

# 往复式灌木切割器滑切角对灌木切割的影响

陈 诚 俞国胜

(北京林业大学工学院)

**摘要:**为了解往复式灌木切割器的滑切角对切割力的影响,在自制的往复式单刀切割试验台上,通过改变滑切角角度研究了滑切角与灌木最大切割力的关系,以及刀刃角和曲柄转速对滑切过程的影响。结果表明:1)往复式灌木切割器的滑切角适用范围为 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。2)当滑切角较小时( $\leq 10^{\circ}$ ),增大刀刃角有利于滑切过程并降低最大切割力。3)当滑切角较小时( $\leq 10^{\circ}$ ),增大曲柄转速能抑制灌木茎秆的外滑,进而降低最大切割力;若滑切角过大( $\geq 15^{\circ}$ ),则抑制效果不明显,不能降低最大切割力。

**关键词:**复式灌木切割器;滑切角;最大切割力

中图分类号: S776.31 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2011)02-0115-05

CHEN Cheng; YU Guo-sheng. **Effect of sliding cutting angle of bush reciprocating cutter on bush cutting.** *Journal of Beijing Forestry University* (2011) **33** (2) 115-119 [Ch, 9 ref.] School of Technology, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China.

In order to understand the effects of sliding cutting angle of the bush reciprocating cutter on cutting force, we studied the relationship between sliding cutting angle and maximum bush cutting force through altering its sliding cutting angle on the home-made reciprocating single blade cutting test equipment. Then more tests were done in similar ways to research the effects of blade angle and crank speed on the sliding cutting process. It is found that 1) the applicable sliding cutting angle for bush reciprocating cutter was at  $0^{\circ} - 10^{\circ}$ , 2) increasing the blade angle was favorable for the sliding cutting process and reduced the cutting force when the sliding cutting angle was small ( $\leq 10^{\circ}$ ), and 3) increasing the crank speed restricted the bush stalk sliding toward outside and reduced the maximum cutting force when the sliding cutting angle was small ( $\leq 10^{\circ}$ ). Conversely, if the sliding cutting angle was too large ( $\geq 15^{\circ}$ ), the restriction by increasing crank speed was too insignificant to reduce the maximum cutting force.

**Key words** bush reciprocating cutter; sliding cutting angle; maximum cutting force

灌木可用于防风固沙、牲口饲料、制浆造纸等,并且可作为生物质能源的一种,极具开发利用价值。根据灌木的生长特性,一般3~5年需平茬一次,以促进根系生长、丛落扩大、生物量积累增加。灌木切割器主要分为圆盘式和往复式,目前国内对于往复式灌木切割器的研究很少。李宁等<sup>[1]</sup>通过力学试验机研究灌木静态切割中刀具刃角与茎秆直径对切割力的影响。陈晓峰等<sup>[2]</sup>通过绘制往复式标准型切割器的切割图分析不同进距下的割茬高度。夏萍等<sup>[3-4]</sup>利用Matlab软件对往复式切割器的割茬高度和相关参数进行仿真优化

计算。朱新民等<sup>[5]</sup>通过优化往复切割器的刀刃形状和曲柄转速降低总切割阻力。杨树川等<sup>[6-7]</sup>采用Matlab仿真方法定量计算出往复切割器在不同进给速度、割刀曲柄转速条件下,对一次切割区、重割区及漏割区面积的影响。陈昆昌等<sup>[8]</sup>通过数学建模法优化曲柄配重的半径和质量,达到降低往复切割器震动的目的。

本试验设计制作了往复式单刀切割试验台,研究往复式切割器的滑切角对柠条(*Caragana korshinskii*)茎秆最大切割力的影响,并得出适用于柠条切割的滑切角范围。

收稿日期:2010-06-23

基金项目:国家林业公益性行业专项基金项目(200904007)。

第一作者:陈诚。主要研究方向:林业与园林机械。电话:13811809271 Email: ccbjfu@126.com 地址:100083北京市清华东路35号北京林业大学828信箱。

责任作者:俞国胜,教授。主要研究方向:林业与园林机械。电话:010-62343029 Email: sgyzh@bjfu.edu.cn 地址:同上。

本刊网址: <http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

# 1 滑切角作用机理简介

往复式切割器割刀的滑切角对切割力有重大影响,相关试验表明<sup>[9]</sup>:滑切角增大,切割阻力减小(图1)。当滑切角 $\theta$ 由 $15^\circ$ 增至 $45^\circ$ 时,切割阻力将减小一半。减小阻力的原因主要有两方面:一是由于 $\theta$ 增加时,刀片对茎秆的滑动速度 $v_1$ 亦增大( $v_1 = v \sin \theta$ ,  $v$ 为刀片的运动速度);二是因为 $\theta$ 增加时,刀刃沿运动方向切入茎秆的切入角 $\alpha_r$ 变小( $\alpha_r < \alpha$ ,  $\alpha$ 为刀刃角)。但 $\theta$ 角过大时,将引起茎秆在动、定刀片的夹持中的不稳定(从剪口向前滑出),切割不可靠。为此,以茎秆被刀片夹住为前提,对 $\theta$ 角的确定做如下分析(图2)。茎秆在动刀片及定刀片的夹持中,在两刀刃的接触点 $A$ 、 $B$ 处对茎秆有正压力 $N_1$ 、 $N_2$ 和摩擦力 $F_1$ 、 $F_2$  ( $F_1 = N_1 \tan \phi_1$ ,  $F_2 = N_2 \tan \phi_2$ ,  $\phi_1$ 为动刀片对茎秆的摩擦角,  $\phi_2$ 为定刀片对茎秆的摩擦角)。如用 $R_1$ 表示 $N_1$ 与 $F_1$ 的合力,  $R_2$ 表示 $N_2$ 与 $F_2$ 的合力,则茎秆被夹持条件为:两刃口作用于茎秆的合力 $R_1$ 与 $R_2$ 必在同一条直线上。

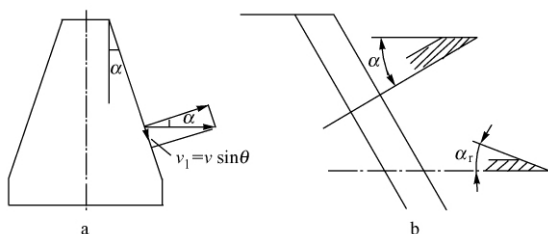


图1 滑切角及其原理

Fig. 1 Sliding cutting angle and its principle

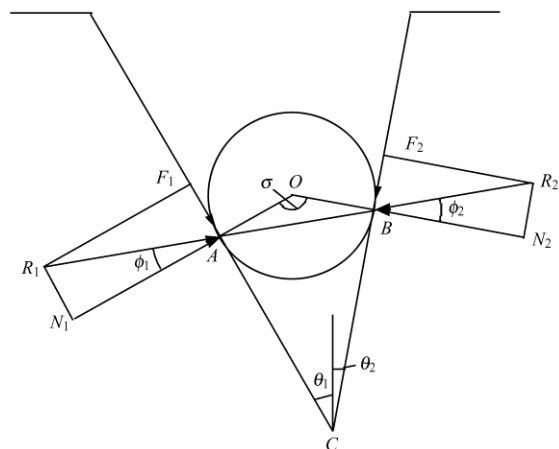


图2 茎秆夹持受力分析

Fig. 2 Force analysis of holding stalk

由图2中的三角形 $OAB$ 可看出:

$$\sigma + \phi_1 + \phi_2 = \pi \quad (1)$$

式中: $\sigma$ 为动刀、定刀之间的法线夹角。

从四边形 $OACB$ 中看出:

$$\sigma + \theta_1 + \theta_2 = \pi \quad (2)$$

式中: $\theta_1$ 为动刀片滑切角( $^\circ$ ); $\theta_2$ 为定刀片滑切角( $^\circ$ )。

将式(1)~(2)联立,可得出茎秆被夹住的起码条件为:

$$\theta_1 + \theta_2 < \phi_1 + \phi_2 \quad (3)$$

灌木是各向异性材料,刀片与灌木茎秆切割面的摩擦系数很难计算得到,故通常采用试验法测得切割灌木所适用的滑切角范围。

## 2 试验设备简介

### 2.1 试验台

试验在自制的往复式单刀切割试验台上进行。往复式单刀切割试验台由测试系统、动力系统、控制装置、调速装置、切割组件等几部分组成(图3)。测试系统主要由霍尔效应转速传感器、动态扭矩传感器、放大器、NI数据采集卡和微机组成,用来测量试验装置中曲柄驱动轴的实时扭矩和转速。动力系统主要由液压泵站、液压马达、三位二通电磁换向阀等组成。通过液压泵站驱动液压马达,利用三位二通电磁换向阀控制液压马达的转向来改变往复切割的速度方向。控制装置由两个按钮并联实现对电磁换向阀的换位控制。调速装置为一个单向节流阀,安装于液压泵站出油口,通过改变流量大小实现对液压马达转速的调节,进而调节曲柄转速。

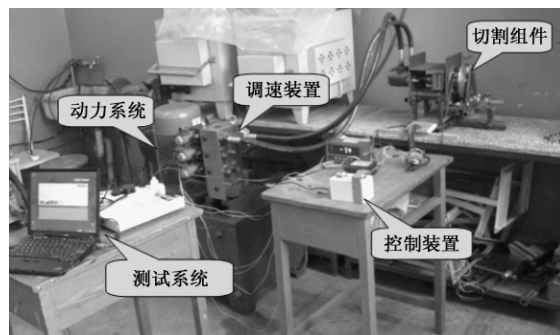
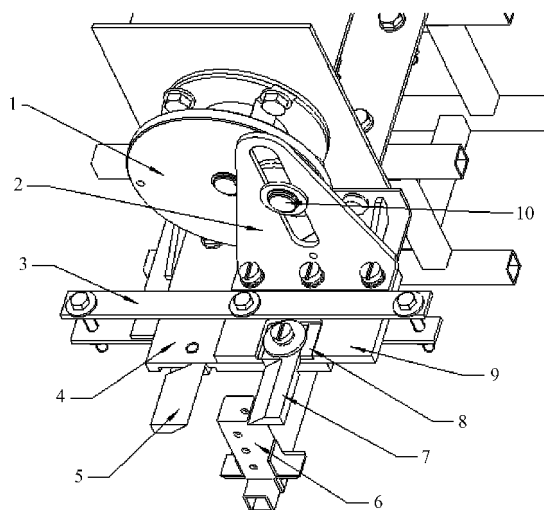


图3 往复式单刀切割试验台

Fig. 3 Reciprocating single blade cutting test equipment

切割组件由曲柄传动机构、压刃器、刀具组件、夹持装置等组成(图4)。曲柄传动机构由传动盘、连接销轴、L型导板等组成,将主轴的旋转运动转化为L型导板的往复运动。刀具组件由定刀架、动刀架、动刀、定刀以及滑切角调节块组成,如图4所示。动刀架通过螺钉与L型导板连接,可随其实现往复运动。定刀架通过刀架托板与基架固定。利用压刃器调节动刀架与定刀架之间的间隙,滑槽连接限制动刀架相对于定刀架的水平转动,从而实现动刀架相对于定刀架的往复直线滑动。动刀和定刀用螺钉

分别安装于动刀架和定刀架上,配合滑切角调节块实现不同滑切角的调整。



1. 传动盘;2. L型导板;3. 压刀器;4. 定刀架;5. 定刀;6. 夹持装置;7. 动刀;8. 滑切角调节块;9. 动刀架;10. 连接销轴

图4 切割组件

Fig. 4 Cutting subassembly

## 2.2 试验台工作原理

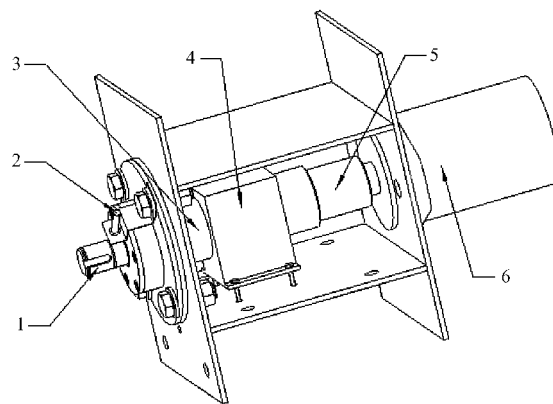
将一组相同刀刃角的刀片分别安装于定刀架和动刀架上,利用一组相同形状的滑切角调节块调节刀片的滑切角,使其达到试验要求的参数水平组合。改变液压马达转向,使动刀刀刃面相对于定刀刀刃面做切割运动。调节曲柄转速,并通过测试系统监测,使其达到试验要求的转速水平。当刀刃角、滑切角、曲柄转速均达到具体试验要求后,将灌木茎秆放置于夹持装置,动刀通过往复运动完成灌木切割。通过测试系统测得切割试验过程中的扭矩变化曲线,并换算得到最大切割力。

### 2.2.1 扭矩测量原理

本试验所用的扭矩传感器为电阻应变式动态扭矩传感器,量程 $0 \sim 100 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,精度 $0.1\%$ 。扭矩传感器通过液压马达轴套和传动轴轴套分别与液压马达和曲柄驱动轴相连接,实现该轴线上的扭矩测量(图5)。使用National Instruments USB6221数据采集卡和LabView 7.1软件对数据进行采集处理,设定采样频率为 $1 \text{ kHz}$ 。由于扭矩传感器输出为 $0 \sim 5 \text{ V}$ 电压,故利用称重法加载标定扭矩与电压之间的关系(图6),回归方程的显著性水平达到 $0.0001$ 。

### 2.2.2 转速测量原理

本试验所用的转速传感器为霍尔效应转速传感器,测量范围为 $0 \sim 10 \text{ kHz}$ ,输出信号为电压脉冲信号。在被测对象曲柄驱动轴上吸放一块小磁片,感应原件固定安装于架上,距离磁片旋转轨迹 $1 \sim 3 \text{ mm}$ (图5)。通过LabVIEW计算采集到的脉冲波峰的频率即可换算成曲柄驱动轴的实际转速。



1. 曲柄驱动轴;2. 转速传感器;3. 传动轴套;4. 扭矩传感器;5. 液压马达轴套;6. 液压马达

图5 传感器安装

Fig. 5 Installation of sensors

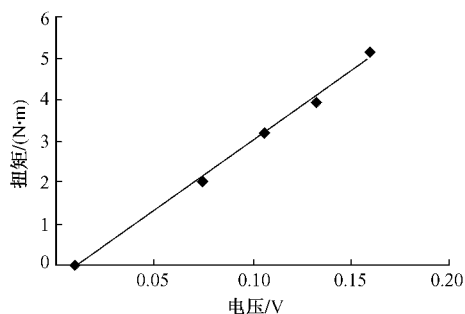


图6 扭矩传感器标定结果

Fig. 6 Result of torque sensor calibration

### 2.2.3 滑切角调整方法

本试验中动刀和定刀与刀架之间的紧固方式为螺钉连接,故可以旋转一定角度安装,从而形成滑切角度。每个滑切角度对应1组滑切角调节块,以防止刀具在切割时因切割力过大而发生偏转。刀具的安装和旋转如图7所示。

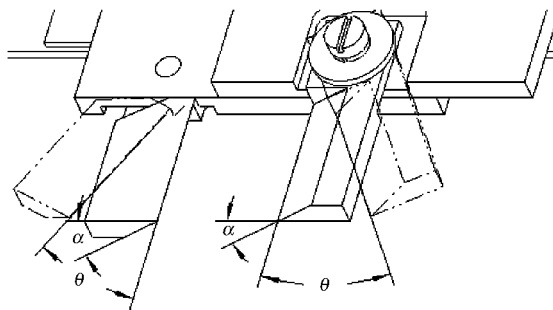


图7 滑切角和刀刃角调节

Fig. 7 Adjustment of sliding cutting angle and blade angle

## 3 材料与方法

### 3.1 材料

试验材料为内蒙古通辽六家子林场的野生柠

条,生长时间1年以上。柠条取回后,去细枝和叶,取通直、无虫害、直径6~8 mm 茎秆做成试件。利用SC69-12型水分快速测定仪测得该批次试件的平均含水率为20.22%。

### 3.2 方法

实测直径为8 mm 的试件,在刀刃角45°、滑切角0°、曲柄转速60 r/min 时连续切割3次的切割扭矩-时间曲线,取3个扭矩峰值的平均值作为该组参数条件下的切割扭矩最大值( $T_{\max}$ )。因灌木直径对最大切割扭矩有较大影响,故将每次测得的扭矩值带入式(4)以消除灌木直径变化的影响:

$$T_{\max} = \frac{T_c}{7}d \quad (4)$$

式中: $T_c$ 为实际测得最大扭矩值(N·m); $d$ 为每次试验中切割处茎秆的直径(mm)。忽略摩擦,根据切割瞬时功率相等 $T\omega = Fv$ ,得

$$F_{\max} = \frac{T_{\max}\omega}{v} \quad (5)$$

式中: $\omega$ 为曲柄角速度; $v$ 为动刀切割速度; $F_{\max}$ 为最大切割力。

由于动刀只作往复直线运动,以动刀的运动方向所在直线为 $x$ 轴建立坐标系,那么该方向上的 $F_{\max}$ 即为试件最大切割力,其速度 $v$ 的确定可以通过试验设备的曲柄传动机构简图分析得到(图8)。

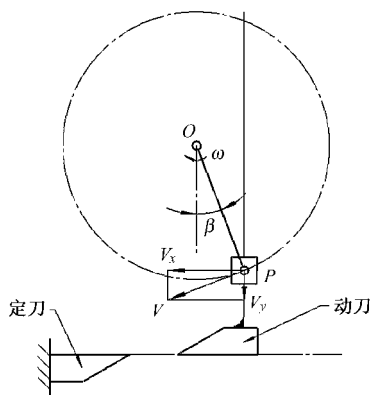


图8 曲柄传动机构

Fig. 8 Crank mechanism

$$V_x = v\cos\beta = OP\omega\cos\beta \quad (6)$$

$$F_{\max} = \frac{T_{\max}\omega}{V_x} = \frac{T_{\max}}{OP\cos\beta} \quad (7)$$

式中: $OP$ 为曲柄半径,其值为0.05 m; $\beta$ 为曲柄与垂直平面夹角(°)。在本设备中当切割扭矩最大时 $\beta$ 等于0°,故

$$F_{\max} = \frac{T_{\max}}{OP} \quad (8)$$

为了研究往复式切割器的滑切角对灌木最大切

割力的影响,首先采用单因素试验方法确定适用于灌木切割的滑切角范围。本试验共设计7组滑切角参数值进行切割试验,其值分别为0°、5°、10°、15°、20°、25°、30°,与此相对应一共设计制作7组滑切角调节块。然后在该基础上研究刀刃角、曲柄转速对滑切过程的影响。设计制作了4组不同刀刃角的刀片,其值分别为30°、35°、40°、45°。记录每次试验中的扭矩值变化曲线和最大扭矩值,再通过式(8)计算出相应的最大切割力。

## 4 结果与分析

### 4.1 单因素试验结果

试验时将灌木固定安装于夹持装置中,上端自由,待切割处接触定刀刃。参考已有的研究成果,取常用刀刃角40°、曲柄转速80 r/min,在每个滑切角参数值下重复试验3次,取平均值,试验结果见表1。

表1 滑切角与最大切割力  
Tab. 1 Sliding cutting angle and max cutting force

滑切角/(°)	扭矩电压值/V	最大切割力/N
0	0.23	151
5	0.21	144
10	0.31	206
15	0.34	227
20	—	切割困难
25	—	无法切割
30	—	无法切割

从表1可知:滑切角在0°~15°时能够进行切割,最大切割力呈先减小后增大的趋势;当滑切角等于20°时,灌木试件在切割过程中伴随较明显外滑现象,并时常无法成功切割;当滑切角大于20°时,出现明显的侧向滑动现象,并随着滑切角的继续增大外滑越严重,无法完成切割。在本试验条件下,滑切角为5°时,最大切割力值最小。

### 4.2 刀刃角对滑切过程的影响

在单因素试验结果的基础上,继续研究刀刃角在灌木切割过程中对滑切作用的影响。结合已有的研究成果和本试验台所能调节的范围,选取曲柄转速80 r/min,刀刃角和滑切角的参数水平见表2,试验结果如图9所示。

从图9可知:以最大切割力为指标,刀刃角对滑切过程的影响比较复杂。当滑切角取0°和5°时,适当增加刀刃角(40°),有利于降低最大切割力,继续增加刀刃角,则最大切割力反而增加;当滑切角取10°时,增大刀刃角有利于降低最大切割力,且刀刃角为45°时最大切割力的值最小;当滑切角为15°时,最大切割力随刀刃角的增加而增大,两者基本呈正相关。

表2 刀刃角与滑切角

Tab.2 Blade angle and sliding cutting angle (°)

水平	滑切角	刀刃角
1	0	30
2	5	35
3	10	40
4	15	45

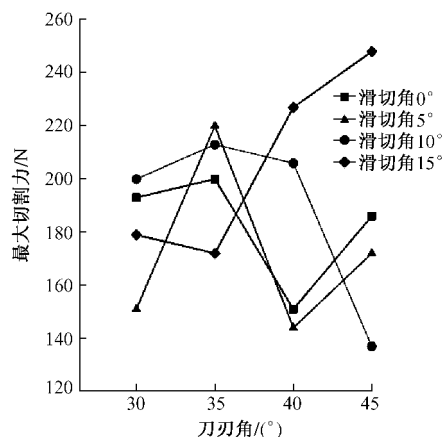


图9 刀刃角对滑切影响

Fig.9 Effect of blade angle on sliding cutting

#### 4.3 曲柄转速对滑切过程的影响

选取刀刃角为45°,曲柄转速和滑切角的参数水平见表3,试验结果如图10所示。

表3 曲柄转速与滑切角

Tab.3 Crank speed and sliding cutting angle

水平	滑切角/(°)	曲柄转速/(r·min <sup>-1</sup> )
1	0	60
2	5	80
3	10	100
4	15	120

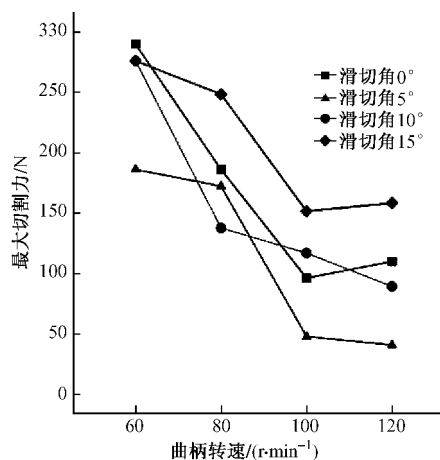


图10 曲柄转速对滑切影响

Fig.10 Effect of crank speed on sliding cutting

由图10可知:当滑切角为10°时,增大曲柄转速,能降低最大切割力;当滑切角为15°时,增大曲柄转速对滑切过程影响不大,并不能降低切割力。

#### 4.4 分析与讨论

由滑切角单因素试验可看出,切割灌木的滑切角适用范围为0°~10°,继续增大滑切角则不利于切割甚至无法切割。这表明灌木与刀刃之间的摩擦角之和约为20°。刀刃角对滑切过程有一定影响,其原因可能是刀刃角的存在对侧向滑动有抑制作用。曲柄转速对滑切过程存在一定影响,当滑切角不大时(≤10°),提高曲柄转速有利于切割。其原因可能是曲柄转速的提高导致往复切割速度加快,灌木茎秆自身的惯性力使得灌木在被切断的瞬间保持向外侧滑动,从而能充分利用滑切的优势降低最大切割力。若滑切角过大,则提高曲柄转速也不能减弱滑切过程中的侧向滑移,即无法降低最大切割力。

### 5 结 论

1) 往复式灌木切割器的适用滑切角范围为0°~10°,在本试验条件下,最优滑切角为5°。

2) 刀刃角对滑切过程的影响较弱,当滑切角较小(≤10°)时,增大刀刃角有利于滑切过程,降低最大切割力。

3) 曲柄转速对滑切过程有一定影响,当滑切角较小(≤10°)时,增大曲柄转速能抑制灌木茎秆的外滑,故能降低最大切割力;若滑切角过大(≥15°),则抑制效果不明显,不能降低最大切割力。

#### 参 考 文 献

- [1] 李宁,俞国胜,张建中,等. 柠条剪断力与刀具前角之间关系的研究[J]. 湖南农业科学, 2009(3): 126-129.
- [2] 陈晓峰. 窄节距低割茬往复式切割器的研究[J]. 中国农机化, 2006(2): 68-69.
- [3] 夏萍,曹成茂,陈黎卿,等. 基于 Matlab 的往复式切割器割茬高度的动态仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(11): 3070-3071.
- [4] 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): 81-83.
- [5] 朱新民,尹安东. 收割机往复式切割装置节能的研究[J]. 农机与食品机械, 1995(5): 9-10.
- [6] 杨树川. 标准往复式切割器的工作性能研究[D]. 陕西:西北农林科技大学, 2005.
- [7] 杨树川,何东健,杨术明. 往复式切割器割刀磨损对切割图中区域面积的影响[J]. 农机化研究, 2006(1): 107-109.
- [8] 陈昆昌,赵匀,俞高红. 全喂入水稻联合收割机切割机构的动力学分析与惯性力平衡[J]. 机械设计与研究, 2005, 21(3): 98-100.
- [9] 李翰如,孙凤楼,马廷玺,等. 农业机械学[M]. 北京:农业出版社, 1981: 339-340.

(责任编辑 李文军)