



普通高中课程标准实验教科书

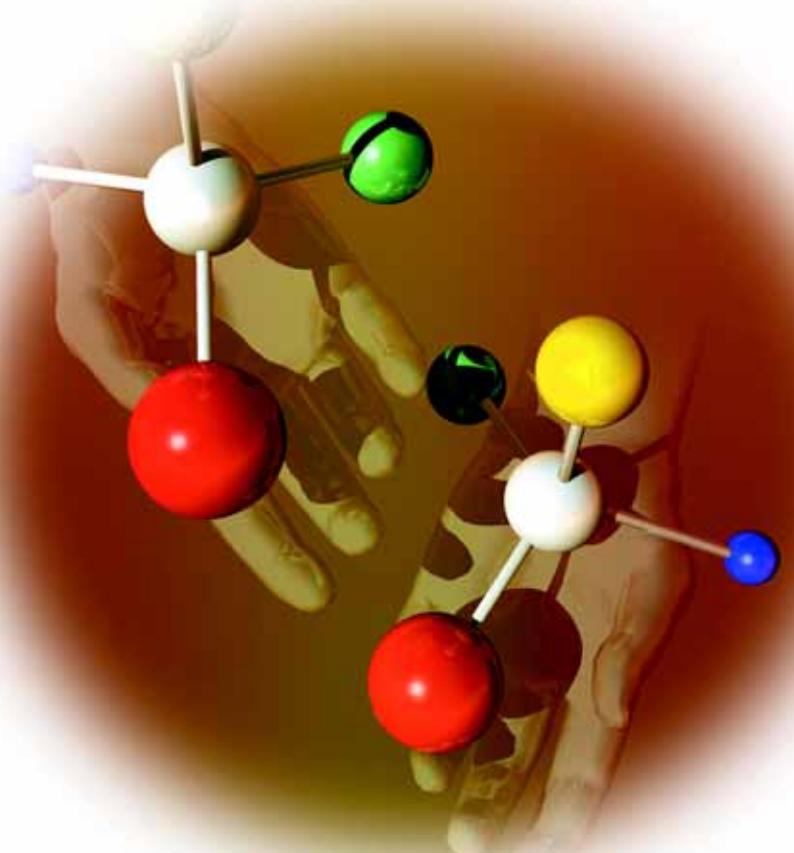
# 化 学

## 有机化学基础(选修)

北京师范大学国家基础教育课程标准实验教材总编委会组编

全套教材主编 王 磊 陈光巨

本册教材主编 曹居东 王 磊 尹冬冬



山东科学技术出版社

# 目录 CONTENTS

## 第1章 有机化合物的结构与性质 烃

第1节 认识有机化学 .....	2
第2节 有机化合物的结构与性质 .....	15
第3节 烃 .....	27
本章自我评价 .....	42

## 第2章 官能团与有机化学反应 烃的衍生物

第1节 有机化学反应类型 .....	45
第2节 醇和酚 .....	55
第3节 醛和酮 糖类 .....	68
第4节 羧酸 氨基酸和蛋白质 .....	81
本章自我评价 .....	94

## 第3章 有机合成及其应用 合成高分子化合物

第1节 有机化合物的合成 .....	97
第2节 有机化合物结构的测定 .....	108
第3节 合成高分子化合物 .....	116
本章自我评价 .....	127

# CONTENTS

## 附录

1. 各章节中的主要术语与物质名称 .....	129
2. 本册教材涉及的各类物质的主要化学反应 .....	131
元素周期表	

# 第1章

## 有机化合物的结构与性质

### 烃

通过化学必修课程的学习,以及在日常生活中对所接触到的有机化合物的了解,你对于有机化合物在结构和性质上与无机化合物的极大差异已有了深刻的印象,也许你会产生这样的疑问:为何会有那么多有机化合物?有机化合物的结构究竟有什么特点?有机化合物的结构和性质之间有什么关系?……

本章将介绍人类认识和应用有机化合物的简略历史,帮助你初步认识有机化合物的结构特征以及结构对有机化合物种类、数量和性质的影响,并通过组成较简单的一类有机化合物——烃的学习,敲开有机化学的探索之门。

第1节 认识有机化学

第2节 有机化合物的结构与性质

第3节 烃

本章自我评价

# 第1节 认识有机化学

## 联想·质疑

现在，人们不仅能认识和合成自然界里存在的有机化合物，还能合成大量自然界里不存在的有机化合物。有机化合物的提取与合成极大地促进了化学科学的发展；有机新材料、新药物的不断涌现，有力地提高了人类的文明程度。可以说，有机化学已经成为化学科学最重要的分支之一。那么，你知道有机化学是怎样建立和发展起来的吗？有机化学发展的前景如何？有机化合物种类繁多、数量巨大，为了研究有机化合物，应怎样对它们进行分类和命名呢？



隐形眼镜



人造心脏

图1-1-1 有机合成材料制成的隐形眼镜和人造心脏

在迄今为止已知的化合物中，有机化合物已有几千万种。**有机化学**( organic chemistry )就是以**有机化合物**( organic compound )为研究对象的学科。它的研究范围包括有机化合物的来源、结构、性质、合成、应用，以及有关理论和方法学等。当前，有机化学已经发展得比较成熟，但它仍然是一门充满挑战和机遇的、富有活力的学科。

## 一、有机化学的发展

有机化学作为一门学科，萌发于17世纪，创立并成熟于18、19世纪。20世纪这一学科发展成一门内容丰富、涵盖面广、充满活力的学科，21世纪它又进入崭新的发展阶段。

### 1. 萌发和形成阶段

到17世纪，人类已经学会了使用酒、醋、染色植物和草药，了解了一些有机化合物的性质、用途和制取方法等。我国人民应用有机化合物有着悠久的历史，早在公元前28世纪神农尝百草并撰写《百草经》时就已经开始实际应用有机化合物，周朝已设“酰人”和“染



人”等官职专门负责制造酒、醋、染料等。我国的蒸馏分离技术也先于欧洲 100 多年就出现了。

18 世纪，人们对天然化合物进行了广泛而具体的提取工作，得到了大量有机化合物。例如，瑞典化学家舍勒 (W.Scheele) 就曾提取到酒石酸、柠檬酸、苹果酸、乳酸和草酸等有机化合物。一些重要的有机化合物如尿素、胆固醇、奎宁和马钱子碱等，也是在那个时期被提取出来的。关于来自动植物体的天然化合物的知识积累，使人们愈来愈深刻地认识到这些化合物与从矿物中得到的另一类化合物有着明显的不同，对这两大类化合物应该采用不同的研究方法进行研究，这也就预示着一门新学科的诞生。

19 世纪初，瑞典化学家贝采里乌斯 (J.J.Berzelius) 首先提出“有机化学”和“有机化合物”这两个概念。他极有创意地用“有机”这个词表示来自动植物体的化合物，但他错误地认为有机化合物得自天成，人类只能提取而不能合成。

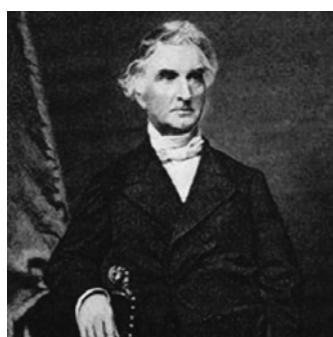


图 1-1-2 德国化学家 李比希  
(J.Liebig, 1803-1878)

1828 年，贝采里乌斯的学生维勒 (F.Wohler) 取得令科学界震惊的成果——首次在实验室里合成了尿素 [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] 这种有机化合物，实现了有机化合物与无机物之间的转化，打破了二者的界限，使人类从提取有机化合物进入了合成有机化合物的新时代。此后，醋酸、茜素、靛蓝甚至于脂肪等一系列天然有机化合物相继在实验室里被合成出来。1830 年，李比希 (J.Liebig) 创立了有机化合物的定量分析方法；1848~1874 年之间，关于碳的价键、碳原子的空间结构等理论逐渐趋于完善，之后建立了研究有机化合物的官能团体系，使有机化学成为一门较完整的学科。

## 2. 发展和走向辉煌时期

进入 20 世纪，随着社会的发展和数学、物理学等相关学科一系列研究成果的出现，有机化学有了极大的发展。关于有机化学结构理论的建立和有机反应机理的研究，使人们对有机反应有了新的掌控能力。红外光谱 (IR)、核磁共振谱 (NMR)、质谱 (MS) 和 X 射线衍射 (XRD) 等物理方法的引入，使有机分析达到了微量、高效、准确的程度。随着逆推法合成设计思想的诞生以及有机合成路线设计实现程序化并进入计算机设计时代，新化合物的合成速度大大提高。现在，人类不但能深入、广泛地了解自然界里存在的绝大部分物质的结构，而且能逐一地合成它们。例如，结构复杂的马钱子碱、肾上腺素、维生素 B<sub>12</sub> 和红霉素等，甚至于结构极其复杂的海葵毒素都已被合成出来。

### 资料在线

#### 酒石酸、苹果酸和奎宁

酒石酸 (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub>) 主要以钾盐的形式存在于葡萄等多种果实中；苹果酸 (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>5</sub>) 广泛存在于未成熟的水果如苹果、菠萝中。酒石酸和苹果酸广泛用于食品工业。

奎宁 (C<sub>20</sub>H<sub>24</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 存在于金鸡纳树皮中，是最早被人类使用的特效抗疟剂。

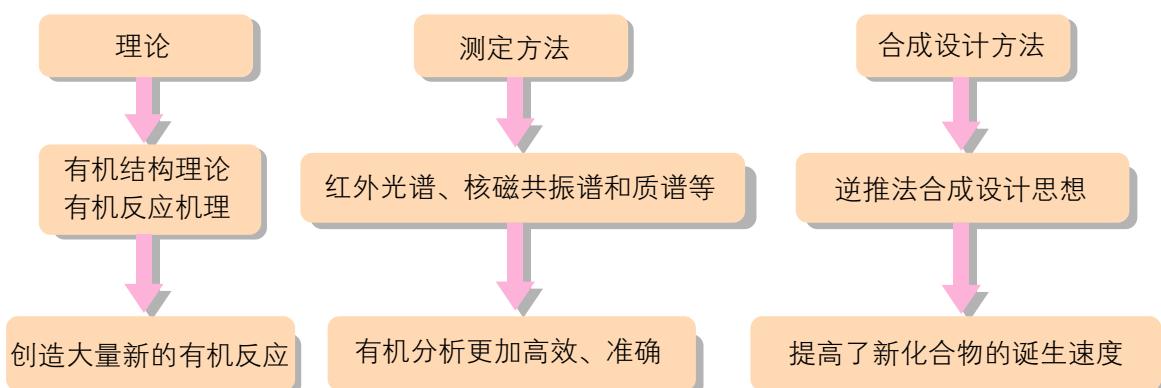


图 1-1-3 20世纪有机化学发展示意图



## 资料在线

## 海葵毒素

海葵毒素是从海洋生物中分离出的一种剧毒物质，分子式为  $C_{129}H_{223}N_3O_{54}$ ，可能存在的异构体数目为  $2^{71}$ ，因此合成海葵毒素是一项极具挑战性的工作。

哈佛大学 Kishi 教授领导的研究小组经过 8 年努力，于 1989 年完成了海葵毒素的全合成。

海葵毒素的全合成是有机化学 100 多年来积极探索、不断积累的结果，它的成功预示着有机合成必将步入新的辉煌。

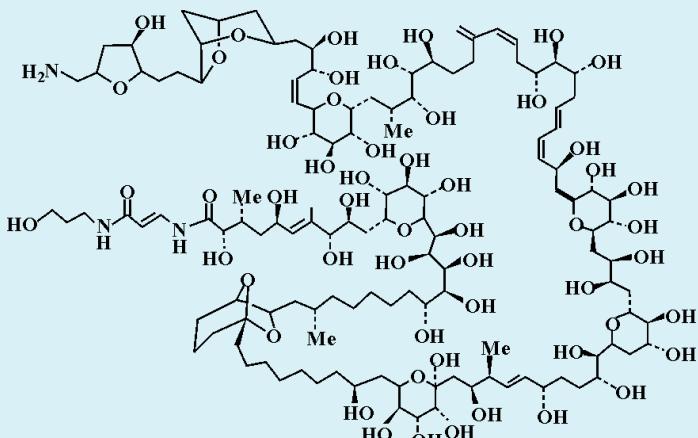


图 1-1-4 海葵毒素的结构简式

可以说，凡是自然界里存在的有机化合物，运用有机化学方法都可以合成出来；即使是那些自然界里并不存在但人类的生存和发展需要的有机化合物，如各种合成药物、合成纤维、涂料、黏合剂、防火和防水材料等，运用有机化学方法也能合成出来。在人工合成的有机化合物中，有一大批是具有高生理活性、分子结构新颖而复杂的物质。破译并合成蛋白质，认识并改造遗传分子，从分子水平上揭示生命的奥秘，有机化学都发挥着巨大的作用，从而有机化学进入了生命科学的最高殿堂。

当代的有机化学研究领域广阔，分支门类齐全，与多种学科密切相关。有机化学的分支学科包括有机分析化学、有机合成化学、天然产物

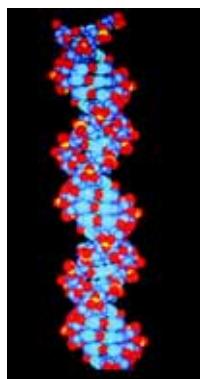


图 1-1-5 DNA 的双螺旋结构



化学、元素有机化学、金属有机化学、物理有机化学、生物有机化学、药物化学、高分子化学、农药化学等。这些分支学科的发展，使有机化学成为相关工业的基础。

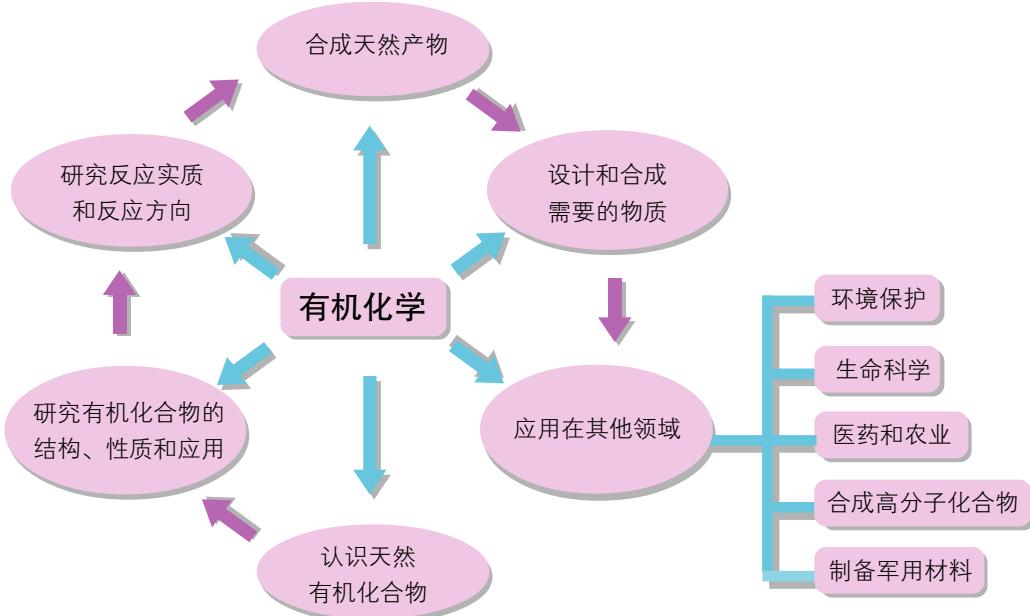


图 1-1-6 有机化学应用示意图

进入 21 世纪，有机化学迎来了快速发展的黄金时代。随着有机化学的发展，人们将揭示生物学和生命科学的许多奥秘；创造出更多的具有优异性能的材料；以对环境友好的方式生产出更多的食品，等等。在能源、材料、人类健康、环境、国防等领域里，在推动科技发展、社会进步、提高人类生活质量、改善人类生存环境的过程中，有机化学已经并将继续显现出它的高度开创性和解决重大问题的巨大能力。



### 资料在线

#### 21世纪有机化学面临的一些挑战

- ◆ 利用计算机设计重要的目标分子以及合成它们的有效途径。
  - ◆ 发明更轻、更耐用、价格更低廉和可循环利用的材料。
  - ◆ 认识酶具有高效活性的原因，设计可与最好的酶媲美的人工仿生催化剂，并利用它们合成及生产重要的材料。
  - ◆ 合成一些像肌肉等生理体系一样具有刺激响应性的材料。
  - ◆ 合成可以自组装成有序体系并具备重要功能的新物质。
  - ◆ 发展清洁燃料以及将煤转化为清洁燃料的技术。
  - ◆ 透彻认识生命的化学本质，包括大脑及其记忆的化学本质。
  - ◆ 制造模仿生物细胞功能的、有组织的化学系统。
  - ◆ 开发并生产能治疗各种重大疾病的特效药物，了解个体基因差异对特定药物的不同反应，能够更好地将药物送到身体中的指定部位。
  - ◆ 发明不会长期存留、专一性更强的农用化学品，开发安全的食品添加剂。
- .....

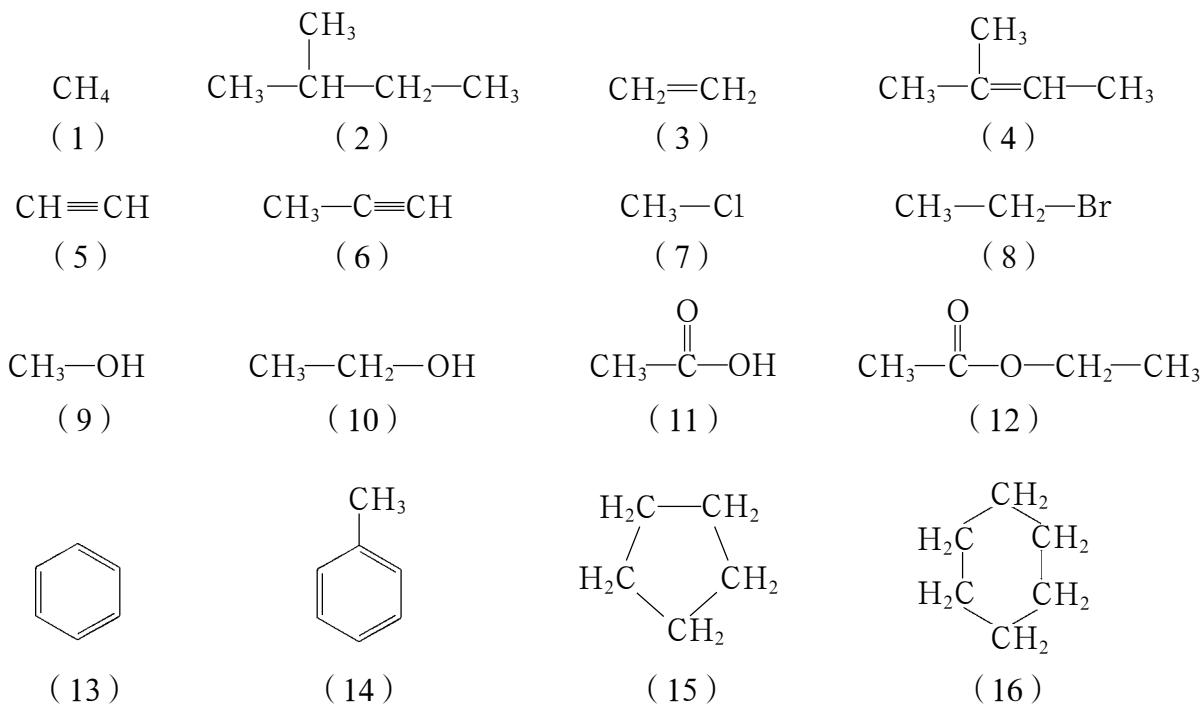
## 二、有机化合物的分类和命名

有机化合物种类繁多、数量巨大。为了便于认识和研究有机化合物，有必要对有机化合物进行科学的分类和命名。

### 1. 有机化合物的分类

#### 交流·研讨

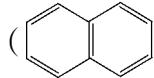
下面列出了16种有机化合物的结构简式，请与同学们讨论，尝试从不同角度对它们所代表的物质进行分类。



例：根据碳骨架的形状进行分类：(1)~(12)为一类；(13)~(16)为一类。

对于有机化合物，可以从不同的角度进行分类。根据组成中是否有碳、氢以外的元素，分为烃和烃的衍生物；根据分子中碳骨架的形状，分为链状有机化合物和环状有机化合物；根据分子含有的特殊原子或原子团（官能团），分为烯烃、炔烃、芳香烃、卤代烃、醇、酚、醛、酮、羧酸、酯等。



从元素组成来看，只由碳、氢两种元素组成的有机化合物称为烃(hydrocarbon)，如甲烷、乙烯、苯、环己烷等。在烃中，从分子中碳骨架的形状来看，分子中碳原子间结合成链的称为链烃(又称脂肪烃)，分子含有碳环的称为环烃。链烃中，分子中的碳原子之间都以单键相连的称为烷烃(alkane)，如甲烷、丙烷( $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ )；分子中碳原子间有碳碳双键的称为烯烃(alkene)，如乙烯、丙烯( $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$ )；分子中碳原子间有碳碳叁键的称为炔烃(alkyne)，如乙炔( $\text{CH}\equiv\text{CH}$ )、丙炔( $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH}$ )。环烃中，分子中有苯环的称为芳香烃(aromatic hydrocarbon)，如苯、甲苯、萘()；分子中没有苯环的称为脂环烃。脂环烃中，碳环中的碳原子之间完全以单键相连的称为环烷烃(cycloalkane)，如环戊烷()、环己烷().

乙醇、乙醛、一氯甲烷等有机化合物，其组成元素中除碳、氢两种元素外还含有氧、氯等元素，它们的分子可以看做是烃分子中的氢原子被有关原子或原子团取代后的产物，这些有机化合物称为烃的衍生物(derivative of hydrocarbon)。烃的衍生物种类很多，卤代烃、醇、酚、醛、酮、羧酸、酯等都是烃的衍生物。

常见有机化合物的分类如图1-1-7所示。

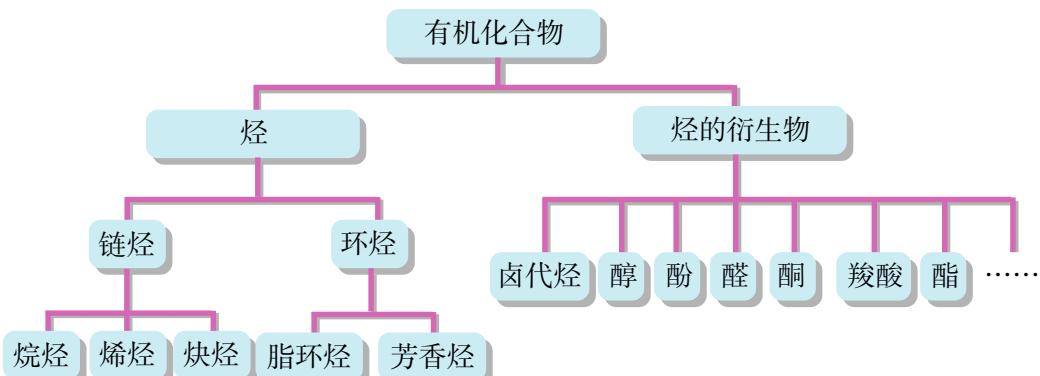


图1-1-7 常见有机化合物的分类

有机化合物分子中，比较活泼、容易发生反应并反映着某类有机化合物共同特性的原子或原子团称为官能团(functional group)。例如，一氯甲烷分子含有的卤素原子( $-\text{Cl}$ )，乙烯分子含有的碳碳双键( $\text{C}=\text{C}$ )，乙醇分子含有的羟基( $-\text{OH}$ )和乙醛分子含有的醛基

$(-\text{C}=\text{O}-\text{H})$ 等官能团。表1-1-1列出的是有机化合物的一些主要类别及其所含的主要官能团。

### 方法导引

对一些有机化合物特别是环状有机化合物，常用键线式表示其结构。键线式中，只要求写出碳碳键及与碳原子相连的官能团，并用近似的键角表示。例如：

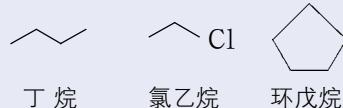




表1-1-1

有机化合物的一些主要类别及其所含的主要官能团

类 别	官能团的 结构及名称		有机化合物举例		
烃	烷烃	—	CH <sub>4</sub> 甲烷	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$ 2-甲基丁烷	
	烯烃	$\begin{array}{c} \diagdown \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \end{array}$ 碳碳双键	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub> 乙烯	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 \end{array}$ 4-甲基-2-戊烯	
	炔烃	$-\text{C}\equiv\text{C}-$ 碳碳叁键	CH≡CH 乙炔	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$ 2-丁炔	
	芳香烃	—		$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 \end{array}$ 甲苯	 萘
烃的衍生物	卤代烃	-X 卤素原子	CH <sub>3</sub> -I 碘甲烷	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -Br 溴乙烷	
	醇	-OH (醇)羟基	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -OH 乙醇	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$ 丙三醇(甘油)	
	酚	-OH (酚)羟基		 萘酚	
	醛	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{H} \end{array}$ 醛基	H-C=O-H 甲醛	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$ 乙醛	
	酮	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{R} \\   \\ (\text{R}') \quad \text{C}=\text{O} \end{array}$ 羰基 (R')酮羰基	CH <sub>3</sub> -C(=O)-CH <sub>3</sub> 丙酮	 环己酮	

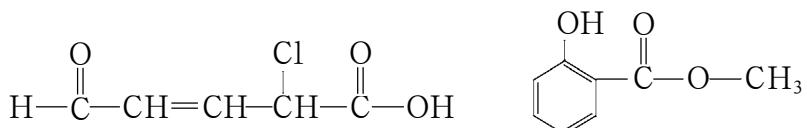


续表

类别	官能团的结构及名称	有机化合物举例		
烃的衍生物	羧酸 -C(=O)-OH 羧基	CH <sub>3</sub> -C(=O)-OH 乙酸	HO-C(=O)-C(=O)-OH 乙二酸	
	酯 -C(=O)-O-(R) 酯基	CH <sub>3</sub> -C(=O)-O-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub> 乙酸乙酯	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>15</sub> CH <sub>2</sub> -C(=O)-OCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>15</sub> CH <sub>2</sub> -C(=O)-OCH(OH) CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>15</sub> CH <sub>2</sub> -C(=O)-OCH <sub>2</sub> 硬脂酸甘油酯	

## 迁移·应用

你已经认识了一些有机化合物的官能团,请运用所学知识判断以下两种有机化合物各有哪些官能团。



分子结构相似,组成上彼此相差一个 $\text{CH}_2$ 或其整数倍的一系列有机化合物为同系列(homologous series)。同系列中的各化合物互称同系物(homologous compound)。例如,烷烃同系列:甲烷( $\text{CH}_4$ )、乙烷( $\text{C}_2\text{H}_6$ )、丙烷( $\text{C}_3\text{H}_8$ )、丁烷( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )……分子中只有一个碳碳双键的烯烃同系列:乙烯( $\text{C}_2\text{H}_4$ )、丙烯( $\text{C}_3\text{H}_6$ )、丁烯( $\text{C}_4\text{H}_8$ )、戊烯( $\text{C}_5\text{H}_{10}$ )……

同系物的组成可用通式表示。例如,烷烃的组成通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ( $n$ 表示分子中的碳原子个数, $n \geq 1$ ),分子中只有一个碳碳双键的烯烃的组成通式为 $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ ( $n \geq 2$ )。

## 2. 有机化合物的命名

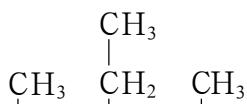
对于种类繁多、数量巨大的有机化合物来说,命名问题十分重要。在有机化学中广泛采用系统命名法对有机化合物进行命名。

烷烃的分子结构相对简单,可以看做其他烃及烃的衍生物的母体,因此有机化合物的命名一般以烷烃的命名为基础。分子中没有支链的烷烃,是根据分子中所含碳原子的数目来命名的:碳原子数在10以下的,用甲、乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸来表示;碳原子数在10以上的,用汉字数字来表示。例如, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$ 称为戊烷, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CH}_3$ 称为十六烷。



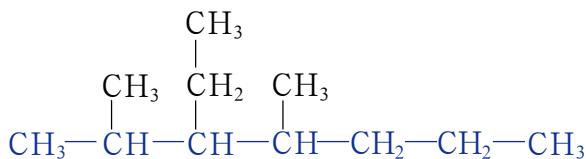
对于分子中有支链的烷烃来说，采用系统命名法命名时要经过选主链、定编号、写名称等步骤。

## 交流·研讨

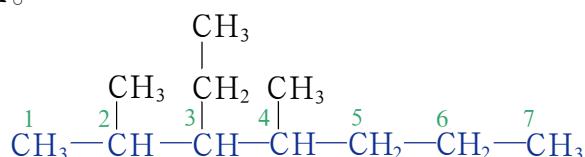


现以  $\text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  为例，学习这类烷烃的系统命名法。

1. 选主链 选含碳原子数目最多的碳链为主链，将连在主链上的原子团看做取代基。按照主链碳原子的个数称为“某烷”。该烷烃分子中最长的碳链（下式蓝色碳链）含有七个碳原子，主链名称为庚烷。

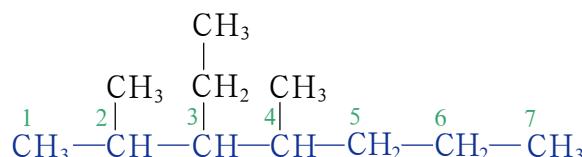


2. 定编号 从距离取代基最近的一端开始，用阿拉伯数字给主链的碳原子依次编号以确定取代基的位置。

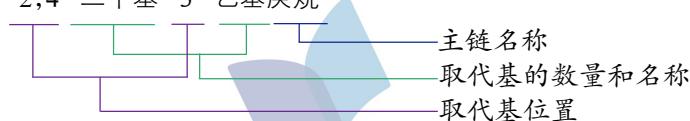


3. 写名称 将取代基的名称写在烷烃名称的前面，在取代基前面用阿拉伯数字注明它在烷烃主链上所处的位置，并用短线“-”将数字与取代基名称隔开。若主链上有相同的取代基，可以将取代基合并，用汉字数字表示取代基的个数，用“，”将表示取代基位置的阿拉伯数字隔开；主链上有不同的取代基，要把简单的写在前面、复杂的写在后面。

关于该烷烃的命名可图解为：



2,4-二甲基-3-乙基庚烷



### 知识支持

#### 取代基

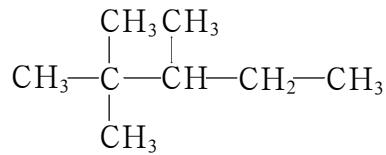
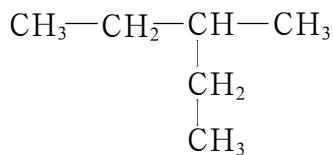
连接在有机化合物分子中主链上的原子或原子团称为取代基。烃分子去掉一个或多个氢原子之后剩余的部分称为烃基。其中，烷烃分子去掉一个或多个氢原子之后剩余的基团称为烷基。常见的烷基有：

$\text{CH}_3-$	甲基
$\text{CH}_3\text{CH}_2-$	乙基
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-$	丙基
$\text{CH}_3\text{CH}-$ $\quad\quad\quad\text{CH}_3$	异丙基
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	丁基
$\text{CH}_3\text{CHCH}_2-$ $\quad\quad\quad\text{CH}_3$	异丁基
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}-$ $\quad\quad\quad\text{CH}_3$	仲丁基
$\text{CH}_3-\text{C}-$ $\quad\quad\quad\text{CH}_3$	叔丁基
$\text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_2-$ $\quad\quad\quad\text{CH}_3$	新戊基

在对有机化合物系统命名时，可以把烃基(包括烷基)等看做取代基。



请结合上例与同学们交流研讨，给以下烷烃命名。

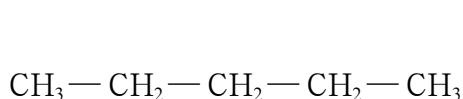


### 资料在线

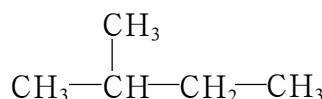
#### 系统命名法的由来

1892年在日内瓦召开的国际化学会议制定的命名法称为国际命名法。此后该法经国际纯粹与应用化学联合会( International Union of Pure and Applied Chemistry )召开会议修改并确定，故也称为“ IUPAC ”命名法。根据“ IUPAC ”命名法并结合我国语言文字的特点，由中国化学会( Chinese Chemical Society )制定的命名法称为系统命名法，亦称 CCS 法。

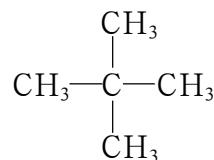
除了系统命名法外，人们也用习惯命名法来命名分子结构相对简单的烷烃。例如，分子式为  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  的烷烃的三种同分异构体用习惯命名法分别命名为：



正戊烷



异戊烷



新戊烷

烯烃、炔烃以及烃的衍生物的命名与烷烃的命名原则相似，具体命名方法待学习相应类别的有机化合物时再进行讨论。

了解有机化合物的分类和命名，将为大家今后学习有机化学打开方便之门。

### 精要概括

有机化学以有机化合物为研究对象，是化学学科的重要分支。有机化学的萌发、形成和发展融合了历代化学家的智慧。当代的有机化学已发展成一门与人类的生产、生活以及人类的生命现象密切相关，并且能为人类解决重大问题的学科。



有机化合物有不同的分类方法,依据组成元素、分子中碳骨架形状或官能团所进行的分类可概括如下:

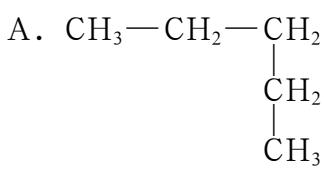
分类依据	类别名称
组成元素	烃, 烃的衍生物
分子中碳骨架形状	链状有机化合物, 环状有机化合物
官能团	烯烃、炔烃、芳香烃、卤代烃、醇、酚、醛、酮、羧酸、酯等

有机化合物的常用命名方法有系统命名法和习惯命名法。对某些常见的或分子结构特殊的有机化合物可用习惯命名法命名。系统命名法适用于所有有机化合物的命名,其步骤是:选主链——定编号——写名称。掌握烷烃的命名方法是学好有机化合物命名的基础。

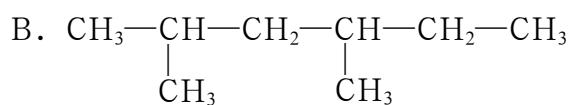
## 练习

### 1. 选择填空:

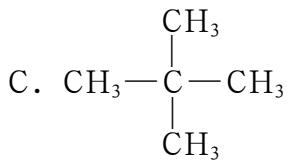
(1) 下列烷烃的系统命名中, 错误的是( )。



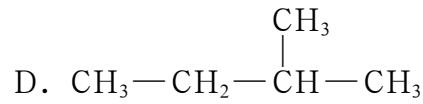
戊烷



2,4-甲基己烷



2,2-二甲基丙烷



4-甲基戊烷

(2) 下列烷烃的系统命名中, 不正确的是( )。

A. 2,3-二甲基丁烷

B. 3,3-二甲基丁烷

C. 3-甲基-2-乙基戊烷

D. 2,2,3-三甲基丁烷

(3) 某有机化合物的名称是2,2,3,3-四甲基戊烷, 其结构简式书写正确的是( )。

A.  $(\text{CH}_3)_3\text{CCH}(\text{CH}_3)_2$

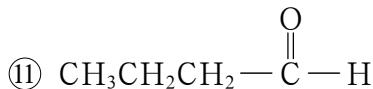
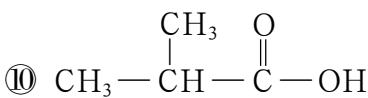
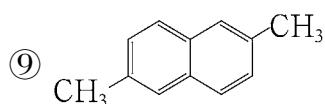
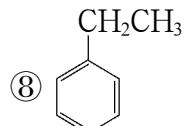
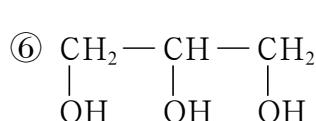
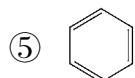
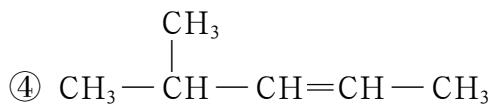
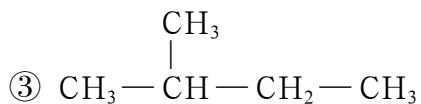
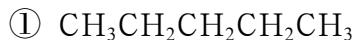
B.  $(\text{CH}_3)_3\text{CCH}_2\text{C}(\text{CH}_3)_3$

C.  $(\text{CH}_3)_3\text{CC}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_3$

D.  $(\text{CH}_3)_3\text{CC}(\text{CH}_3)_3$



2. 分析下列有机化合物的结构简式，完成填空并回答问题。



(1) 请你对以上有机化合物进行分类，其中：

属于烷烃的是 \_\_\_\_\_；

属于烯烃的是 \_\_\_\_\_；

属于芳香烃的是 \_\_\_\_\_；

属于卤代烃的是 \_\_\_\_\_；

属于醇的是 \_\_\_\_\_；

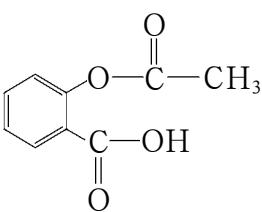
属于醛的是 \_\_\_\_\_；

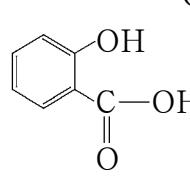
属于羧酸的是 \_\_\_\_\_。(均填写编号)

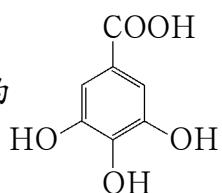
(2) 以上物质中，哪些互为同系物？请说明理由。





3. 结构简式为  的化合物是解热镇痛药 APC 的主要成分之一，它

可由水杨酸 () 为原料合成。酒石酸 ( $\text{HO}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\overset{\text{OH}}{\underset{\text{O}}{\text{CH}}}-\overset{\text{OH}}{\underset{\text{O}}{\text{CH}}}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{OH}$ )、苹  
果酸 ( $\text{HO}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\overset{\text{OH}}{\underset{\text{O}}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{OH}$ ) 被广泛用于食品工业。五倍子酸也称没食子酸，

其结构简式为 ，被广泛用于有机合成。请你观察以上这些有机化合物的结构

并分别指出它们含有哪些官能团。

4. 请你查阅有关资料，以“有机化学的发展为人类生活质量改善所做的贡献”或“21世纪有机化学面临的挑战”为题，写一篇小论文，阐述你的观点。

## 第2节 有机化合物的结构与性质

### 联想·质疑

图1-2-1给出了你在化学必修课程中学习过的六种常见有机化合物所能发生的主要反应，以及它们的分子球棍模型。

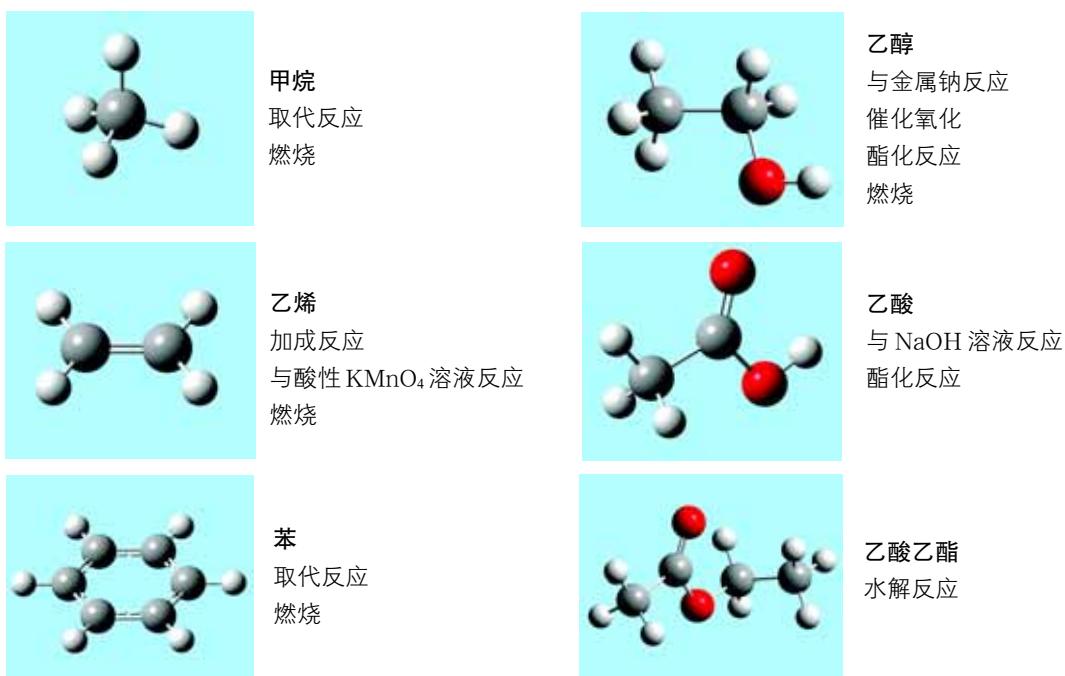


图1-2-1 几种有机化合物的球棍模型及所能发生的主要反应

不同类别的有机化合物具有不同的化学性质，这是由其结构特点决定的。那么，你了解有机化合物分子中碳原子的成键方式和官能团的结构特点吗？它们是怎样影响有机化合物的性质的？

“结构决定性质，性质反映结构”这一规律在有机化学学科中有着特殊的意义，深入认识有机化合物分子的结构，有助于我们分析和预测其反应活性。

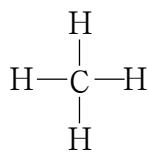
有机化合物的结构是以分子中碳原子结合成的碳骨架为基础的，所以研究有机化合物的结构首先应研究碳原子的成键方式。



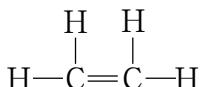
## 一、碳原子的成键方式

### 交流·研讨

下面是一些有机化合物的结构式或结构简式。



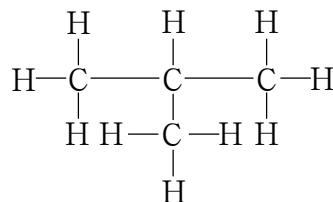
甲烷



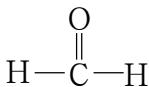
乙烯



乙炔



2-甲基丙烷



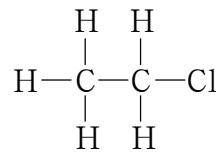
甲醛



环己烷



苯



氯乙烷

请根据上述有机化合物的结构式或结构简式回答：

- 各有机化合物分子中与碳原子成键的分别是何种元素的原子？
- 各有机化合物分子中碳原子的成键数目分别是多少？
- 总结有机化合物分子中碳原子的成键情况有何特点。

碳元素位于元素周期表第2周期IVA族，碳原子的最外电子层有四个电子，很难得失电子，通常以共用电子对的形式与其他原子成键，达到最外层八个电子的稳定结构。

有机化合物分子中的碳原子彼此连接，既可以形成开链结构，也能形成环状结构；碳原子之间不仅能形成单键，也能形成双键或叁键；碳原子除了彼此间可以成键外，还可以与氢、氧、氯、氮等其他元素的原子成键。碳原子成键方式的多样性，是有机化合物种类繁多的原因之一。

### 1. 单键、双键和叁键

通常情况下，有机化合物分子中碳原子的最外层有四对共用电子。依据成键两原子间共用电子对的数目可以将共价键分为单键、双键和叁键。碳原子可以与其他四个原子分别共用一对电子形成四个单键，如甲烷和乙烷分子中的碳原子；也可以与其他三个原子分别形成一个双键和两个单键，如乙烯分子中的碳原子；还可以与其他两个原子分别形成一个叁键和一个单键，如乙炔分子中的碳原子。



甲烷分子中的碳原子与四个氢原子形成四个碳氢单键，任意两个键之间的夹角均为 $109.5^\circ$ ，整个分子呈正四面体形。研究证实，其他烷烃分子中的碳原子的成键方式都与甲烷分子中的碳原子相似。

烷烃分子中的每个碳原子都与四个原子形成共价键（单键），像这样的碳原子称为饱和碳原子。在化学反应中，饱和碳原子的单键断裂后才能结合其他的原子或原子团，生成新的化合物。

乙烯分子中有碳碳双键，每个碳原子周围有一个碳碳双键和两个碳氢单键，相邻两个键的夹角均接近 $120^\circ$ 。乙烯分子是平面分子。

乙炔分子中有碳碳叁键，每个碳原子周围有一个碳碳叁键和一个碳氢单键，相邻两个键的夹角均为 $180^\circ$ ，乙炔分子是直线形分子。

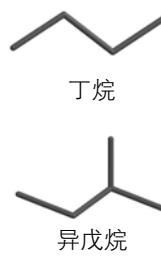


图 1-2-2 丁烷和异戊烷的折线形碳链模型



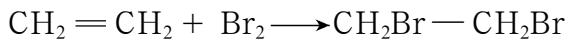
图 1-2-3 乙烯、乙炔分子结构示意图

乙烯和乙炔分子中，与双键或叁键上的碳原子成键的原子数目都小于4，像这样的碳原子称为不饱和碳原子。烯烃和炔烃分子中含有不饱和碳原子。

碳原子除了能与碳原子形成双键或叁键外，也能与其他原子形成双键或叁键。例如，碳原子与氧原子能形成双键( $\text{C}=\text{O}$ )，碳原子与氮原子能形成叁键( $-\text{C}\equiv\text{N}$ )。单键是饱和键，双键和叁键是不饱和键。

## 交流·研讨

在化学必修课程中你已学过，将乙烯通入溴的四氯化碳溶液中溶液会退色，此时所发生的反应为：



反应中，碳碳双键中只有一个键发生断裂。若改为通入乙烷，则溶液颜色无明显变化。根据以上实验现象，结合表 1-2-1，判断碳碳双键中两个键的性质是否完全相同。

预测将乙炔通入溴的四氯化碳溶液时会有什么现象发生。





## 知识支持

## 共价键的键参数

人们常用键能、键长和键角等键参数描述共价键的特征。键能指 101.3 kPa、298 K 时，断开 1 mol 气态 AB 分子中的化学键，使其生成气态 A 原子和气态 B 原子的过程中所吸收的能量。键长指两个成键原子间的平均核间距。键角指分子中同一个原子上两个共价键之间的夹角。表 1-2-1 列出了几种碳碳键的键能和键长。

表 1-2-1

几种碳碳键的键能和键长

碳碳键	键能 / kJ · mol <sup>-1</sup>	键长 / nm
单键 (C—C)	347	0.154
双键 (C=C)	614	0.134
叁键 (C≡C)	839	0.121

由乙烯能使溴的四氯化碳溶液退色的性质可以推断，碳碳双键中两个键的性质不相同，其中一个键较另一个键容易断裂。类似地，乙炔分子叁键中三个键的性质也不相同，其中有两个键较另一个键容易断裂。比较双键与单键、叁键与单键的键能数据，也可得出上述结论。由于双键和叁键中都有不稳定的键，所以乙炔与乙烯能发生类似的反应。

通常，若有机化合物分子中含有不饱和碳原子时，在加成反应中反应活性较强，这是由于不饱和碳原子形成的双键或叁键中有部分键容易断裂的缘故。

在苯和含有苯环的有机化合物中，虽然其结构中含有不饱和碳原子，却与烯烃、炔烃的性质大不相同。这是由于苯环上碳原子成键方式的特殊性造成的。

## 2. 极性键和非极性键

有机化合物的反应活性除了取决于分子中碳原子的饱和程度外，键的极性也是一个重要的影响因素。

不同元素原子的核内质子数不相同，核对外层电子吸引作用的强弱程度就不相同，这种差别使得形成共价键的两个成键原子对共用电子吸引作用的强弱程度也不相同。

不同元素的两个原子成键时，它们吸引共用电子的能力不同，共用电子将偏向吸引电子能力较强的一方，所形成的共价键是极性共价键，简称极性键 (polar bond)。极性键中共用电子偏向的成键原子带部分负电荷，共用电子偏离的成键原子带部分正电荷。

同种元素的两个原子成键时，它们吸引共用电子的能力相同，所形成的共价键是非极性共价键，简称非极性键 (non-polar bond)。非极性键中，共用电子不偏向于成键原子的任何一方，因此参与成键的两个原子都不带电荷。



可以根据成键元素原子吸引电子能力的差异判断键的极性,进而分析和预测有机化合物分子的反应活性和在反应中的断键部位。

表 1-2-2

常见共价键的类型

键型	极性键	非极性键
单键	$\text{H}_3\text{C}-\text{H}$ $\text{H}_3\text{C}-\text{OH}$ $\text{H}_3\text{C}-\text{Cl}$ $\text{H}_3\text{C}-\text{Br}$	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$ $\text{H}-\text{H}$
双键	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$
叁键	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{N}$	$\text{HC}\equiv\text{CH}$ $\text{N}\equiv\text{N}$

## 方法导引

通常,我们可以根据成键元素原子吸引电子能力的差异判断键的极性,如C—O键中,碳原子得电子能力较氧原子弱,因此C—O键为极性键,其中碳原子带部分正电荷,氧原子带部分负电荷。

我们还可以利用元素的电负性数值更准确地判断和比较键的极性。电负性是表示元素原子得电子能力强弱的一项指标。电负性数值越大,元素原子得电子能力越强,成键两元素电负性数值相差越大,键的极性越强。例如,C—Cl键的极性强于C—H键的极性。

H 2.1							
Li 1.0	Be 1.5	B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0	
Na 0.9	Mg 1.2	Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0	
K 0.8						Br 2.8	
Rb 0.8						I 2.5	

图 1-2-4 某些元素的电负性数值





## 迁移·应用

### 分析和预测乙醇和溴乙烷的反应活性部位

乙醇和溴乙烷的结构式分别为  $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ | & | \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ | & | \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$  和  $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ | & | \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{Br} \\ | & | \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$  , 请你利用

碳原子成键方式的有关知识, 预测它们在反应中可能的断键部位。

### 分析与预测

分析角度	分析结果
判断碳原子的饱和程度	
寻找分子中有极性的化学键	
预测可能的断键部位	

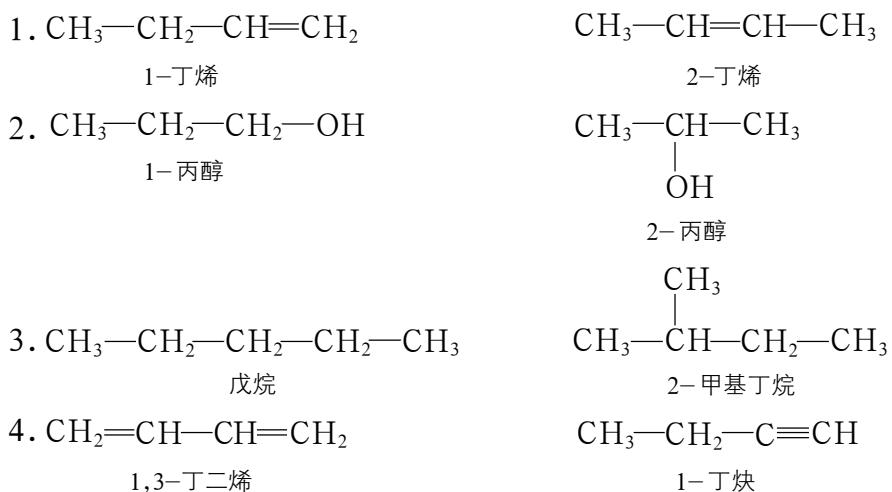
键的极性并不是一成不变的, 受分子中邻近基团或外界环境的影响, 键的极性及其强弱程度可能会发生变化。共价键是否具有极性及极性的强弱程度对有机化合物的性质有着重要的影响。

## 二、有机化合物的同分异构现象

碳原子成键方式的多样性导致有机化合物的同分异构现象, 即分子式相同而结构不同的现象。分子式相同而结构不同的有机化合物互为同分异构体。同分异构现象是有机化合物种类繁多、数量巨大的原因之一。

## 交流·研讨

下面每组中的两种有机化合物皆互为同分异构体。请你尝试从碳原子的连接顺序以及官能团的类别和位置的角度说明它们为什么互为同分异构体。



以上四组物质中，虽然两两互为同分异构体，但产生异构现象的原因不尽相同。戊烷和2—甲基丁烷虽然都是分子中含5个碳原子的烷烃，但由于碳骨架不同，它们互为碳骨架异构体；1—丁烯和2—丁烯、1—丙醇和2—丙醇分别具有相同的官能团，但官能团的位置不同，它们互为官能团位置异构体；1,3—丁二烯和1—丁炔，前者分子中含有两个碳碳双键，后者分子中含有一个碳碳叁键，二者所含的官能团不同，它们互为官能团类型异构体。

碳骨架异构、官能团位置异构与官能团类型异构现象都是结构异构现象不同的表现形式，其关系如图1—2—5所示。



图1—2—5 结构异构的表现形式示意图



### 拓展视野

#### 立体异构

立体异构是一类重要的异构现象。具有立体异构关系的有机化合物分子中的原子或原子团有相同的连接顺序，但原子或原子团的空间排列情况不同。常见的立体异构有顺反异构和对映异构。

1. 顺反异构 单键可以沿着键轴旋转，而双键不像单键那样可以旋转，所以一些分子中含有碳碳双键的有机化合物可能存在顺反异构现象。例如，2—丁烯有顺—2—丁烯和反—2—丁烯两种顺反异构体。

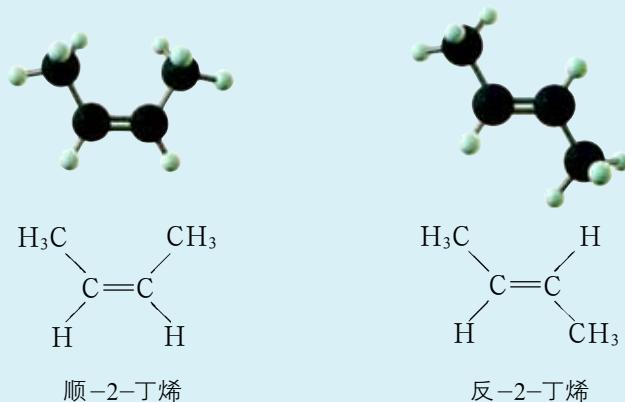


图 1-2-6 2-丁烯的顺反异构体模型及结构简式

当有机化合物分子中含有碳碳双键且与每个双键碳原子所连的另外两个原子或原子团不同时，就存在顺反异构现象。

2. 光学异构 当有机化合物分子中的饱和碳原子连接着四个不同的原子或原子团时，就可能存在光学异构现象，如乳酸 ( $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ ) 分子有如下两种光学异构体。

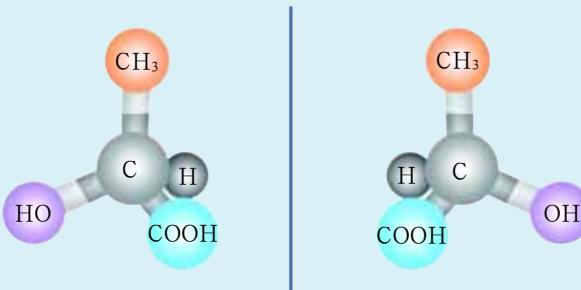


图 1-2-7 乳酸的一对光学异构体的模型

这两种乳酸分子呈镜像关系却不能完全重叠，就像人的左、右手一样。因此，人们将连有四个不同基团的碳原子形象地称为手性碳原子 (chiral carbon)。手性碳原子存在于很多有机化合物特别是与生命现象有关的有机化合物中。例如，葡萄糖、果糖等分子中就有多个手性碳原子。

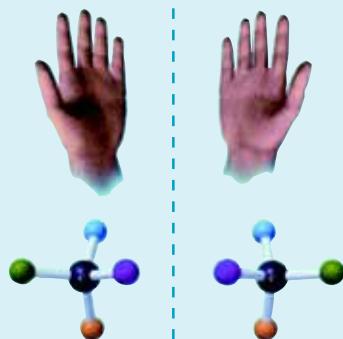


图 1-2-8 手性与手性分子

### 三、有机化合物结构与性质的关系

有机化合物的结构和性质有着密切的关系。如果已知某种有机化合物的结构，如何根据结构预测其性质呢？一般来说，首先要找出官能团，然后从键的极性、碳原子的饱和程度等进一步分析并预测有机化合物的性质。



## 交流·研讨

乙酸(  $\text{CH}_3\text{COOH}$  )是你比较熟悉的一种有机化合物,请回忆它的化学性质并填写下表。

反应试剂	相关反应的化学方程式

羧基(  $-\text{COOH}$  )在结构上有什么特点?哪些性质反映了羧基的这些结构特点?乙酸和乙醇分子中都有羟基,但乙酸和乙醇的化学性质并不相同,你知道其中的原因吗?

### 1. 官能团与有机化合物性质的关系

一种官能团决定一类有机化合物的化学特性,如烯烃分子中含有碳碳双键,因此烯烃可以与卤素单质、氢卤酸等发生加成反应。

官能团之所以能决定有机化合物的特性,主要有以下两方面原因。

一方面,一些官能团含有不饱和碳原子,易发生相关的化学反应。例如,烯烃、炔烃分子中的  $\diagup \text{C}=\text{C} \diagdown$  键、 $-\text{C}\equiv\text{C}-$  键,由于碳原子不饱和,可以与其他原子或原子团结合生成新的产物,使烯烃、炔烃的化学性质比烷烃的活泼。

另一方面,一些官能团含有极性较强的键,易发生相关的化学反应。例如,醇的官能团是羟基(  $-\text{OH}$  ),羟基有很强的极性,导致醇类表现出一定的特性。

综上所述,我们可以根据有机化合物的官能团中碳原子的饱和程度、键的极性强弱来推测该物质可能发生的化学反应。需要注意的是,在推测有机化合物的性质时还应考虑官能团与相邻基团之间的相互影响。

### 2. 不同基团间的相互影响与有机化合物性质的关系

有机化合物分子中的邻近基团间往往存在着相互影响,这种影响会使有机化合物表现出一些特性。

例如,苯与硝酸发生取代反应的温度是  $50^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ ,而甲苯在约  $30^{\circ}\text{C}$  的温度下就能与硝酸发生取代反应。也就是说,与苯相比,甲苯较易发生取代反应。

再如,乙酸和乙醇分子中都含有羟基(  $-\text{OH}$  ),但在乙酸分子中羟基与  $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-$  相连,而在乙醇分子中羟基与  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-$  相连,因此乙酸和乙醇的化学性质有所不同;醇和酚

的官能团都是羟基，但由于分子中与羟基相连的烃基不同，使得醇和酚的化学性质也不同；醛和酮的官能团均含羰基，但醛的羰基上连有氢原子、酮的羰基上不连氢原子，使得醛、酮成为两类不同的有机化合物，表现出不同的性质。

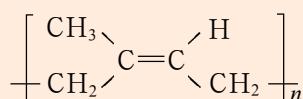
## 身边的化学

### 同分异构现象与物质性能的关系

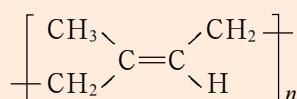
互为同分异构体的有机化合物，其反应活性不完全相同，各种性能通常也不一样，可以利用一些异构体的特殊性能来服务于人类的生产和生活。

例如，天然橡胶在日常生活中有着非常广泛的应用，其主要成分是全顺式结构的聚异戊二烯，正是这种全顺式结构使得天然橡胶具备良好的弹性。另一种称作固塔波胶的物质，其组成与天然橡胶完全相同，但分子构型为反式的，它不像天然橡胶那样有弹性，实际应用价值不大。

天然橡胶和固塔波胶的结构简式如下：



顺-1,4-聚异戊二烯  
(天然橡胶)



反-1,4-聚异戊二烯  
(固塔波胶)

有机化合物的结构与性质密切相关，深入理解结构决定性质以及性质反映结构的关系，将为今后的学习打下良好的基础。

### 精要概括

“结构决定性质，性质反映结构”，这是学习有机化学时要特别关注的问题。

有机化合物的结构与碳原子的成键方式有关。碳原子的结构特点决定了它与另外的原子结合时以形成共价键为主。碳原子不仅彼此间可以成键，还可与其他元素的原子成键。依据成键原子间共用电子的对数可将共价键分为单键、双键和叁键；依据共用电子是否偏向于某一成键原子，可将共价键分为极性键和非极性键。

一种官能团决定着一类有机化合物的化学特性。通常，可从键的极性、碳原子的饱和程度来分析官能团的特点并进一步预测有机化合物的性质。此外，分子中某些相邻基团间的相互影响会使有机化合物具有某些特性。

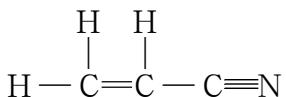
碳原子成键方式的多样性使得有机化合物普遍存在着同分异构现象，常见的同分异构有碳骨架异构、官能团位置异构和官能团类型异构等。



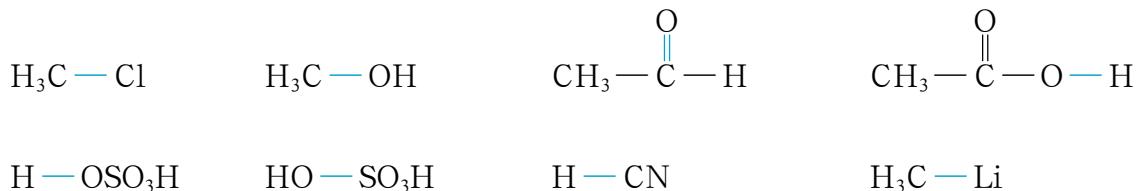
## 练习



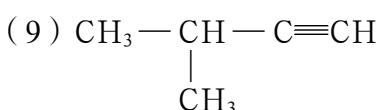
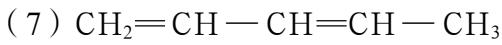
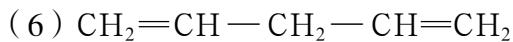
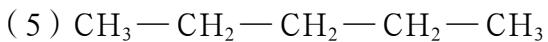
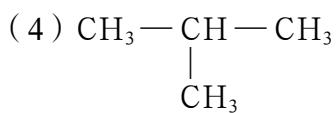
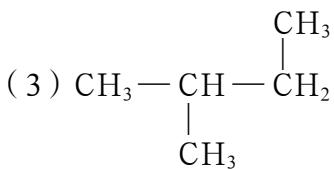
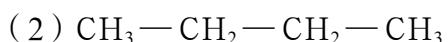
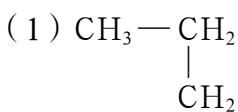
1. 依据成键两原子间共用电子的对数可将共价键分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。由此,请指出丙烯腈分子中各共价键的类型。丙烯腈的结构式为:



2. 用部分正电荷 ( $\delta^+$ ) 和部分负电荷 ( $\delta^-$ ) 描述下列化合物中指定化学键 (蓝色) 的极性, 如  $\text{H}^{\delta^+} - \text{Cl}^{\delta^-}$ 。

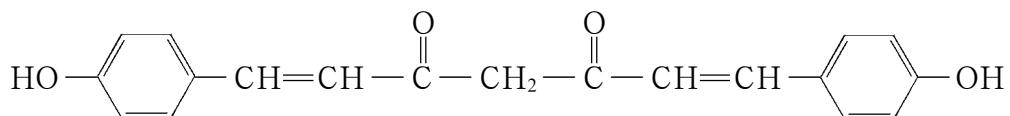


3. 下列有机化合物中,互为同分异构体的组合有\_\_\_\_\_ (写出编号即可)。





4. 草药莪(é)术根茎中有一种色素,用它制成的试纸可以检验溶液的酸碱性。该色素的结构简式为:



该色素一个分子中含有\_\_\_\_\_个饱和碳原子和\_\_\_\_\_个不饱和碳原子。分子中的双键为\_\_\_\_\_；极性键为\_\_\_\_\_（写出两种即可）。

5. 通过本节的学习,你对有机化合物的结构有了哪些新的认识?你认为有机化合物的结构和性质之间有什么关系?试用你熟悉的某种有机化合物及其所能发生的化学反应,论证你的观点。

## 第3节 烃

### 联想·质疑

烃是一类重要的化工原料，从塑料水杯到电影胶片，从CD光盘到汽车轮胎，许多制品都是以各种各样的烃为主要原料制得的。那么，烃为什么会有如此重要的作用呢？这些重要的作用与它们的哪些性质有关呢？

### 一、烃的概述

烃是只由碳、氢两种元素组成的化合物，其分类如图1-3-1所示。

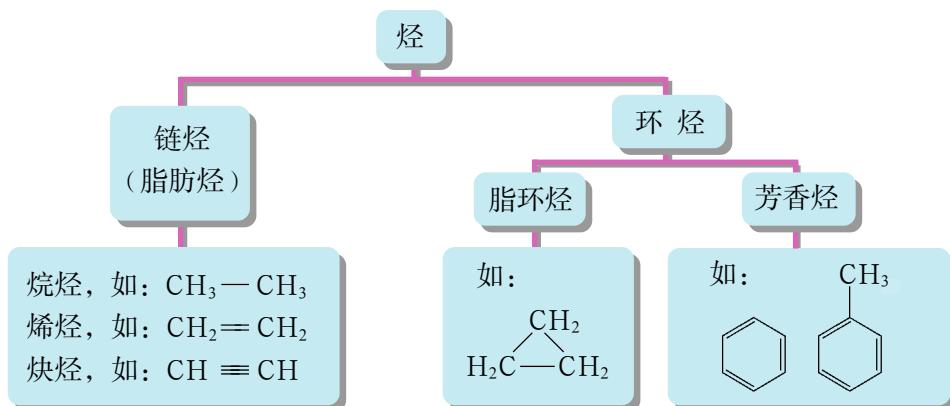


图1-3-1 烃的分类

### 1. 链烃

烷烃、烯烃和炔烃均属于链烃（又称脂肪烃）。烷烃分子中碳原子之间的共价键全部为碳碳单键，其中的碳原子皆为饱和碳原子，因此烷烃是饱和烃(saturated hydrocarbon)。烯烃和炔烃分子中皆含有不饱和碳原子，烯烃和炔烃是不饱和烃(unsaturated hydrocarbon)。

### 交流·研讨

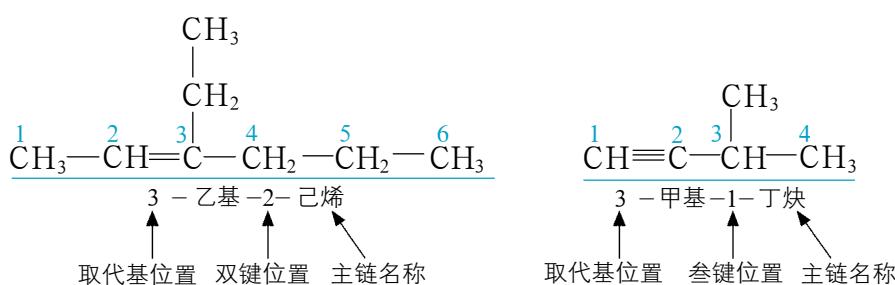
根据烷烃、烯烃和炔烃各自的结构特点，与同学们交流讨论，推导这些烃的组成通式并完成下面的表格。（用n表示烃分子中的碳原子个数）

类别	烷 烃	分子中只有一个 碳碳双键的烯烃	分子中只有一个 碳碳叁键的炔烃
通 式			

烷烃、烯烃和炔烃具有相似的物理性质。它们均为无色物质，不溶于水而易溶于苯、乙醚等有机溶剂，密度比水小。分子中有1~4个碳原子的链烃在室温下均为气体；随着分子中碳原子数的增加，链烃的熔点和沸点逐渐升高，其存在状态逐渐由液态过渡到固态。

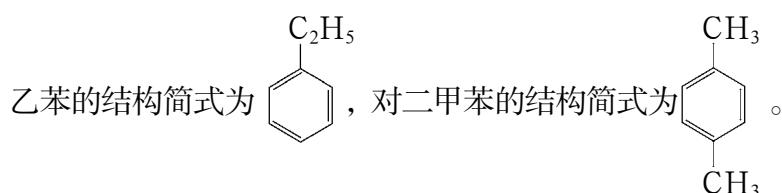
烃广泛存在于自然界中，如苹果表面的蜡状物质中有二十七烷( $C_{27}H_{56}$ )，圆白菜叶子表层有二十九烷( $C_{29}H_{60}$ )，蚂蚁分泌的信息素的主要化学成分是十一烷( $C_{11}H_{24}$ )和十三烷( $C_{13}H_{28}$ )，石蜡和凡士林都是分子中有20个以上碳原子的烷烃；番茄中的番茄红素、鲨鱼油中的角鲨烯都是链烃，等等。

烯烃和炔烃的命名规则与烷烃类似，不同的是：①选主链时应选择含有碳碳双键或碳碳叁键的最长的碳链；②给主链定位时，要从靠近双键或叁键的一端开始编号；③由于分子中碳碳双键或碳碳叁键位置可以有所不同，所以在写名称时必须标明双键或叁键碳原子的位置，并把它写在主链名称之前。例如：



## 2. 苯及其同系物

苯及其同系物都属于芳香烃。工业上芳香烃最初来源于煤焦油，现在主要来源于石油化学工业。其中，作为基本化工原料应用最多的是苯、乙苯和对二甲苯等。苯是芳香烃中组成最简单的成员。乙苯和对二甲苯均属于苯的同系物，



苯是无色液体，有毒，沸点为80℃，熔点为5.5℃；不溶于水，能溶解许多物质，是良好的有机溶剂。甲苯、乙苯等苯的同系物在溶解性上与苯相似，但毒性比苯稍小。

苯的同系物以苯为母体来命名。苯分子中的一个氢原子被一个甲基取代的生成物称为甲苯，被一个乙基取代的生成物称为乙苯，依次类推。苯分子中的多个氢原子

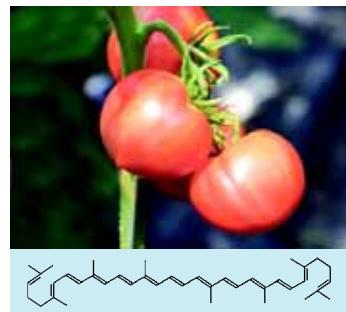


图1-3-2 番茄中存在番茄红素



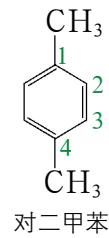
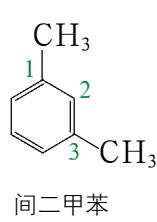
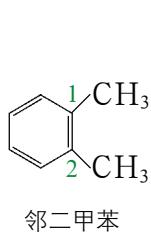
### 资料在线

#### “芳香”的含义

分子中含有苯环的化合物最早是在具有挥发性和香味的树脂以及其他具有芳香气味的物质中发现的，因而将此类有机化合物称为芳香族化合物。芳香烃是芳香族化合物中的一大类。后来发现的许多化合物，就其结构而言应属于芳香族化合物，但它们并无芳香气味。因此，现在虽然仍使用“芳香”一词，但并不表示芳香族化合物都具有芳香气味，而是特指它们的结构中都有苯环。



分别被多个取代基取代时，取代基的位置可用“邻”“间”或“对”来表示。例如，二甲苯的三种同分异构体的名称分别为：



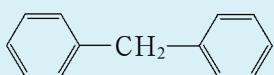
也可以给苯环上的碳原子标号(由连有取代基的碳原子开始)来区分多个取代基的相对位置。例如，邻二甲苯可称为1,2-二甲苯；间二甲苯可称为1,3-二甲苯；对二甲苯可称为1,4-二甲苯。



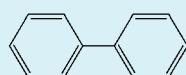
### 拓展视野

#### 多环芳烃

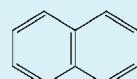
分子中有多个苯环的芳香烃称为多环芳烃。多环芳烃分子中的苯环有着不同的连接方式。例如，在二苯甲烷分子中苯环通过脂肪烃基连接在一起，在联苯分子中苯环通过碳碳单键直接相连，在萘和蒽分子中苯环分别通过共用两个碳原子并合在一起。



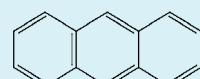
二苯甲烷 ( $C_{13}H_{12}$ )



联苯 ( $C_{12}H_{10}$ )



萘 ( $C_{10}H_8$ )



蒽 ( $C_{14}H_{10}$ )

像萘和蒽这样，通过两个或多个苯环的并合而形成的芳香烃，常称为稠环芳烃。许多稠环芳烃具有强的致癌作用。焚烧秸秆、树叶等物质形成的烟雾以及香烟的烟雾中都存在多种有害的稠

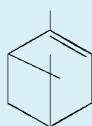
环芳烃，如苯并芘

#### 脂环烃

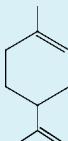
烃家族中有一大类化合物，其分子中的碳原子连接成环状而又无苯环。这类烃在化学性质上与脂肪烃类似，称为脂环烃。这类环状结构的烃分子中，碳原子彼此之间可完全以单键相连，也可以含有碳碳双键或碳碳叁键，它们分别称为环烷烃、环烯烃和环炔烃。



脂环烃在自然界中广泛存在，如松节油中的 $\alpha$ -蒎( pài )烯，柑橘中的柠檬烯等。近年来，在实验室中还合成出了金刚烷、十二面体烷等脂环烃。



$\alpha$ -蒎烯的键线式



柠檬烯的键线式

## 二、烷烃的化学性质

### 交流·研讨

通过化学必修课程的学习，你对甲烷的化学性质已经有了比较深入的了解。请你以此为依据，结合烷烃的结构特征，与同学们交流、研讨烷烃的化学性质并完成下面的框图。

甲烷的化学性质

其他烷烃的结构特征

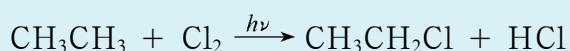
预测

其他烷烃的化学性质

常温下烷烃很不活泼，与强酸、强碱、强氧化剂和还原剂等都不发生反应，只有在特殊条件(如光照或高温)下才发生某些化学反应，这与构成烷烃分子的碳氢键和碳碳单键的键能较高有关。

### 1. 与卤素单质的反应

烷烃与氯、溴单质在室温下的黑暗环境中不发生反应，但在强烈日光照射下却能发生反应。例如，乙烷与氯气在光照条件下发生反应生成相应的取代产物，其中氯乙烷为其一氯代产物。





## 拓展视野

### 烷烃与氯气的反应

烷烃发生取代反应时，分子中的氢原子能逐个被氯原子取代，得到不同氯代物的混合物。现以甲烷的氯代反应为例具体分析其反应过程。

在光照条件下，一个氯分子分解为两个氯原子，氯原子中有未成对的单电子，非常活泼，会使甲烷分子中的碳氢键断裂，生成含有未成对电子的甲基，即甲基自由基(含有未成对电子的原子或基团称为自由基)。



甲基自由基很活泼，可以与氯分子作用，生成氯甲烷和氯自由基。



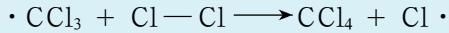
生成的氯自由基再与甲烷反应重复上述过程，因此该反应可连续进行。自由基之间可以互相结合形成稳定的化合物分子，反应即告终止。



当生成的氯甲烷与氯自由基反应时，即可进一步生成二氯甲烷……直到生成四氯化碳分子。



.....



这类反应通常称为自由基反应。

烷烃与卤素单质发生反应，可得到烷烃分子中的氢原子被卤素原子取代的产物，如氯乙烷、1—氯丙烷等。分子中碳链较长的烷烃与氯气反应时，不同的碳氢单键断裂可得到不同的取代产物。例如，丙烷与氯气在光照的条件下发生取代反应时，生成的一氯代物为1—氯丙烷( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ )和2—氯丙烷( $\text{CH}_3\text{CHClCH}_3$ )两种。



## 2. 与氧气的反应

烷烃完全燃烧生成二氧化碳和水，同时放出大量的热。烷烃的燃烧可用下式表示：



烷烃的燃烧是十分重要的反应，燃烧时能放出大量的热使烷烃成为重要的能源之一。

不同的烃，碳元素所占的质量分数有所不同。质量相同时分子中碳原子数相同而碳元素的质量分数越低的烃，完全燃烧时放出的热量越多。在所有烃中，烷烃（特别是甲烷）的碳元素的质量分数比相应的其他烃都低，因此人们倾向于选用烷烃尤其是相对分子质量小的烷烃做燃料。例如，天然气、沼气的主要成分是甲烷，液化石油气的主要成分是丙烷和丁烷。



图 1-3-3 野外露营炉中充有的液化石油气在燃烧

## 三、烯烃和炔烃的化学性质

烯烃和炔烃都能燃烧，它们完全燃烧生成二氧化碳和水，同时放出大量的热。

乙烯是组成最简单的烯烃。乙烯可以与溴单质发生加成反应，反应时乙烯分子中碳碳双键中的一个键断裂，两个溴原子分别加在断键的两个碳原子上。乙烯还可以使酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液退色，这是乙烯被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化的结果。

乙炔是组成最简单的炔烃。乙炔分子中有碳碳叁键，那么乙炔是否也能与溴单质、酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液发生与乙烯类似的反应呢？

### 观察·思考

#### 乙炔与溴的四氯化碳溶液、酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液的反应

[实验1] 将净化后的乙炔通入盛有溴的四氯化碳溶液的试管中，观察试管中溶液颜色的变化。

[实验2] 将净化后的乙炔通入盛有酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液的试管中，观察试管中溶液颜色的变化。

### 实验记录

实验序号	实验现象	实验结论

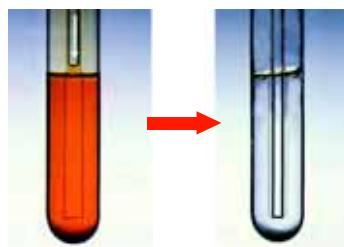
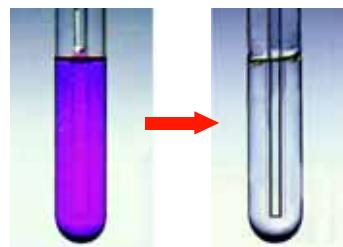


图 1-3-4 乙炔与溴的四氯化碳溶液的反应

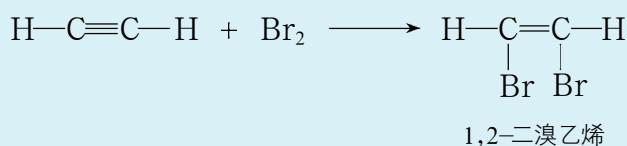
图 1-3-5 乙炔与酸性 KMnO<sub>4</sub> 溶液的反应

烯烃和炔烃分子中都含有不饱和碳原子(或不饱和键),因此烯烃和炔烃具有相似的化学性质。

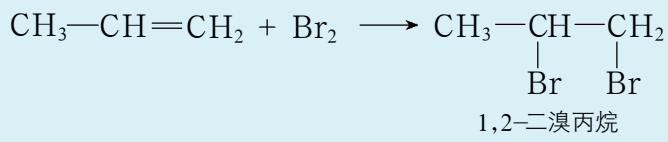
### 1. 与卤素单质、氢气、氢卤酸等的反应

#### 与卤素单质发生加成反应

将乙炔通入溴的四氯化碳溶液中,可以观察到溶液逐渐退色,这说明乙炔能与溴单质发生加成反应。



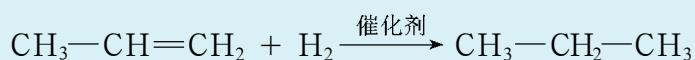
烯烃、炔烃都可以与溴单质发生加成反应,生成无色产物——卤代烃。例如,丙烯可以与溴单质发生加成反应生成1,2-二溴丙烷。



烯烃或炔烃不仅能使溴的四氯化碳溶液退色也能使溴水退色,这些反应常用于烯烃与烷烃或炔烃与烷烃的鉴别。

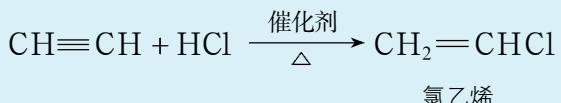
#### 与氢气发生加成反应

在铂黑、镍粉或钯等催化剂作用下,烯烃、炔烃还能与氢气发生加成反应,转化为饱和程度较高的烃。例如:



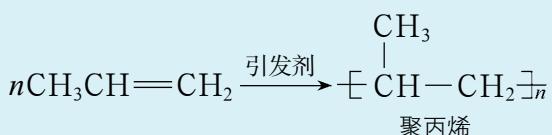
### 与氯卤酸发生加成反应

烯烃、炔烃能与氢卤酸发生加成反应。利用烯烃或炔烃的这些加成反应，工业上可以获得卤代烃。例如，工业上制备氯乙烯，利用的就是乙炔与氯化氢在一定条件下发生的加成反应。

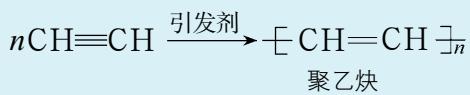


加成聚合反应

在一定条件下，烯烃分子间可以彼此加成聚合得到高分子化合物，如乙烯加成聚合可得到聚乙烯，丙烯加成聚合可得到聚丙烯。



炔烃通常难以加成聚合生成高分子化合物，但在特殊条件下，乙炔也能发生加成聚合反应生成聚乙炔。



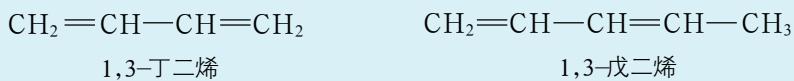
聚乙炔是制备有机导体材料的重要原料。



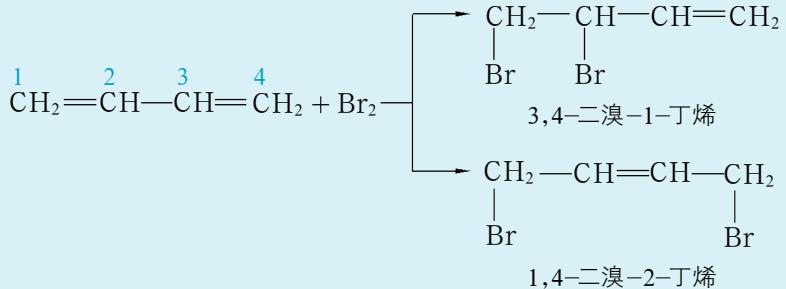
拓展视野

## 共轭二烯烃及其加成反应

分子中有两个碳碳双键且两个双键之间只有一个单键相隔的烯烃叫做共轭二烯烃。例如，1,3-丁二烯和1,3-戊二烯都是共轭二烯烃。



共轭二烯烃的加成反应有两种方式。例如，1,3-丁二烯与溴单质加成时，分别可以得到溴原子加到1号C、2号C上和溴原子加到1号C、4号C上的两种产物。



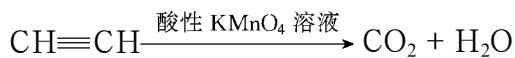


### 碳碳双键加氢反应的应用实例

碳碳双键的加氢反应在工业上和研究工作中都具有重要意义。例如，在工业上可将植物油催化氢化，使其分子中的一些碳碳双键达到饱和，化合物熔点升高，获得固态黄油状物质——人造黄油。又如，石油加工制得的粗汽油中常含有少量烯烃，它氧化或聚合后的产物会影响汽油的质量，若进行加氢处理，使之转变为相应的烷烃，就能提高汽油的质量。在研究工作中，通过测定被吸收的氢的物质的量，可计算出所研究的分子中含有的碳碳双键的数目，从而为确定其结构提供依据。

## 2. 与酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液的反应

将乙炔通入盛有酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液的试管中，可以观察到酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液逐渐退色，这是乙炔被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化的缘故。



在本教材中，对于副产物过多的有机化学反应，不用化学方程式表示，只用反应式表示。反应式一般不予配平。

烯烃或炔烃在酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液的作用下，分子中的不饱和键完全断裂，生成羧酸、二氧化碳或酮。用酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化碳碳双键或碳碳叁键可以减短碳链。

## 迁移·应用

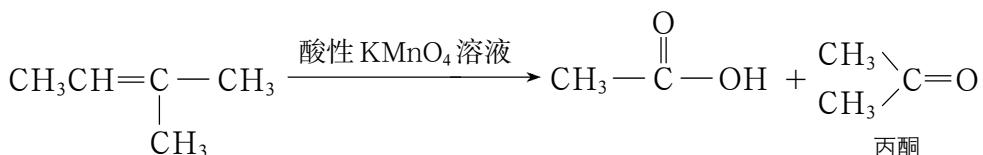
烯烃与酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液反应时，不同的结构可以得到不同的氧化产物。烯烃被氧化的部分与氧化产物的对应关系见表1-3-1。

表1-3-1 烯烃与酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液反应被氧化的部分与氧化产物的对应关系

烯烃被氧化的部分	$\text{CH}_2=$	$\text{RCH}=$	$\begin{array}{c} \text{R}' \\   \\ \text{C}=\text{ } \\   \\ \text{R}'' \end{array}$
氧化产物	$\begin{array}{c} \text{[H}-\text{C}-\text{OH}] \\    \\ \text{O} \\ \downarrow \\ \text{CO}_2 \text{、H}_2\text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}-\text{OH} \\    \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{R}' \\   \\ \text{C}=\text{O} \text{ (酮)} \\   \\ \text{R}'' \end{array}$



例如，2—甲基—2—丁烯被酸性KMnO<sub>4</sub>溶液氧化，反应如下：



根据烯烃被氧化后的产物可以推断原烯烃的结构。现已知某烯烃的化学式为C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>，它与酸性KMnO<sub>4</sub>溶液反应后得到的产物为乙酸（CH<sub>3</sub>COOH）和丙酸（CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COOH），你能推测出此烯烃的结构吗？若与酸性KMnO<sub>4</sub>溶液反应后得到的产物是二氧化碳和丁酮（CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>—C=CH<sub>3</sub>），此烯烃的结构又是怎样的呢？



烯烃和炔烃分子中都有不饱和键，因此它们有相似的化学性质：易于发生加成反应，也容易被氧化，通过这些反应，可以得到含有卤原子、氰基、羰基、羧基等官能团的化合物，这在有机合成中具有重要的作用。

## 四、苯及其同系物的化学性质

### 联想·质疑

通过化学必修课程的学习，你对苯的化学性质已有所了解。

苯在一定条件下能与硝酸发生取代反应，那么，它还能与其他试剂发生取代反应吗？

苯不能被酸性KMnO<sub>4</sub>溶液氧化，苯的同系物能否被氧化？

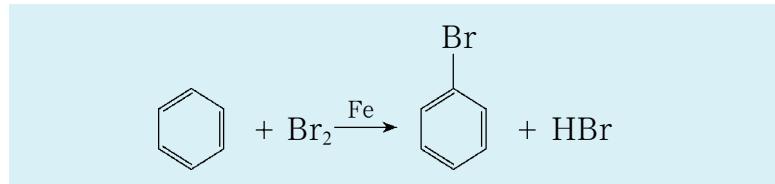
苯不能与溴水发生加成反应，那么，苯的同系物能否与溴水发生加成反应？

苯及其同系物都能燃烧，完全燃烧生成二氧化碳和水，同时放出大量的热。

苯环上的碳原子间虽然有类似于碳碳双键的键，但苯环是一个较稳定的结构，这使得苯及其同系物不易发生加成反应而易发生取代反应。另外，由于苯的同系物的分子中有与苯环相连的支链，使得苯的同系物表现出与苯不同的性质。

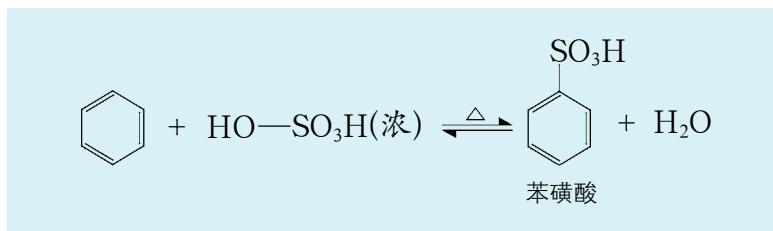
#### 1. 与卤素单质、硝酸、浓硫酸的取代反应

苯及其同系物除了能与硝酸发生取代反应外，在一定条件下还可以与氯气、溴单质、浓硫酸等发生取代反应。例如，在催化剂的作用下，苯与溴单质发生取代反应生成溴苯和溴化氢。





苯与浓硫酸在常温下很难发生反应,但加热时苯环上的氢原子可被磺酸基( $-\text{SO}_3\text{H}$ )取代,生成苯磺酸。该反应是可逆反应:



### 身边的化学

#### 洗涤剂及其去污原理

日用化学洗涤剂正逐步成为当今人们的生活必需品。不管是在公共场所,还是在家庭中,都可以看到洗涤剂的踪迹。

洗涤剂的主要成分是表面活性剂,表面活性剂是分子结构中既含有亲水基又含有亲油基的化合物。例如,十二烷基苯磺酸钠是一种常用的洗涤剂,它溶于水时电离生成十二烷基苯磺酸根离子和 $\text{Na}^+$ 。十二烷基苯磺酸根离子由两部分组成:一部分为烃基,它能与油脂污垢中的有机化合物分子相互作用,称为亲油基(或疏水基);另一部分为 $-\text{SO}_3^-$ ,易溶于水,称为亲水基(或憎水基)。沾有油脂污垢的衣物浸入到十二烷基苯磺酸钠的水溶液中时,亲油基与油脂相互作用,亲水基与水分子相互作用。这样,油脂污垢被十二烷基苯磺酸根离子包围起来,逐渐分散成小的油珠,经过摩擦、振动进入水中,达到去污的目的。

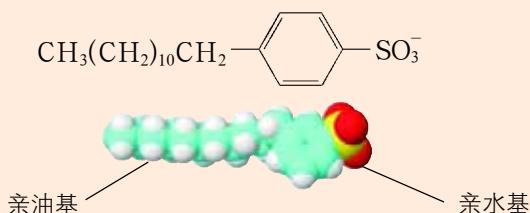
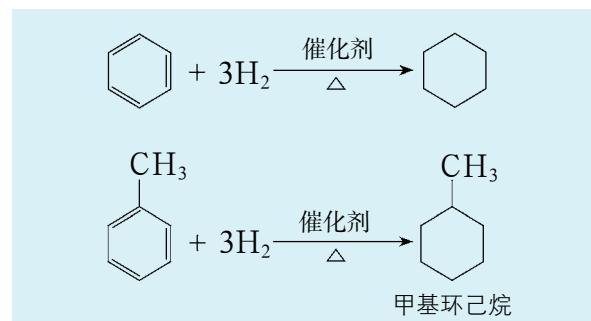


图1-3-6 十二烷基苯磺酸根离子的亲油基和亲水基示意图

## 2. 与氢气的反应

苯及其同系物较难与氢气发生加成反应,只有在铂等做催化剂和加热、加压条件下,才能生成相应的环烷烃。例如,苯和甲苯与氢气发生加成反应,分别生成环己烷和甲基环己烷。





苯及其同系物与氢气发生加成反应的困难程度以及它们均不能使溴的四氯化碳溶液退色的事实，进一步说明苯环上的化学键不是一般的碳碳单键和碳碳双键，而是一种介于碳碳单键和碳碳双键之间的特殊的化学键。

### 3. 苯的同系物与酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液的反应

苯不能使酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液退色，但苯的同系物可以使酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液退色。

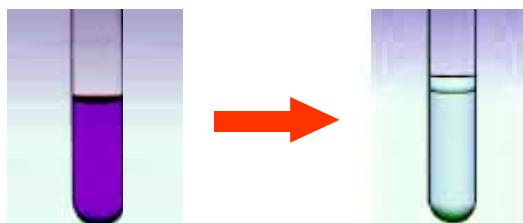
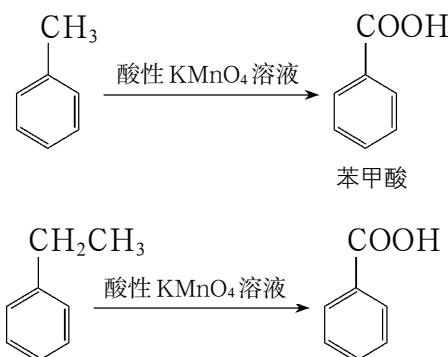


图 1-3-7 甲苯与酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液反应

在苯的同系物中，如果侧链烃基中与苯环直接相连的碳原子上有氢原子，它就能被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化，侧链烃基通常被氧化为羧基。



苯环侧链烃基能被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化，是苯环对烃基的影响造成的。

烷烃、烯烃、炔烃、苯及苯的同系物是烃类化合物的典型代表物质，认识它们的结构与性质的关系将为深入学习和研究有机化学打下良好的基础。

### 交流·研讨

比较烷烃、烯烃、炔烃、苯及苯的同系物性质上的相同和不同之处，并利用有关的结构知识尝试进行分析和说明。



## 精要概括

烃包括链烃、脂环烃和芳香烃。链烃中，烷烃是饱和烃，烯烃和炔烃是不饱和烃。苯及其同系物是重要的芳香烃。

烷烃可以与卤素单质发生取代反应，能够燃烧。甲烷、丙烷等烷烃是工农业生产和人们生活中的重要燃料。

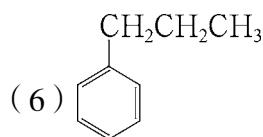
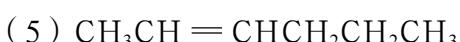
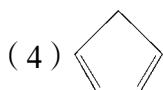
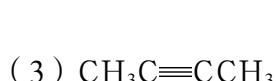
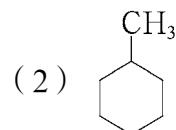
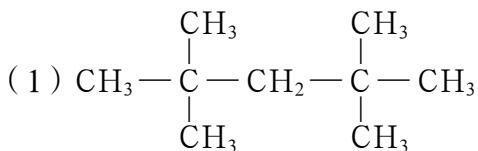
烯烃和炔烃分子中有不饱和碳原子。烯烃和炔烃能够燃烧，可以与卤素单质、氢卤酸、氢气等发生加成反应，并能被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化。烯烃能发生聚合反应。乙炔在一定条件下发生聚合反应可生成聚乙炔。

苯及其同系物能够燃烧，可以与卤素单质、硫酸、硝酸等发生取代反应，在铂等做催化剂和加热、加压条件下能与氢气发生加成反应。在苯的同系物中，如果侧链烃基中与苯环直接相连的碳原子上有氢原子，它就能被酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化。

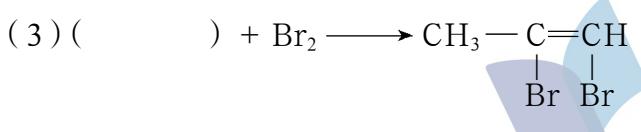
## 练习



1. 以下各烃中，属于链烃的是\_\_\_\_\_；属于脂环烃的是\_\_\_\_\_；属于芳香烃的是\_\_\_\_\_。(填入编号)



2. 根据所学的知识填写下列空白。





3. 1 mol 某不饱和烃与 1 mol 氢气加成后的生成物是 2-甲基丁烷，请写出此不饱和烃可能的结构简式，并用系统命名法对其命名。

4. 某气态烃 0.5 mol 能与 1 mol HCl 加成，加成后产物分子上的氢原子又可被 3 mol Cl 取代，则此气态烃可能是（ ）。

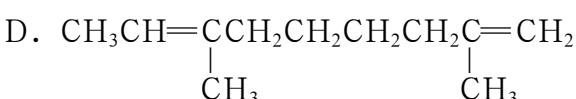
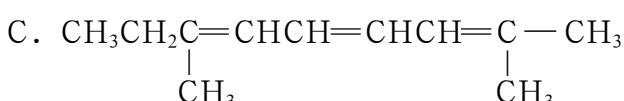
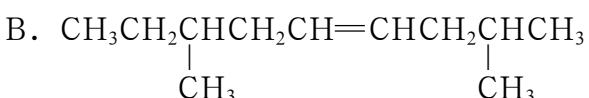
- A.  $\text{CH} \equiv \text{CH}$       B.  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$   
C.  $\text{CH} \equiv \text{C} - \text{CH}_3$       D.  $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)_2$

5. 1866 年，凯库勒提出了苯的单键、双键交替的正六边形平面结构（凯库勒结构），解释了苯的部分性质，但有一些问题仍未能解决。凯库勒结构不能解释下列哪些事实？（ ）

- A. 苯不能使溴的四氯化碳溶液退色      B. 苯能与氢气发生加成反应  
C. 溴苯没有同分异构体      D. 邻二溴苯只有一种结构

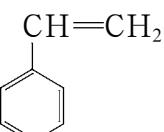
6. 某烃的分子式为  $\text{C}_{11}\text{H}_{20}$ ，1 mol 该烃在催化剂作用下可以吸收 2 mol  $\text{H}_2$ ；用酸性  $\text{KMnO}_4$  溶液氧化，得到丁酮 ( $\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}} - \text{CH}_2\text{CH}_3$ )、丙酮 ( $\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}} - \text{CH}_3$ ) 和

琥珀酸 ( $\text{HO} - \overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}} - \text{CH}_2\text{CH}_2 - \overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}} - \text{OH}$ ) 三者的混合物。该烃的结构简式为（ ）。



7. 1834 年，德国科学家米希尔里希通过蒸馏安息香酸（苯甲酸）和石灰的混合物得到一种液体物质，将其命名为苯。

(1) 分子式为  $\text{C}_6\text{H}_6$  的有机化合物有多种同分异构体，由于苯的碳氢个数比与乙炔相同，人们曾认为它是一种不饱和烃。请写出分子式为  $\text{C}_6\text{H}_6$  的一种含叁键且无支链的链烃的结构简式：\_\_\_\_\_。

(2) 芳乙烯 () 在常温下用镍做催化剂与氢气加成得到乙苯，很难得到乙基



环己烷，这说明\_\_\_\_\_。

(3) 苯不像烯烃那样容易被酸性KMnO<sub>4</sub>溶液氧化，也不容易与溴水发生加成反应，而容易发生取代反应。试写出1~2个苯发生取代反应的化学方程式：\_\_\_\_\_。

(4) 现代化学认为苯分子中碳碳之间的键不是\_\_\_\_\_，而是\_\_\_\_\_。

8. 分子式为C<sub>8</sub>H<sub>10</sub>的芳香烃与硫酸和硝酸组成的混合酸发生硝化反应时生成的一硝基取代物只有一种，则该芳香烃的结构应如何表示？请简述理由。

9. 0.1 mol某气态链烃充分燃烧可以生成7.2 g水。请据此回答下列问题：

(1) 试通过计算确定该烃可能的分子式和结构简式；

(2) 请对(1)中所确定结构的烃进行系统命名；

(3) 若经测定该烃存在支链，预测该烃能否被酸性KMnO<sub>4</sub>溶液氧化、该烃能否与溴水发生反应使溴水退色。写出该烃燃烧的化学方程式。



## 本章自我评价

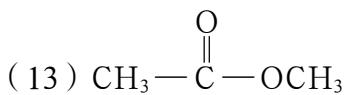
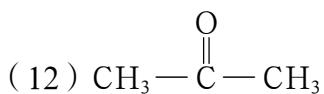
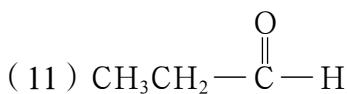
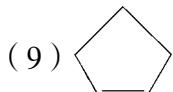
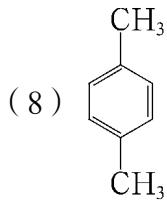
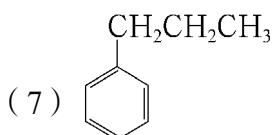
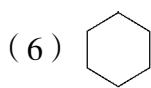
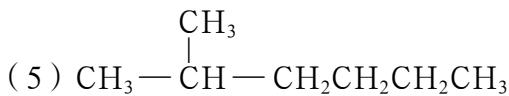
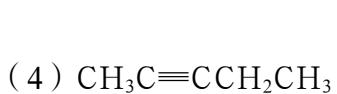
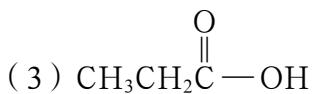
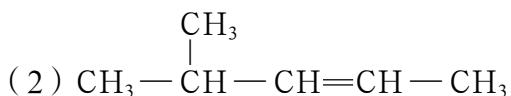
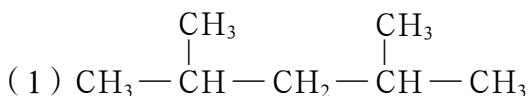
1. 构成有机化合物的元素种类不多，但是有机化合物种类繁多、数量巨大，你认为是什么原因造成的？请阐明理由。
2. 请用图示表示有机化合物的分类，并举出相应的有机化合物实例。
3. 下列各组物质在一定条件下反应，可以制得较纯净的1,2-二氯乙烷的是（ ）。  
A. 乙烷与氯气混合      B. 乙烯与氯化氢混合  
C. 将乙烯通入氯的四氯化碳溶液中      D. 将乙炔通入氯的四氯化碳溶液中
4. 以下有机化合物可能与列出的哪些试剂发生反应？如下例所示，请根据所学知识将有机化合物和能与之发生反应的试剂配对，将结果填写在空白处，并写出相应的反应现象或反应产物。

物质	试剂
① 乙烷	A. 酸性 $\text{KMnO}_4$ 溶液
② 2-丁烯	B. 溴的四氯化碳溶液
③ 甲苯	
④ 丙炔	C. 氢气 / 催化剂

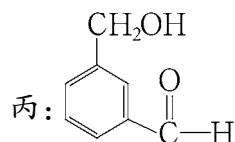
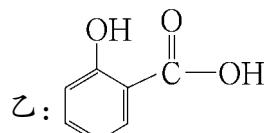
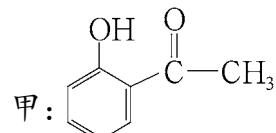
有机化合物的序号	试剂的序号	反应现象或反应产物
示例：②	B	$\text{CH}_3-\underset{\text{Br}}{\overset{ }{\text{CH}}}-\underset{\text{Br}}{\overset{ }{\text{CH}}}-\text{CH}_3$



5. 请给下面列出的有机化合物分类，指出哪些有机化合物互为同分异构体，给属于链烃的有机化合物命名。



6. 甲、乙、丙三种有机化合物的结构简式如下：



(1) 请写出三种有机化合物中含氧官能团的名称：\_\_\_\_\_。

(2) 请判别上述哪些有机化合物互为同分异构体：\_\_\_\_\_。

7. 请你通过调查或查阅资料，写一篇小论文阐述卤代烃的“功”与“过”。

