

# 无级调速技术在播种机中的改进应用<sup>①</sup>

赵立新<sup>1,2</sup>, 张业民<sup>1,2</sup>, 宋吾力<sup>3</sup>, 张 昆<sup>1,2</sup>, 丁筱玲<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(山东农业大学 机械与电子工程学院, 泰安 271018)

<sup>2</sup>(山东省园艺机械与装备重点实验室, 泰安 271018)

<sup>3</sup>(泰山医学院 信息工程学院, 泰安 271000)

**摘要:** 为避免地轮打滑引起小麦播种性能不稳, 该研究抛开传统地轮驱动的纯机械播种方式, 采用自我设计研制的双气吸排种盘、半开放式盛种器、无级变速调速器及播种机相应配件等, 创新性地将无级变速技术与反馈控制技术较完美结合应用于小麦双线精播机。该技术中, 排种轴的驱动力取自拖拉机尾部动力输出, 采用单片机无线传递方式, 在机具前进速度、小麦播量及播种株距之间建立起一套控制算法, 使排种轴转速实时跟踪机具前进速度, 以保障机具变速前进状况下种距的恒定。样机试验表明, 该无级调控小麦双线精播机达到落种精确到每一粒, 性能稳、误差小、株距恒定的预期目标。

**关键词:** 无级变速; 双线精播; 反馈; 控制算法; 实时跟踪

## Improved Application of Stepless Speed Control Technology in Seeding Machine

ZHAO Li-Xin<sup>1,2</sup>, ZHANG Ye-Min<sup>1,2</sup>, SONG Wu-Li<sup>3</sup>, ZHANG Kun<sup>1,2</sup>, DING Xiao-Ling<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> (Mechanical & Electronic Engineering College Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

<sup>2</sup> (Shandong Provincial Key Laboratory of Horticultural Machineries and Equipments, Tai'an 271018, China)

<sup>3</sup> (Information Engineering College of Taishan Medical University, Tai'an 271000, China)

**Abstract:** In order to avoid wheat sowing instability caused by the land wheel skid, the study puts aside the purely mechanical seeding mode which is driven by traditional wheel. It uses a self-designed and developed double suction seed plate, a semi-open seed container, CVT governor, corresponding accessories of sowing machine and so on. The perfect combination of CVT technology and feedback control technology is applied to the wheat double precision seeder. In this technique, the force of seed shaft is from the power output of the tractor tail. It uses wireless transfer mode of SCM to establish a set of control algorithm between forward speed, wheat sowing quantity and sowing spacing. The seeding shaft speed tracks the forward speed in order to ensure the constant distance when trans-miss the progress status. Prototype tests indicate that the wheat double precision seeder developed by air suction stepless regulation can reach precisely the expected target about the fall for each particle. Meanwhile, it has steady performance, small errors and spacing constant.

**Keywords:** CVT; double precision seeding; feedback; control algorithm; real-time tracking

20世纪80年代后, 我国一些高校与科研机构开始致力于比较先进实用的小麦播种机的设计制造。总结多年来国内播种监测、控制技术, 大都在传统地轮驱动排种的前提下进行研究探讨, 没有突破性思维模式。相比之下, 国外在农作物精播控制方面研究较早, 相

关技术也更成熟、完善, 仅就小麦精播技术而言, 国内普遍存在以下几方面不足: 1)地轮驱动播种, 打滑现象难免; 2)机组前进速度与播种轴转速配合不佳, 株距稳定性差; 3)种量调节必须停机手动拨调链轮, 调整精度差且费时费力; 4)牵引机与

<sup>①</sup>基金项目:山东省科技发展计划项目(2010GNC10964);山东省泰安市科技发展计划项目

收稿时间:2013-11-22;收到修改稿时间:2014-01-03

播种机间控制系统有线电路连接困难, 给机具配套拆装及播种过程造成不便. 基于此, 该课组成员着眼于抛开传统地轮驱动排种方式, 在山东省科技发展计划项目支持下, 2011 年开始尝试利用步进电机驱动排种器, 成功试制一套小麦双线精播智控系统, 以单片机为控制核心, 实时调节步进电机转速, 以带动排种轴按需播种<sup>[1-2]</sup>. 考虑到步进电机驱动播种需配套蓄电池供电, 与传统地轮驱动相比, 会增加能源消耗, 并且蓄电池需要及时、反复充电, 课组人员经进一步探索, 开发了另一种气吸式无级调速控制下的小麦精播机, 该技术选择从拖拉机尾部的动力输出获取排种驱动力, 通过无级变速调速技术与 PID 控制技术相融合, 使高转速输出的拖拉机尾部动力与慢速排种的播种转轴之间实现无障碍对接, 从而保障机具变速前进状况下小麦种距的恒定.

## 1 精播机总设计方案

气吸式排种是目前已知播种技术中最成熟、精度最高的播种方式. 该设计所选择的是气吸式无级调控精播方式, 采用自我创新研制的双气吸播种盘、半开放式盛种器、无级变速调速器及播种机架等, 利用拖拉机后部动力输出作为播种驱动力(样机试验中暂时采用与拖拉机动力输出相同转速的电机代替), 以单片机为智控核心, 将无级变速调速技术和 PID 控制技术完美结合, 在机具前进速度、播种轴转速及播量株距之间建立起一套控制算法, 使排种轴转速实时跟踪机具前进速度的变化, 以保障机具变速推进下种距的恒定.

当株距给定时, 精播机将自动计算并通过显示屏给出相关参量: 株距、播量、车速、运行状况等; 播种盘边缘气吸孔的合理尺寸设计与均匀分布状态, 切实保障播种质量精确到每一粒. 该智控精播机采用双气吸盘非同步运转的排种方式, 以实现双行交叉布种、单行株距恒定. 图 1 为本课题研制的气吸式无级调控小麦双线精播机的工作原理结构图.

## 2 机械关键部位的设计

### 2.1 播种盘的设计

播种盘是播种机中最关键重要的部分, 为实现单沟双线播种并精确到粒播, 这里选择的是气吸播种方式. 气吸播种盘要求的技术指标主要有表面粗糙度、

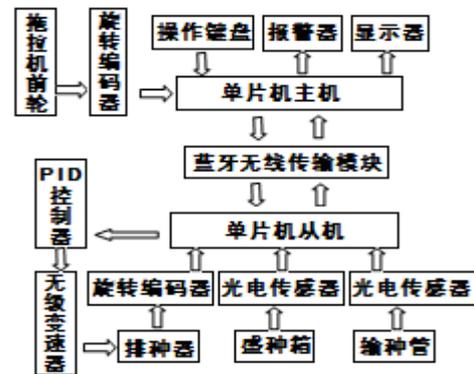


图 1 精播机工作原理结构图

气吸孔大小, 弧形槽的深度和斜度等, 这些决定了小麦能否被稳定地吸住, 并保证每个孔只吸一粒小麦<sup>[3]</sup>. 该播种盘选择的表面粗糙度为 3.2; 气吸孔直径选为 3mm. 图 2(a)和(b)分别为播种盘设计图和实物图.



(a)播种盘设计图

(b)播种盘实物图

图 2 播种盘设计图及实物图

### 2.2 排种器其它部位设计

除最重要的播种盘外, 排种器还包括排种箱、气吸箱体、种轴、刮种器, 以及其它密封件、固定件等<sup>[4-5]</sup>. 播种盘的吸力来自风机, 其出口通过管道连至排种器的气接管接口, 风机启动以后, 会在排种箱中产生巨大的负压, 从而小麦被紧吸在播种盘的小孔口. 图 3 所展示的分别为该气吸式无级调控小麦双线精播机样机中播种轴、刮种器、气吸箱体、排种箱等分部件设计图.



(a)播种轴设计图

The seeding shaft design



(b)刮种器

(c)气吸箱体

图 3 排种器主要部件设计图

### 3 控制系统关键技术

#### 3.1 速度信息采集

旋转编码器是用来测量转速的装置,光电式旋转编码器通过光电转换,可将输出轴的角位移、角速度等机械量转换成相应的电脉冲并以数字量输出,是应用于自动测量最多的一种数字式传感器.编码器内部是由光源、码盘、光电接收元件、信号转换电路等部分组成.该精播调控测速装置选用的是欧姆龙 E6B2 型旋转编码器(600 P/R),在机具前轮和播种轴上各置 1 个.

#### 3.2 无级调速控制电路

为了达到精播要求,这里将无级变速调速技术引入该小麦精播控制系统,采用 PID 控制方式,实时跟踪机具前进速度,调节传动比,从而调整排种轴转速,实现株距恒定.无级调速控制过程为:主单片机通过蓝牙将速度信号传输给从单片机,从单片机接收指令后,通过四个继电器的开闭,控制调速电机,实现正转、反转、停止三个动作,四个继电器分别编号为继电器 0-继电器 3,定义管脚 P1.0-P1.3.其中继电器 0 和继电器 1 同为电源开关,且同向动作;继电器 2 和继电器 3 为正反转开关,反向动作.当继电器 0 和继电器 1 为高电位,继电器 2 和继电器 3 为低电位时,调速电机正转;当四个继电器同为低电位时,调速电机反转;当四个继电器同为高电位时,调速电机不动作<sup>[6-8]</sup>.无级调速控制电路如图 4 所示.



图 4 无级调速电路

#### 3.3 无线传输模块设计

蓝牙串口主机模块实际上是将数据转换成蓝牙的形式无线发送出去,如果在接收端再安装一个蓝牙串口从机模块,配对后就相当于一串口线直接连在一起,和普通的串口线没有任何区别,这时连接在主单片机和从单片机的两套设备就可以进行串行通讯<sup>[9]</sup>.

#### 3.4 单片机控制流程

考虑到需要频繁地对编码器的输出脉冲进行判断和处理,因而对单片机的稳定性要求较高,传统 51 系

列单片机难以胜任,该设计选择 STC12C5A60S2 型单片机,采用主、从两个单片机系统,利用蓝牙无线传输模块收发相关数据.控制过程:首先,旋转编码器采集拖拉机前轮速度信息发送至单片机主机,主机经解码、运算、编码处理后将高频信号无线发送给置于播种机架的单片机从机,从机接收信号后,经与设在排种轴处的编码器采集的播种轴实时转速信息相比较,控制锥环式无级调速器的动作.另外,单片机还具备控制监测报警系统功能,一旦种箱内种量不足或者出现输种管堵塞状况,将及时发出声光报警,提醒操作人员注意.图 5 所示为单片机控制无级变速流程图.

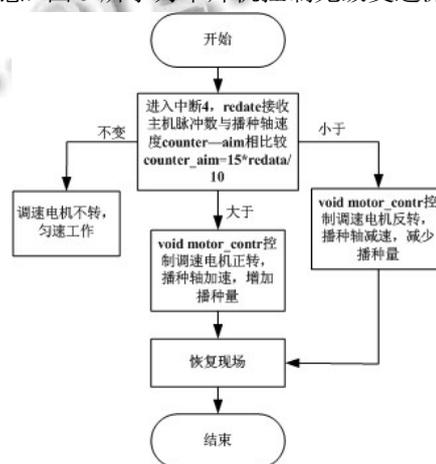


图 5 单片机控制无级变速流程图

#### 3.5 播种轴转速响应算法

假设:机组理论前进速度  $v_1 = 6.7$  km/h; 配种孔线速度  $v_2 = 0.5$  m/s; 机组打滑率  $\delta = 8\%$ ; 播种盘直径  $D_2 = 200$  mm; 配种孔的数量  $Z = 80$ . 则根据公式(1)、(2)、(3), 可推得公式(4), 从而得知播种轴跟踪机具前进速度的实时转速值.

$$f = V / a \times 27.7 = v_1(1 - \delta) / a \times 27.7 \quad (1)$$

$$f = nz / 60 = v_2 z / \pi D_2 \quad (2)$$

$$v_2 = 80 v_1(1 - \delta) D_2 / az \quad (3)$$

$$n = [v_1(1 - \delta) \times 27.7 \times 60] / za = 85 / a \quad (4)$$

式中:  $f$  ——排种器的排种频率(Hz);  
 $V$  ——机组行进速度(m/s);  
 $a$  ——小麦间距(mm);  
 $n$  ——排种轮转速(r/min);

### 4 试验结果与分析

#### 4.1 排种器性能测试

在风力满足正常工作要求的条件下,对配种孔孔径、播种盘转速、种子质量以及配种孔孔距这四个量进行正交试验,各组试验重复进行三次,得到的结果是:当机组以特定的速度前进时,播种盘转速越高则排出的种子间距越小,当播种盘转速越慢时,相应的种子间距会增大,因此在整个机组进行精量播种的过程中,应当兼顾机组前进速度、播种盘转速、配种孔间

距、配种孔线速度等参数之间的关系<sup>[10-11]</sup>。经过以上实验对田间播种均匀性排列系数,排种量一致性变异系数,种子破损率,排种深度合格率,单粒排种合格率等指标进行测定评估,最终得到结果如表 1 所示。采用国内地轮驱动排种的通用型小麦精播机,进行相关参数的对比测试,结果如表 2 所示。

表 1 无极调速精播样机检测结果

序号	1	2	3	4	5	6
检测项目	各行排种量一致性变异系数	种子破碎率	田间播种均匀性排列系数	总排种量一致性变异系数	排种深度合格率	单位排种合格率
检测结果一	1.88%	0.22%	45.8%	1.51%	95.0%	99%
检测结果二	3.69%	0.12%	43.2%	1.54%	90.0%	99%

【注】:测试一为作业速度 0.55m/s,排种量 65.27kg/hm<sup>2</sup>;测试二为作业速度 0.55m/s,排种量 61.74kg/hm<sup>2</sup>

表 2 地轮驱动播种机检测结果

序号	1	2	3	4	5	6
检测项目	各行排种量一致性变异系数	种子破碎率	田间播种均匀性排列系数	总排种量一致性变异系数	排种深度合格率	单位排种合格率
检测结果一	2.12%	0.26%	39.6%	2.29%	88.3%	92%
检测结果二	3.85%	0.20%	36.5%	3.11%	84.5%	91%

#### 4.2 试验结果分析

由表 1、表 2 检测结果对比分析看出,该研究所设计的无极调速小麦双线精播机的各行一致性变异系数较小,即使不能保持连续几粒种子在绝对直线上,它们之间的斜率也是极其接近的,相似性一般达到 97% 以上,而且在严格控制风机转速的前提下,小麦种子恰好被吸附在播种盘上,其受应力与应变变量很小,因此种子破损率也较低,一般为 0.15% 左右,即一万粒种子仅有 15 粒可能被刮蹭或破损,这在播种机的性能指标中算得上较高水平,比现有机械精播机更具优势;另外,机组整体行进速度比较平稳,因此开沟器开沟深度比较稳定,种子落入沟内的深度合格率达到 90% 以上,这为小麦种子出苗一致性打下良好基础,单粒排种合格率也在 99% 以上。经过性能测试证明,该无极调速小麦双线精播机具有较好地播种性能,值得进一步展开技术性研究、探讨和推广应用。

#### 5 结语

(1) 弥补传统地轮驱动排种容易出现打滑漏播现象的不足,突破我国在小麦智控精播技术上多年来一

个瓶颈,实现种子单沟双线交叉分布,且播种精确到

每一粒,可进一步减少单位面积内播种量,降低成本。

(2) 自我设计研制播种器具、部件,以单片机为控制核心,采用 PID 技术控制无极调速系统,应用于小麦双线精播机,使高转速输出的拖拉机尾部动力与慢速排种的播种转轴之间实现无障碍对接,以取代传统地轮驱动播种。

(3) 合理的无极变速调控设计以及风机吸力大小的控制,令麦粒可以按要求单粒、无损地吸附于播种盘气吸孔,能够做到安全、单粒、恒距播种。

(4) 排种器性能测试及整体样机播种试验表明,该无极变速小麦双线精播机播种性能稳、误差小、株距恒定,具有良好地实用推广价值。

#### 参考文献

- 李洁,赵立新,毕建杰,等.小麦双线精播智能控制系统的设计.农业工程学报,2012,5,28(增刊 1):134-139.
- 朱晓峰,李际军,杨永波.机械模型多视角虚拟设计装配系统.计算机系统应用,2011,20(7):1-4.
- 赵佳乐,贾洪雷,姜鑫铭,等.大豆播种机偏置双圆盘气吸式

- 排种器.农业机械学报,2013,44(8):78-83.
- 4 赵晓顺,于华丽,张晋国,等.槽缝气吸式小麦精量排种器.农业机械学报,2013,44(2):48-51,74.
  - 5 王传鹏,何瑞银.基于单片机的精密排种器性能检测装置的研究.科学技术与工程,2011,33(12):8300-8302.
  - 6 倪向东,朱思洪,欧阳大业,等.拖拉机液压机械无级变速器速比匹配设计与实验.农业机械学报,2013,44(4):15-20.
  - 7 綦声波,纪风磊,于敬东.电控机械式变速器控制系统 UML 建模与实现.农业机械学报,2013,44(4):8-14.
  - 8 王光明,朱思洪,王胜红,等.拖拉机液压机械无级变速器的速比控制.农业工程学报,2013,29(7):17-23.
  - 9 张海伦,朱志杰,朱桑之,等.基于蓝牙技术的汽车驾驶盘控制系统.计算机系统应用,2011,20(7):137-140.
  - 10 刘文忠,赵满全,王文明,等.气吸式排种装置排种性能理论分析与试验.农业工程报,2010,26(9):133-138.
  - 11 GB/T6973-2005,单粒(精密)播种机试验方法.

WWW.C-S-A.ORG.CN

WWW.C-S-A.ORG.CN