

中国科大高分子物理教学 60 年

何平笙, 杨海洋, 朱平平

(中国科学技术大学高分子科学与工程系, 合肥 230026)

摘要:全面介绍了中国科学技术大学高分子物理教学 60 年的历史和现状, 特别是撰写的高分子物理系列教材和深入开展的教学研究。

关键词:高分子物理; 教学; 中国科学技术大学

中国科学技术大学(以下简称中国科大)成立于 1958 年, 谨以此文纪念中国科大成立 60 周年!

1 历史沿革: 世界上第一个高分子系

中国科大建校之初就建置了高分子化学和高分子物理系(以下简称高分子系), 这是世界上第一个独立设置的有关高分子学科的系, 高分子物理专业曾是我国高校中唯一一个设立的高分子物理专业。教研室主任正是我国高分子物理的前辈钱人元院士(也是我们高分子系的副主任)。

考虑到高分子物理要求比较多的数学物理基础, 我们专业的“高等数学”课就要学整整 3 年, “普通物理”则是与我校的力学专业学生一起, 听严济慈(中科院副院长)的课, 第三年的原子物理是听钱临照院士的课, 三年的普通物理结束后, 又由方励之院士上了一个学期的“量子化学”。在如此繁重的数学物理课程外, 无机化学(王葆仁院士讲授)、分析化学(尹方教授讲授)、有机化学(刘达夫教授讲授)、物理化学(钱人元院士讲授)四大化学课程和高分子化学又与化学系的学生一样是必修的基础课。

高分子物理专业的教学和课程设置都是中科院化学研究所, 特别是钱人元院士亲自安排的。1960 年的“物理化学”课就由钱人元院士亲自授课, 整整一年。紧接着的“高分子物理化学”专业课和“高分子物理”专业课中的“高分子链的构象统计”、“高分子溶液”和“高聚物的力学性能”三部分也都由钱人元院士亲自授课。我们手头仍保留有当年“高分子物理”课 120 学时的教学大纲(见图 1)。

长期的教学使得我们深深感到“教材是教学之本”, 编写一本好的教材是教学改革的根本之一, 一本优秀的教材会影响好几代的学生。在钱人元讲课笔记的基础上, 我们编写出了《高聚物的结构与性能》一书, 并在 1981 年由科学出版社出版。该书广受读者的欢迎, 并被很多高校选作为高分子物理课程的教材, 以及中科院系统各研究所考研的必读参考书。该书曾多次印刷, 并在 1995 年出了第二版, 对我国高分子物理教学的影响一直延续着(见图 2)。经过了几十年在科大的本科教学和教学研究实践以及 10 年在长春应用化学研究所的研究生教学, 何平笙编写出了《新编高聚物的结构与性能》(以下简称新编)一书, 并于 2009 年以国家级精品课程教材名义在科学出版社出版。由于新编一书添加了高分子物理最新的科研成果, 尽量收集进了我国科学家对高分子物理学科的新视角和新观点, 也把我们十数年对高分子物理课程教学研究对高分子物理的理解写入了教材。《新编高聚物的结构与性能》一书迅速为广大读者所认可, 至今已第 7 次印刷。2014 年又出版了英文版的教材 *Structure and Properties of Polymers* (Alpha Science 出版社, London)。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2018.07.001

收稿: 2018-03-29; 修回: 2018-05-18;

作者简介: 何平笙, 中国科大高分子科学与工程系教授, 退休后仍致力于高分子物理的教学和教学研究。E-mail: hpsm@ustc.edu.cn.

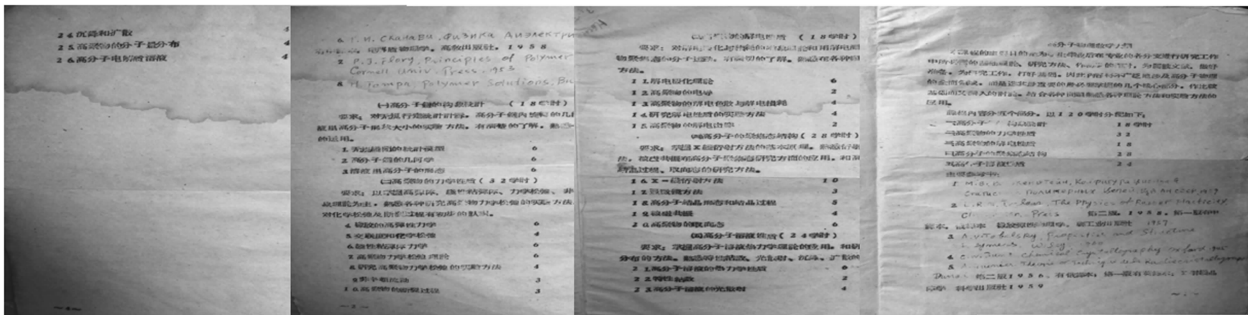


图 1 为 58 级开设 120 学时的专业课“高分子物理”的教学大纲。其中,“高分子链的构象统计”、“高聚物的力学性质”和“高分子溶液性质”课由钱人元院士讲授,“高分子的聚集态结构”由徐端夫院士讲授,“高聚物的解(介)电性质”由沈寿彭教授讲授。

Figure 1 The teaching program of professional course “*Polymer Physics*” with 120 periods for 58 grade in USTC.

Three courses of “Conformation Statistics of Polymer Chains”, “Mechanical Properties of Polymers” and “Polymer Solution” taught by academican Qian Renyuan, the course of “Structure of Condensed State of Polymer Chains” taught by academican Xu Duanfu and the course of “Dielectric Properties of Polymers” taught by prof. Shen Shoupeng.



图 2 科学出版社出版的《高聚物的结构与性能》的第一和第二版(1981 年和 1995 年),以及《新编高聚物的结构与性能》(2009 年)。由 He Pingsheng (何平笙) 编著的高分子物理英文教材 *Structure and Properties of Polymers* 于 2014 年在英国伦敦出版,全世界发行。

Figure 2 The first, second and English edition of *Structure and Properties of Polymers* published by Science Press in Beijing, 1981 and 1995, and by Alpha Science in London, 2014 respectively.

走向世界一直是我国高分子界同仁的梦想。我国高分子物理的研究已在国际高分子界占有一席之地,取得了若干国际前沿性的研究成果。在分子物理领域提出了一些新概念,形成了有我国特色的高分子物理学派。在分子物理教学方面,最早我们所用的教材都是外国人编写的,1980 年代后,国人撰写的教材多了起来,但如何也让我们的教材走出国门呢? 正好,我校高分子物理教研室同仁在分子物理的教学研究方面倍加努力,使该课程成为国家级精品课程,其教学研究成果荣获国家级和省级大奖。这样,撰写大量吸收国内科研成果和我校教学研究成果的英文版教材对推介我国高分子物理的成就,以及我国高分子学科的教学起到积极的作用。此外,随改革开放的深入和对同时具有高分子专业知识和英文能力人才的旺盛需求, *Structure and Properties of Polymers* 的出版,为用英文讲授高分子物理课程提供了合宜的课本,也将有利于该项教学改革的顺利进行。对我国高分子学科学生专业英文水平提高,培养具有国际竞争力的高素质高分子科学人才有所裨益。

至此,我们已编写出版了本科生实验教材、本科生辅导教材、研究生教材、英文版教材和供研究生阅读的学术专著,形成了中国科大高分子物理专业学生用的系列教材体系,它们是:(1)彭建邦,何平笙,《高

分子链的构象统计学》(合肥:中国科大出版社,2006 年出版);(2)杨海洋,朱平平,何平笙,《高分子物理实验》第二版(合肥:中国科大出版社,2008 年出版);(3)朱平平,何平笙,杨海洋,《高分子物理重点难点释义》(合肥:中国科大出版社,2011 年出版);(4)柯船杨,何平笙,《高分子物理教程》(北京:化学工业出版社,2006 年出版);(5)何平笙,《高聚物的力学性能》(合肥:中国科大出版社,第一版,1997 年出版,2004 年被国务院学位委员会学科评议组审定推荐为全国研究生教学用书,第二版,2008 年出版);(6)何平笙,《二维状态下的聚合》(合肥:中国科大出版社,2008 年出版);(7)何平笙,金邦坤,李春娥,《热固性树脂和树脂基复合材料的固化》(合肥:中国科大出版社,2011 年出版);(8)董炎明,朱平平,徐世爱,《高分子结构与性能》(上海华东理工大学出版社,2011 年出版);(9)马德柱,《聚合物的结构与性能(结构篇)、(性能篇)》(北京:科学出版社,2012 年出版)(见图 4);(10)2001 年合编《硕士研究生入学考试化学类科目考试纲要》(合肥:中国科大出版社,第一版,2001 年出版;第二版,2002 年出版)是中科院和中国科大研究生入学考试指导用书,也是重要的教学参考书之一。

其实早在上世纪 80 年代中国科大高分子物理专业的老师们就积极从事教材的编写、国外著名教材的翻译和有关辅助材料的编写出版。譬如,(1)1988 年出版吕锡慈《高分子材料的强度与破坏》(成都:四川教育出版社,1988 年出版);(2)1986 年何平笙等翻译出版《热塑性塑料的性能与设计》(北京:科学出版社);(3)1981 年何平笙,周漪琴,韩哲文,沈丽君编写《英汉高分子词汇,第二版》(北京:科学出版社),以及参与编写《英汉化学化工词汇,第四版》、《英汉流变学词汇》(均为北京:科学出版社),和参与翻译《固体高聚物的力学性能》(北京:科学出版社,第一版 1980,第二版 1988)等(见图 3)。特别要提出的是,朱平平、何平笙花大力气翻译了被称之为“高分子科学的圣经”的 Flory 经典著作 *Principle of Polymer Chemistry*, 将在年内由中国科大出版社出版。



图 3 中国科大高分子物理本科学生和研究生系列教材、参考书及参与翻译编辑的有关辅助书籍

Figure 3 Series of teaching materials, reference books and teaching auxiliary books wrote for undergraduate and graduate students of polymer physics in USTC

从事本学科的科学研究的必要条件是写出有深度好教材的必要条件之一。我们从事教学研究的同时,也积极开展高分子学科前沿的科学研究,曾申请到 7 次国家自然科学基金,因此在书中不但有全面高聚物结构与性能总的把握,也把涉及我们科研工作的有用知识写进了教材。例如,多少年来高聚物都是非晶或半晶的,并且由于结晶性高聚物的折叠链结构是如此的普遍,在一个时期里竟认为不存在完整的高聚物单晶。事实是,高聚物结晶都是先聚合后结晶的,很长的大分子链不易规整排列,细长而蜷曲的高分子链要在三维空间中排列整齐形成晶体确是一件很难的事。把逆向思维的道理用在高聚物结晶上,就是先把单体排列整齐后再令它们发生聚合,即先把单体培养成单晶体,再令单体单晶聚合就可得到厘米尺寸,100%结晶和完全伸直链的高聚物单晶体。因此,在我们的书里不但有不同结晶条件(不同浓度的溶液或熔体,高压下以及搅拌下)下的结晶形态,还有了不同结晶方式(先聚合后结晶,先结晶后聚合)下高聚物结晶形态的内容。

紧密结合科研成果提供了一般教材上没有的新观点和新资料图片。譬如,(1) 提供了球晶的电镜照片。图中球形的聚乙烯晶体很是形象,比传统的消光黑十字照片更直观、更能说明球晶的形态;(2) 介绍了高聚物宏观单晶。双(对甲苯磺酸)-2,4-己二炔-1,6-二醇,TS 宏观单晶体就直接聚合成它的聚合物 PTS 宏观单晶体(见图 4)。

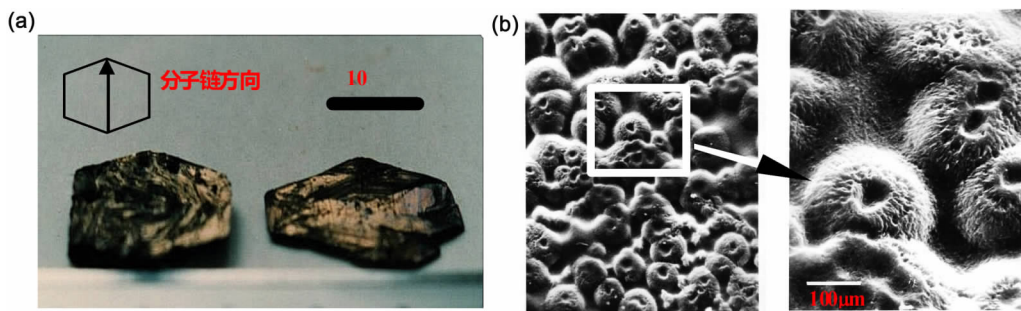


图 4 (a)为聚双(对甲苯磺酸)-2,4-己二炔-1,6-二醇酯(PTS)宏观单晶体。极大尺寸已达 26mm,呈紫黑色和有金属光泽,特别是大分子链不是垂直于晶面而是平躺在晶面内;(b)为聚乙烯球晶的扫描电镜照片。

Figure 4 (a) The macroscopic single crystal of polybis-(*p*-toluene sulfonate) of 2,4 hexadiyne-1,6-diol with the maxium size of 26 mm. The crystal has purple black color and metallic luster. The polymer chains are lying on the surface of the crystal instead of being perpendicular to; (b) The electron microscope image of polyethylene spherulite.

我们还把自己的科研成果“单分子膜和 LB 膜的聚合”和“热固性树脂和树脂基复合材料的固化”撰写成专著(科大校友文库),开设了相应的研究生课程和具有我校特色的本科生实验。

2 教学是需要研究的:公开发表教学研究论文 50 余篇

长期的教学实践使我深深体会到“教学是需要研究的”。教学和科研一样,都要开展认真的研究。我们针对当前宽学科、广基础的普遍要求,开展了大量有关高分子学科的教学研究,认真进行了有关高分子科学专门人才的培养和硕士、博士阶段课程的合理安排。

本科阶段,除了加强学术基础课的教学外(如加开了统计物理、连续介质力学课程),主要的是叫学生理解该学科还有很多问题没有解决,使学生有强烈的好奇心。

硕士阶段在数学上要达到下面将说的,“能就高分子物理的问题与数学工作者交谈得起来”;在物理上要达到“能就高分子物理的问题与物理工作者交谈得起来”;每位硕士生导师在有意识地引导学生在实验数据基础上向一定的理论问题跨进,从定性地解释实验事实向定量的理论模型跨进。在博士生培养阶段,博士生导师仍坚持要对学生提出加深自己数理基础的要求,指定高水平的高分子物理理论专著叫博士生自学。在数学和物理上达到的要求就是下面提出来的“能运用数学工具解决高分子物理的实际问题”和“能对高分子物理的具体问题提出清晰的物理模型”。博士生论文除了有实验结果方面的创新外,

更要有理论推导的内容。

高分子学科包括高分子化学、高分子物理和高分子工程互相有关联的三个部分,形成了一个完整的高分子工业。高分子化学是把小分子单体聚合成高分子,而主要作为材料来使用的高分子科学与一般的化学学科不尽相同,人们主要利用高分子材料的物理力学性能而不是它们的化学性能。高分子化合物仅仅是高分子制品的半成品原料。要使它们成为实用的制品,通常都有加工成型(主要是物理变化而不是化学变化)这一道重要的工序。如果说高分子合成主要还是合成化学的范畴,那么,在加工成型中更多的将涉及物理学范畴的内容。高分子学科就是揭示结构与性能之间的内在联系及其基本规律,以期对高分子材料的合成、加工成型、测试、选材提供理论依据。

我们还探讨了高分子系学生(特别是高分子物理人才)所需的数理化 and 工程技术基础知识。它们是:化学方面:与普通化学系的学生一样,无机化学、分析化学、物理化学、有机化学、结构化学、高分子化学应该是必学课程。对化学的要求是:(1)掌握四大化学基本知识;(2)掌握相当的化学合成技能;(3)有运用物理和数学工具解决化学问题的强烈愿望。

物理方面:普通物理、统计物理、理论物理、固体物理、连续介质力学等课程要学习。对物理的要求是:(1)能理解已有高分子理论的物理图象;(2)能就高分子物理的问题与物理工作者交谈得起来;(3)能对高分子物理的具体问题提出清晰的物理模型。

数学方面:应学习高等数学、线性代数和矩阵、概率论、复变函数和数理方程。对数学的要求是:(1)能“硬着头皮”把有关高分子物理的理论论文读下来,不“怕”或不“怵”数学的符号和术语;(2)能就高分子物理的问题与数学工作者交谈得起来;(3)能运用数学工具解决高分子物理的实际问题。

工程技术方面:要掌握电子技术和计算机、网络技术和机械制图。对工程技术的要求是:(1)能看懂电子线路、机械制图和电脑程序;(2)能应用所学知识设计制作小配件;(3)能根据需要自己设计专用仪器,包括电脑软件、接口。

“高聚物的结构与性能”课程是以高聚物为对象,涵盖全部物理的内容,头绪繁多,概念抽象,被大家认为是一门公认难讲的课程。另一方面,高分子物理却是当今凝聚态物理中最为活跃和最有希望获得突破的领域。“高聚物的结构与性能”揭示结构与性能之间的内在联系及其基本规律,以期对高聚物材料的合成、加工成型、测试、选材、合理使用和开发提供理论依据。十几年来,我们在国内外期刊上公开发表的教学研究论文达 50 多篇,这些教学研究的内容也都呈现在了所编的教材中。譬如,明确提出了“三个层次的高聚物结构与性能关系”,即通过分子运动联系的“分子结构与材料性能”关系,通过产品设计联系的“凝聚态结构与制品性能”关系,以及通过凝聚态物理知识来联系的“电子态结构与材料功能”关系。解决了传统教材上只讲授“分子结构与材料性能”知识的局限性。又如,把大家熟悉的 WLF 方程提高到“高聚物特殊的运动单元——链段运动所服从的特殊温度依赖关系”的高度来认识,指出由于高分子链的“大”,量变必然引起质变,量“大”引起的质变是新的结构参数“柔性”的产生,从而产生高聚物特有的橡胶高弹性,并具有自己特有的服从规律,即链段运动的温度依赖关系——WLF 方程,而不是普适的阿伦尼乌斯方程。

高分子科学毕竟还是一门实验科学,为此我们也花费较大精力研究“高分子物理实验”课的教学。我们是全国第一个在“高分子物理实验”课中引入计算机模拟实验,目前已开设有 5 个计算机模拟实验。我们尽量自己装配学生实验装置,开发学生的动手能力,特别是把自己研制的科研装置“树脂固化仪”也为学生开出了有关的实验。我们还把高聚物稀溶液黏度测定的创新方法引入到实验中来。最值得指出的是我们首次提出了选用实验的 4 原则,即(1)教学实验应该充分揭示高聚物和小分子化合物在结构与性能上的显著差别;(2)教学实验应以自己动手搭配装置为原则;(3)教学实验应及时反映高分子物理的研究成果;(4)把计算机技术引入到实验教学中去,达到了实体分子模型不可能达到的效果。

高分子物理(及其配套的“高分子物理实验”)是一门专业课,相对来说是门小课,受益面也不大,但被公认为是一门难讲难学的课。我们抱着精益求精的精神,不但对课程本身内容深入理解,也与时俱进,参

照该学科的世界进展,一点一滴地深挖课程内涵,写出数十篇教学研究论文公开发表。因为我们知道尽管苏州的拙政园与北京颐和园相比非常的小,但拙政园(以及其它苏州园林)布局巧妙、精雕细琢、一池一石、一亭一阁,恰到好处,同样被世界所认可,列入世界文化遗产名录。我们就是把高分子物理这门专业课程做成了像拙政园那样的精致园林。

3 辐射和示范:召开全国会议和走出去上课

我们深深感到全国高校高分子物理教学水平的全面提高才是我国高分子学科发展的正道。俗语说得好:一枝独秀不是春,万紫千红春满园。在开展教学实践和教学研究过程中,我们一直秉承“走出科大,全国受益”的理念,或积极参加全国高分子学术报告会交流我们的教学心得,或直接召开有关的教学研究和教材编写的研讨会,或公开发表体现我们教学思想的教研论文,或赴兄弟院校和中科院的研究所上课,等等。

具体有 1999 年 7 月在高分子物理暑期国际高级研讨班(上海)上开讲“高分子物理的几个教学问题”;2002 年 9 月在全国大学本科“高分子物理”课程骨干教师培训班(上海)开讲示范课;先后于 2003、2005、2009、2011、2013、2015 年在全国高分子学术年会高分子教育分会上作有关高分子教学及研究的分会邀请报告或口头报告;2003 年 4 月为安徽建工学院高校本科生作“高分子物理”专题报告;2004 年 5 月在“2004 年全国高分子物理教学示范课和实验课研讨班”上作主题报告和开讲示范课;2004 年 6 月赴淮南安徽理工大学作“高分子物理”专题报告等等。

我们多次召开省内乃至全国高校有关高分子物理的教学研讨会。譬如,2008 年召开了安徽高分子物理实验研讨会,2009 年召开了“全国高分子物理及实验教材编写研讨会”,探讨高分子物理本科教材、研究生教材和研究阅读参考书、辅导教材、实验教材的编写经验。

我们在国内率先开出的有关高分子物理实验的计算机模拟实验,很受兄弟院校的欢迎,纷纷引入这些实验。我们都是无偿提供软件编码资料,甚至接受兄弟院校的老师培训,很快就在全国高校中推广了有关的几个实验。

我们多次受邀赴兄弟高校(深圳大学、合肥工业大学、安徽理工大学、安徽建筑大学)和中科院的研究所讲授高分子物理课程。其中,2003~2012 年连续十年赴中科院长春应用化学研究所上“高分子物理”(即“高聚物的结构与性能”研究生课程,80 学时),2004 年,应邀赴安徽理工大学讲授本科生“高聚物的结构与性能”(50 学时),最近的有 2015 年和 2016 年两次赴深圳大学材料学院上“高分子物理”课、2017 年又赴广州华南理工大学为青年教师上“高分子物理”示范课程 40 学时。

4 充分利用多媒体教学手段

多媒体教学手段是现代教学的标志,我们也及时组织人员开展高分子物理教学课件的制作。尽管还不够完善,但部分内容发布在校园网上,配合课堂教学,起到直观、生动、易理解掌握的作用,很受学生欢迎。现在我们的国家精品课程“高聚物的结构与性能”和省级精品课程“高分子物理实验”都有专门的网站,内容广泛,教师和学术互动,也为全国高分子科研人员提供了一个互动的平台。

5 得到广泛认可:国家级教学成果奖、省级教学成果奖、国家级精品课程和省级精品课程

鉴于高分子物理教研室全体同仁的共同努力,我们的高分子物理(高聚物的结构与性能)课教学思想、教材编写、讲课和教学研究获得了校、省、中科院乃至国家层面的广泛认可。

“高聚物的结构与性能”课在 2005 年被评为国家级精品课程,“高分子物理实验”课在 2008 年被评为安徽省级精品课程,是该校一个基层单位有两门课分别荣获国家级和省级精品课程的专业教研室。2005

年“全面提升高分子物理重点课程的教学质量”荣获国家级教学成果奖二等奖,2008 年“高分子物理实验精品课程的全面深化及示范作用”荣获安徽省教学成果省级一等奖,2010 年“高聚物的结构与性能及相关课程教材的持续建设及辐射与示范作用”荣获安徽省教学成果特等奖。

6 学生受益:科研能力快速提升

教学的根本任务是培养国家建设的高素质技术人才,学生才是教学成果的最大受益者。高分子系学生对我们的课程教学满意程度高,反应良好。具体表现为:(1)由于数理化基础扎实,专业课内容合理和新颖;(2)由于在专业课时有良好的实验技术训练,高年级学生在大学最后一年就参加老师的科研活动,并取得很好成果。如 01 级本科生程义云同学在我们专业课实验室利用业余时间参加科研工作,很快就具备了基本科研能力,在本科阶段就以第一作者名义发表了学术论文 5 篇,现在已经成长为华东师范大学的一名教授。95 级高分子物理专业毕业生邹刚教授(留校任教)已在 *Nature* 子刊上发表两篇学术论文,等等。

60 Year’s Teaching on Polymer Physics in USTC

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

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

Abstract:In this presentation the 60 year’s history and current situation of the teaching of polymer physics in the University of Science and Technology of China have been introduced. In particular, a series of textbooks on polymer physics have been written and published, and teaching research has been carried out in depth.

Key words:Polymer physics; Teaching; University of Science and Technology of China(USTC)