

双立轴烟秆切割机构的设计与试验

张武金¹, 孙松林^{1,2*}, 李军政^{1,2}, 肖名涛^{1,2}, 杨彪^{1,2}, 寻真福^{1,2}

(1.湖南农业大学工学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省现代农业机械装备工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

摘要:设计了一种适合烟秆切割的双立轴圆盘式切割机构。在自制的烟秆切割试验台上,对切割速度、装置的前进速度、主从切割刀片的径向重叠量等进行了单因素试验和多因素正交试验。单因素试验结果表明,在切割速度 350 r/min 时,功耗为 1 718.8 W,切断率为 94.33%;在主从切割刀片的径向重叠量为 15 mm 时,功耗为 1 500.73 W,切断率为 95.6%;在装置的前进速度为 0.6 m/s 时,功耗为 1 608.13 W,切断率为 96.83%。正交试验结果表明,当切割速度为 300 r/min,主从切割刀片的径向重叠量为 15 mm,装置前进速度 0.6 m/s 时,功耗为 1 480.26 W,切断率为 97.21%。

关键词:烟秆切割机构;切割速度;切断率;功耗

中图分类号: S225.5 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2015)02-0219-04

Design and experimental study on the cutters with double vertical shafts for the tobacco stalks

Zhang Wujin¹, Sun Songlin^{1,2*}, Li Junzheng^{1,2}, Xiao Mingtao^{1,2}, Yang Biao^{1,2}, Xun Zhenfu^{1,2}

(1.College of Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Provincial Engineering Technology Research Center for Modern Agricultural Equipment, Changsha 410128, China)

Abstract: In this paper, a disc cutter with double vertical shafts is designed to cut the tobacco stalks. The single factor and orthogonal experiments are carried out in the self-made tobacco stem cutting device for the factors of the cutting speed, the forward speed of the device, and the radial overlap gap between the active plate and the driven knife plate, etc. By the analysis of the single factor experiment, it is shown that the power consumption is 1 718.8 W, and the cutting rate is 94.33% at the cutting speed of 350 r/min. When the radial overlap gap between the active plate and the driven knife plate is 15 mm, the power consumption is 1 500.73 W and the cutting rate is 95.6%. If the forward speed of the device is 0.6 m/s, the power consumption is 1 608.13 W and the cutting rate is 96.83%. Orthogonal experiment results show that the lowest power consumption of 1 480.26 W and the highest cutting rate of 97.21% could be achieved with the radial overlap gap of 15 mm between the active plate and the driven knife plate when the forward speed of the device is 0.6 m/s.

Keywords: tobacco stalks cutting mechanism; cutting speed; cutting rate; power consumption

烟秆具有多种用途^[1-4]。中国烟叶的种植面积达 $1.412 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 每年产生的烟秆约为 $3.05 \times 10^6 \text{ t}$ ^[5], 对烟秆加以充分利用将产生巨大的经济效益, 同时对保护环境具有重要的现实意义。

对烟秆进行切割, 是烟秆综合利用的基础。目前有关农作物茎秆的切割机构的研究取得了一定

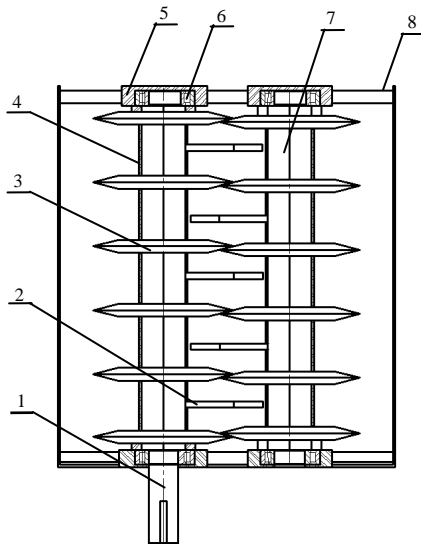
的进展。向家伟^[6]对甘蔗切割机构进行了试验研究, 采用正交多项式回归分析方法对试验数据进行处理, 得出相关的数学模型, 通过对该模型切割参数的优化, 得出切割损失和切割功耗均较小的最佳切割参数组合, 即刀盘转速为 685 r/min, 刀盘倾角为 9° , 刀刃滑切角为 26° 时, 试验效果最佳; 蒋韬^[7]

设计了玉米试验台,通过试验得出最大切割力和切割功耗随着切割速度和切割角的增大而减小,锯齿刀的切割力比光滑刀的切割力小,削切角在 20°左右时较其他角度的切割力小。笔者根据作物秸秆的力学特性的相关试验研究^[8-12],设计了一种双立轴圆盘锯齿切割机构,在自制的切割试验台上进行试验,以期获得烟秆切割机构最佳的结构和工作参数,现将结果报道如下。

1 烟秆切割机构的设计和工作原理

1.1 烟秆切割机构的设计

双立轴圆盘式切割机构由机架、主动轴、从动轴、切刀、轴承、轴承座、套筒、拨杆组成(图 1)。拨杆由 2 部分组成,上半部分使用弹性材料,下半部分采用刚性材料。主从动轴安装刀片部分为方形。



1 动力输入轴(方形);2 拨杆;3 切刀;4 套筒;
5 轴承座;6 轴承;7 从动轴;8 机架。

图 1 烟秆切割机构的结构

Fig.1 Structure for Tobacco stalk cutting mechanism

切割机构的刀片采用锯齿刃形,根据农业机械设计手册^[13],刀片选用 65 Mn 钢。65 Mn 钢的弹性及塑性好,经热处理后的综合力学性能优于碳钢,材料经济,热处理淬透性好。刀片安装在方形的切碎轴上,从上到下均匀分布 6 个刀片,刀片之间采用套筒连接,切碎轴的两端采用螺母对刀片进行轴向压紧。刀片内孔为 30 mm×30 mm 的方形孔,刀片半径 $R=110$ mm,散热孔直径 $d=10$ mm,刀齿 $Z=30$ 齿,刃厚度 $b=2$ mm,齿高取 20 mm。刀片结构如图 2 所示。

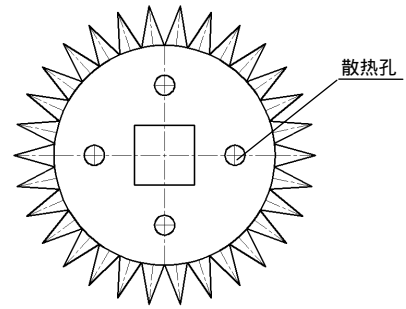


图 2 刀片的结构

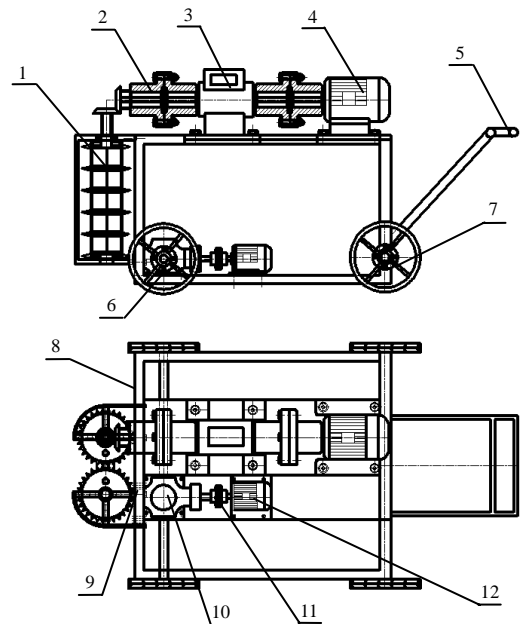
Fig.2 The structure of blade

1.2 工作原理

切碎机构的动力经由电机输入,电机的动力输出轴和切碎器的动力输入轴之间通过锥齿轮啮合,在电机的驱动下,切碎轴上的切刀逆时针高速旋转,烟秆首先由拨杆拨向高速旋转的切刀,主动轴和从动轴上的切割刀片的锯齿连续对茎秆进行切割,直到烟秆被切断,切断的烟秆在惯性作用下被抛离切割机构,从而完成 1 次切割过程。

2 试验设备

自制烟秆切割试验台包括机械系统和测控系统。机械系统包括切割机构、机架、驱动电机;测控系统包括扭矩传感器、转速仪。如图 3 所示。



1 切割机构;2 联轴器;3 扭矩传感器;4 驱动电机;5 扶手;6 主动轮;7 从动轮;8 机架;9 刀片间距调节孔;10 十字型减速器;11 联轴器;12 行走驱动电机。

图 3 切割试验台

Fig.3 Cutting test bed structure

将烟秆固定在试验平台的前方,调整试验所需的各项参数,按照试验要求调节电机转速,驱动试验台向烟秆方向推进,当完成一次切割试验后,动力停止,再调节试验参数进行下次试验。如此反复进行试验,直到完成所有试验。

3 试材和试验因素的选择

3.1 试材

烟草品种为 HZ07-4-2-5。取烟叶收获后健壮烟秆 20 根,测得烟秆平均高度为 1 269 mm。将每根烟秆均分为 3 段,分别测量直径,烟秆基部平均直径 29.84 mm,中部平均直径 23.58 mm,上部平均直径 17.98 mm。

3.2 试验因素的选择

参照文献[14-16],以切割刀的转速、机构的前进速度、主从切割刀片的径向重叠量为试验因素,以功耗和烟秆的切断率作为评价指标,进行单因素和多因素试验。切割速度可调范围为 125~1 230 r/min,机构前进速度可调范围为 0.2~2 m/s,刀片间重叠量的调节范围为 0~20 mm。烟秆的切断率由公式 $\eta=(G-G_1)/G \times 100\%$ 来确定, G 为单根烟秆的总质量; G_1 为切碎后单根烟秆长度小于或者等于 100 mm 的总质量。切割功耗根据公式 $P=T \times n/9 550$ 计算, T 为由扭矩传感检测到的切割机构工作过程产生的扭矩; n 为切割刀的转速,根据国家标准^[17], η 应大于 90%。

3.3 单因素试验

分别考查切割速度、机构的前进速度、主从切割刀片的径向重叠量对切割功耗和切断率的影响。机构前进速度 0.2 m/s、主从切割刀片的径向重叠量 10 mm,调节切割速度分别为 200、250、350 和 400 r/min,进行切割试验,记录每次试验过程中的切割扭矩,并计算烟秆切断率和功耗。得到适合的转速区间,选择烟秆切断率最大所对应的切割速度,调节机构的前进速度分别为 0.2、0.6、1.0 m/s;设置主从切割刀片的径向重叠量分别为 0、5、10、15、20 mm,计算功耗和切断率。

3.4 多因素试验

对切割速度(A)、主从刀片径向重叠量(B)、机构前进速度(C)采用水平正交法进行正交试验^[18],如表 1 所示。

表 1 试验因素及水平

序号	$A/(r \cdot \min^{-1})$	B/mm	$C/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
1	300	10	0.6
2	350	15	0.8
3	400	20	1.0

4 结果与分析

4.1 单因素试验结果

4.1.1 切割速度对功耗和切碎率的影响

随着切割速度的不断增加,功耗不断增加,与此同时,烟秆的切断率也在不断提高。切割速度较低时,烟秆的切断率较低,达不到国家标准的规定(90%以上)。当切割速度达到 350 r/min 时,切断率可达到最大值,为 94.33%,功耗为 1 718.8 W,再增大转速,切断率趋于平稳,因而烟秆切割速度以 300~400 r/min 为宜。

4.1.2 主从切割刀片的径向重叠量对功耗和切碎率的影响

随着主从切割刀片的径向重叠量不断加大,功耗和切断率都呈上升趋势,当重叠量达到 15 mm 时,切断率达到最大值,为 95.6%,功耗为 1 500.73 W,再增加重叠量,功耗增大,切断率下降。综合考虑,主从切割刀片间的重叠量以 15 mm 为宜。

4.1.3 机构前进速度对功耗和切碎率的影响

随着机构前进速度的不断增大,切割机构的切割功耗不断增大,切断率也在不断提高。当装置的前进速度达到 0.6 m/s 时,切断率达到最大值,为 96.83%,功耗为 1 608.13 W,再增大前进速度,切断率下降。烟秆切割的前进速度以 0.6 m/s 为宜。

4.2 正交试验结果

正交试验结果列于表 2。影响烟秆切割功耗的因素大小依次为切割速度、装置的前进速度、主从切割刀片的径向重叠量;影响烟秆切断率的因素大小依次为主从切割刀片的径向重叠量、切割速度、装置的前进速度。最低功耗的最优组合为 $A_1B_2C_1$,切断率最大的最优组合为 $A_3B_2C_3$,根据影响因素的大小顺序,确定最优组合为 $A_1B_2C_1$,即转速为 300 r/min、主从切割刀片的径向重叠量为 15 mm、机构

前进速度 0.6 m/s, 功耗为 1 480.26 W, 切断率为 97.21%, $A_1B_2C_1$ 组合可以满足功耗低、切断率高的要求。

表 2 正交试验结果

Table 2 The results of orthogonal test

试验号	$A/(r \cdot \min^{-1})$	B/mm	$C/(m \cdot s^{-1})$	功耗/W	切断率/%
1	300	10	0.6	1 595.41	90.20
2	300	15	0.8	1 732.38	93.55
3	300	20	1.0	1 889.48	91.70
4	350	10	0.8	1 920.11	90.77
5	350	15	1.0	1 640.41	97.32
6	350	20	0.6	1 710.7	94.27
7	400	10	1.0	2 062.18	92.76
8	400	15	0.6	2 100.12	95.33
9	400	20	0.8	1 975.25	93.61
功耗 K_1	5 217.27	5 577.7	5 406.23		
K_2	5271.22	5 472.91	5 627.74		
K_3	6 137.55	5 575.43	5 592.07		
k_1	1 739.09	1 859.23	1 802.08		
k_2	1 757.07	1 824.30	1 875.91		
k_3	2 045.85	1 858.48	1 864.02		
极差	306.76	34.93	73.83		
切断率 K_1	275.45	273.73	279.80		
K_2	282.36	286.20	277.93		
K_3	291.70	279.58	281.78		
k_1	91.82	91.24	93.27		
k_2	94.12	95.40	92.64		
k_3	93.9	93.19	93.93		
极差	2.3	4.16	1.29		
优方案	A_1	B_2	C_1		

5 结论

单因素试验结果表明, 在其他因素不变的情况下, 改变切割速度, 最佳切割速度 350 r/min; 在其他因素不变的情况下, 改变主从切割刀片的径向重叠量, 最佳切割重叠量为 15 mm; 在其他因素不变的情况下, 改变装置的前进速度, 最佳前进速度为 0.6 m/s。

多因素试验结果表明: 影响烟秆切割功耗的因素大小依次为切割速度、机构的前进速度、主从切割刀片的径向重叠量; 影响烟秆切断率的因素大小依次为主从切割刀片的径向重叠量、切割速度、机构的前进速度。

正交试验得出最佳组合为 $A_1B_2C_1$, 即在切割速度为 300 r/min、主从切割刀片的径向重叠量为 15

mm、装置的前进速度为 0.6 m/s 时, 功耗为 1 480.26 W, 切断率为 97.21%, 符合功耗较低、切断率较高的设计要求。

参考文献:

- [1] 姚玉霞. 烟秆的综合利用[J]. 农业与技术, 1995(1): 28.
- [2] 商征贤. 烟草秆化学组成的研究[J]. 中国野生植物资源, 1997(3): 16-19.
- [3] 张利波, 彭金辉, 涂建华, 等. 氯化锌活化烟秆制造活性炭及孔结构表征[J]. 炭素技术, 2005(3): 14-19.
- [4] 寻觅, 徐剑秋, 徐剑莹, 等. 烟秆/木材刨花板的初步研究[J]. 林业机械与木工设备, 2009(3): 37-39.
- [5] 苏贤坤, 张晓海, 廖德智. 烟草综合利用现状及其前景[J]. 贵州农业科学, 2006, 34(5): 120-122.
- [6] 向家伟, 杨连发, 李尚平. 小型甘蔗收获机切割机构试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 158-163.
- [7] 蒋韬, 侯加林, 李天华, 等. 田间玉米茎秆往复切割试验台[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 32-36.
- [8] 李仲恺, 谢方平, 刘科, 等. 油菜收获圆盘式切割机构的设计与性能试验[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2014, 40(1): 83-88.
- [9] 陈魁. 烟秆弯曲与压缩特性试验[J]. 湖南农机, 2014, 40(1): 26-30.
- [10] 陈魁, 孙松林, 李军政, 等. 烟秆切割力影响因素试验研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2013, 39(2): 213-216.
- [11] 刘庆庭, 区颖刚, 卿上乐, 等. 农作物茎秆的力学特性研究进展[J]. 农业机械学报, 2007, 38(7): 172-176.
- [12] 吴明亮, 官春云, 汤楚宙, 等. 油菜茎秆切割力影响因素试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 141-144.
- [13] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[K]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [14] 魏冰阳, 蔺公振, 杜新武. 双轴圆盘刀玉米秸秆切碎器正交试验[J]. 洛阳工学院学报, 2002, 23(2): 5-9.
- [15] 鲁善文, 李其昀, 于磊, 等. 立式茎秆切碎装置主要性能参数的试验研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(14): 8379-8381.
- [16] 张亮亮, 李其昀, 于磊. 立式玉米茎秆切碎装置研究[J]. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2011, 25(3): 52-55.
- [17] JB/T6678—93 茎秆切碎还田技术条件[S].
- [18] 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 吴志立