

# 采用倾角传感器的水田激光平地机设计

李庆<sup>1</sup>, 罗锡文<sup>1\*</sup>, 汪懋华<sup>2</sup>, 赵祚喜<sup>1</sup>, 许耀军<sup>1</sup>, 区颖刚<sup>1</sup>, 刘刚<sup>2</sup>, 林建涵<sup>2</sup>, 司永胜<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学工学院, 广州 510642; 2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 研制的采用倾角传感器的激光平地系统用于南方水田土壤的平整。平地机具通过三点式悬挂机构与拖拉机相连接, 用左右两个油缸实现升降, 由普通三位四通电磁换向阀控制油缸, 分别采用激光与倾斜传感器实现平地机具左右侧升降控制。试验结果表明, 采用倾角传感器的水田激光平地机在水田的平整精度能基本满足农艺要求。

**关键词:** 水田平地机; 激光; 倾角传感器; 农业机械

中图分类号: S222.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2007)4-0088-06

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.

Li Qing, Luo Xiwen, Wang Maohua, et al. Design of a laser land leveler for paddy field[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(4): 88-93. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

水稻由于其特殊的生长要求, 对水田的平整要求很高。农谚中即有“寸水不过田”之说。精细平整的水田, 不仅能大幅度节约农田灌溉用水, 还能有效地提高肥料的利用率和抑制杂草的生长<sup>[1-7]</sup>。另外, 杂草与水稻生长最大的区别是水稻能生长在被水覆盖的土壤中, 而大多数杂草则必须生长在露出水面的土壤上。经过精细平整后的水田由于能全部被水掩盖, 可抑制杂草的生长。所以水田精细平整技术是在水稻生产过程中节约灌溉用水、提高肥料利用率、抑制杂草生长, 进而提高水稻产量、减少生产成本的重要措施。

传统的平地技术, 如耙、滚、轧等, 都是仿形平整, 很难达到精细平整的要求。激光平地技术为水田精细平整提供了可能。文献查阅表明, 自 20 世纪 70 年代中期始, 激光平地技术在国外得到了广泛应用, 如公路修建、旱地平整; 国内也有些单位研究和设计了旱地平地机<sup>[8,9]</sup>, 但由于水田泥脚深浅不一及其土壤黏度与旱地差异甚大, 旱地平地机难于在水田中带水作业, 只可能应用于农田基本建设, 即将原来分散的小田块平整成大田块。水稻播插前的水田田面平整大都是带水作业, 加之田间可能残留有许多杂草和稻茬, 因而要求采用不同于公路修建过程和旱地平整过程中的激光平地机械。国内张瑞

宏等曾设计一种复合作业型的水田平整机<sup>[10,11]</sup>, 但该平整机未能给出平地铲水平控制系统。本文针对水稻播插前水田田面的平整要求, 研制了一种适用于水田的激光平地机, 如图 1 所示。



图 1 水田激光平地机

Fig. 1 Photo of paddy field laser land leveler

## 1 水田激光平地机的总体结构

采用清江-504 轮式拖拉机作为平地机的动力, 可满足一般水田平整要求, 平整幅宽设计为 2 m。拖拉机与平地机械系统采用三点悬挂方式连接, 如图 2 所示。三点悬挂装置的两个直拉杆改用两个双作用油缸 4 和 7 代替, 两油缸的动作可分别控制, 以实现平地机具左右两侧提升和下降的独立控制, 保证平地机具始终于某一水平位置工作。控制系统采用激光控制和倾角传感器联合控制的方式, 激光控制器 2 控制平地机具的一侧油缸 4, 而倾角传感器 12 对平地机具的水平倾斜程度进行检测, 水平控制器 10 根据该传感器输出信号自动控

收稿日期: 2005-05-13 修订日期: 2005-07-13

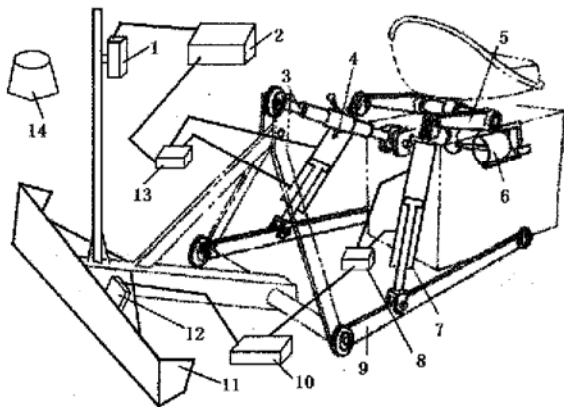
基金项目: 国家高科技研究发展计划(863 计划)项目“精细地面灌溉技术研究—激光控制平地系统开发”子课题

作者简介: 李庆, 男, 博士生。广州 华南农业大学工程学院, 510642

\*通讯作者: 罗锡文, 男, 教授, 研究方向: 农业机械化工程。广州 华南农业大学工程学院, 510642。Email: xwluo@scau.edu.cn

制该侧油缸升降,从而保证平地机具左右水平。水平激光平地机结构框图如图 3 所示。工作时,若油缸不动作,拖拉机液压悬挂系统处于力位调节状态<sup>[12]</sup>,平地机具的高度可由调节手柄自由地进行调节,当调节手柄固定在某位置时,平地机具也固定在某位置;当地面阻力太大时,力调节起作用,使平地机具升高。当平地机具控制系统工作时,若平地阻力过大,则可能在拖拉机液压悬挂系统力调节和水平控制系统的共同作用下,平地机具处于最低位置,拖拉机亦可能因为牵引力不足而熄火或打滑不前进,此时应该把激光控制器切换成手动模式,并操作调节手柄,使平地机具提起。

液压泵动力由拖拉机动力输出轴提供。



- 1. 激光接收器 2. 激光控制器 3. 上拉杆 4. 双作用油缸
- 5. 提升臂 6. 活塞 7. 双作用油缸 8. 三位四通电磁阀
- 9. 下拉杆 10. 水平控制器 11. 平地机具 12. 倾角传感器
- 13. 三位四通电磁阀 14. 激光发射器

图 2 水田激光平地机连接示意图

Fig. 2 Illustration of laser land leveler for paddy field

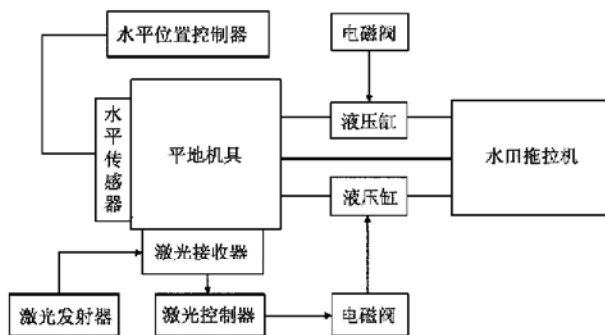


图 3 激光平地机系统工作原理框图

Fig. 3 Overall diagram of working principle for laser land leveler

## 2 机械系统设计

### 2.1 平地机具设计

根据南方水田的特点,平地机由平地铲、缺口圆盘

耙、直齿耙和滚筒组成,如图 4 所示。平地铲将高出平均高程的泥土推至低处,缺口耙和直齿耙将杂草、稻茬等轧入土内,滚筒将田面荡平。

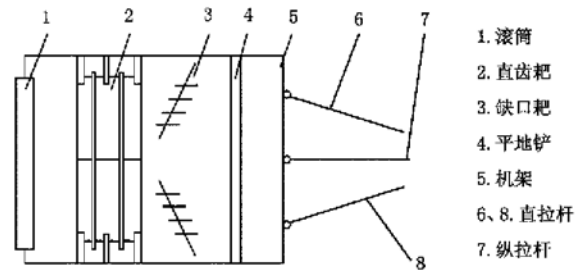
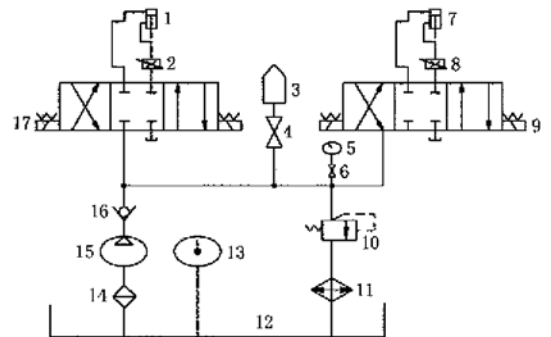


图 4 平地机具结构框图

Fig. 4 Layout of leveling tool

### 2.2 液压系统设计

液压系统主要由液压油泵、电磁换向阀、液压缸等元件组成<sup>[13]</sup>,如图 5 所示。蓄压器 3 可改善系统油压的稳定性,并起到缓冲作用;散热器 11 可保证液压油温不超过 70℃,使系统油压不会因为温度的升高而过分下降;两个三位四通电磁换向阀可实现平地机具两端分别独立升降;单向节流阀 2 和 8 调节下降速度。试验表明,该液压系统能与控制系统相匹配,工作正常。



- 1、7. 油缸 2、8. 单向节流阀 3. 蓄压器 4、6. 截止阀
- 5. 油压表 9、17. 三位四通电磁阀 10. 溢流阀 11. 散热器
- 12. 油箱 13. 温度计 14. 滤网 15. 油泵 16. 单向阀

图 5 液压系统油路图

Fig. 5 Hydraulic system

## 3 平地机具水平控制系统

### 3.1 平地机具控制方案的确定

为保证激光平地系统的平地效果,要求平地机具左右保持水平。这对于工作于硬底层不平的水田而且工作幅度又较宽的水田激光平地系统来说尤为重要。有两种方案实现这一要求,一是左右升降的液压油缸均采用激光控制系统控制,另一方案是一个液压油缸采用激光控制,另一个液压油缸则采用自动控制系统实现跟踪控制保证平地机具左右水平。前一方案利用同一个激光发射

装置,平地机具左右两侧各设一套独立工作的接收控制系统,分别控制左右升降的液压油缸,从而保证机具左右水平。此方案成本高,而且试验中发现左右两套激光接收装置安装调整很不方便,实际控制效果不是很理想。本设计采用后一方案,即液压油缸之一由一套激光控制系统控制,为另一液压油缸控制提供跟踪基准,而水平跟踪控制则采用倾角传感器对平地机具水平倾斜程度进行检测,水平跟踪控制系统根据该传感器输出信号自动控制该侧油缸升降,从而保证平地机具左右水平。初步试验表明这种设计成本较低,安装调整方便,平地效果好。

激光控制系统由架设于田中的激光发射器与安装于平地机具一端(例如左端)的激光接收装置及控制系统组成。激光发射器发射波长为 670 nm 的红色激光<sup>[14]</sup>,光束高速旋转,为激光接收器提供信号,控制系统根据接收器测得的激光信号控制平地机具某一侧的液压油缸,保证平地机具该端处于设定的水平面内;平地机具的另一侧由水平控制器控制,从而达到平整土地的目的。本激光控制系统由中国农业大学研制,有效控制范围可达 150 m。

激光接收器由 4 排独立的光电池来感应激光信号,分别对应平地机具“过高”、“高”、“低”、“过低”4 种状态,光电池的感应信号为幅值 5 mV,周期 0.1 s,脉冲宽度为 0.4 ms 的正脉冲信号。激光控制器对激光接收器的信号进行放大、整形、脉冲展宽,得到幅值 2~5 V,周期为 0.1 s,脉冲宽度为 20 ms 的稳态负脉冲信号,再经

过比较、锁存、更新等处理,控制器输出 12 V,周期为 0.2 s,占空比为 0.4 的脉冲电平给液压电磁阀;但当平地机具位于过高和过低时,占空比为 1,以使平地机具快速回到中间位置。

### 3.2 平地机具水平控制系统的设计

水平跟踪控制系统输入信号来自安装于平地机具的倾角传感器,输出两路信号控制双作用升降油缸的两个电磁线圈(分别实现升与降)。倾角传感器为北京通磁伟业传感技术有限公司生产的基于重力摆与阻尼油结构的 WQ90BI3 型倾角传感器,输入 12 V 单电源,检测范围为水平位置 $\pm 30^\circ$ ,输出 4~20 mA 电流,其中水平 0 对应约 12 mA 输出。倾角传感器响应过渡时间  $t = (250 \pm 100)$  ms,整个控制电路系统由拖拉机蓄电池提供 12 V 直流电源。图 6 为系统电路框图,其主要特点一是纯硬件设计,控制参数均由电位器调节,二是采用开关电容滤波器对传感器输出信号进行滤波<sup>[15,16]</sup>,电磁阀采用“焦动”工作方式,即电磁阀能够以 0.5~15 Hz (通过调节电位器实现)的动作频率动作,而且电磁阀相邻动作之间设有死区,以减少或消除平地铲瞬时侧倾对控制精度的影响。同时,水平控制器对倾角传感器的响应精度可调,这也有利于减少或消除平地铲瞬时侧倾对控制精度的影响。图 7 是水平闭环控制系统结构图,整个电路完全由硬件制作,共采用 8 个电位器实现各控制参数的调节,可根据现场试验情况灵活调整各个参数,使用调整方便。

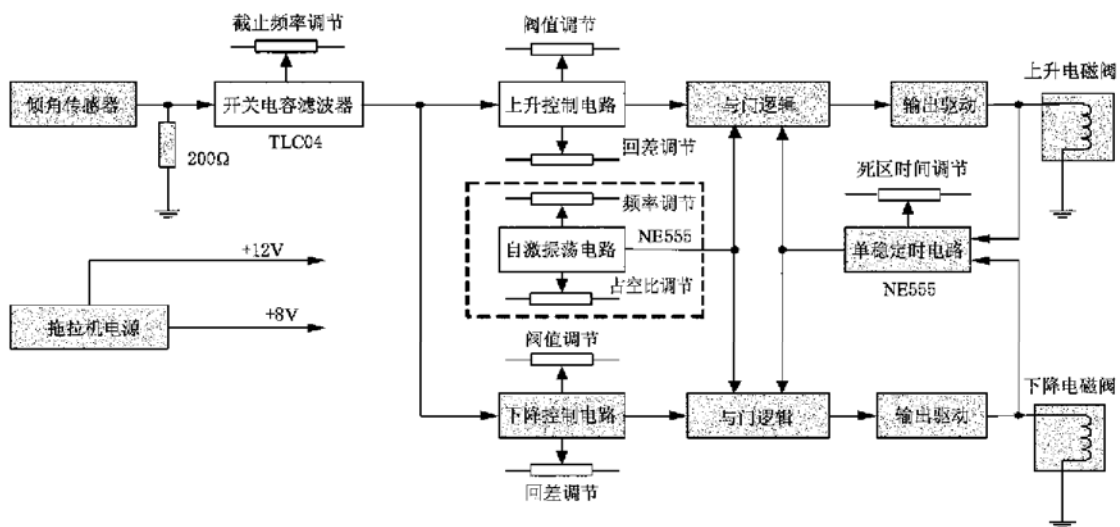


图 6 水平控制系统的电路原理框图

Fig. 6 Schematic diagram of leveling controller circuit

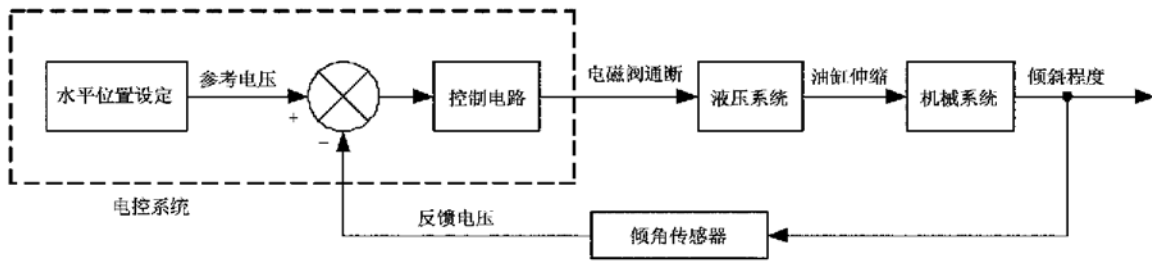


图 7 水平闭环控制系统系统结构图

Fig. 7 Block diagram of closed loop leveling control system

### 4 水田激光平地机田间应用试验

#### 4.1 试验过程与数据处理

1) 水田准备: 用四铧犁将水田犁耕一遍, 再用旋耕机旋耕两遍, 然后淹水泡 3 d。

2) 田间试验: 用全站仪测量水田的地理位置信息并记录数据; 计算水田的平均高程, 并以该高程作为水田平整的参考相对高程; 进行平整水田作业; 水田平整完后, 再次利用全站仪测量平整过后水田并记录数据。

3) 数据处理与分析: 利用南方地形地质成形软件 (CASS 5.0) 将采集到的数据生成三维地形图, 观察平整前后水田地形的变化情况, 计算出平整前后水田的平均高程和平整度, 评估平地效果。平整度一般可采用田块内所有测点处地面相对高程的标准偏差值  $S_d$  来定量描述

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

式中  $h_i$ ——田间的第  $i$  个采样点的相对高程, cm;  $h$ ——该田间相对期望高程, cm;  $n$ ——田块内所有采样点的数量。

表 1 是平地试验前水田的采样数据。其中, 水田的面积为  $50 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ , 采样间隔为  $5 \text{ m}$ , 采样点为 60 个。

表 1 水田平整前采样点数据

Table 1 Sampling data of the paddy field before leveling m

$h_{ij}$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$	$j = 6$
$i = 1$	29.12	29	28.922	29.058	29.123	29.217
$i = 2$	29.092	29.187	29.137	28.97	29.014	28.953
$i = 3$	29.028	28.989	29.097	28.961	29.022	29.278
$i = 4$	29.003	29.184	29.168	29.131	28.976	29.285
$i = 5$	29.024	28.986	29.169	28.964	28.976	28.943
$i = 6$	29.051	29.231	28.968	28.996	29.108	28.880
$i = 7$	29.043	29.022	29.189	29.242	28.970	29.265
$i = 8$	29.040	28.933	29.024	29.006	28.984	29.258
$i = 9$	29.204	29.043	29.130	29.218	29.075	28.909
$i = 10$	29.087	29.026	29.055	29.008	28.953	29.152

注:  $h_{ij}$ ——在采样点  $(i, j)$  处水田地面与激光基准面的相对高程, m。

计算平均相对高程:  $\sum_{i=1, j=1}^{i=10, j=6} h_{ij}/60 = 29.066 \text{ m}; S_d = 10.41 \text{ cm}。$

平整后, 水田采样 40 个点, 点距  $5 \text{ m}$ , 面积约  $1333.4 \text{ m}^2$ 。表 2 是平整后的采样数据。

表 2 水田平整后的采样点数据

Table 2 Sampling data of the paddy field after leveling m

$h_{ij}$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
$i = 1$	29.077	29.087	28.965	29.086	29.032
$i = 2$	28.987	29.076	29.047	29.027	28.994
$i = 3$	28.891	29.079	29.057	29.05	28.994
$i = 4$	28.965	29.014	29.092	29.037	28.977
$i = 5$	28.976	29.032	29.034	29.059	29.037
$i = 6$	28.930	28.978	29.066	29.049	29.008
$i = 7$	29.111	28.973	29.041	29.067	29.013
$i = 8$	29.024	29.089	29.067	29.041	29.034

注:  $h_{ij}$ ——在采样点  $(i, j)$  处水田地面与激光基准面的相对高程, m。

计算平均相对高程:  $\sum_{i=1, j=1}^{i=8, j=5} h_{ij}/40 = 29.029 \text{ m}; S_d = 3.17 \text{ cm}。$

#### 4.2 结果与分析

图 8 和图 9 分别为试验前、后用南方地形地质成形软件 (CASS 5.0) 将采集到的数据生成三维地形高程图。由数据处理可知, 水田平整前其平整度  $S_d = 10.41 \text{ cm}$ , 平整后其平整度  $S_d = 3.17 \text{ cm}$ 。因此, 采用倾角传感器的水田激光平地机在水田的平整精度能控制在  $3 \text{ cm}$  左足, 基本满足农艺要求。

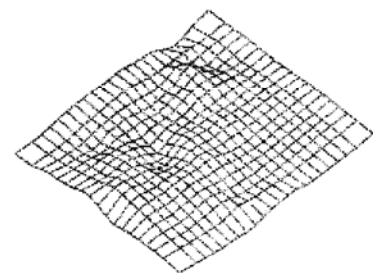


图 8 平整前水田表面高程图

Fig. 8 Three-dimensional plots of field surface before leveling

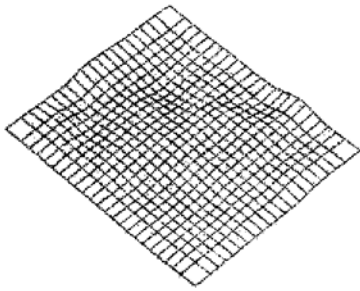


图9 平整后水田表面高程图

Fig. 9 Three-dimensional plots of field surface after leveling

## 5 结 论

1) 根据南方水田硬底不平的特点,平地机具与拖拉机采用三点悬挂方式连接,并用两个双作用油缸代替三点悬挂装置的两个直拉杆,两油缸的动作可分别控制,可保证平地机具始终处于某一水平位置工作。

2) 平地机具采用平地铲、缺口圆盘耙、直齿耙和滚筒的结构形式,既可将高出平均高程的泥土推至低处,又可将露出田面的杂草、稻茬等轧入土内,保证了水田平整质量。

3) 平地机具采用激光控制系统和由倾角传感器及其控制器组成的水平控制系统联合控制的方式,控制效果优于采用两套激光控制系统,且成本较低。

4) 田间试验结果表明,采用本文研制的水田激光平地机,在水田的平整精度能基本满足水稻生产过程中的精细平地要求。

### [参 考 文 献]

[1] 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],农业工程学报,1999,(10):51-56.

[2] 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.

[3] 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,(12):82-87.

[4] 李愈,姜鸿君,宋立文,等.激光控制平地技术在水稻格田中的应用[J].新疆农垦科技,2001,(5):30-32.

[5] 崔金福,刘信忠,刘煜.激光平地技术及其在垦区应用简况[J].现代化农业,2001,(9):36-37.

[6] 高映宏,韩英培,左颖.农田激光控制平地技术及应用前景的探讨[J].天津农学院学报,2004,11(1):41-45.

[7] de Sousa P L, A R Dedrick, A J Clemmens, et al. Effect of furrow elevation differences on level-basin performance [J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(1): 153-158.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 张瑞宏,戴国筠,顾玲,等.中拖配套复合作业型水田平整机设计与分析[J].江苏大学学报,2004,25(6):465-468.

[11] 杨奕锋,唐宏松,彭小星.农田激光平地机开发推广[J].湖南农机,2005,(4):23-24.

[12] 李齐隆.汽车拖拉机学-底盘构造[M].北京:中国农业大学出版社,2001:187-196.

[13] 成大先.机械设计手册-单行本-液压传动[M].北京:化学工业出版社,2002:8-17.

[14] 唐荣麟,贾贵儒,戴允玢.JSP-1型激光扫平仪的发射装置[J].中国农业大学学报,1997,2(4):97-101.

[15] 孙增圻.系统分析与控制[M].北京:清华大学出版社,1999:181-185.

[16] 朱齐丹,张丽珂,原新,等译.动态系统的反馈控制[M].北京:电子工业出版社,2004:244-311.

## Design of a laser land leveler for paddy field

Li Qing<sup>1</sup>, Luo Xiwen<sup>1</sup>, Wang Maohua<sup>2</sup>, Zhao Zuoxi<sup>1</sup>, Xu Yaojun<sup>1</sup>,  
Ou Yinggang<sup>1</sup>, Liu Gang<sup>2</sup>, Lin Jianhan<sup>2</sup>, Si Yongsheng<sup>2</sup>

(1. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Laser leveling technology offers many benefits in terms of increasing water utilization efficiency and crop yields. A laser leveler was developed for paddy field using a specially designed harrow connected to a tractor by means of a hydraulically driven 3-point linkage mechanism and a leveling control system where a tilt sensor was installed in addition to an ordinary laser system. The movement of one of the two cylinders of the linkage

mechanism was controlled by the laser system, and the other cylinder was governed by a control circuit according to the signal from the tilt sensor fitted onto the harrow to indicate the degree to which the whole harrow was out of balance horizontally. The latter cylinder controlled the corresponding end of the harrow to track the other laser controlled end and keep horizontal balance of the harrow. The structural design and operation principles both mechanically and electronically were introduced in the paper, and the test results were also included. Field tests showed that the independent control of the two cylinders was necessary and it was more economical and more convenient in paddy field.

**Key words:** land leveler for lady field; laser; tilt sensor; farm machine