

· 教学 ·

## 高分子物理设计性开放实验教改初探

何璞祯\*, 朱志国, 张文娟, 张秀芹, 魏建斐, 吴晶, 马涛, 马慧玲, 贾清秀

(北京服装学院材料设计与工程学院, 北京 100029)

**摘要:** 以常用高分子材料热分析设计性开放实验为例, 介绍了对高分子专业学生合理开放使用实验室大型仪器的教学改革情况。通过向本科生开放多种大型热分析仪器, 一方面整合拓展了实验内容, 极大地调动了学生的积极性, 把不同仪器测试的实验数据有机结合系统分析, 激发学生对实验过程的全面思考, 促进知识点融会贯通, 实现了对本科生科研能力的培养; 另一方面锻炼了学生的自主探索能力, 加强了学生熟练操作仪器和分析解决实际问题的技能, 实现对学生综合实践能力和工程思维能力的培养。

**关键词:** 高分子物理; 教学改革; 设计性实验; 实践能力

### Preliminary Exploration on the Teaching Reform of Polymer Physics Designing Open Experiments

HE Pu-zhen\*, ZHU Zhi-guo, ZHANG Wen-juan, ZHANG Xiu-qin, WEI Jian-fei, WU Jing,  
MA Tao, MA Hui-ling, JIA Qing-xiu

(School of Materials Design & Engineering, Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Taking the example of the designing open of thermal analysis experiments based on common polymer materials, a teaching reform has been introduced opening up large-scale equipment to undergraduates majoring in polymer science. By promoting this teaching reform, the experimental content has been extended, which has also greatly increased the enthusiasm of students to analyze experimental results and fully consider the whole experimental process. This has inspired students to integrate the knowledge from textbooks with the experiments and thus realize the cultivation of scientific research ability towards undergraduates. On the other hand, it has instilled students with the ability for self-exploration, analysis and solving practical problems, and enhancing their skills in operating equipment. This has further realized the cultivation of the capacity for comprehensive practical and engineering thinking.

**Keywords:** Polymer physics; Teaching reform; Designing experiment; Practical ability

高校的实验课程教学对于学生的工程素质、实践能力和创新能力的培养发挥着重要的作用, 各种形式的教学实验和科研训练的实施, 使得大学生的实践和创新能力得到锻炼和提高。2020 年北京服装学院的高分子材料与工程专业获批国家一流本科建设专业, 其中实验课程建设是一流本科专业建设的重要组成部分, 实验教学环节对培

养学生的工程实践能力和创新能力至关重要。

大多数高校的培养方案中教学实验多以配合课堂教学内容为主, 主要解决学生理论联系实际的问题, 加深对理论知识的理解和再学习, 对学生掌握基础理论和基本实验技能有着不可替代的作用。然而, 由于受实验设备和实验学时的限制, 多数教学实验内容以验证性为主, 学生大都以 3~5

收稿: 2022-04-01; 修回: 2022-05-19

基金项目: 教育部第二批新工科研究与实践项目(E-CL20201906)

\* 通讯联系人: 何璞祯, 博士, 讲师, 从事高分子实验教学工作。E-mail: 20110016@bift.edu.cn

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2023.01.012

人形成小组,共同完成一项实验。这种常规实验教学导致学生动手训练不充分,实验观察与结果趋同性强,难于激发学生主观思维与个人能动性。

针对教学实验中出现的这些问题,已经有不少院校采取多种方式做了尝试和探索。例如北京化工大学<sup>[1,2]</sup>通过对实验项目的整合,采取分级措施,根据实验内容将实验课程分为必修实验和选修实验,科学研究中已被广泛接受的基础性实验项目为必修实验,主要由博士生助教负责;一些难度较大的综合实验归为选修实验,主要由教师负责,从而满足不同层次实验的教学需求。东华大学<sup>[3]</sup>则采用网络视频教学模式和实际操作相结合的方式,由专任教师提前讲授实验内容并剪辑制作成教学视频,学生课前可在平台板块上观看教学视频进行线上预习,将实验时长向课外拓展,从而大大提高了教学资源的利用率。天津大学<sup>[4]</sup>在注重经典理论验证实验的基础上,整合和扩展研究型实验内容,探索出一套面向工程能力培养的专业实验教学模式,取得了良好的教学效果。清华大学等高校<sup>[5~7]</sup>通过自主探究实验和开放实验室等措施,激发学生做实验的兴趣和自主学习的热情,培养学生的实践动手能力。大连理工大学<sup>[8~10]</sup>通过多种方式调整实验参数,使学生共享实验结果,扩大每个学生的实验数据量,把教学改革项目与科研和实验教学相融合。同济大学<sup>[11~13]</sup>持续多年对大型仪器的开放进行探讨,开发出一系列能体现大型仪器特色的实验项目,而且以特色实验项目为切入点建设精品实验<sup>[14]</sup>,有效地提高了实验教学质量。以上多所高校通过对全校学生或部分专业学生开放实验室或通过不同形式的教改措施改进实验内容,不断完善教学实验体系,对培养学生良好的动手能力和创新能力,具有十分重要的作用。

《高分子科学实验》是我校高分子材料与工程专业的专业基础实验课之一,包括“高分子物理实验”和“高分子化学实验”两部分内容,在学生进行理论课学习的同时开展实验,有助于学生对理论知识的理解和掌握。目前我校高分子物理实验教学主要是配合课堂教学内容,实验过程通常是多人一组完成一项实验,不同实验选用的样品不同,例如在热性能测试实验中,聚合物温度-形变曲线的测定和聚合物差示扫描量热分析是两个独立的

实验,分别测试两种聚合物,测试结果独立分析,不同的实验之间没有关联。在这样简单模式的实验中,学生对实验缺少热情,实验的教学效果大打折扣,鉴于此,在满足实验检验理论基本需求的基础上,丰富实验内容,对学生进行系统训练,使学生对实验产生兴趣,从而通过实验达到实践和创新的目的,我们对高分子物理实验课程进行了改革。

## 1 以学生为中心,强化实践育人的理念

我们树立以学生为中心的理念,突出学生的主体地位,以培养学生的实践能力为核心。参考多所相关专业院校的方法,结合我校高分子材料与工程专业的软硬件条件和学生实际情况,尝试开展了一项适合本校本专业学生的大型仪器设计性开放实验。“设计性”是指在学生完成规定教学实验的基础上,通过对研究对象的积极思考,在教师指导下学生对未知因素展开调研,自行设计实验步骤,进行大胆的探索研究,涉及多种仪器,多种测试材料,是多个同类型实验内容的关联组合,是一项系统实验技能的培养。“开放”包括两部分:一是指实验仪器、时间和场所的开放,二是指对实验参与者的开放。设计性开放实验是选修内容,学生在完成指定的教学实验后,部分学有余力对实验表现出浓厚兴趣的学生可以自由选做。该项实验训练是对学生必修实验教学的补充和延伸,为学生提供从课内走向课外自主学习的机会,拓展视野,满足其好奇心和求知欲,达到培养学生良好实践能力和设计素质的目的。

在这项设计性高分子材料热性能开放实验实施过程中,学生通过查阅文献,在教师指导下对实验统筹安排,整合拓展实验内容,结合理论知识,设计实验,自己动手进行试样制备、仪器操作以及数据处理与分析,熟练掌握差示扫描量热仪、热失重分析仪和热形变性能仪等仪器的运用,并了解这些仪器在材料性能测试方面的独有特性,满足了学生全流程参与动手实践的意愿。

## 2 教学改革措施

### 2.1 实验内容贴近生活,多种方式灵活应用

常规的教学实验均有讲义,并对实验原理、方法和操作都有较为详细的阐述,只要认真按步骤操作,学生在实验课上就能顺利完成规定的实验,所以常规教学实验过程相对固化,学生对实验内

容理解不深刻,学习缺乏主动性和挑战性,难以激发学生的兴趣。我们实施的这项设计性开放实验内容和方式灵活,高分子专业二年级和三年级学生均可参加,学生可以自由组队,不同组的学生可以根据自己的时间预约实验仪器,有充分的自由度,能够及时解决实验过程中遇到的问题,保证实验的进度和质量。整个实验完成需要较长时间为20学时,实施了三届,分别是2021届、2022届和2023届。

首先,该项设计性开放实验的内容贴近实际生活。例如,在聚对苯二甲酸乙二醇酯 PET 材质的饮料瓶中加入热水会变形,而聚丙烯 PP 材质的饭盒却可以盛装高温食物,学生如何结合高分子物理的理论知识来解释日常所见现象,这对于高分子材料专业的学生非常重要,通过对日常熟悉材料的热性能测试可以很好地分析出不同材料的物理性质差异导致其用途不同。在老师的提示下,学生自行选用了几种生活中常见的测试样品,有透明的 PET 饮料瓶、PP 可加热饭盒和 PMMA 透明有机玻璃板。

其次,设计性开放实验给学生提供了自主的实验时间。避免了原有简单验证性实验过程中思考少的现象,调动了学生学习的积极性和主动性,长时间的实验过程有利于学生独立思考,对设计实验能力的培养起到了良好的作用。学生在实验中获得多组数据,在数据处理方面,数据可以共享,学生在数据处理分析中,能够熟练使用 Origin 和 Excel 等常用软件,锻炼了团队分工协作的能力。此项设计实验作为课堂实验教学的合理补充,很好地培养了学生的实验实践技能。

第三,在实验过程中,学生可以随时找老师答疑解惑,各小组成员之间也常进行交流互动,理清思路。考核方式比较灵活,可以选用 PPT 也可以在教师指导下尝试写研究报告,这两种方式都方便学生把实验过程、现象和结论以文字或丰富的图表形式呈现出来,锻炼了学生的口头表达能力和文字总结分析能力,同时也多角度展示了学生的实验能力。

## 2.2 整合实验项目,提高仪器的关联性

通过该项自选设计性开放实验,学生可以与大型精密仪器近距离接触,深刻体会到科学探索中实验仪器带来的便利,进一步培养和锻炼分析问题与解决问题的能力。不仅如此,还可以

使学生更好地将知识融会贯通,通过系统地设计实验,提高测试仪器的关联性,满足了人才培养过程中理论与实践相结合的高要求,提高了人才培养质量。

首先,设计运用热重分析仪。在学生设计实验步骤前,教师需要对各类热分析仪器分析方法的原理进行集中讲解,以备学生正确选用。高分子物理教学实验中没有列入热重分析实验,学生必修完成的两个热分析实验分别是聚合物温度-形变曲线的测定和聚合物差示扫描量热分析,涉及的仪器是热形变仪和差示扫描量热仪,实验样品分别是典型的无定形态聚合物聚甲基丙烯酸甲酯 PMMA 和半结晶态聚合物 PET 切片,两个实验相互独立没有关联,其中差热分析实验是演示实验,不需要学生操作,程序的设定由教师完成,每组学生仅是被动地看与听。当学生在操作差示扫描量热仪独立设定升温程序时,需要考虑最高升温温度,此时升温截止温度由样品的起始分解温度限定,如果温度太高在测试过程中样品分解会造成炉腔污染,损坏仪器关键部位,影响后续测试,长期这样使用会缩短加热炉的使用寿命。所以 DSC 测试前需要知道样品的起始分解温度,学生首先得学会操作热重分析仪,获得样品的热分解曲线。

其次,本项设计性开放实验选用的三种测试样分别是半结晶态、结晶态和无定形态聚合物的代表。通过差示扫描量热仪,可以得到这三种聚集态高分子材料的 DSC 典型图谱,对比分析曲线中呈现的热效应如玻璃化转变、结晶和熔融等,学生通过亲自动手实验体会到借助 DSC 测试可以初步判断样品的晶型,确定其特征温度和焓变等。在实验过程中,DSC 图谱显示 PET 材料的结晶度很低,学生在高分子物理理论课上学到不同的热处理方式可以改变材料的结晶程度,随之影响其物理性质,那么经过不同的热处理方式得到的 PET 结晶度会如何变化? 学生查找文献并没有得到满意的答案,于是开放小组利用实验室多台仪器自主设计实验探知这一困惑。经过分组讨论,决定采用真空烘箱等温热处理 PET 样品,设置三种程序:(1)三段式等温热处理;(2)140 °C 等温 4 h;(3)140 °C 等温 12 h。然后对比热处理前后样品的 DSC 曲线,给出合理的解释。

再次,高聚物温度-形变性能实验在常规教学

实验中由于受学时限制,一般仅选用典型的无定形 PMMA 作为测试样品,但不同聚集态材料的温度-形变曲线差异也较大,对于 PP 和 PET 这两种材料,又会得到怎样的温度-形变测试曲线呢? 学生通过测试这三种聚合物的温度-形变曲线,对比无定形态、半结晶态、结晶态聚合物的力学状态和转变温度,很好地认识不同聚合物的物理结构。

图 1 是 PET 在真空烘箱恒温热处理前后的 DSC 曲线,经过预处理的三段式热处理或是在高于冷结晶温度处的恒温热处理,三种测试样的图谱很相近,结晶度也接近。图 2 是 PET、PP 和 PMMA 三种材料的热形变曲线,三种材料的最后形变量不同是所选测试样的厚度不同导致的。通过 PET 和 PP 的温度-形变曲线图中的拐点很好地解答了同学们的疑问:PET 饮料瓶不耐高温而 PP 饭盒可以承受一定的高温。

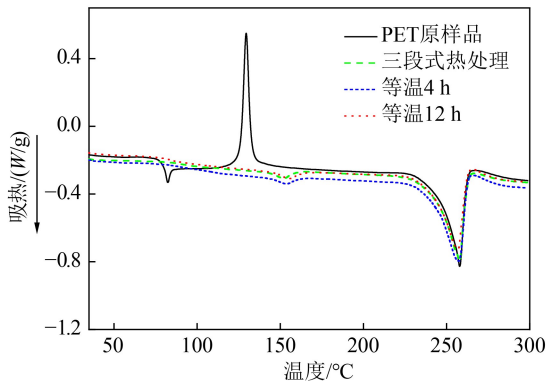


图 1 PET 样品热处理前后的 DSC 测试曲线

Figure 1 DSC testing curves of PET samples before and after heat treatment

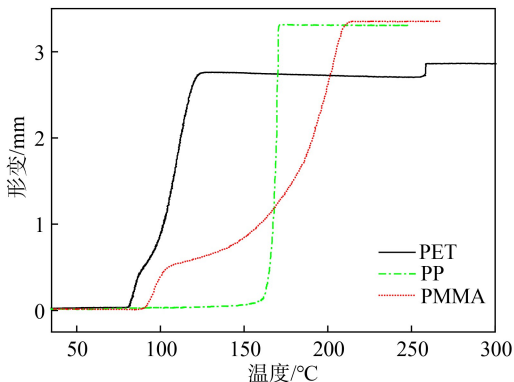


图 2 三种测试样品热形变曲线

Figure 2 Thermal deformation curves of three samples

### 2.3 注重实验细节的培养

在教学实验中考虑到学生操作的差异性,同时为了避免操作失误导致仪器受损,一般是由任

课教师完成测试样准备和放样等一系列操作,所以当老师提到如何把大块材料制成大小适中的测试样,如何保证测试样品的均匀性和平整性,以及如何把样品放入坩埚等等,学生都无法亲自体验。实际上很多实验细节对实验结果有很大的影响,例如实验中使用的热失重分析仪的天平是水平式,为了避免天平杆大幅度晃动该如何放置坩埚和试样? 以上种种需要注意的事项均可以通过本项设计性开放实验得到解决,学生能够在实验室中多次练习,耐心操作,发现问题并及时解决,在操作中减小人为误差,使实验具有可重复性,提高动手操作能力,收获自信,为进一步深入探究实验奠定了基础。

学生在完成本项设计性开放实验的过程中,系统合理地使用多台仪器设备,从整体高度认识到不同实验方法在研究过程中的相互作用,知识点的设计应用,学生的思路和视野更加开阔,同时提高了实验室仪器的利用率。学生通过自主完成此项设计性开放实验,扎实掌握了学科理论知识和操作技能,培养了工程实践能力、工程思维能力和良好的科学素养。在实施过程中,针对具体知识点和实际问题的解决,培养了学生独立获取知识和分析、解决问题的能力的基本能力和创新意识。

### 3 实施的效果

充分利用实验室开放仪器,在本科生的实践探索中取得了良好的成效。首先,经过训练,学生对实验有了全新的认识,从认真对待预习报告开始,不再照抄照搬实验讲义的内容,加入自己的理解和思考,带着疑问进入实验室,在实验过程中认真观察实验现象,不再左顾右盼,主动找授课教师答疑,及时解决问题,参与设计实验的学生人数从最初不到 10% 增加到 20%,成绩也较其他同学理想,期末成绩均超过 80 分,其中三分之一同学的成绩在 90 分以上。其次,通过熟练使用多种实验仪器研究高分子材料,学生的实验操作技能不仅提高了,还获得了综合运用所学知识进行分析问题和解决问题的能力,重视完整连贯的实验过程,综合素质和实践能力得到提高,初步掌握了科学研究的方法,体验到科学研究的乐趣,激发了学生的主观能动性。同时,在实验操作中,学生能够发现自己在专业理论知识中未掌握的关键点,增强对专业的了解,提高研究兴趣,促进在专业领域的发展。学生对参与科研活动和学科竞赛的热情高

涨,在全国大学生高分子材料实验实践大赛校内初选阶段,有60%的三年级学生踊跃报名,人数之多远远超出了预期。除此之外,通过设计性开放实验的训练,也为学生的毕业设计环节打下了良好基础。

## 4 结语

我们通过对高分子物理实验教学的改革,设计开发了适合本校本专业学生的热分析设计性开放实验,学生不仅自己动手设计实验,逐步深入,增加了接触实验室仪器的机会,获得了熟练操作的技能,丰富了专业知识,同时提高了实验室仪器的利用率。设计性开放实验通过多种途径建立起融合的实验体系,通过一个设计性开放实验,掌握了多种实验测试方法,实现应用型本科人才向更高层次和更广范围发展。设计性实验激发了学生的学习积极性和主观能动性,也非常有利于培养学生设计素质与工程实践能力,从而达到培养具有较强工程实践能力的卓越工程技术人才的目的。

目前由于受大型仪器台套数和实验场地的限制,设计性开放实验在教学实验中无法全面推行,还不能满足每个同学全程参与操作仪器的需求,为解决这一现实困境,计划引入虚拟仿真实验,对不同的仪器设备进行软件设计开发,真实模拟现场实验,学生通过虚拟实验可以提前预习使用仪器,反复操作熟悉流程,如身临其境,探索“线上”与“线下”实验的有机结合,实现二者互补,解决长期以来学生对大型仪器只看不能做的问题<sup>[15]</sup>,达到提升教学质量的目的。总之,希望通过多种途径建立融会贯通的实验体系,促进学生知识、能力和素质的协调发展,最终实现培养学生实践能力和创新能力的全面提升。

## 参考文献:

[1] 曲家利,李相元,张文芝,程珏,李齐方. 高等学校科学实验教育教学的新问题和对策. 实验室科学, 2018, 21(6), 224-225.

- [2] 曲家利,李相元,程珏,李齐方. 高分子科学综合选修实验的教学模式探索与实践. 实验室科学, 2016, 19(5), 134-136.
- [3] 徐静,吴文华,施镇江,史同娜. 视频技术在本科实验教学实践中的应用. 教育教学论坛, 2019, (30), 261-263.
- [4] 李景庆,郑俊萍,崔振铎,原续波,沈永涛,王伟,冯奕钰. 面向工程实践能力培养的高分子物理实验教改与实践. 实验室科学, 2013, 16(1), 58-61.
- [5] 王合英,孙文博,陈宜保,陈宏,张慧云,张留碗. 自主探究实验对学生综合素质和创新能力的培养. 实验技术与管理, 2018, 35(12), 24-28.
- [6] 刘晶如,俞强,朱梦冰. 高分子物理实验教学改革与学生实践创新能力的培养. 化工高等教育, 2015, 32(5), 62-64.
- [7] 杨鲁义. 高等学校实验室开放相关问题的讨论. 科技资讯, 2018, 16(23), 184-185.
- [8] 李战胜,唐萍,王艳色,张春庆,李健丰,曹玉明. 科研与实验教学融合的高分子物理实验教学改革. 化工高等教育, 2016, 33(4), 70-72.
- [9] 王艳色,李战胜,唐萍,张春庆,李健丰,曹玉明. “聚物流变性能的测试”实验教学改革与实践. 化工高等教育, 2017, 34(2), 63-65.
- [10] 唐萍,张春庆,李战胜,李健丰,曹玉明. 高分子物理实验开放式教学改革与探索. 实验室科学, 2015, 18(1), 89-90.
- [11] 李明芳,王晓岗,许新华. 透射电子显微镜在本科开放实验教学中的应用. 实验室科学, 2013, 16(5), 133-135.
- [12] 柴晓兰,朱仲良,王晓岗. 开放式仪器分析实验课程的探索与实践. 实验室科学, 2015, 18(3), 202-205.
- [13] 王晓岗,许新华,郝志显,樊雅娟. 以培养本科生自主学习为目的的大型仪器开放实验教学. 实验室研究与探索, 2019, 38(6), 181-184.
- [14] 王晓岗,史良,黄星平,许新华. 同济大学精品实验项目的建设与深化. 实验室科学, 2016, 19(1), 142-144.
- [15] 唐萍,牛慧,张春庆. 高分子专业“互联网+实验教学”模式的探索与实践. 高分子通报, 2021, (3), 55-58.