

新工科背景下充分利用大型仪器设备的高分子实验教学设计与实践

杨 乐*, 钱 浩, 陈 珺, 陈晶玲, 杜振波

(华侨大学材料科学与工程学院, 厦门 361021)

摘要:新工科建设的一项重要内容是使学生具备立体性、拓展性和综合性的能力,从而实现高素质发展。大型仪器设备在高分子材料的结构分析、性能检测中扮演重要的角色,渗透到了高分子专业实践教学各个环节,是激发学生创新意识和提高学生综合素质的重要基础条件之一。针对目前大型仪器设备在专业实验教学中的现状和弊端,设计并实践递进式的教学内容体系。在教学过程中,我们采用项目式教学法,在构建线上线下教学资源的基础上,对相关大型仪器设备进行开放式管理和模块化教学,以问题为导向、学生为主体、教师作引导,层层递进,通过具体项目的实施,启发引导学生在实践操作中自主分析和解决问题,有效提高学生对于聚合物大型表征设备和仪器的综合应用,从而培养学生良好的实践和创新能力,提高学生的综合素质。

关键词:新工科;大型仪器设备;递进式教学;项目式教学;开放式设备管理

新工科是在新产业、新科技革命和新经济快速发展状态下,基于工科动态发展与人才培养需求视角而提出的工程教育改革方向,更强调教学的实用性、交叉性与综合性^[1~3]。特别是高分子材料学科的高速发展,这对高分子专业人才的培养也提出了新的要求,不仅需要培养学生了解塑料、橡胶、纤维等传统高分子材料的基本知识和加工技能,更需要学生深刻理解高分子材料结构与性能的相互联系,而先进的表征技术是剖析聚合物材料结构的重要手段,现代表征测试手段在专业本科培养计划中的比重不断提高,已经成为专业适应新工科人才培养的必然趋势^[4]。

大型仪器设备代表了学科发展的前沿和关键技术,是链接材料“制备—结构—性能”的重要桥梁,是探索材料结构、开发新材料和解决实际问题的关键环节^[4~6]。然而,大型仪器设备精密贵重,维护成本高。在这个背景下,目前大型仪器设备用于专业实验教学存在以下问题:(1)大部分实验项目仅由单台(套)仪器设备承担,由于学时和场所的限制,很多实验都是“多人一器”,部分需要测试时间长或制样技术复杂繁琐的实验甚至变成了演示实验。在这种教学模式,很难让所有学生动手实践深化对仪器的认识,也不利于学生独立动手能力的培养;(2)实验讲义以文字和图片的形式呈现,在教学过程中,学生对仪器并没有直观的认识,实际动手操作时不知从何下手,即便在教师的口头讲解后,很多学生也只是一知半解,在对仪器没有充分认识和了解情况下贸然操作也很容易引起仪器故障,增加仪器维护成本;(3)大部分实验均采用相同的实验样品,留给学生思考和探索的空间较少,师生互动性偏低;(4)大部分大型仪器设备相关的实验项目只是单纯的样品测试,实验相对独立,没有与其它实验和理论课程有效融合,不利于培养学生系统的思维能力。在多年的教学实践中,我们一直在寻找如何利用现有的实验资源谋求改变和突破,使大型聚合物表征设备成为培养学生系统认识高分子学科知识的重要支撑点。近几年教学中,我们从教学内容、教学组织方式、仪器开放模式和教学资源等方面进行了改革,下面基于我们的教学实践进行介绍和分析。

1 构建递进式教学内容体系

在新工科背景下,目前我院高分子专业实验改革,旨在开设多项创新综合实验,将有机化学合成、高分子化学合成、聚合物结构表征、高分子加工、高分子物理性能等实验进行交叉融合,有效地实现制备、结

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.09.018

收稿:2021-08-10;修回:2021-10-27;

基金项目:2020 年福建省本科高校教育教学改革研究项目(FBJG20200163),华侨大学第三批新工科示范课程(612-50121185);

* 通讯联系人:杨乐(1987-),女,实验师,硕士研究生,主要从事大型仪器管理及材料与高聚物结构表征实验教学。E-mail: yangle2013@hqu.edu.cn.

构、工艺、性能之间的沟通与联系,打破课程的界限,实现学生对多学科知识的融会贯通^[7]。大型表征仪器设备的教学和实践,成为实施这一教学改革的关键因素之一。然而,大型仪器的学习不是一蹴而就的,涉及到实验原理、制样技术、仪器操作等各个方面,需要反复的理论知识内化、实际操作才能达到灵活运用。因此,我们在教学设计中,搭建了梯度式的教学内容体系,逐渐加深学生对大型表征仪器与设备的认识和掌握,如图 1 所示。

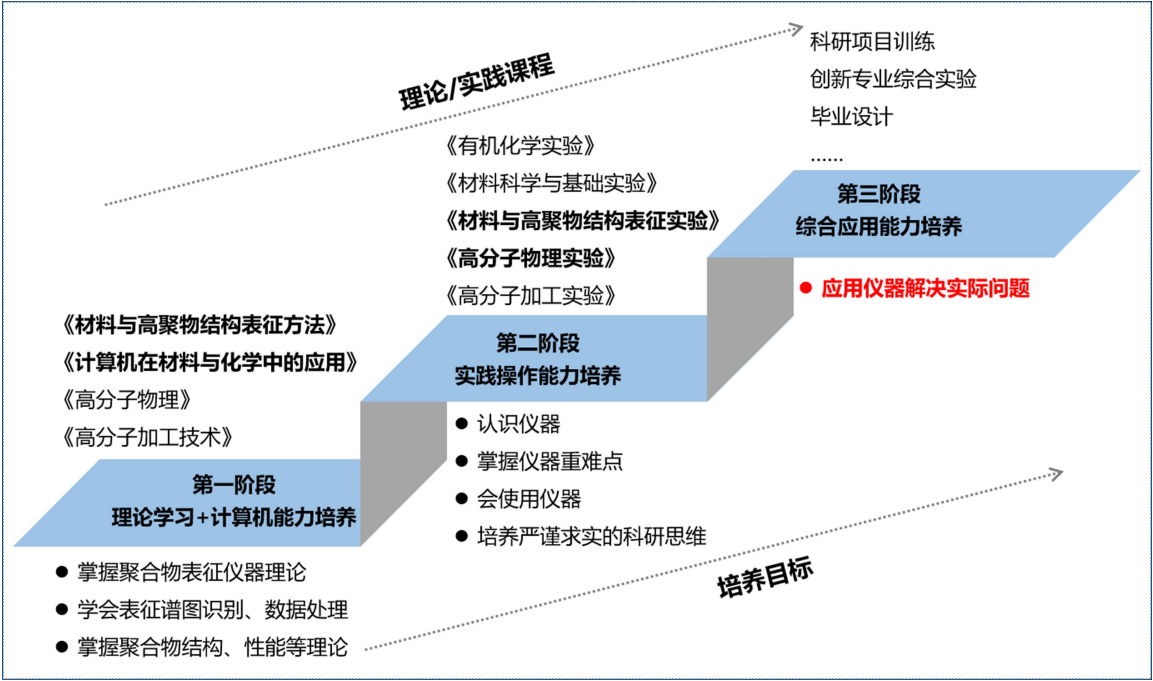


图 1 递进式教学内容体系的搭建

Figure 1 Construction of progressive teaching system

第一阶段:大型仪器设备相关理论知识和数据处理相关计算机应用水平的能力培养。从大二上到大三下高分子专业的每门实验课程都有对应的理论课程的学习,同时在大二下学期,我们增设了一门《计算机在材料与化学中的应用》的课程,这门课程以一些常用的仪器测试数据为例,讲解基本的数据处理软件(如 Origin、Chemoffice 等)的使用。学生通过这一阶段的学习能够识别简单的谱图,对大型仪器及其应用有初步的认识和了解。

第二阶段:由易到难开展实验教学。通过近几年实践课程教学内容的改革,针对高分子专业的本科学生,在大二到大三两个学年,基本上让学生有 2~3 次机会参与同一类不同型号高分子材料相关的大型仪器设备的实践学习中。如红外光谱仪的学习,在大二下学期,《有机化学实验》中开设了乙酰苯胺和乙酸乙酯的红外表征实验项目,在这个实验项目中,使用的仪器型号是 Nicolet iS5,教学内容集中在制样、测试、谱图分析等内容,以确认有机合成的产品是否是乙酰苯胺或乙酸乙酯。在大三下学期的《材料与高聚物结构表征实验》中,学生会再次开展红外光谱仪的实验项目,使用的仪器型号是 Nicolet iS50,搭配了衰减全反射 ATR 和远红外附件,教学内容的重点集中在单体和相应的聚合物的特征官能团对比上(如己内酰胺和尼龙 6,苯乙烯及高分子化学实验中合成的聚苯乙烯等),学生需要自行选择测试模式和设定扫描参数等完成测试,并通过红外谱图的对比说明聚合过程中样品的结构变化。再比如,针对差示扫描量热仪(DSC)的学习,《高分子物理实验》开设了聚丙烯结晶度测试的实验项目,教学的重点在于样品测试、谱图分析、计算聚合物的结晶度。在接下来的《材料与高聚物结构表征实验》中,学生的实验目标是根据不同的测试样品自行设定测试温度程序,完成聚合物非等温结晶动力学的推导过程。通过由易到难、层层递进的实践学习,学生由简单的认知到自己思考,学习过程较为顺畅,可掌握仪器学习的重难点及应用。

在这个阶段,培养学生严谨求学的学习态度和科研习惯也是教学的重点。在每次大型仪器相关的实验教学中,我们通过仪器结构示意图向学生展示仪器的精密部件,通过实际案例向学生演示错误的操作步骤可能导致的仪器损坏和测试结果偏差,通过已有的实验谱图分析向学生讲解实验数据的处理规范,潜移默化地融入严谨求学的学习态度和科研习惯,学生们通过自身不断的摸索实践使这种逐步形成的良好习惯和态度渗透到学生日后的学习、科研和工作中。

第三阶段:将仪器应用在科研项目训练、专业综合实验及毕业设计等环节,解决实际问题。在大四上,我们开设了多个与当前高分子材料研究热点相关的创新专业综合实验项目供学生必修或选修,同时学校提供了多种科研项目训练的渠道,如大学生创新创业训练计划项目、“挑战杯”大学生课外学术科技作品竞赛、实验技能大赛等,这些项目中都会使用到大型仪器去表征相应的样品和性能。通过这些项目的应用训练,学生能进一步分析需求,自行查阅文献资料,制备样品,设定测试条件,分析测试数据等,从而达到真正掌握并应用仪器的目的。

2 PjBL 教学法开展实践课程

PjBL 教学法(Project-Based Learning)称为项目式教学法,它是一种让学生通过前期学习、调研和探究,团队协作设计方案解决一个复杂的问题、困难或者挑战,从而在整个实践过程中习得新知识和获取新技能的教学方法。在教学过程中,以项目为主线、教师为引导、学生为主体,学生主动参与、自主协作和探索创新,重点培养学生主动探究、合作交流、批判思考、创新思维、分析和解决问题等关键技能^[8~11]。项目式教学法在专业实验课程教学和专业课的教学中的应用已初步取得良好的反馈^[9~11]。大型仪器的实验教学具有较强的实践性和操作性,在实践教学中运用项目式教学法,由教师提出实验项目,学生组队设计实验方案,开展项目实施和交流反馈等环节,在用单台仪器解决简单项目的基础上,层层递进,开展创新综合实验项目等,充分发挥学生的主观能动性。整个实践教学过程以“完成实验项目”为目标,围绕“如何使用仪器完成项目”展开学习和项目的实施,其实施流程图和要点如图 2 所示。

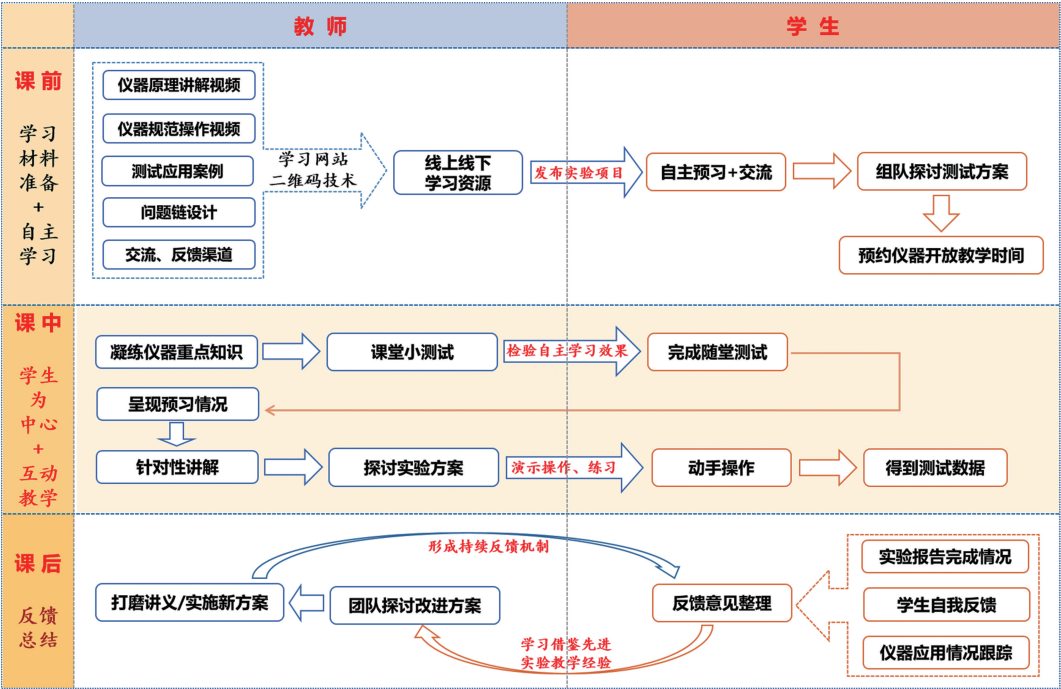


图 2 PjBL 教学法利用大型仪器开展实践项目教学流程图

Figure 2 Flow chart of large instruments based practical project course offering via PjBL teaching method

2.1 以疑导学

每个实验项目的完成都需从解决小的问题出发,以达到实现完成实验项目的目的,因此,在项目实施的过程中,我们结合实际的大型仪器知识和应用案例发现问题和提出问题,设置大量的思考空间,引导学生主动思考,在实践教学课堂中,通过大型仪器设备去解决提出的问题,层层递进,促进学生真正掌握测试手段并实际应用。例如在红外光谱仪的实验教学中,在预习讲义中设计了系列的问题链,插入到仪器知识的讲解,引导学生主动思考。例如:问题链1:什么样的样品具有红外活性?红外光谱测试技术能应用在哪些领域?问题链2:固体压片法中,是将样品和哪一种物质混合磨样?在这个问题的基础上,深入提问,选择溴化钾(KBr)的依据是什么?能不能换成其它物质?做远红外还能用KBr吗?做含水样品还能用KBr吗?问题链3:KBr和样品混合的比例是多少?样品比例高或低了会导致什么结果?如何通过得到的谱图调节样品的比例?通过问题引导教学,使学生在思考中真正掌握红外测试的原理和制样技术及其应用领域。课堂上在仪器操作前,为了检验学生自主学习的效果,我们将这些问题通过现场问答或凝炼形成填空/选择题供学生作答。通过课堂测验,教师可迅速了解每位学生的预习情况,进行针对性讲解和强调,以问题为引导梳理仪器理论和操作的关键知识点,加深学生对仪器的认识和应用,从而达到以疑导学、以测促学。在对仪器构造、原理与操作步骤一步步深化理解和掌握后,再上机操作,可有效提升实验的成功率和降低仪器的损坏率。

2.2 多元化的实验项目

在每台大型仪器设备实践教学的过程中,低年级学生第一次接触仪器是按照教师给定的步骤测试完成较为简单的实验项目。到了高年级继续进行仪器相关实践课程时,我们充分结合学生理论课、前期实验课程学习和目前热点的科研项目,提出多个实验项目,学生不仅需要完成测试,更需要通过前期的学习制定样品测试方案,还要分析测试数据得出结论。不同组别的学生选择不同的实验项目,既能有效避免实验报告抄袭和同一化带来的评分困难,更关键的是让学生通过预习自行设计实验方案,采用启发式、探究式实验教学模式,充分调动学生主动学习的积极性。

我们可以通过丰富多样的测试样品来达到实验项目的多元化设计。测试样品可来源于学生前期的高分子化学合成实验、生活常用的高分子材料或是后期需要加工的样品,也可以是通过大型仪器设备的表征有助于更好地阐述理论课中某一个知识点的样品。如热重分析仪的学习过程中,我们设计了如下几个实验项目:(1)测试样品乙烯-醋酸乙烯酯共聚物(EVA)和聚乙烯(PE),计算EVA中乙烯和醋酸乙烯酯的含量;(2)测试己内酰胺和尼龙,阐述聚合对样品热性能的影响;(3)测试生活中常见塑料制品(如矿泉水瓶、一次性塑料杯等),讨论热降解回收这两种材料的条件;(4)自行设定比例混合尼龙、碳酸钙和氧化铝,分别测试尼龙及混合样品的热重曲线,通过热重曲线分析样品中各组分含量,并探讨和实际称量存在误差的原因。再例如,聚合物的非等温结晶动力学对于指导后期的加工成型工艺以便获得性能优良的产品有着重要的意义,因此在差示扫描量热仪的后期实践学习中,我们通过不同组别测试不同的聚合物完成其非结晶动力学的研究以达到实验项目的多元化,该实验项目实施的具体流程如图3所示。

通过该实验项目的训练,既巩固了高聚物结晶相关理论知识,又深化了差示扫描量热仪的操作、数据处理和应用,还让学生明白如何通过仪器得出结论去指导高聚物的加工从而获得性能更为优异的产品,有效实现了高分子物理、高聚物表征和高分子加工等课程内容的交叉融合。

3 仪器开放模式与资源建设

3.1 开放式大型设备管理

大型仪器设备除本科教学外,大部分机时用于科研。受限于学时及课程安排的时间,大型仪器设备相关的课程基本上是十几人一组展开实践教学。因此,在教学管理过程中,整合大型仪器的科研闲时,比如部分仪器早上8:00~10:00科研测试量较少,我们可将教学周的这个时间段开放为教学机时,将课程

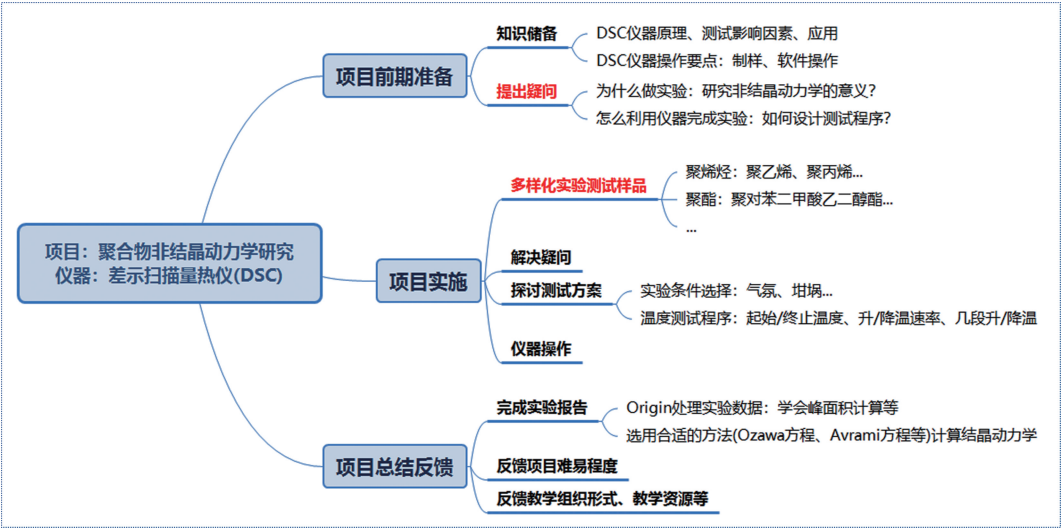


图 3 PjBL 教学法利用差示扫描量热仪开展实践项目教学流程图

Figure 3 Flow chart of differential scanning calorimetry based practical project course offering via PjBL teaching method

安排时间和科研闲时相结合开放设备的教学时间,采用在我校贵重仪器平台预约仪器及实验时间的方式开展实验,将实验教学时间有效延长至课外,提升大型仪器设备的教学服务能力,极大地改善了传统教学模式中以示范为主的教学方式,有效改善“多人一器”的现象。

仪器实行开放式管理后,我们采用教师和学生的团队化协作来实现实验项目的顺利开展。目前,我院高分子专业实验已组建校级教学团队,教学团队由资深的高分子专业理论任课教师、仪器设备管理教师等组成。在实践教学过程中,由高分子专业理论任课教师负责仪器理论知识的指导,由仪器管理教师和仪器助研共同完成整个实践过程的指导,做到全程有人引导和看管,促进实验项目的良好开展,避免仪器的损坏。教学团队定期开展教研活动,充分挖掘实验项目,根据理论知识的学习进度指导实验的教学进度。教学团队形式开展大型仪器教学可以充分发挥每位教师的特长,将专业的知识呈现给学生,也可有效避免实验项目的重复,构建递进式的实验教学内容体系。对于学生,在单台大型仪器设备教学的过程中,根据班级人数和仪器测试情况进行差异化分组,如热重分析需要时间较久,将学生分为 4~5 人/组,而红外和紫外测试较快,可将学生分为 1~2 人/组。学生在各自学习的基础上,自由组队,选择实验项目,群策群力,探讨实验方案,共同完成单台仪器的实践操作。在后期创新综合实验项目中,将学生分为 4~5 人/组,自行分工,分别负责实验的各个环节(方案制定、仪器预约、仪器测试、结果分析等),有序完成整个实验。

3.2 建设大型仪器设备线上线下教学资源

有效延长学生在课堂上项目实施时间的一个行之有效的方法即是让学生在课外完成理论知识的学习以及在课上保障仪器的良好运行。传统的灌输式以教师为中心的实践教学模式下,教师需要占用大部分课堂时间讲解仪器的原理和演示仪器操作,教师的工作量很大,但是教学效果并不好,仪器设备的故障率和实验失败率也较高。因此,利用丰富的多媒体技术构建大型仪器设备的教学资源以及如何确保课上仪器的良好安全的运行显得尤为重要。

我们将高分子专业实验中聚合物表征仪器设备分为波谱分析技术设备、衍射和散射技术设备、显微成像技术设备、热分析设备以及其它等模块,制作相应大型仪器设备的原理、制样技术、规范化操作等相关内容的教学视频。对仪器设备的教学资源进行分模块的构建和教学利于学生类比和区分,更加系统化地认识和掌握聚合物表征相关的大型仪器设备。在学习资源构建时由理论课教师讲解仪器的原理,仪器管理老师负责规范化操作视频的制作,邀请企业合作导师进行新材料测试案例的讲解。构建的教学视频

上传到我们建立的高分子学习网站供学生线上学习。同时,我们利用二维码技术丰富线上教学资源的传播形式。二维码作为一种信息储存、传输和识别技术,可将图片、视频等以数字化的信息进行编码捆绑,不受时空和硬件设备的限制,成本低、转码耗时少、占用内存小,在码不改变的前提下可不断更新内容^[12,13]。将教学视频生成二维码,附在传统讲义相应的讲解旁,形成文字精简、形式内容丰富的立体化实验讲义,让学生看到抽象文字的同时,能随时随地使用手机、pad等智能终端设备看到相应的讲解,达到课堂教学与网络教学的同步,想学“码”上学,有利于学生在学习前期精准快速的获取学习资源,有效增强自主学习的兴趣。二维码后台管理系统能够实时统计扫描量、扫描时间等,可有效跟踪学生学习兴趣及学习进度。

大型仪器本身作为大型仪器教学的重要线下资源,其良好的运行是保障实践课程开设的重要关键。我们建立了科学规范的管理制度以做好大型仪器日常的维护保养,通过制度也能有效地约束学生真正明了在实践操作时什么能做什么不能做,以最大程度减少对仪器的损害。同时,规范的操作流程和操作视频也可有效引导学生正确规范的操作,以减少仪器的损坏,我们将规范的仪器操作视频生成二维码贴于仪器旁,学生在操作时可通过智能设备反复观看,引导学生一步步完成仪器操作。在开发实验项目时我们也充分考虑实验项目实施时的可操作性。

建设好线上线下教学资源是PjBL教学有效开展的前提,将课堂上教师反复的讲解转移到课下,学生既能通过丰富的线上教学资源进行直观的预习,还能大大增加学生课上动手操作的时间。教师由传统教学的中心转变为师生协作关系,教师的角色转变为教学组织者、资源提供者、学生自主学习的指导者和能力发展的促进者,学生由知识的被动接受者转变为自主学习者、合作者和研究者,成为整个教学过程中的主体。

4 结语

通过构建递进式的教学内容体系,以理论学习为基石,开展由易到难的实践学习,再到仪器的实际应用,层层递进,符合学生学习的规律,可有效提升实践教学的效果,同时以大型仪器设备为支点,理论联系实际,将高分子材料的合成、加工、制备和应用进行有效的交叉融合。通过PjBL教学法,结合开放式的大型仪器管理模式和线上线下教学资源,以问题为引导,以项目驱动学生学习,充分激发学习兴趣,变被动接受为主动学习。另外,每学年通过学生的反馈认真审视教学组织形式和实验项目的难易,在下一学年的实践教学中做出适当调整,促进了实践教学的良性发展。在整个实践教学过程中教师是学习的指导者,而学生成为实践课程的主导者。教学内容和教学组织形式的同时改革可有效提升学生的大型仪器设备实操水平,开拓他们的科研视野,学生在一步步面对和解决各种问题以完成实验项目的过程中,习得知识,掌握技能和学会协作,对培养适应发展需求并满足未来新兴产业和新经济需要的复合型高分子专业新工科人才具有良好的推动作用。

参考文献:

- [1] 胡波,冯辉,韩伟力,徐雷. 复旦教育论坛, 2017, 15(2): 20~27.
- [2] 钟登华. 高等工程教育研究, 2017, 3: 1~6.
- [3] 付中禹,谭志勇,周超. 高分子通报, 2020, (6): 75~77.
- [4] 何亚群,刘怀宇,谢卫宁,王帅,段晨龙,王海锋. 实验室研究与探索, 2019, 8: 261~265.
- [5] 汤云晖,刘丽月,陈南春,张亚非. 实验室研究与探索, 2015, (12): 164~167.
- [6] 王晓岗,许新华,郝志显,樊雅娟. 实验室研究与探索, 2019, (6): 181~184, 234.
- [7] 陈珺,钱浩,赵青华,杨乐,陈晓闽. 高分子通报, 2020, (7): 60~65.
- [8] 刘广平,陈立文,李娜. 高等建筑教育, 2014, 4: 44~50.
- [9] 武承林,韩德满,何冰晶,王庆丰. 高分子通报, 2017, (7): 76~79.
- [10] 商云帅,温红珊,杨玉民,王东. 现代食品, 2018, 16: 12~14.

[11] 钱浩, 张莹雪, 林志勇. 高分子通报, 2009,(3): 75~78.

[12] 赵作福, 齐锦刚, 刘伟东, 刘亮, 陈明华. 实验科学与技术, 2018, 16(4): 60~61, 66.

[13] 吕银云, 翁玉华, 潘蕊, 张春艳, 董志强, 欧阳小清, 阮婵姿, 许振玲, 彭淑女, 任艳平. 大学化学, 2021,(2): 1~6.

Polymer Experimental Course Design and Teaching Practice Based on Making Full Use of Large Instruments under the Background of New Engineering

YANG Le* , QIAN Hao, CHEN Jun, CHEN Jing-ling, DU Zhen-bo

(College of Materials Science and Engineering , Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: An important content of the new engineering construction is to enable students to obtain three-dimensional, extensive and comprehensive abilities, in order to achieve their high-quality development. Large instruments and equipment, as one of the important basic conditions for stimulating students' innovative consciousness and improving students' comprehensive quality, play an important role in the structural analysis and performance characterization of polymer materials, and penetrate into all aspects of polymer experimental and practical teaching. Regarding to the current status and drawbacks of large instruments and equipment applied in the instructional system of polymer experiments, a progressive teaching content system has been established and practiced by our teaching team. In the teaching process, the project-based learning method based on online and offline learning resources is adopted. In order to guide students to analyze and solve problems independently in practical instruction and improve their operating capabilities of large-scale polymer characterization equipment and instruments effectively, open-ended equipment management and modularized classification instruction are applied step by step, including problem and project as the orientation, students as the main body, teachers offering the guidance. It can cultivate students' good practical and innovative ability, which will help further achieve the main goal of improving students' comprehensive quality.

Key words: New engineering; Large instruments and equipment; Progressive teaching; Project-based learning; Open-ended equipment management