

# 旋耕埋草机立刀设计功能实现程度的分析

张居敏 夏俊芳 贺小伟 张甜 张秀梅

华中农业大学工学院, 武汉 430070

**摘要** 以1GMC-70型船式旋耕埋草机立刀为研究对象,分析立刀设计功能,建立立刀刀口函数曲线,并利用Matlab软件进行立刀运动学分析。结果表明:立刀当前的结构参数不能很好地与其设计功能相匹配,立刀对螺旋横刀切土节距的增加量小于螺旋横刀切土节距的1/3,立刀自身的秸秆切断效应以及辅助螺旋横刀处理秸秆等效应都比较弱;立刀对未耕土壤有破茬作用,但破茬深度约为刀片最大厚度的1/3,破茬效应较小;立刀对刀辊后方已耕土壤几乎没有碎土效应;立刀没有将垡条切断,它只切割了垡条横截面积的40%左右;立刀的4-3-4-3-4焊接排布方式没有增加自身作业机会。田间作业试验表明,旋耕埋草机是否设置立刀对作业效果没有区别,故在当前结构参数下立刀没有实现其设计功能,建议重新设计立刀。

**关键词** 水田耕整;旋耕埋草机;立刀;设计

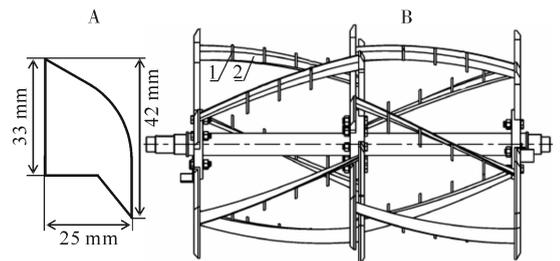
**中图分类号** S 222.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0122-06

秸秆焚烧是当前中国社会的难题,秸秆还田是解决禁烧问题的有效途径之一。秸秆覆盖地表还田方式适合于土地复种指数低、风蚀水蚀较为严重的干旱地区。中国南方地区土地复种指数高、农时紧迫、秸秆量大。秸秆覆盖地表还田方式不仅影响下茬作物播栽质量,而且还因高温高湿导致杂草与病虫害发生严重。秸秆先粉碎再埋覆技术相对成熟,但能耗大且作业成本高。王金武等<sup>[1]</sup>研究了水稻整株秸秆埋覆还田问题;陈玉仑等<sup>[2]</sup>研究了稻麦秸秆箱沟埋覆还田问题;笔者所在课题组研究了水田高茬秸秆旋耕埋覆还田问题,其中开发的1GMC-70型船式旋耕埋草机技术相对成熟<sup>[3-4]</sup>。该机在秸秆埋覆还田、简化耕田工序、缩短农时等方面效果显著。在船式旋耕埋草机的刀辊耕作部件中,立刀数量最多、结构尺寸最小,制造、焊接等工作量都比较大。有关立刀的设计功能已有较多报道<sup>[5-14]</sup>,但立刀的结构参数能否实现其设计功能?实现程度究竟有多大?这些问题还需要理论分析与试验检测。笔者以1GMC-70型船式旋耕埋草机立刀为研究对象,分析立刀结构参数与设计功能之间的匹配性,旨在为立刀结构参数的优化、立刀排布方式的合理化以及整体功能的提升等提供理论依据。

## 1 立刀结构与功能设计

### 1.1 立刀结构

立刀的形状如图1-A所示。立刀尺寸比较小,厚度为5 mm,最大面(刀面)面积为672 mm<sup>2</sup>。在1GMC-70型船式旋耕埋草机的刀辊结构中,立刀总共有36把,按4-3-4-3-4排布方式交错焊接在各螺旋横刀背部,焊接时刀面垂直于刀辊轴线(图1-B)。



A. 立刀 Vertical blade; B. 立刀排布方式 Arrangement of vertical blade; 1. 立刀 Vertical blade; 2. 螺旋横刀 Helical blade.

图1 立刀的结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of vertical blade

### 1.2 功能设计

在旋耕埋草机作业过程中,立刀要切断秸秆,并将未切断的秸秆推向前方,方便后续螺旋横刀压覆、

收稿日期: 2013-09-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(51275196)和公益性行业(农业)科研专项(201203059)

张居敏,在职博士研究生,讲师。研究方向:土壤耕作与机械化。E-mail: ju\_min\_zhang@mail.hzau.edu.cn

通信作者: 夏俊芳,博士,教授。研究方向:现代农业装备设计与测控。E-mail: xjf@mail.hzau.edu.cn

适度切碎秸秆；立刀有破茬作用，在螺旋横刀切土之前，立刀先将未耕土壤沿机组前进方向予以切割，以减轻螺旋横刀切土阻力；立刀对刀辊后方已耕土壤有碎土作用；立刀切断堡条，有碎土作用<sup>[5-14]</sup>。

## 2 参数结构与功能分析

### 2.1 参数与理论分析

耕作过程中立刀参与 2 种运动：随机耕船前进的牵连运动和绕刀轴旋转的相对运动。在立刀刀面与刀辊轴线交点处建立的坐标系如图 2 所示。

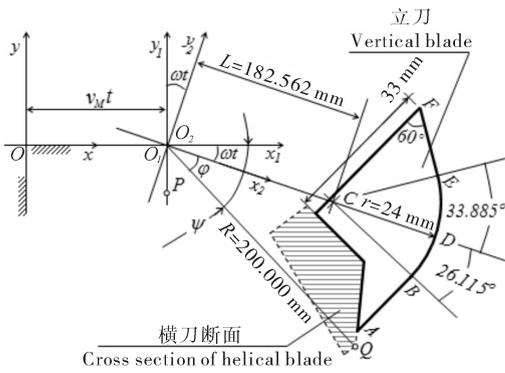


图 2 立刀的坐标系

Fig. 2 Coordinate system of vertical blade

在图 2 中，Q 点为螺旋横刀刃口线与立刀刀面所在平面的交点；C 点为立刀刃口圆弧线 BDE 的圆心； $v_M$  为机组前进速度， $v_M = 4.4 \text{ km/h}$ ； $\omega$  为刀辊角速度， $\omega = 39.794 \text{ rad/s}$ 。

用 Proe 5.0 软件建立刀辊模型，测定 C 点与刀辊轴线之间垂直距离  $L = 182.562 \text{ mm}$ ；Q 点旋转半径  $R = 200.000 \text{ mm}$ ， $\varphi = 6.835^\circ$ ；螺旋横刀圆弧线 BDE 的起始、终止角度分别为  $26.115^\circ$ 、 $33.885^\circ$ 。

图 2 中，坐标系  $Oxy$  固定不动，坐标系  $O_1x_1y_1$  随机耕船刀辊轴线一起沿  $x$  轴平移，坐标系  $O_2x_2y_2$  固定在刀辊上，绕刀轴 ( $O_1$  轴) 旋转。坐标系  $Oxy$ 、 $O_2x_2y_2$  之间的平移、旋转关系如式 (1) 所示。

$$\begin{cases} x = x_2 \cos \omega t + y_2 \sin \omega t + v_M t \\ y = y_2 \cos \omega t - x_2 \sin \omega t \end{cases} \quad (1)$$

根据图 2 模型，测定立刀刃口上各点与刀辊轴线之间的距离，即测量线段 AB、圆弧 BDE 和线段 EF 上各点与刀轴  $O_1$  之间的距离。如依次测量线段 AB 起点 A、0.2 倍线段 AB 长度处的点、0.4 倍线段 AB 长度处的点、…、线段 AB 终点 B 等，各点与  $O_1$  点之间的距离；同理，对圆弧 BDE、线段 EF 等，也都进行相应点之间的距离测量，结果如表 1 所示。

表 1 立刀刃口线 ABDEF 上各点与  $O_1$  点之间的测量距离

Table 1 Measured distances between points on cutting edge ABDEF of vertical blade and point  $O_1$

线段 Line segment	位置 Position	测量值 Measured value						
线段 AB Line segment AB	位置点 Point position	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
	距离/mm Distance	199.393	200.325	201.292	202.291	203.321	204.385	
圆弧 BDE Arc segment BDE	位置点 Point position	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
	距离/mm Distance	204.385	205.920	206.547	206.246	205.027	202.927	
线段 EF Line segment EF	位置点 Point position	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
	距离/mm Distance	202.927	201.438	199.938	198.562	197.178	195.829	

从表 1 可知，对于立刀刃口线 AB，与起点 A 距离越远的点，其与  $O_1$  点之间的距离也越大，这些点在刀辊旋耕过程中不但旋转半径大，而且相位角也靠后，所以它们的破茬、切断堡条等效应更强；对于立刀刃口线 BDE，与起点 B 相距 0.4 倍长度附近的点，与  $O_1$  点之间的距离最大，由图 2 可知，最大值为  $L+r$ ；对于立刀刃口 EF，与起点 E 距离越远的点，其与  $O_1$  点之间的距离越小，旋耕过程中该处立刀刃口的旋转半径也小，所以破茬、切断堡条等的效应比较弱。

综上所述，立刀刃口上破茬、切断堡条等效应最强的位置点在圆弧 BDE 处，因此，后续试验与分析选取该段圆弧为研究对象。

### 2.2 立刀的秸秆切碎效应分析

1) 理论计算。由图 2 可知，在坐标系  $O_2x_2y_2$  中，螺旋横刀刃口上 Q 点坐标为  $(R \cos \varphi, -R \sin \varphi)$ ，将其带入式 (1)，得到 Q 点轨迹方程如式 (2) 所示。

$$\begin{cases} x = R \cos(\varphi + \omega t) + \frac{R}{\lambda} \omega t \\ y = -R \sin(\varphi + \omega t) \end{cases} \quad (2)$$

式中  $\lambda$  为刀辊旋耕速比， $\lambda = 6.512$ 。

在图 3 中，圆弧 BDE 上任意一点在坐标系  $O_2x_2y_2$  中的参数方程如下式所示。

$$\begin{cases} x_2 = L + r \cos \theta \\ y_2 = r \sin \theta \end{cases}, \theta \in [-26.115^\circ, 33.885^\circ]$$

将该方程带入式 (1)，得到圆弧 BDE 上任意一

点在固定坐标系  $Oxy$  中的轨迹方程如式(3)所示。

$$\begin{cases} x=r\cos(\theta-\omega t)+L\cos\omega t+\frac{R}{\lambda}\omega t \\ y=r\sin(\theta-\omega t)-L\sin\omega t \end{cases} \quad (3)$$

设刀辊耕深为  $H$ , 根据大田作业试验, 单遍耕深  $H$  介于  $50\sim 100\text{ mm}$  之间, 地平线在坐标系  $Oxy$  中的方程如式(4)所示。

$$y=-R+H \quad (4)$$

由式(2)、(4)联立求解, 可以求出不同耕深时  $Q$  点轨迹与地平线交点的  $x$  轴坐标  $x_Q$ :

$$x_Q=R\cos\left[a\sin\left(1-\frac{H}{R}\right)\right]+\frac{R}{\lambda}\left[a\sin\left(1-\frac{H}{R}\right)-\varphi\right]$$

由式(3)、(4)联立求解, 可以求出不同耕深时圆弧  $BDE$  上各点轨迹与地平线交点的  $x$  轴坐标  $x_\theta$ :

$$\begin{cases} A=\sqrt{L^2+r^2+2Lr\cos\theta} \\ \omega t=a\sin\frac{r\sin\theta}{A}+a\sin\frac{R-H}{A} \\ x_\theta=r\cos(\theta-\omega t)+L\cos\omega t+\frac{R}{\lambda}\omega t \end{cases}$$

式中  $A$  和  $\omega t$  都是中间变量。

刀辊切土节距  $S=38.596\text{ mm}$ , 立刀对秸秆的前推效应  $k$  可用螺旋横刀刀口上  $Q$  点轨迹与地平线交点和圆弧  $BDE$  上某点轨迹与地平线交点之间距离的最大值, 再除以切土节距  $S$  来表示, 即

$$k=\frac{x_\theta-x_Q}{S}$$

借助 Matlab 软件, 计算结果如下:

$H=50\text{ mm}$  时, 目标函数  $k$  在  $\theta=7.395^\circ$  位置有最大值, 此时  $k_{1\max}=32.479\%$ ,  $x_\theta-x_Q=12.536\text{ mm}$ ;

$H=100\text{ mm}$  时, 目标函数  $k$  在  $\theta=9.035^\circ$  位置有最大值, 此时  $k_{2\max}=28.300\%$ ,  $x_\theta-x_Q=10.923\text{ mm}$ 。

2) 结果分析。根据计算结果可知, 在耕深  $H=50\sim 100\text{ mm}$  时, 立刀对螺旋横刀切土节距的增加量为  $10.9\sim 12.5\text{ mm}$ , 即处于螺旋横刀切土节距的  $28.3\%\sim 32.5\%$  之间, 不到切土节距的  $1/3$ , 因此, 立刀自身的秸秆切割作用比较小, 而且立刀辅助螺旋横刀处理秸秆(即立刀将未切断秸秆推向前方, 由下一组螺旋横刀处理秸秆)的效应也比较小。这表明船式旋耕埋草机作业过程中船底板已经将大部分秸秆沿机组前进方向推倒并压覆于地表, 所以立刀自身的秸秆切割效应及其辅助螺旋横刀处理秸秆的能力都很微弱。

### 2.3 立刀的破茬和碎土效应分析

1) 理论计算。采用立刀对螺旋横刀所切堡条的

划痕深度衡量其破茬和土效应。

在图 2 中, 螺旋横刀刀口上  $Q$  点的轨迹方程如式(2)所示,  $Q$  点轨迹沿  $x$  轴正方向平移切土节距  $S$ , 得到后续刀口上相应点轨迹方程如式(5)所示。

$$\begin{cases} x=R\cos(\varphi+\omega t)+\frac{R}{\lambda}\omega t+S \\ y=-R\sin(\varphi+\omega t) \end{cases} \quad (5)$$

方程(2)、(5)各自的函数曲线如图 3 曲线②、⑤所示。图 3 中, 曲线④为方程(4)的函数曲线, 曲线②、④、⑤围成的封闭区域就是堡条的横截面。在图 3 中, 曲线③代表方程(3)的函数曲线,  $\theta$  角取不同值时曲线③的位置也不同。在图 2 和图 3 中, 刀辊速度瞬心在  $P$  点,  $P$  点坐标:

$$x_P=\frac{R}{\lambda}\omega t, y_P=-\frac{R}{\lambda}$$

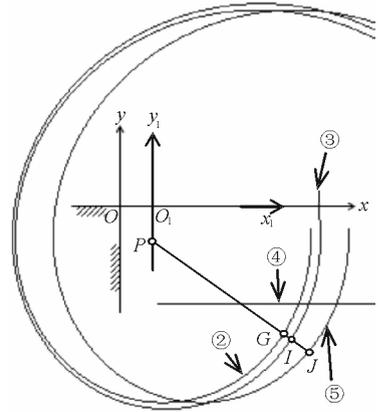


图 3 立刀的破茬效应

Fig. 3 Effect of vertical blade on stubble-breaking

在图 3 中, 因  $P$  点为刀辊速度瞬心, 故  $P$  点与螺旋横刀刀口上  $Q$  点的当前位置点, 即曲线②上  $G$  点的连线  $PG$  垂直于曲线②在  $G$  点处的切线。延长线段  $PG$ , 分别交曲线③、⑤于点  $I$ 、 $J$ , 则线段  $GJ$  的长度即为  $G$  点处堡片厚度。曲线③具体位置由方程(3)中参数  $\theta$  决定, 由 Matlab 软件分析线段  $GI$  的长度时发现其有最大值, 其最大值就是立刀在  $G$  点处对堡条的划痕深度。在图 4 中, 直线  $PG$  在坐标系  $Oxy$  中的方程如式(6)所示。

$$y-y_P=\frac{y_G-y_P}{x_G-x_P}(x-x_P) \quad (6)$$

式(6)中  $G$  点坐标  $(x_G, y_G)$  由方程(2)确定。线段  $GJ$  的长度  $L_{GJ}$  是螺旋横刀刀口上  $Q$  点的相位角  $\psi$  (如图 2 所示,  $\psi=\varphi+\omega t$ ) 的一元函数, 利用 Matlab 软件, 绘制出  $L_{GJ}-\psi$  之间关系如图 4 中曲线①所示。线段  $GI$  的长度  $L_{GI}$  是相位角  $\psi$ 、位置角  $\theta$  的二

元函数,当G点位置一定,即相位角 $\psi$ 一定时, $L_{GI}$ 是位置角 $\theta$ 的一元函数,由Matlab软件分析表明,该一元函数存在最大值,这个最大值 $L_{GI\max}$ 即为立刀在G点处对堡条的划痕深度, $L_{GI\max}$ 是 $\psi$ 角的一元函数,函数曲线如图4中曲线②所示。

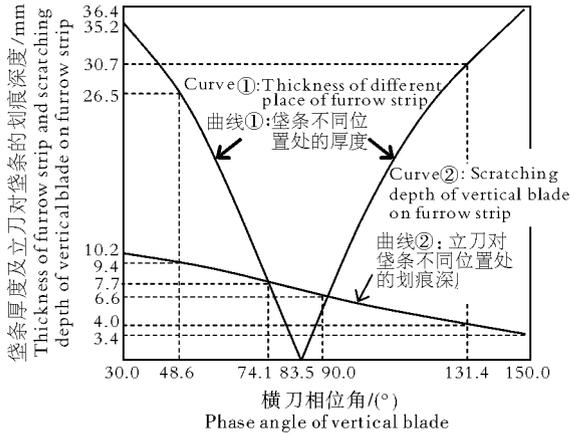


图4  $L_{GI}$ 、 $L_{GI\max}$ 与 $\psi$ 角的关系

Fig. 4 Relationship between  $L_{GI}$ ,  $L_{GI\max}$  and  $\psi$

2)结果分析。由方程(2)可得,当 $H=50$  mm时,螺旋横刀刃口上Q点入土、出土时相位角 $\psi$ ( $\varphi+\omega t$ )分别为 $48.6^\circ$ 、 $131.4^\circ$ 。由图4可计算出入土位置堡片厚度为26.5 mm、立刀对堡条的划痕深度为9.4 mm,划痕深度占堡片厚度的比例为35.4%;同理,当 $H=100$  mm时,螺旋横刀入土、出土时的相位角分别为 $30^\circ$ 、 $150^\circ$ ,入土位置堡片厚度为35.2 mm、立刀对堡条的划痕深度为10.2 mm,划痕深度占堡片厚度的比例为29.0%,因此,立刀对刀辊前方未耕土壤的破茬深度最大值为9.4~10.2 mm,约为堡片最大厚度的1/3,即介于29.0%~35.4%之间。考虑到水田土壤的旋耕破坏以流变为主,所以立刀的破茬效应很小,没有有效减轻后续螺旋横刀的入土阻力。

从图4可知,螺旋横刀相位角超过 $90^\circ$ 后,立刀对已耕土壤的划痕深度从6.6 mm继续下降。如果 $H=50$  mm,则立刀出土时对已耕土壤的划痕深度为4.0 mm;如果 $H=100$  mm,则立刀出土时对已耕土壤的划痕深度为3.4 mm。这表明立刀对刀辊后方已耕土壤的碎土作用很小,几乎可忽略不计。

### 2.4 立刀的堡条切断效应分析

1)理论计算。在图3中,曲线②、④、⑤所围成封闭区域的面积,即为堡条横截面面积。曲线②、④、⑤各自对应的函数方程都是已知的,所以利用Matlab软件可以计算出它们围成的封闭区域的面

积,即堡条横截面面积A:

$$H=50 \text{ mm 时}, A_1=1\,913.064 \text{ mm}^2;$$

$$H=100 \text{ mm 时}, A_2=3\,842.889 \text{ mm}^2.$$

方程(3)、(4)、(5)对应函数曲线依次如图3中曲线③、④、⑤所示,这3条函数曲线所围成的封闭区域的面积,即为立刀刃口圆弧BDE上不同点切割堡条后的剩余面积,即未切割面积。经Matlab软件分析表明,未切割面积存在最小值:

$H=50$  mm时,未切割面积在 $\theta=5.313^\circ$ 位置取得最小值, $A_{1\min}=1\,079.992 \text{ mm}^2$ ;

$H=100$  mm时,未切割面积在 $\theta=6.482^\circ$ 位置取得最小值, $A_{2\min}=2\,433.052 \text{ mm}^2$ 。

根据立刀秸秆切碎效应分析的计算结果,可看出立刀刃口圆弧BDE上,未切割面积最小值对应位置点与立刀对未切断秸秆前推距离最大值对应位置点两者并不重合(如 $H=50$  mm时,两点对应位置角依次为 $\theta=5.313^\circ$ 、 $7.395^\circ$ ),后者的轨迹线与地平线交点更靠前。设其轨迹线如图5中曲线⑥所示,图5中编号的曲线与图3中相应编号曲线含义相同。

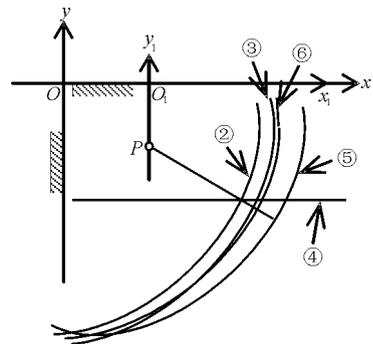


图5 堡条的横截面

Fig. 5 Cross section of furrow slice

在图5中,堡条横截面中未切割面积的真实值边界由立刀刃口圆弧BDE中各点对应轨迹线的包络线构成,所以堡条横断面中未切割面积的真实值应该等于曲线③、④、⑤围成的封闭区面积减去由曲线③、④、⑥围成的封闭区面积。

$H=50$  mm时,依次令 $\theta=5.313^\circ$ 、 $7.395^\circ$ ,利用Matlab软件分别求出方程(3)、(4)的交点坐标,即求出图5中曲线③、⑥各自与水平线④的交点。两交点的x轴坐标值分别为167.189、167.207,则切割堡条时未切断面积占堡条横截面积的比:

$$\gamma > \frac{A_{1\min} - (167.207 - 167.189)H}{A_1} = 56.406\%$$

同理, $H=100$  mm时依次令 $\theta=6.482^\circ$ 、

9.035°, 分别求出方程(3)、(4)的交点坐标, 即求出图 5 中曲线③、⑥各自与水平线(4)的交点, 两交点的  $x$  轴坐标值分别为 196.523、196.546, 则垡条未切断面积占垡条横截面积的比:

$$\gamma > \frac{A_2 \min - (196.546 - 196.523)H}{A_2} = 63.254\%$$

2) 结果分析。根据计算结果可知, 刀辊实际耕深  $H$  为 50~100 mm, 立刀对垡条没有切透, 未切透面积占垡条横截面积的比约为 60%, 即介于 56.4%~63.3% 之间。这表明立刀对垡条虽然有切割作用, 但效果较小, 它只切割了垡条横截面积的 40% 左右。

## 2.5 立刀的排布方式分析

如图 2 所示, 立刀焊接在横刀背部, 每把横刀上焊接 3~4 把立刀, 每组刀辊上有 5 把横刀, 于是立刀在 5 把横刀上呈 4-3-4-3-4 排布方式错开焊接。相邻 2 把横刀上的立刀在机组前进方向上错开焊接, 目的是增加立刀自身的作业机会<sup>[6]</sup>。

对于刀辊前方的未耕土壤及未切秸秆, 立刀的这种排布方式没增加其作业机会。因相邻横刀上的立刀即使不错开焊接, 也不存在重复作业。对于刀辊后方的已耕土壤, 因立刀的碎土效应很小, 所以 4-3-4-3-4 排布方式也没增加立刀对已耕土壤的碎土机会。因此, 立刀排布方式没增加其作业机会。

## 3 田间作业试验

为检验立刀的作业效果, 进行了多次有立刀刀

辊和无立刀刀辊的对比性耕作试验。试验条件设置及作业效果测定方法等参考文献[15-16]。

1) 对比试验 I。2013 年 5 月 21 日, 在华中农业大学现代农业科技试验基地选取 1 块油菜田。该田块因杂草多, 故将油菜和杂草均作为绿肥埋覆还田。田块面积 1 190 m<sup>2</sup> (70 m×17 m), 油菜大部分果荚已经枯黄, 油菜及杂草平均株高为 749.5 mm, 植被还田量每 667 m<sup>2</sup> 为 867 kg; 土壤为轻质壤土, 土壤坚实度 461.4 kPa (100 mm 深处); 耕前泡田 48 h, 田面水深 19 mm, 泥脚深度 180 mm。试验时将田块二等分, 每小块面积为 595 m<sup>2</sup> (70.0 m×8.5 m)。依次用有立刀刀辊和无立刀刀辊的 1GMC-70 型船式旋耕埋草机对 2 小块田进行对比性耕作, 除了刀辊有、无立刀区别以外, 其他条件及作业方式等都相同。测定的作业效果参数平均值见表 2 示。

2) 对比试验 II。2013 年 6 月 2 日在华中农业大学工院校内试验基地选取 1 块闲置田。该田自去年晚稻收割后一直空闲, 田面以稗草为主, 杂草繁茂。田块面积 2 352 m<sup>2</sup> (56 m×42 m), 杂草平均高度 621.2 mm, 植被还田量每 667 m<sup>2</sup> 为 1 401.1 kg; 土壤为黏土, 土壤坚实度 416.2 kPa (100 mm 深处); 耕前泡田 48 h, 田面水深 52 mm, 泥脚深度 270 mm。试验时将田块二等分, 每小块面积为 1 176 m<sup>2</sup> (56 m×21 m)。测定的作业效果参数平均值如表 2 所示。从表 2 可以看出, 立刀存在与否对 1GMC-70 型船式旋耕埋草作业效果没有区别, 这说明立刀没有实现其设计功能。

表 2 田间作业的试验效果

Table 2 Results of field test

试验号 No. test	条件 Conditions	耕深/mm Tillage depth	耕深稳定性/% Stability of tillage depth	植被埋覆率/% Straw burying ratio	碎土率/% Soil crushing ratio
I	有立刀 Have vertical blade	97.4	90.6	93.4	86.7
	无立刀 No vertical blade	100.7	91.5	92.1	85.9
II	有立刀 Have vertical blade	96.5	93.0	94.7	85.1
	无立刀 No vertical blade	93.2	94.0	93.6	86.2

## 4 讨论

立刀可以切断秸秆并辅助螺旋横刀适度切碎、压覆秸秆<sup>[5-9]</sup>, 但本试验结果表明, 立刀对螺旋横刀切土节距的增加量小于螺旋横刀切土节距的 1/3, 为 10.9~12.5 mm, 立刀自身的秸秆切碎效应及其辅助螺旋横刀埋覆、切碎秸秆等效应都很微弱。由此可见, 螺旋横刀承担了绝大部分的秸秆埋覆功能。立刀有破茬效应, 可以有效减轻后续螺旋横刀的切土阻力<sup>[6-9]</sup>, 但本试验结果表明, 立刀对未耕土壤有

破茬效应, 但破茬深度约为垡片最大厚度的 1/3, 为 9.4~10.2 mm, 立刀的破茬效应很小。螺旋横刀压覆秸秆时刀口会被秸秆包裹, 锋利度下降, 切土角变大、隙角变小, 很不利于土壤切削, 所以立刀的破茬功能显得尤为重要。如何提高立刀破茬效应, 以减轻螺旋横刀切土阻力, 尚需作进一步研究与探讨。

另外, 立刀有碎土作用<sup>[6-8]</sup>, 本试验结果表明, 立刀对刀辊后方已耕土壤的划痕深度为 3.4~6.6 mm, 对已耕土壤的碎土效应可以忽略不计; 同时, 立刀也没有切断垡条, 只切割了 40% 左右的垡条横

截面面积。由此可以推断,螺旋横刀承担了绝大部分的碎土功能。立刀的4-3-4-3-4排布方式可以在不增加总体数量的情况下增大立刀作业机会<sup>[6]</sup>,本试验结果表明,立刀的这种排布方式并没有增加自身作业机会。1GMC-70型船式旋耕埋草机一般需要2遍作业才能满足农艺要求<sup>[5-7]</sup>,故其效率偏低。本试验结果表明,该机土壤旋耕与秸秆埋覆等功能都由螺旋横刀实现,功能过于集中,这可能是造成整机效率偏低的主要原因,因此,建议重新设计立刀,让其承担一部分作业功能,以减轻螺旋横刀作业负荷,从而提高整机效率。

### 参 考 文 献

- [1] 王金武,尹大庆,韩永俊,等.水稻秸秆整株还田机的设计与试验[J].农业机械学报,2007,38(10):54-56.
- [2] 陈玉仑.稻麦联合收获开沟埋草多功能一体机设计[J].农业机械学报,2009,40(8):62-66.
- [3] 王志山,夏俊芳,许绮川,等.水田高茬秸秆旋耕埋覆装置功耗测试方法[J].农业工程学报,2011,27(2):119-123.
- [4] 周勇,许绮川,夏俊芳,等.船式旋耕埋草机技术的示范推广及前景预测[J].湖北农业科学,2011(14):2966-2969.
- [5] 熊元芳.水田埋草旋耕机的试验研究[J].农业机械学报,2003,34(5):177-178.
- [6] 张在平.旋耕埋草技术研究与试验[D].武汉:华中农业大学图书馆,2005.
- [7] 许绮川,夏俊芳,张国忠,等.船式旋耕埋草机:中国,CN2896816[P].2007-05-09.
- [8] 张国忠,许绮川,夏俊芳,等.GMC-70型船式旋耕埋草机的设计[J].农业机械学报,2008,39(10):214-217.
- [9] 夏俊芳,张国忠,许绮川,等.多熟制稻作区水田旋耕埋草机的结构与性能[J].华中农业大学学报,2008,27(2):331-334.
- [10] 周明.基于有限元的螺旋型旋耕刀辊横刀工作机理研究[D].武汉:华中农业大学图书馆,2009.
- [11] 余水生.水田高茬秸秆还田耕整机的研制[D].武汉:华中农业大学图书馆,2012.
- [12] 周勇,余水生,夏俊芳.水田高茬秸秆还田耕整机设计与试验[J].农业机械学报,2012,43(8):46-49.
- [13] 张居敏,周勇,夏俊芳,等.旋耕埋草机螺旋横刀的数学建模与参数分析[J].农业工程学报,2013,29(1):18-25.
- [14] 夏俊芳,贺小伟,余水生,等.基于ANSYS/LS-DYNA的螺旋刀辊土壤切削有限元模拟[J].农业工程学报,2013,29(10):34-41.
- [15] 农业部南京农业机械化研究所,西安市旋播机厂,南昌旋耕机厂有限责任公司,等.GB/T5668-2008旋耕机[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [16] 农业部农业机械化技术开发推广总站,农业部南京农业机械化研究所,南昌旋耕机厂,等.NY/T499-2002旋耕机作业质量[S].北京:中国标准出版社,2002.

## Analysis on design functions realization degree of vertical blade for stubble burying rotary tiller

ZHANG Ju-min XIA Jun-fang HE Xiao-wei ZHANG Tian ZHANG Xiu-mei  
College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

**Abstract** In this paper, the relationship between design purposes, functions and structure parameters for vertical blade of boat tractor 1GMC-70 was analyzed. Mathematic equation of leading edge for the vertical blade was built. Vertical blade kinematics was analyzed by using software Matlab. The results show that the structure parameters of the vertical blade do not match well with its design intents. The effective cutting length of the vertical blade is less than one-third bite length of the helical blade, so its own cutting straw capability and the capability of helping helical blade to process straw are all weak. The vertical blade can break untilled soil in advance, but the cutting depth is only about one-third thickness of the helical blade's furrow slice. Therefore, the effect of the vertical blade to break the untilled soil is small. The vertical blade can pulverize tilled soil clod behind rotor, but the effect is negligible. The vertical blade cuts only about 40% of the furrow slice's cross sectional area, so its furrow slice breaking effect is small. The arrangement of vertical blades, which is 4-3-4-3-4, does not increase their own tillage opportunities. Field tests show that the existence of vertical blade has no impact on paddy field tillage quality. As a result, the vertical blade with current structure parameters does not achieve its design intents. It should be redesigned.

**Key words** paddy field tillage; stubble burying rotary tiller; vertical blade; design

(责任编辑:陈红叶)