高分子化学教学中课程思政教育的探索与实践 ——以“Carothers 方程的应用”为例

秦四勇^{1,*}, 李琳¹, 江华芳²

¹中南民族大学化学与材料科学学院, 武汉 430074

²中南民族大学生命科学学院, 武汉 430074

摘要: 高分子化学具有丰富的思政资源和广泛的授课对象, 有利于高校有效开展课程思政教育。本文以高分子化学为课程载体, 认真挖掘思政元素, 合理设计授课过程, 探索实施“课程思政”教育。以Carothers方程为例, 通过对其推导过程、适用领域、应用优势和存在的不足进行分析, 探讨如何“因势利导、顺势而为”开展大学“课程思政”, “润物无声”地为社会主义事业培养合格的建设者和可靠的接班人。

关键词: 高分子化学; 课程思政; Carothers方程; 凝胶点的预测; 聚合度的计算
中图分类号: G64; O6

Exploration and Practice of “Course Ideology and Politics Education” in Polymer Chemistry Teaching: Taking the Application of Carothers Equation as an Example

Siyong Qin^{1,*}, Lin Li¹, Huafang Jiang²

¹ College of Chemistry & Materials Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China.

² College of Life Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China.

Abstract: Polymer chemistry contains rich ideological and political education resources and has broad audiences, which allows for the implementation of course ideology and politics education in colleges and universities. Through excavating the ideological and political elements and designing the teaching process, we exploit the course ideology and politics in polymer chemistry teaching. Taking the Carothers equation as an example, the professional knowledge including its equation deducing, suitable domains, application advantages and drawbacks is emphasized, in order to illustrate how to effectively carry out the course ideology and politics to train the socialist builders and reliable successors.

Key Words: Polymer chemistry; Course ideology and politics; Carothers equation; Prediction of gel point; Calculation of degree of polymerization

课程思政, 是指在大学专业课程教学中融入科学的思想观念、政治观点、道德规范等思想政治元素, 通过合理有效挖掘专业课程中蕴含的思政教育资源, “因势利导、顺势而为”地将习近平新时代中国特色社会主义思想融入专业课教学中^[1,2]。在大学课堂开展思政教育, 其意义在于: (1) 有

收稿: 2020-07-18; 录用: 2020-09-23; 网络发表: 2020-10-09

*通讯作者, Email: sy-qin@mail.scuec.edu.cn

基金资助: 中南民族大学教学研究项目课程思政专项(JYZD19061)

效落实高校立德树人根本任务。“大学之道，在明明德。”立德树人是中华民族永恒的教育价值追求！新时期高校实施“课程思政”是落实立德树人根本任务的重要保障；(2) 大学生成长过程的内在需求。大学生三观尚未完全定型，在教学全过程开展思政教育，给大学生以科学化的政治引领，契合其成长过程的需求；(3) 提升大学生思想政治站位的现实需要。现代大学生不少以自我为中心，注重自我实现，这与习近平总书记“胸怀天下，立己达人”的思想相违背，推进“课程思政”是改善大学生思想政治现状的现实需求；(4) 对学生人格培养的迫切需要。“唯分数论”导致学生毕业后社会适应能力差，遇到非书本问题不知所措，实施“课程思政”有助于提高学生综合素质。

当前，我国高校的思想政治教育主要集中在本科教学前两年，在后两年的专业学习中，思想政治课不再与专业课程同向同行，出现了教书和育人相脱节的现象。作为一名长期耕耘在教学一线的高校专业课程教师，深刻体会到在专业课的课堂上开展思想政治教育的必要性与紧迫性。高分子化学作为除了四大化学之外最重要的一个化学学科分支，是高分子材料科学与工程专业的核心课程，也是材料化学、应用化学、纺织工程等相关专业的必修课程。以高分子化学为课程媒介进行思政教育，教育受众广泛。本文结合高分子化学课程的教学实际，在夯实学生所学专业知识的同时，充分挖掘该课程中蕴含的思政教育资源，在教学过程中有效展现思政元素，让高分子化学这门重要的课程充分发挥其育人功能。

1 高分子化学课程蕴含的思政内容

高分子化学是研究高分子化合物合成与反应的一门科学，它从无到有的完整发展历程凝聚了无数科学家的智慧，蕴含了丰富的思政资源^[3]。如通过介绍高分子化学的快速发展历程以及对人类的贡献，培养学生的专业荣誉感与职业使命感。下面简单列举几例：

① 塑造人物，树立榜样：分享与高分子化学相关的中国科学家的感人事迹，激励学生坚持科学性，求真务实，热爱祖国。科学家何炳林老先生携带二乙烯苯归国，开创了我国离子交换树脂领域；李官奇十年磨一剑，研制出首条大豆蛋白纤维生产线，成为世界人造植物蛋白纤维第一人，被载入世界人造纤维史册；中复神鹰碳纤维有限责任公司董事长张国良先生不计10年亏损，立志做出中国人自己的碳纤维，最终助力我国大型飞机的快速发展。通过中国科学家的光荣事迹激发学生的爱国主义和民族自豪感，激励学生奋发图强，做出开创性成果为国争光。

② 理解概念，深化内涵：讲解高分子概念和功能时，阐述单体只有通过聚合成高分子才能发挥其相关功能，引导学生单打独斗不如携手共进。在党中央的坚强领导下，近年来我国有效战胜了滔滔的洪水、撼动山岳的地震、牵动全球的金融危机、肆虐全球的无形病毒等，充分体现了举国上下“万众一心，众志成城”，团结就是力量。在讲授缩聚反应时，强调聚合物的形成是分子量逐步增加的过程。不积跬步，无以至千里；不积小流，无以成江海。在讲授加聚反应时，指出聚合过程中有活性中心，加聚物是单体一次又一次与活性中心加成得到的，引导学生团队合作要有核心和领导。

③ 消化内容，升华心灵：讲授在离子聚合过程中，单体、溶剂和容器中的少量杂质，不仅严重影响聚合物的聚合度(分子量)，甚至决定聚合是否能顺利进行，引导学生做人做事丝毫不能掺假；讲授在配位聚合时，催化剂的选择不仅事关聚合能否发生，还会严重影响聚合物的结构与性能。提醒学生要树正三观，在人生的重要节点，做出正确的选择。

本文重点借助Carothers方程的推导与应用为例来探索课程思政的一些具体实施。

2 Carothers方程的推导、拓展与应用

Carothers方程是由美国化学家华莱士·卡罗瑟斯于1935年提出。方程给出了在逐步聚合中聚合度 $\bar{X}_n$ 与体系反应程度 p 之间的关系，对缩合聚合中相对分子质量计算和控制具有重要指导意义。针对不同的体系，其表达式不同。对于常见的2-2体系，以二元酸(aAa)与二元醇(bBb)的反应为例，主要分成四种情况：

1) aAa和bBb体系, 两种基团数相等:

$$\bar{X}_n = \frac{1}{1-p}$$

2) aAa和bBb体系, bBb微量过量(N_a 为起始官能团a的量, N_b 为起始官能团b的量):

$$q = \frac{N_b - N_a}{N_a}, \quad r = \frac{N_a}{N_b}, \quad \bar{X}_n = \frac{1+r}{1+r-2rp} = \frac{q+2}{q+2(1-p)}$$

3) aAa和bBb两单体等基团数比, 另加微量单官能团物质Cb, 其基团数为 N_c :

$$q = \frac{2N_c}{N_a}, \quad r = \frac{N_a}{N_b + 2N_c}, \quad \bar{X}_n = \frac{1+r}{1+r-2rp} = \frac{q+2}{q+2(1-p)}$$

4) aRb (如羟基酸)加入少量的单官能团物质Cb, 其基团数为 N_c :

$$q = \frac{N_c}{N_a}, \quad r = \frac{N_a}{N_b + N_c}, \quad \bar{X}_n = \frac{1}{1-rp} = \frac{q+1}{1+q-p}$$

关于以上公式的推导及其适用范围, 文献^[4]中做了详细的讲解, 在此不再叙述。Carothers方程还可用于凝胶点的预测和线形缩聚的聚合度计算, 此时表达式不一样, 需对Carothers方程做如下讨论。

2.1 Carothers方程的推导

推导Carothers方程之前, 先引入一个概念“平均官能度 $\bar{f}$ ”。对于参加反应的两基团数相等的缩聚反应, $\bar{f}$ 指单体混合物中平均每一分子带有的官能团数^[5], 即:

$$\bar{f} = \frac{\sum N_i f_i}{\sum N_i} \quad (1)$$

Carothers方程推导过程如下。

设: N_0 为单体起始的分子总数, N 为聚合反应进行到 t 时刻时体系中大分子总数; 则有: 起始官能团总数是 $N_0 \bar{f}$, 反应进行到 t 时刻消耗的官能团数为 $2(N_0 - N)$ 。

反应程度:

$$p = \frac{\text{消耗的官能团数}}{\text{起始官能团数}} = \frac{2(N_0 - N)}{N_0 \bar{f}} = \frac{2}{\bar{f}} - \frac{N}{N_0} \cdot \frac{2}{\bar{f}} \quad (2)$$

$\bar{X}_n = N_0 / N$, 代入公式(2), 可得:

$$p = \frac{2}{\bar{f}} - \frac{2}{\bar{f}} \cdot \frac{1}{\bar{X}_n} \quad (3)$$

通过公式的推导旨在培养学生严谨、务实的科学态度, 引导学生做学问要科学严谨。

2.2 Carothers方程的应用

2.2.1 Carothers方程用于凝胶点的预测

在缩聚反应中, 加入多官能团($f > 2$)单体, 当聚合到一定程度时, 体系粘度突然急剧增加, 难以流动, 体系转变为具有弹性的凝胶状物质, 这一现象称为凝胶化现象^[5]。开始出现凝胶化时的反应程度(临界反应程度)称为凝胶点, 用 P_c 表示。 P_c 可以借助实验的方法进行测定(如以聚合过程中体系的气泡不能上升时的反应程度为凝胶点, 可取样分析残留官能团来计算)。此外, 凝胶点也可以从理论上进行预测。凝胶点的预测主要有Carothers法和Flory统计法, 本文主要讲述前者, 通过Carothers方程的推导与应用来阐明理论指导实践。

Carothers法预测凝胶点的理论基础是出现凝胶化时, 聚合度 $\bar{X}_n$ 为无穷大, 由式(3)可求得凝胶点时的临界反应程度:

$$P_c = \frac{2}{f} \quad (4)$$

例1 求2 mol甘油($f=3$)和3 mol邻苯二甲酸酐($f=2$)缩聚体系的平均官能度, 试计算该体系凝胶点, 判断有无交联固化危险。

解: 由题意可知, 体系中反应的官能团数比相等, 由公式(1)得: $\bar{f} = \frac{3 \times 2 + 2 \times 3}{2 + 3} = \frac{12}{5} = 2.4$ 。

因 $\bar{f} > 2$, 可能交联固化, 此体系的凝胶点为 $P_c = \frac{2}{2.4} = 0.833$ 。

然而, 实验测得该体系的 $P_c = 0.765$, 此值小于0.833, 表明Carothers法预测凝胶点较实验值偏高。凝胶点理论值偏离实测值, 原因为: 1) 公式推导过程中, 假设凝胶点时的数均聚合度 $\bar{X}_n$ 为无限大。实际上, 凝胶时 $\bar{X}_n$ 并非无穷大。如此例中, 实验求得 $\bar{X}_n$ 仅为24。2) 聚合度的不均一性。体系中大于和小于平均聚合度的分子都有, 大于平均聚合度的分子会先凝胶化。

虽然Carothers方程得到的预测值与实测值存在一定偏差, 但对体形缩聚凝胶点的预测和控制起到了重要的指导作用, 有助于制备热固性聚合物制品。通过Carothers方程的作用和不足引发出要善于把握问题的主要矛盾。我国在日益复杂的国际形势下能够合理处理与各国的关系, 获得如今的国际地位, 归功于中国共产党的正确领导与精准把握。

例2 将上例中加入“2 mol甘油和3 mol邻苯二甲酸酐”换为“1 mol甘油和5 mol邻苯二甲酸酐”, 试计算该体系凝胶点。

分析: 如果我们再照方抓药, 按公式(1)计算, 可得: $\bar{f} = \frac{3 \times 1 + 2 \times 5}{1 + 5} = 2.17$, $P_c = 0.922$ 。以上结

果显示该配方不仅可制备聚合物, 而且可产生一定深度交联。然而实际上, 如果按照1 mol甘油和5 mol苯酐投料, 1 mol甘油和3 mol苯酐反应后, 羟基全部被封锁, 余下的2 mol苯酐不再反应。所以此配方不仅不能生成聚合物, 更不可能交联固化。导致错误结果与结论的原因是忽略了公式(1)的使用条件, 即参加反应的两基团数必须相等。例2中, $-OH$ 的物质的量为 $1 \times 3 = 3$ mol, 而 $-COOH$ 的物质的量为 $2 \times 5 = 10$ mol, 并非等摩尔。由于体系中两基团数不再相等, 因此不能按照公式(1)计算 $\bar{f}$ 。对于不等当量的情况, 需要对以上公式加以修正。

对于两单体官能团不等当量, 平均官能度的计算方法是: 用非过量组分的官能团数的二倍除以体系中的分子总数^[5]:

$$\bar{f} = \frac{2 \times (\text{非过量官能团数})}{\text{分子总数}} \quad (5)$$

解: 由以上分析可知, 体系中反应的官能团数不相等, $-COOH$ 组分明显过量, 以 $-OH$ 组分计算: $\bar{f} = \frac{2 \times 3}{1 + 5} = 1$, 平均官能度小于2, 表明体系只生成低分子物, 不会凝胶化。

由以上Carothers方程预测凝胶点的求解过程可知, 针对不同的对象(体系), 用于计算的 $\bar{f}$ 公式不一样, 要求我们平时处理问题切勿生搬硬套, 要具体问题具体分析。

此外, 将公式(5)进行合理延伸, 可用于两种以上单体非等物质量的体系的平均官能度计算。如: 对于A、B、C三种单体构成的体系: 分子数分别为 N_a 、 N_b 、 N_c , 官能度分别为 f_a 、 f_b 、 f_c , 此时:

$$\bar{f} = \frac{2(N_a f_a + N_c f_c)}{N_a + N_b + N_c} \quad (6)$$

其中, 单体A和C含有相同的官能团a, 且体系中a官能团总数少于b官能团总数(即官能团b过量)。

例3 将上例中加入“2 mol甘油和3 mol邻苯二甲酸酐”换为“1 mol甘油, 0.7 mol 1,2-丙二醇和1.5 mol邻苯二甲酸酐, 1.2 mol的亚麻油酸”, 试计算该体系凝胶点。

解: 由题意可知, 反应体系中羧基官能团数少于羟基, 鉴于其为多种单体体系, 由公式(6)得: $\bar{f} = \frac{2 \times (1 \times 1.2 + 2 \times 1.5)}{1.2 + 1.5 + 1.0 + 0.7} = 1.91$, 因 $\bar{f} < 2$, 不产生凝胶, 无固化危险。

由公式(5)推导得出(6), 表明做学问要学会传承与发展, 借此引导学生继承和发扬中华民族的传统美德。

2.2.2 Carothers方程在线形缩聚中聚合度的计算

Carothers方程主要用于凝胶点的预测, 但从公式(3)可以看出, 反应程度 p , 平均官能度 $\bar{f}$ 和数均聚合度 $\bar{X}_n$ 存在一定关系。如果将公式(3)进行重排, 变成缩聚反应体系中反应混合物数均聚合度与反应程度 p 的函数, 可得:

$$\bar{X}_n = \frac{2}{2 - p\bar{f}} \quad (7)$$

由公式(7)可知, 可由反应程度和平均官能度计算线形聚合物的聚合度。因此, 对于Carothers方程, 同一个公式通过合理的演变, 可以解决高分子化学的两个重要问题, 激励学生要变定向思维为多向思维, 从而培养学生的创新精神, 创新是一个民族的灵魂。

例4 用145 g α, ω -氨基庚酸(1 mol)合成尼龙-7时, 加入0.01 mol的乙酸作为端基封锁剂, 求尼龙-7的最大数均聚合度。

解法一: $-\text{NH}_2$ 官能团的摩尔数为1 mol, $-\text{COOH}$ 官能团的摩尔数为 $1 + 0.01 = 1.01$ mol, 羧基过量。

$$\bar{f} = \frac{1 \times 2}{1 + 0.01} = 1.9802, \text{ 当反应程度 } p \text{ 为 } 1 \text{ 时, 有最大数均聚合度, 此时:}$$

$$\bar{X}_n = \frac{2}{2 - p\bar{f}} = \frac{2}{2 - 1 \times 1.9802} = 101$$

解法二: 用基团数比来求。

$$r = \frac{N_a}{N_a + N_c} = \frac{1}{1 + 0.01} = 0.9901, \text{ 当反应程度 } p \text{ 为 } 1 \text{ 时, 有最大数均聚合度:}$$

$$\bar{X}_n = \frac{1}{1 - rp} = \frac{1}{1 - 0.9901 \times 1} = 101$$

解法三: 用过量分率来求。

$$q = \frac{N_c}{N_a} = \frac{0.01}{1} = 0.01, \text{ 当反应程度 } p \text{ 为 } 1 \text{ 时, 有最大数均聚合度:}$$

$$\bar{X}_n = \frac{1 + q}{1 + q - p} = \frac{1 + 0.01}{1 - 0.01 - 1} = 101$$

例4中, 可用三种方法进行求解, 而且步骤都比较简单易懂, 所以说条条道路通罗马。引导学生主动地从多方位、多角度去思考问题, 努力寻找多种解题途径, 从而拓宽解题思路, 培养学生的发散思维能力。

例5 1 mol的己二胺和0.88 mol的己二酸进行缩聚, 外加0.01 mol的乙酸作为分子量调节剂。试求反应程度到达0.99时所得缩聚产物的数均聚合度。

解: $-\text{NH}_2$ 官能团的摩尔数为2 mol, $-\text{COOH}$ 官能团的摩尔数为 $0.88 \times 2 + 0.01 = 1.77$ mol, 该体系可用Carothers方程求解, 此时氨基过量。

$$\bar{f} = \frac{1.77 \times 2}{1 + 0.88 + 0.01} = 1.873$$

$$\bar{X}_n = \frac{2}{2 - p\bar{f}} = \frac{2}{2 - 0.99 \times 1.873} = 13.7$$

注意: 例5不能用例4的解法二和解法三, 主要是这两种方法有具体的使用条件。而由解法一Carothers方程进行计算没有特殊要求, 更具有普遍意义。所以引导学生要学会正确选择, 不同的选择会导致不同的结果, 让学生明白树立正确的人生观、价值观的重要性。此外, 将上述内容融合为

一个整体,通过连贯式授课,帮助学生树立全局的观念,进而引导学生维护国家主权和领土完整。

3 Carothers人物传记

Carothers,美国化学家。1896年4月27日生于爱荷华州伯灵顿,1924年获伊利诺伊大学博士学位。先后在伊利诺伊大学和哈佛大学任教。1928年应聘于美国杜邦公司,主要从事通过聚合的方法制备高分子量物质的研究。他首先合成了氯丁二烯及其聚合物,为氯丁橡胶的开发奠定了基础。此外,他还以己二酸与己二胺为原料通过缩聚制得聚合物,奠定了合成纤维工业的基础。他不仅推导出了Carothers方程,成功将其应用于体形缩聚中凝胶点的预测和线形缩聚中聚合度的计算,也是氯丁橡胶和第一种聚酰胺纤维——尼龙66的发明者。然而,Carothers虽然在事业上取得了巨大成功,但却在年仅41岁因长期抑郁而自杀。其原因可能是他处在一个研发压力很大的工作状况下,却缺乏积极乐观的人生态度。Carothers的人生悲剧启迪我们,在学习生活中,要辩证地看待外界的压力,树立正确的人生观、世界观和价值观,珍惜生命。同时只有拥有健康的身体和健全的人格,才能更好为人类做贡献。

4 结语

将思想政治教育融入高校专业课程体系是一项重要的建设与改革,是实现思想政治教育贯穿大学生学习的整个过程这一目标的必然要求。然而,如何“因势利导、顺势而为”地将思政内容自然融入专业课程教学中,实现专业课程与思想政治理论课同向同行,最终起到润物无声、潜移默化的效果是课程思政的关键。本文以高分子化学这门课程为例,通过深入挖掘提炼该课程中所蕴含的思政元素和承载的德育功能,将育人工作落实于课堂教学的主渠道中。具体通过Carothers方程的应用领域、优势和存在的不足等,探讨在专业课程教学中开展思想政治教育的途径和方法,引导学生秉持严谨的科学态度,看待问题需抓住主要矛盾,懂得具体问题具体分析,明确正确选择的重要性。同时,做人做事思路要开阔,要具有创新精神和爱国情怀。激励学生通过自己的不懈努力,为国争光。此外,通过Carothers的不幸遭遇,帮助学生树立正确的世界观、价值观、人生观。

参 考 文 献

- [1] 杨守金,夏家春. 思想政治教育研究, 2019, 35 (5), 98.
- [2] 张树永. 大学化学, 2019, 34 (11), 4.
- [3] 贾墨. 山东化工, 2018, 47 (21), 167.
- [4] 张道洪,程新建,李廷成,张爱清. 大学化学, 2013, 28 (4), 77.
- [5] 潘祖仁. 高分子化学. 第5版. 北京: 化学工业出版社, 2011.