以学生为中心的高分子化学实验教学模式探索

于建香*，戴玉华，高大海，师奇松

（北京石油化工学院 新材料与化工学院，北京 102617）

摘要：高分子化学是高分子材料与工程专业的专业核心课之一，将高分子化学实验课与理论课协同进行，互动融合，要求学生能够根据实验方案安全地实施实验，采集实验数据，并从实验现象和实验结果中进一步理解聚合反应理论。以学生为中心的高分子化学实验教学模式，学生作为实验课的主体，教师作为课程的设计者和指导者，为实验课程设计相关考核步骤并提供有效学习资料和学习指导。该探索中通过虚拟仿真实验练习等预习环节和课前考核，规范实验操作，提高了实验课效率，达成了实验课的课程目标，提高了学生在实验课中建构知识、思考问题、分析问题的能力。

关键词：以学生为中心；虚实结合；高分子化学；实验

以学生为中心的教学理念[1]从关注教师的水平、资源配置到关注学生在学习过程中获得的各种能力。以学生为中心的教学理念目前已经在高校理论课教学中获得广泛的认可与推广，该理念要求在教学过程中明确课程目标，课程中教师教和学生学的方法，并把考核方式与课程目标密切关联，一切教学活动都是围绕课程目标的达成进行的。不管是教师和学生，大家对理论课学习普遍比较重视，理论课的学习效果的考核也容易通过考试、作业、论文等显性指标来检验。由于缺乏明确的课程目标和可量化、可执行的考核指标，实验实践课程的学习普遍得不到教师和同学们的重视，教学效果堪忧。很多高校已经进行了各种实验教学改革，包括设计型实验[2]，互联网＋实验[3,4]，创新实验[5,6]等并取得显著成效。高分子化学实验的课程目标是能够基于科学原理并采用科学方法对高分子材料领域复杂工程问题进行研究，包括设计实验、分析与解释数据，并通过信息综合得到合理有效的结论。高分子化学实验需与高分子化学课程中理论知识紧密联系[7]，所以实验课内容注重基础性和规范性，为创新性的培养打下基础。以规定的教学内容为载体，培养学生动手能力，激发学生学习兴趣、培养学生创新思维。在实验实施的过程中，教师通过与学生讨论实验现象和结果，引导学生探究聚合的原理以及聚合参数的影响因素。通过实验课的有效学习，学生能够很好地激活已经学习的高分子化学理论知识，对高分子化学知识进行建构[8]。

高分子化学实验是高分子材料与工程专业的同学接触的第一个专业基础实验，强调聚合实验操作的规范性以及对聚合实验现象和结果分析。高分子化学实验的特点是聚合反应时间长，聚合影响因素多，聚合实验容易失败。在以往的高分子化学实验教学中，一般会对学生进行实验预习的相关要求，但是学生的预习报告通常是完整的抄写一遍实验指导书，大部分同学没有真正地理解实验的原理，每种实验试剂对聚合的影响情况，实验装置的合理搭建和规范操作；没有思考实验的各种参数是如何影响聚合实验速率和聚合物分子量；这样的预习效果，不能很好地支撑高分子化学实验预习的课程目标。在实验实施的过程中，部分学生会“照方抓药”，甚至抓错了“药”而不自知，导致完不成实验。在这种预习效果下，指导教师不得不在高分子化学实验课中抽出 30～60 min 详细地讲解实验原理，每一步实验步骤，甚至每一个实验细节，实验的注意事项，影响因素等等。学生并没有充分时间消化实验课之前的短暂的“灌输实验

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.11.016

收稿：2021-11-12；**修回**：2021-12-05；

基金项目：北京石油化工学院以学生为中心“教学范式改革”项目（ZDFSGG20190703），北京石油化工校级重点教改项目-以需求为导向，深化产教融合，打造校企协同育人的联合创新平台（ZD20200701），北京高等教育“本科教学改革创新项目”以高水平人才培养为目标的高分子材料与工程一流本科专业建设；

* **通讯联系人**：于建香，女，博士，主要从事高分子化学的教学和纳米功能高分子的研究。

E-mail：yujianxiang@bipt.edu.cn.

内容”，一知半解的状态下进行实验操作，导致实验效果达不到预期，实验过程中手忙脚乱，操作不规范的情况经常发生。由于学生人数众多，实验指导老师也分身无术，不能及时一一纠正学生的不规范的实验操作，有同学会因为对实验原理掌握不到位，没有认真控制温度，导致聚合反应失败，发生爆聚；也有同学即使完成了实验，得到聚合物，也不能很好地关联实现该聚合实验的原理；也有大部分同学在一年之后对于做过什么高分子化学实验一无所知，没有留下深刻印象。在以前的实验课程中，由于缺乏实验评价明细量表，学生只要不缺席实验，课前有预习报告，课后完成实验报告，实验课就能取得较好的分数。

随着互联网蓬勃发展，教育事业也上了快车道，各种精品课资源和慕课的开放为学生主动学习提供了帮助，学生也习惯从网络上获得各种学习资料。互联网＋教育更有力地推动了高等教育方式的创新。传统实验教学是在规定的学时和时间内，教师先讲解实验，学生再动手操作，学生由于缺少实验前的有效预习，实验中很难提出有价值问题并探索实验的改进。有些聚合实验由于比较危险，或反应条件苛刻，一般不能开设，学生没有机会锻炼；有些实验由于实验仪器台套数有限，学生没有动手机会，也降低了实验动手能力和创新性培养。为此，我们构建了高分子 3D 虚拟仿真实验室，把高分子化学实验和高分子物理实验放到线上实验室中，学生可以在虚拟实验室中反复操练，逼真的实验环境和友好的操作界面提高了学生参与实验的热情。

为了加强高分子化学实验课的学习效果，经过对其他高校高分子化学实验课程的广泛调研[9,10]和征求同学们的意见，我们探索在高分子化学实验课中采用以学生为中心，以反转课堂的方式进行实验课的学习，同时细化了高分子化学实验考核方式和评分细则，教师在实验教学过程中进行适度指导，参与个别讨论。实验运行过程中明确了教师和学生的安排。如表 1 所示。

表 1　高分子化学实验课程教师和学生的教与学

Table 1　Teaching and learning of polymer chemistry experiment course for teachers and students

	课前	课中	课后
学生	观看视频 学习实验指导书 虚拟仿真操作 参加虚拟实验考试 回答实验预习问题	搭建装置 量取试剂 控制反应 记录现象 讨论实验	分析实验现象、结果与实验参数的关系 完成思考题
教师	准备实验指导书 准备实验视频 答疑 考核预习问题	总结预习问题 指导实验操作 现场交流 现场考核	评判实验报告 设计调查问卷 课程总结

为了进行高分子化学实验课课前自主学习，高分子化学教研组做了大量的准备工作。教师准备的立体学习资料，包括实验学习指导书，实验视频和虚拟仿真实验。实验指导书中总结了实验目的、实验原理、实验主要步骤、实验安全注意事项。高分子化学实验视频从实验装置搭建，冷凝管安装，固体称量，液体量取，实验过程监控，取样观察，抽滤操作等都进行了规范操作演示。学生通过观看实验视频，对聚合实验装置的搭建，聚合实验过程规范操作有感性认识。我们按照实验室的相关聚合装置建立了仿真平台和高分子化学实验仿真软件，同学们可以在虚拟实验室进行多次聚合实验，在练习的过程中，任何不规范的实验操作，都会得到软件的相应提示。大部分学生对于虚拟仿真实验具有浓厚的兴趣，会主动进行多次闯关练习，通过多次主动仿真练习，学生很快就熟悉了规范操作，熟练了操作流程，并通过多次不同实验参数的虚拟实验得到不同的实验结果。在进入实验室之前，在限定的时间内同学们要参加虚拟实验的操作考试。考试成绩计入实验总评成绩，仿真实验不合格的学生，需要再学习，参加补考。

在预习阶段，每个实验指导教师根据实验原理和关键实验步骤和聚合实验影响因素，设置了该实验

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.11.016

的预习问答题，促使学生通过不同的角度理解实验步骤和实验原理，学生也需要通过问答题的考核才能进入实验操作阶段。

聚合实验时间普遍较长，不饱和聚酯的制备实验一般需要 5～6 h，甲基丙烯酸甲酯自由基悬浮聚合实验一般需要 4～5 h，苯乙烯阴离子聚合实验的时间较短，但实验的前期准备工作较长，需要对实验装置进行无水无氧处理，对苯乙烯进行减压蒸馏处理。实验课设置 6 个学时，完成聚合实验时间还是相对紧张。该项目实施后，在实验课上，首先实验指导教师利用简短的时间对前期预习阶段同学们普遍出现的问题进行集中总结，重点提示实验中的安全注意事项。高分子化学实验虽然是基础实验，但是不局限于实验指导书中的实验条件与配方，指导教师鼓励同学们在能安全实施实验的前提下，改变实验指导书中的配方比例进行分组实验。相邻的两个组采用变化某一个实验条件进行聚合实验，其实验现象和结果相互进行比较。以甲基丙烯酸甲酯悬浮聚合为例，该实验的主要配方包括单体（甲基丙烯酸甲酯）、引发剂（过氧化二苯甲酰）、分散剂（5 wt%聚乙烯醇水溶液）和水。影响聚合反应速率的主要因素是聚合反应温度和引发剂的用量，影响产物形貌的主要因素是分散剂用量和搅拌速度，水油比等。实验中相邻的两个组，在单体用量一致的情况下通过加入不同的引发剂用量或者设置不同的聚合温度进行聚合实验，实验过程中，观察实验条件的变化导致的实验现象和聚合时间的不同。在实验报告中可以引用邻组的实验结果进行对照。1 组和 2 组在其他条件不变，通过改变引发剂用量进行聚合，他们两个组的实验结果可以进行对比。3 组和 4 组在配方一致的情况下，设置不同的反应温度进行聚合实验，对实验现象和实验结果进行对比，充分感受和理解在高分子化学课程中学习的温度变化对聚合实验速率的影响。由于同学们在进入实验室之前对实验进行了充分的预习，做实验有条不紊，并且在自主学习期间积累的问题可以和同学或者教师探讨，教师在课堂上可以进行个别指导，交流实验，引导同学通过实验现象理解聚合反应动力学。指导教师还要在实验过程中对实验操作，团队合作，安全卫生等进行现场评分。高分子化学实验是 2 人一组进行聚合实验，首先要求每个组先进行装置的搭建，装置搭建完成，教师先进行检查并评判，包括装置的合理性、安全性、稳定性，并进行指导。然后学生才取试剂、加料、控制搅拌速度、控温聚合，在实验过程中要求同学们现场在实验报告中详细记录实验现象，指导教师进行现场评判，过滤得到直径为 0.1～3 mm 不等的珠子，然后产物进行 1 h 的烘干，最后称量并测量小珠子直径，观察透明度，同学们要在实验报告中详细分析产物的产率，珠子直径大小与反应参数的关系等。

高分子化学实验的成绩分为三部分，分别是预习成绩，实验成绩，报告成绩，分别占 30%、40%、30%。成绩明细构成如表 2 所示，其中仿真实验成绩由虚拟仿真实验平台直接给出，所有评分都建立了详细的评分标准，其中实验过程的评分是由指导教师在现场进行现场评价，综合考察学生在实验过程中装置搭建过程，实验规范操作过程，实验现场记录情况，产品形貌和质量以及安全操作和卫生等方面内容，实验报告部分主要考察学生对实验现象和实验结果的分析与讨论，实验思考题的完成情况和报告撰写是否整洁规范。

该方案实施 2 轮之后，聚合实验的成功率显著提高，例如悬浮聚合的成功率由之前的 50%提高到

表 2 高分子化学实验评分明细表

Table 2 Score details of polymer chemistry experiment

总成绩：									
预习 30%		实验过程 40%					实验报告 30%		
仿真实验 20 分	预习问题 10 分	实验准备 5 分	实验过程 15 分	实验结果 10 分	安全 5 分	卫生 5 分	分析讨论 15 分	思考题 10 分	报告撰写 5 分

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.11.016

100%。高分子化学实验部分支撑的课程目标的达成度有了显著的提高,同时对学生进行了课程目标达成度的满意度问卷调查,设置了非常满意,满意,基本满意和不满意四个答案。其中非常满意的比例由之前的 25%上升到 60%,并且满意和非常满意的占比达到 100%。

该项目设置的立体实验预习方案的有效实施,为学生充分理解实验原理、实验步骤,进行实验操作打下坚实基础。学生通过主动的实验预习,为实验成功开展提供了保障,虚实结合的实验过程,极大提高了学生的实验兴趣,建构了实验的整体框架,使学生获得积极、愉快的实验学习体验。严格的实验考核措施,为合理评价实验课程目标达成提供了有力支撑。

参考文献:

[1] 赵炬明,高筱卉. 中国高教研究,2017,8:36～40.
[2] 郑绩,吴悦童,田语舒,李相园,冯岸超,张立群. 高分子通报,2020,(4):57～63.
[3] 唐萍,牛慧,张春庆. 高分子通报,2021,(3):55～57.
[4] 史同娜,朱冰洁,杨伟,施镇江,谢卫民,吴文华. 实验技术与管理,2019,2:53～57.
[5] 张安强,吴水珠,赵颖,罗美香. 化学教育,2017,(10):22～24.
[6] 杨金燕,赖俐超. 高分子通报,2019,(9):89～91.
[7] 王明存,王红山,陈贻炽,朱英. 化学教育,2021,(4):31～34.
[8] 张兴宏,曾素林,张滢滢,涂克华,王齐. 高分子通报,2016,(4):104～108.
[9] 尚新成,郝俊生. 大学化学,2019,4:73～76.
[10] 刘承美,李秋莲,周兴平. 高分子通报,2021,(5):102～106.

Exploration on Student-centered Teaching Mode of Polymer Chemistry Experiment

YU Jian-xiang*, DAI Yu-hua, GAO Da-hai, SHI Qi-song

(*College of New Materials and Chemical Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing* 102617, *China*)

Abstract: Polymer chemistry is one of the core courses of polymer materials and engineering. The experimental course and the theoretical course of polymer chemistry are carried out in coordination and interactive integration. Students are required to implement the experiment safely according to the experiment scheme, collect experiment data, and further understand the polymerization theory from the experimental phenomena and results. In the student-centered teaching mode of polymer chemistry experiment, students are the main body, and teachers are the course designers and instructors, who design relevant assessment steps for the experimental course and provide effective learning materials and learning guidance. In this exploration, through preview links such as virtual simulation experiment practice and pre class assessment, the experimental operation is standardized, the efficiency of the experimental is improved, the curriculum objectives of the experimental are achieved, and the students' ability to construct knowledge, think and analyze problems in the experimental class is improved.

Key words: Student centered; Combination of virtual and reality; Polymer chemistry; Experiment

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.11.016