



基于虚拟仿真教学的高分子材料专业 实习新模式探究

庄启昕, 余 砚, 于惠梅, 顾金楼, 滕 鑫*

(华东理工大学 材料科学与工程学院, 上海 200237)

摘要: 该研究旨在探讨一种基于虚拟仿真的高分子材料专业实习新教学模式, 评估其对学生学习成效的影响。通过将虚拟仿真技术引入高分子材料专业实习课程中, 设计了基于虚拟仿真实验与实习相结合的新型教学模式。通过问卷调查和学生表现评估, 对实施该模式前后学生的学习效果进行了比较。研究表明, 与传统实习模式相比, 基于虚拟仿真的教学模式能够显著提高学生的学习积极性和实习效果, 各方面考核平均优秀率达到 89.5%。该模式对于提高高分子材料专业实习的教学效果, 探索和推进新型教学模式具有重要的理论和实践意义。

关键词: 高分子材料专业实习; 虚拟仿真; 教学模式; 学习成效

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20240302

Exploration of a New Internship Model for Polymer Materials Major Based on Virtual Simulation Teaching

ZHUANG Qixin, SHE Yan, YU Huimei, GU Jinlou, TENG Xin*

(School of Materials Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: This study aims to explore a new teaching model for the internship for polymer materials major based on virtual simulation and to assess its impact on student learning outcomes. We designed a new teaching model that integrates virtual simulation experiments with practical internships by incorporating virtual simulation technology into the curriculum. Through questionnaire surveys and student performance assessments, we compared student learning outcomes before and after its implementation. The research results indicate that compared to traditional internship models, the virtual simulation-based approach can significantly improve students' learning motivation and internship effectiveness, with an average excellence rate of 89.5% across various assessments. Therefore, the exploration and advancement of this new teaching model are of great theoretical and practical significance for improving the teaching effectiveness of the internship for the polymer materials major.

Key words: internship for polymer materials major; virtual simulation; teaching model; learning outcomes

对教育系统来说, 人工智能是把“金钥匙”, 它不仅影响未来的教育, 也影响教育的未来。本科生专业实习是高校教学过程中不可或缺的一环, 通过实习可以进一步提高学生的实践能力和专业素养^[1]。高分子材料的实际应用需要学生具有一定的实验操作技能和实习经验。但高分子材料专业实习往往要求大量的实验设施、实验材料以及时间资源。在实习单位、实习资源和实习时间均有限的现状下, 难以保证每个学生的实践需要。目前高分子材料专业实习往往多停留在理

论讲解和观摩参观层面, 学生能实际动手操作的机会较少, 导致学生在毕业后面面对现实中的高分子材料相关岗位时, 出现实践操作技能欠缺的状况。

虚拟仿真教学是一种基于计算机模拟和虚拟现实技术的教学方法, 可以模拟真实场景并提供互动体验, 为学生提供一个实践操作的环境^[2]。设计一种基于虚拟仿真的高分子材料专业实习教学新模式能弥补传统实习教学的不足, 具有重要的现实意义。

收稿日期: 2024-06-05

基金项目: 上海基础研究计划自然科学基金(25ZR1401086)。

作者简介: 庄启昕, 博士, 教授, 主要从事高分子化学方面的研究。E-mail: qxzhuang@ecust.edu.cn

*通信作者: 滕鑫, 博士, 教授, 主要从事高分子材料以及应用化学方面的研究。E-mail: tengxin@ecust.edu.cn

1) 虚拟仿真教学提供了虚拟实验环境,学生可以随时随地通过计算机模拟开展实验操作,不受时间和空间的限制^[3],可以解决实习时间有限的问题。

2) 由于高分子材料实验设备较为复杂且昂贵,学生即使走进工厂车间也很难大量接触实际的实验设备^[4]。通过虚拟仿真技术,学生可以在虚拟实验室中进行实验操作,无需实际接触实验设备,降低了实验设备的使用成本,可以解决实验设备受限的问题。

3) 基于虚拟仿真的高分子材料专业实习教学新模式可以提高学生的实践能力和专业素养。在虚拟实验环境中,学生可以自主进行实验操作,培养实验设计和实验分析的能力^[5];还可以进行多次的实践尝试和调整,提高解决实际问题的能力。

综上所述,设计一种基于虚拟仿真的高分子材料专业实习新模式可以解决传统实习模式中存在的问题和限制,提供更灵活的实习方式,提高学生的实践能力和专业素养^[6]。这种虚拟仿真教学对于提高高分子材料专业实习教学效果,探索和推进新型教学模式具有重要的理论和实践意义^[7]。

1 虚拟仿真教学在分子材料专业实习中的应用——以华东理工大学为例

通过虚拟仿真教学,学生可以在安全、经济和有效的情况下进行实践操作,提高操作技能和实验能力。虚拟仿真教学在各个学科领域,特别是在工程技术、医学、化学等实验性课程中得到

了广泛应用^[8]。

1.1 虚拟仿真教学在分子材料实验中的应用

虚拟仿真教学在分子材料实验中的应用不仅丰富了教学资源,创新了教学形式,还有效提升了学生的实践能力、创新精神以及解决复杂工程问题的能力,并且有助于规范化教学内容和体系,确保了实验教学的安全性。该技术已被应用于举办全国大学生高分子材料实验实践虚拟仿真大赛,这表明虚拟仿真技术已经被纳入到高等教育实验教学中,并且得到了积极响应和参与。高分子材料在材料领域已经具备很多经典理论基础,其相关研究成果亟待对接我国高性能材料的重大产业战略需要,但是目前并没有在高校课堂上展开系统教学,这主要受限于大学校园内的实验条件和实验安全要求。华东理工大学材料学院开发的国家级一流本科课程“水性聚氨酯聚合及超临界连续发泡”的虚拟仿真项目很好地将当下用于家居、建筑、日用品、交通及家电等领域的聚氨酯材料引入了课堂,覆盖了教学的空白部分。项目简介如图1所示,该实验需要严苛的实验条件和部分高危化学药品,而且极易发生安全事故,实验造成的“三废”巨大、实验各项成本极高^[9]。另外,实验时间跨度长,完全超出可计划安排的教学课时数;在成型发泡实验过程中,微小的变化都会得到不同性状的产物,这给整个产品的配方筛选和优化也带来了巨大的挑战。水性聚氨酯聚合及超临界连续发泡虚拟仿真实验项目模块界面如图2所示。



图1 水性聚氨酯聚合及超临界连续发泡虚拟仿真实验项目简介图

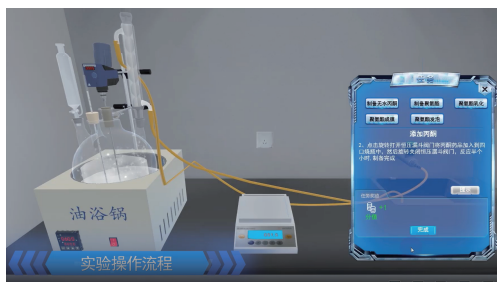


图 2 水性聚氨酯聚合及超临界连续发泡虚拟仿真实验项目模块图

通过本虚拟仿真实验项目,学生不仅可以利用课本上所有接触过的有机化工材料对其进行改性方面的研究,还可以对各种材料如何提升聚氨酯这类产品的力学性能有较全面的理解。将现今社会主流的材料类科研项目与教学同步,不仅能使学生了解本专业最新动态,提高学习兴趣,同时也加深了学生对高分子材料学科的认识。本项目节省了实验教学的经费支出,提高了实验教学的效率,改善了实验教学的环境质量,提高了学生的综合实验能力^[10]。项目主要包括以下 5 个方面:

- 1) 摆脱实际实验条件限制,加深理解各组分的作用;
- 2) 深刻理解聚氨酯泡沫的制备原理及各原料配方对泡沫性能的影响;
- 3) 使学生了解聚氨酯的制备步骤以及实验操作步骤;
- 4) 尝试各种配方设计,为学有余力的学生提供反复操作和提升的平台,了解水性聚氨酯成模原理及实验过程中脱模的操作;
- 5) 了解不同配方的发泡过程在模具内部的变化,了解聚氨酯发泡工程化过程。

1.2 虚拟仿真教学在材料类工厂实习中的应用

高分子材料专业大学生在实习中可以直接体会模具拆装与注塑成型生产过程,根据实践经验更好地理解书本上关于模具设计和制造、模具维修等方面的知识,丰富自身的理论知识,在实习过程中可以学习更多技术技能,如制作模具工序、合理调试机器、开展注塑方案调整、加工注塑尺寸等^[11]。然而,大学生在进行毕业实习时,由于缺乏实际工作的专业知识和经验,因此不知道如何在工作中应对各种情况,不能很好地应用自己的专业知识来解决现实中的问题,这在实际的工厂生产中也是个重大的安全隐患。鉴于此,依托华东理工大学材料类国家级实验教学示范中

心,本文开发了一套具有自主知识产权的适合本科实习教学的虚拟仿真实验教学系统——模具拆装与注塑成型虚拟仿真实验场。

模具拆装与注塑成型虚拟仿真实验场景如图 3 所示。本虚拟仿真实习项目真正达到了教育部要求的“能实不虚、虚实结合”的黄金理念,通过本实习平台,实现虚实结合,避免了实验的限制与安全风险^[12]。将毕业后的工厂生产实景融入教学,尤其加入了在教学环节不可能接触到的安全事故突发处理、安全事故扩大后的逃生急救、极端条件下的仪器调试、工厂内各工位人员的协调合作等内容^[13]。掌握这些实际的在生产一线可能发生的事件及处置方法,才能真正提升本科实习环节的教学质量。

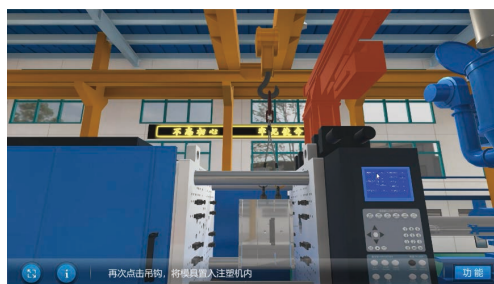


图 3 模具拆装与注塑成型虚拟仿真实验场景图

2 基于虚拟仿真教学的高分子材料专业实习教学模式设计与实施

2.1 基于虚拟仿真教学的高分子材料专业实习教学模式的构建原则及目标

创新高分子材料专业实习教学模式的首要目标是以学生为中心,激发学生的学习兴趣 and 思辨能力。通过多样化的教学活动,培养学生自主学习、团队合作和解决问题的能力;通过设计和实施基于虚拟仿真的高分子材料专业实习教学模式,提高学生的实践能力和创新能力,同时解决传统实习教学模式中存在的问题^[14]。为达到这一目标,本研究将从以下 4 个方面进行深入探讨。

- 1) 研究虚拟仿真技术在高分子材料专业实习教学中的应用,探索如何构建逼真的虚拟实验环境,使学生能够在虚拟环境中进行真实的高分子实验操作。充分利用信息技术优势,将工厂车间“搬”进教学课堂,构建允许“高危环境、极限过程、重复试错”的高分子材料专业实习教学新模式,有效解决传统线下实习“实地操作危险系

数大、高难度实习教学难以开展”的现实困境,提高专业实习的教学效果。

2) 研究传统实习教学模式中存在的问题,如受限的实践环境、资源分散和学生实践能力不足等,分析这些问题的根源和影响,探索如何通过虚拟仿真技术来解决这些问题^[15]。在理论研究和实践的基础上,开发和积累适用于高分子材料专业的混合式实习教学数字化资源,破解现场实习“看不见、摸不着、进不去、想不通”的困境,推动专业实习教学的数字化、智能化和现代化转型。

3) 研究基于虚拟仿真的高分子材料专业实习教学模式的设计和实施。通过结合传统实习教学和虚拟仿真实验,在教学过程中充分发挥虚拟仿真技术的优势,提高学生的实践操作能力和创新思维能力。通过丰富的实践,优化专业实习教学过程,提升学生的实践操作能力和创新能力。

4) 进行实证研究,通过对学生的问卷调查和实际操作结果的比较分析,评估基于虚拟仿真的高分子专业实习混合式教学模式的效果和效能。同时,分析学生对本教学模式的接受度和满意度,为今后的实验教学改革提供参考。建立基于课程目标达成度的专业实习教学成果的评价体系,为专业实习教学的持续改进提供科学依据。

2.2 高分子材料专业实习教学新模式

引入虚拟仿真教学的高分子材料专业实习教学新模式设计时,应包含以下4个方面的构建。

1) 实习任务设置

目前很多学生在进行实习前,任务不明确、工作内容不清晰,即使进入工厂生产区间,也由于诸多规定的限制,只能做到简单了解工厂的生产过程,无法达到实习教学的目的。因此,在实习教学阶段必须明确实习任务,需要设计具有一定难度和综合性的实习任务,以提供学生实践操作的机会。实践任务的设置应具有一定的挑战性,使学生能够在实践中面对不同的问题和困难,锻炼他们解决问题的能力,真正从思想上重视专业实习环节。

2) 虚拟仿真技术应用

可运用虚拟仿真技术来模拟实际的实习操作环境,使学生能够在实习工厂环境之外进行实践操作的练习。虚拟仿真实习内容的开发应该基于高分子相关实验教材和实践需求,结合虚拟仿真技术的特点和优势进行设计,包括实习仪器设

备、实验材料和样品等。同时,要根据前面设置的挑战性的实习任务和教学要求对实验环境进行适当调整和优化,以保证实验结果的准确性和可重复性,使学生能够更好地理解和掌握实践操作的过程和技巧。

3) 理论知识和实践操作的结合

新的实习教学模式应将理论知识与实践操作相结合,使学生能够将所学知识应用到实践中,培养他们的实践操作能力和创新能力。虚拟仿真实习的结果可以通过图表、数据和模拟动态等形式直观展示,学生可以通过分析实验结果,深入理解实验原理和规律,并进行讨论和总结。教师应该引导学生主动参与实验结果的分析 and 讨论,培养学生的科学思维和问题解决能力。在实践操作中,教师应引导学生将所学理论知识运用到实际问题的解决中,帮助学生建立理论与实践的联系。

4) 实习角色的设定

实际生产工作中,每个人的岗位职责皆有不同,在高校的实习混合式教学中,也需要进行合理的分组和角色分配,尽量满足学生的个性化需求。设置组长、技术负责人等角色,使每个小组的学生对实习内容有一定的兴趣和激情。通过合理的分组和角色分配,可以提高学生的学习效果和参与度,促进实习成果的提升,对基于虚拟仿真的高分子材料专业实习混合式教学模式的研究起到积极的推动作用。

3 基于虚拟仿真教学的高分子材料专业实习教学模式对学生学习效果 and 教学质量的影响

3.1 学生实习效果及教学质量评估指标

教学模式效果评估的目标是评价该高分子材料专业实习混合式教学模式对学生学习效果的影响。评估内容主要包括学生对虚拟仿真实习的反馈、学生对传统实习的反馈以及学生在理论知识掌握和实践操作能力等方面的变化情况^[16]。评估方法包括问卷调查、实习报告评估、实际操作能力测试等。为了建立一个全面、准确评价高分子材料专业实习混合式教学模式效果的评价体系,需要考虑多方面的指标。首先,从学生的学习动机、学习兴趣、学习满意度等方面进行评价;其次,考虑学生对教学内容的理解程度、实际操作

能力的提升情况、实习报告的质量等指标；此外，还要考虑学生在学习过程中的合作能力、创新能力、解决问题能力等方面的表现。综合这些指标，可以建立一个多维度的教学效果评价体系。

学习效果通过实习内容考评以及后续的问卷调查进行评估，如图 4 所示。将 2023 年下半年的专业实习分成实验组(混合式教学模式)和控制组(传统教学模式)，每组均为 50 人左右，实习考核内容相同，调查问卷进行区分调查。

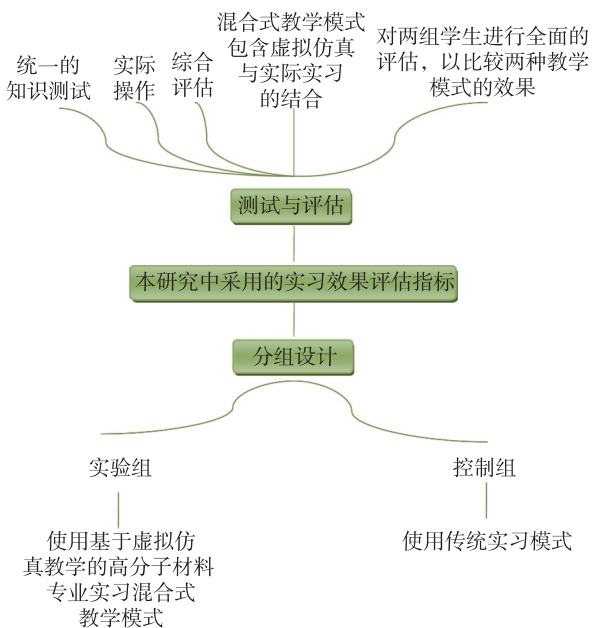


图 4 实习效果评估指标树状图

实验组调查问卷主要内容包括以下 7 个问题。

- 1) 你认为虚拟仿真在 高分子材料专业实习教学中的应用有哪些优势?
- 2) 你认为虚拟仿真在 高分子材料专业实习教学中存在的不足之处是什么?
- 3) 你是否愿意参与使用虚拟仿真平台进行 高分子材料专业实习? 为什么?
- 4) 你认为虚拟仿真在实习教学中的应用是否能够有效替代传统实习? 请说明你的观点。

5) 如果虚拟仿真被广泛应用于 高分子专业实习教学中，相关领域的实习就业前景是否会受影响? 请阐述你的看法。

6) 你对虚拟仿真的未来发展有何期望和建议?

7) 在实习教学中，你希望通过虚拟仿真学习哪些方面的内容? 请列举你感兴趣的实验项目或实践内容。

控制组调查问卷主要内容包括以下 9 个问题。

- 1) 你所实习的公司/实验室是什么?
- 2) 你的实习职位是什么?
- 3) 你在实习期间的�主要工作内容是什么?
- 4) 你觉得在实习期间学到了哪些实际应用的 高分子知识和技能?
- 5) 你觉得在实习期间最大的收获是什么?
- 6) 你在实习期间遇到的最大困难是什么? 你是如何解决的?
- 7) 你对 高分子材料专业实习的期待是什么?
- 8) 你认为 高分子材料专业实习的重要性是什么?
- 9) 你对 高分子材料专业实习有什么建议或改进的意见?

通过实习的考卷分数以及调查问卷和访谈的描述来判断两组同学的实习效果。

3.2 评估结果与讨论

在教学模式应用前后对比分析的第一部分，本文收集了学生在实验前后的学习成绩数据，考核内容涵盖了 高分子材料实际生产领域了解度、工厂人员协调合作、工厂生产流程了解度、工厂安全事故处理、工厂工作人员操作流程、工厂仪器设备故障处理。观察学生在传统实习和虚拟仿真实习中的学习表现差异，如表 1 所示。结果显示，采用虚拟仿真实习的学生在各方面表现更出色。此外，通过虚拟仿真实验，学生可以随时随地进行实验操作，不受时间和空间限制，提高了学习的灵活性和便捷性。

表 1 实验组、控制组实习考核成绩

	高分子材料实际生产领域了解度		工厂人员协调合作		工厂安全事故处理		工厂仪器设备故障处理		工厂工作人员操作流程		工厂生产流程了解度	
	合格率/ %	优秀率/ %	合格率/ %	优秀率/ %	合格率/ %	优秀率/ %	合格率/ %	优秀率/ %	合格率/ %	优秀率/ %	合格率/ %	优秀率/ %
控制组	100	18	90	20	92	22	95	16	100	25	85	30
实验组	100	85	100	90	100	95	100	90	100	89	100	88

在教学模式应用前后对比分析的第二部分，本文在包括团队实习合作中的沟通效率、分工协

作、紧急情况解决等方面来设计调查问卷。之后与学生进行一对一访谈，深入了解他们在实习过

程中的具体表现和感受。通过设计好的问卷和访谈收集学生对不同模式下真实的看法和经历,将问卷和访谈数据整理成电子格式,进行编码和分类,计算每个问题的平均分。识别学生普遍认为的下厂实习中的优点和问题,运用因子分析等方法,探索不同团队实习能力之间的关系。通过MATLAB软件对问卷进行分析得出成绩分析结果为实验组实习过程满意度占比高达99.8%,而相应控制组的实习过程满意度占比只有65%。同时还对学生在思维能力、问题解决能力和团队合作能力等方面的发展情况进行了评估。结果显示,采用虚拟仿真实习的学生在上述这些方面的能力都有显著的提高。大多数学生对基于虚拟仿真的教学模式持积极态度,并认为这种模式提高了他们的学习动力和兴趣。虚拟仿真实验提供了更多的实验场景和学习资源,能够更好地培养学生的创新思维和实践能力。许多学生还称赞虚拟仿真实验的真实性和交互性,认为这有助于加深对高分子材料专业知识的理解和应用。

综上所述,通过对该教学模式的案例效果评估与分析,我们发现新教学模式有以下3点优势。

1) 提高学生实践能力

通过虚拟仿真实验,学生可以在没有实验设备的情况下,进行实验操作。由于其不受时间和空间限制的灵活性,学生可以反复进行实验,增加了实习的机会,培养了学生的实践能力。实习操作是高分子专业的重要组成部分,而传统的实习存在一些限制,如实习场地资源的有限性以及安全隐患。而虚拟仿真实习可以消除这些限制,并允许学生进行大量的实习操作。

2) 提高学生团队协作能力

在虚拟环境中,通过角色的设定和自由切换,学生可以与其他同学进行实时的互动和合作。这种互动提升了学生的团队协作能力,使他们能够更好地分工合作、共同完成实习任务。

3) 增加学生对高分子材料专业实习的兴趣

虚拟仿真技术可以提供更多的感官体验和互动性,增加学生对高分子材料专业实习的兴趣,促使学生更加主动地参与实习,并激发他们对专业的热情。

通过以上评估与分析,可以得出结论,基于虚拟仿真的高分子材料专业实习混合式教学模式是一种有效的教学方式。它不仅可以提高学生的

实践能力和团队协作能力,还能增加学生对高分子材料专业实习的兴趣。因此,推广和应用这种新教学模式有助于提高高分子材料专业实习教学的质量和效果。

4 结束语

在 高 分 子 材 料 专 业 实 习 中,虚 拟 仿 真 与 现 场 实 习 融 合 的 教 学 模 式 展 现 出 显 著 优 势。虚 拟 仿 真 实 验 操 作 及 数 据 分 析 能 提 升 学 生 的 科 学 素 养、数 据 处 理 能 力,并 激 发 学 习 兴 趣 和 创 新 思 维;现 场 实 践 则 加 深 学 生 对 实 验 原 理 和 步 骤 的 理 解,培 养 严 谨 的 科 学 态 度 及 实 际 操 作 能 力。这 种 模 式 为 学 生 提 供 了 全 面 的 学 习 体 验,增 强 了 职 业 竞 争 力,值 得 广 泛 推 广 以 促 进 学 生 综 合 素 质 提 升。然 而,该 模 式 在 实 验 难 度、设 备 操 作、实 验 环 境 及 反 馈 机 制 等 方 面 与 实 际 实 验 存 在 差 异,反 馈 不 够 及 时 和 准 确,因 此 建 议 增 加 实 际 实 验 环 节 的 比 重 以 提 高 实 践 能 力。为 优 化 教 学 效 果,可 采 取 以 下 策 略:增 加 实 践 环 节 密 度,确 保 学 生 有 足 够 的 动 手 机 会;拓 展 虚 拟 仿 真 实 践 案 例 多 样 性,覆 盖 高 分 子 材 料 全 链 条 场 景,培 养 跨 领 域 应 用 能 力;强 化 实 践 与 理 论 融 合,通 过 嵌 入 式 教 学 法 让 学 生 直 观 理 解 抽 象 概 念;实 施 个 性 化 教 师 指 导,利 用 人 工 智 能 辅 助 系 统 分 析 学 生 操 作 数 据,为 教 师 提 供 针 对 性 辅 导 建 议;建 设 专 用 虚 拟 仿 真 实 习 中 心,配 备 增 强 操 作 真 实 感 的 设 备,引 入 前 沿 技 术,打 破 传 统 教 学 内 容 局 限,使 学 生 紧 跟 学 科 最 新 进 展。

综 上,基 于 虚 拟 仿 真 的 高 分 子 材 料 专 业 实 习 混 合 式 教 学 模 式 在 教 学 效 果 评 估 中 已 取 得 显 著 成 果。通 过 持 续 教 学 反 思 与 优 化 策 略 落 地,该 模 式 将 为 学 生 打 造 更 具 沉 浸 感 与 实 效 性 的 学 习 生 态,使 学 生 获 取 丰 富 数 字 化 学 习 资 源,并 通 过 虚 实 联 动 的 学 习 路 径,显 著 提 升 实 践 操 作 精 准 度、数 据 分 析 敏 感 度 及 团 队 协 作 默 契 度,为 高 分 子 材 料 专 业 教 学 注 入 创 新 活 力,培 养 兼 具 数 字 化 思 维 与 工 程 实 践 能 力 的 复 合 型 人 才,推 动 教 育 与 产 业 发 展 的 同 频 共 振。

参 考 文 献

- [1] 姚 姍 姍,董 薇. 虚 拟 仿 真 实 验 教 学 在 工 科 院 校 生 产 实 习 中 的 应 用[J]. 中 外 交 流, 2021, 28(5): 821.
- [2] WANG H Y, FENG Z Q, MENG X. Multimodal information perception and understanding: Application

- of smart glove in virtual-reality fusion chemistry experiment platform[J]. *Advanced Materials Technologies*, 2023, 8(10): 2200549.
- [3] 孟明翔, 陈咏梅, 朱薇, 等. 数字化背景下高分子材料智能制造虚拟仿真实训基地建设路径[J]. *塑料工业*, 2023, 51(9): 185-186.
- [4] 程捷, 闫红强, 方征平, 等. 虚拟仿真项目在高分子材料与工程专业实验教学中的实践[J]. *高分子通报*, 2021(8): 63-68.
- [5] 卢嫣, 黄剑华, 赵青华, 等. 线上线下和“虚-实”组合教学法在分子基础实验教学中的探索[J]. *高分子通报*, 2022(4): 79-83.
- [6] 余彬彬, 何志才, 夏智军, 等. 虚拟仿真: 现场工程实训项目交互式实训体系构建[J]. *中国现代教育装备*, 2021(23): 25-27.
- [7] 郭晨忱, 王中立, 时珉. 高分子材料专业虚拟仿真教育教学资源建设研究与探索[J]. *创新创业理论研究与实践*, 2023, 6(7): 87-89.
- [8] 宫贵贞, 董黎明. 高分子材料与工程专业虚拟实验平台的构建及改进探究[J]. *现代盐化工*, 2019, 46(1): 103-104.
- [9] 滕鑫, 唐颂超, 杨晓玲, 等. 大学化学虚拟仿真实验教学建设: 以水性聚氨酯聚合及超临界连续发泡虚拟仿真实验为例[J]. *大学化学*, 2023, 38(11): 8-15.
- [10] 滕鑫, 唐颂超, 杨晓玲, 等. 水性聚氨酯聚合及超临界连续发泡虚拟仿真实验研究与实践[J]. *实验室研究与探索*, 2023, 42(9): 151-155.
- [11] 马文中, 邹国享, 张洪文, 等. 高分子材料注塑成型模具的安装与调试虚拟仿真实验教学系统建设[J]. *中国现代教育装备*, 2021(17): 19-21.
- [12] 郭晨忱, 王中立. 高分子材料虚拟仿真实训基地的建立与应用研究[J]. *安徽化工*, 2022, 48(2): 149-152.
- [13] 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[J]. *高分子通报*, 2021(3): 55-58.
- [14] 梁爽, 王鑫, 孙占英. 虚拟仿真在分子专业课程中的应用[J]. *科技与创新*, 2021(19): 180-181.
- [15] 郑耀臣, 高正国, 张月蓉. 用虚拟仿真软件培训分子材料与工程专业设计类课程指导教师的初步探索[J]. *山东化工*, 2020, 49(2): 193.
- [16] 孙交通, 张晓东, 周丹. 虚拟仿真技术在分子材料课程设计课程中的应用[J]. *化工管理*, 2021(7): 26-27.

编辑 葛晋