

· 教 学 ·

# 《高分子材料》研究式学习的实践与思考 ——学生视角的总结

孔一博, 马静, 曹俊俊, 王辰昊, 杨诣楷, 高长有\*

(浙江大学高分子科学与工程学系, 杭州 310027)

**摘要:**传统高分子材料包括塑料、橡胶、纤维、涂料、黏合剂、高分子复合材料等,从体积上比已远远超过了金属材料的总和,是生产生活的必需品,极大地改善了人们的生活质量。高性能工程高分子材料在国防、航空航天、交通运输、船舶、采油和石化等行业发挥着不可替代的重要作用。因而《高分子材料》课程日益成为化学、材料类专业的必修或必选课。然而,高分子材料种类庞杂,知识点分散、描述性内容多而应用性无法通过讲授体现,因此课程讲授过程中显得枯燥乏味,学生的注意力不容易集中。本文从学生的视角,总结了研究式学习实践的过程、收获与不足。研究式学习将实践融入课堂教学,充分彰显了全局参与性、实践应用性和开放包容性。学生和教师在研究式学习环节双向互动、互相提高,教师学习改进指导方式,学生得以加深对高分子材料的认识与实践思考、提高实践能力和创新意识。未来的研究式学习可以在开展实验室合作、完善评价体系、提高学生参与度、完善教学策略等方向继续改进。

**关键词:**高分子材料; 研究式学习; 教学改革; 实践; 结构分析

## Practice and Thinking of Research-based Learning on the Curriculum of *Polymer Materials*

—A Summary from the Students' Perspective

KONG Yi-bo, MA Jing, CAO Jun-jun, WANG Chen-hao, YANG Yi-kai, GAO Chang-you\*

(Department of Polymer Science and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** Traditional polymer materials, including plastics, rubbers, fibers, coatings, adhesives, and polymer composite materials, etc., have surpassed the metal materials in volume, and taken indispensable roles for daily life and industries, greatly improving the quality of people's life. High performance engineering polymer materials have been applied diversely in the areas of national defense, aerospace, transportation, shipping, oil extraction, and chemical engineering. Therefore, the curriculum of *Polymer Materials* is becoming a mandatory course for chemistry and materials majors. However, due to the wide variety of polymer materials, scattered knowledge points, boring descriptive contents and lack of applicability, the course teaching process is less attractive for student to concentrate and participate. A measure of research-based learning was thus taken to allow the students to participate actively in the teaching process. In this paper, the process, and pros and cons of research-based learning are summarized from the students' perspective. The research-based learning integrated the practical training on learning, testing and presentation of a particular type of polymer materials without any predications, and should be fully performed by a team of 4-5 students. This measure could inspire the subjectivity,

收稿:2022-03-31;修回:2022-05-20

基金项目:浙江大学 2022 年度第一批校级本科课程思政示范课程建设项目

\* 通讯联系人:高长有(1966-),男,博士,教授,讲授《高分子材料》本科课程 20 余年,编著《高分子材料概论》教材;主要从事生物医用高分子材料研究。E-mail: cygao@zju.edu.cn

doi:10.14028/j.cnki.1003-3726.2023.01.011

knowledge application and open innovation of students. Moreover, the students and teachers would communicate and improve with each other in the research-based learning process. The teachers learned to improve their guidance methods, and the students deepened their understanding of polymer materials and improved their critical thinking. Nonetheless, the research-based learning can be further optimized in terms of more laboratory cooperation, evaluation system, student engagement and teaching strategies.

**Keywords:** Polymer materials; Research-based learning; Teaching reform; Practice; Structure analysis

## 1 《高分子材料》学习难点

与《高分子化学》《高分子物理》课程相衔接,《高分子材料》课程是高分子材料与工程本科专业的三大基础课之一,在专业本科生培养体系中起到承上启下、打通知识点的重要作用。学生在掌握了高分子化学、高分子物理知识的基础上,通过本课程学习传统高分子材料的合成、结构、性能、应用方面的知识,同时连接高分子研究前沿领域,为《高分子加工》《功能高分子》等课程做好知识铺垫,从而建立起全面的与高分子科学相关的知识网络<sup>[1]</sup>。作为一门专业基础课,《高分子材料》课程呈现出一定的学习难点。

一是知识点繁多分散。《高分子材料》的课程内容涵盖了常见的塑料、橡胶、纤维、涂料和胶黏剂等上百种材料的制备、结构、性能和应用,知识点涉及面广、多而分散。受制于有限的课时,老师在授课过程中往往只能“蜻蜓点水”,囿于知识介绍,同学们对知识点往往处于理论记忆阶段,难以有进一步的掌握和理解。

二是应用性欠缺。与高分子物理、高分子化学的学习情况不同,学习《高分子材料》课程更侧重掌握传统高分子材料的实际生产应用知识。然而,受限于传统上课模式,同学们缺少直观感受高分子材料生产应用的机会,课程的教学方式仍以教师传授知识为主,“应用”部分知识停留在教师口头讲授上,导致学生对材料生产应用的掌握比较薄弱。

三是授课时介绍性、描述性的过程较多,推理过程较少,授课环节容易枯燥单调。学生也缺乏探索的过程,难以产生主动思考的动力,在整个学习过程往往处于“填鸭式”被动接受知识的状态,容易失去学习兴趣<sup>[2]</sup>。

《高分子材料》作为一门应用性和综合性很强的课程,学生希望通过本课程的学习了解高分子材料的生产和研发过程,获得实践应用能力的提高;同时对接科学前沿,提升知识储备和科研实验能力。因此,对《高分子材料》课程优化教学环节

设计、进行课程改革,从而对接学生需求是值得思考的问题。

## 2 研究式学习的内涵和优点

研究式学习是指学生在教师指导下,以“类科学”研究的方式去获取知识和应用知识解决问题的学习方式,具有鲜明的全局参与性、实践应用性和开放包容性<sup>[3]</sup>。为了不占上课时间、减轻不必要的课业负担,除了最终的展示环节,所有实践环节均利用课余时间完成;同时,《高分子材料》课程不布置其他书面作业。研究式学习的成绩是平时成绩的主要构成部分。

### 2.1 全局参与性

研究式学习将主动权与选择权交给学生,给予学生极大的发挥空间。常规的自主设计性实验教学旨在培养学生自主进行一个完整科学实验的能力,而研究式学习进一步延长学生参与链,学生将最大程度地主导、设计、参与一个项目研究的完整流程。在研究式学习中,学生除了实验测试外,还需补充完成上游的选题确定、方案设计和下游的数据分析、成果展示的全流程任务,独立解决实践过程中遇到的问题并进行方案调整,最终解决问题。在整个学习过程中,学生不再是传统教学模式中的被动接受者,而成为了学习和体验活动的主角<sup>[4]</sup>,一直处于主动参与、积极思考、不断实践的状态,这对于充分发挥学生的能动性、激发学生的创造性和热情具有重要意义<sup>[5]</sup>。

### 2.2 实践应用性

研究式学习以学生的主体实践活动为主线,学生将亲自动脑动手设计实验,亲身经历科学探究的全流程,体验科学的真实感和实践性<sup>[6]</sup>。学生在探索性实验中将所学知识、测试结果、科学应用三者联系起来,使知识不仅仅停留在课堂上,而是与生产、生活相结合<sup>[7,8]</sup>。此外,研究式学习还具有鲜明的应用性。学生面临的的是一个复杂的、综合性的实际问题的研究。该过程将涉及多方面的内容,学生在完成研究式学习作业的时候需要

综合运用所学知识解决遇到的问题。这样的研究式学习活动更贴近实际生产应用问题,更利于培养学生的实践能力<sup>[3]</sup>。

## 2.3 开放包容性

将实验研究引入授课过程已成为许多学校许多课程的设计策略,常用的开展形式有项目化研究<sup>[9]</sup>、探究性学习<sup>[10]</sup>、微型课题<sup>[11]</sup>等。此类尝试已经关注到要通过探索性实验切实提高学生的科学素养和创新思维,但实施形式往往是教师将自己的科研项目中易于操作的、比较成熟的实验环节引入教学,整体的实验框架仍把握在教师手中,学生仍依赖于教师的指导完成作业。研究式学习过程将不对研究内容设置任何限制,只要是高分子材料即可。学生选题开放,实验设计和测试开放,展示形式也开放。学生面对的作业不再有模板、套路或者标准答案。本科生的“研究”,从研究过程上看,并不具备严格意义上的科学规范性,更多是已有成果的“再发现”<sup>[3]</sup>。研究性学习更强调培养学生创新性运用科学思维解决问题的能力,对研究结果的科学性有更大的宽容度。这样,对于还没有接受系统科研训练的本科生,不至于陷入一些思维定势和僵局,往往更敢于尝试和创新,展现出惊人的创造力。

## 3 研究式学习的实践

为了改善《高分子材料》课程的教学效果,我校在课程教学中设计了研究式学习环节,该环节将主动权还给学生、让实验探究走进课堂、鼓励学生大胆创新,力求改变学生单调被动接受知识的现状,而整个研究式学习环节也是学生和教师双向互动、互相提高的过程(见图1)。

### 3.1 学生分组选题,教师启发思考

《高分子材料》研究式学习的具体流程如下。学生首先进行随机分组,一般由4~5名学生组成一个学习小组。每个小组首先进行组内讨论,选择身边常见的高分子用品大类为研究对象,寻找、收集该用品类里至少3种不同高分子材料构成的制品,并通过产品标记、外观等对组成制品的高分子材料进行初步辨识。学生小组内部再进行讨论交流,设计针对性研究方案。因为研究方案的主题不设限制,同学大胆创新,最终生成了多样化的研究主题。“不同材质塑料袋的鉴别研究”“手机壳,我们真的消费明白了吗”等小组鉴别所选制品的高分子材料,验证其与制品上标记的材料是否

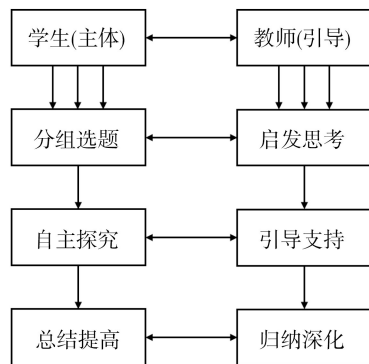


图1 《高分子材料》课程研究式学习环节的设计

Figure 1 Design of research-based learning of *Polymer Materials*

有出入;“塑料筷子的成分鉴定和性能测试”“市面上不同雨衣成分鉴定和性能比较”等小组则是对不同高分子制品的性能进行比较,从质量、环保、性价比等角度提供最优的制品选择方案;“有未来的塑料袋”“一次性发泡餐盒的禁用之因”等小组同学研究特定用品发展的前世今生,并给出未来可能发展方向的预测。从最终的展示环节呈现效果来看,同学们都紧密贴合所选制品特点,提出了针对性的研究方案。

学生在初步制定研究方案后,需要和课程老师进行沟通讨论、优化方案设计。教师在其中扮演引导者的角色,对学生设计的研究方案评估可行性,提出参考意见,对学生遗漏的细节进行补充,把握整体实验的方向,同时启发学生对材料特性进行思考。例如,“市面上不同雨衣成分鉴定和性能比较”调查小组的同学收集到的其中一件雨衣上有微小凸起结构,这是模仿了“荷叶”的磨砂疏水设计。然而该组同学的初步实验方案忽略了对这一设计的研究,这时就需要教师在讨论环节提醒学生注意不同雨衣的表面设计,引发学生的进一步思考。

### 3.2 学生自主探究,教师引导支持

在拟定研究方案后,学生就要着手开展实验,用科学的鉴定方法证明所用高分子的种类,测试制品的主要性能,解释该种高分子材料在特定制品使用上的优势。红外光谱分析、差示扫描量热法(DSC)、热重分析法(TGA)等常规表征实验,学生可以通过专门公共测试平台完成。针对所选制品的特性,同学们更是制定了多种个性化性能测试实验。“不同材质塑料袋的鉴别研究”小组考虑到塑料袋在应用于打包过程中常需要盛装含油食

物,设计了透油性探究实验,在三种市面上收集到的塑料袋样品条上滴等量的溶有颜料的食用油,比较样品背面餐巾纸上出现颜料的时间,5天后发现背面餐巾纸均无明显变化,因此推测食堂打包时感受到的油可能是食堂工作者递送塑料袋的手上有油(见图2)。“奶茶封口膜研究”小组将目光转向年轻人中逐渐流行的奶茶文化,设计了趣味的耐穿刺实验,研究不同品牌奶茶封口膜的特性。在这一环节,学生进行自主探究,选择合适的实验仪器、实验条件,尝试解释与理论存在偏差的实验结果,或者综合运用多种表征手段相互印证。自主探究过程是一个不断发现问题、解决问题的过程。学生借此可以培养综合运用有机化学、高分子物理、高分子化学、聚合物表征等基础知识,结合产品实际解释高分子材料问题的能力,从而初步形成科学逻辑思维。

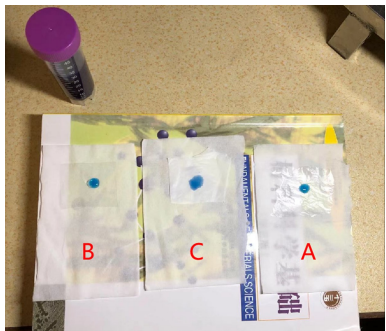


图2 塑料袋透油性实验

Figure 2 Oil permeability experiment of plastic bags

教师需要对学生具体的实验开展予以引导,判断实验设计是否合理,建议可行的实验方向,提供必要的实验条件支持,推进并规范学生的研究性实验进程。

### 3.3 学生总结提高,教师归纳深化

完成实验探究后,学生要对所得到的数据进行整理、归纳、总结,并形成自己的研究结论。最后,小组将上述研究成果制作成展示幻灯片,由一名组内学生在全班进行汇报,汇报内容需在实验结果的基础上进行进一步的总结提高,揭示制品性能背后的高分子材料知识,或者提供最优的制品选择方案,或者提出本研究的不足、遗留问题和进一步的研究建议。“一次性发泡餐盒的禁用之因”小组的展示就呈现出清晰的脉络框架。该小组同学将发泡聚苯乙烯(EPS)塑料餐盒设定为“主角”,通过将EPS餐盒的保温性能、力学性能、耐热性能、回收性能和现在市面上使用餐盒进行比较,

揭示了EPS餐盒走向淘汰的原因在于优势性能和其他餐盒相比难有差距,而同时劣势性能制约其发展。每个小组展示完成后,教师与其他同学进行提问、相互讨论,全组同学一起回答问题,最后由教师和助教根据综合质量打分。

教师在所有研究小组展示完后加以点评,表扬鼓励研究式学习过程中,整体质量较好的小组,指出同学研究设计中的共性问题 and 可以改进的方向,补充遗漏的知识点,以疑引新,联系实际生产应用,加深同学们对高分子材料的理解。

## 4 研究式学习的效果

研究式学习的增设使学生的知识体系在传统课堂授课的基础上辅以探究性实验,而得以稳固地构建。经过几年的实践,研究式学习的开展已积累不少经验,也取得了良好的效果。基于此,本文对我校2021~2022学年部分《高分子材料》课程选课同学进行一对一采访交流,探寻其对于研究式学习的相关看法。

### 4.1 加深了对高分子材料的认识和思考

“通过研究式学习,我对材料的认识从书本上的字母缩写,变成了具体的实验操作、性能探究过程以及它在实物上的体现。”

“我原先对于专业知识好像只是懵懂的了解,在做了这个研究作业之后才真的把理论用到实践上,也让我对于一些实验、材料有了更多想法。”

研究式学习让学生通过自主探究进行知识学习,将有效促进学生对知识的掌握和理解。举例而言,多组同学都选择了聚氯乙烯(PVC)材料制品进行研究,并对PVC制品进行了DSC、TGA等分析。因为PVC材料受热易分解、填料复杂,相应制品的热分析曲线往往出峰混乱,分析难度大。学生在亲自尝试对曲线进行分析解释后,对PVC材料热稳定性差的特性将有更直观的认识。在最后的展示环节,“常见保鲜膜的探究”“市面上不同材料雨衣成分鉴定和性能测试”等小组同学更是通过红外谱图对比验证,推断出相应PVC制品可能存在的热稳定剂和增塑剂。“纸上得来终觉浅,绝知此事要躬行”,亲自体验、主动参与的研究式学习让课本上的知识点“活”了,将加深学生对高分子材料的认识和思考。

### 4.2 培养了实践能力

“以前做实验都是跟着老师一起,同学们一般

按照书本来做,现在研究式学习会给大家提供一个交流和实践的机会,然后感觉做出来的东西对我来说也更印象深刻。”

“对我来说这种方式会更契合实际,真正的实验应该就是要自己找资料、优化测试方法的,有些实验不自己去确实不知道还需要考虑更多东西。”

同学们在《高分子材料》这样一门应用导向性课程的学习中,不仅仅获取了知识,更重要的是培养了自我的实践能力。传统的实验学习以验证性实验为主,教师往往已经提前做好了前置步骤,甚至测试好了最佳实验条件,学生动手实验只是单纯的模仿、重复教师的操作,“照猫画虎”“按图索骥”。而在研究式作业过程中,进行哪些表征、测试哪些性能、选择什么条件,都由学生自己探索安排,学生不再有“实验报告”可以参考,学生是整个实验的主宰,要自己寻找合适的实验仪器、自己探索最佳的实验条件,这将有助于培养学生的动手实验能力。举例而言,“一次性发泡餐盒的禁用之因”小组同学对市面上常见三种餐盒进行 DSC 表征实验。然而首次测试时,因为缺乏相关经验,该小组同学直接照搬了我校另一门实验课程《高分子物理实验》中的 DSC 实验测试条件,将扫描温度范围设置为 30~200 °C,扫描速率设置为 10 °C/min,进行升温,导致其中一份填料复杂的制品未能得到有效的 DSC 曲线。该小组在查阅文献后,重新调整扫描温度范围,并设计了“升温-保温-降温-再升温”的程序,消除了填料干扰,得到了有效的 DSC 分析曲线。研究式学习中中学生要解决的是一个开放的、综合性的复杂问题。同学们在解决问题的过程中,通过反复的试错、检验、尝试,有效提高实践能力。

#### 4.3 提高了创新意识

“做实验的时候,我们会发现有些国标的测试方法在校内很难实现,然后就需要自己去想一种比较符合当下实验条件的方法来。虽然最后的结果并不太精确,但是过程中大家交流自己的想法、逐渐丰富实验内容,还是让我得到了新的启发、也让我感受到了彼此的创新能力。”

研究式作业作为一种创新性学习方法的展现,改变了学生被动接受教学内容的情况,充分发挥学生主体作用,激发学生自己去思考、设计、总结和报告。学生更能立足于这个平台充分发挥想

象力和创造力,打破实验设计思维定势,展现出突出的实验创新设计能力。“塑料筷子的成分鉴定及性能测试”小组同学设计了铅笔硬度法测试筷子的涂层硬度,用一系列不同硬度的铅笔用力均匀地划过涂层表面,若涂层出现掉漆或者破裂,说明涂层硬度小于该铅笔;反之,则涂层硬度大于该铅笔,因而可以定量判断筷子表面涂层的硬度大小范围(见图 3)。“一次性防护手套的鉴别与性能研究”小组同学则以单位时间内的水蒸气透过率来反映不同手套的透气性,于手掌部分取直径为 40 mm 的圆形试样,覆盖于加入了约 1 mL 去离子水的 2 mL 去盖离心管( $d=1.0$  cm)上(与手接触面朝向管内),再用封口膜裹紧缝隙。将所有离心管置于 37 °C 恒温摇床中以 600 r/min 旋摇 24 h,再次称量离心管质量,以前后质量差反映水蒸气透过率,比较不同手套的透气性(见图 4)。研究式作业不设任何限制,作业的答案是开放的。从最终展示的反馈来看,这样的学习模式能促使同学们突破实验设计思维定势,灵活运用有限的实验资源,迸发实验设计思维火花,大胆创新实验。



图 3 铅笔硬度实验

Figure 3 Pencil hardness test

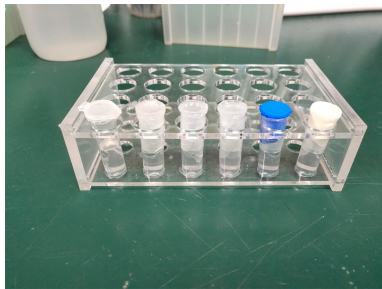


图 4 水蒸气透过率实验

Figure 4 Water vapor transmittance test

#### 4.4 增添教学相长式的新型互动体验

研究式学习是一个学生和教师双向互动的过程,使双方在课堂交流之外,又增添了一种新型的

互动体验。因此它不仅是对学生学习实践能力的一种考核,也是布置给教师的一项作业。教师在整个研究式学习中启发学生思考、引导学生开展实验,和学生作为平等的“学习伙伴”一起开展研究,这也是对教师教学能力的学习提升过程。学生首次接触研究式学习时,缺乏经验和相应训练,教师的引导作用举足轻重<sup>[12]</sup>。因此教师在研究式学习中的主要任务是启发学生自己思考,促使他们自己去解决问题、分析问题、获取知识。该过程要注意引导方式,切忌提供现成的结论,应该把学生看作解决问题的主体,鼓励学生积极质疑和创新。

## 5 研究式学习的不足和改进方向

作为教学环节的优化、课程改革的重要部分,尽管已经经历了数年的实践经验累积,学生反映《高分子材料》研究式学习的具体实施仍存在一些不足有待改进。

### 5.1 测试条件

研究式学习没有专项经费支持,需要通过多种渠道筹措经费,目前主要由授课教师承担。因此,在研究样品的选择和测试项目上有所限制。开放的公共实验测试仪器种类有限,仅能够满足较为基本的材料物化性能的测试,针对于具体实验对象的功能性测试无法全部满足。同学们的多样化测试需求,例如耐溶剂实验、透气性实验以及弯曲性能实验均无法通过公共实验测试项目完成,也缺少固定场地来开展某些实验。因此,课程教师可以与高分子化学实验室、高分子物理实验室展开合作,便于研究式学习的实践推进,也利于发展出一套较为健全的教学支持体系。

### 5.2 评价系统

研究式学习环节的设置对于教学评价系统提出了更高的要求。而当下学生研究式学习环节获得的成绩一般只取决于小组研究活动的整体结果,却忽视了每个组员的能力与对课题的贡献程度,在课程考核上存在不可避免的不公平因素,贡献与成绩无法良好对应到每个成员。尤其是部分学生已习惯于以接受者的身份学习,倾向于把研究式学习小组当做“微缩课堂”,把组内的领导者当做“老师”<sup>[13]</sup>,而此类重视结果的评价体系也为他们逃避合作责任提供了足够的空间。

研究式学习强调学生学习过程中的探究、发

现与创造,这也意味着与其相匹配的理想评价应该考虑学生先前的学习能力、学习状况以及学生在其中付出的意志努力,这是决定学生成绩更理想的参考指标。外显的研究成果固然是评价的一个主要方面,但不能因此而忽视研究过程中经验的累积和增长<sup>[10]</sup>。让考核走向“与自己比较”,对于学生而言是一种更加客观、合理的评价方式。

### 5.3 学生参与度

研究式教学充分发挥了学生的主体作用,但是这一打破传统教学模式的活动对学生的学习心理提出了很大的挑战。部分本科生的学习态度不是十分积极、学习目标不清晰、缺乏问题意识<sup>[14]</sup>,在研究式教学中的参与度较低。教师的引导不可或缺,学生需要在教师的引导帮助下,学会向他人陈述自己的观点、论证自己的猜想,这个过程本身就是一种学习,这也是研究式学习的意义所在。如何改变学生传统的学习观念、使他们主动踏出交流的舒适圈也是研究式学习亟待解决的难题之一。

### 5.4 教师教学策略

与传统教学方式相比,研究式学习中教师的角色更丰富、更突出、更强化,是各种角色的集成者:学习者角色、研究者和指导者角色、协调者角色、帮促者和支持者角色<sup>[10]</sup>。学生能直观感受到自己与教师的相互关系不再是简单的“教”和“学”,不再是单纯地、被动地获取知识,而是在自主思考与探索的前提下,从教师处获得研究思路上的方向性意见。研究式学习不仅要求学生的改变适应,更是影响推动着新型教学策略的构建。现有的研究式学习给了学生很大的探究自由度,但也导致学生在寻求相关指导、督促和交流的过程中难免显得捉襟见肘。课堂讲授和学生的学习能力应成为教师架构起一套与研究式学习相适应的教学策略的落脚点。学生能够在教师引导下,循序渐进,在实验测试的预约沟通、实验仪器的协调、学生合作交往意识的培养等方面获得更多的准备与支持。

## 6 结语

研究式学习作为我校《高分子材料》课程的一种创新性模式,改变了学生被动接受教学内容的情况,为学生在教学活动中发挥主体作用提供了足够的空间。学生可以综合运用所学到的知识完

成研究式作业,将课本知识和高分子材料的实际相联系,加深对高分子材料的认识和理解。在整个过程中,学生一直处于积极思考、主动尝试的状态,这将有效增强学生的实践能力和创新意识。这种教学形式有利于构建师生学习共同体,使双方在教学相长的状态中拓展科研视野和思考能力。在这一实践过程中,测试条件、评价系统、学生参与度、教学策略等方面还存在相当程度的不足,需要积极探索以进一步提高学习效果。

#### 参考文献:

- [1] 高长有,叶辰,马列,毛峥伟,仝维鋈. 高分子材料课程的讨论与互动式教学. *高分子通报*, **2013**, (6), 84-89.
- [2] 王丽梅,魏荣敏,沙沙,李荣春,高伟,王丽燕. 基于创新性应用型人才培养的《高分子材料》课程教学体系建设与实践. *高分子通报*, **2021**, (10), 96-101.
- [3] 张肇丰. 试论研究性学习. *课程·教材·教法*, **2000**, 20(6), 42-45.
- [4] 邢以群,鲁柏祥,施杰,陈随军,戚振江. 以学生为主体的体验式教学模式探索:从知识到智慧. *高等工程教育研究*, **2016**, (5), 122-128.
- [5] 张金华,叶磊. 体验式教学研究综述. *黑龙江高教研究*, **2010**, 28(6), 143-145.
- [6] 孙志璞,苏继红,陈淑清. 关于探究性学习的几点思考. *教育探索*, **2006**, (4), 18-19.
- [7] 朱金华,魏妍妍,郭慧君,徐佳,万红娇,孙昊鑫,叶荷平. 《病原微生物学》自主选题实验教学设计. *江西中医药大学学报*, **2019**, 31(5), 93-94.
- [8] 郑绩,吴悦童,田语舒,李相元,冯岸超,张立群. 高分子科学实验学生自主设计实验改革初探:以“温敏性水凝胶的制备及其动态退溶胀性能探究”为例. *高分子通报*, **2020**, (4), 57-63.
- [9] 郭晓璐,孟凡杰,伍亮. 项目式教学法在材料制备与检测课程教学中的应用. *高教学刊*, **2016**, (5), 89-90.
- [10] 刘香,朱江,许召赞. 高分子物理自主探究性学习方式初探. *广州化工*, **2014**, 42(17), 195-196.
- [11] 陈世良,黄亦军,黄嘉驰. 教师科研项目融入高分子专业实验教学的探索与实践. *实验技术与管理*, **2020**, 37(9), 170-173.
- [12] 赵洪. 研究性教学与大学教学方法改革. *高等教育研究*, **2006**, 27(2), 71-75.
- [13] 刘春玲. 自主学习、合作学习、研究性学习及其比较研究. 北京:首都师范大学, **2004**.
- [14] 张利荣. 大学研究性学习理念及其实现策略研究. 武汉:华中科技大学, **2012**.