

收获机械往复式切割器切割图的数值模拟与仿真^{*}

夏萍 印崧 陈黎卿 朱德泉 李兵

【摘要】 通过对往复式切割器工作原理的分析,利用 Matlab 软件对切割器切割图进行了数值模拟。对影响切割图各区域面积的关键参数进行了仿真计算,得到了提高切割质量、降低功率消耗的较优运动参数和结构参数组合。方差分析结果表明,切割器类型、割刀进距、动刀片刃部高度对空白区和重割区面积影响显著,动刀片宽度、前桥宽度对面积影响不显著。

关键词: 收获机械 往复式切割器 切割图 数值模拟

中图分类号: S225 **文献标识码:** A

Numerical Simulation of Cutting Pattern of a Reciprocating Cutter

Xia Ping Yin Song Chen Liqing Zhu Dequan Li Bing

(Anhui Agricultural University)

Abstract

Cutting pattern of a reciprocating cutter was numerically simulated by using Matlab package. A set of optimized parameters related to kinetics and structure of the cutter were obtained by the simulation. The system constructed by these parameters will achieve a high cutting quality and a low power consumption. The results of variance analysis indicate that the cutter type, feed rate and height knife-edge have big influence on the areas of missing and overlap regions.

Key words Harvester, Reciprocating cutter, Cutting pattern, Numerical simulation

引言

往复式切割器切割图的形状及各区域面积大小直接影响切割质量和割茬高度。长期以来,收获机械往复式切割器切割图的分析是建立在图解的基础上,大量资料只是对切割图中空白区、重割区进行定性分析,要求空白区、重割区面积愈小愈好^[1]。本文在分析切割工作过程的基础上,利用 Matlab 软件对切割器参数进行数值模拟,建立切割器参数对切割图各区域面积影响的非线性回归模型,进而对切割图各区域面积进行计算。

1 切割原理分析

往复式切割器是割刀作往复直线运动,在护刀

器的配合下进行有支承切割。用 Matlab 软件画切割图,如图 1 所示。由图可知,在定刀片轨迹线内的作物被护刃器及定刀片推向两侧,在相邻两定刀片间的作物,由于所处位置的不同,有 3 种不同的情况:①扫过区(I区)中的作物,被护刃器及定刀片推向两侧被切割。②空白区(II区)中的作物,在刀刃向右运动时未曾触及,割刀在回程运动中被切断。空白区过大,造成茎秆过分集中(集中于 B 点),切割阻力大,严重时茎秆发生拉断、漏割现象。③重割区(III区)中的作物,在割断后其割茬被另一刃口重复触及,有可能发生重割,重割区面积大,无用功大。根据上述分析可知,切割器在切割过程中,空白区和重割区面积的大小直接影响切割质量和割茬高度,为保证切割质量、减少切割阻力和功率消耗,要求空白

收稿日期:2005-11-08

^{*}安徽省合肥市农委农业专家项目(项目编号:2004.21)

夏萍 安徽农业大学工学院 副教授 博士,230036 合肥市

印崧 安徽农业大学工学院 讲师

陈黎卿 安徽农业大学工学院 讲师

朱德泉 安徽农业大学工学院 副教授

李兵 安徽农业大学工学院 讲师

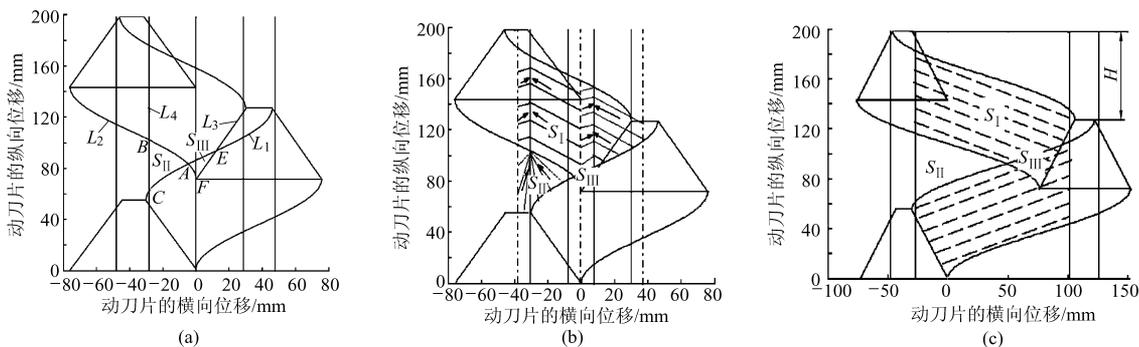


图1 往复式切割器切割过程图

Fig.1 Cutting pattern of reciprocating cutter

(a) 标准型 (b) 低割型 (c) 双刃距型

区及重割区的面积愈小愈好。

2 切割图数值模拟

2.1 切割区面积数学模型

为了建立切割区面积数学模型,对切割器运动参数和结构参数进行定量分析,设切割图笛卡尔坐标如图1所示。为了便于计算,将方程设为 $x=f(y)$ 形式,各曲线、直线方程为:

割刀绝对运动轨迹 L_1

$$x = -r \cos \frac{\omega(y-h)}{v_m} + r - \frac{a-e}{2} \quad (1)$$

割刀绝对运动轨迹 L_2

$$x = r \cos \frac{\omega(y-H)}{v_m} - r + s - a \quad (2)$$

动刀刃口直线 L_3

$$x = \frac{(y-H)(a-e)}{2h} + s - a \quad (3)$$

定刀刃口直线 L_4

$$x = \frac{b-a}{2} \quad (4)$$

其中

$$H = \frac{30v_m}{n}$$

式中

h ——动刀片刃部高度,mm

a ——动刀片宽度,mm

e ——动刀片前桥宽度,mm

b ——定刀片平均宽度,mm

ω ——割刀曲柄角速度,rad/min

r ——割刀曲柄半径,mm

H ——割刀进距,mm

v_m ——机器前进速度,m/s

n ——割刀转速,r/min

从图1可知, L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 的形状和位置直接影响空白区和重割区面积大小。曲线、直线各交点坐标分别为 $A(x_A, y_A)$ 、 $B(x_B, y_B)$ 、 $C(x_C, y_C)$ 、 $E(x_E, y_E)$ 、 $F(x_F, y_F)$ 。

空白区和重割区面积为

$$S_{\text{I}} = \int_{y_A}^{y_B} \left[r \cos \frac{\omega(y-H)}{v_m} + r + s - a - x_B \right] dy + \int_{y_C}^{y_A} \left[-r \cos \frac{\omega(y-h)}{v_m} + r - \frac{a-e}{2} - x_B \right] dy \quad (5)$$

$$S_{\text{II}} = \int_{y_A}^{y_E} \left[\frac{(y-H)(a-e)}{2h} + r \cos \frac{\omega(y-h)}{v_m} + s - r - \frac{a+e}{2} \right] dy + \int_{y_F}^{y_A} \left[\frac{(y-H)(a-e)}{2h} - r \cos \frac{\omega(y-H)}{v_m} + r \right] dy \quad (6)$$

2.2 影响因素及水平分析

交点坐标和式(5)、(6)难以用常规数学解析式表达,为了计算具体数值,需采用计算机数值模拟方式^[2~5]。本文拟在 Matlab 环境下设计仿真程序(略),兼顾仿真效果和精度,程序采用自适应变步长技术。

为了对切割器参数进行数值模拟,需对影响空白区和重割区面积的参数进行分析。由文献可知,关键参数有切割器类型、切割器运动参数和结构参数等^[1,3]。从图1可以看出,标准型和低割型对空白区和重割区面积影响相同,分析时以标准型为例。切割器运动参数有割刀转速 n 、机器前进速度 v_m ,可以用割刀进距 H 表示。切割器结构参数有动刀片刃部高度 h 、宽度 a 、前桥宽度 e 、切割角 α 和定刀片宽度 b 、切割角 β 等。

为了便于专业化生产,切割器规格已标准化^[6],动刀片宽度 a 为 50 mm、76.2 mm、90 mm 等。参考国内外常用的收获机械结构, h 变化范围设为 40~70 mm, e 变化范围设为 4~30 mm, H 变化范围设为 50~80 mm。

2.3 模拟结果分析

为了考察切割速度、动刀片刃部高度、动刀片前桥宽度对空白区和重割区面积的影响,模拟以标准型切割器为例,部分不变参数设为: $a=76.2$ mm, $b=24$ mm, $e=16$ mm, $h=55$ mm。

2.3.1 动刀片刃部高度

图2是割刀进距、动刀片刃部高度对空白区和重割区面积的影响曲线。由图可知,在刃部高度一定时,空白区面积随割刀进距增大而增大,重割区面积随割刀进距增大而减小。由图2还可知,在割刀进距一定时,空白区面积随刃部高度增大而减小,重割区面积随刃部高度增大而增大。

方差分析结果表明,割刀进距($F=2.95$)、刃部高度($F=12.50$)对空白区面积影响显著,割刀进距($F=4.84$)、刃部高度($F=7.08$)对重割区面积影响也显著, $F_{0.05}(6,42)=2.324$ 。

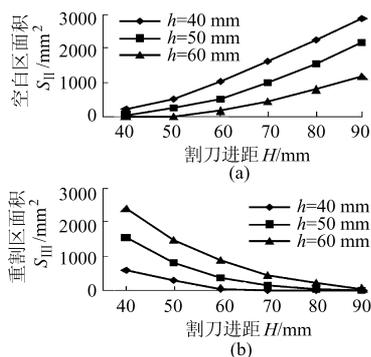


图2 刃部高度不同时割刀进距和切割面积关系曲线

Fig. 2 Influence of feed rate and height knife-edge

(a) 空白区面积 (b) 重割区面积

空白区和重割区面积随刃部高度和割刀进距变化的多元回归方程为

$$S_I = -2\,612.1 + 56.694H + 57.812h + 0.473H^2 - 0.065h^2 - 1.541Hh \quad (7)$$

$$S_{II} = -1\,115.3 - 38.746H + 105.372h + 0.759H^2 + 0.475h^2 - 1.775Hh \quad (8)$$

式(7)、(8)相关系数均大于99%,可以认为回归模型是正确的。图3为空白区和重割区面积随割刀进距、刃部高度变化图。

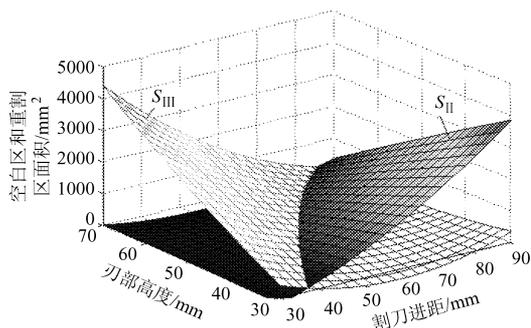


图3 空白区和重割区面积随割刀进距、刃部高度变化图

Fig. 3 Changes of missing area and overlap area with feed rate and height knife-edge

2.3.2 动刀片前桥宽度

动刀片前桥宽度对空白区和重割区面积的影响

如图4所示。由图可知,在割刀进距、刃部高度一定时,空白区面积随前桥宽度增大而增大,重割区面积随前桥宽度增大而减小。

方差分析结果表明,动刀片前桥宽度($F=1.09$)对空白区面积影响不显著,前桥宽度($F=2.25$)对重割区面积影响也不显著($F_{0.05}(6,42)=2.324$)。为了提高刀片刚度可选大值。

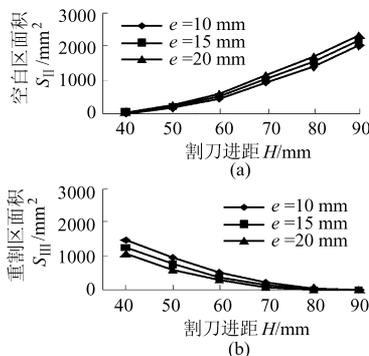


图4 动刀片前桥宽度不同时割刀进距和切割面积关系曲线

Fig. 4 Influence of knife section front width

(a) 空白区面积 (b) 重割区面积

空白区和重割区面积随动刀片前桥宽度和割刀进距变化的多元回归方程为

$$S_I = 628.017 - 38.575H - 25.69e + 0.564H^2 + 0.11e^2 + 0.616He \quad (9)$$

$$S_{II} = 5\,856.28 - 122.05H - 90.548e + 0.636H^2 + 0.379e^2 + 0.921He \quad (10)$$

式(9)、(10)的相关系数均大于99%,可以认为回归模型是正确的。图5为空白区和重割区面积随割刀进距、动刀片前桥宽度变化图。

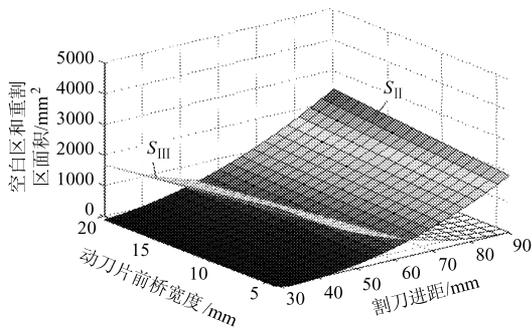


图5 空白区和重割区面积随割刀进距、动刀片前桥宽度变化图

Fig. 5 Changes of missing area and overlap area with feed rate and knife section front width

2.3.3 刀片宽度

图6为刀片宽度对空白区和重割区面积影响的模拟结果。由图可知,大尺寸刀片($a=90$ mm)的空白区和重割区面积明显大于小尺寸刀片($a=50$ mm),即大尺寸刀片的切割阻力和功率消耗大

半喂入式水稻联合收获机功率小并要求夹持质量好,一般选小尺寸刀片($a=50\text{ mm}$);全喂入式小麦、水稻联合收获机刀片尺寸一般选 $a=76.2\text{ mm}$;玉米收获机功率大,对切割质量要求不高,可选用大尺寸刀片($a=90\text{ mm}$)。刀片宽度对空白区和重割区面积的影响不显著。

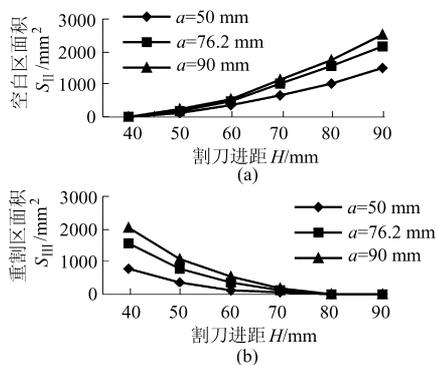


图6 刀片宽度不同时割刀进距和切割面积关系曲线

Fig. 6 Influence of cutter width

(a) 空白区面积 (b) 重割区面积

2.3.4 切割器类型

图7为标准型与双刃距型割刀对空白区和重割区面积影响的模拟结果。由图可知,在割刀结构参数、运动参数一定时,双刃距型割刀的空白区和重割区面积明显比标准型大,表明双刃距型切割器切割阻力及功率消耗大。切割器类型对空白区和重割区面积的影响显著。

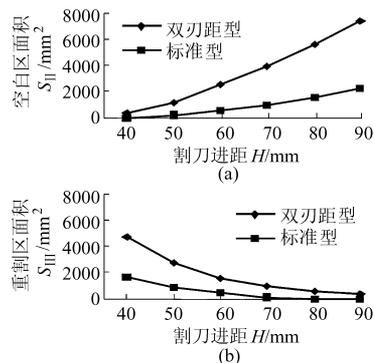


图7 切割器类型不同时割刀进距和切割面积关系曲线

Fig. 7 Influence of cutter type

(a) 空白区面积 (b) 重割区面积

3 结束语

通过 Matlab 软件对切割图空白区和重割区面积进行数值模拟,可以将复杂隐性的数学关系式显化。结果表明:切割图空白区面积随割刀进距、动刀片宽度、前桥宽度的增大而增大,随动刀片刃部高度的增大而减小。重割区面积随割刀进距、前桥宽度的增大而减小,随动刀片刃部高度、动刀片宽度增大而增大。双刃距型割刀的空白区和重割区面积明显比标准型大。

方差分析结果表明:切割器类型、割刀进距、动刀片刃部高度对空白区和重割区面积影响显著;动刀片宽度、前桥宽度对空白区和重割区面积影响不显著。

参 考 文 献

- 1 张兰星,何月娥. 谷物收获机械理论与计算[M]. 长春:吉林人民出版社,1980.
- 2 清源计算机工作室. Matlab 6.0 高级应用[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- 3 赵匀. 农业机械计算机辅助分析与设计[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
- 4 印崧,王晓枫,夏萍. 联合收割机往复式切割器运动特性研究[J]. 农业装备技术,2006,32(5): 31~34.
- 5 夏萍,陈黎卿,朱德泉,等. 往复式切割器参数的数值模拟及优化[J]. 机械工程师,2006(5): 82~83.
- 6 GB/T 1209—2002 农业机械 切割器[S].