

立体化学教学中不同教学语言的运用

陈祎平*, 贾春满, 朱文, 王新广

海南大学材料与化工学院, 海口 570228

摘要: 立体化学是有机化学教学的一个重点和难点, 本文从三个方面讨论了立体化学教学中不同教学语言的应用。以简明扼要的教学语言揭示事物特征, 尤其是用 32 个字凝练对映异构的关键要素; 以一组自创的比喻及形象性的教学语言帮助学生生动理解学习内容; 以多媒体技术语言促进直观教学, 提高了教学效率。

关键词: 立体化学; 教学语言; 关键要素; 比喻; 多媒体

中图分类号: G64; O6

Application of Different Teaching Languages in Stereochemistry Teaching

CHEN Yiping*, JIA Chunman, ZHU Wen, WANG Xinguang

College of Material and Chemical Engineering, Hainan University, Haikou 570228, P. R. China.

Abstract: The stereochemistry is an important and difficult part in the teaching of organic chemistry. The application of different teaching languages in stereochemistry teaching is discussed from three aspects. How to reveal the characteristics of a concept in a concise manner, especially the short description of the key elements of enantiomerism in as short as 32 words; how to use creative metaphor and figurative expressions to help vivid understanding; how to promote the intuition and improve the efficiency of study using multimedia technology.

Key Words: Stereochemistry; Teaching language; Key element; Metaphor; Multimedia

立体化学是有机化学的重要基础理论和教学重点之一, 包括顺反异构、对映异构、构象和反应立体化学等内容, 而且贯穿于有机化学的整门课程^[1-4], 但因其涉及立体结构, 理论复杂抽象, 也成为教师相对难教和学生难懂的内容。教学语言是教师与学生之间进行信息传递和创造性活动的主要工具, 也是影响教学效果的主要因素之一, 因此, 教学语言的运用就显得十分重要^[5]。化学教学语言的特征主要包括科学性、精炼性、逻辑性、启发性、形象性和趣味性。近 30 年来, 笔者对基础有机立体化学教学中不同教学语言的应用进行了持续的探索, 用精炼性的教学语言揭示事物本质特征, 特别是首次尝试归纳对映异构的关键要素, 并用 32 个字(8 个四字短语)凝练其内容; 以自创自编的一组比喻及形象性的教学语言来促进学生对所学知识的理解; 以多媒体技术语言提高教学的直观性与效率, 并配以相应的教学策略和方法, 收到了较为满意的效果。

1 以简明扼要的教学语言揭示事物特征

立体化学所包含的内容比较丰富, 所涉及的概念、术语和符号也特别多且容易混淆。化学教学

收稿: 2018-07-02; 录用: 2018-10-29; 网络发表: 2018-11-07

*通讯作者, Email: dxhxjy@sina.com

基金资助: 海南省高等学校教育教学改革项目(Hnjg2017-1); 海南大学教育教学研究项目(hdjy1728)

语言的科学性首先体现在传授知识的准确规范、用语贴切。其次,教学语言的精炼性是指在教学过程中教师用尽可能少的话语传输尽可能多的信息。教学语言应措词精准,言简意赅,表达的意思能直接揭露事物本质,并且容易记忆,激发学生的学习兴趣。

1.1 最小最远——*R/S* 构型标记的关键要素

R/S 构型标记法通常有步骤: ① 按次序规则判定手性碳所连 4 个基团的先后顺序, 按优先次序排列; ② 把次序最小的基团作为四面体模型的顶点, 其余 3 个基团作为四面体的底; ③ 再从四面体底部向顶端观察 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 的排列顺序, 如果 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 是顺时针排列, 就叫做 *R* 型, 逆时针排列的叫 *S* 型。其中最重要也是易弄错的一点就是要记住: 把次序最小的基团放在离观察者最远的位置上, 这可以归纳为“最小最远”。

R/S 构型标记可根据化合物的实际构型确定, 观察时总是使“最小最远”, 而把其他 3 个基团作为手面对观察者。“最小最远”是最原始、最根本的规则, 据此, 也可以衍生出一些简易规则, 例如纸面上直接判断 Fischer 投影式构型的规则, “横变竖不变”^[6]或“小横键, 反实向; 小竖键, 顺实向”等, 这些方法可为初学立体化学者提供简捷易懂的途径(图 1)。

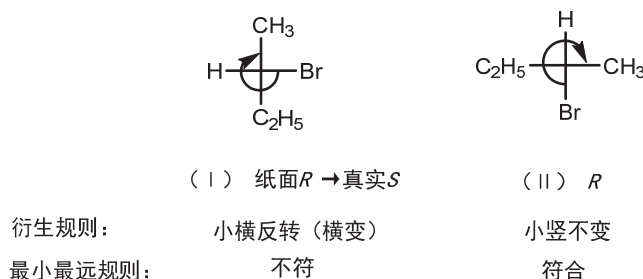


图 1 最小最远规则

如图 1 所示, 在 Fischer 投影式(I)中, 若纸面上直接判断为 *R*, 但因最小基团(H)连在横键上, 此时离观察者最近(横前竖后), 这样纸面上直接判断的构型与实际构型 *S* 相反, 也可称“小横反转”即“横变”; 而在(II)式中, H 连在竖键上, 符合“最小最远”原则, 所以纸面上直接判断的构型就是实际构型, 也可称“小竖不变”。

1.2 构向不定——构型与旋光方向的关系

“构向不定”指构型和旋光方向之间关系不确定, 其包含两层含义: 构型 *R/S* 或 *D/L* 同旋光方向(+)、(-)之间没有固定的联系; *R/S* 和 *D/L* 之间也没有必然的联系。因为旋光方向和构型是两个不同的概念, 旋光方向通过旋光仪容易测定, 但测定分子的构型就不那么容易, 而且至今还未能搞清楚构型和旋光方向之间的内在关系。*D/L* 构型是以甘油醛作为标准, 以甘油醛为参照或通过化学反应的关联来确定的, 为相对构型。*R/S* 构型则是以手性碳所连 4 个基团在空间的排列来标记, 为绝对构型。由于 *D/L*、(+)/(-)和 *R/S* 三者分别建立在不同的参考点上, 因此它们之间并没有必然联系。比如常用作对映异构的两个例子——甘油醛和乳酸, 它们的构型和旋光方向如图 2 所示。

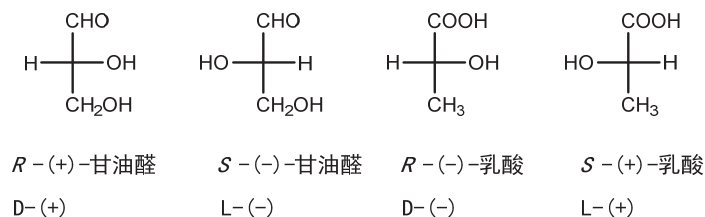


图 2 构型与旋光方向的关系

这就说明 R 型不一定是右旋, S 型不一定是左旋; 同理, D 型不一定是右旋, L 型也不一定是左旋。

另外, R/S 和 D/L 之间也没有固定的联系, 以 2-丁醇和 1-溴-2-丁醇为例, 如图 3 所示。

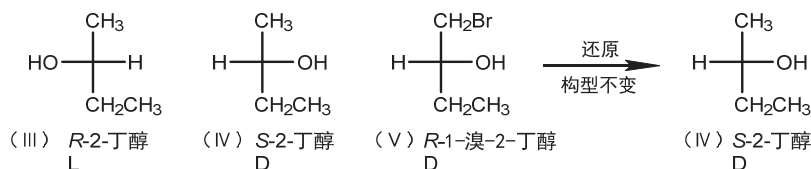


图 3 R/S 与 D/L 构型的关系

由图 3 可见, (III)式为 R 型、 L 型, (V)式也是 R 型, 却属于 D 型。与此类似, (IV)式为 S 型、 D 型, 但图 2 中 S -甘油醛却是 L 型。在一个化学反应中, 如果手性碳构型保持不变, 产物的构型与反应物的构型相同, 但它的 R 或 S 标记却不一定与反应物的构型相同。因为经过化学反应, 产物的手性碳上所连基团与反应物的不一样了, 产物和反应物的相应基团的排列顺序却可能相同也可能不同。例如图 3 的反应式中, 在还原时, 手性碳的键未发生断裂, 故反应后的构型保持不变, 但是还原后 CH_2Br 变成了 CH_3 。在反应物分子中, CH_2Br 排在 CH_2CH_3 之前; 而在产物中, 与 CH_2Br 相应的 CH_3 却排在 CH_2CH_3 之后。所以, 反应物构型为 R , 产物构型却是 S 。

还要指出的是, 相对构型目前主要用于氨基酸、糖类等天然化合物的构型上。相对构型相同的化合物不一定具有相同的绝对构型, 例如 L -氨基酸与 L -葡萄糖无法比较其绝对构型。

1.3 手性致旋, 对称无旋——手性、对称性和旋光性的关系

对初学者来说, 往往对手性、对称性、旋光性等术语的含义及其重要的相互关系不够清楚, 影响了总体的学习效果。为此, 在讨论完手性、对称性和旋光性等有关术语的涵义后, 我们将对称因素和手性因素结合在一起进行了总结比较(表 1)。

表 1 对称因素和手性因素的关系

对称因素		手性因素	
种类	判别	种类	判别
对称中心 i	无手性, $\therefore$ 无旋光性	手性中心(C, N, P 等)	是有手性的必要条件; 但含手性中心不一定有手性
对称轴 C_n	不能作判别有无旋光性	手性轴	旋转受阻, 有手性, $\therefore$ 有旋光性
交替对称轴 S_n	若有 S_4 , 则无旋光性	手性面	有手性, $\therefore$ 有旋光性
对称面 σ	无手性, $\therefore$ 无旋光性		

交替对称轴 S_n 中, S_1 相当于 σ ; S_2 相当于 i ; 只有 S_4 是独立的对称因素

由表 1 可以看出, 对称因素和手性因素都可以由常见的几何元素点、线、面构成, 如对称因素有对称中心、(交替)对称轴、对称面, 相应的手性因素是手性中心、手性轴、手性面。顾名思义, 对称因素体现对称性, 手性因素则反映手性或不对称性(手性也可以粗略地理解为不对称性)。一般来说, 若物质分子在结构上没有对称面、对称中心或四重交替对称轴 S_4 (允许有对称轴存在), 这个分子就具有手性, 也具有旋光性。若物质分子仅具有一个手性中心或手性轴或手性面的化合物均有旋光性。因此, 物质的手性是产生对映体的充分和必要的条件。对称因素和手性因素是对立的两个方面, 它们之间也是可以互相转化的。

进一步可以整理归纳出手性、对称性和旋光性的关系——因果关系：含对称面或中心或 S_4 → 对称分子 → 非手性分子 → 物像重合 → 无旋光性；不含对称面或中心或 S_4 → 不对称分子 → 手性分子 → 物像不重合 → 有旋光性。最后，可以把这种关系凝练成 8 个字：“手性致旋，对称无旋”。这 8 个字概括了手性、对称性和旋光性的关系，突出了重点，突破了难点，也体现了教学语言的逻辑性。

在教学过程中，需要有个规律小结的过程，以梳理学生的认识结果，对所学内容进行提炼升华，这也是启发式教学的一种重要形式^[7]。

需要说明的是，在讨论含 2 个或多个手性碳的化合物时，还要考虑“假不对称碳原子”的特殊情况。例如图 4 所示，(2*R*,3*r*,4*S*)-2,3,4-三羟基戊二酸[D-核糖二酸]和(2*R*,3*s*,4*S*)-2,3,4-三羟基戊二酸[D-木糖二酸]中，虽然 C-3 含 4 个不相同的基团，似乎是不对称的，但分子具有对称面，是非手性分子，无旋光性，这两种不同的空间排列方式构成的都属于内消旋体(*meso*-)。这两个分子中的 C-3 为假不对称碳原子(构型用小写的 *r/s* 表示)。而在 L-阿拉伯糖二酸以及 D-阿拉伯糖二酸中，C-3 虽然各自含有 2 个相同的基团，它们却没有对称面和对称中心，是手性分子，互为实物与镜像关系，是对映异构体。

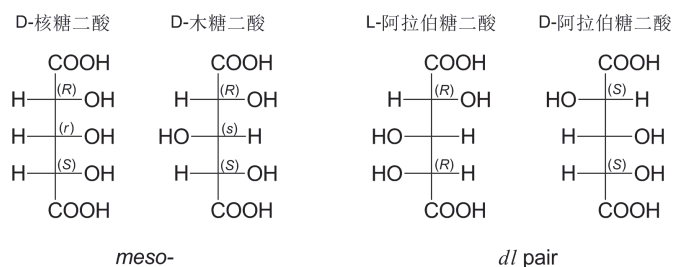


图4 “假不对称碳原子”实例

1.4 32 字对映异构关键要素

通过研究分析对映异构的教学内容，再把前述的有关使用方法和相互关系的关键要素(规则)进一步补充和归纳整理，则可凝练出 32 字(8 个四字短语)对映异构的关键要素，并将其归纳为两个方面。构型使用方面：横前竖后、最小最远、原序序大、关联甘醛；相互关系方面：手性致旋、对称无旋、构向不定、对映转非。

其中，“横前竖后”反映 Fischer 投影式的书写和使用原则，即横键伸向前、竖键朝后边，这是 Fischer 投影原则最关键的要素，在书写和使用时，只要坚守“横前竖后”，就较易掌握而避免出错。

“原序序大”指原子序数按从大到小排序，大者“较优”，指明了次序规则的主要关键内容。“关联甘醛”指和甘油醛相关联，这是 D/L 构型标记方法的关键。

在相互关系方面，“手性致旋”“对称无旋”体现了手性、对称、旋光性的相互关系。“构向不定”则反映了构型与旋光方向的关系。

化学拆分法的原理就是利用组成外消旋体的一对对映体和一种手性的拆分剂进行反应，使其生成非对映体产物，再利用非对映体的溶解度等性质的不同达到分离的目的。其中，“对映转非”即揭示了外消旋体(化学)拆分的精髓为将对映体转变为非对映体。

这 32 字关键要素概括了基础有机化学中对映异构主要的教学内容，明确了对映异构中有关性质之间复杂的相互关系，为其实际应用夯实了基础，而且促进了学生对知识点的理解和记忆。

为清楚起见，现将 8 个对映异构的关键要素、分类、简单释义和应用范围列于表 2。

此外，从更高层次的角度来看，在立体化学反应中还存在一个特点：即在很多情况下，反应物与产物的旋光特性总体上是守恒的^[8]。“旋光特性守恒”也反映了立体化学教学语言的精炼性。

表2 8个对映异构关键要素、分类、简单释义和应用范围

分类	关键要素	简单释义	应用范围
构型使用	横前竖后	横键伸向前, 竖键朝后边	Fischer 投影式的书写和使用
	最小最远	次序最小的基团放在离观察者最远的位置	R/S 构型的标记
	原序序大	原子序数按从大到小排序	次序规则*
	关联甘醛	以甘油醛为参照或关联来确定构型	D/L 构型的标记
相互关系	手性致旋	手性分子具有旋光性	手性和旋光性的相互关系

*次序规则中, 除了原子序数的大小比较, 还包括: ① 重原子优先; ② 孤对电子最小; ③ 相同构造的基团(R) > (S)以及(Z) > (E)

2 以生动的比喻及形象性教学语言帮助学生理解

在立体化学教学中, 把复杂的知识以比喻的形式讲给学生, 可以使那些抽象和枯燥的知识变得通俗易懂, 从而降低学习难度, 具有事半功倍的效果。

次序规则是立体化学的一个重要规则, 在顺反异构和对映异构学习中都要用到, 但有些学生初学时不能很好地理解和应用。我们一开始就打比方: 次序规则是用来给基团排队的规则, 通常的排队可以按照身高、时间等顺序, 而次序规则是按照原子序数从大到小优先的次序。在次序规则中, 如果与双键或手性碳直接相连的原子的原子序数相同, 则比较其次相连的原子的原子序数。如果第二个原子仍相同, 依次再比较第三个原子的原子序数, 如此类推。我们可以通俗地比喻为同代比较原则。

例如比较 $-\text{CH}_2\text{Cl}$ 和 $-\text{COOH}$ 的次序。 $-\text{CH}_2\text{Cl}$ 和 $-\text{COOH}$ 可写成 $\text{C}(\text{Cl}, \text{H}, \text{H})$ 和 $\text{C}(\text{O}, \text{O}, \text{O})$ 。在 $(\text{Cl}, \text{H}, \text{H})$ 中, 原子序数最大的是 Cl ; 在 $(\text{O}, \text{O}, \text{O})$ 中, 原子序数最大的是 O , 尽管它有3个 O , 但只是选择其中1个 O 来进行比较, 这种情况好像奥运会中的金牌榜排序, 一枚金牌优先于三枚银牌。因为 Cl 优先于 O , 所以 $-\text{CH}_2\text{Cl}$ 优先于 $-\text{COOH}$ 。可见, 在课堂中选准合适内容, 活用打比方的方法, 对于学生更好地、更快地理解掌握所学知识能起到积极的作用。

又如对映体的物理、化学性质的差异可归纳如下:

手性环境 { 如偏振光: 对映体旋光方向不同(物理性质)
手性试剂: 对映体反应速度不同(化学性质)

这可以比喻为: 用相等力量的右手和左手(对映体)敲一枚钉子(一种非手性试剂), 能以相同的速度敲钉。但当用相同力量的右手和左手旋入一枚右螺纹的螺丝钉(一种手性试剂)时, 旋入螺丝钉的速度会不同。其实, 敲钉时要求两只手有完全相当的两组肌肉, 这样就能以相同的速度敲钉, 而旋入螺丝钉时, 要使用不同的肌肉: 右拇指要推而左拇指要拉。

如前文所述, R/S 构型标记法通常分为三步, 我们可以把以上步骤形象地称为三步曲: 排队→摆姿势→照相, 其中最重要的一点就是摆姿势, 要牢记“最小最远”原则。在 Fischer 投影式的使用中, “横前竖后”也像是一种照相的规定姿势。

在讲到乙烷分子的构象时, 前后两个碳原子之间作相对旋转, 可得到无数种构象。这种情况有点像传统电影胶片中的画面, 其中的每一幅画面相当于一个构象, 每幅画面的差异是非常细微的, 但其中最具有代表性和最美的画面才能选用作电影海报, 相当于我们讨论的典型构象。

至于手性中心、手性轴和手性面的关系, 可以做个比较现代的比喻: 手性中心、手性轴和手性面都是手性俱乐部的成员, 他们都有享受偏光浴的资格。不过, 在手性俱乐部里, 手性中心是金卡会员和老牌会员, 而手性轴和手性面只是一般会员, 因此, 手性中心在俱乐部里有着重要的发言权和更优惠的待遇, 手性中心特别是含手性碳的对映异构是教学的重点, 也是本文所讨论的重点。

当然, 教学风格是多样性的, 上述比喻仅为笔者的一些探索, 也许欠佳, 仅供参考。

3 以多媒体技术语言促进直观提高效率

用多媒体等信息技术语言作为现代化的教学语言, 有其较多的优势和特点。如何充分发挥多媒体技术教学的优势, 活跃课堂教学气氛, 提升教学效果及效率, 这需要我们在工作中不断地摸索, 积累经验。

立体化学因其涉及分子的三度空间结构, 采用一般的 PPT 课件, 教学效果不够理想。我们利用 Authorware、Flash 和 3Ds Max 等开发工具进行多媒体创作, 先后精心开发了“对映异构 CAI 软件”和“立体化学 CAI 软件”。后者的内容包括讲授篇、拓展篇、学习指导篇、习题库和资料库五个部分。讲授篇含顺反异构、对映异构、构象和反应立体化学等四章。拓展篇是对讲授内容的扩充和引深。习题库是测试系统, 设有四种题型, 在习题库上答题, 软件能自动判断正误, 并设有提示和答案查询按钮, 部分题型设有自动计算测试成绩装置。

“立体化学 CAI 软件”的特点是内容丰富、深入浅出, 充分融合多种媒体, 且创意新颖、交互性好。其次实用性强, 同时兼有辅教、辅学功能, 师生可自由选用教与学的内容, 实现因材施教和自学、自测。

例如该软件制作了 20 多组动画, 包括 S_N2 反应的动态历程、乙烷和丁烷不同构象的能量曲线的旋转变化过程、对称轴和交替对称轴的旋转过程等, 直观生动的动画让学生耳目一新, 更易理解, 而且记忆深刻。

该软件已在我校多个专业使用, 教学效果和效益得到提高。“对映异构 CAI 软件”和“立体化学多媒体教学软件”分别获省级多媒体教材一、二等奖, 后者并获化工出版社正式出版^[9]。

4 结语

有机立体化学结构复杂、知识点多, 因此, 如何解决学生的理解和记忆问题也是教学的难题, 本文所讨论的立体化学教学中三种不同教学语言的运用, 特别是以精炼性的教学语言揭示事物特征的运用, 提供了一种有益的方法, 这对其他化学课程也有一定的借鉴作用。当然, 化学教学语言的运用还有很多方面, 上述所讨论的仅为笔者在教学中实施的内容。除此之外, 教学语言的运用还应结合适当的教学策略和方法。

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] 天津大学有机教研室, 张文勤, 郑艳, 马宁, 赵温涛. 有机化学. 第 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [4] 汪小兰. 有机化学. 第 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2017.
- [5] 刘知新. 化学教学论. 第 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [6] 程绍玲, 谢运甫, 王华静. 化学教育, **2016**, 37 (4), 22.
- [7] 张军, 王启宝. 大学化学, **2012**, 27 (6), 18.
- [8] 陈祎平. 大学化学, **2004**, 19 (1), 51.
- [9] 陈祎平. 立体化学多媒体教学软件. 北京: 化学工业出版社, 2016.