



怎样上好聚合物流变学

郝文涛, 王小明, 杨 文

(合肥工业大学化工学院, 可控化学与材料化工安徽省重点实验室, 合肥 230009)

摘要:之目的在于探讨工科院校中聚合物流变学课程的教学重点与教学措施, 提出了“以高分子物理为依托, 服务于聚合物成型工艺, 强调课程实用性”的教学思路。聚合物流变学在高分子专业本科教学过程中是承上启下的关键课程, 地位与作用明显; 聚合物流变学课程又不同于一般流变学课程, 有着自身的特点; 工科院校中, 应突出其实用功能, 同时不放弃对经典流变学理论的介绍与适当深入。文中, 还对国内外聚合物流变学教材的特点作了评述, 对于如何上好聚合物流变学提出了自己的观点。

关键词: 聚合物; 流变学; 教学; 改进; 实用性

引言

聚合物流变学(高分子流变学)是一门研究聚合物材料的流动与变形的科学。聚合物流变学课程在高分子材料专业教学计划中是具有承上启下地位的关键性课程^[1~5]。简单来说, 高分子物理的基本原理在聚合物流变学中有充分体现^[6,7], 而通过对聚合物熔体或溶液流变性质的把握将有助于进一步理解和掌握成型工艺原理与模具设计原理^[8]。因此在工科院校中, 十分有必要开设聚合物流变学课程。

合肥工业大学自上世纪 80 年代起就已经设置了聚合物流变学课程并持续至今, 而本人业已承担了七届本科生的教学任务。通过认真阅读前辈们的著作^[9~11]和心得^[1], 结合自己的教学实践, 对聚合物流变学课程的教学有了一些认识, 在这里和大家进行交流和探讨。

1 聚合物流变学课程的特点

1.1 聚合物流变学课程是承上启下的关键课程

聚合物流变学是建立在高分子物理基础之上的: (1) 两者的研究对象实际上都包含了高分子材料的力学性质; (2) 流变学的研究目的是揭示材料流动与变形的规律, 而聚合物的流动与变形过程中却处处体现了粘弹性的特征^[12]; (3) 从研究手段来看, 动态粘弹谱仪与动态流变仪在原理上有着异曲同工之妙, 而且实验结果可以相互补充、相互印证^[13,14]。

聚合物流变学又服务于聚合物成型工艺学等课程。无论是注塑、挤出, 还是模塑成型, 都是将聚合物加热至熔融状态下进行的加工过程, 此时聚合物的流动特性就成为决定成型工艺参数以及制品质量的重要因素。事实上, 在许多教材中都对高聚物熔体在辊筒表面以及螺杆挤出机中的流动过程作了深入而详细的分析; 而在成型工艺教材中也往往会指出“聚合物加工原理即是利用流变学理论论述加工问题”^[15]。

1.2 聚合物流变学课程亦易亦难

聚合物流变学以高分子物理的基本理论为基础, 因此, 在已经掌握了高聚物结构与性能关系的基础上学习本课程, 相对来说应该比较轻松。但是, 作为流变学的一个重要分支, 聚合物流变学实际上也是建立在连续介质的流体力学基础之上的^[16]。对于高分子材料专业的本科生来说, 由于数理基础相对较弱, 自

收稿: 2011-4-14; 修回: 2010-6-26;

通讯联系人, E-mail: hftaotao@163.com.

然认为流变学还是有难度的。吴其晔老师曾经指出要“兼顾不同读者的专业背景,尤其是化学专业出身的读者需求,正确处理数学、力学公式和化学概念的关系”^[1];方显力老师也曾提出,“教学中尽可能以简明的语言和最基本的数学概念,诠释流变学的抽象概念和基本物理量的确切物理意义”^[4]。

2 聚合物流变学课程中的难点与重点

在聚合物流变学课程教学中必须讲授流变学中有关连续介质力学的内容,而与之相对应的连续性方程、动量方程以及能量方程是分析高分子熔体在成型机械中流动状态的有力工具。在许多教材中都是利用大量的篇幅首先介绍流变学基本概念,如应力张量、应变张量、应变速率张量、哈密尔顿算子、随体导数以及本构方程等,这些抽象概念对于化学化工专业的本科生来说偏难,讲课效果往往不好。在其后,对于流变学基础方程及其应用的推导过程中又涉及到大量繁琐复杂的推导过程,这些也是同学们所畏惧的难点。但是,根据高分子专业本科教学计划和培养目标,这部分内容却不是教学的重点。

事实上,对于高分子材料和高分子化工专业本科教学而言,流变学的教学目的应在于理解和掌握流变学的基本原理,结合高分子物理和高分子化学知识,能够分析判断聚合物熔体和溶液在流动过程中的流动特征及其影响因素,根据流动特征来合理地选择成型工艺条件,在可能的情况下将根据流变学的基本原理指导成型机械与模具的设计。因此可以说,在工科院校中,聚合物流变学的教学重点在于如何教会同学们去应用流变学原理以及聚合物流变性的影响因素分析解决问题。

3 聚合物流变学课程的教学探讨

3.1 选好教材,博采众长

近些年来,国内出版了不少优秀的流变学教材,比如吴其晔老师的《高分子材料流变学》、徐佩弦老师的《高聚物流变学及其应用》等。在此之前,也曾经出版过周彦豪老师的《聚合物加工流变学基础》、顾国芳老师的《聚合物流变学基础》^[17]等。应当说,这些教材代表了当前国内流变学教学中的优秀成果,每一本教材都有各自的独到之处。比如,在《聚合物加工流变学基础》中采用了大量的实例说明橡胶材料在熔体状态下的流动特征,而且其数理推导过程相对简单而实用;在《高分子材料流变学》中,则强调了对物理思想的讲解与流变学基本原理的应用。面对诸多大家的著作,一时间难免眼花缭乱,对每一本教材都难以割舍。在近几年的教学实践中,教材选用经历了从周老师的“加工流变学基础”到徐老师的“流变学及其应用”,再到吴老师的“高分子材料流变学”。教学内容也在不断地补充、完善,不知不觉间已经将诸多优秀教材的精华内容渗透进了聚合物流变学的教学过程中。

3.2 突出实用功能,重在诱人深入

对比国外的流变学教材,可以发现与国内教材有很大不同,突出了流变学教学的实用功能。以 *Polymer and Composite Rheology*^[18] 为例,其中对于流变学基础方程阐述较少,而是用较多的篇幅介绍了诸如悬浮体系、乳液体系、发泡体系等流变学体系的流动特征。因此可以说,这种教学体系更多地偏重于介绍、了解,虽内容较浅,但涵盖面较广,使同学们能够体会到学而有用。这给我们提供了很好的借鉴思路。在我们的工科院校中,聚合物流变学的教学也应充分体现突出其实用功能。

由于本校的高分子材料研究以聚合物改性为主,涉及大量成型工艺过程。因此,在聚合物流变学教学过程中结合本校科研的特点,突出讲授有关“转矩流变仪的原理与应用”、“聚合物熔体粘度的影响因素”、“辊筒表面的流动分析”以及“螺杆挤出过程中的流动分析”等内容。具体措施为,在上课过程中首先结合具体实例以引起同学们的听课兴趣,然后由浅及深地分析科学原理。比如在对转矩-时间曲线的分析过程中,就是以聚氯乙烯为例,指出特征转变点,分析此刻聚合物所发生的物理和化学变化;在辊筒表面的流动分析过程中,通过对流变学方程的分析求解,指出不仅有压力和拖曳引起的正流,还有逆流,而恰恰是逆流引起了物料在辊筒上的堆积与翻滚,并改善了混炼效果。

3.3 把握主线,紧扣细节,以高分子物理为基础,以成型工艺原理为发展,不断领会

如前所述,聚合物流变学是建立在高分子物理的基础上,以聚合物成型工艺原理为服务目标的一门

课程。因此,需要牢牢把握这一主线,在教学过程中不断地强化高分子物理的基础知识,并深入讲解聚合物熔体粘度影响因素、流变学方程应用等教学内容。

在课程初期,就应用了高分子链沿流动场的取向和解缠结来对普适流动曲线上的牛顿流动现象和假塑性流动现象进行解释;在课程中期,应用了分子运动对温度的敏感性(Arrhenius 方程)解释了刚性聚合物熔体在升温过程中粘度降低较多而柔性聚合物熔体粘度变化不大的现象;在课程后期,花费较多课时对流变学方程的应用进行细致讲授,特别是对“平板拖曳流动”和“狭缝口模中的流动”这些基础性内容详细介绍,并指出辊筒表面流动和螺杆挤出过程均为基本流动形式的组合,为同一学期内即将开设的成型工艺课程做准备。

在近几年的流变学讲课过程中,本人对于聚合物流变学的教学主线认识不断深入,并且欣喜地发现,在最近所涌现出的一些优秀高分子物理教材^[7]和成型工艺学教材^[15]中,与聚合物流变学交叉与融合的内容越来越多,这也充分反映出了聚合物流变学“以高分子物理为基础,以成型工艺原理为发展”的基本特征。

3.4 课堂作业、期末考试并重;鼓励课上课下提问,增强互动与交流

聚合物流变学课程的特点还在于课时短、内容多,特别是新概念多,但是又偏重于理解,而不是简单记忆,因此同学们在学习过程中往往会由于短时的注意力不集中而造成对于课程内容理解的缺失和偏差。为促进课程学习效果,课堂作业往往不可缺少。通过对即时学过的内容进行回顾,可以达到强化理解与记忆的目的。曾经有一个小作业,“在宽广的剪切速率范围内,聚合物流体的剪切应力与剪切速率之间的关系会出现什么样的变化?”,当时这一问题难住了许多同学。而实际上,这问题是针对当时刚刚讲过的普适流动曲线而提出的,它指出了聚合物这种非牛顿流体的流动特性。但是,有很大一部分同学都回答成了“假塑性”、“胀塑性”等流动的类型。

鉴于这种情况,在聚合物流变学授课过程中强调了提问的重要性和必要性,鼓励同学们大胆提问,无论课堂上还是课间、课后。在 2007 级高分子专业本科生教学过程中,同学们的积极性得到了极大的鼓舞,提出了许多很有深度的问题。事实上,这些问题也会促使作为老师的我们深入思考教学内容和教学方式,不断改进教学质量。

3.5 密切跟踪科研动态,不断补充新教学内容

流变学的教学不能仅仅局限于书本内容,大量的研究论文为补充聚合物流变学的教学内容提供了丰富的素材。在 2006 年的教学内容中,就已经补充了有关磁流变学^[20]、电流变学^[21]的知识介绍。

入口效应对于高聚物的成型加工过程往往是不利的,那么它在流变学上的意义也全是负面的吗?在 2008 年的教学内容中又补充了一篇文献,讲到了零长毛细管在分析硬聚氯乙烯制品凝胶化程度中的应用^[22]。由于零长毛细管的长径比很小($L/D=0.4$),因此物料通过零长毛细管的流动相当于通过毛细管入口区的流动,压力降几乎全部消耗在入口压力降上。凡凝胶化程度高的熔体,其弹性好,入口压力降大,反之则低。于是可以通过测量聚氯乙烯熔体的入口压力降来表征其凝胶化程度和熔融塑化程度。

在 2011 年新的教学体系中,为配合转矩流变仪的教学,特意查阅了近三十篇相关文献,制作了“转矩流变仪在高分子材料研究中的应用”课件作为补充教学内容,引用了其中较为典型的五篇,涵盖了转矩流变仪在橡胶与塑料的配方设计、纳米粒子超分散剂与抗氧剂效果评价以及生产管理中的应用等诸多方面的内容^[23~27]。上课过程中,首先指出文章目的,然后通过对文献中实验数据的分析来说明转矩流变仪的具体应用。不仅讲述了转矩流变仪的应用,而且也使同学们了解了科研的最新动态。

这一教学方式不仅引起了同学们浓厚的兴趣,也很好促进了教师本人的学习。

3.6 轻松讲授,享受教学

虽然聚合物流变学课程内容多,深度大,给教学带来不小的困难,但是通过课下花费一定的时间和精力来琢磨,课堂教学过程中教师仍然能够保持一种轻松的态度,这样才不会给学生造成很大的压力。

通过几年的教学,本人的体会在于:理清教学思路、明确教学目的;把握主线、突出重点;课堂上辅以轻松的表情和丰富的手势,以通俗易懂的语言来讲授复杂的流变学内容。同学们的积极性需要教师来带

动,反过来,同学们的积极性也鼓舞了教师的授课热情。教师从根本上认清了学生的需要,就能调动其听课热情,真正做到轻松讲授,享受教学。

4 总结

聚物流变学在高分子材料专业的教学体系中占有十分重要的地位,上好流变学课程对于同学们深入理解高分子物理原理,从容面对聚合物成型工艺原理课程也十分重要。但是,作为一般工科院校的高分子流变学课程,无须将其上得那么艰深。通过牢牢把握住教学目的,理清教学思路,突出其实用性,结合适当的教学措施,最终还是能够以轻松的姿态讲授貌似艰深的聚物流变学课程。

由于聚物流变学课程已经在国内许多高校都已经广泛地开设,还是希望能够有更多的同仁一起来关注流变学课程的教学。引用何平笙老师的一句话,“教学是需要研究的”^[28],大家一起来思考,如何才能将聚物流变学课程上得更好。

参考文献:

- [1] 吴其晔. 高分子通报, 2008, (6): 52~55.
- [2] 盛维琛, 周志平. 高分子通报, 2008, (5): 61~65.
- [3] 赵丰. 高分子通报, 2009, (9): 69~73.
- [4] 方显力. 中国轻工教育, 2008, (3): 57~59.
- [5] 谢炜, 龙春光, 华煜煜. 科技创新导报, 2010, (10): 177.
- [6] 何曼君, 董西峡, 陈维孝. 高分子物理(修订版). 上海: 复旦大学出版社, 1990, 462.
- [7] 何平笙. 新编高聚物的结构与性能. 北京: 科学出版社, 2009, 593.
- [8] 王贵恒. 高分子材料成型加工原理. 北京: 化学工业出版社, 2008, 320.
- [9] 周彦豪. 聚合物加工流变学基础. 西安: 西安交通大学出版社, 1988, 457.
- [10] 徐佩弦. 高聚物流变学及其应用. 北京: 化学工业出版社, 2003, 320.
- [11] 吴其晔, 巫静安. 高分子材料流变学. 北京: 高等教育出版社, 2002, 377.
- [12] 郝文涛, 王小明. 化工时刊, 2011, 25(3): 64~67.
- [13] 李剑, 程宝家, 周持兴, 刘青, 李杨. 塑料工业, 2001, 29(4): 34~36.
- [14] 张义盛, 吴德峰, 张明. 化工学报, 2008, 59(10): 2644~2649.
- [15] 赵素合. 聚合物加工工程. 北京: 中国轻工业出版社, 2006, 443.
- [16] 王振东. 力学与实践, 2001, 23(4): 68~71.
- [17] 顾国芳, 浦鸿汀. 聚物流变学基础. 上海: 同济大学出版社, 2000, 264.
- [18] Gupta RK. Polymer and Composite Rheology. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 2000, 390.
- [19] 杜启玫, 周持兴. 实验室研究与探索, 2004, 23(7): 46~47.
- [20] 李金, 张华良. 上海大学学报(自然科学版), 2004, 10(1): 21~29.
- [21] 庞雪蕾, 唐芳琼. 化学进展, 2004, 16(6): 849~857.
- [22] 吴其晔, 王淑英, 尼志红, 刘志杰, 潘洪亮. 塑料, 1994, 23(3): 39~43.
- [23] 张安强, 林雅玲, 王炼石. 弹性体, 17(6): 53~29.
- [24] 高象涛. 齐鲁石油化工, 2003, 31(2): 147~148.
- [25] 王少会, 卢尚琨, 任凤梅, 徐卫兵. 塑料科技, 2008, 36(5): 40~43.
- [26] 王金华, 张洪明, 田呈祥. 塑料助剂, 2001, (2): 17~20.
- [27] 冯伟刚. 聚氯乙烯, 2007, (8): 12~17.
- [28] 何平笙, 朱平平, 杨海洋. “全国高分子物理教学示范课和实验研讨班”主题报告. 合肥, 2004.

How to Teach Polymer Rheology

HAO Wen-tao, WANG Xiao-ming, YANG Wen

(College of Chemical Engineering, Anhui Key Laboratory of Controllable Chemistry Reaction & Material Chemical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The purpose of this article is to discuss the key points and teaching measures in polymer rheology course in engineering colleges. The main idea proposed is that the lecture should set its basement on polymer physics, and serve to polymer processing technology, and the practical applicability shall be emphasized. Polymer rheology is the key course linking the other ones in polymer major. It is different to the general rheology courses, and is of its own features. It is suggested that the polymer rheology course shall be taught more practically rather than theoretically in engineering colleges. However, the introduction to classical theories of rheology is also necessary, which will lead the top students going deeper. In this article, the popular textbooks both in Chinese and in English on polymer rheology were briefly reviewed. Some viewpoints on how to teach polymer rheology were proposed too.

Key words: Polymer; Rheology; Teaching; Improvement; Practical applicability