



普通高等教育“十二五”规划教材

有机化学

学习指导

主 编 崔 玉 杨小凤 郑鲁沂



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

有机化学学习指导

主编 崔 玉 杨小凤 郑鲁沂

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十二五”规划教材《有机化学》的配套教材。全书共十八章,除绪论外,主要内容包括烃、烃的衍生物、天然有机化合物、立体异构、有机波谱分析、周环反应及有机合成路线设计。每章(第一章除外)分3个栏目:知识要点、例题解析、部分习题与解答。知识要点将各章需要掌握的重点内容进行详细归纳总结;例题解析选取与重点内容相关的例题作解析,使读者能够掌握解题的基本思路;部分习题与解答按照与《有机化学》相同的顺序,给出各章主要习题的答案,以便读者查阅与核对。本书以基础知识为主,重在强化对有机化学基本理论和基本反应的理解与应用。

本书可作为高等学校化学、应用化学、化学工程与工艺、材料科学、制药工程、环境工程、生物工程等相关专业的教学参考书,也可作为备考相关专业研究生的复习资料。

图书在版编目(CIP)数据

有机化学学习指导/崔玉,杨小凤,郑鲁沂主编. —北京:科学出版社, 2015.6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-044645-9

I. ①有… II. ①崔… ②杨… ③郑… III. ①有机化学—高等学校—教学参考资料 IV. ①O62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第124553号

责任编辑:郭慧玲/责任校对:赵桂芬

责任印制:赵 博/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2015年6月第一次印刷 印张:14 3/4

字数:365 000

定价:46.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

有机化学是化学、应用化学、化学工程与工艺、材料科学、制药工程、环境工程、生物工程等相关专业的一门重要课程。有机化学课程内容繁杂、化学反应错综复杂,难于“理清”,不易“学透”。帮助学生掌握基本概念和原理,抓住结构与性质的对应关系,是学好有机化学的基础和先决条件。

本书设有3个栏目:知识要点、例题解析、部分习题与解答。通过知识要点,帮助学生对众多的知识点分类归纳总结,抓住结构与性质相对应这条主线,结合有机化合物的结构分析不同类型的化合物的性质;通过例题解析,把教学中的基本要求、重点和难点内容对学生进行针对性训练;通过部分习题与解答,帮助学生深化教学内容,提高运用所学知识解决问题的能力,同时查漏补缺。

参加本书编写工作的主要有崔玉(第一至七章)、杨小凤(第八至十三章)、郑鲁沂(第十四至十八章),全书由崔玉、杨小凤统稿、定稿。

尽管在编写过程中,编者力求避免疏漏,但由于教学水平和能力有限,书中难免有不当之处,恳请各位同仁和读者不吝赐教。

编 者
2014 年 12 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第二章 烷烃	3
第三章 烯烃	9
第四章 炔烃、二烯烃	20
第五章 环烷烃	31
第六章 芳香烃	40
第七章 立体异构	56
第八章 有机波谱分析	67
第九章 卤代烃	80
第十章 醇、酚、醚	93
第十一章 醛和酮	113
第十二章 羧酸	134
第十三章 羧酸衍生物、乙酰乙酸乙酯、丙二酸二乙酯	148
第十四章 含氮有机化合物	168
第十五章 杂环化合物	190
第十六章 周环反应	201
第十七章 糖类化合物	212
第十八章 有机合成路线设计	222

第一章 绪 论

I. 知 识 要 点

1. 有机化合物和有机化学：有机化合物指碳氢化合物及其衍生物；有机化学是研究有机化合物的来源、制备、结构、性能、应用以及有关理论和方法学的科学。
2. 有机化合物的特征：可燃性；熔点低；难溶于水，易溶于有机溶剂；反应速率慢；反应产物复杂，常有副反应发生，产率低；异构现象普遍存在。
3. 共价键：两个原子共用一对电子，这样的化学键称为共价键。
4. 共价键的断裂一般有两种方式：

(1) 均裂：生成自由基活性中间体，进行自由基型反应。

(2) 异裂：生成碳正离子或碳负离子，进行离子型反应。其中碳正离子发生亲电反应，碳负离子发生亲核反应。

5. 杂化规律

在教材中讨论了碳原子轨道的 sp^3 、 sp^2 和 sp 杂化，它们有许多相同之处，但也有不同之处，现将杂化的一般规律简要叙述如下：

(1) 杂化是单一原子的轨道进行混合再均分的过程。

(2) 只有能量相近的轨道进行杂化，才能形成有效的杂化轨道。例如，碳原子的 $2s$ 轨道和 $2p$ 轨道能量很相近，可以进行杂化。

(3) 参加杂化的轨道数目与形成的杂化轨道数目相等。

(4) 多数杂化轨道的形状相似，但不完全相同。

(5) 在空间具有确定方向的轨道（如 p_x 、 p_y 、 p_z 等轨道）决定杂化轨道的方向性。而无方向性的 s 轨道，只是使杂化轨道更加“丰满”，对杂化轨道的方向无影响。

(6) 不同杂化轨道在空间的取向不同。其在空间的取向取决于参与杂化的轨道数目，即形成的杂化轨道数目。例如， sp^3 杂化形成四面体（键角 109.5° ）构型， sp^2 杂化形成平面三角形（键角 120° ）构型，而 sp 杂化形成直线形（键角 180° ）构型。

6. 有机反应的类型

(1) 根据化学键的断裂和生成方式分类，可分为以下三种类型：

(i) 离子型反应：有机化合物分子中的键发生异裂，通常生成离子中间体。

(ii) 自由基型反应：有机化合物分子中的键发生均裂，通常生成自由基中间体。

(iii) 协同反应：有机化合物分子中旧键的断裂和新键的生成同时进行，经环状过渡态生成产物。

(2) 根据反应物和产物的结构关系分类，可分为多种类型，如取代反应、加成反应、消除反应、氧化还原反应、重排反应、聚合反应、缩合反应等。

7. 分子间作用力：包括偶极-偶极相互作用、范德华力和氢键。其吸引力的大小顺序为：氢键

» 偶极-偶极相互作用 » 范德华力。

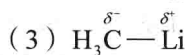
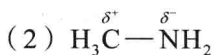
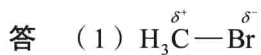
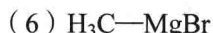
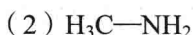
8. 官能团是指分子中比较活泼而容易发生反应的原子或基团, 它通常决定化合物的主要性质, 反映化合物的主要特征。

II. 部分习题与解答

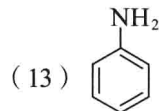
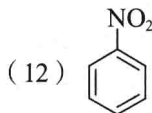
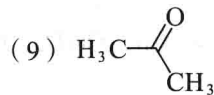
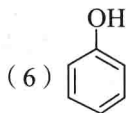
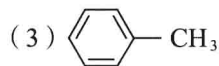
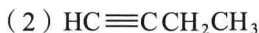
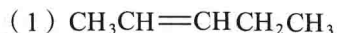
1. 典型有机化合物和典型无机化合物性质有什么不同?

答 物理性质方面: 典型有机化合物的熔点及沸点低; 许多有机化合物难溶于水而易溶于有机溶剂。化学性质方面: 有机化合物对热的稳定性差, 往往受热燃烧而分解; 有机化合物的反应速率较慢, 一般需要光照、催化剂或加热等方法加速反应的进行; 有机化合物的反应产物通常是复杂的混合物, 需要进一步分离和纯化。

2. 用 δ^+ / δ^- 符号对下列化合物的极性作出判断。



4. 指出下列各化合物所包含官能团的名称。



- 答** (1) 碳碳双键 (2) 碳碳叁键 (3) 苯基 (4) 卤基(氯) (5) 醇羟基
(6) 酚羟基 (7) 醚键 (8) 醛基 (9) 酮羰基 (10) 羧基
(11) 酯基 (12) 硝基 (13) (苯) 氨基

第二章 烷 烃

I. 知 识 要 点

一、通式和构造异构

(1) 烃、烷烃：只含有碳和氢两种元素的有机化合物统称烃；烃分子中碳原子以单键相连，碳骨架为开链结构的称为烷烃。

(2) 通式：烷烃的通式为 C_nH_{2n+2} 。

(3) 同系列和同系物：具有同一通式，组成上相差 CH_2 及其整数倍的一系列化合物称为同系列。同系列中的各化合物互为同系物。

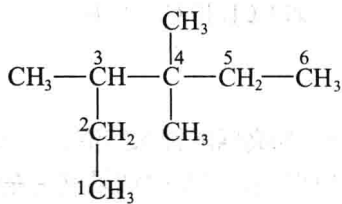
(4) 构造异构：分子中原子的连接顺序不同形成的异构体称为构造异构，如丁烷和异丁烷。

二、命名

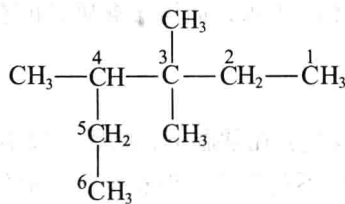
系统命名法：

(1) 选主链。在分子中选择一条最长的直链作为主链，根据主链的碳原子总数为某烷，将主链以外的其他烷基看作主链上的取代基。烷基是由烷烃分子除去一个或几个氢原子剩下的部分，通常用 R—表示。

(2) 编号。从靠近取代基的一端开始编号，使取代基编号位次最小（取代基尽可能多，小取代基位次尽可能小，取代基的原子相同时，则依次比较和该原子相连的原子）。



取代基编号为 3,4,4



取代基编号为 3,3,4

后者的取代基编号比前者小，故前者错误，后者正确。

(3) 取代基的排列次序。用阿拉伯数字表示取代基位置，用汉字（一、二、三……）表示相同取代基个数，写在取代基名称前面，若含有不同的取代基，则优先级别低的写在前面，优先级别高的写在后面。例如，上例中化合物名称为 3,3,4-三甲基己烷。

三、构型

(1) 构型：指具有一定构造的分子中原子在空间的排列状况。

(2) 甲烷的构型：正四面体构型。

(3) 烷烃分子中碳原子的杂化状态： sp^3 杂化。

(4) σ 键的形成及其特征。

原子轨道沿键轴相互重叠，形成对键轴呈圆柱形对称的轨道称为 σ 轨道。 σ 轨道上的电子称为 σ 电子。 σ 轨道构成的共价键称为 σ 键。

σ 键的键能较大，可极化性较小，可以沿键轴自由旋转而不易被破坏。化学性质稳定，常温下不与强酸、强碱、强氧化剂、强还原剂反应。

四、构象

由于碳碳单键 (σ 键) 可以“自由”旋转，分子中原子或基团在空间产生不同的排列，这种特定的排列形式称为构象 (conformation)。由单键旋转而产生的异构体称为构象异构体 (conformer)。构象式一般用透视式和纽曼投影式表示。

乙烷分子可以有无数种构象，但从能量的观点看只有两种极限式构象：交叉式构象和重叠式构象。交叉式构象中两个碳原子上的氢原子距离最远，相互间斥力最小，因而能量最低，稳定性也最大，这种构象称为优势构象。在重叠式构象中，两个碳原子上的氢原子两两相对，相互间斥力最大，能量最高，也最不稳定。其他构象能量介于二者之间。

丁烷绕 C_2-C_3 σ 键旋转时，将产生无数构象式，将重叠式与交叉式构象称为极限构象式，它们分别为部分重叠式、全重叠式、邻位交叉式和对位交叉式。其中，对位交叉式是优势构象，即分子的最稳定构象。

五、物理性质

(1) 直链烷烃的物理常数 (如熔点、沸点、相对密度) 随相对分子质量的增加而有规律地增加。

(2) 碳原子数相同的烷烃支链越多，沸点越低。

(3) 碳原子数相同的烷烃对称性越好，熔点越高。

(4) 烷烃不溶于水，而溶于非极性的有机溶剂 (如 CCl_4 和 CS_2) 中。

六、化学性质

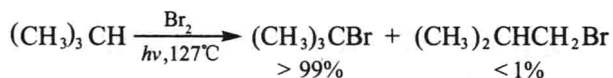
(1) 氧化反应：在常温下，烷烃一般不与氧化剂 (如高锰酸钾水溶液、臭氧等) 反应，与空气中的氧气也不起反应。但在空气 (氧气) 中可以燃烧，燃烧时如果氧气充分则完全氧化生成二氧化碳和水，同时放出大量热能。

(2) 裂化反应：烷烃可发生裂化反应，但反应很复杂。

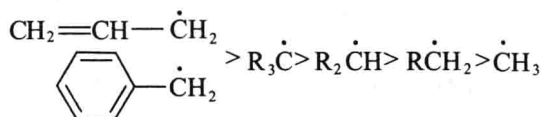
(3) 卤化反应：自由基机理。

自由基反应：反应中间体为自由基的机理称为自由基反应。一般机理包括链引发、链增长和链终止。

烷烃分子中的氢原子均可被卤原子取代，不同氢原子的相对活性都是 $3^\circ > 2^\circ > 1^\circ$ 。例如：

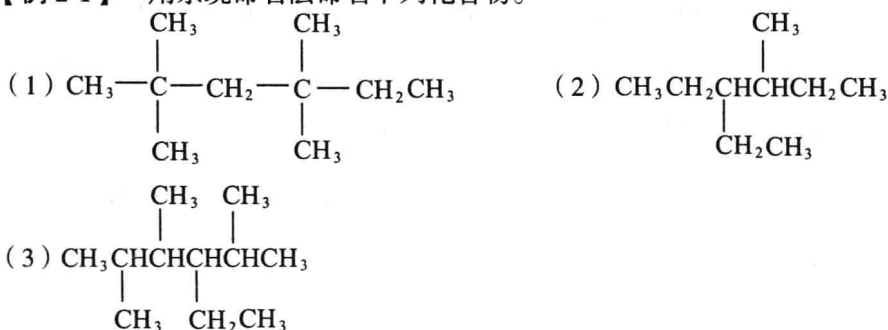


自由基：带单电子的原子或基团。烷基自由基的 C—H σ 键（超共轭效应）越多越稳定。例如：



II. 例题解析

【例 2-1】 用系统命名法命名下列化合物。

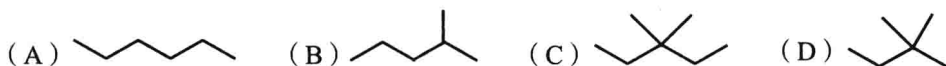


答 (1) 母体为己烷，从靠近取代基的一端开始编号，名称为 2,2,4,4-四甲基己烷。

(2) 母体为己烷，从靠近小取代基的一端开始编号，名称为 3-甲基-4-乙基己烷。

(3) 母体为己烷，从靠近取代基的一端开始编号，使小取代基位次尽可能小，名称为 2,3,5-三甲基-4-乙基己烷。

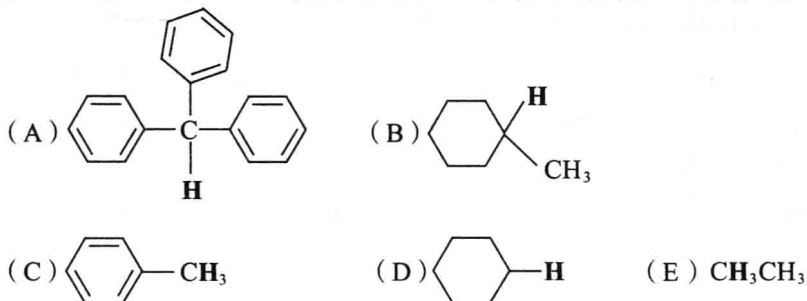
【例 2-2】 下列烷烃沸点最低的是



分析：烷烃的沸点随相对分子质量增加而明显提高。此外同碳数的各种烷烃异构体中，直链烷烃的沸点最高，支链烷烃的沸点比直链的低，且支链越多，沸点越低。所以四个选项沸点次序为 (C) > (A) > (B) > (D)。

答 (D)。

【例 2-3】 比较下列化合物的氢原子（粗体）自由基型氯代反应的活性。

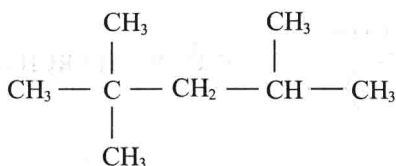


分析：碳自由基的稳定性： $\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH}-\dot{\text{C}}\text{H}_2 \\ | \\ \text{C}_6\text{H}_5-\dot{\text{C}}\text{H}_2 \end{array} > \text{R}_3\dot{\text{C}} > \text{R}_2\dot{\text{C}}\text{H} > \text{R}\dot{\text{C}}\text{H}_2 > \dot{\text{C}}\text{H}_3$

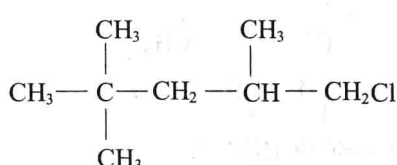
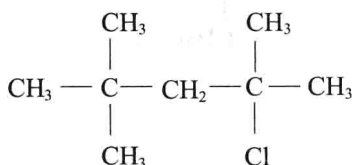
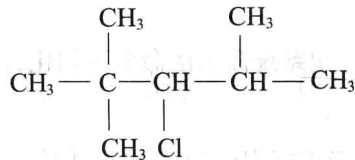
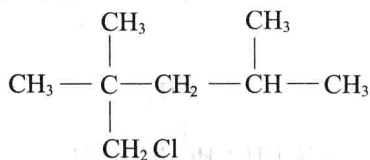
答 氯代反应活性：(A) > (C) > (B) > (D) > (E)。

【例 2-4】 写出 2,2,4-三甲基戊烷进行氯代反应可能得到的一氯代物的结构式。

答 2,2,4-三甲基戊烷的结构式为

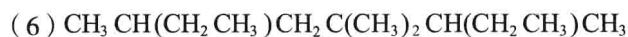
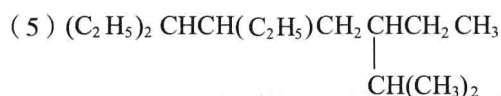
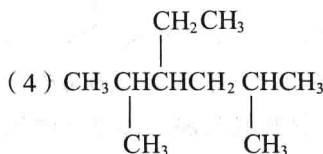
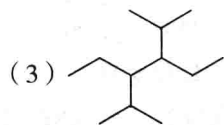


有 4 种不同类型的 H, 所以可能得到的一氯代产物有 4 种, 分别为



III. 部分习题与解答

2. 用系统命名法命名下列各化合物。



答 (1) 3-甲基-3-乙基庚烷

(2) 2,3-二甲基-3-乙基戊烷

(3) 2,5-二甲基-3,4-二乙基己烷 (取代基尽可能多)

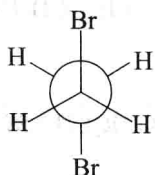
(4) 2,5-二甲基-3-乙基己烷

(5) 2-甲基-3,5,6-三乙基辛烷

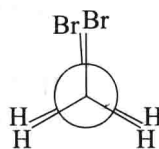
(6) 3,4,4,6-四甲基辛烷

3. 用纽曼投影式写出 1,2-二溴乙烷最稳定及最不稳定的构象, 并写出该构象的名称。

答

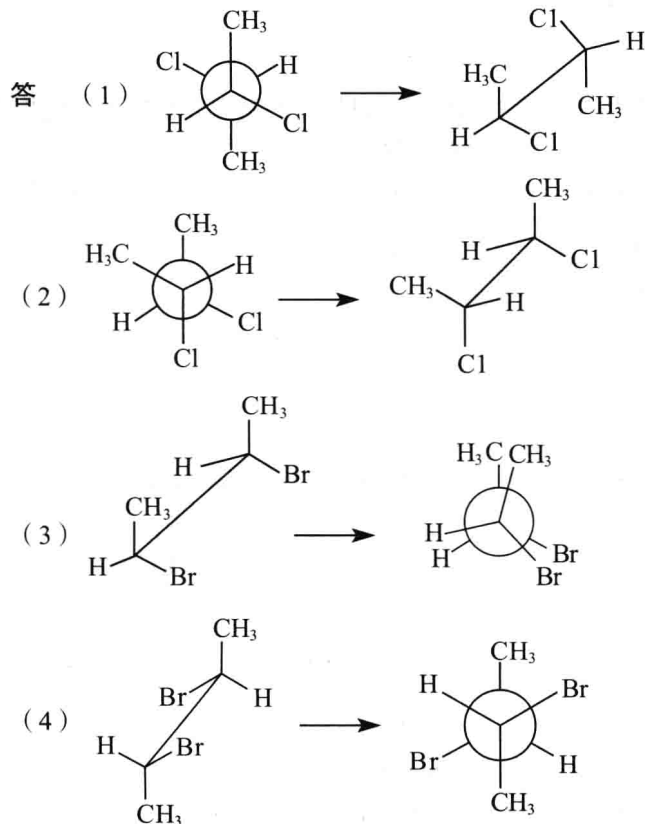
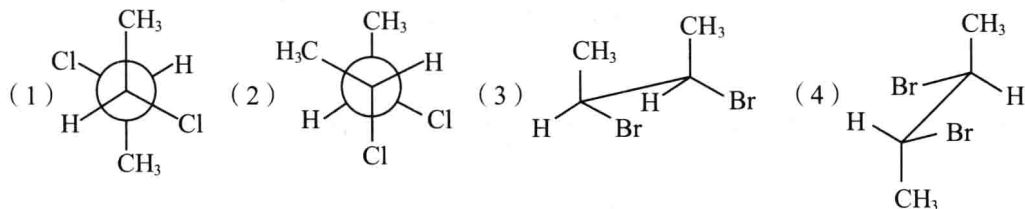


对位交叉式 最稳定



完全重叠式 最不稳定

4. 将下列投影式改为透视式，透视式改为投影式。



6. 不参阅物理常数表，试推测下列化合物沸点高低的一般顺序。

(1) 2,3-二甲基戊烷 (2) 正庚烷 (3) 2-甲基庚烷 (4) 正戊烷 (5) 2-甲基己烷

答 沸点由高到低的顺序是 (3) > (2) > (5) > (1) > (4)。

7. 已知烷烃的相对分子质量为 72，根据氯代反应产物的不同，试推测各烷烃的构造，并写出其构造式。

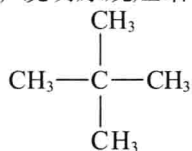
(1) 一元氯代产物只能有一种

(2) 一元氯代产物可以有三种

(3) 一元氯代产物可以有四种

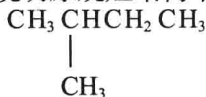
(4) 二元氯代产物只可能有两种

答 (1) 一元氯代产物只有一种，说明原烷烃结构中只有一种氢原子，所以其构造式为

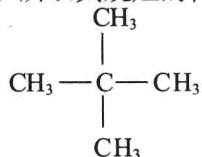


(2) 一元氯代产物可以有三种，说明原烷烃结构中有三种氢原子，所以其构造式为 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 。

(3) 一元氯代产物可以有四种, 说明原烷烃结构中有四种氢原子, 所以其构造式为



(4) 二元氯代产物只可能有两种, 所以其烷烃的构造式为



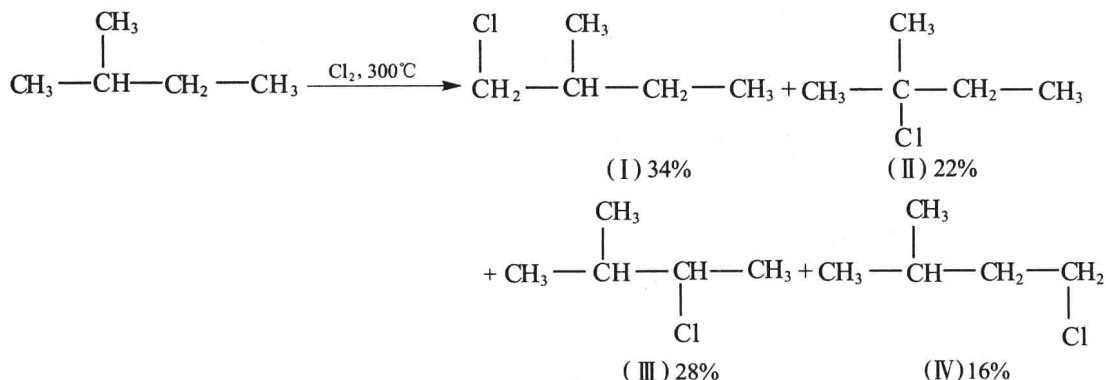
8. 等物质的量的乙烷和新戊烷的混合物与少量的氯反应, 得到的乙基氯和新戊基氯的物质的量比是 1 : 2.3。试比较乙烷和新戊烷中伯氢的相对活性。

答 设乙烷中伯氢的活性为 1, 新戊烷中伯氢的活性为 x , 则有

$$\frac{1}{6} = \frac{2.3}{12x}, \quad x=1.15$$

所以新戊烷中伯氢的活性是乙烷中伯氢活性的 1.15 倍。

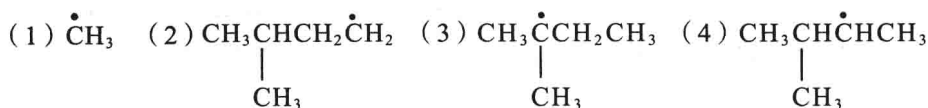
9. 异戊烷氯代时产生四种可能的异构体, 它们的相对含量如下:



上述的反应结果与碳自由基的稳定性为 $3^\circ > 2^\circ > 1^\circ > \text{CH}_3\cdot$ 是否矛盾? 解释之。

答 不矛盾。在高温下各产物的多少, 除与自由基的稳定性有关外, 还与产生某种自由基的概率有关, 即与不同位置上可取代氢的数目有关。可产生产物 (I) 的氢有 6 个, 每个的相对产量为 5.8%; 生成 (II) 的氢只有 1 个, 相对产量为 22%; 生成 (III) 的氢有 2 个, 每个的相对产量为 14%; 生成 (IV) 的氢有 3 个, 每个的相对产量为 5.3%。从上述不同单个自由基所生成的产物来看, 仍符合碳自由基的稳定性为 $3^\circ > 2^\circ > 1^\circ > \text{CH}_3\cdot$ 的规律。

11. 将下列自由基按稳定性大小排列成序。



答 自由基的稳定性顺序为 (3) > (4) > (2) > (1)。

第三章 烯 烃

I. 知 识 要 点

一、结构

(1) 只含有一个碳碳双键者称为单烯烃，碳碳双键 ($\text{C}=\text{C}$) 是烯烃的官能团。

(2) 双键碳为 sp^2 杂化， $\text{C}=\text{C}$ 中 π 键电子云暴露，易受亲电试剂的进攻，因此烯烃易发生亲电加成反应和氧化反应。当双键碳上连有给电子基团时，双键电子云密度增加，亲电加成活性增大。

(3) π 键的特征。

π 键是由两个 p 轨道侧面重叠而成的，重叠的程度比 σ 键要小得多，所以 π 键不如 σ 键牢固，不稳定而容易断裂。 π 键不能自由旋转。

(4) 构型异构与几何异构。

构型异构：分子中原子在空间的排列称为构型，分子由于构型不同而产生的异构体称为构型异构体，它是立体异构体的一种。

几何异构：双键上原子或基团排列次序不同而产生的异构现象，它属于构型异构。

几何异构标记和顺序规则：几何异构可用顺、反标记法，也可用 Z 、 E 标记法。当相同基团在双键的同一侧时称为顺式结构，相同基团在双键的两侧时称为反式结构。若两个优先级别高的基团在双键同侧时为 Z ，在异侧时为 E 。

基团的优先顺序规则：①比较与双键直接相连的原子，原子序数大的较为优先；②如果与双键直接相连的原子相同，再比较与该原子相连的原子的原子序数，如仍相同，再依次外推比较，直至比较出较优的基团为止；③碳碳双键和碳碳叁键可看作分别与两个碳和三个碳相连；④同位素重者优于轻者。

二、命名

烯烃一般采用系统命名法，其原则与烷烃相似。选含双键的最长碳链为主链，从靠近双键的一端对主链编号。双键的几何异构用顺、反或 Z 、 E 表示。

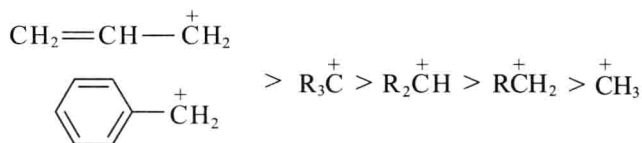
三、化学性质

(1) 亲电试剂与亲电加成：缺电子的试剂称为亲电试剂 (electrophile)，如正离子、易被极化的双原子分子（如卤素）和路易斯酸等。烯烃与亲电试剂所进行的加成反应称为亲电加成反应 (electrophilic addition reaction)。亲电加成是烯烃的特征反应。

(2) 马氏规则：卤化氢等极性试剂与不对称烯烃的亲电加成反应，酸中的氢原子总是加

到含氢较多的双键碳原子上, 卤素或其他原子及基团加到含氢较少的双键碳原子上。马氏规则的本质是碳正离子稳定性问题, 实质是反应中正性基团加到能生成更加稳定碳正离子的双键碳上。一般氢加到含氢较多的双键碳上能生成更加稳定的碳正离子, 因此遵循马氏规则。

(3) 碳正离子的稳定性: 碳正离子的碳为 sp^2 杂化, 平面结构, p 轨道为空轨道。超共轭效应越多, 碳正离子越稳定。给电子基团越多, 给电子能力越强, 碳正离子越稳定。一般顺序为

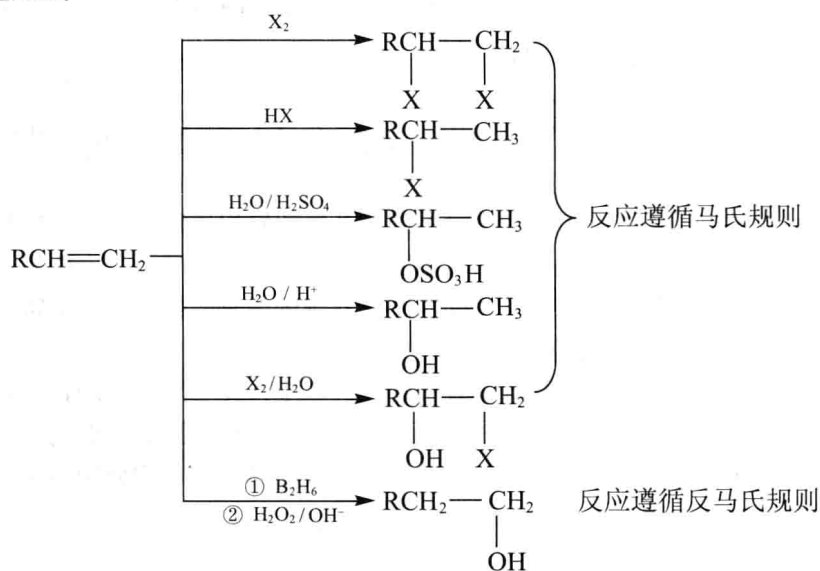


(4) 过氧化物效应: 在过氧化物存在下, 溴化氢与不对称烯烃的加成是反马氏规则, 这种由于过氧化物的存在而引起的烯烃加成取向的改变称为过氧化物效应。

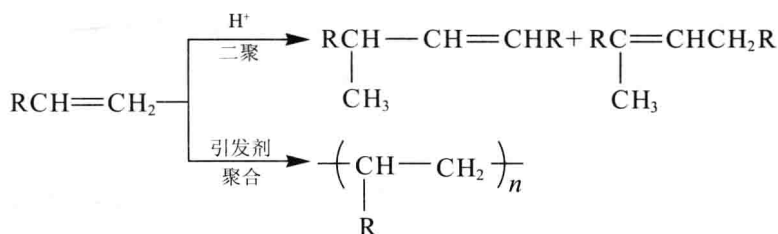
(5) 顺式加成和反式加成: 烯烃与硼烷的加成, B 与 H 从双键的同侧加到两个双键碳原子上, 称为顺式加成; 烯烃与卤素的加成, 两个卤原子分别从双键两侧加到双键碳原子上, 称为反式加成。

(6) 化学性质:

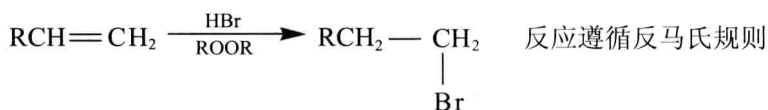
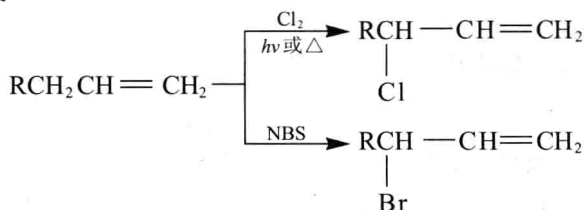
(i) 亲电加成



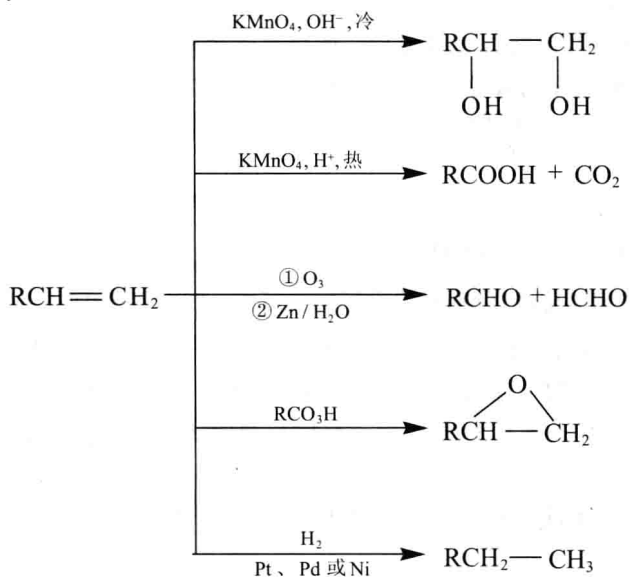
(ii) 聚合



(iii) 自由基加成

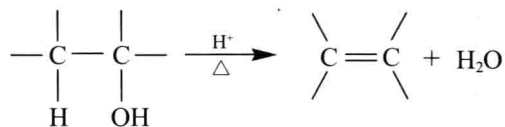
(iv) α -H 卤代

(v) 氧化还原

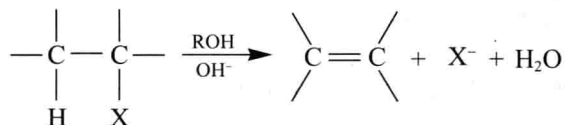


四、制备

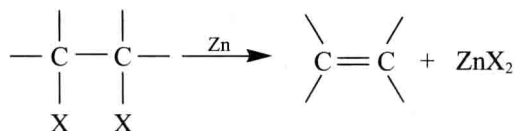
(1) 醇脱水：生成取代基多的烯烃。



(2) 卤代烷脱卤化氢：生成取代基多的烯烃。



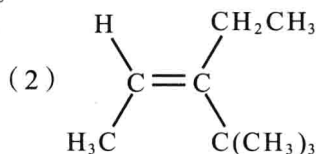
(3) 邻二卤代烷脱卤：



II. 例题解析

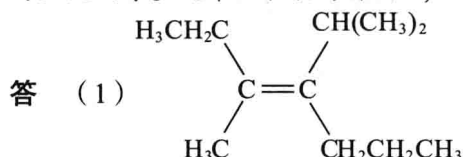
【例 3-1】命名下列化合物或写出结构式。

(1) (Z)-3-甲基-4-异丙基-3-庚烯



分析: (1) 母体为 3-庚烯, 其中一个双键碳上连有乙基和甲基, 乙基为优先基团; 另一个双键碳上连有异丙基和正丙基, 异丙基为优先基团; 由于双键为 Z 构型, 因此乙基和异丙基处于碳碳双键所在轴线同侧。

(2) 烯烃的系统命名原则与烷烃相似。选含双键的最长碳链为主链, 从靠近双键的一端开始对主链编号。题中化合物母体为 4,4-二甲基-3-乙基-2-戊烯, 几何异构为 Z。



答 (1)

(2) (Z)-4,4-二甲基-3-乙基-2-戊烯

【例 3-2】下列各组化合物分别与溴进行加成反应, 指出每组中哪一个反应较快。为什么?

(1) $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ 和 $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ (2) $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ 和 $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+\text{CH}=\text{CH}_2$ (3) $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ 和 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ (4) $\text{CHCl}=\text{CHCl}$ 和 $\text{CH}_2=\text{CHCl}$

分析: 烯烃与溴反应是亲电加成反应, 双键碳原子上连有供电子基对反应有利, 连吸电子基对反应不利。

答 (1) $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ 中 CF_3 是吸电子基, $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ 中 CH_3 是供电子基, 所以 $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ 反应较快。

(2) $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ 中 CH_3 是供电子基, $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+\text{CH}=\text{CH}_2$ 中 $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+$ 是吸电子基, 所以 $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ 反应较快。

(3) $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ 中 Cl 是吸电子基, 所以 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ 反应较快。

(4) $\text{CHCl}=\text{CHCl}$ 和 $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, 双键碳原子上连接的吸电子基越多, 对反应越不利, 所以 $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ 反应较快。

【例 3-3】完成下列反应式。

