

短学时有机化学教材建设与应用实践

王萍^{1,*}, 林世静¹, 陈赤阳¹, 马磊¹, 饶红华²

¹ 北京石油化工学院化学工程学院, 北京 102617

² 首都师范大学化学系, 北京 100048

摘要: 对短学时有机化学课程的核心内容, 即典型有机物的主要化学性质, 按照反应本质以及反应物与产物在结构上的关系进行了重新分类与整理; 同时, 以楔形式手性分子的 *R/S* 构型的判断技巧为例对课程常见难点进行了形象化阐释; 此外, 顺应国内重视化学品安全的大趋势, 在课程教学过程中补充了典型有机物与有机反应的危险性、急救措施等相关知识。基于上述改革内容建设并出版了新教材《有机化学简明教程》, 并将其用于北京石油化工学院5个专业、两届学生共计19个行政班的短学时有机化学课程学习中, 学生反映良好, 课程成绩呈逐年上升的趋势。

关键词: 有机化学; 教材建设; 教学实践; 成绩分析

中图分类号: G64; O6

Construction and Teaching Practice of the Textbook for Short-Course Organic Chemistry

Ping Wang^{1,*}, Shijing Lin¹, Chiyang Chen¹, Lei Ma¹, Honghua Rao²

¹ School of Chemical Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing 102617, P. R. China.

² Department of Chemistry, Capital Normal University, Beijing 100048, P. R. China.

Abstract: As the core of short-course organic chemistry, main chemical properties of typical organic compounds were reclassified and rearranged according to the nature of organic reactions as well as the relationship between reactants and products. Besides, frequently encountered thorny points in the course were interpreted in a vivid way. For example, a novel and convenient skill to judge the *R/S* configuration of chiral molecules in dash-wedge three-dimensional drawings was presented. In addition, knowledge on the fatalness and corresponding emergency treatment of typical organic chemicals and reactions was introduced, so as to conform to current domestic situation emphasizing on chemical safety. Based on these above reforms, a new textbook, *An Introduction to Organic Chemistry*, was published and has been used in the teaching of short-course organic chemistry at Beijing Institute of Petrochemical Technology for two semesters. Performance analysis of students from five majors including 19 administrative classes shows an significant increase in the scores.

Key Words: Organic chemistry; Textbook construction; Teaching practice; Performance analysis

有机化学向来是许多理工科专业的必修课。近年来, 随着学科间的交叉与渗透, 将有机化学课程列入培养方案的专业越来越多。短学时有机化学课程的学时数一般在 60 学时以下, 安全工程、环境工程等一些工科专业通常会选择该类课程来与其专业培养方案配套。短学时有机化学课程虽然学时数较少, 但其所承载的是一个悠久且庞大的学科体系, 承担着培养学生有机化学学科思维的任务。

收稿: 2019-08-26; 录用: 2019-11-11; 网络发表: 2019-11-15

*通讯作者, Email: wangping13@bipt.edu.cn

基金资助: 北京石油化工学院校级教改项目重点项目(ZDFS GG20190102)

若教学内容追求面面俱到,会导致学生难以分清主次,很难在短时间内掌握该课程最核心的知识与原理;若教学内容崇尚只知大意而不求甚解,学生很难从专业的角度将所学知识系统化,难以培养起相应的学科思维。为了协助学生在相对较短的时间内对有机化学形成一个相对完整而又系统的理解,在教学内容上追求“简明有序”且“前后文衔接紧密”不失为一个好的方法。

笔者在对短学时有机化学课程教学内容进行改革的过程中,将改革结果整理成教材《有机化学简明教程》,由中国石化出版社作为“十三五规划教材”出版。教材出版后,作为我校短学时有机化学课程的指定教材进行了两个学期的教学实践,实践先后覆盖了安全工程专业、环境工程专业、高分子材料专业、功能材料专业、材料工程专业 5 个专业约 550 人次,教学效果逐年攀升。本文就该有机化学教材建设与使用中的一些实际经验与不足做一些总结。

1 新教材的编写思路与特色

1.1 强化“一致性”,降低“混乱度”

有机物的化学性质是短学时有机化学课程的核心内容,然而,纵观各类有机物的化学性质,给人的整体印象是种类繁多而琐碎,不同章节之间关联度小。究其原因,很大程度上是因为人们对于体现着有机物化学性质的有机反应,更习惯于从反应的外观形式上对其进行描述,比如不饱和烃的催化氢化、醇的脱水反应、羧酸生成羧酸衍生物的反应、胺的烃基化反应等。然而,从反应本质上来看,基础有机化学所涉及反应种类并不多。

笔者在高校常用有机化学教材的基础上^[1-9],按照有机反应的本质以及反应物与产物在结构上的关系,将各类典型有机物的主要化学性质做了重新分类与整理,串联出一条新的知识主线,整理结果见表 1。由于是短学时课程,教学内容只涉及烃类、卤代烃、醇、酚、醚、醛酮、羧酸及其衍生物、含氮有机物的相关知识,分类整理工作亦仅针对上述几类有机物进行。笔者将典型有机物的主要化学性质分成了酸性、亲核性、配位性、取代、加成、消除、氧化、还原、聚合、重排十大类,每一类的具体含义如下:

(1) 酸性:依据酸碱电子理论,有机物分子或正离子接受外来电子对形成酸碱加合物的性质,称为酸性;有机物分子或负离子给出电子对形成酸碱加合物的性质,称为碱性。(2) 亲核性:有机物倾向于以未成键电子对、负电荷或 π 键电子进攻其他分子或非金属的正离子(H^+ 除外)的性质。(3) 配位性:有机物倾向于以电子对或负电荷与金属离子形成络合物的性质。(4) 取代:有机物分子中原子或基团被其他原子或基团取代了的反应,可分为亲电取代、亲核取代、自由基取代等。(5) 加成:分子中不饱和键的 π 键打开并形成 σ 键的反应,可分为亲电加成、亲核加成、自由基加成、协同加成等。(6) 消除:从分子的相邻碳原子上消去原子或基团,从而生成不饱和键的反应(受学时数限制,本课程没有涉及 α -消除)。(7) 氧化:有机物得到氧或失去氢的反应。(8) 还原:有机物得到氢或失去氧的反应。(9) 聚合:由多个小分子结合成大分子的反应。(10) 重排:分子在一定条件下改变自身原子连接次序的反应。

对于表 1 中的分类,有几处需要解释(以下字母所指内容与表 1 中的字母一一对应):

a) 环烷烃开环加 X_2 或 HX 的反应与烯烃加 X_2 或 HX 相似,因而归入加成反应,常称为开环加成。b) 对于不饱和烃的催化氢化,本表依据“得氢为还原”将其归入还原反应,以便与其他有机物(如醛酮)的加氢还原反应相统一。c) 端炔与银盐等反应时,炔烃的碳碳三键先与金属离子配位形成络合物,后者脱去质子形成相应炔化物^[5],故归入配位性。d) 卤代烃与金属的反应可视为富电子的金属 M 将卤代烃的卤素取代下来的反应,由 $R-X$ 和 $(M^{n+})^n$ 反应生成 $R-M$ 或 $R-MX$ 等,故视为广义的取代反应。e) 醇的分子间脱水成醚的反应既体现了醇的亲核性,又是醇的亲核取代反应,表 1 将其归入了后者。f) 在醚键的断裂反应中,醚分子 $R-O-R'$ 的烷氧基($-OR'$)被富电子的其他原子或基团所取代,生成了 $R-X$ 等,故视为广义的取代反应。g) 醛酮的羟醛缩合反应既涉及到羰基的亲核加成反应,又涉及到 α -氢的酸性,表 1 将其归入了前者。h) 卤仿反应包含了两种取代反

表 1 典型有机物主要化学性质的分类整理

有机物	主要化学性质	所属类别	有机物	主要化学性质	所属类别
烷烃与 环烷烃	卤代反应 开环加 X_2 或 HX 的反应 ^a 氧化反应 环烷烃的催化氢化 热解与异构化	取代(自由基) 加成 氧化 还原 重排	酚	酸性 成醚及成酯的反应 与 $FeCl_3$ 的显色反应 芳环上的亲电取代反应 酚的氧化	酸碱性 亲核性 配位性 取代(亲电) 氧化
烯烃、 炔烃、 二烯烃	不饱和烃与 X_2 、 HX 的加成、 烯烃与 H_2O 、 ROH 等的加成、 二烯烃的 1,2-和 1,4-加成 与 $HBr/ROOR$ 的加成 硼氢化-氧化、D-A 反应 炔烃与 H_2O 、 ROH 等的加成 不饱和键的氧化、 α -氢的氧化 催化氢化 ^b α -氢的卤代 端炔的酸性 炔化物与卤代烷的反应 端炔与银盐等的反应 ^c 聚合反应	加成(亲电) 加成(自由基) 加成(协同) 加成(亲核) 氧化 还原 取代(自由基) 酸性 亲核性 配位性 聚合	醚	铕盐的生成 醚键的断裂反应 ^f 过氧化物的生成 Claisen 重排反应	酸碱性 取代(亲核) 氧化 重排
			醛酮	与各类亲核试剂的加成、 各类羟醛缩合 ^g 卤代反应与卤仿反应 ^h 氧化反应、还原反应、 Cannizzaro 歧化反应	加成(亲核) 取代 氧化与还原
			羧酸	酸性 生成羧酸衍生物的反应 羧基的还原 脱羧反应 ⁱ 、二元羧酸受热时的 反应 ^j 、 α -氢的卤代	酸碱性 取代(亲核) 还原 取代
			羧酸衍生物	水解、醇解、氨解、与格氏试剂 的反应 ^k 、酯缩合反应 ^l 还原反应 酰胺的失水反应 Hofmann 降级反应 ^m	取代(亲核) 还原 消除 重排
芳烃	卤代、硝化、磺化、傅-克反应等 苯环的加成 苯环及侧链的氧化与还原 α -氢的卤代	取代(亲电) 加成 氧化与还原 取代(自由基)	硝基化合物	还原反应	还原
卤代烃	水解、醇解、氨解、氰解等 消除反应 卤代烃的还原 卤代烃与金属的反应 ^d	取代(亲核) 消除 还原 取代	胺	胺、季铵碱、酰胺的碱性 胺的烷基化、酰基化、 磺酰化、与亚硝酸反应 ⁿ 胺的氧化 芳胺芳环上的亲电取代	酸碱性 亲核性 氧化 取代(亲电)
醇	酸性和碱性 酯化反应、 与磺酰氯的反应 生成卤代烃的反应、 分子间脱水反应 ^e 分子内脱水反应 醇的氧化与脱氢、邻二醇的氧化	酸碱性 亲核性 取代(亲核) 消除 氧化	季铵碱	热消除反应	消除
			芳香族 重氮化合物	重氮基被氢原子取代的反应、 还原成肼的反应 重氮基的水解反应、Schiemann 反应、生成碘苯的反应 Sandmeyer 反应 与酚或芳胺的偶联反应 ^o	还原 取代(亲核) 取代(自由基) 取代(亲电)

^{a-o} 表中 a-o 字母含义详见正文

应：醛酮的 α -氢被卤素取代，中间产物三卤甲基醛酮的三卤甲基被羟基取代。i) 脱羧反应中 $R-\text{COOH}$ 生成了 $R-\text{H}$ (或者 $R-\text{R}$ 、 $R-\text{X}$ 等)，故视为广义的取代反应。j) 二元羧酸受热时无论脱羧还是脱水，均可视为广义的取代反应。k) 羧酸衍生物与格氏试剂反应时，羧酸衍生物本身发生的是亲核取代反应；若所得取代产物活性高于原料羧酸衍生物，取代产物会进一步发生亲核加成反应。我们按照不同活性反应物共有的一步进行分类，将其归入亲核取代反应。l) 酯缩合反应既涉及到酯的亲核取代反应，又涉及到 α -氢的酸性，本表将其归入了前者。m) Hofmann 降级反应是一个由取代、消除、重排、水解等多个步骤组成的复杂过程，重排是其中最重要的一步，故归入重排反应。n) 胺与亚硝酸的反应，可视为胺对亚硝酰正离子 NO^+ 进行亲核进攻而引发的一系列反应，故归入亲核性。o) 在芳香族重氮化合物的偶联反应中，重氮化合物充当亲电试剂取代了偶联组分上的氢原子，该反应本质上属于亲电取代反应。

重新分类整理后，典型有机物的主要化学性质用十大类反应即可概括，大大强化了课程中的“一致性”因素，有效降低了有机反应“多而杂”的假象。新教材的编写工作最大程度地体现了作者在强化“一致性”方面所做的努力与探索^[10]，表中个别暂时没有出现在新教材中的分类，也被笔者应用在了实际教学实践过程中，学生反映良好。

1.2 围绕教学难点，将抽象知识形象化、生动化

手性分子的构型与药物的药效或毒性密不可分，因而手性分子构型判断是有机化学中既重要又实用的知识点。目前文献中对手性化合物 R/S 构型判断技巧的研究很少^[11,12]，而楔形式的构型判断对学生空间想象能力的要求比其他几种表达方式更高，历来是有机化学课程教学的难点。新教材将楔形式手性化合物的构型判断方法进行了形象化处理，将原子或基团的空间位置与观察者自身的空间方位(即前、后、左、右)结合起来，从而将分子的立体结构轻松地呈现出来。

以分子 A (图 1) 为例，新教材中判断该分子 R/S 构型的技巧如下：

- 1) 排序。将手性碳 C_2 所连的 4 个原子或基团按照次序规则从大到小排列： $-\text{OH} > -\text{CHO} > -\text{CH}_2\text{OH} > -\text{H}$ 。
- 2) 确定观察位置及剩余基团位置：使最小原子($-\text{H}$)距离观察者最远并用手性碳 C_2 将其挡住。

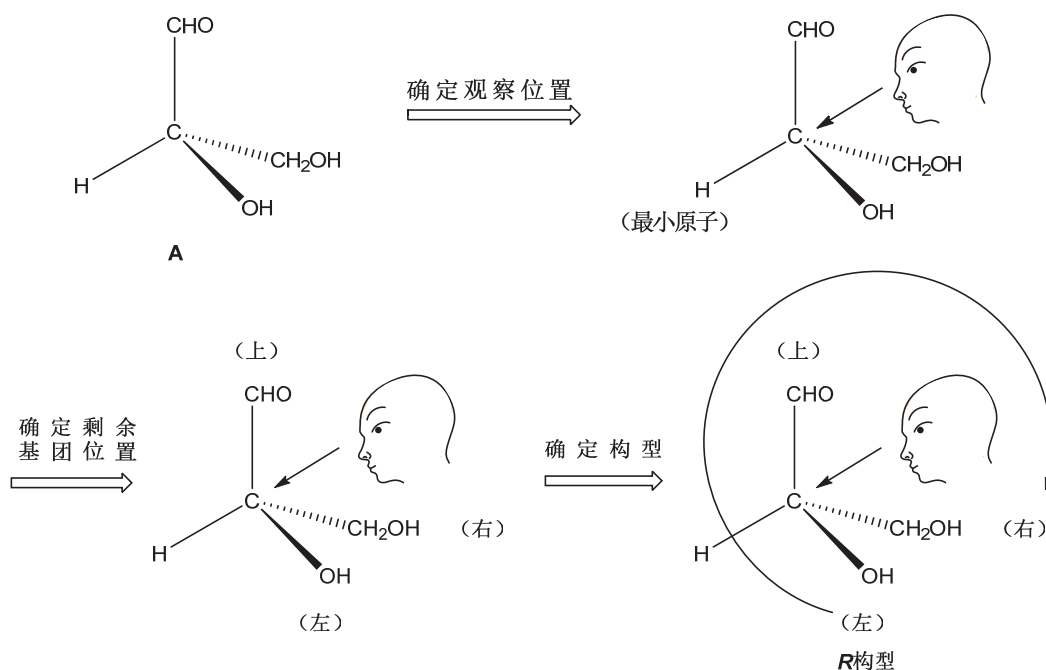


图 1 手性分子 A 的 R/S 构型的判断

我们可以想象观察者站在 $-OH$ 和 $-CH_2OH$ 之间沿 C_2-H 键观察。此时， $-CHO$ 位于观察者上方， $-OH$ 位于观察者左边， $-CH_2OH$ 位于观察者右边。

3) 确定构型。将最小原子之外的剩余3基团按由大到小的方向旋转，即从观察者的左边旋转到上边再旋转到右边，为顺时针旋转。按照“顺 R 逆 S ”的规则，确定该分子构型为 R 。

当手性分子的最小原子伸到纸面前方时(例如图2中的分子B)，在其 R/S 构型判断上，学生尤其容易将基团的空间位置混淆。新教材的判断方法利用了面对面站立者在空间取向上左右相反的原理，轻松确定基团位置，对学习来说非常实用。判断方法概述如下：

首先按照步骤1)和2)可判断观察者应当站在纸的后面，面向分子。这时，想象中的观察者与真实世界的解题者本人位于面对面的位置， $-CHO$ 分布在观察者上方， $-OH$ 位于观察者右手边， $-CH_2OH$ 位于观察者左手边。三基团从大到小旋转应该从观察者的右边旋转到上边再旋转到左边，即逆时针方向，分子构型为 S 。

新教材针对Fischer投影式手性分子的 R/S 构型的判断也补充介绍了非常方便的判断技巧，但恰好与文献报道相似^[12]，此处不再详述。

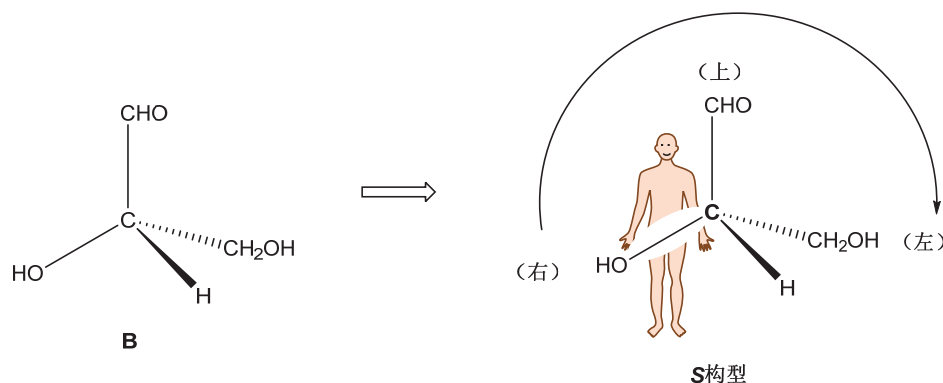


图2 手性分子B的 R/S 构型的判断

1.3 重视有机物及有机反应安全相关知识的介绍

新教材顺应当今国内重视化学品安全与化工生产安全的大趋势，在有机化学领域有意识地针对安全问题进行了补充介绍。比如，几乎在每一个章节均以“阅读材料(1和2)”的形式对各类典型有机物和常见有机反应进行了危险性相关知识的介绍。其中，“阅读材料1”主要介绍了本章同类有机物中的典型危险化学品，包括这些危险化学品的主要物理性质及物理常数、该物质的用途、危险性(易燃易爆性、毒性、腐蚀性等)、火灾扑救措施、急救措施等。“阅读材料2”则分别针对某一类具体的有机反应进行专门的危险性分析，全书分析到的有机反应有：裂化反应、聚合反应、烷基化反应、氯化反应、硝化反应、还原反应、氧化反应、重氮化反应、磺化反应等。此外，在书的结尾处以附录的形式附上“典型有机危险品的防爆防火安全参数”“接触或混合能引起燃烧的有机物”“职业性接触毒物危害程度分级及其行业举例”等资料，以供学生查阅。

此外，在正文中对有机物的化学性质进行介绍时，新教材保留了对其中某些物质燃爆危险性或毒性的讨论，例如，炔烃水合反应所用汞盐催化剂毒性较大，芳炔傅-克反应所用溶剂硝基苯亦有较大毒性，过渡金属炔化物、大多数重氮盐均在干燥条件下易燃易爆，武兹反应以二氯甲烷为反应物时会发生爆炸等。笔者对安全的重视贯穿了全书，希望通过新教材的使用能提高学生的安全意识与规则意识，并期望若干年后能减少这些学生在化学化工领域由于疏忽大意或不按规章制度操作而导致的事故。

2 新教材的实际使用情况及学生成绩分析

新教材出版后,被用于我校安全工程、环境工程、高分子材料、功能材料、材料工程共计 5 个专业的短学时有机化学课程教学中,目前已使用 2017–2018 学年春季学期及 2018–2019 学年春季学期两个学期。通过多位教师的实际教学实践,5 个专业的两届学生均顺利完成该课程的学习任务,且第二届选修该课程的学生们的学习效果相比第一届学生有显著提高。

以安全工程专业的短学时有机化学课程为例(学生成绩分布见表 2)。2017–2018 学年春季学期,该专业修读该课程 62 人,教学班平均成绩为 63.5 分(满分 100 分),及格率为 82.3%。2018–2019 学年春季学期,该专业修读该课程 58 人,教学班平均成绩为 72.3 分,及格率为 89.7%,较上一届有了较大的进步。在学生成绩分布上(图 3 所示),2017–2018 学年春季学期,学生成绩主要集中在 60–69 分数段;2018–2019 学年春季学期,学生成绩整体向更高的分数段移动,80–89 分、70–79 分、60–69 分三个分数段学生人数基本持平,学生成绩的区分度有了显著提高,教学目标达成情况有了很大的改善。

表 2 安全工程专业两学期短学时有机化学课程学生成绩分布

学期	总人数/人	≥ 90 分 人数/人	80–89 分 人数/人	70–79 分 人数/人	60–69 分 人数/人	< 60 分 人数/人	平均 成绩/分	及格率/%
2017–2018 学年春季	62	2 (3.2%)*	6 (9.7%)	9 (14.5%)	34 (54.8%)	11 (17.7%)	63.5	82.3
2018–2019 学年春季	58	5 (8.6%)	16 (27.6%)	15 (25.9%)	16 (27.6%)	6 (10.3%)	72.3	89.7

*括号中数字为该分数段的人数在本届教学班总人数中所占的比例

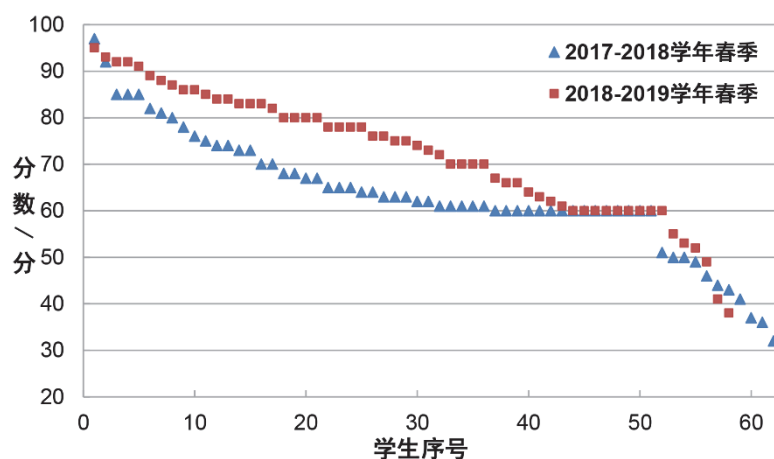


图 3 安全工程专业两学期短学时有机化学课程每位学生的成绩分布

其他几个专业也有相似的改善趋势。2017–2018 学年春季学期,材料类专业(含高分子材料、功能材料、材料工程 3 个专业)修读短学时有机化学课程共 128 人,不及格人数 11 人,平均成绩 72.7 分(满分 100 分),及格率 91.4%;2018–2019 学年春季学期,该 3 个专业修读该课程共 132 人,不及格人数 7 人,平均成绩 74.5 分,及格率 94.7%。而在使用新教材之前,该 3 个专业在 2016–2017 学年春季学期修读该课程共 130 人,不及格人数 15 人,平均成绩 72.3 分,及格率 88.5%。

环境工程专业 2017–2018 学年春季学期修读该课程 56 人,不及格 18 人,平均成绩为 61.9 分(满分 100 分),及格率为 67.9%;2018–2019 学年春季学期修读该课程 93 人,不及格 14 人,平均成绩为 71.2 分,及格率为 84.9%。

在该课程的教学过程中,每位任课教师在连续几个学年内均固定执教同一专业的学生,任课教师之间不互换专业执教,且考试试卷由这几位任课教师集体出题,尽量保证了试卷出题风格和题目难度的相对稳定。课程平均成绩与及格率的逐年提高,表明新教材可以被广大师生接受,能够承载起完成短学时有机化学课程教学目标的任务。

3 新教材使用中的经验与不足之处

短学时课程学分少,不易受学生重视,常常由于学生课下没有及时复习,导致到了课程后期时新知识与旧知识全都变成陌生知识了。新教材充分考虑这一现实问题,通过最大程度强化上下文的“一致性”来不断变换方式地重复核心知识与原理,一旦学生理解了教材前半部分的基本知识与原理,对于教材后半部分知识的学习便处于一个半复习旧知识半构建新知识的状态,这就有效缓解了课程后期教与学的压力。

受篇幅限制,新教材对有机化学最新科研动态的涉猎不足,由各位任课教师在实际教学过程中依据课程进度进行了适当补充。不过,笔者在中国化学会颁布《有机化合物命名原则(2017版)》后不久,便将新的命名规则收入新教材中,尽量保证了新教材的与时俱进。

4 结语

本文在短学时有机化学课程教学内容改革与实践的过程中,依据有机反应的本质完成了对典型有机物主要化学性质相关知识的重新整理与组织,并对课程常见难点做了更为形象化的讲解,同时补充介绍了各类典型有机物和常见有机反应的危险性相关知识。在此基础上形成了新教材《有机化学简明教程》并出版。随后,以新教材为依托进行了横跨两个学期、5个专业共计19个行政班的两轮教学实践,实践效果良好。考虑到短学时有机化学课程覆盖的专业种类较多,本研究成果具有良好的推广价值。

参 考 文 献

- [1] 邢其毅,裴伟伟,徐瑞秋,裴坚. 基础有机化学(上册). 第4版. 北京:北京大学出版社,2016.
- [2] 邢其毅,裴伟伟,徐瑞秋,裴坚. 基础有机化学(下册). 第4版. 北京:北京大学出版社,2017.
- [3] 李艳梅,赵圣印,王兰英. 有机化学. 第2版. 北京:科学出版社,2014.
- [4] 胡宏纹. 有机化学(上下册). 第4版. 北京:高等教育出版社,2013.
- [5] 伍越寰,李伟昶,沈晓明. 有机化学. 第2版. 合肥:中国科学技术大学出版社,2007.
- [6] 高占先,姜文凤,于丽梅. 有机化学简明教程. 北京:高等教育出版社,2011.
- [7] 齐欣,高鸿宾. 有机化学简明教程. 第2版. 天津:天津大学出版社,2011.
- [8] Wade, L. G., Jr. *Organic Chemistry*, 8th ed.; Pearson Education, Inc.: London, United Kingdom, 2013.
- [9] Solomons, G.; Fryhle, C.; Snyder, S. *Organic Chemistry*, 11th ed.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2014.
- [10] 王萍,饶红华. 有机化学简明教程. 北京:中国石化出版社,2018.
- [11] 秦丙昌. 化学教育, **2013**, *34* (6), 77.
- [12] 程绍玲,谢运甫,王华静. 化学教育, **2016**, *37* (4), 22.