

基于传感技术的水田旋耕机平地系统的设计与试验

万 松 陈子林 展鹏程 劳山峰 鲁梦琴 夏俊芳 张居敏

华中农业大学工学院, 武汉 430070

摘要 针对现有水田旋耕机在耕作时机器的倾斜和振动会导致耕整后的地表平整精度低、可控性差等问题, 基于倾角传感控制技术设计一套与水田旋耕机相匹配的平地系统, 通过液压控制和控制器控制相结合的方式实现平地系统的水平调节功能。田间试验结果表明: 基于倾角传感技术, 具有自动调节水平功能的水田旋耕机平地系统耕整平地性能稳定可靠。耕整后的平整度为 2.20 cm, 高差分布为 81.82%, 相比水田旋耕机, 平整度改善 34.3%, 高差分布提高 19.4%, 且能满足水稻种植的农艺要求。

关键词 水田旋耕机械; 倾角传感器; 液压控制; 控制器; 水平调节

中图分类号 S 222.51 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)04-0129-07

在水稻的机械化生产中, 耕整平地是一个重要环节^[1]。耕整平地质量的好坏直接影响到水稻播种的效果、灌溉用水量以及水稻生产的其他后续环节的作业^[2-6]。目前, 国内的平地机械有传统平地和激光平地 2 种。传统的平地机具采用仿形平地原理, 平整精度主要靠平地工作人员目测确定, 难以达到农艺要求^[7-9]。李明金^[10]设计的水田打浆平地机采用上、下刮板组合成平地托板形式, 能有效提高水田的平地作业。余水生^[11]设计的水田高茬秸秆还田耕整机的平地装置采用弹簧支撑杆连接平地板, 通过弹簧压力的作用完成平地作业, 提高了秸秆还田后的田间平整度。陈鑫^[12]研究的与 11.0 kW 拖拉机配套的小型水田耕耙平地机, 利用耕耙原理设计的组合式平地机具, 能有效完成小田块平地作业。这些传统平地机具, 在耕作时无法根据田间复杂的地形状况, 对机具进行实时调整, 平整精度有限。激光平地技术是利用激光设备构建的一套精确的调平系统, 在国外已经得到了广泛应用^[13]。我国也研制出了不少激光平地设备, 主要有 1PJ 型、1PJY 型、JPG 型、PAC3 型等几种型号。胡炼等^[14]设计了三点悬挂式 1PJ-4.0 型水田激光平地机, 对水田激光平地机的高程运动和水平运动性能进行了测试研究, 通过调节平地铲对偏差信号的响应速度, 能显著

改善田面平整精度。苏焱等^[15]设计的 JGP-2500 型激光平地机, 采用液控伺服阀接收偏差电信号, 提高液压系统对平地铲控制的稳定性, 试验表明能有效提高田面平整精度。严乙桢等^[16]设计的基于 36.8 kW 轮式拖拉机的水田激光平地机, 实现了水田激光平地机与大马力拖拉机的配套使用, 通过液压系统与高程调节控制系统对平地铲的状态进行控制调节, 试验结果能达到水田平整要求。韩豹^[17]设计的 1PJY-3.0 型综合激光平地机可用于水田平整, 采用圆盘耙组与平地铲相结合的方式, 在激光调节系统的控制下完成平地作业, 试验表明平地精度能达到农艺要求, 且灌溉节水 30%~45%。这些激光平地机以激光确定的基准平面对平地装置进行实时调节, 耕整平地性能稳定, 平地精度高^[18-21]。以上研究表明, 传统平地机械和激光平地机械都能提高田地耕整后的平整精度, 传统平地机械造价便宜, 生产方便, 但平整精度有限; 而激光平整精度虽然高, 但是激光平地机械配套设备多且造价昂贵, 不宜推广使用。在传统旋耕机上采用传感技术的平地系统的应用鲜有报道。

本试验以 1GMD-200 型水田旋耕机为母机, 设计一种基于 ADXL345 倾角传感技术控制、调节的平地系统, 该平地系统可实现机电液一体化控制, 并

收稿日期: 2015-11-21

基金项目: 公益行业(农业)科研专项(201503136); 水稻机械精准种植模式与关键技术集成示范(201203059); 公益行业(农业)科研专项(201003007)

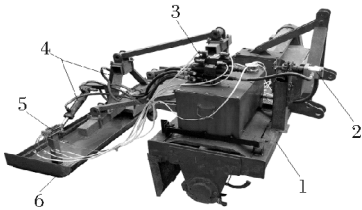
万 松, 硕士研究生, 研究方向: 现代农业装备设计与试验。E-mail: 353978399@qq.com

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

开展田间试验,为提高水田耕整作业的效率、改善耕整后的田面平整精度以及降低平地机具的生产成本提供参考。

1 总体结构和工作过程

水田旋耕机平地系统主要由旋耕机、平地装置、液压系统、控制器控制系统等组成(图 1)。平地装置通过平行四连杆机构与水田旋耕机相连,其轴测图见图 2。其中,平地板在 2 个液压缸的驱动下,分别能绕着 x 轴、 y 轴旋转。在控制器控制系统和液压系统的联合控制下,减小平地板的倾斜程度,实现平地装置在水平面内的水平调节。



1.旋耕机 Rotary cultivator; 2.液压泵 Hydraulic pump; 3.电磁阀 Solenoid valve; 4.液压缸 Hydraulic cylinder; 5.控制板 Control panel; 6.平地板 Leveller plate.

图 1 水田旋耕机平地系统实物

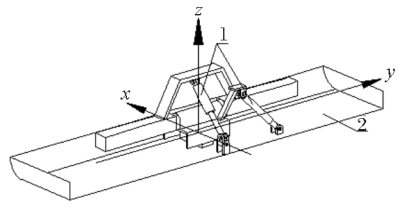
Fig.1 Field rotary cultivator leveling system

该平地系统由拖拉机动力输出轴通过万向联轴器将动力传送至旋耕机。在田间作业时,由于田间硬底层不平、机械振动过大等因素,使得平地板相对于水平面发生倾斜。平地板的倾斜状态由控制系统中的倾角传感器采集,并以数字信号的形式传输给控制器,由控制器对数字信号运算处理后,将输出的电信号传递给液压系统中的电磁阀,通过电磁阀的启闭来调节与平地板相连的液压缸,使得平地板在液压缸控制下,实现在水平面内的调节,从而保证机具在田间作业时,平地板始终保持在水位位置,整个平地过程实现了机电液一体化控制。水田旋耕机平地系统与东方红 854 型拖拉机配套,其主要技术参数如下:配套的动力为 58.8 kW,作业幅宽为 2.0 m,作业时机具前进速度为 0.7~0.9 m/s,作业效率为 0.50~0.65 hm²/h。

2 液压控制系统

2.1 液压系统设计和工作过程

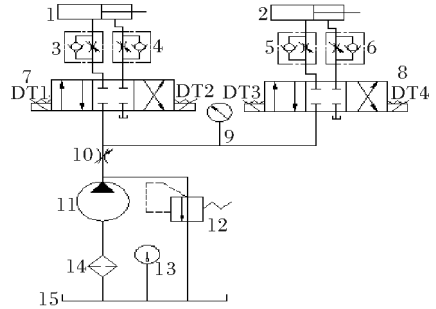
该液压控制系统主要由液压缸、单向节流阀、三位四通电磁换向阀、液压泵、溢流阀、滤油器、油箱等组成。液压系统油路图如图 3 所示,其中齿轮泵的



1.液压缸 Hydraulic cylinder; 2.平地板 Leveller plate.

图 2 平地装置轴测图

Fig.2 Structure sketch of flattening device



1、2.液压缸 Hydraulic cylinder; 3、4、5、6.单向节流阀 One-way valve; 7、8.电磁换向 Solenoid valve; 9.压力表 Pressure gauge; 10.节流阀 Throttle; 11.液压泵 Hydraulic pump; 12.溢流阀 Relief valve; 13.温度计 Thermometer; 14.滤油器 Filter; 15.油箱 Fuel tank.

图 3 液压系统油路图

Fig.3 Hydraulic system

转速为 600~3 000 r/min,额定压力是 16 MPa,排量是 7.8 mL/r。由于东方红 854 拖拉机输出转速为 540、720 r/min 2 个档位。因此,为了保证液压泵的正常工,采用 1:2 的链传动将旋耕机动力输入轴上的一部分动力传送给液压泵。

液压控制系统对平地板的调节主要是通过 2 个液压缸的协同作用完成的。平地板与 2 个液压缸的空间位置关系示意图如图 4 所示。平地板位于平面 xOy 内,液压缸 1 在平面 $ABEO$ 内,液压缸 2 在平面 $ABCD$ 内。为了研究方便,确定平地板倾斜状态,设当平地板在投影面 xOz 内,沿着 y 轴正方向

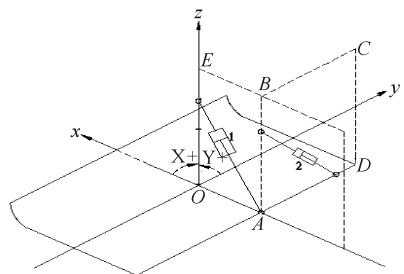


图 4 空间位置关系示意图

Fig.4 Structure diagram of space position

看,绕着 y 轴顺时针旋转呈一定角度时,记作平地板 $X+$ 倾斜(即如图 4 中的 $X+$),相反记作 $X-$ 倾斜;当平地板在投影面 yOz 内,沿着 x 轴正方向看,绕 x 轴逆时针旋转呈一定角度时,记作平地板 $Y+$ 倾斜(即如图 4 中的 $Y+$),相反记作 $Y-$ 倾斜。

该液压系统工作时,当三位四通电磁阀左端通电,齿轮泵出口的液压油流入液压缸左腔,液压缸右腔的液压油流回油箱,液压缸推杆伸出,平地板受到液压缸的推力作用;当三位四通电磁阀右端通电,齿轮泵出口的液压油流入液压缸右腔,左腔液压油流回油箱,液压缸推杆缩回,平地板受到液压缸的拉力;当三位四通电磁阀两端都断电时,系统保压,液压缸停止对平地板的调节;当系统压力超过规定压力时,溢流阀打开,系统压力下降,保护液压系统的压力不超过额定压力。表 1 描述了图 3 中液压系统的电磁铁通断对液压缸的控制,实现平地板在 9 种状态下的相应调节。

2.2 液压缸运动速度分析及调节

针对在液压缸对平地板进行调节时,会使平地系统在对平地板的控制出现波动大、不稳定、超调等现象。对该系统中液压缸运动的速度进行了分析。该液压系统中采用的是对称四通阀控制不对称缸,

由于 2 个液压缸在安装方法和工作方式上是一致的,现对其中的 1 个液压缸的调控进行分析。在液压缸 1 伸长时,系统中通过电磁换向阀的流量 Q 和液压缸运动速度 v 的方程:

$$\begin{cases} Q_1 = C_d W_s \sqrt{2(p_s - p_1)/\rho} \\ Q_2 = C_d W_s \sqrt{2p_2/\rho} \\ s \geq 0 \\ v_1 = q_1 \eta_V / A_1 = 4q_1 \eta_V / \pi D^2 \end{cases} \quad (1)$$

在液压缸 1 收缩时,系统中通过电磁换向阀的流量 Q 和液压缸运动速度 v 的方程:

$$\begin{cases} Q'_1 = C_d W_s \sqrt{2(p_s - p_2)/\rho} \\ Q'_2 = C_d W_s \sqrt{2p_1/\rho} \\ s < 0 \\ v_2 = q_2 \eta_V / A_2 = 4q_2 \eta_V / \pi (D^2 - d^2) \end{cases} \quad (2)$$

式中 Q_1 、 Q_2 、 Q'_1 、 Q'_2 分别是在液压缸伸、缩运动时,通过换向阀进、出口的流量, m^3/s ; C_d 为流量系数; W 为面积梯度, m ; s 为液压缸的位移量, m ; p_s 换向阀进油口压力, MPa ; p_1 、 p_2 为液压缸两接口处的压力, MPa ; ρ 为液压油的密度, kg/m^3 ; v_1 、 v_2 分别是液压缸伸长和收缩时的速度, m/s ; q_1 、 q_2 分别为液压缸伸长和收缩时流入液压缸的流量, m^3/s ; η_V 为液压缸的容积效率, $\%$; D 为液压缸活塞

表 1 电磁铁的通断

Table 1 The working table electromagnetic valve

工况 Mode	DT1	DT2	DT3	DT4	倾斜方向 Direction of dip
0	-	-	-	-	水平 level attitude
1	+	-	-	-	X-
2	-	+	-	-	X+
3	-	-	+	-	Y+
4	-	-	-	+	Y-
5	+	-	+	-	X-, Y+
6	+	-	-	+	X-, Y-
7	-	+	+	-	X+, Y+
8	-	+	-	+	X+, Y-

注: +: 电磁铁得电 Electromagnet connect; -: 电磁铁失电 Electromagnet disconnect.

的直径, m ; d 为液压缸活塞杆的直径, m 。

在液压系统工作稳定时,忽略液压缸进出油口的压力变化,根据式(1)和(2)分析可得,流入(流出)换向阀的流量 Q 与液压缸的伸缩位移量 s 近似成正比,单位时间液压缸的位移量即液压缸的运动速度 v 与流入液压缸的流量 q 成正比,而液压缸伸缩的快慢又影响对倾角调节的稳定性。因此,在液压系统中,将节流阀安装在换向阀的进油端,能降低液压系统流入液压缸的流量,降低了调节过程中液压缸的伸缩速度,提高液压控制系统对平地板倾角调

节的准确性。

根据式(1)、(2)液压缸的伸缩速度不相等,即 $v_1 < v_2$,针对液压缸这种卸油回程速度快的特点,在液压缸 2 个接口前安装单向节流阀,在进油时起单向阀作用,在出油时起节流阀作用,通过单向节流阀对液压缸出油口流量的调节作用,调控液压缸的回程运动的速度,提高系统中液压缸对倾角调控的稳定性。

通过对液压系统的调试,液压缸的伸缩速度能达到平地板准确控制的要求,未出现超调现象。

3 基于倾角传感器的控制系统设计

3.1 控制系统的结构

设计的控制系统主要包括硬件部分和软件部分。硬件部分由单片机、倾角模数转换采集模块、LCD 显示模块、降压模块等组成。软件部分主要的功能是建立了控制器与倾角模数转换采集模块之间的 I²C 通信、倾角信号的采集和实时显示、运用控制算法对倾角信号的处理并完成电信号的输出等。控

制系统能完成对信号的采集、处理和传输等过程,同时与液压控制系统中的电磁换向阀相匹配,实现平地地板的控制、调平动作(图 5)。

倾角传感器采用的是 ADI 公司推出的 ADXL345,具有多个可变的量程,分辨率高,可测得 0.25°的倾角变化,其分辨率大小能够满足田间平地系统的倾角测量要求。控制器是由宏晶公司生产的 51 系列单片机,其型号为 STC12C5A40S2。倾角传感器与控制器之间采用 I²C 两线式串行总线通信方

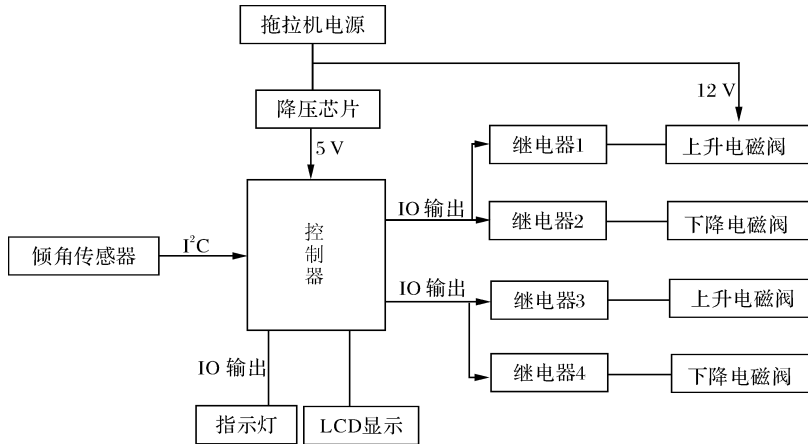


图 5 控制系统的电路原理框图

Fig.5 Schematic diagram of controller circuit

式,接口线少,控制方式简单,通信速率较高。

水平控制系统的电路原理框图如图 5 所示,整个控制电路系统由拖拉机的蓄电池提供 12 V 直流电,传感器能检测到平地地板在水平位置的倾斜角度,由单片机对数据验算、处理后将倾角的数值在 LCD 上显示。在单片机控制器和继电器之间采用光耦隔离,防止在光耦前端的单片机受后端电磁阀开启和关闭时的信号干扰。在平地地板倾角超过阈值 M ($M=5^\circ$) 时,单片机便会输出电信号控制电磁继电器动作,在电磁继电器接通后,相对应的电磁换向阀便会在 12 V 的电压驱动下工作。

3.2 倾角信号的处理算法

由倾角模数转换采集模块测量倾角后,将模拟信号转换成数值信号,输出的数值信号是 x 、 y 、 z 3 个轴方向上的数据 A_x 、 A_y 、 A_z 。在对倾角信号处理时,要得到与 x 轴、 y 轴倾角的数值,还需对 A_x 、 A_y 、 A_z 进行换算,公式如下:

$$\gamma_x = \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right) \quad (3)$$

$$\gamma_y = \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right) \quad (4)$$

式中 γ_x 是平地地板与 x 轴的倾角, γ_y 是平地地板与 y 轴的倾角。

直接运用式(3)、(4)中反三角函数算法的运算量大,会影响到控制系统对测量数据处理的实时性。为了缩短控制系统运算时间,提高控制的准确性,采用查表的算法,对倾角信号进行处理。事先将 $\alpha \in [-90^\circ, 90^\circ]$ 每个角度的正切值 $\tan\alpha$ 保存在 EEPROM 中,形成 $\alpha = f(\tan\alpha)$ 的映射关系。以 x 轴的倾角为例,在控制器处理测量结果时,只需计算出其正切值(即实际测量的倾角 γ 的正切值),并在映射关系中查找 1 个与实际测量的正切值最接近 $\tan\alpha$,即得到测量的倾角 γ 的大小为 α 。本试验中设计的控制电路测量的倾斜角度 $\gamma \in [-45^\circ, 45^\circ]$,在测量精度为 0.5° 时,只需要在 EEPROM 中保存 180 个正切值。

4 平地系统的试验

4.1 试验条件

2015 年 10 月中旬,在华中农业大学现代农业科技试验示范基地,对收割后留有秸秆的水稻种植试验田进行耕整试验,并测得了田间状态参数的平

均值,其中田间秸秆密度为 0.849 kg/m^2 ,秸秆高度 55.79 mm ,土壤干基含水率 46.26% ,土壤坚实度 322.5 kPa 。在水稻留高茬收割后,灌水浸泡 2 d,分别用水田旋耕机(图 6)和配备采用倾角传感器平地系统的水田旋耕机(图 7),对带有秸秆的水田进行耕整平地对比试验,并采集 2 次耕整后的土壤平整度数据。



图 6 水田旋耕机试验

Fig.6 Test of paddy field cultivator



图 7 配备采用倾角传感器平地系统的水田旋耕机统试验

Fig.7 Test of field rotary cultivator leveling system based on sensor technology

4.2 数据测试方法

根据 2 条相交直线能确定 1 个平面的原理,用水平仪将 2 根垂直相交的细绳调平,得到基准平面 $OABC$ (图 8);再固定一根细绳作为基准轴,等间距移动另一根细绳,同时确保 2 根细绳在移动过程中垂直相交,通过 2 根绳子的移动可以将田地划分成网格状,其中网格的交点 P 即为测量点;然后用系有铅垂线的激光测距仪测量基准平面内的测量点到土壤的垂直距离(记作 z),即得到每个测量点的坐标 $P(x, y, z)$,起始测量点 O 的坐标记作 $(0, 0, z)$,其他测量点的 x, y 轴坐标相对 O 点确定。其中试验后 2 次采样的面积都为 $15 \text{ m} \times 6 \text{ m}$,在 15 m 方向上的采样间隔是 1 m ,在 6 m 方向上的采样间隔 0.5 m ,采样点各 165 个。

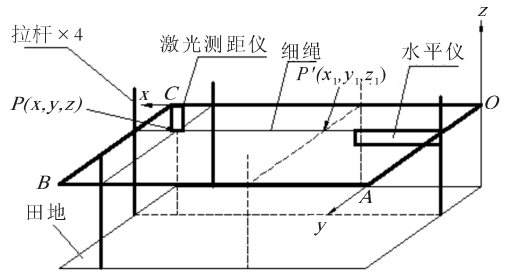


图 8 田间数据测试方法的原理图

Fig.8 Principle of field data test method

4.3 数据评价方法

评定耕整平地装置性能的主要指标为平整度和高差分布,统称为平整精度,平整精度越高,田间地面平整效果越好^[22]。

平整度一般可采用田地内所有测量点到基准平面的相对距离的标准偏差值 S_d 来恒量描述,标准偏差 S_d 反映了田间地面不平整的程度^[23],根据我国农田激光平整机械对平整度的要求,一般要求标准偏差 $2 \sim 3 \text{ cm}$ ^[15]。

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h)^2}{n - 1}} \quad (5)$$

式中: h 为田间采样点到基准平面的平均距离, cm ; h_i 为田间的第 i 个采样点到基准平面的距离, cm ; n 为田间所有采样点的数量。

高差分布列 ED ^[21] 用来描述田间地面形状的差异及其分布的特征,它是通过计算田块内所有测量点到拟合平面的垂直距离,从而得到垂直距离小于 3 cm 的测量点的累积百分比数 β 。 β 越大,田面越平整;相反, β 越小,田面越不平整。

$$\beta = N_{(ED \leq 3)} / n \quad (6)$$

式中, $N_{(ED \leq 3)}$ 为测试点到拟合平面的垂直距离小于或等于 3 cm 的测试点的数量; n 为田间所有采样点的数量。

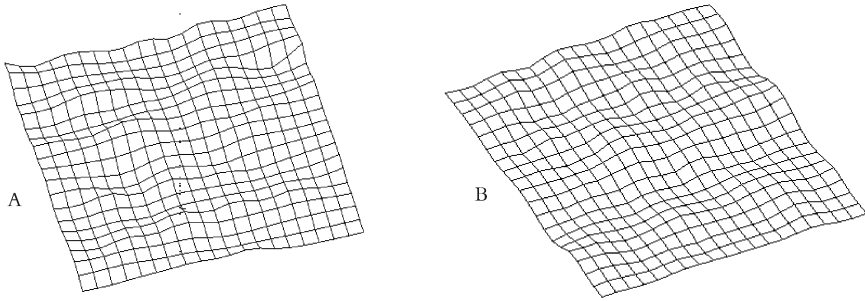
4.4 数据处理和分析

运用 Matlab 软件对试验前后采集到的数据进行处理,计算出耕整平地后田地的平整度 S_d ,并根据测量数据,采用 regress() 函数进行平面拟合,用点到平面距离的计算方法,统计出测量点到拟合平面距离小于 3 的点所占的百分比 β 。运用 griddata() 函数的差值原理进行曲面拟合生成三维地形图,观察 2 次耕整平地后水田地形图的地貌起伏情况,评估平地效果。

由数据处理可得,水田旋耕机对田地耕整后的平整度 3.35 cm ,高差分布为 62.4% ,采用倾角传感

器的水田旋耕机平地系统对水田耕整后的平整度为 2.20 cm,高差分布为 81.82%。图 9A、B 分别为水田旋耕机和配备倾角传感器平地系统的水田旋耕机

试验后,用 Matlab 对采集的数据进行曲面拟合模拟的地形图。由模拟的地形图可知,配备倾角传感器平地系统的水田旋耕机试验后的田面相比水田旋耕



A.水田旋耕机试验 Paddy field cultivator test; B.基于倾角传感器的水田旋耕机平地系统试验 Paddy field cultivator leveling system based on sensor technology test.

图 9 试验后的地形图

Fig.9 Topographic map of test

机较为平整,田面起伏波动小。

由平整度结果分析可得,水田旋耕机耕整试验后的平整度 3.35 cm 超出了水稻种植的平整精度要求(平整度不超过 3 cm),采用倾角传感器的水田旋耕平地系统试验后的平整度为 2.20 cm,满足平整精度要求,平整度明显比水田旋耕机的小,平整效果好;由高差分布的结果分析,水田旋耕机耕整后的高差分布为 62.4%,有 37.6%的测量点到拟合平面的距离大于 3 cm,耕整后的田间土壤起伏波动大,采用倾角传感器的水田旋耕机平地系统耕整后有 81.82%的点到试验后拟合平面的距离小于等于 3 cm,明显比水田旋耕机耕整后的田间的土壤起伏波动小,平整度改善了 34.3%,高差分布提高了 19.4%。因此,基于倾角传感器的水田旋耕机平地系统耕整后的平地精度与水田旋耕机的相比,有明显的提高。

5 讨论

本试验根据水田硬底层不平、旋耕机刀辊旋转时机器振动过大等因素造成旋耕机耕整作业后田面平整精度低的特点,基于传感技术设计了一种与水田旋耕机配套的机电液一体化自动控制的平地系统,实现了在耕整过程中对平地板的自动调节,使之始终处于水平位置。

田间试验结果表明,水田旋耕机在试验后的平整度为 3.35 cm,高差分布为 62.4%;基于传感技术的水田旋耕机平地系统在水田耕整试验后的平整度为 2.20 cm,高差分布为 81.82%。水田旋耕机耕后田地不平整的主要原因是拖拉机在田间行进时的倾

斜、振动,会带动旋耕机一起运动,而旋耕机的托板在田间作业时无法自动调节,使得耕整完后的田面起伏大,又由于硬底层不平,耕后部分区域出现落差大的现象。而采用本试验研制的基于传感技术的水田旋耕机平地系统,在田间试验时,通过控制系统对平地装置的倾斜状态进行检测、控制及调节,保证了平地装置的平稳性,降低了水田硬底不平、机器振动等因素的影响。根据试验结果分析可得,基于传感技术的水田旋耕机平地系统的平地效果明显优于水田旋耕机,且平地精度能满足水稻生产过程中的平地要求,能提高水稻机械化生产效率。与水田激光平地机相比,虽然平整精度没有水田激光平地机高,但平整精度也能达到水稻种植的要求,并且基于传感技术的水田旋耕机平地系统的优势在于能与旋耕机配套使用,减少对田地的耕整作业次数,造价便宜,配套设备少,操作方便简单,可以降低水稻机械化生产过程中的成本。

这种基于倾角传感器的控制原理,调控平地装置的方法,不仅可以用于水田旋耕机上,还可为其他水田耕整机械的设计提供参考,以此来提高水田耕整机械在耕整田地之后的平整精度。另外,本试验在平地系统倾角调节过程中设置了一个阈值 M ,阈值的大小对系统调节效果有一定影响,后续还会改变阈值 M 的大小,结合田间试验结果进行进一步分析改进。

参 考 文 献

[1] 周建来,李源知,焦巧凤.国内外旋耕机的技术状况[J].农机化

- 研究,2000(2):49-51.
- [2] PEREIRA L S, QWEIS T, ZAIRI A. Irrigation management under water scarcity [J]. Agricultural water management, 2002, 57(3):175-206.
- [3] JANSSEN M, LENNARTZ B. Water losses through paddy bunds; methods, experimental data, and simulation studies [J]. Journal of hydrology, 2009, 369(1/2):142-153.
- [4] 蒋炳奎, 廖万彩. 国外水稻耕作机械发展动向(上) [J]. 农业机械, 2000(11):26-27.
- [5] 李福祥, 许迪, 李益农. 农田土地平整方法的组合应用及效果 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(2):50-53.
- [6] 李益农, 许迪, 李福祥. 田面平整精度对畦灌性能和作物产量影响的试验研究 [J]. 水利学报, 2000, 31(12):82-87.
- [7] 申庆双, 孙涛, 黄振德, 郭巍. 1GDP-180型水田打浆平地机的研究 [J]. 现代化农业, 2010(11):36-37.
- [8] 吴家安, 张成亮, 许春林, 等. 水田平地机的研制设计 [J]. 农业科技与装备, 2014(6):44-45.
- [9] 刘伟光, 张印生, 郭春雨. 多功能碎土镇压器的设计 [J]. 现代化农业, 2011(2):38.
- [10] 李明金. 水田搅浆机平地装置的设计与试验研究 [D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学, 2014.
- [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, 2012.
- [12] 陈鑫. 小型水田耕耙平地机关键部件设计与建模 [J]. 农机使用与维修, 2011(2):23-25.
- [13] MORRISON J R. Development and future of conservation tillage in America [J]. Journal of research and applications in agricultural engineering (Poland), 2002, 47(1):5-13.
- [14] 胡炼, 罗锡文, 林潮兴, 等. 1PJ-4.0型水田激光平地机设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2014, 45(4):146-151.
- [15] 苏焱, 王永辉. JGP-2500型激光平地机工作机理研究 [J]. 农业科技与装备, 2012(6):36-37.
- [16] 严乙桢, 罗锡文, 资双飞, 等. 基于50马力轮式拖拉机的水田激光平地机设计与试验 [C]//中国农业大学工程学会(CSAE). 中国农业大学工程学会2011年学术年会论文集. 北京:中国农业大学工程学会(CSAE), 2011:4.
- [17] 韩豹. 1PJY-3.0型综合激光平地机的研制 [J]. 农业工程学报, 2003, 19(3):116-119.
- [18] 许迪, 李益农, 李福祥, 等. 常规土地平整与激光平地技术组合应用初步分析 [J]. 水利学报, 1999, 30(10):52-56.
- [19] 艾建军, 杨英芸, 高韶坤. 我国农田激光平地机的研究进展及发展趋势 [J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(11):155-160.
- [20] 杨红帆, 肖丽晶, 赵军, 等. 1PJ-3型激光平地机的设计 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2002, 14(1):47-50.
- [21] 李庆, 王在满, 李就好, 等. 水田激光平地铲的研究与应用 [J]. 现代农业装备, 2006(6):40-41.
- [22] 张发顺. 农田激光平整效果评价方法与试验研究 [D]. 泰安:山东农业大学, 2011.
- [23] 贾文涛, 刘峻明, 于丽娜. 基于农田高程信息快速采集系统的平整精度评价方法 [J]. 中国土地科学, 2009, 23(5):65-70.

Designing the leveling system of paddy field rotary cultivator based on tilt angle sensor control technology

WAN Song CHEN Zilin ZHAN Pengcheng LAO Shanfeng
LU Mengqin XIA Junfang ZHANG Jumin

College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract To solve problems including low leveling precision and poor controllability etc. of paddy field rotary cultivator after plowing caused by tilting and vibration while farming, a set of leveling system consistent with paddy field rotary cultivator was designed on the basis of tilt angle sensor control technology. It realized leveling regulation function by combining hydraulic control with the controller control. The results of field trials showed that the working performance of field rotary cultivator leveling system based on tilt angle sensor technology was practical with its automatic leveling regulation function. The flatness after plowing S_d was 2.20 cm, with elevation difference distribution β of 81.82%. Compared with field rotary cultivator, the field surface roughness was 34.3% and the elevation difference distribution increased 19.4%, indicating that it can basically meet the agricultural requirement of rice planting.

Keywords paddy field rotary machinery; tilt angle sensor; hydraulic pressure control; controller; leveling regulation

(责任编辑:陆文昌)