并借助计算机统计分析软件, 研究了新研制的 9JST-20 型秸秆丝化调质机样机性能指标的影响因素, 获得影响丝化性能指标的次主要因素及影响规律。

**关键词:** 秸秆丝化; 锤片参数; 性能指标; 优化设计

**中图分类号:** S817.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2005)05-0073-04

刘德军, 王 强, 汪红建, 等. 秸秆丝化机锤片参数的优化设计[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 73- 76

Liu Dejun, Wang Qiang, Wang Hongjian, et al. Optimized design of hammer parameters of the stalk threading machines [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 73- 76 (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

秸秆丝化机自问世以来, 陆续出现揉搓机、揉丝机、揉碎机等各种机器, 然而从加工机理和加工质量看, 很多机型未达到丝化的质量要求, 表现在秸秆过度碎化, 机器消耗功率较大, 适合农户家庭养殖需要的机型较少。机器参数特别是锤片参数的确定往往凭经验选择, 很少进行专门研究。经查阅资料, 目前国内外尚无对丝化机锤片参数进行的专门研究。经过前期试验证明: 秸秆的丝化效率和丝化质量主要与锤片参数有关, 为了对秸秆丝化机锤片参数的确定提供理论参考, 本文对新研制的 9JST-20 型秸秆丝化调质机进行了试验分析。通过锤片上开设多个孔, 转盘上设置两组销轴孔, 可改变锤齿间隙, 运用正交试验的方法研究了丝化机锤片参数(包括锤片数目、锤片厚度、锤齿间隙)对丝化性能指标的影响, 找出影响丝化性能指标的次主要因素和规律, 以便进一步的优化设计。丝化性能主要指标有 3 个: 丝化质量、生产率(kg/h)和度电产量(kg/(kW·h))。本试验丝化质量的测定, 以适宜丝条长度的丝条质量占丝化后总质量的百分数来评价, 百分数越大, 证明丝化质量越好<sup>[4]</sup>。

## 1 锤片及锤齿间隙试验

### 1.1 试验方案

9JST-20 型秸秆丝化调质机配套动力 2.2 kW, 转子转速 2700 r/min, 设计生产率为 400~ 800 kg/h, 丝化室有效宽度 130 mm, 直径 300 mm, 整机质量 136 kg, 外形尺寸 980 mm × 550 mm × 850 mm。试验物料选取冬季玉米秸秆, 用喷壶喷水搁置 12 h 后测定含水率, 为了保证含水率保持在 30% 左右, 水和秸秆的质量分别控制。秸秆喂入量根据喂入口大小, 每次喂入 3 根。因

矩形锤片具有通用性好、形状简单、易制造等特点, 故试验采用矩形锤片<sup>[3]</sup>。锤齿间隙的改变方法是: 在锤片上开设多个孔, 转盘上设置两组销轴孔, 改变锤片和销轴的安装位置, 即可改变锤齿间隙(如图 1 所示)。由于本机器排料为均匀分布下排料口, 所以锤片排列全部采用对称排列, 由 4 根销轴每轴分别安装 2、3、4、5、6 个锤片, 所以锤片数量有 8、12、16、20、24、5 个水平。其中 20 个锤片排列情况如图 2 所示(由于篇幅有限不能一一画出)<sup>[5]</sup>。试验时, 每种因素水平测试 3 次, 每次 3 min, 试样分别称重, 计算平均值。丝化质量的测定选取 3~ 8 cm 为适宜丝条长度, 先筛分后手工拣选称重的方法, 即筛分出碎屑, 手工拣选出粗长丝条, 然后称重计算百分比。

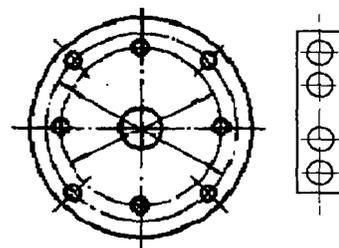


图 1 两组销轴孔及锤片示意图

Fig 1 Diagram of two groups of dowel axle hole and hammer

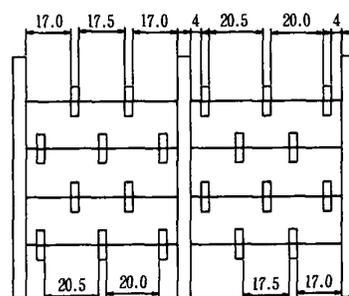


图 2 20 个锤片排列示意图

Fig 2 Arrangement of 20 hammers

收稿日期: 2004-07-05 修订日期: 2004-11-19

作者简介: 刘德军(1972- ), 教师, 博士生, 主要从事农业机械性能与开发。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110161

根据上述方案, 试验方案如表 1 所示, 采用正交试验的方法, 选取了正交表中的  $L_{25}(5^6)$  正交法进行了试验<sup>[2]</sup>。

表 1 试验因素水平

因素	水 平				
锤片数目(A)/个	8	12	16	20	24
锤片厚度(B)/mm	2	3	5	6	8
锤齿间隙(C)/mm	8	15	23	30	40

## 1.2 正交设计的极差分析

按表 2 的试验方案进行试验, 运用极差法分析正交试验的结果, 分析各因素不同水平变化对试验结果的影响。极差反映  $k$  值的波动幅度, 极差愈大  $k$  值的波动幅度愈大, 则该因素水平变化对试验指标影响大, 为重要因素, 否则为次要因素。按单指标分析的结果列于表 3。

表 2 试验方案及结果

试验序号	因素			测 试 指 标		
	A	B	C	生产率 /kg·h <sup>-1</sup>	丝化质量 /%	每千瓦时电质量 /kg·(kW·h) <sup>-1</sup>
1	1	1	1	620	75.4	83.2
2	1	2	2	680	76.1	90.5
3	1	3	3	600	74.6	80.3
4	1	4	4	550	72.7	76.4
5	1	5	5	500	71.5	71.3
6	2	2	4	720	73.6	92.8
7	2	3	5	650	73.0	85.0
8	2	4	1	580	72.8	78.9
9	2	5	2	600	74.0	80.3
10	2	1	3	750	80.2	96.2
11	3	3	2	850	77.8	114.6
12	3	4	3	820	76.4	110.3
13	3	5	4	700	74.0	91.7
14	3	1	5	880	73.0	116.7
15	3	2	1	850	74.2	114.6
16	4	4	5	780	71.9	105.7
17	4	5	1	820	71.2	110.4
18	4	1	2	1100	78.3	146.7
19	4	2	3	960	85.2	130.5
20	4	3	4	900	75.0	124.8
21	5	5	3	580	75.6	78.4
22	5	1	4	680	74.2	89.6
23	5	2	5	650	72.0	85.5
24	5	3	1	600	73.6	81.0
25	5	4	2	620	76.0	83.5

## 1.3 试验结果及分析

根据表 3, 对各项指标的分析, 在 25 次试验结果中, 生产率较高的是 18 号试验  $A_4B_1C_2$  处理组合, 生产率为 1100 kg/h。各试验因素的分析较优处理组合是  $A_4B_1C_2$ 。因素主次顺序是 A、B、C。

25 次试验结果丝化质量百分数较高的是 88.3%, 即第 18 号试验,  $A_4B_1C_2$  处理组合。各试验分析较优处理组合为  $A_4B_1C_2$ 。因素的主次顺序为 C、B、A。每千瓦

时电产量试验结果中较高的是 146.7 kg/(kW·h), 即第 18 号试验, 处理组合为  $A_4B_1C_2$ , 分析较优处理组合为  $A_4B_1C_2$ 。因素主次顺序为 A、B、C。

表 3 丝化性能多指标试验结果及分析

K 值	生产率 /kg·h <sup>-1</sup>			丝化质量 /%			度电产量 /kg·(kW·h) <sup>-1</sup>		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$K_1$	2950	4030	3470	370.3	391.1	367.2	401.7	532.4	468.1
$K_2$	3300	3860	3850	373.6	381.1	392.2	433.2	513.9	515.6
$K_3$	4100	3600	3710	375.4	374	392	547.9	485.7	495.7
$K_4$	4560	3350	3550	391.6	369.8	369.5	618.1	454.8	475.3
$K_5$	3130	3200	3460	371.4	366.3	361.4	418	432.1	464.2
$k_1$	590	806	694	74.06	78.22	73.44	80.34	106.48	93.62
$k_2$	660	772	770	74.72	76.22	78.44	86.64	102.78	103.12
$k_3$	820	720	742	75.08	74.8	78.4	109.58	97.14	99.14
$k_4$	912	670	710	78.32	73.96	73.9	123.62	90.96	95.06
$k_5$	626	640	692	74.28	73.26	72.28	83.6	86.42	92.84
R	322	166	78	4.26	4.96	6.16	29.24	20.06	10.28
分析较优水平	$A_4$	$B_1$	$C_2$	$A_4$	$B_1$	$C_2$	$A_4$	$B_1$	$C_2$
主次因素	A、B、C			C、B、A			A、B、C		

综合平衡分析: 根据上述分析可知, 试验分析的最优处理组合为  $A_4B_1C_2$ , 而试验结果中的最优处理组合也为  $A_4B_1C_2$ , 说明最好的处理组合刚好在实地试验中, 因此选用该处理组合进行工作, 即锤片的数目为 20 个, 锤片的厚度为 2 mm, 锤齿间隙为 23 mm。试验表明, 锤片的数目高于 20 时, 锤片的打击次数过多, 使秸秆丝化长度(本试验中适宜长度为 5~8 cm)和粗细程度呈下降趋势, 细粉变多, 影响了揉碎质量, 生产率也下降, 锤片数目过少时物料丝化后的粗长段又趋于增多, 这是由打击次数不够所致, 同样影响了秸秆的丝化质量; 试验中当锤片的厚度由 8 mm 减至 2 mm 时, 丝化机的度电产量增加了近 20%, 表明丝化机的度电产量随着锤片厚度的减少而增加; 然而, 太薄的锤片强度低, 磨损快, 采用 5mm 锤片磨出刃口, 能取得较好效果。锤齿间隙在 18 或 23 时, 丝化段中的适宜长度的物料占大多数, 且粗细度也较为均匀。一旦间隙变化, 丝化物料的长度和粗细度也随之变化, 导致丝化质量的降低<sup>[6]</sup>。

## 2 锤片参数影响的回归分析

9JST-20 型丝化调质机排料方式是下排料, 并非靠风叶排出, 出料口在丝化室下部全面打开, 所以在锤片的排列方式上采用对称排列, 经试验, 采取其他排列方式存在排料不畅, 丝化效率和质量降低的问题。本试验丝化室有效宽度 130 mm, 锤片数目只在这个有效宽度下取得了最佳值, 考虑到不同的丝化室有效宽度所需锤片数目会有所不同。另外, 每千瓦时电产量主要用于比较不同机器之间的生产性能, 因此选定生产率、丝化质量为因变量, 分别设为  $y_1, y_2$ , 而锤片厚度、锤齿间隙则为自变量, 分别设为  $x_1, x_2$ , 利用 SPSS 软件对试验数据

进行分析。求解回归方程如下:

$$y_1 = -0.04e^{x_1} + 43.25x_2 - 1.86x_2^2 + 0.02x_2^3 + 1541$$

$$(R = 0.643 \quad R^2 = 0.413 \quad DW = 2.431$$

$$t = 4.358 \quad sig. = 0.002) \quad (1)$$

$$y_2 = -0.03x_1^3 + 0.64x_1^2 - 4.35x_1 - 0.14x_2^2 + 3.3x_2$$

$$+ 85.43$$

$$(R = 0.542 \quad R^2 = 0.294 \quad DW = 3.214$$

$$t = 3.739 \quad sig. = 0.013) \quad (2)$$

锤片厚度和锤齿间隙对生产率、丝化质量的影响, 如图 3、4 所示。

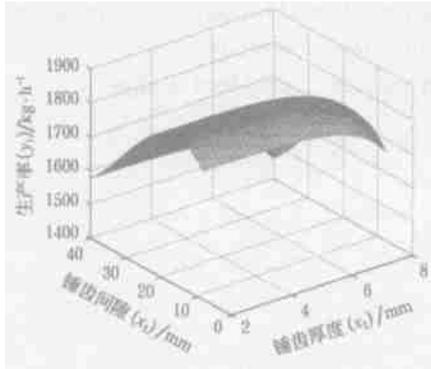


图 3 锤片厚度与锤齿间隙对生产率的影响

Fig 3 Effect of thickness of hammer and the clearance between hammer and teeth on silking efficiency

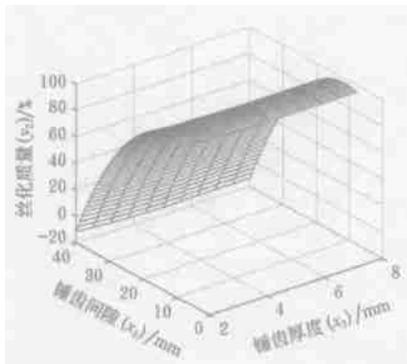


图 4 锤片厚度与锤齿间隙对丝化质量的影响

Fig 4 Effect of the thickness of hammer and the clearance between hammer and teeth on silking quality

从图 3 可以看出锤齿间隙在 18 mm, 锤片厚度在 2 mm 时, 生产率最大。另外各种锤齿间隙下, 生产率都随着锤片厚度的增大而减小。故在实际生产中在满足丝化质量的条件下, 可以考虑减小锤片厚度, 以获得较大的生产率。

由图 4 可以看出, 当锤齿间隙在 18~ 23 mm, 锤片厚度在 2 mm 时, 丝化质量最高。在其它锤齿间隙范围内, 丝化质量明显下降, 而在某一特定锤齿间隙下, 丝化质量几乎不随锤片厚度变化。可以看出, 锤齿间隙对丝

化质量有较大的影响。故在实际生产中, 选择合理的锤齿间隙 (18~ 23 mm) 有利于提高丝化质量。

### 3 结 论

应用正交试验设计安排秸秆丝化性能指标影响因素的试验, 从试验所测得的数据来看, 丝化质量大多在 75% 以上, 说明秸秆丝化机的丝化质量比较好。通过对试验的极差分析得出影响生产率的因素主次顺序为: 锤片数目 > 锤片厚度 > 锤齿间隙, 影响丝化质量的因素主次顺序为: 锤齿间隙 > 锤片厚度 > 锤片数目, 影响度电产量的因素主次顺序为: 锤片数目 > 锤片厚度 > 锤齿间隙。当锤片数目为 20, 锤片厚度为 2 mm (理论值, 实际将 5 mm 锤片刃口处理最好), 锤齿间隙为 18~ 23 mm 时, 各试验指标均达到较优值。由于本试验主要针对 9JST-20 型秸秆丝化调质机进行, 而市场上秸秆加工机械类型众多, 从秸秆喂入形式上看有的是切向喂入, 有的是径向喂入, 有的是轴向喂入, 对于轴向喂入和径向喂入, 在秸秆进入工作室瞬间就被锤片打碎或被切刀切碎, 加工质量上表现为秸秆过度碎化, 碎屑多, 这种情况下锤齿间隙对丝化质量的影响就不是很大, 严格意义讲这种机器不能称为丝化机。对于切向喂入的丝化机在实际生产中, 由于不同机器的丝化室有效宽度不同, 所以所需要的最佳锤片数目也可能不同, 但应尽量减少锤片数目, 减小锤片厚度。为增加锤片强度, 可做锤片刃口处理, 在此基础上, 使锤齿间隙保持在 18~ 23 mm 之间为宜。

### [参 考 文 献]

- [1] 盖钧镒 试验统计方法[M] 北京: 中国农业出版社, 2000
- [2] 南京农业大学 田间试验与统计方法[M] 北京: 农业出版社, 1979
- [3] 刘曼茹 锤式粉碎机的研究[J] 农业机械学报, 1990, (9): 54- 59
- [4] 李 林, 杨明韶, 等 9R-40 型揉碎机的研制与试验[J] 内蒙古农牧学院学报, 1997, (9): 69- 74
- [5] 李 林, 王春光, 谢玉红, 等 9R-40 型揉碎机的试验研究[J] 内蒙古农牧学院学报, 1997, (12): 78- 81
- [6] 高振江, 吕忠孝, 张世湘 牧草和秸秆揉搓加工机理与机具研究[J] 北京农业工程大学学报, 1994, (4): 72- 77
- [7] 韩鲁佳, 刘向阳, 阎巧娟, 等 9LRZ-80 型立式秸秆揉切机的研制[J] 农业工程学报, 1999, (9): 137- 140
- [8] 孟海波, 韩鲁佳, 刘向阳, 等 秸秆揉切机用刀片磨损的研究[J] 农业机械学报, 2003, (9): 61- 64
- [9] 吴子岳, 高焕文, 张晋国 玉米秸秆切断速度和切断功耗的试验研究[J] 农业机械学报, 2001, (3): 38- 41
- [10] Yang Zhongping, Guo Kangquan, Zhu Xinhua, et al Straw resources utilizing industry and pattern[J] Transactions of the CSAE, 2001 (1).

## Optimized design of hammer parameters of the stalk threading machines

Liu Dejun, Wang Qiang, Wang Hongjian, Gao Lianxing

(Engineering College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** There are multimodel threading machines in market at present, but in order to reduce the cost of manufactured goods, the parameters of machine are designed by experience only, therefore, the problems of larger power consumption, lower efficiency, worse threading quality are emerging. Through the method of orthogonal experiments and computer statistic analysis software, the factors affecting the threading performance target of a new 9JST-20 type of stalk threading and mixing machine were studied, so as to provide the theoretical foundation for the development and production of the stalk threading machine. Through the experimental study, the main and subordinate factors and the influence rule on the threading target were obtained.

**Key words:** stalk threading; hammer parameters; threading function targets; optimized design