

·教育与教学·

“高分子物理”课程建设的探索与思考

任相魁^{1,2*}

(¹天津大学化工学院高分子科学与工程系 化学工程与低碳技术全国重点实验室 天津 300350)

(²天津大学浙江研究院 高分子复合材料技术开发中心 宁波 315201)

摘要:“高分子物理”课程的知识点多、难点多、内容广,在大类招生培养及新工科背景下,课程“知识点多”与“学时少”的矛盾、前沿科技发展与课程思政建设的不足等问题日益突出。作者结合天津大学化工学院“高分子物理”课程的教学实践,尝试对“折叠链模型”“聚合物结晶形态”与“电子显微镜研究方法”等知识点进行解构与重构,并以凯勒教授证明折叠链模型的故事为线索,重新组织了课程内容;进而引入前沿科技发展实例,并辅以相应的科研公众号专文及文献,尝试构建了集知识传授、能力培养和价值塑造于一体的课程单元,期望这些探索和思考能为兄弟院校“高分子物理”课程的建设提供有益的参考。

关键词: 高分子物理课程; 大类招生; 新工科; 折叠链模型

Exploration and Thought about Course Construction of “Polymer Physics”

REN Xiang-kui^{1,2*}

(¹State Key Laboratory of Chemical Engineering and Low-Carbon Technology, Department of Polymer Science and Engineering, School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300350)

(²R & D Center for Polymer Composites, Zhejiang Institute of Tianjin University, Ningbo 315201)

Abstract: There are lots of knowledge points, difficult points and extensive content in the course of Polymer Physics. Under the background of large-category enrollment and emerging engineering education, many issues become increasingly prominent, such as the contradiction between “numerous knowledge points” and “limited teaching hours”, the insufficient of cutting-edge scientific advancements and course ideology-politics construction. Based on the teaching practices of “Polymer Physics” at School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, the author attempts to deconstruct and reconstruct the key knowledge points such as the “chain-folding model”, “polymer crystalline morphology” and “electron microscopy research methods”. Using the story of Professor Keller’s proofing of folded-chain model as the clue, the course content is reorganized. Subsequently, the cutting-edge scientific advancement is introduced, supplemented by specialized articles from relevant scientific public account and supporting literature, aiming to construct a course unit that integrates knowledge-imparting, ability-fostering and value-shaping. The author hopes these explorations and thoughts can provide valuable references for the development of “Polymer Physics” in other colleges and universities.

Keywords: “Polymer Physics” course; Large-category enrollment; Emerging engineering; Chain-folding model

高分子物理教育与教学专题;2025-12-26 收稿,2026-02-06 录用,2026-04-14 网络出版

基金项目:天津市高等学校研究生教育改革研究计划(项目号 TJYG055),天津大学第二批人工智能赋能课程建设项目,天津大学本科教学改革项目

* 通信联系人:任相魁,E-mail: renxiangkui@tju.edu.cn

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.25.379

引用: 任相魁. “高分子物理”课程建设的探索与思考. 高分子通报, 2026, 39(5), 815–819.

Citation: Ren, X. K. Exploration and thought about course construction of “polymer physics”. *Polym. Bull.* (in Chinese), 2026, 39(5), 815–819.

“高分子物理”是高等学校高分子材料与工程专业重要的核心课程之一, 并为高分子加工、聚合反应工程等后续课程的学习打下基础, 同时也是化学工程与工艺、分子科学等其他相关专业的基础课程之一^[1~3]。因此, “高分子物理”课程的建设成为高分子材料、化学工程与工艺等专业发展的重要基础任务。近年来, 大类招生培养模式及新工科建设为我国高等教育和工程教育的发展提供了新的契机^[4,5], 但也为“高分子物理”课程建设提出了新的任务。

大类招生培养通常指高校招生时将相同或相近学科的专业合并成一个大类进行招生及培养模式, 目前已成为我国大多数高校本科招生培养模式改革的共同选择^[4]。通过大类招生方式入学的学生, 进校后学习1~2年的基础课程, 再根据兴趣和双向选择原则进行专业分流^[1,2]。大类招生培养模式有利于“厚基础, 宽口径”的人才培养, 有利于缓解学生专业选择的迷茫, 但同时也给“高分子物理”课程提出了新的要求。以天津大学化工学院为例, 相对于以往按专业招生培养的模式, 高分子材料与工程方向学生在大类招生培养模式下所需修习的课程门数明显增多, 因此大多数专业课程的学时被不同程度压缩。例如, “高分子物理”课程由原来的64学时被压缩至48学时。如何让学生在有限学时内全面掌握聚合物结构与性能的基本理论, 同时保持对高分子的学习兴趣和热情; 如何建设相应的课程资源作为教学补充。这对授课教师提出了新的挑战和要求。

自教育部于2017年正式启动“新工科”建设后, 先后形成了“复旦共识”“天大行动”“北京指南”等指导性文件, 推动了工科优势高校和大批普通高校参与践行“新工科”建设。在一系列的新工科改革行动中, 许多高校都涌现了面向新业态的工科专业设置、工科人才培养方案和产教融合模式^[5]。以天津大学化工学院为例, 为培养社会和产业需要的未来创新型卓越工程师人才, 相继开设了新工科领军班、卓越工程师班, 并以新课程体系、新教学方法、新课程内容和质量标准进行教学改革; 相应地, “高分子材料科学”课

程中的“高分子物理”内容被压缩至32学时。如何减小“多知识点、大知识量”对学生的压迫感? 如何深入浅出地讲解高分子基础理论对高分子工程的指导作用? 同时润物细无声地开展课程思政建设? 这也是授课教师在新工科背景下必须认真思考和妥善解决的问题。

针对大类招生培养模式、新工科建设及课程思政建设对课程改革提出的新要求, 本文以天津大学化工学院“高分子物理”课程为例, 从课程知识体系的解构与重构、课程资源建设、课程思政建设等方面总结了一些探索方法和思考, 以期能为兄弟院校高分子物理课程建设提供参考。

1 专业知识的解构与重构

“高分子物理”课程涵盖高分子发展史、高分子链结构和聚集态结构、高分子溶液、高分子运动、聚合物的屈服与断裂、聚合物的高弹性与黏弹性、聚合物的流变性能、高分子功能与应用性能, 以及相关的研究方法, 涉及化学、物理化学、数学、材料力学等多学科基础知识, 是一门综合性较强的课程。而在大类招生培养及新工科建设背景下, 其课时则被逐步压缩, “课程知识点多、难点多”与“课程学时少”的矛盾越来越尖锐。

以结晶聚合物为例, 国内《高分子物理》教材中的晶态聚合物结构模型和结晶形态普遍是作为2个内容分开介绍的, 相应的课堂教学一般也分开讲授。而作为晶态结构模型核心内容的“折叠链模型”与作为聚合物结晶形态核心内容的“单晶形态”不仅有着密不可分的联系, 而且是高分子物理课程的难点之一。两个内容分开讲解, 不仅会造成课程内容的重叠及课时的增加, 且容易造成学生思路的跳跃折返, 不利于学生集中精力、一气呵成地理解课程内容。因此, 如果能重新梳理课程内容, 调整授课思路, 把“折叠链模型”与“聚合物结晶形态”融为一体进行讲授, 有益于把课程做精做好, 有益于让学生在有限学时内深入浅出地掌握课程的重点难点。

其次, “工欲善其事, 必先利其器”。要做好高分子的科学研究工作, 掌握基本的表征方法必

不可少^[6,7]。高分子物理基础知识和聚合物表征方法是高分子物理教学的2个重要内容,分开讲授的话,不仅可能因内容枯燥而降低学生的学习兴趣,而且给教师造成学时压力;同时讲授的话,又容易因结合度不够而造成学生听课注意力的下降。值得一提的是,电子显微镜的亮场模式、衍射模式在聚合物单晶形态及折叠链结构中具有重要意义,且具有很高的结合度及融合性。因此,如果能把“折叠链模型”“聚合物结晶形态”与“电子显微镜研究方法”融为一体进行讲授,有利于让学生同时掌握基础知识和研究方法两部分内容,让学生体会实验仪器、研究方法在高分子研究中的作用。

另外,提到晶态聚合物的折叠链模型、结晶形态,就不得不提到国际高分子结晶学领域的泰斗级大师 Andrew Keller(安德鲁·凯勒)教授。凯勒教授通过电子显微镜观察到了聚乙烯片晶的形貌,通过“投影”方法测出了片晶厚度只有 10 nm,并通过电子衍射实验推测出高分子链垂直于片晶的表面(如图1所示),进而证明了片晶的折叠链模型^[8],这是高分子物理研究中里程碑式的重大成就。如果能以凯勒教授的故事为线索,将“折叠链模型”“聚合物结晶形态”与“电子显微镜研究方法”等内容重构为一个整体,进而以故事的形式徐徐展开,进行深入浅出的讲授,将大大提高学生的学习兴趣,并解决“课程知识点多、难点多”与“课程学时少”的矛盾。

基于以上分析,我们尝试对“折叠链模型”“聚合物结晶形态”与“电子显微镜研究方法”等知识点进行了解构与重构,并以凯勒教授证明片晶折叠链模型的故事为线索,重新组织了教学内容。

2 前沿科技发展的教学融入

高校教师应该持续对教学内容进行更新迭代,积极将前沿科技进展、社会需求新变化等及时转化融入教学活动,这也是“新工科”建设对高分子材料工程专业复合应用创新人才的教学需求。根据以往的课堂授课经验及与学生的交流,在对片晶折叠链模型、聚合物结晶形态等内容进行故事化深入浅出的讲解过程中,学生会获得一种知识建构过程的成就感和满足感。而几乎就在此一瞬间,部分学生(尤其是工科高校新工科领军班学生)的神情和眼神中也会闪过一丝短暂的“失

落感”:聚合物片晶的折叠链模型确实很美,证明过程也充满跌宕起伏的物理及逻辑美感;但这一基础理论对当今的科学前沿和工程应用又有何指导或借鉴意义呢?

在新工科建设的背景下,我们可以以上述“课堂事件”为切入点,顺势引入适当的前沿科研实例。例如,纳米粒子正被广泛应用于反应催化、材料改性等领域,其实际应用有时强烈依赖于精确规整的粒子组装等。然而微观上进行纳米粒子组装十分困难,导致纳米粒子的实际工程应用受限。为此,美国 Drexel University 的 Li 等^[9]巧妙地以聚环氧乙烷折叠链片晶作为支撑模板,利用聚 4-乙烯基吡啶吸附并交联金纳米粒子,实现纳米粒子的精确可控组装(如图1(d)所示),所得到的环状组装体由于聚 4-乙烯基吡啶的有效交联还能脱离模板独立存在,为其在工程领域的应用提供了新的思路。将这种前沿科技发展适时融入教学,不仅能化解学生“短暂的失落感”,也有益于培养学生推陈出新的能力和解决高分子工程中复杂问题的综合素质。

3 科学精神与工匠精神的教学融入

立德树人是教育的根本任务,全面推进课程思政建设是落实这一根本任务的战略举措。但高分子物理专业性强,与思政教育易存在“两张皮”现象,无法达到知识传授、价值塑造和能力培养一体化的目标^[10,11]。因此,如何将科学精神、创新精神和工匠精神由点带面地融入课堂教学是构建高分子课程思政教学体系的关键。而对专业知识点及教学内容的重塑、以凯勒教授为线索的故事化讲解、前沿科技发展的融入,这些课程内容及授课思路本身就包含了诸多“润物细无声”的思政要素。例如,凯勒教授用“投影”方法计算了片晶厚度的厚度,通过电子衍射实验证明了片晶折叠链模型^[12],这些课程内容本身就是创新精神、工匠精神的体现,在通过引人入胜的故事化讲解过程中,很容易引起学生的共鸣。最后通过“折叠链片晶对纳米粒子的精确组装”对课程进行延伸,树立学生把“论文写在祖国大地上”的人生理想和价值观。

此外,一些高分子前辈创办的科学文化公众号中的文章也可以作为课程资源和课程思政资源的补充。例如,“旦苑晨钟”是由复旦大学江明院士倡导创建的公众号,以“讲科学背后的故事,探

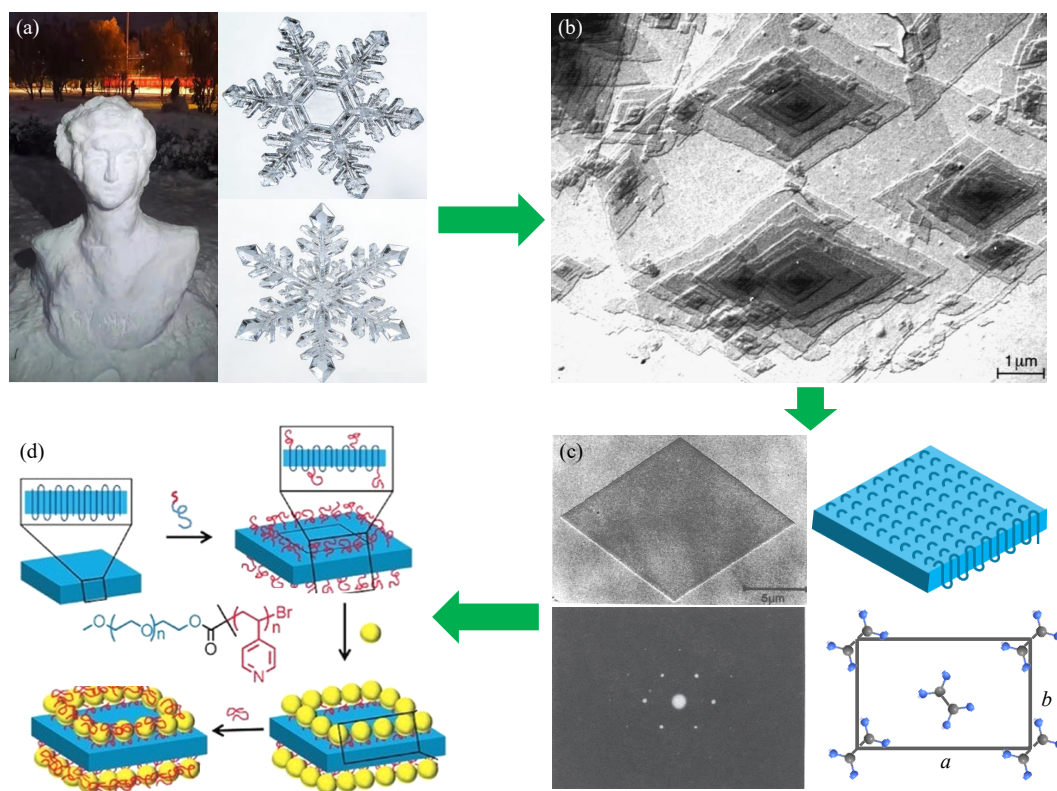


图1 教学设计流程图:(a)课程导入——雪花的形态与结构;(b)聚乙烯片晶形态^[12](1958 American Chemical Society 版权许可);(c)聚乙烯单晶的透射电镜亮场图及电子衍射图^[8](2020 高等教育出版社版权许可);(d)前沿科技发展的教学融入——利用折叠链晶体实现纳米粒子的可控组装^[9](2017 John Wiley and Sons 版权许可)。

Figure 1 Flowchart of instructional design: (a) Course introduction—the morphology and structure of snowflakes; (b) Morphology of polyethylene crystal (Reprinted with permission from Ref. [12]; Copyright (1958) American Chemical Society); (c) Transmission electron microscopy light image and electron diffraction pattern of polyethylene single crystal (Reprinted with permission from Ref. [8]; Copyright (2020) Higher Education Press); (d) Integration of cutting-edge technology development into teaching—realize the controllable assembly of nanoparticles by folded-chain crystals (Reprinted with permission from Ref. [9]; Copyright (2017) John Wiley and Sons)

故事背后的科学”为宗旨,通过分享科学家经历和科学思想弘扬科学精神。为纪念凯勒教授的百年诞辰,南京大学胡文兵撰写了专文“直挂云帆济沧海:我与Keller(凯勒)学派的国际交流故事”^[13],深情讲述了凯勒教授虽早年历经凶险坎坷,却仍醉心学术,成就非凡的传奇经历及其大师风范,还特别分享了他与凯勒学派间长期跨国交流合作的科坛佳缘与精彩往事。这篇文章与“折叠链模型”“聚合物结晶形态”及“电子显微镜研究方法”等知识点紧密相关,且处处有故事,处处有思政,于课前或课后将其推送给学生将起到意想不到的第二课堂效果。

此外,高分子领域的老牌期刊*Polymer*于2000年出版了纪念凯勒教授的专集,并特别刊发了教授生前撰写的最后一篇论文,即关于他发现

折叠链单晶经历的回忆文章(国际著名高分子物理学家、*Polymer*期刊资深主编程正迪教授专门为此文章作了注解)^[14],为高分子学界留下了又一篇传世经典。在这篇论文里,凯勒教授娓娓道来,回忆了证明折叠链单晶的诸多实验及思想细节。此类经典文献也是与课堂教学相适应的珍贵资源,是学生与高分子前辈跨越时空促膝对话的桥梁。

4 课程实施举例

综上所述,重构之后的教学内容、教学设计和改革成效概括如下:

(1)以雪花的结构与形态、天大校园里的雪人导入课程,如图1(a)所示。

(2)以凯勒教授的故事为线索,讲授晶态高分子的形态特点和折叠链模型,顺带介绍电子显微

镜研究方法,如图1(b)和1(c)所示。期间设置课堂问题,引导学生体会其中的创新精神和工匠精神。

(3)引用Li等利用折叠链片晶实现纳米粒子的可控组装的前沿实例^[9],如图1(d)所示,引导学生树立“把论文写在祖国大地上”的科学志向。

(4)在课后,将胡文兵发表在“旦苑晨钟”公众号的专文^[13]及凯勒教授撰写的最后一篇论文^[14]上传至人工智能(AI)辅助线上课堂,供学生学习。

(5)设置课后作业。通过AI辅助线上课堂设置密勒指数、扇形化效应等单选题和多选题;同时,设置相关大作业“如何借助电子显微镜的亮场模式、衍射模式证明聚合物片晶的折叠链模型”。在此基础上,借助AI技术构建动态、可交互的学习平台。一方面,通过交互平台提高学生的学习兴趣 and 效率;另一方面,对学生作业表现进行实时记录和分析,形成学生立体成长档案。

(6)改革成效。学生反馈方式,由单纯的零星课后反馈转变为“课后反馈+AI课堂反馈+AI互动”等多样化多频次反馈,学生在AI系统中的课后复习点击率达到90%,对AI课堂嵌入的公众号专文及凯勒教授论文的点击学习比例达到100%;大作业的考核结果表明,学生对折叠链模型知识点的理解深度加深,且对聚合物结构与性能的关系理解更加深刻;相关课程获评第六届中国石油和化工教育教学成果二等奖、天津市高校课程思政示范课程等荣誉。

(7)教学案例的延伸。对于其他知识点的解构与重构,建议在构思主题时注意以下2点。①知识点在重构之后应具有很好的逻辑性,且有一条故事脉络或主题脉络能够将解构后的重要知识点有机串联起来;②需保证重构之后的内容在1个学时内完成,保证每一学时课程内容的完整性。

5 结语

大类招生培养模式及新工科建设促进了我国高等教育和工程教育的发展,但也在学时分配、课程内容、工程教育转型、学生综合能力培养等方面给高分子课程提出了更高的挑战和要求。作者结合天津大学化工学院“高分子物理”课程的教学实践,尝试对“折叠链模型”“聚合物结晶形态”与“电子显微镜研究方法”等知识点进行了解构与重构,并以凯勒教授证明折叠链模型的故事为

线索,重新组织了课程内容,进而引入前沿科技发展实例,尝试构建了融合知识传授、能力培养和价值塑造于一体的课程单元。“高分子物理”的知识点多、难点多、内容繁杂,在大类招生培养及新工科建设背景下,希望这些探索和思考能为“高分子物理”课程的建设 and 高分子新生力量的培养提供一些有益的参考。

参考文献

- 1 华幼卿,金日光. 高分子物理,第5版. 北京:化学工业出版社,2020.
- 2 何平笙. 新编高聚物的结构与性能,第2版. 北京:科学出版社,2021.
- 3 李寒莹,谢康元,陈威,宋义虎,沈群东,李剑锋,肖石燕,何平笙,胡文兵. 受教学启发的高分子物理思考:2024高分子物理教学经验交流会总结. 高分子通报,2025,38(8),1310-1317.
- 4 李伯耿,潘鹏举,王盎然,沈华芬,张红,马婕. 大类招生模式下高校化工类专业人才培养现状调查与分析. 化工高等教育,2022,39(5),2-8.
- 5 顾佩华. 国际视野下我国工程教育转型的发展路径与思考:天津大学新工科教育中心主任顾佩华教授访谈录. 科教发展研究,2023,3(3),1-17.
- 6 王笃金,胡文兵. 高分子表征技术虚拟专辑前言. 高分子学报,2022,53(12),1567-1568.
- 7 徐涛,傅智盛,李寒莹. 常温下非晶态聚乙烯内聚能密度的测定及其应用. 高分子通报,2024,37(2),263-269.
- 8 程正迪(Stephen Z. D. Cheng). 高分子相变-亚稳态的重要性. 沈志豪译. 北京:高等教育出版社,2020.
- 9 Mei, S.; Qi, H.; Zhou, T.; Li, C. Y. Precisely assembled cyclic gold nanoparticle frames by 2D polymer single-crystal templating. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2017, 56(44), 13645-13649.
- 10 闫毅,颜静,孔杰,姚东东,范晓丽,蔡宁静. 高分子降解课程思政教学探索与实践. 大学化学,2022,37(10),219-223.
- 11 徐源廷,陈显春,木肖玉,袁丹丹,顾志鹏,赵长生,李乙文. 聚焦价值引领的高分子专业课程思政探索与实践. 化学教育(中英文),2025,46(2),33-38.
- 12 Doremus, R. H.; Roberts, B.W.; Turnbull, D. *Growth and Perfection of Crystals*. New York: Wiley, 1958.
- 13 胡文兵. 直挂云帆济沧海:我与Keller(凯勒)学派的国际交流故事[EB/OL]. (2024-10-12) [2025-12-23]. <https://mp.weixin.qq.com/s/PSJBzKx-DgWPPpbZ7Vuq4A>.
- 14 Keller, A. Reminiscences on the discovery of chain folded single crystals. *Polymer*, 2000, 41(25), 8751-8754.