·教育与教学·

工程教育和产教融合视域下高分子综合实验教学改革

陈 龙[1*] 孙茂钦[2] 郗长虹[2] 韩玉玺[1] 段好东[1] 王忠卫[1]

([1]山东省特种环氧树脂重点实验室 山东科技大学材料科学与工程学院 青岛 266590)
([2]山东博拓新材料科技股份有限公司 淄博 256100)

摘要：基于工程教育认证标准与产业转型升级需求，山东科技大学高分子材料与工程专业融入产教协同理念，以“高分子综合实验”课程为载体，开展面向工程需求的研究性实验教学改革。以实际产业问题为切入点，构建“理论指导—虚拟训练—远程协同—工程实践”四维实验教学新模式，通过“专业师生与企业工程师全员参与，数据双向共享，结果企业验证”的方式，系统构建了涵盖基本原理、问题分析、实验方案制定、仿真训练、样品制备与性能测试、产品验证的全链条研究性实验模块。此教学改革推动学生实现高分子加工、高分子物理等相关理论知识的认知跃升、其工程实践能力和协同创新能力得到系统强化。

关键词：工程教育认证；产教融合；教学改革；高分子综合实验

Teaching Reform of Polymer Comprehensive Experiment from the Perspective of Engineering Education and Integration of Industry and Education

CHEN Long[1*], SUN Mao-qin[2], XI Chang-hong[2], HAN Yu-xi[1], DUAN Hao-dong[1], WANG Zhong-wei[1]

([1]*Shandong Key Laboratory of Special Epoxy Resin, School of Materials Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590*)
([2]*Bodo Plastics Co., Ltd, Zibo 256100*)

Abstract: Combined with the concept of industry-education integration and in alignment with the standards of engineering education accreditation and the demands of industrial transformation, the polymer materials and engineering major of Shandong University of Science and Technology conducts research-oriented experimental teaching reform practice for the “Comprehensive Experiment of Polymer Materials” based on engineering requirements. Taking actual industrial problems as the entry point, a four-dimensional experimental teaching model of “theoretical guidance−virtual simulation−remote collaboration−engineering practice” is constructed. Through the method of “participation of professional teachers, students and enterprise engineers, data sharing between schools and enterprises, result verification by enterprises” a research-oriented experimental module is systematically formed, covering basic principles, problem analysis, experimental plan formulation, simulation training, sample preparation and performance testing, and product verification. This teaching reform prompted students to achieve a cognitive leap in relevant theoretical knowledge, such as polymer processing and polymer physics, and systematically strengthened their engineering practice and collaborative innovation abilities.

2025-12-19 收稿，2026-01-19 录用，2026-03-18 网络出版
基金项目：山东科技大学青年教师教学拔尖人才培养项目(项目号 BJ20241002)
* 通信联系人：陈龙，E-mail: chenlong@sdust.edu.cn
doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.25.369

Keywords: Engineering education accreditation; Integration of industry and education; Teaching reform; Polymer comprehensive experiment

引用：陈龙，孙茂钦，郗长虹，韩玉玺，段好东，王忠卫. 工程教育和产教融合视域下高分子综合实验教学改革. 高分子通报，**2026**, 39(5), 839–848.

Citation: Chen, L.; Sun, M. Q.; Xi, C. H.; Han, Y. X.; Duan, H. D.; Wang, Z. W. Teaching reform of polymer comprehensive experiment from the perspective of engineering education and integration of industry and education. *Polym. Bull.* (in Chinese), **2026**, 39(5), 839–848.

“高分子综合实验”是高分子材料与工程专业课程体系的核心实践环节，它不仅是“高分子化学”“高分子物理”“高分子加工”等核心理论课程的延伸与应用，更是实现理论课程与实践深度融合的关键纽带，为学生从事高分子材料加工和应用等方面工作奠定重要的实践基础[1~4]。近年来，核心理念为以学生为中心、以产出为导向、以质量持续改进为保障机制的工程教育认证，已成为国内外高校工科专业建设的重要指引[5,6]。山东科技大学高分子材料与工程专业积极开展教育认证工作，并于2021年顺利通过。从工程教育认证视角，我校传统的“高分子综合实验”在培养学生“解决复杂高分子工程问题能力”存在显著不足：实验项目缺乏对“高分子复合材料设计—制备—表征”全链条的系统设计，难以契合认证标准中“工程系统思维”的核心要求[7~9]。从产教融合的视角来看，当前高分子产业正经历从低端廉价制品向高性能、绿色化产品的转型升级，产业技术需求持续迭代，而传统的高分子综合实验教学已难以跟上产业技术发展的步伐[10,11]。因此，根据“高分子综合实验”课程的特点，实施有效的教学改革措施，激发学生的学习热情，培养学生的工程素养，提高高分子专业工程人才在国内外的竞争力，对于人才培养和高分子学科发展都具有极其重要的意义。

1 “高分子综合实验”的教学现状

“高分子综合实验”共56学时，2.5学分，是我校高分子材料与工程专业实践环节的综合实践课，是重要的专业必修课程。高分子综合实验教学的质量直接关系到学生培养质量，以及能否达到工程教育认证指标和毕业要求。基于此，课程组将高分子综合实验的课程目标确定如下：

课程目标1。熟悉实验原料的性质、掌握高分子加工和性能表征设备的基本原理与使用方法，熟练操作实验涉及的相关设备，并熟知相关安全知识。

课程目标2。掌握高分子材料加工改性的基础知识，以及配方和工艺设计方法，明晰影响设计目标和技术方案的关键因素，能够根据实验目的和要求制定合理的实验方案。

课程目标3。掌握高分子数据的规范处理方法，准确处理实验数据，能够结合高分子相关专业知识构建高分子物理和化学结构与实验数据之间的联系，得出正确实验结论。

课程目标4。能够运用高分子加工与改性技术、树脂配方原理、橡胶工艺、聚合物表征测试等课程知识，设计高分子材料加工改性配方和工艺流程，综合分析实验结果，提出工艺流程改进和配方优化的具体方案。

课程目标5。能够合理运用国家/行业标准等进行相关性能的测试与表征，实现实验数据正确采集，养成严谨的科学态度和求实的实验精神；能够在小组实验中积极协作、合理分工，培养良好的团队协作能力；能够对实验过程中产生的废弃物进行合理处置，树立环保意识；认识高分子加工和改性与生产生活的密切联系，培养专业兴趣，激发学习内生动力。

以上目标能有效支撑工程教育认证对高分子材料科学与工程专业本科生的毕业要求。课程组依据培养目标和毕业要求，对教学设计、教学方法、评价和考核方式进行了系统性改革。具体内容见表1。

我校选用戴礼兴主编，化工工业出版社出版的《高分子材料与工程专业实验教程》作为参考教材，主要借鉴其中高分子材料加工、性能测试以及综合实验方面的实验项目，参考其从基础到应用的实验链条和开设大型综合实验方法，旨在提高学生解决复杂工程问题的能力，通过拓展知识和设置启发性思考题培养学生的创新思维。然而，

表1　课程目标与毕业要求的对应关系

Table 1　The correspondence between graduation requirements and curriculum objectives

毕业要求	毕业要求分解指标点	课程目标
问题分析	能运用数学、自然科学和工程科学的第一性原理，借助文献研究，从可持续发展的角度分析高分子材料加工与改性过程的影响因素，获得有效结论。	课程目标3
设计/开发解决方案	掌握高分子材料加工与改性行业的工程设计和产品的全周期、全流程的设计开发方法和技术，了解影响设计目标和技术方案的各种因素；能够进行系统或工艺流程设计，并能对流程进一步优化，体现创新意识。	课程目标1、目标4和目标5
研究	能够根据高分子材料加工与改性复杂工程问题的特征，选择合适的研究路线，设计合理的实验方案。	课程目标2和目标5

在我校传统的高分子综合实验教学过程中，仍存在以下问题[5,8,10~14]：

(1)教学模式单一。传统的“照方抓药”式实验教学方法，使学生只能被动按实验步骤操作，缺乏分析问题和自主设计实验的机会，难以培育学生的创新思维与自主探究能力。实验项目以验证性实验为主，缺少探究性、开放性课题，制约了学生创新思维的拓展。

(2)产教衔接不足。传统高分子综合实验项目多集中于传统加工类和性能测试类项目，与实际工业应用场景脱节，实验设计与产业需求(如塑料产品制备、橡胶制品生产等)契合度较低，学生工程化思维培育不足。

(3)教学手段匮乏。高分子加工设备(如双螺杆挤出机、注塑机等)体积较大，难以配置多台套设备以满足规模化实验教学需求，且设备运行存在一定危险性。因此，单一的现场教学手段难以达成让学生熟练掌握设备操作技能的教学目标。

鉴于我校高分子综合实验教学的现状，结合工程教育认证标准与产业转型升级的实际需求，课程组构建“理论指导—虚拟训练—远程协同—工程实践”的四维实验教学新模式(以下简称：四维教学新模式)，并以“聚氯乙烯(PVC)复合材料加工和应用实验模块”为例详细阐述。

2　“四维教学新模式”的设计思路

根据山东科技大学高分子专业的人才培养需求和专业特色，“高分子综合实验”修订后的教学大纲以塑料加工和应用为重点，兼顾橡胶复合材料制备与应用。新大纲设置了4个实验模块，分别为PVC复合材料加工和应用实验模块、聚丙烯注塑制品的阻燃加工改性与应用模块、半钢轮胎胎面胶的制备与性能优化模块和传统验证性实验模块。

以PVC复合材料加工和应用实验模块为例，该模块与山东博拓科技股份有限公司协同开展，采用现实与虚拟交互、线下与线上远程协同、实验室与生产线现场融合递进、实验数据与生产验证互为佐证的四维教学方法。这种方法不仅发挥了虚拟实验的教学普惠性、风险可控性和实验可探索性，还体现了线上教学的灵活性和先行性[15,16]，具体实验项目的设计思路和实施方法如图1所示。

该模块划分为4个实验项目，以确保实验教学的顺利实施，具体实验项目为：(1) PVC配方及加工条件试验；(2)加工成型虚拟仿真实验；(3) PVC复合材料制备实验；(4) PVC复合材料性能测试实验。学校方面有4名指导教师分别负责每个实验项目，并指定其中1人作为该模块负责人全程跟踪指导，企业方面有1~2名研发人员全程参与，主要负责需求提出和生产工艺的指导，并与学校教师共同指导配方优化的方案制定与实施。车间工人参与工厂实验的实施与产品的生产验证。下面详细介绍该模块每个实验项目的具体内容以及实验教学的具体开展方法。

2.1　PVC配方及加工条件实验

实验目的：掌握PVC塑料配方设计的基本知识，明确配方中各组分的作用，熟悉硬质PVC复合材料制备各环节与制品质量的关系，了解硬质PVC板材应用端的质量需求并设计配方研究方案，掌握PVC复合材料混合加工设备基本结构和使用方法。

实验安排：本实验设定为6学时。首先，指导教师讲解硬质PVC复合材料配方的基础知识，并在实验室现场展示高速混合机、开炼机、双螺杆挤出机的安全操作方法。随后，通过网络远程直播连线企业研发人员，讲解选定目标产品的市场应用情况及存在的问题(如硬质PVC耐折板贴皮存在大角度折叠易破裂的问题)，展示产品生产的

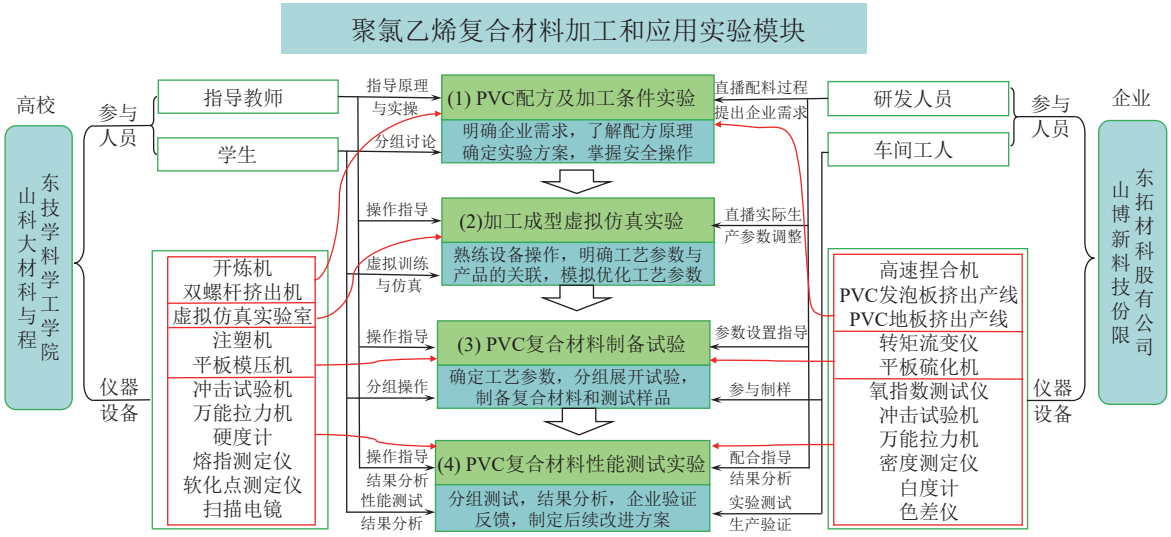


图 1 “高分子综合实验”中PVC复合材料加工和应用实验模块教学思路和方法

Figure 1 Teaching ideas and methods of the processing and application experiment module of PVC composites in the “polymer comprehensive experiment”

完整流程(配料、粉料的高速混合、挤出机挤出成型)。指导教师与研究人员讲解结束后，学生以6人为1组进行分组讨论。学生根据产品的质量提升需求探讨可行策略，过程中可以充分利用Chat GPT、Deep Seek、豆包等人工智能工具。随后，针对不同策略制定具体的研究方案(图2)。最后，全体学生与指导教师以及企业研发人员共同讨论拟定加工工艺，并根据各组学生选定的方案进行分组配料和预混。

2.2 加工成型虚拟仿真实验

实验目的：熟悉硬质PVC板材的整个生产工艺流程，熟练掌握PVC加工与成型相关设备的操作，了解加工工艺参数对PVC产品性能的影响，能够根据制品要求和虚拟仿真方法确定并优化成型工艺。

实验安排：本实验设定为4学时。首先，企业研发人员通过网络直播，现场讲解PVC板材生产线的开机、正常生产的详细流程，以及生产过程中处理质量问题的工艺调控方法。随后，指导教师讲解双螺杆挤出机的虚拟仿真操作。学生依据各小组的实验方案和前期拟定的工艺参数进行仿真练习，优化工艺，并利用双螺杆挤出机进行实验样品挤出造粒。

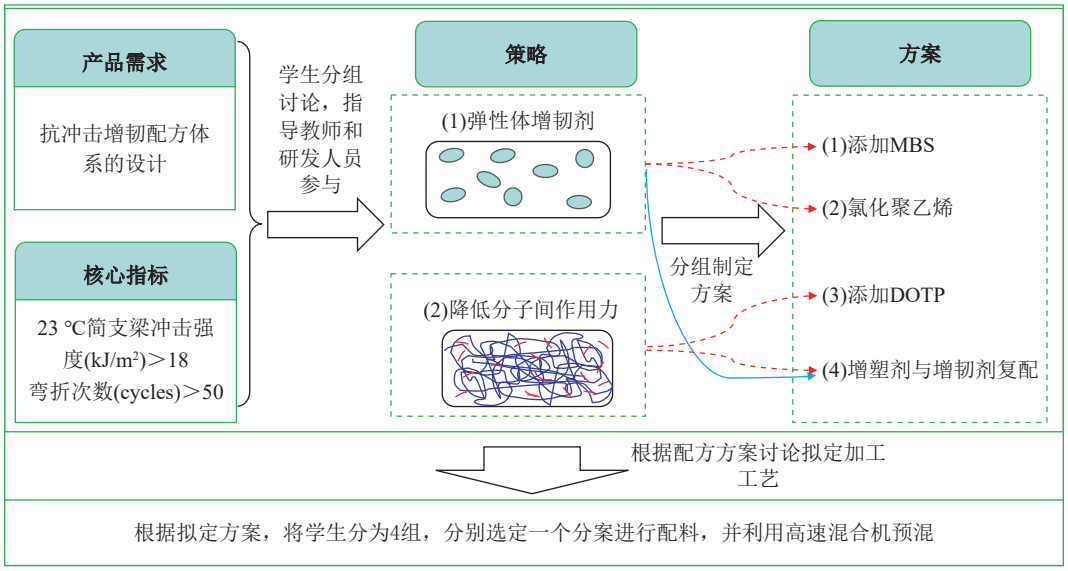


图 2 “高分子综合实验”中PVC配方及加工条件实验的授课过程

Figure 2 The teaching process of PVC formula and processing conditions experiment in the “polymer comprehensive experiment”

2.3　PVC 复合材料制备实验

实验目的：了解注塑成型和模压成型的工艺方法，认识压力、时间和温度对聚氯乙烯制品成型的影响，掌握注塑机和平板模压机的设备操作，能够根据性能测试项目选择合适的成型方式并制定成型工艺。

实验安排：本实验设定为6学时。首先，指导教师、企业研发人员和学生共同讨论确定样品的测试内容、实验室测试样品的种类和数量，以及车间工人在企业制备样品的种类和数量。随后，在指导教师和研发人员的指导下，各小组选择相应的成型设备和成型工艺制备测试样品。

2.4　PVC 复合材料性能测试实验

实验目的：了解PVC制品相关性能测试的原理、测试标准和操作方法，学会处理测试结果，能够系统分析测试结果并得出正确结论，能够针对现有的结果提出合理的改进方案。

实验安排：本实验设定为6学时。各种性能测试原理、测试标准和方法的相关文本和视频在学期初上传到学习通，学生需在课前进行自主学习。企业方面的测试也需在课前安排工人测试完毕。上课时，指导教师进行操作演示，学生分组测试并处理数据。所有结果汇总后，指导教师、研发人员和学生共同分析讨论，并根据结果制定企业验证方案。待企业验证反馈后，学生需根据结验证果在报告中补充进一步的优化方案。

3　实验方案实施与结果讨论

3.1　实验配方的确定

任课老师课堂讲解高分子加工设备运行的基本原理和设备操作后，通过远程连线方式，由企业工程师讲解PVC耐折板产品的结构以及存在问题。如图3所示，PVC耐折板产品呈三明治结构，上下层为皮层结构，起保护和支撑作用，内部为发泡结构，起隔热与降低重量作用。根据应用需求，板材需要进行开槽，进而折叠成最终形状。而弯折成型时，被弯折皮层易出现折角开裂变形的问题。同时，工程师现场讲解了PVC板材的工业化生产流程和成型工艺(图4)。

基于产品存在的问题，师生与企业技术人员共同开展研讨，核心是将产业技术问题转化为高分子物理层面的科学问题，并提出针对性技术策略。PVC耐折板使用过程只有其皮层被弯折，因此问题的核心是解决皮层的耐折性。不耐折在力学性能上通常表现为韧性不足，因此从高分子增韧的角度进行讨论，进而选定甲基丙烯酸甲酯–丁二烯–苯乙烯共聚物(MBS)和氯化聚乙烯(CPE)2种增韧剂作为研究变量，考察增韧剂种类和用量对冲击性能的影响(表2，第一组和第二组)。从高分子运动的角度，提高PVC链段在使用温度下的运动性可以改善其耐弯折性能。在配方中添加增塑剂可以降低PVC分子之间的作用力，因此选用对苯二甲酸二辛酯(DOTP)研究其用量对冲击性能的影响(表2，第三组)。此外，不同增塑剂的应用效果和两种策略是否有协同作用也值得系统探究，因此选用DOTP、己二酸二辛酯(DOA)、环氧大豆油(ESO)与CPE复配，探究其对复合材料冲击性能的影响(表2，第四组)。

3.2　实验结果与企业验证

由于学校实验室不具备工厂生产的大型设备，物料挤出的操作过程使用欧倍尔虚拟仿真平台进行虚拟仿真训练，虚拟仿真的操作过程如图5

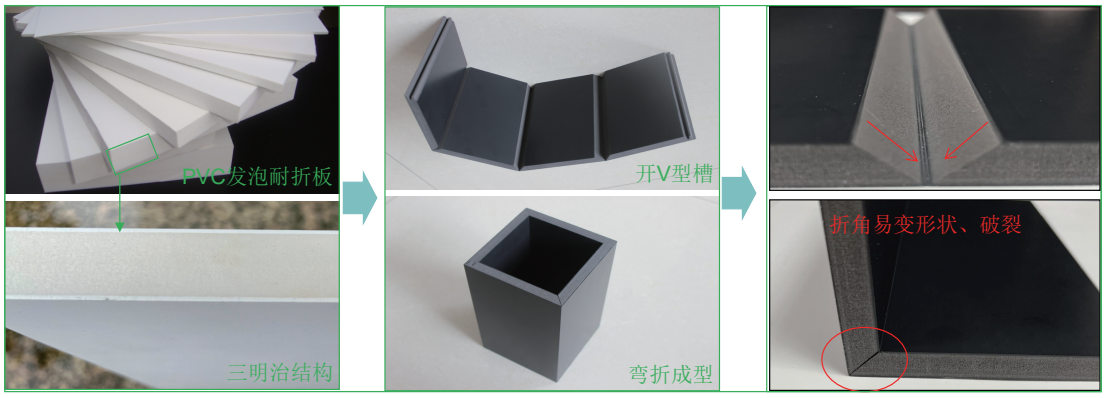


图 3　PVC 耐折板的结构、组合和存在的应用问题

Figure 3　Structure and assembly of PVC folding-resistant board as well as its application problems

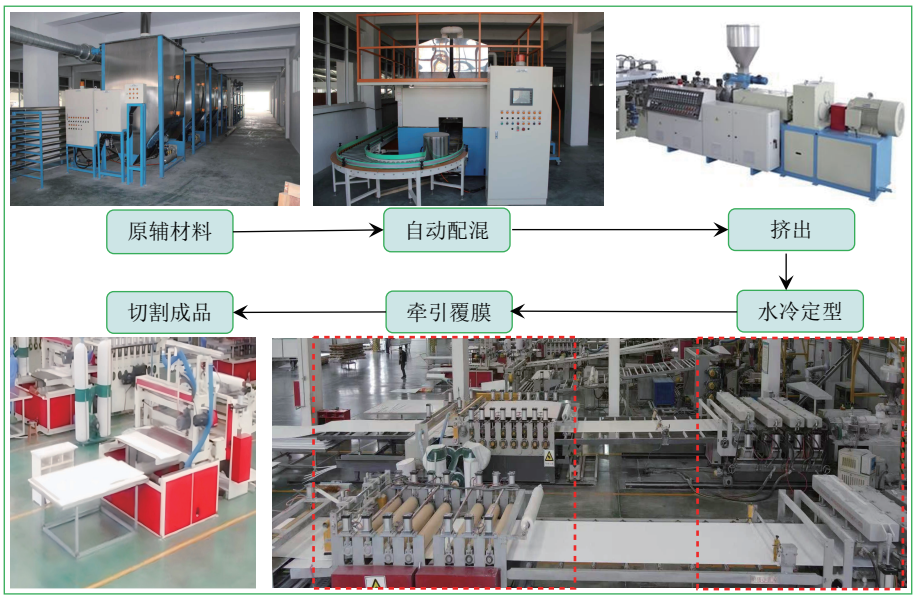


图 4 PVC 耐折板的生产流程

Figure 4 Production process of PVC folding-resistant board

表 2 PVC耐折板皮层实验配方

Table 2 Experimental formula for the outer layer of PVC folding-resistant board

材料	第一组PVC-MBS-*x*用量(phr)	第二组PVC-CPE-*x*用量(phr)	第三组PVC-DOTP-*x*用量(phr)	第四组PVC-复配-*x*用量(phr)
PVC	100	100	100	100
碳酸钙	20	20	20	20
钙锌稳定剂	2.5	2.5	2.5	2.5
MBS	0, 5, 10, 15, 20	0	0	0
CPE	0	0, 5, 10, 15, 20	0	10, 10, 10, 15, 15, 15
DOTP	0	0	0, 2.5, 5, 7.5, 10	5, 0, 0, 5, 0, 0
DOA	0	0	0	0, 5, 0, 0, 5, 0
ESO	0	0		0, 0, 5, 0, 0, 5

所示。各小组根据自己的配方进行相关虚拟演练后，利用实验室小型加工设备进行复合与成型，随后进行冲击实验测试，结果如图6所示。添加CPE后，随着其用量增加冲击性能逐渐增加，当CPE用量为20 phr时冲击强度达到17.5 kJ/m^2。添加MBS与添加CPE后冲击强度的变化规律一致，但MBS用量超过15 phr后，复合材料冲击强度超过20 kJ/m^2，展现出更优的增韧效果。添加增塑剂DOTP后，随添加量的增加冲击强度逐渐增加，但DOTP用量超过7.5 phr后，冲击强度趋于平坦。DOA、DOTP、ESO 3种增塑剂对比，可以看出ESO和CPE复配后冲击强度较好，DOTP和CPE复配后冲击强度相对较差。根据以上实验结果，组织各实验小组、企业工程师、实验教师共同讨论，最终确定MBS为最优增韧剂，DOA和ESO 2种增塑剂效果都较好，考虑到耐寒性，优选DOA，并进一步确定了中试皮层配方(表3)。

耐折板皮层和芯层的预混利用高速混合机，混合至115 ℃后排入冷混机中冷却，当物料冷却至40~50 ℃时放入贮料仓中。皮层和芯层采用熔融共挤的方式挤出后经水套预冷，随后进入4块定型模板冷却定型，最后进行切割即得1#~4#中试试验板。挤出机参数设置为：螺筒温度为165~175 ℃，合流芯温度为140~150 ℃，模具温度为170~185 ℃，螺杆油温为85~100 ℃，模唇温度为175~185 ℃，水套预冷温度为70~85 ℃。挤出后的1#~4#样品通过机加工进一步制备成中试试验板性能检测试样，在标准环境(温度(23±2) ℃，湿度(50±10)%)试样调节24 h，并在该条件下进行性能测试。中试试验的性能测试结果如表4所示，耐折板密度调节一致的情况下，随着MBS添加弯折次数明显增加，3#和4#样品的弯折次数和冲击



图 5　挤出成型的虚拟仿真操作过程

Figure 5　Operation process of extrusion molding virtual simulation

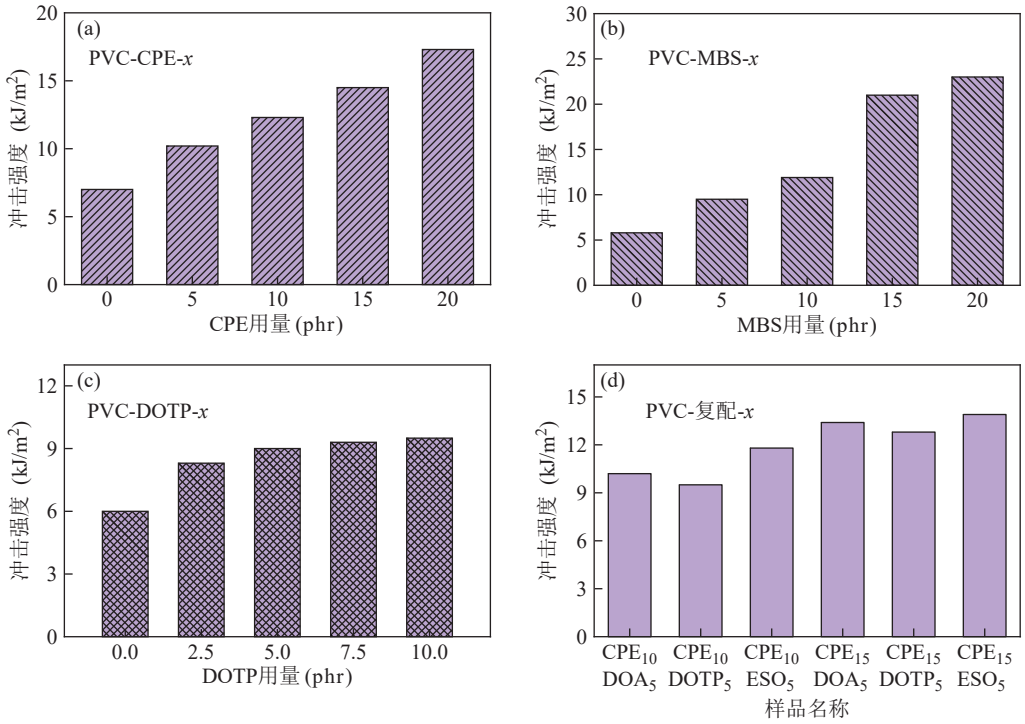


图 6　增韧剂与增塑剂对PVC耐折板皮层实验样品冲击性能的影响：(a) CPE、(b) MBS和(c) DOTP用量的影响；(d) CPE与增塑剂复配的影响

Figure 6　Effects of adding toughening agents and plasticizers on impact performance for the outer layer of PVC folding-resistant board: effects of the amounts of (a) CPE, (b) MBS, and (c) DOTP; (d) effect of the combination of CPE and plasticizers

表3 企业中试耐折板皮层配方

Table 3 Skin formula of the foamed board for pilot test

编号	PVC (phr)	碳酸钙(phr)	稳定剂(phr)	MBS (phr)	DOA (phr)	润滑剂(phr)	钛白粉(phr)	其他助剂(phr)
1	100	10	4	0	5	1	3	5
2	100	10	4	10	5	1	3	5
3	100	10	4	10	5	1	3	5
4	100	10	4	20	5	1	3	5

表4 企业中试耐折板性能测试

Table 4 Performance of the foamed board

编号	厚度 (mm)	密度 (g/cm^3)	硬度 (HD)	拉伸强度(MPa)	拉伸应变(%)	冲击强度(kJ/m^2)	维卡软化点温度(℃)	弯折次数(cycles)	加热尺寸变化率(%)	吸水率 (%)
1	18.0	0.68	86	15.4	13.2	10.4	77.3	5	−1.0	0.20
2	18.0	0.66	82	16.0	17.6	17.1	75.5	40	−1.2	0.22
3	18.0	0.66	80	15.3	19.1	20.2	74.2	66	−1.0	0.24
4	18.0	0.67	79	14.6	20.2	21.4	73.1	79	−1.3	0.23

强度分别为66和79次，20.2和21.4 kJ/m^2，都满足应用要求(大于50次和18 kJ/m^2)，综合考虑成本，最终选定3#配方为企业生产配方。最后，针对企业中试结果反馈，各小组进行总结和讨论，并根据结果和理论知识在实验报告中提出进一步性能优化的方法和思路，以强化学生解决工程问题的逻辑思维与系统分析能力。

4 学生成绩评定

通过实验方案系统化设计、虚拟演练、校企联合研讨、分组实验实施、结果分析与企业中试验证等全流程训练，学生对整个高分子的加工和应用具备了系统的实操经验。针对实验报告，我们也提出了新的要求：不再要求针对单个实验项目提交独立实验报告，而是按照实验模块提交系统的探索性研究报告。研究报告涵盖：研究背景、拟解决问题、实验设计思路、实验方案和方法、实验结果与企业验证、进一步优化方案6个核心部分。该报告框架能够更全面地体现学生对实验模块所涉问题的理解深度与解决实际工程问题的能力，尤其是研究背景、实验设计思路与进一步优化方案部分，不仅能反映学生的文献阅读与归纳总结能力，还能展现其工程问题提取、转化与解决的综合素养。通过撰写研究报告，学生解决工程问题的逻辑思维与系统分析能力得到强化，在高分子材料制备、加工与工程应用中分析复杂工程问题、设计并制造高性能制品的能力得以进一步提升。

“高分子综合实验”的成绩评定方式亦同步改革。课程总成绩采取百分制，过程考核和结果考核各占课程总成绩的50%。过程考核成绩由实验数据记录完整性、课堂提问应答质量、小组讨论参与度3部分综合评定(均保留纸质版记录)。结果考核则以最终的报告为核心依据。“高分子综合实验”包括1个验证性实验模块和3个研究性实验模块，最终形成1份验证性综合实验报告和3份探索性研究报告。其中，验证性综合实验报告占比考核成绩的25%，探索性研究报告占比考核成绩的75%。通过加大探究性实验项目的权重，旨在强化学生对实验课程的重视程度与学习主动性，助力学生解决实际工程问题能力的提升。

该课程的课程目标个体达成情况与人均达成情况根据高分子工程质量认证要求和高分子综合实验教学大纲中的课程目标达成度的具体评定方式进行直接评价。课程目标的评价结果包括：较好达成(≥85%)、基本达成(<85%，且≥75%)、勉强达成(<75%，且≥60%)和没有达成(<60%)。教学改革前后课程目标达成情况统计结果如图7所示。由于教学改革前的课程目标中未包含课程思政融入课程目标(课程目标5)，因此图7(a)和7(b)仅对课程目标1~课程目标4进行了对比。结果表明，教学改革后，课程目标1~课程目标4都能够较好达成，相较于教学改革前学生各方面能力都得到一定提升，特别是涉及明晰影响设计目标和技术方案关键因素的课程目标2，以及涉及设计高分子材料加工改性配方和工艺流程，综合分析实验结果，提出工艺流程改进和配方优化具体方

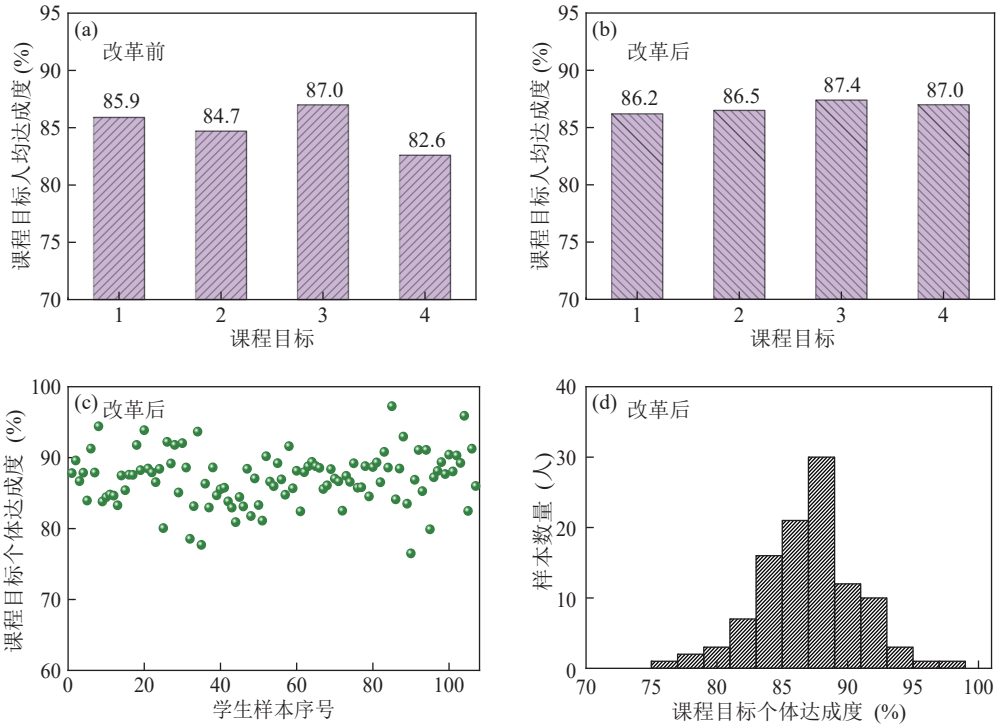


图 7　教学改革前后的课程目标达成情况：教学改革前(a)和改革后(b)的课程目标人均达成情况；改革后课程目标4的个学生样本个体达成度(c)和个体达成度分布(d)

Figure 7　Achievement of course objectives before and after teaching reform: Average achievement of course objectives before (a) and after (b) teaching reform; Individual achievement (c) and distribution of individual achievement (d) of course objective 4 after the reform

案的课程目标4，表现出较明显提高。值得注意的是，尽管教学目标4提升明显，通过个体达成度(图7c)和个体达成度分布(图7d)可以看出学生个体达成度多集中于85%~90%之间，90%以上明显减少，这说明整体学生在实现工程能力方面仍存在较大提升空间，在后续实验教学中可进一步加强该方面的教学改革。

5　结语

以工程教育认证和产教融合理念为指导，以企业的产业需求为导向，以高分子物理和高分子加工的理论知识为基础，以高分子专业老师和企业研发技术人员为支撑，在“高分子综合实验”课程中开设研究性实验项目，创新采用“理论指导—虚拟训练—远程协同—工程实践”四维实验教学新模式，可有效提升学生实验仪器操作能力，增强学生的工程实践能力和协同创新能力，显著提升学生解决复杂高分子工程问题的综合素养，为高分子材料与工程专业高素质应用型人才培养提供有力支撑。

参考文献

1　徐鹏武，杨伟军，王玮，杜明亮，白绘宇，张胜文，刘天西，马丕明. 以热点问题为导向的高分子物理综合实验设计：以“透明耐热聚乳酸膜材料的制备及表征”为例. 高分子通报, **2024**, 37(1), 127–132.

2　任德财，赵冬梅，杜宇虹，李楠，邓巍巍. 高分子材料与工程专业的综合性实验设计. 实验科学与技术, **2015**, 13(1), 112–114.

3　刘伟，周登凤，陈小澄，苏向东. 以聚丙烯发泡材料综合实验教学设计串联高分子物理知识点. 高分子通报, **2022**, 35(6), 95–101.

4　杨乐，钱浩，陈珺，陈晶玲，杜振波. 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. 高分子通报, **2022**, 35(9), 126–132.

5　艾娇艳，刘保华，宋丽娜，赵晨. 工程教育背景下高分子物理线上线下混合式双语课程建设探索. 高分子通报, **2024**, 37(4), 557–563.

6　曹静，靳艳巧，吕秋丰. 反应型加工引入高分子材料综合实验的探索与实践. 实验科学与技术, **2022**, 20(6), 109–114.

7　田晨旭，蔡绪福，杨昌跃，李艳梅，姜猛进. 基于“双创”平台建设高分子材料专业创新创业实验课程. 实验科学与技术, **2020**, 18(3), 84–88.

8 战艳虎, 李光, 王双双, 李艳凯, 李玉超, 邓爱霞, 谢倩. 基于工程教育认证和科教融合的高分子物理实验教学改革. 高分子通报, **2023**, 36(6), 764–768.

9 唐萍, 王海, 高源出, 郭凌霄, 李斌轩, 宾月珍. 基于工程实践能力培养的高分子综合实验设计. 实验室科学, **2023**, 26(2), 10–14.

10 方润, 张于弛, 王莉玮, 叶远松, 吴华忠. 产教深度融合背景下高分子材料与工程专业实践课程改革探索: 以“高分子材料综合实践”为例. 化学工程与装备, **2024**, (7), 165–167.

11 王莉玮, 高仁金, 薛涵与, 夏建荣. 新工科背景下产教融合课程建设探索与实践: 以高分子材料基础(双语)课程为例. 高教学刊, **2024**, 10(1), 99–102.

12 于敬凤, 岳喜贵, 张刚, 张淑玲, 魏士刚, 郭玉鹏. 高分子化学教学实验室建设探索与实践. 实验科学与技术, **2024**, 22(2), 144–151.

13 范萍, 费正东, 钟明强, 陈思. 工程教育专业认证背景下《高分子科学实验》课程改革的探索. 高分子通报, **2022**, 35(9), 113–118.

14 何超, 程飞, 周密, 杨昌跃. 动态力学分析在高分子材料中的应用. 实验科学与技术, **2020**, 18(4), 27–32.

15 韩永军, 曹可生, 曹云丽. 高分子材料虚拟仿真实验教学探索与实践. 河南教育(高教版)(中), **2023**(7), 82–83.

16 朱凌, 许军娜, 罗飞, 李克文, 李晶, 彭红霞, 文瑾. OAO混合教学模式及评价体系在“高分子材料性能测试实验”中的构建. 安徽化工, **2023**, 49(4), 174–177.