

小区播种机电控系统设计与试验

龚丽农, 员玉良, 尚书旗*, 蒋金琳, 郑月男

(青岛农业大学机电工程学院, 青岛 266109)

摘要: 为了提高小区播种机的工作精度和工作效率, 研制了小区播种机电控系统, 既可保证育种试验的准确性和科学性, 也有利于降低试验成本和提高作物育种试验的效率。针对锥体格盘式排种机构, 使用步进电机精确控制格盘排种器的旋转角度, 采用直流电机对离心式分配器进行控制。应用双传感器对比检测方法, 减少因地轮打滑所引起的排种器播种长度不准确的问题。通过室内台架试验表明, 格盘排种器旋转角度控制系统, 能确保在不同的转速下排种格盘旋转一周的角度误差均小于 0.24%; 播种不同种子时最佳分配器转速分别为油菜种子 1 560 r/min; 白菜种子 1 020 r/min; 芝麻种子 1 560 r/min; 绿豆种子 780~1 020 r/min, 在此分配器转速下工作, 行间一致性变异系数最小, 行间一致性最好; 机具行走速度在 2.5 km/h 以上时, 行内一致性变异系数在 15.4% 以下。机具行走速度越低, 行内一致性变异系数越大。

关键词: 播种, 控制系统, 设计, 排种器, 分配器

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.05.020

中图分类号: S223.2; TP277

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-05-0122-05

龚丽农, 员玉良, 尚书旗, 等. 小区播种机电控系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 122-126.

Gong Linong, Yuan Yuliang, Shang Shuqi, et al. Design and experiment on electronic control system for plot seeder[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 122-126. (in Chinese with English abstract)

0 引言

作物育种试验区管理从播种到收获的整个过程中都普遍存在着工作程序繁琐、人工参与的环节多、劳动强度大,既费工费时又容易造成人为误差等问题。实现作物育种试验区管理机械化, 数据获取、加工、评价计算机化, 既可保证育种试验的准确性和科学性, 也有利于降低试验本成和提高作物育种试验区的工作效率。北京农业大学小麦育种组曾经对小麦育种试验的相关资料数据进行分析, 结果表明, 人工播种容易造成较大的试验误差, 机械播种则有助于减少试验误差^[1-5]。奥约德(Oyjord)排种机构为锥体格盘式排种装置, 能实现分量播种, 使任意分量的种子能均匀地播在一个小区上, 是小区播种机常用的形式。其中格盘靠地轮驱动, 播种长度由手工调节传动皮带的直径变化, 每次更换小区长度, 均需要人工调节机械结构, 费时费力。此外皮带老化与打滑也将影响播种精度。多行播种时采用与地轮速度成比例的转速控制离心式分配器旋转, 无法考虑不同种子对转速的需求变化^[6-8]。采用电控方案驱动排种器转可有效解决以上问题。

1 电控排种器总体设计

本设计完成的小区播种机主要由机械式排种器和电

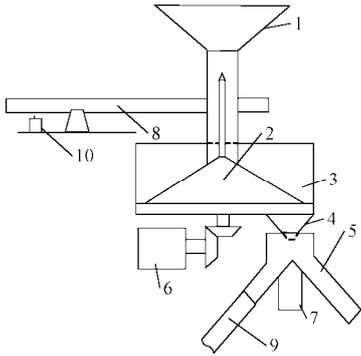
子控制系统组成。排种装置选用菲约特锥体格盘式排种器, 系统结构如图 1 所示。工作时将一定分量种子装入盛种漏斗内, 将落种杠杆压下抬起盛种漏斗时, 种子经过盛种漏斗下端与锥体之间的环形缝隙沿锥面均匀的滑入排种隔盘的隔槽内, 同时触发落种行程开关作为排种器控制系统的启动信号。排种隔盘由步进电机驱动旋转, 种子随隔盘一起转动。当每个隔盘内的种子转到排种漏斗处时, 依次通过排种漏斗而落到由直流电机驱动的高速旋转的回转分配器上, 然后被抛射到各个输种管中, 通过输种管落入开沟器开出的种沟内, 完成播种工作。这种小区播种机主要用来将某一品系的定量种子播在规定长度和宽度的小区面积内, 以进行品种比较试验或繁殖良种。为了实现将定量种子播种在规定小区面积内, 要求锥体格盘排种装置在规定的长度内恰好转动一周, 将定量的种子在规定的小区面积内均匀全部播完。排种盘的转动要求转速可调, 精度要求高, 转速较低。由此, 本系统设计了由步进电机驱动排种盘转动。步进电机将电脉冲转换成特定的旋转运动, 每个脉冲所产生的运动是精确的, 并可重复, 适用于对排种盘的控制。分配器任务是将锥体格盘落下的种子分配至各行, 以完成多行排种任务。传统小区播种机采用地轮驱动, 使分配器高速运转进行分种, 根据试验, 不同种子(主要是大小和重量的区别)应采用不同的转速, 不应随行进速度的改变而变化。因而本系统设计了采用可高速运转的直流电机进行分种器的旋转控制。采用电控方式控制小区播种机的播种作业, 将作物试验区小区种植图和作物机械行走路线作为参数输入控制系统程序中, 小区播种时, 不需改变机械结构, 提高了育种试验的效率和准确性。

收稿日期: 2010-07-21 修订日期: 2010-08-10

基金项目: 农业部“948”项目(2009-Z22)“柔性精密播种机综合技术的引进”

作者简介: 龚丽农(1963—), 女(汉族), 上海人, 教授, 硕士生导师, 主要从事智能检测与控制研究。青岛 青岛农业大学机电工程学院, 266109。Email: gln2135@163.com

*通信作者: 尚书旗(1958—), 男, 山东人, 教授, 博士生导师, 主要从事新型农业机械装备研究。青岛 青岛农业大学机电工程学院, 266109。Email: sqshang@qau.edu.cn



1. 盛种漏斗 2. 锥体 3. 排种格盘 4. 排种漏斗 5. 回转分配器 6. 步进电机 7. 直流电机 8. 落种杠杆 9. 输种管 10. 落种行程开关

图 1 排种系统结构简图

Fig.1 Structure of the metering system

电控系统由微处理器、速度检测模块、键盘与显示驱动模块、4 行液晶显示模块、4×4 键盘模块、步进电机驱动模块、直流电机驱动模块组成。考虑机具工作环境，电路各模块联接采用航空插头，电源使用拖拉机上 12 V 直流电源，采用 DC-DC 技术供控制系统各部分电源。电控系统框图见图 2。

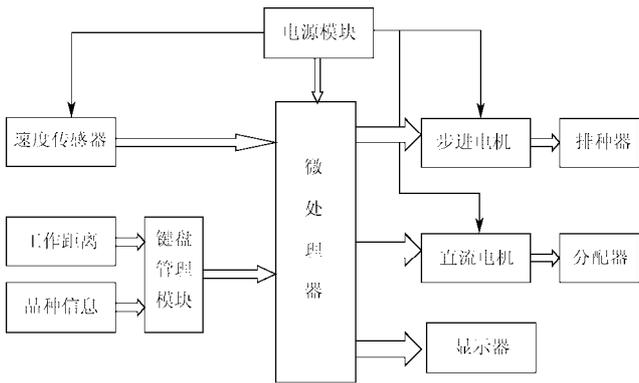


图 2 电控系统控制框图

Fig.2 Frame of electronic control system

2 格盘排种器控制系统设计

本课题采用步进电机进行排种盘的控制。工作中能根据机具行走速度的变化及时调整电机转速，达到播种均匀的要求。根据资料显示，小区播种长度一般为 2~10 m；机具工作行走速度：2.5~4.5 km/h；由此计算出排种盘旋转一周的时间：3~28.5 s；通过初步试验，决定步进电机采用 86BYG34H2120-03EA。采用 8 细分，双极串联，静力矩达到 8.2 N·m，能克服田间工作时颠簸引起的排种盘增加的摩擦阻力。每个小区播种前，由键盘输入小区长度，系统随时检测机具行走速度，通过计算得出步进电机的转速，随时进行调整。

农机具主要通过 2 种途径获取机具速度信号：一是通过读取 GPS 或 DGPS 提供的速度信息；二是通过使用速度传感器获取^[9-11]。

考虑农机具工作环境及地轮打滑等现象，速度检测

部分由电磁式传感器与安装在地轮及驱动轮上的特制齿轮组成，当地轮转速明显降低时，与驱动轮检测数据相比较，以确定是否出现地轮打滑现象。根据地轮直径 D 、齿轮齿数 k ，可计算出齿间需要时间 t_1 与机具行走速度为 v 之间的关系为

$$v = \frac{\pi D}{kt_1} (m/s)$$

根据给定工作距离 S 及测量的机车前进速度 v ，可计算出步进电机旋转一周所需时间

$$t = \frac{S}{v} = \frac{Sk t_1}{\pi D}$$

86BYG 34H2120-03Ea 步进电机在 8 细分下旋转一周需要的步数为 1 600 步。测速传感器每走一个齿对应步进电机应走的步数为

$$\alpha = \frac{1\ 600 \pi D}{Sk}$$

系统运行时，当落种杠杆按下时，打开外部中断 1。随着齿轮的转动，金属传感器输出端产生下降沿，进入外部中断 1，开始计数，读出定时器 0 内 TH0 和 TL0 的值以及定时器 0 溢出次数，从而得到齿间时间，然后计算出控制步进电机的脉冲周期。使用可编程计数器 8253 对驱动轮上的传感器输出脉冲进行计数，与地轮上的检测结果进行比较，如果地轮出现打滑，2 个检测数据的比值会发生变化，则将地轮速度数据转换为步进电机的脉冲周期。如果驱动轮检测数据产生溢出信号，表示驱动轮打滑，则暂停排种器工作。

以步进电机控制排种器，脱离了地轮的控制，又减少了人工调节转速的环节。如果采用自动上种机构、DGPS 技术并结合小区作业图，则只需 1 人驾驶机具就可完成变长度、变品种的小区播种工作。

3 分配器控制系统设计

分配器旋转速度应在 800~2 000 r/min 之间。传统农机具上无变速功能。试验数据（见表 1）表明，不同种子采用不同转速可将能达到最小变异系数。考虑到速度要求及农机供电电源的特点，本课题采用直流无刷电机驱动分配器旋转。采用模拟电压调速，转速可在 0~4 000 r/min 之间调速。系统采用 10 kΩ 的数字电位器 AD5220 作为直流无刷电机的驱动电路的模拟量控制端，电路如图 3 所示，图中 AD5220 为数字电位计。系统运行时，用户只需在屏幕上选择品种信息，系统即可自动控制分配器工作。系统通过 MCU2.4 引脚为 AD5220 提供工作时钟，每给 CLK 引脚一个脉冲，数字电位器会变化 78.125 Ω（每档为 10 kΩ/128=78.125 Ω）。MCU2.5 引脚控制数字电位计变化方向。MCUWR 引脚作为 AD5220 片选信号。MCURD 引脚发出直流驱动器的使能信号。系统将自动改变控制直流电机以不同的转速运转。24 V 电源作为直流电机驱动器输入电源，利用驱动器上的 V+ 引脚输出的 6 V 电压作为分配器控制系统其他芯片的工作电源。用 OP07 构成电压跟随器以增强带负载能力，进而

使直流电机运转更稳定。

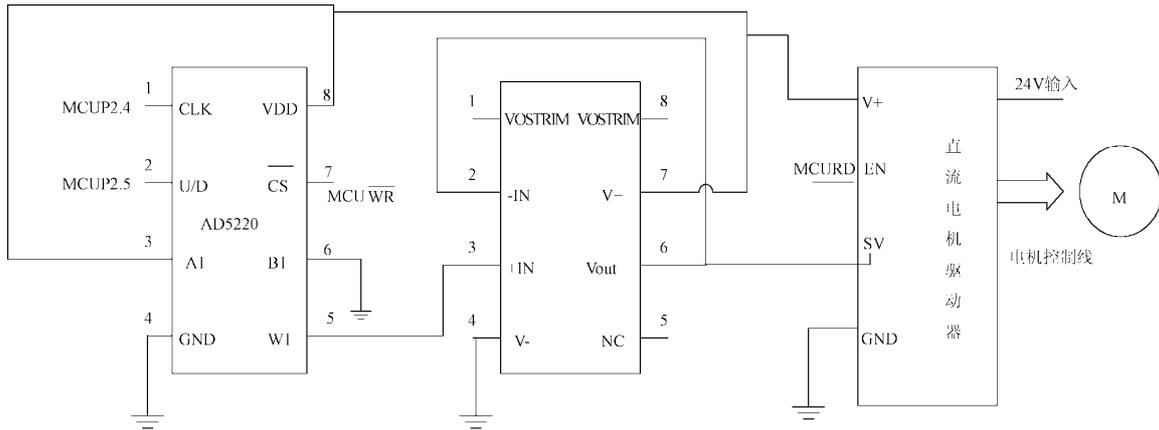


图3 分配器控制电路

Fig.3 Control circuit for the distributor

4 六行排种器排种性能试验

4.1 格盘排种器电控系统性能试验

4.1.1 测试仪器

采用室内排种器试验台进行排种试验，格盘排种器由步进电机控制，排种器试验台上的交流电机驱动传动带模拟播种机行走。速度传感器安装在传送带驱动轮上。修改程序中地轮直径 D 值，以适应排种器工作结构。使用欧姆龙 E6B2-CWZ6C (1 000 线) 旋转编码器与由 89SC54 单片机及液晶显示模块组成的计数器测量格盘排种器旋转角度。

4.1.2 试验方法

传送带上事先量好 3 m 的工作距离。启动传送带，在工作区起始处按下落种手柄作为启动信号，开始对旋转编码器输出脉冲进行计数。步进电机将根据传送带速度调整旋转速度，完成工作距离时，步进电机将自动停止旋转。此时，在计数器液晶显示器上显示脉冲个数。旋转编码器每转一圈输出 1 000 个脉冲，每输出一个脉冲相当于步进电机旋转 0.36° 。测量格盘排种器在传送带行走 3 m 时，旋转编码器输出脉冲个数，即可得出格盘排种器的旋转角度。选择 3 种匀度测量步进电机旋转角度，每种速度重复试验 5 次。变速行走试验时，播种起始速度为 3.0 km/h，通过手动调节排种器试验台传送带速度。

4.1.3 试验结果与分析

格盘排种器电控系统控制精度试验结果见表 1。由试验结果表明，所设计的格盘排种器旋转角度控制系统，在机器正常作业速度范围内，具有较高的控制精度。在机器不同行走速度以及变速行走条件下，排种格盘旋转一周的角度误差均小于 0.24%。

4.2 六行分配器行间均匀性试验

排种孔排出的种子经分配器再分配到各行，以满足多行播种任务。分配器为高速回传离心式，以往的机械式驱动采用地轮驱动，通过多级加速达到 1 800 r/min 左右速度。传统方式转速受地轮限制，并且不能根据不同种子（主要是大小和质量的差别），采用不同的转速。为了检验所设计的控制系统工作性能以及播种不同种子

时分配器的最佳转速，作者进行了六行分配器行间均匀度试验。

表 1 格盘排种器电控系统控制精度

Table 1 Accuracy of the electronic control system

行走速度/(km·h ⁻¹)	2.5	3.5	4.0	变速行走
编码器输出平均脉冲数	999.9	1 001.8	1 002.4	999.9
排种器旋转角度/ $^\circ$	359.964	360.648	360.864	359.964
误差/%	0.01	0.18	0.24	0.01

4.2.1 试验物料及测试仪器

为了从形状、质量两方面试验分配器转速对分配均匀性的影响，选择油菜、白菜、芝麻、绿豆 4 个品种的种子进行试验，种子物理特性见表 2^[12]

表 2 试验种子的物理特性

Table 2 Seeds physical characteristics for experiment

名称	千粒质量/g	外形尺寸/mm		
		长	宽	厚
油菜	3.685	1.2~2.4	1.2~2.2	1.2~2.2
白菜	2.803	1.4~2.3	1.2~2.1	1.0~2.0
芝麻	2.485	2.2~3.2	1.4~2.0	0.4~0.9
绿豆	67.304	5.6~5.9	4.2~4.4	4.07~4.2

使用 CP313 型电子天平（分度值为 0.001g）测量各行排种质量。用 DS5102 型存储示波器检测直流电机霍尔传感器输出的速度信号。

4.2.2 试验方法

实验室内 6 行分配器排种管下方各放置容器 1 个。选定 600~2 100 r/min 范围 10 个速度。通过键盘输入速度值，由直流电机驱动分配器工作。每一速度下，对每种种子进行 5 次排种试验。

变异系数被广泛用于衡量播种机的排种一致性^[10-12]。其中各行排量变异系数是衡量各行播量一致性的重要指标之一。变异系数越小，各行排量一致性越好。

$$v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \times 100\%, \text{其中 } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

式中， n 为排种行数； x_i 为各行平均排量， g ； \bar{x} 为平均每行排量， g ； v 为变异系数，%。

4.2.3 试验结果与分析

室内 6 行分配器行间一致性试验结果见图 4 所示。试验结果表明，播种不同种子时，行间一致性变异系数最小值时对应的分配器转速不同。播种油菜种子分配器转速为 1560 r/min 时，行间一致性变异系数最小为 12%；播种白菜种子分配器转速为 1020 r/min 时，行间一致性变异系数最小为 4.4%；播种芝麻种子分配器转速为 1560 r/min 时，行间一致性变异系数最小为 8.6%；播种绿豆种子分配器转速为 780~1020 r/min 时，行间一致性变异系数较小为 7.34%；播种不同的种子时，为了获得最好的行间一致性，应根据不同种子特性选择不同分配器转速。

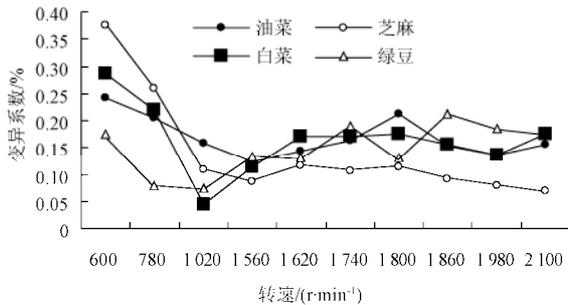


图 4 不同转速的 6 行分配器行间一致性变异系数
Fig.4 Coefficient of variation between rows at different distributor rotating speed

4.3 格盘排种器行内均匀性试验

4.3.1 试验物料及测试仪器

选用 5 g 油菜作为试验物料，物理特性见表 1，采用室内排种器试验台进行排种试验，使用 CP313 型电子天平（分度值为 0.001 g）测量各段排种质量。

4.3.2 试验方法

采用与 4.1.1 相同是试验装置。将透明胶带两端粘贴在传送带上，排种器排出的种子落在带有黏性的胶带上，以防止排出的种子溅出。工作长度设为 3 m，从落种信号开始，每 10 cm 一段剪下透明胶带，用电子秤测量其质量（去皮）。变速行走试验是通过手动调节排种器试验台速度，播种起始速度为 3.0 km/h，变换传送带速度，每一种速度重复试验 5 次，比较各段种子质量就得了行内播种均匀性数据。

4.3.3 试验结果与分析

排种系统工作时行内排种均匀性检测结果见表 3 所示。试验结果表明，排种器工作时，机具行走速度越低，行内一致性变异系数越大。机具行走速度在 2.5 km/h 以上时，行内一致性变异系数在 15.4% 以下。采用电控系统控制排种器旋转速度，能适应机具变速行走时的工作状态，并为下一步利用 DGPS 技术及小区作业图的应用提

供了保障。

表 3 电控排种器行内均匀性

Table 3 Coefficient of variation in the same rows at different working speed

行走速度/(km·h ⁻¹)	2.5	3.5	4.0	变速行走
均方差	0.010	0.008	0.004	0.0067
变异系数/%	15.4	13.7	11.8	12.1

5 结论

1) 格盘排种器旋转角度控制系统，能确保在不同的转速下排种格盘旋转一周的角度误差均小于 0.24%，系统具有较高的控制精度。

2) 采用电控方式控制排种器工作时，可根据不同种子选择不同分配器转速，可有效降低各行间变异系数。播种不同种子时最佳分配器转速分别为油菜种子 1560 r/min；白菜种子 1020 r/min；芝麻种子 1560 r/min；绿豆种子 780~1020 r/min，在此分配器转速下工作，行间一致性变异系数最小，行间一致性最好。

3) 机具行走速度越低，行内一致性变异系数越大，机具行走速度在 2.5 km/h 以上时，行内一致性变异系数在 15.4% 以下。

[参考文献]

[1] 宋江腾, 张淑敏. 小区播种机的研究现状及发展方向[J]. 农机化研究, 2004, (4): 14-16.
Song Jiangteng, Zhang Shumin. Current situation and developmental orientation of plot seeder[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004, (4): 14-16. (in Chinese with English abstract)

[2] 郭佩玉, 尚书旗, 汪裕安. 普及和提高田间育种机械化水平[J]. 农业工程学报, 2004, 20(增刊): 53-54.
Guo Peiyu, Shang Shuqi, Wang Yu'an. Popularizing and increasing the level of mechanization field breeding equipment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(supp): 53-54. (in Chinese with English abstract)

[3] 卢秉福, 胡志超, 张祖立. 作物育种试验区机械化的研究进展[J]. 中国农机化, 2006, (6): 44-46.
Lu Bingfu, Hu Zhichao, Zhang Zuli. Review on mechanization of crop breeding test plot[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research 2006, (6): 44-46. (in Chinese with English abstract)

[4] 杨红玉, 赵冬梅. 谷子精密播种机性能检测方式研究现状与趋势[J]. 农机化研究, 2007, (2): 34-35.
Yang Hongyu, Zhao Dongmei. Research present situation and tendency about performance examination way of millet precision seeder[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, (2): 34-35. (in Chinese with English abstract)

[5] 刘俊峰, 杨欣, 冯晓静. 2BF-8 型小麦精播机播种均匀性影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2001, 17(6): 64-68.
Liu Junfeng, Yang Xin, Feng Xiaojing. Analysis of influence factor on seeding uniformity of model 2BF-8 wheat precision

- planter[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(6): 64—68. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈进, 李耀明. 联合收割机转速监视报警装置的研制[J]. 农机化研究, 1997, (4): 57—59.
Chen Jin, Li Yaoming. Development of rotational speed monitor and alarm device on combine[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 1997, (4): 57—59. (in Chinese with English abstract)
- [7] 史智兴, 高焕文. 排种监测传感器的试验研究[J]. 农业机械学报, 2002, 33(2): 41—43.
Shi Zhixing, Gao Huanwen. RLD Optoelectronic sensor for seeding monitoring[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery, 2002, 33(2): 41—43. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张宾, 余群. 轮式拖拉机瞬态滑转率的测量装置[J]. 中国农业大学学报, 1997, 2(4): 48—52
Zhang Bin, Yu Qun. Research and design of an apparatus for measuring transient slip of wheeled tractor[J]. Journal of China Agricultural University, 1997, 2(4): 48—52. (in Chinese with English abstract)
- [9] 史智兴, 高焕文. 播种机多项性能检测及图形打印装置[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(4): 25—29.
Shi Zhixing, Gao Huanwen. A monolithic micro-computer system for planter performance measurement and graphic printing output[J]. Journal of China Agricultural University, 2002, 7(4): 25—29. (in Chinese with English abstract)
- [10] Kim Y J, Kim H J, Ryu K H, et al. Fertiliser application performance of a variable-rate pneumatic granular applicator for rice production[J]. Biosystems Engineering, 2008, 100(4): 498—510.
- [11] 张书慧, 马成林, 杜巧玲, 等. 精确农业自动变量施肥机控制系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 113—116.
Zhang Shuhui, Ma Chenglin, Du Qiaoling, et al. Design of control system of variable rate fertilizer applicator in precision agriculture[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(1): 113—116. (in Chinese with English abstract)
- [12] 中国农业机械化科学研究院编. 《农业机械设计手册》下册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.

Design and experiment on electronic control system for plot seeder

Gong Linong, Yuan Yuliang, Shang Shuqi^{*}, Jiang Jinlin, Zheng Yuenan

(Mechanical and Electrical Engineering college, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: In order to improve the precision and efficiency of plot seeders, an electronic control system was developed, which could increase the accuracy and scientificity, decrease cost of breeding experiment in the field. A stepping motor was applied to control the rotation angle of cone compartment tray of the metering device. The centrifuging distributor was controlled by a direct-current motor, and two speed sensors were used for monitoring working speed to reduce the influence of skidding which caused inaccuracy of seeding length. The indoor experiment results showed that the inaccuracy for the rotation angle of cone compartment tray was less than 0.24% at all kinds of rotating speed; according to different seeds, the best distributor rotating speed was different. The speed respectively was 1 560 r/min for colza seeds, 1 020 r/min for Chinese cabbage seeds, 1 560 r/min for sesame seeds, 780-1 020 r/min for green bean seeds. Seeding in such speed could make sure that the coefficient of variation between rows was minimal and the best coefficient in rows was achieved. When the working speed was higher than 2.5 km/h, the coefficient of variation in the same rows was less than 15.4%. When the working speed was lower, the coefficient of variation in the same rows was higher.

Key words: seed, control systems, design, metering device, distributor