

机械式拖拉机导向探测装置*

何卿 高焕文 李洪文 王晓燕

(中国农业大学工学院 北京 100083)

摘要: 拖拉机自动导向能提高行驶轨迹的精度, 提高行间作业质量, 减轻驾驶员劳动强度。机械式拖拉机自动导向利用田间的作物、秸秆或垄沟等进行接触探测, 机构简单、成本低、易维护。设计针对玉米秸秆行间作业的低成本机械式导向探测装置。通过对导向探测器具有的特点进行分析, 确定触杆的对称结构和偏心半椭圆形状特征, 在对触杆进行受力分析的基础上确定触杆形状的关键参数即偏心矩。经过试验表明这种形式的导向探测装置及角位移传感器能实现拖拉机在秸秆行间的导向探测, 并对秸秆无破坏。

关键词: 导向 探测 秸秆 椭圆

中图分类号: S24

0 前言

在一年两熟地区玉米秸秆地免耕播种小麦经常发生开沟器堵塞的现象, 降低了播种质量^[1], 同时也影响除草、喷药等后续行间作业的施行。拖拉机自动导向能提高行驶轨迹的精度, 提高作业质量, 减轻驾驶员劳动强度, 已引起众多学者的研究兴趣。农业车辆导向的传感器有全球定位系统(GPS)、机器视觉、惯性、地磁、激光和超声等^[2-3]。这些传感器往往精度高但价格昂贵, 或使用过程中调试复杂, 在我国农业中应用受到限制。机械式导向利用田间的作物、秸秆或垄沟等进行接触探测, 机构简单、成本低、易维护, 国外应用十分广泛。而在我国应用和推广则需要系统具有更低的成本并且容易操作。

本研究针对田间玉米秸秆行间作业, 设计了一种低成本机械式拖拉机自动导向装置, 使之适应田间秸秆刚性差, 排列不整齐的状况, 为导向控制提供可靠的探测信号。

1 导向探测器机构特点

机械式导向是靠导向器的触杆与导向物接触产生转动或移动, 并使导向器的传感器产生信号检测农业车辆偏离期望路径的相对位置。

1.1 对称结构

机械式导向探测器的结构形式根据作业环境中的导向物特性如刚性、排列等可以有不同的结构形式。果园导向器可采用单长杆形式的触杆安装在拖

拉机的单边外侧进行探测^[4]。果树与导向触杆的接触部位是坚硬的树干。树干排列整齐, 行距较大, 长杆状触杆与树干接触而绕轴转动, 触动限位开关提供偏离信息。秸秆导向探测器要固定在拖拉机前方采用对称结构, 工作时放置在两行秸秆中间, 触杆接触秸秆时绕轴转动, 触发微动开关产生开关量信号^[5]。直立秸秆的形状与树干有很大区别, 行距小于拖拉机宽度, 刚性小, 受力后易弯曲, 秸秆形成的导向线也不是理想直线。这种装置能通过不断碰撞左右两侧的秸秆, 提供拖拉机处于左侧偏离或右侧偏离的方向信号。

本研究采用后一种对称结构设计导向探测触杆。这种结构能适用于窄行距(小于拖拉机最大宽度)的玉米秸秆行, 也可作为蔬菜行导向提供借鉴。

1.2 机电结合检测

将机械式导向器与传感器相结合的机电检测, 能为导向控制提供充足的信息。微动开关只能产生偏转方向信号, 无法判断偏离距离变化。因而控制器无法得到导向过程的不同状态探测信号进行输出控制, 影响了控制效果。

采用角位移传感器能实时采集拖拉机偏离状态下触杆转动角度的模拟电压值, 能反映拖拉机偏移距离变化以及偏转方向, 使导向控制器能获得充分可靠的探测信息, 为下层的自动转向控制提供基础数据。

1.3 触杆与秸秆为点接触形式

触杆与秸秆的接触形式分为线接触和点接触两种形式。线接触形式的触杆长度大于二个株距, 能同时接触三根秸秆如图 1a 所示的矩形触杆。但矩形触杆的应用范围很受限制, 与拖拉机偏离程度和秸秆行非直线程度有关。若忽略秸秆行非直线因素将两行秸秆的中心线作为导向基准, 拖拉机偏离导向基准的距离为 e , 考虑秸秆行实际情况, 秸秆行距

* 农业部 948 引进国际先进农业科学技术资助项目(2004-Q1)。20061205 收到初稿, 20070522 收到修改稿

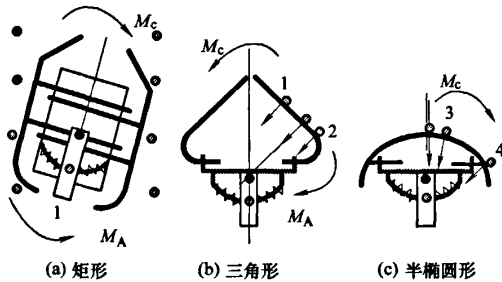


图1 触杆结构形式

与理想行距之差为 Δe 。试验表明矩形触杆在拖拉机偏移距离 $e < 20 \text{ mm}$ ，秸秆偏移距离 $\Delta e < 20 \text{ mm}$ 时，能产生不超过 5° 的转角，可以实现导向探测。

但拖拉机很难保持这种理想的直线行驶状态，田间秸秆的实际排列也不整齐。由于拖拉机与土壤的作用力不断变化，前轮会产生较大偏转，使得对称的触杆不能贴在两行秸秆上滑动，而是发生超过 5° 的转动。当触杆支架的旋转角度很大时，由于触杆的长度超过两行秸秆的行距，两侧触杆同时受到两侧秸秆的压力作用，使触杆卡在秸秆之间无法转动，不能实现导向信号的探测。

点接触形式的触杆长度缩短小于行距，只有一个秸秆与触杆进行点接触。这种触杆支架在受力转动过程中不会与其他秸秆发生干涉。

1.4 触杆与秸秆的临界接触点在前端

根据点接触原则设计了三棱形和半椭圆形进行导向对比。

临界接触点是指触杆上当秸秆压力方向指向转轴的位置点。以右侧秸秆接触触杆为例，见图1b，说明触杆形状与临界接触点的关系。

三角形触杆的临界接触点在触杆中部。当实际接触点比临界接触点向前，如图1b中的位置1，则压力的力矩为逆时针方向；反之比临界接触点向后，如图1b中的位置2，则力矩为顺时针方向。拖拉机导向时秸秆与触杆的初始接触位置与拖拉机的偏移距离和偏移方向有关，但不能保证总在临界接触点的后部。在试验中发现不同位置的接触点使得导向控制很难分析控制，无法实现导向。因而要使临界接触点位于触杆前端，才能使受力方向保持一致，故设计半椭圆形触杆。秸秆接触点无论在触杆的前部，如图1c中的位置3还是后部位置4，都能产生一致的力矩。

2 导向探测器的构成和工作过程

导向探测器包括触杆支架和角位移传感器。见图2。支架的前部是偏心半椭圆形触杆，通过连板与垂直转轴的下端相连。垂直转轴的顶端连接角位

移传感器的转轴，而传感器的凸缘则固定在横梁前部，使拖拉机、横梁和传感器外壳成为刚性连接。当触杆受力转动时，与之连接的连板、垂直转轴和角位移传感器转轴一起转动，将触杆转动的角度信号转化成传感器的电信号，从而获得拖拉机偏离状态时触杆接触秸秆的导向探测信号。

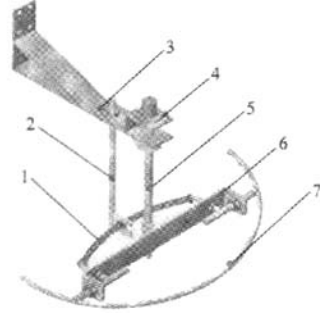


图2 探测器外形图

1. 对中弹簧 2. 对中杆 3. 横梁 4. 传感器
5. 转轴 6. 连板 7. 触杆

触杆脱离秸秆时要求触杆必须回转至拖拉机对称中心轴的对中位置，以便随拖拉机行驶触杆支架接触下一秸秆时，能与秸秆碰撞受力产生又一次转动。为此设计了对中杆固定在横梁上，两个对称弹簧压在对中杆两侧使触杆在受秸秆压力为零时，在弹簧拉力作用下旋转返回对中位置，为下一次探测拖拉机偏离时的触杆转角做准备。

3 触杆导向的动力学分析

机械式导向是拖拉机在偏离行驶过程中触杆支架接触秸秆受力产生转角探测信号，作用在支架转轴上的力有秸秆压力，两个对中弹簧的拉力和压力，这些力的合力矩使触杆支架绕转轴转动一定的角度。以拖拉机发生右侧偏移，触杆接触右侧行秸秆发生顺时针转动为例，对触杆受力和转动过程进行分析。

(1) 在触杆接触受力的初始状态，秸秆与触杆的接触点为位置1，如图3a所示。忽略摩擦力，此时探测支架转轴受到的力矩为

$$M = Fs - (F_1 r_1 + F_2 r_2) = M_1 - M_2 = I_1 \dot{\alpha} \quad (1)$$

式中 F —— 秸秆在触杆上作用的压力

F_1 —— 左侧弹簧产生的拉力

F_2 —— 右侧弹簧的压力

s, r_1, r_2 —— 三个力的力臂

M_1 —— 秸秆产生的力矩

M_2 —— 弹簧产生的反向力矩

I_1 ——触杆支架的转动惯量
 α ——触杆转角

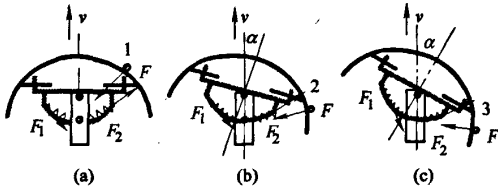


图3 探测过程中的触杆受力情况

将秸秆视为半刚性体，受力超过屈服极限时发生弹性变形，此力是能拉动秸秆的最小力 F_0 ，受力超过弹性极限时秸秆产生塑性变形而断裂，此力是拉动秸秆的最大力 F_1 。因此秸秆受力或施加给触杆的反作用力 F 应在 F_0 和 F_1 的范围内，即 $F_0 \leq F \leq F_1$ ，即 $F_0 \leq F \leq F_1$ 。在此范围中秸秆受力变形可看作刚体弹性变形，根据梁的挠曲线方程^[6]得出

$$v = -\frac{Fh^2}{6EI_2}(3H-h) \quad (2)$$

当 $h=H$ 时

$$F = \frac{3EI_2v}{H^3}$$

式中 E ——秸秆的弹性模量

I_2 ——惯性距

H ——触杆与秸秆接触点的垂直高度(触杆平面的高度)

两个对中弹簧的规格相同对称受力，其作用力 $F_1 = F_2 = kd$ 。其中 k 为弹簧的刚度，根据所查的单圈弹簧刚度 k' 和有效圈数 n 可计算出弹簧刚度 $k = k'/n = 0.66 \text{ N/mm}$ 。 d 为触杆转动 α 角度时弹簧的弹性变化量，根据导向探测器的弹簧撑杆和转轴的几何尺寸得

$$d = 78.9\alpha(2\pi/360)$$

$$F_1 = F_2 = kd = 0.66 \times 78.9\alpha(2\pi/360) \quad (3)$$

r_1, r_2 分别为两个弹簧的拉压力的力臂。因为弹簧拉压力作用点在撑杆上的位置固定，而弹簧力总是沿撑杆的切线方向，所以力臂 r_1, r_2 在触杆转动中保持不变。根据弹簧撑杆的半椭圆几何关系可以得出

$$r_1 = r_2 = 113.5 \text{ mm} \quad (4)$$

由式(2)~(4)得

$$Fs = I_1\ddot{\alpha} + K_1\alpha \quad (5)$$

式中

$$K_1 = 0.1135 \times 0.66 \times 78.9 \times (2\pi/360) = 0.103 \text{ N} \cdot \text{m}$$

根据触杆支架的结构可以计算出其转动惯量 I_1 为 $0.0757 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 。一般触杆转角 α 的变化范围是 $0^\circ \sim 25^\circ$ ，而触杆转角的角加速度的变化范围是

$0.2 \sim 24.2 \text{ rad/s}^2$ 。试验测出拉动秸秆的最小力 $F_0 = 6.86 \sim 33.32 \text{ N}$ ，拉动秸秆的最大力 $F_1 = 17.64 \sim 105.84 \text{ N}$ ，两种力对不同秸秆都呈正态分布，取拉动秸秆力的平均值 $\bar{F} = 36.1 \text{ N}$ 。为此可以根据式(5)求出力臂 $s = 0 \sim 154.8 \text{ mm}$ ，根据其分布情况取平均值 $s = 85.3 \text{ mm}$ 。该力臂值是确定触杆形状特性的关键参数。

(2) 随着拖拉机和导向支架向前移动，秸秆沿触杆边缘向后端移动，从点1滑动到点2(图2b)。秸秆也受力发生弹性弯曲，挠度 v 逐渐增大，由式(2)秸秆压力 F 也逐渐增大。若力臂的大小在所计算的力臂内，则 $F \leq F_1$ 不会损坏秸秆。但秸秆的压力力矩 $M_1 > M_2$ ，触杆会继续转动使秸秆从位置2向后滑动直到 $M_1 = M_2$ 见图3c中位置3。

(3) 触杆在位置3时力矩平衡，此时触杆不再转动而与秸秆脱离。位置3一般应在触杆后段宽度较大的位置。随后触杆在弹簧力矩作用下开始向反方向回转到对中位置。

4 导向探测器机构参数

导向探测器机构的主要参数为触杆的形状参数，撑杆形状参数等。机构参数的设计必须适应田间秸秆行情况。以典型的秸秆行距 $60 \sim 65 \text{ cm}$ ，株距 $25 \sim 30 \text{ cm}$ ，秸秆的地面高度 $30 \sim 40 \text{ cm}$ 为例对机构的主要参数进行分析。

4.1 触杆尺寸

触杆的宽度和偏心距等参数的尺寸必须根据秸秆实际行距和椭圆的几何性质来确定，才能保证触杆的探测信号灵敏度和可靠性。

触杆的宽度根据秸秆的实际行距变化调整为 63 cm ，所以触杆椭圆的长轴确定为 630 mm ，短轴预定为 245 mm ，转轴位于短轴上部与圆心 O 的距离设为 e ，根据椭圆性质分析 e 与受力之间的关系，确定 e 与短轴的关系。如图4所示，设椭圆的长轴为 a ，椭圆的短轴为 b ，则椭圆上一点 $A(x, y)$ 和椭

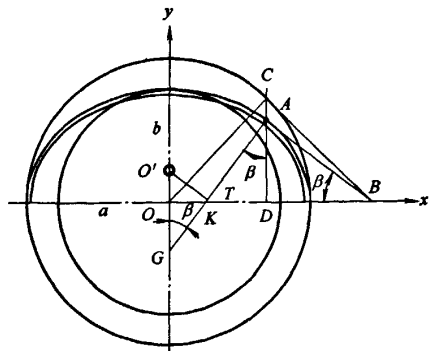


图4 触杆椭圆的几何关系

圆切线上一点 $B(X, Y)$ 的切线方程为

$$\frac{xX}{a^2} + \frac{yY}{b^2} = 1 \quad (6)$$

令 $Y=0$, 得切线与 x 轴的交点 B , 该点与 y 无关, 即与任何椭圆的短轴 b 无关。为此可通过以 a 为半径的圆画出椭圆上一点的切线和法线^[6], 得到秸秆在触杆上作用点 A 的力臂 s 。

过 A 点做垂线交以 a 为半径的圆于 C 点, 做 OC 的切线交圆 O 于 B 点。连线 AB 就是椭圆上 A 点的切线, 过 A 点做法线 AG 交 y 轴于 G 点, 交 x 轴于 K 点。与 AG 垂直的 $O'T$ 就是 A 点作用力的力臂。

设 A 横坐标为 x , 则 C 点的坐标为 $(x, \sqrt{a^2 - x^2})$ 。由几何关系

$$\frac{AD}{b} = \frac{\sqrt{a^2 - x^2}}{a}$$

得 A 点的纵坐标为

$$AD = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2} \quad (7)$$

$$AC = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \sqrt{a^2 - x^2} \quad (8)$$

在 $\triangle OCB$ 和 $\triangle OCD$ 中由三角形相似定理得

$$\frac{CD}{CB} = \frac{OD}{OC}$$

$$CB = \frac{a\sqrt{a^2 - x^2}}{x} \quad (9)$$

在 $\triangle CBA$ 中

$$\cos(\angle ACB) = \cos(\angle COD) = \frac{x}{a} \quad (10)$$

由余弦定理

$$AB^2 = CB^2 + AC^2 - 2 \times CB \times AC \cos(\angle ACB) \quad (11)$$

将式(8)~(10)代入式(11)中可得

$$AB = \sqrt{a^2 - x^2} \times \sqrt{\frac{a^2}{x^2} + \left(1 - \frac{b}{a}\right)^2 - 2\left(1 - \frac{b}{a}\right)} \quad (12)$$

在 $\triangle ADB$ 中可得

$$\sin \beta = \frac{AD}{AB} = \frac{b}{a \sqrt{\frac{a^2}{x^2} + \left(1 - \frac{b}{a}\right)^2 - 2\left(1 - \frac{b}{a}\right)}} \quad (13)$$

在 $\triangle ADK$ 中可得

$$KD = AD \times \tan \beta \quad (14)$$

$$OK = OD - KD = x - AD \times \tan \beta \quad (15)$$

根据 $\frac{OG}{OK} = \frac{AD}{KD}$, 由式(7)、(14)、(15)得出

$$OG = \frac{AD \times OK}{KD} = xc \tan \beta - \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2} \quad (16)$$

$O'O$ 为转轴的偏心距 e , 则

$$s = O'G \times \sin \beta = (OG + e) \sin \beta = OG \times \sin \beta + e \sin \beta$$

$$s = x \sqrt{1 - \sin^2 \beta} + \left(e - \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2} \right) \sin \beta \quad (17)$$

由式(13)、(17)可知, 秸秆作用力的力臂 s 与 x 和 e 有关。其中 s 与 e 是正比的关系。当偏心距加大时力臂增大, 同样的秸秆作用力产生的力矩增大, 使触杆更容易发生转动, 能提高导向探测的灵敏度。但力臂 s 因拉动秸秆力 F 存在的取值范围而不能无限增大, 因此 e 的取值也存在一定范围, 若 e 值和力臂 s 过大会造成 F 值有时会很小, 事实上若拖拉机和触杆施加给秸秆的力小于拉动秸秆的力, 则秸秆不能产生反作用力使触杆转动。因此 e 的取值要考虑力臂 $s=85.3$ mm。而秸秆与触杆接触的最佳位置在 $x = \frac{1}{3}a \sim a$, 取 $x=103 \sim 310$ mm, 则可求出当

短轴 $b=245$ mm 时, $e=(0.12 \sim 0.70)b$ 。 e 呈抛物线分布, 取平均值 $e=0.25b=79$ mm。在该位置导向探测器的灵敏度和实用性是最佳的。

4.2 其他参数

对中弹簧的撑杆必须能保证弹簧有一定的变形的量, 且在绕转轴转动过程中与弹簧无摩擦, 为此设计为半椭圆形状, 椭圆顶点距转轴的距离为 78.9 mm。弹簧选为压簧, 根据秸秆作用力的大小和撑杆尺寸, 选定直径 1.4 mm, 中径 12 mm, 有效圈数 33。

田间秸秆的高度一般为 30~50 cm, 保证接触到秸秆, 触杆平面离地高度取 20 cm。

5 试验及结果分析

为检验机械式导向探测器的探测性能, 在铁牛 654L 拖拉机上安装导向探测器进行探测性能试验。拖拉机经过电液转向设计已具有自动转向功能。导向探测传感器采用无触点角位移传感器量程为 90°。控制算法采用反向回传的模糊控制方法, 选用 TMS320F2812DSP 为控制板进行控制算法的分析和处理。

5.1 试验设计

试验在硬土地上进行, 采用竹竿模拟田间玉米秸秆。采用数据采集卡记录触杆支架上角位移传感器的信号, 并与拖拉机的前轮转向信号进行比较, 同时记录拖拉机偏离距离, 分析利用该机械式导向探测装置进行秸秆行间自动导向的效果。

图 5 为试验情况, 导向探测器通过刚性梁固定在拖拉机前部。触杆插在两行模拟秸秆之间, 在拖拉机导向行驶过程中获得检测信号。

拖拉机自动导向行驶是通过调节前轮的转向角度来实现的, 因此将测得的触杆转角数据和拖拉机

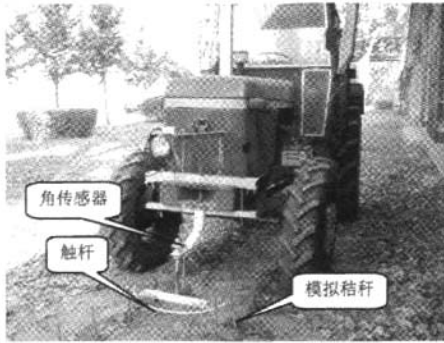


图5 导向探测试验场景

前轮转角数据进行对比分析,如图6所示,以检验该机械式导向探测装置用于自动导向的可行性。拖拉机偏离距离是指拖拉机行驶时与导向基准的横向偏差,将触杆转角同拖拉机偏离距离进行对比,如图7所示,以检验该探测装置是否能产生反映拖拉机偏离情况的探测信号。

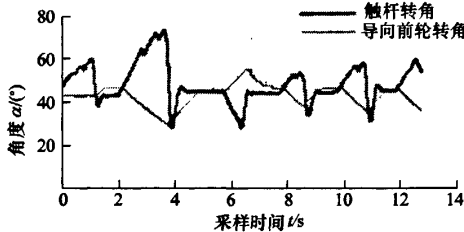


图6 前轮转角对触杆转角的响应

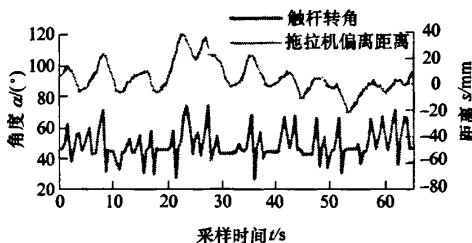


图7 触杆转角与拖拉机偏离距离的对比

5.2 结果分析

从图6的试验结果可以看出触杆在每次接触秸秆后都会产生转动信号,说明这种导向探测器能够在拖拉机行驶过程中进行自动探测。角传感器安装的初始对中信号为 45° ,触杆有时接触左侧秸秆信号如图6中 $\alpha > 45^\circ$,有时接触右侧秸秆 $\alpha < 45^\circ$ 。说明触杆的对称结构能利用两行秸秆进行探测。图中触杆角度有回中的现象,对中位置 $\alpha = 45^\circ$,说明对中弹簧能使触杆在脱离秸秆后回到对中位置为下一次探测做准备。

图7中的数据表明当触杆转角产生较大的波峰时拖拉机偏离距离也增大;且当触杆转角出现连续

较大的波峰时,拖拉机偏离距离将持续增加并出现峰值。这说明机械式导向探测装置产生的探测信号增加时,拖拉机偏离程度也增加,该信号能反映拖拉机的偏离程度。

6 结论

(1) 导向探测器触杆等部件的结构特性能在与秸秆接触转动时产生角度信号,与秸秆脱离时回到对中位置,能为导向控制提供充足而可靠的探测信号。

(2) 机械式导向探测装置能够实现直立秸秆地的自动导向探测,并且对秸秆排列的直线度差,秸秆易弯曲等环境特性均能适应,同时对秸秆无破坏。

(3) 导向系统主要采用机械结构和低成本传感器,系统成本低将有利于行间作业自动化技术的推广。

参 考 文 献

- [1] 姚宗路, 王晓燕, 李洪文, 等. 2BMD-12型小麦对行免耕施肥播种机改进与试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 46-51.
- [2] STOMBAUGH T S, BENSON E R, HUMMEL J W. Automatic guidance of agricultural vehicles at high field speed[R]. ASAE Meeting Presentation, Paper No. 983110.
- [3] HAGUE T, MARCHAN J A, TILLET N D. Groud based sensing system for autonomous agricultural vehicles[J]. Computes and Electronics in Agriculture, 2000 (25): 11-28.
- [4] YRKUTIE O, GARBATI PEGNA F. Automatic guidance of a tractor in a vineyard[C]// Proceedings of ASAE in Automation Technology for Off-Road Equipment, July 26-27, 2002, Chicago, Illinois, USA ASAE 701P0502: 252-260.
- [5] 魏延富. 机电伺服触觉式秸秆导向系统试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [6] 尉贞肆. 关于椭圆及其切线的画法[J]. 陕西教育学院学报, 1999(2): 76-77.
- [7] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.

MECHANICAL DETECTOR FOR TRACTORS AUTOMATIC GUIDANCE

HE Qing GAO Huanwen
LI Hongwen WANG Xiaoyan
(College of Engineering, China Agricultural
University, Beijing 100083)

Abstract: Automatic guidance systems for tractors improved

track accuracy and inter-row operating performance, reduced the intension of driver. The mechanical guidance for tractors detected path by contact crops, stubbles or furrows in the field with simple structure that easy to maintain and lower cost. A low cost equipment of mechanical detector for tractors to automatically guide in standing maize stubbles field is presented. The symmetrical frame of the detector and half ellipse shape of the feeler are designed by analyzing characters of detector sensing in stubbles rows. The main parameter such as space between center of ellipse and that of rotation axle is provided on the base of analyzing feeler forces and rotation movement in dynamics. The result of test showed that the automatic guidance equipment with half ellipse shape of the feeler and angle sensor

is capable of detecting the guidance rows of standing maize stubbles.

Key words: Automatic guidance Detect

Stubble Ellipse shape

作者简介: 何卿, 女, 1975 年出生, 博士研究生。主要从事机械制造及计算机测控方面的研究。

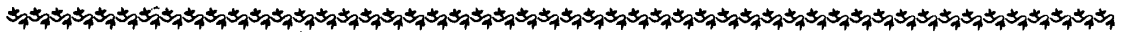
E-mail: linxingren@163.com

高焕文, 男, 1939 年出生, 博士研究生导师, 教授。主要从事机械装备与计算机测控方面的研究。

E-mail: ghwbgs@cau.edu.cn

李洪文, 男, 1968 年出生, 博士研究生导师, 教授。主要从事农业机械方面的研究。

E-mail: lhwen@cau.edu.cn



(上接第 158 页)

Abstract: Transmission errors and contact pattern have determinative effects on the gearing performances of a gear drive, so a new approach for design of spiral bevel gears is proposed, based on a predesigned parabolic function of transmission errors with limited magnitude of maximal transmission errors and a predesigned linear function of contact path. This approach is based on three meshing points. By controlling their magnitudes of transmission errors and the positions on the tooth surface, the allover control of engagement quality is realized. The advantages of the function-oriented active tooth surface design are the reduction of level of noise and the obtaining of favorable shape and dimensions of contact pattern, and moreover, the gearing performance in whole tooth contact could be controlled directly in design. The goals are achieved by application of local syn-

thesis algorithm, local conjugate theory and machining principle of spiral bevel gears. Function-oriented active tooth surface design provides an innovative designing approach for the spiral bevel gears and is quite important for the gears in high speed, heavy duty or with special requirements.

Key words: Spiral bevel gears Transmission errors

Contact pattern Function-oriented design

作者简介: 曹雪梅, 女, 1970 年出生, 博士研究生。主要研究方向为现代机械设计理论与方法, 现从事曲齿锥齿轮先进设计与检测技术。

E-mail: 2004xuemeicao@mail.nwpu.edu.cn

方宗德, 男, 1948 年出生, 教授, 博士研究生导师。发表论文 80 余篇, 获国家和省部级奖励 8 项。

E-mail: fauto@nwpu.edu.cn

机械式拖拉机导向探测装置

作者: [何卿](#), [高焕文](#), [李洪文](#), [王晓燕](#), [HE Qing](#), [GAO Huanwen](#), [LI Hongwen](#), [WANG Xiaoyan](#)
作者单位: [中国农业大学工学院, 北京, 100083](#)
刊名: [机械工程学报](#) [ISTIC](#) [EI](#) [PKU](#)
英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING](#)
年, 卷(期): 2007, 43 (8)
被引用次数: 2次

参考文献(7条)

1. [姚宗路](#); [王晓燕](#); [李洪文](#) [2BMD-12型小麦对行免耕施肥播种机改进与试验研究](#)[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#) 2005 (05)
2. [STOMBAUGH T S](#); [BENSON E R](#); [HUMMEL J W](#) [Automatic guidance of agricultural vehicles at high field speed](#)[Paper No. 983110]
3. [HAGUE T](#); [MARCHAN JA](#); [TILLET N D](#) [Groud based sensing system for autonomous agricultural vehicles](#) 2000 (25)
4. [YRKUTIE O](#); [GARBATI PEGNA F](#) [Automatic gidance of a tactor in a vneyard](#)
5. [魏延富](#) [机电伺服触觉式秸秆导向系统试验研究](#)[学位论文] 2005
6. [尉贞肆](#) [关于椭圆及其切线的画法](#) 1999 (02)
7. [刘鸿文](#) [材料力学](#) 1991

引证文献(2条)

1. [王晓燕](#); [陈媛](#); [陈兵旗](#); [李洪文](#); [孙浩](#) [免耕覆盖地秸秆行茬导航路径的图像检测](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2009 (6)
2. [朱磊磊](#); [陈军](#); [白晓鸽](#); [杨娜](#); [苏清华](#) [基于曲柄滑块机构原理导航的农业机器人设计](#)[期刊论文]-[农业机械学报](#) 2009 (z1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jxgxcb200708028.aspx