

周浩, 胡炼, 罗锡文, 等. 激光控制水田打浆平地机设计与试验 [J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(5): 23-27.
ZHOU Hao, HU Lian, LUO Xiwen, et al. Design and experiment of the beating-leveler controlled by laser for paddy field[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(5): 23-27.

激光控制水田打浆平地机设计与试验

周 浩, 胡 炼, 罗锡文, 唐灵茂, 杜 攀, 赵润茂

(华南农业大学 工程学院/南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】满足水稻种植对田面平整度的要求, 减少拖拉机进田次数, 提高打浆平地质量和效果, 实现一次进田完成水田打浆和平地作业。【方法】采用先打浆后平地原理, 设计了激光控制水田打浆平地机、打浆机与平地铲自动调平机构、平地铲高程自动调节机构和通过集成带自动调平的激光平地控制系统, 并进行田间试验; 利用 2 台姿态航向参考系统分别测量拖拉机车身和打浆平地机的横滚角, 采用水准测量试验田块作业前后的田面平整度。【结果】拖拉机横滚角在 $\pm 4.5^\circ$ 内变化, 打浆平地机的横滚角始终保持在 $\pm 1^\circ$ 内, 表明调平自动控制系统明显提高了水田打浆平地机构水平稳定性; 打浆平地作业后田面最大高差从作业前的 17.7 cm 降低到 6.7 cm, 标准偏差值从作业前的 4.08 cm 下降到 1.75 cm, 绝对差值不大于 3 cm 的平整度采样点占比由作业前的 62% 提高到 82% 以上。【结论】激光控制水田打浆平地机打浆平地作业后可显著改善田面平整情况。

关键词: 激光控制; 打浆平地机; 水田; 平整度
中图分类号: S222.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2019)05-0023-05

Design and experiment of the beating-leveler controlled by laser for paddy field

ZHOU Hao, HU Lian, LUO Xiwen, TANG Lingmao, DU Pan, ZHAO Runmao
(College of Engineering, South China Agricultural University/Ministry of Education, Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】 To meet the requirement of field flatness in rice planting, reduce the number of times that tractors enter the field, improve the effect and quality of beating and leveling, and realize beating and leveling through one field entry. 【Method】 A beating-leveler was developed using the principle of beating followed with leveling. The beating machine, automatic leveling mechanism and automatic elevation adjusting mechanism were developed. Field experiments were performed using the laser-controlled leveling system integrated with automatic leveling function. The roll angles of the tractor and the beating-leveler were respectively measured using two attitude and heading reference systems (AHRS). Field flatness before and after leveling operation was measured using a balance level. 【Result】 The roll angle of the beating-leveler maintained within $\pm 1^\circ$, while the roll angle of the tractor varied within $\pm 4.5^\circ$, indicating that the automatic leveling system obviously improved the leveling stability of the beating-leveler in paddy field. The maximum height difference of the field surface reduced from 17.7 cm (before operation) to 6.7 cm (after operation). Its standard deviation reduced from 4.08 cm (before operation) to 1.75 cm (after operation). The percentage of sampling points with absolute difference of ≤ 3 cm

increased from 62% (before operation) to 82% (after operation). 【Conclusion】 The laser-controlled beating-leveler can significantly enhance the flatness of the field surface.

Key words: laser-control; beating-leveler; paddy field; surface flatness

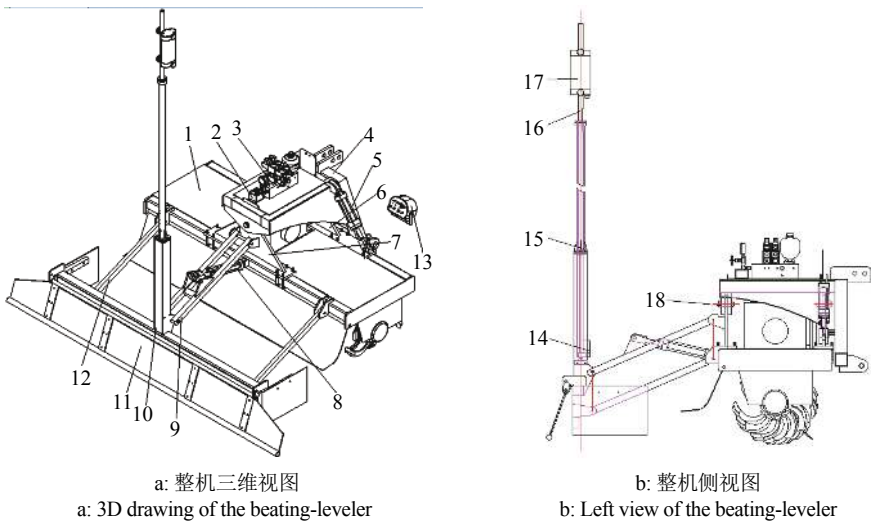
水田耕整是水稻生产的重要环节，水田精准耕整有利于提高水肥利用率、减少杂草、提高水稻产量^[1-4]。为满足水稻生产中“寸水不过田”的要求，华南农业大学成功研制出与乘坐式插秧机底盘配套的水田激光平地机，田间应用结果表明该平地机的平地精度和平整效果满足要求^[5-10]；研制了不同形式的与轮式拖拉机配套的水田激光平地机，进一步提高了水田激光平地机的作业效率^[11-12]。水田平整前需进行打浆作业，一般采用旋耕机或打浆机，人工手动操作易出现作业深度不稳定，甚至出现作业过深导致拖拉机过载熄火的现象，不仅影响作业质量，破坏水田原有硬底层造成水田硬底层凹凸不平^[13]，还会影响拖拉机和机具的使用寿命。为此，研究人员通过在拖拉机三点悬挂机构上增加油缸，实现耕整机具高程和水平自动控制^[14-16]，但增加的油缸难以通用于不同拖拉机。于志成等^[17]设计了由缺口耙和尾翼拖板组成的水田复式整地机自动调平装置，但该装置调平转动中心位于悬架中部，限制了拖拉机 PTO 动力输入至旋耕机或打浆机。此外，水田打浆和水田平整通常是分开进行的，打浆机和平地机分别进地作业，拖拉机多次进田易破坏水田硬底层。在打浆机构后增加仿形平地装置的水

田打浆平地技术是较好的解决方案之一，李明金^[18]和 Xu 等^[19]设计了一种水田搅浆机平地装置，可同时进行水田打浆和平地作业，但还是由人工凭经验操作拖拉机三点悬挂机构对水田进行仿形打浆，且平地铲不具备运土功能。为提高打浆平地作业质量和自动化水平，万松等^[20]设计了调平自动控制的平地装置，仅对平地拖板的横滚角和俯仰角进行控制，平地拖板高程和旋耕机水平均未实现自动控制；杨青丰^[21]设计了水田激光打浆平地系统，对打浆机的高程和调平实现了自动控制，但该机并没有平地铲，不具备平地功能。本研究拟设计一种激光控制的水田打浆平地机，平地铲由激光控制自动调节高程，且可自动调平打浆机和平地铲，实现一次进田完成水田打浆和平地作业，并进行田间试验验证，分析自动调平作业和平地作业精度。

1 激光控制水田打浆平地机设计

1.1 整机设计

激光控制水田打浆平地机主要包括平地机构、打浆机构、自动调平机构、平地铲高程调节机构、液压系统和控制系统。如图 1 所示，平地机构位于打浆机构后方，平地机构和打浆机构均连接至自动调



1: 打浆机构; 2: 倾角传感器; 3: 液压阀块及阀组; 4: 调平支撑架; 5: 调平油缸; 6: 前调平连接板; 7: 后调平连接板; 8: 高程油缸; 9: 上平地连接架; 10: 平地机构; 11: 平地拖板; 12: 下连接杆; 13: 控制器; 14: 直线电机; 15: 接收器升降杆安装座; 16: 接收器升降杆; 17: 激光接收器; 18: 调平销轴
1: Beating mechanism; 2: Roll angle sensor; 3: Hydraulic valve module; 4: Tilt adjustment bracket; 5: Tilt adjustment cylinder; 6: Front leveling connection plate; 7: Back leveling connection plate; 8: Elevation cylinder; 9: Upper grade connection bracket; 10: Leveling mechanism; 11: Tail plate; 12: Lower connection rod; 13: Controller; 14: Linear motor; 15: Mounting plate of lifting rod for laser receiver; 16: Lifting rod for laser receiver; 17: Laser receiver; 18: Leveling pin

图 1 整机结构简图
Fig. 1 Sketch map of the beating-leveler

平机构。通过自动调平机构的调平油缸调节平地机构和打浆机构的倾斜角度,平地铲高程调节机构通过高程油缸调节平地机构。

由于水田硬底层高低不平,轮式拖拉机的四轮陷深不一致,打浆平地机作业深度和水平倾角会不断变化。激光接收器感应激光发射器形成的参考平面激光信号,当平地铲低于设定深度时,控制器控制高程油缸伸长,提升平地铲至设定平面,当平地铲高于设定平面时则控制降低平地铲至设定平面;倾角传感器实时检测拖拉机车身横滚角度,控制器根据横滚角度控制调平油缸伸缩,调节打浆机和平地铲与拖拉机的相对角度保持在设定倾角^[22]。通过对平地机构的高程和调平自动控制,打浆机构调平自动控制,实现打浆平地作业。

1.2 主要部件设计

1.2.1 调平机构 调平机构主要包括调平支撑架、调平连接组件、调平油缸和调平销轴等。如图 1a 所示,调平连接组件下端与打浆机构固定,左右摆动的调平连接组件与调平支撑架可转动式连接,通过调平油缸的伸缩带动调平连接组件、平地机构和打浆机构左右运动。

1.2.2 平地铲高程调节机构 平地铲高程调节机构主要包括上连接架、下连接架和高程油缸;上连接架与下连接架前端打浆机后侧相接,另一端与平地机构相接,上连接架和下连接杆等长且平行安装,保证平地机构垂直于地面升降;通过高程油缸伸缩实现平地铲的升降。

1.2.3 液压系统 水田打浆平地机的液压系统主要包括 2 条独立的液压油路,分别用于打浆平地机的调平控制和平地机构的高程控制;调平油缸的上端与调平支撑架悬臂梁一侧铰接,下端与打浆机构铰接,通过电磁换向阀控制调平油缸伸缩驱动打浆机构和平地机构绕连接点轴线相对于调平支撑架转动。高程油缸上端与打浆机铰接,下端与上连接架铰接,通过电磁换向阀控制高程油缸伸缩实现平地机构垂直地面升降。

1.2.4 控制系统 激光控制水田打浆平地机控制系统包括激光发射器、激光接收器、控制器和车身倾角传感器(图 2)。根据激光接收器接收到的激光参考信号,控制器驱动电磁阀组调节高程油缸,自动调节平地铲作业深度;倾角传感器检测拖拉机横滚角,调平油缸直线位移传感器测量打浆机相对于拖拉机车身的转动角度,控制器控制电磁阀组调节调平油缸的伸缩,实现打浆机和平地铲的自动调平。



图 2 打浆平地机控制系统
Fig. 2 Control system of the beating-leveler

2 材料与方法

2.1 试验设备与仪器

水田精准打浆平地机的打浆机构采用豪丰 1GQN-180A 型旋耕机,配套拖拉机为常发 CFD804,试验中拖拉机动力输出轴转速选取档位 760 r/min,打浆机转速 370 r/min,试验平均作业速度 0.38 m/s。采用 2 台姿态航向参考系统(AHRS,荷兰 Xsens, MTi-100,角度动态测量精度 0.3°)测量拖拉机和打浆平地机横滚角;2 台 AHRS 分别安装于调平支撑架和平地铲上,同步测量拖拉机和打浆平地机横滚角,波特率 115 200 bps,由 40 Hz 外部脉冲触发采样;此外,还包括 MOXA Uport 1 450 多串口数据采集卡、拓普康 AT-B4 水准仪、秒表和皮尺。

2.2 试验方法

试验地点为华南农业大学增城试验基地水田,面积约 0.312 hm²,收获后的稻茬田经早旋耕后泡水 48 h。试验前,依田块形状进行网格划分,如图 3 所示,黑色实线为田埂,虚线交叉点为平整度采样点,并做好标识,采用水准仪测量平整度采样点高度值;作业过程中,采集 AHRS 测量拖拉机车身和打浆平地机的横滚角(图 4);作业完成后采用水准仪测量平整度采样点高度值。

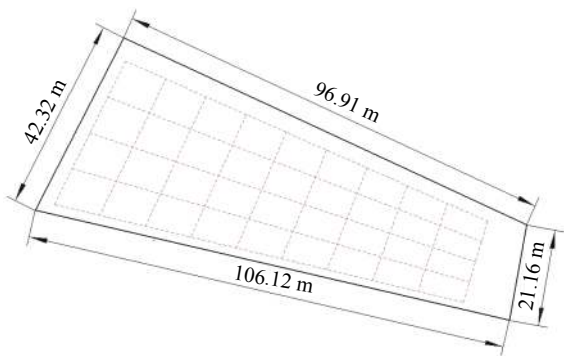


图 3 试验田块与网格划分
Fig. 3 The test field and grid



1: 拖拉机车身的 AHRS; 2: 打浆平地机的 AHRS

1: AHRS on the tractor body; 2: AHRS on the beating-leveler

图 4 水田打浆平地机田间试验照片

Fig. 4 Pictures for field test of beating-leveler in paddy field

2.3 数据处理

试验通过水准仪采集了 50 个平整度高度数据, 采用所有高度数据的标准偏差 (S_d) 来定量描述水田平整度, 方法参考文献 [23], 采用采样点高度与期望高度的绝对差值不大于 3 cm 的采样点个数占总采样个数的百分比来描述田块高度的分布差异和特征, 统计分析方法分别如式 (1) 和 (2) 所示。

$$S_d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2 / (n - 1)}, \tag{1}$$

$$P(|Z_i - \bar{Z}| \leq 0.03) = \frac{m}{n} \times 100\%, \tag{2}$$

式中, Z_i 为各平整度采样点相对高度值, m ; $\bar{Z}$ 为各平整度采样点相对高度的期望值, m ; n 为平整度采样点个数; m 为采集点高度与其期望高度值的绝对差值不大于 3 cm 的采样点个数。

3 结果与分析

3.1 打浆平地机自动调平效果

通过 2 台 AHRS 分别采集的拖拉机车身横滚

角和打浆平地机横滚角如图 5 所示。由图 5 可知, 拖拉机横滚角在 $\pm 4.5^\circ$ 内变化, 标准偏差为 1.86° , 打浆平地机横滚角保持在 $\pm 1^\circ$ 内变化, 标准偏差为 0.86° , 结果说明调平自动控制系统能提高打浆平地机作业过程中水平角度的稳定性。

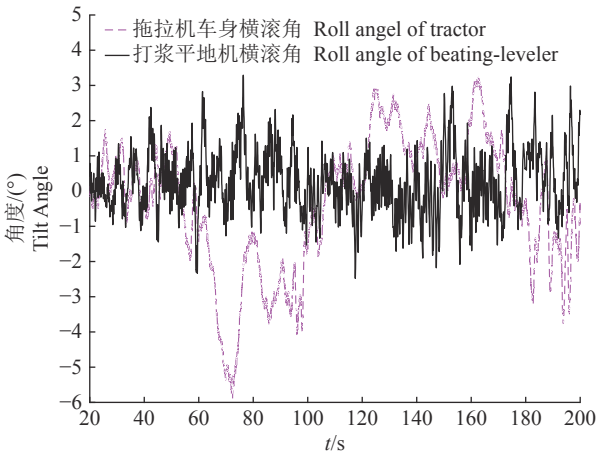


图 5 试验过程中的实时横滚角变化

Fig. 5 Real-time change of the roll angle during the test

3.2 打浆平地作业平整度

打浆平地作业前后采集的田面数据如图 6 所示, 图 6a 为打浆平地试验前田面平整度三维图, 图 6b 为打浆平地作业后田面平整度三维图, 由图 6 可以看出打浆平地作业后田面平整度明显提高。

打浆平地平整度统计分析结果表明, 打浆平地作业后田面最大高差从作业前的 17.7 cm 降低到 6.7 cm, S_d 从作业前的 4.08 cm 下降到 1.75 cm, 绝对差值不大于 3 cm 的平整度采样点由作业前的 62% 提高到 82% 以上, 表明激光控制水田打浆平地机作业后可明显改善田面平整情况。

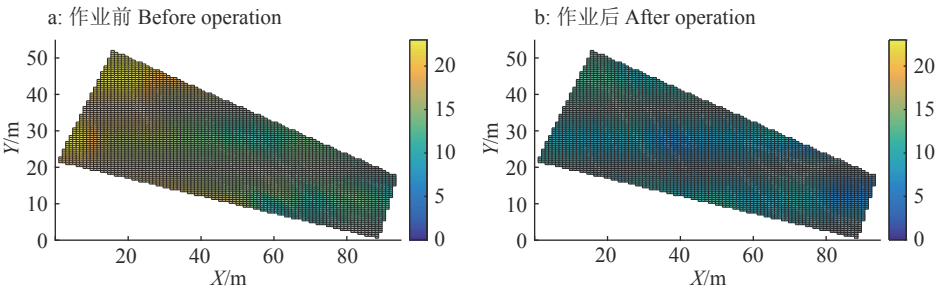


图 6 打浆平地作业前后的田面平整度 (田面等高图)

Fig. 6 Field surface flatness before and after beating and leveling operation (field surface contour map)

图 7 为打浆平地作业试验中某行自西向东数据的变化曲线图, 由图 7 可知, 作业后田面平整度波动较小, 对 2 条曲线采用最小二乘法分别进行直线拟合, 如图 7 中各对应虚线所示, 从作业前田面

高度拟合直线可以看出田面西边整体高于东边, 经作业后, 田面高度拟合直线基本水平, 说明平地铲将高处泥土搬运至低处, 为打浆作业提供了良好的田面平整度。

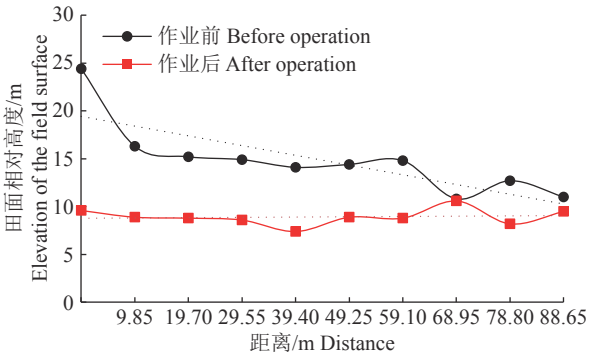


图 7 作业前后某行数据采集点高度变化

Fig. 7 Height changes of one row of sampling points before and after operation

4 结论

1) 设计了平地铲安装于打浆机构后方的水田打浆平地机, 自动控制打浆机的调平, 对平地铲的高程和调平实现自动控制, 实现了一次进田完成水田打浆作业和平地作业。

2) 水田打浆平地作业过程中, 拖拉机横滚角范围为 $\pm 4.5^\circ$ 内, 打浆平地机的横滚角保持在 $\pm 1^\circ$ 内, 标准偏差为 0.86° , 表明调平自动控制系统明显提高了水田打浆平地机的水平稳定性。

3) 水田打浆平地作业结果表明, 打浆平地作业后田面最大高差从作业前的 17.7 cm 降低到 6.7 cm, S_d 从作业前的 4.08 cm 下降到 1.75 cm, 绝对差值不大于 3 cm 的平整度采样点由作业前的 62% 提高到 82% 以上, 表明激光控制水田打浆平地机打浆平地作业后可以明显改善田面平整情况。

参考文献:

[1] AGARWAL M C, GOEL A C. Effect of field leveling quality on irrigation efficiency and crop yield[J]. Agric Water Manage, 1981, 4(1/2/3): 89-97.

[2] ARYAL J P, MEHROTRA M B, JAT M L, et al. Impacts of laser land leveling in rice-wheat systems of the north-western indo-gangetic plains of India[J]. Food Secur, 2015, 7(3): 725-738.

[3] FINNEY C. The benefits of land leveling on irrigation schemes in Turkey and Sindh Province, Pakistan[J]. ICID J, 1996, 45(1): 1523-1539.

[4] 李福祥, 许迪, 李益农. 农田土地平整设计与激光控制土地平整技术适应性研究[J]. 中国农村水利水电,

2002, 2: 27-29.

[5] LUO X W, ZHAO Z X, LI Q. Study on leveling control for a paddy laser leveler[C]. ASAE Annual Meeting Presentation. USA: ASAE, 2007: 071078.

[6] 李庆, 罗锡文, 汪懋华, 等. 采用倾角传感器的水田激光平地机设计[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 88-93.

[7] 赵祚喜, 罗锡文, 李庆, 等. 基于 MEMS 惯性传感器融合的水田激光平地机水平控制系统[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 119-124.

[8] 陈君梅, 赵祚喜, 陈嘉琪, 等. 水田激光平地机非线性水平控制系统[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 79-84.

[9] 陈嘉琪, 赵祚喜, 施垒, 等. 水田激光平地机调平系统动力学建模[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 18-23.

[10] 胡炼, 林潮兴, 罗锡文, 等. 农机具自动调平控制系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 15-20.

[11] 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]. 中国农业工程学会 2011 年学术年会, 重庆: 中国农业工程学会, 2011.

[12] 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.

[13] ONODERA T, TSURUTA M, OSARI H. Leveling rice paddies using a laser land leveler when tilling[J]. Trans JSIDRE, 2002, 6: 1-8.

[14] 丁为民, 孙元昊, 赵思琪, 等. 犁旋一体机自动调平系统设计[J]. 农业工程学报, 2018, 34(17): 25-31.

[15] 刘林. 基于拖拉机三点悬挂机构耕作机具调平系统研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.

[16] 王益新. 旋耕机组液压水平自动控制系统的研发[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2015.

[17] 于志成, 王熙. 水田复式整地机自动调平装置的设计与研究[J]. 农机化研究, 2017, 8: 175-179.

[18] 李明金. 水田搅浆机平地装置的设计与试验研究[D]. 黑龙江: 黑龙江八一农垦大学, 2014.

[19] XU C L, ZHANG C L, LI L, et al. Optimization of working parameters for puddling and flatting machine in paddy field[J]. Int J Agr Biol Eng, 2016, 9(3): 88-96.

[20] 万松, 陈子林, 展鹏程, 等. 基于传感技术的水田旋耕机平地系统的设计与试验[J]. 华中农业大学学报, 2016, 35(4): 129-135.

[21] 杨青丰. 水田激光搅浆平地系统设计[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.

[22] 周浩, 胡炼, 罗锡文, 等. 旋耕机自动调平系统设计[J]. 农业机械学报, 2016(S1): 117-123.

[23] 李益农, 许迪, 李福祥, 等. 农田土地激光平整技术应用及初步评价[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 85-90.

【责任编辑 霍 欢】