

·教育与教学·

卓越工程师专业“高聚物结构与性能”研讨式教学实践

袁媛[†] 周立娟[†] 刘恒^{*} 段咏欣^{*}

(青岛科技大学高分子科学与工程学院 青岛 266042)

摘要: 为破解“高聚物结构与性能”课程理论抽象、知行脱节的教学痛点,契合卓越工程师“理论扎实、实践突出、创新活跃”的培养目标,本研究依托授课教师科研工作方向,以入选工信部典型案例的生物基衣康酸酯弹性体为核心载体,构建了“单一案例贯穿+问题驱动”的研讨式教学模式。通过将该案例与高聚物结构与性能课程“绪论、高分子多层级结构、分子运动、力学性能、加工与学科前沿”五大核心模块精准映射,设计阶梯式研讨问题链,结合与传统石油基橡胶的对比分析,引导学生系统建立“分子设计—凝聚态调控—工程应用”的构效关系。教学实践表明该模式有效提升了学生的课堂参与度及高阶思维水平。

关键词: 研讨式教学; 案例教学; 卓越工程师; 高聚物结构与性能; 生物基橡胶

Practice of Seminar-based Teaching for “Polymer Structure and Properties” in the Excellent Engineer Program

YUAN Yuan[†], ZHOU Li-juan[†], LIU Heng^{*}, DUAN Yong-xin^{*}

(School of Polymer Science and Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042)

Abstract: To address the teaching pain points of abstract theory and disconnection between knowledge and practice in the course “Polymer Structure and Properties”, and align with the training goal of outstanding engineers featuring “solid theoretical foundation, outstanding practical ability and active innovation awareness”, this study constructs a seminar teaching mode of “single case throughout+problem-driven” based on the scientific research of instructors, taking the bio-based itaconate elastomer selected as a typical case by the Ministry of Industry and Information Technology as the core carrier. By precisely mapping this case to the five core modules of the “Polymer Structure and Properties” course, namely “introduction, multi-level structure of polymers, molecular motion, mechanical properties, processing and frontier disciplines” a stepped seminar problem chain was designed. Combined with a comparative analysis with traditional petroleum-based rubbers, students are guided to systematically construct the structure-activity relationship of “molecular design—condensed state regulation—engineering application”. Teaching practice shows that this mode effectively improves students' classroom participation and higher-order thinking level.

Keywords: Seminar-based teaching; Case teaching; Outstanding engineers; Structure and properties of polymers; Bio-based rubber

引用: 袁媛, 周立娟, 刘恒, 段咏欣. 卓越工程师专业“高聚物结构与性能”研讨式教学实践. 高分子通报, 2026, 39(8), 1559–1566.

青岛科技大学高分子研究专辑; 2026-03-15 收稿, 2026-05-22 录用, 2026-07-13 网络出版

[†] 共同第一作者

^{*} 通信联系人: 刘恒, E-mail: dr_hengliu@163.com; 段咏欣, E-mail: dyx@qust.edu.cn

doi: 10.14028/j.cnki.1003-3726.2026.26.138

Citation: Yuan, Y.; Zhou, L. J.; Liu, H.; Duan, Y. X. Practice of seminar-based teaching for “Polymer Structure and Properties” in the excellent engineer Program. *Polym. Bull.* (in Chinese), 2026, 39(8), 1559–1566.

“高聚物结构与性能”是材料科学与工程、高分子科学与工程等卓越工程师培养专业的核心支撑课程,以“高分子材料结构与性能的关联”为主线,涵盖高分子多层级结构、分子运动规律及性能特点等核心内容^[1]。传统教学模式下,课程多以教材章节为序进行以理论内容为主的讲授,易导致学生陷入“重理论记忆、轻实践应用”的困境,且难以将分散的知识点串联形成系统的知识体系,更无法有效对接工业界对材料设计与性能调控的实际需求。教学过程中“理论与实践脱节、知识与应用割裂”的痛点日益凸显^[2],难以满足卓越工程师教育培养计划对高分子材料专业人才“理论功底扎实、工程实践突出、创新思维活跃”的核心要求,亟需探索兼具科学性与实践性的教学模式改革。

以前沿科研案例为载体的研讨式教学,通过教师与学生间的深度互动、学生与学生间的思辨辩论的形式引导学生自主梳理知识脉络、构建系统化知识体系,是破解传统教学短板、达到卓越工程师培养要求的有效教学模式^[3,4]。本课程教学创新采用“单一典型案例贯穿全课程章节”的设计思路,选取工业和信息化部公示的归属于“非粮生物基材料产业创新发展典型案例”的衣康酸酯弹性体作为教学载体,系统设计全章节研讨式教学内容,教学创新的核心优势体现在3个方面。(1)围绕聚焦案例构建系统知识体系。所选案例与课程各章节的核心知识点高度契合,可实现对全部教学内容的较完整覆盖,将单一案例作为串联各章节内容的逻辑主线,避免多案例切换导致的认知分散,避免学生耗费大量时间熟悉多个背景信息,能快速进入深度研讨。(2)通过设计递进式问题链引导学生深度研讨,强化高阶思维培养。衣康酸酯弹性体案例研讨内容的丰富度高,教师通过递进式问题链的设计,引导学生层层深入剖析核心问题,进而锻炼文献阅读、数据分析、问题解决等高阶思维能力。(3)案例典型性鲜明,契合“教研融合”目标。由衣康酸酯与异戊二烯/丁二烯共聚得到的衣康酸酯弹性体案例具备从原料设计、结构调控到性能优化、工程应用的完整研发流程,兼具科研高度与工程价值,有利于实现理

论知识与工程实践的深度融合。

1 研讨式教学总体设计

青岛科技大学高分子学院卓越工程师专业30名大四学生集中于橡胶方向,已系统修完“高分子化学”“高分子物理”“橡胶工艺学”等先修课程,具备围绕具体案例开展“高聚物结构与性能”课程研讨的知识储备,鉴于此,本研究以“构效关系”为核心逻辑,结合授课教师的科研经历与方向,构建了衣康酸酯弹性体典型案例与课程5章教学内容的映射体系(图1)。针对每章教学重点各设置1个核心研讨主题及2~3个阶梯式关键问题,分别对应各章核心知识点,其中第1章聚焦高分子定义、分类与命名及结构特点,第2章涵盖链结构、分子间作用力、凝聚态结构与弹性体性能的关联,第3章包含分子运动形式、玻璃化转变与黏流转变、时温等效原理及链结构对转变温度的调控,第4章围绕高弹性、黏弹性及力学强度与链结构/凝聚态的关联展开,第5章聚焦加工工艺对凝聚态与性能的影响、高分子学科前沿及“结构—加工—性能—应用”的闭环。

为进一步强化教学效果,本设计将生物基衣康酸酯橡胶与石油基丁苯橡胶、丁腈橡胶等对比开展案例研讨,既突出衣康酸酯橡胶与传统橡胶的结构可比性,又强化生物基弹性体与石油基弹性体的类别区分性,凸显3大教学优势。具体而言,首先通过对比原料来源(生物基或石油基)、链结构设计(共聚单体选择及占比、侧基类型等)、凝聚态调控(相态均匀性/交联密度等)的核心差异,将抽象知识点应用到具体案例中,帮助学生深入理解。其次,完整呈现了“传统石油基材料痛点→生物基新材料结构设计→性能靶向优化”的研发路径,契合卓越工程师“问题导向—设计优化—实践转化”的培养逻辑。再次,生物基材料是绿色化工领域的核心发展热点,通过与石油基类弹性体的对比分析,既能拓宽学生的学科前沿视野,又能强化其绿色化学理念与工程伦理意识,实现知识传授与价值引领的统一。

“高聚物结构与性能”课程总学时数为24学时,根据如图1所示的教学内容安排,将5章内容

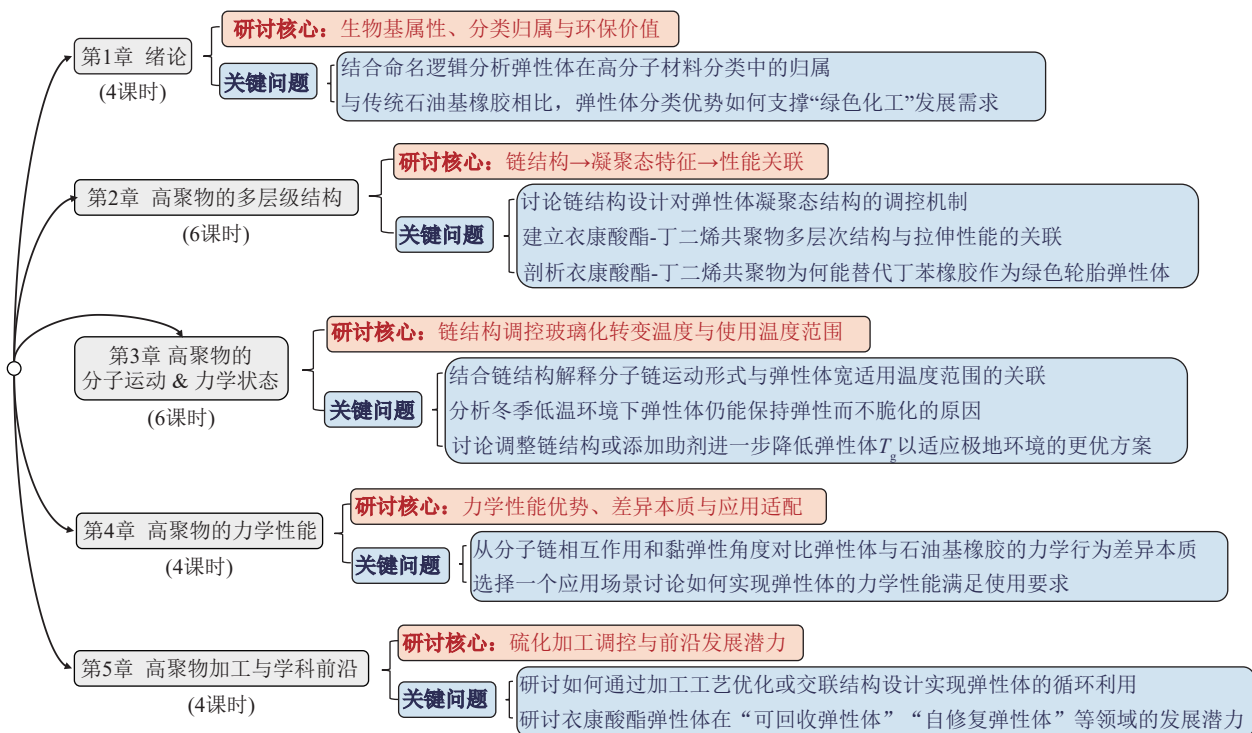


图1 衣康酸酯弹性体案例研讨主题与课程内容的映射关系

Figure 1 Object relation mapping (ORM) of itaconate elastomer discussion themes and course contents

分配学时数如下: 第1、4、5章学时数为4学时, 第2章和第3章学时数均为6学时。每章授课时, 首先安排1学时时间为教师讲授课前预习结论与本章重点知识点归纳, 随后安排2或3学时由学生分组讨论关键问题(每一问题安排1学时)并完成汇报研讨PPT, 最后安排1学时由3个学生小组分别汇报研讨, 展开“生生讨论”及“师生讨论”, 最终由教师总结本章重点知识点在关键问题解决中的应用。

2 衣康酸酯弹性体结构-性能研讨

2.1 案例背景

传统石油基橡胶材料(如丁苯橡胶)不仅高度依赖不可再生资源, 还普遍存在耐低温性能不佳、环保性不足等突出问题, 其生产与废弃过程易造成碳排放累积和环境污染。为摆脱这一行业困境, 张立群院士团队创新性地以玉米发酵产物衣康酸为核心原料合成生物基弹性体关键单体衣康酸酯, 该单体兼具生物基可持续性、结构可设计性与反应适配性3大优势^[5]。本案例以生物基衣康酸酯弹性体为研究对象, 聚焦其链结构(侧链长度、共聚单体种类/比例、分子量等)对凝聚态结构(相态均匀性、交联网络密度等)的调控机制, 以及“链

结构-凝聚态特征-材料性能-工业应用”的系统关联, 依托文献实验数据与工业验证案例, 围绕侧链长度/共聚单体对凝聚态的影响、链结构与交联密度及力学性能的构效关系、弹性体替代传统橡胶的工业应用问题, 构建兼具理论深度与工程实践价值的研讨场景, 帮助学生强化高聚物结构设计系统思维、文献数据分析能力及材料性能工程转化思维。

2.2 研讨教学内容与实施流程设计

以课程“第2章: 高聚物的多层级结构案例研讨”为例, 教学实施流程设置“课前预习-课堂研讨-课后实践”3个环节。

2.2.1 第一环节——课前预习

教师通过学习通平台发布资料包, 布置预习任务。资料包包含如下内容: (1)教学视频, 包括高聚物的多层级结构特点、高分子链的近程结构与远程结构、大分子间作用力和内聚能密度、高聚物的凝聚态结构类型及相态特点; (2)衣康酸酯弹性体的链结构设计文献^[6,7]; (3)用于本章案例研讨的相关文献资料^[8~10]。

通过课前预习, 学生应结合理论知识与相关文献得出衣康酸酯弹性体链结构设计的如下结论: (1)侧链长度影响衣康酸酯-异戊二烯共聚物

的链结构^[6]。具体而言,当衣康酸酯侧链烷氧基的碳原子数 $n=1\sim 8$ 时,共聚物的分子链柔顺性随侧链长度增加呈规律性增强。(2)单体比例影响衣康酸酯的链结构^[7]。具体而言,异戊二烯与丁二烯单元均为柔性共轭双键结构,当二烯类结构单元的质量分数由10%增至90%时,链段柔顺性随之逐渐增强。

2.2.2 第二环节——课堂研讨

采用“分组讨论—代表发言—生生辩论/教师点评”形式,将30名学生分成3个讨论小组,依据第2章的教学目标,教师设置3个关键问题,每组负责围绕1个关键问题、结合文献中的实验数据展开研讨并形成报告,随后小组代表进行汇报发言并围绕教学难点进行生生辩论,最终由教师答疑解惑。

关键问题1聚焦讨论衣康酸酯弹性体的链结构设计(侧链长度、共聚单体种类)对其凝聚态结构的调控机制。白炭黑对弹性体的补强实验结果表明,衣康酸酯弹性体的侧链长度影响其与白炭黑的界面作用强度^[6]。具体而言,短侧链($n\leq 4$)时极性酯基密度高,与白炭黑硅羟基形成较强氢键作用,界面结合较紧密,更有利于形成分散较好、界面结合较紧密的复合结构;长侧链($n\geq 7$)时柔性烷基链屏蔽酯基极性,氢键作用减弱,界面相容性下降,凝聚态中出现轻微相分离,导致拉伸强度降低至低于10 MPa。衣康酸二丁酯与异戊二烯共聚时,因竞聚率差异较小形成无规共聚物,更易形成组成分布相对随机的链结构,从而有利于降低相分离倾向,表现出较好的相态相容性^[8]。衣康酸二丁酯与丁二烯共聚时均形成无规共聚物,丁二烯结构单元的高柔顺性进一步优化凝聚态的弹性网络。实验结果表明,含白炭黑的样品(丁二烯质量分数为40%)的凝聚态中,橡胶相均匀包裹白炭黑颗粒,界面无明显空隙,其拉伸强度达17 MPa以上,断裂伸长率大于500%,远超异戊二烯基共聚物(最高拉伸强度为12.3 MPa)^[6-8]。

针对关键问题1的教学重点在于使学生掌握分子链结构与凝聚态结构的关联规律,能够根据高聚物链结构特点明确分子间作用力类型。教学难点集中在由于学生缺少文献学习及分析数据的训练,教师需引导学生结合共聚物链结构与分子间作用力等知识点分析案例数据。

学生在理解关键问题1背后“分子链结构与

凝聚态结构的关联规律”的基础上,教师进一步基于文献[9]提出如下问题:硫磺交联过程中,衣康酸酯-丁二烯共聚物的链结构(共聚比例、分子量)如何影响凝聚态的交联网络密度,进而调控力学性能(拉伸强度、断裂伸长率)?为何丁二烯质量分数为50%的样品综合力学性能最优?

针对该问题,学生首先讨论链结构对硫化弹性体交联密度的影响。丁二烯结构单元中的反式与乙烯基双键为硫磺交联提供位点,随丁二烯比例升高,分子链中双键密度增加,理论交联位点增多。另一方面,高分子量共聚物具有更高的链缠结程度,可在硫磺交联过程中形成更多有效网链,有利于提高交联网络的连通性和应力传递效率。受益于双键密度与链缠结协同促进交联,弹性体的交联密度从低丁二烯质量分数(20%)的 $1.48\times 10^{-4}\text{ mol/cm}^3$ 升至中丁二烯质量分数(50%)的 $2.90\times 10^{-4}\text{ mol/cm}^3$ 。由于交联效率降低,更高的丁二烯比例(质量分数为80%)导致交联密度下降至 $1.12\times 10^{-4}\text{ mol/cm}^3$ 。其次,学生进一步讨论弹性体凝聚态与样品力学性能间的构效关系。因交联密度升高限制了链段滑移,同时高柔顺性的丁二烯长链提供了弹性,当丁二烯比例由20 wt%升至50 wt%时,样品的拉伸强度增长了2.65倍,断裂伸长率由414%升至484%;当丁二烯比例进一步升至80 wt%时,因交联密度不足导致链段滑移加剧,共聚物的拉伸强度降至1.0 MPa左右,断裂伸长率升至600%以上。通过以上分析可知,决定衣康酸酯弹性体力学性能优劣的结构特征为“适度交联网络+长柔性链段”的平衡,中丁二烯比例(50 wt%)的样品因交联密度与分子链柔顺性匹配,综合性能最优。

针对关键问题2的教学重点在于使学生建立复杂体系织态结构与材料力学性能的对应关系,建立“化学交联点+物理缠结”的双重网络认知。教学难点有二:一是学生易混淆“理论交联位点数量”与“实际有效交联位点”的差异,难以理解“随丁二烯比例升高,双键密度增加但交联密度反而下降”的矛盾,教师需要引导学生结合分子间作用力分析丁二烯比例过高时,分子链堆砌过密、链运动受限,阻碍硫磺分子渗透,导致整体交联效率下降;二是学生在评价弹性体的综合力学性能时容易从单一影响因素方面考虑,教师需帮助学生整合“共聚比例、分子量 $\rightarrow$ 交联密度 $\rightarrow$ 凝聚

态网络结构→力学性能”的系统关联,强调“平衡”是核心,丁二烯比例过高或过低、分子量过大或过小,都会破坏这种平衡。

学生在对问题1与问题2进行充分研讨后,已掌握衣康酸酯弹性体链结构对其凝聚态结构、交联网络及力学性能的调控规律。接下来,从链结构—凝聚态结构—工业应用的逻辑出发,需要学生尝试解释衣康酸酯—丁二烯共聚物为何能作为绿色轮胎用弹性体替代传统 ESB R1502 橡胶,其凝聚态结构的关键优势及对应的链结构设计策略是什么^[9]。

衣康酸酯弹性体凝聚态的核心优势有二。一是其无定形弹性网络。衣康酸酯与丁二烯的共聚物均为无定形态, T_g 低($-42\sim-72\text{ }^{\circ}\text{C}$),室温下链段能够充分运动,满足轮胎弹性需求。二是其可调控的交联结构。衣康酸酯弹性体的织态结构为具有一定有效交联密度的三维弹性网络,交联密度可通过丁二烯比例进行调控($1.12\times 10^{-4}\sim 2.90\times 10^{-4}\text{ mol/cm}^3$),以平衡强度与弹性。热失重分析显示,共聚物的初始降解温度超过 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,与 ESB R1502 相当,满足轮胎加工与使用的热稳定性要求。链结构的设计策略从三方面考虑。一是单体比例需优化,实验证实丁二烯比例为 $40\text{ wt}\%\sim 50\text{ wt}\%$ 时弹性体兼顾高分子量($35\sim 39\times 10^4\text{ Da}$)、适宜 T_g ($-52\sim-55\text{ }^{\circ}\text{C}$)与交联位点密度。二是序列分布需调控,通过衣康酸酯与丁二烯的共聚特性可知,构建“孤立极性衣康酸酯单元+长柔性丁二烯结构单元”的结构,既利用衣康酸酯基提升与白炭黑的相容性,又通过丁二烯结构单元保障弹性。三是选择低温乳液聚合这一绿色合成工艺,低温($5\text{ }^{\circ}\text{C}$)乳液聚合无有机溶剂,产物为环境友好型,契合绿色轮胎的可持续发展需求。应用验证结果证实衣康酸酯—丁二烯共聚物已用于白炭黑填充纳米复合材料制备绿色轮胎^[10],其较好的相态相容性、适宜的有效交联密度以及柔性链段结构可实现低滚阻(柔性链段降低内耗)、高抗湿滑(适度分子间作用力)的平衡,替代化石基橡胶的潜力已得到工业验证。此外,生物基衣康酸酯橡胶的拉伸强度与断裂伸长率均与传统 SSB R2466 可比,且无溶剂合成工艺更符合绿色要求。

关键问题3设计为面向工业应用的、卓越工程师专业特色的延伸性问题,教学难点有二:一

是学生难以建立“链结构设计—凝聚态优势—工业应用”的系统关联,难以将低 T_g 、可控交联密度等凝聚态特征与轮胎弹性、强度、热稳定性等实际使用要求匹配;二是缺乏将材料性能转化为工程优势的思维,如无法深度解析衣康酸酯—丁二烯共聚物“柔性链段降滚阻、极性酯基提抗湿滑”的平衡机制,对其在白炭黑填充复合材料中的补强原理、替代 ESB R1502 的工业验证标准等工程化指标的关联分析能力不足。教师需引领学生强化从材料结构参数到轮胎核心使用性能的工程转化思维与量化分析能力,通过阶梯式问题链的研讨,能够掌握如图2所示的“链结构—凝聚态/网络结构—工业应用”逻辑关系。

2.2.3 第三环节——课后实践

通过课前预习对衣康酸酯弹性体链结构设计规律的掌握,以及课堂围绕“链结构→凝聚态特征→性能关联”展开的研讨,学生需系统整合理论知识、文献数据与案例分析结论,完成“生物基弹性体结构与性能调控报告”的撰写。

报告应涵盖如下内容:(1)链结构设计基础梳理(对接“课前预习”内容),即侧链长度与共聚单体(异戊二烯/丁二烯)比例对分子链柔顺性的影响规律。(2)凝聚态结构调控机制分析(对接研讨关键问题1),即短侧链($n\leq 4$)与长侧链($n\geq 7$)时,酯基极性、分子间氢键作用差异如何导致凝聚态“均匀复合结构”与“轻微相分离”的区别;对比异戊二烯/丁二烯2种共聚单体与衣康酸酯共聚后的凝聚态特征(相态均匀性、弹性网络有效交联密度和网络承载能力),解释竞聚率、链段柔顺性对凝聚态的影响;提炼“链结构—分子间作用力—凝聚态结构”的关联公式(如短侧链+高极性酯基→强氢键→均匀凝聚态)。(3)以衣康酸酯—丁二烯共聚物系列共聚物为例的交联网络与力学性能构效关系推导(对接研讨关键问题2)。整理不同丁二烯比例共聚物的交联密度数据($1.12\times 10^{-4}\sim 2.90\times 10^{-4}\text{ mol/cm}^3$),分析丁二烯比例升高时交联密度先升后降的原因(结合“理论交联位点”与“实际有效交联位点”的差异解释);绘制“丁二烯比例—拉伸强度/断裂伸长率”关系曲线,论述“适度交联网络+长柔性链段”的平衡机制为何使中丁二烯比例共聚物的综合性能最优。(4)工业应用导向的结构设计优化(对接研讨关键问题3)。基于“链结构—凝聚态优势—工业应用”

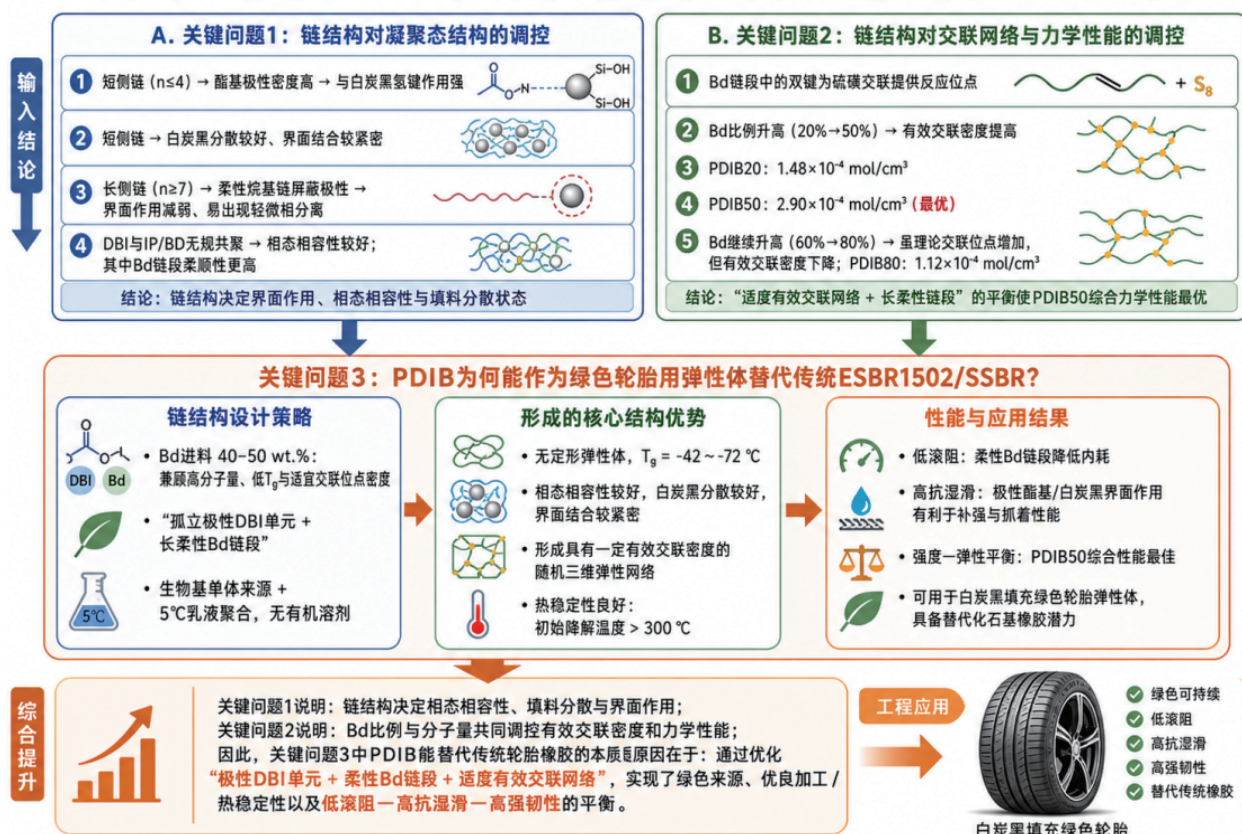


图2 第2章3个关键问题的逻辑关系图(衣康酸(DBI)、异戊二烯(IP)、丁二烯(BD/Bd)、衣康酸酯—丁二烯共聚物(PDIB20/PDIB50/PDIB80, 丁二烯占比分别为20 wt%、50 wt%、80 wt%))

Figure 2 Logic diagram of three key issues in Chapter 2 (itaconic acid, DBI; isoprene, IP; butadiene, BD/Bd; itaconate-butadiene copolymers, PDIB20/PDIB50/PDIB80 with butadiene content of 20 wt%, 50 wt%, 80 wt%)

逻辑,分析若需进一步优化衣康酸酯—丁二烯共聚物作为绿色轮胎弹性体的性能(如提升抗湿滑性同时保持低滚阻),应从哪些链结构参数入手,给出具体设计方案并说明依据。

报告撰写格式要求:(1)结构清晰,按“基础梳理—机制分析—构效关系—设计优化”4模块撰写,每部分标注对应知识点来源(如“课前预习结论”“关键问题1研讨数据”)。(2)有数据支撑,所有结论需结合具体文献数据。(3)图文结合,包含至少2幅示意图(链结构设计图、性能关系曲线等),图表需标注清晰,引用规范。

3 教学效果反馈与教学模式影响分析

教师面向2026级卓越工程师专业30名学生开展了案例研讨式教学实践,“案例贯穿—问题驱动”教学模式对传统“高聚物结构与性能”课程的主要改变体现在教学内容重组、教学方式转变

和学习效果提升3个方面。

在教学内容上,该模式以生物基衣康酸酯弹性体为主线,将链结构、凝聚态结构、分子运动、力学性能等原本分散讲授的内容整合为“分子设计—结构调控—性能响应—工程应用”的连续逻辑链,使学生能够在具体材料体系中理解高聚物结构与性能之间的关系。在教学方式上,课堂由传统的教师讲授为主转向“课前文献学习、课堂研讨、课后报告”相结合的主动学习过程,学生需要围绕问题链开展文献阅读、数据分析、对比讨论和报告总结。教学反馈表明,该模式有助于提升学生对抽象概念的理解深度,增强学生的文献分析能力、构效关系思维和工程应用意识,从而实现由被动知识接受向问题解决能力培养的转变。“案例贯穿—问题驱动”教学模式的实施取得了较好的教学效果:形成了具有代表性的研讨主题,改变了传统的灌输式教学模式,学生出勤率、课堂参与度均显著提升(图3);学生的高阶能力明



图3 部分章节学生研讨汇报及“生生辩论”

Figure 3 Seminar reports and student debates of selected chapters

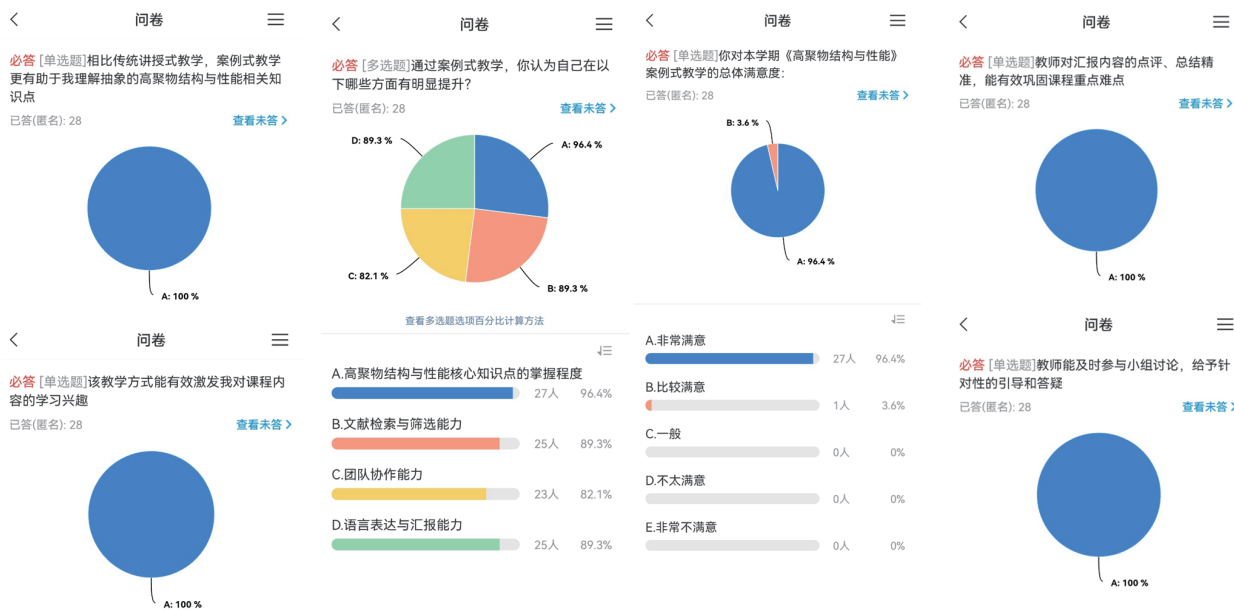


图4 授课学生对课程教学的满意度评价

Figure 4 Course teaching satisfaction assessment from students

显增强, 撰写的“生物基弹性体结构设计与性能调控报告”中, 90%的学生能准确阐述“链结构→凝聚态特征→材料性能”的关联机制; 学生评教优秀, 在28名学生参与的问卷调查中, 学生对本课程案例式教学的总体满意度为100%(图4)。

4 总结与思考

基于授课教师科研方向构建的案例研讨式教学模式, 紧扣“高聚物结构与性能”课程理论抽象、知行脱节的教学痛点及卓越工程师培养目标, 通过单一案例精准对应课程5个章节, 以阶梯式问题链引导学生深度思考, 依托科研成果转化案例凸显工程价值, 不仅有助于打通理论教学与工程应用的壁垒, 强化学生系统思维与技术转化能力,

实现教研融合与价值引领的统一, 更获得了学生的高度认可。在教学实践过程中, 教师也发现教学设计与实施存在待优化之处, 例如, 学生基础存在个体差异、部分学生在文献深度研读与数据精准解读方面存在困难。后续将兼顾不同基础学生学习需求, 围绕分层教学方案设计、文献检索与阅读专项训练强化等关键方向持续改进。

此外, 教师在授课过程中注意到, 若完全依托单一材料案例开展教学, 虽然有利于形成连续的问题链, 但也可能造成材料类型覆盖不足、案例体系略显单薄的问题。为此在后续的案例研讨设计中, 本课程拟采用“主案例贯穿+辅助案例拓展”的方式, 以生物基衣康酸酯弹性体作为贯穿主案例, 用于系统解析“链结构—凝聚态结构—

分子运动—力学性能—加工应用”的构效关系,同时在不同章节中引入多类型高聚物作为辅助案例,例如,以聚乙烯、聚丙烯等通用塑料说明链结构与结晶行为,以聚乳酸及其立构复合体系说明构型、结晶结构与力学/热性能之间的关系,以聚氨酯弹性体说明软硬段结构、微相分离与力学性能之间的关联。上述教学设计中的主案例保证了课程研讨的连续性和深度,辅助案例则增强了课程内容对不同高聚物类型的覆盖,使学生能够在多种材料体系中比较和理解高分子结构与性能之间的共性规律和差异特征。

参考文献

- 1 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.
- 2 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.
- 3 高梁. 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.
- 4 徐守芳, 李兴建, 李因文, 马登学. 以问题为导向的“凝胶点预测”深度学习教学设计. 高分子通报, 2025, 38(6), 982–988.
- 5 Liu, Q. S.; Lou, P. F.; Sun, Z. T.; Li, D. C.; Ji, H. J.; Xu, Z. Z.; Li, L.; Xue, J. J.; Wang, R. G.; Wang, Z.; Zhang, L. Q. Bio-based elastomers: design, properties, and biomedical applications. *Adv. Mater.*, 2025, 37(22), 2417193.
- 6 雷巍巍. 不同侧链衣康酸酯生物基弹性体的设计、制备与应用研究. 北京化工大学博士学位论文, 2017.
- 7 Wang, R. G.; Ma, J.; Zhou, X. X.; Wang, Z.; Kang, H. L.; Zhang, L. Q.; Hua, K. C.; Kulig, J. Design and preparation of a novel cross-linkable, high molecular weight, and bio-based elastomer by emulsion polymerization. *Macromolecules*, 2012, 45(17), 6830–6839.
- 8 Lei, W. W.; Qiao, H.; Zhou, X. X.; Wang, W. C.; Zhang, L. Q.; Wang, R. G.; Hua, K. C. Synthesis and evaluation of bio-based elastomer based on diethyl itaconate for oil-resistance applications. *Sci. China Chem.*, 2016, 59(11), 1376–1383.
- 9 Zhou, X. X.; Ji, H. J.; Hu, G. H.; Wang, R. G.; Zhang, L. Q. A solvent-less green synthetic route toward a sustainable bio-based elastomer: design, synthesis, and characterization of poly(dibutyl itaconate-co-butadiene). *Polym. Chem.*, 2019, 10(45), 6131–6144.
- 10 吉海军, 杨慧, 王欣, 侯红霞, 郑红兵, 王润国, 张立群. 生物基衣康酸酯橡胶的设计开发与工业应用. 北京化工大学学报(自然科学版), 2022, 49(5), 13–21.