

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.013

基于精确约束原理的非轴端安装计数装置研究

赵祚喜^{1,2} 蒙劭洋¹ 罗阳帆¹ 马昆鹏¹ 宋俊文¹ 何振宇¹

(1. 华南农业大学工程学院, 广州 510642; 2. 南方稻田作物多熟制现代化生产协同创新中心, 长沙 410128)

摘要: 农业小区内进行水稻育种、良种繁殖、栽培及土壤肥料等试验时,要在规定小区单位内完成定量秧苗插植,要求的计数值不能有任何误差。插秧机作业时要对插秧量进行计数,通过传动轴与插植轴的传动比可以得出插秧行数,目前由于结构问题大多数插秧机插植轴无法进行计数装置轴端安装,计数装置固定困难,以及由于未精确约束造成漏计数。本文提出一种适用于插秧机使用的基于精准约束原理的非轴端安装计数装置,分别将传感器和单齿转盘在离合器和传动轴上进行固定,计数装置在插秧机上实现精确约束,并将计数器预设值与实际插秧行数进行对比验证。试验表明:该计数装置可以在井关等主流插秧机机型上的狭小空间内有效实现精确约束,实际值与预设值相同,计数装置在工作时不会造成漏计的情况。

关键词: 插秧机; 计数装置; 精确约束

中图分类号: S223.91 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)S0-0079-08

Design and Experiment of Compact Counting Device for Rice Transplanter

ZHAO Zuoxi^{1,2} MENG Shaoyang¹ LUO Yangfan¹ MA Kunpeng¹ SONG Junwen¹ HE Zhenyu¹

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

2. Collaborative Innovation Center for Modern Production of Multiple Cropping System Southern Paddy Area, Changsha 410128, China)

Abstract: When performing rice breeding, improved seed breeding, cultivation, and soil fertility tests in an agricultural community, quantitative seedling interpolation should be completed within the prescribed cell unit, and the required count value cannot be any error. When the rice transplanter is working, it is necessary to count the amount of transplanting. The transmission ratio of the drive shaft and the interpolation shaft can be used to obtain the number of inserted rows. At present, most of the transplanter insertion shafts cannot be installed on the shaft end of the counting device due to structural problems, and the counting device is difficult to fix. And the problem of missing meters due to inaccurate constraints has not been resolved. A design of a non-shaft-end mounted counting device was presented based on the principle of precise constraint for the use of a rice transplanter. The sensor and the single-tooth turntable were fixed on the clutch and the drive shaft respectively, and the counting device realized precise constraint on the rice transplanter, and compared the preset value of the counter with the actual number of inserted rows, it was verified that the counting device did not cause a leak. The test showed that the counting device can effectively achieve precise constraints in the narrow space on the mainstream rice transplanter models such as Jingguan and Kubota. The actual value was the same as the preset value, which proved that the counting device did not cause leakage when working.

Key words: transplanter; counting device; precise constraint

0 引言

水稻试验小区是选育良种、改进栽培技术、进行品种对比试验的基地^[1-2],小区科学试验基本都会

涉及秧苗的定量插植作业。实现农业小区秧苗定量插秧过程的机械化,对增加小区试验研究的准确性、科学性、普遍性,提高水稻小区试验水平,加快新品种、新技术的推广与应用具有重要的意义^[3]。

收稿日期: 2019-04-24 修回日期: 2019-05-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0700101-02、2017YFD0700400)和广东省教育厅省级重大科研项目(2016KZDXM027)

作者简介: 赵祚喜(1968—),男,教授,博士生导师,主要从事智能农机控制与车辆自动驾驶导航技术研究,E-mail: zhao_zuoxi@hotmail.com

当前,小区农机定量作业的研究主要集中在对大豆、玉米、小麦及油菜等作物的精量化小区播种作业^[4-6]上。相比较而言,小区定量插秧与计数作业装置的研究未见报道。

目前,国内已有学者在农业领域内对计数装置进行了研究。在计数方法方面,主要归结为利用图像及传感器方式^[7]。齐龙等^[8]利用显微图像处理的方法实现了稻瘟病菌孢子的自动检测,刘涛等^[9]则基于图像处理技术实现了大田麦穗计数,但是基于图像的处理方法成本较高,不利于大面积推广使用。张霖等^[10]分别利用压电式与电阻式应变片实现种子和甘蔗种芽计数,文韬等^[11]利用红外光电耦合传感器实现了害虫的监测与计数,但这些方式都不适合在田间作业环境下安装使用。

本文以井关高速乘坐式插秧机为平台,根据插秧机自身传动系统工作原理,设计一套插秧计数装置。该装置通过霍尔传感器测量插植轴转动的圈数进行插秧计数,该装置设计以最小受力为原则,通过精密定位以及精细零件固定,进而解决由于计数信号与插秧动作不同步造成的起停时误计数(边界计数)问题。

1 高速插秧机及其插植系统

由于乘坐式高速插秧机作业效率高、劳动强度小,被广泛用作小区插秧作业机械^[12]。

目前高速插秧机普遍采用的分插机构为旋转式分插机构^[13],该机构为对称布置的行星齿轮式分插机构,具有性能稳定可靠、振动小且插秧质量较好等特点。采用对称式结构使得栽植臂的驱动轴每旋转1周可以插秧2次,极大地提高了插秧效率。

以井关乘坐式高速6行插秧机为例,其工作原理为:发动机的动力经过插植离合器传到插植轴,其中插植轴连接插秧机主体车身与插植系统。动力通过插植轴传到插植驱动轴,一部分动力通过双向螺纹轴到移动杆再到苗箱带动苗箱左右移动。另一部分动力由插植驱动轴通过支撑杆传到旋转齿轮箱,旋转齿轮箱旋转从而驱动两个插植杆完成插秧工作。

插植系统传动结构如图1所示,其中插植轴通过两端的万向节与插植离合器和插植驱动轴相连,插植驱动轴通过支撑杆与旋转齿轮箱相连,每个支撑杆两侧对称安装2个旋转齿轮箱,每个旋转齿轮箱两端对称装有2个插植杆,两个插植杆交替进行插秧工作。插植杆旋转到低位位置时便会推秧1次,完成1次插秧工作,即旋转齿轮箱每旋转1周,两个插植杆插秧2次。其中6个插植杆为一排,同步进行插秧工作,共有2排插植杆交替进行插秧工

作,共12个插植杆。

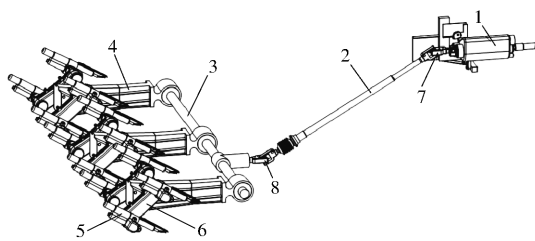


图1 高速插秧机插植系统传动结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of transmission structure of high speed transplanter planting system

1. 插植离合器 2. 插植轴 3. 插植驱动轴 4. 支撑杆 5. 插植杆 6. 旋转齿轮箱 7、8. 万向节

经过测量发现:插植轴旋转2圈,旋转齿轮箱旋转1圈,插植杆完成插秧工作2次,高速插秧机插秧2排,每排6行秧苗。该传动关系成为后期插秧计数装置主要工作依据。

2 计数装置设计

2.1 设计目标

针对当前高速插秧机在实际插秧工作中存在的问题以及用户对插秧计数要求,确定计数装置需要解决的问题为:

(1)工作精度:计数误差不能大于1排,且需要插秧机在工作时可实时显示计数情况。该问题涉及到计数的边界问题,即由于插秧动作是在插植杆到达最低点的一瞬间完成的,因此计数装置需要传动结构中相对应的这一瞬间准确计数,否则容易发生多计数或少记数的情况。

(2)稳定性:高速插秧机主要是在水田作业,插秧机工作时本身振动较大且水田工作环境复杂,因此该装置不仅需要防水防泥,还应该在安装中尽量避免中间结构与装置受力面积以减少振动干扰。

(3)合理性:由于插植轴与插植离合器相连处空间狭小,容易出现干涉,因此在设计之初应使用软件进行仿真以确保没有干涉,然后再制作安装。

(4)经济性:在保证装置正常工作的条件下应尽可能的节约成本,以便于后期产品化推广。

(5)通用性:该装置不应局限于某一种插秧机的机型,而应在各类品牌机型的插秧机上都可以实现便捷安装。

2.2 设计方案的选择

通过对插秧机的研究与田间试验,以适应狭小空间与避免中间环节为设计原则,确定计数装置的方案。

2.2.1 间接测量计数法

计数的方法可分为直接计数与间接计数。

直接计数即利用图像处理技术对插秧数直接进行计数,该方式工作精度高,受车身振动干扰小,不受插植系统结构及插秧过程的限制,可通过对插植的秧苗拍摄处理并计数。但使用成本高,工作过程中容易受泥水等污损,不适合在田间作业环境操作使用。

通过对传动结构分析发现,插秧过程中可通过测量插植轴转动圈数的方式实现间接插秧计数,且间接计数法更为适合。

因为分插机构各构件的运动形式相对单一,多以圆周转动为主,且各构件之间按照一定的比例进行传动。因此可通过插秧机的机械传动结构进行间接测量计数,即测量插植轴的转动圈数。如图 2 所示,插植轴前端(与插植离合器相连端)在插秧作业时离水田较高,可有效避免泥水干扰,而插植轴后端与后半部分插植系统结构在插秧作业时都会没入水田之中,所以插植轴前端是最易于测量计数的部位。因此可在插植轴前端利用传动比例关系进行间接测量计数。

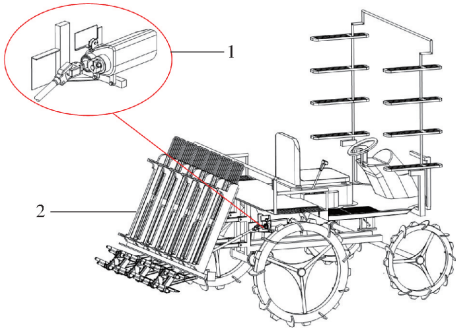


图2 高速乘坐式插秧机及计数装置安装部位

Fig. 2 High speed ride rice transplanter and installation of counting device

1. 插植轴前端(计数装置安装位置) 2. 高速乘坐式插秧机

2.2.2 传感器的选择

霍尔传感器具备体积小、重量轻、安装方便、功耗小、频率高、耐振动以及不怕灰尘、油污、水汽污染或腐蚀的特点,被广泛应用于工业自动化技术、检测技术及信息处理等方面,包括用于圆柱体的计数。高速插秧机插植轴前端空间狭小,在水田工作作业时间长,易受泥水与杂草干扰,霍尔传感器的特点非常适合用作测量插植轴转动圈数的计数装置。

霍尔传感器种类繁多,形式上主要有凹槽式和法兰式两种。本设计基于上述两种霍尔传感器分别进行安装试验,通过试验结果对两种传感器的适用性进行对比分析。

(1)基于凹槽式霍尔传感器的插秧计数装置

在插植轴转动一圈的过程中,会带动导磁性良好的单齿环形齿盘在传感器凹槽之间产生遮挡,此

时磁力线将不会穿过霍尔元件,使得霍尔感应电压从高电平跳变成低电平,气隙值固定,计数信号稳定、可靠。该装置主要包括:计数信号采集装置与计数信号处理装置两部分。

计数信号采集装置如图 3 所示,主要结构包括:凹槽式霍尔传感器、L 型支架、环形齿盘。凹槽式霍尔传感器作为主要计数传感器,通过 L 型支架固定于插植轴前端。环形齿盘的表面布有 3 个螺孔与 1 个铁质单齿,单齿的位置对准传感器凹槽中心,螺孔装有紧定螺丝用于固定环形齿盘位置。环形齿盘通过紧定螺丝固定于插植离合器轴端,与插植轴端万向节通过花键相连。单齿随着插植轴旋转每经过霍尔传感器凹槽一次,霍尔感应电压产生一次跳变,由低电平输出变为高电平输出。即插植轴旋转一圈,环形齿盘旋转一圈,环形齿盘的单齿经过凹槽式传感器一次,计数器数字跳变一次。因此通过对跳变次数进行计数,可以实现插秧数的间接计数。

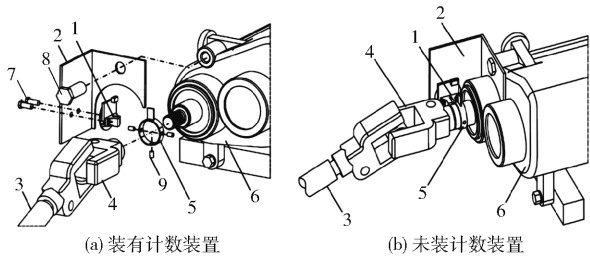


图3 插植轴前端放大图

Fig. 3 Larger image of front end of planting shaft

1. 凹槽式霍尔传感器 2. 安装基座 3. 插植轴 4. 插植轴前端万向节 5. 环形齿盘 6. 插植离合器 7、8. 螺栓 9. 紧定螺钉

(2)基于法兰式霍尔传感器的插秧计数装置

与凹槽式霍尔传感器不同,法兰式霍尔传感器内并不含有永磁体,需要将永磁体安装在被测物体上当作激活装置。当永磁体靠近霍尔传感器时,传感器内的通电半导体在磁场内受到洛伦兹力的影响,电子流向一侧偏移,使该片在电流方向上产生电位差,产生霍尔电压,传感器输出低电平。其计数信号处理装置与基于凹槽式霍尔传感器计数装置相同。计数信号采集装置如图 4 所示。作为激活装置的强力磁铁安装在插植轴上的固定套环上,霍尔传感器通过安装基座固定在圆形凸台上,固定套环以及传感器的安装基座皆通过紧定螺钉固定。

2.3 计数信号处理装置

计数信号处理装置采用欧姆龙 H7CX - A4D - N 预置计数器,如图 5 所示。将霍尔传感器信号接入计数继电器的计数电路,每输出一个脉冲信号,计数器显示数字便会加 1,即插秧排数加 1。同时该装置也可以预设插秧排数,当插秧机在插秧排数达到

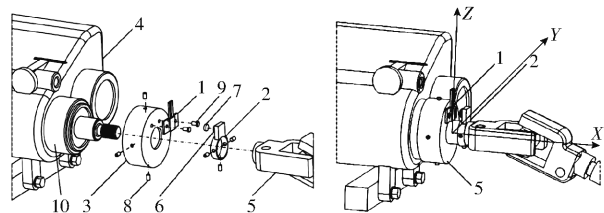


图4 基于法兰式霍尔传感器的计数装置示意图

Fig.4 Schematic of counting device based on flange type Holzer sensor

1. 法兰式霍尔传感器 2. 脉冲环 3. 传感器安装基座 4. 插植离合器 5. 插植轴前端万向节 6. 柔性机构 7. 强力磁铁 8. 紧定螺钉 9. 螺栓 10. 圆形凸台

预设值时插秧机会自动停止插植系统的作业。

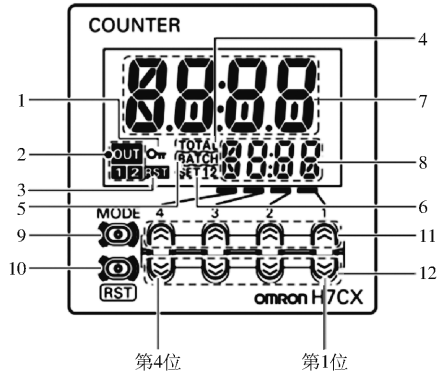


图5 计数继电器前面板功能示意图

Fig.5 Schematic of front panel function of counter relay

1. 按键保护显示 2. 控制输出显示 3. 复位显示 4. 总计数器指示灯 5. Batch counter 指示灯 6. 设定值指示灯 7. 当前值 8. 设定值 9. 模式键 10. 复位键 11. 增量键 12. 下降键

计数继电器面板具有 IP66 级别的防水防尘功能,安装盒使用 3D 打印,材料为丙烯酸塑料,在工作过程中可以有效抵御水和尘土,安装盒安装在仪表盘右侧,便于驾驶员读取计数与操作,如图 6 所示。



图6 计数继电器安装示意图

Fig.6 Schematic of counting relay installation

2.4 设计原理分析

2.4.1 精确约束原理

精确约束设计又称为运动学设计,与机构运动学中关注位置正解、位置反解、速度及加速度分析等不同,精确约束设计研究的是机构自由度、约束及其相互关系问题。它注重以最少的点接触约束构件的

运动,同时使构件具有期望的自由度。遵循这一原则的机械结构具有运动确定、重复精度高和元件变形小的优点。从理论上来说,精确约束设计为机械设计提供了一种方法。它以自由度和约束的视角统一处理机械设计问题,能够保证机械结构在运动学原理上的正确性,可广泛应用于机械接口及机构设计,其应用包括运动学联接、运动学夹具及精密定位平台等。

精确约束是指机械结构不存在欠约束和过约束,即没有哪个自由度被过约束,也没有哪个自由度未被约束,而是具有“运动学正确”的约束模式和期望的自由度,这种情况下,该物体就可以称为被精确约束。所谓运动学正确是指机构受到的约束数与被约束的自由度数相等。精确约束设计和运动学设计实际上是同一概念。

精确约束设计的核心是机构自由度及其约束的分析,为此对图 4 所示脉冲环进行三维空间约束线图分析,任何时候只要知道施加在物体上的约束线图,就可以通过对偶线图法则来确定由此所产生的自由度线图。

对偶线图法则:当在两物体间施加约束线图时,总能够找到与约束线图对偶的自由度线图 R 存在于两物体间,这时,给定其中任一种包含 n 条互不冗余线的线图,与其对偶的线图中都将包含 $6 - n$ 条线,并且一个线图每条线一定都与其对偶线图的所有线相交。

如图 7 所示,脉冲环在三维空间内受到 6 个约束,用约束线表示为 C1、C2、C3、C4、C5、C6 共 6 条约束线图,且 6 条约束线图互不冗余,根据对偶线图法则,这 6 条约束线图 C 的存在将导致没有任何一条自由度线图 R 的存在,即在三维空间内找不到任何一条线与所有约束线图相交,所以机构的自由度

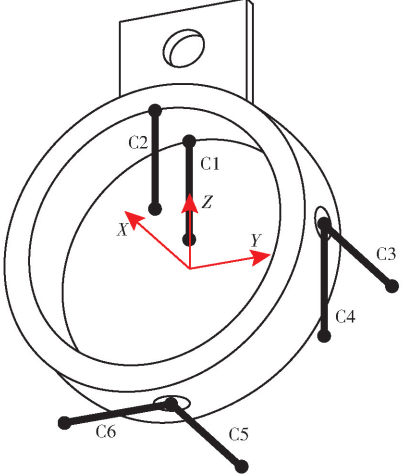


图7 脉冲环约束线图

Fig.7 Pulse ring constraint diagram

为零,运动被完全约束,具有确定姿位,这同时也满足了精确约束的条件,即机构受到的约束数与被约束的自由度数相等,该脉冲环已被精确约束。

2.4.2 柔性元件原理

在机械设计过程中,与其他连接相比,将柔性元件用于机械连接,具有低成本、高性能的优势。柔性元件的优点包括:无摩擦、零间隙、低成本等。柔性元件要求在某些方向上能够表现出尽可能大的刚性而在其他方向上表现出尽可能大的柔性。当设计柔性元件时,将它们考虑成理想柔性元件是有帮助的,呈现出“0-1型的双向刚度特性”。在某些方向认为它们具有绝对刚性,而在另外的方向认为它们具有绝对柔性(即零刚度)。

薄板尽管在其功能方向上具有相当大的柔性,在拉伸和压缩时却具有相当大的刚性。这类元件的抗弯刚度与行拉刚度可能会相差几个数量级。

脉冲环连接片可以看作一个柔性薄板,对于柔性薄板的转动自由度,基于柔性元件的试验结论,可知:薄板约束了木块绕 X 轴方向的转动自由度,但不能约束其绕 Y 轴和 Z 轴的转动自由度。

由柔性薄板模型的观察结果可知,柔性薄板在 Y 、 Z 和 θ_x 方向上的刚度相对较大,它们对应的力位于薄板平面内。

脉冲环的连接片在工作时,主要受到 Y 和 θ_x 方向上的力,而这两个方向的刚度大,使零件有良好的稳定性。

2.5 设计方案的确定

本装置考虑安装位置空间狭小的限制,同时把对插秧机原本结构的改变控制在最小的范围。对狭小空间的适应首先要精确测出可使用空间的尺寸,其次再进行仿真测试有无干涉,从而确定设计方案的可行性。

如图8所示,在插植离合器圆柱形凸台表面的圆心 O 点建立空间坐标系,通过空间坐标系来分析安装空间位置的干涉。 O 点至万向节处共有1.5 cm位置可供安装固定套环,固定套环安装至距 O 点0.5 cm处。 Y 轴方向最大空间只有1 cm, Z 轴方向有2 cm空间。 Y 轴负方向是插秧机车身支架,空间较大,但由于环形齿盘上的单齿是随着插植轴的旋转做圆周旋转,因此单齿的长度必须小于1 cm。

通过实际安装发现,如果使用凹槽型霍尔传感器,需要在机架上安装支架。 Y 轴负方向空间较大,可用于安装L型支架固定传感器,L型支架与插植离合器圆形凸台贴合,通过螺栓与插植离合器固定。霍尔传感器的凹槽宽度为0.3 cm,这就要求环形齿盘的精度非常高,增加了设计制造以及装配的难度。

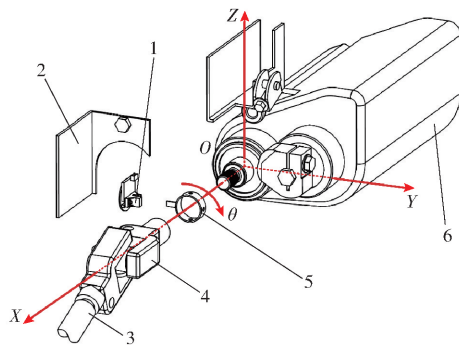


图8 计数信号采集装置爆炸图与空间坐标系

Fig. 8 Explosion view and space coordinate system of counting signal acquisition device

1. 凹槽式霍尔传感器 2. L型支架 3. 插植轴 4. 万向节 5. 脉冲环 6. 插植离合器

如果使用法兰式霍尔传感器则无需安装支架,只需要在圆形凸台外固定一个传感器安装基座,并且对于磁铁的安装位置精度也没有特别高的要求,因为只要磁铁和传感器距离在12 mm内皆能够产生信号,大大降低了装配安装和制造的难度。综上所述,设计方案使用法兰式霍尔传感器较为合适。

3 计数装置可安装角度的确定

3.1 “边界计数”问题分析

利用霍尔传感器测量插植轴转动圈数的间接计数方式,在实际使用过程中,插植杆推秧动作与霍尔计数信号由于制作或安装原因难以严格在时间上同步。

计数中间过程中,如果插植轴转动周期完整,即插植轴转动1圈,始终能保证推秧1次、插秧1排,产生1次计数信号计数,那么则没有计数误差产生。

但在开始和停止插秧操作的时刻(边界时刻),受插秧速度的影响,使得插植杆起、停位置无法严格重合,即相对1圈完整的工作轨迹,两者之间会存在一定的间隔区域,如图9所示为起动角度 a 与停止角度 b 之间的间隔区域。计数装置如在不合理的安装角度内,即计数信号产生位置不合理,则容易出现1行的误计数现象。具体为:如图10a,当推秧点 c 位于非间隔区域,而计数信号产生位置 d 位于间隔区域时,则在结束时刻会少计数1次;同理,如图10b,当 c 位于间隔区域,而 d 位于非间隔区域时,则在停止时刻少插秧1行、多计数1次。当 c 与 d 同在间隔区域或非间隔区域时,此时将不会产生计数误差。

由于推秧点与插植杆起动、停止位置由插秧机机械结构决定无法改变,所以,需要设计转角测量装置对推秧点的位置与间隔区域进行测定,合理安排

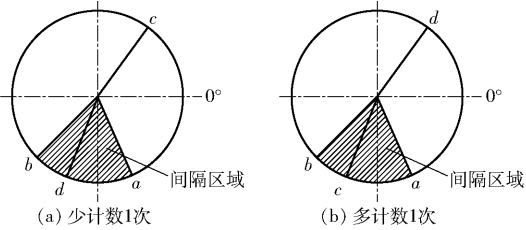


图 9 边界计数情况

Fig. 9 Situation of edge counting

计数信号产生位置,达到无误差计数。

3.2 转角测量装置的设计

由于秧爪与插植轴工作过程中按比例进行传动,所以,推秧点与秧爪起、停止位置以及计数信号产生位置,都可以通过插植轴的转角来表示。为了达到这一目的,设计了基于单圈绝对值旋转编码器的测量装置对插植轴转角进行测定。如图 10 所示,主动齿轮安装在插植轴上,并与从动齿轮啮合,两者按 1:1 进行传动,从而可以通过编码器实时测出插植轴转角。

绝对值编码器信号需要经过上拉电路处理后,接入单片机才能被保存及读取。编码器输出的信号为二进制格雷码信号,需要经过十进制转换和与插植轴转角的换算才能够得到所需要的测量角度。图 11 是测试装置电路图。其主要功能包括:为霍尔传感器与绝对值编码器的工作提供电源;为绝对值编码器的信号输出进行上拉处理以及简化线路连接等。

3.3 零度角的定义

在进行相关角度的表示之前,需要进行参考零度角的定义。

插秧机水平停放,秧爪运行到上止点位置,单齿齿盘的齿端向上,如图 12 所示,分别在插植轴顶端、轴套法兰方向与永磁体中线分别刻画轴套标线、插植轴标线和永磁体标线。

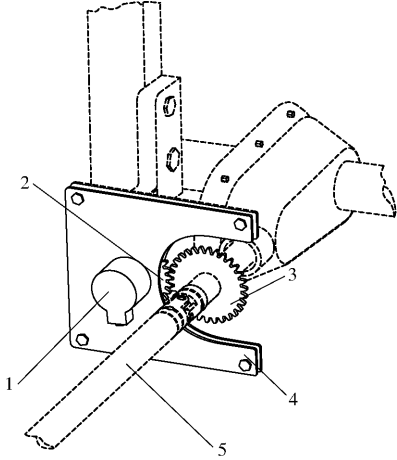


图 10 转角测量装置结构及安装图

Fig. 10 Diagram of structure and installation of angle measuring device

1. 绝对值编码器 2. 从动齿轮 3. 主动齿轮 4. 安装基座 5. 插植轴

(1) 插植轴零度角

插植轴转动过程中,其转角为轴套标线与插植轴标线在圆周方向上所夹弧长对应的角度,将这两条直线对应的零度角定义为插植轴零度角,沿着插植轴转动方向为正。

(2) 安装零度角

单齿齿盘的安装角度为插植轴标线和永磁体标线之间夹的弧长对应的角度,其中当弧长对应的角度为 0° 时为安装零度,沿着插植轴转动方向为正,计数信号产生角即为永磁体的安装角度。

3.4 插植轴起停位置的确定

“自停”模式下,在不同挡位速度下,利用单片机分别读取秧爪起、停止时刻插植轴角度,重复试验。

试验表明:自停模式下,秧爪起、停止的位置相对固定在一定的角度范围内。其中,秧爪启动位

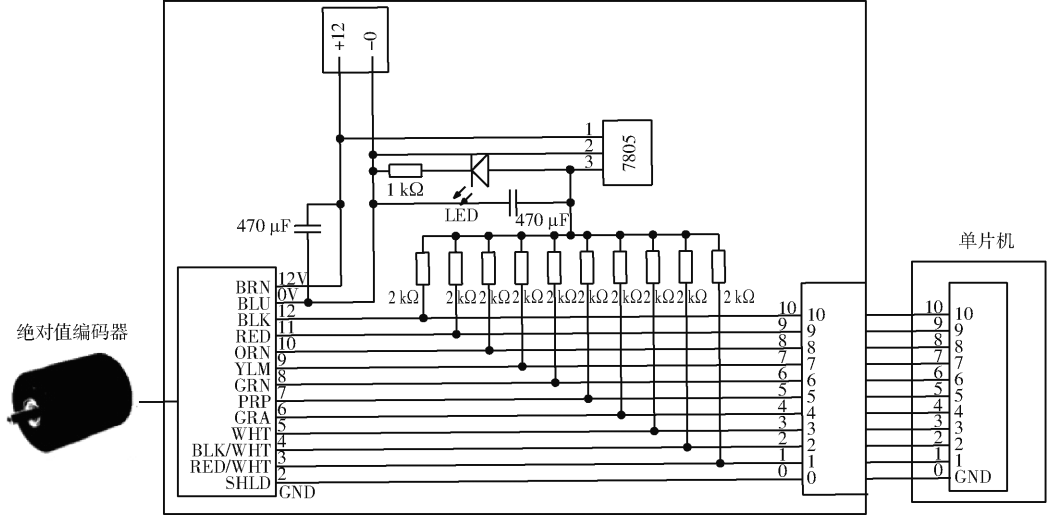


图 11 转角测量装置电路图

Fig. 11 Circuit diagram of angle measuring device

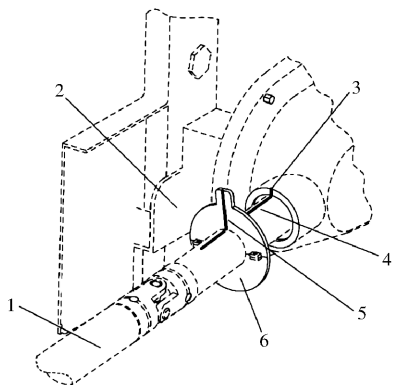


图 12 标线的刻画

Fig. 12 Depiction of reticules

1. 插植轴 2. 机架 3. 轴套标线 4. 插植轴标线 5. 永磁体标线 6. 永磁体

置位于 $145^{\circ} \sim 202^{\circ}$ 范围内,停止位置位于 $143^{\circ} \sim 201^{\circ}$ 范围。则两者之间最大的间隔角度范围为 $143^{\circ} \sim 202^{\circ}$ 。如表 1 和表 2 所示,分别是不同的挡位速度下秧爪起动、停止位置的数据。

表 1 不同挡位速度下秧爪起动位置

Tab. 1 Extracted data of seedling lifter's start location at different working speeds (°)			
试验序号	角度		
	挡位 1	挡位 2	挡位 3
1	197	174	145
2	199	172	146
3	196	174	145
4	199	173	145
5	198	170	145
6	196	174	145
7	198	173	145
8	199	170	145
9	202	173	145
10	198	171	146

表 2 不同挡位速度下秧爪停止位置

Tab. 2 Extracted data of seedling lifter's stop location at different working speeds (°)			
试验序号	角度		
	挡位 1	挡位 2	挡位 3
1	197	172	143
2	197	170	143
3	197	169	143
4	201	168	143
5	196	170	145
6	196	169	143
7	194	168	143
8	193	170	143
9	196	170	143
10	195	169	144

3.5 推秧点位置的确定

由于秧爪运动过程中,单片机显示的转角不断

变化,使得推秧点的位置很难直接通过肉眼快速读取,可以借助高速摄影设备对显示结果拍摄后读取。

美国 VRI 公司研发的 Phantom M310 型高速摄像机具有高拍摄速率、最小曝光时间短、时间精度高等特点,可用于高速运转物体拍摄分析^[19]。如图 13 所示,正常插秧速度下,设定高速相机拍摄速率为 2 000 f/s,取某个秧爪作为拍摄对象。同步拍摄秧爪运动轨迹与单片机显示信息,在推秧点动作结束时,读取角度,经过解码得出推秧点位置为 12° 。

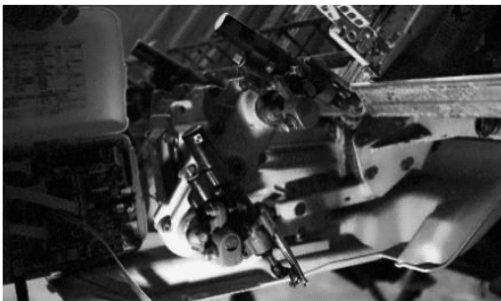


图 13 利用高速相机拍取推秧点位置

Fig. 13 Acquisition of push point position by using high-speed camera

3.6 可安装角度的确定

由上述可知:推秧点位置为 12° ,最大间隔区域为 $143^{\circ} \sim 202^{\circ}$ 。推秧点位于非间隔区域,为达到无误差计数的目的,计数脉冲信号产生的最佳位置即为推秧点的位置。

4 插秧计数试验

4.1 怠速状态下插秧计数试验

插秧机在怠速条件下,计数装置在非间隔区域内分别选取 0° 、 90° 、 270° 的安装角度进行验证,并选取 180° 进行对比,“自停”模式下,分别进行不同角度的 10 组计数器预设插植秧苗数 15 行的插植试验。试验结果如表 3 所示。

表 3 怠速条件下插秧计数试验结果

Tab.3 Counting results at idle speed					
项目		安装角度/(°)			
		0	90	180	270
各组实插数/行	第 1 组	15	15	16	15
	第 2 组	15	15	16	15
	第 3 组	15	15	16	15
	第 4 组	15	15	16	15
	第 5 组	15	15	16	15
	第 6 组	15	15	16	15
	第 7 组	15	15	16	15
	第 8 组	15	15	16	15
	第 9 组	15	15	16	15
	第 10 组	15	15	16	15
误差/行		0	0	1	0

由试验结果可知:“自停”模式下,计数装置在安装角度范围内选取的0°、90°和270°进行试验都达到了无误差计数的目的,而180°的安装角度时则计数装置显示比实插行数少计1次,这与分析结果一致。

4.2 田间插秧计数试验

在华南农业大学跃进北试验基地进行田间插秧计数试验(图14),选取计数装置安装位置为12°,分别预设插植秧苗数为50、100、150行,各重复试验10组。试验结果如表4所示。



图14 现场试验情况
Fig.14 Field experiment

表4 田间插秧计数试验结果
Tab.4 Field counting results

项目		预设插植数/行		
		50	100	150
各组实插数/行	第 1 组	50	100	150
	第 2 组	50	100	150
	第 3 组	50	100	150
	第 4 组	50	100	148
	第 5 组	50	100	150
	第 6 组	50	100	150
	第 7 组	50	100	149
	第 8 组	50	100	150
	第 9 组	50	100	150
	第 10 组	50	100	149
最大误差/行		0	0	2

试验结果表明:在插植数小于100行时,计数装置工作较为稳定。当一次性工作插植达到150行时计数装置出现了误差。通过对误差检查发现:并不是由于计数装置的工作误差引起的,而是由于秧爪取秧过程中,存在没有取到秧苗,造成“漏插”的情况(图15),但秧爪完成了整个工作循环,使得实际秧苗插植数小于计数值。



图15 “漏插”情况
Fig.15 Situation of missing transplanting

通过对秧盘的观察发现,秧盘的边缘时常出现未发芽的情况,导致秧爪取不到秧苗。更换出芽均匀完整的秧盘后,“漏插”的情况得到了改善。

5 结论

- (1)基于精确约束原理的非轴端安装计数装置设计简易、可靠,使用成本低,安装快捷方便,可以实现精确插秧计数,并可在其他同类插秧机上安装使用,提高了小区内定量育种研究工作的效率。
- (2)本设计以井关高速乘坐式插秧机为平台,当传感器安装角度不在间隔区域(143°~202°)时,可以达到精准插秧计数。

参 考 文 献

[1] 杨薇,王飞,赫志飞,等. 小区育种机械发展现状及展望[J]. 农业工程, 2014, 4(6):7-9.

[2] 常建国,刘兴博,叶彤,等. 农业小区田间育种试验机械的现状与发展[J]. 农机化研究, 2011, 33(2):238-241. CHANG Jianguo, LIU Xingbo, YE Tong, et al. Agricultural plot field trial breeding status and development of machinery[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(2):238-241. (in Chinese)

[3] 刘曙光,尚书旗,杨然兵,等. 小区播种机的发展分析[J]. 农机化研究, 2011, 33(3):237-241. LIU Shuguang, SHANG Shuqi, YANG Ranbing, et al. Analysis of plot seeder development[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(3):237-241. (in Chinese)

[4] 蔡东明,田增荣,朱建峰. XBJ-150型自走式小区播种机及其在小麦试验中的应用[J]. 农业机械, 2015(13):117-119.

[5] 刘光,廖庆喜,黄吉星,等. 油菜小区育种带式精量排种器的设计[J]. 农业装备技术, 2010, 36(2):25-27.

[6] 谷金龙,陈海涛,顿国强. 2BXJ-4(A)型大豆小区育种精量播种机的设计与试验研究[J]. 大豆科学, 2014, 33(5):743-747.

[7] 黄亦其,王小波,尹凯,等. 基于感应计数的甘蔗种切割防伤芽系统的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18):41-47. HUANG Yiqi, WANG Xiaobo, YIN Kai, et al. Design and experiments of buds-injury-prevention system based on induction-counting in sugarcane-seeds cutting[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(18):41-47. (in Chinese)

[8] 齐龙,蒋郁,李泽华,等. 基于显微图像处理的稻瘟病菌孢子自动检测与计数方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(15):186-193. QI Long, JIANG Yu, LI Zehua, et al. Automatic detection and counting method for spores of rice blast based on micro image processing[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(15):186-193. (in Chinese)

- navigation[J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(11): 148–156. (in Chinese)
- [15] 丁幼春, 詹鹏, 周雅文, 等. 北斗定位田间信息采集平台运动控制器设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(12): 178–185.
DING Youchun, ZHAN Peng, ZHOU Yawen, et al. Design and experiment of motion controller for information collection platform in field with Beidou positioning[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(12): 178–185. (in Chinese)
- [16] 刘焯韬, 徐岚俊, 李治国, 等. 农机自动导航驾驶系统在北京市的试验及推广建议[J]. 农业工程, 2015, 5(增刊): 33–36.
LIU Xingtao, XU Lanjun, LI Zhiguo, et al. Test and promotion suggestions of automatic navigation driving system for agricultural machinery in Beijing City[J]. Agricultural Engineering, 2015, 5(Supp.): 33–36. (in Chinese)
- [17] 吉辉利, 王熙. 农机卫星定位导航精度评估方法研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(11): 242–245.
JI Huili, WANG Xi. The research of agricultural machinery is about satellite navigation accuracy of the evaluation method[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2016, 38(11): 242–245. (in Chinese)
- [18] 陈兵, 申俊飞, 何海, 等. 北斗卫星导航系统定位精度分析评估[J]. 导航定位学报, 2015, 3(1): 1–9.
CHEN Bing, SHEN Junfei, HE Hai, et al. The analysis and evaluation of BDS positioning accuracy [J]. Journal of Navigation and Positioning, 2015, 3(1): 1–9. (in Chinese)
- [19] 周俊, 张鹏, 宋百华. 农业机械导航中的 GPS 定位误差分析与建模[J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 189–192.
ZHOU Jun, ZHANG Peng, SONG Baihua. Analysis and modeling of GPS positioning error for navigation of agricultural machinery[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 189–192. (in Chinese)
- [20] 刘卉, 孟志军, 付卫强. 基于 GPS 轨迹的农机垄间作业重叠与遗漏评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 149–154.
LIU Hui, MENG Zhijun, FU Weiqiang. Overlap and skip evaluation for agricultural machinery operation based on GPS track logs [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(18): 149–154. (in Chinese)
- [21] 孟志军, 刘卉, 王华, 等. 农田作业机械路径优化方法[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 147–152.
MENG Zhijun, LIU Hui, WANG Hua, et al. Optimal path planning for agricultural machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 147–152. (in Chinese)
- [22] DB23/T 207.8—2002 农业机械作业质量检查验收方法 [S]. 哈尔滨: 黑龙江省技术监督局, 2002.

(上接第 86 页)

- [9] 刘涛, 孙成明, 王力坚, 等. 基于图像处理技术的大田麦穗计数[J]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 282–290.
LIU Tao, SUN Chengming, WANG Lijian, et al. In-field wheatear counting based on image processing technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 282–290. (in Chinese)
- [10] 张霖, 赵祚喜, 可欣荣, 等. 压电式种子计数系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 41–45.
ZHANG Lin, ZHAO Zuoxi, KE Xinrong, et al. Seed-counting system design using piezoelectric sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 41–45. (in Chinese)
- [11] 文韬, 洪添胜, 李震, 等. 基于机器视觉的橘小实蝇运动轨迹跟踪与数量检测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 137–141.
WEN Tao, HONG Tiansheng, LI Zhen, et al. Statistics and tracking of *Bactrocera dorsalis* based on machine vision [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 137–141. (in Chinese)
- [12] 陈小亮, 李革, 徐岳平, 等. 高速水稻插秧机行走变速装置的研究[J]. 农机化研究, 2013, 35(8): 228–231.
- [13] 李革, 李辉, 方明辉, 等. 旋转式分插机构非圆齿轮参数反求法求解[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 46–49.
LI Ge, LI Hui, FANG Minghui, et al. Non-circular gear parameters of rotary transplanting mechanism calculated by reverse method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 46–49. (in Chinese)
- [14] 赵匀, 赵雄, 张玮炜, 等. 水稻插秧机现代设计理论与方法[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 65–68.
ZHAO Yun, ZHAO Xiong, ZHANG Weiwei, et al. Modern design theory and method of rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 65–68. (in Chinese)
- [15] 李革, 应孔月, 张继钊, 等. 基于秧针静轨迹的分插机构非圆齿轮求解[J]. 机械工程学报, 2016, 52(1): 64–71.
LI Ge, YING Kongyue, ZHANG Jizhao, et al. Computation method of non-circular gear based on seedling needle tip point's static trajectory in transplanting mechanism [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(1): 64–71. (in Chinese)
- [16] 张健. 霍尔传感器的应用浅析[J]. 信息与电脑(理论版), 2009(7): 138.
- [17] 孙文顺, 仇久安. 焊条在线计数装置研究[J]. 包装工程, 2015(17): 144–146.
- [18] Robert Bosch GmbH Automotive After market (AACOM3). Bosch automotive electrics and automotive electronics: systems and components, networking and hybrid drive [M]. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [19] 刘栋铖. 工业检测中的线阵 CCD 相机系统设计与研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
- [20] 王大志. 精密机械运动学结构设计方法的若干新进展[D]. 北京: 中国科学院, 2011.
- [21] 何杰, 朱金光, 张智刚, 等. 水稻插秧机自动作业系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 17–24.
HE Jie, ZHU Jinguang, ZHANG Zhigang, et al. Design and experiment of automatic operation system for rice transplanter [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(3): 17–24. (in Chinese)