

综合性、设计性实验在材料专业实践教学体系中的设计与实施

李万喜, 卫晓琴

晋中学院材料科学与工程系, 山西 晋中 030619

DOI: 10.61369/SDME.2025060022

摘要 : 实验教学是材料专业实践教学体系的核心环节, 对培养创新型应用型人才具有关键作用。本文以《高分子化学与物理实验》课程为例, 系统探讨了综合性、设计性实验的设计原则、认定过程、实施流程及质量保障机制。通过构建“理论 – 实践 – 创新”三位一体的教学模式, 提出综合性、设计性实验项目认定标准、运行管理规范及产学研融合路径, 有效解决了传统实验教学中存在的知识碎片化、创新能力不足等问题。实践表明, 该模式显著提升了学生的综合分析能力、工程实践能力和创新思维, 为材料专业实践教学改革提供了可借鉴的范式。

关键词 : 材料专业; 实验教学; 综合性实验; 设计性实验; 教学改革

Design and Implementation of Comprehensive and Design based Experiments in the Practical Teaching System of Materials Science

Li Wanxi, Wei Xiaoqin

Department of Materials Science and Engineering, Jinzhong University, Jinzhong, Shanxi 030619

Abstract : Experimental teaching is the core component of the practical teaching system in materials science, and plays a crucial role in cultivating innovative and applied talents. This article takes the course of "Polymer Chemistry and Physics Experiments" as an example to systematically explore the design principles, certification process, implementation process, and quality assurance mechanism of comprehensive and design based experiments. By constructing a three in one teaching model of "theory practice innovation", comprehensive and design oriented experimental project recognition standards, operational management norms, and industry university research integration paths are proposed, effectively solving the problems of knowledge fragmentation and insufficient innovation ability in traditional experimental teaching. Practice has shown that this model significantly enhances students' comprehensive analysis ability, engineering practice ability, and innovative thinking, providing a reference paradigm for the reform of practical teaching in materials majors.

Keywords : materials major; experimental teaching; comprehensive experiment; design based experiments; teaching reform

引言

材料科学作为支撑现代工业发展的基础学科, 对人才培养的实践性和创新性提出了更高要求^[1]。传统实验教学以验证性实验为主, 存在内容单一、学生被动操作、理论与实践脱节等问题, 难以满足新工科背景下复合型人才的培养需求^[2-3]。综合性实验通过多知识点融合与多方法交叉, 设计性实验通过学生自主方案设计, 突破了传统验证性实验的框架, 要求学生不仅掌握实验技能, 更需要运用跨学科知识进行方案设计, 在解决实际问题的过程中实现理论知识与实践能力的深度融合, 全面提升科学素养和创新能力, 成为深化实验教学改革的重要突破口。本文以晋中学院复合材料与工程专业《高分子化学与物理实验》课程为例, 探索两类实验在实践教学体系中的设计与实施路径。

一、综合性、设计性实验的设计原则

设计性实验的设计原则。

(一) 综合性实验设计

下面以《高分子化学与物理实验》课程为例, 说明综合性、

知识复合性: 要求两个以上知识点的有机结合。高分子化学

项目: 山西省教学改革创新项目“AI教学平台赋能BOPPPS教学模式的创新实践与质量提升”; 晋中学院复合材料与工程一流教学团队和一流专业项目。

作者简介: 李万喜(1986.04-), 男, 汉族, 湖北麻城人, 博士, 教授, 主要从事复合材料的教学和研究工作。

与物理实验整合高分子化学合成与物理性能测试两大模块，如“聚乙烯醇缩甲醛胶水制备及黏度测定”实验，将聚合反应原理与仪器分析技术有机结合。

方法多元性：综合运用两种或两种以上的基本实验方法完成同一个实验。如“聚乙烯醇缩甲醛胶水制备及黏度测定”实验融合水溶液聚合法、旋转黏度计测试法等多种实验手段，强化学生对工艺参数（催化剂用量、反应温度）与产物性能关联性的理解。

过程系统性：构建“原料选择→反应控制→性能表征→结果分析”完整实验链条，培养学生工程思维。

（二）设计性实验设计

问题导向性：以“塑料熔体流动速度测定”为例，要求学生自主设计原料、温度、载荷等变量对聚合物加工性能的影响研究方案。

创新开放性：鼓励学生结合工业案例（如不同种类聚合物的应用差异）提出实验假设，突破传统实验的固定框架。

能力递进性：从仪器操作到数据分析，逐步引导学生完成“问题提出→方案设计→实验验证→结论优化”的全流程训练。

二、实验项目的认定

综合性、设计性实验并不是凭空产生，而需要经过精心设计和审批认定。采取三级审核制度：实验教师提交《实验项目认定审批表》→教研室论证（知识点覆盖度、方法创新性）→系部专家组评审（工程应用价值、能力培养目标）。遵循动态调整机制：定期根据行业技术发展更新实验内容，确保教学内容的前沿性^[4-6]。

下面以《高分子化学与物理实验》课程为例来说明综合性、设计性实验的认定。

（一）综合性实验认定举例

《高分子化学与物理实验》课程里面有一个实验项目“聚乙烯醇缩甲醛胶水的制备及黏度的测定”，申报为综合性实验的依据如下：

1. 实验项目总体情况

通过该实验的学习可以使学生进一步了解聚乙烯醇缩甲醛化反应的原理以及低聚合度聚乙烯醇缩甲醛胶水的制备方法，学会使用旋转黏度计测定胶水的黏度，为聚合物流变性等知识的学习打下坚实的基础。

2. 实验目的及要求

- (1) 通过实验进一步了解聚乙烯醇缩甲醛化学反应的原理。
- (2) 学习制备聚乙烯醇缩甲醛胶水的方法。
- (3) 学习用旋转黏度计测定聚合物的黏度。

3. 实验内容

- (1) 在稀盐酸催化下，利用水溶液聚合法合成聚乙烯醇缩甲醛胶水。

- (2) 学习使用旋转黏度计测定聚乙烯醇缩甲醛胶水的黏度。

4. 应用知识面

将“聚乙烯醇缩甲醛胶水的制备”和“黏度测定”相结合，既能让学生掌握聚合物合成的原理和基本操作，还能让学生了解利用仪器测定所得聚合物性能的原理和方法，给学生提供一个相对系统、完整的实验过程，体会实验设计的完整性。

5. 研究手段和方法

(1) 利用水溶液聚合法合成聚乙烯醇缩甲醛胶水的反应原理和方法。

(2) 严格控制反应催化剂的用量、反应温度、反应时间及反应物比例，了解这些因素对反应产物质量的影响。

(3) 学习旋转黏度计测定黏度的原理和方法。

(4) 利用旋转黏度计测试聚乙烯醇缩甲醛胶水的黏度。

6. 综合性实验的认定依据

该实验项目是聚合物的合成方法和性质测定两大知识点的结合，通过水溶液聚合的基本实验操作及旋转黏度计使用的学习，可以进一步提升学生的综合实践技能，逐步培养学生的独立思考能力和操作能力。按照综合性实验的基本要求，认定该实验为综合性实验。

（二）设计性实验认定举例

《高分子化学与物理实验》课程里面有一个实验项目“塑料熔体流动速度的测定”，申报为设计性实验的依据如下：

1. 实验项目总体情况

通过该实验的学习可以使学生了解熔体流动速度测定仪的工作原理，了解熔体流动速度的表示方法；学习使用熔体流动速度测定仪测试聚合物流动速度的方法，了解不同条件对熔体流动速度的影响，加深理论知识在实际中的应用。

2. 实验目的及要求

- (1) 了解热塑性塑料熔体流动速度与加工性能之间的关系。
- (2) 熟悉熔体流动速度测定仪的结构和工作原理。
- (3) 掌握熔体流动速度的测定和计算方法。

3. 实验内容

- (1) 学习熔体流动速度测定仪的结构和工作原理。
- (2) 以全同聚丙烯和聚丙烯颗粒为原料，在一定温度和载荷条件下测定聚合物的熔体流动速度。

4. 应用知识面

将“仪器结构认识”和“不同条件测定”结合起来，学习使用熔体流动速度测定仪测定聚丙烯和聚丙烯熔体流动速度的原理和方法，提升学生综合应用知识的能力，让学生了解基础知识在工业中的应用及重要性，激发学生的学习兴趣，培养学生严谨的科学态度。

5. 研究手段和方法

(1) 通过讲解观摩熟悉熔体流动速度测定仪的结构和工作原理。

(2) 测定全同聚丙烯和聚丙烯的熔体流动速度。

(3) 分析测试结果，比较聚丙烯和聚丙烯的熔体流动速度大小。

(4) 改变温度、压力等测试条件，了解温度和载荷对测试结果的影响。

6. 设计性实验的认定依据

该实验项目将高分子化学与物理中测试和影响因素两个知识点进行了有机结合，通过学习熔体流动速度测定仪的结构和工作原理，学习使用熔体流动速度测定仪测定不同聚合物的熔体流动速度，并分析温度、压力等实验条件对测试结果的影响，可以进一步加深学生对基础知识的理解，能够利用理论知识的基本原理分析问题和解决实际工程问题，逐步培养学生的独立思考能力和操作能力。按照设计性实验的基本要求，认定该实验为设计性实验^[7-9]。

三、综合性、设计性实验的运行

(一) 运行流程

1. 实验准备阶段

提前2周发布任务书，要求学生查阅资料，进行方案设计及可行性分析，指导教师重点审核实验变量的合理性及安全风险评估。

2. 实验实施阶段

采用“引导式指导”模式，教师仅提供关键操作提示，学生独立完成实验操作与数据记录。引入团队协作机制，2-3人小组分工负责反应控制、性能测试、数据分析，培养工程协作能力。

3. 成果输出阶段

学生在实验计划实施结束之后展示自己的实验结果，然后接受他人的评价和教师的反馈，并撰写实验报告。实验报告要求包含“实验设计逻辑→数据处理方法→问题分析→改进建议”四部分，强化文档撰写能力。优秀成果学生推荐参加全国大学生高分子材料实验实践大赛或转化为课程设计课题，形成“实验－竞赛－创新”闭环。

(二) 综合性实验的运行

综合性实验的核心目标在于通过多维度实践教学，系统提升学生的工程实践能力和综合分析解决问题的能力。以聚乙烯醇缩甲醛胶水的制备及黏度的测定为例。

1. 实验准备阶段

提前布置任务：在实验开始前2周，向学生发布详细的实验任务书。任务书应明确实验目标、基本要求和实验大致方向，给学生展示学校现有实验条件和实验课程的最终目的，让学生对实验课程有一个直观的认识。

资料查阅与方案设计：要求学生自主查阅相关资料，包括聚乙烯醇缩甲醛胶水的合成原理、影响因素以及黏度测定方法等，设计初步实验方案，包括材料与试剂、仪器设备、反应条件（如温度、时间、原料配比等）、实验分组与分工、安全防护措施等^[10]。

方案审核与指导：指导教师重点审核学生实验方案中实验变量的选择是否合理、安全风险评估是否充分。教师与学生进行一对一或小组讨论，帮助学生完善方案。

2. 实验实施阶段

引导式指导模式：在实验过程中，教师主要提供关键操作的

提示，如反应温度控制、试剂添加顺序等，而不直接干预学生的具体操作。学生根据自己的实验方案独立完成实验操作和数据记录，按照已制定好的计划逐步完成项目任务。指导教师通过主动式督导，精准化引导，使学生能够系统性应用理论知识与技术能力解决实验问题。

团队协作机制：学生分组开展实验，每组2-3人，分工明确。反应控制（如调节温度、搅拌速度等）、性能测试（如黏度测定）、数据分析都有专门负责学生。通过团队协作，规范操作流程，培养学生的工程协作能力。

3. 成果输出阶段

在综合性实验教学中，培养学生撰写规范实验报告的能力是核心教学环节。教师应系统指导学生从以下维度完成报告撰写：实验原理的论证过程、操作流程的标准化设计、测量数据的误差分析、实验现象的机理解释和实验成果的拓展延伸等，从而全面提升学生的文档撰写能力。

实验设计逻辑：描述聚乙烯醇缩甲醛胶水合成和黏度测定的实验原理，以及实验设计思路、选择该方案的原因以及预期目标。

数据处理方法：说明数据采集、整理及分析所采用的方法，记录关键数据，如反应温度、时间、胶水黏度数值，对黏度数据进行计算分析，绘制关系曲线，分析反应条件对黏度影响。

问题分析：分析实验过程中遇到的问题及其可能的原因，如胶水黏度与预期不符。

拓展延伸：引导学生思考优化胶水制备工艺、提高性能的方法，介绍其实际应用领域和前景，激发学生创新思维。

实验评价：对学生的实验操作规范性、数据记录准确性、实验报告质量等方面进行评价，指出优点和不足，提供改进建议。

(三) 设计性实验的运行

设计性实验是一种在明确认定实验目标和限定条件下，由学生自主规划实验流程并完成操作的实践教学模式。这类实验的核心价值在于：通过赋予学生实验设计自主权，有效调动其学习积极性，培育创新思维，同时系统锻炼其知识整合能力、文献研究能力、问题发现能力以及工程实践问题的解决能力。以塑料熔体流动速度的测定为例：

1. 实验准备阶段

提前发布任务书：提前2周向学生发布任务书，要求学生查阅塑料熔体流动速率相关文献资料，熟悉其测定原理、影响因素及常见测定方法。

方案设计与审核：要求学生通过自主学习、小组协作学习等方式，对该实验任务进行分析，提出自己的实验想法，自主设计实验方案，包括塑料原料选择、测定仪器选型、实验步骤规划等，并进行可行性分析。指导教师重点审核实验变量（如温度、载荷等）设置的合理性以及安全风险评估是否完善。

2. 实验实施阶段

引导式指导模式：在实验过程中，教师采用“引导式指导”模式，仅在关键操作节点（如仪器调试、熔体流动速率测试操作要点）给予提示，学生独立完成实验操作与数据记录。

团队协作机制：学生分组开展实验，每组 2–3 人，分工负责。通过团队协作，培养学生的工程协作能力。

3. 成果输出阶段

实验报告应包含以下部分：

实验设计逻辑：总结塑料熔体流动速率的测定原理、方法及影响因素，包括温度、压力、塑料原料特性等对熔体流动速率的影响，加深学生对塑料加工性能的认识。阐述实验方案设计思路及预期目标，说明所选塑料原料、测定方法的依据。

数据处理方法：详细描述数据采集、整理及分析方法，包括熔体流动速率的计算公式与数据处理过程。

问题分析：分析实验过程中可能遇到的问题（如温度波动对结果的影响）及其原因。根据实验结果提出改进实验方案的建议，以提高实验的准确性和可靠性。

拓展延伸：引导学生思考如何进一步优化实验方案，提高实验精度，以及如何将实验结果应用于实际塑料加工生产中，激发学生的创新思维和学习兴趣。

实验评价：对学生的实验表现进行全面评价，包括实验操作规范性、数据记录准确性、实验报告质量等方面，肯定学生的优点和进步，指出存在的不足之处，为学生的进一步发展提供指导和建议。

四、质量保障体系构建

（一）制度保障

制定《综合性、设计性实验管理办法》等文件，明确项目界定、申报流程及实施要求。设定实验项目开发标准：覆盖跨学科知识整合、方案设计自主性、创新性等核心维度。规定实验课程中综合性、设计性项目占比不低于 30%，且每门实验课至少含 1–2 项。

（二）资源保障

在实验教学过程中，针对不同类型实验需配备相应的指导性文件。对于综合性实验，应当编制详细的实验指导手册，着重体现知识体系的横向联系与纵向衔接，系统呈现实验操作流程、预期现象观察、数据规范化处理以及多维度结果分析等关键环节，并对各环节提出具体的技术规范与质量要求。对于设计性实验，则应制定明确的任务说明书，清晰界定实验目标与技术参数范围，在确保安全规范的前提下，避免对实验方法与操作流程进行过度限定，从而充分保留学生的自主探索空间。同时，应建立课外延伸实验的配套支持机制，包括但不限于实验室开放制度、设备借用权限及导师咨询通道等配套措施。

（三）评价保障

强化过程评价，课程考核方式分为平时成绩、实验技能和期末考试。过程平时成绩评定由实验报告确定，包括内容完整性、规范性、实验结果准确性、实验结果分析合理性及思考题回答准确性。实验技能成绩评定包括实验方案创新性、操作规范性、实验结果准确性和团队协作等。建立实验教学质量反馈机制，评价持续优化实验设计。

五、结语

综合性、设计性实验的引入，体现了“以学生为中心”的教学理念，实现了材料专业实践教学从“知识传授”向“能力培养”的转型。通过构建科学的实验设计体系、规范的实施流程及多维度的质量保障机制，有效提升了学生的创新意识与工程实践能力。未来需进一步拓展校企协同深度，推动实验教学与产业需求的精准对接，为培养适应新材料产业发展的高素质应用型人才提供持续动力。

参考文献

- [1] 万明攀, 向嵩, 张晓燕, 李伟, 雷源源. 发挥学科特色优势培养材料科学与工程创新型人才 [J]. 教育教学论坛, 2019, 5: 89–90.
- [2] 贺图升, 黎载波, 刘洋, 田长安. 新工科背景下材料专业实践教学体系建设路径探索 [J]. 教育教学论坛, 2024, 16: 121–124.
- [3] 委福祥, 王延庆, 刘洪涛, 吉喆. “新工科”背景下材料专业实践教学体系探索 [J]. 实验室研究与探索, 2019, 1: 197–200.
- [4] 郭福全, 胡治元, 余东升, 谢富春. 高分子材料专业综合性、设计性实验教学探索 [J]. 陕西教育: 高教版, 2007, 12: 45–46.
- [5] 董艳燕, 沈为民, 李晨霞, 梁培. 设计性实验评价体系的研究与实践 [J]. 教育教学论坛, 2016, 18: 115–116.
- [6] 刘军, 陈彩凤, 杨娟, 沈湘黔. 构建“理论教学 – 综合实验 – 课程设计”三位一体的教学体系 [A]. 2005 年中国机械工程学会年会论文集, 2005.
- [7] 李鸿敏. 综合化学实验新体系的研究与构建 [D]. 济南: 山东大学硕士学位论文, 2012.
- [8] 曾豪华. 《工程材料综合实验》的教学改革与实践 [J]. 广东技术师范学院学报, 2010, 31(2): 51–55.
- [9] 李颖, 毕豫, 崔巍, 左宏森, 侯永改. 以综合性设计性实验建设为契机促进专业实验教学体系的改革 [J]. 河南工业大学学报: 社会科学版, 2010, 6(4): 145–147.
- [10] 吴雪艳, 陈秋龙, 周伟敏, 曹力军, 朱申敏. 材料综合实验课程创新性实验项目的设计与实施 [J]. 实验室研究与探索, 2020, 39(8): 228–231.