

往复式切割器的切割性能仿真研究

Performance simulation study on reciprocating cutter

吴雨唐 罗书强 杨明金 蒋 猛

WU Yu-tang LUO Shu-qiang YANG Ming-jin JIANG Meng

(西南大学工程技术学院, 重庆 400715)

(College of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

摘要:在对往复式切割器工作原理分析的基础上,利用 Matlab 软件对切割器的切割性能进行数值模拟。以空白率和重切率作为评价切割器切割性能的评估标准,研究了刀具刀部高度、前进速度、刀具前桥宽度和曲柄角速度等切割参数对往复式切割器切割性能的影响,通过极差分析和方差分析得到往复式切割器切割性能影响的主要因素及因素影响的显著性程度。结果表明:曲柄角速度对切割性能的影响最大,刀具刀部高度和前进速度次之,刀具前桥宽度的影响最小。研究结果能为设计出品质更优的往复式切割器提供试验依据。

关键词:切割器;往复式;切割性能;仿真

Abstract: Based on the analysis on the working principle of the reciprocating cutter, the cutting performance of the cutter was simulated by Matlab to realize numerical simulation.. Taking the missing region rate and repeated cutting region rate as the cutting performance evaluation standards for the cutter, the effects of different cutting parameters on the cutting performance of the reciprocating cutter were studied, such as cutting edge height, forward speed of the cutter, front axle width and crank angular velocity. By range analysis and analysis of variance, the key factors were determined, which affecting the cutting performance of the reciprocating cutter and degree of significance of these factors. According to results, the crank angular velocity had the highest effect on cutting performance, followed by cutting edge height and forward speed of the cutter, and The impact from front axle width is minimal. These research results provide experimental evidence for designing better reciprocating cutters.

Keywords: cutter; reciprocating; cutting performance; simulation

往复式切割器广泛应用于谷物、茶叶和小麦等农作物收

获装置^[1-4]。其切割性能受很多参数的影响,这些参数包括刀具刀部高度、前进速度、刀具前桥宽度、曲柄角速度和切割角等^[5]。切割图(包括形状和大小)是往复式切割器切割性能的主要评价指标。长期以来,往复式切割器切割图的分析仅仅是对切割图中的空白区、重切区面积大小进行定量分析,一般采用空白区和重切区的面积大小来评估往复式刀具的性能,要求空白区和重切区面积越小越好^[6-7]。具有接近或相等空白区和重切区面积的不同参数的切割器切割性能接近或者相同,这与实际不符。空白区和重切区面积并不能全面反映切割器的切割性能^[8]。本试验定义空白率和重切率分别为空白区和重切区面积与切割面积的比值,并以空白率和重切率为往复式切割器切割性能新的评估标准,空白率和重切率越小,切割器的切割性能越好。本试验在分析切割过程的基础上,设计正交试验,使用 Matlab 软件对切割器参数进行数值模拟,研究刀具刀部高度、前进速度、刀具前桥宽度和曲柄角速度 4 个参数同时改变时的空白率和重切率变化,并讨论 4 个参数对空白率和重切率的影响主次及显著性程度,旨在为设计出品质更优的往复式切割器提供试验依据。

1 切割原理

往复式切割器的割刀在曲柄传动机构的作用下做往复直线运动,并在护刃器的配合下进行有支撑切割,其切割过程见图 1^[9]。在定刀具轨迹线内的作物被护刃器及定刀具推向两侧,在相邻两定刀具之间的作物,由于所处位置的不同,有 3 种不同的情况:① 一次切割区(I 区)中的作物被动刀具推至动刀具刀线上,并在定刀具支持下切割。其中大多数茎秆沿割刀运动方向倾斜,但倾斜量较小,割茬较低。② 重切区(II 区)中的作物可能会被第二次经过的刀线再割一次残茬。③ 空白区(III 区)中的作物在动刀具向右运动时没有接触动刀具的刀线,在动刀具回程切割中被切断。因而茎秆的纵向倾斜量较大,割茬较高;且由于切割较集中,切割阻力也较大^{[10] 22-23}。由上述分析可知,切割器在切割过程中,为了保障切割质量、减小切割阻力和功率消耗,要求重切率和空白率越小越好。

基金项目:重庆市自然科学基金项目(编号: cstc2013yykfA80003)

作者简介: 吴雨唐,男,西南大学在读硕士研究生。

通讯作者: 罗书强(1971—),男,西南大学副教授,博士。

E-mail: luoshuqiang@swu.edu.cn

收稿日期: 2016-01-18

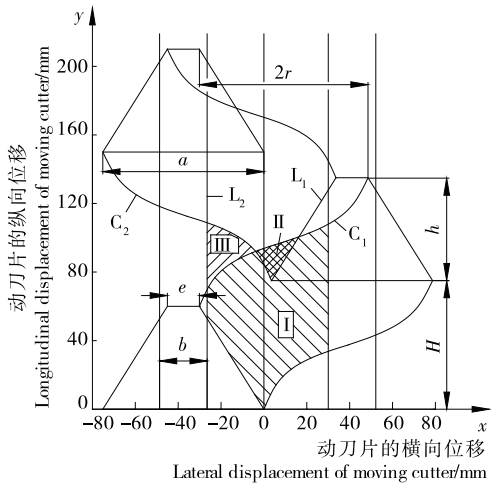


图 1 往复式切割器切割过程图

Figure 1 Cutting diagram of reciprocating cutter

设笛卡尔坐标如图 1 所示。则动刀具绝对运动轨迹 C_1 可以表示为：

$$y_1 = \frac{v \arccos \frac{x + \frac{a-e}{2} - r}{-r}}{\omega} + h, \tag{1}$$

式中：

- v —— 机器前进速度, mm/s;
- a —— 动刀具宽度, mm;
- e —— 动刀具前桥宽度, mm;
- r —— 割刀曲柄半径, mm;
- ω —— 割刀曲柄角速度, rad/s;
- h —— 动刀具刃部高度, mm。

动刀具绝对运动轨迹 C_2 可以表示为：

$$y_2 = \frac{v \arccos \frac{-x + r - a}{-r}}{\omega} + H, \tag{2}$$

式中：

H —— 割刀进距, mm。

其中, $H = \frac{v \times \pi i}{\omega}$ 。

动刀具刃口直线 L_1 和定刀具刃口直线 L_2 可以分别表示为：

$$y_3 = \frac{2h}{(a-e)(x-2r+a)} + H, \tag{3}$$

$$y_4 = \frac{b-a}{2}, \tag{4}$$

式中：

b —— 定刀具刃部宽度, mm。

2 材料与方法

2.1 重切率和空白率的计算

通过 Matlab 软件编程可以绘制出在不同切割参数条件下的切割图,使用 Matlab 软件写一个 GUI 界面,在此 GUI 界面输入不同的参数值,然后此 GUI 界面根据输入的参数值绘制出对应的切割图^[11-12]。根据图形,求得所需要的直

线和曲线函数以及特定的交点,得到所求区域的面积值,计算出空白率和重切率。

由图 1 可知,曲线 C_1 、 C_2 和直线 L_1 、 L_2 的形状和位置直接影响空白区和重切区面积大小。曲线、直线交点坐标分别是 $A(x_A, y_A)$ 、 $B(x_B, y_B)$ 、 $D(x_D, y_D)$ 、 $E(x_E, y_E)$ 、 $F(x_F, y_F)$ 。

重切区和空白区面积为：

$$S_{II} = \int_{x_A}^{x_E} y_1 dx - \int_{x_A}^{x_F} y_2 dx - \int_{x_F}^{x_E} y_3 dx, \tag{5}$$

$$S_{III} = \int_{x_B}^{x_A} y_2 dx - \int_{x_B}^{x_A} y_1 dx. \tag{6}$$

切割面积为：

$$S = 2rH. \tag{7}$$

重切率和空白率为：

$$k_{II} = S_{II}/S \times 100, \tag{8}$$

$$k_{III} = S_{III}/S \times 100, \tag{9}$$

式中：

k_{II} —— 重切率, %;

k_{III} —— 空白率, %。

2.2 试验方案

往复式切割刀具分为标准型、低割型和双刃距型^{[10]24-26}。本试验以标准型切割刀具为例,分析往复式切割刀具的切割性能。切割器运动参数有动刀具的曲柄角速度 ω 和刀具前进速度 v 。切割器结构参数有动刀具刃部高度 h 、动刀具宽度 a 、前桥宽度 e 、定刀具宽度 b 和切割角 α 等。为了便于专业化生产,切割器规格已经标准化,动刀具宽度 a 为 50.0, 76.2, 90.0 mm 等^[13]。参考国内外常用的收获机械结构^[14-15], h 的变化范围为 40~70 mm, e 的变化范围为 4~30 mm。为了考察刀具刃部高度、前进速度、刀具前桥宽度和曲柄角速度对重切率和空白率的影响,部分不变参数为 $a=76.2$ mm、 $b=20$ mm、 $r=40$ mm。因素水平和正交试验参数控制见表 1、2。

3 结果与分析

3.1 切割图分析

在 Matlab 软件创建的 GUI 界面输入设定的参数,得到对应的切割图。图 2(a)是较为典型的切割图,图中存在空白区和重切区。随着刀具前进速度增大或者曲柄角速度减小,重切区减小,见图 2(b)。在试验号 7、8、12 中,由于动刀具前进速度过大,曲柄角速度过小,切割图的模式发生了变化。重切区消失,形成畸形空白区,见图 2(c)。此时空白区面积

表 1 试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of the experiments

水平	A 刀具刃部高度/mm	B 前进速度/(mm · s ⁻¹)	C 刀具前桥宽度/mm	D 曲柄角速度/(rad · s ⁻¹)
1	45	800	10	30
2	50	900	15	35
3	55	1 000	20	40
4	60	1 100	25	45

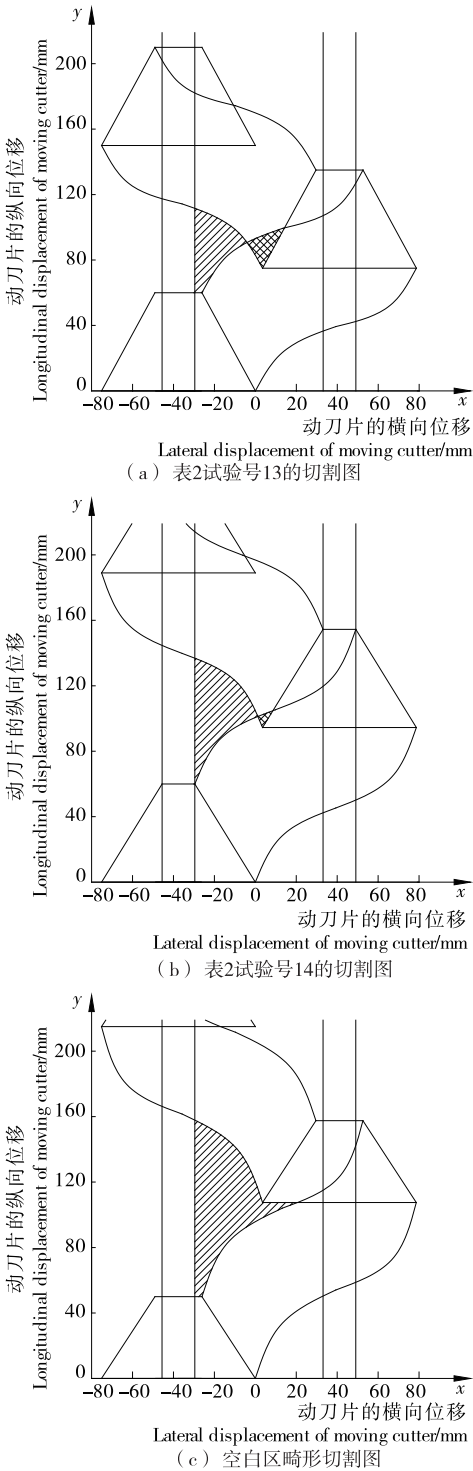


图 2 不同参数往复式切割器切割过程图

Figure 2 Cutting diagram of reciprocating cutter with different parameters

明显过大,造成切割集中,缩短刀具寿命。故应合理选取刀具参数,避免类似的情况发生,尽量减小空白率和重切率。

3.2 试验结果分析

按照试验方法和设计方案进行试验,结果见表 2。

由表 2 可知:空白率最优组合为 $D_1A_4B_1C_2$,即曲柄角速度 45 rad/s,刀具刃部高度 60 mm,前进速度 800 mm/s,刀具前桥宽度 15 mm 时空白率最小;对空白率影响最大的是曲

表 2 正交试验方案及结果

Table 2 Arrangement of orthogonal experiment and the result

试验号	A	B	C	D	空列	空白率/%	重切率/%
1	1	1	1	1	1	16.3	0.0
2	1	2	2	2	2	16.5	0.0
3	1	3	3	3	3	17.1	0.0
4	1	4	4	4	4	17.8	0.0
5	2	1	2	3	4	7.9	3.0
6	2	2	1	4	3	7.0	3.9
7	2	3	4	1	2	23.1	0.0
8	2	4	3	2	1	20.0	0.0
9	3	1	3	4	2	3.8	7.3
10	3	2	4	3	1	10.6	1.5
11	3	3	1	2	4	13.3	0.5
12	3	4	2	1	3	20.1	0.0
13	4	1	4	2	3	8.7	2.4
14	4	2	3	1	4	14.5	0.2
15	4	3	2	4	1	0.6	4.6
16	4	4	1	3	2	10.3	1.7
k_1	16.9	9.2	11.7	18.5	11.9		
空 k_2	14.5	12.2	11.3	14.6	13.4		
白 k_3	11.9	13.5	13.8	11.5	13.2		
率 k_4	8.5	17.0	15.0	7.3	13.4		
R	8.4	7.8	3.7	11.2	1.5		
k_1	0.0	3.2	1.5	0.05	1.5		
重 k_2	1.7	1.4	1.9	0.7	2.2		
切 k_3	2.3	1.3	1.9	1.5	1.6		
率 k_4	2.2	0.4	1.0	3.9	0.9		
R	2.3	2.8	0.9	3.9	1.3		

柄角速度,然后依次是刀具刃部高度和前进速度,刀具前桥宽度影响最小。对于重切率的最优组合是 $D_1B_1A_1C_4$,即曲柄角速度 30 rad/s,前进速度 1 100 mm/s,刀具刃部高度 45 mm,刀具前桥宽度 25 mm 时重切率最小;对重切率影响最大的是曲柄角速度,然后依次是前进速度和刀具刃部高度,影响最小的是刀具前桥宽度。

由表 3 可知:曲柄角速度对空白率的影响极显著,刀具刃部高度和前进速度对空白率影响显著,刀具前桥宽度对空白率影响较显著。由表 4 可知:曲柄角速度对重切率影响显著,刀具刃

表 3 空白率计算结果方差分析

Table 3 Analysis of variance of missing region rate

变异来源	自由度	离差平方和	平均离差和	F	F_{α}
A	3	154.5	51.5	23.874	$F_{0.05}(3,3)=9.28$
B	3	128.0	42.7	19.774	$F_{0.01}(3,3)=29.46$
C	3	38.0	12.7	5.868	$F_{0.1}(3,3)=5.36$
D	3	270.4	90.1	41.790	
误差	3	6.5	2.2		
总和	15				

表 4 重切率计算结果方差分析

Table 4 Analysis of variance of repeated cutting region rate

变异来源	自由度	离差平方和	平均离差和	F	F _α
A	3	13.8	4.6	3.991	F _{0.05} (3,3)=9.28
B	3	15.9	5.3	4.588	F _{0.01} (3,3)=29.46
C	3	2.3	0.8	0.654	F _{0.1} (3,3)=5.36
D	3	34.5	11.5	9.981	
误差	3	3.5	1.2		
总和	15				

部高度、前进速度和刀具前桥宽度对重切率基本无影响。

4 结论

(1) 对往复式切割器的切割性能进行了仿真研究,结果表明,曲柄角速度对切割性能影响最大,刃部高度和前进速度的影响次之,刀具前桥宽度影响最小。

(2) 采用空白率和重切率作为往复式切割器切割性能的新评估标准,空白率和重切率越小,切割性能越好。新评估标准比传统的评估标准能更全面、更准确地描述切割器的切割性能。

(3) 本试验只对往复式切割器主要切割参数的 4 个不同水平组合的切割性能进行了仿真,当需获得水平组合以外的其他条件下的切割性能时,需重新建模并仿真。后续研究可以通过建立空白率和重切率回归模型,得到在这些参数条件下往复式切割器的空白率和重切率的回归方程,以简化空白率和重切率的计算和评估。

参考文献

[1] 陈明昌,魏敏,刘巧,等. 番茄收获机测产装置的设计[J]. 食品

与机械, 2014, 30(5): 151-153.

[2] 宋占华,宋华鲁,闫银发,等. 棉花秸秆往复式切割器动刀片优化设计[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6): 124-134.

[3] 韩余,肖宏儒,秦广明,等. 自走式采茶机液压系统的设计和试验研究[J]. 茶叶科学, 2014, 34(6): 548-556.

[4] 冯江,蒋亦元. 水稻联合收获机单边驱动原地转向机构的机理与性能试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(4): 30-35.

[5] 耿端阳,张道林,王相友,等. 新编农业机械学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 234-240.

[6] 杨树川. 标准往复式切割器的工作性能研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2005: 10-15.

[7] 夏萍, 尹崧, 陈黎卿, 等. 收获机械往复式切割器切割图的数值模拟与仿真[J]. 农业机械学报, 2007, 38(3): 65-68.

[8] 向阳, 罗锡文, 曾山, 等. 基于可视化编程的往复式切割器工作特性分析[J]. 农业工程学报, 2015(18): 11-16.

[9] 王健康, 吴明亮, 任述光, 等. 往复式切割器传动机构运动动力学分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 190-194.

[10] 李瀚如. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.

[11] 许丽佳. MATLAB 程序设计及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 83-128.

[12] 殷晓飞. 往复式切割器切割图的计算机辅助分析[J]. 机械研究与应用, 2011, 24(1): 92-93.

[13] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 1209.3—2009 农业机械切割器第 3 部分: 动刀片、定刀片和刀杆[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[14] RAY Herren. Agricultural mechanics: fundamentals & applications[M]. Boston: Cengage Learning, 2010: 243-246.

[15] LEONARD Koel, GLEN A Mazur, MONIZ B J. Agricultural technical systems and mechanics[M]. New York: Amer Technical Pub, 2013: 145-149.

信息窗

研究发现海洋受塑料微粒污染影响鱼类生长

食品伙伴网讯 据外媒报道,《科学》(Science)杂志刊登一项研究发现,海洋遭受塑料微粒严重污染后,会对鱼类的生理和行为造成较大影响。

据报道,6月2日研究人员表示,实验显示欧洲鲈鱼幼崽暴露在海洋塑料微粒环境下,受精卵的孵化受到阻碍,这不利于幼鱼成长,导致鱼活动能力下降,更易遭到掠食,死亡率增高。

瑞典乌普萨拉大学(Uppsala University)海洋生物学家隆恩史泰德(Oona Lonnstedt)表示,对我而言,这项研究的关键发现和最令人讶异的是,幼鱼酷爱塑料微粒,而忽略他

们的天然食物来源——动物性浮游生物。

隆恩史泰德表示,科学家日益担心塑料污染对海洋生态系统的构成的影响。本次研究首次审查了塑料微粒对鱼类生长的直接影响。塑料微粒大小不超过 5 mm,主要来自大型塑料垃圾分解的小碎片,或者像洗面乳、沐浴乳或牙膏等产品中的柔珠。

隆恩史泰德称,如果塑料微粒确实影响鱼类的生理和行为,那么有必要在全世界范围内呼吁禁止塑料微粒用于护理产品与化妆品。

(来源:www.foodmate.net)