

·教育与教学·

BOPPPS-MOOC+ 混合教学模式在高分子物理课程中的应用探索

——以高分子材料的结晶态结构为例

辛 瑞*

(青岛科技大学 教育部/山东省橡塑重点实验室 高分子科学与工程学院 青岛 266042)

摘要:“高分子物理”是高分子材料与工程专业的核心基础课程,在专业知识体系中具有承上启下的关键作用。同时,课程在培养学生科学思维、夯实专业理论基础、提升工程实践能力与综合应用能力等方面具有重要意义,在高分子专业人才培养体系中占据不可替代的重要地位。然而,由于其作为专业基础课的内容相对高阶、理论性强、抽象度高、学习难度较大,当前教学中普遍存在学生学习兴趣不高、课堂参与度偏低、创新思维培养不足等问题。为激发学习兴趣、提升课堂参与度、强化学生思维能力培养,本研究引入 BOPPPS(引入(Bridge-in)、目标(Objective)、前测(Pre-assessment)、参与式学习(Participatory Learning)、后测(Post-assessment)、总结(Summary))教学模式结合 MOOC(慕课)的线上线下混合教学模式,结合 BOPPPS 模块化教学流程与 MOOC 平台优势,实现线上线下教学深度融合,构建适用于“高分子物理学”课程的混合教学体系。本文以高分子材料的结晶态结构为教学案例,系统阐述 BOPPPS-MOOC+ 混合教学模式的设计思路与实施路径,结合课堂教学设计实例,探索提升学生课堂参与度与教师教学效率的有效途径,为高分子类专业课程教学改革提供可借鉴、可推广的实践范式。

关键词: BOPPPS 教学模式;慕课;高分子物理学;教学设计;混合学习

Application Exploration of BOPPPS-MOOC+ Mixed Teaching Model in Polymer Physics

—Taking Crystalline Structure of Polymer Materials as an Example

XIN Rui*

(Key Laboratory of Rubber-Plastics of Ministry of Education / Shandong Provincial,
College of Polymer Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042)

Abstract: “Polymer Physics” is a core fundamental course for the major of polymer materials and engineering, and plays a key connecting role in the professional knowledge system. Meanwhile, this course is of great significance in cultivating students’ scientific thinking, consolidating their professional theoretical foundation, and improving their engineering practice and comprehensive application abilities, thus occupying an irreplaceable position in the talent training system for polymer-related majors. However, as an advanced professional basic course with strong theoretically, high abstraction and great learning difficulty, the current teaching is generally plagued by problems such as low learning interest, insufficient classroom participation and inadequate cultivation of innovative thinking among students. To stimulate learning interest, enhance classroom participation and strengthen the cultivation of students’ thinking

青岛科技大学高分子研究专辑;2026-03-01 收稿,2026-04-28 录用,2026-07-10 网络出版
基金项目:山东省自然科学基金(基金号 ZR2025MS706)

* 通信联系人:辛瑞, E-mail: ruixin@qust.edu.cn

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.26.102

abilities, this study introduces the BOPPPS (Bridge-in, Objective, Pre-assessment, Participatory Learning, Post-assessment, Summary) and MOOC (Massive Open Online Course) online-offline blended teaching model. By integrating the modular teaching process of BOPPPS and the advantages of MOOC platforms, the deep integration of online and offline teaching is realized, and a blended teaching system suitable for the course of polymer physics is constructed. Taking the crystalline structure of polymer materials as a teaching case, this paper systematically expounds the design concept and implementation path of the BOPPPS-MOOC+ blended teaching model. Combined with practical classroom teaching design examples, it explores effective approaches to improve students' classroom participation and teachers' teaching efficiency, so as to provide a referential and replicable practical paradigm for the teaching reform of polymer-related professional courses.

Keywords: BOPPPS teaching model; Massive Open Online Course; Polymer Physics; Teaching design; Blended learning

引用: 辛瑞. BOPPPS-MOOC+ 混合教学模式在高分子物理课程中的应用探索: 以高分子材料的结晶态结构为例. 高分子通报, 2026, 39(8), 1523–1532.

Citation: Xin, R. Application exploration of BOPPPS-MOOC+ mixed teaching model in polymer physics—taking crystalline structure of polymer materials as an example. *Polym. Bull.* (in Chinese), 2026, 39(8), 1523–1532.

BOPPPS (引入(Bridge-in)、目标(Objective)、前测(Pre-assessment)、参与式学习(Participatory Learning)、后测(Post-assessment)、总结(Summary))教学模式起源于加拿大教学技能工作坊(Instructional Skills Workshop, ISW), 秉持以学生为中心的教学理念, 通过模块化拆解课堂教学流程, 构建突出学生主体参与、注重创新思维培养的结构化教学范式^[1]。该模式将教学过程划分为引入(B)、目标(O)、前测(P)、参与式学习(P)、后测(P)、总结(S)6个连贯环节, 能够为课堂教学提供完整、规范、可操作的实施框架, 可为课堂教学提供完整、规范且可落地的实施框架, 有效保障教学过程的系统性与实效性^[2]。自引入国内以来, BOPPPS 模式凭借其清晰的流程与显著的教学效果, 已在多类高校课程中得到广泛应用与验证, 得到了广泛的认可^[3,4]。在此背景下, 越来越多的高校把 ISW 教师技能培训与 BOPPPS 教学模式推广作为提升教师教学能力, 深化教育教学改革、推进课程思政建设的重要途径。

“高分子物理”作为高分子专业学生的核心基础课程, 具有承上启下的关键作用: 其不仅衔接高分子化学、无机化学、有机化学、物理化学与分析化学等前置基础理论, 更为“高分子材料”“橡胶加工工程”“塑料加工工程”等后续专业课程提供理论支撑, 同时在培养学生专业思维、夯实专业知识、提升实践能力等方面发挥着不可替代的作用^[5]。然而, “高分子物理”也是一门学

习难度较高的课程, 要求学生在有限时间内掌握高分子链的长链结构特征、复杂多层次结构, 理解高分子特殊的分子运动形式、相态变化, 以及高弹性、粘弹性、溶液与流变性等特性及其与材料结构的内在关联, 这对教师的教学实施与学生的学习效果均提出了较高要求^[6]。青岛科技大学的“高分子物理学”课程在 2007 年就已经被评为国家精品课程, 因此在教育革新时代的背景下, 我们将 BOPPPS 教学模式引入高分子物理的课堂, 并与慕课(MOOC)线上、线下融合教学模式相结合, 实现了“线上赋能线下, 线下深化线上”的双向增益, 既保留了 BOPPPS 的闭环性与学生参与性, 又能充分发挥慕课教学的灵活性与延展性。一方面, 我们希望可以破解传统教学中的痛点问题, 提高学生的课堂参与度, 优化“教与学”全流程; 另一方面, 能适配新时代背景下, 学生的多元学习需求, 扩大教学覆盖面, 提升教学灵活性, 完善教学评价与反馈机制, 构建高质量的教学闭环。

1 BOPPPS-MOOC+混合教学模式

立足高分子科学与工程专业人才培养核心要求, 结合学校应用型人才培养的总体目标, 聚焦学生实践能力、创新思维与专业素养的协同提升, 针对传统“高分子物理学”教学模式及教学内容中存在的课堂结构松散、学生主体地位不突出、线上线下教学脱节、理论与实践结合不紧密等现

实问题,我们以BOPPPS教学模式的6大经典核心要素为基础,结合MOOC的线下课堂优势,针对课程特点与学生认知规律,进行模块优化与内容整合,如图1所示,系统设计并构建了BOPPPS-MOOC+混合式教学模式。

我们使用BOPPPS-MOOC+混合教学模式将教学环节分为3部分“课前,课中,课后”,各环节紧密衔接、协同发力,确保教学闭环的完整性与实效性。课前主要是使用MOOC线上教学为载体,融合BOPPPS教学模式中的引入(B)、目标(O)、前测(P)3大核心要素。其中,课程导入(B)环节,主要是利用MOOC平台推送的相关教学视频、相关文献,以及话题讨论的形式来引发学生的学习兴趣和引导学生主动融入课程学习;之后树立学习目标(O),让学生们在上课之前预知学习重点难点,了解教学目标;前测(P)环节则是穿插在慕课的教学视频中同步开展,通过轻量化习题检测学生预习效果,为教师精准分析学情、优化课堂教学方案提供数据支撑。

课中环节则是以BOPPPS教学模式为核心框架,课堂穿插系统完成所有的引入(B)、目标(O)、前测(P)、参与式学习(P)、后测(P)、总结(S)6大环节,强化课堂教学的针对性与参与度。导入(B)环节可结合高分子专业工程实例,生活场景案例进行多维导入。目标(O)环节,则是在课堂开篇

就先给学生们一个基本脉络,明确界定教学目标,可以兼顾知识掌握、能力提升与素质培养3个维度。前测(P)环节,可以借助新型现代技术平台,例如在学习通上发布提问,组织学生们参与作答,快速摸清学情,与课前预习情况,为靶向施教提供方向。核心的参与式学习(P)环节,采取精讲、可视化知识点、课堂互动、学生讨论等多元形式,深化师生互动,生生互动,加深同学们对所学知识的印象与深度内化知识点,有效提高学生的课堂参与度。后测(P)环节,通过在课堂上添加问答环节,思考题扩展等形式,形成教学闭环反馈,及时检验同学们的课堂学习效果。总结(S)环节,最后会进行课堂知识脉络进行系统梳理,升华学生认知,帮助学生构建完整的知识体系。

第三部分是课后环节则聚焦知识的巩固与能力的提升,采用“MOOC+后测(P)+总结(S)”的模式推进。后测(P)环节通过布置正对性的课后作业,并辅助结合MOOC平台配套习题,帮助同学们巩固课堂所学、查漏补缺。总结(S)环节,引导学生课后自主梳理回顾知识点,完成学习总结,即强化知识记忆,也助力学生评估自身学习效果。此外,教师可依托MOOC系统,对课前学习效果、课中师生互动情况、课后作业反馈等数据进行全面分析,形成常态化教学反馈总结机制,持续优化教学方案,不断提升教学质量。



图1 BOPPPS-MOOC+混合教学模式的构建形式

Figure 1 Construction form of BOPPPS-MOOC+blended teaching mode

2 基于BOPPPS-MOOC+混合教学模式

模式的课堂实践

以《高分子物理学》(吴其晔、张萍、杨文君、林润雄编,高等教育出版社出版)国家精品课程主讲教材中上篇第三章“高分子材料的凝聚态结构”中的第二节“高分子材料的结晶态结构”为教学案例,阐述BOPPPS-MOOC+混合教学模式下的实践应用。该教学节段整体用时4~6学时左右,其中高分子的结构特点与晶体中的高分子链构象用时1学时左右,高分子材料的结晶形态与结晶高分子的结构模型用时1~1.5学时左右,高分子结晶度的计算和测量与高分子材料的结晶过程用时1学时左右,影响高分子材料结晶的因素与结晶聚合物的熔融,用时1~2学时左右。选取该教学内容的核心原因在于高分子材料的强度、韧性、透明度、耐热性、尺寸稳定性等关键性能,并非由单个分子链直接决定,而是由大量分子链聚集形成的凝聚态结构所调控^[6]。高分子凝聚态结构是衔接分子链结构与材料宏观性能的关键纽带,亦是高分子物理课程的核心知识模块。其中,结晶态结构作为高分子材料最具代表性的凝聚态结构之一,自然成为本章的重点教学内容。因此,引导学生系统、深入地理解与掌握结晶态结构,对构建完整的高分子物理知识体系、实现课程内容的融会贯通具有至关重要的意义。该案例的课堂实践主要由三部分展开,包括课前的线上预习,课中的线下授课,与课后的线上延伸,全程贯穿BOPPPS教学模式的全流程,实现线上线下教学的深度融合与闭环推进。

2.1 课前线上预习

本教学案例的课堂实践以课前线上预习为首要环节,该环节主要依托MOOC平台与线上学习通的知识推送功能辅助完成,结合MOOC线上教学模式与BOPPPS教学模式中的B(导入)、O(目标)、P(前测)3个核心模块,设置15~20 min的课前自主学习内容,为课中线下授课奠定基础。

2.1.1 课前导入(B)

课程导入环节以激发学生学习兴趣、激活认知储备为核心目标,主要是依托于MOOC平台与学习通平台,通过相关教学视频推送,课程资源推送,相关文献分享,以及话题讨论的形式展开。平台推送资源可以涵盖生活案例与工程案例,具

体包括引导同学们观看对应慕课内容,上传“化学摄影——领略结晶过程的微观之美”,“化学实验——聚丙烯和聚乙烯的结晶过程”等等短视频,引发学生直观感受高分子结晶现象,初步建立认知。通过推送相关代表性文献^[7~11],引导学生追踪领域研究进展,系统培养其文献阅读与学术思辨能力,促进知识迁移与科研思维养成,全面激发学生的科研兴趣与创新意识。并在线上进行话题讨论“不透明的塑料饭盒与透明的塑料瓶哪个为结晶态,哪个为非结晶态”,引导学生结合日常生活经验思考,主动挖掘生活中的高分子结晶材料案例,提前激活对高分子材料结晶态的认知,为后续线下课程的深入学习做好充分铺垫。

2.1.2 课前目标(O)

课前通过线上平台推送本次课程的学习目标与重难点内容,使学生们提前明确教学核心要求,实现针对性预习,方便同学们找到学习的重点,突破学习难点。例如:根据教学大纲提前发布本章重点内容,包括“高分子结晶的特点;结晶能力与链结构及结晶条件的关系;结晶动力学与结晶热力学”,引导同学们结合教材展开前置预习,初步建立知识认知框架,为课中深入学习筑牢学前基础。同时,明确的教学目标也为教师课前筹备工作提供明确的指导,助力教师科学分配课堂时间、聚焦重难点开展教学设计,保障教学活动有序高效推进。

2.1.3 课前一测(P)

课前一测环节依托学习通或MOOC系统开展,通过推送问答与讨论类题目实施前置评估,具体包括单选题(如“聚乙烯能够结晶的原因是:(A)规整度高,(B)链对称性好,(C)链柔顺性高”)及讨论题(如“高分子结晶与小分子结晶的最大区别是什么?”)等。通过前测结果,教师可初步掌握学生的课前知识储备水平与预习完成情况,进而针对性调整课堂内容分配,聚焦学生难以理解的知识点进行重点讲解,提升课堂教学的针对性与高效性。

2.2 课中BOPPPS全流程教学

课中环节严格遵循BOPPPS教学模式全流程,衔接课前预习与前测结果,实现“导入—目标—前测—参与式学习—后测—总结”的闭环推进,聚焦高分子结晶态结构核心知识点,打造高效线下课堂。

2.2.1 课中导入(B)

课中导入环节以激发学生课堂学习兴趣、衔接课前预习内容为核心,结合学生兴趣点。结合课前导入话题与前测反馈进行二次导入,针对学生预习中存在的认知盲区,补充高分子结晶相关的微观结构示意图、实验演示片段,强化学生直观认知;也可继续采用日常生活现象视频与工程案例解析视频相结合的方式开展,课堂上随堂播放“化学摄影——领略结晶过程的微观之美”“化学实验——聚丙烯和聚乙烯的结晶过程”片段,既呼应课前推送的相关资源,又引导学生直观感受高分子结晶的微观形态与实验过程,在领略结晶微观之美的同时,充分激发学习兴趣与探究欲望,为后续课中BOPPPS全流程教学的有序推进奠定良好基础。

2.2.2 课中目标(O)

课中目标环节,根据“高分子物理学”教学大纲明确教学内容与教学目标,具体内容涵盖高分子结晶形态、高分子结晶的微观结构、结晶高分子的结构模型、结晶高聚物的相转变、高分子的结晶能力、高分子的结晶动力学等等。同时,明确课堂学习重点为高分子结晶的特点、结晶能力与链结构及结晶条件的关系、结晶动力学与结晶热力学。学习难点聚焦于高聚物的结晶模型与无定形结构模型。通过明确课中教学目标,使学生清晰掌握本节课学习脉络与核心要求,做到心中有数,为后续具体知识点的学习与拓展奠定框架基础;同时也为教师科学分配课堂时间、聚焦重难点开展教学活动提供明确指引,保障课堂教学有序高效推进。

2.2.3 课中前测(P1)

课中前测主要用于学情诊断,结合课课前测基础,进一步完善教师对学生学习程度的认知。由于课前已开展前置前测,教师已初步掌握学生的整体预习情况,因此课中前测的核心目标兼具两点:一是帮助教师进一步精准把握学生的知识掌握程度,二是调动学生课堂学习积极性,提升课堂参与度。基于此,课中前测建议设计为简单易答的题型,以判断题和单选题为主,可采用课堂举手回答的方式,也可借助学习通等线上平台开展,便于对学生答题情况进行统计分析,快速掌握整体学情。例如,设计选择题“高分子结晶可不可以达到100%”,引导学生举手示意自己的

判断。通过课中前测可发现,多数学生已明确“结晶与分子规则排列相关”,但对“高分子晶区与非晶区共存”的核心概念仍存在认知盲区,据此可自然引出本节课重难点内容,并针对性着重讲解高分子与小分子结晶的本质区别,为后续参与式学习奠定基础。

2.2.4 课中参与式学习(P2)

参与式学习是课中BOPPPS全流程教学的核心与关键环节,核心目标是打破传统“教师讲授、学生被动接受”的教学模式,通过理论讲解与实际案例深度结合,充分调动学生课堂参与积极性,助力学生深化对高分子结晶相关知识点的理解与应用。本环节采用“教师精讲+模型演示+案例讨论+小组互动”的多元融合模式,以真实生活案例、工程应用案例及科研实际数据为支撑,将抽象的高分子结晶理论知识具象化、生活化,降低学生理解难度。结合本节课教学重难点,列举具体实施案例如下,清晰呈现参与式学习的开展思路与实践路径,确保教学内容落地见效。

本小节学习可从自然界中的结晶现象出发,帮助同学们建立对结晶的基础认知。教学中可展示自然界中的小分子结晶的实际案例(图2),同时向学生分发冰糖,引导学生近距离观察自然界中结晶的形态特征,结合自身观察体验,分组讨论结晶与无定形态的相同点与不同点,充分调动学生主动思考的积极性。在此基础上,自然引出晶胞的相关描述及7大晶系核心知识点。为降低晶胞概念及晶胞参数的理解难度,寻找教学生活中的平行六面体,例如以教室中的粉笔盒、盖房子用的砖头为生活化类比案例描述正交晶系中的晶胞,还可以利用Zometool(一款高精度几何构建积木玩具,也是国际流行的STEAM教育工具(科学(Science)、技术(Technology)、工程(Engineering)、艺术(Art)、数学(Mathematics))或者磁力棒直接拼出平行六面体来描述晶胞,直观讲解6个晶胞参数的具体含义,生动演示晶胞通过堆叠形成整个晶体的过程,帮助学生快速理解晶胞的核心特征及晶体的构成逻辑,为后续高分子结晶微观结构的学习奠定基础。

在学习晶体中分子链构象这一核心知识点时,结合构象具有空间几何特性、抽象难懂的特点,可采用分子链模型现场演示的方式开展参与式教学,助力学生建立直观认知。教学中,教师



图2 (a)自然界中的(钻石、雪花、冰糖和水晶)结晶图片;(b)晶胞参数描述图

Figure 2 (a) Images of natural crystals (diamond, snowflake, rock sugar and quartz crystal); (b) Schematic diagrams of unit cell parameters

可展示一系列典型高分子分子链模型图片,例如聚乙烯分子链模型与晶胞结构(图3),聚丙烯、聚四氟乙烯等一系列高分子的分子链模型,并结合实体分子链模型进行现场手动操作,动态调整其空间排布,直观演示不同构象(如平面锯齿构象、螺旋链构象)的形成过程,清晰呈现分子链在晶体中的空间折叠、排列方式。同时,引导学生分组观察模型,结合教师的演示,尝试手动调整分子链模型,亲身体验构象的变化规律,思考不同构象形成的条件及对晶体结构的影响。此外,教师结合演示过程,补充讲解分子链构象与晶体密度、结晶度之间的关联,结合聚乙烯结晶态与无定形态的构象差异,让学生不仅直观理解构象的空间特征,更能掌握构象与高分子结晶性能的内在联系。通过模型现场演示与学生动手操作相结合的方式,将抽象的空间构象知识具象化,有效降低学生理解难度,充分调动学生参与积极性,深化对晶体中分子链构象知识点的掌握,为后续学习

结晶高分子的结构模型奠定坚实基础。

此外,可直接依托科研实验中获取的高清视频与显微图像,以科研成果反哺课堂教学,引导学生从真实微观视角直观认识高分子结晶的形态分类、晶体生长规律及晶型相转变等核心内容,深化对高分子物理基本原理的理解。如图4(a)所示,为实验中获取的全同聚丁烯-1不同结晶形态的AFM相图与对应TEM电子衍射图表征结果:不同的等温结晶条件下,熔体结晶形成的单晶与球晶形貌的晶体;熔体拉伸条件下得到的高度取向伸直链晶型I晶体,以及喷碳熔融重结晶后获得的高度取向折叠链的晶型II晶体^[9,10]。课堂中可组织学生对不同形貌与晶型进行对比辨识、分组讨论与成因分析,让学生在主动观察与思辨中完成知识建构。教学中可设置动态追踪任务(利用晶体生长视频,晶型相转变过程实例等),如图4(b),利用AFM在105 °C的记录条件下,原位观测原本形貌无明显差异的全同聚丁烯-1晶型II

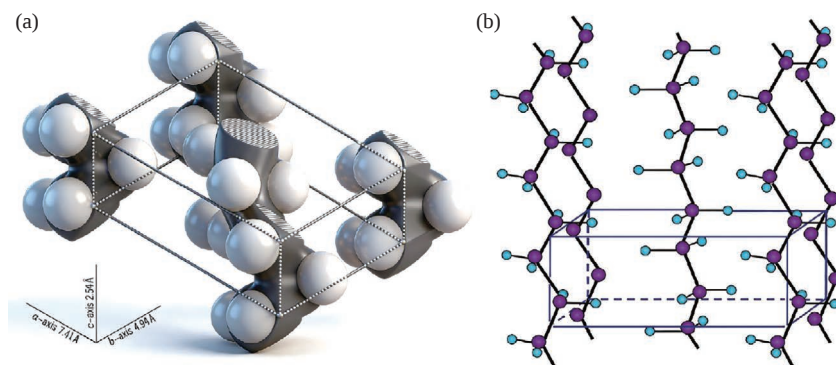


图3 聚乙烯的晶胞结构(a)与分子链模型(b)(美观化处理, AI渲染绘制)

Figure 3 Unit cell structure (a) and molecular chain model (b) of polyethylene (aesthetically processed, AI rendering)

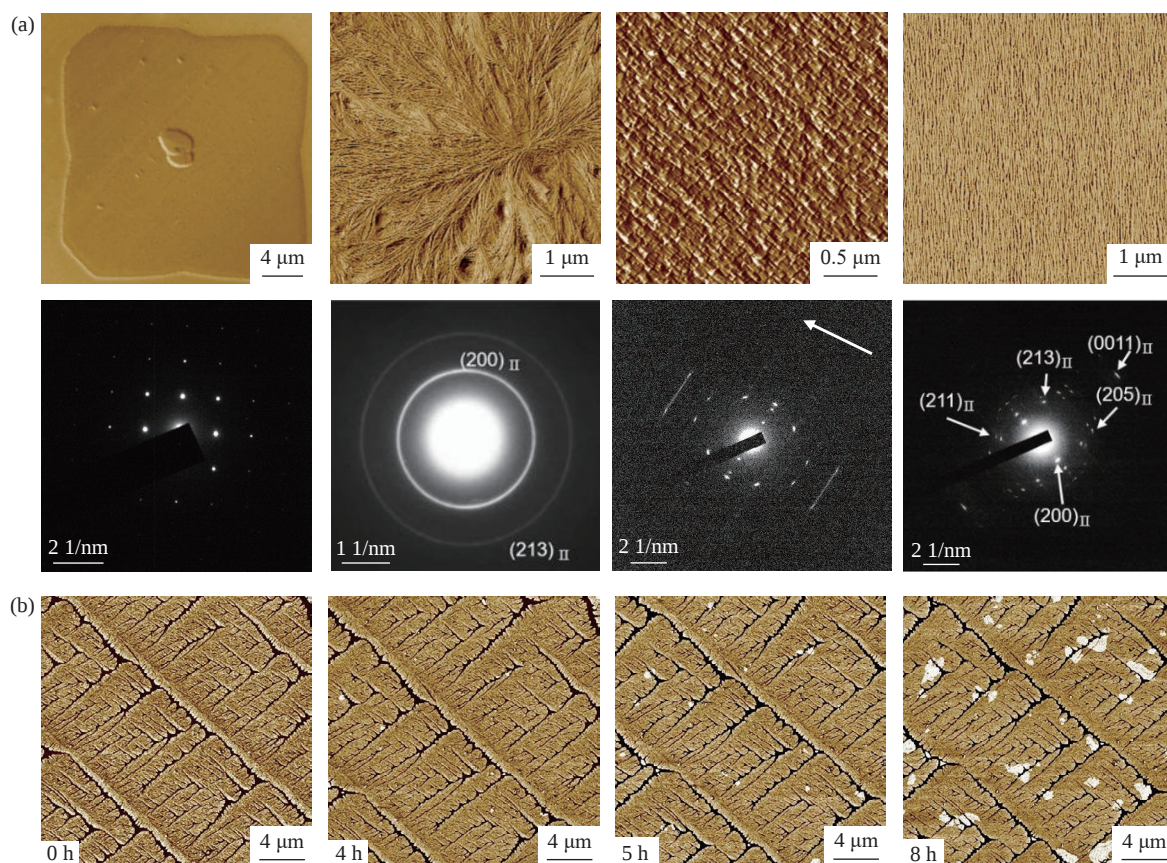


图4 (a)全同聚丁烯-1的单晶、球晶以及高度取向的伸直链晶型I与折叠链晶型II的AFM相图与对应TEM电子衍射图^[9,10] (2024 Elsevier 版权许可; 2022 American Chemical Society 版权许可); (b)全同聚丁烯-1晶型II向晶型I发生室温相转变过程中的原位AFM相图, 记录于105 °C条件下^[11] (2020 American Chemical Society 版权许可)

Figure 4 (a) AFM phase diagrams and corresponding TEM electron diffraction patterns of the single crystal, spherical crystal, and highly oriented straight-chain form I and folded-chain form II of isotactic polybutylene-1 (Reprinted with permission from Ref. [9, 10]; Copyright (2024) Elsevier and copyright (2022) American Chemical Society); (b) The *in situ* AFM phase diagram of the transformation process from form II to I of isotactic polybutylene-1 at room temperature, recorded at 105 °C (Reprinted with permission from Ref. [11]; Copyright (2020) American Chemical Society)

向晶型I相转变的室温相变全过程^[11]。全同聚丁烯-1晶型II与晶型I在形貌上并没有差别, 因此用传统的方式无法记录到晶型II向晶型I的相转变过程。我们的研究发现, 在105 °C的条件下, 使用AFM的轻敲模式可以从相图中观察到晶型II与晶型I的区别, 且此温度下等温7 h也不会导致晶型II向晶型I的转变, 从而实现晶型II向晶型I相转变的实空间的原位观察。引导学生实时记录形貌演变、标记相变节点, 实现从“被动观看”到“主动探究”的参与式学习转变。这些源自真实文献与实验的结果, 能为同学们提供直观的案例, 帮助其清晰认知高分子结晶的晶体形态与晶型相转变规律, 同时让同学们今早接触专业课科研知识, 扩宽科研视野, 实现理论知识与实际微观现象的深度结合。从教学视角而言, 这一模式将科

研资源转化为参与式教学素材, 实现了科研反哺教学, 助力师生共同提升。

2.2.5 课中后测(P3)

课中后测环节旨在学生完成知识点学习后, 当堂检验课堂学习效果, 具体可分为2种形式: 一是穿插于参与式教学过程中, 二是在全部知识点讲解完毕后集中开展。其中, 穿插式后测以基础单选题、判断题为主, 核心目的是调动学生课堂参与度, 及时回顾刚学习的知识点, 同步检验即时学习效果; 集中式后测则以填空题、讨论题、简答题为主, 可根据课堂时间灵活调整实施方式。若课堂时间充裕, 可组织学生现场作答, 便于教师实时掌握本堂课教学效果; 若课堂时间紧张, 可将其布置为课后思考题, 引导学生课后进一步巩固梳理知识点。后测题目设计需严格紧扣本节课

学习内容,遵循“学什么、测什么”的原则,确保测试的针对性与有效性。例如:可设计多选题“iPP熔体结晶形成的晶体形态和基本结构是:(A)球晶,(B)单晶,(C)折叠链片晶,(D)伸直链晶体”;填空题“无定型状态的PE分子链,处于____构象;结晶状态的PE分子链处于全反式的____构象”;简答题“温度如何影响高分子的结晶速度?”等,通过多样化题型全面检验学生的随堂学习效果,为后续课堂总结和教学优化提供依据。

2.2.6 课中总结(S)

课中总结环节作为BOPPPS教学模式的收尾环节,核心目标是帮助学生梳理本节课知识脉络、巩固核心知识点、强化重难点记忆,实现知识的系统化整合。总结过程中,教师将结合课中教学内容、前测反馈及后测结果,对本节课核心知识点进行系统性回顾,再次明确高分子结晶形态、结晶微观结构、结晶动力学等核心内容,重点重申学习重点,针对学习难点进行再次梳理和简化解读,帮助学生厘清知识逻辑、打破认知盲区,构建完整的知识框架,确保学生能够准确把握本节课知识的内在关联,实现从“零散记忆”到“系统掌握”的转变。同时,为衔接课后延伸环节、强化学习效果,总结结束后将布置针对性课后作业,作业设计紧扣本节课学习内容,以知识点回顾、案例分析、思考题为主,引导学生课后进一步回顾课堂所学、深化知识点理解,查漏补缺,巩固课堂学习成果,形成“课中学习—课后巩固”的闭环,为后续课程的深入推进奠定坚实基础。

2.3 课后线上延伸

课后线上延伸作为BOPPPS教学模式的重要补充,承接课中总结与课后作业,核心目标是实现“课前预习—课中学习—课后巩固”的完整教学闭环,进一步深化学生对高分子结晶相关知识的理解与应用,同时延伸学习维度、培养学生自主探究能力与知识迁移能力。本环节依托MOOC平台、学习通等线上载体,结合本节课教学重难点与学生学习反馈,设计多样化、针对性的延伸内容。

2.3.1 课后后测(P)

课后后测作为课中后测的延伸与补充,核心目标是进一步巩固课堂学习成果、全面检验学生知识掌握程度,助力学生查漏补缺、深化知识点记忆与应用,同时为教师后续教学优化提供精准依据。本环节采用“线上平台承载+传统作业结

合”的双重模式,依托MOOC平台、学习通线上工具与传统作业本,构建多维度、全覆盖的课后检测体系,具体实施内容如下:一是传统课后习题布置,教师结合本节课核心知识点与学习重难点,设计针对性课后习题,要求学生规范书写于作业本上,通过手写答题的方式强化知识点记忆,加深对高分子结晶相关概念、原理及应用的理解;同时引导学生结合习题完成情况,整理个性化错题集,对易错知识点、薄弱环节进行分类记录,明确错误原因、梳理解题思路,实现精准查漏补缺,为后续复习巩固提供明确方向。二是线上平台检测推送,依托MOOC平台承载章节测试题,全面覆盖本节课核心知识点,侧重考查学生知识应用能力与综合分析能力;同时通过学习通平台推送问答类内容,包括知识点回顾、重难点延伸、易错点解析等相关问题,引导学生主动思考、及时反馈学习困惑。线上检测的优势在于便捷高效,既方便学生利用碎片化时间完成检测、反馈学习情况,也便于教师实时统计检测结果,精准掌握学生课后知识巩固效果,针对共性问题进行集中答疑,针对个性问题进行针对性指导,实现“检测—反馈—答疑—巩固”的闭环推进,切实提升课后后测的针对性与有效性,为后续课程的深入开展筑牢基础。

2.3.2 课后总结(S)

课后总结环节作为BOPPPS教学模式的收尾延伸,核心目标是帮助学生系统梳理课堂所学、查漏补缺,巩固知识记忆,实现知识的深化与内化。本环节主要依托MOOC平台承载相关教学片段视频,为学生提供自主总结回顾、自主补学的线上载体。平台推送的教学片段精准对应本节课核心知识点,涵盖高分子结晶的微观结构、高分子晶体形态、高分子结晶的结构模型与结晶度、结晶过程及结晶的影响因素等关键内容,方便学生课后自主回顾课堂所学,梳理知识脉络,构建系统的知识框架。同时,针对课上未能听清、未能完全理解的知识点,学生可通过反复观看MOOC平台对应的教学片段,自主开展补学补练,精准定位知识盲区、弥补学习短板,实现查漏补缺,进一步深化对高分子结晶相关知识的理解与记忆,巩固课后后测与探究任务的学习成果,为后续课程的持续推进筑牢基础。

3 BOPPPS-MOOC+混合教学模式的教学效果评价

本课程BOPPPS-MOOC+混合教学模式的教学效果评价,以2023级复合材料专业2个班共54名学生为调研对象,坚持科学性、客观性、针对性原则,主要从教学目标达成情况、学生学习反馈两个维度开展综合评价,全面检验该教学模式的应用成效,为后续教学优化提供数据支撑与实践依据。其中,教学目标达成评价主要以课程过程考核成绩为核心依据,“高分子物理”课程过程考核成绩由智慧树MOOC平台学习成绩与学习通发布的线上期中考试成绩两部分构成,具体考核数据如下:组织开展1次线上期中考试,参与学生54人,考试平均成绩为86分,全体学生均达到合格标准,无不及格现象,表明学生对课程核心知识点的掌握程度良好;同步开展8次线上章节测试,覆盖本节课高分子结晶相关全部知识点,8次测试平均成绩达90.9分,其中90分以上学生占比高达68.5%。为综合评估混合教学模式的实施成效,本研究与上一届同专业学生在课程改革前后的各项目目标得分率开展了对比分析(见图5)。其中,课程目标1要求能够准确理解并掌握高分子物理的基本概念,充分认识高分子材料结构的复杂性和多层次性、高分子分子运动的特点和力学状态的性能特征,能够从分子运动的角度定性阐述高分子材料结构与性能之间的关系;课程目标2要求能够系统运用高分子物理中的模型及相关原理,从数学角度定量分析聚合物材料各层次结构与性能之间的关系、预测外场中材料结构、性能的变化规律。

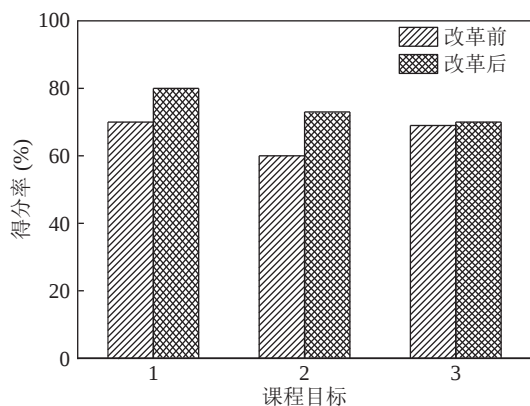


图5 同专业学生课程改革前后各课程目标得分率对比

Figure 5 Comparison of course objective achievement rates before and after curriculum reform for students of the same major

为解决聚合物基复合材料结构相关复杂工程问题提供知识储备和理论支撑;课程目标3要求能够运用高分子物理的理论模型及相关原理分析聚合物基复合材料的设计、成型中所遇到的问题,从高分子物理的角度,为上述问题提供理论指导与解决方案。统计结果表明,实施改革后,课程目标1的得分率由70%提升至80%;课程目标2由60%提升至73%;课程目标3由69%小幅上升至70%。综上所述,此结果充分体现出该混合教学模式能够有效助力学生巩固知识、提升学习效果,切实达成预设的教学目标,证明BOPPPS-MOOC+模式在分子物理课程教学中的可行性与有效性。

同时通过学习通问卷调研、课堂观察记录及学生访谈等方式开展学习效果综合评价。结果表明:100%的学生认为BOPPPS教学法有效提升了学习兴趣与课堂参与度;97%的学生对MOOC资源满意度较高,认为其在课前预习、课后复习及课堂重点知识巩固等方面发挥了重要辅助作用。在实施BOPPPS教学过程中,特别是借助生动有趣的案例导入环节,学生课堂专注度与互动积极性显著提升。参与访谈的学生均对BOPPPS-MOOC+混合教学模式表示高度认可与满意。

4 总结与展望

BOPPPS-MOOC+混合教学模式,深度融合BOPPPS闭环教学的逻辑性与MOOC平台、学习通等线上工具的便捷性,依托现代技术,结合线上线下联动教学的优势,为“高分子物理”这类抽象理论课程提供了清晰可复制的教学实践方案。该模式全面覆盖课前、课后、课中全教学流程,构建系统完善的教学体系。课前依托线上平台完成导入、学习目标推送与前测,激活学生认知、明确学习方向;课中遵循BOPPPS教学全流程,通过二次导入、目标重申、学情诊断、参与式学习、当堂后测与课堂总结,聚焦教学重难点,提升课堂教学效率与学生参与度;课后通过线上线下结合的后测、MOOC教学视频回顾、自主探究与线上互动,构建“课前预习—课中学习—课后巩固”的完整教学闭环,助力学生深化知识理解、提升综合素养。教学效果评价结果显示,该教学模式有效提升了学生的学习成绩与参与度,充分验证了BOPPPS-MOOC+混合教学模式在分子物理课程中的可行性与有效性。

该教学模式不仅解决了传统教学中学生参与度低、知识点抽象难懂等问题,还为高分子类课程的教学改革提供了可借鉴的实践案例与思路,后续可结合学生学习反馈与学科发展需求,进一步优化教学环节设计,完善评价体系,提升教学模式的针对性与实效性,助力学生构建系统的高分子物理知识体系,为新工科背景下应用型、创新型高分子材料专业人才的培养提供有力支撑。

参考文献

- 1 张文会,潘博文,李亚楠,龙毅,刘雄伟,杨武德,林冰,管静.“BOPPPS+仿真+”模式下有机化学实验课程教学改革:以正溴丁烷的制备为例.应用化学,2026,43(1),135–146.
- 2 姚婉清,余能芳.BOPPPS教学模式的教学设计要素分析及案例设计.化学教育,2022,43(18),51–57.
- 3 赵海燕,孙华.BOPPPS有效教学模型在无机元素化学教学中的应用:“铬及其化合物”教学设计.化学教育(中英文),2023,44(12),27–31.
- 4 赵燕.“互联网+BOPPPS”背景下高校体育教学模式研究.教育理论与实践,2024,44(36),53–56.
- 5 冉蓉,刘正英,崔为,黄华东,秦家强,曾科,邓华,肖明.“高分子物理”一流课程建设探索与实践.高分子通报,2026,39(2),300–305.
- 6 吴其晔,张萍,杨文君,林润雄.高分子物理学.北京:高等教育出版社,2011.6.
- 7 Li, Y. P.; Yuan, W. Y.; Xu, B. H.; Li, W. Y.; Xin, R.; Yan, S. K. A simple method for evaluating periodic structures based on atomic force microscopy images. *Chinese J. Polym. Sci.*, 2026, DOI: 10.1007/s10118-026-3625-6.
- 8 Ma, M. L.; Li, Y. P.; Xu, B. H.; Zhang, H.; Hu, J.; Zhao, W. P.; Wang, S. J.; Xin, R.; Yan, S. K. The origin of solvent-accelerated II-I phase transition of isotactic poly(1-butene). *Macromolecules*, 2025, 58(13), 6753–6761.
- 9 Shen, H. R.; Li, Y. P.; Ma, M. L.; Xu, B. H.; Xin, R.; Yan, S. K. Origin for the fast II-I phase transition of vacuum carbon-coated isotactic poly(1-butene) melt-drawn films after melt recrystallization. *Polymer*, 2024, 307, 127308.
- 10 Xin, R.; Li, Y. P.; Shen, H. R.; Hu, J.; Wang, S. J.; Zhang, H.; Yan, S. K. The II to I phase transition of isotactic poly(1-butene) single crystals at an early stage. *Macromolecules*, 2022, 55(18), 8203–8209.
- 11 Xin, R.; Wang, S. J.; Guo, Z. X.; Li, Y. P.; Hu, J.; Sun, X. L.; Xue, M. L.; Zhang, J.; Yan, S. K. Real-space *in situ* study of the II-I phase transition of isotactic poly(1-butene). *Macromolecules*, 2020, 53(8), 3090–3096.