

项目名称：全程智控小麦复式精播机研发与应用

项目等级：泰安市科技进步一等奖

完成单位：山东农业大学机械与电子工程学院、山东省农业机械科学研究所、山东大华机械有限公司

完成人情况：丁筱玲、赵立新、王成义、毕建杰、荐世春、朱鹏、陈婧、吕正超

提名单位意见：

由山东农业大学、山东省农业机械科学研究所、山东大华机械有限公司等 3 家单位共同完成的“智能小麦复式精播机研制”科研成果，针对小麦种植过程中，由地轮驱动排种易出现漏播或播种不匀、人工施肥不匀造成小麦营养吸收不均等问题，分别尝试采用直流电机、液压系统、负压风机等取代传统地轮来驱动控制小麦排种轴、施肥轴转动，并取得成功，自主建立起一套集旋耕、施肥、精播控制于一体的智能复式小麦精播系统模型，从根本上解决了因施肥播种不匀造成小麦产量受影响等行业瓶颈问题。并且围绕该成果获授权国家发明专利 4 项（进入实审 2 项）、授权实用新型专利 15 项、登记软件著作权 2 项；相关技术领域发表论文 28 篇，其中被 SCI/EI 收录 13 篇，外文期刊、中文核心期刊 14 篇；出版著作 3 部（主编）；曾获 2015 年山东省高校优秀科研成果奖“一等奖”1 项（第 1 位）、2017 年山东省机械工业科技进步奖“一等奖”1 项（第 1 位）、2017 年度泰安市科学技术奖“二等奖”1 项（第 1 位）等。推荐材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，鉴于该成果科技创新水平、技术经济指标、对促进行业科技进步的作用和产业提升发展的贡献以及应用效益情况，具备申报学会科技进步奖的条件，推荐为泰安市科技进步一等奖。

项目简介：

通过集成项目承担和协作单位已有科技成果，针对现有小麦播种机不能实现精量精准施肥、播种问题，将施肥和排种部件及其转动方式加以创新改进，通过研发自动变量施肥器、小麦单粒精密排种器和智能监控系统等关键部件，由机械传动改为电机智能变速驱动和液压电液比例智能驱动等方式，创新研究自动变量施肥技术、小麦单粒精密播种技术、基于 PWM 电液比例控制的液压驱动技术和智能监控技术。电机驱动能量来源，

取自拖拉机自带 12v 蓄电池，无需额外配备能源动力；液压马达油路分为两支，一路驱动风机产生负压吸种，一路驱动排种施肥作业，在播种过程中，智控系统对拖拉机前行速度实时跟踪。集成保护性耕作技术，开发研制多种机型的智能控制小麦精播复式作业机，该系列小麦复式精播机为全程智能化控制，并可一次入地同步完成旋耕、施肥、播种作业，并对种箱缺种、种子漏播、肥箱缺肥、施肥管堵塞等故障状态做到及时预报、实时播报。

采取电机驱动控制方式，自主研发了电驱动轮轴式小麦双线精播装置、由负压风机驱动的双吸盘异步小麦单粒精播装置、槽轮式施肥装置等，由直流电机替代地轮驱动施肥、播种。开发了基于 PID 闭环控制算法的智能控制系统，实现排种、排肥与拖拉机前进速度自适应，提高了播种施肥均匀性；构建了基于 MCGS 组态环境的上位机控制系统，实现人机对话，提高了操作便捷性。成功研制出两种可实际投入生产的两种小麦智能复式精播机型：2BFZK-8 型智能小麦旋耕施肥双线精播机和 2BSXP-6X 型小麦双吸盘无级调速种肥智控精播机。

采取液压驱动控制方式，建立了排种器几何模型与小麦颗粒模型，对排种器吸盘进行吸种动力学过程模拟，基于 PWM 系统控制模型仿真验证电液比例系统设计的可行性并建立液压站；采用复合 PID 算法，实时采集拖拉机前进速度、排种排肥轴转速，建立电液比例驱动控制系统，实现种肥轴转速和拖拉机前进速度的实时匹配，保障小麦播深一致、株距恒定，施肥均匀。成功研制出大田耕种试播样机：2BYZK-6 型液压智控驱动双吸盘小麦精播机。

该系列研究成果的创新点主要体现在如下几个方面：

(1) 自行研制小麦双线精播排种器和宽幅均布施肥器，针对现有地轮驱动小麦播种机播种稳定性差，常出现漏播、断条现象，采取电机替代地轮进行智能变速驱动排种施肥方式。

(2) 研制自动泄压清种双吸盘小麦精量排种器非同步运转、实现双行麦种交叉分布、单行株距恒定；通过吸盘形状、孔径大小的精确设计，切实保障该小麦双线精播机布种精确到每一粒，性能稳、误差小、株距恒定。

(3) 自发研制小麦精播专用自动控制节能、降噪离心式风机，可对风机转速进行灵活调控，保障气吸盘在整个播种过程，对麦种都有足够且持续稳定的吸附力；解决拖拉机停车、转弯速度降低过程中，风机负压受影响致使吸盘种子脱落，造成播种不匀或漏播现象。

(4) 自主设计液压站以及电液比例控制相关元器件。应用 AMESim 软件，建立基于 PWM 的电液比例控制系统模型，仿真验证电液比例控制系统设计的可行性。采用复合 PID 算法，以 STM32 为控制核心，实时采集拖拉机前进速度、排种排肥轴转速，建立电液比例驱动控制系统，实现排种排肥轴转速和拖拉机前进速度的实时匹配，保证播种株距稳定性及施肥均匀性。

(5) 气吸式排种器 DEM-CFD 气固双向耦合仿真与分析。通过 Pro|Engineer 软件和 STAR-CCM+软件分别建立排种器几何模型与小麦颗粒模型，并运用 STAR-CCM+流体计算软件对双吸盘排种器进行吸种动力学过程模拟，分别以压力优先控制和转速优先控制对垂直双吸盘排种器排种性能进行仿真分析，观察不同运动参数下种群运动规律，从而确定最佳排种性能下气吸室压力和排种轴转速，进一步优化排种器结构和运动参数。

(6) 分别以 MK60、STM32 单片机为核心，自主建立多套小麦智能旋耕施肥精播控制系统模型，采用 PID 闭环控制算法针对两路 PWM 信号控制分别完成排种轴、施肥轴的转速对拖拉机行进速度同步跟随，保障小麦播深一致、株距恒定，施肥均匀，实现真正意义上小麦精播全程智能化控制目标。

(7) 人机对话界选用触摸屏方式，由 MCGS 组态环境搭建上位机系统，不仅可进行初始参数设置，而且可在线进行各种参数修改，并自动完成正常作业信息显示、故障信息预告、报警以及纠错处理等。

第三方评价：

项目鉴定意见一：

(1) 研制了电驱动小麦双线单粒排种装置，替代了地轮驱动排种，提高了小麦排种均匀性；开发了基于 PID 闭环控制算法的智能控制系统，实现了排种、排肥与拖拉机前进速度自适应，提高了播种施肥均匀性；构建了基于 MCGS 组态环境的上位机控制系统，实现了人机对话，提高了操作便捷性。

(2) 研发了 2BFZK-8 型智能小麦旋耕施肥双线精播机，样机经山东省农业机械科学研究院产品质量检测中心试验测试检验 (No: NW201712037)，各项性能指标均达到项目申报 (合同) 书要求。用户使用反馈良好，市场前景广阔。

(3) 专家组一致认为，该项目完成了申报 (合同) 书规定的各项任务指标，研发的 2BFZK-8 型智能小麦旋耕施肥双线精播机智能控制系统达到国际先进水平，同意通过鉴定验收。

项目鉴定意见二：

(1) 研制了电驱动小麦双吸盘无级调速种肥智控精播装置，取代传统地轮驱动排种、施肥方式，开发了基于 PID 闭环控制和 PWM 脉宽调制技术的智能控制系统，实现了排种排肥与拖拉机前进速度自适应控制，提高了播种施肥精准性；开发了基于 MCGS 组态环境的上位机控制系统，实现了人机对话，提高了操作便捷性。

(2) 研制的样机经山东省农业机械科学研究院产品质量检测中心试验测试检验（No: NW201712038），各项性能指标均达到任务考核指标要求。授权发明专利 1 项、实审 1 项，授权实用新型专利 2 项，登记计算机软件著作权 2 项，发表 SCI、EI 收录学术论文 2 篇。

(3) 专家组认为，该项目完成了任务书规定的各项技术指标，一致同意通过验收。

项目鉴定意见三：

(1) 研制了液压智控驱动双吸盘小麦精播机，解决了拖拉机停车、转弯速度降低引起种子脱落、播种不匀或漏播等问题。建立了排种器几何模型与小麦颗粒模型，对排种器吸盘进行吸种动力学过程模拟，基于 PWM 系统控制模型仿真验证电液比例系统设计的可行性并建立液压站；采用复合 PID 算法，实时采集拖拉机前进速度、排种排肥轴转速，建立电液比例驱动控制系统，实现种肥轴转速和拖拉机前进速度的实时匹配，保证播种株距稳定性及施肥均匀性。

(2) 项目研究试制样机的各项性能指标均达到任务考核指标要求。实审发明专利 2 项、授权实用新型专利 4 项，登记计算机软件著作权 2 项，发表论文 2 篇。

(3) 专家组认为，该项目完成了项目任务，同意通过验收。

主要完成人情况：

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
丁筱玲	1	无	教授	山东农大机电学院	山东农大机电学院	整机智控系统研究设计
赵立新	2	无	教授	山东农大机电学院	山东农大机电学院	机械总体控制研究设计
王成义	3	无	教授	山东农大信息学院	山东农大信息学院	通讯系统总设计
毕建杰	4	无	高级实验师	山东农大信息学院	山东农大信息学院	小麦种植技艺指导
荐世春	5	无	研究员	山东农机研究院	山东农机研究院	机械部分总设计

朱 鹏	6	无	工程师	山东大华有限公司	山东大华有限公司	样机试制与试验测试
吕正超	7	无	研究生	山东农大机电学院	山东农大机电学院	通讯系统试验测试
陈 婧	8	无	农艺师	泰安岱岳区农业局	泰安岱岳区农业局	样机试验与参数测定
丁 皓	9	无	讲师	泰山学院	泰山学院	控制系统试验测试

完成人合作关系说明：

完成人均为该项目的完成人，其中丁筱玲作为项目总设计规划与实施负责人，负责项目总体研究与成果总结，并承担智能控制技术部分的设计研究；赵立新作为项目第二负责人，具体负责机电一体化研究与设计；王成义、毕建杰、荐世春作为主要研究人员，分别负责通讯、种植工艺、机械加工等方面技术与设计；朱鹏、吕正超、陈婧、丁皓等主要负责样机试制与试验测试部分工作。

推广应用情况：

关于小麦智能精播技术研发，近年山东农业大学、山东省农业机械科学研究院、山东大华机械有限公司一直有着长期合作研发关系，已共同研发完成多种智能控制复式精播机型。并分别在省内多个县市区进行大面积播种试验与应用，获得较好收益。近三年，又与泰安市岳洋农作物专业合作社、泰安万辉农业机械有限公司、泰安市岱岳区农业农村局、济宁市兖州区谷丰农机专业合作社、济宁市兖州区喜耕田农机专业合作社等多家农耕管理部门与种植合作企业进行大面积小麦种植合作，将近年所研制的全程智控小麦复式精播机加以推广应用，近三年累计播种 7.853140 万亩以上，新增销售额 3140 万元以上，新增利润 4670.75 万元以上，新增税收 820 万元以上。对促进我省主粮产业持续增效、农民增收做出重大贡献，取得显著经济、社会和生态效益。

该系列全程智控小麦复式精播机着眼于目前国际国内种植行业的技术欠缺及未来精准农业发展趋势，率先一步在技术上进行大胆改进和尝试性研究设计，这在我们这样一个以农业生产为主、以小麦为主食的国度里，能够很好地促进我国农业生产力的进一步改革与提高，其产业化后市场前景看好，而随之带来的经济社会效益亦将极其可观。主要经济社会效益体现在几个方面。

(1) 提高土、肥、水的利用率

精播是指按照准确的数目、种距、行距以及播种深度把种子播到土地中，使种子分

布均匀并节省麦种，采用普通播种方式的播种机播量一般在 120-180kg/hm² 之间，采用精密播种方式则大约在 45-90kg/hm² 之间，同比节省麦种量 30-135kg/hm²。与此同时，精量施肥有利于肥料的匀称散布并增加肥料的利用率。不管是精密播种还是精量施肥都有利于提高小麦产量，是当今小麦播种产业的发展前进方向。由于气吸盘可以精确到任意株距的“粒播”效果，且双线布种、气吸式播种等的合理性与播种、施肥的均匀性，使每一粒麦种播下后，能够充分汲取土、肥、水中的养分，出苗后则各自充分沐浴大自然的阳光雨露，互不竞争，成熟期晚、落黄好，从而保障小麦的增产增收与营养品质。

(2) 推广应用前景

该系列全程智控小麦复式精播机在不断技术改进完善的研制过程中，进行了大量应用性播种试验测试。试验结果分析得知，若山东省每年 10%的麦田采用该技术，在节约麦种、减少肥料、增加产量多重收益下，年增利可达 10.842 亿元；若全部采用该技术，则年纯增利为 108.42 亿元。由此可见，若该技术能够实现成果转化，即可节约麦种、肥料等减少资金投入，又可大大减少土地与环境污染，生产绿色食物，利国利民，的确可获得较好的经济、社会双收益。

小麦在我国粮食作物中位居主食之首，山东省在中国更是一个农业大省，大部分地域属平原良田，非常适宜大面积机械化作业。该系列项目研究所研制的全程智控小麦复式精播机的推广应用，首先定位在山东省界内，经省内进一步试验验证，并对其各项性能、功能加以完善后，将来可考虑在国内、国际推广应用，未来前景看好。

近年相关研究成果：

■ 科研项目

♥ 相关完成项目

(1) 智能小麦旋耕施肥双线精播机研制, 山东省智能农机装备研发创新计划项目 (2015YF103), 100 万元, 第 1 位. 2015.05-2017.12

(2) 小麦双吸盘无级调速种肥智控精播机研制, 山东省农业重大应用技术创新项目, 20 万元, 第 1 位. 2015.07-2016.12

(3) 液压智控驱动双吸盘小麦精播机的研制, 2017 山东省重点研发(公益类)计划项目 2017GNC 12103, 25 万元, 第 1 位. 2017.07-2019.12

(4) 一种新型智控小麦单沟双线精播机的研制, 山东省科技发展计划项目 (2010GNC10964), 16 万元, 第 1 位. 2010.07-2013.12

(5) 吸环式小麦宽幅种肥智能精播机研制, 山东农业大学智能农业装备研发项目, 6 万元, 第 1 位. 2015. 07-2018. 12

(6) 小麦双线精播机自动控制系统的研制, 泰安市科技发展计划项目, 6 万元, 第 1 位. 2009. 09- 2011. 12

♥ 相关在研项目

(7) 小麦气吸精播智能液压驱动机理研究, 山东省自然科学基金面上项目 (ZR201709260313), 12 万元, 第 1 位. 2018. 01-2020. 12

(8) 无人值守自动销售装车结算系统研制, 山东众诚自动化控制技术公司委托项目, 25 万元, 第 1 位. 2018. 11-2020. 06

(9) 交流对托回馈加载测试平台设计, 泰安众诚自动化设备有限公司委托项目, 45 万元, 第 1 位. 2018. 11-2020. 06

■ 相关科技获奖

(1) 2015 年山东高等学校优秀科研成果奖(自然科学)“一等奖”, 山东省教育厅, 2015 年 9 月. 第一位

(2) 2017 年山东省机械工业科技进步奖“一等奖”, 山东省机械工业科学技术协会, 2017 年 7 月. 第一位

(3) 2017 年泰安市科学技术进步奖“二等奖”, 泰安市科学技术局, 2017 年 9 月. 第一位

(4) 第五届泰安市“青年科技奖”, 泰安市科技局, 2002 年 5 月. 个人奖

■ 相关专利与软件

申请国家发明专利 10 项、实用新型专利 22 项; 申请软件著作权登记权 2 项。

♥ 相关发明专利

(1) 授权: 4 项。第一申请人 4 项。

(2) 实审: 2 项。第一申请人 2 项。

♥ 相关实用新型

(3) 授权: 15 项。第一申请人 15 项。

♥ 相关软件著作

(4) 登记软件: 2 项。第一申请人 2 项。

■ 相关学术论文

第一作者或通讯作者发表论文 28 篇，其中被 **SCI/EI** 收录 13 篇；外文期刊、中文核心期刊 14 篇；出版著作 3 部（**主编**）；代表性学术论文：

(1) XiaoLing Ding, LiXin Zhao*, TianTian Zhou, YiBin Li, XiMei Huang & YaLi Zhao. Research on Wheat leaf water content Based on Machine Vision[J].Cluster Computing, March, 2018. **【SCI&EI】**

(2) Ding Xiaoling, Li Peijian, Zhao Lixin*, Wang Chengyi, Li Yibin and Chen Naichao. Research and design of intelligent control and precision sowing simulation system for wheat[J]. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol.31, no.4, pp.2313-2320, 2016. **【SCI&EI】**

(3) LiXin Zhao, JingJing Xu, ChengYi Wang, XiaoLing Ding*, Fei Li, FaDong Hou. Research and Design of an Automatic Grading Device in Chicken Wing Weight[J]. Wireless Personal Communications, (2018) 102:769-782. **【SCI&EI】**

(4) Ding X.L., Wu Y.H., Zhao L.X.*, Li P.J., Xu J.J.. THE QUALITY DETECTION RESEARCH OF CHICKEN WINGS BASED ON THE MATLAB IMAGE PROCESSING TECHNOLOGY[J]. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology, 7 May 2016, 118(Suppl.1), 59-60. **【SCI】**

(5) Zhao L.X., Zhang Z.H., Ding X.L.*, Chen N.C., Cao Y.Y.. THE MODEL RESEARCH OF WHEAT PREDICT IRRIGATION DROUGHT BASED ON THE FUZZY CONTROL[J]. Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology (Abstracts of The Medical Engineering and Bioinformatics), 7 May 2016, 118(Suppl.1), 60-61. **【SCI】**

(6) Xiaoling Ding, Zenghui Zhang, Lixin Zhao*, Yibin Li, Runguo Zuo. Environmental Monitoring and Intelligent Irrigation System Research[J]. ACTA TECHNICA. Volume 61(2016), Number 4B:239-248. **【EI】**

(7) Lixin Zhao, Tianhua Li, Guoying Shi, Xiaoling Ding*, Study of Fuzzy Control Technology Application in Wheat Precision Seeding[J]. INFORMATION TECHNOLOGY JOURNAL, Volume 12, Number 21, 2013:6010-6014. **【EI】**

(8) Ding Xiao-Ling, Wang Zhen, Huang Zai-Fan, Yang Cui-Cui, Wu Yu-Hong. Research and Design for a New Type Stepless Speed Wheat Precision Seeder[J]. INFORMATION TECHNOLOGY JOURNAL, Volume 12, Number 19, 2013:5286-5290 **【EI】**

(9) Xiaoling Ding, Qiang Zhao, Yibin Li, Xin Ma. A Real-time and Effective object recognition and localization method[C]. Applied Mechanics and Materials, Vol.615(2014), pp

107-112. 【EI】

(10) Xiaoling Ding, Qiang Zhao, Yibin Li, and Xin Ma. A rapid and efficient feature point detection and matching algorithm[C].Applied Mechanics and Materials,Vol.607(2014) pp 641-646. 【EI】

(11) Jie Li,Pengfei Zhu,Zhen Wang, Xiaoling Ding*.Study on the Application of Fuzzy-PID Control to Precision Seeding Technology of Wheat[J]. The 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering,July 15-17,2011: 1690~1693.

【EI】

(12) Min Liu,Xiaoling Ding*,Yinfa Yan,Xin Ci.Study on Optimal Path Changing Tools in CNC Turret Typing Machine Based on Genetic Algorithm[J].The 2010 International Conference on Intelligent Nondestructive Detection & Information Processing Technology,October 2010 Selected Papers,Part IV:345~354. 【EI】

(13)赵立新,张增辉,王成义,荐世春,刘童,崔东云,丁筱玲*.基于变距光电传感器的小麦精播施肥一体机监测系统设计.农业工程学报,2018,34(13):27-34. 【EI】

(14)

■ 教材编著

(1) 《微控制器原理及应用》,北京大学出版社, 21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材, 主编. 2014 年 5 月.

《农业机械化及其自动化专业综合实验》,电子工业出版社,高等教育国家“十二五”规划教材, 副主编. 2012 年 1 月