

·教育与教学·

高分子物理的“理-实-智”一体化课程改革探索： 以聚乙烯醇缩丁醛合成-结构-性能为课程载体

高粱*

(广东工业大学轻工化工学院, 广州 510006)

摘要: 对于非高分子专业的高分子物理课程教学, 迫切 need 加强工程实践导向, 重点培养学生的复杂工程问题解决能力。本研究构建了一种“理-实-智”的一体化教学模式, 该模式以聚乙烯醇缩丁醛(PVB)的“合成-结构-性能”关系为主线, 将理论讲授、实验实践与人工智能工具(如ChatGPT)深度融合。通过PVB产品设计案例, 系统阐释了从分子合成到凝聚态结构演变, 最终影响制品性能的全过程机理。此外, 借助AI技术实现理论公式的可视化呈现与实验数据的智能分析, 直观地展示参数-性能的定量关系, 这显著提升了学生对抽象理论的理解深度和学习兴趣。教学实践反馈显示, 该模式在提升实践价值和应用AI教育工具方面得到了普遍认可。后续研究将重点优化项目设计深度、完善AI技术融合方案、强化学生对高分子物理核心概念的掌握效果, 从而为推进跨学科创新人才培养提供新的实践路径。

关键词: 高分子物理; 聚乙烯醇缩丁醛; 人工智能

Exploration of the “Theory-Practice-Intelligence” Integrated Curriculum Reform in Polymer Physics: Using the Synthesis-Structure-Performance of Poly(vinyl butyral) as the Course Framework

GAO Liang*

(School of Light Industry and Chemical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 51006, China)

Abstract: The teaching of polymer physics in non-polymer-related disciplines needs to further emphasize engineering practice and applications, focusing on cultivating the ability to solve complex real-world engineering problems through continuous learning. This course reform explored the use of poly(vinyl butyral) (PVB) “synthesis-structure-property” as a framework, integrating theoretical instruction, experimental practice, and AI tools (such as ChatGPT). By restructuring the course content, we have created an “integration of theory, practice, and intelligence” teaching model to cover the core elements of polymer physics. Through PVB product design, we connect the relationship between “synthesis-molecular structure-condensed state structure and product performance”. Additionally, by using AI to visualize formulas and perform data analysis, we made the influence of parameters on properties in theoretical formulas more concrete, thereby stimulating students’ interest and understanding. Feedback indicates that the practical value of the project and the educational utility of AI tools have been widely recognized. In the future, we will further optimize project design, deepen the integration of AI technology, and enhance

2025-01-27 收稿, 2025-02-27 录用, 2025-04-16 网络出版

基金项目: 广东工业大学教改项目(项目号 26332402055)

本文附有电子支持信息, 与正文一并刊登在本刊网站 <http://www.gfztb.com>

* 通信联系人: 高粱, E-mail: gaoliang@gdut.edu.cn

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2025.25.002

students' mastery of key polymer physics concepts to advance interdisciplinary education.

Keywords: Polymer physics; Poly(vinyl butyral); AI

引用: 高粱. 高分子物理的“理-实-智”一体化课程改革探索: 以聚乙烯醇缩丁醛合成-结构-性能为课程载体. 高分子通报, 2025, 38(6), 972–981.

Citation: Gao, L. Exploration of the “theory-practice-intelligence” integrated curriculum reform in polymer physics: using the synthesis-structure-performance of poly(vinyl butyral) as the course framework. *Polym. Bull.* (in Chinese), 2025, 38(6), 972–981.

在材料、化工类等非高分子专业中, 普遍开设了高分子物理课程。课程内容主要包括高分子的结构、性能以及分子运动的统计学等方面, 其核心内容有高分子链构象统计、溶液热力学、多相体系相分离行为、凝聚态结构演变规律和黏弹性理论等理论模块^[1]。由于前期缺乏相关导论课程的铺垫, 非高分子专业的学生普遍反映概念繁杂、理论内容生硬且脱离实践^[2,3]。当前高分子物理教学改革注重系统梳理“结构-运动-性能”的传导逻辑, 然而存在理论与实践脱节的局限性^[4~7]。因此, 部分教学团队开始探索将具体产品开发案例融入课程体系, 通过案例来引导教学^[8~10]。

案例教学法能有效促进高分子物理理论知识与工程实践的深度融合。典型范例包括: 段玉丰等以聚丙烯锂离子电池隔膜的制备为案例, 探讨了课程知识点与拉伸结构演化的结合点^[11]; 王仕峰等以反应共混改性沥青为典型案例, 探索了从基础知识到工程化应用的高分子案例教学^[12]。这种“理-实”融合的教学模式具有双重优势: 一方面, 通过可视化、具象化的工程案例, 直观展示高分子物理理论对工程实践的指导作用, 强化了理论学习的现实意义; 另一方面, 以问题为导向的项目实践促进了学生对理论知识的迁移应用能力, 显著提升了解决复杂工程问题的综合素质。为了保持“理-实”融合教学模式的时效性与前瞻性, 其实践

项目设计必须与工业技术发展保持同步迭代^[13,14]。

在人工智能(AI)快速发展的时代背景下, 将AI工具应用于专业教学已成为新的教学改革发展趋势。以牛津大学为代表的国外高校已率先开展了人工智能技术与高分子学科教学融合的探索实践^[15~18]。本教研团队也在前期教学中尝试引入机器学习技术, 成功实现了传统红外光谱分类的课堂演示^[19]。这种教学方式不仅能够帮助学生掌握ChatGPT、MATLAB等AI工具的实际操作技能, 更能促进其对专业知识的深入理解。基于当前高分子物理教学改革的实践经验, 结合应用化学等非高分子专业注重工程实践、强调解决复杂工程问题的特点, 我们提出构建以实验项目为载体, 以问题为导向的“理论-实验-人工智能”三位一体教学模式, 推进高分子物理课程的教学创新。

本课程改革以具有重要工程应用价值的聚乙烯醇缩丁醛(PVB)为研究对象, 构建了基于“合成-结构-性能”关系的“理-实-智”一体化教学模式(图1)。该模式以高分子物理核心理论框架为指导, 重点剖析PVB合成过程中的链结构演变、相变行为及其凝聚态特性, 系统阐释了高分子链结构、溶液性质、相分离机制、凝聚态结构及黏弹性等关键科学问题。在教学实施过程中, 创新性地引入ChatGPT等AI工具, 实现了理论公式的可视化呈现与数据分析的智能化处理, 有效提升了教学效果。

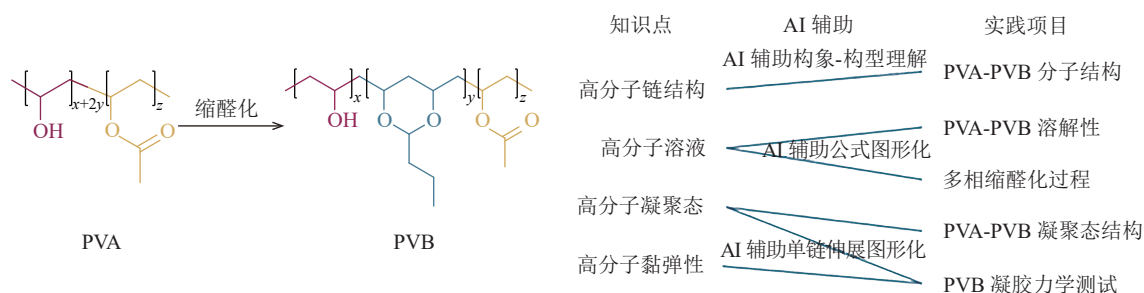


图1 基于聚乙烯醇(PVA)缩醛化反应的聚乙烯醇缩丁醛(PVB)合成以及AI辅助项目化教学

Figure 1 Synthesis of poly(vinyl butyral) (PVB) through the acetalization reaction of poly(vinyl alcohol) (PVA) and AI-assisted project-based teaching

通过课堂实践与问卷调查相结合的方式,对教学改革成效进行了系统评估,为后续优化提供了实证依据。基于前期探索成果,下一步将深化与应化专业的学科交叉,进一步完善课程体系,强化工程实践导向。

1 课程改革思路

为科学评估“理-实-智”一体化教学模式的必要性与可行性,本课程改革在实施前对某高校2021级应用化学专业高分子物理课程修读学生(81人次)开展了基线调查。通过结构化问卷(详见电子支持信息附件1)系统考察了学生对该课程的认知现状与学习需求。

调查结果显示,72.8%的受访者认为现有课程难度较高,主要症结在于:(1)理论知识与工程实践脱节;(2)课程内容与职业发展关联度不足;(3)缺乏实践导向的教学案例支撑。这一发现凸显了传统教学模式与工程教育需求之间的显著差距。值得注意的是,63.6%的学生明确表达了通过工程案例深化理论理解的诉求,为案例驱动式教学改革提供了重要依据。

在人工智能认知维度,65.4%的学生对AI工具的应用仍停留在翻译辅助、概念解释等基础层面,未能充分发掘其在科学研究与工程实践中的潜在价值。然而,78.9%的受访者对AI工具(特别是ChatGPT)表现出浓厚兴趣,且已有23.5%的学生将其应用于学术写作等实践场景。这一发现为AI技术融入课程教学提供了现实基础。

基于上述发现,本课程改革从课程整合与教学设计两个维度提出了改革方案:(1)构建“理论-实践-AI”三位一体的课程体系;(2)开发AI助力的案例教学模式;(3)建立持续改进的质量保障机制。

1.1 课程整合

本课程改革将理论课程《高分子物理》(32学时)与实验课程《聚乙烯醇缩醛合成及其结构与性能》(22学时)有机整合,构建了“理-实”一体化的新型《高分子物理》课程体系。该课程面向具备一定专业基础的大二下学期或大三下学期的本科生开设,具体教学大纲详见电子支持信息附件2。考虑到我校应用化学专业本科生已系统修读过MATLAB或Python等编程课程,建议学生在课程开始前通过MathWorks官方网站([https://www.](https://www.mathworks.com/products/MATLAB.html)

[mathworks.com/products/MATLAB.html](https://www.mathworks.com/products/MATLAB.html))等资源平台,巩固MATLAB语法基础,为后续AI工具在课程中的深度应用做好技术储备。

1.2 项目化教学设计

本课程改革采用项目化教学模式,以PVB高分子材料制备为教学载体,将课程内容重构为4个专题、12个具体项目(详见表1)。教学内容设计参考了何曼君等编著的《高分子物理》等权威教材,并严格对接《中国工程教育专业认证标准》的毕业要求,具体体现如下:

(1)相分离理论与PVB合成工艺。通过PVB合成工艺优化项目,培养学生新产品开发与工艺设计能力。对应“毕业要求”中的1.4:“能将工程和专业知识解决应用化学复杂问题(如新产品、新工艺等)及方案比较”。

(2)不同分子量PVA与PVB的制备。设计不同分子量PVA制备PVB实验,强化学生方案设计与优化能力。对应“毕业要求”中的2.3:“能分析、比较多种解决方案,明确研究目标,得出有效结论”。

(3)引入AI工具。引入MATLAB等AI工具进行数据处理与模拟分析,拓展学生知识获取途径。对应“毕业要求”中的12.1:培养自主与终身学习能力

1.3 教学设计目标

本课程改革在传统《高分子物理》教学目标的基础上,提出了以下创新性教学设计目标:

(1)理论与实验紧密衔接,深化核心概念理解。将理论知识与实验操作无缝衔接,帮助学生加深对高分子物理中基本概念和物理量关系的理解。同时,注重揭示这些理论知识背后的实践意义,使学生能够在实际应用中理解和运用所学内容。

(2)借助AI工具,拓展学科融合视野。借助人工智能工具(如ChatGPT、MATLAB等),通过公式可视化、数据分析等方式,将高分子物理中复杂的数理关系具象化,帮助学生更直观地理解抽象概念。同时,启发学生探索AI技术与高分子物理及其他学科结合的切入点。

2 教学改革实施

本课程改革以“聚乙烯醇缩醛化反应及其结构-性能关系”为核心项目任务,采用理论讲授、实验操作与AI工具应用交叉融合的教学模式。

表1 《高分子物理》项目化教学设计

Table 1 Project-based teaching design for *Polymer Physics*

专题	课程优化设计	实验或课堂演示	AI 技术介绍	理论学时 (课堂)	实验学时 (实验室)
专题1 高分子链结构	项目1 认识高分子的由来和基本概念	直观地观察小分子多元醇与聚乙烯醇的区别	在课堂上, 利用 ChatGPT 绘制全同、间同与无规PVA, 模拟自由行走模型, 并判断正确与否, 思考如何改进	2	0
	项目2 讲授高分子的分子链: 构型	利用球棍模型, 构建全同、间同与无规PVA		1	0
	项目3 讲授高分子的分子链: 构象	利用球棍模型演示不同长度的PVA 的柔顺性		2	1
	项目1 讲授高分子溶解	不同分子量的PVA 溶解及其乌氏黏度计黏度测定	在课堂上, 借助 ChatGPT, 编写 MATLAB 代码, 将课本中相关核心公式图形化, 并观察自变量或可调参数变化对于图像的影响趋势	2	1
专题2 高分子溶液	项目2 Flory-Huggins 高分子溶液理论	PVA 的缩醛化反应		4	4
	项目3 溶液相分离			2	
	项目4 亚浓溶液以及凝胶	PVB 反溶剂法凝胶化, 并观察凝胶在不同温度下的溶胀情况。		4	4
专题3 凝聚态结构	项目1 玻璃态、结晶态	测定不同分子量PVB与PVA 的玻璃化转变, 并压制PVB样条		4	2
	项目2 取向	利用手机背光与墨镜, 测定PVB样条拉伸的偏光性		4	0
专题4 高弹性与黏弹性	项目1 高弹性	不同PVB凝胶的拉伸、松弛与蠕变	利用 ChatGPT 协助编写 MATLAB 动画程序, 生成高斯链的模拟, 并研究其在周期外力作用下的构象变化	4	4
	项目2 黏弹性			2	4
				1	2

教学实施对象为我校应用化学专业22级1~2个班的大三学生($n=69$), 具体学时分配如表1所示。在教学组织方面, 针对各专题特点与项目任务要求, 设计了系统的课前预习方案, 提前发布相关课件以及学习资料。相关资料见电子支持信息附件。以下结合典型的教学案例, 重点强调传统课堂内容与实验, 以及AI工具的结合点, 讨论教学实施过程、教学结果以及学生反馈。

本课程改革按照教学时序, 以专题形式展开课堂与实验室的教学实践。在绪论部分, 除了讲授教材中的基础知识外, 我们特别引入了聚乙烯醇缩醛在实际应用中的具体案例, 帮助学生理解高分子物理在材料研发中的重要作用, 从而提升学生的学习动机。

2.1 专题1: 高分子链结构

本专题的核心内容包括高分子链的构成与基本结构、空间构型、构象等概念。教学重点在于通过可视化手段阐释构型与构象的差异, 以及高分子链的微观结构模型。课前布置了PVA和PVB的背景资料预习任务(详见电子支持信息附件3), 帮助学生建立对这2种高分子树脂的特性、应用及典型产品的初步认知。

在传统理论授课的基础上, 本课程创新性地引入AI工具(如 ChatGPT)辅助教学。例如: 在讲解高分子构型时, 除了使用传统的球棍模型演示外, 还尝试利用 ChatGPT 生成PVA 高分子的全同、间同与无规构型。然而, AI工具在生成复杂分子结构时存在明显局限性: 当输入“绘制具有全同、间同与无规构型的聚乙烯醇分子结构”等提示语时, 生成结果可能出现错误(如图2所示)。

这种教学设计具有多重优势。首先, 通过分析AI生成的错误结构, 能够加深学生对构型概念的理解; 其次, 帮助学生认识AI技术的局限性, 强调专业知识的重要性; 再次, 培养学生批判性思维和问题分析能力; 最后, 引导学生正确认识AI工具在理工科领域的适用边界。

实践表明, ChatGPT在处理明确定义的问题时表现良好, 但在需要专业推理和判断的任务中, 仍需依赖教师的专业指导和学生的自主学习能力。

为深化学生对高分子链微观模型的理解, 本课程创新性地采用 ChatGPT 辅助编程教学。通过输入适当的提示语, 即可生成展示随机行走模型的 MATLAB 动画程序(详见电子支持信息附件4),

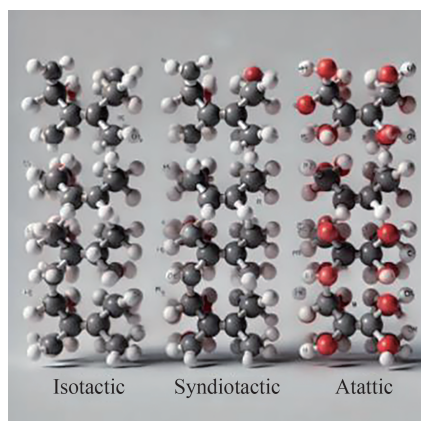


图2 ChatGPT在提示语:“绘制具有全同、间同与无规构型的聚乙烯醇分子结构”下输出的典型结构,可见结构并不正确。

Figure 2 Typical structures output by ChatGPT under the prompt “Draw the molecular structure of poly(vinyl alcohol) (PVA) with isotactic, syndiotactic, and random configurations”, it can be seen that the structures are incorrect.

这一方法突破了传统教学中依赖专业软件的限制^[20]。该动画模拟了高分子链的随机行走过程,并启发学生通过修改代码自行调整行走步数(对应链长)和步长(对应链段长度),以观察这些参数变化对随机行走过程的影响(图3)。

通过直观的动画演示,学生可以清晰地感受到链长与链段长度对均方末端距的作用。具体实施过程中,学生根据以下任务进行探索和分析:

(1)调整步数(链长)。学生修改代码中的行走步数参数,观察链长增加如何影响高分子链的空间覆盖范围与均方末端距的变化。

(2)调整步长(链段)。学生改变步长参数,分析链段长度对随机行走路径和链柔性的影响。

(3)观察随机性。多次运行程序,体会随机性对行走轨迹的影响,并通过多次模拟对均方末端距进行统计分析。

这种结合动画演示和编程实践的教学方法,不仅加深了学生对随机行走模型的理解,还培养了学生自主探索和实验能力,为学生理解高分子链微观模型的核心概念提供了直观且有效的学习支持。

2.2 专题2: 高分子溶液

本专题采用课堂讲授与实验操作交叉进行的教学模式,通过理论阐释与实验观察相结合的方式,帮助学生系统掌握高分子溶解行为的基本规律、热力学模型及溶液物理性质。教学内容聚焦高分子溶解行为特征、溶液热力学基础理论以及溶液物理特性3个核心维度,其中高分子溶液热力学模型是学生普遍反映的学习难点。

为了帮助学生更好地理解高分子溶解行为与近晶格溶液理论的关系,除了开展常规的高分子(PVA)黏度测试实验并结合相关理论讲解(详见电子支持信息附件5),还引导学生观看PVB生成反应视频。视频展示了PVB生成物从溶解到不溶解的动态变化,反应溶液从透明到不透明的现象(图4,视频详见电子支持信息附件6),直观地呈现了分子结构变化对溶解行为的影响。

通过这些教学环节,启发学生结合专题2中的项目1和项目2深入思考溶液理论,特别是以下几个方面:

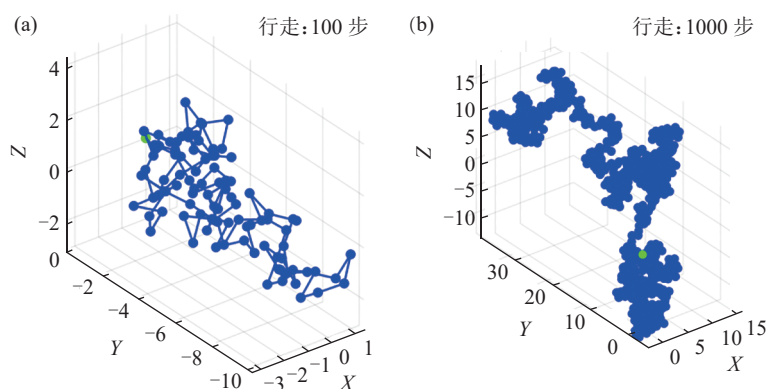


图3 ChatGPT在提示语:“用MATLAB模拟一个随机行走过程,假设行走100或1000步骤,并标识从起点到终点的直线距离”下生成的典型结果:(a)行走100步;(b)行走1000步

Figure 3 Typical results from ChatGPT under the prompt “Simulate a random walk process in MATLAB, assuming 100 or 1000 steps, and label the straight-line distance from the starting point to the endpoint”: (a) The left subplot shows the result for 100 steps; (b) The right subplot shows the result for 1000 steps

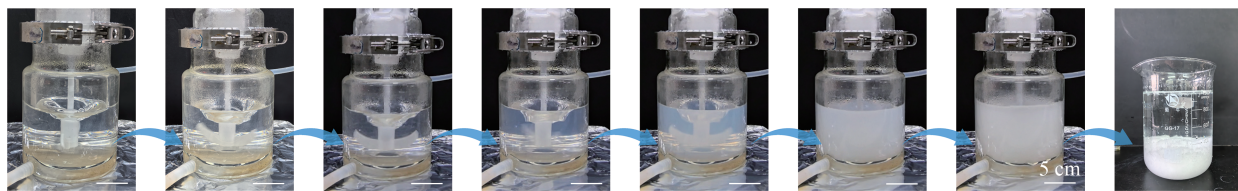


图4 PVB制备过程中反应介质透明度变化(视频详见电子支持信息附件6)

Figure 4 Change in the transparency of the reaction medium during the preparation of PVB (See video in appendix 6)

(1) 分子结构与溶解性的关联。随着PVB分子结构的改变, 分子的水溶性显著下降。通过这一变化, 学生能够更直观地理解溶度参数的物理意义。

(2) 热力学描述。分析溶液吉布斯自由能的变化, 理解从溶解到不溶解的转变背后的热力学驱动力。

(3) 溶液相图的应用。结合实验和理论, 进一步探索溶解行为、热力学参数与相图之间的内在联系, 强化对高分子溶解行为热力学模型的理解。

通过理论与实验的交互设计, 该专题不仅有效突破了教学难点, 还通过直观的实验现象和深入的理论分析, 显著提升了学生的学习兴趣 and 知识掌握深度。

为帮助学生直观理解课程中的关键公式, 本课程创新性地引入AI辅助教学工具。具体实施过程如下: 指导学生使用手机拍摄教材中的公式图片, 并将截图上传至ChatGPT。借助其先进的图像识别功能, 能够准确解析公式, 并自动生成相应的MATLAB可视化代码。学生可通过修改代

码中的参数, 实时观察公式在不同条件下的变化规律。以下展示2个典型的公式图形化教学案例。

案例一: 针对《高分子物理(第三版)》教材中第61页“公式3-18”(公式1):

$$\frac{\Delta F}{kT} = \frac{\phi}{N} \ln \phi + (1 - \phi) \ln(1 - \phi) + \chi \phi(1 - \phi) \quad (1)$$

直接截图, 上传到ChatGPT, 并输入相关提示语, 请ChatGPT帮我们编写一个程序绘制自由能对组成的曲线(图5, 如课本中图4-3)

案例二: 针对《高分子物理(第三版)》教材中第68页“公式3-19a”(公式2):

$$\Delta \mu_1 = RT \left[\ln(1 - \phi_2) + \left(1 - \frac{1}{x}\right) \phi_2 + \chi \phi_2^2 \right] \quad (2)$$

同样地直接截图, 上传到ChatGPT, 并输入相关提示语, 请求生成绘制自由能-组成曲线的MATLAB程序(公式2, 过程如图6所示, 生成的图对应课本中图3-5)。

在此基础上, 我们设计了进阶学习任务: 要求学生修改程序代码, 通过调整聚合度、温度等

(a)
$$\frac{f(\phi)}{k_B T} = \frac{\phi}{N} \ln \phi + (1 - \phi) \ln(1 - \phi) + \chi \phi(1 - \phi)$$

(b)

编写matlab代码绘制 $f(\phi)/k_B T$ vs ϕ , 假设 $N=3$, $\chi=1.5$

以下是生成该图的 MATLAB 代码:

```
matlab
% Constants
N = 3;
chi = 1.5;

% Define phi
phi = linspace(0.01, 0.99, 100); % Avoid phi=0 and phi=1 to prevent log issues

% Define f(phi)/k_B T
f_phi = (phi / N) .* log(phi) + (1 - phi) .* log(1 - phi) + chi .* phi .* (1 - phi);

% Plot
figure;
plot(phi, f_phi, 'b', 'LineWidth', 1.5);
title('Plot of f(phi)/k_B T vs phi', 'FontSize', 14);
xlabel('phi', 'FontSize', 12);
ylabel('f(phi)/k_B T', 'FontSize', 12);
grid on;
legend('f(phi)/k_B T', 'FontSize', 12);
```

将代码复制到 MATLAB 中运行, 即可生成对应的图像。

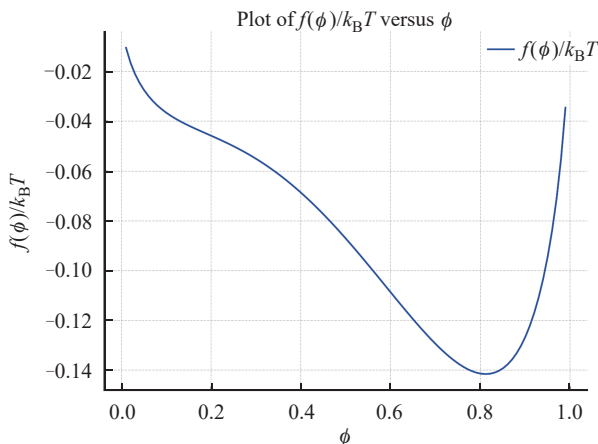


图5 (a)利用ChatGPT直接上传公式图片,输入相关提示语;(b)生成对于公式(1)的绘图MATLAB程序(电子支持信息附件7)

Figure 5 (a) Using ChatGPT to directly upload the formula image and input the relevant prompt to generate MATLAB code; (b) The plot for the corresponding Eq. (1) by running the MATLAB code (see Support information appendix 7)

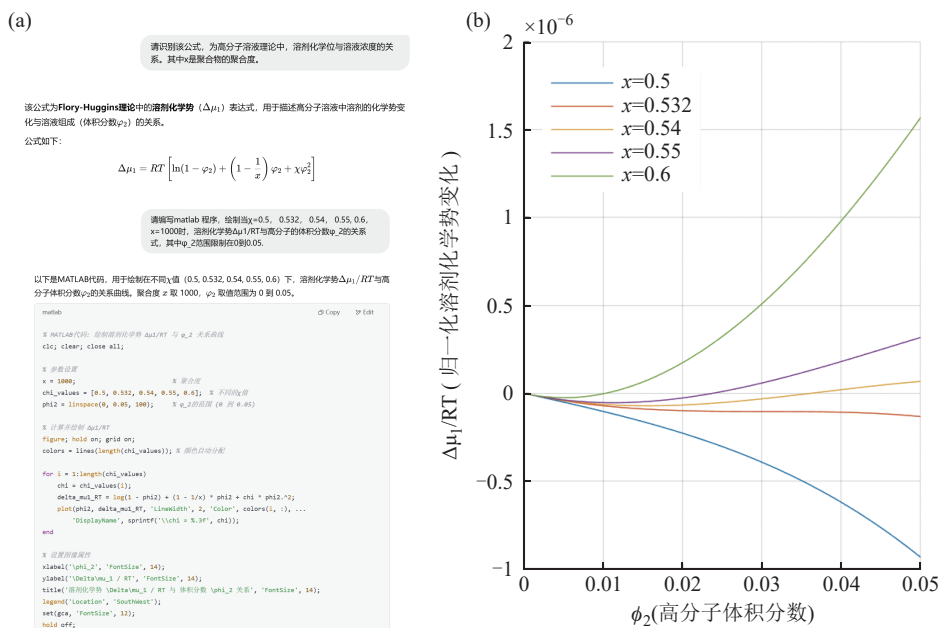


图6 (a)利用 ChatGPT,输入相关提示语,生成对于公式(2)的绘图 MATLAB 程序;(b)运行得到 MATLAB 代码所得图片(电子支持信息附件 8)

Figure 6 (a) Using ChatGPT to input relevant prompts and generate a MATLAB program for plotting Eq.(2) (Support information 8; (b) Running the MATLAB code to obtain the generated image (Support information appendix 8)

参数,观察曲线形态的变化规律,并分析其背后的物理机制。同时,鼓励学生将这种方法推广应用于教材中的其他公式,以强化对高分子物理核心理论的直观理解。为促进理论与实践的结合,在完成相关理论教学后,随即开展PVB合成实验。实验前,通过提前发布实验方案(详见电子支持信息附件9),要求学生预习实验内容并熟悉操作流程。这种教学设计使学生能够将理论知识直接应用于实践,从实验角度验证所学公式的物理意义,实现了“理-实”的有机统一。

2.3 专题3:凝聚态结构

本专题采用课堂讲授与实验操作交叉进行的教学模式,重点探讨高分子材料的玻璃态与结晶态及其相互转变规律。通过理论阐释与实验验证相结合的方式,帮助学生深入理解高分子凝聚态结构的基本概念及其物理意义。在课堂教学环节,系统讲解了玻璃化转变与结晶过程的基本原理,重点分析了玻璃化转变温度(T_g)与熔点(T_m)之间的差异及其物理化学本质。结合PVA和PVB的分子结构特点,深入阐释了分子链结构对材料热力学行为的影响机制。

理论讲授结束后,学生随即进入实验操作阶段。通过设计合理的实验方案,能够直接观察和验证高分子材料的玻璃化转变与结晶行为,从而

加深对理论知识的理解,实现从概念认知到实践应用的转化。

实验内容设计包括两个核心部分:首先,测试不同分子量PVB材料的玻璃化转变温度(T_g),观察并分析分子量对 T_g 的影响规律;随后,测定PVA的结晶熔点(T_m),并与玻璃化转变特征进行对比分析。实验前,学生需预习实验方案(详见电子支持信息附件10),重点掌握实验原理、操作步骤,以及DSC曲线中玻璃化转变与熔融特征峰的识别方法。

实验完成后,学生通过对不同分子量PVB样品 T_g 的对比分析(图7),深入探讨分子量对材料热性能的影响机制,包括分子链柔顺性和链间相互作用等因素。同时,结合PVA的结晶行为,观察并讨论结晶熔融(一级相变)与玻璃化转变(二级相变)在DSC曲线中的特征差异。通过教材中关于熔融和玻璃化转变热力学的理论解释,进一步从热力学角度分析实验现象。

这种理论讲授与实验操作相结合的教学模式,使学生不仅掌握了玻璃态与结晶态的基本概念,还更深入地理解了高分子材料凝聚态的热力学行为特征。通过对实验数据的分析与讨论,有效提高了学生的逻辑思维能力和问题解决能力,同时强化了他们对材料结构-性能关系的认知,为

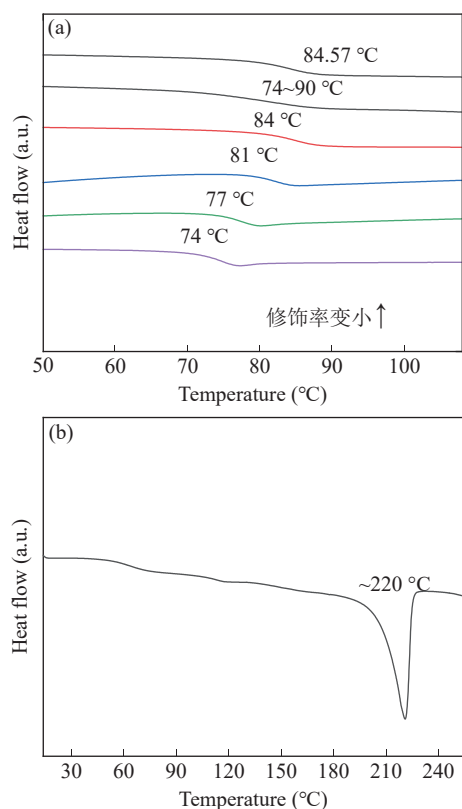


图7 同学测得的 DSC 曲线: (a) 不同修饰率的 PVB 的玻璃化转变; (b) PVA 熔点

Figure 7 DSC curves measured by classmates: (a) Glass transition of PVB with different modification rates; (b) Melting point of PVA

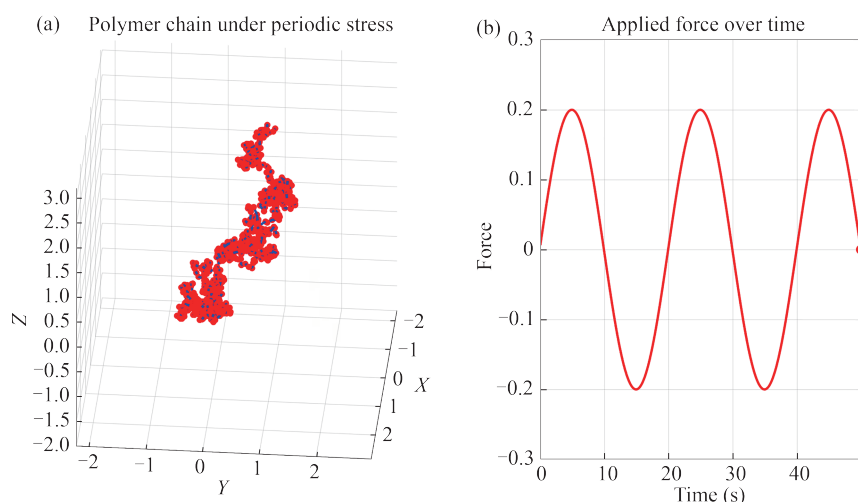


图8 (a) 高分子链的随机初始构象, 及其随周期性外力发生形变和恢复; (b) 外力变化曲线实时更新, 红点标识当前帧的力值。动态文字: 实时显示高分子链的均方末端距和当前施加的外力值。典型 ChatGPT 提示语: “编写 MATLAB 程序, 动画展示高分子链在随机热运动与周期性外力作用下的构象变化。在动画中同时显示周期性施加的力随时间的变化曲线”

Figure 8 (a) The random initial conformation of the polymer chain, which deforms and recovers under periodic external force. (b) The curve of the varying external force is updated in real-time, with red dots indicating the force value at the current frame. Dynamic text: Real-time display of the mean square end-to-end distance of the polymer chain and the currently applied external force. Typical ChatGPT prompt: “Write a MATLAB program to animate the conformation changes of a polymer chain under random thermal motion and periodic external force. The animation should also display the time-dependent curve of the periodically applied force”

后续的材料研究与应用奠定了坚实基础。

2.4 专题4: 高弹性与黏弹性

本专题采用课堂讲授与实验操作交叉进行的教学模式, 重点讲解高弹性热力学分析、分子理论以及黏弹性力学模型等核心内容。在理论教学环节, 创新性地引入 ChatGPT 辅助教学: 指导学生利用 ChatGPT 将教材中的关键公式进行图形化处理, 例如绘制高弹性模型的应力-应变关系曲线。通过调整网链数量和温度等参数, 直观观察这些变量对曲线形态的影响。这种方法不仅帮助学生更好地理解公式的物理意义, 还深化了他们对高弹性本质的认识——即分子链在热力学平衡下的构象变化。

为进一步强化学生对高弹性理论的理解, 课程结合专题1中的随机行走模型, 指导学生使用 ChatGPT 编写 MATLAB 动画程序(详见电子支持信息附件11), 模拟高斯链在周期外力作用下的构象变化。通过动态可视化展示(图8), 能够清晰地观察高分子链的热运动特征和平衡状态。这种将抽象理论转化为直观动画的教学方法, 不仅增强了知识的可理解性, 还显著提升了学生的学习兴趣 and 参与度。

在实验教学环节, 学生使用前期制备的不同分子量和修饰率的 PVB 样品, 采用反溶剂法制备

高分子膜材料,并通过拉力机测试样品的断裂强度、模量、蠕变及应力松弛等力学性能(详见电子支持信息附件12)。这一实践过程使学生掌握了高分子材料力学性能测试的基本实验技能,同时为理论知识的实际应用提供了实证支持。

实验结束后,学生需要基于拉伸测试结果进行深入分析,重点探讨样品分子结构特征(如分子量、修饰率)对力学性能的影响机制,并从分子链运动的角度解释实验现象。通过这种理论讲授与实验操作的有机结合,学生能够从微观分子运动到宏观力学性能的多尺度视角,深入理解高分子材料的高弹性和黏弹性行为。

这种“理-实”融合的教学模式不仅有效提升了学生的理论认知水平和实践操作能力,更重要的是培养了他们的材料分析与表征能力,为未来从事高分子材料研究与工程应用奠定了扎实的专业基础。

3 授课效果评价

3.1 作业

在整体课程结束后,为了进一步检验学生的学习效果和知识应用能力,我们设计了如下开放性大作业。

作业1: 陈述PVB的结构参数与高分子链基本性质之间的关联,并结合高分子物理的基础知识,将这些关联与PVB的性能特性联系起来,形成完整的分析。

作业2: 分析PVB在缩醛化合成过程中亲水性的变化过程,利用溶液理论对反应中的多相现象进行定量解释,阐述其内在机理。

作业3: 开发一个课堂上未展示的AI工具结合高分子物理的应用案例。学生需设计一个具体的使用情境,展示该工具在高分子研究或教学中的潜在价值。

作业1和作业2旨在检测目标1的达成度,即学生对课程核心内容(如高分子链结构、热力学行为、溶液理论等)的掌握情况,以及将理论知识应用于实际问题分析的能力。作业3则用于评估目标2的达成度,通过AI工具结合案例的设计,考察学生对人工智能技术在高分子物理领域应用的理解与创新能力。

3.2 学生反馈

在完成授课后,我们通过调查问卷(详见电子

支持信息附件13)评估了学生对教学方案,以及AI工具与教学融合的改革措施的反馈态度。数据分析结果总结如下。

(1)理论学习的指导意义:绝大多数学生(82.61%)认为理论学习对工程实践具有较强的指导意义,其中60.87%的学生认为指导意义较大,21.74%的学生认为指导意义巨大。这表明课程中理论与实践结合的设计在物理学习中得到了广泛认可,体现了学生对课程内容在实际应用中的价值的高度认同。

(2)对PVB合成过程及其结构-性能的理解程度:约43.48%的学生表示对PVB合成过程及其结构性能分析有较高的理解,52.17%的学生认为理解程度一般,仅4.35%的学生表示不理解。这表明大部分学生已掌握了课程的核心内容,但仍有部分学生需要更深入的支持和指导。

(3)实践项目的适宜性:全体参与者(100%)一致认为PVB合成与结构性能分析是非常适合作为实践项目的主题。这反映了学生对实践教学的强烈支持和对该实验设计的高度认可,验证了课程项目化教学的适宜性。

(4)授课形式的独特性:调查结果显示,69.57%的学生认为课程的独特性体现在引入了AI工具,47.83%的学生则强调课程结合了工程实践。此外,56.52%的学生表示课程的学时安排合理。这表明课程在教学形式和时间分配上得到了学生的广泛认可。未来,我们将进一步强调项目化教学在理论与实践结合中的重要作用。

(5)人工智能工具的益处:学生普遍认为AI工具在公式推导与理解(78.26%)、概念理解(78.26%)方面尤其有益,69.57%的学生还肯定了AI工具在具象化公式方面的贡献。这表明AI工具在帮助学生理解复杂理论和提升学习效果方面发挥了重要作用。

4 结语

本课程改革创新性地构建了“理论-实验-人工智能”(理-实-智)三位一体的教学模式。以具有重要工程应用价值的聚乙烯醇缩丁醛(PVB)为研究对象,围绕“结构-性能-分子运动”的主线展开教学设计。通过PVB合成过程中的链结构演变、相变行为、玻璃化转变和黏弹性等典型案例,系统阐释了高分子链结构、溶液性质、相分离机制、

凝聚态结构及黏弹性等核心科学问题。

课程以高分子物理理论教学为主体, 实验教学和AI技术作为重要支撑: 实验环节(特别是基于PVB合成过程的实践)帮助学生将理论概念与工程实际相结合; AI工具的应用则显著提升了学生对抽象理论的理解, 特别是在公式可视化、分子模拟和数据分析等方面, 有效降低了复杂物理概念的学习难度。

本改革的突出特色是人工智能技术(如ChatGPT)的深度融入。通过AI辅助教学, 学生在公式推导与可视化、数据分析及实验设计等方面获得了全新的学习体验。课后评估显示, 学生高度认可理论与实践相结合的教学模式, 并对AI工具在提升学习效果方面的作用给予积极评价。

未来, 课程将沿着“理-实-智”一体化的方向持续优化。进一步迭代项目设计和教学资源, 尤其是自然融入人工智能的相关知识和工具应用, 让学生在掌握传统高分子知识的同时, 具备适应新时代工程技术需求的核心能力。

参考文献

- 1 刘海英, 吕新颖, 高振华, 顾继友. 再谈“高分子物理”本科阶段教学内容. 高分子通报, **2012**, (2), 108–111.
- 2 霍红. 撰写“高分子物理”教案的几点策略. 化学教育(中英文), **2023**, 44(18), 45–48.
- 3 郭改萍, 于建香, 戴玉华. 浅谈高分子物理教学的形象化. 高分子通报, **2022**(9), 144–146.
- 4 陶勇, 王新, 陈学刚, 胡海青. 以构象概念为主线的高分子物理教学实践. 大学化学, **2017**, 32(1), 64–68.
- 5 胡文兵. 高分子链结构的系统介绍. 大学化学, **2024**, (x), 2401014.
- 6 何平笙, 杨海洋, 朱平平. 《新编高聚物的结构与性能》编写心得——(2)教学是需要研究的. 高分子通报, **2013**, (11), 105–107.
- 7 朱平平, 何平笙, 杨海洋. 浅谈高分子物理课程的教学方法. 高分子通报, **2007**(8), 55–59.
- 8 王香梅, 张丽华, 汪存东. 高分子物理课程中的典型案例教学. 高分子通报, **2007**, (4), 71–73.
- 9 雷文; 赵呈孝; 余旺旺; 陈泳; 马晓峰. 《高分子物理》案例库的建设研究. 高分子通报, **2018**, (2), 66–69.
- 10 李振华, 沈雷. “科教深度融合”的高分子物理教学探索与实践. 高分子通报, **2023**, (12), 1740–1744.
- 11 段玉丰, 肖继君. 聚丙烯锂离子电池隔膜制备技术在《高分子物理》课程的案例教学. 高分子通报, **2022**(3), 73–78.
- 12 王仕峰, 潘三水, 张勇, 李嘉曦, 李航. 高分子材料专业贯通式实验案例教学探索. 高分子通报, **2017**, (2), 84–87.
- 13 Hill, M. A.; Overton, T. L.; Thompson, C. D.; Kitson, R. R. A.; Coppo, P. Undergraduate recognition of curriculum-related skill development and the skills employers are seeking. *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2019**, 20(1), 68–84.
- 14 Holme, T. A. Can today's chemistry curriculum actually produce tomorrow's adaptable chemist? *J. Chem. Educ.*, **2019**, 96(4), 611–612.
- 15 Lafuente, D.; Cohen, B.; Fiorini, G.; García, A. A.; Bringas, M.; Morzan, E.; Onna, D. A gentle introduction to machine learning for chemists: an undergraduate workshop using Python notebooks for visualization, data processing, analysis, and modeling. *J. Chem. Educ.*, **2021**, 98(9), 2892–2898.
- 16 Joss, L.; Müller, E. A. Machine learning for fluid property correlations: classroom examples with MATLAB. *J. Chem. Educ.*, **2019**, 96(4), 697–703.
- 17 Jablonka, K. M.; Patiny, L.; Smit, B. Making molecules vibrate: Interactive web environment for the teaching of infrared spectroscopy. *J. Chem. Educ.*, **2022**, 99(2), 561–569.
- 18 Revignas, D.; Amendola, V. Artificial neural networks applied to colorimetric nanosensors: An undergraduate experience tailorable from gold nanoparticles synthesis to optical spectroscopy and machine learning. *J. Chem. Educ.*, **2022**, 99(5), 2112–2120.
- 19 Qiu, R. Y.; Lin, Z. Q.; Yang, Z. C.; Gao, L. Machine learning for infrared spectral classification of polyvinyl butyral with identical chemical groups: an example for undergraduate chemistry classes. *J. Chem. Educ.*, **2024**, 101(2), 328–336.
- 20 杨海洋, 易院平, 朱平平, 何平笙. 二维高分子链形态的计算机模拟. 高分子通报, **2003**, (5), 76–80.