高分子化学教学中几个似是而非的问题 ——学生批判性思维、问题转换能力及文献查阅意识的培养

郭霖*, 隋坤艳*, 胡浩, 王久兴, 王逸凡, 张小艳, 彭乔虹, 随欣

青岛大学材料科学与工程学院, 山东 青岛 266071

摘要: 提出并纠正了“聚合反应能够自发进行的判据是 $\Delta G < 0$ ”“理想共聚中两种活性中心活性相同”“丙烯酸二茂铁甲酯(FMA)比丙烯酸-2-二茂铁乙酯(FEA)有更高的均聚速率常数”“3-对甲苯丙烯酸甲酯(4-甲基肉桂酸甲酯)可以聚合得到高聚物”以及“ α -氰基丙烯酸甲酯不能进行自由基聚合”等高分子化学教学中长期存在的 5 个似是而非的典型问题, 并且通过这些问题的提出与解决, 启发、引导、鼓励学生由学而思, 由思而疑, 由疑而问, 由问而究, 由究而得, 由得而知。使其在正确获取知识的同时, 批判性思维、问题转换能力及查阅文献的意识得到培养, 也使其发现问题、提出问题、分析问题、解决问题的意识及能力得到提高。

关键词: 高分子化学; 教学; 批判性思维; 问题转换能力; 文献检索; 意识培养

中图分类号: G64; O6

Several Specious Questions in Polymer Chemistry: Developing Students' Critical Thinking, Problem Conversion Ability and Literature Consulting Awareness in Teaching

Lin Guo *, Kunyan Sui *, Hao Hu, Jiuxing Wang, Yifan Wang, Xiaoyan Zhang, Qiaohong Peng, Xin Sui

College of Materials Science and Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, Shandong Province, China.

Abstract: Five typical specious questions in polymer chemistry were discussed, including “the criterion of the spontaneity of a polymerization is $\Delta G < 0$ ”, “the activities of the two kind of active centers in an ideal copolymerization are the same”, “ferrocenylmethyl acrylate (FMA) has a higher propagation rate constant of homopolymerization than 2-ferrocenylethyl acrylate (FEA)”, “Methyl 3-(4-methylphenyl)-2-propenoate, or Methyl 4-methylcinnamate, can be homopolymerized into high polymer” and “ α -cyanoacrylate cannot be free radically homopolymerized”. Through raising and answering these questions, the students were encouraged to think, to doubt, to question, to explore, to acquire, and to understand under the teacher's inspiration and guidance. This helps to train the critical thinking skills, the problem conversion ability and the literature consulting awareness, to build the awareness and abilities of problem finding and problem raising, and to develop the ability to analyze and solve problems, in addition to acquire the right knowledge.

Key Words: Polymer chemistry; Teaching; Critical thinking; Problem conversion ability; Literature retrieving; Awareness development

收稿: 2020-09-01; 录用: 2020-10-30; 网络发表: 2020-12-03

*通讯作者, Emails: guolin@qdu.edu.cn (郭霖); sky@qdu.edu.cn (隋坤艳)

基金资助: 山东省普通高等学校教学改革试点课程“高分子化学”项目(鲁教高字[1999]27 号); 山东省省级精品课程“高分子化学”项目(150410030); 山东省一流课程“高分子化学”暨青岛大学“以学为中心”课程“高分子化学”项目(RC1900004947); 青岛大学研究生教育质量提升计划“计算机在化学中的应用”项目(RC19000016633)

高分子化学教学中有一些问题，似是而非，但流传甚广，甚至影响很大。

如果能在教学过程中把这些问题提出来，并且启发、引导和鼓励敢于基于已有知识、严密逻辑及独立思考，大胆质疑，挑战教科书、参考书以及期刊论文中的某些观点，尝试发现其中可能存在的问题，提出自己的观点或得出自己的结论，并进一步通过检索文献加以验证，或者想到、甚至尝试，通过自己设计实验加以验证，则不仅可以把与这些问题相关的正确知识传授给学生，而且，在此过程中，可以使由学而思，由思而疑，由疑而问，由问而究，由究而得，由得而知。从而，使其批判性思维、问题转换能力、知识迁移能力、查阅文献的意识与能力得到培养，使其发现问题、提出问题、分析问题、解决问题的意识及能力等得到提高。

下面介绍其中的几个典型问题，以及我们的一些做法，希望能抛砖引玉。

1 问题1：“聚合反应能够自发进行的判据是 $\Delta G < 0$ ”

判断聚合反应在给定条件下能否自发进行有着重要的意义^[1]。因为，在数据可靠的前提下，如果通过热力学判据，从热力学上判断，某一聚合反应或给定单体的聚合，在给定温度与压力且无非体积功的条件下，无法自发进行，就不应再在寻找引发剂或催化剂上浪费时间了，因为那注定将会是徒劳的，且该判定结果还告诉我们，此种情况下，可以通过设法改变诸如聚合的温度、压力等条件，或施加非体积功，来使聚合反应具有(热力学)自发性，并通过合适的机理来实现。

关于聚合反应能否自发进行，或聚合反应自发性(需要强调的是，这里的“自发进行”或“自发性”指的是热力学意义上的，即，热力学自发进行，或，热力学自发性，也就是从热力学上判断，聚合反应能否自发进行，而并非指单体是否能够在无引发剂存在下进行聚合，或，聚合能否在无引发剂存在的情况下进行，亦即并非指所谓的“自发聚合反应”(“spontaneous” polymerization)^[2])的热力学判据，当前国内外通行的高分子化学教科书或相关专著中，普遍表达为 $\Delta G < 0$ ，且对其中涉及的物理量 ΔG 的含义表述模糊，甚至不太准确。

大致有如下几种讲法：

讲法一^[1,3-9]：

认为单体为初态，聚合物为终态， ΔG 为终态与初态的自由能之差，也就是聚合物的自由能与单体的自由能之差。没有明确 ΔG 为强度量或认为其为广度量，也没有明确 ΔG 的单位。

讲法二^[10-13]：

认为单体为初态，聚合物为终态， ΔG 为终态与初态的自由能之差，也就是聚合物的自由能与单体的自由能之差，或自由能增量，并明确指出 ΔG 是1 mol单体与1 mol聚合物单元之间自由能的差值，或进而明确指出其为强度量并具有 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 的单位。

讲法三^[14]：

认为单体为初态，聚合物为终态， ΔG 为聚合时自由能的变化，并未进一步明确 ΔG 的含义或计算方法。

讲法四^[15]：

认为 ΔG 是聚合时自由能增量，和/或是从反应物(单体)转变成生成物(聚合物)的自由能变化，并未进一步明确 ΔG 的含义或计算方法。

讲法五^[16,17]：

认为 ΔG 为聚合时摩尔自由能的变化，未做进一步解释。

问题是，这个热力学判据真的是 ΔG 吗？如果不是，又应该是什么呢？

我们说，聚合反应的热力学自发性及其判据问题，如果按照传统的思维，将其视作聚合反应的自发性问题，就是高分子化学中需要学习的新知识，但如果能克服习惯思维，换一个角度，将其“转换”成化学反应中特殊的一类——聚合反应的热力学自发性判断问题，则问题一下子就由高分子化学问题转换成了典型的物理化学问题，而这一问题，在先修课程物理化学中是已经学过和有明确结

论的, 问题也就因而成了学生无需再重新学习的已有知识的跨学科迁移及运用问题了。

其完整的逻辑是, 聚合反应本质上是化学反应的一种, 而作为化学反应的一种, 其是否能够自发进行, 显然也应该适应化学反应自发性的热力学判据, 也就是通常物理化学中所讨论和给出的, 化学反应能否自发进行的热力学判据, 即, 化学势判据^[18-20]。对于恒温恒压下的化学反应, 就是势函数 $\left(\frac{\partial G}{\partial \xi}\right)_{T,p} < 0$ ^[18-20]。而且, 势函数不仅可以指示反应方向, 还可以表示体系在此状态下反应能力的大小^[19]。在我们的问题及所讨论的体系中, 就是, $\left(\frac{\partial G}{\partial \xi}\right)_{T,p}$ 不仅可以给出在当前状态下单体的聚合反应能否发生的信息(看 $\left(\frac{\partial G}{\partial \xi}\right)_{T,p}$ 是否为负, 或是否 $\left(\frac{\partial G}{\partial \xi}\right)_{T,p} < 0$), 而且还能表示当前状态下单体聚合能力的大小(在 $\left(\frac{\partial G}{\partial \xi}\right)_{T,p} < 0$ 时, 进一步观察 $\left(\frac{\partial G}{\partial \xi}\right)_{T,p}$ 绝对值的大小, 其越大, 表明单体的聚合能力越大)。

这样, 通过改变看问题的角度, 进行问题转换, 将问题由用到物理化学知识的一个高分子化学的问题, 或者说是物理化学知识在高分子化学中的应用, 转变成一个涉及高分子化学中聚合反应的物理化学问题, 或者说是物理化学中讨论所涉及反应为聚合反应的体系的化学热力学问题。这样, 既使问题变得简单明了, 也使对问题的理解、描述、把握, 能够更加深入、全面、准确、到位, 对问题的解决也能更加彻底、专业。

如果在教学中能够把这一点介绍给学生, 就能很容易地启发学生结合已有的物理化学的知识, 自己得出正确的结论, 并且在此过程中, 使其问题转换能力、知识迁移能力等自然得到培养。

所以, 在讲授这个问题时, 我们会依次提出这样的几个问题启发学生思考, “聚合反应是不是化学反应呢? 化学反应自发性的判据又是什么呢? 你们学过吗? 又是在哪一门课里学到的呢? 我们的问题你找到正确答案了吗? 又是怎么找到的呢”? 从而, 把聚合反应能否自发进行的判据问题, 转换成了化学反应能否自发进行的判据问题, 通过把未知问题转换成已知问题、把新问题转换成老问题、把特殊性问题转换成一般性问题、把对新知识的学习转换成对已有知识的复习、迁移及具体运用, 使问题变得浅显易懂, 答案变得显而易见, 问题的解决变得自然而然。这是因为, 聚合反应能否自发进行的判据问题对于学生来说是未知的, 是新问题, 是聚合反应中的特殊性问题, 也是学生当前需要学习的新知识, 而化学反应能否自发进行的判据问题, 则是他们已知的, 是他们在先修课程物理化学中已经学过的, 也是化学反应中都存在的一般性问题, 是老问题, 是已有的知识。

经过这样简单的问题转换, 答案不言而喻, 也无需教师再做过多讲解, 学生也自然能判断教科书中的讲法是否正确, 以及为什么教科书中的讲法并不正确了。

这样, 学生不仅避免了教科书中错误观点的干扰或影响, 很容易地就学到了正确的新知识, 有了运用已有知识学到新知识的快乐和成功挑战权威的成就感, 而且在此过程中其批判性思维、问题转换的意识及能力、知识迁移的意识及能力, 以及发现问题、提出问题、分析问题、解决问题的意识、信心、勇气、能力等也都能自然地得到培养, 由此带来的收获、快乐和成就感也会加倍, 可谓一举多得, 事半功倍。

2 问题2: “理想共聚中两种活性中心活性相同”

有一种观点认为“理想共聚体系的聚合化学本质在于不同活性中心的‘不可区分’的特性, 即由不同共聚单体通过加成反应得到的活性中心具有相同的反应活性……”^[21]。

果真如此吗?

我们让学生思考: “要回答这个问题, 首先需要思考和回答哪些问题? 为什么?”

首先, 需要搞清楚何谓理想共聚? 或者说, 理想共聚究竟意味着什么? 以及“不同共聚单体通过加成反应得到的活性中心具有相同的反应活性”又意味着什么?

“不同共聚单体通过加成反应得到的活性中心具有相同的反应活性”, 意味着两种活性中心分别与同一种单体反应时, 表现出相同的活性, 即 $k_{11} = k_{21}$ 以及 $k_{12} = k_{22}$, 或 $\frac{k_{11}}{k_{21}} = \frac{k_{12}}{k_{22}} = 1$ 。

而所谓理想共聚, 是指 $r_1 \cdot r_2 = 1$ (即, 两竞聚率乘积等于1)的共聚体系, 因其共聚物组成与单体配比间的关系 $\frac{d[M_1]}{d[M_2]} = r_1 \frac{[M_1]}{[M_2]}$ 或 $\rho = r_1 R$ 类似理想溶液中依数性的关系而得名。

那么, $r_1 \cdot r_2 = 1$, 也就是理想共聚, 究竟意味着什么呢?

由 $r_1 \cdot r_2 = 1$ 及竞聚率的定义 $r_1 = \frac{k_{11}}{k_{12}}$ 、 $r_2 = \frac{k_{22}}{k_{21}}$, 可推出 $\frac{k_{11}}{k_{12}} \cdot \frac{k_{22}}{k_{21}} = 1$, 并进一步得到 $\frac{k_{11}}{k_{12}} = \frac{k_{21}}{k_{22}}$ 及 $\frac{k_{11}}{k_{21}} = \frac{k_{12}}{k_{22}}$ 。

至此, 问题就可以很容易地被转换为一个非常简单的数学问题, 或者被转换为(基础)化学中, 特别是有机化学中比较基础, 但又非常重要且经常遇到的, 选择性与活性的问题了。

从数学上, 我们知道, 两个分数相等, 并不必然意味着它们的分子、分母分别相等, 也就是, 数学中, 由 $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$, 并不能必然推出 $a = c$ 及 $b = d$, 比如 $\frac{2}{3} = \frac{4}{6}$ 中的2与4, 以及3与6并不相等。即, 由

上述 $\frac{k_{11}}{k_{12}} = \frac{k_{21}}{k_{22}}$, 并不能必然推出 $k_{11} = k_{21}$ 以及 $k_{12} = k_{22}$, 或 $\frac{k_{11}}{k_{21}} = \frac{k_{12}}{k_{22}} = 1$ 。

而从化学的角度来看, 显然, 选择性与活性也是完全不同的两个概念, 选择性相同与活性相等具有完全不同的意义, 选择性相同并不意味着, 或并不必然意味着, 活性就相等, 而从化学的角度,

上述式子 $\frac{k_{11}}{k_{12}} = \frac{k_{21}}{k_{22}}$ 及 $\frac{k_{11}}{k_{21}} = \frac{k_{12}}{k_{22}}$, 也只意味着, 两种活性中心对单体的选择性相同(因为 $\frac{k_{11}}{k_{12}} = \frac{k_{21}}{k_{22}}$), 或

者两种单体在分别跟两种活性中心反应时表现出相同的相对活性(因为 $\frac{k_{11}}{k_{12}} = \frac{k_{21}}{k_{22}}$), 或者说, 也只意味

着两种活性中心无论在跟哪种单体反应时, 都表现出相同的相对活性(因为 $\frac{k_{11}}{k_{21}} = \frac{k_{12}}{k_{22}}$)。但却并不必然

意味着两种活性中心的活性就相同, 即并不必然意味着 $\frac{k_{11}}{k_{21}} = \frac{k_{12}}{k_{22}} = 1$ 以及 $k_{11} = k_{21}$ 且 $k_{12} = k_{22}$ 。

可见, 理想共聚中两种活性中心的活性是否相等, 这从高分子化学的角度看似并不容易理解, 但从数学上却很容易理解。

只有 $k_{11} = k_{21}$ 且 $k_{12} = k_{22}$ 才意味着两种活性中心活性相同以及 $\frac{k_{11}}{k_{21}} = \frac{k_{12}}{k_{22}} = 1$ ($k_{11} = k_{21} \neq 0$ 且 $k_{12} = k_{22} \neq 0$)。而反过来, 即便是 $r_1 = r_2 = 1$ 的理想恒比共聚体系, 也只是意味着 $k_{11} = k_{12}$ 以及 $k_{22} = k_{21}$ 或 $\frac{k_{11}}{k_{12}} = \frac{k_{22}}{k_{21}} = 1$ 或 $\frac{k_{11}}{k_{21}} = \frac{k_{12}}{k_{22}} = 1$, 但却并不能必然推出 $k_{11} = k_{21}$ 以及 $k_{12} = k_{22}$, 就好比, 虽然 $\frac{4}{4} = \frac{8}{8} = 1$ 成立, 但却并不意味着 $4 = 8$ 。

可见, 认为“理想共聚体系的聚合化学本质在于不同活性中心的‘不可区分’的特性, 即由不同共聚单体通过加成反应得到的活性中心具有相同的反应活性……”, 实际上就是犯了这里提到的一个简单的逻辑错误。

3 问题3: “FMA比FEA有更高的均聚速率常数”

一些高分子化学教材^[3,13,22]、习题集^[23-25]的共聚合一章,或硕士研究生入学考试的高分子化学试卷中,会有这样一道习题:

丙烯酸二茂铁甲酯(FMA)、丙烯酸-2-二茂铁乙酯(FEA)分别与苯乙烯(S)、丙烯酸甲酯(MA)及乙酸乙烯酯(VAc)共聚,竞聚率如表1所示。

表1 问题3相关习题中所给出的竞聚率实验数据

M ₁	FEA	FEA	FEA	FMA	FMA	FMA
M ₂	S	MA	VAc	S	MA	VAc
<i>r</i> ₁	0.41	0.76	3.4	0.02	0.14	1.4
<i>r</i> ₂	1.06	0.69	0.074	2.3	4.4 (实际应为4.5 ^[26])	0.46

你预测FEA和FMA在均聚时何者会有较高的链增长速率常数 k_p ?并解释。

这道题通常的答案是这样的^[23,25]:由题目所给数据可以得出结论“FEA单体的活性比FMA单体的活性大”,并“因此”得出结论“FMA活性中心的活性比FEA活性中心的活性大”,进而由“均聚反应速率常数的大小与单体和活性中心的活性都有关系,一般讲,活性中心的活性的影响要更大一些”,得出结论“FMA在均聚时可能有较高的 k_p ”^[23,25],并强调“根据题中所给的条件无法做出定量的 k_p 数值对比”^[23]。

显然,这一结论是不确定的,或者说是存疑的,但遗憾的是,一直没有人真正去查一下原始文献,确认一下上述分析及答案是否真的正确。

那么,实际情况究竟如何呢?真的会是如上述分析及预测的这样吗?会不会恰好相反呢?如果是,那又会是因为什么呢?你想知道这些问题的确切答案吗?又应该如何以及从哪里找到确切答案呢?

由此,我们启发、引导和鼓励大胆质疑、主动探究,并能想到通过查阅文献,验证或推翻自己的或教科书、参考书中的猜测、观点或结论,寻求确切的答案。

实际上,本题是有确切出处的^[13,26]。本题的所有竞聚率数据及相关问题,皆来自Pittman等人的一篇文章^[26],根据该文中的信息,实际情况比较复杂,且与上述题目中通常所给出的推论恰恰相反,这里FEA单体不仅具有比FMA单体高的活性,而且具有比FMA高的均聚反应速率常数 k_p ^[26-29],在链增长反应中,其生成的自由基FEA·的反应活性与FMA生成的自由基FMA·所表现出的反应活性的相对高低,不仅与这两种自由基自身有关,还跟与之反应的单体有关,根据文献^[27,28]中的数据,我们经过计算,得出的结论为,60 °C及70 °C下,与苯乙烯反应时,活性为FEA·<FMA·,而与丙烯酸甲酯或乙酸乙烯酯反应时,活性则为FEA·>FMA·。

比较合理的解释是:

影响烯类单体及其生成的自由基活性的因素,包括电子效应及位阻效应,电子效应又包括共轭效应和极性效应。

电子效应,特别是共轭效应,往往在导致单体活性提高的同时,使其生成的活性中心,如自由基等,活性降低(变得稳定),而且其对活性中心(本题中是自由基)活性的影响程度往往大于其对单体活性的影响程度,并因此使得活性高的单体往往反而有比较低的均聚反应链增长速率常数 k_p 。

而位阻效应的影响则相反,其会同时使单体及其生成的活性中心,如自由基的活性下降(位阻增大反应变得困难),并因而导致因位阻效应而活性下降的单体,其均聚反应的链增长速率常数 k_p 也小。本题中的FMA较之FEA即是如此^[26],FEA中的间隔基为乙基,而FMA中的间隔基则为甲基,从而使得FEA中二茂铁的位阻效应对FEA单体及对FEA自由基活性的影响,都要小于FMA中的,并因

而使FEA具有比FMA高的均聚反应链增长速率常数 k_p ，并且其生成的自由基FEA $\cdot$ 在与丙烯酸甲酯或乙酸乙烯酯反应时，也会表现出相对较高的活性；而FEA $\cdot$ 及FMA $\cdot$ 在与苯乙烯反应时，显然，在位阻效应之外，电子效应，特别是其中的极性效应，应该产生了显著影响，并因而使得FMA $\cdot$ 反而表现出较之FEA $\cdot$ 更高的活性。

教学中，可以根据学情，在启发、引导、鼓励学生查阅原始文献后，尝试进行上述计算、得出结论，乃至作出(上述或其他自认为合理的)解释。还可以在此基础上，进一步启发学生思考：“研究者为什么要做此研究？为什么要合成及研究此类聚合物？为什么要做上述工作和回答上述问题？上述工作回答或解决了哪些问题？你从中受到了哪些启发？学到了什么”？以及，“这道题，还可以问出哪些可以从原始文献^[26-29]中找到确切答案的问题”？

4 问题4：“3-对甲苯丙烯酸甲酯可以聚合得到高聚物”

2014年山东省高考理综卷第34题中有“3-对甲苯丙烯酸甲酯(E)是一种用于合成抗血栓药的中间体……在一定条件下可以生成高聚物F，F的结构简式为_____”一问，其官方标准答案如图1所示^[30]。官方还在考后给出相关试卷分析：“34题的呈现方式仍然沿用了经典的有机合成路线，问题设计在保持以往风格的基础上也有所创新，例如通过要求考生选择合适反应试剂完善合成路线的设问，把对有机化学“结构与性质”的考查嵌入其中，考生作答时成就感油然而生。可以说，今年的三道选做题在情境设置上都有所创新，三个题目交相辉映^[30]。”

图1 2014年山东省高考理综卷试题及答案中认为存在的高聚物聚(3-对甲苯丙烯酸甲酯)的结构式

果真如此吗？3-对甲苯丙烯酸甲酯真的可以聚合得到高聚物吗？为什么？

我们在讲自由基聚合一章的烯类单体(烯类单体的聚合能力与机理选择性)一节时，会在讲完1,2-二取代烯类单体通常会因为位阻导致无法(自由基)(均)聚合，并举甲基丙烯酸甲酯的同分异构体2-丁烯酸甲酯无法(自由基)(均)聚合得到高聚物为例后，紧接着让学生思考：2-丁烯酸甲酯已经因为碳碳双键(C=C)的1,2-位分别有甲基及甲氧羰基取代带来的位阻效应，导致无法均聚了，那么，如果将其中的甲基换成体积更大的对甲苯基后，也就是对甲苯丙烯酸甲酯(即4-甲基肉桂酸甲酯)，情况又会怎样呢？其位阻效应是不是应该更大？是不是更应该会因为位阻导致无法均聚得到高聚物呢？在学生进行了思考，并得出了自己的答案后，教师就把这道题介绍给学生(我们还进一步将其编到了自编综合习题中^[31])，让学生思考该高考题的答案是否存在问题，可能存在什么问题，该题中强调对甲苯丙烯酸甲酯(即4-甲基肉桂酸甲酯)可以均聚，而且是可以均聚得到高聚物(原题在此处还特意为“高”字加了着重号加以强调)，是否存在问题？如何来验证你的怀疑及推测？除了自己设计并进行实验加以验证以外，有无其他同样可行，甚至更可行的方法？从而引导学生尝试用本堂课自己刚刚学到的知识加以判断和解释，使学生能够现学现用，学而知用，学而能用，学以致用，并且能从中认识到，“并不是所有含有碳碳双键(C=C)的化合物或单体都能(自由基)(均)聚合；任何结论的成立都是有前提的，都是不能无限线性外推的，否则是会出错误的”；告诉学生，不仅要有足够的专业知识，还要有专业敏感、批判性思维和质疑精神，这样才能发现、提出和解决生活及工作中随时可能遇到，或可能存在的、别人尚未注意到的问题；告诉学生，思考问题时，还一定要有严密的逻辑，这样才能帮助自己基于已有的事实或信息，得出正确的结论；在此基础上，进一步启发学生思考，“我们的观点和推论/结论就一定正确吗？如何证明是我们的观点正确，而非该高考题中的观点正确呢？如何

为我们的观点找到证据,做到不仅“有理”,而且“有据”呢?如何证明我们的结论不仅是我们的观点,而且就是事实呢?从而一步步引导学生想到查阅文献,想到通过从检索到的文献中寻找确切答案及支撑材料,印证或推翻我们的观点。再进一步,引导学生思考该用何种检索工具检索?如何检索?并因而告诉学生,此种情况下,不仅应该用国内外各主要数据库检索,更应该用Scifinder进行检索,如果通过Scifinder检索不到任何相关文献,特别是,也找不到该聚合物的CAS登录号(CAS RN),就足以证实至少迄今尚无人实现由3-对甲苯丙烯酸甲酯的聚合反应得到其高聚物,从而证实我们的观点的确正确,以及该高考题中的说法的确存在问题。最后,告诉学生,老师已经进行了上述检索,并证实了我们的观点。

这样,借助这个例子,通过不仅“讲给学生听”“教给学生做”,而且“做给学生看”,让学生受到启发,受到触动,让学生各方面都得到培养、提高和锻炼,让学生既学习、巩固并运用了当堂所学高分子化学知识,发现并解决了相关的具体专业问题,体验到了成功质疑权威所带来的成就感,同时还能认识到查阅文献的重要性、必要性,树立查阅文献的意识,培养相关能力,还能让学生认识Scifinder这一强有力的化学文献检索工具,甚至学习检索文献的方法、工具,复习、强化相关课程所学知识、方法,既培养了学生的批判性思维、质疑精神,也让学生学到了如何为自己的观点找到可靠证据,如何证明自己的观点就是事实,做到既“言之有理”,又“言之有据”,让学生认识到,遇到具体问题、要找答案时,除了自己“动脑筋、想办法”(即,求诸己——具有独立思考问题、解决问题的能力)、“问老师、问同学”(即,求诸人——具有表达及交流、沟通能力)和“找软件、用机器”(即,求诸工具——具有理解问题、描述问题的能力和使用计算机及相关软件等现代工具的能力)、“做实验、去验证”(即,求诸实验和直接经验——具有实验设计与操作的能力)以外,还可以“查资料、问文献”(即,求诸文献/别人的实验结果——具有查阅文献的意识及检索文献、阅读文献及利用文献的意识、知识与能力),从而,在分子化学课程教学中,不仅传授知识、讲授方法、提高能力,还培养意识、开拓思路,使学生通过分子化学课程的学习,不仅能收获相关专业知识、学会解决相关问题的方法,提高解决问题的能力,还能拓宽思路,树立通过查阅文献解决工作中遇到的具体问题的意识,甚至可以进一步让学生从中学到科研选题的一种方法和思路——寻找那些需要给出答案,且有必要给出答案,需要解决或有必要、有意义解决,自己有能力解决,法律、道德、伦理等又允许的,但通过文献检索发现,迄今尚无人做过或解决的问题。从而,将新工科及工程教育认证所要求的培养目标,特别是其中的非技术指标的实现,实实在在地落实到分子化学的具体教学过程中。

5 问题5: “ α -氰基丙烯酸甲酯不能进行自由基聚合”

α -氰基丙烯酸甲酯是分子化学教学中肯定会涉及的一种单体。

而关于其是否能进行自由基聚合的问题,相关参考书中有两种截然相反、相互矛盾的观点。观点一认为其既能进行阴离子聚合,也能进行自由基聚合^[23,32],观点二则认为其只能进行阴离子聚合,不能进行自由基聚合^[24,33,34],且两种观点都给出了自己的理由,其关键是,氰基及甲氧羰基总的吸电子能力是否已经足够大,大到使碳碳双键(C=C)的极性足以使 α -氰基丙烯酸甲酯无法进行自由基聚合的问题。

显然,根据逻辑学中的矛盾律,这两种观点必有一种不真,不可能都正确。

那么,究竟哪一种观点正确?哪一种观点反映的是事实呢?

为此,我们在教学中,首先结合相关内容的讲授,把这个问题提出来,然后启发、引导学生思考,思考如何发现问题,以及遇到争议问题时,该“如何搞清事实、如何决定自己应该支持或持有哪一种观点”,启发学生树立不仅可以通过自己设计并进行实验加以验证,而且“可通过检索文献搞清事实、找到该问题的正确答案,进而决定自己应该支持何种观点”的意识,并找到解决相关问题的思路。从而,引导、鼓励学生自己去查阅文献、寻找答案。

然后,再告诉学生,经过检索,我们已查到了有关 α -氰基丙烯酸甲酯自由基均聚合的文献^[35]——已经有研究者在用Lewis酸阻止阴离子聚合发生的情况下,实现了用自由基聚合引发剂引发的 α -氰基丙烯酸甲酯的自由基本体聚合,并得到了高分子量的聚合物——证明观点一是正确的,其描述的为事实。并且,还进一步提出“如何确保 α -氰基丙烯酸甲酯能在不发生阴离子聚合的情况下单纯进行自由基聚合”的问题让学生思考,以期让学生能进一步认识和掌握(阴)离子聚合与自由基聚合影响因素的差异。

6 结语

借助高分子化学教学中的几个典型实例,通过启发、引导、鼓励学生凡事多问几个“真的是这样吗?为什么?如果是这样的话,则意味着什么”?从而,能自己发现问题,有信心和勇气提出问题,并找到思考问题的角度,进而找到正确答案,得到正确结论,获取正确知识,同时,让学生认识到,教科书、参考书或论文中所讲的,也并非就一定都是正确的,自己一定要有批判性的思维,要有质疑的勇气,要有独立的思考,并形成独立的观点,要善于发现问题、有勇气提出问题、有能力分析问题,并能够综合利用已有知识,基于严密的逻辑,尝试解决问题,或提出、形成自己的观点,并进一步通过检索文献,甚至设计实验,加以验证。

这样,通过教师的“教”与“启”,带动学生的“学”与“思”,通过教师的“导”与“引”,引发学生的与“问”与“求”。通过教师教学过程中的“启智、启思”,引导和鼓励“学问、学思”、“求是、求知”。从而,将相关意识与能力的培养,融入到高分子化学的日常教学过程中,既不着痕迹,又触动心灵,使学生在此过程中,从意识、知识,到思维、方法、能力等诸方面都得到培养和提高。使学生遇到类似问题时,不仅能“想到”,而且能“知道”并“做到”,亦即,不仅有“意识”,而且会“思考”,有“知识”,有“方法”,有“能力”。

希望本文中所提及的这些问题,能够引起广泛的讨论与足够的重视,我们的一些做法,对相关内容的教学能有所启发。

也希望,本文中的些许可取之处,能在相关教材及参考书未来的修订与再版中,被借鉴、吸收或采纳。

参 考 文 献

- [1] 潘祖仁,于在璋,合编. 自由基聚合. 北京: 化学工业出版社, 1983.
- [2] Hall, H. K., Jr.; Padias, A. B. *J. Polym. Sci. Part A.*, **2009**, *47*, 6735.
- [3] 潘祖仁, 主编. 高分子化学. 第5版. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [4] 潘祖仁, 孙经武, 主编. 高分子化学. 北京: 化学工业出版社, 1980.
- [5] 潘祖仁, 主编. 高分子化学(增强版). 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [6] 王槐三, 寇晓康, 编著. 高分子化学教程. 第2版. 北京: 科学出版社, 2007.
- [7] 焦书科, 黄次沛, 蔡夫柳, 吕美娟. 高分子化学. 北京: 纺织工业出版社, 1983.
- [8] 复旦大学高分子系高分子教研室. 高分子化学. 上海: 复旦大学出版社, 1995.
- [9] (a) Sawada, H. *Thermodynamics of Polymerization*; Marcel Dekker: New York, USA, 1976.
(b) 泽田秀雄. 聚合反应热力学. 阎海科, 金士九, 胡日恒, 漆宗能, 译. 北京: 科学出版社, 1985.
- [10] 唐黎明, 庾新林, 编著. 高分子化学. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [11] 林权, 崔占臣, 主编. 高分子化学. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [12] 张邦华, 朱常英, 郭天瑛, 主编. 近代高分子科学. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [13] Odian, G. *Principles of Polymerization*, 4th ed.; John Wiley & Sons, Inc.: New York, USA, 2004.
- [14] 张兴英, 主编. 高分子化学. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2013.

- [15] 卢江, 梁晖, 主编. 高分子化学. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [16] 夏炎, 主编. 高分子科学简明教程. 北京: 科学出版社, 1987.
- [17] 林尚安, 主编. 高分子化学. 北京: 科学出版社, 1984.
- [18] 朱志昂. 化学通报, **1987**, No. 7, 38.
- [19] 朱志昂, 阮文娟. 物理化学(上册). 第6版. 北京: 科学出版社, 2018: 252–258.
- [20] 姚允斌, 朱志昂. 物理化学教程(修订本)(下册). 长沙: 湖南教育出版社, 1991: 85–96.
- [21] 彭宇行. 化学通报, **1996**, No. 7, 55.
- [22] 潘才元, 主编. 高分子化学. 第2版. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2012.
- [23] 焦书科, 主编. 高分子化学习题及解答. 北京: 化学工业出版社, 2004: 45.
- [24] 喻湘华, 鄢国平, 李亮. 高分子化学习题与解答. 北京: 化学工业出版社, 2012: 110.
- [25] 贾红兵, 主编. 高分子化学导读与题解. 第5版. 北京: 化学工业出版社, 2013: 125.
- 贾红兵, 主编. 高分子化学导读与题解. 第4版. 北京: 化学工业出版社, 2009: 125.
- [26] Pittman, C. U.; Voges, R. L.; Jones, W. B. *Macromolecules* **1971**, 4 (3), 298.
- [27] Pittman, C. U.; Voges, R. L.; Jones, W. B. *Macromolecules* **1971**, 4 (3), 291.
- [28] Pittman, C. U.; Lai, J. C.; Vanderpool, D. P. *Macromolecules* **1970**, 3 (1), 105.
- [29] Pittman, C. U.; Lai, J. C.; Vanderpool, D. P.; Good, M.; Prado, R. *Macromolecules* **1970**, 3 (6), 746.
- [30] (a) 2014年山东省高考理综卷34题及其标准答案. [2020-12-02]. http://sd.dzwww.com/sdnews/201406/t20140608_10413279.htm
- (b) 2014年山东高考化学试题评析. [2020-12-02]. <http://sd.people.com.cn/n/2014/0609/c363584-21379367.html>
- (c) [2020-12-02]. <http://www.huaue.com/gkao2014/201468194206.htm> http://www.sdnews.com.cn/sd/yw/201406/t20140608_1633055.htm
- [31] 郭霖, 隋坤艳, 丛海林, 张小艳, 王久兴, 王彦欣. 大学化学, **2021**, 36 (4), 2005073.
- [32] 师奇松, 于建香. 高分子化学试题精选与解答. 北京: 化学工业出版社, 2009: 45.
- [33] 王久芬, 主编. 高分子化学学习指导. 北京: 国防工业出版社, 2009, 25.
- [34] 董炎明, 何旭敏, 编著. 高分子化学与物理习题汇编. 北京: 科学出版社, 2013: 22.
- [35] Canale, A. J.; Goode, W. E.; Kinsinger, J. B.; Panchak, J. R.; Kelso, R. L.; Graham, R. K. *J. Appl. Polym. Sci.* **1960**, 4, 231.