

教 学

浅谈高分子物理课程的教学方法

朱平平, 何平笙, 杨海洋

(中国科学技术大学高分子科学与工程系, 合肥 230026)

摘要: 介绍了作者在“高分子物理”课程的教学方法和教学研究心得。

关键词: 高分子物理; 精品课程; 专题讲座; 教学主线

“高分子物理”课涉及以高分子和高聚物为对象的全部物理内容^[1], 内容庞杂, 头绪繁多, 概念抽象, 被公认为难讲的课。为了讲好这门课, 作者积极开展该课程的教学研究^[2], 内容涉及高分子学科的定位、授课(含讲课和实验)计划的制定、教学方法的改革、教学内容的更新、特色实验的开发与应用等。作者把有关教学研究心得整理成文, 公开发表, 至今已发表 31 篇教学论文^[3~33]。本文就谈一谈作者主要的教学方法和教研心得体会, 以供同行讨论和指正。

1 讲透高分子和高聚物的特点

与小分子化合物相比, 高聚物的最大特点就是“大”, 它由很大数目($10^3 \sim 10^4$)的结构单元以化学键相连而成的, 而每一个结构单元又相当于一个小分子化合物。就是因为这个“大”, 量变导致质变, 引起高聚物在结构、分子运动和一系列物理性能上与小分子化合物有着本质的差别, 形成了高聚物特有的结构与性能。如: 高分子链的构象与形态、柔性、多种凝聚态结构、单个分子链的凝聚态、高聚物独有的熵弹性、显著的粘弹性、链段运动的特殊性以及描述链段运动的 WLF 方程、运动单元的多重性、可能实现的大尺寸取向和小尺寸解取向、特有的银纹现象、分子量的多分散性、高分子溶液特性和高聚物熔体的弹性行为等等。

在课程教学中只有把高分子化合物与小分子化合物的异同之处讲清楚, 特别是要把高聚物的特点讲透, 才能使学生真正理解课程的精髓。

2 提出课程的教学主线

“高分子物理”课的主要内容是讨论高聚物的结构和性能, 并通过研究高聚物中的分子运动, 揭示结构与性能之间的内在联系及其基本规律, 从而对高分子的合成、高聚物材料的加工成型、测试提供理论依据。分子运动是联系微观结构与宏观性能的桥梁, 因此本课程的教学主线就是用分子运动的观点理解高聚物结构与性能的内在联系和基本规律。

例如: 天然橡胶在常温下是柔软而富有弹性的材料, 但是温度降到 -100°C , 便成了像玻璃一样硬而脆的固体; 常温下的橡胶轮胎在恒定外力下表现出弹性, 但喷气式飞机以极快速度着落时轮胎有可能失

基金项目: 2005 年国家级精品课程建设费资助, 2007 年安徽省教学研究项目资助;

作者简介: 朱平平, 女, 安徽无为, 中国科学技术大学高分子科学与工程系教授, 主要从事高分子溶液、高分子凝聚态结构、共混高聚物性能等方面的研究, 近年来同时开展了高分子物理的教学研究工作。

E-mail: zhupp@ustc.edu.cn

去弹性而破裂。这两个例子中,虽然高聚物的化学结构没有变化,但是由于在不同温度或不同的外力作用时间情况下,高分子运动状态不同,使得高聚物表现出不同的力学性能。

课程的主要内容又可按以下 6 条线索讲授,它们是:

(1)内旋转-柔性-橡胶高弹性-热力学分析和统计理论-储能函数-应力应变关系,以及内旋转-柔性-玻璃化转变-自由体积理论-增塑、共聚等;

(2)晶态结构-各种结晶形态-结晶模型-结晶度测定,以及非晶态结构-形态特征-Flory 无规线团-整体无序而局部有序模型;

(3)分子运动-特点(运动单元多重性、时间依赖性和温度依赖性)-与材料性能关系-各种研究方法;

(4)粘弹性-内部时间尺度 τ (粘性和弹性的结合)-外部表现(蠕变、应力松弛和动态力学行为)-力学模型和 Boltzmann 叠加原理-弛豫时间谱-时温等效-主曲线-WLF 方程;

(5)高分子溶液-溶解过程特点-Flory 格子理论-混合熵、混合热和混合自由能-各种相平衡和相分离现象;

(6)分子量和分子量分布-各种平均分子量和分布宽度-测定方法和适用范围。

何平笙教授进一步提出应从三个层次上理解高聚物结构与性能的关系,即通过分子运动联系“化学结构与材料性能”关系,通过产品设计联系“凝聚态结构与制品性能”关系和通过凝聚态物理知识来联系“电子态结构与材料功能”关系。但目前国内外教材大都只涉及上述的第一个层次,上述的 6 条主线也只是概括了“化学结构与材料性能”关系的那个层次,由此可以理解为什么作者提倡再开设“高分子流变学”和“高分子凝聚态物理”课程。

3 引导学生正确理解高分子科学中整体与局部的关系

高分子科学中整体与局部差别很大同时又相互关联,在这些复杂的关系中充分体现了高分子在形态、分子运动、凝聚态结构以及高聚物在物理力学性能等方面的突出特点,因此正确理解整体与局部的关系对掌握本课程的精髓是非常重要的。

高分子最大的特点就是“大”,因此高分子中整体与局部的差别显得尤为突出,并体现在不同的方面。如高分子有大区域结构和小区域结构,它们在有序性上可能不一样,高分子有大尺寸运动单元和小尺寸运动单元,它们的弛豫时间差别很大,取向状态也有可能不同,高分子链的形态还有分成大区域和小区域的假定等,同时这些大区域与小区域之间、小尺寸与大尺寸之间又是相互关联的。作者是从四个方面对高分子中的整体与局部关系展开讨论的:

(1)整链柔性与局部刚性 足够长的线形高分子链总是自发地呈蜷曲状,表现出柔性,但在分子链的局部,键与键之间的相对位置严格地受到各种约束,表现出刚性;

(2)整链与链段 整个高分子链和局部链段之间有着多方面的区别,它们是高分子中两种完全不同的运动单元,尺寸不同,运动服从的规律不同,对高聚物性质的影响也完全不同,但是它们又相互关联,没有长链,就不会有链段,而没有链段的运动,就不可能有整链的运动,等;

(3)整体无序而局部有序 非晶态固体中通常在一根链的空间有几十根无规线团相互穿透在一起,在高度相互穿透的线团聚集体中相同链的单元之间与不同链的单元之间排斥力相互抵消,导致非晶态高聚物固体中高分子线团是无规线团,但在小区域(1~2nm)内无规线团上的几个链单元很有可能发生局部平行排列,形成凝聚缠结点,凝聚缠结是一种局部有序,但是这种局部有序(1~2nm)的存在并不影响大尺度范围内(大于 10nm)整个高分子链的形态,它们仍然是高斯线团,符合 Flory 的“无规行走”模型,高聚物整体仍是无序的;

(4)大区域不溶胀而小区域溶胀 根据 de Gennes 建立的串滴模型,浓溶液中的高分子链就好像是一串独立液滴连接而成,每个液滴内维持着 Flory 链的局部关联,液滴内的链段是溶胀的,而整链是高斯链,不溶胀。这是用串滴模型推导得到的结果。然而对于浓度很大的溶液,性质本身就很复杂,许多基本问题的本质还在逐步探讨和清晰中,并且有关高分子溶液的理论模型都有一定的适用范围和局限性,要

在实验中不断地得到检验和作相应的校正,因此 de Gennes 串滴模型的这一结果还有待于实验的进一步检验和证实。

4 强调高分子间相互作用力的重要性

在高聚物中,分子间作用力起着特殊的重要作用,可以说离开了高分子间的相互作用来解释高分子的凝聚状态、堆积方式以及各种物理性质是没有意义的。

高分子间的相互作用与小分子间的相互作用有着显著的区别,高分子间相互作用力非常大,它对高分子凝聚态结构和高聚物诸多性能的影响很重要,可以从高聚物不存在气态、特殊的高聚物溶解过程、马克三角形原理、特征温度的大小、特有的单链凝聚态、凝聚缠结和超分子体系相关知识来理解。此外通过引介世界上最新研究成果——利用全范德华力作用原理微制造而成的仿生干型高分子粘合材料(壁虎胶带),帮助学生深刻理解高聚物中范德华力作用的极端重要性。

5 及时引入新概念

近十几年来高分子科学的发展迅速,特别在高分子凝聚态基本物理问题的研究领域取得了显著的研究成果,提出了一些新的看法、新的概念,应该在课程教学中及时向学生介绍,特别是我国学者的贡献。对一些新概念作详细的分析和解释,能使学生对本质上认识高分子科学中的基本物理问题。另一方面,高分子学科本身是一门年轻的学科,许多基本问题的本质还在逐步探讨和清晰中,因此即使是每一阶段的有限研究进展也有必要在教学中介绍给学生。作者近年来在教学中介绍的新概念包括:极稀溶液和动态接触浓度、链内凝聚和链间凝聚、单链凝聚态和多链凝聚态、凝聚缠结和拓扑缠结、高聚物的亚稳态、新型液晶、超分子液晶等。

6 开设专题讲座

作者把课程中的重点、难点以及高分子科学研究中的热点问题作为专题对学生开设讲座课,并进行讨论,从而达到学习与研究相结合、学习与讨论相结合的目的。已经进行的专题有:(1)高分子科学中 Nobel 奖获得者及其工作简介;(2)高分子和高聚物的特点;(3)从 Maxwell 速度分布函数直接推导高分子链末端距的径向分布函数;(4)高分子链形态和链单元间的远程相互作用;(5)高聚物的结晶形态问题;(6)高聚物非晶态结构;(7)从高分子运动的温度依赖性看高分子运动的特点;(8)高分子间相互作用的特点及意义;(9)WLF 方程——链段运动的特殊温度依赖关系;(10)高聚物的粘弹性;(11)高聚物粘弹性力学模型中值得探讨的几个问题;(12)高分子溶液的特点;(13)高分子的 θ 溶液;(14)混合溶剂的良劣性;(15)高分子中的整体与局部;等。

由于本课程在我校是 80 学时,所以可以安排 25 ~ 30 学时的时间开设上述的专题讲座。如果总课时较少(如在一些学校只有 30 或 50 学时),可以考虑重点放在讲透高分子和高聚物的特点^[29]上(已在上第一部分列出,详见参考文献第 25 篇)。

7 开发特色实验

针对本课程特点,作者提出选用教学实验的四原则,即(1)高分子物理实验教学应该充分揭示聚合物和小分子化合物在结构与性能上的显著差别;(2)高分子物理实验应以自己动手搭配装置为原则;(3)高分子物理实验教学应及时反应高分子物理的研究成果;(4)把计算机技术引入到高分子物理实验教学中去。

作者研究开发出我校特有的 7 个特色实验,特别是将计算机技术引入实验教学中,开设了 5 个高分子物理计算机实验,达到了课堂教学和实体分子模型不可能达到的效果。如:在屏幕上直接构建(合成)高分子长链,直观展现链的内旋转过程,高分子链看起来千姿百态,还计算链尺寸与分子量的标度关系。

有效地验证了诺贝尔奖获得者的工作,特别是展示大分子链如何在熵驱动下穿越受限管道,使学生深刻体会熵这个概念的重要性。

8 建设精品课程

考虑到我校“高分子物理”课程的教学及教学研究特色,作者依据自身的教学思路设计和构建了一个网络教学平台(<http://202.38.70.145/b-03/>),为学生提供了丰富的教学资源,开阔了学生视野,也为教师、学生提供了交流平台,对整个课程教学质量的提高起到了重要的作用。该课程被评为 2005 年国家级精品课程。“高分子物理实验”课程也被评为 2006 安徽省精品课程。

参考文献:

- [1] 马德柱,何平笙,徐种德,周漪琴.高聚物的结构与性能,第二版,北京:科学出版社,1995.
- [2] 何平笙,朱平平,杨海洋.新探索·新突破·新发展——第五届高等教育国家级教学成果奖获奖成果介绍及文件汇编,北京:科学出版社,2006.825~826.
- [3] Yang H Y, Li H, Zhu P P, et al. Polymer Testing, 2004, 23(8): 897~901.
- [4] He P S, Yang H Y, Zhu P P. International Journal of Engineering Education. : Theory and Practice, 2003, 12(8): 66~69.
- [5] He P S. International Journal of Engineering Education: Theory and Practice, 2002, 11(7): 33~36.
- [6] 何平笙,朱平平,杨海洋.化学通报,2006,69(2): 154~157.
- [7] 何平笙,杨海洋,朱平平.化学通报,2006,69(1): 70~73.
- [8] 杨海洋,严宇亮,朱平平,朱清仁,何平笙.化学通报,2004,67(10): w87.
- [9] 何平笙,杨海洋,朱平平.化学通报,2004,67(9): 705~706, 640.
- [10] 何平笙,杨海洋,朱平平.化学通报,2004,67(6): w53.
- [11] 杨海洋,张胡铭,徐小云,朱平平,何平笙.化学通报,2003,66(7): w053.
- [12] 朱平平,何平笙,杨海洋.化学通报,2003,66(6): w47.
- [13] 何平笙,朱平平,杨海洋.化学通报,2003,66(3): 210~212.
- [14] 朱平平,杨海洋,何平笙.化学通报,2003,66(2): 138~141.
- [15] 杨海洋,李浩,朱平平,朱清仁,范成高.化学通报,2002,65(9): 631~634.
- [16] 杨海洋,朱平平,任峰,李国锋,吴澎.化学通报,1999,62(5): 47~49.
- [17] 朱平平,杨海洋,何平笙.高分子通报,2005,(5): 147~150.
- [18] 朱平平,杨海洋,何平笙.高分子通报,2004,(6): 91~93.
- [19] 朱平平,杨海洋,何平笙.高分子通报,2004,(5): 93~98.
- [20] 朱平平,杨海洋,何平笙.高分子通报,2003,(6): 80~82.
- [21] 杨海洋,易院平,朱平平,何平笙.高分子通报,2003,(5): 76~80.
- [22] 朱平平,杨海洋,何平笙.高分子通报,2003,(3): 80~82.
- [23] 朱平平,杨海洋,何平笙.高分子通报,2002,(5): 73~78.
- [24] 何平笙.高分子通报,2002,(2): 75~78.
- [25] 何平笙,朱平平,杨海洋.高分子通报,2001,(5): 74~79.
- [26] 何平笙.高分子通报,2000,(3): 89~94.
- [27] 何平笙,李春娥.高分子通报,2000,(2): 94~96.
- [28] 何平笙,杨小震.高分子通报,2000,(1): 86~89.
- [29] 何平笙.高分子通报,1997,(2): 122~124.
- [30] 何平笙.高分子通报,1997,(1): 59~60.
- [31] 何平笙.教育和现代化,1995,(4): 18~20.
- [32] 朱平平,何平笙,杨海洋.高分子材料科学与工程,2007(印刷中).
- [33] 朱平平,杨海洋,何平笙.高分子通报,2007(印刷中).
- [34] 何平笙.高聚物的力学性能.合肥:中国科学技术大学出版社,1997,98~116.
- [35] 何平笙,杨海洋,朱平平,瞿保钧.高分子物理实验.合肥:中国科学技术大学出版社,2002.

Elementarily Discussing the Method of Teaching Course “Polymer Physics”

ZHU Ping-ping, HE Ping-sheng, YANG Hai-yang

(*Department of Polymer Science and Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*)

Abstract: The method of teaching course “polymer physics” and realization based on teaching and research were introduced.

Key words: Polymer physics; Elaborate course; Lecture on special topic; Main teaching line