

附件 2

2019 年度国家虚拟仿真实验教学项目申报表

学 校 名 称	浙江大学宁波理工学院
实 验 教 学 项 目 名 称	阻燃改性聚合物热氧化降解与 燃烧过程测试虚拟仿真实验
所 属 课 程 名 称	应用化学、高分子化学
所 属 专 业 代 码	070302
实 验 教 学 项 目 负 责 人 姓 名	方征平
有 效 链 接 网 址	http://nit.dlvrtec.com

教育部高等教育司制

二〇一九年七月

填写说明和要求

1. 以 Word 文档格式，如实填写各项。
2. 表格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。
3. 所属专业代码，依据《普通高等学校本科专业目录（2012 年）》填写 6 位代码。
4. 不宜大范围公开或部分群体不宜观看的内容，请特别说明。
5. 表格各栏目可根据内容进行调整。

1. 实验教学项目教学服务团队情况

1-1 实验教学项目负责人情况					
姓名	方征平	性别	男	出生年月	1963. 09
学历	研究生	学位	硕士	电话	+86-574-88130132
专业技术职务	教授	行政职务	院长	手机	13600528742
院系	生物与化学工程学院			电子邮箱	zpfang@nit.net.cn
地址	宁波市高教园区钱湖南路1号, 浙江大学宁波理工学院			邮编	315100
<p>教学研究情况: 主持的教学研究课题(含课题名称、来源、年限, 不超过5项); 作为第一署名人在国内外公开发行的刊物上发表的教学研究论文(含题目、刊物名称、时间, 不超过10项); 获得的教学表彰/奖励(不超过5项)。</p> <p>1. 教学研究课题</p> <p>(1) 高分子物理省级精品课程, 浙江省面向21世纪教学改革项目, 2006-2007, 主持</p> <p>(2) 高分子物理(浙江大学), 国家精品课程建设项目, 2010, 排名2/5</p> <p>(3) 高分子物理, 浙江大学宁波理工学院专业核心支撑课程建设项目, 2012-2014, 主持</p> <p>2. 发表的教学研究论文和论著</p> <p>(1) 方征平*, 郭正虹, 在独立学院开展高分子物理教学的几点思考, 高分子通报, 2009, (8) 74-78. (核心期刊)</p> <p>(2) 程捷, 方征平*, 闫红强, 独立学院高分子材料与工程专业建设的实践与思考, 高分子通报, 2011, (2) 112-116. (核心期刊)</p> <p>(3) 方征平*. 关于模拟聚合物非线性黏弹行为的四元件模型, 高分子通报, 2018, (12): 63-69 (核心期刊)</p> <p>教材:</p> <p>(1) 方征平, 王香梅. 高分子物理教程, 化学工业出版社, 2014</p> <p>(2) 方征平, 宋义虎, 沈烈. 高分子物理, 浙江大学出版社, 2005</p> <p>3. 获得的教学表彰/奖励</p> <p>(1) 浙江大学王惕悟优秀教师奖: 2001</p> <p>(2) 高分子物理研究型教学的理论与实践, 浙江大学校级优秀教学成果二等奖, 2005, 排名1/4</p>					

(3) 浙江省省级优秀教师暨浙江省高校优秀教师, 2016

学术研究情况: 近五年来承担的学术研究课题(含课题名称、来源、年限、本人所起作用, 不超过5项); 在国内外公开发行人物上发表的学术论文(含题目、刊物名称、署名次序与时间, 不超过5项); 获得的学术研究表彰/奖励(含奖项名称、授予单位、署名次序、时间, 不超过5项)

1. 承担的学术研究课题

(1) 生物质高性能复合材料的基础技术研究, 国家重点基础研究发展计划项目(课题), 2012/01-2014/08, 62万元, 主持。

(2) 先进阻燃高分子材料研发, 宁波市工业重大专项科技创新团队, 2015/03-2018/02, 240万元, 主持。

(3) 富勒烯在阻燃聚乙烯/金属氢氧化物复合材料中的协同作用研究, 国家自然科学基金面上项目, 2017/01-2020/12, 62.0万元, 主持。

(4) 超支化膨胀型阻燃剂修饰石墨烯的可控制备及其阻燃环氧树脂研究, 国家自然科学基金海外及港澳学者合作研究基金项目, 2017/01-2018/12, 国内合作者。

2. 国内外公开发行人物上发表的学术论文(第一或通讯作者)

(1) Ran SY, Guo ZH, Chen C, Zhao LP, Fang ZP*. Carbon nanotubes bridged cerium phenylphosphonate hybrids, fabrication and their effects on the thermal stability and flame retardancy of HDPE, J Mater Chem. A, 2014, 2(9), 2999-3007, SCI

(2) Yan HQ, Wang HQ, Cheng J, Fang ZP*, Wang H. Effect of Iron acetylacetonate on the crosslink structure, thermal and flammability properties of novel aromatic diamine-based benzoxazines containing cyano group, RSC Advances, 2015.1, 5:18538-18545, SCI

(3) Guo ZH, Ye RF, Zhao LP, Ran SY, Fang ZP*, Li J. Fabrication of fullerene-decorated graphene oxide and its influence on flame retardancy of high density polyethylene, Compos. Sci. Technol., 2016.6, 129: 123-129

(4) Jing J, Zhang Y, Tang XL, Zhou Y, Li XN, Fang, ZP*. Layer by layer deposition of polyethylene imine and bio-based polyphosphate on ammonium polyphosphate: a novel hybrid for simultaneously improving the flame retardancy and toughness of polylactic acid, Polymer, 2017.1, 108: 361-371

(5) Fang F, Song PA, Ran SY, Guo ZH, Wang H, Fang ZP*. A facile way to prepare phosphorus-nitrogen-functionalized graphene oxide for enhancing the flame

retardancy of epoxy resin, Composites Communications, 2018.8, 10: 97-102.

3. 获得的学术研究表彰/奖励

(1) 碳纳米管的表面修饰及其对聚合物的改性作用, 浙江省自然科学奖二等奖, 浙江省人民政府, 1/5, 2015

(2) 电子电器用纳米黏土复合阻燃塑料的研究与开发, 浙江省科学技术奖三等奖, 浙江省人民政府, 1/7, 2012

(3) 热固性基体树脂的高 2012 年度性能化及复合材料的多功能化, 宁波市科学技术奖三等奖, 宁波市人民政府, 2/7, 2018

1-2 实验教学项目教学服务团队情况

1-2-1 团队主要成员 (含负责人, 5 人以内)

序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	方征平	生物与化学工程学院	教授	院长	项目主持	专职
2	程捷	生物与化学工程实验教学中心	高级实验师		项目管理与实施	专职
3	闫红强	生物与化学工程学院	副教授		项目实施	专职
4	郭正虹	生物与化学工程学院	副教授		项目实施	专职
5	张艳	生物与化学工程学院	教授		项目实施	专职

1-2-2 团队其他成员

序号	姓名	所在单位	专业技术职务	行政职务	承担任务	备注
1	冉诗雅	生物与化学工程学院	副教授		在线教学服务	专职
2	刘宇	北京微瑞集智科技有限公司	Unity 技术开发/后台模型设计	总经理	技术开发 产品设计	专职
3	张康民	北京微瑞集智科技有限公司	项目管理经理	项目经理	软件技术支持	专职
4	张艳英	北京微瑞集智科技有限公司	技术开发	技术支持	脚本采集	专职

项目团队总人数: 9 (人) 高校人员数量: 6 (人) 企业人员数量: 3 (人) _

注: 1. 教学服务团队成员所在单位需如实填写, 可与负责人不在同一单位。

2. 教学服务团队须有在线教学服务人员和技术支持人员, 请在备注中说明。

2. 实验教学项目描述

2-1 名称

阻燃改性聚合物热氧化降解与燃烧过程测试虚拟仿真实验

2-2 实验目的

本虚拟仿真实验由《高分子材料与工程专业实验》课程“高分子阻燃改性及其性能测试”项目拓展而来，并结合了教师的相关科研成果。人类除了受到天然产物（如林木等）火灾的威胁以外，更多是要面临易燃或可燃高分子材料所带来的火灾危害。因此，对高分子材料进行阻燃改性，了解聚合物的燃烧性能，学习聚合物的燃烧机理并掌握聚合物阻燃改性后性能的测试方法，对学生增强防火意识，减少火灾隐患、认识聚合物的使用范围以及阻燃材料使用的必要性方面有着积极的意义。本实验内容涵盖物料特性、配方设计、工艺设计、及阻燃改性聚合物的热分析方法和燃烧性能表征方法，在现实和虚拟实验中强化基本实验技能的训练，突出综合实践和创新能力的培养；体现**虚实结合**的理念，坚持**科研与教学相结合，理论与实验相结合，专业与基础相结合**，将科研成果和学科最新发展不断转化为实验教学资源，促进大学生工程实践能力和创新型人才培养。

具体应使学生达到如下要求：

- (1) 了解聚合物的燃烧机理；
- (2) 掌握阻燃改性聚合物热氧化降解与燃烧过程测试方法；
- (3) 培养查阅文献、发现问题、设计实验、解决问题、论文写作等科研素养和创新能力。

2-3 实验课时

- (1) 实验所属课程所占课时： 48
- (2) 该实验项目所占课时： 4

2-4 实验原理（简要阐述实验原理，并说明核心要素的仿真度）

知识点：共 5 个

1、聚合物的燃烧机理

聚合物的燃烧是一个非常激烈复杂的热氧化分解反应，具有冒发浓烟或炽烈火焰的特征。燃烧反应的基本机理，可理解为燃烧情况下聚合物的分解机理，出现聚合物的解聚、聚合物的主键断裂和侧链断裂等过程。在外界热源的不断加热下，聚合物先与空气中的氧发生自由基链式降解反应，产生挥发性可燃物，该物达到一定浓度和温度时就会着火燃烧起来，燃烧所放出的一部分热量供给正在降解的聚合物，进一步加剧其降解，产生更多的可燃性气体。而不断产生的高聚物碎片在高温和氧充足的情况下，被氧化的速度极快，产生大量的热足在气相中燃烧，使得火焰在很短的时间内就会迅速蔓延而造成一场大火。

2、阻燃改性聚合物的配方设计

配方设计的关键为选材、搭配、用量、混合四大要素。

(1) 基体要选择与改性目的性能最接近的品种和用量。并使配方中各塑化材料的粘度接近，以保证加工流动性。

(2) 按阻燃改性目的选用阻燃助剂：溴类（普通溴系和环保溴系）、磷类、氮类、氮/磷复合类膨胀型阻燃剂、三氧化二锑、水合金属氢氧化物。同时考虑阻燃剂对基体也具有选择性。

在阻燃配方中，需体现协同作用。如：在卤素/锑系复合阻燃体系中，卤系阻燃剂可与 Sb_2O_3 发生反应而生成 SbX_3 ， SbX_3 可以隔离氧气从而达到增大阻燃效果的目的。在卤素/磷系复合阻燃体系中，两类阻燃剂也可以发生反应而生成 PX_3 、 PX_2 、 POX_3 等高密度气体，这些气体可以起到隔离氧气的作用。另外，两类阻燃剂还可分别在气相、液相中互相促进，从而提高阻燃效果。

此外，必须考量配方对其它性能的负面影响；配方应具有可加工性，并对加工设备和环境无不良影响，最终确定阻燃改性聚合物的最优化配方及工艺条件。在本仿真软件中实现



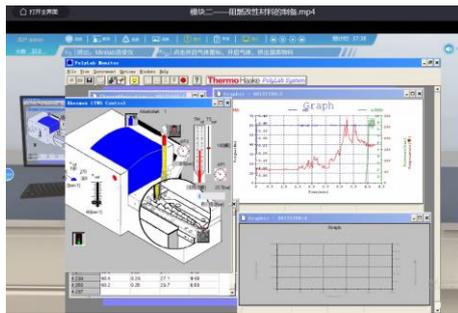


3、阻燃改性聚合物制备

根据确定的阻燃改性聚合物的配方，采用哈克（HAAKE）转矩流变仪共混密炼，并模压成型的加工方法进行制备。共混密炼是在密闭条件下加压的塑炼过程。密炼机由一个控温混合腔和两个转子构成，这两个转子平行排列并相隔一段距离，转子作用圈刚好相互切合，以反（逆）向旋转，使物料在混炼过程中径向和轴向同时受到强大的剪切力，在一定的温度和一定压力下熔融塑化，从而获得最佳塑炼效果。利用剪切力的混合作用，特别适用于塑性物料，因为塑性物料的粘度大，流动性差，又不能粉碎以增加分散程度。应用剪切作用时，由于两个剪切力的距离一般总是很小，使得物料在变形的过程中，很均匀地被分散在整个物料中。目的是在高剪切效果下使聚合物熔体的多相组分得以良好混合，在此工艺条件下，被高度剪切的物料反抗混合的阻力与其粘度成正比。同时利用物料塑性，在合适的工艺条件下进行模压成型，通过不同的模具制备得到各种试样。

共混密炼仿真：





对于主要是热固性树脂的高性能基体树脂来说，树脂应用性能的好坏，与其固化工艺有极其密切的关系。其加工方式为将配制好的胶液放置于特定的金属模具中，按照确定好的最佳固化工艺在平板硫化机上进行固化成型。

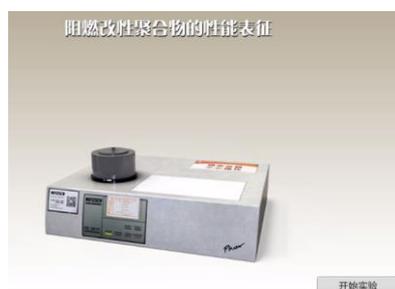
固化成型仿真：



以上制备好的树脂样条进行热氧化降解性能、燃烧性能、及力学性能的测试。

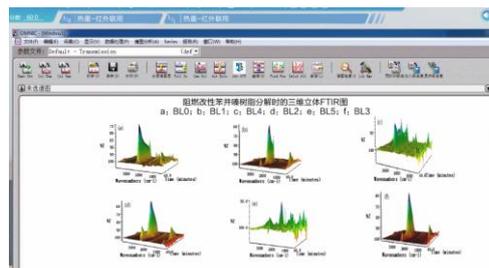
4、阻燃改性聚合物热氧化降解与燃烧过程测试

(1) 热失重分析



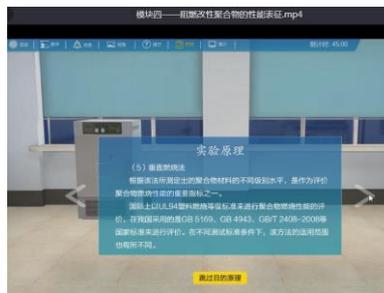
采用热失重分析 (Thermogravimetric Analysis, TGA) 研究聚合物的热氧化降解性能。在一定的温度程序 (升/降/恒温) 控制下, 观察样品的质量随温度或时间的变化过程。是以恒定升温速率或等温条件下加热样品, 同时连续地测定试样失重的一种动态方法。应用 TGA 可以研究各种气氛下高聚物的热稳

定性和热分解作用，测定氧化降解，缩聚高聚物的固化程度。



(2) 垂直燃烧试验

垂直燃烧法是一种可测定材料在接触引燃源时的燃烧性能，包括熄灭时间，火焰蔓延的范围及时间，以及由于该材料的燃烧行为是否引起其它物质的燃烧方法，可对材料进行对比及耐燃分级。国际上以 UL94 塑料燃烧等级标准来进行聚合物燃烧性能的评价，采用 GB/T2408-2008 塑料燃烧试验标准。



(3) 极限氧指数测试

极限氧指数 (Limiting Oxygen Index, 简称 LOI) 是评价塑料及其他高分子材料相对燃烧性的一种表示方法，以此判断材料在空气中与火焰接触时燃烧的难易程度非常有效。LOI 是指在规定条件下，试样在氧、氮混合气流中，维持平稳燃烧所需的最低氧气浓度，以氧所占体积百分数表示。LOI 高表示材料不易燃烧，LOI 低表示材料容易燃烧。一般认为 $LOI < 22$ 属于易燃材料，LOI 在 $22 \sim 27$ 之间属可燃材料， $LOI > 27$ 属难燃材料。采用 GB/T 2406.2-2009 国家标准进行测试。

(4) 锥形量热试验

锥形量热试验 (Cone Calorimetry) 可以在各种预设条件下对材料进行阻燃和燃烧性能测试。这些测量结果既可直接用于防火研究，又可以作为相关必要的数据导入数学模型预测火灾发展。锥形量热试验可以直接获得以下数据：热释放速率、着火时间 (温度)、临界点燃热量、质量损失速率、烟雾释放速率、有效燃烧热、有毒气体释放速率 (如碳氧化物)。其中，热释放速率则是

可以用来计算火场面积、火灾蔓延速率以及相关的烟气毒气释放速率，而且已经成为评价材料和制品阻燃和燃烧性能的关键标准。试验依据 ISO5660ASTM1354 标准。



5、阻燃改性聚合物力学性能测试

树脂基体添加阻燃剂进行阻燃改性后，往往使力学性能下降，所以，所制备的阻燃改性聚合物材料除了进行燃烧性能的测试外，还要进行力学性能的测试。根据万能材料试验机设计的虚拟仿真软件完全满足线上线下的实验

(1) 冲击性能测试

冲击性能实验是在冲击负荷的作用下测定材料的冲击强度。在实验中，对聚合物试样施加以冲击负荷使试样破坏，记录下试样破坏时或过程中试样单位截面积所吸收的能量，即得到冲击强度。由于聚合物的制备方法和本身结构不同，它们的冲击强度也各不相同。在工程应用上，冲击强度是一项重要的性能指标，通过抗冲击试验，可以评价聚合物在高速冲击状态下抵抗冲击的能力或判断聚合物的脆性和韧性程度。冲击试验的方法很多，依据试样的受力状态，可分为摆锤式弯曲冲击（包括简支梁冲击和悬臂梁冲击）、拉伸冲击、扭转冲击和剪切冲击等；冲击性能测试对聚合物的缺陷很敏感，是一种操作简单而影响因素较复杂的实验，一般采用 GB/T 1043.2-2018（塑料—简支梁冲击性能的测定）标准或 GB T 1843-2008（塑料—悬臂梁冲击强度的测定）标准规定的条件测试样条的缺口冲击强度，并观察样条断面，确定是否有韧性断裂现象。

(2) 拉伸性能测试

拉伸性能是聚合物力学性能中最重要、最基本的性能之一。拉伸实验是在规定的试验温度、湿度和速度条件下，对标准试样沿纵轴方向施加静态拉伸负荷，直到试样被拉断为止。用于聚合物应力-应变曲线测定的电子拉力机是将

试样上施加的载荷、形变通过压力传感器和形变测量装置转变成电信号记录下来，经计算机处理后，测绘出试样在拉伸变形过程中的拉伸应力-应变曲线。从应力-应变曲线上可得到材料的各项拉伸性能指标值：如拉伸强度、拉伸断裂应力、拉伸屈服应力、偏置屈服应力、拉伸弹性模量、断裂伸长率等。通过拉伸试验提供的数据，可对高分子材料的拉伸性能做出评价，从而为阻燃改性聚合物质量控制提供参考。按 GB/T1040-2006 标准测试。

(3) 弯曲性能测试

塑料或复合材料作为结构材料使用时，经常处于弯曲应力作用场中。材料的弯曲性能如何决定了其在使用过程中是否能发生弯曲破裂。弯曲性能是材料的基本力学性能之一。弯曲性能的测试不仅能为材料的配方设计和成型加工工艺参数的选择提供指导依据，而且能够划定材料所能承受的最大弯曲应力，保证材料在使用中不发生破坏。目前最为常用的弯曲性能测试方法为静态三点弯曲法。该法指用两个试样支座将规定形状和尺寸的试样支撑住，用一点加载压头在试样中部加压，使试样产生弯曲应力和形变，测试弯曲应力随挠度的变化，从而得到定挠度弯曲应力，最大负荷弯曲应力和弯曲破坏应力等材料的弯曲性能指标。依照 GB/T9341-2000 标准测试样条的弯曲强度和弯曲模量。

2-5 实验仪器设备（装置或软件等）

- (1) 电脑计算机系统、unity 插件、考核参数。
- (2) 阻燃改性聚合物热氧化降解与燃烧过程测试仿真实验教学软件。
- (3) 在虚拟实验中设置了以下仪器设备供学生操作使用：

仪器名称	备注一用途	仪器名称	备注一用途
电热鼓风干燥箱	干燥备料	微机控制电子万能试验机	力学性能测试—拉伸、弯曲
真空干燥箱	干燥备料	液晶控制塑料摆锤冲击试验机	力学性能测试—冲击
电子天平	配方—称量	水平垂直燃烧测量仪	阻燃性能
HAAKE 转矩流变仪	混炼挤出	临界氧指数分析仪	阻燃性能
哈克微量流变仪	混炼挤出	电子天平	称量
平板硫化机	固化制样	差示扫描量热仪	热氧化降解分析

热压机	熔融制样	热失重分析仪	热分析
切割机	制样	红外-热分析连用系统	热分析定性
哑铃型制样机	制样	微型量热仪	热分析
缺口型制样机	制样	马弗炉(箱式电阻炉)	坩埚清洁
温恒湿箱	力学性能测试样准备恒	锥形量热仪	燃烧试验

2-6 实验材料（或预设参数等）

本实验项目充分体现虚实结合的理念，在虚拟实验中设置了以下实验材料供学生选择使用。

(1) 树脂基体：聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS、尼龙、聚碳酸酯、环氧树脂、苯并噁嗪树脂等。

(2) 阻燃剂：十溴联苯醚、十溴二苯乙烷、氢氧化铝、聚磷酸铵、微胶囊化红磷、DOPO 等。

(3) 协效剂：氧化锑、水滑石、纳米粘土等。

(4) 加工助剂：增塑剂、润滑剂、分散剂、填料、固化剂等。

2-7 实验教学方法（举例说明采用的教学方法的使用目的、实施过程与实施效果）

【教学方法】

首先根据不同用途，选择树脂基体、阻燃剂、协效剂、助剂等，对树脂基体进行阻燃改性的配方设计与优化，（配方设计的关键为选材、搭配、用量、工艺四大要素），设计出高性能、易加工、低价格的配方；对于热塑性树脂基体采用熔融共混制备阻燃材料；对于热固性树脂基体则采用平板硫化机固化制备阻燃材料；掌握聚合物阻燃改性后热氧化降解与燃烧过程的测试方法。

利用仿真技术实现阻燃改性聚合物的配方设计、制备以及热氧化降解与燃烧过程测试流程的模拟仿真，学生掌握阻燃改性聚合物制备的方法，掌握熔融共混/平板硫化设备的操作，建立阻燃聚合物阻燃性能表征的评价体系，达到虚实结合的最终目的。

例：家用电器用阻燃塑料的配方设计、制备及其燃烧行为

1. 文献检索；根据用途选择相应树脂基体；

2. 阻燃剂选择匹配、配方选择优化（包含基体、阻燃剂、协效剂、助剂等）

配方设计的关键为选材、搭配、用量、工艺四大要素，表面看起来很简单，

但其实包含了很多内在联系，要想设计出一个高性能、易加工、低价格的配方也并非易事，需要考虑的因素很多。

将没有添加阻燃剂的聚合物材料，通过将阻燃剂（总添加量为 20~40 份）与聚合物基体按一定比例进行熔融共混制得阻燃材料后，进行样条加工。阻燃配方示例：

阻燃 ABS 参考配方

原料	用途	份数
ABS	基体	83.2
十溴联苯醚	阻燃剂	12
三氧化二锑	协效剂	4
EBS	分散剂	0.5
硬脂酸锌	润滑剂	0.3

3. 阻燃材料的制备

根据配方将没有添加阻燃剂的聚合物材料（如 ABS、PP 或 PE），通过将阻燃剂（总添加量为 20~40 份）与聚合物基体按一定比例进行熔融共混制得阻燃聚合物。

在转矩流变仪中，采用熔融共混法进行。

4. 阻燃样条的制备

可选择模压制样，或注塑制样两种方式。

5. 热氧化降解与燃烧过程测试：

5.1 热分析 TG、DSC、热重—红外连用（热氧化降解表征）；

5.2 氧指数测定、垂直燃烧测定、MCC、锥形量热仪（燃烧过程测试）测定；

5.3 力学性能拉伸、弯曲、冲击试验；

6、撰写实验报告及评价。

【实施效果】

虚拟仿真技术的使用，打破了传统实验对空间时间的限制，学生可随时随地地进行实验，在虚拟的环境下，声临其境，进行知识点的学习和反复演练，直观深入地掌握相关理论和知识。

虚拟仿真实验的开设，开拓了学生的视野，激发了学生的实验兴趣，显著提升了学生的创新精神和实践能力，并作为技术储备，支撑学生的各类学术竞赛，近年来获省级化学实验技能大赛、省大学生新材料创新设计大赛等各类奖励 30 余项。有多名学生进入 985 高校继续深造。

以问题为导向的互动教学方法，增加了学生学习的主动性，学生带着问题学习，在学习的过程中解决问题。在互动讨论和文献资料检索的过程中，增加了对重要知识点的总结和拓展训练。

2-8 实验方法与步骤要求（学生交互性操作步骤应不少于 10 步）

（1）实验方法描述：

“阻燃改性聚合物热氧化降解与燃烧过程测试虚拟仿真实验”主要包括以下四部分：一是实验预习与文献检索；二是树脂基体和阻燃剂的选择、匹配和优化；三是阻燃改性聚合物材料的制备；四是阻燃材料热氧化降解与燃烧过程测试。

（2）学生交互性操作步骤说明：

（一）实验预习与文献检索

1. 自主预习，了解实验目的、原理、仪器的使用、实验步骤等；
2. 完成切题的文献检索，考察学生对实验内容掌握的程度

（二）基体匹配、配方选择优化

1. 根据用途选择相应树脂基体；阻燃剂选择匹配、配方选择优化（包含基体、阻燃剂、协效剂、助剂等各组分配比）

1.1 根据配方表将树脂基体进行烘干，除水分——可采用电热鼓风干燥箱或真空干燥箱；

1.2 根据配方表准确称量（样品总量不超过 60 克）：



（1）打开电子天平开关；打开分析天平开关和右侧门；

（2）将称量杯放到电子天平托盘上，关上右侧门，点击调零按钮进行调

零；

(3) 打开右侧门，用勺子将试样放到分析天平中并关上右侧门；

(4) 将各组分依次分别称取放入料杯中。

1.3 用玻棒将料杯中的料搅拌均匀

(三) 阻燃改性聚合物材料的制备

方式：混炼/挤出；平板硫化

1. 混炼

(1) 打开动力箱总电源和转矩流变仪主机电源。



(2) 调节显示屏，按“menu”键，进入主菜单，然后按“2”进入实验条件设置界面。

(3) 在实验条件设置界面中，输入加工温度（包括三块加热板的温度）、转速、加工时间等加工条件信息（一般：密炼温度 200-230℃，转速 40-60 转/分钟，时间 8-12 分钟），设置完成后，按“set”键，设置完毕。

(4) 待转矩流变仪达到设定温度后，在操作面板上点击“Start (motor)”按钮，让转子进行转动。

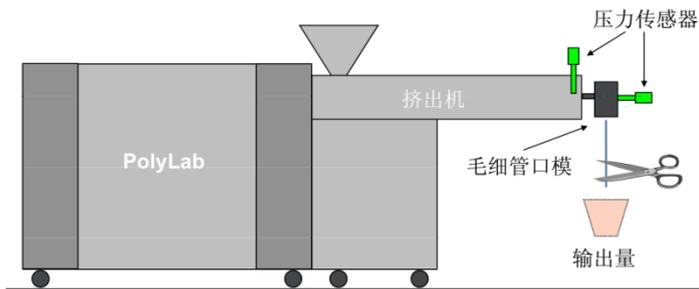
(5) 装上加料斗，并将**混合好的**物料从加料斗处加入。待加料后，拉下加料口推杆，插上安全栓，然后快速点击操作面板上的“Start (time)”，这时开始加工计时。

(6) 待达到设定时间后，点击操作面板上的“Stop”和“end”键，加工完成。

(7) 拔出安全栓，拉起加料杆，并卸下加料斗。

(8) 将流变仪密炼腔中的两块板分别卸下，用铜刷和铜铲清除物料。

(9) 然后将两个转子分别卸下，用铜刷和铜铲清除物料。



(10) 待物料清除干净后，按照顺序放入左右转子、加热板。

(11) 最后关闭转矩流变仪主机电源和动力箱总电源。

挤出：

(1) 开机：打开总电源——打开空压机——打开 MiniLab 微量流变混合器/挤出机主机——打开电脑；



(2) 打开测试软件进行程序设置：→

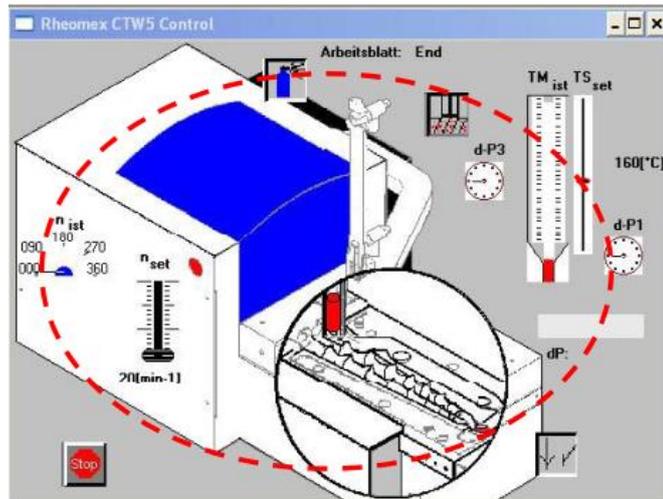
a. 选择测量方式(混合 or 流变)；→OK (混合 Monitor...) →

b. 选择螺杆同向 Screw (系统默认为反向，但本实验室螺杆为同向，如不设置不会影响测量，只是导出数据中显示为反向螺杆)；→ OK → OK

c. 设定参数：双击 对于混合过程设置物料的加工温度（一般高于材料熔点 20—30℃）、混合时间、螺杆转速；左下方设定各参数 → OK

对于流变过程设置温度、螺杆转速范围(如 10~120，分 10 步完成即采集 10 个转速下，物料的粘度随应力变化)；选择模式为循环。

点开 (笑脸标志)



(3) 升温(带 T 标志)

(4) 装料(手动或自动均需开启空压机), 将**混合好的**物料从加料斗处加入



(5) 校正(待温度升好后开始校正, 带多线条标志)

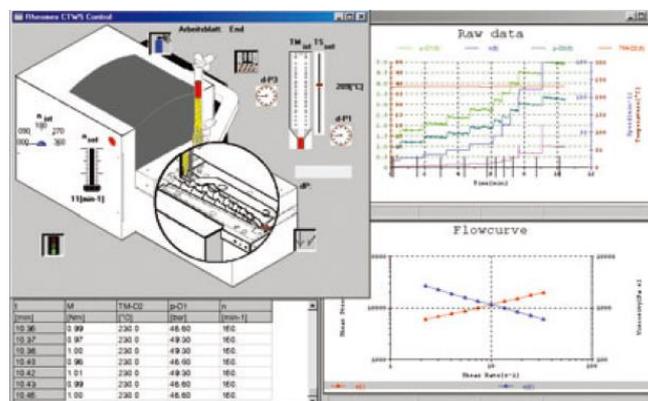
(6) 测量(闪电标志, 如不校正此处为灰色)

对于循环模式, 物料加入后待 P1 和 P3 压力差波动不大即稳定后方可开始。

以上所有控制过程都可在软件上完成(有相应的监控模块);

调出模块: 菜单 Instewnt/Miniextruder Control

显示左图——右下方有一控制块



(7) 加工完成, 出口处收集物料。为了 100%收集样品, 可停机后打开机

筒，用铜铲挂出。



(8) 打开仪器密炼腔，然后将两个螺杆分别卸下，用铜刷和铜铲清除物料。

(9) 待物料清除干净后，按照顺序放入螺杆。

(10) 最后关闭仪器主机电源、电脑、空压机和总电源。

2. 平板硫化

对于阻燃改性高性能基体树脂的制备，则按以下步骤：

(1) 树脂胶液的配制：根据设计好的配方，将固化剂和各种助剂添加到基体树脂中，进行搅拌混合，直到混合均匀。

(2) 将配制好的胶液放置于自制的金属模具中，按照确定好的最佳固化工工艺在平板硫化机上进行固化成型。固化好的树脂样条进行力学性能、氧指数、垂直燃烧等性能的测试。

a. 打开主机上开关按钮。

b. 触摸屏上设置抽真空时间、抽真空间隔时间、预压时间、排气时间、复压时间、排气次数、硫化时间、真空解除时间；

c. 按下总停按钮，控制按钮置于自动状态。设定时间间隔，间断抽真空。抽真空结束后，按下解除真空按钮，真空罩上升，同时主缸下降，复位。

d. 触摸屏上设定温度为合适的温度（低压时升低温，中压时中温，高压时升高温），等压机的温度上升到设定温度后，按下加热按钮。把配制好的胶液放置于模具里和模具一起放在压机的上下模板中间预热；

d. 排气，开关打在排气状态。在升低压前，机器自动按要求排气，重复上述操作8~10次左右，以使模具中的气体全部排出。

(3) 脱模 待制品充分冷却后，将模具从两模板中间取出，脱模后除去毛

边即得制品。

3. 热压制样（服务于混炼/挤出制备方式）

(1) 原料预热 打开位于热压机后面的开关，这时操作面板上的两个温控仪表处于可调状态，显示的分别是上下两块加热板的温度（一般两个温度设置为同一温度值）。首先设定温度为合适的温度（加工温度为 180℃-230℃），等压机的温度上升到设定温度后，把已经装在模具里的样品和模具一起放在压机的上下模板中间预热；

(2) 排气 预热约 5-6 分钟后，确保模具内的样品已经被软化之后，就可以开始排气了。首先旋转靠近后侧的锁杆，将加热板固定，然后反复升降加压杆将把加热板上升，达到一定压力（一般为 15-20MPa）后，然后再次旋转轴锁杆，解锁加热板，这时加热板开始下降。如此重复上述操作 8~10 次左右，以使模具中的气体全部排出。

(3) 保压 排气过程过后，旋转靠近后侧的锁杆，将加热板固定，然后反复升降加压杆将把加热板上升，达到一定压力（一般为 15-20MPa）后，让制品保压 5 分钟左右。保压结束后，将模具快速移到冷模压机内（相当于没有加热的同样规格热压机），旋转冷压机中靠近后侧的锁杆，将加热板固定，然后反复升降加压杆将把加热板上升，在 15-20 MPa 压力下进行冷压，使模具在一定压力下以较快的速度进行冷却，从而缩短整个制品的成型时间。

(4) 脱模 待制品充分冷却后，下降下模板，解除压力，将模具从两模板中间取出，脱模后除去毛边即得制品。

（四）阻燃材料热氧化降解与燃烧过程测试

1. 热分析：包括热失重分析（TGA）、扫描量热分析（DSC）、热重—红外联用分析；

热失重分析（TGA）：

(1) 开机：打开计算机与主机电源。打开恒温水浴。一般在打开 2~3 小时后，可以开始测试。打开 Proteus 软件。

(2) 确定使用气体并打开气体开关：确认测量所使用的吹扫气情况。（对于 TG 通常使用 N₂ 作为保护气与吹扫气。其他常用吹扫气体有空气、氧气）气体流速在测试软件中设定即可自动控制。

(3) 制样：根据不同类型的样品选择适合的制样方法。准备一个干净的空坩埚，取适量样品并称量，将称好的样品用镊子放入坩埚中。一般称取 5~15mg 左右的放在 Al₂O₃ 的坩埚中，再将 Al₂O₃ 坩埚放入 TG 仪中，合上仪器。除气体外，固体、液体和粘稠状的样品均可用于测定。装样时尽可能使样品均匀，密实地分布在坩埚底部，以提高传热效率，降低热阻。坩埚加盖与否视后面样品测试的需要而定，对于一般的 TG 测试，如果不存在样品污染因素的话，一般不需加盖。随后将坩埚放到样品支架上，关闭炉体。

(4) 打开测试软件，建立新的测试窗口和测试文件。如果需要扣除基线漂移的影响，应事先进行基线测定，生成基线校正文件。测量类型应选择“样品+校正”。

基线校正就是在所测的温度范围内，对空坩埚进行温度扫描，得到曲线接近一条直线的谱图，这就是基线谱图。在测试之前应先打开基线文件，再点击“样品+校正”，这样所测得 TGA 曲线就得到了基线校正，用以消除天平仪测量质量变化所带来的误差。

(5) 设定测量参数、测量类型、样品编号：XXX；样品名称：XXX；样品质量：XXX；坩埚质量：XXX；操作者：XXX；材料：XXX；

(6) 打开温度校正文件文件。如是第一次测试，需要先进行温度的校正，生成温度校正文件。

温度校正就是作一系列标准物的 TG 曲线，进 c-DTA 分析，然后与理论值进行比较，并进行曲线拟合，以消除仪器温度控制误差。

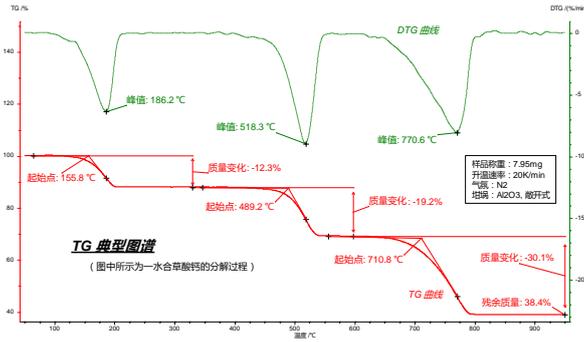
(7) 设定程序温度：进入温度控制编程程序设定程序温度。

(8) 定义测试文件名。

(9) 初始化工作条件：当温度高于室温时需要等到温度降至设置初始温度才能开始测试。

(10) 在计算机中选择“开始”测试，仪器自动开始运行，运行结束后可以打印所得到的谱图。

(11) 待测试完成后，运行 Tool/Run analysis program，进入曲线分析界面，然后对所测得的曲线进行分析。



(12) 测试完毕，退出程序，关机。

扫描量热分析 (DSC) :

(1) 开机：开启电脑和 DSC 测试仪。为了测试结果的精确性，DSC 仪器打开之后预热 30min 方可进行样品测试。同时打开氮气阀，转动减压阀使其读数为 0.05MPa。

(2) 制样：取适量样品并称量，将称好的样品用镊子放入坩埚中，用压片机压制。一般测量玻璃化转变样品可取多些，可在 15mg 左右；测试熔融温度时样品量应少，5mg 左右足够。用镊子夹取坩埚时要小心，防止坩埚的损坏，如在测试过程中有气体跑出，可在坩埚上盖扎一个小孔。

(3) 打开测试软件，建立新的测试窗口和测试文件。

(4) 设定测量参数、测量类型、样品编号：XXX；样品名称：XXX；样品质量：XXX；操作者：XXX；材料：XXX；

(5) 打开温度校正文件和灵敏度校正文件。

(6) 设定程序温度：

进入温度控制编程程序设定程序温度。设定程序温度时，初始温度要比测试过程中出现的第一个特征温度至少低 50°C~60°C，一般选择升温步长为 10°C/min 或者 20°C/min。程序条件：选定 STC，吹扫气 2 和保护气。如果测定低温阶段，应先将仪器预先冷却到低温阶段。

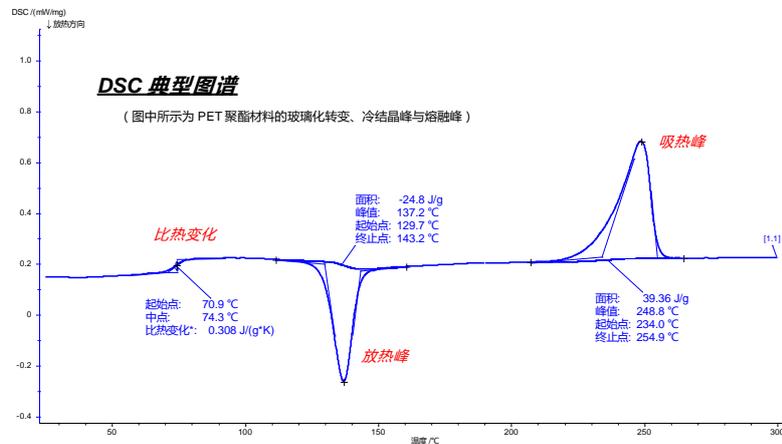
(7) 定义测试文件名。

(8) 初始化工作条件：当温度高于室温时可以打开控制开关，选用压缩机冷却；若需从低温测起可开启液氮装置，但不宜开得太大，而且可以在高于设定温度时即可关闭，等其降至最低然后升至设定温度时开始进行测试。

(9) 将样品坩埚和参比坩埚放入样品池。

(10) 在计算机中选择“开始”测试，仪器自动开始运行，运行结束后可以打印所得到的谱图。

(11) 用随机软件处理谱图，求取聚合物相应的特征转变温度及转变热焓。



(12) 测试完毕，退出程序，关机。

热重—红外连用分析：

一般先加热气体池，至温度稳定后放置仪器上；

(1) 开电源（每次间隔 ≥ 10 秒）；打开电脑：打开OMNIC软件，在”采集”选项中点击“实验设置”。（点开“诊断”：保证样品仓中无样品——最大值大于7.16，最小 -4.54。 Loc：2048；当有偏差，如：最大3-4V时，测准值：接近最大值）；

(2) 在“采集”页面中，点击左下角打开按钮，选择TGA—IR. EXP实验文件，从而选定扫描次数与频率；

(3) 点击“光学台”页面，确保最大能量在2.0左右；

(4) 点击”Series”页面，在时序栏中，点击编辑，设置延迟时间与保存时间，延迟时间为1分钟，保存时间设置为比TGA做样时间多1分钟，点击确定；

(5) 点击主界面的”采集”选项，然后点击”采集Series”按钮扫描背景，待样品放好后，确认TGA样品质量是否稳定，待稳定后，点击确定，红外即开始测量，同时开始TGA测量。

2. 燃烧性能测试：包括垂直燃烧（UL94）试验、氧指数（LOI）测定、微型量热（MCC）试验、锥形量热（Cone）试验。

垂直燃烧测定:

(1) 试件垂直固定在实件夹上, 试件上端夹住部分为 6mm, 其下端放好脱脂棉。

(2) 在距试样 150mm 处点燃本生灯, 调节火焰高度为 20 ± 2 mm, 并呈蓝色火焰。

(3) 将本生灯管顶面中心置于试件下端面 10mm 位置, 火焰对准试件下端中心部分, 并开始计时。(如果试样有熔滴滴落, 可将本生灯在试样 13mm 宽的一侧倾斜 45° , 并稍稍后撤一些, 以免滴落物进入灯管)

(4) 当对试件施加火焰 10s 后移开火源, 并立即记录移开火焰后试样有焰燃烧时间。(在施加火焰期间, 如果试样熔融滴落或卷曲改变了试样长度, 则移动本生灯, 使试样的底端和灯管的顶面中心距离保持不变)

(5) 试件有焰燃烧熄灭后, 按 5.2.3 步骤再施加火焰 10s, 分别记录移开火焰后试件有焰燃烧和无焰燃烧时间。

(6) 重复(1)-(5)步骤, 进行其他样条的燃烧性能测试。

垂直燃烧法对材料燃烧性能的评价按下表规定分为三级 FV-0 级、FV-1 和 FV-2。

试样燃烧行为标准	级别		
	FV-0	FV-1	FV-2
每个试样每次施加火焰离火后有焰燃烧时间, \leq 秒	10	30	30
每组 5 个试件施加 10s 火焰离火后有焰燃烧时间总和, \leq 秒	50	250	250
每个试样第二次施加火焰离火后无燃烧时间, \leq 秒	30	60	60
每个试样有焰燃烧或无焰燃烧蔓延到夹具的现象	无	无	无
每个试样滴落阴燃医用脱脂棉现象	无	无	有

如果一组 5 个试样中有一个不符合表中要求应再取一组试样进行试验, 第二组 5 个试样应全部符合要求。如果第二组仍有一个试样不符合表中相应要求, 则以两组中数值最大的级别作为该材料的级别。

氧指数 (LOI) 测定:

(1) 试样的标线 为了观察试样燃烧距离, 根据试样的类型和所用的点火方式在面上画标线。

(2) 试样状态调节 除非另有规定, 否则每个试样试验前应在温度 $23^\circ\text{C} \pm$

2℃和湿度 50%±5%条件下至少调节 88h。（注：含有易挥发可燃物的泡沫材料试样，在 23℃±2℃和 50%±5%状态调节前，应在鼓风烘箱内处理 168h，以除去这些物质）

(3) 开启电源，等待触摸屏启动，开启氧气与氮气，压力调到 0.1Mpa；



(4) 点击界面中的 进入试验 按钮进入如下界面



(5) 设置试样号，系统自动将流量置标准流量 14.71/min，氧浓度 20.9%。粗调点击此按钮将显示细调，表明按图 1 中的 0+或 0-按 1%增加转为按 0.1%增加，侧文本框显示计算氧指数值。

(6) 选择起始氧浓度，可根据类似材料的结果选取。

可观察试样在空气中的点燃情况，如果试样迅速燃烧，选择起始氧浓度约在 18%（体积分数）；如果试样缓慢燃烧或不稳定燃烧，选择的起始氧浓度约在 21%（体积分数）；如果试样在空气中不连续燃烧，选择的起始氧浓度至少为 25%（体积分数），这取决于点燃的难易程度或熄灭前燃烧时间的长短。

(7) 设定好氧浓度，确保燃烧筒处于垂直状态。

将试样垂直安装在燃烧筒的中心位置，使试样的顶端低于燃烧筒顶口至少 100mm，同时试样的最低点的暴露部分要高于燃烧筒基座的气体分散装置的顶面 100mm。

(8) 点击测试开按钮，氧、氮气体开始流入混合室氧浓度达到设定值，在点燃试样前至少用混合气体冲洗燃烧筒 30s。确保点燃及试样燃烧期间气体流速不变，因氮流量较大，管路中单向阀将产生振动声音，不影响试验，点燃手持式点火器。

顶面点燃法：是在试样顶面使用点火器点燃。

将火焰的最低部分施加于试样的顶面，如需要，可覆盖整个顶面，但不能使火焰对着试样的垂直面或棱。施加火焰 30s，每隔 5s 移开一次，移开时恰好有足够时间观察试样的整个顶面是否处于燃烧状态。在每增加 5s 后，观察整个试样顶面持续燃烧，立即移开点火器，此时试样被点燃并开始记录燃烧时间和观察燃烧长度。

(9) 点击数据查询按钮，进入如下界面



(10) 点击 校正画面 按钮 进入如下界面：



校正时先通入氧气，按下 氧气开按钮，管路直接通入氧气，等待实时氧指数显示稳定，可以按下相对应的数据写入按钮，再按下氧气开按钮，关闭氧气。再通入氮气，按下氮气开按钮，管路直接通入氮气，等待实时氧指数显示稳定，可以按下相应的数据写入按钮，再按下氮气开按钮，关闭氮气，如果校

正搞乱了，可以重新进行校正。

(11) 燃烧特性测定

1) 若试样燃烧时间不到 180s 或燃烧不到 50mm 标记处火焰自熄，记作特征“0”，并记录此时的燃烧时间和燃烧长度。

2) 若试样燃烧时间超过 180s 或然后燃烧超过 50mm 标记处，记作特征“×”，并将实验熄灭。

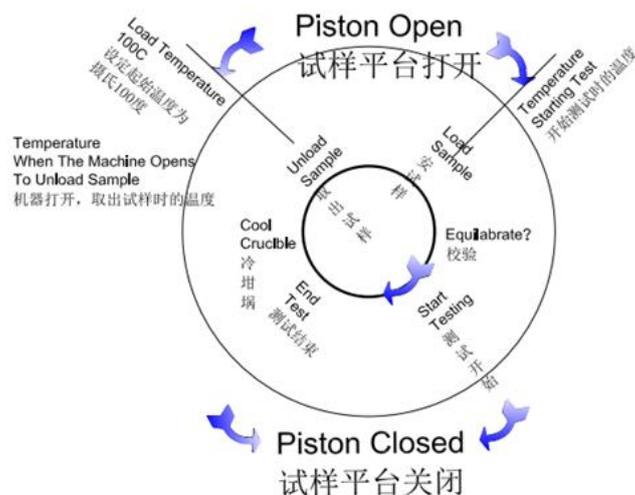
3) 如有熔滴、结炭、不稳定燃烧、阴燃灯现象，也作为燃烧特征加以记录。

(12) 用适当的级差改变氧浓度，重复步骤(6)~(8)的操作，直到有一对“0”和“×”特征的氧浓度相差小于或等于 1。这两个相反的特征不一定是连续出现的，“0”特征的氧浓度不一定比“×”特征的氧浓度低。用这一对特征中“0”的相应氧浓度作为初始氧浓度。

(13) 重复步骤(6)~(8)的操作，试验 1 个试样，记录所用的氧浓度和特征作为第一个结果。再试验 4 个试样，记录每个试样所用的氧浓度及其特征。并制定用于最后 1 个试样的氧浓度为最终氧浓度，并将这 4 个特征和所得到得最后 1 个特征排列到一起，确定氧指数值 OI。

OI 高表示材料不易燃烧，OI 低表示材料容易燃烧。一般认为 $OI < 22$ 属于易燃材料，OI 在 22~27 之间属可燃材料， $OI > 27$ 属难燃材料。

MCC 测试：



(1) 开机：打开空压机、MCC 主机电源，打开电脑、测试软件。

(2) 校准 (Calibration)：

a. 将一只空坩埚放入炉体，点击 Piston—up；

- b. 气体：确认测量气体情况(N₂: 80cc/min, O₂: 20cc/min, FM: 100cc/min)。点击 Gas “ON”；
- c. “Combustor”：900℃；
- d. 打开 C: /MCC/Ca/Files/Coeff: 点到第一行，注下第一行最后一个的值，关掉文件；
- e. 确保 Pyrolyzer “Auto”，输出压力设置为 0；确保 Cold trap “OFF”；
- f. 点击 “Start Calibration”，在校正结束之前请勿动。
- g. 打开 C: /MCC/Ca/Files/Coeff file，输入之前的延迟时间，选择 “save”。完成校正，退出校准程序；

(3) 样品测试

- a. 首先进行样品制备，先将空坩埚放在天平上称重，去皮（清零），随后将样品加入坩埚中，称取样品重量。
- b. 打开测试文件，设置测试参数，输入样品名称、编号与样品质量、坩埚质量；
- c. 点击 “load sample” ——不保存——点击 “开始测试” ——自动升温，当炉内温度达到 900℃时，将装有样品的坩埚放入炉体，再点击 “load sample 关闭炉体；
- d. 选择存盘路径，设定文件名，点击“保存”，待信号稳定时，点击“Start”开始测量，等待测量结束。
- e. 当温度降到 100℃以下（一般为 75℃）时，方可进行下一个样品的测量。

锥形量热仪：依据 ISO5660ASTM1354 标准。



(1) 冷阱排水 在冷阱出口下方放置一广口杯，每日开机之前打开排水龙头，排水后即关闭。

(2) 系统开机

a. 按下主机上以下开关按钮 ANALYSER、SMOKE、POWER、CONE（确认温度设置为 0）、IGNITION、LOADCELL

b. 先打开数据采集器（34970A）电源，然后打开电脑中的 ConeCalor 软件。
****激光（SMOKE）和气体分析器（ANALYSERS）试验前需要充分预热，约 10 小时。**

(3) 检查过滤器和干燥器状态，及时更换。

(4) 设置管道中的排风流量

点击进入 Calibrations|DPT&Flow:

a. ZERO DPT: 确认管道抽风机、取样泵和排风机处于关闭状态, 用一盖板封闭烟囱口, 在相应软件窗口中点击 Zero DPT 按钮, 压力显示约为 0Pa;

b. 设置管道排风量 241/s: 取走封闭烟囱口的盖板, 根据提示打开排风机和抽风机, 调节抽风机转速以达到要求的排风量。

(5) 激光系统 (SMOKE) 校正

点击进入 Calibrations|smoke:

a. 零点校正: 在光源一侧插入不透光的塞片挡住光源, 数据稳定后点击 Zero;

b. 平衡校正: 取走塞片, 光路中无遮挡, 关闭放置塞片的塞孔, 数据稳定后点击 Balancen;

c. 滤片校正: 点击 Filter Calibration, 根据提示, 在远离光源一侧插入相应滤片, 点击 Start;

d. 滤片校正完成后, 同样关闭该侧放置塞片的塞孔。

(6) 气体分析器校正

点击进入 Calibrations|Gas Analysers:

a. 低点 (零点) 校正

单选阀和多选阀都旋转到 Nitrogen 位置, 取样泵关闭, 打开并调节氮气钢瓶上减压阀, 使 O₂、CO/CO₂ 流量 3.5L/min, 观察气体分析器上读数稳定后 (不少于 5 分钟), 按键 Menu|Calibrate|Password 4000|Manual Cal|Oxygen|Low Cal|0.0000%|Yes, 完成 O₂ 零点校正; 按 Quit 键二次, 分别选择完成 CO₂ 和 CO 的零点校正;

在 PC 上, 点击 Oxygen、CO、CO₂ 窗口中的 Zero 按钮, 随后关闭氮气钢瓶。

b. 高点校正

CO/CO₂ 校正: 单选阀旋转到 Sample gas, 多选阀旋转到 CO|CO₂Span Gas, 打开并调节标准气钢瓶上减压阀, 使 CO/CO₂ 流量为 3.5L/min, 待气体分析器上读数稳定后, 按键

Menu|Calibrate|Password 4000|Manual Cal|CO₂|High Cal|根据标准值

完成 CO₂ 高点校正;按 Quit 键二次,选择完成 CO 的高点校正;在 PC 上点击相应窗口中的 Span 按钮结束 CO、CO₂ 高点校正, 关闭标准气钢瓶。

O₂ 校正: 单选阀旋转到 sample Gas, 多选阀旋转到 sample Gas, 打开取样泵, 打开冷阱, 待气体分析器上读数稳定后。按键 Menu| Calibrate| Password 4000| Manual Cal|Oxygen|High Cal|, 根据值 20.95% 完成 O₂ 高点校正, 在 PC 上点击 Oxygen 窗口中的 Span 按钮。

点击 OK 完成气体分析器校正。

(7) 秤的校正

点击进入 Calibrations|Mass:

- a. 零点校正: 手动按 Tare 清零, 数据稳定后点击 Zero;
- b. 跨度校正: 在秤上放置 250g 砝码, 数据稳定后点击 Span, 点 OK 完成校正。

(8) 测试样品

a. 称取并记录样品净质量;

b. 样品准备: 用铝箔 (光面在内) 覆盖样品各侧面及底面, 样品只露出上表面; 样品架组件 (不含样品) 放上天平, 读数稳定后按 Tare 去皮显示 0; 从天平上取下样品架, 放入样品后待用, 此时天平显示负值, 不用再去皮 ;

c. 确认系统状态符合测试要求, 取样泵开, 在天平上放置隔热板后打开锥形炉护门;

d. 点击 Start Test, 输入参数, 完成 Pre-Run Calibrations 后根据屏幕上提示操作直至实验结束。

(9) 关机顺序

a. 设置温度 0

b. 关闭抽风机和排风轮

c. 关主机上以下按钮 Pump、Cold Trap、Load Cell、Ignition、Cone、Power

**Analysers 和 Smoke 保持开机状态 (若仪器将长期不使用则关闭后切断总电源)。

d. 退出 ConeCalc 软件, PC 关机, 再关闭 (34970A) 电源

e. 确认各气体钢瓶和冷却水处于关闭状态。

3. 力学性能: 包括冲击、拉伸、弯曲试验

冲击试验：

(1) 选择并安装支座

a. 简支梁/悬臂梁

选择简支梁/悬臂梁支座并将其安装在支架上，支座跨距找正块进行支座的跨距调整，将跨距找正块（附件）按规定放置，两支座内侧面之间尺寸正好为跨距找正块长度尺寸，冲击刀刃（摆锤的冲击刀刃）正好与跨距找正块中间右侧缺口相吻合，紧固压块螺钉。

b. 拉冲：选择拉冲支座并将其固定。

(2) 选择并安装摆锤

a. 根据试样材料的性能选择适当量程的摆锤。一般情况下，试样被冲断所消耗的能量应处于摆锤最大能量的 10%-80%之间。

b. 安装摆锤：将摆锤插头上的缺口对准摆轴上的轴台，用力插入摆轴小直径处，然后往左推，使插头端面与轴肩靠紧，对于悬臂梁试验，当摆锤自由悬挂时，摆锤两内侧面与支座两侧面之间的间隙相差不超过 0.8mm，然后拧紧螺钉。

(3) 准备试样，测量并记录数据

(4) 开机，按下电源开关，使系统上电，液晶显示屏上显示正常；

(5) 取摆；用手逆时针旋转摆锤顶上的旋转手柄，使旋转手柄弹起。然后用右手将摆锤逆时针扬到底，左手按下旋转手柄顺时针旋转到底，使摆杆上的挂钩被旋转手柄所控制的挂钩挂住（同时使微动开关动作）。

(6) 安装试样

a. 简支梁

第一步：选择试样，试样应在支座垫上相应的宽度和厚度垫块，使试样中心与打击点一致。

第二步：安装试样，先将试样缺口方向向左放在两支座平面上，然后左手拿试样对中块把手（附件），从试样左侧平行插入，使试样对中块的对中部分与试样缺口相吻合，用右手移动试样，使试样对中块的对中部分靠紧试样缺口，右手向左顶压试样，使试样左端紧靠两两钳口，将试样对中块移开，右手轻轻脱离试样。

b. 悬臂梁

用试样定位器来确定缺口试样的正确位置，将定位器置于支座的活动钳口上，使试样缺口对准定位器的 V 型槽，试样缺口对准定位器的 22.5° 斜面，然后将试样夹紧并取走定位器。

(7) 试验阶段

a. 设置试样参数

按菜单键进入设置界面后，显示第一级菜单；

【向下】：操作光标下移来选择菜单项。当光标处于最后一项时，再按此键就会回到第一项，循环往复。

【向右】：当光标处于某一项时，按下此键可进入相应的设置界面。

【菜单】：此键功能是退回上一级菜单。

在数据编辑状态，系统会自行保存数据。

b. 放摆冲击

左手将旋转手柄逆时针旋转到底并迅速松开，旋转手柄会迅速自动弹起，导致微动开关动作，示值自动清零、复位，摆锤将顺时针落下打击试样。

c. 试验数据的处理

试样破断后显示窗口左侧显示试样的冲击吸收功 W、右边显示试验的冲击强度或摆锤相对垂直位置的角度。

在冲击试样过程中，摆锤由最大升角回落时，软件程序会自动计算出结果。

(8) 试验结束后，让摆锤回到铅垂位置，然后切断液晶控制盒和针式打印机的电源。

拉伸/弯曲试验：

(1) 开机：试验机——打印机——计算机。

(2) 进入试验软件，选择好联机方向，选择正确的通讯口。选择对应的传感器及引伸仪后联机；

(3) 检查夹具，根据实际情况（主要是试样的长度及夹具的间距）设置好限位装置：在试验软件内选择相应的试验方案，进入试验窗口，输入“用户参数”；

(4) 夹持试样，夹具夹持试样时，要使试样纵轴与上下夹具中心线相重

合，并且要松紧适宜，以防止试样滑脱或断在夹具内；

(5) 点击“运行”，开始自动试验；

(6) 试样拉断后，打开夹具取出试样；

(7) 重复 3~6 步骤，进行其余样条的测试。若试样断裂在中间间平行部分之外时，此试样作废。另取试样补做；

(8) 试验自动结束后，软件显示试验结果；

(9) 关机。

2-9 实验结果与结论要求

(1) 是否记录每步实验结果：是 否

(2) 实验结果与结论要求：实验报告 心得体会 其他 结果讨论

(3) 其他描述：扩展实验设计与实施

2-10 考核要求

要求学生能够在学习实验目的，基本原理等知识后，完成文献检索，自主学习实验，在练习模式下，学习软件的使用，按照操作步骤熟练掌握阻燃改性聚合物热氧化降解与燃烧过程测试操作流程，并在提示模式下完成整个实验过程和实验报告。系统根据实验操作步骤和完成时间等，预定评分，达到 80 分以上，考核合格。在规定时间内完成虚拟仿真实验全过程，参加实验系统的自动考核并达到 80 分以上，考核分数占总成绩的 20%。

实训实验中考核基础实验技能掌握程度、实验操作、研讨情况、实验数据处理、结果讨论等，考核分数占 80%。

2-11 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

高分子材料与工程专业、应用化学专业、材料科学与工程专业二年级以上学生，以及其他相关专业中从事涉及阻燃改性聚合物研究的学生。

(2) 基本知识和能力要求等

要求学过有机化学、物理化学、高分子物理、高分子化学、高聚物近代研究技术、仪器分析、高聚物成型加工理论课，掌握基本的实验技能，了解实验室安全规章制度。同时还要求学生具有创新精神，具有一定的实践动手

能力以及独立分析和解决问题的。

2-12 实验项目应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2018年

(2) 已服务过的本校学生人数：超过100人

(3) 是否纳入到教学计划：是 否

(勾选“是”，请附所属课程教学大纲)

本虚拟仿真实验项目是《高分子材料与工程专业实验》课程的重要组成部分。自2018-2019学年开始实行。其中线上4学时。

附1：2018-2019学年《高分子材料与工程专业实验》安排表（48学时）

授课教师：程捷/闫红强/郭正虹/张艳

授课学时/周	内容	授课形式			
		理论	课堂讨论	实践教学	虚拟仿真
4/1	安全教育；说明课程性质、课程要求、课堂纪律及课程成绩组成情况；讲解《高性能基体树脂的设计及性能测试》的实验背景、目的、内容分解以及实验操作；安排分组情况，布置每组的任务及时间安排；	√	√		
4/2	查阅资料、初定实验方案；根据查阅资料情况上交每组的实验方案，实验任课老师审查通过；实验方案审查不通过的重新查阅资料制定实验方案；		√		
8/3	根据确定的实验方案准备相关实验药品、玻璃器皿和设备。根据实验方案配制树脂胶液，研究树脂胶液的性质和固化反应			√	
12/4	固化制备树脂材料；			√	
6/5	树脂玻璃化转变温度的测试及分析；树脂热稳定性和热氧稳定性的测试及分析；树脂极限氧指数的测试及分析；			√	
6/6	树脂垂直燃烧性能的测试及分析；树脂微型量热性能的测试及分析；树脂吸水性能的测试及分析；			√	
4/7	分析实验数据，并和其它小组的实验数据进行对比，讨论不同配方对树脂性能的影响，并撰写实验报告；		√		
4/8	进行期末实验报告答辩，要求每组的所有成员都必须参与。通过平时操作成绩、实验报告成		√		

	绩及答辩成绩核算最终课程的总成绩。				
4/1	安全教育；说明课程性质、课程要求、课堂纪律及课程成绩组成情况；讲解《 高分子共混合金的制备及性能测试 》的实验背景、目的、内容分解以及实验操作；安排分组情况，布置每组的任务及时间安排；	√			
4/2	根据查阅资料情况上交每组的实验方案，实验任课老师审查通过；实验方案审查不通过的重新查阅资料制定实验方案；		√		
8/3	根据确定的实验方案准备相关实验药品、玻璃器皿和设备。 以聚苯乙烯、聚乙烯和增容剂为主要原材料，从满足性能要求、成型加工要求和实用性要求三个角度，考虑合理的共混合金配方比例范围。按照设计的配方配制相应物料，并将物料进行适当的干燥。根据设计的配方比例，确定合适的挤出成型加工工艺，包括挤出机各段的温度、螺杆的转速、切粒机的转速等；			√	
12/4	采用双螺杆挤出机对相应物料进行挤出加工，获得各物料的挤出粒料，并将挤出粒料进行适当的干燥。将干燥好的挤出粒料放在注塑机中进行注塑成型，确定合适的注塑成型加工工艺条件，包括预热温度、注塑机温度、螺杆转速、注塑机压力等，制备力学性能测试的试验样条。			√	
6/5	采用冲击试验机测试样条的缺口冲击强度，并观察样条断面，确定是否有韧性断裂现象。			√	
6/6	采用万能材料试验机测试样条的拉伸强度、拉伸模量和断裂伸长率。			√	
4/7	计算材料的模缩率,分析实验数据，并和其它小组的实验数据进行对比，讨论聚合物共混物的增韧、增容和弹性效应，并撰写实验报告；		√	√	
4/8	进行期末实验报告答辩，要求每组的所有成员都必须参与。通过平时操作成绩、实验报告成绩及答辩成绩核算最终课程的总成绩。		√		
4/1	安全教育；说明课程性质、课程要求、课堂纪律及课程成绩组成情况；讲解《 环保型无卤磷系阻燃剂的合成及性能测试 》的实验背景、目的、内容分解以及实验操作；安排分组情况，布置每组的任务及时间安排；	√			
4/2	根据查阅资料情况上交每组的实验方案，实验任课老师审查通过；实验方案审查不通过的重新查阅资料制定实验方案；		√		
4/3	根据确定的实验方案准备相关实验药品、玻璃			√	

	器皿和设备；				
16/4	磷系阻燃剂的合成：考察反应温度等反应条件对反应产物产率的影响；			√	
6/5	阻燃材料配方的设计与阻燃材料的制备； 阻燃材料的模压成型（注意：要符合相关样条制作的国家标准）			√	
6/6	磷系阻燃剂的结构和热性能表征； 阻燃材料的阻燃性能和热性能测试；			√	
4/7	分析实验数据，并和其它小组的实验数据进行对比，讨论不同阻燃配方对产物材料阻燃性能和热性能的影响，并撰写实验报告答辩；		√		
4/8	进行期末实验报告答辩，要求每组的所有成员都必须参与。通过平时操作成绩、实验报告成绩及答辩成绩核算最终课程的总成绩。		√		
4/1	安全教育；说明课程性质、课程要求、课堂纪律及课程成绩组成情况；讲解《 阻燃改性聚合物热氧化降解与燃烧过程测试虚拟仿真实验 》的实验背景、目的、内容分解以及线下实验操作及网上软件操作基本流程；要求每人独立进行，第3-6周可任意选择上网，进行总4学时的虚拟仿真实验；	√			
4/2	实验预习与文献检索			√	
1/3-6	阻燃改性物的配方设计：根据用途选择相应基体和阻燃剂，进行配比优化；				√
1/3-6	阻燃改性物的制备：根据优化的配方，将备料烘干，称量混匀，混炼或挤出，得到自主设计的阻燃改性材料；				√
1/3-6	热氧化降解与燃烧过程测试：采用平板硫化机或注塑机制备阻燃性能测试的实验样条（符合相关的国家标准），若样条尺寸不合适，用切割机，缺口制样机和哑铃型制样机进一步加工制得样条。				√
1/6	对阻燃材料进行氧指数、垂直燃烧测定，热分析，MCC测定和锥形量热测定；				√
4/7	综合分析虚拟仿真实验数据，讨论不同阻燃配方对产物材料阻燃性能和热性能的影响，撰写实验报告；		√	√	
4/8	进行期末实验报告答辩，要求每组的所有成员都必须参与。2、通过平时操作成绩、实验报告成绩及答辩成绩核算最终课程的总成绩				

附 2：《高分子材料与工程专业实验》教学大纲

（一）课程基本信息

1. 课程代码：20135037
2. 课程名称（中文/英文）：高分子材料与工程专业实验/Specially Experiment of Polymer Materials and Engineering
3. 课程类别：实习实训课；
4. 学分/总学时： +3.0/96 ； 理论学分/学时： 0/0 ； 实践学分/学时： +3.0/96；
5. 面向对象：高分子材料与工程专业
6. 先修课程：高分子化学、有机化学、高分子物理、高分子合成工艺、高聚物成型加工等；
7. 后续课程：毕业设计（论文）

(二) 课程简介

是高分子材料与工程专业一门重要的实习实训课，旨在培养学生掌握高分子材料及相关材料专业基础理论和基本知识，掌握工程学基本理论和知识，能够利用原理性知识进行自主实验、自主发现、自主设计、自主解决高分子材料相关的科学问题；掌握高分子材料的聚合、加工成型、改性及产品开发等专业技能；具有较强的动手操作和基本科研能力。

(三) 课程教学目标和能力要求

表 3-1 毕业要求指标点与课程目标（Course Object, CO）对应关系

序号	毕业要求指标点	课程目标
1	能够设计针对高分子材料与工程领域复杂工程问题的解决方案，设计满足特定需求的系统、单元（部件）或工艺流程，并能够在设计环节中体现创新意识，考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素；	CO1: 掌握高分子材料的聚合、加工成型、改性及产品开发等专业技能和现代设计学理论和设计方法，具有较强的动手操作能力，能用计算机进行高分子聚合和成型生产工艺设计并理解技术伦理的工艺和设备设计；CO2: 能够对高分子成型加工和聚合新工艺、新原料、新设备等进行技术分析和比较，掌握技术经济分析方法。具备对新技术进行经济和社会效益分析的能力；
2	能够基于科学原理并采用科学方法对高分子材料与工程等领域复杂工程问题进行研究，包括设计实验、分析与解释数据、并通过信息综合得到合理有效的结论；	CO3: 掌握高分子化学、高分子物理知识和高分子材料测试和表征的分析方法，具有设计实验、操作仪器、执行计划、分析高分子材料领域复杂工程问题和解释数据的能力；CO4: 具备较高的文化素养和道德修养，较强的创业精神和创新意识，培养适应现代技术发展，具备终身学习的能力，具备适应高分子材料新技术发展能力；

本课程的教学目的是让学生掌握各种高分子材料测试和表征的分析方法，具有设计、操作、执行、分析和解释数据的能力，有效地进行实验设计与操作。掌握高分子材料加工方面的理论前沿，了解新加工成型方法、新技术和新设备的发展动态，了解新的测试表征方法，与时俱进。通过学习，使学生能够从事高分子材料的新资源、新产品、新

工艺研究、开发和设计的工作，具体在知识、能力、素质方面达到如下目标要求：

知识要求：掌握各种高分子材料测试和表征的分析方法，熟练应对突发事件和危机的能力，对高分子材料设计、开发、加工生产过程中可能出现的问题有所预测，并采取恰当的应对措施，具备一定的制图和阅图能力，熟悉专业领域发展状况，具有创业精神。

能力要求：具有设计、操作、执行、分析和解释数据的能力。

素质要求：培养具有较强的开拓创新意识，具备对高分子材料的新资源、新产品、新工艺进行研究、开发和设计能力的专业素养。

（四）课程教学方法

将设计与验证结合的综合型实验和传统的验证性实验相互穿插，采取小组教学法；以四个教学单元对应四项综合型、设计型实验，每项实验将传统的单个实验串联，分布在3周内进行完成。

1.实验之前：实验室安全纪律、规章制度教育，实验室学生守则、实验注意事项教育；

2.选题分工：以4-5人为一个实验小组，并预先作好分工；布置每组的任务及时间安排，说明课程性质、课程要求、课堂纪律及课程成绩组成情况；

3.文献检索：学生根据所选题目，自行查询文献资料，并根据资料来设计配方，确定实验方案以及预想达到的效果。交实验任课老师审查通过；

4.确定实验方案。实验方案包括：实验目的和内容，实验基本原理及方案，实验装置及流程图，实验操作要点及实验数据的布点，设计原始数据的记录表格。

5.实验实训操作：掌握高分子材料的聚合、加工成型、改性及产品开发等专业技能；认真仔细地记录实验原始数据，操作中应能进行理论联系实际地思考；加深学生对实验的理解，提高实验成功率，进而培养学生自学能力、动手能力及观察实验想象能力。

5.实验数据的处理、结果分析：对高分子材料的新资源、新产品、新工艺进行研究、开发和设计的初步能力；对高分子材料设计、开发、加工生产过程中可能出现的问题有所预测，并采取恰当的应对措施；

6.撰写实验论文并答辩：撰写实验论文，互相讨论修改成文；在小组中进行答辩。

（五）课程内容及教学安排

表 5-1 课内实验/实践单元、教学内容（知识点）、学时分配及课程目标对应关系

序号	实验/实践单元	知识点及要求	实验/实践类型	学时分配	对应课程目标
1	安全教育及课程要求	知识点：实验室安全纪律、规章制度，实验室学生守则；实验课程介绍。 要求：通过本内容学习，了解高分子专业实验的安全纪律和规章制度，掌握课程的进度安排和考核要求。	研究性	4	CO1~ CO4

2	<p>高性能基体树脂层压板的制备及性能测试</p>	<p>知识点: 1. 研究树脂胶液的性质和固化反应; 2. 了解环氧树脂的型号及其对性能的影响; 3. 掌握环氧树脂层压板配方设计原则及各助剂对层压板性能的影响;</p> <p>要求: 根据实验方案配制树脂胶液, 分析和处理数据, 确定树脂胶液的固化工艺; 掌握环氧树脂层压板压制工艺的确定方法; 了解层压板的使用性能及其要求; 学习掌握撰写实验论文及论文答辩。</p>	<p>设计性、研究性</p>	<p>92</p>	<p>CO1~CO4</p>
3	<p>环保性无卤磷系阻燃剂的合成及性能测试</p>	<p>知识点: 1.了解有关高分子材料阻燃助剂的类型、合成方法及其应用机理; 2.掌握文献综述整理, 确定含磷聚合型阻燃剂的合成工艺条件及进行工艺优化;</p> <p>要求: 了解高分子材料阻燃助剂结构类型及其应用机理; 掌握含磷聚合型阻燃剂的合成工艺方法; 掌握含磷聚合型阻燃剂的结构与性能表征方法; 学习掌握撰写实验论文及论文答辩。</p>	<p>设计性、研究性</p>	<p>92</p>	<p>CO1~CO4</p>
4	<p>高分子共混合金的制备及其性能测试</p>	<p>知识点: 了解热塑性塑料常用的增韧改性方法, 增容剂种类和用量对PS/PE共合金性能的影响; 掌握聚乙烯对聚苯乙烯性能的影响。了解高分子共合金增容改性效果判定的简单方法。掌握高分子共合金配方设计、成型加工工艺设计的原则与方法。掌握高分子共合金性能测试的基本方法。</p> <p>要求: 根据增韧改性的要求选择合适的聚乙烯种类和用量, 并通过力学性能的综合表现确定增容合理的种类和用量。每组同学须根据自己选择增韧剂和增容剂的具体情况合理地进行配方及加工工艺设计, 并最终确定PS/PE共合金最优化的配方及工艺条件。</p>	<p>设计性、研究性</p>	<p>92</p>	<p>CO1~CO4</p>

5	<p>高分子阻燃改性及其性能测试</p>	<p>知识点：了解高分子材料阻燃改性的方法及其应用机理；熟悉聚合物的燃烧机理并掌握聚合物阻燃改性后性能的测试方法。学习掌握撰写实验论文及论文答辩。</p> <p>要求：能进行有关高分子材料阻燃助剂的类型、阻燃改性方法及其应用机理的文献综述；确定所选阻燃剂进行改性的工艺条件，并进行工艺优化；将阻燃剂加入聚合物基体中，采用熔融共混法进行阻燃材料的制备；材料的阻燃性能通过垂直燃烧方法、微型量热仪进行表征；最终对高分子材料阻燃改性进行分析评价。</p>	<p>设计性、研究性/虚拟仿真实验</p>	<p>4</p>	<p>CO1~CO4</p>
小计				-	

(注：1. 知识点及要求须通过“了解”、“熟悉”、“掌握”等词汇来描述；2. 实验/实践类型包括演示性、验证性、综合性、设计性、研究性、虚拟仿真等；3. 实验要求包括必做、选做。)

(六) 课程考核方式

采用百分制，平时成绩+实验论文+答辩成绩

总评分分制：百分制 (√)；五级制 ()

考核方式：考试 ()；考查 (√)

本课程考核成绩由平时成绩、实验论文、答辩成绩组合而成。各部分所占比例如下：平时成绩占 50%，其中实验平时操作 40%、预习报告等 10%。

成绩判定方式：平时成绩 (50%) + 实验论文 (40%) + 答辩成绩 (10%)；

虚拟仿真项目：线上虚拟仿真 (20%) + 平时\实验论文等考核成绩 (80%)

平时成绩：包括参加实验时数少于三分之一者，不得参加课程考核，课程成绩按零分计。

(七) 教材及教学参考书

略。

(八) 其它说明

1. 总学时 96 学时，其中授课 4 学时，实验综合设计 92 学时 (虚拟仿真 4 学时)

2. 每项教学主题均设计为选做实验项目，每名同学可从中自行选择之一。

(4) 是否面向社会提供服务：是 否

(5) 社会开放时间：每天 24 小时，已服务人数：目前虚拟仿真实验

系统访问量约为 954

3. 实验教学项目相关网络及安全要求描述

<p>3-1 有效链接网址</p> <p>http://nit.dlvrtec.com</p>
<p>3-2 网络条件要求</p> <p>(1) 说明客户端到服务器的带宽要求 (需提供测试带宽服务)</p> <p>经测试, 客户端到服务器的带宽要求最低不能低于 10M。低于 10M 过后, 网络延迟和丢包现象严重。网页打开非常缓慢, 尤其是加载三维实验。所以建议带宽不低于 10M。如果是校园千兆网则不存在卡顿问题, 加载非常迅速。</p> <p>(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)</p> <p>实验本身不限制登录人数, 可同时在线人数不低于 5000, 单台服务器分布式部署 4 个实例每秒可响应最大并发请求数 800, 超过并发响应数时提供在线排队提示, 在先请求处理完毕后处理。</p>
<p>3-3 用户操作系统要求 (如 Windows、Unix、IOS、Android 等)</p> <p>(1) 计算机操作系统和版本要求</p> <p>Windows 操作系统, Windows7 64 位及以上, Windows8 64 位及以上。</p> <p>(2) 其他计算终端操作系统和版本要求</p> <p>平板电脑要求 windows7 及以上操作系统。</p> <p>(3) 支持移动端: <input type="checkbox"/>是 <input checked="" type="checkbox"/>否</p>
<p>3-4 用户非操作系统软件配置要求 (如浏览器、特定软件等)</p> <p>(1) 需要特定插件 <input type="checkbox"/>是 <input checked="" type="checkbox"/>否</p> <p>(勾选“是”, 请填写) 插件名称 _____ 插件容量 _____</p> <p>下载链接 _____</p> <p>(2) 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)</p> <p>无</p> <p>链接地址:</p>
<p>3-5 用户硬件配置要求 (如主频、内存、显存、存储容量等)</p> <p>(1) 计算机硬件配置要求</p> <p>推荐配置:</p> <p>CPU Intel I5 2.0Ghz</p> <p>内存: 4G;</p> <p>硬盘 300G</p> <p>显卡 NV GT700 1G 以上</p> <p>(2) 其它计算终端硬件配置要求</p> <p>服务器推荐配置:</p>

<p>CPU Intel E5 2.0Ghz</p> <p>内存：16G</p> <p>硬盘：300G 及以上，</p> <p>千兆网卡</p>
<p>3-6 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）</p> <p>（1）计算机特殊外置硬件要求</p> <p>无</p> <p>（2）其他计算终端特殊外置硬件要求</p> <p>无</p>
<p>3-7 网络安全</p> <p>（1）项目系统是否完成国家信息安全等级保护 <input checked="" type="checkbox"/>是 <input type="checkbox"/>否</p> <p>（勾选“是”，请填写） II 级</p>

4. 实验教学项目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>该三维虚拟仿真实验系统以 B/S 架构设计，基于网络实验中心管理系统平台运行。实验采用 3D 建模，依据真实实验场景，使用 Maya 和 3DMax 软件进行整体实验室建模。</p> <p>系统采用数据层，支撑层，仿真层，应用层，四层架构</p> <p>1、数据层：数据层储存了该实验的所有建模信息及虚拟组件，用户基础信息，参变量原始数据，拟合方程数据，答案信息，实验数据等。</p> <p>2、支撑层：支撑层是基于网络的实验管理平台，是保证实验在网上正常运行的基础，同时，支撑层还能进行用户管理，实验管理，实验数据管理，实验报告管理。</p> <p>3、仿真层：应用层主要是根据真实实验场景进</p>

	<p>行建模，还原实验本身，并且在实验过程中，使用者可以在虚拟实验中探索不同参数设置对实验结果的影响。达到拓宽实验深度和广度。</p> <p>4、应用层：本层具有拓展性，可以满足多终端不同用户的需要。</p> 	
实验教学项目	<p>开发技术</p>	<p><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 其他动画技术、<u>WebGL 技术</u></p>
	<p>开发工具</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/>Unity3D <input type="checkbox"/>3D Studio Max <input type="checkbox"/>Maya<input type="checkbox"/>ZBrush <input type="checkbox"/>SketchUp <input 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>

	运行环境	<p>服务器 CPU <u> 2 </u>核、内存 <u> 16 </u>GB、磁盘 <u> 300 </u>GB、 显存 <u> </u>GB、GPU 型号 <u> </u></p> <p>操作系统 <input checked="" type="checkbox"/>Windows Server <input type="checkbox"/>Linux <input type="checkbox"/>其他 具体版本 <u> </u></p> <p>数据库 <input checked="" type="checkbox"/>Mysql <input type="checkbox"/>SQL Server <input type="checkbox"/>Oracle</p> <p>其他 <u> </u></p> <p>备注说明 <u> (需要其他硬件设备或服务器数量多于 1 台时请说明) </u></p>
	项目品质 (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)	<p>单场景面数: 50 万-80 万</p> <p>贴图分辨率: 512×512</p> <p>每帧渲染次数: 大于 60FPS</p> <p>动作反馈时间: 小于 0.05s</p> <p>显示刷新率: 75kHz</p> <p>分辨率: 大于 1366×768</p>

5. 实验教学项目特色

(体现虚拟仿真实验教学项目建设的必要性及先进性、教学方式方法、评价体系及对传统教学的延伸与拓展等方面的特色情况介绍。)

(1) 实验方案设计思路:

本项目秉承“虚实结合、相互补充、能实不虚、思维和实践共同升华”的教学理念,有效推动了教学方式、方法和内容的改革,充分发挥数字化实验教学资源共享优势,实施以学生为中心的多种实验教学模式,有方征平教授为学科负责人的“化学工程与技术”“十三五”省一流学科、“高分子材料与工程专业浙江省普通本科高校新兴特色专业以及宁波市“先进阻燃高分子材料”科技创新团队作为支撑,既拓展了学生实验的时空,又丰富了实验教学体系,虚实结合的实验教学还激发了学生的学习积极性,促进了学生实践能力和创新能力的培养,为创新人才培养提供了一条新途径。

传统的专业实验课程涉及精密仪器的使用和多种仪器的组装,是一门需

要多学科理论与实践支撑的实践性很强的综合性课程。学生错误操作容易造成仪器设备损毁和发生安全事故。学生无法参与仪器操作之中，甚至不能清楚地观察到实验的测试过程，难以达到相关实验教学的目的和要求。利用虚拟仿真实验平台，采用虚实结合的教学模式、借助 3D 界面，形象直观的展现整个实验的过程，指导学生在虚拟的环境下，分步完成实验的全过程，有效缩短了学生熟悉基础操作的时间，提高了学生的学习效率。

(2) 教学方法创新：

本项目利用虚拟仿真实验技术和“任务驱动”探究式教学模式辅助实验教学，顺应“互联网+”时代发展，满足新时期信息化环境下在线学习和虚拟实验操作需要。激发学生的学习兴趣，充分发挥学习主动性和创造性，激发学生探索欲望，提高实验教学的质量，培养大学生的创新创业意识，工程观点和动手能力。

(3) 评价体系创新：

构建线上线下相结合的评价体系，线上学生通过虚拟仿真实验软件，实现亲自动手做实验，观察实验现象，记录实验数据等操作，仿真实验软件自动记录学生操作全过程，给出实时评价和打分，线下学生实地操作，然后完成实验报告，老师根据学生线上操作过程和线下实验报告质量，给出最终综合评价和打分。

(4) 对传统教学的延伸与拓展：

该项目解决传统的实验教学模式的缺陷：如项目的高危性、高成本、极端条件下的实验难以满足每个学生实际操作，达不到锻炼学生动手能力的目的；为学生提供 24 小时实时网络虚拟仿真实验教学，充分满足学生利用业余时间进行远程培训和学习的需要。实验教学排课灵活，可统一安排，也可自选，学生可随时随地进行虚拟实验实训，有利于课内实验教学和课外创新。本仿真实验项目的选择突出学院自身特色。结合学院自身科研优势，将学科科研前沿技术引入学生的实验教学中，对实验项目的目的、内容、要求及操作过程中可能出现的问题进行归纳，实验项目由浅入深，循序渐进，让学生了解科学技术发展前沿，促进学生自主学习、研究探索以及创新能力的培养。

6. 实验教学项目持续建设服务计划

(本实验教学项目今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

(1) 项目持续建设与服务计划:

浙江大学宁波理工学院广泛听取师生意见,加大经费投入,开展教学研究。进一步优化虚拟仿真实验项目,提高系统模拟的准确性,强化虚拟仿真实验项目内涵建设,与企业合作,研发并增加先进的虚拟实验实训项目,改善虚拟仿真实验平台的运行环境,培养学生的工程观念和创新创业意识。

加大项目对外连通和服务情况的持续监管,加强在线教育服务人员和技术支持人员队伍建设和培训,增强教学服务和技术支持能力,确保网上教学随时连通,免费开放,服务内容达标。

(2) 面向高校的教学推广应用计划:

浙江大学宁波理工学院生物与化学工程实验教学中心将建设具有扩展性、兼容性、前瞻性的虚拟仿真实验教学管理和共享平台,将现有的虚拟仿真实验移植到统一的共享平台上来,高效管理实验教学资源,实现校内外、浙江省及全国范围内的实验教学资源共享,满足多地区、多学校和多学科专业的虚拟仿真实验教学的需求。

(3) 面向社会的推广应用计划:

该项目被认定后,一年内面向高校和社会免费开放,并提供教学服务,一年至三年内免费开放,服务内容不少于 50%,三年后免费开放,服务内容不少于 30%,主要开放对象,一是校内相关专业的学生免费开放使用,包括高分子材料与工程、化工、应用化学等专业的在校本科生。二是向全国化学化工类等高校免费开放使用。

7. 知识产权

软件著作权登记情况	
软件著作权登记情况	<input checked="" type="checkbox"/> 已登记 <input type="checkbox"/> 未登记
完成软件著作权登记的,需填写以下内容	
软件名称	阻燃改性聚合物热氧化降解与燃烧过程测试虚拟仿真实验软件

是否与项目名称一致	<input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否
著作权人	浙江大学宁波理工学院
权利范围	全部
登记号	2019SRO830094

8. 诚信承诺

本人承诺：所申报的实验教学设计具有原创性，项目所属学校对本实验项目内容（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项目的一切资源）享有著作权，保证所申报的项目或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

本人已认真填写、检查申报材料，保证内容真实、准确、有效。

实验教学项目负责人（签字）：

2019 年 08 月 12 日

9. 附件材料清单

1. 政治审查意见（必须提供）

（本校党委须对项目团队成员情况进行审查，并对项目内容的政治导向进行把关，确保项目正确的政治方向、价值取向。须由学校党委盖章。无统一格式要求。）

见附页

2. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为项目有关学术水平、项目质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由项目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。）

10 申报学校承诺意见

本学校已按照申报要求对申报的虚拟仿真实验教学项目在校内进行公示，并审核实验教学项目的内容符合申报要求和注意事项、符合相关法律法规和教学纪律要求等。经评审评价，现择优申报。

本虚拟仿真实验教学项目如果被认定为“国家虚拟仿真实验教学项目”，学校将严格贯彻《教育部高等教育司关于加强国家虚拟仿真实验教学项目持续服务和管理有关工作的通知》（教高司函〔2018〕56号）的要求，承诺将监督和保障该实验教学项目面向高校和社会开放，并提供教学服务不少于5年，支持和监督教学服务团队对实验教学项目进行持续改进完善和服务。

（其他需要说明的意见。）

主管校领导（签字）：

(学校公章)

年 月 日