

第二批国家级一流本科课程申报书

(虚拟仿真实验教学课程)

课程名称： 农用无人机设计与飞行作业虚拟仿真
实验

专业类代码： 0807

负责人： 文 晟

联系电话： 13660035005

申报学校： 华南农业大学

填表日期： 2021 年 5 月 10 日

推荐单位： 华南农业大学

中华人民共和国教育部制
二〇二一年四月

填报说明

- 1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2020）》中的专业类代码（四位数字）。
- 2.文中○为单选；□可多选。
- 3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。
- 4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。
- 5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。
- 6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

1. 基本情况

实验名称	农用无人机设计与飞行作业虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
实验所属课程(可填多个)	工程通识技能训练、小型飞行器基础等		
性质	○独立实验课 <input checked="" type="checkbox"/> 课程实验		
实验对应专业	电子信息工程(080701)、电子科学与技术(080702)、通信工程(080703)、微电子科学与工程(080704)、农学(090101)、金融数学(020305T)、生态学(071004)等		
实验类型	○基础练习型 <input checked="" type="checkbox"/> 综合设计型 ○研究探索型 ○其他		
虚拟仿真必要性	<input checked="" type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input checked="" type="checkbox"/> 不可逆操作 <input type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	<input checked="" type="checkbox"/> 中文 ○中文+外文字幕(语种) ○外文(语种)		
实验已开设期次	共 3 次: 1. 时间: 2020 年 3-5 月、人数: 2497 人 2. 时间: 2020 年 9-11 月、人数: 3516 人 3. 时间: 2021 年 3-5 月、人数: 2694 人		
有效链接网址	http://xnfzsyjx.scau.edu.cn/virexp/ff80808176a858e80176a8a5c4020814		

2. 教学服务团队情况

2-1 团队主要成员(含负责人, 总人数限 5 人以内)								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	文 晟	1974.05	华南农业大学	教学部主任	副教授	13660035005	vincen@scau.edu.cn	项目管理、项目规划、教学设计与实施
2	兰玉彬	1961.07	华南农业大学	学院院长	教授、外籍院士	13922707507	ylan@scau.edu.cn	项目开发指导、教学设计
3	李继宇	1979.12	华南农业大学	系副主任	教授	13560455485	lijiyu@scau.edu.cn	模块设计、教学实施、服务
4	卢玉华	1978.12	华南农业	系副	讲师	135601	luyuhua@s	模块设计、

			大学	主任		84237	cau.edu.cn	教学实施
5	陈海波	1973.09	华南农业大学	系副主任	副教授	180223 50196	huanongch b@scau.edu.cn	模块设计、 教学应用、 服务

2-2 团队其他成员

序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	承担任务
1	库天梅	1964.08	华南农业大学	中心副主任	副教授	教学设计、 教学实施
2	徐相华	1982.11	华南农业大学	工程实践教学部主任	实验师	平台管理、 教学实施
3	张霞	1978.08	华南农业大学	教学秘书	讲师	教学应用、 服务
4	温威	1985.12	华南农业大学	系副主任	实验师	教学素材管理、 质量反馈
5	孙志全	1991.02	华南农业大学	系副主任	实验师	网络技术支持
6	陈德鸿	1995.02	华南农业大学	科研秘书	助理实验师	在线教学 服务
7	张波	1973.12	华南农业大学	中心主任	正高级工程师	信息网络 支持
8	李晨光	1977.05	华南农业大学	院长助理	助理研究员	教学管理
9	陈建军	1965.02	华南农业大学	中心主任	教授	项目指导
10	谢书鹏	1987.04	北京润尼尔网络科技有限公司	技术经理	工程师	项目保障、 共享推广
11	李晨曦	1984.07	北京润尼尔网络科技有限公司	技术总监	工程师	项目框架制定、 质量把控
12	卢华强	1992.09	北京润尼尔网络科技有限公司	产品经理	工程师	项目制作、 技术实现

团队总人数： 17 人 其中高校人员数量： 14 人 企业人员数量： 3 人

2-3 团队主要成员教学情况（限 500 字以内）

（近 5 年来承担该实验教学任务情况，以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况）

（1）近 5 年来承担该实验教学任务情况

为深化通识教育、实践教学课程改革，将通识教育内容与专业领域的技术发展相结合，本实验教学团队成员结合华南农业大学的学科发展方向和人才培养目

标，面向工科及非工科专业，设计了前沿并切合实际应用的实验教学内容，开设了基于农用无人机的跨学科通识技能训练以及小型飞行器基础课程，以期培养新农科学学生的工程素养，促进新工科建设背景下通识教学体系、教学方法和实践教学内容等的多方面改革。

团队主要成员具体承担该实验教学任务情况如表 1 所示。

表 1 团队主要成员承担本实验教学任务情况表

教师	实验所属课程	授课专业	实验教学学时	授课时间
文晟	小型飞行器基础、基于农用无人机的工程通识技能训练	电子信息、通信工程、微电子工程、茶学、设施工业、金融数学、环境工程等	小型飞行器基础 12 学时/次*3 次=36 学时；基于农用无人机的工程通识训练 24 学时/次*3 次=72 学时	2020 年 3-5 月、 2020 年 9-11 月、 2021 年 3-5 月
兰玉彬	小型飞行器基础	电子信息、电子科学、微电子工程等	小型飞行器基础 9 学时/次*3 次=27 学时	2020 年 3-5 月、 2020 年 9-11 月、 2021 年 3-5 月
李继宇	小型飞行器基础	电子信息、电子科学、通信工程、微电子工程等	小型飞行器基础 12 学时/次*3 次=36 学时	2020 年 3-5 月、 2020 年 9-11 月、 2021 年 3-5 月
卢玉华	基于农用无人机的工程通识技能训练	环境工程、生态学、资源环境、计算科学、软件工程等	基于农用无人机的工程通识训练 30 学时/次*3 次=90 学时	2020 年 3-5 月、 2020 年 9-11 月、 2021 年 3-5 月
陈海波	基于农用无人机的工程通识技能训练	微电子工程、茶学、设施工业、金融数学、环境工程等	基于农用无人机的工程通识训练 24 学时/次*3 次=72 学时	2020 年 3-5 月、 2020 年 9-11 月、 2021 年 3-5 月

(2) 负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况

1) 教学研究情况

主持及参与的教学研究课题

[1] 广东省高等教育教学研究与改革项目：“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，（JG19101），2019-2021，主持

[2] 国家级一流本科课程：小型飞行器基础，（教高函[2020]8 号），2020，主要参与。

[3] 华南农业大学线上线下混合式课程：《工程制图》，2020-2022，主持。

[4] 华南农业大学教育教学改革项目：《园林工程制图》网络视频在线课程教学改革，2016-2017，主持

[5] 华南农业大学教育教学改革项目：CDIO 理念的工业工程专业人才培养模式探索与研究——基于美国佛罗里达大学实地调研，2014-2016，主要参与。

第一署名人发表的教学研究论文及主编教材情况

- [1] 文晟, 张铁民. 基于 CDIO 理念的农业工程类本科人才培养模式改革与探索[J]. *现代企业教育*, 2010, 11: 204-205.
- [2] 陶冶, 文晟, 吴慕春, 季阳萍. 工程图学智能系统的设计与实现[J]. *工程图学学报*, 2009, 5: 163-169.
- [3] 陶冶, 文晟. 用计算机求解与空间四条异面直线相切的最小的球[J]. *工程图学学报*, 2008, 6: 118-122.
- [4] 工程制图 (ISBN978-7-04-023940-9), 高等教育出版社, 2008 年, 副主编。
- [5] 工程制图习题集 (ISBN978-7-04-023941-6), 高等教育出版社, 2008 年, 第三主编。

2) 学术研究情况

学术研究课题

- [1] 国家重点研发计划项目子课题: 基于处方图的农用无人机精准变量喷洒系统关键技术研究(课题编号: 2016YFD0200701), 2016.01-2020.12, 主持。
- [2] 广东省科技计划项目: 蔗段机械化种植机关键技术与示范(课题编号: 2016A020210100), 2016.01-2018.12, 主持。
- [3] 广东省自然科学基金: 风力压电俘能器流-固-电多物理场耦合特征与关键技术研究(课题编号: 2015A030310182), 2015.09-2018.08, 主持。
- [4] 广州市科技计划项目: 植保无人机低量精准喷雾系统的研究与应用(课题编号: 201707010047), 2017.05-2020.04, 主持。
- [5] 广东省普通高校特色创新类项目: 耦合旋翼流场与作物冠层结构的植保无人机雾滴飘移沉积机理研究(课题编号: 2019KTSCX016), 2020.05-2021.04, 主持。

以第一署名/通讯作者在国内外公开发行刊物上发表的学术论文

- [1] **Sheng Wen**, Ningwen Shen, Jiantao Zhang*, Yubin Lan, Jie Han, Xuanchun Yin, Quanyong Zhang, Yufeng Ge. Single-rotor UAV flow field simulation using generative adversarial networks[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 167, 105004. (SCI、EI 收录)
- [2] **Sheng Wen**, Jie Han, Zihua Ning, Yubin Lan, Xuanchun Yin, Z Jiantao zhang, Yufeng Ge. Numerical analysis and validation of spray distributions disturbed by quad-rotor drone wake at different flight speeds[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 166, 105036. (SCI、EI 收录)
- [3] 文晟, 韩杰, 兰玉彬*, 尹选春, 卢玉华. 单旋翼植保无人机翼尖涡流对雾

- 滴飘移的影响[J]. *农业机械学报*, 2018,49(8): 127-137 (EI 收录)
- [4] 文晟, 李晟华, 张建桃*, 兰玉彬, 张海艳, 邢航, 基于共振声学放大原理的涡激振动自发电装置设计与试验, *农业机械学报*, 2017, 48(11): 206-216. (EI 收录)
- [5] 文晟, 兰玉彬, 张建桃*, 李晟华, 张海艳, 邢航, 农用无人机超低容量旋流喷嘴的雾化特性分析与试验, *农业工程学报*, 2016, 32(20): 85-93. (EI 收录)
- [6] Sheng Wen, Jiantao Zhang*, Yubin Lan, Zhihua Ning, Shenghua Li, Dingxin Jiang, Hang Xing, Fluid-solid Coupling and Experimental Realization of a Piezoelectric Atomizer under Standing-wave Resonance, *Applied Engineering in Agriculture*, 2016, 32(3): 327-340. (SCI、EI 收录)
- [7] 文晟, 张铁民*, 杨秀丽, 卢玉华, 许志林, 涡致振动型风力压电俘能器流场数值模拟与试验, *农业机械学报*, 2014, 45(2): 269-275. (EI 收录)
- [8] 张建桃, 陈鸿, 文晟*, 李晟华, 邓小玲, 兰玉彬, 柑橘黄龙病热空气快速处理温度场分布特性试验研究, *农业工程学报*, 2017, 33(8): 267-277. (EI 收录)
- [9] Junlei Wang, Sheng Wen*, Xingqiang Zhao, Min Zhang, Piezoelectric Wind Energy Harvesting from Self-Excited Vibration of Square Cylinder[J]. *Journal of Sensors*, 2016, 2016: 1-13. (SCI、EI 收录)

3) 教学奖励情况

- [1] 第十五届“挑战杯”广东大学生课外学术科技作品竞赛：基于神经网络的植保无人机变量喷雾系统设计，2019年，一等奖，第1指导教师。
- [2] 第十六届“挑战杯”全国大学生课外学术科技作品竞赛：基于神经网络的植保无人机变量喷雾系统设计，2019，三等奖，独立指导教师。
- [3] 第六届“高教杯”全国大学生先进成图技术与产品信息建模创新大赛，2013年，
- [4] 第二届全国农林院校研究生学术科技作品竞赛，2018年，二等奖，第一指导教师。
- [5] 第五届“高教杯”：全国大学生先进成图技术与产品信息建模创新大赛2012年，个人全能一等奖，优秀指导教师奖，排名第一。
- [6] 契合新农科理念的跨学科基础实践教学一体化改革与实践，华南农业大学教学成果奖，2021年，一等奖，排名第5。

注：必要的技术支持人员可作为团队主要成员；“承担任务”中除填写任务分工内容外，请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

3. 实验描述

3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

本实验适应我国现代农业创新发展新要求，立足华南农业大学的办学定位，依托精准农业航空特色优势学科，以培养创新型、复合型和应用型农业人才为目标，坚持“学生中心、产业导向、学科融合、创新实践”的通识课程教学理念，按照“虚实结合、以虚补实、以虚代实”的原则，以农用无人机为切入点，采用三维建模、动画、视频、人机交互等技术自主研发了农用无人机设计与飞行作业虚拟仿真实验系统，使学生能够系统了解农用无人机田间作业的全过程，熟悉多种型号农用无人机的结构、功用和不同作业环境下的应用情况，以解决高等教育中农业人才培养受限于实验成本和作物生长周期等瓶颈问题。

1 实验的必要性及实用性

（1）必要性

一方面，农业航空植保技术是目前我国在病虫害防治方面实施专业化统防统治的有效方法之一，是解决粮食安全及农村劳动力结构变化问题的重要技术措施，也是国家经济社会发展的迫切需要，2014年中央一号文件就特别指出要“加强农用航空建设”。近年来，由于农用无人机可广泛适用于水田、丘陵、山地、果园和滩涂等环境，成本较低、操控方便，而且作业效率较高，已引起植保企业和相关的科研院所越来越多的关注。据农业农村部最新统计数据，截至2020年底，我国农用无人机保有量已超过100,000架，年作业量超过10亿亩次，从事农业航空植保的服务组织已超过1,000家。

另一方面，农用无人机应用技术融合全球定位系统、地理信息系统、遥感、变量喷施控制等先进科学技术，涉及到多学科多专业的知识体系。因此，开展与农用无人机应用技术相关的通识教育教学训练，对于**加强跨学科通识技能训练与专业教育和创新创业教育的有机融合**，不断提高学生的创新创业能力，具有积极作用，能有效满足学校规模化与个性化培养新农科人才的教学需求。

本虚拟仿真实验通过“农用无人机基础知识认知”、“农用无人机精量直播技术虚拟仿真实验”、“农用无人机植保作业虚拟仿真实验”、“农用无人机遥感监测虚拟仿真实验”和“精准农业航空喷施应用关键技术虚拟仿真实验”等农用无人机在精准农业航空应用中的5个关键技术环节和10种作业机具/装备，使学生能够系统了解农用无人机在精准农业航空领域的应用全过程，掌握关键技术原理和方法。通过该虚拟仿真实验，可以克服实物实验存在的以下问题和困难：

1) 农用无人机飞行实验具有危险性。农用无人机主要是单旋翼或多旋翼的结构形式，起飞、降落和飞行过程中，因实验场地的开放性，旋翼的高速旋转使得

教学危险性较高，而且需提前对学生进行专业培训和飞手资质的考核。

2) 农用无人机飞行作业过程实体实验难以观测。农用无人机作业过程中学生是不能近距离观测的，不利于学生掌握关键技术环节的工作原理，展示度不够。农用无人机需定期维护保养，而且电动农用无人机的续航力有限，可供实际操作的人次少，难以满足大规模学生实际飞行操作和了解无人机作业过程。

3) 农用无人机飞行作业实验成本高且不可逆。农用无人机田间作业实验对场地需求规模大，无人机精量直播、遥感监测、植保作业、精准喷施等实验环节所需装备种类多，购置和维护成本高昂，而且所需实验耗材成本也较高，而且大田试验易受自然环境变化的影响，试验结果很难重复再现。

4) 航空大田实验受时空限制大。病虫害的发生具有时效性，且田间作物的生长周期长，农用无人机现场实验教学时间成本高，特别是遥感监测、航空喷施等作业过程受天气影响和场地条件约束大。

综上所述，本课程通过虚拟仿真技术和手段，拟达到降低实验危险与成本、避免自然条件约束、面对大规模学生授课、多维度互动方式和传统实验互补等效果，将农业无人机技术特征和精准农业航空领域科研成果渗透到本科实践教学环节，突出人才培养特色，提高人才培养质量。

(2) 实用性

本课程构建的虚拟仿真实验环境，实现了农用无人机在精准农业航空应用领域的主要知识点和相关实验内容，涵盖了农用无人机在“水稻精量直播”、“遥感监测”和“航空植保”等不同作业环境的应用过程，还将难以想象与观察的无人机旋翼流场以及喷施雾滴在作物冠层的沉积等处理结果，以图像、动画和实验数据等形式直观呈现，具有很好的客观性和吸引力。解决了农用无人机在不同作业环境下的大田实验难以组织实施，也无法承受大批量的学生同时实验的难题。有效地拓展了实验内容的深度和广度，提升了学生对不同学科领域知识的学习效果，凸显了虚拟仿真实验的优势。

此外，依托本虚拟仿真实验教学课程，切实拓展了以自主探究为主要形式的实验教学方法，通过让学生自主学习农用无人机相关理论知识，并自主设置实验参数与作业环境，实现农用无人机在不同作业环境下的应用过程；结合自动评分系统，让学生能够直观看到实验效果，有效调动了学生参与实验教学的积极性和主动性，激发了学生的学习兴趣 and 潜能，推进了探究式教学方法的普遍运用。

2 教学设计的合理性

本虚拟仿真课程的整体框架设计如图 1 所示，其中实践教学环节围绕农用无人机在智能化施药和装备技术领域的前沿方向，即：利用机载遥感系统获取低空农情遥感信息，结合 GPS(Global Positioning System)、GIS(Geographic Information

System)系统和专家信息库生成农业航空作业处方图,喷施作业平台利用机载全球定位系统实时获取飞行参数(如飞行高度、速度等)和地理位置信息,然后在作业处方图中寻址匹配到相应的位置信息并读取对应的施药处方值,最后,机载变量控制系统根据施药处方值进行航空变量施药作业,设置了3个主要的教学实践模块,并按照“由浅入深、由点到面、构建农用无人机应用体系”的原则,开展了如下的教学设计:

(1) **基础知识学习与无人机设计虚拟仿真模块。**认知农用无人机各个组成部分及其功能原理,学习农用无人机的结构特点,并按任务要求完成适用于不同作业环境的农用无人机机体结构设计。

(2) **不同应用环境下的农用无人机飞行作业虚拟仿真模块。**围绕我国主要粮食作物——水稻的生长周期,应用基于农用无人机的“精量直播”、“农情信息的遥感监测”和“植保作业”等关键技术的原理和方法,熟悉无人机水稻精量条播关键装置的安装调试、主要病虫害及防治方法、无人机遥感设备选择与航迹规划、航空变量喷雾系统的结构和喷施作业等多学科领域知识。

(3) **精准农业航空喷施应用关键技术虚拟仿真模块。**通过计算流体力学技术,把农用无人机喷施过程中,难以实际观察的无人机旋翼风场、喷施雾滴的飘移与沉积过程,可视化地展现出来,使学生掌握不同无人机结构、飞行参数等对航空喷施药液的影响规律,明确航空喷雾技术应以减少雾滴飘移、提高农药在靶标上的附着率和利用率为目标。

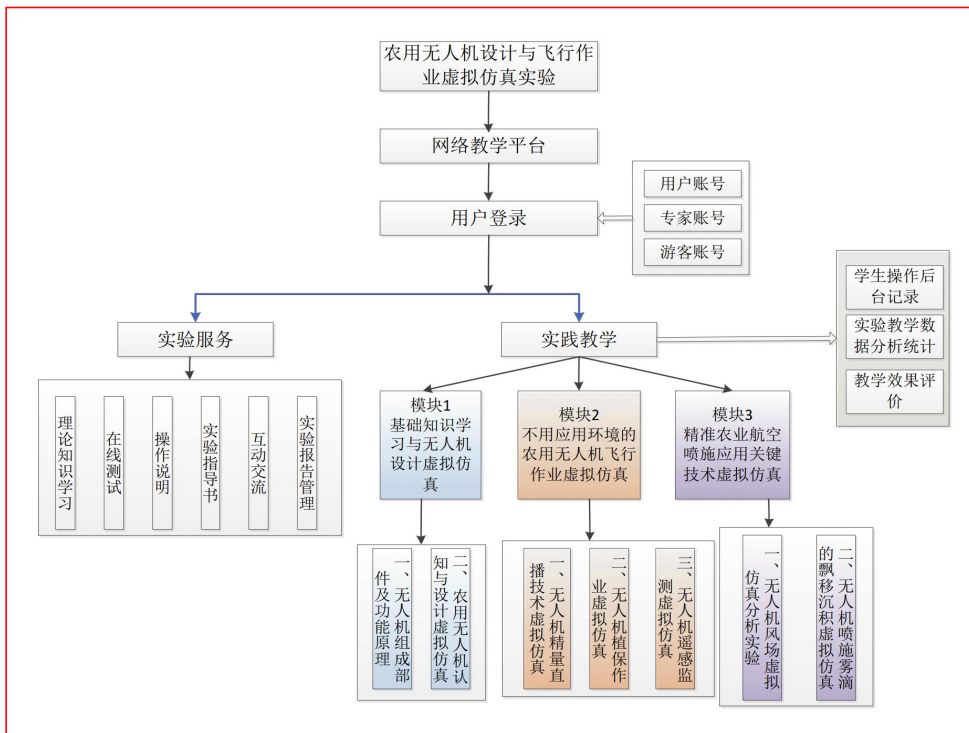


图1 农用无人机设计与飞行作业虚拟仿真实验课程的整体架构

本虚拟仿真课程分为3个层次要求考核学生掌握知识情况,分别是“认知”、“应

用”和“掌握”。认知层面主要通过虚拟仿真实验向学生展示工作原理和流程，以考查学生基本概念为主；应用层面主要通过虚拟仿真实验训练学生操作应用，以考查学生对相关装备和实验装置的使用为主；掌握层面主要通过虚拟仿真实验揭示科学或技术问题的产生、解决方法和实现过程，考查学生的设计水平。

3 实验系统的先进性

本虚拟仿真实验系统综合运用电子技术、信息技术、人工智能、机械设计和自动控制、农学等多学科的知识，结合华南农业大学**国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心**在农用无人机领域的科研成果，创建了以真实田间环境为参照的虚拟场景，运用三维建模、动画、计算流体力学等技术手段，高度仿真了四旋翼、六旋翼和八旋翼等多型号农用无人机、遥感监测仪器设备和航空喷施装置，使实验场景和实验对象更形象和真实。学生通过键盘、鼠标和遥控器在虚拟场景中操作，系统的学习农用无人机从操作装置到末端工作装置整个过程中，相关精准农业航空系统的结构、原理和工作过程，在享受模拟实验乐趣的同时，学到专业课中需要切实掌握的知识内容。我校拥有该软件的自主知识产权。

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

本虚拟仿真实验旨在确保学生整体性熟悉并掌握精准农业航空相关理论及实际应用的关键环节，其中引导学生虚拟仿真学习农用无人机机体结构与装配、飞行控制和不同作业环境下的综合应用环节，掌握农用无人机喷施农药时的旋翼流场和雾滴飘移沉积规律，指导完成农用无人机结构与装配、不同作业环境下的飞行控制和喷施雾滴的飘移沉积分析等实验环节，克服部分实验设备要求特殊、组织管理经费昂贵等不足，**解决上述实验环节因农用无人机控制过程复杂、作业环节抽象、田间作物生长周期长、大田实验影响因素多，且需要“人—机—地面站”配合，导致操作复杂、危险性高、成本高昂等难题**，从而保证每个学生动手操作和熟悉各个实验环节，提高实验教学的有效度。实验目的如下：

（1）理解基于无人机的精准农业航空基础理论与关键技术，培养学生对于前沿学科领域知识的认知能力和探索信心。

（2）掌握农用无人机机体结构设计、不同作业环境下的主要部件遴选及装配、飞行控制过程的基本原理，以及无人机喷施作业时的旋翼流场和雾滴飘移沉积规律，支撑通识工程实践教学等核心课程的实验教学。

（3）突破传统农用无人机装配、飞行控制和喷洒农药等实验的时空限制，实现学生自主学习和自主实验，提升基于农用无人机的精准农业航空应用实验教学效果。

(4) 促进学生对精准农业航空应用技术的理解, 加深对农业工程领域知识的融合理解, 提升专业自信和岗位能力。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时: 《农用无人机通识课程》35 学时、《小型飞行器基础》24 学时

(2) 该实验所占课时: 4 学时

3-4 实验原理

1、实验原理(限 1000 字以内)

本实验的实验原理和知识点覆盖了《农用无人机通识课程》、《小型飞行器基础》等多门本科生课程。

(1) 农用无人机设计实验原理

根据农用无人机的功能结构、应用场景等, 构建三维虚拟无人机零件库、作业环境飞行地图, 通过将农用无人机标准化、模块化配件组装在一起, 方便学生体验农用无人机设计。重点体会农用无人机在不同作业环境下的智能化功能, 理解农用无人机技术与智慧农业的融合机理。

(2) 农用无人机精量直播实验原理

重点学习掌握无人机水稻直播排种装置的工作原理和安装过程, 仿真学习无人机水稻精量直播参数(如播种行数、行距、飞行高度和速度等)的设置原理和飞行控制, 了解农用无人机飞行路径规划的作业实操要点。

(3) 农用无人机植保作业实验原理

了解并熟悉不同无人机机型参数(最大载荷、喷施半径、电池容量、满载续航时间, 空载续航时间, 飞行速度, 喷施流量等), 能够根据作业参数的选择合适的机型进行作业; 了解常见农作物(水稻、小麦)常见病虫害及对应药剂; 熟悉航空施药基本操作流程, 返航判断方式及注意事项, 应急管控, 了解药效跟踪评价。

(4) 农用无人机遥感监测实验原理

了解农业航空遥感的主要应用领域, 熟悉农用航空遥感系统的组成各组成单元的性能参数, 可根据作业地域对农用无人机和遥感监测传感器进行正确选择, 并设置作业参数(遥感设备设置、拍摄模式、飞行高度和速度)。

(5) 农用无人机旋翼风场测试实验原理

基于计算流体力学知识, 把农用无人机喷施过程中, 不可见的旋翼风场、雾滴飘移与沉积过程, 利用虚拟仿真技术, 可视化展现出来, 使学生对于航空喷施药液的影响规律形成较清晰的了解。通过对单旋翼和四旋翼农用无人机的旋翼风

场进行三维动态模拟，了解不同旋翼结构和转速等情况下的流场特征，掌握无人机旋翼下方的气流速度、压强等参数的分布特性。

(6) 农用无人机喷施雾滴的飘移和沉积实验原理

了解雾滴粒径的实验测量方法；了解不同粒径的雾滴在单旋翼和多旋翼无人机风场影响下的运动规律。通过虚拟仿真设置农用无人机的喷雾系统位置，了解喷头雾化后的雾滴在旋翼风场的胁迫作用下，朝着靶标运动的情况，明确喷头位置改变后的雾滴运动轨迹。

知识点：共 8 个

- (1) 农用无人机各组成结构与功能、飞行原理
- (2) 不同作业环境下的农用无人机设计和装配
- (3) 农用无人机水稻精量直播技术
- (4) 农用无人机植保作业技术
- (5) 农用无人机遥感监测原理与技术
- (6) 不同结构农用无人机的旋翼风场测试技术
- (7) 农用无人机喷施雾滴粒径的测试技术
- (8) 农用无人机喷施雾滴的飘移与沉积运动规律

二、核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述，限 500 字以内）

1、本实验所需核心农用无人机及关键实验装置的型号和参数如下：

单旋翼植保无人机	型号：S40E	外形尺寸： 2165×2400×720	材质：高强度碳纤维	药箱容积：20L
	喷头数量：5 个	喷幅：7m	雾化粒径：136-177 微米	满载连续飞行时间：>12min
四旋翼植保无人机	型号：M23E	外形尺寸： 1150×1080×550	材质：高强度碳纤维	药箱容积：10L
	喷头数量：4 个	喷幅：5m	雾化粒径：136-177 微米	满载连续飞行时间：>12min
遥感监测无人机	型号：精灵 4RTK	外形尺寸： 1471×1500×482	测绘设备：DJI P1 全画幅 4500 万测绘相机、DJI L1 激光雷达可见光融合系统	航线规划：GS RTK、DJI Pilot
	数据处理：大疆智图	连续飞行时间： 20min		
水稻精量直播无人机	型号：谷上飞 20	旋翼类型：八旋翼	外形尺寸： 3700×3700×800	；单体种仓数量： 6-10 个
	单体种仓容积： 1kg	可调行距 20-30cm	单次作业时间： 4-12min	续航时间：20min

2、本实验所需场景描述如下：

本实验的核心要素包括：农用无人机设计、农用无人机精量直播、农用无人机植保作业、农用无人机遥感监测和精准农业航空喷施应用关键技术等，各要素仿真度如下：

(1) 农用无人机设计虚拟仿真

该要素根据农用无人机的智能化应用方向，利用现代三维建模技术，按功能分别构建 100 个以上的无人机装配零件库、10 种以上的环境监测传感器模型，以及 10 种以上不同作业环境飞行地图，使学生通过对无人机结构及原理的学习后，能根据不同作业环境和功能要求，进行个性化的农用无人机设计和装配。

该部分的仿真不仅突破了实体实验时所需装备和器材的成本高、消耗大等教学瓶颈，并且锻炼了学生将无人机的组成原理和飞行控制技术等专业理论知识应用于实践的能力，实现“虚实结合”，同时让学生体验了将农用无人机零件组成实物的成就感和乐趣。



(a) 构建的无人机装配零件库

(b) 农用无人机机体设计

图 2 农用无人机设计素材库



图 3 农用无人机设计虚拟仿真

(2) 农用无人机精量直播虚拟仿真

该要素构建了用于水稻精量条播的大田作业环境，将有关“无人机精量直播”的科研成果转化为本科实验，解决了实体实验受作业环境的时空影响问题，做到“以虚代实”。同时，用仿真手段学习无人机水稻精量直播参数（如播种行数、

行距、飞行高度和速度等)的设置原理和飞行控制,解决了真实实验易受场地和器械限制的瓶颈,拓展了实验教学的深度与广度。



图4 农用无人机精量直播虚拟仿真

(2) 农用无人机植保作业虚拟仿真

该要素模拟了利用无人机进行植保作业的实验环境,解决了真实农业航空植保作业实验危险性高、因摔机造成不可逆操作等问题。通过虚拟手段使学生根据不同作业参数选择合适的农用无人机,分析农用无人机飞行路径规划的作业要点,最后完成植保作业的过程。该部分仿真为学生熟悉航空施药基本操作流程与应急管控的真实工程背景,使学生有机会独立完成农用无人机航空植保作业全过程。

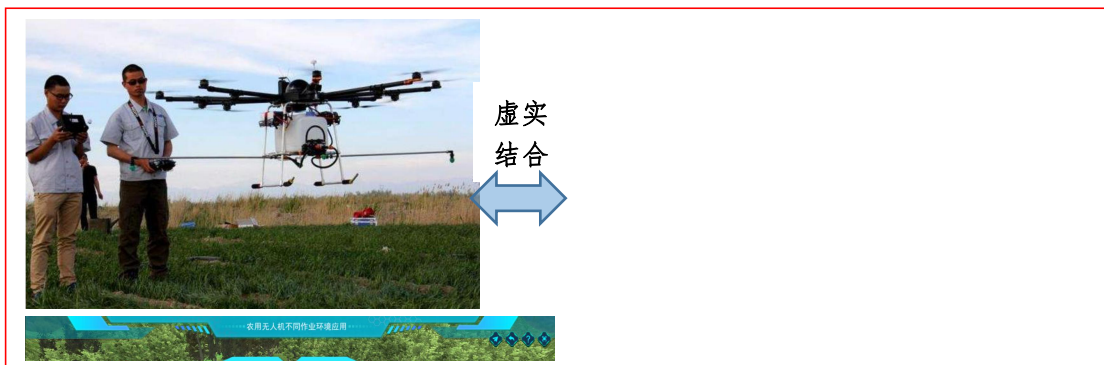


图5 农用无人机植保作业虚拟仿真

(3) 农用无人机遥感监测虚拟仿真

该要素虚拟了农业航空遥感的主要应用领域,如结合人工智能技术,通过农业航空遥感探测作物的种类,以及农作物长势及病虫害监测。该部分仿真可使学生了解农用航空遥感系统的组成各组成单元的性能参数,能根据作业地域对农用无人机和遥感监测传感器进行正确选择,并正确设置作业参数,实现了“形象展示抽象”,拉近了遥感理论知识与真实工程实践之间的距离。

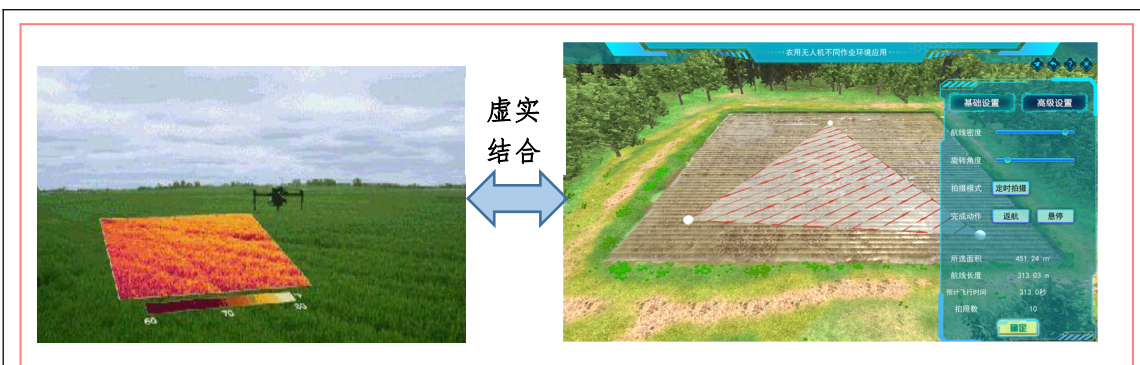


图 6 农用无人机遥感监测虚拟仿真

(4) 精准农业航空喷施应用关键技术虚拟仿真

该要素三维动态模拟了单旋翼和四旋翼农用无人机的旋翼风场，形象地仿真了雾滴粒径测试、农用无人机喷施雾滴的飘移和沉积等全过程。重点将雾滴粒径的实验测量方法，和不同粒径雾滴在无人机风场下的运动规律作为考核点。学生按照正确的实验步骤，选用正确的实验装置，并布置于农用无人机下需要的位置，方能获得实验分并继续实验。

该部分的仿真不仅突破了实体实验所需设备精密昂贵、实验耗费大的教学瓶颈，而且锻炼了学生将不可见的旋翼风场、雾滴飘移与沉积过程，利用虚拟仿真技术，可视化展现出来的能力，实现“以虚代实”，同时让学生了解农用无人机喷施雾滴的飘移和沉积规律。



(a) 雾滴粒径测试虚拟仿真



(b) 虚拟风洞试验

图 7 精准农业航空喷施应用关键技术虚拟仿真

3-5 实验教学过程与实验方法

1、实验教学过程

本实验共 4 学时，实验教学过程是以问题引导和驱动下的探究式教学模式为基础设计的，具体过程如下：

课程教学的首次绪论课后，将所有专题内容和案例一并发给给学生，同时组织学生进行分组学习。

实验课前，学生通过教材、网络资源和实验指导书等自主学习相关理论，针对实验内容进行自主学习和准备。

实验课上，老师通过应用引发的理论和技术问题，引导学生先进行研讨交流，形成一定的共识和争议。然后，以实验系统为依托，引导学生根据自己的认识去在线实验操作，发现不足并引出新问题。接下来，在老师的引导下根据所学理论进行改进尝试和探究，找出解决问题的方法，在实验系统上验证改进的效果，提交实验结果，撰写实验报告。在此期间，教师主要起到引导、释疑和推动作用。

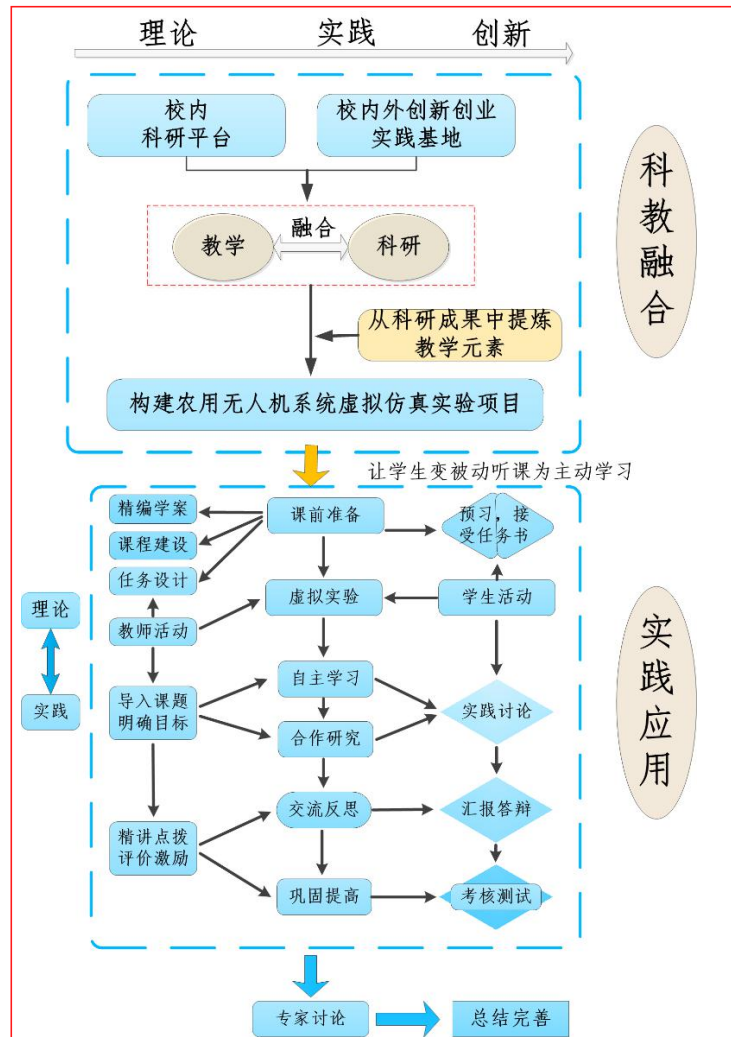


图 8 实验教学过程设计流程图

(1) 课前自主学习 (0.5 学时)

农用无人机基础知识、构造与原理、精准农业航空喷施应用技术等相关理论知识，由学生在实验前通过教材、慕课和微课等网络资源自主学习掌握。本虚拟仿真实验项目提供实验指导书，包括实验目的、要探究的问题、基本原理、实验方法、基本参数设置与实验测量的操作步骤、注意事项等。学生在进行实验前先自行自主学习，根据实验目的和需要探究的问题，设计实验方案步骤，绘制出思维导图，在虚拟仿真实验平台上提交实验设计方案。

(2) 课上研讨交流 (1 学时)

根据学生课前自主学习中提交的实验设计报告，实验指导教师利用华南农业大学精准农业航空施药技术国际联合研究中心的科研成果，从精准农业航空应用需求出发，提出理论与技术问题，结合实验设计，引导学生进行研究交流，比较各自的理解，形成共识或者确定产生的争议点。在此基础上，学生分组确定自己的实验方法和步骤。实验教学过程设计流程图如图 8 所示。

(3) 应用尝试与评价 (1 学时)

按确定的实验方法和步骤，进行线上虚拟仿真实验。为充分调动学生自主性，所有的实验均通过仿真真实实验和作业环境下的农用无人机应用入手，进行无约束的开放式操作，系统在线给出测试结果及其定量评价结果。

实验结果有两种可能：一是实验设计合理，能够直接给出较为正确的结果。对此，实验指导教师可以设置一定的与应用有关的约束条件，引导学生思考更加深入的问题；二是实验结果不合理，由此可引导学生发现问题，思考产生问题的原因以及如何改进。如图 9 所示。



图 9 农用无人机设计虚拟仿真实验定量评价结果

(4) 实验探究改进 (1 学时)

针对前面实验尝试暴露的问题或者由实验尝试引发的深度问题，结合实验目的以及要探究的问题要求，进行全自主的探究性实验。

比如：结合理论学习和实验指导书的要求，设计农用无人机精量直播系统的

排种装置，设置精准直播参数；设计满足作业条件的农用无人机机型参数和植保作业装备；明确农用航空遥感系统的各组成单元的性能参数，根据作业地域正确选用农用无人机和遥感监测传感器，并设置作业参数等。如图 10 所示。



图 10 农用无人机植保作业虚拟仿真实验的探究改进

上述 (3) (4) 两个步骤是可以反复重复进行的，即学生可以随时对所设计的农用无人机及相关作业装备进行应用测试，检验设计效果。此外，虚拟仿真实验采用开放式的学习模式，如果课上时间不足，依靠网络平台的便利性，学生还可在课下自主选择时间、地点登陆虚拟仿真实验平台，进入探究学习模式进行虚拟实验操作。学生可在不同的时间段多次重复实验操作，直至完全掌握相关知识，并最后提交正式的实验报告。给予学生充分的学习自由，有利于个性的发挥。

(5) 提交实验报告 (0.5 学时)

当学生认为已经完全理解掌握了相关知识，并完成了相关实验内容后，可将测试结果整理出来，在线撰写实验报告，提交至系统平台保存。撰写实验报告时，系统提供 word 版实验报告模板，供学生在线填写，学生需要将实验步骤截图、实验数据、实验结论、心得体会等内容填入实验报告，并将填好的实验报告上传提交至平台。

2、实验方法

本实验课程综合了计算流体力学方法、航空遥感、风洞实验、精量直播和航空植保等多种实验方法。实验方法与实验目的、教学进程思路的对应如图 11 所示。

(1) 通过农用无人机设计部分认知农用无人机各组成部件及功能原理，学习农用无人机的结构特点，并按任务要求完成适用于不同作业环境的农用无人机机体结构设计。

(2) 虚拟仿真基于农用无人机的“精量直播”、“农情信息的遥感监测”和植

保作业等关键技术的原理和方法。

(3) 利用虚拟的激光粒度仪等实验设备, 进行雾滴粒径测试, 获取不同喷嘴的雾滴粒径参数。

(4) 通过计算流体力学方法, 并利用虚拟风洞实验室, 把农用无人机喷施过程中难以观察的无人机旋翼风场、喷施雾滴的飘移与沉积过程, 可视化地展现出来, 是学生掌握不同飞行参数对航空喷施药液的影响规律。

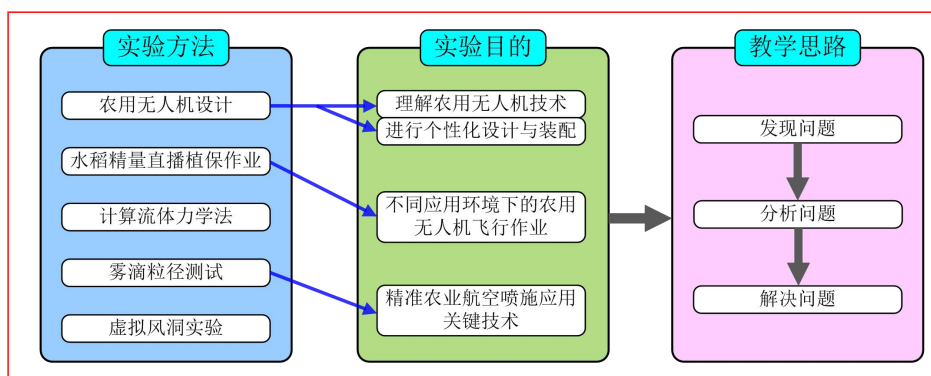


图 11 本课程采用的实验方法

3-6 步骤要求 (不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互, 系统加载之类的步骤不计入在内)

一、学生交互性操作步骤 (共 23 步)

表 2 交互式操作步骤

步骤序号	步骤目标要求	步骤合理用时	目标达成度 赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	掌握农用无人机的基础知识	10 分钟	完成客观选择题的答题。	5 分	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告
2-3	熟悉农用无人机的主要组成结构及其功用	10 分钟	完成系统的虚拟操作。	5 分	
4-5	完成对农用无人机的设计	15 分钟	根据任务要求, 选择正确的无人机轴数、材质等, 并确定动力模块、旋翼形状等。	10 分	
6-9	熟悉无人机水稻精量直播作业全过程	15 分钟	完成排种器结构认识与调整、播种量的调节, 模拟操作无人机完成水稻直播虚拟仿真作业。	10 分	
10-11	根据航空植保要求选择作业地块	5 分钟	观察田块特征, 根据作业任务选择正确的作业地块。	2 分	

12	对无人机进行选型和航线规划	10 分钟	根据作业类型和田块特征，选用正确的无人机并进行航线规划。	3 分		
13	农用无人机植保作业虚拟仿真实验	15 分钟	正确设置无人机飞行速度、高度，选取正确的航线类型、作业面积、喷雾系统和喷施流量等参数，完成植保作业的虚拟仿真操作。	10 分		
14-18	农用无人机遥感监测虚拟仿真实验	15 分钟	了解农业航空遥感系统的各组成部件和功能，熟悉遥感作业参数设置，完成遥感监测的虚拟仿真操作。	15 分		
19	设置正确的风洞试验段尺寸	5 分钟	了解风洞实验室的虚拟环境和各虚拟仪器设备的使用方法，设置风洞尺寸的实验风速。	5 分		
20-21	农用无人机的选取及虚拟风速仪的设置	15 分钟	完成单旋翼/四旋翼农用无人机旋翼风场的三维动态模拟。	15 分		
22	压力和离心喷嘴雾滴粒径的虚拟测试	10 分钟	通过虚拟实验室完成雾滴粒径的实验测量，了解激光粒度仪的使用方法。	10 分		
23	农用无人机喷施雾滴的飘移沉积虚拟仿真	10	设置农用无人机和喷雾系统参数，通过虚拟实验了解雾滴的飘移和沉积规律。	10 分		

二、操作步骤详细说明

1、农用无人机认知与设计虚拟仿真实验

知识点 1：农用无人机基础知识认知（认知层次）

步骤 1： 点击无人机基础知识认知按钮，进入虚拟场景，然后逐一点击视图上的农用无人机知识点，包括：无人机的定义与特点、无人机的分类、多旋翼无人机基本结构、无人机动力系统、农用无人机、农用无人机旋翼风场、农用无人机雾滴飘移与沉积和遥感应用基本原理等内容，学习农用无人机的主要基础内容，对农用无人机的结构和功能进行全面的了解，掌握无人机的基础知识。

1.1 点击“学习背景”按钮，可打开关联的知识点进行学习；

1.2 点击“学习目的”按钮，可打开关联的知识点进行学习；

1.3 点击“学习内容”按钮，左侧栏目罗列显示“无人机的定义与特点”、“无人机的分类”、“多旋翼无人机基本结构”、“无人机动力系统”、“农用无人机”、“农用无人机旋翼风场”、“农用无人机雾滴飘移与沉积”和“遥感应用基本原理”等 8 个按钮；

1.3.1 点击左侧栏目“无人机的定义与特点”按钮，可打开无人机的定义与特点所对应的知识点进行学习；

1.3.2 点击左侧栏目“无人机的分类”按钮，可打开无人机的分类所对应的知识点进行学习；

1.3.3 点击左侧栏目“多旋翼无人机基本结构”按钮，可打开多旋翼无人机基本结构所对应的知识点进行学习；

1.3.4 点击左侧栏目“无人机动力系统”按钮，可打开无人机动力系统所对应的知识点进行学习；

1.3.5 点击左侧栏目“农用无人机”按钮，可打开农用无人机所对应的知识点进行学习；

1.3.6 点击左侧栏目“农用无人机旋翼风场”按钮，可打开农用无人机旋翼风场所对应的知识点进行学习；

1.3.7 点击左侧栏目“农用无人机雾滴飘移与沉积”按钮，可打开农用无人机雾滴飘移与沉积所对应的知识点进行学习；

1.3.8 点击左侧栏目“遥感应用基本原理”按钮，可打开遥感应用基本原理所对应的知识点进行学习；

1.4 点击“自测题”按钮，可学习后的测试答题。点击选项，点击提交，若答案正确，则提示回答正确，若答案错误，则提示回答错误，并显示正确答案。

1.5 点击“农用无人机认知”按钮，屏幕罗列显示“农用无人机常见设备介绍”、“农用无人机基本结构组装”和“农用无人机任务载荷”。

1.5.1 点击“农用无人机常见设备介绍”按钮，可打开农用无人机常见设备（如喷嘴、雾滴尺寸）所对应的知识点进行学习。

1.5.2 点击“农用无人机任务载荷”按钮，屏幕罗列显示四种无人机任务载荷“摄像头”、“水箱”、“高光谱遥感系统”和“种子撒播装置”。按住鼠标右键可以对虚拟仿真的模型进行旋转，鼠标滚动键可以进行大小缩放。

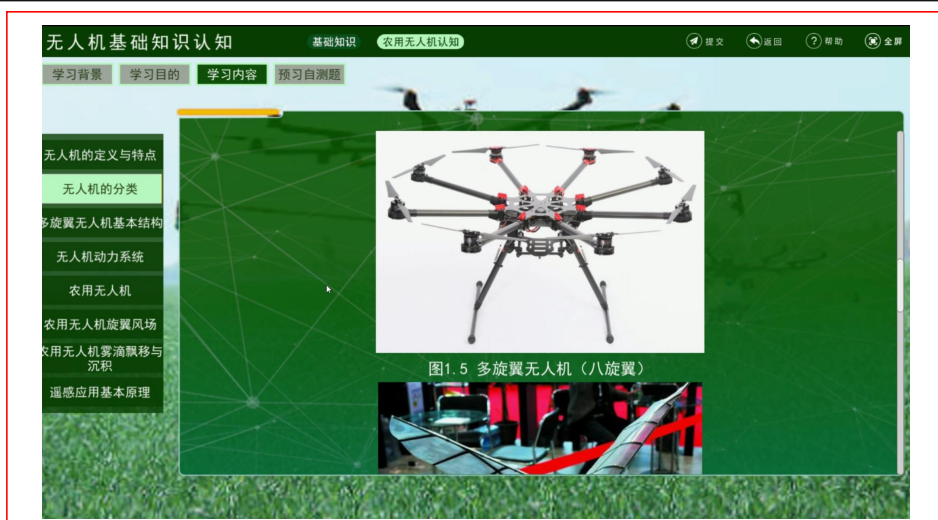


图 12 无人机基础知识认知

步骤 2: 点击**农用无人机基本结构组装**按钮，进入虚拟仿真环境，调整农用无人机虚拟三维视图。观察整机结构，熟悉四旋翼、六旋翼和八旋翼农用无人机的机臂配置，以及机架、动力装置和旋翼等基本组成，熟悉农用无人机的主要组成结构及其功用。



图 13 农用无人机基本结构组装

2.1 在左侧栏目点击“基础结构设计”按钮，主界面罗列显示“选择轴数”、“选择起落架”、“选择机臂材质”、“选择动力装置”和“选择旋翼材质”。

2.1 在“选择轴数”下有三个按钮可供选项，分别是“四旋翼”、“六旋翼”和“八旋翼”。

2.3 在“选择起落架”下有三种不同形状的起落架可供选择。

2.4 在“选择机臂材质”下有两个按钮可供选项，分别是“玻璃纤维”和“碳纤维”。

2.5 在“选择动力装置”下有两个按钮可供选项，分别是“电动装置”和“油动装置”。

2.6 在“选择旋翼材质”下有四个按钮可供选项，分别是“木质”、“塑料”、“碳纤维”和“玻璃纤维”。

步骤 3: 在左侧栏目点击“自动组装”，然后在主界面右下角点击“爆炸”，便可以三维爆炸图的方式展示农用无人机的结构，了解每个组成部分的名称和安装位置。再点击“恢复”便可恢复原样。

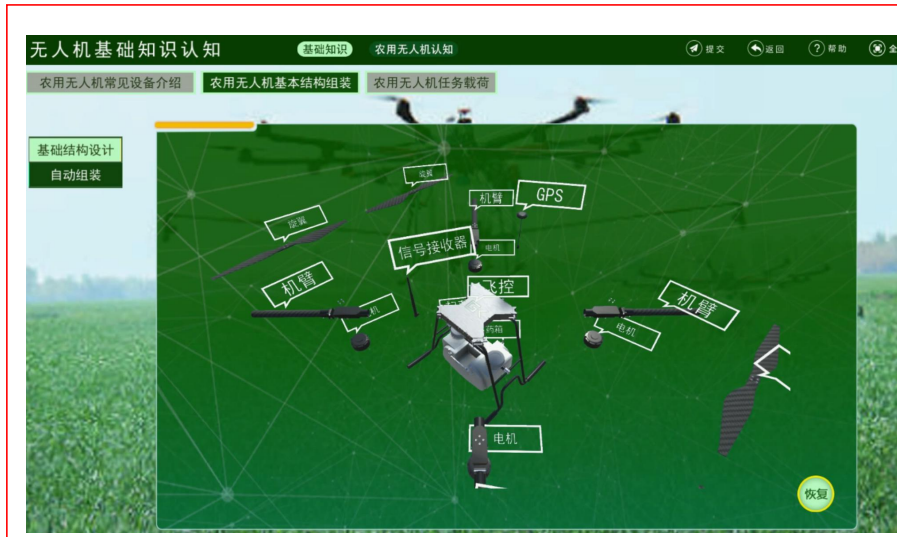


图 14 农用无人机三维结构认知

知识点 2: 农用无人机设计（应用层次）

步骤 4: 点击无人机设计按钮，进入无人机设计虚拟仿真环境，依次选择拟设计无人机的轴数（4 轴、6 轴和 8 轴）、材质（塑料、碳纤维）、支架和起落架形式，并确定动力模块（电动、油动）、旋翼形状和喷嘴类型，按照步骤完成对农用无人机的设计。



图 15 农用无人机设计

4.1 选择轴数

通过主机体两侧箭头或鼠标点击主机体（轴数分为四旋翼、六旋翼和八旋翼三种类型），选择对应轴数的主机体，点击确认选择即可保存选择，点击返回则返

回到上一级。

4.2 选择起落架

点击起落架图标，会出现 3 种不同类型的起落架，分别记为起落架 1，起落架 2 和起落架 3，可根据需求进行选择，选择完后点击确定即可保存选择，点击返回可取消。

4.3 选择机臂材质

点击机臂图标，会出现 2 种不同材质（玻璃纤维和碳纤维）的无人机机臂，可根据需求进行选择，选择完后点击确定即可保存选择，点击返回可取消。

4.4 选择动力装置

无人机动力装置需安装无人机机臂后才可激活，激活后点击动力装置图标，会出现 2 种不同类型（电动装置和油动装置）的动力装置，可根据需求进行选择，选择完后点击确定即可保存选择，点击返回可取消。

4.5 选择旋翼

无人机旋翼需安装无人机动力装置后才可激活，激活后点击旋翼图标，会出现 4 种不同类型（木质，塑料，玻璃纤维和碳纤维）的旋翼，可根据需求进行选择，选择完后点击确定即可保存选择，点击返回可取消。

4.6 选择无人机任务载荷

任务载荷部分设置有以下 5 个选项：航拍无人机、农用无人机（喷施）、农用无人机（遥感）和环境监测无人机。具体的操作步骤如下：

点击功能模块图标，会出现不同的任务载荷（包括摄像头（或相机）、水箱、高光谱遥感系统和环境检测传感器），可根据需求进行选择，选择完后点击确定即可保存选择，点击返回可取消。

4.6.1 如任务载荷选择的是航拍无人机，则装配的是摄像头（或相机）。

4.6.2 如任务载荷选择的是农用无人机（喷施），则装配的是水箱。

4.6.3 如任务载荷选择的是农用无人机（遥感），则装配的是高光谱遥感系统。

4.6.4 如任务载荷选择的是农用无人机（直播），则装配的是种子撒播装置。

4.6.5 如任务载荷选择的是环境监测无人机，则装配的是环境检测传感器。

2、农用无人机精量直播环节

知识点 3：农用无人机水稻精量直播技术虚拟仿真（应用层次）

步骤 5：点击运行模拟，进入无人机水稻精量直播作业虚拟仿真，通过虚拟无人机飞行和田间作业，熟悉无人机精量直播路径规划和田间播种等环节的操作技能及注意事项，掌握无人机水稻精量直播作业流程。具体实验过程为：

步骤 6：从系统提供的作业地块示意图中（旋耕整平的方形和梯形天宽），选择需要的作业地块。

步骤 7：对无人机进行路径规划，可选择智能 AB 点模式，并分别设定路径

规划中 A、B 点具体位置，同时设定飞行方向。

步骤 8: 确定播种参数，根据飞行任务选择播种行数（6-10 行），以及播种行距（20-30cm）；设置无人机的飞行高度（不超过 1.5m）和飞行速度（不超过 6m/s）。

步骤 9: 打开种箱盖虚拟添加稻种，然后启动农用无人机，此时无人机进入自动播种状态，当播种完无人机自动回到出发位置。

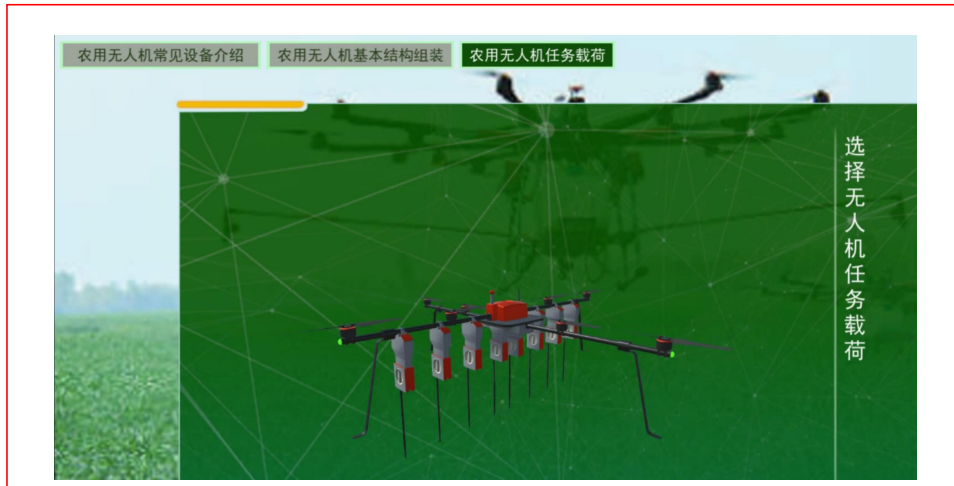


图 16 农用无人机水稻精量直播

3、农用无人机植保作业环节

知识点 4：农用无人机植保作业虚拟仿真（应用层次）

步骤 10: 点击进入农用无人机作业地块选取虚拟场景，观察待选田块形貌，观察田块特征，然后逐一点击视图上的田块类型（长方形、梯形、异性等），了解每个田块的特征，对无人机飞行前的作业环境进行全面的了解，完成后选择进入（某种田块）植保作业。观察田块的病虫害特征，选择相应的药液，并进行药液的配置。

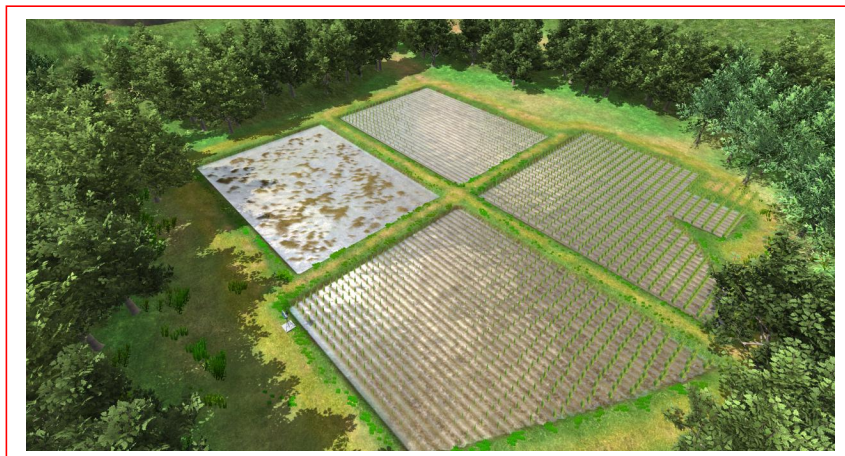


图 17 作业地块选择

步骤 11：无人机选型和航线规划

11.1 选择农田后，进入选择农用无人机机型页面（4旋翼和6旋翼两种机型），文字展示飞机模型及相关参数，包括最大载荷、喷施半径、电池容量、飞行高度、飞行速度、喷施流量等；

11.2 根据农田长宽及喷施半径生成的栅格化航线图；选择返航方式，可选项为不返航（在此处学生可通过对机型参数中满载续航时间及飞行速度综合考虑是否为多架次作业，如为单架次作业，可不返航），载荷消耗完毕返航，预警电量返航（可选预警电量为多少），总体规划返航（询问返航点所处位置，可在竖向航线段的两端点及三等分点，横向航线段的中点进行选择）。

11.3 除了选择不返航选项，其他选项进入询问是否需要补给点的页面，不需要则按否，需要则按是；如果选择是，之后出现按照不同返航方法计算得出的返航点分布图，随后弹出补给点的个数与位置的选择页面，可选择在短边及长边放置补给点，并选择补给点的个数，在田边按等比例放置。按否则直接进入下一页。

11.4 进入载荷分配方式选择页面，分为满载荷和规划载荷两个选项，选择满载荷则进入作业页面，选择规划载荷则进入架次载荷选择（在此，学生可根据作业时长与喷施流量的计算共同决定）

步骤 12：虚拟植保作业

12.1 进入作业页面，播放作业动画视频，右上角具平面航线及无人机运动轨迹、返航轨迹。

12.2 如有田间坠机，直接进入结束页面，并弹出评分为 0 分，以及安全警戒标语

12.3 如安全完成作业，进入结束页面，并弹出评分（以完美方案为标准），60 以下为不及格，60-80 为良好，80-90 为优秀，90-99 为接近完美，100 为完美，并附有不同环节的打分，弹出不同的鼓励话语。



图 18 农用无人机植保作业虚拟仿真

4、农用无人机遥感监测环节

知识点 5：农用无人机遥感监测虚拟仿真（应用层次）

步骤 13：无人机选型。无人机有固定翼和旋翼两种机型，配以文字讲解和“爆炸”视图，使学生掌握典型无人机的相关组件，更好的了解无人机。同时，无人机的选择需要根据区域环境、载重与续航时间等因素进行调整。

13.1 根据任务区域选择合适的无人机类型，面积小于 0.5 平方公里选择旋翼，否则选择固定翼；

13.2 查看所选机型的载重、抗风能力与续航时间，该因素将影响光学传感器的选择以及航线规划效果。

步骤 14：光学传感器选择。点击 RGB 相机和高光谱相机认知。进入虚拟场景，通过文字、音频或视频等方式展示光学传感器参数，包括 CMOS 尺寸、镜头焦距、光谱分辨率等，根据上述信息计算在特定距离（100m）时的空间分辨率。

步骤 15：学生观察虚拟区域环境，判断是否可以作为起飞地点。同时应结合航线规划的结果，判断以该起飞点进行航线规划是否能达到任务标准。

15.1 根据法律法规，判断该区域是否可以合法地进行无人机飞行；

15.2 观察周围环境，确定起飞点上空无障碍物，周围环境宽敞，起飞地点平整；飞行时的大阳高度角是否过低，否则会在相片上造成阴影观察；

步骤 16：根据任务要求，设置并调整优化航线，掌握无人机航线规划时的主要参数设置及其互相影响。

16.1 在地图上将需要监测的区域勾画出来；

16.2 根据相机分辨率和任务要求，设置飞行高度；

16.3 设置航向重叠度、旁向重叠度，并根据航向重叠度和相机的拍摄性能，设置无人机飞行速度；

16.4 设置无人机飞行方向，检查任务规划软件预测的飞行总时间是否超过无人机的续航能力。如果满足要求，则该步骤结束。如果不满足，进行下一步；

16.5 分别改变无人机航向，改变旁向重叠度，改变飞行速度，观察飞行时间的变化规律。

步骤 17：利用遥控器或键盘控制无人机飞行，观察飞行过程中反馈的参数信息以及实时显示的飞机拍摄照片，可以对航拍情况进行直观了解。同时针对突发情况，学生可以进行降落操作，增加学生观察能力和应变处理能力。

17.1 进入起飞点，在地面站上点击“起飞”按钮，无人机将离开地面，按照航线规划的路线进行飞；

17.2 通过地面站观察飞行参数，包括距离、高度、速度、航向、剩余电量等信息，同时可观察无人机实时拍摄的影像；

17.3 飞行过程中注意观察周边环境，如遇紧急情况（如电量不足、恶劣天气等），学生需要通过主观判断，选择召回飞机降落，或者就近降落。

17.4 利用虚拟按键控制无人机降落，调整无人机降落的速度和位置，保证无人机安全降落。



图 19 农用无人机遥感监测虚拟仿真

5、精准农业航空喷施应用关键技术环节

知识点 9：农用无人机旋翼风场虚拟仿真（熟悉层次）

步骤 18：点击运行模拟，进入虚拟风洞实验室，根据提示依次完成无人机旋翼风场虚拟仿真实验。学生首先确认合适风洞试验段的尺寸，并设置正确的风洞试验段长、宽、高尺寸。

步骤 19：从提供的单旋翼和四旋翼农用无人机中，选择拟进行实验的无人机，并虚拟设定飞行参数，飞行高度 1-2.5m、飞行速度 0-6m/s。

步骤 20：学生根据想观察的数据，设置虚拟风速仪的摆放位置，点击开始进入虚拟实验，待实验结束后点击状态分析查看实验数据与结果。

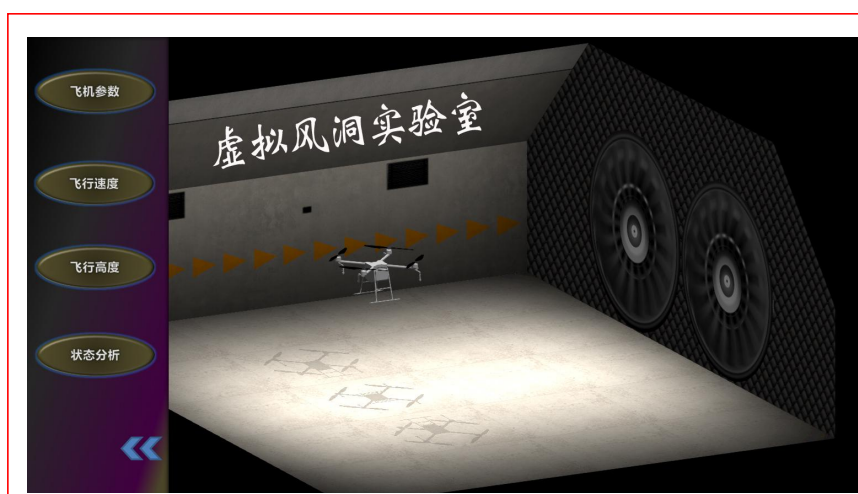


图 20 农用无人机旋翼风场虚拟仿真

知识点 10：农用无人机喷施雾滴的飘移和沉积虚拟仿真（应用层次）

步骤 21：学点击运行模拟，进入虚拟雾化实验室，根据提示依次完成无人机喷施雾滴的飘移和沉积虚拟仿真实验。首先从提供的液力喷嘴和离心喷嘴中，选择需要测试的喷嘴类型，并设置好喷施压力（范围 100-200kPa）和流量（1-1.5L/min）。

步骤 22：点击激光粒度仪，学习激光粒度仪的测量原理，并完成激光粒度仪的对中和扣除背景杂波操作。设置完毕后，点击实验按钮，利用激光粒度仪完成对喷嘴喷施雾滴粒径的测量，并生成雾滴谱图。

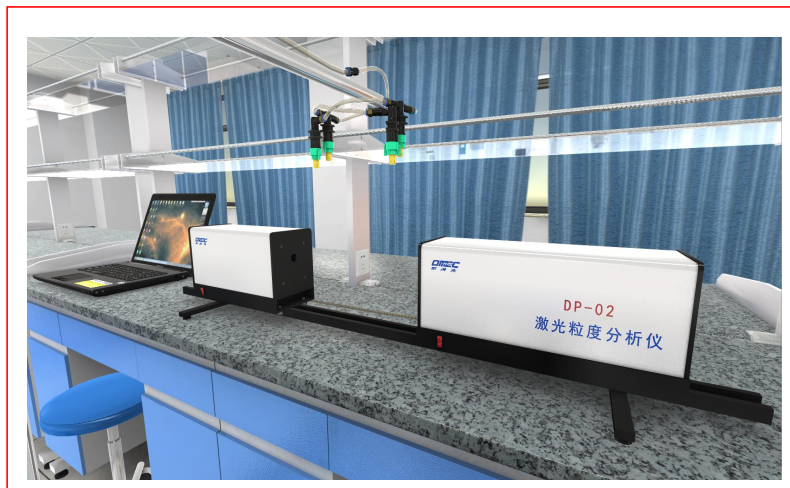


图 21 虚拟雾化实验室的激光粒度仪

步骤 23：从提供的单旋翼和四旋翼无人机中，选择实验用的农用无人机，确定飞行参数（飞行高度 1.5-2m、飞行速度 0-6m/s），点击查看按钮，观察并了解不同粒径的雾滴在单旋翼和多旋翼无人机旋翼风场影响下，在靶标区域的沉积和向非靶标区域飘移的情况，并查看实验数据与结果。

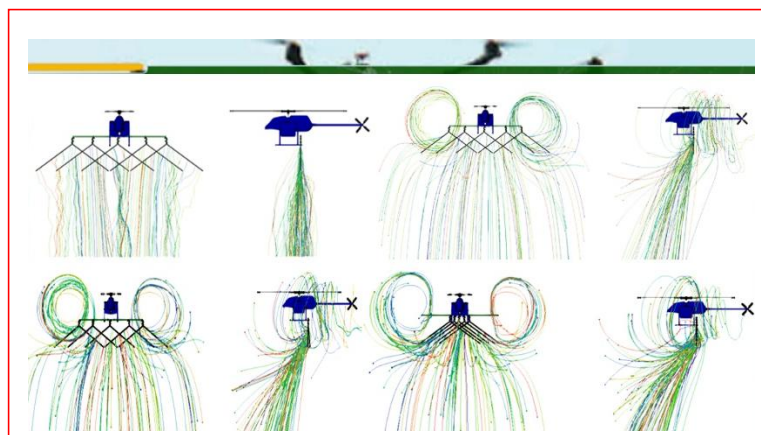


图 22 旋翼风场作用下的雾滴飘移沉积虚拟仿真

6、考核环节

考核环节基于数据分析，采用网络记录、系统评分、小组互评和教师点评等

多种考核方式，全过程覆盖实验前、实验中和实验后，全流程记录、分析和评价实验中操作信息，形成实验行为和效果的系统、快捷、准确和公平。实验考核评价阶段和要素权重如下表所示。

表 2 实验考核评价阶段和要素权重

评价阶段	占实验考核权重	评价要素	占阶段考核权重	计分 (各要素总分)
实验前评价	20%	在线学习时间	30%	30
		实验前自测成绩	40%	40
		互动交流情况	20%	20
		实验前提问质量	10%	10
实验中评价	50%	学习效果评价	20%	20
		小组互评	20%	20
		实验活动评价	60%	60
实验后评价	30%	在线测试结果	30%	30
		实践参与度	30%	30
		实验报告	40%	40

实验前评价由在线学习时间（30%）、实验前自测成绩（40%）、互动交流情况（20%）和实验前提问质量（10%）组成，在共享平台上通过网络记录、学生自评、系统评价和教师点评等评定成绩，主要考查自主学习、主动发现、总结提炼等能力，占实验考核成绩的 20%。

实验中评价由学习效果评价（20%）、小组互评（20%）和实验活动评价（60%）组成，主要考查学生的实验操作方法是否正确、过程是否规范、观察是否仔细等，占实验考核成绩的 50%。

实验后评价由在线测试结果（30%）、实践参与度（30%）和实验报告（40%）组成，主要考查学生的学以致用、探索性应用、分析解决问题等能力，占实验考核成绩的 30%。

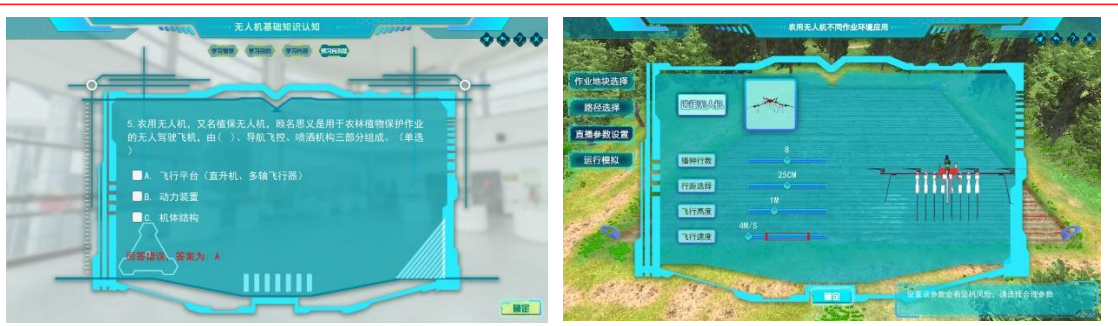


图 23 考核评价系统截图

3-7 实验结果与结论（说明在不同的实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

1、农用无人机设计虚拟仿真实验

农用无人机动力模块需安装无人机悬臂后才可激活，激活后会出现不同类型的动力模块；无人机旋翼需安装无人机动力模块后才可激活；无人机喷头需安装动力模块后才可激活，并出现不同类型的喷头进行选择；无人机水泵需安装无人机水箱后才可激活，并可让学生选择不同类型的水泵。

学生根据不同作业环境选择不同的动力模块（推力分别为 0.6、1.2、2.5、5.1、10 公斤/个）、旋翼直径（5、10、15 cm），以确定农用无人机的负载重量。系统将根据选择的功能模块（水稻直播、植保作业、航空遥感）的重量，判断学生设计的农用无人机是否合理，并给出系统的诊断建议。如图 24 所示。



(a) 农用无人机虚拟仿真模块设计部分



(b) 农用无人机设计系统诊断结论

图 24 农用无人机设计虚拟仿真结果

2、农用无人机植保作业虚拟仿真实验

学生进入到农用无人机植保作业实验模块，启动无人机考核时间开始倒计时。学生根据地图提示，操控无人机飞到标记点，对农作物进行航空喷洒，并根据农

作物状态选择进行喷施。作物上方状态栏黄色时为病害状态，需要喷洒农药；作物上方状态栏绿色时为健康状态，不需要喷洒农药；无人机上方状态栏红色表示喷洒过量。系统根据喷洒完成后的农作物状态进行评分，如果考核期间倒计时时间结束，同样视为考核结束，并计算总得分。如图 25 所示。



图 25 农用无人机植保作业虚拟仿真结果

3、农用无人机遥感监测虚拟仿真实验

学生进入到农用无人机遥感监测实验模块，启动无人机并根据地图提示，操控无人机飞到箭头标记点，进行遥感监测模式。农用无人机飞到指定区域后，需保持五秒以完成遥感监测，系统记录下相应得分；学生继续操控无人机飞到下一目标点进行检测，当所有点检测完成后即为考核结束，并计算总得分。如图 26 所示。



图 26 农用无人机遥感监测虚拟仿真结果

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

工科及非工科专业二、三年级或自然科学类专业二、三年级本科生。

(2) 基本知识和能力要求

掌握工科科学基础知识；具备进行仿真实验的基本能力。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2020年1月10日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 8700 人，外校 200 人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：12，

具体专业：电子信息、电子科学、通信工程、微电子工程、茶学、设施农业、金融数学、环境工程、生态学、资源环境、计算科学、软件工程等

教学周期：3周期，学习人数：8700

(4) 是否面向社会提供服务：是 否

(5) 社会开放时间：2020年2月1日

(6) 已服务过的社会学习者人数：100人

4. 实验教学特色

(该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色, 限800字以内)

1、依托学校实践教学大平台, 联合国家精准农业航空中心创建虚拟仿真实验项目, 融科研与教学、专业实践与通识训练于一体, 培养学生现代工程素养。

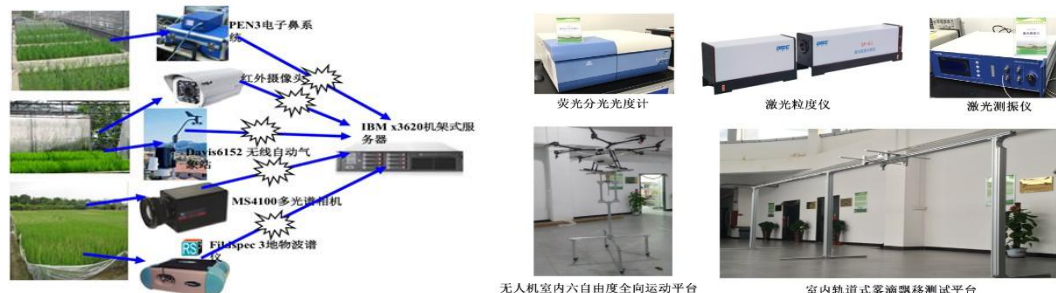
华南农业大学基础实验与实践训练中心的工程实践训练部现有教学用房6000多平方米, 各种仪器设备860多台(套)数, 设备总资产已达650余万元。拥有各种常规机床、钳工工具、铸工工具、交流弧焊机、氩弧焊机、加工中心、数控车床、数控铣床、数控线切割机床、注塑机、数控电火花机床、热处理炉、内雕机、外雕机和快速成型机等机械加工设备180多台套、工程材料性能测试设备30多台套以及电工电子技术实验仪器设备580多台套。



(a) 农用无人机展厅



(b) 风洞实验室



(c) 农业航空专用实验设备

图 27 国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心具备的实验条件

2016 年华南农业大学成立了由科技部认定的国家级研究中心——“国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心”（以下简称国家精准农业航空中心）。国家精准农业航空中心主要针对国内典型粮食作物、经济作物的航空植保施药，联合美国农业部农业研究服务署航空应用技术中心（USDA-ARS-AATRU）、澳大利亚昆士兰大学（University of Queensland）农药应用和安全中心等国外先进的农业航空应用技术研究机构，围绕精准农业航空，共同开展农业航空遥感、航空精准变量喷雾等相关技术及装备的创新研究关键技术和共性问题、推广精准农业航空技术。目前，国家精准农业航空中心已拥有科研成员 58 人，博士、硕士研究生达 100 余人，中心的科研人员博士学位比例达到 90%以上，分别来自农业工程、机械、计算机、数学、物理、农学和植保等多个不同学科。

本虚拟仿真教学课程拟依托华南农业大学校内外实践教学、科研训练平台，通过科教结合、创新提升等学科训练，转化我校精准农业航空学科研究成果为本科生实验教学项目，充分融合多学科知识集成系统，实现多学科、多知识系统、多模块协同的综合性实验教学方案，能较全面的针对农用无人机这个融合信息学、工程学的新型技术进行综合教学，满足精准农业技术虚拟仿真教学要求。

2、具备一支有国际视野和交叉学科背景的高水平教学团队

本虚拟仿真实验课程的主要成员都具有博士学位和海外留学经历，且均为长期从事精准农业航空应用技术科研和教学工作的高校教师。本课程负责人文晟博士现为基础实验与实践训练中心理论教学部主任和国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心主任助理，一直从事精准农业航空喷雾技术方面的研究工作，2018-2019 年以国家公派访问学者身份赴美国内布拉斯加州大学留学，主持了多项与精准农业航空有关的国家、省部级科研及教学改革课题。课程主要参与人兰玉彬教授现为电子学院和人工智能学院院长，兼任国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心主任，1989-2014 年在美国德州农工大学和美国农业部学习及工作，为美国农业部南方平原研究中心的高级研究员；2014 年全职回国后入职华南农业大学，是国家“千人计划”特聘专家和教育部海外名师，并在国际上率先开展了农业航空遥感和精准航空施药相结合的研究工作。本虚拟仿真课程利用项目组成员丰富的教学经验与专业知识，通过为学生传授农用无人机专业基础知识并开展相关技能训练，构建基于农用无人机的“通识教育+专业训练+创新教育”的技能训练体系，以提高学生的创新实践意识。

3、借鉴 CDIO 模式和 OBE 思想，将先进技术与实验教学内容有效融合

发展融合无人机、智能农机、人工智能、物联网、大数据、云计算、5G 等关键技术的智慧农业是构建现代化产业体系，加快建设创新国家与世界科技强国的

强有力支撑。本项目依托基础实验与实践训练中心的通识课程教学平台，联合“国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心”，落实以学生为中心的理念，增强师生互动，改革教学方法和考核方式，借鉴 CDIO 模式和 OBE 思想，结合“新工科”、“新农科”专业建设和“工程认证”，开发农用无人机产业链中关键的“精准农业航空技术与应用基础→精准农业航空施药技术理论与关键技术→精准农业航空自主飞行控制技术”虚拟仿真实验项目。项目虚实结合，紧跟智慧农业产业发展的最新动态，紧密贴合面向“新工科”、“新农科”创新人才的培养目标，从农用无人机的专业技术领域出发，结合农用无人机技术的应用现状与学生的学科知识背景，以培养多层次的复合型创新人才为靶向，以行业需求为引领，突出农用无人机通识教育核心内容，即“农用无人机各功能模块的工作原理、飞行和喷雾原理、喷雾飘移与沉积仿真分析与模拟、人工智能技术的应用、农用无人机飞行控制原理与虚拟装配、操作控制农用无人机”等知识点的教学内容，富有创新性、高阶性与挑战度（两性一度），有利于拓展工科学生的专业深度，开阔农科学生发展现代智慧农业的视野。

4、基于工程应用实际，教学方式方法多样，教学效果提升明显

针对农用无人机具体的应用场景和案例，教师通过适时编辑、上传“文字、图片、视频”等各种媒介进行教学准备，优化实验教学资源和项目，为师生间线上讨论、线下交流奠定基础，提出并完善“互动自主式”教学方法，使学生对通识教育课程的学习兴趣明显提升，专业技能和实践能力得到显著增强，并带动学生在大学生创新创业及挑战杯等学科竞赛中取得优异成绩。2020年，本虚拟仿真实验课程作为我校师生参加“中国国际飞行器设计挑战赛”、“第七届国际无人飞行器创新大赛”和“丁颖杯发明创意大赛”等赛前辅导课，参训学生荣获：大赛一等奖1项、二等奖2项、三等奖1项以及优秀团队奖（图28所示），

本虚拟仿真课程内容紧凑、时长合理、难度适宜，在提高效率的同时降低了安全风险，提高了通识教育课程的整体教学效果。项目可以提供校内外2000人同时使用；网站平台具有日志管理、数据备份、系统监控功能，保障信息安全，可以收集学生实验前辅助学习、实验过程指导、答疑、实验成绩的相关数据，收集学生对实验系统、实验设计、学习效果等方面的评价与反馈信息，同时项目已经纳入学校人才培养方案中运行。项目与兄弟院校和企业探索了开放共享机制，推进了项目的可持续发展。



图 28 学生参加大赛获奖证书

实验教学过程的混合和课后的拓展延伸，加深了学生对“精准农业航空技术”的工程理解。显著提高了学生的创新实践能力。

5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源：教学指导书 教学视频 电子教材 课程教案

(申报系统上传) 课件 (演示文稿) 其他

(2) 实验指导资源：实验指导书 操作视频 知识点课件库 习题库

(申报系统上传) 测试卷 考试系统 其他

(3) 在线教学支持方式：热线电话 实验系统即时通讯工具 论坛

支持与服务群 其他

(4) 6 名提供在线教学服务的团队成员； 2 名提供在线技术支持的技术人员；教学团队保证工作日期间提供 12 小时/日的在线服务。

6. 实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求（需提供测试带宽服务）

经测试客户端到服务器的带宽要求为 10M 及以上。本次带宽初步测试基于主流计算机配置，模拟真实网络学习环境，最大限度的还原用户上网学习虚拟仿真实验项目的需求。测试一：物理连接链路测试，测试方法：本端与连入 internet 上的本次虚拟仿真实验项目网站进行 PING 操作，测试目的：测试虚拟仿真实验项目网站间的延迟情况和丢包情况；测试二：测试线路带宽质量，测试目的：测试不同 ip 访问本虚拟仿真实验页面的加载情况，测试方法：通过 IP 代理，记录电脑端不同地域 IP 打开虚拟仿真实验项目网页的速度。**测试结果总结如下：**

①当客户端到服务器带宽小于 10M 的时候，ping 主流网站的延时值都非常的高，丢包情况也很严重，基本上保持在 50ms 以上甚至更高，丢包率也基本大于 5%；

②当客户端到服务器带宽小于 10M 的时候，在不同 IP 对本虚拟仿真实验网页打开的随机测试中，网页打开速度很慢，尤其是是三维模型的加载卡顿现象非常严重，打开测试不理想。所以建议用户端到服务器的带宽要求为 10M 及以上。

(2) 说明能够支持的同时在线人数（需提供在线排队提示服务）

本虚拟仿真实验项目的服务器能够提供的并发响应的最佳数量为 500 人。经过测试，模拟用户在数据量为 5000、10000 的情况下，每分钟增加用户数 100 个进行循环递增，最终测试用户达到 10000 的在线访问量，进行多次连续测试，完成系统大数据量测试目标。

在测试环境中，模拟真实使用环境的压力负载，重现缺陷发生状态，并监控的客户端和服务器的性能指标。

经过以上测试，当用户数在 500 以下时，各项业务操作均能流畅进行；当用户数上升至 2000 时，在线虚拟实验操作的实验模块下载会出现卡顿现象，其它业务操作能够顺利进行；当用户数上升至 5000 人以上时，业务操作出现假死现象。

据本次性能测试的结果，当用户数 2000 以下，并发进行业务操作时，基本能够维持平台的正常运行；当用户数超过 5000 时，服务器的 CPU 占用持续达到 100%，并出现假死现象，系统不能够正常运行。

因此经测试该项目支持 500 个学生同时在线并发访问和请求，如果单个实验被占用，则提示后面进行在线等待，等待前面一个预约实验结束后，进入下一个预约队列。

6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

(1) 计算机操作系统和版本要求

Windows 操作系统： windows7 64 位、win8 64 位及以上版本操作系统

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

微软 Surface 平板：要求操作系统 win7 32 位以上操作系统

(3) 支持移动端：是 否

6-3 用户非操作系统软件配置要求（兼容至少 2 种及以上主流浏览器）

(1) 非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）

谷歌浏览器 IE 浏览器 360 浏览器 火狐浏览器 其他

(2) 需要特定插件 是 否

如勾选“是”，请填写：

插件名称：（插件全称）

插件容量：M

下载链接：

(3) 其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）

无需其他要求。虚拟实验采用 B/S 架构，基于浏览器打开应用，无需下载。

6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

(1) 计算机硬件配置要求

CPU 要求：建议采用 intel 酷睿 i3 2.6G 赫兹及以上 CPU。

内存要求：DDR3 4GB 以上内存。

显存要求：1GB 以上显存。

存储容量要求：系统盘可用空间 10GB 及以上。

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无

6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

(1) 计算机特殊外置硬件要求

无

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求：无 有

如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

6-6 网络安全（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）

(1) 证书编号：

(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明

7. 实验教学技术架构及主要研发技术

指标	内容
系统架构图及简要说明	<p>本项目的教学资源可实现对相关实验课程面向国内各大院校开展必修课或选修课的虚拟仿真实验教学，以计算机仿真技术、多媒体技术和网络技术为依托，采用面向服务的软件架构开发具有自主知识产权，集实物仿真、场景虚拟、创新设计、智能指导、虚拟实验结果自动批改和教学管理于一体，具有良好自主性、交互性和可扩展性的虚拟实验项目，同时为其它学科的相关实验课程提供互联的标准接口，底层的构件库，并为上层的调用提供标准化的调用接口，为用户提供统一的访问接入服务和通用的用户服务工具包。系统总体架构图如下：</p>

实验 教学	<p>开发技术</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/>VR <input type="checkbox"/>AR <input type="checkbox"/>MR <input checked="" type="checkbox"/>3D 仿真 <input checked="" type="checkbox"/>二维动画 <input checked="" type="checkbox"/>HTML5 <input type="checkbox"/>其他</p>
	<p>开发工具</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/>Unity3D <input checked="" type="checkbox"/>3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/>Maya <input type="checkbox"/>ZBrush <input type="checkbox"/>SketchUp <input checked="" type="checkbox"/>Adobe Flash <input type="checkbox"/>Unreal Development Kit <input type="checkbox"/>Animate CC <input type="checkbox"/>Blender <input type="checkbox"/>Visual Studio <input type="checkbox"/>其他</p>
	<p>运行环境</p>	<p>服务器 CPU 12 核、内存 128 GB、磁盘 4000 GB、 显存 8 GB、GPU 型号 RTX1080Ti 操作系统 <input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他 具体版本： 数据库 <input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle <input type="checkbox"/>其他 备注说明（需要其他硬件设备或服务器数量 多于 1 台时请说明） 是否支持云渲染： <input type="radio"/>是 <input checked="" type="radio"/>否</p>

实验品质（如：单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等）	单场景模型总面数：100,000 贴图分辨率：1920x1080 每帧渲染次数：5 动作反馈时间：0.1s 显示刷新率：60Hz 分辨率：1920x1080
---	---

8. 实验教学课程持续建设服务计划

（本实验教学课程今后5年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数）

（1）课程持续建设

日期	描述
第一年	继续采取校企合作研发的建设方式，在内容上扩充升华，并在华南农业大学和中山大学的农科与工科学生中推广应用。
第二年	向省外兄弟高校，如广西大学、福建农林大学、江西农业大学等，开展推介及资源共享；加强高校与相关企业的联系，将本实验教学课程面向无人机企业进行推广应用。
第三年	提升虚拟仿真课程内容，加强教师培训，建立校企的互动沟通机制，实现课程进入教学资源建设共享联盟，向高校和社会提供持续的开放服务。
第四年	通过举办会议、成立论坛和接待参访等形式，与国内外兄弟院校进行虚拟仿真实验资源项目建设思路、经验和成果的资源共享。
第五年	不断补充、更新、完善教学资源，面向社会提供免登陆链接，提供教学训练资源，面向定点企业提供培训和考核服务。

其他描述：

持续建设与更新计划

1) 特色与创新资源项目建设和更新：不断完善实验内容，最终建成包含农业无人机产业“全过程，全流程”的完整虚拟仿真实验体系建设，在有限的课时中引导学生进行更多的自主性实验。

2) 开放式虚拟仿真管理平台建设和更新：增强平台对优质资源的共享能力和稳定性，满足更多用户的访问。加强虚实统一管理能力，结合华南农业大学虚拟仿真实际教学情况，建立校级开放式虚拟仿真管理平台。

（2）面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
----	-------	------	-------	------

第一年	2	1000	1	50
第二年	3	1500	2	100
第三年	5	2000	3	120
第四年	10	3000	5	150
第五年	15	5000	8	200

其他描述：
持续提供教学服务计划：
 1) 在现有基础上，通过多种方式，与兄弟院校及农用无人机企业（广州极飞、深圳大疆）进行合作，谋求资源共享，拓展教学服务广度和深度；
 2) 综合应用多媒体、大数据、三维建模、人工智能、人机交互、传感器、超级计算、虚拟现实、增强现实、云计算等网络化、数字化、智能化技术手段，丰富虚拟仿真实验内容，优化农用无人机通识课程的实验模块；鼓励并引导学生通过“大学生挑战杯”、“创新创业大赛”等学科竞赛，促进和提升学生的专业实践能力。

9. 知识产权

软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	农用无人机设计与飞行作业虚拟仿真实验软件
是否与课程名称一致	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作人填写栏进行填报。	
著作权人	著作权人类型
	<input checked="" type="checkbox"/> 课程所属学校 <input type="checkbox"/> 企业 <input type="checkbox"/> 课程负责人 <input type="checkbox"/> 学校团队成员 <input type="checkbox"/> 企业人员 <input type="checkbox"/> 其他
权利范围	发表权、署名权、修改权、发行权、信息网络传播权
软件著作登记号	
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	2021R111L1761386

10. 诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人（签字）：

年 月 日

11. 附件材料清单

1. 课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）

（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

2. 课程内容学术性评价意见（必须提供）

[由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于3名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。]

3. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）