

文章编号: 1004-7271(2001)01-0060-05

秸秆切碎灭茬机的设计与试验

吴子岳¹, 高焕文², 陈君达²

(1. 上海水产大学海洋学院, 上海 200090; 2. 中国农业大学东校区, 北京 100083)

摘要:针对双轴击切式破碎秸秆和根茬所存在的问题, 本文提出单轴压切原理和非等长刀切碎模型, 并对秸秆切碎灭茬机的关键参数进行了优化设计。该机田间试验表明切碎率达 91.4%, 根茬破碎率达 86.5%。该机的应用必将促进一年两熟平作旱区保护性耕作技术的发展。

关键词: 秸秆; 切碎; 灭茬

中图分类号: S22 **文献标识码:** A

Design and test of chopper of stalk and stubble

WU Zi-yue¹, GAO Huan-wen², CHEN Jun-da²

(1. Ocean College, SFU, Shanghai 200090, China; 2. East Campus, CAU, Beijing 100083, China)

Abstract: For the problem of breaking stalk with hit-shear type and stubble with double shafts, the principle of press-chop type with single shaft and the models of chopping with knife of different radius are put forward. The key parameters of chopper are optimized. The outcome of field test shows that the rate of chopping is up to 91.4% as well as breaking 86.5% stubble. The application of this chopper is surely promoting technology of reservative tillage in dryland.

Key words: stalk; chopping; breaking stubble

九十年代以来, 全国各地大力推广秸秆、根茬粉碎还田技术, 相继出现了各种类型的秸秆、根茬粉碎机具。目前大多数秸秆还田机破碎秸秆的方式是打击与切割相结合, 以打击为主, 对小麦秸秆的破碎效果较好。但打击速度大, 功耗高。对于秸秆和根茬复合作业机具, 大多采用双轴式结构, 即上轴破碎秸秆, 下轴破碎根茬^[1]。这是由于秸秆和根茬的切割要求不同, 双轴可实现不同的转速要求。但双轴式在前进速度、生产率、功耗的分配、破碎效果等方面都存在相互牵制和无法协调的矛盾; 并在双轴之间容易产生缠绕和堵塞。双轴式必然重复切秆, 增大动力消耗。因此, 我们提出单轴压切原理切碎玉米秸秆连根茬, 研制了秸秆切碎灭茬机。该机将秸秆破碎、根茬切碎、表层松土三项功能置于一次作业中完成, 既减少了土壤压实, 又大大提高了免耕播种机的通过性能和入土性能。该机具的应用与推广必将促进一年两熟平作旱区保护性耕作技术的发展。

1 新型压切原理

采用压切原理切碎玉米茎秆及根茬, 其技术方案是先压后切。玉米的生长特点决定了茎秆较粗。

收稿日期: 2000-11-30

基金项目: 农业部重点专项课题(980018)

第一作者: 吴子岳(1963-), 男, 浙江温州人, 副教授, 硕士生导师, 博士后, 主要从事机械工程装备研究。Tel: 021-65694993, E-mail:

zywu@sifu.edu.cn

风吹不倒,抗倒伏,因而刚度好。因此,采用较重的压辊将秸秆推压倒地,一些秸秆会在推压过程中折断掉落在地表上;一些秸秆在受压过程中拔起根茎至地表;一些秸秆会在根部处断裂,撒布在地表上。压辊保持一定压力在秸秆、根茬铺放在地表上作纯滚动,秸秆和一部分根茬在压辊压紧和地表支承的双重作用下,被随后的切刀以较高的速度和旋转力矩切断破碎,有些带入土体里切断,在切土过程中切碎秸秆和根茬。

2 非等长刀切碎模型

在旋耕机设计中,各旋耕刀的回转半径和间隔都相等,因而切出的单元体一致,便于均匀抛上和碎土,而在以切碎地表秸秆和地下根茬为主的旋切过程中,不要求抛土和碎土。由于地表秸秆压弯状态各异,秸秆着地方向不同,处于不同受切部位,皆对切断速度的要求有所差别。玉米根茬的分布特征是上面部分密集,底下部分稀疏,主要分布在0~15cm的土层范围内^[2]。我们在一年两熟免耕试验田对玉米根茬尺寸进行了人工测定,按统计平均值计算,主根地下深度4.4cm,在这个深度范围内根茬密集,因而要求切刀经过的次数多,而根茬最大横截面处深度为7.2cm,这就表明切茬深度达到或超过此值,就可切碎大部分根茬。但切茬过深,能耗剧烈增加,因而一般控制切茬深度在7.2cm左右。考虑到土壤和玉米品种的差异,根茬最大横切面处深度会有变化,因此,切碎机的切茬深度应能调整,最大可达10cm,以提高切碎机的适应性和作业质量。

对此我们提出了有长有短两种回转半径的设想,形成两种刀端线速度,既适应地表秸秆在不同状态下对切断速度的不同要求,更有效地切断秸秆,又能实现地下根茬上层多切,下层少切,短刀主要切碎主根五股叉,长刀切碎最大横切截面处的根茬。长短刀组合,可使各刀运动轨迹和相互间的切点密集在主根五股叉处,造成许多刀迹围绕根茬的密集处进行切碎作业,用较少的能耗使根茬得到最大程度的破碎。长刀回转半径与短刀回转半径不能相差过大,否则短刀的线速度过低,不利于切断秸秆。

设 R 为长刀回转半径, R_1 为短刀回转半径, h 为切土深度, z 为圆周上刀片数,刀在圆周上均匀分布,即两刀的圆周间隔相等。如图 1 所示,在等长等间隔情况下,各长刀刀端入土时所转过的圆周角均为 ωt_0 , 两长刀的切土节距均为 s , 那么 $\sin \omega t_0 = \frac{R-h}{R}$, $s = v_m \cdot \frac{2\pi}{\omega z} = \frac{60v_m}{nz}$ 。在此圆周角位置时,长刀开始入土,但由于是短刀,还需转到 ωt_1 角时才入土,那么 $\sin \omega t_1 = \frac{R-h}{R_1}$ 。又因为刀轴中心在圆周角增大过程中向前移,这就使得短刀入土点向后移,与设定的长刀入土点相比,设向后移动量为 Δs , 它又称为节距的改变量,与 R, R_1, h, ω, v_m 有关。对图 1 进行几何分析,可得出 Δs 的计算公式。

$$\Delta s = R \cos \omega t_0 - R_1 \cos \omega t_1 - v_m (t_1 - t_0) \quad (1)$$

$$\text{短刀节距} = s - \Delta s \quad (2)$$

$$\text{下一个长刀节距} = s + \Delta s \quad (3)$$

节距的不一致一方面带来秸秆切碎长度不一致,切出的秸秆过长,势必降低切碎质量,切出的秸秆过短,浪费能耗;另一方面,切出的根茬和土单元体大小不一,长、短刀的切割阻力相差较大,在旋转过程中阻力矩的变化幅度很大,不利于拖拉机功率的发挥,并且造成对机器的振动和冲击。因此,必须调整间隔,使长、短刀节距相同或相近。方法是加大短刀间隔,让短刀延后一定角度入土,

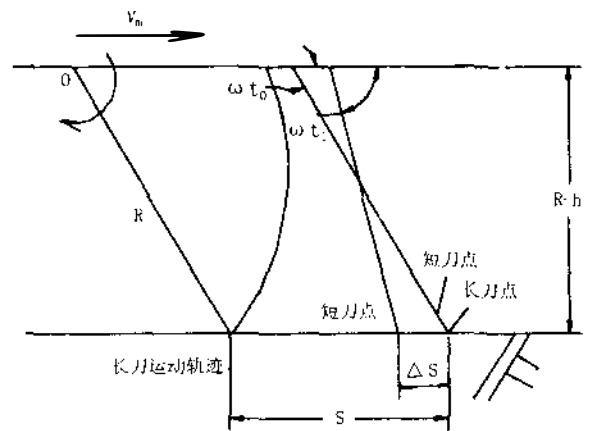


图 1 节距变动示意图

Fig. 1 Sketch of changing sectional distance

$$\text{延后角 } \Delta \alpha = \frac{\Delta s}{v_m} \times \omega \quad (4)$$

因此,长短刀的圆周间隔就变为:

$$\begin{aligned} 360^\circ / z + \Delta \alpha \\ 360^\circ / z - \Delta \alpha \end{aligned} \quad (5)$$

3 切碎机关键参数的理论分析

3.1 刀轴转速和刀辊回转半径

我们已在自制的秸秆切碎试验台上对两端弱约束支承下玉米秸秆的切断速度进行了正交试验,结果表明切断两根秸秆所需的切断速度为 $13.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ [3]。田间受切秸秆以单根或双根为多,为了提高切断率和切碎质量,以切断双根所需速度作为刀片切削速度设计的最低标准。

对于秸秆切碎灭茬机,切刀刀端的运动轨迹用余摆线参数方程确定如下:

$$\begin{cases} x = R \cos \omega t + v_m t \\ y = R \sin \omega t \end{cases} \quad (6)$$

将式(6)对时间 t 求一次导数,可得到:

$$\begin{aligned} V_x &= \frac{dx}{dt} = v_m - \omega R \sin \omega t \\ V_y &= \frac{dy}{dt} = \omega R \cos \omega t \\ V_{\text{切}} &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{v_m^2 - 2v_m \omega R \sin \omega t + \omega^2 R^2} \end{aligned} \quad (7)$$

对式(7)化简可得出:

$$V_{\text{切}} = V_{\text{线}} \sqrt{1 + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{2(R-h)}{\lambda R}} \quad (8)$$

式中 $\lambda = \frac{V_{\text{线}}}{v_m}$

v_m 为前进速度

$$V_{\text{线}} = \omega R = \frac{\pi n}{30} \cdot R \quad (9)$$

依据国内一些灭茬机的参数值对切削速度进行计算,可得出 $v_{\text{切}} \approx 0.9v_{\text{线}}$, 因此,当要求 $v_{\text{切}}$ 达到 13.6m/s 时,则 $v_{\text{线}}$ 应为 15.1m/s 。为了更有效地切断秸秆,秸秆切碎灭茬机设计的线速度应略高于此值,以 $16.5 \sim 17\text{m/s}$ 为宜。选择低 n 、大 R ,有利于秸秆、根茬的切碎。一般灭茬机刀辊回转半径为 $240 \sim 250\text{mm}$,刀轴转速在 $350 \sim 420\text{r/min}$ 之间,刀端线速度为 $9 \sim 11\text{m/s}$ 。由于切断秸秆速度要求比根茬高,因而需要较高的刀轴转速和较大的刀辊回转半径。但 R 过大会使刀的强度降低,机架尺寸变大,因此,本机确定 R 为 280mm ,并由式(9)可得出刀轴转速为 570r/min 。

3.2 刀片数 z 和切土节距 s

$$s = v_m \cdot \frac{2\pi}{\omega z} = \frac{60V_m}{nz} \quad (10)$$

式中 s 为切土节距。秸秆还田与覆盖要求秸秆切碎长度小于 10cm ,因而 $s < 10\text{cm}$;但 s 过小,秸秆、根茬切得过碎,碎土过分,动力消耗增大,作业效率下降。因此, s 的适宜范围为 $5 \sim 10\text{cm}$,以 7cm 作为计算标准。 z 在 $3 \sim 6$ 之间选取; n 、 ω 为旋转刀轴的转速、角速度; V_m 代表拖拉机各档次的前进速度,作业范围为 $6 \sim 8\text{km/h}$,分别是慢 5 档(6.61km/h)、快 1 档(7.17km/h)和快 2 档(8.66km/h)。

$$\text{由式(10)可推出 } z = \frac{60V_m}{ns} \quad (11)$$

当 V_m 、 n 、 s 取自自变化范围的中间值时,即 $V_m = 7.17\text{km/h}$, $n = 570\text{r/min}$, $s = 7\text{cm}$,则 $z = 2.99$,因

此,确定圆周上的切刀数为3,一长两短结构,即按一定的圆周间隔分布一把长刀和两把短刀。

3.3 ΔR 、 $\Delta \alpha$ 的确定

前面已对根茬分布特征进行了统计分析,认为长短半径相差 2.8cm 左右较适宜。由式(1)~(4)可知, ΔR 对 $\Delta \alpha$ 的影响最大,异长必须异间隔,才能保证相近或相同的节距 S 。由式(5)可知,由于 $z = 3$,则其中两刀的最小圆周间隔为 $120^\circ - \Delta \alpha$ 。因此, $\Delta \alpha$ 越大,两刀越容易产生安装干涉。若取 $\Delta \alpha$ 为 60° ,则最小间隔也为 60° ,两刀还不会产生干涉。若 $\Delta \alpha$ 过大,由于干涉使刀无法安装。对此,我们认为 $\Delta \alpha$ 保持在 60° 左右较好。为此,将 ΔR 分成 2, 2.5, 3, 3.5 四个档次,即 R_1 分别为 26cm、25.5cm、25cm、24.5cm,利用式(1)~(4)计算不同运动参数下的 $\Delta \alpha$ (表 1)。从表中数据可见,当 $\Delta R = 2.5$ cm 时,各种运动参数组合下的 $\Delta \alpha$ 平均值接近 60° ,并且能较好地满足 ΔR 为 2.8cm 的要求。也就是说实际延后角取为 60° ,能较好地适应运动参数的变动,保持各刀节距相近。与其它三个档次相比,各刀节距之间的偏差最小。

综上所述,秸秆切碎灭茬机最佳结构参数为 $R = 28$ cm、 $R_1 = 25.5$ cm、 $z = 3$,按一长两短排列:长 $\xrightarrow{180^\circ}$ 短 $\xrightarrow{120^\circ}$ 短 $\xrightarrow{60^\circ}$ (长)、 $h = 7$ cm。

4 整机结构与田间试验

根据上述参数分析,我们设计、制造了秸秆切碎灭茬机(图 2)。该机采用 II 字型机架结构,与拖拉机三点后悬挂连接,拖拉机动力经中央传动变速箱传递至刀轴,带动刀轴以一定速度正向旋转,切断地表秸秆和地里根茬。变速箱由中间两平行梁支承。前梁上固定两个地辊,地辊既将倾斜的秸秆压倒在地表上,又支承机架重量。左、右刀辊 4 个刀盘上的刀按一定的规则排列,并在两个外侧各安装一个刀盘,刀盘上均布 3 把短半径刀,以正切刃里端点刚能切到地表为准。目的是切断倾倒在外侧的秸秆。罩壳形状为偏心圆,与分流板螺栓连接。两行作业,每行作业幅宽 400mm,对行切断秸秆和根茬,行距调节范围 600~700mm,设计工作幅宽 1.2m,最大切茬深度能达到 100mm。配套动力为铁牛系列中型拖拉机。

在刚收获完玉米穗的中国农业大学机械工程学院早熟玉米试验田里对整机的切碎效果进行了试验,试验时玉米秸秆的自然高度为 178cm,茎秆直径为 2.1cm,茎秆含水率为 31.9%;而土壤含水率为 17.4%。配套动力为铁牛—654 型拖拉机,作业速度快 2 档,约为 8.66km/h,切茬深度 7.5cm。试验结果表明该机对玉米秸秆、根茬具有良好的切碎效果,生产率高,功率利用合理。按照农业部农机鉴定总站提供的检测参数和方法对该机的性能指标进行测定,秸秆切碎长度(小于 10cm)合格率达 91.4%,地下根茬全部切碎,根茬破碎率达 86.5%。碎秸秆和碎根茬在分流板作用下均匀撒向全幅宽,起到还田与覆盖双重作用。该机一次作业就可完成秸秆切碎、根茬破碎、整理地表等任务,无需后续旋耕作业,就能实现免耕播种机直接播种。

表 1 ΔR 对 $\Delta \alpha$ 的影响结果

Tab.1 The outcome of $\Delta \alpha$ affected by ΔR

V_m (km/h)	n (r/min)	ΔR (cm)			
		2	2.5	3	3.5
6.61	570	54.3	68.8	83.9	99.7
7.17	570	49.6	62.9	76.7	91.1
8.66	570	40.2	50.9	62.0	73.6

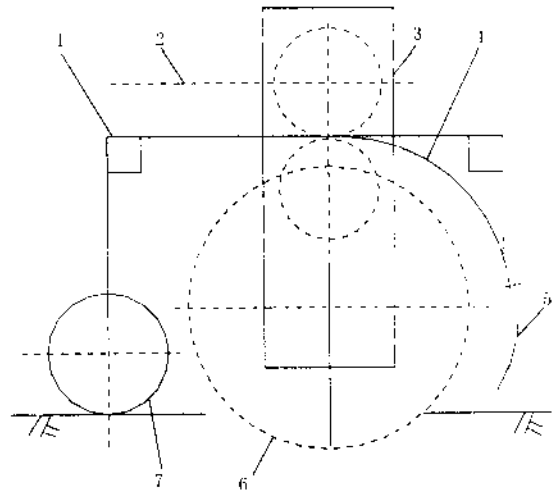


图 2 秸秆切碎灭茬机示意图

Fig.2 Sketch of chopper for stalk and stubble

1. 机架 2. 输入轴 3. 变速箱 4. 罩壳 5. 分流板
6. 切碎刀辊 7. 压辊

5 结论

- (1)在国内首次提出压切原理切碎玉米秸秆及根茬,并取得成功。
- (2)建立了非等长刀切碎模型,对切碎机结构参数和运动参数进行了优化设计。
- (3)对研制的单轴式秸秆切碎灭茬机进行了田间试验,结果表明切碎长度合格率达91.4%,根茬破碎率达86.5%。

参考文献:

- [1] 毛罕平,陈翠英. 秸秆还田机研制现状[J]. 农业机械学报, 1996, 12(2): 152 - 154.
- [2] 陈国平. 玉米栽培[M]. 北京: 农业出版社, 1982. 28 - 35.
- [3] 吴子岳. 玉米秸秆与根茬切碎模型及其机具的研究[R]. 北京: 中国农业大学, 2000. 26 - 58