

# 例谈有机化合物同分异构体数目的判断方法

黄碧芸<sup>1</sup>, 林建芬<sup>2</sup>

(1. 广东汕头华侨中学, 广东汕头 515041; 2. 深圳市龙岗区兰陵学校, 广东深圳 518117)

**摘要:** 结合近4年高考真题涉及的同分异构体知识的题目,对书写同分异构体的有序性思维、判断技巧和记忆推理模型进行归纳总结,便于学生快速、有效地解答同分异构体数目判断问题,同时对同分异构体书写方法的教学提出建议。建议教师在教学过程中要关注学生化学核心素养和学科能力的培养,通过学生动手制作模型、归纳官能团转化方法、完成进阶式和分层次的例题训练,让学生对同分异构体书写问题形成合理的认识角度、分析思路和认识能力。

**关键词:** 同分异构体数目;化学高考;有序性思维;判断技巧;记忆推理模型

**文章编号:** 1005-6629(2018)3-0077-05

**中图分类号:** G633.8

**文献标识码:** B

## 1 研究背景

在高中有机化学知识的教学中,同分异构体是一个重要的概念<sup>[1]</sup>,在人教版必修2<sup>[2]</sup>和选修5<sup>[3]</sup>都涉及同分异构概念和同分异构体书写的教学。同时,同分异构体也是高考化学全国卷命题的热点之一,是高考备考复习教学的重难点。2017年化学全国卷考纲<sup>[4]</sup>在必考内容部分要求学生了解有机物的同分异构现象,能正确书写简单有机化合物的同分异构体;在选考内容部分关于“有机化学基础”模块强调能正确书写有机化合物的同分异构体(不包括手性异构体)。

近4年高考化学全国卷主要考查同分异构体概念辨析、同分异构体数目判断和限制条件下同

分异构体的书写,考查难度适中,可见同分异构体考点是区分度较高的题型。但大部分学生由于缺乏有序性思维<sup>[5~8]</sup>,在判断同分异构体数目上存在困难,不能根据题目信息快速、完整地找出满足要求的所有同分异构体的结构简式,经常出现漏写、错写等问题。因此,笔者认为有必要对书写同分异构体的有序性思维和快速判断同分异构体数目的技巧进行归纳总结,便于学生能快速有效地解答关于同分异构体的问题。

## 2 书写同分异构体的有序性思维

很多学生在书写和判断同分异构体时,顺序混乱,经常出现漏写、错写等错误,这是因为学生思维缺乏有序性,无法按照一定的思路思考,因此

能着火(油脂蒸气可燃)。耐高温玻璃尖管和注射器吸取焰心蒸气的实验改进<sup>[17]</sup>,加上摄影技术应用可以辅助捕捉白烟形成和燃烧的微观慢过程。

## 参考文献:

- [1] 王晶主编.义务教育教科书·化学(九年级上册)[M],北京:人民教育出版社,2012:12,13,15.
- [2][11] 王晶主编.义务教育教科书·化学(九年级上册)教师用书[M].北京:人民教育出版社,2016:29.
- [3][12] 赵红,陈士元.自制初中化学实验用粗芯蜡烛[J].中国现代教育装备,2015,(3):37~38.
- [4] 邓继红.由化学教师实验能力大赛得到的启示[J].化学教学,2013,(12):27.
- [5] 郑杏珍,李坚毅.“蜡烛刚熄灭时白烟的点燃”实验改进[J].化学教育,2006,(12):50~50.
- [6] 张英华,黄志安等主编.燃烧与爆炸学(第2版)

[M].北京:冶金工业出版社,2015:57~59.

[7] 郭腾元主编.蜡烛的科学游戏(下)[M].郑州:河南科学技术出版社,2006:53~55.

[8][17] 杨菲.验证蜡烛不完全燃烧的产物的实验设计[J].中学化学教学参考,2013,(9):52.

[9] 魏锐,方芳,杨萌.对蜡烛燃烧过程的探究[J].中小学实验与装备,2015,(1):4~7.

[10] 鞠东胜,王金龙.“蜡烛刚熄灭时白烟的点燃”实验新方法[J].化学教育,2009,(7):57.

[13] 唐思嘉.蜡烛及其燃烧实验的教学设计[J].化学教学,2017,(9):63~66.

[14] 姚孟建.对蜡烛燃烧实验的再改进[J].化学教学,2014,(3):51~52.

[15] 王宝权.蜡烛燃烧实验的探究与改进[J].化学教学,2013,(12):43~45.

[16] 张发新,赵见,宋军,景如吉.现行《初中化学》实验内容编排刍议[J].化学教学,1990,(5):19~27.

归纳总结出一套书写同分异构体的有序性思维显得尤其重要。首先,应先思考给定的分子式是否符合一定的通式,该通式是否有常见的官能团异构,接着从其中一类官能团的异构体出发,先变化碳链骨架,后移动官能团位置确定同分异构体的数目;一类官能团的异构体讨论完,再换另一类官能团,还是按照先变化碳链骨架再移动官能团位置的思路来讨论这类同分异构体的数目。以上的思考方式就是按“官能团异构→碳链异构→位置异构”的有序性思维进行同分异构体的书写。

常见的官能团异构见表1,熟记一些分子组成通式的官能团类别异构。碳链异构常用的方法是“减碳法”<sup>[9]</sup>,即主链由长到短(短不过三),支链由整到散,位置由中心到边(但不到端)以及多个取代基的排布方式。位置异构就是将官能团放进碳链中,并按顺序依次移动位置,要注意避免结构重复。

表1 几种常见的官能团异构

分子组成通式	物质的类别
$C_n H_{2n} (n \geq 3)$	单烯烃、环烷烃
$C_n H_{2n-2} (n \geq 4)$	二烯烃、炔烃、环烯烃
$C_n H_{2n+2} O (n \geq 2)$	饱和一元醇、饱和一元醚
$C_n H_{2n} O (n \geq 3)$	饱和一元醛、饱和一元酮
$C_n H_{2n} O_2 (n \geq 2)$	饱和一元羧酸、饱和一元酯、羟基醛
$C_n H_{2n-6} O (n \geq 7)$	酚、芳香醇、芳香醚

下面以  $C_5H_{10}$  为例说明如何利用有序性思维书写同分异构体。

首先,根据表1确定符合  $C_5H_{10}$  的官能团类别异构有单烯烃和环烷烃。下面分别就两类异构体进行讨论。

对于  $C_5H_{10}$  的单烯烃异构,先找出其碳链异构。为了简便,所写结构式省略氢原子。

第一,将分子中所有碳原子连成直链作为主链  $C-C-C-C-C$ ;

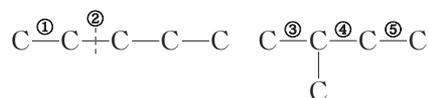
第二,从主链取1个碳原子作为支链,依次连接在主链中心对称轴一侧的碳原子上,但不到链端处,为避免支链重新变成主链  $C-C-\overset{\text{C}}{\underset{|}{\text{C}}}-C$ ;

第三,从主链取2个碳原子作为支链,2个碳原子相连(整)成乙基,或分开(散)成2个甲基,依次连在剩下主链中心对称轴一侧的碳原子上。

由于第二号碳上接乙基,会使支链变主链,所以排除乙基作支链。剩下2个甲基作支链,只剩下对

称排布的情况  $C-\overset{\text{C}}{\underset{|}{\text{C}}}-C$ 。

接着,将碳碳双键依次安在以上3种碳链异构的碳链上,注意对称位置不重复,第3种碳链异构无法安双键。



至此,符合  $C_5H_{10}$  的单烯烃结构(共5种)已讨论完,接着讨论环烷烃的结构。因为环烷烃没有官能团,不存在位置异构,只需要讨论碳链异构。为了简便,所有结构写成键线式。

第一,将分子中所有碳原子连成环状作为主链 ;

第二,从主链取1个碳作支链连在以4个碳成环的主链上,环丁烷结构对称,支链只有1种情况 ;

第三,从主链取2个碳原子作支链,2个碳原子相连(整)成乙基,或分开(散)成2个甲基,依次连在剩下3个碳原子成环的主链上。由于环丙烷结构对称,乙基作支链只有1种情况 ;同样,2个甲基作支链也只有1种情况 ,所以符合  $C_5H_{10}$  的环烷烃共4种。通过按照有序性思维的分析过程,分子式  $C_5H_{10}$  的同分异构体数目共有  $5+4=9$  种。

但是,如果每个分子式的同分异构体的数目判断都需要经过有序性思维分析,步骤多又耗时,不利于学生在考试中的作答,因此必须提供便捷的判断技巧帮助学生思考分析。

### 3 快速判断同分异构体数目的技巧梳理

#### 3.1 等效氢法

等效氢是指有机物分子中位置等同的氢原子。等效原则为:(1)同一个碳原子上的氢原子是等效的;如  $-CH_3$  的3个氢原子、 $-CH_2-$  的2个氢原子;(2)同一个碳原子所连的甲基上的氢原子是等效的,如新戊烷  $[C(CH_3)_4]$  的四个甲基上的氢原子;(3)处于对称位置的氢原子是等效的,

如正丁烷( $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ )结构左右对称,因此只有两种等效氢。等效氢法可用在判断某种结构的一元取代的同分异构体数目。如:2014年II卷第8题“四联苯的一氯代物有多少种”,四联苯有5种等效氢,四联苯的一氯代物就有5种。

熟练判断某物质结构的等效氢种类有利于快速判断该物质一元取代的同分异构体数目。

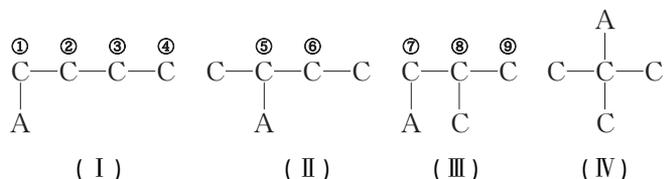
### 3.2 基元法

基元法的“基元”强调的是烷烃基,烷烃基是指烷烃失去1个氢原子后剩余的原子团。基元法是根据烷烃基的同分异构体数目,快速判断其与一价基团结合后的同分异构体数目。如:2016年I卷第9题C选项“ $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ 有3种同分异构体”,把 $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ 看成丁基与氯原子结合,丁基结构有4种,推断 $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ 有4种,就可快速判断出C选项是错误的。又如:2015年II卷第11题“分子式为 $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ 并能与饱和 $\text{NaHCO}_3$ 溶液反应放出气体的有机物有多少种(不含立体异构)”,根据官能团的特征反应,推理出能与饱和 $\text{NaHCO}_3$ 溶液反应放出气体的物质一定含有一 $\text{COOH}$ ,题目实际是考查戊酸同分异构体数目,戊酸可看成丁基与羧基结合,丁基有4种就推断戊酸的同分异构体有4种。

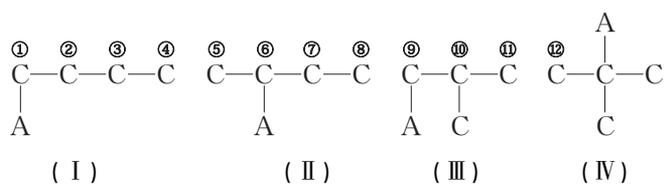
牢记常见烷烃基同分异构体数目,可快速判断烷烃基与一价基团结合后的同分异构体数目。此方法适用判断饱和一元卤代烃、一元醇、一元醛和一元羧酸等同分异构体数目。

### 3.3 定一移一法

定一移一法是当有机物的取代基有2个时,在有机物中按等效氢法先固定1个取代基的位置,后对另外一个取代基的位置进行讨论。当2个取代基为同一种结构时,在讨论时要注意排除重复结构。例如:2016年II卷第10题“分子式为 $\text{C}_4\text{H}_8\text{Cl}_2$ 的有机物共有多少种(不含立体异构)”,属于丁烷的二元取代问题,进一步延伸题目,将二元取代分为同种结构取代和不同种结构取代进行讨论。先讨论二元取代为同一种结构,用A和A来表示,按照有序性思维书写,先碳链异构再位置异构。丁烷的碳链异构有两种,在此基础上安第1个取代基A的位置有4种,在这4种异构体的基础上再安第2个取代基A,实际上只有前3种异构体有第2个取代基A的位置,第IV种异构体再安A跟第⑧种重复,因此共有9种情况。

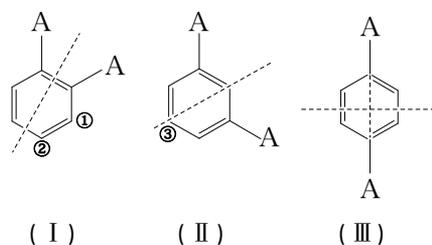


当二元取代是不同结构时用A、B表示。丁烷的碳链异构有2种,在此基础上安取代基A的位置有4种,在这4种异构体的基础上再安取代基B,总共有12种情况。

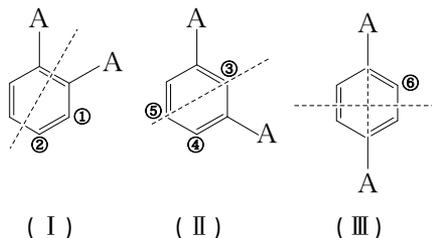


二元取代问题解决了,遇到三元取代怎么办?参照定一移一的思路变换成定二移一。题目经常涉及苯环的三元取代问题,这里一并讨论。三元取代分成3种情况:(1)3个取代基为同一个结构,用A、A和A表示;(2)3个取代基为两种结构,用A、A和B表示;(3)3个取代基各不相同,用A、B和C表示。

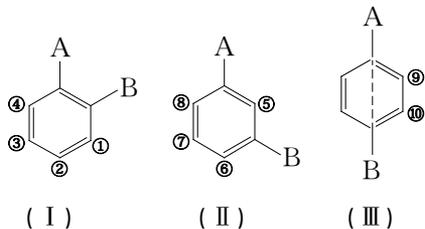
(1)当苯环上的取代基都是A时,先定两个取代基A的位置,共有3种异构体,且第III种异构体再取代1个A,与前面第②种重复。因此当苯环上三元取代都为同种结构时,同分异构体数目有3种。



(2)当苯环上的取代基为A、A和B时,先定两个相同取代基A的位置,共有3种异构体,结构对称便于讨论第3个取代基的位置,再安取代基B。因此当苯环上的三元取代有2种结构时,同分异构体数目有6种。



(3) 当苯环上的取代基为 A、B 和 C 时, 任选两个取代基(如 A、B) 定好位置, 共有 3 种异构体, 再安取代基 C。因此当苯环上的三元取代有 3 种结构时, 同分异构体数目有 10 种。



定一移一法或定二移一法适用于讨论一个有机物的取代基有 2 个或 3 个的情况下的同分异构体的数目。

### 3.4 换元法

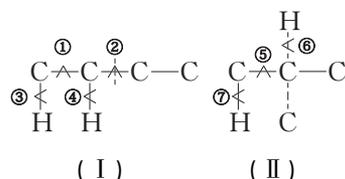
换元法<sup>[10]</sup>是指当取代产物中某 2 种原子满足一定数量关系时, 互换这两种原子的位置, 取代产物的同分异构体数目不变, 即存在如下一般规律: 有机物  $C_xH_y$  形成的  $C_xH_{y-a}R_a$  与  $C_xH_aR_{y-a}$  具有相同数目的同分异构体。比如  $C_4H_8Cl_2$  的同分异构体数目为 9, 则  $C_4H_2Cl_8$  的同分异构体数目也为 9。如: 2014 年 II 卷第 38 题“(6) 立方烷经硝化可得到六硝基立方烷, 其可能结构有多少种”, 立方烷分子式为  $C_8H_8$ , 六硝基立方烷分子式为  $C_8H_2(NO_2)_6$ , 六硝基立方烷是立方烷的六元取代, 讨论六元取代比较繁琐, 根据换元法可变换成讨论二元取代。立方烷的二元取代利用定一移一法找出 3 种同分异构体, 所以六硝基立方烷的同分异构体就有 3 种。

换元法适合用于讨论一个有机物取代基数目比较多的情况下的同分异构体数目, 根据换元法变换成思考取代基数目较少情况下的同分异构体数目, 有效地做到化繁为简。

### 3.5 插入法

插入法是将官能团单独提出来, 写出剩余部分的碳链结构, 再利用对称规律找出可以插入官能团的位置, 将官能团插入。注意, 对称位置不可重复插入。如: 判断分子式  $C_5H_{10}O_2$  能与 NaOH 溶液反应的同分异构体数目, 根据官能团性质结合分子式含 2 个氧原子, 推出该结构是带有羧基 ( $-COOH$ ) 或带有酯基 ( $-COOR$ )。这 2 种官能团可统一看成带有  $-COO-$  结构, 因此分子式提出  $-COO-$  结构, 碳链剩下  $C_4H_{10}$ , 相当于在丁烷

结构中插入  $-COO-$ 。首先, 先确定丁烷的同分异构体——正丁烷和异丁烷; 其次, 明确丁烷可以插  $-COO-$  的位置, 碳碳单键之间可插入, 碳氢单键之间也可插入, 因此要找到正丁烷和异丁烷中所有不同碳碳单键和碳氢单键, 共 3 种不等价的碳碳单键(①②⑤)和四种不等价的碳氢单键(③④⑥⑦)。最后, 确定同分异构体数目, 一般一个单键位置可以插  $-COO-$ , 也可以插入  $-OOC-$ , 得到两种不同结构, 但对称中心的碳碳单键(如②)只有一种情况, 插入  $-COO-$  或  $-OOC-$ , 结果都是相同结构的酯, 所以分子式  $C_5H_{10}O_2$  符合酸或酯的结构有 13 种。



当有机物中的官能团可以提出来并插入到碳碳单键或碳氢单键中, 就可以利用插入法来分析同分异构体。此方法适用于烯、炔、酸、酯、醚、酮等同分异构体的书写。

### 3.6 同分异构体的记忆推理模型

运用上述多种技巧可帮助学生判断同分异构体数目, 但步骤繁琐耗时长, 是否有更省时快速的方法? 笔者总结一套记忆推理模型, 通过提取信息快速判断同分异构体数目。

(1) 对烷基基与一价基团结合后的同分异构体数目判断, 或是烷烃一元取代的同分异构体数目判断, 熟记常见烷基基的同分异构体数目(见表 2), 其同分异构体数目就一目了然。

表 2 记忆推理模型 1: 常见烷基基的同分异构体数目

烷基基	同分异构体数目
甲基 ( $-CH_3$ )	1
乙基 ( $-C_2H_5$ )	1
丙基 ( $-C_3H_7$ )	2
丁基 ( $-C_4H_9$ )	4
戊基 ( $-C_5H_{11}$ )	8

(2) 烷烃的二元取代是高频考点, 分别归纳丙烷和丁烷的二元取代同分异构体数目(见表 3)。

表3 记忆推理模型2: 常见烷烃二元取代的同分异构体数目

烷烃	二元类型	同分异构体数目
丙烷	A、A	4
	A、B	5
丁烷	A、A	9
	A、B	12

在前面(3.3)讨论的一道高考题: 2016年II卷第10题“分子式为 $C_4H_8Cl_2$ 的有机物共有多少种(不含立体异构)”, 虽然利用“定一移一”的方法可以按部就班地解决丁烷的二元相同取代基的同分异构体数目问题, 但如果利用表3记忆推理模型——丁烷的AA型取代, 可以快速得出答案。

(3) 苯环上的取代是高频考点, 下面归纳出苯环的二、三元取代同分异构体数目(见表4)。

表4 记忆推理模型3: 苯环二元、三元取代的同分异构体数目

苯	类型	同分异构体数目
二元取代	A、A	3
	A、B	3
三元取代	A、A、A	3
	A、A、B	6
	A、B、C	10

例如: 2017年II卷第36题“(6)L是D的同分异构体, 可与 $FeCl_3$ 溶液发生显色反应, 1 mol的L可与2 mol的 $Na_2CO_3$ 反应, L共有\_\_\_\_\_种”。从题目所给信息可以分析出L是含有苯环的结构, 而且苯环结构上有三个取代基, 分别是 $-OH$ 、 $-OH$ 和 $-CH_3$ , 利用表4记忆推理模型——苯环的AAB型取代, 答案立马呈现出来。

#### 4 教学建议

由于同分异构体类型复杂、思维容量较大, 若教师采用题海战术和实施知识解析的教学方式, 以解题+训练模式进行教学, 则学生会缺乏认识角度与合理思路, 有序性、综合性和系统性思维较差。建议教师要关注学生化学核心素养和学科能力的发展<sup>[11]</sup>(见图1), 引导学生动手制作结构模型, 发展学生的形象思维。让学生通过官能团的转化熟练掌握常见有机物之间的相互转化, 发展聚合思维和类比迁移能力。教师还可以通过进阶问题情境, 即系列、分层例题, 对学生进行同分

异构体书写问题的分析思路与推理方法的训练, 培养和发展学生的发散思维和综合能力, 强化限制条件下同分异构体的书写技能, 让学生对同分异构体书写问题形成合理的认识角度、分析思路和认识能力, 让高中教学饱含化学学科意义和思维之美<sup>[12]</sup>。

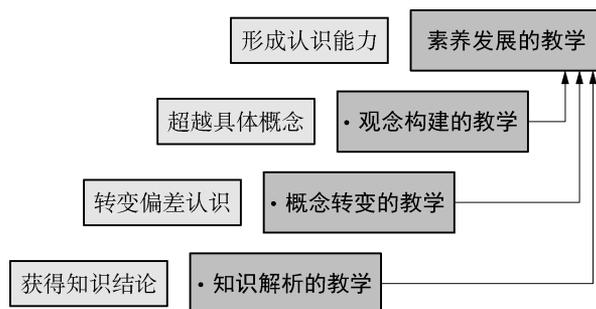


图1 在同分异构体教学过程中倡导促进学生核心素养发展的教学

#### 参考文献:

- [1] 林建芬, 陈允任. 基于学习进阶理论探讨“同分异构体”教学序列的跨学段设计[J]. 化学教学, 2014, (12): 38~41.
- [2] 宋心琦, 王晶, 李文鼎. 普通高中课程标准实验教科书·化学2(必修)[M]. 北京: 人民教育出版社, 2013: 64.
- [3] 宋心琦, 王晶, 李文鼎. 普通高中课程标准实验教科书·有机化学基础[M]. 北京: 人民教育出版社, 2015: 9~81.
- [4] 教育部考试中心. 2017年普通高等学校招生全国统一考试大纲的说明(理科)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016: 359~361.
- [5] 尚凡朋. 同分异构体数目问题的解题方法[J]. 中学化学教学参考, 2016, (20): 37~38.
- [6] 杨生贵. 浅析苯环上取代产物同分异构体种类的确定[J]. 中学化学教学参考, 2015, (22): 67~68.
- [7] 徐文华. 浅析有限制条件同分异构体引入的意义及解题策略[J]. 化学教育, 2012, (11): 54~56.
- [8] 董军. 有机物同分异构体书写方法的系统学习[J]. 中学化学教学参考, 2008, (05): 26~27.
- [9] 赵国营. 浅析高三有机物同分异构体复习[J]. 科技展望, 2015, (25): 291.
- [10] 张顺清, 陈锐. 换元法快速求算有机取代产物的同分异构体[J]. 中学化学, 2008, (12): 22~24.
- [11] 王磊, 支瑶. 化学学科能力及其表现研究[J]. 教育学报, 2016, 12(04): 46~56.
- [12] 张明. 凸显学科素养的化学试题及高考复习研究[M]. 西安: 陕西师范大学出版总社, 2016: 188~196.