

《高分子物理实验》教学中耐候性材料老化综合性实验的设计与探究

何明宇,侯公伯,买买提江·依米提*

(新疆大学化学化工学院石油天然气精细化工教育部和自治区重点实验室,乌鲁木齐 830046)

摘要:《高分子物理实验》是高分子科学体系的重要组成部分,从事高分子研究必须掌握的基础技能。“高分子材料力学性能测定”是《高分子物理实验》中一个重要的实验项目。本文结合新疆的气候特点和新疆大学高分子材料专业的实际情况,把教师的科研成果与本科教学相结合,设计出独具特色的耐候性材料老化综合性实验。学生在实验中,不仅了解了高分子材料温差老化的作用及其对力学性能的影响,还拓宽了学生对专业的综合认识,提高学生的实际操作和分析解决问题的能力。

关键词:高分子物理实验;综合性实验;老化;力学性能;设计与探究

1 实验开展背景

作为培养学生专业实践能力的教学环节,专业性综合实验在本科教学环节中占据举足轻重的地位,是学生获取专业知识的重要途径之一^[1]。专业实验不仅可以加深对所学课程理论知识的理解,而且会让学生亲身实践到该专业的操作环节。专业实验的开设,不仅使学生掌握专业实验技能,而且培养学生的动手能力、分析和解决困难以及综合问题的思考能力,与理论教学相互促进,相得益彰,是促进理论教学的重要环节^[2,3]。《高分子物理实验》是高分子科学体系的重要组成部分,从事高分子研究必须掌握的基础技能。本课程在学生学习高分子物理理论课的同时,结合具体的实验,使学生初步掌握高分子结构及物理性能的测试方法和手段^[4~6]。

目前,各大学的专业性综合实验还存在如下问题:(1)实验的新颖性不足,没有结合教师的科研项目引入最新的研究成果,实验内容不够创新,对学生的吸引力差;(2)实验的紧凑性不足,各个实验之间关联性不强,单个实验中等待时间过程长,每位学生不能单独操作;(3)实验结果分析性不足,过于重视讲解,学生容易走马观花^[7]。本文结合新疆大学所开设的《高分子物理实验》课程,简单分享设计开展“耐候性材料老化及力学性能测定”综合性实验的一点经验。

新疆气候属典型的温带大陆性干旱气候,昼夜温差大,南疆干旱,光照长,少雨,年降水量仅 20~100mm,而北疆却达 100~500mm;年平均气温南疆 10~13℃,北疆低于 10℃。新疆的气候主要有四个特点,即干燥、冬冷夏热、气温日较差大、日照丰富^[8]。同种材料,因为气候条件不同,在不同区域的老化行为亦不同。一般情况下,材料在新疆干热环境条件更易发生老化,材料内部分子链较相对温和的环境下容易发生降解,导致使用寿命缩短,失去利用价值。耐候性材料的制备与人工加速老化试验有助于评价材料在极端气候条件下的老化情况,为材料的实际使用提供实验数据依据,并为不同材料的老化规律提供出科学的推算方法。

“耐候性材料老化及力学性能测定”综合性实验是在高分子材料科学与工程的专业背景下,结合新疆

10.14028/j.cnki.1003-3726.2021.04.009

收稿:2020-02-23;修回:2020-04-13;

基金项目:国家自然科学基金资助项目(2176040063);国家级一流专业建设项目;新疆大学全课建设项目;自治区研究生科创项目(XJ2020G033);

作者简介:何明宇(1995-),男,汉族,硕士研究生,主要从事高分子材料防老化与复合材料的研究。E-mail:812278897@qq.com;

* 通讯联系人:买买提江·依米提(1969-),男,维吾尔族,教授,主要从事耐候性高分子材料及其性能研究。E-mail:mmtj10@sina.com.

大学化学化工学院本科教学实验室现有条件和教师的国家自然科学基金面上项目“聚丙烯在干热环境中温差老化与防老化规律研究”的成果所设计的综合性实验。在新疆独特的气候条件下,学生制备的耐候性材料通过自制的人工加速老化试验箱^[9],使用人工加速老化的方法模拟材料的自然使用老化状况是实验中独特的创新点,并分析材料老化前后的力学性能变化。开设本综合性实验实验,目的是引导学生掌握高分子材料温差老化的作用及对力学性能的影响,通过“应力-应变曲线”帮助学生掌握聚合物力学拉伸性能的分析方法,使学生综合运用高分子物理与高分子化学课程的知识,结合材料的老化原理和性能表征,极大地拓宽了学生的思维和视野,在后续的研究工作中可以进行实际应用和拓展。

2 实验原理

开展本综合性实验需要应用到以下三个方面的高分子材料相关的知识:

2.1 高分子材料的注塑成型加工

热塑性塑料具有受热软化和在外力作用下流动的特点,当冷却后又能转变为固态,而塑料的原有性能不发生本质变化。注塑成型正是利用塑料的这一特性,尤其是热塑性塑料。注塑成型是热塑性塑料成型制品的一种重要方法,塑料在注塑机料筒中经外部加热及螺杆对物料和物料之间的摩擦升热使塑料熔化呈流动状后,在螺杆的高压、高速作用推动下,塑料熔体通过喷嘴注入温度较低的封闭模具型腔中,经冷却定型成为所需制品。采用注塑成型,可以成型各种不同塑料,得到质量、尺寸、形状大小不同的各种各样的塑料制品^[10]。

2.2 高分子材料的人工加速老化

人工加速老化试验是用人工的方法模拟材料的自然使用状况,是为了补充、甚至取代自然大气曝露试验而发展起来的评价材料性能与环境关系的试验方法,这种试验周期短、不受区域性气候的影响,但往往不能如实模拟变化多端的天然气候条件。当材料的一个分子或原子在阳光辐照中所吸收的能量大于其键能时,物质会发生降解,即老化^[11]。而高分子材料往往含有在成型加工中残留的杂质,同时聚合物本身也存在一些不规整结构等自身化学结构的老化弱点,当这些高分子材料受太阳光照射后,会出现原子或分子键的切断、交联、链的移动、断裂及侧链的变化等现象。老化就是完全的解聚反应,高分子的末端从原子间键弱的部分断裂。老化后的高分子材料即出现表面粉化、变色、起泡、裂纹、脱落等现象。聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚苯乙烯(PS)等高分子树脂中C—C键能为347.9kJ/mol,相当于342nm波长的紫外光能量。本实验将耐候性材料放置在340nm紫外光源下进行老化,可使材料中大分子链断裂和化学结构改变,分子链发生不同程度降解,最终使材料力学性能变差。模拟紫外光照射也会使得耐候性材料基体产生不稳定的自由基,并在微量氧气作用下发生氧化,进而造成材料结晶度变小,表现为力学性能降低^[12]。

2.3 高分子物理中材料力学性能的测定

拉伸实验是最常用的一种力学实验,由实验测定的应力-应变曲线,可以得出评价材料性能的屈服强度,断裂强度和断裂伸长率等表征参数,不同的高聚物、不同的测定条件,测得的应力-应变曲线是不同的。

计算方法:

$$\sigma_t = \frac{P}{bd} (\text{N/m}^2, \text{Pa}) \quad E_t = \frac{\Delta p/bd}{\Delta l/l_0} \quad \epsilon = \frac{\Delta L}{l_0}$$

式中: σ_t 为拉伸强度,MPa; E_t 为弹性模量,MPa; ϵ 为断裂伸长率,%; P 为量大破坏载荷,N; Δp 为变形较小时的载荷; b/d 为试样宽度/厚度,mm; ΔL 为试样标线间距离,mm; l_0 为试标断裂时标线间距离,mm。

3 实验设计与探究

3.1 实验路线

如图1所示是本综合性实验路线。在实验过程中,为了让学生更好的参与进课程,实验每一步操作

都会对学生分组,小组中每一位同学都有明确的分工,切实提高学生的实践操作能力。同时各个小组间也使用不同的原料制备耐候性材料进行力学性能测定,PP、PE 和 PS 等,分析比较不同原料间力学性能的差异。

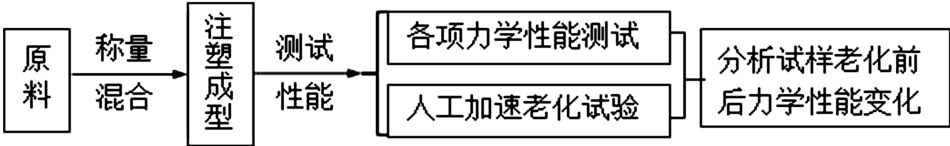


图 1 耐候性材料老化综合性实验路线
Figure 1 Comprehensive experimental route for weathering materials aging tests

3.2 紫外灯人工加速温差老化试验

在如图 2 所示的自制 UV-340nm 紫外光加速老化试验箱中对制备好的耐候性材料进行老化试验。实验箱主要参数设定:设备电源:220V/50Hz;总功率:560W,其中空气加热器 300W;风扇 100W;紫外灯管共 160W;光源:美国进口 UVA-340 荧光紫外灯管,前后各安装两支灯管;黑板温度:最高为 70℃,最低为 10℃,可产生 60℃左右的温差;设备两头带有吹风装置(可调),可产生 3~5 级风力降低黑板温度。

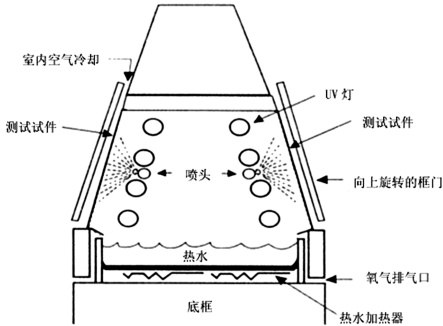


图 2 自制紫外光人工加速老化试验箱
Figure 2 Self-made UV artificial accelerated aging test box

材料在波长为 340nm 下辐照老化若干小时后取样,自然状态下放置 24h 后进行力学性能表征。老化工艺流程如图 3 所示。学生在此过程中可以更好的了解人工加速老化试验的试验箱的工作原理和操作过程。

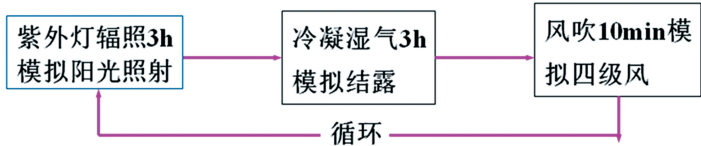


图 3 紫外光人工加速老化工艺流程
Figure 3 Ultraviolet artificial accelerated aging process

3.3 耐候性材料老化前后力学性能的表征

按照 GB/T 1040.3-2006,用材料力学电子万能试验机对老化前后耐候性试样进行力学性能测定。(每种老化方法的样条测试 5 组,拉伸速度 100mm/min;样条间距 30mm、宽度 4mm 和厚度 2mm)。如图 4 所示为 PP(T30S,中石油独山子石化公司,均聚纺丝级)材料老化前后的应力-应变图,图中 5 根曲线代表每种条件下的样条测试 5 组并取平均值。从图中可以很明显地看到,老化若干小时后的 PP 材料的拉伸强度从 36.4%下降到 31.8%;断裂伸长率从 649.5%下降到 562.1%。学生可以通过此图研究比较老化前后试样的拉伸性能和断裂伸长率的变化,分析材料拉伸性能下降的原因,结合实际更好地运用

理论知识。

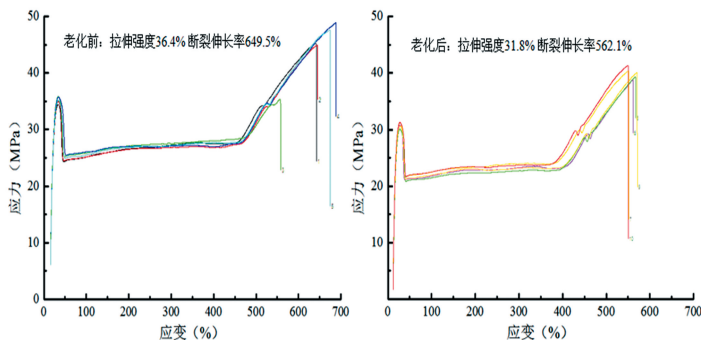


图 4 PP 试样老化前后的应力-应变曲线

Figure 4 Stress-strain curves of PP samples before and after aging

3.4 实验内容探究

对新疆大学化学化工学院买买提江·依米提教授的科研项目“聚丙烯在干热环境中温差老化与防老化规律研究”进行拓展,将科研工作中取得的成果引入本科教学实验:实验室提供给学生各种导热填料以及不同的聚合物树脂,学生在本实验中,通过制备耐候性材料了解注塑成型过程和成型工艺条件,掌握注塑机模具的结构及操作注塑机方法,对耐候性材料的老化过程,掌握高分子材料荧光紫外灯人工加速老化试验方法及工艺,了解高分子材料温差老化的作用及对性能的影响。通过测定老化前后聚合物的断裂强度和断裂伸长率,学生掌握使用应力-应变曲线的方法评价材料的拉伸力学性能的方法,并掌握材料电子万能试验机的基本操作步骤。计算材料的拉伸强度保留率、断裂伸长率保留率,如试样的断裂伸长率保持率小于 50%,可判断试样已完全老化失效^[13]。

该实验设计时长合理,融入了高分子材料成型加工、人工加速老化和力学性能表征等知识点,对于学生较为新颖,受到了学生的广泛好评;学生的参与度高:学生分组后每组选用不同的原料、不同的配比进行均聚和共混的耐候性材料制备,因此产生不同的实验数据,引发不同的实验讨论与课后思考,吸引了学生的研究兴趣,同时学生在小组内也进行详细的分工,要求学生在熟练应用所负责工作的同时,还要求其通过观察老师的讲解演示和小组间同学的讨论主动去学会整个实验的流程,这在实验报告和期末考试中有相应的要求和体现,确保在实验时每个人均参与其中。

结合新疆大学化学化工学院现有的实验教学体系及相关仪器设备的台套数情况,本文中设计的实验项目安排 14 学时较为合适,其中材料的注塑 2 个学时,材料的老化演示 8 个学时,老化后材料的力学性能测试 2 个学时,数据总结、分析、讨论及答辩 2 个学时。

4 合适的考核方式

在以往的实验教学中,学习效果检查重点都是期末考试的成绩上,学生在备考时往往只是机械地背诵考试的知识点,而忽略了在实验教学中实践能力和分析解决问题的能力,因此导致学生学习的积极性不高,难以培养学生的主动学习能力与创新能力。针对本综合性实验教学内容偏多,大部分知识是应用性知识的特点,本课程可以从预习报告、实验操作、实验结果、实验报告、纪律以及实验考试等方面综合考虑给出平时成绩。平时成绩、实验报告成绩以及实验考试成绩为最终实验考核成绩。另外,在期末的考核试卷中多出些应用性、综合性和与实验操作相关的试题,增强学生分析问题和解决问题的能力。

5 结束语

耐候性材料老化综合性实验的设计,以学院老师已有的科研成果为基础,结合了新疆气候阳光辐照

强、昼夜温差大的特点,通过制备耐候性材料与模拟紫外老化的过程,让学生在《高分子物理实验》课程中感受到较为新颖的实验过程,进一步激发了学生对于本专业科研知识学习的兴趣;提高了学生分析与解决问题的能力 and 实践操作能力,为即将进行的专业综合实验和本科毕业设计打下了良好的基础。

参考文献:

[1] 赵颖,蒋智杰,刘述梅. 高分子通报,2019,8:60~64.
[2] 苗继斌,夏茹,陈鹏. 高分子通报,2018,3:86~88.
[3] 王小俊,王栋,刘琼珍. 高分子通报,2018,12:76~80.
[4] 刘晶如,俞强,朱梦冰. 化工高等教育,2015,32(5):62~64.
[5] 余若冰,徐世爱,张德震. 化工高等教育,2015,3:72~75.
[6] 魏朋,章伟,张一风. 高分子通报,2018,10:70~75.
[7] 江献财,项南平,向晓彤. 高分子通报,2019,6:72~76.
[8] 陈洪武,杨青. 沙漠与绿洲气象,2014,2:8~10.
[9] 买买提江·依米提,塞娜瓦尔·阿布拉,艾买提江·萨伍提. 中国塑料,2014,28(4):78~82.
[10] 马馨雨,刘立柱. 材料科学与工艺,2019,27(3):47~52.
[11] 代礼葵,孙耀宁. 材料科学与工艺,2019,27(5):52~58.
[12] 阿山卡德尔·居马卡德尔,关莉,热依扎·别坎. 工程塑料应用,2017,45(12):93~96.
[13] 热依扎·别坎,关莉,马俊红. 塑料工业,2018,2:67~71.

Design and Exploration of Comprehensive Experiment on Weather
—Resistant Materials Aging in Teaching *Polymer Physics Experiment*

HE Ming-yu, HOU Gong-bo, MAMATJAN Yi-mit*

(Key laboratory of Oil and Gas Fine Chemicals, Ministry of Education and Xinjiang Uyghur Autonomous Region,
College of Chemistry and chemical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract:*Polymer Physics Experiment* is an important part of polymer science system, and also a basic skill that must be mastered in polymer research. “Determination of mechanical properties of polymer materials” is an important experimental item in *Polymer Physics Experiment*. Based on the climatic feature of Xinjiang and the actual situation of Xinjiang University, this paper combined the scientific research achievements of teachers with undergraduate teaching, and designed a unique comprehensive experiment on weathering materials aging. In the process of completing the experiment, students not only understood the effect of temperature difference aging of polymer materials and its impact on mechanical properties, but also broadened students’ comprehensive understanding of their major and improved their practical ability to analyze and solve problems.

Key words: *Polymer Physics Experiment*; Aging test; Comprehensive experiment; Mechanical property; Design and exploration