

申报编号：2023-211297

# 第三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：制浆造纸过程自动控制虚拟仿真实验

专业类代码：0808

负责人：葛爱冬

联系电话：15866784175

申报学校：齐鲁工业大学

填表日期：2024-01-07

推荐单位：山东省教育厅

中华人民共和国教育部制

二〇二三年十一月

---

## 填报说明

1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2022）》中的专业类代码（四位数字）。

2.文中○为单选；□可多选。

3.团队主要成员除主讲教师外，可以包含一位确实发挥重要支持作用的技术人员，并在“承担任务”栏中说明属于技术人员。

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	制浆造纸过程自动控制虚拟仿真实验		是否曾被推荐	○是●否	
实验负责人	葛爱冬				
负责人所在单位	齐鲁工业大学				
是否国家级一流本科专业建设点	●是○否	(如是) 专业名称	自动化	专业代码	080801
实验所属课程(可填多个)	自动控制原理实验、自动控制原理				
性质	●独立实验课 ○课程实验				
实验对应专业	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	<input 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 checked="" type="checkbox"/> 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 6 次: 1. 2019-11-01 ~ 2019-12-30、382 人 2. 2020-11-01 ~ 2020-12-30、347 人 3. 2021-07-01 ~ 2021-08-31、66 人 4. 2021-11-01 ~ 2021-12-30、419 人 5. 2022-09-01 ~ 2023-01-31、140 人 6. 2023-11-18 ~ 2023-12-31、292 人				

## 2. 课程团队情况

2-1 课程团队主要成员(序号1为课程负责人,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	葛爱冬	1977-11-19	齐鲁工业	支部书记	副教授	15866784175	gad@qlu.edu.cn	实验设计与教学

			大学					
2	李敏	1978-05-25	齐鲁工业大学	无	副教授	13553177491	147972869@qq.com	课程教学
3	山贵昌	1964-03-25	齐鲁工业大学	原副院长	副教授	13954185660	3450615240@qq.com	项目推广应用
4	张芳芳	1982-08-29	齐鲁工业大学	系副主任	副教授	15169163982	zhff4u@qlu.edu.cn	项目设计和实施
5	朱礼营	1972-01-13	齐鲁工业大学	无	副教授	15653880258	lyzhu@qlu.edu.cn	技术人员

### 2-2 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）

团队面向自动化、测控技术与仪器、电气工程及其自动化 3 个专业承担实验设计、教学和指导，支撑自动控制原理、电气控制、运动控制、过程控制 4 门课程的虚拟实验教学任务，承担轻化工、机械等 12 个专业虚拟仿真实践基地功能，培养学生 3000 余人。指导学生科技创新竞赛获国家奖 12 项、省级奖 30 余项。

负责人为硕士研究生导师，国家样板党支部书记，省一流虚拟仿真课程负责人，齐鲁工业大学教学名师，第 1 位开展教学研究主要情况如下：

#### （1）教学获奖

1. 2018 年省级教学成果一等奖

2. 2021 年省级一流课程
3. 2019 年省高校思想政治教育优秀成果三等奖
4. 2018 年齐鲁工业大学第二届教学质量优秀奖

#### (2) 教研课题

1. 2022 年省研究生优质案例库项目
2. 2023 年校招标类重大教研项目

#### (3) 教研论文

1. 2023 年，基于稳定性的“自动控制原理”教学创新体系设计. 高教学刊
2. 2023 年，增强高校教师党支部生机活力略探. 学校党建与思想教育（CSSCI，北大核心，研究了党建+课程思政）
3. 2022 年，中华优秀传统文化转化创新应把握的原则. 山东社会科学（CSSCI，北大核心）

### 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）

#### 1. 实验的必要性及实用性

制浆造纸自动控制实验是一个大型综合实训项目，实际制浆造纸过程设备庞大、空间跨度大、危险性大、成本高，无法在实验室里用实际设备来完成实验。为了教学中让学生更好地掌握实际造纸过程中自动控制系统的工作原理，培养学生理论联系实际的能力，该实验采取虚拟仿真的技术手段，形成了设备庞大、多知识点联合应用为特色的“制浆造纸过程自动控制虚拟仿真实验”。提高了学生实践水平以及专业课教学质量，激发了学生自主学习和综合分析的能力，开阔了学生的视野。本项目主要解决和克服了以下3个关键性问题。

（1）**工作原理难以理解。**制浆造纸过程是典型的复杂控制系统，涵盖了流量、温度等的恒值控制，配浆等的调节控制，串级控制等多种自动控制系统，基于制浆造纸过程进行自动控制理论实验，有助于学生深刻理解理论知识在实际工业过程中的应用，提高探索和创新能力。

（2）**实验场景难以再现。**由于制浆造纸实际工业过程的安全、成本、时间等原因，学生难以参与实际生产过程中去，借助虚拟仿真技术，不仅能够模拟真实的空间场景、营造逼真氛围，做到人人参与、人人接受设计实践的训练；还突破时间和空间的限制，让学习者可自由安排时间地点进行虚拟真实空间体验。

（3）**实验方式难以综合。**传统的自动控制理论实验基于实验箱或试验台来实现，无法基于实际工业过程进行综合性实验，学生难以从整体流程上理解和把握实验过程，往往会造成“盲人摸象”，“只见树木不见森林”。

#### 2. 教学设计的合理性

（1）**教师注重引导示范。**教师的示范、引导是基本前提，防止学生偏离方向，实验前教师进行引导，通过提出问题和相关模型，引导学生动脑思考，准备相关知识；实验中通过“示教型”和“设计型”实验，让学生掌握基本原理。

（2）**学生自主创新设计。**坚持以学生为中心，把培养学生的自主设计和实践创新能力作为整个实验的核心思想，贯穿于实验的全过程和每个环节，特别

是在实验的高级阶段，鼓励学生做“综合型”实验和“创新型”实验，自主设计实验方法完成相关操作。

(3) **师生协同反思评价。**实验后，教师与学生共同反思实验中遇到的问题及其解决方法，针对不足环节重点反馈，引导学生查缺补漏，鼓励和帮助学生作归纳和总结，按照不同类型实验项目考核指标给出公允评价。

### 3. 实验系统的先进性

(1) **实验过程全息场景化。**本实验借助虚拟仿真实验平台，再现造纸生产线的真实作业场景，还原了造纸生产过程中“原料蒸煮—洗涤筛选—配置浆液—头箱—网部—压榨—干燥—卷取成纸—复卷—切纸—包装—码垛入库”整个操作的全过程。

(2) **实验内容系统集成化。**该系统采用技术链式结构和人机交互功能，综合集成纸浆造纸过程中有关自动控制理论及技术应用，将12个自动控制知识点有机融合于实验过程，并以流量控制为例再现自动控制，使学生更加直接真切地探索和创新制浆造纸生产过程控制算法，使学生能够系统了解掌握各个知识点及其相互之间的链接协同逻辑关系，建立合理的知识运用逻辑框架。

(3) **德育内容有机融入一体化。**该实验过程中通过介绍造纸术的起源和传播、手工造纸技术、造纸原料、造纸废水排放、我国废纸进口政策、造纸新技术等，融入古法造纸的教育传承、爱国情怀、工匠精神、绿色意识等德育内容，实现课堂教学与价值引领的有机统一，提升学生的人文素质和思想政治素质。

(4) **实验过程多学科交叉的可研性。**理解轻化工过程虚拟仿真实验中的复杂工程问题的内涵与意义，提升实验“两性一度”可研性价值，通过场景数据挖掘，探索造纸过程智能优化控制策略，实现多学科、多专业、多课程知识的融会贯通，完成解决关键技术问题的路径与方法。

### 3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

制浆造纸是典型的复杂控制系统，本项目借助虚拟仿真实验平台，以流量控制和多变量选择为主链，通过三个层次十二个环节全过程情景再现制浆造纸自动控制，构建超越时空、突破线程、多模组合的虚拟仿真实验，可实现以下实验教学目的：

1. **学生知识逻辑的掌握。**碎片化知识的融合和知识逻辑框架的建立。通过实验，学生能够了解掌握现场仪表及执行机构的原理及应用，造纸生产过程

控制算法，造纸生产电气传动设备及控制算法等等一系列知识点，以及各类知识之间的逻辑联系，建立各个知识点协同应用的逻辑运用框架，便于系统掌握所学知识。

2. **学生实践能力的培养。**实际工程的历练是培养优秀工程师的必备环节。通过该实验，学生能够有效掌握纸浆造纸过程中各个工序的逻辑关系和先后次序，熟悉具体工业生产过程中的自动化理论运用场景，提高工业生产中发现问题和解决问题的能力。

3. **学生创新素质的培养。**创新能力是当今时代最重要的素质能力，是新旧动能转换的关键。本实验通过学生自主开展实验设计，开展创新设计，可培养学生的自主设计、探索精神和创新能力。培养学生能够站在环境保护、节能减排和可持续发展的角度思考自动化工程实践的可持续性。

### 3-3 实验课时

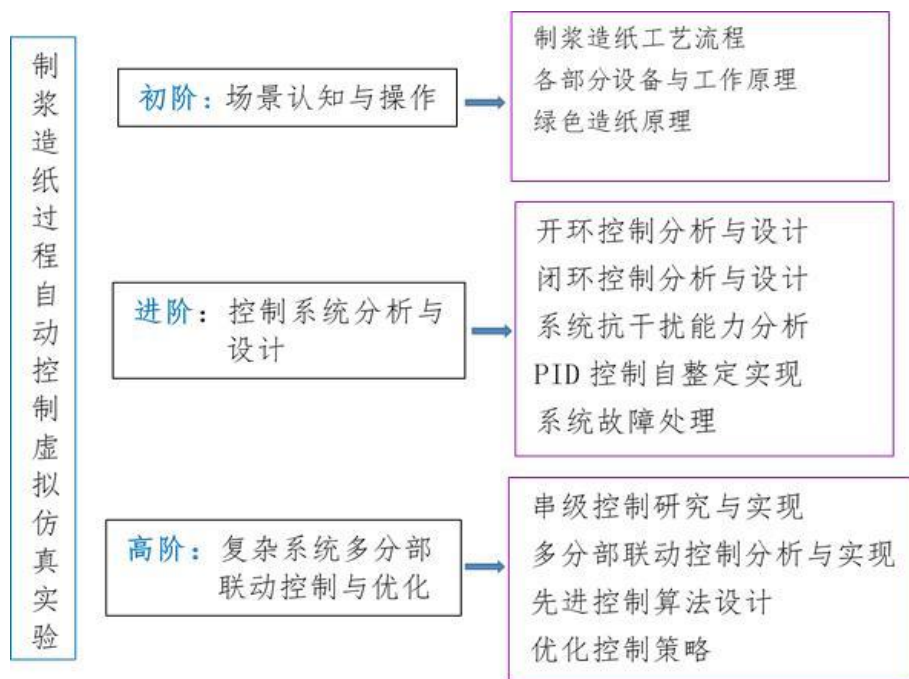
(1) 实验所属课程课时：16 学时

(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)

本实验采用制浆造纸过程动态模型，通过内置可嵌入的控制算法完成虚拟制浆造纸过程的自动控制，将团队科教成果、立德树人融于虚拟仿真教学设计，以多层次递进的教学方式，培养学生解决复杂工程问题能力和创新能力。主要工作原理如下图：



实验原理图

1. 熟悉生产工艺，掌握制浆造纸场景工艺和操作。熟悉基于制浆造纸生产流程工艺，了解掌握浆泵电机、变频器的的工作原理，了解掌握电磁阀门、流量变送器、PLC 以及扩展模块选型、接线过程、PLC 控制过程，了解信号检测机构中电磁流量计和电磁流量传感器的结构和工作原理，了解储浆塔的作用及原理。

2. 制浆造纸过程自动控制系统分析和设计。利用所学开环控制、闭环控制、PID 控制等分析和设计制浆造纸过程自动控制系统，并加入抗干扰信号，分析各种情况下系统的抗干扰能力。

3. 复杂系统多分部联动与优化。针对结构复杂的网前箱和混合塔的液位、浓度和流量，采用串级控制以及多部分联动控制对系统进行结构设计及参数优化，获取系统最优控制性能。

知识点：共 12 个

1. 制浆造纸过程流程工艺和工作原理。
2. 开环控制系统执行结构和控制结构原理和选择。
3. 开环控制系统 DCS 图和方框图。
4. 闭环控制系统 DCS 图学习。
5. 闭环控制系统模型建立。
6. 闭环控制系统执行机构原理和选型。
7. 闭环控制系统控制机构原理和选型。

8. 被控对象分别是浆泵电机、电磁阀门时系统接线，及工作原理。

9. PIC 硬件设计和选型，以及程序编写。

10. PID 控制系统参数整定。

11. 系统抗干扰能力分析和设计。

12. 串级控制基本原理以及设计实现。

(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）

在流量开环控制实验中：制浆造纸实验基础设备、制浆车间工作场景与现象和造纸车间工作场景与现象，均是 3D 模型高度仿真；浆泵电机的介绍以及工作原理和变频器的介绍以及工作原理采用抽象仿真；纸浆流量的开环控制数学模型采用高度仿真。

流量闭环控制实验中：制浆造纸实验基础设备、制浆车间工作场景与现象、造纸车间工作场景与现象均采用 3D 模型高度仿真；浆泵电机的介绍以及工作原理、变频器的介绍以及工作原理、电磁阀门的介绍以及工作原理、流量变送器的介绍以及工作原理、接线过程、PLC 控制过程均采用抽象仿真；PLC 以及扩展模块选型、纸浆流量的闭环控制数学模型、上升时间、峰值时间、超调量、调节时间的计算均采用高度仿真。

串级控制中，网前箱和混合塔，以及液位、浓度、流量的数据采集和参数优化，生产报告的生成均采用高度仿真。

仿真开发过程中参考了实际制浆造纸设备；参照了自动控制原理、PLC 原理及应用、化工仪表及自动化等高等教育教材工作原理。

### 3-5 实验教学过程与实验方法

#### 1. 实验教学过程

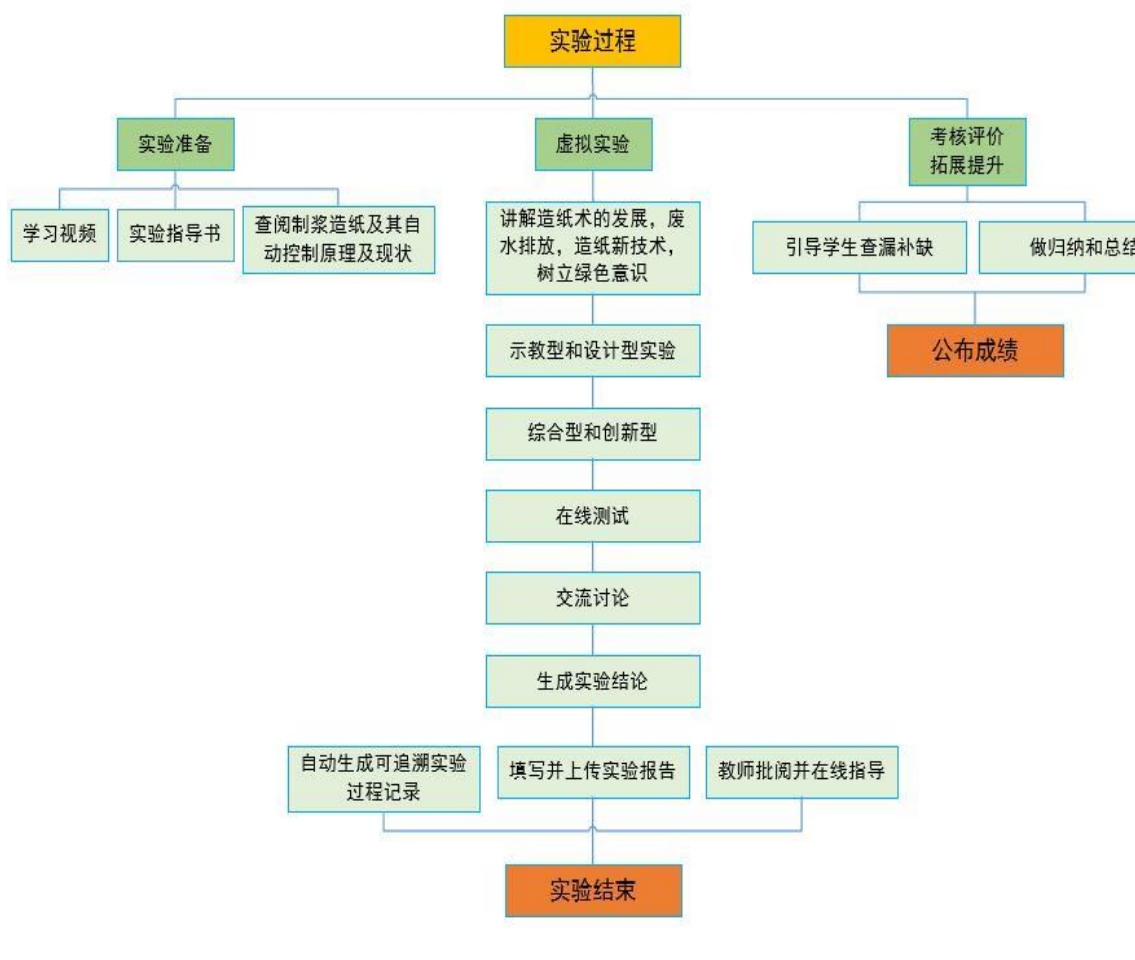
按照目标牵引的知识链、全过程混合式实验教学模式，实验过程包括实验准备、虚拟实验、考核评价和提升拓展四个环节。全部实验过程均需要学生进行人机交互式操作，亲身经历原理学习、实验观测、数据处理和结果分析整个过程，以实验报告形式提交实验成果，每一个环节有机衔接，环环相扣，都充分体现互动性与自主性。

(1) 实验准备，教师作为引导者提出系列关联性问题，并给予课前预习指导，通过实验管理系统上传实验相关的图片、视频、实验指导书等学习资料，引导学生主动思考和查阅相关资料做好实验前的充分准备，使得学生能够根据自己的兴趣灵活自主选择实验项目。

(2) 虚拟实验，①在实验教学的起始阶段，学生在教师的辅助指导下，按照实验步骤顺次完成基础训练部分级综合实现部分，通过“示教型”和“设计型”实验，使得学生掌握造纸生产线过程分析和运动控制过程的基本知识、基本方法和基本技能；②在实验教学的高级阶段，鼓励学生做“综合型”实验和“创新型”实验，自主设计实验方法完成相关操作。③不论是哪个阶段的教学过程，教师作为合作者通过线上线下全面交流形式，与学生共同解决实验过程中遇到的问题，提高师生互动效果。

(3) 评价考核，教师与学生共同反思实验中遇到的问题及其解决方法，针对不足环节重点反馈，引导学生查缺补漏，鼓励和帮助学生作归纳和总结，按照不同类型实验项目考核指标给出公允评价。不论是虚拟实验教学项目还是互动自主式教学方法，在实验教学、人才培养、资源共享等方面取得系列显著效果。

(4) 提升拓展，针对实验过程中遇到的问题和不足，引导和督促学生对相关知识、方法进行拓展学习，拓宽知识面，提升思维层次，改善知识逻辑结构，达到升华知识、提升能力的目的。



## 实验教学过程图

### 2. 实验方法

本项目以制浆造纸为仿真对象，采用理论知识学习与实践操作相结合的方法，学生要根据任务指引完成流量的开环控制、流量的闭环控制实验。①制浆造纸过程监测和控制虚拟仿真软件，在开环状态下，没有控制机构和信号检测机构，在系统运行到稳定状态，受到外界干扰时，系统不能实现自我的调节；②在闭环状态下，有控制机构、执行机构、信号检测机构，在系统运行到稳定状态，受到外界干扰时，系统能实现自我的调节。

具体的实验方法如下：

(1) 虚拟情景法。本项目为学生提供了与制浆造纸过程设备全面交互的虚拟环境，学生在虚拟的环境中，不仅可立体、生动地获取制浆造纸流程设备的结构布局、流程构造等，还可以自主设计实验方案进行实验操作。学生沉浸其中，进行实验操作时，系统具备提示与纠错功能，允许学生试错和及时反馈纠正。

(2) 人机交互法。人机相互是虚拟仿真系统的优势之一。本项目通过在实验中设置多个选择变量，让学生与系统进行互动，并及时进行提示纠错，建立完整的反馈模式，提高学生试错、纠错和学习改进的效率。

(3) 控制变量法。本项目采用控制变量法，通过在实验模块中设置控制变量，比如通过制浆浓度的调整，来探索验证纸张厚度、质量的对应变化，使学生更好地掌握参数调整和变量关系。

(4) 反思评价法。实验结束后，教师与学生共同反思实验中遇到的问题及其解决方法，针对不足环节重点反馈，引导学生查缺补漏，鼓励和帮助学生作归纳和总结，按照不同类型实验项目考核指标给出公允评价。

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 25 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	通过制浆造纸车间各个工艺段的 DCS，了解制浆造纸的工艺过程以及控制过程。	10	至少查看四个工艺段的 DCS，若低于四个即扣分，每低于一个扣 1 分。	5	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
2	进入造纸车间，思考纸浆浓度对纸张厚度的影响。设置多个高于正常值、低于正常值、正常值的纸浆浓度，随着纸浆浓度的变化，记录纸的厚度变化情况。	12	至少设置三个高于正常值的纸浆浓度。并至少设置三个低于正常值的纸浆浓度。并记录浓度变化引起的值得质量变化，得出纸浆浓度的正常变化范围。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
3	设置多个高于正常值的纸浆流量、低于正常值的纸浆流量以及纸浆正常流量值时，记录随着纸浆流量的变化纸的厚度变化情况，综合考虑纸浆流量与纸张厚度	12	至少设置三个高于正常值的纸浆流量。并至少设置三个低于正常值的纸浆流量。并记录纸张质量符合要求时的纸浆流量的范围。每少设置一个扣一分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

	的关系。				
4	本实验可完成生产牛皮纸、新闻纸和优光纸的纸浆浓度和流量控制。点击李师傅领取本次实验的任务。	2	领取任务即可得分。	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
5	走到造纸车间的光圈处，进入制浆车间，首先进行开环控制。	1	打开开环控制即可得分。	1	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
6	查看和选择开环控制的控制机构，选择浆泵电机，并熟悉其工作原理和在控制中的作用。掌握变频器的结构及工作原理，熟悉制浆过程开环控制 DCS 图，掌握纸浆开环控制原理，以及开环控制系统基本组成。	6	操作完成，并写出浆泵电机在控制中的作用即得分，否则扣分。	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
7	掌握制浆造纸过程开环控制方式和系统基本组成，明确制浆系统输入量、输出量	5	操作完成得分。否则不得分。	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

	以及各中间变量。				
8	运行开环控制系统，查看系统是否稳定。如若稳定，在系统到达稳定时，记录系统的动态性能指标；点击干扰按钮，记录受到干扰时，开环系统的抗干扰能力，并作分析。	10	操作完整得满分，不加干扰扣3分。	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
9	选择闭环控制方式中的浆泵电机，学习其结构及工作原理。	4	操作完成得分。否则不得分。	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
10	选择闭环控制方式中的电磁阀门，掌握其结构及工作原理。	4	操作完成得分。否则不得分。	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
11	选择信号检测机构和控制机构，学习信号检测机构中电磁流量计和电磁流量传感器的结构及其工作原理，以及控制机构中变频器的功	6	操作完成得分，每少一步扣2分。否则不得分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

	能、用途其工作原理。				
12	选择被控对象，明确选择原则，并熟悉闭环系统 DCS 图。画出闭环控制方框图，确定系统控制器，以及输入输出量和中间变量。	10	选择被控对象占 3 分，DCS 图占 2 分，设计控制器占 5 分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
13	对制浆造纸闭环控制系统进行硬件设计，首先根据系统需求对 PLC 进行选型。	6	完成选型，并熟悉至少 3 种型号 PLC 的性能和用途。操作完成得分，否则 0 分。	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
14	进行 PLC 扩展模块选型，熟悉各扩展模块性能，选择扩展模块。	6	操作完成得分，否则 0 分。	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
15	进行设备连线。点击左上角，选择线的颜色，点击要连接的接线柱，实现连接。连接完线之后，点击接线验证，若有错误，则高亮提示，按 delete 键进行删除，重新连	10	正确得分。否则 0 分。	6	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

	接，也可以点击提示，根据提示连接线。				
16	熟悉储浆塔的作用和原理，并对浆塔开始搅拌。	3	操作完成即得分，否则0分。	2	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
17	开始进行软件设计，并设置PID控制参数和系统其他参数。	9	操作完成即得分，否则0分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
18	软件设计结束后，进行程序编译，若有错误，则重新检查和设计程序。编译结束后，下载PLC程序并运行。	10	操作完成即得分，否则0分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
19	进行闭环控制程序的调试运行，完成PID控制自整定。	5	操作完成即得分，否则0分。	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
20	进行数据记录，如上升时间，峰值时间，超调量，调节时间等表征系统性能的值。生成多组表征系统性能的数据并记录。	9	至少记录6组数据。每两组数据占1分。	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
21	给稳定的系	5	操作完成即得	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩

	统加以干扰信号，查看流量的变化情况，进而了解系统的抗干扰能力。		分，否则 0 分。		<input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
22	为获得更好的纸质质量，设计混合塔中浓度与液位的串级控制，根据输出值的变化情况调节主控制器及副控制器的控制参数，获得最优控制性能。	10	系统结构正确得 2 分；3 组以上参数调试得 3 分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
23	网前箱流量为主控变量，混合塔液位为副控制变量，主控制的输出作为副控制器的设定值的输入。可根据输出值的变化情况调节主控制器及副控制器的控制参数，以获得最优控制过程。	10	系统结构正确得 2 分；3 组以上参数调试得 3 分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
24	根据实际生产需求及操作数据，生成生产报	5	操作完成即得分，否则 0 分。	1	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩

	告。				<input type="checkbox"/> 教师评价报告
25	查看实验评分，总结实验过程，并进行讨论和反馈。	10	操作完成即得分，否则0分。	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

## (2) 交互性步骤详细说明

本实验详细步骤主要有制浆造纸场景认知、开环控制、闭环控制、串级控制和总结评价五部分组成。

### 1) 制浆造纸场景认知

步骤 1：通过制浆造纸车间的网部、压榨部、烘干部、施胶机、压光部、扫描架以及卷纸处等各个工艺段的 DCS 图，了解制浆造纸的工艺过程以及控制过程。



步骤 2：进入造纸车间，思考纸浆浓度对纸张厚度的影响。设置多个高于正常值、低于正常值、正常值的纸浆浓度，随着纸浆浓度的变化，记录纸的厚度变化情况。



步骤 3：设置多个高于正常值的纸浆流量、低于正常值的纸浆流量以及纸浆正常流量值时，记录随着纸浆流量的变化纸的厚度变化情况，综合考虑纸浆流量与纸张厚度的关系。



## 2) 开环控制

步骤 4：本实验可完成生产牛皮纸、新闻纸和优光纸的纸浆浓度和流量控制。走到李师傅面前，领取本实验的生产任务：牛皮纸、新闻纸和优光纸。



步骤 5：走到造纸车间的光圈处，进入制浆车间，首先进行开环控制实验。



步骤 6：查看和选择开环控制的控制机构，选择浆泵电机，并熟悉其工作原理和在控制中的作用。掌握变频器的结构及工作原理，熟悉制浆过程开环控制 DCS 图，掌握纸浆开环控制原理，以及开环控制系统基本组成。



步骤 7：掌握制浆造纸过程开环控制方式，明确制浆系统输入量、输出量以及各中间变量。

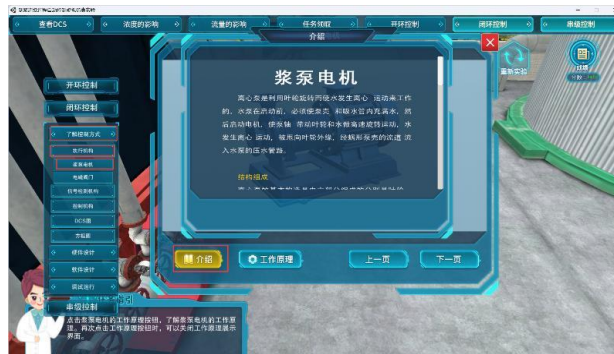


步骤 8：运行开环控制系统，查看系统是否稳定。如若稳定，在系统到达稳定时，记录系统的动态性能指标；点击干扰按钮，记录受到干扰时，开环系统的抗干扰能力，并作分析。



### 3) 闭环控制

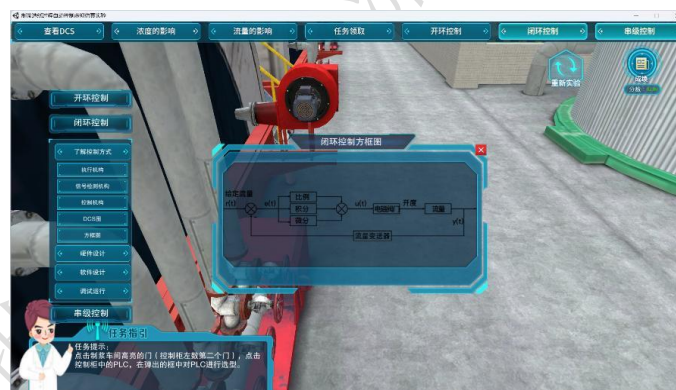
步骤 9：进行制浆造纸过程的闭环控制实验。首先学习闭环控制方式中的浆泵电机结构及其工作原理。



步骤 10：学习闭环控制方式中的电磁阀门结构及其工作原理。

步骤 11：选择信号检测机构和控制机构，学习信号检测机构中电磁流量计和电磁流量传感器的结构及其工作原理，以及控制机构中变频器的功能、用途其工作原理。

步骤 12：选择被控对象，明确选择原则，并熟悉闭环系统 DCS 图。画出闭环控制方框图，确定系统控制器，以及输入输出量和中间变量。



步骤 13：对制浆造纸闭环控制系统进行硬件设计，首先根据系统需求对 PLC 进行选择。

步骤 14：进行 PLC 扩展模块选型，熟悉各扩展模块性能，选择扩展模块。



步骤 15: 对该实验用到的设备进行连线。点击左上角的线的颜色，可以选择线的颜色，点击要连接的接线柱，可以实现连接，当连接完线之后，点击接线验证，若有错误的接线，接错的有高亮提示，点击线可以点击键盘上的 delete 键进行删除，重新连接，也可以点击提示，根据提示连接线。



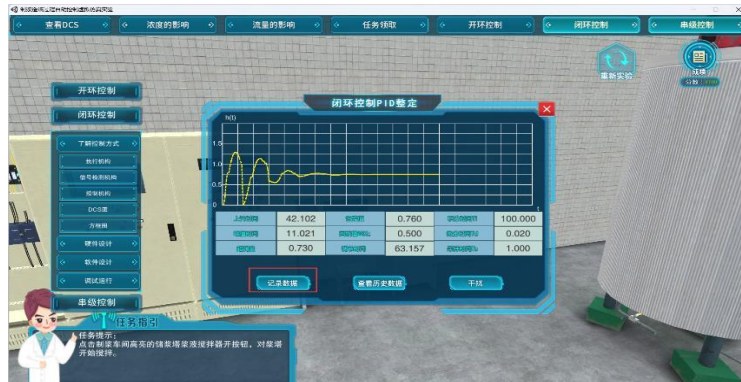
步骤 16: 熟悉储浆塔的作用和原理，并对浆塔开始搅拌。

步骤 17: 开始进行软件设计，并设置 PID 控制参数和系统其他参数。

步骤 18: 软件设计结束后，进行程序编译，若有错误，则重新检查和设计程序。编译结束后，下载 PLC 程序并运行。

步骤 19: 进行闭环控制程序的调试运行，完成 PID 控制自整定。

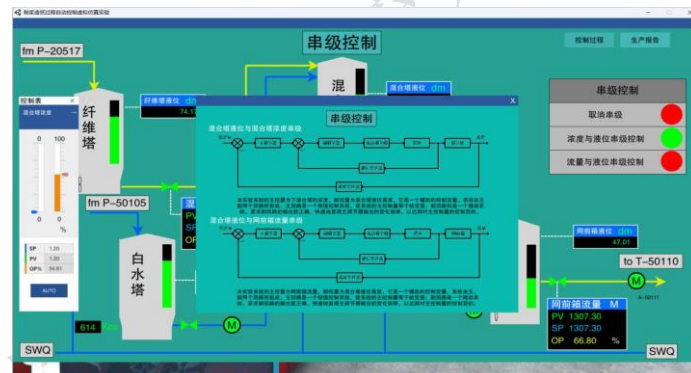
步骤 20: 进行数据记录，如上升时间，峰值时间，超调量，调节时间等表征系统性能的值。生成多组表征系统性能的数据并记录。



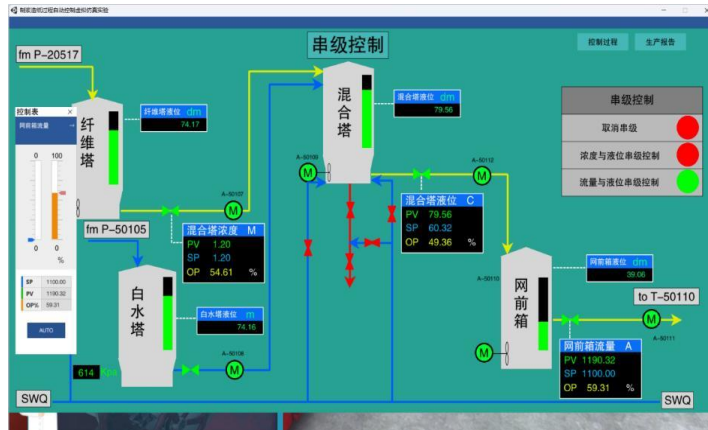
步骤 21: 给稳定的系统加以干扰信号, 查看流量的变化情况, 进而了解系统的抗干扰能力。

#### 4) 串级控制

步骤 22: 为获得更好的纸质质量, 设计混合塔中浓度与液位的串级控制, 以及网前箱流量与混合塔液位的串级控制。首先设计混合塔中浓度与液位的串级控制, 混合塔浓度作为主控变量, 液位作为副控变量, 根据输出值的变化情况调节主控制器及副控制器的控制参数, 获得最优控制性能。



步骤 23: 流量与液位串级控制。网前箱流量为主控变量, 混合塔液位为副控制变量, 主控制的输出作为副控制器的设定值的输入。可根据输出值的变化情况调节主控制器及副控制器的控制参数, 以获得最优控制过程。



步骤 24: 根据实际生产需求及操作数据, 生成生产报告。

生产报告						
样品名称	检验项目	单位	(等) 标准值	实测值	结论	检测方法
	定量	g/m <sup>3</sup>	----	85	合格	GB/T 451.2-2022
	厚度	μm	----		合格	GB/T 451.3-2022
	抗张强度 (纵向)	kN/m	----	8.1	合格	GB/T 12914-1991
	撕裂度 (纵/横)	mN	----	2450/2340	合格	GB/T 455-2002
	平滑度 (正面)	s	----		合格	GB/T 456-2002
	耐折度 (纵/横)	次	----	17921558	合格	GB/T 457-2002
	光泽度 (正面)	%	----	27	合格	GB/T 8941.7-1988
	表面吸水性	g/m <sup>2</sup>	----	20.7	合格	GB/T 1540-2002
	挺度 (纵/横)	mN·m	----	6.12/2.96	合格	GB/T 12909-1991

## 5) 总结评价

步骤 25: 查看实验评分, 总结实验过程, 并进行讨论和反馈。

ID	状态	过程名称	得分	ID	状态	步骤描述	得分	备注
P01	完成	制浆车间制浆设备	4.00	S01	完成	点及按钮制浆控制。	3.00	
P02	完成	造纸车间制浆设备	12.00	S02	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
P03	完成	造纸车间制浆设备	2.00	S03	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
P04	完成	制浆车间造纸制浆控制	10.00	S04	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
P05	完成	制浆车间了解制浆方式	24.00	S05	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
P06	完成	制浆车间制浆设计	20.00	S06	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
P07	完成	制浆车间制浆设计	12.00	S07	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
P08	完成	制浆车间制浆设计	6.00	S08	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
P09	完成	串级控制	10.00	S09	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
				S10	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
				S11	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	
				S12	完成	点各按钮制浆中的了解制浆的方式步骤。	2.00	

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)

实验过程中，通过分析实验数据，得出实验结论，进行参数调整优化，提出改进方案或建议，网上填写在实验报告中提交。

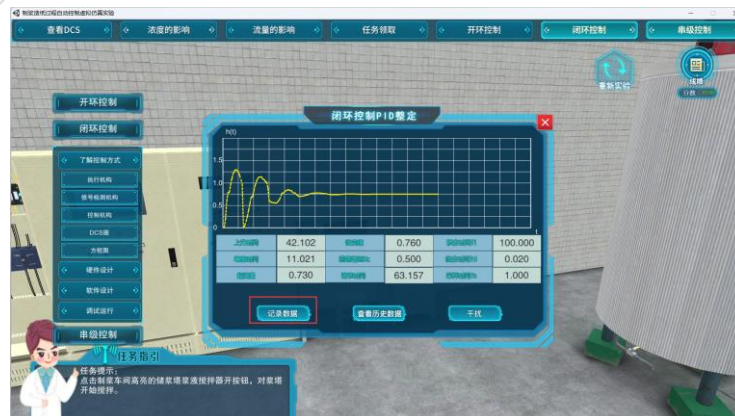
## 1. 开环控制系统分析和设计

主要包括开环系统结构组成，结构原理，采集数据，运行结果分析。以及系统受到外界干扰后，系统抗干扰能力分析。根据实验操作实况，系统自动给出相应分数。



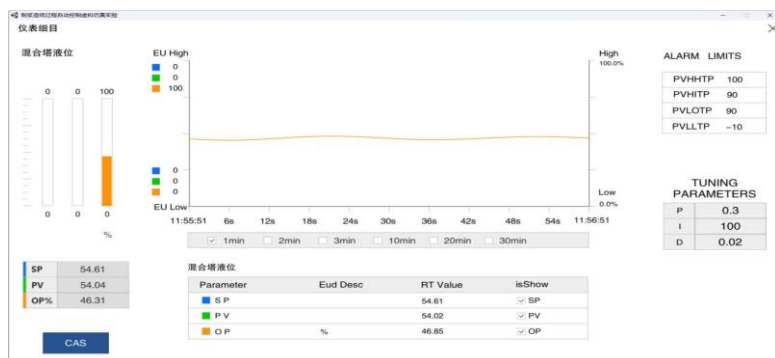
## 2. 闭环控制系统分析和设计

主要包括 PID 控制器设计，PID 参数自整定，数据采集，系统运行实时分析。以及系统受到外界干扰后，抗干扰能力分析。根据实验操作实况，系统自动给出相应分数。



### 3. 串级控制分析和设计

主要包括设计混合塔中浓度与液位的串级控制，以及网前箱流量与混合塔液位的串级控制。液位、浓度、流量的数据采集和参数优化，以获取最优控制性能。



#### 3-8 面向学生要求

##### (1) 专业与年级要求

本实验项目主要面向自动化、测控技术与仪器、电气工程及其自动化专业三年级以上的学生，或者系统开设了《自动检测技术及应用》《自动控制原理》《PLC 原理及应用》等相关课程专业的学生。

##### (2) 基本知识和能力要求

学生需系统学习过《自动检测技术及应用》《自动控制原理》《PLC 原理及应用》等相关课程，较好地了解和掌握控制系统和检测系统基本原理，开环控制、反馈控制和 PID 控制等基本控制方式。

### 3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019年10月9日（上传系统日志，要求与实验已开设期次数据保持一致）

(2) 已服务过的学生人数：本校 1646 人，外校 500 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：3，具体专业：自动化、测控技术与仪器、电气工程及其自动化，

教学周期：6，学习人数：1646

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2020年11月10日

(6) 已服务过的社会学习者人数：1500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. 实验设计上突出高阶性、创新性和挑战度

制浆造纸自动控制实验是一个大型综合实训项目，实现了多学科、多专业、多课程知识的融会贯通，将科研成果反哺教学，通过场景数据挖掘，探索绿色造纸过程智能优化控制策略与方法，培养学生理论联系实际的能力，提高了学生实践水平以及专业课教学质量，激发了学生自主学习和综合分析的能力。

### 2. 教学方法上突出学生自主实践的培育

该实验改变了传统实验教学中教师主导的“注入式、模仿式”的教学方法，采用混合式、探究式和情景再现交互式教学方法，构建以学生为中心，自主探究为主要内容，课前、课中、课后逐步提升的创新实践教学模式。给予学生自主实验的自由，鼓励学生开展合作与协作研究型学习，挖掘学生的创造潜力，锻炼学生解决实际问题的综合能力。

### 3. 考核评价上突出多维度、强反馈的模式运用

本实验采用多样化、全方位的评价体系对学生课程学习情况进行评价，通过线上课前预习测试、仿真实验操作，课堂问题讨论、课堂提问、课后线

下开放性课题分析等多方面综合评测，过程考核和能力考核并重。系统可记录学生整个实验项目的学习情况，实现在线测试与及时评价反馈。

实验平台具有完善的反馈机制，收集包括学生在内的各方对该实验的意见、建议、评价等反馈信息，进行全面系统的统计分析，为指导教师改进和完善实验教学提供参考，为准确把握考核标准提供依据。

#### 4. 实验内容上突出德育智育的融合与渗透

实验过程中通过介绍造纸术的起源和传播、手工造纸技术、造纸原料、造纸废水排放、我国废纸进口政策、造纸新技术等，融入古法造纸的教育传承，爱国情怀，工匠精神，绿色意识等内容，寓价值观引导于知识传授和能力培养之中，帮助学生塑造正确的世界观、人生观、价值观。

## 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）虚拟仿真资源其他

(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

支持与社群群其他

(4) 1名提供在线教学服务的团队成员；1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10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）  
项目要求带宽20 Mb/s以上，平台具有测试带宽服务。

(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）  
1000

**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

仿真程序客户端操作系统采用 Windows 7 及其以上版本

管理平台服务器操作系统采用 Windows 7 及其以上版本

(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）

无

**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: i5 3.20GHz 以上 内存: 4GB 以上 显卡: 2GB 显存以上 硬盘: 50GB 以上 显示器: 20 寸以上

(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

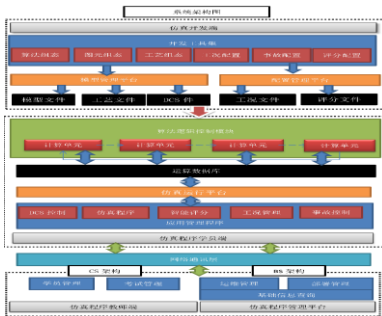
(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求：●无○有  
如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

**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) 是否已完成定级备案：●是 ○否  
请选择备案主体：●课程所属学校名称 ○其他  
证书编号：37011643019-00006  
请附信息系统安全等级保护备案证明

(2) 是否已完成等保测评：●是 ○否  
请附正式测评报告中实验系统的相关描述页面（等级测评结论页、实验与平台隶属关系描述页等）

**7. 实验教学技术架构及主要研发技术**

指标	内容
<p>系统架构图及简要说明</p>	<p>通过 BS 架构，用户访问管理平台，查看相关功能（软件列表，课程列表）和统计信息（学习记录，考试成绩），并启动 3D 仿真项目。</p> <p>教师可通过平台组织仿真考试和理论考试；学生通过该平台可与老师互动、分享学习经验、做课程笔记、参加考试；教师和学生可方便的开展资源共享、仿真操作，并进行统一的人员与成绩管理，使教学工作网络化、信息化。</p> 

实验教学	开发技术	<input type="checkbox"/> VR <input type="checkbox"/> AR <input type="checkbox"/> MR <input checked="" type="checkbox"/> 3D 仿真 <input type="checkbox"/> 二维动画 <input type="checkbox"/> HTML5 <input type="checkbox"/> 其他
	开发工具	<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"/> AdobeFlash <input type="checkbox"/> UnrealDevelopment Kit <input type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input type="checkbox"/> 其他
	运行环境	<b>服务器</b> CPU 四核、内存 4 GB、磁盘 50 GB、 显存 2 GB、GPU 型号 NVIDIA <b>操作系统</b> <input checked="" type="checkbox"/> Windows Server <input type="checkbox"/> Linux <input type="checkbox"/> 其他 具体版本： <b>数据库</b> <input checked="" type="checkbox"/> Mysql <input type="checkbox"/> SQL Server <input type="checkbox"/> Oracle <input type="checkbox"/> 其他 <b>备注说明</b> （需要其他硬件设备或服务器数量 多于 1 台时请说明） <b>是否支持云渲染：</b> <input type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 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）	<b>单场景模型面数：</b> 100 万个； <b>贴图分辨率：</b> 1024px * 1024px； <b>每帧渲染次数：</b> 大于等于 30calls； <b>动作反馈时间：</b> 小于等于 30ms； <b>显示刷新率：</b> 60FPS； <b>分辨率：</b> 1920ppi * 1080ppi 其他：无

## 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	面向山东大学、山东理工大学，济南大学、昆明理工大学等

	高校，以及枣庄华润纸业有限公司等企业开放服务。
第二年	面向华南理工大学、青岛大学、临沂大学、陕西科技大学、山东交通学院等高校，以及远通纸业（山东）有限公司、枣庄市海象纸业有限公司等企业开放服务。；
第三年	面向新疆大学、青岛科技大学、山东科技大学、南昌大学、江南大学等高校，以及山东太阳纸业股份有限公司、山东晨鸣纸业集团股份有限公司、山东博汇集团有限公司等企业开放服务。
第四年	面向烟台大学，鲁东大学、广西大学等高校，以及烟台开发区鑫马纸业有限公司、维达纸业(山东)有限公司、山东庞瞳纸业有限公司等企业开放服务。
第五年	面向天津科技大学、青岛理工大学、山东劳动职业技术学院等高校，以及沁阳市华辰造纸机械厂、河南省辉县市新桥造纸厂、日照八方纸业有限公司等企业开放服务。

其他描述：

无

(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	4	350	1	20
第二年	5	400	2	30
第三年	5	400	3	50
第四年	3	256	3	60
第五年	3	270	3	60

其他描述：

无

## 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	制浆造纸过程自动控制虚拟仿真实验软件
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
<p>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。</p>	
著作权人	著作权人类型
齐鲁工业大学（山东省科学院）	<input checked="" type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
权利范围	全部权力
软件著作权登记号	2020SR1848256
<p>请附软件著作权登记证书</p>  <p>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。</p>	
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）：

葛爱冬

2024 年 1 月 7 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。）