

申报编号：2021-207205

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：再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验

专业类代码：0804

负责人：杨宇民

联系电话：15262737011

申报学校：南通大学

填表日期：2021-07-10

推荐单位：江苏省教育厅

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	再生PET液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验	是否曾被推荐	○是●否
实验所属课程 (可填多个)	聚合物合成原理及工艺, 高分子材料成型原理与工艺		
性质	●独立实验课 ○课程实验		
实验对应专业	高分子材料与工程		
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 2 次: 1. 2019-10-01 ~ 2020-01-31、100 人 2. 2020-03-01 ~ 2021-01-31、137 人		
有效链接网址	(要求填写标准 URL 格式的实验入口网页, 不允许仅为文件下载链接) http://rpetlsxh.hgxy.ntu.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	杨宇民	1967-12	南通大学	副校长	教授	15262737011	yangym@ntu.edu.cn	实验设计 在线教学服务
2	高强	1958-08	南通大学	主任	研究员	13962979792	gao.q@ntu.edu.cn	方案论证 在线教学服务
3	马海燕	1964-01	南通大学	无	教授	13809082528	mhyan2528@163.com	实验架构设计 在线教学服务
4	朱鹏	1980-10	南通大学	系主任	副教授	13809088268	pzhu@ntu.edu.cn	数学模型设计 在线教学服务

5	郭其阳	1991-04	南通大学	无	讲师	18068684369	qyguo@ntu.edu.cn	知识题库设计 在线教学服务
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	樊冬婍	1980-12	南通大学	无	副教授	在线教学		
2	程煜	1990-10	南通大学	无	讲师	在线教学		
3	倪朝晖	1970-11	南通大学	无	副教授	在线教学		
4	张军	1979-01	南通大学	无	讲师	在线教学		
5	丁丽萍	1986-03	南通大学	无	讲师	在线教学		
6	陆亚清	1979-12	南通大学	无	讲师	在线教学		
7	朱俊	1989-07	南京恒点信息技术有限公司	课程策划	无	技术支持		
8	伍致明	1996-11	南京恒点信息技术有限公司	U3D 研发工程师	无	技术开发		
9	邢书恒	1995-05	南京恒点信息技术有限公司	工程师	无	运营技术保障		
10	郑馨语	1992-03	南京恒点信息技术有限公司	策划部主管	无	在线服务保障		
11	何欣	1990-01	南京恒点信息技术有限公司	UI 设计师	无	效果设计		
12	姜浩	1986-11	南京恒点信息技术有限公司	场景美术师	无	unity3D 场景设计		
13	王宇	1992-05	南京恒点信息技术有限公司	美术部主管	无	3D 模型设计		
团队总人数：18 人 其中高校人员数量：11 人 企业人员数量：7 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）								
一、近 5 年本实验教学情况								
杨宇民主持实验大纲、实验教案的编制，指导线下实验；推进虚拟仿真实验课程的共享和改进；								
高强负责编写实验大纲、实验教学，指导 PET 物料干燥、PET 缩聚反应								

实验；

马海燕负责讲授实验理论要点，指导 PET 双螺杆挤出、PET 熔融纺丝实验；

朱鹏负责讲解实验安全要点，协助指导下实验；

郭其阳负责虚拟仿真实验知识题库建设和更新，协助线下实验。

虚拟仿真实验课程建设完成后主要成员都参与在线教学。

二、负责人简介

1. 教学课题

江苏省高等学校优秀科技教学创新团队，主持，2014.01-2016.12。

2. 学术研究课题

(1) 神经移植物高分子材料表面弹性和拓扑结构对神经再生的影响及规律研究，国家自然科学基金重点项目，2019.01-2023.12，主持；

(2) 组织工程神经移植物产品研发与应用，国家科技部，国家重点研发计划，2016.07-2020.12，主持；

(3) 壳聚糖神经移植物体内降解物壳寡糖对神经轴突生长的影响及机制研究，国家自然科学基金课题，2017.01 -2020.12，主持。

3. 获得的教学奖励

江苏省高等教育教学成果二等奖，2009。

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）

一、实验的必要性及实用性

1. 高分子材料的回收利用是实现可持续发展战略和生态文明建设的需求

聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）作为世界上产量最大的高分子材料之一，被广泛应用于高端制造、电子信息、航空航天、国防军工、纤维织物材料等领域。其在为国民经济服务的同时也产生了巨大的生态环境问题，如图 1 所示。习近平总书记指出，建设人与自然和谐共处的现代化，必须把保护环境摆在更加突出的位置。

2021 年国家发改委发布“十四五”循环经济发展规划，强调发展循环经济是我国经济社会发展的一项重大战略。坚持节约资源和保护环境的基本国策，遵循“减量化、再利用、资源化”原则，着力建设资源循环型产业体系，加快构建废旧物资源利用体系，全面提高资源利用效率，提升再生资源利用水平，建立健全绿色低碳循环发展经济体系，为经济社会可持续发展提供资源保障。研究表明，生产再生 PET 比生产原生 PET 可降低约 79% 的碳排放，每 10 亿只 PET 塑料瓶回收利用将降低 3 万吨新 PET 的使用，经济效益可观。因此，实现 PET 的循环利用将节约资源、减少污染，是最终实现碳中和、碳达峰的重要途径。



图 1：高分子材料垃圾造成的生态破坏

本实验课程以 PET 的循环利用为背景，将先进科研成果转化为教学内容，将立德树人和课程思政融入教学全过程，通过体验式教学方法，让学生身临其境地感受到通过技术创新可以变废为宝，为生态文明和人类社会可持续发展做出巨大贡献，从而在潜移默化中将正确的价值取向和理想信念传递给学生，培养学生的社会责任、职业道德，并在实践过程中触发学生对工匠精神的理解。

2. 以 PET 为代表的缩合聚合及纤维加工成型是高分子材料与工程专业《聚合物合成原理与工艺》、《高分子材料成型原理与工艺》两门核心课程的重要教学内容和核心知识点。是高分子材料从理论基础转向工程实践的关键。

聚酯纤维作为一类使用广泛的高分子材料，其合成加工无论在本科教学还是工业生产中都占据着十分重要的地位。聚酯材料的缩合聚合和纤维成型加工工艺原理是本科生专业知识体系最重要的组成部分之一，如图 2 所示。课程实践性强，为满足对学生实践能力培养的要求，对应两门理论课程分别开设了高分子聚合实验和高分子加工成型实验课程。实验课程的建设完全满足了培养能够解决复杂工程问题、具备综合实践能力的复合型本科专业人才需求，符合新工科专业建设的方向。

高分子材料循环利用是“化学-化工-材料”等诸多专业的交叉融合，是一项复杂的工程问题和学科前沿技术。高分子材料循环利用教学内容在传统课程设置中还有所缺失，目前针对于高分子材料循环利用的线上线下课程仍是空白。本课程的开设弥补了这一教学空白。



图 2：本实验课程在分子聚合及加工实验中的地位

3. 由于 PET 液相增黏及熔体纺丝实体实验环境恶劣存在人身伤害的风险、投入成本高、实验周期长、参数调控复杂、实验过程和结果不可逆等不利因素，相关实验必须采用虚拟仿真技术实现。

高危险性：①聚合和加工过程涉及高空作业，300℃及以上的高温环境，机械传动速度可达1000 m/min，存在烫伤、摔伤、肢体绞伤的危险；②液体试剂在聚合过程中存在泄露危险，实验存在巨大的安全隐患，给学生的人身安全带来潜在风险。

局限性：①投入巨大，成本高昂，目前高分子材料加工设备都采用大型生产线，线下实验不仅需要成套的装备，还要建设配套的生产车间，单条生产线包含20多台设备，占地达2000 m²，实验还涉及到仪器设备保养维修、原料购置等；②微观原理和现象无法在实际实验过程中展现；③实验过程中需要对若干参数进行重复设计，综合分析，单组连续实验需要72小时以上，无法满足在较短的时空条件下，完成从开始实验、参数设计到结果分析的完整实验过程。实践教学效率低下，学生无法得到真正的实践锻炼。

复杂性：整个生产工艺有3大流程，涉及干燥、物料输送、熔融挤出、熔体过滤、醇解反应、缩聚反应、增黏反应、熔体分配、熔体冷却、热拉伸、热定型、收卷等十几个实验工序，30多个调控环节，实验过程和实验结果不可逆。一旦出现失误可能造成生产线停车、设备损毁，甚至出现安全事故，实验代价过高（如图3所示）。



图3：线下实验的危险性、局限性、复杂性

二、教学设计的合理性

1. 还原再生 PET 液相增黏和熔体直纺的真实场景，构架全过程、递进式实验层次体现实验课程的高阶性；凝练科学研究成果，整合出不同层次实验模块，涵盖 PET 再生过程中的聚合反应工程和成型加工工程体现课程创新性；自主学习、自主探究、自主分析、自主设计，从多维度进行实验探索和验证，提高了课程的挑战度。

本实验课程的目的是通过 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真学习，让学生了解再生 PET 干燥、纤维后拉伸等设备的工作原理和启动程序，理解醇解、液相缩聚、纺丝成形的基本原理，掌握 PET 液相增黏和熔体直纺相关工艺参数的调控方法，提高实践操作能力和解决复杂工程问题的能力，让课程真正发挥出其培养新时代创新型、复合型、专业型新工科人才的作用。

在实验内容设计上，以 PET 聚合再生和加工成型为主线，嵌入生产认知、液相增黏、纺丝与测试三个模块，围绕 PET 的再生与加工流程，将高分子材料生产设备、聚合反应工程、聚合反应工艺、加工原理、加工工艺等知识点融合到整个实验项目中，拓展了实验的广度；以生产合格的 PET 工业单丝任务为导向，从单一问题上探索不同因素等对实验结果的影响，拓展了实验的深度。贯穿“认知-分析-综合-深化”四层次递进式设计，让学生在实验课程的学习过程中了解每门专业课程在工程实践中的作用、地位，课程之间的关联，让学生从被动的知识学习，逐步转化为主动的知识串联和重构，将独立的知识模块整合成一个有机的整体。加深对专业理论知识的理解。实现知识接受-知识整合-知识应用-创新创造的一系列角色转变，并最终为自己的职业生涯打坚实的基础。

本实验依托南通大学安全防护用特种纤维复合材料研发国家地方联合工程研究中心，课程内容来源于团队的科研成果，团队负责人杨宇民教授是国家高层次人才特殊支持计划创新领军人才，所带领团队为科技部重点领域创新团队，拥有国家高层次人才 2 人，国家重点研发计划项目首席科学家 2 人。在国家重点研发计划等项目支持下，团队首次以熔纺成纤聚合物废纤维、废膜、瓶片为原料，创造性地采用微醇解液相增黏技术，制得粘度高、分子量分布窄、可纺性好的再生 PET 聚合物切片；结合熔体直纺工艺，纺制功能性再生 PET 大直径单丝（如图 4 所示）。这些科研成果为本项目的开发建设积累了大量的实

验数据，提供了详实可靠的数据支撑。本实验以最新的聚酯再生技术为基础，利用虚拟仿真技术仿真了 PET 再生过程中的液相增黏和熔体直纺的整套生产工艺流程，将先进生产技术转化为教学资源，一线科研教师作为授课教师，实现科研反哺教学。

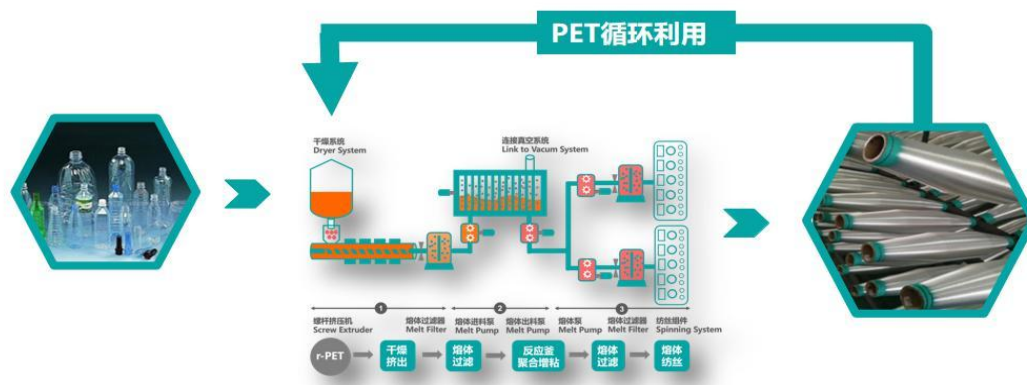


图 4: PET 循环再生及液相增黏、熔体直纺工艺流程图

在实验设计上，引导学生在关键环节反复实验，自主摸索实验规律，并将其体现在实验方案设计中。利用数学模型，将生产实践的数据通过经验公式模型化，学生可针对某一个参数或数个参数实时调节，研究单因素、双因素以及多因素下实验结果随着实验调节变化的规律。并以实验记录的方式记录学生的每一次实验参数-实验结果，学生需要根据理论知识选择合适的实验方案。评价体系以学生学习效果为导向，通过更宽容的评价体系，给予学生更多的尝试机会，让学生反复练习，掌握基本知识和操作技能。在课程考核评价中，设立严格的评价指标，通过多级赋分模型科学评价学生的学习效果，学生提交实验方案后可在实验报告中查看实验结果和得分，学生需要通过反复探索，掌握基本原理，并设计出优秀的实验方案才能得到高分。学生只有在刻苦学习后才能掌握知识、提高素质和能力。

2. 在教学内容安排上, 考虑不同学生学习能力的差异, 既满足对基本理论知识和基本工程能力的培养需求, 又能满足解决复杂工程问题能力和创新思维的培养需求, 适应不同层次人才培养要求。

从学生学习规律和知识的结构体系特征出发设计本实验课程内容。实验从基本原理学习出发，逐渐向深层次知识推进，针对实验规律研究，由难到易，

由表及里，融入生产准备、过程控制、关键参数调控、产品测试的全实验流程。在生产认知模块，通过认真学习设备基础知识，掌握设备安全操作规程，经理论考核后进行生产实训。在沉浸式的环境中了解不规范操作的实验后果，提高实验过程中人身安全意识。本部分作为基础知识，只要能认真学习，就可以得到比较好的成绩。

以生产任务为导向的核心实验环节中，需要学生对 PET 缩聚和纺丝有一个最基本的了解。同时对关键实验环节进行自主探究。学生可进入知识库，了解本步骤实验涉及的知识点，经过充分理解学习后，设计实验方案。利用实验结果的反馈，学生需要自主总结实验规律，了解实验本质，优化实验方案。

三、实验系统的先进性

1. 系统环境的先进性

此虚拟仿真系统采用 C#开发语言，基于 Unity 开发引擎发布的 WebGL 版本的应用，采用主要 WebSocket 协议实现与服务器的通信和数据传输，3DMAX 和 Maya 实现 3D 图形可视化。系统运行平台：Windows 8\Windows 10，火狐浏览器、谷歌浏览器（64 位）。用户使用轻量化，无需下载安装应用，直接打开网页即可运行该虚拟仿真系统。系统软硬件兼容性高，具备拓展的余地，便于实验课程的持续建设

2. 设计思路的先进性

（1）本实验坚持以学生为中心的教学理念，实验以任务为导向，增强学生的代入感和体验感，充分调动学生积极性，达到自主学习、自主实验、自主探究的目的。

（2）本实验综合性高，以再生 PET 聚合改性和材料成型加工流程为主线，通过三个实验环节，涵盖相关课程知识点，学生可通过实验重构基于工程实践的知识理论体系，将理论知识与生产实践紧密结合，着力提升学生解决复杂工程问题的能力，培养学生的创新精神与创造思维。

（3）本实验充分将思政育人融入教学体系。环境问题是重要的社会问题，实现生态文明和可持续性发展关系人民福祉，关乎民族未来。学生通过自主学习，深入了解废旧塑料循环利用新技术对资源高效利用和环境保护的重要价值，培养学生社会责任、工匠精神、思想道德。

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

一、通过本虚拟仿真实验，学生应当掌握的理论知识

1. PET 聚酯材料聚合工艺原理、纤维加工成型原理及纤维性能表征测试等基本理论知识，并能将其用于指导生产实践；
2. 掌握 PET 的绿色再生过程中关键生产设备的运行原理、使用方法和安全注意事项，掌握生产线的安全操作规程；
3. 掌握 PET 液相增黏和熔体直纺工艺过程优化方法和基本原理。

二、通过本虚拟仿真实验，学生应当掌握的实践能力

1. 掌握高分子聚合反应与加工成型等设备的工作原理和使用方法，提升学生的工程应用能力；
2. 具备实验方案设计，实验数据结果分析，撰写实验结论的能力；
3. 具备理论与实践结合，熟练应用工程原理，解决复杂工程问题的能力。

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：3 学时

3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验，以 PET 瓶片回收料的绿色循环再生及工业单丝加工为背景，基于物料干燥、材料聚合及加工成型原理与工艺等专业知识，结合生产数据和科研数据，利用虚拟仿真技术再现了高分子材料从原料准备、挤出塑化、液相增黏、纺丝成型到性能测试的整个生产和质量检测环节，通过关键参数重复设计模拟，总结规律、优化生产条件，掌握高分子材料加工生产全流程知识、操作技能，提高创新意识，获得解决复杂工程问题的能力。实验原理及架构图如图 5 所示。



图 5：实验架构图

知识点：共 13 个

1. 液相增黏生产流程及设备
2. 原料干燥原理及目的
3. 聚合物降解机理
4. 双螺杆挤出过程对物性的影响
5. 醇解作用
6. 缩聚原理及设备
7. 增黏原理及设备
8. 熔融纺丝
9. 拉伸取向
10. 拉伸工艺
11. 热处理工艺

12. 纤维力学性能测试方法

13. 干热收缩原理及测试方法

(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）

1. 实验设备、实验场景仿真还原：本实验采用 WebGL 图形技术、3D 仿真技术等手段对转鼓干燥机、上料机、双螺杆挤出机、熔体泵、熔体过滤器、反应釜、纺丝生产线等多个核心生产装置进行高度仿真还原。实验环境与真实生产环境高度一致，增强了学生的代入感。

2. 实验设备运行原理动画展示：由于生产设备结构复杂，生产过程完全封闭，无法观察实验过程中物料在设备中的状态变化，通过动画展示物料在生产过程中的状态变化，加深学生对生产的直观感受，更深刻理解实验原理。

3. 基于生产数据的模型仿真：实验数据来源于科研和生产过程，在物料干燥、挤出机参数设置、增黏反应和纺丝工艺优化等环节，通过对大量数据的归纳总结，建立了各实验环节的底层数理模型，确保了仿真实验的真实度。

3-5 实验教学过程与实验方法

本实验项目以学生为中心，以学习成果为导向，发挥虚拟仿真技术的优势，采用“情境浸入式”，“任务驱动式”、“容错探究式”和“虚实结合、交流互动式”教学方法，充分调动学生学习的积极性和主动性，让学生在短时间内全面系统掌握 PET 再生与成型理论知识，如图 6 所示。

“情境浸入式”：利用虚拟技术构建一个再生 PET 液相增黏与熔体直纺生产实景，场景模拟现实企业的生产线。将学生代入虚拟场景中，身临其境地体验再生 PET 聚合改性及单丝加工成型实际生产的各个环节。学生能够更直观的通过参观虚拟生产线，了解整个生产流程，认识生产线上的主要设备，了解其主要用途、设备原理等内容。实时反馈生产质量，互动解决生产问题，调动学生学习的积极性，拓展学生的思维空间。

“任务驱动式”：以生产任务为导向（加工合格的纤维产品），探究生产环节的问题（干燥、增黏、纺丝过程中的工艺参数优化），并以性能测试结果为评价标准，要求学生考虑生产中出现的问题，学生需结合各生产工段的基本

理论知识，合理调整工艺参数以解决生产问题，通过完成任务和解决问题调动学生学习的积极性，充分理解、分析和解决遇到的困难，提高独立思考的能力，获得成就感，同时培养勇于开拓进取，敢于创新的精神。

“容错探究式”：在生产工艺过程控制、参数调节等环节，采取容错的方式，给学生多次试错的机会，让学生在反复实验的过程中加强对知识的理解，学会观察和分析问题的原因，并尝试解决问题。主动探究生产过程中存在的实际问题及其与工艺参数的内在关联，从中发现规律，构建全新的认知模型和知识架构，拓展创新思维和创造能力。

“虚实结合、交流互动式”：通过虚拟仿真系统，构建真实场景，提高了学生的代入感和可操作性，有利于学生直观理解和感受；利用网络平台，实现学生之间、师生之间的互动，提高了教学效果和教学效率。通过线上线下交流探讨的方式，提高学生的学习积极性、主动性；使课堂效果达到最佳。

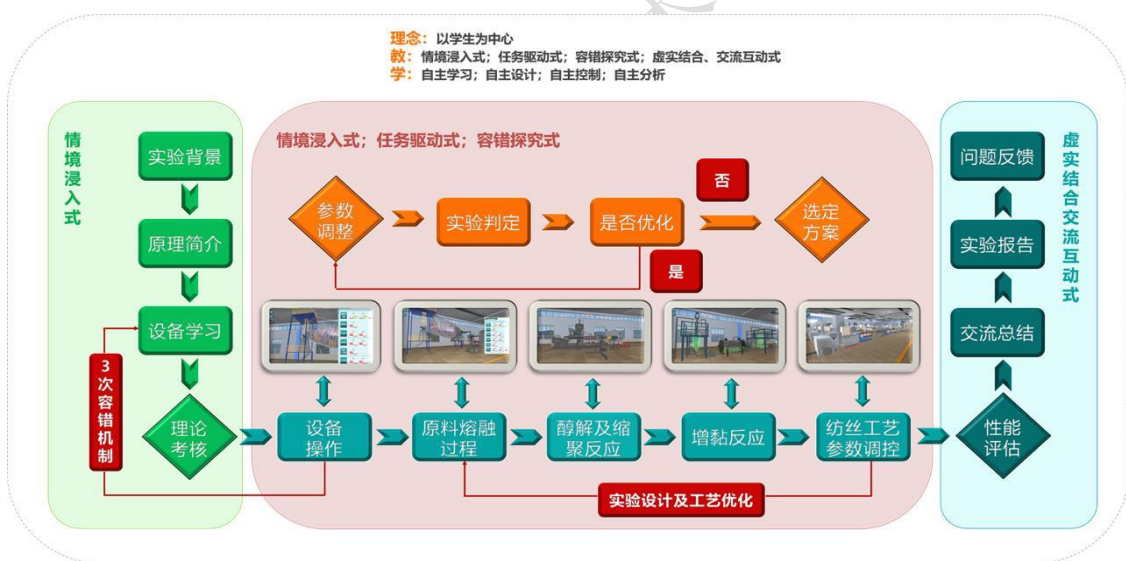


图 6：教学方法实施示意图

本实验综合采用了观察法、比较法、自主设计法、控制变量法、模型法等实验方法，使学生全面掌握设备原理，操作方法，增黏和熔融直纺过程中微醇解、缩聚反应、增黏反应、纺丝工艺调控的原理和方法(如图7所示)。

观察法：主要应用在生产设备学习、生产实训以及性能测试过程，学生直观的观察设备外形，内部构造及运行机理，生产车间的区域布置，让学生对工

厂、生产线及设备有一个直观的理解。通过观察产品性能测试过程，观察结构的微观变化。

比较法：主要用于在醇解及缩聚反应、增黏反应、纺丝等关键步骤中实验结果的对比，通过改变实验参量得到一系列实验结果，通过比较总结实验规律，逐步逼近最优工艺方案。

自主设计法：实验基于任务驱动式的教学方式，学生需要在探究结束后，自主选择实验方案，逐步完成整个生产任务。系统基于评价标准对实验方案进行评价。

控制变量法：在多参数调控过程中，学生可基于控制变量法，在其他参数确定的条件下分别考察反应时间、反应温度、反应真空度等参数在一个参量或两个参量对实验结果的影响，从而考察多因素下，不同参量之间相互作用相互影响的内在规律。

模型法：在物料干燥、熔融挤出、增黏反应、纤维性能测试等环节，通过对科研和生产过程中的原始数据进行整理和分析，建立实验底层数理逻辑关系模型。

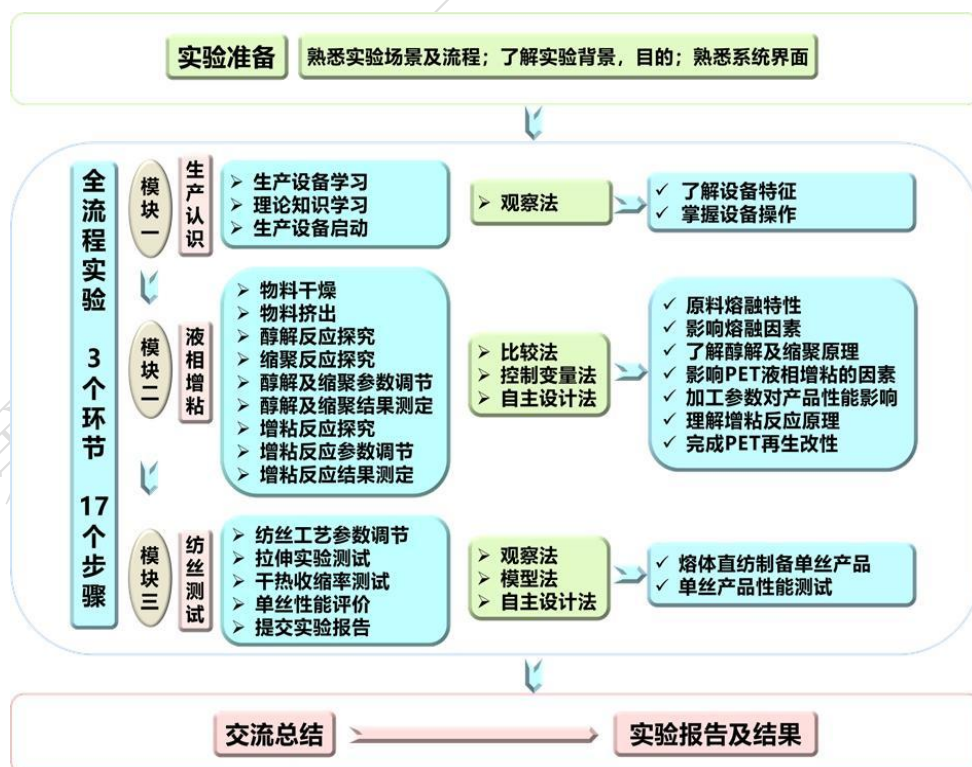


图 7：实验流程及实验方法示意图

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 17 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	认识生产设备结构组成及其原理	10	每学习一台设备得 0.5 分	4	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
2	掌握基本的理论知识	5	每道题答题正确得 1 分，答题错误不得分	10	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
3	掌握正确开机流程	10	3 次及以内操作正确得满分；4-6 次操作正确扣 1 分；7-9 次操作正确扣 2 分；9 次以上操作正确扣 4 分。	10	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
4	掌握干燥时间对物料含水率的影响	10	干燥时间设定为接近最低标准得满分；干燥时间每超过最低标准 1 小时扣 1 分；干燥时间低最低标准时间得 0 分	6	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
5	掌握挤出温度和挤出转速对熔体降解度与色度值的影响	20	本步骤为降解度和色度值两个判断标准，分为 3 个区间，在最优区间内得满分；次优区间扣 2 分；第三档区间扣 4 分。	14	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
6	学习醇解反应规律	5	实验次数超过 3 次得满分；实验次数 3 次以内少 1 次扣 0.5 分；不操作不得分	3	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
7	学习缩聚反应规律	5	实验次数超过 3 次得满分；实验次数	3	☒ 操作成绩

			3 次以内少 1 次扣 0.5 分；不操作不得分		☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
8	掌握醇解及缩聚工艺调控技术	7	无	0	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
9	掌握醇解及缩聚工艺判断方法	8	黏度值实验结果分为四档，结果在最优区间得满分；在次优区间扣 1 分；第三档扣 2 分；第四档扣 3 分。色度值实验结果分为三档，结果在最优区间得满分；在次优区间扣 1 分；在第三档区间扣 2 分	15	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
10	学习增黏反应规律	5	实验次数超过 3 次得满分；实验次数 3 次以内少 1 次扣 1 分；不操作不得分	5	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
11	掌握增黏反应工艺调节	7	无	0	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
12	掌握增黏反应判断方法	8	本步骤分为色度值和黏度值两个评判指标，各分为 3 各区间；在最优值区间得满分；在次优值区间扣 1 分；在第三档区间扣 2 分	10	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
13	掌握纺丝工艺参数调节方法	5	无	0	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
14	掌握纤维力	5	无	0	☒ 操作成绩

	学性能测试方法				☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
15	掌握纤维干热收缩率测试方法	5	无	0	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
16	掌握纤维性能评价指标	5	本步骤分为干热收缩率和断裂强度两个评判标准，各分4个区间；实验结果在最优区间得满分；在次优区间扣1分；在第三档区间扣2分；在第四档区间扣4分	20	☒ 操作成绩 ☐ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告
17	提交实验报告，撰写实验心得	5	无	0	☐ 操作成绩 ☒ 实验报告 ☐ 预习成绩 ☐ 教师评价报告

(2) 交互性步骤详细说明

环节一：生产认识

再生 PET 液相增黏及熔体直纺生产工艺所涉及的设备较多，生产流程长。通过本环节的学习操作，首先让学生了解生产设备、内部构造、运行机理以及操作注意示项。通过实际操作过程训练，熟悉设备操作顺序，了解操作不当带来的生产故障，学会正确的开机操作。

步骤 1：生产设备学习

在“生产认识”下拉菜单中，点击“生产设备学习”，观察并了解每个设备的组成、功能、原理以及操作注意示项，如图 8、图 9 所示。学习完成后点击确定，结束设备学习。

实验目的：让学生了解实验过程中所使用的设备组成、设备原理及操作安全事项。



图 8：设备学习



图 9：设备展示

步骤 2：理论考核

完成设备学习后，点击“确定”，系统自动转换到理论考核界面，考核学

生对基本理论知识的掌握情况。如图 10 所示。完成考核后点击提交，结束理论考核。

实验目的：考核学生基础理论知识掌握情况。

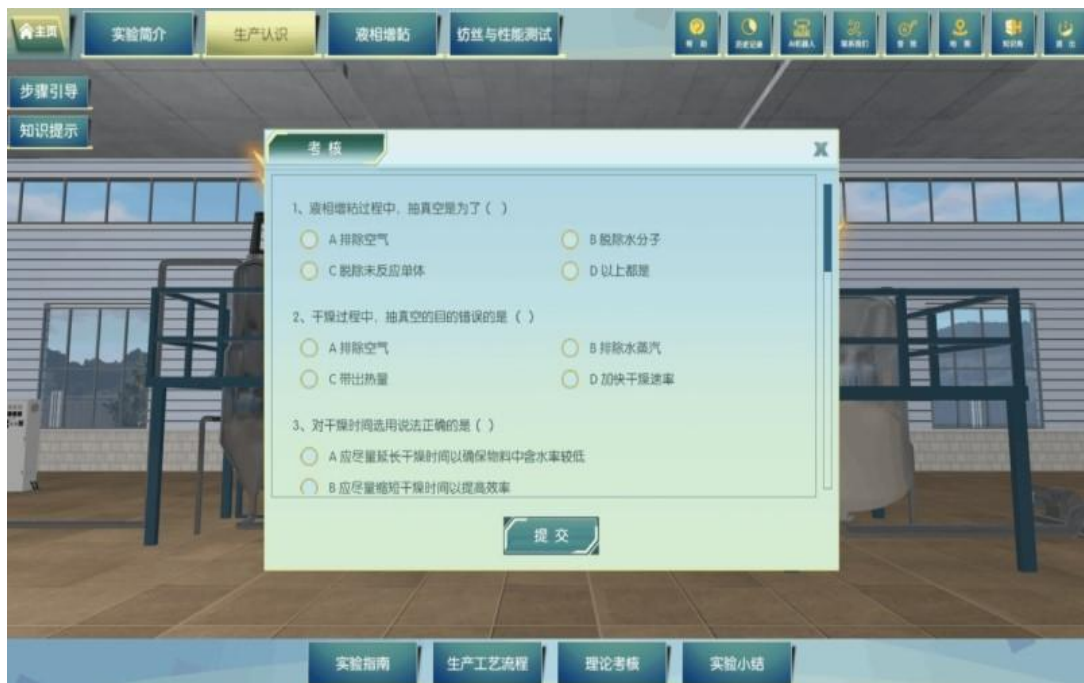


图 10：理论考核

步骤 3：生产操作实训

点击“生产认识”下拉菜单中的“工艺过程控制”，进入设备操作实训，学生需按照正确的操作流程，实现每个设备中的正常启动。依次启动设备，若启动顺序正确，则设备会出现相应的设备及物料动态展示，如图 11 所示。若操作顺序有误，则系统给出提示，如图 12 所示。确认后回到初始界面重新进行开机操作。本环节设置考核容错机制，学生有三次尝试机会，每次尝试可错误三次，若三次操作均错误，则学生需要回到设备学习阶段，重新学习设备原理及注意事项。考核合格后方可进行下一次尝试，直到开机成功，如图 13 所示。

实验目的：在虚拟环境中掌握正确的生产线启动流程，锻炼学生的设备操作能力。



图 11：生产线开机流程实训



图 12：生产线开机流程失误提示



图 13：开机成功

环节二：液相增黏

本环节设置了三个子环节，分别是“原料熔融”、“醇解及缩聚反应”和液相增黏反应。本环节完全模拟了原料经干燥、熔融、醇解、缩聚和增黏五个状态及反应变化过程。让学生了解以 PET 为代表的聚酯类材料干燥的作用以及干燥时间对物料含水率的影响；在双螺杆熔融挤出过程中物料降解和色度变化的控制因素；乙二醇对 PET 醇解和副产物的影响；缩聚反应和增黏反应过程中反应温度、反应时间、真空度对熔体增黏效果的影响；要求学生通过学习了解，设计合理的液相增黏反应参数，完成生产任务，使学生具备复杂工况和多参数体系下生产工艺的设计能力。

依次点击“液相增黏”选项，展示该环节下拉菜单。分别点击“原料熔融”、“醇解及缩聚反应”和“增黏反应”可进入相应子环节。

步骤 4：探究干燥时间对物料含水率的影响

点击“原料熔融”，首先了解生产任务，点击“开始加工”了解原料的初始物性，如图 14 所示。

点击“确定”，并激活设备，进入参数调节界面，如图 15。调节干燥时间得

到相应的物料含水率测试结果。学生需掌握干燥时间与物料含水率变化的规律。学生可在知识提示中获取信息提示。

实验目的：掌握干燥时间与物料含水率变化的规律。



(a) 生产任务



(b) 原料物性

图 14: (a) 生产任务; (b) 原料物性



图 15: 干燥及熔融参数调节界面

步骤 5: 探究挤出温度和挤出转速对熔体降解度与色度值的影响

通过调节挤出温度和挤出转速得到一系列熔体降解度与色度值。学生可在知识提示中学习挤出温度和挤出转速对熔体降解度与色度值的影响效果。

若步骤 4 和步骤 5 所设置的参数合理, 则给出柱状图展示结果, 如图 16 所

示。若实验错误，则给出提示,如图 17 所示。点击确定可回到参数调节界面。

若得到合理结果，学生可选择“重新优化”通过再次调整参数得到新的实验结果。点击“实验记录”，学生可在实验记录中看到每一次设置的参数以及实验结果，如图 18 所示。若学生完成本步骤实验，需要在实验记录中选择自己认为合理的实验方案，点击提交完成本步骤实验。

实验目的：掌握挤出过程参数对 PET 熔融过程的影响。



图 16：原料干燥及熔融结果



图 17：干燥及熔融过程错误提示



图 18：实验记录

步骤 6：探索学习乙二醇含量、醇解时间对物料特性黏度的影响

点击“液相增黏”在下拉菜单中点击“醇解反应”，激活设备，学生可通过调节乙二醇含量探索学习不同醇解时间、不同乙二醇含量下醇解对熔体特性

黏度变化的影响。如图 19 所示。

实验目的：掌握 PET 醇解原理及目的，掌握关键醇解参数对醇解及缩聚的影响。



图 19：乙二醇含量对醇解反应的影响

步骤 7：探索缩聚反应过程中反应温度、反应时间、真空度等条件对物料特性黏度的影响

点击“缩聚反应”，通过调节缩聚真空度和温度，观察到不同时间下熔体特性粘度的变化趋势。如图 20 所示。

实验目的：掌握缩聚过程中，反应温度、反应时间、真空度等对 PET 熔体特性黏度的影响。



图 20：缩聚反应探索学习

步骤 8：醇解及缩聚工艺参数调节

点击“醇解及缩聚工艺调控”，进入醇解及缩聚反应工段，激活立式搅拌反应釜，设定乙二醇含量和醇解时间，点击“开始醇解”按钮；激活卧式成膜反应釜，设定缩聚反应温度、缩聚反应时间、缩聚反应真空度，点击开始缩聚。如图 21 所示。

实验目的：掌握醇解及缩聚工艺调节方法。



图 21：醇解及缩聚参数调控

步骤 9：醇解及缩聚反应结果测试

系统判定缩聚反应，在柱状图中，DEG 与色度 b 值有一个上限，若超过上限，则标识柱变成红色，指标不符合要求；特性黏度有最低标准值，低于最低值，指标不符合要求，同样用红色标识柱提示，如图 22 所示。点击“重置参数”可重新进行参数设置。若参数均合格，则用绿色柱状图表示，如图 23 所示。学生可点击重置参数进行参数优化。点击“实验记录”学生可在实验记录里看到每次实验的参数设置和实验结果，可根据实验结果重复实验。最后学生需选择自己认为合理的实验方案并提交，如图 24 所示。

实验目的：掌握醇解及缩聚反应结果评价方法。



图 22：不合格提示



图 23：合理方案结果展示



图 24：实验记录

步骤 10：探究学习增黏反应过程中反应温度、反应真空度在不同反应时间下熔体特性黏度的变化趋势

点击“液相增黏”在下拉菜单下选择“增黏反应”，激活立式成膜反应釜，学习反应温度、反应真空度在不同反应时间下熔体特性黏度的变化规律，如图25所示。可选择时间或真空度作为研究对象，选择合适的参数，点击“调节”，系统根据反应条件测算不同反应时间下的实验结果，并用坐标系表示。点击“完成”完成本步骤实验。

实验目的：掌握增黏反应过程中反应温度、反应真空度和反应时间等参数对 PET 熔体特性黏度的影响。



图 25：增黏反应探究学习

步骤 11：增黏反应参数调节

选择“增黏反应工艺调整”，调节反应时间，反应温度，真空度三个参数，得到最终物料熔体黏度和色度值结果，如图 26所示。



图 26：增黏反应调参

步骤 12：增黏反应结果测试

系统判定增黏反应，在柱状图中，b 值有一个上限，若超过上限，则标识柱变红提示；特性黏度有最低标准值，低于最低值，不合格，同样用红色标识柱提示，如图 27 所示。点击重置参数进行参数重置。若参数均合格，则用绿色柱状图表示。如图 28 所示。学生可点击重置参数进行参数优化，每一次实验方案和实验结果均在“实验记录”中列出。学生可不断重复实验，最终选定合理方案并提交，如图 29 所示。



图 27：增黏反应判定



图 28：合理方案结果展示



图 29：增黏反应实验记录

环节三：纺丝与性能测试

本环节包含“纺丝工艺”探究，与“性能测试”两个子环节，需要学生掌握熔融纺丝二级拉伸以及超喂速对纤维强度和干热收缩率的影响，并掌握纤维强度和干热收缩率的测试方法。

步骤 13：纺丝工艺参数调节

点击“纺丝与性能测试”，首先了解前置纺丝工艺参数，如图 30 所示。点击“确定”进入纺丝工艺界面，调节纺丝参数，如图 31 所示。本步骤设立容错机制，参数调节完毕后，并不会直接评判参数是否合理，需要通过后续测试获得结果，若测试不通过，则需回到此环节重新设置参数。

实验目的：掌握热拉伸及热处理原理以及工艺参数调控方法。



图 30：前置纺丝工艺参数



图 31：纺丝工艺参数界面

步骤 14：拉伸测试

点击“性能测试”进入测试室。激活纤拉伸测试仪，进入检测环节，点击开始测试，测试纤维强度，如图 32 所示。点击“完成”结束本步骤。

实验目的：纤维掌握拉伸测试原理及测试设备使用方法。

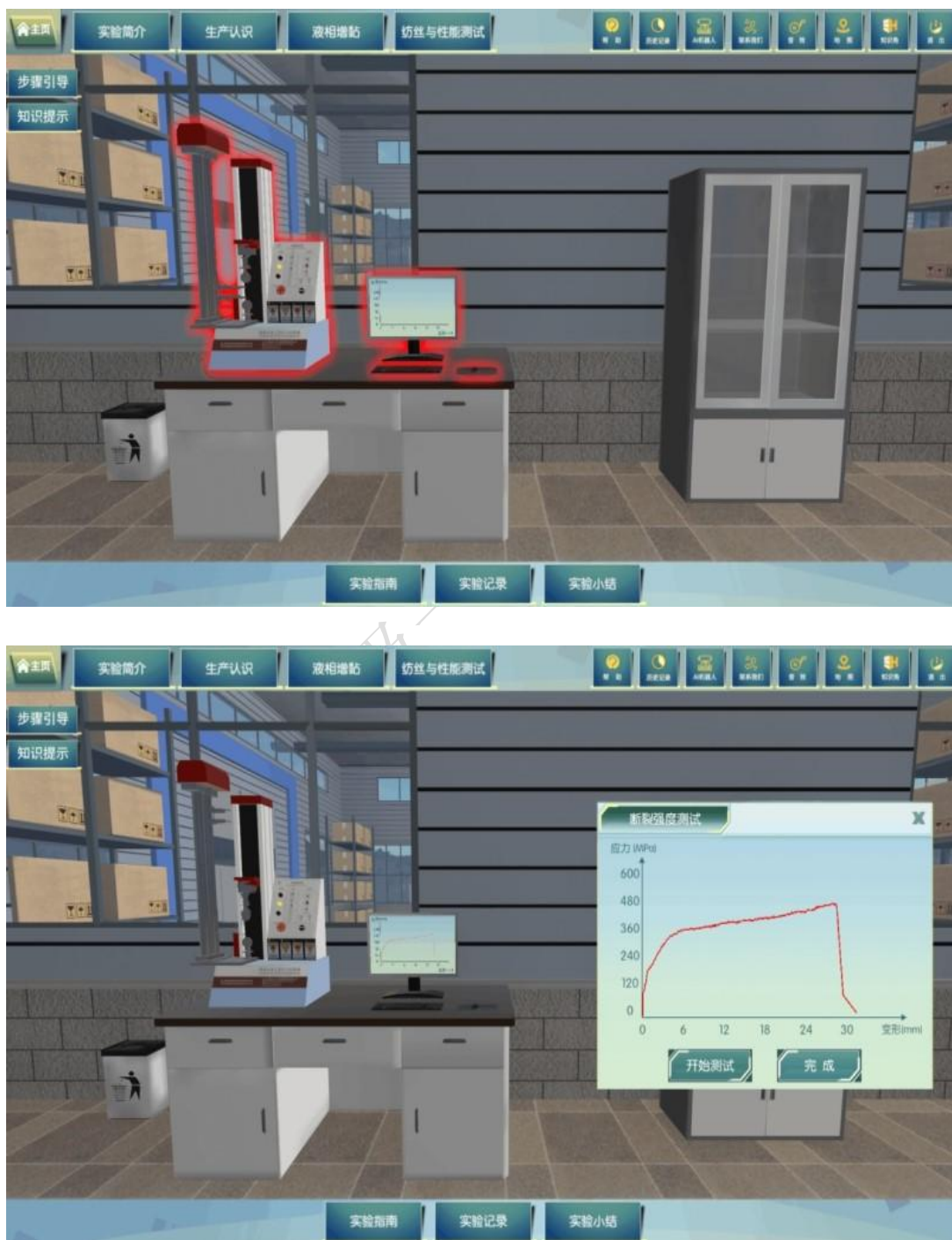


图 32：拉伸测试

步骤 15：干热收缩率测试

进入干热收缩率测试环节，点击“开始测试”测试纤维干热收缩率。点击“完成”结束本步骤实验，如图 33所示。

实验目的：掌握纤维干热收缩测试方法。



图 33：干热收缩率测试

步骤 16：单丝性能评价

根据纺丝条件给出测试结果。如图 34 所示。学生可点击“继续探究”，实现纺丝工艺参数合理调整。学生可在“实验记录”中观察每一次的实验方案和结果，并根据实验结果做进一步实验调整，选择自己认为合理的实验方案提交，如图 35。

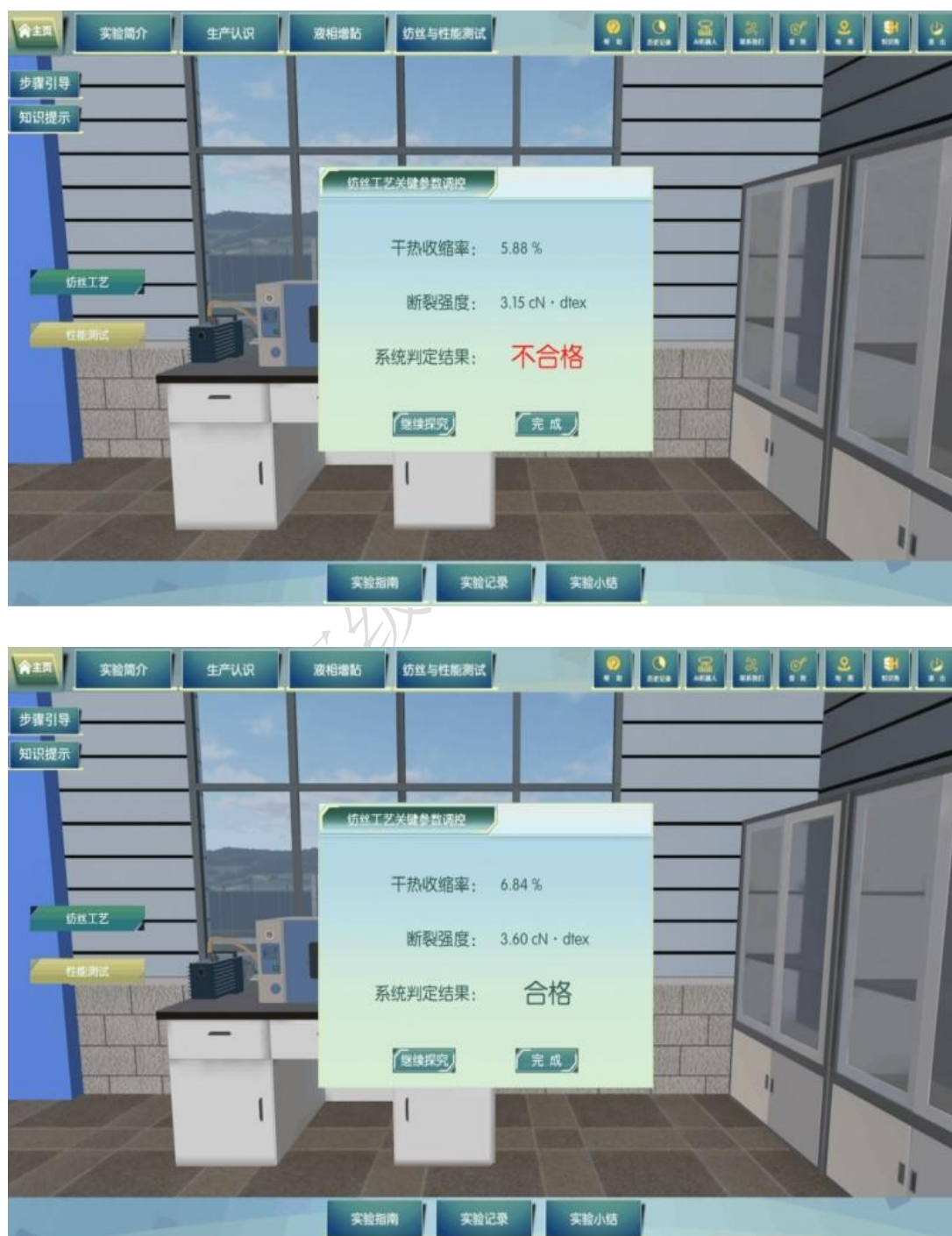


图 34：纺丝测试结果评判



图 35：纺丝工艺实验记录

步骤 17：提交实验

点击“主页”，回到主页点击“实验报告”，学生可查阅本次实验结果和成绩，如图 36所示。若学生对本次实验任何一个实验环节不满意，均可重新实验。若对实验结果满意，填写实验心得，点击“提交”完成本次实验。



图 36：提交实验报告

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）

实验报告如下表所示。

实验报告					
实验名称	再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验				
姓名		实验时间		成绩	
一、实验内容					
1. 认识生产线，了解相关设备加工运行原理，考核高分子材料加工原理基本理论知识 2. 跟随程序提示，了解生产线中各种设备开机流程，及其原理；通过在线考核掌握开机流程； 3. 运用高分子材料改性、成型相关理论，完成原料干燥、熔体改性、单丝成型等工序中的生产问题，实现工艺参数优化。					
二、实验结果					
环节一：生产认识					得分
生产设备学习	转鼓干燥机				
	上料机				
	双螺杆挤出机				
	熔体泵				
	熔体过滤器				
	缩聚反应釜				
	卧式成膜反应釜				
	立式降膜管式反应釜				
原理考核					
生产过程控制				错误次数：	
环节二：液相增黏					
原料熔融	参数设置	干燥时间：			
		挤出温度：			
		挤出转速：			
	实验结果				
醇解及缩聚反应	醇解反应学习				

	缩聚反应学习		
	醇解及缩聚反应调节	乙二醇含量： 醇解时间： 缩聚温度： 缩聚时间： 真 空 度：	
	实验结果		
增黏反应	增黏反应学习	学习图标	
	增黏反应调节	反应时间： 反应温度： 真 空 度：	
	实验结果		
环节三：纺丝与性能测试			
纺丝	参数设置	三号牵引机速率： 四号牵引机速率：	
性能测试	实验结果	断裂强度： 干热收缩率：	
三、实验心得			

实验结论：

环节一

生产设备学习过程中，单项赋分，说明学生正确学习设备原理；未赋分，说明学生没能正确学习设备原理；

原理考核，赋分 8 分以上，学生理论知识扎实；赋分 8 分以下理论知识不扎实；

生产过程控制记录学生错误次数，设备启动成功得到赋分，设备启动不成功不赋分。

环节二

原料熔融环节

干燥时间、挤出温度、挤出转速参数设置合理将得到赋分；参数设置不合理将不赋分；赋分越高说明参数越接近最优工艺，赋分越低说明参数设置聚最优工艺偏差越大。

醇解及缩聚环节

醇解反应学习赋分越高，对实验规律的学习越充分；赋分越低，对实验规律学习越少；

缩聚反应学习赋分越高，对实验规律的学习越充分；赋分越低，对实验规律学习越少；

醇解及缩聚反应工艺调控，得到赋分说明工艺参数在合理范围内；赋分越高，实验方案趋向最优条件，赋分越低，说明工艺调节远离最优条件。

增黏反应环节

增黏反应学习赋分越高，对实验规律的学习越充分；赋分越低，对实验规律学习越少；

增黏反应工艺调控，得到赋分说明工艺参数在合理范围内；赋分越高，实验方案趋向最优条件，赋分越低，说明工艺调节远离最优条件。

环节三

通过调节纺丝工艺参数，得到不同性能的单丝，通过测试，系统将给出性能判断，实验通过，说明实验方案在合理范围内，赋分越高，工艺调节趋向最优条件，赋分越低，说明工艺调节远离最优条件。

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

面向高分子材料科学与工程专业以及相关专业的专业(如高分子材料成型、化学工程、纺织材料、环境工程、应用化学等)本科三年级、四年级学生开设。

(2) 基本知识和能力要求

学生需掌握高分子物理、高分子化学、高分子材料成型原理与工艺、高分子材料合成原理与工艺、高分子材料研究方法等相关课程的基础理论知识；掌握高分子材料性能测试方法及标准。具备文献查阅能力，了解高分子材料发展

前沿。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019 年 9 月 12 日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 1037 人，外校 850 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：1，具体专业：高分子材料与工程，

教学周期：2，学习人数：237

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2019 年 9 月 12 日

(6) 已服务过的社会学习者人数：680 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）

一、实验设计特色

实验坚持以学生为中心的教学理念，以培养学生的能力素养为目标，将立德树人和课程思政贯穿教学全过程，凝练科研成果反哺实践教学，实现科教协同。实验串联高分子材料合成和材料加工两大主干课程，在教学上形成有机整体，有利于学生对专业知识的重构。通过容错探究、任务驱动的教学方法充分调动学生学习的积极性和兴趣，引导学生关键环节反复实验，实验层次分明，可实现多参数下的实验探究。将 PET 循环利用的最新科研成果转化为实验内容写进教学课程，让学生在学习过程中充分认识循环利用对保持生态平衡、降低碳排放的重要作用，将社会责任感和职业道德教育融入实验课程中，培养学生正确的价值追求和道德情操。

二、教学方法特色

针对再生 PET 液相增黏过程和熔体纺丝过程危险性高、周期长、实验结果不可逆等特点，综合采用了情境浸入式、任务驱动式、容错式的教学方法，提高学生的工程思维 and 解决复杂工程问题的能力。学生首先通过自主学习掌握基本理论知识，通过虚拟仿真

场景重构知识体系，学会将理论联系实际。以生产任务为导向，激发了学生的学习兴趣 and 自主性。关键参数设置环节进行容错式探究，实验方案具有开放性，鼓励学生针对关键实验环节反复探究，不断优化实验方案设计，最终使学生通过虚拟仿真实验掌握高分子材料“聚合-加工-性能”三者之间的工程联系。

三、评价体系特色

本虚拟仿真实验课程采用多维度的评价方式对学生学习效果进行评价，全面考察学生对知识点的掌握情况，工程问题分析能力，工程方案设计能力。实验课程覆盖了高分子材料合成加工全流程，知识结构完整，可以考察学生知识掌握的系统性。实验以生产高强度单丝为任务目标，在聚合和纺丝等关键环节进行实验探究，系统将根据实验优化次数、实验方案设计以及实验结果综合评价，充分考察学生问题分析和工程方案设计能力。

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) 9名提供在线教学服务的团队成员；4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3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）

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:

32060243002-21067

（2）请附信息系统安全等级保护备案证明

信息系统安全等级保护 备案证明	
依据《信息安全等级保护管理办法》的有关 规定, <u>南通大学</u> 单位 的:	依据《信息安全等级保护管理办法》的有关 规定, <u>南通大学</u> 单位 的:
32060243002-21067	第 <u>贰</u> 级 <u>网络与信息系统</u> 系统
证书编号:	予以备案。
中华人民共和国公安部监制	备案公安机关公章 二〇二一年七月

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。学生可报名参与课程，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。

实验 教学	开发技术	☒ VR ☐ AR ☐ MR ☒ 3D 仿真 ☐ 二维动画 ☐ HTML5 ☐ 其他
	开发工具	☒ Unity3D ☒ 3D Studio Max ☒ Maya ☐ ZBrush ☐ SketchUp ☐ AdobeFlash ☐ UnrealDevelopment Kit ☐ Animate CC ☐ Blender ☐ Visual Studio ☐ 其他
	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 NVIDIA GRID K1 操作系统 ☐ Windows Server ☒ Linux ☐ 其他 具体版本：centos7 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）	单场景模型面数：40 万个； 贴图分辨率：512px * 512px； 每帧渲染次数：30calls； 动作反馈时间：11ms； 显示刷新率：60FPS； 分辨率：104ppi * 104ppi 其他：

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	进一步与软件公司合作，持续优化用户体验，及时更新知识角课件库，补充最新 PET 再生国际国内前沿研究和产业化技术成果。
第二年	拓展物料干燥子环节，扩充物料干燥的影响因素，建立多参数数学模型，增加实验难度。
第三年	进一步优化增黏模块反应模型，增加熔体流量、反应釜内熔体液位高度、液膜厚度等因素对增黏反应结果的影响探究，增加成本控制评判。
第四年	拓展纺丝与测试环节，进一步细化工艺参数，包括喷丝头拉伸比，多级拉伸中拉伸倍率的分配，熔体冷却温度，多级拉伸温度，热处理温度等参数，增加异形纤维、超细纤维、大直径纤维等不同结构纤维的生产设计，增加结构表征环节，建立加工-结构-性能关系。
第五年	将聚合物种类从 PET 扩展到聚丙烯、聚酰胺等可纺性聚合物，拓展仿真技术手段，引入 VR、MR 等虚拟技术，提高实验感知度。

其他描述：

本项目在今后 1 年内面向高校和社会免费开放并提供教学服务，1 年后至 3 年内免费开放服务内容不少于 50%，3 年后免费开放服务内容不少于 30%。

(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	5	400	2	300
第二年	5	400	2	300
第三年	10	800	4	800
第四年	10	800	4	800
第五年	10	800	4	800

其他描述：

面向高校的推广计划：全国设置高分子材料与工程专业的高校有 200 多所。本课程将依托团委西部服务计划向甘肃、重庆、四川等西部省市高校推

广应用。以学术交流、课程交流的形式向江苏省及周边省市高校推广使用。同时本项目也可依托虚拟仿真平台和联盟等教学平台推广使用。根据教学反馈持续对课程软件和硬件设施更新，优化人机交互。预计 5 年推广 40-50 所高校，约 3000 名学生受益。

面向社会的推广计划：长三角地区是轻工业集聚区。拥有众多成纤聚合物的合成、加工成型等类型企业，本课程将依托南通大学安全防护用特种纤维复合材料研发国家地方联合工程研究中心在区域的影响，通过地方服务计划、校企合作、产学研合作等模式持续向塑料改性、纤维加工、高分子材料聚合生产等相关企业推广。课程可在高分子材料聚合生产、塑料改性、纤维成型、纺织、塑料再生、化学工程、高分子材料专用设备生产等行业推广使用，预计 5 年可推广 30 家企业，受益人数将达到 2500 人。

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	再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验软件 1.0
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
南通大学	☒ 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	全部权利
软件著作登记号	2020SR1510238
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 7 月 11 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。）

虚拟仿真实验教学一流课程政治审查意见表

课程名称	再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验
课程负责人	杨宇民
课程组成员	高强、马海燕、朱鹏、郭其阳
审 查 内 容	
课程组自查情况如下（请逐项检查打√）： 1. 虚拟仿真实验教学一流课程内容及申报材料不涉及国家安全和保密的相关规定，可以在网络上公开传播与使用。（√） 2. 申报虚拟仿真实验教学一流课程的知识产权清晰、明确，不侵犯第三方权益。（√） 3. 保证虚拟仿真实验教学一流课程内容不存在政治性、思想性、科学性和规范性问题，侵犯肖像权等问题，以及其他违反国家法律法规的问题。（√） 4. 全体课程组成员热爱教育事业，具有良好的道德品质和师德修养，没有学术不端，5 年内没有违纪行为。（√） 5. 全体课程组成员、直系亲属及主要社会关系价值取向正确，思想上与党中央保持高度一致，能积极贯彻执行党的各项路线、方针和政策，没有发现不良言行。（√）	
学校意见： 同意 杨宇民  负责人签字： (学校党委盖章) 2021 年 6 月 7 日	

关于第二批国家级一流本科课程推荐课程 课程团队成员和课程内容的政治审查意见

经审查，伍致明、邢书恒、郑馨语、朱俊、何欣、姜浩、王宇 政治表现优秀，无违法违纪记录，无师德师风问题，无学术不端行为，五年内未出现过重大教学事故。由以上团队参加的南通大学再生PET液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验 课程内容价值取向正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述准确无误，对于国家主权、领土表述及标注准确。

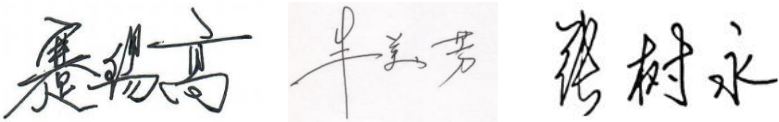
同意该课程参与第二批国家级一流本科课程申报。

南京恒点信息技术有限公司（盖章）



2021年5月31日

虚拟仿真实实践教学一流课程学术评价意见表

课程名称	再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验
课程负责人	杨宇民
评 价 意 见	
（请对课程内容进行学术性评价） 由南通大学杨宇民教授团队开发的“再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验”教学项目教学成果优秀。该课程团队具有丰富的教学经验、较高的学术水平和丰硕的科研成果。通过科研反哺教育，将最新科研成果转换成教学资源。该课程自 2019 年 9 月上线以来，现已成功运行 2 个教学周期。 教学内容上，本课程教学资源丰富，可以满足本科生教学要求和社会人员的自主学习需求。能够及时为学生提供有效的教学服务，及时更新完善课程内容。课程内容具有前沿性，能将本学科科技前沿介绍给学生，促进教学与科研的融合，培养学生创新创造精神。 教学方式上，打破了时空限制，学生可随时随地利用课程资源进行自主学习。该项目充分利用信息技术拓展了教学方法，采用情境浸入、任务驱动、容错探究、交流互动等多种教学方法增强了学生参与感和体验感，激发学生的学习兴趣 and 主动性，并增进了师生之间的交流。同时建立科学的评价体系、丰富的测试题库，极大的提高了学生学习的积极性。 该课程知识体系科学，教学资源丰富，配置合理，适合线上学习。能够充分弥补线下实验的不足，通过线上线下结合，有效提高实践教学质量和效率，具有良好的示范作用。 综上所述，该课程在学术性方面达到了申报国家级虚拟仿真实实践教学一流课程的条件。	
专 家 签 字	
2021 年 06 月 08 日	



蹇锡高院士

蹇锡高，有机高分子材料专家，中国工程院院士，亚太材料科学院院士，大连理工大学教授、高分子材料研究所所长、辽宁省高性能树脂工程技术研究中心主任。长期从事有机高分子材料创新与产业化研究，先后完成国家重点攻关、军工配套、“863”、高技术产业化等项目 30 余项。获国家技术发明二等奖、中国专利奖、中国高校科学技术进步二等奖。发表了 SCI 论文 244 篇，获得授权发明专利 16 件。所带团队入选首批“全国高校黄大年式教师团队”。



朱美芳院士

朱美芳，中国科学院院士，东华大学教授，博士生导师。现任东华大学纤维材料改性国家重点实验室主任。国家杰出青年基金获得者、科技部重点领域创新团队负责人。发表 SCI 论文 300 多篇，获授权发明专利 160 余件、PCT6 件。以第一完成人获国家科技进步二等奖、上海市自然科学一等奖、上海市技术发明一等奖等 10 余项。所带团队入选首批“全国高校黄大年式教师团队”。



张树永教授

张树永，理学博士、教授、博士生导师。山东大学教学促进与教师发展中心主任兼本科生院副院长。承担科研和教研项目 30 余项，发表论文近 130 余篇，其中 SCI、EI 收录论文 47 篇，教学研究论文 68 篇；主编国家级规划教材 2 部，主持国家级线下一流课程 1 门；获国家级教学成果二等奖 1 项、山东省教学成果一等奖 2 项、宝钢基金优秀教师奖等各类奖励 20 余项。

南通大学“再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验”

项目使用评价

江苏恒科新材料有限公司是一家专门从事聚酯切片、聚酯纤维生产的高新技术企业。PET 聚合及熔体直纺是我单位生产 PET 涤纶纤维的关键技术过程。但该生产过程专业性较强,这使得不具备高分子材料专业背景的新员工在了解生产设备、生产工序、生产工艺、产品质量管控等方面存在较大的困难,新员工岗前培训难度大、时间长,严重影响了本企业的生产和研发效率。为满足我单位科研技术人员及新员工关于 PET 聚合及熔体直纺工艺的培训和学习需要,南通大学“再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验”项目向我单位开放。

经我单位实际使用发现,南通大学“再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验软件”十分契合我单位对新员工及相关技术人员的培训需求。能够帮助员工快速学习和掌握聚合反应工程以及熔体直纺工艺相关基础知识。软件适用性强,通过该软件培训,任何专业背景的新员工均能在短时间内达到岗前培训要求。同时,该虚拟仿真软件的使用,大大降低了新员工初期培训成本,提高培训效率。该项目为本单位技术人员学习和新员工培训提供了很大的帮助,迄今为止我单位已有 130 余人完成该实验项目的培训。

(盖章)

2020 年 10 月 29 日



南通大学“再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验”

项目使用评价

南通大学化学化工学院开发的“再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验”教学项目，将《聚合物合成原理及工艺》、《高分子材料成型加工原理》等专业课程核心知识点有机地结合起来，利用 3D 虚拟仿真技术，再现了高分子材料聚合改性、加工成型、性能测试等完整的生产流程，仿真度高、体验感强。实验项目具备综合实践、创新设计、自主探究等特点，有利于学生自主学习。

该实验包含三个环节，首先通过生产认识环节，学习高分子材料加工生产设备组成、运行原理以及操作注意事项，掌握正确的生产设备操作流程，了解操作不当引发的后果。然后，通过 PET 液相增黏环节，帮助学生掌握原料干燥机理和原料熔融过程，探究增黏反应条件对熔体物性的影响。最后通过纺丝与性能测试环节，掌握影响纤维性能的因素，掌握纤维力学性能及干热收缩率测试方法，探究二级拉伸及热处理工艺对纤维综合性能的影响。

南通大学开发的“再生 PET 液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验”教学项目综合性强、实践性高，有利于培养学生解决复杂工程问题的能力。自 2020 年以来，我校将该实验项目应用于材料科学与工程、应用化学等相关专业的教学。在疫情期间，依托该项目进行在线实验教学，解决了无法进行线下实验教学的困难，圆满完成了实验教学任务。同时，这种新的在线实验教学模式激发了学生的学习兴趣，学生的学习效率和学习质量得到了明显提高。迄今已有 150 多人参加该虚拟仿真实验项目的学习，教学效果良好。

绵阳师范学院化学与化学工程学院

(盖章)

2020 年 9 月 24 日



642

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6311210号

软件名称： 再生PET液相增黏及熔体直纺工艺虚拟仿真实验软件
1.0

著作权人： 南通大学

开发完成日期： 2019年12月30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： 2020SR1510238

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。



No. 06589744



2020年10月14日

《聚合物合成原理及工艺》课程大纲

一、课程基本信息

课程编号	176081119	培养方案版本	2019 级		
课程名称	聚合物合成原理及工艺	课程英文名称			
开课学期	第 5 学期	学分	3 学分（每学期 3 学分）		
学时	48 学时（每学期 48 学时）	适用专业	高分子材料与工程		
课程类别	专业课程、必修课				
教 材	赵德仁、张慰盛 主编（著）《高聚物合成工艺学》，化学工业出版社，2015 年。				
先行课程	高分子化学、有机化学、化工原理	后续课程	高分子合成大型实验、毕业设计		
课程负责人	朱鹏	大纲执笔人	郭其阳	大纲审定人	高强

二、课程目标

- 1.了解高分子材料合成及发展历史，掌握重要高分子合成材料及单体的生产工艺技术和路线；
- 2.掌握本体聚合、乳液聚合、悬浮聚合、溶液聚合、配位聚合物、离子聚合、线型缩聚、体型缩聚、逐步加成聚合等具体聚合方法及各种聚合方法工业化生产的优缺点及应用范围；
- 3.掌握聚合物工业化生产过程中基于结构-性能调控的配方设计、生产管理控制、关键设备选型、传热、传质原理及应用。

三、课程目标与毕业要求的对应关系

毕业要求	指标点	课程目标
毕业要求 1	1.3: 能够将工程基础和专业应用于寻找高分子材料领域问题的解决途径并加以改进	课程目标1、2、3
毕业要求 3	3.1: 能够针对不同需求确定高分子材料的合成路线、生产工艺及设备 3.3: 能够对高分子材料的合成、改性与生产过程以及设备进行优化和改进	课程目标1、2、3

四、课程内容与课程目标的对应关系

课程内容	支撑的课程目标	学时安排
第一章 高分子合成原理及工艺学绪论	课程目标1	2
第二章 高分子化合物的生产路线	课程目标1	2
第三章 生产单体的原料路线	课程目标1	2
第四章 自由基本体聚合生产工艺	课程目标2、3	6
第五章 自由基悬浮聚合生产工艺	课程目标2、3	6
第六章 自由基乳液聚合生产工艺	课程目标2、3	6
第七章 自由基溶液聚合生产工艺	课程目标2、3	4
第八章 配位聚合生产工艺	课程目标2	4
第九章 离子型聚合生产工艺	课程目标2	2
第十章 线性缩聚高聚物的生产工艺	课程目标2、3	6
第十一章 体型缩聚高聚物的生产工艺	课程目标2	4
第十二章 逐步加成聚合生产工艺	课程目标2、3	4
学时合计		48

五、具体内容

第一章 高分子合成原理及工艺学绪论（2学时）

【学习目标】

- 1.了解高分子材料工业发展历史
- 2.了解合成与成型加工的关系
- 3.了解塑料、橡胶、纤维应用

【课程内容】

1. 高分子合成工业的历史沿革和发展趋势
2. 合成材料的应用
3. 本课程对不同知识点的具体要求

【重点】

以高分子材料发展的历史沿革和最新发展趋势的介绍，激发学生的学习热情，进行学习本课程的动员；再通过介绍高分子工业合成的一般过程，使学生获得对本课程的主要教学内容和课程组织方式的整体概念。在此基础上提出对各知识点不同层次的要求。

【难点】

开始就讲述合成高分子生产的主要过程，学生可能难于完全理解消化。

第二章 高分子化合物的生产路线（2 学时）

【学习目标】

1. 高分子材料合成步骤及流程
2. 了解高分子材料聚合过程及生产设备

【课程内容】

1. 原材料的准备
2. 聚合过程控制及生产设备介绍
3. 聚合后处理及分离回收过程

【重点】

本章主要介绍高分子材料合成流程及步骤，重点讲述原料准备、催化剂准备、聚合过程介绍、聚合物后处理、单体分离回收等过程。让学生系统了解工业化生产的整个流程和步骤。其中聚合过程涉及到反应机理、反应方式、链终止、反应器选择等，因此是本章讲述的重点。

【难点】

聚合过程涉及到的原理众多，学生难以迅速理解聚合过程对聚合反应的影响。

第三章 生产单体的原料路线（2 学时）

【学习目标】

1. 了解高分子聚合单体的来源
2. 了解从自然资源获取工业高分子合成原料的生产过程
3. 了解来自不同原料路线的单体或其它化学品的特性

【课程内容】

1. 石油化工原料路线
2. 煤炭原料路线
3. 生物质及天然气原料路线

【重点】

本章主要介绍从石油、煤炭、天然气、以及生物质制备高分子原料的主要技术路线，由于石油化工路线是目前合成高分子工业的单体和溶剂等原料的主要来源，因此石油裂解制烯烃的原理方法与主要工艺流程设计，是本章教学重点。

【难点】

第四章 自由基本体聚合生产工艺（6 学时）

【学习目标】

1. 了解工业生产中本体聚合的实施技术
2. 掌握以自由基本体聚合实现高分子树脂合成的方法，技术和调控产品质量

的主要因素。

【课程内容】

1. 工业生产中引发剂的选择原则
2. 工业实施本体聚合的特点及难点
3. 气相法本体聚合—高压聚乙烯的生产工艺
4. 非均相本体聚合—聚氯乙烯的本体聚合生产工艺
5. 熔融本体聚合和本体浇铸聚合—聚苯乙烯和有机玻璃的生产工艺

【重点】

以目前本体聚合工业化产品的生产过程为例，从自由基引发剂的选择开始，解析本体聚合工业化生产中采取不同措施实现本体聚合工业生产的配方原理，技术方法及设备组合。高压聚乙烯的工业合成是本体聚合解决聚合物散热难题的典型范例，结合其它方法如氯乙烯聚合中引发剂半衰期控制，甲基丙烯酸甲酯的分段熔融聚合，讲述工业上本体聚合解决反应热的控制，使本体聚合反应平稳进行，是教学重点。

【难点】

讲述工业上本体聚合解决反应热的控制

第五章 自由基悬浮聚合生产工艺（6学时）

【学习目标】

1. 掌握采用自由基悬浮聚合的原理进行高分子合成工业的配方设计，流程设计，生产设备组合及影响产品质量的工艺因素
2. 掌握聚合反应釜散热方式，搅拌器形状、安装方式及搅拌速度，以及干燥原理和树脂干燥设备的选型和组合应用的原理及原则。

【课程内容】

1. 悬浮聚合的特点、成粒机理与树脂粒子形态的控制
2. 悬浮聚合的物系组成，悬浮剂的类型、结构与性质
3. 悬浮聚合的工艺流程和工艺控制因素*
4. 水溶性高分子化合物作悬浮剂的氯乙烯非均相聚合工艺*
5. 无机化合物作悬浮剂的苯乙烯悬浮聚合工艺

【重点】

以 PVC 和 PSt 等均相和非均相悬浮体系的聚合生产工艺为范例讲述悬浮聚合的工业化生产过程，并结合工艺技术讲述主要设备的组合原理及方式及聚合反应条件对产品质量的影响。本章的重点是 PVC 的生产工艺技术。

【难点】

PVC 生产工艺技术讲解。

第六章 自由基乳液聚合生产工艺（6学时）

【学习目标】

1. 掌握自由基乳液聚合的配方原理，流程组织原理及相应的生产设备组合；
2. 闪蒸和汽提等脱单体的技术的实施方法，工业上乳聚橡胶的后处理以及干燥的原理和方法。

【课程内容】

1. 采用乳液聚合实施工业生产的特点、乳化剂的类型及工业生产中选择乳化剂的原则
2. 乳状液的稳定与破乳原理在乳液聚合工业生产中的应用
3. 低温乳液聚合生产工艺--丁苯橡胶的生产及工艺影响因素*
4. 高温乳液聚合--ABS 的生产
5. 精细化工产品聚丙烯酸酯共聚乳液的生产工艺

【重点】

本章以自由基乳液聚合中的连续聚合和间歇聚合为例，讲述乳液聚合的工业生产过程。由于采用连续聚合低温反应生产丁苯橡胶，工业生产过程非常经典，需要让学生掌握聚合-分离-后处理过程的流程组织原理和设备组合原理，闪蒸，汽提及破乳，分离-干燥在分离和后处理中的应用。

【难点】

聚合-分离-后处理过程的流程组织原理和设备组合原理，闪蒸，汽提及破乳，分离-干燥在分离和后处理中的应用。

第七章 自由基溶液聚合生产工艺（4 学时）

【学习目标】

1. 掌握溶剂的选择原理；
2. 掌握均相、非均相溶液聚合工艺特点；
3. 掌握反应器组合及特点。

【课程内容】

1. 溶剂对聚合反应的作用及工业上选择溶剂的原则
2. 丙烯腈的均相溶液聚合生产工艺*
3. 丙烯腈的水相沉淀聚合生产工艺*
4. 醋酸乙烯溶液聚合及聚乙烯醇的生产

【重点】

聚丙烯腈纤维的分子设计及在两种工业方法中的实施，是本章的主要内容。本章要求学生掌握工业合成高分子中选择溶剂的基本原则；均相溶液和非均相溶液的聚合生产工艺技术，深入理解不同溶液聚合法之间的异同。

【难点】

对工艺意图得到很好实现的反应设备的组合及分离过程中闪蒸装置的特殊设计的清楚讲述是本章的难点。

第八章 配位聚合生产工艺（4 学时）

【学习目标】

1. 理解高效催化剂在分子合成工业中的重要意义，了解掌握高效催化剂的组成、各组成的功用及制备方法；
2. 掌握液相本体，气相本体，液气联等先进生产方法制备聚丙烯的合成工艺技术；
3. 理解不同方法之间的异同以及影响聚烯烃质量的工艺因素；了解淤浆法聚丙烯的合成工艺。

【课程内容】

1. 高效催化剂的组成、性质及制备
2. 催化剂和高效催化剂在聚烯烃生产中的作用
3. 液相本体-气相本体联用制备聚丙烯*
4. 淤浆法聚丙烯的生产工艺（*）
5. 气相流化床法高密度聚乙烯的生产工艺

【重点】

高效催化剂是工业制造聚烯烃的新发展，也是 Z-N 催化剂甚至茂金属催化剂实现规模化工业生产的关键技术。本章以高效催化剂为切入点，以气相本体法，液相本体法和溶液聚合法为范列，系统解析其配方和流程设计原理，设备组合原理以及生产工艺因素对聚烯烃的结构性能的影响规律。

【难点】

本章内容丰富，技术先进，其中液气联用本体法制备聚丙烯的合成工艺是教学难点。

第九章 离子型聚合生产工艺（2 学时）

【学习目标】

1. 了解由阴离子聚合和阳离子聚合生产工艺通过溶液聚合法制备热塑性弹性体和橡胶的生产工艺技术；
2. 解析列管式反应器，三步加料聚合，干法/湿法脱气塔等的工作原理。

【课程内容】

1. 阳离子聚合与丁基橡胶的生产工艺
2. 阴离子聚合与 SBS 热塑性弹性体的生产工艺

【重点】

本章重点讲述超低温聚合在列管式反应器中制备丁基橡胶，利用阴离子聚合动力学链无终止的特点制备 SBS。从而保证聚合物合成原理及工艺学覆盖所有连锁聚合大品种的经典工业制造技术。

【难点】

第十章 线性缩聚高聚物的生产工艺（6 学时）

【学习目标】

1. 系统、深刻的理解熔融缩聚的影响因素和工艺措施。

【课程内容】

1. 缩聚反应的特点及分类
2. 缩聚反应工业上的主要实施方法
3. 熔融缩聚的反应特点、影响因素及生产工艺
4. 涤纶树脂的生产工艺 *

【重点】

简要介绍线性缩聚的发展，定义及分类，线性缩聚的品种及特点，在此基础上，以涤纶树脂生产实例为模型，解析熔融缩聚反应特点、影响因素及实施工艺。

【难点】

第十一章 体型缩聚高聚物的生产工艺（4 学时）

【学习目标】

1. 掌握热固性树脂制备方法与结构与性能关系的基本规律。

【课程内容】

1. 体型缩聚的概念、分类、生产步骤和凝胶点预测
2. 热塑性和热固性酚醛树脂的生产原理、工艺流程及影响因素 *
3. 酚醛层压塑料和压塑粉的生产工艺
4. 不饱和聚酯和环氧树脂的生产工艺

【重点】

本章以热塑性和热固性酚醛树脂，不饱和聚酯以及环氧树脂等典型体型缩聚的生产及其应用为模型，讲述体型缩聚树脂剂的生产工艺。以制备两种酚醛树脂的方法为重点，再以比较与其它品种体型缩聚方法的异同，以点带面，使学生掌握热固性树脂制备方法与结构与性能关系的基本规律，为树脂基复合材料的设计和應用奠定基础。

【难点】

清晰的讲述热固性缩聚物缩聚方法及结构性能关系是本章难点

第十二章 逐步加成聚合生产工艺（4 学时）

【学习目标】

1. 掌握逐步加成聚合的原理和应用；

2. 掌握聚氨酯合成工艺及应用。

【课程内容】

1. 逐步加成聚合概念、类型及工业上的应用
2. 异氰酸酯的化学反应
3. 合成聚氨酯的主要原理
4. 聚氨酯泡沫塑料生产工艺 *

【重点】

从原料出发，讲述聚氨酯材料的制备原理和主要方法，使学生全面了解聚氨酯材料的制备技术。聚氨酯泡沫塑料的生产工艺是本章的重点。

【难点】

六、教学方法

1. 课堂教学

七、课程考核与成绩评定

（一）考核内容与考核方式

本课程共有四种考核方式，分别是：课堂表现（含出勤）、平时作业、期中考试和期末考试。课程目标、考核内容与考核方式对应关系如下：

课程目标	考核内容	考核方式
课程目标1	1.了解高分子材料合成及发展历史； 2.掌握高分子合成材料生产工艺技术； 3.掌握聚合单体来源路线及生产工艺。	课堂表现 期末考试 平时作业
课程目标2	1.掌握本体聚合、乳液聚合、悬浮聚合、溶液聚合、配位聚合物、离子聚合、线型缩聚、体型缩聚、逐步加成聚合等具体聚合方法及各种聚合方法工业化生产的优缺点及应用范围	课堂表现 期末考试 平时作业
课程目标3	1.掌握聚合物工业化生产过程中基于结构-性能调控的配方设计； 2.掌握生产管理控制、关键设备选型、传热、传质原理及应用。	课堂表现 期末考试 平时作业

(二) 成绩评定标准

成绩构成			所占比例	评分依据
课程总评成绩	平时成绩	课堂表现	10%	任课老师根据学生出勤、课堂发言以及参与课堂讨论的情况等进行评分。
		平时作业	20%	老师根据班级学习的实际情况布置作业（至少两次）并评分。
	期末考试		70%	按照期末考试卷给出的评分标准评分。卷面成绩100分，按比例折算入总成绩。

八、参考书目与自主学习建议

(一) 参考书目

1. 《聚合物合成原理及工艺学》 李克友，张菊华，向福如主编，科学出版社，
2. 《高聚物合成工艺学》赵德仁，张慰盛主编 化学工业出版社，第二版
3. 《化工咨询报告》，化学工业出版社，2002
4. 《高分子化学》，周其凤，胡汉杰，化学工业出版社，2001
5. 《海外高分子的新进展》，何天白，胡汉杰，化学工业出版社 1997
6. 《高分子合成化学》，冯新德，科学出版社，1981.1
7. 《功能高分子与新技术》，何天白，胡汉杰，化学工业出版社 2001
8. 《乙烯衍生物工学》张旭之、王松汉、戚以政主编，化学工业出版社
9. 《聚氯乙烯》化学工业部锦西化工研究院化学工业部锦西化工研究院出版社
10. 《聚合物乳液合成原理、性能及应用》曹同玉、刘庆普、胡金生编著 化学工业出版社
11. 《腈纶生产工艺及应用》（美）James C.Masson 编 中国纺织出版社
12. 《配位聚合》林尚安 上海科技出版社
13. 《丙烯衍生物工学》张旭之、陶志华、王松汉、金彰礼主编，化学工业出版社
14. 《离子型聚合》应圣康 化学工业出版社
15. 《缩合聚合》，张留成，朱佐邦著，化工出版社，1985 年。
16. 《聚氨酯树脂》，李绍雄，朱吕民著，江苏科技出版社，1992 年。

(二) 自主学习建议

学生课外学习的资料来源、学习要求、建议等

九、其他说明

《高分子材料成型原理与工艺》课程大纲

一、课程基本信息

课程编号	176081021	培养方案版本	2019 级		
课程名称	高分子材料成型原理与工艺	课程英文名称	The Processing Principle and Technology of Polymer Materials		
开课学期	第 5 学期	学分	3 学分（每学期 3 学分）		
学时	48 学时（每学期 48 学时）	适用专业	高分子材料科学与工程		
课程类别	专业课程、平台课程、必修课				
教 材	王贵恒主编（著）《高分子材料成型加工原理》，化工出版社，2011 年。 李光主编（著）《高分子材料加工工艺学》，中国纺织出版社，2010 年。				
先行课程	高分子化学、高分子物理	后续课程	高分子材料研究方法、功能高分子、材料的循环利用等		
课程负责人	马海燕	大纲执笔人	张军	大纲审定人	杨宇民

二、课程目标

- 1.掌握纤维、塑料、橡胶三大类重要高分子材料成型的基本原理。
2. 在理解各种成型原理的基础上，进一步掌握成型过程中通过工艺技术控制调制品结构和性能的方法。明确原理和工艺的结合途径及最终体现。
3. 了解高分子材料成型的主要设备。拓展学生作为高分子材料领域工程技术人员知识结构，提升学生的分析问题、解决问题的能力。

三、课程目标与毕业要求的对应关系

毕业要求	指标点	课程目标
要求 1	1.1：理解数学、自然科学以及专业知识，能够用于高分子材料工程问题的分析与表述	课程目标 1、2、3
要求 2	2.1：能够识别与表达高分子材料结构与性能的关系； 2.2：能够分析影响聚合物的合成、加工及改性过程中的影响因素； 2.3：能够认识到解决高分子材料工程问题有多种可选择方案，并能研究文献寻找合理的解决方案	课程目标 1、2、3

要求 3	3.1: 能够针对不同需求确定高分子材料的合成路线、生产工艺及设备； 3.3: 能够对高分子材料的合成、改性与生产过程以及设备进行优化和改进； 10.1: 能够熟练运用高分子材料专业术语，将其应用于高分子材料领域等工程问题，并能够与他人有效交流与沟通	课程目标 1、2、3
要求 12	12.2: 能够建立合适的自主学习方法，具备终身学习和适应社会发展的能力	课程目标 1、2、3

四、课程内容与课程目标的对应关系

课程内容	支撑的课程目标	学时安排
------	---------	------

绪 论	课程目标 1、2	3
第一单元聚合物加工的理论基础	课程目标 1、2	3
第二单元聚合物加工过程的物理和化学变化	课程目标 1、2	6
第三单元塑料的成型加工原理与工艺	课程目标 1、2、3	12
第四单元合成纤维的纺丝及加工原理与工艺	课程目标 1、2、3	15
第五单元橡胶加工原理与工艺	课程目标 1、2、3	9
学时合计		48

五、具体内容

绪 论（3 学时）

【学习目标】

1. 理解高分子材料的分类，化学纤维、塑料、橡胶的基本概念。
2. 了解高分子材料的发展简史及在国民经济中的作用。

【课程内容】

1. 通过图片及实例给学生进行高分子材料基本概念分类的回顾
2. 介绍高分子材料的发展过程及发展中产生的对整体国民经济的影响。

【重点】

高分子材料的分类，以及对应塑料、纤维、橡胶的概念，能够明确区分不同的材料类别。

第一单元聚合物加工的理论基础（3 学时）

【学习目标】

1. 材料的加工性质，掌握聚合物材料的加工性，掌握聚合物在加工过程中的粘弹行为
2. 了解聚合物熔体的流变行为，了解影响聚物流变行为的主要因素

【课程内容】

1. 材料的加工性质，聚合物材料的加工性，聚合物在加工过程中的粘弹行为
2. 聚合物熔体的流变行为

3. 影响聚物流变行为的主要因素

【重点】

材料的加工性质，聚合物材料的加工性

【难点】

材料的加工性质，聚合物材料的加工性

第二单元 聚合物加工过程的物理和化学变化（6 学时）

【学习目标】

1. 掌握聚合物成型加工过程中高分子材料的结晶和取向
2. 掌握聚合物成型加工过程中高分子材料的降解
3. 了解聚合物成型加工过程中高分子材料的交联

【课程内容】

1. 聚合物成型加工过程中高分子材料的结晶和取向
2. 聚合物成型加工过程中高分子材料的降解
3. 聚合物成型加工过程中高分子材料的交联

【重点】

1. 聚合物成型加工过程中高分子材料的结晶和取向
2. 聚合物成型加工过程中高分子材料的降解

【难点】

1. 聚合物成型加工过程中高分子材料的结晶和取向
2. 聚合物成型加工过程中高分子材料的降解

第三单元 塑料的成型加工原理与工艺（12 学时）

【学习目标】

1. 掌握塑料加工过程中物料的组成和添加剂的作用；掌握物料的混合物分散机理；了解配料工艺
2. 掌握塑料一次成型的主要原理及工艺——挤出成型；注射成型；压制成型；压延成型
3. 了解塑料的二次成型主要原理及工艺

【课程内容】

1. 塑料加工过程中物料的组成和添加剂的作用；物料的混合物分散机理；配料工艺
2. 塑料一次成型的主要原理及工艺——挤出成型；注射成型；压制成型；压延成型

3.塑料的二次成型主要原理及工艺

【重点】

- 1.塑料加工过程中物料的组成和添加剂的作用；物料的混合物分散机理；配料工艺
- 2.塑料一次成型的主要原理及工艺——挤出成型；注射成型；压制成型；压延成型

【难点】

- 1.塑料加工过程中物料的组成和添加剂的作用；物料的混合物分散机理；配料工艺
- 2.塑料一次成型的主要原理及工艺——挤出成型；注射成型；压制成型；压延成型

第四单元合成纤维的纺丝及加工原理与工艺（15 学时）

【学习目标】

- 1.掌握纺丝液体的性质及制备，主要包括成纤聚合物的性质；成纤聚合物的熔融及溶解；纺丝液体的性能
- 2.掌握纤维成形原理及方法，主要包括纤维纺丝成形方法的一般特性；纺丝溶液细流的形成；纺丝细流的冷却及固化过程；纺丝过程中纤维的力学行为
- 3.掌握纤维的后拉伸及热处理，主要包括初生纤维的拉伸取向过程；初生纤维在加工过程中的结晶现象；纤维的热处理

【课程内容】

- 1.纺丝液体的性质及制备，主要包括成纤聚合物的性质；成纤聚合物的熔融及溶解；纺丝液体的性能
- 2.纤维成形原理及方法，主要包括纤维纺丝成形方法的一般特性；纺丝溶液细流的形成；纺丝细流的冷却及固化过程；纺丝过程中纤维的力学行为
- 3.纤维的后拉伸及热处理，主要包括初生纤维的拉伸取向过程；初生纤维在加工过程中的结晶现象；纤维的热处理

【重点】

- 1.纺丝液体的性质及制备，主要包括成纤聚合物的性质；成纤聚合物的熔融及溶解；纺丝液体的性能
- 2.纤维成形原理及方法，主要包括纤维纺丝成形方法的一般特性；纺丝溶液细流的形成；纺丝细流的冷却及固化过程；纺丝过程中纤维的力学行为
- 3.纤维的后拉伸及热处理，主要包括初生纤维的拉伸取向过程；初生纤维在加工过程中的结晶现象；纤维的热处理

【难点】

- 1.纺丝液体的性质及制备，主要包括成纤聚合物的性质；成纤聚合物的熔融及溶解；纺丝液体的性能

2.纤维成形原理及方法，主要包括纤维纺丝成形方法的一般特性；纺丝溶液细流的形成；纺丝细流的冷却及固化过程；纺丝过程中纤维的力学行为

第五单元橡胶加工原理与工艺（9 学时）

【学习目标】

- 1.掌握胶料的组成及配合，主要包括橡胶的定义与配合剂；橡胶配方设计基本概念
- 2.掌握胶料的加工原理与工艺，主要包括胶料的加工性能；塑炼；混炼；压延；压出等各个环节的原理与工艺
- 3.掌握橡胶硫化的原理与工艺，主要包括硫化对橡胶性能的影响；硫化过程的四个阶段；硫化反应机理

【课程内容】

- 1.胶料的组成及配合，主要包括橡胶的定义与配合剂；橡胶配方设计基本概念
- 2.胶料的加工原理与工艺，主要包括胶料的加工性能；塑炼；混炼；压延；压出等各个环节的原理与工艺
- 3.橡胶硫化的原理与工艺，主要包括硫化对橡胶性能的影响；硫化过程的四个阶段；硫化反应机理

【重点】

- 1.胶料的加工原理与工艺，主要包括胶料的加工性能；塑炼；混炼；压延；压出等各个环节的原理与工艺
- 2.橡胶硫化的原理与工艺，主要包括硫化对橡胶性能的影响；硫化过程的四个阶段；硫化反应机理

【难点】

橡胶硫化的原理与工艺，主要包括硫化对橡胶性能的影响；硫化过程的四个阶段；硫化反应机理

六、教学方法

1. 为了突出重点，突破难点，实现既定教学目标，在教学过程中拟主要采取启发式、互动式教学法，同时结合讲授法、归纳法、讨论法、练习法等基本教学方法，采取多媒体辅助手段进行教学。教学活动中必须充分发挥学生的主体作用和教师的主导作用，使之相互促进，协调发展。在教学中教师始终处在指引方向，启迪思维，设疑解难的地位，而学生始终处在主动探索知识，积极思考的主动学习状态。另外，针对本课程的特色，在教学过程中须注重逻辑推理的思维方法的训练，尽可能地将方法论贯穿在每一步的教学过程之中，同时也要注意理论联系实际，提

高学生学习的兴趣。高分子材料成型加工工艺学实践性、系统性强，章节之间的联系密切，讲解过程中须加强对课程内容系统性的阐述。章节内容讲解结束后，须及时的进行小结，使学生对所学内容有清晰的脉络，课后复习起来也有重点和方向。课后还要布置一定量的作业，这样可以帮助学生理解、强化并掌握所学的知识。

2. 教导学生在学习中注意以下几点：一、勤于思考：要重视教科书，把其原理、工艺、概念、应用一一认真思考，不粗枝大叶，不放过细节。对抽象的概念不妨采用形象化的理解。适当地与同学老师交流、讨论，在交流中摒弃错误。二、勤于应用：在学习阶段要有意识地应用原理去解释客观事物，去做好每一道习题，“应用”对加深对课程的理解有很好的效果，有许多难点是通过解题、实际分析才真正明白的。做习题不在于多，而在于精。对于典型的题做完后一定要总结和讨论，力求多一点“觉悟”。三、勤于对比与总结：这里有纵横两个方面，就纵向来说，一个概念原理总是经历提出、论证、应用、扩展等过程，并在课程中多次出现，进行总结定会有豁然开朗的感觉。就横向来说，相关的教学内容之间有内在的联系，通过对比其相互关系定会有更深的理解。

七、课程考核与成绩评定

（一）考核内容与考核方式

本课程共有四种考核方式，分别是：课堂表现（含出勤）、平时作业、期中考试和期末考试。课程目标、考核内容与考核方式对应关系如下：

课程目标	考核内容	考核方式
课程目标 1	1. 课堂提问 2. 课后作业 3. 考试	课堂表现 期末考试 平时作业
课程目标 2	1. 课堂提问 2. 课后作业 3. 考试	课堂表现 期末考试
课程目标 3	1. 课堂提问 2. 课后作业	课堂表现

（二）成绩评定标准

课程成绩采用百分制。课程成绩由平时成绩和期末考试成绩两部分组成。平时成绩占 30%，期末考试成绩占 70%。课程成绩满分 100 分，及格分数线为 60 分。具体评分细则如下表所示。

成绩构成			所占比例	评分依据
课程 总评 成绩	平时 成绩	课堂表现	15%	任课老师根据学生出勤、课堂发言以及参与课堂讨论的情况等进行评分。
		平时作业	15%	老师根据班级学习的实际情况布置作业（至少两次）并评分。
	期末考试		70%	按照期末考试卷给出的评分标准评分。卷面成绩 100 分，按比例折算入总成绩。

八、参考书目与自主学习建议

（一）参考书目

- 1、张瑞志主编《高分子材料加工设备》，中国纺织出版社，2000年
- 2、王贵恒主编《高分子材料成型加工原理》，化学工业出版社，1982年
- 3、左继成，谷亚新编《高分子材料成型加工基本原理及工艺》，北京理工大学出版社，2017年

（二）自主学习建议

1 学生课外学习的资料来源

根据专业学习进度以及个人对专业的兴趣方向进行相关专业文献的检索。文献可以利用本课程教材上的附录及引用文献内容，也可以利用学校图书馆进行外文文献的检索。

2 学习要求

课程从实用的角度出发，介绍了高分子材料成型加工所涉及的基础知识，包括高分子材料加工性能、流变性能、物料的混合和分散等基本加工原理及概念；详细介绍了热塑性塑料挤出成型和注塑成型、热固性塑料压制成型、压延成型和塑料二次成型的成型原理及工艺；介绍了橡胶加工原理和成型工艺；介绍了塑料的其他成型技术、合成纤维的纺丝及后加工，以及高分子基复合材料的成型加工工艺；还介绍了主要加工设备的结构、工作原理及主要参数等。每章配有习题及思考题，学生在学习过程中尽量完成配套习题并在学有余力的情况下寻找更多的习题进行练习，尤其注意将原理及工艺结合起来进行学习掌握而不要将它们看做是分别独立的体系。

3 建议

在学习了高分子材料的加工原理及工艺的过程中，如果有条件可以多看看相关生产实际，将生产实际与书本上的理论知识结合起来将会更好的掌握所学知识。也可以通过寻找相关的加工视频来了解各种不同材料（不局限于高分子材料）的加工方法，通过对比

参照，看看高分子材料的加工原理与工艺和其它材料的共通与不同之处。

九、其他说明