

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: 《小麦变量播种施肥机控制参数设计与实验》

专业类代码: 0806

负责人: 汪小昆

联系电话: 13951606492

申报学校: 南京农业大学

填表日期: 2021.5.5

推荐单位:

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	小麦变量播种施肥机控制参数设计与实验	是否曾被推荐	○是○否
实验所属课程(可填多个)	自动控制原理		
性质	○独立实验课○课程实验		
实验对应专业	农业电气化、农业机械化及其自动化		
实验类型	○基础练习型 ○综合设计型○研究探索型 ○其他		
虚拟仿真必要性	☒ 高危或极端环境 ☒ 高成本、高消耗 ☐ 不可逆操作 ☒ 大型综合训练		
实验语言	○中文 ○中文+外文字幕（语种） ○外文（语种）		
实验已开设期次	共 4 次： 1. 2017.9、200 人 2. 2018.9、175 人 3. 2019.9、202 人 4. 2020.9、225 人		
有效链接网址	http://mool.njau.edu.cn/exp/3.html		

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	汪小昂	1968.8	南京农业大学	院长	教授	13951606492	wangxiaocha@njau.edu.cn	项目实施 方案设计 在线教学人员
2	丁永前	1975.9	南京农业大学		副教授	13770853275	yongqian@njau.edu.cn	项目实施 方案设计 在线教学人员
3	章永年	1984.1	南京农业大学	副主任	副教授	13401920096	hczyn@njau.edu.cn	技术实施 方案设计 在线教学人员
4	林相泽	1977.3	南京农业大学		教授	13813936819	xzlin@njau.edu.cn	技术实施 方案设计

								在线教学人员
5	余洪锋	1988.6	南京农业大学		实验员	18751807760	hongfengyu@ edu.cn	实验环节 方案设计 在线服务人员

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	李玉民	1973.4	南京农业大学		讲师	在线教学人员
2	王胜红	1978.5	南京农业大学		讲师	实验装备 方案设计 在线教学人员
3	孙国祥	1985.8	南京农业大学		副教授	实验环节 方案设计 在线服务人员
4	王超群	1974.8	南京农业大学		讲师	技术实施 方案设计 在线教学人员
5	张 豪	1987.6	南京恒点信息技术有限公司		工程师	后端开发 技术支持人员
6	王 宇	1990.3	南京恒点信息技术有限公司		工程师	平台技术服务 在线服务人员

团队总人数： 11 人 其中高校人员数量： 9 人 企业人员数量： 2 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）

团队成员长期从事农业电气化、农业机械化及其自动化专业的自动控制原理教学工作，近五年累计完成该虚拟实验的教学工作 4 次，覆盖 800 余人。

团队负责人汪小昆教授现任南京农业大学工学院院长，农业工程一级学科负责人，博士生导师，江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人，全国农机化科技创新专家，中国农业机械学会常务理事，中国农业工程学会和中国农业机械学会教育委员会副主任委员。长期从事设施农业轻简化、智能化装备、施肥机械装备等领域的教学和科研，主持多个国家自然科学基金、国家“863”重点项目、国家科技支撑计划、江苏省科技支撑计划等项目，科研成果获教育部技术发明二等奖以及江苏省农业科技奖等多项。在国内外核心期刊上发表学术论文 100 多篇，获得授权发明专利 20 多项。2018 年获得“江苏农机行业改革开放四十年功勋人物”称号。

主编的《农业机械学》教材获江苏省重点教材和农业农村部“十三五”规划教

材，承担了江苏省教改重点课题和教育部产学研合作协同育人项目各 1 项。指导 20 多名本科生参加国际国内科技创新大赛，获得包括京都国际大学生创业大赛一等奖指导教师、“创青春”全国大学生创业计划大赛江苏省选拔赛银奖指导教师等荣誉称号。

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）

自动控制原理是一门平台课程，是学校农业工程类专业的专业基础课。为了更好地发挥学科优势，积极助推学校“世界一流农业大学”的建设进程，学院在人才培养方面大胆探索与实践，积极开展新工科背景下的教学改革活动，主推科研成果转化教学，将农业工程中的典型应用案例融入到课程教学之中，建设综合性、设计型实践平台项目，培养学生的综合设计能力和工程应用能力，体现专业特色。

“小麦变量播种施肥机控制参数设计与实验”是其中一项虚拟仿真实验示范项目，作为自动控制原理（经典控制部分）课程的创新实验教学项目，旨在推进相关的教学改革与建设活动，为人才培养服务。

1、实验的必要性及实用性

小麦变量施肥机开设实体实验存在诸多困难：

（1）作物生长季节性强，施肥窗口期短，实验教学计划难安排

作物生长的季节性强，施肥窗口期短，其生育阶段有时还会受到天气情况的影响而推迟或提前，实验的时间很难把握，当前的教学计划无法适应作物的生长季节和具体的施肥时间，往往使实体实验无法实施。

（2）学生无拖拉机驾驶资质，操作安全难以保证

田间作业环境是测试施肥机械作业性能的最佳测试平台，但由于播种施肥机需要有大马力拖拉机牵引作业，对安全驾驶有特殊要求，一般学生并没有驾驶拖拉机的资质，操作机械的安全性难以保证。同时，客观上无有效途径供学生取得驾驶资质，主观上学生也缺乏主动获取驾驶资质的动力，这使得实体实验很难开设。

（3）实体实验的规模难以满足教学需求

由于实体实验需要大型场地，需要多套设备，实体教学往往只能开设示范性实验，难以达到理想的教学效果。

（4）实际田间施肥量难统计，动态性能难评价

就目前的技术条件而言，播种施肥机的动态作业性能尚缺乏有效的技术手段进行评价，只能给出阶段性的整体评价。而肥料播入田间后，很难收集统计，这为作业性能的评价带来实质困难。

而虚拟仿真实验可以完美地解决以上问题，既突破了教学条件的限制，也克服了技术条件的限制，使现实的不可能成为可能，实现了重要性与可行性的有效统一。

2、教学设计的合理性

（1）由浅入深，逐步引导式教学

实验总体分为3个环节，首先是认知学习；然后是电机驱动系统的建模和速度闭环控制，这是终端执行环节的运行问题；执行环节运行以后，才是上层控制

策略问题；解决控制策略以后，才是控制效果的性能测试问题，和更进一步的变量作业问题。整个实验环节是由浅入深，前后呼应。

通过系列实验的实施，使学生掌握面对复杂工程问题时可采用的一般性解决思路和实施路径，锻炼宏观分析复杂工程问题的能力。

(2) 举一反三，开展探究式学习

对电机驱动系统的实验建模问题，只提示学生电机驱动系统的简化模型格式，参数如何确定，由学生自己根据理论模型中输入输出物理量的具体关系去确定测试方案。对电机的双闭环控制结构，只给出内环转速控制的设计思路，转速的具体实施方案和外环的控制方案由学生自己思考解决。

促进学生自主学习思考，转变“教师教为主”的教学现状，倡导“学生学为主”的教学理念，锻炼开展探究式和自主式学习能力。

(3) 组织协调，开展合作式学习

整体实验项目的实施，至少可以分成三个方面，电机建模和控制，播量施肥机的整体控制策略，以及基于光谱信息的变量施肥策略等，具体如何分工可以由学生的自主理解去解决。

分工与合作需要建立在对项目分析和理解的基础之上，通过项目分工，锻炼学生宏观分析问题的能力，体会团队分工配合的必要性与重要性。

(4) 虚实结合，增强学生创新能力

虚拟仿真项目目前存在的主要不足是趋同性太强，学生的实验结果差异性小，难以起到考核能力的需要，本项目在实验过程的一些关键环节中引入与工程实际相符的干扰信息、引入实际实验数据作为基础数据库，增加真实性，体现差异性，提高项目的挑战度。

通过引入实际工程数据，增强学生处理实际问题的能力，使学生的实验结果的区分度增加，对学生的能力考核更加真实有效。

3、实验系统的先进性

(1) 虚拟播种施肥及监控设备：开发与实际功能结构一致的播种施肥一体机，关键设备功能有介绍，结构可拆装，性能有演示。

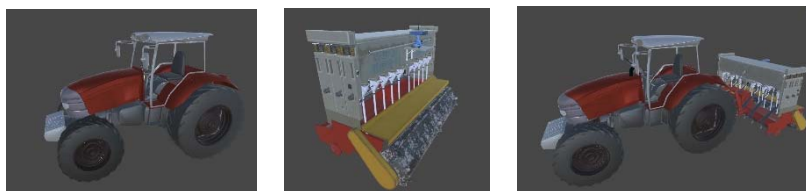


图1 虚拟播种施肥及监控设备

(2) 可预设运行模型参数的电机驱动系统：通过虚拟实验得到的系统响应数据，响应过程引入与实际运行相似的干扰信息，每次测量结果不重复，通过数字分析处理后可测定系统参数；

(3) 拖拉机虚拟驾驶系统：可按需求控制拖拉机行驶方向、速度、转向等，拖拉机挂挡后的行驶速度为结合真实场景响应速度的高仿真数据，使测试过程具

有更强的真实性。

(4) 传感系统：可以检测虚拟设备的运行参数，主要为槽轮转速和拖拉机行驶速度；

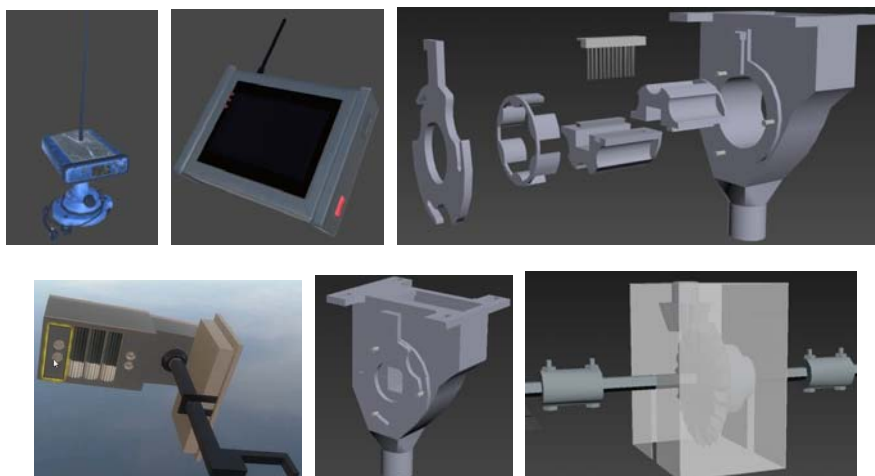


图 2 系统主要功能部件

(5) 虚拟麦田：能布局麦苗位置和长势，形成预设的作业处方图，可根据需要设置土壤行驶阻力；可按需要划定感测区域大小，能够感测落入划定区域内肥料量，为检测作业性能提供实验数据；

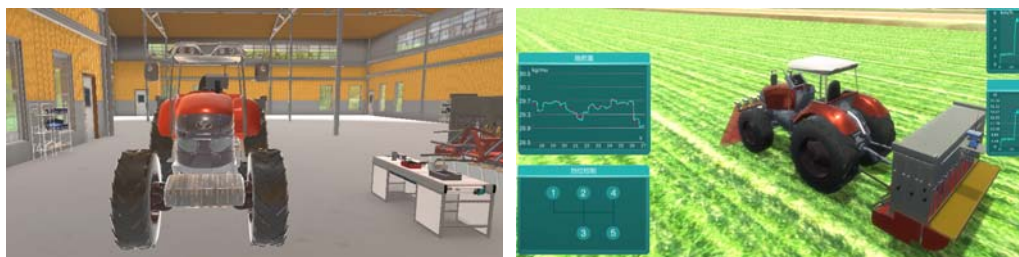


图 3 实验虚拟测试场景

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

实验结束后预期达到以下知识、能力水平：

(1) 知识水平

- ①掌握变量播种施肥工作原理及实施方法；
- ②掌握一阶惯性系统模型参数的实验测定方法；
- ③掌握电机转速闭环控制的典型控制器及其控制参数的经典设计方法；
- ④掌握标定方法及变异系数计算方法；
- ⑤掌握播量控制策略的构建方法。

(2) 能力水平

- ①能够将控制系统数学模型用于小麦变量播种施肥机控制中的复杂工程技术问题推演、分析；
- ②具备 PID 控制器的设计开发能力；
- ③具备农业工程、自动控制领域的自主学习能力。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时： 48 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)

通过对施肥机机械系统、检测系统、驱动系统以及作业环境的准确建模，使得实验过程的作业装备、控制方法和作业过程与实际变量施肥作业完全一致，加强学生对自动控制原理中的控制系统模型和农业装备变量施肥机原理的深入理解。

知识点：共 6 个

1、掌握外槽轮式播种施肥机工作原理、变量播种施肥工作原理及实施方法；

变量施肥是相对于传统的“凭经验均匀施肥”而言，其目的是实现按需施肥，对施肥作业机械而言便是根据作物长势实时调整目标施肥量。主要有施肥处方图在线指导变量施肥（图 4）、在线检测指导变量施肥（图 5）两种实施途径。



图 4 作业处方图示例

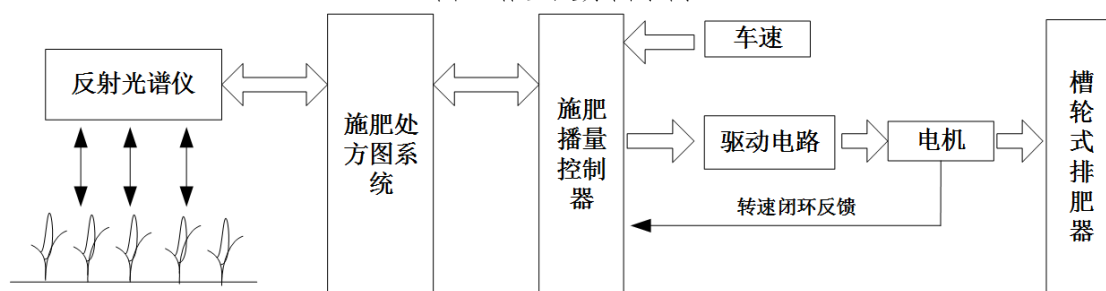


图 5 在线变量施肥作业控制流程

2、掌握一、二阶系统的时频域分析方法，并结合工程技术方法获取模型参数；

电机驱动系统的传递函数模型为一阶惯性系统，通过实验获得电机的开环响应曲线时（如图 6 所示），可以将一定长度的稳态段数据进行平均作为稳态值。将方程线性化应用最小二乘法，可以确定出时间常数 T 。

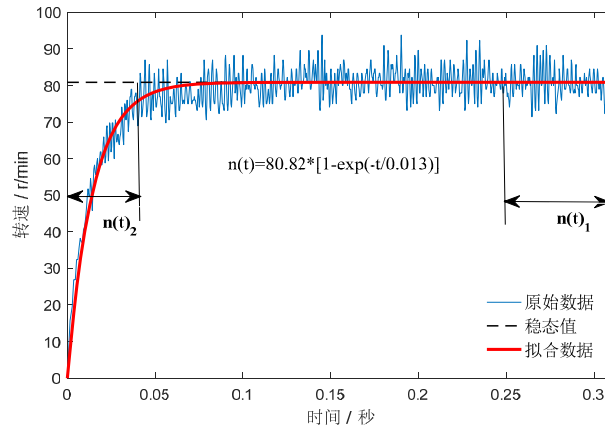


图 6 参数拟合过程及拟合结果图

3、应用时频域分析与综合方法设计闭环控制器，考虑工程应用时的实际制约因素，达到理论分析与实际应用相统一；

如图 7 所示，转速控制采用 PI 可以消除稳态误差。

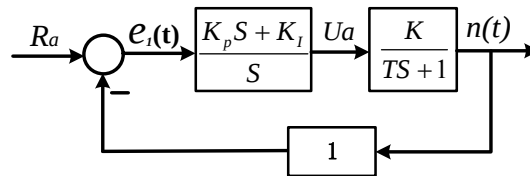


图 7 闭环控制框图

4、构建施肥量双闭环控制结构，熟悉工程应用中典型的标定方法及评价依据；根据测得的转速-流量数据，进行拟合分析，建立转速-流量关系方程，完成转速-流量标定工作，引入变异系数进行约束评价。

5、对所设计的控制系统开展台架性能测试，在了解理论评价指标的基础上，掌握存在工程干扰的情况下评价控制性能的方法。

由于没有合适的播量检测装置，实际的控制结构图如图 8 所示，其控制精度与标定结果密切相关。

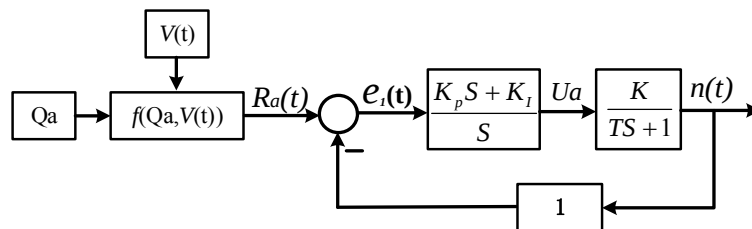


图 8 基于转速-流量关系曲线的播量控制结构图

6、掌握主动光源式反射光谱仪测量原理及目标施肥量获取方法

近红外波段的光几乎被冠层全反射，而可见光波段可以被冠层叶绿素强吸收，一般情况下作物的营养状况越好，可见光部分的反射率越小，NDVI 值也越大。不同的作物有不同的敏感波段，有不同的定量对应关系。光谱仪（图 9）的主要功能便是获取光谱指数值，然后根据光谱指数和作物营养状况之间的关系模型，

给出目标施肥量，指导施肥作业。



图 9 光谱仪工作过程示意图

(2) 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）

变量施肥作业的性能主要取决于控制方法对作业指令的响应性能与执行能力，这要求对控制对象进行准确建模，同时能构建适应性强的控制算法对作业环境条件作出合理响应。本实验系统对两个核心要素进行了高度仿真设计：(1) 内嵌了真实施肥机驱动系统模型，在系统响应过程中引入与实际运行相似的干扰信息，每次测量结果不重复，以最大程度模拟实际的驱动系统，从而使得模型能对输入的控制信号作出真实的响应；(2) 将大量田间实际作业时记录的行驶速度、电机转速数据、NDVI 分布等传感信息作为基础数据库内嵌入系统，体现作业场景的真实性和复杂性，使得出的仿真结果具有较高的参考价值。

3-5 实验教学过程与实验方法

(1) 实验教学过程

实验项目的最终目标是实现精确播种和变量施肥作业，是一个复杂的工程问题，需将整个实验过程分解成几个相对独立而又前后呼应的实验环节，从实验内容的安排上是由浅入深，逐步引导的过程。如图 10 所示

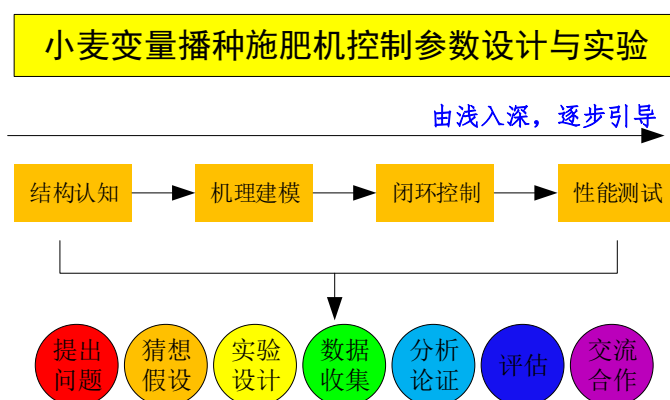


图 10 实验教学过程

实验总体分为 3 个环节，首先是认知学习；然后是电机驱动系统的建模和速

度闭环控制，这是终端执行环节的运行问题；执行环节运行以后，才是上层控制策略问题；解决控制策略以后，才是控制效果的性能测试问题，和更进一步的变量作业问题。整个实验环节是由浅入深，前后呼应。

在每次实验时，根据探究的几要素采用以下教学过程：

①**提出问题**：针对实验内容巧妙设问，激发学生的兴趣，营造亲切平和的教学氛围。

②**猜想假设**：引导学生根据所学知识对提出的问题进行猜想，引导学生尽快进入教学主题。

③**实验设计**：这一环节是教学的核心。启发学生讨论、思考，让学生理解实验研究方案，积极投入探索学习。

④**数据收集**：在实验中加强实验规范操作、安全操作的指导，实验数据及时填入记录表中。

⑤**分析论证**：实质就是对探究的数据进行描述，对探究现象归纳总结的过程。

⑥**评估**：评估的实质是对探究的反思过程，讨论科学探究中所存在的问题、获得的发现和改进建议等。

⑦**交流合作**：全班或同一组内围绕得到什么结论，如何得出结论，有什么体会等问题进行讨论与交流。

（2）实验方法

实验过程综合运行以下实验方法，促进学生对知识的理解与应用，强化实践创新能力的培养。

感性认知方法：对播种施肥关键部件的机械结构、工作原理等认知性实验内容，结合三维高仿真模型，采用自主拆装和动态演示的方式，增强学生的感性认知，加快实验执行进程。

数据拟合分析法：由于系统响应中引入了与工程实际相似的干扰，控制对象模型参数的测定，系统运行效果的分析，均需对实测数据进行统计分析，运用各种线性或非线形拟合方法消除干扰的影响，才能应用理论分析手段获得相关测试结果。

工程经验法：电机模型采用工程简化模型，电机模型参数无法用理论方法精确分析，可以采用工程实际中的经验处理法进行测试分析；对控制算法的设计，可以根据模型参数的测定结果，应用实际工程中广泛应用的参数整定法进行设计，结合实测结果进行优化修正。这些方法的应用不同于教科书中的理论分析方法，是面临实际工程问题行之有效的方法，但同时，这些方法也是理论方法的推演结果，理论与实际相结合，便于学生更加深刻地理解所学的知识。

多因素试验设计法：田间变量施肥作业效果受作业速度、采样频率、目标施肥量等多个测试因素的影响，其综合性能分析需要多因素试验设计方案的设计为前提。

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）

（1）学生交互性操作步骤，共 13 步

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	1.了解变量施肥机主要功能部件结构原理 2.了解光谱反射仪结构与原理 3.了解变量施肥的实时途径	45min	1.达到预习时长（8 分） 2.认知学习测试满分（12 分）	20	☒ 操作成绩 ☒ 实验报告 ☒ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
2	掌握电机驱动模型的数学表达形式	4min	正确选择稳态数据作为计算依据	2	
3	掌握一阶惯性系统模型参数的实验测定方法	8min	能根据系统的稳态特性及实验数据计算开环增益 K	5	
4	掌握最小二乘法在指数函数模型参数测定中的应用	11min	参数 K 和 T 的综合测试结果与系统内置参数之间的相对误差作为评判依据	7	
5	掌握电机转速闭环控制的典型控制器及其控制参数的经典设计方法	10min	正确分析系统特征和模型参数，合理确定 K_p 和 K_i	6	
6	掌握理论闭环模型单位阶跃性能指标计算方法	7min	根据阶跃响应曲线正确计算相关性能指标	5	
7	掌握误差分析方法	5min	理论所得的性能指标结果和实际所得性能指标之间的差异程度作为评判依据	2	
8	掌握播量标定的步骤方法	10min	标定结果参数 k_q 与内置参数之间的相对偏差程度作为评判依据	6	
9	掌握变异系数概念、测定方法	12min	变异系数与内置参数之间的相对偏差程度作为评判依据	6	
10	学习并掌握播量控制策略的构建方法	10min	正确推导播量控制策略函数，合理关键系数	6	
11	掌握播量闭环控制实验性能指标计算	13min	播量闭环控制实验性能指标与系统内置系统指标偏差程度作为评判依据	7	
12	学习和掌握利用实时反射光谱信息在线指导变量施肥作业的实施途径，	22min	根据测量的实验数据，计算每个作业单元内光谱检测设备获取的目标施肥量和实际施肥量之	14	

	学习反射光谱在线测量信息形成作业处方图的方法		间的差异（用相对偏差表征），表征施肥控制系统的整体作业性能		
13	掌握变量施肥作业质量综合评价方法	23min	相对偏差的平均值和标准差作为综合评价指标	14	

(2) 交互性步骤详细说明

1. 总体框架内容展示

实验项目共分 3 个环节，如图 10 所示。

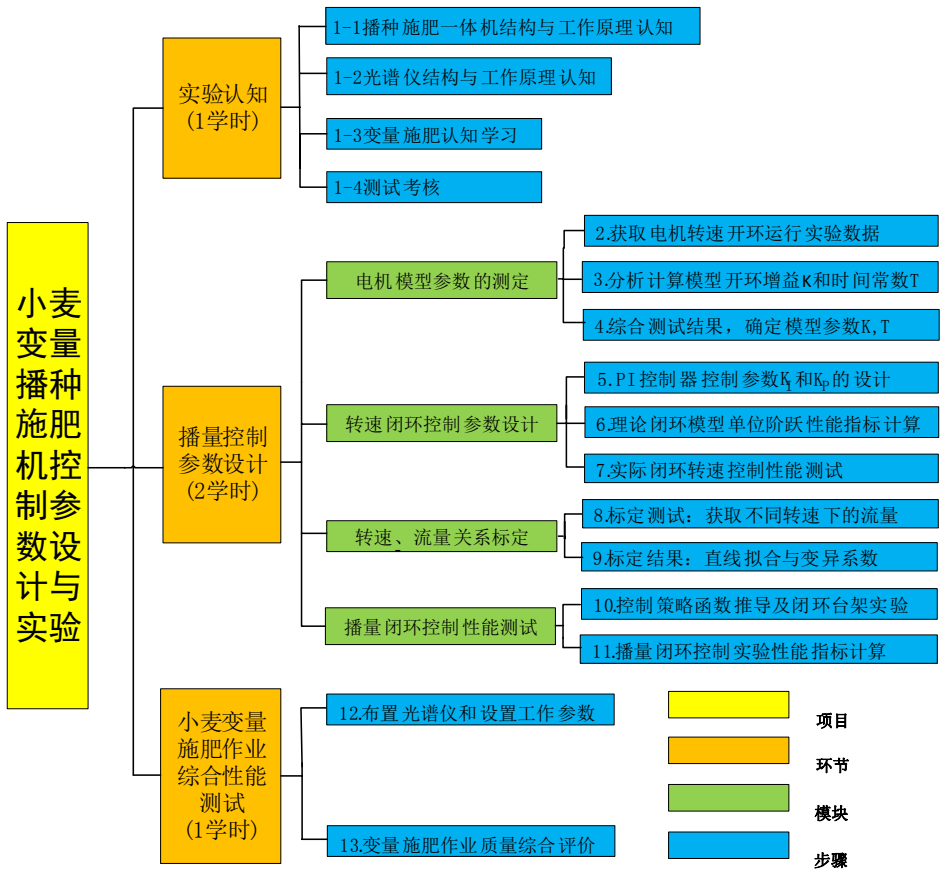


图 10 整体框架内容展示

第 1 环节为**认知学习**，分为“播种施肥一体机结构和原理、主动光源式反射光谱仪结构原理、变量施肥原理、认知测试”4 个部分，计 1 个步骤，由学生自学完成，作为实验预习内容，学生只有在通过测试合格后方可进行实验。

第 2 环节为**播量控制参数设计**环节，共有 4 个模块，分别为：电机模型参数测定、电机闭环控制参数设计、转速-流量关系标定及变异系数计算、播量闭环控制性能测试，共计 10 个步骤。

第 3 环节为**小麦变量施肥作业综合性能测试**，共分 2 个步骤；布置光谱仪和布置工作参数。

3 个环节合计 13 个步骤。各实验步骤遵循一定的流程，各步骤之间有先后顺序，相互之间前后呼应，实验流程图如图 11 所示。

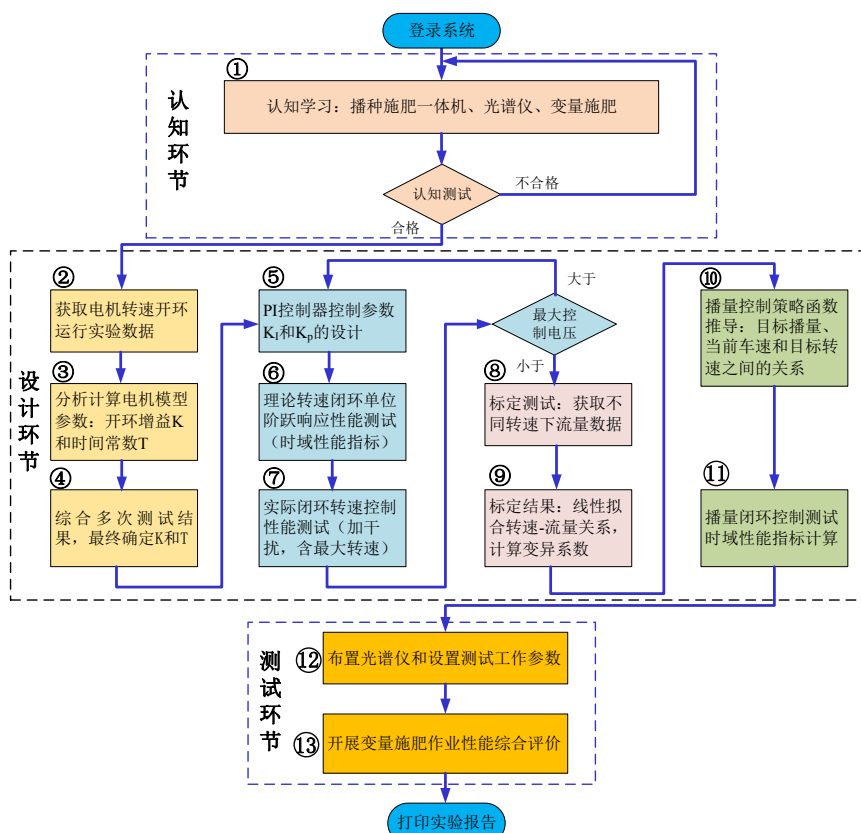


图 11 实验操作流程

2、学生交互式实验操作步骤说明

学生登录可通过一下网址进入虚拟仿真实验项目：<http://mool.njau.edu.cn/exp/3.html>，实验过程共 4 学时：其中认知自学 1 学时，播量控制参数设计 2 学时，小麦变量施肥作业性能测试 1 学时。

13 个操作步骤的具体说明如下。

① 认知学习

具体学习施肥播种一体机主要功能部件的结构、工作原理与播量控制方法；学习主动光源式反射光谱仪的主要功能部件、结构和工作原理；学习变量施肥的概念、目的、意义和实施途径。学习完成后，需要通过认知学习测试后方可进入具体的实验环节。

认知考核题目均为客观题，系统随机给出一套 10 个题目的测试卷，主要考核以下内容：外槽轮式播种施肥器各主要部件的功能（外槽轮、毛刷、开度等）；播种施肥一体机其它功能部件的作用（旋耕机、镇压轮等）；播量控制的调节方法；光谱仪主要功能部件的作用；光谱仪的工作原理（如何实现检测的，主动光源的概念等）；变量施肥相关的知识；变量施肥的实施途径。



图 12 认知部分学习场景

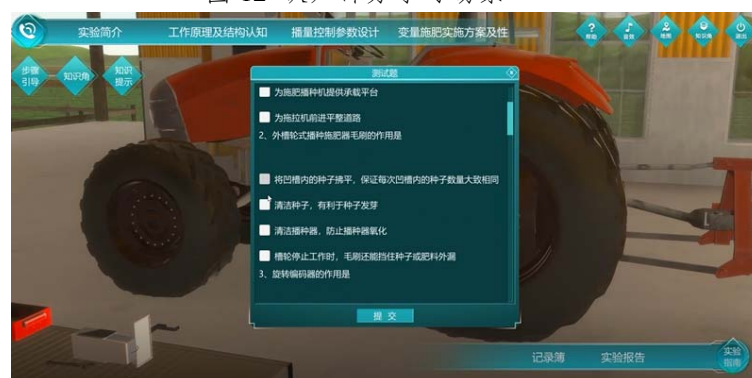


图 13 认知部分的考核测试界面

② 获取电机转速开环运行实验数据

该步骤为“电机模型参数测定”模块中的第 1 个步骤，点击主界面上方“播量控制参数设计”菜单，在下拉采用中选择“电机模型参数测定”模块，在图 14 所示的界面中点击高亮控制器（实验当前步骤所需的仪器将高亮显示，下同），将显示参数设置界面，通过拖拉“进度条”设置电机控制电压（0—24V），点击“运行系统”，获取系统的开环实验数据，界面如图 15 所示。观察实验运行结果，在右侧编辑框内输入计算 K 和 T 所需的实验数据长度，点击计算可以下载实验数据，供计算参数时使用。



图 14 高亮显示的控制器以设置实验参数



图 15 点击转速开环运行界面

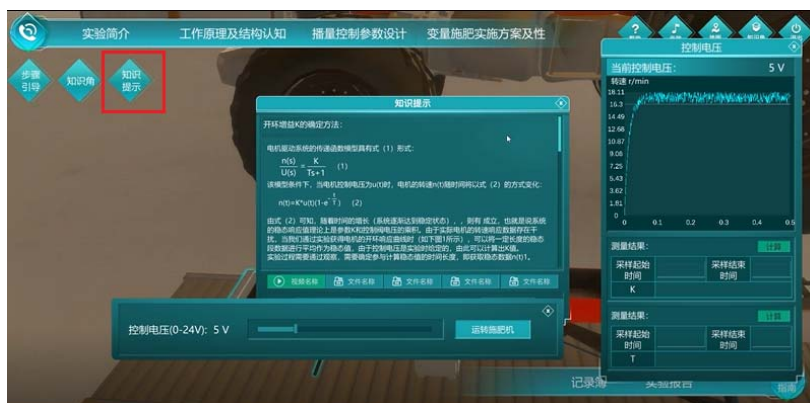


图 16 获取当前步骤的知识点提示帮助

注意事项：在选取计算 K 值的数据长度时，注意选取稳态数据；计算 T 所需的数据长度时，注意避免选取响应幅值可能超过稳态响应值的数据，否则将响应采用拟合方式计算出的 T 值，T 值将偏大，这将影响后继实验过程的测试数据。若对当前步骤的知识有疑问可以点击界面左上方的“知识提示”获得帮助（后继实验功能相同），如图 16 所示。

③ 计算模型的开环增益 K 和时间常数 T

根据系统的稳态特性，根据实验数据计算开环增益 K，根据理论开环响应函数形式，对实测数据进行拟合分析，计算参数 T。点击“记录簿”可以查看当前步骤的实验数据，如图 17 所示。



图 17 实验结果记录表

④ 综合测试结果，确定模型参数

由于测试过程融合了实际工程干扰信息，多次实验测试结果存在差异，为了更加有效准确地表达电机的模型参数，需要综合分析测试结果，计算参数的误差分布情况。点击界面右下角“实验报告”，将参数输入系统并保存，供后继实验环节使用，同时在下方编辑框撰写测试分析材料。相关操作界面如图 18 所示。



图 18 阶段测试报告撰写

⑤ PI 控制器控制参数 K_I 和 K_P 设计

点击上方主菜单“播量控制参数设计”中的“电机转速控制参数设计”模块学生根据所学控制课程相关理论知识，分析系统的开环和闭环传递函数，设计合适的参数 K_P 和 K_I 。将计算得到的 K_P 和 K_I 输入图 19 界面。



图 19 电机转速控制参数输入界面

注意事项：对系统运算仿真而言，输入任意一组控制参数，都将有对应的控制结果输出，有时从控制结果无法看出控制参数的是否合理。本步骤的参数设计需仔细分析系统的特征和所测定的模型参数，分析系统开环传递函数零极点的相对位置对闭环特性的影响，确定 K_P 和 K_I 两参数应该满足的必要条件，否则有可能出现转速输出合理，而控制电压不合理（控制电压过高，实际中将使电机烧坏）。这种情况将在闭环转速性能测试中被系统检测出来，实验者将被要求重新设计参数开展实验过程。

⑥ 理论闭环模型单位阶跃性能指标计算

学生根据自己测定的开环模型参数（ K 和 T ）和设计 PI 控制器控制参数（ K_I

和 K_p)，开展单位阶跃响应测试，实际操作时，学生可自主选择“目标转速”、“采样频率”，点击“运转施肥机”按钮，可生成理论单位阶跃响应和实际转速控制曲线，学生进行理论分析，给出动态响应曲线和相关性能指标（峰值时间，超调量，调节时间和稳态值），具体界面如图 20。



图 20 单位阶跃响应测试

⑦ 实际闭环转速控制性能测试

学生至少选择 3 个目标转速开展闭环控制实验，根据实验测得数据，在系统填写实验数据分析表，实验测试结果记录在系统记录簿中，如图 21 所示。



图 21 闭环测试性能指标

注意事项:

注意观察闭环响应曲线中的红色部分与实测数据之间的关联性，红色曲线是按照实验者自己设计的控制参数和系统内置的电机模型绘制的理论曲线，如果上一模块的模型参数测定误差较大，则性能指标计算结果和单位阶跃响应中计算的性能指标之间将产生较大的误差。

⑧ 标定测试：获取不同转速下的流量数据

点击上方主菜单“播量控制参数设计”中的“播量特性标定”模块，首先确定播量标定范围，建议标定范围为 5r/min-60r/min，标定时在该范围内定间隔取不同转速目标进行标定，设定标定测试时长：为了使每个转速下的流量具有稳定性，一般要求每个转速下的运行时间不小于 2min,设置完成后，点击“运转施肥机”按钮，系统开始启动，标定实验参数设定界面如图 22 所示。每个转速下的测试数据可点

击“记录簿”查看，如图 23 所示，不同施肥口的播量数据将用于变异系数的计算。



图 22 标定测试界面



图 23 标定测试数据

⑨ 标定结果：直线拟合和变异系数计算

标定测试完成后，点击“纪录簿”查看记录结果，确认后可由系统计算出转速与流量之间的拟合关系，并绘制出标定曲线，显示拟合直线的两个参数和变异系数 CV 值。点击“实验报告”按钮，在显示的界面中点击“递交”，将测试结果录入系统，该结果将在播量闭环控制中得到应用。标定曲线拟合和变异系数计算界面如图 24 所示。



图 24 标定结果展示界面

⑩ 控制策略函数推导及闭环台架实验

该环节学生需自主推导播量控制策略函数 $f(Qa, V(t))$ ，在操作界面中输入函数关系式的关键系数。同时学生需设定测试参数：目标播量、运行速度和运行时长。点击“确定”按钮运行播量闭环控制，获取播量闭环控制运行数据，测试界面如图 25 所示。

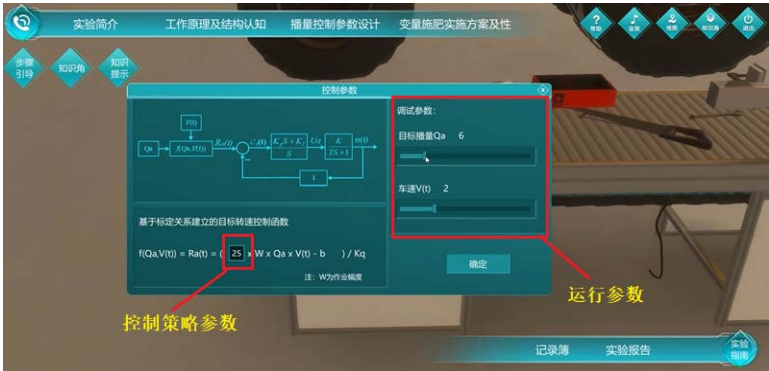


图 25 播量控制策略设计及测试参数设置界面

11 播量闭环控制实验性能指标计算

学生按照测试步骤⑩开展 3 次播量控制台架实验，获取的测试数据用以播量闭环控制实验性能指标计算。

台架实验结束后，计算播量性能指标，系统计算出实际总播量和动态性能指标，主要是相对偏差的平均值，最大值和标准差。如图 26 所示。



图 26 播量闭环控制实验性能指标计算

点击“实验报告”填写阶段性实验报告，将测试结果录入系统，如图 27 所示。



图 27 播量闭环控制阶段性实验报告

12 布置光谱仪和设置工作参数

点击上方主菜单的“变量施肥实施方案与性能测试”，打开变量施肥主界面，在显示的界面右下方中点击“工具箱”，打开传感器工作界面，实验人员可以通过长按鼠标拖动光谱仪安装到拖拉机前端安装架上，并自主选择光谱仪布置个数，利用传感器的超声测距功能确定传感器安装高度。光谱仪布置界面如图 28 所示。

点击“田间作业”按钮打开参数设置界面，在界面上方设置田间工作参数，设置“光谱仪工作频率”和“基本处理单元”大小，点击下方的“确定”按钮便可以开始田间作业。如对操作步骤有不清楚的地方，可以点击左上方菱形的“步骤引导”按钮，开启步骤提示窗口获得帮助。



图 28 光谱仪布置界面



图 29 设置田间作业参数

13 变量施肥作业综合性能评价

点击“开始作业”按钮后，便进入田间作业环境，可通过点击作业界面左下方的拖拉机档位图上的数字改变拖拉机的作业速度。点击“切换视角”按钮，可切换驾驶室内外观视角，按住鼠标右键可以旋转场景，如图 30 所示。



图 30 施肥机驾驶室内视角场景



图 31 施肥机驾驶室外视角场景

拖拉机作业过程中，驾驶室人机交互式控制界面显示当前速度，槽轮转速、实际播量和目标播量。界面右侧显示当前速度和槽轮转速曲线，左侧显示目标播量和实际播量动态曲线图。

点击右下方“结束作业”按钮可以停止施肥作业，界面将显示测试结果：自动形成变量施肥处方图（以作业单元面积为基本表示单元的目标施肥量图），转速变化曲线、速度曲线、动态施肥量曲线、NDVI 变化曲线等，实验者可以下载相关数据开展测试性能评价分析。结果如图 32 所示。

注意事项：

目标播量指光谱仪每检测一个作业单元后形成的指导施肥量（kg/mu）；实时播量是指作业工程中，根据内置的槽轮转速-流量关系曲线和拖拉机行驶速度推算出来的单位面积施肥量（kg/mu）。光谱仪布置方式不同，光谱仪工作频率不同都将导致测试结果的差异。



图 32 变量施肥作业综合测试结果

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、开环运行转速实验

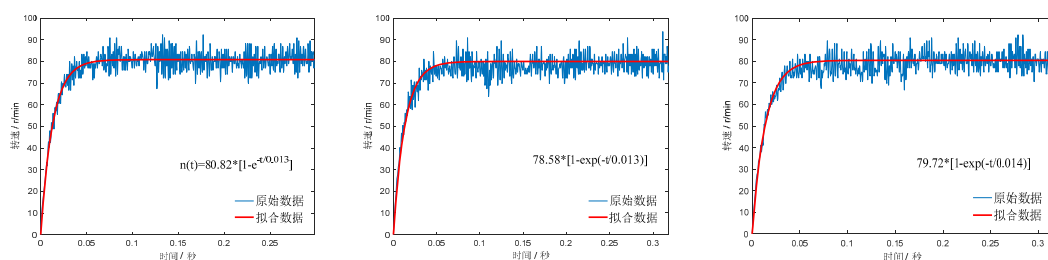


图 33 开环运行转速实验数据结果

系统增加了随机干扰信号，在不同实验时可能会产生不同的实验结果，学生需要综合多次实验结果，得出正确的结论。从图 33 可以看出，3 次实验得到了不同的稳态转速、参数 K 和 T。

2、闭环转速控制性能实验

得到开环系统参数后，设计相应的 PI 控制器参数，得到不同转速下的电机闭环性能实验性能参数如下表所示。

序号	目标转速(r/min)	调节时间(S)	超调量(%)	稳态转速 (r/min)
1	20	0.12	1.21	20.02
2	30	0.14	1.12	30.01
3	40	0.14	1.22	40.00
...				

针对实验产生的实验结果，要求学生分析实验原理，解释得到这样的结果的原因以及总结实验中应注意的问题、提高改进的措施等。

在撰写实验报告时应满足以下要求：

1、实验数据完整性和可视化要求

需要提供不同测试条件和要求下的原始测量数据，对于各次实验的测试结果需要绘制直观易懂的测试数据图，图形要素完整，并配有必要的说明；

2、数据处理方法合理性要求

对实际运行采集数据需要进行必要的数据处理才能实际应用，需要对所采用的数据处理方法的合理性和必要性进行阐述；

3、分析过程科学性要求

必须给出明确的评价指标，给出所采用指标的合理性和科学性依据；需要给出实测指标的计算方法或获取方法；实验结果和实验结论之间有合理的分析说明过程，以使实验有关结论有科学的评判依据。

生成的实验报告（部分）如下图所示：

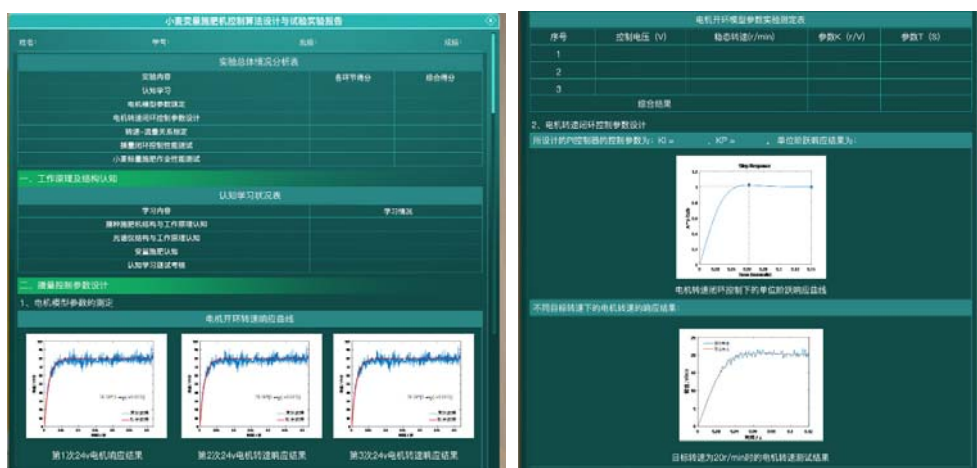


图 34 实验报告

实验报告格式及范例见附件 3 和附件 4。

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

面向大三下学期及以后学期开设，主要专业为：农业电气化、农业机械化及其自动化、自动化专业。

(2) 基本知识和能力要求

已修读过包含自动控制基本理论、传感与检测技术、电工电子技术方面知识的课程，具备进行基本的数据统计分析，应用 Matlab 进行数据处理、分析和系统建模仿真的能力。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2017 年 12 月 18 日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 802 人，外校 人



图 34 选课总览

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：教学大纲详见附件 5。

纳入教学计划的专业数：3，具体专业：农业电气化、农业机械化及其自动化

化，自动化；

教学周期： 1 年 ，学习人数：

(4) 是否面向社会提供服务：☐是 ☒否

(5) 社会开放时间： 年 月 日

(6) 已服务过的社会学习者人数： 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) 将最新科研成果引入教学，显化学科、行业前沿研究领域，拓展学生学术视野，提升专业实践技能

精确农业是当前现代农业的重要发展方向，是智能农业的典型特征，所涉领域处于学科发展前沿。本实验项目的开发是教师团队根据最新的科研成果向教学转化的一种成功尝试，实验项目的内容融入了国家“十二五”科技支撑计划、“十三五”国家重点研发计划和江苏省重点实验室开放课题等项目的研究成果，具有较强的前瞻性和先进性，有利于拓展学生学术视野、培养专业情怀和提升专业实践技能。

(2) 将通用专业知识与行业背景特色相融合，构建专业特色明显的复杂工程技术问题，融入课程思政，引导学生开展研究性和创新性学习

本实验项目应用自动控制理论与技术，解决小麦变量播种施肥机控制中的复杂工程技术问题，具有典型的行业应用特征，体现专业培养特色。创新实验方案和考核内容，充分引导学生开展研究性和创新性学习，突破了传统认知型为主、结果趋同化严重的实验范式。从系统抗扰动入手，融入课程思政，阐述加强自身能力及自身素质修养，抵御外界环境干扰。

(3) 实验项目的设计引入参数化运行模式和干扰叠加机制，确保差异化实验结果，从而改善项目的考核评价机制

实验运行结果不仅取决于实验运行参数、控制模型参数的设置，同时也与取决于对干扰信号的处理效果，这使得实验项目的开展更有赖于对知识的应用和方法的创新设计，将知识应用与方法创新作为考核评价重点，更加关注对学生创新能力的考核，改善项目的评价机制。

(4) 充分发挥虚拟仿真实验项目的技术优势，实现传统教学无法企及的实验效果，实现对传统教学的延伸与拓展

小麦的变量追肥作业是精确农业的典型作业种类，具有很强的示范意义和推广价值，但将该项目引入实际教学过程存在诸多困难，主要原因有：(a) 作物生

长季节性强，实验教学计划难安排；(b) 学生普遍无拖拉机驾驶资质，作业安全难以保证；(c) 实际田间施肥量难统计，动态性能难评价。而虚拟仿真实验可以完美地解决以上问题，既突破了教学条件的限制，也克服了技术条件的限制，使现实的不可能成为可能，实现了重要性与可行性的有效统一。

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) 8 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 4 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）

带宽要求：20M 下行对等带宽。

经测试客户机，带宽在 20M 以上时，能够有较快的加载速度和较好的交互体验。

本次测试基于主流配置计算机，模拟学生在校内校外不同的使用环境，最大限度地还原用户上网学习虚拟仿真实验的需求。

测试一：物理连接链路测试。测试目的：测试客户机和虚拟仿真实验项目网站的延迟和丢包情况；测试方法：客户机对本次虚拟仿真实验项目网站进行 PING 操作。

测试二：网络质量测试。测试目的：测试不同网络环境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，测试客户机在不同地域环境下打开虚拟仿真实验项目网页的速度。

测试结果：

当客户机带宽小于 20M 时，丢包情况严重、网络延时都很高，部分环境延时可以达到 20ms 以上，丢包率超过 5%；

当客户机带宽小于 20M 的时候，在不同 IP 对本虚拟仿真实验网页打开的测试中，网页打开速度较慢，特别是课件加载卡顿现象也常有发生，访问效果不理想。

基于以上测试结果，我们推荐客户机的带宽应大于 20M。

(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）

本虚拟仿真项目的服务器最佳响应并发数为 300。

我们模拟用户访问虚拟仿真项目网站首页、用户登录和加载课件等操作。

经测试，当用户数量在 300 以下时，各项服务均能在 0.2s 内做出响应，服务器负载处于较低水平，课件加载也很快。当用户数达到 2000，服务响应时间维持在 0.8s 以内，但课件加载速度下降严重。当用户数达到 6000 时，服务响应时间超过 1s，服务器负载也超过了 80%。

基于以上测试结果我们认为本虚拟仿真项目服务器的最佳响应并发数为 300。

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

计算机操作系统为 Windows7、Windows8、Windows10、Deepin15.7（国产 Linux 系统）

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

无

(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）

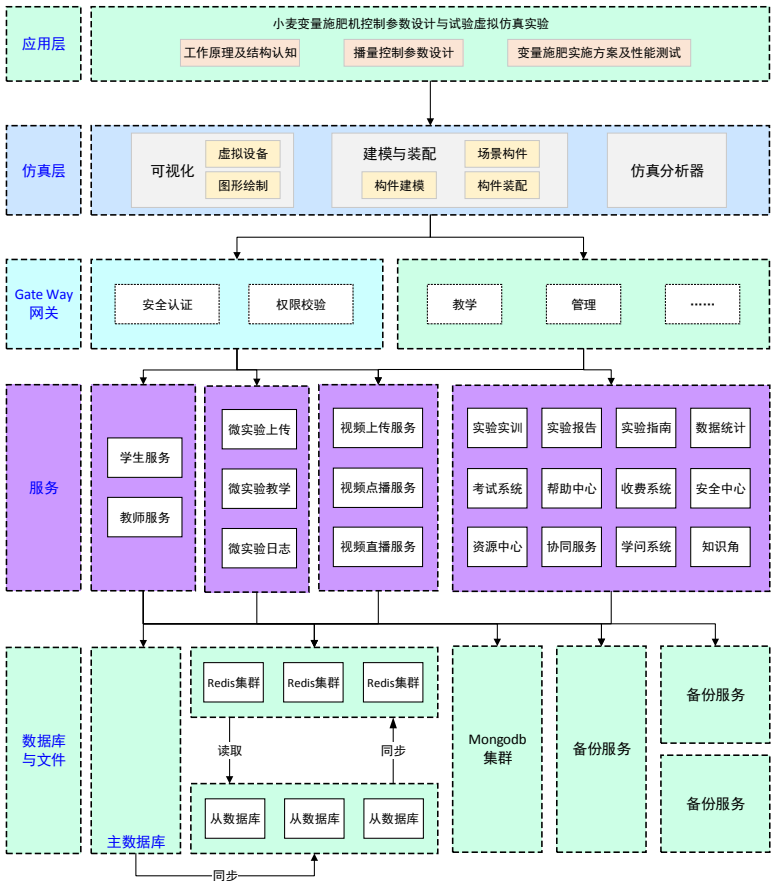
学生需要在 Windows7、Windows8、Windows10 系统环境下，使用以下浏览器打开：

浏览器类型	支持 WebGL	不支持 WebGL
Mozilla Firefox 52 及以上版本	支持	
Google Chrome 57 及以上版本	支持	
Apple Safari 11 及以上版本	支持	

MS Edge 16 及以上版本	支持	
360 浏览器	基于 (Chrome) 内核, 并且开启极速模式、智能开启硬件加速情况下支持 存在右键划线问题, 属于浏览器自身设置原因, 关闭浏览器鼠标手势即可	基于 (IE) 内核, 不支持
浏览器:Google Chrome 下载地址: http://dl.hdmool.com/tools/chrome_x64.exe		
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 Web 端 用户硬件要求 处理器: Intel (R) Core (TM) i5 主频: 2.4GHz 内存: 8GB 显卡: NVIDIA GeForce GTX GT740 2G (2) 其他计算终端硬件配置要求 无特殊要求, 满足能上网功能即可。		
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	本系统是基于 B/S 架构设计的虚拟仿真实验教学平台。系统采用轻量化的开发语言和模块化设计方案, 部署简单、使用方便。系统支持分布式部署方案, 可随使用情况动态扩充容量, 基于容器化部署还可实现自动扩容, 无需人为干预。

	系统包含实验实训、实验报告、实验指南、数据统计、考试系统、帮助中心、收费系统、安全中心、资源中心、协同服务、学问系统和知识角等功能模块。系统除支持虚拟仿真实验外还可上传视频和其它文档资料，支持系统化课程体系学习。系统可对学生实验、学习数据做详细记录并分析每个学生的学习情况和整体学生知识掌握情况，实验报告系统可对学生提交的实验报告进行自动批阅也可由教师人工批阅或学生相互阅评。 系统用户可分为教师和学生两种角色。教师可发布实验资源、建设实验课程、设置课程共享信息、可查看发布课程的学习情况、可批阅学生实验报告和考试。学生可报名参加课程，可观看报名课程的视频操作课程的实验资源，可查看个人的学习情况，可评价学习课程、参与课程讨论，可参与实验报告互评等。  The diagram illustrates the system architecture across five layers: 应用层 (Application Layer): Focuses on '小麦变量施肥机控制参数设计与试验虚拟仿真实验' (Virtual simulation experiment of wheat variable fertilizer machine control parameter design and experiment), including sub-modules for '工作原理及结构认知' (Principle and structure cognition), '播量控制参数设计' (Sowing control parameter design), and '变量施肥实施方案及性能测试' (Variable fertilization implementation plan and performance testing). 仿真层 (Simulation Layer): Includes '可视化' (Visualization) with '虚拟设备' (Virtual equipment) and '图形绘制' (Graphic drawing); '建模与装配' (Modeling and assembly) with '场景构件' (Scene components) and '构件建模/装配' (Component modeling/assembly); and '仿真分析器' (Simulation analyzer). Gate Way 网关 (Gateway): Manages '安全认证' (Security authentication) and '权限校验' (Permission verification) for both '教学' (Teaching) and '管理' (Management) functions. 服务 (Services): Divided into '学生服务' (Student services) and '教师服务' (Teacher services). It also includes specialized services like '微实验上传/教学/日志' (Micro-experiment upload/teaching/log), '视频上传/点播/直播服务' (Video upload/broadcast/live service), and a comprehensive set of core system modules: '实验实训' (Experiment training), '实验报告' (Experiment report), '实验指南' (Experiment guide), '数据统计' (Data statistics), '考试系统' (Exam system), '帮助中心' (Help center), '收费系统' (Billing system), '安全中心' (Security center), '资源中心' (Resource center), '协同服务' (Collaborative services), '学问系统' (Knowledge system), and '知识角' (Knowledge corner). 数据库与文件 (Database and File): Features a '主数据库' (Main database) and 'Redis集群' (Redis clusters) for '读取' (Reading) and '同步' (Synchronization). It also includes 'Mongodb集群' (Mongodb clusters) and '备份服务' (Backup services) for data redundancy and security.
实验 教学	开发技术 ☒VR☐AR☐MR☒3D 仿真☒二维动画☒HTML5 ☒其他 <u>WebGL、C#语言、网络通信 (Socket, Rpc , Http)、人工智能算法。</u>

	开发工具	☒ Unity3D ☒ 3D Studio Max ☒ Maya ☐ ZBrush ☐ SketchUp ☒ Adobe Flash ☐ Unreal Development Kit ☐ Animate CC ☐ Blender ☐ Visual Studio ☒ 其他 <u>Photoshop、SteamVr SDK、大朋 vr 一体机 SDK (DpnUnity)</u>
	运行环境	服务器 CPU 16 核、内存 32 GB、磁盘 1000 GB、 显存 16 GB、GPU 型号 NIVIDIA GRID K1 操作系统 ☒ Windows Server ☐ Linux ☐ 其他 具体版本： 数据库 ☒ Mysql ☐ SQL Server ☐ Oracle ☐ 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： ☐ 是 ☐ 否
	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：40 万三角面 贴图分辨率：512*512 每帧渲染次数：30fps 动作反馈时间：1/90s 显示刷新率：60HZ 分辨率：4K

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	加强电子辅助学习资源建设、提高服务支持能力
第二年	构建仿真模型，更新优化课程资源
第三年	开发 AR 资源，实现虚拟装配，加强结构认知

第四年	优化考核方案，加强过程考核
第五年	针对不同专业知识基础差异，开发差异化虚拟仿真系统，将其推广至更多专业

其他描述：

建设经费持续投入：今后5年内，学院将从江苏省农业工程优势学科建设经费和年度教学建设经费中设立专项建设经费，对优秀的虚拟仿真实验项目进行持续经费支持。

教学内容持续更新：教学团队正在开展与本项目相关的多项科研项目（包括十三五国家重点研发专项子课题2项，江苏省重点实验室开放项目2项），在未来的5年内，将不断有新的科研成果转化为教学内容，丰富实验项目。

（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	1	100	1	50
第二年	1	100	1	50
第三年	3	300	3	150
第四年	3	300	3	150
第五年	5	500	5	250

其他描述：

主动宣传：积极参加各类全国性和区域性的教学会议和行业学会年度学术会议，通过学术报告的形式，积极宣传项目的特色与优势，设置外部访问端口，供各高校同行访问交流，起到推广示范作用。

共享共融：积极向兄弟院校洽谈成果共享机制，吸收同行的相关科研成果融入实验项目之中，优先向已有科研合作项目的兄弟院校进行推广应用。目前已加入虚拟仿真实验教学创新联盟化环领域工作委员会学科组，为进一步推广创造了更广阔的前景。

行业渠道：我院长期开展省内农机行业的培训工作，将行业联络渠道，积极与省级农机推广部门联系，开设专门的面向社会的访问接口，通过市县级农机推广站，面向社会大众进行变量播种施肥作业的知识普及和技术推广。

课程平台：积极利用本校各类已建成、与本实验相关的在线开放课程平台，将本实验项目的部分或全部内容嵌入到课程学习和考核之中，起到向社会大众持续推广和服务的作用。

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	变量施肥机控制算法设计与试验虚拟仿真实验软件
是否与课程名称一致	☒ 是 ☐ 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
	☒ 课程所属学校 ☐ 企业 ☐ 课程负责人 ☐ 学校团队成员 ☐ 企业人员 ☐ 其他
权利范围	全部
软件著作登记号	2019R11L1127943
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	

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）：



2021年5月10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。）

见附件 1。

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。]

见附件 2。

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。）