申报	系列：教师系列教学为主型
	专业：农业机械化工程
	职称：副教授

业绩成果材料

（申报人的业绩成果材料包括论文、科研项目、获奖以及其他成果等）

单　位（二级单位）_____工程学院_____

姓　名　____曾文_____

材料核对人:　　单位盖章:

核对时间:

华南农业大学制

目　录

一、教学研究业绩

1.教学研究项目:关于液压与气动课程创新性实验实践教学的研究与实践项目的立项通知（合同）及有关佐证材料... 1
2.教学研究项目：关于基于“雨课堂+虚拟仿真实验”的《液压与气动》线上线下混合式教学研究项目的立项通知(合同）及有关佐证材料 6
3.教改论文：基于虚拟现实的液压综合实验平台设计与实现（C类以上须附检索证明）..... 13
4.教改论文：液压与气动课程综合教学改革探索（C 类以上须附检索证明）..... 25
5.教改论文：液压与气压传动课程教学改革研究（C 类以上须附检索证明）..... 33
6.教学比赛证书 40

二、科研项目

1.主持：关于丘陵山地果园手持果实振动采收机关键技术研究与示范项目的立项通知（合同）及有关佐证材料..... 41
2.主持：关于绿色农药、药肥互作关系及精准施用技术创新与集成项目的立项通知（合同）及有关佐证材料..... 47
3.主持：关于设备虚拟实训系统专业技术咨询项目的立项通知（合同）及有关佐证材料 63
5.主参：关于蔬菜标准化育苗与水肥精量施用技术装备研究项目的立项通知（合同）及有关佐证材料 72
6.主参：关于基于基因工程的采摘混联机构构型综合与进化优选系统的研究项目的立项通知（合同）及有关佐证材料 82
7.主参：关于广东省设施农业共性关键技术研发产业创新团队专题专家夏红梅（2019-2023）项目的立项通知（合同）

及有关佐证材料 85
8.主参：关于柑橘树干振动采收机理及关键技术研究项目的立项通知（合同）及有关佐证材料 93
9.主参：关于防汛抢险仿生螺旋桩关键技术及其沉桩设备项目的立项通知（合同）及有关佐证材料 100
10.主参：关于管道栽培叶菜抓取协同定位与柔顺控制机理研究项目的立项通知（合同）及有关佐证材料..... 115
11.主参：关于水稻生产地面-航空高效施药智能装备研究与示范项目的立项通知（合同）及有关佐证材料..... 122
12.主参：关于植保无人机精准变量喷雾关键技术研究项目的立项通知（合同）及有关佐证材料 125
13.主参：关于广东省现代农业产业技术体系创新团队（2020年）项目的立项通知（合同）及有关佐证材料..... 130
14.主参：关于广东省设施农业共性关键技术研发创新团队（2021年）项目的立项通知（合同）及有关佐证材料.. 137
15.主参：关于广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队（2022年）项目的立项通知（合同）及有关佐证材料142
16.主参：关于广东省现代农业产业技术体系创新团队（2023年）项目的立项通知（合同）及有关佐证材料..... 147
17.主参：关于国家水稻种植机械化生产科技创新基地项目的立项通知（合同）及有关佐证材料 156
18.主参：关于蔬菜标准化育苗与水肥精量施用技术装备研究项目的立项通知（合同）及有关佐证材料 163

三、论文、著作等

1.检索证明 171
2.以第一作者发表本专业论文情况
2.1. 用P20型植保无人机减量施药防治稻纵卷叶螟.... 175

2.2. 新型机械式无级变速器的设计及优化 185
2.3. 惯性导航平台减振装置设计及其动态特性分析 ... 193
2.4. 陀螺仪安装支架的动态特性分析与优化 201
2.5. 农机制造企业质量控制系统的设计与实现 208
2.6. 柑橘梳剪采收末端执行装置设计 216
2.7. 基于相对极差转换的小批量生产过程质量控制研究 224
3.以通讯作者发表本专业论文情况
3.1. M45 型多旋翼植保无人机减量施药对稻飞虱防治效果的影响 230
3.2. Development and Prospect of UAV-Based Aerial Electrostatic Spray Technology in China 240

四、科研成果

1.知识产权
2.1.发明专利授权证书：一种用于水果振动采收的振动参数测试装置 255
2.2. 发明专利授权证书：一种手持式树枝振动果实采收装置 256
2.3. 发明专利授权证书：一种水果梳剪采摘末端执行装置257
2.4.软件著作权证书：农机企业生产过程质量控制信息系统 259
2.5. 软件著作权证书：果蔬采摘机构构型综合进化优选设计系统 260
2.6.实用新型专利授权证书：一种水果梳剪采摘末端执行装置 261
2.7.实用新型专利授权证书：跨栏架自动摆放车..... 262

五、其他业绩

1.指导学生学科竞赛

1.1. 2016 年全国大学生机械产品数字化设计大赛三等奖 263
1.2. 2024 年广东省工科大学生实验综合技能竞赛三等奖 264
1.3. 广东省第二届大学生机械创新设计大赛二等奖.... 265

【佐证材料切记与目录页所列页码对应，不要用图片格式的材料进行打印。】

关于公示2019年度华南农业大学教改立项项目及拟推荐申报省级教改项目的通知

来源：{文章出处} 2019-09-16 点击量：3770

学院、部处、各单位：

根据《广东省教育厅关于开展2019年度省高等教育教学改革项目推荐工作的通知》和华南农业大学《关于申报2019年度校级教育教学改革与研究项目的通知》，经组织申报、资格审查、专家评审等环节，拟确定“基于能力培养的多层级探究式教学改革研究及实践--以《土木工程材料》为例”等46个项目入选校级教改重点项目；“基于SPOC的混合式《形势与政策》教学模式构建研究”等69个项目入选校级教改一般项目；“以打造‘金课’为导向促进教师教学能力提升的探索和实践”等39个项目入选校级教改自筹项目。

结合省厅文件要求及组织专家评审，拟推荐“基于能力培养的多层级探究式教学改革研究及实践--以《土木工程材料》为例”等28个项目申报省级教改项目。现予以公示（见附件）。公示时间为2019年9月16日至9月20日，如有异议请于9月20日前以书面形式提交至教务处教学研究与评估中心，并署真实姓名附联系方式，匿名及其他形式的异议恕不受理。

联系人： 曹广祥、伍鹏

地址： 行政楼329

联系电话：85280052

邮箱： jgxm@scau.edu.cn

华南农业大学教务处

2019年9月16日

附件：

序号	项目名称	申报人	资助方式	项目类别	备注
1	基于能力培养的多层级探究式教学改革研究及实践--以《土木工程材料》为例	李庚英	重点资助		拟推荐申报省级
2	新工科背景下多维度提升工科高数课程教学质量的研究与实践	李娇娇	重点资助		拟推荐申报省级
3	以科研成果促进遗传学实验教学创新改革的研究与实践	刘自强	重点资助		拟推荐申报省级
4	基于蚕病学课程的全英教学和管理模式研究	孙京臣	重点资助		拟推荐申报省级
5	基于一流人才培养的“金课”标准与评价研究	欧阳娟	重点资助	金课改革类	拟推荐申报省级

6	知识传授、文化传承、价值引领三位一体的课程思政教学改革与创新----以大学物理基础课程为例	徐初东	重点资助	课程思政类	拟推荐申报省级
7	新农科的时代内涵及我校建设方案初探	杨玉浩	重点资助		拟推荐申报省级
8	《舞蹈鉴赏》课程中“艺术+思政”的改革探索与实践研究	殷舒	重点资助	课程思政类	拟推荐申报省级
9	海洋生物调查虚拟仿真实验设计及多层次教学模式的构建	孙际佳	重点资助		拟推荐申报省级
10	A 系列课程质量及其影响因素调查研究	黎华寿	重点资助		拟推荐申报省级
11	基于农林院校创新型英语人才培养的英语教学模式研究	邓飞	重点资助		拟推荐申报省级
12	基于 SPOC 的《计算机组成原理》翻转课堂教学模式研究	杨磊	重点资助	金课改革类	拟推荐申报省级
13	基于能力结构的卓越农林教师教学发展模式研究	朱蕾	重点资助		拟推荐申报省级
14	基于国际标准培养木材科学与工程新工科专业特色人才的研究与实践	古今	重点资助		拟推荐申报省级
15	丁颖班组织胚胎学实验课程教学素材改革及“云”尝试	梁晓欢	重点资助		拟推荐申报省级
16	环境设计专业学生创新实践应用能力培养模式的研究与探索	郑欣	重点资助		拟推荐申报省级
17	新工科背景下化工原理虚拟仿真实验教学改革与实践	袁腾	重点资助		拟推荐申报省级
18	大湾区建设背景下海洋科学专业实践教学体系的改革与探索	杨慧荣	重点资助		拟推荐申报省级
19	OBE 理念下城乡规划专业创新人才培养的进阶式教学模式研究	王凌	重点资助		拟推荐申报省级
20	培养云计算环境下应用数学能力的实践教学改革研究	岑冠军	重点资助		拟推荐申报省级
21	马克思主义情景剧与原理课实践教学改革研究	王竹波	重点资助	思想政治理论课专项类	拟推荐申报省级
22	职业生涯教育课程思政功能的探索与实践	朱钧陶	重点资助	课程思政类	拟推荐申报省级
23	基于课程思政新理念下的《植物学》课程教学改革与初探	白玫	重点资助	课程思政类	拟推荐申报省级
24	“新工科”背景下以创新人才为培养导向的农用无人机通识教育教学改革	文晟	重点资助		拟推荐申报省级
25	《无机化学》课程思政的建设与实践	刘晓瑭	重点资助	课程思政类	拟推荐申报省级
26	推进校企合作，构建科研育人新模式	严会超	重点资助		拟推荐申报省级
27	基于微信公众号平台和雨课堂的“八度”混合式教学模式探索与实践	廖杨	重点资助	金课改革类	拟推荐申报省级

28	多学科实验平台开展安全教育的分科类教学资源体系构建与实践	劳媚媚	重点资助		拟推荐申报省级
29	新农科背景下草业科学人才培养的专业定位及课程设置探索	张向前	重点资助		
30	基于 MOOC+翻转课堂的《食品营养学》混合式教学模式创新与实践	杨瑞丽	重点资助	金课改革类	
31	《数字电子技术》课程思政建设研究	赵文锋	重点资助	课程思政类	
32	基于移动互联网的在线考试系统的搭建与应用	刘极龙	重点资助		
33	课程育人与科研育人相结合——《药物分析》研究性教学探索	林雅铃	重点资助		
34	医务社会工作“四位一体”实习模式构建	韩丽	重点资助		
35	在农林类专业课程中融入“课程思政”的探索与实践研究--以《农业生态学》为例	舒迎花	重点资助	课程思政类	
36	基于 OBE 理念的乡村规划课程体系优化研究	陈思颖	重点资助		
37	混合式教学环境下大学生古典文学素养教与学模式实践研究	李桂芹	重点资助	金课改革类	
38	基于深度学习理念的精准农业航空线上线下混合式“金课”探索与实践	张波	重点资助	金课改革类	
39	基于工程教育专业认证的工程基础教学模式研究与实践	郑丁科	重点资助		
40	图书馆服务“立德树人”根本任务的探索与创新研究——基于习近平新时代中国特色社会主义思想资源库建设的实践	吕剑红	重点资助		
41	公众健康导向下的《城市交通与道路系统规划》多形式教学改革研究	杨文越	重点资助	青年专项类	
42	基于云课堂的混合式教学在《药剂学实验》中的应用研究与实践	胡洋	重点资助	青年专项类/金课改革类	
43	“翻转课堂”在《公共管理学》全英教学中的创新与实践研究	吴彦	重点资助	青年专项类/金课改革类	
44	《兽医寄生虫学》研究性教学模式的探索和实践	郭亚琼	重点资助	青年专项类	
45	人工智能技术背景下的《C 语言程序设计》课程教学探究	王国华	重点资助	青年专项重点类	
46	《测量学》课程思政教学改革研究	姚朝龙	重点资助	青年专项重点类/课程思政类	
47	基于 SPOC 的混合式《形势与政策》教学模式构建研究	项赠	一般资助	思想政治理论课专项类	
48	习近平新时代中国特色社会主义思想进“思政课“教材研究	潘利红	一般资助	思想政治理论课专项类	

49	立德树人视域下推动习近平新时代中国特色社会主义思想“三进”研究	王超	一般资助	思想政治理论课专项类	
50	基于教育生态学的高校思想政治理论课堂教师组控能力研究	李虎	一般资助	思想政治理论课专项类	
51	思政课中红色电影的应用探究	袁炎林	一般资助	思想政治理论课专项类	
52	社会主义核心价值观引领大学生思想政治教育实践机制研究	韩淑梅	一般资助	思想政治理论课专项类	
53	提升高校思政课教师教学积极性的机制研究	汤丽莉	一般资助	思想政治理论课专项类	
54	思政课时事教育实践模式研究	李俊宏	一般资助	青年专项类/思想政治理论课专项类	
55	新时代高校思想政治理论课的话语转换机制研究——立足提升“毛中特”课程教学质量	何艳玲	一般资助	思想政治理论课专项类	
56	可编程器件原理与应用实验在线课程建设与应用	徐海涛	一般资助		
57	采用混合式教学模式打造“金课”的探索——以专业核心课程《基础写作》为例	王青	一般资助	金课改革类	
58	社会学专业社会调查类课程群的协调联动架构研究	王宇丰	一般资助		
59	微课环境下遗传学开放实验体系的构建与实践	李亚娟	一般资助		
60	参与式规划设计教学——基于广州、澳门城市更新的实践	叶昌东	一般资助		
61	基于雨课堂及精品网课资源的农业院校公共有机化学混合式教学改革	丁唯嘉	一般资助	金课改革类	
62	基于雨课堂平台的混合式教学模式改革研究——以《旅游市场营销》课程为例	骆泽顺	一般资助	金课改革类	
63	“线上+线下”的遗传学实验混合教学模式探索研究	郭海滨	一般资助	金课改革类	
64	基于慕课的《林木育种学》混合式教学方法探索	骈瑞琪	一般资助	金课改革类	
65	基于信息化建设的本科教学类档案管理模式研究	谢正生	一般资助		
66	高校“三全育人”模式下我校就业创业课程的“课程思政”实现路径研究	戴育滨	一般资助	课程思政类	
67	液压与气动课程创新性实验实践教学的研究与实践	曾文	一般资助		
68	《养羊学》课程内容优化及微课、翻转课堂在教学实践中的应用研究	柳广斌	一般资助	金课改革类	
69	基于“线上”+“线下”的《生物信息学》课程混合式教学模式研究与实践	王波	一般资助	金课改革类	

项目详细信息

项目信息 | 预期成果与目标 | 负责人信息 | 参与人信息 | 项目文档 | 审批记录 | 变更记录 | 经费信息 | 相关成果 | 评审信息 | 审查结论 | 参与人权限

项目名称	液压与气动课程创新性实验实践教学的研究与实践		
项目类别	教学改革项目	**项目级别**	校级
子类别	一般资助		
项目单位	工程学院	**项目周期**	3 年
申请经费	（万元）	**学科**	
申请时间		**立项时间**	
开始时间		**结束时间**	
批准文号	华南农教〔2019〕61号	**项目编号**	JG19116
立项金额	（万元）		
项目状态	验收待提交	**是否延期**	否
延期时间		**实际结题时间**	
证书编号		**主办单位**	
备注			

附件2：华南农业大学2022年度教改及质量工程项目立项名单					
项目编号	项目类别	项目名称	项目负责人	所属单位	备注
JG22001	重点项目	新工科课程思政一体化教学改革与实践—以《测量学》课程为例	姚朝龙	资源环境学院	省级
JG22002	重点项目	“双一流”背景下农林高校公共基础课的教学改革与实践—以大学数学课程群为例	李朗	数学与信息学院、软件学院	省级
JG22003	重点项目	基于知识地图的高校实验室安全教育微课体系构建研究	刘小波	基础实验与实践训练中心	省级
JG22004	重点项目	新工科背景下风景园林历史与理论课程教学改革研究	夏宇	林学与风景园林学院	省级
JG22005	重点项目	融合“树医生”理念的《园林植物栽植与养护》课程思政与实践教学改革研究	刘天颐	林学与风景园林学院	省级
JG22006	重点项目	落实“育德”教育与实践，打造《饲料生物技术》思政“金课”	孙加节	动物科学学院	省级
JG22007	重点项目	“大思政课”视野下《中国近现代史纲要》教学改革与实践	崔芸	马克思主义学院	省级
JG22008	重点项目	基于“SPOC+PBL”的《形势与政策》混合式教学模式改革与实践	项赠	马克思主义学院	省级
JG22009	重点项目	习近平生态文明思想融入思政课教学机制研究	李俊宏	马克思主义学院	省级
JG22010	重点项目	思政教育融合双创教育在专业实验课程中的研究与探索	罗霞	电子工程学院（人工智能学院）	省级
JG22011	重点项目	基于“知农爱农”的农业高校课程思政模式建设研究	张运红	公共管理学院	省级
JG22012	重点项目	"双一流“建设农业院校本科人才的培养目标与定位研究—以大数据管理与应用专业为例	熊俊涛	数学与信息学院、软件学院	省级
JG22013	重点项目	基于科教、产教双融合理念的《小动物临床病理学实验》教学改革与实践	李英	兽医学院	省级
JG22014	重点项目	强综合、重实践、补短板——面向专业认证的科产教融合式建筑设计课教学改革	陈乃华	水利与土木工程学院	省级
JG22015	重点项目	基于课程思政建设的高校体育课程研究	周华锋	体育教学研究部	省级
JG22016	重点项目	中外合作办学“学术英语”模块课程融合课程思政的探索	冯立新	国际教育学院（广州都柏林国际生命科学与技术学	省级

JG22017	重点项目	后疫情时代全英《植物学》国际化教学探索	龚维	生命科学学院	省级
JG22018	重点项目	乡村美育实施背景下农林院校音乐专业人才培养改革研究	朱虹	艺术学院	省级
JG22019	重点项目	助力乡村振兴的高阶性新型农商复合人才培养实践教学模式研究	齐文娥	经济管理学院	省级
JG22020	重点项目	基于 “馆校协同+合作学习”的历史实践教学模式改革与探索	龚金红	人文与法学学院	省级
JG22021	重点项目	基于“五维优化，三层互助”的专业课程改革、思政建设与实践 —以《家具与室内材料学》为例	孙理超	材料与能源学院	省级
JG22022	重点项目	《用户体验设计》课程深度学习模式与效应研究	周秀	艺术学院	省级
JG22023	重点项目	基于PDCA与CDIO的实践教学模式研究与实践--以《汽车构造实验》为例	周锡恩	工程学院	省级
JG22024	重点项目	问题驱动下的农业院校的数学分析课程线上线下教学改革的研究与实践	王石安	数学与信息学院、软件学院	省级
JG22025	重点项目	以“学以致用”为导向的《茶叶审评与检验》课程教学改革	谭新东	园艺学院	省级
JG22026	招标项目	大数据背景下统计学专业产教融合人才培养机制的探索与实践	肖莉	数学与信息学院、软件学院	省级
JG22027	招标项目	教学高质量发展视域下本科学生评教指标体系的优化	贾莉	经济管理学院	省级
JG22028	招标项目	数学核心素养与“三农”情怀融合的《大学数学I》课程思政探索与实践	曹静	数学与信息学院、软件学院	省级
JG22029	招标项目	融合课程思政农林院校数学类公共基础课课程评价体系的建立和实践	丁仕虹	数学与信息学院、软件学院	省级
JG22030	重点项目	乡村振兴赋能“双创”教育协力培养“三农”人才机制与实践	胡传双	材料与能源学院	省级
JG22031	重点项目	科教融合的智慧农业创新人才培养模式探索与实践	胡炼	工程学院	省级

JG22032	重点项目	食品大健康背景下《食品仪器分析》的实践教学改革与探索	肖苏尧	食品学院	校级
JG22033	重点项目	植物病理学课程思政建设与实践研究	孔广辉	植物保护学院	校级
JG22034	重点项目	英语系列选修课课程库构建与优化	吴章欣	外国语学院	校级
JG22035	重点项目	农林院校国土空间规划多学科交叉融合教学改革研究	杨文越	林学与风景园林学院	校级
JG22036	重点项目	“双一流”背景下我校学科建设与专业融合发展的模式和对策研究	章家恩	资源环境学院	校级
JG22037	重点项目	“双一流”背景下汉语言文学专业语言学类课程思政改革的立体化探索	罗琭昕	人文与法学学院	校级
JG22038	重点项目	理论学习、实践练习与学术研习：“三位一体”的行政管理国家级一流专业建设优化路径研究	武玉坤	公共管理学院	校级
JG22039	重点项目	基于中国特色金融发展视角的《投资学》课程思政教学改革与实践	董莹	经济管理学院	校级
JG22040	重点项目	提高昆虫学实践课程教学效果的探索	岑伊静	植物保护学院	校级
JG22041	重点项目	新农科背景下案例融合思政在《土壤生物学》教学中的应用探索	宋孟珂	资源环境学院	校级
JG22042	重点项目	应用化学一流本科专业创新型人才培养“五融合”式实践教学体系的改革与探索	李春远	材料与能源学院	校级
JG22043	重点项目	《数字图像处理》产教融合校企协同育人模式探索与实践	张宇	电子工程学院（人工智能学院）	校级
JG22044	重点项目	基于OBE理念的非机械类工科专业“工程图学”课程重构	付函	工程学院	校级
JG22045	重点项目	伟大“抗疫精神”融入水产动物免疫学课程思政改革	李言伟	海洋学院	校级
JG22046	重点项目	基于校企协同育人的“线上线下”混合式教 学对临床兽医诊断学课程的改革与实践	胡莲美	兽医学院	校级
JG22047	重点项目	以学生为中心的《环境生态学》实践教学改革	陈杨梅	资源环境学院	校级
JG22048	重点项目	农工融合促进“新农科”《农业机械化及精确农业》课程体系建设与实践	牟英辉	农学院	校级

JG22049	重点项目	广东省“一流专业”背景下《森林昆虫学》课程：理论研究及实践探索	马涛	林学与风景园林学院	校级
JG22050	重点项目	“双一流”背景下生物学学科与专业协同发展机制探究与实践	龚慧	生命科学学院	校级
JG22051	重点项目	以市场为导向培养创新人才的教学改革与实践---以《食用菌栽培学》为例	赵普艳	园艺学院	校级
JG22052	重点项目	试验统计学的混合式教学设计与实践	刘桂富	农学院	校级
JG22053	重点项目	《园艺产品加工学》全英课程线上线下混合教学设计与实践	王凯	食品学院	校级
JG22054	重点项目	新技术支持下素养拓展型在线开放课程的开发与应用	胡远慧	艺术学院	校级
JG22055	重点项目	“双一流”农科高校实验技术队伍可持续发展研究	徐军	基础实验与实践训练中心	校级
JG22056	重点项目	案例教学在工程经济学全过程教学中的应用研究	陈凯	水利与土木工程学院	校级
JG22057	重点项目	生态语言学视角下大学英语课程思政课堂话语研究	余乐斌	外国语学院	校级
JG22058	青年项目	项目驱动教学法—在集成电路课程中的创新与实践	韩宋佳	电子工程学院（人工智能学院）	校级
JG22059	一般项目	“新农科”背景下《动物营养学》课程的改革与创新	张世海	动物科学学院	校级
JG22060	青年项目	线上线下有机融合教学模式探索与实践 ——以《农业标准化体系》课程为例	安静	农学院	校级
JG22061	青年项目	兽医寄生虫虚拟仿真实验教学	夏宁波	兽医学院	校级
JG22062	青年项目	课程思政视域下大学英语写作课教学模式探究	魏丹纯	国际教育学院（广州都柏林国际生命科学与技术学院）	校级
JG22063	一般项目	工程训练课程思政建设与教学实践	陈海波	基础实验与实践训练中心	校级
JG22064	一般项目	我校耕读教育课程多维价值探究与实践—以林学与园林训练站为例	陈丽君	基础实验与实践训练中心	校级
JG22065	一般项目	新农科背景下农林高校《气象学》课程思政的探索实践	王蕾迪	农学院	校级

JG22066	一般项目	农事教育促进大学生社会情感能力发展的机制与路径——与华南农业大学A系列课程的研究	张雯闻	公共管理学院	校级
JG22067	一般项目	“三全育人”背景下《常微分方程》课程思政改革与实践	王霞	数学与信息学院、软件学院	校级
JG22068	青年项目	基于应用型人才培养的《大学 物理》对分课堂教学模式研究	陈仕长	电子工程学院（人工智能学院）	校级
JG22069	一般项目	植物认知类实验实践课程的“互联网+”教学研究—以微信小程序教学平台为例	张卓欣	林学与风景园林学院	校级
JG22070	一般项目	草地与牧草类课程线上+线下理实一体化教学探索与实践	王晓亚	林学与风景园林学院	校级
JG22071	一般项目	课程思政视域下线上线下混合式教学的改革与实践——以《光电检测技术与系统》课为例	胡旭波	电子工程学院（人工智能学院）	校级
JG22072	一般项目	基于OBE 理念的C 语言程序设计公共课“五位一体化”思政育人研究与实践	高月芳	数学与信息学院、软件学院	校级
JG22073	一般项目	水产养殖专业细胞生物学课程教学模式探索	魏世娜	海洋学院	校级
JG22074	一般项目	双一流背景下兽医学科“本硕博一体化”培养模式探究	赵夏琼	兽医学院	校级
JG22075	一般项目	基于生态文明建设理论的华南农业博物馆思政教育体系构建与实践	李薇	文博馆（档案馆、华南农业博物馆）	校级
JG22076	一般项目	《大学生职业生涯规划与就业力提升》 课程中的校企合作实践教学研究	梁春江	生命科学学院	校级
JG22077	一般项目	机电一体化技术课堂教学改革——混合教学中线上线下教学一体化设计	陈瑜	工程学院	校级
JG22078	一般项目	习近平劳动观融入高校思政课程体系的路径与实践研究	梁健晟	外国语学院	校级
JG22079	一般项目	基于智慧课堂的《经济学基础》课程思政改革研究与设计	王雅君	林学与风景园林学院	校级
JG22080	青年项目	《食品分析》课程思政的探索与实践	温棚	食品学院	校级
JG22081	青年项目	基于工程教育认证的“以学生为中心”的《农产品加工学》教学改革	黄卫娟	食品学院	校级
JG22082	一般项目	基于生物育种类专业人才培养的《遗传学》 教学改革与实践	吴锦文	农学院	校级

JG22083	一般项目	基于应用型人才培养的环境生态学教学改革与创新研究	杨海燕	水利与土木工程学院	校级
JG22084	青年项目	前沿科学研究视角下《现代食品科学技术》多维教学体系的探索与实践	刘旭炜	食品学院	校级
JG22085	一般项目	《茶叶生物化学》一流课程建设改革	孙彬妹	园艺学院	校级
JG22086	一般项目	“引进-融合-创新”：将CrossFit融入高校体能课程的整体优化研究与实践	宋明伟	体育教学研究部	校级
JG22087	青年项目	数智时代背景下《会计信息系统》课程教学改革与实践	宋冰洁	经济管理学院	校级
JG22088	一般项目	“五育并举”时域下高校劳动教育课程实效性提升研究	方媛媛	生命科学学院	校级
JG22089	一般项目	信息化背景下大学生数字能力对外语教学的作用机制及教学策略研究	刘华	外国语学院	校级
JG22090	一般项目	无人机航测虚拟仿真实验教学改革与实践	万欢	资源环境学院	校级
JG22091	一般项目	广播电视编导专业学生导演能力培养体系建设	胡年春	艺术学院	校级
JG22092	自筹项目	立德树人理念下《宏观经济学》课程思政教学改革探索	段伟	经济管理学院	校级
JG22093	自筹项目	基于“雨课堂+虚拟仿真实验”的《液压与气动》线上线下混合式教学研究	曾文	工程学院	校级
JG22094	自筹项目	科普研学背景下生物多样性教学改革与实践	刘卫欣	植物保护学院	校级
JG22095	自筹项目	基于六西格玛管理的提高《农科数学》教学质量的线上线下混合式教学探索与实践	卢建平	数学与信息学院、软件学院	校级
JG22096	自筹项目	基于 OBE 理念的园林专业《文献综述与论文写作》课程教学模式研究	魏倩	林学与风景园林学院	校级
JG22097	自筹项目	基于增值性评价的《数据库应用》 课程思政教学研究与实践	张春玲	数学与信息学院、软件学院	校级
JG22098	自筹项目	新媒体背景下高校音乐审美素质培育路径创新研究	黄越嘉	艺术学院	校级
JG22099	自筹项目	课程思政理念下大学英语翻译模块课的教学改革与实践	林如心	外国语学院	校级

项目详细信息

项目信息 | 预期成果与目标 | 负责人信息 | 参与人信息 | 项目文档 | 审批记录 | 变更记录 | 经费信息 | 相关成果 | 评审信息 | 审查结论 | 参与人权限

项目名称	基于"雨课堂+虚拟仿真实验"的《液压与气动》线上线下混合式教学研究		
项目类别	教学改革项目	**项目级别**	校级
子类别	自筹项目		
项目单位	工程学院	**项目周期**	3 年
申请经费	0.400000（万元）	**学科**	工学
申请时间	2022-10-08	**立项时间**	2023-05-11
开始时间	2023-01-01	**结束时间**	2024-12-31
批准文号	华南农教〔2022〕70号	**项目编号**	
立项金额	（万元）		
项目状态	验收待学校审批	**是否延期**	否
延期时间		**实际结题时间**	
证书编号		**主办单位**	
备注			

中华人民共和国教育部 主管
上海交通大学 主办

CN 31-1707/T
ISSN 1006-7167
CODEN: SYYTAZ

实验室研究与探索

Shiyanshi Yanjiu yu Tansuo
Research and Exploration in Laboratory

中国高等教育学会实验室管理工作分会会刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊
RCCSE中国权威学术期刊

2025/04
第44卷 第04期
Vol. 44 No.04
总第350期（月刊）
Serial No. 350(Monthly)

ISSN 1006-7167

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

实验室研究与探索（月刊）

SHIYANSHI YANJIU YU TANSUO

第 44 卷第 4 期总第 350 期　　1982 年创刊　　2025 年 4 月出版

期刊基本参数：CN31 - 1707/T * 1982 * m * A4 * 268 * zh * P * 26.00 * 6300 * 50 * 2025 - 04

目　次

·实验技术·

热力学 p-v-T 教学实验设计 …… 孙始财，谷林霖　1

基于深度学习的苹果树果实目标检测实验设计 …… 闫　彬，邵　军　5

浒苔提升微藻生产性能的教学实验设计 …… 刘　青，杜雨欣，柏彦超，等　9

适用于电动汽车锂离子电池的预 - 主均衡控制策略 …… 牛文学，贺　丹，范　武，等　13

超细干粉灭火剂的制备工艺及灭火效能 …… 李铭凤，邢志祥，刘烨铖　17

非均质地层石油污染绿色修复的微观尺度机理 …… 王晓璞，王晴萱，李　严，等　23

基于非稳态法的对流传热综合实验 …… 许亚敏　28

滚动轴承故障诊断实验平台开发及翻转课堂实验实施 …… 代　伟，杨翊卓，刘　江，等　32

蓖麻油基紫外光固化膜制备与性能综合实验设计 …… 胡　洋，鲁　盼，范国宁，等　37

蜻蜓气动布局双源动力长航时无人机设计与实验验证 …… 王耀坤，谢林博，邱玉婷，等　42

线上线下电子电路虚拟仪器实验系统设计 …… 殷贤华，张富强，许川佩　47

一种硬件在环远程在线实验系统设计与实现 …… 唐永鹤，井　靖，刘春玲，等　51

·仪器设备研制与开发·

不同液位深度储罐火行为模拟教学实验平台设计 …… 赵金龙，胡振启，李信江，等　56

基于激光超声的复合板厚度检测实验平台研制 …… 李小占，毛　星，徐　冬，等　61

·专题研讨——虚拟仿真技术(138)·

基于多物理场耦合的开关电器温升特性仿真实验平台 …… 沈靖宇，马浩东，庄杰榕，等　65

异极双气隙永磁电动机磁路与耦合特性分析 …… 韩思雨，林玉昆，邓晴文，等　71

虚拟仿真技术应用于物理教学的可视化分析 …… 尹亚玲，占若卉，孔祥戈　76

基于 HFSS 的电磁超表面仿真教学案例设计 …… 邓　力，王亚峰，洪卫军　81

基于虚拟现实的液压综合实验平台设计与实现 …… 曾　文，尹佳林，李子睿，等　86

基于园区综合能源系统优化案例的虚拟仿真实验教学平台 …… 刘　洋，祝　安，邢作霞，等　93

·计算机技术应用·

基于深度学习的航空发动机损伤识别实验设计 …… 吕巨建，曾运标，林凯瀚，等　97

基于残差网络的口腔全景片分类模型设计与实验 …… 朱海婷，沈雨晨，李佳岭　103

课堂沉默影响因素回归模型的机器学习训练优化与验证 …… 郭名静，熊　鑫，詹国强，等　108

·国家重点实验室·

国家实验室研究的演进脉络、热点与展望 …… 张　乐　114

·实验教学与创新·

各向异性金属材料屈服面测定的实验教学设计与实践 …… 郭晓倩，焦自恒，杨曙东，等　124

太赫兹时域光谱在物理电子实验教学中的应用探索 …… 邱　岩，龚立榕，胡　龙，等　129

基于 ADS 和 HFSS 的有源天线仿真设计教学案例探讨 …… 李迎松，夏印锋，王清华　134

X 射线荧光光谱法同时测定土壤硒和金属元素的教学实验设计 …… 田小松，黎佳航，张　绍，等　139

工程认证背景下环境工程专业实验教学改革 …… 陈绍华，孙　杰，叶恒朋，等　146

数字化实践教学赋能高水平应用型人才培养——以“通信原理”课程为例 …… 魏　青，白文乐，杨鸿文　151

基于 OBE 理念的精细化工实验教学设计——再生纤维素纤维增强聚乙烯醇膜的制备和力学性能 …… 谢元健，晁会霞，曹小凤，等　156

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

ISSN 1006－7167
CN 31－1707/T
实验室研究与探索
RESEARCH AND EXPLORATION IN LABORATORY
第44卷 第4期 2025年4月
Vol. 44 No. 4 Apr. 2025
DOI:10.19927/j.cnki.syyt.2025.04.019

基于虚拟现实的液压综合实验平台设计与实现

曾　文，尹佳林，李子睿，丁家浩，饶余斌
（华南农业大学 工程学院，广州 510642）



摘　要：针对传统液压传动教学实验设备价格贵、实验内容抽象、实验过程难以考核等问题，基于Unity3D设计了一个交互性强、沉浸度高、功能完善的虚拟仿真综合实验平台。该平台实现液压实践教学中的设计性、验证性和综合性等实验的虚拟仿真以及理论知识与实验操作的考核评估。基于该平台，学生能直观地观察油液流动、阀口状态、部件运动等，使液压系统具象化；增强学生在虚拟环境下的操作与故障排除能力；提升考核评估的客观性。平台有助于激发学生学习兴趣，培养学生创新和动手能力，为提升液压传动实践教学提供一种新的解决方案。

关键词：液压传动；虚拟现实；液压实验；实践教学
中图分类号：TP 391.9　　**文献标志码**：A
文章编号：1006－7167(2025)04－0086－07

Design and Realization of Hydraulic Transimission Comprehensive Experiment Platform Based on Virtual Reality

ZENG Wen, *YIN Jialin*, *LI Zirui*, *DING Jiahao*, *RAO Yubin*
(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Aiming at the problems of traditional hydraulic teaching experimental platform such as expensive price, occupying space, abstract experimental content, difficult in assessing the experimental process, based on Unity3D, we designed a virtual simulation comprehensive experimental platform with strong interactivity, high immersion level, and perfect functions. The platform realizes three major types of interactive virtual simulation experiments, i. e., design experiments of hydraulic circuit; verification experiments; comprehensive experiments, and has the function of assessment and evaluation of theoretical knowledge and virtual simulation experimental operation. Students can visually observe the hydraulic system fluid flow, valve status, component movement to enhance the operation and troubleshooting ability of the students in the absence of a physical equipment environment. It also improves the systematicity and accuracy of the assessment and reduces subjectivity. The platform helps to increase students' interest in learning, cultivate their innovation and practical abilities, and provides an innovative solution for improving the practice teaching of hydraulic transmission.

Key words: hydraulic transmission; virtual reality; hydraulic experimentation; practice teaching

0　引　言

液压传动是机械、机电类专业的核心课程，课程实践性强[1-2]。实验环节主要包含液压元件的拆装、液压回路的搭建与测试、液压元件与回路的性能测试等。液压教学实验台主要用来完成液压实践教学的重要设备。液压教学实验台价格昂贵，占用场地空间大，一

收稿日期：2024-10-30
基金项目：华南农业大学教育教学研究和改革项目(JG22093)
作者简介：曾　文(1975－)，男，江西宁都人，博士，讲师，主要研究方向为现代农业机械及装备、虚拟仿真技术。
Tel.：18925081906；E-mail：zengwen@scau.edu.cn

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

实验台最多能容纳4人协作完成实验。实验过程中管路油液的流动、阀内部油液流向、阀口大小、阀芯运动等均难以观察，对于初学液压的学生来说，相关的液压实验显得抽象、难以理解。通过虚拟仿真技术，构建高度仿真的虚拟液压教学实验平台，使学生在虚拟环境中开展液压实践活动，有利于解决上述传统液压实践教学中的难题。学生可在没有物理设备的情况下，进行各种液压回路的搭建、调试以及故障的诊断和排除。这种教学方式扩展了教学内容和方法，有效推动了实验教学的改进和提升。

以学科领域为中心，不断优化和完善国家虚拟仿真实验教学项目的布局，是我国虚拟仿真实验教学项目立项工作的重点[3-5]。目前，国内外在虚拟教学实验已取得了较大的进展，许多高校和研究机构基于Unity3D、LabVIEW、Virtools等软件进行虚拟实验平台的开发，如：Abidi等[6]开发半沉浸式虚拟涡轮发动机仿真系统；梁家军等[7]基于虚拟现实技术开发了船舶PSC检查训练仿真系统；孙晓庆等[8]开发了渗流运动虚拟仿真实验平台；董春云等[9]设计了汽轮机装配建模与热态测控虚拟仿真实验；蔡宝等[10]开发了虚实融合的工业机器人实验平台。在液压实验教学领域，国内关于虚拟仿真技术与液压结合的研究主要集中在液压元件虚拟拆装和液压虚拟实验。许光[11]研究、开发了应用于《液压传动》在线开放课程的虚拟仿真实验平台，实现液压泵性能实验和节流调速回路性能及液压元件的沉浸式虚拟装配等实验虚拟仿真。宋辛辛[12]开发了一套基于虚拟现实(virtual reality，VR)液压实验原型系统，设计了一种碰撞检测算法，显著提高液压元件装配时碰撞检测精度，初步实现液压元件拆装和液压回路实验。李梦如等[13]基于Unity3D搭建液压虚拟仿真实验教学平台，实现容积节流调速回路的虚拟仿真和典型液压元件虚拟拆装。陈敏捷等[14]探索VR技术在液压传动实验教学中的应用，搭建虚拟仿真实验系统，设计液压泵性能测试虚拟仿真实验。综合以上文献，国内液压实验教学虚拟仿真基本实现液压元件的拆、装，初步实现液压回路搭建、测试与元件性能测试的虚拟仿真实验功能，但存在系统功能较单一、管路内部油液流动模拟不形象、缺乏综合性仿真实验、实验考核评估不完善等问题。

实验教学项目是高校实验教学的基本单元，其建设水平直接影响实验教学的整体质量[15]。为满足学校机制、车辆工程、农机化等专业液压传动实践教学的需要，针对国内液压虚拟仿真实验中存在的问题，设计与开发基于VR的液压综合教学实验台。虚拟仿真综合教学实验台遵循素养建构理念[16]，以学生为中心进行虚拟仿真实验教学设计，集实验导学、虚拟仿真、实验考核为一体，实现液压实践教学中液压回路搭建与测试、液压元件与回路的性能测试、综合性设计性实验，有助于学生理解液压系统基础理论及工作原理，为提升液压传动的实践教学提供了一种有效途径。

1　实验平台设计原则

虚拟仿真综合教学实验平台基于学校设计的多功能综合液压实验台，结合理论与实践，以完善实验教学内容、形象具化液压回路虚拟实验、构建考核评价体系等为原则，设计集实验导学、虚拟仿真实验操作训练、评估考核为一体的实践教学平台。为提升液压传动实践的教学质量，提供坚实的技术支撑。

(1) 构建完善的实验教学内容。依据液压传动实践教学大纲，围绕“新工科”专业创新型人才的培养目标，以产出导向为设计理念，完善回路搭建、性能测试、综合性、设计性实验等实践教学内容，设计了实验导学模块。实验导学为学生实验前的预习提供端口，同时弥补因实验空间、学时等限制，无法开展的相关设备原理、电气控制原理与设计等实验教学环节，有助于本科生对机电液一体化形成整体认识，对学生系统化科学实验研究技能的养成具有一定的促进作用。

(2) 形象与具化的液压回路虚拟实验。在完成传统液压系统实验时，只能观察执行元件的动作，系统中油液的流动状况、阀类元件中阀芯移动、阀口的大小与状态等无法观察。对于初学液压传动的本科生来说，液压系统显得比较抽象与难以理解。实验台主要设计来完成液压实践教学中的回路搭建、元件与回路性能测试、综合性、设计性实验等的虚拟仿真，采用三维回路虚拟仿真与二维回路原理动画相结合的方式，模拟回路中液流状态及流动路线、阀芯运动、阀口状态等，使液压系统形象与具化，助力学生深入理解液压系统的工作原理。

(3) 构建考核与评价体系。传统液压实践教学的评价与考核主要依据学生在实验过程中的表现与实验报告成绩打分，具有较大的主观性，同时教师的工作量较大。实验台在实验导学、液压回路虚拟仿真实验的基础上，构建实验考核与评价体系。从实验导学学习效果、虚拟仿真实验完成过程、实验数据记录分析、实验结果等各个角度、全过程实现考核评价的系统化。

2　实验平台架构设计

2.1　系统总体架构

系统采用包含应用层、服务层、数据层的C/S客户端/服务器架构(见图1)，各层之间耦合度低，开发相对独立，有利于提高系统的可扩展性和可维护性。

应用层　主要提供用户交互界面及实现仿真功能，分学生端和教师端。学生端包含实验导学、回路搭

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

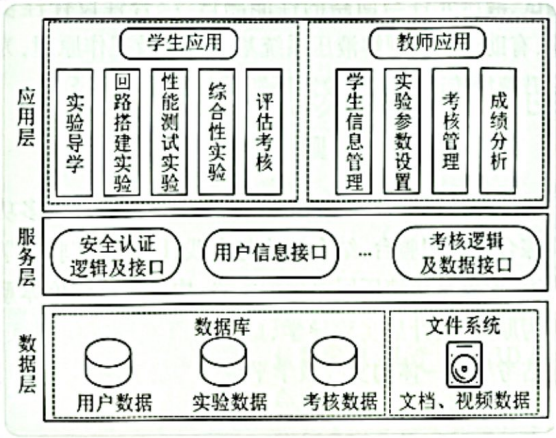


图1 系统软件架构

建、性能测试、综合性实验仿真和评估考核等功能模块。教师端包含学生信息管理、实验参数设置、考核数据管理、成绩分析等模块。

服务层 作为应用层与数据层之间的中间层，负责数据管理业务逻辑处理，数据层访问接口等。应用层通过服务层请求特定的数据，并由服务层根据业务逻辑进行相应的数据处理，包含安全认证、用户信息、实验参数、考核评估等的业务逻辑及数据访问接口，在C/S系统中起着桥梁和核心功能的作用。

数据层 是整个系统的数据存储和管理中心，负责数据持久化以及数据查询和事务处理等功能。系统主要的数据有用户数据、实验数据、考核数据等数据库存储的数据，文件系统中存储的文档/视频数据等。

2.2 功能模块组成

基于实验平台设计原则，融合液压实验室等仿真情境，引入实验导学、评估考核等，构建液压综合教学实验仿真平台。实验平台功能模块如图2所示。

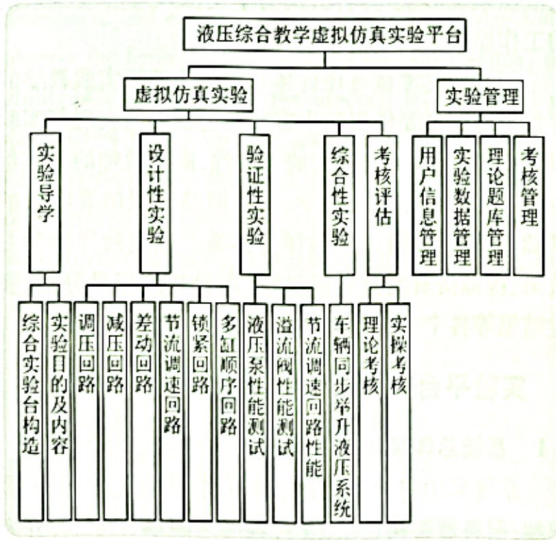


图2 软件功能结构

2.3 虚拟仿真实验功能模块

虚拟仿真实验模块是学生完成相关液压回路虚拟仿真实验的客户端程序，包含实验导学、回路设计及测试实验、元件与回路性能测试实验、综合性、设计性实验、考核评估等功能子模块。

(1) 实验导学。目的是让学生在开始相关实验前，了解综合实验台的组成及各部分功能，掌握相关液压回路实验的实验目的、实验内容、实验方法及回路的工作原理等。实验导学由综合实验台构造学习和实验目的及内容学习2个子模块组成。

综合实验台构造子模块介绍实验台液压站、电控系统、元件与回路安装等，为后续虚拟仿真及实装实验打下基础。实验目的及内容子模块介绍回路设计及测试实验、元件与回路性能测试实验、综合性设计性实验的实验目的、实验内容、实验方法等。

(2) 设计性实验。通过学生自行设计回路、连接回路、操纵回路动作、简单性能测试等，了解与掌握液压传动元件与回路的相关知识，同时结合液压回路动画阐述相关液压实验回路的工作原理，培养“新工科”创新思维方式和提高实际动手能力。设计性实验包含调压、减压、差动、节流调速、多缸顺序动作和单向顺序阀平衡等回路等实验子模块。每个子模块均可实现二维回路虚拟仿真、三维回路设计与连接、三维回路仿真运行、回路压力流量性能参数测试等功能。

(3) 验证性实验。通过对元件与回路的性能测试，如压力稳定、压力流量、效率、速度负载等特性，让学生了解各性能测试的过程，掌握液压关键元件的特性，为从事液压相关工作打下良好的理论基础。验证性实验主要包含液压泵、溢流阀和节流调速回路等性能测试子模块。

(4) 综合性实验。综合运用机械原理、机械设计、液压传动等多门课程知识进行机械装备及液压系统的设计与运行测试实验。通过实验，学生能将液压系统与机械装备相关的知识融会贯通，将理论知识与实践相结合，培养综合运用知识的能力。液压综合性实验主要为货车液压尾板的设计及运行测试。

(5) 考核评估。为全面评估学生对液压传动实验教学涉及的理论知识、实验台结构认知、相关液压实验回路工作原理的掌握程度、实验完成度和实验操作与数据处理的正确度。考核评估分为理论与实操考核2个子模块。理论考核主要考核实验导学中涉及的相关知识；实操考核对设计性、验证性和综合性实验涉及的各个实验回路搭建的正确性、操作过程、实验结果数据、数据处理结果、实验用时等进行综合评价。各个子模块的考核分数根据教师设置的加权系数，最终统计出学生该门实验课的成绩。

2.4 实验管理功能

实验管理功能模块主要实现教师后台管理，包含用户信息、实验数据、理论题库和考核等管理等子模

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

块。用户信息管理设置管理员、教师、学生等用户的信息及其操作权限；实验数据管理子模块主要设置各项虚拟仿真实验的正确操作步骤、相关实验的压力流量等参数变化规律及试验数据存储等；理论题库管理用于建立相关实验理论知识、实验台结构认知的试题；考核管理用于记录学生理论和实操考核的耗时、操作过程等，并基于理论与各实操考核的权重综合评分，提供学生考核成绩分析及报表打印等。

3　虚拟液压教学实验平台实现

平台登录界面如图3所示。

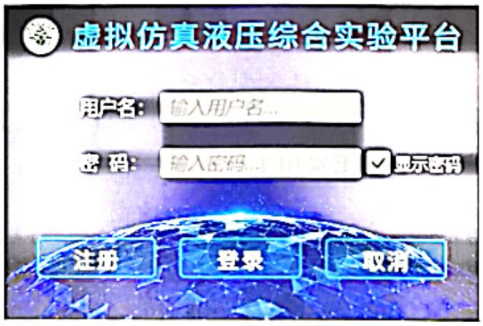


图3　登录界面

学生输入用户名和密码后进入平台主界面（见图4）。在主界面，学生点击按钮进入对应的功能模块进行理论学习、虚拟仿真实验等。



图4　平台主界面

3.1　实验导学

进入实验导学模块（见图5）后，通过点击左边导航栏的各按钮，右边会显示相应液压实验的实验目的、工作原理、内容和步骤等。点击图5中的实验台介绍按钮，可进入图6所示的实验台介绍界面。

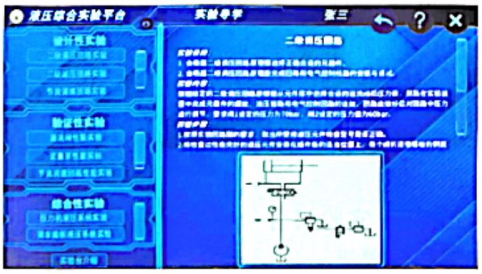


图5　实验导学



图6　实验台介绍

通过缩放、旋转等操作可全方位观察实验台的构造。鼠标左键点击实验台部件，左下部件介绍栏会显示该部件的名称及其作用。

3.2　设计性实验

点击图4中的设计性实验按钮，进入图7所示的设计性实验界面。实验包括调压、减压、差动、节流调速、锁紧和多缸顺序动作等回路。目的是让学生掌握相应液压基本回路的组成及工作原理，使学生具有简单液压回路的设计、搭建、调试运行等能力。以2级减压回路虚拟仿真为例，介绍设计性虚拟仿真的操作流程。

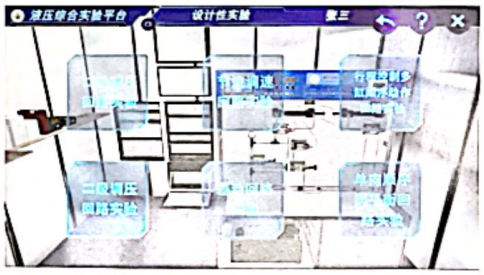


图7　设计性实验模块选择

（1）系统学习。点击图7中的2级减压回路实验按钮，进入一个与实验导学相似的界面[见图8(a)]。在此界面可再次复习实验的目的和内容。同时，此界面有液压回路原理动画，形象、生动展示回路中进、回油路的油液流动方向，各类阀的阀口状态、油液流向等。

（2）元件选择。在元件库中选择所需元件，在液压实验台搭建对应实验的液压系统回路，或者在液压台已有回路的基础上补充，如图8(b)所示液压台上已提供调压回路，学生只需在左侧完成减压回路的搭建，形成一套完整的液压系统。

（3）管路布置。依据液压回路原理及自己对回路的理解，点击实验台任意2个液压元件的接口，即可在二者中间生成连接管路，实现自主搭建回路的功能。

（4）线缆布置。除溢流阀、减压阀等需手动调节的液压元件外，还须通过线缆将液压回路中的电磁阀、行程开关、传感器和计时器等与实验台上方相应的接口连接。

（5）回路检测。完成管路布置、线缆布置，点击回

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

路检测按钮。系统根据实际情况判断管路布置、线缆布置是否正确。如果管路连接错误，系统会出现报错提示，并高亮显示，方便学生快速找出错误原因并做出更改。

(6) 回路运行。完成回路搭建，可按操作规范启动实验台[见图8(c)]。



(a) 原理动画　(b) 系统搭建　(c) 运行测试

图8 2级减压回路仿真实验

回路运行过程中，可设置溢流阀、减压阀的"调节压力"，观察不同溢流阀、减压阀调节压力时，压力表读数的变化以及液压缸的运动状态。

(7) 油液观察。点击右下角的油液观察按钮，可使油管呈透明化，管路内部的油液采用OBI粒子模拟，如图9经渲染后进油路呈红色，回油路呈蓝色，可清楚观察油液流向。

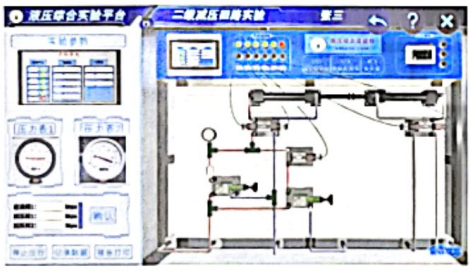


图9 油液观察

(8) 记录数据。单击记录数据按钮可打开实验数据记录并生成对应的实验曲线。

(9) 报告打印。单击报告打印按钮可生成实验报告并填写和提交。

3.3 验证性实验

验证性实验主要用于测量液压元件的压力稳定、压力流量、效率、速度和负载等特性，与设计性实验相比相对简单，验证性实验成功与否反映在最终的实验报告以及实验曲线上。以溢流阀性能测试为例，学生在完成图10(a)所示的实验原理学习后，搭建如图10(b)所示的溢流阀性能测试回路，再进行溢流阀性能测试。

当溢流阀由卸载状态突然向额定压力工况转变或由零流量状态向额定压力、额定流量工况转变时，由于阀芯惯性运动、黏性摩擦以及油液压缩性的影响，阀的进口压力将迅速升高到某一峰值 p_{max}，然后逐渐衰减波动，稳定为额定压力 p_1，最终形成如图10(c)所示的溢流阀压力流量特性曲线。



(a) 实验动画　(b) 系统搭建　(c) 压力流量特性曲线

图10 溢流阀性能测试仿真

3.4 综合性实验

液压综合性实验涉及本门课程的综合知识及相关的机械及电气控制等知识。通过综合性实验，培养学生综合分析能力、动手实践能力及深入理解机电液一体化概念[17]。货车尾板升降系统是一个相对简单的机、电、液一体系统，包含尾板升降的机械连杆升降机构、电控系统、液压控制系统。货车尾板升降系统综合实验包含原理学习、机械装置搭建、液压回路搭建、电气系统搭建、回路检测和运行测试等。原理学习如图11(a)所示。完成机械装置搭建、液压回路搭建和电气系统搭建后的货车尾板升降系统如图11(b)所示。系统搭建完成后，启动泵及相关电气开关，可观察油液的流动、液压缸动作、尾板升降等，使学生对机、电、液一体化系统有直观且深入的理解，运行测试如图11(c)所示。

3.5 考核评估

考核评估模块提供了一种客观评估学生对液压系统操作的熟练度和相关知识的掌握程度的功能，考核模块如图12所示。

通过测验、实验报告和项目评估，教师了解学生的学习进度和需要进一步加强的领域。考核内容突出虚拟实验的特点，根据课程教学要求和大纲与教材紧密

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App



（a）系统原理图　　（b）系统搭建　　（c）运行测试

图 11　货车尾板液压系统仿真实验



图 12　理论考核模块

结合，将课堂教学和实验有机结合，并与理论教学和训练结合，共同组成“学、练、考”3 位一体的教学体系。

4　实验教学过程设计

液压传动课程的设计性实验、验证性实验和综合性实验共安排 4 学时，液压传动实验室有 6 台快速组合式全功能液压教学实验台。由于实验课时少，实验设备不足，上课班级多，实验课一般为 4 人一组，大部分同学没有真正动手实践的机会。为更好地应用平台，发挥平台对液压传动实践课的支撑作用，高效利用现有快速组合式全功能液压教学实验台，基于虚实融合对液压传动实践教学过程进行设计（见图 13），以促进新工科学生创新能力及动手实践能力的培养。

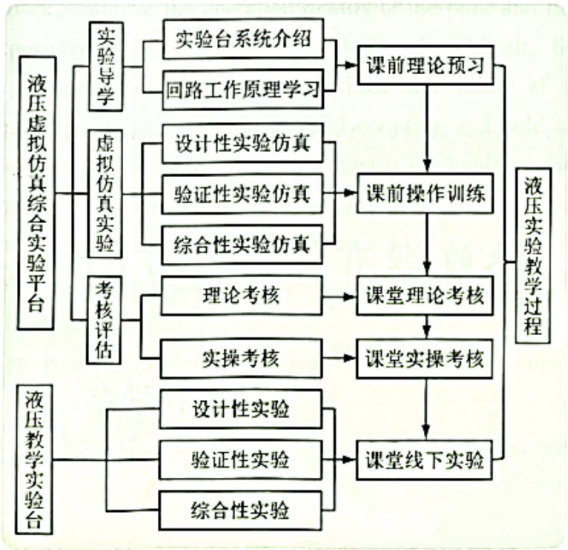


图 13　实践教学过程

由图 13 可知，线上课前预习、操作训练、课堂考核与线下实践教学等各个环节紧密相扣。

实验导学作为实验课前的预习内容，用于了解实验台结构及各部分功能，建立科学实验理念。学生根据教师的布置，在虚拟仿真平台进行相关实验的实验导学、操作训练仿真，促进学生对相关实验目的、原理、操作过程、仿真运行的理解。为保证实验理论学习、虚拟仿真实验训练效果及评估学生实验课程成绩，设计课堂理论与仿真操作考核环节。学生在完成线上考核评估后，进入线下实验，基于仿真与线下实验的相似性，学生可快速完成相关液压实验，既加深对相关液压系统的认识和理解，又能促进动手能力的培养。

5　结　语

平台设计遵循以学生为中心的理念，集成实验导学、实验及考核评价模块，实现设计性实验、验证性实验、综合性实验的虚拟仿真。通过虚拟仿真技术，学生能直观地观察到油液流动、阀口状态、部件运动等动态过程，大大降低了学习的抽象性。提供液压回路设计与运行测试的功能，增强学生在虚拟环境下的操作与故障排除能力。此外，考核体系的建立提升评估的准确性，减少主观性，减轻教师的工作负担。虚拟仿真实验平台为液压传动的实践教学提供新的解决方案，不仅拓展了教学内容和方法，还有助于培养学生的创新和实践能力，为新工科人才的培养奠定基础。

参考文献（References）：

[1] 杨秀萍，胡文华，徐晓秋. 液压专业课的虚拟仿真实验教学[J]. 液压与气动，2021，45(11)：112-116.

[2] 孙　渊，李庆龄. “流体传动与控制综合实验”教学改革探索与实践[J]. 实验室研究与探索，2023，42(8)：187-191.

[3] 杨　颖，肖　潭，南景富，等. 高校虚拟仿真实验教学发展趋势的文献计量分析[J]. 实验技术与管理，2020，37(12)：24-28.

[4] 高志强，王晓敏，闫晋文，等. 我国虚拟仿真实验教学项目建设的现状与挑战[J]. 实验技术与管理，2020，37(7)：5-9.

[5] 张慧琴，李中凯. 近十年我国高校虚拟仿真实验教学研究发展述评[J]. 实验室研究与探索，2024，43(8)：77-82.

[6] Abidi M H, Al-Ahmari A M, Ahmad A, *et al*. Semi-immersive virtual turbine engine simulation system[J]. International Journal of Turbo & Jet-engines, 2018, 35(2): 149-160.

[7] 桑家军，任鸿翔，董雅欣，等. 基于虚拟现实技术的船舶 PSC 检查训练仿真系统[J]. 船海工程，2024，53(2)：126-131.

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

[8] 孙晓庆,卞建民,王 宇. 渗流运动虚拟仿真实验平台设计与实现[J]. 实验室研究与探索,2024,43(4):58-63.
[9] 董春云,王 浩,陈晓龙. 汽轮机装配建模与热态测控虚拟仿真实验设计[J]. 实验技术与管理,2022,39(2):95-99.
[10] 蔡 宝,朱文华,史秋雨,等. 虚实融合的工业机器人实验平台研究[J]. 机床与液压,2021,49(23):54-60.
[11] 许 光. 基于《液压传动》在线开放课程的虚拟仿真实验平台研究与开发[D]. 西安:长安大学,2022.
[12] 宋辛辛. 基于VR的虚拟液压实验系统设计与开发[D]. 西安:西安工程大学,2021.
[13] 李梦如,陈 哲,朱美华,等. 液压虚拟仿真实验教学平台建设[J]. 实验技术与管理,2019,36(2):148-152.
[14] 陈敏捷,羊荣金,沈孟锋. 虚拟现实技术在液压传动实验教学中的应用研究[J]. 实验技术与管理,2018,35(4):136-139.
[15] 孙 淳. 国家级虚拟仿真实验教学中心分布特点与立项建设[J]. 实验科学与技术,2019,17(2):146-151.
[16] 吴文哲,季林丹,陈 坤. 虚拟仿真实验教学项目建设的挑战与对策[J]. 中国大学教学,2023(10):69-74.
[17] 刘 锋,黄长征,罗 昕,等. 液压与气压传动综合探究性实验的设计[J]. 实验室研究与探索,2024,43(9):182-186.

(上接第70页)

识的理解,培养学生自主科研能力与创新思维。经实验验证该平台的仿真结果能较好地还原MCB的实际温度分布,误差在10%以内。该仿真实验平台对于提升开关电器课程的实验教学水平具有积极的推动作用。

参考文献(References):

[1] 许志红. 电器理论基础[M]. 北京:机械工业出版社,2014.
[2] 汤龙飞,许志红. 联合仿真在智能电器教学中的应用[J]. 实验室研究与探索,2018,37(11):168-172.
[3] 孙文杰. 仿真技术在电气工程及其自动化专业教学改革中的应用[J]. 实验室研究与探索,2016,35(12):104-107.
[4] 熊宏齐. 虚拟仿真实验教学助推理论教学与实验教学的融合改革与创新[J]. 实验技术与管理,2020,37(5):1-4.
[5] 潘雪涛,邹华芝,蔡建文,等. 创新虚拟实验教学模式培养自主学习能力[J]. 实验室研究与探索,2014,33(11):72-76.
[6] 朱琦琦,王海燕,张 洋,等. 大容量抽水蓄能发电机断路器发热特性仿真与散热优化方法[J]. 高电压技术,2024,50(6):2623-2634.
[7] 薄 凯,周 学,翟国富,等. 大电流条件下真空接触器温升特性的试验测量与仿真分析[J]. 电工技术学报,2019,34(24):5135-5143.
[8] 侯国斌,傅明利,邓晓峰,等. GIS温升的多物理场仿真与实验及热通量分布特性[J]. 高电压技术,2019,45(7):2322-2328.
[9] 马信友,王立军,王 睿,等. 故障条件下中压开关柜温升特性的仿真研究[J]. 高电压技术,2022,48(6):2276-2282.
[10] 林福昌,蔡 礼,李 黎,等. 石墨型气体开关电接触面的温升分析[J]. 中国电机工程学报,2010,30(33):96-102.
[11] 彭 涛,唐炳南,赵莉华,等. 中压开关柜典型接触故障下的温升特性研究[J]. 高电压技术,2021,47(12):4331-4345.
[12] 李兴文. 低压断路器的建模仿真技术[M]. 北京:机械工业出版社,2017.
[13] 荣命哲,吴 翔. 开关电器计算学[M]. 北京:科学出版社,2018.
[14] 纽春萍,陈德桂,刘颖异,等. 交流接触器温度场仿真及影响因素的分析[J]. 电工技术学报,2007,22(5):71-77.
[15] 陶文铨. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社,2019.
[16] 李 凤. 小型断路器温度场的仿真研究[D]. 天津:河北工业大学,2016.
[17] 王后能,牛松梅,李自成. 基于GUI的电力系统负荷频率控制仿真平台设计[J]. 实验室研究与探索,2023,42(12):90-94.
[18] 赵建勇,汤加钰,孙 丹,等. 基于Matlab_GUI的电气工程虚拟仿真实验平台设计[J]. 实验室研究与探索,2022,41(6):92-97.
[19] 龚曙光,谢桂兰,黄云清. ANSYS参数化编程与命令手册[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

·名人名言·

正确的结果,是从大量错误中得出来的;没有大量错误作台阶,也就登不上最后正确结果的高座。

——钱学森

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

获奖：

中国高校特色科技期刊
中国高校优秀科技期刊
《CAJ-CD规范》执行优秀期刊
全国高校优秀编辑质量科技期刊
华东地区优秀期刊
上海市高校优秀科技期刊

入选下列网站、数据库及检索系统：

- 《中国学术期刊 (光盘版)》
- 《中国期刊网》
- 《万方数据——数字化期刊群》
- 科技期刊世界影响力指数 (WJCI) 报告 (2023) 收录
- 《中国核心期刊(遴选)数据库》
- 《中国学术期刊综合评价数据库》
- 《中文科技期刊数据库》
- 《中文电子期刊服务》
- 《中国学术期刊文摘 》(中文版)
- 俄罗斯《文摘杂志》(AJ，VINITI)
- 美国《化学文摘》(CA)
- 美国《剑桥科学文摘》(CSA)
- 美国《乌利希国际期刊指南》(UIPD)
- 英国《INSPEC》数据库
- 美国《史蒂芬斯数据库》(EBSCOhost)
- 日本科学技术振兴机构数据库 (JST)

实验室研究与探索
Shiyanshi Yanjiu yu Tansuo
（月刊，1982 年创刊）
第 44 卷　第 04 期　总第 350 期
2025 年 4 月 25 日出版

Research and Exploration in Laboratory
(Monthly, Started in 1982)
Vol. 44 No. 04 (Serial No. 350)
April. 25, 2025

主办：上海交通大学
主编：蒋兴浩
编辑出版：《实验室研究与探索》编辑部
地址：上海市华山路 1954 号
上海交通大学（徐汇校区）交大慧谷楼415室
邮编：200030
电话：(021) 62932952　62932875
广告热线：(021) 62933165
在线投稿网址：http://sysy.cbpt.cnki.net
电子邮箱：sysy@sjtu.edu.cn（办公）
sysydk@163.com（订刊）
sysyggy@163.com（广告）
网址：http://sysy.cbpt.cnki.net
印刷：上海麒麟士企业发展有限公司衡船印刷分公司

广告经营登记证：3101045000324
国内统一连续出版物号：CN 31-1707/T
国际标准连续出版物号：ISSN 1006-7167
国际期刊编码：CODEN: SYYTAZ
国内发行：上海市报刊发行局
发行范围：国内外公开发行
邮发代号：4-834
定价：26元 / 册

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

7	基于相对极差转换的小批量生产过程质量控制研究	湖南科技学院学报 出版年：2013 出版日期：2013-08-01 卷期：34 08 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无
8	基于虚拟现实的液压综合实验平台设计与实现	实验室研究与探索 出版年：2025 出版日期：2025-04-11 14:49 卷期：44 04 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	C 类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无
9	液压与气动课程综合教学改革探索	中国现代教育装备 出版年：2024 出版日期：2024-05-20 卷期： 09 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无
10	液压与气压传动课程教学改革研究	中国电力教育 出版年：2014 卷期： 页码：- 文献号：	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	万方	无	无

华南农业大学图书馆SCAULIB20262591

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

检索员：刘汉忠
华南农业大学图书馆
2026-03-11

华南农业大学图书馆SCAULIB20262591O

中国现代教育装备

CHINA MODERN EDUCATIONAL EQUIPMENT

中华人民共和国教育部主管　　中国高等教育学会主办
国内刊号：CN11-4994/T　　国际刊号：ISSN 1672-1438



交通运输专业“云实习”实践探索
高校网络教学效果满意度模糊综合评价
人工智能技术在教学质量评价中的研究与实践
预算一体化背景下高校采购管理优化对策
高校政府采购内部控制管理优化探析

2024 · 5
（高教版）
ISSN 1672-1438

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

目 录

混合式教学模式研究

98 后疫情时代混合式教学模式的发展策略和路径 …… 王晓烨 孙晓文 怀率恒 等

102 材料科学基础课程混合式教学设计的思考 …… 王 晴 赵明宇 张 淼

106 混合式教学的原则与策略研究 …… 杨 蓓 刘星宝 刘黎明

110 新工科背景下基于 OBE 理念的无线传感器网络实验课程混合式教学模式探索 …… 胡必玲 仝 钰 谢 飞

113 军队院校工程类专业课混合式教学实现方法研究 …… 肖冰松 王 瑞 卢丁丁

课程建设与教学研究

117 电工电子技术多维度成绩评定方法设计与研究 …… 周 强

121 从深度主动学习视角探讨材料力学课程教学及评价 …… 王成杨 林 壮 杨丽红 等

124 交通强国战略背景下交通类车辆专业进阶式模块化人才培养体系优化 …… 李胜琴 王 琢 范东溟

128 基于 3M-PBL-OBE 的机械工程实验教学体系改革与实践 …… 陈 晖 陈剑雄 黄 惠

131 园林工程课程多维教学改革探索 …… 李晓甜 付 晖

135 液压与气动课程综合教学改革探索 …… 曾 文

138 工程类学生工程实践能力递进式提升策略与实践 …… 韩 青 马玉真 王晓慧 等

141 大数据时代背景下建筑电气课程教学改革与探索 …… 陈 闯 史建涛 李为相 等

145 机械制造工艺学课程教学改革实施途径研究 …… 罗红旗

148 材料分析测试技术课程教学方法的改革探索 …… 李 玮 王炫力

151 自动化类专业数控实习教学模式探索与实践 …… 万慧雯 黄家才 刘树青 等

155 面向智能建造专业的项目互动式课程改革探索 …… 朱颖杰 白玉星 纪颖波 等

158 职前教师现代教育技术应用课程融合创新的探索 …… 梁兴连

162 链接课堂到战场的“三课五实”实战化教学创新与实践 …… 耿荣旗 [illegible] 王 慰 等

产教融合与校企合作

165 劳创融合理念下工程训练课程教学改革与创新实践 …… 杨 珂 黄志甲 王培珍

169 医学院校与企业产教融合协同培养基础医学人才的探究 …… 贾媛媛 马宇鑫 马 坚 等

172 电池产业“科产教”融合人才培养机制研究 …… 段连峰

176 应用型高校产教融合实践教育策略研究 …… 耿 鹏 包永强 童 莹

高职教育研究与实践

180 基于学习者画像的混合式精准教学模式的构建与应用 …… 吉朝明

184 “工学一体 分阶分层 育训并举”一体化技能人才培养模式的探索实践 …… 房 明

数字化图书馆建设

187 新型公共文化空间背景下智慧图书馆建设的优化路径探析 …… 桑媛媛

一线调查

191 新时代十年来思想政治教育领域研究热点分析 …… 宗苏秋 齐 建 董海涛

CMEE

高教版编委会

主 任：杨 敏

副主任：侯 冰 邵延方

高教编委（按姓氏笔画排列）：

王 焱 刘兆杰 刘建新

许 葵 许燕滨 孙家悦

杨 敏 杨立成 苏辉辉

李 帅 李 勇 李 静

李更生 李继红 吴丹舟

汪木兰 沈如群 宋 鹏

张韡光 邵延方 赵乐华

赵怡红 侯 冰 龚雯雯

蔡可佩

收录本刊内容的数据信息库：中国期刊全文数据库，中文科技期刊数据库，中国核心期刊遴选数据库。

作者如不同意文章被上列数据信息库收录，请在来稿时向本刊声明。

本刊所付稿酬已包含上列数据信息库著作权使用费。

本刊载文，作者文责自负。

关注我们：

扫描二维码或搜索

中国现代教育装备

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

液压与气动课程综合教学改革探索

曾　文
华南农业大学工程学院 广东广州 510642

摘　要：为满足智能制造时代的要求，针对液压与气动课程教学中存在的问题，开展了综合教学改革。对教学体系与内容进行调整，合理简化液压知识点，增加了气动技术的比重；构建了液压与气动元件三维模型库及教学视频库，引入了FluidSIM进行仿真教学；开展了基于项目任务的实践教学，构建了液压系统综合实践和气动系统综合实践两个实践教学项目。同时，建立了校外教学基地。通过课程综合教学改革，提升了学生的学习兴趣、实践动手能力，培养了学生的团队协作精神与创新意识。

关键词：液压与气动；教学改革；FluidSIM；项目教学；实践教学
中图分类号：G642.0　**文献标识码**：A　**文章编号**：1672-1438(2024)09-0135-03

液压与气动技术在工业机床、工程机械、航空航海装备、交通机械、农业机械、自动化生产线等领域应用广泛，在社会经济建设中发挥着重要作用[1]。特别是随着工业4.0时代的到来及智能制造的兴起，气动技术因具有动作迅速、反应快、成本低、清洁安全、易于实现自动控制等优点，在自动化生产线上的应用越来越广泛[2]。因此，国内高校机械类专业普遍开设液压与气动课程。它是工科机械类专业一门重要的专业基础课，具有综合性、应用性及实践性强的特点[3]。为提升液压与气动课程的课堂教学质量和学生的实践动手能力，多年来全国多所高校的任课教师在教学内容、课堂教学手段、实践教学模式、线上教学等方面开展了多种有益的教学改革探索，并取得了显著的成果[4-6]。

近年来，我校以通识教育理念对课程体系进行改革，更加重视学生综合素质培养，导致专业课学时均有不同程度的缩减。液压与气动课程由原有的48学时缩减为32学时(含实验)。因此，教学过程中基本以液压理论课为主，气动部分仅做简单介绍，且实践环节少，无法满足智能制造时代对气动技术人才的要求。除了对气动技术的重视不够之外，我校液压与气动课程教学还存在以下问题：一是教学方式主要以教师课堂理论教学为主，学生缺乏主动学习的动力和压力；二是实践教学内容少，仅开展液压元件拆装、液压/气动回路演示实验，在提高学生的学习兴趣与动手实践能力方面存在不足。因此，课程团队开展了液压与气动课程的综合教学改革，增强气动技术教学，以适应智能制造时代对气动技术人才的要求，激发学生的学习兴趣，提升学生的动手实践能力。

1　教学体系调整

1.1　合理简化调整液压理论知识点

原有的液压教学，一般按照流体力学基础、液压元件、液压回路、系统设计的结构体系进行。在教学实践过程中，笔者所在课程团队发现，由于课时量不足，元件、回路等内容都无法讲透，学生难以做到融会贯通。液压元件结构复杂，容易让学生感觉枯燥乏味、缺乏学习的兴趣与动力。针对这些问题，一方面，淡化流体力学理论的论证与推导过程，将流体力学基础的学时减少为2学时；另一方面，将液压控制元件与回路紧密结合，在讲解回路的过程中，穿插讲解相关的控制元件，着重讲解元件的原理及其实际工程应用，适当省略元件的烦琐结构细节。通过对液压理论知识点进行合理简化和调整，既可以避免学生学习出现枯燥乏味的情况，又能让学生在有限的28学时内完成液压知识体系的系统学习。

1.2　增加气动技术内容的讲解

为适应智能制造时代对学生气动技术知识和能力

作者简介：曾文，博士，讲师。
基金项目：华南农业大学教育教学改革与研究项目“基于雨课堂+虚拟仿真实验的液压与气动线上线下混合式教学研究”(编号：JG22093)。

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

提出的要求，加强了气动技术知识理论与实践方面的教学。现有课程的学时数不足以完成气动技术教学，无法帮助学生建立完整的气动知识体系。因此，课程团队在原有32学时的基础上增加了8学时，将气动部分的教学学时调整为12学时。同时，调整了气动部分的教学内容，主要讲解气动基础知识、气源装置及元件、常用的气动回路及其设计等内容。简化气动逻辑回路及其设计，突出液压与气动之间的相似与不同之处。

2 教学方法改革

2.1 构建可视化的多媒体资源

液压与气动课程的内容中包含大量元件结构图、工作原理图、基本回路图、液压与气动系统图。虽然教师在教学过程中花费了大量时间对这些内容进行讲解，但由于结构的复杂性、工作过程的抽象性等原因，仍然难以激发学生的学习兴趣和积极性，教学效果较差[7]。现有的多媒体教学资源大多为液压工作原理图与基本回路的简单演示，元件复杂结构、工作过程及液压与气动系统真实运动过程相关的多媒体资源比较欠缺。因此，课程团队在现有多媒体资源的基础上，对液压元件实物进行拆解、测绘，利用SOLIDWORKS软件建立液压与气动元件三维模型库，并建设元件内部结构及运动过程教学视频库。元件三维模型可以让学生进行元件虚拟拆装，教学视频可以完整演示元件的工作过程及工作原理。在实际教学过程中，教师在课中主要讲解元件工作原理，元件内部结构与运动过程则由学生课后观看元件视频及利用元件三维模型进行虚拟拆装的方式完成学习。这样既节省了课堂教学学时、保证了课堂教学质量，又充分激发了学生的学习兴趣与课后学习的积极性。

2.2 结合FluidSIM软件开展回路仿真教学

液压与气动回路是课堂教学的重点与难点，为使学生更加直观地了解回路的工作原理与运行过程，教师在教学过程中一般采用回路动画来辅助教学。现有的液压与气动回路教学动画大多都只能演示回路每个动作的元件工作位置、油路运行情况，对于压力、流量、速度以及相关电气元件的工作情况等无法全面、实时展示。FluidSIM软件是一款由德国Festo公司和Paderborn大学联合开发的气、液、电一体化仿真教学软件，可快速、高效实现液压回路、气动回路、电路的模型设计，并对回路进行仿真，模拟回路的真实运行过程[8]。课程团队将FluidSIM软件引入课堂教学，利用其仿真功能帮助学生直观了解回路的运行过程，电气液的紧密衔接情况，以及回路运行过程中压力、流量、速度等实时变化情况，使课堂教学“活”起来、“动”起来。YT4543型动力滑台液压系统仿真示例如图1所示。通过动力滑台液压系统的仿真教学，可以实时展示动力滑台液压系统快进、一工进、二工进、死挡铁停留、快退、原位停止时油路的运行情况；各动作时的压力、流量、运行速度；液压回路与控制电路之间的联系。仿真教学使学生更加直观形象且真实地了解液压系统。

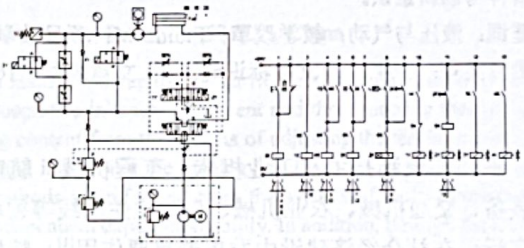


图1 YT4543型动力滑台液压系统仿真教学示例

3 实践教学改革

3.1 开展基于项目的实践教学

原有的液压与气动实践教学主要是附属和服从于理论教学，多为液压元件拆装、液压性能验证、回路运行等实验，能够增强学生对相关液压与气动理论知识的理解及动手实践能力。这类实验一般需要占用较多的课时，且无法增强学生的学习主动性与学习兴趣，更无法提高学生的创新能力[9]。因此，课程团队在实践教学中引入了项目教学法，将回路设计、仿真、组装、测试等糅合在一起，形成液压系统综合实践和气动系统综合实践两个实践教学项目。由3～4个学生组成一个项目小组，进行分工合作，共同完成项目任务。项目任务除回路组装、测试、汇报环节外，其余环节均由学生在课后完成，有效节省宝贵的课堂教学时间，并促进学生主动学习的积极性。为避免少部分学生在团队分工合作中不够积极，将项目任务评分计入课程总成绩，并占总成绩的20%，同时由项目团队负责学生给团队成员评分。通过基于项目任务的实践教学，学生能够很好地将元件、回路、仿真、系统等知识融会贯通，提高在探索过程中分析和解决问题的能力，以及团队合作与创新能力。

3.2 设立校外教学基地 开展理论联系实际的实践教学

原有的液压与气动实践教学主要基于学校实验室

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

开展元件拆装、回路组装、回路性能测试等实验，学生对企业中液压与气动技术的实际应用缺乏了解。为增强学生对液压与气动技术应用的了解，拓宽学生视野，课程团队与SMC广州自动化有限公司展开深度合作。在该公司设立校外教学基地，并将气动技术课外实践活动融入毕业实习环节。在校外教学基地中，该公司讲师在生产现场为学生详细讲解智能型空压站的组成、原理及智能控制特点，介绍该公司生产的种类齐全的气动元件的原理和特点，演示气动拾取机械手、定量注液、搬运自动化生产线等各类电-气动控制系统，并带领学生参观公司气动元件制造生产线。基于该公司研发的微型电-气动试验平台，培训讲师指导学生完成电-气动回路的设计、组装与调试。学生通过在校外教学基地的参观、听讲、动手实践，了解了气动技术在生产实践中的实际应用与各类气动元件的特点，增强了对液压与气动技术的兴趣，提升了实践动手能力。我校与SMC广州自动化有限公司合作开展的实践教学，获得了学生的高度评价。

4 结语

课程团队通过适度调整教学体系、构建液压与气动元件三维模型库及教学视频库、引入FluidSIM进行仿真教学、开展基于项目任务的实践教学、建立校外教学基地等措施，对液压与气动课程进行了综合教学改革。教学改革后，液压与气动课程更加贴近智能制造时代的要求，同时解决了教学过程中存在的一些问题。在近两年的教学实践中，学生反响良好，课堂教学质量明显提升，既提高了学生的学习积极性和实践动手能力，又培养了学生的团队合作意识和创新精神。

参考文献

[1] 沈伟,沈超,钱炜.课程思政背景下的流体力学及液压气动技术课程教学模式改革探索[J].液压与气动,2021(6):135-141.
[2] 张婷婷.气动自动化技术的发展趋势:据费斯托(中国)自动化制造有限公司专家周洪报告整理[J].液压气动与密封,2020(5):109-112.
[3] 倪君辉,詹白勺,余伟平.基于项目教学的液压与气压传动课程综合改革[J].实验室探索与研究,2017(11):182-185.
[4] 张龙,苗磊,杨国诗.面向工程教育专业认证的液压与气压传动技术课程教学改革与实践[J].黑龙江工业学院学报(综合版),2019(4):15-21.
[5] 王勇刚,职山杰,尤凤翔,等.现代职业教育体系建设下液压与气动控制课程综合改革研究[J].液压与气动,2020(2):86-91.
[6] 赵雷,杨奕,张利国,等.基于混合式教学的“液压与气压传动”在线开放课程设计[J].实验技术与管理,2018(5):159-162.
[7] 罗红旗.液气压传动与控制课程虚实结合教学改革研究[J].中国现代教育装备,2020(15):72-74.
[8] 郭联金,潘斌.FluidSIM在液压与气动控制仿真实验中的应用[J].实验技术与管理,2015(8):121-126.
[9] 代光辉.立足项目式教学案例设计与实施提高线上教学实践性:以液压与气压传动课程为例[J].中国现代教育装备,2021(1):97-100.

Exploration of Comprehensive Teaching Reform of Hydraulic and Pneumatic Transmission Course

Zeng Wen

College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou, 510642, China

Abstract: Aiming at the problem that the hydraulic and pneumatic course does not meet the requirements of intelligent manufacturing and the problems existed in teaching, a comprehensive teaching reform of the courses has been carried out. Through the adjustment of the course content, the hydraulic knowledge has been rationally simplified, and the proportion of pneumatic technology has been increased. The 3D model library and teaching video library of hydraulic and pneumatic components are constructed, and FluidSIM is introduced for simulation teaching. The practical teaching based on project task was carried out, and two practical teaching projects of hydraulic system comprehensive practice and pneumatic system comprehensive practice were constructed. At the same time, the establishment of off-campus teaching base. The comprehensive teaching reform of the course not only solves the problems existed in hydraulic and pneumatic teaching, but also enhances students' interest in learning, practical skills, and cultivates students' teamwork spirit and creative thinking.

Key words: hydraulic and pneumatic transmission; teaching reformation; FluidSIM; project-based teaching; practical teaching

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

中国现代教育装备
CHINA MODERN EDUCATIONAL EQUIPMENT

关注我们
您可以...

扫描二维码或搜索
中国现代教育装备

or

投递稿件：
cn11_4994@263.net
或登录官网进入投稿平台

登录网站：
www.zgxdjyzb.com

订阅杂志：
邮发代号82-651（国内）
M1802（国际）

地　　址：北京市海淀区学院路35号世宁大厦一层108室(100191)
电　　话：010-82098610
刊　　号：CN11-4994/T(国内)　ISSN 1672-1438(国际)
开户名称：《中国现代教育装备》杂志社有限责任公司
开户银行：北京银行金融街支行
账　　号：01090848000120109024074
税　　号：911101087481454l0X
每册定价：24.00元

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

7	基于相对极差转换的小批量生产过程质量控制研究	湖南科技学院学报 出版年：2013 出版日期：2013-08-01 卷期：34 08 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无
8	基于虚拟现实的液压综合实验平台设计与实现	实验室研究与探索 出版年：2025 出版日期：2025-04-11 14:49 卷期：44 04 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	C 类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无
9	液压与气动课程综合教学改革探索	中国现代教育装备 出版年：2024 出版日期：2024-05-20 卷期： 09 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无
10	液压与气压传动课程教学改革研究	中国电力教育 出版年：2014 卷期： 页码：- 文献号：	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	万方	无	无

华南农业大学图书馆SCAULIB20262591

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

检索员：刘汉忠
华南农业大学图书馆
2026-03-11

华南农业大学图书馆SCAULIB20262591O

中国电力教育

CHINA ELECTRIC POWER EDUCATION

2014.3
总第303期
国际标准刊号：ISSN 1007-0079
国内统一刊号：CN 11-3776/G4

- 全国首届《CAJ-CD规范》执行优秀期刊
- 中文科技期刊数据库收录期刊
- 中国知网（CNKI）全文收录期刊
- 中国学术期刊（光盘版）全文收录期刊
- 中国学术期刊综合评价数据库来源期刊
- 万方数据——数字化期刊群入网期刊
- 龙源期刊网收录期刊

ISSN 1007-0079
08
9 771007 007149

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

编辑指导委员会

副主任委员

杜宝增　国家电网公司人力资源部主任

罗体承　中国南方电网有限责任公司人力资源部主任

高树林　中国华能集团公司人力资源部主任

武洪举　中国大唐集团公司人力资源部主任

徐　刚　中国华电集团公司人力资源部主任

许兴洲　中国国电集团公司人力资源部主任

李树雷　中国电力投资集团公司人力资源部主任

王安民　中国核工业集团公司人力资源部主任

孙长平　中国长江三峡集团公司人力资源部主任

张宝成　神华集团有限责任公司人力资源部总经理

李慧杰　国家核电技术有限公司人力资源部主任

李卫刚　中国广核集团有限公司人力资源部总经理

吕宏斌　广东省粤电集团有限公司人力资源部部长

黄伟建　浙江省能源集团有限公司组织（人力资源）部部长（主任）

李双辰　华北电力大学党委副书记

李燕明　中国电力建设集团公司人力资源部主任

秦天明　中国能源建设集团公司人力资源部主任

陈勇慧　中国华能集团公司教育培训中心主任

常务委员（排名不分先后）

鞠宇平　国家电网公司人力资源部处长

夏　筠　中国南方电网有限责任公司人力资源部处长

南朝波　中国华能集团公司人力资源部处长

雷　鸣　中国大唐集团公司人力资源部处长

杨铁军　中国华电集团公司人力资源部处长

付艳秋　中国国电集团公司人力资源部副处长

吴少峰　中国电力投资集团公司人力资源部处长

任志刚　国网山东电力集团公司枣庄供电公司总经理

董庆红　国网安徽省电力公司人力资源部主任

姚秀辉　国网辽宁省电力有限公司大连培训中心党委书记

本科专业内涵建设的探索与实践　陈静媛，等　60

基于内容驱动的英语专业跨文化教育模式探讨　刘立勇　张在钊　62

浅谈“建筑电气与智能化”专业的英文名称　刘建峰，等　64

课程教材改革

新办本科院校课程国际化的实践与思考　付达院　单胜江　66

研究生实施校际课程互选的方案初探　褚蔚然　69

“电路”课程教学的改革探索　谢　妍　廖艳娥　71

仿真技术在“电路”课程教学中的设计及应用　谢迎娟，等　73

专业化软件导行“电力系统分析”课程教学研究　王世山，等　76

卓越工程师“数字信号处理”课程群主题式教学探索　吴　杰　78

高校开展课程评估工作的研究与实践　杨永华　谢鸿全　80

“模拟电子技术”教学改革探索　刘洪利　赵　萍　82

交互式教学模式在“数字信号处理”教学中的运用　邓　攀，等　84

多环节可选考核方式在自动化工具软件课程中的实践　刘尚争　刘勇军　86

SoC系统平台在EDA技术教学中的应用　侯　宁　赵张飞　88

“锅炉设备及运行”课程教学内容探讨　马有福　90

新疆少数民族大学生“锅炉原理”教学方法的探讨　魏　博，等　92

“画法几何”课程教学难点化解的研究与实践　黄才华　叶喜葱　94

“光纤光缆测试技术”课程考核方式改革探索　汤　卉，等　96

启发式授课法在数据结构教学中的运用　余　艳　刘燕丽　98

研究性教学在“冲压工艺与模具设计”课程中的探索　代洪庆，等　100

“运输技术经济学”混合教学模式探索与实践　武慧荣　邓红星　102

嵌入式软件设计课程研究与探索　王小妮　104

基于项目驱动法的“数据库技术”课程教学实践　詹　瑾　古俐明　106

Oracle数据库应用技术课程教学改革探索与研究　陈宝钢，等　108

“卓越工程师”背景下“工程制图”教学新模式探索　王爱芳　樊秀芹　110

ImageJ软件在数字图像处理课程教学中的应用　郑林涛　董永生　112

GIS专业核心课程及人才培养方案建设内容探讨　郭恒亮，等　114

液压与气压传动课程教学改革研究　曾　文，等　116

“房屋建筑学”课程教学改革与实践　何金春　晋　强　118

“应用文写作”课程建设研究　李艳爽　120

物理学史在大学物理课堂教学中的应用　李　玲　122

药学类高校环境专业特色教材的研究　史　静，等　124

教学型高等农业院校经济学专业课程建设探索　焦　娜　126

“工控软件”课程设计教学改革研究　黄艳岩，等　128

基于CDIO理念的机械基础课程教学改革探索　杨恩霞，等　130

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

DOI编码：10.3969/j.issn.1007-0079.2014.08.056

液压与气压传动课程教学改革研究

曾 文 汪刘一 张殿武

摘要：针对液压与气压传动课程的教学现状，从课程教学体系、教学内容、教学手段及实验教学各方面进行了一系列的教学改革和实践，对发挥学生学习主动性，提高学生综合能力，提升教学效果起到了良好的促进作用。

关键词：液压与气动；教学改革；教学方法；实验教学

作者简介：曾文（1975-），男，江西宁都人，华南农业大学工程学院，讲师；汪刘一（1961-），男，江西南昌人，华南农业大学工程学院，副教授。（广东 广州 510642）

中图分类号：G642.0 文献标识码：A 文章编号：1007-0079（2014）08-0116-02

液压与气压传动技术是机电类人才所应具备的控制与伺服驱动技术的重要组成部分，也是机电类专业人才培养的一门重要基础课程。[1]现代工业和技术的迅速发展，使液压与气压传动技术得到了更加广泛的应用和发展，其应用程度已经成为衡量一个国家工业水平的重要标志。[2]让学生更好地掌握液压与气压传动技术也因此显得更加重要。

随着现代社会科学技术及经济的快速发展，具有良好综合能力的研究型人才和应用型人才需求越来越大，国内普通高校近年来更加重视大学生的通识教育与综合素质教育，并对专业课进行了较大的压缩。传统的液压与气压传动课程学时数多，所涉及的内容比较广泛且理论推导、分析、计算较多，与实践脱离较大；教学方法比较陈旧，基本以教师讲授为主，学生缺乏主动性；实验条件简陋，与工程实际应用差别较大。因此，有必要对液压与气压传动课程的教学内容、教学方法、实验教学进行全面的改革，以促进学生学习主动性，提高教学效果，培养理论基础扎实、能力强、素质高的新型人才。

一、课程教学体系和内容的改革

传统的液压与气压传动课程课时量比较充足，一般在48学时以上，有的甚至达到60学时。传统的液压与气压传动教材、课程教学内容大致包含液压传动和气压传动两部分，液压传动部分主要包含：液压流体力学基础、液压泵、液压马达与液压缸、液压控制阀、基本回路、典型液压系统；气压传动部分主要包含：气压传动基础知识、气源装置及气动元件、气动回路、气动传动系统等。在普通高校提倡通识教育与素质教育的新形势下，液压与气压传动课程的课时被大幅压缩，目前华南农业大学（以下简称“我校”）该课程的课时已压缩到32学时。在少课时条件下，笔者所在教研组对液压与气压传动课程的教学内容及课程考核方式进行了大幅的调整。

1.教学内容

在教学内容的调整上，以液压传动为主、气压传动为辅，适当降低理论的难度和深度，更加注重工程实际应用。液压传动部分中，液压流体力学由于理论性太强且实际应用中不需要了解太深入，因此仅介绍一些与实际应用关联性较强的概念；液压元件部分，包含液压泵、液压马达、液压缸、液压控制阀、辅助元件等，该部分元件结构复杂，细节较多，需学时数较多，但实际应用中对这些的要求不高，因此液压元件部分进行较大调整，着重在元件的工作原理、作用及其应用场合；液压基本回路及典型系统与实际应用联系比较紧密，因此该部分作为课程重点内容，深入讲解；气压传动部分由于基本原理与液压传动相似，因此简单介绍气压传动的不同之处，同时以一个气压传动系统实例进行介绍。重新调整后的教学内容与实际应用联系更加的紧密，同时能保证在有限的课时内学生所学的知识能形成完整的体系，也利于以后工作中液压与气压传动知识的进一步扩展。

2.课程考核方式

课程考核是评价学生对所学知识掌握程度的重要手段，以往的考核方式基本是以期末考试成绩为主，平时考勤、作业、实验成绩为辅。这种方法不利于学生知识体系的扩展以及学生综合能力的培养。针对提高学生综合素质的要求，笔者所在教研组更加重视学生平时的学习表现，大幅提高了平时课程考核在课程考核中所占比重，期末考试成绩与平时考核成绩各占50%。平时课程考核不仅包含考勤、作业，还增加了课堂纪律、课堂讨论、课堂提问、读书报告、实验动手等的考核。改革课程考核方式后，不仅可以考核学生对液压与气压传动课程知识的掌握程度，还能促进学生在自学能力、自我表现能力、动手能力等方面的提高。

二、课堂教学方法和手段的改革

课堂教学是教学体系中最重要的一个环节，课堂教学效果是评价教学成功与否的一个重要标记。课堂教学不能是单纯的讲解式教学，学生也不应当仅是教学活动的单纯被动接受者。由于液压与气压传动课程内容广泛，实践性强，抽象难懂，且学时较少，在传统的教学方式中，往往容易陷入到“满堂灌”的教学方式中。这种教学方式忽略了学生在教学活动中的主观能动性，抑制了学生学习主动性、积极性和创造性的培养，不利于学生综合素质的培养。有鉴于此，在本课程的教学改革实践中，依据“以人为本”的教育理念，在课堂教学方式中采用多种教学方法和手段，在传授课程知识的同时，发挥学生的主体性，调动学生主动学习的热情，注重学生综合能力的培养，力求达到提高学生整体学习质量的目的。

1.充分利用多媒体的现代教学技术

液压与气压传动课程中，有大量的液压元件结构及原理图和回路图，以往的教学中往往是使用元件模型和挂图，但只有前排的学生能看清。在多媒体的现代教学过程中，教师在课前

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

准备好元件结构的三维模型及其分解图、原理的动态效果图、回路运行图，以及一些液压系统运行的视频等素材，然后在课堂中通过多媒体呈现给学生，这些形象生动的素材避免了元件结构及原理图的枯燥乏味，能有效吸引学生的注意力及加强学生元件结构和原理的理解。通过多年的累积以及结构图、原理图的模型开发，笔者所在教研组已经为该课程建立了一套完善的多媒体素材库。

2.注重发挥学生的主体性

在课堂教学过程中，改变教师从头讲到尾的填鸭式教学方式，让学生参与到教学活动中，发挥学生的主动性和调动学生的学习积极性。在教学过程中，可以设计一些简单提问、启发式提问、课堂小测、课堂讨论、学习报告等环节。在设置启发式问题时，要给予学生思考的时间，不要急于给学生提供帮助，适当地给他们一些挫折和焦虑，从而使得学生能更加集中精力去思考和解决问题，激发他们的求知欲与创造性思维。如在讲解完单柱塞泵的工作过程后，可以提出容积泵必需具备哪些必备条件的问题，并预留时间让同学思考和总结。在课堂教学过程中，可以设置多种类型的课堂讨论环节，如重述式讨论、对话式讨论、研讨式讨论。通过这些讨论，可以促进学生更深刻地理解课程中的一些知识，提高学生解决问题的能力。

3.引入任务驱动教学方法进行教学

任务驱动教学模式以学习理论为主要依托，是以学生为中心，以“任务”为驱动力，指导学生在完成任务中把握知识结构，促进学生主动学习、探究的一种教学方法。[3]任务驱动教学方法在中职教育中比较常见，在本科教育中较少采用。但由于液压与气压传动课程较强的实践性，在液压基本回路及液压系统中引入任务驱动教学方法，对加强学生对液压回路及系统的理解，提高学生的动手及思考创新能力，构建良好的教学氛围起到了很好的作用。在教学过程中设置了三个任务驱动的学习单元，分别是压力控制回路的分析、组装与调试，节流调速回路的分析、组装与调试，顺序动作回路的分析、组装与调试。在每个任务学习单元中，教师首先提出明确的任务目标，学生课后通过自学了解回路的组成及其特点，并在小组内进行讨论确定任务的完成方案，然后在液压综合实验室中完成回路的组装和调试，教师在学生完成任务的过程中给予指导和评估学生完成任务的能力，并在学生完成任务后总结及拓展相关的课程知识。

4.理论联系实际及案例教学的应用

液压与气压传动技术是一门实践性比较强的课程，如果脱离实际应用，仅仅照本宣科讲授书本上的理论知识，会使得课堂比较枯燥和乏味，同时学生也无法实际理解液压系统。因此在授课过程中，需要紧密结合实际应用及多采取一些实际案例。比如，在讲授高压叶片泵时，以国内某叶片泵生产厂家在叶片泵高压化过程中遇到的问题为例启发学生的思考以及激发学生学习的兴趣；以笔者所在课题组研发的液压沉桩系统及机械创新大赛项目“液压仿生昆虫爬行系统”讲解液压系统的实际应用；在典型液压系统的讲解中，除选取常见的压力机液压系统外，还选取起重机液压控制系统、一些机床上的液压系统、汽车生产线上的一些液压系统等。

三、实验教学的改革

传统的液压与气压传动课程实验，主要是针对液压元件和液压回路进行简单的拆装和性能参数的测试，属于验证性的实验项目。这些实验对理论知识的补充基本足够，但远远无法满足培养学生动手实践能力、创新能力等综合素质的目标。因此，笔者对该课程的实验项目进行重新设计，并对实验教学的考核方式进行相应的调整。

1.实验项目的设计

实验项目的设计要考虑课程的需要，同时还需要考虑现有的实验条件及对学生的培养目标。基于这点，本课程有针对性地开设了以下几个实验项目：

（1）液压元件的拆装及液压系统的参观。通过拆装各种液压元件，让学生了解液压元件的结构、原理；通过观察液压系统的工作过程，让学生初步了解液压系统的组成及其工作原理。

（2）液压基本回路的组装、调试。结合课堂的任务驱动式教学，利用快速组合式全功能液压实验教学平台，让学生独立分析、组装、调试一些液压基本回路，掌握基本回路的工作原理及其特点。

（3）液压系统的设计及组装、调试。该实验项目为综合性、设计性实验，学生可以通过Automation Studio液压系统设计软件设计并验证液压系统的合理性，然后利用快速组合式全功能液压实验教学平台将液压系统组装出来并进行调试。

在实验的过程中，小组内的同学一起协同完成实验，教师负责进行指导和帮助。实验重在培养学生对液压知识的综合应用能力、动手实践能力、创新精神及团队协作精神。实验教学的考核除实验报告外，还包含操作情况、安全注意事项、设备整理等，使实验成绩能综合反映学生的整个实验过程情况。

2.鼓励学生在各类大赛项目中应用液压与气压传动技术

近年来，由于学校的鼓励与支持，学生参加机械类的各类大赛项目比较多。为了让学生更好掌握液压与气动技术，笔者所在教研组鼓励与支持学生在大赛项目中应用该技术，同时为学生提供全面的指导。在近几年的各项大赛中，参赛学生获得了突出的成绩，各项能力也得到质的提高。[4]

四、结束语

液压与气压传动课程通过上述的改革之后，教学内容更加贴近工程应用实际，教学上更加注重学生综合能力的培养。在教学实践过程中，多种现代教学方法的实施，特别是任务驱动教学法使学生更容易理解和掌握课程知识，学生的学习积极性得到提高，课堂教学氛围更加活跃。与实际工程应用联系更加紧密的实验教学模式，使学生学习兴趣及实践能力明显提高，也使学生在就业后能更快适应新的工作岗位。

参考文献：

[1] 许福玲，陈尧明．液压与气压传动 [M]. 北京：机械工业出版社，2007.

[2] 黄方平，沈萌红，童森林．液压气动特色人才培养实践体系建设探索 [J]. 苏州大学学报（工科版），2008,4(28):79-80.

[3] 张帆．高职液压与气动课程教学改革探讨 [J]. 液压与气动，2012,(7):44-46.

[4] 王慰祖，卿艳梅，张殿武．少课时《液压与气动》课程教学实验环节改革的探讨与实践 [J]. 价值工程，2010,(5):114-115.

（责任编辑：王意琴）

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App



2012年，在深化教育体制改革、推进教育事业科学发展、构建终身教育体系的大背景下，华北电力大学原培训学院与原成人教育学院合并成立继续教育学院，全面负责成人高等教育、非学历教育和网络教育的管理与运行工作。

继续教育学院将“立足电力、面向社会”，以终身教育为己任，秉承“以人为本、追求卓越、不断创新”的教育理念，以培养综合型、复合型、创新型的人才为基本任务，为国家电力工业发展和现代化建设事业增砖添瓦！

培训领域

发电技术类培训、电网技术类培训、综合管理类培训、新能源发电类培训、职业资格培训、国际考察培训

培训热线：010-61772121/2606/2123/2530

重点项目

- **一级注册建造师继续教育项目** 010-61772606
- **动力与电气工程师专业技术资格认证项目** 010-61772059
- **能源方向本科硕士留学直通培训项目** 010-61772947
- **国际游学项目** 010-61772947

游学内容：英语学习、城市游览、名校参观、企业实习、高尔夫、马术；

夏季游学：美国常青藤名校游学；英国南岸大学游学；

冬季游学：澳洲名校游学；美国南部能源电力高校游学；马来西亚游学

成人学历教育

招办：010-51976857

华北电力大学继续教育学院

NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY SCHOOL OF CONTINUING EDUCATION

地址：北京市昌平区回龙观北农路2号　网址：http://tedu.ncepu.edu.cn　Email：pxxy@ncepu.edu.cn

国际刊号：ISSN 1007-0079　国内刊号：CN 11-3776/G4　定价：20.00元

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

7	基于相对极差转换的小批量生产过程质量控制研究	湖南科技学院学报 出版年：2013 出版日期：2013-08-01 卷期：34 08 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无
8	基于虚拟现实的液压综合实验平台设计与实现	实验室研究与探索 出版年：2025 出版日期：2025-04-11 14:49 卷期：44 04 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	C 类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无
9	液压与气动课程综合教学改革探索	中国现代教育装备 出版年：2024 出版日期：2024-05-20 卷期： 09 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无
10	液压与气压传动课程教学改革研究	中国电力教育 出版年：2014 卷期： 页码：- 文献号：	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	万方	无	无

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

检索员：刘汉忠
华南农业大学图书馆
2026-03-11

华南农业大学图书馆SCAULIB20262591O

编号：24009920038

第九届全国高等学校教师图学与机械课程示范教学与创新教学法观摩竞赛

获 奖 证 书

获 奖 者：曾文

参赛项目：课堂示范教学创新赛道（机械类）

获奖等级：二等奖

所在学校：华南农业大学

全国高等学校教师图学与机械课程示范教学与创新教学法观摩竞赛组委会

2024.8.26

受理编号：c1730550100153　　项目编号：2017A020208052

文件编号：粤科规财字[2017]50号

广东省省级科技计划项目

合同书

项目名称：丘陵山地果园手持果实振动采收机关键技术研究与示范

专项资金类别：公益研究与能力建设

计划类别：农村科技领域

项目起止时间：2017-01-01　至　2019-12-31

管理单位(甲方)：广东省科学技术厅

承担单位(乙方)：华南农业大学

乙方主管部门(丙方)：华南农业大学

通讯地址：广东省广州市天河区五山路483号

邮政编码：510642　　单位电话：020-38632819

项目负责人：曾文　　联系电话：02085280632

项目联系人：曾文　　联系电话：

广东省科学技术厅
二〇一七年制

（广东科技微信公众号）　　（受理纸质材料二维码）

	获国家级奖项(项)	
	获省级奖项(项)	
	其他	

2. 其他成果及形式说明：

(1) 研制手持果实振动采收机样机一套。
(2) 提交研究报告1份。
(3) 培养研究生1名。

3. 主要技术经济指标及社会效益

累计新增销售收入（万元）	
累计新增利税（万元）	

4. 其他主要技术经济指标及社会效益说明：

1）技术指标：成熟期果实采收率达95%，树枝破损率小于5%，手持多重减振装置能有效克服手持采收机振动对人体手臂的振动疲劳损伤，手持采收机（不含背负式汽油机部分）重量低于7Kg。
2）经济指标：降低人工荔枝、龙眼的采收成本约1/2。
3）社会效益：减少荔枝、龙眼采收的劳动力用工量，降低果实采收的农民劳动强度，提高果农收入，促进果树种植产业发展。

项目负责人（签章）：[illegible] 2017年 6 月 21 日

四、承担、参与单位工作分工及经费分配情况

承担/参与单位名称（盖章）	工作分工	总经费分摊（万元）	省科技厅经费分配（万元）
华南农业大学	独立完成	15.00	15.00
	合计	15.00	15.00

2017A020208052

五、项目总经费及省科技厅经费预算

1. 省科技厅经费下达总额： （大写）壹拾伍万圆整；（小写 ）15万元；						
2. 省科技厅经费拨付方式： **一次性拨款**						
3. 省科技厅经费年度下达计划： （大写）壹拾伍万圆整；（小写 ）15万元；						
分期			经费(万元)			
第1期			15			
4. 总经费开支预算计划：						
经费筹集情况：						（单位：万元）
总投入经费：15.00						
	省科技厅经费	自筹资金				合计
		自有资金	贷款	地方政府投入	其它	
已投入经费：						
新增经费：	15.00					15.00
政府部门、境外资金及其他资金投入情况说明：						

六、人员信息

项目负责人情况

姓名	年龄	性别	职称	职务	学历	在项目中承担的任务	所在单位	签名
曾文		男	讲师	讲师	博士研究生	全面主持	华南农业大学	

主要研究开发人员

姓名	年龄	性别	职称	职务	学历	在项目中承担的任务	所在单位	签名
王玉兴		男	教授	无	博士研究生	指导研究方案及实验设计	华南农业大学	
刘天湖		男	副教授	无	博士研究生	多体振动机理研究	华南农业大学	
王慰祖		男	副教授	无	博士研究生	多重减振技术研究	华南农业大学	
卢玉华		男	讲师	无	博士研究生	快速手动夹紧装置设计	华南农业大学	
刘新红		男	讲师	无	博士研究生	采收机设计与试制	华南农业大学	
李思宏		男	未取得	硕士研究生	本科	试验及结果分析	华南农业大学	

九、本合同签约各方

管理单位（甲方）：　广东省科学技术厅　（盖章）

单位地址：　连新路171号

法定代表人（或授权代表）：　黄宁生　（签章）

立项责任人：　刘世伟　（签章）

2017 年 07 月 26 日

承担单位（乙方）：　华南农业大学　（盖章）

二级部门：　华南农业大学工程学院

单位地址：　五山路483号

法定代表人（或法人代理）：　陈晓阳　（签章）

联系人（项目主管）姓名：　石睿　（签章）

Email：　kjcgxk@scau.edu.cn

电话：　020-85285390　/　[redacted]

开户单位名称：　华南农业大学

开户银行及帐号：　广东广州工行五山支行　3602002609000310520

2017 年 7 月 2 日

乙方主管部门（丙方）：　华南农业大学　（盖章）

单位地址：　五山路483号

法定代表人（或法人代理）：　陈晓阳　（签章）

2017 年 7 月 2 日

农业农村部科技发展中心文件

农科办〔2018〕59号

农业农村部科技发展中心关于国家重点研发计划“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”重点专项2018年度项目立项的通知

华南农业大学：

国家重点研发计划“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”重点专项2018年度项目立项工作已经完成，具体立项情况详见附件。

请根据《关于改进加强中央财政科研项目和资金管理的若干意见》（国发〔2014〕11号）、《关于深化中央财政科技计划（专项、基金等）管理改革的方案》（国发〔2014〕64号）、《科技部 财政部关于印发<国家重点研发计划管理暂行办法>的通知》（国科发资〔2017〕152号）、《财政部 科技部关于印发<国家重点研发计划资金管理办法>的通知》（财科教〔2016〕113号）及项目实施期间

出台的国家重点研发计划管理有关规章制度的要求，认真落实项目（课题）承担单位法人责任，做好项目实施和资金管理使用工作；项目牵头单位和负责人要切实加强课题之间的衔接与协调，确保项目的研究开发目标和任务按期完成；严格按照中央财政科研经费管理的有关规定，资金专款专用，提高资金使用效益。

特此通知。

附件：1.国家重点研发计划“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”重点专项2018年度项目立项表

2.“华南及西南水稻化肥农药减施技术集成研究与示范”项目的立项批复内容

农业农村部科技发展中心（代章）

2018年7月9日

附件 1:

国家重点研发计划“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”重点专项 2018 年度项目立项表

序号	项目编号	项目名称	项目牵头单位
1	2018YFD0200300	华南及西南水稻化肥农药减施技术集成研究与示范	华南农业大学

附件 2:

“华南及西南水稻化肥农药减施技术集成研究与示范”项目的立项批复内容

一、项目名称（编号）：华南及西南水稻化肥农药减施技术集成研究与示范（2018YFD0200300）

二、项目牵头承担单位：华南农业大学，**项目负责人：**徐汉虹

三、项目执行年限： 2018 年 7 月-2020 年 12 月

四、项目总经费：4235 万元，其中中央财政经费 3815 万元

五、项目目标和主要考核指标

1、项目目标：以广东、广西、海南、福建、云南、贵州、四川、重庆稻区为研究区域，基于水稻养分需求特性与限量标准、有害生物防治指标与化学农药限量标准，针对水稻种植不同耕作制度，集成配套与区域生产相适应的高效新型肥料、高效安全农药新产品、智能化化肥机械深施、水肥耦合、精准施药、航空植保等先进专业化统防统治技术，优化与融合绿肥、畜禽粪肥利用、秸秆还田等化肥替代技术，农药纳米化节量减施技术，及物理防控、生物防治等绿色防控技术，结合养分高效品种和高产栽培技术，形成华南及西南稻区单作及周年连作下化肥农药减施

技术模式，并建立相应技术规程。通过基地示范、新型经营主体和现代职业农民培训，在华南及西南水稻主产区大面积推广应用。

2、**主要考核指标：**药肥精准施用区域大数据平台 1 套，区域联动预警防控监测体系 1 套，华南西南稻区及周边基础地理信息数据库系统 1 套，水稻病虫害综合业务数据库系统 1 套，水稻有害生物模型预测预报模型 5 套，提出华南及西南水稻农药残留控制方案 1 套，抗药性快速诊断测报技术 1 套，无人机肥药精准施用服务平台 1 套，数据共享与会商平台 1 个，知识产权规划方案 1 个，软件著作权 4 个，平台注册用户 6000 人次，基础软硬件平台并发访问人数 1000 人次，基础软硬件平台响应时间<5 秒，症状诊断准确率>90%。筛选应用水稻抗性品种 12 个，挖掘水稻农药高效利用基因资源 1 个，筛选水稻肥料高效利用品种 4 个，优化组合水稻高效高产栽培技术 2 个，集纳生物农药产品 4 个，筛选化学农药新产品 6 个，研制农药精准轻简施用器械 3 个，开发药肥互作施用技术 2 个，优化物理防治技术 2 个，熟化应用天敌繁育与利用技术 2 个，研发农药综合减施技术 4 个，筛选熟化高效肥料产品 5 个，研发肥料精准深施器械 1 个，研发智能追肥机械 1 个，研发随水施肥设备 1 个，筛选高效绿肥种类(品种)3 个，编制肥料品种目录 1 个，集成研发化肥减施增效技术 9 个，药肥互作综合减施技术模式 4 个，单项技术

规程 9 项，论文 91 篇，专利 35 项，培养研究生 82 人。提出华南及西南水稻化肥农药减施技术 8 项；集成区域性化肥农药减施综合技术模式 8 个、制定配套技术规程 8 套，培训农技人员 8800 人次，培训新型职业农民 260000 人次，示范面积 800 万亩，辐射面积 1900 万亩，示范区肥料利用提高率 8 %，示范区化肥减量 17%，示范区化学农药利用提高率 11%，示范区农药减量 30%，示范区水稻平均增产 3%，示范区化学肥料减施增产 1%，示范区化学农药减施增产 2%。

六、项目课题安排

序号	课题编号	课题名称	课题负责人	课题承担单位	中央财政经费（万元）
1	2018YFD0200301	药肥精准施用跨境跨区域大数据平台	何彬彬	电子科技大学	462
2	2018YFD0200302	抗性与药肥高效利用水稻品种筛选评价及配套栽培技术	刘斌	广东省农业科学院水稻研究所	407
3	2018YFD0200303	水稻化肥减施增效区域性特色与共性关键技术	张承林	华南农业大学	462
4	2018YFD0200304	水稻农药与肥料协同增效减施区域性特色与共性关键技术	徐汉虹	华南农业大学	547
5	2018YFD0200305	华南热带稻区特色农药化肥减施增效技术集成与示范	周国辉	华南农业大学	527
6	2018YFD0200306	华南亚热带稻区特色农药化肥减施增效技术集成与示范	黄凤宽	广西壮族自治区农业科学院	575
7	2018YFD0200307	四川高原成都平原稻区特色农药化肥减施增效技术集成与示范	刘映红	西南大学	450
8	2018YFD0200308	西南山地河谷稻区特色农药化肥减施增效技术集成与示范	李强	云南农业大学	385

抄送：科技部农村科技司、资源配置与管理司、政策法规与监督司，农业农村部科技教育司，项目组织推荐单位，课题承担单位。

农业农村部科技发展中心办公室　　2018年7月9日印发

国家重点研发计划
子课题任务书

子课题名称：绿色农药、药肥互作关系及精准施用技术创新与集成

子课题编号：2018YFD020030401

子课题承担单位：华南农业大学

子课题负责人：曾文

所属课题：水稻农药与肥料协同增效减施区域性特色与共性关键技术

课题编号：2018YFD0200304

课题承担单位：华南农业大学

所属项目：华南及西南水稻化肥农药减施技术集成研究与示范

项目编号：2018YFD0200300

项目牵头承担单位：华南农业大学

执行年限：2018 年 7 月-2020 年 12 月

二〇一八年八月

为了确保国家重点研发计划“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”项目“华南及西南水稻化肥农药减施技术集成研究与示范”(项目编号：2018YFD0200300)顺利实施，课题牵头单位（华南农业大学）、课题承担单位（华南农业大学）与课题参加单位（华南农业大学）签订本子课题任务书。本任务书经过叁方平等协商，在真实、充分表达各自意愿的基础上，根据国家相关规定共同签署。叁方均表示，将共同恪守本任务书内容：课题承担单位按照任务书规定为课题参加单位划拨研究经费，课题参加单位按照任务书规定向课题承担单位提交研究成果。

课题承担单位与参加单位基本信息

课题承担单位：华南农业大学

课题负责人：徐汉虹

通讯地址：广东省广州市天河区五山路 483 号

邮政编码：510642

电话：020-85285127　手机：

电子信箱：hhxu@scau.edu.cn

开户银行：102581000546|中国工商银行股份有限公司广州五山支行

账　　号：3602002609000310520

税　　号：124400004554165634

课题参加单位：华南农业大学

子课题负责人：曾文

联系人：曾文

通讯地址：广东省广州市天河区五山路 483 号

邮政编码：510642

电话：0202-85280632　手机：

电子信箱：zengwen@scau.edu.cn

开户银行：102581000546|中国工商银行股份有限公司广州五山支行

账　　号：3602002609000310520

一、研究内容

(一) 研究目标

（1）通过华南西南地区水稻田航空施药试验，优化南方水稻无人机航空施药的飞行参数（环境风速、温度、湿度、飞行高度、飞行速度等）及喷雾参数（压力、喷嘴、流量、喷幅、雾滴粒径等），减少无人机航空施药的雾滴飘移，提高农药的利用率，并建立华南西南水稻航空施药技术规范。

（2）研发基于喷雾流量、喷雾压力、变量喷嘴的精准变量喷雾控制系统，并将该系统与植保无人机结合，应用于华南西南水稻田的无人机航空施药作业，实现施药作业的精准化并减少农药的使用。

（3）与课题 5-8 的各示范基地进行合作，开展无人机航空精准变量施药的应用示范。

(二) 研究内容

（1）无人机航空低空低容量施药的喷雾流场分布及雾滴飘移沉积规律研究。

基于计算流体力学(CFD)，开展无人机航空低空低容量施药的喷雾流场分布。基于华南农业大学风洞实验室，开展无人机航空施药的雾滴粒径及飘移规律研究。

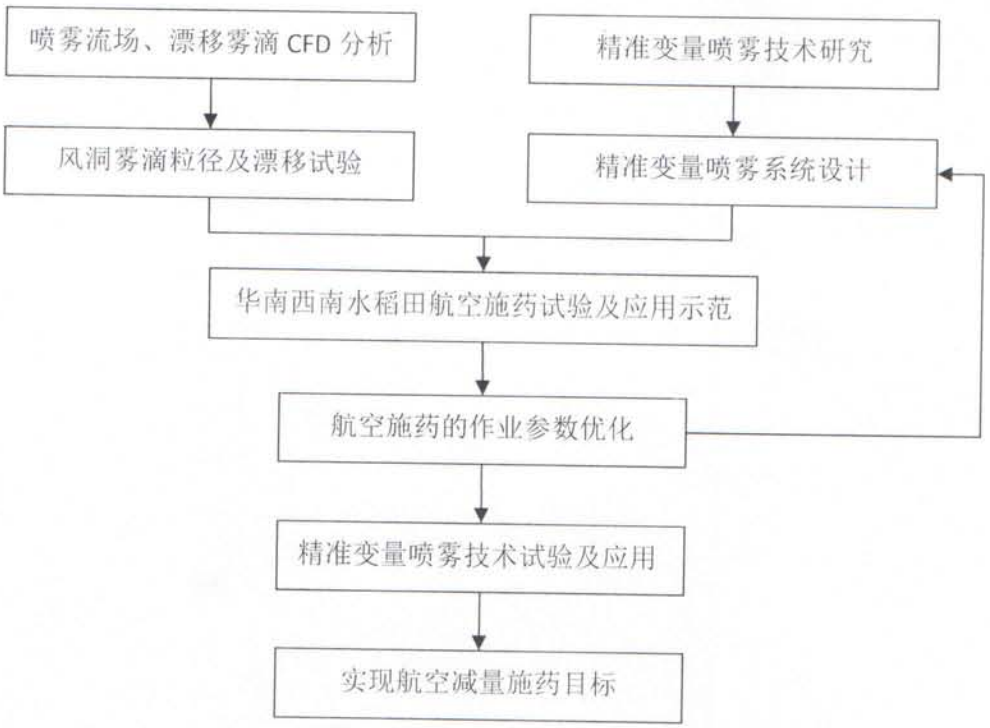
（2）研发无人机航空施药作业的精准变量喷雾控制技术与喷雾系统。

研发基于喷雾流量、喷雾压力、变量喷嘴的精准变量喷雾控制技术，改变喷雾流量的同时，调整变量喷嘴，确保喷雾压力稳定，同时保证喷雾性能参数（喷雾粒径、喷雾角、喷雾均匀性）稳定。基于该精准变量喷雾控制技术，设计与植保无人机一体的喷雾控制系统，实现无人机航空施药的精准变量控制。

（3）华南西南水稻田航空施药试验及应用示范。

与课题 5-8 的各示范基地进行合作，开展华南西南水稻田无人机航空施药作业的应用示范。进行华南西南水稻田航空施药的雾滴飘移沉积规律研究，优化南方水稻无人机航空施药的飞行参数（环境风速、温度、湿度、飞行高度、飞行速度等）及喷雾参数（压力、喷嘴、流量、喷幅、雾滴粒径等），减少无人机航空施药的雾滴飘移。针对水稻不同病虫草害的为害部分不同，研究无人机航空施药精准施用技术。开展无人机航空精准变量喷雾控制技术的试验研究及应用示范。

(三) 技术路线



二、预期成果及考核指标

1) 研发新型变量喷嘴及变量喷雾技术，申请发明专利 2 项，发表论文 1 篇。

2) 集成适于华南亚热带区域性特色的无人机航空施药减施综合技术，制订配套技术规程 1 项，发表论文 1 篇;

3) 进行无人机航空施药减施综合技术模式示范推广，推广示范 10 万亩，辐射 20 万亩。

三、研究内容年度计划及年度目标

序号	年度	研究内容	年度目标
1	2018	1、对旋翼无人机喷雾流场进行计算流体力学的仿真分析。 2、设计研发变量喷嘴，并对变量喷嘴进行喷雾性能测试。 3、利用风洞实验室对常规使用的喷嘴进行雾滴粒径及漂移的风洞试验。	1）研发变量喷嘴技术，申请发明专利 1 项，实用新型专利 1 项。

2	2019	1、基于变量喷嘴，设计开发一种精准变量喷雾系统，并进行喷雾性能及应用测试。 2、依托课题 5-8 的示范基地，联合相关课题组进行华南西南水稻田航空施药试验及应用示范。 3、通过华南西南水稻田航空施药试验，研究雾滴漂移及沉积规律，优化华南西南水稻田航空施药的作用参数。 4、通过试验，改进和完善精准变量喷雾系统。	1）研发精准变量喷雾系统，申请发明专利 1 项。2）撰写科技论文 1 篇。3）无人机航空施药技术应用示范推广，示范 5 万亩，辐射 10 万亩。
3	2020	1、依托课题 5-8 的示范基地，联合相关课题组进行华南西南水稻田航空施药试验及应用示范。 2、通过华南西南水稻田航空施药试验，研究雾滴漂移及沉积规律，优化华南西南水稻田航空施药的作用参数。 3、总结华南西南水稻田航空施药经验，建立华南西南水稻无人机航空施药技术规范。 4、准备结题	1）撰写科技论文 1 篇。2）无人机航空施药技术应用示范推广，示范 5 万亩，辐射 10 万亩。3）制订华南地区水稻无人机航空施药配套技术规程 1 项。

四、研究内容经费来源与支出预算

单位：万元(保留两位小数)

序号	预算科目名称	合计	专项经费	自筹经费
1	一、经费支出	22.24	22.24	0.00
2	(一) 直接经费	20.30	20.30	0.00
3	1. 设备费	0.00	0.00	0.00
4	(1) 购置设备费	0.00	0.00	0.00
5	(2) 试制设备费	0.00	0.00	0.00
6	(3) 设备改造费	0.00	0.00	0.00
7	(4) 设备租赁费	0.00	0.00	0.00
8	2. 材料费	13.00	13.00	0.00
9	3. 测试化验加工费	1.00	1.00	0.00
10	4. 燃料动力费	0.00	0.00	0.00
11	5. 差旅费/会议/国际合作与交流费	3.30	3.30	0.00
12	6. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	1.00	1.00	0.00
13	7. 劳务费	2.00	2.00	0.00
14	8. 专家咨询费	0.00	0.00	0.00
15	9. 其他支出	0.00	0.00	0.00
16	(二) 间接经费	1.94	1.94	0.00
	绩效	1.94	1.94	0.00
17	二、经费来源			
18	(一) 中央财政资金	22.24	22.24	0.00
19	(二) 其他来源资金	0.00	0.00	0.00
20	1、地方财政拨款	0.00	0.00	0.00
21	2、单位自有货币资金	0.00	0.00	0.00
22	3、其他资金	0.00	0.00	0.00
	其中，绩效支出	1.94	1.94	0.00

课题参加单位的经费使用应严格按照国家重点研发计划项目经费使用管理办法及课题任务书要求执行，不得挪做他用。

五、参加单位及主要研究人员

子课题承担单位：华南农业大学						
子课题负责人						
姓　名	性别	年龄	职务职称	业务专业	为本课题工作时间(月)	所在单位
曾文	男	[illegible]	讲师	农业工程	18	华南农业大学
主要研究人员						
陈鹏超	男	[illegible]	博士生	农业工程	24	华南农业大学
韩杰	男	[illegible]	硕士生	农业工程	24	华南农业大学

六、子课题任务书签署

项目牵头承担单位：华南农业大学(公章)

项目负责人(签字)：

2018 年 8 月 18 日

课题承担单位：华南农业大学(公章)

课题负责人(签字)：

2018 年 8 月 18 日

子课题承担单位：华南农业大学(公章)

子课题负责人(签字)：

2018 年 8 月 18 日

合同编号：DH20230523-CH-W1037

技术咨询合同

项　目　名　称：设备虚拟实训系统专业技术咨询

委托方（甲方）：广州南方卫星导航仪器有限公司

广州市天河区思成路 39 号

受托方（乙方）：华南农业大学

广州市天河区五山路 483 号

签　订　时　间：2023-07-05

签　订　地　点：广州天河

有　效　期　限：1 年

中华人民共和国科学技术部印刷

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

填 写 说 明

一、本合同为中华人民共和国科学技术部印制的技术咨询合同示范文本，各技术合同登记机构可推介技术合同当事人参照使用。

二、本合同书适用于一方当事人（受托方）为另一方（委托方）就特定技术项目提供可行性论证、技术预测、专题技术调查、分析评价报告所订立的合同。

三、签约一方为多个当事人的，可按各自在合同关系中的作用等，在“委托方”、“受托方”项下（增页）分别排列为共同委托人或共同受托人。

四、本合同书未尽事项，可由当事人附页另行约定，并可作为本合同的组成部分。

五、当事人使用本合同书时约定无需填写的条款，应在该条款处注明“无”等字样。

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

技术咨询合同

委托方（甲方）： 广州南方卫星导航仪器有限公司

住　所　地：广州市天河区思成路 39 号/510630

法定代表人：马超

项目联系人：胡晓霞

联系方式

通讯地址：广州市天河区思成路 39 号 6 楼

电　　话：[illegible]　传　真：23380888

电子信箱：huxx@southgnss.com

受托方（乙方）： 华南农业大学

住　所　地：广州市天河区五山路 483 号

法定代表人：刘雅红

项目联系人：曾文

联系方式

通讯地址：广州市天河区五山路 483 号

电　　话：020-85285508　传　真：85285508

电子信箱：zengwen@scau.edu.cn

本合同甲方委托乙方虚拟实训系统项目中船舶液压设备仿真实训技术项目进行技术咨询，并支付咨询报酬。双方经过平等协商，在真实、充分地表达各自意愿的基础上，根据《中华人民共和国合同法》的规定，达成如下协议，并由双方共同恪守。

第一条 乙方进行技术咨询的内容、要求和方式：

1、咨询内容：船舶液压系统仿真实训教学内容，专业零部件和场景三维虚拟仿真建模技术，及项目中其他相关专业技术咨询。

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

2、咨询要求：提供船舶液压系统三维建模技术支持服务，协助进行相关的专业技术模型的三维建模数据服务，完成项目中相应的仿真实训教学演示，操作和考核内容。

3、咨询方式：提供专业技术图纸资料，三维建模模型数据，虚拟仿真教学 PPT，仿真教学实训液压系统教学内容，解答专业相关技术问题，指导实训教学软件开发工作。

第二条 乙方应当按照下列进度要求进行本合同项目的技术咨询工作：2023 年 10 月 1 日前提供项目相关的专业技术资料和咨询服务内容，2023 年 12 月 1 日前协助完成项目交付和验收，2024 年 7 月前协助完成技术培训和售后服务工作。

第三条 为保证乙方有效进行技术咨询工作，甲方应当向乙方提供下列协作事项：

1、提供技术资料：

（1）船舶各部分的技术图纸资料；

（2）现场技术解答和实地测量数据；

（3）专家答疑和需求咨询；

（4）。

2、提供工作条件：

（1）实地考察调研需求对接；

（2）定期工作会议技术交流；

（3）软件开发人员技术支持；

（4）。

3、其他：无。

甲方提供上述协作事项的时间及方式：

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

_____。

第四条 甲方向乙方支付技术咨询报酬及支付方式为：

1、技术咨询报酬总额为：壹拾伍万元

2、技术咨询报酬由甲方 分期 （一次或分期）支付乙方。

具体支付方式和时间如下：

（1）2023 年 10 月 1 日前支付肆万伍仟元 （45000 元）；

（2）2023 年 12 月 1 日前支付柒万伍仟元 （75000 元）；

（3）2024 年 2 月 1 日前支付叁万元 （30000 元）；

乙方开户银行名称、地址和帐号为：

开户银行：广州工行五山支行

地　　址：广州市天河区五山路 483 号

帐　　号：3602002609000310520

第五条 双方确定因履行本合同应遵守的保密义务如下：

甲方：

1、保密内容（包括技术信息和经营信息）：项目内容信息，项目相关技术资料，图纸资料，三维模型数据等技术资料，需要遵守保密要求，不对外提交给第三方_____。

2、涉密人员范围：项目管理人员及参与项目技术工作的所有人员_____。

3、保密期限：5 年_____。

4、泄密责任：按照保密要求承担相应责任和处罚措施如有泄密情形，依法追究当事人责任。

乙方：

1、保密内容（包括技术信息和经营信息）：项目内容信息，项目相关技术资料，图纸资料，三维模型数据等技术资料，

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

需要遵守保密要求，不对外提交给第三方。

2、涉密人员范围：参与项目技术咨询服务的所有人员以及合同管理人员。3、保密期限：5年。4、泄密责任：按照保密要求承担相应责任和处罚措施，如有泄密情形，依法追究当事人责任。

第六条 本合同的变更必须由双方协商一致，并以书面形式确定。但有下列情形之一的，一方可以向另一方提出变更合同权利与义务的请求，另一方应当在7日内予以答复；逾期未予答复的，视为同意：

1、项目需求范围内的技术咨询服务内容的增减；

2、合同有效期内的项目技术咨询服务内容；

第七条 双方确定，按以下标准和方式对乙方提交的技术咨询工作成果进行验收：

1、乙方提交技术咨询工作成果的形式：三维模型数据电子文件，仿真实训软件，技术资料文档，PPT，设计图纸资料。

2、技术咨询工作成果的验收标准：提交符合项目需求的所有技术咨询资料，协助甲方交付验收的验收报告。

3、技术咨询工作成果的验收方法：甲方确认的验收报告。

4、验收的时间和地点：广州，2023年12月1日前

第八条 双方确定，按以下约定承担各自违约责任：

1、甲方违反本合同第四条约定，应当按照应付金额的0.1%/天支付违约金

（支付违约金或损失赔偿额的计算方法）。

2、乙方违反本合同第二条约定，应当按照当期合同应付金额的0.1%/天支付违约金给甲方，甲方则有权延期支付直到收到合同要求的完整技术服务资料

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

（支付违约金或损失赔偿额的计算方法）。

3、_____方违反本合同第_____条约定，应当_____

_____

（支付违约金或损失赔偿额的计算方法）。

4、_____方违反本合同第_____条约定，应当_____

_____

（支付违约金或损失赔偿额的计算方法）。

第九条 双方确定，甲方按照乙方符合本合同约定标准和方式完成的技术咨询工作成果作出决策并予以实施所造成的损失，按以下第__1__种方式处理：

1、乙方不承担责任。

2、乙方承担部分责任。具体承担方式为_____

3、乙方承担全部责任。

第十条 双方确定：

1、在本合同有效期内，甲方利用乙方提交的技术咨询工作成果所完成的新的技术成果，归__甲__（甲、双）方所有。

2、在本合同有效期内，乙方利用甲方提供的技术资料和工作条件所完成的新的技术成果，归__乙__（乙、双）方所有。

第十一条 双方确定，在本合同有效期内，甲方指定__胡晓霞__为甲方项目联系人，乙方指定__曾文__为乙方项目联系人，项目联系人承担以下责任：

1、__定期沟通技术咨询服务内容__；

2、__定期提交技术咨询服务成果__；

3、__协商项目技术难题和解决办法__。

一方变更项目联系人的，应当及时以书面形式通知另一方。未及时通知并影响本合同履行或造成损失的，应承担相应的责任。

第十二条 双方确定，出现下列情形，致使本合同履行成为不必要或不可能的，可以解除本合同：

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

1、发生不可抗力；

第十三条 双方因履行本合同而发生的争议，应协商、调解解决。协商、调解不成的，确定按以下第 2 种方式处理：

1、提交_____仲裁委员会仲裁；

2、依法向人民法院起诉。

第十四条 本合同一式 肆 份，甲乙双方各持 贰 份具有同等法律效力。

第十五条 本合同经双方签字盖章后生效。

甲方：_____（盖章）

法定代表人/委托代理人：_____（签名）

2023年9月20日

乙方：_____（盖章）

法定代表人/委托代理人：_____（签名）

2023年9月24日

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

印花税票粘贴处：

（以下由技术合同登记机构填写）

合同登记编号：

1、申请登记人：_____

2、登记材料：（1）_____

（2）_____

（3）_____

3、合同类型：_____

4、合同交易额：_____

5、技术交易额：_____

技术合同登记机构（印章）

经办人：

年　月　日

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

中国农村技术开发中心文件

国科农技字〔2017〕29号

关于国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项2017年度项目立项的通知

各项目牵头单位:

国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项 2017 年度项目立项工作已经完成，具体立项情况详见附件。

请你们会同各项目承担单位，根据《国务院关于改进加强中央财政科研项目和资金管理的若干意见》（国发〔2014〕11号）、《国务院印发关于深化中央财政科技计划（专项、基金等）管理改革方案的通知》（国发〔2014〕64号）、《科技部 财政部关于印发中央财政科技计划（专项、基金等）监督工作暂行规定的通知》（国科发政〔2015〕471 号）、《财政部 科技部关于印发<国家重点研发计划资金管理办法>的通知》（财科教〔2016〕113 号）、《科技部 财政部关于印发<国家重点研发计划管理暂行办法>的通知》（国科

发资〔2017〕152 号）及项目实施期间出台的国家重点研发计划管理有关规章制度的要求，依照项目（课题）任务书，认真落实项目承担单位法人责任制，合理配置单位人力、物力、财力资源，为项目（课题）实施提供必要条件保障；按照全链条创新设计、一体化组织实施的要求，切实加强项目（课题）之间的衔接与交流，促进项目（课题）间资源与信息的开放共享；严格按照中央财政科研经费管理的有关规定，资金专款专用，纳入单位财务统一管理；加强经费管理，强化预算执行，提高资金使用绩效；落实科技报告管理有关规定，项目（课题）实施中实行重要事项报告制度；做好知识产权和文档管理；加强重点成果凝练；自觉接受专项统一的协同联动与相关监督，确保项目（课题）的研究开发目标和任务按期完成。

附件：1. 国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项2017 年度项目立项表

2. 项目立项批复（根据不同项目分印至各项目牵头单位）

中国农村技术开发中心

2017 年 6 月 28 日

（此件依申请公开）

抄送：科技部农村科技司、资源配置与管理司、政策法规与监督司。
教育部科学技术司、农业部科技教育司、国务院国有资产监督管理委员会规划发展局、北京市科学技术委员会、山东省科学技术厅、广东省科学技术厅、农业装备产业技术创新战略联盟、中国机械工业集团战略投资部、中国农业科学院、中国农业机械化科学研究院、北京市农林科学院。
各课题承担单位。

中国农村技术开发中心　　2017年6月28日印发

附件 1

国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项
2017 年度项目立项表

序号	项目编号	项目名称	项目牵头单位
1	2017YFD0700100	农机装备智能化设计技术研究	中国农业大学
2	2017YFD0700200	农机装备制造过程质量检测技术研究	洛阳拖拉机研究所有限公司
3	2017YFD0700300	农机装备试验验证方法与技术研究	中国农业大学
4	2017YFD0700400	基于北斗的农机定位与导航技术装置研究	华南农业大学
5	2017YFD0700500	农机变量作业技术与装置研究	中国农业机械化科学研究院
6	2017YFD0700600	农机作业与运维智能管理技术系统研究	北京农业智能装备技术研究中心
7	2017YFD0700700	精量播种技术装备研发	雷沃重工股份有限公司
8	2017YFD0700800	高速栽植技术装备研发	现代农装科技股份有限公司
9	2017YFD0700900	多功能田间管理作业技术装备研发	中国农业机械化科学研究院
10	2017YFD0701000	农用航空作业关键技术研究与装备研发	农业部南京农业机械化研究所
11	2017YFD0701100	农田提质工程技术与装备研发	北京天顺长城液压科技有限公司
12	2017YFD0701200	种子繁育技术装备研发	青岛农业大学
13	2017YFD0701300	蔬菜智能化精细生产技术与装备研发	农业部南京农业机械化研究所
14	2017YFD0701400	现代果园智能化精细生产管理技术装备研发	山东永佳动力股份有限公司
15	2017YFD0701500	温室智能化精细生产技术与装备研发	农业部规划设计研究院
16	2017YFD0701600	设施畜禽养殖智能化精细生产管理技术装备研发	广东温氏食品集团股份有限公司
17	2017YFD0701700	设施水产养殖智能化精细生产管理技术装备研发	中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所

附件 2-13

“蔬菜智能化精细生产技术与装备研发”项目立项批复

一、项目名称（编号）：蔬菜智能化精细生产技术与装备研发（2017YFD0701300）。

二、项目牵头单位：农业部南京农业机械化研究所，项目负责人：曹光乔。

三、项目执行年限：2017 年 1 月-2020 年 12 月。

四、项目总经费：5166 万元，其中中央财政经费 2516 万元。

五、项目目标和主要考核指标：

项目目标：本项目针对叶类、根茎类和茄果类蔬菜规模化生产的技术需要，围绕土壤-作物-机器耦合作用机理、精细生产及智能控制、装备系统集成等方面的关键科学问题，突破蔬菜精细耕整作畦、精量点（穴）播、育苗及高速定植、水肥精量施用、叶类及根茎类蔬菜收获和双动力驱动等关键技术，研制具备主要参数实时采集、故障诊断与自动监控功能的装备，进行蔬菜全程智能化、机械化生产技术装备集成与示范，构建农机、农艺、农信紧密融合的机械化生产技术体系。减轻菜农劳动强度、降低蔬菜生产成本，推动蔬菜产业健康可持续发展。

主要考核指标：突破关键核心技术 10 项，研制蔬菜智能化精细生产装备 13 台（套），制定企业标准 8 项以上、技术规程

3项以上；申请发明专利10项以上；发表论文10篇以上。在江苏、内蒙古和山东等主产区建立蔬菜生产全程机械化试验示范基地3个，示范面积30000亩次。

详细考核指标以项目任务书为准。

六、项目课题安排

序号	课题编号	课题名称	课题负责人	课题承担单位	中央财政经费（万元）
1	2017YFD0701301	蔬菜标准化育苗与水肥精量施用技术装备研究	夏红梅	华南农业大学	443
2	2017YFD0701302	蔬菜精细耕整与精量播种技术装备研究	陆春胜	上海市农业机械研究所	447
3	2017YFD0701303	蔬菜小苗高速定植技术与装备研究	崔巍	现代农装科技股份有限公司	514
4	2017YFD0701304	叶类蔬菜有序收获技术与装备研究	曹光乔	农业部南京农业机械化研究所	603
5	2017YFD0701305	根茎类蔬菜收获技术与装备研究	王金武	东北农业大学	509

课题编号：2017YFD0701301　　**密　级：公开**

国家重点研发计划
课题任务书

课题名称：	蔬菜标准化育苗与水肥精量施用技术装备研究
所属项目：	蔬菜智能化精细生产技术与装备研发
所属专项：	智能农机装备
项目牵头承担单位：	农业部南京农业机械化研究所
课题承担单位：	华南农业大学
课题负责人：	夏红梅
执行期限：	2017 年 07 月 至 2020 年 12 月

中华人民共和国科学技术部制

2017 年 07 月 12 日



九、课题参加人员基本情况表

序号	姓名	性别	出生日期	身份证号码（军官证、护照）	技术职称	职务	学位	专业	投入本课题的全时工作时间（人月）	人员分类	在课题中分担的任务	工作单位
1	夏红梅	女	- -		副高级	无	博士	农业工程	35	课题负责人	负责课题总体组织协调，成套装备的生产示范。	华南农业大学工程学院
2	李志伟	男	- -		正高级	无	博士	农业工程	30	课题骨干	负责蔬菜精量播种机构的研制。	华南农业大学工程学院
3	王学农	男	-		正高级	书记	硕士	机械工程	30	课题骨干	负责水肥精量施用系统硬件设计、选型与集成；参与水肥精量施用机具试验。	新疆农业科学院农业机械化研究所
4	林相波	女	- -		副高级	副所长	博士	信息与通讯工程	30	课题骨干	负责蔬菜生理生态信息采集监测，水肥营养状况评估系统的选型、设计和集成；参与水肥精量施用机具试验。	新疆农业科学院农业机械化研究所
5	甄文斌	女	- -		副高级	无	硕士	农业工程	35	课题骨干	负责纸钵穴盘	华南农业大学工程学院

											育苗纸钵基质定形自动化生产装备研制。	
6	杨意	女	- -		中级	无	硕士	农业工程	25	课题骨干	负责纸钵基质穴盘补苗装备研制。	华南农业大学电子工程学院
7	曾文	男	-		中级	无	博士	农业工程	35	课题骨干	负责凝练代表性成套蔬菜机械化生产装备系统。	华南农业大学工程学院
8	李瑞云	女	-		正高级	处长	硕士	蔬菜学	30	课题骨干	负责装备集成与示范。	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
9	陈华保	男	-		副高级	无	博士	农药学	30	课题骨干	负责蔬菜丸粒化技术与工艺开发。	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
10	曹金强	男	-		中级	无	硕士	植物病理学	25	课题骨干	负责甘蓝直播育苗技术及装备集成与示范。	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
11	牛长河	男	-		副高级	副主任	硕士	农机化	35	课题骨干	负责水肥精量施用机具管路系统设计、加工；参与水肥精量施用机具试验。	新疆农业科学院农业机械化研究所
12	马彩雯	女	- -		正高级	无	硕士	机械工程	30	课题骨干	负责示范基地建立和机具试验；参与水肥	新疆农业科学院农业机械化研究所

											精量施用机具设计、加工。	
13	马艳	女	- -		中级	无	硕士	设施园艺学	30	课题骨干	负责构建智能化灌溉施肥模式、控制策略；参与水肥精量施用机具试验。	新疆农业科学院农业机械化研究所
14	杨会民	男	- -		中级	无	硕士	农业工程	30	课题骨干	研发故障报警模块，参与水肥精量施用机具试验。	新疆农业科学院农业机械化研究所
15	陈逸飞	男	- -		中级	无	硕士	农业工程	30	课题骨干	负责智能化水肥精量施用机具控制系统研制，参与水肥精量施用机具试验。	新疆农业科学院农业机械化研究所
		固定研究人员合计							460	/	/	/
		流动人员或临时聘用人员合计							0	/	/	/
		累计							460	/	/	/

项目批准号	51005080
归口管理部门	
申请代码	E050602
收件日期	

国家自然科学基金委员会

资助项目计划书

资助类别：青年科学基金项目

亚类说明：

附注说明：

项目名称：基于基因工程的采摘混联机构构型综合与进化优选系统的研究

资助经费：20.00万元　　执行年限：2011.01-2013.12

负 责 人：夏红梅

通讯地址：广东广州华南农业大学工程学院

邮政编码：510642　　电话：020-85280783

电子邮件：xhm_scau@scau.edu.cn

依托单位：华南农业大学

联系人：苏弟华　　电话：020-85280070

填表日期：2010年9月1日

国家自然科学基金委员会

项目组主要参与者（注：项目组主要参与者不包括项目申请人，国家杰出青年科学基金项目不填写此栏。）

编号	姓 名	出生年月	性别	职 称	学 位	单位名称	电话	电子邮箱	项目分工	每年工作时间（月）
1	杨丹彤	[illegible]	男	副教授	硕士	华南农业大学	020-85280783	dtyang@scau.edu.cn	采摘运动功能分析	6
2	曾文	[illegible]	男	讲师	硕士	华南农业大学	020-85280783	zenwen@scau.edu.cn	混联机构基因编码	6
3	王利萍	[illegible]	女	讲师	硕士	华南农业大学	020-85280783	liping_win@hotmail.com	进化操作方法研究	6
4	刘新红	[illegible]	女	讲师	硕士	华南农业大学	020-85280783	liuxinhong@scau.edu.cn	进化与优选算法研究	9
5	高立春	[illegible]	男	硕士生	学士	华南农业大学	020-85280783	glc198401102@126.com	进化系统研究	9
6	王广源	[illegible]	男	硕士生	学士	华南农业大学	020-85280783	471883002@qq.com	评价优选系统研究	9
7										
8										
9										

总人数	高级	中级	初级	博士后	博士生	硕士生
7	2	3	0	0	0	2

说明： 高级、中级、初级、博士后、博士生、硕士生人员数由申请人负责填报（含申请人），总人数由各分项自动加和产生。

经费预算表

（金额单位：万元）

预算编制说明：

1．在填报本表之前，请根据项目资助类别认真阅读相关的资助经费管理办法；经费预算的编制以申请书中的《经费申请表》为基础，以《国家自然科学基金项目资助批准通知书》中的资助金额为依据；

2．编制经费预算时，不考虑不可预见因素和前期投入；

购置与试制仪器设备在5万元以上（包括5万元）时，须在报告正文中逐项说明用途和必要性。

科　　目	预算经费	备 注（计算依据与说明）
一．研究经费	15.8000	
1．科研业务费	9.5000	
（1）测试/计算/分析费	1.5000	算法研究，编写代码，软件开发，系统测试等
（2）能源/动力费	2.5000	实验室水、电，电话，网络，燃油动力，场地等
（3）会议费/差旅费	3.0000	国内学术会议，试验，考察，调研，差旅等
（4）出版物/文献/信息传播事务费	2.5000	查新，文献检索，论文出版，专利申请，资料费等
（5）其它		
2．实验材料费	3.3000	
（1）原材料/试剂/药品购置费	3.3000	机构加工材料，驱动装置，打印耗材等
（2）其它		
3．仪器设备费	3.0000	传感器，电脑配件，采摘机构试验平台加工制作等
4．实验室改装费		
5．协作费		
二．国际合作与交流费	2.0000	
1．项目组成员出国合作交流	2.0000	项目组成员出国参加学术会议
2．境外专家来华合作交流		
三．劳务费	1.2000	研究生劳务费
四．管理费	1.0000	科研管理费
合　　计	20.0000	

与本项目相关的其他经费来源		
	国家其他计划资助经费	
	其他经费资助（含部门匹配）	
	其他经费来源合计	0.0000

附件 3：

2019 年省级乡村振兴战略专项
-农业科技创新及推广项目
（广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队）

（2019 年）

创新团队名称：设施农业共性关键技术研发创新团队

岗位名称：设施生产智能管控

专家姓名：夏 红梅

依托单位（公章）：华南农业大学

依托单位法定代表人：刘雅红

编制日期：2019 年 7 月 3 日

一、基本情况

填表说明：	1.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”；2.单位名称、单位公章名称及单位开户名称必须一致，如有特殊情况，需说明理由。

承担单位	单位名称	华南农业大学			
	单位性质	□科研机构 √高等院校 □推广机构 □企业 □其他			
	单位主管部门	广东省教育厅			
	单位组织机构代码	124400004554165634			
	单位法人代表姓名	刘雅红			
	单位开户名称	华南农业大学			
	开户银行（全称）	广州工行五山支行			
	银行账号	3602002609000310520			
	单位所属地区	广州市	（州、市、县等）	天河区	
	电子邮箱				
	通信地址	广州市天河区五山路483号		联系电话	020-85283435
	邮政编码	510642		传真号码	020-85281885

相关责任人	岗位负责人	姓名	夏红梅		
		身份证号码	420111197509125020		
		工作单位	华南农业大学工程学院		
		电话号码	020-85280783	手机号码	[illegible]
		电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn	邮政编码	510642
		通信地址	广东广州天河五山华南农业大学工程学院		
	联系人	姓名	夏红梅		
		电话号码	020-85280783	手机号码	[illegible]
		传真号码	020-85280783		
		电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn		

二、团队人员基本情况表

填表说明：	1.职称分类：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他；
	2.人员分类代码：A、首席专家 B、岗位专家 C、站长 D、团队成员
	3.是否有工资性收入：是（否）

序号	姓名	身份证号码	工作单位	功能研究室/试验站/推广站	技术职称	是否有工资性收入	人员分类	承担任务
1	夏红梅	[redacted]	华南农业大学	功能研究室	副高级	是	岗位专家	岗位任务实施规划
2	甄文斌	[redacted]	华南农业大学	功能研究室	副高级	是	团队成员	装备方案设计
3	曾文	[redacted]	华南农业大学	功能研究室	中级	是	团队成员	装备方案设计
4	周士琳	[redacted]	华南农业大学	功能研究室	其他	否	团队成员	试验研究
5	邢晶晶	[redacted]	华南农业大学	功能研究室	其他	否	团队成员	试验研究
6	刘园杰	[redacted]	华南农业大学	功能研究室	其他	否	团队成员	试验研究
7								
8								
9								
10								
11								
12								

三、岗位主要任务

重点任务	5年规划任务	面向设施种苗生产环境，研究提取各机械化装备生产作业环节状态信息、栽培环境信息、种苗生长特征信息方法，构建具有生产作业过程监控，栽培环境参数调控，人员、成本等生产信息管理功能的设施生产智能管控系统。
	当年度实施任务	研究育苗机械化生产装备作业信息提取方法，构建生产装备作业状态监控系统，实现装备作业的智能化管控。
基础性工作	5年规划任务	设施生产智能管控系统总体功能需求分析，系统功能模块划分，各功能模块软硬件构建方案的制定，各功能模块输入输出信息数据结构分析，功能模块间数据信息接口方法研究。
	当年度实施任务	育苗机械化生产装备管控功能需求分析，拟定管控信息提取利用方案，设计构建管控软硬件系统。

前瞻性研究	5年规划任务	设施生产智能管控系统中，装备作业状态、栽培环境参数、作物生长特征及生产中的人力资源等不同类型数据信息的提取、融合与利用方法研究。
	当年度实施任务	设施机械化生产中装备作业状态信息参数的提取与利用方法研究。
应急性工作	5年规划任务	面向设施生产全程机械化与智能化管控问题，提出适应我国设施种苗生产现状与条件的解决方案，解决当前设施生产中劳动力不足、人力成本高，生产过程缺乏系统规范管理平台的问题。
	当年度实施任务	提出设施种苗生产机械装备的智能化管控解决方案，构建机械化装备的智能管控平台。

四、年度实施进度、任务内容与考核指标		
实施进度	任务内容	考核指标
2019 年度	构建立体育苗机械化生产管控智能系统 1 套，实现装备控制与生产管理计算机化。	发表论文 1-2 篇； 申请发明专利 1 项； 实用新型专利 1 项； 软件著作权 2 项。
2020 年度	设计构建轻简肥水施用装置系统 2 套；设计构建肥水回流、消毒装置系统 2 套。	发表论文 1-2 篇； 申请发明专利 1 项； 实用新型专利 1 项。
2021 年度	参与构建设施农业蔬菜基质栽培机械化生产系统 1 套；参与构建设施农业盆栽花卉机械化生产系统 1 套。	发表论文 1-2 篇； 申请发明专利 1 项； 实用新型专利 1 项。
2022 年度	参与集成立体育苗机械化生产、智能化管理示范生产系统 1-2 套；参与集成设施农业水培叶菜机械化生产示范系统 1-2 套；参与集成设施农业基质培果菜半机械化生产示范系统 1 套；参与集成设施农业盆栽花卉机械化生产示范系统 1 套。	发表论文 1-2 篇； 申请发明专利 1 项； 实用新型专利 1 项。
2023 年度	参与制定立体育苗机械化生产、智能化管理生产流程规范 1 项；参与制定设施农业水培叶菜机械化生产流程规范 1 项；参与制定设施农业基质培果菜半机械化生产流程规范 1 项；参与制定设施农业盆栽花卉机械化生产流程规范 1 项；参与整理设施农业共性关键技术研究报告 1 份。	发表论文 1-2 篇； 申请发明专利 1 项； 实用新型专利 1 项。

五、经费预算表

科目编码	预算科目名称	经费（万元）	计算依据
1	经费支出预算合计	10.0	
2	（一）直接费用	9.5	
3	1、设备费	0	
4	2、材料费	2.5	购买智能管控系统开发相关所需材料、元件等
5	3、测试化验加工费	2.0	用于传感器等元件的安装结构件加工试制；
6	4、燃料动力费	0	
7	5、差旅费	1.8 -0.8	用于调研、参加学术会议的差旅、交通费
8	6、会议费	0	0
9	7、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	0	用于论文的版面费，专利申报费，及推广的资料、宣传费等。
10	8、劳务费	1.7 -0.2	用于参与研究的研究生劳务费
11	9、专家咨询费	0 +0.5	
12	（二）间接费用	0.5	
13	1、管理费	0.5	用于科研管理部门的管理费
合计		10.0	

六、补充内容及相关说明
无。

七、单位签章		
岗位依托单位	承担单位（公章）	华南农业大学
	负责人（签章）	
	岗位人员（签章）	甄文娥、曾文、周娟娟、刘国杰、邢晶晶
	签订日期	2019 年 7 月 4 日
	地址及邮编	广州天河五山华南农业大学,510642
	电话及传真	020-85280783
	单位名称	华南农业大学
团队依托单位	首席专家所在单位（公章）	华南农业大学
	首席专家（签章）	
	签订日期	2019 年 7 月 4 日
	项目联系人	杨艳丽
	地址和邮编	广州天河五山华南农业大学，510642
	电话及传真	85281392

7414494075452

项目编号： 2014J4100147

广州市科技计划项目
合 同 书

项目名称：柑橘树干振动采收机理及关键技术研究

申报单位：华南农业大学工程学院

计划类别：科学研究专项

起止时间：2014-04-01 到 2017-03-31

专 题：农业

项目组织单位：华南农业大学

填表日期：2014/05/09

广州市科技和信息化局制

7414494075452

一、项目基本信息表

项目名称		柑橘树干振动采收机理及关键技术研究			
主管处室		发展规划处			
承担单位	名　　称	华南农业大学工程学院			
	通信地址	广州市天河区五山路483号华南农业大学		邮政编码	510642
	电子信箱	qilong@scau.edu.cn	传　　真	020-85288201	
	单位特性	其他	单位类型	高等院校	
	法定代表人	陈晓阳			

参加单位		名称	分　　工	单位类别
	1			
	2			
	3			
	4			

项目负责人						
	姓　名	杨洲	电子信箱	yangzhou@scau.edu.cn		
	性　别	男	民　族	汉	出生年月	[illegible]
	证件名称	身份证		证件号码	[illegible]	
	学　历	博士研究生	学　位	博士	学位授予国家（或地区）	中国
	职　务	院长	职　称	教授	电话/手机	[illegible]

姓　名	年龄	职称	学历	所在单位	签　字
曾文	[illegible]	讲师	博士研究生	华南农业大学	
刘天湖	[illegible]	副教授	博士研究生	华南农业大学	
卿艳梅	[illegible]	副教授	博士研究生	华南农业大学	
夏红梅	[illegible]	副教授	博士研究生	华南农业大学	
王慰祖	[illegible]	副教授	博士研究生	华南农业大学	
吴良军	[illegible]	博士生	在读博士生	华南农业大学	
严梁立	[illegible]	硕士生	在读硕士生	华南农业大学	
刘嘉龙	[illegible]	硕士生	在读硕士生	华南农业大学	

7414494075452

七、项目申报单位与参加单位合作内容*

承担单位名称：华南农业大学工程学院 任务分工： 知识产权分配： 市科信局经费分配额度： 自筹经费出资额度： 自筹经费到位时间： 其他主要内容： 经办人（签章）张鑫民　联系电话：18925081906 法定代表人（签章）　（公章）2019年5月26日
参加单位（1）名称： 任务分工： 知识产权分配： 市科信局经费分配额度： 自筹经费出资额度： 自筹经费到位时间： 其他主要内容： 经办人（签章）　联系电话： 法定代表人（签章）　（公章）　年　月　日
参加单位（2）名称： 任务分工： 知识产权分配： 市科信局经费分配额度： 自筹经费出资额度： 自筹经费到位时间： 其他主要内容： 经办人（签章）　联系电话： 法定代表人（签章）　（公章）　年　月　日

八、合同书签订各方意见

广州市科技和信息化局（甲方）：

项目经办人（签章）

联系电话：83174136

主管业务处负责人（签章）

法定代表人（签章）

（公章）二〇一〇年 七月九日

项目承担单位（乙方）：

项目负责人（签章）

财务负责人（盖章）

财务负责人联系电话：020-85287402

帐户名：华南农业大学

帐号：3602002609000310520

开户银行：广州工行五山支行

法定代表人 ：陈晓阳

或二级单位的负责人 （签章）

張鐵民

（公章）二〇一六年 5月 26日

组织单位（丙方）：

项目经办人：（签章）

法定代表人：（签章）

（公章）二〇一六年 7月 2日

广州市科技和信息化局
广州市财政局

穗科信字〔2014〕182号

广州市科技和信息化局 广州市财政局
关于下达2014年科学研究专项
项目经费的通知

各区、县级市科技和信息化局、财政局，项目主管部门，项目承担单位:

根据《广州市财政局关于广州市科技和信息化局2014年部门预算的批复》（穗财编〔2014〕70号），现将2014年科学研究专项项目经费2000万元予以下达，支出功能科目详见附件。

请加强对财政专项资金的监督管理，确保专款专用，抓好资金使用进度，严格执行政府采购和国库集中支付有关规定，并做好项目绩效评价，提高资金使用效益。

附件：1. 2014年科学研究专项项目经费安排明细表

2. 2014年科学研究专项项目经费安排汇总表

广州市科技和信息化局

广州市财政局

2014年6月23日

（联系人：何青霞，电话：83124038；姚成辉，电话：38923389）

附件1

2014年科学研究专项项目经费安排明细表

单位：万元

序号	项目类别/主管部门	项目编号	项目数/项目名称	承担单位	功能科目	科目编码	本次经费
	合计		1项				2000
1	华南农业大学	2014J4100147	柑橘树干振动采收机理及关键技术研究	华南农业大学工程学院	科技成果转化与扩散	2060404	8

项目编号：2017-31

广东省水利科技创新项目合同书

项目名称：防汛抢险仿生螺旋桩关键技术及其沉桩设备

项目承担单位：华南农业大学

项目负责人：王玉兴

项目联系人：唐艳芹 电话：020-85288001 手机：

18659102618

起止年限：2017 年 7 月至 2020 年 6 月

广东省水利厅

2017 年制

填 写 说 明

1. 项目合同书中的内容要与项目申报材料一致。

2. 填写合同书时文字要准确、通顺，内容要详细，指标要明确。

3. 单位名称应写全称，并与单位公章相同。

4. 项目承担单位为牵头单位，负责签约。如有协作单位参与须附上合同书第七项合作协议。

5. 合同书签订流程：

（1）合同书由项目承担单位编写，合同书初稿（电子版）报广东省水利厅科技与交流合作处（邮箱 gdsltkjc@163.com ）；

（2）合同书经广东省水利厅科技与交流合作处审查合格后，项目承担单位报送正式加盖公章的项目合同书一式 4 份，有协作单位的增加相应份数；

6. 其他说明

（1）合同书各项填报内容页面不够可另附页；

（2）本合同书用 A4 纸双面打印，用小四号仿宋字体。

项目基本信息表

<table>
<tr><td colspan="6">项目基本信息表</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目名称</td><td colspan="4">防汛抢险仿生螺旋桩关键技术及其沉桩设备</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目编号</td><td>2017-31</td><td colspan="2">参加单位总数</td><td>1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">项目承担单位</td><td>名　称</td><td colspan="4">华南农业大学</td></tr>
<tr><td>单位所在地</td><td colspan="4">广东省广州市天河区</td></tr>
<tr><td>通讯地址</td><td colspan="2">广州市天河区五山路华南农业大学工程学院</td><td>邮编</td><td>510642</td></tr>
<tr><td>单位性质</td><td colspan="4">（3）1.科研机构 2.事业单位
3.高等院校 4.企业 5.其他</td></tr>
<tr><td colspan="2">经费预算</td><td colspan="4">86.65 万元，其中省级补助经费 86.65 万元，自筹经费 0 万元。</td></tr>
<tr><td rowspan="5">各单位预算（万元）</td><td>单位</td><td colspan="2">单位名称</td><td>总经费</td><td>省级补助经费</td></tr>
<tr><td>承担单位</td><td colspan="2">华南农业大学</td><td>86.65</td><td>86.65</td></tr>
<tr><td>协作单位 1</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>协作单位 2</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>协作单位 3</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">项目负责人</td><td>姓 名</td><td>王玉兴</td><td>性 别</td><td>男</td><td>出生日期</td><td>1963.7.26</td></tr>
<tr><td>职 务</td><td>主任</td><td>职 称</td><td>教授</td><td>专 业</td><td>机制</td></tr>
<tr><td>所在单位</td><td colspan="2">华南农业大学</td><td>联系电话</td><td>020-85288001</td></tr>
<tr><td>手 机</td><td>[illegible]</td><td>E-mail</td><td colspan="2">scauwyx@scau.edu.cn</td></tr>
<tr><td rowspan="2">参加项目人数</td><td rowspan="2">9 人。其中：</td><td colspan="4">高级 3 人，中级 3 人，初级 0 人，其他 3 人；</td></tr>
<tr><td colspan="4">博士 4 人，硕士 1 人，学士 4 人，其他 0 人。</td></tr>
<tr><td>投入人月数</td><td colspan="5">180 人月（本项目满月度工作量人员数）</td></tr>
<tr><td>起始时间</td><td colspan="2">2017 年 7 月</td><td>终止时间</td><td colspan="2">2020 年 6 月</td></tr>
<tr><td>项目分类</td><td colspan="5">（3）1.重大专题项目　2.重点项目　3.一般性项目</td></tr>
</table>

项目类型	(2)1.基础理论研究　　2.应用研究 3.成果转化与推广　4.重要技术标准研究 5.其他
所属技术领域	(2)1.水文水资源 2.防洪减灾 3.城乡水利 4.环境与生态 5.水利工程 6.水利技术标准 7.其他
主要研究内容 (300 字以内)	拟对蚂蚁体表减粘降阻规律进行仿生研究，研制仿生螺旋桩关键技术及其沉桩设备，揭示仿生螺旋桩的沉桩规律，解决防汛抢险传统木质直桩及其锤击式沉桩设备存在的问题，如木桩易腐朽、易虫蛀、耗费木材、沉桩阻力大、起桩困难、反复利用性差和锤击式沉桩设备振动和噪声大、效率低、笨重、机动性差和易引起次生灾害等。
预期成果 (100 字以内)	发表 EI 收录论文 4 篇；获得发明专利 2 件；提交防汛抢险仿生螺旋桩制造工艺流程 1 份；研制 1000×150 防汛抢险仿生螺旋桩 1 批；研制沉桩设备 2 台；建立应用示范基地 1 个；培养年轻教师 3 人，培养研究生 3 人；提供研究报告一份。
产学研联合	(2)1.是　　2.否

一、目标与任务

1. 研究目标；2. 研究内容及任务分解；3. 解决的主要技术难点和问题；4. 技术路线和创新点等。（可另附页）

研究目标：

本项目以仿生螺旋桩代替木桩，以螺旋沉桩方式替代锤击式沉桩方式，研究防汛抢险环境条件下的仿生螺旋桩沉桩技术和设备，将促进现有防汛抢险沉桩理论和方法的完善。

研究内容及任务分解：

①对蚂蚁体表减粘降阻仿生

- 蚂蚁体表减粘降阻原因
- 蚂蚁体表微曲面特征参数与土壤相对运动阻力关系
- 仿蚂蚁体表微曲面材料
- 在螺旋沉桩环境下，仿生材料表面特征参数与土壤相对运动阻力的关系

②防汛抢险仿生螺旋桩沉桩过程分析

- 仿生螺旋桩-土壤有限元模型
- 不同土性参数条件下螺旋桩应力场分布
- 仿生螺旋沉桩过程中桩一土壤的变形及运动特征和应力场

③防汛抢险仿生螺旋桩及其沉桩设备的总体结构和性能参数

- 仿生螺旋桩结构优化设计
- 便携型仿生螺旋桩沉桩设备的研制
- 桩体仿生表面对土壤的作用特点与仿生曲面形式
- 仿生表面的制造工艺与防腐处理工艺

解决的主要技术难点和问题：

- 桩体和螺旋叶片表面的脱土降阻仿生
- 大变形和小变形共存情况下 3D 桩-土壤有限元模型的建立
- 仿生螺旋桩及其沉桩设备的重量轻且便携。

技术路线：

（1）调研，土样采集和土性参数的获取。采集包括黄河、长江和珠江堤岸的土样。

（2）蚂蚁体表减粘降阻原因研究。借助于扫描电子显微镜观察分析蚂蚁体表特征、不粘土特性和体表与土壤作用过程。利用采得土样进行蚂蚁活体试验。

（3）仿蚂蚁体表微曲面材料试验研究。在螺旋沉桩环境下，试验不同材料尤其是合金与土壤的摩擦特性，以获得蚂蚁体表材料的替代材料。

（4）仿生材料的曲面特征参数与土壤相对运动阻力。进行有关仿生材料的

曲面形状、曲率和尺寸参数与土壤相对阻力的正交试验。

（5）以沉桩阻力矩和桩体重量最小为目标，对螺旋桩总体结构进行优化设计， 取得螺旋桩整体结构优化设计参数。

（6)利用有限元法和多体系统力学理论，借助于 Ansys/LS-DYNA 大型软件，建立普通螺旋桩-土壤有限元模型，分析沉、起桩过程中桩体、土壤的应力场和土壤的变形运动规律。修正设计参数，研制普通螺旋桩样桩。

（7）对普通螺旋桩样桩进行沉、起桩模拟试验，验证优化设计结果和建模的正确性。测得不同土性参数和旋转速度对旋转沉、起桩阻力和土壤运动、变形规律的影响。

（8）以普通螺旋表面螺旋桩设计参数为基础，对桩体表面进行脱土降阻仿生设计。

（9）建立仿生螺旋桩-土壤有限元模型，分析沉、起桩过程桩体、土壤的应力场和土壤的变形运动规律。修正模型和设计参数，并研制仿生螺旋桩样桩及沉桩设备。

（10）对仿生螺旋桩样桩进行沉、起桩试验，验证建模的正确性。测得不同土性参数和旋转速度对旋转沉、起桩阻力和土壤运动、变形规律的影响。修正模型和设计参数。

（11）进行木质直桩的沉、起桩试验，将试验结果与螺旋桩沉桩试验结果进行对比分析。

（12）以螺旋桩沉、起桩阻力和螺旋桩结构参数为依据，进行螺旋沉桩设备的轻量化设计和试制，并进行沉、起桩模拟试验与修正。

（13）在不同堤防现场做沉、起桩性能和效果试验，完善仿生螺旋桩及其沉桩设备。

（14）分析总结，验收结题。

创新与特色：

- 对蚂蚁体表微曲面的减粘降阻特性进行仿生研究；
- 在防汛抢险中，以仿生螺旋桩沉桩方式取代传统木桩沉桩方式。

二、预期成果及考核指标（可另附页）

1.主要技术指标：如形成的知识产权、技术标准、新技术、新材料、论文专著等数量、指标及其水平等。

1）发表 EI 收录论文 4 篇；

2）获得中国发明专利 2 件；

3）提交防汛抢险仿生螺旋桩制造工艺流程 1 份；

4）研制 1000×150 防汛抢险仿生螺旋桩 1 批；

- 仿生螺旋桩不超过 15 公斤；
- 仿生螺旋桩成本 200 元。

5）研制沉桩设备 2 台；

- 沉桩设备成本 9000 元；
- 沉、起桩时间分别小于 20 秒。

2.主要经济与社会效益指标：如技术及产品应用所形成的经济效益，产生的主要社会环境效益、应用前景等。

传统防汛抢险沉桩主要是采用锤击式沉桩方式，震动和噪音比较大，破坏环境，且容易引起堤坝裂缝、坍塌等次生灾害。如果本项目得以实施和完成，并将引起防汛抢险沉桩设备的改革，全国 7 大流域的数以千计防汛抢险部门，需要及时更新设备，需求量很大。

传统防汛抢险用桩是木桩，由于虫蛀、腐朽，每 10 年左右就需要把储存的木桩全部更新。金属仿生螺旋桩替代木桩，可以避免耗费大量木材，提高桩的反复利用率。如果本项目得以实施和完成，防汛抢险部门对仿生螺旋桩的需求量是巨大的。

对防汛抢险沉桩设备和仿生螺旋桩的需求，必将带动相关的机械加工制造行业的发展。

3.项目应用指标：项目应用情况，以及项目实施中形成的示范基地及其规模等。

建立小规模应用示范基地 1 个，用于新技术及设备的演示示范与推广。

4.人才队伍建设指标。

培养年轻教师 3 人；培养研究生 3 人。

5.其他应考核的指标。

提供研究报告1份。

三、项目年度计划及年度目标

年度	项目年度计划、实施方案及年度目标
2017.7—2018.6	调研； 采集并取得土样参数； 养殖蚂蚁； 普通螺旋桩和木桩预备试验； 研究蚂蚁体表减粘降阻原因，发表成果； 蚂蚁体表特征与土壤相互作用的关系。
2018.7—2019.6	仿生替代材料研究； 材料表面特征与土壤相互作用关系； 普通螺旋桩优化设计； 普通螺旋桩一土有限元建模与分析； 样桩研制； 模拟试验和修正，发表成果； 仿生螺旋桩及沉桩设备设计； 仿生螺旋桩一土有限元建模与分析。
2019.7—2020.6	仿生螺旋桩及其沉桩设备样机研制； 沉桩模拟试验和修正； 木桩锤击沉桩、普通螺旋桩和仿生螺旋桩沉桩对比试验，对外交流； 轻量化研制螺旋沉桩设备，现场试验与改进； 整理材料、验收。

四、项目经费支出预算

单位：万元（保留两位小数）

预算科目名称	合计	省级补助经费	省级补助经费				自筹经费
			承担单位	协作单位 1	协作单位 2	协作单位 3	
（一）直接费用	**82.32**	**82.32**	**82.32**				**0**
1. 设备费	19.18	19.18	19.18				0
（1）购置设备费	10.23	10.23	10.23				0
（2）试制设备费	6.2	6.2	6.2				0
（3）设备改造与租赁费	2.75	2.75	2.75				0
2. 材料费	17.27	17.27	17.27				0
3. 测试化验费	18.67	18.67	18.67				0
4. 燃料动力费	1.8	1.8	1.8				0
5. 差旅费	7.2	7.2	7.2				0
6. 会议费	1	1	1				0
7. 国际合作与交流费	3	3	3				0
8. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	5.1	5.1	5.1				0
9. 劳务费	7.2	7.2	7.2				0
10. 专家咨询费	1	1	1				0
11. 其他支出	0.9	0.9	0.9				0
（二）间接费用	**4.33**	**4.33**	**4.33**				**0**
管理费 5%	4.33	4.33	4.33				0
总计	86.65	86.65	86.65				**0**

五、主要研究人员

项目负责人						
姓　名	性别	出生年月	职务职称	业务专业	投入项目工作总月数	工作单位
王玉兴	男		正任教授	机制	15	华南农业大学
主要研究人员（可另附页）						
唐艳芹	女		副教授	机制	15	华南农业大学
张殿武	男		高级工程师	材料工程	15	华南农业大学
曾文	男		讲师	机制	15	华南农业大学
张增学	男		讲师	农业机械	15	华南农业大学
卢玉华	男		讲师	工程力学	15	华南农业大学
林怡森	男		硕士研究生	机械设计制造及其自动化	30	华南农业大学
姚颖杰	男		硕士研究生	机械设计制造及其自动化	30	华南农业大学
李思宏	男		硕士研究生	机械设计制造及其自动化	30	华南农业大学

六、合同书签订各方签章

项目主管单位（甲方）：广东省水利厅

负责人（签字）：

（公 章）

2017年 9月 29日

项目承担单位（乙方）：华南农业大学

项目负责人（签字）：

承担单位负责人（签字）：

（公 章）

2017年 9月 18日

开户银行名称：广东广州工行五山支行

开户银行地址： 广州市天河区五山路 483 号

账号：3602002609000310520

七、项目承担单位与协作单位合作协议（包括任务分工、经费分配、知识产权及其他事项）

无。

承担单位负责人（签章）：

（单位公章）

年　　月　　日

协作单位 1 负责人（签章）：

（单位公章）

年　　月　　日

协作单位 2 负责人（签章）：

（单位公章）

年　　月　　日

协作单位 3 负责人（签章）：

（单位公章）

年　　月　　日

八、共同条款

合同各方共同遵守《广东省水利科技创新项目和资金管理暂行办法》（广东省财政厅、广东省水利厅文件粤财农〔2011〕414号，以下简称《办法》）：

1. 该项目经广东省财政厅、广东省水利厅批准立项，列入2017年度广东省水利科技创新项目。乙方必须切实加强项目管理，自合同书签订1个月内启动项目，3个月内向甲方提交《项目实施工作大纲》。重大专题项目和重点项目的工作大纲由甲方组织相关专家进行审查，一般性项目的工作大纲由乙方组织相关专家进行咨询。

2. 合同执行过程中，乙方如需调整合同内容，应根据《办法》中有关规定，向甲方提出变更内容及其理由的申请报告，报甲方审定后实施。未经接到正式批准书以前，双方须按原合同书履行，否则后果由自行调整的一方负责。

3. 甲方核拨乙方水利科技创新项目经费￥86.65万元（大写：捌拾陆万陆仟伍佰元整）其余部分由乙方自筹解决。乙方清晰本合同的项目任务、目标以及经费组成情况，并承诺如自筹资金或配套资金未能按合同到位而影响项目的执行，甲方有终止合同的权利，乙方有缴回已拨经费的义务。

4. 乙方因某种原因（如：与可行性研究内容有出入、挪用经费、技术措施或某些条件不落实）致使计划无法执行，而要求中止合同，应视不同情况，部分、全部退还所拨经费；如乙方没有提出中止合同的要求，甲方可根据调查情况有权提出中止合同。

5. 项目须按批准经费使用范围列支，并符合有关财务规定，每个项目单独核算，项目经费要专款专用，不得挪作它用。

6. 承担单位在合同执行期间，每年应对执行情况、资金使用情况进行总结，并填写《广东省水利科技创新项目年度执行报告》和下年度工作计划，于当年12月20日前报广东省水利厅科技与交流合作处。执行期间须按国家有关规定提交科技报告。

7. 合同书正式文本一式四份（有协作单位的增加相应份数），甲方二份、乙方二份、协作单位各一份。

8. 项目完成后，乙方需在三个月内向甲方提交验收申请。项目验收包括财务验收和业务验收。甲方在项目验收后应按规定开展绩效评价工作。

9. 其他条款：

（1）项目研究成果的知识产权，属甲方与乙方共同拥有。项目成果报告发表时，均应注明“广东省水利科技创新项目成果”。 未注明的论文和专著不能列入项目成果。

（2）双方均有该项目研究成果的使用权。项目成果的转让和使用，必须遵守我国有关知识产权保护法律法规的规定。

（3）项目申请书中的研究内容、研究方案、研究成果等是本合同的组成部分。

受理编号：c21140500002424

项目编号：2021A1515010777

文件编号：粤基金字〔2021〕4号

广东省基础与应用基础研究基金项目

合同书

2021A1515010777

项目名称： 管道栽培叶菜抓取协同定位与柔顺控制机理研究

项目类别： 广东省自然科学基金-面上项目

项目起止时间： 2021-01-01　至　2023-12-31

管理单位（甲方）： 广东省基础与应用基础研究基金委员会

依托单位（乙方）： 华南农业大学

通讯地址： 广东省广州市天河区五山路483号

邮政编码： 510642　　**单位电话：** 020-85283435

项目负责人： 夏红梅　　**联系电话：** 020-85280783

（广东科技微信公众号）　　（查看合同书信息）　　（受理纸质材料二维码）

广东省基础与应用基础研究
基金委员会
二〇二〇年制

填写说明

一、项目合同书/任务书内容原则上要求与申报书相关内容保持一致，不得无故修改。

二、项目承担单位通过广东省科技业务管理阳光政务平台下载项目合同书/任务书，按要求完成签名盖章后提交至省科技厅受理窗口。

三、签名盖章说明。请分别在单位工作分工及经费分配情况页、人员信息页、签约各方页等地方按要求签字或盖章，签章不合规或错漏将不予受理。其中，人员信息页要求所有参与人员本人亲笔签名，代签或印章无效，漏签将不予受理。

四、本合同书/任务书自签字并加盖公章之日起生效，各方均应负本任务书的法律责任，不应受机构、人事变动影响。

2021A1515010777

五、人员信息

项目负责人

姓名	证件号码	年龄	性别	职称	学历	在项目中承担的任务	所在单位	签名
夏红梅	[redacted]	[redacted]	女	副教授	博士研究生	项目负责人	华南农业大学	夏红梅

项目组主要成员

姓名	证件号码	年龄	性别	职称	学历	在项目中承担的任务	所在单位	签名
辜松	[redacted]	[redacted]	男	教授	博士研究生	总体研究方案设计	华南农业大学	辜松
邹湘军	[redacted]	[redacted]	女	教授	博士研究生	抓取定位控制系统研究	华南农业大学	邹湘军
甄文斌	[redacted]	[redacted]	女	高级实验师	硕士研究生	抓取试验研究	华南农业大学	甄文斌
曾文	[redacted]	[redacted]	男	讲师	博士研究生	扶起导向型面作用机理研究	华南农业大学	曾文
刘园杰	[redacted]	[redacted]	女	未取得	本科	导向扶起型面研究与试验	华南农业大学	刘园杰
赵楷东	[redacted]	[redacted]	男	未取得	本科	抓取定位控制系统设计	华南农业大学	赵楷东
陈莹	[redacted]	[redacted]	女	未取得	本科	抓取刚柔耦合仿真	华南农业大学	陈莹
江林桓	[redacted]	[redacted]	男	未取得	本科	抓取力阻抗控制器设计	华南农业大学	江林桓

六、工作分工及经费分配

承担/参与单位名称（盖章）	工作分工	总经费分摊（万元）	省基金委经费分配（万元）
华南农业大学	测定叶菜物理/力学特性参数，构建叶菜形态结构模型，叶菜与栽培管道约束关系模型，叶菜根茎区域抓取接触力学模型及叶菜夹持力学特性本构模型；融合力、位置、速度等信息构建叶菜定位控制系统，研究扶起导向型面对展开叶面与叶菜根部约束作用机制，优选适于叶菜扶起及位姿自适应调整的型面结构；建立抓取系统刚柔耦合仿真分析模型，明确不同抓取机构运动速度与结构参数对叶菜抓取区域应变与变形的影响；研究被动柔顺手指结构型式与材料，设计手指主动柔顺控制力阻抗控制器，研究抓取力平滑控制算法，优化控制系统参数。	10.00	10.00
	合计	10.00	10.00

七、合同条款

第一条 甲方与乙方根据《中华人民共和国合同法》及国家有关法规和规定，为顺利完成（2021）年管道栽培叶菜抓取协同定位与柔顺控制机理研究 专项项目（文件编号： 粤基金字〔2021〕4号）经协商一致，特订立本合同，作为甲乙双方在项目实施管理过程中共同遵守的依据。

第二条 甲方的权利义务：

1.按合同书规定进行经费核拨的有关工作协调。

2.根据甲方需要，在不影响乙方工作的前提下，定期或不定期对乙方项目的实施情况和经费使用情况进行检查或抽查。

3.根据《广东省科技计划项目信用管理办法(试行)》对乙方进行科技计划信用管理。

第三条 乙方的权利义务：

1.确保落实自筹经费及有关保障条件。

2.乙方是项目资金管理的责任主体，应当建立健全科研项目资金管理制度，严格按照省科技经费使用范围和有关规定管好用好财政资金；应当按合同书规定，对甲方核拨的经费实行专款专用，单独列账，并随时配合甲方进行监督检查。

3.实施“包干制”的面上项目及青年基金项目，依托单位应参照国家杰出青年科学基金试点项目经费使用“包干制”要求，制定经费使用“包干制”内部管理规定。项目经费支出应实际用于研发活动相关支出，使用范围限于设备费、材料费、测试化验加工费、燃料动力费、差旅/会议/国际合作与交流费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费、劳务费、专家咨询费、依托单位管理费用、绩效支出以及其他合理支出。依托单位管理费用由依托单位根据实际管理支出情况与项目负责人协商确定。绩效支出由项目负责人根据实际科研需要和相关薪酬标准自主确定，依托单位按照现行工资制度进行管理。其余用途经费无额度限制，由项目负责人根据实际需要自主决定使用。项目验收时应提交经费决算表。

4.项目负责人是项目资金使用的直接责任人，对资金使用的合规性、合理性、真实性和相关性承担法律责任。

5.使用财政资金采购设备、原材料等，按照《广东省实施〈中华人民共和国招标投标法〉办法》有关规定，符合招标条件的须进行招标。

6.项目合同任务完成后，或合同书规定的任务、指标及经费投入等提前完成的，乙方可按照《广东省省级科技计划项目结题管理实施细则（试行）》提出验收结题申请，并按甲方要求做好项目验收结题工作。

7.若项目发生需要终止结题的情况，乙方须按照《广东省省级科技计划项目结题管理的实施细则（试行）》提出终止结题申请，并按甲方要求做好项目终止结题工作。

8.在每年规定时间内向甲方如实提交上年度工作情况报告，报告内容包含上年度项目进展情况、经费决算和取得的成果等。

9.按照国家和省有关规定，提交科技报告及其他材料。

10.利用甲方的经费获得的研究成果，项目负责人和参与者应当注明获得“广东省基础与应用基础研究基金（英文：Guangdong Basic and Applied Basic Research Foundation）（项目编号）”资助或作有关说明。

2021A1515010177

11.乙方要恪守科学道德准则，遵守科研活动规范，践行科研诚信要求，不得抄袭、剽窃他人科研成果或者伪造、篡改研究数据、研究结论；不得购买、代写、代投论文，虚构同行评议专家及评议意见；不得违反论文署名规范，擅自标注或虚假标注获得科技计划（专项、基金等）等资助；不得弄虚作假，骗取科技计划（专项、基金等）项目、科研经费以及奖励、荣誉等；不得有其他违背科研诚信要求的行为。

12.确保本项目开展的研究工作符合我国科研伦理管理相关规定。

第四条 在履行本合同的过程中，如出现广东省相关政策法规重大改变等不可抗力情况，甲方有权对所核拨经费的数量和时间进行相应调整。

第五条 在履行本合同的过程中，当事人一方发现可能导致项目整体或部分失败的情形时，应及时通知另一方，并采取适当措施减少损失，没有及时通知并采取适当措施，致使损失扩大的，应当就扩大的损失承担责任。

第六条 本项目技术成果的归属、转让和实施技术成果所产生的经济利益的分享，除双方另有约定外，按国家和广东省有关法规执行。

第七条 根据项目具体情况，经双方另行协商订立的附加条款，作为本合同正式内容的一部分，与本合同具有同等效力。

第八条 本合同一式三份，各份具有同等效力。甲、乙方及项目负责人各执一份，三方签字、盖章后即生效，有效期至项目结题后一年内。各方均应负合同的法律责任，不应受机构、人事变动的影响。

第九条 乙方必须接受甲方聘请的本项目合同监理单位的监督和管理。监理单位按照甲方赋予的权利对本项目合同的履行进行审核、进度调查，对项目合同变更、经费使用情况进行监督管理及组织项目验收。

说明：1.本合同书中，凡是当事人约定无需填写的内容，应在空白处划（/）。

2.委托代理人签订本合同书的，应出具合法、有效的委托书。

2021A1515010777

八、本合同签约各方

管理单位（甲方）：　　广东省基础与应用基础研究基金委员会　（盖章）

法定代表人（或法人代理）：　曾路　（签章）

2021 年　03 月　25 日

依托单位（乙方）：　华南农业大学　（盖章）

法定代表人（或法人代理）：　刘雅红　（签章）

联系人（项目主管）姓名：　安沛　（签章）

Email：　414484016@qq.com

电话：　020-85283435　/　[redacted]

开户单位名称：　华南农业大学

开户银行名称：　广东广州工行五山支行

开户银行帐号：　3602002609000310520

2021 年 4 月 9 日

联系人（项目负责人）姓名：　夏红梅　（签名）

Email：　xhm_scau@scau.edu.cn

电话：　020-85280783

2021 年 4 月 1 日

20211515010771

受理编号：c195371900005　　项目编号：2019B020221001

项目下达文号：

广东省重点领域研发计划项目

任务书

项目名称：水稻生产地面-航空高效施药智能装备研究与示范

专项名称：智能农机装备

项目起止时间：2019年 01月 01日　至　2021年 12月 30日

管理单位(甲方)：广东省科学技术厅

牵头承担单位一（乙方）：广州极飞科技有限公司

项目推荐（主管）单位（丙方）：广州市科技创新委员会

通讯地址：广东省-广州市-天河区高普路115号极飞科技

邮政编码：510663　　单位电话：020-85207212

项目负责人：薛新宇　　联系电话：020-85207212

项目联系人：黄丹　　联系电话：[redacted]

广东省科学技术厅
二〇一九年制

（广东科技微信公众号）

（受理纸质材料二维码）

六、参与人员信息

项目负责人：

姓名	性别	年龄	职务	职称	学位	在项目中承担的任务	所在单位	签名
薛新宇	女	[illegible]	农业部岗位体系专家	研究员	博士	项目总体设计	广州极飞科技有限公司	薛新宇

主要研究开发人员：

姓名	性别	年龄	职务	职称	学位	在项目中承担的任务	所在单位	签名
张亚莉	女	[illegible]	副主任	副教授	博士	植保无人机智能传感器	华南农业大学	张亚莉
邓继忠	男	[illegible]	副主任	教授	博士	低空遥感与农情分析	华南农业大学	邓继忠
孔伟	男	[illegible]	无	助理研究员	硕士	喷杆平衡技术	农业农村部南京农业机械化研究所	孔伟
丁素明	男	[illegible]	无	研究员	学士	整机设计	农业农村部南京农业机械化研究所	丁素明
黄丹	女	[illegible]	总经理助理兼部门经理	未取得	硕士	自主避障技术研究	广州极飞科技有限公司	黄丹
张建瓴	男	[illegible]	无	副教授	博士	农业航空作业规程	华南农业大学	张建瓴
陈盛德	男	[illegible]	无	助理研究员	博士	农业航空施药技术	华南农业大学	陈盛德
欧阳帆	男	[illegible]	无	助理研究员	博士	精准施药系统	华南农业大学	欧阳帆
曾文	男	[illegible]	无	讲师	博士	精准施药技术	华南农业大学	曾文

九、签约各方

管理单位（甲方）： 广东省科学技术厅 （盖章）

单位地址： 广东省广州市连新路171号

法定代表人（或授权代表）： 王瑞军 （签章）

联系人（经办人）姓名： 叶毓峰 （签章）

Email： yeyf@gdstc.gov.cn QQ：

电话： 020-83163906 微信：

2019年 7 月 11 日

牵头承担单位一（乙方）： 广州极飞科技有限公司 （盖章，单位法人章或单位法人授权章）

单位地址： 广东省广州市天河区高普路115号极飞科技

法定代表人（或法人代理）： 彭斌 （签章）

联系人（项目主管）姓名： 黄丹 （签章）

Email： huangdan@xa.com QQ：

电话： 020-85207212 微信：

2019 年 5 月 6 日

项目推荐（主管）单位（丙方）： 广州市科技创新委员会 （盖章，单位法人章或单位法人授权章）

单位地址： 广东省广州市越秀区广州市越秀区府前路1号市政府大院

法定代表人（或法人代理）： 王桂林 （签章）

联系人（项目主管）姓名： 社基处 （签章）

Email： lijh@gz.gov.cn QQ：

电话： 020-83124045 微信：

2019 -05- 07

年 月 日

2019502022001

国家重点研发计划
研究航空植保施药技术参数及智能化装备控制因素及性能指标研究任务合约

子课题名称/编号：植保无人机精准变量喷雾关键技术研究/2016YFD0200701-15

所属课题/编号：研究航空植保施药技术参数及智能化装备控制因素及性能指标/2016YFD0200701

所属项目/编号：地面与航空高工效施药技术及智能化装备/2016YFD0200700

课题承担单位（甲方）：华南农业大学

子课题承担单位（乙方）：华南农业大学

子课题负责人：张建钒

起止年限：2016年01月01日 — 2020年12月31日

中华人民共和国科学技术部 制

扫描全能王 创建

任务 1、研发适用于植保无人机作业的精准变量喷雾系统

目标：研发适用于无人机作业的精准/变量喷雾系统，综合考虑无人机 GPS/北斗位置信息、无人机飞行速度信息，作业面积、喷雾幅宽、作业处方图等，构建流量控制模型，实现均匀喷雾和实时变量喷雾。

系统研发及试验研究：研发精准/变量喷雾系统并进行相应的试验。

任务 2、农药雾滴在植物叶片上的润湿展布机理研究

目标：采用数值模拟和实验测试方法研究农药雾滴在植物叶片上的附着滞留、润湿铺展和滴落流失问题，从静态和动态两个角度，在微观和定量层面研究雾滴润湿铺展规律。

基础理论及实验研究：建立叶面微结构模型、雾滴润湿方程并进行实验验证、模型及参数修正。

任务 3、研发变量/防飘喷头，研究防止雾滴飘移的措施

目标：研发适用于无人机作业的变量喷头/防飘喷头、防止雾滴飘移的措施和方法。

部件研发及试验研究：变量喷嘴/防飘喷嘴结构创新设计、流量控制模型建立及对流量、喷雾参数、粒径等的试验验证。

二、任务指标、成果及考核要求

1、约束性指标

任务指标：农用无人机变量喷施系统关键技术研究；雾滴在植物叶面的润湿铺展机理研究；变量喷嘴/防飘喷嘴研发和防飘措施研究。

成果形式：完成无人机航空植保变量施药系统 1 套；变量喷头/防飘喷头 2-3 种；授权国家发明专利 4-5 项；软件著作权登记 2-3 项；发表高水平论文（SCI 收

扫描全能王 创建

七、团队研究人员

子课题负责人						
姓　名	性别	年龄	技术职称	身份证号码	所在单位	用于本任务的工作时间占本人总工作时间的百分比（%）
张建瓠	男	[redacted]	副教授	[redacted]	华南农业大学	80
课题组成员						
曾文	男	[redacted]	讲师	[redacted]	华南农业大学	60
胡圣荣	男	[redacted]	教授	[redacted]	华南农业大学	60
卢玉华	男	[redacted]	讲师	[redacted]	华南农业大学	60
梅慧兰	女	[redacted]	讲师	[redacted]	华南农业大学	60
课题组联系人						
张建瓠	男	[redacted]	副教授	[redacted]	华南农业大学	80
手机号码	[redacted]					
座机号码						
电子邮件	jlingzhang@scau.edu.cn					
微信	[redacted]					

扫描全能王 创建

八、经费来源与支出预算

单位：万元

序号	预算科目名称	合计	专项经费	自筹经费
	（1）	（2）	（3）	（4）
1	一、经费支出	100.0	100.0	0
2	（一）直接经费	90.4	90.4	0
3	1、设备费	17.6	17.6	0
4	（1）设备购置费	8.0	8.0	0
5	（2）设备试制费	7.1	7.1	0
6	（3）设备改造与租赁费	2.5	2.5	0
7	2、材料费	28.4	28.4	0
8	3、测试化验加工费	7.0	7.0	0
9	4、燃料动力费	4.0	4.0	0
10	5、差旅费	8.5	8.5	0
11	6、会议费	1.6	1.6	0
12	7、国际合作与交流费	2.0	2.0	0
13	8、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	7.5	7.5	0
14	9、劳务费	9.6	9.6	0
15	10、专家咨询费	1.6	1.6	0
16	11、其他支出	3.8	3.8	0
17	（二）间接经费	9.6	9.6	0
18	二、经费来源			
19	（一）申请从专项经费获得的资助	100.0	100.0	0
20	（二）自筹经费来源	/	/	/
21	1、地方财政拨款	/	/	/
22	2、单位自有货币资金	/	/	/
23	3、其他资金	/	/	/

扫描全能王 创建

十一、签约各方签章

课题承担单位（甲方）：（公章）

甲方账户名： 华南农业大学

甲方账号：3602002609000310520

甲方开户银行：广州工行五山支行

单位负责人（签字）：　　课题负责人（签字）：王玉林

2016年 9月 20日

子课题承担单位（乙方）（公章）：

乙方账户名： 华南农业大学

乙方账号： 3602002609000310520

乙方开户银行：广州工行五山支行

单位负责人（签字）：　　子课题负责人（签字）：张建辉

2016年 9月 20日

项目组织单位（公章）： 华南农业大学

单位负责人（签字）：

项目负责人（首席专家）（签字）：王玉林

2016年 9月 20日

扫描全能王 创建

附件 6：

2020 年省级乡村振兴战略专项
（广东省现代农业产业技术体系创新团队）
任务书

（2020 年）

创新团队名称：设施农业共性关键技术研发创新团队

岗位名称：设施生产智能管控

专家姓名：夏红梅

依托单位（公章）：华南农业大学

依托单位法定代表人：刘雅红

编制日期：2020 年 10 月 10 日

一、基本情况					
填表说明：	1.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”；2.单位名称、单位公章名称及单位开户名称必须一致，如有特殊情况，需说明理由。				
承担单位	单位名称	华南农业大学			
	单位性质	□科研机构 √高等院校 □推广机构 □企业 □其他			
	单位主管部门	广东省教育厅			
	单位组织机构代码	124400004554165634			
	单位法人代表姓名	刘雅红			
	单位开户名称	华南农业大学			
	开户银行（全称）	广州工行五山支行			
	银行账号	3602002609000310520			
	单位所属地区	广州市天河区			
	电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn			
	通信地址	广州市天河区五山路483号		联系电话	020-85283435
	邮政编码	510642		传真号码	020-85281885
相关责任人	岗位负责人	姓名	夏红梅		
		身份证号码	420111197509125020		
		工作单位	华南农业大学工程学院		
		电话号码	020-85280783	手机号码	[redacted]
		电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn	邮政编码	510642
		通信地址	广东广州天河五山华南农业大学工程学院		
	联系人	姓名	夏红梅		
		电话号码	020-85280783	手机号码	[redacted]
		传真号码	020-85280783		
		电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn		

二、团队人员基本情况表

填表说明：	1.职称分类：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他；
	2.人员分类代码：A、首席专家 B、岗位专家 C、站长 D、团队成员

序号	姓名	身份证号码	工作单位	技术职称	人员分类	承担任务
1	夏红梅	[redacted]	华南农业大学	B	B	岗位任务实施规划
2	甄文斌	[redacted]	华南农业大学	B	D	装备方案设计
3	曾文	[redacted]	华南农业大学	C	D	装备方案设计
4	刘园杰	[redacted]	华南农业大学	E	D	试验研究
5	赵楷东	[redacted]	华南农业大学	E	D	试验研究
6	江林桓	[redacted]	华南农业大学	E	D	试验研究
7	陈莹	[redacted]	华南农业大学	E	D	试验研究

三、2020 年度岗位主要任务		
重点任务		研制一套精量智能蔬菜穴盘播种作业生产线，具备基质精准定量投入穴孔内，压穴深度和喷淋水量可调，压穴和喷淋水作业同步，播种后覆土量可调，覆土基质精准覆盖穴孔内的种子，实现播种作业生产全程智能精量控制；构建一套种苗生产管理云平台系统，实现播种作业生产任务、人员、设备、生产资料及环境的实时数据采集、分析与处理，实现种苗生产的智能管控。
基础性工作		已完成精量压穴喷淋机试验台开发，初步实现同步压穴和喷淋作业；已完成精量基质覆土机试验台开发，初步实现精准、定量基质覆土作业；已完成精量播种机播种精度实时检测监控系统的研制。
前瞻性研究		实时采集分析播种生产现场中的人员、生产资料、生产设备、及环境等数据信息，构建种苗生产管理云平台系统，实现播种生产作业的实时在线管控。
应急性工作		针对现有穴盘播种作业生产中，基质充填、覆土及喷淋水等环节采用均匀充填和喷洒方式，使大量基质或水被施用到穴盘穴孔外部，导致基质或水资源浪费，作业生产环境污染严重问题，创新研制精量基质充填、覆土及喷淋水等装备，构建精量穴盘播种作业生产线，对改善播种生产作业环境，实现企业节本增效具有重要实际意义。

四、2020 年度实施进度、任务内容与考核指标		
实施进度	任务内容	考核指标
2020.9.1 至 2021.8.31	1）研制精量智能蔬菜穴盘播种作业生产线 1 套； 2）研发蔬菜种苗生产管理云平台系统 1 套；	1）发表论文 1-2 篇； 2）申请发明专利 1 项，实用新型专利 1 项。

五、经费预算表

科目编码	科目名称	经费（万元）	计算依据
	经费支出预算合计		
	（一）直接费用	8.6	
1	设备费		
2	材料费	2.5	购买开发相关所需材料、元件等
3	测试化验加工费	2.0	用于结构件加工试制；
4	燃料动力费		
5	差旅费	1.0	用于调研、参加学术会议的差旅、交通费
6	会议费		
7	出版/文献/信息传播/知识产权事务费	1.6	用于论文的版面费，专利申报费，及推广的资料、宣传费等。
8	劳务费	1.5	用于参与研究的研究生劳务费
9	专家咨询费		
	（二）间接费用	1.4	
10	管理费	0.5	单位管理费用
11	绩效支出	0.9	项目绩效支出
合计		10	

六、补充内容及相关说明		
无。		
七、单位签章		
岗位专家依托单位	承担单位（公章）	
	岗位专家（签章）	夏红梅
	签订日期	2020年10月19日
首席专家依托单位	首席专家所在单位（公章）	华南农业大学 
	首席专家（签章）	李秋
	签订日期	2020年10月19日
	项目联系人	杨艳丽

附件 3：

2021 年省级农业科技创新推广及农业资源与生态环境保护建设项目（广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队）任务书

创新团队名称：广东省设施农业共性关键技术研发创新团队

岗位名称：设施生产智能管控

专家姓名：夏红梅

依托单位（公章）：华南农业大学

依托单位法定代表人：刘雅红

编制日期：2021 年 7 月 28 日

一、基本情况					
填表说明：	1.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”；2.单位名称、单位公章名称及单位开户名称必须一致，如有特殊情况，需说明理由。				
承担单位	单位名称	华南农业大学			
	单位性质	□科研机构 √高等院校 □推广机构 □企业 □其他			
	单位主管部门	广东省教育厅			
	单位组织机构代码	124400004554165634			
	单位法人代表姓名	刘雅红			
	单位开户名称	华南农业大学			
	开户银行（全称）	广州工行五山支行			
	银行账号	3602002609000310520			
	单位所属地区	广州市	（州、市、县等）	天河区	
	电子邮箱				
	通信地址	广州市天河区五山路483号	联系电话	020-85283435	
	邮政编码	510642	传真号码	020-85281885	
相关责任人	岗位负责人	姓名	夏红梅		
		身份证号码	[redacted]		
		工作单位	华南农业大学工程学院		
		电话号码	020-85280783	手机号码	[redacted]
		电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn	邮政编码	510642
		通信地址	广东广州天河五山华南农业大学工程学院		
	联系人	姓名	夏红梅		
		电话号码	020-85280783	手机号码	[redacted]
		传真号码	020-85280783		
		电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn		

二、团队人员基本情况表

填表说明：	1.职称分类：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他；
	2.人员分类代码：A、首席专家 B、岗位专家 C、站长 D、团队成员
	3.是否有工资性收入：是（否）

序号	姓名	身份证号码	工作单位	功能研究室/试验站/推广站	技术职称	是否有工资性收入	人员分类	承担任务
1	夏红梅	420[illegible]020	华南农业大学	功能研究室	B	是	B	岗位任务实施规划
2	甄文斌	44010019[illegible]	华南农业大学	功能研究室	B	是	D	装备方案设计
3	曾文	[illegible]713	华南农业大学	功能研究室	C	是	D	装备监控系统研制
4	刘园杰	412[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
5	赵楷东	4[illegible]031	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
6	江林桓	[illegible]213	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
7	何梓源	[illegible]72017	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
8	冯俊杰	[illegible]1[illegible]7	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
9	董朝	[illegible]02713	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
10	李刘全	[illegible]44214	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究

三、年度实施进度、任务内容与考核指标

实施进度	任务内容	考核指标
2021	1）研制构建纸钵基质育苗播种生产装备系统一套； 2）播种生产智能监控系统的研制与推广。	1）农技推广服务驿站打卡不少于5次； 2）创制生产相关智能装置、系统1套； 3）发表论文1篇； 4）申请发明专利2项。

五、经费预算表

科目编码	预算科目名称	经费（万元）	计算依据
1	经费支出预算合计		
2	（一）直接费用	8.6	
3	1、设备费	0.0	
4	2、材料费	2.7	购买装备研制相关材料、元件等。
5	3、测试化验加工费	2.0	用于结构、控制系统加工及装配试制；
6	4、燃料动力费	0.0	
7	5、差旅费	0.8	用于调研、参加学术会议的差旅、交通费
8	6、会议费	0.0	
9	7、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	1.6	论文版面费、专利申请费和代理费用、购买书籍及资料复印等
10	8、劳务费	1.5	用于参与研究的研究生劳务费。
11	9、专家咨询费	0.0	
12	（二）间接费用	1.4	
13	1、管理费	0.5	单位管理费。
	2、绩效支出	0.9	项目绩效支出
合计		10.0	

六、补充内容及相关说明		
无。		
七、单位签章		
岗位依托单位	承担单位（公章）	华南农业大学
	负责人（签章）	
	岗位人员（签章）	何焯源、赵楷森、董钢 颜文波 曾文 李刘生 江林桓 周俊杰 刘国杰，
	签订日期	
	地址及邮编	
	电话及传真	
	单位名称	
团队依托单位	首席专家所在单位（公章）	华南农业大学
	首席专家（签章）	
	签订日期	
	项目联系人	
	地址和邮编	广州市天河区五山路 483 号 sgu666@sina.com
	电话及传真	[redacted]

附件 3：

2022 年省级农业科技发展及资源环境保护管理项目以农业领域为单元的广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目（设施农业）
（广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队）
任务书

创新团队名称：广东省设施农业共性关键技术研发创新团队

岗位名称：设施生产智能管控

专家姓名：夏红梅

依托单位（公章）：华南农业大学

依托单位法定代表人：刘雅红

编制日期：2022 年 9 月 1 日

一、基本情况						
填表说明：	1.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”；2.单位名称、单位公章名称及单位开户名称必须一致，如有特殊情况，需说明理由。					
承担单位	单位名称	华南农业大学				
	单位性质	□科研机构 √高等院校 □推广机构 □企业 □其他				
	单位主管部门	广东省教育厅				
	单位组织机构代码	124400004554165634				
	单位法人代表姓名	刘雅红				
	单位开户名称	华南农业大学				
	开户银行（全称）	广州工行五山支行				
	银行账号	3602002609000310520				
	单位所属地区	广州市	（州、市、县等）	天河区		
	电子邮箱					
	通信地址	广州市天河区五山路 483 号			联系电话	020-85283435
	邮政编码	510642			传真号码	020-85281885
相关责任人	岗位负责人	姓名	夏红梅			
		身份证号码	420111197509125020			
		工作单位	华南农业大学工程学院			
		电话号码	020-85280783		手机号码	[illegible]
		电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn		邮政编码	510642
		通信地址	广东广州天河五山华南农业大学工程学院			
	联系人	姓名	夏红梅			
		电话号码	020-85280783		手机号码	[illegible]
		传真号码	020-85280783			
		电子邮箱	xhm_scau@scau.edu.cn			

二、团队人员基本情况表

填表说明：	1.职称分类：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他；
	2.人员分类代码：A、首席专家 B、岗位专家 C、站长 D、团队成员
	3.是否有工资性收入：是（否）

序号	姓名	身份证号码	工作单位	功能研究室/试验站/推广站	技术职称	是否有工资性收入	人员分类	承担任务
1	夏红梅	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	B	是	B	岗位任务实施规划
2	甄文斌	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	B	是	D	装备方案设计
3	曾文	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	C	是	D	装备监控系统研制
4	赵楷东	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
5	江林桓	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
6	何梓源	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
7	冯俊杰	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
8	董朝	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
9	李刘全	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
10	邓楚恒	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
11	陈杰庆	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究
12	朱仕成	[illegible]	华南农业大学	功能研究室	E	否	D	试验研究

三、年度实施进度、任务内容与考核指标

实施进度	任务内容	考核指标
2022	围绕设施种苗生产环节，研究机械化种苗核心技术及装备。	砧木苗纸钵精量播种机 1 台；

五、经费预算表

科目编码	预算科目名称	经费(万元)	计算依据
1	经费支出预算合计	0	
2	（一）直接费用	1.41	
3	1、设备费	0	
4	2、材料费	1.41	购买装备研制相关材料、元件等。
5	3、测试化验加工费	0	
6	4、燃料动力费	0	
7	5、差旅费	0	
8	6、会议费	0	
9	7、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	0	
10	8、劳务费	0	
11	9、专家咨询费	0	
12	（二）间接费用	0.09	
13	1、管理费	0.09	单位管理费
	2、绩效支出	0	
合计		1.5	

六、补充内容及相关说明		
无。		
七、单位签章		
岗位依托单位	承担单位（公章）	华南农业大学
	负责人（签章）	
	岗位人员（签章）	甄文波 [illegible] 赵楷东 江林恒 何梓源 董钟剑生 冯俊杰 朱仁成 陈杰庆 邓楚恒
	签订日期	
	地址及邮编	
	电话及传真	
	单位名称	
团队依托单位	首席专家所在单位（公章）	华南农业大学
	首席专家（签章）	
	签订日期	
	项目联系人	
	地址和邮编	广州市天河区五山路 483 号 sgu666@sina.com
	电话及传真	[illegible]/020-85281392

项目编号：	2023KJ131

2023 年省级农业科技发展及资源环境保护管理项目

（广东省现代农业产业技术体系创新团队）

专题任务合同书

专题名称：种业振兴行动和科技兴农

项目名称：以农业领域为单元的广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目（设施农业）

项目承担单位：华南农业大学

项目负责人：辜松

专题承担单位：华南农业大学

专题负责人：夏红梅　　电话：[redacted]

专题联系人：夏红梅　　电话：[redacted]

专题起止年限：2023 年 4 月至 2023 年 12 月

填写说明

一、本合同由甲乙双方共同签订。甲方系指项目承担单位；乙方系指专题承担单位。

二、本合同所列内容应实事求是填写，表达要明确、严谨。

三、合同书规定的任务考核指标应遵循明确、量化、可考核的原则，其中技术指标应明确任务完成时达到的关键技术参数及预期可以形成的发明专利、标准、新技术、新产品、新装置、论文、专著等的数量。项目申报指南对项目技术、经济和成果等指标有明确要求的，应符合项目申报指南的要求，相关专项管理办法有特别规定的，应符合相关规定。

四、省财政资金支出的预算计划应按照国家及省相关规定执行。

一、研究内容和关键技术

请说明项目的研究内容和技术路线。

采用理论分析、模拟仿真与投落种试验的技术路线，进行单粒种子精准定位投种技术研究，包括投种过程动力学模型构建，种子落入穴孔后的弹跳定位机理研究，和单粒种子定心投种试验优化。具体研究包括：

(1) 构建投种过程动力学模型。分析种子在排出吸种孔口落入穴孔过程中的受力状态，建立种子受力与运动关系方程，探讨影响种子投种过程运动特性的关键因素，探明投种过程中种子的运动规律。

（2）研究种子落入穴孔后的弹跳定位机理。测量不同紧实度与含水率条件下的基质土力学特性参数，测定种子物理力学特性，构建散粒基质土力学模型，开展种子落入基质土后的受力与运动状态仿真分析，探讨影响种子投入基质内定心效果的主要因素，明确种子投入初始运动参数、基质土物理特性参数对单粒种子投入穴孔定心效果的影响规律。

（3）单粒种子定心投种试验优化。选取影响定心投种效果的主要参数，设计试验方案，以茄果类种子为对象开展播种试验，建立投种定位误差与定心投种影响参数间的预测关系模型，构建定心投种误差优化目标函数，研究求解优化作业参数。

二、硬性任务		
1	推进农技推广服务驿站建设	创新团队可依托农技推广服务驿站进行科学研究、成果转化、推广示范、培训孵化与指导服务，并安排专家开展驻点技术服务；无法对接农技推广服务驿站的团队，可以服务各类农业经营主体。每个团队至少完成3人次打卡服务（以在服务现场登录中国农技推广平台发送服务日志次数为准）。
2	推进现代农业产业园和“一村一品、一镇一业”建设	探索“创新团队+农技推广服务驿站+现代农业产业园”的新型农业科技服务模式，强化与基层农技推广体系的衔接与配合，加大对现代农业产业园、“一村一品、一镇一业”的科技服务，每个团队至少对接服务现代农业产业园或“一村一品、一镇一业”1次以上。
3	推进广州国家现代农业产业科技创新中心建设	积极参与科创中心组织的专题科研研讨或科技成果交易等活动。
4	积极参与各类农业产业服务活动，配合省农业农村厅完成应急性、临时性工作任务。	

三、实施进度、任务内容与考核指标

实施进度	任务内容	考核指标
上半年度	开展单粒种子精准定位投种技术研究，分析投种过程中种子的运动规律，明确种子投入初始运动参数、基质土物理特性参数对单粒种子投入穴孔定心效果的影响规律。	农技推广服务驿站打卡3次；发表论文1篇，申请专利1件。
下半年度	以茄果类种子为对象开展播种试验，建立投种定位误差与定心投种影响参数间的预测关系模型，构建定心投种误差优化目标函数，研究求解优化作业参数。	

四、专题主要成员（含专题主持人）

姓名	性别	身份证号	单位	职称/职务	工作分工	电话	签名
夏红梅	女	[illegible]	华南农业大学	副高级	方案设计	[illegible]	夏红梅
甄文斌	女	[illegible]	华南农业大学	副高级	试验设计	[illegible]	甄文斌
曾文	男	[illegible]	华南农业大学	中级	理论建模	[illegible]	曾文
冯俊杰	男	[illegible]	华南农业大学	其他	仿真设计	[illegible]	冯俊杰
何梓源	男	[illegible]	华南农业大学	其他	仿真设计	[illegible]	何梓源
董朝	男	[illegible]	华南农业大学	其他	试验研究	[illegible]	董朝
李刘全	男	[illegible]	华南农业大学	其他	试验研究	[illegible]	李刘全
邓楚恒	男	[illegible]	华南农业大学	其他	试验研究	[illegible]	邓楚恒
朱仕成	男	[illegible]	华南农业大学	其他	试验研究	[illegible]	朱仕成
陈杰庆	男	[illegible]	华南农业大学	其他	试验研究	[illegible]	陈杰庆
杨腾	男	[illegible]	华南农业大学	其他	试验研究	[illegible]	杨腾

五、资金使用预算

主要说明资金使用的方向及不同阶段资金使用进度安排。

本专题任务本年度投入8万元，全部为专项资金，具体预算及依据如下：

序号	预算科目名称	金额/万元	备注
	（1）	（2）	
1	资金支出合计	8.0	
2	（一）直接费用	7.4	
3	1.设备费	0	
4	2.材料费	2.1	
5	3.测试化验加工费	2	
6	4.出版/文献/信息传播/知识产权事务费	1.0	
7	5.会议/差旅/国际合作交流费	0.8	
8	6.劳务费	1.5	
9	7.专家咨询费	0	
10	8.其他支出	0	
11	（二）间接费用	0.6	主要用于科研支出
12	1.管理费	0.48	
13	2.绩效	0.12	

六、合同条款

合作各方共同申请的“以农业领域为单元的广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目（设施农业）”项目已收到专业机构批复资助通知。为按期保质完成项目的研究任务，根据有关法律、法规和项目管理部门的相关规定，达成如下协议，并由合作各方共同恪守。

（一）合作各方承诺

项目各参加单位承诺，将严格按照管理规定和项目合同要求，按期保质完成有关研究、应用与示范任务。项目执行期间，各项目参加单位均须根据广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队管理办法及规定约束各方权利和义务。

（二）评测方式/方法

1. 技术、材料、产品、装置、设备、生产线等成果需提供技术方案报告、检测报告、实物相片、实验报告、论文、专利或用户证明等相关佐证材料。

2. 技术、材料、产品、装置、装备、生产线等成果的示范、成果转化、应用与经济效益情况，可以由应用单位出具相应的应用证明。

3. 制订相关技术标准，要求至少形成企业标准。标准和技术规程需要提供备案或相关主管部门的批准材料。

4. 论文需在项目执行期间发表，主题需要与项目相关，作者中需有项目组成员，必须要有项目编号标注。

5. 专利需要在项目执行期间申请，主题需要与项目相关，完成人中需有项目组成员，要求申请的相关发明专利具有申请批准号或授权号。

6. 培养的研究生需在项目执行期间毕业，其指导教师为项目组成员，学位论文主题与项目相关，并标明项目资助。

本协议自各方盖章（签字）之日起生效，有效期至项目验收合格之日。协议一式 3 份，项目牵头单位保留 2 份，参与单位保留 1 份，具有同等法律效力。

七、专题任务合同书签约各方

项目承担单位（盖章）：华南农业大学

法定代表人（或法人代理）（签章）：

项目负责人（签章）：

2023 年 3 月 24 日

专题任务承担单位（盖章）：

法定代表人（或法人代理）（签章）：

专题负责人（签章）：

2023 年 3 月 24 日

国家发展和改革委员会
农　　业　　部　文件

发改投资〔2014〕1419号

国家发展改革委 农业部关于下达全国新增1000亿斤粮食生产能力规划科技支撑项目2014年中央预算内投资计划的通知

广东省发展改革委、农业厅：

根据《全国新增1000亿斤粮食生产能力规划（2009－2020年）》，为提高粮食生产科技支撑能力，经研究，决定从2014年中央预算内投资中安排2000万元，用于你省国家水稻种植机械化生产科技创新基地项目建设。现将项目投资计划下达给你省（见附件），并就有关事项通知如下：

一、原则同意你省上报的项目资金申请报告，请根据核定的投

资规模，指导项目单位进一步优化建设方案，核减不必要的工程建设及设备购置内容，落实建设条件，并尽快开工建设。

二、省发展改革委会同农业厅根据有关建设规划，按照固定资产投资项目管理规定，抓紧下达投资计划，明确项目建设地点、建设规模、建设工期和配套投资比例和数额。投资下达文件要同时抄报国家发展改革委、农业部备核。

三、建设资金要专款专用、专户管理、专账核算，严禁挤占、挪用。要按照固定资产投资项目管理的有关规定，建立和完善各项监管制度，加强项目建设管理，确保工程质量。

四、做好项目建设总结和信息上报工作，按照有关规定建立健全信息统计和报送制度，定期将项目建设进展、投资安排使用等情况报送国家发展改革委、农业部。

五、发展改革和农业部门要按照职责分工，密切配合，共同做好项目组织实施工作。农业部门要加强技术指导和服务，帮助项目实施单位优化建设方案。发展改革部门要加强投资管理，协调落实地方投资，做好投资计划执行和项目建设的监督检查。项目建成后，省发展改革委要会同农业厅，按规定及时组织验收。

附件：全国新增1000亿斤粮食生产能力规划科技支撑项目2014年中央预算内投资计划表

（此页无正文）





2014年6月23日

抄送：财政部（经济建设司）

附件

全国新增1000亿斤粮食生产能力规划科技支撑项目2014年中央预算内投资计划表

单位：万元

项目名称	建设性质	建设规模	开工年份	建成年份	投资类别	总投资	已下达投资	累计完成投资	计划下达投资	建设内容	备注
广东省（1项）					合计	3,450			3,450		
					中央预算内投资	2,000			2,000		
					自筹资金	1,450			1,450		
华南农业大学国家水稻种植机械化生产科技创新基地	新建	实验室改造1000m²；建设试验基地50亩，包括田间道路、围栏、防护架网等；购置必要的仪器设备和农机具65台套。	2014	2015	合计	3,450			3,450	建安工程，仪器设备、农机具购置	
					中央预算内投资	2,000			2,000		
					自筹资金	1,450			1,450		

159

关于“国家水稻种植机械化生产科技创新基地”项目子课题设置的申请

为了保证国家发展改革委新增千亿斤粮食生产能力规划支撑项目“国家水稻种植机械化生产科技创新基地”的顺利完成，经课题组充分协商，针对该课题研究方向分为 10 个子课题（见表 1）。

表 1　　子课题安排表

序号	课题名称	负责人	经费（万元）	备　注
1	水田平地作业条件模拟与平地机测试系统研究	胡炼	166	水田精准平整方向
2	水田精准平整技术研究	司欣荣	235	水田精准平整方向
3	水稻精量穴播技术研究	王在满	195	水稻精量穴播方向
4	水稻育插秧技术及设备研究	陈学深	171	水稻育插（抛）秧方向
5	水稻气力抛秧技术综合试验平台研究	王玉兴	80	水稻育插（抛）秧方向
6	种植机械自动导航技术研究	张智刚	195	种植机械自动导航方向
7	土壤机器系统试验平台研究	曾山	260	水稻精量穴播方向
8	田间机具性能测试系统研究	周志艳	123	种植机械自动导航方向
9	多功能液压测试平台研究	杨文武	100	水稻精量穴播方向
10	整机动静态试验平台研究	臧英	180	种植机械自动导航方向
	合计		1694	

以上各子课题负责人与项目负责人单独签定合作协议书，各子课题不单独开设经费卡。

项目负责人：

2015 年 5 月 13 日

国家水稻种植机械化生产科技创新基地
实施合作协议书

为了保证国家发展改革委新增千亿斤粮食生产能力规划支撑项目“国家水稻种植机械化生产科技创新基地”（以下简称课题）的顺利完成，经课题组充分协商，针对该课题研究内容分为 10 个课题之一“水稻气力抛秧技术综合试验台”（以下简称子课题）的实施工作安排，达成如下协议

一、子课题研究任务

1、研究任务

研发水稻气力抛秧技术综合试验台。

水稻气力抛秧技术综合试验台是开展水稻气力有序抛秧关键技术的关键设备，特别是在提高抛秧机在不同的作业环境下的适应性方面；同时，也为开展带自动装盘系统和自动回收秧盘系统的气力有序抛秧机创造条件。

2、试验台的功能

1）不同作业速度下：

①测试秧苗吹落过程中的运动姿态和运动轨迹（配高速摄影机）；研究钵体苗运动姿态对提高抛秧过程中的立苗率有重要作用；运动轨迹主要是要研究抛秧过程中，钵体苗与导苗管的碰撞，对保持钵土、减少漂秧情况发生意义显著。

②测试抛秧耗气量；

③测试的压力变化；

④各喷嘴的气流量变化；

⑤导苗管气流场；

⑥储气罐容积匹配；

通过对耗气量、压力、流量等参数的测量，为最终优化气源的压力和流量参数提供依据，即得到能满足抛秧机正常工作的最小气源。

2）不同落差情况下：

测试不同自然风力对抛秧精度的影响；改变风力，检测出不同风力作用下，对抛秧株距、行距和立苗率的影响。

3）测试自动装盘系统；在抛秧试验台工作装置中增加自动装盘系统，主要是检测在不同作用速度下，该系统的工作效果。自动装盘系统是为提高抛秧机的工作效率、减小操作者劳动强度的装置，是整个抛秧机的关键环节之一；

4）测试自动回收秧盘系统。自动回收秧盘系统是抛秧机的另一关键环节，如果不能回收秧盘，钵体苗就可能落到秧盘上，从而造成漏秧。对该系统的测试，也是检测在不同作用速度下，该系统的工作效果。

二、子课题考核指标

考核指标以课题任务中相应的考核指标为准。

遵循项目和课题管理要求，按期提交研究任务内相关文档。

三、经费分配

课题研究经费总额为3450万元，其中分配给本子课题的实施经费为80万元.

四、知识产权

子课题实施过程中形成的一切成果和无形资产，均属课题组所有，参与成员署名需经课题负责人同意。

五、研发人员

姓名	性别	年龄	所在单位	职务职称	业务专业	为本课题工作时间(%)	在课题中分工	签名
王玉兴	男		华南农业大学	主任教授	工程机械	70%	项目负责人	
唐艳芹	女		华南农业大学	副教授	农业机械	40%	机械设计	
曾　文	男		华南农业大学	讲师	农业机械	40%	试验机结果分析	
张增学	男		华南农业大学	讲师	农业机械	40%	技术参数优化.	
殷彦斌	男		华南农业大学	硕士研究生	农业机械	80%	试验与分析	
徐振华	男		华南农业大学	硕士研究生	农业机械	40%	试验与分析	

五、协议的变更

本协议可以由双方根据实际情况的变化通过友好协商边行变更。

六、本协议一式叁份，双方各执壹份，课题承担单位壹份，具有同等效力。

课题负责人（签字）：　　子课题负责人（签字）：

课题承担单位（盖章）：

年　月　日

中国农村技术开发中心文件

国科农技字〔2017〕29号

关于国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项2017年度项目立项的通知

各项目牵头单位:

国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项 2017 年度项目立项工作已经完成，具体立项情况详见附件。

请你们会同各项目承担单位，根据《国务院关于改进加强中央财政科研项目和资金管理的若干意见》（国发〔2014〕11号）、《国务院印发关于深化中央财政科技计划（专项、基金等）管理改革方案的通知》（国发〔2014〕64号）、《科技部 财政部关于印发中央财政科技计划（专项、基金等）监督工作暂行规定的通知》（国科发政〔2015〕471 号）、《财政部 科技部关于印发<国家重点研发计划资金管理办法>的通知》（财科教〔2016〕113 号）、《科技部 财政部关于印发<国家重点研发计划管理暂行办法>的通知》（国科

发资〔2017〕152 号）及项目实施期间出台的国家重点研发计划管理有关规章制度的要求，依照项目（课题）任务书，认真落实项目承担单位法人责任制，合理配置单位人力、物力、财力资源，为项目（课题）实施提供必要条件保障；按照全链条创新设计、一体化组织实施的要求，切实加强项目（课题）之间的衔接与交流，促进项目（课题）间资源与信息的开放共享；严格按照中央财政科研经费管理的有关规定，资金专款专用，纳入单位财务统一管理；加强经费管理，强化预算执行，提高资金使用绩效；落实科技报告管理有关规定，项目（课题）实施中实行重要事项报告制度；做好知识产权和文档管理；加强重点成果凝练；自觉接受专项统一的协同联动与相关监督，确保项目（课题）的研究开发目标和任务按期完成。

附件：1. 国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项2017 年度项目立项表

2. 项目立项批复（根据不同项目分印至各项目牵头单位）

中国农村技术开发中心

2017 年 6 月 28 日

（此件依申请公开）

抄送：科技部农村科技司、资源配置与管理司、政策法规与监督司。
教育部科学技术司、农业部科技教育司、国务院国有资产监督管理委员会规划发展局、北京市科学技术委员会、山东省科学技术厅、广东省科学技术厅、农业装备产业技术创新战略联盟、中国机械工业集团战略投资部、中国农业科学院、中国农业机械化科学研究院、北京市农林科学院。
各课题承担单位。

中国农村技术开发中心　　2017年6月28日印发

附件 1

国家重点研发计划“智能农机装备”重点专项
2017 年度项目立项表

序号	项目编号	项目名称	项目牵头单位
1	2017YFD0700100	农机装备智能化设计技术研究	中国农业大学
2	2017YFD0700200	农机装备制造过程质量检测技术研究	洛阳拖拉机研究所有限公司
3	2017YFD0700300	农机装备试验验证方法与技术研究	中国农业大学
4	2017YFD0700400	基于北斗的农机定位与导航技术装置研究	华南农业大学
5	2017YFD0700500	农机变量作业技术与装置研究	中国农业机械化科学研究院
6	2017YFD0700600	农机作业与运维智能管理技术系统研究	北京农业智能装备技术研究中心
7	2017YFD0700700	精量播种技术装备研发	雷沃重工股份有限公司
8	2017YFD0700800	高速栽植技术装备研发	现代农装科技股份有限公司
9	2017YFD0700900	多功能田间管理作业技术装备研发	中国农业机械化科学研究院
10	2017YFD0701000	农用航空作业关键技术研究与装备研发	农业部南京农业机械化研究所
11	2017YFD0701100	农田提质工程技术与装备研发	北京天顺长城液压科技有限公司
12	2017YFD0701200	种子繁育技术装备研发	青岛农业大学
13	2017YFD0701300	蔬菜智能化精细生产技术与装备研发	农业部南京农业机械化研究所
14	2017YFD0701400	现代果园智能化精细生产管理技术装备研发	山东永佳动力股份有限公司
15	2017YFD0701500	温室智能化精细生产技术与装备研发	农业部规划设计研究院
16	2017YFD0701600	设施畜禽养殖智能化精细生产管理技术装备研发	广东温氏食品集团股份有限公司
17	2017YFD0701700	设施水产养殖智能化精细生产管理技术装备研发	中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所

附件 2-13

“蔬菜智能化精细生产技术与装备研发”项目立项批复

一、项目名称（编号）：蔬菜智能化精细生产技术与装备研发（2017YFD0701300）。

二、项目牵头单位：农业部南京农业机械化研究所，项目负责人：曹光乔。

三、项目执行年限：2017 年 1 月-2020 年 12 月。

四、项目总经费：5166 万元，其中中央财政经费 2516 万元。

五、项目目标和主要考核指标：

项目目标：本项目针对叶类、根茎类和茄果类蔬菜规模化生产的技术需要，围绕土壤-作物-机器耦合作用机理、精细生产及智能控制、装备系统集成等方面的关键科学问题，突破蔬菜精细耕整作畦、精量点（穴）播、育苗及高速定植、水肥精量施用、叶类及根茎类蔬菜收获和双动力驱动等关键技术，研制具备主要参数实时采集、故障诊断与自动监控功能的装备，进行蔬菜全程智能化、机械化生产技术装备集成与示范，构建农机、农艺、农信紧密融合的机械化生产技术体系。减轻菜农劳动强度、降低蔬菜生产成本，推动蔬菜产业健康可持续发展。

主要考核指标：突破关键核心技术 10 项，研制蔬菜智能化精细生产装备 13 台（套），制定企业标准 8 项以上、技术规程

3项以上；申请发明专利10项以上；发表论文10篇以上。在江苏、内蒙古和山东等主产区建立蔬菜生产全程机械化试验示范基地3个，示范面积30000亩次。

详细考核指标以项目任务书为准。

六、项目课题安排

序号	课题编号	课题名称	课题负责人	课题承担单位	中央财政经费（万元）
1	2017YFD0701301	蔬菜标准化育苗与水肥精量施用技术装备研究	夏红梅	华南农业大学	443
2	2017YFD0701302	蔬菜精细耕整与精量播种技术装备研究	陆春胜	上海市农业机械研究所	447
3	2017YFD0701303	蔬菜小苗高速定植技术与装备研究	崔巍	现代农装科技股份有限公司	514
4	2017YFD0701304	叶类蔬菜有序收获技术与装备研究	曹光乔	农业部南京农业机械化研究所	603
5	2017YFD0701305	根茎类蔬菜收获技术与装备研究	王金武	东北农业大学	509

子课题编号： **2017YFD0701301-01** 密　　级：公开

国家重点研发计划
子课题任务书

课题名称：　蔬菜标准化育苗与水肥精量施用技术装备研究

所属项目：　蔬菜智能化精细生产技术与装备研发

所属专项：　智能农机装备

课题承担单位：　华南农业大学

课题负责人：　夏红梅

子课题承担单位：　华南农业大学

课题负责人：　夏红梅

执行期限：　2017 年 07 月 至 2020 年 12 月

中华人民共和国科学技术部制

2017 年 9 月 15 日

九、子课题参加人员基本情况表

填表说明： 1.职称分类：A、正高级　B、副高级　C、中级　D、初级　E、其他；
2.投入本课题的全时工作时间（人月）是指在课题实施期间该人总共为课题工作的满月度工作量；累计是指课题组所有人员投入人月之和；
3.课题固定研究人员需填写人员明细；
4.是否有工资性收入：Y、是　N、否；
5.人员分类代码：A、课题负责人　B、课题骨干　C、其他研究人员。

序号	姓名	性别	出生日期	身份证号码（军官证、护照）	技术职称	职务	学位	专业	投入本子课题的全时工作时间（人月）	人员分类	是否有工资性收入	在子课题中分担的任务
1	夏红梅	女	- -		副高级	无	博士	农业工程	35	课题负责人	是	负责总体组织协调，成套装备的生产示范。
2	李志伟	男	- -		正高级	无	博士	农业工程	30	课题骨干	是	负责蔬菜精量播种机构的研制。
3	甄文斌	女	-		副高级	无	硕士	农业工程	35	课题骨干	是	负责纸钵穴盘育苗纸钵基质定形自动化生产装备研制。
4	杨意	女	- -		中级	无	硕士	农业工程	25	课题骨干	是	负责纸钵基质穴盘补苗装备研制
5	曾文	男	- -		中级	无	博士	农业工程	35	课题骨干	是	负责凝练代表性成套蔬菜机械化生产装备系统。
		固定研究人员合计							160	/	/	/
		流动人员或临时聘用人员合计							0	/	/	/
		累计							160	/	/	/

SCAULIB202625910

检索证明

根据委托人提供的论文材料，委托人华南农业大学工程学院 曾文(学科类型:自然科学) 13 篇论文收录情况如下表。

序号	论文名称	发表刊物及发表的年月卷期/页码等	作者排名	论文等级	作者文中单位	收录情况	影响因子	中科院大类分区
1	用 P20 型植保无人机减量施药防治稻纵卷叶螟	农业工程学报 出版年：2021 出版日期：2021-08-08 卷期：37 15 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	A 类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无
2	新型机械式无级变速器的设计及优化	中国机械工程 出版年：2013 出版日期：2013-07-02 16:22 卷期：24 13 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	B 类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无
3	惯性导航平台减振装置设计及其动态特性分析	机械科学与技术 出版年：2013 出版日期：2013-08-15 卷期：32 08 页码：- 文献号：	第一作者	B 类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

		文献类型：期刊论文						
4	陀螺仪安装支架的动态特性分析与优化	机械设计 出版年：2013 出版日期：2013-08-20 卷期：30 08 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	B类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无
5	农机制造企业质量控制信息系统的设计与实现	中国农机化学报（中国农机化） 出版年：2013 卷期： 页码：- 文献号： 文献类型：	第一作者	C类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无
6	柑橘梳剪采收末端执行装置设计	林业机械与木工设备 出版年：2019 出版日期：2019-09-15 卷期：47 09 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无

华南农业大学图书馆 查重检索专用章

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

7	基于相对极差转换的小批量生产过程质量控制研究	湖南科技学院学报 出版年：2013 出版日期：2013-08-01 卷期：34 08 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无
8	基于虚拟现实的液压综合实验平台设计与实现	实验室研究与探索 出版年：2025 出版日期：2025-04-11 14:49 卷期：44 04 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	C 类	华南农业大学工程学院	北大核心	无	无
9	液压与气动课程综合教学改革探索	中国现代教育装备 出版年：2024 出版日期：2024-05-20 卷期： 09 页码：- 文献号： 文献类型：期刊论文	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	CNKI	无	无
10	液压与气压传动课程教学改革研究	中国电力教育 出版年：2014 卷期： 页码：- 文献号：	第一作者	普刊类	华南农业大学工程学院	万方	无	无

华南农业大学图书馆 查重专用章

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

检索员：刘汉忠
华南农业大学图书馆
2026-03-11

华南农业大学图书馆SCAULIB20262591O

《中文核心期刊要目总览》收录
Ei Compendex(核心版)收录
百种中国杰出学术期刊
RCCSE中国权威学术期刊

ISSN 1002-6819
CN 11-2047/S
CODEN NGOXEO
www.tcsae.org

农业工程学报

NONGYE GONGCHENG XUEBAO | TRANSACTIONS OF THE CHINESE SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING

2021年 第37卷 VOL. 37 15



扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

农 业 工 程 学 报

2021 年 8 月第 15 期　总第 415 期（第 37 卷）

目　次

·农业装备工程与机械化·

双螺旋对辊式辣椒收获装置的设计与试验
……袁小伟，杨双平，金若成，赵黎炜，道尔吉才仁，郑　楠，付温平（1）

红花采摘机器人集条预定位机构设计与试验……陈　飞，葛　云，张立新，戚祝晖，曾海峰（10）

芦苇笋采收机研制……廖　凯，古全元，高自成，向明友，汤　佟，闵淑辉，李立君（20）

葡萄株间除草机精准避障控制系统优化设计与试验
……徐丽明，赵诗建，马　帅，牛　丛，闫成功，卢彩云（31）

小功率非道路用柴油机燃烧过程优化与降噪……马志豪，刘瑜娜，董永超，王旭东，吴士清（40）

基于传递熵的泵站管道振动传递路径特性分析
……张建伟，杨　灿，黄锦林，曹克磊，叶合欣，李紫瑜（47）

·农业航空工程·

用 P20 型植保无人机减量施药防治稻纵卷叶螟
……曾　文，邓继忠，高启超，贾瑞昌，兰玉彬，张建钣，陈鹏超，肖汉祥，张亚莉（53）

·农业水土工程·

增强小浪底调水调沙后续动力的三门峡水库水位方案优选……张金良，鲁　俊，高　兴，赵梦龙（60）

串联输水渠系控制解耦算法优化与仿真……管光华，刘王嘉仪（68）

非均匀应力场作用下圆形水工隧洞开挖与支护参数设计
……吴庆良，吴梦军，方　林，向　荣，刘冒侠，郭鸿雁（78）

有机无机肥配施对盐渍化土壤微生物量和呼吸的影响
……周　慧，史海滨，张文聪，王维刚，苏永德，闫　妍（86）

生长模型和 ^{15}N 示踪评价施肥处理对苹果树氮肥利用的影响
……韩佳乐，冯　涛，朱志军，李鹏飞，张阿凤，同延安，王旭东（96）

河套灌区乌拉特灌域春季土壤盐碱化空间分布特征
……王瑞萍，万核洋，陈　帅，夏玉红，白巧燕，彭遵原，尚松浩（105）

农田排水口高度对地表径流氮磷流失的影响……马瑛骏，万　辰，张克强，姜海斌，王　凤，沈仕洲（114）

·农业信息与电气技术·

利用太赫兹光谱技术构建番茄水分胁迫状态检测模型
……张晓东，段朝晖，毛军平，高洪燕，石　强，王亚飞，沈宝国，张　馨（121）

基于融合坐标信息的改进 YOLO V4 模型识别奶牛面部
……杨蜀秦，刘杨启航，王　振，韩媛媛，王勇胜，蓝贤勇（129）

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

·农业航空工程·

用 P20 型植保无人机减量施药防治稻纵卷叶螟

曾 文[1,2]，邓继忠[1,2]，高启超[1,2]，贾瑞昌[1,2]，兰玉彬[2,3]，
张建钪[1,2]，陈鹏超[2,3]，肖汉祥[4]，张亚莉[1,2※]

（1. 华南农业大学工程学院，广州 510642；2. 国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心，广州 510642；
3. 华南农业大学电子工程学院，广州 510642；4. 广东农业科学研究院植物保护研究所，广州 510640）

摘 要：为探讨植保无人机（UAV）减量施药对水稻病虫害的防治效果，该研究采用 P20 型植保无人机进行水稻田间施药作业。分别在水稻分蘖末期、孕穗期开展了两种施药液量（15、22.5 L/hm²）的水稻冠层雾滴沉积试验，以及两种施药液量下 480、540、600 mL/hm² 3 种农药剂量（阿维·氯苯酰推荐剂量的 80%、90%、100%）的防治稻纵卷叶螟减量施药田间药效试验，并与背负式电动喷雾器（Knapsack Electric Sprayer，KES）人工施药的常规防治方法进行施药效果对比。雾滴沉积试验结果表明，水稻冠层上部的雾滴分布均匀性优于水稻冠层下部；施药液量 15、22.5 L/hm² 的冠层上部雾滴沉积有显著差异，且施药液量 22.5 L/hm² 的冠层上部雾滴沉积显著优于施药液量 15 L/hm²。药效试验结果表明，农药剂量越大稻纵卷叶螟防治效果越好，采用农药剂量 100%的植保无人机施药防治效果最好，并优于 KES 人工施药；施药液量 15、22.5 L/hm² 的稻纵卷叶螟防治效果有显著差异，且施药液量 22.5 L/hm² 较 15 L/hm² 的防治效果更好；施药液量 15 L/hm² 且农药剂量 90%、施药液量 22.5 L/hm² 且农药剂量 80%与 KES 人工施药的防治效果没有显著差异。采用植保无人机施药防治稻纵卷叶螟，施药液量 22.5 L/hm² 可以获得更好的雾滴沉积和稻纵卷叶螟防治效果；施药液量 22.5 L/hm² 时，减少 20%的农药剂量也能保证稻纵卷叶螟防治效果。该结果对水稻田间植保无人机减量施药具有实践指导意义。

关键词：无人机；喷雾；减量施药；雾滴沉积；稻纵卷叶螟
doi：10.11975/j.issn.1002-6819.2021.15.007
中图分类号：S252 **文献标志码**：A **文章编号**：1002-6819(2021)-15-0053-07

曾文，邓继忠，高启超，等. 用 P20 型植保无人机减量施药防治稻纵卷叶螟[J]. 农业工程学报，2021，37(15)：53-59.
doi：10.11975/j.issn.1002-6819.2021.15.007 http://www.tcsae.org
Zeng Wen, Deng Jizhong, Gao Qichao, et al. P20 plant protection UAV to control cnaphalocrocis medinalis by reduced pesticide application[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(15): 53-59. (in Chinese with English abstract) doi：10.11975/j.issn.1002-6819.2021.15.007 http://www.tcsae.org

0 引 言

水稻是中国的主要粮食作物之一，也是世界上主要的粮食作物，是全世界超过 30 亿人口的主要食粮[1]。水稻病虫害是制约水稻安全生产的主要因素。水稻病虫害种类繁多，水稻的病害据记载有 61 种，害虫有 78 种，其中稻飞虱、稻纵卷叶螟、二化螟、稻瘟病、纹枯病、稻曲病等经常发生且严重影响产量[2-3]。目前，国内水稻病虫害防治施药作业的主要方式有人工喷施、地面机械喷施和航空喷施三种方式。由于水稻田的特殊作业条件，地面机械在水稻田中作业困难，且易压坏秧苗，其作业成本高、农药利用较低[4-6]。人工喷施劳动强度大，喷药均匀性差，对施药人员会产生严重药害，同时大容量喷雾导致农药有效利用率较低，对生态环境造成严重的危害[7]。航空喷施作业效率高、成本低、施药效果好，克服了地面机械水田作业困难、人工喷施劳动强度大及药害的问题。

近年来，植保无人机航空喷施的迅猛发展和应用引起了人们的广泛关注，并得到了广泛的推广应用[8-11]。各国学者也针对植保无人机航空施药的作业参数、工效、喷雾系统[12-15]，雾滴飘移沉积规律[16-18]，病虫害防治效果[19-20]等开展了大量的研究。陈盛德等[21]比较分析了植保无人机和人工两种水稻施药作业的喷施方式，发现航空喷施优于人工喷施的雾滴沉积效果，且作业效率高、成本低、效益高。薛新宇等[22]开展了飞机不同作业高度和不同喷洒浓度的田间药效试验，结果显示，N-3 型无人直升机对稻飞虱和稻纵卷叶螟的防治效果均优于传统担架式喷雾机。陈盛德等[23]研究了单旋翼无人机不同飞行高度、飞行速度下水稻冠层的雾滴沉积分布，结果显示，飞行高度和飞行速度对雾滴平均沉积量有显著影响，对雾滴沉积均匀性影响不显著。漆海霞等[24]研究了不同旋翼类型和喷头类型对雾滴沉积的影响，发现相比液力式喷头，离心喷头雾滴沉积粒径更小，且可以获得更好的雾滴穿

收稿日期：2021-04-23 修订日期：2021-07-21
基金项目：国家重点研发计划（2018YFD0200304）；广东省重点领域研发计划（2019B020221001）；广东省科技计划项目（2018A050506073）；广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队项目（2020KJ133）；广州市科技计划项目（201807010039）；高等学校学科创新引智计划（D18019）
作者简介：曾文，博士，讲师，研究方向为农业机械装备设计、植保无人机精准施药技术。Email：zengwen@scau.edu.cn
※通信作者：张亚莉，博士，副教授，研究方向为农业航空传感器技术与农产品产地环境监测。Email：ylzhang@scau.edu.cn
中国农业工程学会高级会员：张亚莉（E041200939S）

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

透效果。李继宇等[25]研究了无人机 4 种喷雾粒径的水稻冠层雾滴沉积效果，发现 4 种粒径的雾滴在水稻冠层的分布均匀性和穿透性都较好，且雾滴粒径越小，沉积量越大，分布均匀性越好。张海艳等[26]测试和对比了电动单旋翼与电动多旋翼植保无人机在水稻田间的作业效果，结果表明，单旋翼植保无人机喷施效果更好，两种类型的植保无人机对水稻病虫害的防治效果均能达到国家防效标准。Qin 等[27]研究了单旋翼无人机飞行高度、飞行速度等参数对水稻冠层和底部的雾滴沉积、稻飞虱防效的影响，发现飞行高度 1.5 m、飞行速度 5 m/s 时冠层底部的雾滴沉积量最大，同时稻飞虱防治效果最好。

目前国内外学者在水稻植保无人机施药技术领域主要研究了不同的旋翼、飞行高度、飞行速度、喷头类型、施药液量下的雾滴沉积分布规律，植保无人机施药与人工施药的作业效率与病虫害防效对比。对于植保无人机不同施药液量下减量施药对水稻病虫害防治效果的研究尚未见相关报导。因此，本文通过 P20 植保无人机两种施药液量下水稻冠层的雾滴沉积分布试验、两种施药液量下的不同农药剂量对稻纵卷叶螟防治效果的田间试验，研究不同施药液量、农药剂量等因素下，植保无人机减量施药对水稻病虫害防治效果的影响，拟为植保无人机农药减施增效提供理论指导和数据支持，促进农药减量使用，提升农药利用率。

1 材料与方法

1.1 试验材料

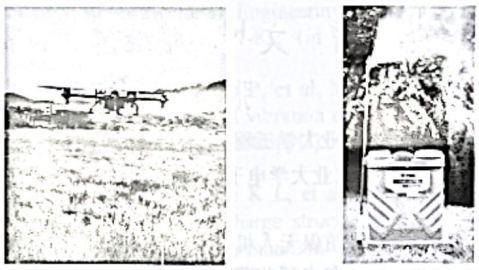
本次试验的试验田位于中国广东省肇庆市高要区（23°13'56"N，112°19'26"E）。水稻品种为自留种籼稻，采用久保田（2ZGQ-6D1）乘座式高速插秧机进行移栽，其行距为 30 cm，穴距为 18 cm，漏秧率≤2%，移栽密度为 1.82×10^5 穴/hm^2。

药剂为阿维·氯苯酰（Acitretin · Chlorobenzoyl），生产厂家：先正达南通作物保护有限公司，剂型：悬浮剂，有效成分为阿维菌素 17 g/L、氯虫苯甲酰胺 43 g/L，推荐剂量：600～750 mL/hm^2，防治对象：稻纵卷叶螟、二化螟。

1.2 施药设备

本试验使用的植保无人机为广州极飞科技有限公司生产的 P20 型 4 旋翼无人机（如图 1a 所示）。该植保无人机搭载 SUPERX®3 Pro RTK 飞控系统，可实现厘米级精准导航；搭载使用离心雾化喷头的喷洒系统，可通过控制离心雾化喷头的转速调整雾化颗粒的大小。P20 植保无人机作业时可根据需求设置飞行高度、飞行速度、喷幅、雾滴粒径、施药液量等作业参数，喷洒系统根据飞行速度、喷幅、施药液量等参数自动计算泵的流量，以保证施药液量的精确性。对照使用的电动喷雾器为艺锦园公司 3WBD-20 型背负式电动喷雾器（如图 1b 所示），经水敏纸测试，其雾滴体积中径（DV50）为 410 μm。P20 型植保无人机与 3WBD-20 型背负式电动喷雾器的参数如表 1 所示。

依据前人研究基础[21,23,26-27]及作业实践经验，除施药液量外，植保无人机施药的其他作业参数均设置为飞行速度 4 m/s、高度 2 m、喷幅 3.5 m，雾滴粒径 125 μm，背负式电动喷雾器的施药液量按农药兑水建议设置为 450 L/hm^2。



a. 极飞植保无人机 P20 b. 背负式电动喷雾器
a. XAG P20 plant protection UAV b. Knapsack Electric Sprayer (KES)

图 1 施药设备

Fig.1 Spraying equipment

表 1 P20 植保无人机及背负式电动喷雾器参数

Table 1 Parameters of the P20 plant protection UAV and the KES

参数 Parameters	P20 植保无人机 P20 plant protection UAV	背负式电动喷雾器 KES
旋翼数量 Rotor numbers	4	/
飞行速度 Flight speed/(m·s^{-1})	1~12	/
飞行高度 Flight height/m	1~10	/
喷幅 Spraying width/m	2~5	1
雾滴粒径 Droplet size/μm	90~300	410
泵类型 Pump type	蠕动泵	隔膜泵
喷头类型 Nozzle type	离心雾化喷头	压力雾化喷头
喷头数量 Nozzle numbers	4	1
药箱容积 Tank capacity/L	10	20

1.3 试验设计

为验证无人机施药时不同施药液量和不同农药剂量对水稻病虫害防治效果的影响，根据作业实践经验设置 2 个施药液量，分别为 15、22.5 L/hm^2；设置 3 个农药剂量为 480、540、600 mL/hm^2，分别为阿维·氯苯酰推荐剂量（600 mL/hm^2）的 80%、90%、100%。为与无人机减量施药进行对比，设置 1 个背负式电动喷雾器（Knapsack Electric Sprayer, KES）人工施药的常规防治处理区，以及 1 个不施用农药的空白对照（CK）处理区。根据试验田情况，将试验田划分成如表 2 所示的 8 个处理区，为避免相邻处理区间雾滴漂移的影响，每个处理区距边缘 3 m 内作为缓冲区，缓冲区内不采集雾滴沉积数据，也不调查防效数据。在防效调查时，按处理区长度将每个处理区等量划分成 5 个小区，作为同一处理的多次重复。

表 2 试验田处理区

Table 2 Treatment plots in the experiment field

处理 Treatments	施药方式 Spray method	施药液量 Spray volume/(L·hm^{-2})	农药剂量 Pesticide dosage/%	宽度 Width/m	长度 Length/m	面积 Area/hm^2
T1	UAV	15	80	30	100	0.3
T2	UAV	15	90	30	100	0.3
T3	UAV	15	100	30	100	0.3
T4	UAV	22.5	80	20	100	0.2
T5	UAV	22.5	90	20	100	0.2
T6	UAV	22.5	100	20	100	0.2
T7	KES	450	100	20	100	0.2
T8	CK	0	0	20	30	0.06

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

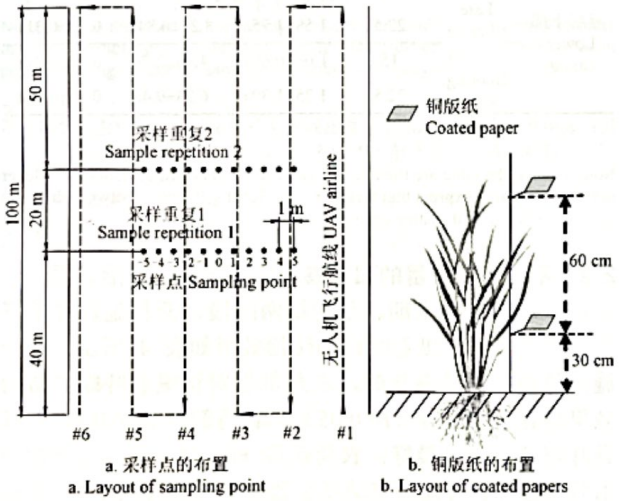
1.4　雾滴沉积测试与方法

为研究雾滴沉积与水稻病虫害防治效果的关系，在无人机施药过程中，同时开展水稻雾滴沉积试验。在植保无人机施药作业时，沿幅宽方向和喷雾路径方向的雾滴沉积会随气象条件和操作员水平产生变化[28]。为尽可能消除这种变化的影响，本次研究中在喷雾路径方向设置了两条雾滴沉积的采样带，采样带间隔为 20 m。在幅宽方向布置了 11 个采样位置，幅宽方向采样位置间隔为 1 m（图 2a）。为避免相邻田块施药的交叉影响，所有采样位置布置在田块中心位置。由于植保无人机施药时，相同施药液量下雾滴沉积的差异很小，所以本次研究选取了处理区 T3（农药剂量 100%，施药液量 15 L/hm^2）、处理区 T6（农药剂量 100%，施药液量 22.5 L/hm^2）设置了雾滴沉积数据采集。

雾滴沉积测试中常采用水敏纸收集雾滴，但在水稻田使用时，水敏纸易受到稻田中水的污染，因此试验中改用铜版纸进行雾滴收集。同时采用罗丹明 B 玫瑰红染色剂作为雾滴示踪剂，每升水中添加 10 g 罗丹明 B 染色剂。

每个采样位置处插一根塑料杆，使用双头夹将两片铜版纸水平布置在杆上下两个位置，上层位置的铜版纸位于水稻冠层顶部位置，下层位置的铜版纸位于水稻冠层下部位置（图 2b），分别用来采集水稻冠层上部和下部沉积的雾滴。

在施药结束后，为避免收集铜版纸时水稻叶面上的雾滴掉落到铜版纸上，待水稻叶面和铜版纸上的雾滴干燥后收集铜版纸。铜版纸收集后，为保护罗丹明 B 的示踪效果，将每片铜版纸单独装入拉链密封袋中，在密封袋上标记处理区号、采样点等信息，并尽快送回实验室进行雾滴数据分析。



a. 采样点的布置　　b. 铜版纸的布置

a. Layout of sampling point　　b. Layout of coated papers

注：#1～#6 为 UAV 飞行航线。

Note: #1-#6 is airlines of UAV.

图 2　雾滴沉积采样点及铜版纸布置示意图

Fig.2　Schematic diagram of droplet deposition sampling point and coated papers layout

铜版纸使用分辨率 600 dpi 的扫描仪进行扫描，然后用图像处理软件 DepositScan (USDA, USA)[29]进行图像识别与分析，获取纸卡选取区域中的所有雾滴，计算雾滴直径、体积，并最终获得雾滴覆盖率、雾滴密度、雾滴沉积量等数据[29-30]。雾滴直径计算公式为

$$d=1.06\,A^{0.455} \tag{1}$$

式中 d 为雾滴直径，μm；A 为图像识别后的雾滴面积，μm^2。雾滴面积用扫描图像雾滴的像素数量进行计算。

雾滴体积计算公式为

$$V=\frac{\pi d^3}{6} \tag{2}$$

式中 V 为雾滴体积，μm^3。

雾滴覆盖率、雾滴密度、雾滴沉积量计算公式分别为

$$C_{cov}=\frac{A_N}{A_S}\times 100\% \tag{3}$$

$$D_{den}=\frac{N}{A_S} \tag{4}$$

$$E_{dep}=\frac{V_N}{A_S} \tag{5}$$

式中 C_{cov} 为雾滴覆盖率，%；D_{den} 为雾滴密度，滴/cm^2；E_{dep} 为雾滴沉积量，μL/cm^2；N 为纸卡选取区域内雾滴的总数量；A_N 为纸卡选取区域内所有雾滴的总面积，cm^2，A_S 为纸卡选取区域面积，cm^2；V_N 为纸卡选取区域内所有雾滴的体积，μL。

1.5　稻纵卷叶螟减量施药测试与防效调查

在本次施药作业时，试验田水稻纹枯病、稻瘟病、稻飞虱、二化螟不明显，以预防为主。稻纵卷叶螟较严重，因此本次试验主要防治稻纵卷叶螟。为保证施药效果，分别于水稻分蘖末期和孕穗期进行了两阶段施药作业。两阶段施药的处理区划分、农药、农药剂量、施药液量均相同。使用气象仪记录两次试验期间气象数据，试验期间田间温度、相对湿度、风速分别为 27.3～34.5 ℃、52.3%～65.4%、0.15～1.52 km/h。

依据农药田间药效试验准则[31]，针对水稻稻纵卷叶螟进行了施药效果调查与记录。共进行了 3 次稻纵卷叶螟的调查，第一次调查为施药前 1 天，第二次调查为第一次施药后 15 天，第三次调查为第二次施药后 7 天。将每个处理区划分为 5 个小区，每个小区采用 5 点平行取样方法，每点取样 5 穴水稻，共 25 穴。记录每个取样点的处理区号、小区号、株数、叶片数（每株水稻按 4 片叶子计算）、卷叶数。利用以下公式计算每个处理区的卷叶率（Leaf Roll Rate，R_{LRR}）和防治效果（Control Efficacy，R_{CE}）指标[31]。

$$R_{LRR}=\frac{N_R}{N_T}\times 100\% \tag{6}$$

$$R_{CE}=\frac{R_{CK}-R_{PT}}{R_{CK}}\times 100\% \tag{7}$$

式中 R_{LRR} 为卷叶率，%；R_{CE} 为防治效果指标，%；N_R 为调查卷叶数；N_T 为调查总叶数；R_{CK} 为空白对照区药后卷叶率，%；R_{PT} 为处理区药后卷叶率，%。

1.6　数据分析

试验数据采用 EXCEL2013(Microsoft Inc., USA)软件进行录入、整理，利用 SPSS19.0(SPSS Inc., USA) 统计分

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

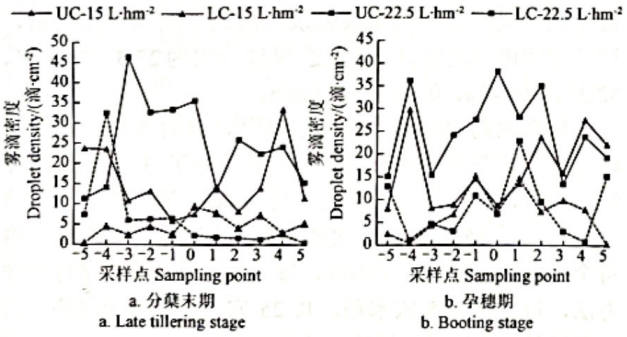
析软件进行 Duncan 法多重比较及显著性分析（α=0.05），分析图采用 EXCEL 2013 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 雾滴沉积与分布情况

2.1.1 不同施药液量的雾滴分布均匀性

雾滴在田间的分布均匀性对水稻病虫害的防治有重要影响。为描述雾滴田间分布的均匀性，采用各采样点雾滴密度的变异系数（Coefficient of Variation，CV）作为雾滴分布均匀性的指标。图 3a、3b 分别为水稻分蘖末期、孕穗期两阶段施药后，田间各雾滴采样点水稻冠层上部（Upper Canopy，UC）、冠层下部（Lower Canopy，LC）的雾滴沉积分布。水稻分蘖末期，施药液量 22.5 L/hm^2 时水稻冠层上部、下部的雾滴密度变异系数分别为 35.04%、82.71%；施药液量 15 L/hm^2 时水稻冠层上部、下部的雾滴密度变异系数分别为 49.3%、72.44%。水稻孕穗期，施药液量 22.5 L/hm^2 时水稻冠层上部、下部的雾滴密度变异系数分别 44.55%，143.95%；施药液量 15 L/hm^2 时水稻冠层上部、下部的雾滴密度变异系数分别 55.61%，57.94%。结果表明，冠层上部的雾滴分布均匀性明显优于冠层下部。冠层上部的雾滴分布主要取决于无人机离心雾化喷头的雾滴分布。冠层下部雾滴分布均匀性较差，可能主要有以下原因：水稻每个位置的疏密、长势有区别，导致雾滴穿透量不一致；无人机的下旋风场使水稻产生倒伏，倒伏中心位置冠层底部裸露，因而雾滴沉积量大，倒伏四周水稻堆叠使得雾滴无法穿透，因此雾滴沉积量极少。



注：UC 为冠层上部，LC 为冠层下部。15, 22.5 为施药液量。
Note: UC is upper-canopy, LC is lower-canopy. 15, 22.5 is spray volume.

图 3 不同施药液量下两生育阶段施药的水稻冠层雾滴沉积分布

Fig.3 Droplets distribution on the rice canopy for two growth stages under different spray volume

2.1.2 不同施药液量对雾滴沉积的影响

水稻分蘖末期、孕穗期两施药阶段，水稻冠层的雾滴沉积如表 3 所示。结果显示，分蘖末期、孕穗期水稻冠层上部的雾滴沉积均远远大于下部，相同施药阶段与施药液量时，水稻冠层上部和下部的雾滴沉积量均有极显著差异（P<0.01）。施药液量 22.5、15 L/hm^2 时，水稻冠层上部雾滴沉积量分别较冠层下部增加了 208.42%、152.81%。可能主要是因为水稻分蘖末期、孕穗期，水稻高度已接近 90 cm，长势茂盛，无人机施药的雾滴穿透性不足。

水稻分蘖末期、孕穗期两施药阶段，施药液量 22.5 与 15 L/hm^2 的水稻冠层上部雾滴沉积量均有显著差异（分别为 P=0.02，P=0.005），施药液量 22.5 L/hm^2 较 15 L/hm^2 的水稻冠层上部雾滴沉积量分别增加了 64.77%，60.53%。施药液量 22.5 与 15 L/hm^2 对水稻冠层下部的雾滴沉积量没有显著差异。

相同施药液量时，分蘖末期、孕穗期两施药阶段的水稻冠层上部雾滴沉积量没有显著差异，冠层下部雾滴沉积量也没有显著差异。

从以上分析可知，无人机施药时水稻冠层上部的雾滴沉积效果较好，且增加施药液量对水稻冠层上部雾滴沉积的增加比较显著，有助于农药的利用。但水稻冠层下部的雾滴沉积远低于冠层上部，可能原因为当水稻比较茂盛时，无人机施药时雾滴难以穿透水稻冠层。因此，采用无人机施药，对于防治稻纵卷叶螟、水稻纹枯病等主要在水稻冠层上部的病虫害，增加施药液量会有更好的防效。

表 3 不同施药液量下水稻上、下冠层的雾滴沉积

Table 3 Droplet deposition of upper-canopy and lower-canopy under different spray volume

冠层 Canopy	施药时期 Spray period	施药液量 Spray volume/(L·hm^{-2})	雾滴覆盖率 Droplet coverage/%	雾滴密度 Droplet density/(滴·cm^{-2})	雾滴沉积量 Droplet deposition/(μL·cm^{-2})
冠层上部 Upper-canopy	分蘖末期 Late tillering	15	4.36±3.94b	16.43±8.1b	0.39±0.37b
		22.5	7.47±4.47a	25.17±8.82a	0.67±0.49a
	孕穗期 Booting stage	15	3.52±2.05b	15.07±8.38b	0.38±0.17b
		22.5	6.28±3.72a	24.96±11.12a	0.61±0.56a
冠层下部 Lower-canopy	分蘖末期 Late tillering	15	1.53±1.44a	6.93±5.02a	0.18±0.12a
		22.5	1.58±1.75a	8.27±6.84a	0.23±0.31a
	孕穗期 Booting stage	15	1.06±0.69a	4.66±2.7a	0.12±0.07a
		22.5	1.25±1.39a	6.28±9.4a	0.17±0.11a

注：表中数据为均值±标准差。数据列的字母表示相同冠层及施药时期下不同施药液量间存在显著差异（P<0.05）。
Note: Data in the table are the average value ± the standard deviation. The letter in the data column express that there are significant differences between different spray volume under the same canopy and spray period (P<0.05).

2.2 不同施药液量的稻纵卷叶螟减量施药防治效果

在水稻分蘖末期、孕穗期两阶段，两种施药液量下的减量施药对稻纵卷叶螟的防治效果如表 4 所示。同一施药阶段、施药液量时，农药剂量对稻纵卷叶螟的防治效果均有显著差异（P<0.05）。农药剂量 100%时，稻纵卷叶螟防治效果最好；农药剂量 80%时，稻纵卷叶螟防治效果最差。与人工电动喷雾器施药（KES）的常规防治效果相比，两阶段施药结果表明：农药剂量 100%时，施药液量 15、22.5 L/hm^2 的稻纵卷叶螟防治效果均优于人工电动喷雾器施药（KES）。施药液量 15 L/hm^2、农药剂量 90%时，两阶段的防治效果与人工电动喷雾器（KES）均没有显著差异，即施药液量 15 L/hm^2、农药减量 10%可达到人工电动喷雾器（KES）的常规防治效果。施药液量 22.5 L/hm^2、农药剂量 80%时，两阶段的防治效果与人工

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

电动喷雾器（KES）均没有显著差异，即施药液量 22.5 L/hm²、农药减量 20%可达到人工电动喷雾器（KES）的常规防治效果。

农药剂量相同条件下，在分蘖末期、孕穗期两阶段，施药液量 22.5、15 L/hm² 时的稻纵卷叶螟防治效果均存在显著差异。分蘖末期施药后，农药剂量 80%、90%、100%时，施药液量 22.5 L/hm² 的防效较 15 L/hm² 分别提升了 26.8%、25.11%、14.32%；孕穗期施药后，农药剂量 80%、90%、100%时，施药液量 22.5 L/hm² 的防效较 15 L/hm² 分别提升了 11.25%、5.88%、4.37%。由雾滴沉积试验结果分析可知，施药液量 22.5 与 15 L/hm² 对水稻冠层上部的雾滴沉积有极显著差异，施药液量 22.5 L/hm² 时水稻冠层上部的雾滴沉积量较 15 L/hm² 时增加了 60.53%。因此，在相同农药剂量下，由于施药液量 22.5 L/hm² 较 15 L/hm² 有更好的雾滴沉积效果，水稻叶片表面雾滴沉积量更大不仅有利于内吸性农药的吸收，也有利于非内吸性农药增大触杀面积，从而有效提高稻纵卷叶螟的防治效果。

表 4　不同施药液量下无人机减量施药的稻纵卷叶螟防效

Table 4　Control efficacy of cnaphalocrocis medinalis for UAV reduced pesticide application under different spray volume

施药方式 Spray method	施药液量 Spray volume/(L·hm⁻²)	农药剂量 Pesticide dosage/%	防治效果指标 Control efficacy/% 分蘖末期 Late tillering stage	孕穗期 Booting stage
UAV	15	80	57.83±8.14b	81.63±8.74b
		90	63.64±12.03ab	90.96±2.48ab
		100	74.31±5.5a	93.21±3.49a
	22.5	80	73.33±7.33b	90.82±4.09b
		90	79.62±8.07ab	96.31±2.19a
		100	84.95±5.25a	97.28±1.88a
KES	450	100	62.66±8.41	89.89±2.19

注：表中数据为均值±标准差。数据列的字母表示相同施药方式及施药液量下不同农药剂量间存在显著差异（$P<0.05$）。

Note: Data in the table are the average value ± the standard deviation. The letter in the data column express that there are significant differences between different pesticide dosage under the same spray method and spray volume ($P<0.05$).

3　讨　论

雾滴沉积试验结果表明，无人机施药时，水稻冠层上部的雾滴沉积效果要极大的优于冠层下部，施药液量 22.5、15 L/hm² 时水稻冠层上部的雾滴沉积量较冠层下部分别增加了的 208.42%、152.81%；增大施药液量有利于提升水稻冠层上部的雾滴沉积效果，施药液量 22.5 L/hm² 时，水稻冠层上部的雾滴沉积量比 15 L/hm² 时的提升了 60.53%。Wang 等[28]在小麦无人机施药中测试了 3 种施药液量（9.0、16.8、28.1 L/hm²）下小麦冠层的雾滴沉积，结果显示，施药液量 9.0 L/hm² 时雾滴沉积量较小，且防治效果较差。Qin 等[27]在水稻无人机施药中测试了两种飞行高度（0.8、1.5 m）、两种飞行速度（3、5 m/s）下水稻冠层的雾滴沉积，雾滴采样数据显示上层的雾滴沉积量显著大于下层。Chen 等[32]在水稻无人机施药中测试了 3 种喷嘴（LU110-01、LU110-015、LU110-02）下水稻冠层的雾滴沉积，雾滴沉积量数据也显示上层显著高于下层。但以上文献没有对上下层雾滴沉积进行量化对比分析，也没有分析上层的雾滴沉积量显著高于下层的原因。水稻冠层上部的雾滴沉积极大的优于下层，主要是由于在无人机施药位置高、雾滴小，难以穿透分蘖后期长势茂盛的水稻。虽然无人机的下压风可以增加部分位置的水稻冠层下部的雾滴沉积，但下压风同时也使得水稻向四周倒伏，同样使得雾滴难以穿透到倒伏处水稻冠层下部，同时导致冠层下部的雾滴分布均匀性变差。施药液量 22.5 L/hm² 较 15 L/hm² 水稻冠层上部的平均雾滴沉积量提升了 60.53%，高于施药液量 50%的提升。可能主要原因应为两种施药液量下穿透到水稻冠层下部的雾滴沉积量差异较小，且都较少，大部分沉积在冠层上部。

两种施药液量、3 种农药剂量的水稻稻纵卷叶螟防治试验结果表明，施药液量越大稻纵卷叶螟的防效越好，施药液量 22.5 L/hm² 较 15 L/hm² 的防治效果在水稻分蘖末期、孕穗期分别提升了 21.51%、7%；农药剂量越大稻纵卷叶螟的防效越好；处理（施药液量 22.5 L/hm²、农药剂量 80%）、处理（施药液量 15 L/hm²、农药剂量 90%）和背负式电动喷雾器（KES）人工施药的稻纵卷叶螟防治效果没有显著差异。薛新宇等[22]在 N-3 型无人直升机施药方式对稻纵卷叶螟防治效果的田间试验中，测试了不同剂量和不同飞行高度下稻纵卷叶螟的防治效果，结果表明四种农药剂量（60%、70%、80%、100%）下剂量 100%的防治效果最好，3 种飞行高度（3、5、7 m）下高度 3 m 时的防治效果最好。张海燕等[26]测试了电动单旋翼与电动多旋翼无人机水稻田间的农药喷施作业效果，试验结果表明电动单旋翼在防治稻纵卷叶螟时效果更好。但没有涉及施药液量、农药剂量组合与水稻稻纵卷叶螟的防治效果关系及农药减量的研究。施药液量越大稻纵卷叶螟的防效越好，主要原因应为施药液量越大时雾滴的沉积越好。施药液量 22.5 L/hm²、农药剂量 80%时与常规背负式电动喷雾器（KES）人工施药的稻纵卷叶螟防治效果没有显著差异，主要是因为常规背负式电动喷雾器（KES）人工施药高度低、施药液量大、雾滴大，雾滴的穿透性较好，下层的雾滴沉积量相对较大，同时流失到稻田中的雾滴也多，导致水稻冠层上部的农药沉积量相对较少。

4　结　论

本文使用了罗丹明 B 示踪剂及铜版纸测量了无人机施药时不同施药液量下水稻冠层上部和下部的雾滴沉积，测试了无人机施药时两种施药液量、3 种农药剂量组合及背负式电动喷雾器人工施药下水稻稻纵卷叶螟的防治效果。对试验结果的分析得到以下结论：1）无人机施药较人工施药，对稻纵卷叶螟的防治有更好的防效；2）无人机施药时，施药液量 22.5 L/hm² 较 15 L/hm² 的水稻冠层上部的雾滴沉积效果更好，农药利用率更高，对主要危害水稻冠层上部的稻纵卷叶螟有更好的防治效果；3）无人机施药时，施药液量 22.5 L/hm² 较 15 L/hm² 有更好的农药减量效果，施药液量 22.5 L/hm²、农药剂量 80%的无人机施药可达到农药剂量 100%时背负式电动喷雾器人工施药的稻纵卷叶螟防治效果。

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

[参 考 文 献]

[1] 张玲. 水稻重要病虫害综合防治技术与应用研究[D]. 长沙：湖南农业大学，2018.
Zhang Ling. Studies of Integrated Control Technology and Application of Important Pests and Diseases in Rice[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2018. (in Chinese with English abstract)

[2] 王艳青. 近年来中国水稻病虫害发生及趋势分析[J]. 中国农学通报，2006，22(2)：343-347.
Wang Yanqing. Analysis on the occurrence and development of rice diseases and insects in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(2): 343-347. (in Chinese with English abstract)

[3] 全国农业技术推广服务中心. 2017 年全国水稻主要病虫害发生趋势预报[J]. 种业导刊，2017(3)：11.

[4] 何雄奎. 中国植保机械与施药技术研究进展[J]. 农药学学报，2019，21(5/6)：921-930.
He Xiongkui. Research and development of crop protection machinery and chemical application technology in China[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2019, 21(5/6): 921-930. (in Chinese with English abstract)

[5] 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报，2004，20(1)：13-15.
He Xiongkui. Improving severe draggling actuality of plant protection machinery and its application techniques[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(1): 13-15. (in Chinese with English abstract)

[6] 弋晓康. 我国植保机械的现状及发展趋势探讨[J]. 农机化研究，2007(3)：218-220.
Yi Xiaokang. Discussion on the present situation and development trends of plant protection equipment in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(3): 218-220. (in Chinese with English abstract)

[7] 华小梅，江希流. 我国农药环境污染与危害的特点及控制对策[J]. 环境科学研究，2000，13(3)：40-43.
Hua Xiaomei, Jiang Xiliu. Characteristics and control countermeasures of pesticide pollution and its damage on environment in China[J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(3): 40-43. (in Chinese with English abstract)

[8] Lan Y B, Chen S D, Fritz B K. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2017, 10(3): 1-17.

[9] 袁会珠，薛新宇，闫晓静，等. 植保无人飞机低空低容量喷雾技术应用与展望[J]. 植物保护，2018，44(5)：152-158.
Yuan Huizhu, Xue Xinyu, Yan Xiaojing, et al. Applications and prospects in the unmanned aerial system for low-altitude and low-volume spray in crop protection[J]. Plant Protection, 2018, 44(5): 152-158. (in Chinese with English abstract)

[10] Wang L L, Lan Y B, Zhang Y L, et al. Applications and prospects of agricultural unmanned aerial vehicle obstacle avoidance technology in China[J]. Sensors 2019, 19: 642.

[11] Yang S L, Yang X B, Mo J Y. The application of unmanned aircraft systems to plant protection in China[J]. Precision Agriculture, 2018(19): 278-292.

[12] Kim J, Kim S, Ju C, et al. Unmanned aerial vehicles in agriculture: A review of perspective of platform, control, and applications[J]. Ieee Access, 2019(7): 105100-105115.

[13] Huang Y, Hoffmann W C, Lan Y, et al. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(6): 803-809.

[14] Hassler S C, Baysal-Gurel F. Unmanned aircraft system (UAS) technology and applications in agriculture[J]. Agronomy, 2019, 9: 618.

[15] Fritz B K, Hoffmann W C. Update to the USDA-ARS fixed-wing spray nozzle models[J]. Transactions of the ASABE, 2015, 58(2): 281-295.

[16] Lan Y B, Hoffmann W C, Fritz B K, et al. Spray drift mitigation with spray mix adjuvants[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008, 24(1): 5-10.

[17] Wang C L, He X K, Wang X N, et al. Testing method and distribution characteristics of spatial pesticide spraying deposition quality balance for unmanned aerial vehicle[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2018, 11(2): 18-26.

[18] Teske M E, Wachspress D A, Thistle H W. Prediction of aerial spray release from UAVs[J]. Transactions of the ASABE, 2018, 61(3): 909-918.

[19] Meng Y H, Song J L, Lan Y B, et al. Harvest aids efficacy applied by unmanned aerial vehicles on cotton crop[J]. Industrial Crops & Products, 2019, 140: 111645.

[20] Zhou Q Q, Xue X Y, Qin W C, et al. Analysis of pesticide use efficiency of a UAV sprayer at different growth stages of rice[J]. International Journal of Precision Agricultural Aviation, 2020, 3(1): 38-42

[21] 陈盛德，兰玉彬，李继宇，等. 航空喷施与人工喷施方式对水稻施药效果比较[J]. 华南农业大学学报，2017，38(4)：103-109.
Chen Shengde, Lan Yubin, Li Jiyu, et al. Comparison of the pesticide effects of aerial and artificial spray applications for rice[J]. Journal of South China Agricultural University, 2017, 38(4): 103-109. (in Chinese with English abstract)

[22] 薛新宇，秦维彩，孙竹，等. N-3 型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响[J]. 植物保护学报，2013，40(3)：273-278.
Xue Xinyu, Qin Weicai, Sun Zhu, et al. Effects of N-3 UAV spraying methods on the efficiency of insecticides against plant hoppers and cnaphalocrocis medinalis[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 2013, 40(3): 273-278. (in Chinese with English abstract)

[23] 陈盛德，兰玉彬，李继宇，等. 小型无人直升机喷雾参数对杂交水稻冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 农业工程学报，2016，32(17)：40-46.
Chen Shengde, Lan Yubin, Li Jiyu, et al. Effect of spray parameters of small unmanned helicopter on distribution regularity of droplet deposition in hybrid rice canopy[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(17): 40-46. (in Chinese with English abstract)

[24] 漆海霞，陈鹏超，兰玉彬，等. 不同电动植保无人机稻田雾滴沉积分布试验研究[J]. 农机化研究，2019(9)：147-151.
Qi Haixia, Chen Pengchao, Lan Yubin, et al. Experimental study on droplet deposit distribution of different electric uavs in rice fields[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019(9): 147-151. (in Chinese with English abstract)

[25] 李继宇，兰玉彬，彭瑾. 无人机喷雾粒径对水稻冠层雾滴沉积效果的影响[J]. 湖南农业大学学报：自然科学版，2018，44(4)：442-446.
Li Jiyu, Lan Yubin, Peng Jin. Effect of droplet size spraying by unmanned aerial vehicle on droplet deposition in rice

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

canopy[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2018, 44(4): 442-446. (in Chinese with English abstract)

[26] 张海艳，兰玉彬，文晟，等. 植保无人机水稻田间农药喷施的作业效果[J]. 华南农业大学学报，2019，40(1)：116-124. Zhang Haiyan, Lan Yubin, Wen Sheng, et al. Operational effects of unmanned helicopters for pesticide spraying in rice field[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(1): 116-124. (in Chinese with English abstract)

[27] Qin W C, Qiu B J, Xue X Y, et al. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers[J]. Crop Protection, 2016, 79-88.

[28] Wang G B, Lan Y B, Qi H X, et al. Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer: Effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat[J]. Pest Management Science, 2019, 75: 1546-1555.

[29] Zhu H P, Salyani M, Fox R D, A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76: 38-43.

[30] Hoffmann W C, Hewitt A J. Comparison of three imaging systems for water-sensitive papers[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2005, 21(6): 961-964.

[31] 中华人民共和国农业部农药检定所. 农药田间药效试验准则(一)杀虫剂防治稻纵卷叶螟：GB/T179802—2000[S]. 北京：中国标准出版社，2000.

[32] Chen P C, Lan Y B, Huang X Y, et al. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle[J]. Agronomy, 2020, 10: 303.

P20 plant protection UAV to control cnaphalocrocis medinalis by reduced pesticide application

Zeng Wen[1,2], Deng Jizhong[1,2], Gao Qichao[1,2], Jia Ruichang[1,2], Lan Yubin[2,3], Zhang Jianling[1,2], Chen Pengchao[2,3], Xiao Hanxiang[4], Zhang Yali[1,2※]

(1. *College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*; 2. *National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticides, Spraying Technology* (*NPAAC*), *Guangzhou* 510642, *China*; 3. *College of Electronics Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*; 4. *Plant Protection Institute, Guangdong Agricultural Science Academy, Guangzhou* 510640, *China*)

Abstract: Plant protection Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have widely been applied for rice diseases and pest control in China. This study aims to promote the reduced application of pesticides in rice, thereby exploring the control efficacy of pests and diseases using plant protection UAV. A field experiment was also conducted using a P20 quad-rotor plant protection UAV with a centrifugal spray system at the late tillering and booting stage of rice. A droplet deposition experiment of rice canopy was performed on two spray volume levels of 15 and 22.5 L/hm^2. Three levels of pesticide dosage were determined to be 480, 540, and 600 mL/hm^2 (80%, 90%, and 100% of recommended dosage) for the cnaphalocrocis medinalis control efficacy with the same two spray volume levels (15, and 22.5 L/hm^2). Meanwhile, a pesticide spraying test was conducted with a knapsack electric sprayer (KES) for comparison as well. The droplet deposition test showed that the droplet was evenly distributed in the upper-canopy, better than that in the lower-canopy. There was an extreme difference in the droplet deposition on the upper- and lower-canopy of rice at the same spray period and spray volume. In particular, the droplet deposition on the upper-canopy was much larger than that on the lower-canopy. There were also significant differences among the droplet deposition on the upper-canopy between 15 and 22.5 L/hm^2. Compared with that of 15 L/hm^2, the spray volume of 22.5 L/hm^2 increased the droplet deposition on the upper-canopy by 64.77%, and 60.53% at the late tillering and booting stage, respectively. Nevertheless, there was no significant difference among the droplet deposition of upper- and lower-canopy between the late tillering and the booting stage. The control efficacy test showed that the pesticide dosage presented a great effect on the control efficacy of cnaphalocrocis medinalis, indicating that the larger pesticide dosage achieved better, where the control efficacy of 100% pesticide dosage was the best. Specifically, the control efficacy of plant protection UAV was better than that of KES at the same pesticide dosage. There was a significant difference in the control efficacy between the spray volume of 15 and 22.5 L/hm^2. The control efficacy at the late tillering and booting stage with 22.5 L/hm^2 increased by 21.51% and 7%, respectively, compared with 15 L/hm^2. No significant difference was found on the control efficacy in the treatment of spray volume 22.5 L/hm^2 and pesticide dosage 80%, spray volume 15 L/hm^2 and pesticide dosage 90%, as well as KES application. The plant protection UAV with a spray volume of 22.5 L/hm^2 achieved better droplet deposition on the upper-canopy, and higher control efficacy. Additionally, a spray volume of 22.5 L/hm^2 and pesticide dosage of 80% achieved the same cnaphalocrocis medinalis control efficacy as that with the KES with the pesticide dosage of 100%. This finding can provide a sound reference to the parameters set for the plant protection UAV spraying pesticides, thereby promoting the reduction of pesticides in rice.

Keywords: UAV; spray; reduced pesticide application; droplet deposition; cnaphalocrocis medinalis

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

《农业工程学报》：对标一流，追求卓越

《农业工程学报》（以下简称《学报》）创刊于 1985 年，现为半月刊，全年 24 期，大 16 开面向国内外公开发行。《学报》是由中国科学技术协会主管、中国农业工程学会主办的全国性专业学术期刊。读者对象为农业工程学科及相关领域的科研、教学及生产科技人员、技术管理及推广人员和高等院校师生。刊稿内容涵盖了农业装备工程与机械化、农业航空工程、农业水土工程、农业信息与电气技术、农业生物环境与能源工程、土地保障与生态安全、农产品加工工程等学科专业领域。

《学报》始终坚持“双为”方向和“双百”方针的办刊宗旨及“内容为王，质量为本”的办刊理念。拥有国内外农业工程相关领域各专业的知名专家学者组成的编委会，其中院士 10 余人。本刊坚持专家办刊，编委在稿件同行评审把关中发挥重要作用。

《学报》是中国农业工程领域的领军期刊，在行业具有较高的学术影响力，被 EI Compendex（核心版）、Scopus、CA、CSA、CAB Abstracts、CSCD、《中文核心期刊要目总览》、《中国科技核心期刊目录》、《中国农林核心期刊概览 2020》等国内外多个权威数据库收录。中国科学技术信息研究所 2020 年影响因子 2.116，在农业工程类核心期刊中位列第一名。

我们愿与广大农业工程同仁携手并肩，共同奋斗，对标一流，追求卓越，创建国际知名品牌，引领学科发展，培养人才，激励创新，为全面推进乡村振兴，加快农业农村现代化，促进农业农村高质量发展作出新贡献，以优异成绩向建党 100 周年献礼！



期刊荣誉：多项位列农业工程类期刊榜首

- ✧ 国家新闻出版广电总局“双效期刊”
- ✧ 国家新闻出版广电总局“百强报刊”
- ✧ 中国科技期刊卓越行动计划-梯队期刊
- ✧ 百种中国杰出学术期刊
- ✧ 中国精品科技期刊
- ✧ TOP5%中国最具国际影响力学术期刊
- ✧ RCCSE 中国权威学术期刊（A+）
- ✧ 科技期刊数字影响力 100 强
- ✧ 世界学术影响力指数 WAJCI-Q1 区期刊（为本学科唯一入选中文刊）
- ✧ Google Scholar 学术期刊影响力排名位列高被引中文刊第四名
- ✧ 中国农林领域高质量科技期刊分级目录第一区（T1）
- ✧ 中国科协精品科技期刊工程项目资助期刊

對標一流
追求卓越
祝贺我国农业工程学报创刊三十五周年 张辉书

ISSN 1002-6819
CN 11-2047/S
国内邮发代号：18-57
海外发行代号：BM3335
国内定价：50元

ISSN 1002-6819
9 771002 681214 15>

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

ISSN 1004-132X
CODEN ZJGOE8

中国机械工程®

CHINA MECHANICAL ENGINEERING

CMES 中国机械工程学会会刊



9 771004 132028 13>

13 2013 Vol.24
半月刊

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

目　　次

机械科学

一种旋转式液固两相流冲蚀磨损试验装置的研制 …… 偶国富　叶　健　章利特等(1705)
改进 Kriging 方法在螺旋桨测量中的应用 …… 李　斌　李　泓　陈福盈等(1709)
光栅式宏/微应变传感器的设计 …… 徐从裕　方文琼　孙雅琼等(1715)
基于谱聚类的振动多模态信号幅谱分割研究与应用 …… 王丹丹　周　宇　叶庆卫等(1719)
基于定量反馈理论的液压机器人单关节鲁棒控制器 …… 王　岩　秦玉福　郭生荣(1724)
基于环分析的飞机结构件槽特征腹板精加工区域自动创建方法 ……
…… 张石磊　李迎光　刘长青等(1728)
时域三点法测量直线度信息高精度获取方法研究 …… 王　鹏　余晓芬　孟凡良等(1733)
钛合金小孔电火花加工有限元仿真研究 …… 王续跃　胡　辉　梁延德等(1738)
变自由度螺栓夹紧机构设计及试验研究 …… 王才东　王立权　赵冬岩等(1743)

信息技术

基于 CUDA 的眼底图像快速自动配准与拼接 …… 王玉亮　沈建新　廖文和等(1749)
Hilbert－Huang 变换分析仪及其在机械故障特征提取中的应用 ……
…… 陈仁祥　汤宝平　苏祖强(1755)

科学基金

新型机械式无级变速器的设计及优化 …… 曾　文　王玉兴　夏红梅等(1760)
低速风洞层流风场中 WDPSS－8 机器人系统索系流固耦合效应的动静力特性分析 ……
…… 郑亚青　焦少妮　杨永柏(1765)
脉冲涡流信号检测与分析 …… 杨理践　李春华　裴　磊(1773)
放电诱导可控烧蚀及电火花修整成形加工基础研究 …… 陈文安　刘志东　王祥志等(1777)
风电行星齿轮系统变载荷激励动力学模型及其响应特性 …… 杨　军　张浬萍(1783)
基于形态分量分析与能量算子解调的齿轮箱复合故障诊断方法 … 李　蓉　于德介　陈向民(1789)
进电端放电法对单晶硅电火花加工接触电阻的影响研究 …… 宋佳杰　邱明波　刘志东等(1796)
力载荷下液体静压导轨的主动振动分析 …… 赵建华　高殿荣(1800)
面向产品族架构的鲁棒双层优化模型 …… 李　砚　杜　纲　刘　波(1805)
水压式打桩机冲击器液压系统建模与仿真分析 …… 文泽军　王　进　杨书仪等(1809)

材料工程

随焊冲击旋转挤压控制 LD10 薄板件焊接变形和热裂纹的研究 …… 张　勇　綦秀玲(1817)
切向力对高温发汗润滑胞体结构的接触稳定性影响 …… 解　芳　燕松山　刘佐民(1821)
颗粒尺寸及组合对 SLS 碳化硅预制体精度的影响 …… 刘秀梅　徐志锋　余　欢(1826)

车辆工程

附加前盖对汽车桥壳胀－压成形性的影响 …… 崔亚平　王连东　杨立云等(1831)
基于曲面细分与变形的汽车造型设计方法 …… 郭　磊　吉晓民　胡　钢等(1835)
基于 PDJI－MOPSO 算法的多连杆悬架硬点优化 …… 冯金芝　陈　兴　郑松林等(1841)

编读往来

《中国机械工程》第四届编委会(封 2)　中国机械工程杂志社第四届董事会(XXV)
CONTENTS(1562)

广告

重庆工商大学 …… (封 3)
山东理工大学 …… (封 4)

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

新型机械式无级变速器的设计及优化

曾　文　王玉兴　夏红梅　卿艳梅
华南农业大学，广州，510642

摘要：基于传动原理与变速原理，利用双曲柄机构的特性，结合棘轮机构传动的特点，提出一种新型机械式无级变速装置。运用解析几何及机构综合的方法，对该无级变速器的运动学规律进行研究，推导了传动比与机构参数的函数关系。为获得最优的机构设计参数，以实现无级变速器的传动比最大为优化目标，以双曲柄机构的形成条件、机构尺寸限制、传动角限制等为约束条件，编写优化设计程序并获得各个构件的优化长度。

关键词：无级变速器；双曲柄机构；棘轮机构；优化设计
中图分类号：TH112　　DOI：10.3969/j.issn.1004－132X.2013.13.012

Design and Optimum of Novel Mechanical CVT

Zeng Wen　Wang Yuxing　Xia Hongmei　Qing Yanmei
South China Agricultural University，Guangzhou，510642

Abstract：Based on the principle of variable speed transmission and characteristics of double crank mechanism and ratchet wheel mechanism，we came up with a new type of continuous non－frictional mechanical CVT. The kinematic law was studied through methods of analytic geometry and mechanism synthesis，and the function of transmission ratio and mechanism parameters were established. Maximal transmission ratio was the objective of the mechanism；to reach this target means to obtain optimum parameters，the structural size，double crank's formation and limit of transmission angle were as constraints. A computer program was worked out successfully to determine these optimum parameters.

Key words：continuously variable transmission(CVT)；double crank mechanism；ratchet wheel mechanism；optimum design

0　引言

机械式脉动无级变速器采用连杆(或其他类型)机构组成一个相，由至少三个相组成一个无级变速机构，通过超越离合器的过滤作用，滤掉低于某一速度值的转速，输出符合单向离合器过滤条件的转速。机械式脉动无级变速器具有传动可靠、寿命长、变速范围大、最低输出转速可为零、静

收稿日期：2012—09—11
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51005080)；科技部国家星火计划引导项目(2011GA780027)

[9] Chen Q，Huang N，Riemenschneider S，et al. A B－spline Approach for Empirical Mode Decompositions[J]. Advances in Computational Mathematics，2006，24：171-195.

[10] Rilling G，Flandrin P，Goncalyes P. On Empirical Mode Decomposition and Its Algorithms[C]// IEEE－EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing(NSIPL2003). Grado，2003：8-11.

[11] 邓拥军，王伟，钱成春，等. EMD 方法及 Hilbert 变换边界问题的处理[J]. 科学通报，2001，46(3)：257-263.
Deng Yongjun，Wang Wei，Qian Chengchun，et al. Boundary－processing－technique in EMD Method and Hilbert Transform[J]. Chinese Science Bulletin，2001，46(3)：257-263.

[12] Cheng Junsheng，Yu Dejie，Yang Yu. Application of Support Vector Regression Machines to the Recessing of End Effects of Hilbert－Huang Transform[J]. Mechanical Systems and Signal Processing，2007(21)：1197-1211.

[13] 杜陈艳，张榆锋，杨平，等. 经验模态分解边缘效应抑制方法综述[J]. 仪器仪表学报，2009，30(1)：55-60.
Du Chenyang，Zhang Yufeng，Yang Ping，et al. Approaches for the End Effect Restraint of Empirical Mode Decomposition Algorithm[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument，2009，30(1)：55-60.

[14] 屈梁生. 机械故障的全息诊断原理[M]. 北京：科学出版社，2007.

（编辑　袁兴玲）

作者简介：陈仁祥，男，1983 年生。重庆大学机械工程学院博士研究生。主要研究方向为信号分析与处理、测试计量技术及仪器、设备状态监测与故障诊断。汤宝平，男，1971 年生。重庆大学机械工程学院教授、博士研究生导师。苏祖强，男，1987 年生。重庆大学机械工程学院博士研究生。

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

止和运动中均可调速、结构简单、制造较容易等特点[1-2]。但这类脉动机械式无级变速器的基本工作机构为多套连杆机构，普遍存在以下缺陷：不平衡惯性力引起的振动大；承载能力和抗冲击能力相对较弱；脉动度较大；多相结构导致机械效率降低，磨损加剧；整机效率不高，输出功率小，不适合用于大功率场合[3-4]。为克服机械式脉动无级变速器的缺陷，国内外学者做了大量的研究工作，研究开发了多种类型的新型脉动无级变速器[5-9]，这些变速器距离实际使用越来越近。

本文利用棘轮传动具有可靠性高、传动平稳等优点，将棘轮传动与双曲柄机构组合，提出了一种新型的增速型无级变速装置。这种新型无级变速装置具有输出速度的脉动度小、整机结构简单、制造成本低的特点。

1　工作原理

1.1　传动机构原理

新型机械式脉动无级变速器的工作原理如图1所示，其主体传动机构与传统脉动无级变速器一样，也是基于连杆机构设计的。

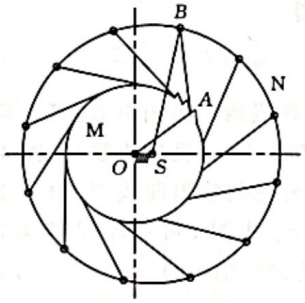


图1　棘轮传动机构原理示意图

棘轮机构由主动棘轮 M、棘爪 AB、从动摆杆 SB(从动轮 N)组成，主动棘轮逆时针转动，通过棘爪 AB 带动摆杆 SB 实现逆时针转动。在棘轮棘爪啮合传动时，该棘轮机构可以简化为四杆机构 $OABS$。由于该机构需要实现从动摆杆 SB 整周连续转动，因此四杆机构 $OABS$ 为一双曲柄机构，且 OS 为最短杆。在双曲柄机构中，从动曲柄 SB 的输出角速度周期性变化，且周期内速度脉动较大，不适合直接输出。为了使得从动曲柄输出的角速度脉动较小，可以采用多组相同的双曲柄机构。具体到该棘轮机构上，只需要在从动轮 N 和棘轮 M 间均匀添加多个棘爪即组成多相双曲柄机构，各相双曲柄机构的主动曲柄均为棘轮 M，从动曲柄均为输出轮 N。在棘轮 M 的转动过程中，只有从动曲柄 SB 转动角速度最大的一相双曲柄机构起作用，其他相机构中的棘爪 AB 在棘轮上滑动，从而实现超越。

分析棘轮啮合式无级变速的原理知，相对于传统脉动无级变速器，该新型无级变速器具有以下的基本特点：①棘轮作为传递运动的构件，同时又起到了超越离合器同等的效用，因而不再需要专门的超越离合器，整机结构较简单；②力的传递由传统脉动无级变速器的摩擦式改变为啮合式，力传递的可靠性得到提高；③系统中的运动部件为棘轮和外轮，因此系统的惯性力、惯性力矩较小；④每对棘轮和棘爪的啮合范围有限，等价四杆机构的工作范围相对较小，即棘轮和棘爪的相数必须较多，每相机构的输出速度均在极值附近较小的范围内，速度脉动值小，输出运动的连续性和平稳性得到较大的提升；⑤通过改变主动棘轮 M 和从动轮 N 的偏心进行无级调速，当偏心为 0 时，无级变速器的传动比为 1；⑥该无级变速器属于增速类无级变速器。

1.2　变速机构装置设计

对于单套的棘轮啮合无级变速，需要通过调整从动外轮与主动棘轮之间的偏心来调速，所以从动外轮的轴心是变化的。为了解决该问题，可以将一套棘轮啮合无级变速机构作为输入转换机构，而使用与其共轭的一套棘轮啮合无级变速机构作为输出转换机构，两套棘轮啮合无级变速机构的外轮作为一个构件，这样，输入转换机构的从动外轮就作为输出转换机构的主动外轮，推动其棘轮实现定轴输出，无级变速器的传动比就为输入转换机构的传动比与输出转换机构传动比的乘积，无级变速器的传动比范围也得以增大。

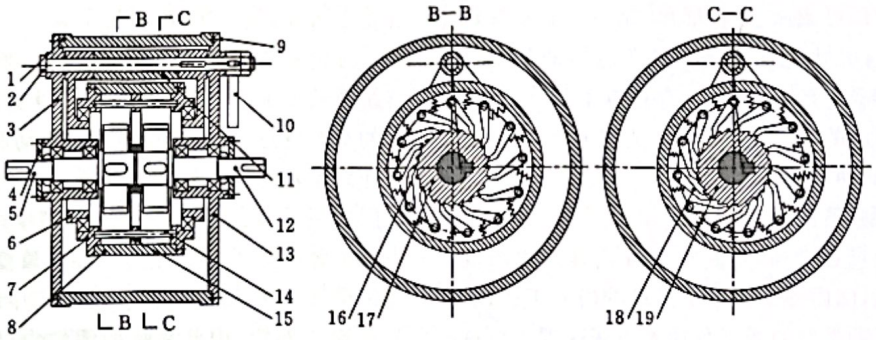
图2所示为设计的棘轮啮合式无级变速器装置结构。运动与动力通过输入轴 5 传递到输入转换机构的棘轮 17，由棘轮机构驱动外轮 8 逆时针转动。外轮 8 同时也是输出转换机构的主动构件，然后驱动输出棘轮 19 也实现逆时针的转动。变速时只需调整偏心调节杆 10 的摆动角度就能调节外轮 8 和棘轮之间的偏心，从而达到调速目的。

2　传动比分析

2.1　输入转换机构

取输入转换机构任一相的双曲柄机构进行分析，机构运动简图见图3。为说明输入转换机构的变速原理，需先推导主动曲柄 OA 的角速度 ω_1 和从动曲柄 SB 的角速度 ω_3 之间的关系。四杆机构的杆长设置如下：R 为从动曲柄 SB 的长度，r 为主动曲柄 OA 的长度，l 为棘爪 AB 的长度，e 为偏心摆杆 OS 的长度。

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App



(a) 整体结构　　(b) 输入转换机构　　(c) 输出转换机构

1. 箱体　2. 偏心摆轴　3. 箱体左盖板　4. 端盖　5. 输入轴　6. 外轮吊板　7. 外轮侧板　8. 外轮　9. 箱体右盖板　10. 偏心调节杆　11. 套筒　12. 输出轴　13. 外轮吊板　14. 棘爪定位销　15. 轴套　16. 棘爪　17. 输入棘轮　18. 棘爪　19. 输出棘轮

图 2　无级变速器装置结构

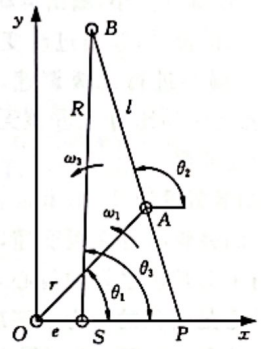


图 3　输入转换机构运动简图

图 3 为输入转换机构运动简图，P 点为曲柄 OA 与曲柄 SB 的相对瞬心。根据相对瞬心的定义，有

$$\omega_3/\omega_1 = \overline{OP}/\overline{SP} = (e+\overline{SP})/\overline{SP} \tag{1}$$

由式(1)可知，当 $e=0$ 时，四杆机构成为一个稳定的三角形，机构作为一个整体进行转动，此时输出角速度 ω_3 与输入角速度 ω_1 完全相同，即传动比为 1；当 P 点在 S 点的右边时，ω_3 与 ω_1 的比值大于 1，而该输入转换机构只有在输出角速度 ω_3 最大值附近的较小范围内起作用，因此该无级变速器为增速型调速。

基于复数矢量法可得到输入转换机构的角 θ_1、θ_2、θ_3 之间的联系方程[10]：

$$re^{i\theta_1} + le^{i\theta_2} = e + Re^{i\theta_3} \tag{2}$$

利用欧拉公式 $e^{i\theta}=\cos\theta+i\sin\theta$ 将式(2)的实部和虚部分离，并消去 θ_2 后可得到 θ_3 与 θ_1 的关系如下：

$$2Rr\sin\theta_1\sin\theta_3 + 2R(r\cos\theta_1 - e)\cos\theta_3 + l^2 - R^2 - r^2 - e^2 + 2re\cos\theta_1 = 0 \tag{3}$$

设 $\mu_1=e/R$，$\mu_2=r/R$，$\mu_3=l/R$，$\mu_4=(\mu_3-\mu_2-\mu_1-1)/2$，则式(3)可简化为

$$\mu_2\sin\theta_1\sin\theta_3 + (\mu_2\cos\theta_1 - \mu_1)\cos\theta_3 + \mu_4 + \mu_2\mu_1\cos\theta_1 = 0 \tag{4}$$

求解式(4)可得

$$\theta_3 = 2\arctan\frac{b_1 + \sqrt{b_1^2 + b_2^2 - b_3^2}}{b_2 - b_3} \tag{5}$$

$$b_1 = \mu_2\sin\theta_1 \qquad b_2 = \mu_2\cos\theta_1 - \mu_1$$

$$b_3 = \mu_4 + \mu_2\mu_1\cos\theta_1$$

再将式(5)的 θ_3 值代入式(2)即可得到 θ_2 的值。

将式(2)对时间求导，可得

$$r\omega_1 e^{i\theta_1} + l\omega_2 e^{i\theta_2} = R\omega_3 e^{i\theta_3} \tag{6}$$

用欧拉公式将式(6)的实部和虚部分离并消去 ω_2 后可得

$$\omega_3 = \frac{\mu_2\sin(\theta_1-\theta_2)}{\sin(\theta_3-\theta_2)}\omega_1 \tag{7}$$

输入转换机构由多相组成，其每相作用的角度范围为 $360/z$(z 为机构相数)。图 4 为输入机构为多相时外轮的输出曲线图，每相作用的角度范围为 $a\sim b$。由图 4 可知，输入机构的平均输出角速度 $\bar{\omega}_3$ 为最大输出角速度 ω_{3max} 与 a 点的角速度 ω_a 的平均值：

$$\bar{\omega}_3 = (\omega_{3max} - \omega_a)/2$$

脉动度 δ 用输出角速度的变化幅度 $\Delta\omega$ 与平均输出角速度 $\bar{\omega}_3$ 的比值来表示，即

$$\delta = \Delta\omega/\bar{\omega}_3 = (\omega_{3max} - \omega_a)/\bar{\omega}_3$$

输入转换机构的平均传动比 i_1 为

$$i_1 = \bar{\omega}_3/\omega_1 = f_1(\mu_1, \mu_2, \mu_3, z)$$

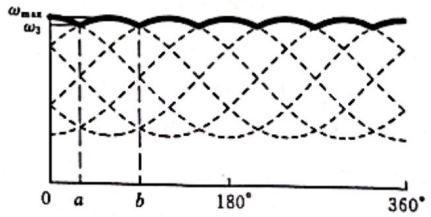


图 4　多相时外轮 N 的输出曲线

2.2　输出转换机构

在输出转换机构中，曲柄 SB 变为主动构件，曲柄 $O'A'$ 变为从动构件。输出转换机构运动简图见图 5。与输入转换机构的计算过程类似，可

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

以获得输出转换机构中的曲柄 $O'A'$ 转角 θ_3、连杆 $A'B$ 的转角 θ_2 与主动曲柄 SB 转角 θ_1 的关系：

$$\theta_3 = 2\arctan\frac{c_1+\sqrt{c_1^2+c_2^2-c_3^2}}{c_2-c_3}$$

$$c_1 = \mu_2\sin\theta_1 \qquad c_2 = \mu_2(\cos\theta_1+\mu_1)$$

$$c_3 = \mu_4-\mu_1\cos\theta_1$$

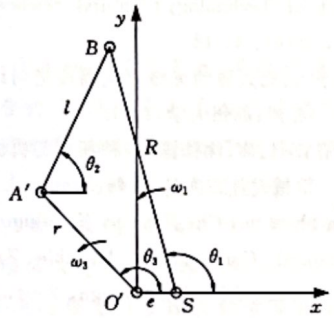


图 5　输出转换机构运动简图

输出构件 $O'A'$ 的角速度 ω_3 与主动曲柄 SB 角速度 ω_1 的关系为

$$\omega_3 = \frac{\sin(\theta_1-\theta_2)}{\mu_2\sin(\theta_3-\theta_2)}\omega_1$$

与输入转换机构一样，输出转换机构也为增速输出，其平均输出角速度和脉动度与输入转换机构公式相同，其传动比 i_2 为

$$i_2 = \overline{\omega}_3/\omega_1 = f_2(\mu_1,\mu_2,\mu_3,z)$$

综合输入转换机构和输出转换机构的传动比，即为无级变速器的总传动比 i：

$$i = i_1 i_2 = f_1 f_2$$

3　优化模型的建立

无级变速器优化设计的目的是在满足机构杆长条件、机构尺寸限制、传动角限制的前提下，获得最大的增速传动比[11-12]。

3.1　设计变量

从输入转换机构传动比和输出转换机构传动比的分析中可知，输出构件的最大转速取决于各杆的杆长。由于设计时外轮半径一般根据传动的功率和整机尺寸限制来选取而作为已知值，所以可以使用各杆杆长作为优化设计的设计变量。设计变量定义为：$\mu_1 = e/R$，$\mu_2 = r/R$，$\mu_3 = l/R$。

3.2　目标函数

与一般脉动式无级变速器的脉动度相比，棘轮啮合式无级变速器的脉动度显然要小很多，其转速脉动基本上可以忽略。以实现无级变速器传动比最大为出发点建立目标函数。当双曲柄机构的各杆杆长固定时，输入转换机构和输出转换机构的传动比是不变的。换言之，在外轮半径 R 不变时，输入转换机构传动比 i_1 和输出转换机构的传动比 i_2 是随设计变量 μ_1、μ_2、μ_3 变化的，因此可建立无级变速器传动比最大的优化目标函数如下：

$$i_{max} = f(\mu_1,\mu_2,\mu_3,z) = i_1 i_2$$

$$i_1 = f_1(\mu_1,\mu_2,\mu_3,z) \qquad i_2 = f_2(\mu_1,\mu_2,\mu_3,z)$$

3.3　约束条件

考虑机构必须满足双曲柄的存在条件，存在以下约束：

$$\mu_1+1 \leqslant \mu_2+\mu_3$$

$$\mu_1<1,\mu_2<1,\mu_3<1$$

$$\mu_1<\mu_2,\mu_1<\mu_3$$

为了保证啮合传动的过程中棘轮与棘爪、棘爪与外轮之间不产生干涉，需要设定如下的约束关系：

$$\mu_1+\mu_2 \leqslant 0.8 \qquad \mu_3 \leqslant 0.8$$

为保证双曲柄机构在啮合范围内能顺利地运动，其传动角应在许可的范围内。工程中常取传动角许可范围为 30° ～ 150°。

对于图 3 所示的输入转换机构，由余弦定理可得

$$\varphi_1 = \arccos\frac{1+\mu_3^2-\mu_2^2-\mu_1^2+2\mu_1\mu_2\cos\theta_1}{2\mu_3}$$

依传动角许可范围条件，可得

$$30^\circ<\varphi_1<150^\circ$$

对于图 5 所示的输出转换机构，由余弦定理可得

$$\varphi_2 = \arccos\frac{\mu_2^2+\mu_3^2-\mu_1^2-1+2\mu_1\cos(\pi-\theta_1)}{2\mu_2\mu_3}$$

依传动角许可范围条件，可得

$$30^\circ<\varphi_2<150^\circ$$

3.4　优化结果

使用 C# 语言编写的优化程序的人机界面见图 6。以外轮半径 60mm、机构相数 12 为例，获得机构优化参数如下：$r=40$mm，$l=44$mm，$e=9$mm，最大传动比 $i_{max}=1.5785$，脉动度 $\delta=2.15\%$。由优化结果可知，该类型的无级变速器增速范围不大，但其转速的脉动度相对于传统 4 相或 6 相的无级变速器脉动度 18%[12] 就小很多。

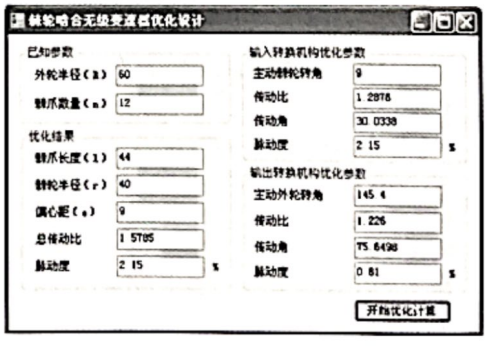


图 6　人机交互优化设计界面

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

4 结论

(1)结合棘轮机构和双曲柄机构的特点,设计了一种新型的棘轮啮合式无级变速器,该无级变速器具有结构简单、传动可靠性高、脉动度小的特点,是一种增速型的无级变速器。

(2)运用解析几何及机构综合的方法建立了无级变速器输入转换机构和输出转换机构的机构综合模型,为该无级变速器的传动比计算提供了依据。

(3)建立了以实现无级变速器传动比最大为目标函数,双曲柄的存在条件、机构尺寸限制、传动角限制等为约束条件,机构杆长为设计变量的优化设计模型,编写了优化设计程序。优化示例结果表明,该类无级变速器的脉动度小,但传动比范围有限。

参考文献:

[1] 周有强.机械无级变速器[M].北京:机械工业出版社,2001.

[2] 周有强,崔学良,董志峰.机械无级变速器发展概述[J].机械传动,2005,29(1):65-68.
Zhou Youqiang, Chui Xueliang, Dong Zhifeng. Development Overview of Mechanical Continuously Variable Transmission[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2005, 29(1):65-68.

[3] 聂松辉,刘宏昭,邱爱红.新型非摩擦式机械无级变速器的原理与特性[J].机械工程学报,2007,43(9):191-194.
Nie Songhui, Liu Hongzhao, Qiu Aihong. Principle and Characteristics for Original Non-frictional Mechanical Continuously Variable Transmission[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(9): 191-194.

[4] 杜力,黄茂林,李太福.脉动式无级变速器真实运动规律的研究[J].中国机械工程,2004,15(12):1080-1084.
Du Li, Huang Maolin, Li Taifu. Study on the Real Motion Law of Impulse Variable Speed Device[J]. China Mechanical Engineering, 2004, 15(12): 1080-1084.

[5] 冯云华,杜力,黄茂林.非摩擦式连续作用无级变速器的结构创新及设计[J].重庆大学学报,2003,26(9):43-46.
Feng Yunhua, Du Li, Huang Maolin. Design of Non-frictional Variable Speed Driver with Continuous Action[J]. Journal of Chongqing University, 2003, 26(9):43-46.

[6] 聂松辉,刘宏昭,邱爱红.新型脉动式无级变速器研究[J].华南理工大学学报,2007,35(8): 44-48.
Nie Songhui, Liu Hongzhao, Qiu Aihong. Development of Novel Pulsed Mechanical Continuously Variable Transmission[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2007, 35(8): 44-48.

[7] 卢军平.齿轮式脉动无级变速器改进与结构优化设计[D].苏州:苏州大学,2011.

[8] 王树春,车仁炜,徐伟国.一种新型的机械无级变速器[J].机械设计,2004,21(4):56-59.
Wang Shuchun, Che Renwei, Xu Weiguo. A Novel Mechanical Continuously Variable Transmission [J]. Journal of Machine Design, 2004, 21(4):56-59.

[9] 毛志伟,张华.一种新型脉动式无级变速器机构运动分析与运动仿真研究[J].机械传动,2005,29(3):44-46.
Mao Zhiwei, Zhang Hua. Reaserch on the Mechanism Motion Analysis and Motion Display of the New Style Pulse Stepless Transmission[J]. Journal of Mechanical Transmission, 2005, 29(3): 44-46.

[10] 孙恒,陈作模.机械原理[M].北京:高等教育出版社,2004.

[11] 徐彦兰,王玉顺.曲柄摇杆式脉动无级变速器的机构参数优化[J].山西农业大学学报(自然科学版),2010,30(4):363-370.
Xu Yanlan, Wang Yushun. The Optimal Design of Impulse Steeples Speed Variation[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2010, 30(4): 363-370.

[12] 赵鹏云,黄茂林,杜力,等.脉动值恒定的新型无级变速器的优化设计[J].重庆大学学报(自然科学版),2005,28(9):9-12.
Zhao Pengyun, Huang Maolin, Du Li, et al. Optimum Design of New Style Impulse Variable Speed Device Based on Invariable Impulse Value[J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition), 2005, 28(9):9-12.

(编辑 苏卫国)

作者简介:曾 文,男,1975 年生。华南农业大学工程学院讲师、博士研究生。主要研究方向为机械系统现代设计方法、机械运动学与动力学。王玉兴(通信作者),男,1963 年生。华南农业大学工程学院教授、博士研究生导师。夏红梅,女,1975 年生。华南农业大学工程学院副教授。卿艳梅,女,1971 年生。华南农业大学工程学院副教授。

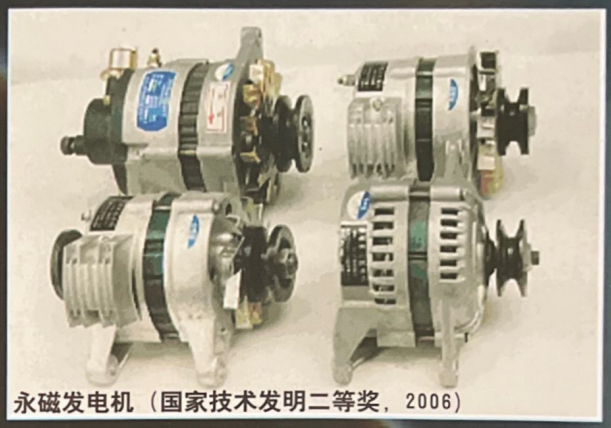
扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

山东理工大学 机械电子工程学科

山东理工大学机械电子工程学科为山东省重点学科，下设车辆电气及控制技术、智能仪器与光电测控技术、数控与机电设备自动化技术、机电一体化技术、制造业信息化技术等研究方向，拥有山东省精密模具重点实验室、中央地方共建机械基础实验室以及数字化设计制造和车辆工程两个省级工程研究中心。

该学科现有科研人员50余人（其中博士生导师6人、教授25人、博士31人），拥有专业实验室面积4000平方米，设备总值4000余万元，万元以上仪器设备200余台。

近五年来，该学科承担国家级、省部级及企业科研项目90余项，科研经费2000余万元，社会经济效益11亿元；获国家技术发明二等奖1项，省部级奖励20余项，发明专利10余项；编写教材及专著30余部；在国内外杂志发表学术论文600余篇，其中SCI、EI、ISTP收录130余篇。



永磁发电机（国家技术发明二等奖，2006）



多路激光光源（山东省科技进步一等奖，2005）



获奖证书



中央地方共建机械基础实验室



数字化设计制造省工程中心

地址：山东省淄博市张店区张周路12号(255049)
电话：+86-0533-2786910
传真：+86-0533-2786910
E-mail：jx@sdut.edu.cn
http://jxxy.sdut.edu.cn

国内统一刊号：CN42-1294/TH 邮发代号：38-10 国外代号：SM4163 定价：15.00元

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

ISSN 1003-8728
CODEN JKJIE6
CN 61-1114/TH

机械科学与技术

MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR AEROSPACE ENGINEERING



西北工业大学主办

ISSN 1003-8728

第32卷 第8期
总第222期

8
2013

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

机 械 科 学 与 技 术
JIXIE KEXUE YU JISHU

2013 年 8 月
第 32 卷第 8 期(总第 222 期)

ISSN 1003-8728
CODEN JKJIE6

目 次

1. GH4169 高速车削参数对加工表面完整性影响研究
…… 刘维伟,李晓燕,万旭生,李 锋,单晨伟(1093)
2. 基于准连续介质理论的单晶铜纳米切削过程仿真
…… 陈晓韦,张效栋,房丰洲(1098)
3. 爆胎车辆稳定性控制
…… 庄佳琪,文桂林,周景宇(1103)
4. 典型工况下装载机动臂缸输出功率变化特性的测定
…… 徐礼超,葛如海(1108)
5. 惯性导航平台减振装置设计及其动态特性分析
…… 曾 文,黄茂林,王玉兴,卿艳梅,张殿武(1113)
6. 砂轮磨削振动对工件表面形貌特征的影响研究
…… 毕 果,郭隐彪,郑茂江(1118)
7. 基于 NI 虚拟样机技术的环片叠装控制系统的运行仿真
…… 谭德波,罗 怡,王晓东(1124)
8. 非圆齿轮齿廓数值算法研究
…… 史 勇,王生泽(1130)
9. 喷嘴结构参数对流体特性影响的三维流场模拟
…… 李德镇,韩振南(1134)
10. 基于 T-S 模型的最优模糊多模型切换控制
…… 邱翔宇,钱承山,莫旭阳(1139)
11. 有阻尼双质量弹簧系统的理论建模及性能分析
…… 何成浩,尹志宏(1144)
12. 电力拖动设备三相电信号实时监测系统开发
…… 雷 杨,谷立臣,刘沛津(1149)
13. 基于 OSA-CBM 的盾构液压系统故障诊断方法研究
…… 黄 克,周奇才,赵 炯,熊肖磊,陈 罡(1153)
14. 基于影响系数法的簇绒地毯织机耦联主轴动平衡研究
…… 李乾坤,孟 婥,孙志军,徐 洋(1159)

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App



曾 文

惯性导航平台减振装置设计及其动态特性分析

曾 文[1],黄茂林[2],王玉兴[1],卿艳梅[1],张殿武[1]

([1]华南农业大学 工程学院,广州 510642;[2]重庆大学 机械工程学院,重庆 400044)

摘 要:针对惯性导航平台隔离振动的要求,在分析惯性导航平台振源基础上,结合减振理论,设计了该平台的减振系统。基于复刚度模型的橡胶减振系统理论,实验测试得到橡胶减振器多种工况下的参数-刚度、损耗因子。建立了减振系统的有限元模型,通过模态分析获得减振系统的前12阶固有频率,并通过谐响应分析方法分别获得发动机怠速激励和陀螺仪抖动激励下的位移响应,结果表明所设计的减振系统固有频率远离发动机怠速激励和陀螺仪抖动激励频率、位移响应幅值小,具有良好的减振效果。

关 键 词:惯导平台;减振;动态特性;模态分析;谐响应分析

中图分类号:TH113.1 文献标识码:A 文章编号:1003-8728(2013)08-1113-05

Dynamic Characteristic Analysis and Design of Vibration Isolation System for Inertial Navigation Platform

Zeng Wen[1], Huang Maolin[2], Wang Yuxing[1], Qing Yanmei[1], Zhang Dianwu[1]

([1] College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642;
[2] College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract: A vibration isolation system was designed to isolate vibration for inertial navigation platform based on the vibration sources and theory of vibration isolation. The parameters of a rubber isolator such as stiffness and damping coefficient were obtained through experiment according to the theory of complex stiffness. The finite element model of the vibration isolation system was established with the help of ANSYS software. The first 12 order natural frequencies and the displacement response in case of excitation by engine idle speed and gyro dithering were obtained by modal analysis and harmonic response analysis, respectively. The calculated results indicate that natural frequencies of the designed system are far away from the frequency of engine idle speed and gyro dithering, and the displacement response amplitude is low. It is an effective vibration isolation system.

Key words: computer software; damping; design; dynamic response; efficiency; experiments; finite element method; mathematical models; modal analysis; natural frequencies; stiffness; vibrations (mechanical); inertial navigation platform; vibration isolation; dynamic characteristic; harmonic response analysis

惯性导航系统是以物体的惯性为基础,结合计算机和控制技术,获取运动载体的加速度、速度、转动角度等运动参数和坐标等多种信息,从而确定运动载体姿态、航向、弹道等多种信息,达到导航、制导、定位、定向等目的的综合系统[1]。本文所研究的惯性导航系统为某型车载导弹发射塔精密定位定向系统,整套系统包括激光陀螺仪、台体、减振系统、转位系统、测控系统等。激光陀螺仪是惯性导航系统的核心传感元件,用于测量敏感平台相对于惯性空间的角速率[2]。系统中采用的机械抖动式激光陀螺仪在工作时,其抖动器需产生一定的抖动频率来消除激光陀螺仪的闭锁现象[3]。当受到外界干扰振动时,其抖动幅度不对称,会使陀螺仪产生累积

收稿日期:2012-09-17
基金项目:国家自然科学基金项目(51005080)和科技部国家星火计划引导项目(2011GA780027)资助
作者简介:曾 文(1975-),讲师,博士研究生,研究方向为机械现代设计方法和机械系统动力学,zengwen@scau.edu.cn

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

偏置误差，导致陀螺仪输出精度降低，严重时将导致陀螺仪输出波形完全失真。

本文通过分析陀螺仪工作时所受的激励，针对陀螺仪进行减振装置设计，采用 ANSYS 软件分析减振装置受激振后产生的响应，降低外部激励对陀螺仪工作的影响。

1 陀螺仪减振系统所受激励的分析

1.1 发动机激励分析

车载惯性导航系统由螺栓直接刚性安装在车体上。为保证拖载车辆在导弹发射后，能迅速驶离，惯性导航系统要求在车辆怠速停车状态下工作。外界对惯性导航系统的激励主要为发动机怠速频率。拖载车辆采用六缸四冲程的发动机，怠速转速为 600 r/min ± 50 r/min。对于六缸四冲程的发动机，发动机曲轴每转两圈过程中产生六次往复惯性力，发动机怠速频率 $f = zn/60$ Hz（z 为每转往复惯性力次数，n 为发动机转速）[4]。故发动机怠速激励频率为 30 Hz 左右。在安装惯性导航系统的车辆地板位置，经试验测试得到该部位垂向的平均加权加速度均方根值 α 为 1.23 m/s^2，频率 f 为 29.8 Hz。位移振幅 $A = \alpha/(2\pi f)^2 = 3.51 \times 10^{-5}$ m。

1.2 陀螺仪抖动器激励分析

本文研究的惯性导航系统所采用的陀螺仪为机械抖动式激光陀螺仪，此类型的陀螺仪通过内置的机械抖动器产生抖动偏频来消除激光陀螺仪的闭锁现象[5]。陀螺仪与安装支架用螺栓直接固联在一起，其在工作时抖动器产生的激励将直接传递给陀螺仪安装支架，使支架产生受迫振动。支架的受迫振动将会反馈该陀螺仪壳体，从而影响陀螺仪测量精度。

为了解陀螺仪抖动器的振动特性，设计了如下的测试实验来获得陀螺仪抖动器产生的振动频率和振动力。实验原理为模拟陀螺仪在自由状态下工作，测试其振动加速度，从而计算其振动频率和振动力。实验方法为用一种非常柔软的橡皮筋将激光陀螺吊起来，在陀螺仪壳体上安装三向加速度传感器，如图 1 所示。

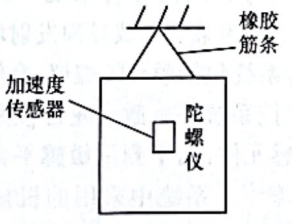


图 1 陀螺仪抖动器振动的测试

测试得到的陀螺仪安装纵向（Y 向）信号频谱如图 2 所示。

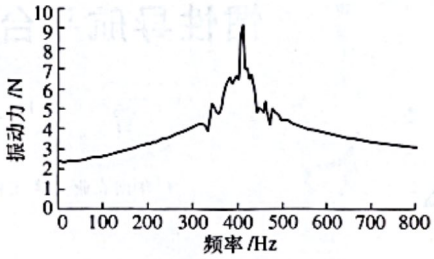


图 2 陀螺仪抖动器振动信号频谱

从测试结果可知，陀螺仪工作时，其抖动器的振动主频为 405 Hz 左右，振动力不超过 10 N，同时存在随机振动信号，其频率范围大约为 360 Hz ~ 450 Hz。

2 减振装置设计

2.1 减振器的选用

减振装置的设计主要是尽量消除发动机激励和陀螺仪抖动器激励对陀螺仪工作的影响。两种激励的频率相差比较大，减振系统的隔振频带比较宽（30 Hz ~ 450 Hz）。根据减振理论，当激励频率与减振器固有频率比 $\lambda > \sqrt{2}$ 时才有减振效果，一般情况下 λ 选在 2 至 5 的范围内[6]。因此，选用的减振器其固有频率应低于 15 Hz。

陀螺仪在工作过程中受到多方向的宽频激励，所以减振系统中减振器的选择需满足以下要求：1）减振器在 3 个方向上都有合适的刚度。2）由于激励的频带较宽，减振器必须要有一定的阻尼来降低谐振传递率。3）减振器必须要有足够的承载能力，以免载荷损坏减振器。

橡胶减振器具有良好的弹性和缓冲性能，固有频率低且具有较大的阻尼，对抑制振幅和衰减冲击具有良好的效果，所以选择橡胶减振器作为减振装置[7]。

2.2 减振器布局

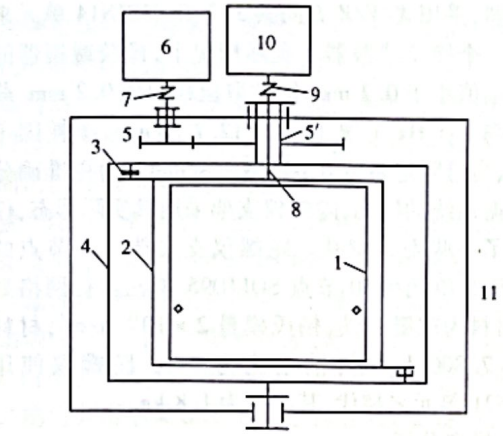
如图 3 所示，减振系统采用两点支撑与两点悬吊的方式与车载转动平台联接。其布局满足下列要求：

1）下面的两支撑点位于同一平面内，上面的两悬吊点位于同一平面内。

2）陀螺仪及其支架的质心应位于 4 个减振器的中心位置。

3）4 个减振器的负载能力相同，并且其总和应大于陀螺仪及其支架的总重量。

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App



1. 激光陀螺仪　2. 陀螺仪支架　3. 减振器 (4个)　4. 转位支座
5. 传动齿轮　6. 步进电动机　7. 联轴器　8. 读数联接轴
9. 联轴器　10. 光电编码器　11. 机座

图 3　系统结构简图

3　橡胶减振器的参数识别

3.1　橡胶减振器参数识别试验设计

本文减振装置中所选用的橡胶减振器为国外进口，为研究减振器动态性能是否符合减振系统要求，采用试验验证的方法来识别减振器参数。试验方案的原理为通过对减振器施加一可控制频率和振幅的激振力，同时测试位移响应信号，然后用合适的参数识别方法求解减振器的参数[8,9]。试验方案如图 4 所示。

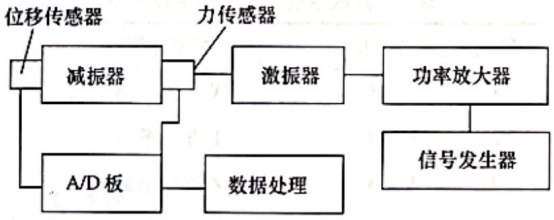


图 4　减振器参数识别试验方案

被测试的减振器体积小、结构简单，采用单点激振的方法也能激出所需的模态，并获得较高的精度，所以试验选择单点激振方法，以减小测试量。为控制激励的能量，观测激振力幅值，采用接触式激振器来施加激励，选用激振力幅值为 0 ~ 50 N，激振频率在 10 Hz ~ 1 000 Hz 的电动激振器。考虑到测试精度的要求，系统的非线性检验及试验设备限制等因素，选择正弦激励信号，通过调整正弦激励信号的频率和功率，得到不同激振频率振幅下的多组相应数据。

3.2　橡胶减振器参数识别模型的建立

大量研究表明，橡胶的动态特性是一种物质常数，一般随温度、振动频率、振幅变化。在常温下，减振橡胶的动刚度值随振动频率变化，且与振幅大小有关[10-12]。其拉压变形公式为

$$F = EAK(\varepsilon) \tag{1}$$

$$K(\varepsilon) = \varepsilon - \varepsilon^2 + (4/3)\varepsilon^3 - \cdots \tag{2}$$

式中：F 为载荷；E 为表观弹性模量；ε 为应变；A 为受压面积。

由式(2)可知，橡胶减振器的应力与应变呈非线性关系。但橡胶属于“硬”弹性元件，非线性因素越大，减振效率越差，减振有效区越窄，越不利于减振，工程中常采用限制橡胶减振器应变值来降低非线性因素的影响。当 $\varepsilon \leqslant 5\%$ 时，式(2)中第二项以后可忽略不计，其应力和应变关系满足虎克定理，可视为线性关系。本文所选用的橡胶减振器被应用于高频减振，振幅较小，应力与应变关系可近似为线性关系。因此可将橡胶减振器振动试验系统简化为单自由度系统模型。其复刚度模型方程为

$$M\ddot{x} + K'(1 + j\gamma)x = F(t) \tag{3}$$

式中：M 为系统当量质量；K' 为复刚度的实部(弹性刚度)；γ 为复刚度虚部(阻尼损耗因子)；$F(t)$ 为激励载荷。通过力的矢量平衡，将载荷 F 分解为与位移 x 同相位的实部 F_a 和异相位的虚部 F_b。可将式(3)转换为

$$(K' - M\omega^2)x + j\gamma K'x = F_a + F_b \tag{4}$$

由式(4)可得

$$K' = F\cos\varphi/x + M\omega^2$$

$$\gamma = F\sin\varphi/K'x$$

式中：φ 为位移与载荷的滞后角；ω 为载荷频率。

当量阻尼系数 C_{eq} 与阻尼损耗因子 γ 之间的存在关系 $C_{eq} = \gamma K'/\omega$。

从式(4)的模型中可知，只需要测定激励力 F、位移 x、相位角 φ、激励频率 ω 和系统当量质量 M 就可求出阻尼损耗因子 γ 值和实刚度 K' 及当量阻尼系数 C_{eq}。

3.3　橡胶减振器参数识别结果

在各个位移幅值与载荷频率试验工况下，得到橡胶减振器刚度、损耗因子如表 1 所示。

对表 1 中数据进行分析，可得到橡胶减振器的如下特性：

1) 橡胶减振器的刚度随激振频率非线性变化，频率增加时刚度变大。损耗因子随频率变化趋势不大。

2) 橡胶减振器的刚度随振幅的增大而增加，损耗因子随振幅增大而减小。

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

表1 各工况下橡胶减振器刚度及损耗因子

工况	位移幅值/mm	载荷频率/Hz	刚度 K /(N·mm^{-1})	损耗因子/γ
1	0.2	405	12.7	0.89
2	0.4	405	20.5	0.61
3	0.6	405	23	0.52
4	0.8	405	24.8	0.39
5	1	405	25	0.3
6	0.6	50	17.5	0.23
7	0.6	100	17.6	0.7
8	0.6	150	18	0.62
9	0.6	200	18.5	0.53
10	0.6	250	19	0.51
11	0.6	300	19.6	0.50
12	0.6	350	20.5	0.50
13	0.6	400	23	0.52
14	0.6	450	28	0.50
15	0.6	500	40	0.53

4 减振系统的动态特性分析

为分析激光陀螺仪工作时，减振系统受陀螺仪抖动器激振及车辆怠速激振时的动态特性，采用ANSYS的模态分析来分析计算减振系统的模态和谐响应分析模块来分析计算激励下的响应值。

4.1 建立减振系统的有限元模型

建立减振系统的有限元模型如图5所示。

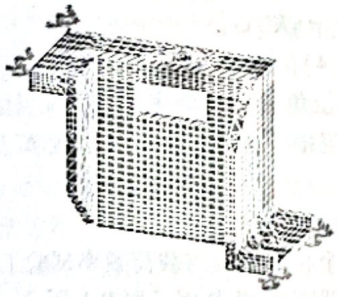


图5 减振系统的有限元模型

陀螺仪支架与外支座通过两个悬吊和两个支撑的橡胶减振器联接，橡胶减振器在 $X/Y/Z$ 这3个方向均起到减振作用。由橡胶减振器参数识别结果可知，橡胶减振器的刚度 K 及损耗因子随激振频率及振幅非线性变化。虽然橡胶减振器是非线性的，但当其应变较小时，可视为线性的。为真实模拟橡胶减振器，采用 $X/Y/Z$ 方向共3个COMBIN14单元来模拟一个橡胶减振器。实际情况下，橡胶减振器的位移幅值小于0.2 mm，因此取位移幅值0.2 mm、载荷频率405 Hz工况下刚度12.7 N/mm、损耗因子0.89、当量阻尼系数0.044 N·S/mm。为更准确分析减振系统的模态，陀螺仪支架采用其实际形态，仅忽略了一些安装螺孔。陀螺仪支架选用8节点的SOLID45单元和20节点SOLID95单元进行网格划分；材料为球墨铸铁，杨氏模量 2×10^{11} N/m^2，材料密度7 800 kg/m^3，泊松比为0.3。陀螺仪使用MASS21单元来替代，其质量为1.8 kg。

4.2 模态分析

利用ANSYS对所建立的有限元模型进行求解，获得有限元模型的固有频率和振型如表2所示。对模态求解结果进行分析后可以看到，减振系统的第1~6阶模态的固有频率范围为9.289 Hz~12.620 Hz，振型为安装支架和陀螺仪的整体振动；第7~12阶模态的固有频率在788 Hz~3072 Hz，其模态及振型主要表现为陀螺仪支架的变形。减振系统的各阶固有频率均远离发动机激励频率30 Hz及陀螺仪的抖动频率360 Hz~450 Hz，避免了陀螺仪安装支架及减振系统发生共振的可能性。根据减振理论，$\lambda_{min}=30/12.620\approx2.38>2$，惯性导航平台减振系统在隔振频带(30 Hz~450 Hz)内具有良好的减振效果。

表2 减振系统的固有频率及振型

阶次	频率/Hz	振型分析
1	9.238	X方向平动
2	9.289	Y方向平动
3	9.293	Z方向平动
4	10.125	绕X向转动
5	11.192	绕Y向转动
6	12.620	绕Z向转动
7	788.99	1阶扭转振动
8	1142.7	1阶弯曲振动
9	2016.0	上部分1阶弯曲振动
10	2046.8	1阶弯曲及扭转复合振动
11	2670.8	2阶弯曲振动
12	3072.7	2阶弯曲扭转复合振动

4.3 谐响应分析

ANSYS谐响应分析用于分析持续的周期载荷在结构系统中产生的持续的周期响应(谐响应)，以

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

及确定线性结构承受随时间按正弦(简谐)规律变化的载荷时稳定响应。分别对发动机怠速激励及陀螺抖动器激励进行谐响应分析。发动机怠速激励用幅值为 3.51E－5m,频率范围 27.5 Hz～32.5 Hz 的简谐位移载荷来模拟,载荷施加在隔振器的固定位置。陀螺仪抖动器的激振使用幅值为 10 N,频率变化范围为 360 Hz～450 Hz 的简谐力载荷来模拟,载荷施加在陀螺仪安装的中心位置。发动机怠速激励谐响应分析结果如图 6 所示,陀螺仪安装中心点的 Z 向最大位移为 3.23×10^{-6} m。陀螺仪抖动器激励谐响应分析结果如图 7 所示,陀螺仪安装中心点的 Y 向最大位移为陀螺仪安装中心点的 Y 向最大位移为 0.23×10^{-6} m。对比导航系统安装地板的振幅 3.51×10^{-5} m,减振系统的减振效果明显。综合发动机怠速激励和陀螺仪抖动器激励可知,陀螺仪安装的中心点位移振幅很小,对陀螺仪抖动器的工作影响较小,不会使得陀螺仪产生抖动不对称现象,因此陀螺仪不会产生大的偏置误差。

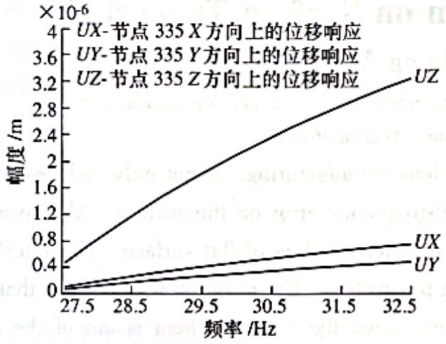


图 6　发动机怠速激励下中心节点的响应曲线

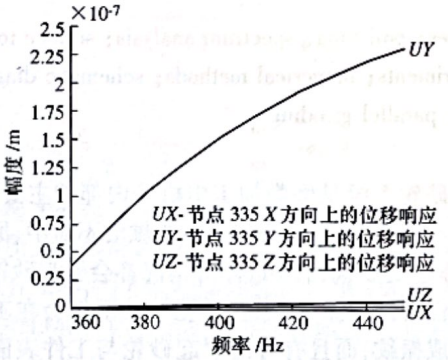


图 7　陀螺仪抖动激励下中心节点的响应曲线

5　结论

1) 惯性导航平台减振系统所受的激励为发动机怠速激励 30 Hz、陀螺仪抖动器激励主频 405 Hz,幅值 10 N,随机振动频率 360 Hz～450 Hz。

2) 采用复刚度模型来测试减振系统中橡胶减振器的非线性动态特性,获得橡胶减振器在激振频率 50 Hz～500 Hz、幅值 0.6 mm 工况及激振频率 405 Hz 幅值 0.2 mm～1.0 mm 工况下的刚度和损耗因子。

3) 通过有限元模态分析,获得减振系统前 12 阶的固有频率,其固有频率均远离系统所受的发动机怠速激励 30 Hz 及陀螺仪抖动器频率范围 360 Hz～450 Hz,避免了共振现象,且频率比 $\lambda_{min}\approx2.38$,满足隔振要求。

4) 通过谐响应分析,分别获得发动机怠速激励和陀螺仪抖动激励下陀螺仪安装位置中心点的响应曲线,其 Z 向最大位移幅度为 3.23×10^{-6} m,Y 向最大位移为 0.23×10^{-6} m;对比减振前 3.51×10^{-5} m 的位移幅度,减振效果明显。

经合作厂方测试,本文设计的减振系统动态性能良好,应用于惯性导航系统中后,陀螺仪工作正常,所产生的数据波形良好,系统定位精度达到设计要求。

[参考文献]

[1] 张炎华,王立端,战兴群等. 惯性导航技术的新进展及发展趋势[J]. 中国造船,2008,183(10):134～144

[2] 杨业飞,申文涛. 惯性稳定平台中陀螺技术的发展现状和应用研究[J]. 飞航导弹,2011,2:72～79

[3] 杨建业,汪立新,蔚国强等. 旋转平台惯导系统旋转效应误差高精度补偿算法[J]. 宇航学报,2011,32(3):554～559

[4] 田新伟. 6120 型客车怠速停车状态的振动控制研究[D]. 天津:天津大学,2008

[5] 张庆华,胡绍民,卢广锋. 机械抖动激光陀螺新型信号处理方法的研究[J]. 光学技术,2010,36(1):126～129

[6] (美)Singiresu S. Rao 著,李欣业,张明路译. 机械振动(第四版)[M]. 北京:清华大学出版社,2009

[7] 吴斌,张驰,赛永博. 某弹载结构橡胶隔振器动态特性研究[J]. 机械科学与技术,2006,25(9):1114～1116

[8] 吴新如,华心,王波. 一种橡胶剪切阻尼器动静态力学特性实验研究[J]. 机械强度,2011,33(1):62～67

[9] 黄协清,张铁山,张俊华. 金属橡胶材料隔振特性研究[J]. 机械科学与技术,2000,19(6):977～980

[10] Sj berg M, Kari L. Testing of nonlinear interaction effects of sinusoidal and noise excitation on rubber isolator stiffness[J]. Polymer Testing, 2003,22:343～351

[11] 韩德宝,宋希庚. 橡胶减振器刚度和阻尼本构关系的试验研究[J]. 振动与冲击,2009,2(28):156～160

[12] 敖宏瑞,姜洪源,闫辉等. 基于复刚度模型的金属橡胶减振系统的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2005,37(12):1615～1617

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

《机械科学与技术》特邀编委

（按姓氏笔划为序）

王占林　国际自动化联盟空间控制专委，北京航空航天大学教授
史维祥　中国流体传动及控制学会理事长，西安交通大学教授
阮雪榆　中国工程院院士，上海交通大学教授
朱剑英　中国航空学会副理事长，CIRP 中国理事，南京航空航天大学教授
李润方　重庆大学教授
杨叔子　中国科学院院士，华中科技大学
周尧和　中国科学院院士，西北工业大学教授
张立同　中国工程院院士，西北工业大学教授
姜澄宇　西北工业大学教授
郭孔辉　中国工程院院士，吉林大学教授
钟　掘　中国工程院院士，中南大学教授
温诗铸　中国科学院院士，清华大学教授
傅恒志　中国工程院院士，西北工业大学教授
雷源忠　国家自然科学基金委员会工程与材料科学部机械学科主任
蒋孝煜　清华大学教授
Dr. W. J. Zhang, University of Saskatchewan, Canada

机械科学与技术

Jixie Kexue Yu Jishu

1981 年创刊　月刊

第 32 卷第 8 期（总第 222 期）　2013 年 8 月

Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering

Monthly, Started Publication in 1981

Vol. 32 No. 8 (Serial No. 222), August 2013

主管单位　中华人民共和国工业和信息化部
主办单位　西北工业大学
主　　编　姜澄宇
副 主 编　马炳和
编辑部主任　武晓耕
编 辑 者　《机械科学与技术》编辑部
地　　址　710072 陕西西安友谊西路127号
出 版 者　《机械科学与技术》编辑部
印 刷 者　西安昆明印刷厂
发行范围　国内外公开发行
总发行者　陕西省邮政报刊发行局
订 购 处　全国各地邮局
邮发代号　52－193

Chief Editor Jiang Cheng-yu
Deputy Editor Ma Bing-he
Editorial Director Wu Xiao-geng
Edited by Editorial Board of Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering
Address Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, P. R. China
Published by Editorial Board of Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering
Telephone (029)88493054
(029)88460226
E-mail mst@nwpu.edu.cn

国外全年定价：60.00 美元　　国内定价：20.00 元/本

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

● 中国机械工程学会机械设计分会会刊 ● 中文核心期刊

ISSN 1001-2354
CN 12-1120/TH

机械设计®

JIXIE SHEJI

JOURNAL OF MACHINE DESIGN

8

2013

第30卷 第8期

SEW EURODRIVE

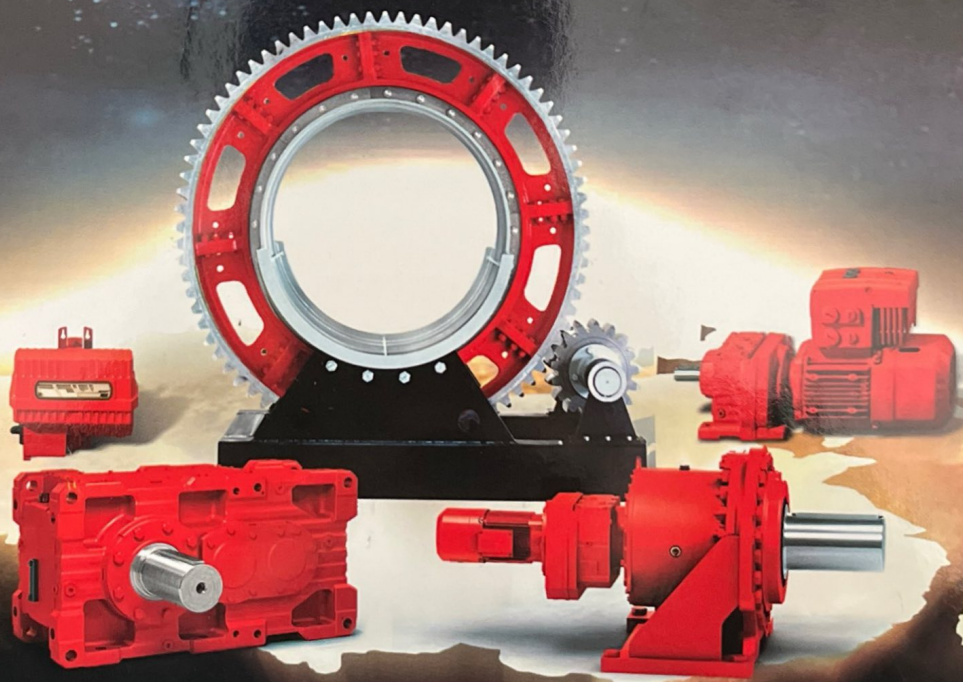
追求卓越 精益求精

SEW为您提供全套驱动解决方案

德国SEW集团是一家专业生产电机、减速机、变频电子设备的跨国企业，技术水平和市场占有率均居世界领先地位。SEW中国公司自1995年进入中国市场后，秉承"追求卓越，精益求精"的企业精神，多年来致力于把德国的先进制造技术、中国人的智慧和勤奋相结合，以精品、服务、本地化三大发展战略为主线，兢兢业业，踏实苦干，目前已发展成为中国机械制造业的知名企业。

如今，SEW中国公司在国内共拥有3家制造厂、7家装配及技术服务中心、50余个办事处，服务网络遍布全国各大中城市。SEW产品广泛应用于轻工、化工、建筑建材机械、钢铁冶金、环境保护、煤炭矿业、汽车工业、港口建设等各大工业领域，成为多项国家重点工程项目的优选品牌。

SEW公司将继续秉承"追求卓越，精益求精"的企业精神，积极进取、踏实工作，把SEW这个德国百年品牌在中华大地上发扬光大，为中国经济建设发展贡献一份力量。



德国独资 SEW-传动设备（天津）有限公司
公司地址：天津经济技术开发区第七大街46号
邮政编码：300457
电话：022-25322612
传真：022-25323273
电子信箱：info@sew-eurodrive.cn

德国独资 SEW-传动设备（沈阳）有限公司
公司地址：沈阳经济技术开发区六号路10甲2号
邮政编码：110141
电话：024-25382538
传真：024-25382580
电子信箱：shenyang@sew-eurodrive.cn

德国独资 SEW-传动设备（苏州）有限公司
公司地址：苏州工业园区苏虹中路238号
邮政编码：215027
电话：0512-62581781
传真：0512-62581783
电子信箱：suzhou@sew-eurodrive.cn

德国独资 SEW-传动设备（武汉）有限公司
公司地址：武汉经济技术开发区全力四路59号
邮政编码：430056
电话：027-84478388
传真：027-84478389
电子信箱：wuhan@sew-eurodrive.cn

德国独资 SEW-传动设备（广州）有限公司
公司地址：广州经济技术开发区骏达路9号
邮政编码：510530
电话：020-82267890
传真：020-82267922
电子信箱：guangzhou@sew-eurodrive.cn

德国独资 SEW-传动设备（西安）有限公司
公司地址：西安高新技术产业开发区锦业二路12号
邮政编码：710065
电话：029-68686262
传真：029-68686311
电子信箱：xian@sew-eurodrive.cn

http://www.sew-eurodrive.cn

9 771001 235135 08

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

机械设计

JIXIE SHEJI

第30卷第8期 （总第286期）
（月刊 1983年创刊）
2013年8月20日出版

★中国机械工程学会机械设计分会会刊
★中文核心期刊
★中国科技论文统计源期刊
★学位与研究生教育指定中文重要期刊
“中国核心期刊（遴选）数据库”收录刊源
“中国科技期刊精品数据库”收录刊源
“中国期刊网”收录刊源
“中国学术期刊（光盘版）”收录刊源
“中国学术期刊综合评价数据库”收录刊源
“万方数据数字化期刊群”入网期刊

主管单位：中国科学技术协会
主办单位：中国机械工程学会
天津市机械工程学会
天津市机电工业科技信息研究所
承办单位：天津市机电工业科技信息研究所
编辑出版：《机械设计》杂志社
社长：孙薇
名誉主编：王祖强
主编：孙薇
执行副主编：王莹
副主编：卜炎（兼）

地址：天津市河北区南口路40号
邮政编码：300232
电话：（022）27343427
传真：（022）27350969
http：//jxsj.chinajournal.net.cn
E-mail：jxsj@chinajournal.net.cn

责任编辑：李娜 郭菊芹
英文编辑：刘国春（兼） 鲁林平（兼）
广告策划：苗冬丽
广告部电话：（022）27350969

刊号：ISSN 1001-2354 / CN 12-1120/TH
国内总发行：天津市邮政报刊发行局
国外总发行：中国国际图书贸易总公司
订购处：全国各地邮局
邮发代号：国内：6-59 国外：M7315
广告经营许可证：1201064000008
商标注册证号：300166
印刷：天津市恒远印刷有限公司
定价：10.00元

刊名题字：何光远

目 次

§设计领域综述§

旋涡泵叶轮和流道水力尺寸智能算法研究 …… 王军，吴凤和，陈恩平（1）

§专题论文§

基于轨迹生成法的机器鱼位姿控制研究 …… 肖权，乐绪鑫，任岩，等（7）
混合型自重构机器人的空间构型描述 …… 余江，杨威，费燕琼（12）
基于PSO混合算法优化BP网络在钢轨磨损量预测中的应用 …… 王平，王彩芸，王文健，等（15）
悬置式3自由度并联机构的精度分析 …… 彭卫东（20）
基于单轴平衡法的发动机平衡轴设计 …… 马宗正，刘豫喜（23）
浮动平底推杆-凸轮组合机构的第Ⅱ类机构综合问题 … 林荣富，常勇（25）
火炮反后坐试验装置设计与仿真研究 …… 孙也尊，秦俊奇，狄长春，等（30）
煤炭采样机械臂的刚柔耦合动力学建模与仿真分析 … 李荣丽，贺利乐（33）
平面图形周长和面积测量仪原理的理论推导 …… 李杰，王忠（37）
同步双驱动多级混合齿轮减速器的刚体动力学研究 …… 李涛涛，李峻湾，张争艳，等（39）
一种新型非圆锥齿轮无级变速装置 …… 孙科，郑方焱，杨公波，等（44）
6速湿式DCT动力学建模与换挡控制仿真 …… 滕艳琼，阴晓峰，张德旺，等（49）
行星滚柱丝杠副滚柱的设计方法与虚拟装配 … 董永，刘更，马尚君，等（53）
基于MSC. Fatigue的安全带固定支架焊缝的疲劳强度分析及优化 …… 王野平，张斌（58）
基于模拟退火算法的主动控制起落架滑跑性能优化和仿真 …… 王海涛，蒋经凯，吴默（63）
陀螺仪安装支架的动态特性分析与优化 …… 曾文，王玉兴，夏红梅，等（67）

§现代装备制造技术与实例分析§

机床主轴锥孔自磨工具 …… 王永明，宁秀月，吕菊芳，等（71）
靠模式弯箍机构设计与转角数模修正 …… 金贺荣，宜亚丽，卢秀春（75）
微型电动施肥机的设计与试验 …… 陈黎卿，陈玉，郑媛媛，等（78）
螺旋锥齿轮滚切加工瞬时切削厚度控制方法 …… 韩佳颖，王宗涛，王太勇，等（83）
水陆两栖飞机着水响应模型与数值分析 …… 罗琳胤，杨仕福，吕继航（86）
浮动双盘混沌振动清扫机的混沌振动分析 …… 王正浩，孟庆欣，范改燕，等（90）
动压软岩巷道用让压锚杆的设计与性能分析 …… 王成军，何涛，张东速，等（93）

§工业设计论坛与资讯§

工业设计定义、范畴、方法及发展趋势综述 …… 张磊，葛为民，李玲玲，等（97）
基于模糊理论的产品设计DNA分析辅助设计系统开发 …… 申泽，张斌，聂书法（102）
基于信息技术平台的产品集成创新方法 …… 吴冬俊（106）
造型要素对感性意象认知差异影响的比较 …… 张学东（110）
基于WSR系统方法论的产品设计研究 …… 方方，段齐骏，李明珠，等（113）
PU泡沫塑料汽车造型模型制作方法 …… 刘华，金冬（117）
以废弃物为主材的低碳家具设计研究 …… 郭琼，袁纳新，符路特，等（120）
校园社区网页登录的交互界面设计研究 …… 周睿（123）
日用品外观的情感化设计探析 …… 陈晨（127）

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

陀螺仪安装支架的动态特性分析与优化*

曾文，王玉兴，夏红梅，卿艳梅
（华南农业大学 工程学院，广东 广州 510642）

摘要：陀螺仪是惯性导航系统的关键部件，其安装支架的动态特性直接影响陀螺仪的测量精度。文中利用ANSYS软件建立了陀螺仪安装支架的三维实体模型及有限元模型，分析了陀螺仪安装支架自由状态下的模态。结合模态分析结果，讨论了陀螺仪抖动的激励和发动机激励对陀螺仪安装支架动态特性的影响，发现了安装支架结构设计的不足，并提出改进方案。理论模态和实验模态分析表明，改进后的陀螺仪安装支架的结构动态特性明显改善。经试验测试，激光陀螺仪输出精度符合惯性导航系统的要求。

关键词：惯性导航；动态特性；模态分析；有限元；振动
中图分类号：TP399；O1.0 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-2354(2013)08-0067-05

惯性导航系统是以物体的惯性为基础，结合计算机和控制技术，获取运动载体的加速度、速度、转动角度等运动参数和坐标等多种信息，从而确定运动载体姿态、航向、弹道等多种信息，达到导航、制导、定位、定向等目的的综合系统[1]。文中所研究的惯性导航系统为某型车载导弹发射塔精密定位定向系统，整套系统包括激光陀螺仪、安装平台、隔振系统、转位系统、测控系统等。激光陀螺仪是惯性导航系统的核心传感元件，用于测量敏感平台相对于惯性空间的角速率[2-3]。系统中采用的机械抖动式激光陀螺仪在工作时，其抖动器产生一个较大的抖动频率，同时还存在频率在一定范围内的随机振动[4]。陀螺仪安装支架作为陀螺仪的安装载体，受到来自汽车发动机和陀螺仪的激励，当激励频率和安装支架的固有频率接近时，就会产生共振，从而导致陀螺仪安装面产生较大的振幅和变形，影响陀螺仪的测量精度。防止安装支架发生共振和产生较大振幅是改善陀螺仪支架的动态特性、提高陀螺仪输出精度的关键。

文中通过解释法和实验法对陀螺仪安装支架的动态特性进行分析，并在此基础上对原安装支架进行了合理的结构改动，极大地改善了安装支架的动态特性，提高了陀螺仪的输出精度。

1 陀螺仪安装支架所受激励的分析

1.1 发动机激励分析

该车载惯性导航系统由螺栓直接刚性安装在车体上，系统工作时车辆处于停车怠速状态，因此外界对惯性导航系统的激励主要为发动机怠速频率。该拖载车辆采用的是六缸四冲程的发动机，怠速转速为(600±50) r/min。对于六缸四冲程的发动机，发动机曲轴每转两圈过程中产生6次往复惯性力，发动机怠速频率 $f=zn/60$ Hz（z 为每转往复惯性力次数，n 为发动机转速）。故发动机怠速激励频率为30 Hz左右。

1.2 陀螺仪抖动器激励分析

文中研究的惯性导航系统所采用的陀螺仪为机械抖动式激光陀螺仪，该类型陀螺仪通过内置的机械抖动器产生抖动偏频来消除激光陀螺仪的闭锁现象[5]。陀螺仪与安装支架直接用螺栓固联在一起，在陀螺仪工作时，抖动器所产生的激励将直接传递给安装支架，使支架产生受迫振动。支架的受迫振动将会反馈给该陀螺仪壳体，从而影响陀螺仪测量精度。

为了解陀螺仪的振动特性，设计了如下的测试实验来获得陀螺仪抖动器产生的振动频率和振动力。实验原理为模拟陀螺仪在自由状态下工作，测试其振动加速度，从而计算其振动频率和振动力。实验方法为用一种非常柔软的橡皮筋将激光陀螺仪吊起来，在陀螺仪壳体上安装三向加速度传感器，如图1所示。

测试得到的信号频谱如图2所示。从测试结果可知，陀螺仪工作时，其抖动器的振动主频为405 Hz左右，振动力不超过10 N，同时存在随机振动信号，其频

* 收稿日期：2012-07-25；修订日期：2013-02-09
基金项目：国家自然科学基金资助项目(51005080)；科技部国家星火计划引导资助项目(2011GA780027)
作者简介：曾文(1975—)，男，江西宁都人，讲师，博士研究生，研究方向：机械现代设计方法，发表论文4篇。

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

率范围大约为340～460 Hz。

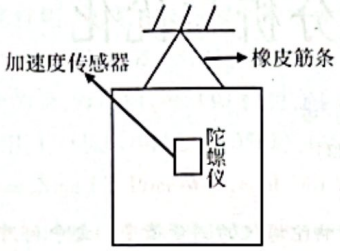


图1 陀螺仪抖动器振动的测试

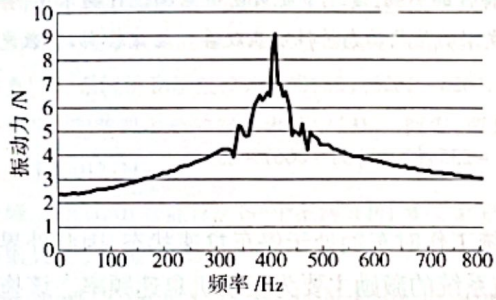


图2 陀螺仪抖动器振动信号频谱

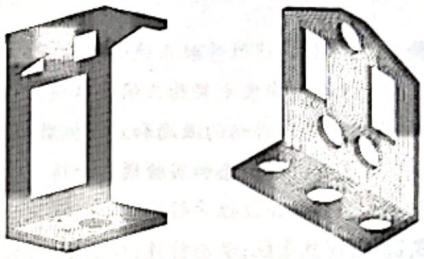
2 陀螺仪安装支架的动态特性分析

机械结构的动态特性分析，主要是确定系统的固有频率和主振型，有时还需要求解受激励情况下的响应。通过结构模态分析，识别出系统的模态参数，为结构系统的振动特性分析及结构动力特性的优化分析设计提供依据[6-7]。动态特性的分析方法主要有两种，即解释法和实验法。实验法通过测量结构上某些点的动态输入和输出响应，根据测得的频响函数估计模态参数。解析法通过确定结构的几何形状、边界条件和材料特性，把结构的质量分布、刚度分布和阻尼分布分别用质量矩阵、刚度矩阵和阻尼矩阵表示出来，据此计算模态参数，一般借助有限元法[8-9]。

2.1 理论模态分析

根据合作厂商提供安装支架的实物和图纸，直接在ANSYS中建立3维模型。内支架直接与陀螺仪通过螺钉固联，外支架与内支架通过3个减震器连接，外支架直接安装在惯导平台上。内外支架均为铸造而成，材料为球墨铸铁，弹性模量2×10^5 MPa，材料密度7 800 kg/m^3，泊松比为0.3。为了准确地表示其结构特性，采用了ANSYS中的8节点SOLID45单元及20节点SOLID95单元划分网格。划分网格过程中，忽略铸造圆角、附属部件等对分析结果影响很小的因素。最终建立的安装内外支架的有限元模型如图3所示。

由于低阶模态对振动的影响高于高阶模态，且系统在车辆怠速下运行，所以只提取其前6阶模态参数。运用ANSYS软件对内外支架进行自由模态分析，利用子空间模态提取法提取模态参数。内外支架的固有频率如表1所示。



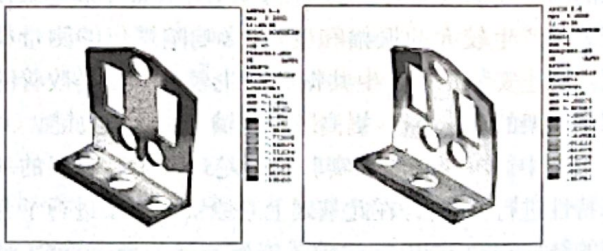
(a)外支架 (b)内支架

图3 内外支架的有限元模型

表1 内外支架的固有频率和振型

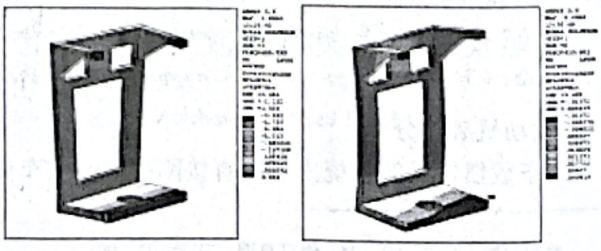
零件	阶次	频率/Hz	振型描述
内支架	1	811.25	1阶扭转振动
	2	822.42	1阶弯曲振动
	3	1 465.3	上部分1阶弯曲振动
	4	1 941.3	1阶弯曲及扭转复合振动
	5	2 094.8	2阶弯曲振动
	6	2 810.6	2阶弯曲扭转复合振动
外支架	1	405.79	1阶扭转振动
	2	413.63	1阶弯曲振动
	3	955.59	1阶纵向弯曲振动
	4	1 054.5	2阶弯曲振动
	5	1 158.7	2阶弯曲扭转复合振动
	6	1 503.3	2阶弯曲扭转复合振动

内外支架的前2阶振型如图4和图5所示。



(a)第1阶振型 (b)第2阶振型

图4 内支架前2阶振型



(a)第1阶振型 (b)第2阶振型

图5 外支架前2阶振型

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

2.2　结果分析

内支架的 1 阶固有频率 811.25 Hz 远大于陀螺仪的主频 405 Hz 及其随机振动信号的频率范围 340 ~ 460 Hz，故内支架不容易产生共振。但其陀螺仪安装面的相对振幅较大，容易影响陀螺仪的输出精度。外支架 1 阶 405.79 Hz 及 2 阶 413.63 Hz 的固有频率与陀螺仪的主频 405 Hz 接近，且在随机振动信号的频率范围内，可能导致外支架共振。

车辆发动机怠速的激励频率 30 Hz 远小于内外支架的固有频率，因此对内外支架的动态特性影响较小。

3　安装支架改进分析

通过对内外支架的分析，结合使用环境，对内外支架的结构改进主要考虑以下几点：

（1）提高外支架的固有频率，避免外支架与抖动器的频率产生耦合。

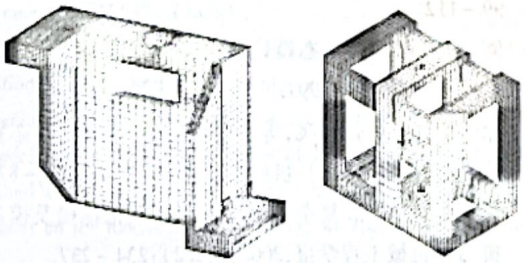
（2）减小内支架陀螺仪安装面的相对振幅。

（3）由于整个系统要进行转动，为了减小转动惯量，需要考虑陀螺仪内外支架结构的重心位置，使其重心处于转动中心位置。

（4）增强内支架的静刚度。为了增强支架与陀螺仪结合面的刚度，将结构的形式进行改变。将结构进行半封闭处理，形成半箱体形状，此举明显改进了支架的刚度性能。在结构薄弱的地方添加筋条和筋板，改善结构的静刚度。

3.1　改进后陀螺仪安装支架的理论模态分析

根据改进方案改进后的内外支架有限元模型如图 6 所示。针对结构的特点，选用 8 节点的 SOLID45 单元和 20 节点 SOLID95 单元；材料为球墨铸铁，弹性模量 2×10^5 MPa，材料密度 7 800 kg/m^3，泊松比为 0.3。



（a）改进后内支架的有限元模型　　（b）改进后外支架的有限元模型

图 6　改进后内外支架的有限元模型

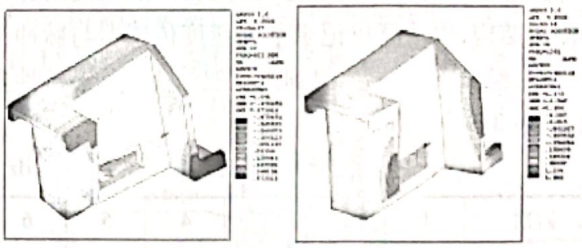
3.2　计算结果分析

采用 ANSYS 的子空间模态提取法，分析得到内外支架在不受外载荷以及约束的自由状态下前 6 阶结构的模态，得到计算结果如表 1 所示。

表 2　改进后内外支架的分析结果

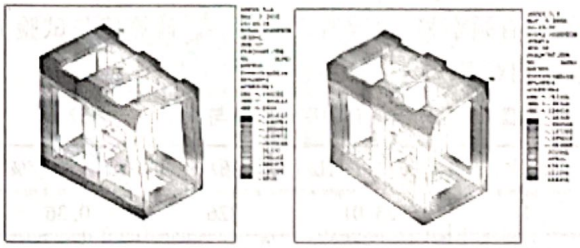
零件	阶次	频率/Hz	振型描述
内支架	1	823.01	左右两块筋板绕 X 轴的扭振
	2	2 391.6	左右两块筋板绕 Z 轴的扭振
	3	2 931.4	筋板两边沿 Z 轴的扭振
	4	3 211.2	左右两块筋板绕 Y 轴的扭振
	5	3 404.3	筋板两边沿 Y 轴的扭振
	6	3 763.3	较复杂
外支架	1	667.76	上下两面的 1 阶扭转振动
	2	747.08	上下两面的 1 阶弯曲振动
	3	1 258.4	较复杂
	4	1 356.6	较复杂
	5	1 384.7	较复杂
	6	1 601.1	较复杂

前 2 阶模态的振型如图 7 和图 8 所示。



（a）第 1 阶振型　　（b）第 2 阶振型

图 7　改进后内支架前 2 阶振型



（a）第 1 阶振型　　（b）第 2 阶振型

图 8　改进后外支架前 2 阶振型

从各阶模态的固有频率和振型动画上分析，改进后内外安装支架的固有频率远离激光陀螺仪抖动器的主频 405 Hz 及 360 ~ 450 Hz 的随机振动频率范围，并且陀螺仪安装平面的相对振动幅度亦较小。内外支架的动态特性满足系统的要求。

3.3　实验模态分析

在完成改进后内外安装支架的设计后，由合作厂方加工出样品。为验证设计是否符合要求，采用试验方法来验证理论模态分析的结果。因内支架与陀螺仪

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

直接固联，对陀螺仪工作的影响较大，因此主要对内支架进行试验模态分析。内支架结构较小，且为铸造件，具有良好的线性特性，所以采用锤击法单点稳态正弦激励的模态试验方法来测试内支架的固有频率参数。为模拟自由状态，将内支架用软橡皮绳悬挂起来，内支架的线框模型及悬挂方法如图9所示。

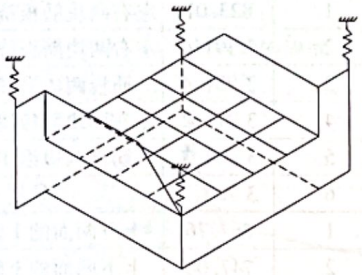


图9 内支架模态试验的悬挂方法

参考理论模态分析结果，且经过多次预实验，确定了支架的测点和激励点。内支架结构使用的测点数为37个，线段为53条。在陀螺仪安装面的中心安装加速度传感器作为振动的敏感元件，在测点处使用脉冲锤敲击结构，用计算机记录下加速度传感器与脉冲锤的输出，经参数识别后，得到内支架结构的动态特性参数，如表3所示。

表3 内支架试验固有频率表 Hz

阶次	1	2	3	4	5	6
频率	826	2 397	2 966	3 245	3 419	3 818

试验得出内支架前6阶固有频率与ANSYS理论计算固有频率相近，数值相比略高。计算值与试验值比较，相对误差均在1.45%以内，如表4所示。

表4 内支架固有频率计算值与试验结果比较

阶次	计算频率/Hz	试验频率/Hz	相对误差/%
1	823.01	826	0.36
2	2 391.6	2 397	0.27
3	2 931.4	2 966	1.18
4	3 211.2	3 245	1.05
5	3 404.3	3 419	0.43
6	3 763.3	3 818	1.45

相对误差出现的主要原因：(1)台体的实际尺寸与模型尺寸存在一定的偏差，结构的铸造圆角偏大，且在理论分析时忽略了结构上的一些螺纹孔等。(2)建模时的弹性模量、材料密度、泊松比均与实际存在一定的差异，从而影响模态分析结果。总体来看，所建立的有限元模型分析结果与实际情况基本相符。

4 结论

应用理论与试验相结合的手段对陀螺仪安装支架的动态特性进行了分析。通过对内外支架结构的多次修改和重分析后，得到了改进后的内外结构模型。所设计的内外支架质量轻且刚度大，其固有频率均远离了陀螺仪抖动器的主频405 Hz及随机振动频率范围360～450 Hz，也远离车辆发动机的怠速激振频率30 Hz，内支架的陀螺仪安装面的相对振幅也较小，故陀螺仪内外支架的结构动态特性满足系统要求。除内外支架外，内外支架间的橡胶隔振器隔振系统动态特性也对惯性导航系统存在影响，但受篇幅所限，不作详述。文中设计的惯导平台系统，经合作厂方测试，陀螺仪工作正常，系统定位定向精度达到设计要求。

参考文献

[1] 张炎华，王立端，战兴群，等. 惯性导航技术的新进展及发展趋势[J]. 中国造船，2008，183 (10)：134－144.

[2] 杨业飞，申文涛. 惯性稳定平台中陀螺技术的发展现状和应用研究[J]. 飞航导弹，2011(2)：72－79.

[3] 杨建业，汪立新，蔚国强，等. 旋转平台惯导系统旋转效应误差高精度补偿算法[J]. 宇航学报，2011，32(3)：554－559.

[4] 张庆华，胡绍民，卢广锋. 机械抖动激光陀螺新型信号处理方法的研究[J]. 光学技术，2010，36 (1)：126－129.

[5] 粟荣涛，胡绍民，樊振方，等. 机械抖动激光陀螺的高分辨率信号处理[J]. 应用光学，2011，32(2)：1022－1026.

[6] Modak S V, Kundra T K, Singh Gaurav. Dynamic design through modal modals obtained by operational modal analysis[J]. Advances in Vibration Engineering, 2012,11(1): 99－112.

[7] 陈新. 机械结构动态设计理论方法及应用[M]. 北京：机械工业出版社，1997.

[8] 徐中明，余烽，张志飞，等. 小型机动平台车体动态特性分析与减振优化[J]. 机械设计，2011，26(3)：84－87.

[9] 崔志琴，杨瑞峰. 复杂机械结构的参数化建模及模态分析[J]. 机械工程学报，2008，44 (2)：234－237.

Dynamic characteristic analysis and structural optimization of gyro's bracket

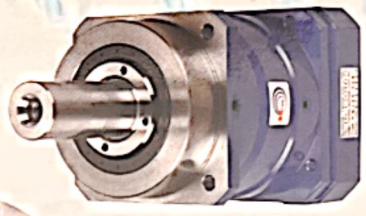
扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

SUNUS

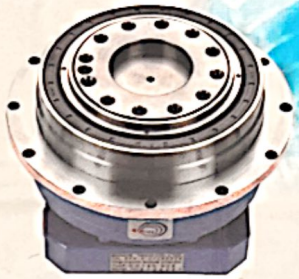
SUNUS

善尔斯行星式减速机

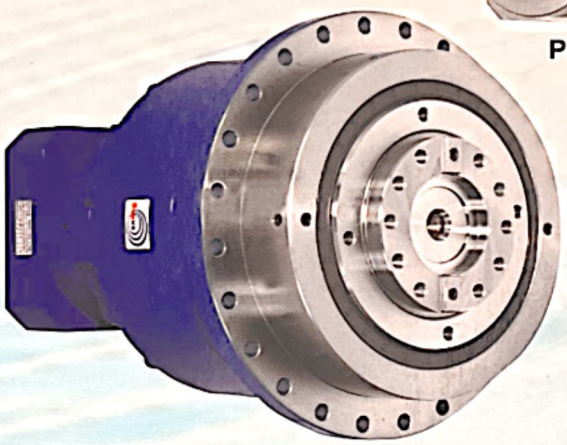
伺服马达专用



PG-SERIES

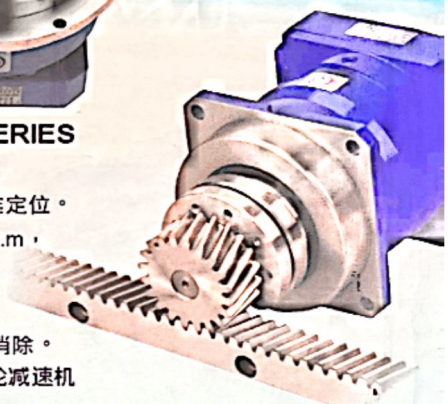


DG-SERIES



UGM- SERIES

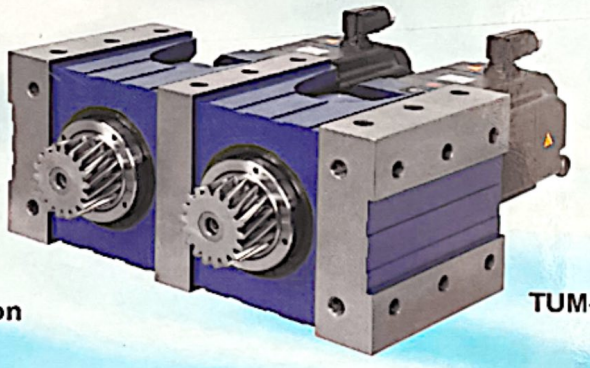
PG，HG，DG，HB系列专门设计应用在精准定位。
UG大扭力系列能承受扭力值可大於27,645 N.m，
并同时精准定位。
WG蜗轮消隙系列适用於动梁式龙门铣床。
TUM电机消隙系列使用双伺服电机达成背隙消除。
也配合客户特殊需求生产客制化减速机，蜗轮减速机
及各类齿轮，蜗轮，蜗杆，转盘轴承，
研磨齿排制作。



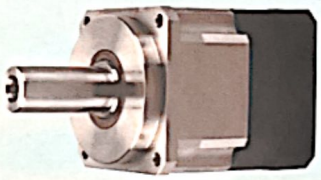
HG-SERIES



Grinding Rack & Pinion



TUM-SERIES



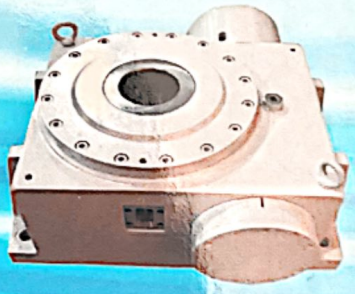
HB-SERIES



Turntable Bearing



Customized Items



WG-Series Worm reducer

SUNUS TECH CO., LTD. 晶杰精机有限公司

台湾总公司
台中市丰原区大顺街8巷54号
Tel: 886-4-2528-8879
Fax: 886-4-2528-8829
E-mail:sunusdrive@gmail.com
http://www.sunusdrive.com

大陆地区
天津德瑞博隆机械设备贸易有限公司
新产业园区华苑产业区兰苑路五号B-803
电话: 022-83715673
传真: 022-83715672
邮箱: tjdrbl@163.com
网址: www.tjdrbl.com.cn

主办单位：中国机械工程学会，天津市机械工程学会，天津市机电工业科技信息研究所

报刊代号：6-59
定价：10.00元

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

JOURNAL OF CHINESE AGRICULTURAL MECHANIZATION

中国农机化学报

全国中文核心期刊　中国农业核心期刊
中华人民共和国农业部主管
农业部南京农业机械化研究所主办

ISSN 2095-5553
07>
9 772095 555130

2013 4
第34卷　总第248期

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

目　次

发展研究

关于农机协同创新的思考 …… 刘宪(1)
农机合作组织或能突破"谁种粮"难题 …… 丁仕华(5)
我国农机安全生产形势分析 …… 白艳(8)
劳力短缺驱动的农机化发展研究——以四川省仁寿县为例子 …… 吴维雄, 杨文钰, 马荣朝, 等(12)
温室环境控制技术的研究现状与发展趋势 …… 杨学坤, 蒋晓, 诸刚(16)
喷杆喷雾机研究现状及发展趋势 …… 贾卫东, 张磊江, 燕明德, 等(19)
中国核桃产业发展研究 …… 李忠新, 杨莉玲, 阿布力孜·巴斯提, 等(23)
我国芦苇收获装备现状与发展建议 …… 陈明江, 郭卫, 曲浩丽, 等(29)

管理研究

全程机械化下广西水稻免(少)耕生产模式 …… 黄凰, 杨敏丽, 蔡强(32)
榆树市玉米机械化生产系统分析 …… 高巍, 陈志, 杨敏丽(37)
安徽省花生生产机械化关键问题与对策研究 …… 易克传, 冯晓静, 高连兴(42)
山西省农机购置补贴资金需求预测研究 …… 冯彩霞, 王天水(45)
农机化投入经费来源结构及其空间分布特征研究 …… 李泽华, 马旭(49)
国内小型轮式拖拉机现状及更新换代前景分析 …… 廖汉平(56)
农机事故成因分析与预防措施——以浙江省嘉兴市为例 …… 王文伟, 沈火明, 高剑雄, 等(61)
我国轮式拖拉机燃油消耗相关标准解析及探讨 …… 卢建强, 肖苏伟, 廖汉平(65)
农机制造企业质量控制系统的设计与实现 …… 曾文, 王玉兴, 汪刘一, 等(71)

基础研究

香蕉果梗切割力学特性试验 …… 尹秋, 王涛, 张喜瑞, 等(75)
木薯秸秆力学特性测试仪设计与试验 …… 闫梅, 王涛, 李梦林, 等(78)
旋转磁场对生物体影响的实验装置研制 …… 张进龙, 窦兴亮, 邓国勇, 等(83)
进气湿度对电控汽油机怠速排放特性的影响 …… 闫建国, 王利娟, 张忱, 等(88)
染有白噪声的破茬圆盘刀腐蚀声发射信号的小波分析 …… 李宝玉, 郭明慧, 张伟, 等(92)
微波处理对温室连作土壤中根结线虫的影响 …… 王明友, 肖宏儒, 宋卫东, 等(95)
基于本体的生产过程建模研究 …… 蒋易强, 侯力(100)
基于专家知识的玉米病虫害贝叶斯网络的构建 …… 毕春光, 陈桂芬(104)

中国农机化学报
(1957 年创刊)
2013 年第 4 期　第 34 卷　总第 248 期
双月刊, 2013 年 7 月 25 日

Journal of Chinese Agricultural Mechanization
(Started in 1957)
Vol. 34　No.4　2013　Total 248
Bimonthly, Published in Jul. 25, 2013

主　管　中华人民共和国农业部
主　办　农业部南京农业机械化研究所
社　长　王利民
主　编　曹曙明
出　版　中国农机化杂志社
编　辑　《中国农机化学报》编辑部
(南京市柳营 100 号, 210014)
电话:025-84346270, 84346296
传真:025-84346271
电子信箱:jcam@vip.163.com
印　刷　南京四彩印刷有限公司
国内订阅　全国各地邮局
国外发行　中国国际图书贸易集团公司
(北京 399 信箱)

Responsible Department: Ministry of Agriculture of the PRC
Sponsored by: Nanjing Research Institute for Agriculture Mechanization
President of Magazine Office: Wang Limin
Editor in Chief: Cao Shuming
Published by: Chinese Agricultural Mechanization Magazine Office
Edited by: Journal of Chinese Agricultural Mechanization editorial office
(No. 100 Liuying, Nanjing, 210014, China)
Tel: 025-84346270, 84346296
Fax: 025-84346271
E-mail: jcam@vip.163.com
Printed by: Nanjing Sicai Printing Co., LTD
Subscribed by: All local Post Offices in China
Issued abroad: China International Book Trading Group
(P.O. Box 399, Beijing, China)

中国标准连续出版物号: ISSN 2095-5553 / CN 32-1837/S　国内邮发代号: 28-116　国外发行代号: BM5576　国内定价: 15 元

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

DOI: 10.3969/j.issn.2095-5553.2013.04.017

农机制造企业质量控制系统的设计与实现 *

曾文，王玉兴，汪刘一，张殿武
（华南农业大学工程学院，广州市，510642）

摘要：针对农机制造企业质量管理和控制中存在的问题，结合质量检验理论、统计过程控制理论和计算机信息技术，分析了农机制造企业的质量管理业务流程、系统的功能模块结构，建立了系统的体系架构，设计并开发了农机制造企业质量控制系统。系统的实现构建了农机制造企业生产过程的质量信息采集、统计、监控的软硬件平台，保证了质量采集数据的准确性和质量统计结果的及时性，实现了重要质量特性的实时质量监控，提高了企业质量管理效率，降低了企业的质量损失。

关键词：质量控制系统；质量管理；质量检验；统计过程控制

中图分类号：TB114.2　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：2095-5553 (2013) 04-0071-05

曾文，王玉兴，汪刘一，张殿武. 农机制造企业质量控制系统的设计与实现[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(4): 71~74, 91

Zeng Wen, Wang Yuxing, Wang Liuyi, Zhang Dianwu. Design and implementation of quality control system for agricultural machinery manufacturing enterprise [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(4): 71~74, 91

0 引言

农业机械是农业科学技术转化为生产力的重要手段，其制造水平的高低直接体现一个国家农业机械制造业的整体能力和水平[1]。在竞争激烈的国内外农机市场环境下，产品质量是国内农机制造企业获得立足并长远发展的基本保证。在产品质量形成的全过程中，生产制造过程是最终实现产品实物质量的重要过程，生产制造过程质量的好坏，将直接影响产品的质量[2]。目前我国农机制造业的质量控制还基本上依赖人工检验，但受工人素质、质量统计方法落后等因素的影响，不能对产品质量进行有效的控制。因此，建立基于计算机信息技术、结合 ISO9001 的质量检验管理和统计过程控制方法的质量控制系统，对提高农机企业质量管理水平、提升产品质量具有重要意义。

1 系统分析

1.1 系统需求分析

尽管当前的质量管理理论与工具都比较完善，但由于目前国内农机制造企业的质量意识不够且质量数据采集、分析、处理等基本都是由人工手动来完成的，导致企业的质量管理与控制存在很多问题[3-5]。

1）质量管理的“两种皮”现象。很多国内农机制造企业已基于 ISO9001 建立了较完善的质量管理体系，但由于领导及员工的重视程度低、质量管理体系复杂、涉及的数据量大、统计方法较难等，质量管理体系往往流于形式，成为应付客户检查的面子工程。实际的质量管理还是延续原来的老办法，质量管理人员随意性较大，质量管理体系没有发挥应有的作用。

2）质量检验人员工作量大、效率低，质量数据准确性差。质量检验中的抽样数量及允收数、拒收数由检验批量的大小决定，质量检验人员需牢记工厂的采样方案，对质量检验员的要求较高，导致容易出错。质量检验结果由质量检验员手工记录，检验员每天需记录大量的数据，工作量大，易导致质量数据真实性、准确性差。

3）质量统计技术应用水平差。对于普通的质量管理人员来说，质量统计技术存在一定的难度且数据处理手段落后，致使企业的大量质量数据得不到利用，企业的统计技术应用只停留在较低水平上。质量统计的数据录入工作量大、任务繁重，也导致统计的及时性差，企业管理层无法及时掌握工厂的质量状况。

4）生产过程的稳定性差。生产过程受人、机、

收稿日期：2013 年 3 月 8 日　　修回日期：2013 年 4 月 9 日

* 基金项目：国家自然科学基金项目（51005080）；科技部国家星火计划引导项目（2011GA780027）

第一作者：曾文，男，1975 年生，江西人，讲师，博士研究生；研究方向为农业机械化与农机质量工程。E-mail：zengwen@scau.edu.cn

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

料、法、环、测等因素的影响，容易造成产品质量的波动。实践中解决这一问题的办法主要靠提高检验的频率和检验产品的数量，造成废品率高、质量损失大且效率低下。

5）产品质量可追溯性差。企业缺乏完善的产品质量追溯体系，也没有产品生产过程中全面的质量数据，当产品出现质量问题时，难以实现快速实现质量追溯，易致质量损失扩大，也难以追究相关责任人的责任。

综合农机制造企业存在的质量管理问题，结合现代质量管理的一些方法和信息技术，需要从技术层面采用一种高效实用、操作简单的质量管理工具来实现质量数据的自动采集、分析、处理，以提高企业质量管理水平。

1.2 业务流程分析

针对农机制造企业质量管理中存在的问题，对农机制造企业的质量管理与控制流程进行充分和系统的调研，总结农机制造企业的质量管理与控制业务流程如图 1 所示。

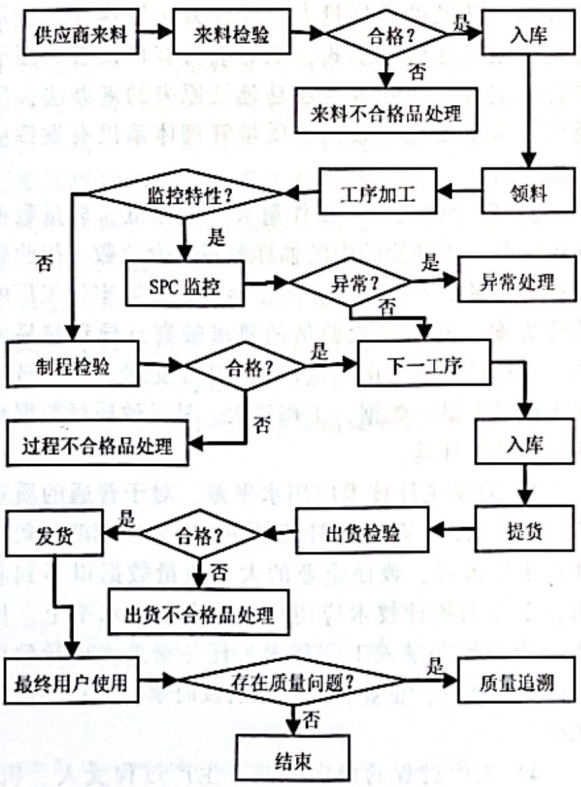


图 1 质量管理与控制业务流程

Fig. 1 Quality management and control business processes

企业在收到供应商的原材料或外协件后，由质量管理部门的 IQC 检验员根据物料检验计划进行抽样检验，根据检验结果对该批次的来料进行接受、拒收、特采等判定，接受的来料进入仓库存储或直接进入生产线。物料进入生产工序后，IPQC 检验员根据物料工序检验计划，在各个检验站进行检验，对检验数据及时进行判定，如果判定结果为拒收，则必须采取相应的措施进行处理。如果工序中存在关键质量特性，则需要进行对该关键特性进行质量监控，如果质量监控中发现过程出现异常，则通知相关人员进行处理，分析异常原因、采取纠正措施。前一工序检验合格后物料才进入下一工序。所有工序完成后，产品入库前，根据需要进行产品入库抽检。在给客户发货前，OQC 检验员再次根据产品的检验计划进行出货检验，如果检验合格，则放行；如果不合格，则采取相应的处理方法，如挑选、返工等，保证发给客户的产品符合质量要求。如果客户或消费者使用时，发现产品质量问题，则通过产品的批号等信息，对该产品的生产过程进行质量追溯。最后，质量工程师根据质量检验的数据，绘制各种类型的质量统计报表、编制统计报告，提供给高层管理人员[6,7]。

3 系统组成与功能

根据企业需求分析、系统业务流程分析以及各职能部门之间关系，将系统分为质量基础数据管理、质量计划、质量检验、质量控制、统计分析报表、质量追溯、用户权限管理等功能模块。各个模块之间既是独立存在的，又是相互联系的，如图 2 所示。

3.1 质量基础数据模块

质量基础数据模块是系统的基础模块，其主要功能是设置系统中需要的一些基础数据，包含物料基础数据、抽样方案、采样过程、工作中心、基本特性等。物料基础数据设置物料的基本信息及其质量相关数据；抽样方案根据 ISO 标准和国家标准进行设置，确定采样数量的大小；采样过程为根据采样类型（如 100%采样、固定样本、百分比样本、采样方案）和特性评估方式确定样本的大小、允收数量、拒收数量等；工作中心为设置加工和检验的场所；基本特性为工厂常用的一些工序检验特性的集合。

3.2 质量计划模块

质量计划模块是系统的核心模块，主要功能是设置产品的检验工序和检验特性。质量检验计划是基于产品工艺流程设置每个工序中需要进行检验的质量特性，同时设置检验时间的间隔等，包含来料检验计划、制程检验计划、出货检验计划，也可根据工厂需

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

要添加各种类型的检验计划。

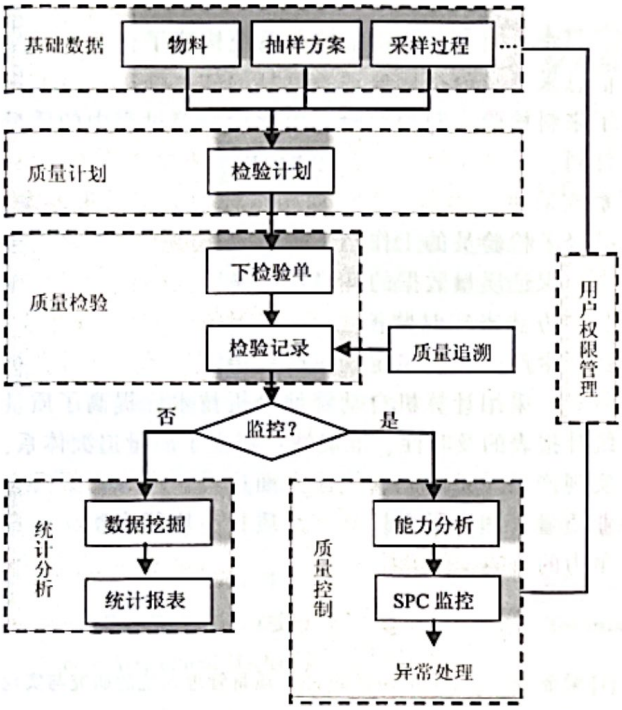


图 2　功能模块关系

Fig. 2　The relationship of function modules

3.3　质量检验模块

质量检验模块是系统数据采集的模块，主要包含检验单、检验结果记录、自动数据采集等功能。质量检验模块就是检验员根据物料的检验计划和批量等信息下检验单，系统自动计算样本数量、检验特性的允收数量、拒收数量等，然后检验员在检验单中利用设备的自动数据采集功能或手动输入特性质量数据，由系统自动判定特性接受还是拒收，最后对检验单作出使用决策的判定。

3.4　质量控制模块

质量控制模块也是系统的核心模块，主要包含 SPC 监控、能力分析、异常处理功能。质量控制模块是根据 SPC 统计过程控制的原理，对关键的质量特性采用合适的控制图进行分析和控制，当过程产生异常波动时，及时进行报警，通过短信、邮件、托盘通知等放式通知相关人员，通过异常处理功能记录异常的原因、解决措施等信息，形成异常处理知识库，分析过程能力，了解企业质量控制水平。

3.5　统计分析模块

统计分析模块包含数据挖掘和统计报表功能。数据挖掘是根据用户的需求，从各种不同的维度去分析质量数据，从而了解工厂中哪些地方存在质量问题、哪些质量问题比较突出需要优先进行解决、掌握工厂的整体质量状况。统计报表是根据用户的需要，利用数据和质量图形结合的方式直接为用户提供直观的报表。

3.6　质量追溯模块

质量追溯模块是当客户投诉产品出现质量问题时，追溯该产品生产过程中各个环节的原材料、机器信息、操作员、检验员等信息，弄清质量问题出现的位置及原因，同时找到出现质量问题的原材料或半成品后，再追溯到相关批次的成品，以控制质量损失。该模块要结合产品 ERP 中的批次管理来实现。

3.7　用户权限管理模块

用户权限管理模块是系统的辅助模块。用户权限管理模块包含用户管理、权限管理等功能，为使用系统的不同用户设置相应的权限，简化用户的使用菜单功能，避免质量数据被更改等。

4　系统的开发与实现

4.1　系统架构设计

农业制造业质量控制信息系统基于数据库与网络技术，采用客户端、服务端、数据端三层 C/S 分布式系统架构和模块化设计方法，系统体系架构如图 3 所示。

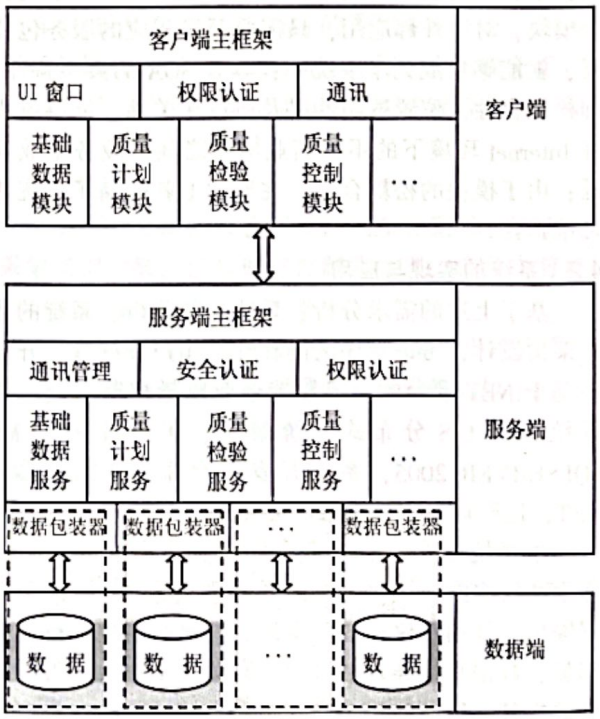


图 3　系统体系架构

Fig. 3　The architecture of system

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

1) 客户端。客户端包括 UI 窗口、权限认证、通信管理、功能模块等几个部分。UI 窗口用于容纳和导航各个模块窗口；权限认证用于确认用户的操作是否在其权限范围内，确保其安全；通信管理采用Remoting 技术，在底层实现信息加密，信息压缩，与服务端双向通讯等功能；各功能模块客户端均需包含通信接口、UI 接口等，同时实现各功能模块的功能。

2) 服务端。服务端包含服务端主框架、通信管理、安全认证、权限认证、各功能模块服务端等几个部分。通信管理采用 Remoting 技术，在底层实现了信息加密，信息压缩等功能，与客户端实现通讯；安全认证用于认证用户；权限认证用于确认用户的操作是否允许，确认消息、报警的接收者等；各功能模块服务端实现各功能模块与数据端的数据请求、数据缓存等。

3) 数据端。系统允许采用多个异构数据库，为了屏蔽底层数据库在结构、语义上的差别，隔绝数据库变化对系统的影响，每个数据库上配有相应的包装器。包装器的功能是：把系统标准信息转化成数据库中相应表示；把数据库中的信息转化成系统标准信息。

系统实现了各模块的无缝集成，只需要在配置文件中简单设置，就能够集成到系统中；系统扩展性强，系统结构设计开放，不仅能够无缝集成本系统各个模块，对于外部应用，只需要开发相应的服务包装器，就能够集成到本系统中；具有 SOA 的典型特性，即松耦合性，位置透明性以及协议无关性，能够解决在 Internet 环境下的不同商业应用之间的业务集成问题；由于模块的松耦合性，在架构上就提高了系统的可维护性。

4.2 系统的实现与应用

基于上述的需求分析、系统功能分析、系统的体系架构设计，考虑程序的健壮性、用户友好性，开发了基于.NET 平台的农机制造企业质量控制系统。该系统采用 C/S 分布式系统架构，数据库采用 MS SQLSERVER 2005，系统开发平台采用 Visual C# .NET，远程通讯采用 Remoting 技术。

本系统已在某农机零配件企业的 TFR 制动泵缸体生产线中成功应用。在缸体尺寸测量中，采用带数据输出的气动量仪、数显卡尺、数显高度规进行尺寸测量，数据直接导入系统中，检验员工作效率得到极大的提升，质量数据准确率及质量统计的效率得到大幅提高；生产过程的稳定性得到改善，企业质量管理水平得到明显提升。

5 结束语

农机制造企业质量控制系统构建了企业的质量信息采集、分析、处理、控制的软硬件平台，实现了来料检验、制程检验、出货检验等过程中的质量计划、质量检验、质量统计分析、质量监控等功能。系统采用自动和人工手动相结合的数据采集方式，减轻了检验员的工作量，提高工作效率，减少出错率，保证质量数据的准确性；采用 SPC 统计过程控制的方法来实时监控生产过程中的关键质量特性，保证生产过程的稳定性；改变传统的手工统计分析方式，采用计算机自动统计分析技术，提高了质量统计报表的及时性、准确性；建立了质量追溯体系，实现产品质量问题的快速全面追溯；实现了提升企业质量管理水平，提高产品质量，增强农机企业竞争力的目的。

参 考 文 献

[1] 梁奎，郭顺生. 基于 SPC 的 EPR 质量管理系统的研究与实现[J]. 机械研究与应用, 2011, 113(3): 10~12.
Liang Kui, Guo Shunsheng. Research and implementa tion of ERP quality management system based on SPC [J]. Mechanical Research & Application, 2011, 113(3): 10~12.

[2] 张根保. 数字化质量管理系统及其关键技术 [J]. 中国计量学院学报, 2005, 16(2): 85~92.
Zhang Genbao. Digital quality management and it's key techniques[J]. Journal of China Jiliang University, 2005, 16(2): 85~92.

[3] 王国强，张根保，等. 产品设计质量控制系统的研究与实现[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(5): 1785~1788.
Wang Guoqiang, Zhang Genbao, et al. Research and implementation of quality control system of product design[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(5): 1785~1788.

[4] 张公绪，孙静. 新编质量管理学[M]. 北京：高等教育出版社，2003.

[5] 费一正，汪惠芬，等. 基于 SPC 的车间制造质量管理系统研究[J]. 制造业自动化, 2011, 33(10): 43~46.
Fei Yizheng, Wang Huifen, et al. Research of quality manage system for workshop manufacture based on SPC[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(10): 43~46.

[6] 代红梅，黄忠全，等. ISO9000 质量管理信息系统的通用性设计[J]. 重庆大学学报, 2004, 27(8): 24~26.
Dai Hongmei, Huang Zhongquan, et al. Universal design of ISO9000 quality management information system [J]. Journal of Chongqing University, 2004, 27(8): 24~26.

(下转第 91 页)

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

3 结论

电控汽油机怠速时进气湿度的变化对其 NOx 的排放影响较大，随着进气湿度的增加，NOx 的排放明显减少；但其对 HC 和 CO 的排放影响较小，随着进气湿度的大幅度增加，HC 和 CO 排放只有微量的增加，因此，在空气湿度变化不大的环境中运行的汽油机，认为进气湿度对汽油机 HC 和 CO 的怠速排放的影响可忽略不计。

参 考 文 献

[1] 刘希玲, 丁焰. 我国城市汽车行驶工况调查研究[J]. 环境科学研究, 2000, 13(1): 23~27.
Liu Xiling, Ding Yan. Research of Vehicle Driving Cycle on the Road in China's Cities[J]. Research of Environmental Sciences, 2000, 13(1): 23~27.

[2] 姚志良, 王岐东, 等. 成都市实际道路汽车行驶工况的研究[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2004, 22(1): 18~24.
Yao Zhiliang, Wang Qidong, et al. The design and implementation of nm system [J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2004, 22(1): 18~24.

[3] 高照亮, 赵祥君. 电喷汽油机怠速排放特性研究[J]. 军事交通学院学报, 2010, 12(1): 60~63.
Gao Zhaoliang, Zhao Xiangjun. Study on Emission Characteristics of EFI Gasoline Engine at Idle Speed[J]. Journal of Academy of Military Transportation, 2010, 12(1): 60~63.

[4] U S Environmental Protection Agency. User's Guide to MOIBILE 6.0: Mobile Source Emission Factor Model [?]. EPA, US, 2002.

[5] Jess W Gingrich, Timothy J Callahan, et al. Humidity and temperature correction factors for NOx emissions from spark ignited engines [J]. SwRI Project No. 03.10038 for ENVIRON International Corporation. 2003, 10: 9~12.

Influence of intake air humidity on emission performance of EFI gasoline engine at idle speed

Yan Jianguo, Wang Lijuan, Zhang Chen, Qian Shanzhu

(*Inner Mongolia Agricultural University*, *Hohhot*, 010018, *China*)

Abstract: This paper analyses the change in emissions of two EFI gasoline engines with intake air humidity at normal idle. The test shows the influence of intake air humidity on emission of two EFI gasoline engines has common features when the intake air temperature and other operating parameters don't change. That is NOx significantly decreases when the intake air humidity gradually increases from 40% to 85%, while the HC and CO slightly increases. Among them, NOx emission of Passat B5 engine used in the test decreases by 14.4%, while HC and CO emissions increases by 4.6% and 4.2% respectively. The idle emission of Toyota 2JZ-GE engine is qualitatively studied due to its excessive emissions, which shows the influence of intake air humidity on idle emission has the same characteristics.

Keywords: idle emission; intake air humidity; EFI gasoline engine

(上接第 74 页)

Design and implementation of quality control system for agricultural machinery manufacturing enterprise

Zeng Wen, Wang Yuxing, Wang Liuyi, Zhang Dianwu

(*College of Engineering, South China Agricultural University*, *Guangzhou*, 510642, *China*)

Abstract: In order to solve the problem of quality management and control for Agricultural Machinery manufacturing enterprises, a quality control system was designed and developed based on quality inspection theory, statistical process control theory and computer information technology. Quality management business processes and the function modules of system were analyzed and the architecture of system was established. The hardware and software platforms of quality information collection, statistics and monitoring for Agricultural Machinery manufacturing enterprises were set up. The platforms greatly can improve the accuracy of quality datum and the timeliness of statistical result. The efficiency of quality management is also increased while the quality loss of enterprises is reduced.

Keywords: quality control system; quality management; quality inspection; statistical process control

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

中国农机化学报

《中国农机化学报》1957 年创刊，是农业部主管、农业部南京农业机械化研究所主办的全国中文核心期刊、中国农业核心期刊。

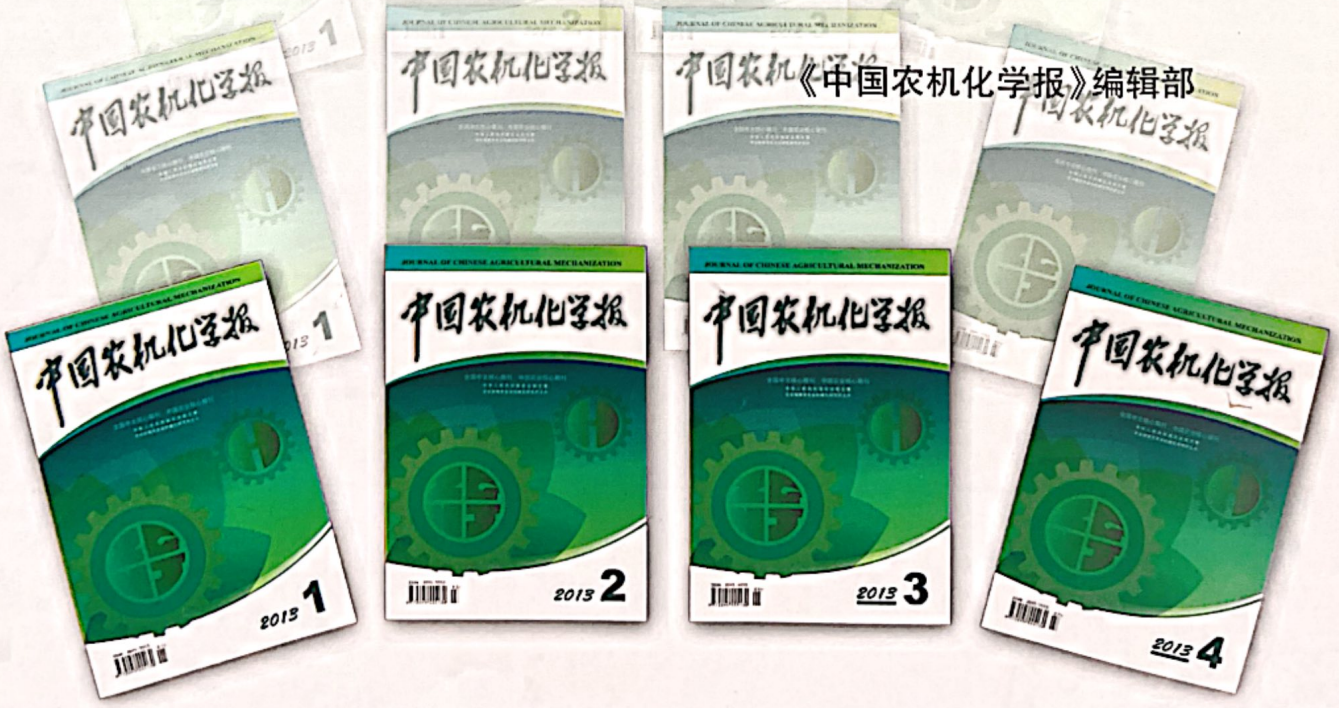
《中国农机化学报》致力于宣传党和国家农机化方针政策，探索、研究农机化发展理论，在我国农机化与农业现代化进程中发挥重要的舆论导向与理论指导作用，是我国农业机械化领域指导性和权威性刊物。

《中国农机化学报》报道我国农业机械化领域最新科研成果，传播农业机械化科学理论与技术，加强农业工程学术交流，促进科研人才培养，服务我国农业现代化建设。

《中国农机化学报》设有发展研究、管理研究、基础研究、农业装备与机械化工程、农产品加工工程、农业自动化与信息工程、教育培训、“三农”研究等栏目。为国内外从事农业工程和农机化研究的科技工作者以及高等院校师生提供学术交流平台，为各级政府和农机化管理、研究部门提供决策参考。

地址：南京市柳营 100 号，210014
电话：025-84346270、84346296
传真：025-84346271
E-mail：jcam@vip.163.com（投稿信箱）

《中国农机化学报》编辑部



国际标准刊号：ISSN 2095-5553 国内统一刊号：CN32-1837/S 邮发代号：28-116 国外发行代号：BM5576 广告许可证号：3201004950023
电话：025-84346296(社长室) 025-84346203(主编室) 025-84346270(编辑部) jcam@vip.163.com(信箱地址) 定价：15.00元

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

◆中国核心期刊

月刊 ISSN 2095-2953 CN 23-1405/S

林业机械与木工设备

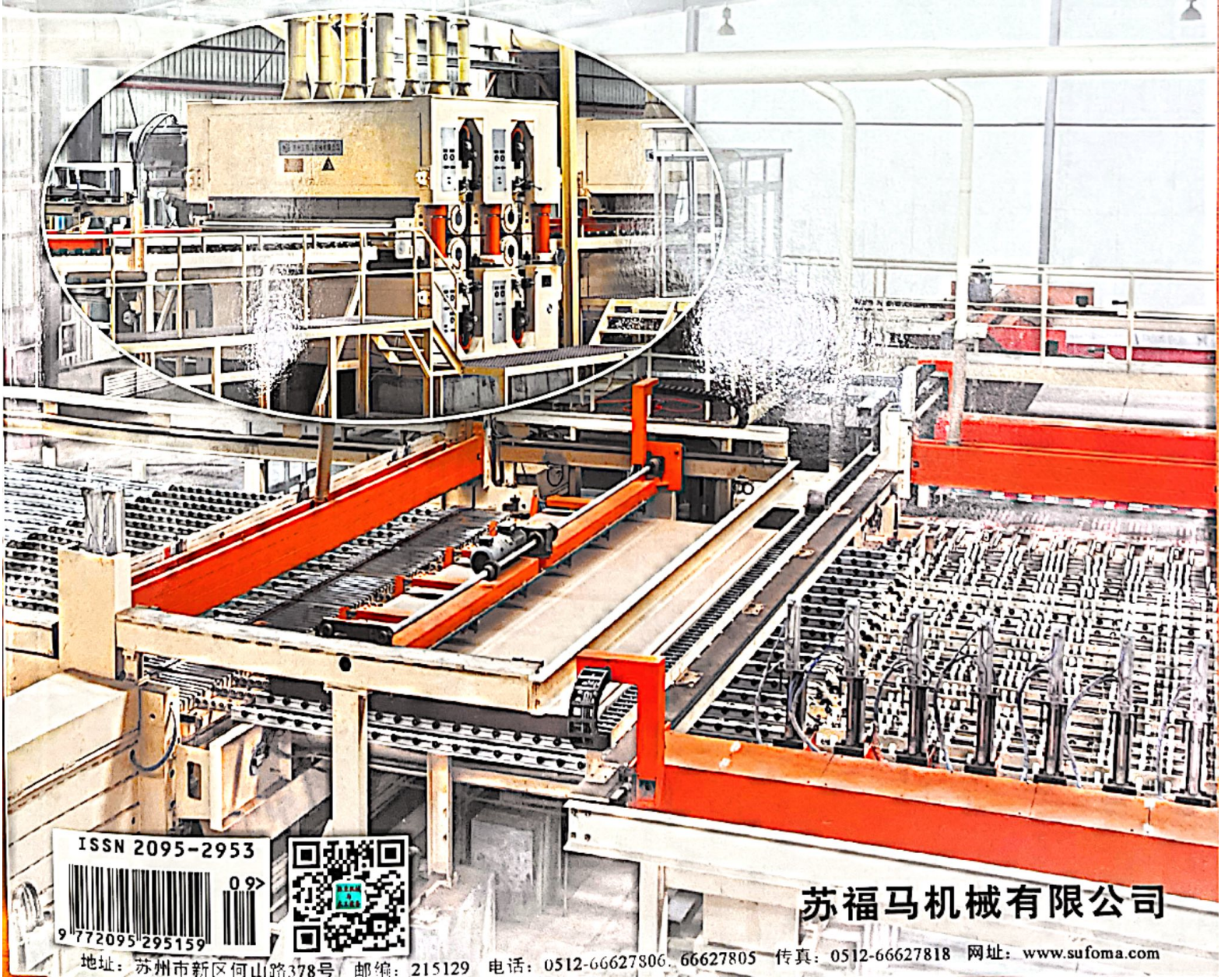
FORESTRY MACHINERY & WOODWORKING EQUIPMENT

●主管 国家林业和草原局 ●主办 国家林业和草原局哈尔滨林业机械研究所

9 2019

SUFOMA

4×16-18
9×16-18 英尺砂光锯切生产线



ISSN 2095-2953

苏福马机械有限公司

地址：苏州市新区何山路378号 邮编：215129 电话：0512-66627806、66627805 传真：0512-66627818 网址：www.sufoma.com

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

林业机械与木工设备 月刊

LINYE JIXIE YU MUGONG SHEBEI

第47卷 第9期（总391期）

2019年9月15日出版

一九六六年 ★ 北京创刊

主　　编：李岩泉
常务副主编：徐克生
副 主 编：李文彬　李立君　李树森　周宏平
编辑出版：《林业机械与木工设备》编辑部
编辑部主任：吴　昊
地　　址：哈尔滨市南岗区学府路374号
编 辑 部：(0451)86663021　86680140
广 告 部：(0451)86680140
传　　真：(0451)86680140
邮　　编：150086
电子信箱：linji1966@163.com
网　　址：//www.lyjxmgsb.com
　　//www.hrbljs.com
印　　刷：哈尔滨禹嘉商务印刷有限责任公司
国内发行：全国各地邮局
发行代号：14-74
定　　价：8.00元
国外总发行：中国出版对外贸易总公司
发行代号：DK23012
广告许可：2301030000015
国际标准连续出版物号：ISSN 2095-2953
国内统一连续出版物号：CN 23-1405/S

户　　名：国家林业和草原局哈尔滨林业机械研究所
税　　号：1210 0000 4140 0373 81
账　　号：2300 1868 8510 5000 7366
开 户 行：中国建设银行黑龙江省分行营业室

为适应我国信息化建设，扩大本刊及作者知识信息交流渠道，本刊已被国内外相关文献索引、文摘和全文数据库收录，其作者文章著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意文章被收录，请在来稿时声明，本刊将做适当处理

目　次

综　述

菠萝采摘机械的研究现状与发展趋势 …… 邓祥丰，鄢　强，陈代玉，等（4）

研究与设计

柑橘梳剪采收末端执行装置设计 …… 曾　文，李康镇，刘天湖，等（9）

杨木单板表面节子缺陷的识别与分类 …… 胡　凯，丁伟彪，王宝金，等（14）

轻型木结构中OSB板的拔出握钉力性能 …… 姚　斌，李霞镇，钟　永（19）

基于STM32的林间信息采集机器人 …… 曲惠泽，魏东辉（24）

家具中高关注度挥发性有机物（VOCs）的选取 …… 于雪斐，毕　哲（30）

天然弯曲木美学利用及加工技术探讨 …… 郝　丹，杨小军，付　帅，等（34）

森林航空消防直升机吊桶洒水目标定位系统 …… 张志东，何　诚，张明远，等（38）

一种高压绝缘套管吊装装置的研制 …… 伍致松（41）

工艺技术

轴承稻体工艺规程及工装设计 …… 丁京津，周　聪（46）

标准与检测

国内外人造板甲醛释放限量标准比较 …… 张玉萍，吕　斌（55）

行业内外

全国森林草原防火与装备技术发展研讨会暨智慧林业论坛将在安徽合肥召开（13）、推己及人践行可持续发展 台达获"2019年度绿色发展企业"殊荣（23）、博看网（37）

…… （13）（23）（37）

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

研究与设计

柑橘梳剪采收末端执行装置设计

曾 文， 李康镇， 刘天湖， 夏红梅
（华南农业大学工程学院，广东 广州 510642）

摘 要：针对目前我国柑橘人工采摘作业效率低、成本高、劳动力需求大的问题，设计了一种柑橘梳剪采收末端执行装置，阐述了该装置的结构及工作原理。对果柄剪切的曲柄摇杆机构进行优化设计，优化后机构最小传动角的最大值 $\gamma_{min}=48.99°$。设计了剪切机构的控制电路，可实现剪切机构的准确启动与停止，并避免堵转。本设计结构简单，与机械臂连接可以构成一个完整的柑橘采收机械，实现柑橘的机械化半自动采收，大幅度提高采收效率，降低了采收成本。

关键词：柑橘；采收；梳剪装置；曲柄摇杆机构；控制电路
中图分类号：S233 文献标识码：A 文章编号：2095-2953(2019)09-0009-05

Design of Citrus Combing-shearing Harvesting End Actuators

ZENG Wen， LI Kang-zhen， LIU Tian-hu， XIA Hong-mei
(College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong 510642, China)

Abstract: In view of the problems of low operation efficiency, high cost and great demand for labors with the current manual citrus picking operations in China, a citrus combing-shearing harvesting end actuator was designed, with its structure and working principle stated, crank rocker mechanism for fruit stem cutting going through optimized design. The maximum value of the minimum transmission angle of the optimized mechanism is $\gamma_{min}=48.99°$. The control circuit of the shearing mechanism was design, which can realize the accurate start and stop of the shearing mechanism and avoid stall. The design features a simple structure and ability to form a complete citrus harvesting machine when connected with a robotic arm, thereby realizing mechanized and semi-automatic citrus harvesting, greatly improving the harvesting rate and lowering harvesting costs.

Key words: citrus; harvesting; combing-shearing device; crank-rocker mechanism; control circuit

柑橘是我国南方的重要经济作物，特别是进入21世纪后我国柑橘产业不断扩大，在全球柑橘市场中所占份额越来越大。截至2016年，我国柑橘收获面积和产量分别为260.1万 hm^2 和3 792.38万t，面积和产量均居世界首位[1-2]。

然而目前柑橘采摘作业主要还是依靠人力完成，效率较低。在整个柑橘生产过程中若以人力完成采摘作业，柑橘采摘的成本约占总生产成本的35%～50%[3-4]。因此，改变柑橘采摘方式，提高采摘作业效率将会极大地提高企业生存能力和盈利能力。大力提高农业生产的机械化程度，对于提高生产效率，解放劳动力和节约生产成本具有重要的意义。现有柑橘收获机械主要为振摇式采收机和水果采摘机器人，振摇式采收机在国内外应用多年，相关

收稿日期：2019-07-22
基金项目：广东省科技计划项目(2017A020208052)
第一作者简介：曾 文(1975-)，男，讲师，博士，研究方向为农业机械设计，E-mail：zengwen@scau.edu.cn。

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

研究成果较多[5-9]，具有较高的采收效率，但对果实和果树会造成一定的损伤。国内柑橘市场以鲜食为主，故其应用有较大局限。水果采摘机器人利用机器视觉和计算机控制技术实现果实的识别、定位和采摘[10-12]，近年来国内外对其的相关研究取得了很大进展，但其果实识别率、采摘成功率、采摘效率距离实际应用还有一定的距离[13]。

针对我国柑橘人工采摘作业效率低和成本高的问题，研究设计了一种柑橘梳剪采收末端执行装置，该采收末端执行装置融合了齿梳式果实采收装置和剪切式果实采摘方式的优点，与现有的其他柑橘采收装置相比具有采收效率高、果实损伤小、成本低和操作简单等优点。

1 装置结构及工作原理

1.1 装置结构

柑橘梳剪采摘末端执行装置采用梳剪协同方式，在梳理树枝果实的同时剪切柑橘果柄。装置结构如图1所示，主要包括梳剪器、回转机构和支撑结构三部分。梳剪器是整个末端执行装置的主要工作部件，其由安装板、梳齿、剪切机构、连接轴、动力装置和控制系统等主要部分组成。回转机构为三个平行四边形机构组成的滚筒结构，三个梳剪器分别安装在三个平行四边形机构的连杆上，梳剪器平动梳剪采收作业。该柑橘采收末端执行装置可结合行走底盘和机械臂使用，实现柑橘的机械半自动化采收。作业时，梳剪器、回转机构和支撑结构三部分协同工作，支架作为整个末端执行装置的支撑部分承载了整个末端执行装置的载荷，末端执行装置回转机构转动所需动力由外部动力装置通过输入轴输入，交替作业的三个梳剪器完成柑橘的采收工作。

1.2 工作原理

柑橘梳剪采收末端执行装置可安装在机械手臂上，工作时伸入柑橘果树冠层。回转机构为三组平行四边形机构的滚筒结构，带动安装在连杆上的梳剪器做平动运动，果树冠层枝条及果实进入梳齿间隙。梳齿向下梳揽果实和枝条过程中，果实同时触碰梳齿下端的左右两个控制开关，剪切控制电路接通启动剪切机构。剪切机构为曲柄（偏心轮）摇杆（剪刀刀片）机构，偏心轮转动带动剪刀刀片逆时针摆动将果柄剪断，刀片摆动到左边极限位置后又迅速往回摆动，回到初始位置触碰控制开关后停止运动。柑橘果实在重力的作用下掉落至采收装置下方的装果袋中，至此一个采收循环过程完成。当下一个果实被梳揽入梳齿间隙后，梳剪器则继续开始同样的工作循环。梳剪机构如图2所示。

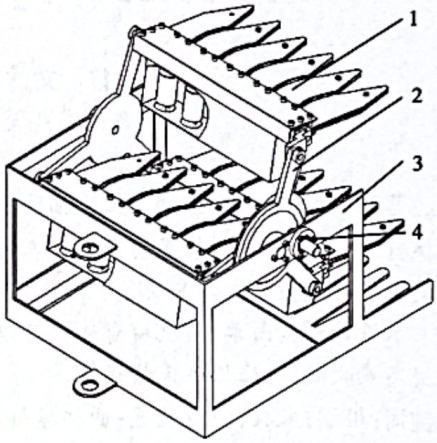


图1 柑橘梳剪采收末端执行装置结构

1. 梳剪器；2. 回转机构；3. 支架；4. 输入轴

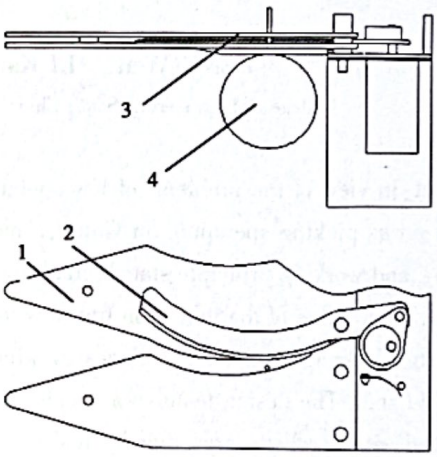


图2 梳剪机构

1. 梳齿；2. 剪切刀片；3. 柑橘果柄；4. 柑橘果实

梳剪采收末端执行装置具有三组梳剪器，每个梳剪器具有多组独立的梳剪机构，果实采收效率高。采收过程中不需夹紧果实，也不会拉扯果实，对柑橘果实的损伤较小。装置的结构和控制系统简单，与机械臂连接使用可以实现机械半自动化采收。

1.3 主要技术参数

通过对柑橘果树冠层、果实、果梗的测量，结合果园采摘作业需求及机械设计标准，确定柑橘梳剪采摘末端执行装置主要技术参数如下：

执行装置最大外形尺寸：600 mm × 520 mm × 480 mm；

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

支架外形尺寸:600 mm×520 mm×330 mm;
梳剪器中梳齿长度:250 mm;
梳齿之间间隙值:10 mm;
回转机构转速:10~25 r/min(可调);
微型直流减速电机转速:150 r/min;
微型直流减速电机堵转扭矩:2 500 N·mm。

2　剪切机构设计

工作时,在柑橘梳剪末端执行装置中,梳剪器的剪切刀片进行往复摆动,以实现切割动作和回程动作两个过程。但梳剪器动力装置所输出的是回转运动,因此,在该末端执行装置中使用曲柄摇杆机构将直流电机输入的回转运动转化为剪切刀片的往复摆动。为节省切割刀片回程的空回时间,设计曲柄摇杆机构时要求机构具有急回运动性质。

为保证机构具有良好的传力性能,最小传动角 $\gamma_{min}\geqslant 40°\sim 50°$。同时为避免回程时冲击惯性力过大,具有急回运动性质的曲柄摇杆机构行程速比系数 K 一般小于2。在剪切机构中剪切刀片的刀柄为曲柄摇杆机构中的摇杆,根据整体结构要求,初步确定摇杆长度为 40 mm,摇杆的摆角为 20°,以行程速比系数和最小转动角均尽量取最大值为原则,取行程速比系数 K 为 1.2 进行设计计算。

在给定极位夹角 θ、摆角 ψ、摇杆 l_3 的设计条件下,可建立Ⅰ、Ⅱ型曲柄摇杆机构最小传动角 γ_{min} 与相对杆长 a 的函数方程及 a 的变化区间[14]。其中曲柄长度为 l_1、连杆长度为 l_2、摇杆长度为 l_3、机架长度为 l_4,曲柄摇杆机构简图如图3所示。曲柄相对杆长为 $a=l_1/l_3$,连杆长度为 $b=l_2/l_3$,摇杆长度为 $c=l_3/l_3=1$,机架长度为 $d=l_4/l_3$。

曲柄相对长度 a 的取值范围为:

$$\frac{\sin(\psi/2)[\cos(\theta-\psi/2)-\cos(\psi/2)]}{\sin\theta}<a<\sin(\psi/2) \tag{1}$$

b、d 相对长度的设计计算公式为:

$$b=\sqrt{\frac{\sin^2(\psi/2)}{\sin^2(\theta/2)}-a^2\cot^2(\theta/2)} \tag{2}$$

$$d=\sqrt{a^2\cdot\frac{\cos^{\left(\frac{\psi\mu\theta}{2}\right)}-\cot^2(\theta/2)\cdot\sin^2\left(\frac{\psi\mu\theta}{2}\right)}{\sin^2(\psi/2)}+\frac{\sin^2\left(\frac{\psi\mu\theta}{2}\right)}{\sin^2(\theta/2)}} \tag{3}$$

Ⅰ、Ⅱ型曲柄摇杆机构最小传动角 γ_{min} 为:

$$\gamma_{min}=\arccos\left(\frac{\pm f_1\mu f_2\pm 1\mu a^2(\cot^2(\theta/2)+1+f_3)+2a\sqrt{a^2f_3+f_2}}{2\sqrt{f_1-a^2\cot^2(\theta/2)}}\right) \tag{4}$$

$$f_1=\frac{\sin^2(\psi/2)}{\sin^2(\theta/2)} \tag{5}$$

$$f_2=\frac{\sin^2\left(\frac{\psi\mu\theta}{2}\right)}{\sin^2(\theta/2)} \tag{6}$$

$$f_3=\frac{\cos^2\left(\frac{\psi\mu\theta}{2}\right)-\cot^2(\theta/2)\sin^2\left(\frac{\psi\mu\theta}{2}\right)}{\sin^2(\theta/2)} \tag{7}$$

式中的"±"或"μ"上面的算符用于Ⅰ型机构,下面的算符用于Ⅱ型机构。

行程速比系数为 $K=1.2$,故极位夹角为:

$$\theta=180°\frac{K-1}{K+1}=16°$$

由剪切机构特点,按Ⅰ型曲柄摇杆机构设计。将 $\theta=16°$、$\psi=20°$ 代入式(1)、(5)、(6)、(7)可得:

$$0.000\,6<a<0.173\,6$$
$$f_1=1.556\,8$$
$$f_2=0.062\,9$$
$$f_3=31.078\,1$$

将 f_1、f_2、f_3 代入式(4)得:

$$\gamma_{min}=\arccos\left(\frac{2.493\,9-82.770\,6a^2+2a\sqrt{31.078\,1a^2+0.006\,29}}{2\sqrt{1.556\,8-50.628\,5a^2}}\right)$$

利用 Matlab 编写程序解上式方程,可以得到:

当 $a=0.162\,8$ 时,最小传动角 γ_{min} 具有最大值,即 $\max\gamma_{min}=48.99°$。

将 $a=0.162\,8$ 代入式(2)、(3)可得相对杆长,$b=0.463\,6$,$d=0.941\,6$。曲柄杆长 $l_1=6.5$ mm,连杆长度 $l_2=18.5$ mm,摇杆长度 $l_3=40$ mm,机架长度

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

l_4 =37.7 mm。

由于曲柄尺寸较小，本装置中将曲柄设计为偏心轮的形式，安装时连杆大头端的连接孔与偏心轮外圆面铰接在一起(见图2)。

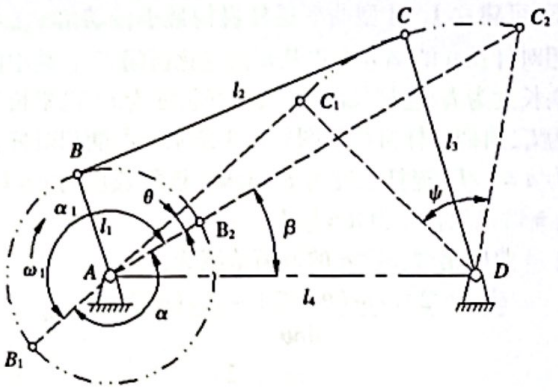


图3 曲柄摇杆机构简图

3 控制系统设计

柑橘梳剪采收末端执行装置的梳剪器需要自动完成以下动作：当梳齿碰到柑橘果实时曲柄自动开始工作，剪切刀片将柑橘果柄剪断后曲柄继续运动直至刀片回到初始位置才停止运动，当下一个柑橘的果柄进入梳齿间隙曲柄开始新一轮工作循环。由于机构的运动较为简单，为了简化电路设计，本装置采用控制开关结合机构的运动规律实现对剪切机构的自动控制。

剪切机构控制系统电路图简图如图4所示。该工作电路中有并联的两条支路，其中支路一是剪切刀片剪切果柄的工作电路，控制元件为串联的控制开关S_1和S_2；支路二是刀片复位工作电路，控制元件为一个控制开关S_3，两条支路与曲柄摇杆机构关联在一起；电源是24 V直流电源，工作电器为大扭矩直流减速电机，为防止电机发生堵转导致电流过大而烧坏，在电路的干路中接入了熔断器FU对电路进行保护。

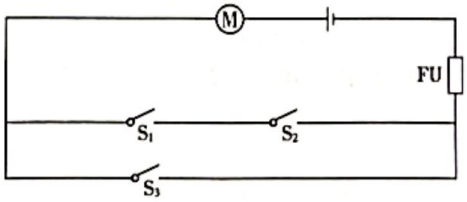


图4 剪切机构控制系统电路简图

控制开关S_1和S_2分别是梳齿间隙左右两侧的常开控制开关，串联安装在梳齿的下表面。当柑橘果柄被梳揽进入梳齿的间隙时，若梳齿继续向下运动，安装在梳齿下表面的控制开关S_1和S_2会同时与果实接触而闭合，此时控制电路中的支路一接通使直流减速电机开始工作；当果柄被剪断，果实在重力的作用下往下掉落，支路一的控制开关S_1和S_2均恢复断开状态，此时的支路一处于断开状态。支路二的控制开关S_3同样是一个常开控制开关，安装在连杆旁边，由连杆控制其闭合和断开。当连杆处于初始位置时，控制开关S_3受到连杆的作用力而断开；当曲柄带动连杆运动离开初始位置，控制开关S_3失去连杆对其的作用力后在弹簧片自身的弹性作用下恢复闭合状态。

采收果实时，支路一和支路二两条支路在曲柄连杆机构的关联下协同完成整个采收过程。初始状态下，两条支路均处于断开状态。当柑橘果实被梳揽进入梳齿间隙并使支路一接通时曲柄开始运动并带动连杆运动离开初始位置，此时连杆失去对控制开关S_3力的作用，控制开关S_3的弹簧片在弹力作用下自动闭合；此时，支路一和支路二均处于接通状态。然而，支路一随着果柄剪切动作的完成而断开后支路二依然处于接通状态，直到连杆完成一个周期的运动并回到初始位置时控制开关S_3断开，支路二才会随之断开，此时的支路一和支路二均处于断开状态，电机停止工作。当柑橘果实再次进入梳齿间隙并使控制开关S_1和S_2同时闭合，剪切机构开始下一个工作循环。

支路一控制开关S_1和S_2的原理相同，只是由于相邻两个梳齿结构形式不同而造成结构的微小差异，它们均由橡胶块和金属开关引脚构成；橡胶块中间镂空，镂空层上下内表面均安装有引脚，其结构如图5所示。支路二的控制开关S_3由弹簧片、刚性绝缘柱和接线铜帽组成。

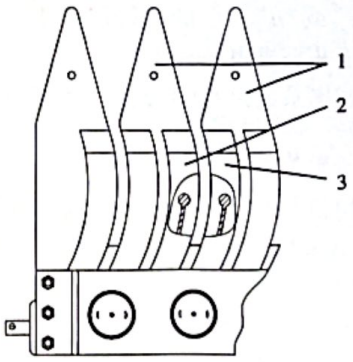


图5 控制开关S_1和S_2装配示意图

1. 梳齿下表面；2. 控制开关S_1；3. 控制开关S_2

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

4　结论

(1)提出采用梳剪协同的方式采收柑橘,设计了柑橘梳剪采收末端执行装置。该装置由梳剪器、平动旋转机构、支架三部分组成,每个梳剪器上并排安装多个梳齿,每个梳齿独立进行梳剪采收,平动旋转机构安装有三个梳剪器,可实现连续交替梳剪采收动作。该装置具有齿梳式采摘器和剪切式采摘器的优点,采摘时对果实损伤小,采摘效率高,适合柑橘果实的采摘作业。

(2)基于按最小传动角最大的曲柄摇杆机构优化设计方法对剪切机构进行优化设计。在给定剪切机构给定行程速比系数 $K=1.2$、摇杆长度 $l_3=40$ mm、摇杆摆角 $\psi=20°$时,其最小传动角的最大值 $\max\gamma_{min}=48.99°$,曲柄杆长 $l_1=6.5$ mm,连杆长度 $l_2=18.5$ mm,机架长度 $l_4=37.7$ mm。

(3)柑橘梳剪采收末端执行装置的控制系统采用了两组由曲柄摇杆机构关联在一起的普通控制开关对剪切刀片的运动进行自动控制,控制方案简单可靠。

(4)设计的柑橘梳剪采收末端执行装置结构简单,控制系统安全可靠,采摘效率高,可为后续柑橘梳剪采收机械的整机研发提供技术支持。

参考文献:

[1] 沈兆敏. 世界柑橘生产的变化及对我国柑橘发展的启示[J]. 果农之友,2018(9):1-4.

[2] 齐乐,祁春节. 世界柑橘产业现状及发展趋势[J]. 农业展望,2017(12):46-52.

[3] A. Torregrosa, E. Orti, B. Martin, et al. Mechanical harvesting of oranges and mardarins in Spain[J]. BIOSYSTEMS ENGINEERING, 2009,104(1):18-24.

[4] K. F. Sanders. Orange harvesting systems review[J]. BIOSYSTEMS ENGINEERING,2005,90(2):115 - 125.

[5] 陈度,杜小强,王书茂,等. 振动式果品收获技术机理分析及研究进展[J]. 农业工程学报,2011,27(8):195-200.

[6] 罗钢,刘天湖,曾文,等. 水果振动收获中树干振动的分析与仿真[J]. 机械设计,2017,34(1):47-51.

[7] 蒲军,黄晓鹏,宗煜翔,等. 小型林果采收机械研究现状[J]. 林业机械与木工设备,2016,44(6):9-11+17.

[8] 植一健,黄元东. 一种多功能柑桔采摘装置的设计[J]. 林业机械与木工设备,2019,47(4):28-31.

[9] Sergio Castro-Garcia, Rafael R. Sola-Guirado, Jesus A. Gil-Ribes. Vibration analysis of the fruit detachment process in late-season 'Valencia' orange with canopy shaker technology[J]. BIOSYSTEMS ENGINEERING,2018,170(1):130-137.

[10] 徐丽明,刘旭东,张凯良,等. 脐橙采摘机器人末端执行器设计与试验[J]. 农业工程学报,2018,34(12):53-61.

[11] 王丹丹,宋怀波,何东健. 苹果采摘机器人视觉系统研究进展[J]. 农业工程学报,2017,33(10):59-69.

[12] Mehta, S. S. Burks, T. F. Vision-based control of robotic manipulator for citrus harvesting[J]. COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE,2014,102(3):146-158.

[13] 卢军,王贤锋,后德家. 水果采摘机器人视觉系统研究进展[J]. 湖北农业科学,2012,51(21):4705-4708.

[14] 苏有良. 按最小传动角最大的曲柄摇杆机构优化设计[J]. 机械设计,2014,31(6):29-33.

(责任编辑　王琦)

·行业内外·

全国森林草原防火与装备技术发展研讨会暨智慧林业论坛将在安徽合肥召开

由中国林业机械协会、南京森林警察学院联合主办的"2019全国森林草原防火与装备技术发展研讨会暨智慧林业论坛"将于10月17日在安徽省合肥市召开。

本次会议将邀请森林草原防火管理部门、科研院校和装备技术研制等单位领导、专家,重点针对当前森林草原防火政策、新形势新要求和森林防火装备建设,特别是数字化通讯及林火监测预警、扑火机具及大型装备技术发展与应用等进行研讨。主要议题目前暂定有国内外森林草原防扑火最新技术与装备、航空技术在森林草原灭火中的应用、地面大型森林防火装备发展现状研究、以水灭火技术与装备的研发与应用、森林草原灭火救援协同作战研究分析、森林火灾实时监测与预警系统建设、森林草原防扑火现场通讯技术发展、无人机森林草原火灾监测与图像处理技术、森林草原防火应急指挥决策系统建设和气象监测、预测预报等技术综合利用等。

同期活动"2019中国国际林业机械展览会暨中国智慧林业博览会"将于10月18-20日在安徽合肥滨湖国际会展中心召开。

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

中国胶合板设备领军品牌

Chinese Plywood Equipment Leading Brand

ROTARY BOARD

CUTTING MACHINE

三乐天

Profession

因为专业 所以更好

Makes Better

NEW 新品



扫一扫更多精彩

SLXC1500BSBZT

宝石高精度旋切裁板一体机

产品特点：铸件刀台、双箱移动、台湾高精度直线导轨、滚珠丝杠、裁板和旋切采用同步电机，进口同步伺服控制系统；板面平整、均匀度和尾板尺寸接近零误差，具有洞板快裁功能，是目前国内外非常先进旋切裁板一体机，本产品获得国家发明（专利号：2011102851955）。

Features:casting knife table,double-box moving,high precision linear gride from taiwan,ball screw,synchronous motor on the peeling and cutting,import synchronous servo control system;
The platness of veneer and the tail plate's size almost perfect,with the hole board fast cutting function,it is the most advanced machine both in home and abroad,the product have won the Certificate of invention(Patent NO.: 2011102851955)





河北大华宇机械制造有限公司

Hebei Dahuayu Machinery Manufacturing Co.,Ltd

地址（Add）：河北任县邢湾工业区　邮编（P.C）：055151　(Xingwan Township Renxian County Hebei)
电话（Tel）：0319-7585106　传真（Fax）：0319-7586986　技术咨询（Technology consultancy）：0319-7580106
邮箱（E-mail）：sanle@sanle.cn　网址（Website）：www.sanle.cn　联系人：陈先生 139 0319 9205　139 0319 4625

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

ISSN 1673—2219
中国人文社科学报核心期刊
全国百强社科学报

湖南科技学院学报

JOURNAL OF HUNAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND ENGINEERING

8
2013

- 中国核心期刊（遴选）数据库收录期刊 万方数据 数字化期刊群全文收录
- 中文科技期刊数据库收录期刊 维普资讯网全文收录
- 中国期刊全文数据库收录期刊 中国知网全文收录
- 中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊
- CAJ-CD规范执行优秀期刊奖
- 湖南省人文社科学报一等奖

第34卷 第8期
Vol.34 No.8

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

计算机·网络

JAVA 程序设计语言项目集群开发推进式教学改革研究……罗恩韬　黄　文　69
计算机案例式教学的案例选择和实践……程容斌　盛　晨　71
计算机网络技术的安全防护应用……吴　波　解晨光　73
通信原理课程“多方位”教学改革……邵金侠　76
基于无线传感器网络的实验管理系统的设计……戴振华　梁小芝　80
基于 VSU 协议的园区网可靠性设计……金海峰　84
单片机系统设计易出现的误区……鲁志刚　86

工　程

基于 ANSYS Workbench 的弧形筑堆机螺栓座的强度分析和优化设计……罗辑性　88
基于 ANSYS workbench 的装卸料机小车车轮轴的优化……向　军　91
基于相对极差转换的小批量生产过程质量控制研究……曾　文　卿艳梅　夏红梅　等　94
工程硕士实验课程管理信息化的探求……陆健强　王卫星　胡子昂　97
建筑测量水准仪自动找平装置设计研究……刘晓玲　靳鹏伟　刘　炯　等　100
工务巡道管理系统建设的实践及应用……梁必翔　103

政治学

论核心价值观与党的执政能力建设……钱莉萍　107
拓宽思想政治教育渠道，构建社会主义和谐社会……曾　勇　110
江苏大学生志愿服务文化建设现状研究——基于调查问卷的分析……荣文婷　刘振平　112
QQ 空间在网络思想政治教育中的作用……孙孟君　116
论人口生产调控机制及其道德价值……李会军　付红梅　119
论绑架罪的既遂标准……陈　越　121
现代开放教育法学专业课的教学模式之探讨……田　露　124

经济·管理学

制度创新背景下提升湖南省国际贸易核心竞争力的战略思考……刘伟华　127
高职旅游管理专业实践教学研究……夏利平　130
企业文化建设对提升企业管理水平重要性探讨……张秀峰　133

语言学

英国赫瑞瓦特大学口笔译硕士课程教学模式初探……宋天娇　135

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

基于相对极差转换的小批量生产过程质量控制研究

曾 文 卿艳梅 夏红梅 张殿武

（华南农业大学 工程学院，广东 广州 510642）

摘 要：针对小批量生产过程的质量控制提出了基于相对极差转换的数据转换方法，分析了基于相对极差转换的多个相似工序质量特性质量控制原理，通过分析计算得到了均值极差控制图（Xbar-R）和单值移动极差控制图（IX-MR）的控制限，并分析得到了相对极差数据转换法的特点。案例分析表明，通过对相似工序的多个质量特性数据进行相对极差转换，能有效实现对小批量生产过程的质量控制。

关键词：质量控制；小批量；数据转换；控制图

中图分类号：TH166 文献标识码：A 文章编号：1673-2219（2013）08-0094-03

0 引 言

传统的质量控制理论是建立在经典统计理论上的，主要适用于大批量生产、样本量大的情况。但现代加工制造业50%以上属于多品种、小批量生产，同时由于柔性化制造、敏捷制造等先进生产技术的大力推广，多品种、小批量生产将更加普遍。在这类多品种、小批量生产环境下，采用传统休哈特控制图控制这类生产过程的质量特性时，样本量无法满足休哈特控制图大数据量的要求。为实现对多品种、小批量生产过程的质量控制，国内外进行了大量的研究。主要存在以下几种方法：一是通过精确调整控制图控制界限，使每个点的第Ⅰ类错误概率最小。King[1]、Hiller.F.S[2]、Del. Castillo[3]等做了大量的研究，这种方法在小样本数据量时精确控制限的统计过程质量控制方法是有效的，但精确控制限法由于其控制限随样本容量的变化而异，不利于发现第 II 类错误；二是基于贝叶斯预测，将历史检验数据与人们的主观评价、预测和判断相结合，通过综合主、客观信息来建立过程的动态模型，对过程变化作出预测，从而在保证预测精度的同时，大大减少了对样本容量的要求，Harrison.P.J.[4]、卜祥民[5]、林忠钦[6]等在此方面进行了大量的研究工作，但由于人们对过程的主观评价难以预测正确，影响了其在实际中的有效应用；三是通过将相似工序的质量特性数据进行数学变换成同分布的数据，以扩大数据量实现在传统休哈特控制图中进行控制。Quesenberry.C.P.[7]、余忠华[8]、刘春雷[9]、范文贵[10]等在这方面进行了大量的研究工作。这种方法需要对相似工序进行分组，因此对质量工程师的要求相对较高。

本文针对相似工序的质量特性，提出了一种相对极差转换的方法，扩大样本数据量，实现利用休哈特控制图控制生产过程的稳定性，以解决多品种、小批量生产过程的质量控制问题。

1 相对极差转换法的质量控制研究

1.1 相对极差转换法的原理分析

设质量特性 X 数据 $x_1, x_2, \ldots, x_n$，服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$。其数据的模型可描述为：

$$x_i = \mu + \varepsilon_i, i = 1,2,\Lambda\ ,n \tag{1}$$

式中：x_i 为特性的实际测量值；μ 为数据的均值；ε_i 为数据的随机误差，ε_i 服从正态分布 $N(0, \sigma^2)$。

相对极差转换公式为：

$$y_i = \frac{x_i - \mu}{\overline{R}} \tag{2}$$

数据模型（1）经相对极差转换公式（2）变换后质量特性数据变为 $y_1, y_2, \ldots, y_n$，其数据模型可描述为：

$$y_i = \frac{\varepsilon_i}{\overline{R}}, i = 1,2,\Lambda\ ,n \tag{3}$$

由于子组标准差估计值 $\hat{\sigma} = \overline{R}/d_2$，因此在子组样本一致的情况下，有：

收稿日期：2013－04－08

基金项目：国家自然科学基金项目（51005080）；国家星火计划项目（2011GA780027）；广东省教育科学“十一五”规划课题（2010tjk009）。

作者简介：曾文（1975－），男，江西宁都人，博士，讲师，研究方向为先进制造技术、现代质量工程。

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

$$y_i = \frac{\varepsilon_i}{d_2\hat{\sigma}}, i = 1,2,\Lambda\ ,n \tag{4}$$

经相对极差变换后的质量特性均值和标准差分别为：

$$\mu_y = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i = \frac{1}{nd_2\hat{\sigma}}\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i = 0$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\mu_y)^2}{n-1}} = \frac{1}{d_2\sigma}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\varepsilon_i)^2}{n-1}} = \frac{1}{d_2}$$

因此经数据变换后，转换后的质量特性数据符合正态分布 $N(0, (1/d_2)^2)$。对于多个相似工序质量特性，当每个质量特性子组样本容量一致时 d_2 的取值相同，经此公式进行数据变换后，转换后的数据均符合正态分布 $N(0, (1/d_2)^2)$。因此，可以将多个相似工序质量特性的数据作为一个整体，应用传统休哈特控制图进行质量控制，从而解决小批量生产条件下单个质量特性数据量不足的问题。

1.2 质量控制图控制限分析

由相对极差转换法的原理可知，转换后的数据服从 $N(0, (1/d_2)^2)$正态分布，即均值 μ=0，标准差 σ=1/d_2。对于 Xbar-R 控制图而言，因 μ_R=$d_2\sigma$=1，σ_R=$d_3\sigma$=d_3/d_2，因此有：

Xbar 图

$$\begin{cases} UCL_{\bar{X}} = \mu + \dfrac{3\sigma}{\sqrt{n}} = \dfrac{3}{d_2\sqrt{n}} = A_2 \\ CL_{\bar{X}} = \mu = 0 \\ LCL_{\bar{X}} = \mu - \dfrac{3\sigma}{\sqrt{n}} = -\dfrac{3}{d_2\sqrt{n}} = -A_2 \end{cases} \tag{5}$$

R 图

$$\begin{cases} UCL_R = \mu_R + 3\sigma_R = \dfrac{d_2+3d_3}{d_2} = D_4 \\ CL_R = \mu_R = 1 \\ LCL_R = \mu_R + 3\sigma_R = \dfrac{d_2-3d_3}{d_2} = D_3 \end{cases} \tag{6}$$

式中 A_2 与 D_4 的值取决于子组样本的数量 n，即当子组样本容量 n 一定时，采用相对极差转换法的 Xbar-R 控制图为固定值。

对于 IX-MR 单值移动极差控制图，因多品种小批量生产过程的采样数据本身较少，所以其移动数 n 取 2 比较合适。当 n 取 2 时，d_2=1.128，d_3=0.853，μ_R=$d_2\sigma$=1，σ_R=$d_3\sigma$=d_3/d_2=0.7562，因此有：

IX 图

$$\begin{cases} UCL_X = \mu + 3\sigma = 3/d_2 = 2.66 \\ CL_X = \mu = 0 \\ LCL_X = \mu - 3\sigma = -3/d_2 = -2.66 \end{cases} \tag{7}$$

MR 图

$$\begin{cases} UCL_R = \mu_R + 3\sigma_R = 1 + 3d_3/d_2 = 3.269 \\ CL_R = \mu_R = 1 \\ LCL_R = \mu_R - 3\sigma_R = 1 - 3d_3/d_2 = -1.269(0) \end{cases} \tag{8}$$

对于 Xbar-S 均值标准差控制图而言，因多品种小批量的数据本身较少，无法满足 Xbar-S 控制图要求子组样本容量大于 10 的要求，所以 Xbar-S 图不适合于多品种小批量的质量控制。

1.3 相对极差转换法的特点分析

从相对极差转换法的原理及其质量控制图控制限的分析中可以得出以下特点：

(1) 相对极差转换法可以将多个相似工序的具有不同尺寸值、公差范围和标准差的质量特性结合在一张控制图上，以控制过程的稳定性。

(2) 如果采用 Xbar-R 图进行控制，则多个质量特性的数据分组的样本容量 n 必须一致，以保证参数 d_3,d_2 相同。如果采用 IX-MR 图进行控制，则所有质量特性的移动数 n 取 2。

(3) 需要估计每个质量特性的均值目标值和极差目标值。因此每个质量特性的数据量不宜太少。一般来说，采用 Xbar-R 控制图，每个质量特性的子组数要大于 2 以上，采用 IX-MR 控制图，则每个质量特性的数据量要大于 3 个以上。

(4) Xbar-R 控制图和 IX-MR 控制图的控制限都是固定值，不会随着数据的变化产生变化，利于观察过程的稳定性。

从相对极差转换的特点看，在多品种、小批量生产过程中，比较适合采用相对极差转换的方法对多个相似工序的质量特性进行控制，以保证生产过程的稳定性。

2 案例分析

某汽车配件厂中，有 5 种不同规格的轴类零件在同一数控车床中加工，各零件的基本尺寸、公差均不相同，其规格如表 1 所示。

表 1. 各种零件的公差

特性	A	B	C	D	E
公差	$\phi25^{0}_{-0.033}$	$\phi50^{+0.042}_{+0.017}$	$\phi55^{0}_{-0.030}$	$\phi65^{+0.030}_{+0.011}$	$\phi30^{+0.055}_{+0.022}$

获得的样本测量数据如表 2 所示。

表 2. 样本测量数据

序号	特性	1	2	3	均值	极差
1	A	24.983	24.974	24.983	24.98	0.009
2	A	24.985	24.976	24.98	24.9803	0.009
3	A	24.978	24.987	24.98	24.9817	0.009
4	A	24.986	24.975	24.981	24.9807	0.011
5	A	24.995	24.985	24.986	24.9887	0.01
6	B	50.031	50.024	50.031	50.0287	0.007
7	B	50.032	50.036	50.024	50.0307	0.012
8	B	50.031	50.029	50.037	50.0323	0.008
9	B	50.029	50.029	50.026	50.028	0.003
10	C	54.978	54.982	54.991	54.9837	0.013
11	C	54.977	54.989	54.978	54.9813	0.012
12	C	54.990	54.983	54.986	54.9863	0.007

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

13	C	54.98	54.976	54.992	54.9827	0.016
14	D	65.019	65.018	65.021	65.0193	0.003
15	D	65.021	65.021	65.026	65.0227	0.005
16	D	65.020	65.020	65.021	65.0203	0.001
17	D	65.017	65.020	65.015	65.0173	0.005
18	E	30.033	30.039	30.040	30.0373	0.007
19	E	30.026	30.028	30.030	30.028	0.004
20	E	30.028	30.035	30.030	30.031	0.007

首先利用原始样本测量数据计算各质量特性的均值与极差估计值，如表 3 所示。

表 3. 各质量特性的均值与极差估计值

特性	A	B	C	D	E
均值	24.9823	50.0299	54.9835	65.0199	30.0321
极差	0.0096	0.0075	0.012	0.0035	0.006

然后利用相对极差转换公式（2）对表 2 中数据进行转换，并计算 Xbar 和 R 图的控制限，由于子组样本容量 n=3，所以 A_2取值为 1.023，D_4取值为 2.573，D_3取值为 0，故 Xbar-R 图控制限如下：

Xbar 图
$$\begin{cases} UCL_{\bar{X}} = A_2 = 1.023 \\ CL_{\bar{X}} = \mu = 0 \\ LCL_{\bar{X}} = -A_2 = -1.023 \end{cases}$$

R 图
$$\begin{cases} UCL_R = D_4 = 2.574 \\ CL_R = \mu_R = 1 \\ LCL_R = D_3 = 0 \end{cases}$$

最后，利用转换后的数据及其控制限制作 Xbar-R 控制图如图 1 所示。

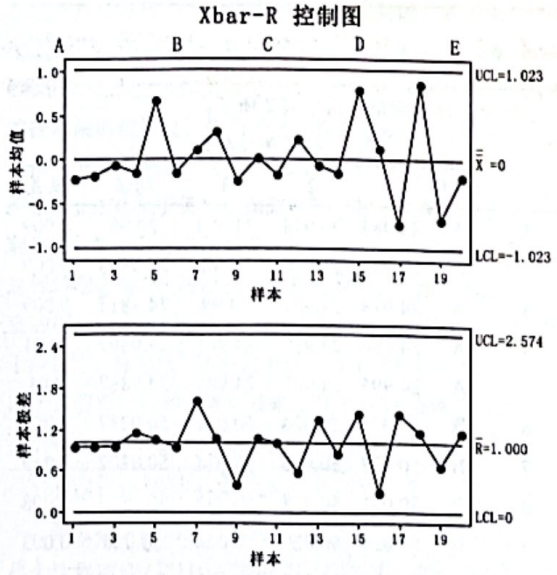


图 1. 相对极差转换法的 Xbar-R 控制图

由图 1 所示的 Xbar-R 质量控制图可见，生产过程处于稳定受控状态。

3 结 论

小批量生产将逐渐成为 21 世纪制造业的主要生产方式，对小批量生产过程的质量控制也日益显得更加重要。本文提出的基于相对极差变换的数据变换方法有利于实现多个相似工序质量特性的小批量过程质量控制，具有固定控制限、对质量特性的尺寸值、公差大小、标准差无一致性要求、均值及极差估计简单、控制图制作方便等特点，既适用于均值极差控制，也适用于单值移动极差控制，对于实现多品种小批量生产过程的质量控制有比较广泛的适用性。

参考文献：

[1]King.E.P. Probability Limits for the Average Chart When Process Standards Are Unspecified[J]. Industrial Quality Control. 1954, 10 (6): 62-64.

[2]F.S.Hillier. X and R Chart Control Limits Based on a Small Number Subgroups[J]. Journal of Quality Technology. 1969, (1): 17-26.

[3]Del. Castillo, Montgomery. D. C. Short Run Statistical Process Control:Q-Chart Enhancements and Alternative Methods[J]. Quality and Reliability Engineering International.1996, (10): 87- 97.

[4]张孝令等. 贝叶斯动态模型及其预测[M]，济南:山东科学技术出版社,1992.

[5]卜祥民. 小批量质量控制与诊断[D]. 北京航空航天大学博士学位论文, 1998.

[6]林忠钦, 连军, 倪军, 来新民, 陈关龙. 基于小样本的车身装配尺寸质量动态高精度评价方法[J]. 机械工程学报. 2001, 37 (11): 62-65.

[7]Quesenberry. Charles. P. SPC Q Chart for Start-Up Processes and Short or Long Runs[J]. Journal of Quality Technology. 1991, 23(3): 213-224.

[8]余忠华, 吴昭同. 面向小批量制造过程的质量控制方法研究[J]. 机械工程学报, 2001, 37(8):60-64.

[9]刘春雷, 王慧, 付秀丽, 解德风. 多品种小批量生产模式下质量控制数据转换方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2009, 4: 34-36.

[10]范文贵, 李林, 钱明. 面向多品种小批量生产的 SPC 研究[J]. 制造业自动化, 2009, 31(9):61-64.

（责任编校：刘志壮）

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

封面设计：刘春侠

JOURNAL OF HUNAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND ENGINEERING

NO.8, 2013 (Sum No.191)

Competent Authority Education Commission of Hunan Province
Sponsor Hunan University of Science and Engineering
Publisher The Editorial Department of Journal of Hunan University of Science and Engineering
(Address:Yongzhou,Hunan,China 425100)
(Tel&Fax:86-746-6381194)
(E-mail:LLxyxb@163.com)
Printer Lixin Printing LTD.,Hunan
Distributor The Editorial Department of Joural of Hunan University of Science and Engineering(Domestic)
China International Book Trading Corporation(Overseas)
Publication Date Aug.1, 2013
Chief Editor Zhang Jing-hua
Vice-Chief Editor Liu Zhi-zhuang

湖南科技学院学报

2013年第8期（总第191期）

主管单位：湖南省教育厅
主办单位：湖南科技学院
出版单位：湖南科技学院学报编辑部
（湖南省永州市零陵区杨梓塘路130号 425100）
（电话：0746-6381194）
（E-mail:LLxyxb@163.com）
印刷单位：湖南立信彩印有限公司
发行单位：湖南科技学院学报编辑部（国内）
中国国际图书贸易公司（国外）
出版日期：2013年8月1日
主　　编：张京华
副 主 编：刘志壮
定　　价：10.00元
刊　　号：ISSN 1673-2219 CN43-1459/Z
广告经营许可证号：湖南省服务价格登记证0148号

ISSN 1673-2219
08
9 771673 221139

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

ISSN 1001-411X
CN 44-1110/S
CODEN HNDXBH

華南農業大學学报

JOURNAL OF SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY

中国·广州
GUANGZHOU CHINA

《中文核心期刊要目总览》核心期刊
《中国科学引文数据库(CSCD)》来源期刊
RCCSE中国核心学术期刊

重点推介

·智慧农业的发展现状与未来展望……赵春江
·我国智能农机的研究进展与无人农场的实践……罗锡文，廖娟，胡炼，等
·畜禽养殖智能装备与信息化技术研究进展……李保明，王阳，郑炜超，等



智能农机装备

2021

11月 第42卷 第6期
Nov. Vol.42 No.6

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

华南农业大学学报
第 42 卷　第 6 期　2021 年 11 月

目　次

特约综述

智慧农业的发展现状与未来展望 …… 赵春江（1）

我国智能农机的研究进展与无人农场的实践
…… 罗锡文，廖　娟，胡　炼，周志艳，张智刚，臧　英，汪　沛，何　杰（8）

畜禽养殖智能装备与信息化技术研究进展 …… 李保明，王　阳，郑炜超，王朝元（18）

免耕播种智能化关键技术研究现状与发展
…… 王泉玉，徐琪蒙，卢彩云，李洪文，何　进，王庆杰（27）

研究论文

M45 型多旋翼植保无人机减量施药对稻飞虱防治效果的影响
…… 张亚莉，高启超，邓继忠，陈鹏超，黄晓宇，林芳源，曾　文，贾瑞昌（36）

油菜播种质量监测系统设计与试验 …… 丁幼春，陈礼源，王登辉，刘晓东，徐春保，王凯阳（43）

气吸式小粒蔬菜种子精量穴播排种器优化设计与试验
…… 曾　山，文智强，刘伟健，徐　卓，何思禹，汪　沛（52）

Y 型棚架式果园的 3WZ-300 风送喷雾机设计与试验
…… 王　杰，邱　威，丁为民，张镇涛，闻楨杰，苏永喜（60）

基于 NLMS 算法的风送式喷雾机窄带有源降噪仿真研究
…… 孙道宗，占旭锐，[illegible]，谢家兴，李　震，宋淑然（71）

刮板输送式大棚有机肥排肥装置的设计与试验 …… 徐[illegible]，余洪锋，何瑞银（79）

香蕉假茎自动对靶精准施肥装置的设计与试验
…… 段洁利，黄广生，孙志全[illegible]，李　洋，袁浩天（88）

基于摆动冲击试验的青香蕉碰撞损伤敏感性评估
…… 付　函，刘思秀，杨　洲，杨靖恺，张汉尧，谢博伟，杜文迪，段洁利（100）

基于星基增强精密单点定位的农机自动导航系统开发与测试
…… 张智刚，王明昌，毛振强，王　辉，丁　凡，李洪开，张　天（109）

农机虚拟装配分类检测网络数据集构建方法
…… 李承恩，邹湘军，练国平，林俊强，张　坡，陈明猷，叶　磊（117）

基于自适应升温模拟退火算法的农业机器人全区域覆盖策略
…… 王　伟，张彦斐，宫金良，兰玉彬（126）

征订启事 …… （42）

本期执行主编: 罗锡文
本 期 策 划: 周志红
期刊基本参数: CN44 * 1110/S * 1959 * b * A4 * 136 * zh * P * ¥15.00 * 1000 * 15 * 2021-11

扫描全能王
3亿人都在用的扫描App

张亚莉, 高启超, 邓继忠, 等. M45 型多旋翼植保无人机减量施药对稻飞虱防治效果的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(6): 36-42.
ZHANG Yali, GAO Qichao, DENG Jizhong, et al. Effects of reduced pesticide application on rice planthopper control by M45 multi-rotor plant protection UAV[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(6): 36-42.

M45 型多旋翼植保无人机减量施药对稻飞虱防治效果的影响

张亚莉[1,2], 高启超[1,2], 邓继忠[1,2], 陈鹏超[2,3], 黄晓宇[2,3], 林芳源[4], 曾　文[1,2], 贾瑞昌[1,2]
(1 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 2 国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心, 广东 广州 510642; 3 华南农业大学 电子工程学院/人工智能学院, 广东 广州 510642; 4 广东省江门市新会区农业农村局, 广东 江门 529100)

摘要: 【目的】研究多旋翼植保无人机减量施药对雾滴沉积效果以及稻飞虱防治效果的影响, 促进水稻减量施药技术发展。【方法】采用 M45 多旋翼植保无人机开展水稻施药田间试验, 选取 15.0 和 22.5 L/hm² 的施药液量, 以及人工施药推荐剂量 100%、90%、80% 的 3 种减量农药剂量, 研究不同施药液量和减量农药剂量对雾滴沉积效果以及稻飞虱防治效果的影响。【结果】水稻冠层上部的雾滴沉积量明显优于冠层下部, 2 种施药液量以及 3 种减量农药剂量对雾滴沉积量的影响不显著; 施药 1 周后稻飞虱数量显著减少。在相同施药液量条件下, 减量农药剂量的变化对稻飞虱防治效果影响不明显。80% 的农药剂量能满足稻飞虱防治要求。【结论】无人机水稻施药作业中可选择 80% 的农药剂量进行减量施药。本研究可为水稻减量施药、减少水稻植保作业成本提供有益参考。

关键词: 植保无人机; 减量施药; 雾滴沉积; 稻飞虱; 防治效果
中图分类号: S252　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1001-411X(2021)06-0036-07

Effects of reduced pesticide application on rice planthopper control by M45 multi-rotor plant protection UAV

ZHANG Yali[1,2], GAO Qichao[1,2], DENG Jizhong[1,2], CHEN Pengchao[2,3], HUANG [illegible],
LIN Fangyuan[4], ZENG Wen[1,2], JIA Ruichang[1,2]
(1 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; [illegible]nal Center for International Joint Research on Precision Agriculture Aviation Pesticides Spraying Technology, [illegible]ngzhou 510642, China; 3 College of Electronic Engineering/College of Artificial intelligence, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 4 Agricultural and Rural Bureau of Xinhui District, Jiangmen City, Guangdong Province, Jiangmen 529100, China)

Abstract: 【Objective】In order to explore the effect of reduced pesticide application on the control effect of rice planthopper by multi-rotor plant protection UAV and promote the development of reduced pesticide application technique for rice. 【Method】Field experiment was carried out using an M45 multi-rotor plant protection UAV for rice pesticides application. We used two spray volumes of 15.0 and 22.5 L/hm², and three

收稿日期: 2021-01-27　　网络首发时间: 2021-09-26 08:49:01
网络首发地址: https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20210924.1621.002.html
作者简介: 张亚莉 (1975—), 女, 副教授, 博士, E-mail: ylzhang@scau.edu.cn; 通信作者: 曾　文 (1975—), 男, 讲师, 博士, E-mail: zengwen@scau.edu.cn; 贾瑞昌 (1975—), 男, 讲师, 博士, E-mail: rcjia@scau.edu.cn
基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2019B020221001); 广东省科技计划 (2018A050506073); 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队项目 (2020KJ133); 国家重点研发计划 (2018YFD0200304)

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

pesticide dosages of 100%, 90%, and 80% of the conventional artificial control dosage. The effect of different spray volume and reduced dosage on the droplet deposition and the control of rice planthopper were analyzed. 【Result】 The droplet deposition in the upper part of the rice canopy was significantly higher than that in the lower part of the canopy. The differences of two spray volumes and three dosages on the droplet deposition were not significant. At the same time, the number of rice planthopper decreased significantly after one week of treatment. Under the condition of the same spray volume, the effect of reduced dosage on the control effect of rice planthopper was not significant. Rice spray dosage of 80% of manual application met the requirement of rice planthopper control. 【Conclusion】 The spray dosage of 80% can be considered as feasible dosage in the UAV application for rice. The results provide useful reference for promoting the reductions of pesticide application for rice and the operating cost of rice plant protection.

Key words: plant protection UAV; reduced pesticide application; droplet deposition; rice planthopper; control effect

作为我国主要的粮食作物，2019 年国内水稻种植面积达到了 0.3 亿 hm^2[1]，广东省水稻种植面积已达 179 万 hm^2[2]。水稻是病虫害种类最多和危害程度最高的农作物之一，广东省水稻种植区水稻纹枯病、稻纵卷叶螟、稻飞虱均达中等偏重程度[3-4]。近年来，由于效率高、作业不受地形限制、节水节药等优势，植保无人机施药技术在水稻病虫草害的防治上发展迅速[5-9]。

植保无人机应用于水稻施药已开展大量研究。薛新宇等[10]对 N-3 型无人直升机喷施药剂防治稻飞虱和稻纵卷叶螟的效果进行了研究。Qin 等[11]研究了无人机的喷雾高度和速度等作业参数对水稻冠层上雾滴沉积和对稻飞虱的防治效果的影响。陈盛德等[12]通过不同的飞行高度、飞行速度研究了不同喷雾作业参数对水稻冠层的雾滴沉积分布的影响。漆海霞等[13]采用 5 款植保无人机进行稻田雾滴沉积分布试验研究。张海艳等[14]测试并对比了电动单旋翼和电动多旋翼植保无人机在水稻田间的喷施作业效果。Chen 等[15]在水稻抽穗扬花期和分蘖期比较了不同喷嘴对稻飞虱防治和雾滴沉积效果的影响。然而现有研究多从机型、喷头、飞行参数等方面对雾滴沉积分布规律进行分析，植保无人机不同施药液量和不同施药剂量对水稻病虫害防治效果的影响研究较少。

为了促进减量施药技术在水稻生产中的研究和应用，本研究以 M45 多旋翼植保无人机为施药载体开展了水稻航空喷雾试验，探索不同施药液量和农药剂量在水稻不同冠层的雾滴沉积规律，以及不同农药剂量对稻飞虱的防治效果，以期为植保无人机农药减施增效提供数据参考。

1　材料与方法

1.1　试验机型与试验地点

喷雾试验机型采用 M45 多旋翼植保无人机（深圳高科新农技术有限公司，深圳），机身为三角形设计，并搭配压力式喷头，其空机质量达到 27 kg，载荷质量为 20 kg，飞行速度为 0~6 m/s，喷洒宽度为 6~8 m，飞行高度为 2~5 m，整机喷雾量为 1.8~2.6 L/min。无人机作业如图 1 所示。

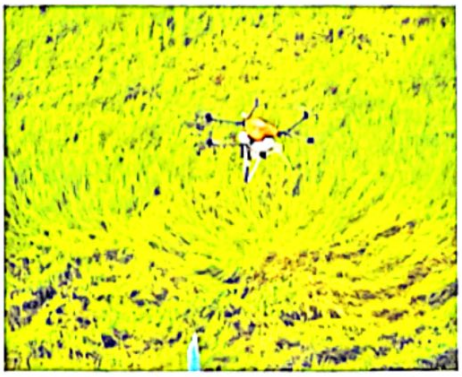


图 1　M45 多旋翼植保无人机
Fig. 1　M45 multi rotor plant protection UAV

试验地点位于广东省江门市新会区三江镇（22°27′36″N，113°08′24″E），具体位置如图 2 所示。试验田晚稻采用撒播方式播种，施药试验时间为晚稻分蘖末期，晚稻平均高度为 0.7~0.9 m。

1.2　气象数据

地面最大风速为 2.6 m/s，平均气温 20 ℃，平均湿度为 53.6%，大气压强为 101.5 kPa，满足《植保无人飞机防治水稻病虫害施药指南》的作业要求[16]。

1.3　试验试剂与材料

铜版纸（长 8 cm，宽 3 cm）、诱惑红（ALLURA

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

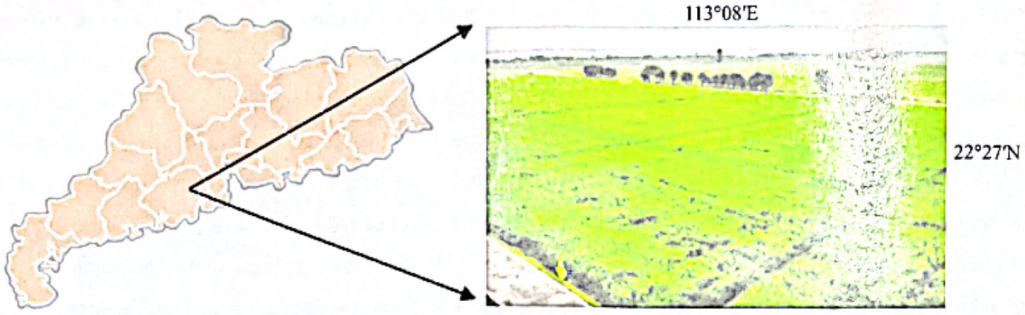


图 2 试验田位置

Fig. 2 Location of test field

RED) 试剂、金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 油悬浮剂 (有效成分总含量是 8×10^9 mL^{-1}[17])、万向夹、塑料杆、米尺、橡胶手套、自封袋、信封、Kestrel NK-3500 气象风速仪、HP Scanjet 200 扫描仪以及雾滴图像分析处理软件。

1.4 试验设计与数据处理

试验采用了 2 种施药液量：15.0 和 22.5 L/hm^2，以及人工施药金龟子绿僵菌推荐剂量的 100%、90%、80% 3 种减量农药剂量，对不同施药液量和减量农药剂量对雾滴沉积效果以及稻飞虱防治效果的影响进行分析，试验设计如表 1 所示。

表 1 试验田施药测试处理区

Table 1 Treatments for pesticide application test in experimental field

处理区 Processing area	施药液量/(L·hm^{-2}) Spray volume	农药剂量/% Pesticide dosage
1	15.0	100
2		90
3		80
4	22.5	100
5		90
6		80

根据试验需求，将试验田划分为 6 个处理区，每隔 20 m 插一面旗子，作为每个小区的边界点，共放置 14 面旗子，每个小区面积约 0.2 hm^2。在试验田附近放置 Kestrel NK-3500 气象风速仪，用来监测地面实时气象信息。

喷洒药剂使用金龟子绿僵菌油悬浮剂进行现场配置，采取喷洒 1 次调配 1 次的原则，严格遵守标准配药步骤，同时为了在铜版纸上显示的雾滴更明显，在试验药剂里添加诱惑红试剂。

为了研究雾滴沉积与稻飞虱防治效果的关系，按照水稻冠层的垂直方向选取上部和下部布置铜版纸，将铜版纸夹在万向夹上，调整铜版纸水平放置，再将万向夹固定在塑料管上插入稻田里，本次试验塑料管的放置位置按照图 3 所示，每个处理区里设置 2 条雾滴采集带，每条雾滴采集带共设有 11 个采样点 (以−5, …, −1, 0, 1, …, 5 标记)，每个采样点间隔 1 m。作业时，保持无人机的飞行高度在水稻冠层以上 1.5 m，飞行速度为 5 m/s。

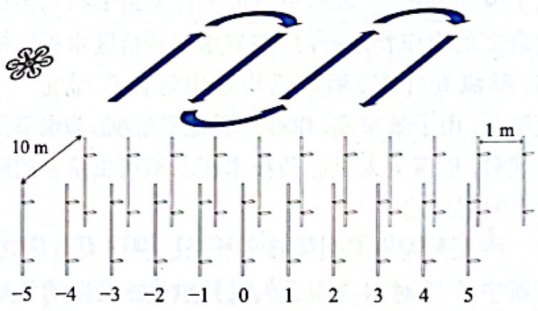


图 3 试验采样点的布置方式以及航线设计

Fig. 3 Layout of test sampling points and route design

本研究进行了 3 次稻飞虱防治效果的田间调查，第 1 次调查为施药前 1 天，第 2 次调查为施药后第 1 天，第 3 次调查为施药后第 7 天。按照《稻飞虱测报调查规范》[18]，在每个处理区内随机选择 30 株水稻，然后采用目测法，观察每株水稻上的稻飞虱数量并记录。根据各处理区施药前后稻飞虱的数量，利用公式[19]计算虫口减退率和防效。

$$\text{虫口减退率}=\frac{(\text{施药前活虫数}-\text{施药后活虫数})}{\text{施药前活虫数}}\times100\%, \quad (1)$$

$$\text{校正防效}=\frac{(\text{施药区虫口减退率}-\text{对照区虫口减退率})}{(100-\text{对照区虫口减退率})}\times100\%。 \quad (2)$$

当无人机在一个处理区内施药结束后，将铜版纸收好放入自封袋中，然后放入事先编号的信封中，带回实验室处理。使用 HP Scanjet 200 扫描仪，设置图像是灰度、分辨率是 600，将铜版纸扫描下来，然后再通过 DepositScan 图像扫描软件对已扫

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

描图片进行分析，得到每个采样点的粒径分布、覆盖率、雾滴沉积等信息，同时计算出雾滴分布均匀性，用变异系数 (Coeffecient of variation, CV) 表示，变异系数越小，说明雾滴穿透性越好。数据统计处理在 SPSS23.0 中完成。

2　结果与分析

2.1　不同施药液量的雾滴沉积效果

表 2 为施药液量为 15 L/hm² 的各采样点的雾滴沉积效果。通过分析雾滴沉积量，可以发现水稻植株上层的雾滴沉积要比水稻植株下层的好，由采样点从左到右，雾滴沉积量呈先增大后减小的趋势，中间的 0 号采样点的水稻植株上层雾滴沉积量最高，为 0.74 μL/cm²，水稻植株下层最高的是 2 号采样点，为 0.30 μL/cm²，但差异不显著；雾滴分布均匀性同样呈现先变差后变好的趋势，4 号采样点水稻植株下层的雾滴分布均匀性最佳，为 13.33%；0 号采样点水稻植株下层的雾滴分布均匀性最差，高达 97.02%。

表 2　施药液量为 15.0 L/hm² 时各采样点的雾滴沉积效果

Table 2　Droplet deposition effect at each sampling point with 15.0 L/hm² of spraying solution

采样点 Sampling point	雾滴沉积量[1]/(μL·cm⁻²) Droplet deposition		雾滴分布均匀性/% Uniformity of droplet distribution	
	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level
−5	0.31±0.20a	0.06±0.04ab	30.82	65.66
−4	0.13±0.10a	0.04±0.03a	57.54	69.18
−3	0.17±0.15a	0.12±0.13ab	87.82	78.22
−2	0.49±0.28a	0.07±0.09ab	43.41	36.14
−1	0.46±0.73a	0.19±0.16ab	87.87	73.05
0	0.74±0.54a	0.19±0.18ab	74.67	97.02
1	0.50±0.45a	0.12±0.12ab	75.22	43.33
2	0.35±0.20a	0.30±0.39b	94.39	46.38
3	0.70±1.23a	0.10±0.07ab	44.76	46.84
4	0.15±0.10a	0.14±0.17ab	83.47	13.33
5	0.26±0.24a	0.03±0.03a	60.06	40.02

1) 数据为平均值±标准差；同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05, Duncan's法)

1) The data are means ± standard deviations; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P<0.05, Duncan's method)

表 3 为施药液量为 22.5 L/hm² 的各采样点的雾滴沉积效果。由采样点从左到右，水稻植株上层雾滴沉积量呈一直减小的趋势，其中，−5 号采样点的雾滴沉积量最高，为 0.53 μL/cm²，水稻植株下层的

表 3　施药液量为 22.5 L/hm² 时各采样点的雾滴沉积效果

Table 3　Droplet deposition effect at each sampling point with 22.5 L/hm² of spraying solution

采样点 Sampling point	雾滴沉积量[1]/(μL·cm⁻²) Droplet deposition		雾滴分布均匀性/% Uniformity of droplet distribution	
	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level
−5	0.53±0.21a	0.17±0.18ab	54.02	75.62
−4	0.34±0.45a	0.05±0.03ab	51.69	69.67
−3	0.43±0.46a	0.06±0.04ab	57.72	86.29
−2	0.30±0.25a	0.09±0.04a	48.14	76.90
−1	0.24±0.32a	0.06±0.04a	81.31	83.63
0	0.34±0.32a	0.08±0.09a	75.92	83.24
1	0.34±0.52a	0.26±0.25b	58.08	86.42
2	0.29±0.25a	0.11±0.10ab	80.20	90.95
3	0.22±0.22a	0.14±0.09ab	94.30	68.42
4	0.34±0.34a	0.23±0.20ab	86.62	95.23
5	0.12±0.08a	0.08±0.05a	89.43	78.26

1) 数据为平均值±标准差；同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05, Duncan's法)

1) The data are means ± standard deviations; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P<0.05, Duncan's method)

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

雾滴沉积量是先增大后减小的趋势，其中，最高的是 1 号采样点，为 0.26 μL/cm²；水稻植株上层雾滴分布均匀性呈现持续变差的趋势，其中，-2 号采样点的雾滴分布均匀性最佳，为 48.14%，所以该农药剂量的小区内，普遍雾滴分布均匀性较差。

2.2 不同施药液量不同农药剂量的雾滴沉积效果

以雾滴沉积量为基础参数对各施药液量的雾滴沉积效果进行分析评价，结果 (表 4、表 5) 显示，2 个不同施药液量的小区，除了 90% 的农药剂量，其他 2 个农药剂量 22.5 L/hm² 的小区雾滴沉积量都优于 15.0 L/hm² 的小区，出现这一现象的原因可能是，在试验时，水稻上方的垂直风场过小，在自然风的影响下，导致雾滴漂移，没有被铜版纸接收到。同时也说明增加施药液量，有助于雾滴沉积，而且水稻植株上层的雾滴均匀性好于水稻植株下层。

表 4 施药液量为 15.0 L/hm² 时不同农药剂量雾滴沉积量效果试验结果

Table 4 The effect of different pesticide dosages on droplet deposition with 15.0 L/hm² of spraying solution

农药剂量/% Pesticide dosage	雾滴沉积量[1]/(μL·cm⁻²) Droplet deposition		雾滴分布均匀性/% Uniformity of droplet distribution	
	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level
100	0.377±0.425a	0.122±0.299a	54.02	75.62
90	0.396±0.420a	0.131±0.131a	51.69	69.67
80	0.300±0.345a	0.107±0.112a	57.72	86.29

1) 数据为平均值±标准差；同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05, Duncan's法)

1) The data are means ± standard deviations; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P<0.05, Duncan's method)

表 5 施药液量为 22.5 L/hm² 时不同农药剂量雾滴沉积量效果试验结果

Table 5 The effect of different pesticide dosages on droplet deposition with 22.5 L/hm² of spraying solution

农药剂量/% Pesticide dosage	雾滴沉积量[1]/(μL·cm⁻²) Droplet deposition		雾滴分布均匀性/% Uniformity of droplet distribution	
	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level
100	0.552±0.547b	0.188±0.181b	54.02	75.62
90	0.188±0.129a	0.097±0.918a	51.69	69.67
80	0.384±0.369ab	0.104±0.070a	57.72	86.29

1) 数据为平均值±标准差；同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05, Duncan's法)

1) The data are means ± standard deviations; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P<0.05, Duncan's method)

2.3 稻飞虱防治效果分析

通过对施药前后共计 3 次的稻飞虱数量进行田间调查并分析防治效果，施药后第 1 次调查和第 2 次调查的不同农药剂量以及施药液量对虫口减退率和校正防效如表 6、表 7 所示。

施药后第 1 次调查结果显示，在 22.5 L/hm² 施药液量、100% 农药剂量下，虫口减退率最高为 38%，其他情况下都集中在 15%~20%，22.5 L/hm² 施药液量、100% 农药剂量下，校正防效最好 (30%)；施药后第 2 次调查结果显示，在 22.5 L/hm² 施药液量、100% 农药剂量下，虫口减退率最高为 45%，22.5 L/hm² 施药液量、100% 农药剂量下，校正防效最好 (53%)。

当施药液量是 15 L/hm² 时，农药剂量是 100%、90%、80% 的第 2 次调查的虫口减退率分别比第 1 次提高了 8、9 和 10 个百分点，校正防效分别提高了 30、31 和 31 个百分点；当施药液量是 22.5 L/hm² 时，农药剂量是 100%、90%、80% 的第 2 次调查的虫口减退率分别比第 1 次提高了 7、17 和 13 个百分点，校正防效分别提高了 23、38 和 15 个百分点，明显发现施药后 1 周的防治效果比施药后 1 d 的防治效果好。

在施药液量是 15 L/hm² 的情况下，农药剂量是 100% 与 80% 的第 2 次虫口退减率相差 3%，在施药液量是 22.5 L/hm² 时，农药剂量 100% 与 80% 的第 2 次虫口退减率相差 2%，说明农药剂量对稻飞虱的防治效果影响不大。在农药剂量相同的情况下，施药液量多的比施药液量少的防治效果好，跟雾滴沉积量呈正相关关系。

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

表 6　施药液量为 15.0 L/hm² 时不同农药剂量对稻飞虱的防治效果

Table 6　Different pesticide dosages on the control effect of rice planthopper with 15.0 L/hm² of spraying solution

农药剂量/% Pesticide dosage	施药后第1次调查 The first investigation after application		施药后第2次调查 The second investigation after application	
	虫口减退率/% Decline rate of insect population	校正防效/% Corrected control effect	虫口减退率/% Decline rate of insect population	校正防效/% Corrected control effect
100	16	5	24	35
90	19	8	28	39
80	17	6	27	37

表 7　施药液量为 22.5 L/hm² 时不同农药剂量对稻飞虱的防治效果

Table 7　Different pesticide dosages on the control effect of rice planthopper with 22.5 L/hm² of spraying solution

农药剂量/% Pesticide dosage	施药后第1次调查 The first investigation after application		施药后第2次调查 The second investigation after application	
	虫口减退率/% Decline rate of insect population	校正防效/% Corrected control effect	虫口减退率/% Decline rate of insect population	校正防效/% Corrected control effect
100	38	30	45	53
90	13	2	30	40
80	20	37	43	52

3　结论

以高科新农 M45 多旋翼植保无人机为施药作业平台，在江门新会的水稻试验田进行航空雾滴沉积试验，重点研究了不同施药液量和不同农药剂量在水稻试验田对雾滴沉积量和稻飞虱的防治效果的影响，得出以下结论：

1) 农药剂量相同时，施药液量越大，雾滴沉积效果越好，但是每个小区的雾滴分布不均匀；在施药液量相同时，农药剂量越高，雾滴沉积的效果越好；每个小区明显水稻植株上层的雾滴沉积效果要好于下层。水稻冠层上部的雾滴沉积效果优于下层，主要是由于无人机施药位置高、雾滴小，难以穿透分蘖后期长势茂盛的水稻。

2) 试验结果发现，本研究中的 2 种施药液量、3 种农药剂量以及施药液量和农药剂量的交互作用对雾滴沉积量均没有显著影响。本次试验中设置的参数不能明显地体现其对雾滴沉积量的影响，下次可以把施药参数的间隔增大一些，增加更多组重复试验，减小误差，获得更准确的数据。

3) 100% 农药剂量与 80% 农药剂量对稻飞虱的防治效果没有显著差异，所以可以适当降低金龟子绿僵菌的农药剂量，达到农药减施目的。施药 7 d 后田间调查的稻飞虱防治效果优于施药后第 1 天，经过分析认为，金龟子绿僵菌属于广谱性杀虫真菌，可以让稻飞虱受到致命感染，慢性中毒而死，而施药后 7 d 的调查周期相对较短，导致校正防效不高。在今后的研究工作中可适当延长调查周期，同时其他杀虫剂的减施效果有待进一步研究和分析。

综上所述，本研究使用多旋翼植保无人机减量施药用于防治水稻稻飞虱，防治效果较好，提高了农药利用率，降低了病虫害防治成本，同时对减轻环境污染有利。本研究为促进水稻减量施药研究提供了试验数据参考。由于水稻植株的中下层是稻飞虱集中危害部位，为改善植保无人机减量施药在水稻稻飞虱防治作业上的广泛应用，可从以下 2 个方面进行深入研究：进一步优选多旋翼植保无人机的作业参数，增加施药过程中药液雾滴的穿透性；探索航空静电喷雾等施药技术，增加水稻中下层的雾滴沉积量，提高稻飞虱防治效果。

参考文献：

[1] 中商产业研究院. 2019 年中国粮食种植面积和产量数据分析及 2020 年预测[EB/OL]. (2019-12-06)[2020-12-31]. https://www.askci.com/news/chanye/20191206/1642301155340_2.shtml.

[2] 广东省农业农村厅. 2019 年广东省粮食产销形势分析 [EB/OL]. (2020-02-13)[2020-12-31]. http://dara.gd.gov.cn/cxxsfx/content/post_2894942.html.

[3] 叶延琼, 章家恩, 李逸勉, 等. 1992-2010 年广东省水稻主要病虫害发生动态及防控措施[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(15): 3544-3549.

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

[4] 陈波, 范兵, 陈科海, 等. 基于水稻主要病虫害的发生趋势论种质资源在水稻抗性育种中的应用[J]. 现代农业科技, 2012(3): 234-236.

[5] WANG L, LAN Y, ZHANG Y, et al. Applications and prospects of agricultural unmanned aerial vehicle obstacle avoidance technology in China[J]. Sensors, 2019, 19: 642.

[6] ADITYA S N, PROF S C K. Adoption and utilization of-drones for advanced precision farming: A review[J]. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 2016, 4(5): 563-565.

[7] 李飞, 韩冲冲, 李保同. 阿维菌素无人机喷施的沉积特征及防效研究[J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(5): 914-923.

[8] 缪建锟, 齐枫, 杨皓, 等. 植保无人机喷施 30% 肟菌·戊唑醇悬浮剂防治稻瘟病、稻曲病效果评价[J]. 农药, 2020, 59(9): 680-683.

[9] 姚伟祥, 兰玉彬, 郭爽, 等. 赣南山地柑桔园有人驾驶直升机喷雾作业雾滴沉积效果[J]. 中国南方果树, 2020, 49(2): 13-18.

[10] 薛新宇, 秦维彩, 孙竹, 等. N-3 型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响[J]. 植物保护学报, 2013, 40(3): 273-278.

[11] QIN W C, QIU B J, XUE X Y, et al. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers[J]. Crop Protection, 2016, 85: 79-88. doi: 10.1016/j.cropro.2016.03.018.

[12] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 小型无人直升机喷雾参数对杂交水稻冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(9): 40-46.

[13] 漆海霞, 陈鹏超, 兰玉彬, 等. 不同电动植保无人机稻田雾滴沉积分布试验研究[J]. 农机化研究, 2019, 41(9): 147-151.

[14] 张海艳, 兰玉彬, 文晟, 等. 植保无人机水稻田间农药喷施的作业效果[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(1): 116-124.

[15] CHEN P C, LAN Y B, HUANG X Y, et al. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle[J]. Agronomy, 2020, 10(2). doi: 10.3390/agronomy10020303.

[16] 中国农药工业协会. 植保无人飞机防治水稻病虫害施药指南: T/CCPIA020—2019[S]. 北京: 中国农药工业协会, 2019.

[17] 彭国雄, 张淑玲, 夏玉先. 金龟子绿僵菌 CQMa421 农药及应用情况[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(6): 850-857.

[18] 农业部全国农业技术推广服务中心. 稻飞虱测报调查规范: GB/T15794.4—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.

[19] 农业农村部农药检定所. 农药田间药效试验准则: GB/T17980.4—2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.

【责任编辑 霍 欢】

欢迎订阅 2022 年《华南农业大学学报》

《华南农业大学学报》是华南农业大学主办的综合性农业科学学术刊物。本刊主要报道农业各学科的科研学术论文、综述等，涵盖动物科学、兽医学、农学、园艺学、土壤肥料、植物保护、生物学、林业科学、农业工程和食品科学等学科。本刊附英文目次和英文摘要。读者对象主要是农业院校师生、农业科研人员和有关部门的专业技术人员。

本刊为《中文核心期刊要目总览》综合性农业科学核心期刊，《中国科学引文数据库 (CSCD)》、《中国科技论文统计源（中国科技核心期刊）》及《中国学术期刊综合评价数据库》等来源期刊，并排列在中国科学引文数据库被引频次最高的中国科技期刊 500 名以内；为《CNKI》《万方数据库》《中国生物学文摘》《化学文摘》《EBSCO》《Scopus》《CABI》《剑桥科学文摘》《动物学记录》《食品科技文摘》《文摘杂志》《日本科学技术振兴机构数据库》等国内外 40 多家数据库（文摘）收录。

双月刊，逢单月上旬出版，A4 幅面。定价 15.00 元/册，全年 90.00 元。自办发行，参加全国非邮发报刊联合征订发行，非邮发代号：6573。国内外公开发行，欢迎订阅！

订阅款邮汇至：300381 天津市卫津南路李七庄邮局 9801 信箱，全国非邮发报刊联合征订服务部。

《华南农业大学学报》编辑部

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

華南農業大學学报

JOURNAL OF SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY

华南农业大学学报

Huanan Nongye Daxue Xuebao

（双月刊，1959 年创刊，1980 年复刊）

第 42 卷　第 6 期　2021 年 11 月

Journal of South China Agricultural University

(Bimonthly, Started 1959, Resumed 1980)

Vol.42 No.6 Nov. 2021

主管单位：华南农业大学

主办单位：华南农业大学

主　　编：刘雅红

编辑出版：华南农业大学学报编辑部

地　　址：广州市天河区五山路483号(510642)

网　　址：http://xuebao.scau.edu.cn

电子邮箱：journal@scau.edu.cn

电　　话：(020)85280069/38746672

印刷单位：广州一龙印刷有限公司

发行订购：华南农业大学学报编辑部

国外发行：中国国际图书贸易总公司（中国国际书店）北京399信箱

Responsible Institution: South China Agricultural University

Sponsor: South China Agricultural University

Chief Editor: LIU Yahong

Edited and Published by Editorial Department, Journal of South China Agricultural University

Address: Wushan, Guangzhou, 510642, China

Website: http://xuebao.scau.edu.cn

E-mail: journal@scau.edu.cn

Tel: (86-20)85280069/38746672

Distributed by China International Book Trading Corporation(P.O.Box 399 Beijing, China)

ISSN 1001-411X

CN 44-1110/S

国内外公开发行

国内定价：15.00 元/册

ISSN 1001-411X

9 771001 411218 11>

扫描全能王 3亿人都在用的扫描App

applied sciences

MDPI

Review

Development and Prospect of UAV-Based Aerial Electrostatic Spray Technology in China

Yali Zhang [1,2], Xinrong Huang [1,2], Yubin Lan [2,3], Linlin Wang [2,3], Xiaoyang Lu [1,2], Kangting Yan [1,2], Jizhong Deng [1,2,*] and Wen Zeng [1,2,*]

[1] College of Engineering, South China Agricultural University, Wushan Road, Guangzhou 510642, China; ylzhang@scau.edu.cn (Y.Z.); xrhuang@stu.scau.edu.cn (X.H.); luxiaoyang@stu.scau.edu.cn (X.L.); ktyan@stu.scau.edu.cn (K.Y.)

[2] National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticide Spraying Technology, Wushan Road, Guangzhou 510642, China; ylan@scau.edu.cn (Y.L.); wlinlin@stu.scau.edu.cn (L.W.)

[3] College of Electronic Engineering and College of Artificial Intelligence, South China Agricultural University, Wushan Road, Guangzhou 510642, China

* Correspondence: jz-deng@scau.edu.cn (J.D.); zengwen@scau.edu.cn (W.Z.)

Abstract: Aerial electrostatic spray technology for agriculture is the integration of precision agricultural aviation and electrostatic spray technology. It is one of the research topics that have been paid close attention to by scholars in the field of agricultural aviation. This study summarizes the development of airborne electrostatic spray technology for agricultural use in China, including the early research and exploration of Chinese institutions and researchers in the aspects of nozzle structure design optimization and theoretical simulation. The research progress of UAV-based aerial electrostatic spray technology for agricultural use in China was expounded from the aspects of nozzle modification, technical feasibility study, influencing mechanism of various factors, and field efficiency tests. According to the current development of agricultural UAVs and the characteristics of the farmland environment in China, the UAV-based aerial electrostatic spray technology, which carries the airborne electrostatic spray system on the plant protection UAVs, has a wide potential in the future. At present, the application of UAV-based aerial electrostatic spray technology has yet to be further improved due to several factors, such as the optimization of the test technology for charged droplets, the impact of UAV rotor wind field, comparison study on charging modes, and the lack of technical accumulation in the research of aerial electrostatic spray technology. With the continuous improvement of the research system of agricultural aviation electrostatic spray technology, UAV-based electrostatic spray technology will give play to the advantages in increasing the droplets deposition on the target and reducing environmental pollution from the application of pesticides. This study is capable of providing a reference for the development of the UAV-based agricultural electrostatic spray technology and the spray equipment.

Keywords: agricultural aviation; UAV; plant protection; review; electrostatic spray technology; droplet deposition; aerial pesticides application; charge to mess ratio

check for updates

Citation: Zhang, Y.; Huang, X.; Lan, Y.; Wang, L.; Lu, X.; Yan, K.; Deng, J.; Zeng, W. Development and Prospect of UAV-Based Aerial Electrostatic Spray Technology in China. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 4071. https://doi.org/10.3390/app11094071

Academic Editor: Sylvain Bertrand

Received: 12 April 2021
Accepted: 28 April 2021
Published: 29 April 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

Electrostatic spray technology for agricultural aviation is the application of traditional electrostatic spray technology in an airborne platform. It is one of the research topics that scholars in the field of agricultural aviation always pay attention to. Agricultural aerial electrostatic spray technology is mainly based on induction, corona, and contact charging methods to charge the droplets. Under the action of high voltage static electricity, charged droplets make rapid directional deposition along the electric field line in the air and settle on the target [1,2]. For this reason, aerial electrostatic spray can effectively reduce drift loss during aerial pesticide application, improve droplet deposition, and mitigate

environmental pollution [3,4]. Carlton et al. [5] from the Agricultural Research Service of the United States Department of Agriculture (USDA-ARS) designed an electric rotating electrostatic nozzle in 1966, which was the first scientific research institution in the world to carry out research on aerial electrostatic spray technology for agriculture. Carlton also obtained the invention patent of the aerial electrostatic spray technology in 1999 [6]. The patent was certified by the United States Department of Agriculture as the world's first and only commercially proven airborne electrostatic spray system for agriculture [7]. SES (Spectrum Stack Sprayers, Inc., Houston, TX, USA) has been awarded an exclusive license to manufacture and market this innovative technology. Subsequently, scientific research institutions in the United States, Brazil, Canada, Switzerland, and China have conducted a large number of studies to gradually improve the research and application of electrostatic spray in agricultural aviation [8–10].

The research of electrostatic spray technology for agricultural aviation started relatively late in China but developed rapidly. Especially in recent years, the rapid development of plant protection UAVs in China has attracted scholars to make a lot of attempts on the research and application of UAV-based electrostatic spray technology. This study introduced the early exploration of aerial electrostatic spray technology in China from the aspects of nozzle structure design optimization, theoretical simulation, and field experiment with manned aircraft platforms. Then, the research progress of UAV-based electrostatic spray technology in China was emphatically expounded upon, and the existing problems were discussed as well. It is proposed that future research should be carried out in the measurement technology for charged droplets, the influence of UAV rotor wind field on charged droplets, comparative study of various charging methods, and other aspects, so as to increase the accumulation of research on aerial electrostatic spray technology based on an agricultural UAV platform. This study can provide a reference for the development of the agricultural aviation electrostatic spray technology and the spray equipment.

2. Early Exploration of Aerial Electrostatic Spray Technology in China

In the 1970s, China began to study the new technology of electrostatic spraying for agricultural application [11]. In 1977, Shenyang Spray Factory used hand-held sprayers to carry out field spraying experiments on the seedlings and young trees of cloves and found that the application of electrostatic spraying treatment could increase the amount of pesticides applied per unit area of plants while reducing the labor intensity [12]. After the application of electrostatic spray technology in hand-held and knapsack sprayers, it has also achieved success in the application of ground agricultural machinery equipment in greenhouses, orchards, and other operating scenarios [13,14]. A large number of studies on the effects of electrostatic spray equipment have been carried out on droplet size, droplet deposition distribution in each part of crop canopy, nozzle structure, and working parameters on droplet quality, etc. [15–19].

In 2005, China introduced the electrical parts and nozzles of the aerial electrostatic spray system from the SES company and carried out simulation tests and flight tests [20], marking the beginning of China's research in the field of aerial electrostatic spraying. Two years later, universities and scientific research institutions in China began to comprehensively study the aerial electrostatic spray technology based on manned aircraft platforms in aspects of hardware structure improvement, mechanism of influencing factors, and theoretical simulation.

2.1. Hardware Structure Improvement

Hardware structure improvement research refers to the adjustment or structural modification of system parameters such as electrode material, nozzle size, rotor number, and nozzle position of aerial electrostatic spray systems [21].

In 2007, Ru et al. [22] introduced a structured design on a double-nozzle for an aerial electrostatic sprayer and theoretically analyzed the space field induced by the double-nozzle and the impact on the size and charging droplets from the space field.

Zhou et al. [23] improved the design of an aerial electrostatic single-nozzle from the aspects of an electrostatic electrode, nozzle material, nozzle processing technology, connection mode of high voltage wire and electrode, rotating screw joints, overflow valve body, and so on, in order to meet the requirements for application and large-scale production.

In terms of the electrode of electrostatic nozzles, Ru et al. [24] modified the original cylindrical electrode to a cone-shaped electrode according to the features of aerial electrostatic spraying. The effect of charging voltage on the charge to mass ratio and deposition distribution of the new aerial electrostatic system was tested under simulated flight conditions. It was found that the electrostatic spray was beneficial to increase the average deposition of charged droplets on the lateral, bottom, and back sides of the neutral target significantly. Jin et al. [25] improved the ring electrode of an aerial electrostatic nozzle and conducted an experimental study on the droplet size and the charging effect of droplets after the improvement. Results showed that droplet size was influenced by nozzle diameter, spraying pressure, and charging voltage, of which the spray pressure indicated the strongest effect, and charging voltage showed the weakest effect. The charge to mass ratio increased with the increase in voltage, reaching a maximum of 2.09 mC/kg, and tends to saturation at 8 kV. The charge to mass ratio decreased with the increase in droplet size, but the change was not rapid.

2.2. Research on Mechanism of Influencing Factors

The settling process of charged droplets is restricted by environmental factors, controllable factors, and target parameters during spraying operation, thus affecting the operation quality of the electrostatic spraying system. Among these influencing factors, environmental factors include temperature, humidity, wind speed, soil, etc.; controllable parameters include charging voltage, spraying flow, spraying pressure, flight altitude, flight speed, etc.; target parameters include crop objects, target morphology, leaf inclination, and insect pest types and habits, and so on [21].

Yang et al. [26] studied the influence of different crosswinds wind speed conditions and electrostatic voltage on charging characteristics through indoor simulation of natural wind and constant wind environment, providing a basis for strengthening the anti-drift ability of charged spray droplets in the settling process. Chen et al. [27] analyzed the characteristics of the electrostatic field induced by the ring electrode with the help of Fluent software (Version 6.3). It was found that the higher charging voltage or smaller electrode spacing (when the distance between the induction electrode ring and the nozzle was less than 10 mm) could effectively improve the charge effect and spray quality.

3. Rapid Progress of UAV-Based Electrostatic Spray Technology

3.1. Research Background

In 2014, China's agricultural pesticide application was still dominated by large fixed-wing aircraft, supplemented by rotary-wing UAVs [28]. However, since 2015, with the urbanization process in China, the rural labor force population has become less and less. Meanwhile, with the improvement of living standards, automatic pesticide application tools have gradually been accepted by farmers [29]. Nowadays, plant protection UAVs have maintained a booming trend in the field of agricultural plant protection. China has taken an internationally leading position in terms of technology, quantity, and product types of agricultural plant protection UAVs [30].

Figure 1 shows the increasing number of plant protection UAVs and operating areas covered in China from 2014 to 2020. The number of plant protection UAVs has reached 110,000 units with an operation area covered of 67 million hm^2 in 2020. In this context, Chinese scholars began to put forward the idea of applying aerial electrostatic spray technology to UAVs, while there are few reports on this topic worldwide.

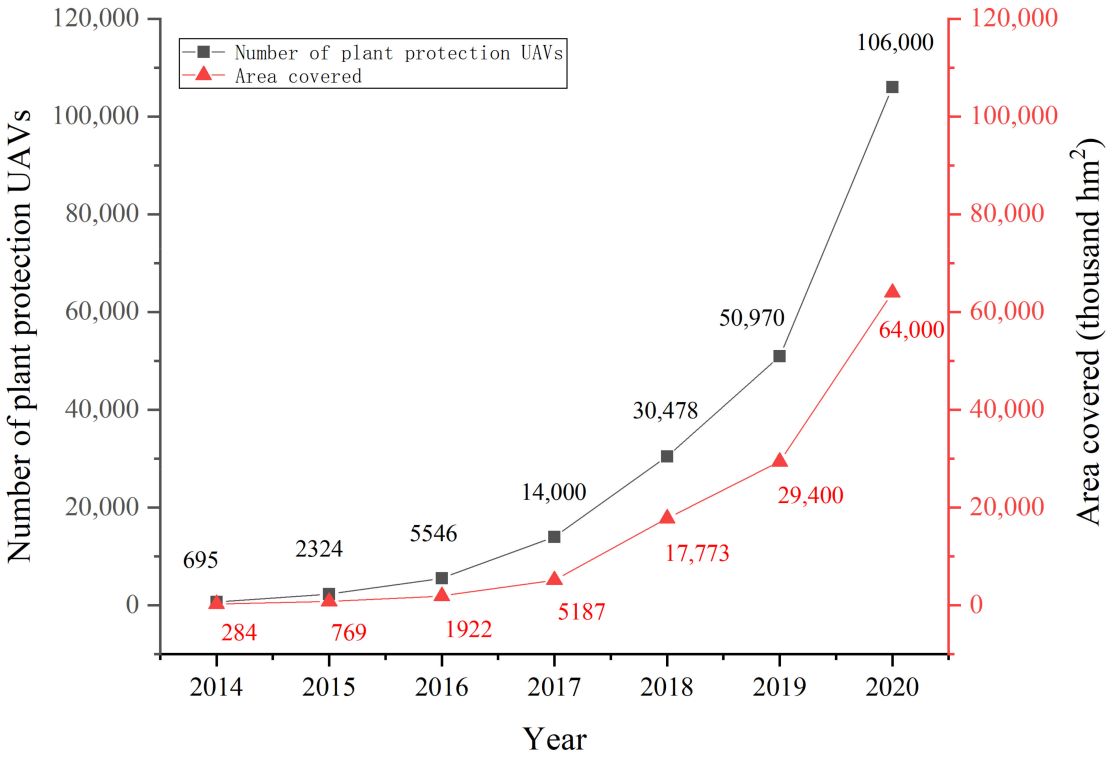


Figure 1. Increasing number of plant protection UAVs and operating area covered in China (2014–2020).

3.2. Beginning of the Research on UAV-Based Electrostatic Spray Technology

In 2015, Ru et al. [31] tried the first combination of electrostatic spray technology and plant protection UAV with an XY8D unmanned helicopter and carried out field tests in a rice field, as shown in Figure 2. A preliminary experiment on spray pressure, flow rate, and charging voltage were conducted to determine the optimal parameters for field tests. Field spraying test results showed that the droplet deposition and coverage rate on the target crop was effectively improved by the UAV-based electrostatic spraying when compared with non-electrostatic spraying. The influence of environmental factors and physical properties of the liquid was not verified in this experiment. However, the first study of carrying the electrostatic spray system on a UAV was of great value. Chinese scholars then began to make continuous innovations and breakthroughs in UAV-based electrostatic spray technology.



Figure 2. Rice field test with an XY8D UAV-based electrostatic spray system [31].

3.3. Continuous Optimization of UAV-Based Electrostatic Spray Technology

Chinese researchers have carried out a series of optimization work from the aspects of nozzle modification, test effect comparison, and mechanism of influencing factors in order to meet the precise operation requirements of UAV-based electrostatic spray system in practical application and to improve the droplet deposition on the target crops.

In terms of nozzles modification, Wang et al. [32] improved the conventional nozzles for multi-rotor plant protection UAVs. An inductive type electrostatic centrifugal nozzle was developed by combining agricultural electrostatic spray technology with a centrifugal atomizing nozzle. Besides, the spraying flow stability test and droplet deposition effect of the system were studied. When the charging voltage of the nozzle reaches 8 kV, the charge to mass ratio reaches the maximum value of 0.59 mC/kg.

In terms of comparison with the test results of non-electrostatic spray, Jin et al. [33] from Nanjing Forestry University designed an electrostatic spray system for the AF-118 helicopter. Through the effective spraying width and droplets deposition characteristics, it is found that the effective spraying width of electrostatic spray was smaller than that of non-electrostatic spray. The total droplet deposition number of electrostatic spray (9–36 drops/cm^2) was higher than that of non-electrostatic spray (6–26 drops/cm^2). Lian [34] used YG-6 six-rotor UAV to carry an electrostatic spray system. Through an indoor performance test, the optimal operating parameter combination of the system was determined (spraying height is 50 cm, charging voltage is 9 kV, spraying pressure was 0.3 MPa). This parameter combination was used to test the electrostatic spray effect of outdoor UAVs. The result showed that the average deposition density of droplets sprayed above the target by electrostatic spray was 16.1 more/cm^2, 13.6% higher than that by non-electrostatic spray. The average sediment density in the middle was 28 more/cm^2, which increased by 32.6%. Cai [35] developed an aerial electrostatic spray system based on an F-50 plant protection UAV. The spray system adopts contact charge, and the experimental research is carried out according to the factors of the rotor wind field, such as wind speed, charge to mass ratio, flight height, and flight speed. Through field spraying experiments, as shown in Figure 3, it was found that the flight height is an important factor affecting the deposition amount and the horizontal deposition uniformity but has little effect on the vertical deposition uniformity. Zhao et al. [36] proposed a method of charging the liquid in two isolated water tanks with positive and negative charges respectively by a high-voltage electrostatic generator based on the contact charge mode to solve the problem of insufficient adsorption rate of droplets on the target back when using an aerial electrostatic spray. Aerial electrostatic spraying test stand and UAV electrostatic spray system were designed, which proved that it was feasible to develop a charge transfer loop in space to improve the adsorption performance of droplets. An electrostatic physical model of aerial electrostatic spray based on charge transfer space loop is shown in Figure 4. Zhang et al. [37] developed a fan-shaped induction electrostatic spray system based on a six-rotor UAV and defined the corresponding operating parameters (spray height 50 cm, spray pressure 0.3 MPa, and charging voltage 9 kV). Compared with non-electrostatic spray, the electrostatic spray had more concentrated droplet deposition and smaller drift. The average droplet deposition density at the top of the electrostatic spray sampling device was 16.1 drops/cm^2 higher than that of non-electrostatic spray, and the deposition density in the middle was 28 drops/cm^2 higher than that of non-electrostatic spray. Therefore, aerial electrostatic spray could significantly improve droplet deposition and prevent drift.



Figure 3. UAV paddy field spraying operations [35].

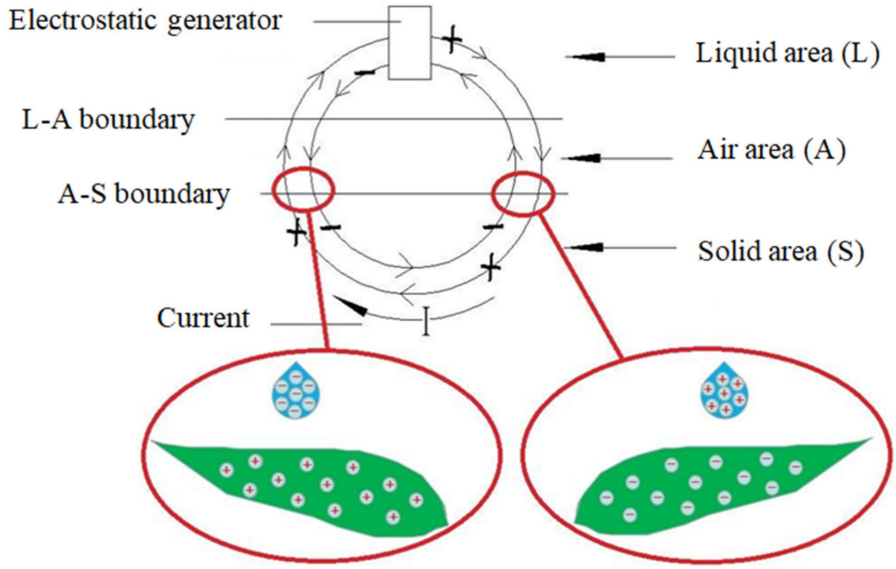


Figure 4. Electrostatics physical model of aerial electrostatic spraying based on charge transfer space loop [36].

In terms of the mechanism of influencing factors, Bu [38] designed an electrostatic spray system based on the FR-200 large-load unmanned helicopter with a maximum load of 80 kg. The charge and spray characteristics of the electrostatic spray system were studied, and the prediction models of the charge to mass ratio and droplet size were established. The characteristics of deposition and drift of electrostatic spray of heavy load unmanned helicopter were analyzed by field experiments. It was concluded that the charge voltage, flight height, and crosswind wind speed were the main factors affecting the drift and deposition of an electrostatic spray of FR-200. The results showed that the charge voltage had the greatest influence, followed by the crosswind wind speed, and the flight height had the least influence. Based on the research results, the mathematical model was established between the center distance of droplet mass and droplet drift rate and the charged voltage, flight height, and crosswind wind speed. Wu et al. [39] introduced response surface analysis (RSM) into the optimization design of spray parameters of Electrostatic spray system of UAVs. A response surface model with injection pressure and nozzle diameter as design variables and droplet charge to mass ratio as optimization objectives was constructed. The performance tests of the new electrostatic spray system under different nozzle diameters, spray pressures, and electrostatic voltages were carried out. It showed that the nozzle met the theoretical requirements of optimal biological particle

size and the requirements of hydraulic spray control for most crop diseases and insect pests. The validity of the model was also proved. In addition, multivariate analysis of variance showed that nozzle diameter, spray pressure, and electrostatic voltage have important effects on performance. The influence of the two factors on the deposition density and uniformity is the spray pressure, the nozzle diameter, and the optimal combination of the factor levels to obtain the best results. Chinese scholars also carried out research on multiple operating parameters and their interaction effects on the performance of aerial electrostatic spray systems. Lu et al. [40] simulated the spray performance of UAV-based electrostatic spray systems at different flight heights by measuring the droplet diameter under different nozzle apertures and system pressures and obtained the optimal flight parameter combination. Zhao et al. [41] studied the spray deposition with three factors: spraying duration, charging voltage, and flight height. The experimental results showed that the back-front ratio of droplets on the back and front of leaf targets could reach 158.8% under indoor conditions, and the droplet size on the back was smaller than that on the front. The number of droplets increased with the accumulation of spraying time without affecting the back-front ratio. Higher charging voltage and lower spraying height for the aerial electrostatic spray system can achieve a better deposition effect and higher back-front ratio. Wang et al. [42] established theoretical equations of droplet group charge based on the water inductive charging theory and then studied the effects of electrode figuration (electrode ring diameter, electrode spacing, spray pressure, and charge voltage) on droplet charging and spray performance through experiments. Under the action of an electrostatic field, the droplet size decreased obviously with the increase in charged voltage. The charge performance improved with the decrease in electrode ring diameter. Lan et al. [43] studied the impact of electrode materials on the deposition characteristics of an aerial electrostatic system with different orifice sizes, system pressures, and charging voltages. The results showed that red copper was the best electrode material. Li et al. [44] simulated five factors, such as temperature, humidity, electrode ring diameter, electrostatic voltage, and nozzle flow, using a BP model based on Neuroshell software and studied the effects on the charge to mass ratio of airborne electrostatic droplets. The final linear regression model indicated that the charging voltage and flow rate were the two main influencing factors on the droplet charge to mass ratio.

3.4. Spray Efficiency Experiments of UAV-Based Electrostatic Spray Technology

Wang et al. [45] designed a bipolar contact oil-powered single rotor aerial electrostatic spray system for plant protection UAVs. The static electricity system was used to spray the static electricity oil agent and the conventional water-based chemical agent. Besides, the spray droplet deposition distribution and the control effect of wheat aphid and rust were tested. The result showed that the deposition per unit area was 0.0486 $\mu g/cm^2$, the standard deviation of deposition amounts was 0.015 $\mu g/cm^2$, and the coefficient of variation was 30.43%. The distribution uniformity of droplet deposition is obviously better than the other two treatments, and the prevention and control of diseases and insect pests in the wheat field showed a good control effect. The aphid control effect was 87.92% on the seventh day after spraying, which was significantly higher than that of the conventional spray treatment (76.43% with the electrostatic oil agent and 66.47% with the conventional water-based agent). Liu [46] designed a high-voltage electrostatic generator with smaller volume and mass based on the optimized structure parameters of the cone-shaped electrode and the determined dosage form of the special electrostatic liquid agent for aviation. It was more suitable for plant protection UAVs, aimed at the current problems such as the poor charging effect of droplets, poor applicability of aerial spraying agents, complex high-voltage electrostatic generator system, and heavy high-voltage electrostatic generator. In addition, a set of electrostatic spray systems that can be applied to six-rotor and single-rotor plant protection UAVs was developed, as shown in Figure 5. The system was mounted on the plant protection UAV and carried out the experiment in the cotton and rice-growing areas of Changji, Xinjing, Shihezi, Xinjing, and Ledong, Hainan. The results of

spraying operation of hybrid breeding rice growth regulator and defoliating cotton agent by plant protection UAV showed that when spraying rice growth regulator by plant protection UAV, the effect of electrostatic spraying could be up to 20% higher than that of non-static spraying, and the effects of spraying different chemicals were different. When sprayed the cotton defoliant, the coverage rate of droplet increased by 140%, the defoliation efficacy increased by 12.22%, and the cotton boll opening rate increased by 18.55%.



(**a**) (**b**)

Figure 5. HY-B-15L single-rotor plant protection unmanned helicopter for cotton defoliant spray (**a**) and TXA616 plant protection UAV for rice growth regulator spray (**b**) [46].

3.5. Summary

To sum up, a large number of field experiments have been conducted in China to test the actual performance of the electrostatic spray system based on UAVs. For the convenience of comparative analysis, Table 1 summarizes the researches on UAV-based electrostatic spray systems. From the perspective of the test scheme, the system pressure, flight height and speed, charging voltage, rotor wind speed, and their effects on each other were studied. Chinese scholars have also completed a lot of work using theoretical simulations of the spray system, the improvement of the electrostatic nozzle, and the optimization of the aerial chemicals. In terms of the mode of charge, most studies adopt the induction mode of charge with the highest safety. The inductive charging voltage is usually between 2 kV and 15 kV, and the electrode making and insulation methods are easy to be realized, which is the most developed method of charging droplets at present [47]. In addition, contact charging has also been tried in China, which has also achieved good results [34–36,41,45]. However, it needs to keep the absolute insulation of the spray system in the charging process, which puts forward high requirements for the design method and safety.

Figure 6 illustrates the key achievements of the aerial electrostatic spray technology and the research groups over a timeline. Since 2015, China's UAV-based aerial electrostatic spray technology has developed rapidly. In general, although the UAV-based electrostatic spray technology is a new technology, it is gradually being improved. Compared with the electrostatic spray system on manned aircraft, plant protection UAVs have more development prospects in China at present. With the operation area covered exceeding 67 million hm^2, the plant protection UAV has developed from an early experimental product into a common agricultural production machine in China [48]. It is of great practical significance to study the fusion and influence mechanism of UAV and aerial electrostatic spray systems, which contributes to the field of agricultural aviation plant protection in the future.

Table 1. Study on UAV-based Electrostatic Spray System.

Test Device	Charged Mode	Test Target	Test Method	Evaluating Indicator	Test Environment	Researchers and Affiliation
XY8D UAV	Induction	Rice	Different flight height	Droplet deposition characteristics	Field test	Ru, et al., Nanjing Forestry University
AF-811 unmanned helicopter	Induction	Copy paper	Comparison of electrostatic spray and non-electrostatic spray	Effective spray amplitude and droplet deposition characteristics	Outdoor	Jin, et al., Nanjing Forestry University
YG20-6 type six-rotor UAV	Induction	Water sensitive paper	Comparison of electrostatic spray and non-electrostatic spray	Measurement of effective spray amplitude, droplet penetration, and droplet deposition	Outdoor	Lian, Heilongjiang Bayi Agricultural University
F-50 plant-based unmanned helicopter	Contact	Sample tape, rice	Comparison of different charge modes (non-electrostatic, induction electrostatic, contact electrostatic)	Droplet deposition measurement and coefficient of variation of deposition amount	Field test	Cai, Jiangsu University
HY-B-15L single rotor plant protection unmanned helicopter, TXA micro six-rotor UAV	Induction	Crossbreeding rice, Cotton picked by machine	Comparison of different water agents, number of rotors, and crops	Droplet deposition characteristics and pharmacodynamics	Field test	Liu, South China Agricultural University
Integrated spray test stand	Induction	Water sensitive paper	Comparison of electrostatic spray and non-electrostatic spray	Density of droplet deposition	Indoor	Zhang et al., Heilongjiang Bayi Agricultural University
3WQF120-12 oil-operated single-rotor plant protection UAV	Contact	wheat	Comparison between electrostatic oil agent and conventional water-based agent, electrostatic spray and conventional spray system	Distribution uniformity of droplet deposition and its control effect on wheat aphid and rust	Field test	Wang et al., China Agriculture University
FR-200 type large-load unmanned helicopter	Induction	Water sensitive paper	Charged voltage, flight speed, flight height, and crosswind wind speed	Droplet deposition characteristics and droplet drift rate	Field test	Bu, Jiangsu University

Table 1. *Cont.*

Test Device	Charged Mode	Test Target	Test Method	Evaluating Indicator	Test Environment	Researchers and Affiliation
response surface methodology (RSM)	Induction	-	Nozzle diameter, nozzle pressure, and electrostatic voltage	Droplet deposition characteristics and charge to mass ratio	Simulation	Wu et al., Guizhou University
Gaoke M45 plant protection UAV	Contact	Mock target	Comparison of electrostatic spray and non-electrostatic spray	Droplet deposition characteristics	Outdoor	Zhao et al., Shandong University of Technology
W730S four-rotor semi-automatic plant protection UAV	Induction	Effusion cylinder	-	Droplet deposition measurement and spray flow stability	Indoor	Wang et al., Hangzhou Dianzi University
An indoor spray bar electrostatic spray system test platform	Induction	Water sensitive paper	Nozzle diameter, nozzle pressure, and spraying height	Droplet deposition characteristics	Indoor	Lu et al., Guizhou University
Aerial electrostatic spraying system suspension test bench	Contact	Art Paper	Spraying height, spray time, and charging voltage	Droplet deposition characteristics and back-front ratio	Indoor	Zhao et al., Shandong University of Technology
Charge aerosol spray test bench	Induction	White plastic board	Charging voltage, spray pressure, electrode ring diameter, and electrode spacing	Spray charge-to-mass ratio and droplet size	Indoor	Wang et al., Jiangsu University
Fixed spray simulator	Induction	Dracaena	Electrode material, charging voltage, spray pressure, and nozzle diameter	Droplet deposition	Indoor	Lan et al., South China Agricultural University
Neuroshell	Induction	-	Temperature, humidity, electrode ring diameter, charging voltage, and nozzle flow	Spray charge-to-mass ratio	Simulation	Li et al., Heilongjiang Bayi Agricultural University

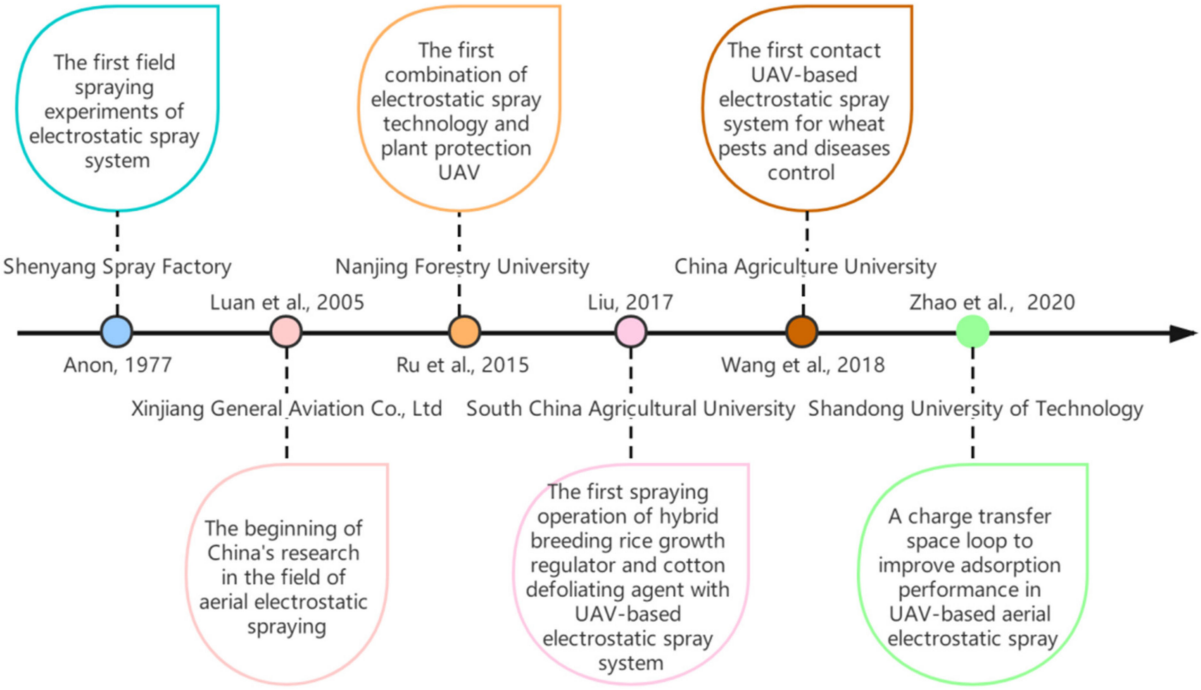


Figure 6. Key milestones and research groups working on aerial electrostatic spray technology.

4. Analysis and Prospects

The exploration of UAV-based electrostatic spray technology expands a new research perspective for the research of agricultural aviation electrostatic spray technology. The continuous improvement of the technology brings new opportunities for the application of aerial electrostatic spray systems on commercial plant protection UAVs in China. However, according to the current research progress, still, the following key technical elements need further exploration.

4.1. Measurement Technology of Charged Droplets

Droplet charge to mass ratio is a term associated with aerial electrostatic spray technology, and the measurement results of charge to mass ratio provide a reference for the evaluation of electrostatic spray system performance. In the absence of interference (e.g., indoors), the droplet charge to mass ratio is positively correlated with the deposition effect [49]. However, when working in an outdoor environment, there is usually a big difference between the droplet charge to mass ratios at the nozzle end and the terminal target, which requires the terminal measuring device to evaluate the charge amount. However, due to the absence of electrical grounding, the device that collects charged droplets often results in an inconsistent result with the actual effect of settling on the target [50]. For the electrostatic spray technology, the electric field intensity varies with the plant form, liquid conductivity, and environmental factors. For example, the electric field near the tip or terminal part of the leaf is the strongest [51]. Law [52] reported that gaseous discharges between sharp leaf tips and incoming charged spray clouds had been shown to limit deposition.

In many studies, aerial electrostatic spray had a better deposition effect compared with conventional electrostatic spray and non-electrostatic spray, but there are not a few reports that the effect of electrostatic spray is not satisfactory [1,49,53]. However, it remains to be further confirmed whether the difference in operation effect is caused by a sharp reduction in the charge to mass ratio of charge droplets, faulty experimental design scheme, or environmental influence. In recent years, more detection methods such as laser particle size analyzer have been continuously applied to the measurement of droplets effect in

China [54,55]. However, there are many problems such as high manufacturing cost, large measurement error, and complex measurement process. Therefore, it is necessary to develop a droplet characteristic detection technology suitable for aerial electrostatic spray systems to monitor the real state of charged droplets.

4.2. Impact of UAV Rotor Wind Field on Charged Droplets

The wind field on a manned fixed-wing aircraft causes charged droplets to settle in the direction of flight towards the area over which the aircraft passes. However, the wind field of a multi-rotor plant protection UAV is chaotic and changeable. It is not a regular wind field in a single direction. Moreover, due to the dual interference of ambient wind and rotor wind field, the charged droplet deposition process is more complicated in the actual operation scenario. Existing studies have basically ignored the working state of bipolar electrostatic spray system under the action of multiple rotor wind fields, the attracting process of positive and negative charged droplets, and the influence of droplets on the humidity of inductive charging electrodes. However, the impact is huge in that the characteristic of charged droplet property undoubtedly loses if the attraction of the charged droplets with positive and negative polarity is affected. In addition, wet electrodes will also make the electrically charged performance worse. Therefore, the influence of UAV rotor wind fields on charged droplets should be paid more attention in future research.

PIV (Particle Image Velocimetry) and other techniques can be used to simulate the droplet settling state under the influence of the rotor wind field, natural environmental wind, multiple gradient crosswinds, and other factors, so as to establish a theoretical system for reducing the influence of the rotor UAV downwash wind field and even utilizing the wind field action.

4.3. Comparative Study of Various Charging Methods

The induction charging mode was determined from the early stage of aerial electrostatic spray technology research in the United States, and it has been adopted in commercial electrostatic spray systems. Induction charging has the advantages of low charging voltage and low application threshold. It is a safe and effective method for charging droplets. Most Chinese scholars have also applied the induction charging method in their research. However, in addition to induction, there are also contact and corona ways to charge droplets. Corona charging voltage is very high, up to 30 kV. It can be used for conductive and non-conductive liquids with low insulation requirements. The contact charging voltage is required to be between corona type and induction type, but the insulation requirements are higher. Although the corona type with high charging voltage and the contact type with high insulation requirements still need a lot of basic research to clarify the charging mechanism and eliminate application risks, the disadvantages of the induction charging mode with poor charging effect cannot be ignored. Previous studies have shown that the contact charging method is able to generate a larger target current when compared with the induction charging method [47]. In recent years, there have been reports on contact charging methods in the research of UAV-based electrostatic spray technology with gratifying test results. In the future, it is necessary to carry out comparative studies of various charging methods in order to evaluate the operation effect of aerial electrostatic spray technology under different charging methods.

4.4. Accumulation of Aerial Electrostatic Spray Technology Research Based on Agricultural UAVs

During the early stage of China's agricultural aviation electrostatic spray technology research, the design and test were carried out on manned fixed-wing aircraft and helicopter platforms. In recent years, plant protection UAVs have provided Chinese growers with a lower barrier to entry and a higher level of applicability. Chinese scholars have carried on beneficial exploration for UAV-based electrostatic spray technology according to different UAV models, field crops, operating parameters, and electrostatic nozzle parameters, but the main research emphasis is still on the contrast test of electrostatic spray and

non-electrostatic spray to verify the operation effect of charged droplets. The research accumulation of airborne electrostatic spray technology based on agricultural UAV platforms is still less. It is not mature at the application level because the morphological characteristics of various crops and the farmland environment need more experimental data support. For example, (1) Relevant studies on the system construction, composition, and weight control of the electrostatic spray system lack continuity; (2) whether the operation with aerial electrostatic spray system is affected by surrounding facilities such as high-voltage lines, or whether it is incompatible with the flight control system of high-precision and fully autonomous plant protection UAV, is still unknown; (3) at present, the practical application of aerial electrostatic spray system in the field is limited to spraying water and water-based pesticides, and there is a lack of in-depth discussion on the research of the special electrostatic liquid pesticides and the electrical conductivity of pesticides for aerial spraying application; (4) working parameters of the spray system, such as charging voltage, system pressure and spraying speed, selection of flight speed and altitude, characteristics of aviation agents, and environmental factors such as temperature, humidity, and wind speed, all affect the settling process of charged droplets. Therefore, it is necessary to observe the droplet characteristics by studying their interaction effects; (5) the development trend of most commercial agricultural UAVs in China is integrating pesticide spraying, seed sowing, and fertilizer spreading together with fully autonomous and high-precision operation. Therefore, it is necessary to consider whether the integration of aerial electrostatic spray system, UAV working systems, and flight control system will cause mutual interference.

5. Conclusions

The development of aerial electrostatic spray technology in China, especially UAV-based aerial electrostatic spray technology, was analyzed in this review from nozzle modification, technical feasibility tests, mechanisms influencing each factor, and field spray efficiency tests. According to the literature retrieved, the research of China's aerial electrostatic spray technology in the past five years has focused on the innovative exploration of UAVs as a platform. Combined with the current development of agricultural plant protection and industrial application practice, UAV-based aerial electrostatic spray technology has wider developmental potential in China. In the future, the development plans should be made around the basic research, field test, commercialization, demonstration, and service guidance. In addition, researchers are recommended to pay attention to the integrated design of UAV and aerial electrostatic spray systems and to formulate the application standard of aerial electrostatic spray technology in China.

Author Contributions: Conceptualization, Y.Z., Y.L., and X.H.; methodology, X.H., Y.Z., and W.Z.; software, X.L. and W.Z.; validation, X.H. and W.Z.; formal analysis, X.H. and L.W.; investigation, Y.Z., X.H., and L.W.; resources, X.H.; data curation, X.H.; writing—original draft preparation, X.H., K.Y., and Y.Z.; writing—review and editing, Y.Z. and K.Y.; visualization, X.L.; supervision, W.Z. and J.D.; project administration, Y.Z., Y.L., and J.D.; funding acquisition, Y.Z. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by Key Field Research and Development Plan of Guangdong Province, China, grant number 2019B020221001, Science and Technology Plan Project of Guangdong Province, China, grant number 2018A050506073, Guangdong Modern Agricultural Industry Generic Key Technology Research and Development Innovation Team Project, grant number 2020KJ133, National Key Research and Development Program, grant number 2018YFD0200304, and the 111 Project, grant number D18019.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Zhang, Y.L.; Lan, Y.B.; Fritz, B.K.; Xue, X.Y. Development of aerial electrostatic spraying systems in the United States and applications in China. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2016**, *32*, 1–7, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
2. Martin, D.E.; Latheef, M.A. Efficacy of electrostatically charged glyphosate on ryegrass. *J. Electrost.* **2017**, *90*, 45–53. [CrossRef]
3. Tavares, R.M.; Cunha, J.P.; Alves, T.C.; Bueno, M.R.; Silva, S.M.; Zandonadi, C.H. Electrostatic spraying in the chemical control of Triozoida limbata (Enderlein) (Hemiptera: *Triozidae*) in guava trees (*Psidium guajava* L.). *Pest Manag. Sci.* **2016**, *73*, 1148–1153. [CrossRef] [PubMed]
4. Martin, D.E.; Latheef, M.A.; López, J.D. Electrostatically charged aerial application improved spinosad deposition on early season cotton. *J. Electrost.* **2019**, *97*, 121–125. [CrossRef]
5. Carlton, J.B.; Isler, D.A. Development of a device to charge aerial sprays electrostatically. *Agric. Aviat.* **1966**, *8*, 44–51.
6. Carlton, J.B. Technique to Reduce Chemical Usage and Concomitant Drift from Aerial Sprays. United States Department of. Agriculture Patents No. 5975425, 2 November 1999.
7. Spectrum Electrostatic Sprayers, Inc. Available online: http://spectrumsprayer.com/company.html (accessed on 11 May 2020).
8. Inculet, I.I.; Fischer, J.K. Electrostatic aerial spraying. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **1989**, *25*, 558–562. [CrossRef]
9. Da Cunha, J.P.A.R.; Barizon, R.R.M.; Ferracini, V.L. Assalin, Spray drift and caterpillar and stink bug control from aerial applications with electrostatic charge and atomizer on soybean crop. *Eng. Agrícola* **2017**, *37*, 1163–1170. [CrossRef]
10. Martin, D.E.; Latheef, M.A.; Lopez, J.D.; Duke, S.E. Aerial Application Methods for Control of Weed Species in Fallow Farmlands in Texas. *Agronomy* **2020**, *10*, 1764. [CrossRef]
11. Anon. Introduce a new technology of pesticide application-electrostatic spray. *For. Sci. Technol.* **1974**, *1*, 18.
12. Anon. Preliminary test of pesticide electrostatic spray. *For. Sci. Technol.* **1978**, *2*, 16–17.
13. He, X.K.; Yan, K.R.; Chu, J.Y.; Wang, J.; Zeng, A.J.; Liu, Y.J. Design and testing of the automatic target detecting, electrostatic, air assisted, orchard sprayer. *Nongye Gongcheng Xuebao Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2003**, *19*, 78–80, (In Chinese with English abstract).
14. Yu, Y.C.; Wang, B.H.; Shi, J.Z.; Li, X.F. Design and experimental study of combined-charging hydraulic electrostatic spraying box. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2005**, *21*, 85–88, (In Chinese with English abstract).
15. Zhang, J.; Zheng, J.Q. Experiment on the variations of droplet diameter distribution and local flow rate over radial direction for the electrostatic spray process. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2009**, *25*, 104–109, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
16. Jia, W.D.; Hu, H.C.; Chen, L.; Chen, Z.G.; Wei, X.H. Performance experiment on spray atomization and droplets deposition of wind-curtain electrostatic boom spray. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2015**, *31*, 53–59, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
17. Zhou, L.F.; Zhang, L.; Xue, X.Y.; Qin, W.C.; Sun, Z.; Zhou, Q.Q.; Chen, C. Design and test of double air channel auxiliary electrostatic sprayer. *Jiangsu Agric. Sci.* **2017**, *45*, 192–196, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
18. Ma, X.; Guo, L.J.; Wen, Z.C.; Wei, Y.H.; Xiao, R.H.; Zeng, H. Atomization characteristics of multi-nozzle electrostatic spray and field experiment. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2020**, *36*, 73–82, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
19. Dai, Q.F.; Hong, T.S.; Song, S.R.; Li, Z.; Chen, J.Z. Influence of pressure and pore diameter on droplet parameters of hollow cone nozzle in pipeline spray. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2016**, *32*, 97–103, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
20. Luan, H.; Zhang, Q.; Wang, W.X. Installation and modification of Z03K000B electrostatic spray system and flight tests. *Xin-jiang Reclam. Technol.* **2006**, *5*, 46–47, (In Chinese with English abstract).
21. Zhang, Y.L.; Huang, X.R.; Wang, L.L.; Deng, J.Z.; Zeng, W.; Lan, Y.B.; Muhammad, N.T. Progress in foreign agricultural aviation electrostatic spray technologies and references for China. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2021**, *37*, 50–59, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
22. Ru, Y.; Zheng, J.Q.; Zhou, H.P.; Shu, C.R. Design and experiment of double nozzle of aerial electrostatic sprayer. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* **2007**, *38*, 58–61.
23. Zhou, H.P.; Ru, Y.; Shu, C.R.; Jia, Z.C. Improvement and experiment of aerial electrostatic spray device. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2012**, *28*, 7–12, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
24. Ru, Y.; Jin, L.; Zhou, H.P.; Shu, C.R. Effect of high-voltage electrostatic field on droplet charging based on cone-shaped electrode. *High Volt. Eng.* **2014**, *40*, 2721–2727, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
25. Jin, L.; Ru, Y.; Sun, M.L.; Jia, Z.C.; Wang, B.X. Performance experiments of aerial electrostatic nozzle with cone shaped electrode. *J. Nanjing For. Univ. (Nat. Sci. Ed.)* **2015**, *39*, 155–160, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
26. Yang, Z.; Niu, M.M.; Li, J.; Xu, X.; Sun, Z.Q.; Xue, K.P. Influence of lateral wind and electrostatic voltage on spray drift of electrostatic sprayer. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2015**, *31*, 39–45, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
27. Chen, H.L.; Zhao, Y.C. Electrostatic induction field and charging property of droplet in electrostatic spraying process. *High Volt. Eng.* **2010**, *36*, 2519–2524, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
28. Zhang, D.Y.; Lan, Y.B.; Chen, L.P.; Wang, X.; Liang, D. Current status and future trends of agricultural aerial spraying technology in China. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* **2014**, *45*, 53–59, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
29. Tian, Z.W.; Xue, X.Y.; Li, L.; Cui, L.F.; Wang, G.; Li, Z.J. Research status and prospects of spraying techology of plant-protection unmanned aerial vehicle. *J. Chin. Agric. Mech.* **2019**, *40*, 37–45, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
30. Li, J.Y.; Lan, Y.B.; Shi, Y.Y. Research progress on airflow characteristics and field pesticide application system of rotary-wing UAV. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2018**, *34*, 104–118, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]

31. Ru, Y.; Jin, L.; Jia, Z.C.; Bao, R.; Qian, X.D. Design and experiment on electrostatic spraying system for unmanned aerial ve-hicle. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2015**, *32*, 42–47, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
32. Wang, Y.T.; Wu, K.H. Research on an electrostatic spraying system for multi-rotor plant protection UAV. *Jiangsu Agric. Sci.* **2020**, *48*, 225–230, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
33. Jin, L.; Ru, Y. Research on UAV-based aerial electrostatic spraying system. *J. Agric. Mech. Res.* **2016**, *38*, 227–230, (in Chinese with English abstract). [CrossRef]
34. Lian, Q. Experimental Research on Electrostatic Spray System of Multi-Rotor UAV. Master's Thesis, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, China, 2016.
35. Cai, Y.L. Design and Test of Contact Electrostatic Spray System for Low-Altitude UAV. Master's Thesis, Jiangsu University, Zhenjiang, China, 2017.
36. Zhao, D.N.; Lan, Y.B.; Shen, W.G.; Wang, S.Z.; Abhishek, D. Development of a charge transfer space loop to improve ad-sorption performance in aerial electrostatic spray. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* **2020**, *13*, 50–55. [CrossRef]
37. Yanliang, Z.; Qi, L.; Wei, Z. Design and test of a six-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) electrostatic spraying system for crop protection. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* **2017**, *10*, 68–76. [CrossRef]
38. Bu, J.Z. Experimental Study on Deposition and Drift Characteristics of Electrostatic Spray for Large-Load Unmanned Helicopter. Master's Thesis, Jiangsu University, Zhenjiang, China, 2019.
39. Wu, Y.; Lu, J.; Wang, Y. Research on Multiresponse Robustness Optimization for Unmanned Aerial Vehicle Electrostatic Spray System. *Fundam. Mach. Theory Mech.* **2020**, *77*, 719–728. [CrossRef]
40. Lu, J.J.; Chen, J.D.; Wu, Y.D.; Wang, B. Agricultural aviation research aeronautical electrostatic spray system performance. *J. Agric. Mech. Res.* **2019**, *41*, 174–179, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
41. Zhao, D.N.; Lan, Y.B.; Shen, W.G. Building of aerial electrostatic spraying system and exploration on the influencing factors of droplet deposition effect. *J. Agric. Mech. Res.* **2021**, *43*, 204–207, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
42. Wang, J.F.; Gu, W.K.; Wang, X.Y.; Chu, J.J. Experimental study on charging performance and spray characteristics of induction charged spray. *High Volt. Eng.* **2015**, *41*, 504–509, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
43. Lan, Y.B.; Zhang, H.Y.; Wen, S.; Li, S.H. Analysis and experiment on atomization characteristics and spray deposition of electrostatic nozzle. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* **2018**, *49*, 130–139, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
44. Li, Y.F.; Hu, J.; Li, Q.D.; Zhao, M.M. Study on influencing factors of airborne electrostatic fog trapping. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* **2019**, *41*, 171–176, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
45. Wang, S.L.; He, X.K.; Song, J.L.; Zhong, C.S.; Wang, Z.C.; Qi, P.; Ling, Y. Charging and spraying performance test of bipolar contact electrostatic spraying system for unmanned aerial vehicle. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **2018**, *34*, 82–89, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
46. Liu, W.L. Design and Experiment of Electrostatic Spraying System for Plant Protection Unmanned Aerial Vehicle. Master's Thesis, South China Agricultural University, Guangzhou, China, 2017.
47. Zhao, S.; Castle, G.P.; Adamiak, K. Comparison of conduction and induction charging in liquid spraying. *J. Electrost.* **2005**, *63*, 871–876. [CrossRef]
48. Agropages. China's Crop Protection UAV Development Report 2020. Available online: http://news.agropages.com/News/NewsDetail---38284.htm (accessed on 17 March 2021).
49. Kirk, I.W.; Hoffmann, W.C.; Carlton, J.B. Aerial electrostatic spray system performance. *Trans. ASAE* **2001**, *44*, 1089–1092. [CrossRef]
50. Martin, D.E.; Latheef, M.A. Aerial electrostatic spray deposition and canopy penetration in cotton. *J. Electrost.* **2017**, *90*, 38–44. [CrossRef]
51. Dai, Y.; Law, S. Modeling the transient electric field produced by a charged pollen cloud entering a flower. In Proceedings of the IAS '95. Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications Conference Thirtieth IAS Annual Meeting, Orlando, FL, USA, 8–12 October 1995; Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): New York, NY, USA, 2002; Volume 2, pp. 1395–1402.
52. Law, S.E. Electrostatic Pesticide Spraying: Concepts and Practice. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **1983**, *2*, 160–168. [CrossRef]
53. Martin, D.E.; Lopez, J.D.; Hoffmann, W.C.; Fritz, B.K.; Lan, Y. Field Evaluation of Spinosad Aerial Applications for Thrips Control on Cotton1. *Southwest. Èntomol.* **2007**, *32*, 221–228. [CrossRef]
54. Zhang, R.R.; Chen, L.P.; Lan, Y.B.; Xu, G.; Kan, J.; Zhang, D.Y. Development of a deposit sensing system for aerial spraying application. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* **2014**, *45*, 123–127, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]
55. He, Y.; Wu, J.J.; Fang, H.; Zheng, Q.S.; Xiao, S.P.; Cen, H.Y. Research on deposition effect of droplets based on plant protection unmanned aerial vehicle: A review. *J. Zhejiang Univ. (Agric. Life Sci.)* **2018**, *44*, 392–398, (In Chinese with English abstract). [CrossRef]

证书号第2772566号

北京市海淀区地方税务局 印花税 代扣专用章 国家知识产权局

发明专利证书

发明名称：一种用于水果振动采收的振动参数测试装置

发明人：曾文;杨洲;刘天湖;罗钢

专利号：ZL 2015 1 0822044.7

专利申请日：2015年11月23日

专利权人：华南农业大学

授权公告日：2018年01月09日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年11月23日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

中华人民共和国国家知识产权局

2018年01月09日

证书号第3082987号

北京市海淀区地方税务局 印花税 代扣专用章

发明专利证书

发明名称：一种手持式树枝振动果实采收装置

发 明 人：曾文;杨洲;刘天湖;陈炜;黄俊淮;李康镇

专 利 号：ZL 2016 1 0556700.8

专利申请日：2016年07月13日

专利权人：华南农业大学

地 址：510642 广东省广州市天河区五山路483号

授权公告日：2018年09月21日　　授权公告号：CN 106171297 B

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年07月13日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

国家知识产权局

2018年09月21日

证 书 号 第 5612679 号

发 明 专 利 证 书

发 明 名 称：一种水果梳剪采摘末端执行装置

发 明 人：曾文;杨洲;李康镇;刘天湖;夏红梅;练剑锋;邓镇汝
李嘉兴

专 利 号：ZL 2017 1 0670441.6

专利申请日：2017 年 08 月 08 日

专 利 权 人：华南农业大学

地 址：510642 广东省广州市天河区五山路 483 号

授权公告日：2022 年 11 月 29 日　　授权公告号：CN 107371613 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

国家知识产权局

2022 年 11 月 29 日

其他事项参见续页

证 书 号 第 5612679 号

专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 08 月 08 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

华南农业大学

发明人：

曾文；杨洲；李康镇；刘天湖；夏红梅；练剑锋；邓镇汝；李嘉兴

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第0534429号

软 件 名 称：农机企业生产过程质量控制信息系统
[简称：PQIS]
V1.0

著 作 权 人：华南农业大学

开发完成日期：2012年12月10日

首次发表日期：未发表

权利取得方式：原始取得

权 利 范 围：全部权利

登 记 号：2013SR028667

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章

2013年03月27日

No. 00213529

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第0557713号

软件名称：果蔬采摘机构构型综合进化优选设计系统
[简称：果蔬采摘机构构型设计系统]
V1.0

著作权人：华南农业大学

开发完成日期：2013年03月08日

首次发表日期：2013年03月08日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2013SR051951

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权
登记专用章

No. 00237616

2013年05月30日

证书号第7007400号

北京市海淀区地方税务局 印花税 代扣专用章 国家知识产权局

实用新型专利证书

实用新型名称：一种水果梳剪采摘末端执行装置

发　明　人：曾文；杨洲；李康镇；刘天湖；夏红梅；练剑锋；邓镇汝
李嘉兴

专　利　号：ZL 2017 2 0982920.7

专利申请日：2017年08月08日

专利权人：华南农业大学

授权公告日：2018年02月23日

本实用新型经过本局依照中华人民共和国专利法进行初步审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年08月08日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长
申长雨

中华人民共和国国家知识产权局
2018年02月23日

证 书 号第1000592号

北京市海淀区地方税务局 印花税 代扣专用章

国家知识产权局

实用新型专利证书

实用新型名称：跨栏架自动摆放车

发　　明　　人：曾文;李维玉;陆家润;伍志伟;严启基;廖贤杰;黎坤光;卢德明;林泽滔

专　　利　　号：ZL 2007 2 0047175.3

专 利 申 请 日：2007年1月8日

专 利 权 人：华南农业大学

授 权 公 告 日：2008年1月2日

本实用新型经过本局依照中华人民共和国专利法进行初步审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

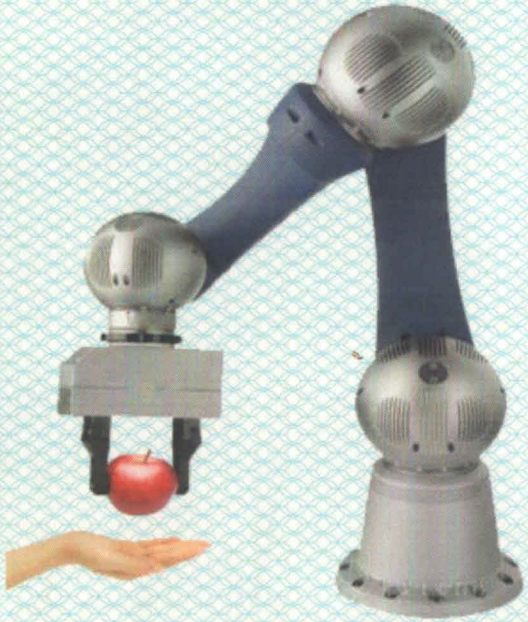
本专利的专利权期限为十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。缴纳本专利年费的期限是每年 1 月 8 日前一个月内。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。

局长 田力普

中华人民共和国国家知识产权局

2008年1月2日



2016年全国大学生机械产品数字化设计大赛

获奖证书

为表彰2016年全国大学生机械产品数字化设计大赛获奖团队，特颁发此证书，以资鼓励。

获奖作品：智能整理羽毛球机器人

获奖等级：三等奖

参赛学生：李嘉晋、雷会深、孔祥锤

指导老师：曾文、张增学

推荐单位：华南农业大学

教育部高等学校机械学科教学指导委员会

华中科技大学（代章）

二零一六年六月

获奖证书

CERTIFICATE OF AWARD

广东省本科高校大学生学科竞赛

为表彰广东省本科高校大学生学科竞赛指导教师，特颁发此证书。

验 证 码

2024年广东省工科大学生实验综合技能竞赛

2024 GUANGDONG UNIVERSITIES COMPREHENSIVE EXPERIMENTAL COMPETITION FOR ENGINEERING UNDERGRADUATES

三等奖

获奖项目： 越障救援机器人赛项

作品类别： 大学组

获 奖 者： 方婉嘉 杜文榜 程洋

指导教师： 曾文 甄文斌

所属院校： 华南农业大学

证书编号： 2402010063

广东省教育厅

二〇二四年十二月

荣誉证书

参赛者：李维玉 伍志伟 廖贤杰 卢德明 林泽滔

指导老师：曾文　黄碧珍

你所设计的作品“跨栏自动摆放车”在广东省第二届大学生机械创新设计大赛中获得二等奖。

广东省教育厅

二00六年七月十日